

ชุดอุปกรณ์ผูกยึดสำหรับผู้ป่วยก้าวร้าวที่ปลดล็อกได้จากระยะไกล

REMOTE-CONTROLLED STRAP-LOCK SETS FOR AN AGGRESSIVE PATIENT



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

ชุดอุปกรณ์ผูกยึดสำหรับผู้ป่วยก้าวร้าวที่ปลดล็อกได้จากระยะไกล

REMOTE-CONTROLLED STRAP-LOCK SETS FOR AN AGGRESSIVE PATIENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# REMOTE-CONTROLLED STRAP-LOCK SETS FOR AN AGGRESSIVE PATIENT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดอุปกรณ์ผูกยึดสำหรับผู้ป่วยก้าวร้าวที่ปลดล็อกได้จากระยะไกล

REMOTE CONTROLLED STRAP LOCK SETS FOR AN AGGRESSIVE PATIENT

ผู้จัดทำ

1. นาย เจียรระโน บุญไพศาลเสรี รหัสประจำตัว 58010214
2. นาย นฤเทพ พรหมพลเมือง รหัสประจำตัว 58010651



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดอุปกรณ์ผูกยึดสำหรับผู้ป่วยก้าวร้าวที่ปลดล็อกได้จากระยะไกล

นายเจียรระไน บุญไพศาลเสรี 58010214  
นายนฤเทพ พรหมพลเมือง 58010651  
อ.สยาม สงวนรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2561

## บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยจิตเวชที่มีพฤติกรรมก้าวร้าว มีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ไขปัญหาของอุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น ความรวดเร็วในการผูกยึด ความทนทาน การปรับขนาดตามข้อมือและข้อเท้า การเปลี่ยนท่านอนให้กับผู้ป่วย การป้องกันผู้ป่วยและบุคคลอื่นในการปลดล็อก โดยแบ่งชุดอุปกรณ์ออกเป็น 2 ส่วน

ในส่วนของตัวยึดข้อมือและข้อเท้า ลักษณะคล้ายบ่วงบาศซึ่งเกิดความรวดเร็วในการผูกยึด โดยทำจากอะลูมิเนียมที่มีความทนทาน อีกทั้งได้ติดตั้งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบไร้สายไว้ภายใน สามารถสั่งการปลดล็อกจากระยะไกลด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน เมื่อสั่งการกลไกแม่เหล็กให้โซเลนอยด์ทำงาน สปริงจะดันเพื่อเปิดฝา

ในส่วนของที่เก็บสาย ได้ติดตั้งบนรางเลื่อนโดยทำจากเหล็กซึ่งมีความทนทานกว่าอุปกรณ์ผูกยึดแบบผ้า การปรับเลื่อนตำแหน่งที่เก็บสายรัดบนรางเลื่อนทำได้โดยการใช้มือข้างเดียว

ชุดอุปกรณ์ผูกยึดที่ได้จากงานวิจัยนี้ ทดสอบแล้วพบว่ามีความเร็วในการผูกยึดมากขึ้น 4.93 เท่า มีการเสียดสีลดลง 2.43 เท่า สามารถทนแรงได้มากถึง 1.30 กิโลนิวตันหรือเป็น 1.90 เท่าของชายหนัก 70 กิโลกรัม และสามารถป้องกันการปลดล็อกจากผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี

## REMOTE-CONTROLLED STRAP-LOCK SETS FOR AN AGGRESSIVE PATIENT

Chiaranai Bunphaisaneri 58010214

Naruethep Promphonlamuang 58010651

Sayam Saguanrum Advisor

Year 2561

### ABSTRACT

This research focuses on the physical restraints for an aggressive psychiatric patient. It improves the restraint devices used nowadays, such as chained timing, durability, wrist-and-ankle restraint adjustment, a patient's flexible movement in bed, and prevention of patients and unconcern people to unlock the devices.

The device is divided into 2 parts. For the first parts, there are four wrist-and-ankle restraint straps. Each of them works in the same way as a lasso for quick release. It is made of the 7075 aluminum and equipped with built-in wireless microcontroller, which can be remotely unlocked with an application from smartphone. If the wireless command is given to the device, the solenoid mechanism will be activated, and the spring is pressed to unlock. For the second parts, there are four set of the adjustable-strap storages. Each of them is mounted on a rail and made of the 1020 steel. Therefore, the posture positions of the patient can be adjusted freely by pressing the lock pin on the rail.

Comparing to the traditional-cloth straps, the research shows that this device operates 4.93 times faster, and it has 2.43 times less friction. It is also able to withstand force about 1.30 kilonewton. Moreover, the questionnaires review that the psychiatric staffs of Prasrimahabhodi Hospital satisfied this device more than the traditional fabric strap.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์สยาม สงวนรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาในการให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ รวมถึงติดตามความก้าวหน้าของการจัดทำปริญญานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณาจารย์สอบปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิววัฒน์ ดร.ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล ดร.บำรุง พ่วงเกิด อ.ภูดิท ชัยติลลพพัฒนกุล ในการสอบปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ รวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อย และมีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ นพ.ประภาส อุครานันท์ ผู้อำนวยการโรงพยาบาลพระศรีมหาโพธิ์ นางพันธ์ทิพย์ โกศลวัฒน์ รองผู้อำนวยการด้านการรักษาพยาบาลจิตเวช และนายสุรเชษฐ์ เวียงบาล นายช่างเครื่องกล ชำนาญการ ที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการศึกษาตุงานผูกยึดผู้ป่วยในสถานที่จริง

ขอขอบคุณ ชุมนุมโรบอท คณะวิศวกรรมกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในงานด้านวงจรไฟฟ้า นายธนภูมิ ภูมิ ให้คำแนะนำในเรื่องการเลือกใช้แอปพลิเคชันในการเชื่อมต่อ นางสาวพิมพ์ดี ฮ้อแสงชัย ให้คำแนะนำในเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้า นายสมสิน ทองไกรรัตน์ ให้คำแนะนำในเรื่องการเลือกประเภทของแบตเตอรี่

ขอขอบคุณ อ.จิระศักดิ์ สิทธิกร ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำแนะนำในเรื่องการใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เตไปวา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำแนะนำในเรื่องการใส่โค้ดลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.จิตราภรณ์ วงศาางาม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำแนะนำในเรื่องในเรื่องความคั่นในเนื้อวัสดุและทฤษฎีความเสียหายของวัสดุ

ขอขอบคุณ นายฉัตรชัย สุวรรณภูมิ ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการออกแบบตัวยึดข้อมือและข้อเท้าและการขึ้นรูปชิ้นงาน

ขอขอบคุณ นายอภิเดช อินยะวงษ์ ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการออกแบบตัวเก็บสายและการขึ้นรูปชิ้นงาน

ขอขอบคุณ นายภคพล ศรีบุญเรือง ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการเขียนแบบและปัญหาในการออกแบบ

ขอขอบคุณ นายโชติรวี ฉัตรพัฒนศิริ ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการใช้ซอฟต์แวร์ซิมสเกล (SimScale) เพื่อการจำลองสถานการณ์ในการคำนวณเชิงตัวเลข

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ผู้ร่วมทำปริญญาานิพนธ์ทุกคน ที่ให้ความร่วมมือและทุ่มเทแรงกาย แรงใจ จนปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ นางวาสนา ม่วงโพธิ์ นายหฤชภู สิริโกศากร และเจ้าหน้าที่ทุกคนในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีส่วนในการอำนวยความสะดวกในเรื่องต่าง ๆ

น้อมรำลึกถึงครูบาอาจารย์ทุกท่าน ทั้งครูเจ้าของวิชา ครูผู้สืบทอดวิชา ครูผู้สอน ทั้งในโลกตะวันออก และตะวันตก

สุดท้ายขอขอบคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้กำลังใจในการเรียนตลอดระยะเวลาการศึกษา และการจัดทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้

คุณค่าอันเป็นประโยชน์พึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอถวายเป็นพระราชกุศลแด่ พระบาทสมเด็จพระจอมเกล้า พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวมหาจักรีบรมราชูปถัมภ์ ตลอดจนบูรพกษัตริย์แห่งราชวงศ์จักรีทุกพระองค์ ขออุทิศแด่เจ้าพระยาสุรพงษ์ไชยวัฒน์ (วร บุนนาค) ศาสตราจารย์หลวงพรตพิทยพยัต ท่านเลี่ยม พรตพิทยพยัตตลอดจนทุกท่านที่สร้างคุณประโยชน์ให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนึ่งหากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้

นายเจียรระโน

นายนฤเทพ

บุญไพศาลเสรี

พรมพลเมือง



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 ทฤษฎีเรื่องสปริง.....	15
2.10 ทฤษฎีเรื่องเกลียวและพื้นที่รับแรงเฉือนของเกลียว.....	16
2.11 ทฤษฎีเรื่องโซเลนอยด์.....	17
2.12 พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยอาδυโน.....	19
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณตัวประกอบความปลอดภัย.....</b>	<b>20</b>
3.1 การออกแบบอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยจิตเวช.....	20
3.1.1 ตัวยึดข้อมือและข้อเท้า.....	20
3.1.2 ที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้า.....	21
3.1.3 ชุดรางเลื่อนสำหรับติดตั้งที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้ากับเตียงผู้ป่วย.....	22
3.1.4 วงจรไฟฟ้าภายในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า.....	23
3.2 การคำนวณในการออกแบบ.....	24
3.2.1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของสลักโซเลนอยด์.....	24
3.2.2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของสกรูในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า.....	25
3.2.3 วิเคราะห์ความแข็งแรงของสลักล็อกตำแหน่งบนรางเลื่อนของที่เก็บสายรัด.....	26
3.2.4 วิเคราะห์ความแข็งแรงของแป้นเลื่อนตำแหน่ง.....	27
3.2.5 วิเคราะห์ความแข็งแรงของรางเลื่อน.....	30
3.2.6 ค่าคงที่ของสปริง.....	34
3.2.7 ที่ขัดสายรัดในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า.....	35
<b>บทที่ 4 การทดสอบ.....</b>	<b>39</b>
4.1 การทดสอบการเสียดสีของสายยึดผู้ป่วย.....	39
4.2 การทดสอบเวลาในการผูกยึดผู้ป่วย.....	40
4.3 การทดสอบสภาวะรับแรงของชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย.....	41
4.4 การทดสอบความพึงพอใจ.....	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	44
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	44
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	44
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	45
บรรณานุกรม.....	46
ภาคผนวก.....	48
ภาคผนวก ก.....	49
ภาคผนวก ข.....	52



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่าความเค้นเฉือนสูงสุดในตำแหน่งต่าง ๆ ของแป้นเลื่อนตำแหน่ง.....	29
3.2 แสดงพื้นที่ของหน้าตัดต่าง ๆ ของรางเลื่อนเพื่อหาแกนสะเทิน.....	31
3.3 แสดงค่าความเค้นเฉือนสูงสุดในตำแหน่งต่าง ๆ ของที่ขัดสาย.....	37
4.1 แสดงมวลของแท่งเทียนที่หายไปเนื่องจากการเสียดสีกับอุปกรณ์.....	39
4.2 แสดงเวลาที่ใช้ผูกยึดผู้ป่วยในแต่ละรอบการใช้งาน.....	40
4.3 แสดงการรับแรงของชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย.....	41
4.4 แบบสอบถามความพึงพอใจต่อชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย.....	41
4.5 แสดงระดับความพึงพอใจเฉลี่ยต่อชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย.....	42



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความเค้นแรงดึง.....	5
2.2 ความเค้นแรงอัด.....	5
2.3 ความเค้นแรงเฉือน.....	6
2.4 ความเค้นในระนาบ 2 มิติ.....	6
2.5 วงกลมของมอห์ร์ 2 มิติ.....	8
2.6 วงกลมมอห์ร์ 3 มิติ.....	9
2.7 โมเมนต์ดัดบนคาน.....	10
2.8 ความเค้นบนคานอย่างง่าย.....	12
2.9 แสดงการกระจายความเค้นเฉือนบนหน้าตัดรูปทรงต่าง ๆ.....	13
2.10 ขอบเขตทำนายความเสียหายทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด.....	14
2.11 (ก) แสดงการหดของสปริงจากตำแหน่งสมดุล.....	15
2.11 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและตำแหน่งของสปริง.....	15
2.12 แสดงมิติต่างๆของเกลียว.....	16
2.13 แสดงโครงสร้างของโซเลนอยด์.....	17
2.14 แสดงสนามแม่เหล็กของโซเลนอยด์.....	18
2.15 บอร์ดรุ่น NodeMCU ESP8266.....	19
3.1 ตัวยึดข้อมือและข้อเท้า.....	20
3.2 ที่เก็บสายยึดข้อมือและข้อเท้า.....	21
3.3 กลไกปรับความยาวของสายรัดข้อมือและข้อเท้า.....	21
3.4 (ก) กลไกการเปลี่ยนตำแหน่งของที่เก็บสายรัด.....	22
3.5 ชุดรางเลื่อนสำหรับติดตั้งที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้ากับเตียงผู้ป่วย.....	22
3.6 วงจรไฟฟ้า.....	23
3.7 แสดงแรงที่กระทำต่อสลักโซเลนอยด์กรณีตัวยึดข้อมือและข้อเท้าถูกงัด.....	24
3.8 แสดงหน้าตัดที่วิเคราะห์ความเค้นเฉือนต่อสลักโซเลนอยด์.....	24
3.9 แสดงแรงที่กระทำต่อสกรูกรณีตัวยึดข้อมือและข้อเท้าถูกงัด.....	25
3.10 แสดงหน้าตัดที่วิเคราะห์ความเค้นเฉือนต่อสกรู.....	26

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 แสดงแรงที่กระทำต่อสลักล๊อคตำแหน่งบนรางเลื่อนของที่เก็บสายรัด.....	26
3.12 แสดงหน้าตัดที่วิเคราะห์ความเค้นเฉือนต่อสลักล๊อคตำแหน่ง.....	27
3.13 แสดงแรงที่กระทำต่อแป้นเลื่อนตำแหน่ง.....	27
3.14 แสดงหน้าตัดโมเมนต์ความเฉื่อยของแป้นเลื่อนตำแหน่ง.....	28
3.15 แสดงหน้าตัดที่ถูกกระทำด้วยความเค้นตึงฉากและความเค้นเฉือน.....	28
3.16 แสดงแรงที่กระทำต่อรางเลื่อน.....	30
3.17 แสดงแรงที่วิเคราะห์ต่อรางเลื่อน.....	30
3.18 แสดงหน้าตัดของรางเลื่อน.....	31
3.19 แสดงแกนสะเทินบนหน้าตัดของรางเลื่อน.....	31
3.20 แสดงความเค้นทั้ง 3 จุดของรางเลื่อน.....	32
3.21 แสดงหน้าตัดของจุดที่ 1.....	33
3.22 แสดงสปริงและฝาเปิดปิด.....	34
3.23 แสดงแรงที่กระทำต่อฝา.....	35
3.24 แสดงแรงที่กระทำต่อที่ขัดสายรัดในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า.....	35
3.25 แสดงทิศทางของโมเมนต์ของที่ขัดสาย.....	36
3.26 แสดงความเค้นที่กระทำต่อหน้าตัดของที่ขัดสาย.....	36

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผูกยึดผู้ป่วยเป็นการจำกัดการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยใช้อุปกรณ์ที่เตรียมไว้สำหรับผูกยึดผู้ป่วยเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้ป่วย เช่น ป้องกันการพลัดตกหกล้ม ป้องกันการดึงท่อช่วยหายใจ เช่นเดียวกับผู้ป่วยจิตเวชที่มีปัญหาด้านอารมณ์และพฤติกรรมรุนแรงมีแนวโน้มที่จะเป็นอันตรายต่อตนเองและผู้อื่น นอกจากพยาบาลต้องผูกยึดผู้ป่วยเพื่อความปลอดภัยของตัวผู้ป่วยแล้วยังเพื่อความปลอดภัยของผู้ป่วยอื่น รวมถึงบุคลากรที่มผู้รักษาด้วย [1] พฤติกรรมก้าวร้าวเป็นพฤติกรรมที่จำเป็นต้องได้รับการดูแลด้วยการผูกยึด โดยจากสถิติในโรงพยาบาลจิตเวช พบว่าผู้ป่วยที่มีพฤติกรรมก้าวร้าวมีมากถึง 42.5% ของผู้ป่วยจิตเวชทั้งหมด และ 71.2% ของผู้ป่วยที่มีพฤติกรรมก้าวร้าวจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องผูกมัด [2] ซึ่งการผูกยึดผู้ป่วยอาจจะนำมาซึ่งการละเมิดสิทธิของผู้ป่วย เพราะอาจทำให้ผู้ป่วยได้รับความไม่สุขสบายทั้งทางร่างกายและจิตใจ [3]

ปัจจุบันโรงพยาบาลพระศรีมหาโพธิ์ซึ่งเป็นโรงพยาบาลจิตเวชใช้อุปกรณ์ผูกยึดที่ทำจากผ้าฝ้ายเย็บเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้างประมาณ 12 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ติดอุปกรณ์ประเภทตีนตุ๊กแกในการยึดไว้ ซึ่งอุปกรณ์นี้มีอายุการใช้งานที่สั้นเนื่องจากผ้าจะเปื่อยยุ่ยเมื่อนำไปซัก ไม่สามารถใช้กับข้อมือขนาดเล็กได้เนื่องจากข้อจำกัดในการใส่ผ้าของอุปกรณ์ยึดผู้ป่วย ผูกยึดแน่นหรือหลวมจนเกินไป มีโอกาสที่จะปนเปื้อนสารคัดหลั่งค่อนข้างสูง อีกทั้งการดูแลผู้ป่วยจะต้องเปลี่ยนท่านอนให้กับผู้ป่วยทุก 1 ชั่วโมง [4]

อย่างไรก็ตามการผูกยึดผู้ป่วยจิตเวทยังมีจุดอ่อนที่ควรปรับปรุงอยู่หลายประการโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความรวดเร็วในการผูกยึด การปรับขนาดตามข้อมือและข้อเท้า การเปลี่ยนท่านอนให้กับผู้ป่วย การป้องกันผู้ป่วยและบุคคลอื่นในการพลัดลื่น ความน่าเชื่อถือ ความสะอาด ความทนทาน ความนุ่มนวล ดังนั้นหากมีการปรับปรุงอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยให้เกิดความน่าใช้งาน จะส่งผลต่อสภาพจิตใจของผู้ป่วยและญาติ ซึ่งทำให้ญาติผู้ป่วยยินยอมให้ใช้อุปกรณ์ผูกยึดในกรณีที่เป็นได้ง่ายขึ้น

อุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยที่งานวิจัยนี้จัดทำและพัฒนาขึ้น แบ่งชุดอุปกรณ์ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของตัวยึดข้อมือและข้อเท้า และส่วนของรางเลื่อนสำหรับการปรับเลื่อนตำแหน่งที่เก็บสาย

ในส่วนแรก ตัวยึดข้อมือและข้อเท้ามีลักษณะการใช้งานคล้ายบ่วงบาทเพื่อเกิดความรวดเร็วในการผูกยึด อุปกรณ์นี้ทำจากอะลูมิเนียมที่มีความทนทานขณะที่สายรัดข้อมือและข้อเท้าใช้สายเข็มขัดนิรภัยรถยนต์ สายนิรภัยนี้แข็งแรงใช้ได้กับข้อมือและข้อเท้าทุกขนาด มีความคงทนสูง มีอายุการใช้

งานยาวนาน และราคาไม่แพง อีกทั้งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบไร้สายถูกติดตั้งภายใน อุปกรณ์นี้ ทำให้ผู้ป่วยและญาติไม่สามารถปลดล็อกได้ อีกทั้งส่งผลให้การปลดล็อกสามารถถูกสั่งการได้จาก ระยะไกลด้วยสมาร์ตโฟนของเจ้าหน้าที่โดยใช้สัญญาณไวไฟที่เชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ต หลังจากการปลดล็อกระยะไกล แม่เหล็กโซเลนอยด์จะทำให้สปริงดันฝาออก

ในส่วนที่สอง ที่เก็บสายได้ติดตั้งบนรางเลื่อนซึ่งทั้งหมดถูกติดตั้งอยู่ใต้เตียงผู้ป่วยโดยทำจาก เหล็กซึ่งมีความทนทานกว่าอุปกรณ์ผูกยึดแบบผ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทำให้มีความน่าเชื่อถือและหมด ความกังวลที่จะหลุดออกในขณะที่เปลี่ยนท่านอนให้กับผู้ป่วย การปรับเลื่อนตำแหน่งที่เก็บสายบนราง เลื่อนทำได้โดยกดคันโยกเพื่อดึงสลักที่ล็อกตำแหน่งนั้นออกพร้อมเลื่อนไปในตำแหน่งที่ต้องการและ ปลดคันโยกกลับเพื่อล็อก ซึ่งได้ออกแบบคันโยกหลบไว้ด้านหลังเพื่อไม่ให้บุคคลอื่นเห็น

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อนำความรู้ภาคทฤษฎีและปฏิบัติมาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย
- 1.2.2 เพื่อออกแบบตัวยึดข้อมือและข้อเท้าที่ปรับขนาดได้ตามต้องการและป้องกันการปลดล อกโดยใช้กลไกแม่เหล็กโซเลนอยด์
- 1.2.3 เพื่อออกแบบระบบสั่งการปลดล็อกจากระยะไกลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบไร้สาย
- 1.2.4 เพื่อออกแบบรางเลื่อนสำหรับการปรับเลื่อนตำแหน่งที่เก็บสาย
- 1.2.5 เพื่อสร้างอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยที่มีความน่าเชื่อถือ ความรวดเร็ว ความทนทาน มากกว่า อุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
- 1.2.5 เพื่อทดสอบความรวดเร็วและความทนทานในการผูกยึดของอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย

## 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

อุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยมีความน่าเชื่อถือในการใช้งานมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้อยู่ใน ปัจจุบันโดยแบ่งเป็นข้อได้ดังนี้

- 1.3.1 ความรวดเร็วในการผูกยึด
- 1.3.2 ความแข็งแรง
- 1.3.3 การปรับขนาดตัวยึดได้ตามต้องการ
- 1.3.4 การป้องกันผู้ป่วยและบุคคลอื่นในการปลดล็อกโดยสั่งการจากระยะไกล
- 1.3.5 การปรับเลื่อนตำแหน่งที่เก็บสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ใช้หลักการออกแบบเครื่องจักรกลในการออกแบบตัวยึดข้อมือและข้อเท้า ร่างเลื่อนให้อยู่ได้เพียงผู้ป่วยสำหรับติดตั้งที่เก็บสาย ใช้วิชากลศาสตร์วัสดุในการเลือกใช้วัสดุและการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยและประเมินความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ด้วยทฤษฎีความเสียหายจากหลักการความเค้นเฉือนสูงสุด แนวคิดในการออกแบบอุปกรณ์ผูกยึดต้องคำนึงถึงความรวดเร็วในการผูกยึด การปรับขนาดตัวยึดได้ตามต้องการ ความน่าเชื่อถือ ความนุ่มนวล ความสะอาด ความทนทาน ความน่าใช้งาน ให้ความรู้สึกเป็นมิตรและผ่อนคลาย และที่สำคัญคือ ต้องไม่ทำให้ผู้ป่วยหรือบุคคลอื่นทราบถึงวิธีการปลดล็อกอุปกรณ์ ใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบไร้สายในการปลดล็อกโดยสั่งการจากสมาร์ตโฟน และเก็บสายได้เองช่วยให้เจ้าหน้าที่ใช้อุปกรณ์ผูกยึดได้สะดวกขึ้น

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยโดยสั่งการปลดล็อกจากระยะไกล ประกอบด้วยตัวยึดที่สามารถปรับขนาดได้ตามข้อมือและข้อเท้า ร่างเลื่อนสำหรับการปรับเลื่อนที่เก็บสายได้ตามตำแหน่งที่ต้องการซึ่งทั้งหมดจะถูกติดตั้งอยู่ได้เพียงผู้ป่วย

## 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.6.1 ทบทวนวรรณกรรมในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย
- 1.6.2 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียเพื่อสรุปรูปแบบที่เป็นไปได้ของอุปกรณ์ผูกยึด
- 1.6.3 ศึกษาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้นและเปรียบเทียบชิ้นส่วนต่างๆเพื่อจัดซื้อ
- 1.6.4 ออกแบบวงจรไฟฟ้าภายในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า
- 1.6.5 ออกแบบและคำนวณความแข็งแรงของตัวยึดข้อมือและข้อเท้า
- 1.6.6 ออกแบบและคำนวณความแข็งแรงของร่างเลื่อนสำหรับการปรับเลื่อนตำแหน่งที่เก็บสาย
- 1.6.7 สร้างชุดอุปกรณ์การผูกยึดผู้ป่วยที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- 1.6.8 ทดสอบชุดอุปกรณ์การผูกยึดผู้ป่วยเบื้องต้นแบ่งเป็นข้อได้ดังนี้
  - 1.6.8.1 การเสียดสีของสายยึดผู้ป่วย
  - 1.6.8.2 เวลาในการผูกยึดผู้ป่วย
  - 1.6.8.3 สภาวะรับแรงของชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย
  - 1.6.8.4 ความพึงพอใจ
- 1.6.9 จัดทำรูปเล่มของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทที่ 2

# งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยจิตเวชสำหรับการเคลื่อนย้ายพบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ โครงการพัฒนาเครื่องผูกยึดผู้ป่วยที่ใช้ในโรงพยาบาลจิตเวช (อุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยสุจริต) อุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยมีลักษณะเป็นผ้าเย็บเป็นรูปตัวทีโดยมีจุดเด่นคือทำจากผ้าที่มีความหนาและเหนียวสามารถทนต่อแรงดึงของผู้ป่วยโดยใช้กลไกการล็อกคล้ายหัวเข็มขัดซึ่งมีเหลี่ยมคมทำให้เกิดรอยบาดเจ็บแก่ผู้ป่วยได้ เวลาในการผูกยึดส่วนใหญ่ใช้ไปกับการผูกปมผ้าผู้ป่วยเกิดการบาดเจ็บเนื่องจากผ้าไม่มากนักเนื่องจากทำจากผ้าชนิดนุ่มแต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการเช่นอายุการใช้งานต่ำเนื่องจากต้องซักบ่อยทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ไม่สามารถปรับเข้ากับข้อมือของผู้ป่วยได้ทุกขนาดผู้ป่วยบางท่านสามารถคลายปมได้ เนื่องจากการผูกมัดต้องเปลี่ยนท่านอนทุกหนึ่งชั่วโมงเพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อน ทำให้เกิดความลำบากที่ต้องผูกผู้ป่วยใหม่ทุกชั่วโมง [5]

การพัฒนาอุปกรณ์ผูกยึดเพื่อป้องกันการบาดเจ็บของผู้ป่วยจิตเวชพฤติกรรมก้าวร้าวที่มีลักษณะเป็นปลอกสวมข้อแขนและข้อเท้าผู้ป่วยแบบนุ่มทำให้สามารถลดอาการบาดเจ็บลงได้มากแต่อุปกรณ์อาจฉีกขาดชำรุดเนื่องจากความรุนแรงของผู้ป่วย [6]

นวัตกรรมรถเข็นนั่งสบายไร้กังวล ซึ่งเป็นงานประยุกต์สายรัดติดตีนตุ๊กแกติดรถเข็นผู้ป่วยแต่มีข้อจำกัดคือตัวรถเข็นไม่ได้ออกแบบมาให้ป้องกันผู้ป่วยดิ้น หากผู้ป่วยดิ้น หรือมีพฤติกรรมรุนแรงมาก รถเข็นอาจล้มไถ่นอกจากนี้สายรัดตีนตุ๊กแกมีโอกาสหลุดและญาติผู้ป่วยสามารถคลายปมได้เอง [7]

อุปกรณ์ล็อกสายรัดสำหรับผู้ป่วยจิตเวชที่มีพฤติกรรมก้าวร้าวโดยอุปกรณ์ตัวล็อกทำจากอะลูมิเนียม 6061 ลักษณะคล้ายหัวเข็มขัดกดแรงเสียดทานกับสายรัดนิรภัยมีความรวดเร็วในการใช้สูงแต่ยังมีข้อจำกัดที่อุปกรณ์ใช้แรงแม่เหล็กในการเลื่อนสลักปลดล็อกและล็อกซึ่งหากผู้ป่วย หรือญาติมีแม่เหล็กอาจปลดล็อกได้ ทว่าอุปกรณ์แม่เหล็กมีความไม่แน่นอนในการใช้กล่าวคือบางครั้งไม่สามารถปลดล็อกได้และส่วนของรางที่ติดอุปกรณ์เก็บสายมีความยากต่อการใช้งาน [8]

การบาดเจ็บเนื่องจากอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยมี 2 ประเภท ประเภทแรกเป็นการบาดเจ็บโดยตรงจากแรงกดทับของอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยรวมทั้งรอยขีด รอยถลอก หรือแผลที่ผิวหนังอันเนื่องมาจากการเสียดสีระหว่างอุปกรณ์ ผู้ป่วยประเภทที่สองคือการบาดเจ็บทางอ้อมซึ่งเป็นผลต่อจิตใจของผู้ป่วยและญาติของผู้ป่วยเนื่องจากลักษณะการผูกยึดที่ดูเหมือนเป็นการใช้ความรุนแรง หรือความรู้สึกว่าตนเองถูกจองจำ

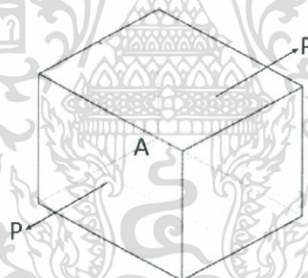
ติกผู้ป่วยชายโรงพยาบาลชุมชนพบว่าสาเหตุส่วนใหญ่ของการเลื่อนหลุดของอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยนั้นคือผู้ป่วยสามารถใช้นิ้วมือที่เป็นอิสระมาช่วยในการแกะปมของอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยชนิดผ้ารูปตัวที ทำให้ปมคลายและเลื่อนหลุดได้ [9]

ซึ่งงานวิจัยข้างต้นอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการพัฒนาอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยจิตเวชให้มีความสามารถในการใช้งานมากขึ้นกว่าในปัจจุบัน อาทิเช่น ความเร็วในการผูกมัด ความเข้ากันได้กับทุกขนาดข้อมือและข้อเท้า ความนุ่มนวลต่อร่างกายและจิตใจของผู้ป่วย ความคงทนของอุปกรณ์ รวมถึงความเสี่ยงที่ผู้ป่วยปลดล็อกอุปกรณ์ด้วยตนเอง

## 2.2 ทฤษฎีความเค้น

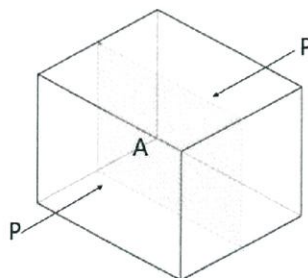
ความเค้น (Stress) คือความหนาแน่นของแรงภายในบนพื้นที่จำเพาะหนึ่งซึ่งผ่านจุด ๆ หนึ่ง [10] ความเค้นจึงมีหน่วยเอสไอเป็นนิวตันต่อตารางเมตร โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

2.2.1 ความเค้นดึง (Tensile stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน



รูปที่ 2.1 ความเค้นดึง

2.2.2 ความเค้นกด (Compressive stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามกดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง



รูปที่ 2.2 ความเค้นกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นดึงและความเค้นกดถูกนิยามโดยสมการ

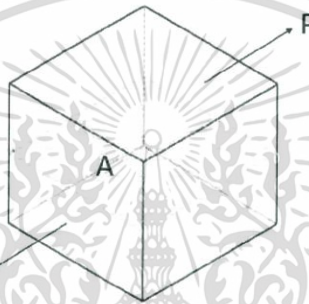
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

เมื่อ  $\sigma$  คือ ความเค้น (Pa)

$P$  คือ แรงภายนอกที่มากระทำ (N)

$A$  คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ ( $m^2$ )

2.2.3 ความเค้นเฉือน (Shear stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear force) ทหารพื้นที่ภาคตัดขวาง  $A$  ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน



รูปที่ 2.3 ความเค้นเฉือน

ความเค้นเฉือนถูกนิยามโดยสมการ

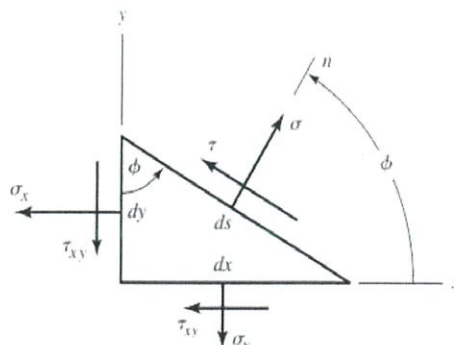
$$\tau = \frac{P}{A} \quad (2)$$

เมื่อ  $\tau$  คือ ความเค้น (Pa)

$P$  คือ แรงเฉือนภายนอกที่มากระทำ (N)

$A$  คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ ( $m^2$ )

## 2.3 ทฤษฎีวงกลมมอห์ร์สำหรับวิเคราะห์ความเค้นในระนาบ 2 มิติ



รูปที่ 2.4 ความเค้นในระนาบ 2 มิติ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 สามารถหาสมการสมดุลของแรงตามปกติ

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos(2\phi) + \tau_{xy} \sin(2\phi) \quad (3)$$

$$\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin(2\phi) + \tau_{xy} \cos(2\phi) \quad (4)$$

หาความเค้นสูงสุดโดยการหาอนุพันธ์สมการที่ 3 เทียบกับมุม  $\phi$  แล้วจับเท่ากับศูนย์ได้

$$\tan(2\phi_p) = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (5)$$

สมการที่ 5 ค่า  $2\phi_p$  ถูกคำนวณได้สองคำตอบเมื่อมุมทั้งสองถูกแทนลงในสมการที่ 6 ได้ความเค้นตั้งฉากปกติสูงสุด ( $\sigma_1$ ) และความเค้นตั้งฉากปกติต่ำสุด ( $\sigma_2$ ) ซึ่งทำมุมกัน 90 องศา ความเค้นทั้งสองค่านี้เรียกว่า “ความเค้นหลัก” (Principle Stress) และจัดรูปสมการที่ 5 ให้คล้ายกับสมการที่ 4 ด้วยตรีโกณมิติได้

$$0 = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin(2\phi_p) + \tau_{xy} \cos(2\phi_p) \quad (6)$$

โดยที่  $\phi_p$  คือมุมที่เทียบกับระนาบเดิมและทำให้เกิดความเค้นหลัก

สมการที่ 6 และ สมการที่ 4 แสดงว่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อไม่มีความเค้นเฉือน หรือ  $\tau = 0$  นำสมการที่ 4 มาหาความเค้นเฉือนสูงสุด  $\tau_{max}$  โดยหาอนุพันธ์ความเค้นเฉือนเทียบกับมุม  $\phi_p$  แล้วให้เท่ากับศูนย์

$$\tan(2\phi_s) = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}} \quad (7)$$

โดยที่  $\phi_s$  คือมุมเมื่อเทียบจากระนาบเดิมและทำให้เกิดความเค้นเฉือนสูงสุด จัดรูปสมการตามหลักตรีโกณมิติ

$$0 = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos(2\phi_p) + \tau_{xy} \sin(2\phi_p) \quad (8)$$

สมการที่ 8 เหมือน 3 เมื่อแทนค่า  $\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระนาบที่มีความเค้น

เฉือนสูงสุด จมมีความเค้นตั้งฉากเท่ากับ  $\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 5 กับ สมการที่ 7 เห็นว่า มุมระหว่างระนาบที่มีความเค้นเฉือนสูงสุดกับระนาบที่เกิดความเค้นหลักเท่ากับ  $\pm 45$  องศา เพราะฉะนั้นถ้าแทนค่ามุม  $2\phi_p$  ลงในสมการที่ 3 ได้

$$\sigma_{\max}, \sigma_{\min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (9)$$

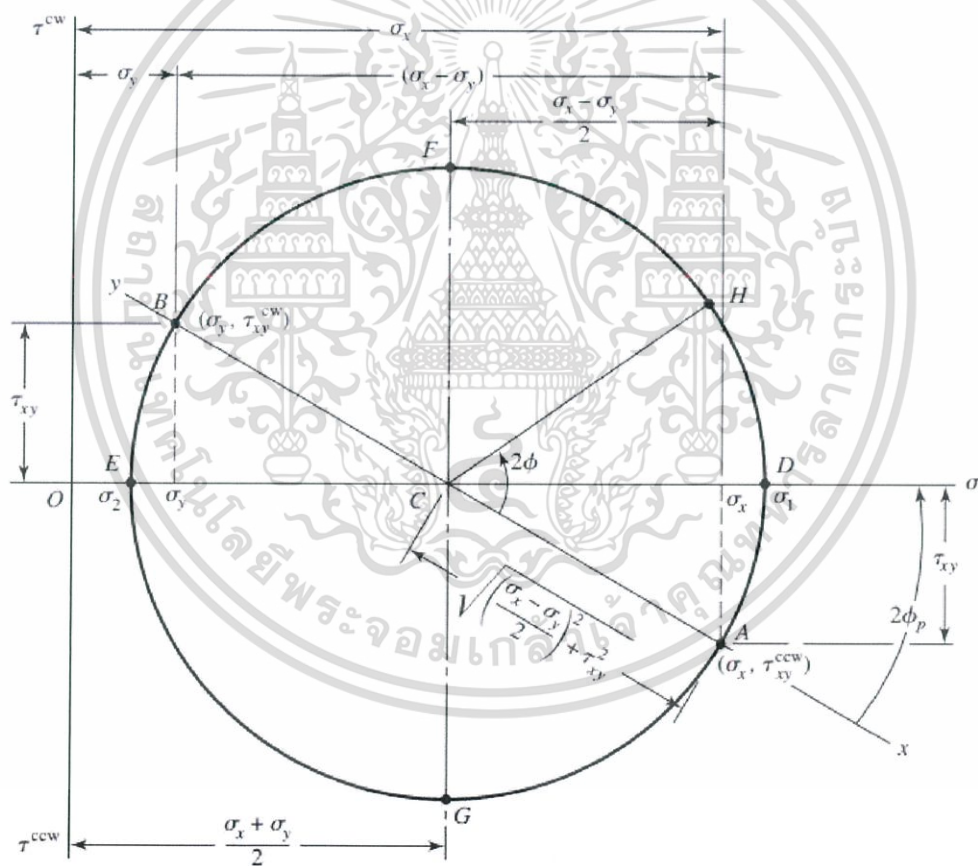
ถ้าแทนค่ามุม  $2\phi_s$  ลงในสมการที่ 4 ได้

$$\tau_{\max}, \tau_{\min} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (10)$$

จากสมการที่ 3 และ สมการที่ 4 กำจัดตัวแปร  $\phi$  ได้โดยการยกกำลังสองแต่ละสมการและรวมสมการทั้งสองเข้าด้วยกันได้

$$\left[\sigma - \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)\right]^2 + \tau_{xy}^2 = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2 \quad (11)$$

จัดรูปสมการที่ 8 เป็นสมการวงกลมที่มีรัศมี R และมีจุดศูนย์กลางอยู่บนแกน  $\sigma$  ที่จุด  $(\sigma_{avg}, 0)$

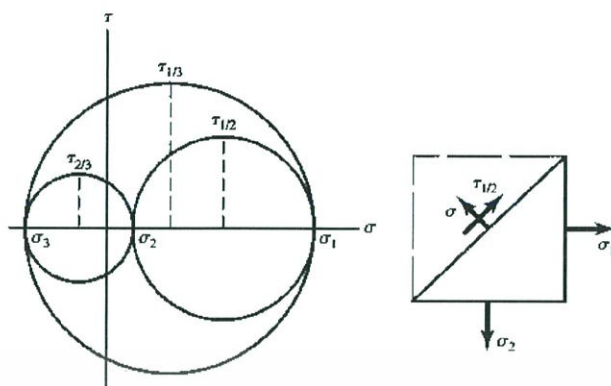


รูปที่ 2.5 วงกลมของมอร์ 2 มิติ [11]

$$(\sigma - \sigma_{avg})^2 + \tau_{xy}^2 = R^2 \quad \text{เมื่อ } \sigma_{avg} = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 \quad \text{และ } R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ทฤษฎีวงกลมมอห์ร์สำหรับวิเคราะห์ความเค้นในระนาบ 3 มิติ



รูปที่ 2.6 วงกลมมอห์ร์ 3 มิติ [12]

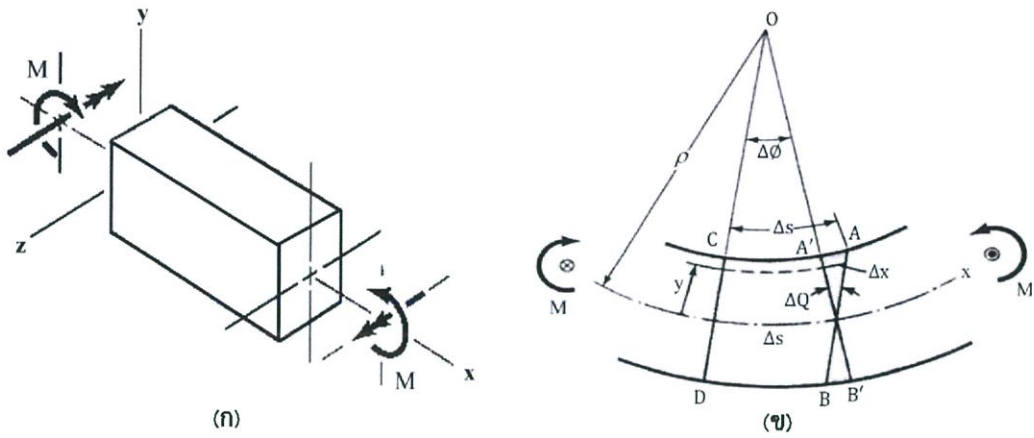
การวาดวงกลมมอห์ร์สามมิตินั้นมีวิธีการดังนี้ เรามองวงกลมมอห์ร์สามมิติให้เป็นสองมิติ 3 ระนาบ คือระนาบ  $xy$  และ  $z$  จากนั้นก็สร้างวงกลมมอห์ร์ตามวิธีสองมิติขึ้นมา และมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 2.5 ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่า เราสามารถนำความเค้นหลักแต่ละระนาบมาเรียงกันได้ ความเค้นหลักที่มีค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุด ถูกนำมาหาความเค้นเฉือนสูงสุดในสามมิติ จากนั้นค่าความปลอดภัยของวัสดุถูกทำจากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

## 2.5 ทฤษฎีความเค้นตัดจากปกติในคาน

การหาสมการความเค้นตัดปกติในคานมีสมมติฐานดังนี้

- 2.5.1 คานนั้นถูกตัดเพียงอย่างเดียว
- 2.5.2 คานนั้นเป็นวัสดุเอกพันธ์ที่มีคุณสมบัติเท่ากันทุกทิศทุกทาง
- 2.5.3 คานมีความยืดหยุ่นตามกฎของฮุก
- 2.5.4 คานนั้นเป็นคานตรงซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาวของคาน
- 2.5.5 คานนั้นมีแกนสมมาตรในระนาบของการตัด
- 2.5.6 สัดส่วนของคานเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการตัดโดยไม่เกิดการบีบ บี้ หรือโค้ง
- 2.5.7 ระนาบของการตัดยังคงเป็นระนาบ

รูปที่ 2.7 (ก) แสดงชิ้นส่วนของคานตรงที่ถูกกระทำโดยโมเมนต์ดัดซึ่งมีค่าเป็นบวก แกน  $y$  คือแกนสมมาตรของการตัด แกน  $x$  เป็นแนวแกนที่สอดคล้องกับแนวแกนของคานเรียกว่า “แกนสะเทิน” และระนาบ  $xz$  เป็นระนาบของพื้นที่หน้าตัดตามธรรมชาติของคาน ดังนั้น องค์ประกอบของความเครียดสอดคล้องกับระนาบนี้มีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 2.7 โมเมนต์ดัดบนคาน [13]

การประยุกต์โมเมนต์ค้ำวกเข้าไปในคานทำให้พื้นผิวด้านบนของคานโค้งงอและแกนสะเทินเป็นส่วนโค้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ข) เนื่องจากความโค้งจึงทำให้ AB ซึ่งเดิมขนานกับ CD หมุนไปเป็นมุม  $d\phi$  กลายเป็นเส้นตรง A'B' จึงสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่าระนาบของการดัดยังคงเป็นระนาบ ถ้ากำหนดให้รัศมีความโค้งของแกนสะเทินมีค่าเท่ากับ  $\rho$  ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของแกนสะเทินมีค่า  $ds$  และมุมที่แนวเส้นตรง CD ทำกับแนวเส้นตรง A'B' มีค่าเท่ากับ  $d\phi$  ได้

$$\frac{l}{\rho} = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta f}{\Delta s} \quad (13)$$

เมื่อ  $\Delta s$  มีค่าเข้าใกล้ 0 สมการที่ 13 จะเปลี่ยนเป็น

$$\frac{l}{\rho} = \frac{df}{ds} \quad (14)$$

เมื่อ  $\rho$  คือ รัศมีความโค้ง

จากรูปที่ 2.7 เส้นโยของเนื้อวัสดุซึ่งยึดออก ที่ระหว่าง  $y$  ห่างจากแนวแกนสะเทินมีค่าเท่ากับ  $\Delta x$  โดย

$$\Delta x \approx -y\Delta f \quad (15)$$

เมื่อ  $\Delta x$  มีค่าเข้าใกล้ 0 สมการที่ 15 จะเปลี่ยนเป็น

$$dx = -ydf \quad (16)$$

ความเครียด คือ ความยาวที่ยึดออกไปหารความยาวเดิมนั้นคือ

$$\epsilon = \frac{\Delta x}{\Delta s} \quad (17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\Delta s$  มีค่าเข้าใกล้ 0 สมการที่ 17 จะเปลี่ยนเป็น

$$\varepsilon = \frac{dx}{ds} \quad (18)$$

เมื่อสมการที่ 14 , สมการที่ 16 และ สมการที่ 18 ได้  $\varepsilon = \frac{y}{\rho}$  นั่นคือ ความเครียดมี ความสัมพันธ์กับระยะ  $y$  ห่างจากแนวแกนสะเทิน สามารถหาความเค้นได้คือ

$$\sigma = \frac{Ey}{\rho} \quad (19)$$

เนื่องจากเรากำลังพิจารณาการตัดโดยไม่มีแรงตามแนวแกนเข้ามาเกี่ยวข้อง ผลรวมของแรงที่กระทำต่อระนาบภาคตัด จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$\sum_A \rho \Delta A = -\frac{E}{\rho} \sum_A y \Delta A \quad (20)$$

เมื่อ  $\Delta A$  มีค่าเข้าใกล้ 0 ผลบวกปริมาตรในสมการที่ 20 เป็นปริพันธ์จำกัดเขต

$$\int_A \rho dA = -\frac{E}{\rho} \int_A y dA \quad (21)$$

สมการที่ 21 ระบุตำแหน่งของแนวแกนสะเทิน โดยโมเมนต์ของพื้นที่รอบแกนสะเทินมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ แนวแกนสะเทินผ่านจุดศูนย์กลางมวลบนพื้นที่หน้าตัดคาน

ในสภาวะสมดุลโมเมนต์ตัดภายในที่เกิดจากความเค้น มีค่าเท่ากับโมเมนต์ตัดภายนอก  $M$  นั่นคือ

$$M = -\int_A y \sigma dA = \frac{E}{\rho} \int_A y^2 dA \quad (22)$$

การอินทิเกรตครั้งที่สองของสมการที่ 22 ได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดรอบแกน  $z$  นั่นคือ

$$I = \int y^2 dA \quad (23)$$

แก้สมการที่ 22 และ สมการที่ 23 แล้วจัดรูปได้

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (24)$$

กำจัดค่า  $\rho$  จากสมการที่ 23 และ สมการที่ 24 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (25)$$

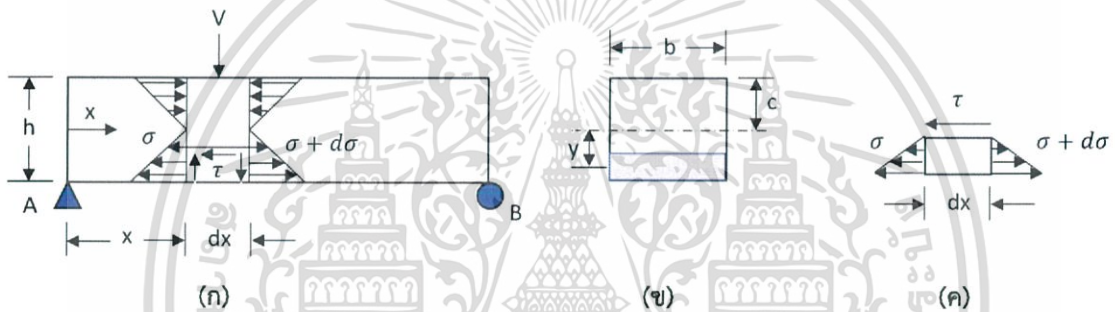
เมื่อ  $\sigma$  คือ ความเค้น (Pa)

$M$  คือ โมเมนต์ดัด (N·m)

$I$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด ( $m^4$ )

## 2.6 ทฤษฎีความเค้นเฉือนของคาน

เมื่อคานถูกกระทำ ด้วยแรงภายนอก หรือมีน้ำหนักภายนอกกระทำกับคานแล้วก็เกิดแรงต้านภายในขึ้นมาสองตัวด้วยกันคือแรงเฉือนในแนวตั้งและโมเมนต์ดัด สำหรับโมเมนต์ดัดทำให้เกิดความเค้นดัดตั้งฉากกับหน้าตัดและแรงเฉือนก็ทำให้เกิดความเค้นเฉือนขึ้น



รูปที่ 2.8 ความเค้นบนคานอย่างง่าย

พิจารณาคานช่วงเดียวดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก) มีแรง  $V$  มากระทำ หากพิจารณาน้ำตัดดังแสดงในรูป 2.8 (ค) ที่ระยะ  $x$  มีโมเมนต์ขนาด  $M$  มากระทำทำให้เกิดความเค้นดัดขนาด  $\sigma$  ส่วนที่หน้าตัด  $x+dx$  มีโมเมนต์ขนาด  $M+dM$  มากระทำทำให้เกิดความเค้นดัดขนาด  $\sigma + d\sigma$  เมื่อพิจารณาน้ำตัด ดังแสดงในรูป 2.8 (ค) ให้มีขนาดเล็กๆ และ  $dx$  เป็นความยาวสั้นๆ ค่าของความเค้นเฉือนมีค่าคงที่ พิจารณารูป 2.8 (ค) เนื่องจากหน้าตัดนี้อยู่ในสภาพสมดุล ดังนั้น

$$\sum F = 0$$

$$\int (\sigma + d\sigma) dA - \int \sigma dA - \tau b dx = 0$$

$$\text{เนื่องจาก } \sigma = \frac{My}{I}$$

$$\int_y^c \frac{(M + dM)y}{I} dA - \int_y^c \frac{My}{I} dA - \tau b dx = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau b g dx = \int_y^c \frac{dMy}{I} dA$$

$$\tau = \frac{1}{b dx} \int_y^c \frac{dMy}{I} dA$$

$$\tau = \frac{1}{b dx} \int_y^c y dA \quad (26)$$

เนื่องจาก

$$\frac{dM}{dx} = V \quad \text{และ} \quad Q = \int y dA$$

ดังนั้น

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \quad (27)$$

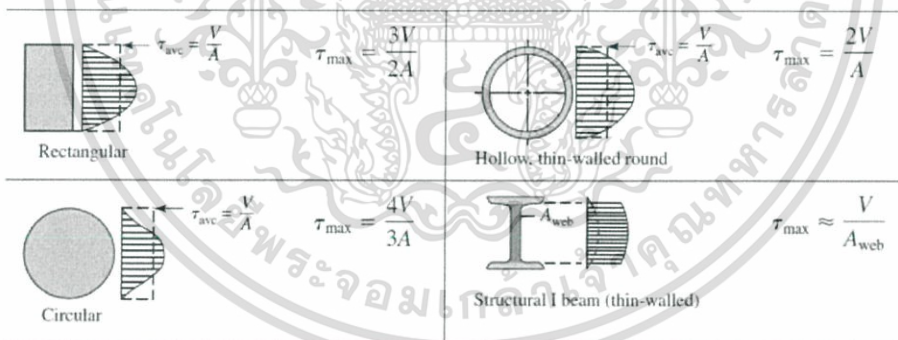
เมื่อ  $\tau$  คือ ความเค้นเฉือน (Pa)

$I$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดของคาน (m<sup>4</sup>)

$V$  คือ แรงเฉือนมีหน่วย (N)

$b$  คือ ความกว้างของคาน (m)

รูปที่ 2.9 แสดงการกระจายความเค้นเฉือนบนหน้าตัดรูปทรงต่าง ๆ



รูปที่ 2.9 แสดงการกระจายความเค้นเฉือนบนหน้าตัดรูปทรงต่าง ๆ [12]

## 2.7 ทฤษฎีความเสียหาย

ชิ้นงานที่ผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบไว้เรียกว่า “เกิดความเสียหาย” ก็ต่อเมื่อชิ้นงานนั้นไม่สามารถใช้งานต่อไปได้แล้วจำเป็นต้องนำมาซ่อมแซม หรือเปลี่ยนใหม่ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบให้ต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณโดยทฤษฎีความเสียหาย สำหรับการออกแบบและการสร้างอุปกรณ์ผูกยึดของงานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎี ความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum Shearing Stress Theory) มาพิจารณา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคราก (Yielding) เกิดขึ้นเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shear stress) เท่ากับ ความต้านแรงเฉือนคราก (Shear strength) ภายใต้การทดสอบด้วยแรงดึงอย่างง่ายของวัสดุชนิดเดียวกัน [8]

ในการทดสอบแรงดึงอย่างง่าย  $\sigma = P/A$  ความเค้นเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นบนระนาบที่ทำมุมกับระนาบของการดึง โดยมีขนาด 45 องศา  $\tau_{\max} = \sigma/2$  ดังนั้น ความเค้นเฉือนสูงสุดที่จุดครากมี  $\tau_{\max} = S_y/2$  สำหรับระนาบ  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  มิติกำหนดให้ 3 เรียงตามลำดับ ได้

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq \frac{S_y}{2} \quad \text{หรือ} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = S_y \quad (28)$$

จากสมการที่ 24 ได้ความสัมพันธ์ของความต้านแรงเฉือนคราก ดังนี้

$$\tau_{\text{available}} = \frac{1}{2} S_y \quad (29)$$

เมื่อ  $\tau_{\text{available}}$  คือ ความเค้นเฉือนที่รับได้ (N·m)

$S_y$  คือ ความเค้นตั้งฉากของวัสดุที่จุดคราก (N·m)

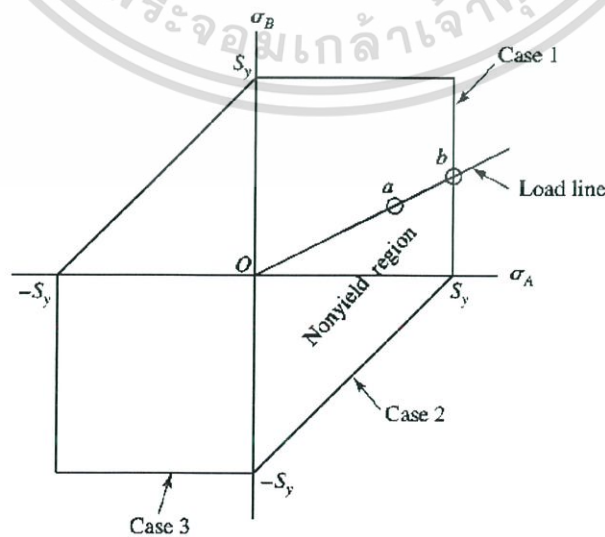
เพื่อความง่ายในการวิเคราะห์เราทำการวิเคราะห์ความเสียหายแบบความเค้นในระนาบ โดยกำหนดให้ความเค้นหลักในระนาบใดระนาบหนึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นได้ความเค้นใน 3 มิติ เมื่อพิจารณาพร้อมกับสมการที่ 28 ทั้งหมด 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 :  $\sigma_A \geq \sigma_B \geq 0$  ได้เงื่อนไขในสมการที่ 28 เป็น  $\sigma_A = S_y$

กรณีที่ 2 :  $\sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B$  ได้เงื่อนไขในสมการที่ 28 เป็น  $\sigma_A - \sigma_B \geq S_y$

กรณีที่ 3 :  $0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B$  ได้เงื่อนไขในสมการที่ 28 เป็น  $\sigma_A \geq -S_y$

จากเงื่อนไขทั้ง 3 กรณี ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (MSS) ได้ทำนายว่าวัสดุเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นที่เกิดขึ้นอยู่นอกขอบเขตรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขอบเขตทำนายความเสียหายทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 ทฤษฎีค่าความปลอดภัย

ความเค้นสูงสุดที่เราหาได้จากการคำนวณความเค้นที่รับได้ในโครงสร้างนั้นไม่สามารถที่นำค่าเหล่านั้นมาใช้ในการออกแบบ หรือคำนวณได้ทันที เพราะความเค้นเกิดขึ้นจริงในโครงสร้างนั้นอาจสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ หรือลักษณะการใช้งานของชิ้นงานต่างไปจากการคำนวณ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความเค้นที่เกิดขึ้นจริงเกินค่าสูงสุดในโครงสร้างนั้นเราจึงกำหนดตัวประกอบความปลอดภัยไว้ดังนี้

$$S.F. = \frac{\tau_{available}}{\tau} \quad (30)$$

$\tau_{available}$  คือ ความเค้นเฉือนอนุญาต (N·m)

$\tau$  คือ ความเค้นเฉือนที่ได้จากการคำนวณความเค้นในเนื้อวัสดุ (N·m)

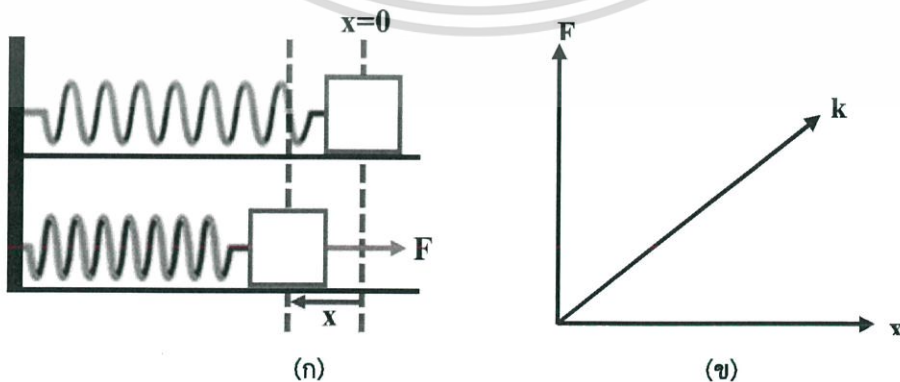
S.F. คือ ตัวประกอบความปลอดภัยของชิ้นงาน

## 2.9 ทฤษฎีเรื่องสปริง

สปริงหมายถึงสิ่งที่ยืดหดแล้วคืนตัวได้เองโดยทั่วไปสปริงมักหมายถึงขดลวดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ ขดเป็นวงรูปทรงกระบอก โดยทั่วไปมักใช้ในการเก็บพลังงานเนื่องจากการยืด หรือหดของขดสปริง

### 2.9.1 แรงเนื่องจากการยืดและหดของสปริง

เมื่อสปริงยืด หรือหดจากตำแหน่งสมดุลเกิดแรงต้านขึ้นในสปริงเพื่อให้กลับสปริงกลับสู่ตำแหน่งสมดุล



รูปที่ 2.11 (ก) แสดงการหดของสปริงจากตำแหน่งสมดุล

รูปที่ 2.11 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและตำแหน่งของสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงต้านเนื่องจากสปริงถูกเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = kx \quad (31)$$

เมื่อ  $F$  คือแรงของสปริงเมื่อสปริงถูกยืดออกเป็นระยะ  $x$  (N)

$k$  คือค่าคงที่ของสปริง (N/m)

$x$  คือระยะที่สปริงยืดออกจากจุดสมดุล (m)

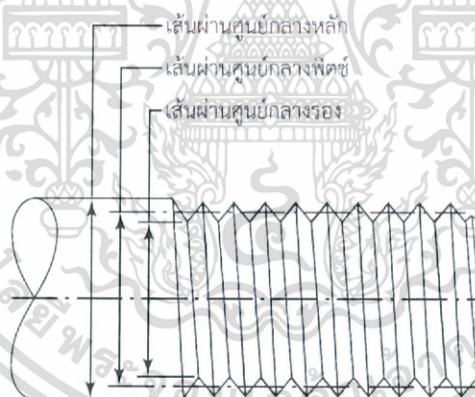
## 2.10 ทฤษฎีเรื่องเกลียวและพื้นที่รับแรงเฉือนของเกลียว

คำศัพท์ที่ใช้ในเรื่องของสกรูและสลักเกลียว ดังแสดงในรูปที่ 2.12 มีคำอธิบายดังนี้

พิตช์หมายถึงระยะห่างระหว่างตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของเกลียวที่อยู่ติดกันโดยมักมักบอกเป็นจำนวนพิตช์ในหนึ่งหน่วยความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางหลักหมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของส่วนที่เป็นเกลียว

เส้นผ่านศูนย์กลางรองหมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุด

เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์หมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดที่วงกลมพิตช์เกลียว



รูปที่ 2.12 แสดงมิติต่าง ๆ ของเกลียว

ในการออกแบบชิ้นส่วนเกลียว ขนาดของชิ้นส่วนเกลียวถูกระบุด้วยการกำหนดระยะพิตช์ เส้นผ่านศูนย์กลางรองสามารถหาได้จาก

$$d_r = d - 1.23p \quad (32)$$

ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์สามารถหาได้จาก

$$d_p = d - 0.65p \quad (33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางหลัก (m)

$d_r$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรอง (m)

$d_p$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (m)

เนื่องจากชิ้นส่วนเกลียวในงานวิจัยนี้ได้รับแรงเฉือนจึงจำเป็นต้องหาพื้นที่รับแรงเฉือนด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยเราจึงต้องให้เส้นผ่านศูนย์กลางรองซึ่งเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุดในการคำนวณพื้นที่รับแรงเฉือนซึ่งเขียนเป็นสมการของพื้นที่รับแรงได้ดังนี้

$$A = \frac{\pi d_r^2}{4} \quad (34)$$

เมื่อ

$A$  คือ พื้นที่รับแรงเฉือน ( $m^2$ )

$d_r$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรอง (m)

## 2.11 ทฤษฎีเรื่องโซเลนอยด์ (Solenoid)

โซเลนอยด์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานจลน์ โซเลนอยด์มีลักษณะเป็นขดลวดพันรอบแกนทรงกระบอกภายในแกนมีแกนเหล็กที่สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดเกิดสภาพเสมือนเป็นแม่เหล็กดังนั้นแกนเหล็กดังกล่าวจึงสามารถเคลื่อนที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

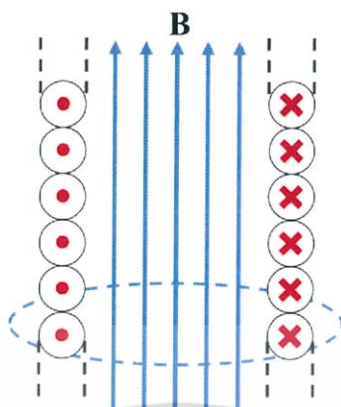


รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของโซเลนอยด์

โซเลนอยด์มีทั้งชนิดไฟตรงและสลับข้อแตกต่างของโซเลนอยด์ไฟตรงคือกระแสที่ไหลในขดลวดค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของแกนเหล็ก ขณะที่โซเลนอยด์ไฟสลับกระแสมีค่าสูงเมื่อแกนเหล็กเคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งนอกขดลวด และลดลงเมื่อแกนเหล็กเคลื่อนที่เข้ามาจนสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวด ดังนั้น จึงต้องใช้โซเลนอยด์ไฟสลัอย่างระมัดระวัง โดยอย่าให้แกนเหล็กเคลื่อนที่เกิดการติดขัดขณะทำงาน เพราะอาจทำให้เกิดกระแสจำนวนมากที่ไหลค้างอยู่ทำขดลวดไหม้เสียหายได้



รูปที่ 2.14 แสดงสนามแม่เหล็กของโซเลนอยด์

จากรูปที่ 2.14 เมื่อพิจารณาภาคตัดขวางของโซเลนอยด์เห็นว่าทางด้านที่กระแสไฟฟ้าพุ่งออกสนามแม่เหล็ก ทางซ้ายของโซเลนอยด์มีทิศลงส่วนภายในแกนโซเลนอยด์และด้านขวามีทิศขึ้นเมื่อพิจารณาด้านที่กระแสไฟฟ้าพุ่งเข้าสนามแม่เหล็กทางขวาของโซเลนอยด์ มีทิศลงส่วนภายในแกนโซเลนอยด์และ ด้านซ้ายมีทิศขึ้น สนามแม่เหล็กภายในโซเลนอยด์มีความเข้มสูง เนื่องจากส่วนของกระแสที่พุ่งออก และพุ่งเข้าเสริมกันแต่บริเวณภายนอกโซเลนอยด์มีสนามแม่เหล็กอ่อนมากเพราะสนามแม่เหล็กจากส่วนของกระแสที่พุ่งออกและพุ่งเข้าหักล้างกันเมื่อใช้กฎของแอมแปร์หาสนามแม่เหล็กโดยสร้างวงปิดสี่เหลี่ยมดังรูป ได้สมการดังนี้

$$\mu_0 I_{in} = \oint \vec{B} d\vec{S}$$

$$\mu_0 NI = \vec{B} \oint d\vec{S}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{N}{l} I$$

(35)

เมื่อ

$\vec{B}$  คือ สนามแม่เหล็กของโซเลนอยด์ (T)

$\mu_0$  คือ มีค่าสภาพซึมซาบของสุญญากาศ  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A}\cdot\text{m}$

$N$  คือ จำนวนรอบของขดลวดที่พันรอบโซเลนอยด์

$I$  คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้โซเลนอยด์ (A)

## 2.12 พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยอาดูยโน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ที่ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในอุปกรณ์เดียวกัน

อาดูยโน (Arduino) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ ที่มีการพัฒนาแบบเปิดเผย โค้ดทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์จึงเกิดการแข่งขันทำให้ราคาถูกกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดอื่น ๆ ตัวบอร์ดอาดูยโนถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขารับเข้า หรือส่งออกของบอร์ด ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา

งานวิจัยนี้เลือกใช้บอร์ดรุ่น NodeMCU ESP8266 เพราะสามารถเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายไร้สายแบบไวไฟ [18] มีขนาดเล็กและราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสินค้าประเภทเดียวกัน



รูปที่ 2.15 บอร์ดรุ่น NodeMCU ESP8266 [14]

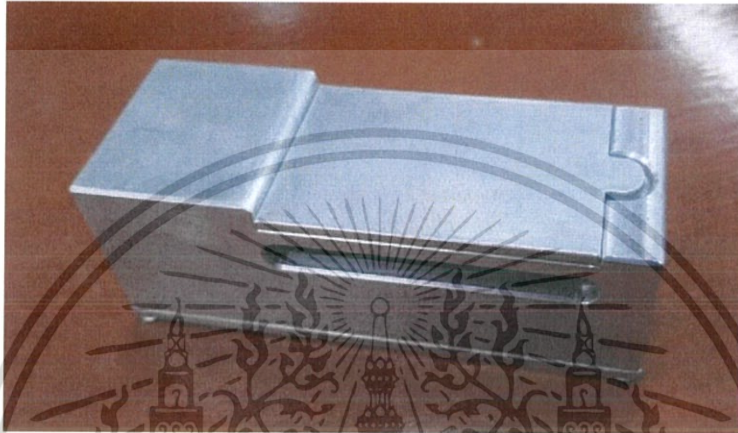


## บทที่ 3

# การออกแบบและการคำนวณตัวประกอบความปลอดภัย

### 3.1 การออกแบบอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยจิตเวช

#### 3.1.1 ตัวยึดข้อมือและข้อเท้า

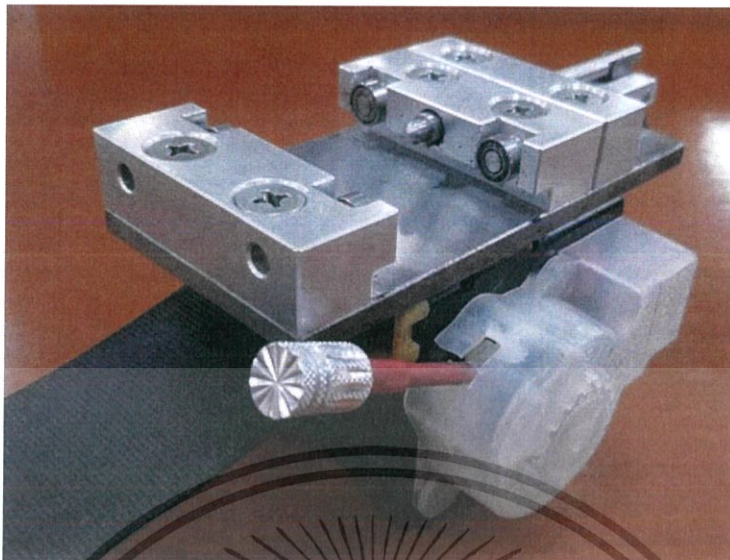


รูปที่ 3.1 ตัวยึดข้อมือและข้อเท้า

ตัวยึดข้อมือและข้อเท้าดังรูปที่ 3.1 ใช้อะลูมิเนียม รหัส 7075 ซึ่งมีข้อดีคือน้ำหนักเบากว่าเหล็กกล้าไร้สนิมประมาณ 3 เท่า ราคาสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมในน้ำหนักเท่ากัน หากเทียบราคาต่อปริมาตรนั้นมีราคาใกล้เคียงกัน ง่ายต่อการขึ้นรูปและการกัดโดยเครื่องกัด ทนต่อการใช้งาน ด้านทานการกัดกร่อนได้ดีจึงไม่มีภาระในการบำรุงรักษามากนัก การล็อกสายรัดใช้ด้วยแรงเสียดทานกล่าวคือเมื่อผู้ใช้งานกดฝาปิดด้วยแรงเสียดทานเข้าไปในตำแหน่งที่ทำให้สายรัดไม่สามารถขยับได้ ในทางกลับกันเมื่อต้องการปลดล็อกผู้ใช้สามารถสั่งการผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนด้วยสัญญาณเครือข่ายไร้สาย จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งงานให้กลไกแม่เหล็กโซเลนอยด์ดึงสลักกลับและสปริงดันฝาปิดเพื่อเปิดฝาท่อออก กลไกการล็อกด้วยแรงเสียดทานหยุดทำงานและสามารถปรับความยาวของสายรัดได้ ซึ่งการใช้แอปพลิเคชันทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถทราบถึงวิธีการปลดล็อก และได้มีอุปกรณ์ปลดล็อกสำรองเมื่อระบบไฟฟ้าเสียหาย สายเข็มขัดนิรภัยรถยนต์ถูกใช้เป็นสายสำหรับผูกยึดผู้ป่วยเนื่องจากสามารถรับแรงดึงได้สูง ใช้งานได้ยาวนาน มีผิวเรียบทำให้เกิดการบาดเจ็บทางตรงน้อย ราคาไม่แพงสามารถหาซื้อมาเปลี่ยนได้ง่ายเมื่อชำรุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้า



รูปที่ 3.2 ที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้า

ที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้าดังรูปที่ 3.2 ใช้ระบบเดียวกับระบบเก็บเข็มขัดนิรภัยในรถยนต์ ซึ่งระบบเก็บเข็มขัดนิรภัยในรถยนต์นั้นมกลไกเหมาะสมกับการใช้งานของอุปกรณ์การเก็บสายรัดที่ได้ ออกแบบไว้ อุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยที่ได้ออกแบบประกอบด้วยกลไกหลัก 3 ชนิดได้แก่ กลไกดึงสายรัดข้อมือและข้อเท้า กลไกปรับความยาวของสายรัดข้อมือและข้อเท้า กลไกการเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้า จำแนกได้ดังนี้

#### 3.1.2.1 กลไกปรับความยาวของสายรัดข้อมือและข้อเท้า

กลไกนี้ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยปกติสลักทำหน้าที่ล็อกฟันเฟืองทำให้สายรัดข้อมือและข้อเท้าไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ได้ แต่หากต้องการปรับความยาวของสายรัดสามารถทำได้โดยกดแป้นคันโยกสลักถูกดึงออกทำให้สายรัดข้อมือและข้อเท้าสามารถเคลื่อนที่ได้



รูปที่ 3.3 กลไกปรับความยาวของสายรัดข้อมือและข้อเท้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2.2 กลไกดึงสายรัดข้อมือและข้อเท้า

กลไกนี้อาศัยแรงดึงจากสปริงชุด เมื่อดึงสายรัดออกสปริงถูกดึงออกส่งผลให้เกิดการสะสมพลังงานศักย์ยืดหยุ่นในสปริง ถ้าสายรัดไม่ถูกดึงออกด้วยแรงที่มากกว่าหรือเท่ากับแรงสปริงสายรัดข้อมือและข้อเท้าถูกดึงกลับเข้าที่เก็บ แต่หากสายรัดถูกดึงออกมากกว่าแรงสปริงสายรัดข้อมือและข้อเท้าถูกดึงออกจากที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้ามากขึ้น

### 3.1.2.3 กลไกเปลี่ยนตำแหน่งของที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้า

กลไกนี้ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ก) และ 3.4 (ข) โดยปกติมีสลักไปขัดระหว่างชุดเก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้ากับรางเลื่อนทำให้ชุดเก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้าไม่สามารถเปลี่ยนตำแหน่งได้ และออกแบบคั่นโยกให้อยู่ด้านหลังเพื่อไม่ให้เป็นเป้าสายตาของญาติผู้ป่วย สลักที่ขัดระหว่างชุดเก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้ากับรางเลื่อนถูกดึงออก ทำให้ที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้าสามารถเลื่อนไปในตำแหน่งต่าง ๆ ของรางเลื่อนได้



(ก)

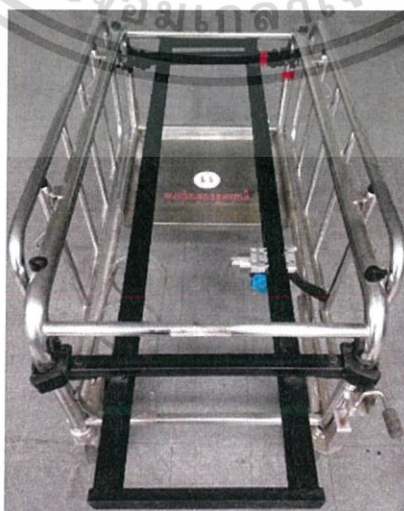


(ข)

รูปที่ 3.4 กลไกการเปลี่ยนตำแหน่งของที่เก็บสายรัด

### 3.1.3 ชุดรางเลื่อนสำหรับติดตั้งที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้ากับเตียงผู้ป่วย

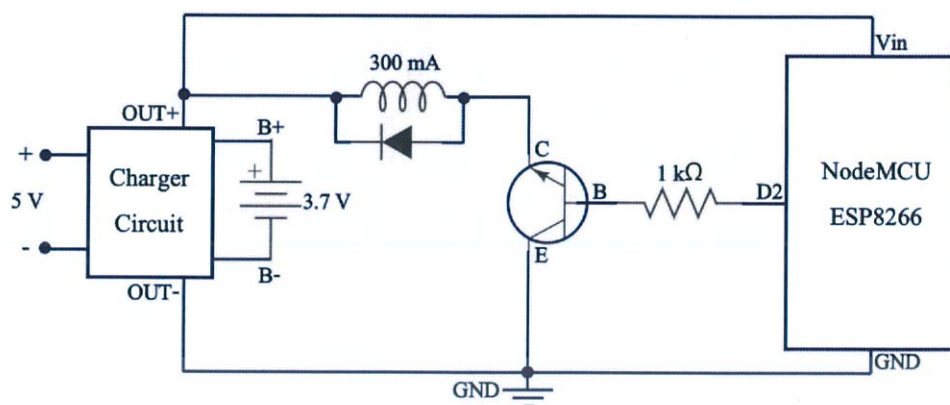
ชุดรางเลื่อนดังแสดงในรูปที่ 3.5 ถูกออกแบบให้ติดตั้งใต้เตียงผู้ป่วยด้วยมือเสือ ทำให้สามารถเปลี่ยนตำแหน่งความสูงของชุดติดตั้งได้ตามความเหมาะสมของแต่ละสถานที่



รูปที่ 3.5 ชุดรางเลื่อนสำหรับติดตั้งที่เก็บสายรัดข้อมือและข้อเท้ากับเตียงผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.1.4 วงจรไฟฟ้าภายในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า



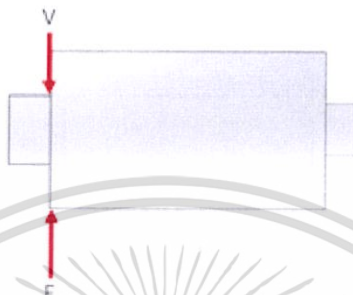
รูปที่ 3.6 วงจรไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้าของตัวยึดข้อมือและข้อเท้าดังแสดงในรูปที่ 3.6 สำหรับตัวยึดข้อมือและข้อเท้าถูกออกแบบให้ส่งปลดล็อกได้จากโทรศัพท์มือถือผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย ทำให้สามารถปลดล็อกอุปกรณ์ได้แม้อยู่ในระยะไกล ซึ่งหัวใจสำคัญของระบบกลไกนี้อยู่ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนรุ่น NodeMCU ESP8266 ที่รับคำสั่งจากแอปพลิเคชันที่กำหนดไว้ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนรุ่น NodeMCU ESP8266 ต้องใช้พลังงานจึงจำเป็นต้องต่อแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน และต่อวงจรประจุไฟฟ้าเพื่อเพิ่มพลังงานให้แบตเตอรี่ ซึ่งสามารถใช้กับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับสมาร์ตโฟนทั่วไปตามมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลประเภทไมโครยูเอสบีได้ เมื่อต้องการสั่งงานให้เปิดฝาออก กระแสไฟที่ออกจากระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มีกำลังไฟไม่เพียงพอที่ทำให้โซเลนอยด์ดึงตัวกลับ ดังนั้นจึงออกแบบให้โซเลนอยด์ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ซึ่งดึงตัวกลับได้ก็ต่อเมื่อมีคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์เท่านั้น และการติดอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์เปิดปิดวงจรของโซเลนอยด์เมื่อได้รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

### 3.2 การคำนวณในการออกแบบ

กำหนดให้แขนและขาของผู้ป่วยสามารถออกแรงยกของได้ 60 กิโลกรัมในแนวตั้งด้วยแขนหรือขาเพียงข้างเดียวเทียบเท่ากับแรงขนาด 589 นิวตัน ซึ่งชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยต้องมีตัวประกอบความปลอดภัยอย่างน้อย 2 เท่าเมื่อถูกแรงขนาดดังกล่าวกระทำ

#### 3.2.1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของสลักโซเลนอยด์



รูปที่ 3.7 แสดงแรงที่กระทำต่อสลักโซเลนอยด์กรณีตัวยึดข้อมือและข้อเท้าถูกกด

จากรูปที่ 3.7 แสดงแรงที่กระทำต่อสลักโซเลนอยด์เป็นแรงเฉือนทำให้เกิดความเค้นเฉือน ความเค้นเฉือนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\tau = \frac{V}{A}$$

$$\tau = \frac{V}{\pi(25 \times 10^{-3})^2}$$

$$\tau = 509 V \text{ Pa}$$

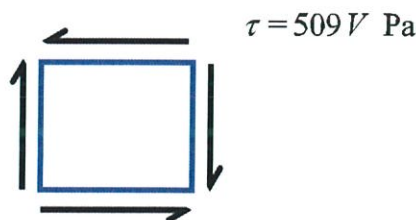
จากทฤษฎีความเสียหายความเค้นเฉือนสูงสุด วัสดุเสียรูปเมื่อความเค้นเฉือนที่สูงสุดที่กระทำมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของของความเค้นดึงที่จุดคราก คุณสมบัติของเหล็ก รหัส 1020 มีความเค้นที่จุดคราก 360 MPa

$$2\tau_{available} = S_y$$

$$2\tau_{available} = 360$$

$$\tau_{available} = 180 \text{ MPa}$$

พิจารณาหน้าตัดที่วิเคราะห์



รูปที่ 3.8 แสดงหน้าตัดที่วิเคราะห์ความเค้นเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

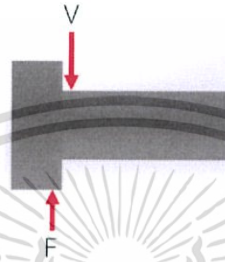
หน้าตัดที่วิเคราะห์ความเค้นเฉือนเป็นหน้าตัดที่รับความเค้นเฉือนสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ดังนั้นหากมีการดึงสลักสามารถทนแรงได้

$$50929V \times 10^{-6} = 180$$

$$V = 3.53 \text{ kN}$$

ดังนั้น สลักโซเลนอยด์ไม่เกิดความเสียหายเมื่อถูกจัดด้วยแรงขนาดน้อยกว่า 3.53 kN

### 3.2.2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของสกรูในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า



รูปที่ 3.9 แสดงแรงที่กระทำต่อสกรูกรณีตัวยึดข้อมือและข้อเท้าถูกจัด

จากรูปที่ 3.9 แสดงแรงที่กระทำต่อสกรูเป็นแรงเฉือนทำให้เกิดความเค้นเฉือนเนื่องจากเป็นแรงเฉือนที่กระทำต่อเกลียวเพื่อความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นจึงให้พื้นที่หน้าตัดตรงในการวิเคราะห์ความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นโดยเกลียว M3 มีพื้นที่หน้าตัดตรงเท่ากับ  $4.47 \text{ mm}^2$  [10]

ความเค้นเฉือนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\tau = \frac{V}{A}$$

$$\tau = \frac{V}{4.47 \times 10^{-6}}$$

$$\tau = 223713 V$$

$$\tau = 0.223 V$$

จากทฤษฎีความเสียหายความเค้นเฉือนสูงสุด วัสดุเสียรูปเมื่อความเค้นเฉือนที่สูงที่สุดที่กระทำมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของของของความเค้นดึงที่จุดคราก คุณสมบัติของเหล็ก รหัส 1020 มีความเค้นที่จุดคราก 360 MPa

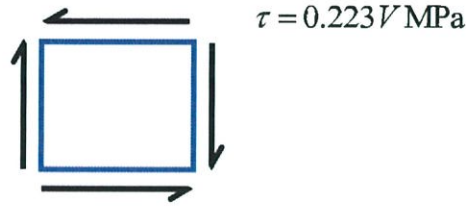
$$2\tau_{available} = S_y$$

$$2\tau_{available} = 360$$

$$\tau_{available} = 180 \text{ MPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาหน้าตัดที่วิเคราะห์ความเค้น



รูปที่ 3.10 แสดงหน้าตัดที่วิเคราะห์ความเค้นเฉือนต่อสกรู

หน้าตัดที่วิเคราะห์ความเค้นเฉือนเป็นหน้าตัดที่รับความเค้นเฉือนสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ดังนั้น หากมีการดึงตัวยึดข้อมือและข้อเท้า สกรูทนแรงดึงได้

$$0.223V = 180$$

$$V = 807 \text{ N}$$

เนื่องจากสกรูมี 2 ชิ้น ดังนั้นสกรูทนแรงดึงได้

$$V = 807 \times 2$$

$$V = 1.61 \text{ kN}$$

ดังนั้นหากตัวยึดสายรัดข้อมือและข้อเท้าไม่เกิดความเสียหายกรณีถูกดึงด้วยแรงขนาดน้อยกว่า 1.61 กิโลนิวตัน

### 3.2.3 วิเคราะห์ความแข็งแรงของสลักล็อกตำแหน่งบนรางเลื่อนของที่เก็บสายรัด



รูปที่ 3.11 แสดงแรงที่กระทำต่อสลักล็อกตำแหน่งบนรางเลื่อนของที่เก็บสายรัด

จากรูปที่ 3.11 แสดงแรงที่กระทำต่อสลักล็อกเป็นแรงเฉือนทำให้เกิดความเค้นเฉือน ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัดคำนวณได้จากสมการที่ 27

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

$$\tau = \frac{589}{\pi(1.5 \times 10^{-3})^2}$$

$$\tau = 83 \text{ MPa}$$

จากทฤษฎีความเสียหายความเค้นเฉือนสูงสุด วัสดุเสียรูปเมื่อความเค้นเฉือนที่สูงที่สุดที่กระทำมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของของความเค้นดึงที่จุดคราก คุณสมบัติของเหล็ก รหัส 1020 มีความเค้นที่จุดคราก 360 MPa

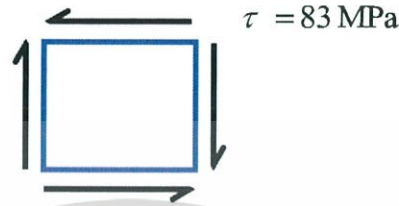
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2\tau_{available} = S_y$$

$$2\tau_{available} = 360$$

$$\tau_{available} = 180 \text{ MPa}$$

พิจารณาหน้าตัดที่วิเคราะห์



รูปที่ 3.12 แสดงหน้าตัดที่วิเคราะห์ความเค้นเฉือนต่อสลัก

หน้าตัดที่วิเคราะห์เป็นหน้าตัดบนระนาบที่ถูกความเค้นเฉือนสูงสุดกระทำ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ตัวประกอบความปลอดภัย

$$S.F. = \frac{\tau_{available}}{\tau_{max}}$$

$$S.F. = \frac{180}{83}$$

$$S.F. = 2.2$$

ดังนั้น สลักล็อกตำแหน่งจึงไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากแรงของผู้ป่วยและมีตัวประกอบความปลอดภัย 2.2

### 3.2.4 วิเคราะห์ความแข็งแรงของแป้นเลื่อนตำแหน่ง



รูปที่ 3.13 แสดงแรงที่กระทำต่อแป้นเลื่อนตำแหน่ง

จากรูปที่ 3.13 แสดงแรงที่กระทำต่อแป้นเลื่อนตำแหน่งเป็นแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดทำให้เกิดความเค้นเฉือนและความเค้นกด

ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัดคำนวณได้จากสมการที่ 27

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\tau = \frac{3V}{2A} \left( 1 - \frac{y^2}{c^2} \right)$$

$$\tau = \frac{3 \times 589}{2 \times 437 \times 10^{-6}} \left( 1 - \frac{y^2}{(3.5 \times 10^{-3})^2} \right)$$

$$\tau = 2.02 \times 10^6 \left( 1 - \frac{y^2}{(3.5 \times 10^{-3})^2} \right)$$

มีการกระจายความเค้นเฉือนตามตำแหน่งต่าง ๆ ได้ ดังนี้



รูปที่ 3.14 แสดงหน้าตัดโมเมนต์ความเฉื่อยของแป้นเลื่อนตำแหน่ง

พิจารณาโมเมนต์ตัดจากสมการสมดุล

$$\sum M = 0$$

$$589 \times 3 \times 10^{-3} = M_{\max}$$

$$M_{\max} = 1.77 \text{ N.m}$$

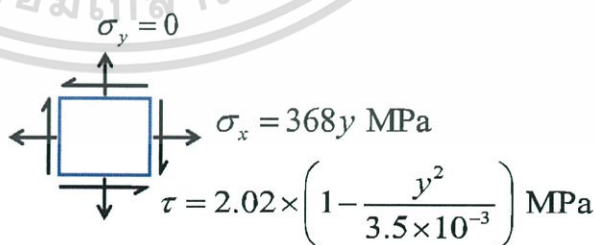
ความเค้นดัดจากที่เกิดจากโมเมนต์ตัดคำนวณได้จากสมการที่ 25

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$\sigma = \frac{1.767 \times y}{4.8 \times 10^{-9}}$$

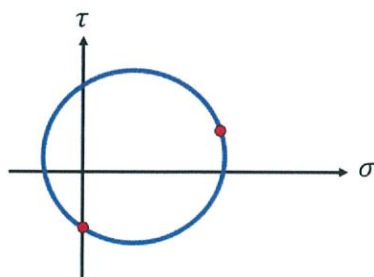
$$\sigma = 368 \times 10^6 y \text{ Pa}$$

ความเค้นเฉือนและความเค้นดัดจากกระทำต่อจุดเล็ก ๆ บนหน้าตัด ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงหน้าตัดที่ถูกกระทำด้วยความเค้นดัดจากและความเค้นเฉือน

สามารถเขียนวงกลมมอร์ห์ได้ดังนี้



ความเค้นเฉือนบนระนาบที่มีความเค้นเฉือนสูงสุดคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{368 \times 10^6 y - 0}{2}\right)^2 + \left(2.02 \times 10^6 \left(1 - \frac{y^2}{(3.5 \times 10^{-3})^2}\right)\right)^2}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{(184 \times 10^6 y)^2 + \left(2.02 \times 10^6 \left(1 - \frac{y^2}{(3.5 \times 10^{-3})^2}\right)\right)^2}$$

โดย  $y$  มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $3.5 \times 10^{-3}$  เมตร

ตารางที่ 3.1 แสดงความเค้นเฉือนสูงสุดในตำแหน่งต่าง ๆ ของแป้นเลื่อนตำแหน่ง

$y$ (mm)	$\tau_{\max}$ (MPa)
3.50	0.65
3.15	0.69
2.80	0.89
2.45	1.12
2.10	1.39
1.75	1.54
1.40	1.71
1.05	1.84
0.70	1.94
0.35	2.00
0.00	2.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีความเสียหายความเค้นเฉือนสูงสุด วัสดุเสียรูปเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดที่กระทำมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเค้นดึงที่จุดคราก

คุณสมบัติของอะลูมิเนียมรหัส 7075 มีความเค้นที่จุดคราก 390 MPa

$$2\tau_{available} = S_y$$

$$2\tau_{available} = 390$$

$$\tau_{available} = 195 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย

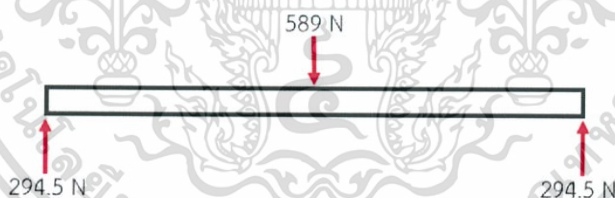
$$S.F. = \frac{\tau_{available}}{\tau_{max}}$$

$$S.F. = \frac{195}{2.02}$$

$$S.F. = 96.5$$

ดังนั้น แขนเลื่อนตำแหน่งจึงไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากแรงของผู้ป่วยและมีตัวประกอบความปลอดภัย 96.5

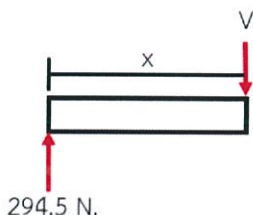
### 3.2.5 วิเคราะห์ความแข็งแรงของรางเลื่อน



รูปที่ 3.16 แสดงแรงที่กระทำต่อรางเลื่อน

จากรูปที่ 3.16 แสดงแรงที่กระทำต่อรางเลื่อนเป็นแรงเฉือนที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดจึงเกิดความเค้นเฉือนและความเค้นดึงจากชั้น

พิจารณาแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงแรงที่วิเคราะห์ต่อรางเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum F = 0$$

$$V = 2.95 \text{ kN}$$

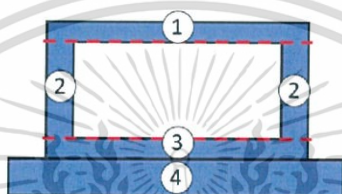
$$\sum M = 0$$

$$M - Fx = 0$$

$$M = Fx$$

$$M_{\max} = 294 \text{ N.m}$$

พิจารณาหน้าตัดของรางเลื่อนเพื่อหาแกนสะเทิน ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงหน้าตัดของรางเลื่อน

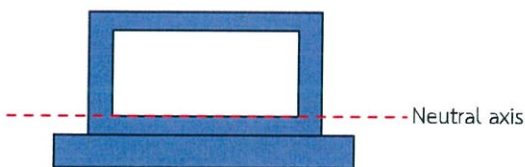
ตารางที่ 3.2 แสดงพื้นที่ของหน้าตัดต่าง ๆ ของรางเลื่อนเพื่อหาแกนสะเทิน

ช่วง	พื้นที่ (mm <sup>2</sup> )	$\bar{y}$	$A\bar{y}$
1	80	23	1840
2	32	15	480
3	80	6	480
4	250	2.5	625

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

$$\bar{y} = \frac{(1840 + 480 + 480 + 625)}{(80 + 32 + 80 + 250)}$$

$$\bar{y} = 7.7 \text{ mm}$$



รูปที่ 3.19 แสดงแกนสะเทินบนหน้าตัดของรางเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.19 คำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่รอบแกนสะเทิน

$$I = \frac{1}{12}bh^3 + Ad^2$$

$$I_1 = 2.18 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_2 = 4.9 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$I_3 = 2.57 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$I_4 = 7.25 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$I_{total} = 3.5 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

ความเค้นตั้งฉากจากโมเมนต์ดัดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 25

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

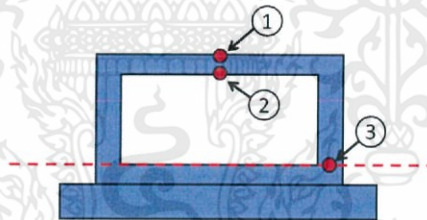
$$\sigma = \frac{294.5 \times y}{3.5 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma = 8.41y \text{ GPa}$$

โดย  $y$  มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $17.5 \times 10^{-3}$  เมตร

พิจารณาหน้าตัดที่อาจเกิดความเสียหายมีอยู่ด้วยกัน 3 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ดังนั้น

วิเคราะห์ความเค้นทั้ง 3 จุด ดังนี้



รูปที่ 3.20 แสดงความเค้นทั้ง 3 จุดของรางเลื่อน

ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัดคำนวณได้จากสมการที่ 27

จุดที่ 1

$$\tau_{xy} = \frac{VQ}{Ib}$$

$$\tau_{xy} = 0$$

จุดที่ 2

$$\tau_{xy} = \frac{VQ}{Ib}$$

$$\tau_{xy} = \frac{589 \times (40 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3}) \times 16.5 \times 10^{-3}}{3.5 \times 10^{-8} \times 4 \times 10^{-3}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_{xy} = 5.5 \text{ MPa}$$

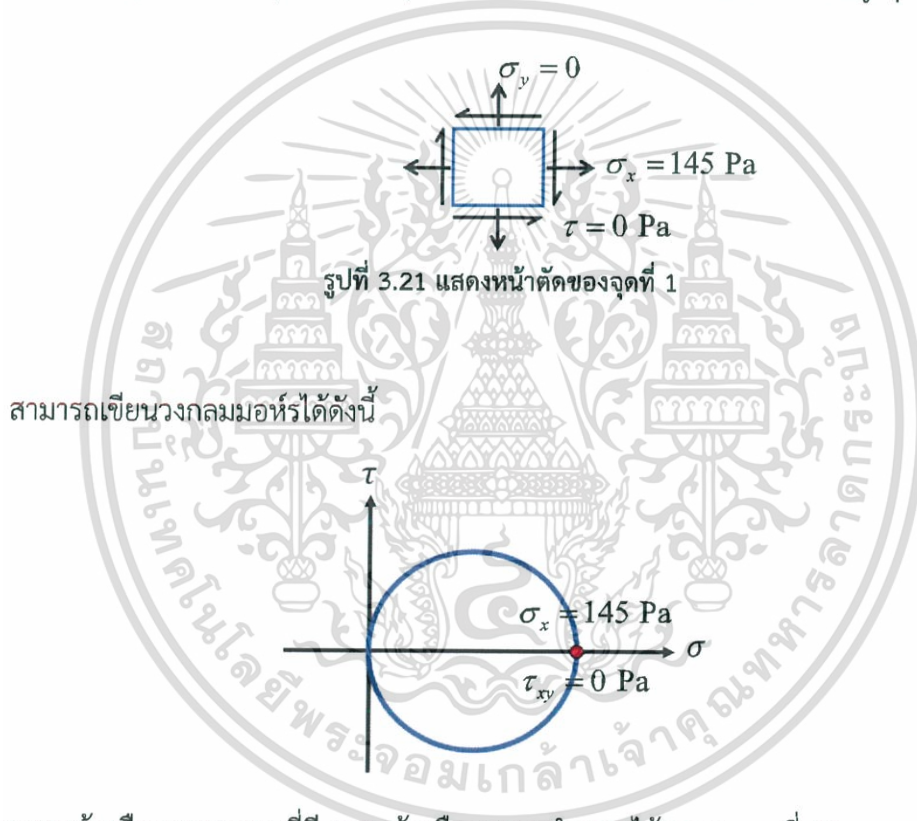
จุดที่ 3

$$\tau_{xy} = \frac{VQ}{Ib}$$

$$\tau_{xy} = \frac{589 \times \left[ (40 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3}) \times 16.5 \times 10^{-3} + (4 \times 10^{-3} \times 15.5 \times 10^{-3}) \times \frac{15.5}{2} \times 10^{-3} \right]}{3.5 \times 10^{-8} \times 4 \times 10^{-3}}$$

$$\tau_{xy} = 7.5 \text{ MPa}$$

จากทั้ง 3 จุด เห็นได้ว่าจุดที่ 1 เป็นจุดที่มีความเค้นเฉือนในระนาบความเค้นสูงสุดมากที่สุด



ความเค้นเฉือนบนระนาบที่มีความเค้นเฉือนสูงสุดคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{145}{2}\right)^2}$$

$$\tau_{\max} = 72.5 \text{ MPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีความเสียหายความเค้นเฉือนสูงสุด วัสดุเสียรูปเมื่อความเค้นเฉือนที่สูงสุดที่กระทำมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของของความเค้นดึงที่จุดคราก คุณสมบัติของเหล็ก รหัส 1020 มีความเค้นที่จุดคราก 360 MPa

$$2\tau_{available} = S_y$$

$$2\tau_{available} = 360$$

$$\tau_{available} = 180 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย

$$S.F. = \frac{\tau_{available}}{\tau_{max}}$$

$$S.F. = \frac{180}{72.5}$$

$$S.F. = 2.5$$

ดังนั้น รางเลื่อนรองรับกลไกเลื่อนตำแหน่งจึงไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากแรงของผู้ป่วยและมีตัวประกอบความปลอดภัย 2.5

### 3.2.6 ค่าคงที่ของสปริง



รูปที่ 3.22 แสดงสปริงและฝาเปิดปิด

ปริมาตรของฝาทัวยึดข้อมือและข้อเท้า  $10.1 \text{ cm}^3$

ความหนาแน่นของอะลูมิเนียมรหัส 7075 =  $2.81 \text{ Mg/m}^3$

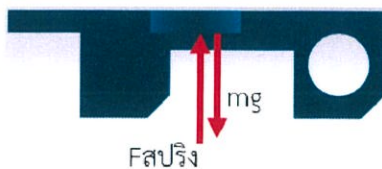
$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho V$$

$$m = 2.81 \times 10^6 \times 10.1 \times 10^{-6}$$

$$m = 28.1 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงแรงที่กระทำต่อฝา

จากรูปที่ 3.23 วิเคราะห์แรงสปริงจากสมการสมดุลโมเมนต์

$$\sum M = 0$$

$$mg \times 10.82 - 12.5kx = 0$$

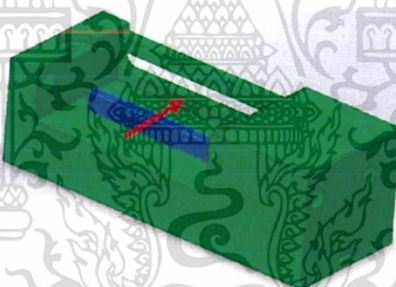
$$12.5kx = 10.82mg$$

$$12.5k(1 \times 10^{-3}) = 10.82 \times 28 \times 10^{-3} \times 9.81$$

$$k = 24 \text{ N/m}$$

ดังนั้น เลือกใช้สปริงที่มีค่าคงที่สปริงมากกว่า 24 นิวตันต่อเมตรจึงสามารถดันฝาดังออกได้

### 3.2.7 ที่ขัดสายรัดในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า



รูปที่ 3.24 แสดงแรงที่กระทำที่ขัดสายรัดในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า

จากรูปที่ 3.24 แสดงแรงที่กระทำที่ขัดสายรัดในกล่องตัวยึดข้อมือและข้อเท้าเป็นแรงเฉือนที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัด จึงมีความเค้นเฉือนและความเค้นดัดจากกระทำต่อส่วนต่าง ๆ ในสลักความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัดคำนวณได้จากสมการที่ 27

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

$$\tau = \frac{3V}{2A} \left( 1 - \frac{y^2}{c^2} \right)$$

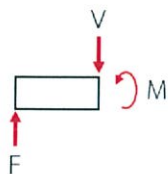
$$\tau = \frac{3 \times 589}{2 \times 4 \times 10^{-3} \times 40 \times 10^{-3}} \left( 1 - \frac{y^2}{c^2} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\tau = 5.5 \times 10^6 \left( 1 - \frac{y^2}{(2 \times 10^{-3})^2} \right) \text{ Pa}$$

โดย  $y$  มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $2 \times 10^{-3}$  เมตร



รูปที่ 3.25 แสดงทิศทางของโมเมนต์ของที่ขัดสาย

จากรูปที่ 3.25 พิจารณาจากโมเมนต์ตัดจากสมการ

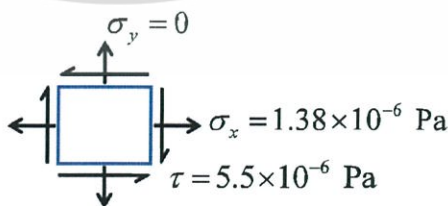
$$\begin{aligned} \sum M &= 0 \\ M - 589 \times 5 \times 10^{-3} &= 0 \\ M_{\max} &= 2.9 \text{ N.m} \end{aligned}$$

ความเค้นดึงจากที่เกิดจากโมเมนต์ตัดคำนวณได้จากสมการที่ 25

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{My}{I} \\ \sigma &= \frac{2.9 \times y}{\frac{1}{12} \times 40 \times 10^{-3} \times (4 \times 10^{-3})^3} \\ \sigma &= 1.38 \times 10^{10} y \text{ Pa} \end{aligned}$$

โดย  $y$  มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $2 \times 10^{-3}$  เมตร

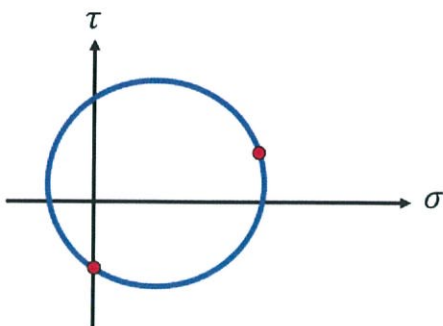
จากสมการความเค้นเฉือนและความเค้นดึงจากที่กระทำต่อหน้าตัดเล็ก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แสดงความเค้นที่กระทำต่อหน้าตัดของที่ขัดสาย

สามารถเขียนวงกลมมอห์ร์เพื่อหาความเค้นเฉือนที่สูงที่สุดได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความเค้นเฉือนบนระนาบที่มีความเค้นเฉือนสูงสุดคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{1.38 \times 10^{10} y}{2}\right)^2 + \left(5.5 \times 10^6 \left(1 - \frac{y^2}{(2 \times 10^{-3})^2}\right)\right)^2}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{(0.69 \times 10^{10} y)^2 + \left(5.5 \times 10^6 \left(1 - \frac{y^2}{(2 \times 10^{-3})^2}\right)\right)^2}$$

โดย  $y$  มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $2 \times 10^{-3}$  เมตร

ตารางที่ 3.3 แสดงความเค้นเฉือนสูงสุดในตำแหน่งต่าง ๆ ของที่ขัดสาย

$y$ (mm)	$\tau_{\max}$ (MPa)
2.0	13.8
1.8	12.5
1.6	11.2
1.4	10.1
1.2	9.0
1.0	8.0
0.8	7.2
0.6	6.5
0.4	6.0
0.2	5.6
0.0	5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีความเสียหายความเค้นเฉือนสูงสุด วัสดุเสียรูปเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเค้นดึงที่จุดคราก

คุณสมบัติของอะลูมิเนียม 7075 มีความเค้นที่จุดคราก 390 MPa

$$2\tau_{available} = S_y$$

$$2\tau_{available} = 390$$

$$\tau_{available} = 195 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย

$$S.F. = \frac{\tau_{available}}{\tau_{max}}$$

$$S.F. = \frac{195}{13.8}$$

$$S.F. = 14.1$$

ดังนั้น ที่ขีดสายรัดในตัวยึดข้อมือและข้อเท้าจึงไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากแรงของผู้ป่วยและมีตัวประกอบความปลอดภัย 14.1

## บทที่ 4

### การทดสอบ

#### 4.1 การทดสอบการเสียดสีของสายยึดผู้ป่วย

เนื่องจากการเสียดสีของสายยึดผู้ป่วยกับข้อมือและข้อเท้าเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บทางตรงของผู้ป่วย [3]

การทดสอบการเสียดสีระหว่างสายยึดผู้ป่วยของงานวิจัยนี้และสายยึดผู้ป่วยแบบผ้าที่ใช้ในปัจจุบันกับแท่งเทียน โดยนำสายยึดผู้ป่วยวางราบ จากนั้นนำแท่งเทียนที่มีมวลประมาณ 15 กรัม และมีพื้นที่หน้าตัดในการเสียดสี 9.62 ตารางเซนติเมตร กดทับแท่งเทียนด้วยมวลอ้างอิงขนาด 500 กรัม ทำให้มีแรงกระทำในแนวตั้งฉากระหว่างสายยึดกับแท่งเทียนประมาณ 5.05 นิวตัน ทำการถูแท่งเทียนไปมาในแนวระดับ มีระยะการเสียดสี 50 เซนติเมตร จำนวน 50 รอบ หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักของแท่งเทียนที่หายไปและเปรียบเทียบมวลแท่งเทียนที่หายไปจากการเสียดสีกับอุปกรณ์ทั้งสองชนิด มวลของแท่งเทียนที่หายไปดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงมวลของแท่งเทียนที่หายไปเนื่องจากการเสียดสีกับอุปกรณ์

ชนิดของอุปกรณ์	มวลก่อนการทดสอบ (กรัม)	มวลหลังจากการเสียดสี 50 รอบ (กรัม)	มวลที่หายไป จากการเสียดสี (กรัม)
สายยึดผู้ป่วย ของงานวิจัยนี้	14.955	14.906	0.049
	14.906	14.857	0.069
	14.857	14.828	0.029
	14.828	14.769	0.059
	14.769	14.720	0.049
		เฉลี่ย	0.051
สายยึดผู้ป่วยแบบผ้า ที่ใช้ในปัจจุบัน	15.086	14.950	0.136
	14.950	14.832	0.118
	14.832	14.697	0.135
	14.697	14.588	0.109
	14.588	14.467	0.121
		เฉลี่ย	0.124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบ มวลแห้งเหียนที่หายไปจากการเสียดสีของสายเช็ดขัดนิรภัยรถยนต์เฉลี่ย 0.051 กรัม และมวลแห้งเหียนที่หายไปจากการเสียดสีของสายผ้าเฉลี่ย 0.124 กรัม ดังนั้นสรุปได้ว่าสายยัดผู้ป่วยของงานวิจัยนี้ก่อให้เกิดความเสียหายทางตรงต่อผู้ป่วยน้อยกว่าสายผ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน 2.43 เท่า

## 4.2 การทดสอบเวลาในการผูกยึดผู้ป่วย

เนื่องจากใน 1 รอบการทำงานของอุปกรณ์ผูกยึดใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง ผู้ป่วยจะถูกใส่ตัวยัดข้อมือและข้อเท้า 1 ครั้ง ได้รับการเปลี่ยนท่าทางการนอนเพื่อลดอาการแทรกซ้อน 7 ครั้ง และปลดล๊อกอุปกรณ์ 1 ครั้ง ซึ่งการมีจำนวนบุคลากรที่เพียงพอกับภาระงานเป็นปัจจัยสำคัญ ความเร็วในการผูกยึดจึงมีความสำคัญ เพราะหากลดระยะเวลาในการผูกยึดจะทำให้โรงพยาบาลสามารถดูแลผู้ป่วยได้มากขึ้น

การทดสอบเวลาในการผูกยึดระหว่างอุปกรณ์ผูกยึดของงานวิจัยนี้และอุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้ในปัจจุบัน ทำการทดสอบโดยผูกยึด จำนวน 10 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ผูกยึดและเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ผูกยึดของอุปกรณ์ทั้งสองชนิด เวลาที่ใช้ผูกยึดดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาที่ใช้ผูกยึดผู้ป่วยในแต่ละรอบการใช้งาน

ชนิดของอุปกรณ์	เวลาที่ใช้ในการผูกยึดต่อหนึ่งรอบ (วินาที)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
อุปกรณ์ผูกยึดของงานวิจัยนี้	44	44	50	38	48	46	37	50	41	48	45
อุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้ในปัจจุบัน	222	210	221	236	237	210	208	229	217	227	222

จากการทดสอบ เวลาที่ใช้ในการผูกยึดผู้ป่วยของอุปกรณ์ผูกยึดในงานวิจัยนี้ใช้เวลาเฉลี่ย 45 วินาที และอุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้ในปัจจุบันใช้เวลาเฉลี่ย 222 วินาที สรุปได้ว่าอุปกรณ์ผูกยึดของงานวิจัยนี้ใช้เวลาในการผูกยึดน้อยกว่าอุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้ในปัจจุบัน 4.93 เท่า

### 4.3 การทดสอบสภาวะรับแรงของชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย

การทดสอบสภาวะรับแรงของชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย ทำการทดสอบโดยการนำตุ้มน้ำหนักแขวนใส่ชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยให้เกิดแรงในทิศทางเดียวกับผู้ป่วยกระทำ จากนั้นเติมตุ้มน้ำหนักขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งอุปกรณ์เกิดความเสียหาย ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการรับแรงของชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย

ตุ้มน้ำหนัก (กิโลกรัม)	35	55	75	95	115	135
ความเสียหาย	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด	ไม่เกิด

จากการทดสอบชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยสามารถรับมวลตุ้มน้ำหนักได้มากถึง 135 กิโลกรัม หรือทนแรงจากผู้ป่วยได้มากถึง 1.30 กิโลนิวตัน

### 4.4 การทดสอบความพึงพอใจ

การทดสอบความพึงพอใจของอุปกรณ์ผูกยึดของงานวิจัยนี้และอุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้ในปัจจุบัน โดยการสอบถามบุคลากรจากโรงพยาบาลพระศรีมหาโพธิ์และบุคคลทั่วไปที่ถูกผูกยึดและใช้อุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยจำนวน 20 คน หัวข้อการสอบถาม ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แบบสอบถามความพึงพอใจต่อชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย

หัวข้อการสอบถาม	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
1. สามารถใช้กับข้อมือและข้อเท้าของผู้ป่วยได้ทุกขนาด					
2. ภาพลักษณ์การใช้งานที่ดูไม่รุนแรง					
3. สภาพจิตใจของผู้ป่วยที่ถูกผูกมัด					
4. ระยะเวลาที่ต้องใช้ไปในการผูกยึดและความยุ่งยากในการใช้อุปกรณ์					
5. การป้องกันผู้ป่วยและบุคคลอื่นในการปลดล็อก					
6. ความทนทาน					
7. ความสะอาด					
8. ความพอใจต่ออุปกรณ์					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระดับคะแนน 5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด  
 ระดับคะแนน 4 หมายถึง พึงพอใจมาก  
 ระดับคะแนน 3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง  
 ระดับคะแนน 2 หมายถึง พึงพอใจน้อย  
 ระดับคะแนน 1 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

จากการทำแบบสอบถามระดับความพึงพอใจจากบุคลากรจากโรงพยาบาลพระศรีมหาโพธิ์และบุคคลทั่วไปที่ถูกผูกยึดและใช้อุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยได้ผลการทดสอบตามหัวข้อ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงระดับความพึงพอใจเฉลี่ยต่อชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย

หัวข้อการสอบถาม	ระดับความพึงพอใจเฉลี่ย	
	อุปกรณ์ผูกยึดของงานวิจัยนี้	อุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้ในปัจจุบัน
1. สามารถใช้กับข้อมือและข้อเท้าของผู้ป่วยได้ทุกขนาด	4.90	2.25
2. ภาพลักษณ์การใช้งานที่ดูไม่รุนแรง	3.20	3.15
3. สภาพจิตใจของผู้ป่วยที่ถูกผูกมัด	3.15	3.10
4. ระยะเวลาที่ต้องใช้ไปในการผูกยึดผู้ป่วยและความยุ่งยากในการใช้อุปกรณ์	4.45	2.05
5. การป้องกันผู้ป่วยและบุคคลอื่นในการปลดล็อก	4.60	1.55
6. ความทนทาน	4.65	1.90
7. ความสะอาด	3.90	2.20
8. ความพอใจต่ออุปกรณ์	3.80	2.1

ข้อเสนอแนะจากการทำแบบสอบถามระดับความพึงพอใจ บุคลากรจากโรงพยาบาลพระศรีมหาโพธิ์และกลุ่มตัวอย่าง มีความเห็นว่าชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยมีความสามารถในการใช้งานได้ดีทำให้ลดเวลาในการใช้งานและลดจำนวนบุคลากรขณะปฏิบัติงานจากเดิมอย่างน้อย 2 คนเป็น 1 คน ทำให้โรงพยาบาลรองรับผู้ป่วยได้เพิ่มขึ้น อุปกรณ์สามารถป้องกันการปลดล็อกจากผู้อื่นได้ และช่วยลดความเสี่ยงที่ผู้ป่วยอาจหลุดมาทำร้ายเจ้าหน้าที่ขณะทำการผูกยึด มีความคงทนมากกว่าอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเดิม และชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยสามารถใช้ได้ในโรงพยาบาลทั่วไปในผู้ป่วยต่าง ๆ เช่น ผู้ป่วยสูงอายุ ชุดอุปกรณ์ผูกยึดมีต้นทุนการผลิตที่ไม่แพงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์แบบเดิม และสามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าจ้างบุคลากร เป็นต้น สมควรแก่การพัฒนาให้สามารถติดตามผลการใช้งานเพิ่มเติม เช่น วัดอัตราการเต้นของหัวใจ สามารถแยกแยะระบบสำหรับผู้ป่วยประเภทต่าง ๆ และสามารถตรวจสอบการหลบหนีของผู้ป่วยได้

จากแบบสอบถามเห็นได้ว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยของงานวิจัยนี้มากกว่าอุปกรณ์แบบผ้าที่ใช้ในปัจจุบันอย่างชัดเจนในหัวข้อ สามารถใช้กับข้อมือและข้อเท้าของผู้ป่วยหลากหลายได้ทุกขนาด ระยะเวลาที่ใช้ในการผูกยึดผู้ป่วยและความยุ่งยากในการใช้อุปกรณ์ การป้องกันผู้ป่วยและบุคคลอื่นในการปลดล็อก ความทนทาน ความสะอาด ความพอใจต่ออุปกรณ์

กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยมากกว่าอุปกรณ์แบบผ้าที่ใช้ในปัจจุบันเล็กน้อยในหัวข้อ ภาพลักษณ์การใช้งานที่ดูไม่รุนแรง สภาพจิตใจของผู้ป่วยที่ถูกผูกมัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัย

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการสร้างชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย สามารถแก้ไขปัญหาของอุปกรณ์ผูกยึดที่ใช้ในปัจจุบัน กล่าวคือ ลักษณะคล้ายบ่วงบาศทำให้สามารถปรับขนาดตามข้อมือและข้อเท้าที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่าปกติ มีความรวดเร็วในการผูกยึดมากกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในปัจจุบัน 4.93 เท่า

การติดตั้งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบไร้สายไว้ภายใน สามารถสั่งการปลดล็อกจากรยะไกลด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ทำให้ป้องกันผู้ป่วยและบุคคลอื่นในการปลดล็อก

ใช้สายนิรภัยรถยนต์ในตัวยึดข้อมือและข้อเท้า ทำให้การเสียดสีของข้อมือและข้อเท้าน้อยกว่าอุปกรณ์แบบผ้าที่ใช้ในปัจจุบัน 2.43 เท่า

อุปกรณ์ผูกยึดสามารถทนต่อแรงของผู้ป่วยได้มากถึง 1.30 กิโลนิวตัน

การปรับเลื่อนตำแหน่งที่เก็บสายรัดบนรางเลื่อนทำได้โดยใช้มือข้างเดียว ทำให้สะดวกในการเปลี่ยนท่านอนให้กับผู้ป่วย สามารถลดอาการแทรกซ้อนเนื่องจากไม่สามารถขยับตัวได้เป็นเวลานาน และสามารถลดจำนวนเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานอย่างน้อย 2 คนเหลือ 1 คน

บุคลากรผู้รักษาของโรงพยาบาลพระศรีมหาโพธิ์รวมทั้งกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในอุปกรณ์ผูกยึดของงานวิจัยนี้มากกว่าอุปกรณ์ผูกยึดแบบผ้าที่ใช้ในปัจจุบัน

#### 5.2 ข้อสังเกต

5.2.1 เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นต้องมีการประจุแบตเตอรี่

5.2.2 ตัวยึดข้อมือและข้อเท้าทำจากโลหะ หากผู้ป่วยหลบหนีได้ อาจนำไปใช้เป็นอาวุธ

5.2.3 ตัวยึดข้อมือและข้อเท้ามีขนาดใหญ่เนื่องจากชิ้นส่วนด้านอิเล็กทรอนิกส์เป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปหลายชิ้นมาต่อวงจรไฟฟ้ากัน แต่ถ้าทำแผงวงจรเฉพาะจะทำให้ขนาดของตัวยึดข้อมือและข้อเท้าเล็กลงอย่างมาก

5.2.4 ตัวยึดข้อมือและข้อเท้า มีกลไกเปิดต้องสั่งจากแอปพลิเคชัน ทำให้ผู้ป่วยและบุคคลอื่นไม่ทราบถึงวิธีการปลดล็อก

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากราคาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในการติดตามอาการของผู้ป่วยมีราคาสูง หากชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยสามารถติดตามอาการของผู้ป่วย เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต การอยู่ที่เตียงของผู้ป่วย จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลในการซื้ออุปกรณ์ที่มาทำหน้าที่เหล่านั้น และชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วยจะมีความน่าใช้งานเพิ่มขึ้น

5.3.2 เนื่องจากสายยึดข้อมือและข้อเท้าของงานวิจัยนี้มีการเสียดสีน้อยกว่าอุปกรณ์แบบผ้าที่ใช้ในงานในปัจจุบัน แต่รูปร่างภายนอกอาจดูรุนแรง เพื่อสร้างความสบายใจแก่ผู้ป่วยและญาติของผู้ป่วย สามารถเพิ่มปกข้อมือและข้อเท้า ทำให้ภาพลักษณ์การใช้งานดูนุ่มนวลขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] ดุสิตา สันติคุณาภรณ์. 2557. สิทธิผู้ป่วยและการตัดสินใจผูกมัดผู้ป่วยและพยาบาลจิตเวช. วารสารการพยาบาลจิตเวชและสุขภาพจิต ปีที่ 28 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2557.
- [2] มณฑาทิพย์ ชัยเปรม. 2556. พฤติกรรมก้าวร้าวของผู้ป่วยจิตเวชและการจัดการของบุคลากรทางการพยาบาล. วารสารสุขภาพจิตแห่งประเทศไทย ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 ปี 2556
- [3] นันทวัช สิทธิรักษ์ และคณะ. 2552. แนวทางการดูแลผู้ป่วยที่ได้รับการผูกมัด. วารสารสมาคมจิตแพทย์แห่งประเทศไทย ปีที่ 54 ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม 2552.
- [4] ชนาธิป คำดำ, เทวบุตร อรุณทัต และนันทภพ ไบยา. 2556. อุปกรณ์ผูกมัดสำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจิตเวชที่มีพฤติกรรมก้าวร้าว. ปรินญาณินพนธ์ประจำปีการศึกษา 2556 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] สุวรรณ สามารถ. 2561. “โครงการกิจกรรมพัฒนาเครื่องผูกมัดผู้ป่วยจิตเวช (อุปกรณ์ผูกมัดผู้ป่วย สุวรรณ 1).” [Online]. Available: [http://www.si.mahidol.ac.th/km/checklogin\\_star.asp?st](http://www.si.mahidol.ac.th/km/checklogin_star.asp?st).
- [6] ขนิษฐ วรรณกานต์, นิภา ชาญสวัสดิ์, ยงยศ กงแก้ว และคณะ. 2550. นวัตกรรมเพื่อป้องกันการบาดเจ็บของผู้ป่วยจิตเวชฉุกเฉินขณะจำกัดพฤติกรรม. การประชุมสุขภาพจิตนานาชาติ ครั้งที่ 6, เรื่องสุขภาพจิต: ชีวิตชาวเมือง วันที่ 1-3 สิงหาคม 2550 ณ โรงแรมปรีนซ์พาเลซ กรุงเทพมหานคร หน้า 218.
- [7] สุพัตรา สกุลพันธ์ และคณะ. 2551. นวัตกรรมรถเข็นนั่งสบายไร้กังวล. การประชุมวิชาการกรมสุขภาพจิตนานาชาติ ครั้งที่ 8 ประจำปี 2552.
- [8] วิศรุต พรหมศิริ และสุพัฒน์ สารคณา. 2550. อุปกรณ์ล็อกสายรัดสหรับผู้ป่วยจิตเวชที่มีพฤติกรรมก้าวร้าว. ปรินญาณินพนธ์ประจำปีการศึกษา 2550 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] โรงพยาบาลชูนันท์. 2561. “CQI เรื่องการผูกมัดด้วยผ้า Restrain.” [PDF]. Available: [http://58045419-66-20170407132739.webstarterz.com/nur/cqi-file/ipd1/\(IPD1\)%](http://58045419-66-20170407132739.webstarterz.com/nur/cqi-file/ipd1/(IPD1)%).pdf.

- [10] R.C. Hibbeler. 2005. **Mechanics of Materials (SI Second Edition)**. 6<sup>th</sup> ed. Singapore: Prentice Hall.
- [11] Charles, R. Joseph, E. and Richard, G. 2552. **การออกแบบเครื่องจักรกล 1 (Mechanical Engineering Design 1)**. ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป.
- [12] Keith, J. and Richard, G. 2014. **Shigley's Mechanical Engineering Design (in SI Units)**. 10th ed. New York: McGraw-Hill.
- [13] กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2561. “การวิเคราะห์แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคาน.” [PDF]. Available: [https://mechanicalsilpakorn.com/images/books/Statics/Chapter5\\_statics.pdf](https://mechanicalsilpakorn.com/images/books/Statics/Chapter5_statics.pdf).
- [14] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2561. “สนามแม่เหล็ก.” [PDF]. Available: <http://science.sut.ac.th/physics/Doc/105102/phys2-4.pdf>.
- [15] วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี. 2561. “ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด.” [PDF]. Available: [http://www.stci.ac.th/stc/data/data\\_aum-n/1\\_03.pdf](http://www.stci.ac.th/stc/data/data_aum-n/1_03.pdf).
- [16] วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่. 2561. “แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด.” [PDF]. Available: [http://building.cmtc.ac.th/main/images/stories/Yanee/unit\\_3.pdf](http://building.cmtc.ac.th/main/images/stories/Yanee/unit_3.pdf).
- [17] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, Jr., John T. DeWolf, and David F. Mazurek. 2015. **Mechanics of Materials (in SI Units)**. 7th ed. New York: McGraw-Hill.
- [18] Charles, R. Joseph, E. and Richard, G. 2554. **การออกแบบเครื่องจักรกล 2 (Mechanical Engineering Design 2)**. ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป.
- [19] Einstronic Enterprise. 2560. “Introduction to NodeMCU ESP8266” [PDF]. Available: <https://einstronic.com/wp-content/uploads/2017/06/NodeMCU-ESP8266-ESP-12E-Catalogue.pdf>.
- [20] The Joanna Briggs Institute. **Best Practice: Evidence Based Practice Information Sheets for Health Professionals**. 6 (3) 2002, p1-6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



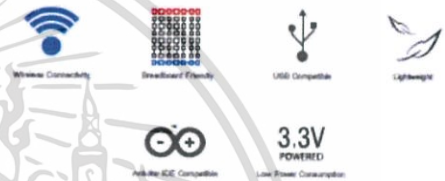
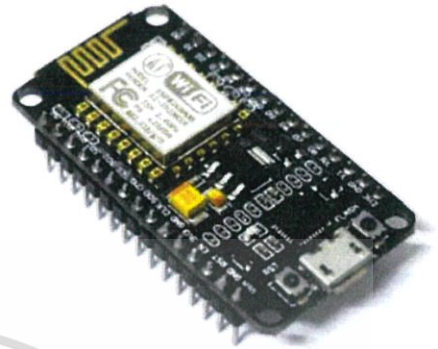
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NodeMCU ESP8266 ESP-12E WiFi Development Board

NodeMCU is an open source IoT platform. It includes firmware which runs on the ESP8266 Wi-Fi SoC from Espressif Systems, and hardware which is based on the ESP-12 module. The term "NodeMCU" by default refers to the firmware rather than the DevKit. The firmware uses the Lua scripting language. It is based on the eLua project, and built on the Espressif Non-OS SDK for ESP8266. It uses many open source projects, such as lua-cjson, and spiffs.

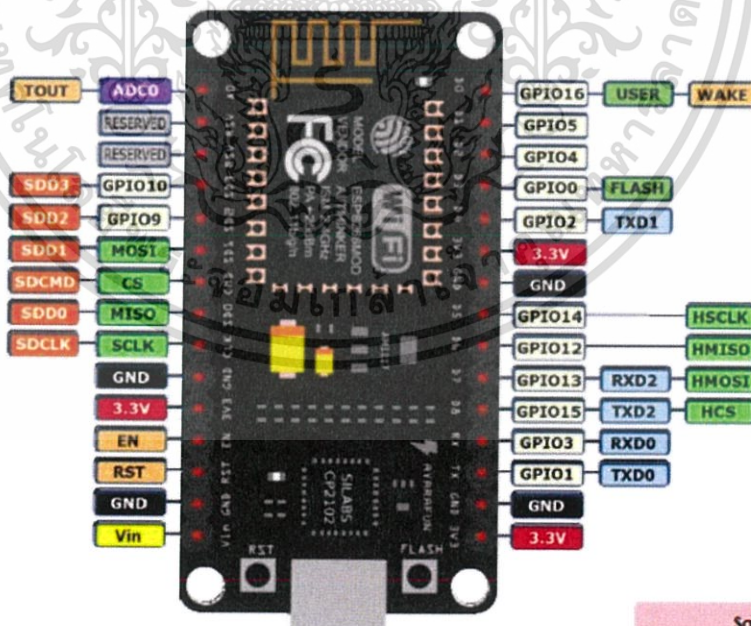
### Features

- ▶ Version : DevKit v1.0
- ▶ Breadboard Friendly
- ▶ Light Weight and small size.
- ▶ 3.3V operated, can be USB powered.
- ▶ Uses wireless protocol 802.11b/g/n.
- ▶ Built-in wireless connectivity capabilities.
- ▶ Built-in PCB antenna on the ESP-12E chip.
- ▶ Capable of PWM, I2C, SPI, UART, 1-wire, 1 analog pin.
- ▶ Uses CP2102 USB Serial Communication interface module.
- ▶ Arduino IDE compatible (extension board manager required).
- ▶ Supports Lua (alike node.js) and Arduino C programming language.



### PINOUT DIAGRAM

NodeMCU ESP8266 v1.0



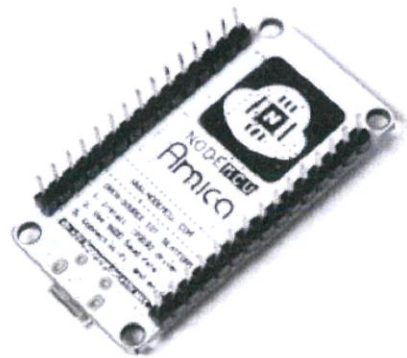
Source  
<https://iotbytes.wordpress.com/nodemcu-pinout/>

**Safety Precaution**  
All GPIO runs at 3.3V !!

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Front View



Front View

## Specifications of ESP-12E WiFi Module

<b>Wireless Standard</b>	IEEE 802.11 b/g/n
<b>Frequency Range</b>	2.412 - 2.484 GHz
<b>Power Transmission</b>	802.11b : $+16 \pm 2$ dBm (at 11 Mbps) 802.11g : $+14 \pm 2$ dBm (at 54 Mbps) 802.11n : $+13 \pm 2$ dBm (at HT20, MCS7)
<b>Receiving Sensitivity</b>	802.11b : -93 dBm (at 11 Mbps, CCK) 802.11g : -85 dBm (at 54 Mbps, OFDM) 802.11n : -82 dBm (at HT20, MCS7)
<b>Wireless Form</b>	On-board PCB Antenna
<b>IO Capability</b>	UART, I2C, PWM, GPIO, 1 ADC
<b>Electrical Characteristic</b>	3.3 V Operated 15 mA output current per GPIO pin 12 - 200 mA working current Less than 200 $\mu$ A standby current
<b>Operating Temperature</b>	-40 to +125 $^{\circ}$ C
<b>Serial Transmission</b>	110 - 921600 bps, TCP Client 5
<b>Wireless Network Type</b>	STA / AP / STA + AP
<b>Security Type</b>	WEP / WPA-PSK / WPA2-PSK
<b>Encryption Type</b>	WEP64 / WEP128 / TKIP / AES
<b>Firmware Upgrade</b>	Local Serial Port, OTA Remote Upgrade
<b>Network Protocol</b>	IPv4, TCP / UDP / FTP / HTTP
<b>User Configuration</b>	AT + Order Set, Web Android / iOS, Smart Link APP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาคผนวก ข

คุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญในชุดอุปกรณ์ผูกยึดผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**AISI 1020 Steel, mock carburized at 915°C (1680°F) for 8 hours, 775°C (1430°F) reheat, water quenched, 175°C (350°F) temper, 25 mm (1 in.) round**

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [AISI 1000 Series Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

**Material Notes:** Applications include parts in the case hardened condition where core strength is not critical, and for shafts of larger cross section that are not highly stressed. Other uses include lightly stressed gears with hard wearing surfaces and case hardened pins and chains.



**Key Words:** UNS G10200, AMS 5032, AMS 5045, ASTM A29, ASTM A108, ASTM A510, ASTM A519, ASTM A29, A108, A510, A512, A513, A519, A544, A575 M10120, A576, A635, A659, A827, A830, BS 970 040A20, 050A20 (En2C), 050A20 (En2D), 060A20, BS 970 Part 1 070M20, DEF STAN95-1-1 C1020, SAE J412, SAE J414, DIN 1.0402, AFNOR CC 20, UNI C 20, SS14 1450 (Sweden), SAE J403

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.87 g/cc	0.284 lb/in <sup>3</sup>	Typical for steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	179	179	
Hardness, Knoop	200	200	Converted from Brinell
Hardness, Rockwell B	88	88	Converted from Brinell
Hardness, Vickers	188	188	Converted from Brinell
Tensile Strength, Ultimate	600 MPa	87000 psi	
Tensile Strength, Yield	370 MPa	53700 psi	
Elongation at Break	23 %	23 %	in 50 mm
Reduction of Area	64.2 %	64.2 %	
Modulus of Elasticity	186 GPa	27000 ksi	
Bulk Modulus	148 GPa	21500 ksi	calculated from elastic modulus and Poisson's ratio
Poissons Ratio	0.29	0.29	
Shear Modulus	72.0 GPa	10400 ksi	calculated from elastic modulus and Poisson's ratio
Izod Impact	110 J	81.1 ft-lb	
Charpy Impact 	16.9 J @ Temperature -30.0 °C	12.5 ft-lb @ Temperature -22.0 °F	
	18.0 J @ Temperature -18.0 °C	13.3 ft-lb @ Temperature -0.400 °F	
	20.0 J @ Temperature -3.00 °C	14.8 ft-lb @ Temperature 26.6 °F	
	24.0 J @ Temperature 10.0 °C	17.7 ft-lb @ Temperature 50.0 °F	
	41.0 J @ Temperature 38.0 °C	30.2 ft-lb @ Temperature 100 °F	
	54.0 J @ Temperature 65.0 °C	39.8 ft-lb @ Temperature 149 °F	
	61.0 J @ Temperature 95.0 °C	45.0 ft-lb @ Temperature 203 °F	
	68.0 J @ Temperature 150 °C	50.2 ft-lb @ Temperature 302 °F	
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity 	0.0000159 ohm-cm @ Temperature 0.000 °C	0.0000159 ohm-cm @ Temperature 32.0 °F	condition unknown
	0.0000219 ohm-cm @ Temperature 100 °C	0.0000219 ohm-cm @ Temperature 212 °F	condition unknown
	0.0000292 ohm-cm	0.0000292 ohm-cm	condition unknown

www.matweb.com/search/datasheet\_print.aspx?matguid=892bd4bd825f4b3a9c7dd35643a3058b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	11.7 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$	6.50 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^{\circ}\text{F}$	
	@Temperature 20.0 - 100 $^{\circ}\text{C}$	@Temperature 68.0 - 212 $^{\circ}\text{F}$	
	12.1 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$	6.72 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^{\circ}\text{F}$	
	@Temperature 20.0 - 200 $^{\circ}\text{C}$	@Temperature 68.0 - 392 $^{\circ}\text{F}$	
	12.8 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$	7.11 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^{\circ}\text{F}$	
	@Temperature 20.0 - 300 $^{\circ}\text{C}$	@Temperature 68.0 - 572 $^{\circ}\text{F}$	
	13.3 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$	7.39 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^{\circ}\text{F}$	
	@Temperature 20.0 - 400 $^{\circ}\text{C}$	@Temperature 68.0 - 752 $^{\circ}\text{F}$	
	13.9 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$	7.72 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^{\circ}\text{F}$	
	@Temperature 20.0 - 500 $^{\circ}\text{C}$	@Temperature 68.0 - 932 $^{\circ}\text{F}$	
Specific Heat Capacity 	0.486 $\text{J}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$	0.116 $\text{BTU}/\text{lb}\cdot^{\circ}\text{F}$	condition unknown
	@Temperature $\geq 100$ $^{\circ}\text{C}$	@Temperature $\geq 212$ $^{\circ}\text{F}$	
	0.519 $\text{J}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$	0.124 $\text{BTU}/\text{lb}\cdot^{\circ}\text{F}$	
	@Temperature 150 - 200 $^{\circ}\text{C}$	@Temperature 302 - 392 $^{\circ}\text{F}$	
Thermal Conductivity	0.599 $\text{J}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$	0.143 $\text{BTU}/\text{lb}\cdot^{\circ}\text{F}$	
	@Temperature 350 - 400 $^{\circ}\text{C}$	@Temperature 662 - 752 $^{\circ}\text{F}$	
Thermal Conductivity	51.9 $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$	360 $\text{BTU}\cdot\text{in}/\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F}$	Typical steel
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.17 - 0.23 %	0.17 - 0.23 %	
Iron, Fe	99.08 - 99.53 %	99.08 - 99.53 %	As remainder
Manganese, Mn	0.30 - 0.60 %	0.30 - 0.60 %	
Phosphorous, P	$\leq 0.040$ %	$\leq 0.040$ %	
Sulfur, S	$\leq 0.050$ %	$\leq 0.050$ %	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Aluminum 7075-T73; 7075-T735x

Categories: [Metal](#); [Nonferrous Metal](#); [Aluminum Alloy](#); [7000 Series Aluminum Alloy](#).

**Material Notes:** General 7075 characteristics and uses (from Alcoa): Very high strength material used for highly stressed structural parts. The T7351 temper offers improved stress-corrosion cracking resistance.

**Uses:** Aircraft fittings, gears and shafts, fuse parts, meter shafts and gears, missile parts, regulating valve parts, worm gears, keys, aircraft, aerospace and defense applications.

Data points with the AA note have been provided by the Aluminum Association, Inc. and are NOT FOR DESIGN.

**Composition Notes:**

A Zr + Ti limit of 0.25 percent maximum may be used with this alloy designation for extruded and forged products only, but only when the supplier and the purchaser have mutually agreed. Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.





**Key Words:** AA7075-T73; AA7075-T735, UNS A97075; ISO AlZn5.5MgCu; Aluminium 7075-T73; Aluminium 7075-T735x; Al7075-T73

**Vendors:** [Click here](#) to view all available suppliers for this material.

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.81 g/cc	0.102 lb/in <sup>3</sup>	AA; Typical
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	135	135 500 kg load with 10 mm ball. Calculated value.	
Hardness, Knoop	120	120	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Rockwell A	50.5	50.5	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Rockwell B	82	82	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Vickers	155	155	Converted from Brinell Hardness Value
Tensile Strength, Ultimate	>= 462 MPa	>= 67000 psi	Sheet
	505 MPa	73200 psi	
	41.0 MPa	5950 psi	
	@Temperature 371 °C	@Temperature 700 °F	
	55.0 MPa	7980 psi	
	@Temperature 316 °C	@Temperature 601 °F	
	76.0 MPa	11000 psi	
	@Temperature 260 °C	@Temperature 500 °F	
	110 MPa	16000 psi	
	@Temperature 204 °C	@Temperature 399 °F	
	214 MPa	31000 psi	
	@Temperature 149 °C	@Temperature 300 °F	
	434 MPa	62900 psi	
	@Temperature 100 °C	@Temperature 212 °F	
	503 MPa	73000 psi	
	@Temperature 24.0 °C	@Temperature 75.2 °F	
	524 MPa	76000 psi	
	@Temperature -26.0 °C	@Temperature -18.4 °F	
	545 MPa	79000 psi	
	@Temperature -80.0 °C	@Temperature -112 °F	
	634 MPa	92000 psi	
	@Temperature -196 °C	@Temperature -321 °F	
	>= 441 MPa	>= 64000 psi	Plate; T7351
	@Thickness 63.53 - 76.2 mm	@Thickness 2.501 - 3.00 in	
	>= 455 MPa	>= 66000 psi	Plate; T7351
	@Thickness 50.83 - 63.5 mm	@Thickness 2.001 - 2.50 in	


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	>= 476 MPa @Thickness 6.35 - 50.8 mm	>= 69000 psi @Thickness 0.250 - 2.00 in	Plate; T7351
Tensile Strength, Yield	>= 386 MPa	>= 56000 psi	Sheet
	435 MPa @Thickness 63.53 - 76.2 mm	63100 psi @Thickness 2.501 - 3.00 in	Plate; T7351
	>= 359 MPa @Thickness 50.83 - 63.5 mm	>= 52100 psi @Thickness 2.001 - 2.50 in	Plate; T7351
	>= 393 MPa @Thickness 6.35 - 50.8 mm	>= 57000 psi @Thickness 0.250 - 2.00 in	Plate; T7351
	32.0 MPa @Strain 0.200 % Temperature 271 °C	4640 psi @Strain 0.200 % Temperature 520 °F	
	45.0 MPa @Strain 0.200 % Temperature 316 °C	6530 psi @Strain 0.200 % Temperature 601 °F	
	62.0 MPa @Strain 0.200 % Temperature 260 °C	8990 psi @Strain 0.200 % Temperature 500 °F	
	90.0 MPa @Strain 0.200 % Temperature 204 °C	13100 psi @Strain 0.200 % Temperature 399 °F	
	186 MPa @Strain 0.200 % Temperature 149 °C	27000 psi @Strain 0.200 % Temperature 300 °F	
	400 MPa @Strain 0.200 % Temperature 100 °C	58000 psi @Strain 0.200 % Temperature 212 °F	
	434 MPa @Strain 0.200 % Temperature 24.0 °C	62900 psi @Strain 0.200 % Temperature 75.2 °F	
	448 MPa @Strain 0.200 % Temperature -28.0 °C	65000 psi @Strain 0.200 % Temperature -18.4 °F	
	462 MPa @Strain 0.200 % Temperature -80.0 °C	67000 psi @Strain 0.200 % Temperature -112 °F	
	496 MPa @Strain 0.200 % Temperature -196 °C	71900 psi @Strain 0.200 % Temperature -321 °F	
Elongation at Break	>= 8.0 %	>= 8.0 %	Sheet
	13 % @Temperature -26.0 °C	13 % @Temperature -18.4 °F	
	13 % @Temperature 24.0 °C	13 % @Temperature 75.2 °F	
	14 % @Temperature -196 °C	14 % @Temperature -321 °F	
	14 % @Temperature -80.0 °C	14 % @Temperature -112 °F	
	15 % @Temperature 100 °C	15 % @Temperature 212 °F	
	30 % @Temperature 149 °C	30 % @Temperature 300 °F	
	55 % @Temperature 204 °C	55 % @Temperature 399 °F	
	65 % @Temperature 260 °C	65 % @Temperature 500 °F	
	70 % @Temperature 316 °C	70 % @Temperature 601 °F	
	70 % @Temperature 371 °C	70 % @Temperature 700 °F	
	>= 6.0 % @Thickness 50.83 - 63.5 mm	>= 6.0 % @Thickness 2.001 - 2.50 in	Plate; T7351
	>= 6.0 % @Thickness 63.53 - 76.2 mm	>= 6.0 % @Thickness 2.501 - 3.00 in	Plate; T7351
	6.0 - 7.0 % @Thickness 6.35 - 50.8 mm	6.0 - 7.0 % @Thickness 0.250 - 2.00 in	Plate; T7351
	13 % @Thickness 1.60 mm	13 % @Thickness 0.0630 in	In 5 cm
Modulus of	72.0 GPa	10400 ksi	Average of Tension and Compression. In

www.matweb.com/search/datasheet\_print.aspx?matguid=6653b72914864cc0a0ff7ad5b720167

2/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elasticity		Aluminum alloys, the compressive modulus is typically 2% greater than the tensile modulus	
Poissons Ratio	0.33	0.33	
Fatigue Strength	150 MPa	21800 psi	
	@# of Cycles 5.00e+8	@# of Cycles 5.00e+8	
Fracture Toughness	20.0 MPa-m <sup>1/2</sup>	18.2 ksi-in <sup>1/2</sup>	Plate. K(IC) in SL direction
	20.0 MPa-m <sup>1/2</sup>	18.2 ksi-in <sup>1/2</sup>	Plate. K(IC) in T-L direction
	22.0 MPa-m <sup>1/2</sup>	20.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7351; Plate; S-L; average
	20.9 - 23.1 MPa-m <sup>1/2</sup>	19.0 - 21.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7351; Plate; S-L
	23.1 MPa-m <sup>1/2</sup>	21.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7352; Forgings; S-L; average
	20.9 - 27.5 MPa-m <sup>1/2</sup>	19.0 - 25.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7352; Forgings; S-L
	25.3 - 28.6 MPa-m <sup>1/2</sup>	23.0 - 26.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7352; Forgings; T-L
	27.5 MPa-m <sup>1/2</sup>	25.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7352; Forgings; T-L; average
	27.5 - 36.3 MPa-m <sup>1/2</sup>	25.0 - 33.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7351; Plate; T-L
	31.9 MPa-m <sup>1/2</sup>	29.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7351; Plate; T-L; average
	32.0 MPa-m <sup>1/2</sup>	29.1 ksi-in <sup>1/2</sup>	Plate. K(IC) in L-T Direction
	33.0 MPa-m <sup>1/2</sup>	30.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7351; Plate; L-T
	34.1 MPa-m <sup>1/2</sup>	31.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7352; Forgings; L-T; average
	29.7 - 38.5 MPa-m <sup>1/2</sup>	27.0 - 35.0 ksi-in <sup>1/2</sup>	T7352; Forgings; L-T
Machinability	70 %	70 %	0-100 Scale of Aluminum Alloys
Shear Modulus	26.9 GPa	3900 ksi	
Shear Strength	300 MPa	43500 psi	Calculated value.
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.00000430 ohm-cm	0.00000430 ohm-cm	
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	21.6 µm/m-°C	12.0 µin/in-°F	
	@Temperature -50.0 - 20.0 °C	@Temperature -58.0 - 68.0 °F	
	23.4 µm/m-°C	13.0 µin/in-°F	
	@Temperature 20.0 - 100 °C	@Temperature 68.0 - 212 °F	
	23.6 µm/m-°C	13.1 µin/in-°F	AA; Typical; average over range
	@Temperature 20.0 - 100 °C	@Temperature 68.0 - 212 °F	
	24.3 µm/m-°C	13.5 µin/in-°F	
	@Temperature 20.0 - 200 °C	@Temperature 68.0 - 392 °F	
	25.2 µm/m-°C	14.0 µin/in-°F	
	@Temperature 20.0 - 300 °C	@Temperature 68.0 - 572 °F	
Specific Heat Capacity	0.960 J/g-°C	0.229 BTU/lb-°F	
Thermal Conductivity	155 W/m-K	1080 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F	
Melting Point	477 - 635.0 °C	890 - 1175 °F	AA; Typical range based on typical composition for wrought products 1/4 inch thickness or greater. Homogenization may raise eutectic melting temperature 20-40°F but usually does not eliminate eutectic melting.
Solidus	477 °C	890 °F	AA; Typical
Liquidus	635.0 °C	1175 °F	AA; Typical
Processing Properties	Metric	English	Comments
Annealing Temperature	413 °C	775 °F	
Solution Temperature	466 - 482 °C	870 - 900 °F	
Aging Temperature	107 °C	225 °F	two stage treatment - second stage 325 to 350°F
Component Elements Properties	Metric	English	Comments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aluminum, Al	87.1 - 91.4 %	87.1 - 91.4 %	As remainder
Chromium, Cr	0.18 - 0.28 %	0.18 - 0.28 %	
Copper, Cu	1.2 - 2.0 %	1.2 - 2.0 %	
Iron, Fe	<= 0.50 %	<= 0.50 %	
Magnesium, Mg	2.1 - 2.9 %	2.1 - 2.9 %	
Manganese, Mn	<= 0.30 %	<= 0.30 %	
Other, each	<= 0.05 %	<= 0.05 %	
Other, total	<= 0.15 %	<= 0.15 %	
Silicon, Si	<= 0.40 %	<= 0.40 %	
Titanium, Ti	<= 0.20 %	<= 0.20 %	
Zinc, Zn	5.1 - 6.1 %	5.1 - 6.1 %	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้