



สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

21 กันยายน 2555

การจัดทำแนวทางการปฏิบัติ

สำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี

โดย รศ.ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกูล และคณะ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

21 กันยายน 2555

การจัดทำแนวทางการปฏิบัติ
สำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี

คณะผู้วิจัย

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. รศ.ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิทยานุกุล | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 2. ดร.จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 3. ดร.อภิชน วัชรเนตร์วงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 4. ดร.สุธาทิพย์ สินยัง | มหาวิทยาลัยมหิดล
(วิทยาเขตกาญจนบุรี) |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

คำนำ

การจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีนี้เป็นโครงการที่ได้จัดทำขึ้นจากความจำเป็นของการดำเนินการวิจัยในมหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยต่างๆ ในการที่จะต้องมีระเบียบ แนวทางการปฏิบัติที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน การดำเนินการในการจัดทำแนวทางปฏิบัตินี้ ประกอบด้วยแผนงานสามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการสำรวจและรวบรวมข้อมูลเพื่อให้ได้ภาพรวมสถานการณ์ของการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัย ส่วนที่สองเป็นการร่างแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีโดยคณะทำงาน โดยมีผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงร่างแนวทางปฏิบัติให้เหมาะสม และส่วนที่สามเป็นการนำแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีไปใช้งานในห้องปฏิบัติการที่ร่วมโครงการ ผลที่ได้จากโครงการนี้เป็นคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนเพื่อนำไปแจกจ่ายให้กับมหาวิทยาลัย และหน่วยงานวิจัยต่างๆ ของรัฐ รวมทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปเป็นต้นแบบสำหรับองค์กรต่างๆ ในการนำไปใช้งาน และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการนำไปใช้กับกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนเพื่อก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตมนุษย์และสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงการสร้างความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการปฏิบัติงาน การดำเนินการ และการจัดการวัสดุนาโนที่เหมาะสม ซึ่งจะก่อให้เกิดการพัฒนานาโนเทคโนโลยีที่ยั่งยืนในอนาคตต่อไป

คณะผู้วิจัย

สารบัญ		หน้า
คำนำ		ก
สารบัญ		ข
สารบัญรูป		ช
สารบัญตาราง		ฉ
แบบสรุปโครงการวิจัย		๓
บทคัดย่อ		ด
Abstract		ท
บทที่ 1 ที่มาและแนวทางในการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี		
1.1 ที่มาของโครงการ		1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ		1-2
1.3 แนวทางในการพัฒนาแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี		1-2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ		1-5
1.5 คณะทำงานโครงการจัดทำแนวปฏิบัติงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี		1-5
บทที่ 2 ภาพรวมการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับนาโนเทคโนโลยีในต่างประเทศ		
2.1 ที่มาของการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับนาโนเทคโนโลยี		2-1
2.2 การทบทวนแนวทางการปฏิบัติสำหรับนาโนเทคโนโลยีในต่างประเทศ		2-5
2.2.1 A code of conduct for responsible nanoscience and nanotechnologies research in Europe		2-5
2.2.2 แนวทางในการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีโดย US Environmental Protection Agency		2-9
2.2.3 มาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีโดย British Standards Institution (BSI)		2-10
2.2.4 มาตรฐานและความปลอดภัยด้านนาโนเทคโนโลยีโดย NIOSH และ OSHA ของประเทศสหรัฐอเมริกา		2-14
2.2.5 เอกสารความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของ Department of Energy, Nanoscale Science Research Centers (NSRC's) ในเรื่อง Approach to Nanomaterial ES&H		2-17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.6 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนของ Health Effects of Nanoparticles ของ Occupational and Health (IRSST), Canada	2-19
2.2.7 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโน NANO Risk Framework -Dupont	2-20
2.2.8 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโน NANOTECHNOLOGY โดย GAO – USA	2-22
2.2.9 แนวทางปฏิบัติอื่นๆ ที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี	2-24
บทที่ 3 ความก้าวหน้าของนาโนเทคโนโลยี และความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยี	
3.1 การพัฒนานาโนเทคโนโลยีในงานวิจัย และในระดับอุตสาหกรรม	3-1
3.1.1 รถยนต์	3-2
3.1.2 ทหารและการบิน	3-3
3.1.3 สินค้าอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์	3-3
3.1.4 พลังงานและสิ่งแวดล้อม	3-4
3.1.5 อาหารและเกษตรกรรม	3-5
3.1.6 บ้านเรือนและการก่อสร้าง	3-6
3.1.7 การแพทย์และยารักษาโรค	3-7
3.1.8 ของใช้ส่วนตัว เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์อื่นๆ	3-9
3.2 ความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยีและผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	3-9
3.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเป็นพิษของวัสดุนาโน	3-9
3.2.2 วิธีการได้รับและขนาดของการได้รับวัสดุนาโนที่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	3-10
3.2.3 การควบคุมความเสี่ยงจากวัสดุนาโน	3-12
3.2.4 ความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงของนาโนเทคโนโลยียังถูกจำกัด	3-18
บทที่ 4 ภาพรวมงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยของ ไทย	
4.1 ภาพรวมของงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทยจากฐานข้อมูล	4-1
4.1.1 ข้อมูลงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีในสถาบันการศึกษาจากฐานข้อมูล ThaiLis	4-1
4.1.2 ข้อมูลงานวิจัยและนักวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทยจากฐานข้อมูล Scirus	4-12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ภาพรวมของการดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนในมหาวิทยาลัยของไทยโดย คณะทำงาน	4-16
4.2.1 ภาพรวมของงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยไทยแยกตาม ประเภทวัสดุนาโนและการใช้งาน	4-17
4.2.2 งานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีแยกตามแต่ละมหาวิทยาลัย	4-28
4.2.3 การดำเนินงานด้านการวิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยี	4-32
4.2.4 ความปลอดภัยของการดำเนินงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์	4-34
4.2.5 ความปลอดภัยของการดำเนินงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโน เทคโนโลยี	4-37
4.2.6 ข้อคิดเห็นต่อการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยทางด้านนาโน วิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยีสำหรับห้องปฏิบัติการและศูนย์วิเคราะห์	4-43
บทที่ 5 แนวทางและวิธีการในการร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโน เทคโนโลยี	
5.1 การเชื่อมโยงข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโนจากต่างประเทศกับข้อมูลด้านงานวิจัย นาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย	5-1
5.2 การเชื่อมโยงข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโนของไทยและต่างประเทศกับสถานการณ์ งานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยไทย	5-7
5.3 กิจกรรมการจัดทำร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี	5-9
5.3.1 การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 1 เพื่อระดมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อ การจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโน เทคโนโลยี	5-11
5.3.2 การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 เพื่อกำหนดหมวดหมู่และเนื้อหาของคู่มือ ความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี	5-14
5.3.3 การร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีโดย คณะทำงาน และการปรับปรุงคู่มือโดยคณะผู้ทรงคุณวุฒิ	5-18
5.3.4 การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3 เพื่อประชาสัมพันธ์ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัย ในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี	5-20
5.3.5 การทดลองนำร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีไป ใช้งานในห้องปฏิบัติการนำร่อง	5-24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.6 การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 เพื่อประชาสัมพันธ์ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีหลังจากการนำไปใช้งานในห้องปฏิบัติการนำร่อง	5-27
บทที่ 6 การประเมินผลการใช้งานของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีเชิงคุณภาพ	
6.1 การให้ความรู้เบื้องต้นและการแนะนำคู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนให้กับมหาวิทยาลัยต่างๆ	6-2
6.2 การตรวจสอบการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยนำร่องก่อนการนำคู่มือความปลอดภัยฯไปใช้งาน	6-7
6.3 การตรวจสอบและประเมินผลเชิงคุณภาพในการนำคู่มือความปลอดภัยฯไปใช้งานของห้องปฏิบัติการนำร่อง	6-19
6.4 การประเมินในภาพรวม อุปสรรคและปัญหาในการปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการนำร่อง	6-28
บทที่ 7 การประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโน	
7.1 การเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลอง	7-2
7.2 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel	7-5
7.3 การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electric arc discharge	7-9
7.4 การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electric sparking	7-12
7.5 การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี dip coating	7-15
7.6 การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electrodeposition	7-18
บทที่ 8 การตรวจสอบความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการ	
01-แบบฟอร์มการตรวจสอบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	8-2
02-แบบฟอร์มสรุปผลการตรวจสอบความปลอดภัยสำหรับห้องปฏิบัติการ	8-7
บทที่ 9 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการนำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยไปใช้งาน	
9.1 ปัญหาและอุปสรรคในการนำแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีไปใช้งาน	9-1
9.2 ข้อเสนอแนะในการนำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยไปใช้งาน	9-4

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
9.2.1 แผนนโยบายการบริหารจัดการความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุ นาโนในระดับมหาวิทยาลัย	9-4
9.2.2 ระบบการบริหารจัดการภายในหน่วยงานที่ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน	9-5
เอกสารอ้างอิง	อ-1
ภาคผนวก ก รายการเอกสารที่ใช้ในโครงการ	ก-1
ภาคผนวก ข คณะกรรมการจัดทำคู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน	ข-1
ภาคผนวก ค ศัพท์และนิยามที่เกี่ยวข้องกับนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี	ค-1
ภาคผนวก ง ตัวอย่างมาตรการในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านวัสดุนาโนของ ต่างประเทศ	ง-1
ภาคผนวก จ แบบสอบถามสำหรับการตรวจสอบการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัย นำร่อง	จ-1

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ผังแสดงภาพรวมการทำงานของโครงการจัดทำแนวปฏิบัติงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี	1-3
รูปที่ 2.1 กรอบในการศึกษาความเสี่ยงของวัสดุนาโน	2-21
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างของวัสดุนาโนในฐานะที่เป็นวัตถุอันตราย ผลิตภัณฑ์ชั้นกลาง และสินค้าสำเร็จ	3-1
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีกับอุตสาหกรรมรถยนต์	3-3
รูปที่ 3.3 นวัตกรรมด้านนาโนเทคโนโลยีที่ใช้กับโทรศัพท์มือถือ	3-4
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้กับขวดเครื่องดื่ม	3-6
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างนวัตกรรมของนาโนเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน และในอนาคตที่อาจถูกนำมาใช้ในที่พักอาศัย	3-8
รูปที่ 3.6 แสดงเส้นทางการแพร่กระจายของวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกาย และสู่สิ่งแวดล้อมตามวัฏจักรชีวิตของวัสดุนาโน	3-12
รูปที่ 3.7 แสดงลำดับความสำคัญในการควบคุมความเสี่ยงเมื่อทำงานกับอนุภาคนาโน	3-13
รูปที่ 3.8 จำนวนงานวิจัยศึกษาผลกระทบของวัสดุนาโนที่มีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม	3-18
รูปที่ 4.1 ภาพรวมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในช่วงปี พ.ศ.2541 ถึง 2552 ของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-2
รูปที่ 4.2 จำนวนวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในระดับบัณฑิตศึกษาของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-3
รูปที่ 4.3 จำนวนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาในช่วงปี พ.ศ.2541 ถึง 2552 โดยแบ่งตามประเภทของวัสดุนาโน	4-10
รูปที่ 4.4 จำนวนบทความด้านนาโนเทคโนโลยีของไทยโดยแบ่งตามชนิดของวัสดุนาโน	4-13
รูปที่ 4.5 จำนวนบทความด้านนาโนเทคโนโลยีของไทยโดยแบ่งตามหน่วยงาน	4-14
รูปที่ 4.6 บุคลากรด้านนาโนเทคโนโลยีจากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติแบ่งตามประเภทสาขาการวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี	4-15
รูปที่ 4.7 ร้อยละของระดับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย	4-17
รูปที่ 4.8 ร้อยละของการดำเนินงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย	4-17
รูปที่ 4.9 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่มีการนำไปใช้ในกิจกรรมหรือโครงการวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย	4-18
รูปที่ 4.10 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่มีการนำไปใช้ในการวิจัยพื้นฐานทางด้านการสังเคราะห์วัสดุนาโนของประเทศไทย	4-19
รูปที่ 4.11 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่มีการนำไปใช้ในการวิจัยพื้นฐานทางด้านการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวัสดุนาโนของประเทศไทย	4-19

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 ร้อยละของการนำเทคโนโลยีนาโนไปใช้ในด้านต่างๆ	4-20
รูปที่ 4.13 ร้อยละของการวิจัยพื้นฐานทางด้านการสังเคราะห์วัสดุนาโนของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-21
รูปที่ 4.14 ร้อยละของการวิจัยพื้นฐานทางด้านการวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุนาโนของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-21
รูปที่ 4.15 ร้อยละของการวิจัยพื้นฐานทางด้านการนำวัสดุนาโนไปใช้งานของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-22
รูปที่ 4.16 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านพลังงานของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-22
รูปที่ 4.17 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสารของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-23
รูปที่ 4.18 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-24
รูปที่ 4.19 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านเซ็นเซอร์ของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-24
รูปที่ 4.20 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านผลิตภัณฑ์สำหรับอุปโภค และบริโภคของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-25
รูปที่ 4.21 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านเภสัชภัณฑ์และการแพทย์ของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-25
รูปที่ 4.22 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรมด้านอาหารของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-26
รูปที่ 4.23 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรมเคมีของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-27
รูปที่ 4.24 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ ของแต่ละมหาวิทยาลัย	4-27
รูปที่ 4.25 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยมหิดล	4-28
รูปที่ 4.26 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยนเรศวร	4-29
รูปที่ 4.27 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	4-29
รูปที่ 4.28 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	4-30
รูปที่ 4.29 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	4-30
รูปที่ 4.30 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยขอนแก่น	4-31
รูปที่ 4.31 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	4-31
รูปที่ 4.32 ร้อยละของหน่วยงานที่มีวิชาที่ปฏิบัติการเกี่ยวกับงานทางด้านนาโนเทคโนโลยี	4-33
รูปที่ 4.33 ร้อยละของอุปกรณ์ / เครื่องมือในการวิเคราะห์ทดสอบสำหรับงานทางด้านนาโนเทคโนโลยี	4-34

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.34 ร้อยละของหน่วยงานมาตรการในการให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	4-34
รูปที่ 4.35 ร้อยละของกลุ่มเป้าหมายในการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ	4-35
รูปที่ 4.36 ร้อยละอุปกรณ์ทางด้านความปลอดภัยส่วนบุคคล	4-36
รูปที่ 4.37 ร้อยละของอุปกรณ์ความปลอดภัยที่มีการติดตั้งในห้องปฏิบัติการ	4-36
รูปที่ 4.38 ร้อยละของแหล่งงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์	4-37
รูปที่ 4.39 ร้อยละของหน่วยงานที่มีมาตรการในการให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี	4-37
รูปที่ 4.40 ร้อยละของกลุ่มเป้าหมายในการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี	4-38
รูปที่ 4.41 ร้อยละของอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยส่วนบุคคลที่มีการจัดเตรียมสำหรับใช้ในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี	4-39
รูปที่ 4.42 ร้อยละของอุปกรณ์ความปลอดภัยที่มีการติดตั้งในห้องปฏิบัติการสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี	4-39
รูปที่ 4.43 ร้อยละของแหล่งงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ด้านความปลอดภัยสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี	4-40
รูปที่ 4.44 ร้อยละของหน่วยงานที่ควรสนับสนุนงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ด้านความปลอดภัยสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี	4-40
รูปที่ 4.45 ร้อยละของหน่วยงานที่มีสถานที่จัดเก็บสารเคมีหรือวัสดุอันตรายเพื่อใช้ในการวิจัย	4-41
รูปที่ 4.46 ร้อยละของหน่วยงานที่มีข้อกำหนด/ระเบียบปฏิบัติด้านความปลอดภัยให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี	4-41
รูปที่ 4.47 ร้อยละของหน่วยงานที่มีการรวบรวมของเสีย/สารเคมีที่เกิดจากการวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีที่ใช้แล้ว	4-42
รูปที่ 4.48 ร้อยละของหน่วยงานที่มีการตรวจสอบสภาพให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา ที่มีความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสกับวัสดุอันตราย หรือทำงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	4-42
รูปที่ 4.49 ร้อยละของหน่วยงานที่มี MSDS ให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา เพื่อใช้ประกอบการทำงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี	4-43

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.50 ร้อยละของระดับความรู้ความเข้าใจของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการปฏิบัติด้านความปลอดภัยสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี	4-43
รูปที่ 4.51 ร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีความคิดเห็นต่อการจัดทำนโยบายด้านความปลอดภัยของการทำงานที่เกี่ยวข้องกับด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี	4-44
รูปที่ 4.52 ร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีความคิดเห็นต่อการจัดทำคู่มือความปลอดภัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี	4-44
รูปที่ 5.1 ภาพบรรยากาศการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 1	5-12
รูปที่ 5.2 ภาพบรรยากาศในการระดมความคิดเห็นในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 1	5-13
รูปที่ 5.3 ภาพบรรยากาศการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 2	5-17
รูปที่ 5.4 ภาพบรรยากาศในการระดมความคิดเห็นในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2	5-18
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างส่วนหนึ่งของมาตรการในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านวัสดุโนของต่างประเทศซึ่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาความยากง่ายในการปฏิบัติ	5-19
รูปที่ 5.6 ร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนฉบับที่ 1	5-20
รูปที่ 5.7 ภาพบรรยากาศการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 3	5-22
รูปที่ 5.8 ภาพบรรยากาศในการระดมความคิดเห็นในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3	5-24
รูปที่ 5.9 (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี	5-26
รูปที่ 5.10 การเผยแพร่ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีที่มีการจัดพิมพ์เหมือนรูปเล่มจริงในการประชาสัมพันธ์ผ่านระบบสารสนเทศ	5-27
รูปที่ 5.11 เอกสาร (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยที่ใช้ในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4	5-29
รูปที่ 5.12 ภาพบรรยากาศการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 4	5-30
รูปที่ 5.13 ภาพบรรยากาศในการระดมความคิดเห็นในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4	5-31
รูปที่ 6.1 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	6-3
รูปที่ 6.2 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหิดล	6-3
รูปที่ 6.3 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	6-4
รูปที่ 6.4 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	6-5
รูปที่ 6.5 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	6-5
รูปที่ 6.6 การจัดอบรมให้ความรู้กับบุคลากรห้องปฏิบัติการที่ศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร วันที่ 25 สิงหาคม 2554	6-6
รูปที่ 6.7 การจัดอบรมให้ความรู้กับนิสิตและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยนเรศวร วันที่ 29 สิงหาคม 2554	6-6

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6.8 แสดงร้อยละของการดำเนินการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการทางด้านการใช้วัสดุนาโน	6-7
รูปที่ 6.9 แสดงร้อยละหมวดงานที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการทางด้านการใช้วัสดุนาโน	6-9
รูปที่ 6.10 การวัดประสิทธิภาพการทำงานของตัวคุณในการทำงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี และการให้คำแนะนำกับผู้ปฏิบัติงานในการทำงานให้มีประสิทธิภาพ	6-13
รูปที่ 6.11 ระบบปิดที่มีการนำมาใช้เพื่อป้องกันการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการนำร่อง	6-13
รูปที่ 6.12 การแยกเก็บของเสียวัสดุนาโนออกจากของเสียชนิดอื่น	6-17
รูปที่ 7.1 การเก็บตัวอย่างจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลองของห้องปฏิบัติการนำร่อง	7-3
รูปที่ 7.2 การเก็บตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการต่างๆ ในส่วนของการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel	7-6
รูปที่ 7.3 ตัวอย่างระบบปิดที่ใช้กับการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel ได้	7-9
รูปที่ 7.4 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge	7-10
รูปที่ 7.5 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking	7-13
รูปที่ 7.6 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating	7-16
รูปที่ 7.7 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition	7-19

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 6.15 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโน	6-27
ตารางที่ 6.16 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุ นาโน	6-28
ตารางที่ 7.1 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลอง	7-3
ตารางที่ 7.2 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลอง	7-4
ตารางที่ 7.3 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel	7-6
ตารางที่ 7.4 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel	7-7
ตารางที่ 7.5 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge	7-9
ตารางที่ 7.6 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge	7-11
ตารางที่ 7.7 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking	7-12
ตารางที่ 7.8 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking	7-14
ตารางที่ 7.9 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating	7-15
ตารางที่ 7.10 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating	7-16
ตารางที่ 7.11 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition	7-19
ตารางที่ 7.12 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition	7-20
ตารางที่ ก.1 รายการเอกสารที่ใช้ในโครงการ	ก-1

แบบสรุปโครงการวิจัย (Executive Summary)

สัญญาเลขที่	RDG5330012
ชื่อโครงการ	การจัดทำแนวทางการปฏิบัติ สำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี
หัวหน้าโครงการ	รศ.ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิยานุกุล
หน่วยงาน	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
โทรศัพท์	055-964100 โทรสาร 055-964100
E-mail address	puangratk@nu.ac.th , kpuangrat@gmail.com

ความสำคัญ/ความเป็นมา

การจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีนี้เป็นโครงการที่ได้จัดทำขึ้นจากความจำเป็นของภาครัฐ เอกชน อุตสาหกรรม และชุมชน ในการที่จะต้องมีการเปรียบเทียบ แนวทางการปฏิบัติที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน และนาโนเทคโนโลยี ทั้งนี้สืบเนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนานาโนเทคโนโลยีไปพร้อมๆ กับอารยประเทศ และประสบความสำเร็จในการนำวัสดุนาโนในรูปแบบต่างๆ เช่น ผงนาโน ไฟเบอร์ ฟิล์มบาง เป็นต้น ไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ หรือเพิ่มลักษณะพิเศษให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทำให้เกิดการแพร่หลายของผลิตภัณฑ์นาโนในตลาดการค้าของอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น โดยในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโนเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามการที่วัสดุนาโนมีขนาดเล็กมาก (น้อยกว่า 100 นาโนเมตร) จึงทำให้วัสดุนาโนดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีและว่องไว ส่งผลให้การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้โดยตรง เช่น การหายใจเอาวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายซึ่งสามารถสะสมในปอด การได้รับน้ำ หรืออาหารที่มีวัสดุนาโนปนเปื้อนทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย เป็นต้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลร้ายกับมนุษย์ได้ การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายเป็นไปได้ทั้ง 3 วิธี คือ การหายใจ การกิน และการสัมผัส ซึ่งการได้รับวัสดุนาโนนี้อาจเกิดขึ้นได้กับนักวิทยาศาสตร์ ผู้ค้นคว้าวิจัย คนงานของโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์นาโน ผู้นำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ตลอดจนประชาชนทั่วไปที่รับวัสดุนาโนจากการปนเปื้อนวัสดุนาโนในสิ่งแวดล้อม เช่น จากการปนเปื้อนในน้ำ การดูดซึมวัสดุนาโนของพืช เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันงานวิจัยที่แสดงผลกระทบของวัสดุนาโนต่อสุขภาพของมนุษย์มีจำนวนน้อย ในขณะที่ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ดำเนินการวิจัยเพื่อแสดงผลกระทบของวัสดุนาโนเหล่านี้ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวกลางในสิ่งแวดล้อมเช่น แหล่งน้ำ ดิน และพืชอย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งยังไม่มีกำหนดแนวทางในการจัดการวัสดุนาโนที่เหมาะสมเพื่อก่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุนาโนเหล่านี้ รวมไปถึงการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งขาดการกำหนดวิธีการที่เหมาะสมในการผลิต การจัดเก็บ การขนส่ง ตลอดจนการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโนหลังจากการใช้งานอีกด้วย จากเหตุผลดังกล่าวนี้ ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านที่มีการทำงานด้านการวิจัยวัสดุนาโน จึงได้รวมตัวเป็นคณะทำงานในการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี เพื่อใช้ในการดำเนินการวิจัยของมหาวิทยาลัย และหน่วยงานวิจัยต่างๆ ของรัฐ โดยงานวิจัยนี้ได้สอดคล้องกับเป้าหมายและแนวทางของฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ซึ่งได้เล็งเห็นความจำเป็นที่จะต้องจัดทำแนวทางปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนดังกล่าวเพื่อความปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ โครงการนี้ยังจัดได้ว่าเป็นโครงการนำร่องในการสร้างแนวทางการปฏิบัติสำหรับกิจกรรมอื่นๆ ในการสร้างความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุนาโนต่อไป

ในการดำเนินงานของโครงการนี้ประกอบด้วยงานใน 3 ส่วน

ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ในหัวข้อที่เกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่ได้มีจัดทำขึ้นแล้วในต่างประเทศ รวมไปถึงการจัดทำแนวทางความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุนาโนของหน่วยงานอื่นๆ เช่น Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), US. Environmental Protection Agency (US. EPA) เป็นต้น การดำเนินงานของโครงการยังรวมถึงการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 1 โดยเป็นการประชุมผู้ดูแล ผู้ปฏิบัติงานห้องปฏิบัติการ รวมไปถึงผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานเกี่ยวกับนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในเรื่องความปลอดภัยของวัสดุนาโนและสร้างให้เกิดความร่วมมือในการสำรวจข้อมูลด้านงานวิจัยนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยไทยอีกด้วย งานส่วนนี้ยังรวมถึงการสำรวจสถานการณ์โดยรวมในการวิจัยด้านวัสดุนาโนของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยเพื่อให้ได้ข้อมูลการวิจัยและการใช้งานวัสดุนาโน

การดำเนินการในส่วนที่สอง ประกอบด้วยการจัดให้มีการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 เพื่อนำเสนอข้อมูลด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน ตลอดจนแนวทางปฏิบัติที่ทำให้เกิดความปลอดภัยด้านวัสดุนาโนใน ต่างประเทศ และยังรวมถึงการระดมสมองผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานเกี่ยวกับนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี และผู้เชี่ยวชาญในด้านสาขาต่างๆ เพื่อให้ได้ความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ และผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดทำร่างแนวทางการปฏิบัติที่สามารถนำไปใช้งาน จากนั้นคณะทำงานจึงได้นำข้อมูลที่ได้จากการประชุมระดมสมองนี้ไปจัดทำร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนซึ่งนำเข้าสู่การกระบวนกรประชุมพิจารณาเพื่อรับฟังความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญอีกครั้งในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3 เพื่อปรับปรุงก่อนนำไปทดลองในงานต่อไป ในส่วนการดำเนินงานขั้นสุดท้ายเป็นการนำร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ที่ได้พัฒนาขึ้นมาแล้ว ไปทดลองใช้งานในห้องปฏิบัติการที่ร่วมโครงการ เพื่อประเมินติดตามผลการใช้งาน และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยฯ ขั้นสุดท้าย โดยได้จัดให้มีการวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการและการติดตามผลของการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานร่วมด้วย จากนั้นร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ที่ได้ปรับปรุงแล้วนั้นได้นำไปใช้ในการประชุมพิจารณาครั้งสุดท้ายในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 พร้อมการหารือเพื่อให้เกิดนโยบายการในการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ที่ได้ไปปฏิบัติในสถาบันการศึกษา และหน่วยวิจัยอย่างเป็นรูปธรรม

ผลที่ได้จากโครงการนี้เป็นแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีซึ่งอยู่ในรูปแบบของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนเพื่อนำไปแจกจ่ายให้กับมหาวิทยาลัย สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา โรงเรียน และหน่วยงานวิจัยต่างๆของรัฐ รวมทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมควบคุมมลพิษ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงศึกษาธิการ คณะกรรมการอาหารและยา เป็นต้น เพื่อนำไปเป็นต้นแบบสำหรับองค์กรต่างๆ ในการนำไปใช้งาน และพัฒนาต่อยอดในการนำไปใช้กับกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีที่ก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตมนุษย์และสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงการสร้างความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องในการปฏิบัติงาน การดำเนินการ และการจัดการวัสดุนาโนที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีที่ยั่งยืนในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อให้ได้แนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี และนำไปใช้ในการดำเนินการวิจัยของมหาวิทยาลัย และหน่วยงานวิจัยต่างๆ ขององค์กรของรัฐ

ผลที่ได้รับ	บรรลุวัตถุประสงค์	โดยได้ทำ
1) ข้อมูลภาพรวม สถานการณ์ของการ ทำงานเกี่ยวกับวัสดุ นาโน	1) เพื่อสำรวจและรวบรวม ภาพรวมสถานการณ์ของการ ทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโน	1.1) การรวบรวมข้อมูลความปลอดภัยด้านการใช้วัสดุ นาโนจากในและต่างประเทศ 1.2) ประชุมผู้ดูแลและผู้ปฏิบัติงาน ห้องปฏิบัติการ เกี่ยวกับวัสดุนาโนเพื่อให้เกิดความเข้าใจความ ปลอดภัยของวัสดุนาโนและร่วมมือในการสำรวจ ข้อมูล 1.3) การสำรวจข้อมูลวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการที่ เกี่ยวกับวัสดุนาโนของแต่ละมหาวิทยาลัย 1.4) การจัดทำภาพรวมสถานการณ์ของการทำงาน เกี่ยวกับวัสดุนาโนของมหาวิทยาลัย
2) ได้ร่างแนวทางปฏิบัติ สำหรับงานวิจัยด้าน นาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี ในรูปของคู่มือความ ปลอดภัยในการ ทำงานวิจัยเกี่ยวกับ วัสดุนาโน	2) เพื่อร่างแนวทางปฏิบัติสำหรับ งานวิจัยด้านนาโน วิทยาศาสตร์และนาโน เทคโนโลยี	2.1) การจัดการประชุมผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุนาโน เพื่อ รับทราบภาพรวมของงานวิจัยวัสดุนาโน และการ ระดมสมองเพื่อร่างแนวทางปฏิบัติ 2.2) การจัดทำร่างแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัย ด้านวัสดุนาโนในรูปของคู่มือความปลอดภัยใน การทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน 2.3) การจัดการประชุมผู้เชี่ยวชาญเพื่อเสนอและรับฟัง ข้อคิดเห็นเพื่อปรับปรุงแนวทางปฏิบัติงาน 2.4) การส่งร่างแนวทางปฏิบัติงานยังคณะที่ปรึกษา และการปรับปรุงร่างแนวทางปฏิบัติงาน
3) ได้ร่างแนวทางปฏิบัติ สำหรับงานวิจัยด้าน วัสดุนาโนในรูปของ คู่มือความปลอดภัย ในการทำงานวิจัย เกี่ยวกับวัสดุนาโนไป ทดลองใช้งานใน ห้องปฏิบัติการนำร่อง	3) เพื่อนำร่างแนวทางปฏิบัติ สำหรับงานวิจัยด้านวัสดุ นาโนไปทดลองใช้งาน	3.1) การนำร่างคู่มือความปลอดภัย สำหรับงานวิจัย ด้านวัสดุนาโนไปใช้กับห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วม โครงการ จำนวน 15 แห่ง จาก 7 มหาวิทยาลัย ซึ่งมากกว่าแผนเดิมที่กำหนด 3.2) การวัดและวิเคราะห์การได้รับวัสดุนาโนและการ ปนเปื้อนวัสดุนาโนในสิ่งแวดล้อมของ ห้องปฏิบัติการนำร่อง จำนวน 15 แห่ง จาก 7 มหาวิทยาลัย ซึ่งมากกว่าแผนเดิมที่กำหนด 3.3) การจัดประชุมย่อยเพื่อวิเคราะห์และประเมินผล ของการนำคู่มือความปลอดภัย ไปใช้งาน เพื่อ ปรับปรุงร่างฯ 3.4) การประชุมผู้เชี่ยวชาญเพื่อจัดทำคู่มือ และ นโยบายการนำคู่มือไปปฏิบัติในหน่วยงานต่างๆ 3.5) การปรับปรุงขั้นสุดท้ายและจัดทำคู่มือความ ปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน ให้กับองค์กรต่างๆ ของรัฐ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่ได้จากการวิจัยนี้ เป็นคู่มือที่ให้คำแนะนำในการทำงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากการได้รับสารวัสดุนาโน โดยครอบคลุมการวางนโยบายในการบริหารของผู้มีหน้าที่รับผิดชอบระดับมหาวิทยาลัย คณะ และศูนย์หรือหน่วยวิจัย ซึ่งประกอบด้วยคำแนะนำและข้อปฏิบัติในการทำงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยตั้งแต่การนำวัสดุนาโนเข้ามาใช้ในห้องปฏิบัติการ การครอบครอง การใช้งาน การจัดการของเสียรวมถึงการให้ความรู้ ฝึกอบรมแก่บุคลากร เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานและนิสิต/นักศึกษา โดยสามารถนำไปใช้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในกระบวนการต่างๆ ตั้งแต่การออกแบบพื้นที่ปฏิบัติงาน การก่อสร้าง การวิเคราะห์ การใช้งาน การเก็บรักษา การเคลื่อนย้าย และการบริหารจัดการของเสีย รวมถึงการลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุ หรือเหตุฉุกเฉินสำหรับห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเป็นหลัก รวมไปถึงการนำไปใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานสำหรับหน่วยงานวิจัยของรัฐ สถานศึกษา และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอีกด้วย
2. ต้นแบบแนวทางการปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้กับภาคอุตสาหกรรม และชุมชน ในการใช้สร้างความปลอดภัยให้กับกิจกรรมที่นอกเหนือจากการวิจัย
3. การสร้างเครือข่ายนักวิจัย/ผู้เชี่ยวชาญทางด้านนาโนเทคโนโลยี สาธารณสุข อาชีวอนามัย ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมจากมหาวิทยาลัย และองค์กรของภาครัฐ ผ่านการทำวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปขยายผลเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีต่อไป

การประชาสัมพันธ์

1. การเผยแพร่ข้อมูลในการประชุมเชิงปฏิบัติการของโครงการ จำนวน 4 ครั้ง ดังนี้

21 ตุลาคม 2553	การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 1 เพื่อระดมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี
15 มีนาคม 2553	การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 เพื่อกำหนดหมวดหมู่และเนื้อหาของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี
26 พฤษภาคม 2553	การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3 เพื่อประชาสัมพันธ์ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี
29 กุมภาพันธ์ 2555	การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 เพื่อประชาสัมพันธ์ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีหลังจากการนำไปใช้งานในห้องปฏิบัติการนำร่อง
2. การให้ความรู้เบื้องต้นและการแนะนำคู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนให้กับมหาวิทยาลัย 7 แห่ง ในช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคม 2554 ดังนี้

24 มิถุนายน 2554	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
29 มิถุนายน 2554	มหาวิทยาลัยมหิดล
30 มิถุนายน 2554	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
1 กรกฎาคม 2554	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
29 กรกฎาคม 2554	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
15 สิงหาคม 2554	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

25 และ 29 สิงหาคม 2554	มหาวิทยาลัยนเรศวร
3. การเผยแพร่บทความในการสัมมนา	
6 มกราคม พ.ศ.2555	งานมหกรรมแสดงนิทรรศการปีโอไอแฟร์ 2011 อิมแพ็ค เมืองทองธานี

รหัสโครงการ: RDG5330012

ชื่อโครงการ: การจัดทำแนวทางการปฏิบัติ สำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี

ชื่อหลักวิจัย: พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกุล¹, จิรภัทร อนันต์ภักตร์ชัย¹, อภิชน วัชรเรนทร์วงศ์², สุชาติพิทย์ สิ้นยัง³
¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, ²สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี, ³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี

Email address: puangratk@nu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: มิถุนายน 2553 – มีนาคม 2555

การจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีนี้เป็นโครงการที่ได้จัดทำขึ้นจากความจำเป็นของการดำเนินการวิจัยในมหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยต่างๆ ใน การที่จะต้องมีการมีระเบียบ แนวทางการปฏิบัติที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากกิจกรรมต่างๆ ที่ เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน การดำเนินการในการจัดทำแนวทางปฏิบัตินี้ ประกอบด้วยแผนงานสามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการสำรวจและรวบรวมข้อมูลเพื่อให้ได้ภาพรวมสถานการณ์ของการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัย ส่วนที่สองเป็น การร่างแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีโดยคณะทำงาน โดยมี ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงร่างแนวทางปฏิบัติให้เหมาะสม และส่วนที่สามเป็นการ นำแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีไปใช้งานในห้องปฏิบัติการ ที่ร่วมโครงการ ผลที่ได้จากโครงการนี้เป็นคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนเพื่อ นำไปแจกจ่ายให้กับมหาวิทยาลัย และหน่วยงานวิจัยต่างๆ ของรัฐ รวมทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อ นำไปเป็นต้นแบบสำหรับองค์กรต่างๆ ในการนำไปใช้งาน และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการ นำไปใช้กับกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนเพื่อก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตมนุษย์และ สิ่งแวดล้อม รวมไปถึงการสร้างความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องในการปฏิบัติงาน การดำเนินการ และการ จัดการวัสดุนาโนที่เหมาะสม ซึ่งจะก่อให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีที่ยั่งยืนในอนาคตต่อไป

คำหลัก

วัสดุนาโน ความปลอดภัยนาโนเทคโนโลยี นาโนเทคโนโลยี

Project Code: RDG5330012

Project Title: Code of Conduct for Nanoscience and Nanotechnology Research

Investigators: Kajitvichyanukul P.¹, Ananpattarachai J.¹, Watcharenwong A.², Sinyoung S.³

¹Faculty of Engineering, Naresuan University, ²Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology, ³Mahidol University at Kanchanaburi

email address: puangratk@nu.ac.th

Project duration: June 2010 – March 2012

Code of conduct for nanoscience and nanotechnology research has been developed from need of academic research uses in setting the safety protocol to protect human health and environment from the research activities associated with manufactured nanomaterials. Scope of this project was divided into 3 parts. Part 1 was to collect, review, disseminate, and construct nanomaterial safety information from many dependable sources to be used in developing code of conduct. In Part 2, the human health and environmental safety issues of nanomaterials collected from the first phase were transferred to the research stakeholders. Based on the opinions of specialists and their experiences, code of conduct for nano-safety research in form of safety protocol for nanomaterials research was drafted. This obtained guideline was implemented in several nanotechnology research laboratories in Part 3. The effectiveness in using this safety document was monitored and measured to be used in final quality improvement process. The safety protocol for nanomaterials research as the output of this project was disseminated to several academic research universities, institutes and other relevant stakeholders. This developed code of conduct can be the nano-safety prototype for different sectors as well to establish the practical ways in protecting human health and environment from manufactured nanomaterials and to develop knowledge and better understanding in nanomaterials handling and management for sustainable nanotechnology in future.

Keywords:

Nanomaterials, Nanosafety, Nanotechnology

บทที่ 1

ที่มาและแนวทางในการจัดทำแนวทางการปฏิบัติ
สำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี

1.1 ที่มาของโครงการ

การจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีนี้เป็นโครงการที่ได้จัดทำขึ้นจากความจำเป็นของภาครัฐ เอกชน อุตสาหกรรม และชุมชน ในการที่จะต้องมีระเบียบ แนวทางการปฏิบัติที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ นาโน และนาโนเทคโนโลยี ทั้งนี้สืบเนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนานาโนเทคโนโลยีไปพร้อมกับอารยประเทศ และประสบความสำเร็จในการนำวัสดุนาโนในรูปแบบต่างๆ เช่น ผงนาโน ไฟเบอร์ ฟิล์ม บาง เป็นต้น ไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ หรือเพิ่มลักษณะพิเศษให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทำให้เกิดการแพร่หลายของผลิตภัณฑ์นาโนในตลาดการค้าของอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ เป็นต้น โดยในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโนเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามจากการที่วัสดุนาโนมีขนาดเล็กมาก (น้อยกว่า 100 นาโนเมตร) จึงทำให้วัสดุนาโนดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีและรวดเร็ว ส่งผลให้การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้โดยตรง เช่น การหายใจเอาวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายซึ่งสามารถสะสมในปอด การได้รับน้ำ หรืออาหารที่มีวัสดุนาโนปนเปื้อนทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย เป็นต้น ซึ่งอาจ ก่อให้เกิดผลร้ายกับมนุษย์ได้ การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายเป็นไปได้ทั้ง 3 วิธี คือ การหายใจ การกิน และการสัมผัส ซึ่งการได้รับวัสดุนาโนนี้อาจเกิดขึ้นได้กับนักวิทยาศาสตร์ ผู้ค้นคว้าวิจัย คนงานของโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์นาโน ผู้นำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ตลอดจนประชาชนทั่วไปที่รับวัสดุนาโนจากการปนเปื้อนวัสดุนาโนในสิ่งแวดล้อม เช่น จากการปนเปื้อนในน้ำ การดูดซึมวัสดุนาโนของพืช เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันงานวิจัยที่แสดงผลกระทบของวัสดุนาโนต่อสุขภาพของมนุษย์มีจำนวนน้อย ในขณะที่ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ดำเนินการวิจัยเพื่อแสดงผลกระทบของวัสดุนาโนเหล่านี้ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวกลางในสิ่งแวดล้อมเช่น แหล่งน้ำ ดิน และพืช อย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งยังไม่มีกำหนดแนวทางในการจัดการวัสดุนาโนที่เหมาะสมเพื่อก่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุนาโนเหล่านี้ รวมไปถึงการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งขาดการกำหนดวิธีการที่เหมาะสมในการผลิต การจัดเก็บ การขนส่ง ตลอดจนการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโนผสมอยู่หลังจากการใช้งานอีกด้วย จากเหตุผลดังกล่าวนี้ ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านที่มีการทำงานด้านการวิจัยวัสดุนาโน จึงได้ร่วมตัวเป็นคณะทำงานในการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี เพื่อใช้ในการดำเนินภายในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย และหน่วยงานวิจัยต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัย โดยงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ซึ่งได้เล็งเห็นความจำเป็นที่จะต้องจัดทำมีแนวทางปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนดังกล่าวเพื่อความปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดย

โครงการนี้ดำเนินการตามแผนยุทธศาสตร์ความปลอดภัยและจริยธรรมนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย ซึ่งได้จัดทำขึ้นในปี 2553 นี้ด้วย นอกจากนี้ โครงการนี้ยังจัดได้ว่าเป็นโครงการนำร่องในการสร้างแนวทางการปฏิบัติสำหรับกิจกรรมอื่นๆ ทั้งในส่วนของภาครัฐและเอกชน ตลอดจนอุตสาหกรรมต่างๆ ในการสร้างความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุนาโน รวมถึงการผลิต และผลิตภัณฑ์ที่มาจากนาโนวิทยาศาสตร์ และ นาโนเทคโนโลยีต่อไปอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อให้ได้แนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี และนำไปใช้ในการดำเนินการวิจัยของมหาวิทยาลัย และหน่วยงานวิจัยต่างๆ ขององค์กรของรัฐ

1.3 แนวทางในการพัฒนาแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี

จากการที่วัตถุประสงค์ของโครงการนี้มุ่งเน้นที่จะจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยเพื่อให้เกิดการนำไปใช้ในการสังเคราะห์และใช้งานวัสดุนาโนสำหรับห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย หน่วยงานวิจัยของรัฐ สถานศึกษา และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยการดำเนินการในการจัดทำแนวทางปฏิบัตินี้ ประกอบด้วยแผนงานสามส่วนคือ

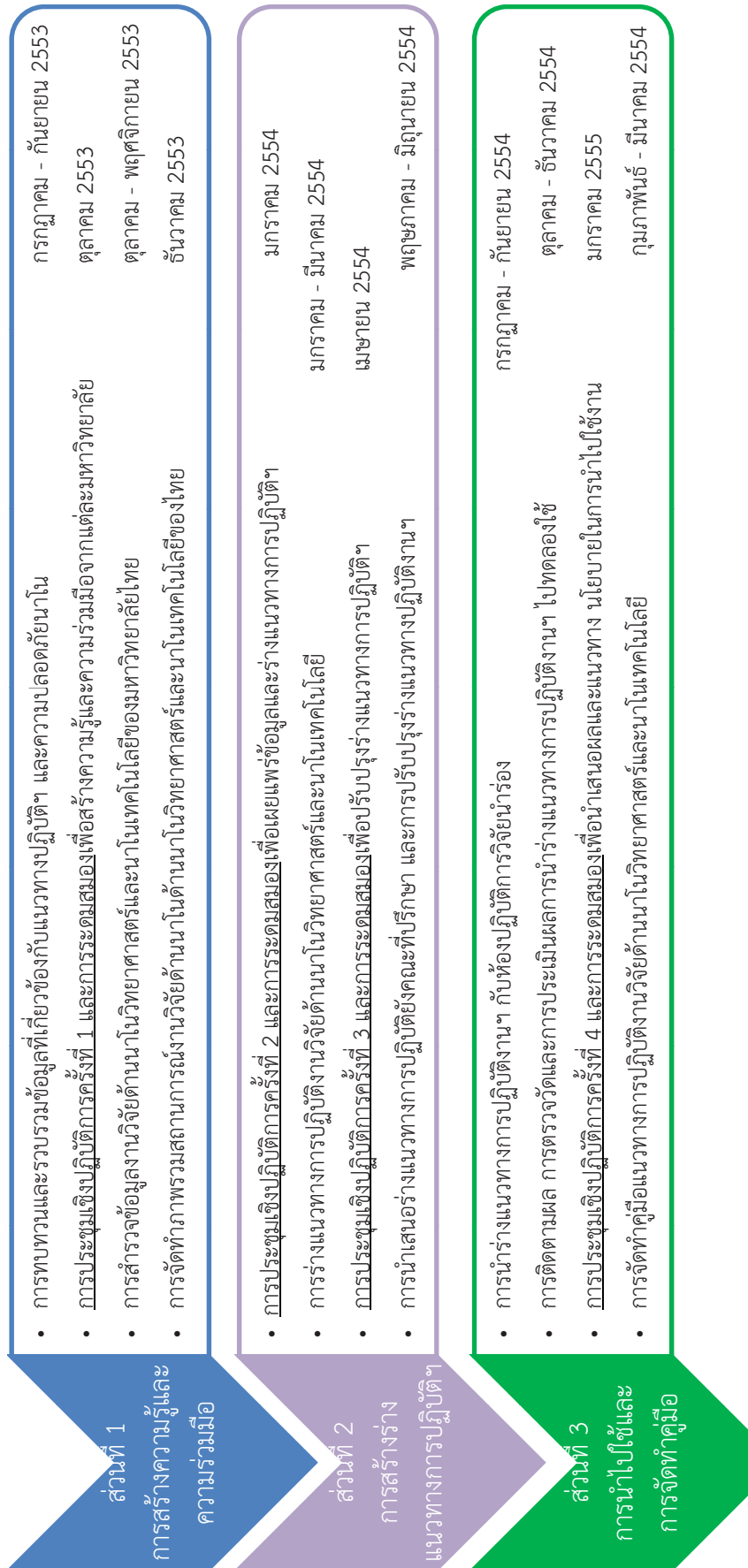
ส่วนที่หนึ่งเป็นการสำรวจและรวบรวมข้อมูลเพื่อให้ได้ภาพรวมสถานการณ์ของการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัย

ส่วนที่สองเป็นการร่างแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีโดยคณะทำงาน โดยมีผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงร่างแนวทางปฏิบัติให้เหมาะสม และ

ส่วนที่สามเป็นการนำแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีไปใช้งานในห้องปฏิบัติการที่ร่วมโครงการ

โดยผังรวมในการแสดงแนวทางในการพัฒนาแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี แสดงในรูปที่ 1.1

การจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



คู่มือแนวทางการปฏิบัติงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รูปที่ 1.1 ผังแสดงภาพรวมการทำงานของโครงการจัดทำแนวปฏิบัติการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รายละเอียดในการพัฒนาแนวทางปฏิบัติโดยละเอียด มีดังนี้

ในการดำเนินงานของโครงการในส่วนที่หนึ่งนี้ ประกอบด้วยการศึกษาและรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ในหัวข้อที่เกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่ได้มีจัดทำขึ้นแล้วในต่างประเทศ เช่น The Responsible Nano Code ในกลุ่มของ European Commission, code of conduct for nanotechnology in consumer products ของ the Swiss Retailer's Organisation เป็นต้นและรวมไปถึงการจัดทำแนวทางความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุนาโนของหน่วยงานอื่นๆ เช่น Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), US. Environmental Protection Agency (US. EPA) เป็นต้น การดำเนินงานของโครงการยังรวมไปถึงการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 1 โดยเป็นการประชุม ผู้ดูแล ผู้ปฏิบัติงานห้องปฏิบัติการ รวมไปถึงผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานเกี่ยวกับนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในเรื่องความปลอดภัยของวัสดุนาโนและสร้างให้เกิดความร่วมมือ ในการสำรวจข้อมูลด้านงานวิจัยนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยไทยอีกด้วย งาน ส่วนนี้ยังรวมไปถึงการสำรวจสถานการณ์โดยรวมในการวิจัยด้านวัสดุนาโนของมหาวิทยาลัยในประเทศ เพื่อให้ได้ข้อมูลการวิจัยและการใช้งานวัสดุนาโน เพื่อนำมาใช้ในการร่าง แนวทางปฏิบัติฯ ต่อไป

การดำเนินการในส่วนที่สอง ประกอบด้วยการจัดให้มีการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 เพื่อนำเสนอข้อมูลด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน ตลอดจนแนวทางปฏิบัติที่ทำให้เกิดความปลอดภัยด้าน วัสดุนาโนใน ต่างประเทศ และยังรวมไปถึงการระดมสมองผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานเกี่ยวกับนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี และผู้เชี่ยวชาญในด้านสาขาต่างๆ เช่น การแพทย์และสาธารณสุข วัสดุศาสตร์ วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย เป็นต้น เพื่อให้ได้ความเห็นจาก ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี เพื่อนำมา สร้างเป็นร่างแนวทางการปฏิบัติที่สามารถนำไปใช้งาน ตลอดจนการนำแนวทางปฏิบัติที่ได้ไปทดลองใช้งานจริงอีกด้วย นอกจากนี้คณะทำงานจะเชิญเจ้าหน้าที่หน่วยงานองค์กรของรัฐที่เกี่ยวข้องและมีบทบาท เช่น สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กรมควบคุมมลพิษ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กรมส่งเสริม คุณภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น เข้าร่วมในการดำเนินการประชุมครั้งนี้ด้วย เพื่อให้หน่วยงานต่างๆ ของรัฐเป็น ส่วนหนึ่งในการให้ความเห็นและเพื่อประสานงานในการนำแนวทางปฏิบัติงานที่ได้ร่างขึ้นไปใช้งานใน ระดับประเทศต่อไป จากนั้นคณะทำงานจึงจะได้นำข้อมูลที่ได้จากการประชุมระดมสมองนี้ไปจัดทำร่าง จากนั้นร่างแนวทางการปฏิบัติฯ นั้นจะถูกนำเข้าสู่การกระบวนการรับฟังความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญอีกครั้งใน การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3 เพื่อปรับปรุงก่อนนำไปทดลองในงานต่อไป

ในส่วนการดำเนินงานขั้นสุดท้าย เป็นการนำร่างแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโน วิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นมาแล้ว ไปทดลองใช้งานในห้องปฏิบัติการที่ร่วมโครงการ เพื่อประเมินติดตามผลการใช้งาน และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงขั้นสุดท้ายเพื่อจัดทำเป็นคู่มือ แนวทางปฏิบัติงานด้านวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี โดยจะจัด ให้มีการวัด (measurement) และการติดตามผลของการนำร่างแนวทางการปฏิบัติฯ ไปใช้งาน จากนั้นจึง จัดให้มีการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานเกี่ยวกับนาโนวิทยาศาสตร์และ

นาโนเทคโนโลยี และผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่หน่วยงานองค์กรของรัฐที่เกี่ยวข้องและมีบทบาท เช่น สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กรมควบคุมมลพิษ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น เข้าร่วมรับฟังผลการนำร่างแนวทางการปฏิบัติ ไปใช้งาน เพื่อให้คำแนะนำการปรับปรุงคู่มือแนวทางการปฏิบัติ ขั้นสุดท้าย พร้อมการหารือเพื่อให้เกิดนโยบายการในการนำคู่มือแนวทางการปฏิบัติ ไปปฏิบัติในสถาบันการศึกษา และหน่วยวิจัยอย่างเป็นรูปธรรม โดยผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นคู่มือทำแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี โดยแจกจ่ายให้กับมหาวิทยาลัย สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา โรงเรียน และหน่วยงานวิจัยต่างๆของรัฐ รวมทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมควบคุมมลพิษ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงศึกษาธิการ คณะกรรมการอาหารและยา เป็นต้น

ผลที่ได้จากการจัดทำแนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีนี้ จะทำให้เกิดวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่ก่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยี ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างนโยบายเพื่อสร้างความปลอดภัยในการใช้งานวัสดุนาโนนั้นๆ และยังนำไปสู่การสร้างความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องในการปฏิบัติงาน การดำเนินการ การจัดการ และการกำจัดวัสดุนาโนที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีที่ยั่งยืนในอนาคตของประเทศไทยต่อไป

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้แนวทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีในรูปแบบของคู่มือเพื่อนำไปเป็นต้นแบบสำหรับองค์กรต่างๆ ในการนำไปปรับปรุง พัฒนาต่อยอดในการนำไปใช้กับกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีที่ก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

1.5 คณะทำงานโครงการจัดทำแนวปฏิบัติงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี

ที่ปรึกษาโครงการ

1. Professor Dr.Supapan Seraphin
2. ศาสตราจารย์นายแพทย์ ดร.ศุภสิทธิ์ พรรณารุโณทัย
3. รองศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ วิโรจน์บุญ

ผู้ทรงคุณวุฒิจากหน่วยงานมหาวิทยาลัย

1. รองศาสตราจารย์ ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิยานุกุล หัวหน้าโครงการ
2. รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมราช วันทวิน
3. รองศาสตราจารย์ ดร.เนติ วรรณช
4. รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล
5. รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรดนัย จิระเดชะ
6. รองศาสตราจารย์ ดร.ชีวลัก พงษ์บุญกิจ

7. รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงรัตน์ อินทร
8. รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล
9. รองศาสตราจารย์ ดร.นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์
10. รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนา อนุรักษ์พงศธร
11. รองศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฐ์ สิงห์ใจ
12. รองศาสตราจารย์ ดร.มลิวรรณ บุญเสนอ
13. รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนา สนั่นเมือง
14. รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณพงษ์ เจริญโพธิ์
15. รองศาสตราจารย์ ดร.วิไล เจียมไชยศรี
16. รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง
17. รองศาสตราจารย์ ดร.ศรินทร์ทิพย์ แทนธานี
18. รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ แม่นศิริ
19. รองศาสตราจารย์ ดร.สุขกิจ ยะโสธรศรีกุล
20. รองศาสตราจารย์ ดร.อรรณณิศา วรยิ่งยง
21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริลักษณ์ เจียรากร
22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสาข์ สุพรรณไพบูลย์
23. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันดี อ่อนเรียมร้อย
24. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มารีสา อรัญชัยยะ
25. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีราพร พันธุ์ธีรานุรักษ์
26. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร โอสดจันทร์
27. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลวิทย์ สถาปนจารุ
28. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารารภรณ์ เจริญโพธิ์
29. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดลเดช ตั้งตระการพงษ์
30. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ สายหยุดทอง
31. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โศรดา กนกพานนท์
32. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ สมสุข
33. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จารุรัตน์ วรรณิสรากุล
34. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ยุทธนา มหัจฉริยวงศ์
35. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์
36. ดร.เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์
37. ดร.จิตติมา รุ่งรัตนอุบล
38. ดร.ณัฏฐิตา ชวนเกริกกุล
39. ดร.สุพิน แสงสุข

40. ดร. ตูลา จุฑะรสก
41. ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์
42. ดร.พินทุ์สุดา วีรวัฒน์
43. ดร.รัฐภูมิ ปรีชาตปรีชา
44. ดร.วัจน์วงศ์ กรีพละ
45. ดร.วิเชียร โสมณวัฒน์
46. ดร.อารียา เอี่ยมบู่
47. ดร.อภิชน วัชรินทร์วงศ์ เลขานุการ
48. ดร.สุธาทิพย์ สิ้นยัง เลขานุการ
49. ดร.จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย เลขานุการ

ผู้ทรงคุณวุฒิจากหน่วยงาน และองค์กรของรัฐ

1. ดร.ศิริศักดิ์ เทพาคำ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
2. เกสัชกรหญิง ดร.ฉลอง เลาจรีกุล ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
3. ดร.ณัฐพันธุ์ ศุภกา ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
4. คุณพรเพ็ญ โอภาสกิจไพศาล ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
5. ดร.อดิสร เตือนตรานนท์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
6. คุณวุฒิชัย แก้วกระจ่าง กรมควบคุมมลพิษ
7. ดร.เชาวน์ นกอยู่ กรมควบคุมมลพิษ
8. ดร.วรพงศ์ ตั้งอิทธิพลากร กรมควบคุมมลพิษ
9. ดร.สุมล ปวีตรานนท์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
กระทรวงสาธารณสุข
10. ดร.ปวีณา เครือนิล กรมวิทยาศาสตร์การบริการ
กระทรวงสาธารณสุข
11. ดร.ยุพิน ลาวัญย์ประเสริฐ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา
กระทรวงสาธารณสุข
12. ดร.คมเมธ จิตวานิชไพบูลย์ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี
และนวัตกรรมแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
13. คุณภาณุ ชมภูพงค์ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
14. ดร.แฟรดาซ์ มาเล็ม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

15. คุณพิรพงษ์ สุนทรเดชะ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ห้องปฏิบัติการนําร่อง

1. ห้องปฏิบัติการกลุ่มนิเวศวิทยา ชีวฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
2. ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยนาเทคโนโลยีบูรณาการ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. ห้องปฏิบัติการวัสดุศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงาน วัสดุ และสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. ห้องปฏิบัติการศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนาคต คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์เชิงวัสดุขั้นสูง สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
8. ห้องปฏิบัติการกลางสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
9. ห้องปฏิบัติการกลางภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
10. ห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยด้านกำจัดสารพิษและของเสียอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
11. ห้องปฏิบัติการกลางสาขาวิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

คณะทำงาน และประสานงานโครงการ

1. รองศาสตราจารย์ ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิยานุกุล มหาวิทยาลัยนเรศวร
2. ดร.อภิชน วัชรเนตร์วงศ์ มหาวิทยาลัยสุรนารี
3. ดร.สุชาติพย์ สินยัง มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี
4. ดร.จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2

ภาพรวมการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับนาโนเทคโนโลยีในต่างประเทศ

2.1 ที่มาของการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับนาโนเทคโนโลยี

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 รัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลักดันให้เกิดโครงการริเริ่มทางเทคโนโลยีแห่งชาติขึ้นมา ทำให้โลกเกิดกระแสตื่นตัวเกี่ยวกับการพัฒนานาโนเทคโนโลยีขึ้นอย่างมาก การพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขาวิชามุ่งเป้าในการศึกษาวิธีการย่อขนาดวัสดุให้เล็กลงจนเข้าสู่ขนาดนาโนอย่างรวดเร็ว นักฟิสิกส์และวิศวกร ต่างพยายามหาวิธีการสร้างวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีขนาดเล็กลง ในขณะที่นักเคมี และนักชีววิทยาพยายามหาวิธีการเชื่อมต่อ อะตอมและโมเลกุลต่างๆ เข้าด้วยกันการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ ที่มีความเล็กอยู่ในระดับนาโนนั้น จึงไม่ได้จำกัดอยู่ในวิทยาศาสตร์สาขาใดสาขาหนึ่งเท่านั้น วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหลายแขนง เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์พลังงาน เป็นต้น ต่างมีบทบาทในการพัฒนานาโนเทคโนโลยี ทำให้นาโนศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยีเปรียบเสมือนเป็นศูนย์รวมของวิทยาศาสตร์ และยังทำให้เกิดการผสมผสานศาสตร์หลายๆ สาขาเข้าด้วยกันทำให้เกิดศาสตร์ แขนงใหม่ขึ้นมาอีกมากมายส่งผลให้การพัฒนานาโนเทคโนโลยีเกิดขึ้นอย่างมากในเวลาอันสั้น การนำวิทยาการนาโนเทคโนโลยีจากห้องปฏิบัติการของสถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัยต่างๆ ทั่วโลกเข้าสู่โลกของอุตสาหกรรมในรูปของผลิตภัณฑ์ต่างๆ และฝีมือของผู้บริโภคจึงเกิดขึ้นได้ในระยะเวลาอันสั้น และรวดเร็วอย่างมาก ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มาจากนาโนเทคโนโลยีในตลาดสินค้าที่หลากหลายชนิดจากรายงานการสำรวจผลิตภัณฑ์จากนาโนเทคโนโลยีที่ปรากฏในตลาดโลกโดย Project on Emerging Nanotechnologies (PEN)¹ (www.nanotechproject.org/inventories/consumer)¹ ซึ่งรายงานไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีได้เข้าสู่ตลาดได้เพิ่มจำนวนอย่างมากจาก 212 ชนิด ในปี พ.ศ. 2548 เป็น 609 ชนิดในปี 2006 – หกปีหลังจากที่รัฐบาลประเทศสหรัฐอเมริกาผลักดันเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยี) และจากการรายงานการประมาณการของ Lux Research ในปี 2014 กระแสเงินที่มาจากผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีจะมีมูลค่าถึง 2.6 พันล้านบาททั่วโลก ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 15 ของผลิตภัณฑ์ทุกชนิด (Lux Research, 2007)

ในขณะที่การเติบโตทางนาโนเทคโนโลยีในด้านอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างรวดเร็ว หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยงและอันตรายในการได้รับวัสดุนาโนของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้มีการค้นคว้าและรายงานมากขึ้นตามลำดับ และการกำหนดทิศทางของนาโนเทคโนโลยีในประเทศต่างๆ ได้รับความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 2005 องค์กรของประเทศต่างๆ ได้เริ่มจัดให้มีการศึกษาในประเด็นความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยีอย่างจริงจัง ทั้งในแง่ของการกำหนดนโยบาย ยุทธศาสตร์ การศึกษาความเสี่ยง และการกำหนดมาตรฐานต่างๆ โดยองค์กรเหล่านี้ได้แก่

¹ Project on Emerging Nanotechnologies จัดตั้งในเดือนเมษายนปี ค.ศ. 2005 โดยความร่วมมือของ Woodrow Wilson International Center for Scholars and the Pew Charitable Trusts

- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)
- The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), US
- United Kingdom (UK) Department for Environment, Food and Rural Affairs
- European Union Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (EU SCENIHR), 2005)
- International Standards Organization and the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
- A technical committee, ISO/TC 229, International Standard Organization
- British Standards Institution (BSI)
- The European Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)

องค์กรต่างๆ เหล่านี้ได้กำหนดนโยบายและทิศทางของการพัฒนานาโนเทคโนโลยีในแต่ละภูมิภาค โดยเน้นความรับผิดชอบต่อนาโนเทคโนโลยีเป็นหลัก เช่น

US EPA ได้จัดทำ Nanomaterial Research Strategy ขึ้นในปี 2008 เพื่อกำหนดทิศทางในการดำเนินการวิจัยด้านวัสดุนาโน และความรับผิดชอบต่อทางจริยธรรมในงานวิจัยด้านนาโนศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี นอกจากนี้ยังร่วมมือกับ US Toxic Substances Control Act (TSCA) ในการจัดทำเอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโน premanufacture notice (PMN) สำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุนาโนในการผลิต

NIOSH ได้จัดทำ Approaches to Safe Nanotechnology ในปี 2009 โดยเน้นในส่วนของการทำงานและการจัดการเกี่ยวกับวัสดุนาโนเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับการทำงานด้าน นาโนเทคโนโลยี

BSI ได้จัดทำแนวทาง นิยามและคำอธิบาย ระเบียบวิธีปฏิบัติในการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโน ตลอดจนการจัดทำฉลากที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน และผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโน เพื่อให้ใช้เป็นแนวทางในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

ISO ได้จัดตั้งคณะทำงานเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีที่เรียกว่า ISO/TC 229 Technical Committee โดยมุ่งเน้นที่จะพัฒนามาตรฐานสากลเกี่ยวกับนิยามคำศัพท์ด้านนาโนเทคโนโลยี เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุนาโน วิธีการทดสอบ การจำลองสมการหรือภาพจำลองของวัสดุนาโน ไปจนถึงแนวทางการปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยทั้งทางด้านสุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม โดยเอกสารหลายชุดได้มีการจัดทำขึ้นแล้ว และหลายชุดอยู่ระหว่างการดำเนินการ

OECD ได้นำหัวข้อต่างๆ ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยของวัสดุนาโนไปใช้กับประเทศในกลุ่ม OECD โดยผ่านการจัดการประชุม The Joint Meeting of the Chemicals Committee and Working Party

on Chemicals, Pesticides and Biotechnology (Chemicals Committee) โดยที่ประชุมให้ความเห็นในการร่วมมือระหว่างประเทศให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานด้านวัสดุนาโนขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งประโยชน์ที่สังคมและชุมชนควรจะได้รับจากนาโนเทคโนโลยี

REACH ได้ระบุขอบเขตของการใช้วัสดุนาโนในอุตสาหกรรม โดยต้องมีเอกสารการประเมิน ความเสี่ยงทางด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนของผลิตภัณฑ์ที่มีการนำวัสดุนาโนหรือนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิต ซึ่งบริษัทผู้ผลิตจะต้องมีเอกสารเหล่านี้หากมีการซื้อขาย หรือแลกเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

ในแง่ของกฎหมายที่ใช้ในการควบคุมดูแลเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้วัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีนั้น ในหลายประเทศได้มีบทบัญญัติทางอ้อมในการควบคุมความปลอดภัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 2.1 แต่ยังไม่มียกเว้นสำหรับความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยี โดยเฉพาะในส่วนของประเทศไทยนั้น ได้มีการจัดทำแผนยุทธศาสตร์ความปลอดภัยและจริยธรรมนาโน (พ.ศ. 2554-2559) ขึ้นในปี 2552 และคาดว่าจะแล้วเสร็จในปลายปี 2553 โดยแผนยุทธศาสตร์ความปลอดภัยและจริยธรรมนาโนที่ได้จะนำมาใช้ในการควบคุมดูแล และบริหารจัดการด้านความปลอดภัยและจริยธรรมของนาโนเทคโนโลยีควบคู่ไปกับการพัฒนาทางด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อเป็นการป้องกันและเตรียมรับมือแก้ไขผลกระทบต่างๆ อันอาจเกิดขึ้นจากการพัฒนานาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้การบริหารจัดการด้านความปลอดภัยและจริยธรรมที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีของหน่วยงานต่างๆ ในประเทศไทยมีความเป็นเอกภาพ มีทิศทางดำเนินการเป็นไปในทางเดียวกัน มีความสอดคล้องและสามารถสนับสนุนการดำเนินงานของหน่วยงานต่างๆ ในลักษณะที่เป็นภาพรวมของประเทศ

ตารางที่ 2.1 บทบัญญัติที่นำมาใช้ในการควบคุมดูแลผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีในประเทศต่างๆ (IRGC, 2009)

ประเทศ	เนื้อหา	หน่วยงานที่กำหนด	บทบัญญัติที่เกี่ยวข้อง
สหรัฐ อเมริกา	วัสดุนาโนโดยเฉพาะ	ไม่มี	
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและเครื่องสำอาง	Food and Drug Administration, Environmental Protection Agency	Food, Drug, and Cosmetic Act, 21. U.S.C. 301(1938), Toxic Substances Control Act (General Approach to Oversight of Nanoscale Materials)
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและอาหาร	Food and Drug Administration, Environmental Protection Agency	Food, Drug, and Cosmetic Act, 21. U.S.C. 301(1938), Toxic Substances Control Act (General Approach to Oversight of Nanoscale Materials)

ตารางที่ 2.1 บทบัญญัติที่นำมาใช้ในการควบคุมดูแลผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีในประเทศต่างๆ (IRGC, 2009) (ต่อ)

ประเทศ	เนื้อหา	หน่วยงานที่กำหนด	บทบัญญัติที่เกี่ยวข้อง
อังกฤษ	วัสดุนาโนโดยเฉพาะ	ไม่มี	
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและเครื่องสำอาง	Department of Health, Department of Trade and Industry	Council Directive 76/768/EEC Cosmetics Directive, 1976 O.J. (L262) 169 EU; Cosmetic Products (Safety) Regulations, 2003, S.I. 2003/835
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและอาหาร	Food Standards Agency	Regulation (EC) N 258/97 (Novel Food Regulation); Regulation (EC) No. 882/2004 on Official Feed and Food Controls, 2004 O.J. (L191) 1 (EU); Food Safety Act, 1990, c.16; Food Standards Act, 1999, c.28
เยอรมัน	วัสดุนาโนโดยเฉพาะ	ไม่มี	
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและเครื่องสำอาง	Federal Ministry for Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV)	German Food and Animal Feed Code (LFGB), 26 LFGB and 31 para. 1 – based on Council Directive 76/768/EEC Cosmetic Directive, 1976 O.J. (L262) 169 EU
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและอาหาร	Federal Ministry for Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV)	Regulation (EC) N 258/97 (Novel Food Regulation); Regulation (EC) No. 882/2004 on Official Feed and Food Controls, 2004 O.J. (L191)1 (EU)
ออสเตรเลีย	วัสดุนาโนโดยเฉพาะ	ไม่มี	
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและเครื่องสำอาง	Federal Ministry for Health, Family and Youth (BMGFJ)	Council Directive 76/768/EEC Cosmetics Directive, 1976 O.J. (L262) 169 EU; Cosmetics Act, Federal Law Gazette BGBl.II.375/1999; Cosmetics Labelling Act
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและอาหาร	Federal Ministry for Health, Family and Youth (BMGFJ)	Regulation (EC) No 258/97 (Novel Food Regulation); Regulation (EC) No. 882/2004 on Official Feed and Food Controls, 2004 O.J. (L191)1 (EU); Food Safety and Consumer Protection Act (LMSVG)

ตารางที่ 2.1 บทบัญญัติที่นำมาใช้ในการควบคุมดูแลผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีในประเทศต่างๆ (IRGC, 2009) (ต่อ)

ประเทศ	เนื้อหา	หน่วยงานที่กำหนด	บทบัญญัติที่เกี่ยวข้อง
ญี่ปุ่น	วัสดุนาโนโดยเฉพาะ	ไม่มี	
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและเครื่องสำอาง	Pharmaceutical and Medical Device Agency	Pharmaceutical Affairs Law, Law No. 145 of 1960
	ด้านที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนและอาหาร	Department of Food Safety, Ministry of Health, Labour & Welfare	Food Sanitation Law, Law No. 233 of 1947; The Food Safety Basic Law, Law No. 48 of 2003

2.2 การทบทวนแนวทางการปฏิบัติสำหรับนาโนเทคโนโลยีในต่างประเทศ

2.2.1 A code of conduct for responsible nanoscience and nanotechnologies research in Europe

Code of Conduct ฉบับนี้จัดทำขึ้นโดย European Commission ในปี 2009 โดยแนวทางการปฏิบัตินี้พัฒนามาจากการประชุมในกลุ่มของ Economic and Social Committee ในการประชุมของ European Parliament เดือนมกราคมปี 2000 และได้มีการทำงานต่อเนื่องมาเรื่อยๆ โดยเริ่มจากการกำหนดข้อควรระวัง (Precautionary principle) ในการที่จะสร้างความเข้าใจในการเข้าถึง การจัดการ และการสื่อสารเกี่ยวกับความเสี่ยงในประเด็นที่วิทยาศาสตร์ยังไม่สามารถอธิบายหรือประเมินได้ โดยนโยบายในการสื่อสารประเด็นเหล่านี้ได้ชัดเจนมากขึ้นในปี 2004 ซึ่ง European Commission ได้ระบุเป้าหมายชัดเจนในการวางนโยบายให้เกิดความรับผิดชอบในองค์กรต่างๆ ด้านนาโนเทคโนโลยีขึ้น ในหัวข้อ “Towards a European strategy for nanotechnology” โดยมุ่งเน้นที่จะให้เกิดยุทธศาสตร์ที่ยังคงส่งเสริมการแข่งขันนวัตกรรมด้านนาโนเทคโนโลยีและมีการคำนึงถึงความเสี่ยงทางด้านนาโนเทคโนโลยีพร้อมๆ กันไป และให้เริ่มมีการสร้างแผนกิจกรรมสำหรับนาโนเทคโนโลยี (Action Plan for nanotechnology)

ในปี 2005 ได้มีการนำเสนอแผนกิจกรรมสำหรับนาโนเทคโนโลยีเพื่อใช้ในทางปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัย และความเสี่ยงทางด้านนาโนเทคโนโลยี โดยในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีจะต้องมีการคำนึงถึงความปลอดภัยที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพมนุษย์ร่วมด้วยในทุกงาน กิจกรรมในด้านนี้ได้ต่อเนื่องไปยังปี 2006 คณะกรรมการในส่วนของ Emerging and Newly Identified Health Risks ได้มีการทบทวนวิธีการที่เหมาะสมในการประเมินความเสี่ยงอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากความก้าวหน้าของวิทยาการนาโนเทคโนโลยี นอกจากนี้ European

Council ยังได้มีการทบทวนแผนยุทธศาสตร์ในการสร้างความยั่งยืนให้ชุมชนโดยมุ่งเน้นในส่วนของการป้องกันความปลอดภัยให้กับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์เป็นหลัก

ในปี 2007 European Commission ได้นำเสนอ Nanotechnologies Action Plan for Europe ขึ้น โดยจะจัดให้มี แนวทางปฏิบัติ (Code of Conduct) ความรับผิดชอบในงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี เพื่อให้เกิดความปลอดภัย จริยธรรม และเกิดความยั่งยืนในการทำวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี โดยสนับสนุนให้เกิดการใช้งานในกลุ่มประเทศสมาชิก กลุ่มผู้ที่เกี่ยวข้องในประเทศในสหภาพยุโรป และเข้าสู่ระดับนานาชาติ โดยการนำไปใช้งานอยู่ในลักษณะของการสมัครใจในการนำไปใช้งานไม่ใช่เป็นการบังคับใช้ และในที่สุด Code of Conduct ได้ถูกจัดทำขึ้นระหว่างปี 2008-2009 โดยเนื้อหาจะกล่าวถึงหลักการทั่วไปและแนวทางในการปฏิบัติเพื่อให้สมาชิกในกลุ่มสหภาพยุโรปได้นำไปใช้ โดยหลักการจะสอดคล้องกับ Commission Nanotechnologies Strategy และ Action Plan ซึ่งกลุ่มประเทศสมาชิกจะนำหลักการเหล่านี้ไปใช้เพื่อให้เกิดกลไกในการประกันคุณภาพให้กับองค์กรสถาบันวิจัยต่างๆ ได้แก่ นำไปใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการให้ทุนวิจัย ในการตรวจประเมิน ในการติดตามผล และการประเมินกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสาธารณชน โดยสนับสนุนให้เกิดการสมัครใจใช้ในกลุ่มของหน่วยงานทั้งในระดับประเทศ ในกลุ่มของผู้ให้ทุน กลุ่มนักวิจัย และองค์กรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องหรือสนใจในงานวิจัยด้าน นาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี และให้ใช้ Code of conduct นี้เป็นเครื่องมือหนึ่งในการสนับสนุนให้เกิดความเข้าใจในการพัฒนาความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ ในกลุ่มการทำงานเพื่อให้เกิดการทำงานที่ประสานกันระหว่างกลุ่มของผู้วางนโยบาย นักวิจัย อุตสาหกรรม กรรมการด้านจริยธรรม องค์กรสมาคมต่างๆ ไปจนถึงสาธารณชนทั่วไป โดยกลุ่มของประเทศสมาชิกต้องร่วมกับ European Commission ในการทบทวนข้อกำหนดที่ปรากฏใน Code of Conduct นี้ทุกสองปี รวมทั้งต้องมีการติดตามผลผู้ที่เกี่ยวข้องที่นำ Code of Conduct นี้ไปใช้งาน

เนื้อหาสำคัญใน EU, A code of conduct for responsible nanoscience and nanotechnologies research in Europe

Code of Conduct จัดทำขึ้นเพื่อให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องเข้ามารับผิดชอบและดำเนินการร่วมกันเพื่อให้แน่ใจได้ว่าการทำวิจัยที่เกี่ยวกับนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีมีความปลอดภัย มีจริยธรรม และมีขอบเขตที่เหมาะสม เพื่อสนับสนุนการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม โดยการนำไปใช้จะเป็นลักษณะสมัครใจ (Voluntary) ไม่ใช่การบังคับใช้

แนวทางปฏิบัติทั่วไป - Code of Conduct จะเป็นกิจกรรมที่ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปทำได้ โดย

- กิจกรรมงานวิจัยจะต้องเคารพสิทธิพื้นฐาน และดำเนินการเพื่อที่จะทำให้เกิดความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของบุคคลทั่วไปและสังคมทั้งในส่วนของการออกแบบ การนำไปใช้งาน และการใช้งาน โดยกิจกรรมนั้นจะต้องมีความปลอดภัย สอดคล้องกับจริยธรรม และเป็นไปเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

- กิจกรรมงานวิจัยนั้นๆ ไม่ควรจะทำให้เกิดอันตราย หรือทำให้เกิดภัยคุกคามทั้งทางด้านชีวภาพ กายภาพและศีลธรรมต่อผู้คน สัตว์ พืช หรือสิ่งแวดล้อม ทั้งในปัจจุบันและอนาคต
- กิจกรรมงานวิจัยนั้นๆ ควรจะมีการดำเนินการที่สอดคล้องกับหลักข้อควรระวัง (precautionary principle) ซึ่งรวมไปถึงการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม สุขภาพมนุษย์ และผลกระทบต่อความปลอดภัยของผลที่มาจากงานวิจัย
- กิจกรรมงานวิจัยควรมีการนำไปใช้โดยสอดคล้องกับแนวทางและการยอมรับของผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยต้องมีความโปร่งใส และเป็นไปตามสิทธิของการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร โดยผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถเข้ามามีส่วนร่วมในการตัดสินใจในการดำเนินการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกิจกรรมของงานวิจัยได้
- กิจกรรมงานวิจัยควรจะเป็นไปตามมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ทำให้เกิดความเชื่อมั่นในงานวิจัย และมาตรฐานที่เกี่ยวกับระเบียบที่ควรปฏิบัติของห้องปฏิบัติการ (Good Laboratory Practice)
- การนำกิจกรรมวิจัยไปใช้จะต้องสนับสนุนการทำให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ ความยืดหยุ่น และการวางแผนในงานวิจัย ในการค้นคว้านวัตกรรมใหม่และการพัฒนานวัตกรรม
- นักวิจัย และองค์กรวิจัยจะต้องมีความรับผิดชอบในงานวิจัยของพวกเขาที่อาจมีผลกระทบต่อสังคม สิ่งแวดล้อม และสุขภาพของมนุษย์ ทั้งในปัจจุบันและอนาคต

นอกจากนี้ใน Code of Conduct นี้ ยังกำหนดการดำเนินการในการวิจัยด้านนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีที่ดี โดยความรับผิดชอบที่พึงมีของสมาชิกที่เกี่ยวข้อง รวมถึงประเทศสมาชิก และหน่วยงานต่างๆ ของประเทศสมาชิก เช่น

- ประเทศสมาชิกควรทำให้เกิดการแสดงความคิดเห็นในส่วนของกิจกรรมวิจัยซึ่งรวมถึงการโต้เถียง การสนับสนุน ในการที่จะทำให้เกิดการค้นคว้าและแสดงความเห็นในส่วนของนวัตกรรมที่เกิดขึ้นได้และแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ โดยประเทศสมาชิกควรมีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข่าวสารในส่วนของประโยชน์ ความเสี่ยง และความไม่แน่นอนในกิจกรรมวิจัยด้านนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี
- ในส่วนของสิทธิทรัพย์สินทางปัญญานั้น ประเทศสมาชิก หน่วยงานสนับสนุนทุนวิจัย สถาบันวิจัย และนักวิจัยจะได้รับการสนับสนุนในการสื่อสารกับกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ และประชาชนทั่วไปเพื่อที่จะทำให้เกิดการสื่อสารที่เข้าใจได้ง่าย และเข้าถึงได้ ทั้งด้านความรู้ ข้อมูลข่าวสาร มาตรฐาน ข้อมูลอ้างอิง ผลกระทบของงานวิจัย และกฎหมายต่างๆ
- ประเทศสมาชิก ควรจะสนับสนุนห้องปฏิบัติการของรัฐและเอกชน ในการแลกเปลี่ยนแนวทางการปฏิบัติในการทำกิจกรรมวิจัยด้านนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีที่ดี

- สถาบันวิจัย และนักวิจัยควรจะรับรองว่าข้อมูลทางวิทยาศาสตร์และผลที่ได้จากงานด้านนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีนั้น ได้มีการตรวจสอบดีแล้วก่อนที่จะมีการนำไปเผยแพร่ภายนอกกลุ่มนักวิทยาศาสตร์
- ประเทศสมาชิก และสถาบันวิจัย ควรรับรองได้ว่า กิจกรรมวิจัยที่ได้จัดทำขึ้นนั้นได้ดำเนินการในระดับที่มีความน่าเชื่อถือสูงสุด ประเด็นคำถามต่างๆ ที่เกี่ยวกับการปฏิบัติในการทำวิจัยด้านนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีนั้น ควรจะมีการนำไปวิเคราะห์พิจารณาอย่างถี่ถ้วน เนื่องจากประเด็นเหล่านี้อาจเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์ ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม ซึ่งประเด็นเหล่านี้อาจทำให้เกิดความไม่เชื่อมั่นของสาธารณชน และทำให้เกิดความล่าช้าในการใช้ประโยชน์จากงานวิจัย
- ประเทศสมาชิกควรรับรองว่าบุคลากรและทรัพยากรในการทำวิจัยด้านนาโนศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยีนั้นได้มีการดำเนินการเป็นไปตามที่ระบุไว้ในกฎหมายและข้อกำหนดต่างๆ สำหรับกิจกรรมวิจัยด้านนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี
- กรรมการจริยธรรมทั้งในและต่างประเทศควรจะมีการประเมินด้านการนำจริยธรรมนาโนไปใช้ในการวิจัยตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดจริยธรรมนาโน ควรจะมีการระบุถึงสิทธิพื้นฐานและข้อจำกัดในการเผยแพร่ผลวิจัยที่เกี่ยวกับสุขภาพของมนุษย์
- ทิศทางของกิจกรรมวิจัยควรจะถูกวาง และสามารถให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าไปร่วมแสดงความคิดเห็นในทิศทางต่างๆ เหล่านั้นได้
- ประเทศสมาชิก หน่วยงานให้ทุนวิจัย สถาบันวิจัย และนักวิจัย ควรได้รับการสนับสนุนให้มีการคำนึงถึงผลกระทบในอนาคตของงานวิจัยและเทคโนโลยีที่ได้มีการค้นคว้าขึ้น การได้รับคำแนะนำจากคณะกรรมการจริยธรรมนาโนควรจะเป็นส่วนหนึ่งในกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น
- ควรมีการเปิดโอกาสผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรมวิจัยได้รับรู้ข่าวสาร และเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมวิจัย ในขอบเขตที่ผู้นั้นเกี่ยวข้อง

โดยรวมแล้วเนื้อหาของ Code of Conduct จะเน้นให้เกิดการรับผิดชอบในด้านการวิจัยนาโนเทคโนโลยีของผู้ที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ผู้วิจัย หน่วยงานวิจัยไปจนถึงประเทศที่เข้าร่วมเป็นสมาชิกเพื่อให้เกิดกลไกในการประกันคุณภาพให้กับองค์กรสถาบันวิจัยต่างๆ โดย Code of Conduct จะเป็นเครื่องมือหนึ่งในการสนับสนุนให้เกิดความเข้าใจในการพัฒนาความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ ในกลุ่มการทำงานเพื่อให้เกิดการทำงานที่เกิดความปลอดภัยในนาโนเทคโนโลยีโดยทำงานประสานกันระหว่างกลุ่มของผู้วางนโยบาย นักวิจัย อุตสาหกรรม กรรมการด้านจริยธรรม องค์กรสมาคมต่างๆ ไปจนถึงสาธารณชนทั่วไป

2.2.2 แนวทางในการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีโดย US Environmental Protection Agency

US EPA เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในด้านการออกกฎ ระเบียบ ข้อบังคับต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน โดยได้แจกแจงเป็นโครงการต่างๆ ในหลากหลายหน่วยงานใน US EPA เพื่อจัดทำกฎ ระเบียบ ข้อบังคับต่างๆ เหล่านี้ขึ้นเพื่อให้ครอบคลุมวงจรชีวิตของวัสดุนาโน หน่วยงานต่างๆ ใน US EPA ที่ได้ดำเนินการในส่วนนี้ ประกอบด้วย

- the Toxic Substances Control Act (TSCA),
- the Clean Air Act (CAA),
- the Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA),
- the Clean Water Act (CWA),
- the Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act (FIFRA),
- the Resource, Conservation and Recovery Act (RCRA)

โดยในปัจจุบันหน่วยงานที่มีบทบาทในการร่างระเบียบปฏิบัติที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีมากที่สุด คือ หน่วยงาน TSCA

US EPA ได้จัดทำ Nanomaterial Research Strategy ขึ้นในปี 2008 เพื่อกำหนดทิศทางในการดำเนินการวิจัยด้านวัสดุนาโน และความรับผิดชอบทางจริยธรรมในงานวิจัยด้านนาโนศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี โดยมีหน่วยงาน US Toxic Substances Control Act (TSCA) ในการจัดทำเอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโน premanufacture notice (PMN) สำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุนาโนในการผลิต เอกสารสำคัญที่ได้ระบุในแง่ของความปลอดภัยของวัสดุนาโนได้แก่ Nano Risk Framework ซึ่งได้มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเอกสารนี้ระบุถึงวิธีการประเมินความเสี่ยงของวัสดุนาโน การได้รับวัสดุนาโน และความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งทำให้มีมาตรการต่างๆ ตามมา รวมถึงการควบคุมการผลิต และใช้งานวัสดุนาโนอีกด้วย

ตัวอย่างในการควบคุมวัสดุนาโนและผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโน เช่น กรณีเครื่องซักผ้า Samsung ซึ่งมีการใช้ซิลเวอร์นาโนในเครื่องซักผ้า ซึ่งมีรายงานพบว่าการนำเครื่องซักผ้าชนิดนี้ไปใช้งาน ได้ทำให้เกิดการปลดปล่อยซิลเวอร์นาโนสู่สิ่งแวดล้อมในระดับที่อาจเป็นอันตรายได้ ซึ่งทาง US EPA โดยหน่วยงาน the Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act (FIFRA) ได้เข้ามาควบคุมการใช้งานของสินค้าดังกล่าวเนื่องจากระดับของซิลเวอร์นาโนที่ปนเปื้อนนี้อยู่ในระดับที่สามารถจัดเข้ากลุ่มของยาฆ่าแมลงได้ นอกจากนี้ในเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2551 US EPA ได้กำหนดระเบียบในการใช้งานของวัสดุนาโน อลูมินาซึ่งถูกปรับสภาพโดย siloxanes (alumina NP modified by siloxanes) เพิ่มเติมอีกด้วย และใน

ปัจจุบันวัสดุนาโนอีกหลายชนิดอยู่ระหว่างการพิจารณาในการกำหนดระเบียบในการใช้งานต่างๆ โดย TSCA

นอกจากนี้ในทางการกำหนดนโยบายในด้านความปลอดภัย ในเดือนมกราคม ปี 2551 US EPA ได้จัดทำโครงการ Nanoscale Materials Stewardship Program ขึ้น โดยให้ผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียเกี่ยวกับวัสดุนาโนส่งข้อมูลด้านความเสี่ยงของวัสดุนาโนในส่วนของการผลิต การจัดจำหน่าย รวมไปถึงการใช้งานไปยังโครงการ โดยโครงการนี้มีเป้าหมายที่จะให้ได้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนให้มากที่สุดเพื่อใช้ในการกำหนดระเบียบแนวทางปฏิบัติมาใช้งาน โดยในเดือนตุลาคมปีเดียวกันได้มีบริษัทผู้ผลิต 25 ราย ได้ส่งเอกสารข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุนาโนต่างๆ จำนวน 113 ชนิดให้กับทางโครงการ ซึ่งในปัจจุบันทาง TSCA ได้ดำเนินการในการทำรายการวัสดุนาโนต่างๆ และออกระเบียบในการใช้งานและความปลอดภัยของวัสดุนาโนแต่ละชนิด

ในเดือนสิงหาคม ปี 2008 US EPA ได้ออกระเบียบปฏิบัติสำหรับวัสดุนาโนชนิดใหม่ 23 ชนิด ซึ่งวัสดุนาโนที่อยู่ในระเบียบนี้รวมไปถึงท่อคาร์บอนนาโน ทั้งในรูปของ single- และ multi-walled CNT (The Synergist, 2009; US EPA, 2009) โดยได้คำนึงถึงการผลิตวัสดุนาโนในรูปแบบของการผลิตสารเคมีชนิดใหม่ซึ่งจะต้องมีปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ได้วางไว้ โดยเน้นไปที่บริษัทอุตสาหกรรมเป็นหลักซึ่งจะต้องมีการศึกษาถึงความปลอดภัยในการใช้งานตลอดจนผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยจะต้องมีการให้ข้อมูลเหล่านี้ให้กับ US EPA ก่อนที่จะมีการนำวัสดุนาโนนั้นๆ ไปดำเนินการทางการค้า โดยทาง US EPA จะมีการทบทวนข้อมูลในแง่ของความปลอดภัยก่อนที่จะดำเนินการต่อในส่วนของการห้ามวางจำหน่ายหรือจำกัดประเภทการใช้งานของวัสดุนาโนนั้นๆ

2.2.3 มาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีโดย British Standards Institution (BSI)

BSI ได้จัดทำแนวทาง นิยามและคำอธิบาย ระเบียบวิธีปฏิบัติในการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนตลอดจนการจัดทำฉลากที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน และผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโน เพื่อให้ใช้เป็นแนวทางในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี มาตรฐานและแนวทางปฏิบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีที่ดำเนินการโดย BSI ได้เริ่มจัดทำในปี 2007 และได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

จากการที่ BSI เป็นหน่วยงานที่ออกมาตรฐานต่างๆ (แต่ไม่รวมถึงการออกกฎข้อบังคับ) ทำให้หน่วยงาน BSI ได้ใช้พื้นฐานความรู้จากการกำหนดมาตรฐานต่างๆ ของวัสดุหรืออนุภาคนาโนขนาดใหญ่มาใช้ในการกำหนดแนวทางปฏิบัติต่างๆ สำหรับวัสดุนาโน และนาโนเทคโนโลยี โดยมาตรฐานต่างๆ นั้น จะประสานกับหน่วยงาน ISO ซึ่งหน่วยงาน ISO นี้ได้มีการจัดตั้งคณะทำงานเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีที่เรียกว่า ISO/TC 229 Technical Committee โดยมุ่งเน้นที่จะพัฒนามาตรฐานสากลเกี่ยวกับนิยาม คำศัพท์ด้านนาโนเทคโนโลยี เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุนาโน วิธีการทดสอบ การจำลองสมการหรือภาพจำลองของวัสดุนาโน ไปจนถึงแนวทางการปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยทั้งทางด้านสุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม โดยเอกสารหลายชุดได้มีการจัดทำขึ้นแล้ว และหลายชุดอยู่ระหว่างการดำเนินการ

เอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานและแนวทางปฏิบัติด้านนาโนเทคโนโลยี ประกอบด้วย

PD 6699-1:2007 Nanotechnologies

Part 1: Good practice guide -

PAS131:2007 Terminology for medical, health and personal care applications of nanotechnology

PAS134:2007 Terminology for carbon nanostructures

ในขณะที่เอกสารที่อยู่ระหว่างการดำเนินการโดย ISO/TC 229 Technical Committee ประกอบด้วย

- ISO/WD TS 10797 Nanotubes - Use of transmission electron microscopy (TEM) in single-walled carbon nanotubes (SWCNTs)

- ISO/CD TS 10798 Nanotubes - Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray analysis (EDXA) in the characterization of SWCNTs

- ISO/AWI TS 10812 Nanotechnologies - Use of Raman spectroscopy in the characterization of SWCNTs

- ISO/CD TS 10867 Nanotubes - Use of NIR-Photoluminescence Spectroscopy in the characterization of SWCNTs

- ISO/CD TS 10868 Nanotubes - Use of UV-Vis-NIR absorption spectroscopy in the characterization of SWCNTs

- ISO/CD TR 10929 Measurement methods for the characterization of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs)

- ISO/CD TS 11251 Nanotechnologies - Use of evolved gas analysis-gas chromatograph mass spectrometry (EGA-GCMS) in the characterization of SWCNTs

- ISO/CD TS 11308 Nanotechnologies - Use of thermo gravimetric analysis in the purity evaluation of SWCNT

- ISO/AWI TR 11808 Nanotechnologies - Guidance on nanoparticle measurement methods and their limitations

- ISO/NP TR 11811 Nanotechnologies - Guidance on methods for nanotribology measurements

- ISO/NP TR 11888 Determination of mesoscopic shape factors of MWCNTs

- ISO/AWI TS 11931-1 Nanotechnologies - Nano-calcium carbonate - Part 1: Characteristics and measurement methods

- ISO/AWI TS 11937-1 Nanotechnologies - Nano-titanium dioxide - Part 1: Characteristics and measurement methods
- ISO/CD 12025 Nanomaterials - General framework for determining nanoparticle content in nanomaterials by generation of aerosols
- ISO/NP TS 13126 Artificial gratings used in nanotechnology - Description and measurement of dimensional quality parameters
- ISO/NP TS 13278 Carbon nanotubes - Determination of metal impurities in carbon nanotubes (CNTs) using inductively coupled plasma-mass spectroscopy (ICP-MS)
- ISO TC 146 Workplace Atmospheres: Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols - Exposure characterization and assessment

โดยเอกสารส่วนใหญ่ยังไม่เผยแพร่ โดยเอกสารของ BSI จะเป็นเอกสารหลักในส่วนของการความปลอดภัยในการทำงานกับวัสดุนาโน

เนื้อหาสำคัญใน BSI Nanotechnology Part I and BSI Nanotechnology Part II

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้คำแนะนำเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบความเสี่ยงสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับวัสดุนาโน การนำวัสดุนาโนไปใช้งาน พร้อมทั้งเสนอแนะการควบคุมความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น โดยเอกสารฉบับนี้มีเนื้อหาครอบคลุมในส่วนของการประเมินความเสี่ยง อันเกิดจากการพัฒนา การผลิต ตลอดจนการนำวัสดุนาโนไปใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมผลกระทบหรืออันตรายที่จะเกิดขึ้น โดยข้อมูลจากเอกสารฉบับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ วัสดุนาโน ที่ได้ระบุไว้ใน PAH 136 ซึ่งได้รวมถึง nanoparticles, nanofibres, nanopowder, nanotube และ nanowires

นอกจากนั้นในเอกสารฉบับนี้ยังมีข้อเสนอแนะที่ครอบคลุมวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในการเตรียมหรือสังเคราะห์ เพื่อให้ได้วัสดุนาโน แต่จะไม่รวมการใช้งานเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการใช้งาน เช่น ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้น้ำมันดีเซล หรือฝุ่นจากกระบวนการเชื่อม เป็นต้น

เอกสารฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาหลักในส่วนต่างๆ และรายละเอียด พอสังเขป ดังนี้

- ขอบเขตของเนื้อหาในเอกสาร

ขอบเขตของเนื้อหาประกอบด้วย ข้อมูลสำหรับการประเมินความเสี่ยง อันเกิดจากการพัฒนา การผลิต ตลอดจนการนำวัสดุนาโนไปใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมผลกระทบหรืออันตรายที่จะเกิดขึ้น แต่ไม่รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบของวัสดุนาโนที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการใช้งาน

- ประเภทของวัสดุนาโนและคุณสมบัติ

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายหรือให้คำจำกัดความประเภทของวัสดุนาโนที่พบได้บ่อย และมีการนำไปพัฒนาเพื่อใช้งานต่อ โดยการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งในเอกสารฉบับนี้ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับวัสดุนาโน ในประเภทของ Fullerenes, Carbon nanotubes, Nanowires, Quantum dots และได้ให้

ยกตัวอย่างวัสดุอื่น แต่ไม่ได้อธิบายถึงลักษณะและคุณสมบัติ วัสดุเหล่านั้น ได้แก่ Carbon black, Fumed silica, Metals, Oxides, Ceramics, Semiconductors และ Organic materials เป็นต้น

- การเกิดผลกระทบของวัสดุนาโนและความเสี่ยง

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายถึงผลกระทบจากวัสดุนาโนที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน อันเป็นสาเหตุในการจัดทำแนวทางในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น พร้อมข้อเสนอแนะในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน สำหรับช่องทางและผลกระทบที่เกิดขึ้นและการประเมินความเสี่ยงในเรื่องต่างๆ สามารถแบ่งได้ดังนี้

- ผลกระทบหรือความเสี่ยงอันเกิดจากการหายใจเอาวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกาย
- ผลกระทบหรือความเสี่ยงอันเกิดจากการกินวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกาย
- ผลกระทบของวัสดุนาโนที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับวัสดุอันตราย
- การประเมินความเสี่ยงในเรื่องของการเกิดไฟไหม้และการระเบิดโดยมีสาเหตุมาจากวัสดุนาโน

- ข้อปฏิบัติทั่วไปสำหรับการประเมินความเสี่ยงจากวัสดุนาโน

ประเทศในสหราชอาณาจักรได้มีกฎหมายที่เกี่ยวกับการใช้สารเคมีและวัสดุอันตราย โดยผู้ใช้จะต้องมีการควบคุมอันตรายที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพทั้งในส่วนของผู้ใช้งานและบุคคลอื่น ดังนั้นจึงได้นำกฎหมายในส่วนของ COSHH ปี 2002 เข้ามาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำ โดยขอบเขตสำหรับข้อปฏิบัติทั่วไปสำหรับการประเมินความเสี่ยงจากวัสดุนาโนประกอบด้วยข้อมูล 8 ขั้นตอนพื้นฐาน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ วิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะของแต่ละสาร ประเมินความเสี่ยง ขั้นตอนการจัดเก็บ การเคลื่อนย้าย การจัดการกรณีมีการหก อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล การกำจัด ตลอดจนแผนการฝึกอบรมและการตรวจสุขภาพให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น โดยบุคคลที่เข้ามาทำหน้าที่นี้จะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ในเรื่องแนวทางการประเมินผลกระทบและการจัดการสารเคมี นอกจากนั้นจะต้องมีความพื้นฐานทางด้านวัสดุนาโนและการพัฒนาวัสดุนาโนประกอบกัน เนื่องจากจะต้องนำความรู้และข้อมูลจากทั้งสองส่วน ไปพัฒนาเพื่อจัดทำแนวทางการประเมินความเสี่ยงและแนวทางในการปฏิบัติเกี่ยวกับงานวิจัยทางด้านวัสดุนาโนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- การจัดเก็บข้อมูล

ข้อมูลในส่วนนี้จะเป็่สิ่งที่สำคัญในการหาศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดและควบคุมมิให้เกิดผลกระทบ โดยในเอกสารฉบับนี้ได้แนะนำข้อมูลในส่วนที่จะต้องจัดเก็บ เช่น ชื่อของวัสดุ เอกสารข้อมูลความปลอดภัย(MSDS) สารประกอบของวัสดุ คุณสมบัติของวัสดุ และความเป็นพิษและอันตรายของวัสดุประเภทนั้น โดยข้อมูลเหล่านี้จะต้องเป็นข้อมูลที่ใช้ใช้งาน หรือผู้ที่มีความเสี่ยงจะต้องได้รับทราบ

- การประเมินความเสี่ยง ซึ่งประกอบด้วย

- การประเมินความเป็นอันตรายในเชิงการเกิดไฟไหม้และการระเบิด ซึ่งได้จัดประเภทของวัสดุนาโนออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ Fibrous, CMAR, Insoluble และ Soluble

- การประเมินการเกิดความเสี่ยง ซึ่งรวมรายละเอียดเกี่ยวกับระดับความเข้มข้นของวัสดุนาโนในการจะเกิดผลกระทบ ช่องทางการรับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกาย และแนวทางการลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น
- การประเมินความเสี่ยงและผลกระทบ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการจัดลำดับความสำคัญในการพิจารณาการดำเนินงานก่อนหลังเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้น โดยพบว่าจะคำนึงถึงกลุ่มของวัสดุนาโนที่มีอันตรายต่อมนุษย์ในอันดับแรก

ท้ายที่สุดจะต้องมีการปรับปรุงเอกสารให้มีความทันสมัย โดยมีการนำความรู้ใหม่ทางด้านความเป็นพิษหรืออันตรายของวัสดุนาโนแจ้งให้ผู้ใช้งาน หรือผู้ที่มีความเสี่ยงทราบ

- การควบคุมการเกิดผลกระทบ

จัดทำแนวทางการควบคุมการเกิดผลกระทบ โดยเริ่มจากการลดปริมาณการใช้วัสดุนาโน เปลี่ยนไปใช้วัสดุอื่น ทำการวิจัยและพัฒนาในระบบปิด กระบวนการศึกษาวิจัยอยู่ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสม มีอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย มีขั้นตอนในการควบคุมการทำงาน และมีอุปกรณ์ป้องกันเฉพาะบุคคลสำหรับการทำงาน

- การตรวจสุขภาพ และกระบวนการวัดหรือตรวจสอบเพื่อควบคุมผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

เอกสารชุดนี้จะมีการทำแผนการตรวจสุขภาพให้กับผู้ทำงาน หรือผู้ที่มีความเสี่ยง รวมทั้งมีการจัดทำขั้นตอนในการประเมินหรือตรวจสอบผลกระทบที่จะเกิดขึ้น และมีมาตรการในการตรวจสอบผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

- การตกหล่นและการรั่วไหลของวัสดุนาโน มีการดำเนินการเพื่อจัดเก็บพอสังเซป ดังนี้

- ขั้นตอนแรกพิจารณาระดับความเป็นพิษของวัสดุที่ตกหล่น
- พิจารณาปริมาณของวัสดุนาโนที่ตกหล่นหรือรั่วไหล
- ประเมินพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ
- มอบหมายให้เจ้าหน้าที่ที่ได้รับการฝึกอบรมทำการจัดเก็บ

โดยในการกำจัดการวัสดุนาโนจะให้ดำเนินงานตามข้อกำหนดของ US Department of Energy (DOE 2007) และ UK Environment Agency (EA) Guidance for the disposal of hazardous materials (HWR01) นอกจากนี้ยังได้มีแนวทางในการป้องกันการเกิดไฟไหม้และระเบิด เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในเอกสารชุดนี้อีกด้วย

2.2.4 มาตรฐานและความปลอดภัยด้านนาโนเทคโนโลยีโดย NIOSH และ OSHA ของประเทศสหรัฐอเมริกา

OSHA หรือ Occupational Safety and Health Administration เป็นหน่วยงานที่ดูแลในด้านอาชีวอนามัย และความปลอดภัยในการประกอบอาชีพของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในการดำเนินงานเกี่ยวกับมาตรฐานและแนวทางการปฏิบัติด้านนาโนเทคโนโลยีนั้น OSHA ได้ออกเอกสารหลายชิ้นที่

เกี่ยวข้อง เช่น การกำหนดให้ผู้ผลิตวัสดุนาโนจะต้องออกเอกสารความปลอดภัย หรือ MSDS (Material Safety Data Sheet) ของวัสดุนั้นๆ โดยจะต้องอธิบายถึงลักษณะสมบัติของวัสดุ ผลกระทบที่มีต่อสุขภาพ และการป้องกัน นอกจากนี้ยังระบุให้ต้องมีการใช้หน้ากาก (respiratory) สำหรับคนงานที่ทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนอีกด้วย รวมถึงมาตรการในการทำงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยเมื่อทำงานกับวัสดุนาโนอีกด้วย

NIOSH หรือ The National Institute for Occupational Safety and Health เป็นองค์กรที่ตั้งขึ้นเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ในสาขาความปลอดภัยและอาชีวอนามัยและเพื่อถ่ายทอดความรู้ที่เป็นหลักปฏิบัติให้กับผู้ประกอบการอาชีพ เพื่อป้องกันไม่ให้เจ็บป่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บความพิการ และการเสียชีวิตโดยการรวบรวมข้อมูลการทำวิจัยทางวิทยาศาสตร์และการแปลความรู้ที่ได้ไปเป็น ผลิตภัณฑ์และบริการซึ่งรวมถึงผลิตภัณฑ์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ไปจนถึงการฝึกอบรมและการให้คำแนะนำเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพต่างๆ โดย NIOSH ได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยี แล้วนำมาเผยแพร่ โดยในปี 2009 NIOSH ได้จัดทำ Approaches to Safe Nanotechnology โดยเน้นในส่วนของการทำงานและการจัดการเกี่ยวกับวัสดุนาโนเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับการทำงานด้านนาโนเทคโนโลยี ซึ่งเอกสารนี้ได้กลายมาเป็นเอกสารสำคัญในการจัดทำระเบียบปฏิบัติด้านความปลอดภัยสำหรับงานด้านนาโนเทคโนโลยีในหลายหน่วยงาน

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานและระเบียบปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีที่ดำเนินการโดย NIOSH ประกอบด้วย

- NIOSH Publication No. 2010-105: Strategic Plan for NIOSH Nanotechnology Research and Guidance
- NIOSH Publication No. 2010-104: Progress Toward Safe Nanotechnology in the Workplace, A Report from the NIOSH Nanotechnology Research Center

เนื้อหาสำคัญใน NIOSH, Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials

เอกสารฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความตระหนักเกี่ยวกับประเด็นความปลอดภัยในการประกอบอาชีพและสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติที่ดีในประเด็นที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในการประกอบอาชีพและสุขภาพเกี่ยวกับการผลิตและการใช้วัสดุนาโน เพื่อสร้างความเข้าใจให้ตรงกันระหว่าง NIOSH กับภาคอุตสาหกรรม ภาคแรงงาน และภาควิชาการเกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติเพื่อสุขภาพและความปลอดภัยที่จะนำไปบังคับใช้

เอกสารชุดนี้เป็นแหล่งความรู้ให้ผู้ที่สนใจที่ต้องการสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยและผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีในสถานที่ทำงาน ข้อมูลในเอกสารนี้ช่วยประเมินความเป็นอันตรายในการสัมผัสวัสดุนาโน และเป็นการพัฒนาแนวทางปฏิบัติให้สมบูรณ์มากขึ้นเพื่อลดการสัมผัสกับวัสดุนาโนในงานประเภทต่างๆ หรือในกระบวนการต่างๆ ที่ใช้วัสดุนาโน โดยเอกสารชุดนี้เป็นเอกสารที่นำไปใช้เป็นแนวทางปฏิบัติแบบ voluntary โดยไม่ได้เป็นการบังคับใช้ ซึ่งเหมาะสำหรับ

ผู้ทำงานเกี่ยวกับสุขภาพและความปลอดภัยในการประกอบอาชีพที่ต้องการมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีและผลกระทบต่อสุขภาพ และสามารถวางแผนการทำงานกับนาโนเทคโนโลยีอย่างปลอดภัยได้ ซึ่งรวมไปถึงนักวิจัยที่ทำงานกับวัสดุนาโน หรือนักวิจัยที่วางแผนว่าจะทำงานกับวัสดุนาโน และศึกษาถึงผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานกับวัสดุนาโน ผู้ทำงานเกี่ยวกับการกำหนดนโยบายของภาครัฐหรือภาคอุตสาหกรรม ผู้ที่มีความชำนาญในการประเมินความเสี่ยง และบุคคลทั่วไปที่ทำงานกับวัสดุนาโน หรือบุคคลที่มีโอกาสสัมผัสกับวัสดุนาโนในขณะทำงาน

เนื้อหาหลักในเอกสารชุดนี้ประกอบด้วย

- อันตรายต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นได้

จากการที่นักวิทยาศาสตร์กำลังสนใจศึกษาความเป็นอันตรายของวัสดุนาโนที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากการเข้าสู่ร่างกายในรูปแบบต่างๆ เอกสารชุดนี้จึงได้กล่าวถึงเส้นทางการรับวัสดุนาโน ซึ่งวัสดุนาโนสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายที่สุดโดยการหายใจเข้าไป และอาจได้รับสัมผัสทางผิวหนังหรือรับประทานเข้าไปด้วยความบังเอิญ ซึ่งมีผลการวิจัยในสัตว์ทดลองและมนุษย์พบว่า อนุภาคนาโนสามารถเข้าสู่และสะสมตามระบบทางเดินหายใจ เป็นสาเหตุให้เกิดโรคปอดมะเร็งได้ และจากการศึกษาในคนงานที่มีโอกาสได้รับอนุภาคนาโนโดยการหายใจเข้าไป พบว่าคนงานเหล่านี้มีความเสี่ยงที่จะเกิดโรคปอดได้เช่นกัน ซึ่งยังต้องการงานวิจัยที่เกี่ยวกับคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุนาโนที่ทำให้เกิดความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

- แนวทางในการสร้างความปลอดภัย

แม้ว่าจะยังไม่มีข้อมูลที่เพียงพอที่จะทำนายการเกิดไฟและการระเบิดของวัสดุนาโน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบในความเข้มข้นที่เท่ากัน วัสดุนาโนมีความเสี่ยงสูงกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่ในลูกติดไฟได้เนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่มากกว่าหลายเท่า และวัสดุนาโนบางประเภทมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมที่จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งทำให้มีความเสี่ยงสูงในการเกิดความร้อนและเกิดไฟไหม้ เอกสารชุดนี้ได้สร้างแนวทางในการทำงานที่ปลอดภัยกับวัสดุนาโน โดยกล่าวว่าวัสดุนาโนในรูปผลิตภัณฑ์สำเร็จจะไม่ส่งอันตราย หรือมีความเสี่ยงน้อยต่อผู้ใช้งาน แต่ในขั้นตอนการผลิตนั้นสามารถทำให้เกิดโอกาสการได้รับสัมผัสอนุภาคนาโนเข้าสู่ร่างกายจากการ เติร์ยม การผสม การตัด การขัด หรือแม้กระทั่งการทำความสะอาดเครื่องจักร และการทิ้งวัสดุนาโนที่ได้จากระบบดักจับฝุ่น ซึ่งตัวอย่างการทำงานกับวัสดุนาโนที่มีความเสี่ยงจะได้รับสัมผัส เช่น การไม่สวมถุงมือป้องกัน การชั่ง การผสม การพ่น วัสดุนาโน การเทศการผสมสารในที่ทำงานที่มีอากาศที่ไม่นิ่ง เช่น มีพัดลมเป่าแรง เป็นต้น

ในส่วนของการวัดปริมาณของวัสดุนาโนนั้น ในปัจจุบันยังมีความไม่แน่นอนว่าเทคนิคการวัดใดเหมาะสมในการตรวจติดตามการสัมผัสกับวัสดุนาโนในสถานที่ทำงาน ซึ่งงานวิจัยในปัจจุบันบ่งชี้ว่าการศึกษาดังกล่าวของขนาด รูปร่าง พื้นที่ผิวมีความสำคัญมากสำหรับวัสดุนาโน และเทคนิคการเก็บตัวอย่างมีหลายเทคนิคซึ่งมีความซับซ้อนต่างๆ กันไป แต่มีเพียงบางเทคนิคเท่านั้นที่สามารถใช้ในการตรวจติดตามการได้รับสัมผัสอนุภาคนาโนอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ ซึ่ง NIOSH ได้ให้แนวทางประเมินได้รับสัมผัสอนุภาคนาโนจากการศึกษาในสถานที่ทำงานของการผลิตหรือการใช้อนุภาคนาโนไว้ และก่อนการตรวจวัด

ต้องมีการศึกษาปริมาณของวัสดุนาโนที่มีอยู่เดิม (Background concentration) ของอนุภาคนาโนนั้นด้วย และควรเก็บตัวอย่างให้เป็นตัวแทนกลุ่มที่สนใจศึกษาที่ถูกต้องเพื่อจะได้ข้อมูลที่นำไปพัฒนาต่อไปได้

- การตรวจวัดวัสดุนาโนและการเฝ้าระวังการได้รับวัสดุนาโน

ในเอกสารชุดนี้ได้กล่าวถึงการตรวจวัดวัสดุนาโน โดยต้องทำการตรวจวัดโดยให้มีโอกาสสัมผัสกับวัสดุนาโนให้น้อยที่สุด โดยอาศัยการควบคุมด้านวิศวกรรม (Engineering control techniques) และใช้การจัดการความเสี่ยงในสถานที่ทำงานเพื่อลดโอกาสสัมผัสอนุภาคนาโน เช่น ประเมินความเป็นอันตรายของวัสดุนาโนจากคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ความเป็นพิษ ผลกระทบต่อสุขภาพจากข้อมูลที่มีอยู่ พิจารณาลักษณะงานที่มีความเสี่ยงจะได้รับสัมผัส ให้ความรู้และฝึกอบรมให้กับพนักงานในการทำงานกับวัสดุนาโน การกำหนดเงื่อนไขและขั้นตอนในการติดตั้งการควบคุมด้านวิศวกรรม เช่น exhaust ventilation เป็นต้น การควบคุมด้านวิศวกรรมที่นำมาใช้ต้องมีประสิทธิภาพ ซึ่งเอกสารนี้ระบุว่าการออกแบบระบบ exhaust ventilation ที่ดีและมีการใช้ HEPA filter สามารถกำจัดอนุภาคนาโนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้หลักการปฏิบัติงานที่ดีสามารถช่วยลดโอกาสสัมผัสอนุภาคนาโนได้ เครื่องช่วยหายใจเป็นสิ่งจำเป็นในกรณีที่การควบคุมด้านวิศวกรรมไม่สามารถป้องกันการได้รับสัมผัสได้อย่างเหมาะสม

การเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากการทำงานเป็นสิ่งจำเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ได้มีการกล่าวถึงในเอกสารชุดนี้ เนื่องจากคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุนาโนสามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายได้ และงานวิจัยที่ศึกษาความเป็นพิษของวัสดุนาโนและข้อมูลความเสี่ยงของคนงานที่ทำงานกับวัสดุนาโนเป็นสิ่งที่จะต้องรวบรวมและแจ้งให้กับ NIOSH และกลุ่มที่เกี่ยวข้องทราบ

2.2.5 เอกสารความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของ Department of Energy, Nanoscale Science Research Centers (NSRC's) ในเรื่อง Approach to Nanomaterial ES&H

เอกสารฉบับนี้มีเนื้อหาครอบคลุมข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัยและผลกระทบที่เกิดจากวัสดุนาโนและการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโน และแนวทางการประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้น แต่ไม่รวมข้อมูลในส่วนของการประเมินผลกระทบอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือการเปลี่ยนแปลงวัสดุนาโนไปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยได้มีการนำข้อมูลที่ได้มากำหนดเป็นข้อบังคับและนโยบายต่างๆ ที่จะนำมาบังคับใช้สำหรับงานวิจัยภายในห้องปฏิบัติการทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์ โดยเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางข้อบังคับและนโยบายซึ่งบังคับใช้กับหน่วยงานภายในทั้ง 5 หน่วยงานของ NSRC's ภายใต้ US Department of Energy's Office of Science

วัตถุประสงค์ของเอกสารนี้ คือ

1. เพื่อเป็นข้อเสนอแนะและแนวทางในการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการทำงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเป็นแนวทางในการสนับสนุนและกระตุ้นองค์กรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานกับวัสดุนาโน ให้มีการศึกษาในส่วนองปริมาณที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

3. เพื่อเป็นการสนับสนุนนโยบายและการดำเนินงานต่างๆ ระหว่างหน่วยงานภายในทั้ง 5 หน่วยงานของ NSRC's

หลักการพื้นฐานในการจัดทำเอกสารชุดนี้ มาจากการที่ทาง NSRC's ต้องการพัฒนางานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีควบคู่ไปกับการลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงได้นำนโยบายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนของนโยบายภายในองค์กร NSRC's และข้อมูลจากองค์กรภายนอก รวบรวมเป็นเอกสารฉบับนี้ เพื่อเป็นกรอบนโยบายและแนวทางในการดำเนินงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์ โดยประเด็นในการควบคุมการทำงานในห้องปฏิบัติการทางด้านการวิจัยและพัฒนา ได้แบ่งรายละเอียดตามหัวข้อดังนี้

- การวางแผนการดำเนินงาน และการประเมินผลกระทบ
- การควบคุมทางวิศวกรรม โดยระบุให้มีอุปกรณ์พื้นฐานภายในห้องปฏิบัติการที่เหมาะสมกับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้น
- Administrative Control ได้มีการควบคุมในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย เช่น ฉลากต่างๆ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย เป็นต้น
- เสื้อผ้า และอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล
- ระบบการตรวจสอบผลการดำเนินงาน
- การฝึกอบรมข้อมูลในส่วนต่างๆ ที่จำเป็นให้กับผู้ทำงานและผู้ที่มีความเสี่ยง

นอกจากนี้ในเอกสารฉบับนี้ยังได้จัดทำกระบวนการตรวจสอบแผนการดำเนินงาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำข้อมูลของผู้ทำงานทั้งหมดมาแบ่งประเภทของกลุ่มที่ได้รับความเสี่ยง อาทิเช่น กลุ่มที่สัมผัสวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ กลุ่มที่ทำงานวิจัยทางด้านนี้ตลอดเวลาทำงาน โดยทำงานอยู่ในพื้นที่ที่มีอุปกรณ์ป้องกันอันตราย และกลุ่มที่มีได้ทำงานกับวัสดุนาโนโดยตรง แต่มีโอกาสสัมผัสวัสดุนาโนที่ปนเปื้อน
- ตรวจสอบในเรื่องของคุณสมบัติของสถานที่หรือห้องปฏิบัติการที่เหมาะสมในการทำงานวิจัยทางด้านนาโน
- แผนการตรวจสอบสุขภาพของผู้ทำงาน
- การสำรวจปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นภายในห้องปฏิบัติการ
- ระบบการตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนการดำเนินงาน

ในส่วนของการจัดการต่างๆ กับวัสดุนาโน เช่น การเคลื่อนย้ายวัสดุนาโน เป็นต้น ได้มีข้อกำหนดได้แก่

- ต้องมีการระบุประเภทของวัสดุที่จะเคลื่อนย้าย และความเป็นพิษ เพื่อแจ้งต่อเจ้าหน้าที่

- กรณีทำการเคลื่อนย้ายวัสดุนาโนออกนอกห้องปฏิบัติการหรือหน่วยงานจะต้องปฏิบัติตามข้อบังคับของ NSRC's โดยจะต้องบรรจุในภาชนะที่แข็งแรง ทนต่อแรงกระแทก มีการติดฉลากระบุชื่อ ประเภทของวัสดุ และผู้ที่สามารถติดต่อได้ในกรณีที่มีปัญหา
- กรณีทำการเคลื่อนย้ายวัสดุนาโนภายในห้องปฏิบัติการหรือหน่วยงาน เบื้องต้นจะต้องแจ้งให้ทางเจ้าหน้าที่ทราบ ใช้ภาชนะที่มีความแข็งแรง มีการติดฉลากระบุชื่อ ประเภทของวัสดุ และผู้ที่สามารถติดต่อได้ในกรณีที่มีปัญหา เช่นเดียวกับกรณีเคลื่อนย้ายวัสดุนาโนออกนอกห้องปฏิบัติการหรือหน่วยงาน โดยแนบเอกสารความปลอดภัยด้วยทุกครั้ง

ในการดำเนินการกำจัดวัสดุนาโนหรือของเสียอันเกิดจากงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์ วิธีการในเอกสารนี้จะพิจารณาในเรื่องประเภทการใช้งาน ประเภทวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนในของเสีย ซึ่งจะมีวิธีการกำจัดตามวิธีการที่เหมาะสมสำหรับวัสดุนาโนแต่ละประเภทในรูปแบบของเสียอันตราย และได้มีการระบุการดำเนินการจัดเก็บในกรณีที่เกิดการตก หล่น หรือรั่วไหล ซึ่งมีขั้นตอนได้แก่ การประเมินผลกระทบและควบคุมผลกระทบที่เกิดขึ้น การดำเนินการจัดเก็บตามขั้นตอนในกรณีที่เป็นวัสดุประเภทแข็ง หรือวัสดุประเภทของเหลวหรือสารละลาย รวมไปถึงการดำเนินการจัดเก็บในกรณีที่เป็นของเสียร่วมด้วย

2.2.6 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโนของ Health Effects of Nanoparticles ของ Occupational and Health (IRSST), Canada

เอกสารฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสรุปประเด็นและจัดกลุ่มเอกสารวรรณกรรมทางวิทยาศาสตร์ จนถึงกลางปี 2007 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการศึกษาความเป็นพิษของอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ขึ้น โดยบรรยายการทบทวนความรู้ บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับความเสี่ยงต่อสุขภาพของอนุภาคนาโนตั้งแต่ปี 2004 จนถึงกลางปี 2007 ซึ่งการค้นคว้าเกี่ยวกับความเป็นพิษของเอกสารฉบับนี้อาศัยเครื่องมือช่วยค้น คือ MedLine, Toxline, PubMed, Inspec, Copernic, Embase, Ntis, Ei, Compendex, SciSearch, Pascal, Alerts, Teoma และ Scirus และเพื่อให้การค้นคว้าครอบคลุมวัสดุนาโนให้มากที่สุดได้อาศัยคำค้น ได้แก่ nanotechnologie, nanotechnology, nanoparticules, nanoparticles, nanomatériaux, nanomaterials, nanotoxicity, nanotoxicité, fullerènes, fullerenes, nanotubes, quantum dots, points quantiques, nanocristaux, drug delivery, ultrafine particles, nanomedicine และ nanomédecine

เอกสารนี้ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติแบบสมัครใจ (Voluntary based application) โดยมีวัตถุประสงค์ คือ

- เป็นข้อมูลให้กับ IRSST เพื่อใช้ในการวางแผนการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องมือและยุทธศาสตร์ในการประเมินการสัมผัส และเพื่อให้เกิดการพัฒนา และการตรวจวัดการสัมผัสอนุภาคนาโนในการทำงานด้วยวิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพ

- เป็นเอกสารให้กับนักวิจัยที่ทำงานกับวัสดุนาโน หรือนักวิจัยที่วางแผนว่าจะทำงานกับวัสดุนาโน และศึกษาถึงผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานกับวัสดุนาโน
- เอกสารนี้เป็นประโยชน์สำหรับการประเมินความเสี่ยงสำหรับคนงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมประเภท biopharmaceutical

เนื้อหาในเอกสารฉบับนี้จะระบุผลกระทบต่อสุขภาพของ Fullerenes Carbon nanotubes Inorganic nanoparticles Organic nanoparticles Nanocapsules Nanospheres Nanoshells Dendrimers Quantumdots และ Other nanomaterials ซึ่งเนื้อหาของการทบทวนวรรณกรรมในวัสดุนาโนแต่ละชนิดดังกล่าว ได้จำแนกเป็น 2 ประเด็นคือ Toxicokinetics เป็นการทบทวนเกี่ยวกับกลไกพิษวิทยาในการได้รับสารพิษเข้าสู่เซลล์ ได้แก่ Absorption Distribution Metabolism และ Excretion และ ผลกระทบของวัสดุนาโนที่ได้รับแบ่งตามเส้นทางการได้รับ ได้แก่ การหายใจ(Inhalation and airway exposure) การได้รับทางปาก (Ingestion exposure) และ การได้รับสารโดยทางอื่นๆ

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรม พบว่าผลกระทบหลายๆ ด้านที่เกิดจากอนุภาคนาโนในสัตว์ทดลองนั้น ทำให้เกิดความเป็นพิษขึ้นได้ในอวัยวะต่างๆ เช่น หัวใจ ปอด ตับ รวมถึงความเป็นพิษต่อยีนส์ และตัวอ่อน ตัวอย่างเช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นที่ยอมรับใช้กันเนื่องจากมีความเป็นพิษต่ำ แต่ในบางงานวิจัยกลับพบว่ามีความเป็นพิษสูงต่อระบบทางเดินหายใจโดยเฉพาะถุงลมในปอด ถ้าอยู่ในรูปของอนุภาคนาโน แต่ก็มีบางงานวิจัยรายงานว่าเกือบจะไม่มีผลกระทบหรือไม่มีผลกระทบในด้านความเป็นพิษโดยภาพรวมแล้ว ข้อมูลความเป็นพิษของอนุภาคนาโนยังมีอยู่อย่างจำกัด และบ่อยครั้งพบว่าการจำนวนของการศึกษาที่น้อยเกินไป ระยะเวลาของการสัมผัสที่สั้น การทดลองอนุภาคนาโนที่มีความแตกต่างในองค์ประกอบ เช่น ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง หรือการสัมผัสที่ไม่ปกติในสภาพแวดล้อมในการทำงาน ซึ่งสาเหตุที่กล่าวมาล้วนเป็นเหตุให้เกิดความยากในการประเมินความเสี่ยงและจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

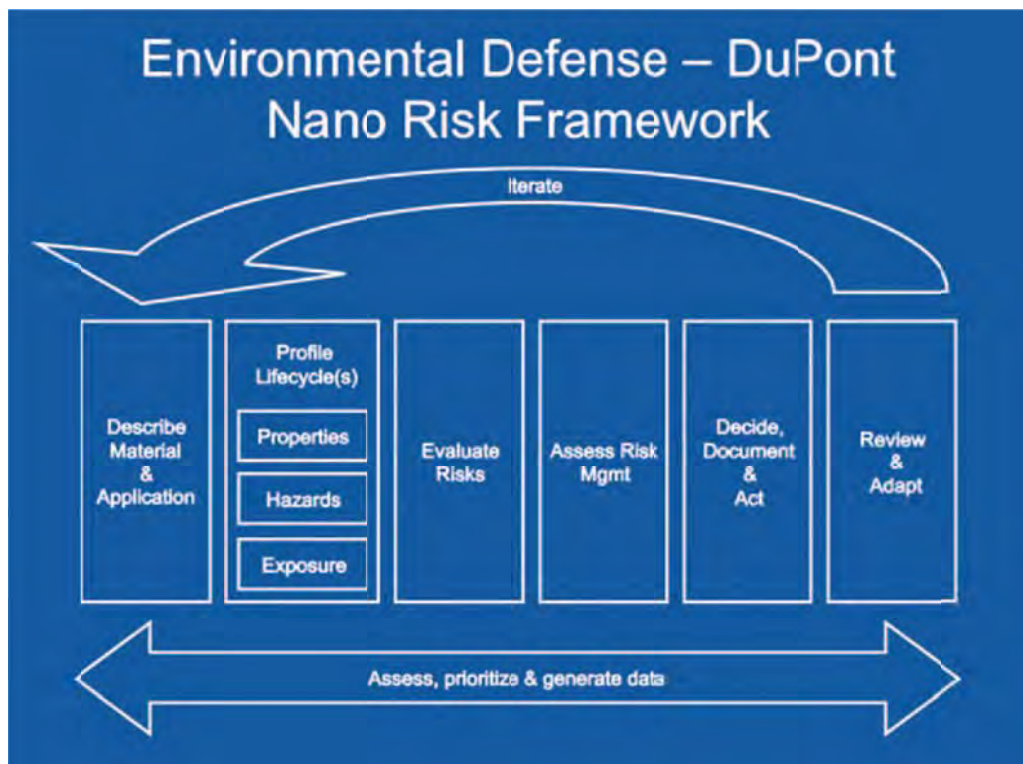
2.2.7 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโน NANO Risk Framework -Dupont

เอกสารฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากรอบการทำงานเพื่อระบุและประเมินความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และความปลอดภัยของวัสดุนาโน โดยมีมุ่งศึกษาวัสดุนาโนที่ถูกใช้มากในภาคเคมีภาคอุตสาหกรรม กระบวนการผลิต การประยุกต์ใช้ของผู้บริโภค และองค์ประกอบนาโนที่มีความเสี่ยงสูงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากวัสดุ ณ บางจุดของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น คำว่า “วัสดุนาโน” ที่ใช้ในเอกสารนี้รวมถึงองค์ประกอบ และส่วนประกอบเดิมในผลิตภัณฑ์ที่สามารถถูกปลดปล่อยออกมาในช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และรวมถึงกิจกรรมด้านปลายน้ำเช่น การกำจัดและการรีไซเคิล

เอกสารใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ ซึ่งเหมาะสำหรับ

- องค์กร เช่น บริษัท สาธารณะชน สถาบันวิจัยเอกชน ที่ทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโน หรือผลิตผลิตภัณฑ์นาโน หรือประยุกต์ใช้วัสดุนาโน
- ผู้ทำงานเกี่ยวกับการกำหนดนโยบายของภาครัฐหรือภาคอุตสาหกรรม สถาบันการศึกษา สถาบันการเงิน องค์กรอิสระเพื่อเป็นข้อมูลเกี่ยวกับความเสี่ยงของวัสดุนาโน
- เป็นเครื่องมือที่ใช้ให้ข้อมูลและใช้สื่อสารให้ผู้ใช้ทราบถึงความเสี่ยงของวัสดุนาโนและทราบแนวทางปฏิบัติ
- กระตุ้นความรับผิดชอบของการพัฒนาผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยี ทำให้เกิดความยอมรับของสาธารณะ และสนับสนุนการสร้างแบบต้นแบบที่ดีสำหรับนโยบายภาครัฐในด้านความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยี

เนื้อหาของเอกสารนี้จะมุ่งไปยังกรอบการทำงานเพื่อประเมินความเสี่ยงของวัสดุนาโนสำหรับเอกสารฉบับนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กรอบในการศึกษาความเสี่ยงของวัสดุนาโน

โดยในการศึกษาความเสี่ยงของวัสดุนาโนประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

Step 1 Describe Material and Its Applications

เป็นการระบุคุณสมบัติของวัสดุ และการประยุกต์ใช้งานของวัสดุนั้น

Step 2 Profile Lifecycle(s)

เป็นการระบุช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยี ตั้งแต่แหล่งวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยี แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนย่อยๆ คือ

Step 2A: Develop Lifecycle Properties Profile

เป็นการระบุคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุนาโนตลอดวัฏจักรชีวิต

Step 2B. Develop Lifecycle Hazard Profile

เป็นการวิเคราะห์คุณลักษณะความเป็นอันตรายของวัสดุนาโนที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพและความปลอดภัยตลอดวัฏจักรชีวิต

Step 2C. Develop Lifecycle Exposure Profile

เป็นการแจกแจงการได้รับสัมผัสกับวัสดุนาโนของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

Step 3. Evaluate Risks

เป็นการรวมข้อมูลจาก Step 2A 2B และ 2C เพื่อประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

Step 4. Assess Risk Management

เป็นแนวทางปฏิบัติเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นจากกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ หลังจากทราบความเสี่ยงแล้วจากขั้นตอนที่ 3

Step 5. Decide, Document, and Act

ในขั้นตอนนี้ หัวหน้าโครงการจัดตั้งทีมผู้เชี่ยวชาญเพื่อทบทวนแนวทางปฏิบัติ วิเคราะห์ทางเลือกที่เป็นไปได้และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น ร่วมตัดสินใจและนำไปปฏิบัติ

Step 6. Review and Adapt

ขั้นตอนนี้ผู้ปฏิบัติต้องนำแนวทางปฏิบัติไปใช้งานจริงอย่างต่อเนื่องและมีการทบทวนตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นเมื่อจำเป็น เพื่อให้มั่นใจว่า ข้อมูล การประเมิน การตัดสินใจ การลงมือปฏิบัติจากขั้นตอนก่อนหน้านี้เข้ากับสภาพการทำงานจริงปัจจุบัน

เอกสารฉบับนี้ยังได้ทำใบงานเพื่อให้ช่วยในการนำไปประเมิน จัดการ และสื่อสาร ซึ่งในใบงานจะเป็นแบบฟอร์มที่ครอบคลุมทุกหัวข้อที่อยู่ในกรอบการทำงานของเอกสารฉบับนี้ด้วย

2.2.8 เอกสารความปลอดภัยของวัสดุนาโน NANOTECHNOLOGY โดย GAO - USA

เอกสารฉบับนี้รวบรวมการทบทวนเอกสารเพื่อหาตัวอย่างวัสดุนาโนที่มีการใช้มากในปัจจุบัน ระบุความเสี่ยงของวัสดุนาโนที่มีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และการรวบรวมรายงานจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย รวมถึงข้อมูลการสังเคราะห์ ข้อมูลด้านนาโนเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยการสัมภาษณ์ รวบรวมข้อมูลจากแหล่งค้นคว้า และจากการทบทวนวรรณกรรม และเป็นการทบทวนเอกสารที่ตีพิมพ์ตั้งแต่ปี 2005 เป็นต้นมาจนถึงปี 2010 เอกสารชุดนี้มีวัตถุประสงค์จัดทำขึ้นเพื่อให้ EPA นำข้อมูลไปใช้ในการ

ควบคุมวัสดุนาโนที่ดีขึ้นและหาวิถีทางในการเลือกหน่วยงานที่มีอำนาจแห่งชาติเพื่อดูแลความเสี่ยงจากวัสดุนาโน ซึ่งรวมไปถึงผู้ใช้ที่เป็นผู้ทำงานเกี่ยวกับการกำหนดนโยบายของภาครัฐหรือภาคอุตสาหกรรม ไปจนถึงหน่วยงานที่ทำงานกับวัสดุนาโน

เนื้อหาหลักและเนื้อหาที่ครอบคลุมในแต่ละหมวด

1. Background

เอกสารนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีและนิยามของวัสดุนาโนชนิดต่างๆ เช่น Carbon-based materials Metal-based materials Dendrimers Composites

2. Nanomaterials Currently Enhance Products across a Number of Industry Sectors, and New Uses Continue to Be Developed

เอกสารนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่ใช้กันมากและมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ยานยนต์ โทรศัพท์มือถือ ทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม อาหารและการเกษตร บ้านพักอาศัยและการก่อสร้าง ยารักษาโรคและเกษตรกรรม เป็นต้น

3. Potential Risks to Human Health and the Environment from Nanomaterials Depend on Toxicity and Exposure, and Current Understanding of the Risks Is Limited

เอกสารนี้ระบุคุณสมบัติของวัสดุนาโน (ขนาด รูปร่าง พื้นที่ผิว การเกิดปฏิกิริยา) สามารถส่งผลต่อความเป็นพิษ ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ความเสี่ยงของวัสดุนาโนยังขึ้นอยู่กับเส้นทางการได้รับสัมผัสกับวัสดุนาโน (ทางการหายใจ ทางารรับประทาน และทางผิวหนัง) และจากการทบทวนเอกสารพบว่า ปัจจุบันความเข้าใจเกี่ยวกับความเป็นพิษของวัสดุนาโนยังมีอยู่อย่างจำกัด

4. EPA Has Taken a Multipronged Approach to Managing the Potential Risks of Nanomaterials but Faces Various Challenges in Regulating These Materials

เอกสารนี้ได้ระบุขอบเขตการทำงานของ EPA แม้ว่า EPA ได้ดำเนินการควบคุมวัสดุนาโนตามกรอบการทำงานที่มีอยู่ แต่จากการที่วัสดุนาโนมีความหลากหลายและอำนาจในการควบคุมของ EPA ที่มีอยู่ใช้ได้กับวัสดุนาโนเฉพาะอย่างเท่านั้น นอกจากนี้ EPA ยังพบกับความท้าทายด้านเทคนิคและข้อมูลซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการควบคุมวัสดุนาโนให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. Other National Authorities Are Collecting Information on Nanomaterials and Are Evaluating Their Legislation to Ascertain if Changes Are Needed

เอกสารนี้ได้อ้างอิงข้อมูลจากประเทศออสเตรเลียและอังกฤษได้ทำการรวบรวมข้อมูลของวัสดุนาโนโดยวิธีการแบบสมัครใจให้ข้อมูล ในขณะที่ประเทศแคนาดามีแผนที่จะกำหนดให้บริษัทต้องส่งรายงานข้อมูลของวัสดุนาโนเข้ามารวบรวมไว้ที่หน่วยงานกลาง ส่วนทางสหภาพยุโรปกำหนดให้ทำการเก็บข้อมูลสารเคมีทุกชนิดที่มีการใช้ในปริมาณที่แน่นอนตามข้อกำหนดสารเคมีพื้นฐานซึ่งรวมไปถึงวัสดุนาโนด้วย แต่

ละประเทศได้รวบรวมกฎหมายเดิมที่มีอยู่เพื่อศึกษาความต้องการกฎหมายใหม่เพิ่มเติมเพื่อรองรับกับวัสดุนาโน

6. Some State and Local Governments Have Begun to Address the Risks of Nanomaterials

เอกสารนี้ได้ระบุสถานการณ์ด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนในบางรัฐหรือบางท้องถิ่นของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ได้เริ่มมีการกำหนดนโยบายเกี่ยวกับวัสดุนาโน เช่น ในเดือนมกราคม ปี 2009 รัฐแคลิฟอร์เนียได้ประกาศให้บริษัทที่ผลิตหรือนำเข้า Carbon nanotubes ในรัฐแคลิฟอร์เนียต้องรายงานข้อมูลวัสดุนาโนให้กับ California Department of Toxic Substances Control ภายในวันที่ 22 มกราคม ปี 2010 และนอกจาก carbon nanotubes ยังได้ประกาศใช้กับโลหะออกไซด์อื่นๆ เช่น nano aluminum oxide, nano silicon dioxide, nano titanium dioxide และ zinc oxide นอกจากนี้ยังรวมถึง nanosilver, nano zerovalent iron และ nano cerium oxide ด้วย

นอกจากระดับรัฐแล้ว หน่วยงานในระดับเทศบาลยังได้มีการรวบรวมข้อมูลของวัสดุนาโน เช่น ในเดือนตุลาคม ปี 2006 City of Berkeley ในแคลิฟอร์เนีย ได้กำหนดให้บริษัทต้องรายงานการผลิตหรือการใช้วัสดุนาโน นอกจากนี้รัฐ Maine ได้จัดทำ Air Toxics Priority List ในเดือนกรกฎาคม ปี 2007 ซึ่งรวมถึงอนุภาคนาโนเทคโนโลยี และ Massachusetts Department of Environmental Protection ยังได้ระบุว่าวัสดุนาโนเป็นสารปนเปื้อนที่ต้องพิจารณา และได้แต่งตั้งคณะกรรมการกลางด้านนาโนเทคโนโลยีขึ้นอีกด้วย

2.2.9 แนวทางปฏิบัติอื่นๆ ที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

นอกจากแนวทางปฏิบัติที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีที่จัดทำโดยหน่วยงานต่างๆ แล้ว ยังมีแนวทางปฏิบัติที่จัดทำขึ้นมาเฉพาะด้าน เช่น สำหรับอุตสาหกรรมนั้นๆ เป็นต้น แนวทางปฏิบัติสำหรับอุตสาหกรรมด้านนาโนเทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวาง มีชื่อเรียกว่า The Responsible Nanocode ซึ่งจัดทำโดยองค์กรสามแห่ง คือ the Royal Society, Insight Investment และ the Nanotechnology Industries Association (NIA) โดยได้จัดทำแนวทางปฏิบัติด้านนาโนเทคโนโลยีนี้ขึ้นในเดือนพฤศจิกายน ปี 2006 โดยทั้งสามองค์กรมาดำเนินการร่วมกันในการสำรวจผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา ของนาโนเทคโนโลยี โดยเริ่มจากการประชุมเชิงปฏิบัติการที่มุ่งเน้นที่จะกระตุ้นให้บริษัทที่ประกอบธุรกิจที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีให้มีความรับผิดชอบต่อผลกระทบของนาโนเทคโนโลยี โดยมีบริษัทผู้ผลิตจากกลุ่มประเทศยุโรป 17 แห่งที่มีความสนใจในนาโนเทคโนโลยีเชิงพาณิชย์ได้เข้าร่วมลงนามปฏิบัติตาม The Responsible Nanocode ที่พัฒนาขึ้น โดยได้มีการเผยแพร่เอกสารนี้ในปี 2008

แนวทางปฏิบัตินี้ได้มีการร่างขึ้นเพื่อให้มีการรับผิดชอบต่อผลกระทบของนาโนเทคโนโลยีที่อาจเกิดขึ้นตลอดวงจรอายุของผลิตภัณฑ์ โดยเป็นแนวทางปฏิบัติที่ให้ผู้เข้ามามีส่วนร่วมสมัครใจในการนำไปปฏิบัติ โดยไม่ได้มีจุดมุ่งหมายว่าเนื้อหาในแนวทางการปฏิบัตินี้จะต้องถูกพัฒนาไปเป็นกฎ ระเบียบที่ใช้ใน

การบังคับในภายหลัง โดยเนื้อหาจะแสดงเจตนารมณ์ของผู้ที่เข้าร่วมในการแสดงความรับผิดชอบในระดับสากลเป็นหลัก เนื้อหาสำคัญประกอบด้วยหลักการ 7 หลักการข้อ ประกอบด้วย

ข้อหนึ่ง – การรับผิดชอบต่อคณะกรรมการ (Board Accountability)

แต่ละองค์กรควรให้แนวทางการมีส่วนร่วมและจัดการด้านนาโนเทคโนโลยีอยู่ในความรับผิดชอบของคณะกรรมการหรือผู้บริหารระดับสูง

ข้อที่สอง – การมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Principle Two -Stakeholder Involvement)

แต่ละองค์กรควรระบุผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับนาโนเทคโนโลยีขององค์กรนั้นๆ พร้อมทั้งให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเข้าร่วมในการดำเนินการในส่วนของการรับผิดชอบต่อความเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียนั้นๆ

ข้อที่สาม – สุขภาพและความปลอดภัยของแรงงาน (Worker Health and Safety)

แต่ละองค์กรควรมีมาตรฐานในด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของแรงงานในการปฏิบัติงาน การจัดการวัสดุนาโนและผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโน และควรพิจารณาครอบคลุมถึงด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยสำหรับแรงงานในขั้นตอนอื่น ๆ ตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์วัสดุนาโนนั้นๆ

ข้อที่สี่ – ความเสี่ยงต่อสาธารณสุข ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม (Public Health, Safety & Environmental Risks)

แต่ละองค์กรควรดำเนินการประเมินความเสี่ยงอย่างรอบคอบและลดผลกระทบด้านสาธารณสุข รวมถึงความปลอดภัยที่อาจเกิดขึ้น รวมทั้งการลดความเสี่ยงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีของบริษัท และควรพิจารณาด้านสาธารณสุขความปลอดภัย และความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ

ข้อที่ห้า – ผลกระทบต่อสังคม สิ่งแวดล้อมและสุขภาพตามหลักจริยธรรม (Wider Social, Ethical Environmental & Health Impacts)

แต่ละองค์กรควรพิจารณาและชี้แจงผลกระทบของนาโนเทคโนโลยีที่อาจนำไปสู่ผลกระทบต่อสังคมในวงกว้าง รวมถึงสุขภาพ สิ่งแวดล้อมและผลกระทบทางจริยธรรม

ข้อที่หก – การมีส่วนร่วมของบริษัทที่ดำเนินธุรกิจร่วมกัน (Engaging with Business Partners)

แต่ละองค์กรควรทำให้บริษัทที่ดำเนินธุรกิจร่วมกันที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินการต่างๆ ในการส่งเสริม และกระตุ้นความรับผิดชอบต่อผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยี รวมถึงการนำแนวทางปฏิบัตินี้ไปใช้

ข้อที่เจ็ด – ความโปร่งใสและการเปิดเผยข้อมูล (Transparency and Disclosure)

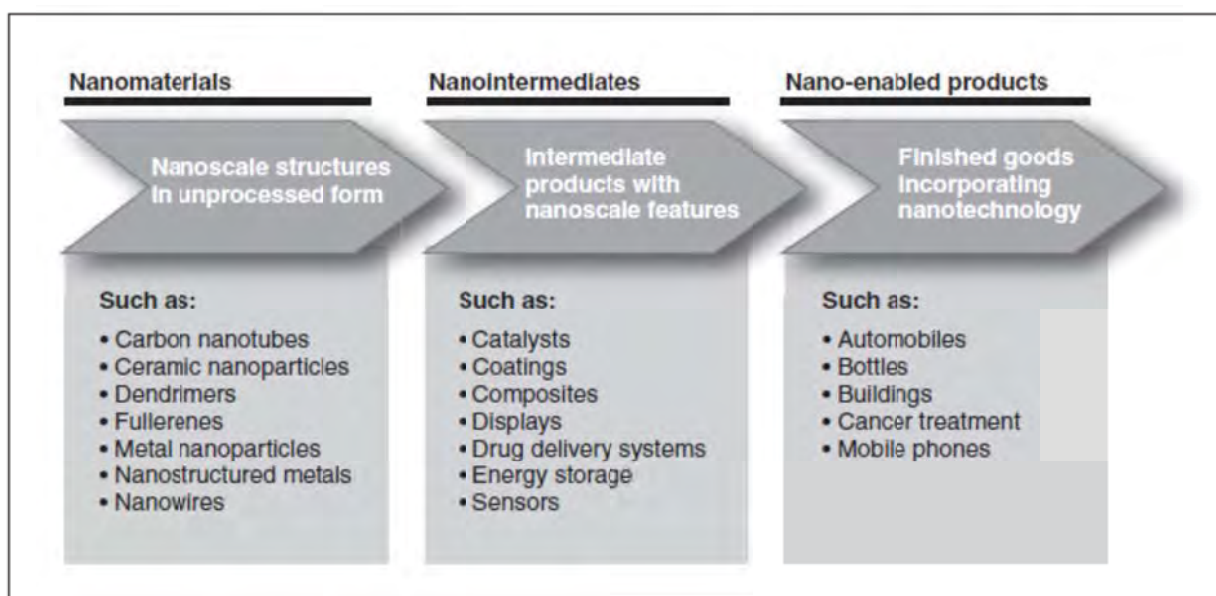
แต่ละองค์กรควรจะเปิดกว้างและโปร่งใสเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมในการจัดการนาโนเทคโนโลยี โดยการรายงานเป็นประจำอย่างชัดเจนในวิธีการดำเนินการรับผิดชอบต่อนาโนเทคโนโลยี

บทที่ 3

ความก้าวหน้าของนาโนเทคโนโลยี และความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยี

3.1 การพัฒนานาโนเทคโนโลยีในงานวิจัย และในระดับอุตสาหกรรม

เนื่องด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นของวัสดุนาโนทำให้อุตสาหกรรมทั่วโลกหันมาสนใจทำผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับนาโนเทคโนโลยีและคาดว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นสำหรับการหาคุณสมบัติใหม่ๆ ของวัสดุนาโนเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม วัสดุนาโนสามารถทำตลาดได้เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนาโนเอง หรือเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง (Intermediate Product) หรือในฐานะที่เป็นสินค้านาโน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ตัวอย่างเช่น โรงงานผลิต Clay nanoparticles สามารถขาย Clay nanoparticles นี้ให้กับโรงงานผลิตพลาสติกเพื่อนำ Clay nanoparticles ไปเป็นวัสดุผสม (composite material) ในผลิตภัณฑ์พลาสติก และโรงงานผลิตพลาสติกสามารถขายวัสดุผสมนี้ให้กับโรงงานผลิตรถยนต์เพื่อนำไปเป็นส่วนประกอบในรถยนต์และอ้างว่าเป็นสินค้านาโน



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างของวัสดุนาโนในฐานะที่เป็นวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง และสินค้าสำเร็จ

เนื่องด้วยการใช้วัสดุนาโนมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้ตลาดของวัสดุนาโนได้เติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องและแทรกซึมเข้าสู่หลายๆ กิจกรรมของการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในปี 2009 Woodrow Wilson International Center for Scholars' Project on Emerging Nanotechnologies (Wilson Center) ได้จำแนกสินค้านาโนได้มากกว่า 1,000 รายการที่มีอยู่ในตลาดปัจจุบัน ซึ่งสะท้อนตัวเลขที่เพิ่มขึ้นถึง 397 เปอร์เซ็นต์จากปี 2006 ในกว่า 1,000 รายการของสินค้านาโนนี้มาจากผู้ผลิตจากประเทศต่างๆ มากกว่า 20 ประเทศ และจากการรายงานของ Wilson Center พบว่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของสินค้านาโนเห็นได้จากจำนวนสิทธิบัตร

ของ the U.S. Patent and Trademark Office ที่มีจำนวน 125 ในปี 1985 และเพิ่มขึ้นเป็น 4,995 ในปี 2005 ตัวอย่างสินค้าที่ประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีและวัสดุนาโนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างสินค้าที่ใช้นาโนเทคโนโลยีและวัสดุนาโน

กลุ่มสินค้า	ตัวอย่างสินค้า
Health and Fitness	Wound dressing, Pregnancy test, Toothpaste, Golf club, Tennis Racket, Skis, Antibacterial socks, Waste and stain resistant pants, Cosmetics, Air filter, Sunscreen
Electronics and Computers	Computer displays, Games, Computer hardware
Home and Garden	Paint, Antimicrobial pillows, Stain resistant cushions
Food and Beverage	Non-stick coatings for pans, Antimicrobial refrigerator, Canola oil
Other	Coatings, Lubricants

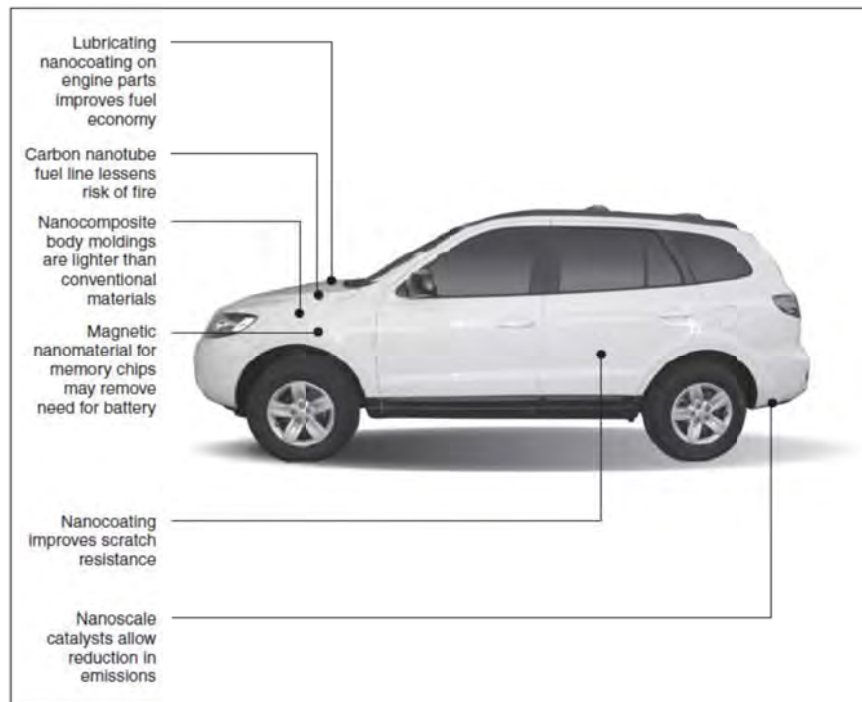
ที่มา: Woodrow Wilson Center Project on Emerging Nanotechnologies, Inventory of Consumer Products, 2006

3.1.1 รอยยนต์

นาโนเทคโนโลยีถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายส่วนด้วยกันตั้งแต่ตัววัสดุเคลือบถึงรอยยนต์จนถึงเครื่องยนต์ ในอุตสาหกรรมผลิตรอยยนต์ในปัจจุบันชิ้นส่วนกันชนถูกทำขึ้นจากวัสดุนาโน เช่น nanoclay nanometals และ carbon nanotubes เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นงานและทนไฟได้มากขึ้น ผลิตภัณฑ์รอยยนต์ที่เป็นสินค้านานาหลายรายการจะเกี่ยวเนื่องกับการเพิ่ม nanoscale ceramic and metal particles ให้กับงานเคลือบผิว งานเคลือบวัสดุนาโนที่ใช้เคลือบมีข้อดี เช่น ช่วยกันรังสียูวี หรือทำให้พื้นผิวถูกชะล้างได้ง่ายด้วยตัวเองโดยไม่ทำให้สีจริงเพี้ยนไป วัสดุเคลือบที่มีส่วนผสมของวัสดุนาโนถูกใช้ในสีทารอยยนต์เพื่อเพิ่มความเรียบ ความแข็งแรง ทนต่อรอยขีดข่วนและสนิม กันน้ำ นอกจากนี้ carbon nanotubes มีคุณสมบัติที่ทนทานต่อแรงดึงมากกว่าเหล็กธรรมดาถึง 100 เท่า เมื่อเทียบ carbon nanotubes เพียง 1 ใน 6 ส่วนโดยน้ำหนัก โดยที่ไม่ทำให้เกิดรอยแตกบนพื้นผิว และยังไม่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์บนพื้นผิวอีกด้วย ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยมากขึ้นในขณะเติมน้ำมัน

ในอนาคตวัสดุนาโนจะถูกนำมาปรับปรุงสมรรถนะของรอยยนต์ เช่น ลดแรงเสียดทานในเครื่องยนต์ เพิ่มกำลังของแบตเตอรี่ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง ตัวอย่างเช่น น้ำมันเครื่องที่มีส่วนผสมของวัสดุนาโนทำให้การหล่อลื่นดีกว่าน้ำมันเครื่องแบบเก่า หรือแบตเตอรี่ที่ทำจากโลหะออกไซด์ในขนาดนาโนที่มีกำลังไฟฟ้าใช้งานได้นานขึ้นถึง 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับใช้ในรอยยนต์พลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่เติมอนุภาคนาโนของซีเรียมออกไซด์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลได้มากขึ้น เนื่องจากเป็น

การช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้การเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศสมบูรณ์มากขึ้นส่งผลให้เกิดมลพิษอากาศลดลง และเกิดเขม่าลดลง รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีกับรถยนต์



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีกับอุตสาหกรรมรถยนต์

3.1.2 ทหารและการบิน

นาโนเทคโนโลยีถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางทหารและเกี่ยวกับเครื่องบิน ในปัจจุบันวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์ถูกใช้เป็นเซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดหาสารประกอบวัตถุระเบิดในปริมาณน้อยๆ นอกจากนี้เครื่องบินที่ทำจากวัสดุคาร์บอนเช่น Carbon nanotubes ทำให้เครื่องบินแข็งแรงและมีน้ำหนักเบาทนต่อฟ้าผ่าและทนไฟได้ดี โพลีเมอร์ที่มีส่วนประกอบของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ใช้เป็นวัสดุภายในเครื่องบินยังมีคุณสมบัติต้านทานต่อแบคทีเรีย นอกจากนี้เส้นลวดและสายเคเบิลที่ทำจาก Carbon nanotubes ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่าลวดทองแดง ยังถูกนำมาใช้ในเครื่องบินและดาวเทียม

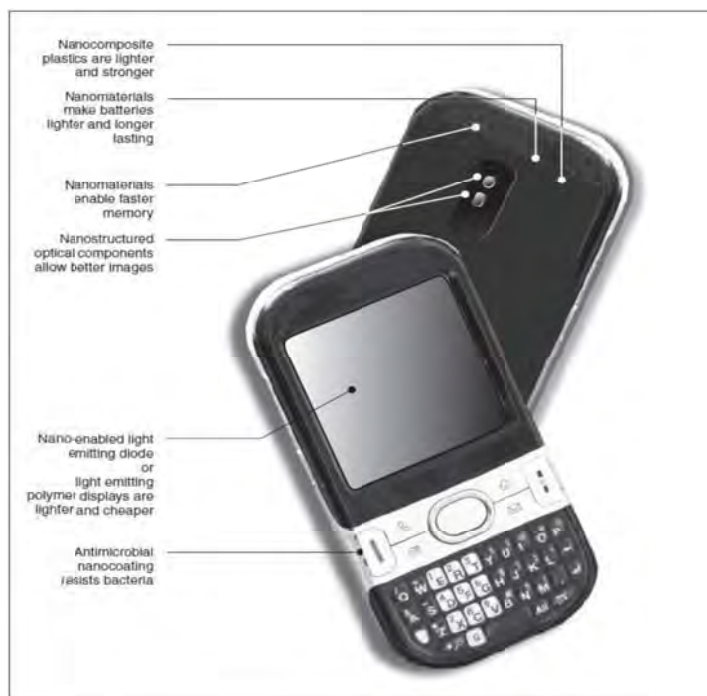
ในอนาคตนาโนเทคโนโลยีจะถูกนำมาใช้งานมากขึ้นในงานด้านทหาร เช่น ทำชุดพรางตัวที่สามารถเปลี่ยนสีให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ หรือระเบิดขนาดเล็กที่มีอนุภาพรุนแรงขึ้นที่ทำจากโลหะออกไซด์ผสมหรือชุดทหารที่ทำจาก Carbon nanotubes ที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง กันกระสุน และสารเคมี ในอนาคตจะมีการประยุกต์ใช้วัสดุคาร์บอนเป็นตัวเซ็นเซอร์ตรวจวัดการทำงานของร่างกายของทหารที่อยู่นาน และส่งข้อมูลให้กับแพทย์ที่อยู่ในเมืองเพื่อให้คำแนะนำในการรักษา

3.1.3 สินค้าอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

นาโนเทคโนโลยีกับงานด้านอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์มีให้เห็นในปัจจุบันเกี่ยวกับจอแสดงผลผลและการพัฒนาด้านการนำไฟฟ้า Carbon nanotube, Quantum Dot, Nanoscale Layer

ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในจอประมวลผล ทำให้ภาพที่ออกมาสว่างขึ้นและชัดเจนกว่าเดิม และยังสามารถโค้งงอได้เพราะมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น วัสดุนาโนยังถูกใช้มากในการเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับวัสดุเช่น metallic nanoparticles และ Carbon nanotubes ถูกใช้ในงานเคลือบเพื่อการนำไฟฟ้าเช่นในเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งมีการนำไฟฟ้าดีกว่าวัสดุแบบเก่าและมีราคาถูกลง นอกจากนี้วัสดุนาโนที่เป็นตัวประสานนำไฟฟ้าที่ปราศจากตะกั่วถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แทนตะกั่วบัดกรีแบบเดิมช่วยลดปริมาณตะกั่วบัดกรีที่เป็นพิษลงได้ 3,900 ตันต่อปีสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในสหรัฐอเมริกาตามการรายงานของ EPA

ในอนาคตนาโนเทคโนโลยีจะถูกนำมาใช้ในงานคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น การพัฒนาประสิทธิภาพการเก็บข้อมูล และการเก็บประจุที่นานขึ้นและมากขึ้นของแบตเตอรี่ที่ประจุไฟเข้าได้



รูปที่ 3.3 นวัตกรรมด้านนาโนเทคโนโลยีที่ใช้กับโทรศัพท์มือถือ

3.1.4 พลังงานและสิ่งแวดล้อม

วัสดุนาโนถูกใช้ในงานจัดการของเสีย ใช้เป็นวัสดุทดแทนแหล่งทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป ใช้ในงานลดมลพิษ รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กในระดับนาโนเมตรของวัสดุนาโนทำให้มีพื้นที่ผิวที่มากกว่าในการเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่ขนาดอนุภาคใหญ่กว่าซึ่งวัสดุนาโนนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นของวัสดุนาโนเซรามิก หรือโลหะ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วในการลดมลพิษที่ปนเปื้อนในดิน ในน้ำ และในอากาศ ตัวอย่างเช่น เหล็กขนาดนาโนเมตรถูกนำมาใช้ในโครงการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมซึ่งประสบผลสำเร็จมาแล้วจากการรายงานของ EPA ซึ่งเป็นโครงการฟื้นฟูโดยใช้คาร์บอนผสมกับเหล็กที่มีอนุภาค

ขนาดนาโนเมตรในการบำบัดสารปนเปื้อนในดินและพบว่า มีประสิทธิภาพในการเป็นสารดูดซับที่ดีกว่าการใช้คาร์บอนที่ไม่มีส่วนผสมของเหล็กขนาดนาโนเมตร นอกจากนี้วัสดุขนาดนาโนยังถูกใช้สำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากของเสีย โดยผลิตสารเคลือบกระดาษจากของเหลือจากแป้งธรรมชาติซึ่งสามารถทดแทนวัสดุเคลือบเดิมที่ทำจากปิโตรเลียม

วัสดุนาโนยังถูกใช้ในการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องยนต์ทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบ มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นและปล่อยมลพิษลดลง ส่วนงานด้านพลังงานวัสดุนาโนถูกนำมาใช้ในเทคโนโลยีฟิล์มบางและโฟโตโวลตาอิกสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งฟิล์มบางในระดับนาโนเมตรมีความสามารถในการดูดซับแสงได้ดีเนื่องจากโครงสร้างของวัสดุนาโนมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงทำให้วัสดุนาโนดูดซับแสงได้ดีและถ่ายเทพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในอนาคตนาโนเทคโนโลยีจะถูกนำมาใช้ผลิตพลังงานทางเลือก เช่น ไฮโดรเจน จากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้โฟโตอิเล็กโทรดทำจากวัสดุนาโนเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นไฮโดรเจนได้มากกว่าถึง 6 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า ในอนาคตอาจมีระบบกรองน้ำที่ราคาถูก ขนาดกระทัดรัดพกพาสะดวกสามารถใช้กรองน้ำเค็มให้เป็นน้ำจืดโดยอาศัยนาโนเทคโนโลยี ซึ่งตัวกรองจะมีขนาดความพรุนในระดับนาโนเมตรทำจากวัสดุหลายๆ ชนิด เช่น อะลูมิเนียมออกไซด์ เหล็ก ทอง และ Carbon nanotubes มีความสามารถให้โมเลกุลของน้ำผ่านได้แต่กรองโมเลกุลขนาดใหญ่ไว้ เช่น ไอออนของเกลือ โลหะหนัก แบคทีเรีย และไวรัส เป็นต้น นอกจากนี้อนุภาคนาโนยังใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงทนทานให้กับฉนวนของสายไฟฟ้าใต้ดิน และปรับปรุงคุณสมบัติของสายไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กให้สามารถนำไฟฟ้าในกำลังสูงขึ้นได้และมีอายุการใช้งานนานขึ้น และมีงานวิจัยที่พิสูจน์ว่า มัดของเส้นใย Carbon nanotubes สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าลวดตะกั่วถึง 100 เท่าโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน นอกจากนี้งานวิจัยอีกชิ้นได้ทำนายว่า ถ้าพลังงานที่สูญเสียไปในระหว่างการส่งกระแสไฟฟ้าจะลดลงได้จาก 7 เพอร์เซ็นต์ในปัจจุบันเป็น 6 เพอร์เซ็นต์เมื่อใช้เส้นใย Carbon nanotubes ถือเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาเท่ากับการใช้น้ำมันถึง 24 ล้านบาร์เรลต่อปี

3.1.5 อาหารและเกษตรกรรม

วัสดุนาโนถูกใช้เป็นส่วนประกอบในบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น Nanothin film สำหรับด้านทานแบคทีเรีย ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้บริโภค วัสดุผสมระหว่างในลอนและดินเหนียวมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ มีความยืดหยุ่นและทนต่อการรั่วซึม ถูกนำมาผลิตขวดเบียร์และขวดน้ำอัดลม และใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับห่อเนื้อสัตว์และเนยแข็งเพื่อจำหน่าย และยังเป็นสารเคลือบภายในกล่องเครื่องดื่มผลไม้ต่างๆ ด้วย นอกจากนั้นเชิยงหรือแผ่นรองตัดและภาชนะบรรจุอาหารก็อาศัยนาโนเทคโนโลยีของ nanosilver ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่ามีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย นอกจากนี้ nanocapsule ยังเป็นวิทยาการใหม่ที่ช่วยส่งผ่านสารอาหารหรือยาไปยังเป้าหมายได้โดยตรง ช่วยแก้ปัญหาการสลายตัวของวิตามินก่อนถึงระบบย่อยซึ่งจะทำให้ร่างกายดูดซึมวิตามินไม่เต็มที่ และยังมีการนำกรดไขมันที่มีประโยชน์ใส่ลงใน

nanocapsules ผสมลงไปในขนมปังเพื่อเพิ่มคุณค่าให้กับอาหารซึ่งอ้างว่าต่อมรับรสจะไม่สามารถรับรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ของกรดไขมันนี้ได้เนื่องจากถูกบรรจุอยู่ในแคปซูลและแคปซูลจะถูกละลายเมื่อถึงกระเพาะอาหารเท่านั้น

ในอนาคตอุตสาหกรรมวัสดุนาโนจะถูกใช้ในงานด้านเกษตรกรรม การตรวจติดตามคุณภาพ และ ความสดใหม่ของอาหาร สามารถปรับปรุงรสชาติ องค์ประกอบและไขมันในอาหารได้ นาโนเทคโนโลยีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้เนื่องจากสามารถควบคุมการออกฤทธิ์ของปุ๋ย และควบคุมการสลายตัวของยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืชได้ตามต้องการ และนักวิจัยได้พัฒนา nanobiosensor โดยใช้อนุภาคนาโนเมตรเพื่อตรวจวัดแบคทีเรียซาลโมเนลล่าในอาหารเหลว และงานวิจัยนี้นำไปสู่การพัฒนา nanosensor สำหรับตรวจวัดแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในพืชผลทางการเกษตร เช่น ผักขม มะเขือเทศ กะหล่ำปลี เพื่อช่วยลดการเจ็บป่วยเนื่องจากการบริโภคอาหารที่สกปรก นอกจากนี้หมึกนำไฟฟ้าที่มีส่วนผสมของวัสดุนาโนถูกนำมาปรี้นซ์ป้ายบอกราคาอาหารที่แสดงได้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในเรื่องความปลอดภัยของอาหารและทำให้ระบบการติดตามและจัดการดีขึ้น

รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้กับขวดเครื่องดื่ม



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้กับขวดเครื่องดื่ม

3.1.6 บ้านเรือนและการก่อสร้าง

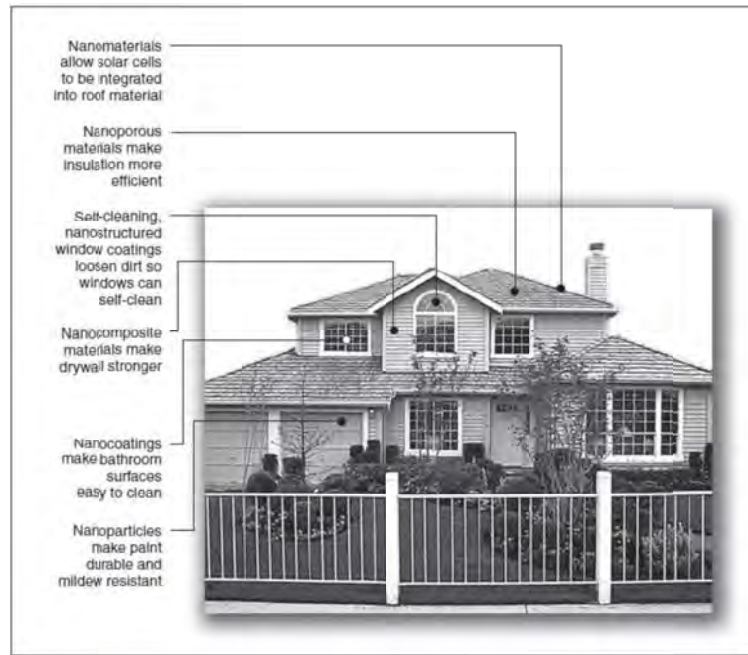
ปัจจุบันวัสดุและการเคลือบพื้นผิวของตึกหรือบ้านทำให้บ้านสะอาดและแข็งแรงขึ้น และในอนาคตจะทำให้การใช้พลังงานภายในบ้านมีประสิทธิภาพสูงขึ้น วัสดุเคลือบพื้นผิวที่มีส่วนผสมของไททาเนียมไดออกไซด์ถูกนำมาใช้ในการจัดการความร้อนและแสงโดยการป้องกันรังสียูวีจากดวงอาทิตย์และยังมีคุณสมบัติทำความสะอาดด้วยตัวเองได้โดยอาศัยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ไททาเนียมไดออกไซด์ถูกผสมลงในสีทาบ้าน ซีเมนต์ หน้าต่าง กระเบื้อง เพื่อให้มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่น

นอกจากนั้นไททาเนียมไดออกไซด์ยังมีคุณสมบัติที่เข้ากับน้ำได้ดีมากขึ้นเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี และคุณสมบัตินี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารเคลือบเพื่อป้องกันไอน้ำเกาะบนพื้นผิววัสดุและสามารถชะล้างได้ง่ายขึ้น วัสดุนาโนทำให้เกิดข้อดีกับวงการก่อสร้างหลายอย่างด้วยกัน เช่น ทำให้เหล็กมีความเหนียวมากขึ้น ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น มีรายงานว่าบริษัทซึ่งผลิตวัสดุนาโนซึ่งมีโครงสร้างอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 100 นาโนเมตร ซึ่งทางบริษัทอ้างว่าวัสดุนี้อัตราส่วนความแข็งแรงต่อความหนาแน่นมากกว่าไททาเนียมผสมที่มีความเหนียวมากที่สุดถึง 4 เท่าและยังทนต่อการกัดกร่อนได้ดีอีกด้วย ภายในผนังของอาคารฉนวนที่ทำจากวัสดุนาโนจะมีน้ำหนักเบาและมีความหนาไม่มากแต่สามารถกันความร้อนได้สูง นอกจากนี้วัสดุนาโนยังถูกใช้ในงานตรวจวัดคุณภาพอากาศ เครื่องฟอกอากาศ เครื่องปรับอากาศในบ้านพักอาศัย สถานที่ทำงานและโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ตัวกรองอากาศที่ทำจากวัสดุนาโนมีประสิทธิภาพในการกรองอากาศสูงกว่าวัสดุแบบเก่า

ในอนาคตอนุภาคนาโนจะถูกเคลือบบนหน้าต่างและผนังอาคารเพื่อกักเก็บพลังงานเพื่อนำพลังงานนั้นมาใช้งานต่อไป ซึ่งมีงานวิจัยที่ศึกษาการเปลี่ยนสถานะของวัสดุซึ่งสามารถดูดกลืนพลังงานและปล่อยพลังงานออกมาได้ เมื่อมีการผสม Graphite nanofiber ลงไป ซึ่งเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีราคาถูกลงนอกจากนั้น นอกจากนั้นวัสดุนาโนยังสามารถใช้เป็นตัวประสานรอยแตกรอยแยกบนพื้นผิวได้เองเมื่อเกิดรอยแตกมากขึ้นจนถึงขั้นที่เป็นตัวกักเก็บวัสดุประสาน สารที่ถูกกักเก็บอยู่จะถูกปล่อยออกมาเติมเต็มรอยแตกรอยแยกนั้น รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างนวัตกรรมของการก่อสร้างอาคารที่พักที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต

3.1.7 การแพทย์และยารักษาโรค

นาโนเทคโนโลยีมีความสำคัญอย่างมากในงานด้านการแพทย์และยารักษาโรค เพราะว่าวัสดุนาโนซึ่งมีขนาดเล็กเป็นพิเศษสามารถถูกส่งไปยังเซลล์แต่ละชนิดได้โดยตรงทำให้เกิดการรักษาได้ตรงจุด การบำบัดโรคได้ดีขึ้น และเป็นการป้องกันโรคมะเร็งและโรคภัยร้ายแรงอื่นๆ ได้ โดยอาศัย nanoscale sensor ในการตรวจหาสัญญาณบอกโรค เช่น การเปลี่ยนแปลงของยีนส์ ซึ่งจะทำให้เกิดการรักษาที่ทันทั่วทั้งที่ แพทย์ยังสามารถใช้วัสดุนาโนเป็นเครื่องมือในการตรวจหาเนื้องอกซึ่งอยู่ลึกในเนื้อเยื่อของมนุษย์ทำให้แพทย์ตรวจพบเนื้องอกได้รวดเร็วและรักษาได้ตรงจุด อนุภาคนาโนโพลีเมอร์ถูกใช้ในการบำบัดผู้ป่วยโรคมะเร็ง โดยส่งการรักษาไปยังก้อนมะเร็งได้โดยตรง Silver nanocrystals ถูกใช้ในการรักษาแผลที่มีโอกาสติดเชื้อได้ง่าย ซึ่ง



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างนวัตกรรมของนาโนเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน
และในอนาคตที่อาจถูกนำมาใช้ในที่พักอาศัย

มีคุณสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์และแบคทีเรีย ดังนั้นทำให้ลดจำนวนครั้งที่จ้องล้างแผลและเป็นการลดความเจ็บปวดให้กับผู้ป่วยอีกด้วย

ในอนาคตวัสดุนาโนจะช่วยให้การตรวจและการบำบัดโรคเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการตรวจหาอาการไวรัสนาโนจะช่วยบ่งบอกการปรากฏ ตำแหน่ง ขนาดและความลึกของการเกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจและสมอง และเนื้อเยื่อขนาดเล็กได้ มีงานวิจัยที่ใช้อนุภาคนาโนแบบโลหะและมีคุณสมบัติดึงดูดแบบแม่เหล็กในการสร้างภาพจำลองก่อนมะเร็งหรือเนื้องอก เพื่อเป็นข้อมูลในการรักษาโดยการผ่าตัด และตรวจติดตามประสิทธิภาพการรักษาแบบที่ไม่มีการผ่าตัดเพื่อดูการลดขนาดลงของก้อนมะเร็งหรือเนื้องอก ในอนาคตระบบ Sensor จะถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดสุขภาพโดยละเอียดและต่อเนื่อง Bio-sensor จะถูกรวมตัวกับยารักษาโรค มีกลไกตรวจวัดที่สามารถรายงานสุขภาพได้และสามารถนำยาเข้ารักษาที่จุดเกิดโรคได้ทันที นอกจากนี้ Gold nanoshells ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการวินิจฉัยภาพและทำลายเซลล์มะเร็งไปพร้อมๆ กันโดยอาศัยแสงอินฟราเรด nanoshells ถูกออกแบบมาให้ดูดซับแสงที่มีความถี่ต่างๆ กันและปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา เมื่อเซลล์มะเร็งกิน nanoshells เข้าไป นักวิทยาศาสตร์จะฉายรังสีที่ความถี่ใกล้เคียงอินฟราเรดทำให้เกิดความร้อนขึ้นและทำลายเซลล์มะเร็งโดยไม่ทำลายเซลล์ข้างเคียง การรักษาด้วยวิธีนี้ช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดมะเร็งและลดผลข้างเคียงจากเคมีบำบัดได้ด้วย นอกจากนี้ยังมีการวิจัยที่ศึกษาวัสดุนาโนที่ช่วยให้การรักษาแผลไฟไหม้ โดยใช้ nanofiber mesh scaffold เป็นโครงให้เนื้อเยื่อเกาะและเจริญเติบโต ทำให้แผลปิดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นงานวิจัยในสัตว์ทดลองและศึกษาการรักษากระดูก เส้นประสาท กระดูกอ่อน และกล้ามเนื้อที่เสียหายซึ่งพิสูจน์ว่าให้การรักษาได้ดี นอกจากนั้น nanofiber ยังถูกพัฒนาเพื่อใช้ในการห้ามเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.8 ของใช้ส่วนตัว เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์อื่นๆ

วัสดุนาโนถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนตัวและเครื่องสำอางหลายประเภท ผลิตภัณฑ์เหล่านี้รวมถึงครีมกันแดดซึ่งมีนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ซึ่งทำหน้าที่ปกป้องผิวจากแสงอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากวัสดุนาโนนี้มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงทำให้ครีมกันแดดนี้มีลักษณะโปร่งแสง และยังเกาะติดผิวได้ดีขึ้นอีกด้วยเมื่อทาครีมกันแดดนี้ วัสดุนาโนยังถูกนำมาผสมในเครื่องสำอางค์ เช่นถูกใช้ในครีมลดริ้วรอยที่มีส่วนผสมของวัสดุนาโนที่สามารถแทรกซึมลงลึกสู่ชั้นผิวหนังเพื่อทำหน้าที่ได้เต็มที่ วัสดุนาโนยังถูกใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น Carbon nanotubes ถูกใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้อุปกรณ์กีฬา เช่น โครงรถจักรยาน โครงไม้เทนนิส ไม้เบสบอล ไม้ฮอกกี้ เนื่องจากเมื่ออุปกรณ์เหล่านี้ทำขึ้นด้วย Carbon nanotubes จะทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้นและมีน้ำหนักลดลงแต่ยังให้กำลังในการตีที่เพิ่มขึ้น วัสดุนาโนถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเคลือบลูกเทนนิสเพื่อลดการซึมผ่านของอากาศทำให้ลูกเทนนิสรักษาความดันภายในไว้ได้นานขึ้น วัสดุนาโนถูกนำมาเคลือบเส้นใยและเสื้อผ้าซึ่งวัสดุนาโนสามารถเก็บกักอากาศไว้ได้ทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกเย็นสบาย และซิลเวอร์นาโนถูกผสมลงในเส้นใยที่ถักเป็นรองเท้าเพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ในอนาคตวัสดุนาโนที่ไวต่อแสงจะถูกผสมลงในเส้นใยเสื้อผ้าซึ่งจะถูกผลิตเป็นเสื้อผ้าที่สามารถกำเนิดพลังงานไฟฟ้าได้เมื่อสัมผัสกับแสง และซิลเวอร์นาโนจะถูกผสมลงในใยผ้าเพื่อใช้ในการรักษาผิว และเสื้อผ้าที่มีวัสดุนาโนผสมอยู่จะสามารถลดรอยขีดข่วนบนผิวผ้าได้และยังสามารถช่วยลดสีของไวน์ที่หกลงบนผ้าได้ด้วย

3.2 ความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยีและผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

เมื่อกล่าวถึงนาโนเทคโนโลยีคนส่วนใหญ่จะนึกถึงแต่ประโยชน์ของนาโนเทคโนโลยีเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่อาศัยคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนาโนมาประยุกต์เข้ากับผลิตภัณฑ์ต่างๆ เป็นการพัฒนาและเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ แต่ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มเล็งเห็นถึงโทษของวัสดุนาโน หรือ นาโนเทคโนโลยี และมีหลายงานวิจัยได้ศึกษาข้อมูลคุณลักษณะ การเคลื่อนที่ และความเป็นพิษของวัสดุนาโน (Morgan, 2005; Holsapple et al., 2005; Balshaw et al., 2005; Tsuji et al., 2006; Borm et al., 2006; Powers et al., 2006; Thomas and Sayre, 2005) ซึ่งความเสี่ยงของนาโนเทคโนโลยีต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจะขึ้นอยู่กับความเป็นพิษของวัสดุนาโนเองและการได้รับวัสดุนาโนและปัจจุบันความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงของนาโนเทคโนโลยียังถูกจำกัด

3.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเป็นพิษของวัสดุนาโน

ความเป็นพิษของวัสดุนาโนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนาโนเอง ซึ่งประกอบด้วย ขนาด รูปร่าง พื้นผิว และความสามารถในการทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น คุณสมบัติของวัสดุนาโนจะแตกต่างกับคุณสมบัติของวัสดุขนาดปกติที่มีองค์ประกอบเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่นทองซึ่งมีขนาดอนุภาคปกติจะเป็นโลหะสีเหลืองซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น แต่สำหรับทองอนุภาคนาโนเมตรสามารถมีสีได้ตั้งแต่สีแดงจนถึงสีดำและเกิดเป็นวัสดุที่เกิดปฏิกิริยาได้ดี เป็นต้น

3.2.1.1 ขนาดของวัสดุนาโน

ได้มีงานวิจัยที่ประเมินความเป็นพิษของอนุภาคนาโนขนาดต่างๆ พบว่า วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร จะมีความเป็นพิษสูงกว่าและสามารถทำให้เกิดการอักเสบได้รุนแรงกว่าวัสดุที่มีองค์ประกอบเดียวกันแต่มีขนาดใหญ่กว่า (Oberdörster et al., 1994; Li et al., 1999; Höhr et al., 2002) และบางงานวิจัยพบว่า วัสดุนาโน เช่น carbon nanotubes หรือนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ โดยที่วัสดุเหล่านี้มีขนาดเล็กมากซึ่งสามารถแทรกซึมผ่านผนังเซลล์ได้ และทำให้เกิดอันตรายได้ เช่นสามารถเคลื่อนที่เข้าไปได้ลึกสู่เนื้อเยื่อปอด และวัสดุนาโนบางประเภทสามารถแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายๆ ทางด้วยกัน

3.2.1.2 รูปร่างของวัสดุนาโน

วัสดุนาโนถูกผลิตขึ้นให้มีรูปร่างต่างกันออกไป เช่น เป็นทรงกลม เป็นท่อ เป็นเส้น และเป็นแผ่น หรือบางครั้งเป็นรูปทรงแปลกๆ เช่น เป็นรูปดัมเบล ความเสี่ยงของวัสดุนาโนจะเชื่อมโยงกับรูปร่างของวัสดุนาโนเอง เช่น Carbon nanotubes บางประเภทจะมีคุณสมบัติเหมือนใยหิน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อสูดเอาใยหินเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับปอด ดังนั้นจึงมีประเด็นที่นักวิจัยต้องค้นหาคำตอบว่า carbon nanotubes จะทำให้เกิดโรคเช่นเดียวกันกับใยหินหรือไม่

3.2.1.3 พื้นที่ผิวของวัสดุนาโนและการเกิดปฏิกิริยา

วัสดุนาโนเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กมากทำให้มีพื้นที่ผิวมากเมื่อเทียบกับวัสดุขนาดปกติที่มีน้ำหนักเท่ากัน พื้นที่ผิวที่มากนี้ทำให้วัสดุนาโนสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว บางงานวิจัยพบว่า วัสดุนาโนบางประเภทที่มีพื้นที่ผิวที่มากสามารถระเบิดได้หรือเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับแสงแดด บางงานวิจัยเสนอว่า พื้นที่ผิวของวัสดุเป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถใช้ทำนายความเป็นพิษของวัสดุได้ดีกว่าน้ำหนักของวัสดุ

3.2.2 วิธีการได้รับและขนาดของการได้รับวัสดุนาโนที่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายมนุษย์สามารถเกิดขึ้นได้จาก 3 ทางหลักๆ ได้แก่ การหายใจ การรับประทาน และการแทรกซึมผ่านทางผิวหนัง

3.2.2.1 ทางการหายใจ

การได้รับวัสดุนาโนผ่านการหายใจเป็นเส้นทางปกติสำหรับวัสดุนาโนที่สามารถแพร่กระจายได้ดีในอากาศที่จะเข้าสู่ร่างกาย ผู้ที่ทำงานกับวัสดุนาโนอาจหายใจเอาวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายในขณะที่กำลังผลิตวัสดุนาโนนั้นถ้าผู้ทำงานไม่สวมหน้ากากป้องกันที่เหมาะสม ผู้ที่ใช้วัสดุนาโนอาจหายใจเอาวัสดุนาโนเข้าไปขณะใช้สินค้าที่มีวัสดุนาโนเป็นส่วนประกอบ เช่น โลชั่นกันแดดชนิดสเปรย์ที่มีส่วนผสมของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น และมีรายงานว่าแม้ว่าการหายใจเอาวัสดุนาโนเข้าไปจะทำให้เกิดโรคที่ปอดเป็นส่วนใหญ่แต่จากการศึกษาในสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า วัสดุนาโนที่หายใจเข้าไปอาจเข้าสู่ระบบประสาทของจมูกไปยังสมอง เข้าสู่ระบบเลือด ระบบประสาท และอวัยวะอื่นๆ ได้ และยังมีตัวอย่างงานวิจัย

ที่ศึกษาการกระจายของ a single-walled carbon nanotube (SWCNT) ในรูปของแอโรซอลในห้องปฏิบัติการพบว่า การกวนผสมที่แรงเกินไปสามารถทำให้มีการปลดปล่อยอนุภาคขนาดเล็กเข้าสู่อากาศได้ (Maynard et al., 2004)

3.2.2.2 ทางกรรรับรประรทรร

การได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายจากการรับประรทรรอาจเกิดจากทั้งที่ตั้งใจและไม่ได้ตั้งใจ ซึ่งการรับประรทรรเอาวัสดุนาโนเข้าไปอาจมีสาเหตุมาจากการได้รับวัสดุนาโนโดยการหายใจและบางส่วนก็ถูกกลืนเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร เมื่อรับประรทรรเอาวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายแล้ววัสดุนาโนส่วนใหญ่จะถูกลำเลียงออกจากร่างกายแต่ก็มึงานวิจัยพบว่า บางส่วนของวัสดุนาโนยังแทรกซึมอยู่กับอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งการตกค้างของวัสดุนาโนที่อยู่ตามอวัยวะของร่างกายนั้นปัจจุบันยังไม่ทราบผลกระทบที่ชัดเจน แต่ก็ยังมีความวิตกกังวลอยู่กับประเด็นนี้จากหลักฐานที่พบว่าวัสดุนาโนสามารถแทรกผ่านผนังเซลล์ได้

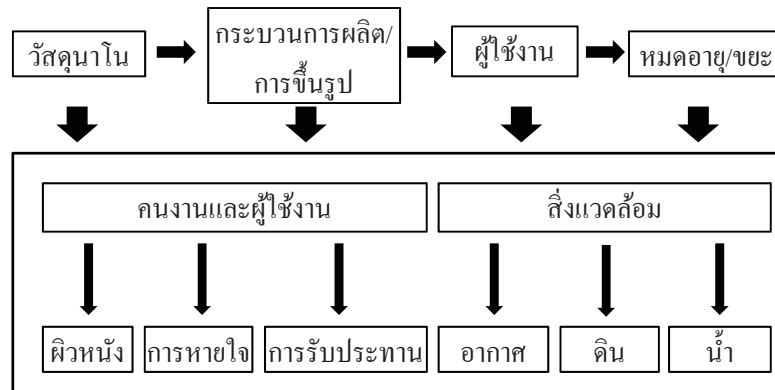
3.2.2.3 ทางผิวนนั

วัสดุนาโนสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังได้ มีรายงานการวิจัยพบว่า วัสดุนาโนสามารถซึมผ่านชั้นหนังหุ้มได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากที่สัมผัส นอกจากนั้นเครื่องสำอางและโลชันกันแดดที่มีส่วนผสมของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งเชื่อว่าเป็นพิษและมีคุณสมบัติช่วยป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งได้เกิดกระแสวิกฤตกังวลว่านาโนไททาเนียมไดออกไซด์จะแทรกซึมผ่านผิวหนังที่เสียหาย ซึ่งก็มีการศึกษาวิจัยเชิงลึกพบว่ามีเพียงบางส่วนของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เท่านั้นที่ซึมผ่านผิวหนังได้

นอกจากเส้นทางการได้รับวัสดุนาโนแล้ว ขนาดของการได้รับวัสดุนาโนยังมึผลทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ต่างกัน ซึ่งขนาดการได้รับรวมถึงความถี่ของการได้รับและปริมาณที่ได้รับด้วย ผู้ที่ทำงานกับวัสดุนาโนจะได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายในขณะที่ทำการผลิตหรือใช้สินค้าที่มีวัสดุนาโนผสมอยู่ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลเพียงพอเกี่ยวกับจำนวนคนงานที่ประสบปัญหาสุขภาพที่เกิดจากวัสดุนาโนตามการรายงานของ European Agency for Safety and Health at Work และในปัจจุบันมึผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับวัสดุนาโนออกสู่ท้องตลาดมากขึ้นและมีการใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้เพิ่มมากขึ้นทำให้ผู้อุปโภคบริโภคมีโอกาสในการได้รับวัสดุนาโนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น ผู้ที่ใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องซักผ้าที่ใช้เทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนเมื่อซักเสื้อผ้าแล้ว เสื้อผ้านั้นก็ได้สัมผัสกับซิลเวอร์นาโนทำให้ผู้สวมใส่มึโอกาสสัมผัสซิลเวอร์นาโนไปด้วย ซึ่งคล้ายกับผู้ใช้ถุงเท้าที่มีส่วนผสมของซิลเวอร์นาโนเพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย EPA รายงานว่า ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนโดยตรงเช่น ผู้ที่ทำการผลิตวัสดุนาโน เป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงกว่าที่จะได้รับวัสดุนาโนเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มผู้ใช้สินค้า

นอกจากมนุษย์แล้ว สิ่งแวดล้อมยังถูกปนเปื้อนวัสดุนาโนจากการแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำ ดิน และอากาศ ในระหว่างการผลิต การใช้ หรือการกำจัดทิ้ง เช่น วัสดุนาโนอาจแพร่ลงสู่แหล่งน้ำจากน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตวัสดุนาโน นอกจากนั้นเมื่อวัสดุนาโนถูกใช้ในเครื่องสำอางและโลชันกันแดด วัสดุนาโนเหล่านี้อาจถูกชะลงสู่ระบบระบายน้ำและลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียได้เมื่อมนุษย์ทำการซักล้าง ชำระล้างร่างกาย หรือเมื่อว่ายน้ำในสระ ซึ่งวัสดุนาโนเหล่านี้มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียและถ้ามีปริมาณมากพอก็จะไปรบกวนการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียได้ นอกจากนั้นเครื่องสำอางที่มี

ส่วนผสมของวัสดุนาโนที่หมดอายุแล้วยังต้องทิ้งทำให้เกิดของเสียที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป อาจจะต้องผ่านกระบวนการเผาทำให้วัสดุนาโนมีโอกาสแพร่กระจายออกสู่อากาศ หรือต้องนำเถ้าจากการเผาเข้าสู่หลุมฝังกลบ ก็มีโอกาที่วัสดุนาโนจะปนเปื้อนในดินและในน้ำได้ และในปัจจุบันวัสดุนาโน เช่น อนุภาคเหล็กนาโน ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อน เช่น น้ำบาดาลปนเปื้อน ทำให้วัสดุนาโนมีโอกาสแพร่สู่สิ่งแวดล้อมได้ รูปที่ 3.6 แสดงเส้นทางที่วัสดุนาโนจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์หรือปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมตามวัฏจักรชีวิตของวัสดุนาโน

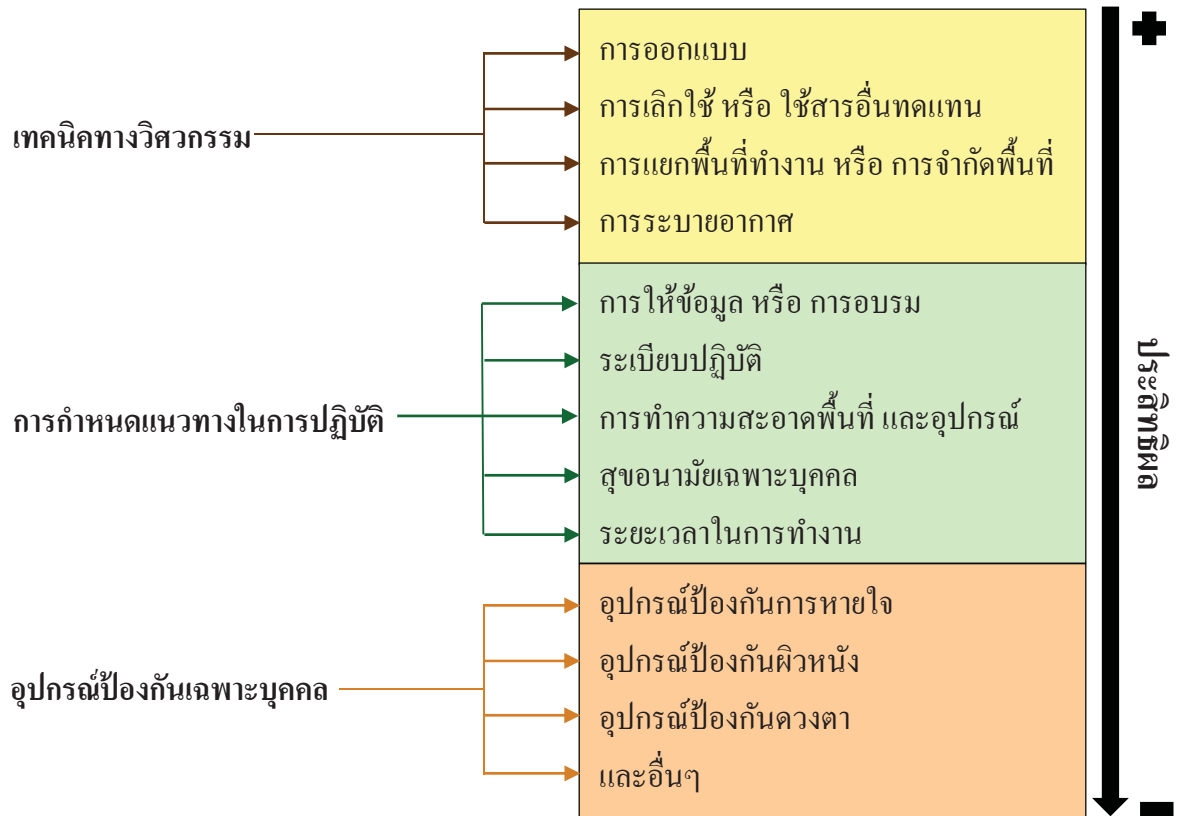


รูปที่ 3.6 แสดงเส้นทางที่วัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกาย และสู่สิ่งแวดล้อมตามวัฏจักรชีวิตของวัสดุนาโน

ปัจจุบันเป็นเรื่องที่ยากที่จะทราบถึงความเสี่ยงของวัสดุนาโนที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมเนื่องจากความหลากหลายของวัสดุนาโนและความยากในการระบุถึงการปรากฏของวัสดุนาโนในสิ่งแวดล้อมว่าวัสดุนาโนนั้นแขวนลอยอยู่ หรือรวมตัวกันเป็นก้อน หรือละลายอยู่ หรือทำปฏิกิริยากับสารที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม

3.2.3 การควบคุมความเสี่ยงจากวัสดุนาโน

ในปี 2009 ได้มีการตีพิมพ์แนวทางปฏิบัติที่ปลอดภัยเมื่อทำงานกับอนุภาคนาโนโดยกลุ่มวิจัยของ Ostiguy และคณะ ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดการความเสี่ยงชนิดต่างๆ รวมถึงการวิเคราะห์และควบคุมความเสี่ยงชนิดต่างๆ ซึ่งพิจารณาความเสี่ยงในรูปของความเป็นพิษ เพลิงไหม้ การระเบิด และระดับการได้รับสัมผัสของผู้ที่ทำงานกับอนุภาคนาโน ซึ่งการประเมินความเสี่ยงเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จำเป็นในการเลือกระดับการควบคุมที่จะต้องปฏิบัติเพื่อควบคุมการแพร่กระจายของอนุภาคนาโนและป้องกันสารพิษที่จะส่งผลกระทบต่ออวัยวะต่างๆ ของผู้ปฏิบัติงานกับอนุภาคนาโน อย่างไรก็ตามในกรณีที่ไม่ทราบถึงความเป็นพิษและพฤติกรรมของอนุภาคนาโนที่แพร่กระจายอยู่ในบรรยากาศ และยังไม่มีการระบุมาตรฐานการจัดการเฉพาะสำหรับอนุภาคนาโนนั้น การควบคุมที่เข้มงวดควรถูกนำมาใช้เพื่อที่จะลดความเสี่ยงที่อนุภาคนาโนจะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและสัมผัสกับผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งการควบคุมที่ดีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงลำดับความสำคัญในการควบคุมความเสี่ยงเมื่อทำงานกับอนุภาคนาโน

จากรูปที่ 3.7 การควบคุมความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นของอนุภาคนาโนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การควบคุมโดยอาศัยเทคนิคด้านวิศวกรรม เช่น การออกแบบ การใช้วัสดุทดแทน การเก็บกัก และการระบายอากาศ เป็นต้น การควบคุมที่มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นด้านการฝึกอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับอนุภาคนาโน และมีขั้นตอนการทำงานกับวัสดุนาโนอย่างเหมาะสมปลอดภัย การบำรุงรักษาอุปกรณ์และสถานที่ทำงานให้สะอาด รวมถึงระยะเวลาที่เหมาะสมที่ผู้ปฏิบัติงานจะสามารถทำงานกับวัสดุนาโน เป็นต้น และสุดท้ายคือการควบคุมโดยใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น อุปกรณ์ช่วยหายใจ เสื้อกราว์ ถุงมือ และแว่นตา เป็นต้น

3.2.3.4 การป้องกันส่วนบุคคล

- การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนโดยการหายใจเข้าไป (Respiratory protection)

ในสถานการณ์ที่จำเป็นต้องสวมใส่เครื่องป้องกันระบบทางเดินหายใจ Quebec Regulation ในปี 2007 จะคำนึงถึงความปลอดภัยต่อสุขภาพจากการประกอบอาชีพ โดยบังคับให้พัฒนาและดำเนินการโปรแกรมการป้องกันระบบทางเดินหายใจ ซึ่งจากงานของ Lara และคณะ ในปี 2010 กล่าวว่า องค์ประกอบหลักของโปรแกรมการป้องกันระบบทางเดินหายใจประกอบด้วย

1. การฝึกอบรมส่วนบุคคลให้เข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยง ระดับการป้องกัน การบำรุงรักษาและเก็บอุปกรณ์ช่วยหายใจ การใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจที่ถูกต้องตามคำแนะนำของผู้ผลิต

2. มีการทดสอบความเหมาะสมของผู้สวมใส่อุปกรณ์
3. มีการควบคุมทางด้านสิ่งแวดล้อม
4. มีการระบุขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์ การใช้อุปกรณ์ การฝึกอบรม และการจัดการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับกิจกรรมต่างๆ เกี่ยวกับการทำงานกับวัสดุนาโน

ด้วยความหลากหลายของระดับการป้องกันทางเดินหายใจ ทำให้มีอุปกรณ์ป้องกันเกิดขึ้นมาจำนวนมากซึ่งมีความสามารถในการป้องกันการหายใจเอาวัสดุนาโนเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ต่างกัน ดังนั้นผู้ใช้งานต้องใช้งานอย่างถูกต้องและเหมาะสม ตารางที่ 3.2 แสดงถึง assigned protection factors (APF) อุปกรณ์ช่วยหายใจหลายชนิดที่เสนอโดย OSHA (USACHPPM, 2006) อย่างไรก็ตามต้องคำนึงอยู่เสมอว่าข้อจำกัดของอุปกรณ์ช่วยหายใจอยู่ที่รอยต่อระหว่างหน้ากากช่วยหายใจกับผิวหนังของมนุษย์ซึ่งจุดนี้เป็นสิ่งสำคัญมาก การสวมใส่ที่ไม่เหมาะสม หรือไม่กระชับ และการไม่บำรุงรักษาอุปกรณ์อย่างถูกต้อง เป็นปัจจัยที่สำคัญมากกว่าประสิทธิภาพของตัวกรองที่อยู่ในอุปกรณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแยกแยะความแปรปรวนที่สำคัญที่พบเสมอระหว่าง protection factor (PF) กับ assigned protection factors (APF) Grinshpun และคณะในปี 2009 ได้ศึกษาอนุภาคนาโนขนาด 30 ถึง 1000 นาโนเมตรในการแทรกผ่านอุปกรณ์ช่วยหายใจ โดยเปรียบเทียบการเข้าสู่ร่างกายของอนุภาคนาโน และพบว่าส่วนมากแล้วอนุภาค นาโนจะแทรกผ่านรอยต่อระหว่างหน้ากากป้องกันกับผิวหนังของผู้ใช้เข้าสู่ร่างกายได้มากกว่าที่จะแทรกผ่านตัวกรองของอุปกรณ์เข้าสู่ร่างกาย

- การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนผ่านทางผิวหนัง (Cutaneous protection)

การพัฒนาความรู้ใหม่เกี่ยวกับการทำงานในอุตสาหกรรมทำให้เพิ่มความตระหนักที่สำคัญเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงต่อการสัมผัสกับอนุภาคนาโนทางผิวหนัง โดยธรรมชาติของอุตสาหกรรมการสังเคราะห์อนุภาคนาโนแล้วจะมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงที่จะเกิดการสัมผัสกับผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานในระหว่างกระบวนการผลิต การจัดการ และการใช้งาน หรือเกิดการปนเปื้อนในระหว่างการบำรุงรักษาซ่อมแซมอุปกรณ์ การนำกลับซึ่งวัสดุนาโน การบรรจุหีบห่อ การบำรุงรักษาสถานที่ทำงานและอุปกรณ์โดยทั่วๆ ไปล้วนมีโอกาสที่วัสดุนาโนจะสัมผัสกับผิวหนังของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งอนุภาคนาโนสามารถแทรกซึมเข้าสัมผัสกับผิวหนังได้หลายทาง เช่น การแทรกผ่านตะเข็บ แทรกผ่านซิป หรือแทรกผ่านข้อมือเสื้อของผู้ปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามการบำรุงรักษาที่ถูกต้องของอุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสกับผิวหนังก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา โดยการสวมชุดป้องกันที่รัดกุมตั้งแต่หัวจรดเท้าเป็นแนวทางป้องกันที่ดี และการสวมถุงมือป้องกันซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันสารเคมี การตัด การแทรกซึมก็เป็นแนวทางปฏิบัติที่ดีเช่นกัน การเลือกใช้ถุงมือจะต้องคำนึงถึงความเสี่ยงและสภาพการใช้งาน โปรแกรมการป้องกันการสัมผัสทางผิวหนังก็ต้องดำเนินการเช่นเดียวกันกับโปรแกรมการป้องกันระบบทางเดินหายใจ ซึ่งรวมถึงลักษณะการปฏิบัติงาน การได้รับสัมผัส การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกัน การฝึกอบรมให้กับผู้ใช้ และผู้ควบคุมงาน วิธีการบำรุงรักษาและวิธีการกำจัดที่ปลอดภัย

ตารางที่ 3.2 แสดงเปรียบเทียบค่า assigned protection factors (APF) ของอุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดต่างๆ

Type of respirator	OSHA29CFR 1910.134 (2006)	NIOSH (2004)	ANSI Z88.2 (1992) ^c	ANSI Z88.2 (working document)
Air-purifying respirator – quarter mask	5	5	10	5
Air-purifying respirator – filter	10	10	10	5
Air-purifying respirator – adjusted half-facepiece	10	10	10	10
Air-purifying respirator – adjusted full facepiece (if filter ≠ N-P-R 100)	50	10	100	50 ^d
Air-purifying respirator – adjusted full facepiece (if filter = N-P-R 100)	50	50	100	50 ^d
Powered air-purifying respirator – adjusted half-facepiece	50	50	50	50
Powered air-purifying respirator – adjusted full facepiece	1000	50	1000 ^b	1000
Powered air-purifying respirator – helmet	25/1000 ^a	25	1000 ^b	1000
Powered air-purifying respirator – loose-fitting facepiece	25	25	25	25
Supplied-air respirator (SAR)– on demand - half-mask	10	10	10	---
Supplied-air respirator (SAR)– on demand - full mask	50	50	100	---
Supplied-air respirator (SAR)– continuous flow - half-mask	50	50	50	250
Supplied-air respirator (SAR)– continuous flow – full mask	1000	50	1000	1000
Supplied-air respirator (SAR)– continuous flow – helmet	25/1000 ^a	25	1000	1000
Supplied-air respirator (SAR)– continuous flow – ?????	25	25	25	25
Positive pressure SCBA with supplied air-line – half-mask	50	1000	50	250
Positive pressure SCBA with supplied air-line– full mask	1000	2000	1000	1000
Demand open circuit SCBA – half-mask	10	---	10	---
Demand open circuit SCBA – full mask	50	50	100	---
Demand open circuit SCBA – helmet	50	---	---	---
Positive pressure SCBA*– full mask	10,000	10,000	10,000 ^c	10,000 ^c
Positive pressure SCBA*– mask	10,000	--	---	10,000 ^c
Combined air-line SCBA with auxiliary positive pressure open-circuit full mask	10,000	---	---	10,000 ^c

SAR: Supplied-air respirator

*: Positive-pressure SCBA often identified as SCBA (Self Contained Breathing Apparatus).

a: The employer must obtain certification from the manufacturer that the device has a protection level of 1000 or more.

b: For HEPA filter if used for protection against particles; if non-HEPA filter, APF = 100.

c: For emergency only.

d: With quantitative fit test (QNFT), or else APF = 10 with qualitative fit test (QFT).

e: Repealed in 2003.

- การป้องกันการวัดสุมนานเข้าตา (Ocular protection)

สำหรับการป้องกันการวัดสุมนานเข้าตานี้ควรควบคุมโดยการสวมแว่นตาป้องกันที่มีมิดชิด โดยต้องเป็นชนิดที่ป้องกันการแตกและปลอดภัยต่อดวงตา และบางบริษัทมีการห้ามสวมคอนแทคเลนส์ในขณะที่ปฏิบัติงานกับวัดสุมนาน (ICON, 2006) การใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจแบบเต็มหน้าจะช่วยป้องกันการได้รับวัดสุมนานเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการหายใจและการเข้าสู่ดวงตาในเวลาเดียวกันและมีความเป็นไปได้ที่ผู้ปฏิบัติงานจะสามารถสวมคอนแทคเลนส์ได้

- การป้องกันการได้รับวัดสุมนานโดยการรับประทานเข้าไป (Ingestion prevention)

เป็นที่ทราบดีว่าการรับประทานในห้องปฏิบัติการจะทำให้วัดสุมนานเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารได้เนื่องจากว่าวัดสุมนานมีโอกาสปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเรา และสามารถปนเปื้อนกับอาหารได้หรือส่งถ่ายจากมือผู้ปฏิบัติงานไปเข้าสู่ปากได้โดยตรง ดังนั้น แนวทางการป้องกันการวัดสุมนานเข้าสู่ร่างกายคือไม่รับประทานอาหารและเครื่องดื่มทุกชนิดขณะทำงาน

3.2.3.2 การป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ และการระเบิด

- การป้องกันการเกิดเพลิงไหม้

ในการป้องกันการเกิดเพลิงไหม้สิ่งที่สำคัญเป็นอันดับแรกคือการระบุคุณสมบัติที่เป็นอันตรายของผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มจะเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งข้อมูลผลิตภัณฑ์เหล่านี้สามารถหาได้จาก Material Safety Data Sheets (MSDS) ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ อีกทั้งยังจำเป็นต้องทราบถึงวิธีในการเก็บรักษาและการใช้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งรวมถึงอุณหภูมิ ปริมาณ ชนิด ภาชนะบรรจุที่เหมาะสม การระบายอากาศ การแยกเก็บผลิตภัณฑ์ ระบบแสงสว่าง วัสดุก่อสร้างอาคารเก็บสารเคมี เป็นต้น สภาพสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นที่ในการจัดเก็บสารเคมีเหล่านั้นเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานที่จะต้องทราบ รวมถึงปริมาณที่ใช้ ขั้นตอนขนถ่าย และเก็บกัก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ในการประเมินแหล่งที่มีโอกาสที่จะเกิดเพลิงไหม้ได้สูง ตัวอย่างสภาพแวดล้อมเบื้องต้น ได้แก่ อุณหภูมิ (แหล่งความร้อน) ไฟฟ้า (การสปาร์ค และการปล่อยความร้อนออกมา) ไฟฟ้าสถิตย์ (การสปาร์ค) เครื่องกล (แหล่งความร้อน) สภาพบรรยากาศ (ความส่องสว่างและแสงอาทิตย์) สารเคมี (ปฏิกิริยาที่ปลดปล่อยความร้อน)

การบำรุงรักษาอุปกรณ์และระบบสามารถป้องกันการความร้อนและการสปาร์คซึ่งเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ ซึ่งการวิเคราะห์สภาพของอุปกรณ์ที่ชำรุดนำไปสู่การประเมินโอกาสของแหล่งกำเนิดเพลิงไหม้ได้

การป้องกันเพลิงไหม้มีอยู่ด้วยกันหลายระดับ ที่สำคัญที่สุดต้องหลีกเลี่ยงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น แต่ถ้าเป็นไปได้ก็ต้องมีวิธีในการควบคุมที่เหมาะสม การแทนที่ผลิตภัณฑ์ที่ติดไฟเร็วและเป็นเชื้อเพลิงที่ดีด้วยผลิตภัณฑ์ที่ลุกไหม้ได้ช้าจะสามารถป้องกันการลุกลามของเพลิงไหม้ได้ ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนควรควบคุมให้อยู่ในระดับต่ำโดยการแทนที่ด้วยก๊าซเฉื่อย แต่ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องที่จะต้องลงไปทำงานในห้องทำงานที่มีออกซิเจนน้อย ข้อห้ามต่างๆ สำหรับความปลอดภัยเป็นสิ่งจำเป็น และควรการวิเคราะห์กิจกรรมต่างๆ เพื่อที่จะระบุสถานที่ที่จะเป็นต้นเพลิงและความเสี่ยงอื่นๆ ที่ตามมา เมื่อระบุแหล่งที่อาจเป็นต้นกำเนิดของเพลิงไหม้ได้ สิ่งที่สำคัญไม่ได้คือ การติดตั้งอุปกรณ์ระงับ

เหตุเพื่อลดความสูญเสียต่างๆ เช่น การติดตั้งเครื่องลดอุณหภูมิสำหรับแหล่งความร้อน หาวิธีการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด หรือติดตั้งตัวตรวจจับ ตัวตรวจติดตามการบำรุงรักษา และการตรวจสอบเครื่องจักรกลและระบบท่อ และควรมีขั้นตอนการใช้งานอุปกรณ์ที่ถูกต้องเพื่อความปลอดภัย

- การป้องกันการระเบิด

การระเบิดจะมีความรุนแรงสูงและสามารถทำอันตรายให้กับผู้ทำงานและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ได้ การลดความเสี่ยงจากการระเบิดสามารถทำได้หลายทางด้วยกัน เช่น การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงาน การเลือกใช้วัสดุที่ไม่เกิดปฏิกิริยาที่จะทำให้เกิดการระเบิดได้ง่าย หรือแม้กระทั่งการลดจำนวนคนที่ทำงานกับวัสดุที่สามารถระเบิดได้ เป็นต้น สิ่งที่สำคัญและจำเป็นต้องทราบเพื่อทำให้การลดความเสี่ยงมีประสิทธิภาพคือ คุณสมบัติของอนุภาคนาโน (ขนาดอนุภาค ส่วนประกอบ สถานะ พลังงาน กระตุ้นขั้นต่ำ เป็นต้น) และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (อุณหภูมิ และอากาศโดยรอบ เป็นต้น) ส่วนประกอบของอนุภาคมีความสำคัญที่จะต้องใส่ใจเนื่องจากว่าบางส่วนประกอบอาจเป็นตัวทำละลายหรือสารที่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานกระตุ้นได้ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการระเบิดได้มากขึ้น การลดโอกาสในการระเบิดสามารถทำได้โดยควบคุมปัจจัยสามอย่างที่ก่อให้เกิดการระเบิดคือ ออกซิเจน วัสดุที่สามารถลุกติดไฟได้ และแหล่งกำเนิดประกายไฟ (ซึ่งหมายถึงเปลวไฟ ความร้อน หรือแรงเสียดทาน เป็นต้น) Dinyer *et al.* (2005) แนะนำว่าการป้องกันการระเบิดสามารถเป็นไปได้ถ้าสามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนให้ต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามถ้าทราบคุณลักษณะสมบัติของอนุภาคนาโนก็เป็นการช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายได้ และสุดท้ายคือการควบคุมแหล่งกำเนิดประกายไฟโดยการระบุแหล่งที่จะเกิดความเสี่ยงให้ชัดเจนและมีมาตรการป้องกันการเกิดประกายไฟ การติดตั้งวัสดุที่เป็นฉนวนป้องกันการนำไฟฟ้าหรือป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตย์จะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดประกายไฟได้ นอกจากนั้น การปรับปรุงกระบวนการ การบำรุงรักษาอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอ การควบคุมการแพร่กระจายที่แหล่งกำเนิดจะช่วยลดปริมาณอนุภาคนาโนในสิ่งแวดล้อมได้ อีกทั้งวิธีในการเก็บต้องออกแบบให้เหมาะสมเพื่อควบคุมการปล่อยอนุภาคนาโนออกสู่บรรยากาศ ช่วยลดอันตรายจากกรณีภาชนะมีการรั่วไหล Kirby (2005) แนะนำการป้องกันการระเบิดดังนี้

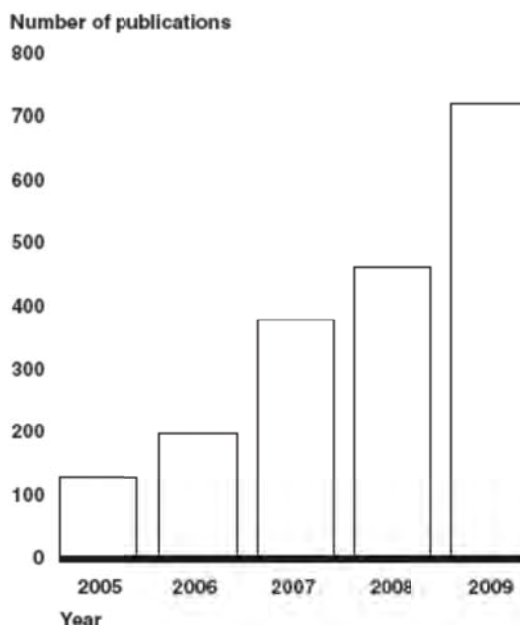
- ป้องกันฝุ่นสะสมบนพื้นผิวอุปกรณ์
- ใช้อุปกรณ์ที่ป้องกันฝุ่นสะสมบนพื้นผิวในทุกๆ โอกาส
- ควบคุมการปล่อยออกของอนุภาคฝุ่นจากถังขยะเปิดที่ไม่มีฝาปิด
- รักษามาตรฐานการบำรุงรักษาสถานที่ทำงานให้ดียู่เสมอ
- ลดแหล่งที่กำเนิดประกายไฟ
- แบ่งแยกการทำงานที่มีความเสี่ยงกับบริเวณใกล้เคียงโดยการเว้นระยะห่างหรือการทำกำแพงกั้น
- มีการป้องกันเพลิงไหม้ที่เหมาะสมเพียงพอ
- เก็บวัสดุที่จะเกิดความเสี่ยงในการระเบิดในหีบห่อที่มิดชิด

- ระบบการทิ้งต้องมีการป้องกันการเกิดฝุ่นและการตกค้างในสถานที่ทำงาน
- อบรมพนักงานในเรื่องความเสี่ยงจากการลुकติดไฟจากฝุ่นและแนวทางป้องกัน

3.2.4 ความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงของนาโนเทคโนโลยียังถูกจำกัด

ปัจจุบันความเข้าใจเกี่ยวกับความเสี่ยงของนาโนเทคโนโลยียังถูกจำกัดเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น จำนวนงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของวัสดุนาโนยังมีน้อยและอาจขาดวิธีการและเครื่องมือตรวจวัดที่เหมาะสมทำให้การศึกษายังไม่สมบูรณ์ และเป็นสาเหตุให้การทำนาย การศึกษาความเป็นอันตราย การได้รับและความเสี่ยงจากวัสดุนาโนเป็นไปได้ยาก ถึงแม้ว่าจะมีการงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของวัสดุนาโนต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่ถูกตีพิมพ์ออกมามากตั้งแต่ปี 2005 จนถึงปี 2009 (รูปที่ 3.8) ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่งานวิจัยเหล่านั้นก็ยังไม่ช่วยให้สามารถเข้าใจถึงความเสี่ยงของวัสดุนาโนต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งข้อจำกัดบางประการได้แก่

- วัสดุนาโนชนิดเดียวกันแต่ผลิตด้วยกรรมวิธีต่างกัน จะส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่างกัน ทำให้ไม่สามารถใช้ข้อมูลที่ได้ศึกษามาแล้วเปรียบเทียบวัสดุนาโนที่มีความคล้ายคลึงกันได้
- การศึกษาผลกระทบของวัสดุนาโนมีแนวโน้มเป็นไปตามความนิยมในวัสดุนาโนบางประเภท เช่น อนุภาคนาโนซิลิกา และคาร์บอนแบล็ค ถูกให้ความสนใจศึกษาเป็นจำนวนมากในขณะที่วัสดุนาโนอีกบางกลุ่มไม่ได้รับความสนใจในการศึกษามากนัก เช่น อนุภาคนาโนของอะลูมิเนียมออกไซด์ และ Nanoclay ทำให้ขาดข้อมูลของวัสดุนาโนไปบางส่วน



รูปที่ 3.8 จำนวนงานวิจัยศึกษาผลกระทบของวัสดุนาโนที่มีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

บทที่ 4

ภาพรวมงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยของไทย

4.1 ภาพรวมของงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทยจากฐานข้อมูล

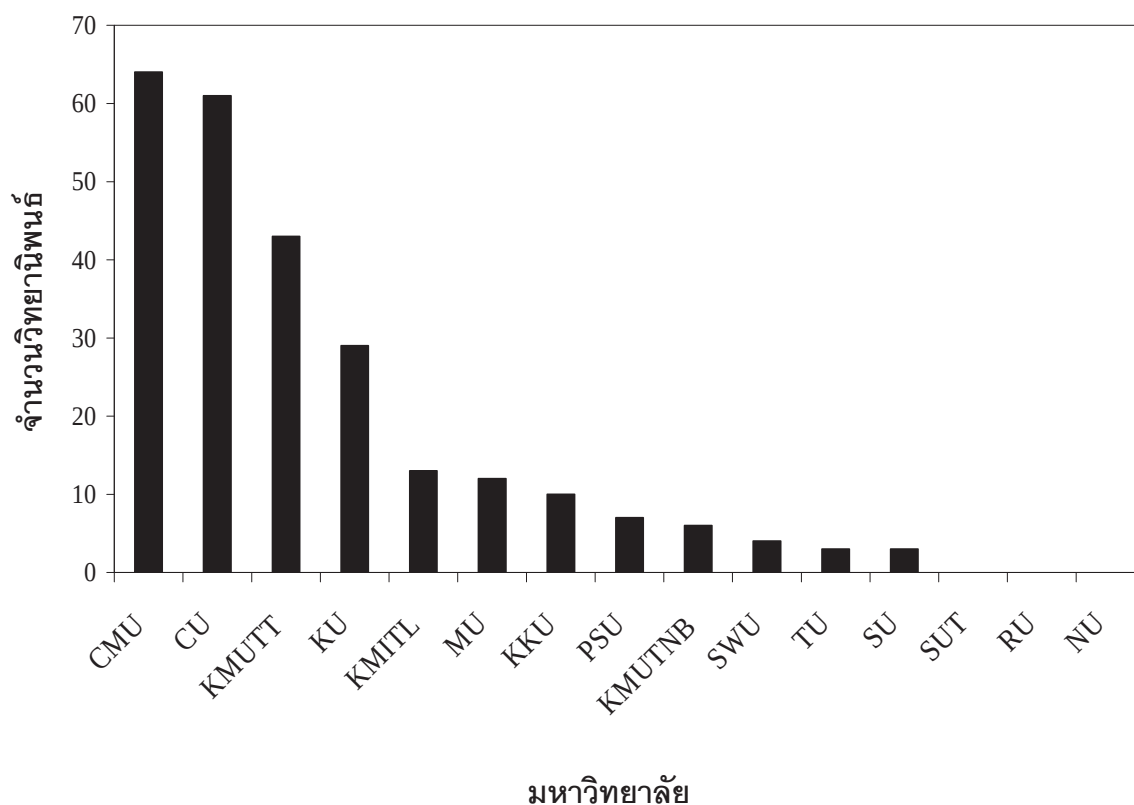
การสำรวจข้อมูลงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทยพบว่าแหล่งข้อมูลในการสำรวจค่อนข้างมีความหลากหลาย ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้วางขอบเขตในการสำรวจงานวิจัยเบื้องต้น โดยทำการสำรวจงานวิจัยภายในระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งใช้ข้อมูลที่สืบค้นมาจากระบบฐานข้อมูลของ ThaiLis ซึ่งเป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้สืบค้นเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษาสำหรับมหาวิทยาลัยที่เป็นสมาชิกระหว่างปี พ.ศ.2541 ถึง 2551 และข้อมูลงานวิจัยและนักวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย โดยทำการศึกษาจากผลการสำรวจของโครงการ การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับงานวิจัยและนักวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย ภายใต้โครงการ ฐานการจัดการความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี ระยะที่ 3 ซึ่งสนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยเป็นผลการสำรวจข้อมูลรายงานวิจัยจากฐานข้อมูล Scirus ระหว่างปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2551

จากการสืบค้นเบื้องต้นจากฐานข้อมูลทั้งสองส่วน ทำให้คณะผู้วิจัยทราบเกี่ยวกับข้อมูลของมหาวิทยาลัยที่ทำงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีพร้อมกับทราบข้อมูลเกี่ยวกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านนาโนเทคโนโลยีทั้งในระดับมหาวิทยาลัย และหน่วยงานต่างๆ ในเบื้องต้นได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ อาจมีการผิดพลาด เนื่องจากการขาดหายไปสำหรับบางข้อมูล เนื่องจากบางมหาวิทยาลัยไม่ได้เป็นสมาชิกของฐานข้อมูล ThaiLis หรือเกิดจากบางมหาวิทยาลัยไม่ส่งข้อมูลที่เป็นข้อมูลปัจจุบันให้กับทางฐานข้อมูลดังกล่าว ดังนั้นในส่วนของการข้อมูลของแต่ละมหาวิทยาลัยทางคณะผู้วิจัย ได้ใช้วิธีสำรวจเพิ่มเติมโดยผ่านระบบ OPAC ของห้องสมุดแต่ละมหาวิทยาลัย แล้วนำข้อมูลจากทั้ง 2 ส่วนมารวบรวม ก่อนที่จะทำการสรุปผลการสำรวจในเบื้องต้น

4.1.1 ข้อมูลงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีในสถาบันการศึกษาจากฐานข้อมูล ThaiLis

จากการสืบค้นข้อมูลวิทยานิพนธ์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีในสถาบันศึกษาจำนวน 15 มหาวิทยาลัยผ่านระบบฐานข้อมูล ThaiLis ในช่วงปี พ.ศ.2546-2551 ทางคณะผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลในส่วนของการจำนวนวิทยานิพนธ์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีในแต่ละมหาวิทยาลัย จำนวนวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในช่วงปี พ.ศ.2541 – 2546 และ 2547-2551 ของแต่ละมหาวิทยาลัย ประเภทวัสดุนาโนที่มีการวิจัย และบุคลากรที่ทำงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัย ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละส่วนมีดังนี้พบว่ามหาวิทยาลัยที่เป็นสมาชิกได้ส่งข้อมูลมาให้ระบบเป็นจำนวน 12 สถาบันด้วยกัน ได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบังมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยนเรศวร และมหาวิทยาลัยรามคำแหง ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี แต่จากการสำรวจบุคลากรเบื้องต้น พบว่ามหาวิทยาลัยดังกล่าว ได้มีการทำงานวิจัยทางด้านนี้ ดังนั้นอาจเกิดจากการไม่ได้ส่งข้อมูลให้กับทางระบบ ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงขอรายงานผลการสำรวจเฉพาะที่ได้จากระบบ ThaiLis และ OPAC เท่านั้น ซึ่งแสดงข้อมูลดังรูปที่ 4.1

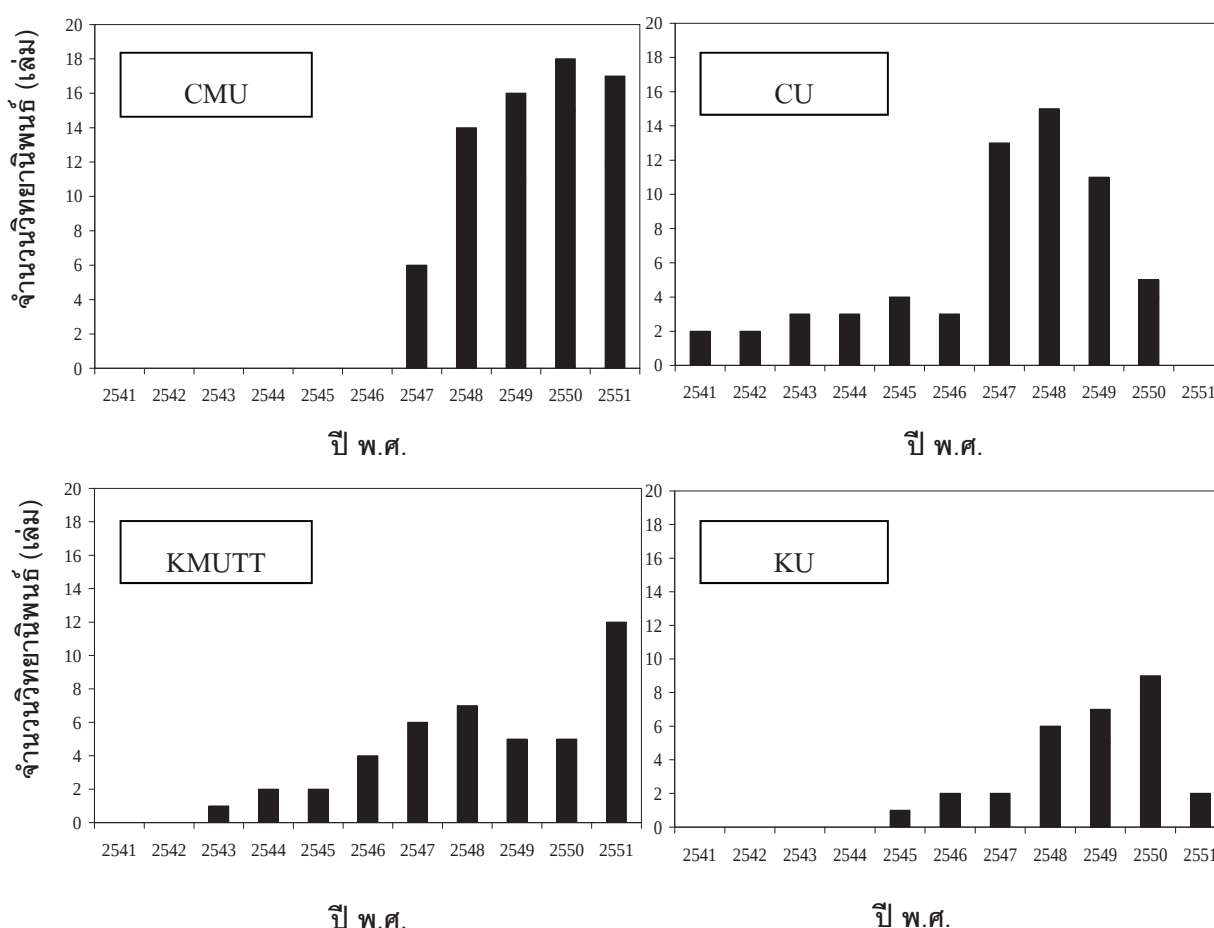


รูปที่ 4.1 ภาพรวมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ในช่วงปี พ.ศ.2541 ถึง 2552 ของแต่ละมหาวิทยาลัย

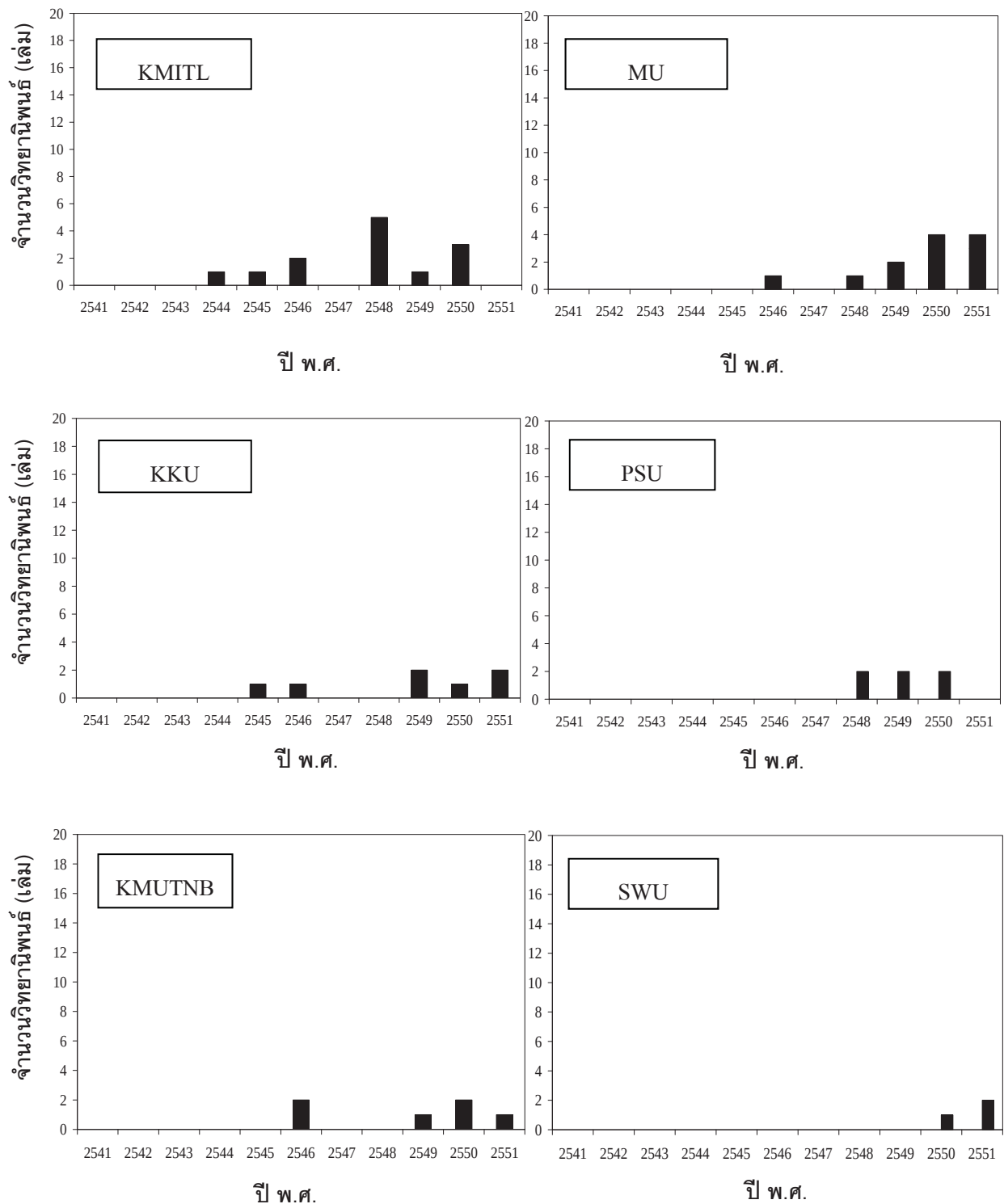
หมายเหตุ	CMU	=	Chaing Mai University
	CU	=	Chulalongkorn University
	KMUTT	=	King Mongkut's University of Technology Thonburi
	KU	=	Kasetsart University
	KMITL	=	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
	MU	=	Mahidol University
	KKU	=	Khon Kaen University
	PSU	=	Prince of Songkla University
	KMUTNB	=	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
	SWU	=	Srinakharinwirot University

TU	=	Thammasat University
SU	=	Silpakorn University
SUT	=	Suranaree University of Technology
RU	=	Ramkhamhaeng University
NU	=	Naresuan University

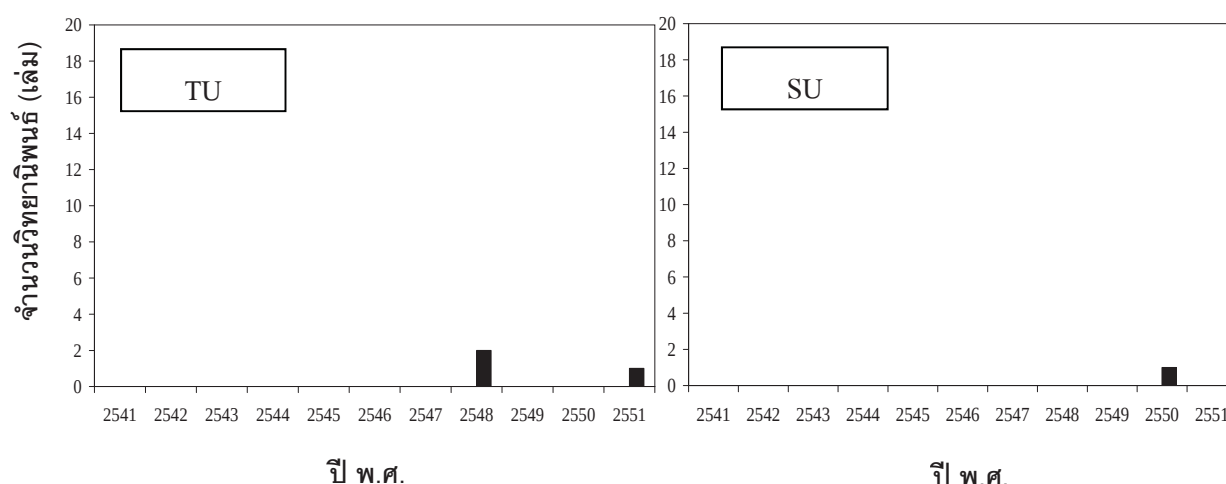
จากการสำรวจพบว่าแต่ละมหาวิทยาลัยมีนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาตลอดจนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญที่ทำงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี ซึ่งมหาวิทยาลัยที่มีวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาทางด้านนาโนเทคโนโลยีมากที่สุด 4 อันดับแรก ได้แก่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตามลำดับ ซึ่งมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีวิทยานิพนธ์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีจำนวน 64 เล่ม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีจำนวน 61 เล่ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเกล้าธนบุรีมีจำนวน 43 เล่ม และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีจำนวน 29 เล่ม โดยมหาวิทยาลัยอื่นๆ อีก 8 มหาวิทยาลัย มีข้อมูลดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 จำนวนวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี
ในระดับบัณฑิตศึกษาของแต่ละมหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 จำนวนวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี
ในระดับบัณฑิตศึกษาของแต่ละมหาวิทยาลัย (ต่อ)



รูปที่ 4.2 จำนวนวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี
ในระดับบัณฑิตศึกษาของแต่ละมหาวิทยาลัย (ต่อ)

อย่างไรก็ตามจากการสำรวจเบื้องต้น ทางคณะผู้วิจัยได้ประสบปัญหาจากการสืบค้นข้อมูลจากระบบดังกล่าว โดยพบว่าบางสถาบันการศึกษาไม่ได้ส่งข้อมูล ณ ปัจจุบันให้กับทางระบบ ทำให้ข้อมูลบางส่วนขาดหายไป ส่งผลให้จำนวนงานวิจัยของแต่ละมหาวิทยาลัยไม่ชัดเจนมากนัก แต่จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแนวโน้มของงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีที่มีอยู่ในแต่ละมหาวิทยาลัยที่พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสำหรับมหาวิทยาลัยวิจัยส่วนใหญ่ของประเทศ

เมื่อทำการศึกษาข้อมูลจากการสำรวจของทุกมหาวิทยาลัยในช่วงปี พ.ศ.2546-2551 พบว่าข้อมูลในช่วงปี พ.ศ.2541- 2546 มีงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีไม่มากนัก แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยพบว่ามามีบางมหาวิทยาลัยเท่านั้นที่ทำงานวิจัยทางด้านดังกล่าว ซึ่งได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจำนวน 17 เล่ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีจำนวน 8 เล่ม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังจำนวน 4 เล่ม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จำนวน 3 เล่ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสถาบันละ 2 เล่ม และมหาวิทยาลัยมหิดลจำนวน 1 เล่ม ต่อมาในช่วง ปี พ.ศ.2547-2551 ได้มีการสนับสนุนแหล่งทุนทั้งจากหน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานต่างประเทศในงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี ดังนั้นสถาบันการศึกษาและหน่วยงานต่างๆ ของภาครัฐได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีมากขึ้น ส่งผลให้ผลงานวิจัยทางด้านนี้ได้เข้าไปมีบทบาทในหลายสถาบัน

ตารางที่ 4.1 จำนวนวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในช่วงปี พ.ศ.2541 – 2546 และ 2547-2551 ของแต่ละมหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัย	จำนวนวิทยานิพนธ์		
	ด้านนาโนเทคโนโลยี (เล่ม)		
	ช่วงปี พ.ศ.		รวม
	2541 - 2546	2547- 2551	
1. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	0	64	64
2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	17	44	61
3. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	8	35	43
4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	3	26	29
5.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	4	9	13
6. มหาวิทยาลัยมหิดล	1	11	12
7. มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2	8	10
8. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	0	7	7
9. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2	4	6
10. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	0	4	4
11. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	0	3	3
12. มหาวิทยาลัยศิลปากร	0	3	3
13. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	-	-	0
14. มหาวิทยาลัยรามคำแหง	-	-	0
15. มหาวิทยาลัยนเรศวร	-	-	0
รวม	37	218	255

หมายเหตุ : ข้อมูลทั้งหมดเป็นวิทยานิพนธ์ซึ่งมาจากรฐานข้อมูลจาก ThaiLis เท่านั้น

: มหาวิทยาลัยที่มีข้อมูลในปี พ.ศ. 2552 ได้แก่

- มหาวิทยาลัยขอนแก่น 3 เล่ม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2 เล่ม, มหาวิทยาลัยศิลปากร 2 เล่ม
- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 1 เล่ม

จากข้อมูลที่สำรวจพบว่า มหาวิทยาลัยที่ทำงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีอยู่แล้วในช่วงปี พ.ศ. 2541-2546 ยังคงทำงานวิจัยดังกล่าวต่อเนื่องมาในช่วงปี พ.ศ. 2547-2551 อาทิเช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งพบว่ามหาวิทยาลัยดังกล่าวมีแนวโน้มในการทำงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีมากขึ้นกว่าเดิม สำหรับมหาวิทยาลัยที่ให้ความสนใจในงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีค่อนข้างน้อยในช่วงปี พ.ศ. 2541-2546 กลับพบว่าให้ความสนใจและมีงานวิจัยทางด้านนี้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อาทิเช่น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นต้น แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.1

จากผลการสำรวจข้อมูลขั้นต้นพบว่างานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีได้เข้าไปมีบทบาทในหลายสถาบัน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจในส่วนของประเภทวัสดุนาโนที่มีการวิจัยภายในแต่ละสถาบัน แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.2

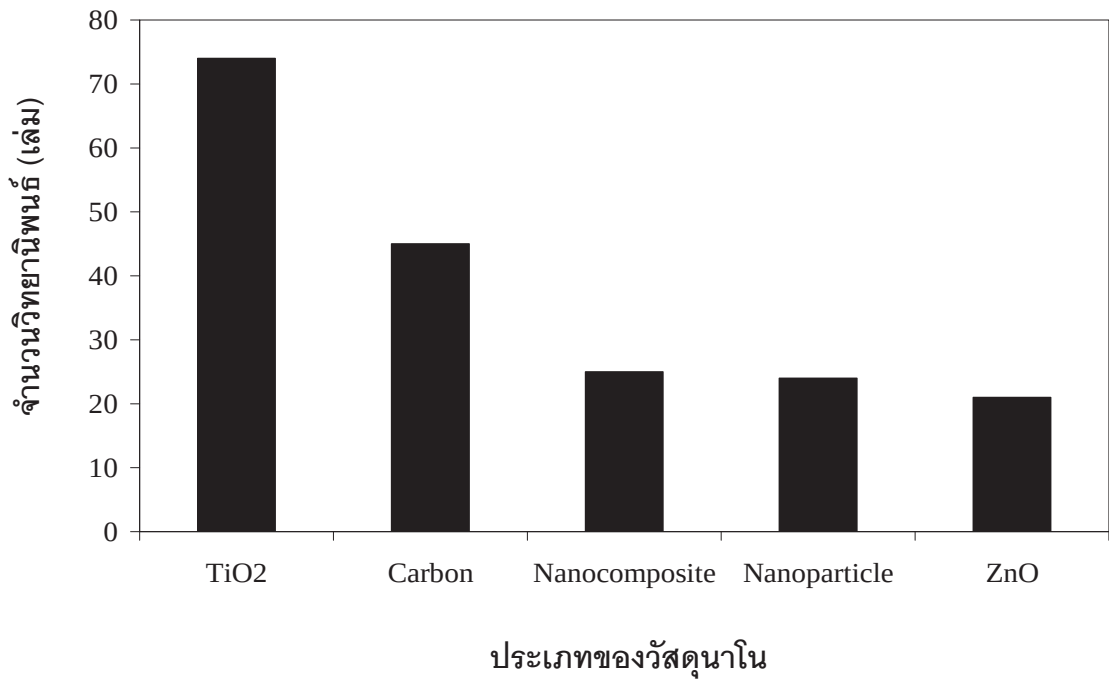
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจำนวนวิทยานิพนธ์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัยโดยแบ่งตามประเภทของวัสดุ

ประเภทวัสดุนาโน	จำนวนวิทยานิพนธ์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัยโดยแบ่งตามประเภทของวัสดุ (เล่ม)															Total
	CMU	CU	KMUTT	KU	KMITL	MU	KKU	PSU	KMUTNB	SWU	TU	SU	SUT	RU	NU	
TiO ₂	13	25	21	3	0	3	2	2	1	3	1	0	0	0	0	74
Carbon nanotube	14	12	0	9	4	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	44
Nanocomposite	6	5	2	5	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	22
Nanoparticle	19	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
ZnO	5	6	0	0	3	2	1	2	0	0	1	1	0	0	0	21
Ag	1	8	2	1	1	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	19
Al ₂ O ₃	5	3	1	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15
SiO ₂	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
nanofiltration	0	2	3	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	10
Fe ₂ O ₃	3	0	1	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10
metal	4	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
nanofiber	0	2	1	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	7
CdS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5
SnO	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Catalyst	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Ni	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจำนวนวิทยานิพนธ์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัยโดยแบ่งตามประเภทของวัสดุ (ต่อ)

ประเภทวัสดุนาโน	จำนวนวิทยานิพนธ์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัยโดยแบ่งตามประเภทของวัสดุ (เล่ม)															Total
	CMU	CU	KMUTT	KU	KMITL	MU	KKU	PSU	KMUTNB	SWU	TU	SU	SUT	RU	NU	
ZnS	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Se	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
CdTe	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
WO ₃	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Cu	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Co	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
nanofluid	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
CeO ₂	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
LaSrMn	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
NanoVesicular	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Nano-Sensors	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Ta ₂ O ₅	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Pt	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CuPc	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Zeolite	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
other	0	2	2	0	0	0	2	0	0	1	1	1	0	0	0	9
Total	77	69	46	38	33	11	16	10	1	10	4	2	0	0	0	317

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 พบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2541-2551 ได้มีงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี โดยใช้วัสดุหลากหลายประเภท อาทิเช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ คาร์บอน อลูมิเนียม ซิลเวอร์ ซิงค์ออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งจากการสำรวจพบว่าวัสดุที่มีการวิจัยมากที่สุดในสถาบันการศึกษา 5 อันดับแรก ได้แก่ อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ คาร์บอน วัสดุประเภทคอมโพสิต นาโนพาร์ติเคิล และซิงค์ ออกไซด์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 จำนวนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาในช่วงปี พ.ศ.2541 ถึง 2552
โดยแบ่งตามประเภทของวัสดุนาโน

งานวิจัยด้านวัสดุไทเทเนียมในระดับสถาบันการศึกษาที่ทำการสำรวจ ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในด้านการนำสมบัติด้านโฟโตคะตะไลซิสของไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้งาน ซึ่งจะมีการวิจัยในวัสดุไทเทเนียมไดออกไซด์อย่างแพร่หลายในช่วงแรก ตัวอย่างของงานวิจัย ได้แก่ ผลของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในฟิล์มโคโตะซานเพื่อการกำจัดสีย้อม การกำจัดโลหะหนัก เช่น โครเมียม นิกเกิล ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส การกำจัดฟีนอลที่มีธาตุฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบโดยใช้ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ นอกจากนั้นยังมีการวิจัยทางด้านไทเทเนียมในการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ

จากการสำรวจในช่วงหลังพบว่างานวิจัยทางด้านวัสดุไทเทเนียมไดออกไซด์ได้เน้นไปทางด้านวัสดุนาโนคอมโพสิตมากขึ้น โดยมีการนำวัสดุนาโนหลายชนิดเข้ามาใช้ร่วมกันกับไทเทเนียม เพื่อปรับปรุง

ประสิทธิภาพในด้านต่างๆ มากขึ้น ส่งผลให้งานวิจัยทางด้านวัสดุไทเทเนียมออกไซด์เพียงชนิดเดียวลดน้อยลงไป แต่จะไปมากในส่วนของวัสดุนาโนคอมโพสิต

สำหรับงานวิจัยทางด้านวัสดุคาร์บอน พบว่าเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในงานวิจัยภายในสถาบันการศึกษารองลงมาจากวัสดุไทเทเนียมออกไซด์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยในรูปแบบของการนำคาร์บอนไปใช้ร่วมกับสารอื่น โดยเฉพาะงานวิจัยทางด้านท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotubes) โดยช่วงหลังพบว่า นักวิจัยในสถาบันต่างๆ ให้ความสนใจในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเตรียมและศึกษาประโยชน์ที่ได้จากท่อนาโนคาร์บอนอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน ได้แก่ การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นจากวิธีสะสมไอเชิงเคมีโดยใช้วิธีทางสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนฟิล์มบางเหล็กโดยวิธีการตกสะสมไอเชิงเคมีด้วยความร้อนที่ความดันต่ำ การศึกษาเสถียรภาพเชิงยืดหยุ่นของท่อนาโนคาร์บอน และการเตรียมหลอดคาร์บอนขนาดเล็กกระต๋บนานโนเมตรและแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น นอกจากนี้พบว่ามีบางงานวิจัยตระหนักถึงความปลอดภัยในเชิงการนำท่อนาโนคาร์บอนไปใช้งาน จึงมีการวิจัยเกี่ยวกับ การประเมินความเสี่ยงแล้วจึงจัดการชีวิตสำหรับการผลิตคาร์บอนนาโนทิวบ์ เกิดขึ้น

ในส่วนของงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเอาสารหรือวัสดุต่างๆ ในระดับนาโนมาใช้ร่วมกัน ได้แก่ งานวิจัยทางด้านวัสดุนาโนคอมโพสิต (nanocomposite) และทางด้านวัสดุนาโนพาร์ทิเคิล (nanoparticle) จากการสำรวจงานวิจัยในระดับสถาบันการศึกษาพบว่า มีงานวิจัยลักษณะนี้รองลงมาเป็นอันดับ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นงานวิจัยในส่วนของการพัฒนาวัสดุ หรือพัฒนาสารประกอบเพื่อประโยชน์ในด้านต่างๆ ซึ่งจากการสำรวจพบว่าเป็นงานวิจัยที่เน้นไปทางด้านคอมโพสิตระหว่างสารพอลิเมอร์กับดิน ตัวอย่างเช่น ผลของปริมาณนาโนเคลย์ต่อความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของนาโนคอมโพสิตของเมทิลเซลลูโลส/มอนต์มอริลโลไนต์ การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการซึมผ่านก๊าซของฟิล์มนาโนคอมโพสิตของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำและดินเหนียว และงานวิจัย การกำจัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากดินปนเปื้อนโดยใช้อนุภาคนาโนโพลิเมอร์ เป็นต้น

วัสดุประเภทซิงค์ออกไซด์ ซึ่งจากการสำรวจเป็นวัสดุที่มีงานวิจัยเป็นอันดับ 5 พบว่ามีทั้งงานวิจัยในส่วนของการสังเคราะห์และการใช้ประโยชน์เช่นเดียวกัน เช่น การผลิตโพลิเมอร์ของเซลลูโลสอะซิเตทกับพอลิเอธิลีนออกไซด์ซึ่งบรรจุอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต และการศึกษาสมบัติทางแสงและไฟฟ้าของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ (ด้วยวิธีการสปีดเทอริง) เป็นต้น นอกจากนี้วัสดุทั้ง 5 ประเภท ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จากการสำรวจยังมีงานวิจัยที่ใช้วัสดุอื่นๆ อีกเป็น จำนวนมาก อาทิ โลหะเงิน เส้นใยนาโน ทอง ซิลิกา และอลูมินา เป็นต้น

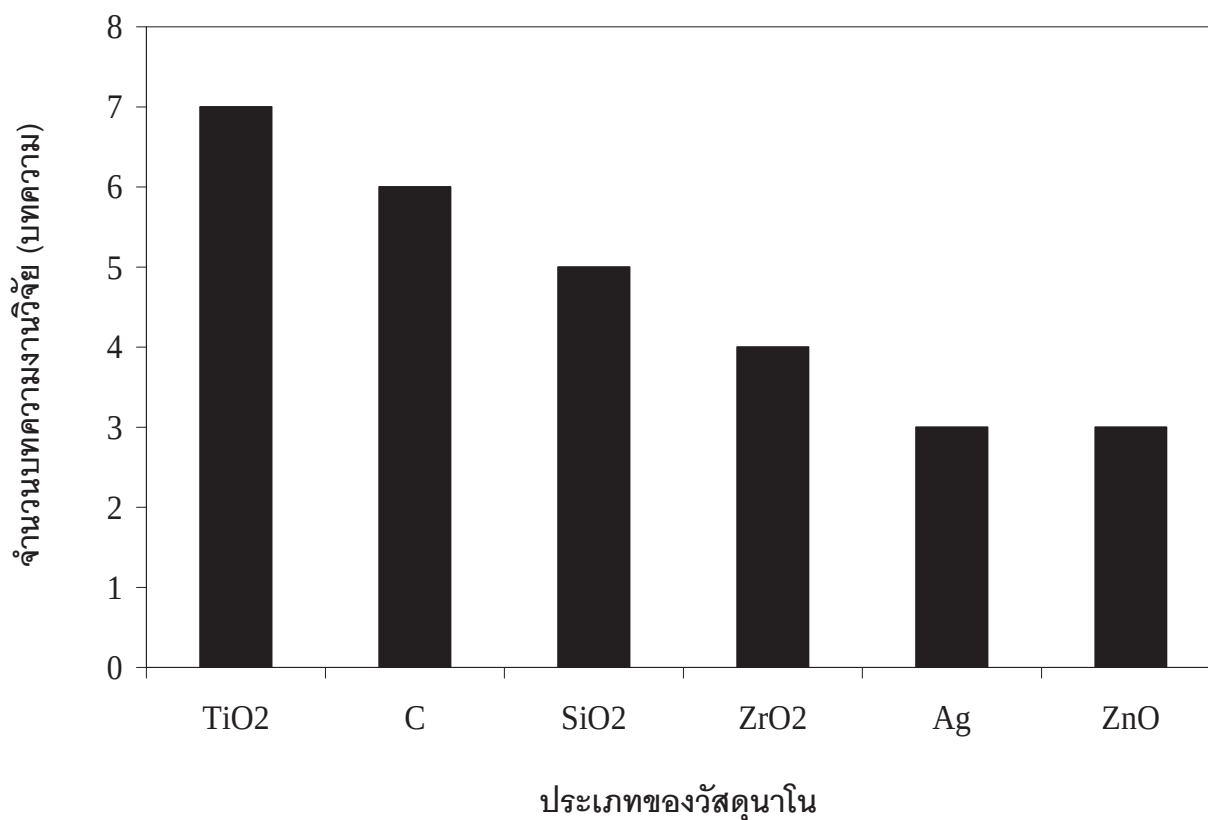
ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แนวโน้มในการนำวัสดุทางด้านนาโนเทคโนโลยีมาใช้งานยังมีอีกมาก ส่งผลให้งานวิจัยในระดับสถาบันการศึกษาทางด้านนาโนเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เพื่อที่จะให้งานวิจัยทางด้านนี้ก้าวหน้าต่อไป จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางในการทำงานวิจัยโดยปลอดภัย ซึ่งบุคลากรที่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานวิจัยทางด้านนาโนในแต่ละด้านได้ดีที่สุด คืออาจารย์ที่ปรึกษา นักวิจัย

หรือเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์จากห้องปฏิบัติการ และศูนย์วิจัยต่างๆ ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลของบุคลากรทางด้านนี้ในขั้นต้น ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลของอาจารย์ที่ปรึกษาแต่ละท่านจากวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา โดยข้อมูลของบุคลากรทางการศึกษาที่ทำงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัยในเบื้องต้น แสดงดังตาราง ก. ในภาคผนวก

4.1.2 ข้อมูลงานวิจัยและนักวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทยจากฐานข้อมูล Scirus

จากการศึกษาข้อมูลจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับงานวิจัยและนักวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย ภายใต้โครงการ ฐานการจัดการความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี ระยะที่ 3 ภายใต้การสนับสนุนโครงการโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ซึ่งโครงการดังกล่าว ได้ทำการสำรวจจากฐานข้อมูลรายงานการวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ข้อมูลโครงการวิจัย ที่ได้รับการสนับสนุนจากแหล่งทุนต่างๆ และข้อมูลบุคลากรด้านนาโนเทคโนโลยี โดยผลการสำรวจไม่จำเพาะเจาะจงเฉพาะในส่วนของการศึกษา ซึ่งโครงการนี้ได้ทำการสำรวจงานวิจัยจากฐานข้อมูล Scirus ระหว่างปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2551 ซึ่งจากผลการสำรวจข้อมูลงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีจากฐานข้อมูลดังกล่าวพบว่ามียางานของนักวิจัยไทย จำนวน 54 รายงานวิจัยที่ตีพิมพ์

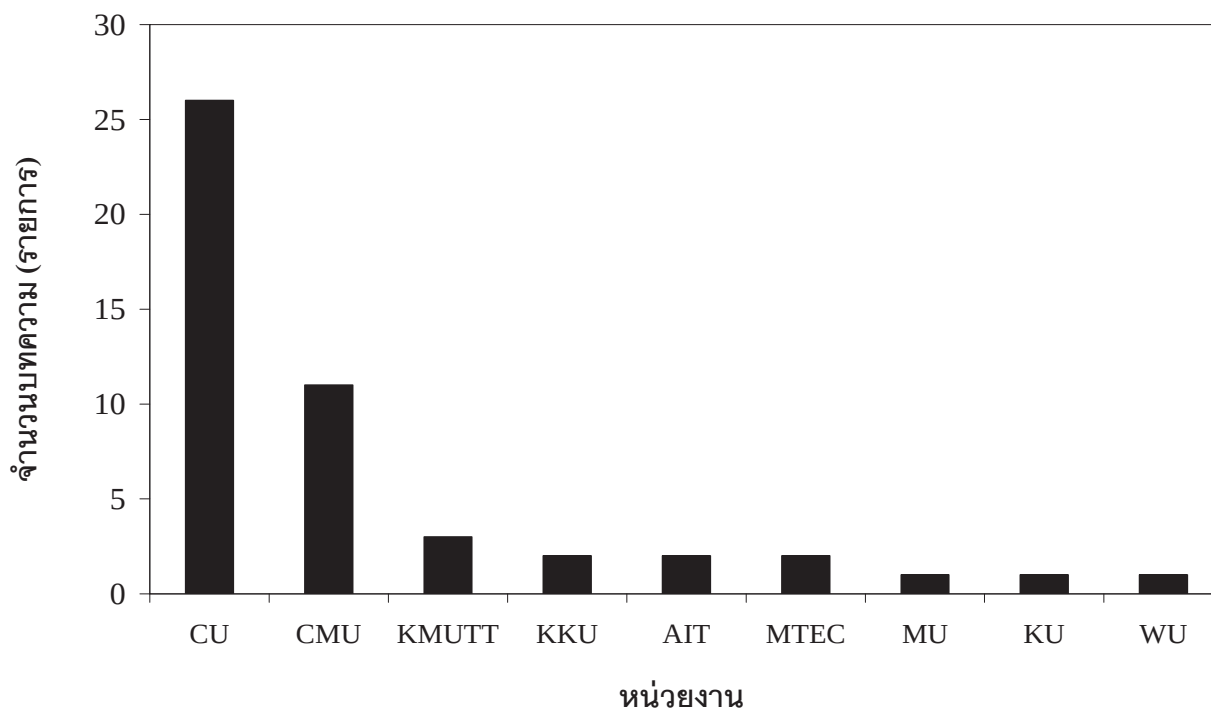
โดยวัสดุที่ได้รับความสนใจในการวิจัยมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) คาร์บอน (C) ซิลิกา (SiO_2) เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) ซิลเวอร์ (Ag) และ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ตามลำดับ จากการศึกษพบว่าการทำงานวิจัยเกี่ยวกับไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) มีทั้งสิ้น 7 บทความ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์จำนวน 4 บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาสมบัติ การใช้งานด้านคะตะลิสต์ และการใช้งานด้านเซ็นเซอร์ อย่างละ 1 บทความ งานวิจัยด้านคาร์บอนเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจในการทำวิจัยรองลงมาจากไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยมีงานวิจัยด้านนี้ทั้งสิ้น 6 รายการ แบ่งเป็น carbon nanotube 4 รายการ carbon fiber และ carbon black nanoparticles อย่างละ 1 รายการ ตามลำดับ สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับซิลิกามีจำนวนรวม 5 รายการ แบ่งเป็นการใช้งาน เพื่อเป็น สารเติมแต่งในพอลิเมอร์ 2 รายการ การสังเคราะห์เพื่อเป็น catalyst และการใช้งาน เพื่อเป็นเซ็นเซอร์ อย่าง 1 รายการ ตามลำดับ สำหรับเซอร์โคเนียมไดออกไซด์มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 4 รายการ มีการใช้งานเป็น catalyst จำนวน 3 รายการ และเป็น สารเติมแต่ง ในพอลิเมอร์ 1 รายการ โลหะเงินและสารประกอบของโลหะเงินมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3 รายการ และงานวิจัยเกี่ยวกับ ZnO มีจำนวนทั้งสิ้น 3 รายการ



รูปที่ 4.4 จำนวนบทความด้านนาโนเทคโนโลยีของไทยโดยแบ่งตามชนิดของวัสดุนาโน

ข้อมูลในส่วนนี้พบว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นจากวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาโดยผ่านระบบ ThaiLis ของแต่ละสถาบันการศึกษา ซึ่งพบว่าวัสดุที่ได้รับความสนใจในการทำงานวิจัย ส่วนใหญ่จะเป็นประเภทของ วัสดุไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO2) carbon nanotube และ nanoparticles เป็นต้น จะเห็นได้ว่าวัสดุเหล่านี้มีความคล้ายคลึงในประเด็นที่มีความหลากหลายในการนำไปใช้ประโยชน์ทำให้เป็นเรื่องที่น่าสนใจสำหรับการทำวิจัย

นอกจากนั้นพบว่ามี 5 หน่วยงานที่มีการตีพิมพ์สูงสุดจากทั้งหมด 54 รายการคือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีงานวิจัยทั้งสิ้นจำนวน 26 รายการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีผลงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีมากเป็นอันดับที่ 2 รองจาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจำนวนงานวิจัยที่พบมีรวม 11 รายการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มีงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี จำนวน 3 รายการ AIT และ MTEC มีงานวิจัยหน่วยงานละ 2 รายการ



รูปที่ 4.5 จำนวนบทความด้านนาโนเทคโนโลยีของไทยโดยแบ่งตามหน่วยงาน

ซึ่งจากข้อมูลพบว่างานวิจัยได้มาจากหน่วยงานต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัย โดยมีการแบ่งประเภทของหน่วยงานที่ทำงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี พบว่า งานวิจัยทั้งสิ้นจำนวน 26 รายการ ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นงานวิจัยที่มาจากหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยโดยมีรายละเอียด ดังนี้

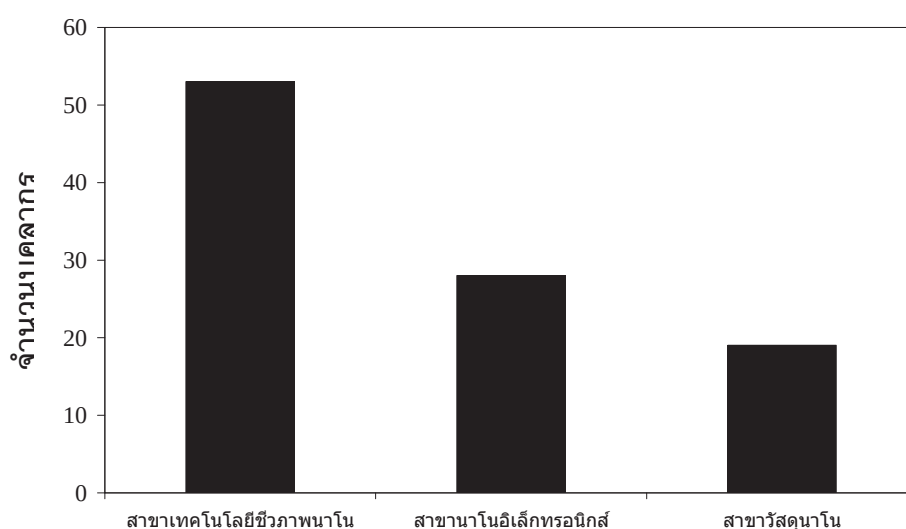
- 1). ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านคาตาไลซิสและวิศวกรรมปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Center of Excellence on Catalysis จำนวน 19 รายการ
- 2). ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (National Center of Excellence for Environmental and Hazardous Waste and Management, NCE-EHWM) มีงานวิจัย 2 รายการ
- 3). Technological Center for Electrospun Fibers มีงานวิจัย 1 รายการ
- 4). ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาค (Center of Excellence in Particle Technology) มีงานวิจัย 2 รายการ
- 5). Conductive and Electroactive Polymers Research Unit มีงานวิจัย 1 รายการ
- 6). ศูนย์ปิโตรเลียมและเทคโนโลยีปิโตรเคมี (Research Center for Petroleum and Petrochemical Technology) มีงานวิจัยจำนวน 1 รายการ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากการสำรวจจำนวนงานวิจัยที่พบมีรวม 11 รายการ เป็นงานวิจัยที่มาจากหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยโดยมีรายละเอียด ดังนี้

- 1). ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทาง 6 รายการ
- 2). Nanomaterials Research Unit มีงานวิจัย 2 รายการ
- 3). Institute for Science and Technology Research and Development มีงานวิจัย 1 รายการ
- 4). Fast Neutron Research Facility Ion Beam Technology มีงานวิจัย 1 รายการ
- 5). Center of Excellence Network ที่สนับสนุนโดย NANOTEC มีงานวิจัย 1 รายการ
- 6). Nanoscience Research Laboratory of the Department of Chemistry มีงานวิจัย 1 รายการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มีงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี จำนวน 3 รายการ เป็นงานวิจัยที่มาจากศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทาง 1 รายการ โดยมาจาก Fluid Mechanics, Thermal Engineering and Multiphase Flow Research Laboratory (Future) มหาวิทยาลัยมหิดล โดย Center for Nanoscience and Nanotechnology มีงานวิจัย 1 รายการ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดย Center of Nanotechnology มีงานวิจัย 1 รายการ เช่นกัน

นอกจากข้อมูลดังกล่าว โครงการนี้ได้มีการรวบรวมข้อมูลบุคลากรด้านนาโนเทคโนโลยีจากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ พบว่ามีบุคลากรที่ทำงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของไทยจำนวนทั้งสิ้น 234 คน โดยแบ่งเป็น 3 สาขา ดังนี้ คือ สาขาวัสดุนาโน สาขาเทคโนโลยีชีวภาพนาโนและสาขานาโนอิเล็กทรอนิกส์ โดยบุคลากรส่วนใหญ่สังกัดจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประเภทสาขาการวิจัยทางด้านนาโน

รูปที่ 4.6 บุคลากรด้านนาโนเทคโนโลยีจากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
แบ่งตามประเภทสาขาการวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี

จากการสำรวจของโครงการดังกล่าวพบว่าสาขาวัสดุนาโนเป็นสาขาที่มีบุคลากรมากที่สุดคือจำนวน 124 คน (คิดเป็นร้อยละ 53 ของ บุคลากรด้านนาโนเทคโนโลยีทั้งหมด) ในส่วนของสาขาเทคโนโลยีชีวภาพนาโน มีจำนวนบุคลากรมากเป็นลำดับที่ 2 รอง จากจำนวนบุคลากรในสาขาวัสดุนาโน คือจำนวน 65 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 28 ของบุคลากรด้านนาโน เทคโนโลยีทั้งหมด กลุ่มสุดท้ายคือสาขานาโนอิเล็กทรอนิกส์ มีจำนวนบุคลากรทั้งสิ้น 45 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 19 ของ บุคลากรด้านนาโนเทคโนโลยีทั้งหมด แม้ว่าผลการสืบค้นข้อมูลบทความวิจัยไม่ปรากฏข้อมูลผลงานวิจัยด้านเทคโนโลยีชีวภาพนาโนและ นาโนอิเล็กทรอนิกส์ แต่จำนวนบุคลากรใน 2 สาขานี้ มีจำนวนรวมกันถึง 110 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 47 ของ บุคลากรด้านนาโนเทคโนโลยีทั้งหมด ซึ่งอาจทำให้ประเทศไทยมีผู้ได้รับความเสี่ยงจากการดำเนินงานใน 2 สาขานี้ เพิ่มขึ้นในอนาคต

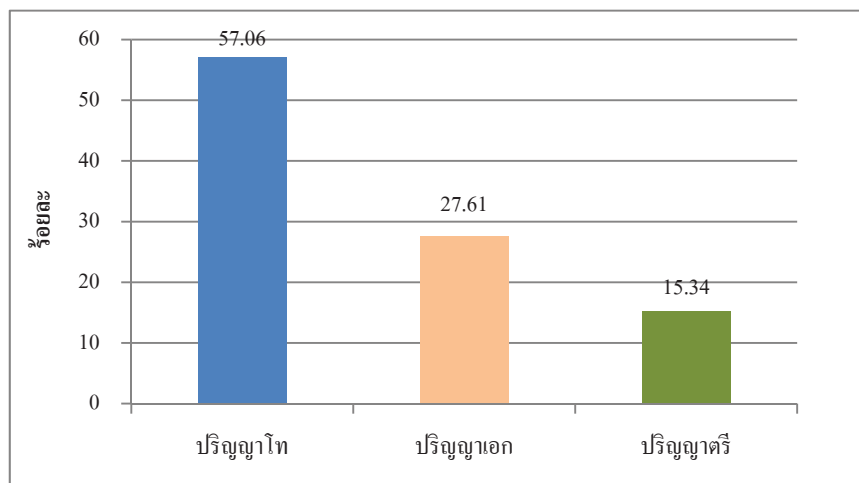
เมื่อศึกษาภาพรวมของผลการสำรวจเบื้องต้นทั้งในส่วนของวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาของแต่ละสถาบัน และการศึกษาผลการสำรวจงานวิจัยและนักวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย จากโครงการ การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับงานวิจัยและนักวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย ภายใต้โครงการ ฐานการจัดการความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี ระยะที่ 3 พบว่านอกจากงานวิจัยที่ศึกษาภายใต้ของคณะต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยแล้ว ยังมีโครงการวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ของหน่วยงานต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยที่มาจากศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางของแต่ละมหาวิทยาลัยทั้งสิ้น ดังนั้น หากจะมีการจัดทำคู่มือต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี นอกจากจะสอบถามความคิดเห็นจากอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญจากแต่ละมหาวิทยาลัยแล้ว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องขอความร่วมมือกับทางเจ้าหน้าที่ภายใต้ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางของแต่ละมหาวิทยาลัยที่ได้สำรวจไว้ขั้นต้นด้วย เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล และแนวทางปฏิบัติจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้จากทุกแหล่งของงานวิจัย

4.2 ภาพรวมของการดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนในมหาวิทยาลัยของไทยโดยคณะทำงาน

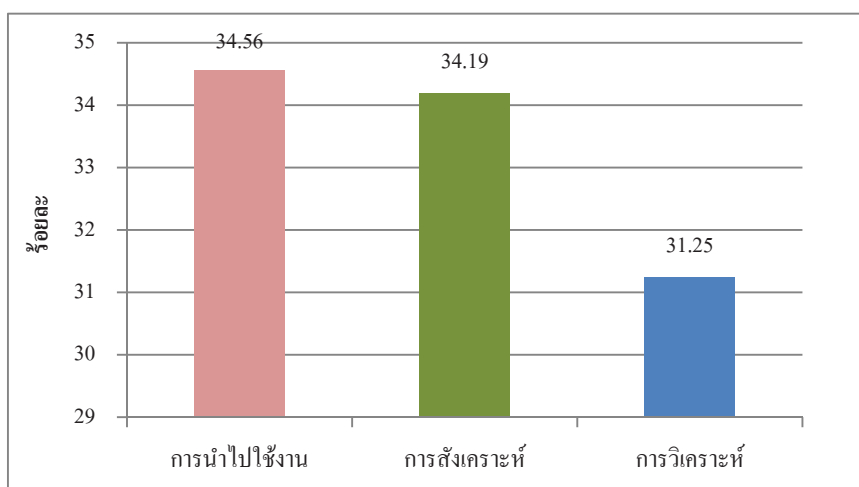
การสำรวจข้อมูลงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทยนั้น ทางคณะทำงานได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลโดยการสอบถามจากบุคลากรของสถาบันการศึกษาที่มีการทำงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี ซึ่งคณะทำงานได้ดำเนินการส่งแบบสอบถามไปยังสถาบันการศึกษาต่างๆ ซึ่งเป็นแบบสอบถามสำหรับอาจารย์ จำนวน 145 ชุด และเป็นแบบสอบถามสำหรับเจ้าหน้าที่/นักวิทยาศาสตร์ ประจำห้องปฏิบัติการ และศูนย์วิจัยวิเคราะห์ จำนวน 130 ชุด โดยได้รับการตอบรับจากอาจารย์กลับมาจำนวนทั้งสิ้น 100 ชุด และจากเจ้าหน้าที่หรือนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการกลับมาจำนวนทั้งสิ้น 70 ชุด ซึ่งสามารถสรุปผลจากการสอบถามเกี่ยวกับงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีเป็นประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

4.2.1 ภาพรวมของงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยไทยแยกตามประเภทวัสดุนาโนและการใช้งาน

จากข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามพบว่า ในประเทศไทยมีงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในระดับปริญญาโทมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 57.06 ของจำนวนแบบสอบถามทั้งหมด รองลงมาคืองานวิจัยในระดับปริญญาเอก และระดับปริญญาตรี ร้อยละ 27.61 และ 15.34 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นการดำเนินงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในส่วนของการนำไปใช้งานร้อยละ 34.56 ด้านการสังเคราะห์วัสดุนาโนเทคโนโลยีร้อยละ 34.19 และด้านการวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุนาโนเทคโนโลยีร้อยละ 31.25 จะเห็นได้ว่า ทั้งการนำเทคโนโลยีนาโนไปใช้งานและการสังเคราะห์วัสดุนาโนเทคโนโลยีนั้น จะมีสัดส่วนที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.8

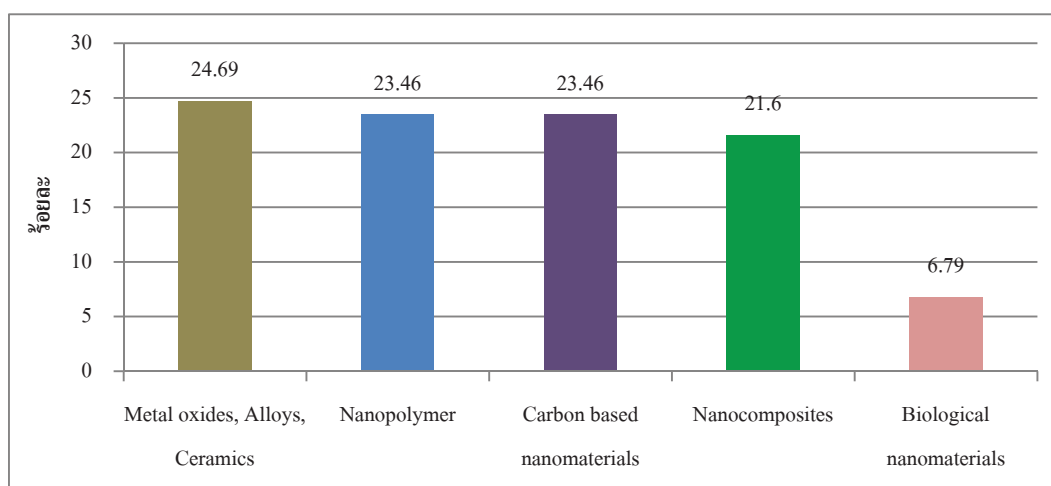


รูปที่ 4.7 ร้อยละของระดับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย



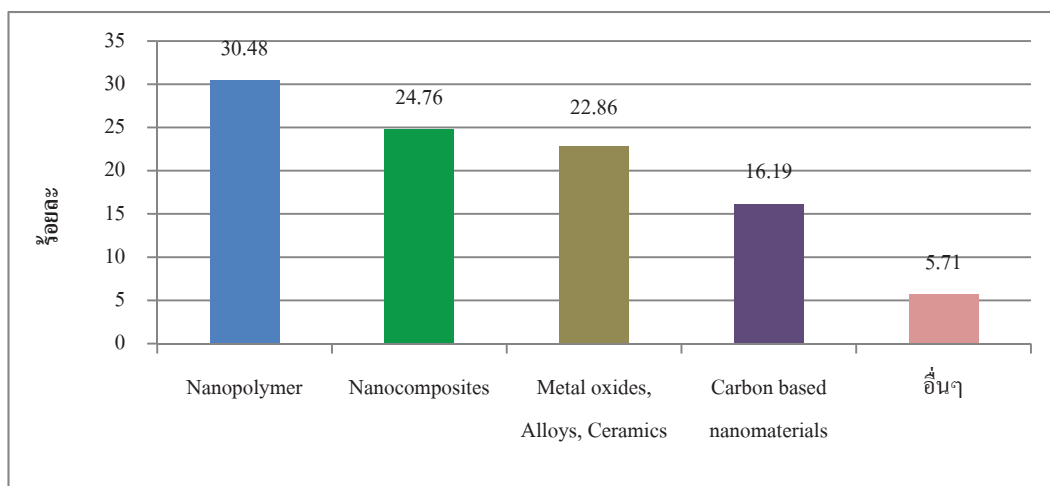
รูปที่ 4.8 ร้อยละของการดำเนินงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย

สำหรับประเภทของวัสดุนาโนที่มีการนำไปใช้ในกิจกรรมหรือโครงการวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย พบว่า มีการนำวัสดุนาโนประเภท Metal oxides, Alloys, Ceramics ที่นำไปใช้ในงานวิจัยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 14.69 ส่วนใหญ่เป็นชนิด Bulk Nanostructures metals and powder ซึ่งเป็นวัสดุ TiO_2 และ ZnO รองลงมาคือวัสดุนาโนประเภท Nanopolymer ชนิด Non self-assembled structures ส่วนใหญ่เป็นวัสดุ Nanofibers และวัสดุนาโนประเภท Carbon based nanomaterials ชนิด Single Nanostructures–Nanotubes ส่วนใหญ่เป็นวัสดุ MWCNT ซึ่งแต่ละประเภทคิดเป็นร้อยละ 23.46 รองลงมาอันดับสามคือวัสดุนาโนประเภท Nanocomposites คิดเป็นร้อยละ 21.61 ส่วนใหญ่เป็นชนิด Core shell nanoparticles และชนิด Metal–ceramic nano–composites และน้อยที่สุดคือวัสดุนาโนประเภท Biological nanomaterials ชนิด Proteins–based materials และ Lipids คิดเป็นร้อยละ 6.79 ดังแสดงในรูปที่ 4.9

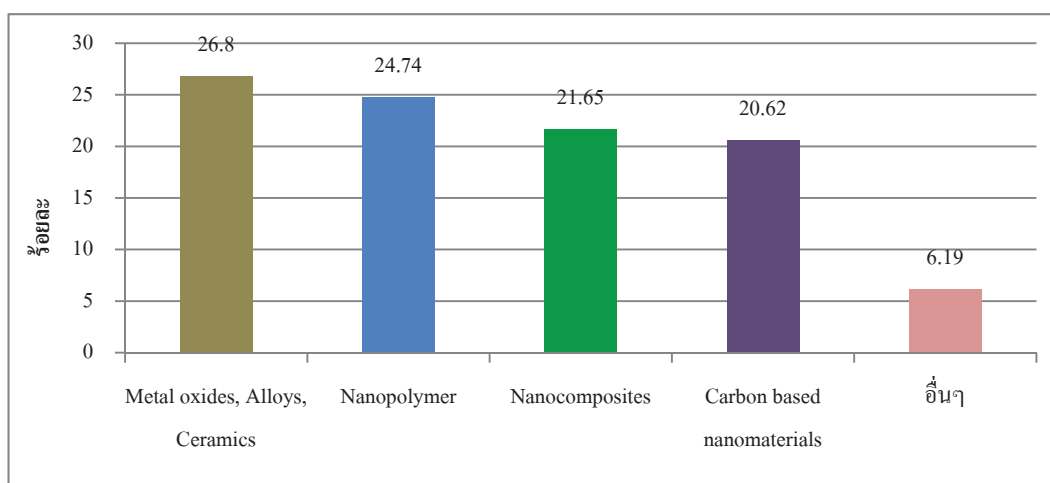


รูปที่ 4.9 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่มีการนำไปใช้ในกิจกรรมหรือโครงการวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย

สำหรับงานวิจัยทางด้านการสังเคราะห์วัสดุนาโนในประเทศไทยพบว่า มีการสังเคราะห์วัสดุนาโนประเภท Nanopolymer ร้อยละ 30.48 รองลงมาคือประเภท Nanocomposites ร้อยละ 24.76 ประเภท Metal oxides, Alloys, Ceramics ประเภท Carbon based nanomaterials และอื่นๆ ร้อยละ 22.86, 16.19 และ 5.71 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และในส่วนของงานวิจัยด้านการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวัสดุนาโนในประเทศไทยนั้นพบว่า มีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวัสดุนาโนประเภท Metal oxides, Alloys, Ceramics ร้อยละ 26.8 รองลงมาคือประเภท Nanopolymer ร้อยละ 24.76 ประเภท Nanocomposites ประเภท Carbon based nanomaterials และอื่นๆ ร้อยละ 21.65, 20.62 และ 6.19 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

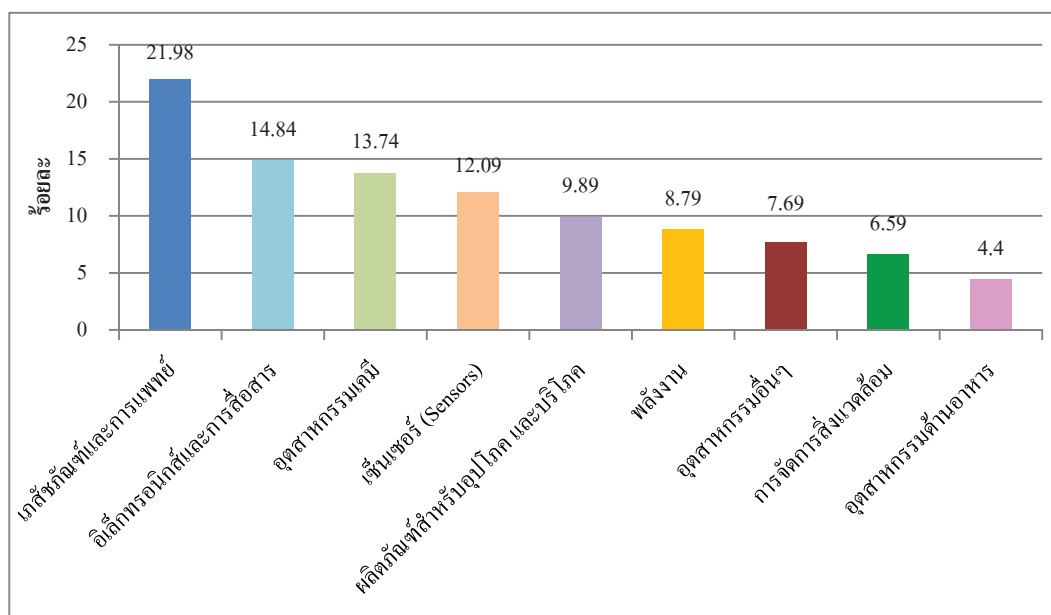


รูปที่ 4.10 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่มีการนำไปใช้ในการวิจัยพื้นฐาน
ทางด้านการสังเคราะห์วัสดุนาโนของประเทศไทย



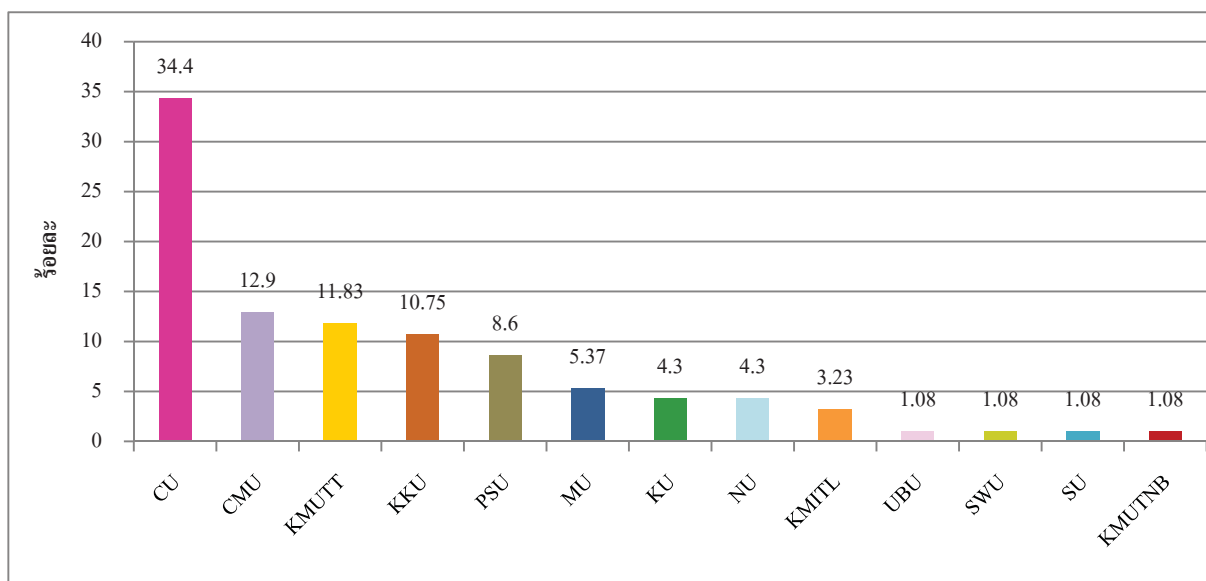
รูปที่ 4.11 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่มีการนำไปใช้ในการวิจัยพื้นฐาน
ทางด้านการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวัสดุนาโนของประเทศไทย

ในการนำเทคโนโลยีนาโนไปใช้งานในประเทศไทย พบว่า มีการนำเทคโนโลยีนาโนไปใช้งานด้านเภสัชภัณฑ์และการแพทย์ถึงร้อยละ 21.98 โดยนำไปใช้ในเรื่องของ การนำส่งตัวยา วิศวกรรมเนื้อเยื่อ และวัสดุชีวภาพ รองลงมาคือด้านอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร ร้อยละ 14.84 โดยนำไปใช้ในเรื่องของอุปกรณ์ออฟโตอิเล็กทรอนิกส์แบบใหม่ อุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์แบบใหม่ และการเพิ่มพื้นที่จัดเก็บหน่วยความจำ และรองลงมาอันดับสามคือด้านอุตสาหกรรมเคมี ร้อยละ 13.74 โดยนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในด้านการนำไปใช้งานนี้มีการนำไปใช้ในด้านอุตสาหกรรมด้านอาหารน้อยที่สุด คือร้อยละ 4.40 ซึ่งส่วนใหญ่ นำไปใช้ในการถนอมอาหาร ป้องกันเชื้อรา แบคทีเรีย และเชื้อโรคต่างๆ โดยแสดงร้อยละของการนำเทคโนโลยีนาโนไปใช้ในด้านต่างๆ ดังรูปที่ 4.12



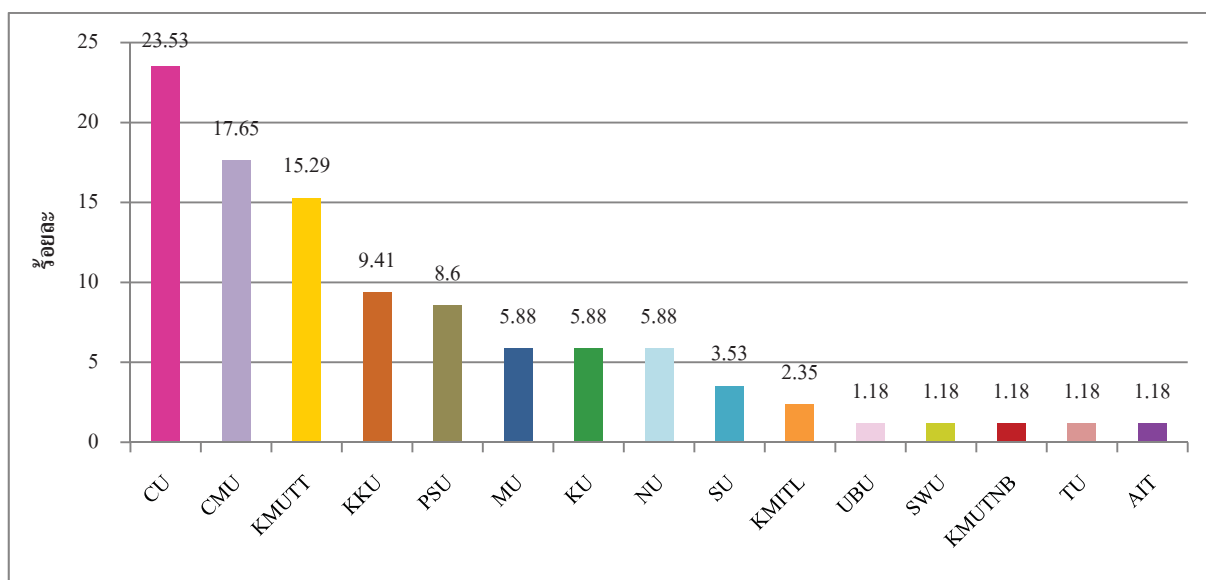
รูปที่ 4.12 ร้อยละของการนำเทคโนโลยีนาโนไปใช้ในด้านต่างๆ

จากข้อมูลการดำเนินงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทยดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบว่าการดำเนินงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทยนั้น มีการวิจัยและการนำไปใช้ในด้านใดบ้าง ซึ่งในแต่ละงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี รวมถึงการนำไปใช้งานยังสามารถสรุปได้ว่า งานวิจัยในแต่ละด้านมีมหาวิทยาลัยใดบ้างที่ดำเนินงานวิจัยในด้านนั้นๆ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความเชี่ยวชาญของแต่ละมหาวิทยาลัยในการดำเนินงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีในด้านต่างๆ มากขึ้น และยังสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการค้นคว้างานวิจัยต่อไปในอนาคต ซึ่งรายละเอียดของแต่ละมหาวิทยาลัยที่ดำเนินงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี ได้ดังรูปที่ 4.13-4.15



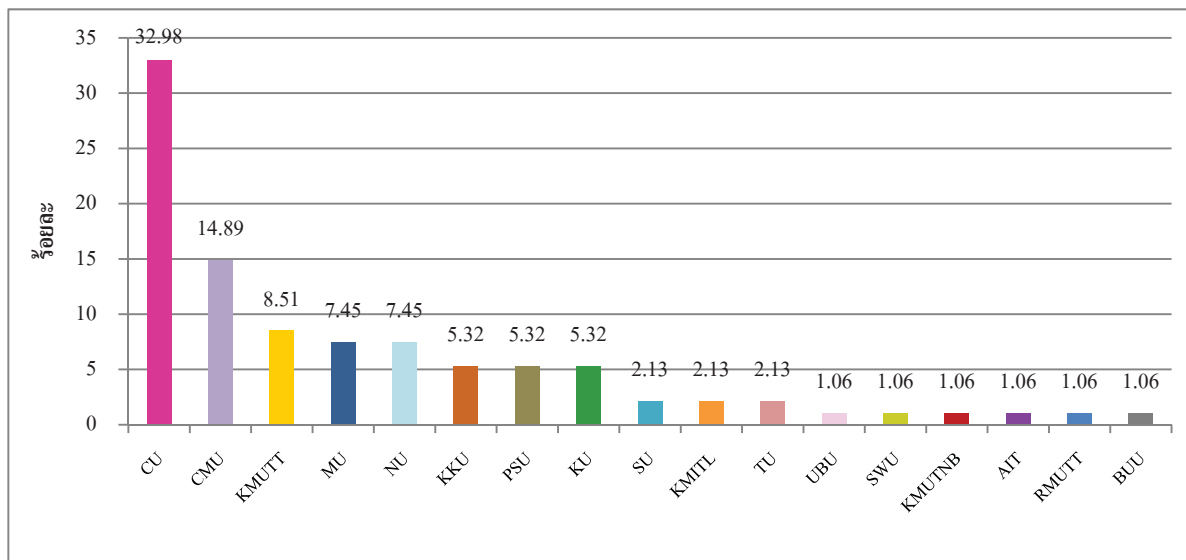
รูปที่ 4.13 ร้อยละของการวิจัยพื้นฐานทางด้านการสังเคราะห์วัสดุนาโนของแต่ละมหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการวิจัยพื้นฐานทางด้านการสังเคราะห์วัสดุนาโนมากที่สุด ร้อยละ 34.40 รองลงมาคือมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร้อยละ 12.9 รองลงมาอันดับสามคือมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร้อยละ 10.45



รูปที่ 4.14 ร้อยละของการวิจัยพื้นฐานทางด้านการวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุนาโนของแต่ละมหาวิทยาลัย

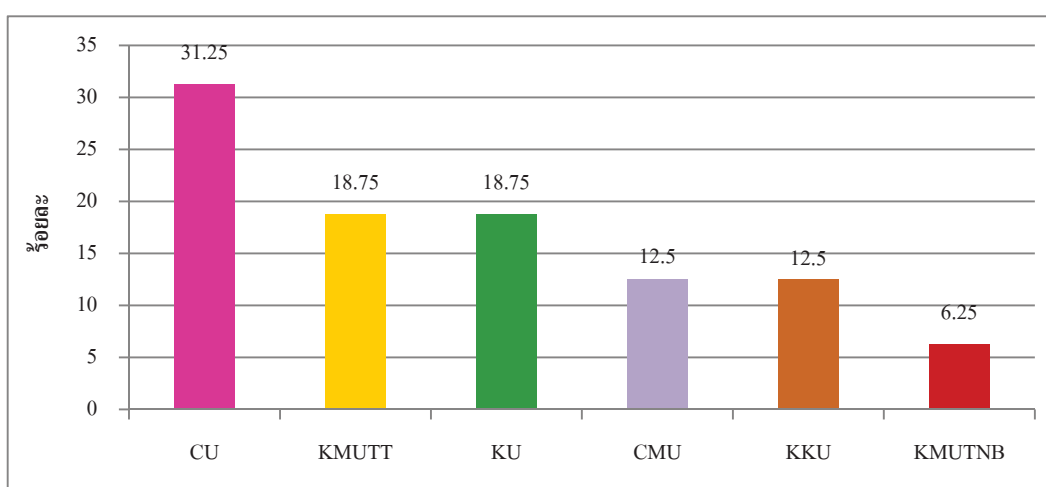
จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการวิจัยพื้นฐานทางด้านการวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุนาโนมากที่สุด ร้อยละ 23.53 รองลงมาคือมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร้อยละ 17.65 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร้อยละ 15.29



รูปที่ 4.15 ร้อยละของการวิจัยพื้นฐานทางด้านการนำวัสดุนาโนไปใช้งานของแต่ละมหาวิทยาลัย

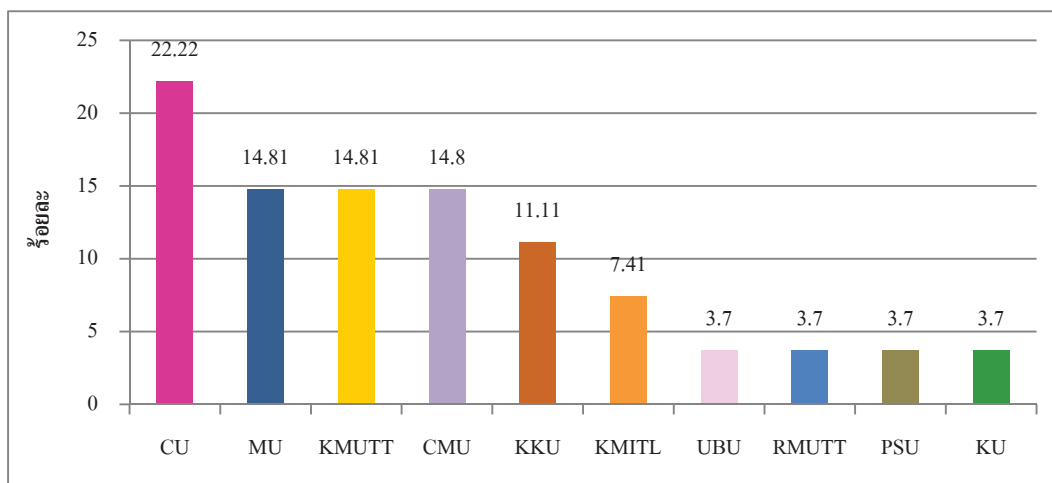
จากรูปที่ 4.15 พบว่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการวิจัยพื้นฐานทางด้านการนำวัสดุนาโนไปใช้งานมากที่สุด ร้อยละ 32.98 รองลงมาคือมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร้อยละ 14.89 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร้อยละ 8.51

ซึ่งในแต่ละมหาวิทยาลัยที่มีการดำเนินงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีก็ได้มีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ด้านพลังงาน ด้านอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร ด้านเกษตรกรรมและการแพทย์ โดยรายละเอียดการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ของแต่ละมหาวิทยาลัยนั้น ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.16–4.24



รูปที่ 4.16 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านพลังงานของแต่ละมหาวิทยาลัย

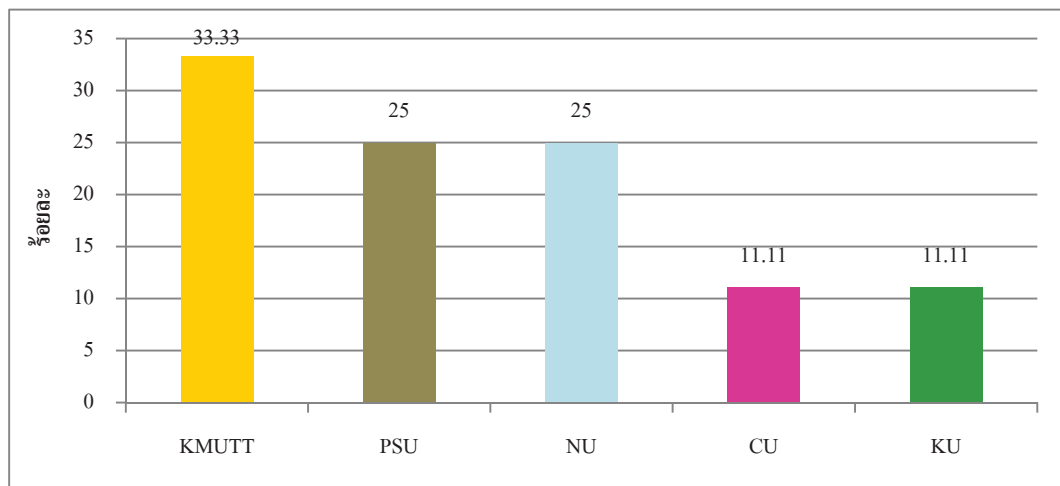
จากรูปที่ 4.16 พบว่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานด้านพลังงานมากที่สุด ร้อยละ 31.25 ซึ่งเป็นการนำไปใช้งานในด้านการลดการใช้พลังงาน และการพัฒนาระบบผลิตพลังงาน รองลงมาคือมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร้อยละ 15.29 เท่ากัน โดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการพัฒนาระบบผลิตพลังงาน



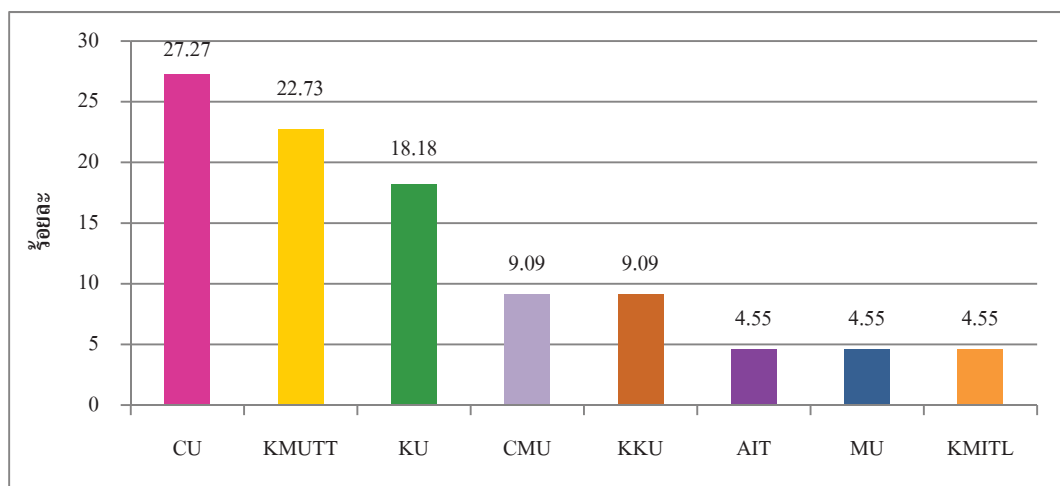
รูปที่ 4.17 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร
ของแต่ละมหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.17 พบว่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสารมากที่สุด ร้อยละ 22.22 ซึ่งเป็นการนำไปใช้งานในเรื่องของอุปกรณ์ออฟโตอิเล็กทรอนิกส์แบบใหม่ รองลงมาคือมหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร้อยละ 14.81 เท่ากัน โดยมหาวิทยาลัยมหิดลจะนำไปใช้งานในเรื่องของอุปกรณ์ออฟโตอิเล็กทรอนิกส์แบบใหม่ ส่วนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีจะนำไปใช้งานในเรื่องของการเพิ่มพื้นที่การจัดเก็บหน่วยความจำเป็นส่วนใหญ่ และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่จะนำไปใช้งานในเรื่องของอุปกรณ์ออฟโตอิเล็กทรอนิกส์แบบใหม่

ส่วนในการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในการจัดการสิ่งแวดล้อมพบว่ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในการจัดการสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ร้อยละ 33.33 โดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้งานในด้านเทคโนโลยีการบำบัดอากาศ รองลงมาคือมหาวิทยาลัยสงขลา นครินทร์ และมหาวิทยาลัยนเรศวร ร้อยละ 25.00 เท่ากัน โดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์จะนำไปใช้งานในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดี และมหาวิทยาลัยนเรศวรจะนำไปใช้งานในด้านเทคโนโลยีการจัดการน้ำเสีย และการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.18

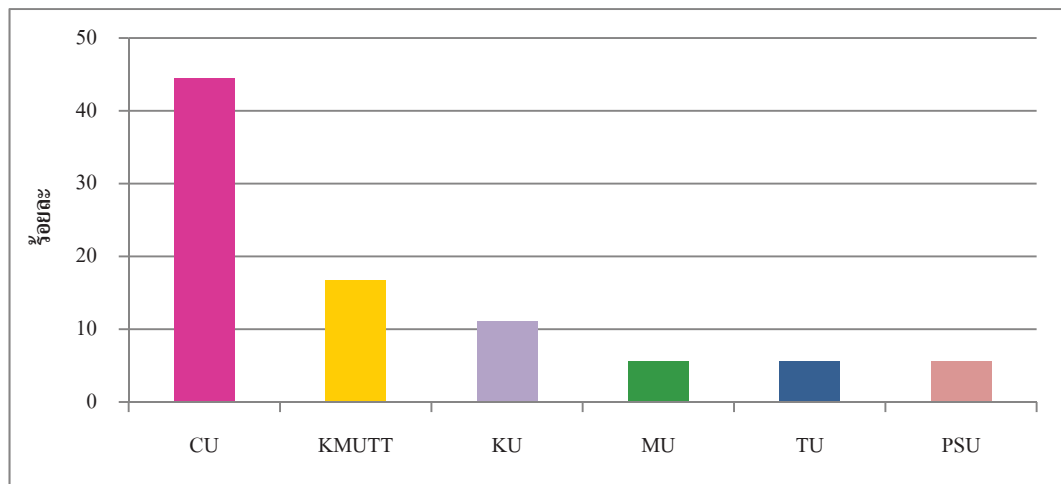


รูปที่ 4.18 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของแต่ละมหาวิทยาลัย



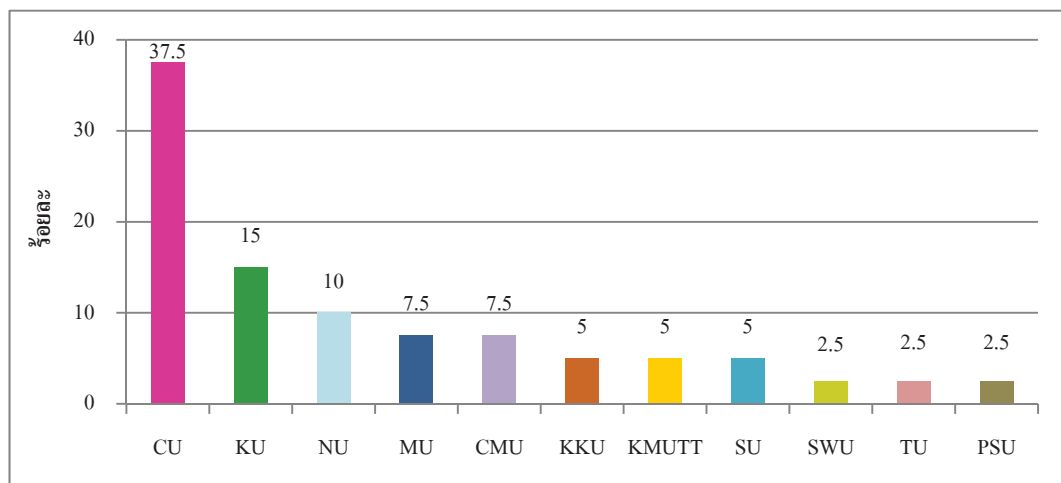
รูปที่ 4.19 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านเซ็นเซอร์ของแต่ละมหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.19 พบว่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานด้านเซ็นเซอร์มากที่สุด ร้อยละ 27.27 รองลงมาคือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร้อยละ 22.73 และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร้อยละ 18.18 โดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจะนำไปใช้เป็นเซ็นเซอร์สำหรับอาหารและยา และสำหรับเชื้อโรค ส่วนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จะนำไปใช้เป็นเซ็นเซอร์สำหรับมลพิษทางอากาศ ใช้สำหรับเชื้อโรค และใช้สำหรับอาหารและยา และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จะนำไปใช้เป็นเซ็นเซอร์สำหรับมลพิษทางน้ำ ทางอากาศ สำหรับอาหารและยา สำหรับเชื้อโรค และสำหรับโรคภัย



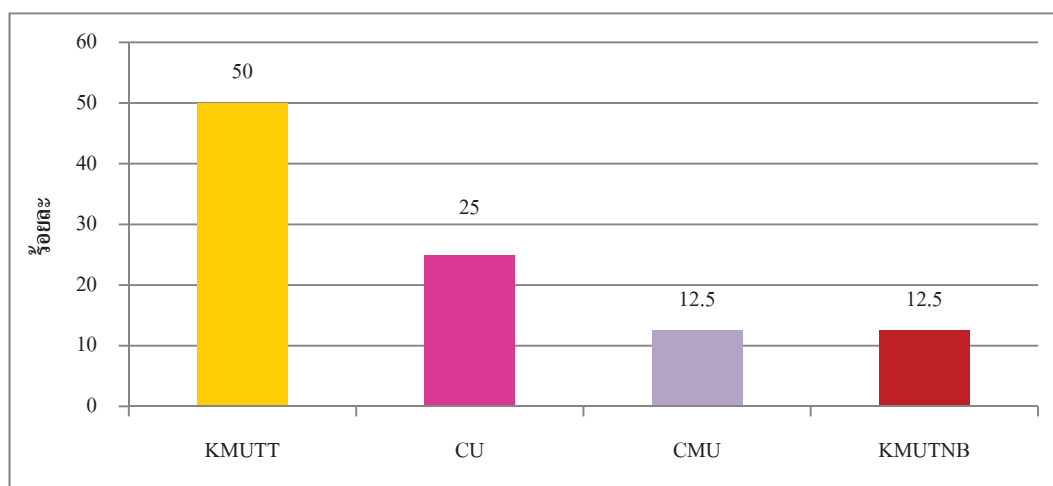
รูปที่ 4.20 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านผลิตภัณฑ์สำหรับอุปโภค และบริโภค
ของแต่ละมหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.20 พบว่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานด้านผลิตภัณฑ์สำหรับอุปโภค และบริโภคมากที่สุด ร้อยละ 44.44 รองลงมาคือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร้อยละ 16.67 โดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจะนำไปใช้ในด้านผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์ครัวเรือน สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม ส่วนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีจะนำไปใช้ในด้านผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์ครัวเรือน สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม อุปกรณ์เกี่ยวกับแสง



รูปที่ 4.21 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านเวชภัณฑ์และการแพทย์
ของแต่ละมหาวิทยาลัย

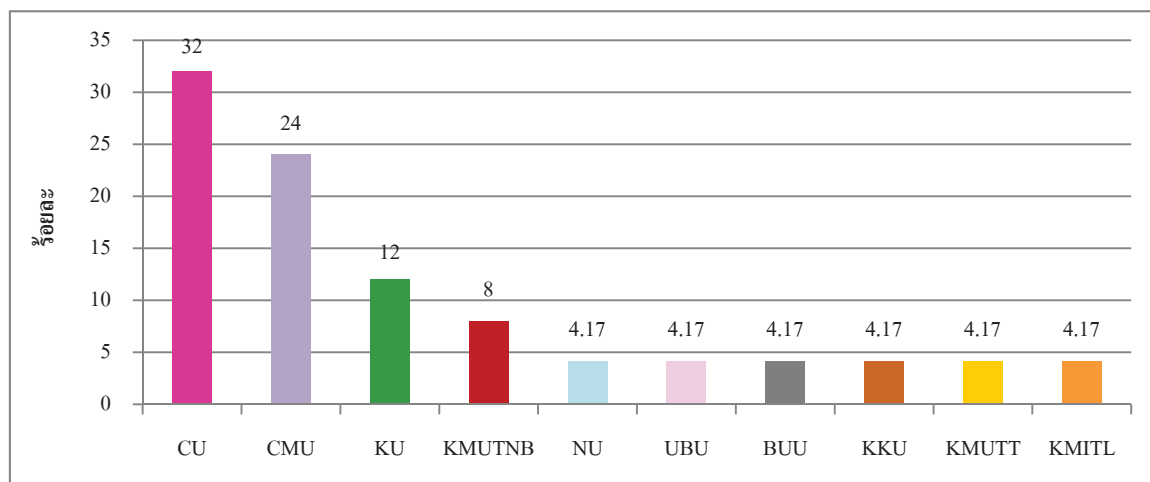
จากรูปที่ 4.21 พบว่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานด้านเภสัชภัณฑ์และการแพทย์มากที่สุด ร้อยละ 37.50 รองลงมาคือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร้อยละ 15.00 และมหาวิทยาลัยนเรศวร ร้อยละ 10.00 โดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการนำวัสดุนาโนไปใช้ในการนำส่งตัวยา วิศวกรรมเนื้อเยื่อ และวัสดุชีวภาพ ส่วนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จะนำไปใช้ในการวินิจฉัยโรค และการนำส่งตัวยา และมหาวิทยาลัยนเรศวรจะนำไปใช้ในการนำส่งตัวยา



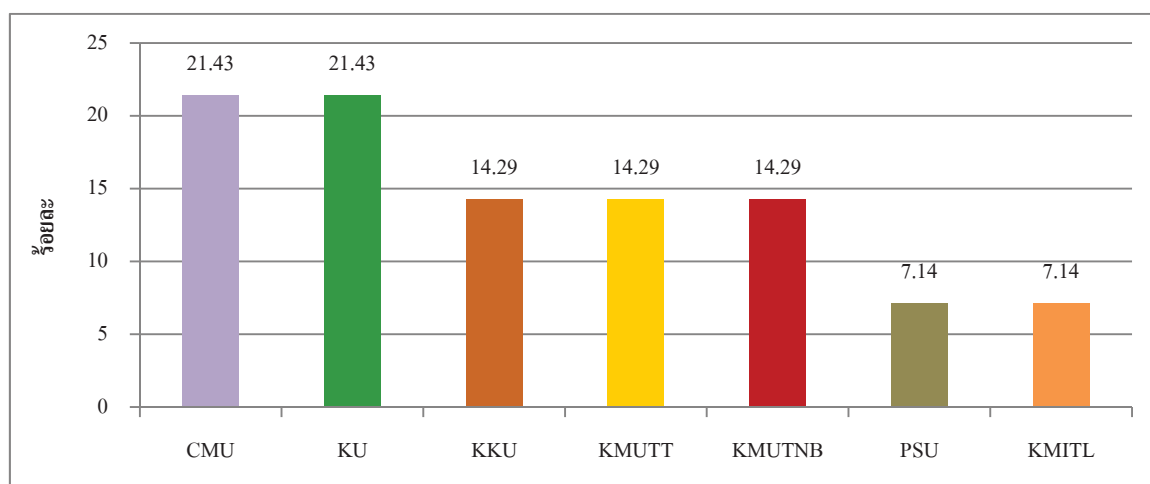
รูปที่ 4.22 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรมด้านอาหารของแต่ละมหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.22 พบว่ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานด้านอุตสาหกรรมด้านอาหารมากที่สุด ร้อยละ 50.00 รองลงมาคือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร้อยละ 25.00 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ร้อยละ 12.50 เท่ากัน โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีการนำไปใช้ในการถนอมอาหาร การยืดอายุของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การบรรจุภัณฑ์และฉลาก ส่วนจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนำไปใช้ในการถนอมอาหาร และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่นำไปใช้ในการถนอมอาหาร การยืดอายุของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การบรรจุภัณฑ์และฉลาก และการป้องกันเชื้อรา แบคทีเรีย และเชื้อโรคต่างๆ

ส่วนการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรมเคมี พบว่า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานด้านอุตสาหกรรมเคมีมากที่สุด ร้อยละ 32.00 รองลงมาคือ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร้อยละ 24.00 และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร้อยละ 12.00 ซึ่งทุกมหาวิทยาลัยจะนำไปใช้ในด้านอุตสาหกรรมเคมีเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรมเคมีของแต่ละมหาวิทยาลัย



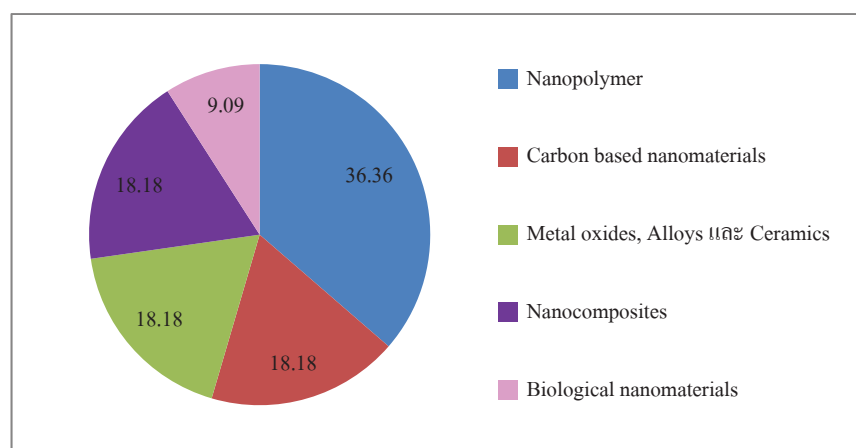
รูปที่ 4.24 ร้อยละของการนำวัสดุนาโนไปใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ ของแต่ละมหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.24 พบว่ามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีการนำวัสดุนาโนไปใช้งานด้านอุตสาหกรรมอื่นๆ มากที่สุด ร้อยละ 21.43 เท่ากัน รองลงมาคือมหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ร้อยละ 14.29 เท่ากัน โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่จะนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมด้านสีและสารเคลือบผิว ส่วนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาวิทยาลัยขอนแก่นจะนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมด้านสีและสารเคลือบผิว ชิ้นส่วนรถยนต์ การก่อสร้าง ส่วนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีจะนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมด้านสีและสารเคลือบผิว ชิ้นส่วนรถยนต์ การเกษตร และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือจะนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมด้านสีและสารเคลือบผิว และชิ้นส่วนรถยนต์

4.2.2 งานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีแยกตามแต่ละมหาวิทยาลัย

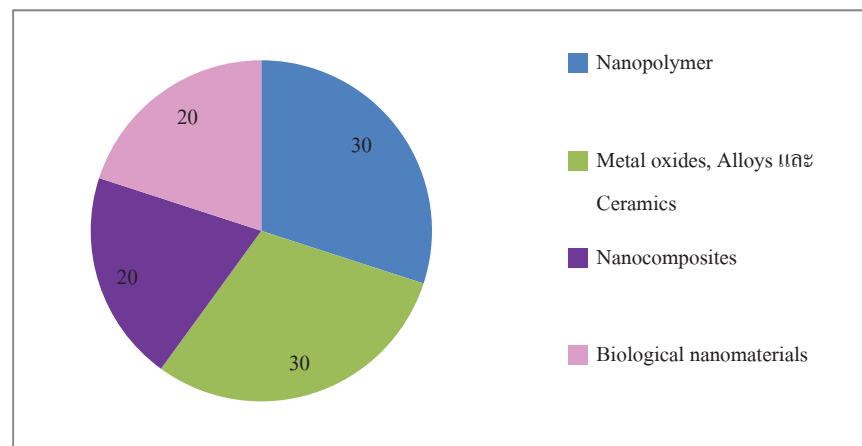
ในการวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีนั้น มีการนำวัสดุนาโนหลายประเภทไปใช้ในงานวิจัย คือ ประเภท Nanopolymer, ประเภท Carbon based nanomaterials, ประเภท Metal oxides, Alloys และ Ceramics, ประเภท Nanocomposites และประเภท Biological nanomaterials ซึ่งในแต่ละมหาวิทยาลัยก็มีการนำไปใช้ที่แตกต่างกัน จากข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถสรุปการนำวัสดุนาโนแต่ละประเภทไปใช้ในแต่ละมหาวิทยาลัยได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยมหิดล มีการนำวัสดุนาโนทุกประเภทไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี โดยมีการใช้วัสดุนาโนประเภท Nanopolymer มากที่สุด คือร้อยละ 36.36 ของงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ดังแสดงในรูปที่ 4.25 โดยวัสดุนาโนที่ใช้คือ Non self-assembled structures (Nanocapsules) และ Chitosan



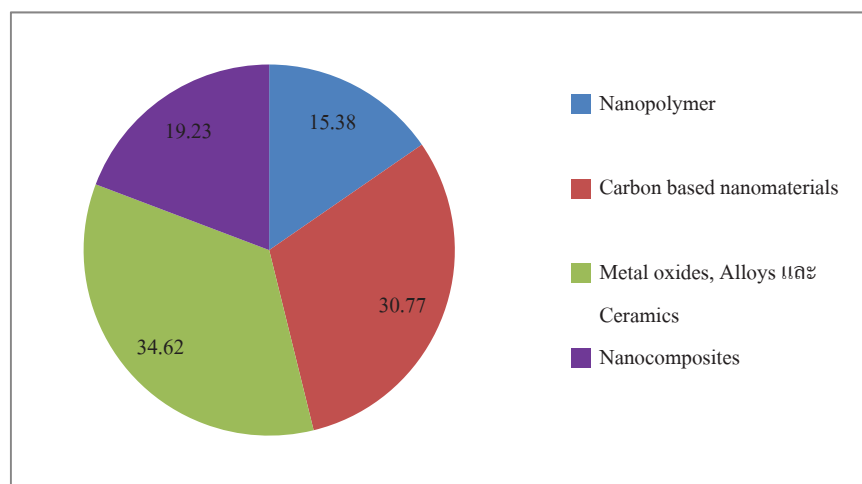
รูปที่ 4.25 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ มีการนำวัสดุนาโนประเภท Nanopolymer และ Metal oxides, Alloys และ Ceramics ไปใช้ในงานวิจัยมากที่สุด ร้อยละ 30 ของงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ดังแสดงในรูปที่ 4.26 โดยวัสดุนาโนประเภท Nanopolymer ที่ใช้คือ Chitosan และวัสดุนาโนประเภท Metal oxides, Alloys และ Ceramics ที่ใช้คือ Bulk Nanostructures metals and powder (Fe^0 , TiO_2 , Alumina และ Silica)



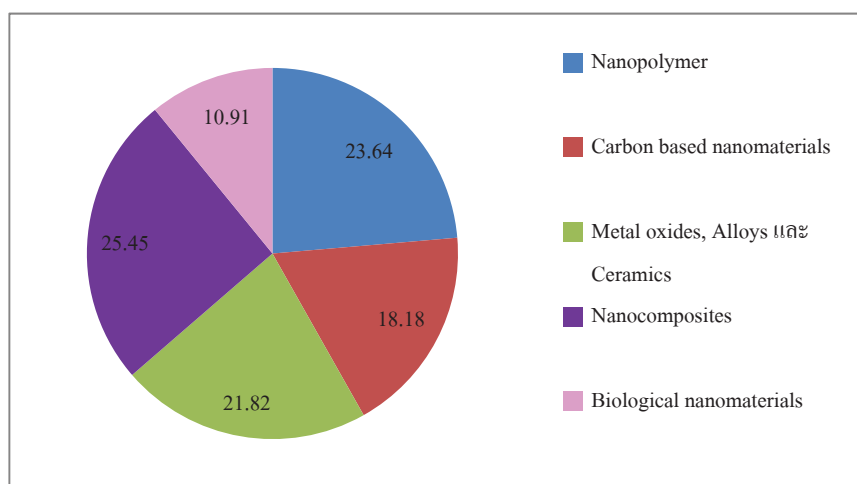
รูปที่ 4.26 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยนครสวรรค์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีการนำวัสดุนาโนประเภท Metal oxides, Alloys และ Ceramics ไปใช้ในงานวิจัยมากที่สุด คือร้อยละ 34.62 ของงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ดังแสดงในรูปที่ 4.27 โดยวัสดุนาโนที่ใช้คือ Bulk Nanostructures metals and powder (TiO_2)



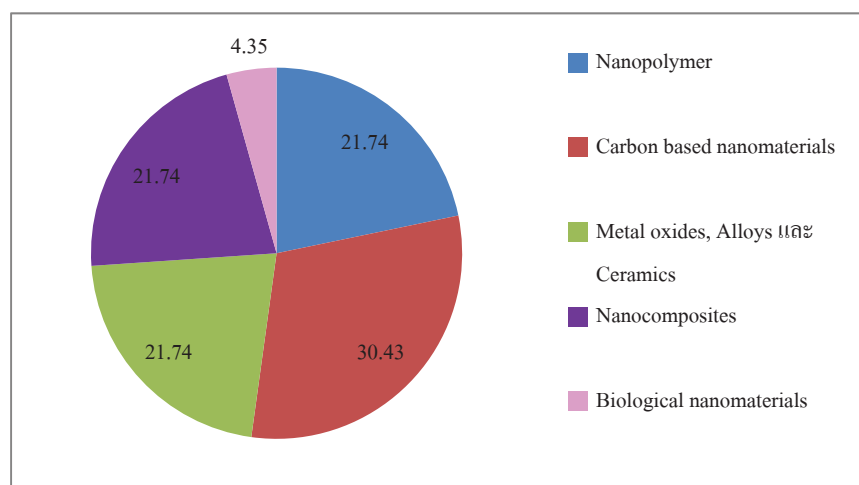
รูปที่ 4.27 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีการนำวัสดุนาโนทุกประเภทไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี โดยมีการใช้ Nanocomposites มากที่สุด คือร้อยละ 25.45 ของงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ดังแสดงในรูปที่ 4.28 โดยวัสดุนาโนที่ใช้คือ Quantum dots, Core shell nanoparticles และ Metal-ceramic nanocomposites



รูปที่ 4.28 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

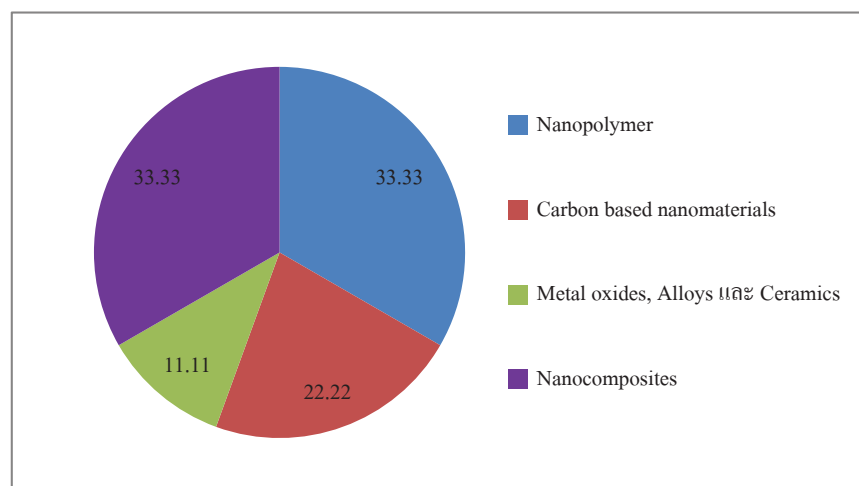
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มีการนำวัสดุนาโนทุกประเภทไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี โดยมีการใช้ Carbon based nanomaterials มากที่สุด คือร้อยละ 30.43 ของงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ดังแสดงในรูปที่ 4.29 โดยวัสดุนาโนที่ใช้คือ Single Nanostructures–Particles, Single Nanostructures–Nanotubes (SWCNT, MWCNT), Films, Coatings, Nano–structures และ Nanostructures bulk materials



รูปที่ 4.29 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัย
ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

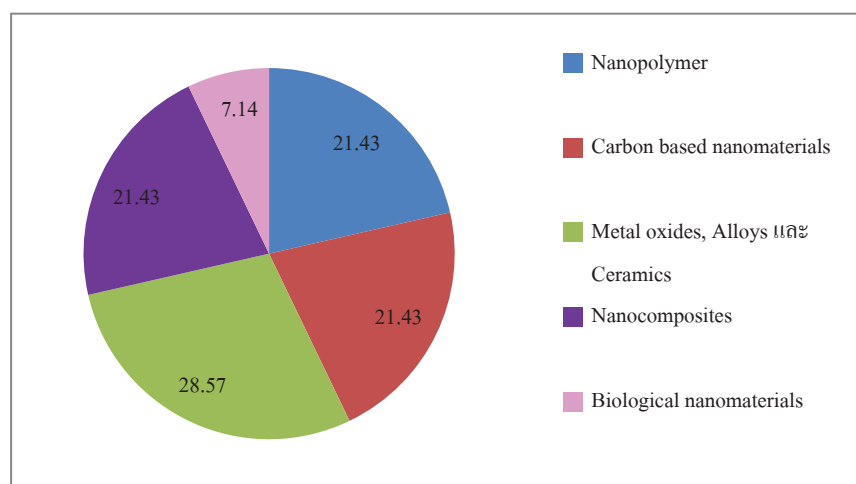
มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีการนำวัสดุนาโนประเภท Nanopolymer และ Nanocomposites ไปใช้ในงานวิจัยมากที่สุด คือร้อยละ 33.33 ของงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ดังแสดงในรูปที่ 4.30 โดยวัสดุ

นาโนประเภท Nanopolymer ที่ใช้คือ Non self-assembled structures (Nanofibers) และวัสดุนาโนประเภท Nanocomposites ที่ใช้คือ Quantum dots และ Metal-ceramic nano-composites



รูปที่ 4.30 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัย
ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีการนำวัสดุนาโนทุกประเภทไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี โดยมีการใช้ ประเภท Metal oxides, Alloys และ Ceramics มากที่สุด คือร้อยละ 28.57 ของงานวิจัยด้าน นาโนเทคโนโลยี ดังแสดงในรูปที่ 4.31 โดยวัสดุนาโนที่ใช้คือ Bulk Nanostructures metals and powder (TiO_2)



รูปที่ 4.31 ร้อยละของประเภทวัสดุนาโนที่นำไปใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีการนำวัสดุนาโนประเภท Metal oxides, Alloys และ Ceramics ประเภท Nanopolymer, Carbon based nanomaterials และ Nanocomposites แต่ละประเภทคิดเป็นร้อยละ 25 ไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย มีการนำวัสดุนาโนประเภท Metal oxides, Alloys และ Ceramics และประเภท Biological nanomaterials แต่ละประเภทคิดเป็นร้อยละ 50 ไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มีการนำวัสดุนาโนประเภท Nanopolymer และประเภท Carbon based nanomaterials ร้อยละ 50 ไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีการนำวัสดุนาโนประเภท Nanopolymer ร้อยละ 66.67 และประเภท Carbon based nanomaterials ร้อยละ 33.33 ไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีการนำวัสดุนาโนประเภท Nanopolymer เพียงประเภทเดียวไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี

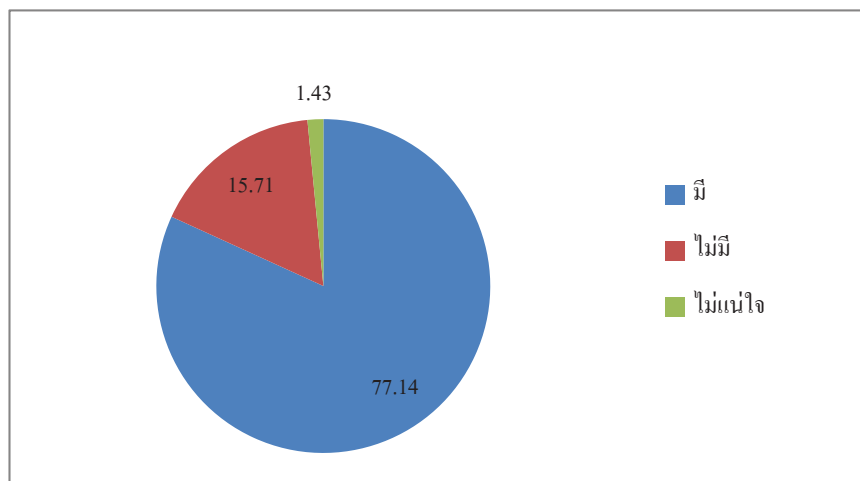
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีการนำวัสดุนาโนประเภท Metal oxides, Alloys และ Ceramics เพียงประเภทเดียวไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และมหาวิทยาลัยบูรพา มีการนำวัสดุนาโนประเภท Carbon based nanomaterials เพียงประเภทเดียวไปใช้ในงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี

4.2.3 การดำเนินงานด้านการวิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยี

จากการส่งแบบสอบถามโครงการการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี ซึ่งเป็นแบบสอบถามสำหรับเจ้าหน้าที่/นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ และศูนย์รับวิเคราะห์ จำนวน 130 ชุด ซึ่งได้รับการตอบรับกลับมาจำนวน 70 ชุด สามารถสรุปเนื้อหาได้ดังนี้

หน่วยงานส่วนใหญ่มีวิชาที่ปฏิบัติการเกี่ยวกับงานทางด้านนาโนเทคโนโลยี คิดเป็นร้อยละ 81.82 ของจำนวนแบบสอบถามทั้งหมด และไม่มีวิชาที่ปฏิบัติการเกี่ยวกับงานทางด้านนาโนเทคโนโลยี คิดเป็นร้อยละ 16.67 และไม่แน่ใจในการดำเนินงานของหน่วยงานเพียงร้อยละ 1.52 เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.32

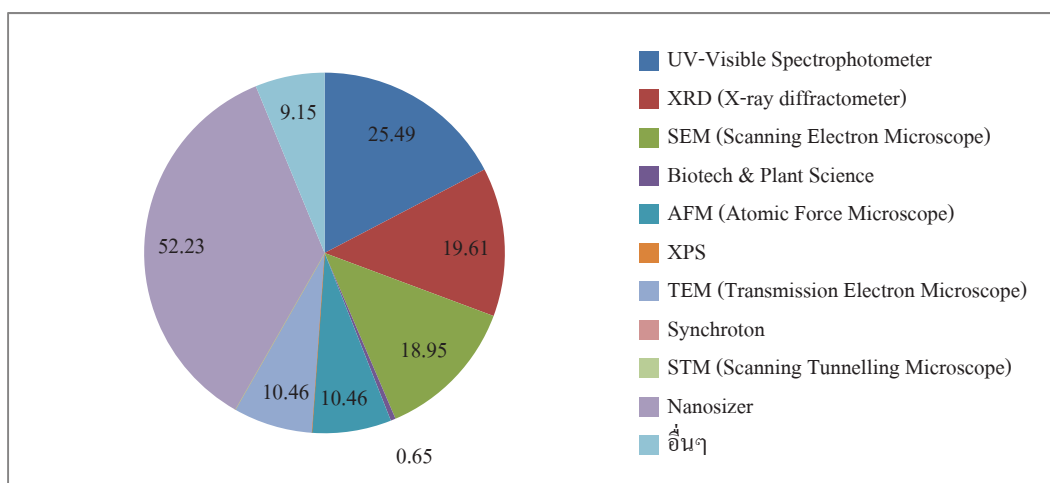


รูปที่ 4.32 ร้อยละของหน่วยงานที่มีวิชาที่ปฏิบัติการเกี่ยวกับงานทางด้านนาโนเทคโนโลยี

หน่วยงานส่วนใหญ่มีเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ร้อยละ 25.49 ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์งานทางด้านนาโนเทคโนโลยี รองลงมาเป็นเครื่อง XRD (X-ray diffractometer) และ SEM (Scanning Electron Microscope) ร้อยละ 19.61 และ 18.95 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.33

ตารางที่ 4.3 หน่วยงานที่อุปกรณ์ / เครื่องมือในการวิเคราะห์ทดสอบสำหรับงานทางด้านนาโนเทคโนโลยี

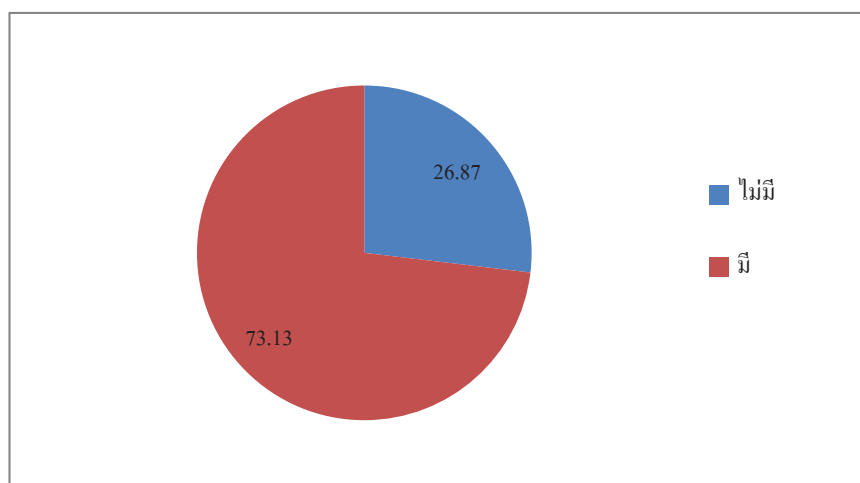
	ร้อยละ
UV-Visible Spectrophotometer	25.49
XRD (X-ray diffractometer)	19.61
SEM (Scanning Electron Microscope)	18.95
Biotech & Plant Science	0.65
AFM (Atomic Force Microscope)	10.46
XPS	0
TEM (Transmission Electron Microscope)	10.46
Synchrotron	0
STM (Scanning Tunnelling Microscope)	0
Nanosizer	5.23
อื่นๆ เช่น EDX (Energy-dispersive X-ray spectroscopy), Particle Size Analyzer, Raman spectroscopy, SPR (surface plasmon resonance), solar cell simulator, GC (Gas chromatography)	9.15



รูปที่ 4.33 ร้อยละของอุปกรณ์ / เครื่องมือในการวิเคราะห์ทดสอบ
สำหรับงานทางด้านนาโนเทคโนโลยี

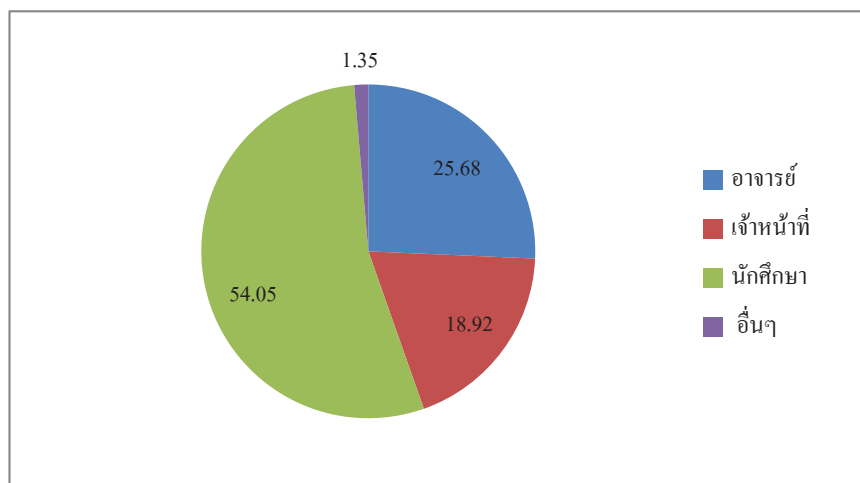
4.2.4 ความปลอดภัยของการดำเนินงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์

สำหรับมาตรการในการให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการพบว่า หน่วยงานส่วนใหญ่ ร้อยละ 90.77 มีมาตรการในการให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัย มีเพียงร้อยละ 9.23 เท่านั้น ที่ไม่มีมาตรการในการให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ร้อยละของหน่วยงานมาตรการในการให้ความรู้ ความเข้าใจ
เกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

โดยกลุ่มเป้าหมายในการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นนักศึกษา ร้อยละ 50.00 รองลงมาคือ เจ้าหน้าที่ และอาจารย์ ร้อยละ 26.47 และ 20.59 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.35



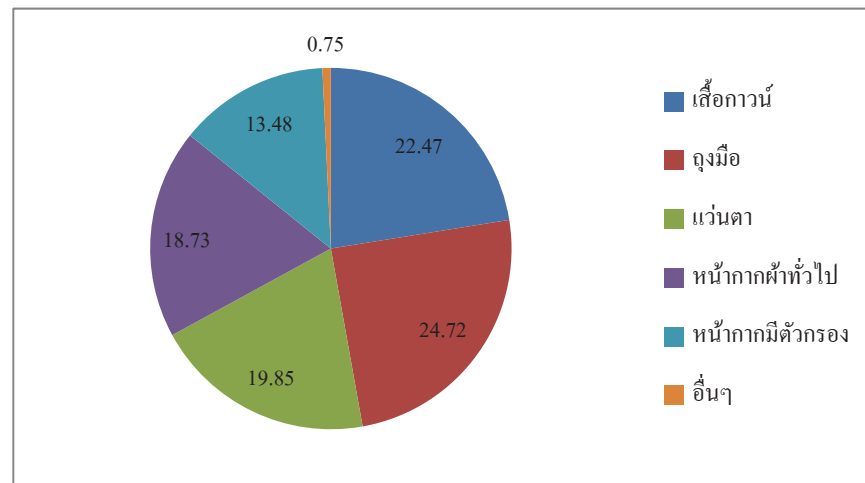
รูปที่ 4.35 ร้อยละของกลุ่มเป้าหมายในการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.4 ช่องทางการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

ช่องทางการให้ความรู้	การอบรม/สัมมนา	แจกเอกสารเผยแพร่/สื่อ	ร้อยละ
			อื่นๆ
สำหรับอาจารย์	88.68	9.43	1.89
สำหรับเจ้าหน้าที่	88.98	7.41	3.70
สำหรับนักศึกษา	75.38	10.77	13.85

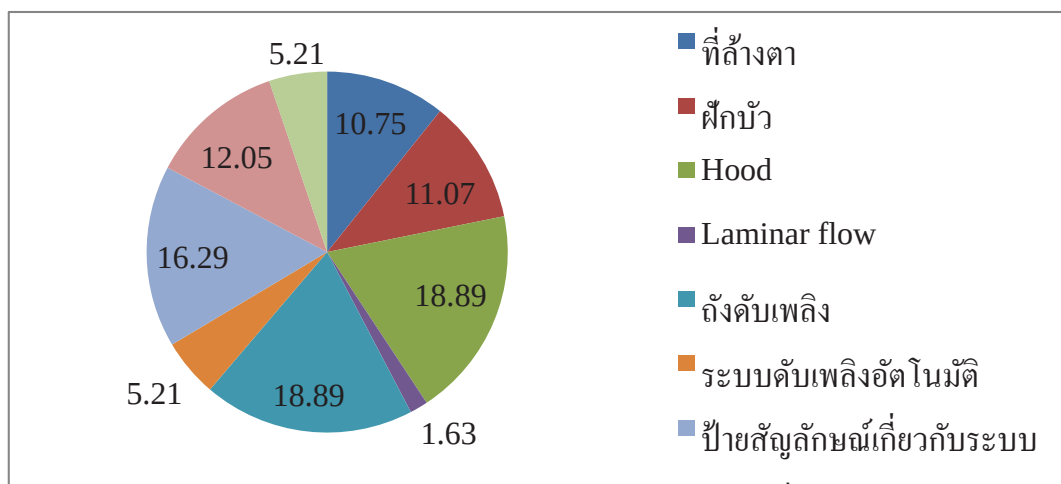
จากตารางที่ 4.4 พบว่า หน่วยงานมีช่องทางการให้ความรู้ส่วนใหญ่ คือ การอบรม/สัมมนา โดยสำหรับเจ้าหน้าที่ คิดเป็นร้อยละ 88.98 สำหรับอาจารย์ และนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 88.68 และ 75.38

โดยทุกหน่วยงานมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ทางด้านความปลอดภัยส่วนบุคคล ซึ่งส่วนใหญ่คือ ถุงมือ คิดเป็นร้อยละ 24.72 อุปกรณ์รองลงมาคือ เสื้อกาวน์ คิดเป็นร้อยละ 22.47 อุปกรณ์ถัดมาคือ แว่นตา คิดเป็นร้อยละ 19.85 อุปกรณ์ถัดมาคือ หน้ากากผ้าทั่วไป คิดเป็นร้อยละ 18.73 และหน้ากากมีตัวกรอง คิดเป็นร้อยละ 13.48 ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดโดยส่วนใหญ่เป็นการจัดหาโดยห้องปฏิบัติการร้อยละ 87.76 และเป็นการจัดหาโดยนักศึกษาร้อยละ 12.24 ดังรูปที่ 4.36



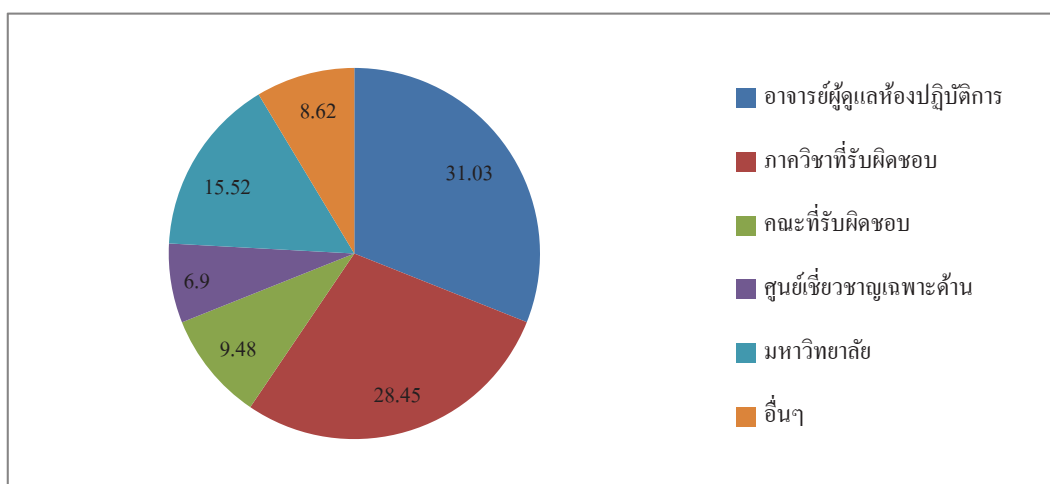
รูปที่ 4.36 ร้อยละอุปกรณ์ทางด้านความปลอดภัยส่วนบุคคล

สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ พบว่า อุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่มีการติดตั้งคือ Hood และถังดับเพลิง แต่ละชนิดคิดเป็นร้อยละ 18.89 รองลงมาคือป้ายสัญลักษณ์เกี่ยวกับระบบสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 26.29 และอุปกรณ์ที่มีจำนวนการติดตั้งใกล้เคียงกันคือ ทางหนีไฟ ฝักบัว และที่ล้างตา คิดเป็นร้อยละ 12.05, 11.07 และ 10.75 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 ร้อยละของอุปกรณ์ความปลอดภัยที่มีการติดตั้งในห้องปฏิบัติการ

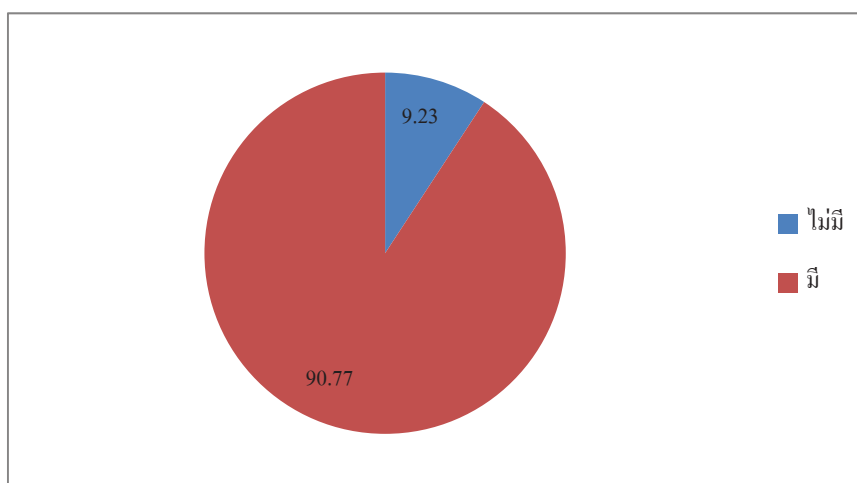
แหล่งงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นแหล่งงบประมาณจากอาจารย์ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 31.03 รองลงมาคือภาควิชาที่รับผิดชอบ คิดเป็นร้อยละ 28.45 และมหาวิทยาลัย คิดเป็นร้อยละ 15.52 ดังแสดงในรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ร้อยละของแหล่งงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์

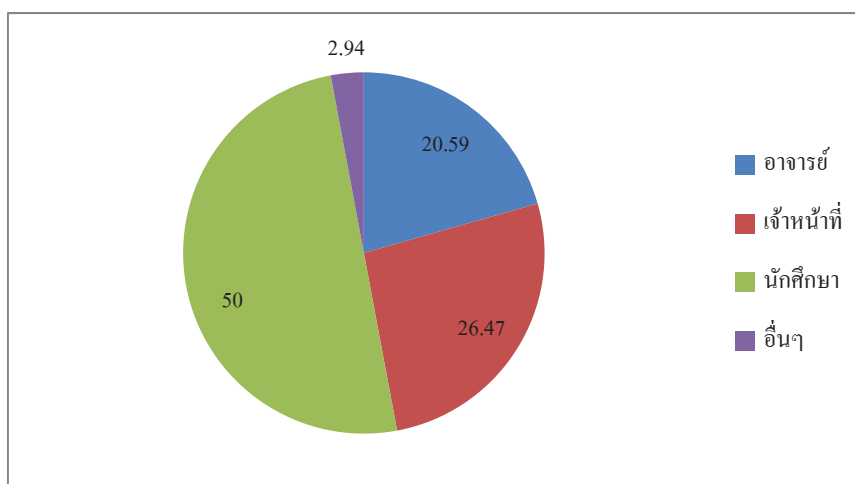
4.2.5 ความปลอดภัยของการดำเนินงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

สำหรับมาตรการในการให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี พบว่า หน่วยงานส่วนใหญ่ ร้อยละ 73.13 มีมาตรการในการให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี และร้อยละ 26.87 ไม่มีมาตรการให้ความรู้ ดังแสดงในรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 ร้อยละของหน่วยงานที่มีมาตรการในการให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

โดยกลุ่มเป้าหมายในการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี ส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาร้อยละ 50.00 รองลงมาคือเจ้าหน้าที่ และอาจารย์ร้อยละ 26.47 และ 20.59 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.40



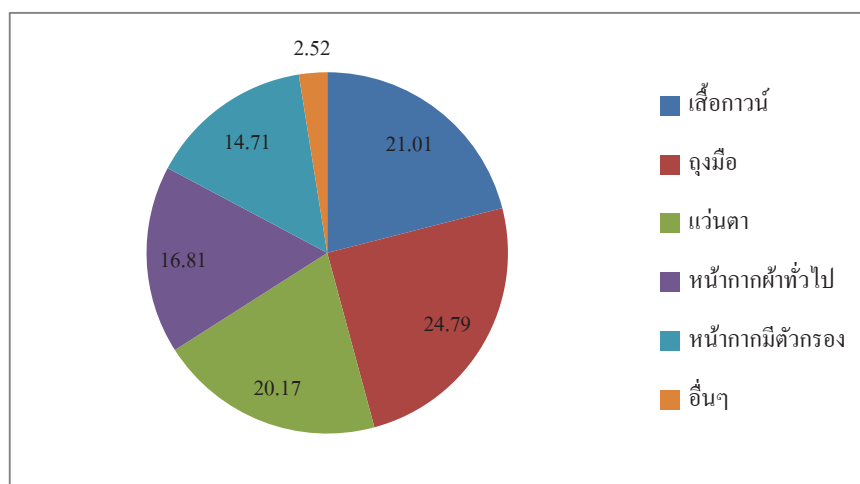
รูปที่ 4.40 ร้อยละของกลุ่มเป้าหมายในการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

ตารางที่ 4.5 ช่องทางการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

ช่องทางการให้ความรู้	ร้อยละ		
	การอบรม/สัมมนา	แจกเอกสารเผยแพร่/สื่อ	อื่นๆ
สำหรับอาจารย์	90.00	10.00	0
สำหรับเจ้าหน้าที่	97.37	2.63	0
สำหรับนักศึกษา	91.84	6.12	2.04

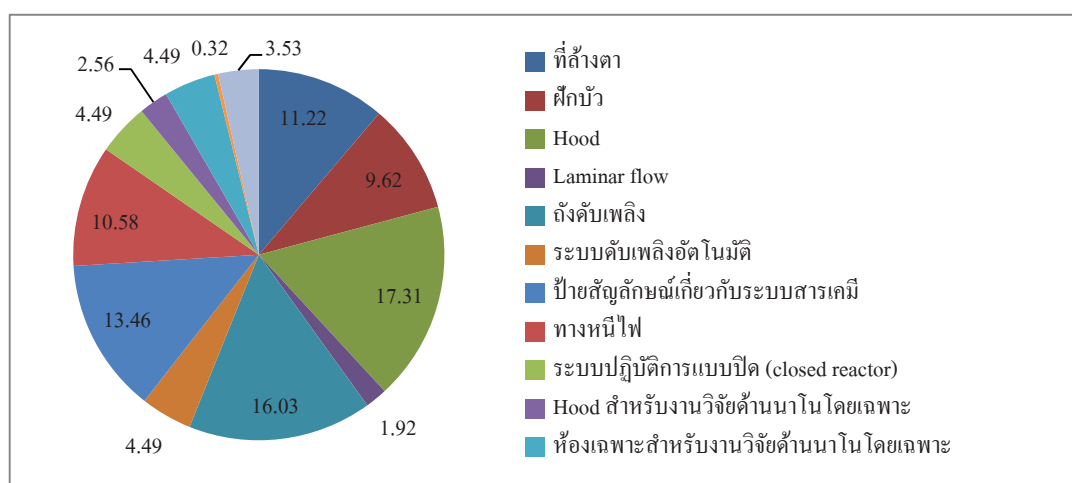
จากตารางที่ 4.5 พบว่าช่องทางการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยีส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 90 เป็นการให้ความรู้โดยการอบรม/สัมมนา

โดยพบว่า หน่วยงานมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ทางด้านความปลอดภัยส่วนบุคคลสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี ถึงร้อยละ 94.29 โดยอุปกรณ์ที่เตรียมส่วนใหญ่คือ ถุงมือ คิดเป็นร้อยละ 24.79 อุปกรณ์รองลงมาคือ เสื้อกาวน์ คิดเป็นร้อยละ 21.01 อุปกรณ์ถัดมาคือ แว่นตา คิดเป็นร้อยละ 20.71 อุปกรณ์ถัดมาคือ หน้ากากผ้าทั่วไป คิดเป็นร้อยละ 16.81 และหน้ากากมีตัวกรอง คิดเป็น ร้อยละ 14.71 ซึ่งในการจัดหาอุปกรณ์โดยส่วนใหญ่เป็นการจัดหาโดยห้องปฏิบัติการ ร้อยละ 85.63 และเป็นการจัดหาโดยนักศึกษา ร้อยละ 14.37 ดังรูปที่ 4.41



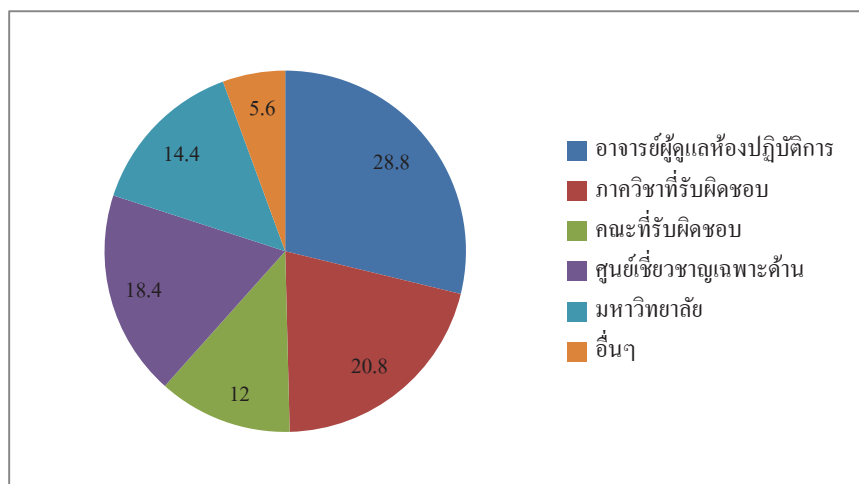
รูปที่ 4.41 ร้อยละของอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยส่วนบุคคล
ที่มีการจัดเตรียมสำหรับใช้ในการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

สำหรับอุปกรณ์ความปลอดภัยที่มีการติดตั้งในห้องปฏิบัติการสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี พบว่า หน่วยงานร้อยละ 94.29 มีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งอุปกรณ์ที่ติดตั้งส่วนใหญ่คือ Hood คิดเป็นร้อยละ 17.31 รองลงมาคือถังดับเพลิง คิดเป็นร้อยละ 16.03 ป้ายสัญลักษณ์เกี่ยวกับระบบสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 13.46 และอุปกรณ์ที่มีจำนวนการติดตั้งใกล้เคียงกันคือ ที่ล้างตา ทางหนีไฟ และฝักบัว คิดเป็นร้อยละ 11.22, 10.58 และ 9.62 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.42



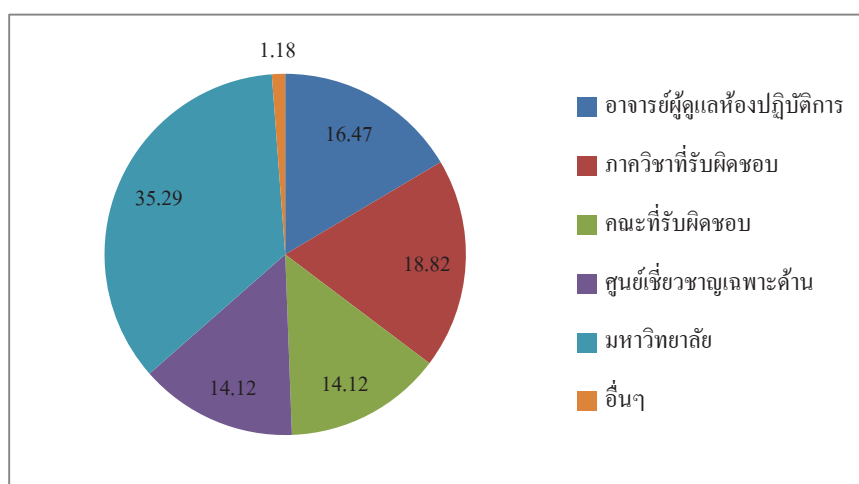
รูปที่ 4.42 ร้อยละของอุปกรณ์ความปลอดภัยที่มีการติดตั้งในห้องปฏิบัติการ
สำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

สำหรับแหล่งงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ด้านความปลอดภัยสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี ส่วนใหญ่มาจากอาจารย์ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการ คิดเป็นร้อยละ 28.80 รองลงมาคือภาควิชาที่รับผิดชอบ คิดเป็นร้อยละ 20.80 และศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน คิดเป็นร้อยละ 18.40 ดังแสดงในรูปที่ 4.43



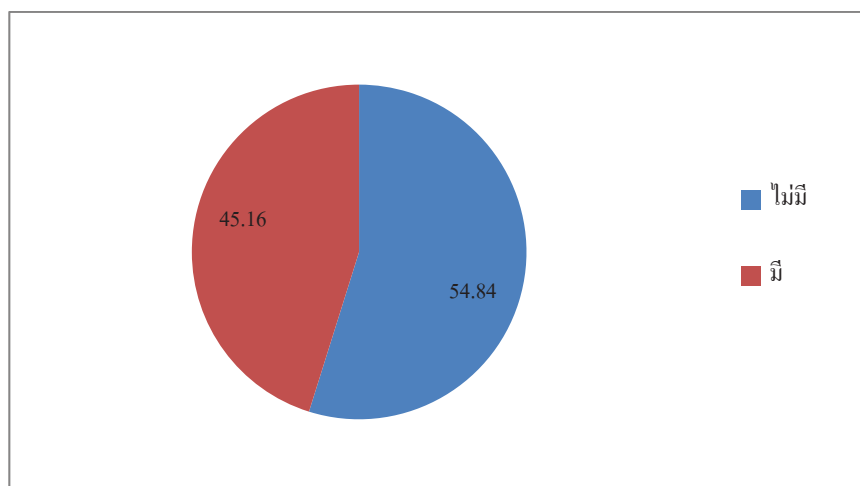
รูปที่ 4.43 ร้อยละของแหล่งงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ด้านความปลอดภัย
สำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า งบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ด้านความปลอดภัยสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี ควรได้รับการสนับสนุนจากทางมหาวิทยาลัยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 35.29 รองลงมาคือภาควิชาที่รับผิดชอบร้อยละ 18.82 และอาจารย์ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการ ร้อยละ 16.47 ดังรูปที่ 4.44



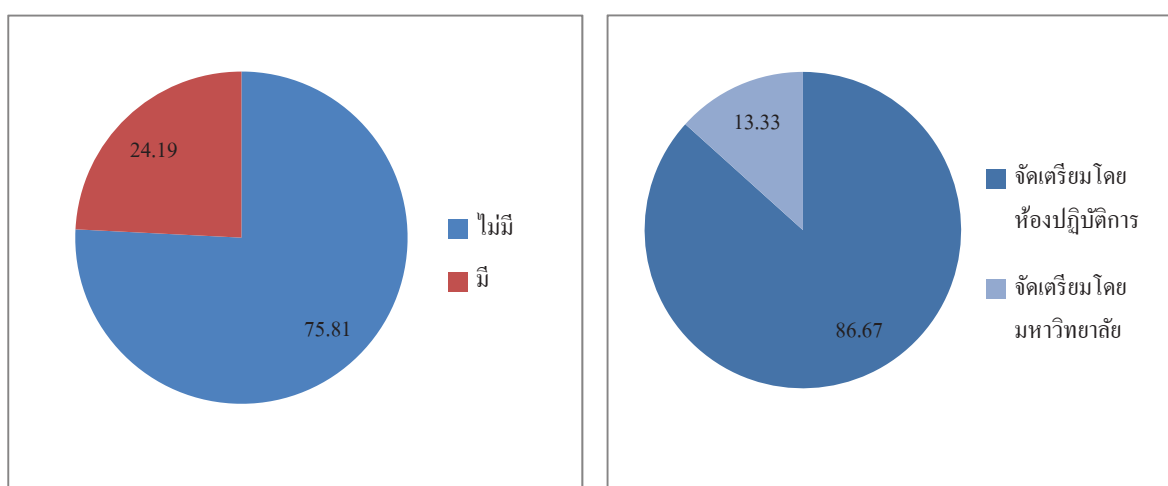
รูปที่ 4.44 ร้อยละของหน่วยงานที่ควรสนับสนุนงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์
ด้านความปลอดภัยสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

จากแบบสอบถาม พบว่า หน่วยงานส่วนใหญ่ไม่มีสถานที่จัดเก็บสารเคมีหรือวัสดุนาโนเพื่อใช้ในการวิจัยโดยเฉพาะ คิดเป็นร้อยละ 54.84 และมีสถานที่จัดเก็บ ร้อยละ 45.16 ดังแสดงในรูปที่ 4.45



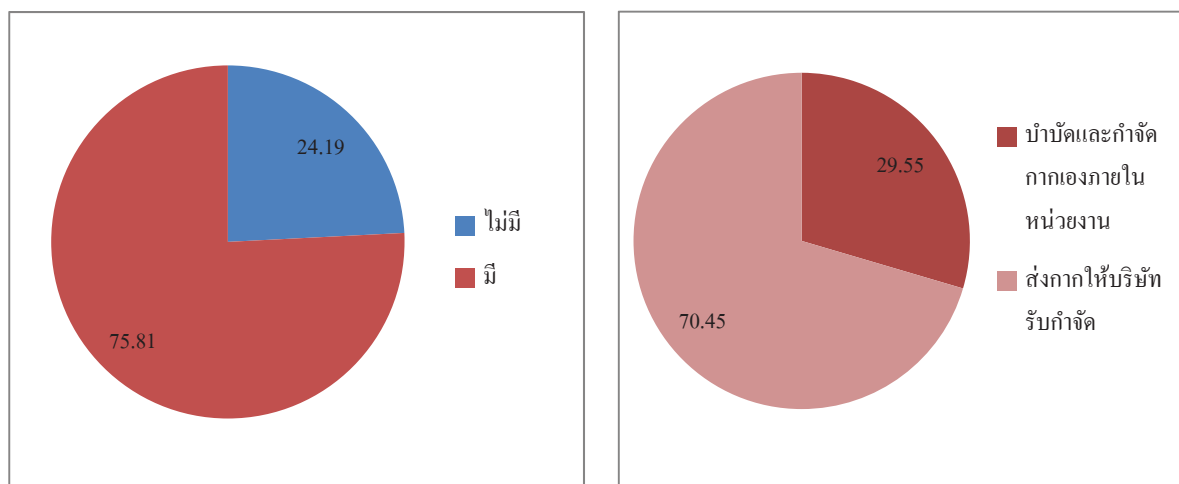
รูปที่ 4.45 ร้อยละของหน่วยงานที่มีสถานที่จัดเก็บสารเคมีหรือวัสดุนาโนเพื่อใช้ในการวิจัย

จากแบบสอบถาม พบว่า หน่วยงานไม่มีข้อกำหนด/ระเบียบปฏิบัติด้านความปลอดภัยให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี คิดเป็นร้อยละ 75.81 และมีข้อกำหนด/ระเบียบเพียงร้อยละ 24.19 ซึ่งจากหน่วยงานที่มีข้อกำหนด/ระเบียบนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นการจัดเตรียมโดยห้องปฏิบัติการร้อยละ 86.67 และเป็นการจัดเตรียมโดยมหาวิทยาลัยร้อยละ 13.33 ดังแสดงในรูปที่ 4.46



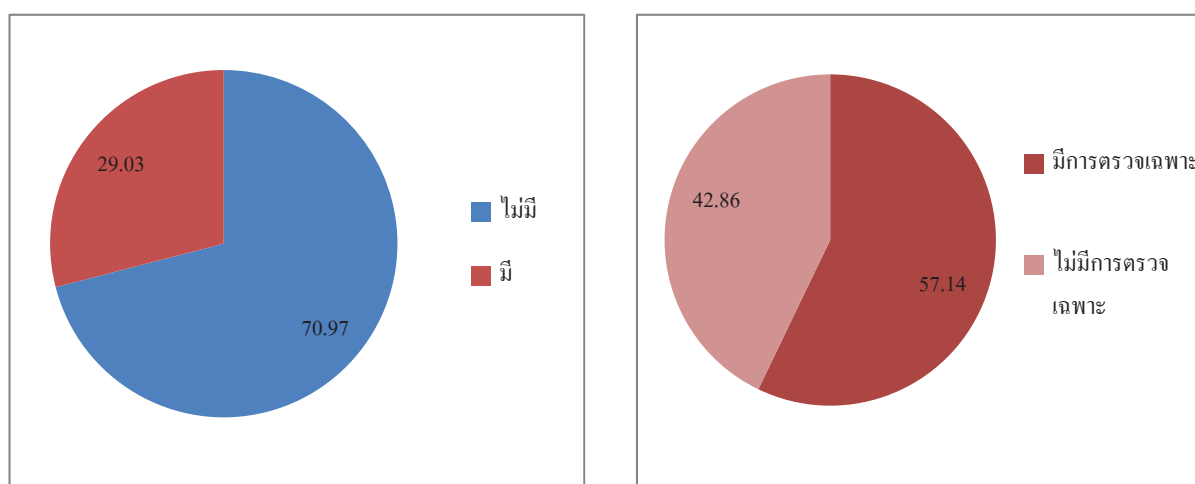
รูปที่ 4.46 ร้อยละของหน่วยงานที่มีข้อกำหนด/ระเบียบปฏิบัติด้านความปลอดภัยให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี

หน่วยงานส่วนใหญ่มีการรวบรวมของเสีย/สารเคมีที่เกิดจากการวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีที่ใช้แล้ว โดยคิดเป็นร้อยละ 75.81 ซึ่งหลังจากที่รวบรวมแล้ว จะมีการบำบัดของเสีย คิดเป็นร้อยละ 97.92 โดยจะส่งกากให้บริษัทรับกำจัด คิดเป็นร้อยละ 70.45 และมีบางส่วนที่บำบัดและกำจัดกากเองภายในหน่วยงาน คิดเป็นร้อยละ 29.55 ดังแสดงในรูปที่ 4.47



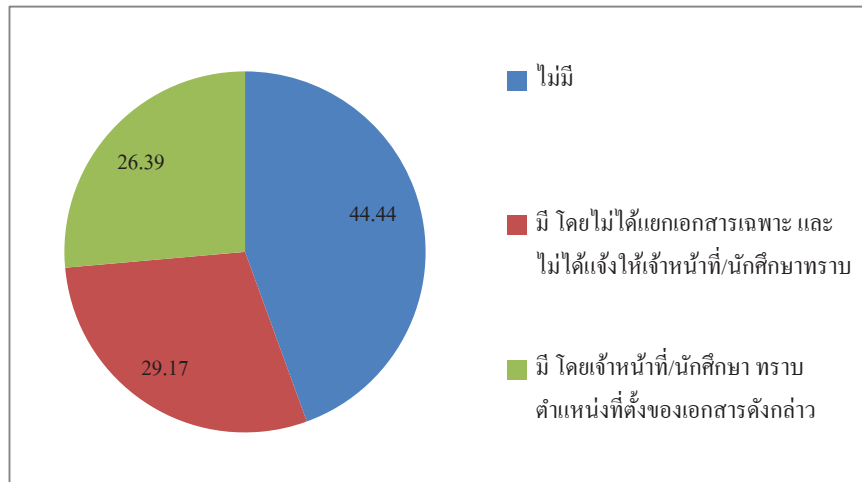
รูปที่ 4.47 ร้อยละของหน่วยงานที่มีการรวบรวมของเสีย/สารเคมีที่เกิดจากการวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีที่ใช้แล้ว

จากแบบสอบถาม พบว่า หน่วยงานส่วนใหญ่ไม่มีการตรวจสอบสภาพให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา ที่มีความเสี่ยงจากการได้รับ สัมผัสกับวัสดุนาโน หรือทำงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คิดเป็นร้อยละ 70.97 และมีการตรวจสอบสภาพ ร้อยละ 29.03 ซึ่งในจำนวนนี้มีการตรวจเฉพาะ ร้อยละ 57.14 และไม่มีการตรวจเฉพาะ ร้อยละ 42.86 ดังแสดงในรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 ร้อยละของหน่วยงานที่มีการตรวจสอบสภาพให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา ที่มีความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสกับวัสดุนาโน หรือทำงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

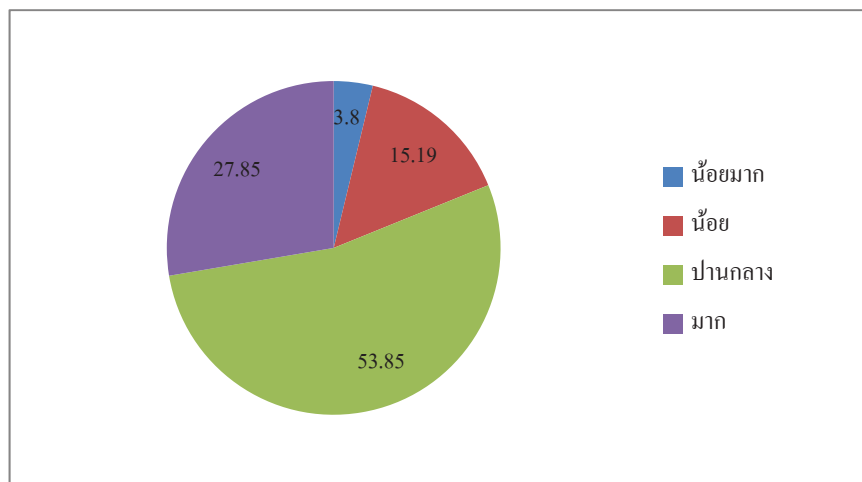
จากแบบสอบถาม พบว่า ร้อยละ 44.44 ของหน่วยงาน ไม่มี MSDS ให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา เพื่อใช้ประกอบการทำงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี และมี MSDS ให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา โดยไม่ได้แจ้งให้เจ้าหน้าที่/นักศึกษาทราบ คิดเป็นร้อยละ 29.17 และมี MSDS ให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา โดยเจ้าหน้าที่/นักศึกษาทราบตำแหน่งที่ตั้งของเอกสารดังกล่าว คิดเป็นร้อยละ 26.39 ดังแสดงในรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 ร้อยละของหน่วยงานที่มี MSDS ให้กับเจ้าหน้าที่/นักศึกษา เพื่อใช้ประกอบการทำงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี

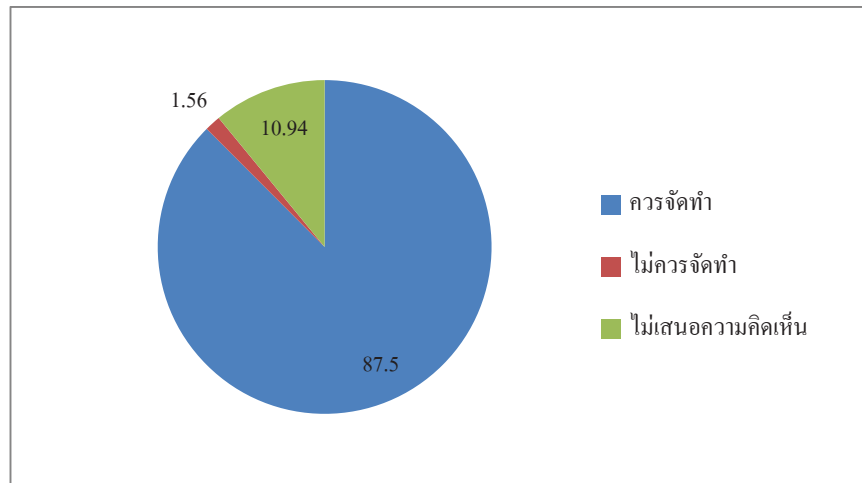
4.2.6 ข้อคิดเห็นต่อการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีสำหรับห้องปฏิบัติการและศูนย์วิเคราะห์

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทางการปฏิบัติด้านความปลอดภัยสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยีปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 53.16 รองลงมาคือมีความรู้ความเข้าใจมาก และน้อย คิดเป็นร้อยละ 27.85 และ 15.19 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.50



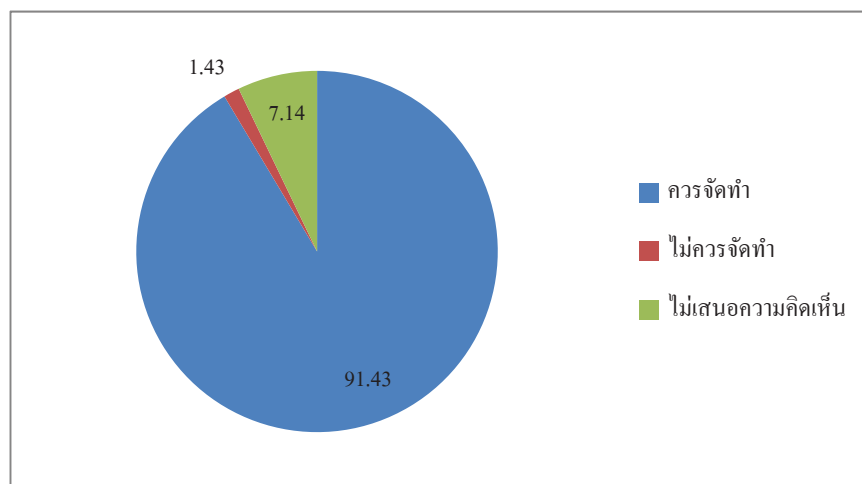
รูปที่ 4.50 ร้อยละของระดับความรู้ความเข้าใจของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการปฏิบัติด้านความปลอดภัยสำหรับการวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เห็นว่าควรมีการจัดทำนโยบายด้านความปลอดภัยของการทำงานที่เกี่ยวข้องด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี คิดเป็นร้อยละ 87.50 ดังแสดงในรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.51 ร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีความคิดเห็นต่อการจัดทำนโยบายด้านความปลอดภัยของการทำงานที่เกี่ยวข้องด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดเห็นว่าควรมีการจัดทำคู่มือความปลอดภัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี คิดเป็นร้อยละ 91.43 และร้อยละ 7.14 เห็นว่าไม่ควรจัดทำ ดังแสดงในรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 ร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีความคิดเห็นต่อการจัดทำคู่มือความปลอดภัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี

บทที่ 5

แนวทางและวิธีการในการร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

5.1 การเชื่อมโยงข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโนจากต่างประเทศกับข้อมูลด้านงานวิจัยนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทย

1) การทบทวนเอกสารต่างประเทศ

จากการทบทวนข้อมูลความปลอดภัยของวัสดุนาโนจากองค์กรต่างๆ ของต่างประเทศ ดังที่มีการสรุปเนื้อหาและประเด็นสำคัญซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 2 ภาพรวมการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับนาโนเทคโนโลยีในต่างประเทศไปแล้วนั้น ทางคณะผู้วิจัยยังได้รวบรวมมาตรการในการสร้างความปลอดภัยในการทำงานกับวัสดุนาโนของมหาวิทยาลัยต่างประเทศและสถาบันวิจัยชั้นนำอีกหลายแห่ง โดยเนื้อหาสำคัญของเอกสารทั้งหมดได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งประกอบด้วยรายการของเอกสาร วัตถุประสงค์และเนื้อหาของเอกสารแต่ละงานที่ทางคณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ไว้ ทั้งนี้เอกสารที่ได้นำเสนอนี้จะนำเสนอเฉพาะเอกสารหลักที่ได้มีการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิของโครงการแล้วว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประกอบการร่างคู่มือความปลอดภัยสำหรับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีเท่านั้น

จากภาพรวมของเอกสารด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนจากต่างประเทศ ทำให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นในการนำมาใช้ร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทยโดยได้จัดหมวดหมู่ของข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากต่างประเทศเป็น 3 หมวดหมู่ ดังนี้

- เอกสารกลุ่มที่ 1 การประเมินความเสี่ยง การได้รับวัสดุนาโนและผลกระทบต่อสุขภาพของวัสดุนาโน (เอกสารหมายเลข 1-5)

เป็นเอกสารที่นำมาใช้ในการวางกรอบในการทำคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี โดยคณะผู้วิจัยจะคำนึงถึงประเด็นความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่ได้ระบุไว้ในเอกสารเหล่านี้ รวมไปถึงแนวความคิดด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่เป็นสากล ซึ่งรวมถึงผลการศึกษาด้านความเป็นพิษของวัสดุนาโนจากหน่วยงานต่างๆ และมหาวิทยาลัยทั่วโลกที่ได้มีการทบทวนและยอมรับ เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณากำหนดข้อควรปฏิบัติ ข้อควรระวัง เมื่อต้องทำงานกับวัสดุนาโน พร้อมทั้งเอกสารเหล่านี้เป็นแหล่งข้อมูลพื้นฐานหลักที่สามารถใช้ในการหาข้อมูลความเป็นพิษของวัสดุนาโนแต่ละชนิด รวมทั้งอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เช่น ไฟไหม้ ระเบิด เป็นต้น ของวัสดุนาโนได้

ตารางที่ 5.1 เอกสารหลักที่ใช้ในการจัดทำร่างคู่มือความปลอดภัยในการวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

ชื่อเอกสาร	หน่วยงานที่จัดทำ	วัตถุประสงค์ของเอกสาร	เนื้อหาที่ครอบคลุม	การนำไปใช้งาน
1. Approaches to Safe Nanotechnology	The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), US	ให้แนวทางในการสร้างความปลอดภัยในอาชีพอาชีวนามัย และการลดผลกระทบต่อสุขภาพที่มาจากนาโนเทคโนโลยี	• ความเป็นพิษของวัสดุนาโน • การปลดปล่อยและการกระจายของวัสดุนาโน • การประเมินการได้รับวัสดุนาโน • อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล	• เป็นการนำไปใช้งานแบบสมัครใจ (voluntary based application) โดยไม่บังคับใช้ • เป็นแม่แบบในการสร้างคู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยหลายแห่งในประเทศสหรัฐอเมริกา
2. Best Practices Guide to Synthetic Nanoparticle Risk Management	Occupational Health and Safety Research (IRSST), Canada	พัฒนาแนวทางการสร้างโปรแกรมการป้องกันที่ได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายและการจัดการที่เหมาะสม	• ระบุอันตรายที่ได้รับจากวัสดุนาโน • การประเมินความเสี่ยงของวัสดุนาโน • กฎหมายและข้อบังคับต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน • การควบคุมปัจจัยเสี่ยง • การทำงานที่ปลอดภัยกับวัสดุนาโน	• เป็นการนำไปใช้งานแบบสมัครใจ (voluntary based application) โดยไม่บังคับใช้
3. Nano-Risk Framework	Environmental Defense – DuPont	พัฒนากรอบในการร่วมรับผิดชอบต่อการพัฒนา การผลิต การใช้งาน ไปจนถึงการรีไซเคิลตลอดช่วงอายุของวัสดุนาโนที่มีการนำมาเป็นผลิตภัณฑ์	• การประเมินความเสี่ยง • การจัดการวัสดุนาโนตลอดอายุการใช้งาน • ความปลอดภัยวัสดุนาโน • กฎหมายและมาตรการที่เกี่ยวข้อง	• เป็นเอกสารที่พัฒนาโดยบริษัทเอกชน เพื่อให้ใช้ในหน่วยงานของตน ซึ่งได้รับการยอมรับกันในการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย

ตารางที่ 5.1 เอกสารหลักที่ใช้ในการจัดทำร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี (ต่อ)

ชื่อเอกสาร	หน่วยงานที่จัดทำ	วัตถุประสงค์ของเอกสาร	เนื้อหาที่ครอบคลุม	การนำไปใช้งาน
4. BSI Nanotechnology Part1 Good practice guide	British Standard Institute	เพื่อให้แนวทางในการจัดเตรียมลักษณะเฉพาะทางเทคนิคในการสังเคราะห์วัสดุนาโนที่เหมาะสมเพื่อการนำไปปฏิบัติ โดยเนื้อหาไม่รวมไปถึงข้อมูลทางด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพ	- ลักษณะเฉพาะทางเคมีฟิสิกส์ของวัสดุนาโนที่มีการสังเคราะห์ขึ้น - วิธีการวิเคราะห์วัสดุนาโนอื่นๆ	เป็นมาตรฐานทั่วไปสำหรับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี
5. BSI Nanotech. Part2 Guide to safe handling	British Standard Institute	เพื่อให้แนวทางในการประเมินความเสี่ยงในการพัฒนา การผลิต และการใช้วัสดุนาโน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยรวมไปถึงการควบคุมความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้	- การได้รับวัสดุนาโน ผลกระทบและความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์ - วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม - แนวทางการทำงานที่ปลอดภัยกับวัสดุนาโน	เป็นมาตรฐานทั่วไปสำหรับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี
6. Approach to Nano-material ES&H	Office of Science, Department of Energy, US (for National Science Research Center, NSRC. It is widely used in US)	ให้แนวทางในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ของศูนย์วิจัย NSRC 5 แห่งของอเมริกา	- การทำงานที่ปลอดภัย - ควบคุมการปฏิบัติงานวิจัยและพัฒนาของห้องปฏิบัติการโดยเฉพาะ - การจัดการของเสียจากการทำวิจัยด้านวัสดุนาโน - การจัดการกับการตกหล่นและรั่วไหลของวัสดุนาโน	- เป็นคู่มือที่บังคับใช้สำหรับห้องปฏิบัติการของ 5 ศูนย์ของ NSRC - เป็นแนวทางในการร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยใน US

ตารางที่ 5.1 เอกสารหลักที่ใช้ในการจัดทำร่างคู่มือความปลอดภัยในการวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี (ต่อ)

ชื่อเอกสาร	หน่วยงานที่จัดทำ	วัตถุประสงค์ของเอกสาร	เนื้อหาที่ครอบคลุม	การนำไปใช้งาน
7. Guidance for handling and use of nanomaterials at the workplace	BAuA and VCI, German (Use in industrial workplace)	เป็นเอกสารที่ให้คำแนะนำในการผลิตและใช้วัสดุนาโนใน การผลิตและใช้วัสดุนาโนใน อุตสาหกรรม	ข้อแนะนำในการทำงานที่ปลอดภัยให้กับ ผู้ปฏิบัติงาน โดยจะอยู่ในลักษณะของ นโยบาย และข้อพึงปฏิบัติในงาน อุตสาหกรรมเป็นหลัก	นำไปใช้ในสถานที่ปฏิบัติงานของ บริษัทอุตสาหกรรมของประเทศ เยอรมัน
8. Guide for Handling Engineered Nanomaterials in Engineering Research and Development Center Laboratories	US. Army Corps of Engineers (Voluntary based, used in ERDC lab only)	ให้แนวทางในการลดผลกระทบ และความเสียหายที่เกิดขึ้นกับการ ได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกาย ระหว่างการทำงาน การใช้งาน และการกำจัดวัสดุนาโน	- การประเมินลักษณะของวัสดุนาโน - การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของวัสดุนาโน - การเก็บรักษาและใช้งาน - การควบคุมความปลอดภัยทาง วิศวกรรม - การกำจัดวัสดุนาโนหลังการใช้งาน	- กำหนดให้มีการใช้งานในองค์กร US. Army Corps ที่ทางงานวิจัย ด้านนาโนเทคโนโลยี - คู่มือนี้ถูกนำไปใช้อ้างอิงในการ กำหนดแนวทางในการทำวิจัยที่ เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีใน มหาวิทยาลัยหลายแห่งใน ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. Code of Conduct, ResponsibleNanoscience Nanotechnology Research	European Commission	เป็นการสร้างสิทธิพื้นฐานในการป้องกันตนเองของมนุษย์ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยจาก วัสดุนาโน ตลอดจนสร้างความ รับผิดชอบต่อองค์กรต่างๆในการ พัฒนาาโนเทคโนโลยี	ข้อกำหนด และมาตรการต่างๆที่จะ นำมาใช้ในกลุ่มประเทศ EU เพื่อให้ ความเข้าใจตรงกันและมีการรับผิดชอบ ร่วมกัน โดยแบ่งหมวดหมู่เป็น ความหมาย (Meaning) ข้อควรระวัง (Precaution), Inclusiveness, Innovation และ Accountability	- เป็นการนำไปใช้งานแบบ สมัครใจ (voluntary based application) โดยไม่บังคับใช้ - ถูกนำไปใช้ในกลุ่มประเทศ EU โดยครอบคลุมถึงองค์กร หน่วยงานวิจัย มหาวิทยาลัย และ อุตสาหกรรมที่มีกิจกรรมเกี่ยวกับ นาโนเทคโนโลยี

ตารางที่ 5.1 เอกสารหลักที่ใช้ในการจัดทำร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี (ต่อ)

ชื่อเอกสาร	หน่วยงานที่จัดทำ	วัตถุประสงค์ของเอกสาร	เนื้อหาที่ครอบคลุม	การนำไปใช้งาน
10. Responsible Nano Code	Nanotechnology Industries Association, USA	สร้างแนวทางในการปฏิบัติที่ดีในการกลุ่มธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี เพื่อให้เกิดการรับผิดชอบต่อความปลอดภัยและผลิตภัณฑ์ที่ได้ผลิตขึ้น	ข้อตกลงร่วมกันของสมาชิกในกลุ่มของ Nanotechnology Industries Association ในการร่วมรับผิดชอบต่อความปลอดภัยโดยได้แสดงเนื้อหาในรูปของ Board accountability, Stakeholder involvement, Worker and public health & safety, engaging with Business partners	เป็นการนำไปใช้งานแบบสมัครใจ (Voluntary based application) โดยไม่บังคับใช้
11. Code of conduct Nanotechnology	บริษัท BASF	เป็นเอกสารที่กำหนดความรับผิดชอบต่อของบริษัท ซึ่งครอบคลุมไปถึงพนักงาน ลูกค้า บริษัทจัดซื้อ และทุกภาคส่วนที่ทำงานกับ BASF ในการร่วมกันรับผิดชอบต่อผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีของบริษัท	ให้แนวทางการปฏิบัติ และความรู้รับผิดชอบในความปลอดภัยของนาโนเทคโนโลยี ที่พนักงาน ลูกค้า บริษัทจัดซื้อ และทุกภาคส่วนที่ทำงานกับ BASF ต้องรับผิดชอบ	เป็นเอกสารนโยบายที่บังคับใช้สำหรับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับบริษัท BASF

- เอกสารกลุ่มที่ 2 – แนวทางการปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี
(เอกสารหมายเลข 5-8)

เป็นเอกสารที่นำมาใช้เป็นต้นแบบในการทำคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีเชิงปฏิบัติได้ ทั้งนี้เนื่องจากเอกสารเหล่านี้เป็นเอกสารที่ได้มีการศึกษาค้นคว้าหลักการความปลอดภัยจากเอกสารกลุ่มที่ 1 มาแล้ว และนำมาพัฒนาเป็นแนวทางปฏิบัติที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง ทั้งนี้ในการจัดทำคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของโครงการนี้ไม่ได้ยึดถือเอาเอกสารใดเอกสารหนึ่งในกลุ่มนี้มาใช้โดยทันที แต่ได้พิจารณาบริบทการทำงานวิจัยของมหาวิทยาลัยไทยก่อนที่จะมีการคัดเลือกข้อปฏิบัติในแต่ละประเด็นมาใช้ นอกจากนี้ยังได้มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง และเพิ่มเติมข้อควรปฏิบัติให้เหมาะสมกับการทำงานวิจัยของประเทศไทยด้วย ภายใต้การแนะนำ การให้ความเห็น และการวิพากษ์จากผู้ทรงคุณวุฒิของโครงการ

- เอกสารกลุ่มที่ 3 – เอกสารเชิงนโยบายและมาตรการเพื่อให้เกิดการดำเนินงานที่ปลอดภัยด้านนาโนเทคโนโลยี (เอกสารหมายเลข 1-3, 9-11)

เป็นเอกสารที่เน้นด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนเชิงนโยบาย รวมไปถึงมาตรการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้กับมนุษย์ ซึ่งเอกสารหลายชิ้นได้กำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบขององค์กรที่แตกต่างกันไปตามบริบทขององค์กรที่ได้ร่างนโยบายนั้นๆ โดยทางคณะผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด และการกำหนดนโยบายขององค์กรต่างๆ รวมทั้งวิธีการการได้มาของนโยบายนั้นๆ ของเอกสารบางชิ้นที่สามารถติดตามการร่างเอกสารนั้นๆ ได้ เช่น Code of Conduct ของ European Commission เป็นต้นโดยทางคณะผู้วิจัยได้ใช้แนวทางในการร่างเอกสารนโยบายดังกล่าว มาใช้เป็นต้นแบบในการจัดกิจกรรมเพื่อให้เกิดการร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีสำหรับประเทศไทย ซึ่งดังจะได้กล่าวถึงกิจกรรม ตลอดจนแนวทาง และการร่างคู่มือในหัวข้อต่อไป

2) การทบทวนเอกสารในประเทศไทย

จากเอกสารความปลอดภัยด้านวัสดุนาโนของต่างประเทศ ทางคณะผู้วิจัยได้พิจารณาถึงเอกสารความปลอดภัยด้านวัสดุนาโนของประเทศไทย พบว่าในช่วงที่โครงการนี้ได้ดำเนินการอยู่นั้น ยังไม่มีเอกสารในด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนขององค์กรและหน่วยงานของไทยเผยแพร่ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนที่มีการเผยแพร่ในไทยจะเป็นการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของไทย ซึ่งมีการหาจากฐานข้อมูลต่างๆ เช่น Scirus หรือ ThaiLis เป็นต้น

5.2 การเชื่อมโยงข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโนของไทยและต่างประเทศกับสถานการณ์งานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยไทย

จากการสำรวจสถานการณ์งานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย โดยสำรวจจากมหาวิทยาลัยของไทย 15 แห่ง คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยสุรนารี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาวิทยาลัยบูรพา มหาวิทยาลัยศิลปากร และมหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่างานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยกลุ่มวัสดุนาโนที่นิยมใช้ในการทำวิจัยมากที่สุดเป็นกลุ่มของ metal oxides, alloys, ceramics รองลงมาคือวัสดุนาโนประเภท nanopolymer วัสดุนาโนประเภท nanocomposites และน้อยที่สุดคือวัสดุนาโนประเภท biological nanomaterials โดยชนิดของวัสดุนาโนที่มีการวิจัยค้นคว้ามากที่สุด มีดังนี้

- TiO_2
- Ag
- ZnO_2
- ท่อนาโนคาร์บอน แบบผนังหลายชั้น (multi-wall carbon nanotube, MWCNT)
- ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว (single-wall carbon nanotube, SWCNT)
- กลุ่มของเหล็ก (Fe) เช่น Fe^0 , Fe_2O_3
- นาโนอลูมินา (nano-alumina, Al_2O_3)
- กลุ่มของนาโนซิลิกา (nano-silica, SiO_2) และ MCM
- นาโนพอลิเมอร์ (nanopolymer)

โดยวัสดุต่างๆ เหล่านี้ได้มีการนำไปค้นคว้าวิจัย ในมหาวิทยาลัยหลายแห่ง ทั้งในส่วนของ การสังเคราะห์ การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ และการนำไปใช้งานกับอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ซึ่งมีการนำวัสดุนาโนเหล่านี้ไปเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย โดยวัสดุนาโนเหล่านี้มีความเป็นพิษที่แตกต่างกัน และต้องมีการเฝ้าระวังในส่วนของความปลอดภัยในการทำงานของวัสดุนาโนเหล่านี้ที่แตกต่างกันไปด้วยตามลักษณะของวัสดุนาโนนั้นๆ

จากการสำรวจการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนในประเด็นด้านความปลอดภัยนั้น พบว่าหลายมหาวิทยาลัยมีคู่มือและการปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับสารเคมีทั่วไปเท่านั้น แต่ยังไม่มีความปลอดภัยกับวัสดุนาโนโดยตรง ในขณะที่หลายมหาวิทยาลัยยังไม่มีคู่มือ และการปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยนั้นดำเนินการโดยนักวิจัยหรืออาจารย์ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการโดยตรง โดยยังไม่มีการจัดการในระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งนักวิจัยและผู้ดูแลห้องปฏิบัติการจากทุกมหาวิทยาลัย

ต่างต้องการให้มีการจัดทำคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีด้วยความตระหนักรู้ถึงภัยอันตราย และผลกระทบของวัสดุนาโนที่อาจเกิดขึ้นได้ต่อนักศึกษา และผู้วิจัย

ในส่วนของอุปกรณ์ความปลอดภัยในการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยนั้นพบว่า ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยส่วนใหญ่มีอุปกรณ์ความปลอดภัยพื้นฐานสำหรับสารเคมีทั่วไปอย่างเพียงพอ โดยอุปกรณ์เหล่านั้นสามารถนำมาใช้ในการป้องกันความปลอดภัยจากวัสดุนาโนร่วมด้วยได้ แต่ต้องมีคู่มือและแนวทางการใช้งานที่ถูกต้อง ซึ่งนักวิจัยและผู้ดูแลห้องปฏิบัติการต่างลงความเห็นว่าควรมีคู่มือปฏิบัติงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีโดยเฉพาะเพื่อให้สามารถปฏิบัติตามได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

จากความต้องการของอาจารย์และนักวิจัยของมหาวิทยาลัยทั้ง 15 แห่ง ที่เห็นควรให้มีคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี และจากข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการสำรวจที่สำคัญ ได้แก่

- ชนิดและประเภทวัสดุนาโนที่มีการค้นคว้าวิจัยในมหาวิทยาลัยไทย
- ลักษณะและการใช้งานของห้องปฏิบัติการในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี
- นโยบายระดับมหาวิทยาลัย กรม กอง เกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ
- รูปแบบและลักษณะการทำงานกับวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการของไทย
- คู่มือด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงานกับสารเคมี
- ชนิดและอุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับสารเคมี
- วิธีการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยของสารเคมี
- งบประมาณในการจัดหาอุปกรณ์ด้านความปลอดภัย
- อื่นๆ

ทางคณะผู้วิจัยได้พิจารณาบริบทของการทำงานของห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยไทยข้างต้นร่วมกับแนวความคิด ข้อกำหนด แนวทางในการจัดทำคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีของต่างประเทศเพื่อหาแนวทางในการจัดทำคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยที่เหมาะสมกับมหาวิทยาลัยไทยขึ้น โดยถ่วงน้ำหนักแนวทางที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักเกณฑ์ในการพิจารณาได้แก่

- แนวทางปฏิบัติด้านความปลอดภัยของต่างประเทศที่สามารถนำมาปฏิบัติได้ในประเทศไทย
- แนวทางปฏิบัติของต่างประเทศที่สามารถนำมาใช้งานได้โดยใช้อุปกรณ์พื้นฐานด้านความปลอดภัยที่มีอยู่แล้วในมหาวิทยาลัยไทย โดยไม่ต้องลงทุนงบประมาณมากนัก
- แนวนโยบายด้านความปลอดภัยของต่างประเทศที่สอดคล้องและจัดทำขึ้นได้ในไทย
- แนวทางปฏิบัติด้านความปลอดภัยของต่างประเทศที่ไม่ก่อให้เกิดอุปสรรคในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย

โดยแนวทางเหล่านี้ได้นำมาใช้เป็นแนวทางหลักในการพิจารณาข้อกำหนดต่างๆ ของเอกสารและคู่มือความปลอดภัยวัสดุของต่างประเทศและนำมาใช้เป็นแนวทางในการร่างคู่มือความปลอดภัยของวัสดุของไทย

5.3 กิจกรรมการจัดทำร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

ในการจัดทำร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีของคณะผู้วิจัยนั้น ได้แบ่งการทำงานเป็นสามส่วน คือ คณะร่างคู่มือความปลอดภัยฯ คณะผู้ทรงคุณวุฒิจากสาขาต่างๆ ในการปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยฯ และคณะทำงานในส่วนของห้องปฏิบัติการนำร่อง

โดยหน้าที่ของคณะทำงาน และรูปแบบการทำงานมีดังนี้

- การทำงานของคณะร่างคู่มือความปลอดภัยฯ

คณะทำงานร่างคู่มือความปลอดภัยฯ มีหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูล ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน แนวความคิด และแนวทางในการร่างคู่มือความปลอดภัยของวัสดุโดยรวมทั้งสารเคมีของไทยและต่างประเทศ และยกร่างคู่มือฯ ตามแนวทางที่ผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ความเห็นเพื่อนำเสนอต่อที่ประชุม รวมทั้งรวบรวมความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิในการประชุม และความเห็นจากเอกสารที่ใช้ในการโต้ตอบกับผู้ทรงคุณวุฒิมาใช้ในการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง และเพิ่มเติมประเด็นต่างๆ ในร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ตามความเห็นชอบของผู้ทรงคุณวุฒิ จนกว่าร่างคู่มือความปลอดภัยฯ จะได้รับการเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิ

- การทำงานของคณะผู้ทรงคุณวุฒิ

ผู้ทรงคุณวุฒิประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญจากหลายสาขารวมทั้งสิ้น 60 คน จากสาขาต่างๆ เช่น นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี แพทยศาสตร์ สาธารณสุขและชีวอนามัย วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรม วิทยาศาสตร์การแพทย์ เป็นต้น โดยมาจากทั้งมหาวิทยาลัย และหน่วยงานของรัฐ เช่น กรมวิทยาศาสตร์บริการ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย เป็นต้น รวมทั้งสถาบันวิจัยชั้นนำของประเทศ เช่น ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ เป็นต้น โดยผู้ทรงคุณวุฒิจะทำหน้าที่ในการให้แนวทาง กำหนดทิศทาง ตรวจสอบ วิพากษ์คู่มือให้แนวทางความเห็น ข้อเสนอแนะ ข้อปรับปรุงแก้ไขร่างคู่มือความปลอดภัยฯ จนกระทั่งร่างคู่มือความปลอดภัยฯ นั้นได้รับการยอมรับในการนำไปทดลองใช้งานกับห้องปฏิบัติการนำร่องสำหรับการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีได้

- การทำงานของห้องปฏิบัติการนำร่อง

หลังจากที่ร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ได้ผ่านการวิพากษ์และปรับปรุงแก้ไขจากคณะผู้ทรงคุณวุฒิ และประชาพิจารณ์จากการประชุมปฏิบัติการแล้ว ห้องปฏิบัติการนำร่องจะนำร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ไปทดลองใช้งานเป็นเวลา 1 ภาคการศึกษา (เทอม 1 ปีการศึกษา 2554) เพื่อให้ได้ข้อควรปรับปรุงจากการนำไปใช้งานจริง โดยห้องปฏิบัติการนำร่องที่จะนำร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานประกอบด้วย

1. ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยชีวฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
2. ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีบูรณาการ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. ห้องปฏิบัติการวัสดุศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงาน วัสดุ และสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. ห้องปฏิบัติการศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาค คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์เชิงวัสดุขั้นสูง สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
8. ห้องปฏิบัติการกลางสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
9. ห้องปฏิบัติการกลางภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
10. ห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยด้านกำจัดสารพิษและของเสียอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
11. ห้องปฏิบัติการกลางสาขาวิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

โดยห้องปฏิบัติการนำร่องจะทำหน้าที่ตรวจสอบการใช้งานของร่างคู่มือความปลอดภัยฯ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเพื่อให้คณะทำงานนำร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ปรับปรุงเป็นครั้งสุดท้ายก่อนนำมาเสนอในที่ประชุมปฏิบัติการ และจัดพิมพ์เพื่อส่งไปยังหน่วยงานวิจัยของมหาวิทยาลัย และสถาบันวิจัยรวมทั้งหน่วยงานองค์กรที่เกี่ยวข้องต่อไป

โดยในการทำงานร่างคู่มือความปลอดภัยฯ นั้น ได้จัดให้มีการประชุมปฏิบัติการทั้งสิ้น 4 ครั้ง โดยมีรายละเอียดของการประชุมปฏิบัติการแต่ละครั้ง มีดังนี้

5.3.1 การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 1 เพื่อระดมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี

ในการดำเนินการในการรวบรวมภาพรวมของงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยของไต้หวัน ทางคณะทำงานได้ทำการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น จากนั้นจึงจัด “การประชุมเชิงปฏิบัติการ เพื่อระดมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี” ขึ้น ในวันที่ 21 ตุลาคม 2553 เวลา 9.00 – 16.00 น. ณ ศูนย์วิทยบริการ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์วิทยาเขตกรุงเทพมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้แนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี และนำไปใช้ในการดำเนินการวิจัยของมหาวิทยาลัย และหน่วยงานวิจัยต่างๆ ขององค์กรของรัฐ ซึ่งมีผู้เชี่ยวชาญจากมหาวิทยาลัยต่างๆ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย และผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานของรัฐให้ความสนใจ และเข้าร่วมประชุมทั้งสิ้น 50 ท่าน โดยในการประชุมครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยในช่วงต้นเป็นการนำเสนอโครงการ และรายละเอียดต่างๆ ที่ทางคณะทำงานรวบรวมขึ้นให้แก่ผู้เชี่ยวชาญที่เข้าร่วมประชุม (รูปที่ 5.1-5.2) จากนั้นในช่วงหลังเป็นการระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยมีหัวข้อในการนำเสนอในที่ประชุมดังนี้

- การนำเสนอโครงการ ที่มาของโครงการ และความจำเป็นของการจัดทำแนวทางการปฏิบัติสำหรับงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี
- การพัฒนานาโนเทคโนโลยีในงานวิจัย และในระดับอุตสาหกรรม
- ความปลอดภัยของวัสดุนาโน
- ภาพรวมงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยไทย
- การระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

ในช่วงการระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญนั้น ทางผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความสนใจและร่วมกันอภิปรายเป็นอย่างมากทำให้ทางคณะทำงานได้ทราบข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปปรับใช้ในการทำงานต่อไป โดยมีรายละเอียดหัวข้อของการระดมความคิดเห็นดังนี้

- แนวทางในการจัดทำแนวทางการปฏิบัติ และความปลอดภัยในการทำงานกับวัสดุนาโนที่ประชุมได้ให้ความเห็นให้มีการทบทวนแนวทางการปฏิบัติ และความปลอดภัยในการทำงานกับวัสดุนาโนของต่างประเทศ และให้พิจารณาบริบทของการทำงานในห้องปฏิบัติการวิจัยของมหาวิทยาลัยไทย โดยให้นำแนวทางการปฏิบัติของต่างประเทศมาประยุกต์ใช้ โดยต้องพิจารณาความเหมาะสมของข้อปฏิบัติต่างๆ ที่นักศึกษา ผู้ปฏิบัติงาน และนักวิจัยสามารถปฏิบัติได้จริง และไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี โดยไม่ควรทำให้เกิดขั้นตอนที่ยุ่งยากในการทำวิจัย

- นิยามและศัพท์ด้านนาโนเทคโนโลยีภาษาไทย

ในการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการปฏิบัติ และความปลอดภัยในการทำงานกับวัสดุนาโนจากต่างประเทศ มีความจำเป็นที่จะต้องทำการนิยามคำศัพท์ทางด้านนาโนวิทยาศาสตร์และ

นาโนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานให้ตรงกันและมีความถูกต้องตามสากล เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันของผู้นำคู่มือความปลอดภัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง โดยให้ตรวจสอบคำศัพท์ต่างๆ กับพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานก่อน หากคำศัพท์ใดที่ยังไม่ได้บัญญัติไว้ในพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน ให้ใช้ทับศัพท์โดยเขียนคำอ่านภาษาไทยตามที่ราชบัณฑิตยสถานได้กำหนดไว้ ส่วนคำแปลให้ทางคณะทำงานดำเนินการแปลแล้วส่งให้ทางผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบอีกครั้ง

- การสำรวจห้องปฏิบัติการด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อให้ได้ภาพรวมงานวิจัยของไทย

ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่าให้ทำการแยกแบบสอบถามออกเป็นสองชุด สำหรับอาจารย์ที่ทำงานวิจัยด้านนาโนวิทยาศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี และสำหรับเจ้าหน้าที่/นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ และศูนย์รับวิเคราะห์รวมทั้งปรับปรุงข้อมูลบางส่วน of แบบสอบถามเพื่อให้คำถามในแบบสอบถามนั้นครอบคลุมและสามารถแสดงภาพรวมงานวิจัยของไทยได้ครบถ้วน



รูปที่ 5.1 ภาพบรรยากาศการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 1



รูปที่ 5.2 ภาพบรรยากาศในการระดมความคิดเห็นในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 1

5.3.2 การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 เพื่อกำหนดหมวดหมู่และเนื้อหาของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

ในการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 เพื่อกำหนดหมวดหมู่และเนื้อหาของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีนั้น ได้จัดขึ้นในวันที่ 15 มีนาคม 2553 เวลา 9.00–16.00 น. ณ ศูนย์วิทยบริการ มหาวิทยาลัยนเรศวรวิทยาเขตกรุงเทพมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้แนวทางในการร่างนโยบาย และการร่างคู่มือในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน พร้อมทั้งการกำหนดหมวดหมู่และเนื้อหาของคู่มือฯ ในการประชุมครั้งนี้มีผู้เชี่ยวชาญจากมหาวิทยาลัยต่างๆ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย และผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานของรัฐให้ความสนใจ และเข้าร่วมประชุมทั้งสิ้น 47 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานต่างๆ ประกอบด้วย อาจารย์นักวิจัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจากมหาวิทยาลัยต่างๆ ศูนย์เฉพาะทางที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

โดยในการประชุมครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยในช่วงต้นเป็นการนำเสนอรายละเอียดของแนวนโยบายในการจัดการความปลอดภัยด้านวัสดุนาโน รวมทั้งคู่มือในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของต่างประเทศและการระดมความเห็น โดยมีหัวข้อในการนำเสนอในที่ประชุมดังนี้

- ภาพรวมของงานวิจัยและความปลอดภัยในงานวิจัยในการทำวิจัยด้านวัสดุนาโนของมหาวิทยาลัยไทย
- แนวนโยบายในการจัดการความปลอดภัยด้านวัสดุนาโนขององค์กรต่างประเทศ เช่น NIOSH, BSI, OECD, European Commission เป็นต้น
- คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยต่างประเทศ ได้แก่
 - Massachusetts Institute of Technology
 - North Carolina State University
 - Texas A&M University
 - The University of Texas
 - University of New Hampshire
 - Purdue University
 - Florida State University
 - Hong Kong University of Science and Technology

ในช่วงการระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญนั้น ทางผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความสนใจ และร่วมกันอภิปรายเป็นอย่างมากทำให้ทางคณะทำงานได้ทราบข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปปรับใช้ในการทำงานต่อไป โดยมีรายละเอียดหัวข้อและเนื้อหาในการระดมความคิดเห็นดังนี้

- แนวทางในการร่างนโยบายในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน
 - ควรนำเรื่องของความปลอดภัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) หรือบรรจุในการพัฒนาหลักสูตร ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา (TQF)
 - นโยบายด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนควรมาจากมหาวิทยาลัยเป็นหลัก ซึ่งอาจใช้เป็นตัวชี้วัดสำหรับองค์กรในมหาวิทยาลัยเอง โดยควรทำคู่ขนานกับนโยบายของสกอ.
 - มหาวิทยาลัยที่มีหน่วยงานกลางดูแลเรื่องความปลอดภัยของสารเคมีอยู่แล้ว เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มจร. เป็นต้น ควรจัดเรื่องความปลอดภัยของวัสดุนาโนอยู่ในความปลอดภัยของสารเคมีด้วย
 - ในส่วนมหาวิทยาลัยที่ไม่มีหน่วยงานกลางดูแลเรื่องความปลอดภัยของสารเคมี ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ศูนย์วิจัย คณะ ภาควิชา เป็นผู้ดูแลความปลอดภัยของวัสดุนาโน
 - หน่วยงานให้ทุนควรผนวกเรื่องการศึกษาความปลอดภัยของวัสดุนาโนในการให้ทุนวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - ให้นำนโยบายในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของมหาวิทยาลัยบรรจุไว้ในคู่มือด้านความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนในช่วงต้นของเล่ม เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในการนำไปใช้งานทั้งภาคบริหารและภาคปฏิบัติของหน่วยงานในมหาวิทยาลัย
 - ศูนย์นาโนเทคโนโลยี และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ยินดีที่จะร่วมเผยแพร่คู่มือความปลอดภัยด้านวัสดุนาโนเมื่อโครงการนี้เสร็จสิ้น
 - เมื่อคู่มือด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับการทำวิจัยวัสดุนาโนเสร็จสมบูรณ์แล้ว ควรมีการดำเนินการในการกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจในการนำไปใช้ให้กับหน่วยงานต่างๆ เช่น การประกวด การให้รางวัล เป็นต้น โดยหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ยินดีดำเนินการ
 - ควรเผยแพร่คู่มือด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับการทำวิจัยวัสดุนาโนให้กับหน่วยงานของภาครัฐ กรม กองต่างๆ รวมถึงหน่วยงานเอกชนที่สนใจด้วย
- แนวทางในการคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน
 - ที่ประชุมมีความเห็นให้ใช้ข้อมูลด้านความปลอดภัย แนวนโยบาย และมาตรฐานต่างๆ ตามเอกสารต่อไปนี้

- DOE, *Approach to Nanomaterial ES&H (Revision 2. 6/15/07)*. 2007, Department of Energy Nanoscale Science Research Centers. .
 - BSI, *Nanotechnologies –Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials*. 2007, British Standards Institute: London.
 - NIOSH, *Approaches to Safe Nanotechnology: An Information Exchange with NIOSH*, C.f.D.C.a.P. Department of Health and Human Services, Editor. 2006: Cincinnati
 - ERDC, Research and Development Center, *Guide for Handling Engineered Nanomaterials in ERDC Laboratories (Draft, May 1 2009)*, U.S. Army Corps of Engineers Engineer.
 - IRSST, Best Practice Guides to Synthetic Nanoparticle Risk Management, Report R-599, January 2009, The institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Canada
- คู่มือความปลอดภัยฯ ควรใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่เป็นภาษาวิชาการมากนัก เพื่อให้
ง่ายแก่การเข้าใจ และนำไปปฏิบัติ
 - ทางศูนย์เฉพาะทางที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัย ยินดีนำ
คู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานเมื่อโครงการเสร็จสิ้น
 - ทางผู้เข้าร่วมประชุมยินดีให้ความร่วมมือในการประเมินความยากง่ายในการปฏิบัติ
ของตัวอย่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยนาโนเทคโนโลยีของต่างประเทศ เพื่อ
ประโยชน์กับคณะทำงานในการร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ของโครงการ

ทั้งนี้ทางคณะทำงานได้ให้เอกสารที่ได้ยกตัวอย่างมาตรการในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านวัสดุนาโนบางส่วนซึ่งนำมาจากต่างประเทศ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินความยากง่ายของแนวทางในการนำมาตรการนั้นๆ ไปปฏิบัติงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดข้อปฏิบัติต่างๆ ในคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยไทยต่อไป ซึ่งได้รับความร่วมมืออย่างดีจากผู้เชี่ยวชาญที่เข้าร่วมการประชุม



รูปที่ 5.3 ภาพบรรยากาศการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 2



รูปที่ 5.4 ภาพบรรยากาศในการระดมความคิดเห็นในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2

5.3.3 การร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีโดยคณะกรรมการ และการปรับปรุงคู่มือโดยคณะผู้ทรงคุณวุฒิ

หลังจากการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 เสร็จสิ้น ทางคณะกรรมการได้นำส่งเอกสารตัวอย่างมาตรการในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านวัสดุนาโนบางส่วนซึ่งนำมาจากต่างประเทศให้ผู้ทรงคุณวุฒิทั้งที่เข้าร่วมประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 2 และที่ไม่สามารถเข้าร่วมประชุมได้ เพื่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาถึงความยากง่ายในการปฏิบัติ โดยส่วนหนึ่งของตัวอย่างเอกสารแสดงในรูปที่ 5.5 โดยเอกสารฉบับเต็มได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

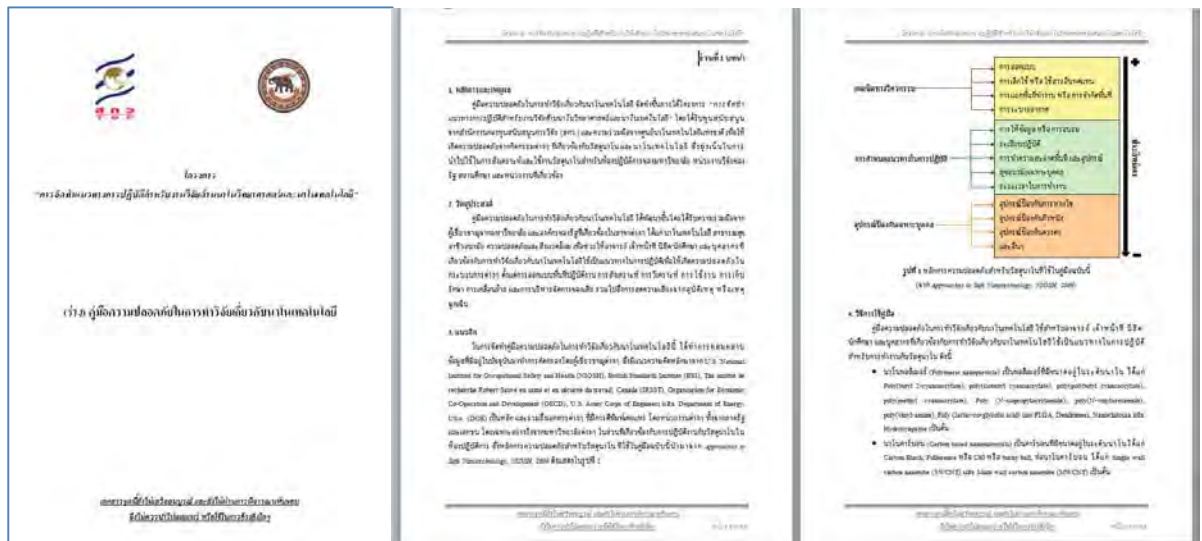
Safety Guideline for Nanotechnology Research			
หัวข้อ	ปฏิบัติ ได้ง่าย	อาจ ปฏิบัติได้	ปฏิบัติ ได้ยาก
1. Administrative Controls/Training			
Providing known information to workers and students on the hazardous properties of the nanomaterial precursors or products (PU).			
Education of workers and students on the safe handling of nanomaterials (PU).			
Training procedures and operating procedures must be implemented before beginning work with nano-materials. EH&S will provide postings for laboratories working with nanoparticles (FSU).			
Consider the hazards of the parent materials in assessing hazards of nanomaterials. However, remember the nano features of the materials most likely will present many other physicochemical and toxicological properties not found in the parent materials (HKU S&T).			
A master list of nanomaterials acquired by laboratory staffs should be created to document the type, source, quantities, and other pertinent information relevant to engineered nanomaterials acquired and/or stored at laboratory facilities (ERDC).			
External suppliers of engineered nanomaterials should provide, at a minimum, the use of robust packaging, appropriate product labeling, accurate MSDS, and other information that can inform an end user of potential hazards associated with the use of products containing engineered nanomaterials.			
If engineered nanomaterials are prepared in-house using, for example, procedures published in the peer-reviewed literature, these materials should be considered in the same regard as purchased materials and should be registered on the Nanomaterials Master Inventory List (ERDC)			

รูปที่ 5.5 ตัวอย่างส่วนหนึ่งของมาตรการในการสร้างความปลอดภัย

ในการทำวิจัยด้านวัสดุนาโนของต่างประเทศซึ่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาความยากง่ายในการปฏิบัติ (วงเล็บในแต่ละข้อเป็นหน่วยงานที่เป็นผู้กำหนดมาตรการนั้นๆ)

จากการได้รับการตอบกลับของเอกสารตัวอย่างมาตรการในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านวัสดุนาโนของต่างประเทศจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งสิ้นจำนวน 45 ท่าน โดยในภาพรวมพบว่ามาตรการต่างๆ ที่ยกตัวอย่างนั้น เป็นมาตรการที่สามารถนำมาใช้งานได้ในมหาวิทยาลัยไทย ในขณะที่บางมาตรการเป็นไปได้อย่างยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการจัดซื้ออุปกรณ์ในการทำวิจัยนาโนเทคโนโลยีที่ต้องมีการลงทุน และใช้งบประมาณสูง

ทางคณะทำงานได้นำตัวอย่างมาตรการเหล่านี้ไปใช้เป็นแนวทางในการร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของมหาวิทยาลัยไทย ร่วมกับการใช้แนวทางความปลอดภัยซึ่งได้มาจากเอกสารพื้นฐาน 5 ชิ้น (เอกสารจาก NIOSH, BSI, IRSST, ERDC และ DOE ดังหน้า 5-16) ที่ได้รับการยอมรับจากที่ประชุมมาใช้ในการร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ของโครงการ โดยในเดือนพฤษภาคม 2554 ร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนได้เสร็จสิ้นและได้ส่งให้กับผู้ทรงคุณวุฒิของโครงการ 60 ท่าน โดยแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนฉบับที่ 1

ทั้งนี้ในการประเมินร่างคู่มือความปลอดภัยฯ พร้อมกับข้อควรปรับปรุงของเอกสารดังกล่าวได้รับเอกสารตอบกลับจากผู้ทรงคุณวุฒิ 35 ท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านต้องการให้มีการแก้ไขเอกสารดังกล่าวเสร็จสิ้น ก่อนการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3 และผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านต้องการชี้แจงการปรับปรุงเอกสารในที่ประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3 ในคราวเดียว ทางคณะกรรมการจึงได้ปรับปรุงแก้ไขร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ส่งเอกสารกลับมาให้และใช้ในการนำเสนอในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3

5.3.4 การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3 เพื่อประชาสัมพันธ์ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

ในการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3 เพื่อประชาสัมพันธ์ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีได้จัดขึ้นในวันที่ 26 พฤษภาคม 2553 เวลา 9.00 – 14.00 น. ณ ศูนย์วิทยบริการ มหาวิทยาลัยนเรศวรวิทยาเขตกรุงเทพมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการประเมินความเหมาะสม การปรับปรุง และรับฟังข้อเสนอแนะต่างๆ ของ (ร่าง) คู่มือในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนในการประชุมครั้งนี้มีผู้เชี่ยวชาญจากมหาวิทยาลัยต่างๆ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย และผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานของรัฐให้ความสนใจ และเข้าร่วมประชุมทั้งสิ้น 42 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานต่างๆ ประกอบด้วย อาจารย์นักวิจัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจากมหาวิทยาลัยต่างๆ ศูนย์เฉพาะทางที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมกรมวิทยาศาสตร์บริการ สำนักงานคณะกรรมการควบคุมอาหารและยา กรมควบคุมมลพิษ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

โดยในการประชุมครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยในช่วงต้นเป็นการนำเสนอรายละเอียดของร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่คณะทำงานได้จัดทำขึ้น และการระดมความเห็นในการแก้ไขปรับปรุงร่างคู่มือความปลอดภัยฯ โดยมีหัวข้อในการนำเสนอในที่ประชุม ดังนี้

- ภาพรวมของงานวิจัยและความปลอดภัยในงานวิจัยในการทำวิจัยด้านวัสดุนาโนของมหาวิทยาลัยไทย
- รายละเอียดของร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้
 - เทคนิคทางวิศวกรรม
 - การได้รับอนุภาคนาโนเข้าสู่ร่างกาย
 - ความเป็นพิษ และอันตรายของวัสดุนาโน
 - การใช้เครื่องมือในการทำงานและการใช้เครื่องป้องกันส่วนบุคคล
 - การเก็บรวบรวมและการบริหารจัดการของเสีย
 - การวางแผนและการจัดการกับเหตุฉุกเฉิน

ในส่วนช่วงการระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในการแก้ไขปรับปรุงร่างคู่มือความปลอดภัยฯ นั้นทางผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความสนใจ และร่วมกันอภิปรายเป็นอย่างมากทำให้ทางคณะทำงานได้ทราบข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปปรับใช้ในการทำงานต่อไปโดยประเด็นในการแก้ไขปรับปรุงร่างคู่มือความปลอดภัยฯ จากการประชุมครั้งนี้ประกอบด้วย

- การเพิ่มเติมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจัดทำคู่มือความปลอดภัยฯ ในประเด็นต่อไปนี้
 - รายละเอียดของอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล และการใช้งาน เช่น ถุงมือ ตู้อัดเชื้อ เป็นต้น
 - รายละเอียดและตัวอย่างของฉลากสำหรับภาชนะบรรจุวัสดุนาโน
 - ข้อมูลของวัสดุนาโนที่สามารถระเบิดและติดไฟได้ และข้อควรปฏิบัติสำหรับวัสดุนาโนนั้นๆเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน
 - การบริหารจัดการเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน
 - รายละเอียดของชุดอุปกรณ์สำหรับการทำความสะอาดสารเคมีตกหล่น
- การแก้ไขคำให้เหมาะสมมากขึ้น รวมไปถึงการใช้คำ หรือ การแก้คำผิดในเล่ม
- ข้อเสนอแนะสำหรับการนำคู่มือนี้ไปใช้งาน โดยมีการเสนอแนะดังนี้
 - ควรให้มีการจัดการอบรมนิสิต นักศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัย และการแนะนำคู่มือนี้ไปใช้งานก่อนที่จะมีการเริ่มทำวิจัย
 - คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี เมื่อทำเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้วควรมีการเผยแพร่ให้ทุกมหาวิทยาลัยได้ใช้งานไม่เฉพาะแต่มหาวิทยาลัยของรัฐ แต่รวมถึงมหาวิทยาลัยเอกชน และสถาบันวิจัยต่างๆ

- ควรมีการแจกคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีฉบับสมบูรณ์ให้กับหน่วยงานภาคอุตสาหกรรมด้วย ไม่ควรกำหนดขอบเขตให้ใช้เฉพาะภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น เนื่องจากเนื้อหาในคู่มือครอบคลุมความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีที่สามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรม และหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
- การต่อยอดของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี
 - ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ จะนำคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีไปใช้เป็นมาตรฐาน National Guideline สำหรับความปลอดภัยของวัสดุนาโนโดยให้คู่มือความปลอดภัยฯ เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของความปลอดภัยสำหรับการทำวิจัย
 - คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีฉบับสมบูรณ์จะถูกนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางมาตรฐาน National Guideline สำหรับความปลอดภัยของวัสดุนาโนสำหรับอุตสาหกรรม
 - คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีฉบับสมบูรณ์จะถูกผลักดันให้เกิดการสร้างมาตรฐานความปลอดภัยต่อไปโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย



รูปที่ 5.7 ภาพบรรยากาศการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 3



รูปที่ 5.7 (ต่อ) ภาพบรรยากาศการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 3



รูปที่ 5.8 ภาพบรรยากาศในการระดมความคิดเห็นในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 3

5.3.5 การทดลองนำร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีไปใช้งานในห้องปฏิบัติการนำร่อง

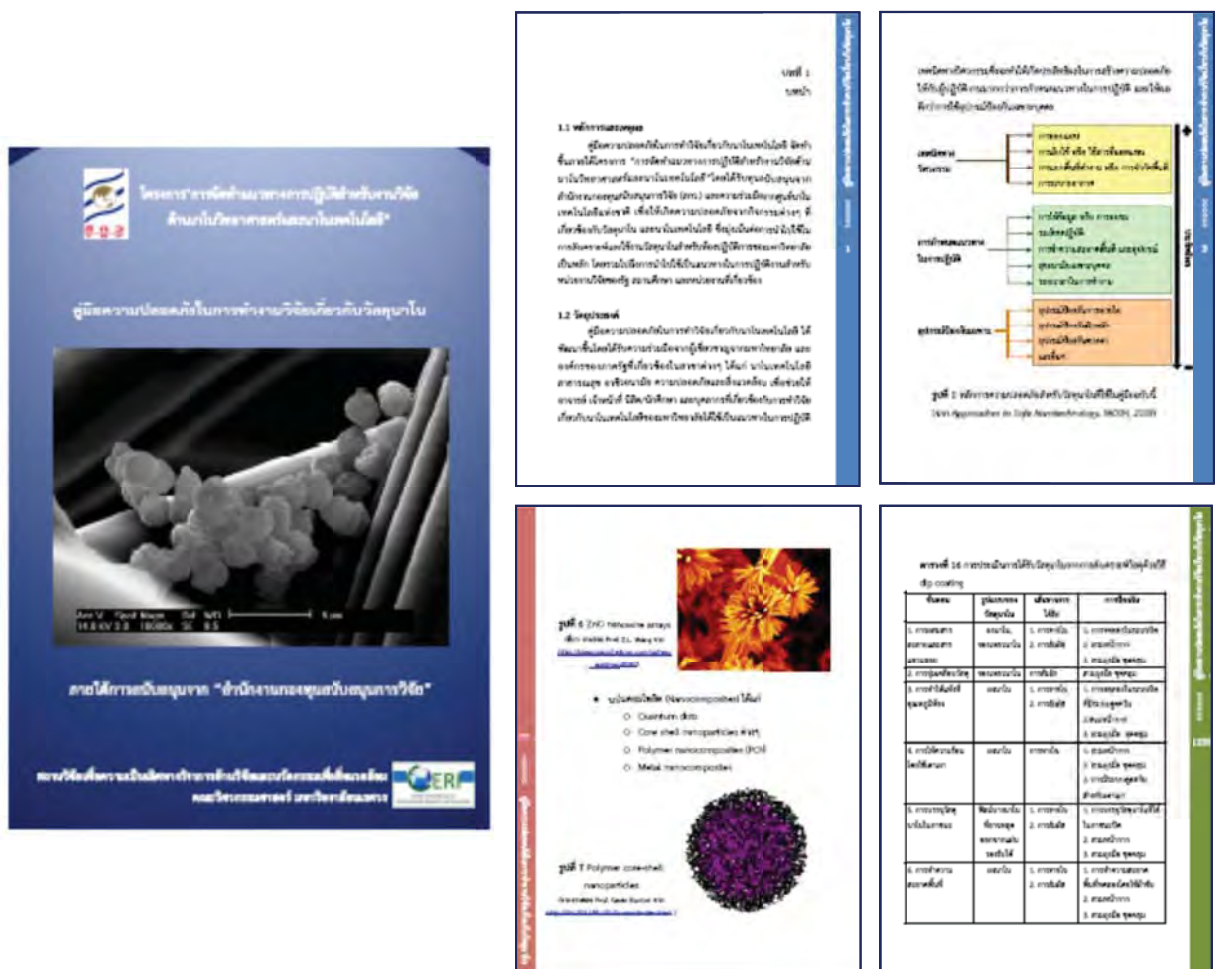
จากการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 3 ทางคณะทำงานได้ดำเนินการแก้ไข ปรับปรุงและเพิ่มเติมข้อมูลต่างๆ ตามความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิของโครงการและผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาโดยร่างคู่มือความปลอดภัย ที่แก้ไขแล้วนั้นจะถูกนำไปทดลองใช้ในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของห้องปฏิบัติการนำร่อง 11 แห่ง ดังนี้

1. ห้องปฏิบัติการกลุ่มวิจัยชีวฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
2. ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีบูรณาการ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. ห้องปฏิบัติการวัสดุศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงาน วัสดุ และสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. ห้องปฏิบัติการศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนาคต คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์เชิงวัสดุขั้นสูง สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
8. ห้องปฏิบัติการกลางสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
9. ห้องปฏิบัติการกลางภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
10. ห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยด้านกำจัดสารพิษและของเสียอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
11. ห้องปฏิบัติการกลางสาขาวิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

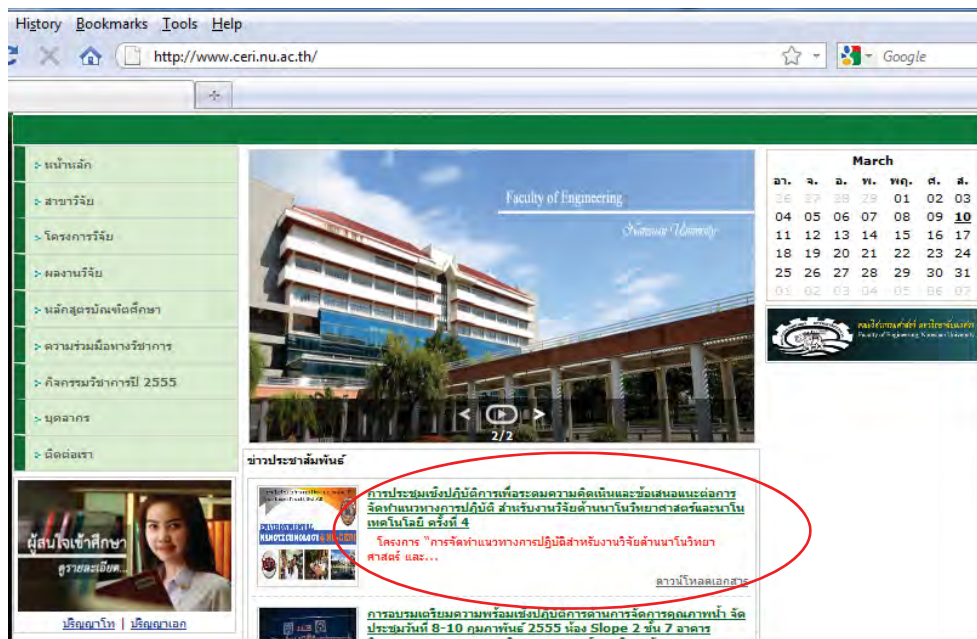
โดยคณะทำงานได้เดินทางไปบรรยายเรื่อง “ความปลอดภัยของวัสดุนาโน” พร้อมกับการแนะนำการใช้งานร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีให้กับอาจารย์ นักวิจัย และเจ้าหน้าที่ของห้องปฏิบัติการนำร่องและผู้ที่เกี่ยวข้องการตรวจสอบการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยนำร่องก่อนการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน โดยการสำรวจและสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานของแต่ละห้องปฏิบัติการนำร่อง รวมทั้งการประเมินผล การตรวจสอบการปนเปื้อนของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการ และการประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานเพื่อให้ได้ผลการประเมินและนำมาใช้ในการปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยฯ เป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะมีการดำเนินการจัดเป็นรูปแบบเพื่อแจกจ่ายไปยังหน่วยงานมหาวิทยาลัย และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยการประเมินผลการใช้งานของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีเชิงคุณภาพ ได้

นำเสนอไว้ในบทที่ 6 และการประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนได้นำเสนอไว้ในบทที่ 7

ผลการใช้งานของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีเชิงคุณภาพและการประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโน รวมทั้งข้อเสนอแนะจากห้องปฏิบัติการนำร่องซึ่งเกิดจากการนำ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีไปใช้งานในห้องปฏิบัติการนำร่องไปใช้งานนั้น ได้ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุง (ร่าง) คู่มือความปลอดภัย ก่อนที่จะนำไปสู่การประชาสัมพันธ์ครั้งสุดท้ายโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจที่เข้าร่วมการประชาสัมพันธ์ โดยได้มีการนำ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยนี้เผยแพร่ผ่านระบบสารสนเทศเพื่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิสามารถนำเอกสารนี้มาตรวจสอบก่อนที่จะจัดให้มีการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 เพื่อรับฟังข้อคิดเห็นและเสนอแนะโดยรูปที่ 5.9 แสดง (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีที่มีการจัดพิมพ์เหมือนรูปเล่มจริงที่ใช้ในการประชาสัมพันธ์ผ่านระบบสารสนเทศและการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4



รูปที่ 5.9 (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีที่มีการจัดพิมพ์เหมือนรูปเล่มจริง



รูปที่ 5.10 การเผยแพร่ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี ที่มีการจัดพิมพ์เหมือนรูปเล่มจริงในการประชาสัมพันธ์ผ่านระบบสารสนเทศ

5.3.6 การประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 เพื่อประชาสัมพันธ์ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีหลังจากการนำไปใช้งานในห้องปฏิบัติการนำร่อง

ในการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 เพื่อประชาสัมพันธ์ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีได้จัดขึ้นในวันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2555 เวลา 9.00 – 14.00 น. ณ ศูนย์วิทยบริการ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ วิทยาเขตกรุงเทพมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการประเมินความเหมาะสม การปรับปรุง และรับฟังข้อเสนอแนะต่างๆ ของ (ร่าง) คู่มือในการสร้างความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนในการประชุมครั้งนี้มีผู้เชี่ยวชาญจากมหาวิทยาลัยต่างๆ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย และผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานของรัฐให้ความสนใจ และเข้าร่วมประชุมทั้งสิ้น 52 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานต่างๆ ประกอบด้วย อาจารย์ นักวิจัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจากมหาวิทยาลัยต่างๆ ศูนย์เฉพาะทางที่เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีของแต่ละมหาวิทยาลัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมวิทยาศาสตร์บริการ สำนักงานคณะกรรมการควบคุมอาหารและยา และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

โดยในการประชุมครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยในช่วงต้นเป็นการนำเสนอรายละเอียดของร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่คณะทำงานได้จัดทำขึ้น และการระดมความเห็นในการแก้ไขปรับปรุงร่างคู่มือความปลอดภัยฯ โดยมีหัวข้อในการนำเสนอในที่ประชุม ดังนี้

- รายละเอียดของ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

○ เทคนิคทางวิศวกรรม

- การได้รับอนุภาคนาโนเข้าสู่ร่างกาย
- ความเป็นพิษ และอันตรายของวัสดุนาโน
- การใช้เครื่องมือในการทำงานและการใช้เครื่องป้องกันส่วนบุคคล
- การเก็บรวบรวมและการบริหารจัดการของเสีย
- การวางแผนและการจัดการกับเหตุฉุกเฉิน
- ผลการนำ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีไปใช้งานในห้องปฏิบัติการนำร่อง
 - การประเมินผลการใช้งานของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีเชิงคุณภาพ
 - การประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโน
- การปรับปรุง (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี หลังจากผ่านการนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ

ในส่วนช่วงการระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในการแก้ไขปรับปรุง (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยฯ นั้น ทางผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความสนใจ และร่วมกันอภิปรายเป็นอย่างมากทำให้ทางคณะทำงานได้ทราบข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปปรับใช้ในการทำงานต่อไปโดยประเด็นในการแก้ไขปรับปรุงร่างคู่มือความปลอดภัยฯ จากการประชุมครั้งนี้ประกอบด้วย

- การเปลี่ยนรูปหน้าปก ซึ่งเป็นภาพของก้อนกลมวัสดุนาโน (aggregated nanomaterials) ให้เป็นรูปของวัสดุนาโนที่เป็นอนุภาคที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรแทน พร้อมคำอธิบายปก
- การปรับปรุงเนื้อหาในบทต่างๆ ให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ประกอบด้วย
 - การย้ายเนื้อหาในบทที่ 8 การปนเปื้อนวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการให้มาอยู่ในบทที่ 3 ก่อนที่จะเข้าสู่เนื้อเรื่องในส่วนการปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานวิจัยซึ่งปรากฏในบทถัดไป
 - การย้ายเนื้อหาผังขั้นตอนต่างๆ ในการปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากภาคผนวก ข. ให้มาอยู่ท้ายบทต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง พร้อมปรับการใช้คำต่างๆ ให้สามารถอ่านและปฏิบัติงานได้ในทันที
 - ให้ตัดเนื้อหาในส่วนของภาคผนวก ค. เอกสารประกอบการอบรม ออกจากเล่ม (ร่าง) คู่มือความปลอดภัย
 - ในส่วนของบทที่ 8 การปนเปื้อนของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการ ให้ตัดค่าที่ได้จากการวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนในตัวกลางต่างๆ ออก ให้คงไว้ในส่วนของ

เส้นทางการได้รับวัสดุนาโนสู่ร่างกายและข้อแนะนำในการปฏิบัติงานในการสังเคราะห์วัสดุนาโน

- การเพิ่มเนื้อหาในเล่ม (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น ประกอบด้วย
 - การเพิ่มรายการตรวจสอบความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน (nano-safety inspection checklist) ในเนื้อหาของ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัย เพื่อเป็นเกณฑ์ขั้นต่ำในการปฏิบัติงานในภาคผนวก พร้อมทั้งข้อแนะนำช่วงเวลาและความถี่ในการตรวจสอบ เช่น ทุกภาคการศึกษา ทุกเดือน เป็นต้น
 - การเพิ่มข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันความปลอดภัยในการทำวิจัย ได้แก่ ชนิดและการใช้งานของหน้ากาก และชนิดข้อกำหนดในการใช้งานของตู้ดูดควัน และตู้ปลอดเชื้อ รวมทั้งการทำความสะอาด การดูแลบำรุงรักษาอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล
 - การเพิ่มคำแนะนำในการใช้งานคู่มือเล่มนี้ให้ใช้ควบคู่กับการใช้งานคู่มืออื่นๆ ได้แก่ คู่มือความปลอดภัยในการใช้สารเคมี และระเบียบการปฏิบัติงานวิจัยของ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ หรือไบโอเทค (BIOTEC)
 - การเพิ่มตรรกะในการสืบค้นท้ายเล่ม
- การตรวจทานคำผิด การเว้นวรรค และการขึ้นบรรทัดใหม่ ตลอดจนความสม่ำเสมอของคำที่ใช้ในเล่มเพื่อให้เนื้อหาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ที่ประชุมมีมติให้มีการขอหมายเลข ISBN และให้หารือกับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยในการใช้ (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยเป็นผลงานทางวิชาการให้กับคณะทำงานอีกด้วย ภาพบรรยากาศในการระดมความคิดเห็นในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 แสดงในรูป 5.11 โดยข้อแนะนำที่ได้จากการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 4 นี้ ทางคณะทำงานได้นำไปใช้ในการปรับปรุงเนื้อหา (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนครั้งสุดท้ายซึ่งได้จัดทำเป็นรูปเล่มและนำเสนอให้กับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยจำนวน 200 เล่มพร้อมกับรายงานฉบับสมบูรณ์นี้ เพื่อนำไปใช้ในการแจกให้กับหน่วยงานมหาวิทยาลัย องค์กรภาครัฐ และเอกชนที่เกี่ยวข้องต่อไป



รูปที่ 5.11 เอกสาร (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยที่ใช้ในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4



รูปที่ 5.12 ภาพบรรยากาศการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 4



รูปที่ 5.13 ภาพบรรยากาศในการระดมความคิดเห็นในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4

บทที่ 6

การประเมินผลการใช้งานของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี

เชิงคุณภาพ

คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3 ซึ่งได้ผ่านการเห็นชอบจากการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 3 โดยทางคณะทำงานได้ดำเนินการแก้ไข ปรับปรุงและเพิ่มเติมข้อมูลต่างๆ ตามความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิของโครงการและผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาแล้วทางคณะผู้วิจัยได้มีการดำเนินการในส่วนของการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้กับห้องปฏิบัติการนำร่องเพื่อให้ได้ผลการประเมินและนำมาใช้ในการปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยฯ เป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะมีการดำเนินการจัดเป็นรูปเล่มเพื่อแจกจ่ายไปยังหน่วยงานมหาวิทยาลัย และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการในส่วนของการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้กับห้องปฏิบัติการนำร่องนั้น ประกอบด้วยงาน 3 ส่วนคือ

1. การให้ความรู้เบื้องต้นและแนะนำการปฏิบัติงานวิจัยตามคู่มือความปลอดภัยฯ
2. การตรวจสอบการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยนำร่องก่อนการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน โดยการสำรวจและสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานของแต่ละห้องปฏิบัติการนำร่อง
3. การตรวจสอบและประเมินผลเชิงคุณภาพในการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานของห้องปฏิบัติการนำร่อง และการปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยฯ ตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิของห้องปฏิบัติการนำร่อง
4. การตรวจสอบการปนเปื้อนของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการและการประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน โดยทางคณะผู้วิจัยได้ทำงานร่วมกับผู้ปฏิบัติงาน (นักวิจัย และนักศึกษา) ของแต่ละห้องปฏิบัติการนำร่อง ในการดำเนินการทดลองเพื่อวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากแต่ละห้องปฏิบัติการนำร่อง และได้นำตัวอย่างวัสดุนาโนจากห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งมาวัดปริมาณวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนที่มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อให้ได้การประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน

โดยรายละเอียดของงานในส่วนที่ 1-3 จะแสดงผลในบทที่ 6 นี้ ในขณะที่การตรวจสอบและการประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานนั้น จะแสดงผลในบทที่ 7

รายละเอียดของงานในส่วนของการประเมินผลการใช้งานของคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีเชิงคุณภาพ มีดังนี้

6.1 การให้ความรู้เบื้องต้นและการแนะนำคู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนให้กับมหาวิทยาลัยต่างๆ

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการในการนำคู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนให้กับผู้ปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการนำร่องและบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัย 7 แห่ง ในช่วงเดือนมิถุนายน – สิงหาคม 2554 ตามกำหนดการดังนี้

24 มิถุนายน 2554	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
29 มิถุนายน 2554	มหาวิทยาลัยมหิดล
30 มิถุนายน 2554	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
1 กรกฎาคม 2554	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
29 กรกฎาคม 2554	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
15 สิงหาคม 2554	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
25 และ 29 สิงหาคม 2554	มหาวิทยาลัยนเรศวร

โดยเนื้อหาในการบรรยายอบรมความรู้ของทุกมหาวิทยาลัย ประกอบด้วย

- ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี
- ประเภท และชนิดของวัสดุนาโน
- วงจรชีวิตของวัสดุนาโน
- ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเป็นพิษของวัสดุนาโน
- ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม
- วิธีการได้รับอนุภาคนาโนเข้าสู่ร่างกาย
- ความเป็นพิษ และอันตรายของวัสดุนาโน
- การป้องกันอันตรายจากวัสดุนาโน
- การรายงานอุบัติเหตุ
- การใช้เครื่องมือในการทำงานและการใช้เครื่องป้องกันส่วนบุคคล
- การเก็บรวบรวมและกำจัดของเสีย
- การวางแผนและการจัดการกับเหตุฉุกเฉิน

พร้อมการตอบข้อซักถามของผู้เข้าร่วมอบรมในแต่ละแห่ง

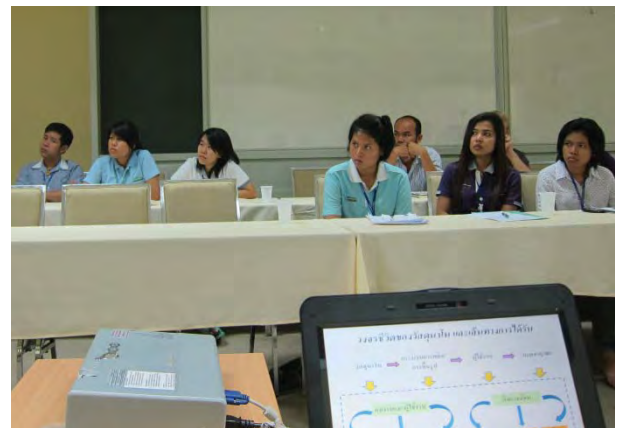
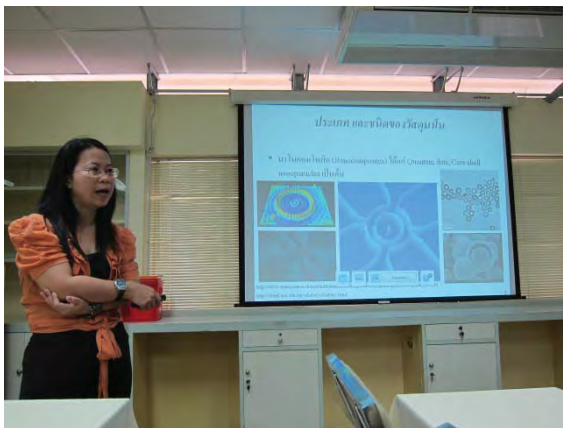
การบรรยายในการให้ความรู้มหาวิทยาลัย ในแต่ละแห่งมีดังนี้

- 1) การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วันที่ 24 มิถุนายน 2554
จำนวนผู้เข้าร่วมอบรม 15 คน



รูปที่ 6.1 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- 2) การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหิดล วันที่ 29 มิถุนายน 2554 จำนวน
ผู้เข้าร่วมอบรม 15 คน



รูปที่ 6.2 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหิดล

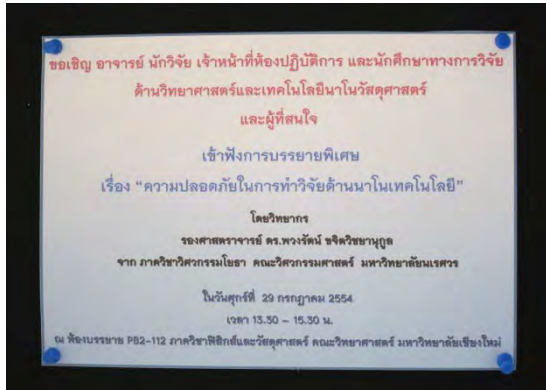
- 3) การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วันที่ 30 มิถุนายน 2554 จำนวนผู้เข้าร่วมอบรม 35 คน



รูปที่ 6.3 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- 4) การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 1 กรกฎาคม 2554 จำนวนผู้เข้าร่วมอบรม 8 คน

- 5) การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วันที่ 29 กรกฎาคม 2554 โดยมีผู้เข้าร่วมการอบรมจำนวน 12 คน



รูปที่ 6.4 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- 6) การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วันที่ 15 สิงหาคม 2554 จำนวนผู้เข้าร่วมอบรม 12 คน



รูปที่ 6.5 การจัดอบรมให้ความรู้ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- 7) การจัดอบรมให้ความรู้ที่ศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร วันที่ 25 และ 29 สิงหาคม 2554 รวมทั้งสิ้น 2 ครั้ง (ครั้งที่ 1 อาจารย์และนักวิจัยที่ปฏิบัติงานด้านนาโนเทคโนโลยี และครั้งที่ 2 อาจารย์ นิสิตและนักศึกษา) จำนวนผู้เข้าร่วมอบรมรวม 35 คน



รูปที่ 6.6 การจัดอบรมให้ความรู้กับบุคลากรห้องปฏิบัติการที่ศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร วันที่ 25 สิงหาคม 2554

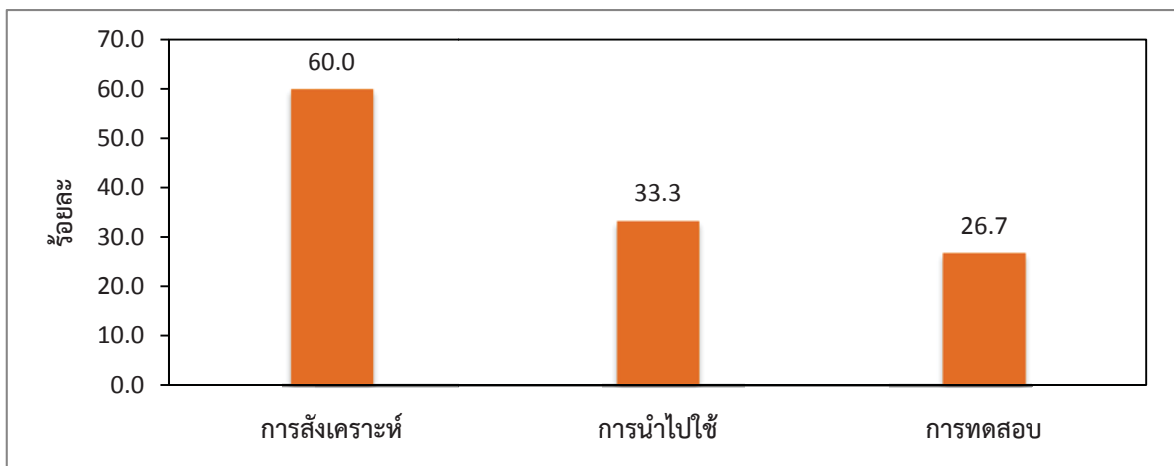


รูปที่ 6.7 การจัดอบรมให้ความรู้กับนิสิตและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยนเรศวร วันที่ 29 สิงหาคม 2554

6.2 การตรวจสอบการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยนำร่องก่อนการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน

การสำรวจข้อมูลและการสัมภาษณ์เพื่อตรวจสอบการปฏิบัติงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลโดยจัดทำแบบสอบถามสำหรับห้องปฏิบัติการทางด้านการใช้วัสดุนาโน ซึ่งได้แนบไว้ในภาคผนวก จ. โดยได้ดำเนินการสำรวจและสัมภาษณ์ห้องปฏิบัติการนำร่อง 15 แห่งจาก 11 หน่วยงาน (หน่วยงานบางแห่งมีห้องปฏิบัติการในการทำงานมากกว่า 1 ห้องปฏิบัติการ) ของ 7 มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามการดำเนินงานการวิจัยในห้องปฏิบัติการทางด้านการใช้วัสดุนาโน จำนวน 15 แห่ง พบว่า ห้องปฏิบัติการทั้ง 15 ห้องปฏิบัติการเป็นการดำเนินงานวิจัยในส่วนของการสังเคราะห์วัสดุนาโนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 60 รองลงมาเป็นการทดสอบและด้านการนำวัสดุนาโนไปใช้งาน โดยคิดเป็นร้อยละ 33.3 และ 26.7 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.8 โดยห้องปฏิบัติการทั้ง 15 แห่งนั้น ห้องปฏิบัติการ 4 แห่งเป็นห้องปฏิบัติการเฉพาะด้านนาโนเทคโนโลยี หรือเป็นห้องปฏิบัติการที่มีการปฏิบัติงานด้านนาโนเทคโนโลยีเป็นหลัก ในขณะที่ห้องปฏิบัติการกลางซึ่งมีการทดลองทั้งด้านนาโนเทคโนโลยีร่วมกับการทดลองด้านอื่นๆ มีจำนวน 11 แห่ง โดยห้องปฏิบัติการ 12 แห่งเป็นห้องปฏิบัติการที่เน้นหนักไปทางด้านเคมี-ฟิสิกส์เป็นหลัก ในขณะที่ห้องปฏิบัติการ 3 แห่งเป็นห้องปฏิบัติการที่มีการทำงานด้านชีววิทยาร่วมด้วยโดยเป็นห้องปฏิบัติการทดสอบความเป็นพิษของวัสดุนาโน และการนำวัสดุนาโนไปใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์

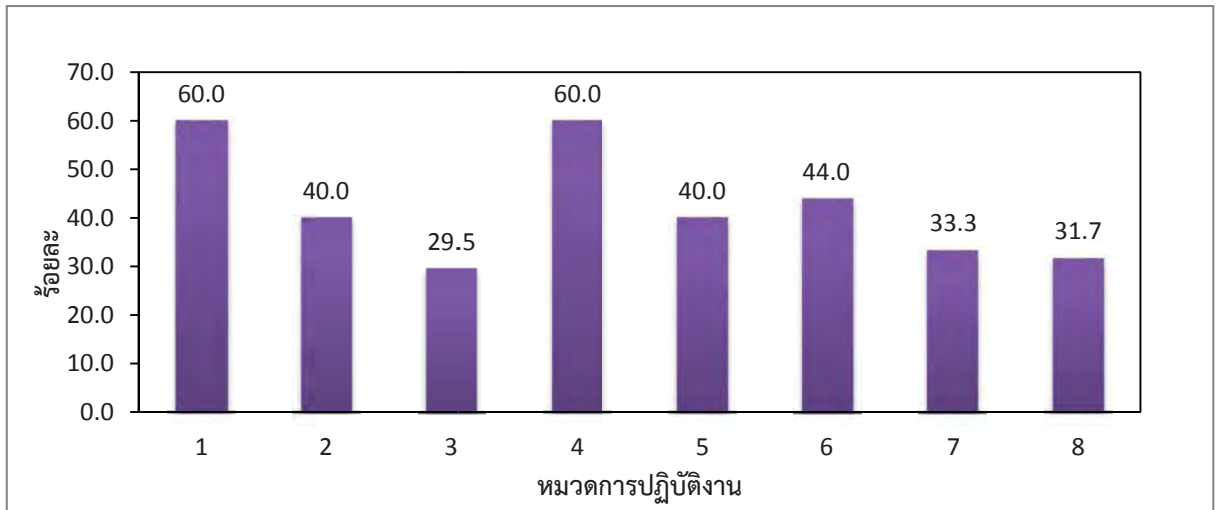


รูปที่ 6.8 แสดงร้อยละของการดำเนินงานการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการทางด้านการใช้วัสดุนาโน

ในการประเมินด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนในภาพรวมนั้น ทางคณะผู้วิจัยได้สำรวจการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานโดยใช้วิธีการสัมภาษณ์ และสังเกตการณ์การปฏิบัติงาน โดยแบ่งหมวดในการสำรวจด้านความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนใน 6 หมวด ได้แก่

1. พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน
2. ความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน
3. การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
4. การป้องกันการได้รับวัสดุทางผิวหนัง
5. การป้องกันอันตรายต่อดวงตา
6. การป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อม
7. การจัดการของเสียวัสดุนาโน
8. การจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน

จากการสำรวจภาพรวมด้านความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของการทำงานของห้องปฏิบัติการทั้ง 15 แห่งพบว่า ห้องปฏิบัติการที่สำรวจมีพื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนในระดับปานกลาง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 60 โดยมีความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงานคิดเป็นร้อยละ 40 ในส่วนของการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนนั้น ห้องปฏิบัติการบางแห่งเท่านั้นที่มีการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจคิดเป็นร้อยละ 29.5 ส่วนการป้องกันการได้รับวัสดุทางผิวหนังคิดเป็นร้อยละ 60 และการป้องกันอันตรายต่อดวงตาคิดเป็นร้อยละ 40 ด้านการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ห้องปฏิบัติการบางส่วนที่ไปสำรวจมีการดำเนินการด้านการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนต่อสิ่งแวดล้อมอยู่แล้ว โดยจำนวนห้องปฏิบัติการที่มาตรการเหล่านี้คิดเป็นร้อยละ 44 ในขณะที่มีห้องปฏิบัติการส่วนน้อยที่มีการจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโน โดยคิดเป็นร้อยละ 33.3 ในส่วนของการจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน มีห้องปฏิบัติการที่มีการระงับภัยและมีแนวทางในการจัดการกับอุบัติเหตุดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 33.7 ภาพรวมด้านความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของการทำงานของห้องปฏิบัติการทั้ง 15 แห่งแสดงในรูปที่ 6.9



คำอธิบายหมวดการปฏิบัติงาน

- | | |
|--|--|
| 1. พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน | 2. ความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน |
| 3. การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ | 4. การป้องกันการได้รับวัสดุทางผิวหนัง |
| 5. การป้องกันอันตรายต่อดวงตา | 6. การป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อม |
| 7. การจัดการของเสียวัสดุนาโน | 8. การจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน |

รูปที่ 6.9 แสดงร้อยละหมวดงานที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการทางด้านการใช้วัสดุนาโน

จากข้อมูลการสำรวจได้แสดงถึงการดำเนินการด้านความปลอดภัยในการทำงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีในห้องปฏิบัติการนำร่อง ซึ่งห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยแต่ละแห่งต่างให้ความสำคัญในด้านพื้นฐานความปลอดภัยของวัสดุนาโน และการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนที่อาจเกิดขึ้นได้กับผู้ปฏิบัติงานในเบื้องต้นอยู่แล้ว โดยรายละเอียดของการสำรวจแต่ละหมวดมีดังนี้

หมวดที่ 1 – พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน

การวิเคราะห์พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการนำร่องที่น่าคู่มือความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนซึ่งประกอบด้วยห้องปฏิบัติการ 15 แห่งจาก 6 มหาวิทยาลัยแสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 การปฏิบัติงานวิจัยพื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน

พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน	%	แห่ง
1. ผู้ปฏิบัติงานเป็นผู้ที่ผ่านการอบรมด้านการทำงานที่ปลอดภัยกับวัสดุนาโน	20.0	3
2. ผู้ปฏิบัติงานมีการค้นคว้าด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่ใช้	80.0	12
3. ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้ความเข้าใจด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่ใช้	66.7	10
4. ผู้ปฏิบัติงานมีการศึกษา MSDS ของวัสดุนาโนหรือวัสดุเดียวกัน (bulk material)	60.0	9
5. ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้ความเข้าใจด้านความปลอดภัยของสารเคมี	86.7	13

จากข้อมูลในตารางที่ 6.1 พบว่าผู้ปฏิบัติงานจากห้องปฏิบัติการ 15 แห่งจาก 6 มหาวิทยาลัยมีพื้นฐานความเข้าใจด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่ใช้ในงานของตน โดยมาจากการศึกษาค้นคว้าเป็นหลัก (ร้อยละ 80) ในขณะที่ร้อยละ 20 มาจากการอบรมด้านการทำงานที่ปลอดภัยกับวัสดุนาโน ซึ่งการอบรมนี้จัดโดยหน่วยปฏิบัติงานวิจัยนั้นๆ เป็นหลัก และเมื่อสอบถามถึงความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่ดำเนินการวิจัยอยู่ พบว่าร้อยละ 66.7 ของผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดมีความรู้ความเข้าใจด้านความปลอดภัยพื้นฐานของวัสดุนาโนที่ใช้ในงานวิจัย โดยจำนวนร้อยละ 60.0 ของผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจนั้นได้มีการศึกษา MSDS ของวัสดุนาโนหรือวัสดุเดียวกัน (bulk material) เพื่อให้เกิดความเข้าใจด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนนั้นๆ ทั้งนี้จากการสอบถามในภาพรวมพบว่าผู้ปฏิบัติงานร้อยละ 86.7 จากผู้ปฏิบัติงานที่สอบถามทั้งหมดมีความรู้ความเข้าใจด้านความปลอดภัยของสารเคมีทั่วไปอยู่แล้ว

หมวดที่ 2 –ความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการนำร่องจำนวน 15 แห่งจาก 7 มหาวิทยาลัย ซึ่งแบ่งเป็นการวิเคราะห์พื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะหรือมีการแยกพื้นที่สำหรับวัสดุนาโน การติดป้ายระบุชัดเจนว่าเป็นพื้นที่เฉพาะสำหรับวัสดุนาโน การผ่านเข้าออกของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง พื้นที่สำหรับเก็บของเสียวัสดุนาโนเป็นสัดส่วน และการมีอุปกรณ์ความปลอดภัยเช่นฝักบัว อ่างล้างตา เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 6.2

จากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ยังมีพื้นที่ปฏิบัติงานที่ไม่เหมาะสม โดยพบว่าห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นห้องปฏิบัติการกลาง (ร้อยละ 73.3) ในขณะที่ห้องปฏิบัติการที่เป็นหน่วยปฏิบัติการเฉพาะสำหรับวัสดุนาโนมีเพียงร้อยละ 26.7 โดยในการปฏิบัติงานทดลองวิจัยนั้นพื้นที่ส่วนใหญ่ไม่มีการติดป้ายระบุชัดเจนว่าเป็นพื้นที่เฉพาะสำหรับวัสดุนาโน มีเพียงร้อยละ 20 เท่านั้นที่มีติดป้ายระบุชัดเจน แต่อย่างไรก็ดีพบว่าห้องปฏิบัติการร้อยละ 53.3 ไม่มีการผ่านเข้าออกของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลอง และในส่วนของห้องปฏิบัติการที่มีพื้นที่สำหรับเก็บของเสียวัสดุนาโน มีเป็นสัดส่วนเพียงร้อยละ 60 และ ห้องปฏิบัติการที่มีอุปกรณ์ความปลอดภัยเช่นฝักบัว อ่างล้างตา เป็นต้นเพียงร้อยละ 40 เท่านั้น

จากการสำรวจแสดงให้เห็นว่าควรมีการส่งเสริมที่จะทำให้ห้องปฏิบัติการมีความปลอดภัยจากการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนมากขึ้น ควรมีการส่งเสริมให้มีการแยกห้องปฏิบัติการสำหรับวัสดุนาโนให้เป็นสัดส่วนมากขึ้น หรือหากใช้ห้องปฏิบัติการกลางควรมีการติดป้ายระบุให้ชัดเจนว่ามีการทดลองเกี่ยวกับวัสดุนาโนอยู่เพื่อป้องกันผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องเดินผ่าน นอกจากนี้ควรจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยเพิ่มเติม ซึ่งจากการสอบถามพบว่าปัญหาหลักในการจัดการเพื่อให้เกิดความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงานนั้นมาจากการขาดแคลนงบประมาณในการจัดหาอุปกรณ์และการขาดแคลนพื้นที่การปฏิบัติงานเป็นหลักทำให้ไม่สามารถแยกห้องปฏิบัติการเฉพาะด้านนาโนเทคโนโลยีเป็นสัดส่วนจากการปฏิบัติงานอื่นๆ ได้ ในส่วนของการติดป้าย หรือการจัดพื้นที่ห้องปฏิบัติการให้เป็นสัดส่วนนั้น ทางห้องปฏิบัติการแต่ละมหาวิทยาลัยยินดีที่จะปฏิบัติตามข้อเสนอแนะของคณะผู้วิจัย

ตารางที่ 6.2 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน

ความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน	%	แห่ง
1.เป็นพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะหรือมีการแยกพื้นที่สำหรับวัสดุนาโน	26.7	4
2.มีการติดป้ายระบุชัดเจนว่าเป็นพื้นที่เฉพาะสำหรับวัสดุนาโน	20.0	3
3.ไม่มีการผ่านเข้าออกของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง	53.3	8
4.มีพื้นที่สำหรับเก็บของเสียวัสดุนาโนเป็นสัดส่วน	60.0	9
5.มีอุปกรณ์ความปลอดภัยเช่นฝักบัว อ่างล้างตา เป็นต้น	40.0	6

หมวดที่ 3 - การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

การวิเคราะห์การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจในห้องปฏิบัติการนำร่องแบ่งเป็นการวิเคราะห์การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจจากการทดลองในรูปแบบต่างๆ เช่น การทดลองที่ทำในตู้ดูดควัน (fume hood) การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ laminar flow ที่มีและไม่มี HEPA filter รวมไปถึงการทดลองทำในระบบปิดอื่นๆ และการทดลองทำบนโต๊ะทดลอง ผลสำรวจแสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ	%	แห่ง
การทดลองบนโต๊ะทดลองในพื้นที่โล่ง	80	12
การทดลองในพื้นที่ปิด	100	15
1.การทดลองทำในตู้ดูดควัน (fume hood)	40.0	9
2. การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ laminar flow	26.7	4
2.1 การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ laminar flow	20.0	3
2.2 การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ laminar flow ที่มี HEPA filter	6.7	1
3. การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ biosafety cabinet		0
3.1 การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ biosafety cabinet	0.0	0
3.2 การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ biosafety cabinet ที่มี HEPA filter	0.0	0
4.การทดลองทำในระบบปิดอื่นๆ	33.3	5
5.การทดลองทำในเตาเผา		0
5.1 การทดลองทำในเตาเผา	33.3	5
5.2 เตาเผามีระบบดูดควัน	13.3	2
5.3 เตาเผามีระบบดูดควันที่มีระบบบำบัดอากาศ	0.0	0
6.การทดลองทำบนโต๊ะทดลอง		
6.1 วัสดุนาโนอยู่ในรูปผง	80.0	12
6.2 วัสดุนาโนอยู่ในรูปของแข็ง	60.0	9
6.3 วัสดุนาโนอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว	40.0	6
6.4 วัสดุนาโนอยู่ในรูปของเหลว	40.0	6
6.5 วัสดุนาโนอยู่ในรูปติดยึดกับตัวกลาง	46.7	7

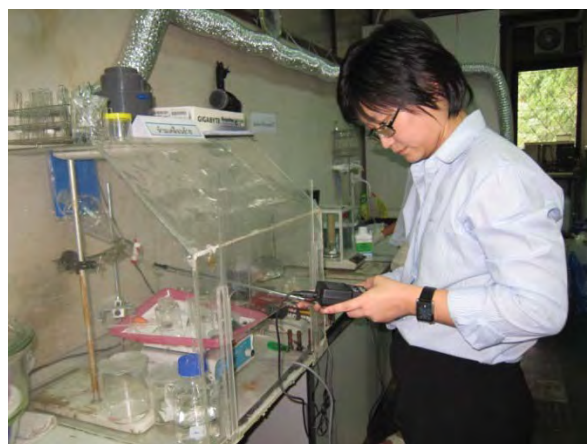
จากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการเกือบทั้งหมดมีการทำการทดลองที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนทั้งบนโต๊ะทดลองในพื้นที่โล่งและทำการทดลองในระบบปิด การทดลองบนโต๊ะทดลองมีทั้งในส่วนของเตรียมสารเคมีและการสังเคราะห์สาร (เช่น วิซิโซลเจล เป็นต้น) ส่วนการทดลองในระบบปิดแบ่งได้เป็นสามส่วน คือ การทดลองในตู้ดูดควัน การทดลองในตู้ปลอดเชื้อ และการทดลองในระบบปิดเฉพาะ โดยพบว่าห้องปฏิบัติการร้อยละ 40 มีการทดลองวัสดุนาโนในตู้ดูดควัน (fume hood) ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้วัดประสิทธิภาพการทำงานของตู้ดูดควัน โดยวัดกระแสลมดูดของตู้ดูดควันของห้องปฏิบัติการนาร่อง ซึ่งพบว่าเกือบทุกแห่งมีกระแสลมดูดในระดับมาตรฐาน ในส่วนห้องปฏิบัติการที่มีตู้ดูดควันที่ไม่ได้มาตรฐาน ทาง

คณะผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำในการปรับปรุงและบำรุงรักษาเพื่อให้ตู้ดูดควันนั้นสามารถทำงานในการป้องกันความปลอดภัยจากวัสดุนาโนให้มีประสิทธิภาพต่อไป การประเมินประสิทธิภาพของตู้ดูดควันแสดงในรูปที่ 6.10 นอกจากนี้ยังได้ให้คำแนะนำกับผู้ปฏิบัติงานในการทำงานกับตู้ดูดควัน ได้แก่ ระดับของประตูปิดตู้ดูดควันที่เหมาะสม การทำงานกับตู้ดูดควัน การเก็บสารเคมีในตู้ดูดควัน รวมทั้งการบำรุงรักษาร่วมด้วย

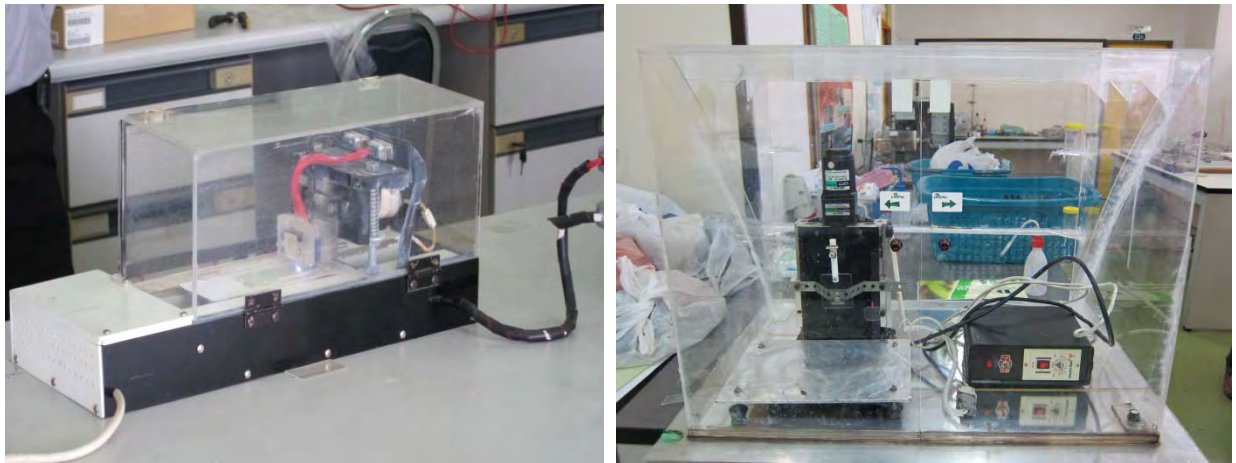


รูปที่ 6.10 การวัดประสิทธิภาพการทำงานของตู้ดูดควันในการทำงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี และการให้คำแนะนำกับผู้ปฏิบัติงานในการทำงานให้มีประสิทธิภาพ

ในส่วนของการใช้ตู้ปลอดเชื้อ ห้องปฏิบัติการที่ทดลองในตู้ปลอดเชื้อมีร้อยละ 26.7 โดยจะเป็นตู้ปลอดเชื้อแบบ laminar flow ที่ไม่มี HEPA filter เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่มีห้องปฏิบัติการเพียงแห่งเดียวเท่านั้นที่มีการใช้ laminar flow ที่มี HEPA filter ในขณะที่ไม่มีการใช้ตู้ปลอดเชื้อแบบ biosafety cabinet ในการทดลอง ในส่วนของการทดลองในระบบปิดเฉพาะของบางห้องปฏิบัติการ (ร้อยละ 33 หรือ 5 แห่ง) ได้มีการสร้างระบบปิดในลักษณะของกล่องอะคริลิกมาใช้คลุมพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยการทดลองในลักษณะนี้ได้แก่ การทดลอง electrospinning หรือการใช้ electric sparking ในการสังเคราะห์วัสดุนาโน รวมทั้งบางแห่งได้มีการนำ glove box มาใช้ในการทดลองอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 ระบบปิดที่มีการนำมาใช้เพื่อป้องกันการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการนำร่อง



รูปที่ 6.11 ระบบปิดที่มีการนำมาใช้เพื่อป้องกันการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการนำร่อง (ต่อ)

ในการสังเคราะห์วัสดุนาโนนั้น อุปกรณ์ที่มักนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการสังเคราะห์คือเตาเผา โดยจากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการร้อยละ 33.3 หรือ 5 แห่งมีเตาเผาเป็นของตนเอง ซึ่งในจำนวนนั้นมีเตาเผาเพียง 2 แห่งเท่านั้นที่มีระบบดูดควัน ในส่วนของรูปแบบวัสดุนาโนที่ใช้ในการทำวิจัยนั้น ได้มีการใช้วัสดุนาโนในหลายรูปแบบทั้งที่เป็นรูปผง (ร้อยละ 80) รูปของแข็ง (ร้อยละ 60) รูปติดยึดกับตัวกลาง (ร้อยละ 46.7) รูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว (ร้อยละ 40) และรูปของเหลว (ร้อยละ 40) ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัสดุนาโนในรูปผงมีการนำมาใช้ในการทดลองมากที่สุด ซึ่งการทดลองวัสดุนาโนในรูปผงจะทำให้เกิดการกระจายปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และเข้าสู่ร่างกายผ่านการหายใจของผู้ปฏิบัติงานได้ง่ายที่สุดเช่นกัน ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้วัสดุนาโนในรูปของเหลวหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวแทนการใช้วัสดุนาโนแบบผงให้กับห้องปฏิบัติการของแต่ละมหาวิทยาลัย รวมทั้งได้แนะนำการควบคุมการกระจายตัวของอนุภาคนาโน โดยทำการทดลองในสถานที่ปิดหรือการทดลองในตู้ดูดควันเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานหากจำเป็นต้องใช้วัสดุนาโนในรูปแบบผงอีกด้วย นอกจากนี้หากการทดลองโดยใช้วัสดุนาโนในรูปผง โดยทำการทดลองบนโต๊ะทดลอง ผู้ปฏิบัติงานจะต้องเข้มงวดในส่วนของการใช้อุปกรณ์การป้องกัน เช่น การสวมหน้ากากป้องกัน ใบหน้าหรือหน้ากากป้องกันสารเคมีที่มีตัวกรองในการใช้งานกับวัสดุนาโนแห้ง เป็นต้น

หมวดที่ 4 – การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

การวิเคราะห์การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนังในห้องปฏิบัติการนำแบ่งเป็นการวิเคราะห์ในลักษณะต่างๆ และได้ผลการสำรวจดังแสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง	%	แห่ง
1. ใช้ถุงมือทุกครั้งเมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโน	80.0	12
2. ถุงมือที่ใช้ในการทำงานกับวัสดุนาโนมีความเหมาะสม	33.3	5
3. ถุงมือที่ใช้ในการทำงานกับตัวทำละลายมีความเหมาะสม	33.3	5
4. ไม่ใช้ถุงมือซ้ำเมื่อถอดถุงมือแล้ว	93.3	14
5. สวมชุดคลุมขณะปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนทุกครั้ง	53.3	8

จากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนังโดยการสวมชุดคลุม (ร้อยละ 53.3) ใช้ถุงมือทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน (ร้อยละ 80) และไม่ใช้ถุงมือซ้ำ (ร้อยละ 93.3) ทั้งนี้ หากพิจารณาชนิดของถุงมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน พบว่าถุงมือที่ใช้ในการปฏิบัติงานยังไม่เหมาะสมกับงานวัสดุนาโน โดยมีการใช้ถุงมือประเภทลาเท็กซ์ (latex) ในหลายห้องปฏิบัติการ และมีเพียงบางห้องปฏิบัติการเท่านั้นที่ใช้ถุงมือไนไตรล์

โดยทางคณะผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำกับห้องปฏิบัติการนำร่องในส่วนของทางเลือกใช้ชนิดถุงมือ โดยชนิดถุงมือที่ควรใช้ในงานวัสดุนาโนได้แก่ ถุงมือชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl alcohol (ถุงมือ Silver Shield®) ถุงมือชนิด Butyl ถุงมือชนิด Viton® และถุงมือ Nitrile (acrylonitrile-butadiene rubber) นอกจากนี้ควรมีชุดอุปกรณ์ป้องกันขาและเท้า เช่น รองเท้าหุ้มส้น (Closed-toed shoes) เป็นต้น

หมวดที่ 5 – การป้องกันอันตรายต่อดวงตา

การวิเคราะห์การป้องกันอันตรายต่อดวงตาในห้องปฏิบัติการนำร่องแบ่งเป็นการวิเคราะห์การใช้อุปกรณ์ป้องกันดวงตาที่เหมาะสมและการสวมแว่นตาทุกครั้งที่มีการปฏิบัติงานที่มีการได้รับแสงจ้าหรือเกิดประกายไฟดังแสดงในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการป้องกันอันตรายต่อดวงตา

การป้องกันอันตรายต่อดวงตา	%	แห่ง
1. ใช้อุปกรณ์ป้องกันดวงตาที่เหมาะสม	40.0	6
2. สวมแว่นตาทุกครั้งที่มีการปฏิบัติงานที่มีการได้รับแสงจ้าหรือเกิดประกายไฟ	40.0	6

จากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการป้องกันอันตรายต่อดวงตาเมื่อใช้วัสดุนาโนที่เกี่ยวข้องกับการทดลองที่มีการใช้แสง จึงทำให้ห้องปฏิบัติการที่มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันดวงตานั้นมีจำนวนน้อยมากเพียงร้อยละ 40 เท่านั้น โดยมีการสวมแว่นตาทุกครั้งที่มีการปฏิบัติงานที่มีการได้รับแสงจ้าหรือเกิด

ประกายไฟในขณะที่อีกหลายห้องปฏิบัติการไม่มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันดวงตาเลยแม้ว่าจะทำงานที่มีการใช้แสง ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ป้องกันดวงตาที่เหมาะสม เช่น แว่นตานิรภัยทั่วไป แว่นตานิรภัยสำหรับป้องกันสารเคมีประเภทต่างๆและสวมแว่นตาทุกครั้งที่มีการปฏิบัติงานที่มีการได้รับแสงจ้าหรือเกิดประกายไฟ

หมวดที่ 6 – การป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์การป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการนาร่อง มีรายละเอียดและผลการสำรวจแสดงในตารางที่ 6.6 จากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการนาร่องส่วนใหญ่ให้ความสนใจต่อการปนเปื้อนของวัสดุนาโนต่อสิ่งแวดล้อม แต่ไม่ทราบวิธีการในการป้องกันการปนเปื้อน ทางคณะผู้วิจัยจึงได้แนะนำแนวทางในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนตามรายละเอียดที่ปรากฏในคู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน โดยในช่วงที่ไปสำรวจนั้นพบว่าห้องปฏิบัติการบางส่วนได้มีการปฏิบัติงานที่ทำให้เกิดการลดการกระจายของวัสดุนาโนในสิ่งแวดล้อม โดยพบว่าห้องปฏิบัติการที่มีการบูด๊ะทดลองทุกครั้งก่อนการใช้งานมีอยู่ร้อยละ 40 ของห้องปฏิบัติการทั้งหมด ในขณะที่มีการทำความสะอาดเช็ดโต๊ะทดลองแบบเปียกทุกครั้งก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนร้อยละ 33.3

ในส่วนของการแยกเก็บวัสดุนาโนนั้น ห้องปฏิบัติการบางแห่งได้จัดให้มีภาชนะที่เหมาะสมในการบรรจุวัสดุนาโนแต่ละชนิดและปฏิบัติได้ถูกต้องโดยใช้หลักการของการจัดเก็บสารเคมีทั่วไปและมีการทำความสะอาดอุปกรณ์ในการทำวิจัยก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนร้อยละ 46.7 นอกจากนี้ยังพบว่าห้องปฏิบัติการหลายแห่งมีการติดฉลากภาชนะบรรจุวัสดุนาโนที่เหมาะสมในสัดส่วนร้อยละ 53.3 โดยทางห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งต่างเห็นพ้องถึงการป้องกันการปนเปื้อนของสารนาโนต่อสิ่งแวดล้อมว่าเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากวัสดุนาโนมีความเป็นพิษจึงต้องเข้มงวดในการปฏิบัติงานเพื่อลดความเสี่ยงในการปฏิบัติงานและจะนำแนวทางที่คณะผู้วิจัยชี้แนะไปใช้ในห้องปฏิบัติการของตน

ตารางที่ 6.6 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อม

การป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อม	%	แห่ง
1. เช็ดโต๊ะแบบเปียกทุกครั้งก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโน	33.3	5
2. มีการบูด๊ะทดลองทุกครั้งก่อนการใช้งาน	40.0	6
3. มีภาชนะที่เหมาะสมในการบรรจุวัสดุนาโนแต่ละชนิดและปฏิบัติได้ถูกต้อง	46.7	7
4. มีการติดฉลากภาชนะบรรจุวัสดุนาโนที่เหมาะสม	53.3	8
5. มีการทำความสะอาดอุปกรณ์ในการทำวิจัยก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโน	46.7	7

หมวดที่ 7 – การจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโน

ในการสำรวจการจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการนำร่องโดยแบ่งของเสียเป็น 2 ประเภท คือ ของเสียวัสดุนาโนและของเสียปนเปื้อนวัสดุนาโน โดยพบว่าห้องปฏิบัติการเกือบทั้งหมด (ร้อยละ 86.7 ของห้องปฏิบัติการทั้งหมด) ทราบว่ามีของเสียวัสดุนาโนและของเสียปนเปื้อนวัสดุนาโนอยู่ แต่การจัดการของเสียวัสดุนาโนนั้น ทางห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ไม่มีข้อมูลว่าควรดำเนินการอย่างไร จึงทำให้มีเพียงห้องปฏิบัติการจำนวน 4 แห่ง หรือ ร้อยละ 26.7 เท่านั้น ที่มีการแยกเก็บของเสียวัสดุนาโนในพื้นที่เฉพาะ และมีการนำของเสียวัสดุนาโนไปกำจัด โดยกำจัดในรูปแบบของของเสียอันตราย ดังแสดงในรูปที่ 6.12 และมีห้องปฏิบัติการเพียงแห่งเดียวเท่านั้นที่มีการติดฉลากของเสียวัสดุนาโนที่เหมาะสม จากภาพรวมของความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนนั้น การจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโนจัดได้ว่าเป็นหมวดที่ห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งขาดแนวทางการดำเนินงานให้ถูกต้อง ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ให้ความรู้และแนวทางในการปฏิบัติ อย่างไรก็ตามจากการสอบถามพบว่าห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งสามารถดำเนินการแยกของเสียวัสดุนาโนออกจากของเสียสารเคมีทั่วไป และติดฉลากเฉพาะได้ แต่การนำของเสียวัสดุนาโนไปกำจัดนั้นจะขึ้นอยู่กับนโยบายและงบประมาณในการกำจัดของเสียของแต่ละมหาวิทยาลัยเป็นหลัก จึงทำให้การกำจัดของเสียวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งอาจไม่สามารถดำเนินการได้อย่างเต็มที่นัก

ตารางที่ 6.7 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโน

การจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโน	%	แห่ง
1. ห้องปฏิบัติการมีของเสียวัสดุนาโนและของเสียปนเปื้อนวัสดุนาโน	86.7	13
2. มีการรวบรวมของเสียวัสดุนาโนออกจากของเสียประเภทอื่น	26.7	4
3. มีการติดฉลากของเสียวัสดุนาโนที่เหมาะสม	6.7	1
4. มีนำของเสียวัสดุนาโนไปกำจัด	26.7	4
5. พื้นที่ในการรวบรวมและเก็บของเสียวัสดุนาโนมีความเหมาะสม	26.7	4



รูปที่ 6.12 การแยกเก็บของเสียวัสดุนาโนออกจากของเสียชนิดอื่น

หมวดที่ 8 – การจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน

การสำรวจการจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการของแต่ละห้องปฏิบัติการน่าจะมีแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัสดุนาโนที่ใช้ จากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการร้อยละ 60 หรือ 9 แห่งเคยเกิดอุบัติเหตุหรือเกิดการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน โดยบางห้องปฏิบัติการเกิดประกายไฟ ไปจนถึงไฟไหม้จากการทำปฏิกิริยาของวัสดุนาโน รวมไปถึงการตกหล่นของภาชนะแก้วที่บรรจุวัสดุนาโนอยู่ และการหกของสารละลายที่มีวัสดุนาโนแขวนลอยอยู่ ส่งผลให้ห้องปฏิบัติการที่เคยเกิดอุบัติเหตุ หรือการหก/หล่นของวัสดุนาโนเหล่านี้ได้มีการเตรียมการรับมืออยู่บ้างแล้ว โดยห้องปฏิบัติการร้อยละ 53.3 หรือ 8 แห่งมีการเช็ดแบบเปียกในการทำความสะอาดวัสดุนาโนในขั้นตอนแรกและมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันการหายใจขณะทำความสะอาดด้วย ในขณะที่มีบางห้องปฏิบัติการ (ร้อยละ 26.7 หรือ 3 แห่งเท่านั้น) ที่มีอุปกรณ์เฉพาะสำหรับการทำความสะอาดวัสดุนาโนในกรณีเกิดการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน ทั้งนี้ยังไม่มีห้องปฏิบัติการใดใช้เครื่องดูดฝุ่นที่มี HEPA filter ในการทำความสะอาด

ในส่วนของการเขียนรายงานบันทึกอุบัติภัยนั้น ห้องปฏิบัติการน้อยแห่งมากที่มีการเขียนรายงานดังกล่าว ทั้งนี้ห้องปฏิบัติการหลายแห่งจะเขียนรายงานบันทึกอุบัติภัยเมื่อเกิดเหตุร้าย เช่น ไฟไหม้ ระเบิด หรือการบาดเจ็บของผู้ปฏิบัติงานเท่านั้น โดยไม่รวมไปถึงการตกหล่นของสารเคมี และจากการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากวัสดุนาโนเช่น ไฟไหม้หรือระเบิด เป็นต้นในห้องปฏิบัติการมีเพียงร้อยละ 26.7 (3 แห่ง) จึงส่งผลให้มีห้องปฏิบัติการที่มีการเขียนรายงานบันทึกอุบัติภัยเพียงร้อยละ 26.7 (3 แห่ง) เท่านั้น

ทางคณะผู้วิจัยได้ชี้แนะแนวทางในการจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโนที่เหมาะสมให้กับห้องปฏิบัติการของแต่ละมหาวิทยาลัย โดยควรมีการศึกษาวិธีการทำความสะอาดที่ถูกต้องจากข้อมูลความปลอดภัยหรือ MSDS ของวัสดุนาโนนั้นเนื่องจากรูปแบบวัสดุนาโนที่ใช้มีหลายรูปแบบเช่น กรณีสวัสดุนาโนที่แห้งสามารถใช้เครื่องดูดฝุ่นที่มี HEPA filter ในการทำความสะอาดแล้วตามด้วยการเช็ดแบบเปียกอีกครั้ง และทำความสะอาดพื้นนั้นอีกครั้งด้วยน้ำยาหรือน้ำโดยสารทำความสะอาดที่ใช้ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดๆรวมทั้งวัสดุนาโน เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 6.8 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน

การจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน	%	แห่ง
1.มีการเกิดการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการ	60.0	8
2.มีอุปกรณ์สำหรับการทำความสะอาดในกรณีเกิดการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน	26.7	3
3.มีการเช็ดแบบเปียกในการทำความสะอาดวัสดุนาโนในขั้นตอนแรก	53.3	7
4.มีการใช้เครื่องดูดฝุ่นที่มี HEPA filter	0.0	0
5.มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันการหายใจขณะทำความสะอาด	53.3	7
6.มีการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากวัสดุนาโนเช่น ไฟไหม้หรือระเบิด เป็นต้นในห้องปฏิบัติการ	26.7	3

ตารางที่ 6.8 (ต่อ) แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน

การจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน	%	แห่ง
7.มีการปฏิบัติตามคู่มือความปลอดภัยเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น	26.7	3
8.มีการเขียนรายงานบันทึกอุบัติเหตุ	26.7	3

6.3 การตรวจสอบและประเมินผลเชิงคุณภาพในการนำคู่มือความปลอดภัยไปใช้งานของห้องปฏิบัติการนำร่อง

ทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการในการตรวจสอบและประเมินผลเชิงคุณภาพในการนำคู่มือความปลอดภัย ไปใช้งานของห้องปฏิบัติการนำร่อง โดยมีระยะเวลาอย่างน้อย 3 เดือน โดยได้วางแผนสำรวจและสัมภาษณ์เพื่อตรวจสอบการปฏิบัติงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยีอีกครั้งหลังจากที่อาจารย์ นักวิจัย เจ้าหน้าที่และนิสิตของห้องปฏิบัติการนำร่องได้ผ่านการอบรมและได้รับคำแนะนำในการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่ปลอดภัยแล้ว โดยผลการสำรวจและสัมภาษณ์ห้องปฏิบัติการนำร่อง 15 แห่ง จาก 7 มหาวิทยาลัยในการประเมินตามหมวดในการสำรวจด้านความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่ได้เคยใช้ในการสัมภาษณ์ก่อนการนำคู่มือความปลอดภัยไปใช้งาน ใน 6 หมวด ได้แก่

1. พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน
2. ความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน
3. การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ
4. การป้องกันการได้รับวัสดุทางผิวหนัง
5. การป้องกันอันตรายต่อดวงตา
6. การป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อม
7. การจัดการของเสียวัสดุนาโน
8. การจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน

โดยผลเปรียบเทียบของการปฏิบัติงานก่อนและหลังการนำคู่มือความปลอดภัยไปใช้งาน และการประเมินผลความยากง่ายในการใช้งานของคู่มือความปลอดภัย มีดังนี้

หมวดที่ 1 – พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน

การวิเคราะห์พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการนำร่องที่นำคู่มือความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโน แสดงดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยพื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน

พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน	ก่อนใช้คู่มือ		หลังใช้คู่มือ	
	%	แห่ง	%	แห่ง
1. ผู้ปฏิบัติงานเป็นผู้ที่ผ่านการอบรมด้านการทำงานที่ปลอดภัยกับวัสดุนาโน	20.0	3	100	15
2. ผู้ปฏิบัติงานมีการค้นคว้าด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่ใช้	80.0	12	100	15
3. ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้ความเข้าใจด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่ใช้	66.7	10	100	15
4. ผู้ปฏิบัติงานมีการศึกษา MSDS ของวัสดุนาโนหรือวัสดุเดียวกัน (bulk material)	60.0	9	100	15
5. ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้ความเข้าใจด้านความปลอดภัยของสารเคมี	86.7	13	100	15

หมายเหตุ – ห้องปฏิบัติการนำร่องในการประเมินการปฏิบัติงานก่อนการใช้คู่มือ 15 แห่ง

ห้องปฏิบัติการนำร่องในการประเมินการปฏิบัติงานหลังการใช้คู่มือ 8 แห่ง

จากข้อมูลในตารางที่ 6.9 ในหมวดที่ 1 – ความรู้พื้นฐานด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโน เมื่อเทียบร้อยละของผู้ปฏิบัติงานที่มีการเตรียมพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยของวัสดุนาโนในส่วนของการนำคู่มือไปใช้ และหลังจากได้รับการอบรมด้านการทำงานที่ปลอดภัยของวัสดุนาโนโดยคณะผู้วิจัยที่ไปดำเนินการจัดการอบรมให้แต่ละมหาวิทยาลัย โดยได้มีการนำคู่มือความปลอดภัยที่ได้ร่างไว้ไปใช้งานพบว่า ผู้ปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการนำร่องทุกแห่ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาและนักวิจัยหลังปริญญาเอกนั้นมีการเตรียมความพร้อมในส่วนของการรู้พื้นฐานความรู้ด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนอย่างเห็นได้ชัด ทั้งในส่วนของการค้นคว้าด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนที่ใช้ มีการค้นคว้าถึง MSDS ของวัสดุนาโนหรือวัสดุเดียวกัน และเมื่อมีการสอบถามเพื่อประเมินความเข้าใจของผู้ปฏิบัติงาน พบว่าสามารถตอบคำถามประเด็นต่างๆ ในด้านความปลอดภัยของวัสดุนาโนและสารเคมีที่เกี่ยวข้องได้ในระดับที่น่าพอใจ

หมวดที่ 2 – ความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน

ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการนำร่องทั้ง 15 แห่งที่มีการนำคู่มือความปลอดภัยไปใช้งานหลังจากการอบรมความปลอดภัย โดยคณะผู้วิจัย จากการประเมินติดตามผลการนำคู่มือความปลอดภัยไปใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 6.10 โดยพบว่า ห้องปฏิบัติการหลายแห่งมีการปรับปรุงพื้นที่ปฏิบัติงานในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ในขณะที่ห้องปฏิบัติการหลายแห่งพบว่า มีข้อจำกัดในการดำเนินการปรับปรุงพื้นที่ปฏิบัติงานดังกล่าว

ในภาพรวม จากการที่ห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นห้องปฏิบัติการกลาง โดยมีการดำเนินการวิจัยในหลายสาขาร่วมกัน และไม่ได้แยกเป็นห้องปฏิบัติการเฉพาะด้านนาโนเทคโนโลยีโดยเฉพาะ การดำเนินการในการปรับปรุงพื้นที่ปฏิบัติงานให้เหมาะสม จึงแตกต่างกันไป กล่าวคือการแยกพื้นที่สำหรับวัสดุนาโน ห้องปฏิบัติการที่มีการปรับปรุงในส่วนของการแยกพื้นที่สำหรับการทำวิจัยวัสดุนาโนนั้น ทำให้ในบางห้องปฏิบัติการที่มีพื้นที่กว้างขวางเมื่อเทียบกับจำนวนนิสิต นักศึกษาที่ไปใช้งาน ในขณะที่ห้องปฏิบัติการบางแห่งมีการใช้งานของพื้นที่ค่อนข้างหนาแน่น จึงทำให้ต้องมีการจัดเวลาให้นิสิต นักศึกษาในการไปดำเนินการวิจัยในพื้นที่เดียวกัน จึงทำให้ไม่สามารถแยกเป็นพื้นที่เฉพาะของการทำงานวิจัยด้านวัสดุนาโนได้อย่างไรก็ตามจากการสำรวจพบว่า ร้อยละของห้องปฏิบัติการที่แยกพื้นที่เฉพาะนั้นสามารถทำได้ในหลายห้องปฏิบัติการเมื่อเทียบกับการปฏิบัติงานก่อนการนำร่างคู่มือฯ ไปใช้งาน (9 แห่งจากเดิม 5 แห่ง) ในขณะที่ห้องปฏิบัติการที่ไม่สามารถแยกพื้นที่เฉพาะสำหรับงานวิจัยวัสดุนาโนได้นั้น ได้มีการติดป้ายว่าเป็นพื้นที่เฉพาะสำหรับวัสดุนาโนซึ่งได้มีการดำเนินการเพิ่มเติมในหลายห้องปฏิบัติการอย่างเห็นได้ชัด (12 แห่งจากเดิม 3 แห่ง) นอกจากนี้ห้องปฏิบัติการหลายแห่งได้มีมาตรการเพิ่มเติมในส่วนของการเข้มงวดของการไม่ให้มีการผ่านเข้าออกของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องในขณะดำเนินการทดลองวิจัยในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถเพิ่มความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนได้มากขึ้น จากการสำรวจพบว่า ห้องปฏิบัติการทุกแห่งให้ความสำคัญกับประเด็นนี้อย่างมาก ซึ่งสามารถปฏิบัติได้ง่ายและสามารถดำเนินการได้ในทันที

การแยกพื้นที่สำหรับเก็บของเสียวัสดุนาโนนั้น สามารถทำได้ในหลายห้องปฏิบัติการ ในส่วนของห้องปฏิบัติการที่มีพื้นที่จำกัดนั้น ได้มีการแยกเก็บชนิดของเสียวัสดุนาโนออกจากของเสียจากห้องปฏิบัติการประเภทอื่นโดยจัดให้เป็นหมวดเฉพาะด้าน และเก็บรวมในพื้นที่เดียวกันกับพื้นที่ที่เก็บของเสียชนิดอื่นๆ แต่ยังไม่สามารถแยกพื้นที่เป็นพื้นที่เฉพาะได้ในหลายห้องปฏิบัติการ

ในส่วนของอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยนั้น ได้มีการจัดอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยเพิ่มเติมในห้องปฏิบัติการบางแห่ง (9 แห่งจากเดิม 6 แห่ง) โดยห้องปฏิบัติการหลายแห่งที่ไม่สามารถดำเนินการในส่วนนี้ได้ทันทีจากข้อจำกัดด้านงบประมาณนั้น ได้จัดให้มีการนำเสนอในแผนงบประมาณสำหรับปีการศึกษาใหม่แล้ว ทั้งนี้จากการสอบถามพบว่าปัญหาหลักในการจัดการเพื่อให้เกิดความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงานนั้นมาจากการขาดแคลนงบประมาณในการจัดหาอุปกรณ์และการขาดแคลนพื้นที่การปฏิบัติงานเป็นหลักทำให้ไม่สามารถจัดให้มีอุปกรณ์ดังกล่าวได้ในทันที ทั้งนี้การอนุมัติซื้ออุปกรณ์เหล่านี้ยังขึ้นอยู่กับนโยบายของแต่ละมหาวิทยาลัยอีกด้วย

ตารางที่ 6.10 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน

ความเหมาะสมของพื้นที่ปฏิบัติงาน	ก่อนใช้คู่มือ		หลังใช้คู่มือ	
	%	แห่ง	%	แห่ง
1.เป็นพื้นที่ปฏิบัติงานเฉพาะหรือมีการแยกพื้นที่สำหรับวัสดุนาโน	26.7	4	60.0	9
2.มีการติดป้ายระบุชัดเจนว่าเป็นพื้นที่เฉพาะสำหรับวัสดุนาโน	20.0	3	80	12
3.ไม่มีการผ่านเข้าออกของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้อง	53.3	8	100	15
4.มีพื้นที่สำหรับเก็บของเสียวัสดุนาโนเป็นสัดส่วน	60.0	9	80	12
5.มีอุปกรณ์ความปลอดภัยเช่นฝักบัว อ่างล้างตา เป็นต้น	40.0	6	60.0	9

หมายเหตุ – ห้องปฏิบัติการนำร่องในการประเมินการปฏิบัติงานก่อนการใช้คู่มือ 15 แห่ง

ห้องปฏิบัติการนำร่องในการประเมินการปฏิบัติงานหลังการใช้คู่มือ 8 แห่ง

หมวดที่ 3 - การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

การวิเคราะห์การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจในห้องปฏิบัติการนำร่องแบ่งเป็นการวิเคราะห์การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจจากการทดลองในรูปแบบต่างๆ ผลสำรวจแสดงดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 การปฏิบัติงานวิจัยด้านการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ	ก่อนการใช้คู่มือ		หลังการใช้คู่มือ	
	%	แห่ง	%	แห่ง
การทดลองบนโต๊ะทดลองในพื้นที่โล่ง	80	12	62.5	5
การทดลองในพื้นที่ปิด	100	15	100	15
1.การทดลองทำในตู้ดูดควัน(fume hood)	40.0	9	40.0	9
2. การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ Laminar flow	26.7	4	26.7	4
2.1 การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ Laminar flow	20.0	3	20.0	3
2.2 การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ Laminar flow ที่มี HEPA filter	6.7	1	6.7	1
3. การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ Biosafety cabinet				
3.1 การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ Biosafety cabinet	0.0	0	0	0
3.2 การทดลองทำในตู้ปลอดเชื้อแบบ Biosafety cabinet ที่มี HEPA filter	0.0	0	0	0

ตารางที่ 6.11 (ต่อ) การปฏิบัติงานวิจัยด้านการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ

การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจ	ก่อนการใช้คู่มือ		หลังการใช้คู่มือ	
	%	แห่ง	%	แห่ง
4.การทดลองทำในระบบปิดอื่นๆ	33.3	5	80.0	12
5.การทดลองทำในเตาเผา				
5.1 การทดลองทำในเตาเผา	33.3	5	33.3	5
5.2 เตาเผามีระบบดูดควัน	13.3	2	13.3	2
5.3 เตาเผามีระบบดูดควันที่มีระบบบำบัดอากาศ	0.0	0	0.0	0
6.การทดลองทำบนโต๊ะทดลอง				
6.1 วัสดุนาโนอยู่ในรูปผง	80.0	12	33.3	5
6.2 วัสดุนาโนอยู่ในรูปของแข็ง	60.0	9	37.5	3
6.3 วัสดุนาโนอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว	40.0	6	100	15
6.4 วัสดุนาโนอยู่ในรูปของเหลว	40.0	6	80	12
6.5 วัสดุนาโนอยู่ในรูปติดยึดกับตัวกลาง	46.7	7	46.7	7

จากการสำรวจพบว่าก่อนการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานนั้น ห้องปฏิบัติการเกือบทั้งหมด (ร้อยละ 80) มีการทำการทดลองที่เกี่ยวกับวัสดุนาโนทั้งบนโต๊ะทดลองในพื้นที่โล่ง ซึ่งการดำเนินการทดลองวิจัยในลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของวัสดุนาโนสู่ผู้ดำเนินการวิจัย และสู่บรรยากาศตลอดจนสิ่งแวดล้อมได้โดยง่าย หลังจากการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานพบว่า ห้องปฏิบัติการที่มีการทดลองบนโต๊ะ หรือทดลองในพื้นที่โล่งมีจำนวนลดลง (12 แห่งจากเดิม 5 แห่ง) โดยเหลือเพียงการทดลองในบางรูปแบบเท่านั้นของห้องปฏิบัติการบางแห่งที่ยังจำเป็นต้องมีการทดลองในส่วนนี้อยู่ แต่ได้เพิ่มความระมัดระวังในส่วนของการความปลอดภัยในการทดลองให้มากขึ้นกว่าเดิม และได้มีการย้ายการทดลองบนโต๊ะไปทำงานในตู้ดูดควันเพิ่มขึ้น โดยจากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการทุกแห่งได้มีการใช้ตู้ดูดควัน หรือ การทดลองในพื้นที่ปิดอื่นๆ เช่น glove box เป็นต้น เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม (12 แห่งจากเดิม 5 แห่ง)

ในการวัดประสิทธิภาพของตู้ดูดควันหลังการใช้คู่มือความปลอดภัยฯ นั้น พบว่าหลังจากคณะผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำในการปรับปรุงและบำรุงรักษาเพื่อให้ตู้ดูดควันนั้นสามารถทำงานในการป้องกันความปลอดภัยจากวัสดุนาโนให้มีประสิทธิภาพจากการประเมินผลก่อนการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานก่อนหน้านี้แล้ว เมื่อดำเนินการประเมินผลอีกครั้งพบว่าตู้ดูดควันของทุกห้องปฏิบัติการมีการทำงานที่ดีและมีกระแสลมดูดไม่น้อยกว่า 100 ฟุต/นาที่ ที่เปิดบานกระจกสูงจากพื้น 30 ซม.ซึ่งสามารถใช้ป้องกันความปลอดภัยในการทำงานกับวัสดุนาโนได้อย่างดี

ในส่วนของการใช้ตู้ปลอดเชื้อของห้องปฏิบัติการไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยจะเป็นตู้ปลอดเชื้อแบบ Laminar flow ที่ไม่มี HEPA filter เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ไม่มีการใช้ตู้ปลอดเชื้อแบบ Biosafety cabinet รวมทั้งผลจากการสำรวจในส่วนของเราพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุปกรณ์ความปลอดภัย เช่น เครื่องดูดควันสำหรับเตาเผา เป็นต้น ไม่ได้แตกต่างกันเมื่อเทียบกับก่อนการใช้คู่มือ ทั้งนี้อาจมาจากปัญหงบประมาณดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ในการสังเคราะห์วัสดุนาโนนั้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบในการสังเคราะห์วัสดุนาโนอย่างชัดเจน กล่าวคือ การสังเคราะห์วัสดุนาโนในรูปแบบผงนั้นจะก่อให้เกิดความเสี่ยงในการได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานมากที่สุด และการสังเคราะห์วัสดุนาโนในรูปของแข็งนั้นจะก่อให้เกิดความเสี่ยงรองลงมา ในขณะที่การสังเคราะห์วัสดุนาโนในรูปของเหลว หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว จะทำให้เกิดความปลอดภัยในการได้รับวัสดุนาโนมากที่สุด จากการสำรวจห้องปฏิบัติการหลังจากการนำคู่มือความปลอดภัยไปใช้งานพบว่าห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ได้เปลี่ยนวิธีการสังเคราะห์วัสดุนาโน รวมถึงลักษณะของวัสดุนาโนที่นำมาใช้งาน โดยห้องปฏิบัติการที่มีการสังเคราะห์วัสดุนาโนในรูปแบบผงมีจำนวนลดลงจากร้อยละ 80 เหลือเพียงร้อยละ 33.3 และการสังเคราะห์วัสดุนาโนในรูปแบบของแข็งมีจำนวนลดลงจากร้อยละ 60 เหลือเป็นร้อยละ 37.5 โดยทุกห้องปฏิบัติการเน้นการสังเคราะห์วัสดุนาโนในรูปแบบของเหลว และกึ่งแข็งกึ่งเหลว รวมไปถึงวัสดุนาโนอยู่ในรูปติดยึดกับตัวกลางมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการลดความเสี่ยงในการได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงานได้อย่างชัดเจน

หมวดที่ 4 – การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

ในการวิเคราะห์การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนังในห้องปฏิบัติการก่อนและหลังการนำคู่มือไปใช้งาน ได้แบ่งเป็นการวิเคราะห์ในลักษณะต่างๆ และได้ผลการสำรวจดังแสดงในตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง

การป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนัง	ก่อนการใช้คู่มือ		หลังการใช้คู่มือ	
	%	แห่ง	%	แห่ง
1. ใช้ถุงมือทุกครั้งเมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโน	80.0	12	100	15
2. ถุงมือที่ใช้ในการทำงานกับวัสดุนาโนมีความเหมาะสม	33.3	5	66.7	10
3. ถุงมือที่ใช้ในการทำงานกับตัวทำละลายมีความเหมาะสม	33.3	5	80.0	12
4. ไม่ใช้ถุงมือซ้ำเมื่อถอดถุงมือแล้ว	93.3	14	100	15
5. สวมชุดคลุมขณะปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนทุกครั้ง	53.3	8	100	15

จากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางผิวหนังที่ดีขึ้น เมื่อมีการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานโดยการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนคือใช้ถุงมือทุกครั้งเมื่อปฏิบัติงานกับวัสดุนาโน การไม่ใช้ถุงมือซ้ำเมื่อถอดถุงมือแล้ว และสวมชุดคลุมขณะปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนทุกครั้ง

ในส่วนของประเภทถุงมือที่เหมาะสมในการใช้งานนั้น พบว่ามีการใช้ชนิดถุงมือที่มีความเหมาะสมมากขึ้น แต่ทั้งนี้จากงบประมาณในการทำวิจัยที่จำกัด ส่งผลให้การใช้ถุงมือไนไตรล์ จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ในหลายห้องปฏิบัติการยังคงมีการใช้ถุงมือประเภทลาเท็กซ์ ร่วมกับถุงมือไนไตรล์ โดยหากพบว่าในการทดลองใดมีความเสี่ยงกับการได้รับวัสดุนาโนสูง เช่น ในการสังเคราะห์วัสดุนาโน จะมีการใช้ถุงมือไนไตรล์ เป็นต้น ในขณะที่งานที่มีความเสี่ยงกับการได้รับวัสดุนาโนต่ำ เช่น การเตรียมสารละลายกรด-ด่าง เป็นต้น จะใช้ถุงมือลาเท็กซ์ แทน

ในส่วนของถุงมืออื่นๆ ได้แก่ ชนิด Polyethylene/Ethylene-vinyl alcohol (ถุงมือ silver shield®) ถุงมือชนิด butyl และถุงมือชนิด viton® มีการนำมาใช้งานในห้องปฏิบัติการน้อยมาก เนื่องจากถุงมือมีความหนาและไม่สะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้ได้มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันขาและเท้า เช่น รองเท้าหุ้มส้น (closed-toed shoes) เป็นต้น ร่วมด้วยในขณะที่ทำงานในทุกห้องปฏิบัติการที่ดำเนินการสำรวจ

หมวดที่ 5 – การป้องกันอันตรายต่อดวงตา

การวิเคราะห์การป้องกันอันตรายต่อดวงตาในห้องปฏิบัติการนำร่องแบ่งเป็นการวิเคราะห์การใช้ อุปกรณ์ป้องกันดวงตาที่เหมาะสมและการสวมแว่นตาทุกครั้งที่มีการปฏิบัติงานที่มีการได้รับแสงจ้าหรือเกิดประกายไฟดังแสดงในตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.13 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการป้องกันอันตรายต่อดวงตา

การป้องกันอันตรายต่อดวงตา	ก่อนการใช้คู่มือ		หลังการใช้คู่มือ	
	%	แห่ง	%	แห่ง
1. ใช้อุปกรณ์ป้องกันดวงตาที่เหมาะสม	40.0	6	100	15
2. สวมแว่นตาทุกครั้งที่มีการปฏิบัติงานที่มีการได้รับแสงจ้าหรือเกิดประกายไฟ	40.0	6	100	15

จากการสำรวจห้องปฏิบัติการที่มีการใช้งานอุปกรณ์ป้องกันอันตรายต่อดวงตา โดยพบว่าเมื่อห้องปฏิบัติการได้มีการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานแล้ว ห้องปฏิบัติการทุกแห่งที่มีการใช้วัสดุนาโนที่

เกี่ยวข้องกับการทดลองที่มีการใช้แสงหรือมีประกายไฟจะมีการสวมแว่นตาทุกครั้งที่มีการปฏิบัติงาน ซึ่งร้อยละของห้องปฏิบัติการที่มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันดวงตาที่เหมาะสมมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน

หมวดที่ 6 – การป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อม

จากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการนำร่องส่วนใหญ่ให้ความสนใจต่อการปนเปื้อนของวัสดุอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งหลังจากมีการนำคู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนไปใช้งาน ห้องปฏิบัติการหลายแห่งได้มีการปฏิบัติงานที่ทำให้เกิดการลดการกระจายของวัสดุนาโนในสิ่งแวดล้อม โดยพบว่าห้องปฏิบัติการที่มีการบูด๊ะทดลองทุกครั้งก่อนการใช้งานมีจำนวนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 80 ของห้องปฏิบัติการทั้งหมด ในลักษณะเดียวกัน ห้องปฏิบัติการนำร่องหลายแห่งได้จัดให้มีการทำความสะอาดเช็คโต๊ะทดลองแบบเปียกทุกครั้งก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนมีจำนวนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 33.3 เป็นร้อยละ 80 ของห้องปฏิบัติการทั้งหมด

ในส่วนของการแยกเก็บวัสดุนาโนนั้น ห้องปฏิบัติการบางแห่งได้จัดให้มีภาชนะที่เหมาะสมในการบรรจุวัสดุนาโนแต่ละชนิดและปฏิบัติได้ถูกต้องโดยใช้หลักการของการจัดเก็บสารเคมีทั่วไปและมีการทำความสะอาดอุปกรณ์ในการทำวิจัยก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโน โดยห้องปฏิบัติการหลายแห่งมีการติดฉลากภาชนะบรรจุวัสดุนาโนที่เหมาะสมเช่นกัน ทั้งนี้ จากการสำรวจพบว่าห้องปฏิบัติการหลายแห่งได้มีการเตรียมงบประมาณในการจัดซื้อภาชนะที่เหมาะสมดังกล่าวไว้แล้ว ซึ่งต้องรองบประมาณ จึงทำให้ไม่สามารถจัดซื้อจัดหาได้ในทันทีในปีนี้ ในส่วนของการทำความสะอาดอุปกรณ์ในการทำวิจัยก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนนั้น ได้มีการปฏิบัติงานที่เข้มงวดขึ้นในห้องปฏิบัติการหลายแห่ง โดยมีความเห็นตรงกันถึงข้อปฏิบัติในส่วนของการทำความสะอาดที่ต้องเข้มงวดและมีการทำความสะอาดอุปกรณ์ในการทำวิจัยก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโนอย่างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 6.14 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อม

การป้องกันการปนเปื้อนของสารต่อสิ่งแวดล้อม	ก่อนการใช้คู่มือ		หลังการใช้คู่มือ	
	%	แห่ง	%	แห่ง
1. เช็คโต๊ะแบบเปียกทุกครั้งก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโน	33.3	5	80.0	12
2. มีการบูด๊ะทดลองทุกครั้งก่อนการใช้งาน	40.0	6	80.0	12
3. มีภาชนะที่เหมาะสมในการบรรจุวัสดุนาโนแต่ละชนิดและปฏิบัติได้ถูกต้อง	46.7	7	53.3	8
4. มีการติดฉลากภาชนะบรรจุวัสดุนาโนที่เหมาะสม	53.3	8	66.7	10
5. มีการทำความสะอาดอุปกรณ์ในการทำวิจัยก่อนและหลังการปฏิบัติงานกับวัสดุนาโน	46.7	7	80.0	12

หมวดที่ 7 – การจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโน

จากการสำรวจห้องปฏิบัติการนำร่องหลังการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานพบว่า ห้องปฏิบัติการทุกแห่งทราบว่ามีความเสี่ยงวัสดุนาโนและของเสียปนเปื้อนวัสดุนาโนอยู่ แต่การจัดการของเสียวัสดุนาโนนั้น ทางห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่สามารถดำเนินการในส่วนของการจัดการและการกำจัดของเสียที่ไม่สิ้นเปลืองงบประมาณ และสามารถทำได้ทันที เช่น การรวบรวมของเสียวัสดุนาโนออกจากของเสียประเภทอื่น และการติดฉลากของเสียวัสดุนาโนที่เหมาะสม เป็นต้น ในขณะที่การนำของเสียวัสดุนาโนไปกำจัดนั้น ยังไม่สามารถปฏิบัติได้ในทันที ทั้งนี้เนื่องจากการนำของเสียวัสดุนาโนไปกำจัดนั้นจะขึ้นอยู่กับนโยบายและงบประมาณในการกำจัดของเสียของแต่ละมหาวิทยาลัยเป็นหลัก จึงทำให้การกำจัดของเสียวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งอาจไม่สามารถดำเนินการได้อย่างเต็มที่นัก

ตารางที่ 6.15 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโน

การจัดการของเสียอันตรายวัสดุนาโน	ก่อนการใช้คู่มือ		หลังการใช้คู่มือ	
	%	แห่ง	%	แห่ง
1. ห้องปฏิบัติการมีของเสียวัสดุนาโนและของเสียปนเปื้อนวัสดุนาโน	86.7	13	100	15
2. มีการรวบรวมของเสียวัสดุนาโนออกจากของเสียประเภทอื่น	26.7	4	80	12
3. มีการติดฉลากของเสียวัสดุนาโนที่เหมาะสม	6.7	1	53.3	8
4. มีนำของเสียวัสดุนาโนไปกำจัด	26.7	4	40.0	6
5. พื้นที่ในการรวบรวมและเก็บของเสียวัสดุนาโนมีความเหมาะสม	26.7	4	66.7	10

หมวดที่ 8 – การจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน

การสำรวจการจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการของแต่ละห้องปฏิบัติการนำร่องจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัสดุนาโนที่ใช้ จากการสำรวจการปฏิบัติงานในการจัดการกับอุบัติเหตุและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโนก่อนและหลังการใช้คู่มือความปลอดภัยฯ พบว่า จำนวนการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากวัสดุนาโนเช่น ไฟไหม้หรือระเบิด เป็นต้นในห้องปฏิบัติการมีจำนวนลดลง โดยเกิดอุบัติเหตุในส่วนของประกายไฟเพียง 1 แห่งจาก 15 แห่งที่มีการสำรวจ รวมทั้งมีการเกิดการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโนที่ลดลงไปด้วย

โดยห้องปฏิบัติการทั้งหมดสามารถปฏิบัติงานได้ถูกต้องและเหมาะสมมากขึ้นเมื่อมีวัสดุนาโนหก/ตกหล่น ทั้งในส่วนของกาเช็ดแบบเปียกในการทำความสะอาดวัสดุนาโนในขั้นตอนแรกและมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันการหายใจขณะทำความสะอาดร่วมด้วย ในขณะที่มีบางห้องปฏิบัติการ (ร้อยละ 26.7 หรือ 3 แห่งเท่านั้น) ที่มีอุปกรณ์เฉพาะสำหรับการทำความสะอาดวัสดุนาโนในกรณีเกิดการหก/ตกหล่นของวัสดุ

นาโนและยังไม่มีห้องปฏิบัติการใดใช้เครื่องดูดฝุ่นที่มี HEPA filter ในการทำความสะอาด ซึ่งการปรับปรุงในส่วนนี้ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเทียบระหว่างก่อนและหลังการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน ทั้งนี้สืบเนื่องจากงบประมาณที่มีจำกัดในแต่ละห้องปฏิบัติการในการจัดซื้อจัดหาอุปกรณ์เฉพาะสำหรับการทำความสะอาดวัสดุนาโน รวมทั้งการจัดหาเครื่องดูดฝุ่นที่มี HEPA filter

ในส่วนของการเขียนรายงานบันทึกอุบัติภัยนั้น ได้มีห้องปฏิบัติการหลายแห่งที่ได้มีการจัดสอนเจ้าหน้าที่และนิสิต/นักศึกษาให้มีการเขียนรายงานดังกล่าว ทั้งในส่วนของการรายงานบันทึกอุบัติภัยเมื่อเกิดเหตุร้าย เช่น ไฟไหม้ ระเบิด หรือการบาดเจ็บของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งรวมไปถึงการตกลงของสารเคมีด้วย และมีการปฏิบัติตามคู่มือความปลอดภัยฯ เมื่อเกิดอุบัติเหตุอย่างเหมาะสมมากขึ้น แต่เนื่องจากในช่วงระยะเวลาประมาณ 2 ถึง 3 เดือนที่มีการทดลองนำร่างคู่มือฯ ไปใช้เป็นระยะเวลานั้นจึงไม่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น จึงไม่มีการรายงานทางอุบัติเหตุ

ตารางที่ 6.16 แสดงการปฏิบัติงานวิจัยด้านการจัดการกับอุบัติภัยและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน

การจัดการกับอุบัติภัยและการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน	ก่อนการใช้คู่มือ		หลังการใช้คู่มือ	
	%	แห่ง	%	แห่ง
1.มีการเกิดการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการ	60.0	8	26.7	3
2.มีอุปกรณ์สำหรับการทำความสะอาดในกรณีเกิดการหก/ตกหล่นของวัสดุนาโน	26.7	3	26.7	3
3.มีการจัดแบบเปียกในการทำความสะอาดวัสดุนาโนในขั้นตอนแรก	53.3	7	100	15
4.มีการใช้เครื่องดูดฝุ่นที่มี HEPA filter	0.0	0	0.0	0
5.มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันการหายใจขณะทำความสะอาด	53.3	7	100	15
6.มีการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากวัสดุนาโนเช่น ไฟไหม้หรือระเบิด เป็นต้นในห้องปฏิบัติการ	26.7	3	12.5	1
7.มีการปฏิบัติตามคู่มือความปลอดภัยฯเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น	26.7	3	26.7	3
8.มีการเขียนรายงานบันทึกอุบัติภัย	26.7	3	26.7	3

6.4 การประเมินในภาพรวม อุปสรรคและปัญหาในการปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการนาร่อง

การประเมินในภาพรวมในทุกหมวด พบว่าห้องปฏิบัติการนาร่องได้มีการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปอบรมและใช้งาน โดยพบว่าสามารถนำไปใช้งานได้เหมาะสม โดยนิสิต นักศึกษา และเจ้าหน้าที่ได้ตระหนักถึงภัยที่เกิดจากวัสดุนาโน และมีการติดตามหาความรู้พื้นฐานเพื่อการระวังภัยส่วนตนได้ดี รวมถึงการใช้อุปกรณ์ส่วนบุคคลได้มากขึ้นก่อนการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน

ในส่วนของการจัดหาอุปกรณ์ความปลอดภัยหลายชนิดเพิ่มเติมขึ้น ห้องปฏิบัติการหลายแห่งต่างประสบปัญหาตรงกันคือ การขาดงบประมาณ ซึ่งต้องรอการจัดสรรจากมหาวิทยาลัย หรือต้องรองบประมาณจากทุนวิจัยในการจัดหาอุปกรณ์ดังกล่าว ทั้งนี้ห้องปฏิบัติการหลายแห่งได้จัดให้มีการจัดทำแผนการซื้อไว้แล้วสำหรับการจัดทำแผนงบประมาณในปีถัดไป ในขณะที่ห้องปฏิบัติการหลายแห่งไม่มีการจัดสรรงบประมาณเตรียมไว้ในประเด็นด้านความปลอดภัยซึ่งต้องผ่านการเห็นชอบของมหาวิทยาลัยต้นสังกัดด้วย

อุปสรรคที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้การป้องกันความปลอดภัยจากวัสดุนาโนเป็นไปได้โดยไม่ครบวงจรนัก คือ การจัดการและกำจัดของเสียวัสดุนาโน โดยห้องปฏิบัติการหลายแห่งได้มีจากจัดแยกของเสียวัสดุนาโนออกจากของเสียประเภทอื่น พร้อมทั้งมีพื้นที่เก็บรวบรวมของเสียวัสดุนาโนโดยเฉพาะแล้ว แต่การนำไปกำจัดนั้นต้องรอการดำเนินการของมหาวิทยาลัย ที่มักจัดให้มีการรวบรวมของเสียอันตราย ซึ่งรวมไปถึงของเสียวัสดุนาโนจากหน่วยงานมหาวิทยาลัยไปกำจัดพร้อมกัน การกำจัดของเสียหรือวัสดุนาโนจึงเป็นไปตามวาระที่มีการจัดการของแต่ละมหาวิทยาลัย ซึ่งบางแห่งมีการจัดการเพียง 1 ครั้งต่อปีเท่านั้น ซึ่งทำให้การสะสมของเสียวัสดุนาโนในปริมาณมากอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุเกิดขึ้นได้

ปัญหาและอุปสรรคที่พบจากการปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการนำร่อง 15 แห่ง จากการดำเนินงานในการนำคู่มือนี้ไปใช้งานได้ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน และได้นำไปอภิปรายในการประชุมครั้งที่ 4 เพื่อหารือในด้านปัญหาและอุปสรรค ตลอดจนแนวทางการผลักดันในการนำคู่มือนี้ไปใช้งาน

บทที่ 7

การประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโน

จากการประชุมเพื่อหาแนวทางในการร่างคู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีที่ผ่านมา จนได้ร่างคู่มือความปลอดภัยฯ ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3 ซึ่งได้ผ่านการเห็นชอบจากการประชุมปฏิบัติการครั้งที่ 3 นั้น ทางคณะผู้วิจัยได้มีการดำเนินการในส่วนของการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้กับห้องปฏิบัติการนำร่อง เพื่อให้ได้ผลการประเมินและนำมาใช้ในการปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยฯ เป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะมีการดำเนินการจัดเป็นรูปเล่มเพื่อแจกจ่ายไปยังหน่วยงานมหาวิทยาลัย และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการในส่วนของการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้กับห้องปฏิบัติการนำร่องนั้น ประกอบด้วยงาน 3 ส่วนคือ

1. การให้ความรู้เบื้องต้นและแนะนำการปฏิบัติงานวิจัยตามคู่มือความปลอดภัยฯ
2. การตรวจสอบการปฏิบัติงานวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยนำร่องก่อนการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน โดยการสำรวจและสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานของแต่ละห้องปฏิบัติการนำร่อง
3. การตรวจสอบและประเมินผลเชิงคุณภาพในการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งานของห้องปฏิบัติการนำร่อง และการปรับปรุงคู่มือความปลอดภัยฯ ตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิของห้องปฏิบัติการนำร่อง
4. การตรวจสอบการปนเปื้อนของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการและการประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน โดยทางคณะผู้วิจัยได้ทำงานร่วมกับผู้ปฏิบัติงาน (นักวิจัย และนักศึกษา) ของแต่ละห้องปฏิบัติการนำร่อง ในการดำเนินการทดลองเพื่อวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากแต่ละห้องปฏิบัติการนำร่อง และได้นำตัวอย่างวัสดุนาโนจากห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งมาวัดปริมาณวัสดุนาโนที่ปนเปื้อนที่มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อให้ได้การประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการนำคู่มือความปลอดภัยฯ ไปใช้งาน

โดยรายละเอียดของงานในส่วนที่ 1-3 ได้นำเสนอในบทที่ 6 ไปแล้ว รายละเอียดในส่วนที่ 4 การตรวจสอบและการประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการนำคู่มือความปลอดภัยฯ นั้นได้มีการนำเสนอแสดงผลในบทที่ 7 นี้

การตรวจสอบการปนเปื้อนของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการ

ในการตรวจสอบการปนเปื้อนของวัสดุนาโนในห้องปฏิบัติการทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างของการปนเปื้อนและการได้รับวัสดุนาโนจากการทดลอง/วิจัยในห้องปฏิบัติการในส่วนของการ

สังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งดำเนินการโดยห้องปฏิบัติการนำร่องจากมหาวิทยาลัย 6 แห่ง เพื่อนำมาประเมินความปลอดภัยในการทำวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี โดยกระบวนการสังเคราะห์วัสดุแต่ละชนิดและการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุ ประกอบด้วย

- 1) การเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลอง
- 2) การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี sol-gel
- 3) การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electric arc discharge
- 4) การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electric sparking
- 5) การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี dip coating
- 6) การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electrodeposition

โดยรายละเอียดของกระบวนการแต่ละประเภทและการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุนาโนแต่ละวิธี การตรวจสอบและการประเมินผลเชิงปริมาณในการป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุนาโนและข้อควรปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานวิจัยในการสังเคราะห์วัสดุแต่ละวิธี มีดังนี้

7.1 การเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลอง

ในขั้นตอนเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลอง ประกอบด้วย การทดสอบ และซั่งสารวัสดุนาโนในรูปของผงโดยใช้เครื่องซั่งแบบปิด ในการทดลองนี้เป็นการเตรียมสารซิลิกาไดออกไซด์ และไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งการวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโน ประกอบด้วย

- 1) การวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนที่กระจายในพื้นที่ทดลอง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างในผ้าดูดซับแบบเปียกที่ใช้ในการซั่งวัสดุนาโนจากเครื่องซั่งแบบปิด
- 2) การวัดการได้รับวัสดุนาโนผ่านผิวหนัง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างอยู่กับถุงมือที่ใช้ในการทดลอง และ
- 3) การวัดการได้รับวัสดุนาโนผ่านการหายใจ โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างบนหน้ากากผ้าที่ใช้ในการทดลอง

การเก็บตัวอย่างจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลองของห้องปฏิบัติการนำร่อง 2 แห่งแสดงในรูปที่ 7.1 และค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างจาก 2 ห้องปฏิบัติการนำร่อง แสดงในตารางที่ 7.1



รูปที่ 7.1 การเก็บตัวอย่างจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลองของห้องปฏิบัติการนำร่อง

ตารางที่ 7.1 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลอง

ชนิดวัสดุนาโน	สถานะของวัสดุนาโนเริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
		ถุงมือ	หน้ากาก	ผ้าซับวัสดุนาโนจากเครื่องชั่งแบบปิด
SiO ₂ (วัดในรูปของ Si)	การซังผง SiO ₂	12.5	-	51.6
TiO ₂ (วัดในรูปของ Ti)	การซังผง TiO ₂	18.5	10.2	41.8

หมายเหตุ - ค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เป็นค่าเฉลี่ยที่วัดจากตัวอย่าง 5 ตัวอย่างที่มาจากการทดลองเดียวกัน

ค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลางแสดงถึงการกระจายของวัสดุนาโนในสิ่งแวดล้อมขณะที่มีการทดลองในส่วนของการซังสารการทดลอง แม้ว่าจะเป็นการซังสารในเครื่องชั่งที่เป็นระบบปิด ซึ่งวัสดุนาโนมีการปนเปื้อนทั้งในส่วนของถุงมือ หน้ากาก และพื้นที่บริเวณเครื่องชั่ง ซึ่งหากไม่มีการสวมถุงมือขณะทดลองจะทำให้ผู้ที่ปฏิบัติงานมีโอกาสที่จะได้รับวัสดุนาโนนั้นๆ ผ่านผิวหนังได้ รวมทั้งการใช้หน้ากากเพื่อป้องกันการได้รับวัสดุนาโนผ่านการหายใจ และการเช็ดพื้นที่ทดลองทุกครั้งทั้งก่อนและหลังการทดลองจะเป็นการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนอีกวิธีหนึ่งด้วย

ในการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลองนั้น มีโอกาสที่ผู้ทดลองจะได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายจากขั้นตอนต่างๆ คือ การเตรียมพื้นที่สำหรับการทดลอง การตักสาร การซังสาร การเทสารลงบนภาชนะ การเคลื่อนย้ายภาชนะ และการทำความสะอาดพื้นที่หลังการทดลอง โดยสามารถได้รับวัสดุนาโนในหลาย

เส้นทางโดยการประเมินผลการได้รับวัสดุนาโนจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลองแสดงดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลอง

ขั้นตอน	รูปแบบของวัสดุนาโน	เส้นทางที่ได้รับ	การป้องกัน
1. การเตรียมพื้นที่	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. ใช้ผ้าซับวัสดุนาโนในการทำ ความสะอาดพื้นที่ทดลองทุกครั้ง 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
2. การตักสาร	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. สวมหน้ากาก 2. สวมถุงมือ ชุดคลุม
3. การซั่งสาร	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. ใช้เครื่องซั่งแบบปิด 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
4. การเทสารลงบนภาชนะ	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. สวมหน้ากาก 2. สวมถุงมือ ชุดคลุม
5. การเคลื่อนย้ายภาชนะ	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. ใช้ภาชนะปิดในการเคลื่อนย้าย วัสดุนาโน 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
6. การทำความสะอาดพื้นที่	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. ใช้ผ้าซับวัสดุนาโนในการทำ ความสะอาดพื้นที่ทดลองทุกครั้ง 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม

แนวทางการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลอง

- 1) สวมถุงมือชนิดที่เหมาะสม เช่น ถุงมือไนไตรล์ เป็นต้น ในการทดลองทุกครั้งและทุกขั้นตอน
- 2) สวมหน้ากากทุกครั้งเมื่อมีการเตรียมวัสดุนาโนในรูปผงในขั้นตอน
- 3) ควรเตรียมวัสดุนาโนในรูปของของเหลว หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวแทนการเตรียมวัสดุนาโนรูปผง โดยในการเตรียมวัสดุนาโนในรูปของเหลว หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว อนุโลมให้ไม่ใส่หน้ากากได้ ทั้งนี้

ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งหากตัวทำละลายเป็นสารระเหยได้ ต้องมีการใส่หน้ากากป้องกันร่วมด้วยเสมอ

- 4) เครื่องซังที่ใช้ในการเตรียมวัสดุนาโน ควรเป็นเครื่องซังแบบปิดเสมอ
- 5) การเคลื่อนย้ายวัสดุนาโนทั้งในรูปผง ของแข็ง ของเหลว และกึ่งแข็งกึ่งเหลว ต้องบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะปิดแน่นทุกครั้ง
- 6) การป้องกันที่ดีในการได้รับวัสดุนาโนจากการซังสาร คือการแยกส่วนการซังสารให้ทำในพื้นที่ปิด
- 7) การทำความสะอาดบริเวณเตรียมการทดลอง ต้องมีการเช็ดแบบเปียกทุกครั้งทั้งก่อนและหลังการทดลอง โดยวัสดุที่ใช้ในการเช็ดแบบเปียก เช่น ผ้า เป็นต้น ต้องแยกกำจัดในรูปของ “ของเสียวัสดุนาโน”

7.2 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel

การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel โดยเป็นกระบวนการหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการสังเคราะห์วัสดุนาโน โดยการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่เรียกว่า “sol” ส่วนมากอยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน เป็นของแข็งที่เรียกว่า “gel” โดยการนำสารละลายต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยาสารประกอบที่เกิดขึ้นจะอยู่ในลักษณะของโซล เมื่อโซลเกาะตัวกันเป็นร่างแหอย่างไม่เป็นระเบียบจะทำให้เกิดเป็นเจล ในกระบวนการผลิตทั้งจากสถานะที่เป็น sol และ gel เมื่อเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้ง หรือเผาที่อุณหภูมิต่ำในช่วงไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียสจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เส้นใย (fiber) แอโรเจล (aerogel) ซีโรเจล (xerogel) อนุภาคผง (powder) เป็นต้น

ในการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์ด้วยวิธี sol-gel เป็นการเก็บตัวอย่างจากการทดลองการเตรียมวัสดุนาโนในรูปของอนุภาคผง ซึ่งวิธีการสังเคราะห์ในรูปแบบนี้ได้รับความนิยมในการเตรียมวัสดุนาโนกันมากในห้องปฏิบัติการหลายแห่ง การเก็บตัวอย่างในการวิเคราะห์ประกอบด้วย การวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนที่กระจายในพื้นที่ทดลอง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างในผ้าดูดซับแบบเปียก การวัดการได้รับวัสดุนาโนผ่านผิวหนัง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างอยู่กับถุงมือที่ใช้ในการทดลอง และ การวัดการได้รับวัสดุนาโนผ่านการหายใจ โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างบนหน้ากากผ้าที่ใช้ในการทดลอง

การเก็บตัวอย่างในส่วนของการทดลองนี้มาจากห้องปฏิบัติการนำร่อง 5 แห่งดังแสดงในรูปที่ 7.2 และ ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel แสดงในตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel

ชนิดวัสดุนาโน	สถานะของวัสดุนาโนเริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
		ถุงมือ	หน้ากาก	ผ้าซับวัสดุนาโนจากโต๊ะทดลอง
1-SiN (วัดในรูปของ Si)	เตรียมจากผงวัสดุนาโนในรูปของแข็ง	1,107.3	-	20.5
2-SiO ₂ (วัดในรูปของ Si)	เตรียมจากผงวัสดุนาโนในรูปของแข็ง	2,989.8	301	39.1
3-ZnO (วัดในรูปของ Zn)	เตรียมวัสดุจากสารละลาย	54.6	33.1	27.1
4-TiO ₂ (วัดในรูปของ Ti)	เตรียมจากวัสดุนาโนที่แขวนลอยในสารละลาย	90.1	-	69.4
5-TiO ₂ (วัดในรูปของ Ti)	เตรียมวัสดุจากสารละลาย*	82.3	52.3	56.1
TiO ₂ (วัดในรูปของ Ti)	เตรียมจากผงวัสดุนาโนในรูปของแข็ง*	1,524.3	522.3	75.1

หมายเหตุ - 1. ค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เป็นค่าเฉลี่ยที่วัดจากตัวอย่าง 5 ตัวอย่างที่มาจากการทดลองเดียวกัน

2. พื้นที่โต๊ะทดลองที่มีการใช้ผ้าดูดซับวัสดุนาโนจะมีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกันที่ 0.2 ตารางเมตร

3. การทดลองแบบ sol-gel เป็นการทดลองบนโต๊ะทดลองในระบบเปิด

4. การทดลองสองชุดสุดท้าย (*) เป็นการวัดปริมาณ TiO₂ ที่สังเคราะห์วัสดุนาโนเพื่อให้ได้ปริมาณวัสดุนาโนที่เท่ากัน แต่เตรียมมาจากวัสดุนาโนในรูปแบบต่างกัน คือ แบบผง และ สารละลาย



รูปที่ 7.2 การเก็บตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการต่างๆ ในส่วนของการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel

การเก็บตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการต่างๆ ในส่วนของการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel แสดงดังรูปที่ 7.1 จากผลการวัดค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง ซึ่งมาจากการสังเคราะห์วัสดุนาโนชนิดต่างกัน และจากห้องปฏิบัติการต่างกัน ทั้งนี้ จากวิธีการ sol-gel ที่สามารถใช้วัสดุเริ่มต้นได้ทั้งในรูปแบบผงและแบบสารละลาย การปนเปื้อนของวัสดุนาโนที่เกิดขึ้นจึงมีค่าปริมาณที่ต่างกันไปด้วย จากผลการศึกษาในตารางที่ 7.3 จะเห็นได้ชัดเจนว่าการสังเคราะห์วัสดุนาโนที่ใช้วัสดุนาโนในรูปของผงนั้นจะทำให้เกิดการปนเปื้อน ซึ่งนำไปสู่การได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงานได้มากกว่าการใช้วัสดุนาโนในรูปของสารละลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตกค้างของวัสดุนาโนที่ถุงมือและหน้ากากของผู้สวมใส่ โดยการใช้วัสดุนาโนในรูปของผงจะมีการตกค้างของวัสดุนาโนในระดับ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นไป ในขณะที่การใช้วัสดุนาโนในรูปของสารละลายจะมีการตกค้างของวัสดุนาโนในระดับ 10-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนของหน้ากาก การใช้วัสดุนาโนในรูปของผงมีการตกค้างของวัสดุนาโนในระดับที่แตกต่างกับการใช้วัสดุนาโนในรูปของสารละลาย ผลการวัดปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลางนี้ แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการทดลองที่ควรเลือกทดลองวัสดุนาโนในรูปของสารละลาย หรือสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว แทนการใช้วัสดุนาโนในรูปแบบผง

ในการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel นั้น โอกาสที่ผู้ทดลองจะได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายจากขั้นตอนต่างๆ ในหลายขั้นตอน โดยสามารถได้รับวัสดุนาโนในหลายเส้นทางโดยการประเมินผลการได้รับวัสดุนาโนจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลองแสดงดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel

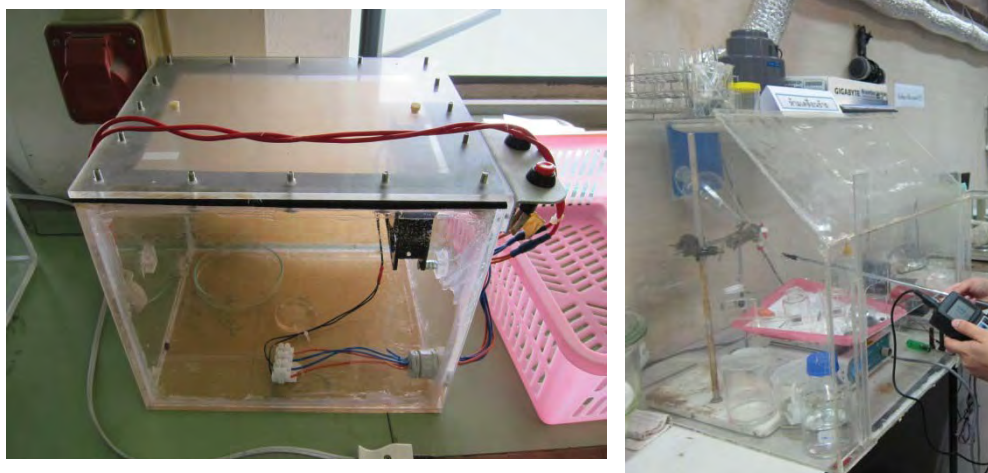
ขั้นตอน	รูปแบบของวัสดุนาโน	เส้นทางการได้รับ	การป้องกัน
1. การผสมสารละลายและสารแขวนลอย	ผงนาโน, ของเหลวนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. การทดลองในระบบปิด 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
2. การเกิดปฏิกิริยา sol-gel	ของเหลวนาโน	การสัมผัส	สวมถุงมือ ชุดคลุม
3. การทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. การทดลองในระบบปิดที่มีระบบดูดควัน 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
4. การให้ความร้อนโดยใช้เตาเผา	ผงนาโน	การหายใจ	1. สวมหน้ากาก 2. สวมถุงมือ ชุดคลุม 3. การมีระบบดูดควันสำหรับเตาเผา

ตารางที่ 7.4 (ต่อ) การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel

ขั้นตอน	รูปแบบของวัสดุนาโน	เส้นทางการได้รับ	การป้องกัน
5. การทำให้อนุภาคนาโนที่ได้กระจายตัว เช่น การบด เป็นต้น	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. การทดลองในระบบปิด 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ
6. การทำความสะอาดพื้นที่	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. ใช้ผ้าซับวัสดุนาโนในการทำ ทำความสะอาดพื้นที่ทดลองทุกครั้ง 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม

แนวทางการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel

- 1) สวมถุงมือชนิดที่เหมาะสม เช่น ถุงมือไนไตรล์ เป็นต้น ในการทดลองทุกครั้งและทุกขั้นตอน
- 2) สวมหน้ากากทุกครั้งเมื่อมีการเตรียมวัสดุนาโนในรูปผงในขั้นตอน
- 3) สวมชุดคลุมทุกครั้งและตลอดเวลาที่มีการทดลอง เพื่อป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทั้งจากการสัมผัสโดยตรง และการหกรั่วไหลของของเหลวที่มีวัสดุนาโนแขวนลอยอยู่
- 4) ควรสังเคราะห์วัสดุนาโนในรูปของของเหลว หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวแทนการเตรียมวัสดุนาโนรูปผง โดยในการเตรียมวัสดุนาโนในรูปของเหลว หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว อนุโลมให้ไม่ใส่หน้ากากได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งหากตัวทำละลายเป็นสารระเหยได้ ต้องมีการใส่หน้ากากป้องกันร่วมด้วยเสมอ
- 5) การทดลองทั้งหมดควรทำในระบบปิด หากเป็นไปได้ควรจัดเป็นระบบปิดที่มีระบบดูดควัน ดังแสดงในรูปที่ 7.3 รวมทั้งเตาเผาที่ใช้ควรมีระบบดูดควันเฉพาะ
- 6) การเคลื่อนย้ายวัสดุนาโนทั้งในรูปผง ของแข็ง ของเหลว และกึ่งแข็งกึ่งเหลว ต้องบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะปิดแน่นทุกครั้ง
- 7) การทำความสะอาดบริเวณเตรียมการทดลอง ต้องมีการเช็ดแบบเปียกทุกครั้งทั้งก่อนและหลังการทดลอง โดยวัสดุที่ใช้ในการเช็ดแบบเปียก เช่น ผ้า เป็นต้น ต้องแยกกำจัดในรูปของ “ของเสียวัสดุนาโน”



รูปที่ 7.3 ตัวอย่างระบบปิดที่ใช้กับการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี sol-gel ได้

7.3 การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electric arc discharge

การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge เป็นกระบวนการหนึ่งที่ยิยมใช้ในการสังเคราะห์วัสดุนาโน โดยเฉพาะท่อคาร์บอน ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการป้อนกระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์เข้าไปเพื่อให้อนุภาคเกิดการแตกตัวกลายเป็นพลาสมา จากนั้นอนุภาคที่แตกตัวจะเกิดการควบแน่นและก่อตัวใหม่ที่ขั้วแคโทด วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายและค่าใช้จ่ายน้อย แต่ท่อคาร์บอนนาโนที่ได้ อาจจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอและอาจมีสิ่งเจือปนผสมอยู่

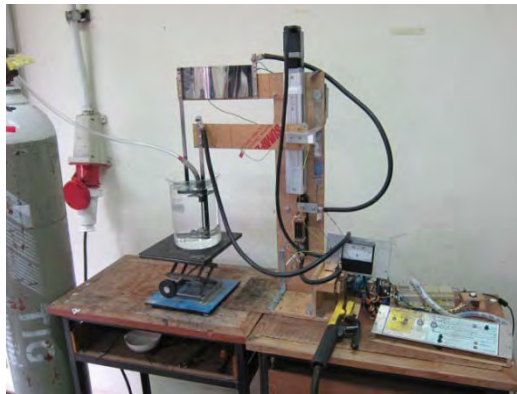
ในการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์ด้วยวิธี electric arc discharge ของโครงการนี้ เป็นการเก็บตัวอย่างจากการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย 1) การวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนที่กระจายในพื้นที่ทดลอง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างในผ้าดูดซับแบบเปียก และ 2) การวัดการได้รับวัสดุนาโนผ่านผิวหนัง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างอยู่กับถุงมือที่ใช้ในการทดลอง และค่าที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างจาก 1 ห้องปฏิบัติการนำร่อง แสดงในตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge

ชนิดวัสดุนาโน	สถานะของวัสดุนาโนเริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
		ถุงมือ	หน้ากาก	ผ้าซับวัสดุนาโนจากโต๊ะทดลอง
SiO ₂ /CNT (วัดในรูปของ Si)	เตรียมวัสดุจากสารละลายและของแข็ง (ขั้วอิเล็กโทรด)	674	-	2.44

- หมายเหตุ - 1. ค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เป็นค่าเฉลี่ยที่วัดจากตัวอย่าง 5 ตัวอย่างที่มาจากการทดลองเดียวกัน
2. พื้นที่โต๊ะทดลองที่มีการใช้ผ้าดูดซับวัสดุนาโนจะมีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกันที่ 0.2 ตารางเมตร

การเก็บตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการ ในส่วนของการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge แสดงดังรูปที่ 7.4 จากผลการวัดค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง มีปริมาณของ Si ซึ่งมาจาก SiO_2 ที่ตกค้างในถุงมือในระดับค่อนข้างสูง ในขณะที่การปนเปื้อนของ Si ที่ตกค้างในผ้าซับวัสดุนาโนมีปริมาณต่ำอย่างมาก ทั้งนี้ไม่ได้มีการวัดปริมาณของ Si ที่ตกค้างในหน้ากาก เนื่องจากหน้ากากที่ผู้วิจัยใช้ในขณะปฏิบัติงาน เป็นหน้ากากที่มีตัวกรองที่ใช้ในการทดลองมาแล้วหลายครั้ง จึงไม่สามารถนำมาประเมินการปนเปื้อนหรือการตกค้างของวัสดุนาโนในแผ่นกรองได้ ในส่วนของการวัด CNT นั้น ทางคณะผู้วิจัยไม่สามารถวัดปริมาณ CNTs ได้ จากการประเมินการปนเปื้อนของวัสดุนาโนโดยพิจารณาค่าการปนเปื้อนร่วมกับวิธีการทดลองดังแสดงในรูป 7.4 พบว่าการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge นี้โอกาสการได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายของผู้วิจัยมีสูงมาก ทั้งนี้อนุภาคของคาร์บอนนาโนจะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศได้โดยง่าย ซึ่งนำไปสู่การได้รับวัสดุนาโนของผู้ปฏิบัติงาน ผลการวัดปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลางนี้ จึงแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการทดลองที่ควรทำการทดลองในตู้ดูดควัน หรือทำการทดลองในพื้นที่ปิด (glove box) และสวมใส่หน้ากากป้องกันซึ่งสามารถกรองอนุภาคคาร์บอนออกได้ทุกครั้ง



รูปที่ 7.4 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge

ตารางที่ 7.6 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge

ขั้นตอน	รูปแบบของวัสดุนาโน	เส้นทางการได้รับ	การป้องกัน
1. การเตรียมสารละลายและแท่งโลหะ	-	-	สวมถุงมือ ชุดคลุม
2. การเกิดปฏิกิริยาขณะปล่อยป้อนกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์	ก๊าซที่มีผงนาโนปนอยู่	การหายใจ	1. การทดลองในระบบปิดที่มีระบบดูดควัน 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
3. การแยกวัสดุนาโนจากสารละลาย	ของเหลวนาโน	การสัมผัส	1. สวมหน้ากาก 2. สวมถุงมือ ชุดคลุม
4. การบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะ	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. การบรรจุวัสดุนาโนที่ได้ในภาชนะปิด 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
5. การทำความสะอาดพื้นที่	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. ใช้ผ้าซับวัสดุนาโนในการทำ ความสะอาดพื้นที่ทดลองทุกครั้ง 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม

แนวทางการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge

- 1) สวมถุงมือชนิดที่เหมาะสม เช่น ถุงมือไนไตรล์ เป็นต้น ในการทดลองทุกครั้งและทุกขั้นตอน
- 2) การสวมหน้ากากเมื่อมีการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric arc discharge ตลอดเวลา นับตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง (แม้ว่าในช่วงการเตรียมสารละลายและแท่งโลหะจะมีโอกาสได้รับวัสดุนาโนน้อยมาก) ในส่วนของการทดลองขณะที่มีการปล่อยป้อนกระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ ควรจะใช้หน้ากากที่มีตัวกรอง ที่สามารถกรองอนุภาคฝุ่น ก๊าซพิษได้ ไม่ควรใช้เป็นหน้ากากผ้า
- 3) สวมชุดคลุมทุกครั้งและตลอดเวลาที่มีการทดลอง เพื่อป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทั้งจากการสัมผัสโดยตรง และการหกหรือไหลของของเหลวที่มีวัสดุนาโนแขวนลอยอยู่
- 4) การทดลองทั้งหมดควรทำในระบบปิดที่มีระบบดูดควันโดยเฉพาะ ดังแสดงในรูปที่ 7.3 ซึ่งการทดลองนี้จำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบดูดควันเป็นอย่างดีเพื่อป้องกันการได้รับวัสดุนาโนที่ปนมากับก๊าซที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง และต้องมีการควบคุมการทดลองให้เป็นพื้นที่เฉพาะที่แยกส่วนจากการทดลองประเภทอื่นๆ

- 5) การเคลื่อนย้ายวัสดุนาโนต้องบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะปิดแน่นทุกครั้ง
- 6) การทำความสะอาดบริเวณเตรียมการทดลอง ต้องมีการเช็ดแบบเปียกทุกครั้งทั้งก่อนและหลังการทดลอง โดยวัสดุที่ใช้ในการเช็ดแบบเปียก เช่น ผ้า เป็นต้น ต้องแยกกำจัดในรูปของ “ของเสียวัสดุนาโน”

7.4 การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electric sparking

การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking เป็นกระบวนการหนึ่งของการถ่ายเทประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (electrostatic discharge) ที่สามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์วัสดุนาโนได้ ในกลุ่มของโลหะออกไซด์ นาโนดอท และฟิล์มบาง โดยกระบวนการนี้เป็นการป้อนถ่ายเทประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดประกายไฟ และไอออนของอนุภาคขึ้น ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระ และไอออนในอากาศมากขึ้น จากนั้นอนุภาคที่แตกตัวจะเกิดการควบแน่นและก่อตัวใหม่

ในการทดลองของห้องปฏิบัติการนาร่องนี้ วัสดุนาโนเริ่มต้นมาจากการใช้ลวดโลหะ ZnO และป้อนกระแสไฟฟ้าไปยังเครื่องมือ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าและทำให้เกิดไอออนของ Zn ที่มีขนาดระดับนาโนเพื่อให้เกิดการเคลือบบนชิ้นงานรองรับ เช่น กระดาษ เป็นต้น

ในการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์ด้วยวิธี electric sparking ของโครงการนี้ เป็นการเก็บตัวอย่างจากการทดลอง ประกอบด้วย การวัดอนุภาคนาโนจากวัสดุนาโนที่ตกค้างในผ้าดูดซับแบบเปียกที่ใช้ในการเช็ดผนังของระบบปิดที่มีการทดลอง electric sparking อยู่ด้านใน และ 2) การวัดการได้รับวัสดุนาโนผ่านผิวหนัง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างอยู่กับถุงมือที่ใช้ในการทดลอง โดยค่าที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างจาก 1 ห้องปฏิบัติการนาร่อง แสดงในตารางที่ 7.7

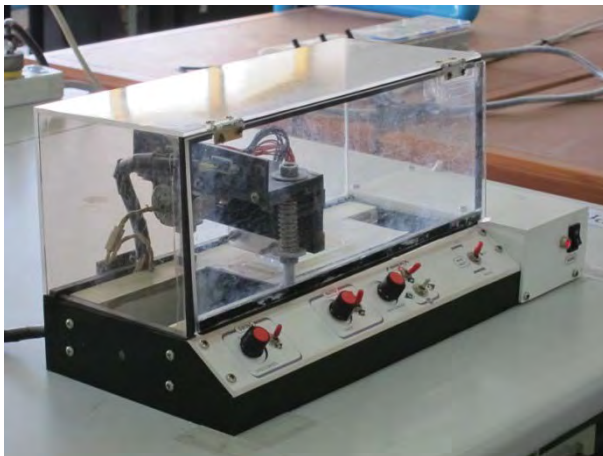
ตารางที่ 7.7 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking

ชนิดวัสดุนาโน	สถานะของวัสดุนาโนเริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
		ถุงมือ	หน้ากาก	ผ้าซับวัสดุนาโนจากพื้นที่ปิดที่ใช้ทดลอง
ZnO ทำการทดลอง 10 นาที (วัดในรูปของ Zn)	ลวดโลหะ ZnO	194	-	9,550
ZnO ทำการทดลอง 100 นาที (วัดในรูปของ Zn)	ลวดโลหะ ZnO	253	-	11,530

- หมายเหตุ - 1. ค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เป็นค่าเฉลี่ยที่วัดจากตัวอย่าง 5 ตัวอย่างที่มาจากการทดลองเดียวกัน
2. พื้นที่ปิดที่มีการใช้ผ้าดูดซับวัสดุนาโน มีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกันที่ 0.2 ตารางเมตร

การเก็บตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการ ในส่วนของการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking แสดงดังรูปที่ 7.5 จากผลการวัดค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง พบว่าการตกค้างของวัสดุนาโนบนผ้าซับวัสดุนาโนจากพื้นที่ปิดเมื่อมีการทดลองแต่ละรอบเสร็จสิ้นซึ่งเป็นตัวแทนของการกระจายของวัสดุนาโนสู่บรรยากาศมีวัสดุนาโนวัดในรูปของ Zn ตกค้างอยู่ในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งรวมถึงการตกค้างของ Zn บนถุงมือที่ใช้มีปริมาณสูงมากเมื่อเทียบกับการสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธีอื่นๆ นอกจากนี้ เมื่อเวลาในการสังเคราะห์วัสดุนาโนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการตกค้างของ Zn ในตัวกลางเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า หากการทดลอง electric sparking นี้ทำในพื้นที่ปิดนั้น อนุภาคนาโนมีโอกาสที่จะปนเปื้อนสู่บรรยากาศได้สูงมาก ในขณะที่ผู้วิจัยมีโอกาสได้รับอนุภาคนาโนสูงเช่นกัน ผลการวัดปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลางนี้ จึงแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking ที่ควรทำการทดลองในตู้ดูดควัน หรือทำการทดลองในพื้นที่ปิด และสวมใส่ถุงมือป้องกันซึ่งสามารถป้องกันอนุภาคนาโนได้ เช่น ถุงมือไนไตรล์ เป็นต้น ทุกครั้ง

ในการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking นั้น โอกาสที่ผู้ทดลองจะได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายจากขั้นตอนต่างๆ ในหลายขั้นตอน โดยสามารถได้รับวัสดุนาโนในหลายเส้นทางโดยการประเมินผลการได้รับวัสดุนาโนจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลองแสดงดังตารางที่ 7.8



รูปที่ 7.5 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking

ตารางที่ 7.8 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking

ขั้นตอน	รูปแบบของวัสดุนาโน	เส้นทางการได้รับ	การป้องกัน
1. การเตรียมลวดโลหะ	-	-	สวมถุงมือ ชุดคลุม
2. การเคลือบติดผิวด้วยการถ่ายเทประจุไฟฟ้า	ผงนาโน	การหายใจ	1. การทดลองในระบบปิดที่มีระบบดูดควัน 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
3. การบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะ	ผงนาโนที่อาจหลุดออกจากแผ่นรองรับได้	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. การบรรจุวัสดุนาโนที่ได้ในภาชนะปิด 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
4. การทำความสะอาดระบบปิดและพื้นที่ทดลอง	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. ใช้ผ้าซับวัสดุนาโนในการทำทำความสะอาดพื้นที่ทดลองทุกครั้ง 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม

แนวทางการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking

- 1) สวมถุงมือชนิดที่เหมาะสม เช่น ถุงมือไนไตรล์ เป็นต้น ในการทดลองทุกครั้งและทุกขั้นตอน
- 2) การทดลองทั้งหมดควรทำในระบบปิด ทั้งนี้จากปริมาณของวัสดุนาโนที่เกิดจากวิธีนี้จะกระจายบริเวณพื้นที่รอบๆ ในปริมาณมาก การทำระบบปิดเพื่อให้เกิด electric sparking นี้เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธีนี้
- 3) ควรมีการตรวจสอบการทำงานของระบบปิดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้แน่ใจได้ว่าระบบปิดนั้นไม่มีการแตกรั่ว หรือช่องที่จะทำให้ไม่สามารถกักเก็บวัสดุนาโนไว้ในระบบปิดได้ขณะที่มีการสังเคราะห์วัสดุนาโน
- 4) การเคลื่อนย้ายวัสดุนาโนต้องบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะปิดแน่นทุกครั้ง แม้ว่าวัสดุนาโนที่ได้จะเคลือบบนผิวของแผ่นรองรับแล้ว แต่โอกาสที่วัสดุนาโนรูปแบบผงสามารถหลุดและกระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบได้ยังคงมีอยู่ เว้นเสียแต่วัสดุนาโนที่ได้นั้นมีการทดสอบแล้วว่าไม่มีการหลุดลอกออกจากแผ่นรองรับ
- 5) การทำความสะอาดผนังระบบปิด ต้องมีการเช็ดแบบเปียกทุกครั้งทั้งก่อนและหลังการทดลองทั้งภายในและภายนอกระบบปิดนั้นๆ โดยวัสดุที่ใช้ในการเช็ดแบบเปียก เช่น ผ้า เป็นต้น ต้อง

แยกกำจัดในรูปของ “ของเสียวัสดุนาโน” และในการทำความสะอาด นอกจากนี้ในการทำ
ความสะอาดต้องใส่ถุงมือชนิดไนไตรล์ทุกครั้ง และสวมหน้ากากในการปฏิบัติงานร่วมด้วย

7.5 การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี dip coating

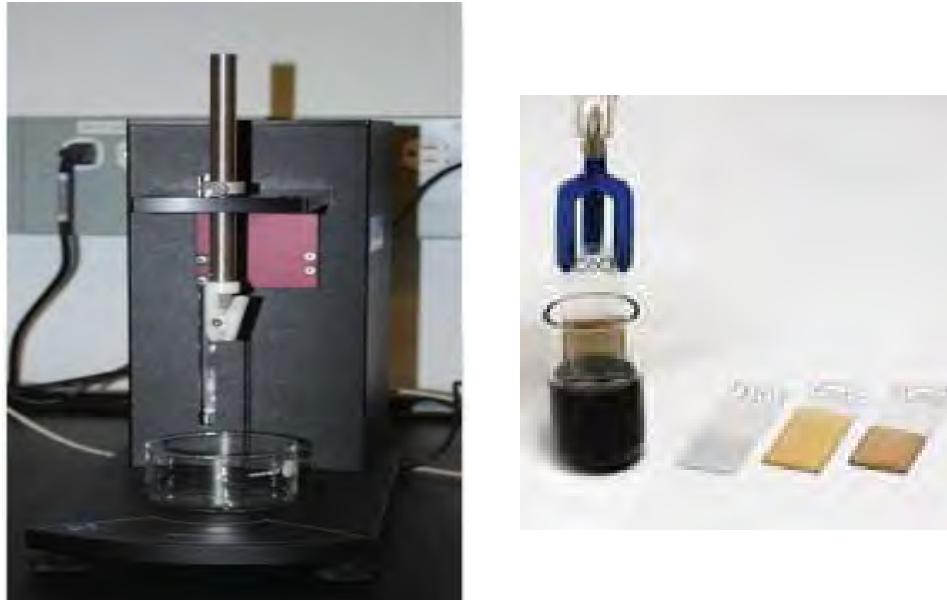
การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating เป็นกระบวนการหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ในการสังเคราะห์ฟิล์มบางนาโน โดยกระบวนการนี้เป็นการนำสารละลายที่เตรียมได้จากกระบวนการอื่นๆ มาทำการจุ่มเคลือบตัวกลางที่ต้องการ ทำให้เกิดการเรียงตัวของอนุภาคบนพื้นผิวของตัวกลางที่ต้องการจึงเกิดเป็นฟิล์มบางนาโนขึ้น จากนั้นจึงนำฟิล์มบางนาโนที่ได้ไปให้ความร้อน เพื่อให้ฟิล์มสามารถยึดติดบนผิวของแผ่นรองรับได้ดี

ในการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์ด้วยวิธี dip coating ของโครงการนี้ เป็นการเก็บตัวอย่างจากการทดลอง ประกอบด้วย 1) การวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนที่กระจายในพื้นที่ทดลอง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างในผ้าดูดซับแบบเปียก 2) การวัดการได้รับวัสดุนาโนผ่านผิวหนัง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างอยู่กับถุงมือที่ใช้ในการทดลอง และ 3) การวัดการได้รับวัสดุนาโนผ่านการหายใจ โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างบนหน้ากากผ้าที่ใช้ในการทดลอง ค่าที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างจาก 5 ห้องปฏิบัติการนำร่อง แสดงในตารางที่ 7.9 การเก็บตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการต่างๆ ในส่วนของการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating แสดงดังรูปที่ 7.6

ตารางที่ 7.9 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating

ชนิดวัสดุนาโน	สถานะของวัสดุนาโนเริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
		ถุงมือ	หน้ากาก	ผ้าซับวัสดุนาโนจากโต๊ะทดลอง
ZnO (วัดในรูปของ Zn)	เตรียมวัสดุจากสารละลาย	42.3	23.2	29.5
TiO ₂ (วัดในรูปของ Ti)	เตรียมจากผงวัสดุนาโนที่แขวนลอยในสารละลาย	185.3	32.3	58.2

หมายเหตุ - 1. ค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เป็นค่าเฉลี่ยที่วัดจากตัวอย่าง 5 ตัวอย่างที่มาจากการทดลองเดียวกัน
2. พื้นที่โต๊ะทดลองที่มีการใช้ผ้าดูดซับวัสดุนาโนจะมีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกันที่ 0.2 ตารางเมตร



รูปที่ 7.6 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating

จากผลการวัดค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง ซึ่งมาจากการสังเคราะห์วัสดุนาโนชนิดต่างกัน และจากห้องปฏิบัติการต่างกัน โดยสถานะของวัสดุเริ่มต้นจะมาจากสารละลาย และจากวัสดุนาโนที่แขวนลอยในสารละลาย ซึ่งจากผลการศึกษา จะเห็นได้ว่าการใช้วัสดุนาโนในรูปของผงวัสดุนาโนที่แขวนลอยจะมีการตกค้างของวัสดุนาโนบนถุงมือในระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นไป ในขณะที่การใช้วัสดุนาโนในรูปของสารละลายจะมีการตกค้างของวัสดุนาโนบนถุงมือในระดับ 10-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจน ในส่วนของหน้ากากและผ้าซับวัสดุนาโนจากโต๊ะทดลอง การใช้วัสดุนาโนในรูปของผงที่แขวนลอยในสารละลายมีการตกค้างของวัสดุนาโนในระดับที่แตกต่างกับการใช้วัสดุนาโนในรูปของสารละลายไม่มากนัก ผลการวัดปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลางนี้ แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการทดลองที่ควรเลือกทดลองวัสดุนาโนในรูปของสารละลาย หรือสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว แทนการใช้วัสดุนาโนในรูปแบบผง

ตารางที่ 7.10 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating

ขั้นตอน	รูปแบบของวัสดุนาโน	เส้นทางการได้รับ	การป้องกัน
1. การผสมสารละลายและสารแขวนลอย	ผงนาโน, ของเหลวนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. การทดลองในระบบปิด 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม

ตารางที่ 7.10 (ต่อ) การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating

ขั้นตอน	รูปแบบของวัสดุนาโน	เส้นทางการได้รับ	การป้องกัน
2. การจุ่มเคลือบวัสดุลงในสารละลายเพื่อให้เกิดฟิล์มบาง	ของเหลวนาโน	การสัมผัส	สวมถุงมือ ชุดคลุม
3. การทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. การทดลองในระบบปิดที่มีระบบดูดควัน 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
4. การให้ความร้อนโดยใช้เตาเผา	ผงนาโน	การหายใจ	1. สวมหน้ากาก 2. สวมถุงมือ ชุดคลุม 3. การมีระบบดูดควันสำหรับเตาเผา
5. การบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะ	ฟิล์มบางนาโนที่อาจหลุดออกจากแผ่นรองรับได้	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. การบรรจุวัสดุนาโนที่ได้ในภาชนะปิด 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
6. การทำความสะอาดพื้นที่	ผงนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. ใช้ผ้าซับวัสดุนาโนในการทำทำความสะอาดพื้นที่ทดลองทุกครั้ง 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม

แนวทางการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี dip coating

- 1) สวมถุงมือชนิดที่เหมาะสม เช่น ถุงมือไนไตรล์ เป็นต้น ในการทดลองทุกครั้งและทุกขั้นตอน
- 2) สวมหน้ากากทุกครั้งเมื่อมีการเตรียมวัสดุนาโนในทุกขั้นตอน
- 3) สวมชุดคลุมทุกครั้งและตลอดเวลาที่มีการทดลอง เพื่อป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทั้งจากการสัมผัสโดยตรง และการหกหรือไหลของของเหลวที่มีวัสดุนาโนแขวนลอยอยู่
- 4) ควรสังเคราะห์วัสดุนาโนในรูปของสารละลายแทนการเตรียมวัสดุนาโนรูปผงเพื่อให้แขวนลอยในสารละลาย ในขั้นตอนนี้อาจอนุโลมให้ไม่ใส่หน้ากากได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งหากตัวทำละลายเป็นสารระเหยได้ ต้องมีการใส่หน้ากากป้องกันร่วมด้วยเสมอ
- 5) เตาเผาที่ใช้ควรมีระบบดูดควันโดยเฉพาะ

- 6) การเคลื่อนย้ายวัสดุนาโนต้องบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะปิดทุกครั้ง แม้ว่าวัสดุนาโนที่ได้จะเคลือบบนผิวของแผ่นรองรับแล้ว แต่โอกาสที่วัสดุนาโนรูปฟิล์มบางสามารถหลุดและกระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบได้ยังคงมีอยู่ เว้นเสียแต่ฟิล์มบางนาโนที่ได้นั้นมีการทดสอบแล้วว่าไม่มี การหลุดลอกออกจากแผ่นรองรับ
- 7) การทำความสะอาดบริเวณพื้นที่การทดลอง ต้องมีการเช็ดแบบเปียกทุกครั้งทั้งก่อนและหลังการทดลอง โดยวัสดุที่ใช้ในการเช็ดแบบเปียก เช่น ผ้า เป็นต้น ต้องแยกกำจัดในรูปของ “ของเสียวัสดุนาโน”

7.6 การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electrodeposition

การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition (วิธีการพอกพูนด้วยไฟฟ้า) เป็นอีกกระบวนการหนึ่งสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์วัสดุนาโนได้ เช่น ท่อนาโน ฟิล์มบางนาโน โดยกระบวนการนี้เป็นการทำให้โลหะไปพอกพูนอยู่บนผิวหน้าชิ้นงานโดยการให้ศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า ทำให้โลหะไอออนที่อยู่ในสารละลายเกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยโลหะไอออนจะเคลื่อนที่ไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบของอิเล็กโทรด และเปลี่ยนสภาพเป็นโลหะที่เป็นของแข็งพอกพูนอยู่ที่ขั้ว จึงเกิดการพอกพูนโลหะที่ขั้วทำงาน

ในการทดลองของห้องปฏิบัติการนำร่องนี้ วัสดุนาโนเริ่มต้นมาจากการใช้วัสดุโลหะไททาเนียมฟอยล์ (ในรูปของแข็ง) ซึ่งต้องมีการขัดผิวโลหะไททาเนียมก่อนที่จะนำมาใช้ในการให้ศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า ทำให้โลหะไอออนที่อยู่ในสารละลายเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และเคลื่อนที่ไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ และอยู่ในรูปของวัสดุนาโน TiO_2 ที่แผ่นโลหะซึ่งใช้เป็นอิเล็กโทรด วัสดุนาโนที่ได้จะเป็นลักษณะของฟิล์มบางนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนแผ่นโลหะ

ในการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์ด้วยวิธี electrodeposition ของโครงการนี้ เป็นการเก็บตัวอย่างจากการทดลอง ประกอบด้วย การวัดปริมาณของอนุภาคนาโนจากวัสดุนาโนที่ตกค้างในผ้าดูดซับแบบเปียกที่ใช้ในการเช็ดบริเวณพื้นที่ทดลอง และการวัดการได้รับวัสดุนาโนผ่านผิวหนัง โดยวัดจากวัสดุนาโนที่ตกค้างอยู่กับถุงมือที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้ไม่มีการวัดการได้รับวัสดุนาโนจากการหายใจ โดยการวัดจากหน้ากากนั้น เนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้สวมใส่หน้ากากในการทดลอง โดยผู้วิจัยคาดว่าในการทดลองโอกาสการได้รับการปนเปื้อนวัสดุนาโนจากวิธีการนี้ค่อนข้างต่ำ โดยค่าที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างจาก 1 ห้องปฏิบัติการนำร่อง แสดงในตารางที่ 7.11 และอุปกรณ์วิธีการสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธี electrodeposition แสดงในรูปที่ 7.7

ตารางที่ 7.11 ค่าการปนเปื้อนของวัสดุนาโนจากกระบวนการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition

ชนิดวัสดุนาโน	สถานะของวัสดุนาโนเริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
		ถุงมือ	หน้ากาก	ผ้าซับวัสดุนาโนจากโต๊ะทดลอง
TiO ₂ (วัดในรูปของ Ti)	เตรียมจากวัสดุไททาเนียมฟอยล์	892	-	371

หมายเหตุ - 1. ค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เป็นค่าเฉลี่ยที่วัดจากตัวอย่าง 5 ตัวอย่างที่มาจากการทดลองเดียวกัน

2. พื้นที่โต๊ะทดลองที่มีการใช้ผ้าดูดซับวัสดุนาโนจะมีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกันที่ 0.2 ตารางเมตร



รูปที่ 7.7 การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition

จากผลการวัดค่าปริมาณตกค้างของวัสดุนาโนในตัวกลาง พบว่าการตกค้างของวัสดุนาโนบนผ้าซับวัสดุนาโนจากพื้นที่การทดลองมีปริมาณวัสดุนาโนตกค้างในระดับที่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นไป ซึ่งจัดได้ว่ามีปริมาณสูง ในขณะที่ปริมาณวัสดุนาโนที่ตกค้างในถุงมือมีปริมาณสูงถึง 892 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดได้ว่ามีปริมาณสูงมาก เมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์วัสดุนาโนวิธีการอื่นๆ

แม้ว่าการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition นั้น รูปแบบของวัสดุเริ่มต้นเป็นแผ่นโลหะไททาเนียมฟอยล์ และปฏิกิริยาการเกิดวัสดุนาโนทั้งหมดเกิดขึ้นในของเหลวโดยให้ศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าผ่านไปยังอิเล็กโทรด ซึ่งไม่เกิดการกระจายของก๊าซเมื่อเปรียบเทียบกับ electric arc discharge หรือการเกิดกระจายของวัสดุนาโนในรูปของผง แต่ปริมาณ Ti ที่วัดได้จากวิธีการนี้มีค่าสูงนั้นทั้งนี้มาจากการเตรียมวัสดุโดยการนำแผ่นโลหะไททาเนียมฟอยล์ ไปขัดผิว ทำให้เกิดการกระจายของผงไททาเนียมสู่สิ่งแวดล้อมได้ จึงส่งผลให้การตกค้างของวัสดุ Ti พบในปริมาณมากในตัวกลางทั้งในส่วนของ

ถุงมือ และผ้าซับวัสดุนาโน การวิเคราะห์ผลนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electric sparking ที่ควรมีการทดลองในส่วนของการเตรียมวัสดุไททาเนียมพอยล์ในพื้นที่ปิด และสวมใส่ถุงมือป้องกันการได้รับวัสดุนาโนด้วยทุกครั้ง

ในการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition นั้น โอกาสที่ผู้ทดลองจะได้รับวัสดุนาโนเข้าสู่ร่างกายจากขั้นตอนต่างๆ ในหลายขั้นตอน โดยสามารถได้รับวัสดุนาโนในหลายเส้นทางโดยการประเมินผลการได้รับวัสดุนาโนจากการเตรียมวัสดุนาโนก่อนการทดลองแสดงดังตารางที่ 7.12

ตารางที่ 7.12 การประเมินการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition

ขั้นตอน	รูปแบบของวัสดุนาโน	เส้นทางการได้รับ	การป้องกัน
1. การขัดผิวแผ่นโลหะ	ผงโลหะ	การหายใจ	1. การทดลองในระบบปิด 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
2. การเตรียมสารละลายสำหรับปฏิกิริยารีดักชัน	-	การหายใจ	1. สวมหน้ากากป้องกันการได้รับตัวทำละลาย 2. สวมถุงมือ ชุดคลุม
3. การทำปฏิกิริยา Electrodeposition	ของเหลวนาโน	การสัมผัส	1. สวมหน้ากาก 2. สวมถุงมือ ชุดคลุม
4. การบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะ	ฟิล์มบางนาโนที่อาจหลุดออกจากแผ่นโลหะรองรับ	การสัมผัส	1. การบรรจุวัสดุนาโนที่ได้ในภาชนะปิด 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม
5. การทำความสะอาดพื้นที่	ผงโลหะ, ฟิล์มบางนาโน	1. การหายใจ 2. การสัมผัส	1. ใช้ผ้าซับวัสดุนาโนในการทำ ความสะอาดพื้นที่ทดลองทุกครั้ง 2. สวมหน้ากาก 3. สวมถุงมือ ชุดคลุม

แนวทางการป้องกันการได้รับวัสดุนาโนจากการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี electrodeposition

- 1) สวมถุงมือชนิดในการทดลองทุกครั้งและทุกขั้นตอน
- 2) การเตรียมวัสดุโดยการนำแผ่นโลหะไททาเนียมพอยล์ ไปขัดผิว ทำให้เกิดการกระจายของผงไททาเนียมสู่สิ่งแวดล้อมได้ การทำการทดลองในระบบปิด จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธีนี้

-
- 3) ควรมีการตรวจสอบการทำงานของระบบปิดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้แน่ใจได้ว่าระบบปิดนั้นไม่มีการแตกรั่ว หรือช่องที่จะทำให้ไม่สามารถกักเก็บวัสดุนาโนไว้ในระบบปิดได้ขณะที่มีการสังเคราะห์วัสดุนาโน
 - 4) การเคลื่อนย้ายวัสดุนาโนต้องบรรจุวัสดุนาโนในภาชนะปิดแน่นทุกครั้ง แม้ว่าวัสดุนาโนที่ได้จะเคลือบบนผิวของแผ่นรองรับแล้ว แต่โอกาสที่วัสดุนาโนรูปแบบฟิล์มสามารถหลุดและกระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบได้ยังคงมีอยู่ เว้นเสียแต่วัสดุนาโนที่ได้นั้นมีการทดสอบแล้วว่าไม่มีการหลุดลอกออกจากแผ่นรองรับ
 - 5) การทำความสะอาดบริเวณพื้นที่การทดลอง ต้องมีการเช็ดแบบเปียกทุกครั้งทั้งก่อนและหลังการทดลอง โดยวัสดุที่ใช้ในการเช็ดแบบเปียก เช่น ผ้า เป็นต้น ต้องแยกกำจัดในรูปแบบของ “ของเสียวัสดุนาโน”

บทที่ 8

การตรวจสอบความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการ

จากการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 4 ในการประชุมพิจารณา (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน โดยทางคณะผู้ทรงคุณวุฒิได้มีมติให้มีการเพิ่มการตรวจสอบความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการขึ้นในรูปของแบบฟอร์มการตรวจสอบ (checklist) ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการร่างแบบฟอร์มการตรวจสอบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการขึ้น ซึ่งประกอบด้วย

- 1) แบบฟอร์มการตรวจสอบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ
- 2) แบบฟอร์มสรุปผลการตรวจสอบความปลอดภัยสำหรับห้องปฏิบัติการ

แนวทางในการร่างแบบฟอร์มในการตรวจสอบความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการได้นำมาจากเนื้อหาที่ปรากฏใน (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน และประยุกต์จากตัวอย่างของแบบฟอร์มการตรวจสอบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ (สสส.) ซึ่งมุ่งเน้นในด้านการตรวจสอบความปลอดภัยทั่วไปของห้องปฏิบัติการ โดยเน้นด้านความปลอดภัยจากไฟฟ้าและสารเคมีเป็นหลัก ซึ่งไม่ครอบคลุมไปถึงการทำงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี

การตรวจสอบความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย 10 หมวด ดังนี้

1. สถานที่ห้องปฏิบัติการ
2. การปฏิบัติงาน
3. อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล
4. ระบบระบายอากาศ
5. ตู้ดูดควัน
6. ตู้ปลอดเชื้อ
7. การจัดเก็บและเคลื่อนย้ายวัสดุนาโน
8. การจัดการของเสียวัสดุนาโน
9. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี
10. การป้องกันภัยจากเหตุฉุกเฉิน

โดยหลังจากได้มีการจัดทำแบบฟอร์มการตรวจสอบความปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโนของห้องปฏิบัติการแล้ว ทางคณะทำงานได้นำส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา เพื่อให้ความเห็นและเสนอแนะ โดยส่งให้กับผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 45 ท่าน และได้รับผลการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 20 ท่าน โดยทางคณะทำงานได้ดำเนินการแก้ไขตามความเห็นของท่านผู้ทรงคุณวุฒิ และได้นำเสนอไว้ใน (ร่าง) คู่มือความปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน ซึ่งจะนำไปดำเนินการจัดเป็นรูปเล่มเพื่อแจกจ่ายไปยังหน่วยงานมหาวิทยาลัย และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

01-แบบฟอร์มการตรวจสอบความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

วันที่สำรวจ :

คณะผู้สำรวจ :

- | | |
|---------|---------|
| 1. | 4. |
| 2. | 5. |
| 3. | 6. |

บริเวณที่สำรวจ :

ชื่อห้องปฏิบัติการ หมายเลขห้อง

อาคาร/ชั้น ภาควิชา คณะ

การตรวจสอบ	ใช่	ไม่ใช่	ผู้รับผิดชอบ	วันที่ดำเนินการ	หมายเหตุ
1. สถานที่ห้องปฏิบัติการ					
1.1 มีป้ายบอกชื่อห้องปฏิบัติการและชื่อผู้รับผิดชอบ					
1.2 มีพื้นที่เฉพาะในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน					
1.3 มีการกั้นพื้นที่เฉพาะในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน					
1.4 มีป้ายบอกเป็นพื้นที่เฉพาะสำหรับงานวิจัยด้านวัสดุนาโน					
1.5 มีพื้นที่ปิดสำหรับการสังเคราะห์วัสดุนาโน					
1.6 มีพื้นที่ปิดสำหรับการสังเคราะห์วัสดุนาโน					
1.7 มีการจำกัดการเข้าออกของผู้ไม่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน					
1.8 ไม่มีการรับประทานอาหารและน้ำในห้องปฏิบัติการ					
2. การปฏิบัติงาน					
2.1 มีการฝึกอบรมเกี่ยวกับการปฏิบัติงานที่ปลอดภัยในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน					
2.2 มีการเช็ดแบบเปียกพื้นที่ปฏิบัติงานก่อนและหลังการดำเนินการวิจัย					
2.3 มีการเช็ดแบบเปียกทันทีเมื่อมีการหกหรือไหลของวัสดุนาโน					
2.4 มีการนำวัสดุที่ใช้ในการเช็ดแบบเปียก (ผ้า และ/หรือกระดาษ) ติดฉลาก “มีวัสดุนาโนปนเปื้อน” และทิ้งในพื้นที่ที่จัดแยกจากขยะทั่วไป					
2.5 มีชุดอุปกรณ์สำหรับการทำความสะอาดสารเคมีตกหล่น					

การตรวจสอบ	ใช่	ไม่ใช่	ผู้ที่รับผิดชอบ	วันที่ดำเนินการ	หมายเหตุ
3. อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล					
3.1 มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลทุกครั้ง					
3.2 มีการใช้ถุงมือไนไตรล์ทุกครั้งเมื่อมีการปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัสดุนาโน					
3.3 มีการใช้เสื้อคลุมแขนยาวทุกครั้งเมื่อมีการปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัสดุนาโน					
3.4 มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันเท้า เช่น รองเท้าหุ้มส้น ถุงเท้า เป็นต้น ทุกครั้งเมื่อมีการปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัสดุนาโน					
3.5 มีการใช้หน้ากากป้องกันการได้รับวัสดุนาโนทางการหายใจทุกครั้งที่มีการทำงานเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่อยู่ในรูปผงหรือของแข็ง					
3.6 มีการใช้แว่นตานิรภัยป้องกันการได้รับแสงหรือประกายไฟ ทุกครั้งที่ทำางานเกี่ยวกับวัสดุนาโนที่ดูดซับหรือเรืองแสง					
3.7 มีการทำความสะอาดอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล เช่น หน้ากาก เป็นต้น ทุกครั้งก่อนและหลังการปฏิบัติงาน					
4. ระบบระบายอากาศ					
4.1 มี HEPA Filter เป็นอุปกรณ์ในการกรองอากาศที่ออกจากห้องปฏิบัติงานที่คาดว่าจะมีวัสดุนาโนปนเปื้อนอยู่					
4.2 มีระบบดูดควันสำหรับเตาเผาที่ใช้ในการทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน					
4.3 มีระบบบำบัดอากาศด้วย HEPA Filter หรือ เครื่องดักจับด้วยของเหลวในการบำบัดอากาศที่ออกจากเตาเผา					
5. ตู้ดูดควัน					
5.1 ระบบระบายอากาศทำงานปกติโดยมีความเร็วลมดูดไม่ต่ำกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที (หรือ 100 ฟุตต่อนาที)					
5.2 ระดับกระจกเลื่อนอยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัยตามข้อกำหนดของตู้ดูดควัน					
5.3 กระจกประตูตู้ดูดควันอยู่ในสภาพที่ดี					
5.4 พื้นและผนังตู้ดูดควันอยู่ในสภาพที่ดี ทนกรด-ด่าง					
5.5 มีการตรวจเช็คอัตราการดูดควันอยู่เสมอ					
5.6 ไม่มีสิ่งของวางเกะกะภายในตู้ดูดควัน					