



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

“ชุดวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อการรักษาและการเรียนการสอนแพทย์  
จากยางธรรมชาติ”

“Advanced researched and development medical instruments for training model from  
natural rubber”

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ แพทย์หญิง จรินทร์ สิริรัฐวรรณ และคณะ

1 มกราคม 2559 ถึง 31 ธันวาคม 2559

“งานวิจัยยังไม่เสร็จสมบูรณ์ โปรดอย่านำไปใช้อ้างอิง”

## สารบัญ

### หน้า

#### ข้อมูลโครงการ

|                                                                                       |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---|
| - ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ                                                    | 3 |
| - วัตถุประสงค์                                                                        | 4 |
| - ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                                           | 4 |
| - แผนงานวิจัย ชุดอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อการรักษาและการฝึกโดยแพทย์ จากยางธรรมชาติ     | 5 |
| - Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และที่ได้จริง                                        | 6 |
| - ผลการดำเนินงานในส่วนแผนงาน                                                          | 7 |
| - ข้อเสนอแนะที่คิดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อสอดคล้องภาคปฏิบัติจริง | 7 |
| - แนวทางในการแก้ไขปัญหา                                                               | 7 |

#### สรุปผลการดำเนินโครงการย่อยที่ 1

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| - วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย                                                         | 10 |
| - ผลการดำเนินโครงการวิจัย                                                             | 10 |
| - สรุปผลการวิจัย                                                                      | 10 |
| - ข้อเสนอแนะที่คิดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อสอดคล้องภาคปฏิบัติจริง | 11 |
| - ผลงานทางวิชาการที่เกิดขึ้น                                                          | 11 |
| - แผนการดำเนินโครงการ                                                                 | 12 |
| - ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                                           | 13 |
| - ผลสรุปเปรียบเทียบผลลัพธ์กับกิจกรรมที่เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการ                        | 13 |

#### สรุปผลการดำเนินโครงการย่อยที่ 2

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| - วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย                                                         | 15 |
| - ผลการดำเนินโครงการวิจัย                                                             | 15 |
| - สรุปผลการวิจัย                                                                      | 16 |
| - ข้อเสนอแนะที่คิดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อสอดคล้องภาคปฏิบัติจริง | 16 |
| - ผลงานทางวิชาการที่เกิดขึ้น                                                          | 16 |
| - แผนการดำเนินโครงการ                                                                 | 17 |
| - ผลสรุปเปรียบเทียบผลลัพธ์กับกิจกรรมที่เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการ                        | 18 |
| - ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                                           | 19 |

สัญญาเลขที่ RDG5950020

ชุดวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อการรักษาและการเรียนการสอนแพทย์จากยางธรรมชาติ

Advanced researched and development medical instruments for training model

From natural rubber

### รายงานฉบับสมบูรณ์

#### ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการ

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อแผนงาน (ภาษาไทย) ชุดวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อการรักษาและการเรียนการสอนแพทย์  
จากยางธรรมชาติ

ชื่อแผนงาน (ภาษาอังกฤษ) Advanced researched and development medical Instruments for training  
Model from natural rubber

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 การพัฒนาเฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต  
จากยางธรรมชาติ

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 Ankle slab for preventive foot drop in stroke patient from Natural rubber  
การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด  
จากยางธรรมชาติ  
Advanced Intercostal drainage model for medical Training From  
Natural rubber

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล ผศ.พญ.จรินทร์รัตน์ สิริรัฐวรณ

หน่วยงาน ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ที่อยู่ ภาควิชาจักษุ โสต ศอ นาสิก ลาริงซ์ 62 หมู่ 7 ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์  
จังหวัดนครนายก 26120

โทรศัพท์/โทรสาร 02-564-6900 ต่อ 2536 / 02-564-6901-3

มือถือ 037-395-085-10331-3 โทรมือถือ 081-911-3312

E-mail [jeed9000@yahoo.co.th](mailto:jeed9000@yahoo.co.th)

ได้รับอนุมัติงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

งบประมาณทั้งโครงการ 1,900,270 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 12 เดือน เริ่มทำการวิจัยเมื่อ 1 มกราคม 2559 ถึง 31 ธันวาคม 2559

## ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประมาณการผลผลิตยางธรรมชาติโดยรวมทั้งประเทศของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในปี พ.ศ. 2557 ของประเทศไทยทั้งหมด 4,027,076 ตัน ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2556 ร้อยละ 4.25 เนื่องจากมีการขายตัวของพื้นที่ปลูกยางทั่วทุกภาคของประเทศไทยจึงทำให้ปริมาณผลผลิตมีการขยายตัวสูงขึ้นไปด้วย ภาพรวมการผลิตยางแผ่นและยางแท่งในครึ่งปีแรกของปี พ.ศ. 2558 ขยายตัวลดลงจากช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2557 ร้อยละ 23.20 และ 2.36 ตามลำดับ เนื่องจากการชะลอตัวของอุตสาหกรรมรถยนต์ในประเทศและเศรษฐกิจฟื้นตัวช้า เนื่องจากความต้องการใช้ทั้งในประเทศและต่างประเทศยังไม่กระเตื้องขึ้นนัก ซึ่งเป็นปัจจัยกระตุ้นการขยายตัวภาคการผลิตยางแปรรูปของไทย ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาราคายางตกต่ำส่งผลให้รายได้ของเกษตรกรชาวสวนยางลดลงเป็นอันมาก รัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าวและได้บรรจุเป็นวาระเร่งด่วนที่ต้องได้รับการแก้ไขปัญหานี้ แนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหาราคายางของประเทศ คือ การกระตุ้นปริมาณการใช้งานในประเทศมากขึ้น ในการศึกษาทางด้านของวิทยาศาสตร์สุขภาพ อันได้แก่ คณะแพทยศาสตร์ ทันตแพทยศาสตร์ และคณะพยาบาลศาสตร์ นั้นมีความจำเป็นต้องใช้หุ่นจำลองและอุปกรณ์ในการศึกษาและสื่อการสอนที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นมูลค่าหลายล้านบาทต่อปี ตลอดจนในการรักษาผู้ป่วยนั้นมีความต้องการในการใช้เครื่องมือแพทย์และอุปกรณ์ช่วยเหลือที่มีราคาสูงและมีความต้องการเป็นจำนวนมาก ทางคณะผู้วิจัยเล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าว และจากประสบการณ์ที่ผ่านมาทำให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์และชุดอุปกรณ์สื่อการสอนในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ดังเช่นในโครงการ“หุ่นจำลองระบบโพรงจมูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดผลการของแพทย์” ที่ได้รับทุนในการดำเนินโครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2556 และ โครงการ“หุ่นจำลองระบบกล่องเสียงอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกส่อกล้องและสืบสิ่งแปลกปลอม” ที่ได้รับทุนในการดำเนินโครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2557 ได้มีการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นวัสดุหลักในการผลิตสื่อการสอนทางการแพทย์ดังกล่าวและพบว่า ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีความเป็นไปได้ในการใช้ผลิตอุปกรณ์หุ่นจำลองสื่อการสอนทางการแพทย์ มีสมบัติที่ยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม ใกล้เคียงกับผิวสัมผัสของผิวหนังมนุษย์ สามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยเก็บรายละเอียดต่างๆ ได้ดี สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆ ได้หลากหลาย ทำความสะอาดได้ง่าย คณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะต่อยอดผลงานวิจัยจากทั้งสองโครงการวิจัยดังกล่าว เพื่อพัฒนาการใช้งานยางธรรมชาติสำหรับผลิตเครื่องมือทางการแพทย์และสื่อการสอนทางการแพทย์ โดยจะนำสูตรยางเบื้องต้นที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิจัยทั้งสองโครงการมาพัฒนาเพื่อผลิตเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ อันได้แก่ “เสื้อก๊อมนี้อุ่นประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาตจากยางธรรมชาติ” ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ชิ้นแรกที่คณะผู้วิจัยจะพัฒนาขึ้นโดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยจะใช้ประโยชน์จากความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และทำความสะอาดได้ง่าย ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการในการผลิตอุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อทำให้เกิดความง่ายและสะดวกในการใช้งานกับผู้ป่วยและผู้ดูแลผู้ป่วยเมื่อออกจากโรงพยาบาล อันจะเป็นอุปกรณ์การแพทย์ต้นแบบของคณะผู้วิจัยในการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์จะสร้าง

มูลค่าเพิ่มและสร้างประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติให้กับอุตสาหกรรมอุปกรณ์ในประเทศไทยต่อไป นอกจากนี้คณะผู้วิจัยต้องการต่อยอดงานวิจัยจากโครงการวิจัย ในปีพ.ศ. 2556 และ 2557 ในการพัฒนาการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนให้แก่ นิสิตและนักศึกษาแพทย์ เพื่อให้ได้ใช้เป็นอุปกรณ์ในการฝึกฝนและพัฒนาทักษะให้เกิดความถูกต้องและชำนาญก่อนไปทำการรักษาจริง จึงได้ตั้งวัตถุประสงค์ในการพัฒนา “หุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอดจากยางธรรมชาติ” โดยจะอาศัยสูตรยางเบื้องต้นและผลการวิจัยจากโครงการวิจัย ในปี พ.ศ. 2556 และ 2557 มาพัฒนาต่อยอดในโครงการวิจัยนี้ ดังนั้นในชุดโครงการวิจัยนี้จึงเกิดจากการต่อยอดจากองค์ความรู้ในการออกสูตรยางและกระบวนการผลิต ที่เกิดจากการดำเนินการวิจัยจากโครงการวิจัย ในปี พ.ศ. 2556 และ 2557 ดังที่กล่าวมาแล้ว และมีวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาการใช้ยางธรรมชาติเป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์และสื่อการสอนทางการแพทย์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติต่อไป

### วัตถุประสงค์ของแผนงานวิจัย

1. เพื่อให้ได้วัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ ที่มีความทันสมัยมีคุณสมบัติเหมาะสมในการฝึกทำหัตถการของแพทย์ และวัสดุอุปกรณ์ในการดูแลรักษาผู้ป่วย
2. ได้ต้นแบบยางพารา สูตรน้ำยางที่เหมาะสมในแต่ละผลิตภัณฑ์ ที่มีประสิทธิภาพที่ดี มีความทันสมัย เพื่อมุ่งเป้าผลิตเชิงพาณิชย์
3. เพื่อพัฒนาการใช้ยางธรรมชาติเป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์และสื่อการสอนทางการแพทย์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบชุดวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ จากยางธรรมชาติ และได้ผลประเมินความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำต้นแบบผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ มุ่งเป้าสู่การค้าเชิงพาณิชย์ได้

แผนงานวิจัย ชุดอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อการรักษาและการฝึกโดยแพทย์ จากยางธรรมชาติ

| ขั้นตอนการดำเนินงาน                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | เดือนที่ |   |    |    |    |    |   |   |   |    |    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---|----|----|----|----|---|---|---|----|----|----|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1        | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1. สัมมนาในกลุ่มย่อยเพื่อกำหนดการทำงานให้เป็นไปตามแผนที่เสนอ                                                                                                                                                                                                                                                               | ←→       |   |    |    |    |    |   |   |   |    |    |    |
| 2. จัดประชุม หรือประชุมทาง Teleconference เพื่อติดตามการดำเนินงานของโครงการกลุ่มย่อยทุก 1 เดือน เพื่อติดตามความก้าวหน้า ผู้อำนวยการแผนงานช่วยติดต่อประสานงานหน่วยงานทางการแพทย์เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับแต่ละโครงการวิจัย หัวหน้าโครงการย่อยต้องนำเสนอความก้าวหน้า ปัญหาและอุปสรรค เตรียมรายงานเพื่อนำเสนอต่อ สกว. 6 เดือน | ←→       |   |    |    |    |    |   |   |   |    |    |    |
| 3. เตรียมรายงานผลความก้าวหน้าของนักวิจัยในโครงการย่อย ติดต่อประสานงานประชุม เพื่อติดตามความก้าวหน้า ผลักดันการทำงานให้เป็นไปตามแผนงาน โดยหัวหน้าโครงการต้องเสนอความก้าวหน้า สูตร และชิ้นงานจำลองปัญหา อุปสรรค แนวทางแก้ไข                                                                                                  |          |   | ←→ |    |    |    |   |   |   |    |    |    |
| 4. นัดประชุมใหญ่ กับผู้วิจัยทุกท่านให้เสนอผลงานในกลุ่มย่อย เพื่อเตรียมสรุปผลการวิจัย ชิ้นงาน และสรุปรายงาน จัดทำรูปเล่ม โดยหัวหน้าโครงการย่อยต้องเป็นผู้เสนอความก้าวหน้า สูตร และชิ้นงานจำลองปัญหา อุปสรรค แนวทางแก้ไข                                                                                                     |          |   |    | ←→ |    |    |   |   |   |    |    |    |
| 5. เตรียมนำเสนอผลงานกับ สกว. และนักวิจัยที่สนใจ รวมทั้งผู้ประกอบการเพื่อหาแนวร่วมในการพัฒนางานวิจัยสู่การค้าเชิงพาณิชย์                                                                                                                                                                                                    |          |   |    |    | ←→ |    |   |   |   |    |    |    |
| 6. สรุปผลการวิจัย สรุปรายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สกว. ประชุมเพื่อรับฟังคำชี้แนะและข้อเสนอแนะปิดโครงการ                                                                                                                                                                                                                      |          |   |    |    |    | ←→ |   |   |   |    |    |    |

ตารางเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และที่ได้จริง

| กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือ<br>จากการปรับแผน                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ผลสำเร็จ<br>(%) | ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%)<br>ให้ระบุสาเหตุและการแก้ไขที่ท่าน<br>ดำเนินการ                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. ประชุมกลุ่มย่อยเพื่อกำหนดการทำงานให้เป็นไปตามแผน                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 100 %           | จัดประชุมเป็นไปตามกำหนด                                                                                                                           |
| 2. ติดต่อประสานงาน จัดประชุม หรือประชุมทาง Teleconference เพื่อติดตามการดำเนินงานของโครงการกลุ่มย่อยทุก 1 เดือน เพื่อติดตามความก้าวหน้า ผู้อำนวยการแผนงานช่วยติดต่อประสานงานหน่วยงานทางการแพทย์เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับแต่ละโครงการวิจัย หัวหน้าโครงการย่อยต้องนำเสนอความก้าวหน้า ปัญหาและอุปสรรคเตรียมรายงานเพื่อนำเสนอต่อ สกว. 6 เดือน | 100 %           | ประสานงานกับทีมนักวิจัย ให้รายงานความก้าวหน้าในรอบ 6 เดือน พร้อมรายงานปัญหาและอุปสรรค เพื่อหาแนวทางแก้ไข เพื่อเตรียมรายงานความก้าวหน้ารอบ 6 เดือน |
| 3. เตรียมรายงานผลความก้าวหน้าของนักวิจัยในโครงการย่อย ติดต่อประสานงานประชุม เพื่อติดตามความก้าวหน้า ผลักดันการทำงานให้เป็นไปตามแผนงาน และสรุปรายงาน โดยหัวหน้าโครงการต้องเสนอความก้าวหน้า สูตร และชิ้นงานจำลองปัญหา อุปสรรค แนวทางแก้ไข                                                                                                   | 100 %           | ประสานงานกับทีมนักวิจัย ให้รายงานความก้าวหน้าในรอบ 6 เดือน พร้อมรายงานปัญหาและอุปสรรค เพื่อหาแนวทางแก้ไข เพื่อเตรียมรายงานความก้าวหน้ารอบ 6 เดือน |
| 4. นัดประชุมใหญ่ กับผู้วิจัยทุกท่านให้เสนอผลงานในกลุ่มย่อย เพื่อเตรียมสรุปผลการวิจัย ชิ้นงาน และสรุปรายงาน จัดทำรูปเล่ม โดยหัวหน้าโครงการย่อยต้องเป็นผู้เสนอความก้าวหน้า สูตรและชิ้นงานจำลองปัญหา อุปสรรค แนวทางแก้ไข                                                                                                                     | 100 %           | สรุป รายงานผลงานวิจัย                                                                                                                             |
| 5. สรุปผลการวิจัย สรุปรายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สกว. ประชุมเพื่อรับฟังคำชี้แนะและข้อเสนอแนะปิดโครงการ                                                                                                                                                                                                                                     | 100 %           | จัดส่งรูปเล่มรายงานแก่ สกว. เตรียมนำเสนอผลการดำเนินงาน                                                                                            |
| 6. เตรียมนำเสนอผลงานฉบับสมบูรณ์ต่อ สกว. รวมทั้งผู้ประกอบการเพื่อหาแนวร่วมในการพัฒนางานวิจัยสู่การค้าเชิงพาณิชย์                                                                                                                                                                                                                           | 100 %           | นำเสนอผลการดำเนินงาน                                                                                                                              |

## ผลการดำเนินงานในส่วนแผนงาน

การดำเนินงานส่วนของแผนงานวิจัยมีการติดต่อประสานงานกับทีมนักวิจัย จัดประชุมกลุ่มย่อยเพื่อหาแนวทางการปฏิบัติงานและวางแผนการดำเนินงานวิจัย ทั้งโครงการย่อยที่ 1 และโครงการย่อยที่ 2 เพื่อให้ได้แนวทางการดำเนินงานตามที่วางแผนไว้ให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังนี้

1. เพื่อให้ได้วัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ ที่มีความทันสมัยมีคุณสมบัติเหมาะสมในการฝึกทำหัตถการของแพทย์ และวัสดุอุปกรณ์ในการดูแลรักษาผู้ป่วย
2. ได้ต้นแบบยางพารา สูตรน้ำยางที่เหมาะสมในแต่ละผลิตภัณฑ์ ที่มีประสิทธิภาพที่ดี มีความทันสมัย เพื่อมุ่งเป้าผลิตเชิงพาณิชย์
3. เพื่อพัฒนาการใช้ยางธรรมชาติเป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์และสื่อการสอนทางการแพทย์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ

แผนงานจัดประชุม หรือประชุมทาง Teleconference เพื่อติดตามการดำเนินงานของโครงการย่อยที่ 1 และโครงการย่อยที่ 2 ทุก 1 เดือน เพื่อติดตามความก้าวหน้าการดำเนินโครงการ นำเสนอความก้าวหน้าปัญหาและอุปสรรค เตรียมรายงานเพื่อนำเสนอต่อ สกว. 6 เดือน และติดต่อประสานงานกับหน่วยงานทางการแพทย์เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับแต่ละโครงการวิจัย

เตรียมรายงานผลความก้าวหน้าของนักวิจัยในโครงการย่อย ติดต่อประสานงานประชุม เพื่อติดตามความก้าวหน้า ผลักดันการทำงานให้เป็นไปตามแผนงาน โดยหัวหน้าโครงการต้องเสนอความก้าวหน้า สูตรและชิ้นงานจำลองปัญหา อุปสรรค แนวทางแก้ไข

เตรียมนำเสนอผลงานกับ สกว. และนักวิจัยที่สนใจ รวมทั้งผู้ประกอบการเพื่อหาแนวร่วมในการพัฒนางานวิจัยสู่การค้าเชิงพาณิชย์

## ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. นักวิจัยมีแนวทางในการดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ในการปั้นหุ่นอย่างไร เพื่อรองรับการขยายกำลังการผลิตในการต่อยอดไปสู่เชิงพาณิชย์ เนื่องจากการใช้ 3D printer อาจไม่มีคุณภาพที่เพียงพอหรือมีรายละเอียดของหุ่นที่ไม่ชัดเจน

## แนวทางในการแก้ไขปัญหา

- ในระยะยาวได้ดำเนินการในระดับมหาวิทยาลัย ทำความร่วมมือในด้านงานวิจัยอุปกรณ์ทางการแพทย์กับมหาวิทยาลัยราชภัฏ ชัยบุรี โดยมีคณาจารย์คณะศิลปกรรม ร่วมนาการออกแบบ และผลิตนักปั้นหุ่นทางการแพทย์ มีการเรียนการสอนด้านกายวิภาคเพื่อให้มีนักปั้นหุ่นมากขึ้นในอนาคต
- ในระยะสั้น อาจารย์คณะศิลปกรรมรับงานด้านการออกแบบและปั้นหุ่น ซึ่งเป็นงานใหม่ โดยใช้องค์ความรู้จากงานวิจัยต่อยอดที่ผ่านมา อาจมีปัญหากในการดำเนินงานบ้าง แต่คาดว่าจะแก้ไขปัญหาให้ลุล่วงได้ตามแผนงาน

- แนวทางแก้ไขปัญหาในระยะสั้น โดยการเผยแพร่องค์ความรู้จากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยการจัดอบรมนักปั้นหุ่น ถ่ายทอดเทคนิคการปั้นแบบ การหล่อต้นแบบ เพื่อหานักปั้นหุ่น และให้ความรู้ในด้านกายวิภาคแก่นักปั้นหุ่น เพื่อการผลักดันงานให้มีความหลากหลายเชิงพาณิชย์ดังที่ผู้ประกอบการ

- แนวทางการใช้ระบบการพริ้นสามมิติสำหรับในอนาคต มีความเป็นไปได้ เพื่อให้การแก้ไขแบบสามารถทำได้โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ และตอบสนองต่อความต้องการ ซึ่งแก้ไขปัญหาค่าใช้จ่ายของการออกแบบ และทำแม่แบบ โดยนักวิจัยในทีมอุปกรณ์ทางการแพทย์ ได้นำหัวข้อนี้ไปศึกษาเพื่อหาแนวทางการทำแบบที่ง่ายขึ้นโดยใช้ระบบการสแกน

2. นักวิจัยควรคำนึงถึงการต่อยอดเชิงพาณิชย์ในอนาคต ซึ่งจะต้องมีมาตรฐานผลิตภัณฑ์รองรับ

- ผลิตภัณฑ์ได้ทำมาตรฐานของยางพารา และมาตรฐานในด้านต่างๆรวมถึงความพึงพอใจของผู้ใช้ เพื่อรองรับการทำมาตรฐาน

- วิเคราะห์การนำผลงานไปใช้ประโยชน์ ชุดอุปกรณ์และเครื่องมือการแพทย์จากยางพาราแบบพุงเป่าเพื่อหาต้นแบบในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และเน้นที่กลุ่มผู้ใช้ทางการแพทย์ เป็นงานวิจัยอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้วัสดุยางพาราเป็นองค์ประกอบ เป็นโครงการในชุดผลิตหุ่นจำลองเพื่อการเรียนการสอน ทางด้านของวิทยาศาสตร์สุขภาพ ได้แก่ คณะแพทยศาสตร์ ทันตแพทยศาสตร์ และคณะพยาบาลศาสตร์ ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้หุ่นจำลองทางการแพทย์เป็นอุปกรณ์ในการศึกษาและสื่อการสอน อีกทั้ง ยังเป็นการกระตุ้นปริมาณการใช้ยางธรรมชาติมางานและพัฒนาต่อยอดมาแทนที่ซิลิโคน

การเปรียบเทียบยางที่ใช้ทางการค้าในปัจจุบัน

| ชนิดยางดิบ                        | ผลิตภัณฑ์ยาง                                                                                                                                                    | หมายเหตุ                                                                                                     |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ยางแท่ง STR XL, STR 5L, ADS, RSS1 | ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เกษตรกรรม และการสัมผัส อาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีสรรเส้นด้าย ยึดแบบเหลื่อมกาวยางเทปติดพื้นรองเท้าและส่วนประกอบ เป็นต้น                    | ยางชนิดนี้สีสะอาด และมีสีจาง โดยเฉพาะยางSTR XL และ ยาง STR 5L กับ RSS ค่อนข้างเข้มมาก มีความหนืดสูง          |
| ยาง STR 20, RSS 2, 3, 4, 5        | ผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์ ยางล้อดอก รวมทั้ง ผลิตภัณฑ์ยางอะไหล่ ยางใช้ในงานวิศวกรรม และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป                                                      | ยางมีสีคล้ำ โดยส่วนใหญ่ผสมกับสารตัวเติมเขม่าดำ เพื่อเสริมความแข็งแรง                                         |
| ยางสกิม                           | ผสมยางสกิมกับยางชนิดอื่นๆ สำหรับผลิต ผลิตภัณฑ์ยางที่ไม่ระบุชื่อจำกัด เช่น ยางปูพื้น ยางล้อรถเข็น ยางกัน กระแทก                                                  | เนื่องจากยางสกิมมีสีอ่อน และมีสารที่ไม่ใช่ยางมากกว่ายางปกติ จึงใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางสีจางหรือต้องการแต่งเติมสี |
| น้ำยางข้น                         | ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบ เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย ห่วงยางสำหรับทารก เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำ เช่น ที่นอน หมอน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เส้นด้ายยึดแบบกลม เช่น ท่อยาง กาว | การออกสูตรผลิตภัณฑ์น้ำยางไม่ต้องเติมสารเสริมความแข็งแรง ก็ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวและแข็งแรงมาก           |

หมายเหตุ STR: Standard Thai Rubber RSS: Ribbed Smoked Sheet ADS: Air Dried Sheet

| ชนิดยางซิลิโคน                  | คุณสมบัติ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ผลิตภัณฑ์                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ยางซิลิโคน (Silicone Rubber, Q) | <ul style="list-style-type: none"> <li>-สมบัติเด่นมาก คือ ความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้เยี่ยม ถึง 300 องศาเซลเซียส</li> <li>-ความต้านทานต่อโอโซน อากาศ และแสงอาทิตย์ดีมาก</li> <li>-การหักงอที่อุณหภูมิต่ำเยี่ยม</li> <li>-เป็นฉนวนไฟฟ้าเยี่ยม</li> <li>-มีส่วนประกอบที่ทำให้ติดไฟต่ำ</li> <li>-ยางคงรูปไม่มีสี รส และกลิ่น</li> <li>-ไม่เป็นรา</li> <li>-ทนทานต่อน้ำมัน น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์</li> <li>-ไม่ทนต่อแอมฟาทนิก และน้ำมันอะโรมาติก</li> </ul> <p>เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน ไบโอดีเซลและน้ำมันซิลิโคน</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ฉนวนไฟฟ้า</li> <li>2. ignition cable</li> <li>3. ปะเก็น</li> <li>4. โอริง</li> <li>5. ซีล</li> <li>6. หน้ากากออกซิเจน</li> <li>7. ท่อยางสำหรับอาหารและยา</li> <li>8. roll covering</li> </ol> |

## สรุปผลการดำเนินโครงการย่อยที่ 1

ชื่อโครงการ : การพัฒนาฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : รศ.นพ.นิยม ละออปกนิณ

รายงานฉบับสมบูรณ์ ในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 30 ธันวาคม 2559

โครงการเริ่มเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึง 31 ธันวาคม 2559

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษานาฬิกาเท้าของผู้ป่วยโดยสังเขปของตัวแทนผู้ป่วยในแต่ละกลุ่มอายุในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาการผลิตต้นแบบแผ่นประคองเท้าเพื่อป้องกันข้อเท้าตก
3. เพื่อศึกษาผลการนำไปใช้ในชีวิตจริง เพื่อป้องกันข้อเท้าตก

### ผลการดำเนินโครงการวิจัย

ศึกษานาฬิกาเท้าของผู้ป่วยโดยอาศัยการวัดเพื่อค่าเฉลี่ยและนำมาขึ้นรูปเป็นโครงร่างพลาสติก เพื่อทำแม่พิมพ์ สำหรับทดสอบแม่พิมพ์ยางพารา โดยมีการพัฒนาสูตรยางพาราเพื่อให้เหมาะสมกับฝือกยางพาราให้ตรงกับคุณสมบัติที่ต้องการ หลังจากนั้นนำฝือกยางพาราที่ได้มาศึกษาผลการรักษาในผู้ป่วยข้อเท้าตก และในการศึกษานี้รวมทั้งบาดเจ็บที่ข้อเท้า และเท้าจำนวน 10 ราย ศึกษาด้านการลดอาการปวดเวลาพักผ่อนและทำกิจกรรม ด้านอาการระคายเคือง นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในกลุ่มผู้ป่วยแผลเรื้อรังที่เท้าแทนการใส่ฝือก รวมทั้งกลุ่มผู้ป่วยอุบัติเหตุที่ขาส่วนปลายหรือที่เท้าที่จำเป็นต้องได้รับการรักษาโดยการใส่ฝือก

### สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ มีการวัดขนาดเท้าและขา ในกลุ่มผู้ป่วย เพื่อหาค่าเฉลี่ยและนำมาขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์ เพื่อทำบล็อกสำหรับทดสอบแม่พิมพ์ยางพารา ซึ่งในเบื้องต้นจะเป็นชนิดขาสั้น (ต่ำกว่าเข่าและยาวไปจนถึงปลายเท้า) โดยมีการพัฒนาสูตรยางพาราเพื่อให้เหมาะสมกับฝือกยางพาราให้ตรงกับคุณสมบัติที่ต้องการ

นำฝือกยางพาราที่ได้มาตกแต่งสีและลาย เพื่อเพิ่มความสวยงาม เพื่อให้เกิดความไม่น่าเบื่อ ผลการศึกษาฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ ประเมินความพึงพอใจในกลุ่มผู้ป่วยที่มีสาเหตุมาจากการได้รับบาดเจ็บบริเวณเท้า พบว่า ฝือกยางพาราชนิดแข็ง (คัสติ้ง หรือ แข็งทั้งภายนอกและภายใน) มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับผู้ป่วย จากการศึกษพบว่าขณะใส่ฝือกในเวลาพักผ่อนและทำกิจกรรม ในช่วงสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 8 มีค่าเฉลี่ย 2.70, 1.80, 1.00 ตามลำดับ อาการปวดจะค่อย ๆ

ลดลงหลังจากใส่ฝือกประคองเท้า เนื่องจากฝือกช่วยประคองไม่ให้ข้อเท้าและขา ขยับ ซึ่งเป็นผลทำให้ อาการปวดลดลง จากการทดสอบผลการเกิดอาการระคายเคืองจากการใช้ฝือกอ่อนประคองเท้า พบว่าใน สัปดาห์ ที่ 2 ค่าเฉลี่ย 0.40 สัปดาห์ ที่ 4 ค่าเฉลี่ย 0.30 สัปดาห์ ที่ 8 ค่าเฉลี่ยเป็น 0 อาการระคายเคืองลดลง แสดงให้เห็นว่าผู้ป่วยมีอาการระคายเคืองเล็กน้อยมากเป็นอาการแค่ช่วงแรกที่สวมใส่ฝือกและอาการระคาย เคืองค่อย ๆ หายไป ส่วนการป้องกันอาการระคายเคือง ให้ผู้ป่วยใส่ถุงเท้าก่อนการสวมใส่ฝือกก่อนทุกครั้ง ป้องกันการระคายเคืองผิวหนังที่เกิดจากการแพ้โปรตีนจากยาง ทำให้ผู้ป่วยที่ใช้งานมีความพึงพอใจการใช้งาน ฝือกยางพารามากที่สุด

### ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

จากการศึกษา ควรพัฒนาสูตรยางให้มีน้ำหนักเบา พัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปยางพาราชนิดแบน, คอ, หลัง และสามารถพัฒนาเพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยเหล่านี้ให้กลับมาใช้ชีวิตได้ตามปกติ นอกจากนี้การพัฒนาฝือก ยางพารา เราอาจนำไปใช้ในผู้ป่วยที่มีแผลเรื้อรังบริเวณเท้า โดยอาจมีการเจาะรูฝือกยางพาราดังกล่าว อีก ทั้งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางพาราธรรมชาติในประเทศไทยในอนาคตได้

### ผลงานทางวิชาการที่เกิดขึ้น

1. ได้ผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปยางพาราชนิดขาสั้น เพื่อสามารถนำมาใช้ทดแทนฝือก
2. สามารถนำไปใช้ในกลุ่มผู้ป่วยเป้าหมาย และยังสามารถประยุกต์ใช้ในกลุ่มผู้ป่วยแผลเรื้อรังที่เท้า ทดแทนการใส่ฝือก รวมทั้งกลุ่มผู้ป่วยอุบัติเหตุที่ขาส่วนปลายหรือที่เท้าที่จำเป็นต้องได้รับการรักษา โดยการใส่ฝือก
3. ได้รับการจดอนุสิทธิบัตร

แผนการดำเนินโครงการ

| กิจกรรม                                                                                     | เดือนที่ |     |     |       | ผลที่คาดว่าจะได้รับ                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                             | 1-3      | 4-6 | 7-9 | 10-12 |                                                                                                                                         |
| 1. การศึกษาการวัดขนาดค่าเฉลี่ยของเท้าในผู้ป่วยที่มาใช้บริการทางกายภาพบำบัด                  | ×        |     |     |       | ได้ขนาดค่าเฉลี่ยของเท้าผู้ป่วยแบ่งตามกลุ่มเพศ และกลุ่มอายุ                                                                              |
| 2. พัฒนาสูตรนํ้ายางเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ                                            |          | ×   |     |       | สูตรยางพาราที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม มีความแข็ง มีความยืดหยุ่น และมีความอ่อนนุ่ม มีผิวสัมผัสที่เหมาะสมและมีสีที่ต้องการ                  |
| 3. สร้างแม่พิมพ์ และการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นรองกันข้อเท้าตก                                    |          | ×   | ×   |       | ขึ้นรูปได้ชิ้นงาน และทดสอบความยืดหยุ่น                                                                                                  |
| 4. การทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางสรีรกรรมกระดูกและข้อ |          |     | ×   |       | ได้ผลการประเมินความพึงพอใจต่อชิ้นงานผลิตภัณฑ์และคำแนะนำเพื่อไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์                                                         |
| 5. การทดลองนำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อเท้าตก                              |          |     | ×   |       | ได้ผลการรักษาและป้องกันการเกิดข้อเท้าตก รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ และคำแนะนำเพื่อไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์ |
| 6. การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ตามผลการประเมินคุณภาพและการใช้งานจริง                                |          |     | ×   |       | ได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ต้องการ                                                                                                            |
| 7. ทดสอบแรงยืดหยุ่น และแรงกดทะลุของยางต้นแบบ                                                |          |     |     | ×     | ได้ค่ามาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์                                                                                                            |
| 8. สรุปผลการวิจัยรวบรวมรูปเล่ม และการนำเสนอผลงาน                                            |          |     |     | ×     | สรุปรายงานผลการวิจัย                                                                                                                    |

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบชุดวัสดุเพื่อป้องกันกระดูกข้อเท้าเพื่อป้องกันภาวะข้อเท้าตกในผู้พิการทางสมองจากยางธรรมชาติ โดยทำต้นแบบขนาดต่างๆ ได้ขนาดเท้าและน่องของผู้ป่วยแบ่งตามเพศและวัย และได้ผลประเมินความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำต้นแบบผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ มุ่งเป้าสู่การค้าเชิงพาณิชย์ได้

## ผลสรุปเปรียบเทียบผลลัพธ์กับกิจกรรมที่เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการ

| กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือจากการปรับแผน                                                   | ผลสำเร็จ (%) | ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ระบุสาเหตุและการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. การศึกษาการวัดขนาดค่าเฉลี่ยของเท้าในผู้ป่วยที่มาใช้บริการทางการแพทย์                     | 100%         | ปัญหาและอุปสรรค<br>1. การวัด ต้องวัดในช่วงเวลาบ่าย เนื่องจากความเร่งรีบในการตรวจผู้ป่วยที่มีเป็นจำนวนมากของแพทย์ในตอนเช้า<br>2. เพื่อความแม่นยำ และไม่ให้เกิดสับสน จึงใช้คนวัดเพียง 2 คน ซึ่งต้องใช้เวลานาน |
| 2. พัฒนาคู่มือการใช้งานเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ                                        | 100%         | ผลิตคู่มือการใช้งานเพิ่มเติมยังไม่สำเร็จ                                                                                                                                                                    |
| 3. สร้างแม่พิมพ์ และการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นรองกันข้อเท้าตก                                    | 100 %        | อยู่ในกระบวนการขึ้นรูปแม่พิมพ์                                                                                                                                                                              |
| 4. ทดสอบแรงยึดหยุ่น และแรงกดทะลุของยางต้นแบบ                                                | 100 %        | ได้ทดสอบแรงยึดหยุ่นในส่วนเฉพาะที่นำมาใช้ในการศึกษา                                                                                                                                                          |
| 5. การทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางศัลยกรรมกระดูกและข้อ | 100 %        | ทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางศัลยกรรมกระดูกและข้อ                                                                                                                       |
| 6. การทดลองนำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อเท้าตก                              | 100 %        | นำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อเท้าตก                                                                                                                                                         |
| 7. การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ตามผลการประเมินคุณภาพและการใช้งานจริง                                | 100 %        | นำผลตอบรับที่ได้มาปรับปรุงชิ้นงานเพื่อคุณภาพและการใช้งานจริง                                                                                                                                                |



แผนภาพที่ 1 แสดงฝีก่อนประคองเท้า

## สรุปผลการดำเนินโครงการย่อยที่ 2

ชื่อโครงการ : การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด จากยางธรรมชาติ

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : ผศ.พญ.จรินทร์น์ สิริรัฐวรรณ

รายงานฉบับสมบูรณ์ ในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 30 ธันวาคม 2559

โครงการเริ่มเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึง 31 ธันวาคม 2559

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างหุ่นจำลองช่องอก เพื่อฝึกหัตถการการใส่ท่อระบายของเหลวจากช่องปอด
2. คิดตั้งระบบการทำงานการไหลเวียนของเลือดเมื่อสอดท่อระบายของเหลวเข้าไปในช่องอก เซ็นเซอร์จะทำงานให้ระบบบีบเปิดให้น้ำไหลเข้าช่องปอด และระบบคัดการไหลของน้ำเพื่อไม่ให้น้ำขังในบริเวณช่องเยื่อหุ้มปอดมากเกินไป
3. คิดตั้งระบบเตือนด้วยเซนเซอร์ และแสงวงจรถืออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเตือนผู้ทำหัตถการ เมื่อเกิดการทำการหัตถการผิดพลาด โดยกำหนดการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่บริเวณกระดูกซี่โครงที่ 3 และที่ 6 (ตำแหน่งที่ทำการเจาะอยู่ที่ 4-5) เพื่อเตือนเมื่อมีการทำการหัตถการที่ผิดพลาด
4. ทำการทดสอบกับนิสิตแพทย์ แพทย์ฝึกหัด แพทย์ประจำบ้าน และอาจารย์แพทย์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อระบายของเหลวจากช่องเยื่อหุ้มปอด (Intercostal drainage)

### ผลการดำเนินโครงการวิจัย

การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด จากยางธรรมชาติ เป็นการใส่ท่อระบายน้ำออกจากช่องเยื่อหุ้มปอด ทำหัตถการใส่สายท่อแบบอ่อนภายในเยื่อหุ้มปอด เพื่อระบายของเหลวหรือลมออกจากช่องปอด หุ่นจำลองนี้ได้จำลองภาวะเลือดออกในช่องเยื่อหุ้มปอด คิดตั้งกลไกการควบคุมของเหลว ระบบเตือนในกรณีที่ทำหัตถการผิดพลาด เพื่อให้ นิสิตแพทย์ได้ฝึกหัดจนเกิดความรู้ความชำนาญในการลงมือทำหัตถการ ผลการสำรวจรูปร่างทั่วประเทศ (Size Thailand) เพศชาย มีน้ำหนักเฉลี่ย 68.83 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 169.46 เซนติเมตร ขนาดรอบอกเฉลี่ย 39.10 นิ้ว หรือ 99.20 เซนติเมตร เพศหญิง มีน้ำหนักเฉลี่ย 57.40 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 157.00 เซนติเมตร ขนาดรอบอกเฉลี่ย 36 นิ้ว

สูตรยางที่ใช้ผลิตช่วงลำตัวและปอดเป็นสูตรยางคอมปาวด์ ประกอบด้วย 60% น้ำยางข้น ร้อยละ 77.67 สาร 10% โพลีเอทิลีน โอลิเอท ร้อยละ 8.37 สาร 50% ซัลเฟอร์ ร้อยละ 1.87 สาร 50% แซดดีอีซี ร้อยละ 0.93 สาร 50% แซดเอ็มบีที ร้อยละ 0.93 สาร 50% วิงสเคย์แอล ร้อยละ 0.93 สาร 33% ดีพีจี ร้อยละ 0.93 สาร 50% ซิงค์ออกไซด์ ร้อยละ 4.65 สาร 12.5% เอสเอสเอฟ ร้อยละ 3.72

สูตรแผ่นยางเจาะปอด เพื่อทดลองการฉีดยาและจำลองการผ่าตัด ใช้สูตรยางแท่ง STR 5 (100 phr), 2-Mercaptobenzothiazole (MBT) 0.5 phr, Diphenylguanidine (DPG) 0.2 phr, zinc oxide 3 phr, Stearic acid 1 phr ใช้สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต และทัลคัมเพื่อลดความเหนียว ในการทดลองนี้พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนต

(60 phr) มีความเหมาะสมในการลดความหนืดของแผ่นยางลงสามารถกรีดโดยออกแรงกรีดพอดี สามารถทำให้แผ่นยางขาดได้ง่ายขึ้น

### สรุปผลการวิจัย

หุ่นจำลองจากยางธรรมชาติ เป็นหุ่นจำลองต้นแบบที่ทำจากน้ำยางดิบธรรมชาติ ผสมส่วนผสมจนเป็นน้ำยางคอมปาวด์ และขึ้นรูปพร้อมบรรจุถึงน้ำทดแทนของเหลวในช่องปอด ทำการติดตั้งระบบสัญญาณเตือนการทำหัตถการผิดพลาด รวมถึงการติดตั้งระบบการเตือนเมื่อการทำหัตถการผิดพลาด สามารถทำให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนตนเองจนเกิดความชำนาญ โดยระบบหุ่นอัจฉริยะจะใส่ระบบเตือนด้วยเสียงเมื่อการทำหัตถการผิดพลาดตำแหน่ง โดยใช้ระบบการตรวจสอบสัญญาณและเตือนด้วยเสียง มีการติดตั้งระบบการตรวจจับท่อระบายของเหลวจากเยื่อหุ้มปอด เมื่อการทำหัตถการและสอดท่อเข้าช่องปอด ระบบการไหลเวียนของสารน้ำในช่องปอดจะทำงาน และการไหลเวียนของสารน้ำในช่องปอด พร้อมระบบเตือนด้วยไฟเตือน ซึ่งสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการฝึกการทำหัตถการ ทดแทนการสั่งซื้อหุ่นจำลองจากไฟเบอร์กลาสที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศได้ โดยได้รับความพึงพอใจในการใช้งานจากบุคลากรทางการแพทย์ในระดับสูงกว่าการใช้งานของหุ่นไฟเบอร์กลาสในทุก ๆ ด้าน

### ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. ควรมีการการจัดประชุมให้นักวิจัย (Researchers) โรงงานผู้ผลิต (Industrial groups) รวมถึงสถาบันทางการแพทย์ ผู้ใช้โดยตรง (steak holder) ได้พบกัน เพื่อแลกเปลี่ยนความเห็นและทิศทางของการผลิตและผลักดันการผลิตเชิงอุตสาหกรรมและนำไปใช้ในอนาคต
2. ปัจจุบันได้รับการติดต่อให้ต่อยอดงานวิจัย เพื่อพัฒนาขบวนการของเหลวจากทรวงอก โดยมีบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์จากยารักษาเป็นที่พักอาศัย ในการพัฒนาขวด ฟา ซิลกันรั่ว และฐานกันลื่นต่อยอดจากงานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาในระดับอุตสาหกรรม เพื่อออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ โดยเน้นการพัฒนาที่มีความทันสมัย สะดวกและมีความปลอดภัยในการใช้งานที่เหมาะสมกับบริบทของสถานบริการทางการแพทย์ของประเทศไทย กล่าวคือปัจจุบันใช้ขวดแก้วสามขวด ซึ่งในทางอุตสาหกรรมเลิกผลิตแล้ว อีกทั้งยังมีความยุ่งยากในการใช้งาน ขวดลื่นเกาะกาะ ทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนกับผู้ป่วยโดยไม่มีการบันทึกรายละเอียด แต่ระยะเวลาในการรักษาและนอนโรงพยาบาลนานขึ้น อาทิ ลมรั่วเข้าเยื่อหุ้มปอดต้องนอนโรงพยาบาลนานขึ้นเป็นสัปดาห์ หรือภาวะการติดเชื้อซ้ำซ้อน รวมถึงการขนย้ายมีความยุ่งยาก และต้องใช้บุคลากรทางการแพทย์หลายคนในการดูแล อนึ่ง เพียงผู้ป่วยของแต่ละโรงพยาบาลมีความหลากหลาย ดังนั้นการออกแบบระบบความปลอดภัยจำเป็นต้องใช้การออกแบบให้เหมาะสม สามารถใช้ได้สถานพยาบาลทั่วไป และใช้ได้หลายหน้าที่

## ผลงานทางวิชาการที่เกิดขึ้น

ผลงานที่เกิดขึ้นได้นำไปทดสอบกับบุคลากรทางการแพทย์ นิสิตแพทย์ เพื่อประเมินความต้องการใช้ และปริมาณการใช้งาน ในเบื้องต้น และการทดสอบมาตรฐาน เพื่อพัฒนางานสู่มาตรฐานสากล และดำเนินการ ของคณาสถิตธิบัตร (อยู่ระหว่างการดำเนินการขอขึ้นทะเบียนสถิตธิบัตร (ส่งขอขึ้นทะเบียน รอการตรวจสอบ เพื่อขึ้นทะเบียน) สามารถใช้เป็นต้นแบบการเรียนการสอนบุคลากรทางการแพทย์ อนึ่ง งานวิจัยนี้ได้รับการ ติดต่อให้ต่อให้พัฒนาต่อของงานวิจัยการสูดสาหรณเพื่อนำไปผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้แก่ ขวดบรรจุ ระบายของเหลวที่ออกจากปอด และความปลอดภัยในการใช้งาน เช่น ซิลกันลมรั่ว อุปกรณ์ป้องกันการลัม ของขวดระบายของเหลวจากปอด โดยมีบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์เชิงพาณิชย์เป็นที่ปรึกษาการพัฒนา ต่อของงานสูดสาหรณ

## แผนการดำเนินงาน

| กิจกรรม                                                                                                     | เดือนที่ |     |     |       | ผลที่คาดว่าจะได้รับ                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                             | 1-3      | 4-6 | 7-9 | 10-12 |                                                                                           |
| 1. พัฒนาสูตรน้ำยาเพื่อผลิตชิ้นงาน จากน้ำยา โดยให้มีคุณสมบัติแทน โครงกระดูก แทนปอด และช่องเยื่อ หุ้มปอด      | ×        |     |     |       | สูตรยาพาราที่มีคุณสมบัติที่ เหมาะสม มีความยืดหยุ่น มี ผิวสัมผัสอ่อนนุ่มและมีสีที่ ต้องการ |
| 2. การปั้นหุ่นจำลอง เพื่อจำลอง โครงสร้างชั้นผิวหนัง โครงกระดูก ตำแหน่งซี่โครง เยื่อหุ้มปอด และชั้น ปอด      | ×        | ×   |     |       | ได้แม่แบบหุ่นจำลองอวัยวะ ส่วนช่องปอด                                                      |
| 3. สร้างแม่พิมพ์เพื่อการขึ้นรูปชิ้นงาน ในแต่ละส่วน ได้แก่ โครงกระดูก ปอด เยื่อหุ้มปอด ถุงน้ำ และชั้นผิวหนัง |          | ×   | ×   |       | ได้แม่พิมพ์ของชิ้นงานในแต่ละ ส่วน                                                         |
| 4. ทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานส่วนต่างๆ จากยาพารา                                                                |          |     | ×   |       | ได้ชิ้นงานจากยาพารา และ ทดลองการประกอบชิ้นงาน แกะไขในส่วนที่ผิดพลาด                       |
| 5. นำชิ้นงานในแต่ละส่วนไปทดสอบ ความยืดหยุ่น                                                                 |          |     | ×   | ×     | ได้ค่ามาตรฐานของชิ้นงาน                                                                   |
| 6. การทดลองจำลองระบบการควบคุม สารน้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด การตั้ง                                              |          | ×   | ×   | ×     | ได้ระบบการปิด-เปิดของกล่อง เสี่ยง และระบบเตือนภัย                                         |

|                                                                                                                                                                                                 |  |  |   |   |                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|---|---|------------------------------------------------------------|
| เวลาควบคุม และการเตือนนอก<br>ตำแหน่งที่จะทำหัตถการ                                                                                                                                              |  |  |   |   | ทางเดินหายใจ                                               |
| 7. ทดสอบการใช้งานโดยการ<br>ตรวจสอบและปรับแก้ต้นแบบ                                                                                                                                              |  |  | × |   | ต้นแบบที่สมบูรณ์พร้อมการ<br>พิจารณา                        |
| 8. นำต้นแบบไปทดลองกับแพทย์ฝึก<br>หัดเพื่อการใส่ท่อระบายของเหลวจาก<br>เยื่อหุ้มปอดและ ศึกษาความพึงพอใจ<br>ในการทำหัตถการจากหุ่นจำลองจาก<br>ยางพาราและเปรียบเทียบกับหุ่นไฟ<br>เบอร์กลาสที่ใช้จริง |  |  |   | × | มีความพึงพอใจนำผลการไป<br>ใช้ในการฝึกทำหัตถการของ<br>แพทย์ |
| 9. สรุปผลการวิจัยรวมรวมรูปเล่ม และ<br>การนำเสนอผลงาน                                                                                                                                            |  |  |   | × | สรุปรายงานผลการวิจัย                                       |

### ผลสรุปเปรียบเทียบผลลัพธ์กับกิจกรรมที่เสนอไว้ในข้อเสนอโครงการ

| กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือ<br>จากการปรับแผน                                                              | ผลสำเร็จ (%) | ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ระบุ<br>สาเหตุและการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. พัฒนาสูตรน้ำยางเพื่อผลิตชิ้นงานจากน้ำยาง โดย<br>ให้มีคุณสมบัติแทนปอดและช่องเยื่อหุ้มปอด                 | 100%         | - การพัฒนาในส่วนของเนื้อน้ำยางที่ใช้ผลิตผิว<br>ยาง และเนื้อเยื่อปอด<br>- คงเหลือแต่ชิ้นงานส่วนเยื่อหุ้มปอด ในตำแหน่ง<br>ของการเจาะปอด       |
| 2. การปั้นหุ่นจำลอง<br>2.1 เพื่อจำลองโครงสร้างชั้นผิวหนัง ตำแหน่งซี่โครง<br>เยื่อหุ้มปอดและชั้นปอด(ภายนอก) | 100%         | - โครงสร้างการหล่อหุ่นภายนอก และหนังที่ใช้<br>ปิดซี่โครงในตำแหน่งที่ใช้เจาะปอด และตัว<br>ชิ้นงานเนื้อปอด                                    |
| 2.2 โครงกระดูกภายใน                                                                                        | 100%         | - ในส่วนของโครงกระดูก จำเป็นต้องใช้หุ่น<br>ภายนอกที่หล่ออย่างได้อย่างคงตัว และสำเร็จแล้ว<br>จึงทำโครงกระดูกจากเรซิน<br>ต่อจากส่วนหุ่นภายนอก |
| 3. สร้างแม่พิมพ์เพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละส่วน                                                          | 100%         | - ในส่วนของแม่พิมพ์ของหุ่น และส่วนของหนัง<br>ที่ปิดซี่โครง คงเหลือในส่วนของกระดูกซี่โครง                                                    |
| 4. ทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานส่วนต่างๆ จากยางพารา                                                              | 100%         | - ทดสอบการขึ้นรูปของแผ่นยางเจาะปอดด้วย<br>สารเคมีชนิดต่างๆ                                                                                  |
| 5. นำชิ้นงานในแต่ละส่วนไปทดสอบความยืดหยุ่น                                                                 | 100%         | ได้ผลทดสอบความยืดหยุ่น                                                                                                                      |

|                                                                                                                                                                          |      |                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6. ทดลองจำลองระบบการควบคุมสารน้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด การตั้งเวลาควบคุม และการเตือนนอกตำแหน่งที่จะทำหัตถการ                                                                 | 100% | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ทดลองระบบเซ็นเซอร์โดยการใช้การตรวจหาโลหะ</li> <li>- ระบบการไหลเวียนโลหิตจำลอง</li> <li>- ระบบตั้งเวลาจำหน่ายและตัดสารเหลว</li> </ul> |
| 7. นำต้นแบบไปทดลองกับแพทย์ผู้ฝึกหัดเพื่อการใส่ท่อระบายของเหลวจากช่องเยื่อหุ้มปอดและ ศึกษาความพึงพอใจในการทำหัตถการจากหุ่นจำลองจากยางพาราและเปรียบเทียบกับหุ่นไฟเบอร์กลาส | 100% | ได้ผลความพึงพอใจของแพทย์ผู้ฝึกทำหัตถการเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุง                                                                                                          |

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบชิ้นงาน เทคโนโลยีการผลิตชิ้นงานผลิตภัณฑ์จากยางพารา เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ ได้หุ่นจำลองที่เสมือนจริงทั้งผิวหนัง กระดูก ช่องปอด และระบบควบคุมเลือดในช่องเยื่อหุ้มปอด และระบบเซ็นเซอร์ควบคุมการไหลของเลือด เมื่อท่อสอดผ่านเข้าช่องปอด เพื่อฝึกการทำหัตถการให้เกิดความชำนาญแก่บุคลากรทางการแพทย์ เพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับผู้ป่วย



แผนภาพที่ 2 แสดงการฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นจำลองอัจฉริยะ

สัญญาเลขที่ RDG5950020

โครงการย่อยที่ 1 “การพัฒนาเฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ”

“Ankle slab for preventive foot drop in stroke patient from natural rubber”

รายงานฉบับสมบูรณ์

---

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการ

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)

“การพัฒนาเฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ”

ชื่อโครงการ” (ภาษาอังกฤษ)

“Ankle slab for preventive foot drop in stroke patient from natural rubber”

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ – สกุล รศ.นพ.นิยม ละออปักยนิณ

หน่วยงาน ภาควิชาออร์โธปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ที่อยู่ 62 หมู่ 7 ตำบลอรัญญิก อำเภออรัญญิก จังหวัดนครนายก 26120

โทรศัพท์ 037-395-085 โทรมือถือ 081-914-6249

E-mail [niyomacupuncture@gmail.com](mailto:niyomacupuncture@gmail.com)

ได้รับอนุมัติงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

งบประมาณที่ได้รับ 841,610 บาท ระยะเวลาดำเนินการ 12 เดือน

เริ่มทำการวิจัยเมื่อ 1 มกราคม 2559 ถึง 31 ธันวาคม 2559

## สัญญาเลขที่ RDG5950020

โครงการย่อยที่ 1 “การพัฒนาเพื่อป้องกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ”

“Ankle slab for preventive foot drop in stroke patient from natural rubber”

### รายงานฉบับสมบูรณ์

#### ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวิจัย

โครงการนี้เป็นโครงการมุ่งเป้า ชุมวิจัยเชิงก้าวหน้าชุดอุปกรณ์และเครื่องมือการแพทย์จากยางพารา เพื่อหาต้นแบบในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และเน้นที่กลุ่มผู้ใช้บริการทางการแพทย์ ผู้บริโภคทางการแพทย์ เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้วัสดุยางพาราเป็นองค์ประกอบ แก้ปัญหาการนำเข้า วัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์จากต่างประเทศ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตน้ำยางธรรมชาติได้เป็น อันดับต้นๆ การพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์จะสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยสร้าง มูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติให้กับอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาราคายางตกต่ำส่งผลให้รายได้ของเกษตรกรชาวสวนยางลดลง เป็นอย่างมาก รัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าวและได้บรรจุเป็นวาระเร่งด่วนที่ต้องได้รับการแก้ไข ปัญหา แนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหาของประเทศไทย คือการกระตุ้นปริมาณการใช้งานในประเทศมากขึ้น ในการรักษาผู้ป่วยนั้นมีความต้องการในการใช้เครื่องมือแพทย์และอุปกรณ์ช่วยเหลือที่มี ราคาสูงและมีความต้องการเป็นจำนวนมาก ทางคณะผู้วิจัยเล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าว และจากประสบการณ์ที่ผ่านมาทำให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์และชุดอุปกรณ์เพื่อการสอนในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ดังเช่นในโครงการ “หุ่นจำลอง ระบบโครงกระดูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดการของแพทย์” ที่ได้รับทุนในการดำเนินโครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2556 และ โครงการ “หุ่นจำลอง ระบบกลองเสียงอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกส่อกลองและตีสังข์แปลกปลอม” ที่ได้รับทุนในการดำเนินโครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2557 ได้มีการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นวัสดุหลักในการผลิตเพื่อการสอนทางการแพทย์ดังกล่าวและพบว่า ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีความเป็นไปได้ในการใช้ผลิตอุปกรณ์หุ่นจำลองเพื่อการสอนทางการแพทย์ มีสมบัติที่ยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม ใกล้เคียงกับผิวสัมผัสของผิวหนังมนุษย์ สามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยเก็บรายละเอียดต่างๆ ได้ดี สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆ ได้หลากหลาย ทำความสะอาดได้ง่าย คณะผู้วิจัยจึงมี แนวความคิดที่จะต่อยอดผลงานวิจัยจากทั้งสองโครงการวิจัยดังกล่าว เพื่อพัฒนาการใช้งานยางธรรมชาติ สำหรับผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ โดยจะนำสูตรยางเบื้องต้นที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิจัยทั้งสอง

โครงการมาพัฒนาเพื่อผลิตเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ อันได้แก่ “เฟือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วย อัมพาตจากทางธรรมชาติ” ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ชิ้นแรกทีคณะผู้วิจัยจะพัฒนาขึ้น โดยใช้ทาง ธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยจะใช้ประโยชน์จากความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และทำความสะอาดได้ง่าย ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการในการผลิตอุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อทำให้เกิดความง่ายและสะดวกในการใช้งานกับ ผู้ป่วยและผู้ดูแลผู้ป่วยเมื่อออกจากโรงพยาบาล อันจะเป็นอุปกรณ์การแพทย์ต้นแบบของคณะผู้วิจัยในการ พัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์จะสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยสร้างมูลค่าเพิ่มให้ ผลิตภัณฑ์จากทางธรรมชาติให้กับอุตสาหกรรมอุปกรณ์ในประเทศไทยต่อไป

โรคเส้นเลือดสมองแตก อัมพฤกษ์ อัมพาต เป็นโรคที่พบได้บ่อยทั่วโลก เป็นปัญหาสำคัญทาง สาธารณสุข ในประเทศไทยพบความชุกของโรคหลอดเลือดสมองสูงถึงร้อยละ 1.88 ในผู้ป่วยอายุมากกว่า 45 ปี และความชุกของโรคสูงขึ้นในผู้ป่วยทั้งชายและหญิงที่มีอายุมากกว่า 65 ปี ผู้ป่วยที่มีปัจจัยเสี่ยงในเรื่อง ความดันโลหิตสูง เบาหวาน ไขมันในเลือดสูง โรคทางเมตาบอลิก โรคหัวใจเดินผิดจังหวะมีความสัมพันธ์ ต่อการเกิดโรคหลอดเลือดทางสมอง ทำให้เกิดการเจ็บป่วยเกิดโรคอัมพฤกษ์ หรืออัมพาต ตามมา โดยผู้ป่วย ชี้อาการมองโกลอยด์ (Mongoloid) มีอุบัติการณ์เกิดเส้นเลือดสมองแตกมากกว่าชนชาติคอเคเซียนแถบ ตะวันตก (Caucasian) สำหรับประเทศไทยนั้นพบว่าผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองแตกและตีบตันรายใหม่ มากกว่า 250,000 รายต่อปี เป็นสาเหตุการสูญเสียชีวิต และในผู้ป่วยเหล่านี้มีผู้รอดชีวิตมากกว่า 50,000 ราย ต่อปี มีผู้พิการทางสมองเพิ่มมากขึ้นทุกปี นับว่าเป็นปัญหาใหญ่ของระบบสาธารณสุขไทย ผู้ป่วยที่เป็น อัมพาตเหล่านี้จะได้รับการดูแลฟื้นฟูร่างกายให้กลับมาใช้ชีวิตให้ใกล้เคียงปกติ โดยการควบคุมปัจจัยเสี่ยง โรคประจำตัวให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ และไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะแทรกซ้อนต่อไป ในช่วงแรกของการเกิด โรคเส้นเลือดสมองแตกหรือตีบตันนั้นผู้ป่วยมักไม่ได้สติ นอนกับเตียง ต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิด ได้รับการฟื้นฟู ทำกายภาพบำบัด เมื่อผู้ป่วยพร้อมจะทำการฝึกเดินให้กับผู้ป่วย แต่ภาวะแทรกซ้อนหนึ่งซึ่ง มักได้รับการละเลยคือ ผู้ป่วยมีภาวะข้อเท้าตก (foot drop) ข้อหัวไหล่ตก หรือหลุดจากเบ้า (shoulder drop and dislocation) ทำให้ข้อเหล่านั้นแข็งเกร็งและเจ็บ ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการฝึกเดินเมื่อผู้ป่วยมีสภาพ ร่างกายที่พร้อมฝึก

ข้อเท้าตก (foot drop) เป็นอาการหนึ่งที่เกิดขึ้นซึ่งเมื่อเกิดอุปสรรคต่อการทำงานของสมองที่สั่งการ ให้ข้อเท้ากระดก อาจมีสาเหตุที่ระดับไขสันหลัง หรือเส้นประสาท peroneal หรือ เส้นประสาท sciatic ที่ ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อขาส่วนหน้าส่วนล่าง (anterior portion of the lower leg) หรือเกิดจากการ เป็นอัมพาต กล้ามเนื้ออ่อนแรงของกล้ามเนื้อขา ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการยกขา การออกก้าวเดิน ในปัจจุบัน ผู้ป่วยบางรายได้รับการใส่เฟือกเพื่อประคองเท้า แต่เฟือกมีลักษณะที่หนัก แข็ง และทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการคัน เท้าได้ และยังต้องใช้ผ้ายึดเพื่อรัดข้อเท้าอีกครั้งหนึ่ง จึงไม่สะดวกต่อการใส่ที่ประคอง และเป็นปัญหาต่อการ พลิกตัว หรือเปลี่ยนท่าทางคนไข้ ทำให้ผู้ดูแลผู้ป่วยมักจะละเลยในการใส่เฟือกเพื่อประคองข้อเท้าให้ผู้ป่วย เหล่านี้ เมื่อผู้ป่วยมีข้อเท้าตก การฝึกเดินจะเป็นอุปสรรคอย่างยิ่ง โครงการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์ใน ชุดนี้มุ่งเน้นการพัฒนาแผ่นรองข้อเท้าเพื่อกันข้อเท้าตก (foot drop) จากยางพาราธรรมชาติเพื่อช่วยเหลือผู้

ฟิการ จึงเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สามารถช่วยประคองข้อเท้าในขณะที่ผู้ป่วยไม่ได้สติให้อยู่ในท่าที่พร้อมฝึกหัดเดิน หรือทำกายภาพ โดยยางธรรมชาติมีลักษณะที่เหมาะสมในด้านความยืดหยุ่น ความอ่อนนุ่ม ความแข็งแรง และสามารถทำความสะอาดได้ง่าย มีความทนทาน และสะดวกต่อการใช้งานเมื่อเทียบกับเฝือกปกติ และสามารถพัฒนาเพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยที่ฟิการเหล่านี้รอให้กลับมาใช้ชีวิตได้ตามปกติ อีกทั้งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางพาราธรรมชาติในประเทศไทย จึงได้มีการประสานกับฝ่ายอุตสาหกรรมสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ซึ่งมีแผนยุทธศาสตร์สนับสนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมและมุ่งสู่ตลาดเพื่อการพาณิชย์

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษขนาดเท้าโดยสังเขปของตัวแทนผู้ป่วยในแต่ละกลุ่มอายุในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาการผลิตต้นแบบแผ่นประคองเท้าเพื่อป้องกันข้อเท้าตก
3. เพื่อศึกษาผลการนำไปใช้ในผู้ป่วยจริง เพื่อป้องกันข้อเท้าตก

### ผลการดำเนินโครงการวิจัย

ศึกษาขนาดของเท้าของผู้ป่วยโดยอาศัยการวัดเพื่อค่าเฉลี่ยและนำมาขึ้นรูปเป็นโครงร่างพลาสติกเพื่อทำเข้าพิมพ์ สำหรับทดสอบแม่พิมพ์ยางพารา โดยมีการพัฒนาสูตรยางพาราเพื่อให้เหมาะสมกับเฝือกยางพาราให้ตรงกับคุณสมบัติที่ต้องการ หลังจากนั้นนำเฝือกยางพาราที่ได้มาศึกษาผลการรักษาในผู้ป่วยข้อเท้าตกและในการศึกษานี้รวมทั้งบาดเจ็บที่ข้อเท้า และ เท้าจำนวน 10 ราย พบว่า เฝือกยางพาราชนิดแข็งมีความเหมาะสมในเบื้องต้นที่จะนำมาใช้กับผู้ป่วย จากการศึกษาพบว่าขณะใส่เฝือกยางพาราเวลาพักผ่อนและทำกิจกรรม ในสัปดาห์ที่ 2-8 มีค่าเฉลี่ย 2.70, 1.80, 1.00 ตามลำดับ โดยอาการปวดค่อย ๆ ลดลงหลังจากใส่เฝือกประคองเท้าและข้อเท้า เฝือกช่วยประคองไม่ให้ข้อเท้าและขา ขยับเป็นผลทำให้ข้อเท้าไม่ตกและอาการปวดลดลง ด้านอาการระคายเคือง ผู้ป่วยที่ใส่เฝือกมีอาการระคายเคืองเล็กน้อยมาก ทำให้ผู้ป่วยที่ใช้งานมีความพึงพอใจในการใช้งานเฝือกยางพารา นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในกลุ่มผู้ป่วยแผลเรื้อรังที่เท้าแทนการใส่เฝือก รวมทั้งกลุ่มผู้ป่วยอุบัติเหตุที่ขาส่วนปลายหรือที่เท้าที่จำเป็นต้องได้รับการรักษาโดยการใส่เฝือก

## สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเปลือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ มีการวัดขนาดเท้าและขา ในกลุ่มผู้ป่วย เพื่อหาค่าเฉลี่ยและนำมาขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์ เพื่อทำบล็อกสำหรับทดสอบแม่พิมพ์ยางพารา ซึ่งในเบื้องต้นจะเป็นชนิดขาสั้น (ต่ำกว่าเข่าและยาวไปจนถึงปลายเท้า) โดยมีการพัฒนาสูตรยางพาราเพื่อให้เหมาะสมกับเปลือกยางพาราให้ตรงกับคุณสมบัติที่ต้องการ

นำเปลือกยางพาราที่ได้มาตกแต่งสีและลาย เพื่อเพิ่มความสวยงาม เพื่อให้เกิดความไม่น่าเบื่อ ผลการศึกษาเปลือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ ความพึงพอใจเบื้องต้นได้ทำการศึกษาในกลุ่มผู้ป่วยที่มีสาเหตุมาจากการได้รับบาดเจ็บบริเวณเท้า พบว่า เปลือกยางพาราชนิดแข็ง (คัสติง หรือ แข็งทั้งภายนอกและภายใน) มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับผู้ป่วย จากการศึกษาพบว่าหลังการใส่เปลือก และผู้ป่วยกลับไปบ้านในเวลาพักนอนและทำกิจกรรม ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 , 4 และ 8 มีค่าเฉลี่ย 2.70, 1.80, 1.00 ตามลำดับ โดยอาการปวดจะค่อย ๆ ลดลงหลังจากใส่เปลือกประคองเท้า เนื่องจากเปลือกช่วยประคองไม่ให้ข้อเท้าและขา ขยับ ซึ่งเป็นผลทำให้อาการปวดลดลง ส่วนการป้องกันการระคายเคือง ให้ผู้ป่วยใส่ถุงเท้าก่อนการสวมใส่เปลือกก่อนทุกครั้ง ป้องกันการระคายเคืองผิวหนังที่เกิดจากการแพ้โปรตีนจากยาง จากการศึกษาทดสอบผลการเกิดอาการระคายเคืองจากการใช้เปลือกอ่อนประคองเท้า พบว่าในสัปดาห์ ที่ 2 ค่าเฉลี่ย 0.40 สัปดาห์ ที่ 4 ค่าเฉลี่ย 0.30 สัปดาห์ ที่ 8 ค่าเฉลี่ยเป็น 0 แสดงให้เห็นว่าผู้ป่วยมีอาการระคายเคืองเล็กน้อยมากเป็นอาการแค่ช่วงแรกที่สวมใส่เปลือกและอาการระคายเคืองค่อย ๆ หายไป ทำให้ผู้ป่วยที่ใช้งานมีความพึงพอใจการใช้งานเปลือกยางพารามากที่สุด

## ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

จากการศึกษา ควรพัฒนาสูตรยางให้มีน้ำหนักเบา พัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปยางพาราชนิดแขน, คอ, หลัง และสามารถพัฒนาเพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยเหล่านี้ให้กลับมาใช้ชีวิตได้ตามปกติ

นอกจากนี้การพัฒนาเปลือกยางพารา เราอาจนำไปใช้ในผู้ป่วยที่มีแผลเรื้อรังบริเวณเท้า โดยอาจมีการเจาะรูเปลือกยางพาราดังกล่าว อีกทั้งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางพาราธรรมชาติในประเทศไทยในอนาคตได้

## ผลงานทางวิชาการที่เกิดขึ้น

1. ได้ผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปยางพาราชนิดขาสั้น เพื่อสามารถนำมาใช้ทดแทนเปลือก
2. สามารถนำไปใช้ในกลุ่มผู้ป่วยเป้าหมาย และยังสามารถประยุกต์ใช้ในกลุ่มผู้ป่วยแผลเรื้อรังที่เท้า ทดแทนการใส่เปลือก รวมทั้งกลุ่มผู้ป่วยอุบัติเหตุที่ขาส่วนปลายหรือที่เท้าที่จำเป็นต้องได้รับการรักษาโดยการใส่เปลือก
3. ได้รับการจดอนุสิทธิบัตร

## สัญญาเลขที่ RDG5950020

โครงการย่อยที่ 1 “การพัฒนาเฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ”

“Ankle slab for preventive foot drop in stroke patient from natural rubber”

### รายงานฉบับสมบูรณ์

---

#### คำนำ

รายงานการวิจัยเรื่อง “ การพัฒนาเฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ Ankle slab for preventive foot drop in stroke patient from natural rubber ” เป็นโครงการวิจัยเชิงก้าวหน้าชุดอุปกรณ์และเครื่องมือการแพทย์จากยางพารา งานวิจัยได้พัฒนาเฝือกอ่อนประคองข้อเท้าเพื่อป้องกันภาวะข้อเท้าตกในผู้พิการรวมทั้งผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บที่บริเวณเท้าและข้อเท้า โดยประดิษฐ์จากยางธรรมชาติ โดยทำต้นแบบขนาดต่างๆ ได้ขนาดเท้าและน่องของผู้ป่วยแบ่งตามเพศและวัย ได้ผลประเมินความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำต้นแบบผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ที่ได้มุ่งเป้าผลิตในเชิงอุตสาหกรรม

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่เป็นผู้สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย อีกทั้งประสานงาน อำนวยความสะดวก และช่วยเหลือในการค้นคว้าข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ในรายงานฉบับนี้ และคณะผู้วิจัยหวังว่ารายงานฉบับนี้จะให้ความรู้และประโยชน์กับผู้อ่าน สืบต่อไป

คณะผู้วิจัย

รศ.นพ.นิยม ละออปักภิน

ผศ.พญ จรินทร์รัตน์ สิริรัฐวรรณ

## สัญญาเลขที่ RDG5950020

โครงการย่อยที่ 1 “การพัฒนาเฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ”

“Ankle slab for preventive foot drop in stroke patient from natural rubber”

### รายงานฉบับสมบูรณ์

#### บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

การรักษาภาวะข้อเท้าตก (Foot drop) ในผู้ป่วยการทางการเคลื่อนไหว จากภาวะที่มีอาการพิการทางสมอง รวมทั้งจากปัจจัยอื่นๆ การฟื้นฟูผู้ป่วยเหล่านี้ต้องอาศัยการดูแลโดยทีมแพทย์หลากหลายสาขา รวมถึงญาติ เพื่อฟื้นฟูผู้ป่วย โดยผู้ป่วยกลุ่มนี้จะนอนติดเตียงเกิดความพิการทางการเคลื่อนไหวจนทำให้กล้ามเนื้อลีบหดรั้ง เกิดภาวะข้อเท้าตก การป้องกันจึงเป็นเรื่องสำคัญ โดยการรักษาเบื้องต้นแพทย์มักเลือกใช้วิธีการใส่เฝือกปูนเพื่อประคองข้อเท้าซึ่งอาจพบผลแทรกซ้อนตามมา เช่น แผลกดทับจากความแข็งของเฝือก เฝือกรัดเฝือกและ ดังนั้นหากมีอุปกรณ์ที่สามารถใส่ประคองข้อเท้าได้ ญาติสามารถใส่เองที่บ้านได้ และมีประสิทธิภาพในการประคองข้อเท้าได้ดีพอ เมื่อเปรียบเทียบกับเฝือกปูน ทีมนักวิจัยจึงได้พัฒนาเฝือกที่ทำจากยางพาราเพื่อการศึกษาผลการรักษาในผู้ป่วยข้อเท้าตกจากการพิการหรือได้รับบาดเจ็บที่เท้าหรือข้อเท้า โดยเริ่มจากการวัดขนาดขาผู้ป่วยเพื่อหาค่าเฉลี่ยและนำมาขึ้นรูปแม่พิมพ์ และได้มีการพัฒนาสูตรยางพาราเพื่อให้เหมาะสมกับเฝือกยางพาราให้ตรงกับคุณสมบัติที่ต้องการจากนั้น นำเฝือกยางพาราที่ได้มาศึกษาผลการรักษาในผู้ป่วย พบว่า เฝือกยางพาราชนิดแข็งแรงเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับผู้ป่วย ผลการศึกษาหลังการใส่เฝือกในผู้ป่วยกลุ่มดังกล่าว ได้ให้กลับบ้าน พบว่าเวลาพักผ่อนและทำกิจกรรม ในสัปดาห์ที่ 2-4-8 มีค่าเฉลี่ยการปวด 2.70, 1.80, 1.00 ตามลำดับ อาการปวดค่อยๆ ลดลงเหมือนกับการรักษาทั่วไป แสดงให้เห็นว่าเฝือกยางพาราช่วยประคองไม่ให้ข้อเท้าขยับ ทำให้อาการปวดลดลง ส่วนอาการระคายเคืองผู้ป่วยมีอาการระคายเคืองเล็กน้อยมาก ผู้ป่วยที่ใช้งานมีความพึงพอใจในการใช้เฝือกยางพารามากที่สุดเพราะมีความสะดวกในการใช้งาน ทำความสะอาดได้ มีสีและลวดลายสวยงาม

อนึ่ง การพัฒนาเฝือกยางพารา นี้ สามารถช่วยเหลือผู้ป่วยที่พิการเหล่านี้เพื่อช่วยให้กลับมาใช้ชีวิตได้ตามปกติ อีกทั้งเป็นกายอุปกรณ์ที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางพาราธรรมชาติในประเทศไทย อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบกับเฝือกดั้งเดิม รวมทั้งการศึกษาในเรื่องท่าการเดิน (Gait analysis) และในการประยุกต์เจาะรูที่เฝือกยาง เพื่อการดูแลแผลเรื้อรังที่เท้า เช่นในผู้ป่วย เบาหวาน อย่างเหมาะสมต่อไป

## สัญญาเลขที่ RDG5950020

โครงการย่อยที่ 1 “การพัฒนาเฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ”

“Ankle slab for preventive foot drop in stroke patient from natural rubber”

### รายงานฉบับสมบูรณ์

---

#### Abstract

Treatment of the foot drop for the disability patients in impaired movement with brain damage or other factors requires multidisciplinary medical team and their relatives. The patients may be lying on the bed too long to cause physical disability that causes muscle atrophy, contracted ankle and finally foot drop. Prevention is important for primary care physicians often use plaster cast to stabilize the ankle. The complications of the cast should be concerned of pressure sore, too tight plaster cast and wet plaster cast. So if we have a device that can easily support the ankle. Relatives can apply at home by themselves. And effective in supporting the ankle was good enough compare with the plaster cast. The researcher developed a rubber short leg plaster slab for studying the therapeutic effects in the patients with foot drop or injured foot. We started by measuring the size of the feet and legs and averaged them. We designed the mold model of short leg plaster slab for fresh latex with specific formula. Basically we found that the hard type of the plaster slab was proper to study and apply for these patients. The results of the study showed that after splinting for 2, 4, and 8 weeks the average pain score was 2.70, 1.80 and 1.00 respectively. Leg pain gradually decreased as the same of the standard method when immobilized the leg and ankle with the normal position to prevent foot drop. The patients had a minor irritation. They satisfied by using the short leg plaster slab with pretty color and beautiful patterns and being easy to apply and clean it

The development of this short leg plaster slab can assist the disability patients to prevent them from foot drop in the period of recovery time. It is also as a medical device that can add value to natural rubber in Thailand. However, further studies are still needed to compare with the original cast including gait analysis and the slab could be applied in the cases of chronic wounds care on the feet for example, in diabetic patients.

## สารบัญ

|                                                                                     | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร                                                      | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ                                                    | 2    |
| วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย                                                         | 4    |
| ผลการดำเนินโครงการวิจัย                                                             | 4    |
| สรุปผลการวิจัย                                                                      | 5    |
| ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง | 5    |
| ผลงานทางวิชาการที่เกิดขึ้น                                                          | 5    |
| คำนำ                                                                                | 6    |
| บทคัดย่อภาษาไทย                                                                     | 7    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                                                  | 8    |
| สารบัญ                                                                              | 9    |
| บัญชีตาราง                                                                          | 11   |
| บัญชีแผนภาพประกอบ                                                                   | 12   |
| บัญชีแผนภูมิประกอบ                                                                  | 13   |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                                                                 |      |
| - ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวิจัย                                             | 14   |
| - วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย                                                       | 16   |
| - ระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย                                                   | 16   |
| - สรุปแผนการดำเนินงาน                                                               | 16   |
| - ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                                         | 17   |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>                                         |      |
| - ทฤษฎีแนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง                                       | 18   |
| - ข้างธรรมชาติ                                                                      | 18   |
| - การป้องกันข้อเท้าตก ( Foot drop) ในผู้ป่วยอัมพฤกษ์ อัมพาต                         | 24   |
| <b>บทที่ 3 วิจัย</b>                                                                |      |
| - แผนการดำเนินการวิจัย                                                              | 26   |

## สารบัญ

### หน้า

#### บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| - การออกแบบและขึ้นแม่พิมพ์                                      | 28 |
| - การพัฒนาสูตรยาง                                               | 41 |
| - การพัฒนาสูตรยางพาราเพื่อวัสดุทางการแพทย์                      | 43 |
| - ผลการศึกษาเพื่อป้องกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ | 47 |
| - ข้อเสนอแนะผลการทดลอง                                          | 50 |
| - สรุปผลการทดลอง                                                | 50 |

#### บทที่ 5 บทสรุป

|              |    |
|--------------|----|
| - ผลการวิจัย | 51 |
|--------------|----|

#### ภาคผนวก

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| - การเปรียบเทียบต้นทุนของผลิตภัณฑ์ใหม่                                      | 53 |
| - Gantt chart เปรียบเทียบกิจกรรมที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และกิจกรรมที่ทำจริง | 54 |
| - การเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และที่ได้จริง               | 55 |
| - ผลการทดสอบคุณสมบัติของยาง                                                 | 56 |

## บัญชีตาราง

|                                                                                                                                                 | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางแผนการดำเนินงาน                                                                                                                            | 17   |
| ตารางที่ 3.1 แสดงแผนการดำเนินการวิจัย                                                                                                           | 26   |
| ตารางที่ 4.1 แสดงวิธีการวัดขนาดของเท้า ข้อเท้า และน่อง                                                                                          | 29   |
| ตารางที่ 4.2 การทำแบบประคองด้านนอกด้วยวัสดุชนิดพลาสติก Medical grade                                                                            | 32   |
| ตารางที่ 4.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองในโครงการวิจัย เรื่อง “หุ่นจำลองระบบโพรงจมูกและช่องปาก<br>อัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดการของแพทย์”         | 41   |
| ตารางที่ 4.4 แสดงสูตรสารเคมีที่ใช้ในการทดลองในโครงการวิจัย เรื่อง “หุ่นจำลองระบบโพรงจมูกและช่อง<br>ปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดการของแพทย์” | 41   |
| ตารางที่ 4.5 แสดงค่าคุณสมบัติของฟองน้ำในการทดสอบเบื้องต้น                                                                                       | 43   |
| ตารางที่ 4.6 แสดงสูตรตีฟอง                                                                                                                      | 43   |
| ตารางที่ 4.7 แสดง สูตร A                                                                                                                        | 44   |
| ตารางที่ 4.8 แสดง สูตร B                                                                                                                        | 45   |
| ตารางที่ 4.9 แสดงสูตรยาง (สูตรหล่อ; casting)                                                                                                    | 46   |
| ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วย                                                                                                        | 48   |
| ตารางที่ 4. 11 แสดงคะแนนอาการปวด เวลาพักผ่อน เมื่อใส่ฝื่ออ่อนประคองเท้า                                                                         | 49   |
| ตารางที่ 4.12 แสดงผลการติดตามการรักษา ผลด้านความพึงพอใจ                                                                                         | 49   |

## บัญชีแผนภาพประกอบ

|                                                                  | หน้า |
|------------------------------------------------------------------|------|
| แผนภาพที่ 2.1 cis-1,4-polyisoprene                               | 18   |
| แผนภาพที่ 2.2 รูปแสดงคำจำกัดความของการคงรูปของยาง                | 21   |
| แผนภาพที่ 2.3 แสดงกายวิภาคของผู้ป่วยข้อเท้าตก                    | 25   |
| แผนภาพที่ 2.4 แสดงการใส่เฝือกเพื่อประคองข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต | 25   |
| แผนภาพที่ 2.5 แสดงการผ่าตัดย้ายเส้นเอ็นแก้ไขข้อเท้าตก            | 25   |
| แผนภาพที่ 3.1 แสดง แผนผังแสดงแนวทางการวิจัย และขั้นตอนการวิจัย   | 27   |
| แผนภาพที่ 4.1 แสดงจำลองภาพรวมของการวัดขนาดเท้า                   | 28   |
| แผนภาพที่ 4.2 แสดงการขึ้นแม่พิมพ์จากดินน้ำมัน                    | 40   |
| แผนภาพที่ 4.3 แสดงการทดสอบแม่พิมพ์และสูตรยาง ด้วยการเทยางพารา    | 40   |
| แผนภาพที่ 4.4 แสดงเฝือกอ่อนประคองเท้า                            | 46   |
| แผนภาพที่ 4.5 แสดงผู้ป่วยที่ใส่เฝือกอ่อนประคองเท้า               | 47   |

## บัญชีแผนภูมิประกอบ

|                                                                                        | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| แผนภูมิที่ 4.1 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุต่ำกว่า 20 ปี | 33   |
| แผนภูมิที่ 4.2 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 21-30 ปี     | 34   |
| แผนภูมิที่ 4.3 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 31-40 ปี     | 35   |
| แผนภูมิที่ 4.4 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 41-50 ปี     | 36   |
| แผนภูมิที่ 4.5 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 51-60 ปี     | 37   |
| แผนภูมิที่ 4.6 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 61-70 ปี     | 38   |
| แผนภูมิที่ 4.7 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 70 ปี ขึ้นไป | 39   |
| แผนภูมิที่ 4.8 แสดงผลการติดตามการรักษา สัปดาห์ที่ 2, 4 และ 8                           | 49   |
| แผนภูมิที่ 4.9 แสดงผลการติดตามการรักษา ผลด้านความพึงพอใจ                               | 50   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวิจัย

โครงการนี้เป็นโครงการมุ่งเป้า ชูวิจัยเชิงก้าวหน้าชุดอุปกรณ์และเครื่องมือการแพทย์จากยางพารา เพื่อหาต้นแบบในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และเน้นที่กลุ่มผู้ใช้บริการทางการแพทย์ ผู้บริโภคทางการแพทย์ เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้วัสดุยางพาราเป็นองค์ประกอบ แก้ปัญหาการนำเข้า วัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์จากต่างประเทศ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตน้ำยางธรรมชาติได้เป็น อันดับต้นๆ การพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์จะสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยสร้าง มูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติให้กับอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาการคายางตกต่ำส่งผลให้รายได้ของเกษตรกรชาวสวนยางลดลงเป็น อันมาก รัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าวและได้บรรจุเป็นวาระเร่งด่วนที่ต้องได้รับการแก้ไข ปัญหา แนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหาการคายางของประเทศ คือการกระตุ้นปริมาณการใช้งานใน ประเทศมากขึ้น ในการรักษาผู้ป่วยนั้นมีความต้องการในการใช้เครื่องมือแพทย์และอุปกรณ์ช่วยเหลือที่มี ราคาสูงและมีความต้องการเป็นจำนวนมาก ทางคณะผู้วิจัยเล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าว และจากประสบการณ์ที่ ผ่านมาทำให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ และชุดอุปกรณ์เพื่อการสอนในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ดังเช่นในโครงการ “หุ่นจำลอง ระบบโครงกระดูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดการของแพทย์” ที่ได้รับทุนในการดำเนิน โครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2556 และ โครงการ “หุ่นจำลอง ระบบกล่องเสียงอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกส่อ่งกล่องและกิบสเปลกลอม” ที่ได้รับทุนในการดำเนิน โครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2557 ได้มีการใช้น้ำยางธรรมชาติ เป็นวัสดุหลักในการผลิตเพื่อการสอนทางการแพทย์ดังกล่าวและพบว่า ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีความ เป็นไปได้ในการใช้ผลิตอุปกรณ์หุ่นจำลองเพื่อการสอนทางการแพทย์ มีสมบัติที่ยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม ใกล้เคียง กับผิวสัมผัสของผิวหนังมนุษย์ สามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยเก็บรายละเอียดต่างๆ ได้ดี สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆ ได้หลากหลาย ทำความสะอาดได้ง่าย คณะผู้วิจัยจึงมี แนวความคิดที่จะต่อยอดผลงานวิจัยจากทั้งสองโครงการวิจัยดังกล่าว เพื่อพัฒนาการใช้งานยางธรรมชาติ สำหรับผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ โดยจะนำสูตรยางเบื้องต้นที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิจัยทั้งสอง โครงการมาพัฒนาเพื่อผลิตเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ อันได้แก่ “เปลือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วย อัมพาตจากยางธรรมชาติ” ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ชิ้นแรกทีคณะผู้วิจัยจะพัฒนาขึ้นโดยใช้ยาง ธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยจะใช้ประโยชน์จากยางอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และทำความสะอาดได้ง่าย

ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการในการผลิตอุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อทำให้เกิดความง่ายและสะดวกในการใช้งานกับผู้ป่วยและผู้ดูแลผู้ป่วยเมื่อออกจากโรงพยาบาล อันจะเป็นอุปกรณ์การแพทย์ต้นแบบของคณะผู้วิจัยในการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์จะสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติให้กับอุตสาหกรรมอุปกรณ์ในประเทศไทยต่อไป

โรคเส้นเลือดสมองแตก อัมพฤกษ์ อัมพาต เป็นโรคที่พบได้บ่อยทั่วโลก เป็นปัญหาสำคัญทางสาธารณสุข ในประเทศไทยพบความชุกของโรคหลอดเลือดสมองสูงถึงร้อยละ 1.88 ในผู้ป่วยอายุมากกว่า 45 ปี และความชุกของโรคสูงขึ้นในผู้ป่วยทั้งชายและหญิงที่มีอายุมากกว่า 65 ปี ผู้ป่วยที่มีปัจจัยเสี่ยงในเรื่องความดันโลหิตสูง เบาหวาน ไขมันในเลือดสูง โรคทางเมตาบอลิก โรคหัวใจเดินปอดจึงหะมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรคหลอดเลือดทางสมอง ทำให้เกิดการเจ็บป่วยเกิดโรคอัมพฤกษ์ หรืออัมพาต ตามมา โดยผู้ป่วยเชื้อชาติมองโกลอยด์ (Mongoloid) มีอุบัติการณ์เกิดเส้นเลือดสมองแตกมากกว่าชนชาติคอเคเซียนแถบตะวันตก (Caucasian) สำหรับประเทศไทยนั้นพบว่าผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองแตกและตีบตันรายใหม่มากกว่า 250,000 รายต่อปี เป็นสาเหตุการสูญเสียชีวิต และในผู้ป่วยเหล่านี้มีผู้รอดชีวิตมากกว่า 50,000 รายต่อปี มีผู้ป่วยทางสมองเพิ่มมากขึ้นทุกปี นับว่าเป็นปัญหาใหญ่ของระบบสาธารณสุขไทย ผู้ป่วยที่เป็นอัมพาตเหล่านี้จะได้รับการดูแลฟื้นฟูร่างกายให้กลับมาใช้ชีวิตให้ใกล้เคียงปกติ โดยการควบคุมปัจจัยเสี่ยงโรคประจำตัวให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ และไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะแทรกซ้อนต่อไป ในช่วงแรกของการเกิดโรคเส้นเลือดสมองแตกหรือตีบตันนั้นผู้ป่วยมักไม่ได้สติ นอนกับเตียง ต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิด ได้รับการฟื้นฟู ทำกายภาพบำบัด เมื่อผู้ป่วยพร้อมจะทำการฝึกเดินให้กับผู้ป่วย แต่ภาวะแทรกซ้อนหนึ่งซึ่งมักได้รับการละเลยคือ ผู้ป่วยมีภาวะข้อเท้าตก (foot drop) ข้อหัวไหล่ตก หรือหลุดจากเบ้า (shoulder drop and dislocation) ทำให้ข้อเหล่านั้นแข็งเกร็งและเจ็บ ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการฝึกเดินเมื่อผู้ป่วยมีสภาพร่างกายที่พร้อมฝึก

โรคข้อเท้าตก (foot drop) เป็นโรคหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดอุปสรรคต่อการทำงานของสมองที่สั่งการให้ข้อเท้ากระดก อาจมีสาเหตุที่ระดับไขสันหลัง หรือเส้นประสาท peroneal หรือ เส้นประสาท sciatic ที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง (anterior portion of the lower leg) หรือเกิดจากการเป็นอัมพาต กล้ามเนื้ออ่อนแรงของกล้ามเนื้อขา ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการยกขา การออกก้าวเดิน ในปัจจุบันผู้ป่วยบางรายได้รับการใส่เฝือกเพื่อประคองเท้า แต่เฝือกมีลักษณะที่หนัก แข็ง และทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการคันเท้าได้ และยังต้องใช้ผ้ายัดเพื่อรัดข้อเท้าอีกครั้งหนึ่ง จึงไม่สะดวกต่อการใส่ที่ประคอง และเป็นปัญหาต่อการพลิกตัว หรือเปลี่ยนท่าทางคนไข้ ทำให้ผู้ดูแลผู้ป่วยมักจะละเลยในการใส่เฝือกเพื่อประคองข้อเท้าให้ผู้ป่วยเหล่านี้ เมื่อผู้ป่วยมีข้อเท้าตก การฝึกเดินจะเป็นอุปสรรคอย่างยิ่ง โครงการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในชุดนี้มุ่งเน้นการพัฒนาแผ่นรองข้อเท้าเพื่อกันข้อเท้าตก (foot drop) จากยางพาราธรรมชาติเพื่อช่วยเหลือผู้พิการ เพื่อเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สามารถช่วยประคองข้อเท้าในขณะที่ผู้ป่วยไม่ได้สติให้อยู่ในท่าที่พร้อมฝึกหัดเดิน หรือทำกายภาพ โดยยางธรรมชาติมีลักษณะที่เหมาะสมในด้านความยืดหยุ่น ความอ่อนนุ่ม ความแข็งแรง และสามารถทำความสะอาดได้ง่าย มีความทนทาน และสะดวกต่อการใช้งานเมื่อเทียบกับเฝือกปกติ และ

สามารถพัฒนาเพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยที่พิการเหล่านี้ให้กลับมาใช้ชีวิตได้ตามปกติ อีกทั้งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางพาราธรรมชาติในประเทศไทย จึงได้มีการประสานกับฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว) ซึ่งมีแผนยุทธศาสตร์สนับสนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมและมุ่งสู่ตลาดเพื่อการพาณิชย์

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษานวดเท้าโดยสังเขปของตัวแทนผู้ป่วยในแต่ละกลุ่มอายุในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาการผลิตต้นแบบแผ่นประคองเท้าเพื่อป้องกันข้อเท้าตก
3. เพื่อศึกษาผลการนำไปใช้ในผู้ป่วยจริง เพื่อป้องกันข้อเท้าตก

### ระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย

ระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย 12 เดือน เริ่ม วันที่ 1 เดือน มกราคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2559

### สรุปแผนการดำเนินงาน

ศึกษาการวัดขนาดค่าเฉลี่ยของเท้าในผู้ป่วยที่มาใช้บริการทางการแพทย์ สร้างแม่พิมพ์ และการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นรองกันข้อเท้าตก พร้อมพัฒนาสูตรน้ำยางเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ ทดสอบแรงยึดหยุ่นและแรงกดทะลุของยาง ทดความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางศัลยกรรมกระดูกและข้อ ทำการทดสอบโดยนำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อเท้าตก เพื่อศึกษาผลการรักษาและนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ตามผลการใช้งานจริงจากผู้ป่วย

## แผนงานโครงการ

| กิจกรรม                                                                                     | เดือนที่ |     |     |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|-------|
|                                                                                             | 1-3      | 4-6 | 7-9 | 10-12 |
| 1. การศึกษาการวัดขนาดค่าเฉลี่ยของเท้าในผู้ป่วยที่มาใช้บริการทางการแพทย์                     | ×        |     |     |       |
| 2. พัฒนาสูตรนำยางเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ                                              |          | ×   |     |       |
| 3. สร้างแม่พิมพ์ และการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นรองกันข้อเท้าตก                                    |          | ×   | ×   |       |
| 4. การทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางศัลยกรรมกระดูกและข้อ |          |     | ×   |       |
| 5. การทดลองนำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อเท้าตก                              |          |     | ×   |       |
| 6. การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ตามผลการประเมินคุณภาพและการใช้งานจริง                                |          |     | ×   |       |
| 7. ทดสอบแรงยึดหยุ่น และแรงกดทะลุของยางต้นแบบ                                                |          |     |     | ×     |
| 8. สรุปผลการวิจัยรวบรวมรูปเล่ม และการนำเสนอผลงาน                                            |          |     |     | ×     |

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบชุดวัสดุเพื่อป้องกันประคองข้อเท้าเพื่อป้องกันภาวะข้อเท้าตกในผู้พิการทางสมองจากยางธรรมชาติ โดยทำต้นแบบขนาดต่างๆ ได้ขนาดเท้าและน่องของผู้ป่วยแบ่งตามเพศและวัย และได้ผลประเมินความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำต้นแบบผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ มุ่งเป้าสู่การค้าเชิงพาณิชย์ได้

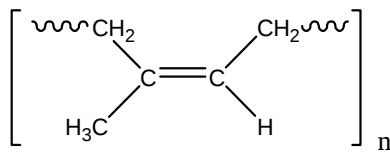
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

##### ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียวที่ซ้ำๆ กัน (Repeating unit) เป็นจำนวนมาก มีสมบัติที่สำคัญคือความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติ ทำให้เห็นว่ายางธรรมชาติ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม ( $C_5H_8$ ) มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะ เรียงตัวกันในแบบ cis-configuration เรียกชื่อโมเลกุลยางว่าเป็น cis-1,4-polyisoprene โครงสร้างโมเลกุลของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติ แสดงแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 2.1 cis-1,4-polyisoprene

ใน 1 โมเลกุลของยางจะประกอบไปด้วยหน่วยของ isoprene ( $C_5H_8$ ) มาต่อกันเป็นสายยาว แบบเส้นตรง ประมาณ 3,000-5,000 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 200,000 – 400,000 ยางธรรมชาติมีความหนาแน่น  $0.93 \text{ g/cm}^3$  ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำให้ยางเย็นจนแข็งหรือเมื่อยืดยาง มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature:  $T_g$ ) ประมาณ -70 องศาเซลเซียส ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูง โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้า (specific resistivity) ประมาณ  $1 \times 10^{15}$  –  $2 \times 10^{15}$  ohms-cm ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสถานะ เช่น เมื่อยางถูกดึงยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบยางจึงสามารถเกิดผลึกได้ การเกิดผลึกเนื่องจากการถูกดึงยืด เรียกว่า strain-induced ซึ่งจะพบเมื่อยางถูกดึงยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน คือ ยางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสง (transparent) ไปเป็นทึบแสง (opaque) การเกิดผลึกเนื่องจากการดึงยืดทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ยางจะมีความทนต่อการดึง (tensile strength) ความทนต่อการฉีกขาด (tear strength) และความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) สูงขึ้น ความยืดหยุ่นเป็นสมบัติเด่นประการหนึ่งของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมี

ความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม(หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว องค์ประกอบทางเคมีของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอิน เป็นต้น ความสามารถในการละลายจะลดลง เมื่อเกิดปฏิกิริยาการคงรูป จะเกิดการบวมตัวในสารละลายที่ไม่มีขั้ว และทำให้สมบัติเชิงกลด้อยลง ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ ยางธรรมชาติทนต่อตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น อะซีโตน แอลกอฮอล์ ยางธรรมชาติทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ โดยปกติโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ เป็นเส้นตรง จึงทำให้ อ่อนนิ่มไหลเยิ้มได้เมื่อได้รับความร้อนสูงๆ นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรงเชิงกลที่ต่ำ มีความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำ ดังนั้นในการนำยางไปใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์นั้น จะต้องมีการผ่านกระบวนการที่เรียกว่า กระบวนการวัลคาไนซ์ (Vulcanization) คือ กระบวนการที่ใช้ในการเพิ่มคุณภาพของยางธรรมชาติ (ยางดิบ) ให้มีความยืดหยุ่นได้ดีขึ้น มีความคงตัวสูง ไม่สึกกร่อนง่าย และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ สมบัติเหล่านี้จะยังคงอยู่ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงก็ตาม เนื่องจากในกระบวนการนี้โครงสร้างโมเลกุลของยางจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากโซ่ตรงไปเป็นร่างแห โดยโมเลกุลของยางจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงเรียกว่าสารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent) ส่วนใหญ่นิยมใช้ กำมะถัน โดยจะทำปฏิกิริยากับยางเกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงเมื่อมีความร้อนเกิดขึ้น ในการพัฒนายางธรรมชาติให้มีสมบัติที่หลากหลายตรงกับความต้องการในการใช้งานนั้น สามารถทำได้โดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) ชนิดต่างๆลงไปในยาง เช่น ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติอาจทำได้โดยใช้สารตัวเติมเสริมแรง (reinforced filler) ชนิดต่างๆ เช่น เขม่าดำ (carbon black) และซิลิกา (silica) ลงไป เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรง การทนแรงดึง การทนต่อแรงฉีกขาด การทนต่อการขัดถู เป็นต้น ยางธรรมชาติมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงพลวัตที่ดี มีสมบัติดีเยี่ยมด้านความทนต่อแรงดึงแม้ไม่มีการเติมสารตัวเติมเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงเหมาะที่จะใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ เช่น ลูกบอลยาง ลูกยางอนามัย ลูกโป่ง ยางรัดของ เป็นต้น ยางธรรมชาติมีทั้งสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงพลวัตที่ดี มีความยืดหยุ่นสูง มีความร้อนสะสมที่เกิดในขณะใช้งานต่ำ และมีความเหนียวติดกันที่ดี จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ ยางล้อรถบรรทุก ยางล้อรถยก ยางล้อเครื่องบิน ฝ้ายาง ยางกันกระแทกท่าเรือ ใช้ผสมยางสังเคราะห์ในการผลิตยางล้อรถยนต์ ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระป๋าน้ำร้อน เนื่องจากการแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ขณะร้อน ยางที่ใช้ต้องมีความทนต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

## สารเติมแต่งในยาง(Rubber Additives)

สารเติมแต่งในยาง (Rubber Additives) เป็น สารเคมีที่เติมเข้าไปในยางเพียงเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ตามต้องการ สารเติมแต่งมีด้วยกันหลายประเภท ตัวอย่างเช่น สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารกันไฟฟ้าสถิต สารเพิ่มสี สารหน่วงการติดไฟ เป็นต้น

สารเติมแต่งจะช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อเสียต่างๆ ที่มีในยาง ซึ่งได้แก่

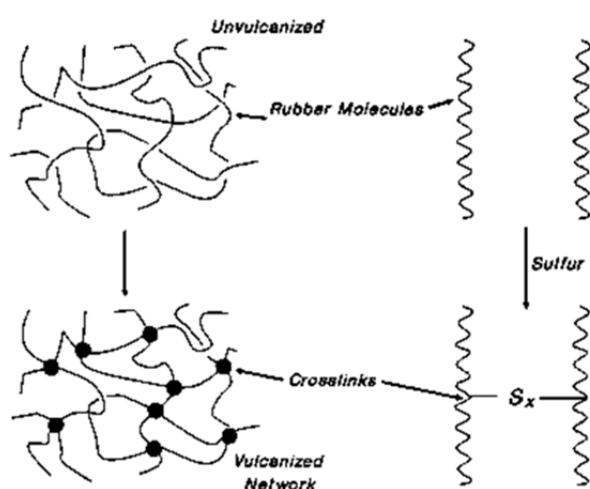
- ยางที่ยังไม่ผ่านการวัลคาไนซ์มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก ซึ่งที่อุณหภูมิต่ำยางจะแข็งกระด้าง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางจะอ่อนนุ่มหรือเยิ้มเหนียวได้ง่าย การมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด
- ยางที่ยังไม่ผ่านการวัลคาไนซ์มีสภาพเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก คือ สามารถเปลี่ยนรูปร่างตามแรงกระทำ และคืนรูปร่างเดิมได้เมื่อเอาแรงกระทำออก แต่ก็คืนรูปร่างกลับไม่เท่าเดิม มีการเสียรูปไปบางส่วน มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีเพียงพอในการนำไปใช้งานได้โดยตรง
- ยางที่ไม่ผ่านการวัลคาไนซ์สามารถละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิด
- ยางมีสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรง ความทนแรงดึง และความต้านทานต่อการขาด ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานโดยตรง
- ยางมีราคาแพง การนำยางมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียวทำให้ต้นทุนการผลิตสูง
- ยางหลายชนิดเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย เนื่องจาก ความร้อน แสงแดด ออกซิเจน และ โอโซน

การแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบที่ใช้ในการผสมยางกับสารเคมีแบ่งได้เป็น 8 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. ยาง (Elastomer)
2. สารทำให้ยางคงรูป (Curing Agent หรือ Vulcanizin Agent)
3. สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (Accelerator)
4. สารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูป (Activator)
5. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradant)
6. สารตัวเติม (Filler)
7. สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (Plasticizer และ Processing aid)
8. องค์ประกอบอื่นๆ เช่น สี (Pigment) สารหน่วงการติดไฟ (flame retardant) สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent)

## สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing or Curing Agents)

สารทำให้ยางคงรูปเป็นสารสำคัญที่ต้องเติมลงไปยาง เพื่อให้ยางเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า “ปฏิกิริยาวัดคาไนเซชัน (vulcanization)” หรือ ปฏิกิริยาการคงรูป (curing) ปฏิกิริยาวัดคาไนเซชัน ทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นตาข่ายสามมิติ ซึ่งจะทำให้ยางเปลี่ยนสภาพจากยางอ่อน เหนียวเหนียว (tacky) และไหลได้แบบเทอร์โมพลาสติก ไปเป็นยางคงรูปที่มีโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมโยงกันเป็นตาข่ายสามมิติ ที่มีความยืดหยุ่นสูง มีความทนทาน มีสมบัติที่เสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก ไม่เหนียวติดกัน การคงรูปของยางที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบการคงรูปด้วยกำมะถันระบบการคงรูปด้วยเพอร์ออกไซด์ ระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ เช่น โลหะออกไซด์



แผนภาพที่ 2.2 รูปแสดงคำจำกัดความของการคงรูปของยาง

## สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators)

การใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบการคงรูปยางด้วยกำมะถัน ปฏิกิริยาการคงรูประหว่างกำมะถันและยางจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก แม้ในอุณหภูมิสูง ต้องใช้ระยะเวลาในการคงรูปที่ยาวนาน และใช้กำมะถันปริมาณมากในการคงรูป และยางคงรูปที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ การเติมสารตัวเร่งลงไป ปริมาณเพียงเล็กน้อยจะช่วยทำให้ปฏิกิริยาระหว่างยางและกำมะถันเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้กำมะถันปริมาณสูง และยางคงรูปที่ได้มีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูง ทำให้ยางคงรูปที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี สารตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่มีทั้งในโตรเจนและกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc-N-diethyldithiocarbamate, ZDEC) ซิงค์ไดเมทิลไดไทโอคาร์บาเมต (zinc dimethyldithiocarbamate; ZDMC) เททระเมทิลไทูเรมไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide; TMTD) เป็นต้น

## สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activators)

สารกระตุ้นปฏิกิริยา คือ สารเคมีที่เติมลงไปในยางเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป สารเคมีกลุ่มนี้จะเข้าไปกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยา ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น แม้ว่ากลไกการกระตุ้นปฏิกิริยาก่อนข้างซับซ้อนและยังไม่เป็นที่ทราบกันอย่างแน่ชัด แต่เชื่อว่าสารกระตุ้นปฏิกิริยาจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่เสถียร สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับกำมะถันที่เติมลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้อย่างมีอัตราเร็วในการคงรูปที่สูงขึ้น โดยทั่วไปสารกระตุ้นปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ได้แก่ สารอนินทรีย์ สารอนินทรีย์ที่ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูปส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของโลหะ เช่น ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และออกไซด์ของตะกั่ว เช่น ลิทาร์จ (PbO) และตะกั่วแดง (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) เป็นต้น กรดอินทรีย์ ซิงก์ออกไซด์จะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพเมื่อทำงานร่วมกับกรดไขมัน กรดไขมันที่นิยมใช้ได้แก่ กรดสเตียริก และสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง สารเคมีในกลุ่มมีฤทธิ์เป็นด่าง เมื่อเติมลงไปในยางทำให้ค่า pH สูงขึ้น การที่ pH สูงขึ้นส่งผลให้อย่างมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปสูงขึ้น

## สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)

ยางส่วนใหญ่ที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเสื่อมสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาวะการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด ออกซิเจน โอโซน ความร้อน หรือ โลหะตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งการใช้งานที่ต้องมีการหักงอเชิงกลตลอดเวลา (mechanical flexing) การเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพจึงจำเป็น เพื่อให้ได้ยางที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพ สมบัติต่างๆ ของยางจะด้อยลง สังเกตได้จากการแข็งตัว (embrittlement) การอ่อนตัว (softening) การล้าตัว การขยายตัวของรอยแตก โดยทั่วไปการเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นเร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูง หรือในสภาวะที่มีการปนเปื้อนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น โลหะทองแดง (Cu) และ แมงกานีส (Mn) เป็นต้น ตัวอย่างของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ ได้แก่ สารประกอบกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันยางจากการล้าตัวและโอโซน ทั้งภายใต้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างสถิตและแบบพลวัต ได้แก่ สารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของฟีนิลไดเอมีน (p-phenylenediamine) เช่น IPPD 6PPD และ DNPD กลุ่มที่ป้องกันเฉพาะออกซิเจน สารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล เช่น BHT BPH CPH และ IBPH เป็นต้น BHT มีขนาดโมเลกุลเล็ก ระบายได้ง่าย จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ที่อุณหภูมิต่ำเท่านั้น

## สารตัวเติม (Fillers)

สารตัวเติมคือองค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เพื่อเสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ทำให้ยางคอมปาวด์มีสมบัติที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต หรือ เพื่อลดต้นทุน เป็นต้น สารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ สารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing fillers) และสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรงหรือที่เรียกว่าสารตัวเติมเฉื่อย (non-reinforcing หรือ inert filler) เติมเพื่อลดต้นทุน หรืออาจแบ่งตามสีของสารตัวเติม ได้เป็น 2 กลุ่มเช่นกัน ได้แก่ เขม่าดำ และสารตัวเติมสีอ่อน

การเสริมแรง หมายถึง ความสามารถของสารตัวเติมในการเพิ่มความหนืดของยางคอมปาวด์ และปรับปรุงสมบัติต่างๆของยางคงรูป เช่น มอดูลัส ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขาด เป็นต้น ตัวอย่างที่สำคัญของสารตัวเติมเสริมแรง ได้แก่ เขม่าดำ (Carbon black) และ ซิลิกา (silica) สารตัวเติมที่เติมลงไปแล้ว เพิ่มความหนืดของยางคอมปาวด์เพียงเล็กน้อย และทำให้สมบัติเชิงกลของยางคงรูปด้อยลง หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เรียกว่า “สารตัวเติมไม่เสริมแรงหรือสารตัวเติมเฉื่อย” สารตัวเติมเฉื่อยที่สำคัญได้แก่ ทัลคัม (talc) แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) และดินขาว (clay)

## สารทำให้งานนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (softener/plasticizers and processing aids)

ในการบดผสมยาง โดยเฉพาะในกรณีที่มีสารตัวเติม มักจะผสมสารประเภทน้ำมันต่างๆ เพื่อให้ยางนิ่มและทำให้สารตัวเติมคลุกเคล้าเข้ากับเนื้อยางได้เป็นอย่างดี

## ป้องกันโรคข้อเท้าตก (Foot drop) ในผู้ป่วยอัมพฤกษ์ อัมพาต

ปัจจุบันการป้องกันโรคข้อเท้าตก (foot drop) ในผู้ป่วยอัมพฤกษ์ อัมพาต ที่มีภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโรคดังกล่าว โรคข้อเท้าตกพบได้บ่อยผู้ป่วยที่มีอาการทางสมอง เส้นเลือดสมองแตก ตีบตัน เป็นโรคที่พบได้บ่อย การฟื้นฟูผู้ป่วยเหล่านี้ต้องอาศัยการดูแลโดยแพทย์ทั้งแผนกศัลยกรรมประสาท ศัลยกรรมกระดูกและข้อ นักกายภาพบำบัด บุคลากรอื่นๆทางกายภาพบำบัด รวมถึงญาติพี่น้อง ผู้ดูแลผู้ป่วย เพื่อฟื้นฟูผู้ป่วยที่อยู่ในภาวะพิการให้กลับมาใช้ชีวิตในสังคมได้ตามปกติ หรือใกล้เคียงปกติ อุปสรรคของการฟื้นฟูผู้ป่วยได้แก่ภาวะข้อเท้าตกในผู้ป่วย ซึ่งป้องกันการเกิดได้โดยการใส่เฝือกเพื่อประคองข้อเท้า หรือการผ่าตัดเพื่อแก้ไขภาวะข้อเท้าตก ในปัจจุบันผู้ป่วยส่วนใหญ่ที่เกิดภาวะเส้นเลือดสมองแตกจะได้รับการดูแลโดยการใส่เฝือกตั้งแต่อนอนโรงพยาบาล ซึ่งปัญหาที่พบมักเกิดขึ้นหลังจากผู้ป่วยกลับไปพักรักษาตัวที่บ้าน ผู้ดูแลก็จะคอยเปลี่ยนเฝือกจะต้องพันเฝือกด้วยผ้ายืด ซึ่งมีขั้นตอน มีความลำบากและต้องใช้ผู้ช่วยในการจับเฝือก เฝือกมักมีน้ำหนักมาก และมีความอับชื้นสูง ทำให้เกิดแผลเปื่อย ผิวหนังอักเสบได้ เมื่อใช้ไปนานๆ เฝือกมักสกปรก ซ้ำรูป ญาติจะต้องพาผู้ป่วยซึ่งเคลื่อนไหวยากขึ้นข้างลำบาก โดยจะต้องพาผู้ป่วยเหล่านั้นไปโรงพยาบาลเพื่อ

เปลี่ยนเฟือกใหม่ ดังนั้นหากมีอุปกรณ์ที่สามารถใส่ประคองข้อเท้าได้ง่าย ญาติสามารถใส่เองที่บ้านได้ และมีประสิทธิภาพในการประคองข้อเท้าได้ดีพอ เมื่อเปรียบเทียบกับเฟือกปูนจักสามารถช่วยป้องกันภาวะข้อเท้าตกในผู้ป่วยดังกล่าวได้ ยางพาราเป็นวัสดุที่เหมาะสมสามารถทำให้ผิวสัมผัสมีความแข็งแรงภายนอก และสามารถออกแบบให้มีความอ่อนนุ่มในด้านผิวสัมผัสกับเนื้อผู้ป่วย มีน้ำหนักเบา สามารถทำความสะอาดได้ และแก้ไขปัญหาคาการใช้งานในผู้ป่วยที่มีปัญหาทางสมองและมีภาวะข้อเท้าตก สามารถนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปผลิตเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ในอนาคต

### การป้องกันข้อเท้าตก ( Foot drop) ในผู้ป่วยอัมพฤกษ์ อัมพาต

ปัจจุบันการป้องกันข้อเท้าตก (foot drop) ในกลุ่มผู้ป่วยอัมพฤกษ์ อัมพาต จากภาวะที่มีอาการพิการทางสมอง เส้นเลือดสมองแตก ตีบตัน และจากเส้นประสาทไขสันหลังเป็นผลแทรกซ้อนที่พบได้บ่อย การฟื้นฟูผู้ป่วยเหล่านี้ต้องอาศัยการดูแลโดยแพทย์ทั้งแผนกศัลยกรรมประสาท ศัลยกรรมกระดูกและข้อ นักกายภาพบำบัด บุคลากรอื่นๆ ทางกายภาพบำบัด รวมถึงญาติพี่น้อง ผู้ดูแลผู้ป่วย เพื่อฟื้นฟูผู้ป่วยที่อยู่ในภาวะพิการให้กลับมาใช้ชีวิตในสังคมได้ใกล้เคียงปกติ ผู้ป่วยกลุ่มนี้ต้องนอนนานบนเตียงเกิดความพิการทางการเคลื่อนไหวจนทำให้กล้ามเนื้อลีบ และหดรัด และที่พบได้บ่อยคือ การเกิดข้อเท้าตก ซึ่งทำให้เกิดปัญหาระยะยาวและเป็นอุปสรรคในการฟื้นฟูผู้ป่วย การป้องกันการเกิดจึงเป็นเรื่องสำคัญ แพทย์มักเลือกใช้วิธีการใส่เฟือกเพื่อประคองข้อเท้า เป็นการรักษาแบบประคับประคองจนกว่าผู้ป่วยจะฟื้น และเมื่อฟื้นแล้วยังมีข้อเท้าตกหลงเหลือและกล้ามเนื้อบางส่วนมัดที่ใกล้เคียงใช้การได้ แพทย์อาจพิจารณาเลือกผ่าตัดย้ายเส้นเอ็นเพื่อแก้ไขภาวะข้อเท้าตก ดังนั้นในปัจจุบันผู้ป่วยส่วนใหญ่ในกลุ่มอัมพฤกษ์ อัมพาต จะได้รับการดูแลโดยการใส่เฟือกแบบสั้นที่ขาตั้งแต่เริ่มทำการรักษาโดยนอนที่โรงพยาบาล ซึ่งปัญหาที่พบมักเกิดขึ้นหลังจากผู้ป่วยกลับไปพักรักษาตัวที่บ้าน ผู้ดูแลที่จะคอยเปลี่ยนเฟือกจะต้องพันเฟือกด้วยผ้ายัด ซึ่งมีขั้นตอน มีความลำบาก และต้องใช้ผู้ช่วยในการจับเฟือก เฟือกมักมีน้ำหนักมาก และมีความอับชื้นสูง ทำให้เกิดแผลเปื่อย ผิวหนังอักเสบ และอาจเกิดแผลกดทับที่บริเวณสันเท้าภายในเฟือกได้ และเมื่อใช้ไปนานๆ เฟือกมักสกปรก จำรูดญาติจะต้องพาผู้ป่วยซึ่งเคลื่อนย้ายค่อนข้างลำบาก โดยจะต้องพาผู้ป่วยเหล่านั้นไปโรงพยาบาลเพื่อเปลี่ยนเฟือกใหม่ ดังนั้นหากมีอุปกรณ์ที่สามารถใส่ประคองข้อเท้าได้ง่าย ญาติสามารถใส่เองที่บ้านได้ และมีประสิทธิภาพในการประคองข้อเท้าได้ดีพอ เมื่อเปรียบเทียบกับเฟือกปูน มีน้ำหนักที่เบากว่า วัสดุที่นุ่มมีความนิ่มมากกว่า ก็จะสามารถช่วยป้องกันภาวะข้อเท้าตก และแก้ปัญหาคาผลแทรกซ้อนต่างๆ ในผู้ป่วยดังกล่าวได้

ยางพาราเป็นวัสดุที่เหมาะสมสามารถทำให้ผิวสัมผัสมีความแข็งแรงภายนอก และสามารถออกแบบให้มีความอ่อนนุ่มในด้านผิวสัมผัสกับเนื้อผู้ป่วย มีน้ำหนักเบา สามารถทำความสะอาดได้ และแก้ไขปัญหาคาการใช้งานในผู้ป่วยที่มีภาวะข้อเท้าตก สามารถนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปผลิตเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ในอนาคต



แผนภาพที่ 2.3 แสดงกายวิภาคของผู้ป่วยข้อเท้าตก



แผนภาพที่ 2.4 แสดงการใส่เฝือกเพื่อประคองข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต



แผนภาพที่ 2.5 แสดงการผ่าตัดย้ายเส้นเอ็นแก้ไขข้อเท้าตก

**บทที่ 3**  
**วิธีวิจัย**

**แผนการดำเนินการวิจัย**

ตารางที่ 3.1 แสดงแผนการดำเนินการวิจัย

| กิจกรรม                                                                                     | เดือนที่ |     |     |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|-------|
|                                                                                             | 1-3      | 4-6 | 7-9 | 10-12 |
| 1. การศึกษาการวัดขนาดค่าเฉลี่ยของเท้าในผู้ป่วยที่มาใช้บริการทางการแพทย์                     | ×        |     |     |       |
| 2. พัฒนาสูตรนำยาเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ                                               |          | ×   |     |       |
| 3. สร้างแม่พิมพ์ และการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นรองกันข้อเท้าตก                                    |          | ×   | ×   |       |
| 4. การทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางศัลยกรรมกระดูกและข้อ |          |     | ×   |       |
| 5. การทดลองนำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อเท้าตก                              |          |     | ×   |       |
| 6. การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ตามผลการประเมินคุณภาพและการใช้งานจริง                                |          |     | ×   |       |
| 7. ทดสอบแรงยึดหยุ่น และแรงกดทะลุของยางดันแบบ                                                |          |     |     | ×     |
| 8. สรุปผลการวิจัยรวบรวมรูปเล่ม และการนำเสนอผลงาน                                            |          |     |     | ×     |



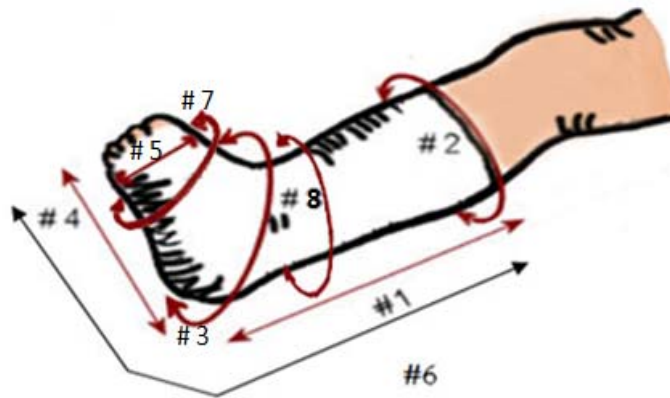
แผนภาพที่ 3.1 แสดง แผนผังแสดงแนวทางการวิจัย และขั้นตอนการวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### การออกแบบและขึ้นแม่พิมพ์

การขึ้นแบบแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อน ต้องใช้ผู้ชำนาญด้านกายอุปกรณ์ หลังจากการวัดขนาดเท้า ข้อเท้าและน่อง โดยแบ่งกลุ่มอายุ ตามเพศ ณ ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพ ฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ และหาขนาดเฉลี่ยของขนาดเท้าและน่อง (ดังตารางที่ 4.1 ) พร้อมออกแบบเปลือกที่ห่อหุ้มปฏิบัติการกายอุปกรณ์ ในการออกแบบเปลือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วย อัมพาตจากยางธรรมชาติ นั้นจะมีการออกแบบให้มีโครงสร้างสองชั้น แบ่งเป็นโครงสร้างภายนอกและ โครงสร้างภายใน โดยโครงสร้างภายในจะเน้นความอ่อนนุ่มในการสัมผัสกับผิวหนังของผู้ป่วย และทำ ความสะอาดได้ง่ายโดยใช้ยางพารา ส่วนโครงสร้างภายนอกใช้เป็นพลาสติกในการขึ้นรูป (ดังตารางที่ 4.2 ) ซึ่งโครงสร้างภายนอกมีความแข็งแรง พอที่จะรับน้ำหนักและใช้กันอยู่โดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม การทำ โครงสร้างภายนอกนี้ต้องสร้างแม่พิมพ์ที่ทำจากเปลือกปูนพลาสติก การหล่อเทขึ้นรูปเพียงครั้งเดียว หลังจากนั้นใช้แผ่นพลาสติกมาห่อหุ้มโดยผ่านความร้อนและขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ปูน เมื่อแผ่นพลาสติกเริ่มแข็งตัวจะทำการประมาณขนาดของแผ่นพลาสติก (โดยใช้ข้อมูลการวัดขนาดเท้า ที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาเป็น ค่าเฉลี่ย) และปล่อยให้แผ่นพลาสติกแข็งตัว ในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการเจียร ตกแต่งขอบพลาสติกเพื่อความ สวยงามและลดความคม เมื่อเสร็จขั้นตอนนี้จะได้โครงสร้างภายนอก



แผนภาพที่ 4.1 แสดงจำลองภาพรวมของการวัดขนาดเท้า

จากแผนภาพที่ 4.1 แสดงการกำหนดสัดส่วนของการวัดขนาดเท้า โดยกำหนดให้ หมายเลข 1 คือ ความยาวของน่อง หมายเลข 2 คือ เส้นรอบวงน่อง หมายเลข 3 คือ เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า หมายเลข 4 คือ ความยาวของฝ่าเท้า หมายเลข 5 คือ ความกว้างของฝ่าเท้า หมายเลข 6 คือ ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลาง น่อง หมายเลข 7 คือรอบวงของฝ่าเท้า และหมายเลข 8 คือ เส้นรอบวงข้อเท้า

ตารางที่ 4.1 แสดงวิธีการวัดขนาดของเท้า ข้อเท้า และน่อง

| ลำดับ | คำอธิบาย                                                                | ภาพแสดงจุดการวัดเท้า                                                                 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | เป็นจุดกำหนดที่อยู่ด้านข้างลูกสะบ้าทั้งสองฝั่ง                          |    |
| 2     | กำหนดจุด โดยอาศัยระยะระหว่างข้อเข่าให้อยู่ตรงกลาง                       |   |
| 3     | กำหนดจุดที่บริเวณตาตุ่มด้านนอก จะได้จุด สองจุดระหว่างด้านบนและล่างของขา |  |
| 4     | นำ scale สำหรับวัดเท้าเพื่อวัดความยาวของฝ่าเท้าในท่าตั้งฉากของข้อเท้า   |  |

ตารางที่ 4.1 แสดงวิธีการวัดขนาดของเท้า ข้อเท้า และน่อง (ต่อ)

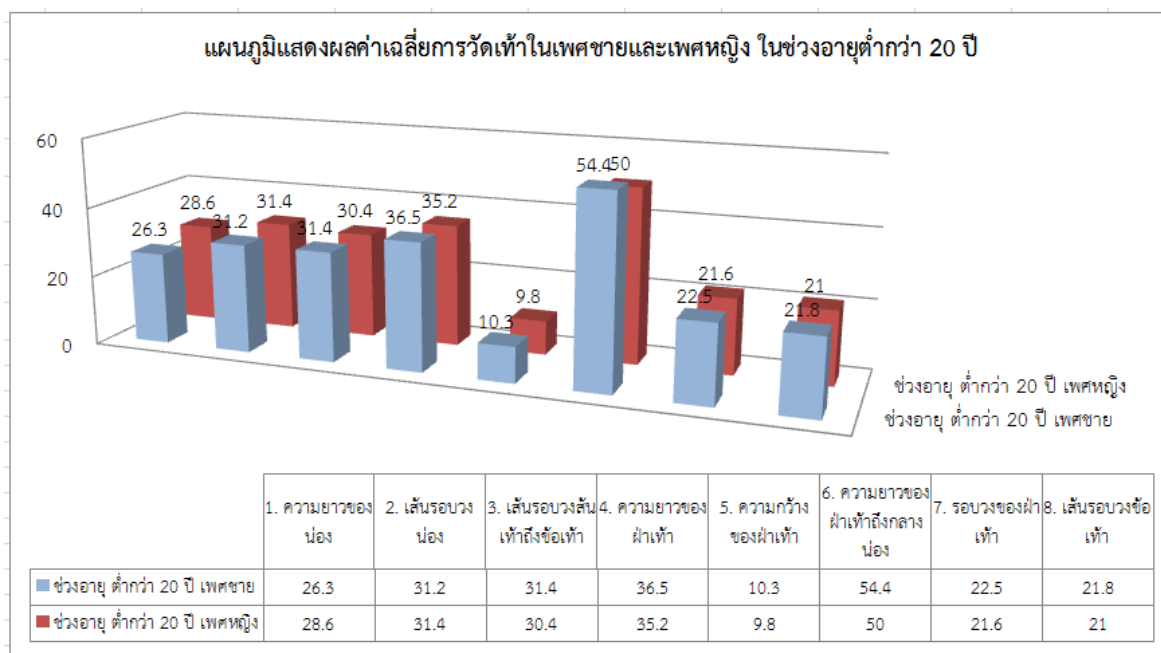
| ลำดับ | คำอธิบาย                                                                                                             | ภาพแสดงจุดการวัดเท้า |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 5     | วัดระยะทางความยาวของน่องให้ผ่านจุดกำหนดทั้งสองไปแนบยังแผ่น scale เหลือง                                              |                      |
| 6     | วัดความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่องโดยให้คนไข้นอนตะแคงโดยใช้เส้นผ่านแนวกลางของขาด้านหลัง                                 |                      |
| 7     | เลื่อนต่ำลงมาจากจุดกำหนดแรก ราว 2 นิ้ว ฟุต เพื่อกำหนดจุดวัดเป็นขนาดเส้นรอบวงน่อง ซึ่งเป็นบริเวณวงรอบขาที่กว้างที่สุด |                      |
| 8     | วัดขนาดเส้นรอบวงข้อเท้าโดยให้อยู่ในตำแหน่งเหนือตาตุ่มนอกเล็กน้อย ซึ่งเป็นบริเวณวงรอบขาที่แคบที่สุด                   |                      |
| 9     | กำหนดจุดโคนด้านในบริเวณนิ้วหัวแม่เท้าที่โป่งนูนที่สุด                                                                |                      |

ตารางที่ 4.1 แสดงวิธีการวัดขนาดของเท้า ช่อเท้า และน่อง (ต่อ)

| ลำดับ | คำอธิบาย                                                                            | ภาพแสดงจุดการวัดเท้า                                                                 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 10    | กำหนดจุดโคนด้านในบริเวณโคนนิ้วก้อยที่โป่งนูนที่สุด                                  |    |
| 11    | วัดขนาดความกว้างของฝ่าเท้า                                                          |   |
| 12    | วัดเส้นรอบวงของฝ่าเท้าในส่วนที่กว้างที่สุด                                          |  |
| 13    | วัดขนาดเส้นรอบวงส้นเท้าถึงข้อเท้า โดยใช้ส่วนนูนที่สุดที่ส้นเท้า วัดอ้อมมายังข้อเท้า |  |

ตารางที่ 4.2 การทำแบบประคองด้านนอกด้วยวัสดุชนิดพลาสติก Medical grade

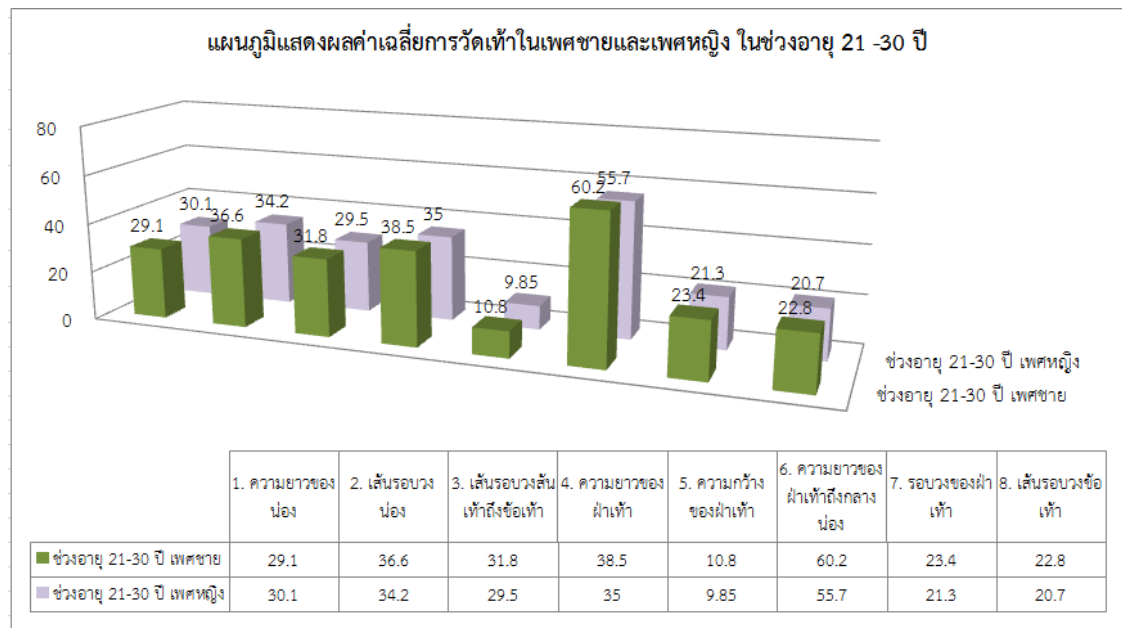
|   |                                                                                                                                                                         | วัสดุและวิธีการทำแบบพลาสติกประคอง                                                    |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | วัสดุแผ่นพลาสติกขนาดหนา 3 ม.ม. เป็นแผ่นวัสดุมาตรฐานทางการแพทย์ ที่นำมาใช้รับแรงการทำงาน หรือรับน้ำหนัก (physiologic load ) ของร่างกายในส่วนของการทำกายภาพบำบัด          |    |
| 2 | เป็นเท้าที่ทำจากเฟือกปูนอย่างบางกับขาผู้ป่วยที่ได้ขนาดจากการเฉลี่ยค่าที่วัดได้จากตารางที่ 1 เพื่อวัตถุประสงค์เบื้องต้นให้เป็น free size โดยนำมาประกบกันเพื่อให้เกิดเท้า |    |
| 3 | หล่อปูนปลาสเตอร์ในเท้าและมีแกนเหล็กยึดติด                                                                                                                               |   |
| 4 | นำพลาสติกมาห่อแท่งปูนปลาสเตอร์ที่เป็นรูปขา พร้อมทั้งเจียรแผ่นพลาสติกเพื่อลดความคมของขอบ                                                                                 |  |
| 5 | เครื่องเจียรจะแต่งขอบให้เรียบพร้อมทั้งทำเข็มขัดยึด                                                                                                                      |  |



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุต่ำกว่า 20 ปี

จากแผนภูมิที่ 4.1 แสดงผลการวัดขนาดเท้า พร้อมหาค่าเฉลี่ยของขนาดเท้าในแต่ละช่วงอายุ ในเพศชาย พบว่า ในช่วงอายุต่ำกว่า 20 ปี มีความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 26.30 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 31.20 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 31.40 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 36.50 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 10.30 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 54.40 เซนติเมตร ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 22.50 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.80 เซนติเมตร

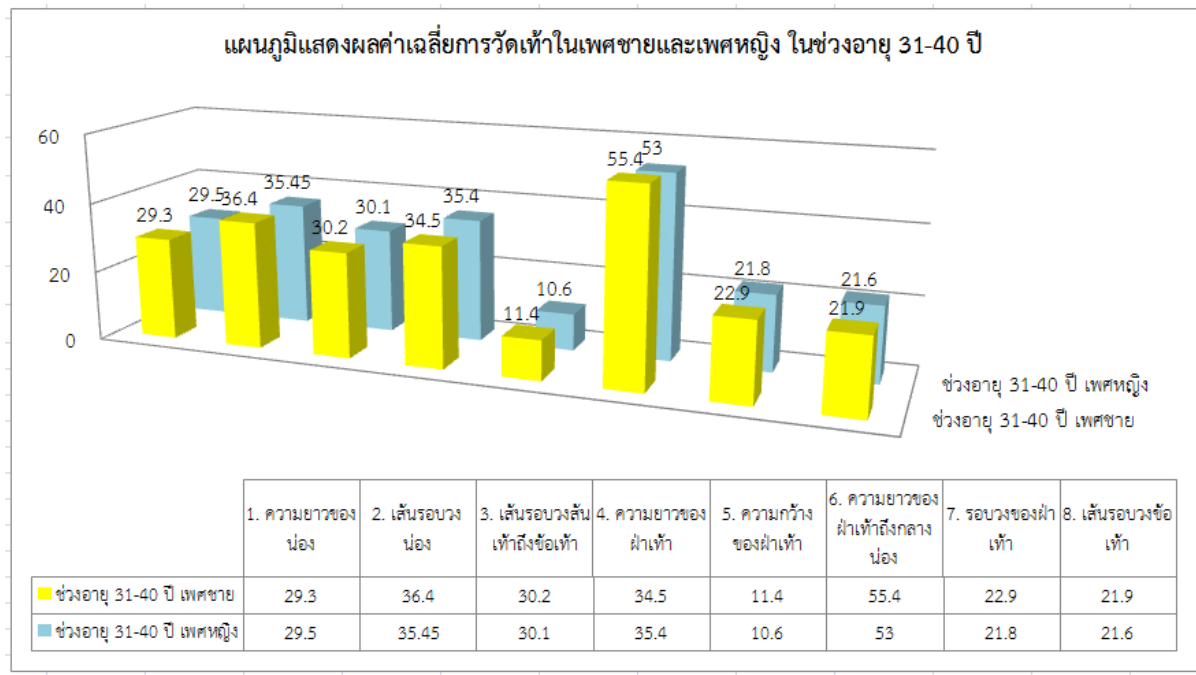
ในเพศหญิง พบว่า ในช่วงอายุต่ำกว่า 20 ปี มีความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 28.60 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 31.40 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 30.40 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 35.20 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 9.80 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 50 เซนติเมตร ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 21.60 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21 เซนติเมตร



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 21-30 ปี

จากแผนภูมิที่ 4.2 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชาย ในช่วงอายุ 21-30 ปี พบว่าความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 29.10 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 36.60 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 31.80 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 38.50 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 10.80 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 60.20 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 23.40 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 22.80 เซนติเมตร

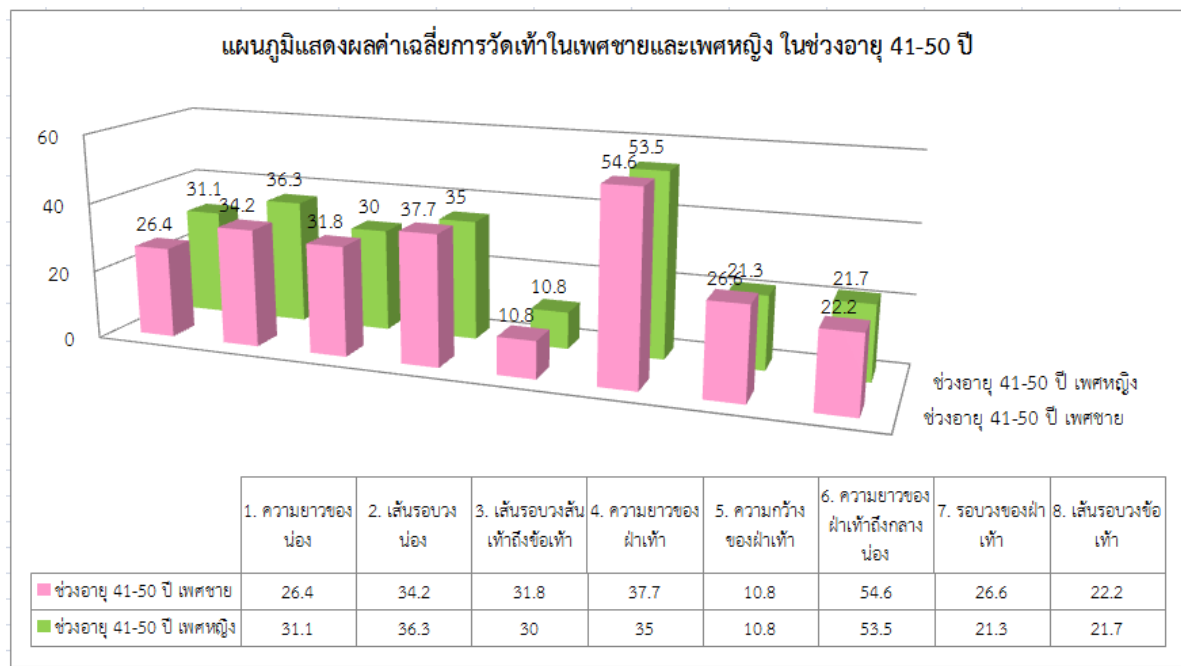
เพศหญิงช่วงอายุ 21- 30 ปี มีความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 30.10 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 34.20 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 29.50 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 35 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 9.85 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 55.70 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 21.30 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 20.70 เซนติเมตร



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 31-40 ปี

จากแผนภูมิที่ 4.3 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชาย ในช่วงอายุ 31-40 ปี พบว่าความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 29.30 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 36.40 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 30.20 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 34.50 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 11.40 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 55.40 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 22.90 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.90 เซนติเมตร

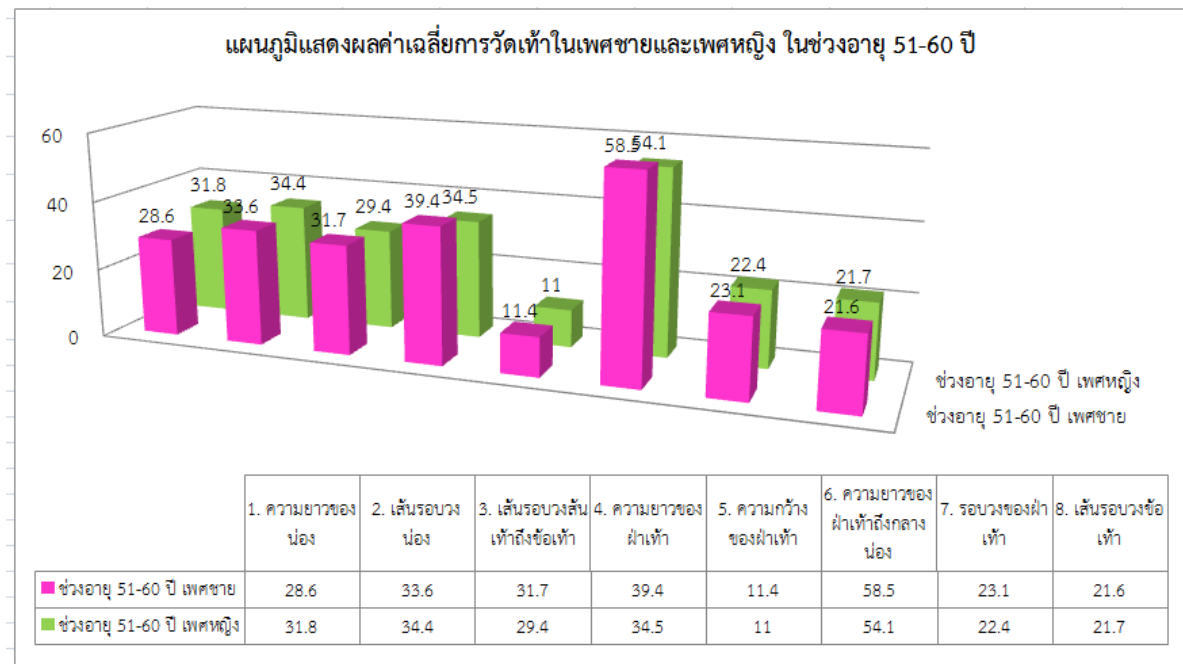
เพศหญิงช่วงอายุ 31- 40 ปี มีความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 29.50 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 35.45 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 30.10 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 35.40 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 10.60 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 53 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 21.80 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.60 เซนติเมตร



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 41-50 ปี

จากแผนภูมิที่ 4.4 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชาย อายุ 41-50 ปี พบว่าความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 26.40 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 34.20 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 31.80 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 37.70 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 10.80 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 54.60 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 26.60 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 22.20 เซนติเมตร

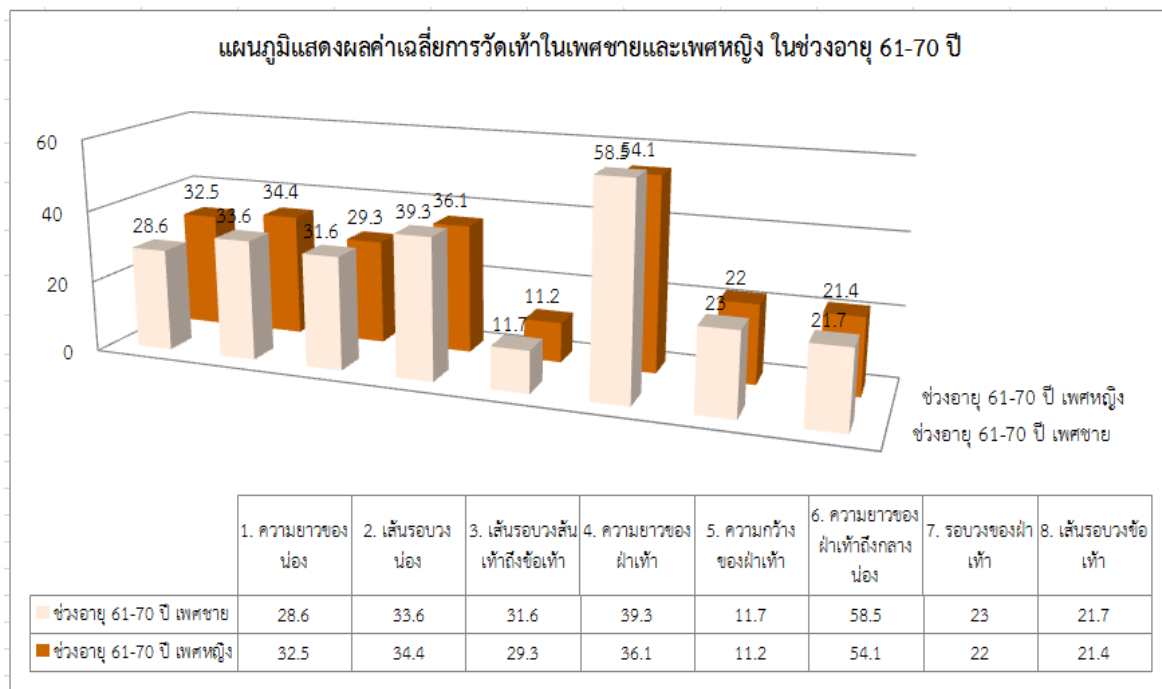
เพศหญิงช่วงอายุ 41- 50 ปี มีความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 31.10 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 36.30 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 30 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 35 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 10.80 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 53.50 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 21.30 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.70 เซนติเมตร



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 51-60 ปี

จากแผนภูมิที่ 4.5 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชาย อายุ 51-60 ปี พบว่าความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 28.60 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 33.60 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 31.70 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 39.70 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 11.40 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 58.50 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 23.10 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.60 เซนติเมตร

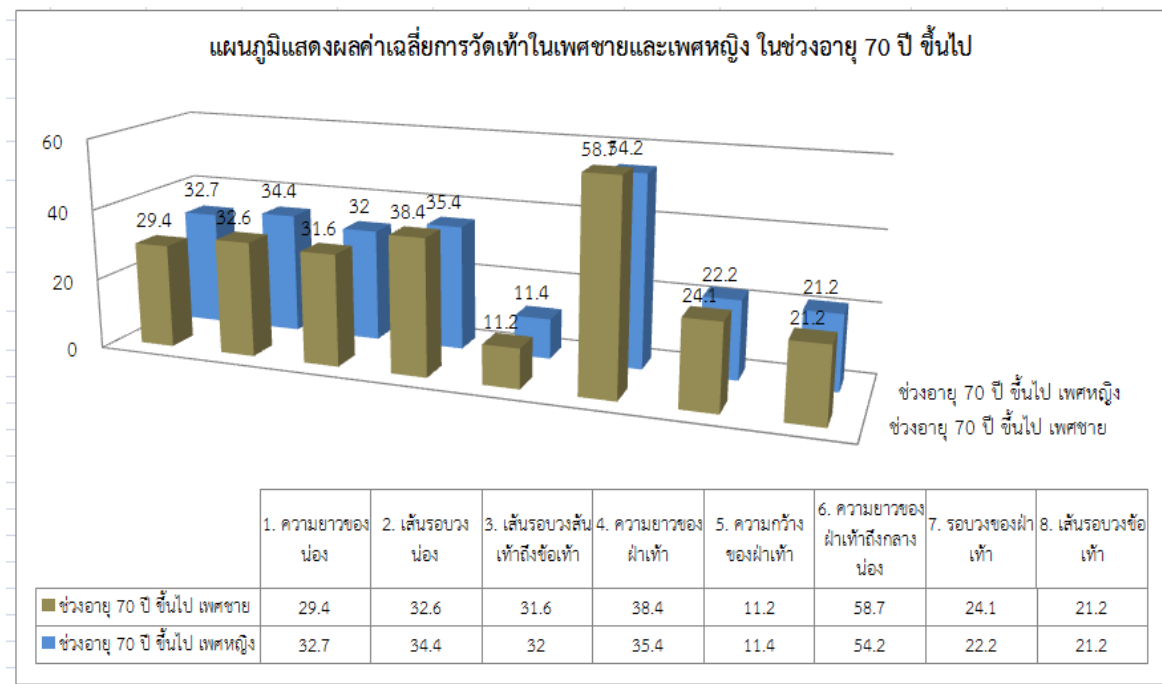
เพศหญิงช่วงอายุ 51- 60 ปี มีความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 31.80 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 34.40 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 29.40 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 34.50 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 11 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 54.10 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 22.40 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.70 เซนติเมตร



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 61-70 ปี

จากแผนภูมิที่ 4.6 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชาย อายุ 61-70 ปี พบว่าความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 28.60 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 33.60 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 31.60 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 39.30 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 11.70 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 58.50 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 23.00 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.70 เซนติเมตร

เพศหญิงช่วงอายุ 61- 70 ปี มีความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 32.50 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 34.40 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 29.30 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 36.10 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 11.20 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 54.10 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 22 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.20 เซนติเมตร



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชายและเพศหญิง ในช่วงอายุ 70 ปี ขึ้นไป

จากแผนภูมิที่ 4.7 แสดงผลค่าเฉลี่ยการวัดขนาดเท้าในเพศชาย อายุมากกว่า 70 ปี ขึ้นไป พบว่าความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 29.40 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 32.60 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 31.60 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 38.40 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 11.20 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 58.70 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 24.10 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.20 เซนติเมตร

เพศหญิงช่วงอายุมากกว่า 70 ปี ขึ้นไป มีความยาวของน่อง ค่าเฉลี่ย 32.70 เซนติเมตร เส้นรอบวงน่อง ค่าเฉลี่ย 34.40 เซนติเมตร เส้นรอบวงสันเท้าถึงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 32 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 35.40 เซนติเมตร ความกว้างของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 11.40 เซนติเมตร ความยาวของฝ่าเท้าถึงกลางน่อง ค่าเฉลี่ย 54.20 ความยาวรอบวงของฝ่าเท้า ค่าเฉลี่ย 22.20 เซนติเมตร ความยาวเส้นรอบวงข้อเท้า ค่าเฉลี่ย 21.20 เซนติเมตร



แผนภาพที่ 4.2 แสดงการขึ้นแม่พิมพ์จากดินน้ำมัน



แผนภาพที่ 4.3 แสดงการทดสอบแม่พิมพ์และสูตรยาง ด้วยการเทยางพารา

## การพัฒนาสูตรยาง

ในการออกแบบเพื่อป้องกันข้อเท็จจริงในผู้ป่วยอัมพาตจากยางธรรมชาติ นั้นจะมีการออกแบบให้มีโครงสร้างสองชั้น แบ่งเป็นโครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายใน โดยโครงสร้างภายในจะเน้นความอ่อนนุ่มในการสัมผัสกับผิวหนังของผู้ป่วย และทำความสะอาดได้ง่าย ไม่แพ้ ไม่คัน ในโครงการวิจัยนี้คาดหวังที่จะผลิตโครงสร้างภายในจากยางธรรมชาติ โดยจะทำการพัฒนาสูตรยางที่ใช้ในการผลิตโครงสร้างภายในจากสูตรยางธรรมชาติที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย เรื่อง “หุ่นจำลองระบบโครงกระดูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดการของแพทย์” ที่ได้รับการจัดสรรทุนในการดำเนินโครงการในปี พ.ศ. 2556 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองในโครงการวิจัย เรื่อง “หุ่นจำลองระบบโครงกระดูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดการของแพทย์”

| สารเคมี-สัดส่วน       | หน้าที่                    |
|-----------------------|----------------------------|
| 60% น้ำยาง            | ยาง                        |
| 10% Potassium-oleate  | สารช่วยให้เกิดฟอง          |
| 50% Sulfur (กำมะถัน)  | สารทำให้ยางคงรูป (แข็งตัว) |
| 50% ZDEC              | สารตัวเร่งให้ยางสุก        |
| 50% ZMBT              | สารตัวเร่งให้ยางสุก        |
| 50% WS-L (Wingstay L) | สารกันยางเสื่อม            |
| 33% DPG               | สารตัวเร่งให้ยางสุก        |
| 50% ZnO               | สารกระตุ้นตัวเร่ง          |
| 12.5% SSF             | สารช่วยให้ฟองจับตัว        |

ตารางที่ 4.4 แสดงสูตรสารเคมีที่ใช้ในการทดลองในโครงการวิจัย เรื่อง “หุ่นจำลองระบบโครงกระดูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดการของแพทย์”

| สารเคมี-สัดส่วน       | ปริมาณ (g.) | ร้อยละ |
|-----------------------|-------------|--------|
| 60% น้ำยาง            | 501         | 77.67  |
| 10% potassium-oleate  | 54          | 8.37   |
| 50% Sulfur (กำมะถัน)  | 12          | 1.87   |
| 50% ZDEC              | 6           | 0.93   |
| 50% ZMBT              | 6           | 0.93   |
| 50% WS-L (Wingstay L) | 6           | 0.93   |

ตารางที่ 4.4 แสดงสูตรสารเคมีที่ใช้ในการทดลองในโครงการวิจัย เรื่อง “หุ่นจำลองระบบโครงกระดูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดการของแพทย์” (ต่อ)

| สารเคมี-สัดส่วน       | ปริมาณ (g.) | ร้อยละ |
|-----------------------|-------------|--------|
| 50% WS-L (Wingstay L) | 6           | 0.93   |
| 33% DPG               | 6           | 0.93   |
| 50% ZnO               | 30          | 4.65   |
| 12.5% SSF             | 24          | 3.72   |

โดยในการดำเนินโครงการวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงสูตรยางในเรื่องของผิวสัมผัสให้มีความนุ่มสบาย และมีความสามารถในการรับแรงกดที่เหมาะสม โดยจะทำการปรับปรุงสูตรยางโดยทำการปรับปรุงปริมาณของปริมาณโพแทสเซียมโอเลอเอท ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดฟอง เพื่อปรับปรุงสมบัติความนุ่มและฟูของเนื้อยาง ให้ได้ผิวสัมผัสที่มีความเหมาะสม ความนุ่มสบาย และมีความสามารถในการรับแรงกดที่เหมาะสม และลดอาการข้างเคียง เช่น การระคายเคืองต่อผิวหนัง หรือความอับชื้น เพิ่ม Liner เพื่อการระบายอากาศ นอกจากนี้จะทำการปรับปรุงสมบัติในด้านการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย (Anibacterial property) โดยการเติมสารที่มีสมบัติการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย เช่น Biocleanact™ , IRGAGUARD B 5000 หรือ สารสกัดจากเปลือกมังคุด ฯลฯ ลงในยาง เพื่อปรับปรุงให้สูตรยางที่ได้มีประสิทธิภาพในการต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย อันจะทำให้เกิดสุขลักษณะที่ดีต่อผู้ป่วยที่นำเผือกออกไปใช้งาน

ในการขึ้นรูปยางเพื่อเป็นโครงสร้างภายในนั้นทำโดยกระบวนการหล่อและจะต้องนำยางมาทดสอบสมบัติต่างๆ (ดังตารางที่ 4.5) ทั้งสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล ความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย และความพึงพอใจต่อผู้ใช้งาน โดยสมบัติที่ต้องทำการทดสอบได้แก่

- การขยายตัวและความหนาแน่น
- ความต้านทานต่อแรงกด การยุบตัวจากแรงกด
- ความแข็ง
- ความทนต่อแรงดึง และการยืดตัว ณ จุดขาด
- ความต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย
- การดูดความชื้น
- ความพึงพอใจต่อผู้ใช้งาน

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าคุณสมบัติของฟองน้ำในการทดสอบเบื้องต้น

| คุณสมบัติฟองน้ำ                           | สูตร 1  |
|-------------------------------------------|---------|
| ความหนาแน่น (กิโลกรัม/เมตร <sup>3</sup> ) | 70-90   |
| ดัชนีความแข็งเชิงกด (นิวตัน)              | 160-200 |
| การยุบตัวเนื่องจากแรงกด (%)               | 5-10    |

ส่วนโครงสร้างภายนอกของเฟือนั้น เป็นส่วนที่จะทำให้เกิดการประคองอวัยวะให้คงตัว ต้องเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เพียงพอในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอวัยวะของผู้ป่วย ในโครงการวิจัยนี้มีแนวความคิดที่จะเลือกใช้พลาสติกที่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการ Thermoforming เช่น พอลิพรอพิลีน (Polypropylene: PP) พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) เป็นต้น หรือ เลือกใช้แผ่นโลหะที่สามารถนำมาปั๊มขึ้นรูปให้มีรูปร่างตามต้องการได้ เช่น สแตนเลส เป็นต้น โดยวัสดุที่ใช้ในการผลิตเป็นโครงสร้างภายนอกจะต้องทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่

- ความทนต่อแรงดึง การต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง
- ความแข็ง
- ความพึงพอใจต่อผู้ใช้งาน

#### การพัฒนาสูตรยางพาราเพื่อวัสดุทางการแพทย์

จากคำแนะนำผู้เชี่ยวชาญ สำหรับสูตร 1 ที่ปกติเดิมนำไปใช้ทำเบาะรองนั่งถูกเลือกนำมาประยุกต์ใช้เนื่องจากใช้รับน้ำหนักคนเหมือนกันจึงน่าจะใกล้เคียงกันแต่ จะต่างจากสูตรเดิมจากตารางที่ 4 เพียงเล็กน้อยในเรื่องของ % DPG ซึ่งเป็นสารตัวเร่งให้ยางสุกจากเดิมที่ 33.3 % เพิ่มขึ้น 50% เพื่อให้ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดเร็วขึ้นและการแข็งตัวของยางดีขึ้น โดยที่สารระเหยที่อาจเกิดขึ้นและจะทำให้เกิดอาการแพ้จะเกิดเฉพาะเบื้องต้นขณะผสมสาร และในทางปฏิบัติจริงผู้ป่วยได้ใส่ถุงเท้า ซึ่งจะหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวได้ (ดังตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 แสดงสูตรตีฟอง

| ลำดับ | %  | น้ำยางและสารเคมี                         | สูตรที่ 1 น.น |
|-------|----|------------------------------------------|---------------|
| 1     | 60 | น้ำยาง latex                             | 167           |
| 2     | 10 | โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ Potassium hydroxide | 15            |
| 3     | 50 | กำมะถัน sulfur                           | 4             |
| 4     | 50 | แซดซีอีซี ZDEC                           | 2             |
| 5     | 50 | แซดเอ็มบีที ZMBT                         | 2             |
| 6     | 50 | วิงสเตย์แอล Wingstay L                   | 2             |

|   |      |              |            |    |
|---|------|--------------|------------|----|
| 7 | 50   | ซิงค์ออกไซด์ | Zinc oxide | 10 |
| 8 | 50   | ดีพีจี       | DPG        | 2  |
| 9 | 12.5 | เอสเอสเอฟ    | SSF        | 8  |

สูตรยางพองทำให้ยางนิ่มเทียบเท่ากับหมอนยางพาราจึงไม่สามารถนำไปใช้แทนฝือกได้ เนื่องจากความแข็งแรงไม่พอจึงได้มีการพัฒนาเป็นสูตร A ซึ่งคาดว่าจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วและแข็งแรงมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 แสดง สูตร A

| ลำดับ                                    | %    | น้ำยางและสารเคมี     |                     | สูตรที่ 1 ดีฟอง A<br>น้ำหนักเปียก |
|------------------------------------------|------|----------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1                                        | 60   | น้ำยาง               | latex               | 167                               |
| 2                                        | 10   | โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ | Potassium hydroxide | 15                                |
| 3                                        | 50   | กำมะถัน              | sulfur              | 4                                 |
| 4                                        | 50   | แซดดีอีซี            | ZDEC                | 2                                 |
| 5                                        | 50   | แซดเอ็มบีที          | ZMBT                | 2                                 |
| 6                                        | 50   | วิงสเตย์แอล          | Wingstay L          | 2                                 |
| 7                                        | 50   | ซิงค์ออกไซด์         | Zinc oxide          | 10                                |
| 8                                        | 33.5 | ดีพีจี               | DPG                 | 2                                 |
| 9                                        | 12.5 | เอสเอสเอฟ            | SSF                 | 8                                 |
| properties                               |      |                      | Simple A            | Test Methods                      |
| ความหนาแน่น(กิโลกรัม/เมตร <sup>3</sup> ) |      |                      | 134                 | ISO 845,ISO1923                   |
| ดัชนีความแข็งเชิงกด (นิวตัน)             |      |                      | 266                 |                                   |
| การยุบตัวเนื่องจากแรงกด (%)              |      |                      | 3.72                |                                   |
| ความทนแรงอ้าค่าคงที่ (%)                 |      |                      | 4.36                |                                   |

จากการทำสูตร A พบว่าความแข็งแรงดีขึ้น แต่ยังแข็งแรงไม่พอจึงได้มีการปรับสูตรยางพารามาเป็น

สูตร B

ตารางที่ 4.8 แสดง สูตร B

| ลำดับ | %  | น้ำยางและสารเคมี      |                     | น้ำหนัก B | น้ำหนัก C |
|-------|----|-----------------------|---------------------|-----------|-----------|
| 1     | 60 | น้ำยาง                | latex               | 167       | 167       |
| 2     | 10 | เทอร์ริก 16 เอ 16     | Teric 16 A 16       | 2         | 0         |
| 3     | 10 | โปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์ | Potassium hydroxide | 0         | 3         |
| 4     | 20 | โปแตสเซียม ลอเรต      | Potassium laurat    | 0         | 1         |
| 5     | 50 | กำมะถัน               | sulfur              | 4         | 4         |
| 6     | 50 | แซดดีอีซี             | ZDEC                | 3         | 3.5       |
| 7     | 50 | วิงสเตย์แอล           | Wingstay L          | 2         | 2         |
| 8     | 50 | แคลเซียมคาร์บอเนต     | Calcaium carbonate  | 60        | 0         |
| 9     | 50 | ติตานิยมไดออกไซด์     | Titanium dioxide    | 5         | 5         |
| 10    | 50 | ซิงค์ออกไซด์          | Zinc oxide          | 3         | 3         |
| 11    |    | สี                    | colour              | 4         | 4         |

จากสูตร B มีความแข็งแรงมากขึ้นเนื่องมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 50 % เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวเปลือกยางพารา

อย่างไรก็ตาม ในเรื่องของประเด็นการประยุกต์การใช้งานในอนาคต การพัฒนาสูตรยางเพื่อแทนที่การใช้เปลือกในผู้ป่วยทางด้านสัลยกรรมกระดูกและข้อยังเป็นเรื่องที่ทำนายเนื่องจากเปลือกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังมีปัญหาในเรื่อง น้ำหนัก, ความแข็งแรงที่ขาดความยืดหยุ่นทำให้บีบรัดเส้นเลือดในบางครั้ง รวมทั้งปัญหาการเกิดแผลกดทับภายใน การหาวัสดุที่เข้ามาแทนที่จึงเป็นสิ่งที่ทำนาย การนำยางพารามาใช้จึงอาจตอบและแก้ปัญหาได้น่าจะเหมาะสม เนื่องจากคุณสมบัติของยางพาราที่หลากหลายในการพัฒนาสูตรและความยืดหยุ่นในเนื้อยางเอง ตัวอย่างสูตรจึงเกิดการพัฒนามาขึ้น (ดังตารางที่ 4.9) โดยอาศัยหลักการว่า

1. แห้งเร็ว
2. มีความแข็งแรงพอสมควร โดยการเพิ่ม แคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.9 แสดงสูตรยาง (สูตรหล่อ; casting)

| ลำดับ | %  | น้ำยางและสารเคมี     |                     | สูตรที่2<br>น.น. | สูตรที่3<br>น.น. | สูตรที่4<br>น.น. | สูตรที่5<br>น.น. |
|-------|----|----------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1     | 60 | น้ำยาง               | latex               | 167              | 167              | 167              | 167              |
| 2     | 10 | โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ | Potassium hydroxide | 3                | 3                | 5                |                  |
| 3     | 20 | โปตัสเซียมลอเรต      | Potassium laurate   | 1                | 1                | 2.5              |                  |
| 4     | 50 | กำมะถัน              | sulfur              | 4                | 4                | 2                | 4                |
| 5     | 50 | แซดซีอีซี            | ZDEC                | 2.5              | 2.5              | 3.5              | 3                |
| 6     | 50 | วิงสเตย์แอล          | Wingstay L          | 2                | 2                | 3                | 2                |
| 7     | 50 | ซิงค์ออกไซด์         | Zinc oxide          | 3                | 3                | 3                | 3                |
| 8     | 50 | แคลเซียมคาร์บอเนต    | Calcium carbonate   | 30               | 40               | 75               | 100              |
| 9     | 10 | เขม่าดำ              | Carbon black        |                  |                  | 30               |                  |
| 10    | 10 | เทอริก16เอ16         | Teric16A16          |                  |                  |                  | 2                |



แผนภาพที่ 4.9 แสดงเปลือกอ่อนประกอบเท้า



แผนภาพที่ 4.10 แสดงผู้ป่วยที่ใส่ฝีก่อนประคองเท้า

#### ผลการศึกษาฝีก่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ

ผลการศึกษาการใช้ฝีก่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วย อัมพาต จากยางธรรมชาติ เป็นการศึกษาครั้งแรกที่เพิ่งมีการนำยางพารามาพัฒนาเป็นกายอุปกรณ์ประคองข้อเท้าแทนฝีก ซึ่งการใช้ฝีกในปัจจุบันเป็นชนิด (Calcium Sulfate monohydrate) ซึ่งมีคุณสมบัติที่แข็งแรงเหมาะต่อการใช้เป็นฝีก แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันพบว่า มีผลแทรกซ้อนจากการใส่ฝีกดังกล่าว เนื่องจากคุณสมบัติของฝีกที่แข็งมากเกินไปและจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคและความเชี่ยวชาญโดยเฉพาะในการใส่ฝีก ดังนั้น ผลแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น เช่น ฝีกกดทับ, ฝีกรัด ทำให้เกิดอาการเจ็บ ปวด เพิ่มขึ้นหลังใส่ฝีกและอาจเกิดผลแทรกซ้อนที่เกิดจากการขาดเลือดมาหล่อเลี้ยงบริเวณเท้าและอาจต้องตัดเท้าในที่สุด ทำให้มีข้อจำกัดถึงแม้จะเป็นการรักษาที่เป็นมาตรฐานมายาวนานแล้ว ประกอบกับความกลัวของผู้ป่วย เมื่อเห็นฝีก นอกจากนั้นการดูแลฝีก ทำให้ผู้ป่วยต้องเฝ้าระวังมากขึ้น เช่น ห้ามโดนน้ำ ห้ามแกะ ห้ามเกาและทำให้เกิดภาระต่อผู้ป่วย ตลอดจนความกังวล ไม่สามารถทำอะไรได้เลยกับฝีก ยกเว้นต้องกลับมาพบแพทย์เท่านั้น

ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วย

|                       | ร้อยละ |
|-----------------------|--------|
| เพศ เพศชาย            | 80     |
| เพศหญิง               | 20     |
| อายุ 31-40 ปี         | 10     |
| 41-50 ปี              | 40     |
| 50-60 ปี              | 30     |
| 60 ปี ขึ้นไป          | 20     |
| โรคประจำตัว           |        |
| ไม่มีโรคประจำตัว      | 40     |
| เบาหวาน               | 30     |
| ความดัน               | 20     |
| ไขมัน                 | 10     |
| การวินิจฉัยโรค        |        |
| กระดูกนิ้วหัก         | 20     |
| กระดูกตาคุ่มหัก       | 10     |
| ข้อเท้าตก             | 40     |
| ข้อเท้าซ้ำ            | 10     |
| เส้นเอ็นข้อเท้าอักเสบ | 10     |
| แผลเรื้อรังที่เท้า    | 10     |

การพัฒนาเฟื่ออกโดยอาศัยขางพารา จึงเป็นทางเลือกที่ดีวิธีหนึ่งในปัจจุบัน เนื่องจากมีราคาถูก และเป็นวัตถุดิบทางธรรมชาติที่ได้จากพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยและมีความพร้อมที่จะพัฒนาตลอดจนความพร้อมทางด้านวิชาการโดยนักวิชาการยาง, แพทย์, ทีมผู้ดูแลผู้ป่วย นอกจากนี้ยังสามารถตอบโจทย์รัฐบาลในการแก้ปัญหาราคายางพาราตกต่ำได้อย่างเหมาะสมกับภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบัน

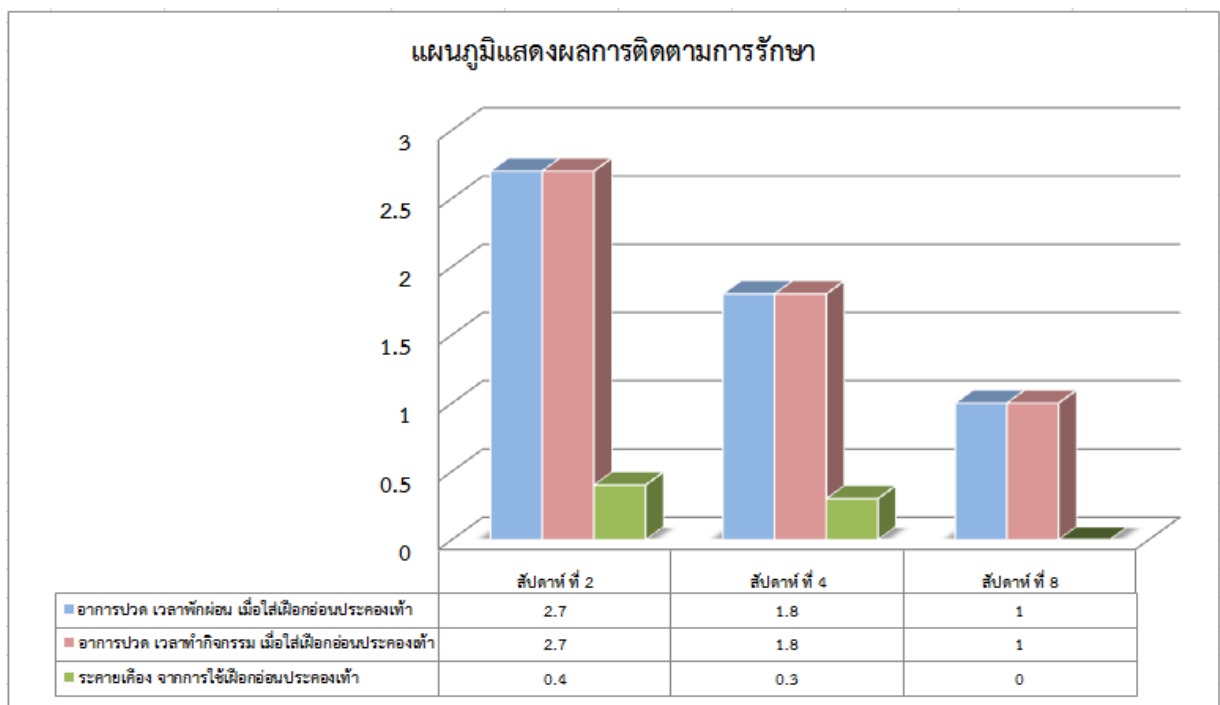
ผู้ศึกษาได้รับทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) โดยระยะเวลาศึกษาและพัฒนาสูตรยางใช้ระยะเวลาตั้งแต่เดือน มกราคม – ธันวาคม 2559

หลังจากพัฒนาสูตรยางพาราจนเสร็จสิ้นกระบวนการและนำมาประดิษฐ์เป็นเฟื่ออกยางพาราชนิดแข็งจากการศึกษาผู้ป่วย จำนวน 10 ราย เพศชาย จำนวน 8 ราย เพศหญิง จำนวน 2 ราย อายุ 31-40 ปี จำนวน 1 ราย 41-50 ปี จำนวน 4 ราย 50-60 ปี จำนวน 3 ราย 60 ปีขึ้นไป จำนวน 2 ราย ด้านโรคประจำตัว เป็นโรคเบาหวาน จำนวน 3 ราย ความดัน จำนวน 2 ราย ไขมัน จำนวน 1 ราย และไม่มีโรคประจำตัว จำนวน 4 ราย

การวินิจฉัยโรคผู้ป่วย พบว่ามีกระดูกนิ้วหัก จำนวน 2 ราย กระดูกตาคุ่มหัก จำนวน 1 ราย ข้อเท้าตก จำนวน 4 ราย ข้อเท้าซ้ำ จำนวน 1 ราย เส้นเอ็นอักเสบ จำนวน 1 ราย แผลเรื้อรัง จำนวน 1 ราย (ดังตารางที่ 10)

ตารางที่ 4. 11 แสดงคะแนนอาการปวด เวลาพักผ่อน เมื่อใส่ฝือกอ่อนประคองเท้า สัปดาห์ ที่ 2-8

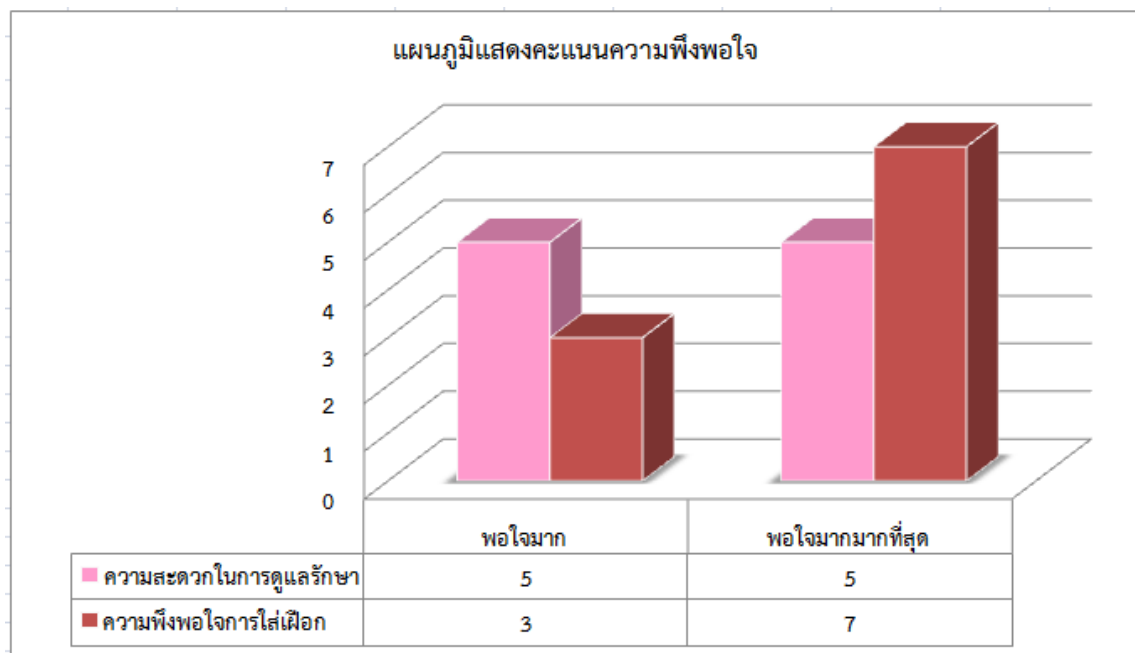
| ประเด็นการรักษา                                       | สัปดาห์ ที่ 2 | สัปดาห์ ที่ 4 | สัปดาห์ ที่ 8 |
|-------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1. อาการปวด เวลาพักผ่อน เมื่อใส่ฝือกอ่อนประคองเท้า    | 2.70 (1.494)  | 1.80 (1.033)  | 1.00 (0.667)  |
| 2. อาการปวด เวลาทำกิจกรรม เมื่อใส่ฝือกอ่อนประคองเท้า  | 2.70 (1.494)  | 1.80 (1.033)  | 1.00 (0.667)  |
| 3. การเกิดอาการระคายเคือง จากการใส่ฝือกอ่อนประคองเท้า | 0.40 (0.516)  | 0.30 (0.483)  | 0             |



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงผลการติดตามการรักษา สัปดาห์ที่ 2-8

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการติดตามการรักษา ผลด้านความพึงพอใจ

| ผลด้านความพึงพอใจ            | พอใจมาก | พอใจมากที่สุด |
|------------------------------|---------|---------------|
| 1. ความสะดวกในการดูแลรักษา   | 5(50)   | 5(50)         |
| 2. ความพึงพอใจการใส่ฝือกอ่อน | 3(30)   | 7(70)         |



แผนภูมิที่ 4.9 แสดงผลการติดตามการรักษา ผลด้านความพึงพอใจ

#### ข้อเสนอแนะผลการทดลอง

1. ฝือกมีน้ำหนักและหนามากไป
2. ควรพัฒนาฝือกสำหรับแขนและส่วนอื่น
3. การพัฒนาฝือกที่ทำจากยางพารา เป็นสิ่งใหม่ที่พัฒนาการรักษาให้ผู้ป่วย
4. ฝือกที่ทำออกมามีสีสันทะลุและรวดเร็ว สวยงาม ทำให้ผู้ป่วยอยากใช้งานและไม่น่าเบื่อ
5. ช่วยส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ราคาฝือกไม่แพง

#### สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาการในผู้ป่วยที่ใช้ฝือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกและได้รับบาดเจ็บที่บริเวณเท้า และข้อเท้า จากยางธรรมชาติ จากการติดตามการรักษา ผลขณะใส่ฝือกเวลาพักผ่อนและเวลาใส่ทำกิจกรรม สัปดาห์ที่ 2, 4 และ 8 มีค่าเฉลี่ย 2.70, 1.80 และ 1.00 ตามลำดับ โดยอาการปวดจะค่อยๆ ลดลงหลังจากใส่ฝือกประคองเท้า ซึ่งสามารถบอกได้ว่าฝือกช่วยประคองไม่ให้ข้อเท้าและขา ขยับ ซึ่งเป็นผลทำให้อาการปวดลดลง ส่วนการป้องกันอาการกระดูกเชิง เบื้องต้นให้ผู้ป่วยใส่ถุงเท้าก่อนการสวมใส่ฝือกก่อนทุกครั้งจะ ป้องกันการระคายผิวหนังที่เกิดจากการแพ้โปรตีนจากยาง ทั้งนี้จากการทดสอบผลการเกิดอาการกระดูกเชิง จากการใส่ฝือกอ่อนประคองเท้า พบว่าในสัปดาห์ ที่ 2 ค่าเฉลี่ย 0.40 สัปดาห์ ที่ 4 ค่าเฉลี่ย 0.30 สัปดาห์ ที่ 8 ค่าเฉลี่ยเป็น 0 แสดงให้เห็นว่าผู้ป่วยที่มีอาการกระดูกเชิงจะมีการแก้ช่วงแรกที่จะสวมใส่ฝือกและอาการกระดูกเชิงก็จะค่อยๆ หายไป ทำให้ผู้ป่วยที่ใช้งานมีความพึงพอใจเป็นอย่างมาก ทั้งมีความสะดวกในการดูแลรักษา สามารถถอดและใส่ ได้ตามต้องการ ทำความสะอาดได้ง่าย มีสีสันทะลุและรวดเร็วที่สวยงามทำให้ผู้ป่วยอยากใช้งานและไม่น่าเบื่อ ช่วยส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### ผลการวิจัย

การพัฒนาฝีก่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาต จากยางธรรมชาติ ได้มีการวัดขนาดเท้าและขา ในกลุ่มผู้ป่วย เพื่อหาค่าเฉลี่ยและนำมาขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์ เพื่อทำบล็อกสำหรับเทคสอปแม่พิมพ์ยางพารา ซึ่งในเบื้องต้นจะเป็นชนิดขาส้น (ต่ำกว่าเข่าและยาวไปจนถึงปลายเท้า) โดยมีการพัฒนาสูตรยางพาราเพื่อให้เหมาะสมกับฝีกยางพาราให้ตรงกับคุณสมบัติที่ต้องการ เมื่อได้สูตรยางพาราที่สมบูรณ์แบบแล้วได้นำไปจดอนุสิทธิบัตร (ขณะนี้กำลังดำเนินการ)

ฝีกยางพาราที่ได้นำมาตกแต่งสีและลาย เพื่อเพิ่มความสวยงาม เพื่อให้เกิดความไม่น่าเบื่อ และสามารถใช้งานได้หลายรูปแบบ ชิ้นงานที่ได้ คือ ฝีกยางพาราชนดิแข็ง ทั้งภายนอกและภายใน (Casting) จำนวน 10 ชิ้นงาน และชนดิกึ่งแข็ง (ฝีกชนดิภายนอกเป็นแบบแข็ง ภายในเป็นยางฟองน้ำ) จำนวน 5 ชิ้นงาน และชนดินุ่ม (เป็นยางฟองน้ำ) จำนวน 5 ชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้นักวิจัยได้นำฝีกยางพาราชนดิแข็ง (Casting) มาทำการศึกษาเกี่ยวกับผู้ป่วย เนื่องจากมีความแข็งแรงมากกว่าชนิดอื่นๆ

ผลการศึกษาพบว่าการใช้ฝีกเวลาพักผ่อนและทำกิจกรรม สัปดาห์ที่ 2, 4 และ 8 มีค่าเฉลี่ย 2.70, 1.80 และ 1.00 ตามลำดับ โดยอาการปวดจะค่อยๆ ลดลงหลังจากใส่ฝีกประคองเท้า ซึ่งสามารถบอกได้ว่าฝีกช่วยประคองไม่ให้ข้อเท้าและขา ขยับ ซึ่งเป็นผลทำให้อาการปวดลดลง ส่วนการป้องกันอาการระคายเคือง เบื้องต้นให้ผู้ป่วยใส่ถุงเท้าก่อนการสวมใส่ฝีกก่อนทุกครั้ง ป้องกันการระคายผิวหนังที่เกิดจากการแพ้โปรตีนจากยาง ทั้งนี้จากการทดสอบผลการเกิดอาการระคายเคือง จากการใส่ฝีกก่อนประคองเท้า พบว่าในสัปดาห์ ที่ 2 ค่าเฉลี่ย 0.40 สัปดาห์ ที่ 4 ค่าเฉลี่ย 0.30 สัปดาห์ ที่ 8 ค่าเฉลี่ยเป็น 0 แสดงให้เห็นว่าผู้ป่วยที่มีอาการระคายเคืองจะมีการแคะช่วงแรกที่สวมใส่ฝีกและอาการระคายเคืองก็จะค่อยๆ หายไป ทำให้ผู้ป่วยที่ใช้งานมีความพึงพอใจมากที่สุด 70 %

ผลการวิจัยยังช่วยเหลือผู้ป่วยที่พิการเหล่านี้ขณะที่รอให้กลับมาใช้ชีวิตได้ตามปกติ อีกทั้งเป็นกายอุปกรณ์ที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางพาราธรรมชาติในประเทศไทย อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบกับฝีกดั้งเดิม รวมทั้งการศึกษาในเรื่องท่าการเดิน (Gait analysis) และในกลุ่มการดูแลแผลเรื้อรังที่เท้า เช่นในผู้ป่วย เบาหวาน อย่าง เหมาะสมต่อไป

## ภาคผนวก

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนของผลิตภัณฑ์ใหม่

| รายการอุปกรณ์                                                                                                                                                      | ประโยชน์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ราคา      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <p>Ankle slab for preventive foot drop in stroke patient from natural rubber</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผลิตจากยางธรรมชาติ natural rubber</li> <li>- ป้องกันและบรรเทาอาการปลายเท้าตก กระดกข้อเท้าไม่ขึ้น</li> <li>- ป้องกันและบรรเทาอาการปลายเท้าจิกในระยะเริ่มแรก</li> <li>- ช่วยยึดกล้ามเนื้อข้อเท้าให้อยู่ในท่าการกระดกข้อเท้า (dorsiflexion) เช่น ในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีก</li> <li>- ใส่เดินในบ้านและนอกบ้านได้ พื้นเป็นแบบรองเท้า</li> <li>- ผู้ที่มีกระดูกขาส่วนล่างหัก เพื่อจำกัดการเคลื่อนไหว ในช่วงที่กระดูกยังไม่มีกระดูกประสานกัน (tibia&amp;fibula)</li> </ul> | 899 บาท   |
| <p>อุปกรณ์ดามกันเท้าตก (AFO: Ankle Foot Orthosis)</p>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผลิตจากโพลีเมอร์เกรด A บุด้วยฟองน้ำเนื้อแน่น และผ้านาโนลดกลิ่นอับชื้น</li> <li>- บรรเทาอาการปวดบริเวณส้นเท้าและฝ่าเท้า</li> <li>- ป้องกันและบรรเทาอาการปลายเท้าตก กระดกข้อเท้าไม่ขึ้น ข้อเท้าบิด</li> <li>- ป้องกันและบรรเทาอาการปลายเท้าจิกในระยะเริ่มแรก</li> <li>- ช่วยยึดกล้ามเนื้อข้อเท้าให้อยู่ในท่าการกระดกข้อเท้า (dorsiflexion) เช่น ในผู้ป่วยอัมพาตครึ่งซีก</li> </ul>                                                                                   | 1,800 บาท |
| <p>อุปกรณ์ดามกันปลายเท้าตกแบบ 2 in 1</p>                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ใส่เดินในบ้านและนอกบ้านได้ พื้นเป็นแบบรองเท้า</li> <li>- ผู้ที่มีกระดูกขาส่วนล่างหัก เพื่อจำกัดการเคลื่อนไหว ในช่วงที่กระดูกยังไม่มีกระดูกประสานกัน (tibia&amp;fibula)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2,500 บาท |

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนของผลิตภัณฑ์ใหม่ (ต่อ)

| รายการอุปกรณ์                                                                                                                         | ประโยชน์                                                                                     | ราคา    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| สายรัดพุงปลายเท้าขณะใส่รองเท้า (Foot Sling Econ)<br> | เป็นอุปกรณ์เสริมพุงข้อเท้าช่วยในการกระดกปลายเท้า ไม่ให้ปลายเท้าตก ปลายเท้าจิกงอในการก้าวเดิน | 500 บาท |

ตารางที่ 4 แสดงGantt chart เปรียบเทียบกิจกรรมที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และกิจกรรมที่ทำจริง

| กิจกรรม                                                                                     | เดือนที่ |     |     |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|-------|
|                                                                                             | 1-3      | 4-6 | 7-9 | 10-12 |
| 1. การศึกษาการวัดขนาดค่าเฉลี่ยของเท้าในผู้ป่วยที่มาใช้บริการทางการแพทย์                     | ×        |     |     |       |
| 2. พัฒนาสูตรน้ำยาเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ                                              |          | ×   |     |       |
| 3. สร้างแม่พิมพ์ และการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นรองกันข้อเท้าตก                                    |          | ×   | ×   |       |
| 4. การทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางสรีรกรรมกระดูกและข้อ |          |     | ×   |       |
| 5. การทดลองนำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อเท้าตก                              |          |     | ×   |       |
| 6. การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ตามผลการประเมินคุณภาพและการใช้งานจริง                                |          |     | ×   |       |
| 7. ทดสอบแรงยึดหยุ่น และแรงกดทะลุของยางต้นแบบ                                                |          |     |     | ×     |
| 8. สรุปผลการวิจัยรวบรวมรูปแบบ และการนำเสนอผลงาน                                             |          |     |     | ×     |

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และที่ได้จริง

| กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือ<br>จากการปรับแผน                                                       | ผลสำเร็จ<br>(%) | ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%)<br>ให้ระบุสาเหตุ<br>และการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. การศึกษาการวัดขนาดค่าเฉลี่ยของเท้าในผู้ป่วย<br>ที่มาใช้บริการทางการแพทย์                         | 100%            | ปัญหาและอุปสรรค<br>1. การวัด ต้องวัดในช่วงเวลาบ่าย เนื่องจาก<br>ความเร่งรีบในการตรวจผู้ป่วยที่มีเป็น<br>จำนวนมากของแพทย์ในตอนเช้า<br>2. เพื่อความแม่นยำ และไม่ให้สับสน จึงใช้<br>คนวัดเพียง 2 คน ซึ่งต้องใช้เวลานาน |
| 2. พัฒนาคู่มือแนวทางเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ                                                   | 100%            | ผลิตคู่มือแนวทางเพิ่มเติมยังไม่สำเร็จ                                                                                                                                                                               |
| 3. สร้างแม่พิมพ์ และการขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นรอง<br>กันข้อเท้าตก                                        | 100 %           | อยู่ในกระบวนการ ขั้นตอนการขึ้นรูปแม่พิมพ์                                                                                                                                                                           |
| 4. ทดสอบแรงยึดหยุ่น และแรงกดทะลุของยาง<br>ต้นแบบ                                                    | 100 %           | ได้ทดสอบแรงยึดหยุ่นในส่วนเฉพาะที่<br>นำมาใช้ในการศึกษา                                                                                                                                                              |
| 5. การทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้าน<br>ต่างๆ โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางศัลยกรรม<br>กระดูกและข้อ | 100 %           | ทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ในด้าน<br>ต่างๆ โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญทางศัลยกรรม<br>กระดูกและข้อ                                                                                                                       |
| 6. การทดลองนำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อ<br>การเกิดข้อเท้าตก                                  | 100 %           | นำไปใช้กับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงต่อการเกิด<br>ข้อเท้าตก                                                                                                                                                             |
| 7. การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ตามผลการประเมิน<br>คุณภาพและการใช้งานจริง                                    | 100 %           | นำผลตอบรับที่ได้มาปรับปรุงชิ้นงานเพื่อ<br>คุณภาพและการใช้งานจริง                                                                                                                                                    |



บริษัท ไทยรับเบอร์ลैตซ์กรุ๊ป จำกัด  
THAI RUBBER LATEX GROUP CO., LTD.

สำนักงาน : 99/1-3 หมู่ 13 ถนนพหลโยธิน 21 แขวงบางนา-ตราด กม.7 ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540  
HEAD QUARTER : 99/1-3 MOO 13 BANGNA-TRAD RD., KM.7 BANGKAEW BANGPLEE SAMUT PRAKAN 10540 THAILAND.  
TEL : (02) 751-7140-75, (02) 751-7171 (36 LINES) FAX : 0-2316-3938, 0-2316-2485, 0-2316-5873  
โรงงาน : 6 : 44/5 หมู่ 8 ต.กระเจ็ดหาดใหญ่ อ.กระเจ็ด จ.ระยอง 21100 โทร : (038) 634-306-7, 634-105-6 FAX : (038) 634-308  
FACTORY : 44/5 MOO 8 KRACHED-HATYAI KRACHED MUANG RAYONG 21100 TEL : (038) 634-306-7, 634-105-6 FAX : (038) 634-308

CERTIFICATE OF ANALYSIS

DATE : 04-09-2016

CUSTOMER'S NAME :

OUR REFERENCE : OC.No.4245

SAMPLE LOT NO. : T08H60709

TYPE OF LATEX : HIGH AMMONIA

DATE OF PRODUCTION : 03-08-2016

EXPIRING DATE : 03-08-2017

DATE OF TEST : 29-08-2016

| PROPERTIES                               | Unit | Customer's Spec | Tested Results   | Tested Method |
|------------------------------------------|------|-----------------|------------------|---------------|
| Total Solids Content                     | %    | 61.00 min.      | 61.62            | ISO 124       |
| Dry Rubber Content                       | %    | 60.00 min.      | 60.08            | ISO 126       |
| Non Rubber Solids                        | %    | 1.70 max.       | 1.54             | -             |
| Ammonia Content(on Total Weight)         | %    | 0.65-0.75       | 0.71             | ISO 125       |
| Ammonia Content(on Water Phase)          | %    | -               | 1.85             | -             |
| pH Value                                 | N/A  | 11.00 max.      | 10.70            | ISO 976       |
| KOH Number                               | N/A  | 0.70 max.       | 0.4981           | ISO 127       |
| Volatile Fatty Acid Number (V.F.A.)      | N/A  | 0.05 max.       | 0.0228           | ISO 506       |
| Mechanical Stability Time@55%TS.         | sec. | 650 min.        | 900 on(30-08-16) | ISO 35        |
| Specific Gravity at 25 C                 | N/A  | 0.94 min.       | 0.946            | ISO 705       |
| Magnesium Content (on Solids)            | ppm. | 40 max.         | 37               | ISO 11852     |
| Chemical Stability Test (CST)            | ml.  | -               | 2.1              | -             |
| Coagulum Content, (80 mesh)              | ppm. | -               | 19               | ISO 706       |
| Viscosity(60%TS, Spindle No. 1, 60 rpm.) | cps. | -               | 61.1             | ISO 1652      |

Remark : จำนวน 70 ถัง ถึงโกดัง 05/09/59

Authorized Signature

F-HO-QCU-05

Rev.00:01/06/12

www.thaitex.com

e-mail : tri@thaitex.com  
e-mail : tri@thairubber.net

แผนภาพแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของยาง

สัญญาเลขที่ RDG5950020  
โครงการย่อยที่ 2 “การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด  
จากยางธรรมชาติ”  
“Advanced Intercostal drainage model for medical training from natural rubber”  
รายงานฉบับสมบูรณ์

---

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)

“การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอดจากยางธรรมชาติ”

ชื่อโครงการ” (ภาษาอังกฤษ)

“Advanced Intercostal drainage model for medical training from natural rubber”

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล                      ผศ.พญ.จรินทร์รัตน์ สิริรัฐวรณ

หน่วยงาน                      ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ที่อยู่                          ภาควิชาจักษุ โสต ศอ นาสิก ลาริงซ์ 62 หมู่ 7 ตำบลองครักษ์ อำเภองครักษ์  
จังหวัดนครนายก 26120

โทรศัพท์/โทรสาร 02-564-6900 ต่อ 2536 / 02-564-6901-3

มือถือ                        037-395-085-10331-3 โทรมือถือ 081-911-3312

E-mail                        [jeed9000@yahoo.co.th](mailto:jeed9000@yahoo.co.th)

ได้รับอนุมัติงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

งบประมาณที่ได้รับ            712,360 บาท      ระยะเวลาดำเนินการ            12 เดือน

เริ่มทำการวิจัยเมื่อ            1 มกราคม 2559                      ถึง            31 ธันวาคม 2559

สัญญาเลขที่ RDG5950020

โครงการย่อยที่ 2 “การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด  
จากยางธรรมชาติ”

“Advanced Intercostal drainage model for medical training from natural rubber”

รายงานฉบับสมบูรณ์

---

**ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ**

โครงการนี้เป็นโครงการวิจัยเชิงก้าวหน้าชุดอุปกรณ์และเครื่องมือการแพทย์จากยางพาราแบบพุงเป่าเพื่อหาต้นแบบในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และเน้นที่กลุ่มผู้ใช้ทางการแพทย์ เป็นงานวิจัยอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้วัสดุยางพาราเป็นองค์ประกอบ เป็นโครงการในชุดผลิตหุ่นจำลองเพื่อการเรียนการสอนแพทย์ โดยมุ่งเน้นการทำหัตถการใส่ท่อระบายของเหลว เช่น น้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด เลือดในช่องเยื่อหุ้มปอด น้ำเหลืองหรือหนองในช่องเยื่อหุ้มปอด รวมทั้งระบายลมออกจากช่องดังกล่าวกรณีที่ปอดแตกจากอุบัติเหตุหรือรอยโรคที่เป็นสาเหตุ เป็นต้น

ประมาณการผลิตยางธรรมชาติโดยรวมทั้งประเทศของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในปี พ.ศ. 2557 ของประเทศไทยทั้งหมด 4,027,076 ตัน ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2556 ร้อยละ 4.25 เนื่องจากมีการขยายตัวของพื้นที่ปลูกยางทั่วทุกภาคของประเทศไทยจึงทำให้ปริมาณผลผลิตมีการขยายตัวสูงขึ้นตามไปด้วย ภาพรวมการผลิตยางแผ่นและยางแท่งในครึ่งปีแรกของปี พ.ศ. 2558 ขยายตัวลดลงจากช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2557 ร้อยละ 23.20 และ 2.36 ตามลำดับ เนื่องจากการชะลอตัวของอุตสาหกรรมรถยนต์ในประเทศและเศรษฐกิจฟื้นตัวช้า เนื่องจากความต้องการใช้ทั้งในประเทศและต่างประเทศยังไม่กระเตื้องขึ้นนัก ซึ่งเป็นปัจจัยจุดรั้งการขยายตัวภาคการผลิตยางแปรรูปของไทย ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาราคายางตกต่ำ ส่งผลให้รายได้ของเกษตรกรชาวสวนยางลดลงเป็นอันมาก รัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าวและได้บรรจุเป็นวาระเร่งด่วนที่ต้องได้รับการแก้ไข ปัญหาแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหาราคายางของประเทศ คือการกระตุ้นปริมาณการใช้งานในประเทศมากขึ้น ในการศึกษาทางด้านของวิทยาศาสตร์สุขภาพ อันได้แก่ คณะแพทยศาสตร์ ทันตแพทยศาสตร์ และคณะพยาบาลศาสตร์ นั้นมีความจำเป็นต้องใช้หุ่นจำลองและอุปกรณ์ในการศึกษาและสื่อการสอนที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นมูลค่าหลายล้านบาทต่อปี

ทางคณะผู้วิจัยเล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าว และจากประสบการณ์ที่ผ่านมาทำให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตชุดอุปกรณ์สื่อการสอนในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ดังเช่นในโครงการ“หุ่นจำลองระบบโพรงจมูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัตถการของแพทย์” ที่ได้รับทุนในการดำเนินโครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2556 และ โครงการ“หุ่นจำลองระบบกลืนเสียงอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกส้อมกลืนและคิปลิงแปลกลอม” ที่ได้รับทุนในการดำเนินโครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(สกว.) ในปี พ.ศ. 2557 ได้มีการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นวัสดุหลักในการผลิตสื่อการสอนทางการแพทย์ดังกล่าวและพบว่า ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีความเป็นไปได้ในการใช้ผลิตอุปกรณ์หุ่นจำลองสื่อการสอนทางการแพทย์ มีสมบัติที่ยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม ใกล้เคียงกับผิวสัมผัสของผิวหนังมนุษย์ สามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยเก็บรายละเอียดต่างๆ ได้ดี สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆ ได้หลากหลาย คณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะต่อยอดผลงานวิจัยจากทั้งสองโครงการวิจัยดังกล่าว เพื่อพัฒนาการใช้งานยางธรรมชาติสำหรับผลิตสื่อการสอนทางการแพทย์ โดยจะนำสูตรยางเบื้องต้นที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิจัยทั้งสองโครงการมาพัฒนาเพื่อผลิตเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ อันได้แก่ “เพื่อป้องกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาตจากยางธรรมชาติ” ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ชิ้นแรกที่คณะผู้วิจัยจะพัฒนาขึ้นโดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยจะใช้ประโยชน์จากความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และทำความสะอาดได้ง่าย ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการในการผลิตอุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อทำให้เกิดความง่ายและสะดวกในการใช้งานกับผู้ป่วยและผู้ดูแลผู้ป่วยเมื่อออกจากโรงพยาบาล อันจะเป็นอุปกรณ์การแพทย์ต้นแบบของคณะผู้วิจัยในการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์จะสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติให้กับอุตสาหกรรมอุปกรณ์ในประเทศไทยต่อไป

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยต้องการต่อยอดงานวิจัยจากโครงการวิจัยในปีพ.ศ. 2556 และ 2557 ในการพัฒนาการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนให้แก่ นิสิตและนักศึกษาแพทย์ เพื่อให้ได้ใช้เป็นอุปกรณ์ในการฝึกฝนและพัฒนาทักษะให้เกิดความถูกต้องและชำนาญก่อนไปทำการรักษาจริง จึงได้ตั้งวัตถุประสงค์ในการพัฒนา “หุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอดจากยางธรรมชาติ” โดยจะอาศัยสูตรยางเบื้องต้นและผลการวิจัยจากโครงการวิจัยในปี พ.ศ. 2556 และ 2557 มาพัฒนาต่อยอดในโครงการวิจัยนี้

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างหุ่นจำลองช่องอก เพื่อฝึกหัตถการการใส่ท่อระบายของเหลวจากช่องปอด
2. คิดตั้งระบบการทำงานการไหลเวียนของเลือดเมื่อสอดท่อระบายของเหลวเข้าไปในช่องอก เซ็นเซอร์จะทำงานให้ระบบปั๊มเปิดให้น้ำไหลเข้าช่องปอด และระบบคัดการไหลของน้ำเพื่อไม่ให้น้ำขังในบริเวณช่องเยื่อหุ้มปอดมากเกินไป
3. คิดตั้งระบบเตือนด้วยเซนเซอร์ และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเตือนผู้ทำหัตถการ เมื่อเกิดการทำการหัตถการผิดพลาด โดยกำหนดการติดตั้งเซนเซอร์ที่บริเวณกระดูกซี่โครงที่ 3 และที่ 6 (ตำแหน่งที่ทำการเจาะอยู่ที่ 4-5) เพื่อเตือนเมื่อมีการทำการหัตถการที่ผิดพลาด
4. ทำการทดสอบกับนิสิตแพทย์ แพทย์ฝึกหัด แพทย์ประจำบ้าน และอาจารย์แพทย์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นจำลองเพื่อฝึกการใส่ท่อระบายของเหลวจากช่องเยื่อหุ้มปอด (Intercostal drainage)

## ผลการดำเนินโครงการวิจัย

การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด จากยางธรรมชาติ เป็นการใส่ท่อระบายน้ำออกจากช่องเยื่อหุ้มปอด ทำหัตถการใส่สายท่อแบบอ่อนภายในเยื่อหุ้มปอด เพื่อระบายของเหลวหรือลมออกจากช่องปอด หุ่นจำลองนี้ได้จำลองภาวะเลือดออกในช่องเยื่อหุ้มปอด ติดตั้งกลไกการควบคุมของเหลว ระบบเตือนในกรณีที่ทำหัตถการผิดพลาด เพื่อให้หุ่นสติปัญญาได้ฝึกหัดจนเกิดความรู้ความชำนาญในการลงมือทำหัตถการ ผลการสำรวจรูปร่างทั่วประเทศ (Size Thailand) เพศชาย มีน้ำหนักเฉลี่ย 68.83 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 169.46 เซนติเมตร ขนาดรอบอกเฉลี่ย 39.10 นิ้ว หรือ 99.20 เซนติเมตร เพศหญิง มีน้ำหนักเฉลี่ย 57.40 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 157.00 เซนติเมตร ขนาดรอบอกเฉลี่ย 36 นิ้ว

สูตรยางที่ใช้ผลิตช่วงลำตัวและปอดเป็นสูตรยางคอมปาวด์ ประกอบด้วย 60% น้ำยางข้น ร้อยละ 77.67 สาร 10% โพลีเอทิลีน อีทิลีน ร้อยละ 8.37 สาร 50% ซัลเฟอร์ ร้อยละ 1.87 สาร 50% แซลดีอีซี ร้อยละ 0.93 สาร 50% แซลเอ็มบีที ร้อยละ 0.93 สาร 50% วินิลเพนทีน ร้อยละ 0.93 สาร 33% ดีพีซี ร้อยละ 0.93 สาร 50% ซิงค์ออกไซด์ ร้อยละ 4.65 สาร 12.5% เอสเอสเอฟ ร้อยละ 3.72

สูตรแผ่นยางเจาะปอด เพื่อทดลองการฉีดยาและจำลองการผ่าตัด ใช้สูตรยางแท่ง STR 5 (100 phr), 2-Mercaptobenzothiazole (MBT) 0.5 phr, Diphenylguanidine (DPG) 0.2 phr, zinc oxide 3 phr, Stearic acid 1 phr ใช้สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต และทัลคัมเพื่อลดความเหนียว ในการทดลองนี้พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนต (60 phr) มีความเหมาะสมในการลดความเหนียวของแผ่นยางลงสามารถกรีดโดยออกแรงกรีดพอดี สามารถทำให้แผ่นยางขาดได้ง่ายขึ้น

## สรุปผลการวิจัย

หุ่นจำลองจากยางธรรมชาติ เป็นหุ่นจำลองต้นแบบที่ทำจากน้ำยางดิบธรรมชาติ ผสมส่วนผสมจนเป็นน้ำยางคอมปาวด์ และขึ้นรูปพร้อมบรรจุถึงน้ำทดแทนของเหลวในช่องปอด ทำการติดตั้งระบบสัญญาณเตือนการทำหัตถการผิดพลาด รวมถึงการติดตั้งระบบการเตือนเมื่อทำหัตถการผิดพลาด สามารถทำให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนตนเองจนเกิดความชำนาญ โดยระบบหุ่นอัจฉริยะจะใส่ระบบเตือนด้วยเสียงเมื่อทำหัตถการผิดพลาด โดยใช้ระบบการตรวจสัญญาณและเตือนด้วยเสียง มีการติดตั้งระบบการตรวจจับท่อระบายของเหลวจากเยื่อหุ้มปอด เมื่อทำหัตถการและสอดท่อเข้าช่องปอด ระบบการไหลเวียนของสารน้ำในช่องปอดจะทำงาน และการไหลเวียนของสารน้ำในช่องปอด พร้อมระบบเตือนด้วยไฟเตือน ซึ่งสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการฝึกทำหัตถการ ทดแทนการสั่งซื้อหุ่นจำลองจากไฟเบอร์กลาสที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศได้ โดยได้รับความพึงพอใจในการใช้งานจากบุคลากรทางการแพทย์ในระดับสูงกว่าการใช้งานของหุ่นไฟเบอร์กลาสในทุก ๆ ด้าน

## ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. การจัดประชุมให้นักวิจัย (Researchers) โรงงานผู้ผลิต (Industrial groups) รวมถึงสถาบันทางการแพทย์ ผู้ใช้โดยตรง (stake holder) ได้พบกัน เพื่อแลกเปลี่ยนความเห็นและทิศทางของการผลิตและผลักดันการผลิตเชิงอุตสาหกรรมและนำไปใช้ในอนาคต

2. ปัจจุบันได้รับการติดต่อให้ต่อยอดงานวิจัย เพื่อพัฒนาขบวนการของเหลวจากทรวงอก โดยมีบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์จากต่างประเทศเป็นที่ปรึกษา ในการพัฒนาขวด ฝา ซิลกันร้ว และฐานกันลื่น ต่อยอดจากงานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาในระดับอุตสาหกรรม เพื่อออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ โดยเน้นการพัฒนาที่มีความทันสมัย สะดวกและมีความปลอดภัยในการใช้งานที่เหมาะสมกับบริบทของสถานบริการทางการแพทย์ของประเทศไทย

กล่าวคือปัจจุบันใช้ขวดแก้วสามขวด ซึ่งในทางอุตสาหกรรมเลิกผลิตแล้ว อีกทั้งยังมีความยุ่งยากในการใช้งาน ขวดล้มเกะกะ ทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนกับผู้ป่วยโดยไม่มีการบันทึกรายละเอียด แต่ระยะเวลาในการรักษาและนอนโรงพยาบาลนานขึ้น อาทิ ลมรั่วเข้าเยื่อหุ้มปอดต้องนอนโรงพยาบาลนานขึ้นเป็นสัปดาห์ หรือภาวะการติดเชื้อซ้ำซ้อน รวมถึงการขนย้ายมีความยุ่งยาก และต้องใช้บุคลากรทางการแพทย์หลายคนในการดูแล อนึ่ง เพียงผู้ป่วยของแต่ละโรงพยาบาลมีความหลากหลาย ดังนั้นการออกแบบระบบความปลอดภัยจำเป็นต้องใช้การออกแบบให้เหมาะสม สามารถใช้ได้สถานพยาบาลทั่วไป และใช้ได้หลายหน้าที่

### ผลงานทางวิชาการที่เกิดขึ้น

ผลงานที่เกิดขึ้นได้นำไปทดสอบกับบุคลากรทางการแพทย์ นิสิตแพทย์ เพื่อประเมินความต้องการใช้และปริมาณการใช้งาน ในเบื้องต้น และการทดสอบมาตรฐาน เพื่อพัฒนางานสู่มาตรฐานสากล และดำเนินการขอจดอนุสิทธิบัตร (อยู่ระหว่างการดำเนินการขอขึ้นทะเบียนสิทธิบัตร (ส่งขอขึ้นทะเบียน รอการตรวจสอบเพื่อขึ้นทะเบียน) สามารถค้นแบบการเรียนการสอนบุคลากรทางการแพทย์

อนึ่ง งานวิจัยนี้ได้รับการติดต่อให้ต่อให้พัฒนาต่อยอดงานวิจัยการสู่อุตสาหกรรมเพื่อนำไปผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้แก่ ขวดบรรจุระบายของเหลวที่ออกจากปอด และความปลอดภัยในการใช้งาน เช่น ซิลกันลมรั่ว อุปกรณ์ป้องกันการลื่นของขวดระบายของเหลวจากปอด โดยมีบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์เชิงพาณิชย์เป็นที่ปรึกษาการพัฒนาต่อยอดงานสู่อุตสาหกรรม

สัญญาเลขที่ RDG5950020

โครงการย่อยที่ 2 “การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด  
จากยางธรรมชาติ”

“Advanced Intercostal drainage model for medical training from natural rubber”

รายงานฉบับสมบูรณ์

---

คำนำ

รายงานการวิจัยเรื่อง “ การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด จากยางธรรมชาติ Advanced Intercostal drainage model for medical training from natural rubber ” เป็นโครงการวิจัยเชิงก้าวหน้าชุดอุปกรณ์และเครื่องมือการแพทย์จากยางพาราแบบพุงเป่าเพื่อหาต้นแบบในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และเน้นที่กลุ่มผู้ใช้ทางการแพทย์ เป็นงานวิจัยอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้วัสดุยางพาราเป็นองค์ประกอบ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้ ได้ต้นแบบชุดวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์หุ่นจำลองการเจาะปอดเพื่อใส่ท่อระบายน้ำออกจากช่องเยื่อหุ้มปอดจากยางธรรมชาติเน้นการทำหัตถการทางการแพทย์ฝึกหัด การทำหัตถการกับผู้ป่วยควรทำเมื่อแพทย์มีความชำนาญ ได้ฝึกหัดกับอุปกรณ์จนเกิดความรู้ความชำนาญก่อนมาปฏิบัติจริงในผู้ป่วย และได้ผลประเมินความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำต้นแบบผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ มุ่งเป้าสู่การค้าเชิงพาณิชย์ได้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่เป็นผู้สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย อีกทั้งประสานงาน อำนวยความสะดวก และช่วยเหลือในการค้นคว้าข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ในรายงานฉบับนี้ และคณะผู้วิจัยหวังว่ารายงานฉบับนี้จะให้ความรู้และประโยชน์กับผู้อ่าน สืบต่อไป

คณะผู้วิจัย

ผศ.พญ จรินทร์น์ สิริรัฐวรรณ

สัญญาเลขที่ RDG5950020

โครงการย่อยที่ 2 “การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด  
จากยางธรรมชาติ”

“Advanced Intercostal drainage model for medical training from natural rubber”

รายงานฉบับสมบูรณ์

---

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

การใส่ท่อระบายน้ำออกจากช่องเยื่อหุ้มปอดเป็นหัตถการใส่สายท่อแบบอ่อนภายในเยื่อหุ้มปอด เพื่อระบายของเหลวหรือลมออกจากช่องปอด หลักสูตรการฝึกอบรมแพทย์ในประเทศไทย นิสิตแพทย์ ต้องการฝึกการใส่ท่อในเยื่อหุ้มปอดได้ แต่นิสิตแพทย์ส่วนใหญ่ยังขาดประสบการณ์ดังกล่าว ทำให้ขาดความชำนาญ ซึ่งการทำหัตถการที่ผิดตำแหน่งอาจเกิดภาวะแทรกซ้อน หุ่นจำลองการเจาะปอดนี้ได้จำลองภาวะ เลือดออกในช่องเยื่อหุ้มปอด มีกลไกการควบคุมของเหลว ติดตั้งระบบเตือนในกรณีที่ทำหัตถการผิด ตำแหน่ง เพื่อให้ นิสิตแพทย์ได้ฝึกหัดจนเกิดความรู้ความชำนาญในการลงมือทำหัตถการจริง จักสามารถทำให้แพทย์ได้ใช้ฝึกฝนการทำหัตถการจนเกิดความชำนาญก่อนไปทำหัตถการในผู้ป่วย และสามารถนำไปใช้ได้ ในโรงเรียนผลิตแพทย์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ป่วย รวมถึงการต่อยอดการผลิตยางพาราเพื่อนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ ผลการดำเนินงานจากผลการสำรวจรูปร่างทั่วประเทศ (Size Thailand) เพศชาย มี น้ำหนักเฉลี่ย 68.83 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 169.46 เซนติเมตร ขนาดรอบอกเฉลี่ย 39.10 นิ้ว หรือ 99.20 เซนติเมตร เพศหญิง มีน้ำหนักเฉลี่ย 57.40 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 157.00 เซนติเมตร ขนาดรอบอกเฉลี่ย 36 นิ้ว หรือ 91.09 เซนติเมตร สูตรยางที่ใช้ผลิตช่วงลำตัวและปอดเป็นสูตรยางคอมพาวด์ ประกอบด้วย 60% น้ำยางข้น (77.67%) สาร 10% โพลีเอทิลีน โอลิเอท (8.37%) สาร 50% ซัลเฟอร์ (1.87%) สาร 50% แคลดีอีซี (0.93%) สาร 50% แคลเอ็มบีที ( 0.93%) สาร 50% วินิลเพนทีน (0.93%) สาร 33% ดีพีอี (0.93%) สาร 50% ซิงค์ออกไซด์ (4.65%) สาร 12.5% เอสเอสเอฟ (3.72%) สูตรแผ่นยางเจาะปอด เพื่อทดลองการฉีดยาและจำลอง การผ่าตัด ใช้สูตรยางแท่ง STR 5 (100 phr), 2-Mercaptobenzothiazole(MBT) 0.5 phr, Diphenylguanidine (DPG) 0.2 phr, zinc oxide 3 phr, Stearic acid 1 phr ใช้สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต และทัลคัมเพื่อลด ความหนืด ในการทดลองนี้พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนต (60 phr) มีความเหมาะสมในการลดความหนืดของ แผ่นยางลงสามารถกรีดโดยออกแรงกรีดพอดี สามารถทำให้แผ่นยางขาดได้ง่ายขึ้น สรุปผลการวิจัย หุ่นจำลองเจาะปอดจากยางธรรมชาติ ติดตั้งระบบสัญญาณเตือนการทำหัตถการฉีดยา การผ่าตัด โดยใช้ ระบบการตรวจสัญญาณโลหะที่บรรจุที่เข็มฉีดยา และเตือนด้วยเสียง การใส่ท่อในช่องปอด ใช้ระบบการ ตรวจจับท่อและทำให้ระบบการไหลเวียนของสารน้ำในช่องปอดจะทำงาน และระบบการตั้งเวลาจะตัด ระบบการไหลเวียนของสารน้ำในช่องปอด การทดสอบความพึงพอใจในการทำหัตถการจากหุ่นยาง ธรรมชาติกับหุ่นไฟเบอร์กลาส โดยหุ่นเจาะปอดจากยางธรรมชาติ ได้รับคะแนนความพึงพอใจในการใช้

งานจากบุคลากรทางการแพทย์ในระดับดี ซึ่งสูงกว่าการใช้งานของหุ่นไฟเบอร์กลาสในทุก ๆ ด้าน นิสิต  
แพทย์สามารถใช้หุ่นเจาะปอดจากยางธรรมชาติเพื่อฝึกฝนจนเกิดความชำนาญด้วยตนเอง

สัญญาเลขที่ RDG5950020

โครงการย่อยที่ 2 “การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด  
จากยางธรรมชาติ”

“Advanced Intercostal drainage model for medical training from natural rubber”

รายงานฉบับสมบูรณ์

---

**Abstract**

An intercostal drain is a procedure which preforms a flexible plastic tube inserted through the chest wall into the pleural space for draining pneumothoraces or effusions. Medical student training program of Thailand, an intercostal drains inserted is an important requirement procedure. In the other hand, mostly students have less experience to practice and might be cause of complication when they fence of real situation. This study used intercostals drainage manikin from natural rubber including injection, incision and insertion detection and alarm systems. Thus students can perform a good practice by them. **Result:** The study Thai people size, an average male weight 68.83 kg, height 169.46 cm., chest circumference 39.10 inches, femal weight 57.40 kg, height 157.00 cm., chest circumference 36.00 inches. Body and Chest wall of manikin, the formula is 60% condensed natural latex 77.67%, 10% potassium oliated 8.37%, 50%sulfur1.87%, 50% zinc dimethyl dithiocarbomate (ZDEC) 0.93%, 50% Zinc 2-Mercaptobenzothiazole (ZMBT) 0.93%, 50% WS-L (Wingstay L) 0.93% , 33% Diphenylguanidine (DPG) 0.93%, 50% Zinc oxide 4.65%, 12.5% Sodium silicone fluoride 3.72%. The formula of imitated skin composed of STR 5 (100 phr), 2-Mercaptobenzothiazole(MBT) 0.5 phr, Diphenylguanidine (DPG) 0.2 phr, zinc oxide 3 phr, Stearic acid 1 phr. This study compared between calcium carbonate and talcum as a filler to decrease tensile strength and improve property of imitated skin. The result shown the filler calcium 60 phr was decreased strength of imitated skin, and be incised and injected. The study shown metal detection system and alarm with light and buzzer can observe all false injection and incision intercostals drainage manikin. **Conclusion:** **Advanced** intercostal drainage manikin from natural rubber included sensor alarm and system control water in pleural cavity. The systems had designed for practice injection, operation and insertion intercostals tube. When students performed injection in wrong position the system will be detected by metal detection sensor from syringe and needle, cause of alarm by red light and buzzer voice. After intercostals tube was inserted and pass into pleural cavity the system will detected tube and sensor to control pump for feeding water into system, timer sensor will be run in 5 seconds and stop pump circuit. To comparative performed intercostals drainage between fiberglass manikin and advanced intercostals drainage from natural rubber by medical students and residents, the satisfied score shown in best satisfied

level more than fiber glass manikin. Medical students can practice by themselves and repeated until have a good skin to performed intercostals drainage model from natural rubber.

## สารบัญ

|                                                                                       | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ                                                      | 2    |
| วัตถุประสงค์                                                                          | 3    |
| ผลการดำเนินโครงการวิจัย                                                               | 4    |
| สรุปผลการวิจัย                                                                        | 4    |
| ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อสอดคล้องภาคปฏิบัติจริง | 5    |
| ผลงานทางวิชาการที่เกิดขึ้น                                                            | 5    |
| คำนำ                                                                                  | 6    |
| บทคัดย่อภาษาไทย                                                                       | 7    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                                                    | 9    |
| สารบัญ                                                                                | 11   |
| บัญชีตาราง                                                                            | 13   |
| บัญชีแผนภาพประกอบ                                                                     | 15   |
| บัญชีแผนภูมิประกอบ                                                                    | 16   |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                                                                   |      |
| - ความเป็นมาและความสำคัญ                                                              | 17   |
| - วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย                                                         | 19   |
| - ระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย                                                     | 19   |
| - สรุปแผนการดำเนินงาน                                                                 | 19   |
| - ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                                           | 21   |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>                                           |      |
| - 2.1 ทฤษฎีแนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง                                     | 22   |
| - 2.2 การใส่ท่อระบายทรวงอก ICD: Intercostals drainage                                 | 27   |
| <b>บทที่ 3 วิธีวิจัย</b>                                                              |      |
| - ขั้นตอนและแนวทางการวิจัย                                                            | 30   |
| <b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>                                         |      |
| - 4.1 มาตรฐานการสำรวจรูปร่าง                                                          | 32   |
| - 4.2 การออกแบบและขึ้นแม่พิมพ์                                                        | 33   |

**บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง**

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| - 4.3 การพัฒนาสูตรยาง                                                                     | 36 |
| O 4.3.1 อุปกรณ์และวิธีทดลองการผลิตแผ่นแปะสีข้างลำตัวจากยางธรรมชาติ                        | 39 |
| O 4.3.2 การผสมยางธรรมชาติกับสารเคมี                                                       | 39 |
| O 4.3.3 การทดสอบสมบัติของยาง                                                              | 40 |
| O 4.3.4 ผลการทดลองและวิจารณ์                                                              | 40 |
| O 4.3.5 ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity)                                              | 43 |
| O 4.3.6 การทดสอบหาระยะเวลาที่ยางเริ่มคงรูป (Scorch Time)                                  | 44 |
| O 4.3.7 การทดสอบหาเวลาในการคงรูป (Cure Time)                                              | 45 |
| O 4.3.8 การทดสอบจำนวนครั้งที่กรีดยางด้วยมีดผ่าตัด                                         | 46 |
| - 4.4 การติดตั้งแผงวงจรและระบบเซ็นเซอร์                                                   | 51 |
| O 4.4.1 วงจรตรวจจับตำแหน่งเข็มฉีดยา                                                       | 53 |
| O 4.4.2 วงจรการตรวจจับท่อยางระบายเลือดจากช่องปอด                                          | 54 |
| O 4.4.3 ระบบเครื่องตั้งเวลา                                                               | 56 |
| O 4.4.4 ระบบปั๊มน้ำ (ดีซี Mini water pump DC 3-6V Mini Submersible Pump)                  | 57 |
| O 4.4.5 พร็อกซิมิตีเซ็นเซอร์ (Proximity Sensor) ตรวจจับวัตถุโลหะ และอโลหะ                 | 58 |
| O 4.4.6 สรุปการทดลองหุ่นจำลองฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด<br>หุ่นจำลองอัจฉริยะ | 59 |
| - 4.5 สรุปการทดลองฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด                                 | 61 |

**บทที่ 5 บทสรุป**

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| - สรุปผลการวิจัย                                                            | 66 |
| - ข้อเสนอแนะในงานวิจัยหุ่นจำลองเพื่อฝึกหัตถการทางการแพทย์ อุปกรณ์ในการทำงาน | 66 |

**ภาคผนวก**

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| - การเปรียบเทียบต้นทุนของผลิตภัณฑ์ใหม่ | 68 |
|----------------------------------------|----|

## บัญชีตาราง

|                                                                                                                    | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางแผนการดำเนินงาน                                                                                               | 20   |
| ตารางเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และที่ได้จริง                                                      | 21   |
| ตารางที่ 3.1 แสดงขั้นตอนและแนวทางการวิจัย                                                                          | 30   |
| ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ส่วนสูง และรอบอกของคนไทย                                                         | 32   |
| ตารางที่ 4.2 แสดงการขึ้นรูปแม่พิมพ์โครงสร้างลำตัวและช่องปอด                                                        | 34   |
| ตารางที่ 4.3 สารเคมีที่ใช้ในส่วนประกอบของยางคอมปาวด์ในการทำหุ่นยางเจาะปอด                                          | 36   |
| ตารางที่ 4.4 แสดงสูตรสารเคมีที่ใช้สูตรทำหุ่นยางเจาะปอดโดยปรับสูตรการใส่สารเพิ่มฟอง                                 | 37   |
| ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการยุบตัวเมื่อใส่ถังบรรจุสารน้ำที่ 10 ลิตร                                                  | 37   |
| ตารางที่ 4.6 แสดงสูตรสารเคมีที่ใช้สูตรทำหุ่นยางเจาะปอดที่เหมาะสมในการผลิต                                          | 38   |
| ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราส่วนของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการผสมยาง                                                        | 40   |
| ตารางที่ 4.8 แสดงพฤติกรรมการคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum                             | 41   |
| ตารางที่ 4.9 แสดงความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของยางธรรมชาติที่มีการเติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum           | 42   |
| ตารางที่ 4.10 แสดงความแข็ง (Hardness) ของยางธรรมชาติที่มีการเติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum                        | 42   |
| ตารางที่ 4.11 แสดงสมบัติความทนต่อแรงดึง (tensile properties) ของยางธรรมชาติที่มีการเติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum | 42   |
| ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) ของยางธรรมชาติที่เติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum            | 43   |
| ตารางที่ 4.13 แสดงค่าระยะเวลายางเริ่มคงรูป (Scorch Time) ของยางธรรมชาติที่เติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum          | 44   |
| ตารางที่ 4.14 ค่าเวลาในการคงรูป (Cure Time) ของยางธรรมชาติที่เติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum                       | 45   |
| ตารางที่ 4.15 แสดงค่าครั้งจำนวนครั้งที่กรีดขาดของยางธรรมชาติที่เติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum                     | 46   |
| ตารางที่ 4.16 แสดงการกรีดขาดของยางธรรมชาติที่เติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum ในปริมาณต่าง ๆ                        | 47   |
| ตารางที่ 4.17 แสดงชิ้นงานจากยางธรรมชาติที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) และ Talcum                | 50   |
| ตารางที่ 4.18 แสดงสูตรยางแผ่นแปะข้างลำตัว                                                                          | 51   |
| ตารางที่ 4.19 แสดงการติดตั้งแผงควบคุมหุ่นจำลองอัจฉริยะ                                                             | 55   |
| ตารางที่ 4.20 แสดงข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม                                                                  | 62   |
| ตารางที่ 4.21 แสดงความพึงพอใจการทดสอบเนื้อยาง ด้านผิวสัมผัสของหุ่นจำลอง                                            | 62   |
| ตารางที่ 4.22 แสดงคะแนนการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นจำลองอัจฉริยะ                                      | 64   |

## บัญชีตาราง

|                                                 | หน้า |
|-------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 5.1 แสดงการคำนวณต้นทุนทำต้นแบบหุ่นจ้อง | 66   |
| ภาคผนวก                                         |      |
| ตารางการเปรียบเทียบต้นทุนของผลิตภัณฑ์ใหม่       | 68   |

## บัญชีแผนภาพประกอบ

|                                                                                                                           |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                                                                                                                           | หน้า |
| แผนภาพที่ 2.1 แสดงสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ (cis-1, 4-polyisoprene)                                                       | 22   |
| แผนภาพที่ 2.2 แสดงคำจำกัดความของการคงรูปของยาง                                                                            | 25   |
| แผนภาพที่ 2.3 แสดงกายวิภาคของหน้าอกและช่องอก                                                                              | 27   |
| แผนภาพที่ 2.4 แสดงการทำหัตถการการเจาะช่องเพื่อใส่ท่อระบายเลือดออกจากช่องเยื่อหุ้มปอด                                      | 28   |
| แผนภาพที่ 2.5 แผนภาพจำลองแสดงการเจาะช่องเพื่อใส่ท่อระบายเลือดออกจากช่องเยื่อหุ้มปอด                                       | 28   |
| แผนภาพที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองทำหัตถการการไหลของเลือด<br>ในช่องเยื่อหุ้มปอด                                | 29   |
| แผนภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงแนวทางการวิจัย และขั้นตอนการวิจัย                                                                 | 31   |
| แผนภาพที่ 4.1 แสดงการขึ้นรูปแม่พิมพ์โครงสร้างลำตัว                                                                        | 33   |
| แผนภาพที่ 4.2 แสดงการขึ้นรูปแม่พิมพ์โครงสร้างลำตัวและช่องปอดภายนอก                                                        | 34   |
| แผนภาพที่ 4.3 แสดงขึ้นรูปและรีดยางแผ่นจากยางธรรมชาติ                                                                      | 50   |
| แผนภาพที่ 4.4 เครื่องตั้งเวลา บอร์ดสำหรับตั้งเวลา 10A 12V Relay Self-lock Cycle Timer Module PLC<br>Home Automation Delay | 56   |
| แผนภาพที่ 4.5 แสดงปั้มน้ำ ดีซี Mini water pump DC 3-6V Mini Submersible Pump                                              | 57   |
| แผนภาพที่ 4.6 แสดงพร็อกซิมิตีเซ็นเซอร์ (Proximity Sensor) หรือ พร็อกซิมิตีสวิตช์<br>(Proximity Switch)                    | 56   |
| แผนภาพที่ 4.7 แสดงหุ่นจำลองฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด                                                        | 59   |
| แผนภาพที่ 4.8 แสดงหุ่นไฟเบอร์กลาสฝึกค้ำ (Ribs)                                                                            | 59   |
| แผนภาพที่ 4.9 แสดงการฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นจำลองอัจฉริยะ                                            | 60   |
| แผนภาพที่ 4.10 แสดงการฝึกการทำหัตถการจากหุ่นไฟเบอร์กลาส                                                                   | 60   |

## บัญชีแผนภูมิประกอบ

|                                                                                                                     | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| แผนภูมิที่ 4.1 แสดงแสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ส่วนสูง และรอบอกของคนไทย                                                    | 32   |
| แผนภูมิที่ 4.2 แสดงค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) ของยางธรรมชาติที่เติม $\text{CaCO}_3$<br>และ Talcum         | 43   |
| แผนภูมิที่ 4.3 แสดงระยะเวลายางเริ่มคงรูป (Scorch Time) ของยางธรรมชาติที่เติม $\text{CaCO}_3$<br>และ Talcum          | 44   |
| แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่าเวลาในการคงรูป (Cure time) ของยางธรรมชาติที่เติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum                   | 45   |
| แผนภูมิที่ 4.5 แสดงครั้งจำนวนครั้งที่กรีดขาดของยางธรรมชาติที่เติม $\text{CaCO}_3$ และ Talcum                        | 46   |
| แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการทำงานหุ้नการแพทย์จำลองการฉีดยาและระบายน้ำออกจากปอด                                            | 52   |
| แผนภูมิที่ 4.7 แสดงวงจรการทำงานของระบบเตือนการฉีดยาโดยเข็มฉีดยาและแผงวงจร                                           | 53   |
| แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการทำงานวงจรตรวจจับท่อยาง                                                                        | 54   |
| แผนภูมิที่ 4.9 แสดงความพึงพอใจในการทดสอบยางพารา                                                                     | 63   |
| แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ้नจำลองจากยางพารา<br>เปรียบเทียบกับหุ้นไฟเบอร์กลาส | 65   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญ

โครงการนี้เป็นโครงการวิจัยเชิงก้าวหน้าชุดอุปกรณ์และเครื่องมือการแพทย์จากยางพาราแบบพุงเป่าเพื่อหาต้นแบบในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และเน้นที่กลุ่มผู้ใช้ทางการแพทย์ เป็นงานวิจัยอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้วัสดุยางพาราเป็นองค์ประกอบ เป็นโครงการในชุดผลิตหุ่นจำลองเพื่อการเรียนการสอนแพทย์ โดยมุ่งเน้นการทำหัตถการใส่ท่อระบายของเหลว เช่น น้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด เลือดในช่องเยื่อหุ้มปอด น้ำเหลืองหรือหนองในช่องเยื่อหุ้มปอด รวมทั้งระบายลมออกจากช่องดังกล่าวกรณีที่มีปอดแตกจากอุบัติเหตุหรือรอยโรคที่เป็นสาเหตุ เป็นต้น

ประมาณการผลิตยางธรรมชาติโดยรวมทั้งประเทศของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในปี พ.ศ.2557 ของประเทศไทยทั้งหมด 4,027,076 ตัน ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2556 ร้อยละ 4.25 เนื่องจากการขยายตัวของพื้นที่ปลูกยางทั่วทุกภาคของประเทศไทยจึงทำให้ปริมาณการผลิตมีการขยายตัวสูงขึ้นตามไปด้วย ภาพรวมการผลิตยางแผ่นและยางแท่งในครึ่งปีแรกของปี พ.ศ. 2558 ขยายตัวลดลงจากช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2557 ร้อยละ 23.20 และ 2.36 ตามลำดับ เนื่องจากการชะลอตัวของอุตสาหกรรมรถยนต์ในประเทศและเศรษฐกิจฟื้นตัวช้า เนื่องจากความต้องการใช้ทั้งในประเทศและต่างประเทศยังไม่กระเตื้องขึ้นนัก ซึ่งเป็นปัจจัยฉุดรั้งการขยายตัวภาคการผลิตยางแปรรูปของไทย ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาการขาดดุลงบรายได้ของเกษตรกรชาวสวนยางลดลงเป็นอันมาก รัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าว และได้บรรจุเป็นวาระเร่งด่วนที่ต้องได้รับการแก้ไขปัญหานี้ แนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหาการขาดดุลงบรายของประเทศ คือการกระตุ้นปริมาณการใช้งานในประเทศมากขึ้น ในการศึกษาทางด้านของวิทยาศาสตร์สุขภาพ อันได้แก่ คณะแพทยศาสตร์ ทันตแพทยศาสตร์ และคณะพยาบาลศาสตร์ นั้นมีความจำเป็นต้องใช้หุ่นจำลองและอุปกรณ์ในการศึกษาและสื่อการสอนที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นมูลค่าหลายล้านบาทต่อปี ทางคณะผู้วิจัยเล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าว และจากประสบการณ์ที่ผ่านมาทำให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตชุดอุปกรณ์สื่อการสอนในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ดังเช่นในโครงการ“หุ่นจำลองระบบโพรงจมูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัตถการของแพทย์” ที่ได้รับทุนในการดำเนินโครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2556 และ โครงการ“หุ่นจำลองระบบกล่องเสียงอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกส้อมกล้องและคิปลิงแปลกปลอม” ที่ได้รับทุนในการดำเนินโครงการวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในปี พ.ศ. 2557 ได้มีการใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นวัสดุหลักในการผลิตสื่อการสอนทางการแพทย์ดังกล่าวและพบว่ายางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีความเป็นไปได้ในการใช้ผลิตอุปกรณ์หุ่นจำลองสื่อการสอนทางการแพทย์ มีสมบัติที่ยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม ใกล้เคียงกับผิวสัมผัสของผิวหนังมนุษย์ สามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ

โดยเก็บรายละเอียดต่างๆ ได้ดี สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆ ได้หลากหลาย คณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะต่อยอดผลงานวิจัยจากทั้งสองโครงการวิจัยดังกล่าว เพื่อพัฒนาการใช้งานยางธรรมชาติสำหรับผลิตสื่อการสอนทางการแพทย์ โดยจะนำสูตรยางเบื้องต้นที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิจัยทั้งสองโครงการมาพัฒนาเพื่อผลิตเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ อันได้แก่ “เฟือกอ่อนประคองกันข้อเท้าตกในผู้ป่วยอัมพาตจากยางธรรมชาติ” ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ชิ้นแรกที่คณะผู้วิจัยจะพัฒนาขึ้น โดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยจะใช้ประโยชน์จากความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และทำความสะอาดได้ง่าย ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการในการผลิตอุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อทำให้เกิดความง่ายและสะดวกในการใช้งานกับผู้ป่วยและผู้ดูแลผู้ป่วยเมื่อออกจากโรงพยาบาล อันจะเป็นอุปกรณ์การแพทย์ต้นแบบของคณะผู้วิจัยในการพัฒนาอุปกรณ์ทางการแพทย์จะสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติให้กับอุตสาหกรรมอุปกรณ์ในประเทศไทยต่อไป นอกจากนี้คณะผู้วิจัยต้องการต่อยอดงานวิจัยจากโครงการวิจัยในปีพ.ศ. 2556 และ 2557 ในการพัฒนาการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนให้แก่ นิสิตและนักศึกษาแพทย์ เพื่อให้ได้ใช้เป็นอุปกรณ์ในการฝึกฝนและพัฒนาทักษะให้เกิดความถูกต้องและชำนาญก่อนไปทำการรักษาจริง จึงได้ตั้งวัตถุประสงค์ในการพัฒนา “หุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอดจากยางธรรมชาติ” โดยจะอาศัยสูตรยางเบื้องต้นและผลการวิจัยจากโครงการวิจัยในปี พ.ศ. 2556 และ 2557 มาพัฒนาต่อยอดในโครงการวิจัยนี้

ในปัจจุบันมีการผลิตแพทย์มากขึ้น จำนวนนิสิตแพทย์มีจำนวนมากขึ้น แต่จำนวนผู้ป่วยที่มีภาวะฉุกเฉินที่จำเป็นต้องใส่ท่อในช่องอกเพื่อการระบายน้ำ ระบายเลือด ออกจากช่องอกมีจำนวนลดลง มีไม่เพียงพอต่อการฝึกหัตถการทำหัตถการทางการแพทย์ นิสิตส่วนใหญ่ยังขาดประสบการณ์การใส่ท่อในช่องอกเพื่อการระบายของเหลวดังกล่าวจากช่องอก แต่ในทางปฏิบัติในแผนกอายุรกรรม ยังพบผู้ป่วยที่มาด้วยน้ำในช่องอกจำนวนมาก จากอุบัติเหตุการเกิดภาวะน้ำท่วมปอด หรือเกิดน้ำในช่องอกในประเทศสหรัฐอเมริกา มีสูงถึง 1.5 ล้านรายในแต่ละปี แบ่งเป็น โรคติดเชื้อในช่องปอดราว 300,000 ราย โรคหัวใจวายและมีน้ำท่วมปอด 500,000 ราย และเกิดจากมะเร็งราว 200,000 รายต่อปี โดยสามารถเกิดจากทั้งตัวโรค หรือ เกิดจากอุบัติเหตุ ภาวะปอดแตกมีเลือดในช่องอก (Hemothorax) ภาวะลมในช่องอก (Pneumothorax) การทำหัตถการเจาะปอดเพื่อใส่ท่อระบายน้ำหรือเลือดออก แต่เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ป่วย แพทย์เหล่านี้ควรได้รับการฝึกเพื่อทำหัตถการการเจาะปอด และทำหัตถการการใส่ท่อเพื่อระบายน้ำออกจากช่องปอด ดังนั้น การผลิตหุ่นจำลองที่มีระบบกายวิภาค และระบบเลือดหรือของเหลวในช่องปอด เพื่อให้แพทย์ฝึกเจาะและใส่ท่อระบาย ยังคงมีความสำคัญ โดยเฉพาะในภาวะฉุกเฉินที่ไม่มีแพทย์อาวุโสควบคุม ในปัจจุบัน นิสิตจะทำการฝึกใส่ท่อระบายเลือดจากหุ่นจำลองที่ทำจากไฟเบอร์กลาส ที่เจาะเป็นช่องใหญ่ ใช้แผ่นซิลิโคนปิด โดยที่นิสิตแพทย์ไม่ได้ทำการวินิจฉัยผู้ป่วย รู้จากตำแหน่งช่อง การใส่ตามช่องที่เตรียมไว้ จะไม่ทำให้การฝึกหัตถการได้เกิดความรู้ความชำนาญขึ้น อีกทั้งหุ่นที่ใช้ฝึกมิได้มีระบบการไหลเวียนเลือด หรือกลไก ที่เสมือนจริง อีกทั้งมีราคาแพง ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ หลังจากการพัฒนาและประกอบเป็นโครงสร้างหุ่นจำลองนี้เสร็จสิ้น จะนำไปให้กับกลุ่มนิสิตแพทย์ แพทย์ฝึกหัดในโรงเรียนผลิตแพทย์เพื่อทดลองการเจาะ

ช่องปอด และฝึกหัดการใส่ท่อระบายเลือดและน้ำในช่องปอด รวมถึงการประเมินผลการใช้หุ่นจำลองนี้เพื่อนำข้อสรุปมาวิเคราะห์ และสรุปรายงานการศึกษา โดยหุพดหุ่นจำลองเพื่อการฝึกเจาะปอดและสอดท่อเพื่อการระบายน้ำ มีการประสานกับฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว) ซึ่งมีแผนยุทธศาสตร์สนับสนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมและมุ่งสู่ตลาดเพื่อการพาณิชย์

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อสร้างหุ่นจำลองช่องอก เพื่อฝึกหัดการใส่ท่อระบายของเหลวจากช่องปอด
2. ติดตั้งระบบการทำงานการไหลเวียนของเลือดเมื่อสอดท่อระบายของเหลวเข้าไปในช่องอก เช่น เซอร์จะทำงานให้ระบบปั๊มเปิดให้น้ำไหลเข้าช่องปอด และระบบตัดการไหลของน้ำเพื่อไม่ให้น้ำขังในบริเวณช่องเยื่อหุ้มปอดมากเกินไป
3. ติดตั้งระบบเตือนด้วยเซนเซอร์ และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเตือนผู้ทำหัตถการ เมื่อเกิดการทำหัตถการผิดตำแหน่ง โดยกำหนดการติดตั้งเซนเซอร์ที่บริเวณกระดูกซี่โครงที่ 3 และที่ 6 (ตำแหน่งที่ทำการเจาะอยู่ที่ 4-5) เพื่อเตือนเมื่อมีการทำหัตถการที่ผิดตำแหน่ง
4. ทำการทดสอบกับนิสิตแพทย์ แพทย์ฝึกหัด แพทย์ประจำบ้าน และอาจารย์แพทย์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นจำลองเพื่อฝึกการใส่ท่อระบายของเหลวจากช่องเยื่อหุ้มปอด (Intercostal drainage)

### ระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย

ระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย 12 เดือน เริ่ม วันที่ 1 เดือน มกราคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2559

### สรุปแผนการดำเนินงาน

พัฒนาสูตรน้ำยางเพื่อผลิตชิ้นงานจากน้ำยาง โดยให้มีคุณสมบัติแทนโครงกระดูก แทนปอด การปั้นหุ่นจำลอง เพื่อจำลองโครงสร้างชั้นผิวหนัง โครงกระดูกตำแหน่งซี่โครง เยื่อหุ้มปอด และชั้นปอด สร้างแม่พิมพ์เพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละส่วน ทำการทดสอบแม่พิมพ์โดยการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากยางพารา และนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบค่าความยืดหยุ่น

การจำลองระบบการควบคุมสารน้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด การตั้งเวลาควบคุม และการเตือนนอกตำแหน่งที่จะทำหัตถการ ติดตั้งและทำการทดสอบหลายครั้ง นำต้นแบบไปทดสอบกับแพทย์ฝึกหัดเพื่อฝึกหัตถการและ ศึกษาความพึงพอใจหุ่นจำลองจากยางพาราและเปรียบเทียบกับหุ่นไฟเบอร์กลาส

## แผนการดำเนินงาน

| กิจกรรม                                                                                                                 | เดือนที่ |     |     |       | ผลที่คาดว่าจะได้รับ                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                         | 1-3      | 4-6 | 7-9 | 10-12 |                                                                                        |
| 1. พัฒนาสูตรน้ำยาเพื่อผลิตชิ้นงานจากน้ำยา โดยให้มีคุณสมบัติแทนโครงกระดูก แทนปอด และช่องเยื่อหุ้มปอด                     | ×        |     |     |       | สูตรยาพาราที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม มีความยืดหยุ่น มีผิวสัมผัสอ่อนนุ่มและมีสีที่ต้องการ |
| 2. การปั้นหุ่นจำลอง เพื่อจำลองโครงสร้างชั้นผิวหนัง โครงกระดูกตำแหน่งซี่โครง เยื่อหุ้มปอด และชั้นปอด                     | ×        | ×   |     |       | ได้แม่แบบหุ่นจำลองอวัยวะส่วนช่องปอด                                                    |
| 3. สร้างแม่พิมพ์เพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละส่วน ได้แก่ โครงกระดูก ปอด เยื่อหุ้มปอด ถุงน้ำ และชั้นผิวหนัง              |          | ×   | ×   |       | ได้แม่พิมพ์ของชิ้นงานในแต่ละส่วน                                                       |
| 4. ทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานส่วนต่างๆ จากยางพารา                                                                           |          |     | ×   |       | ได้ชิ้นงานจากยางพารา และทดลองการประกอบชิ้นงานแก้ไขในส่วนที่ผิดพลาด                     |
| 5. นำชิ้นงานในแต่ละส่วนไปทดสอบความยืดหยุ่น                                                                              |          |     | ×   | ×     | ได้ค่ามาตรฐานของชิ้นงาน                                                                |
| 6. การทดลองจำลองระบบการควบคุมสารน้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด การตั้งเวลาควบคุม และการเตือนนอกตำแหน่งที่จะทำหัตถการ             |          | ×   | ×   | ×     | ได้ระบบการปิด-เปิดของกล่องเสียง และระบบเตือนภัยทางเดินหายใจ                            |
| 7. ทดสอบการใช้งานโดยการตรวจสอบและปรับแก้ต้นแบบ                                                                          |          |     | ×   |       | ได้ต้นแบบที่สมบูรณ์พร้อมการพิจารณา                                                     |
| 8. นำต้นแบบไปทดสอบกับแพทย์ฝึกหัด เพื่อฝึกหัตถการและ ศึกษาความพึงพอใจหุ่นจำลองจากยางพาราและเปรียบเทียบกับหุ่นไฟเบอร์กลาส |          |     |     | ×     | มีความพึงพอใจนำผลการไปใช้ในการฝึกทำหัตถการของแพทย์                                     |
| 7. สรุปผลการวิจัยรวบรวมรูปเล่ม และการนำเสนอผลงาน                                                                        |          |     |     | ×     | สรุปรายงานผลการวิจัย                                                                   |

ตารางเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และที่ได้จริง

| กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือ<br>จากการปรับเปลี่ยน                                                                                                                            | ผลสำเร็จ (%) | ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ระบุ<br>สาเหตุและการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. พัฒนาสูตรน้ำยาเพื่อผลิตชิ้นงานจากน้ำยา โดย<br>ให้มีคุณสมบัติแทนปอดและช่องเยื่อหุ้มปอด                                                                                     | 100%         | - การพัฒนาในส่วนของเนื้อน้ำยาที่ใช้ผลิตผิว<br>ยาง และเนื้อเยื่อปอด<br>- คงเหลือแต่ชิ้นงานส่วนเยื่อหุ้มปอด ในตำแหน่ง<br>ของการเจาะปอด        |
| 2. การปั้นหุ่นจำลอง<br>2.1 เพื่อจำลองโครงสร้างชั้นผิวหนัง ตำแหน่งซี่โครง<br>เยื่อหุ้มปอดและชั้นปอด(ภายนอก)                                                                   | 100%         | - โครงสร้างการหล่อหุ่นภายนอก และหนังที่ใช้<br>ปิดซี่โครงในตำแหน่งที่ใช้เจาะปอด และตัว<br>ชิ้นงานเนื้อปอด                                    |
| 2.2 โครงกระดูกภายใน                                                                                                                                                          | 100%         | - ในส่วนของโครงกระดูก จำเป็นต้องใช้หุ่น<br>ภายนอกที่หล่ออย่างได้อย่างคงตัว และสำเร็จแล้ว<br>จึงทำโครงกระดูกจากเรซิน<br>ต่อจากส่วนหุ่นภายนอก |
| 3. สร้างแม่พิมพ์เพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละส่วน                                                                                                                            | 100%         | - ในส่วนของแม่พิมพ์ของหุ่น และส่วนของหนัง<br>ที่ปิดซี่โครง คงเหลือในส่วนของกระดูกซี่โครง                                                    |
| 4. ทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานส่วนต่างๆ จากยางพารา                                                                                                                                | 100%         | - ทดสอบการขึ้นรูปของแผ่นยางเจาะปอดด้วย<br>สารเคมีชนิดต่างๆ                                                                                  |
| 5. นำชิ้นงานในแต่ละส่วนไปทดสอบความยืดหยุ่น                                                                                                                                   | 100%         | ได้ผลทดสอบความยืดหยุ่น                                                                                                                      |
| 6. ทดลองจำลองระบบการควบคุมสารน้ำในช่องเยื่อ<br>หุ้มปอด การตั้งเวลาควบคุม และการเตือนนอก<br>ตำแหน่งที่จะทำหัตถการ                                                             | 100%         | - ทดลองระบบเซ็นเซอร์โดยการใช้การตรวจหา<br>โลหะ<br>- ระบบการไหลเวียนโลหิตจำลอง<br>- ระบบตั้งเวลาจำหน่ายและตัดสารเหลว                         |
| 7. นำต้นแบบไปทดลองกับแพทย์ฝึกหัดเพื่อการได้<br>ทอระบายของเหลวจากเยื่อหุ้มปอดและ ศึกษาความ<br>พึงพอใจในการทำหัตถการจากหุ่นจำลองจาก<br>ยางพาราและเปรียบเทียบกับหุ่นไฟเบอร์กลาส | 100%         | ได้ผลความพึงพอใจของแพทย์ผู้ฝึกทำหัตถการ<br>เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุง                                                                    |

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบชิ้นงาน เทคโนโลยีการผลิตชิ้นงานผลิตภัณฑ์จากยางพารา เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับ  
ผลิตภัณฑ์ ได้หุ่นจำลองที่เสมือนจริงทั้งผิวหนัง กระดูก ช่องปอด และระบบควบคุมเลือดในช่องเยื่อหุ้มปอด  
และระบบเซ็นเซอร์ควบคุมการไหลของเลือด เมื่อทดสอบผ่านเข้าช่องปอด เพื่อฝึกการทำหัตถการให้เกิด  
ความชำนาญแก่บุคลากรทางการแพทย์ เพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับผู้ป่วย

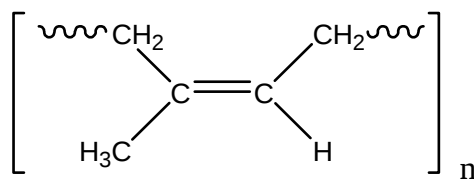
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### ทฤษฎีแนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

##### ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียวที่ซ้ำๆ กัน (Repeating unit) เป็นจำนวนมาก มีสมบัติที่สำคัญคือความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติ ทำให้เห็นว่ายางธรรมชาติ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม ( $C_5H_8$ ) มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะ เรียงตัวกันในแบบ cis-configuration เรียกชื่อโมเลกุลยางว่าเป็น cis-1,4-polyisoprene โครงสร้างโมเลกุลของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติ (ดังแผนภาพที่ 2.1)



แผนภาพที่ 2.1 แสดงสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ (cis-1,4-polyisoprene)

ใน 1 โมเลกุลของยางจะประกอบไปด้วยหน่วยของ isoprene ( $C_5H_8$ ) มาต่อกันเป็นสายยาว แบบเส้นตรง ประมาณ 3,000-5,000 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 200,000 – 400,000 ยางธรรมชาติมีความหนาแน่น  $0.93 \text{ g/cm}^3$  ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำให้ยางเย็นจนแข็งหรือเมื่อยืดยาง มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature:  $T_g$ ) ประมาณ -70 องศาเซลเซียส ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูง โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้า (specific resistivity) ประมาณ  $1 \times 10^{15}$  –  $2 \times 10^{15} \text{ ohms-cm}$  ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสถานะ เช่น เมื่อยางถูกดึงยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึกได้ การเกิดผลึกเนื่องจากการถูกดึงยืด เรียกว่า strain-induced ซึ่งจะพบเมื่อยางถูกดึงยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน คือ ยางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสง (transparent) ไปเป็นทึบแสง (opaque) การเกิดผลึกเนื่องจากการดึงยืดทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ยางจะมีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนต่อการฉีกขาด (tear strength) และความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion)

## สารเติมแต่งในยาง(Rubber Additives)

23

สารเติมแต่งจะช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อเสียต่างๆที่มีในยาง ซึ่งได้แก่

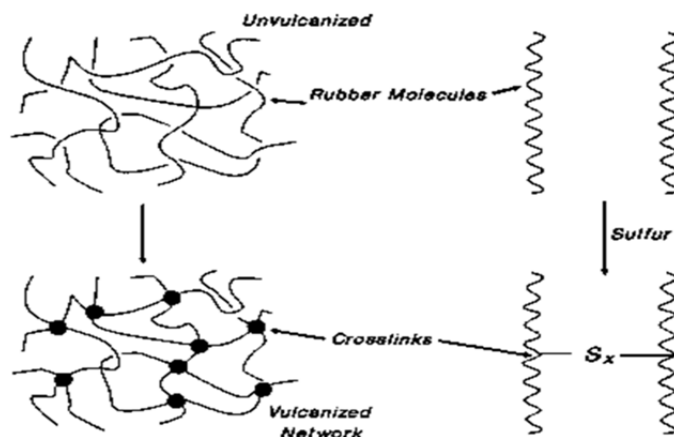
- ยางที่ยังไม่ผ่านการวัลคาไนซ์มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก ซึ่งที่อุณหภูมิห้องจะแข็งกระด้าง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางจะอ่อนนุ่มหรือเยิ้มเหนียวได้ง่าย การมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด
- ยางที่ยังไม่ผ่านการวัลคาไนซ์มีสภาพเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก ก็สามารถเปลี่ยนรูปร่างตามแรงกระทำ และคืนรูปร่างเดิมได้เมื่อเอาแรงกระทำออก แต่ก็คืนรูปร่างกลับไม่เท่าเดิม มีการเสียรูปไปบางส่วน มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีเพียงพอในการนำไปใช้งานได้โดยตรง
- ยางที่ไม่ผ่านการวัลคาไนซ์สามารถละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิด
- ยางมีสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรง ความทนแรงดึง และความต้านทานต่อการขาด ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานโดยตรง
- ยางมีราคาแพง การนำยางมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียวทำให้ต้นทุนการผลิตสูง
- ยางหลายชนิดเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย เนื่องจาก ความร้อน แสงแดด ออกซิเจน และ โอโซน

การแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบที่ใช้ในการผสมยางกับสารเคมีแบ่งได้เป็น 8 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. ยาง (Elastomer)
2. สารทำให้ยางคงรูป (Curing Agent หรือ Vulcanizin Agent)
3. สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (Accelerator)
4. สารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูป (Activator)
5. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradant)
6. สารตัวเติม (Filler)
7. สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (Plasticizer และ Processing aid)
8. องค์ประกอบอื่นๆ เช่น สี (Pigment) สารหน่วงการติดไฟ (flame retardant) สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) เป็นต้น

### สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing or Curing Agents)

สารทำให้ยางคงรูปเป็นสารที่สำคัญที่ต้องเติมลงไปยาง เพื่อให้ยางเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า “ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน (vulcanization)” หรือ ปฏิกิริยาการคงรูป (curing) ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน ทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นตาข่ายสามมิติ ซึ่งจะช่วยให้ยางเปลี่ยนสภาพจากยางอ่อน เหนียวเหนียว (tacky) และไหลได้แบบเทอร์โมพลาสติก ไปเป็นยางคงรูปที่มีโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมโยงกันเป็นตาข่ายสามมิติ ที่มีความยืดหยุ่นสูง มีความทนทาน มีสมบัติที่เสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก ไม่เหนียวติดกัน การคงรูปของยางที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบการคงรูปด้วยกัมมะถันระบบการคงรูปด้วยเพอร์ออกไซด์ ระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ เช่น โลหะออกไซด์



แผนภาพที่ 2.2 แสดงคำจำกัดความของการคงรูปของยาง

### สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators)

การใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบการคงรูปยางด้วยกำมะถัน ปฏิกิริยาการคงรูประหว่างกำมะถันและยาง จะเกิดขึ้นได้ช้ามาก แม้ในที่อุณหภูมิสูง ต้องใช้ระยะเวลาในการคงรูปที่ยาวนาน และใช้กำมะถันปริมาณมากในการคงรูป และยางคงรูปที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ การเติมสารตัวเร่งลงไป ปริมาณเพียงเล็กน้อยจะช่วยทำให้ปฏิกิริยาระหว่างยางและกำมะถันเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้กำมะถันปริมาณสูง และยางคงรูปที่ได้มีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูง ทำให้ยางคงรูปที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี สารตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่มีทั้งไนโตรเจนและกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc-N-diethyldithiocarbamate, ZDEC) ซิงค์ไดเมทิลไดไทโอคาร์บาเมต (zinc dimethyldithiocarbamate; ZDMC) เททระเมทิลไทูเรมไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide; TMTD)

### สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activators)

สารกระตุ้นปฏิกิริยา คือ สารเคมีที่เติมลงไปในการเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป สารเคมีกลุ่มนี้จะเข้าไปกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยา ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น แม้ว่ากลไกการกระตุ้นปฏิกิริยาก่อนข้างซับซ้อนและยังไม่เป็นที่ทราบกันอย่างแน่ชัด แต่เชื่อว่าสารกระตุ้นปฏิกิริยาจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่เสถียร สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับกำมะถันที่เติมลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ยางมีอัตราเร็วในการคงรูปที่สูงขึ้น โดยทั่วไปสารกระตุ้นปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ได้แก่ สารอนินทรีย์ สารอนินทรีย์ที่ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของโลหะ เช่น ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และออกไซด์ของตะกั่ว เช่น ลิทาร์จ (PbO) และตะกั่วแดง (Pb3O4) เป็นต้น กรดอินทรีย์ ซิงก์ออกไซด์จะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพเมื่อทำงานร่วมกับกรดไขมัน กรดไขมันที่นิยมใช้ได้แก่ กรดสเตียริก และสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง สารเคมีในกลุ่มมีฤทธิ์เป็นด่าง เมื่อเติมลงไปในการทำให้ค่า pH สูงขึ้น การที่ pH สูงขึ้นส่งผลทำให้ยางมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปสูงขึ้น

## สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)

ยางส่วนใหญ่ที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเสื่อมสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในสภาวะการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด ออกซิเจน โอโซน ความร้อน หรือ โลหะตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งการใช้งานที่ต้องมีการหักงอเชิงกลตลอดเวลา (mechanical flexing) การเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพจึงจำเป็น เพื่อให้ได้ยางที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น เมื่อยางเกิดการเสื่อมสภาพ สมบัติต่างๆ ของยางจะค่อยๆ ลดลง สังเกตได้จากการแข็งตัว (embrittlement) การอ่อนตัว (softening) การล้าตัว การขยายตัวของรอยแตก โดยทั่วไปการเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูง หรือในสภาวะที่มีการปนเปื้อนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น โลหะทองแดง (Cu) และ แมงกานีส (Mn) เป็นต้น ตัวอย่างของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ ได้แก่ สารประกอบกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันยางจากการล้าตัวและโอโซน ทั้งภายใต้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสถิตและแบบพลวัต ได้แก่ สารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของฟีนีลีนไดเอมีน (p-phenylenediamine) เช่น IPPD 6PPD และ DNPD กลุ่มที่ป้องกันเฉพาะออกซิเจน สารกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล เช่น BHT BPH CPH และ IBPH เป็นต้น BHT มีขนาดโมเลกุลเล็ก ระบายได้ง่าย จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ที่อุณหภูมิต่ำเท่านั้น

## สารตัวเติม (Fillers)

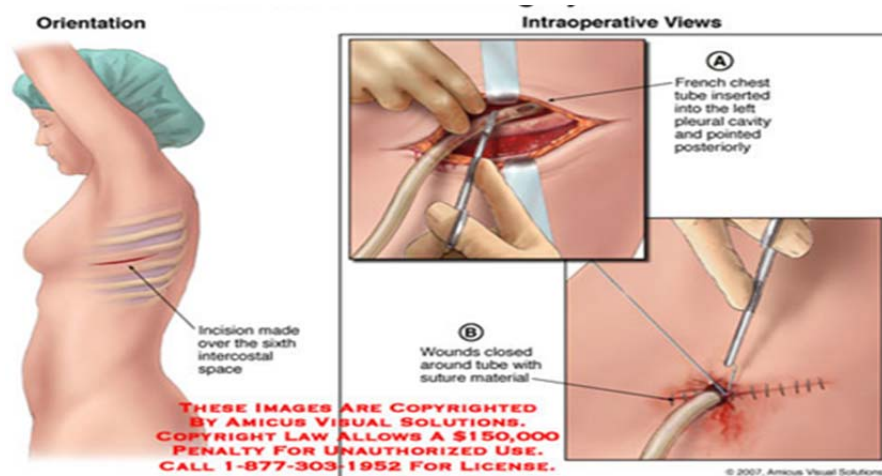
สารตัวเติมคือองค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เพื่อเสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ทำให้อย่างคอมปาวด์มีสมบัติที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต หรือ เพื่อลดต้นทุน เป็นต้น สารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ สารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing fillers) และสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรงหรือที่เรียกว่าสารตัวเติมเฉื่อย (non-reinforcing หรือ inert filler) เติมเพื่อลดต้นทุน หรืออาจแบ่งตามสีของสารตัวเติม ได้เป็น 2 กลุ่มเช่นกัน ได้แก่ เขม่าดำ และสารตัวเติมสีอ่อน การเสริมแรง หมายถึง ความสามารถของสารตัวเติมในการเพิ่มความหนืดของยางคอมปาวด์ และปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของยางคงรูป เช่น มอดูลัส ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขาด เป็นต้น ตัวอย่างที่สำคัญของสารตัวเติมเสริมแรง ได้แก่ เขม่าดำ (carbon black) และ ซิลิกา (silica) สารตัวเติมที่เติมลงไปแล้ว เพิ่มความหนืดของยางคอมปาวด์เพียงเล็กน้อย และทำให้สมบัติเชิงกลของยางคงรูปค่อยๆ ลดลง หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เรียกว่า “สารตัวเติมไม่เสริมแรงหรือสารตัวเติมเฉื่อย” สารตัวเติมเฉื่อยที่สำคัญได้แก่ ทัลคัม (talc) แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) และดินขาว (clay)

## สารทำให้นิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (softener/plasticizers and processing aids)

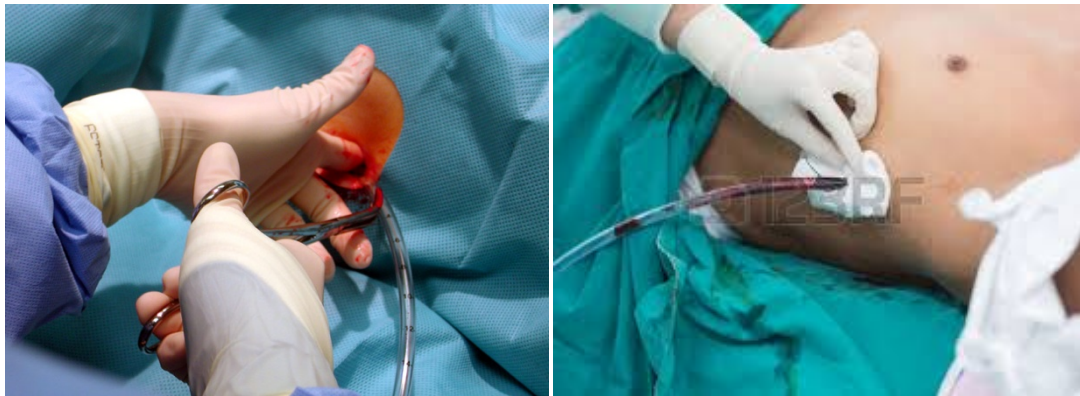
ในการบดผสมยาง โดยเฉพาะในกรณีที่มีสารตัวเติม มักจะผสมสารประเภทน้ำมันต่างๆ เพื่อให้ยางนิ่มและทำให้สารตัวเติมคลุกเคล้าเข้ากับเนื้อยางได้เป็นอย่างดี

## การใส่ท่อระบายทรวงอก ICD: Intercostals drainage

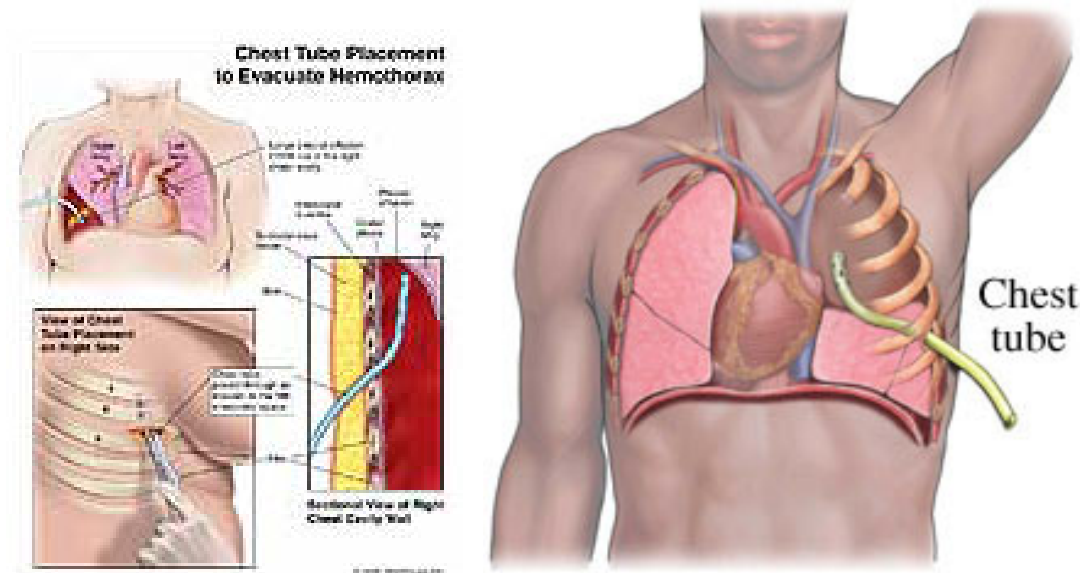
ปัจจุบันการฝึกการใส่ท่อระบายน้ำออกจากช่องเยื่อหุ้มปอด โดยใช้หุ่นจำลองจากไฟเบอร์กลาส หรือหุ่นซิลิโคน ซึ่งมีลักษณะเป็นช่องเจาะรู หรือช่องใหญ่เพื่อให้บัณฑิตได้ทดลองการใส่ท่อลงไป การทำหัตถการจึงไม่ประสบความสำเร็จ บัณฑิตแพทย์ส่วนใหญ่ยังไม่มีประสบการณ์ใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด ดังนั้นเมื่อเผชิญปัญหาผู้ป่วยจริงทำให้ไม่สามารถทำหัตถการได้สำเร็จ หรืออาจเกิดความล่าช้า ทำให้ผู้ป่วยบาดเจ็บได้ เนื่องจากขาดประสบการณ์ และความชำนาญ ในสภาวะจริงในห้องฉุกเฉินแพทย์มีเวลาในการทำหัตถการไม่มากนัก ประกอบกับสถานการณ์ในปัจจุบันพบอุบัติการณ์การร้องเรียนมากขึ้น ดังนั้นหากมีการผลิตหุ่นจำลองที่มีคุณสมบัติของเนื้อหูนในชั้นผิวหนัง ส่วนซี่โครง และระบบปอด ช่องเยื่อหุ้มปอด โดยมีการจำลองภาวะเลือดออกในช่องเยื่อหุ้มปอดให้บัณฑิตได้ทดลองการฝึกทำหัตถการที่ใกล้เคียงกับร่างกายมนุษย์จริง โดยมีกลไกการควบคุมการไหลของเลือดจริง และระบบหยุดการไหลของเลือดในช่องปอด เพื่อให้ช่องปอดเต็มไปด้วยน้ำ รวมถึงการติดตั้งระบบเตือนในกรณีที่ทำหัตถการนอกตำแหน่ง เพื่อให้บัณฑิตแพทย์ได้ฝึกหัดจนเกิดความรู้ความชำนาญในการลงมือทำหัตถการจริง จักสามารถทำให้แพทย์ได้ใช้ฝึกฝนการทำหัตถการจนเกิดความชำนาญก่อนไปทำหัตถการในผู้ป่วย และสามารถนำไปใช้ได้จริงในโรงเรียนผลิตแพทย์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ป่วย รวมถึงการต่อยอดการผลิตยางพาราเพื่อนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้



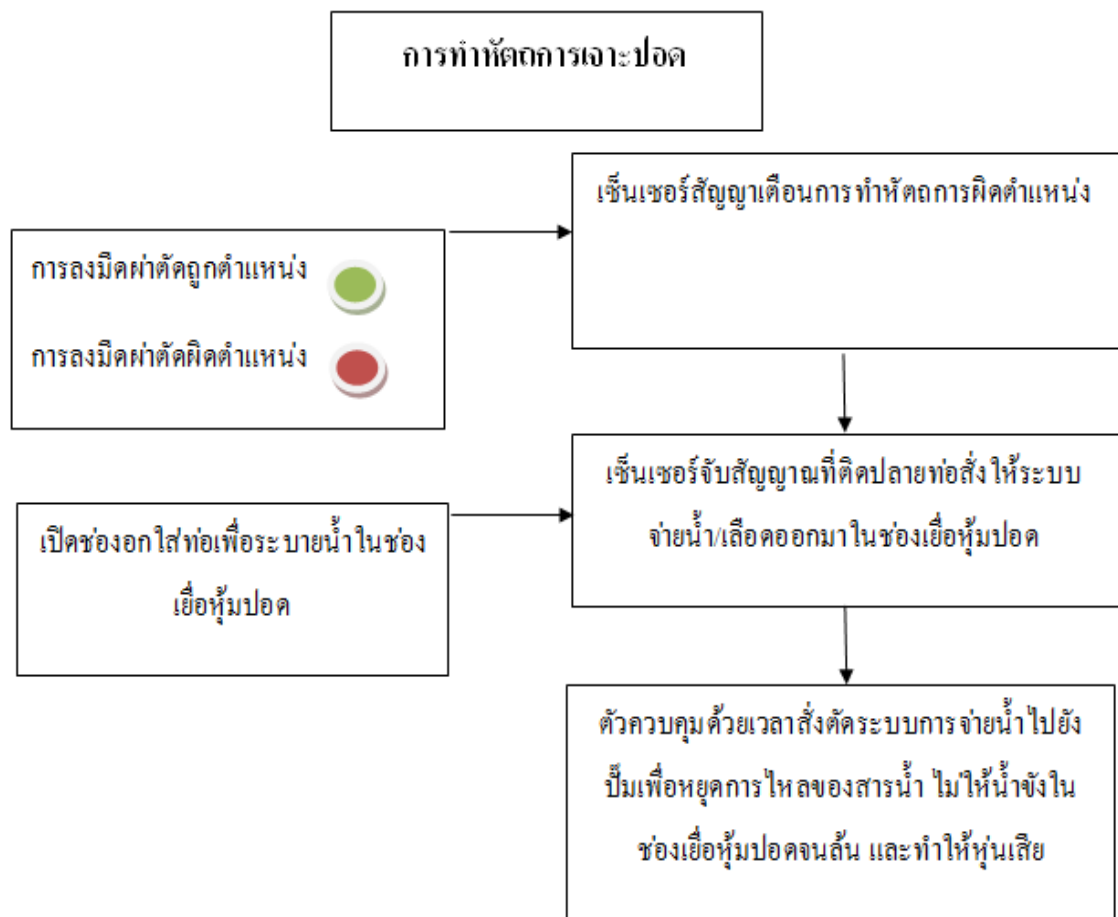
แผนภาพที่ 2.3 แสดงกายวิภาคของหน้าอกและช่องอก



แผนภาพที่ 2.4 แสดงการทำหัตถการการเจาะช่องเพื่อใส่ท่อระบายเลือดออกจากช่องเยื่อหุ้มปอด



แผนภาพที่ 2.5 แผนภาพจำลองแสดงการเจาะช่องเพื่อใส่ท่อระบายเลือดออกจากช่องเยื่อหุ้มปอด



แผนภาพที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองการทำหัตถการการไหลของเลือดในช่องเยื่อหุ้มปอด

### บทที่ 3

#### วิธีวิจัย

ตารางที่ 3.1 แสดงขั้นตอนและแนวทางการวิจัย

| กิจกรรม                                                                                                                 | เดือนที่ |     |     |       | ผลที่คาดว่าจะได้รับ                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                         | 1-3      | 4-6 | 7-9 | 10-12 |                                                                                           |
| 1. พัฒนาสูตรน้ำยาเพื่อผลิตชิ้นงานจากน้ำยา โดยให้มีคุณสมบัติแทนโครงกระดูก แทนปอด และช่องเยื่อหุ้มปอด                     | ×        |     |     |       | สูตรยาขางพาราที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม มีความยืดหยุ่น มีผิวสัมผัสอ่อนนุ่มและมีสีที่ต้องการ |
| 2. การปั้นหุ่นจำลอง เพื่อจำลองโครงสร้างชั้นผิวหนัง โครงกระดูกตำแหน่งซี่โครง เยื่อหุ้มปอด และชั้นปอด                     | ×        | ×   |     |       | ได้แม่แบบหุ่นจำลองอวัยวะส่วนช่องปอด                                                       |
| 3. สร้างแม่พิมพ์เพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละส่วน ได้แก่ โครงกระดูก ปอด เยื่อหุ้มปอด ถุงน้ำ และชั้นผิวหนัง              |          | ×   | ×   |       | ได้แม่พิมพ์ของชิ้นงานในแต่ละส่วน                                                          |
| 4. ทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงานส่วนต่างๆ จากขางพารา                                                                           |          |     | ×   |       | ได้ชิ้นงานจากขางพารา และทดลองการประกอบชิ้นงานแก้ไขในส่วนที่ผิดพลาด                        |
| 5. นำชิ้นงานในแต่ละส่วนไปทดสอบความยืดหยุ่น                                                                              |          |     | ×   | ×     | ได้ค่ามาตรฐานของชิ้นงาน                                                                   |
| 6. การทดลองจำลองระบบการควบคุมสารน้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด การตั้งเวลาควบคุม และการเตือนนอกตำแหน่งที่จะทำหัตถการ             |          | ×   | ×   | ×     | ได้ระบบการปิด-เปิดของกล่องเสียง และระบบเตือนภัยทางเดินหายใจ                               |
| 7. ทดสอบการใช้งานโดยการตรวจสอบและปรับแก้ต้นแบบ                                                                          |          |     | ×   |       | ได้ต้นแบบที่สมบูรณ์พร้อมการพิจารณา                                                        |
| 8. นำต้นแบบไปทดสอบกับแพทย์ฝึกหัด เพื่อฝึกหัตถการและ ศึกษาความพึงพอใจหุ่นจำลองจากขางพาราและเปรียบเทียบกับหุ่นไฟเบอร์กลาส |          |     |     | ×     | มีความพึงพอใจนำผลการไปใช้ในการฝึกทำหัตถการของแพทย์                                        |
| 7. สรุปผลการวิจัยรวมรวมรูปเล่ม และการนำเสนอผลงาน                                                                        |          |     |     | ×     | สรุปรายงานผลการวิจัย                                                                      |



แผนภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงแนวทางการวิจัย และขั้นตอนการวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 มาตรฐานการสำรวจรูปร่าง

จากผลการสำรวจรูปร่างทั่วประเทศ โครงการ Size Thailand แยกตามเพศ ชายและหญิง นน. BMI และกลุ่มอายุ ทำการสำรวจกลุ่มตัวอย่างทั้งชายและหญิงทั่วประเทศ จำนวน 13,442 คน หลายช่วงอายุ กล่าวคือ 16-25 ปี, 26-35 ปี, 36-45 ปี, 46-59 ปี และ 60 ปีขึ้นไป

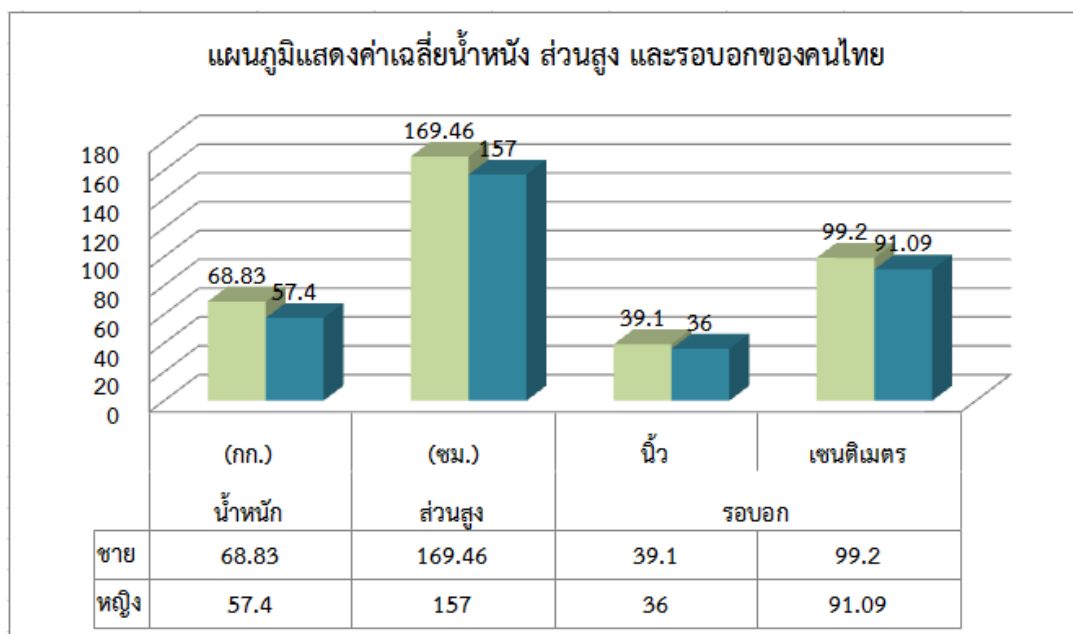
จากข้อมูลที่ได้พบว่าในเพศชาย มีน้ำหนักเฉลี่ย 68.83 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 169.46 เซนติเมตร ขนาดรอบอกเฉลี่ย 39.10 นิ้ว หรือ 99.20 เซนติเมตร

เพศหญิง มีน้ำหนักเฉลี่ย 57.40 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 157.00 เซนติเมตร ขนาดรอบอกเฉลี่ย 36 นิ้ว หรือ 91.09 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ส่วนสูง และรอบอกของคนไทย

| เพศ  | น้ำหนัก<br>(กก.) | ส่วนสูง<br>(ซม.) | รอบอก |           |
|------|------------------|------------------|-------|-----------|
|      |                  |                  | นิ้ว  | เซนติเมตร |
| ชาย  | 68.83            | 169.46           | 39.10 | 99.20     |
| หญิง | 57.40            | 157.00           | 36.00 | 91.09     |

แหล่งที่มา : [http://www.sizethailand.org/region\\_all.html](http://www.sizethailand.org/region_all.html) สืบค้น 4 เมษายน 2559



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ส่วนสูง และรอบอกของคนไทย

#### 4.2 การออกแบบและขึ้นแม่พิมพ์

ในการขึ้นแบบแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อน ต้องใช้ผู้ชำนาญทางด้านการปั้นอวัยวะมนุษย์ ทางโครงการได้ประสานงานกับ คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิร เพื่อร่วมพัฒนางานด้านต้นแบบแม่พิมพ์ ในการออกแบบหุ่นจำลองการเจาะปอดเพื่อใส่ท่อระบายน้ำออกจากช่องเยื่อหุ้มปอดจากยางธรรมชาติ นั้น จะมีการออกแบบให้มีโครงสร้างสองชั้น แบ่งเป็นโครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายใน โดยโครงสร้างภายในจะประกอบไปด้วย กระดูก ปอด และชุดอุปกรณ์ควบคุมของเหลวเพื่อตรวจสอบการทำหัตถการ ใน ส่วนของโครงกระดูกนั้น ในการวิจัยนี้จะเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็ง และความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง รูปร่างที่เหมาะสมมาทำการขึ้นรูปเป็นโครงกระดูก เช่น วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว โลหะอลูมิเนียม เป็นต้น ชุดอุปกรณ์ควบคุมของเหลวเพื่อตรวจสอบการทำหัตถการ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแสดงผลความถูกต้องของการทำหัตถการและควบคุมการไหลของของเหลวให้ไหลออกมาอย่างเหมาะสมเมื่อมีการทำหัตถการที่ถูกต้อง

ปอด ในการทำการวิจัยนี้จะเลือกใช้ยางธรรมชาติในการผลิตเนื้อปอดจำลอง โดยจะทำการพัฒนา สูตรยางที่ใช้ในการผลิตเนื้อปอดจำลอง จากสูตรยางธรรมชาติที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย เรื่อง “หุ่นจำลองระบบโพรงจมูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัตถการของแพทย์” ที่ได้รับการ จัดสรรทุนในการดำเนินโครงการในปี พ.ศ. 2556 (ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 เพื่อจะปรับปรุงให้มี สมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับเนื้อปอด)



แผนภาพที่ 4.1 แสดงการขึ้นรูปแม่พิมพ์โครงสร้างลำตัว



แผนภาพที่ 4.2 แสดงการขึ้นรูปแม่พิมพ์โครงสร้างลำตัวและช่องปอดภายนอก

ตารางที่ 4.2 แสดงการขึ้นรูปแม่พิมพ์โครงสร้างลำตัวและช่องปอด

| อุปกรณ์ที่ใช้ |                 |
|---------------|-----------------|
| 1. ต้นแบบ     | 2. ปูนปลาสเตอร์ |
| 3. โยมะพร้าว  | 4. วาสลิน       |
| 5. ถังผสม     | 6. ไม้แม่แบบ    |
| 7. เหล็กเส้น  | 8. สีนํ้า       |
| 9. มีด        | 10. ลีว         |
| 11. ค้อน      | 11. ขี้ผึ้ง     |

ในการขึ้นแบบแม่พิมพ์เป็นขั้นตอนที่มีความซับซ้อนมาก โดยออกแบบให้มีโครงสร้างสองแบ่งเป็น โครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายใน โดยโครงสร้างภายในจะประกอบไปด้วย กระดูก ปอดและชุด อุปกรณ์ควบคุมของเหลวเพื่อตรวจสอบการทำหัตถการ ชั้นภายนอกเป็นเนื้อยางคอมปาวด์หล่อเป็น โครงสร้างของลำตัวช่วงหน้าอก ที่มีความหนาประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร ในส่วนของโครงกระดูกนั้น ในการวิจัยนี้จะเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็ง และความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เหมาะสมมาทำการ ขึ้นรูปเป็นโครงกระดูก เช่น วัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว หรือโลหะอลูมิเนียม หรือพลาสติก หรือเซรามิก เป็นต้น ซึ่งโครงการนี้ เลือกใช้วัสดุที่เป็นเซรามิก เพราะมีความแข็งแรง บั่นหรือแต่งขึ้นงานได้ ง่ายกว่างานหล่อพลาสติก

## การขึ้นแม่พิมพ์โครงสร้างลำตัวมีขั้นตอน ดังนี้

### ก. ขั้นตอนการหล่อหุ่น

1. ทาวาสลินที่ตัวนายแบบเพื่อกันการติดของแบบ
2. การใช้ปูนพลาสติกผสมน้ำตามสัดส่วน ใช้ส่วนผสมปูนพลาสติกพอกที่ตัวนายแบบ ทีละชั้น โดยการทดลองนี้ทำปูนผสม ในชั้นที่ 1 และสอง
3. จะได้ปูนที่มีความหนาประมาณ 1-2 เซนติเมตร รอให้ปูนหมาดๆ พอกชั้นที่ 3 ซึ่งปูนพลาสติกผสมขุยใยมะพร้าว รอจนแบบแห้งดี
4. เมื่อปูนพลาสติกแห้งดี ตัดชิ้นงานด้านข้างออกเป็นลักษณะหน้ากากด้านหน้า และด้านหลัง นำชิ้นงานนั้นมาขัดแต่งความเนียน ขัดฟองอากาศออกให้เนื้อปูนละเอียด

### ข. ขั้นตอนการหล่อหุ่นปูนพลาสติก ครั้งที่ 1

5. เป็นขั้นตอนการหล่อหุ่นปูนพลาสติก ทำแม่พิมพ์ด้วยน้ำสบู่ รอแม่พิมพ์หมาดๆ ผสมปูนพลาสติกให้เข้ากัน เทปูนลงแม่พิมพ์ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ในชั้นที่ 3 ผสมส่วนผสมปูนพลาสติกและใยมะพร้าว และรอชิ้นงานแข็งและแห้งสนิท ประมาณ 2 - 3 วัน
6. แกะแม่พิมพ์ออกจากงานหล่ออย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันชิ้นงานแตกหักชำรุดซึ่งจะมีผลต่อการทำแม่พิมพ์ในการหล่ออย่าง
7. เจาะช่องตำแหน่งซี่โครง แล้วปั้นซี่โครงในตำแหน่งที่ต้องการทำหัตถการการเจาะปอด ตามหลักกายวิภาค
8. ถอดแม่พิมพ์งานต้นแบบอีกครั้งโดยแบ่งงานเป็นด้านหน้าและด้านหลังลำตัว โดยขึ้นงานด้วยปูนพลาสติก

### ค. ขั้นตอนการถอดเป็นแม่พิมพ์ขึ้นเดียวเพื่อใช้เป็นแม่แบบในการหล่ออย่างพารา

9. นำแม่พิมพ์ที่ได้จากการเจาะช่องซี่โครง นำมาเทจี๊ตติ้งให้มีความหนาตามที่ต้องการแล้วแกะต้นแบบออกจะได้ต้นแบบจี๊ตติ้ง แต่งรายละเอียด ลดฟองอากาศให้ชิ้นงานมีความเรียบเนียนที่สุด และสมบูรณ์แบบเพื่อนำไปครอบด้วยปูนพลาสติกผสม โดยให้แม่แบบมีความหนามากกว่า 2.5 เซนติเมตร
10. นำใยมะพร้าวผสมปูนพลาสติกมาพอกอีกชั้น เพื่อให้แม่แบบเกิดความแข็งแรง และคามด้วยเหล็กเส้นประคองพิมพ์ โดยให้แม่พิมพ์มีรอยต่อน้อยที่สุด เป็นแม่พิมพ์ขึ้นเดียว
11. นำน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเทลงในตัวต้นแบบ เพื่อทำให้จี๊ตติ้งอ่อนตัวและสามารถดึงออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย โดยจะต้องดึงเอาจี๊ตติ้งออกจากแบบให้หมด
12. นำแม่พิมพ์มาหล่อปรับแต่งพื้นผิว เก็บรายละเอียดให้เกิดความมั่นใจสมบูรณ์แบบ พร้อมนำไปทดสอบการหล่ออย่างคอมปาวด์

### 4.3 การพัฒนาสูตรยาง

ในการทำการวิจัยนี้จะเลือกใช้ยางธรรมชาติ เพื่อใช้ทำยางคอมปาวด์ เพื่อการผลิตโครงสร้างลำตัว และโครงสร้างเนื้อปอดจำลอง โดยจะทำการพัฒนาสูตรยางที่ใช้ในการผลิตเนื้อปอดจำลอง เป็นการต่อยอดการทำงานจากสูตรยางธรรมชาติที่ใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย เรื่อง “หุ่นจำลองระบบโพรงจมูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดผลการของแพทย์” ในการทำหุ่นเจาะปอดนี้ต้องการ โครงสร้างที่รับน้ำหนักของถึงบรรจุสารน้ำที่มีน้ำหนักมาก ดังนั้นการผสมส่วนผสมน้ำยางคอมปาวด์จะผสม เพียงเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากัน จะไม่อัดฟองอากาศ และไม่ใช้สารเพิ่มฟอง เพื่อให้ยางมีความคงตัว และมีความหนาแน่น ไม่ยุบตัวลง (ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4) ในการขึ้นรูปยางเพื่อเป็นปอดจำลองนั้นจะใช้กระบวนการหล่อ โดยจะต้องนำยางมาทดสอบสมบัติต่างๆ ทั้งสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และความพึงพอใจต่อผู้ใช้งาน โดยสมบัติที่ต้องทำการทดสอบได้แก่

- ความต้านทานต่อแรงกด การยุบตัวจากแรงกด
- ความแข็ง
- ความทนต่อแรงดึง และ การยืดตัว ณ จุดขาด
- ความพึงพอใจต่อผู้ใช้งาน

ตารางที่ 4. 3 สารเคมีที่ใช้ในส่วนประกอบของยางคอมปาวด์ในการทำหุ่นยางเจาะปอด

| สารเคมี - ดีเอสพีชชั่น | หน้าที่                    |
|------------------------|----------------------------|
| 60% น้ำยาง             | นำยางพารา                  |
| 10% Potassium oleate   | สารช่วยให้เกิดฟอง          |
| 50% Sulfur (กำมะถัน)   | สารทำให้ยางคงรูป (แข็งตัว) |
| 50% ZDEC               | สารตัวเร่งให้ยางสุก        |
| 50% ZMBT               | สารตัวเร่งให้ยางสุก        |
| 50% WS-L (Wingstay L)  | สารกันยางเสื่อม            |
| 33% DPG                | สารตัวเร่งให้ยางสุก        |
| 50% ZnO                | สารกระตุ้นตัวเร่ง          |
| 12.5% SSF              | สารช่วยให้ฟองจับตัว        |

ตารางที่ 4.4 แสดงสูตรสารเคมีที่ใช้สูตรทำหุ่นยางจะปอดโดยปรับสูตรการใส่สารเพิ่มฟอง

| สารเคมี - ดิสเพนซ์    | สูตร ที่ 1 | สูตร ที่ 2 | สูตร ที่ 3 |
|-----------------------|------------|------------|------------|
| 60% น้ำยาง            | 501        | 501        | 501        |
| 10% potassium oleate  | 54         | 59         | 65         |
| 50% Sulfur (กำมะถัน)  | 12         | 12         | 12         |
| 50% ZDEC              | 6          | 6          | 6          |
| 50% ZMBT              | 6          | 6          | 6          |
| 50% WS-L (Wingstay L) | 6          | 6          | 6          |
| 33% DPG               | 6          | 6          | 6          |
| 50% ZnO               | 30         | 30         | 30         |
| 12.5% SSF             | 24         | 24         | 24         |

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการยุบตัวเมื่อใส่ถังบรรจุสารน้ำที่ 10 ลิตร

| ชนิดยาง<br>คอมปาวด์ | ผลการทดสอบ<br>ด้านความนุ่ม | ผลการทดสอบ<br>ครั้งที่ 1                                | ผลการทดสอบ<br>ครั้งที่ 2                                | ผลการทดสอบ<br>ครั้งที่ 3                                | ค่าเฉลี่ยในการ<br>ยุบตัวของยาง |
|---------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------|
| สูตรที่ 1           | แข็งมากขึ้น                | ยุบตัว 9 มม.<br>กินตัวได้ดี                             | ยุบตัว 7 มม.<br>กินตัวได้ดี                             | ยุบตัว 7 มม.<br>กินตัวได้ดี                             | 7.66 มม.                       |
| สูตรที่ 2           | นุ่ม                       | ยุบตัว 13 มม.<br>กินตัวได้ดี                            | ยุบตัว 12 มม.<br>กินตัวได้ดี                            | ยุบตัว 13 มม.<br>กินตัวได้ดี                            | 12.66 มม.                      |
| สูตรที่ 3           | นุ่มมาก                    | ยุบตัวมากที่สุด<br>18 มม.<br>ไม่รองรับ<br>น้ำหนักที่มาก | ยุบตัวมากที่สุด<br>16 มม.<br>ไม่รองรับ<br>น้ำหนักที่มาก | ยุบตัวมากที่สุด<br>19 มม.<br>ไม่รองรับ<br>น้ำหนักที่มาก | 17.66 มม.                      |

ตารางที่ 4.6 แสดงสูตรสารเคมีที่ใช้สูตรทำหุ่นยางเจาะปอดที่เหมาะสมในการผลิต

| สารเคมี - ดิสเพนส์    | ปริมาณ (g.) | ร้อยละ |
|-----------------------|-------------|--------|
| 60% น้ำยาง            | 501         | 77.67  |
| 10% potassium oleate  | 54          | 8.37   |
| 50% Sulfur (กำมะถัน)  | 12          | 1.87   |
| 50% ZDEC              | 6           | 0.93   |
| 50% ZMBT              | 6           | 0.93   |
| 50% WS-L (Wingstay L) | 6           | 0.93   |
| 33% DPG               | 6           | 0.93   |
| 50% ZnO               | 30          | 4.65   |
| 12.5% SSF             | 24          | 3.72   |

โครงสร้างภายนอกของหุ่นจำลองการเจาะปอดเพื่อใส่ท่อระบายน้ำออกจากช่องเยื่อหุ้มปอดจากยางธรรมชาติทำจากส่วนผสมยางคอมปาวด์ ส่วนผิวหนังด้านข้างจะจำลองผิวหนังภายนอกของร่างกายมนุษย์ โดยจะเลือกใช้ยางพาราแท่ง การพัฒนาสูตรยางที่ใช้ทำโครงสร้างร่างกาย ทำจากน้ำยางพาราชั้น 60% ที่ใช้สูตรต่อ ยอดจากโครงการวิจัย เรื่อง “หุ่นจำลองระบบโพรงจมูกและช่องปากอัจฉริยะจากยางพาราเพื่อฝึกหัดการของแพทย์” ที่ได้รับการจัดสรรทุนในการดำเนินโครงการในปี พ.ศ. 2556 เพื่อจะปรับปรุงให้มีสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับผิวหนังภายนอกของช่วงร่างกายและทรวงอกมนุษย์ โดยจะทำการปรับปรุงสูตรยาง โดยทำการปรับปรุงปริมาณของปริมาณโพแทสเซียมโอเลเอท ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดฟอง เพื่อปรับปรุงสมบัติความนุ่มและฟูของเนื้อยาง ให้ได้ผิวสัมผัสที่มีความเหมาะสม และมีความสามารถในการรับแรงกดที่เหมาะสม นอกจากนี้จะทำการปรับปรุงสมบัติเชิงกลในเรื่องของความต้านทานต่อแรงกดและการเจาะทะลุ โดยเปรียบเทียบระหว่างการสarn้ำสนุ และไม้ใส่ และตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของถังน้ำที่บรรจุภายใน และอุปกรณ์ หน้าก 10 ลิตร โดยสูตรที่เหมาะสมเป็นสูตรที่มีส่วนผสมของ 10% potassium oleate 8.37 โดยมีค่าเฉลี่ยของยางที่ยุบตัวลงโดยเฉลี่ย 7.66 มม. (ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6)

นอกจากนี้ภายในปอดจำลอง จะมีถังบรรจุของเหลวทำจากไฟเบอร์กลาส เนื่องจากเป็นถังที่มีรูปร่างคงตัว สามารถบรรจุของเหลว ไม่รั่วง่าย และมีน้ำหนักเบากว่าโลหะสามารถบรรจุเข้าไปพร้อมการหล่อยางได้ โดยถังไฟเบอร์กลาสทำหน้าที่จำลองระบบเลือดและของเหลวในร่างกายที่อยู่ในปอด โดยถังบรรจุของเหลวนี้จะบรรจุมาตรวัดความดัน ติดตั้งเซ็นเซอร์ในการตรวจจับวัตถุที่ผ่านเข้ามา รวมถึงใช้วาล์วกันซึมเพื่อควบคุมมิให้เกิดการล้นทะลักของน้ำถึงสองชั้น โดยใช้ระบบการปั้มน้ำ และการใช้ระบบวงจรตั้งเวลาในการตัดน้ำเพื่อไม่ให้ น้ำค้างในระบบจะเกิดความเสียหายต่อระบบ และทำให้เปราะเปื้อน และสามารถรีเซ็ตวงจรเพื่อรองรับการทำหัตถการครั้งต่อไป (รายละเอียดในผลการทดลองวงจรและเซ็นเซอร์)

#### 4.3.1 อุปกรณ์และวิธีทดลองการผลิตแผ่นปะสีข้างลำตัวจากยางธรรมชาติ

การพัฒนาชิ้นยางที่ใช้ปะบริเวณสีข้างของลำตัว โดยคุณสมบัติยางจะต้องลดคุณสมบัติความเหนียวของชิ้นงานที่ใช้ปะสีข้างของปอด เพื่อให้แพทย์ได้ฝึกหัดให้ยางมีความเหนียวที่ใกล้เคียงกับผิวของมนุษย์ ในงานวิจัยนี้ใช้ยางธรรมชาติในรูปของ ยางแท่ง STR 5 (Standard Thai Rubber 5; ที่มาบริษัท ศรีตรัง จำกัด ประเทศไทย) ทำการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติโดยใช้กำมะถัน (sulphur) เป็นสารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agent) ใช้สารเร่งปฏิกิริยา (accelerators) ได้แก่ 2-Mercaptobenzothiazole (MBT) และ Diphenylguanidine (DPG) ใช้สารกระตุ้นปฏิกิริยา (activators) ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) และกรดสเตียริก (stearic acid) ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ สารตัวเติม (filler) ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต และทัลคัม

#### 4.3.2 การผสมยางธรรมชาติกับสารเคมี

ในขั้นตอนการผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีนี้ โดยการจะใช้การบดยางธรรมชาติให้นิ่ม (mastication) เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) รุ่น YFTR 8" (YFH - 8" × 18"L; ที่มา บริษัท ยง ฟง แมชชีนเนอรี จำกัด ประเทศไทย) เพื่อให้ส่วนผสมต่างๆของยางเข้ากันได้ดีเป็นเวลา 5 นาที ในกระบวนการผสมยางกับสารเคมี (compounding) ยางธรรมชาติจะถูกบดผสมกับสารที่ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ และทัลคัมหรือแคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งเป็นเวลา 25 นาที อัตราส่วนของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการผสม แสดงในตารางที่ 6 ชิ้นงานยางตัวอย่างขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (compression molding machine) ของ บริษัท ยง ฟง แมชชีนเนอรี จำกัด ประเทศไทย ที่ความดัน 150 kgf/cm<sup>2</sup> อุณหภูมิ 150 °C ตามระยะเวลาการคงรูปที่วัดได้จากเครื่อง moving die rheometer (MDR)

ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราส่วนของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการผสมยาง

| สารเคมี                       | ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ (phr) |
|-------------------------------|------------------------------|
| ยางธรรมชาติ (STR5)            | 100                          |
| ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide)     | 3                            |
| กรดสเตียริก (stearic acid)    | 1                            |
| Diphenylguanidine (DPG)       | 0.2                          |
| 2-Mercaptobenzothiazole (MBT) | 0.5                          |
| กำมะถัน (sulphur)             | 2.5                          |
| ทัลคัม หรือ แคลเซียมคาร์บอเนต | 30,40, 50 และ 60             |

#### 4.3.3 การทดสอบสมบัติของยาง

การทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) ของยางคอมปาวด์ วัดโดยใช้เครื่อง Mooney viscometer (รุ่น MV-3 ; ที่มา Beijing RADE Instrument Corporation Limited ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน) ตามมาตรฐาน ASTM D 1646-00 และวัดพฤติกรรมการคงรูปของยางวัดโดยใช้ moving die rheometer (MDR) รุ่น GT - M2000 ของ Gotech testing Machines, Inc. ประเทศไต้หวัน ตามมาตรฐาน ASTM D 5289-00 ที่อุณหภูมิ 150 °C สมบัติของยางคงรูปที่ทดสอบได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ทดสอบโดยใช้ electronic densimeter รุ่น MD-300S ของ Alfa Mirage Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น ความแข็ง (hardness) ของยางตามมาตรฐาน ASTM D2240-00 โดยใช้ Shore durometer รุ่น 473 ของ Pacific Transducer Crop. ประเทศสหรัฐอเมริกา สมบัติความทนแรงดึง (Tensile properties) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412-00 โดยใช้ universal testing machine รุ่น type EZ20 ของ Lloyd Instruments Ltd ประเทศอังกฤษ

#### 4.3.4 ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการแสดงพฤติกรรมการคงรูปของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) และทัลคัม จากผลการทดลองพบว่าการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตและทัลคัมลงในยางธรรมชาติ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเวลาเริ่มคงรูป (scorch time;  $ts_1$ ) และเวลาที่ใช้ในการคงรูป 9cure time;  $tc_{90}$ ) ของยางธรรมชาติ (ดังตารางที่ 4.7)

ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต และทัลคัมในปริมาณต่างๆ มีผลต่อความถ่วงจำเพาะที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต และทัลคัม มีความหนาแน่นมากกว่ายางธรรมชาติ ดังนั้นเมื่อเติมสารดังกล่าวเข้าไปในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะในยางคอมปาวด์จากธรรมชาติมีค่าเพิ่มมากขึ้น (ดังตารางที่ 4.9)

การทดสอบความแข็งของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและทัลคัม เมื่อยางธรรมชาติ ที่เติมสารตัวเติมที่มีส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต จะส่งผลให้ยางคอมปาวด์มีความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมสารตัวเติม เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารอนุภาคเป็นของแข็ง ซึ่งมีความแข็งมากกว่ายางธรรมชาติ เมื่อเติมในยางธรรมชาติจะทำให้ยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติมีแนวโน้มความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณการเติมสารตัวเติม ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างยางธรรมชาติที่เติมทัลคัมจะสังเกตได้ว่ายางธรรมชาติที่เติมทัลคัมจะมีความแข็งขึ้นตามปริมาณการเติมสารตัวเติมเกิดจากทัลคัมมีอนุภาคเป็นของแข็งซึ่งมีความแข็งมากกว่ายางธรรมชาติเช่นเดียวกัน เมื่อเติมในยางธรรมชาติจะทำให้ยางธรรมชาติมีแนวโน้มความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามปริมาณการเติมสารตัวเติม โดยที่สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตให้ความแข็งแรงของยางคอมปาวด์ได้สูงกว่าสารตัวเติมจากทัลคัล (ดังตารางที่ 4.10)

การทดสอบคุณสมบัติความทนต่อแรงดึงของยางคอมปาวด์ จากยางธรรมชาติเมื่อเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) และทัลคัม จากผลการทดลองพบว่าค่า 100 % มอดูลัสเพิ่มสูงขึ้น แปรผันตามเติมสารตัวเติมที่เพิ่มมากขึ้นทั้งแคลเซียมคาร์บอเนตและทัลคัม กล่าวคือสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตและทัลคัม เป็นสารที่มีอนุภาคเป็นของแข็ง ซึ่งสามารถไปแทรกตัวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางคอมปาวด์จากธรรมชาติ ส่งผลให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำให้ยางคอมปาวด์มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มากขึ้น การทดสอบสมบัติค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ผลการทดลองพบว่าเมื่อสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมในส่วนผสม 30 phr จะช่วยปรับปรุงสมบัติความทนต่อแรงดึงของยางคอมปาวด์จากยางธรรมชาติ ให้มีค่าทนต่อแรงดึงสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตมีพฤติกรรมเป็นสารตัวเติมกึ่งเสริมแรง (semi-reinforce filler) เติมมากกว่า 40 phr ขึ้นไปสมบัติความทนต่อแรงดึงจะลดลงและลดลงอย่างมากเมื่อเติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงไปในยางคอมปาวด์จากธรรมชาติ เป็นสารที่มีอนุภาคนขนาดใหญ่ จึงเกิดการกระจายตัวที่ไม่ดี จึงทำให้ไม่เสริมแรงในยางและทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าลดลง ในส่วนของทัลคัมเมื่อเติมลงในยางธรรมชาติมีแนวโน้มการต้านแรงดึงลดลงเพราะทัลคัมไม่เสริมแรงในยาง (ดังตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.8 แสดงพฤติกรรมการคงรูปของยางธรรมชาติที่มีการเติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

| ปริมาณสาร (phr) | $\text{CaCO}_3$       |                        | ทัลคัม                |                        |
|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
|                 | $t_{s1}$<br>(min.sec) | $t_{c90}$<br>(min.sec) | $t_{s1}$<br>(min.sec) | $t_{c90}$<br>(min.sec) |
| 30              | 1.28                  | 2.17                   | 1.35                  | 2.37                   |
| 40              | 1.34                  | 2.33                   | 1.27                  | 2.15                   |
| 50              | 1.38                  | 2.37                   | 1.32                  | 2.33                   |
| 60              | 1.22                  | 2.40                   | 1.30                  | 2.33                   |

ตารางที่ 4.9 แสดงความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของยางธรรมชาติที่มีการเติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

| ปริมาณสาร (phr) | ความถ่วงจำเพาะ  |        |
|-----------------|-----------------|--------|
|                 | $\text{CaCO}_3$ | ทัลคัม |
| 30              | 1.10            | 1.12   |
| 40              | 1.15            | 1.17   |
| 50              | 1.17            | 1.10   |
| 60              | 1.18            | 1.21   |

ตารางที่ 4.10 แสดงความแข็ง (Hardness) ของยางธรรมชาติที่มีการเติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

| ปริมาณสาร (phr) | ความแข็ง (Shore A) |        |
|-----------------|--------------------|--------|
|                 | $\text{CaCO}_3$    | ทัลคัม |
| 30              | 43                 | 45     |
| 40              | 46                 | 49     |
| 50              | 48                 | 50     |
| 60              | 50                 | 53     |

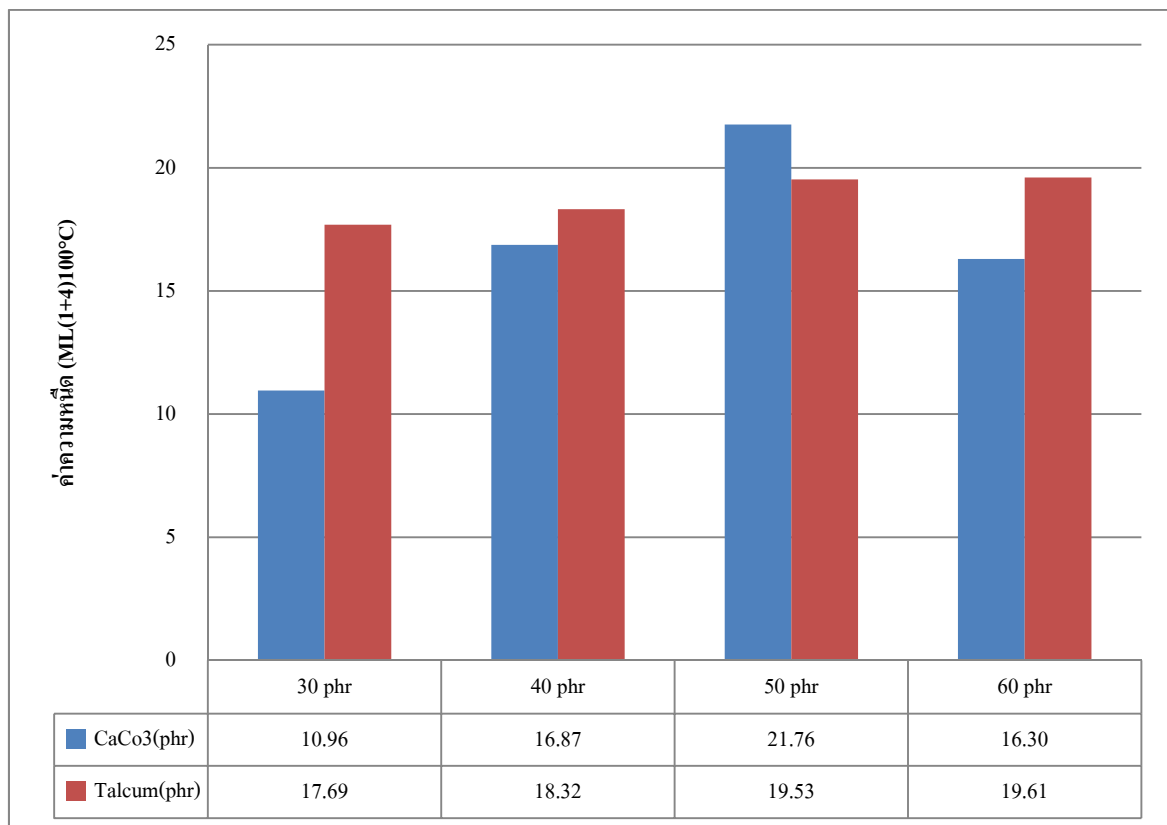
ตารางที่ 4.11 แสดงสมบัติความทนต่อแรงดึง (tensile properties) ของยางธรรมชาติที่มีการเติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

| ปริมาณสาร<br>(phr) | $\text{CaCO}_3$          |                              |                               | ทัลคัม                   |                              |                               |
|--------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                    | 100%<br>Modulus<br>(MPa) | Tensile<br>Strength<br>(MPa) | Elongation<br>at Break<br>(%) | 100%<br>Modulus<br>(MPa) | Tensile<br>Strength<br>(MPa) | Elongation<br>at Break<br>(%) |
| 30                 | 1.1                      | 20.4                         | 674                           | 1.1                      | 16.4                         | 661                           |
| 40                 | 1.2                      | 18.6                         | 647                           | 1.2                      | 14.8                         | 628                           |
| 50                 | 1.2                      | 18.5                         | 650                           | 1.2                      | 13.3                         | 620                           |
| 60                 | 1.2                      | 18.3                         | 646                           | 1.2                      | 13.0                         | 618                           |

#### 4.3.5 ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity)

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) ของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

| ปริมาณ (phr) | $\text{CaCO}_3$ (phr)<br>ค่าความหนืด (ML(1+4)100°C) | Talcum (phr)<br>ค่าความหนืด (ML(1+4)100°C) |
|--------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 30 phr       | 10.96                                               | 17.69                                      |
| 40 phr       | 16.87                                               | 18.32                                      |
| 50 phr       | 16.75                                               | 19.53                                      |
| 60 phr       | 16.30                                               | 19.61                                      |

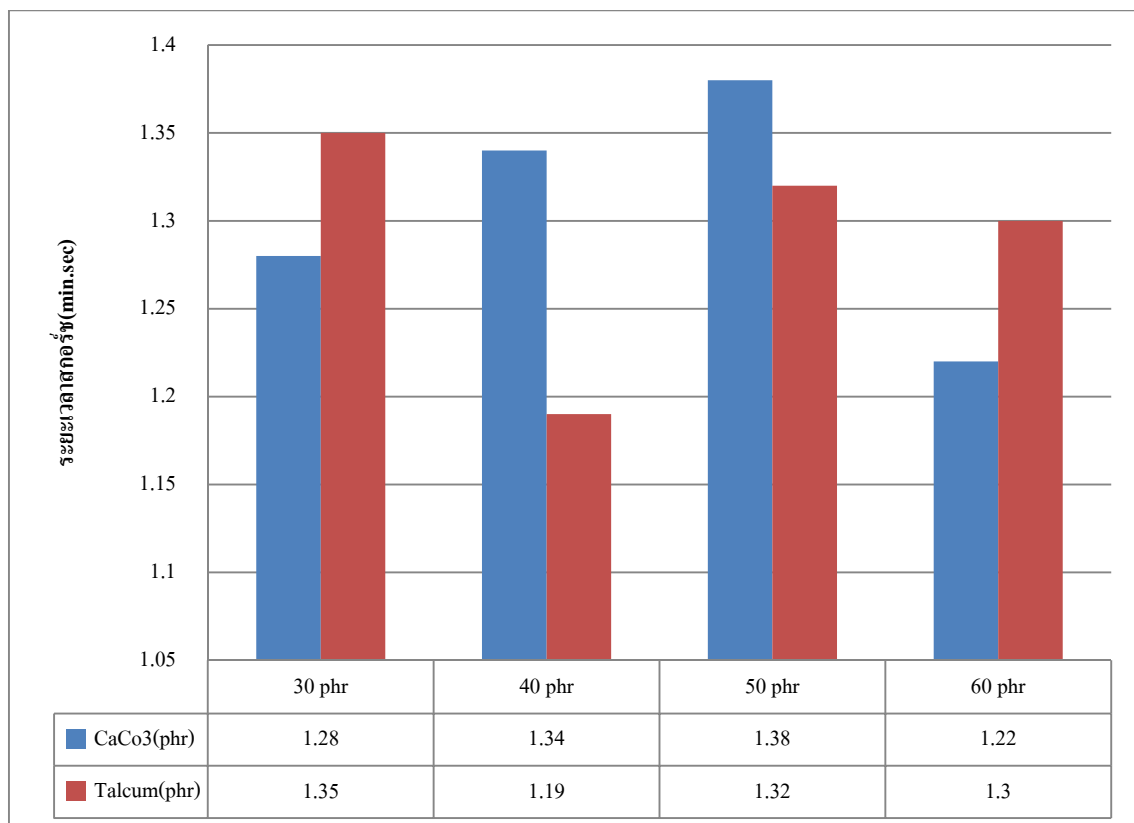


แผนภูมิที่ 4.2 แสดงค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) ของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

#### 4.3.6 การทดสอบหาระยะเวลาที่ยังเริ่มคงรูป (Scorch Time)

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าระยะเวลาที่ยังเริ่มคงรูป (Scorch Time) ของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

| ปริมาณ (phr) | $\text{CaCO}_3$ (phr)<br>ระยะเวลาสกอร์ช(min.sec) | Talcum(phr)<br>ระยะเวลาสกอร์ช(min.sec) |
|--------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 0 phr        | 1.28                                             | 1.35                                   |
| 10 phr       | 1.34                                             | 1.19                                   |
| 10 phr       | 1.38                                             | 1.32                                   |
| 30 phr       | 1.22                                             | 1.3                                    |

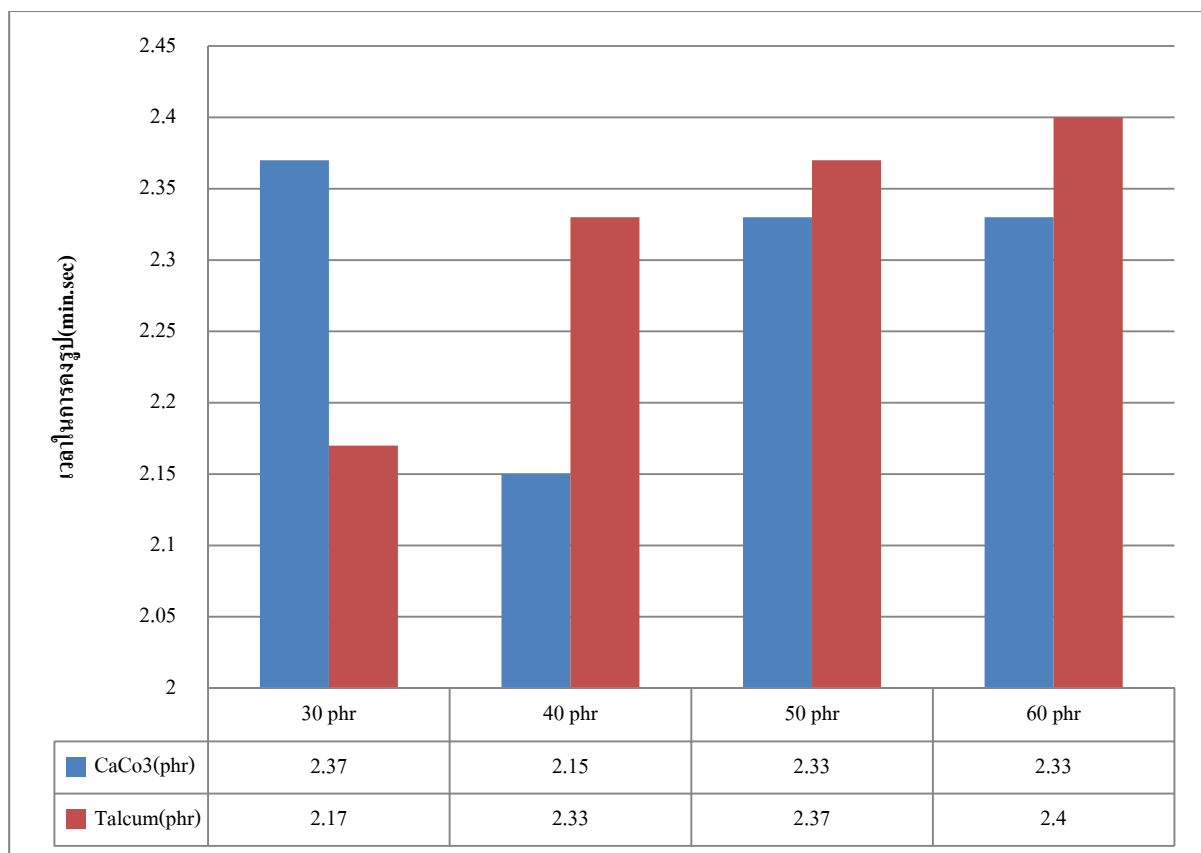


แผนภูมิที่ 4.3 แสดงระยะเวลาที่ยังเริ่มคงรูป (Scorch Time) ของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

#### 4.3.7 การทดสอบหาเวลาในการคงรูป (Cure Time)

ตารางที่ 4.14 ค่าเวลาในการคงรูป (Cure Time) ของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

| ปริมาณ $\text{CaCO}_3$ (phr) | เวลาในการคงรูป(min.sec) | เวลาในการคงรูป(min.sec) |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 30 phr                       | 2.37                    | 2.17                    |
| 40 phr                       | 2.15                    | 2.33                    |
| 50 phr                       | 2.33                    | 2.37                    |
| 60 phr                       | 2.33                    | 2.4                     |

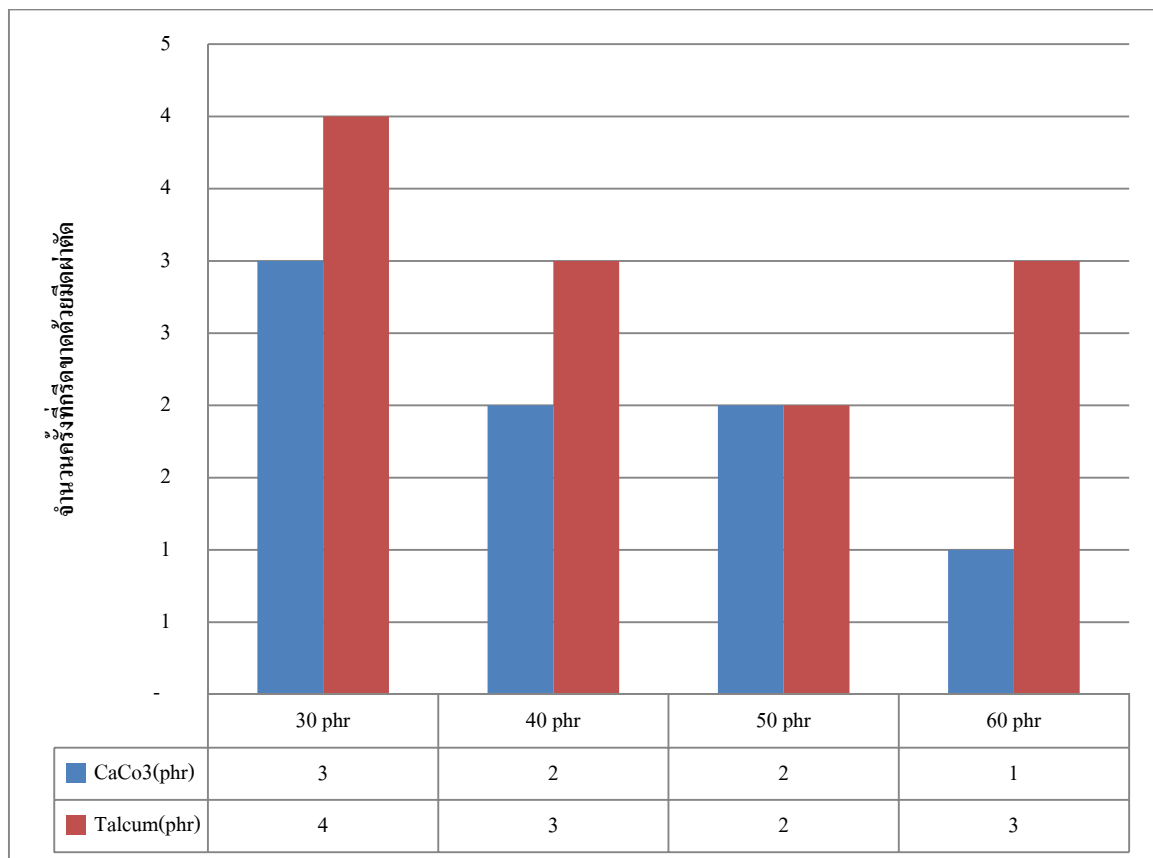


แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่าเวลาในการคงรูป (Cure time) ของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

#### 4.3.8 การทดสอบจำนวนครั้งที่กรีดขาดด้วยมีดผ่าตัด

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าครั้งจำนวนครั้งที่กรีดขาดของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

| ปริมาณ (phr) | $\text{CaCO}_3$<br>ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งที่กรีดขาด<br>(ครั้ง) | Talcum<br>ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งที่กรีดขาด<br>(ครั้ง) |
|--------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 30 phr       | 3                                                           | 4                                                  |
| 40 phr       | 2                                                           | 3                                                  |
| 50 phr       | 2                                                           | 2                                                  |
| 60 phr       | 1                                                           | 3                                                  |



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงครั้งจำนวนครั้งที่กรีดขาดของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum

ตารางที่ 4.16 แสดงการกรีดยาของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum ในปริมาณต่าง ๆ

|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม <math>\text{CaCO}_3</math><br/>ปริมาณ 30 phr กรีด 1 ครั้ง</p>  |  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม <math>\text{CaCO}_3</math><br/>ปริมาณ 30 phr กรีดจนขาด</p>   |
|  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม <math>\text{CaCO}_3</math><br/>ปริมาณ 40 phr กรีด 1 ครั้ง</p> |  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม <math>\text{CaCO}_3</math><br/>ปริมาณ 40 phr กรีดจนขาด</p>  |
|  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม <math>\text{CaCO}_3</math></p>                               |  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม <math>\text{CaCO}_3</math><br/>ปริมาณ 50 phr กรีดจนขาด</p> |

ตารางที่ 4.16 แสดงการกรีดยางของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum ในปริมาณต่าง ๆ (ต่อ)



รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม  $\text{CaCO}_3$   
ปริมาณ 60 phr กรีด 1 ครั้ง



รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม  $\text{CaCO}_3$   
ปริมาณ 60 phr กรีดจนขาด



รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม Talcum  
ปริมาณ 30 phr กรีด 1 ครั้ง



รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม Talcum  
ปริมาณ 30 phr กรีดจนขาด



รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม Talcum  
ปริมาณ 40 phr กรีด 1 ครั้ง



รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม Talcum  
ปริมาณ 40 phr กรีดจนขาด

ตารางที่ 4.16 แสดงการกรีดยางของยางธรรมชาติที่เติม  $\text{CaCO}_3$  และ Talcum ในปริมาณต่าง ๆ (ต่อ)

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม Talcum<br/>ปริมาณ 50 phr กรีดยาง 1 ครั้ง</p>  |  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม Talcum<br/>ปริมาณ 50 phr กรีดยางจนขาด</p>  |
|  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม Talcum<br/>ปริมาณ 60 phr กรีดยาง 1 ครั้ง</p> |  <p>รูปชิ้นงานของยางธรรมชาติผสม Talcum<br/>ปริมาณ 60 phr กรีดยางจนขาด</p> |

### สรุปผลการทดลอง

สรุปผลได้ว่ายางธรรมชาติที่ผสม  $\text{CaCO}_3$  มีลักษณะนิ่มกว่า และมีความคล้ายหนังมนุษย์กว่ายางธรรมชาติที่ผสม Talcum และยางธรรมชาติผสม  $\text{CaCO}_3$  ในปริมาณ 60 phr สามารถกรีดยางด้วยมีดผ่าตัดได้ง่ายที่สุด การปรับปรุงยางวัลคาไนซ์ที่ได้ให้มีความนิ่มมากขึ้นโดยการใช้น้ำมันหรือสารทำให้ยางนิ่ม และมีการปรับขนาดของชิ้นงานตัวอย่างให้มีความบางประมาณ 1 mm เพื่อใกล้เคียงกับชิ้นผิวหนังมนุษย์

ตารางที่ 4.17 แสดงชิ้นงานจากยางธรรมชาติที่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) และ Talcum

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |  |
| CaCo3 30 phr                                                                        | CaCo3 40 phr                                                                        | CaCo3 50 phr                                                                        |
|    |    |  |
| CaCo3 60 phr                                                                        | Talcum 30 phr                                                                       | Talcum 40 phr                                                                       |
|  |  |                                                                                     |
| Talcum 50 phr                                                                       | Talcum 60 phr                                                                       |                                                                                     |



แผนภาพที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการขึ้นรูปและรีดยางแผ่นจากยางธรรมชาติ

ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมในการนำมาผลิตแผ่นแปะข้างลำตัว โดยเลือกใช้สารที่เดิมคือแคลเซียมคาร์บอเนต ได้แก่สูตรในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงสูตรยางแผ่นแปะข้างลำตัว

| สารเคมี                       | ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ (phr) |
|-------------------------------|------------------------------|
| ยางธรรมชาติ (STR5)            | 100                          |
| ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide)     | 3                            |
| กรดสเตียริก (stearic acid)    | 1                            |
| Diphenylguanidine (DPG)       | 0.2                          |
| 2-Mercaptobenzothiazole (MBT) | 0.5                          |
| กำมะถัน (sulphur)             | 2.5                          |
| แคลเซียมคาร์บอเนต             | 60                           |

#### 4.4 การติดตั้งแผงวงจรและระบบเซ็นเซอร์

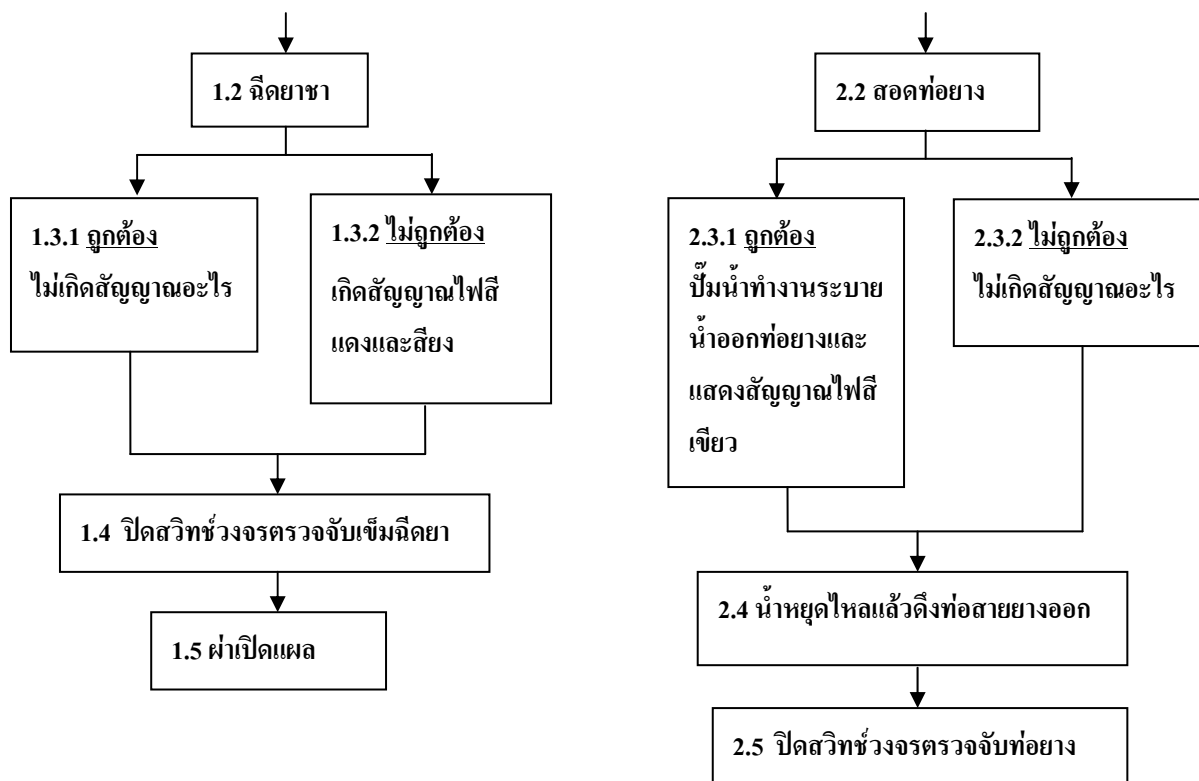
การจำลองการทำงานหุ่นจำลองทางการแพทย์ การนิตยสาและระบายน้ำออกในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นการแพทย์จำลองขั้นตอนการนิตยสาและระบายน้ำออกจากปอด ควบคุมการทำงานโดยวงจรไฟฟ้าซึ่งมี 2 ระบบทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับเซ็นเซอร์ เพื่อทดแทนการปฏิบัติงานกับผู้ป่วยจริงทำให้ผู้ศึกษาและฝึกฝนมีความชำนาญเฉพาะทางในเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการรักษาผู้ป่วยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การนิตยสา มีวงจรไฟฟ้าและอุปกรณ์เซ็นเซอร์ควบคุมการทำงานคอยตรวจจับเข็มนิตยสาและแสดงสัญญาณเตือนถ้าทำไม่ถูกต้อง โดยคุณหมจะต้องนิตยสาให้ถูกที่บริเวณซี่โครงที่ 5-6 กลางทำตัวของหุ่นให้ถูกต้อง เริ่มต้นโดยการกดสวิทช์เปิดการทำงานวงจรตรวจจับเข็มนิตยสา ต่อจากนั้นทำการนิตยสาให้ถูกที่ในบริเวณซี่โครงที่ได้กล่าวเอาไว้แล้วโดยไม่ทำให้เกิดสัญญาณใดๆ ขึ้นเป็นการจำลองการนิตยสาเพื่อที่จะลงมือฝึกจริง เพื่อจำลองการเปิดแผลผ่าตัดอย่างถูกวิธี ในกรณีที่ทำการนิตยสาผิดตำแหน่งเข็มนิตยสาไปโดนบริเวณตำแหน่งซี่โครงที่ 3-4 และ 7 ซึ่งปกติในการทำหัตถการในผู้ป่วยจริงจะมีความเสี่ยงเจาะผิดตำแหน่งและเกิดอันตรายต่อผู้ป่วยได้ การจำลองการผ่าตัดจริงเพื่อให้แพทย์ได้ฝึกหัดจนเกิดความชำนาญก่อนไปทำหัตถการในคนจริง โดยงานวิจัยนี้ใช้แผงโลหะเซ็นเซอร์จะบรรจุไว้ในบริเวณอื่นที่เป็นตำแหน่งที่ผิด เพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับสัญญาณเมื่อเข็มนิตยสาเข้าใกล้ตำแหน่งที่ผิด ระบบเมื่อตรวจจับสัญญาณจากเข็มนิตยสาเมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งหลอก ระบบจะทำให้เซ็นเซอร์ทำงานส่งไปยังแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟสีแดง พร้อมเสียงบ๊ซเซอร์เตือนแสดงการทำผิด (รายละเอียดแสดงในวงจรตรวจจับเข็มนิตยสา)

ขั้นตอนที่ 2 การระบายน้ำออกจากปอด มีวงจรไฟฟ้าและอุปกรณ์เซ็นเซอร์ควบคุมการทำงานคอยตรวจจับท่อหยดที่สอดเข้าระหว่างซี่โครงแล้วระบายน้ำออกมาทางท่อสายยาง โดยคุณหมจะต้องระบายน้ำออกมาให้ได้ถูกต้อง เริ่มต้นโดยการกดสวิทช์เปิดการทำงานวงจรตรวจจับท่อหยด ต่อจากนั้นทำการสอดท่อ

ยางเข้าบริเวณรูที่ผ่าเปิดแผลเอาไว้บริเวณซี่โครงที่ 3 เมื่อสอดท่อเข้าไปผ่านเซ็นเซอร์ วงจรไฟฟ้าจะทำการเปิดปั๊มน้ำตามเวลาที่กำหนดเอาไว้ 5 วินาทีและแสดงสัญญาณไฟสีเขียวเป็นการจำลองการระบายน้ำออกจากปอด เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานแล้วดึงสายยางออกเป็นการสิ้นสุดการทำงาน (รายละเอียดแสดงในวงจรตรวจจับท่อยาง)

หมายเหตุ : วงจรทั้งสองไม่สามารถเปิดพร้อมกันได้เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กรบกวนกันซึ่งจะทำให้ปั๊มน้ำทำงาน

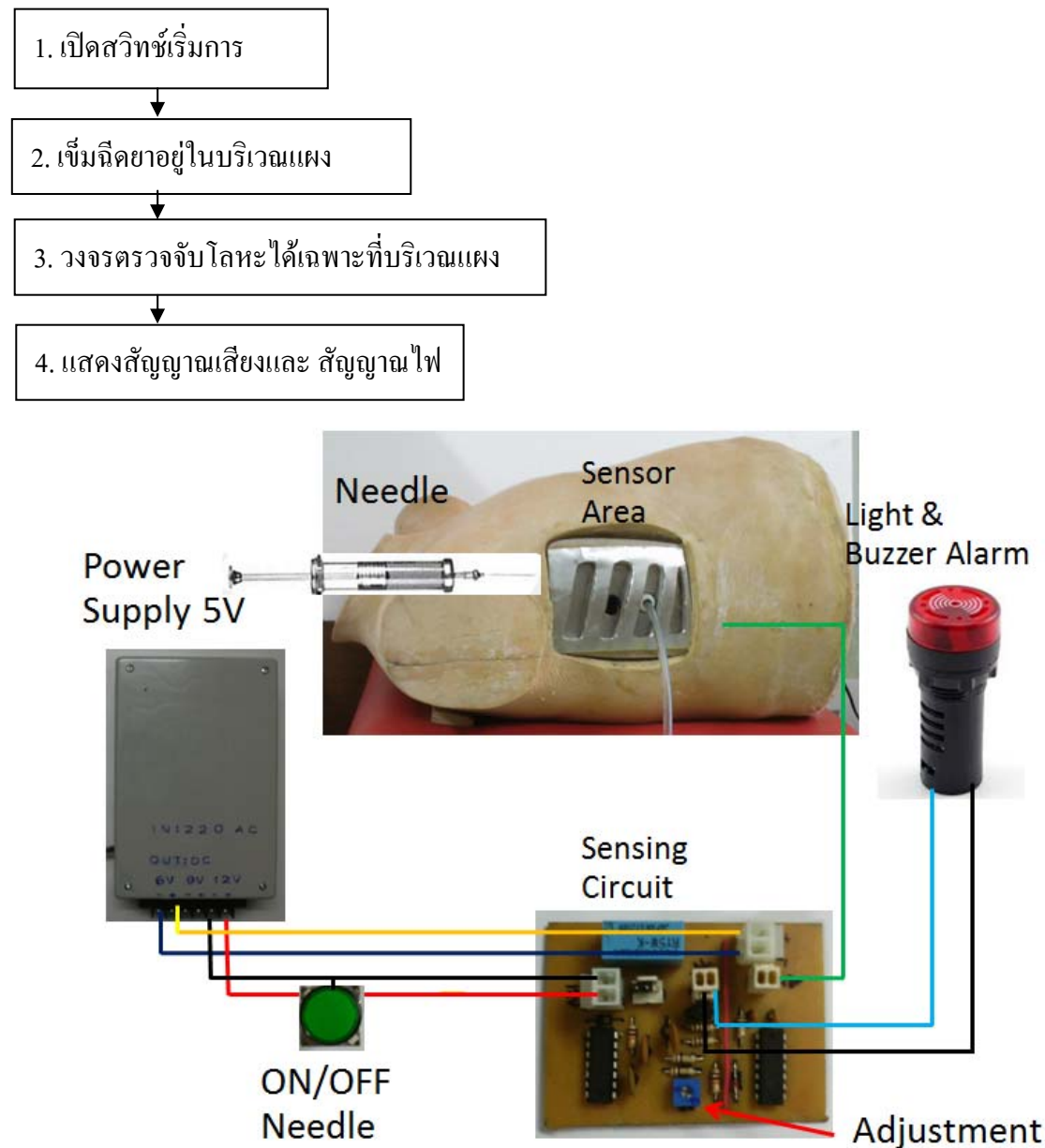


แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการทำงานหุ่นการแพทย์จำลองการฉีดยาและระบายน้ำออกจากปอด

#### 4.4.1 วงจรตรวจจับตำแหน่งเข็มฉีดยา

การทำงานของวงจรตรวจจับตำแหน่งเข็มฉีดยา วงจรกำเนิดสัญญาณตรวจจับโลหะสามารถตรวจจับเข็มฉีดยา โดยติดตั้งตำแหน่งเซ็นเซอร์ไว้ในตำแหน่งที่ฉีดยาได้อย่างถูกต้อง เมื่อฉีดยาจริงเข็มที่อยู่ในบริเวณแผงเซ็นเซอร์ วงจรจะตรวจจับได้และส่งสัญญาณไปยังระบบกำเนิดสัญญาณเสียง และแสดงสัญญาณไฟแสดง ดังแสดงการทำงานในแผนภาพ Diagram ด้านล่าง

ภาพการใช้งานและDiagram:



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงวงจรการทำงานของระบบเตือนการฉีดยาโดยเข็มฉีดยาและแผงวงจร

หมายเหตุ : ระบบ Adjustment ใช้สำหรับปรับตั้งเซ็นเซอร์ โดยการปรับปุ่มใช้ไขควงสี่แฉกขนาดเล็กหมุนตามเข็มนาฬิกา ซ้ำๆเมื่อมีเสียงสัญญาณไฟเกิดขึ้นให้หมุนกลับทางเพียงเล็กน้อยให้สัญญาณไฟดับลงแล้วทดสอบการตอบสนองของ เซ็นเซอร์ทำงานได้ถูกต้อง

#### 4.4.2 วงจรการตรวจจับตัวอย่างระบายเลือดจากช่องปอด

##### การทำงานของวงจรตรวจจับตัวอย่างระบายเลือด

ติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ข้างท่อน้ำ วงจรสามารถตรวจจับตัวอย่างเมื่อเคลื่อนที่ผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดอยู่ข้างท่อน้ำ วงจรจะส่งสัญญาณไปเปิดวงจรตั้งเวลา เพื่อเปิดและปิดปั๊มน้ำโดยแสดงสัญญาณไฟสีเขียวในเวลาที่กำหนด 5 วินาที เมื่อครบกำหนดจะปิดวงจรทำให้ไฟสีเขียวดับ ปั๊มน้ำจะถูกตัดเพื่อทำให้น้ำไม่กั่งในระบบ เมื่อน้ำตัวอย่างออกมาจะเป็นการเริ่มต้นการทำงานของวงจรใหม่ มีสวิทช์เปิดหรือปิดเมื่อเริ่มการทำงานหรือเลิกการทำงาน

##### ภาพการใช้งานและDiagram:



##### 3. พร็อกซิมิตีสวิทช์ (Proximity Switch)

คือ เซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานหรือวัตถุภายนอก

Size: diameter 30mm, length 70 mm

Detection distance: 10mm

Voltage: DC6-36V 3-wire

Output: NPN, Normal Open proximity switch

##### 4. เครื่องตั้งเวลา บอร์ด

สำหรับตั้งเวลา 10A 12V

Relay Self-lock Cycle

Timer Module

##### 5. ปั๊มน้ำดีซี สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

ปั๊มน้ำได้สูงสุด 80 - 120 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะปั๊มน้ำ ไม่เกิน 40 -110 เซนติเมตร

Working voltage range: 3V-6V

Power: 0.4-1.5w

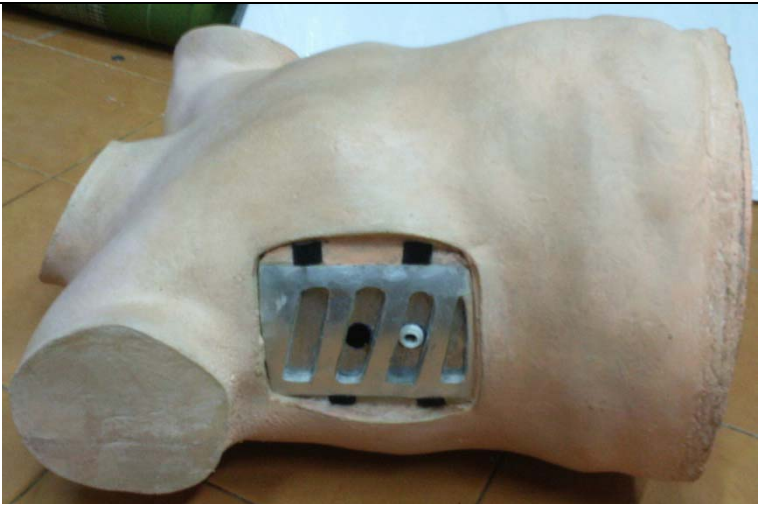
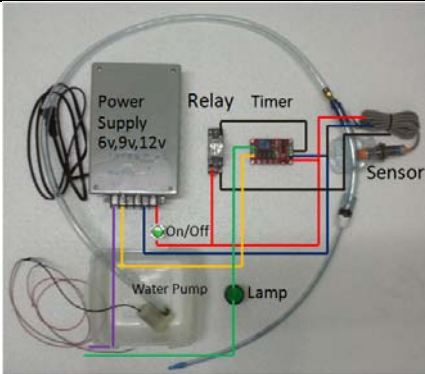
Lift: 40cm-110cm

Flow rate: 80-120L/H

แผนภูมิที่ 4.0 แสดงการทำงานของวงจรตรวจจับตัวอย่าง

หมายเหตุ : การปรับ Adjustment ใช้สำหรับปรับตั้งเซ็นเซอร์โดยใช้ไขควงแบนขนาดเล็กหมุนตามเข็มนาฬิกาช้าๆ เมื่อมีสัญญาณไฟเกิดขึ้น (ซึ่งเป็นบริเวณใกล้จุดปรับตั้ง) ให้หมุนกลับทางเพียงเล็กน้อยให้สัญญาณไฟดับลงแล้วทดสอบการตอบสนองของเซ็นเซอร์ทำงานได้ถูกต้อง

ตารางที่ 4.19 แสดงการติดตั้งแผงควบคุมหุ่นจำลองอัจฉริยะ

|                                               |                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               |                                                                                                                                                                                                              |
| <p>รูปภาพที่ 1 แสดงภาพหุ่นบริเวณรูสายยาง</p>  |                                                                                                                            |
| <p>รูปภาพที่ 2 แสดงภาพแผงควบคุมการทำงาน</p>   |                                                                                                                           |
| <p>รูปภาพที่ 3 แสดงภาพแผงวงจรติดตั้งภายใน</p> | <div style="display: flex;">   </div> |

#### 4.4.3 ระบบเครื่องตั้งเวลา

บอร์ดสำหรับตั้งเวลา 10A 12V Relay Self-lock Cycle Timer Module PLC Home Automation Delay



แผนภาพที่ 4.4 เครื่องตั้งเวลา บอร์ดสำหรับตั้งเวลา 10A 12V Relay Self-lock Cycle Timer Module PLC Home Automation Delay

#### ขั้นตอนการทำงานและการต่อใช้งานของเครื่องตั้งเวลา

1. ต่อระบบวงจรจ่ายไฟ 12V ให้กับวงจร
2. กด Set ค้าง 3 วินาที เพื่อเลือกโหมดฟังก์ชันในการทำงานตามที่ต้องการ 1 ถึง 18 โปรแกรม หลอดไฟ T1 ติด [Tips: ฟังก์ชัน 1-8 พลังงานเริ่มต้นขึ้นด้วยตัวเอง ฟังก์ชัน 9-18 ต้องใช้สัญญาณ พลัสสูง (ระยะเวลาสูงจะสั้นกว่า 20ms)]
3. กด Sw1 เพื่อเลื่อนตำแหน่งตัวเลข
4. กด Num+ เพื่อเพิ่มค่าตัวเลข
5. กด Num- เพื่อลดค่าตัวเลข
6. กด Set เวลาหนึ่งทีเพื่อตั้งเวลา T1 หลอดไฟ T1 ติด
7. กด Set เวลาหนึ่งทีเพื่อตั้งเวลา T2 หลอดไฟ T2 ติด
8. กด Set เวลาหนึ่งทีเพื่อตั้งเวลา Nx หลอดไฟ Nx ติด (จำนวนครั้งที่วนLoop)
9. กด Set ค้าง 3 วินาที เมื่อเสร็จสิ้นการตั้งโปรแกรม

#### 4.4.4 ระบบปั้มน้ำ (ดีซี Mini water pump DC 3-6V Mini Submersible Pump)

การทำงาน ปั้มน้ำโซล่าเซลล์ หรือปั้มน้ำDC เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่น่ามาใช้กับระบบโซล่าเซลล์ ซึ่งโดยมากแล้วจะใช้ในภาคการเกษตรกรรมหรืออาจจะนำไปใช้กับบ้าน ชุกรกิจ หรือ โรงงานอุตสาหกรรม รมต่างๆ เหมาะสำหรับทำน้ำตกขนาดเล็ก ตู้ปลาขนาดเล็ก ระบบน้ำหมุนเวียนเล็กๆ และอื่นๆตามความต้องการ โซล่าปั้มน้ำ หรือปั้มน้ำดีซี มีสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ปั้มน้ำได้สูงสุด80-120ลิตรต่อชั่วโมง ระยะปั้มน้ำ ไม่เกิน 40-110 เซนติเมตร

##### ข้อมูลปั้มน้ำดีซี :

Working voltage range: 3V-6V

Power: 0.4-1.5w

Lift: 40cm-110cm

Flow rate: 80-120L/H

Dimension of outle: 7.5mm O.D. / 4.7mm I.D.

Diameter: 24mm

Length: 46mm

Height: 33mm



แผนภาพที่ 4.5 แสดงปั้มน้ำ ดีซี Mini water pump DC 3-6V Mini Submersible Pump

#### 4.4.5 พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor) ตรวจจับวัตถุโลหะ และอโลหะ

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor) หรือ พร็อกซิมิตี้สวิตช์ (Proximity Switch) คือ เซนเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานหรือวัตถุภายนอก โดยลักษณะของการทำงานอาจจะส่งหรือรับพลังงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง เสียง และสัญญาณลม ส่วนการนำเซนเซอร์ประเภทนี้ไปใช้งานนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจจับ ตำแหน่ง ระดับ ขนาด และรูปร่าง ซึ่งโดยปกติแล้วจํานํามาใช้แทนลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) เนื่องจากสาเหตุของอายุการใช้งานและความเร็วในการตรวจจับวัตถุเป้าหมาย ทำให้ดีกว่าอุปกรณ์ประเภทสวิตช์ซึ่งอาศัยหน้าสัมผัสทางกล

##### ข้อมูลพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์:

M18 Metal Housing Capacitive proximity sensor Capacity proximity switch model: LJC18A3-B-

Z/BXName: LJC18A3-B-Z/BX Capacitive proximity sensor

Size: diameter 18mm, length 70 mm

Detection distance: 10mm

Voltage: DC6-36V 3-wire

Output: NPN, Normal Open proximity switch



แผนภาพที่ 4.6 แสดงพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor) หรือ พร็อกซิมิตี้สวิตช์ (Proximity Switch)

#### 4.4.6 สรุปการทดลองหุ่นจำลองฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นจำลองอัจฉริยะ



แผนภาพที่ 4.7 แสดงหุ่นจำลองฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด



แผนภาพที่ 4.8 แสดงหุ่นไฟเบอร์กลาสฝึกคลำ (Ribs)



แผนภาพที่ 4.9 แสดงการฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นจำลองอัจฉริยะ



แผนภาพที่ 4.10 แสดงการฝึกการทำหัตถการจากหุ่นไฟเบอร์กลาส

#### 4.5 สรุปการทดลองฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด

การทดสอบการใช้งาน โดยบุคลากรทางการแพทย์ แบ่งคำถามหลังการทำหัตถการเป็นหมวด ๆ ได้แก่

**ส่วนที่ 1** ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

**ส่วนที่ 2** แบบสอบถามความพึงพอใจการทดสอบเนื้อหา ด้านผิวสัมผัสของหุ่นจำลอง

2.1 สัมผัสกับผิวของหุ่นแล้วมี ความนุ่ม

2.2 เนื้อของหุ่นมีความยืดหยุ่นใน การกด

2.3 เนื้อของหุ่นมีความยืดหยุ่นใน การดึง

2.4 เนื้อของหุ่นมีความ คงทน แข็งแรง

2.5 เนื้อของหุ่นให้ ผิวสัมผัส อย่างเป็นธรรมชาติ

**ส่วนที่ 3** การทดสอบฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นจำลองอัจฉริยะเปรียบเทียบกับหุ่นไฟเบอร์กลาส

3.1 หุ่นจำลองอัจฉริยะมีความใกล้เคียงกับมนุษย์มากน้อยเพียงใด

3.2 การจำลองระบบการทำงานของปอดมีความใกล้เคียงกับมนุษย์มากน้อยเพียงใด

3.3 ระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับสัญญาณ กรณีเจาะผิดตำแหน่ง

3.4 ระบบเซ็นเซอร์จับสัญญาณที่ตั้งให้ระบบจ่ายน้ำ/เลือดออกมาในช่องเยื่อหุ้มปอด มีความใกล้เคียงกับมนุษย์ มากน้อยเพียงใด

3.5 แผ่นยางฝึกเจาะปอด มีความใกล้เคียงกับผิวหนังมนุษย์ มากน้อยเพียงใด

3.6 ท่านคิดว่าการนำหุ่นจำลองอัจฉริยะ ไปใช้เป็นต้นแบบในการฝึกสอน การทำหัตถการ จะเป็นผลดีมากน้อยเพียงใด

3.7 ท่านได้รับประสบการณ์ในการฝึกสอนและทดลองใช้งานจริงจากการฝึกทำหัตถการหุ่นจำลองอัจฉริยะ มากน้อยเพียงใด

3.8 ความพึงพอใจจากการทดลองฝึกทำหัตถการกับหุ่นจำลอง การใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด

จากผลการทดลอง “การพัฒนาหุ่นจำลองเพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด จากยางธรรมชาติ” จากอาจารย์แพทย์ แพทย์ และนิสิตแพทย์ จำนวน 44 ราย เป็นเพศชาย จำนวน 24 คน ร้อยละ 54.5 เพศหญิง 20 คน ร้อยละ 45.5 อายุ 20-30 ปี และ 31-40 ปี 11 คน ร้อยละ 25 อายุ 41-50 ปี 18 คน ร้อยละ 40.9 อายุ 50-60 ปี 4 คน ร้อยละ 9.1 ระดับการศึกษาปริญญาตรี 11 คน ร้อยละ 25 ปริญญาโท 33 คน ร้อยละ 75 สังกัดหน่วยงานแผนกศัลยกรรม แผนกศัลยกรรมกระดูกและข้อ แผนกอายุรกรรม แผนกหัวใจ จำนวน 3 คน ร้อยละ 6.8 แผนกหู คอ จมูก 9 คน ร้อยละ 20.5 ห้องฉุกเฉิน 23 คน ร้อยละ 52.3 อาจารย์แพทย์ 16 คน ร้อยละ 36.4 แพทย์ประจำบ้าน 15 คน ร้อยละ 34.1 นิสิตแพทย์ 13 คน ร้อยละ 29.5

**ส่วนที่ 1** ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

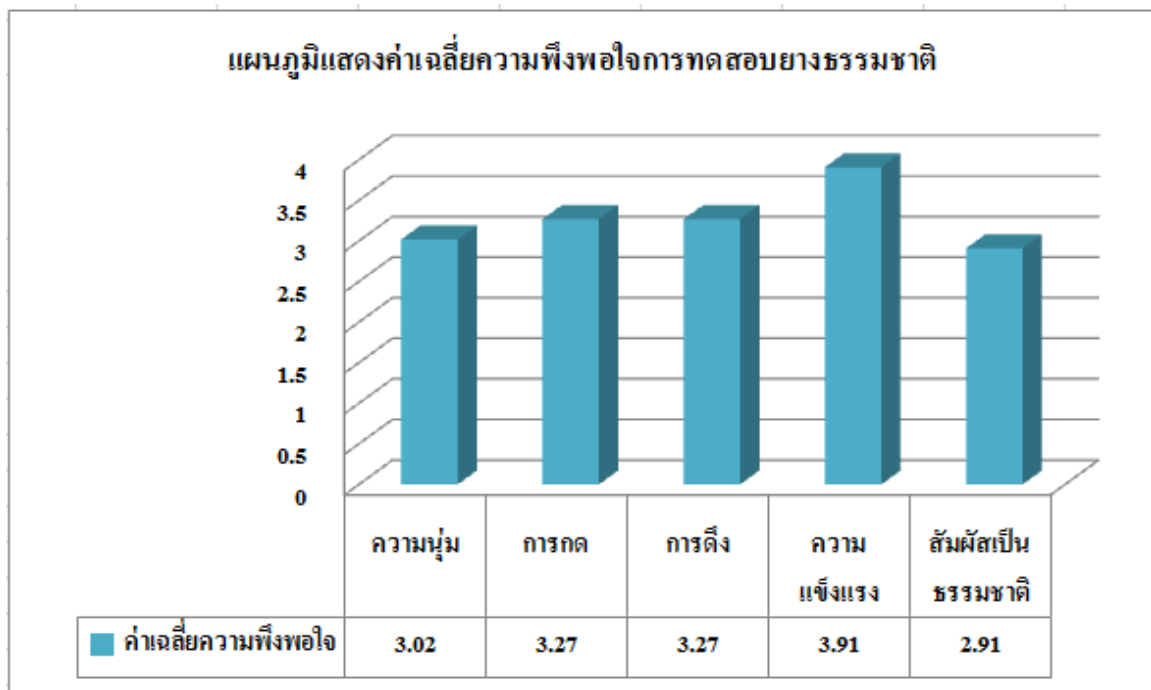
ตารางที่ 4.20 แสดงข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

| ลักษณะทางประชากรศาสตร์ | จำนวน (ร้อยละ) |
|------------------------|----------------|
| เพศ ชาย                | 24 (54.5)      |
| หญิง                   | 20 (45.5)      |
| อายุ 20 - 30 ปี        | 11 (25.0)      |
| 31- 40 ปี              | 11 (25.0)      |
| 41- 50 ปี              | 18 (40.9)      |
| 50 -60 ปี              | 4 (9.1)        |
| การศึกษา ปริญญาตรี     | 11 (25.0)      |
| ปริญญาโทขึ้นไป         | 33 (75.0)      |
| แผนก ศัลยกรรม          | 3 (6.8)        |
| ศัลยกรรมกระดูกและข้อ   | 3(6.8)         |
| อายุรกรรม              | 3 (6.8)        |
| หัวใจ                  | 3 (6.8)        |
| หู คอ จมูก             | 9 (20.5)       |
| ห้องฉุกเฉิน            | 23 (52.3)      |
| ตำแหน่ง อาจารย์แพทย์   | 16 (36.4)      |
| แพทย์ประจำบ้าน         | 15 (34.1)      |
| นิสิตแพทย์             | 13 (29.5)      |

**ส่วนที่ 2** แบบสอบถามความพึงพอใจการทดสอบเนื้อหา ด้านพิวสัผัสของหุ่นจำลอง

ตารางที่ 4.21 แสดงความพึงพอใจการทดสอบเนื้อหา ด้านพิวสัผัสของหุ่นจำลอง

| ประเด็นความพึงพอใจ                                         | ระดับความพึงพอใจ X(SD) |
|------------------------------------------------------------|------------------------|
| 2.1 เนื้อหาของหุ่นมี <u>ความนุ่ม</u> ใกล้เคียงกับผิวมนุษย์ | 3.02(0.849)            |
| 2.2 เนื้อหาของหุ่นมีความยืดหยุ่นใน <u>การกด</u>            | 3.27(0.758)            |
| 2.3 เนื้อหาของหุ่นมีความยืดหยุ่นใน <u>การดึง</u>           | 3.27(0.758)            |
| 2.4 เนื้อหาของหุ่นมีความ <u>แข็งแรง</u>                    | 3.91(0.676)            |
| 2.5 เนื้อหาของหุ่นให้ <u>พิวสัผัส</u> อย่างเป็นธรรมชาติ    | 2.91(0.676)            |



แผนภูมิที่ 4.9 แสดงความพึงพอใจในการทดสอบยางพารา

ผลการทดสอบในด้านผิวสัมผัสของหุ่นจำลองทำหัตถการใส่ท่อระบายทรวงอกจากยางพารา ได้รับคะแนนความพึงพอใจ เนื้อยางของหุ่นมี**ความนุ่ม**ใกล้เคียงกับผิวมนุษย์ 3.02 (0.849) เนื้อยางของหุ่นมีความยืดหยุ่นใน**การกด** และเนื้อยางของหุ่นมีความยืดหยุ่นใน**การดึง** 3.27 (0.758) ด้านความแข็งแรง 3.91 (0.676) เนื้อยางของหุ่นให้**ผิวสัมผัส**อย่างเป็นธรรมชาติ 2.91 (0.676) ซึ่งความพึงพอใจในด้านความผิวสัมผัสได้รับที่คะแนนด้านความพึงพอใจต่ำสุด เนื่องจากหุ่นยางเจาะปอดมีการผลิตให้เนื้อยางมีความแข็งแรงขึ้นสามารถทรงตัวได้และรับน้ำหนักของถังบรรจุของเหลวภายใน จึงใช้สูตรยางที่มีความคงตัวมาก ไม่ได้พว่อนนุ่มจะทำให้การรับน้ำหนักด้านในแล้วเกิดการอ่อนยวบลง ซึ่งผิวสัมผัสอาจมีความแข็งกระด้างกว่ายางพองน้ำที่ดีให้ขึ้นพว่อนนุ่มจะไม่สามารถรองรับถังบรรจุน้ำได้ จะทำให้ยางพองน้ำยุบตัวลงได้ ดังนั้นคะแนนความสัมผัสที่เป็นธรรมชาติ และความอ่อนนุ่มของผิวสัมผัสยางอาจได้รับคะแนนน้อยที่สุด

ในด้านการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานโดยบุคลากรทางการแพทย์ได้ทดสอบการทำหัตถการพบว่าระดับคะแนนความพึงพอใจในด้านต่างๆ ในการฝึกหัตถการใส่ท่อระบายของเหลวจากทรวงอกของหุ่นยางธรรมชาติสูงกว่าหุ่นไฟเบอร์กลาสในทุกๆด้านโดยคะแนนความพึงพอใจในระบบการไหลเวียนของเหลว และคะแนนการเสนอใช้ให้เป็นต้นแบบการฝึกเจาะปอดของหุ่นจากยางธรรมชาติสูงกว่าหุ่นไฟเบอร์กลาส โดยคะแนนอยู่ในระดับดีมาก เมื่อเทียบกับหุ่นไฟเบอร์กลาสซึ่งอยู่ในระดับพอใช้ คะแนนประเมินของหุ่นจำลองอัจฉริยะอยู่ระหว่างดีมากถึงดีที่สุดในส่วนคะแนนความคล้ายมนุษย์ได้คะแนนพอๆกันในระดับดี คะแนนความพึงพอใจในระบบการไหลเวียนของเหลวในปอด และสัญญาณเตือนอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมาก ส่วนคำถามที่ให้ผู้ทดลองเลือกไปใช้ทำต้นแบบหุ่นจำลอง พบว่า หุ่นจำลองการใส่ท่อระบาย

ของเหลวในปอดจากยางธรรมชาติ ได้รับคะแนนความนิยมสูงสุด โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.20 แผนภูมิที่ 4.10 ในด้านข้อเสนอแนะจากบุคลากรที่ทำการทดสอบดังแสดงในรายละเอียดในส่วนที่ 4

### ส่วนที่ 3 การทดสอบฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นจำลองอัจฉริยะ

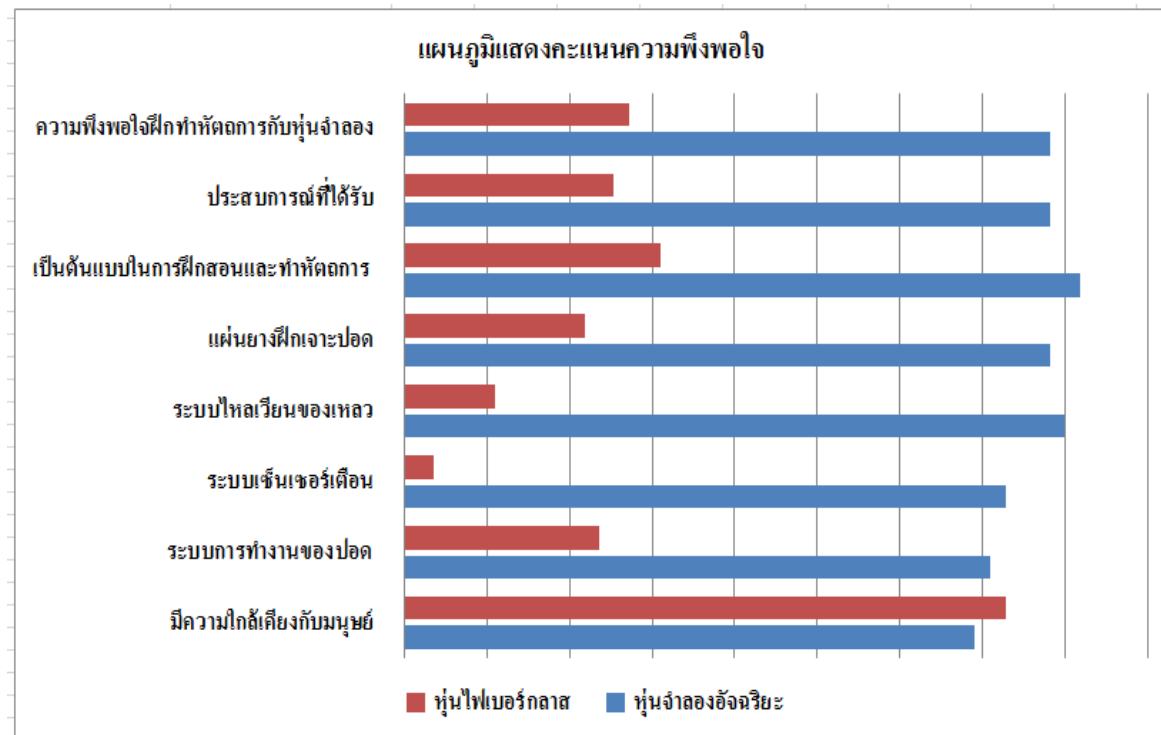
ตารางที่ 4.22 แสดงคะแนนการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นจำลองอัจฉริยะ

| ประเด็นความพึงพอใจ                                                                                                      | เปรียบเทียบ       |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|
|                                                                                                                         | หุ่นจำลองอัจฉริยะ | หุ่นไฟเบอร์กลาส |
| 3.1 หุ่นจำลองอัจฉริยะมีความใกล้เคียงกับมนุษย์มากน้อยเพียงใด                                                             | 3.45(0.791)       | 3.64(0.780)     |
| 3.2 การจำลองระบบการทำงานของปอดมีความใกล้เคียงกับมนุษย์มากน้อยเพียงใด                                                    | 3.55(0.791)       | 1.18(1.483)     |
| 3.3 ระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับสัญญาณ กรณีเจาะผิดตำแหน่ง                                                                       | 3.64(0.650)       | 0.18(1.483)     |
| 3.4 ระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับสัญญาณที่ส่งให้ระบบจ่ายน้ำ/เลือดออกมาในช่องเยื่อหุ้มปอด มีความใกล้เคียงกับมนุษย์ มากน้อยเพียงใด | 4.00(0.863)       | 0.55(1.170)     |
| 3.5 แผ่นยางฝึกเจาะปอด มีความใกล้เคียงกับผิวหนังมนุษย์ มากน้อยเพียงใด                                                    | 3.91(0.676)       | 1.09(1.326)     |
| 3.6 ท่านคิดว่าการนำหุ่นจำลองอัจฉริยะไปใช้เป็นต้นแบบในการฝึกสอน การทำหัตถการ จะเป็นผลดีมากน้อยเพียงใด                    | 4.09(0.520)       | 1.55(1.454)     |
| 3.7 ท่านได้รับประสบการณ์ในการฝึกสอนและทดลองใช้งานจริงจากการฝึกทำหัตถการหุ่นจำลองอัจฉริยะ มากน้อยเพียงใด                 | 3.91(0.520)       | 1.27(1.301)     |
| 3.8 ความพึงพอใจจากการทดลองฝึกทำหัตถการกับหุ่นจำลองการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด                                           | 3.91(0.520)       | 1.36(1.382)     |

### ข้อเสนอแนะการพัฒนาหุ่นจำลองอัจฉริยะจากยางธรรมชาติ เพื่อฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด

1. เป็นหุ่นที่แปลกใหม่ ทำให้ตื่นเต้นกับสิ่งประดิษฐ์ที่ทีมนักวิจัยพัฒนาขึ้นมา ทำให้ นิสิตแพทย์ได้ฝึกทำหัตถการมากขึ้น สามารถฝึกได้บ่อย เมื่อเทียบกับหุ่นที่จัดซื้อเข้ามา มาราคาแพงและมีข้อจำกัดในการฝึกทำหัตถการ
2. หุ่นที่ทำจากไฟเบอร์กลาส ฝึกทำหัตถการ การฝึกคลำเพื่อหาตำแหน่งของซี่โครงได้อย่างเดียว
3. พอใจหุ่นอัจฉริยะจากยางธรรมชาติ ที่มีระบบเซ็นเซอร์ ช่วยเตือน กรณีเจาะผิดตำแหน่ง
  - ระบบเซ็นเซอร์ ปลดปล่อยสารน้ำออกจากช่องปอด เมื่อใส่สายระบายสารน้ำในช่องเยื่อหุ้มปอด (Intercostals drainage; ICD) ซึ่งทำให้บุคลากรทางการแพทย์ได้รับการเรียนรู้ใกล้เคียงกับการทำหัตถการในมนุษย์
  - ข้อดีของหุ่นจากยางธรรมชาติ สามารถคลำตำแหน่งของซี่โครง (Ribs) คลำได้ง่ายไป เนื่องจากมีความแข็ง มีจำนวนช่องห่างที่กว้างชัด

4. แผ่นยางเจาะมีขนาดเล็ก/บาง ทำให้คาดเดาได้ง่าย ซึ่งโครงที่ฝังเซ็นเซอร์ อยู่ระหว่างซึ่งโครงมีความไวใช้ได้ (Sensitive) แต่รู้สึกพอใจเป็นอย่างมาก ที่ทำฝึกทำหัตถการจากหุ่นอัจฉริยะ
5. ตำแหน่งเซ็นเซอร์ ขณะแทงเข็มผ่าน (Ribs) แล้ว ควรสามารถยับเข็มได้ โดยเซ็นเซอร์ไม่ดึงเตือนตลอด ตำแหน่งของรูใส่ ICD ควรทำให้มีหลายรู ควรเพิ่มตำแหน่งของซึ่งโครงให้คลำมากกว่าน



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการฝึกการทำหัตถการใส่ท่อในช่องเยื่อหุ้มปอด หุ่นจำลองจากยางพารา เปรียบเทียบกับหุ่นไฟเบอร์กลาส

จากผลการทดสอบการใช้งานของบุคลากรเมื่อเปรียบเทียบระหว่างหุ่นจำลอง และหุ่นที่ทำมาจากไฟเบอร์กลาส ผลการทดสอบหุ่นเจาะปอดจากยางธรรมชาติได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงกว่าหุ่นไฟเบอร์กลาส ยกเว้นความสวยงามใกล้เคียงธรรมชาติ

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### สรุปผลการวิจัย

หุ่นจำลองจากยางธรรมชาติ เป็นหุ่นจำลองต้นแบบที่ทำจากน้ำยางดิบธรรมชาติ ผสมส่วนผสมจนเป็นน้ำยางคอมปาวด์ และขึ้นรูปพร้อมบรรจุถึงน้ำทดแทนของเหลวในช่องปอด ทำการติดตั้งระบบสัญญาณเตือนการทำหัตถการผิดพลาด รวมถึงการติดตั้งระบบการเตือนเมื่อทำหัตถการผิดพลาด สามารถทำให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนตนเองจนเกิดความชำนาญ โดยระบบหุ่นอัจฉริยะจะใส่ระบบเตือนด้วยเสียงเมื่อทำหัตถการผิดพลาด ผิดตำแหน่ง โดยใช้ระบบการตรวจสัญญาณและเตือนด้วยเสียง มีการติดตั้งระบบการตรวจจับท่อระบายของเหลวจากเยื่อหุ้มปอด เมื่อทำหัตถการและสอดท่อเข้าช่องปอด ระบบการไหลเวียนของสารน้ำในช่องปอดจะทำงาน และการไหลเวียนของสารน้ำในช่องปอด พร้อมระบบเตือนด้วยไฟเตือน ซึ่งสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการฝึกทำหัตถการ ทดแทนการสั่งซื้อหุ่นจำลองจากไฟเบอร์กลาสที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศได้ โดยได้รับคะแนนความพึงพอใจในการใช้งานจากบุคลากรทางการแพทย์ในระดับสูงกว่าการใช้งานของหุ่นไฟเบอร์กลาสในทุกๆ ด้าน

#### ข้อเสนอแนะในงานวิจัยหุ่นจำลองเพื่อฝึกหัตถการทางการแพทย์ อุปกรณ์ในการทำงาน

1. อุปกรณ์ในการทำต้นแบบในด้านการออกแบบแม่พิมพ์ และการขึ้นรูป รวมทั้งการใส่ถังบรรจุของเหลวเข้าไปในหุ่นยาง
2. ซึ่งการเลือกใช้ถังไฟเบอร์กลาส และการบรรจุพร้อมการขึ้นรูปจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะการใส่ภายหลังจะเป็นอุปสรรคมาก รวมถึงถังบรรจุจะต้องมีขนาดกว้างพอที่จะบรรจุกลไกการควบคุมระบบน้ำ ทำให้ต้องแก้แบบให้หุ่นตัวใหญ่ขึ้น ทำให้หุ่นมีน้ำหนักมาก เป็นจุดพัฒนาต่อยอดในอนาคต
3. การเลือกใช้เซ็นเซอร์ ซึ่งมีการทดสอบก่อนเริ่มดำเนินงาน พบว่าการใช้การตรวจจับโลหะจะเป็นระบบการเตือนที่ดีและให้สัญญาณตรวจจับที่แม่นยำมาก ในทุกๆ ครั้งของการฝึก
4. ระบบการตรวจจับท่อและการตั้งเวลา ซึ่งตัวตรวจจับมีขนาดใหญ่ทำให้ถังบรรจุสารน้ำมีขนาดใหญ่ตามถึงที่บรรจุด้านใน และทำให้น้ำหนักหุ่นมากขึ้น ซึ่งเป็นจุดพัฒนาการใช้ระบบเซ็นเซอร์ในอนาคต

#### คำนวณต้นทุนทำต้นแบบหุ่นจอก และอุปกรณ์เนื้อเยื่อแผ่นปะ ของโครงการวิจัย

ตารางที่ 5.1 แสดงการคำนวณต้นทุนทำต้นแบบหุ่นจอก

| รายการอุปกรณ์                                                                      | ราคา        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. ชุดหุ่นจำลองครึ่งตัว พร้อมระบบเซ็นเซอร์ (อุปกรณ์เนื้อเยื่อแผ่นปะ จำนวน 10 ชิ้น) | 100,000 บาท |
| 2. อุปกรณ์เนื้อเยื่อแผ่นปะ/ชิ้น                                                    | 200 บาท     |

# ภาคผนวก

## ตารางการเปรียบเทียบต้นทุนของผลิตภัณฑ์ใหม่

| รายการอุปกรณ์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ราคา                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>หุ่นฝึกการเจาะโพรงเยื่อหุ้มปอด</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- หุ่นจำลองผู้ชายครึ่งตัว นั่งในท่าก้มตัว ติดตั้งกับแท่นวางหุ่น</li> <li>- ผิวหนังด้านหลังของหุ่นบริเวณของกระดูกซี่โครงที่ 6 - 8 ที่ใช้ฝึกของหุ่นทั้งด้านซ้ายและขวา สามารถถอดเปลี่ยนได้</li> <li>- ผิวหนังที่ใช้ถอดเปลี่ยนมีความอ่อนนุ่ม สามารถฝึกกรีดและเย็บได้ และมีขนาดพอดีกระชับกับช่องของหุ่น</li> <li>- ผิวหนังมีความแข็งแรงทนทาน สามารถฝึกแทงซ้ำๆ ได้คู่แลกรักษาได้ง่าย</li> <li>- บริเวณอกและช่องท้องของหุ่นมีช่องเปิด สำหรับการติดตั้งระบบของเหลวและแรงดันลม</li> <li>- หุ่นมีกระดูกซี่โครงและกระดูกสะบักจำลอง สามารถฝึกคลำหาตำแหน่งอ้างอิงได้</li> <li>- หุ่นมีชุดของโพรงเยื่อหุ้มปอดและเนื้อเยื่อปอดจำลอง (มีผนัง 2 ชั้น) ทั้งด้านซ้ายและขวา ที่สามารถบรรจุของเหลวได้และกักเก็บแรงดันลมได้ (เชื่อมต่ออยู่กับ อุปกรณ์ระบบแรงดันลมและของเหลว)</li> <li>- ชุดของกระดูกซี่โครง, ชุดของโพรงเยื่อหุ้มปอดและเนื้อเยื่อปอด และผิวหนัง ติดตั้งรวมเป็นชิ้นเดียวกัน (ถอดแยกได้)</li> <li>- หุ่นมีกลไกของการฝึกโดยเมื่อแทงปลายเข็มอยู่ในชั้นของโพรงเยื่อหุ้มปอดจะสามารถดูคูล้ำออกมาได้ และหากปลายเข็มที่เจาะทะลุถึงผนังของปอด จะมีแรงดันลมออกมา</li> <li>- ชุดของปอด / โพรงเยื่อหุ้มปอด มีท่อสายยางสำหรับน้ำ เข้า - ออก โดยเชื่อมกับปั้มน้ำหมุนเวียนอัตโนมัติ และท่อสายยางสำหรับการบรรจุลม (ใช้มือบีบลูกยาง) เข้าสู่ปอด</li> <li>- หุ่นใช้สำหรับการฝึกทักษะต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง <ul style="list-style-type: none"> <li>- การฝึกเจาะโพรงเยื่อหุ้มปอด</li> <li>- การระบายของเหลวที่อยู่ในโพรงเยื่อหุ้มปอด</li> <li>- การฝึกทักษะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง</li> </ul> </li> <li>- สามารถตรวจสอบความถูกต้องของการฝึกเจาะได้ โดยหากถูกต้องจะมีของเหลวออกมา และหากไม่ถูกต้องจะมีลมออกมา</li> <li>- ตัวหุ่น 1 ตัว, แผ่นผิวหนังสำหรับฝึก 6 ชิ้น, ชุดปอดและโพรงเยื่อหุ้มปอด 6 ชิ้น, อุปกรณ์ระบบแรงดันลมและของเหลว 1 ชุด</li> </ul> | <p><b>68,500 บาท</b></p>  |

| รายการอุปกรณ์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ราคา                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>หุ่นฝึกการใส่สายระบายทรวงอก</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. เป็นหุ่นจำลองร่างกายช่วงลำตัวผู้ใหญ่ตั้งแต่คอถึงขาโครง ออกแบบมาสำหรับการฝึกการใส่สายระบายทรวงอก</li> <li>2. ตัวหุ่นผลิตจากวัสดุสังเคราะห์คุณภาพดี และมีความทนทาน</li> <li>3. Landmark ทางกายวิภาคได้แก่ sternum, clavicle, ribs, and pleura</li> <li>4. ด้านขวาของตัวหุ่นมีช่อง 2 ช่อง ที่เปิดให้เห็นความสัมพันธ์ทางกายวิภาคของ ผิวหนัง ระบบกล้ามเนื้อ กระดูกซี่โครง หลอดเลือดดำ เส้นประสาท และปอด</li> <li>5. สามารถฝึกการเจาะได้ 2 ตำแหน่งได้แก่ <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1 Pneumothorax centesis ที่ตำแหน่ง intercostal space ที่ 2 / midclavicular line</li> <li>5.2 Thoracic closed drainage intercostal space 6 linea postaxillaris midaxillary</li> </ol> </li> <li>6. ใช้ลูกกลมบีบเพื่อจำลอง pneumothorax และใช้น้ำสำหรับ thoracic closed drainage</li> <li>7. สามารถใช้ฝึกทักษะการดูแล thoracic closed drainage</li> <li>8. แผ่นผิวหนังบริเวณที่เจาะสามารถเปลี่ยนได้</li> </ol> | <p><b>65,000 บาท</b></p>    |
| <p><b>หุ่นฝึกการเจาะเยื่อหุ้มปอด (แบบกล่อง)</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p><b>35,000 บาท</b></p>  |