



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การพัฒนาหุ่นจำลองทรวงอกสำหรับฝึก
ทักษะวางแผนการรักษามะเร็งเต้านมทางรังสีรักษา”

โดย ดร.ศรรัตน์ มหาศรานนท์ และคณะ

มกราคม 2559

สัญญาเลขที่ RDG5650117

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การพัฒนาหุ่นจำลองทรวงอกสำหรับฝึกทักษะวางแผนการรักษามะเร็งเต้านมทางรังสีรักษา”

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร.ศรรัตน์ มหาศรานนท์	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
2. ผศ.ดร.นันทวัฒน์ อุ่ดี	ภาควิหารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
3. ผศ.ดร.ภัสสุรีย์ ชีพสุมนต์	ภาควิหารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
4. นายสมบัติ บุญขวาง	หน่วยรังสีรักษา กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลพุทธชินราช

ชุดโครงการ “การพัฒนาหุ่นจำลองรังสีรักษาสำหรับฝึกทักษะการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็ง”

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัย รหัสโครงการ RDG5650117 ที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำชิ้นงานและการทดสอบชิ้นงาน ตลอดจนสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปหุ่นจำลอง ขอขอบคุณหน่วยรังสีรักษา กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลพุทธชินราชและภาควิชารังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทดสอบการประยุกต์ใช้หุ่นจำลองสำหรับจำลองการรักษาและการวางแผนการรักษาเพื่อประเมินความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานหุ่นจำลอง

รายงานการวิจัยนี้มีความสมบูรณ์โดยได้รับคำแนะนำและข้อคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านจากหน่วยงานดังกล่าวข้างต้นมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
แบบสรุ่ยย่อสำหรับผู้บริหาร.....	7
ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	8
วัตถุประสงค์.....	8
ผลการดำเนินงาน.....	9
สรุปผลการวิจัย.....	10
ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม.....	11
ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น.....	11
บทคัดย่อ.....	12
ABSTRACT.....	13
เนื้อหางานวิจัย.....	14
1. ความสำคัญและที่มาของโครงการ.....	14
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	15
3. ทฤษฎี ทางเลือกและแนวทางการแก้ปัญหา/กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	15
4. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	35
4.1 สมมติฐานการวิจัย.....	35
4.2 ขอบเขตงานวิจัย.....	35
4.3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	35
5. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	51
6. สรุปผล.....	71
7. ข้อเสนอแนะ.....	72
เอกสารอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก 1.....	78
การพัฒนาสูตรและเทคนิคการทำยางคงรูปสำหรับการทำหุ่นจำลอง.....	79
ภาคผนวก 2.....	85
แบบประเมินความพึงพอใจหุ่นจำลอง.....	86
แบบประเมินความพึงพอใจ.....	87
ภาคผนวก 3.....	88
การประเมินคุณภาพและความพึงพอใจด้านการประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองทางรังสีรักษา.....	89

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงหุ่นจำลองชนิด Solid Water Phantom.....	18
ภาพที่ 2 แสดงหุ่นจำลองชนิด Cube Phantom.....	19
ภาพที่ 3 แสดงหุ่นจำลองชนิด IMRT Homogeneous Phantom	20
ภาพที่ 4 แสดงหุ่นจำลองชนิด Alderson Radiation Therapy Phantom (ART)	21
ภาพที่ 5 แสดงการจัดท่าของผู้ป่วยบนอุปกรณ์ที่เรียกว่า Triangular wedge หรือ Breast broad ...	23
ภาพที่ 6 แสดงเทคนิคการฉายรังสีของเต้านม	24
ภาพที่ 7 แสดงเทคนิคการฉายรังสี Lateral tangential field ของเต้านม ในขั้นตอนการวางแผนการ รักษา แบบ Conventional 2D tangential field	25
ภาพที่ 8 แสดงเทคนิคการจำลองการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านม.....	25
ภาพที่ 9 แสดงการกำหนดขอบเขตก้อนมะเร็งและอวัยวะสำคัญในผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านม.....	26
ภาพที่ 10 แสดงฟิล์มเอกซเรย์ที่กำหนดขนาดพื้นที่ฉายรังสีในผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านม.....	27
ภาพที่ 11 การคำนวณปริมาณรังสีถูกต้องตรงตามการวางแผนของแพทย์	27
ภาพที่ 12 แสดงกายวิภาคศาสตร์ของเต้านม	29
ภาพที่ 13 แสดงการแยกชั้นของน้ำยางสด 3 ชั้นเมื่อปั่นด้วยความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที.....	32
ภาพที่ 14 แสดงขั้นตอนและลำดับการใส่สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมหุ่นและปอดจำลอง	40
ภาพที่ 15 แสดงขั้นตอนในการเตรียมปอดจำลองและหุ่นจำลอง.....	42
ภาพที่ 16 แสดงชิ้นงานและเครื่องมือทดสอบความแข็ง	43
ภาพที่ 17 แสดงเครื่องมือทดสอบการทนแรงดึง	44
ภาพที่ 18 แสดงชิ้นงานรูปดัมเบลสำหรับทดสอบการทนแรงดึง	44
ภาพที่ 19 แสดงเครื่องมือการทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงกดอัด มอก. 173-2519	45
ภาพที่ 20 แสดงเครื่องมือ Tensile Testing	45
ภาพที่ 21 แสดง Trouser Test Specimen สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องมือ Tensile Testing	46
ภาพที่ 22 แสดง Sample crucibles, crucible sealing press and Differential Scanning Calorimetry (DSC)	46
ภาพที่ 23 การวัดเพื่อหาค่าเลขซีทีด้วยโปรแกรม Image J ในบริเวณที่สนใจบนภาพเอกซเรย์ คอมพิวเตอร์หุ่นจำลองทรวงอก.....	48
ภาพที่ 24 การวัดเพื่อหาค่าเลขซีทีด้วยโปรแกรม ImageJ ในบริเวณที่สนใจบนภาพเอกซเรย์ คอมพิวเตอร์หุ่นจำลองทรวงอก.....	49
ภาพที่ 25 การฉายรังสีตัวอย่างชิ้นงานด้วยเครื่องเร่งอนุภาค (LINAC) พลังงาน 6 MV ด้วยปริมาณรังสี ในช่วง 200-1,000 cGy	50
ภาพที่ 26 แสดงแม่แบบหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านม	51

ภาพที่ 27 แสดงการสร้างแบบหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมด้วยซิลิโคนและปูนพลาสเตอร์	52
ภาพที่ 28 แสดงการสร้างแบบแม่พิมพ์ซิลิโคนและปูนพลาสเตอร์สำหรับสร้างปอดจำลองยางพารา...	53
ภาพที่ 29 ความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างยางสูตรต่างๆ.....	57
ภาพที่ 30 เปรียบเทียบความแข็งด้วย Shore A ของชิ้นงานตัวอย่างยางก่อนและหลังฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆกัน.....	58
ภาพที่ 31 เปรียบเทียบ Stress, Strain and Modulus at Break ของชิ้นงานตัวอย่างยาง ก่อนและหลังฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆ กัน.....	59
ภาพที่ 32 เปรียบเทียบ %การยุบตัวหลังการกดอัดของชิ้นงานตัวอย่างยาง ก่อนและหลังฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆกัน.....	60
ภาพที่ 33 เปรียบเทียบ Tear Strength ของชิ้นงานตัวอย่างยางก่อนและหลัง ฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆกัน.....	60
ภาพที่ 33 โคโรมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง Phantom Non x-ray.....	62
ภาพที่ 34 โคโรมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 200 cGy.....	62
ภาพที่ 35 โคโรมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 400 cGy.....	63
ภาพที่ 36 โคโรมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 600 cGy.....	63
ภาพที่ 37 โคโรมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 800 cGy.....	64
ภาพที่ 38 โคโรมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 1000 cGy.....	64
ภาพที่ 39 การใช้งานจำลองการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 2 มิติ โดยเครื่องจำลองการรักษาชนิด conventional simulator	69
ภาพที่ 40 ภาพถ่ายรังสีที่ได้จากการจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 2 มิติ โดยเครื่องจำลองการรักษาชนิด conventional simulator.....	69
ภาพที่ 41 การใช้งานจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 3 มิติ โดยเครื่องจำลองการรักษาชนิด CT simulator	70
ภาพที่ 42 การใช้งานหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมสำหรับวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 3 มิติ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา (Computerized Radiation Treatment Planning System).....	70
ภาพที่ 43 การใช้งานหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมสำหรับวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 3 มิติ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา (Computerized Radiation Treatment Planning System) แสดงในลักษณะ 3 มิติ	71

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์จากยางพาราในประเทศในช่วง ปี 2550 –2554.....	31
ตารางที่ 2 องค์ประกอบของน้ำยางพาราสด	32
ตารางที่ 3 แสดงสูตรที่ใช้เตรียมตัวอย่างยางพองน้ำ	37
ตารางที่ 4 แสดงสัดส่วนปริมาณน้ำยางและสารเคมีสำหรับใช้เตรียมตัวอย่างชิ้นงานยางทั้ง 4 สูตร	38
ตารางที่ 5 แสดงสัดส่วนปริมาณน้ำยางและสารเคมีต่างๆ ที่ใช้เตรียมหุ่นจำลองและปอด.....	39
ตารางที่ 6 รายละเอียดตัวอย่างของชื่อที่ใช้แทนตัวอย่างที่แสดงในกราฟและตารางบอกค่าสมบัติต่างๆ	56
ตารางที่ 7 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานตัวอย่างยางก่อนและหลังการฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆ .	57
ตารางที่ 8 อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว(Glass Temperature, T_g) ของชิ้นงานตัวอย่างยางก่อนและหลังฉายรังสีปริมาณต่างๆ.....	61
ตารางที่ 9 ค่าร้อยละของความขาว-ดำของตัวกลางในหุ่นจำลองที่สร้างขึ้น	65
ตารางที่ 10 ผลการทดสอบความความสม่ำเสมอ(Uniformity) ของภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์หุ่นจำลองทรวงอก	66
ตารางที่ 9 ผลการประเมินการประยุกต์ใช้งานและประเมินผลความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมโดยนักรังสีการแพทย์ นักฟิสิกส์การแพทย์และแพทย์.....	67
ตารางที่ 10 ผลการประเมินความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมโดยนิสิตสาขารังสีเทคนิค	68

แบบสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การพัฒนาหุ่นจำลองทรวงอกสำหรับฝึกทักษะวางแผนการรักษา
มะเร็งเต้านมทางรังสีรักษา

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาอังกฤษ) Development of Thorax Phantom for Radiation Treatment
Planning Practice of Breast Cancer

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ผู้เสนอ : ดร. ศรารัตน์ มหาศรานนท์
หน่วยงานต้นสังกัด : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
หน่วยงานร่วมโครงการ : คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
หน่วยรังสีรักษา กลุ่มงานรังสีวิทยา
โรงพยาบาลพุทธชินราช
ภาควิชารังสีวิทยา โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร
ระยะเวลาดำเนินการ : 12 เดือน

ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

กระบวนการทางรังสีรักษาประกอบไปด้วยขั้นตอนที่ซับซ้อนเพื่อให้การรักษามีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะขั้นตอนการวางแผนการรักษาและการจำลองการรักษา มะเร็งเต้านมที่เครื่องมือและเทคนิคที่ใช้ในการรักษามีความซับซ้อน การเข้าใจขั้นตอนการรักษาและทักษะการปฏิบัติงานในการรักษามะเร็งเต้านมด้วยเทคนิคทางรังสีรักษาจึงมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อให้บุคลากรทางรังสีรักษาอันได้แก่ แพทย์ทางรังสีรักษา นักฟิสิกส์การแพทย์ นักรังสีการแพทย์และผู้ที่เกี่ยวข้องมีความสามารถและทักษะที่เพียงพอในการรักษา ดังนั้นเพื่อให้บรรลุผลดังกล่าวการใช้สื่อการเรียนการสอนที่มีความเหมาะสมสำหรับฝึกทักษะการวางแผนการรักษาและจำลองการรักษาในงานรังสีรักษาจึงมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะการพัฒนาหุ่นจำลองผู้ป่วยซึ่งเป็นวัสดุสามมิติที่สามารถนำมาใช้งานแทนผู้ป่วยโดยแสดงลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์บริเวณทรวงอกและเต้านมผู้ป่วยเพศหญิง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสร้างหุ่นจำลองทรวงอกสำหรับฝึกทักษะการวางแผนการรักษาและจำลองการรักษาด้วยวิธีการทางรังสีรักษาโดยใช้ยางพาราทำให้มีความสมจริงคล้ายกับเนื้อเยื่อมนุษย์และมีลักษณะที่อ่อนนุ่มและยืดหยุ่นทำให้สามารถนำมาใช้ในการสร้างเต้านมให้เหมือนจริง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาหุ่นจำลองทรวงอกเพื่อการฝึกทักษะการวางแผนการรักษาและจำลองการรักษาด้วยวิธีการทางรังสีรักษาสำหรับผู้ป่วยมะเร็งเต้านม
2. เพื่อประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองในการฝึกทักษะการวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมในงานรังสีรักษา
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของหุ่นจำลองที่ผลิตขึ้นในด้านการใช้งานและความสมจริง

ผลการดำเนินงาน

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมอ้างอิงตามขนาดมาตรฐานของหญิงไทยและหุ่นจำลองมาตรฐานทางรังสีรักษาชนิด Alderson Rando Phantom โดยลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของหุ่นจำลองทรวงอกประกอบด้วยการออกแบบหุ่นจำลองให้มีส่วนของร่างกายตั้งแต่ส่วนคอถึงสะโพก และภายในหุ่นมีปอดบรรจุอยู่ด้านในเพื่อความเหมือนจริงของการวางทิศทางลำรังสีแม่พิมพ์สำหรับการสร้างปอดจำลองและหุ่นจำลองทรวงอกทำขึ้นจากแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์และซิลิโคน

การพัฒนาหุ่นจำลองทางรังสีรักษาใช้กระบวนการผลิตยางพองน้ำด้วยวิธีดันลอปขั้นตอนประกอบด้วย การเตรียมสารเคมีและการผสมสารเคมีกับน้ำยาง การตีฟอง (Foaming) การขึ้นรูปในเบ้าพิมพ์และทำให้เป็นเจล (Moulding and gellation) และการทำให้พองยางคงรูป ล้าง อบแห้ง และตกแต่ง โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางด้านเชิงกลและเชิงความร้อนขึ้นงานยางพาราที่ได้จากการพัฒนาสูตรและเทคนิคการทำยางคงรูปตามมาตรฐานสากลโดยทำการทดสอบทั้งภาวะปกติและเมื่อฉายรังสีด้วยปริมาณรังสี 200-1,000 cGy ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบค่าความแข็ง (hardness) การทนแรงดึง (Tensile strength) การทนแรงอัด (Compression set) ความยืดหยุ่น (Elasticity) สำหรับคุณสมบัติของเนื้อเยื่อ (Soft tissue) และเต้านม (Breast) และเนื้อเยื่อปอด (Lung) ใช้วิธีการประเมินด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) โดยมีการประเมินค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity) และค่าความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดภาพ (Subject Contrast)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

หุ่นจำลองที่สร้างขึ้นน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม สัดส่วนรอบอก 34 นิ้ว รอบเอว 26 นิ้ว และรอบสะโพก 34 นิ้ว โดยลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของหุ่นจำลองประกอบด้วยส่วนของร่างกายตั้งแต่ส่วนคอถึงสะโพก และภายในหุ่นบรรจุปอดทั้งสองข้างเพื่อความเหมือนจริงของการวางทิศทางลำรังสีในขณะการจำลองการรักษา สำหรับแม่พิมพ์สำหรับการสร้างปอดจำลองและหุ่นจำลองทรวงอกสร้างจากแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์และซิลิโคน โดยแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นได้ออกแบบให้มีส่วนของร่างกายตั้งแต่ส่วนคอถึงสะโพกสามารถบรรจุปอดจำลองไว้ด้านในสามารถสร้างหุ่นจำลองได้มีความเหมือนจริง

การพัฒนาหุ่นจำลองทางรังสีรักษาด้วยกระบวนการผลิตยางพองน้ำวิธีดันลอปประกอบด้วย การเตรียมสารเคมี การผสมสารเคมีกับน้ำยาง การตีฟอง (Foaming) การขึ้นรูปในเบ้าพิมพ์และทำให้เป็นเจล (Moulding and gellation) และการทำให้พองยางคงรูป ล้าง อบแห้ง และตกแต่ง (Vulcanising, washing, drying and finishing) โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาสูตรสำหรับสร้างปอดจำลองและหุ่นจำลองทรวงอกให้มีความหนาแน่นแตกต่างกันด้วยสัดส่วนของน้ำยางพาราและสารเคมีปริมาณต่างๆ การวิเคราะห์สมบัติทางด้านเชิงกลและเชิงความร้อนขึ้นงานยางพาราทั้งภาวะปกติและภายหลังการฉายรังสีด้วยปริมาณรังสี 200-1,000 cGy ประกอบด้วย การทดสอบค่าความแข็ง (hardness) การทนแรงดึง (Tensile strength) การทนแรงอัด (Compression set) ความยืดหยุ่น (Elasticity) สำหรับคุณสมบัติของเนื้อเยื่อ (Soft tissue) และปอด (Lung) ใช้วิธีการประเมินด้วย

เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) โดยมีการประเมินค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity) และค่าความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดภาพ (Subject Contrast) พบว่าชิ้นงานตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการฉายรังสีปริมาณต่างๆ ยังคงมีสีเหลืองนวลไม่มีการเปลี่ยนแปลง สำหรับค่าความเข้ม Shore A ของชิ้นงานตัวอย่างทั้งที่ฉายและไม่ฉายรังสีมีค่าความเข้มใกล้เคียงกันและมีค่าอยู่ในช่วง 12.58-15.67 สำหรับค่า Stress, Strain and Modulus at Break ชิ้นงานตัวอย่าง พบว่าค่า Stress ของตัวอย่างทั้งที่ฉายและไม่ฉายรังสีมีค่า Stress ใกล้เคียงกันและมีค่าอยู่ในช่วง 855.3-891.4 kN/m² ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าตัวอย่าง Std-Sample ประมาณ 3.5-3.7 เท่า สำหรับค่า Modulus at Break พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีค่าสูงกว่า Std-Sample เป็นผลมาจากความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ yang ที่สูงขึ้นจากการลดปริมาณสารลดแรงตึงผิวและการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปในผลิตภัณฑ์ ทำให้ความเป็นอิลาสติกของผลิตภัณฑ์ลดลง

สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวหลังการกดอัดและค่าความทนแรงฉีกขาด (Tear Strength) พบว่าตัวอย่างทั้งที่ฉายและไม่ฉายรังสีมีค่าต่ำกว่า Std-Sample (สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวหลังการกดอัด) และมีค่าสูงกว่า Std-Sample ซึ่งเป็นผลมาจากความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ yang ที่สูงขึ้น โดยสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับค่าการทนแรงดึง สำหรับการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของชิ้นงานตัวอย่างด้วย DSC จากค่า T_g ของชิ้นงานทั้งที่ฉายและไม่ฉายรังสีพบว่าปริมาณความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ yang ได้จากการฉายรังสีไม่มีผลทำให้สายโซ่โครงสร้างโมเลกุลของตัวอย่าง yang พาราที่เตรียมได้นี้เปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของหุ่นจำลองพบว่าสามารถเห็นความขาว-ดำในภาพแตกต่างกันอย่างชัดเจน สำหรับผลการทดสอบความสม่ำเสมอของภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์หุ่นจำลองที่สร้างขึ้นพบว่าหุ่นจำลองที่สร้างขึ้นมีความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวกลางน้อยกว่าเนื้อเยื่อจริงเล็กน้อย

ผลประเมินความพึงพอใจหุ่นจำลองโดยนักรังสีการแพทย์ นักฟิสิกส์การแพทย์และแพทย์ ผลประเมินความพึงพอใจภาพรวมของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีรักษาอยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 3.82 ± 0.72 สำหรับผลประเมินความพึงพอใจจากนิสิตรังสีเทคนิคค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในภาพรวมมีค่าเท่ากับ 4.12 ± 0.60 ซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดี

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ทำให้ได้หุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการฝึกทักษะการปฏิบัติงานเพื่อการรักษาโรคมะเร็งเต้านมสำหรับแพทย์ทางรังสีรักษา นักฟิสิกส์การแพทย์ นักรังสีการแพทย์และพยาบาล นอกจากนี้หุ่นจำลองที่สร้างขึ้นยังสามารถนำไปใช้สำหรับการเรียนการสอนจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมให้กับนิสิต นักศึกษา และผู้ที่สนใจ การสร้างหุ่นจำลองทรวงอกและปอดจำลองมีความหนาแน่นที่แตกต่างกันเพื่อให้เกิดความแตกต่างของภาพถ่ายเอกซเรย์ทรวงอกทำให้นำมาใช้ในการจำลองและวางแผนการรักษาได้ โดยได้ทำการปรับปรุงสูตรด้วยการลดปริมาณสารลดแรงตึงผิวโพแทสเซียมโอเลตและเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับแม่พิมพ์สำหรับการสร้างปอดจำลองและหุ่นจำลองทรวงอกทำขึ้นจากแม่พิมพ์ปูน

พลาสติกและซิลิโคน โดยแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นได้ออกแบบให้มีส่วนของร่างกายตั้งแต่ส่วนคอถึงสะโพก สามารถบรรจุปอดจำลองไว้ด้านใน โดยมีสัดส่วนดังต่อไปนี้ รอบอก 34 นิ้ว รอบเอว 26 นิ้ว และรอบสะโพก 34 นิ้ว

หุ่นจำลองทรวงอกและปอดจำลองที่ได้สร้างจากสูตรยางพาราที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้ และจากการใช้แม่พิมพ์ที่ออกแบบขึ้นมีความหนาแน่นประมาณ 0.3470 g/cm^3 และความหนา 0.2027 g/cm^3 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสร้างภาพที่มีความแตกต่างของอวัยวะต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ผลประเมินความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จากการประเมินการประยุกต์ใช้หุ่นจำลองโดยนักรังสีการแพทย์ นักฟิสิกส์การแพทย์และแพทย์ พบว่าหุ่นจำลองทรวงอกที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง ผลประเมินความพึงพอใจเฉลี่ยของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีรักษาอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับผลประเมินความพึงพอใจจากนิสิตรังสีเทคนิคมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดี

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม

การจากเตรียมหุ่นจำลองในแต่ละครั้ง พบว่าการเติมน้ำยางพาราให้ขึ้นฟูและการทำให้ฟองโฟมยาง มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอขึ้นควบคุมได้ยาก และหุ่นจำลองต้องการความหนาแน่นแตกต่างกันระหว่างเนื้อเยื่อทรวงอกและปอด ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาปรับปรุงสูตรยางพาราเป็นการขึ้นรูปหุ่นจำลองโดยการหล่อเข้าพิมพ์ซึ่งจะทำให้การควบคุมความหนาแน่นในเนื้อเยื่อทั้งตัวหุ่นจำลองได้ดีกว่า

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

เผยแพร่ให้ผู้สนใจโดยเฉพาะผู้ปฏิบัติงานทางรังสีรักษาและหน่วยงานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถนำผลงานที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์สำหรับการฝึกทักษะการปฏิบัติงานทางรังสีรักษาเพื่อการรักษาโรคมะเร็งเต้านมและเพื่อการเรียนการสอนจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านม

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพบว่าโรคมะเร็งเต้านมนับเป็นหนึ่งในโรคมะเร็งที่พบบ่อยมากในประเทศไทย การรักษาโรคมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการทางรังสีรักษามีบทบาทที่สำคัญอย่างมาก การให้ปริมาณรังสีที่สูงเพื่อการรักษาจำเป็นที่จะต้องระมัดระวังอย่างมากเพื่อให้การรักษาโรคมะเร็งมีความถูกต้องสูง ผู้ปฏิบัติงานจะต้องได้รับการฝึกทักษะการปฏิบัติงานและประสบการณ์อย่างเหมาะสมเพียงพอ แต่เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีหุ่นจำลองสำหรับการฝึกทักษะการวางแผนการรักษาจึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานขาดทักษะที่สำคัญซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ถึงแม้ว่าสามารถนำเข้าจากต่างประเทศได้แต่มีราคาที่สูงมาก ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างหุ่นจำลองผู้ป่วยขึ้นเพื่อใช้สำหรับฝึกทักษะการรักษาโรคมะเร็งเต้านมสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ โดยเริ่มจากการสร้างแม่พิมพ์หุ่นจำลองทรวงอกซึ่งออกแบบให้มีรูปร่างตามขนาดมาตรฐานหญิงไทยและหุ่นจำลอง Alderson Rando Phantom แม่พิมพ์ผลิตจากซิลิโคนและปูนปลาสเตอร์ โดยในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาสูตรน้ำยาพาราฟินมาเพื่อใช้สร้างหุ่นจำลองโฟมยางจากน้ำยาพาราฟินผสมสารเคมีและสารตัวเติมซึ่งหุ่นจำลองประกอบเนื้อเยื่อและปอดที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยเนื้อเยื่อมีความหนาแน่นที่มากกว่าปอด สำหรับกระบวนการขึ้นรูปพาราฟินหลังจากผสมน้ำยาพาราฟินกับสารเคมีและตัวเติมต่างๆ ลงไปในแม่พิมพ์แล้วทำการอบให้ความร้อนด้วยกระบวนการที่ทำให้เกิดโฟมยางที่เรียกว่าวิธีดันลอย หุ่นจำลองที่สร้างขึ้นมีลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ได้เหมือนมนุษย์จริง คงสภาพอยู่ได้ตามแบบที่ต้องการ มีความแข็ง ความยืดหยุ่นที่ดี และมีความคงทนต่อการฉายรังสีในปริมาณ 200-1000 cGy โดยผลการทดสอบความคงทนต่อการฉายรังสีประเมินด้วยการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อน ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าหุ่นจำลองทรวงอกที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการฝึกทักษะการวางแผนการรักษาโรคมะเร็งได้และสามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอนกระบวนการวางแผนการรักษาโรคมะเร็งเต้านมได้ การสร้างหุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้นมีบทบาทที่สำคัญต่อการเรียนการสอนและการฝึกทักษะการรักษาในทางปฏิบัติได้นอกจากนี้ยังเป็นการสนับสนุนอุตสาหกรรมยางพาราของประเทศไทยให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์ได้

คำสำคัญ หุ่นจำลองทรวงอก วางแผนการรักษา มะเร็งเต้านม รังสีรักษา น้ำยาพารา

Abstract

At present, breast cancer is one of the most common form of cancer in Thailand. Radiation therapy is an essential part of the treatment of breast cancer. The use of high dose radiation therapy requires appropriate patient setup to ensure the desired accuracy of the dose to the tumor. These processes need qualified and experience staff, thus their training beforehand is inessential. Nearly all hospitals and universities have insufficient materials for learning and practicing especially phantom to simulate treatment planning for breast cancer. Moreover, clinical phantoms have to be import from other countries at great expense. Consequently, the purpose of this study was to develop thorax phantom for training radiation treatment for breast cancer. First, a mold of the thorax phantom was designed by using reference Thai women standard body size and Alderson Rando phantom. This mold has been made from plaster-silicone. In this research, formulation of the latex rubber based on rubber foam has been developed to produce this phantom, which composed of 2 parts, which was soft tissue and a lung, and each part had different mass density, with the soft tissue part having higher density than the lung. In a subsequent stage, the developed formulation used the latex rubber with vulcanizing agent, additives and filler to produce the phantom at 100 °C, 2-3 hours. This foaming method is the Dunlop process. The phantom product has a high tensile strength, good elastic and good radiation resistance in range of 200-1000 cGy. The results of the radiation resistance testing have shown in terms of the mechanical properties and thermal property. As the result, the thorax phantom could be used for training in clinical practice for breast cancer treatment planning. Furthermore, it could be used for studying, and it would help student to understand the process of breast cancer treatment planning. In conclusion, thorax phantom pay important role for studying and training, and it can be used practically. Additionally, the natural latex rubber can be used to produce medical phantoms perfectly.

Keywords Thorax Phantom, Radiation Treatment Planning, Breast Cancer, Radiation Therapy, Latex Rubber

เนื้อหางานวิจัย

1. ความสำคัญและที่มาของโครงการ

มะเร็งเต้านมเป็นโรคที่พบบ่อยมากในประเทศไทยโดยเฉพาะในเพศหญิง จากข้อมูลของสถาบันมะเร็งแห่งชาติปี พ.ศ. 2552 ถึงปัจจุบัน พบว่ามะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งที่พบบ่อยที่สุดในผู้หญิงทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยและเป็นสาเหตุการตายจากมะเร็งเป็นอันดับสองรองจากมะเร็งปอด (ศรีมนินทร์นิมิต, 2555) เท่านั้น อัตราการเกิดโรคของผู้หญิงทั่วไปมีโอกาสที่จะเป็นมะเร็งได้ถึง 1 ใน 10 ในช่วงหนึ่งของชีวิต (โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์; ชมรมฟื้นฟูสุขภาพมะเร็ง, 2553; ทวีศรี, สุวดีพิงศ์, ตัณตะพลิน, กุลตวนิช, & สกฤรัตน์) ด้วยเหตุนี้รัฐบาลจึงได้มีการตื่นตัวและให้ความสำคัญต่อการตรวจวินิจฉัยและการรักษาโรคมะเร็งเต้านมมากยิ่งขึ้นเพื่อลดปัญหาจากการสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจและสังคมไทย จากความสำคัญของการเกิดมะเร็งเต้านมที่นับวันจะมีจำนวนที่มากขึ้น การตรวจรักษาด้วยวิธีการที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่จะต้องเป็นอย่างยิ่ง (Podgorsak, 2005) ปัจจุบันการรักษามะเร็งเต้านมมีหลายวิธีการได้แก่ การผ่าตัด การฉายรังสี การใช้ยาเคมีบำบัด และการรักษาด้วยฮอร์โมน การรักษาด้วยวิธีการต่างๆ นั้น การฉายรังสีทางรังสีรักษาเป็นวิธีการรักษาที่มีประสิทธิภาพต่อการกำจัดต่อต้านการก่อตัวและรุกรานของเซลล์มะเร็งได้เป็นอย่างดี โดยมีจุดมุ่งหมายหลักในการรักษา 2 อย่างคือการบรรเทาอาการหรือรักษาให้หายขาดจากการเป็นโรคมะเร็งได้ (หล่อวิทยา, เทพมงคล, พรหมรัตน์พงศ์, & เทชะพิบูล, 2544)

กระบวนการทางรังสีรักษาประกอบไปด้วยหลายขั้นตอนซึ่งแต่ละขั้นตอนมีวิธีการที่ยุ่งยากและซับซ้อน (Barrett, Dobbs, Morris, Roques, & Harrowven, 2009; Podgorsak, 2005) ทั้งนี้ก็เพื่อให้การรักษามีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะขั้นตอนการวางแผนการรักษาและการจำลองการรักษาผู้ป่วยมะเร็งซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีรายละเอียดมากและเข้าใจได้ยากเนื่องจากความซับซ้อนของเครื่องมือที่ใช้เทคนิคที่ใช้ในการรักษาและการให้รังสีปริมาณที่สูงในการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมนั้นมีข้อควรระวังจำนวนมาก ด้วยเหตุที่หากเกิดการผิดพลาดจากการให้ปริมาณรังสีที่น้อยกว่าปกติอาจส่งผลให้ไม่สามารถรักษามะเร็งได้หายขาดและมีโอกาสเกิดเป็นซ้ำได้อีก ในทางกลับกันหากให้ปริมาณรังสีที่มากเกินไปอาจทำให้ผู้ป่วยมีอาการข้างเคียงเกิดภาวะแทรกซ้อนต่างๆ ขึ้นได้

ด้วยเหตุนี้ความเข้าใจขั้นตอนการรักษาและทักษะในการรักษามะเร็งเต้านมด้วยเทคนิคทางรังสีรักษาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีรักษาอันได้แก่ แพทย์ นักรังสีการแพทย์และผู้ที่เกี่ยวข้องมีความสามารถและทักษะที่ดีพอในการรักษา ดังนั้นเพื่อให้บรรลุผลดังกล่าวการใช้สื่อการเรียนการสอนที่มีความเหมาะสมสำหรับฝึกทักษะการวางแผนการรักษาและจำลองการรักษาในงานรังสีรักษาจึงมีความสำคัญอย่างมากโดยเฉพาะการพัฒนาหุ่นจำลองผู้ป่วยซึ่งเป็นวัสดุสามมิติที่สามารถนำมาใช้งานแทนผู้ป่วยโดยแสดงลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์บริเวณทรวงอกและเต้านมผู้ป่วยเพศหญิงสำหรับการวางแผนการรักษามะเร็งเต้านม ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะมีหุ่นจำลองที่ใช้เป็นสื่อการสอนทางการแพทย์อยู่บ้างแล้ว แต่เนื่องจากจะต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาแพง

และไม่คุ้มค่าในการใช้งาน อย่างไรก็ตามประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างสื่อการสอนต่างๆ เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะหุ่นจำลองทางการแพทย์ที่ทำจากยางพารา (กาแดง, แสนอินทร์ตะ, & ทรัพย์พร้อม, 2553; ดวงรัตน์ et al., 2552; ตัณฑพันธ์, 2554; ประดับวงษ์, โกวิท, สิมมะลี, & เชาวนชื่น, 2554; มัชฌะณมี & รัตนเสถียร, 2549; "หุ่นจำลองฝึกฉีดยาชาบริเวรนิ้วมือ," ; "หุ่นฝึกใส่ท่อช่วยหายใจผู้ใหญ่,") แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการใช้งานได้เพียงเฉพาะด้านยังไม่ครอบคลุมให้สามารถนำมาฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมทักษะการวางแผนการรักษาและจำลองการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมทางรังสีรักษาได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการสร้างหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมผู้ป่วยสำหรับฝึกทักษะการวางแผนการรักษาและจำลองการรักษาด้วยวิธีการทางรังสีรักษาโดยใช้ยางพาราเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากมีลักษณะใกล้เคียงเนื้อเยื่อทั้งคุณสมบัติทางด้านกายภาพ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ อีกทั้งสามารถทำให้มีความสมจริงคล้ายกับเนื้อเยื่อมนุษย์และมีลักษณะที่อ่อนนุ่มและยืดหยุ่นทำให้สามารถนำมาใช้ในการสร้างเต้านมให้เหมือนจริงได้ จากการศึกษางานวิจัยด้านสื่อการเรียนการสอนชนิดหุ่นจำลองที่ผ่านมาพบว่ายางพาราเป็นวัสดุที่โมเลกุลประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนคล้ายกับในเนื้อเยื่อมนุษย์เมื่อแข็งตัวสามารถคงสภาพอยู่ได้ มีความยืดหยุ่นดี อีกทั้งมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย มีน้ำหนักเบา สามารถออกสูตรยางให้มีคุณสมบัติตามต้องการได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2556; ขจรไชยกุล, 2549 ; ประกายมณีนวศ์, ระนอง, วิชิตชลชัย, พัฒนากุล, & แจ่มเสมือน, 2552; ภัทรไพบูลย์ชัย, 2554; ศักดาภิพานิชย์, 2553; สุขประเสริฐ, 2548) โดยคาดว่าเมื่อผ่านกระบวนการเติมแต่งด้วยสารเคมีที่เหมาะสมแล้วจะทำให้ได้ยางพาราที่มีคุณสมบัติเฉพาะตามต้องการมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาหุ่นจำลองทรวงอกเพื่อการฝึกทักษะการวางแผนการรักษาและจำลองการรักษาด้วยวิธีการทางรังสีรักษาสำหรับผู้ป่วยมะเร็งเต้านม
2. เพื่อประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองในการฝึกทักษะการวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมในงานรังสีรักษา
3. เพื่อทดสอบ/ประเมินคุณภาพและความพึงพอใจของหุ่นจำลองที่ผลิตขึ้นในด้านการใช้งานและความสมจริง

3. ทฤษฎี ทางเลือกและแนวทางการแก้ปัญหา/กรอบแนวคิดของการวิจัย

สื่อการเรียนการสอน (แก้วเครือ, 2554; โคตะขุน, 2011; ลุนอุบล, ผาจำ, สัมโพ, & เสาสิมมา; วาพัฒนาศัก, 2548; วิลาทอง, 2553; ศรีดาโคตร)

สื่อการเรียนการสอน หมายถึง บุคคล วัสดุ อุปกรณ์ ตลอดจนเทคนิควิธีการที่เป็นช่องทางทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามจุดประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เป็นเครื่องมือซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการเรียนการสอนอย่างมาก โดยเป็นตัวนำความต้องการของผู้สอนไปสู่ตัวผู้เรียนได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว อีกทั้งช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาบทเรียนได้ตามความต้องการของผู้สอนเป็น

ผลให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปตามจุดมุ่งหมายการเรียนการสอนได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ประโยชน์ของสื่อการเรียนการสอนต่อผู้เรียนมีดังต่อไปนี้

1. ช่วยพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สื่อความหมายต่อผู้เรียนได้อย่างชัดเจน
2. ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาที่จำกัด
3. ช่วยกระตุ้นและดึงความสนใจของผู้เรียนต่อกระบวนการเรียนการสอนมากขึ้น
4. ช่วยส่งเสริมกระบวนการคิดและการแก้ปัญหาในกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียน

สำหรับการจัดประเภทของสื่อการเรียนการสอนนั้น Robert E. de Kieffer ("ประเภทของสื่อการสอน," 2550) ได้แบ่งสื่อการเรียนการสอนออกเป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่ไม่ต้องฉาย ได้แก่ รูปภาพ แผนภูมิ กราฟ ของจริง ของตัวอย่าง หุ่นจำลอง แผนที่ กระดาษสาธิต ลูกโลก กระดานชอล์ก กระดานนิเทศ กระดานแม่เหล็ก การแสดงบทบาทนิทรรศการ การสาธิต และการทดลอง เป็นต้น
2. วัสดุฉายและเครื่องฉาย ได้แก่ สไลด์ फिल्मสตริป ภาพโปร่งใส ภาพทึบ ภาพยนตร์ และเครื่องฉายต่าง ๆ เช่น เครื่องฉายภาพยนตร์ เครื่องฉายสไลด์ และฟิล์มสตริป เครื่องฉายกระจกภาพ เครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ เครื่องฉายภาพทึบแสง เครื่องฉายภาพจุลทรรศน์ เป็นต้น

หุ่นจำลอง (Model) (และคณะ, ม.ป.ป.)

หุ่นจำลอง หมายถึง วัสดุสามมิติที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบของจริงด้วยเหตุผลที่ไม่สามารถใช้ของจริงเพื่อประกอบการเรียนการสอนได้ เช่น การอธิบายลักษณะและตำแหน่งของอวัยวะภายในร่างกายของคนหรือสัตว์ ในทางรังสีวิทยาหุ่นจำลองยังอาจหมายถึงหุ่นที่ลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อของมนุษย์ซึ่งอาจนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพในงานรังสีวินิจฉัยและการวัดความคงตัวของลำรังสี (Beam Constancy Checks) รวมทั้งการวัดปริมาณและการกระจายของรังสีในหุ่นจำลองเทียบเท่าผู้ป่วยจริงในอวัยวะต่างๆ (Dose Measurement and Dose distribution) ในขั้นตอนการวางแผนการรักษาทางรังสีรักษา ดังนั้นหุ่นจำลองจึงมีคุณค่าต่อการเรียนการสอนและการฝึกทักษะเพื่อการเรียนรู้เป็นอย่างมาก

ประเภทของหุ่นจำลอง(และคณะ, ม.ป.ป.) สามารถทำการแบ่งเป็นประเภทดังนี้

- 1) หุ่นรูปทรงภายนอก (Solid Model) เป็นหุ่นจำลองที่ต้องการแสดงรูปร่างหรือรูปทรงภายนอกเท่านั้น โดยในเรื่องของน้ำหนัก ขนาด สีหรือพื้นผิว ลวดลายและมาตราส่วนจะผิดไปจากของจริง
- 2) หุ่นเท่าของจริง (Exact Model) มีขนาดและรูปร่างรายละเอียดทุกอย่างเท่าของจริงทุกประการ สามารถใช้แทนของจริงได้เป็นอย่างดี

- 3) หุ่นจำลองแบบขยายหรือแบบย่อ (Enlarge, Reduce Model) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หุ่นจำลองแบบ มาตราส่วน โดยอาจมีการย่อหรือขยายให้เล็กหรือใหญ่ โดยยังคงเป็นสัดส่วน กับของจริงทุกส่วนและยังสามารถช่วยให้ทราบรายละเอียดและความสัมพันธ์กับของจริงได้
- 4) หุ่นจำลองแบบผ่าซีก (Cut Away Models) เป็นหุ่นจำลองที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะภายใน โดยตัดพื้นผิวบางภายนอกบางส่วนออก
- 5) หุ่นจำลองแบบเคลื่อนไหวทำงานได้ (Working Models) หุ่นจำลองแบบนี้สามารถแสดงให้เห็นส่วนที่ เคลื่อนไหวที่เป็นการทำงานของวัตถุหรือเครื่องจักร โดยนอกจากนี้ยังมีหุ่นจำลอง อีกหลายประเภทอาทิเช่น หุ่นจำลองเลียนของจริง (mockup Models) และหุ่นจำลองแบบ แยกส่วน (Build up Models) เป็นต้น

สำหรับคณะกรรมการการระหว่างว่าด้วยหน่วยและการวัดรังสี (The International Commission on Radiation Unit and Measurement : ICRU) ได้ให้คำจำกัดความของวัสดุสมมูล เนื้อเยื่อและหุ่นจำลอง ไว้ดังนี้ “วัสดุสมมูลสมมูลเนื้อเยื่อคือวัสดุใดๆ ที่มีลักษณะคล้ายกับเนื้อเยื่อในแง่ของการทำปฏิกิริยากับรังสีชนิดก่อก่อไอออน” และ “หุ่นจำลอง คือโครงสร้างใดๆ ที่บรรจุด้วยวัสดุที่แทน เนื้อเยื่อชนิดหนึ่งหรือมากกว่านั้น และใช้สำหรับการทำปฏิกิริยาของรังสีในร่างกายมนุษย์” โดย หุ่นจำลองมักถูกนำมาทดสอบมาตรฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างภาพทางการแพทย์ (Medical Image Equipment) เพื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติการดูดกลืนรังสีและการลดทอนรังสีในเนื้อเยื่อมนุษย์ (กาแดง, et al., 2553) นอกจากนี้หุ่นจำลองยังสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนเพื่อเพิ่มความเข้าใจและทักษะการปฏิบัติงานทางด้านรังสีรักษาที่ต้องการความถูกต้องและมีรายละเอียดใน ขั้นตอนการทำงานที่ค่อนข้างสูง

หุ่นจำลองที่ใช้ในงานรังสีรักษา (Podgorsak, 2005)

หุ่นจำลองที่ใช้ในงานรังสีรักษาส่วนใหญ่ทำมาเพื่อใช้ประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพของ กระบวนการทางรังสีรักษาทั้งในเรื่องของตรวจสอบการคำนวณปริมาณรังสี การตรวจสอบการทำงาน เครื่องมือต่างๆ และการตรวจสอบความถูกต้องในการจัดทำผู้ป่วยเพื่อทำการฉายรังสีสำหรับการรักษา เช่น การควบคุมคุณภาพการเคลื่อนที่ของ Multi-leaf Collimator (MLC Quality Assurance), การ วัดความคงตัวของลำรังสี (Beam Constancy Checks) และการวัดปริมาณรังสี (Dose Measurement) ของเครื่องเร่งอนุภาค รวมทั้งยังใช้สำหรับวัดการกระจายรังสี (Dose distribution) หรือการคำนวณปริมาณรังสี (Dose Calculation) ให้กับผู้ป่วยเพื่อทำการรักษามะเร็งชนิดต่างๆ ใน ขั้นตอนของการวางแผนการรักษา (Treatment Planning) หุ่นจำลองที่ใช้ทางรังสีรักษาส่วนใหญ่ทำ จากวัสดุสมมูลเนื้อเยื่อเพื่อให้มีความสมจริงคล้ายมนุษย์ทั้งคุณสมบัติทางด้านกายภาพ คุณสมบัติทาง ฟิสิกส์และความเหมือนของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ โดยหุ่นจำลองทางรังสีรักษาอาจทำจากวัสดุประเภท อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin), ซิลิโคน (Silicone), ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass, พอลิยูรีเทน (Polyurethane, พอลิเมทิลเมทาอะคริเลต (Polymethymethacrylate, PMMA) หรืออะคริลิก

(Acrylics) ซึ่งวัสดุต่างๆ เหล่านี้มีราคาแพงและบางชนิดเป็นสารอันตรายเนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็ง สามารถแบ่งประเภทของหุ่นจำลองทางรังสีรักษาตามลักษณะองค์ประกอบภายในได้เป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. หุ่นจำลองชนิด Homogeneous Phantom

หุ่นจำลองชนิด Homogeneous Phantom เป็นหุ่นจำลองอย่างง่ายที่ภายในมีองค์ประกอบที่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดและมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อมนุษย์มีได้หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น หุ่นจำลองชนิด Solid Water Phantom หุ่นจำลองชนิด Cube Phantom หรือ หุ่นจำลองชนิด IMRT Homogeneous Phantom

2. หุ่นจำลองชนิด Solid Water Phantom

ทำจากวัสดุประเภทอีพอกซีเรซินมีความหนาแน่น 1.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ภายในมีช่องสำหรับใส่หัววัดรังสีชนิด Ionization Chamber ใช้สำหรับการวัดปริมาณรังสีชนิด Photon และ Electron มีลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีทั้งขนาด 20 x 20 เซนติเมตร และ 40 x 40 เซนติเมตร และมีความหนาแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์การใช้งานประเภทต่างๆ



ภาพที่ 1 แสดงหุ่นจำลองชนิด Solid Water Phantom

สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2556 จาก

http://www.cnmcco.com/dosimetry/PDFdocs/slabPhantoms/CNMC_solidwater.pdf

3. หุ่นจำลองชนิด Cube Phantom

หุ่นจำลองรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพโดยทั่วไป การตรวจสอบความคงตัวของลำรังสี การควบคุมคุณภาพของ Multi –leaf collimator ติดตั้งและใช้งานได้ง่าย มีส่วนประกอบที่เป็นน้ำประมาณ 1% (Phantoms)



ภาพที่ 2 แสดงหุ่นจำลองชนิด Cube Phantom

สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2556 จาก

<http://www.supertechx-ray.com/pics/RadiationTherapy/CIRS-009-1small.jpg>

4. หุ่นจำลองชนิด IMRT Homogeneous Phantom

เป็นหุ่นจำลองที่มีการออกแบบสำหรับการวัดปริมาณรังสี ตรวจสอบการวางแผนการรักษา วัดการกระจายของรังสีแบบ 2 มิติ มีขนาด 30 cm x 30 cm x 20 cm ภายในมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 0.5% สามารถนำมาใช้สำหรับการฉายรังสีที่ระดับพลังงานตั้งแต่ 50 KeV ถึง 25 MeV(Phantoms)



ภาพที่ 3 แสดงหุ่นจำลองชนิด IMRT Homogeneous Phantom

สืบค้นเมื่อ 4 เมษายน 2556 จาก

<http://www.imagingsol.com.au/product/1788/img/products/1788/IMRT-Homogeneous-Phantom-0.jpg?large>

5. หุ่นจำลองชนิด Inhomogeneous Phantom

หุ่นจำลองชนิด Inhomogeneous Phantom เป็นหุ่นจำลองที่มีความซับซ้อนกว่าแบบแรก ภายในมีองค์ประกอบที่ใช้แทนเนื้อเยื่อหรืออวัยวะต่างๆ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยอาจมีรูปร่างที่คล้ายกับร่างกายมนุษย์เพื่อพิจารณาคุณลักษณะของลำรังสี เช่น Alderson Radiation Therapy Phantom (ART) เป็นหุ่นจำลองที่เป็นที่นิยมใช้มากในทางรังสีวิทยามาเป็นระยะเวลายาวนานกว่า 30 ปี และเป็นที่แพร่หลายทั่วโลก โดยหุ่นจำลองประเภทนี้ได้รับการตกแต่งและปรับปรุงจนมีคุณสมบัติที่ความเหมาะสมกับการใช้งาน ผลิตจากวัสดุที่สมมูลกับเนื้อเยื่อชนิดต่างๆ ภายในร่างกายมนุษย์ ได้แก่ กล้ามเนื้อ (Muscle), กระดูก (Bone), ปอด (Lung) และอากาศ

หุ่นจำลองชนิดนี้ได้สร้างให้มีลักษณะคล้ายมนุษย์ โดยตัดให้เป็นสไลด์ตามขวางเพื่อประโยชน์ในการใส่อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีสำหรับการประเมินค่าปริมาณรังสีภายในร่างกาย นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพของงานทางรังสีรักษาตั้งแต่กระบวนการแรกจนถึงการตรวจสอบการรักษา นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยเต้านมที่สามารถถอดออกได้และมีหลายขนาด เช่น ปริมาตร 200, 400, 600 และ 900 มิลลิลิตร เป็นต้น (Phantoms)



ภาพที่ 4 แสดงหุ่นจำลองชนิด Alderson Radiation Therapy Phantom (ART)

สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2556 จาก

<http://www.supertechx-ray.com/pics/Anthropomorphic/Alderson/ART-1small.jpg>

การสร้างนวัตกรรมสื่อการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจได้ง่าย โดยเฉพาะการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่บุคลากรทางการแพทย์จะต้องทำความเข้าใจบทเรียนต่างๆ อย่างถ่องแท้และลึกซึ้ง ในขณะที่เนื้อหาการเรียนค่อนข้างยากและส่วนใหญ่ การศึกษาในตำราเพียงอย่างเดียวทำให้ผู้เรียนไม่สามารถจินตนาการตามได้โดยง่าย การสร้างสื่อวัสดุสามมิติด้วยการพัฒนาหุ่นจำลองมนุษย์รูปแบบต่างๆ จึงมีความสำคัญค่อนข้างมาก นอกจากจะทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้นยังช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความสนใจและเป็นการเพิ่มทักษะให้กับผู้เรียนก่อนการปฏิบัติงานกับผู้ป่วยจริง ปัจจุบันหุ่นจำลองจากยางพาราธรรมชาติแทนวัสดุสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากยางพารามีประโยชน์ที่หลากหลายดังกล่าไปแล้วข้างต้น โดยมีการพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพจำนวนมาก เช่น พัฒนาผลิตภัณฑ์หุ่นจำลองยางพาราอิเล็กทรอนิกส์ (สุขประเสริฐ, 2548) การสร้างนวัตกรรมการเรียนการสอนโดยพัฒนาหุ่นจำลองยางพาราฝึกการใส่สายยางให้อาหารผู้ป่วย (ตันทพันธ์, 2554) การพัฒนาหุ่นจำลองแขนฝึกทักษะเย็บแผลชนิดยางพารา (ดวงรัตน์, et al., 2552) การสร้างหุ่นใบหน้าจำลองปากแหวงเพดานโหว่โดยใช้วัสดุที่ทำด้วยยางพารา ไม้และซิลิโคนที่สามารถแยกเป็นส่วนได้ (ประดับวงษ์, et al., 2554) โดยหุ่นจำลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้จริง สำหรับผลประโยชน์ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดีและที่สำคัญสามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความสนใจเพิ่มมากขึ้น เกิดการเรียนรู้และเข้าใจได้ง่ายกว่าการเรียนการสอนรูปแบบเดิม โดยสามารถนำไปใช้งานแทนหุ่นจำลองที่สั่งซื้อจากต่างประเทศได้

ประสิทธิภาพของการรักษาทางรังสีรักษา (Radiation Therapy) นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเป้าหมายหลักของรังสีรักษาเป็นการให้ปริมาณรังสีสูงสุดที่ก้อนมะเร็งในขณะที่ยังคงอยู่ข้างเคียงจะต้องได้รับปริมาณรังสีต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือการพัฒนาทักษะและประสบการณ์ในการทำงาน โดยเฉพาะขั้นตอนการจำลองการรักษาและการวางแผนการรักษาเพื่อให้ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีที่ถูกต้องและแม่นยำที่สุด นอกจากนี้ระหว่างรักษาด้วยการฉายรังสีนั้นนักรังสีการแพทย์จำเป็นต้องมีการจัดทำที่ถูกต้องร่วมกับการใช้อุปกรณ์ช่วยจัดทำรูปแบบต่างๆ อันนำไปสู่การรักษาที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากระหว่างการรักษานั้นจะเป็นการปฏิบัติงานของนักรังสีการแพทย์เพียงคนเดียวเท่านั้น เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดจะลดลงได้ถึง 82% หากมีการประสานงานกันของนักรังสีการแพทย์ นอกจากจะตรวจสอบการจัดทำผู้ป่วยให้ถูกต้องและสม่ำเสมอแล้ว ยังจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการกำหนดและวางขอบเขตของลำรังสีที่จะฉายในบริเวณที่สนใจ และปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรักษา เช่น Gantry, Collimator angle, Monitoring unit และการกำหนดเวลาในการฉายรังสี เป็นต้น (H, Khan, & A, 1992)

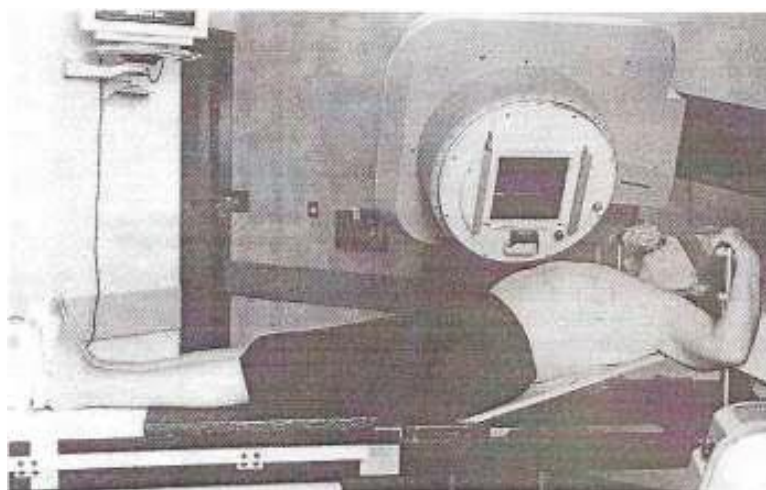
รังสีรักษาสำหรับมะเร็งเต้านม(หล่อวิทยา, et al., 2544)

การรักษา มะเร็งเต้านมด้วยรังสีรักษามีเป้าหมายเพื่อควบคุมและลดการกระจายของโรคไปยังส่วนอื่นๆ ของร่างกาย การรักษาอาจใช้วิธีร่วมกันระหว่างการผ่าตัด การใช้ยาเคมีบำบัดหรือฮอร์โมนบำบัดและการใช้รังสีรักษา ถึงแม้ว่ามีวิธีการรักษาที่ดีเพียงใดก็อาจทำให้มีการกลับเป็นซ้ำได้อีก โดยเฉพาะบริเวณ Chest wall และ Regional lymph node ซึ่งอาจก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อนตามมา เช่น แผลเลือดออก เกิดการติดเชื้อ มีอาการปวด และแขนบวม Brachial plexus compression อันเป็นการบั่นทอนคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย และจะเป็นแหล่งของการเกิดการแพร่กระจายของโรคต่อไป สำหรับจุดประสงค์ของการฉายรังสีหลังผ่าตัดนั้นเพื่อทำลาย Microscopic disease ที่อาจหลงเหลืออยู่ที่บริเวณ Chest wall และ Peripheral Lymphatics โดยในปัจจุบันการพิจารณา Posterior chest wall irradiation หลังจากการทำMRM แล้วไม่ได้ใช้เป็น Routine ทุกราย แต่จะเลือกให้เฉพาะในรายที่เป็น high risk (มี local-regional recurrence มากกว่า 15% หรือ 20%) เท่านั้น การทำการผ่าตัดแบบสงวนเต้านมเป็นที่นิยมมากขึ้น โดยเฉพาะมะเร็งเต้านมในระยะเริ่มแรก (Stage I-II) แต่การทำการผ่าตัดด้วยวิธีนี้เพียงอย่างเดียวอาจทำให้เกิดภาวะ Locoregional recurrence สูงได้ถึงร้อยละ 35-40 มีการศึกษาต่างๆ มากมายโดยเฉพาะการศึกษาของ NSABP B-06 พบว่า การผ่าตัดแบบสงวนเต้านมแล้วตามด้วยการฉายรังสีที่เต้านมจะได้ผลทั้งควบคุมโรคและอัตราการรอดชีวิตเท่ากับการทำ mastectomy

เทคนิคทางรังสีรักษา (Radiotherapy technique)

การฉายรังสีรักษามะเร็งเต้านมในแต่ละบริเวณ ผู้ป่วยจะต้องนอนอยู่ในท่าเดิมตลอด ดังนั้นหากผู้ป่วยนอนราบมักจะพบว่าหน้าอกส่วนบนจะลาดลง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการให้ผู้ป่วยนอนเอาศีรษะและไหล่อยู่บนกระดานสามเหลี่ยมรูปปลี (Triangular wedge) เพื่อยกศีรษะและหน้าอกส่วนบนให้

สูงขึ้นจนเป็นแนวราบ ยกแขนข้างเดียวกับหน้าอกที่จะทำการฉายรังสี ทางออกเป็นมุมฉาก จับยึดกับเสาที่สามารถจัดระยะและระดับให้คงที่ได้ทุกวัน หรืออาจจะให้สอดมีไว้ได้ศีรษะของผู้ป่วยเอง ตะแคงหน้าไปด้านตรงข้าม นอกจากนี้ อาจจะสอดหมอนข้างไว้ใต้เข้าทั้งสองข้างของผู้ป่วย เพื่อจะได้นอนในท่าที่สบาย ไม่เกร็งเกินไป จะได้ไม่มีการขยับเขยื้อนตัวขณะฉายรังสีดังแสดงภาพที่ 5 การจัดทำของผู้ป่วยในลักษณะนี้ทำให้ขั้นตอนการจำลองการรักษาและการวางแผนการรักษามีความยุ่งยากและต้องการการฝึกทักษะที่ดีเพียงพอเนื่องจากอาจเกิดความผิดพลาดในการให้ปริมาณรังสีได้ค่อนข้างมากและเกิดภาวะแทรกซ้อนตามมาได้



ภาพที่ 5 แสดงการจัดท่าของผู้ป่วยบนอุปกรณ์ที่เรียกว่า Triangular wedge หรือ Breast board สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2556 จาก

http://nci.cu.edu.eg/lectures/Book%20Breast%20Cancer%20PDF/Ch_8.pdf

เทคนิคการให้ลำรังสีสำหรับการรักษามะเร็งเต้านมประกอบด้วยเทคนิคการฉายรังสีบริเวณ Chest wall เทคนิคการฉาย Supraclavicular lymph nodes field และ เทคนิคการฉาย Internal mammary field ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7

เทคนิคการฉายรังสีบริเวณ chest wall หรือ intact breast การฉายรังสีบริเวณ Chest wall หลังการผ่าตัดหรือการฉาย intact breast กรณีที่ทำการผ่าตัดแบบสงวนเต้านม การฉายรังสีจะใช้เทคนิคการให้ลำรังสีทิศทาง medial และ lateral tangential portals โดยครอบคลุม chest wall หรือตัวเต้านมทั้งหมดและพยายามให้ถูกเนื้อปอดน้อยที่สุด บริเวณฉายรังสีควรจะกินพื้นที่ปอดเพียง 2-3 เซนติเมตร เป็นอย่างมากเพื่อลดภาวะแทรกซ้อนจากปริมาณรังสีที่บริเวณปอดโดยมีขอบเขตของลำรังสีดังต่อไปนี้

- Upper margin- ขอบบนของ field อยู่ระดับของขอบล่างของ head of clavicle
- Medial margin- อยู่ที่ midline หรือข้าม midline ไปทางด้านตรงข้ามประมาณ 1 เซนติเมตร

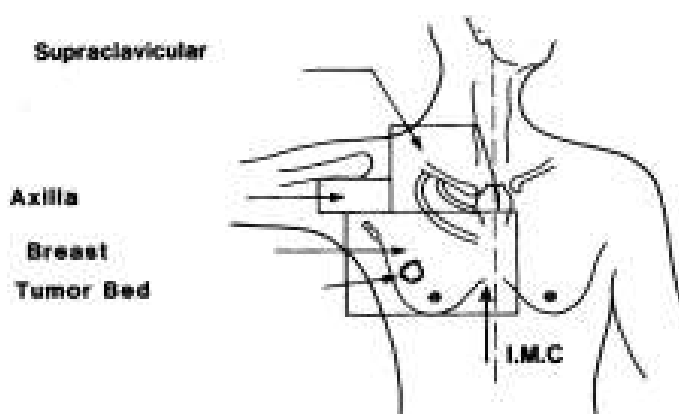
- Lateral margin– ปกติใช้ mid axillary line หรือประมาณ 2 เซนติเมตร จาก palpable of breast tissue
- Inferior margin– 1-2 เซนติเมตร ใต้ต่อ infra-mammary fold

เทคนิคการฉาย Supraclavicular lymph nodes field การใช้เทคนิคการให้ปริมาณรังสีลักษณะนี้ใช้ในกรณีที่ต้องการฉายเฉพาะ apex ของ axilla โดยมีขอบเขตของลำรังสีดังต่อไปนี้

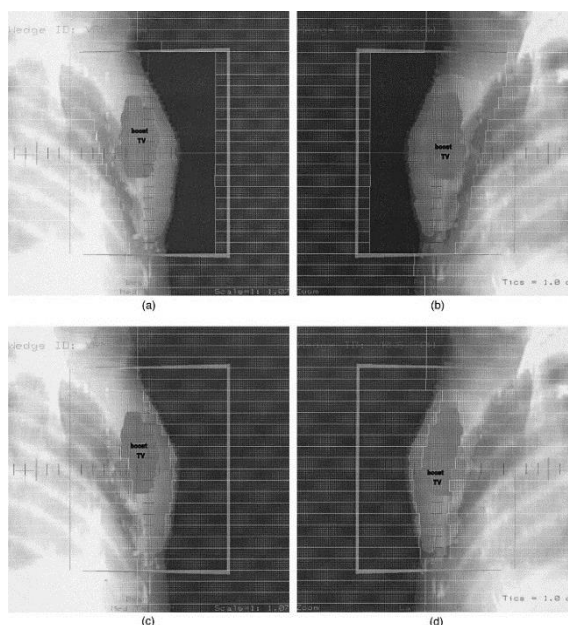
- Inferior border – 1st หรือ 2nd intercostal space ขนานกับ upper margin ของ chest wall field
- Medial border–1 เซนติเมตร จาก midline ลากขึ้นไปตามขอบในของ sternocleidomastoid muscle ถึง thyrocricoid groove
- Superior border – ที่ระดับของ thyroid groove
- Lateral border – vertical line ที่ระดับ lateral edge ของ Coracoid process เป็นการฉายคลุมเฉพาะ Axillary apex และ Supraclavicular nodes ควรฉายรังสีทำมุมไปทาง lateral ประมาณ 10-15 องศา เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ลำรังสีตกกระทบบริเวณหลอดลม หลอดอาหารและไขสันหลัง

เทคนิคการฉาย Internal mammary field มีขอบเขตการฉายดังนี้

- Medial border – อยู่ที่แนวกลางลำตัว
- Lateral border – 5 -6 เซนติเมตรถัดออกด้านนอกต่อแนวกลางลำตัว
- Inferior border- ที่ระดับของ Xiphoid
- Superior border – ขนานกับ Inferior border ของ Supraclavicular field



ภาพที่ 6 แสดงเทคนิคการฉายรังสีของเต้านม สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2556 จาก http://nci.cu.edu.eg/lectures/Book%20Breast%20Cancer%20PDF/Ch_8.pdf



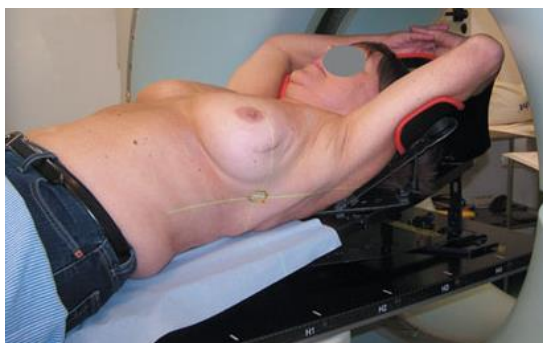
ภาพที่ 7 แสดงเทคนิคการฉายรังสี Lateral tangential field ของเต้านม
ในขั้นตอนการวางแผนการรักษา แบบ Conventional 2D tangential field
สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2556 จาก

<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0958394704000603-gr2.jpg>

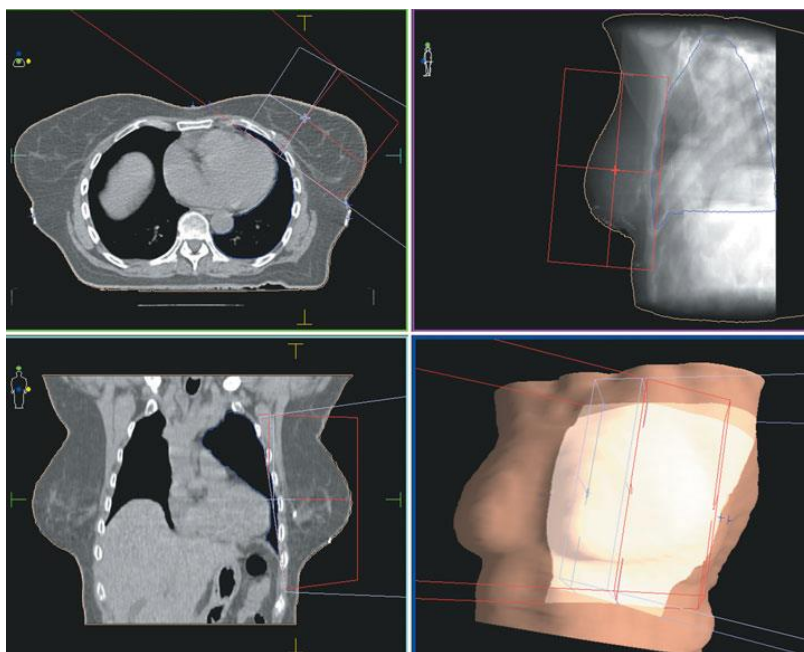
การจำลองการรักษา (Treatment Simulation) (H, et al., 1992)

การรักษาด้วยรังสีรักษานั้นจะได้ผลได้ดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอในการรักษา การให้ปริมาณรังสีมากที่สุดกับบริเวณที่สนใจปริมาณรังสีน้อยที่สุดในเนื้อเยื่อรอบข้าง ดังนั้นความถูกต้องของให้ทิศทางลำรังสีในขั้นตอนการจำลองการรักษาจึงมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อช่วยให้การรักษามีประสิทธิภาพและบรรลุเป้าหมาย เนื่องจากการจำลองการรักษาและการวางแผนการรักษาจะส่งผลต่อเทคนิคการฉายรังสีในขั้นตอนการรักษา ได้แก่ การจัดทำผู้ป่วยและการใช้อุปกรณ์ช่วยจัดทำ

สำหรับเทคนิคและขั้นตอนการจำลองการรักษาที่ห้องจำลองการรักษาประกอบด้วยการจัดทำและทิศทางให้ลำรังสีบนตัวผู้ป่วยดังแสดงในภาพที่ 8 การกำหนดขอบเขตก้อนมะเร็งและอวัยวะสำคัญและการกำหนดขอบเขตก้อนมะเร็งและอวัยวะสำคัญรวมทั้งรายละเอียดที่เกี่ยวข้องดังแสดงในภาพที่ 9



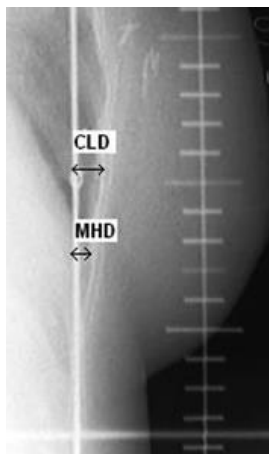
ภาพที่ 8 แสดงเทคนิคการจำลองการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านม (Barrett, et al., 2009)



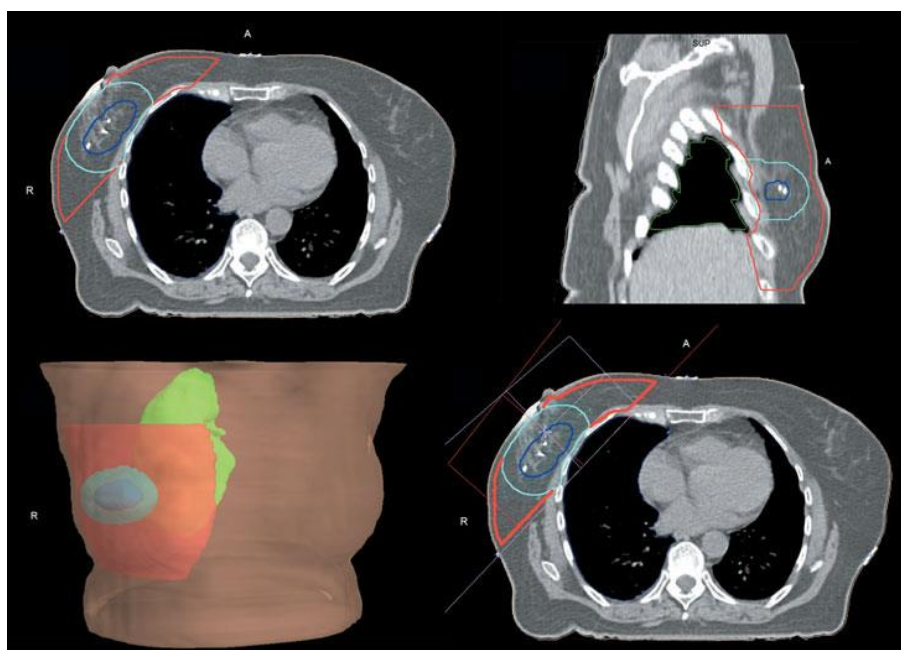
ภาพที่ 9 แสดงการกำหนดขอบเขตก้อนมะเร็งและอวัยวะสำคัญในผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านม (Barrett, et al., 2009)

ระบบวางแผนการรักษา (Treatment Planning System) (H, et al., 1992)

ระบบการวางแผนการรักษาเป็นการทำงานประสานกันระหว่างรังสีทางด้านการรักษา นักฟิสิกส์การแพทย์และนักคำนวณปริมาณรังสี สำหรับขั้นตอนการวางแผนการรักษาเริ่มต้นจากการตรวจสอบข้อมูลผู้ป่วยและศึกษาแผนการรักษา ตลอดจนเทคนิคที่ต้องใช้ในการรักษาหลังจากผ่านการจำลองการรักษา ทั้งหมดอย่างละเอียด อันประกอบด้วยเทคนิคในการฉายรังสี ตำแหน่งฉายรังสี (Anatomical site) ระยะลึกของก้อนมะเร็ง (Depth) ตรวจสอบปริมาณรังสีที่ฉายในแต่ละวัน (Daily dose) เส้นปริมาณรังสีที่แพทย์เลือก (Selected isodose) พลังงานรังสีที่ใช้และขนาดพื้นที่รังสีตามที่แพทย์กำหนดดังแสดงในภาพที่ 10 เพื่อให้การคำนวณปริมาณรังสีถูกต้องตรงตามการวางแผนของแพทย์ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 10 แสดงฟิล์มเอกซเรย์ที่กำหนดขนาดพื้นที่ฉายรังสีในผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านม (Barrett, et al., 2009)



ภาพที่ 11 การคำนวณปริมาณรังสีถูกต้องตรงตามการวางแผนของแพทย์ (Barrett, et al., 2009)

กายวิภาคศาสตร์ของเต้านม (H, et al., 1992; ชูศิลป์, 2556)

เต้านม คือ อวัยวะที่อยู่บริเวณผนังทรวงอกด้านหน้า (Chest wall) ทั้ง 2 ข้าง มีรูปร่างคล้ายกรวย ยึดจากขอบด้านข้างของกระดูกหน้าอก (Sternum) ไปยังแนวที่เรียกว่า Anterior Axillary line โดยตำแหน่งอยู่ระหว่างซี่โครง (Rib) ที่ 2 ถึง 6 โดยวางอยู่บนกล้ามเนื้อหน้าอกที่มีชื่อว่า Pectoralis Muscle ต่ำกว่ากระดูกไหปลาร้า (Clavicle) โดยลักษณะการวางตัวของเนื้อเยื่อเต้านมจะยื่นจากแนว Mid line ไปยังด้านข้างถึงของของกล้ามเนื้อ Latissimus dorsi บริเวณที่อยู่ติดกับส่วนของฐานเต้านมเรียก Retromamary Space โดยส่วนที่หนาที่สุดของเต้านมจะอยู่บริเวณด้านบนและด้านนอก (Upper outer quadrant) ซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยต่อมต่าง ๆ ของเต้านมที่มากกว่า

บริเวณอื่น โดยมีส่วนที่เรียกว่า Axillary tail ที่เป็นส่วนบริเวณที่พบว่าการก่อตัวของก้อนเนื้อจำพวก Mass และ Primary tumor ได้บ่อยที่สุด องค์ประกอบของเต้านม ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ คือ ผิวหนัง, ไขมันใต้ผิวหนังและเนื้อเยื่อเต้านม โดยเนื้อเยื่อเต้านมยังประกอบไปด้วยเนื้อเยื่ออีก 3 ชนิด ได้แก่

1. Fibrous Tissue หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Connective Tissue เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่บนเต้านม อาทิเช่น Cooper ligament

2. Adipose tissue เป็นไขมันที่กระจายตัวอยู่ภายในโดยรอบ

3. Adipose Tissue เป็นส่วนที่ผลิตน้ำนม ซึ่งฝังตัวอยู่ใน Adipose tissue ต่อม้าน้ำนม (Mammary gland) เป็นต่อมเหงื่อ (Modifier sweat Gland) มีลักษณะเป็นกลีบ (Lobe) โดยเต้านมแต่ละข้างจะมีจำนวน 15-20 Lobe และแต่ละ Lobe ยังแบ่งออกเป็น 20-40 กลีบ ซึ่งแต่ละ Lobe จะมีท่อน้ำนม (Lactiferous Duct) มาเปิดออกที่หัวนม (Nipple) โดยในแต่ละส่วนขององค์ประกอบภายในเต้านมจะถูกกันแบ่งออกเป็นส่วนๆ ด้วย Fibrous tissue หรือ Connective tissue

ในส่วนของระบบทางเดินน้ำเหลืองของเต้านมนั้นจะรวมไปถึงทางเดินน้ำเหลืองในบริเวณใกล้เคียงที่อยู่บริเวณหน้าอกและรักแร้ โดยเป็นการรวมกันของต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ติดกับ Internal jugular vein และ Subclavian vein ลงไปถึงฐานของลำคอได้ต่อจุดเกาะปลายของกล้ามเนื้อ Sternocleidomastoid ถึงส่วนต้นของกระดูกไหปลาร้า โดยมีตำแหน่งของ Lymphatic trunk ที่สำคัญ 3 ตำแหน่งคือ Subclavian trunk บริเวณรักแร้, Jugular trunk บริเวณลำคอถึงด้านบนของกระดูกไหปลาร้าและ Bronchomediastinal trunk ซึ่งทั้งสามแห่งจะเชื่อมต่อกันในหลายทิศทาง ทางด้านซ้ายของร่างกายจะมีการเชื่อมต่อกันของต่อมน้ำเหลืองเพียงระยะสั้นๆ เท่านั้น ท่อน้ำเหลือง (Lymphatic duct) ทั้งด้านซ้ายและขวาจะทำหน้าที่ลำเลียงน้ำเหลืองเข้าสู่หลอดเลือดดำ Internal jugular vein หรือท่อน้ำเหลืองส่วนอก (Thoracic duct)

Axillary lymph node ต่อม้าน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ สามารถแบ่งออกได้ 3 ระดับ ดังนี้

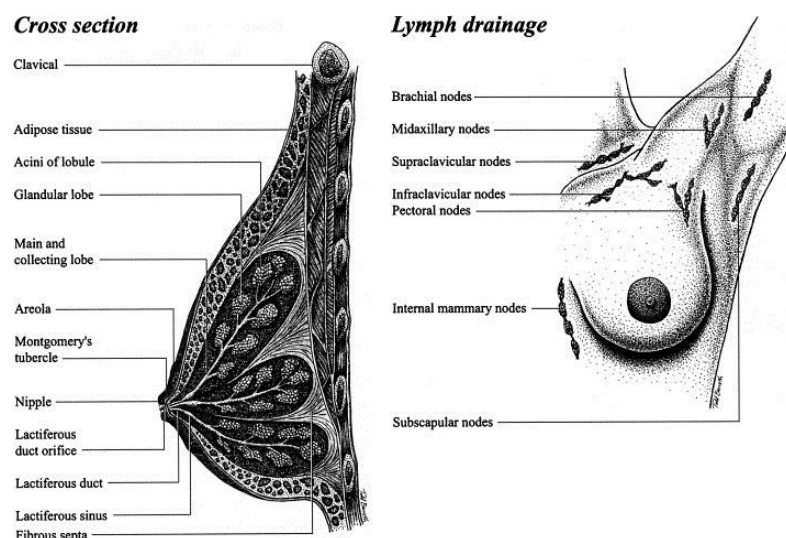
ระดับที่ 1 ต่อม้าน้ำเหลืองที่อยู่ต่ำกว่าส่วนล่างของกล้ามเนื้อ Pectoralis minor

ระดับที่ 2 ต่อม้าน้ำเหลืองที่อยู่ใต้กล้ามเนื้อ Pectoralis minor

ระดับที่ 3 ต่อม้าน้ำเหลืองที่อยู่สูงกว่ากล้ามเนื้อ Pectoralis minor

ต่อมน้ำเหลืองเหล่านี้ถือว่าเป็นต่อมน้ำเหลืองหลักที่มีการระบายน้ำเหลืองภายในเนื้อเยื่อเต้านม ซึ่งในขณะเดียวกันก็เป็นบริเวณที่พบว่าการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งมากที่สุด

Internal mammary node เป็นกลุ่มของต่อมน้ำเหลืองขนาดเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-5 มิลลิเมตร โดยทั่วไปมักพบอยู่ในขอบเขต 3 เซนติเมตรถัดจากกระดูกหน้าอก และบางครั้งอาจพบที่อยู่ต่ำกว่าชายโครง (Costal margin) ต่อม้าน้ำเหลืองเหล่านี้จะฝังตัวอยู่ใน Endothoracic fascia ระหว่างช่องว่างของ Costal cartilage ที่ส่วนมากจะพบอยู่ใน Intercostal space ที่ 1 ถึง 3 ทั้งด้านซ้ายและขวา ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงกายวิภาคศาสตร์ของเต้านม

สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2556 จาก

<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0091218298000652-gr1.jpg>

การสร้างนวัตกรรมสื่อการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจได้ง่าย โดยเฉพาะการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่จะต้องทำความเข้าใจบทเรียนต่างๆ อย่างถ่องแท้และลึกซึ้ง การสร้างสื่อวัสดุสามมิติโดยการพัฒนาหุ่นจำลองมนุษย์รูปแบบต่างๆ จึงมีความสำคัญค่อนข้างมาก นอกจากจะทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจได้ง่ายยังช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความสนใจและเป็นการเพิ่มทักษะก่อนการปฏิบัติงานกับผู้ป่วยจริง ปัจจุบันหุ่นจำลองจากยางพาราธรรมชาติแทนวัสดุสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เริ่มเป็นที่ต้องการอย่างมากเนื่องจากยางพารามีประโยชน์ที่หลากหลายดังกล่าวไปแล้วข้างต้น โดยมีการพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพจำนวนมาก เช่น พัฒนาผลิตภัณฑ์หุ่นจำลองยางพาราอิลเลททรอนิกส์ (สุขประเสริฐ, 2548) การสร้างนวัตกรรมการเรียนการสอนโดยพัฒนาหุ่นจำลองยางพาราฝึกการใส่สายยางให้อาหารผู้ป่วย (ตันทพันธ์, 2554) การพัฒนาหุ่นจำลองแขนฝึกทักษะเย็บแผลชนิดยางพารา (ดวงรัตน์, et al., 2552) การสร้างหุ่นใบหน้าจำลองปากแหว่งเพดานโหว่โดยใช้วัสดุที่ทำด้วยยางพารา ไม้และซิลิโคนที่สามารถแยกเป็นส่วนได้ (ประดับวงศ์, et al., 2554) โดยหุ่นจำลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้จริง สำหรับผลประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดีและที่สำคัญสามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความสนใจเพิ่มมากขึ้น เกิดการเรียนรู้และเข้าใจได้ง่ายกว่าการเรียนการสอนรูปแบบเดิม โดยสามารถนำไปใช้งานแทนหุ่นจำลองที่สั่งซื้อจากต่างประเทศได้

นอกจากนี้ยังมีการสร้างหุ่นจำลองสำหรับงานรังสีวินิจฉัยเพื่อใช้ในการประเมินค่าปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการตรวจทางรังสีวินิจฉัย (มัฆะเนมิ & รัตนเสถียร, 2549) สำหรับการสร้างหุ่นจำลองทางรังสีรักษานั้นได้มีการพัฒนาหุ่นจำลองเต้านมเพื่อประเมินค่าการกระจายของปริมาณรังสีในเต้านมผู้ป่วยได้รับจากการรักษามะเร็งเต้านม (H, et al., 1992) (Curtis B, 1989 ; Howlett & Kron, 2002)

และเพื่อเป็นสื่อสำหรับการเรียนการสอนให้กับแพทย์โดยผลิตจากซิลิโคน (Ashlie, Lynn, Elizabeth, Martina, & http://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/1450, 2011) สำหรับการสร้างหุ่นจำลองยางพารานั้นสามารถพัฒนาสูตรและเทคนิคการผลิตยางให้มีลักษณะที่หลากหลายตามการใช้งาน เช่น ยางพองน้ำที่เกิดจากการเติมสาร CaCO_3 ปริมาณ 5 phr ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ (ประกายมณีวงศ์, et al., 2552) โดยยางพองน้ำดังกล่าวสามารถนำมาใช้สร้างเป็นปอดในหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านม

ยางพารา (Para rubber) (สุขประเสริฐ, 2548)

ต้นยางพารามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* เป็นไม้ยืนต้นที่มีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอะเมซอน ประเทศบราซิลและประเทศเปรู ทวีปอเมริกาใต้ ยางธรรมชาติชนิดนี้ประชาชนทั่วไปเรียกว่ายางพารา หรือต้นยางพารา (Para rubber) โดยยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเนื่องจากเป็นพืชยุทธศาสตร์ในการพัฒนาการเกษตรและประเทศไทยมีแนวโน้มในการหันมาใช้ยางธรรมชาติแทนยางสังเคราะห์มากขึ้น จากข้อมูลปี 2555 ประเทศไทยสามารถผลิตยางธรรมชาติได้มากถึง 3,776,957 ตัน จากการส่งออกทั้งในรูปของวัตถุดิบพร้อมทำผลิตภัณฑ์ยาง ไม้ยางพาราและผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพารา คิดเป็นมูลค่ากว่า 647,906 ล้านบาท ดังนั้นยางพาราจึงเป็นพืชที่ถือว่ามีศักยภาพ อีกทั้งมีโอกาที่จะพัฒนาและสร้างมูลค่าเพิ่มเป็นผลิตภัณฑ์ยางพาราได้หลากหลาย โดยยางธรรมชาติเมื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางแล้วสามารถนำมาจำหน่ายได้ในราคาสูง ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ดีหากมีการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมยางให้มีระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพ สามารถสร้างผลผลิต และผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดได้อย่างมีคุณภาพและมีมาตรฐาน (กรมวิชาการเกษตร, 2556) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าผลิตภัณฑ์ เช่น กระดุกเทียม, ยางวงจัดฟัน, ยางนวดเหงือก, ดินประติษฐ์สำหรับเด็ก ผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์, แผ่นยางคลุมดิน และกระเบื้องยางปูพื้น เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำยางพารามาใช้ในเป็นสื่อการเรียนการสอนยังมีค่อนข้างน้อยทั้งๆ ที่เป็นวัสดุที่มีราคาไม่แพง หาซื้อได้ง่ายและไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์จากยางพาราในประเทศไทยในช่วง ปี 2550 –2554 (ภัทรไพบูลย์ชัย, 2554)

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณการใช้ (%)
ยางยานพาหนะ	50
ยางยืดและยางรัด	28.2
ถุงมือยางทางการแพทย์	17.8
รองเท้าและอุปกรณ์กีฬา	2.6
สายพานลำเลียง	0.4
ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำ	0.1
สื่อการเรียนการสอน	0.01
ผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง	0.87
ยางพาราผสมยางมะตอย	0.001

องค์ประกอบของยางพารา (ขจรไชยกุล, 2549 ; ศักดาภิพานิชย์, 2553)

น้ำยางพาราล้างจากการกรีดจะมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 6 มีค่าแรงตึงผิวประมาณ 40.5 ดายน์ต่อเซนติเมตรที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร มีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.934 ที่ 20 องศาเซลเซียส และมีค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงโดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ $1 \times 10^{15} - 2 \times 10^{15}$ ohms-cm น้ำยางจะมีสีขาวขุ่น เมื่อปั่นด้วยความเร็วรอบสูงๆ ประมาณ 13,000 รอบต่อนาที จะพบว่าน้ำยางเกิดการแยกชั้นดังแสดงภาพที่ 13 โดยแบ่งได้เป็นสามส่วนหลักๆ ดังนี้

1. ส่วนเนื้อยาง (Rubber Phase) เป็นส่วนของชั้นยางสีขาวซึ่งอยู่ชั้นบนสุด คิดเป็นประมาณ 30-36% โดยอนุภาคของยางพาราจะมีขนาด 0.05-3 ไมครอน เป็นทรงกลม ที่ผิวล้อมรอบไปด้วยชั้นของโปรตีนและไขมัน ทำให้สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้อย่างเสถียรแต่หลังจากการกรีดไม่ถึงชั่วโมง แบคทีเรียและเอนไซม์จะทำปฏิกิริยากับชั้นของโปรตีนและไขมันได้ถ้าปราศจากการเติมสารเคมีที่ยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียซึ่งสามารถทำให้น้ำยางเสียความเสถียรได้



ภาพที่ 13 แสดงการแยกชั้นของน้ำยางสด 3 ชั้นเมื่อปั่นด้วยความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที สืบค้นเมื่อ 28 มีนาคม 2556 จาก <http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0031942205006795-fx1.jpg>

2. ส่วนชั้นน้ำหรือซีรัม (Serum Phase) คิดเป็นประมาณ 44-45 % โดยในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยสารที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน โปรตีนบางชนิด คาร์โบไฮเดรต เอนไซม์ และไอออนของโลหะ เป็นต้น

3. ส่วนตกตะกอน (Bottom Phase) เป็นส่วนที่อยู่ชั้นล่างสุดคิดเป็นประมาณ 15-20% ส่วนประกอบที่สำคัญในชั้นนี้คืออนุภาคลูทอยด์ (Lutoid particle) เป็นของที่มีความหนืดมาก รูปร่างกลมรีมากกว่าอนุภาคของยาง ในน้ำยางที่ไม่ได้ถูกกำจัดเอาอนุภาคลูทอยด์ออก มักจะเกิดการจับตัวเองตามธรรมชาติหรือที่เรียกว่า Spontaneous Coagulation องค์ประกอบที่สำคัญของน้ำยางพาราสดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของน้ำยางพาราสด

องค์ประกอบ	% โดยน้ำหนัก
ยางไฮโดรคาร์บอน	36.0
โปรตีนและกรดอะมิโน	1.4
นิวทรอลลิปิด	1.0
ไกลโคลิปิดและฟอสโฟลิปิด	0.6
คาร์โบไฮเดรต	1.6
สารอนินทรีย์	0.5
น้ำ	58.5
อื่น ๆ	0.4

คุณสมบัติทางเคมี (ขจรไชยกูล, 2549 ; ศักดาภิพานิชย์, 2553)

ยางพาราเป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่มีหน่วยย่อยของแต่ละหน่วยประกอบไปด้วยคาร์บอนอะตอม 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 200,000 ถึง 400,000 เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนที่ต่อกันเป็นสายเส้นตรงแบบซิส (Linea cis 1,4 polyisoprene) จำนวน 3,000 ถึง 5,000 หน่วย โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $(C_5H_8)_n$ มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง ทำให้ยางมีสมบัติยืดหยุ่นซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปที่ดี

คุณสมบัติโดยทั่วไปของยางพารา (ศักดาภิพานิชย์, 2553)

1. **ความยืดหยุ่น (Elasticity)** ยางพารามีความยืดหยุ่นได้ดี สามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้อย่างรวดเร็ว
2. **ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength)** ยางพารามีความทนทานต่อแรงดึงมาก เนื่องจากสามารถเกิดการตกลึกเมื่อได้รับแรงดึง
3. **ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)** ยางพารามีความทนทานต่อการฉีกขาดสูง จากความสามารถในการเกิดผลึกเมื่อได้รับแรงดึง โดยผลึกจะเรียงตัวในแนวเดียวกับแรงดึงและตั้งฉากกับรอยฉีกขาด ส่งผลให้ด้านการฉีกขาดที่จะเกิดขึ้น
4. **การกระด้างกระดอน (Rebound resilience)** ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางจะมีการสูญเสียพลังงานที่น้อยมาก และมีการสะสมความร้อนที่ต่ำด้วยเช่นกันทำให้ยางมีคุณสมบัติที่การกระด้างกระดอนที่สูงมาก
5. **ความทนทานต่อการขัดถู (Rebound resilience)** ยางพารามีคุณสมบัติทนการขัดถูทนต่อแรงเสียดทานที่ดี
6. **ความเหนียว (Tack)** ยางพาราสามารถยึดติดกับวัสดุอื่นได้ดี เช่น โลหะต่างๆ เป็นต้น
7. **ความเป็นฉนวน (Insulation)** ยางพารามีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่สูงมาก โดยมีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงถึง $1 \times 10^{15} - 2 \times 10^{15}$ โอห์ม – ซม
8. **ความทนทานต่อสารเคมี (Chemical Resistant)** เนื่องจากโครงสร้างของยางที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทำให้สามารถถูกละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วจำพวก เบนซีน (Benzene) โทลูอิน (Toluence) และเฮกเซน (Hexane) ได้ แต่จะสามารถทนได้ในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน (Acetone) และ แอลกอฮอล์ (Alcohol)
9. **คุณสมบัติการเสื่อมสภาพ (Aging Property)** ยางพารามีความไวในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศโดยเฉพาะเมื่อมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของยางได้ง่ายกว่ายางสังเคราะห์ทั่วไป

การแปรรูปน้ำยางพารา (2548)

การแปรรูปน้ำยางพาราด้วยการเติมสารเคมีชนิดต่างๆ ในน้ำยางพาราจะทำให้ยางพาราที่ได้มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีผู้ศึกษาวิจัยเพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนาสูตรการผสมอย่างต่อเนื่อง

เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน หลักการและขั้นตอนของการออกสูตรการผสมน้ำยางกับสารเคมีนั้นปกติจะต้องคำนึงถึงประโยชน์การใช้งานของผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีการผลิตและต้นทุน

สารเคมีที่นำมาใช้ในการผสมน้ำยางสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มหลักๆ 5 กลุ่ม ดังนี้

1. สารทำน้ำยางคงรูป (Vulcanizing agents) เป็นสารที่มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาคงรูป (Vulcanization) ทำให้น้ำยางมีการเปลี่ยนแปลงสภาพจากอ่อน เหนียว ไปเป็นยางคงรูปไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ
2. สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerators) เป็นสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาคงรูปให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินไปได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาคงรูป ระหว่างกำมะถันและยางนั้น ปฏิกิริยาจะดำเนินไปช้ามากและต้องใช้ปริมาณกำมะถันที่สูงมาก
3. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants) เป็นสารที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีอายุใช้งานที่ยาวนานขึ้น เนื่องจากยางจะเกิดการเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็วในอุณหภูมิที่สูง หรืออยู่ในภาวะที่ปนเปื้อนกับตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โลหะ ทองแดง หรือ แมงกานีส เป็นต้น
4. สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activators) หมายถึง สารที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา
5. สารหน่วงปฏิกิริยา (Retarders) หมายถึง สารที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มระยะเวลาก่อนเกิดปฏิกิริยาคงรูปของยาง สารหน่วงปฏิกิริยา
6. สารอื่นๆ เช่น การเติมสารที่ทำให้เกิดสี, กลิ่น และฟอง เป็นต้น

ยางฟองน้ำ (ขจรไชยกูล, 2537)

การทำยางฟองน้ำเป็นการผลิตจากน้ำยางให้มีลักษณะภายในเป็นรูพรุน โดยผิวหน้าสามารถระบายอากาศออกได้ นอกจากนี้ยังสามารถกดหรือบิดได้โดยไม่ทำให้ชั้นยางฟองน้ำเกิดการเสียรูปทรง สามารถนำไปผลิตเป็นอุปกรณ์ป้องกันการกระแทกหรือเพื่อความนุ่มได้ สามารถขึ้นรูปได้ตามแบบแม่พิมพ์ชนิดต่างๆ เช่น ใช้ทำเป็นเบาะรองนั่ง หมอนหนุน ที่รองนอน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นหุ่นจำลองเพื่อการศึกษาได้ โดยเฉพาะการเรียนการสอนทางการแพทย์ สำหรับขั้นตอนการผลิตยางฟองน้ำประกอบด้วย

- 1) การทำให้น้ำยางเกิดฟองอากาศหรือฟองของแก๊สต่างๆ
- 2) การทำให้น้ำยางที่เป็นฟองแล้วเกิดเป็นเจลในเบ้าพิมพ์ หรือเป็นแผ่น
- 3) การทำให้ฟองยางที่ขึ้นรูปต่างๆ แล้วคงรูป

โดยกระบวนการพื้นฐานในการผลิตยางฟองน้ำประกอบด้วย

- 1) กระบวนการดันลอป (Dunlop process)
- 2) กระบวนการทาลาเลย์ (Talalay process) และกระบวนการใช้สารไวต่อความร้อน (Heat sensitive process)

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 สมมติฐานการวิจัย

หุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมที่พัฒนาขึ้นจากยางพาราสามารถนำไปใช้ในการฝึกทักษะการจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมได้

4.2 ขอบเขตงานวิจัย

พัฒนาหุ่นจำลองทางรังสีรักษาเพื่อการฝึกทักษะการจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาสำหรับผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านม โดยใช้ยางพาราธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลักในหุ่นจำลอง การศึกษาประกอบด้วย การออกสูตรยางพาราเพื่อหาส่วนผสมและวิธีการที่เหมาะสมในการสร้างหุ่นจำลองทรวงอกเพศหญิงที่มีลักษณะใกล้เคียงกับมนุษย์จริง ศึกษาองค์ความรู้เกี่ยวกับเต้านมและมะเร็งเต้านม การประยุกต์การใช้งานทางด้านรังสีรักษา การทดสอบความทนทานของหุ่นจำลอง การประเมินการใช้งานและความพึงพอใจหุ่นจำลอง

4.3 ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วยการทำงานวิจัยทั้งหมด 6 ขั้นตอน ประกอบด้วย

4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบหุ่นจำลองเต้านมและทรวงอกในเพศหญิง

จากการศึกษาและสืบค้นข้อมูลขนาดทรวงอกและเต้านมโดยอ้างอิงขนาดตามมาตรฐานที่พบในหญิงไทยและหุ่นจำลองมาตรฐานทางรังสีรักษาชนิด Alderson Rando Phantom การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการออกแบบหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ออกแบบหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมเพศหญิงให้มีส่วนของร่างกายตั้งแต่ส่วนคอถึงสะโพก
2. ออกแบบให้ภายในหุ่นมีปอดบรรจุอยู่ด้านในหุ่นจำลองทรวงอกเพื่อความเหมือนจริงของการวางทิศทางลำรังสี
3. สร้างหุ่นจำลองให้มีขนาดใกล้เคียงกับหุ่นจำลองมาตรฐานชนิด Alderson Rando Phantom โดยสร้างให้หุ่นจำลองมีสัดส่วน รอบอก 34 นิ้ว รอบเอว 26 นิ้ว และรอบสะโพก 34 นิ้ว

การพัฒนาหุ่นจำลองสำหรับการจำลองการรักษาและการวางแผนการรักษาจะต้องคำนึงถึงการจัดทำผู้ป่วยในการฉายรังสีผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่ผู้ป่วยจะต้องนอนบนอุปกรณ์ที่เรียกว่า Breast Broad หรือ Triangle Wedge เพื่อยกศีรษะและหน้าอกขึ้นเป็นแนวราบ ยกแขนข้างเดียวกับหน้าอกที่จะทำการฉายรังสี โดยกางออกเป็นมุมฉากจับยึดกับเสาที่สามารถจัดระยะและระดับให้คงที่

4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมแม่พิมพ์สำหรับหล่อแบบหุ่นจำลองทางรังสีรักษา

1. ตรวจสอบความถูกต้องของลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์และรายละเอียดผิวหนังของหุ่นจำลองต้นแบบก่อนการหล่อแบบ
2. สร้างแม่พิมพ์ด้วยการหล่อหุ่นจำลองต้นแบบด้วยซิลิโคนเพื่อให้มีรายละเอียดสูงและปูนปลาสเตอร์เพื่อให้คงรูปอยู่ได้
3. ผสมปูนปลาสเตอร์และน้ำเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วเทลงบนหุ่นต้นแบบที่ละด้านให้มีความหนาที่เหมาะสมที่จะไม่ทำให้แม่พิมพ์เสียหาย จากนั้นแบ่งแม่พิมพ์เป็นส่วนด้านหน้าและด้านหลัง โดยแต่ละด้านจะกันด้วยดินน้ำมันเพื่อให้่ายต่อการแยกออกจากกัน
4. เมื่อปูนแห้งสนิทเป็นที่ยอมรับแล้วใช้เลื่อยตัดแบ่งแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ออกเป็นสองด้าน
5. นำหุ่นจำลองต้นแบบออกและตกแต่งแม่พิมพ์ให้เรียบร้อย
6. ประกอบแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์เข้าด้วยกัน พร้อมทั้งอุดรอยร้าว
7. ทำการสร้างปอดจำลองด้วยต้นแบบจากโฟมและสร้างแม่พิมพ์ปอดจำลองด้วยซิลิโคนและปูนปลาสเตอร์ จากนั้นหล่อแบบด้วยวิธีการเดียวกันกับลำตัวหุ่นจำลองแต่ใช้สูตรการผสมแบบยางพองน้ำ (ประกายมณีวงศ์, et al., 2552)
8. แม่พิมพ์ที่เตรียมได้ในขั้นตอนนี้จะถูกใช้ในการสร้างหุ่นจำลองทรวงอกและปอดจำลองด้วยน้ำยางพาราที่ได้ผสมสารเคมีตามสูตรที่ได้พัฒนาขึ้นในขั้นตอนต่อไป

4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาสูตรและเทคนิคการทำยางคงรูปสำหรับการทำหุ่นจำลองจากยางพารา

การพัฒนาหุ่นจำลองทางรังสีรักษาสำหรับฝึกทักษะการวางแผนการรักษามะเร็งเต้านมในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ยางพาราเพื่อพัฒนาหุ่นจำลอง โดยใช้กระบวนการผลิตยางพองน้ำด้วยวิธีต้นลอปซึ่งมีขั้นตอนที่ประกอบด้วย การเตรียมสารเคมีและการผสมสารเคมีกับน้ำยาง การตีฟอง (Foaming) การขึ้นรูปในเบ้าพิมพ์และทำให้เป็นเจล (Moulding and gelation) และการทำให้ฟองยางคงรูป ล้าง อบแห้ง และตกแต่ง (Vulcanising, washing, drying and finishing)

1. การเตรียมสารเคมีสำหรับใช้เติมน้ำยางพาราเพื่อการทดสอบคุณสมบัติของยางพารา

จากการศึกษางานวิจัยของพรทิพย์ ประกายมณีวงศ์ และคณะ (ประกายมณีวงศ์, et al., 2552) ระบุไว้ว่าการเตรียมสารเคมีที่ใช้เติมน้ำยางพารานั้นจะต้องเตรียมให้อยู่ในรูปของของเหลวก่อนการนำไปใช้ โดยการเตรียมสารเคมีให้อยู่ในรูปของของเหลวนั้นจะขึ้นกับสถานะของสารนั้นๆ โดยหากสารเคมีสามารถละลายน้ำได้ให้เตรียมสารเคมีให้อยู่ในรูปของสารละลาย (solution) ถ้าสารเคมีเป็นของแข็งที่ไม่สามารถละลายน้ำให้เตรียมในรูปที่เป็นสารที่กระจายตัวในน้ำ (dispersion) โดยอัตราส่วนสารเคมีและน้ำยางขึ้นมีสูตรมาตรฐานดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงสูตรที่ใช้เตรียมตัวอย่างยางพองน้ำ (ประกายมณีวงศ์, et al., 2552)

รายการ	น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนักแห้ง(phr)	น้ำหนักเปียก(กรัม)
1	60%น้ำยางข้น	100	167
2	10% โพแทสเซียมโอเลต(K-Oleate)	1.5	15.0
3	50% กำมะถัน (Sulfur)	2.0	4.0
4	50% แซดอีดีซี (ZEDC)	1.0	2.0
5	50% แซดเอ็มบีที (ZMBT)	1.0	2.0
6	50% วิงสเตย์แอล (WingStay L)	1.0	2.0
7	50% ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)	5.0	10.0
8	33% ดีพีจี(DPG)	0.67	2.0
9	12.5% เอสเอสเอฟ (SSF)	1.0	8.0

น้ำยางพาราและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1. น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia concentrated natural rubber) มีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 60%
2. สารละลายโพแทสเซียมโอเลต (Potassium Oleate solution) เตรียมอยู่ในรูปสารละลาย 10% (w/v) โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดโอเลอิก
3. กำมะถัน (Sulphur, S) เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางเป็นสารวัลคาไนซ์ ทำหน้าที่เป็นสารคงรูป ใช้ในรูป 50% ดิสเพสชัน
4. ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต (Zinc-N-diethyldithiocarbamate, ZDEC) ใช้ในอุตสาหกรรมยางทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง เป็นสารตัวเร่งที่เร็วที่สุดใช้ในรูป 50% ดิสเพสชัน
5. ซิงค์เมอแคปโทเบนโซไทอาโซล (Zinc-2-mercaptobenzothiazole, ZMBT) ใช้ในอุตสาหกรรมยางเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเสริม (Secondary accelerator) เป็นสารตัวเร่งปกติ ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง ใช้ในรูป 50% ดิสเพสชัน
6. แอนติออกซิแดนซ์ชนิด Wingstay L เป็นสารป้องกันยางเสื่อม เตรียมอยู่ในรูป 50% ดิสเพสชัน
7. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ใช้สำหรับเป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ใช้ในรูป 50% ดิสเพสชัน
8. ไดฟีนิลกวานิดีน (Diphenyl guanidine, DPG) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยการเกิดเจลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เป็นสารตัวเร่งที่ช้า ใช้ในรูป 33% ดิสเพสชัน
9. โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodiumsilicofluoride, SSF) ทำหน้าที่เป็นสารทำให้เกิดเจล ใช้ในรูป 25% ดิสเพสชัน

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องปั่นขนาดเล็ก แบบปรับระดับได้ 5 ระดับ ใช้สำหรับปั่นน้ำยางให้เกิดฟอง
- 2) เครื่องปั่นขนาดใหญ่
- 3) เบ้าพิมพ์ (Mold) ปูนพลาสติก
- 4) เตาอบลมร้อน
- 5) เตาตั้งระบบไอน้ำ
- 6) เครื่องชั่ง แบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 7) แบบพิมพ์หุ่นจำลอง

2. กระบวนการเตรียมฟองน้ำ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาสูตรยางที่ต้องการสำหรับขึ้นรูปหุ่นจำลองทรวงอกทางรังสีรักษาซึ่งได้มีการพัฒนาสูตรยางขึ้นจากการประเมินความต้องการและพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยประเมินจากชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้น จำนวน 4 สูตร ดังต่อไปนี้

สูตรที่ 1 K-Oleate (สารลดแรงตึงผิว) ความเข้มข้น 10% w/w จำนวน 8.98 กรัม

สูตรที่ 2 ไม่เติมสารเพิ่มฟอง

สูตรที่ 3 NaHCO_3 ความเข้มข้น 4% w/w จำนวน 24.95 กรัม

สูตรที่ 4 NH_4HCO_3 ความเข้มข้น 4% w/w จำนวน 24.95 กรัม

โดยสัดส่วนของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้เตรียมในสูตรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงสัดส่วนปริมาณน้ำยางและสารเคมีสำหรับใช้เตรียมตัวอย่างชิ้นงานยางทั้ง 4 สูตร

น้ำยางและสารเคมี	ความเข้มข้น (%w/w)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
น้ำยางข้น	60	167.0
กำมะถัน (Sulfur)	50	8.0
แซดอีดีซี (ZEDC)	50	4.0
แซดเอ็มบีที (ZMBT)	50	4.0
วิงสเตย์แอล (WingStay L)	50	4.0
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)	50	20.0
ดีพีจี (DPG)	33	4.0
เอสเอสเอฟ (SSF)	12.5	8.0

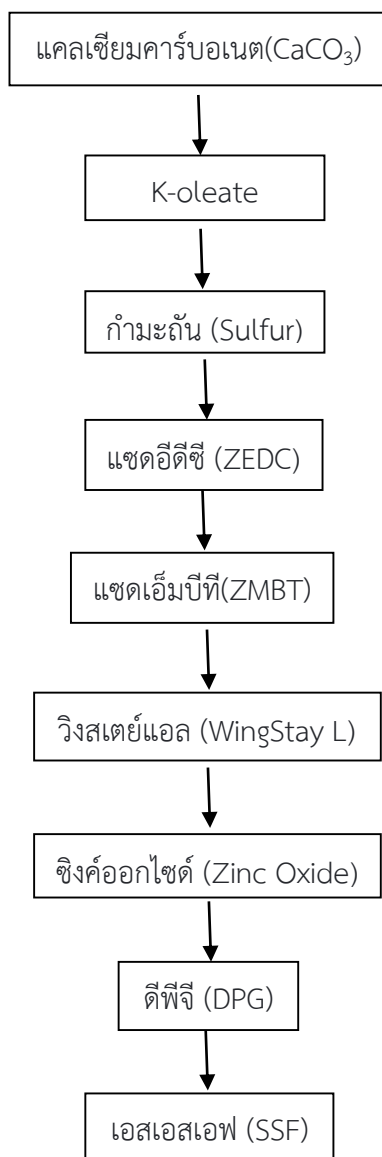
จากผลการประเมินความต้องการและความพึงพอใจหุ่นจำลองของผู้ปฏิบัติงานจริงทางด้านการความยืดหยุ่น การคืนรูปของชิ้นงานและผิวสัมผัส พบว่าชิ้นงานตัวอย่างขั้นที่ 1 มีผลประเมินความพึงพอใจที่ดีที่สุดแสดงดังภาคผนวกที่ 1 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาสูตรจากสูตรของชิ้นงานดังกล่าว เพื่อเตรียมหุ่นจำลองและปอดจำลองสำหรับใส่ลงไปในตัวหุ่น โดยมีสัดส่วนของสารเคมีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งสูตรโพลิเมอร์สำหรับหุ่นจำลองทรวงอกนี้ได้มีการลดปริมาณของการใช้สารละลายโพแทสเซียมโอเลตจากสูตรเดิม (ตารางที่ 4) และมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไป เพื่อให้หุ่นจำลองมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและมีความแข็งแรงของยางตามระดับที่ต้องการให้มีลักษณะความยืดหยุ่นคล้ายกับผิวหนังและเต้านมในเพศหญิง

ตารางที่ 5 แสดงสัดส่วนปริมาณน้ำยางและสารเคมีต่างๆ ที่ใช้เตรียมหุ่นจำลองและปอด

น้ำยางและสารเคมี	ความเข้มข้น (%w/w)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	
		ทรวงอก	ปอด
น้ำยางข้น	60	167.0	167.0
โพแทสเซียมโอเลต (Potassium Oleate)	10	2.25	4.49
กำมะถัน (Sulfur)	50	8.0	8.0
แซดอีดีซี (ZEDC)	50	4.0	4.0
แซดเอ็มบีที (ZMBT)	50	4.0	4.0
วิงสเตย์แอล (WingStay L)	50	4.0	4.0
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)	50	20.0	20.0
ดีพีจี (DPG)	33	4.0	4.0
เอสเอสเอฟ (SSF)	12.5	8.0	8.0
แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate)	50	29.94	-

ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีผสมในยางพาราเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการสำหรับการสร้างหุ่นยางพารามีดังต่อไปนี้

- 2.1 ตวงน้ำยางธรรมชาติที่มีความเข้มข้น 60% w/w และสารเคมีต่างๆ ดังตารางที่ 5
- 2.2 เทน้ำยางใส่เครื่องปั่น แล้วทำการปั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกจากน้ำยางพารา เป็นเวลาประมาณ 10 นาที
- 2.3 เติมสารเคมีที่เตรียมไว้พร้อมกับปั่นด้วยเครื่องปั่น ตามลำดับดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงขั้นตอนและลำดับการใส่สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมหุ่นและปอดจำลอง

- 2.4 เมื่อผสมน้ำยางพาราและสารเคมีเข้าด้วยกันแล้วเทของผสมที่ได้ลงในแม่พิมพ์ปูนพลาสติกของปอดจำลอง โดยปอดจำลองที่ได้จะถูกนำไปใส่ไว้ในแม่พิมพ์หุ่นจำลองทรวงอกแสดงดังภาพที่ 15 ยกเว้นแคลเซียมคาร์บอเนตไม่มีการเติมลงในน้ำยางพาราสำหรับทำปอดจำลองเนื่องจากต้องการให้ปอดจำลองมีความหนาแน่นต่ำเหมือนปอดมนุษย์จริง
- 2.5 จากนั้นทำการคงรูปด้วยความร้อนในเตานิ่งอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง จนกระทั่งยางสุก เวลาที่ใช้ในการนึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน
- 2.6 นำปอดจำลองยางพาราที่เตรียมได้ มาล้างด้วยน้ำอุ่นเพื่อล้างสารเคมีที่ตกค้าง จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 6-8 ชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการอบขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน
- 2.7 การสร้างหุ่นจำลองเริ่มจากการผสมน้ำยางพาราและสารเคมีต่างๆ ตามสัดส่วนดังตารางที่ 5 เช่นเดียวกับการทำปอดจำลอง โดยเทน้ำยางพาราผสมสารเคมีต่างๆ ที่เข้ากันดีแล้วลงในแม่พิมพ์ปูนพลาสติกของหุ่นจำลองทรวงอกที่ใส่ปอดจำลองไว้แล้ว และเทของผสมน้ำยางลงในแม่พิมพ์ทรวงอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร และแม่พิมพ์สี่เหลี่ยมขนาด 25x25 เซนติเมตร เพื่อเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติต่างๆ
- 2.8 ทำการคงรูปหุ่นจำลองและชิ้นงานตัวอย่างยางพาราด้วยความร้อนเช่นเดียวกับปอดจำลอง ตามขั้นตอนในข้อที่ 2.5-2.6
- 2.9 หุ่นจำลองที่ได้ นำมาตกแต่งโดยการตัดและขลิบยางด้านข้างออก เติมน้ำให้มีความสมจริง
- 2.10 ชิ้นงานยางตัวอย่างที่เตรียมได้ในข้อ 2.7 นำมาหาค่าความหนาแน่นของยางพาราในหน่วย กรัมต่อมิลลิเมตร



ภาพที่ 15 แสดงขั้นตอนในการเตรียมปอดจำลองและหุ่นจำลอง

4.3.4 ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อนและความหนาแน่น ตามมาตรฐานสากล

คำนวณหาค่าความหนาแน่นและวิเคราะห์สมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนตามมาตรฐานสากล สำหรับชิ้นงานตัวอย่างยางพาราที่เตรียมขึ้นโดยใช้สัดส่วนน้ำยางพารา สารเคมีและการอบให้ความร้อนเช่นเดียวหุ่นจำลองในข้อ 4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 ข้อที่ 2.7 โดยสมบัติเชิงกลของยางพาราที่ต้องการสำหรับสร้างหุ่นจำลองทรวงอกพิจารณาจากค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

ความแข็ง (hardness) = 10.17 Shore A

การทนแรงดึง (Tensile strength) : Stress = 238.40 kN/m², Strain = 0.7446

การทนแรงอัด (Compression set) = 7.63%

ความยืดหยุ่น Elasticity = 320.53 kN/m²

ค่าที่ใช้อ้างอิงเหล่านี้เป็นค่าที่ได้จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างยางที่ได้จากการประเมินความพึงพอใจชิ้นงานซึ่งเตรียมขึ้นในสูตรที่ 1 ซึ่งแสดงในขั้นตอนที่ 3 เนื่องมาจากเป็นชิ้นงานตัวอย่างยางที่ผู้ใช้งานได้ให้ผลการประเมินความต้องการและความพึงพอใจมากที่สุด ดังนั้นจึงนำค่าของสมบัติเชิงกลชิ้นงานนี้มาเป็นค่ามาตรฐานขั้นต่ำ เหตุผลที่เลือกใช้ค่าอ้างอิงมาตรฐานจากชิ้นงานตัวอย่าง

ยางที่เตรียมได้นี้ เนื่องจากหุ่นจำลองที่มีขายในเชิงพาณิชย์และมีการนำมาใช้งานในปัจจุบันนี้เป็น หุ่นจำลองที่ทำจากวัสดุพวกเทอร์โมพลาสติกดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

สำหรับคุณสมบัติของเนื้อเยื่อ (Soft tissue) เต้านม (Breast) และเนื้อเยื่อปอด (Lung) ที่ต้องการพิจารณาจากค่าที่ประเมินด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) ดังต่อไปนี้

ค่าความสม่ำเสมอ (Uniformity) อยู่ในช่วง ± 10 HU

ค่าความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดภาพ (Subject Contrast) $\geq 0.5\%$

4.3.4.1 ความหนาแน่น

นำชิ้นงานตัวอย่างยางทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตรที่เตรียมได้จาก 4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 ข้อที่ 2.7 มาชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง วัดความกว้างและความยาวของชิ้นตัวอย่างโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Calipers) จากนั้นจะได้ค่าความหนาแน่นทั้งหมด 5 ค่า หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความหนาแน่นของชิ้นยางในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรคำนวณจากสมการ

$$D = M/V$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่น (Density) หน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

M คือ น้ำหนักชิ้นงานตัวอย่าง หน่วย กรัม

V คือ ปริมาตรชิ้นงานตัวอย่าง หน่วย ลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3.4.2 ความแข็ง (Hardness) ทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) D2240-03 (ASTM, 2003b)

นำชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมได้จาก 4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 ข้อที่ 2.7 จำนวน 5 ชิ้น มาทดสอบหาค่าความแข็งด้วยเครื่อง Durometer Hardness Tester แสดงดังภาพที่ 16 คำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 16 แสดงชิ้นงานและเครื่องมือทดสอบความแข็ง

4.3.4.3 การทนแรงดึง (Tensile strength) ทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM)

การทดสอบการทนแรงดึงใช้วิธีการทดสอบด้วยเครื่อง Tensile Testing แสดงดังภาพที่ 17 โดยการเตรียมชิ้นงานให้อยู่ในรูปดัมเบลจำนวน 7 ชิ้นแสดงดังภาพที่ 18 ชิ้นงานดังกล่าวจะถูกดึงด้วยความเร็ว 5 mm/min load cell 1 kN ด้วยแรงดึง 0.2 kN จากนั้นรายงานผลด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) และค่ามอดูลัสที่จุดขาด (Modulus at Break)



ภาพที่ 17 แสดงเครื่องมือทดสอบการทนแรงดึง



ภาพที่ 18 แสดงชิ้นงานรูปดัมเบลสำหรับทดสอบการทนแรงดึง

4.3.4.4 การทนแรงอัด (Compression set) ทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) D395-03 (ASTM, 2003a)

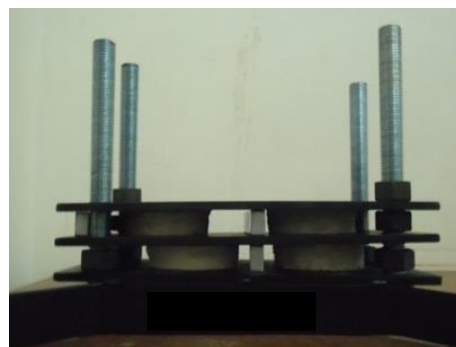
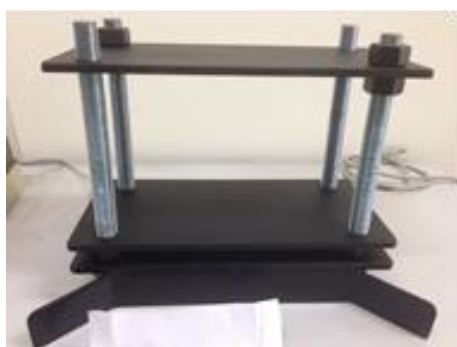
วิธีการทดสอบการทนแรงกดอัดตาม ASTM D395-03 นั้นจะคล้ายคลึงกับการทดสอบความสามารถของการทนแรงกดอัดของชิ้นงานยางมาตรฐาน มอก.173-2519 โดยนำชิ้นงานตัวอย่างวางบริเวณกลางฐานของเครื่องกดแสดงดังภาพที่ 19 แล้วเพิ่มแรงกดจนความหนาของชิ้นงานลดลงจากความหนาเดิมร้อยละ 50% จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบและเอาแรงกดอัดออกจากชิ้นงานทดสอบ จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงวัดความสูงของชิ้นงานตัวอย่างหลังจากการกดอัด คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวหลังจากการได้รับแรงกดอัด จากสมการข้างล่างนี้ ซึ่งจะใช้ชิ้นงานตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 6

เซนติเมตร ที่เตรียมได้จาก 4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 ข้อที่ 2.7 จำนวน 5 ชิ้นงานในการทดสอบ แล้วคำนวณ หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\% \text{ การยุบตัวหลังการได้รับแรงกดอัด} = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100$$

เมื่อ A = ความสูงของโฟมยางก่อนกด (cm)

B = ความสูงของโฟมยางหลังกด (cm)



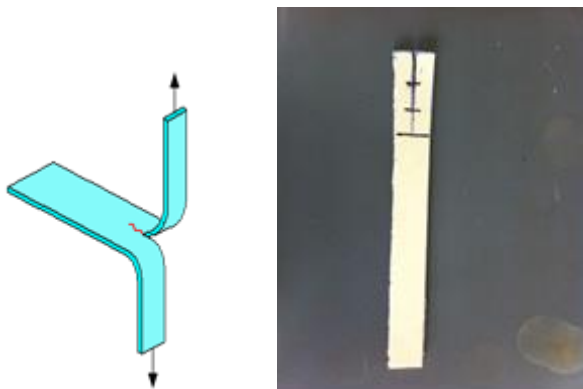
ภาพที่ 19 แสดงเครื่องมือการทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงกดอัด มอก. 173-2519

4.3.4.5 ทดสอบทนแรงฉีกขาด โดยทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) D624-00

การทดสอบการทนแรงฉีกขาดใช้การทดสอบด้วยเครื่อง Tensile Testing แสดงดังภาพที่ 20 โดยเตรียมชิ้นงานให้อยู่ในรูป Trouser Test Specimen จำนวน 7 ชิ้น แสดงดังภาพที่ 21 ชิ้นงานจะถูกดึงด้วยความเร็ว 20 mm/min load cell 1 kN ใช้แรงดึง 0.2 kN จากนั้นรายงานผลด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า Tear Strength



ภาพที่ 20 แสดงเครื่องมือ Tensile Testing



ภาพที่ 21 แสดง Trouser Test Specimen สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องมือ Tensile Testing

4.3.4.6 ทดสอบสมบัติเชิงความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

นำชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมได้จาก 4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 ข้อที่ 2.7 มาทดสอบหาค่า glass transition (T_g) ด้วย Differential Scanning Calorimetry (DSC) แสดงดังภาพที่ 22 โดยมีสภาวะในการทดสอบดังนี้ ขั้นแรกลดอุณหภูมิจาก $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ไปที่อุณหภูมิ $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยอัตราเร็ว $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน จากนั้นขั้นตอนที่สองทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ไปที่อุณหภูมิ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยอัตราเร็ว $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเช่นกัน



ภาพที่ 22 แสดง Sample crucibles, crucible sealing press and Differential Scanning Calorimetry (DSC)

4.3.4.7 การศึกษาคุณสมบัติของหุ่นจำลองทรวงอกจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

การประเมินคุณสมบัติการแสดงความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของตัวกลางในการแยกแยะอวัยวะต่างๆ ในภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Jerry L. Prince & Links, 2006; Sprawls, 1995) โดยภาพที่แสดงให้เห็นความแตกต่างของตัวกลางในหุ่นจำลองสูงจะช่วยให้แพทย์สามารถแยกแยะตำแหน่งของอวัยวะที่สำคัญภายในได้อย่างชัดเจน วิธีการทดสอบประกอบด้วย

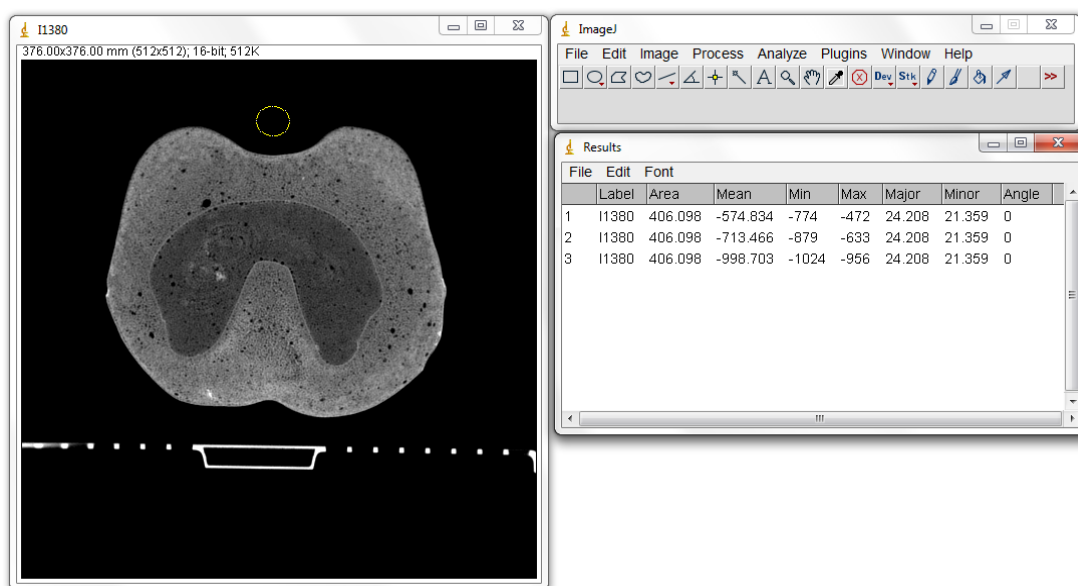
1. นำหุ่นจำลองทรวงอกไปสแกนด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 16 สไลด์ (บริษัท Philips รุ่น Brilliance Big Bore) ด้วยค่าความต่างศักย์หลอด 120 กิโลวัตต์ และค่ากระแสหลอดคูณเวลา 300 มิลลิแอมแปร์วินาที
2. นำภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของหุ่นจำลองทรวงอกที่ได้มาทำการวัดค่า HU ของตัวกลางที่สนใจ ได้แก่ เนื้อเยื่อ ปอดและอากาศ ด้วยโปรแกรม ImageJ โดยกำหนดพื้นที่ในการวัดขนาด 20×20 ตารางมิลลิเมตร ดังภาพที่ 23
3. ทำการสุ่มภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ทรวงอกของผู้ป่วยจริงที่มามีการถ่ายภาพเพื่อจำลองการรักษา มาวัดค่า HU ด้วยวิธีการเดียวกับขั้นตอนที่ 2 ดังภาพที่ 23
4. บันทึกค่า HU ที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งจากนั้นนำมาคำนวณหาค่าร้อยละของความขาว-ดำของตัวกลางภายในหุ่นจำลองทรวงอกและในผู้ป่วยจริงดังสมการ (2)

$$C = \left(\frac{I_t - I_b}{I_b} \right) \times 100$$

เมื่อ C คือ ร้อยละของความขาว-ดำของตัวกลางที่สนใจ

I_t คือ ค่าเลข HU ของตัวกลางที่สนใจ

I_b คือ ค่าเลข HU ของอากาศ

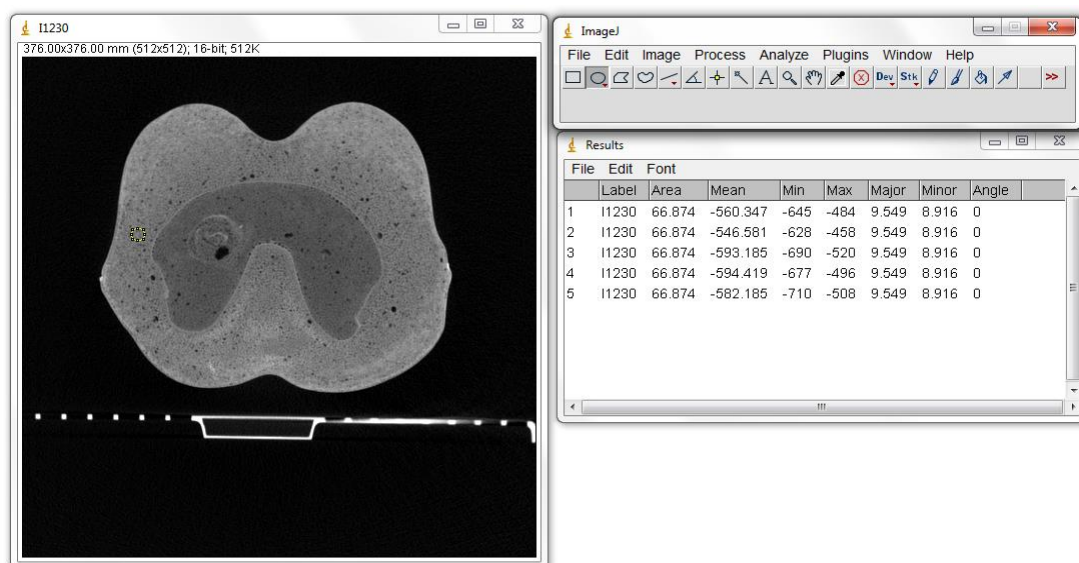


ภาพที่ 23 การวัดเพื่อหาค่าเลขซีทีด้วยโปรแกรม Image J ในบริเวณที่สนใจบนภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์หุ่นจำลองทรวงอก

การประเมินความสม่ำเสมอในภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของหุ่นจำลอง

การทดสอบความสม่ำเสมอ(Uniformity) (AAPM, 2002) ภายในภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำมาใช้เพื่อประเมินคุณภาพของหุ่นจำลองทรวงอกที่สร้างขึ้นในด้านความเป็นเนื้อเดียวกันของโครงสร้างภายใน โดยเนื้อเยื่อพาราที่ได้จากสูตรที่ใช้ในการพัฒนาหากมีความเป็นเนื้อเดียวกันสูง การลดทอนรังสีของเนื้อเยื่อพาราจะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อนำข้อมูลมาสร้างภาพภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จะได้ภาพที่มีความดำสม่ำเสมอหรือมีค่า HU ภายในภาพใกล้เคียงกัน วิธีการทดสอบความสม่ำเสมอของภาพหุ่นจำลองประกอบด้วย

1. การนำหุ่นจำลองทรวงอกไปสแกนด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ 16 สไลด์ (บริษัท Philips รุ่น Brilliance Big Bore) ด้วยค่าความต่างศักย์หลอด 120 กิโลวัตต์ และค่ากระแสหลอดคูณเวลา 300 มิลลิแอมแปร์วินาที
2. นำภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของหุ่นจำลองทรวงอกที่ได้มาทำการวัดค่า HU ด้วยโปรแกรม Image J ในบริเวณที่สนใจ (Region of interest) บนภาพจำนวน 5 จุด โดยกำหนดพื้นที่ในการวัดขนาด 66 ตารางมิลลิเมตรแสดงดังภาพที่ 24
3. บันทึกค่าเลขซีทีที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งจากนั้นนำมาคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของค่า HU ในบริเวณที่สนใจเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง



ภาพที่ 24 การวัดเพื่อหาค่าเลขซีทีด้วยโปรแกรม ImageJ ในบริเวณที่สนใจบนภาพเอกซเรย์
คอมพิวเตอร์หุ่นจำลองทรวงอก

4.3.5 ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบการทนต่อรังสีของหุ่นยางพารา

นำชิ้นงานตัวอย่างยางพาราที่เตรียมได้จาก 4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 ข้อที่ 2.7 ซึ่งเป็นยางสูตรเดียวกับหุ่นจำลองมาทดสอบสมบัติของยางพาราเมื่อได้รับปริมาณรังสีระดับต่างๆ โดยนำชิ้นงานตัวอย่างนี้ไปฉายรังสีด้วยเครื่องเร่งอนุภาค (LINAC) พลังงาน 6 MV ด้วยอัตราปลดปล่อยรังสี 300 cGy/MU และปริมาณรังสีในช่วง 200-1,000 cGy ดังแสดงในภาพที่ 25 จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยการสังเกต ทดสอบสมบัติเชิงกล และทดสอบสมบัติเชิงความร้อน โดยมีวิธีทำเช่นเดียวกับใน 4.3.4 ขั้นตอนที่ 4



ภาพที่ 25 การฉายรังสีตัวอย่างชิ้นงานด้วยเครื่องเร่งอนุภาค (LINAC) พลังงาน 6 MV ด้วยปริมาณรังสีในช่วง 200-1,000 cGy

4.3.6 ขั้นตอนที่ 6 การทดสอบประยุกต์ใช้งาน ประเมินคุณภาพและความพึงพอใจการใช้งานของหุ่นจำลอง

ทำการทดสอบประยุกต์ใช้งาน ประเมินคุณภาพและความพึงพอใจการใช้งานหุ่นจำลอง โดยใช้แบบประเมินในภาคผนวก กำหนดระดับความพึงพอใจไม่น้อยกว่า 3.00 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การทดลองประยุกต์ใช้งานและประเมินผลความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกสำหรับการจำลองและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมโดยนักรังสีการแพทย์ นักฟิสิกส์การแพทย์และแพทย์ในด้านการประยุกต์ใช้ที่แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลพุทธชินราช และโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 26 คน

2. การประเมินความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมสำหรับการเรียนการสอนวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมโดยนิสิตสาขารังสีเทคนิค ชั้นปีที่ 4 คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน 40 คน

เกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมิน เกณฑ์การแปลความหมายของค่าเฉลี่ยโดยใช้เกณฑ์สัมบูรณ์ (Absolute Criteria) (บุญชม ศรีสะอาด, 2554) ดังต่อไปนี้

ระดับการประเมินความพึงพอใจแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ระดับ 4 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ระดับ 3 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับพอใช้

ระดับ 1 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

การพิจารณาผลการประเมินความพึงพอใจ พิจารณาจากมาตราส่วนดังนี้

คะแนน	4.51- 5	หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด
คะแนน	3.51-4.50	หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
คะแนน	2.51-3.50	หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
คะแนน	1.51 -2.50	หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับพอใช้
คะแนน	1 -1.50	หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

5. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

5.1 ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบหุ่นจำลองทรวงอกในเพศหญิง

ผลการออกแบบหุ่นจำลองทรวงอกโดยอ้างอิงขนาดตามมาตรฐานที่พบในหญิงไทย และหุ่นจำลองมาตรฐานทางรังสีรักษาชนิด Alderson Rando Phantom ด้วยการปรับรูปร่างหุ่นลง เสื่อพลาสติกด้วยดินน้ำมันชนิดพิเศษที่มีเนื้อละเอียดทำให้ได้สัดส่วนแม่แบบของหุ่นจำลองทรวงอกและ เต้านมดังต่อไปนี้ รอบอก 34 นิ้ว รอบเอว 26 นิ้ว และรอบสะโพก 34 นิ้ว แสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แสดงแม่แบบหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านม

5.2 ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมแม่พิมพ์และหล่อแบบหุ่นจำลองทางรังสีรักษา

แม่พิมพ์หุ่นจำลองทรวงอกที่ได้จากการออกแบบทำจากซิลิโคนและปูนปลาสเตอร์เพื่อใช้ในการเทหล่ออย่างพาราแสดงดังภาพที่ 27 สำหรับการสร้างแม่พิมพ์ซิลิโคนและปูนปลาสเตอร์ของปอดจำลองอย่างพาราแสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 27 แสดงการสร้างแบบหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมด้วยซิลิโคนและปูนปลาสเตอร์



ภาพที่ 28 แสดงการสร้างแบบแม่พิมพ์ซิลิโคนและปูนปลาสเตอร์สำหรับสร้างปอดจำลองยางพารา

5.3 ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาสูตรและเทคนิคการทำยางคงรูปสำหรับการทำหุ่นจำลองจากยางพารา

หุ่นจำลองทรวงอกสำหรับฝึกทักษะการวางแผนการรักษาแม่เร้งเต้านมในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำยางพาราเป็นองค์ประกอบหลัก โดยใช้กระบวนการผลิตยางพองน้ำด้วยวิธีดันลอปซึ่งประกอบด้วย การเตรียมสารเคมี การผสมสารเคมีกับน้ำยาง การตีฟอง (Foaming) การขึ้นรูปในเบ้าพิมพ์และทำให้เป็นเจล (Moulding and gellation) และการทำให้ฟองยางคงรูป ล้าง อบแห้ง และตกแต่ง (Vulcanising, washing, drying and finishing) โดยมีสัดส่วนของน้ำยางพาราและสารเคมีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5 สูตรโพนยางสำหรับหุ่นจำลองทรวงอกและปอดจำลองที่ใช้ในการสร้างหุ่นจำลองครั้งนี้ทำการลดปริมาณของการใช้สารละลายโพแทสเซียมโอเลตจากสูตรเดิม (ตารางที่ 4) และมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อให้หุ่นจำลองมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ความแข็งของยางตามระดับที่ต้องการนั้นให้มีลักษณะความยืดหยุ่นคล้ายกับผิวหนังและเต้านมในเพศหญิง

ผลการสร้างหุ่นจำลองทรวงอก

หุ่นจำลองทรวงอกที่สร้างขึ้นมีรูปร่างและลักษณะตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม สัดส่วนดังต่อไปนี้ รอบอก 34 นิ้ว รอบเอว 26 นิ้ว และรอบสะโพก 34 นิ้ว ความกว้างระหว่างไหล่ 15 นิ้ว ความสูงจากคอถึงสะโพก 18 นิ้ว ภายในบรรจุปอดจำลองตามลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์แสดงดังภาพที่ 37



ภาพที่ 29 แสดงหุ่นจำลองทรวงอกที่ภายในบรรจุปอดจำลอง

5.4 ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อน และขั้นตอนที่ 5 การทดสอบการทนต่อรังสีของหุ่นยางพารา

สูตรยางที่ได้พัฒนาขึ้นในการสร้างหุ่นจำลองได้มีการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างยางเพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ด้วยสูตรยางเดียวกันตามตารางที่ 5 และใช้เทคนิคในการทำให้เป็นโฟมยางเช่นเดียวกัน ดังที่ได้แสดงรายละเอียดในวิธีดำเนินการวิจัย 4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 ซึ่งในการทดสอบสมบัติแต่ละค่านั้นได้อธิบายรายละเอียดในการเตรียมชิ้นงาน จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ และวิธีการคำนวณไว้ใน 4.3.4 ขั้นตอนที่ 4 แล้วและเพื่อให้เป็นการง่ายไม่ยุ่งยากในการเรียกชื่อชิ้นงานตัวอย่าง จึงได้มีการกำหนดชื่อใช้แทนชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมขึ้นแสดงดังตารางที่ 6

ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นได้ถูกนำมาทดสอบการทนต่อรังสีด้วยการนำชิ้นงานตัวอย่างไปทำการฉายรังสีด้วยเครื่องเร่งอนุภาค (LINAC) พลังงาน 6 MV ด้วยปริมาณรังสีตั้งแต่ 200-1,000 cGy ดังในตารางที่ 7 ซึ่งแสดงภาพถ่ายชิ้นงานตัวอย่างยางก่อนและหลังการฉายรังสีปริมาณต่างๆ พบว่าชิ้นงานตัวอย่างยางยังมีสีเหลืองนวล โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการรับปริมาณรังสีถึง 1,000 cGy ซึ่งปริมาณความร้อนที่เกิดจากการฉายรังสีมีค่าเพียงเล็กน้อย จึงไม่มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเมื่อพิจารณาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ยางที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

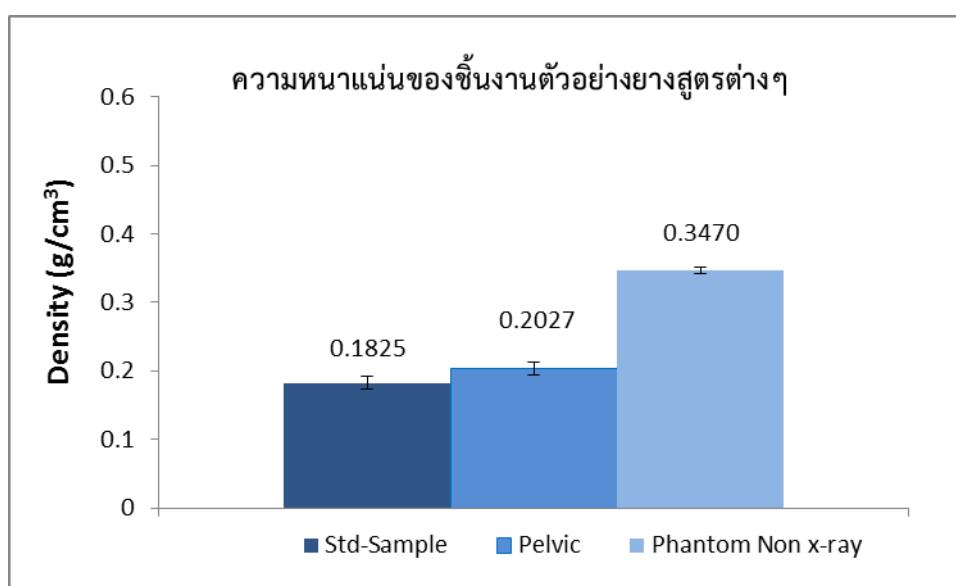
ตารางที่ 6 รายละเอียดตัวอย่างของชื่อที่ใช้แทนตัวอย่างที่แสดงในกราฟและตารางบอกค่าสมบัติต่างๆ

ชื่อใช้แทนตัวอย่าง	รายละเอียดตัวอย่าง
Std- Sample	ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นจากการพัฒนาสูตรยางโดยใช้ K-oleate ดังตารางที่ 4 ซึ่งเป็นชิ้นงานที่ 1 ที่ได้ผลการประเมินคุณภาพ และความพึงพอใจจากผู้ใช้งานมากที่สุด
Lung	ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นจากสูตรยางของปอดจำลองดังตารางที่ 5
Phantom Non x-ray	ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นจากสูตรยางของหุ่นจำลองดังตารางที่ 5 ไม่ได้ฉายรังสี
x-ray 200 cGy	ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นจากสูตรยางของหุ่นจำลองดังตารางที่ 5 มีการฉายรังสี ปริมาณ 200 cGy
x-ray 400 cGy	ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นจากสูตรยางของหุ่นจำลองดังตารางที่ 5 มีการฉายรังสี ปริมาณ 400 cGy
x-ray 600 cGy	ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นจากสูตรยางของหุ่นจำลองดังตารางที่ 5 มีการฉายรังสี ปริมาณ 600 cGy
x-ray 800 cGy	ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นจากสูตรยางของหุ่นจำลองดังตารางที่ 5 มีการฉายรังสี ปริมาณ 800 cGy
x-ray 1000 cGy	ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นจากสูตรยางของหุ่นจำลองดังตารางที่ 5 มีการฉายรังสี ปริมาณ 1000 cGy

ตารางที่ 7 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานตัวอย่างยางก่อนและหลังการฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆ

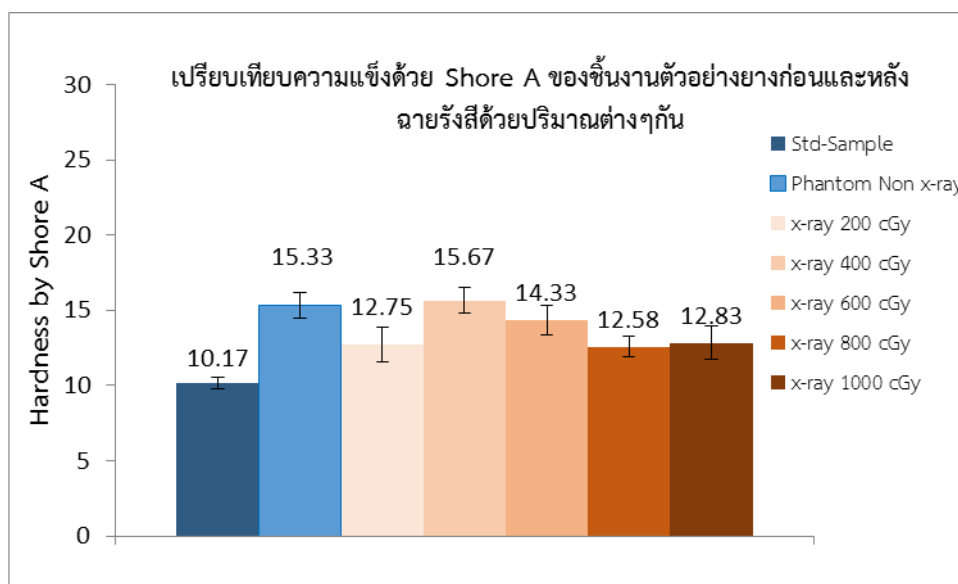
ตัวอย่าง	Phantom Non x- ray	x-ray 200 cGy	x-ray 400 cGy	x-ray 600 cGy	x-ray 800 cGy	x-ray 1000 cGy
ภาพถ่าย						
ลักษณะที่สังเกตเห็น	ผิวเรียบ สีเหลืองนวล	ผิวเรียบ สีเหลืองนวล	ผิวเรียบ สีเหลืองนวล	ผิวเรียบ สีเหลืองนวล	ผิวเรียบ สีเหลืองนวล	ผิวเรียบ สีเหลืองนวล

สำหรับค่าความหนาแน่นชิ้นงานตัวอย่างยาง พบว่า Phantom non x-ray ที่เตรียมได้จากสูตรยางที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้เตรียมหุ่นจำลองจะมีค่าสูงสุดแสดงดังภาพที่ 30 เนื่องจากการลดปริมาณสารลดแรงตึงผิวโฟแทสเซียมโอเลต ทำให้การเกิดฟองในเนื้อยางมีปริมาณลดลงและจากการเติมสารตัวเติม แคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีผลโดยตรงที่ทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างยางนี้เพิ่มขึ้น



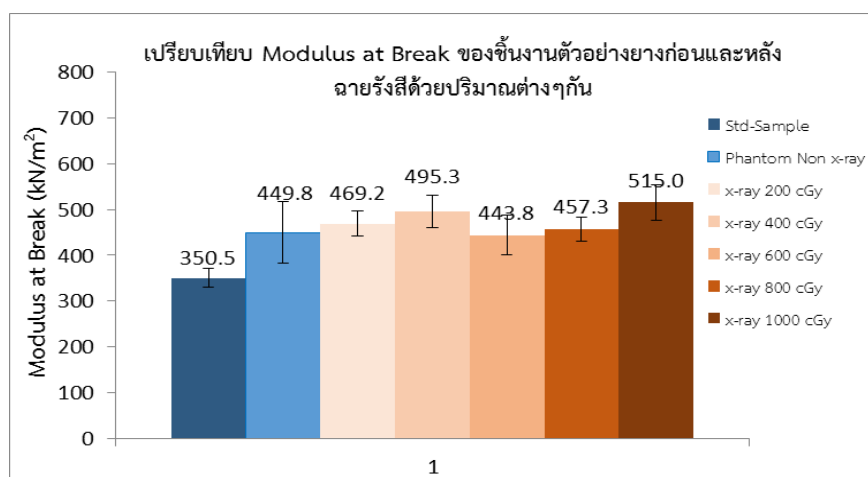
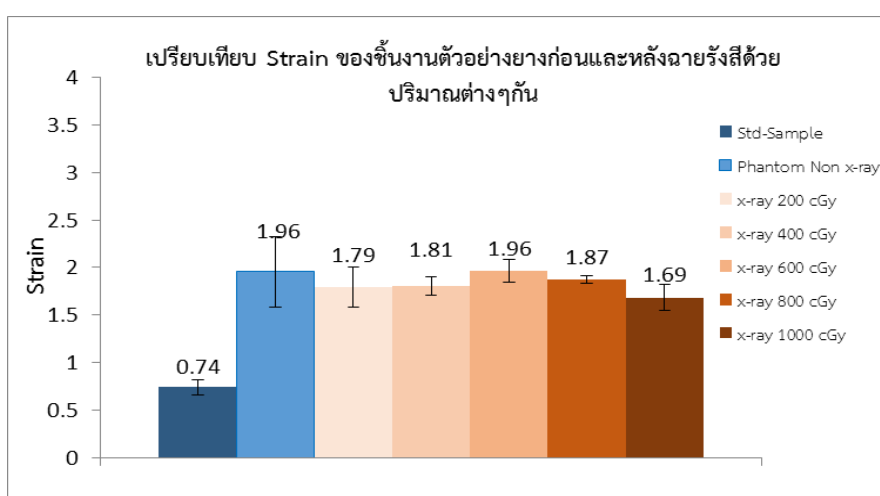
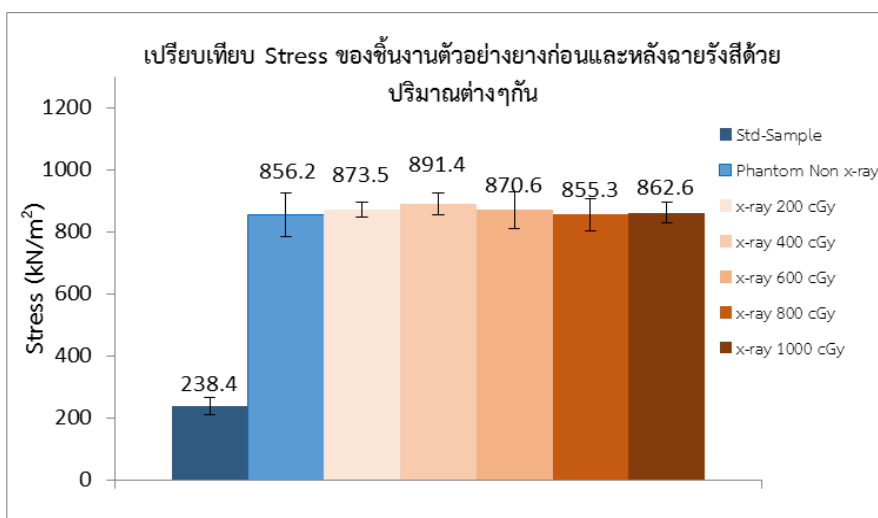
ภาพที่ 30 ความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างยางสูตรต่างๆ

ค่าความแข็ง Shore A ของชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมขึ้นจากสูตรยางที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้เตรียมหุ่นจำลองนั้น ทั้ง Phantom non x-ray และ x-ray 200, 400, 600, 800 และ 1,000 cGy มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันและมีค่าอยู่ในช่วง 12.58-15.67 ซึ่งแสดงว่าปริมาณรังสีที่ให้ปริมาณสูงถึง 1,000 cGy ไม่มีผลต่อค่าความแข็งของตัวอย่างยางที่ทดสอบ ค่าความแข็งของ Phantom non x-ray และ x-ray ยังมีค่าที่สูงกว่าชิ้นงาน Std-Sample เท่ากับ 10.17 แสดงดังภาพที่ 31 ซึ่งเป็นผลมาจากการเติม สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้ผลิตภัณฑ์ยางที่เตรียมได้มีค่าความแข็งสูงขึ้น



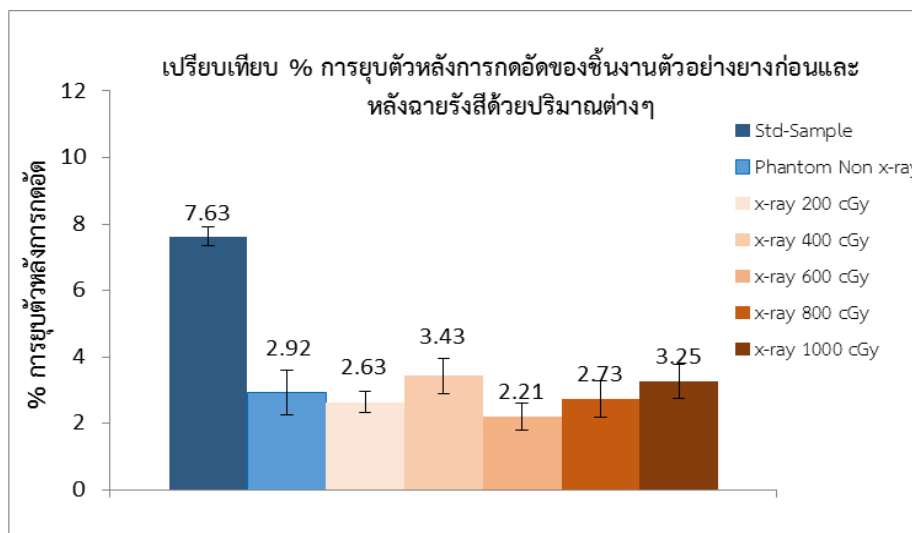
ภาพที่ 31 เปรียบเทียบความแข็งด้วย Shore A ของชิ้นงานตัวอย่างยางก่อนและหลังฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆกัน

จากภาพที่ 32 แสดงค่า Stress, Strain and Modulus at Break ชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมจากสูตรยางหุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้น พบว่าค่า Stress ของตัวอย่างยาง Phantom non x-ray และ x-ray 200, 400, 600, 800 และ 1,000 cGy มีค่า Stress ใกล้เคียงกันและมีค่าอยู่ในช่วง 855.3-891.4 kN/m² ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าตัวอย่างยาง Std-Sample (มีค่าเท่ากับ 238.4 kN/m²) ประมาณ 3.5-3.7 เท่า เป็นผลมาจากปริมาณการเกิดฟองโฟมในเนื้อยางที่ลดลงจากการลดปริมาณสารลดแรงตึงผิว โพแทสเซียมโอเลตและการเพิ่มสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ยางที่เตรียมได้นั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นค่าการทนต่อแรงดึงจึงสูงขึ้นมากนั่นเอง ในทำนองเดียวกันปริมาณฟองโฟมในเนื้อยางที่ลดลงส่งผลให้ระยะยืดออก (Strain) ของผลิตภัณฑ์ยางที่เตรียมได้นี้มีค่าสูงขึ้น นั่นคือความสามารถในการรับแรงดึงอย่างต่อเนื่องของเนื้อยางในผลิตภัณฑ์ยางเพิ่มขึ้นนั่นเอง ส่วนค่า Modulus at Break นั้น เป็นการคำนวณค่าจาก Stress และ Strain ที่จุดขาด ซึ่งพบว่าตัวอย่างยาง Phantom non x-ray และ x-ray 200-1,000 cGy ทั้งหมดนั้น มีค่าสูงกว่า Std-Sample เป็นผลมาจากความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ยางที่สูงขึ้นจากการลดปริมาณ สารลดแรงตึงผิวและการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปในผลิตภัณฑ์ยางทำให้ความเป็นอีลาสติกของผลิตภัณฑ์ยางลดลง

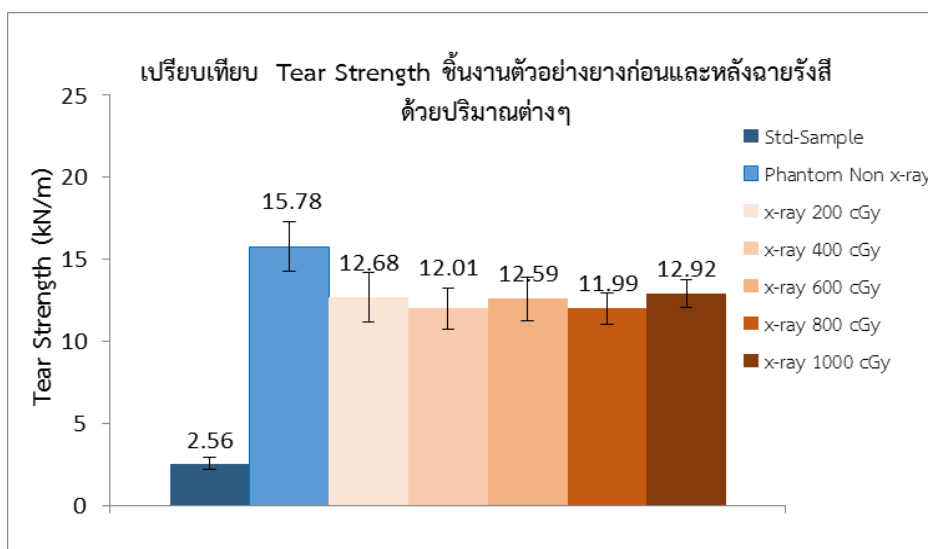


ภาพที่ 32 เปรียบเทียบ Stress, Strain and Modulus at Break ของชิ้นงานตัวอย่าง ก่อนและหลังฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆ กัน

สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวหลังการกดอัดและค่าความทนแรงฉีกขาด (Tear Strength) ของชิ้นงานตัวอย่างยางแสดงดังภาพที่ 33 และ 34 ตามลำดับ พบว่าตัวอย่างยาง Phantom non x-ray และ x-ray 200-1,000 cGy ทั้งหมดนั้น มีค่าต่ำกว่ากว่า Std-Sample (สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวหลังการกดอัด) และมีค่าสูงกว่า Std-Sample (สำหรับ Tear Strength) ซึ่งเป็นผลมาจากความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ยางที่สูงขึ้น โดยสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับค่าการทนแรงดึง



ภาพที่ 33 เปรียบเทียบ %การยุบตัวหลังการกดอัดของชิ้นงานตัวอย่างยาง ก่อนและหลังฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆกัน

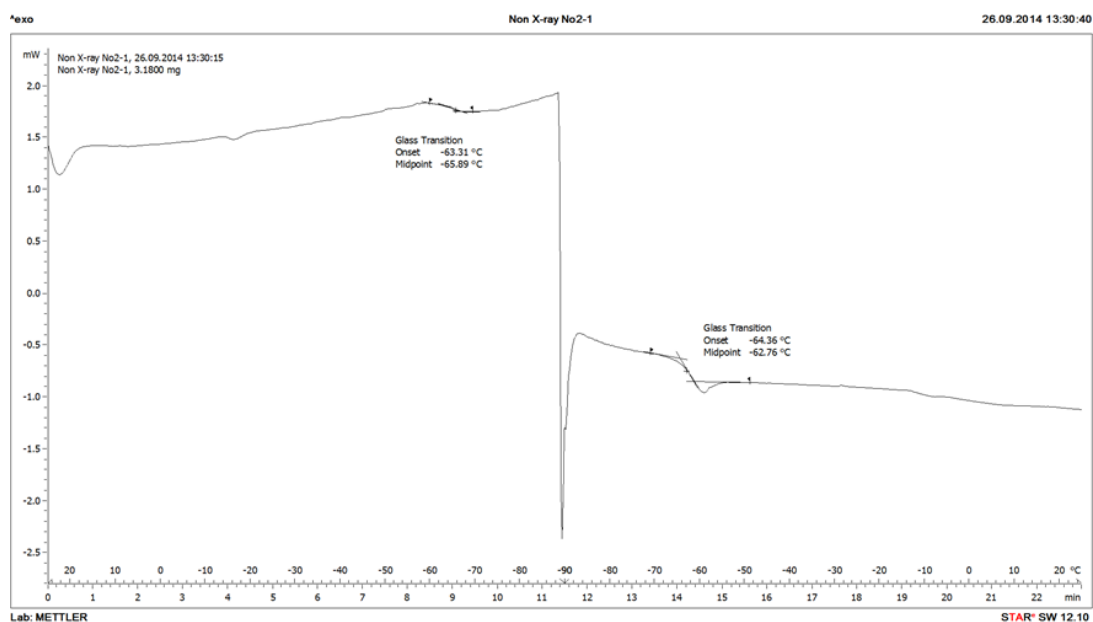


ภาพที่ 34 เปรียบเทียบ Tear Strength ของชิ้นงานตัวอย่างยางก่อนและหลัง ฉายรังสีด้วยปริมาณต่างๆ กัน

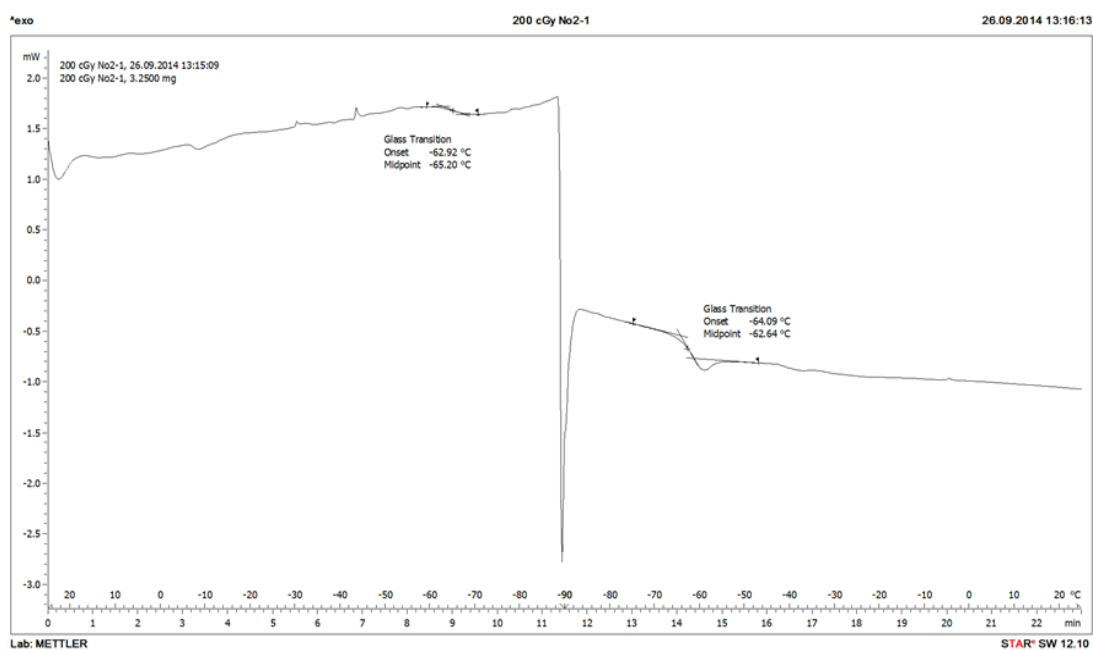
การทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของชิ้นงานตัวอย่างด้วย DSC จะวิเคราะห์หาค่า T_g ของชิ้นงาน Phantom non x-ray และ x-ray 200, 400, 600, 800 และ 1,000 cGy แสดงดังตารางที่ 8 และโครมาโตแกรม DSC แสดงดังภาพที่ 34-39 ซึ่งพบว่าค่า $T_{g \text{ onset}}$ ทั้งชิ้นแรก ที่ลดอุณหภูมิจาก 25 °C ไปที่อุณหภูมิ -90 °C ด้วยอัตราเร็ว 10 °C/min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน และในขั้นตอนที่สอง เพิ่มอุณหภูมิจาก -90 °C ไปที่อุณหภูมิ 25 °C ด้วยอัตราเร็ว 10 °C/min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เช่นกันนั้น มีค่า $T_{g \text{ onset}}$ ใกล้เคียง มีค่าในช่วง -61.38 °C ถึง -64.70 °C ซึ่งมีค่าต่างกันเล็กน้อยเพียง 1-3 °C เท่านั้น ซึ่งแสดงว่าปริมาณความร้อนที่ผลิตกันยั้งได้ จากการฉายรังสี x-ray ในช่วง 200-1,000 cGy นั้น ไม่มีผลทำให้สายโซ่โครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ยังเตรียมได้นี้เปลี่ยนแปลง นั่นคือไม่เกิดการตัดสายโซ่โมเลกุลหรือเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่โมเลกุลเกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 8 อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว(Glass Temperature, T_g) ของชิ้นงานตัวอย่างก่อนและหลังฉายรังสีปริมาณต่างๆ

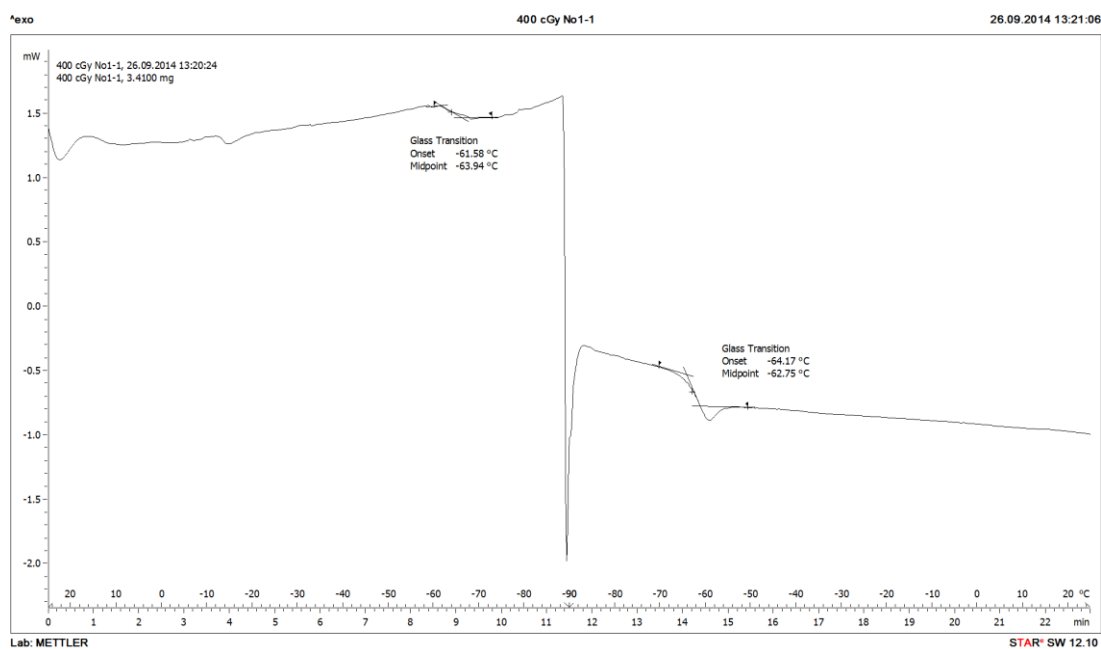
ตัวอย่าง	$T_{g \text{ onset}}$ (°C)	
	1 st ลดอุณหภูมิจาก 25 °C ไปที่ -90 °C	2 nd เพิ่มอุณหภูมิจาก -90 °C ไปที่ 25 °C
Phantom Non x-ray	-64.36	-63.31
x-ray 200 cGy	-64.09	-62.92
x-ray 400 cGy	-61.58	-64.17
x-ray 600 cGy	-61.22	-64.86
x-ray 800 cGy	-64.70	-62.91
x-ray 1000 cGy	-61.38	-64.47



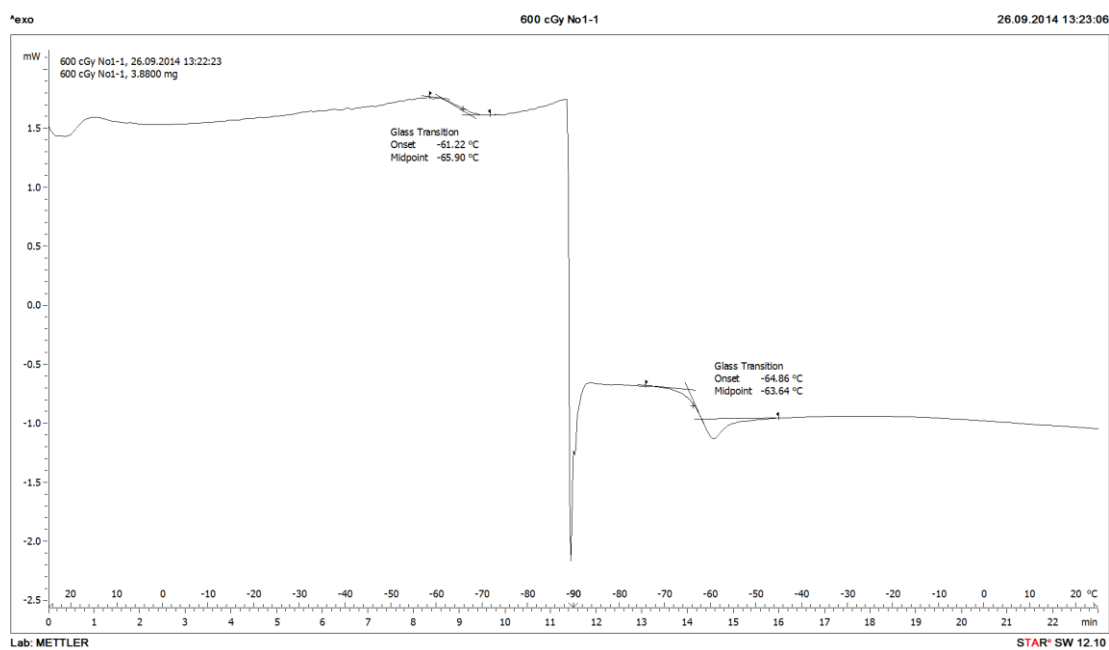
ภาพที่ 34 โครมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง Phantom Non x-ray



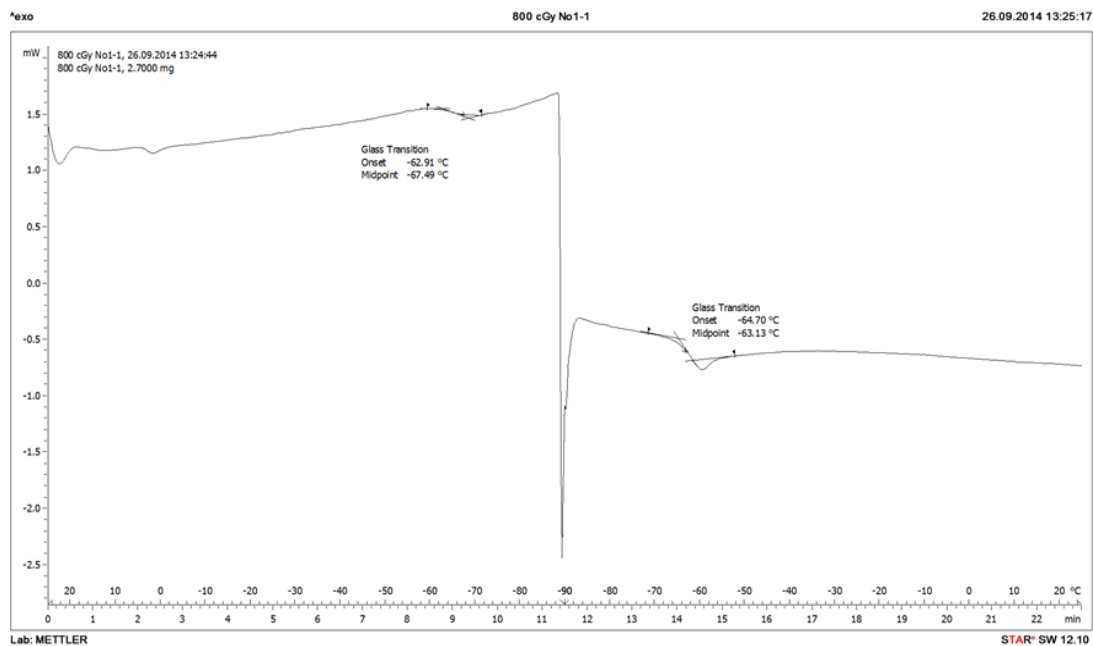
ภาพที่ 35 โครมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 200 cGy



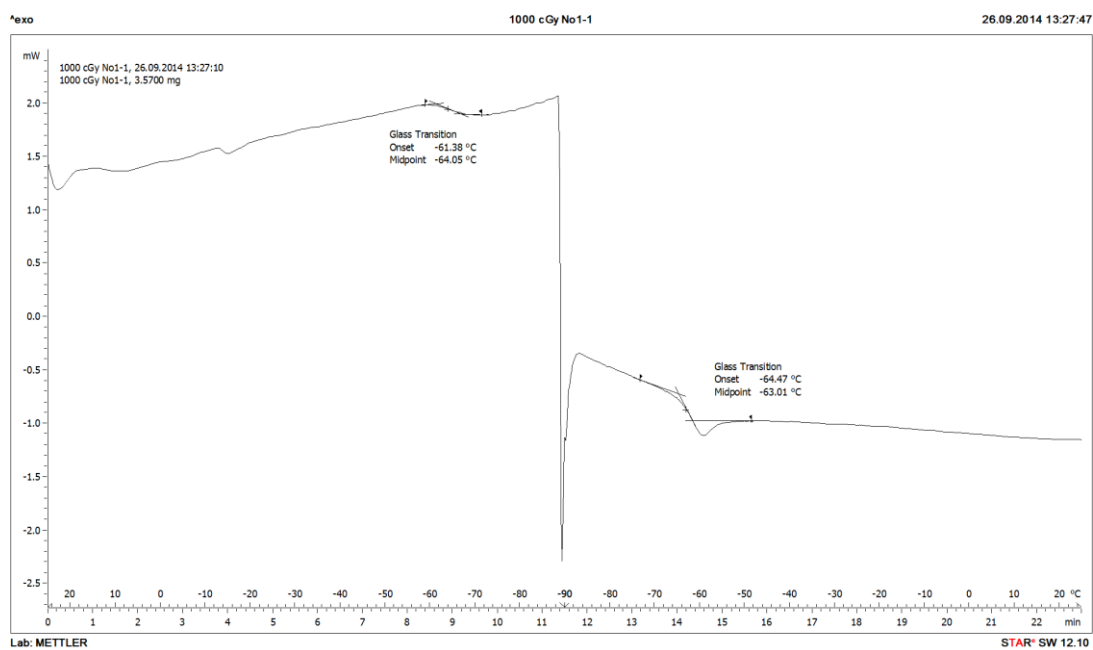
ภาพที่ 36 โครมาโตแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 400 cGy



ภาพที่ 37 โครมาโตแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 600 cGy



ภาพที่ 38 โคโรมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 800 cGy



ภาพที่ 39 โคโรมาโตรแกรม DSC ของชิ้นงานตัวอย่างยาง x-ray 1000 cGy

5.5 การศึกษาคุณสมบัติของหุ่นจำลองทรวงอกจากภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

ผลการทดสอบความสามารถการแยกแยะรายละเอียดภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

ผลการทดสอบภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของหุ่นจำลองทรวงอกที่สร้างขึ้นแสดงดังตารางที่ 9 ซึ่งประกอบด้วยการวัดค่า HU ในหุ่นจำลองในบริเวณที่เป็นเนื้อเยื่อ ปอดและอากาศโดยรอบหุ่นจำลอง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า HU ระหว่างตัวกลางในหุ่นจำลองกับอากาศโดยรอบมีพบว่ามี ความแตกต่างกันในช่วง 28.9% ถึง 43.1% ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงถึงหุ่นจำลองที่สร้างขึ้นสามารถเห็นความขาว-ดำในภาพแตกต่างกันอย่างชัดเจนทำให้สามารถนำไปใช้ในการจำลองการรักษาและการวางแผนการรักษาโรคมะเร็งเต้านมได้

ตารางที่ 9 ค่าร้อยละของความขาว-ดำของตัวกลางในหุ่นจำลองที่สร้างขึ้น

ตำแหน่ง Slice	ตัวกลาง	ค่า HU หุ่นจำลองทรวงอก	%Contrast หุ่นจำลองทรวงอก
Slice 1	Soft tissue	-574.83	-43.1
	Lung	-713.47	-28.0
	Air	-998.7	0
Slice 2	Soft tissue	-566.09	-41.4
	Lung	-716.35	-28.9
	Air	-994.79	0
Slice 3	Soft tissue	-565.88	-43.0
	Lung	-705.75	-28.9
	Air	-992.01	0

ผลการทดสอบความสม่ำเสมอ (Uniformity) ภายในหุ่นจำลอง

ผลการทดสอบความสม่ำเสมอ(Uniformity) ของภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ หุ่นจำลองทรวงอกที่สร้างขึ้นแสดงดังตารางที่ 10 พบว่าค่า HU เฉลี่ยในเนื้อเยื่อและปอดของหุ่นจำลอง มีค่าเท่ากับ -585.3 และ -705.5 ตามลำดับ โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เท่ากับ 8.2 และ 6.9 ตามลำดับ สำหรับเกณฑ์การทดสอบความสม่ำเสมอของค่า HU ตามมาตรฐานของ AAPM ซึ่งใช้หุ่นจำลองที่มีตัวกลางน้ำ (Water Phantom) แทนเนื้อเยื่อมนุษย์ซึ่งมีความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยได้กำหนดให้ความแตกต่างของค่า HU ในตำแหน่งอ้างอิงและตำแหน่งที่สนใจเท่ากับ ± 10 HU (Sasa Mutica et al., 2003) ในขณะที่ผลการประเมินในหุ่นจำลองทรวงอกที่สร้างขึ้นมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานในบางตำแหน่ง แสดงให้ทราบว่าหุ่นจำลองที่สร้างขึ้นมีความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวกลางน้อยกว่าตัวกลางน้ำเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนาหุ่นจำลองนี้เพื่อใช้ในการสร้างภาพสำหรับจำลองการรักษาซึ่งค่าดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการสร้างภาพเพื่อการจำลองการรักษาและการวางแผนการรักษา (Sasa Mutica, et al., 2003)

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบความสม่ำเสมอ(Uniformity) ของภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ หุ่นจำลองทรวงอก

ตำแหน่ง	ตำแหน่ง ROI	ค่าเลขซีที (HU)	ความแตกต่าง (HU)
เนื้อเยื่อ (Soft tissue)	1	-560.4	-
	2	-546.6	13.77
	3	-593.2	32.83
	4	-594.4	34.07
	5	-582.2	21.83
ค่าเฉลี่ย		-585.3	25.625
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		8.2	
ปอด (Lung)	1	-597.2	-
	2	-576.4	20.8
	3	-588.8	8.4
	4	-579.6	17.6
	5	-584.4	12.8
ค่าเฉลี่ย		-705.5	14.9
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		6.9	

5.6 ขั้นตอนที่ 6 การทดสอบ การประยุกต์ใช้งาน การประเมินคุณภาพและความพึงพอใจการใช้งานของหุ่นจำลอง

หุ่นจำลองทรวงอกที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะถูกนำไปประเมินคุณสมบัติด้านการประยุกต์ใช้งาน ประเมินคุณภาพและความพึงพอใจการใช้งานหุ่นจำลองโดยนักรังสีการแพทย์ นักฟิสิกส์การแพทย์และแพทย์ทางรังสีรักษา ผลการทดสอบประยุกต์ใช้งาน ประเมินคุณภาพและความพึงพอใจการใช้งานหุ่นจำลองได้ผลประเมินดังต่อไปนี้

1. ผลการประเมินการประยุกต์ใช้งานและประเมินผลความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกโดยนักรังสีการแพทย์ นักฟิสิกส์การแพทย์และแพทย์ทางรังสีรักษา ในด้านการประยุกต์ใช้สำหรับการจำลองและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลพุทธชินราช และโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 26 คน แสดงดังตารางที่ 9 และภาคผนวกที่ 3

2. ผลการประเมินความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกสำหรับการเรียนการสอนวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมโดยนิสิตสาขารังสีเทคนิค ชั้นปีที่ 4 คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน 40 คน แสดงดังตารางที่ 10 และภาคผนวกที่ 3

ตารางที่ 9 ผลการประเมินการประยุกต์ใช้งานและประเมินผลความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกโดยนักรังสีการแพทย์ นักฟิสิกส์การแพทย์และแพทย์

ประเด็นการพิจารณา	Mean	SD	ผลประเมิน
1. ความเหมือนจริงของลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์	4.08	0.48	มาก
2. ความสวยงาม	3.88	0.77	มาก
3. ความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้	3.85	0.88	มาก
4. ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	4.15	0.78	มาก
5. ความสะดวกในการใช้งาน	4.00	0.80	มาก
6. ความคงทนในการใช้งาน	3.62	0.75	มาก
7. ความสะดวกในการเก็บรักษา	3.85	0.61	มาก
8. สามารถจัดทำฉายรังสีได้เหมือนจริง	3.31	0.84	มาก
9. ภาพถ่ายรังสีแสดงโครงสร้างอวัยวะที่เหมือนจริง	3.73	0.53	มาก
10. การกำหนดขอบเขตของอวัยวะที่ต้องการฉายและอวัยวะสำคัญ	3.58	0.58	มาก
11. หุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้นช่วยเพิ่มทักษะการรักษา	3.85	0.88	มาก
12. หุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความสมจริงสำหรับฝึกทักษะการรักษา	3.88	0.77	มาก

ตารางที่ 10 ผลการประเมินความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมโดยนิสิตสาขารังสีเทคนิค ชั้นปีที่ 4

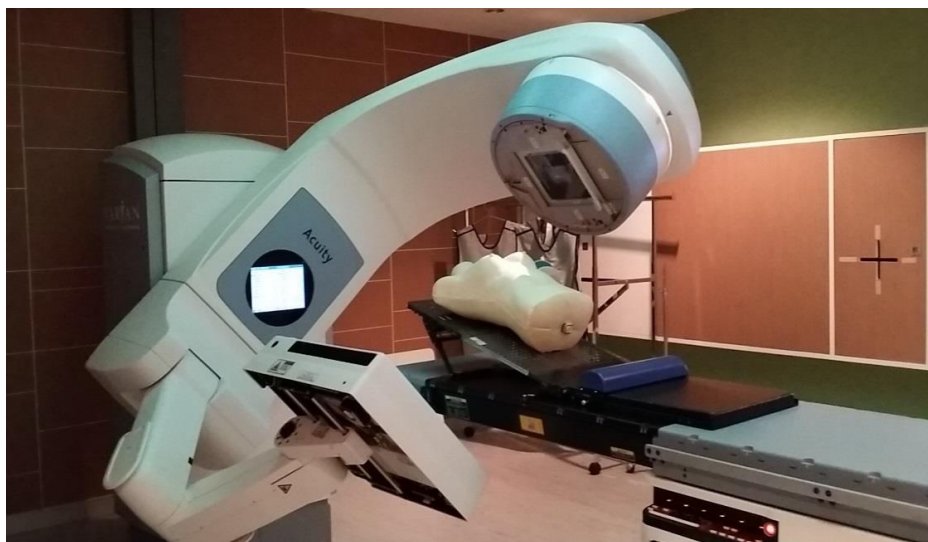
ประเด็นการพิจารณา	Mean	SD	ผลประเมิน
1. ความเหมือนจริงของลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์	4.02	0.57	มาก
2. ความสวยงาม	3.88	0.87	มาก
3. ความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้	4.02	0.72	มาก
4. น้ำหนักของหุ่นจำลอง	3.73	0.71	มาก
5. หุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้นช่วยให้เข้าใจขั้นตอนและกระบวนการทางรังสีรักษา	4.17	0.63	มาก
6. ต้นทุนในการพัฒนาหุ่นจำลองมีความเหมาะสม	3.85	0.85	มาก
7. ความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานของหุ่นจำลองเพื่อฝึกทักษะการรักษา	4.02	0.52	มาก
8. ประโยชน์ของการประยุกต์ใช้งานของหุ่นจำลองในการเรียนการสอน	4.32	0.61	มาก
9. ความพึงพอใจในภาพรวมของการใช้งานหุ่นจำลองสำหรับการเรียนการสอน	4.12	0.60	มาก

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับความพึงพอใจต่อหุ่นจำลองโดยกลุ่มผู้ใช้งานจริงจากนักรังสีเทคนิค แพทย์ทางรังสีรักษา และนักฟิสิกส์การแพทย์ โรงพยาบาลพุทธชินราช พิษณุโลก ภาพรวมมีความพึงพอใจต่อหุ่นจำลองที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยเฉพาะความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ความสวยงาม และความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงในด้านคุณภาพ ถึงแม้ว่าหุ่นจำลองดังกล่าวจะความเหมือนจริงของลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ และสามารถกำหนดขอบเขตของอวัยวะที่ต้องการฉายและอวัยวะสำคัญได้ แต่ภาพถ่ายรังสีที่แสดงโครงสร้างอวัยวะที่เหมือนจริงนั้น อาจจะมีมุมมองที่แตกต่างกันของผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยค่าเฉลี่ยความพึงพอใจจากนักรังสีเทคนิคเท่ากับ 3.80 ± 0.00 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความพึงใจมาก ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจจากรังสีแพทย์และนักฟิสิกส์การแพทย์เท่ากับ 4.00 ± 0.00 รวมทั้งความสะดวกในการเก็บรักษาที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.80 และ 5.00 ตามลำดับ นอกจากนี้หุ่นจำลองช่วยเพิ่มทักษะการรักษาแก่ผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะนักรังสีเทคนิค ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 ± 0.58 และค่าเฉลี่ยความสมจริงของหุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้นในการฝึกทักษะการรักษา โดยเฉพาะรังสีแพทย์และนักฟิสิกส์การแพทย์ ที่มีค่าเท่ากับ 4.67 ± 0.58

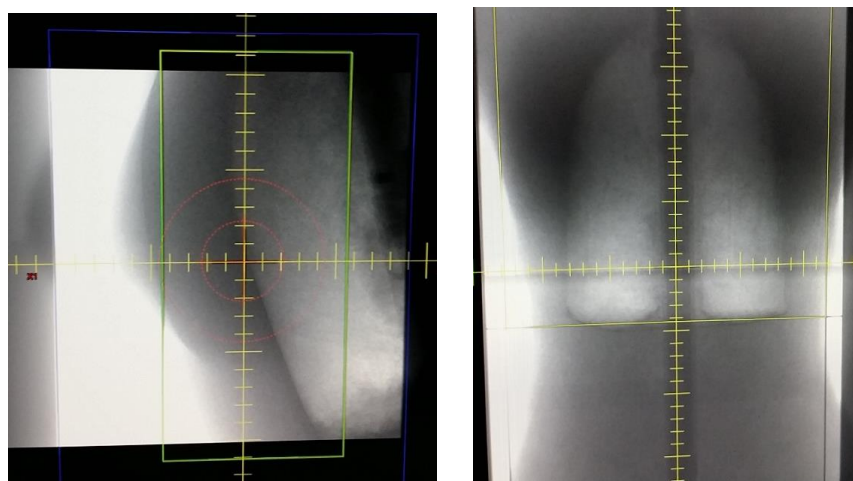
จากผลการศึกษาที่ใช้หุ่นจำลองเป็นสื่อการเรียนการสอน สำหรับนิสิตรังสีเทคนิค จำนวน 40 คน ที่มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในภาพรวม เท่ากับ 4.12 ± 0.60 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความพึงใจมาก โดยหุ่นจำลองสามารถนำไปใช้ในการประยุกต์ให้เข้ากับรายวิชาที่เกี่ยวข้อง และสามารถช่วยให้นิสิตเข้าใจถึงขั้นตอนและกระบวนการรักษาทางรังสี อย่างไรก็ตาม มีความคิดเห็นที่แตกต่างจากกลุ่มผู้ใช้งาน

จริงในด้านความสวยงามและน้ำหนักของหุ่นจำลองที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.88 ± 0.87 และ 3.73 ± 0.71 ตามลำดับ

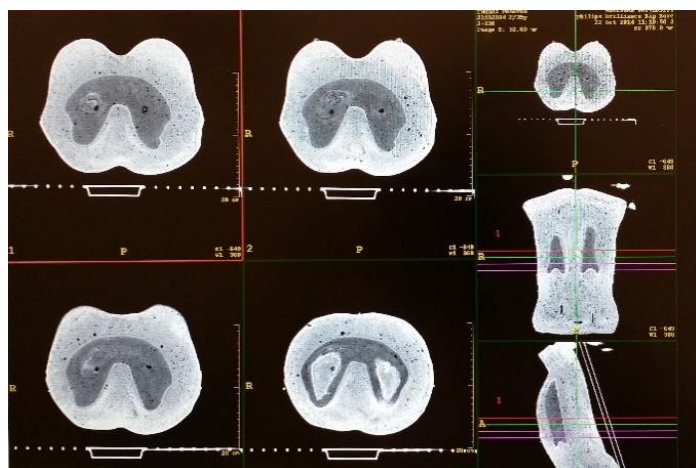
สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้วยการนำหุ่นจำลองทรวงอกไปจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมทั้งการรักษาแบบ 2 มิติและการรักษา 3 มิติ พบว่าหุ่นจำลองทรวงอกสามารถนำไปใช้งานจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมได้จริงแสดงดังภาพที่ 40-44



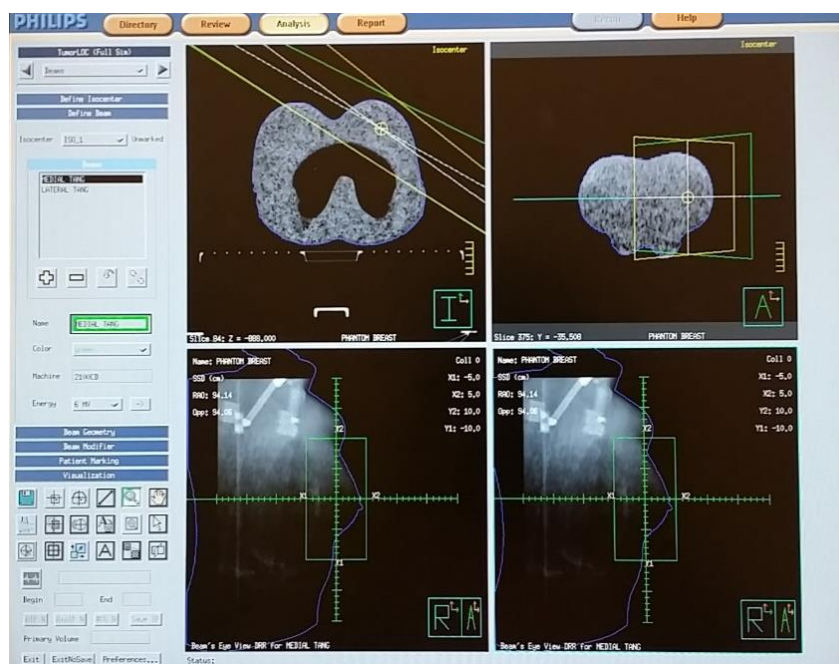
ภาพที่ 40 การใช้งานจำลองการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 2 มิติ โดยเครื่องจำลองการรักษาชนิด conventional simulator



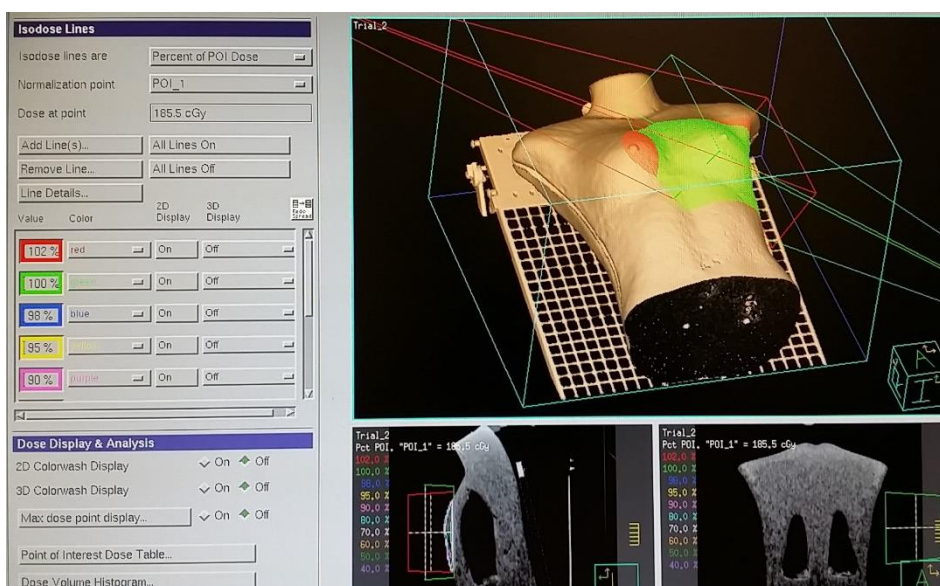
ภาพที่ 41 ภาพถ่ายรังสีที่ได้จากการจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 2 มิติ โดยเครื่องจำลองการรักษาชนิด conventional simulator



ภาพที่ 42 การใช้งานจำลองการรักษาและวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 3 มิติ โดยเครื่องจำลองการรักษาชนิด CT simulator



ภาพที่ 43 การใช้งานหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมสำหรับวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 3 มิติ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา (Computerized Radiation Treatment Planning System)



ภาพที่ 44 การใช้งานหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมสำหรับวางแผนการรักษาผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยวิธีการรักษาแบบ 3 มิติ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา (Computerized Radiation Treatment Planning System) แสดงในลักษณะ 3 มิติ

6. สรุปผล

จากผลการวิจัยนี้ได้สูตรยางพาราที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการสร้างหุ่นจำลองทรวงอกและปอดจำลองที่นำมาใส่ประกอบบรรจุลงไปในตัวหุ่นจำลองทรวงอกซึ่งสูตรยางพาราที่พัฒนาขึ้นจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ปรับปรุงจากสูตรโพลียูรีเทนมาตรฐาน โดยการลดปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวโพแทสเซียมโอเลตและเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไป การขึ้นรูปร่างพาราใช้กระบวนการผลิตโพลียูรีเทนด้วยวิธีดันลอปด้วยการอบให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ หุ่นจำลองทรวงอกที่สร้างขึ้นมีส่วนของร่างกายตั้งแต่คอถึงสะโพกภายในบรรจุปอดจำลอง มีน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม สัดส่วนรอบอก 34 นิ้ว รอบเอว 26 นิ้ว และรอบสะโพก 34 นิ้ว โดยหุ่นจำลองมีขนาดใกล้เคียงกับหุ่นจำลองมาตรฐานทางรังสีรักษาชนิด Alderson Rando Phantom และเพศหญิงไทย

หุ่นจำลองทรวงอกและปอดจำลองที่ได้สร้างจากสูตรยางพาราที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้มีความหนาแน่นประมาณ 0.3470 g/cm^3 และความหนา 0.2027 g/cm^3 ตามลำดับ ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของหุ่นจำลองประกอบด้วยค่าความแข็ง Shore A, ความทนแรงดึง (stress, strain and modulus at break) การทนแรงอัด (%การยุบตัวหลังการกดอัด) และการทนแรงฉีกขาดมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จากชิ้นงาน Std-sample ยกเว้น %การยุบตัวหลังการกดอัด มีค่าที่ต่ำกว่า Std-sample นั้นเป็นผลมาจากการลดปริมาณสารลดแรงตึงผิวและมีการเติมสารตัวเติมซึ่งทำให้ปริมาณฟองในเนื้อยางลดลงและมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ความเป็นอีลาสติกของผลิตภัณฑ์ยางลดลง สำหรับการทดสอบความทนทานต่อการฉายรังสีปริมาณ 2-10 เกรย์ เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อนของ

ชิ้นงานตัวอย่างมาก่อนและหลังการฉายรังสี พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าหุ่นจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้งานในที่มีรังสีปริมาณดังกล่าวได้ โดยสมบัติต่างๆของหุ่นจำลองไม่เปลี่ยนแปลง

ผลประโยชน์ความพึงพอใจหุ่นจำลองทรวงอกที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยนักรังสีการแพทย์ นักฟิสิกส์การแพทย์และแพทย์ทางรังสีรักษา พบว่าหุ่นจำลองทรวงอกและเต้านมที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง โดยสามารถจัดตำแหน่งสำหรับการจำลองการรักษาด้วยเครื่องจำลองการรักษาแบบสองมิติและสามมิติและวางแผนการรักษาด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษาได้ ผลประโยชน์ความพึงพอใจภาพรวมของผู้ปฏิบัติงานทางรังสีรักษาอยู่ในเกณฑ์มาก โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 3.82 ± 0.72 สำหรับผลประโยชน์ความพึงพอใจจากนิสิตรังสีเทคนิค จำนวน 40 คน มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์มากมีค่าเท่ากับ 4.12 ± 0.60 โดยเฉพาะในแง่ของประโยชน์ของการประยุกต์ใช้งานของหุ่นจำลองในการเรียนการสอนซึ่งมีค่าความพึงพอใจ 4.43 ± 0.61

7. ข้อเสนอแนะ

ในการจากเตรียมหุ่นจำลองในแต่ละครั้ง พบว่าการต้มน้ำยางพาราให้ขึ้นฟูและการทำให้ฟองโพนยาง มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอขึ้นควบคุมได้ยากมาก และหุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ต้องการให้มีความหนาแน่นระหว่างเนื้อเยื่อและปอดแตกต่างกันเพื่อความเหมือนจริงของการฝึกทักษะการรักษา ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาปรับปรุงสูตรยางพาราเป็นการขึ้นรูปหุ่นจำลองโดยการหล่อเข้าพิมพ์ (casting Process) ซึ่งจะทำให้การควบคุมความหนาแน่นในเนื้อเยื่อทั้งตัวหุ่นจำลองได้ดีกว่า

สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างหุ่นจำลองเพื่อฝึกทักษะการปฏิบัติงานทางรังสีรักษาสำหรับนิสิต นักศึกษาและผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดการเรียนรู้และเข้าใจกระบวนการรักษาโรคมะเร็งเต้านมที่มีความซับซ้อนให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามความถูกต้องและแม่นยำของการจำลองการรักษาและวางแผนการรักษายังสามารถประเมินได้ด้วยการวัดค่าปริมาณรังสีที่หุ่นจำลองทรวงอกได้รับจริงโดยหากสามารถพัฒนาให้หุ่นจำลองทรวงอกมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับมนุษย์เพื่อใช้วัดและประเมินค่าปริมาณรังสีภายหลังการวางแผนการรักษาจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากเนื่องจากจะทำให้ทราบว่าการวางแผนการรักษาด้วยเทคนิคต่างๆ นั้นมีความถูกต้องเพียงใดซึ่งจะส่งผลการเพิ่มประสิทธิภาพการรักษาให้ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- AAPM. (2002). Quality control in diagnostic radiology. *Report No. 74*,
- Ashlie, D. C., Lynn, M. K., Elizabeth, C. G., Martina, H. E., & http://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/1450. (2011). *Feasibility of a touch sensitive breast phantom for use in the training of physicians in clinical breast examination*. Unpublished University of Tennessee Honors Thesis Projects., University of Tennessee Honors Thesis Projects.
- ASTM. Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials-Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams *Annual Book of ASTM Standards: American Society for Testing and Materials International, ASTM D3574-95*.
- ASTM. (2003a). Standard Test Methods for Rubber Property- Compression set, *ASTM D 395-03*. Annual Book of ASTM Standards: American Society for Testing and Materials International.
- ASTM. (2003b). Standard Test Methods for Rubber Property- Durometer Hardness, *ASTM D 2240-03*. Annual Book of ASTM Standards: American Society for Testing and Materials International.
- Barrett, A., Dobbs, J., Morris, S., Roques, T., & Harrowven, J. (2009). *Practical Radiotherapy Planning* (Fourth ed.). London Hodder Arnold.
- Curtis B, C., Martin J. Yaffe (1989). Development of an anthropomorphic breast phantom. *Medical Physics*, 17(2).
- H, S., Khan, F. M., & A, R. (1992). Levitt and Taplay's technological basis of radiation therapy : practiceal clinical application. (2), 1-36,232-247.
- Howlett, S. J., & Kron, T. (2002). Monitor unit calculation for tangential breast treatments: verification in an anthropomorphic phantom. *J Appl Clin Med Phys*, 3(3), 235-240.
- Jerry L. Prince, & Links, J. M. (2006). *Medical imaging Signals and Systems*. New Jersey: Pearson Education.
- Phantoms, R. T. Q. C. Retrieved 11 เมษายน 2556, from <http://www.supertechx-ray.com/QualityControlPhantoms/RadiationTherapyOC.html>
- Podgorsak, E. B. (2005). Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students. from http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1196_web.pdf
- Sasa Mutica, Jatinder R. Palta, Elizabeth K. Butker, Indra J. Das, M. Saiful Huq, Leh-Nien Dick Loo, et al. (2003). Quality assurance for computed-tomography simulators

and the computed-tomography-simulation process: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 66. *Medical Physics*, 30(10), 2762-2792.

Sprawls, P. (1995). *Physical Principles of Medical Imaging*: Medical Physics Publishing.

แก้วเครือ, พ. (2554). สื่อการเรียนการสอน. Retrieved 4 เมษายน, 2556, from http://sps.lpru.ac.th/script/show_article.pl?mag_id=5&group_id=23&article_id=194

และคณะ, เ. (ม.ป.ป.). สื่อวัสดุสามมิติ. Retrieved 30 มีนาคม 2556, from <http://www.edu.nu.ac.th/wbi/355201/p32-3.html>

โคตะขุน, ป. (2011). สื่อการสอน / นวัตกรรม. Retrieved 12 เมษายน, 2556, from <https://sites.google.com/site/prapasara/p2-5>

โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์, ส. ฝ. มะเร็งเต้านม. Retrieved 8 เมษายน, 2556, from http://www.chulacancer.net/newpage/information/breast_cancer5.html

กรมวิชาการเกษตร, ค. ส. (2556). ยางพารา. [รายงาน]. *Para rubber electronic bulletin* 1.

กาแดง, น., แสนอินทร์ดี, ย., & ททรัพย์พร้อม, ส. (2553). การออกแบบ และ ประดิษฐ์หุ่นจำลองสำหรับตรวจสอบคุณภาพของเอกซเรย์เต้านม *The Design and Invention of Mammographic Image Quality Evaluation Phantom* (1 ed.). พิษณุโลก: ภาควิชารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ขจรไชยกูล, ว. (2537). ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

ขจรไชยกูล, ว. (2549). ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน *Natural Rubber : Production and Application* (1 ed.). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนวิจัย (สกว.).

ชมรมฟื้นฟูสุขภาพมะเร็ง. (2553). มะเร็งเต้านม. Retrieved 9 เมษายน, 2556, from <http://www.siamca.com/knowledge-id52.html>

ชูศิลป์, ธ. (2556). การตรวจเอกซเรย์เต้านม (Mammography). [เอกสารประกอบการสอน]. สาขารังสีเทคนิค คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ดวงรัตน์, บ., ยันตรปกรณ์, อ., จิรสินธิปก, ธ., สยอวรรณ, ว., รตนวิบูลย์สุข, น., & สาลีเพ็ง, น. (2552). การพัฒนาหุ่นจำลองแขนฝึกทักษะเย็บแผลชนิดยางพารา. วารสารสาธารณสุขและการพัฒนา, 7(1).

ตันทพันธ์, ก. (2554). หุ่นจำลองยางพาราฝึกการใส่สายยางให้อาหารผู้ป่วย. Retrieved 16 มีนาคม, 2556, from <http://library.dip.go.th/multim5/News/2554/N05975.pdf>

- ทวิชศรี, น., สุวัทธิพงศ์, ข., ตันตะพลิน, ป., กุลตวนิช, ก., & สกุรัตน์, เ. ความรู้เรื่องมะเร็งเต้านม. Retrieved 12 เมษายน 2556, 2556, from http://www.academiccafe2010.com/breastscreen/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=17
- บุญชม ศรีสะอาด. (2554). การวิจัยเบื้องต้น. สำนักพิมพ์ สุวีริยาสาส์น จำกัด(9), 206-210.
- ประเภทของสื่อการสอน. (2550). Retrieved 12 เมษายน, 2556, from http://kanok-orn.blogspot.com/2007/09/blog-post_11.html
- ประกายมณีวงศ์, พ., ระนอง, น. ณ., วิจิตชลชัย, ณ., พัฒนากุล, ว., & แจ่มเสมือน, ส. (2552). การพัฒนาสูตรและเทคนิคการผลิตยางพองน้ำเพื่อลดต้นทุนการผลิตและสร้างเครื่องต้นแบบ. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง สำนักวิจัยและพัฒนาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร.
- ประดับวงศ์, ส., โกวิท, ว., สิมมะลี, ก., & เขวียนชื่น, บ. (2554). การพัฒนานวัตกรรมทางการแพทย์หุ่นใบหน้าจำลองปากแหว่งเพดานโหว่. ศรีนครินทร์เวชสาร, 26(4).
- ภัทรไพบูลย์ชัย, อ. (2554). การวิจัยเพิ่มมูลค่ายางธรรมชาติ. Retrieved 12 เมษายน, 2556, from <http://www.mtec.or.th/nnrc2011/images/pdf/24june/08.pdf>
- มัทนะเมณี, อ., & รัตนเสถียร, ข. (2549). การออกแบบ การผลิต และ การใช้หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพงานรังสีวินิจฉัย. วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่, 39, 54-63.
- ลุนอุบล, เ., ผาจำ, จ., สัมพะโว, ป., & เสาสิมมา, ศ. สื่อการเรียนการสอนสมัยใหม่. Retrieved 12 เมษายน, 2556, from <https://sites.google.com/site/suxkarreiynkarsxnsmayhim/khna-phu-cad-tha>
- วาทพัฒนศักดิ์, อ. (2548). สื่อกับการจัดการเรียนการสอน. Retrieved 11 มีนาคม 2556, from <http://www.school.net.th/library/create-web/10000/generality/10000-13295.html>
- วิลาทอง, ส. (2553). นวัตกรรมทางการศึกษา. Retrieved 12 เมษายน, 2556, from http://pomsukanya.blogspot.com/2010/08/blog-post_11.html
- ศรีดาโคตร, เ. ระบบและความสำคัญของสื่อการเรียนการสอน. Retrieved 12 เมษายน 2556, from <http://www.lib.ubu.ac.th/techno/Down%20Load/bod39.pdf>
- ศรีมนิพนธ์นิมิต, ว. (2555). มะเร็งเต้านม พบเร็ว รอดสูง. Retrieved 3 เมษายน, 2556, from www.tsko.or.th/knowledge/healthtoday/Health_Today_May_12.pdf
- ศักดิ์ภาพานิชย์, จ. (2553). เทคโนโลยียางพารา *Natural Rubber Technology* (1 ed.). กรุงเทพมหานคร: บริษัท เทคโนโลยีคอมมิวนิเคชั่นส์ จำกัด

สุขประเสริฐ, อ. (2548). การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์หุ่นจำลองยางพาราอิเล็กทรอนิกส์. [รายงานการวิจัย]. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 1-24.

หล่อวิทยา, ว., เทพมงคล, ไ., พรหมรัตน์พงศ์, ป., & เทศะพิบูล, ช. (2544). *Manual of Radiation Oncology* (1 ed.). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

หุ่นจำลองฝึกศัลยศาสตร์มือ. Retrieved 11 เมษายน, 2556, from http://www.si.mahidol.ac.th/education/manikins/research_detail.asp

หุ่นฝึกใส่ท่อช่วยหายใจผู้ใหญ่. Retrieved 11 เมษายน 2556, from http://www.si.mahidol.ac.th/education/manikins/research_detail.asp

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

การพัฒนาสูตรและเทคนิคการทำยางคงรูปสำหรับการทำหุ่นจำลอง

ในการพัฒนาสูตรยางเพื่อใช้ทำหุ่นจำลองในขั้นตอนเตรียมชิ้นงานตัวอย่างยาง เพื่อนำไปประเมินความต้องการและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จะมีการออกแบบสูตรยางเหมือนกับการทำโฟมยาง ซึ่งมี 4 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1 K-Oleate (สารลดแรงตึงผิว) ความเข้มข้น 10% w/w

สูตรที่ 2 ไม่เติมสารเพิ่มฟอง

สูตรที่ 3 NaHCO_3 ความเข้มข้น 4% w/w

สูตรที่ 4 NH_4HCO_3 ความเข้มข้น 4% w/w

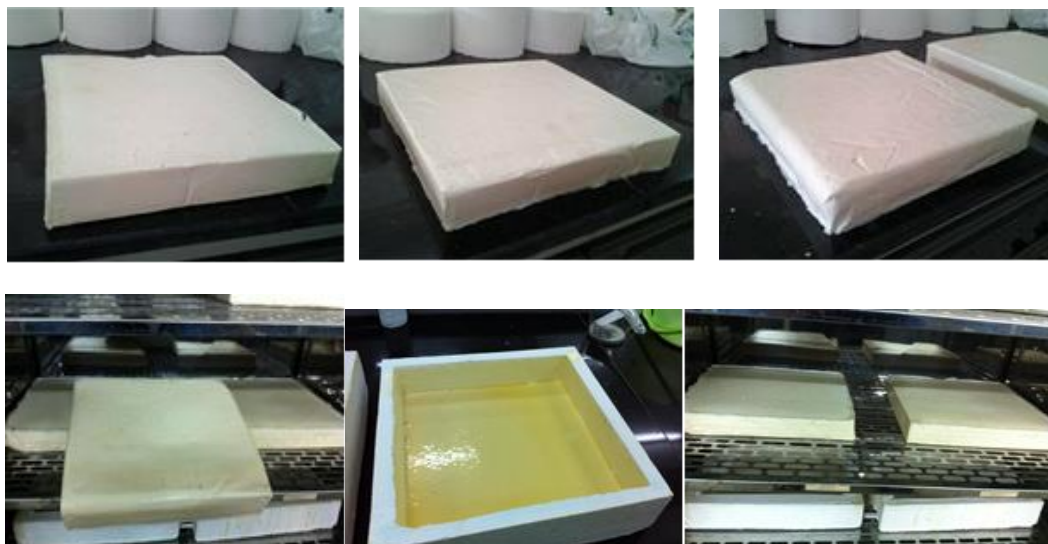
โดยสัดส่วนของสารเคมีต่างๆที่ใช้เตรียมในสูตรต่างๆแสดงดังตารางข้างล่างนี้

ซึ่งกระบวนการทำให้โฟมยางคงรูปนั้นใช้กระบวนการโฟมยางแบบดันลอป (Dunlop process) ด้วยการเทยางลงแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ให้ความร้อนด้วยเครื่องนิ่งที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างสารเคมีที่ตกค้างที่ชิ้นงานตัวอย่าง แล้วนำชิ้นงานโฟมยางที่ได้ผึ่งลมเป็นเวลาประมาณ 2 วัน

ตารางแสดงสัดส่วนปริมาณน้ำยางและสารเคมีต่างๆ ที่ใช้เตรียมตัวอย่างชิ้นงานยาง 4 สูตร

น้ำยางและสารเคมี	ความเข้มข้น %w/w	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% น้ำยางข้น	60	167.0
กำมะถัน (Sulfur)	50	8.0
แซดอีดีซี (ZEDC)	50	4.0
แซดเอ็มบีที (ZMBT)	50	4.0
วิงสเตย์แอล (WingStay L)	50	4.0
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)	50	20.0
ดีพีจี (DPG)	33	4.0
เอสเอสเอฟ (SSF)	12.5	8.0

สำหรับชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมได้จะนำมาหาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และนำชิ้นงานไปทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งานหุ่นจำลองฯ โดยผู้ประเมินประกอบด้วยแพทย์ทางรังสีรักษา นักฟิสิกส์การแพทย์ และนักรังสีการแพทย์ โดยประเมินในด้านความยืดหยุ่น การคืนรูปและผิวสัมผัสของชิ้นงาน



ภาพแสดงแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์และชิ้นงานตัวอย่างยางที่เตรียมได้

สำหรับสมบัติของวัสดุที่ต้องการในการสร้างหุ่นจำลองของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้มาจากการนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินความต้องการและความพึงพอใจของผู้ใช้งานในแต่ละด้านมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติที่ต้องการเพื่อให้ภาพถ่ายทางรังสีมีคุณภาพเพียงพอต่อการฝึกทักษะการรักษาทางรังสีรักษาด้วยการพิจารณาจากค่า Uniformity และ Low Contrast detectability สำหรับคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานยางพาราใช้การวิเคราะห์ Elasticity, Hardness, Compression, Tensile strength และ Tear strength

1. การประเมินความต้องการและความพึงพอใจของผู้ใช้งานแต่ละด้าน

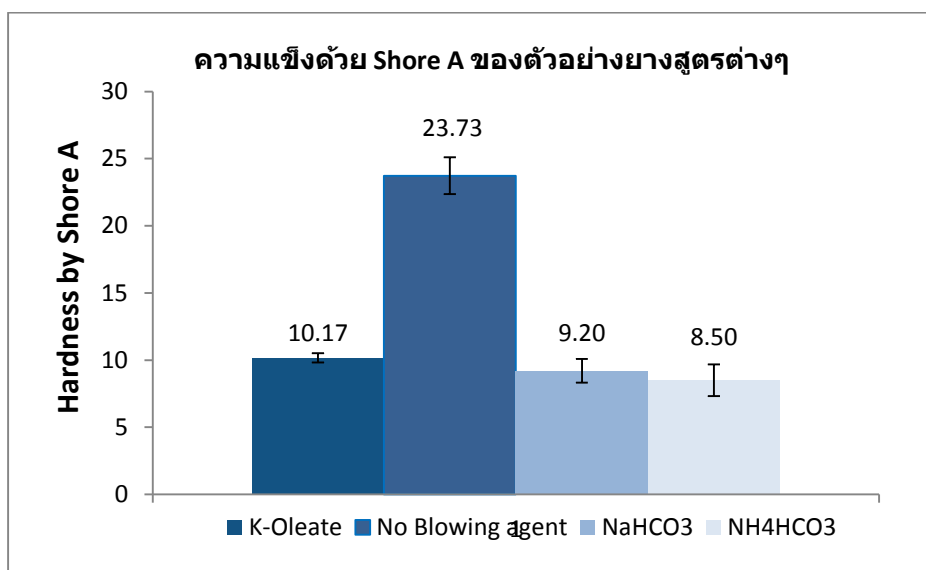
การประเมินความต้องการและความพึงพอใจชิ้นงานยางพาราเริ่มทำตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2557 โดยได้สอบถามความต้องการใช้งานหุ่นจำลองยางพาราและสอบถามความพึงพอใจในด้านความยืดหยุ่นของชิ้นงาน การคืนรูปของชิ้นงานและผิวสัมผัส โดยมีผู้ประเมินทั้งหมด 27 คน จากโรงพยาบาลพุทธชินราชและโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร แบ่งเป็นเพศชาย 9 คน และหญิง 18 คน ซึ่งทั้งหมดเป็นผู้ที่ปฏิบัติงานในแผนกรังสีรักษา โดยแบ่งตามลักษณะงาน ดังนี้ แพทย์ทางรังสีรักษา 5 คน นักรังสีการแพทย์ 10 คน ผู้ช่วยเหลือคนไข้ 7 คน พยาบาล 4 คน ไม่ระบุ 1 คน ผลการประเมินมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชิ้นงานแสดงดังตาราง

ชั้นงานที่ ผลการประเมิน	เกณฑ์ในการประเมิน											
	ความยืดหยุ่นของชั้นงาน				การคืนรูปของชั้นงาน				ผิวสัมผัส			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Mean	4.11	2.11	2.59	2.37	3.74	2.44	2.85	2.48	3.56	2.48	2.67	2.44
SD	0.89	0.93	1.22	1.04	0.98	1.01	1.23	0.98	1.01	1.01	1.3	1.01

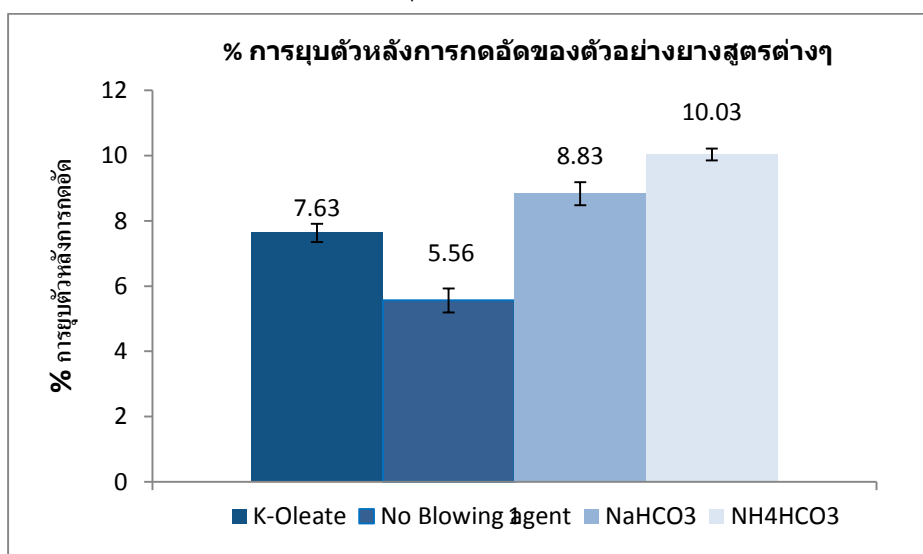
จากระดับผลการประเมินความพึงพอใจพบว่าชั้นงานตัวอย่างที่ 1 นั้น จะได้รับความพึงพอใจทางด้านความยืดหยุ่น การคืนรูปของชั้นงานและผิวสัมผัสมากที่สุด ซึ่งผลการทดสอบสมบัติเชิงกลที่ได้ นั้นพบว่า ชั้นงานตัวอย่างที่ 1 มีค่าความแข็งด้วย Shore A เท่ากับ 10.17 ซึ่งเมื่อเทียบกับชั้นงานตัวอย่าง ที่มีการเติมสารเพิ่มฟองแล้ว (ชั้นที่ 3 และ 4) พบว่ามีค่าความแข็งมากที่สุด ส่วน %การยุบตัว หลังการกดอัดเท่ากับ 7.63 ซึ่งมีค่าการยุบตัวที่น้อยกว่าชั้นงานที่ 3 และ 4 นั้นแสดงว่าชั้นงานตามสูตรที่ 1 นี้มีการคืนรูปหลังจากการกดอัดส่วนการทดสอบทางด้วยการทนแรงดึง และการฉีกขาด พบว่า ชั้นงานตัวอย่างที่ 1 นั้นจะมีค่า Stress และ Tear strength ที่สูงที่สุด นั้นแสดงว่าชั้นงานสูตรนี้จะมีแข็งแรงดีที่สุด

2. การทดสอบสมบัติเชิงกลของตัวอย่างยางที่เตรียมได้จากการพัฒนาสูตรยาง 4 สูตร
สมบัติเชิงกลของตัวอย่างยางที่เตรียมได้ทั้ง 4 สูตร

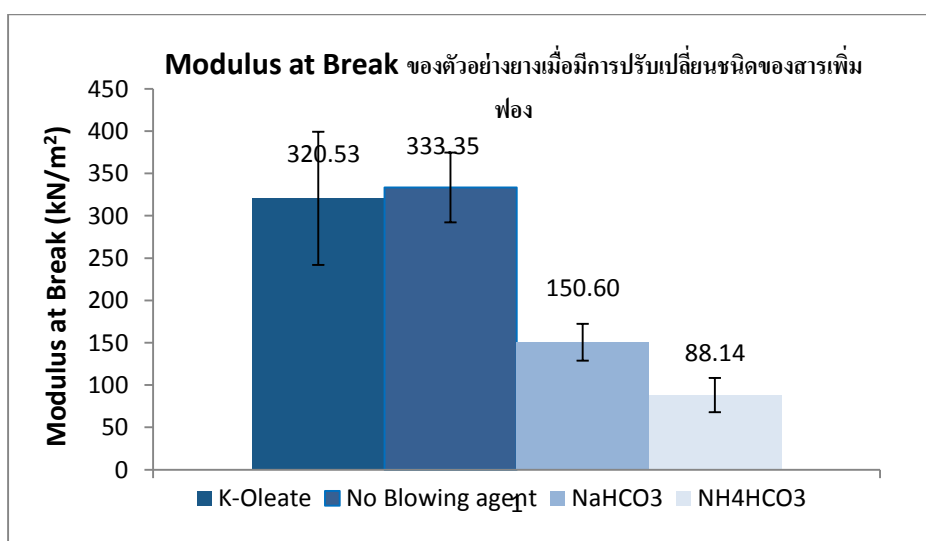
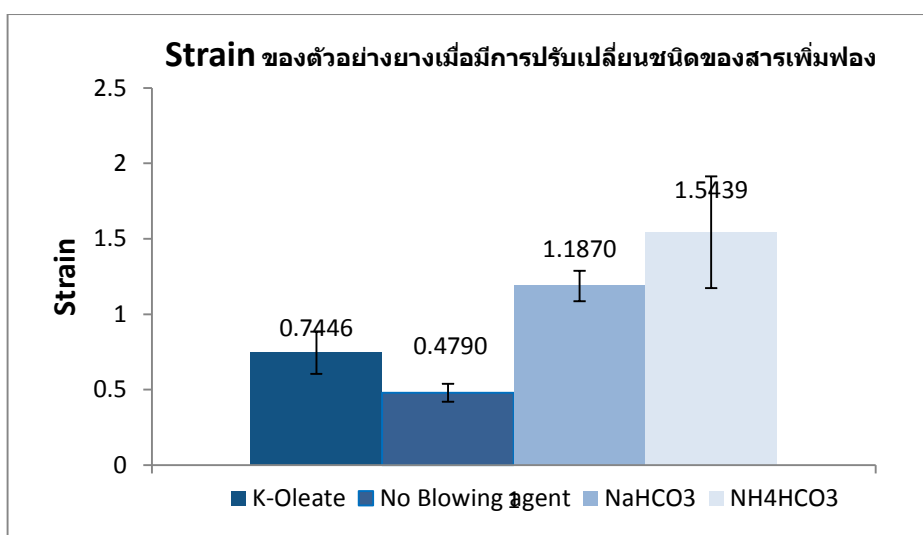
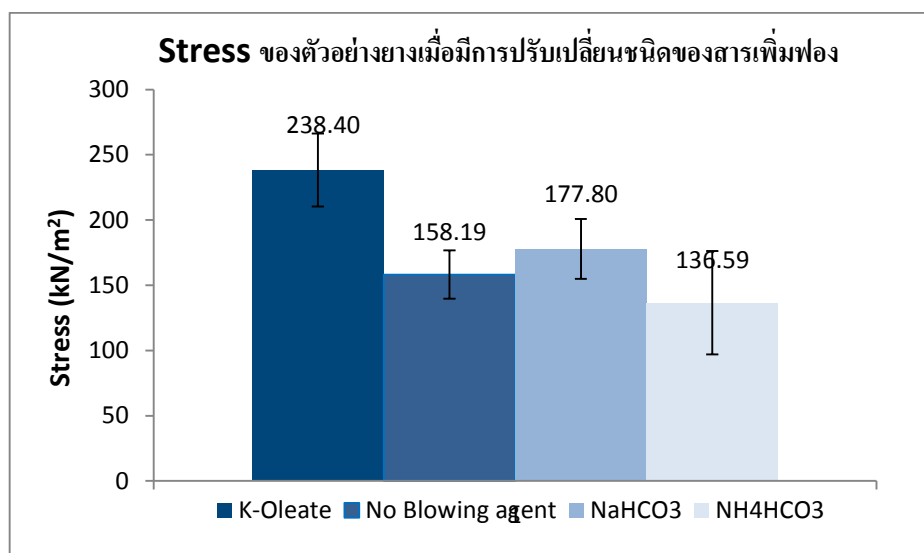
- ความแข็ง (Hardness): ASTM D2240-03



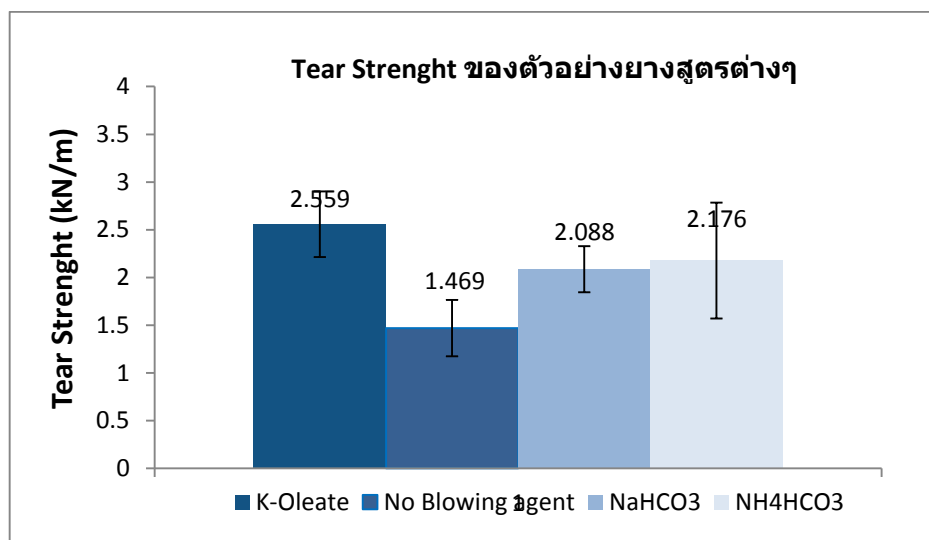
- การทนแรงอัด (Compression Set): ASTM D395-03



- การทนแรงดึง (Tensile strength): ASTM D 412



- การทนแรงฉีกขาด (Tear strength): ASTM D624-00



ภาคผนวก 2

แบบประเมินความพึงพอใจหุ่นจำลอง

ผู้ประเมิน นิสิตสาขารังสีเทคนิค ชั้นปีที่ 4 คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ระดับการประเมินความพึงพอใจแบ่งออก เป็น 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับ 5 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด
ระดับ 4 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
ระดับ 3 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
ระดับ 2 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับพอใช้
ระดับ 1 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
1. ความเหมือนจริงของลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์					
2. ความสวยงาม					
3. ความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้					
4. น้ำหนักของหุ่นจำลอง					
5. หุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้นช่วยให้เข้าใจขั้นตอนและกระบวนการทางรังสีรักษา					
6. ต้นทุนในการพัฒนาหุ่นจำลองมีความเหมาะสม					
7. ความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานของหุ่นจำลองเพื่อฝึกทักษะการรักษา					
8. ประโยชน์ของการประยุกต์ใช้งานของหุ่นจำลองในการเรียนการสอน					
9. ความพึงพอใจในภาพรวมของการใช้งานหุ่นจำลองสำหรับการเรียนการสอน					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินความพึงพอใจ

การประเมินคุณภาพและความพึงพอใจด้านการประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองทางรังสีรักษา

ผู้ประเมิน

☐ สำหรับนักรังสีการแพทย์ ☐ นักฟิสิกส์การแพทย์ ☐ รังสีแพทย์ ☐ อื่นๆ.....

ระดับการประเมินความพึงพอใจแบ่งออก เป็น 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับ 5 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด
 ระดับ 4 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
 ระดับ 3 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
 ระดับ 2 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับพอใช้
 ระดับ 1 หมายถึง ความพึงพอใจอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ				
	5	4	3	2	1
ด้านความเหมือนจริง					
1. ความเหมือนจริงของลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์					
2. ความสวยงาม					
3. ความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้					
ด้านการประยุกต์ใช้งานทั่วไป					
4. ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย					
5. ความสะดวกในการใช้งาน					
6. ความคงทนในการใช้งาน					
7. ความสะดวกในการเก็บรักษา					
ด้านการประยุกต์ใช้งานฝึกทักษะการรักษา					
8. สามารถจัดทำฉายรังสีได้เหมือนจริง					
9. ภาพถ่ายรังสีแสดงโครงสร้างอวัยวะที่เหมือนจริง					
10. การกำหนดขอบเขตของอวัยวะที่ต้องการฉายและอวัยวะสำคัญ					
11. หุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้นช่วยเพิ่มทักษะการรักษา					
12. หุ่นจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความสมจริงสำหรับฝึกทักษะการรักษา					

ข้อเสนอแนะ

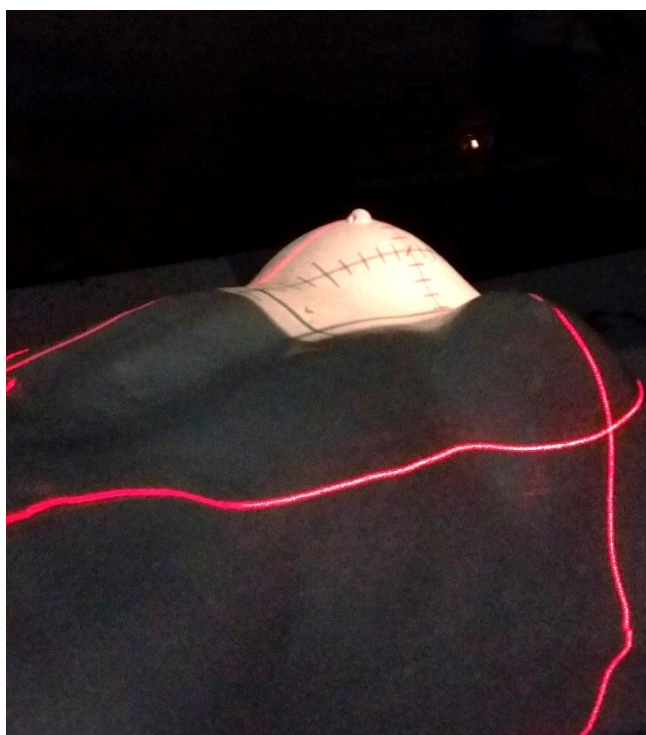
.....

.....

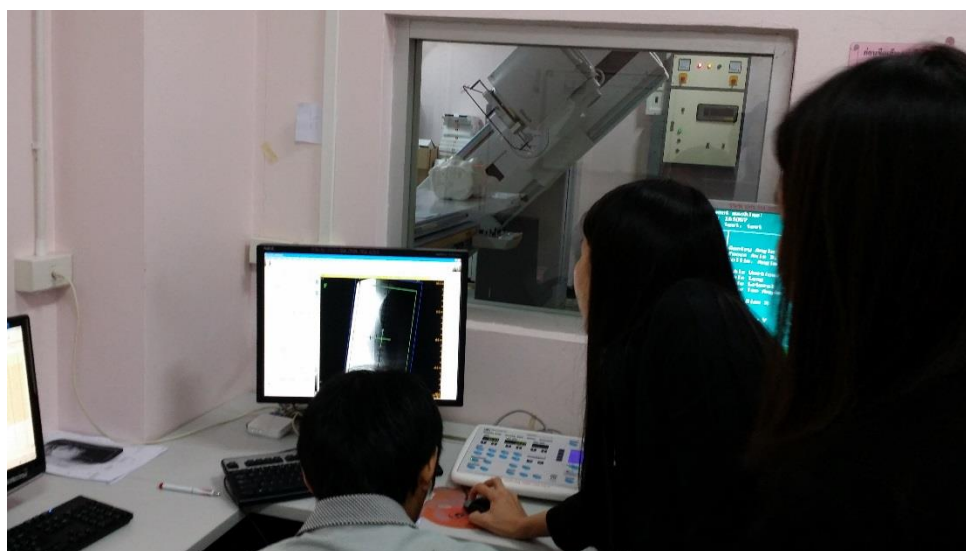
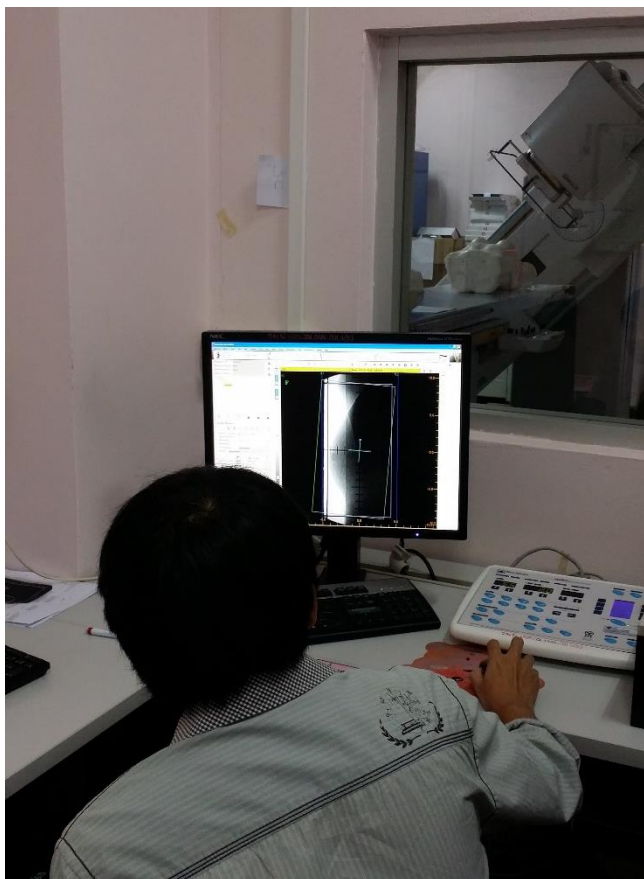
.....

ภาคผนวก 3

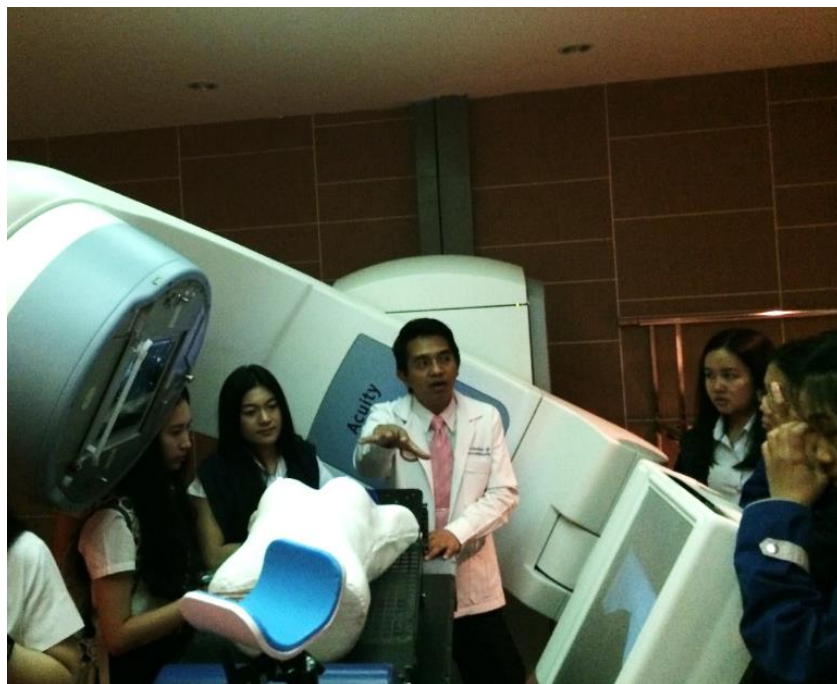
การประเมินคุณภาพและความพึงพอใจด้านการประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองทางรังสีรักษา



ภาพแสดงการประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองทางรังสีรักษาด้วยเครื่อง conventional simulator แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลพุทธชินราช จ.พิษณุโลก



ภาพแสดงการประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองทางรังสีรักษาโดยแพทย์ทางรังสีรักษา นักฟิสิกส์การแพทย์และ
นักรังสีการแพทย์ ด้วยเครื่อง conventional simulator แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลพุทธชินราช จ.
พิษณุโลก



ภาพแสดงการประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองทางรังสีรักษาสำหรับการเรียนการสอนด้วยเครื่อง conventional simulator แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก



ภาพแสดงการประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองทางรังสีรักษาสำหรับการเรียนการสอนด้วยเครื่อง conventional simulator แผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับ

ตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการมา	ผลที่ได้รับ
1. เพื่อพัฒนาหุ่นจำลองอวัยวะเชิงกรานเพื่อเป็นสื่อในการเรียนการสอนและฝึกทักษะ ของการฉายรังสีระยะใกล้ สำหรับการรักษามะเร็งปากมดลูก 2. เพื่อประยุกต์ใช้งานหุ่นจำลองในการฝึกทักษะ และเป็นสื่อในการเรียนการสอนของการรักษาผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกของการฉายรังสีระยะใกล้ 3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของหุ่นจำลองที่ผลิตขึ้นในด้านการใช้งานและความสมจริง และการเป็นสื่อการเรียนการสอน	1. พัฒนาสูตรและเทคนิคการทำยางพองน้ำสำหรับการทำหุ่นจำลองจากยางพารา โดยสร้างชิ้นงานจากสูตรต่างๆ และนำไปให้ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจ	สร้างชิ้นงานจากสูตรต่างๆ และนำไปให้ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจ จากนั้นใช้สูตรที่พัฒนาและเทคนิคการทำยางพองน้ำสร้างหุ่นจำลองจากยางพารา	ได้สูตรยางพาราที่ได้ความหนาแน่นของยางพารามีคุณสมบัติเชิงกลตามต้องการตามชิ้นงานที่ผู้ใช้งานพึงพอใจมากที่สุด
	2. ออกแบบหุ่นจำลองอวัยวะเชิงกราน โดยพัฒนาสำหรับการศึกษาด้านกายวิภาคศาสตร์ และการจำลองการใส่อุปกรณ์สอดใส่แล้ว	ออกแบบหุ่นจำลองอวัยวะเชิงกรานโดย ให้มีขนาดตามมาตรฐานที่ศึกษามา ออกแบบให้มีส่วนที่สามารถใส่อุปกรณ์สอดใส่แล้ว เพื่อจำลองให้เห็นตัวอย่างการใส่อุปกรณ์จริง และสร้างภาพเอกซเรย์หุ่นจำลอง	ได้แบบของหุ่นจำลอง ที่ต้องการ
	3. ปั้นหุ่นต้นแบบตามที่ต้องการ ออกแบบไว้	ปั้นหุ่นจำลองต้นแบบโดยอาจารย์จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร	ได้หุ่นจำลองต้นแบบจากดินน้ำมัน ที่มีขนาดรูปร่างตามที่ออกแบบไว้
	4. สร้างแม่พิมพ์และหล่อแบบหุ่นจำลอง และสร้างแม่พิมพ์ของกระดูกส่วนต่างๆ	สร้างแม่พิมพ์จากปูนปลาสเตอร์และซิลิโคน โดยถอดแบบโดยอาจารย์จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	ได้แม่พิมพ์
	5. สร้างหุ่นจำลอง	สร้างหุ่นจำลอง ที่มีกระดูกอวัยวะภายใน	ได้หุ่นจำลอง ทั้ง 2 ด้าน ที่สามารถนำมาประกอบกันได้
	6. ประยุกต์ใช้หุ่นจำลอง	นำหุ่นจำลองมาประยุกต์ใช้	ได้ผลการประเมินความพึง

	เพื่อการศึกษาของนิสิต เพื่อให้เห็นภาพของการ ใส่อุปกรณ์ รวมถึงการ นำหุ่นไปประยุกต์สร้าง ภาพเอกซเรย์ 2 มิติ และ ภาพเอกซเรย์ คอมพิวเตอร์	ในการเรียนการสอน และ การใช้งาน สร้างภาพ เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ และ ภาพเอกซเรย์ 2 มิติ และ ประเมินความพึงพอใจของ นิสิตรังสีเทคนิค และ ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีรักษา	พอใจเพื่อวิเคราะห์ ความ เหมาะสมของการใช้งานของ หุ่นจำลอง
	7. ทำการวิเคราะห์และ เขียนรายงานผล สำหรับหุ่นจำลองอึ้งเชิง กราน เพื่อการฝึก ทักษะการสร้างภาพ เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ สำหรับการรักษามะเร็ง ปากมดลูก ด้วยรังสี ระยะใกล้	เขียนรายงาน วิเคราะห์ผล การทดลอง และจัดพิมพ์ รายงานฉบับสมบูรณ์	ได้รายงานฉบับสมบูรณ์