

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาเครื่องดีดอากาศยานจากพื้น
(UAV launcher development)



T119366



b. 119366-49
i.

โดย
นายประพจน์ วงศ์มัทนกุล
นายวัชรวิศ มุณีศรี
นายสุภชัย ปฐมทองทวีชัย
นายศุภพงษ์ พุทธเวทมนต์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษา (รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข) อาจารย์ที่ปรึกษา (อาจารย์ คำวิทย์ จันทร์แสงสุข)

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...119366
วัน,เดือน,ปี...-7 S.A. 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องดีดอากาศยานจากพื้น
(UAV launcher development)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาเครื่องคิดอากาศยานจากพื้น

UAV LAUNCHER DEVELOPMENT

ผู้จัดทำ

1. นายประพนธ์ วงศ์มหันต์กุล รหัสประจำตัว 50010908
2. นายวัชรวิศ มุณีศรี รหัสประจำตัว 50011435
3. นายศุภชัย ปฐมทองทวีชัย รหัสประจำตัว 50011587
4. นายศุภพงษ์ พุทธเวทมงคล รหัสประจำตัว 50011603



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ คำวิทย์ จันทร์แสงสุก)

การพัฒนาเครื่องดีดอากาศยานจากพื้น

นายประพนธ์ วงศ์มหันต์กุล รหัสประจำตัว 50010908

นายวัชรวิศ มุณีศรี รหัสประจำตัว 50011435

นายศุภชัย ปฐมทองทวีชัย รหัสประจำตัว 50011587

นายศุภพงษ์ พุทธเวชมงคล รหัสประจำตัว 50011603

รศ.ดร.จาร์วัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ คำริห์ จันทรแสงสุก อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเครื่องดีดอากาศยานเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปล่อยตัวเครื่องบินไร้คนขับขนาดเล็ก โดยมีความคล่องตัวสูงและควบคุมตัวเองได้อย่างมีประสิทธิภาพเครื่องดีดอากาศยานคือเครื่องขนส่งทางอากาศและถูกออกแบบเพื่อให้ใช้ได้อย่างอิสระกับตัวฐานรองได้ใช้เวลาประมาณ 1 วินาทีโดยสามารถขับเคลื่อนมวลได้สูงสุดถึง 35 กิโลกรัม ที่ปล่อยออกด้วยความเร็ว 60 km/hr คุณสมบัติที่โดดเด่นของการปล่อยตัวด้วยความเร่งที่เป็นความคิดที่แปลกใหม่โดยรวมไปถึงการขนส่งและการห้ามล้อทางกลไกสายพานจะถูกขับโดยมอเตอร์ไฟฟ้า ถูกติดตั้งไว้ที่ชุดส่งกำลัง โดยมีข้อกำหนดพลังงานของเครื่องยิงที่ถูกปรับเปลี่ยนได้ด้วยระบบแมกเนติกส์ครัทช์ โดยที่ระบบนี้มีราคาถูก สามารถใช้งานและดูแลรักษาได้ง่าย และเป็นที่ยอมรับอย่างมากในทางการทหาร

แต่ทั้งนี้ระบบต่างๆต้องมีการออกแบบอย่างถูกต้อง สำหรับโครงการนี้ได้ออกแบบให้เครื่องบิน take off ที่ความเร็วสูงสุด 60 km/hr ที่มุมยิง 7° แต่อันเนื่องมาจากประสิทธิภาพของแมกเนติกส์ครัทช์ที่ใช้ซึ่งเป็นของเก่าทำให้ได้ความเร็วสูงสุดที่ได้จากการทดสอบคือ 26.42 km/hr โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 39.95 %

UAV LAUNCHER DEVELOPMENT

Prapot Wongmahunkul

Watcharit Muneesri

Supachai Pathomthongtaweechai

Surapong Puttawethmongkol

Assoc.Prof. Dr. Jaruwat Chareonsuk Adviser

Mr. Dumri Junsangsook Adviser

ABSTRACT

In the present time, UAV Launcher is an excellent device for the launch of unmanned aircraft offering maximum utilization due to its high mobility and autonomy. UAV Launcher is air-transportable and designed to be used independently of various truck models. during approximately one second, it is able to propel mass of up to 35 kilograms to a lift-off velocity of more than 60 kilometers per hour. The outstanding feature of this launcher is its novel acceleration concept with integrated carriage-braking mechanism. A strap-winder, driven by Electrical motors, is located just below the point of maximum launch velocity. The system is inexpensive, easy to operate and maintain and can be assembled rapidly by just two operators. It is fully qualified for military use.

The UAV Launcher that had been constructed, was exactly and good designed and could run with high speed from testing is 26.42 km/hr and high efficiency is 39.95% at lift angle 7° that because magnetic clutch is a second hand part and lower efficiency than theory.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจากรศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา และ อาจารย์ คำริห์ จันทร์แสงสุก อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่เอื้อเพื่อให้งบประมาณและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณพี่เป่า พี่บี พี่เบิร์ด และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ในการทำโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณในทุกประการที่ให้แก่งานวิจัยเรื่องนี้ไว้ ณ โอกาสนี้

นายประพนธ์ วงศ์มหันต์กุล

นายวัชรวิศ มุณิศรี

นายศุภชัย ปฐมทองทวีชัย

นายสุรพงษ์ พุทธเวรมงคล

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องดีดอากาศยานขึ้นจากพื้น	3
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	3
2.2 อุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์	7
2.3 การออกแบบโครงสร้างเหล็ก	15
2.4 สลักเกลียวและการจับยึด	24
2.5 สปริง	31
2.6 ระบบเพลลา	35
2.7 สลิง	36
2.8 คลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้า	39
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	40
บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	48
บทที่ 5 ผลการทดลอง	61
บทที่ 6 สรุปโครงการและแนวทางการปรับปรุง	67
เอกสารอ้างอิง	69

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส	3
รูปที่ 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชัน (3 Phase Induction Motor)	3
รูปที่ 2.3 อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor)	4
รูปที่ 2.4 โรเตอร์แบบกรงกระรอก	4
รูปที่ 2.5 สเตเตอร์ ของอินดักชันมอเตอร์	4
รูปที่ 2.6 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)	5
รูปที่ 2.7 ซิงโครนัสมอเตอร์	5
รูปที่ 2.8 สเตเตอร์ (Stator)	6
รูปที่ 2.9 โรเตอร์ (Rotor)	6
รูปที่ 2.10 แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor)	7
รูปที่ 2.11 แมกเนติกคอนแทกเตอร์แต่ละขั้ว	7
รูปที่ 2.12 ลักษณะ โครงสร้างภายในของแมกเนติกคอนแทกเตอร์	8
รูปที่ 2.13 แกนเหล็กอยู่กับที่ (Fixed Core)	8
รูปที่ 2.14 แกนเหล็กเคลื่อนที่ (Stationary Core)	9
รูปที่ 2.15 หน้าสัมผัส (Contac)	9
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบภายนอก	10
รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบภายนอก	10
รูปที่ 2.18 โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Over Load relay)	12
รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบภายนอกที่สำคัญ ของโอเวอร์โหลดรีเลย์	13
รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบภายในที่สำคัญ ของโอเวอร์โหลดรีเลย์	13
รูปที่ 2.21 หน้าตัดต่างๆ ของเสา	16
รูปที่ 2.22 แบบ Hinge ที่ฐานเสา	17
รูปที่ 2.23 การต่อเสาหลัก	18
รูปที่ 2.24 การถ่ายแรงเฉือนและแรงค้ำระหว่างคานกับเสา	19
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างของ Shear Connection	19
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างของ Shear และ Moment Connection	20
รูปที่ 2.27 รายละเอียดข้อต่อสำหรับโครงข้อแข็ง	20

รูปที่ 2.29	คานประกอบจากเหล็กรูปพรรณ	21
รูปที่ 2.30	รอยต่อระหว่างคานที่ต่อเนื่องในทิศทางเดียวกัน	22
รูปที่ 2.31	รอยต่อระหว่างคานที่ต่อเนื่องทั้ง 2 ทิศทาง	22
รูปที่ 2.32	รายละเอียดรอยต่อของโครงถัก	23
รูปที่ 2.33	การจับยึดชิ้นงานแบบถาวร	24
รูปที่ 2.34	การจับยึดแบบใช้เกลียว	25
รูปที่ 2.35	การจับยึดแบบไม่ใช้เกลียว	25
รูปที่ 2.36	การใช้ชิ้นส่วนที่มีเกลียวในการจับยึดชิ้นงาน	25
รูปที่ 2.37	การใช้ชิ้นส่วนที่มีเกลียวเพื่อทำให้ชิ้นส่วนอื่นเคลื่อนที่สัมพันธ์กันได้	25
รูปที่ 2.38	ลักษณะของเกลียวนอกและเกลียวใน	26
รูปที่ 2.39	ลักษณะของเกลียวขวาและเกลียวซ้าย	26
รูปที่ 2.40	Tumbuckle ที่มีทั้งเกลียวซ้ายและเกลียวขวา	27
รูปที่ 2.41	โครงสร้างของเกลียว	27
รูปที่ 2.42	Major และ minor diameter	28
รูปที่ 2.43	ระยะ Pitch ของเกลียว	28
รูปที่ 2.44	เกลียวที่มีระยะ pitch และ lead ต่างๆกัน	28
รูปที่ 2.45	รูปร่างของเกลียวแบบต่างๆและตัวอย่างของเกลียวแบบ knuckle	29
รูปที่ 2.46	ลักษณะของ thread die และ die stock	29
รูปที่ 2.47	การใช้ die และ die stock ในการสร้างเกลียวนอก	30
รูปที่ 2.48	อุปกรณ์สำหรับการทำเกลียวใน	30
รูปที่ 2.49	การใช้ tap และ tap wrench ในการสร้างเกลียวใน	30
รูปที่ 2.50	สลิงโซ่ (Chain Sling)	37
รูปที่ 2.51	สลิงลวด (wire rope)	38
รูปที่ 2.52	สลิงไฟเบอร์ หรือ สลิงสังเคราะห์	39
รูปที่ 2.53	คลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้า	39
รูปที่ 2.54	การดำเนินงานของคลัทช์	39
รูปที่ 3.1	การประเมินโหลดของก๊ว็น	41
รูปที่ 3.2	การประเมินแรงที่สปริง	44
รูปที่ 3.3	การประเมินเสาที่สปริง	45

รูปที่ 3.4 การประเมินแรงที่เพลาส่งกำลัง	46
รูปที่ 4.1 ออกแบบโครงสร้างฐานอิงจากโปรแกรม Solid Work	49
รูปที่ 4.2 ออกแบบชุดส่งกำลังจาก โปรแกรม Solid Work	49
รูปที่ 4.3 นำเหล็กมาขึ้น โครงสร้างฐานตามที่ได้ออกแบบไว้	50
รูปที่ 4.4 ตัดแผ่นเพลทเข้ากับ โครงสร้างฐานเพื่อติดรอก	50
รูปที่ 4.5 ตัดแผ่นเพลทติดสปริงและรอกเข้ากับ โครงสร้างฐานอิง	51
รูปที่ 4.6 ติดสปริงเข้ากับ โครงสร้างฐานอิง	51
รูปที่ 4.7 สร้างชุดส่งกำลังตามที่ได้ออกแบบไว้	52
รูปที่ 4.8 ชุดส่งกำลังตามที่ได้ออกแบบไว้	52
รูปที่ 4.9 วัดความเที่ยงตรงของเพลทด้วยDial Gate	53
รูปที่ 4.10 ต่อสายไฟจากครีซท์เข้ากับแบตเตอรี่ 2 ก้อน (24 V)	53
รูปที่ 4.11 ตู้วงจรไฟฟ้า	54
รูปที่ 4.12 ต่อวงจรไฟฟ้าแบบเคลดตันและสตาร์ แล้วนำไปต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้า	54
รูปที่ 4.13 ติดตั้งโครงสร้างมาประกอบกันโดยใช้น็อต	55
รูปที่ 4.14 ติดตั้งสลิงมาผูกกับคว้าน	55
รูปที่ 4.15 ติดตั้งสลิงมาคล้องกับรอก	56
รูปที่ 4.16 ติดตั้งสลิงร้อยผ่านห่วงที่ทำไว้เพื่อกันสลิงสะบัดและสลิงตกท้องช้าง	57
รูปที่ 4.17 นำชุดส่งกำลังมาประกอบเข้ากับ โครงสร้างฐานอิง	57
รูปที่ 4.18 ติดตั้งแม่แรงในการช่วยยก โครงสร้างฐาน	58
รูปที่ 4.19 นำฐานรอง	58
รูปที่ 4.20 วัดจุดตกของวัตถุ	59
รูปที่ 4.21 ติดตั้งเสาเพื่อวัดตำแหน่งฐานรองเครื่องบินขณะที่เกิดขึ้นที่	59
รูปที่ 4.22 ติดตั้งแท่นยื่นเพื่อกระแทกกับเสา	60
รูปที่ 5.1 ตารางผลการทดสอบด้วยวิธีวัดความเร็วจากการคำนวณระยะตกของมวลทดสอบ	62
รูปที่ 5.2 ตารางผลการทดสอบด้วยวิธีวัดความเร็วจากการใช้กล้องวีดีโอตรวจวัดความเร็ว	63
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะทางของการทดสอบด้วยวิธีวัด ความเร็วจากการใช้กล้องวีดีโอตรวจวัดความเร็ว	64
รูปที่ 5.4 ตารางเปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีของการทดสอบด้วย วิธีวัดความเร็วจากการคำนวณระยะตกของมวลทดสอบ	64

รูปที่ 5.5 ตารางเปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีของการทดสอบด้วย วิธีวัดความเร็วจากการใช้กล้องวิดีโอตรวจวัดความเร็ว	65
รูปที่ 5.6 กราฟที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว กับระยะทาง	65
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีกับการทดสอบ ด้วยวิธีวัดความเร็วจากการใช้กล้องวิดีโอตรวจวัดความเร็ว	66



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันเครื่องบินขนาดเล็กไร้คนขับ(UAV)ได้มีการใช้อย่างแพร่หลาย อาทิเช่น การสำรวจภาคพื้นดิน ทางเกษตร ทางทหาร และการช่วยเหลือในด้านต่างๆ แต่เครื่องบินเล็กไร้คนขับนี้ยังมีข้อจำกัดหลายด้าน โดยทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและค้นคว้า จนได้สังเกตเห็นถึงข้อจำกัดหนึ่งของเครื่องบินเล็กไร้คนขับนี้ คือ การเคลื่อนที่จากพื้นดินขึ้นสู่อากาศของเครื่องบิน(Take Off) ที่จำเป็นต้องใช้ระยะทางในการTake Off ยาวมาก ทางผู้จัดทำจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องตีคอากาศยานขึ้นสู่อากาศเพื่อลดระยะทางในการTake Off ลง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่ไม่สามารถ Take Off เครื่องบินตามปกติหรือเพื่อการTake Off เครื่องบินในที่ ที่มีพื้นที่จำกัดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อคำนวณและออกแบบเครื่องตีคอากาศยานจากพื้นสู่อากาศที่ทำงานได้ตามสมรรถนะที่กำหนด
- 1.2.2 เพื่อสร้างเครื่องตีคอากาศยานจากพื้นสู่อากาศที่ทำงานได้ตามสมรรถนะที่กำหนด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 เครื่องตีคอากาศยานต้องสามารถทนต่อแรงจากชุดส่งกำลังได้
- 1.3.2 เครื่องตีคอากาศยานจะต้องตีคอากาศยานออกได้ตั้งแต่มุม 0-7 องศา
- 1.3.3 จำนวนและออกแบบรายละเอียดและอุปกรณ์ที่ต้องใช้แต่การสร้างจะครอบคลุมถึงขอบเขตตามงบประมาณที่ได้รับจัดสรร

1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้เริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เกี่ยวกับ UAV Launcher ของผู้อื่นเพื่อที่จะนำมาคิดแปลงพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้ หลังจากนั้นจึงใช้ทฤษฎีต่างๆมาช่วยในการคำนวณและออกแบบโครงสร้าง ชุดอุปกรณ์ต้นกำลังที่ขับเคลื่อน UAV Launcher รวมไปถึงรายละเอียดปลีกย่อยต่างๆ จากนั้นจึงทำการสร้างและทดลอง

เมื่อทำการทดสอบปล่อยมวลที่มีขนาดเท่ากับ UAV แล้วก็ทำการบันทึกและสรุปผล รวมถึงวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดสอบการปล่อย UAV เพื่อให้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1.5.1 ทำให้ผู้ศึกษา ได้ศึกษาและหาคำตอบของปัญหา เพื่อให้โครงการบรรลุวัตถุประสงค์
- 1.5.2 ทำให้ผู้ศึกษา ได้เข้าใจถึงระบบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า
- 1.5.3 ช่วยประหยัดพื้นที่ในการออกตัวของอากาศยาน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในเครื่องคิดอากาศยานซึ่งเนื้อที่ได้มานั้นได้คัดลอกมาจากหนังสือเรียนและเว็บไซต์ต่างๆ

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส



รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

แบ่งออกตามโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

- (1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชัน (3 Phase Induction Motor)
- (2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

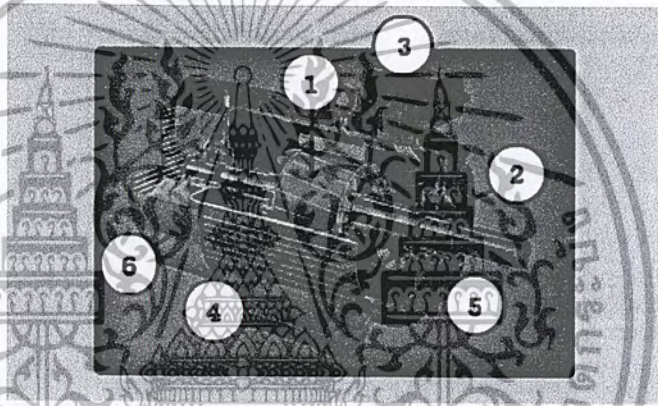
2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชัน (3 Phase Induction Motor)



รูปที่ 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชัน (3 Phase Induction Motor)

มอเตอร์ไฟสลัป 3 เฟสที่มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบอินดักชันมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่(Frequency)ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูกโครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมือใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Invertor) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed)

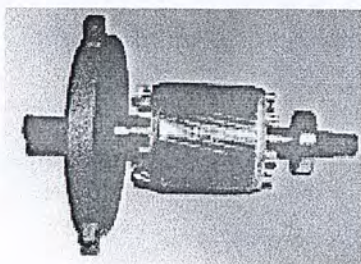
กำลังในโรงงานอุตสาหกรรมขับเคลื่อนลิฟท์ขับเคลื่อนสายพานลำเลียงขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึง มอเตอร์อินดักชันมี 2 แบบ แบ่งตามลักษณะตัวหมุนคือ



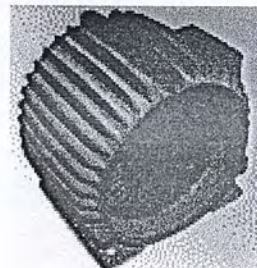
รูปที่ 2.3 อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor)

อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Induction Motor)

อินดักชันมอเตอร์แบบนี้ ตัวโรเตอร์จะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอกเหมือนกับโรเตอร์ของสลิปเฟสมอเตอร์



รูปที่ 2.4 โรเตอร์แบบกรงกระรอก



รูปที่ 2.5 สเตเตอร์ ของอินดักชันมอเตอร์

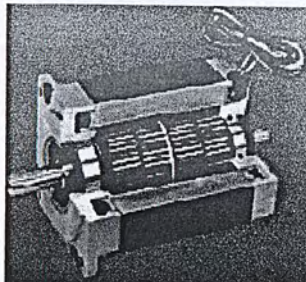
อินดักชันมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor Induction Motors)

อินดักชันมอเตอร์ชนิดนี้ตัวโรเตอร์จะทำจากเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดซ้อนกันเป็นตัวหุ้ดคล้าย ๆ อาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีร่องสำหรับวางขดลวดของตัวโรเตอร์เป็นขดลวด 3 ชุด สำหรับสร้างขั้วแม่เหล็ก 3 เฟสเช่นกันปลายของขดลวดทั้ง 3 ชุดต่อกับสปริง(Slip Ring) จำนวน 3 อัน สำหรับเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าครบวงจรทั้ง 3 เฟสการทำงานของอินดักชันมอเตอร์ เมื่อจ่ายไฟฟ้าสลับ 3 เฟสให้ที่ขดลวดทั้ง 3 ของตัวสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบๆตัวสเตเตอร์ ทำให้ตัวหมุน(โรเตอร์) ได้รับการเหนี่ยวนำทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์และขั้วแม่เหล็กนี้ จะพยายามดึงดูดกับสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่รอบๆ ทำให้มอเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์หมุนไปได้ความเร็ว ของสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวสเตเตอร์นี้จะคงที่ตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นโรเตอร์ของอินดักชัน ของมอเตอร์ จึงหมุนตามสนามหมุนดังกล่าวไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วเท่ากับความเร็ว ของสนามแม่เหล็กหมุน

2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

รูปที่ 2.6 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

ซิงโครนัสมอเตอร์เป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่สุด ที่ขนาดพิกัดของกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 150 kW (200 hp) จนถึง 15 MW (20,000 hp) มีความเร็วตั้งแต่ 150 ถึง 1,800 RPM



รูปที่ 2.7 ซิงโครนัสมอเตอร์

โครงสร้างของซิงโครนัสมอเตอร์ ที่สำคัญมี 2 ส่วนคือ

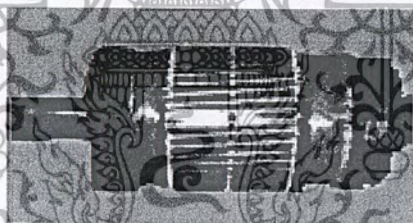
(ก.) สเตเตอร์ (Stator)

(ข.) โรเตอร์ (Rotor)



รูปที่ 2.8 สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ (Stator) ของซิงโครนัสมอเตอร์เหมือนกับสเตเตอร์ของ 3 เฟสอินดักชันมอเตอร์ มีร่องสำหรับพันขดลวดจำนวน 3 ชุด เฟสละ 1 ชุด เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้น เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนอินดักชันมอเตอร์

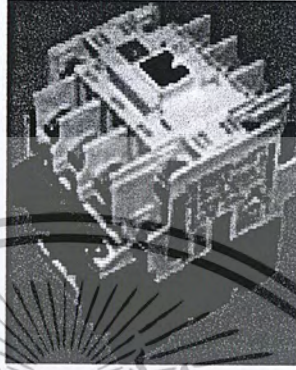


รูปที่ 2.9 โรเตอร์ (Rotor)

โรเตอร์ (Rotor) ของซิงโครนัสมอเตอร์ เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Poles) และมีขดลวดพันข้างๆ ขั้วแม่เหล็กยื่นเหล่านั้นขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันรอบขั้วแม่เหล็กยื่นต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอกเพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวโรเตอร์ การทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจากตัวหมุน (โรเตอร์) ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น และมีขดลวดสนามแม่เหล็กพันอยู่รอบๆ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ขึ้นขั้วแม่เหล็กนี้จะเกาะตามการหมุนของสนามหมุนของสเตเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์

2.2 อุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์

- แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor)



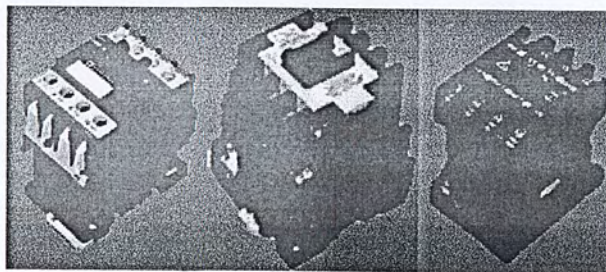
รูปที่ 2.10 แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor)

แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานโดยอำนาจแม่เหล็กในการเปิดปิดหน้าสัมผัสในการควบคุมวงจรมอเตอร์หรือเรียกว่าสวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch) หรือคอนแทกเตอร์ (Contactor) ก็ได้

ข้อดีของการใช้รีเลย์และแมกเนติกคอนแทกเตอร์เมื่อเทียบกับสวิตช์อื่น

- (ก.) ให้ความปลอดภัยสำหรับผู้ควบคุมสูง
- (ข.) ให้ความสะดวกในการควบคุม
- (ค.) ประหยัดเมื่อเทียบกับการควบคุมด้วยมือ

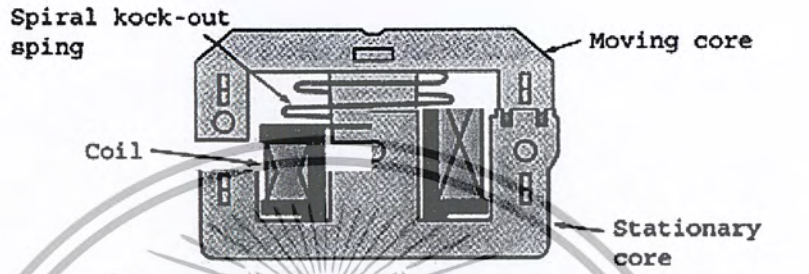
โครงสร้างและส่วนประกอบของแมกเนติกคอนแทกเตอร์ หรือสวิตช์แม่เหล็ก



รูปที่ 2.11 แมกเนติกคอนแทกเตอร์แต่ละยี่ห้อ

แมคเนติกคอนแทคเตอร์ยี่ห้อไคร์นิจจะต้องมีโครงสร้างหลักที่สำคัญเหมือนกันดังนี้

- (ก.) แกนเหล็ก
- (ข.) ขดลวด
- (ค.) หน้าสัมผัส

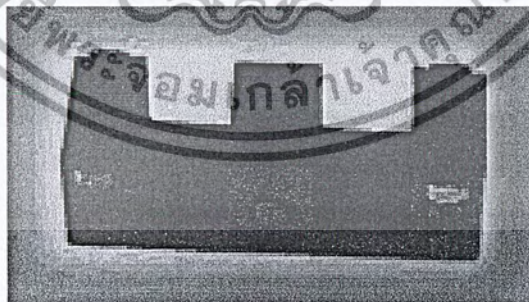


รูปที่ 2.12 ลักษณะ โครงสร้างภายในของแมคเนติกคอนแทคเตอร์

รายละเอียดของส่วนประกอบภายในแมคเนติกคอนแทคเตอร์

แกนเหล็กแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

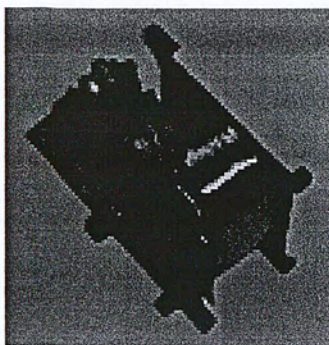
- (ก.) แกนเหล็กอยู่กับที่ (Fixed Core)
- (ข.) แกนเหล็กเคลื่อนที่ (Stationary Core)



รูปที่ 2.13 แกนเหล็กอยู่กับที่ (Fixed Core)

แกนเหล็กอยู่กับที่ (Fixed Core) จะมีลักษณะขาทั้งสองข้างของแกนเหล็ก มีลวดทองแดงเส้นใหญ่ต่ออยู่ เป็นรูปวงแหวนฝังอยู่ที่ผิวหน้าของแกนเพื่อลดการสั่นสะเทือน ของแกนเหล็ก อันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนจากไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกวงแหวนนี้ว่า เช็ดเค็ดริง (Shadedring)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แกนเหล็กเคลื่อนที่ (Stationary Core)

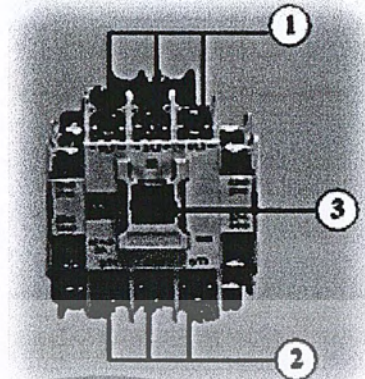
แกนเหล็กเคลื่อนที่ (Stationary Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกันเป็นแกนจะมีชุดหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (Moving Contact) ยึดติดอยู่ที่ขดลวด (Coil) ขดลวดทำมาจากลวดทองแดงพันอยู่รอบขั้วบับนีสวมอยู่ตรงกลางของขาคั้ววี่ที่อยู่กับที่ ขดลวดทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กมีขั้วต่อไฟเข้า ใช้สัญลักษณ์อักษรกำกับ คือ A1- A2 หรือ a-b



รูปที่ 2.15 หน้าสัมผัส (Contac)

หน้าสัมผัสจะยึดติดอยู่กับแกนเหล็กเคลื่อนที่แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

- 1.) หน้าสัมผัสหลัก หรือเรียกว่าเมนคอนแทค (Main Contac) ใช้ในวงจรกำลังทำหน้าที่ตัดต่อระบบไฟฟ้าเข้าสู่โหลด
- 2.) หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contac) ใช้กับวงจรควบคุมหน้าสัมผัสช่วยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด
 - หน้าสัมผัสปกติเปิด (Normally Open : N.O.)
 - หน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Close : N.C.)



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบภายนอก

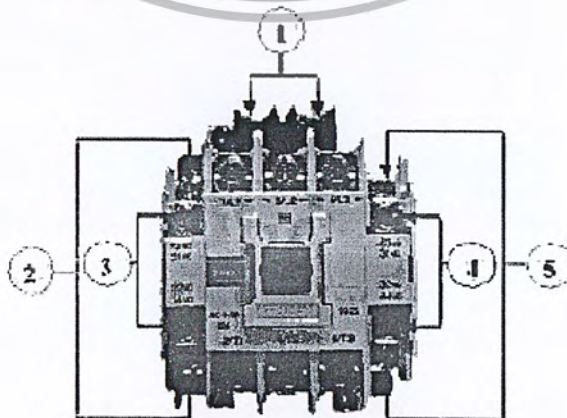
ส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสหลัก (Main Contact) มีสัญลักษณ์อักษรกำกับบอกดังนี้

- หน้าสัมผัสหลักคู่ที่ 1 1/L1 - 2/T1
- หน้าสัมผัสหลักคู่ที่ 2 3/L2 - 4/T2
- หน้าสัมผัสหลักคู่ที่ 3 5/L3 - 6/T3

หมายเลข 1 เป็นจุดต่อ ไฟฟ้าเข้าหน้าสัมผัสหลัก มีสัญลักษณ์อักษรกำกับคือ 1/L1, 3/L2 และ 5/L3

หมายเลข 2 เป็นจุดต่อ ไฟฟ้าเข้าหน้าสัมผัสหลัก มีสัญลักษณ์อักษรกำกับคือ 2/T1, 4/T2 และ 6/T3

หมายเลข 3 ปุ่มทดสอบหน้าสัมผัส



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบภายใน

หมายเลข 1 ขั้ว A จุดต่อ ไฟเข้าขดลวด-A2

หมายเลข 2 หน้าสัมผัสสปกติเปิดหมายเลข(N.O.) อักษรกำกับหน้าสัมผัสคือ 13-14

หมายเลข 3 หน้าสัมผัสสปกติปิดหมายเลข(N.C.) อักษรกำกับหน้าสัมผัสคือ 21-22

หมายเลข 4 หน้าสัมผัสสปกติปิดหมายเลข(N.C.) อักษรกำกับหน้าสัมผัสคือ 31-32

หมายเลข 5 หน้าสัมผัสสปกติเปิดหมายเลข(N.O.) อักษรกำกับหน้าสัมผัสคือ 43-44

หลักการทํางาน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดสนามแม่เหล็กที่อยู่กลางของแกนเหล็กขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงสนามแม่เหล็กขณะแรงสปริงดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่เคลื่อนที่ลงมาในสถานะนี้(ON)คอนแทกทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสภาวะการทำงานคือคอนแทกปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และคอนแทกปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัส เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวด สนามแม่เหล็กคอนแทกทั้งสองชุดจะกลับไปสู่สภาวะเดิม

ชนิดและขนาดของแมกเนติกคอนแทกเตอร์

คอนแทกเตอร์ที่ใช้กับ ไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งเป็น 4 ชนิดตามลักษณะของ โหลดและการนำไปใช้งานมีดังนี้

AC 1 : เป็นแมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ โหลดที่เป็นความต้านทาน หรือในวงจรที่มีอินดักทีฟน้อยๆ

AC 2 : เป็นแมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ ใช้กับ โหลดที่เป็นสปริงมอเตอร์

AC 3 : เป็นแมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสตาร์ทและหยุด โหลดที่เป็นมอเตอร์กรงกระรอก

AC 4 : เป็นแมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสตาร์ท-หยุดมอเตอร์ วงจร jogging และการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบกรงกระรอก

การพิจารณาเลือกไปใช้งาน

ในการเลือกแมกเนติกคอนแทกเตอร์ในการใช้งานให้เหมาะสมกับมอเตอร์นั้น จะพิจารณาที่กระแสสูงสุดในการใช้งาน(reated current) และแรงดัน ของมอเตอร์ ต้องเลือกแมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่มีกระแสสูงกว่ากระแสที่ใช้งานของมอเตอร์ ที่มีแรงดันเท่ากันในการพิจารณาเลือกแมกเนติกคอนแทกเตอร์ใช้งานควรพิจารณาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลักษณะของโหลดและการใช้งาน
- แรงดันและความถี่
- สถานที่ใช้งาน
- ความบ่อยครั้งในการใช้งาน
- การป้องกันจากการสัมผัสและการป้องกันน้ำ
- ความคงทนทางกลและทางไฟฟ้า

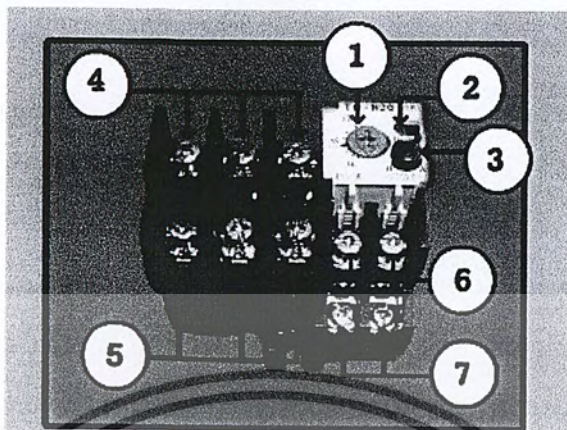
รีเลย์ช่วยหรืออาจเรียกว่ารีเลย์ควบคุม (Control Relay) การทำงานอาศัยอำนาจในการเปิดปิดหน้าสัมผัส เหมือนกับ หลักการทำงานของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ต่างกันตรงที่รีเลย์ช่วยจะทนกระแสได้ต่ำ หน้าสัมผัสจะเล็กกว่าหน้าสัมผัส ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ลักษณะของหน้าสัมผัสของรีเลย์ช่วยมีสองชนิด หน้าสัมผัสปกติเปิด (Normally Open : N.O.) และหน้าสัมผัสปกติปิด (Normally Close : N.C.) จำนวนหน้าสัมผัสและชนิดของหน้าสัมผัสขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตและการนำไปใช้งาน

- โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Over Load relay)

รูปที่ 2.18 โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Over Load relay)

โอเวอร์โหลด (Over Load relay) เป็นอุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงาน เกินกำลังหรือป้องกันมอเตอร์ไม่ให้เกิดการเสียหาย เมื่อมีกระแสไหลเกินพิกัดในมอเตอร์

ส่วนประกอบภายนอกที่สำคัญ ของโอเวอร์โวลติจรีเลย์

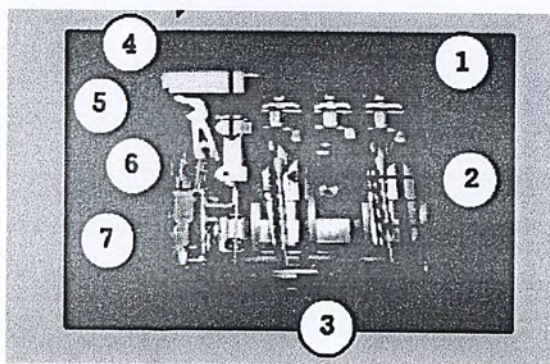


รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบภายนอกที่สำคัญ ของโอเวอร์โวลติจรีเลย์

ส่วนประกอบภายนอกที่สำคัญ ของโอเวอร์โวลติจรีเลย์ มีดังนี้

1. ปุ่มปรับกระแส (R.C.A)
2. ปุ่มทริป (TRIP)
3. ปุ่มรีเซ็ต (RESET)
4. จุดต่อไฟเข้าเมน ไบเมททอล
5. จุดต่อไฟออกจากเมน ไบเมททอล
6. หน้าสัมผัสช่วยปกติปิด (N.O.)
7. หน้าสัมผัสช่วยปกติเปิด (N.C.)

ส่วนประกอบภายในที่สำคัญ ของโอเวอร์โวลติจรีเลย์



รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบภายในที่สำคัญ ของโอเวอร์โวลติจรีเลย์

ส่วนประกอบภายในที่สำคัญ ของโอเวอร์โวลต์ครีเลย์ มีดังนี้

1. ขั้วค้วนำ
2. ลวดนำพันอยู่รอบแผ่น ไบเมททอล
3. ก้านคั้นหน้าสัมผัส
4. แกนปรับหน้าสัมผัส
5. ก้านคั้นหน้าสัมผัสเมื่อปุ่มทรืพทำงาน
6. ก้านปุ่มรีเซ็ตคั้นหน้าสัมผัสกลับสภาพเดิม
7. ชุดกลไกคั้นหน้าสัมผัส

จากโครงสร้างภายในของโอเวอร์โวลต์ครีเลย์ที่ประกอบไบเมททอลมีขดลวดค้วนำพันรอบอยู่ เมื่อมอเตอร์ทำงานหนักเกินกำลังจะทำให้มีกระแสไหลผ่านค้วนำสูงเกินพิกัดของโอเวอร์โวลต์ครีเลย์ที่คั้งไว้ทำให้เกิดความร้อนที่ไบเมททอลทำให้ไบเมทอลงอตัวไปคั้นก้านคั้นหน้าสัมผัสทำให้หน้าสัมผัสที่ปิดจะเปิดและ หน้าสัมผัสเปิดจะปิดเมื่อค้วนำปุ่มรีเซ็ตหน้าสัมผัสจะกลับคืนสภาพเดิม แต่ในกรณีที่โอเวอร์โวลต์เป็นแบบไม่มีปุ่มรีเซ็ตจะต้องรอให้ไบเมทอลเย็นตัวลง หน้าสัมผัสถึงจะกลับคืนสภาพเดิม

2.2.1 การลดแรงคั้นขณะสตาร์ทแบบสตาร์ทเคลต้า

การสตาร์ทมอเตอร์ 3 เฟสที่มีขนาดใหญ่เกินกว่า 5 กิโลวัตต์นั้นไม่สามารถใช้วิธีการสตาร์ทตรงได้(Direct Start) ได้ เนื่องจากกระแสสตาร์ทสูงมาก(ปกติค่ากระแสสตาร์ทสูงประมาณ 5 - 7 เท่าของค่ากระแสตามปกติของค่ากระแสตามปกติ ของค่ากัคดมอเตอร์)จึงต้องการอาศัยเทคนิคการสตาร์ทมอเตอร์ ที่สามารถลดกระแสขณะสตาร์ทมอเตอร์ได้มีฉะนั้นแล้วการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่จะทำให้เกิดผลเสียแก่ ระบบไฟฟ้าหลายประการ เช่น

- 1.ทำให้เกิดไฟแสงสว่างวูบหรือกระพริบ
- 2.ทำให้อุปกรณ์ป้องกันแรงคั้นไฟฟ้าตกทำงาน
- 3.อาจเกิดโอเวอร์โวลต์แก่ระบบจ่ายไฟเข้าโรงงาน เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า
- 4.อาจทำให้ฟิวส์แรงสูงที่ระบบจ่ายไฟฟ้าขาด
- 5.กระทบต่อการทำงานของมอเตอร์ตัวอื่นๆ ในโรงงานที่ทำงานในสภาวะโอเวอร์โวลต์อาจดับหรือหยุดทำงานได้เพราะไฟตก ดังนั้นมอเตอร์ที่มีขนาดสูงกว่า 5 กิโลวัตต์ต้องใช้เทคนิคการสตาร์ทมอเตอร์แบบลดกระแสซึ่งมีอยู่ 3 วิธี

การสตาร์ทแบบสตาร์ท-เคลต้า

การสตาร์ทแบบลดกระแสแบบค้วค้ำทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสตาร์ทโดยใช้หม้อแปลงลดแรงดัน

ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เคลด้าเท่านั้น

การสตาร์ท-เคลด้าหมายถึง ขณะสตาร์ทมอเตอร์เป็นแบบสตาร์ทและเมื่อมอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็ว 75% ของความเร็วพิกัด มอเตอร์จะต้องหมุนแบบเคลด้า การสตาร์ทแบบสตาร์ท-เคลด้าสามารถทำได้ 2 วิธี

1. ใช้สตาร์ท-เคลด้าสวิตช์
2. ใช้คอนแทกเตอร์

2.2.2 การะสตาร์ทแบบสตาร์ทเคลด้า

สตาร์ท-เคลด้า-สวิตช์เป็นสวิตช์ลักษณะของคริม หรือ โรตารี แคมสวิตช์ คล้ายกับสวิตช์กลับทางหมุนมอเตอร์แต่โครงสร้างต่อภายใน เปลี่ยนแปลงไปให้เหมาะสมกับหลักการสตาร์ทแบบนี้ รูปของโรตารี แคมสวิตช์ทำหน้าที่เป็น สตาร์ท-เคลด้า

2.3 การออกแบบโครงสร้างเหล็ก

การออกแบบ โครงสร้างเหล็ก นอกจากทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ที่จำเป็นต้องมีพื้นความรู้อย่างดีแล้ววิศวกรต้องอาศัยความรู้ในเชิงปฏิบัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องการให้รายละเอียดต่างๆ ของชิ้นส่วนตลอดของจนรอยต่อระหว่าง ชิ้นส่วนต่างๆ โครงสร้างในทางปฏิบัติแล้ว รูปแบบชิ้นส่วนของโครงสร้างเหล็ก มีทางเลือกพอสมควรต่างกับกรณีการออกแบบชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กที่มักจะมี แบบแผนค่อนข้างแน่นอน เช่น คาน ค.ส.ล. โดยปกติมักมีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีเหล็กเสริมสองแถว ค้านบนและค้านล่างของหน้าตัด และล้อมยึดด้วยเหล็กปลอก เป็นต้น แต่กรณีคานเหล็ก นอกจากมีหน้าตัดให้เลือกได้จากตารางเหล็กรูปพรรณมาตรฐานที่มีขายในท้องตลาดแล้ว วิศวกรอาจประกอบจากเหล็กรูปพรรณ หรือเหล็กแผ่น โดยการเชื่อม ดังนั้นการออกแบบ โครงสร้างเหล็ก ถ้าวิศวกรที่มีประสบการณ์ไม่เพียงพอ หรือ ไม่ได้รับการฝึกฝนอบรมมาบ้าง มักเกิดความไม่มั่นใจในทางเลือกและรายละเอียดที่เหมาะสมในกรณี เฉพาะต่างๆ เพราะทางเลือกมีหลากหลายเกินไป แต่ผู้ที่มีประสบการณ์มักพบว่า การออกแบบโครงสร้างเหล็กให้โอกาสวิศวกรสามารถใช้ความคิดสร้างสรรค์ได้มากจึงได้รวบรวมตัวอย่างของทาง เลือกต่างๆ ในการออกแบบ โครงสร้างเหล็ก โดยอาศัยรายละเอียดที่ใช้ได้ดีในภาคปฏิบัติมาแล้ว

2.3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้าง

ชิ้นส่วนหลักของโครงสร้างเหล็กประกอบด้วย

(ก) ชิ้นส่วนรับแรงในแนวดิ่ง คือ เสาเหล็ก

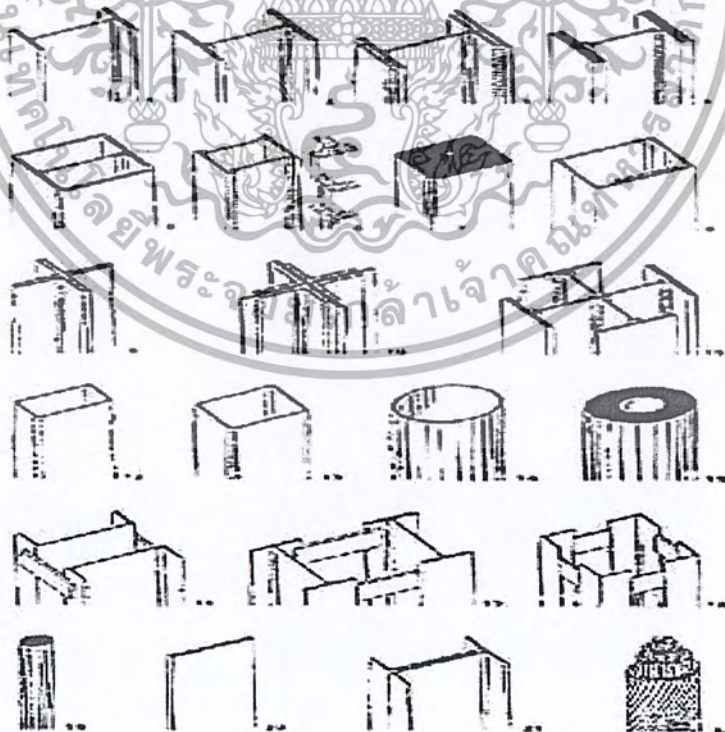
(ข) ชิ้นส่วนกระจายน้ำหนักบรรทุกในระนาบ คือ คานและระบบพื้น และ

(ค) ชิ้นส่วนเพื่อการยึดเหนี่ยว (Bracing Members) และเพิ่มสติฟเนส (Stiffness) ปกติในห้อง

เรียน เรามักเรียนรู้เกี่ยวกับการออกแบบคานและพื้นมาเพียงพอ แต่ Bracing Member ซึ่ง โครงสร้างเหล็กถือเป็นรายละเอียดที่สำคัญ เพราะมีส่วนทำให้โครงสร้างเหล็กเกิดเสถียรภาพและลดการโยกตัวได้

2.3.2 เสาเหล็ก

สำหรับ โครงสร้างเหล็ก เสาทำหน้าที่รับแรงกดที่เกิดจากการถ่ายน้ำหนักที่ผ่านมาจากพื้น และคาน มาตามแนวดิ่งเพื่อส่งผ่านไปยังฐานราก หรือในบางกรณีอาจทำหน้าที่หิ้วคานหรือพื้น (Suspension members) สำหรับเสาที่รับแรงกดการออกแบบจะต้องคำนึง ถึง Buckling ด้วย รายละเอียดการยึดเหนี่ยวทางด้านข้างจึงมีความสำคัญมากทางเลือกของรูปแบบเสาเหล็กประกอบด้วย

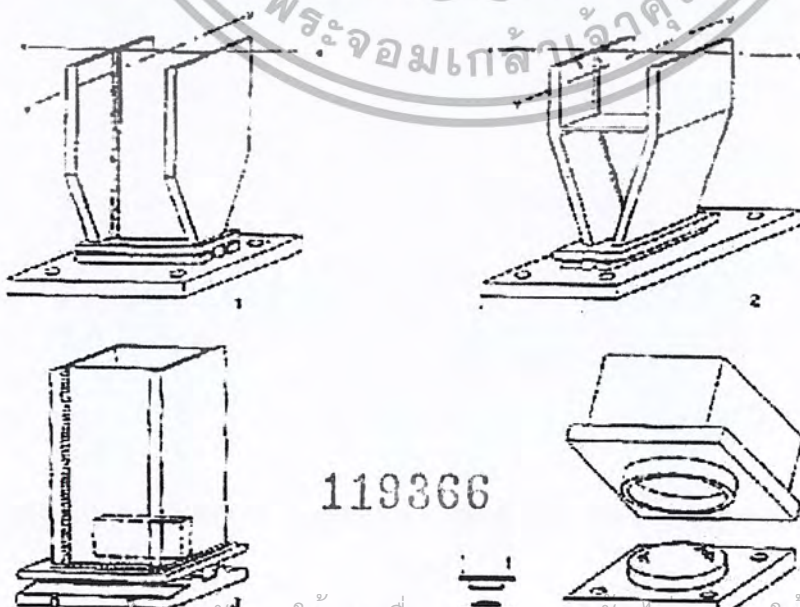


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- (1) หน้าตัดข้อได้เปรียบ คือ รายละเอียดการต่อกับคานเหล็กทำได้โดยง่าย
- (2) หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า สำหรับเสาที่ต้องรับน้ำหนักมาก หรือมีความยาวมาก ให้ความรู้สึกที่ดีในความแข็งแรง ปกติอาจใช้แผ่นเหล็กประกบหน้าตัดรูป 1 หรือประกอบจากแผ่นเหล็กสี่แผ่น หรือเป็นสี่เหลี่ยมหน้าตัด หรือใช้เหล็ก Channels 2 ชั้นประกบกัน
- (3) หน้าตัดรูปไม้กางเขน ได้จากการประกอบของหน้าตัดต่างๆ เหมาะสำหรับเสาที่ไม่ต้องการให้เห็นความหนา เช่น จุดตัดระหว่างผนัง 2 ทิศทาง สำหรับเสาที่ต้องรับแรงดัดสูงทั้งสองทิศทาง
- (4) หน้าตัด Hollow Section มีการใช้งานที่ดี แต่ควรให้รายละเอียดรอยต่อกับคานทำได้ยาก
- (5) เสาประกอบจากเหล็กรูปพรรณ พบมากในโครงสร้างโรงงาน เหมาะมากเมื่อต้องมีคานพาดระหว่างช่องแคบในเสา หรือต้องมีท่อระบบเดินภายในเสาซึ่งต้องมีการ Service เป็นประจำ
- (6) เสารับแรงดึง Suspension members อาจใช้ลวดกลม หรือ แผ่นเหล็ก หรือ Channel 2 ตัวเชื่อมชนกัน หรือลวดขดเป็นกลุ่ม

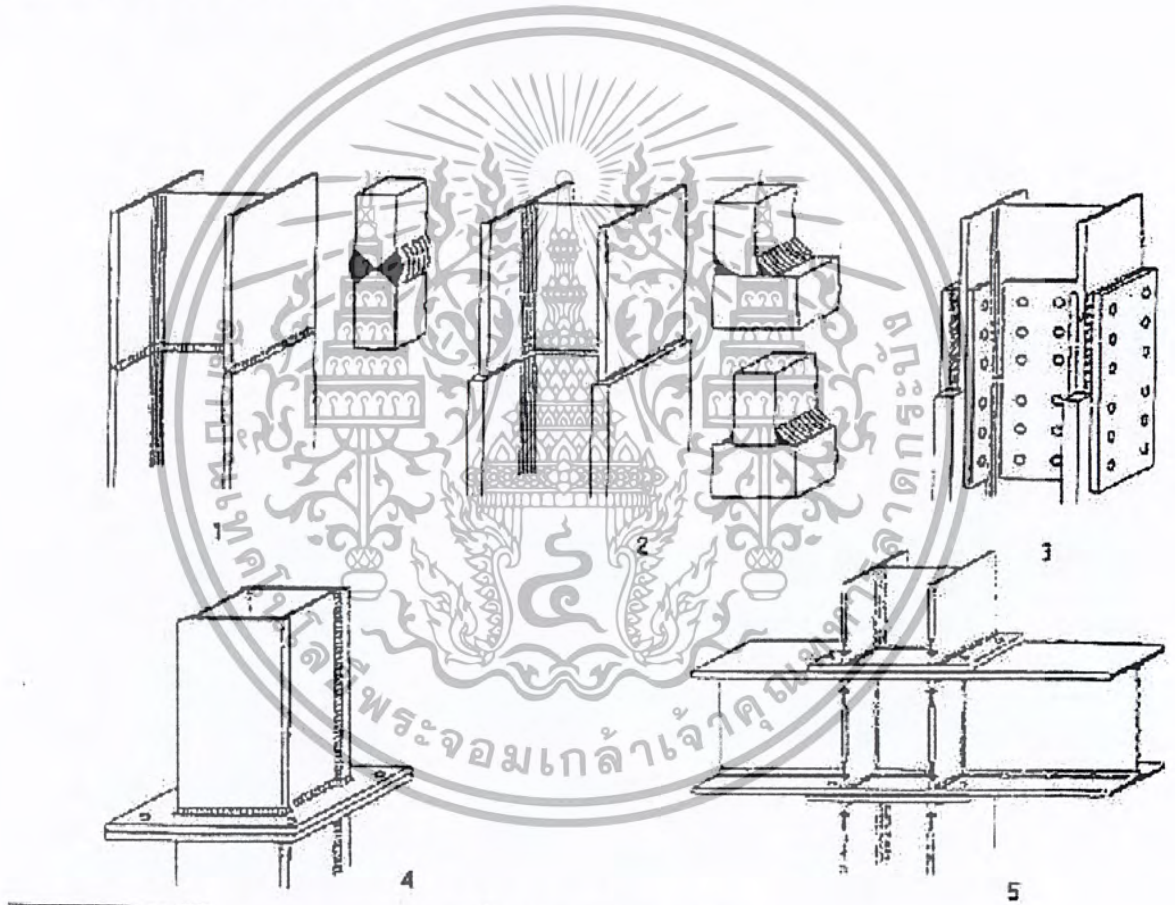
2.3.3 การออกแบบ Hinge ที่ฐานเสา

ในกรณีที่ต้องการลดแรงดัด ที่อาจถ่ายไปยังฐานราก อาจออกแบบให้เสาโยกได้โดยอิสระ ในลักษณะของ Hinge หรือ Pinned End ที่ฐานสำหรับเสาในกรณีหลัง เนื่องจากจะต้องมีการเชื่อมกับแผ่นเอวที่ตัดให้ปลายแหลม จำต้องมีแผ่นเหล็กยึดที่รอยต่อด้วย แสดงรายละเอียดสำหรับหน้าตัดที่เป็นกล่อง แสดงการใช้ Point Rocker Bearing สำหรับการโยกอิสระสองรอบทิศทาง



2.3.4 การต่อเสา

ปกติเหล็กรูปพรรณที่ผลิตขายในท้องตลาดมักมีขนาดความยาวมาตรฐาน การต่อเสาเหล็กจึงเป็นเรื่องต้องทำในภาคปฏิบัติ วิธี การต่อเสาที่ง่ายที่สุดคือ การต่อปลายชนกัน (Butt joint) โดยอาศัย การเชื่อม การต่อลักษณะนี้สามารถ ทำได้ในกรณีที่ต้องการลดความหนาของเสาลง อีกวิธีหนึ่งคือ การต่อปลายชนโดยใช้ Bolted butt splice อีกวิธี คือการใช้แผ่นเหล็กเชื่อมมาจากโรงงานพร้อมเจาะรู สำหรับรื้อย่น็อตเสร็จทำให้การประกอบทำได้ไม่คาดเคลื่อน ในกรณีที่ต้องการให้คานมีความต่อเนื่อง อาจใช้ ในกรณีนี้ข้อต่อนี้ก็จะเป็น Rigid joint ที่แท้จริง



รูปที่ 2.23 การต่อเสาหลัก

2.2.5 รายละเอียดการต่อคานกับเสา

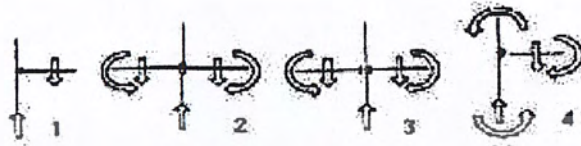
การถ่ายแรงระหว่างคานกับเสา สามารถทำได้ในลักษณะต่างๆ

- 1) การถ่ายแรงเฉือนอย่างเดียว (Shear Connection) รวมทั้งกรณีรูป 2.23(1) และ 2.23(3) ซึ่งเสาไม่มีความต่อเนื่อง หรือมี ความต่อเนื่องแต่เสาขนาดเล็กกว่าคานมาก จึงถือได้ว่าแรงดัดมีความต่อเนื่อง

เฉพาะในคานเท่านั้น ตัวอย่างของ Shear Connection ในหลักการคือจะต้องวิธีให้มีการถ่ายแรงกดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 คานลงไปยังเสา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

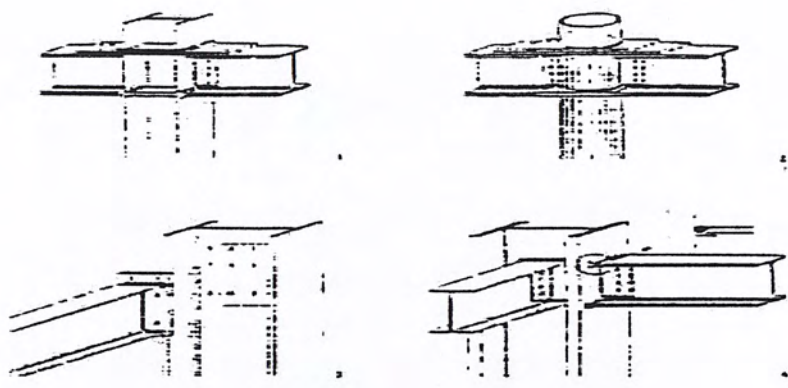
2) การถ่ายทั้งแรงเฉือนและแรงค้ำ (Shear and Moment Connection) ดังในรูปที่ 2.23(4) ในกรณีนี้ จำเป็นต้องมีรายละเอียดเพียงพอที่จะให้แรงค้ำมีความต่อเนื่องทั้งในคานและในเสา ดังตัวอย่างในรูป ข้อต่อระหว่างคานกับเสาซึ่งประกอบกันเป็น โครงข้อแข็ง จำเป็นต้องออกแบบให้มีความต่อเนื่องในการถ่ายทั้งแรงเฉือนและแรงค้ำ



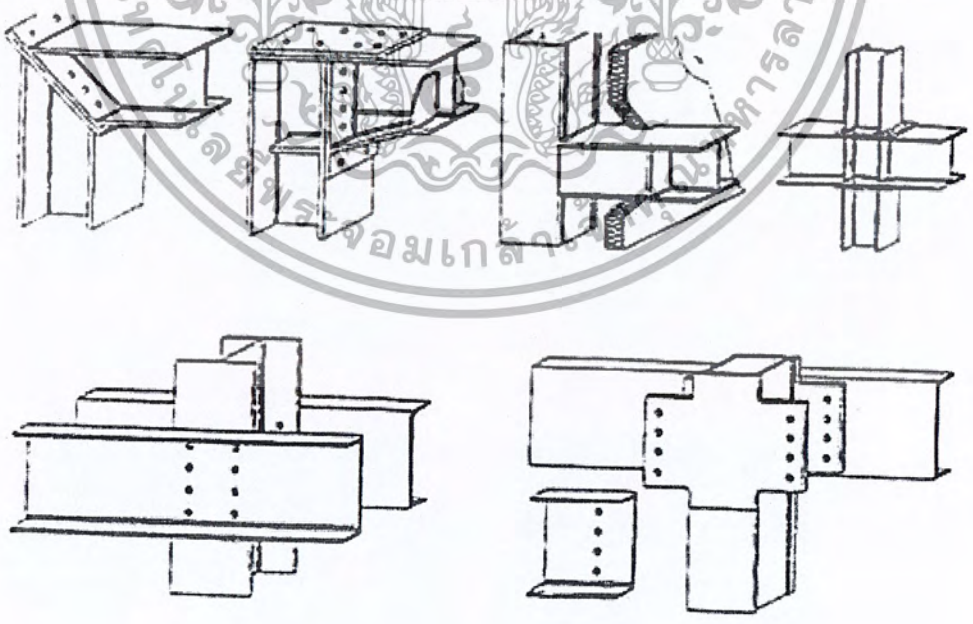
รูปที่ 2.24 การถ่ายแรงเฉือนและแรงค้ำระหว่างคานกับเสา



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างของ Shear Connection



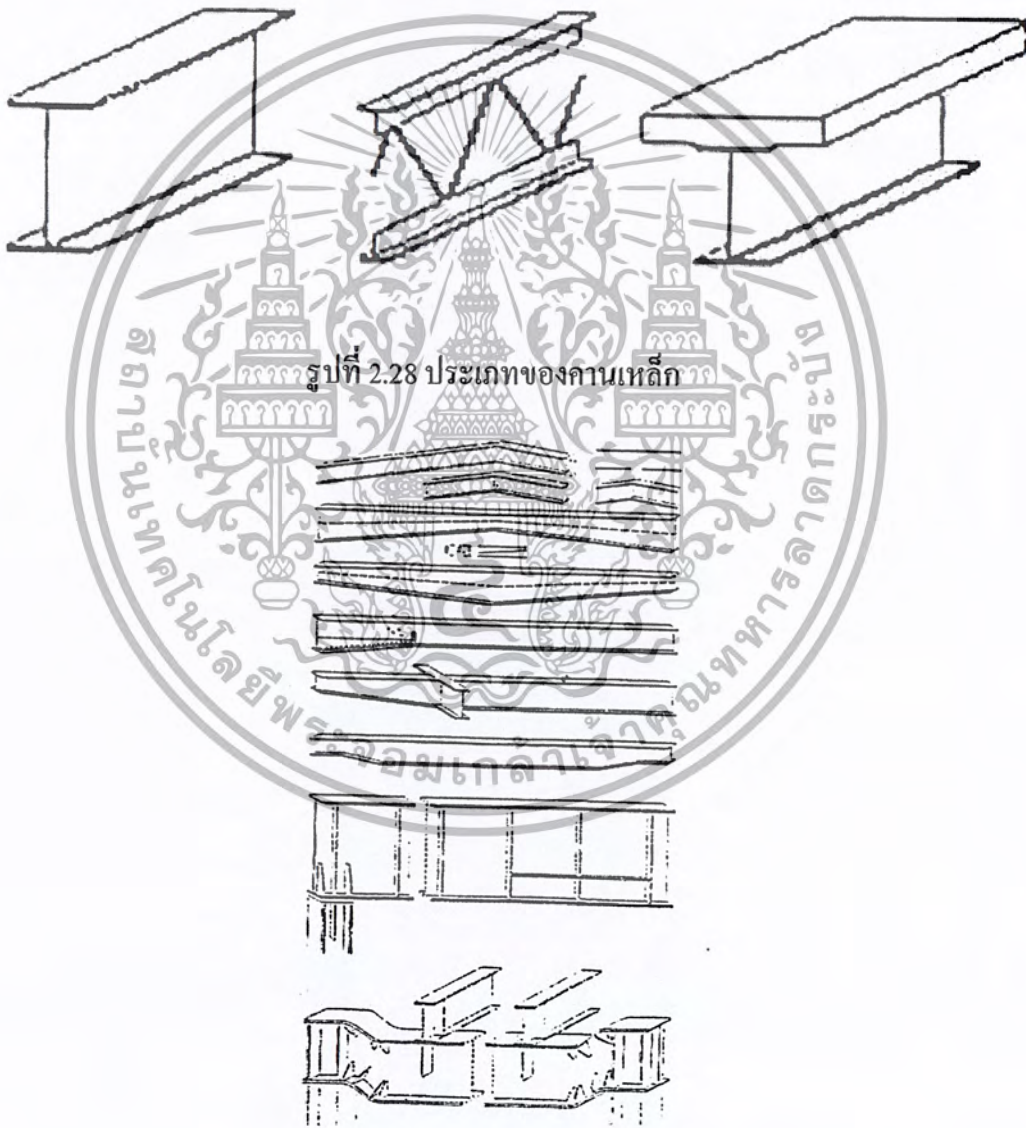
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างของ Shear และ Moment Connection



รูปที่ 2.27 รายละเอียดข้อต่อสำหรับโครงข้อแข็ง

2.3.6 คาน (Beams or Girders)

คานทำหน้าที่ถ่ายแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนพื้นผ่าน ไปยังเสา คานเหล็กอาจเป็นเหล็กรูปพรรณหรือคานที่ได้จากโครงถัก หรือแม้กระทั่งออกแบบให้พื้นคอนกรีตเป็นส่วนหนึ่งของคานประกอบ (Composite Beam) สำหรับ โครงสร้างที่รับน้ำหนักมาก คานอาจประกอบขึ้นจากเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีการเชื่อม เมื่อคานมีความลึกมาก อาจต้องอาศัยเหล็ก Stiffeners เพื่อยึดหน้าตัดไม่ให้เปลี่ยนรูป หรือ เกิด Local Buckling ที่แผ่วเอวได้

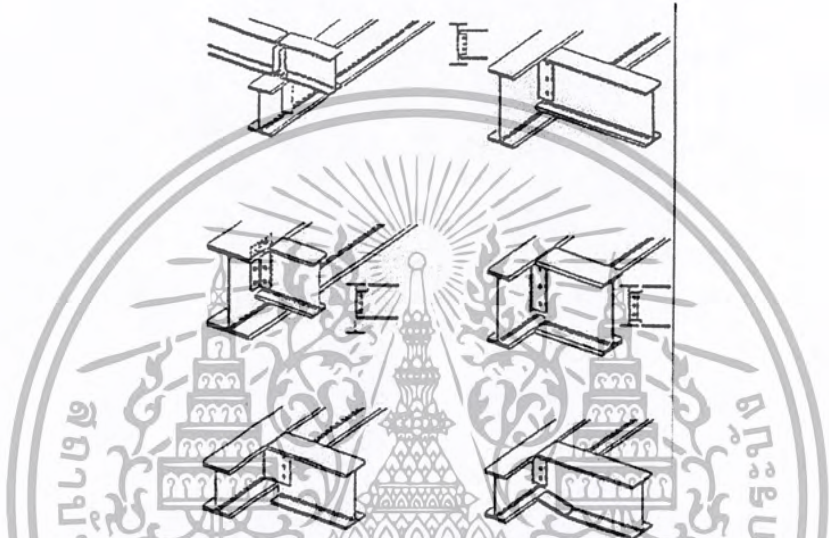


รูปที่ 2.28 ประเภทของคานเหล็ก

รูปที่ 2.29 คานประกอบจากเหล็กรูปพรรณ

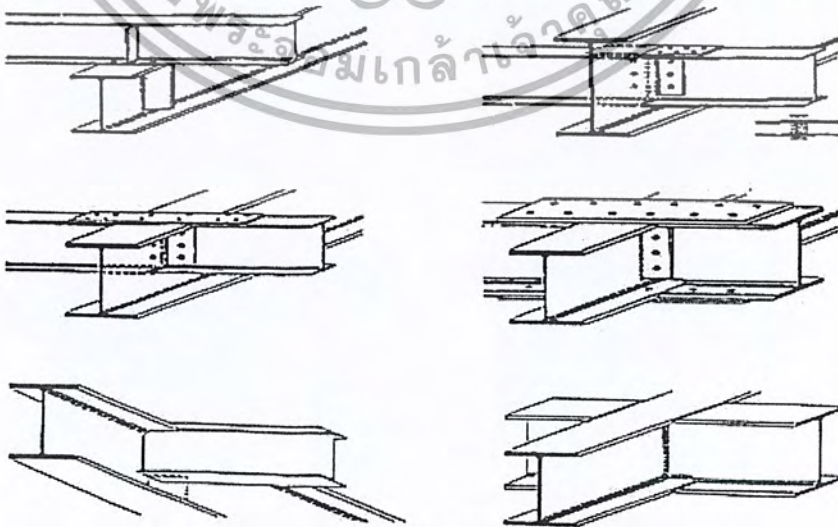
2.3.7 รายละเอียดรอยต่อระหว่างคานในสองทิศทาง

ในกรณีคานในทิศทางหนึ่งมีขนาดเล็กกว่าคานอีกทิศทางหนึ่งมาก ความต่อเนื่องควรจะรักษาไว้ในคานที่ใหญ่กว่าโดยมากแล้วมักออกแบบให้คานเล็กกว่าเกาะยึดกับคานใหญ่กว่าโดยอาศัยแรงเฉือนอย่างเดียว คือ ถือว่าคานเล็กกว่าจะไม่ถ่ายแรงคัตไปยังคานใหญ่ซึ่งทำให้เกิดการบิดตัวได้ รอยต่อในลักษณะนี้จึงทำ โดยเชื่อมต่อเฉพาะแผ่นเอว (Web Connection) เท่านั้น ดังแสดงในกลุ่มรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 รอยต่อระหว่างคานที่ต่อเนื่องในทิศทางเดียวกัน

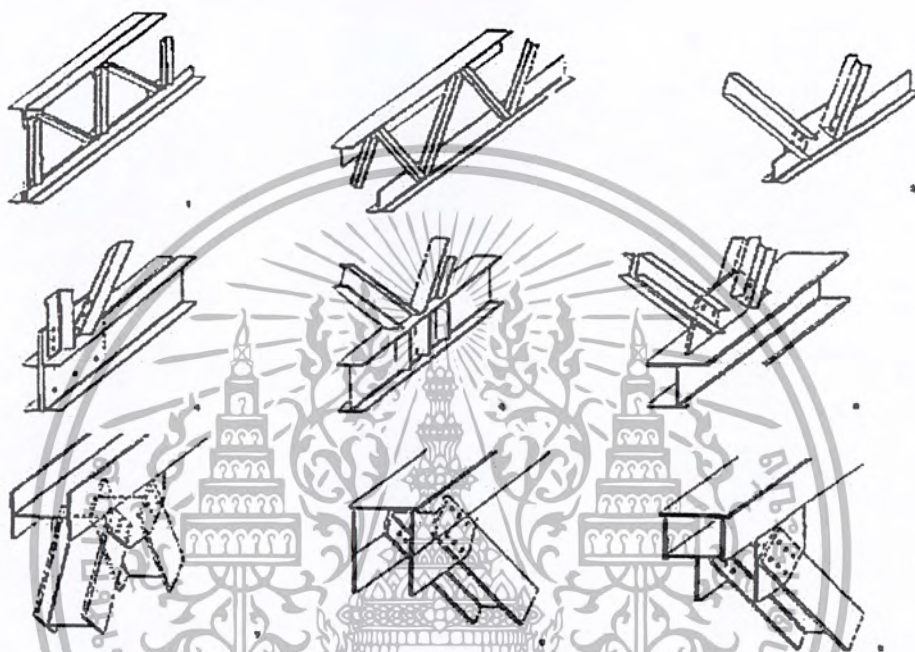
ในกรณีออกแบบให้คานทั้งสองทิศทางมีความต่อเนื่องกันจำเป็นต้องให้คานมีความต่อเนื่องกัน ใน Flanges ซึ่งรับแรงดึงและแรงกดที่เกิดจากแรงคัต ดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 รอยต่อระหว่างคานที่ต่อเนื่องทั้ง 2 ทิศทาง

2.3.8 คานถัก (Lattice Girders)

การถักนับว่าเป็นคานที่ใช้วัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด แต่ข้อเสียคือ เปลืองแรงงานในการประกอบมาก หลักการของการให้รายละเอียดของคาน ที่ประกอบจากโครงถัก คือ จะต้องจัดให้แกนของทุกชิ้นส่วนมาพบกันที่จุดๆ เดียว เพื่อให้เกิดแรงคดในทุกชิ้นส่วนน้อยที่สุด ตัวอย่างของการออกแบบรายละเอียดข้อต่อของ โครงถักได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 รายละเอียดรอยต่อของโครงถัก

2.3.9 บทสรุป

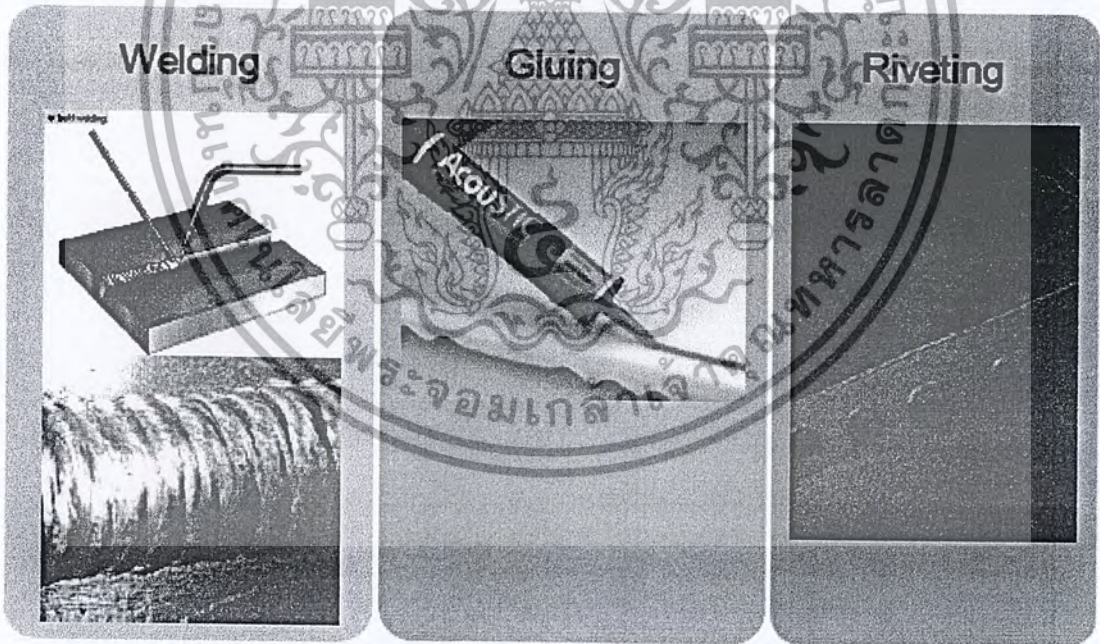
การออกแบบโครงสร้างเหล็ก ถ้าวิศวกร ได้ทราบถึงทางเลือกต่างๆ ตลอดจนรายละเอียดที่จำเป็นในการก่อสร้างจริงก็จะทำให้แบบก่อสร้างมีความสมบูรณ์มากขึ้นลดปัญหาในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขที่หน้างานและทำให้การตัดประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดจากโรงงาน

2.4 สลักเกลียวและการจับยึด

หัวข้อนี้จะเป็นหัวข้อที่เกี่ยวกับชิ้นส่วนที่ใช้สำหรับการจับยึดชิ้นงาน ซึ่งการจับยึดชิ้นงานนั้นมีหลายแบบด้วยกัน แต่เราจะเน้นเฉพาะการจับยึดชิ้นงานที่ใช้สลักเกลียว (bolt) และแป้นเกลียว (nut) เท่านั้น อย่างไรก็ตามผู้ศึกษาจะได้ทราบรูปแบบการจับยึดอื่น ๆ ที่ใช้เกลียวด้วย เช่น stud และ screw เป็นต้น พร้อมทั้งจะได้เรียนรู้คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับเกลียวและโครงสร้างของเกลียว ส่วนหัวข้ออื่นที่จะกล่าวถึงก็คือหลักการในการวาดชิ้นส่วนสำหรับการจับยึดเหล่านี้ การบอกขนาด รวมถึงการใช้งานสลักเกลียวและแป้นเกลียวอย่างถูกต้องเหมาะสม

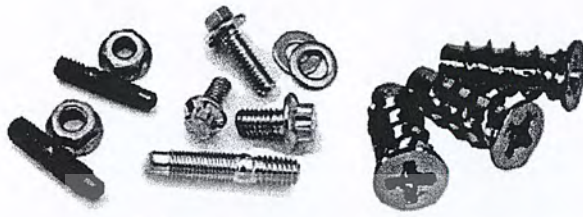
2.4.1 การจับยึดชิ้นงานรูปแบบต่าง ๆ

เราสามารถแบ่งลักษณะการจับยึดได้ 2 แบบใหญ่ ๆ คือ การจับยึดแบบถาวร และการจับยึดแบบชั่วคราว สำหรับตัวอย่างการจับยึดแบบถาวรนั้นได้แก่ การเชื่อม การจับยึดด้วยกาว หรือการใช้ rivet ดังแสดงในรูปที่ 2.33

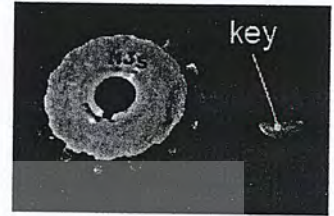


รูปที่ 2.33 การจับยึดชิ้นงานแบบถาวร

ส่วนการจับยึดแบบชั่วคราวก็ยังสามารถแบ่งย่อยออกไปได้อีก 2 แบบ คือ การจับยึดที่ใช้เกลียว ซึ่งประกอบไปด้วย bolt, nut, stud และ screw ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.34 ส่วนอีกรูปแบบหนึ่งคือการจับยึดที่ไม่ใช้เกลียว ซึ่งได้แก่ key, pin ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.34 การจับยึดแบบใช้เกลียว



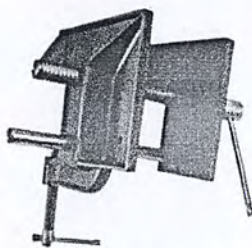
รูปที่ 2.35 การจับยึดแบบไม่ใช้เกลียว

ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วที่เราจะเน้นเนื้อหาเฉพาะการจับยึดที่ใช้เกลียวเท่านั้น โดยตัวอย่างการใช้งานของชิ้นส่วนที่มีเกลียวนี้ ได้แก่

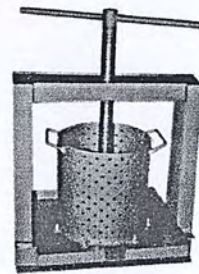
- ใช้เพื่อการจับยึด ดังแสดงในรูปที่ 2.36 และ
- เพื่อให้ชิ้นส่วนมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.36 การใช้ชิ้นส่วนที่มีเกลียวในการจับยึดชิ้นงาน



Wood working vise



Palm fruit pressing machine

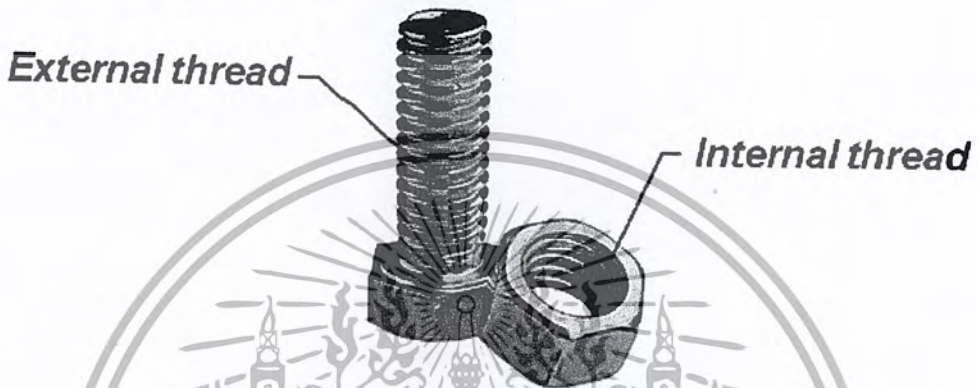
รูปที่ 2.37 การใช้ชิ้นส่วนที่มีเกลียวเพื่อทำให้ชิ้นส่วนอื่นเคลื่อนที่สัมพันธ์กันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 คำศัพท์ที่เกี่ยวกับเกลียว

- เกลียวนอก (external thread) หรือบางครั้งเรียกว่า เกลียวตัวผู้ จะมีลักษณะเป็นเกลียวที่อยู่บนผิวนอกของทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 2.38

- เกลียวใน (internal thread) หรือบางครั้งเรียกว่า เกลียวตัวเมีย จะมีลักษณะเป็นเกลียวที่อยู่บนผิวภายในของรู ดังแสดงในรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 ลักษณะของเกลียวนอกและเกลียวใน

- เกลียวขวา (right-hand thread) คือเกลียวที่ถ้าถูกหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาแล้วจะเป็นการขันเกลียวให้แน่น เกลียวชนิดนี้จะพบเห็นได้บ่อยที่สุดในชีวิตประจำวัน เพราะถ้าผู้เรียนลองทบทวนดูจะพบว่าทุกครั้งที่เราต้องการจะขันสกรูให้แน่น เราก็จะบิดมันในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเสมอ ลักษณะของเกลียวขวาได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-51



รูปที่ 2.39 ลักษณะของเกลียวขวาและเกลียวซ้าย

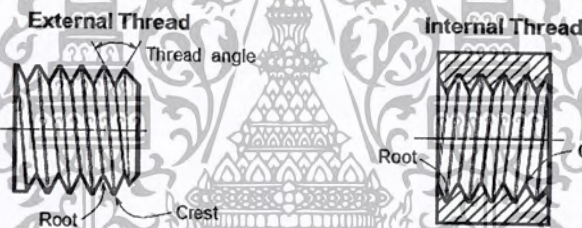
- เกลียวซ้าย (left-hand thread) คือเกลียวที่ถ้าถูกหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาแล้วจะเป็นการขันเกลียวให้แน่น เกลียวชนิดนี้จะพบเห็นได้ไม่บ่อยนัก แต่อุปกรณ์ที่สามารถพบว่า มีเกลียวซ้ายอยู่ด้วยก็คือ turnbuckle ดังที่แสดงในรูปที่ 2.40 อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีทั้งเกลียวซ้ายและเกลียวขวาอยู่ในตัวเอง ดังนั้นเมื่อจับส่วนตรงกลางหมุนแล้ว การหมุนนั้นจะทำให้เกิดการหมุนตามเข็มนาฬิกาตามด้านหนึ่ง และหมุนทวนเข็มนาฬิกาตามอีกด้าน

หนึ่งเสมอ ซึ่งจะทำให้เกลียวทั้งสองด้านนั้นเคลื่อนที่เข้าหากันหรือออกจากกันได้



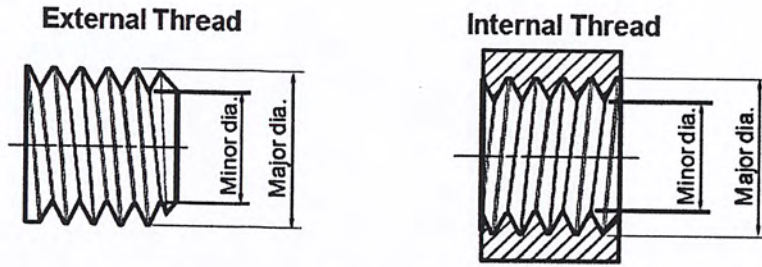
รูปที่ 2.40 Turnbuckle ที่มีทั้งเกลียวซ้ายและเกลียวขวา

- ยอดเกลียว (crest) คือส่วนที่เป็นขอบสูงสุดของเกลียว
 - ฐานเกลียว (root) คือส่วนที่ต่ำสุดของเกลียวเมื่อเกลียวนั้นอยู่บนผิวทรงกระบอก
 - มุมของเกลียว (thread angle) มุมระหว่างผิวของเกลียวที่อยู่ติดกัน
- ลักษณะของ crest, root และ thread angle สำหรับเกลียวนอกและเกลียวในนั้น แสดงไว้ในรูปที่ 2.41



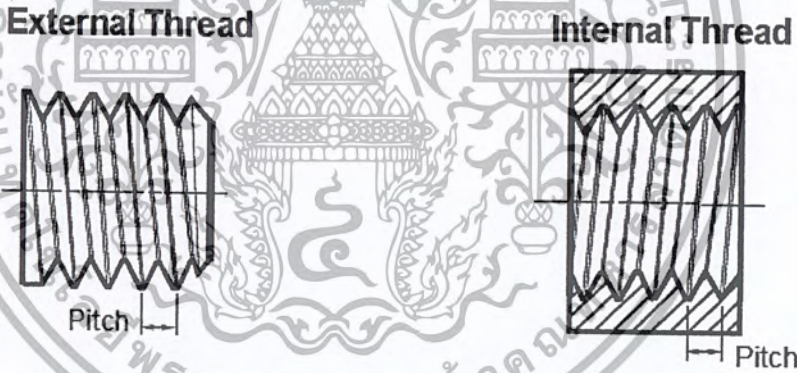
รูปที่ 2.41 โครงสร้างของเกลียว

- Major diameter คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของเกลียว ไม่ว่าจะเกลียวนั้นจะเป็นเกลียวนอกหรือเกลียวใน
- Minor diameter คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของเกลียว ไม่ว่าจะเกลียวนั้นจะเป็นเกลียวนอกหรือเกลียวใน เนื่องจาก major และ minor diameter เป็นส่วนสำคัญของเกลียวซึ่งต้องนำมาใช้สำหรับการวัดตัวเกลียวเอง และใช้เป็นขนาดมาตรฐานสำหรับการเลือกใช้เกลียว ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจความหมายของmajor และ minor diameter ให้มากขึ้นขอให้ศึกษาจากตัวอย่างในรูปที่ 2.42

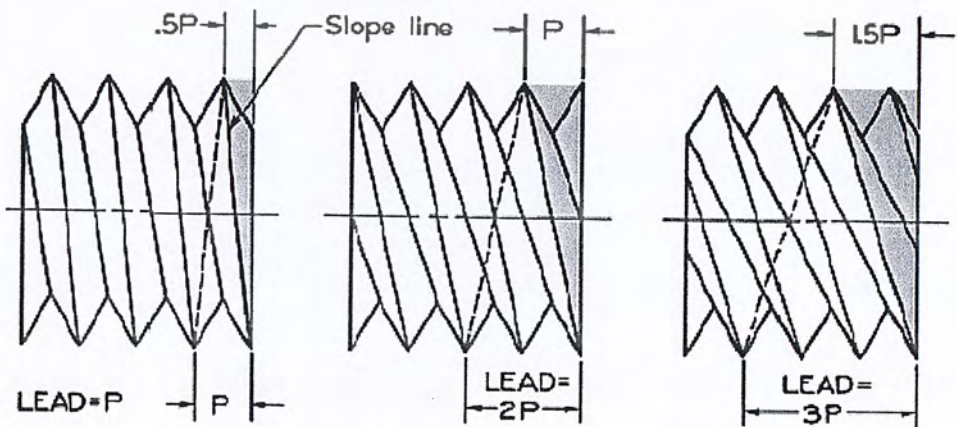


รูปที่ 2.42 Major และ minor diameter

- Pitch คือระยะระหว่างยอดเกลียวไปยอดเกลียวถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 2.43
- Lead คือ ระยะที่เกลียวเคลื่อนที่ไปเมื่อเกลียวนั้นเคลื่อนที่ไปครบ 1 รอบตัวอย่างของเกลียวที่มีระยะ Pitch และ Lead ต่างๆกัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.44 จากรูปจะเห็นว่าถ้าระยะ Pitch มีค่าเท่ากับระยะ Lead เมื่อหมุนเกลียวครบหนึ่งรอบเกลียวจะเคลื่อนที่ไปได้เป็นระยะเท่ากับหนึ่งยอดเกลียว แต่ถ้าเกลียวมีระยะ Lead เป็นสามเท่าของระยะ Pitch เมื่อหมุนเกลียวครบหนึ่งรอบเกลียวจะเคลื่อนที่ไปได้สามยอดเกลียว



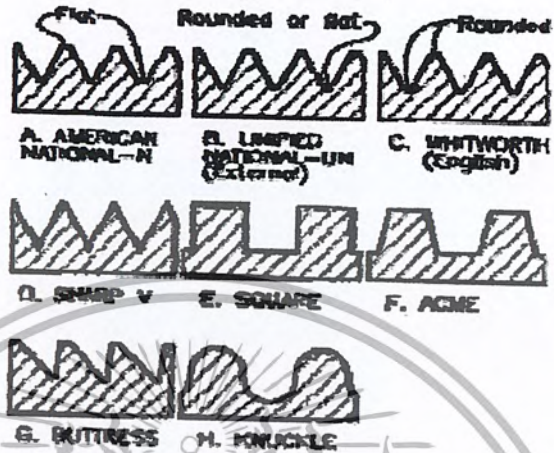
รูปที่ 2.43 ระยะ Pitch ของเกลียว



รูปที่ 2.44 เกลียวที่มีระยะ pitch และ lead ต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า... ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

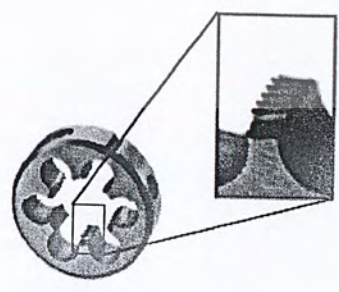
- รูปร่างของเกลียว รูปร่างของเกลียวนั้นมีหลายรูปแบบด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 2.45 โดยแต่ละรูปแบบนั้นก็เหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งความเหมาะสมของการใช้งานสำหรับเกลียวแต่ละแบบนั้นอยู่นอกเหนือจากเนื้อหาของวิศวกรรม



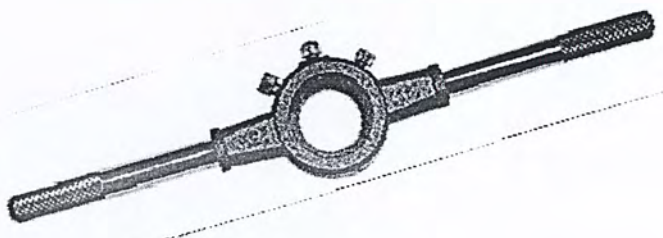
รูปที่ 2.45 รูปร่างของเกลียวแบบต่างๆและตัวอย่างของเกลียวแบบ knuckle

2.4.3 การสร้างเกลียวนอกและเกลียวใน

อุปกรณ์สำหรับการสร้างเกลียวนอกนั้นประกอบไปด้วย thread die และ die stock ดังแสดงในรูปที่ 2-58 ซึ่งการใช้งานนั้นจะเริ่มจากการนำ thread die ใต้วเข้าไปใน die stock แล้วล็อกให้แน่น จากนั้นนำไปสวมไว้ที่ปลายทรงกระบอกที่ต้องการสร้างเกลียวนอก แล้วเริ่มหมุน die และ die stock โดยใช้มือจับไปที่ด้ามจับดังแสดงในรูปที่ 2.46 การหมุนไปมาเช่นนี้จะทำให้พื้นที่อยู่ด้านในของ die กัดเนื้อทรงกระบอกให้เป็นเกลียวตามที่ต้องการ

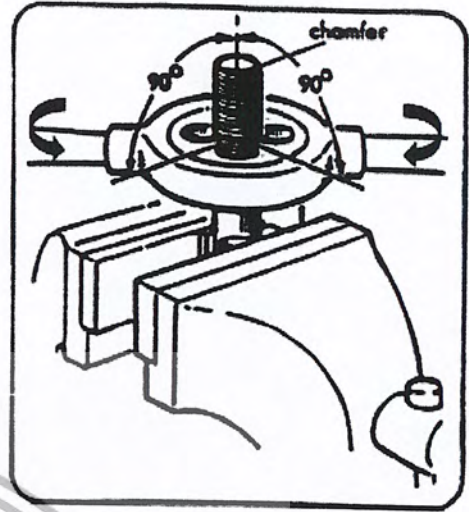
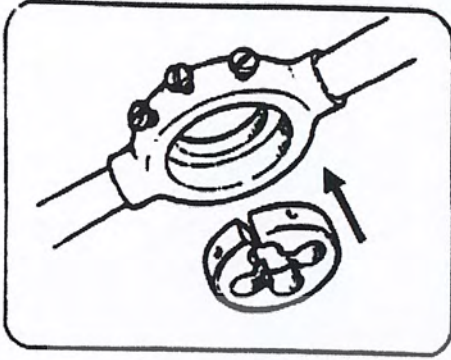


รูปที่ ก Thread die



รูปที่ ข Die stock

รูปที่ 2.46 ลักษณะของ thread die และ die stock



รูปที่ 2.47 การใช้ die และ die stock ในการสร้างเกลียวนอก

อุปกรณ์ในการสร้างเกลียวในประกอบไปด้วย สว่าน, ดอกสว่าน (drill bit), tap และ tap wrench ดังแสดงในรูปที่ 2.47 การสร้างเกลียวในด้วยอุปกรณ์ดังที่กล่าวข้างต้นนั้น จะเริ่มจากการใช้ สว่านเจาะรูบนวัสดุที่ต้องการสร้างเกลียวก่อน จากนั้นนำ tap ดัดตั้งลงไปใน tap wrench ดังแสดงในรูปที่ 2.48ก แล้วนำปลาย tap อีกด้านใส่เข้าไปในรูที่เจาะไว้ แล้วเริ่มหมุน tap กับ tap wrench ไปมา โดยจับที่ค้ำจับดังแสดงในรูปที่ 2.48ข ซึ่งพื้นที่อยู่บนผิวของ tap ก็จะกัดเนื้อภายในของรูเพื่อสร้างเกลียวในตามที่ต้องการ

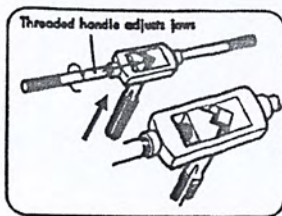


(ก) ดอกสว่าน

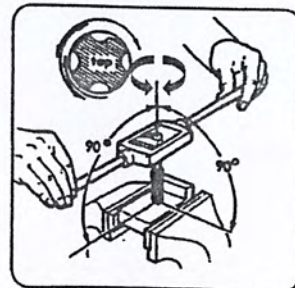
(ข) Tap

(ค) Tap wrench

รูปที่ 2.48 อุปกรณ์สำหรับการทำเกลียวใน



ติดตั้ง tap ใน tap wrench



การสร้างเกลียวใน

รูปที่ 2.49 การใช้ tap และ tap wrench ในการสร้างเกลียวใน

2.5 สปริง

สปริงเป็นชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่นที่ใช้อยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป สปริงอาจจะมีรูปร่างต่าง ๆ กัน และทำจากวัสดุหลายชนิด แม้แต่ของไหลเช่น ก๊าซ อากาศ และของเหลว ก็สามารถทำหน้าที่เป็นสปริงได้ แต่ส่วนมากสปริงมักทำจาก โลหะและโลหะผสม แต่พวกอโลหะบางชนิดก็สามารถใช้ได้ สปริงอาจทำหน้าที่หลายประเภทดังนี้

- ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับกลไกต่างๆ เช่น ลานนาฬิกา กล้องถ่ายภาพ และของเด็กเล่น เป็นต้น
- ใช้วัดแรงเช่นตาชั่งสปริง ไดนาโมมิเตอร์ ปลายอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น
- ใช้ทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลกลับสู่ตำแหน่งเดิม เช่น ตัวตามลูกเบี้ยว(Cam Followers) ก้านวาล์ว เป็นต้น
- ใช้ส่งแรงจากชิ้นส่วนหนึ่งไปยังอีกชิ้นส่วนหนึ่ง เช่นสปริงแผ่นคลัตช์ เป็นต้น

2.5.1 วัสดุสำหรับลวดสปริง

จุดประสงค์ของการใช้สปริงส่วนมากจะเป็นไปในรูปของการเก็บพลังงานเอาไว้ในตัวสปริง ความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวสปริง ขณะที่ใช้รับแรงจะมีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาใช้ทำสปริง โดยทั่วไปเหล็กสามารถให้ทำสปริงเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนสูงกว่า 0.5% แล้วผ่านกรรมวิธีการความร้อนเพื่อให้ความยืดหยุ่นสูง เพื่อให้สปริงมีการยืดหดได้นั่นเอง นอกจากนี้แล้วยังมีวัสดุประเภทโลหะผสม เหล็กกล้าไร้สนิม และอื่นๆ ที่ต้องใช้กับงานพิเศษ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูงๆ

2.5.2 คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง

ค่าความต้านแรงของวัสดุที่ใช้ทำลวดสปริงจะเป็นไปตามขนาดของลวดสปริง ดังนั้นจึงอาจเขียนในรูปสมการที่ใช้หาค่าความต้านแรงของวัสดุที่ใช้ทำลวดสปริงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใดๆ ได้ดังนี้คือ

$$\sigma_u = \frac{A}{2x}$$

$$\tau = \frac{B}{2x}$$

โดยที่ σ_u คือความต้านแรงดึงค่าสุดเป็น N/mm^2

τ_n คือความต้านแรงเฉือนทันทานเป็น N/mm^2

d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริงเป็น mm

A และ B คือ ความดันเป็น Pa

ค่าคงที่ในสมการ แสดงไว้ในตาราง แสดงคุณสมบัติทางกลของลวดสปริง สำหรับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและ โมดูลัสความเฉือนของวัสดุในตาราง ให้ใช้ค่าดังนี้ (ยกเว้นเหล็กกล้าไร้สนิม)

$$E = 200 \text{ kN/mm}^2 \quad G = 80 \text{ kN/mm}^2$$

สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมให้ใช้

$$E = 180 \text{ kN/mm}^2 \quad G = 70 \text{ kN/mm}^2$$

สำหรับค่าความต้านแรงเฉือนครากให้ใช้ค่าประมาณ

$$\tau_y = 0.60\sigma_u \text{ สำหรับวัสดุทั่วไป}$$

$$\tau_y = 0.47\sigma_u \text{ สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม}$$

2.5.3 การยึดหดของสปริงขด

ในการหาการยึดหดของสปริงให้พิจารณาขดสปริง ซึ่งตัดออกมาเป็นชิ้นเล็กๆยาว dx ก่อนมีแรงมากระทำในแนวตั้ง ส่วนของลวดสปริงนี้จะอยู่ที่ A หลังจากรับแรงภายนอกแล้วลวดสปริงจะเลื่อนมาอยู่ที่ตำแหน่ง B โดยมีการขยับตัว $d\delta$ และมุมบิดเล็กๆของลวดเท่ากับ $d\theta$ นั่นคือเส้น ab จะบิดมาอยู่ที่ตำแหน่ง ac

$$\text{จากสูตรการบิด } d\theta = \frac{T dx}{GJ}$$

ถ้ามุมบิดของลวดสปริงชิ้นเล็กๆนี้เล็กมาก(เนื่องจากสปริงมีขดถี่)ระยะขยับตัวคือ

$$d\delta = \frac{D(d\theta)}{2} = \frac{TD(dx)}{2GJ}$$

ถ้าสปริงมีความยาวทั้งหมด L ระยะขยับตัวทั้งหมดคือ

$$\delta = \frac{TD}{2GJ} \int_0^L dx = \frac{TDL}{2GJ}$$

ถ้าจำนวนขดทำการ (Active Coils) เท่ากับ n ขด ความยาว L ของสปริง n ขด โดยประมาณ เท่ากับและเมื่อแทนค่าจะได้ว่า

$$\text{ระยะขยับตัว } \delta = \frac{8FD^3 n}{Gd^4} = \frac{8FC^3 n}{Gd}$$

2.5.4 ความแข็งตึงของสปริง

ความแข็งตึงของสปริง (Spring Stiffness) หมายถึงปริมาณของแรงที่ใช้ในการทำให้สปริงยืดหดหนึ่งหน่วยความยาวในแนวแกนของสปริง ซึ่งยังมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อต่างกันไป เช่น ค่าคงที่ของสปริง (Spring Constant) อัตราสปริง (Spring Gradient) เป็นต้น ถ้าให้ δ เป็นระยะขยับตัวภายใต้แรงกด F หรือระยะยืดตัวภายใต้แรงดึง F ค่าความแข็งตึงของสปริงคือ

$$k = \frac{F}{\delta}$$

2.5.5 พลังงานที่เก็บในสปริง

สปริงทุกชนิดสามารถเก็บพลังงานเอาไว้ในตัวเองได้ในรูปของพลังงานศักย์ การออกแบบและการเลือกสปริงมาใช้กับงานจำนวนมากจะต้องพิจารณาถึงความสามารถในการเก็บพลังงานของสปริง ปริมาณพลังงานที่เก็บในสปริงคำนวณได้โดยพิจารณาคุณลักษณะของสปริงแต่ละประเภทซึ่งอาจจะแบ่งออกเป็นเส้นตรง (Linear) และแบบไม่ใช่เส้นตรง (Nonlinear) สปริงแบบเส้นตรงจะมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะยืดหดของสปริงในลักษณะของเส้นตรงคงรูป สปริงแบบไม่ใช่เส้นตรงยังแบ่งออกได้เป็นแบบเพิ่มเป็นเส้น โค้งขึ้น (Progressive) และเพิ่มเป็นเส้น โค้ง (Degressive) คงรูป พลังงานที่เก็บสะสมในสปริงก็คือพลังงานใต้พื้นที่แรเงา

สำหรับสปริงที่มีความแข็งคงที่ เช่น สปริงขด พลังงานที่สะสมอยู่ในสปริงจะมีค่าเท่ากับ

$$U = \frac{1}{2} F \delta = \frac{1}{2} k \delta^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ปริมาตรของเนื้อสปริงโดยประมาณเท่ากับ

$$V = \left(\frac{\pi}{4}d^2\right)(\pi dn)$$

แล้วใช้ความสัมพันธ์ของสมการจะจัดรูปได้เป็น

$$U = \frac{\tau^2 V}{4k^2 G}$$

พลังงานที่เก็บอยู่ในสปริงบางส่วนจะสูญเสียในรูปพลังงานความร้อน ดังนั้นงานที่จะได้กลับคืนมาจากสปริงก็จะน้อยกว่างานที่ให้กับสปริง ซึ่งเรียกว่าการดุดซิม (Damping) สปริงบางชนิดก็ต้องการทำให้เกิดการดุดซิมเพื่อขจัดพลังงานที่สปริงได้รับเข้ามาบางส่วน เช่นสปริงที่ล้อรถยนต์เป็นต้น

พิจารณาจากรูปจะเห็นได้ว่า พลังงานที่สปริงได้รับ แต่สปริงจะให้พลังงานกลับคืนมาเท่ากับพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการดุดซิม สำหรับสปริงที่ทำจากโลหะ การสูญเสียพลังงานจะมีค่าน้อยมาก ทั้งนี้เพราะการดุดซิมเนื่องจากความเสียดทานภายในตัวสปริงมีค่าน้อย สำหรับสปริงแหวนรถยนต์ซึ่งต้องการใช้ดูดพลังงานจากการกระแทกนั้นมีจำนวนแผ่นดัดกันหลายแผ่น ฉะนั้นความเสียดทานภายนอกที่ผิวสัมผัสระหว่างใบของสปริงแต่ละแผ่น จึงมีค่ามากพอที่จะใช้งานในด้านที่ต้องการให้เกิดการดุดซิมได้ความเค้นในสปริงขดรับแรงกด

พิจารณาสปริงขดซึ่งรับแรงกด F ในแนวแกนของสปริงดังรูป และให้

D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขดสปริง

D_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดสปริง

$D = \frac{(D_o + D_i)}{2}$ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของขดสปริง

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง

2.6 การออกแบบเพลลา

เพลลาอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้

- เพลลา(shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง
- แกน(Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกับเพลลาแต่ไม่หมุนส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือไม่ก็ตาม

- สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลลาที่หัวแท่นกลึง เป็นต้น

สตับชาฟต์(Stub shaft) หรือ บางครั้งก็เรียกว่า (Head shaft) เป็นเพลลาที่คิดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องในเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือ เครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลลาอื่นๆ

- เพลลาแนว(Line shaft) หรือเพลลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) เพลลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และ ใช้กำลังส่ง ไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

- แจ็กชาฟต์(Jackshaft) เป็นเพลลาขนาดสั้นที่ต่อกับเครื่องต้นกำลังหรือเครื่องจักรกล

- เพลลาอ่อน(Flexible Shaft) เป็นเพลลาที่สามารถอ่อนตัวหรืองอโค้งได้ เพลลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ลวดสปริงหรือลวดเกลียว ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลลาอาจได้รับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงอัดหรือแรงหลายๆอย่างรวมกัน ดังนั้นการคำนวณจึงต้องการความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้อาจยังมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลา ทำให้เพลลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลลาจะต้องมีความแข็งแรง(Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง(Deflection) ของเพลลาก็เป็นสิ่งที่สำคัญในการกำหนดขนาดเพลลาเช่นกัน เพราะถ้าเพลลาบิดมีระยะ โก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะทำให้การหมุนทำให้เกิด

ความเร็ววิกฤตCritical Speedของเพลลาลดลงซึ่งอาจทำให้เพลลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็ว

ของเพลลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตินี้ได้ ระยะ โกงนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลลา เช่น บอล แบริ่ง(Ball Bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนว(Misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลลาด้วย

2.6.1 วัสดุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน(Mild Steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักใช้เหล็กกล้าผสมโลหะและทำเพลลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 90 มิลลิเมตรมักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

2.6.2 ขนาดเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลาเป็นขนาดระบุ(Normal Size) ใน ISO /R 775-1696 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รับเพลลาด้วย

2.7 สลึง

สลึงเป็นอุปกรณ์การยกที่สำคัญ หลายต่อหลายครั้งที่อุบัติเหตุรุนแรงมีสาเหตุมาจากสลึงขาด เนื่องจากการใช้งานสลึงที่ไม่ได้คุณภาพ หรือ ใช้สลึงเกินความสามารถในการรับน้ำหนัก (หลายคนรู้ว่า สลึงมีค่าความปลอดภัย 5 เท่าจึงใช้เกินน้ำหนักที่กำหนด แต่ไม่ได้คิดว่าค่าความปลอดภัยที่ควบคุมไว้ ก็เพื่อป้องกันในกรณีที่สลึงเก่า)

2.7.1 ประเภทของสลิง

สลิงมีหลายประเภทแต่ในการตรวจสอบสลิง เรามักจะแบ่งสลิงเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- สลิงโซ่ (Chain Sling)



รูปที่ 2.50 สลิงโซ่ (Chain Sling)

สลิงโซ่มีข้อดี คือ มีความแข็งแรงสูง สามารถปรับให้โค้งตามวัสดุที่ยกได้ง่าย หากสลิงโซ่ที่ใช้เป็นโลหะผสมจะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเพราะแรงฉีกที่เกิดจากการยก จะทำให้สลิงโซ่ขาดได้ ห้ามใช้ สลิงผิดวิธีการอย่างเด็ดขาด

สลิงโซ่เป็นทางเลือกที่ดี ในการยกของที่มีความร้อน เพราะสามารถทนความร้อนได้ถึง 538 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นโลหะผสมจะทนความร้อนได้ประมาณ 316 องศาเซลเซียส (ผู้ควบคุมการยกต้องตรวจสอบรายละเอียดจากบริษัทผู้ผลิตก่อน เพราะในการยกของที่มีความร้อน ความสามารถในการยกของสลิงจะลดลง) ข้อเสีย ของสลิงโซ่ คือ การตรวจสอบก่อนใช้งาน จะต้องตรวจสอบทุกข้อโซ่ ต้องไม่มีร่องรอยการบิดงอ การแตกร้าว

- สลึงลวด (wire rope)



รูปที่ 2.51 สลึงลวด (wire rope)

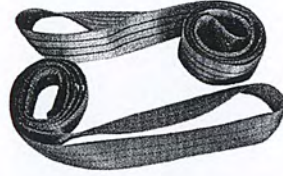
สลึงลวด ทำมาจากเส้นลวดที่นำมาหมุนพันเป็นเกลียว จากนั้นสลึงในแต่ละเกลียวก็นำไปพันรอบแกนกลาง ซึ่งแกนกลางก็จะมีทั้งชนิดทำจาก Fiber, ลวดตีเกลียว, หรือเชือกลวดเหล็กกล้า ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการรับน้ำหนักต่างกัน

ประเภทการใช้งานของสลึงลวดยังแบ่งตามลักษณะการพันเกลียวของเส้นลวด

Regular Ray คือ ลวดวางตัวในแนวที่ขวางกับทิศทางการตีเกลียว) การเรียงตัวแบบนี้ทำให้มีโอกาสเกิดรอยแตก (kilm) น้อย และมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายจากแรงกระชาก หรือการบิดตัวก็จะน้อยด้วย เชือกลวดเหล็กกล้าแบบนี้ถูกนำไปใช้งานหลากหลายที่สุด โดยจะมีความสามารถต้านทานต่อแรงกระแทก (crushing) มากกวางแบบแลงส์ และจะไม่มี การบิดตัวในขณะที่ใช้งานภายใต้แรงกระทำที่รุนแรง เมื่อปลายข้างหนึ่งของเชือกลวดเหล็กกล้าไม่ได้ถูกยึดให้อยู่กับที่

Lang Ray คือ ลวดจะเรียงตัวทำมุมขวางกับแนวตามยาวของเชือกลวดเหล็กกล้า (ลวดวางในแนวเดียวกับทิศทางของการตีเกลียว) เชือกลวดเหล็กกล้าแบบนี้มีข้อได้เปรียบที่สำคัญ 2 ประการ คือ จะมีความต้านทานต่อความล้า และการสึกหรอจากจากเสียดสี ในขณะที่ใช้งานที่คิดว่าเชือกลวดเหล็กกล้าแบบธรรมดา (regular lay) และเนื่องจากบริเวณพื้นที่ผิวของลวดเหล็กแต่ละเส้นมีมากกว่า ดังนั้นเวลาที่อยู่ภายใต้สภาวะการใช้งานที่เชือกลวดเหล็กกล้าต้องถูกตัดโค้ง จึงมีแรงคัดโค้งมากกว่า น้อยกว่า ดังนั้นจะพบว่าเชือกลวดเหล็กกล้าแบบแลงส์จะมีความยืดหยุ่นดีกว่า และมีอายุการใช้งานภายใต้สภาวะที่มีแรงคัดโค้งมากกระทำเป็นหลัก ได้นานกว่าแบบธรรมดา (regular lay) ได้ประมาณ 15-20% แต่มีโอกาสที่เกิดรอยแตก (kilm) มากกว่า และทนต่อแรงกระแทกได้น้อยกว่าแบบธรรมดา

- สลิงไฟเบอร์ หรือ สลิงสังเคราะห์



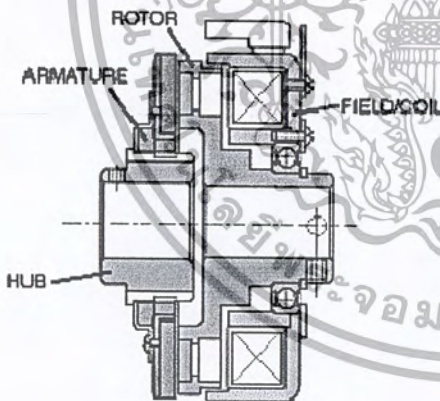
รูปที่ 2.52 สลิงไฟเบอร์ หรือ สลิงสังเคราะห์

สลิงไฟเบอร์ หรือ สลิงสังเคราะห์ บางครั้งก็เรียก Soft Sling หรือ Belt (ในเมืองไทย) ซึ่งมีทั้งแบบแบนและแบบกลม

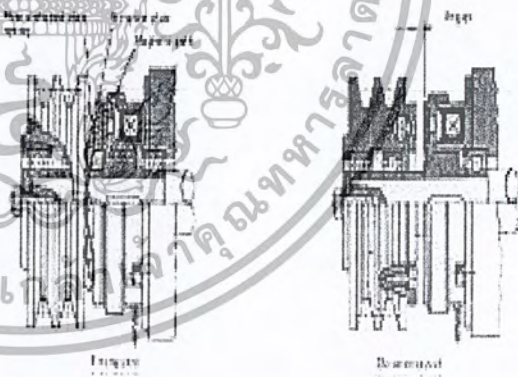
ข้อดีของสลิงประเภทนี้ คือ สามารถบิดงอได้สะดวก ราคาถูก ไม่ทำให้วัตถุที่ยกเสียหาย ดูดซับแรงช็อกที่เกิดจากการยกได้ และทนความร้อนได้ ประมาณ 80 องศาเซลเซียส

ข้อเสีย คือ ไม่ทนทานต่อสารเคมี, ถิกขาด ชำรุดได้ง่าย

2.8 คลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.53 คลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.54 การดำเนินงานของคลัทช์

2.8.2 ความสึกหรอของคลัทช์

คลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเกิดความสึกหรอได้ยาก แต่สิ่งที่ทำให้คลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้าเกิดความสึกหรอเกิดจาก อุณหภูมิสูง อัตรารอบสูง หรือใช้แรงดันสูงเกินไป ดังนั้น เมื่อนำคลัทช์มาใช้งานควรเลือกใช้คลัทช์ที่เหมาะสมกับงานที่ใช้ เช่น ควรใช้ที่อุณหภูมิที่พอเหมาะ อัตรารอบพอดี หรือใช้ในกรณีที่แรงดันไม่มากจนเกินไป จะทำให้คลัทช์มีการใช้งานที่นานขึ้น และช่วยลดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท อีทีอี จำกัด ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า โทร. 02-111-1111 หรือ อีเมล: info@etee.com

บทที่ 3

การคำนวณและออกแบบ

3.1 ขอบเขตในการออกแบบ

- (1) ความเร็วสูงสุด $60 \text{ km/h} = 16.67 \text{ m/s}$
- (2) ความแข็งแรงของ โครงสร้าง
- (3) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นตัวต้นกำลังการขับเคลื่อน

3.2 การออกแบบและการคำนวณในการเลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ในการออกแบบหรือหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่จะใช้เป็นตัวต้นกำลังในการขับเคลื่อนนั้น มีองค์ประกอบหลัก คือ

- (1) น้ำหนักของมวลเคลื่อนที่ในระบบ (เครื่องบิน ฐานวางเครื่องบิน เป็นต้น)
- (2) ระยะทางที่ใช้ในการเร่ง

ความจริงยังมีองค์ประกอบอีกหลายอย่างที่ส่งผลกับการออกแบบและการคำนวณต้นกำลัง แต่ในที่นี้เราจะพิจารณาเพียงองค์ประกอบข้างต้น เพื่อลดความยุ่งยากของปัญหาและตัดตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

3.3 องค์ประกอบต่างๆ

- (1) ระยะเร่ง 10 m
- (2) น้ำหนักเครื่องบิน 35 kg
- (3) น้ำหนักฐานวางเครื่องบิน 15 kg
- (4) มุมยิง 7 degree
- (5) ความเร็วสูงสุด 60 km/h

3.4 การเลือกขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นและเชิงมุม

$$\omega = v/R_1 \quad (3.1)$$

โดย R_1 คือ รัศมีของกัว้น, m

แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} \omega &= v/R_1 = 16.67/0.085 \\ &= 196.08 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

จากสมการการเคลื่อนที่

$$\omega_n^2 = \omega^2 + 2\alpha\theta \quad (3.2)$$

จัดรูปสมการ (3.2) จะได้

$$\alpha = \omega^2/2\theta \quad (3.3)$$

แทนค่า $\theta = S/R_1$

โดย S คือ ระยะเร่ง, m

แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} \alpha &= \omega^2/2\theta = 196.08^2/(2 \times 10/0.085) \\ &= 163.40 \text{ rad/s}^2 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.1 การประเมินโหลดของกัว้น

$$\text{จาก} \quad \Sigma T = T - T_{\text{load}} = I\alpha \quad (3.4)$$

$$\text{จัดรูปสมการ (3.4) จะได้} \quad T = I\alpha + T_{\text{load}} \quad (3.5)$$

โดย I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของกัว้น, kgm^2

$$\text{และ} \quad T_{\text{load}} = mgr \sin\theta + mr^2\alpha \quad (3.6)$$

$$\text{แทนค่าในสมการ (3.5) จะได้} \quad T = I\alpha + T_{\text{load}}$$

$$= 0.4047 \times 163.4 + 50 \times 9.81 \times 0.085 \times \sin 7^\circ + 50 \times 0.085^2 \times 163.4$$

$$= 70.7 \text{ Nm}$$

แต่เราได้ทำการเผื่อ Friction effect of load 30%

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้นจะได้ } T_{\text{กรีน}} &= 0.4047 \times 163.40 + (50 \times 9.81 \times 0.085 \times \sin 7^\circ + 50 \times 0.085^2 \times 163.40) \times 1.3 \\ &= 89.93 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$N_{\text{กรีน}} = 196.08 \times 60 / 2\pi = 1873.36 \text{ rpm}$$

เนื่องจากว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับไม่สามารถทำความเร็วรอบสูงสุดได้ในขณะเริ่มต้น จึง
ต้องใช้ Magnetic clutch มาใช้ในการส่งกำลัง

$$\text{จะได้ } T_{\text{clutch}} = 89.94 \text{ Nm}$$

$$N_{\text{clutch}} = 1873.36 \text{ rpm}$$

$$T_{\text{pulley}} = F \times R \quad (3.7)$$

$$N_{\text{pulley}} = N \times R_2 / R_1 \quad (3.8)$$

โดย F คือ แรงที่ส่งจาก Magnetic clutch ผ่านสายพานมายัง Pulley เท่ากับ $T_{\text{clutch}} / R_{\text{clutch}}$

R1 คือ รัศมี Pulley ของมอเตอร์, m

R2 คือ รัศมี Pulley ของคลัตช์, m

N คือ ความเร็วรอบของคลัตช์, rpm

แทนค่าในสมการ (3.7)

$$\begin{aligned} T_{\text{pulley}} &= F \times R \\ &= 89.94 / 0.065 \times 0.092 \\ &= 127.29 \text{ Nm} \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการ (3.8)

$$\begin{aligned} N_{\text{pulley}} &= N \times R_2 / R_1 \\ &= 1873.36 \times 0.065 / 0.092 \\ &= 1323.57 \text{ rpm} \end{aligned}$$

แต่เนื่องจากว่าคลัตช์ที่เราใช้เป็นคลัตช์เก่าเราจึงได้ทำการเผื่อว่า Eff. of Magnatic clutch = 70%

$$\text{จะได้ } T_{\text{pulley}} = 181.85 \text{ Nm}$$

$$N_{\text{pulley}} = 1323.57 \text{ rpm}$$

และมอเตอร์ที่เราจะใช้เป็นมอเตอร์เก่าเราจึงได้ทำการเผื่อว่า Eff. of Motor = 80%

$$\text{จะได้ } T_{\text{motor}} = 227.3 \text{ Nm}$$

$$N_{\text{motor}} = 1323.57 \text{ rpm}$$

เพราะฉะนั้นเราจึงได้เลือกมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดใกล้เคียงกับที่คำนวณได้คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 50 แรงม้า Torque = 241 Nm N = 1460 rpm

3.5 การคำนวณหาความเร็วจากมอเตอร์ที่เลือก

หลักจากที่เราได้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดตามที่ต้องการแล้วเราจึงได้ทำการคำนวณกลับเพื่อหาความเร็วที่จะได้จากมอเตอร์นั้น

$$\text{จะได้ } T_{\text{กรีน}} = 95.48 \text{ Nm}$$

$$N_{\text{กรีน}} = 2066.48 \text{ rpm}$$

$$v_{\text{สุดท้าย}} = 61.96 \text{ kg/h}$$

3.6 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง

ในการวิเคราะห์เราไม่สามารถที่จะวิเคราะห์ความแข็งแรงทุกๆจุดของโครงสร้างได้ เราจึงได้เลือกทำการวิเคราะห์โครงสร้างในจุดที่คาดว่าจะมีความแข็งแรงน้อยที่สุดหรือเป็นจุดที่จะเกิดความเสียหาย เช่น ข้อต่อ จุดยึดต่างๆ

3.6.1 เพลทติดสปริง

คำนวณหา Impact force จาก สมการพลังงาน

$$\sum E_{\text{ก่อน}} = \sum E_{\text{หลัง}}$$

$$mv^2/2 = mgh + nkx^2/2 \quad (3.9)$$

โดย m คือ มวลของฐานวางเครื่องบิน, m

v คือ ความเร็วสุดท้าย, m/s

n คือ จำนวนสปริง

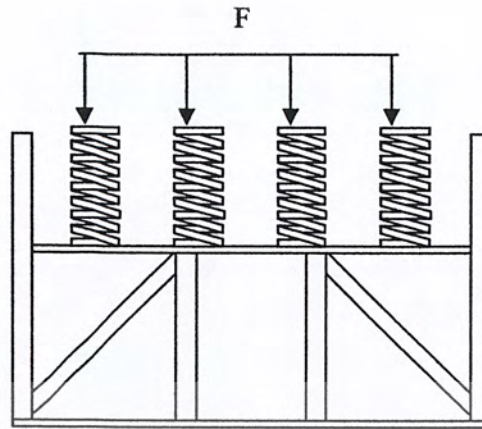
k คือ ค่านิยของสปริงซึ่งในที่นี้มีค่า 32700, N/m

X คือ ระยะยุบตัวของสปริง, m

แทนค่าในสมการ (3.9) จะได้

$$7 \times 16.67^2/2 = 7 \times 9.81 \times X \sin 7^\circ + 4 \times 32700 \times X^2/2$$

$$X = 0.122 \text{ m}$$



รูปที่ 3.2 การประเมินแรงที่สปริง

ความสัมพันธ์ของแรงในสปริงกับระยะยุบ

$$F = kx \quad (3.10)$$

จากสมการ (3.10) จะได้แรงที่สปริงแต่ละตัว $F = 3989.4 \text{ N}$

เพราะฉะนั้นแรงทั้งหมด = 15696 N

ในส่วนของเพลทติดสปริงนั้นแรงทั้งหมดจะถูกส่งผ่านไปยังเสารับแรง 4 ต้น ดังนั้นเราจึงหาแรงสูงสุดที่จะทำให้เสาเกิดการโก่งตัว วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กชนิด AISI 1045 $\sigma_y = 505 \text{ MPa}$

Modulus's young = 190 GPa

$$r = \sqrt{I/A} \quad (3.11)$$

โดย I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของเสารับแรง มีค่าเท่ากับ $bh^3/12 = (0.02)(0.02^3)/12$

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเสารับแรง, m^2

แทนค่าในสมการ (3.11) จะได้

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{0.000000018 / 0.02^2} \\ &= 0.00577 \end{aligned}$$

จากสูตรอัตราส่วนความชะลุดจริง

$$\begin{aligned} Le/r &= 0.3 / 0.0057 \\ &= 51.9 \end{aligned}$$

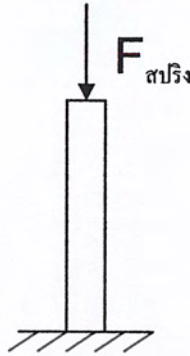
อัตราส่วนความชะลุดต่ำสุดหาจาก

$$\begin{aligned} (Le/r)_{\min} &= Cc = \sqrt{\pi^2 E / \sigma_y} \\ &= 60.9 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากอัตราส่วนความชะลุดจริงมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนความชะลุดต่ำสุดจึงต้องใช้สมการของ Johnson จากหนังสือกลศาสตร์ของวัสดุ ในการคำนวณหาความเค้นสูงสุดที่ทำให้เกิดการโก่งตัว

$$\sigma_{cr} = \sigma_y [1 - 0.5((L_e/r)/C_c)^2] \tag{3.12}$$



รูปที่ 3.3 การประเมินเสาที่สปริง

แทนค่าในสมการ (3.12)

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= 505000000 [1 - 0.5(51.9/60.9)^2] \\ &= 321.68 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \sigma_{cr} \times A \\ &= 321.68 \times (0.02)^2 \\ &= 128,674 \text{ N} = 13.13 \text{ tons} \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงที่เกิดจากสปริงไม่ก่อให้เกิดการโก่งตัวของเสารับแรงทั้ง 4 ต้น

3.6.2 น็อตยึดโครงสร้าง

ในส่วนของการคำนวณน็อตยึดโครงสร้างเราได้แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของน็อตเชื่อมราง และ น็อตยึดรอก

(1) น็อตเชื่อมราง

กำหนด $N = 5$ คุณสมบัติของน็อต 6.8 $\sigma_y = 480 \text{ N/mm}^2$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล

$$\sigma_y / N = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \tag{3.13}$$

โดย σ คือ ความเค้นดึง หากจาก

$$\sigma = F_{สปริง} / nA$$

ซึ่ง $F_{สปริง}$ หากจาก

$$F_{สปริง} = 4kx$$

τ คือ ความเค้นเฉือน หากจาก

$$\tau = F_{เฉือน} / mA$$

ซึ่ง $F_{เฉือน}$ หากจาก

$$F_{เฉือน} = m \cdot g / 2$$

n, m คือ จำนวนน็อตที่รับแรง

แทนค่าในสมการ (3.13) จะได้

$$480/5 = \sqrt{(15696/4A)^2 + 3(623.42/12A)^2}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$A = 40 \text{ mm}^2$$

จากตารางที่ 7.1 ในหนังสือ การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1 หน้า 151 เราจะเลือกใช้ขนาด M10

(2) น็อตยึดรอก

กำหนด $N = 5$ คุณสมบัติของน็อต 6.8 $\sigma_y = 480 \text{ N/mm}^2$

จากสมการ (3.13)

$$\sigma_y / N = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

โดย n คือ จำนวนน็อต

$$\sigma = \tau = F / nA$$

$$= 1123.9/4A$$

แทนค่าในสมการ (3.13) จะได้

$$480/5 = \sqrt{(1123.29/4A)^2 + 3(1123.29/4A)^2}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$A = 5.85 \text{ mm}^2$$

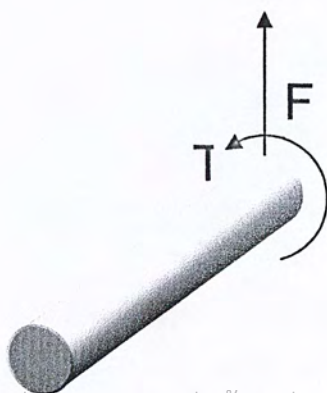
จากตารางที่ 7.1 ในหนังสือ การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1 หน้า 151 เราจะเลือกใช้ขนาด M4

แต่เพื่อความสะดวกในการหาของในตลาดเราจึงเลือกใช้ขนาดเดียวกันกับน็อตเชื่อมราง คือ น็อตขนาด M10

3.6.3 เพลาส่งกำลัง

วัสดุที่เราเลือกมาใช้ทำเพลาคือ AISI 1050 Hot Role หรือเหล็กหัวแดงที่เรียกกันตามท้องตลาด

ซึ่งมีค่า $\sigma_y = 67 \text{ ksi} = 461.9 \text{ MPa}$



จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด $1/N = \sqrt{(\tau/\tau_y)^2 + (\sigma/\sigma_y)^2}$ (3.14)

โดยที่ $\tau_y = \sigma_y/2$

กำหนด $N=5$

หาค่า $\sigma = Mc/I = 32M/d^3$
 $= 32 \times 1123.9/2 \times 0.148 / \pi d^3$
 $= 6.12/d^3$

หาค่า $\tau = Tr/J = 16T/\pi d^3$
 $= 16 \times 95.48 / \pi d^3$
 $= 486.52/d^3$

แทนค่าในสมการ (3.14) จะได้ $1/5 = \sqrt{((486.52/d^3)/(461.9/2))^2 + ((6.12/d^3)/461.9)^2}$
 $d = 0.0219 \text{ m}$

ดังนั้นเราจึงเลือกใช้เพลานขนาด 0.0254 m หรือ 1 inch

บทที่ 4

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลจากเว็บไซต์ต่างๆของผู้ที่เคยสร้าง

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบ โครงสร้างของเครื่องดีดอากาศยานและชุดส่งกำลัง

- วิเคราะห์โครงสร้างของเครื่องดีดอากาศยานและชุดส่งกำลังที่เหมาะสมและสามารถใช้งานได้จริง มีความแข็งแรงเพียงพอให้ตรงกับกรคำนวณ โดยใช้โปรแกรมSolid Workช่วยในการออกแบบ

ขั้นตอนที่ 3 จัดหาอุปกรณ์และติดตั้ง

- จัดหามอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ตามขนาดที่กำหนดไว้
- ทดสอบหาความเร็วของมอเตอร์
- จัดหาซื้อเหล็กตามที่ได้คำนวณ
- สร้าง โครงของเครื่องดีดอากาศยานให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบและคำนวณ
- สร้าง โครงดักและคานเหล็กในส่วนที่ต้องใช้ความแข็งแรงมากให้พอในการนำมาใช้
- จัดหาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งกำลัง แบตเตอรี่ สวิตซ์
- สร้างชุดส่งกำลังให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบและคำนวณ
- สร้างฐานรองเครื่องดีดอากาศยานที่ใช้ในการส่งตัวอากาศยาน
- จัดหาและติดตั้งชุดเบรก โดยใช้สปริงและ แมกซ์เนติก คลัทซ์ในการเบรก
- จัดหาตู้คอนโทรลที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าโดยให้ใช้ได้เหมาะสม และสามารถใช้งานได้

ตามที่ได้ออกแบบไว้

- ทำการติดตั้งเดินสลิงจากชุดส่งกำลังไปฐานวางเครื่องดีดอากาศยาน

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดสอบและบันทึกผลเก็บข้อมูล

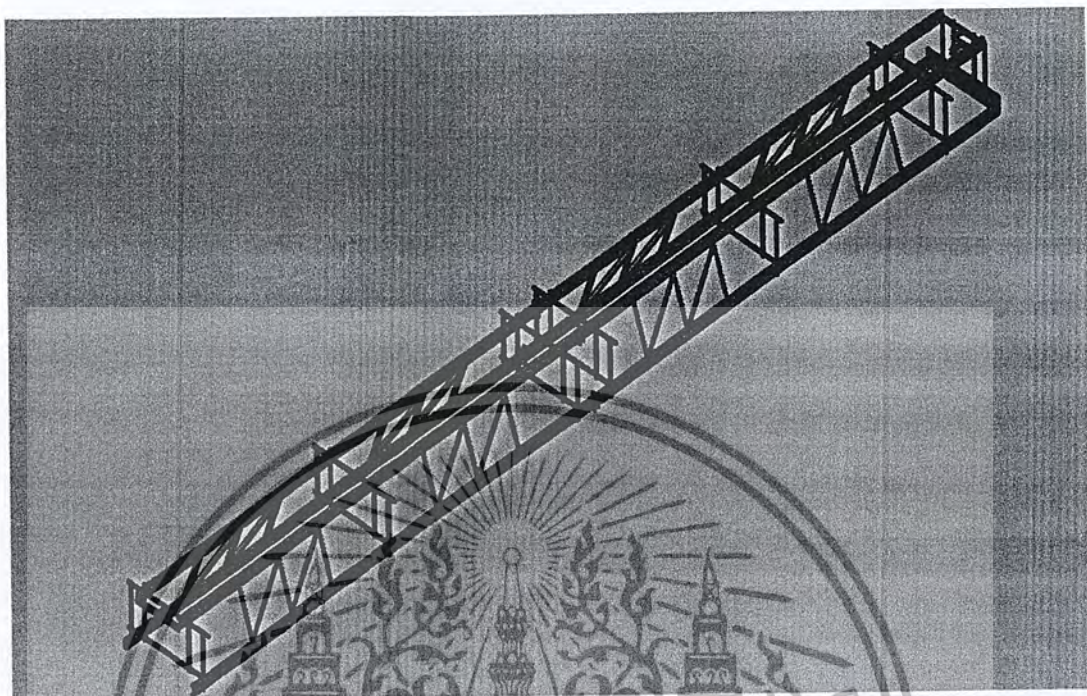
- ทดสอบหาความเร็วสูงสุดของเครื่องดีดอากาศยานที่ถูกส่งออกไป

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงแก้ไข

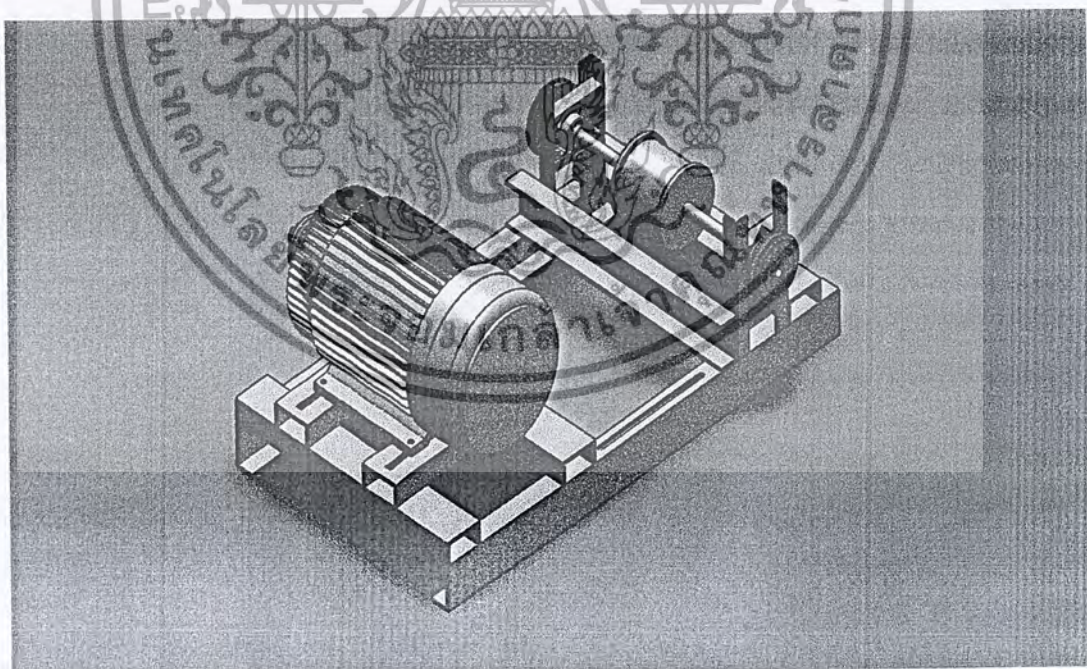
- เนื่องจากแมกเนติกส์คลัทซ์เป็นของเก่าจึงทำให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังในน้อยลง
- เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นของเก่าจึงทำให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังได้น้อยลง

ขั้นตอนที่ 6 จัดทำปฏิญานិพนธ์

รูปขั้นตอนการดำเนินงาน

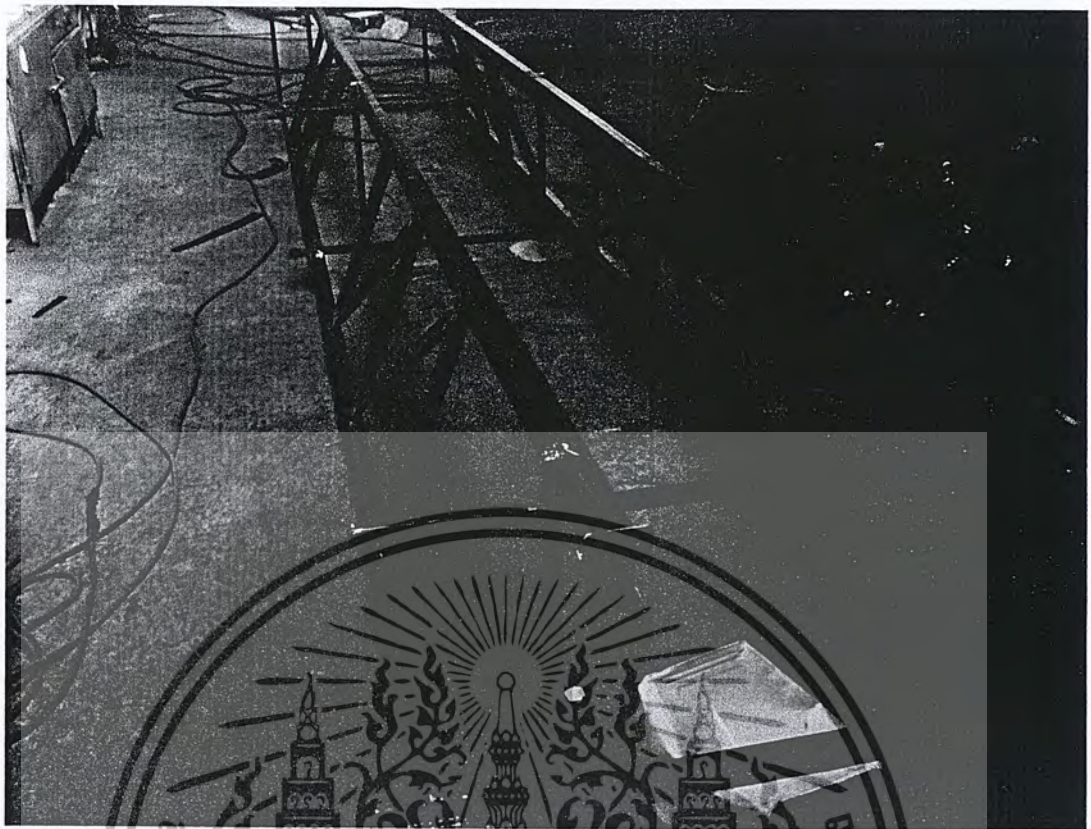


รูปที่ 4.1 ออกแบบโครงสร้างฐานยิงจากโปรแกรม Solid Work

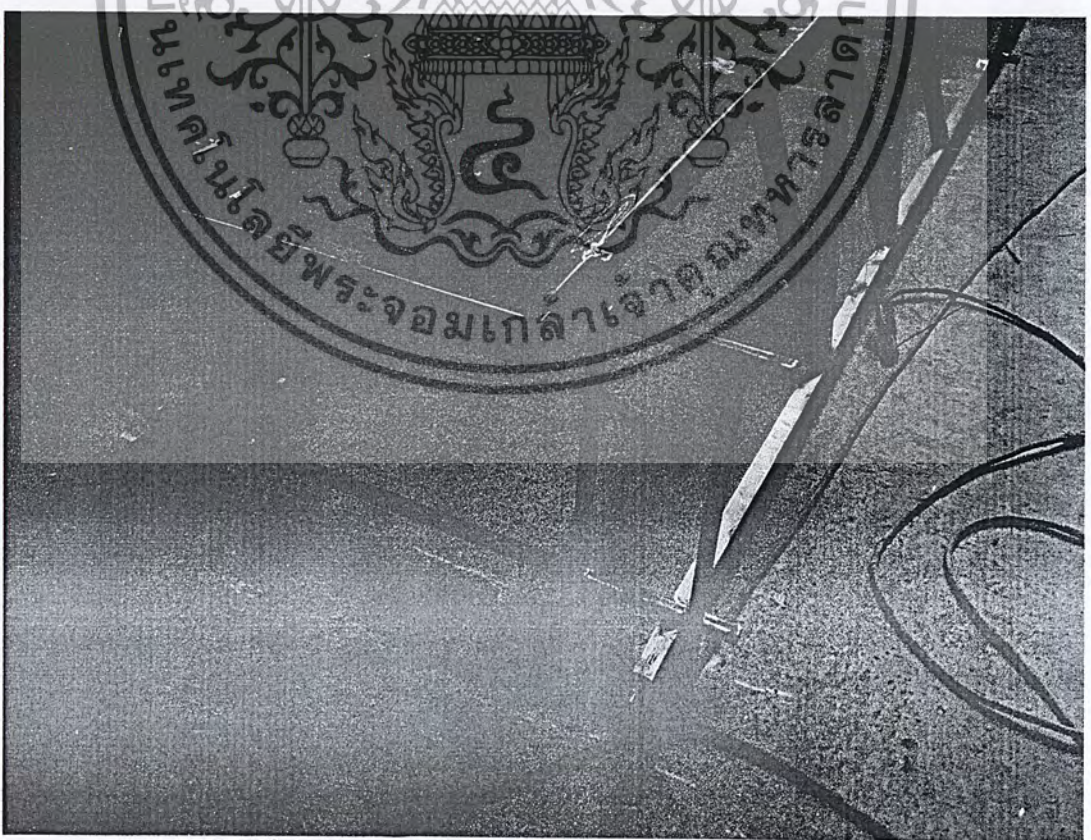


รูปที่ 4.2 ออกแบบชุดส่งกำลังจากโปรแกรม Solid Work

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 นำเหล็กมาขึ้น โครงสร้างฐานตามที่ออกแบบไว้

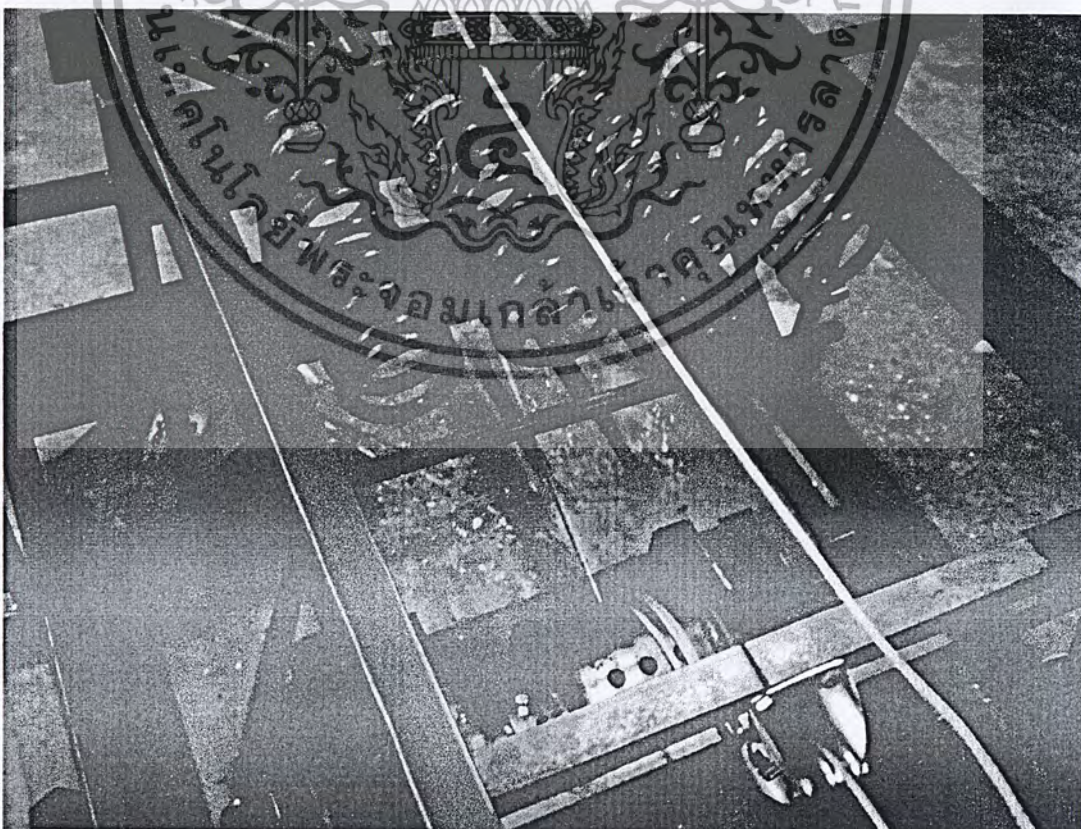


รูปที่ 4.4 ติดแผ่นเหล็กเข้ากับ โครงสร้างฐานเพื่อติดรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

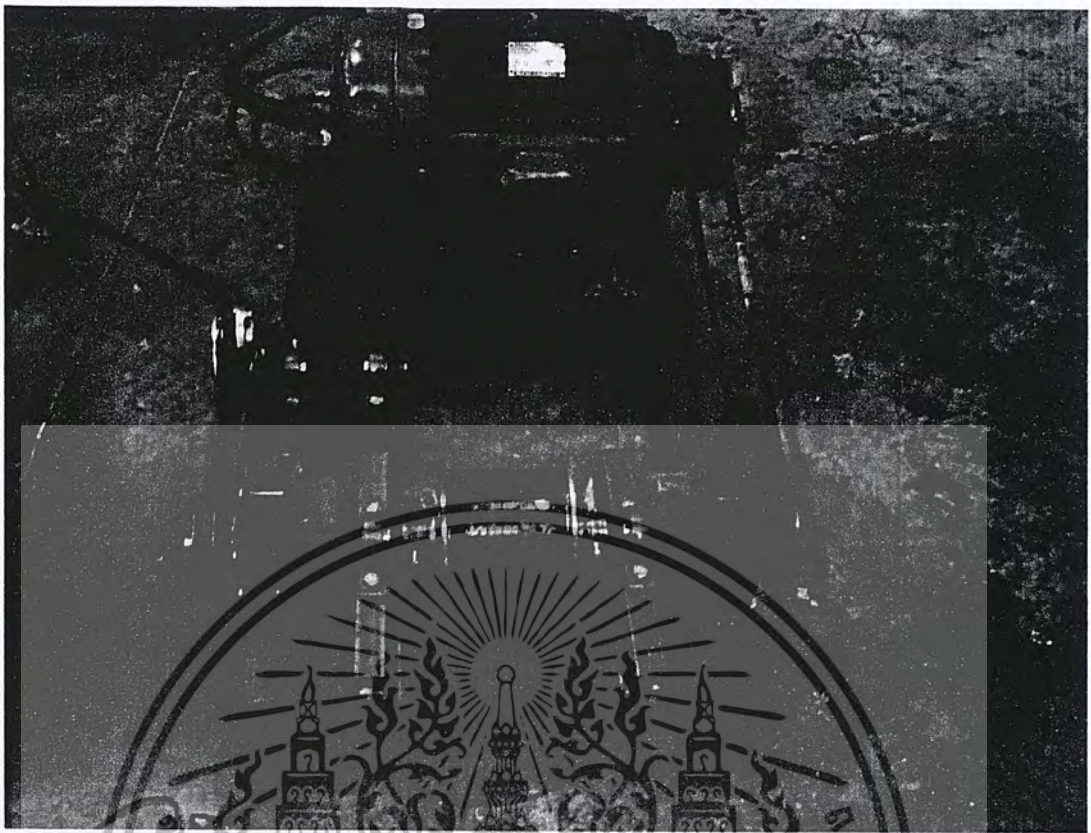


รูปที่ 4.5 ทิศแผ่นเพลทติดสปริงและรอกเข้ากับ โครงสร้างฐานยิง

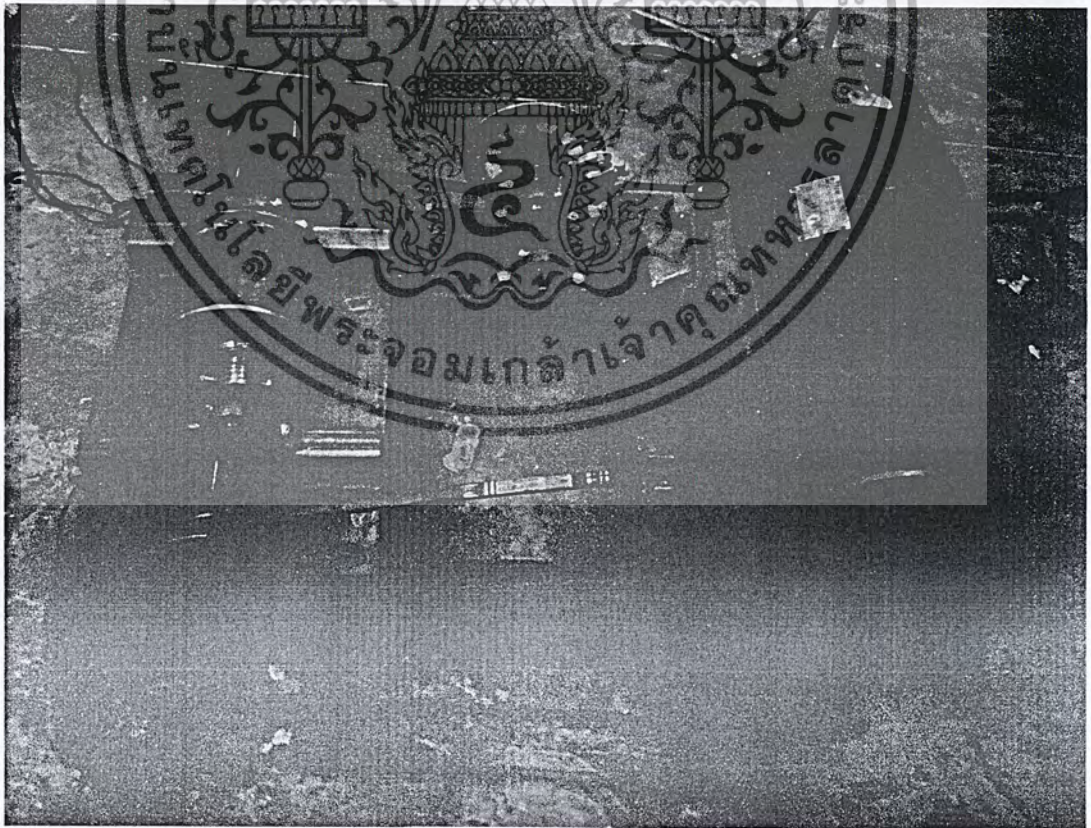


รูปที่ 4.6 ติดสปริงเข้ากับ โครงสร้างฐานยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สร้างชุดส่งกำลังตามที่ได้ออกแบบไว้

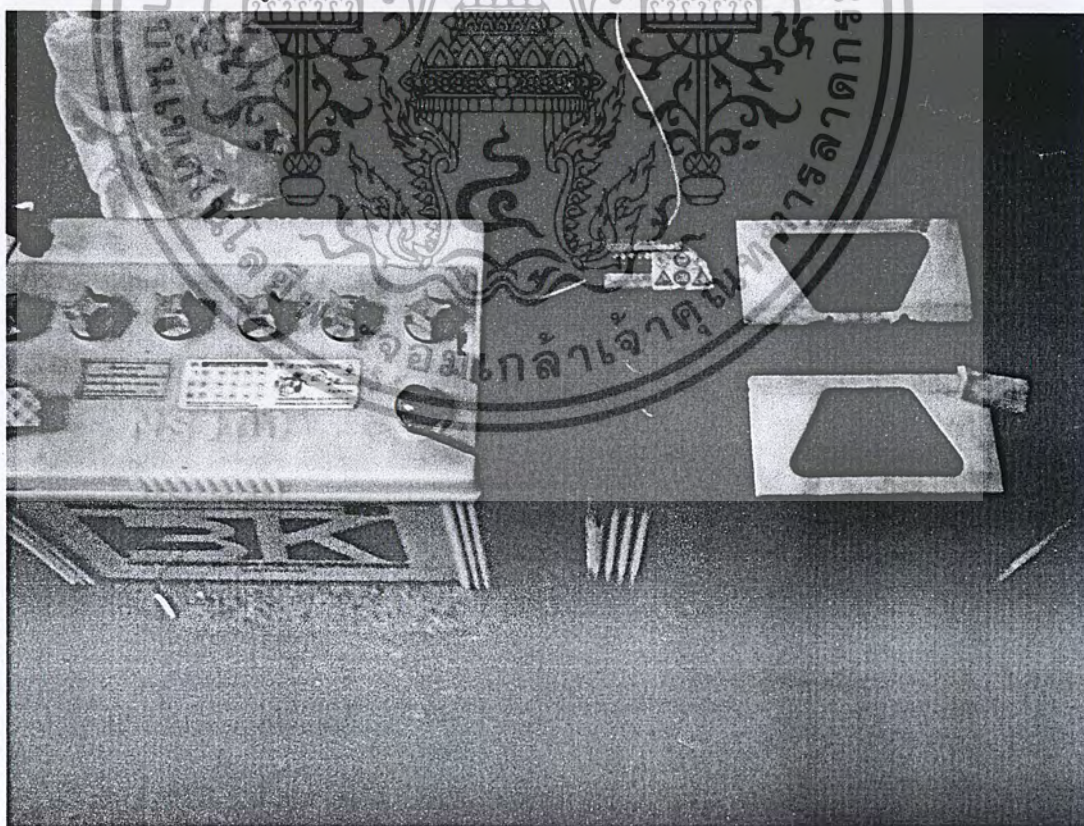


รูปที่ 4.8 สร้างชุดส่งกำลังตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

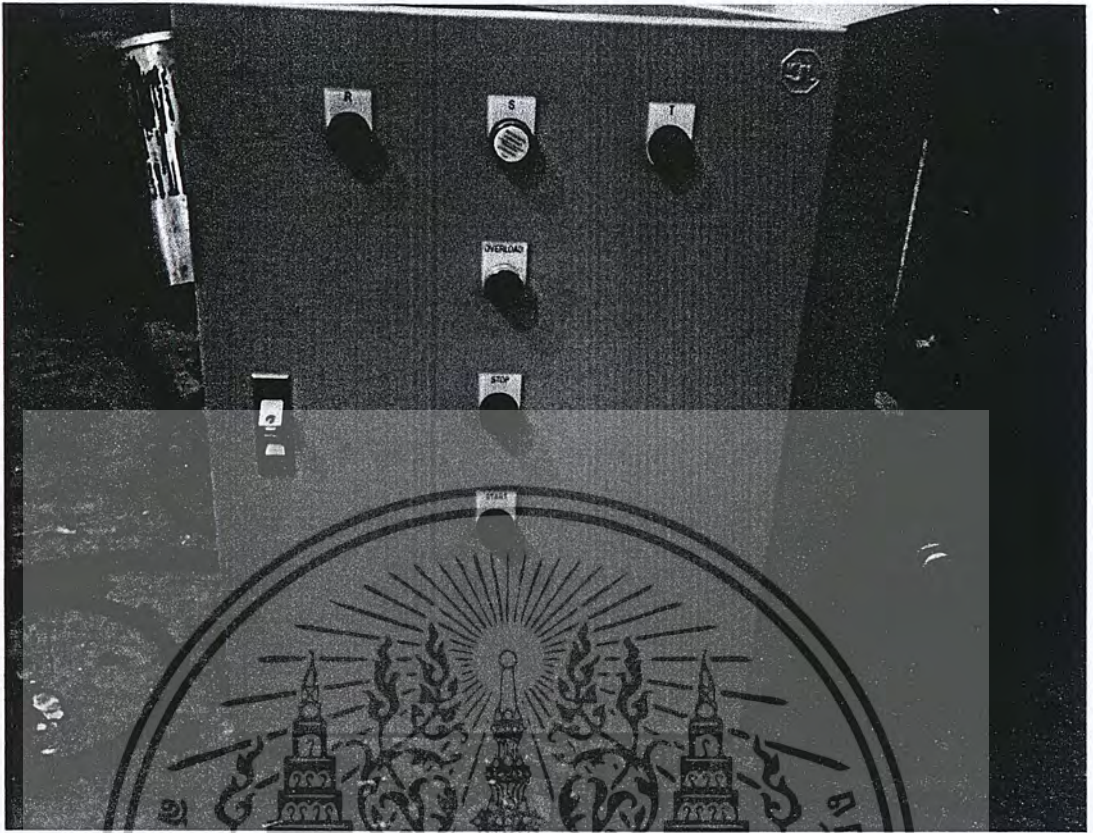


รูปที่ 4.9 วัดความเที่ยงตรงของเพลาด้วย Dial Gate

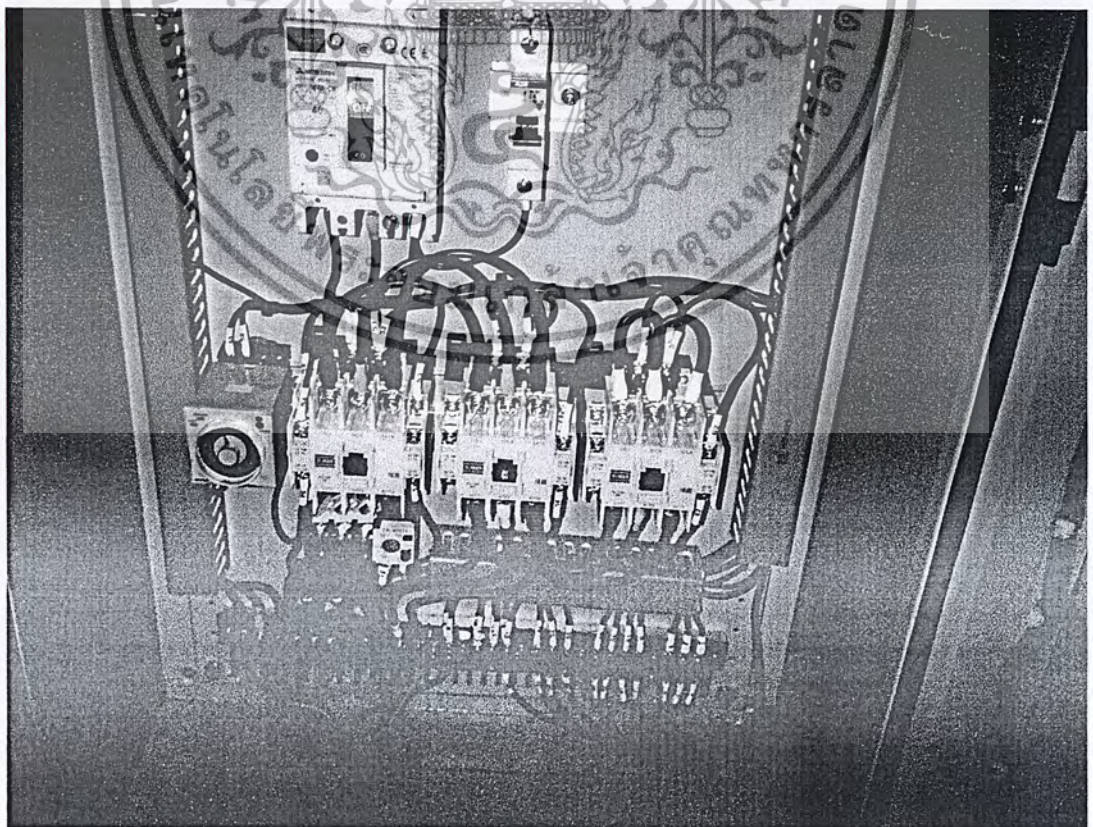


รูปที่ 4.10 ต่อสายไฟจากครัทซ์ท์เข้ากับแบตเตอรี่ 2 ก้อน (24 V)

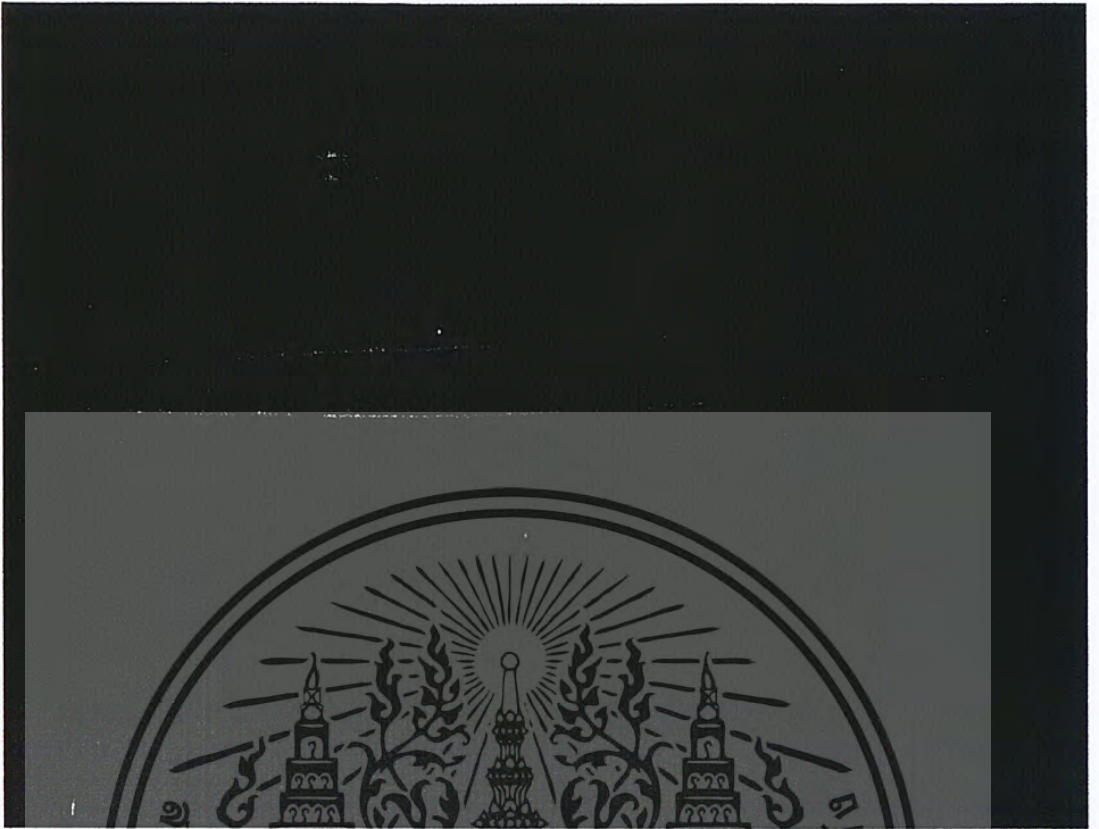
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



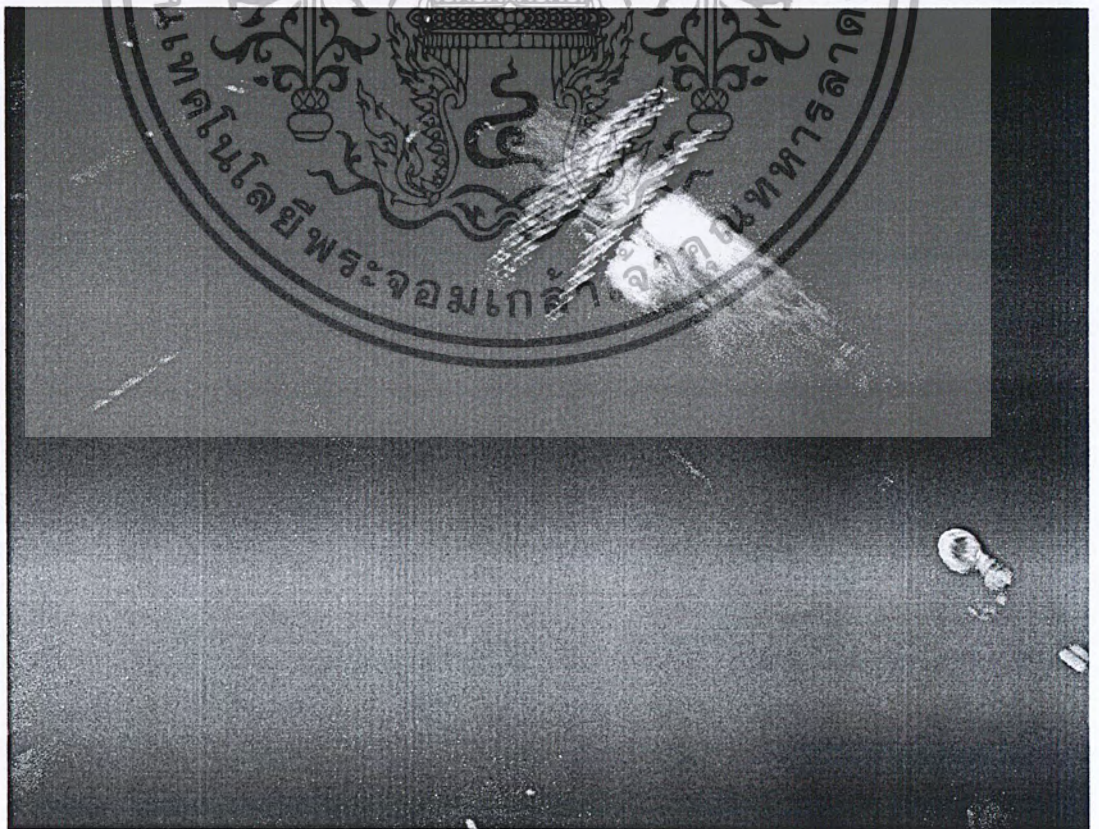
รูปที่ 4.11 รูปตู้วงจรไฟฟ้า



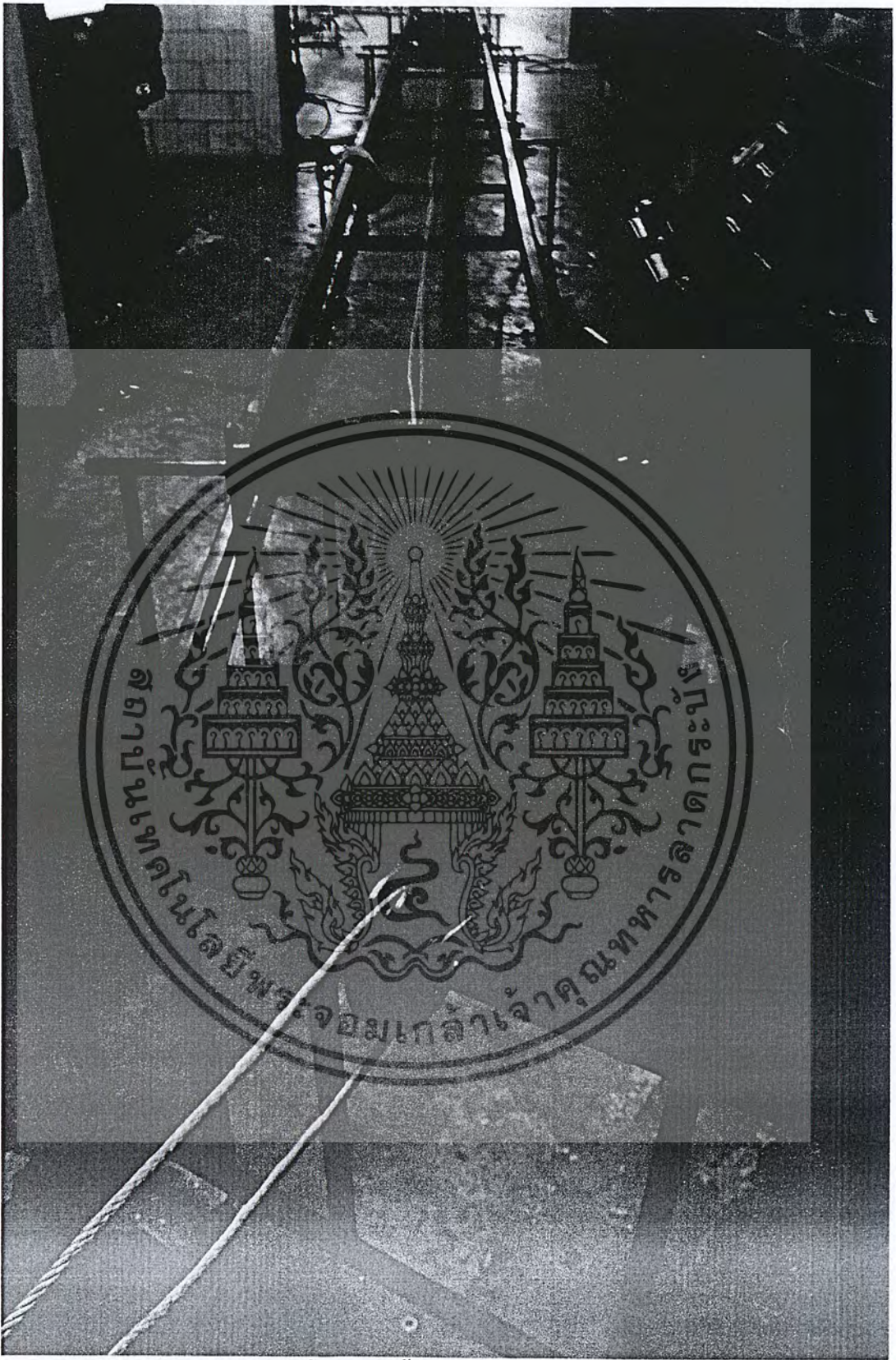
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.12 ตู้วงจรไฟฟ้าแบบเคลดดำและสตาตาร์ แล้วนำไปต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ตัดตั้ง โครงสร้างมาประกอบกันโดยใช้เน็ต

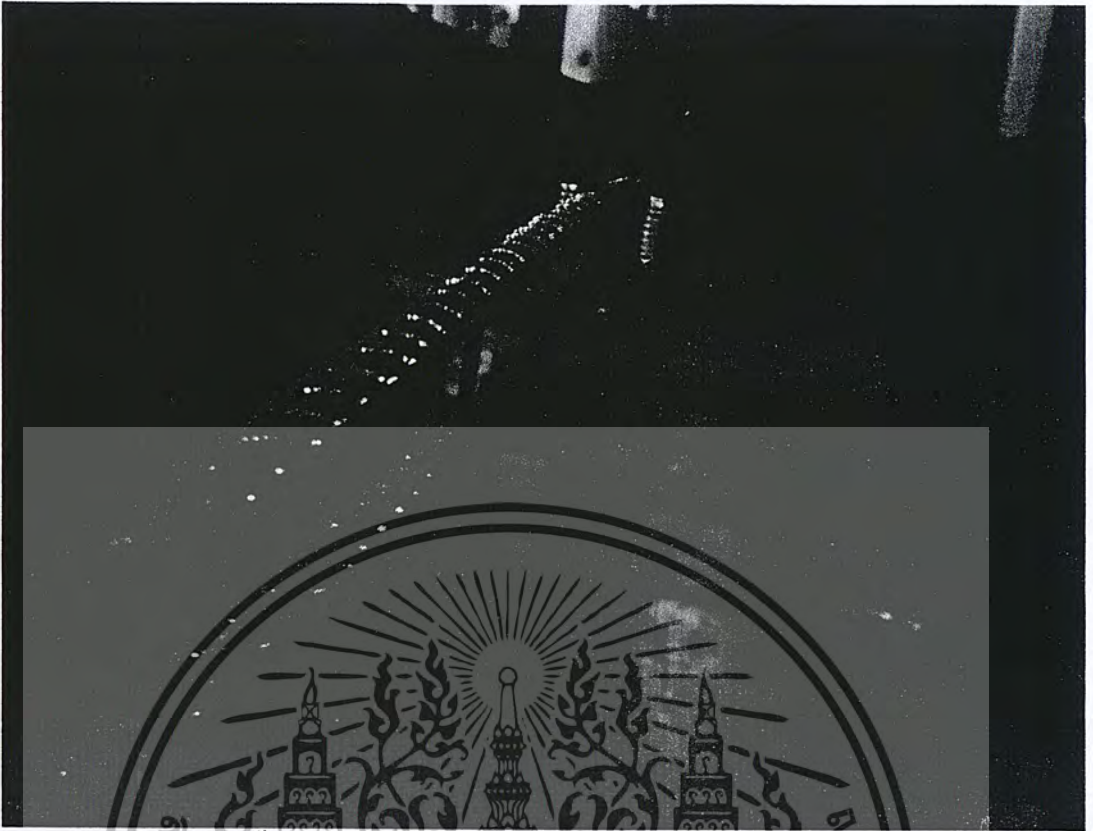


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 4.14 ตัดตั้งสติงมาผูกกับแก้วาน. ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

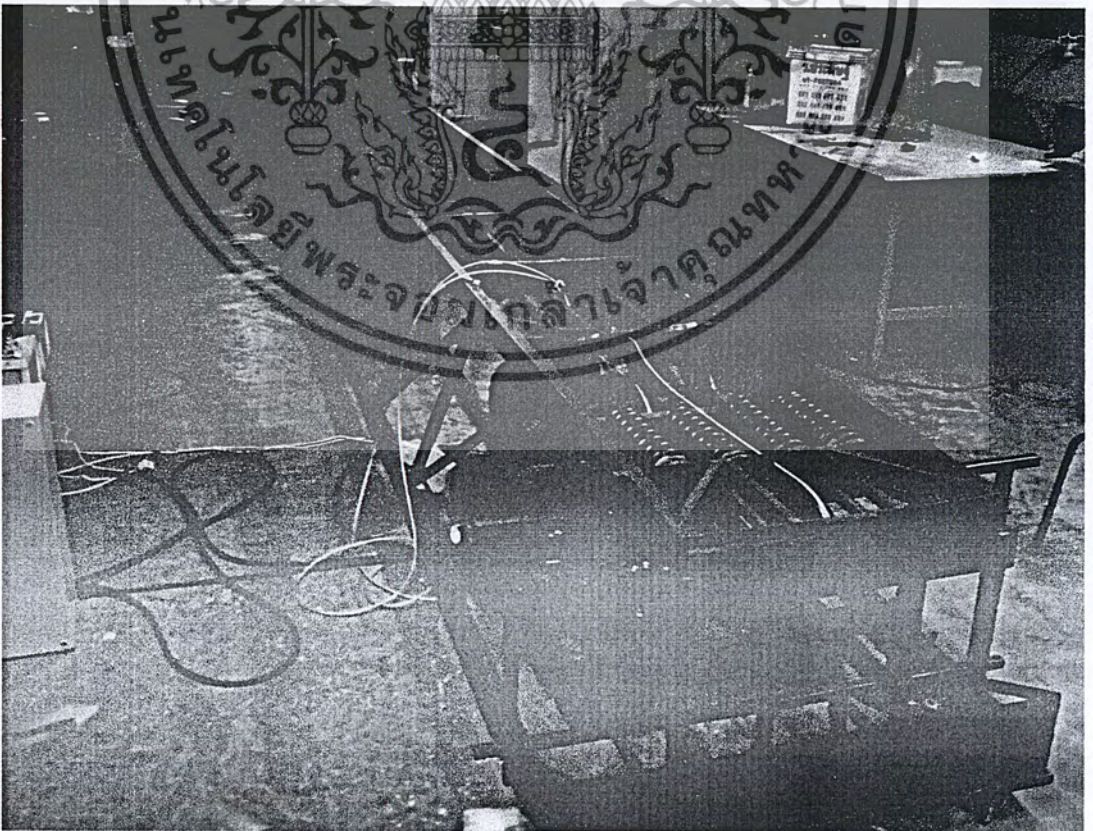


รูปที่ 4.15 ติดตั้งสติงมาดลึงกับรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

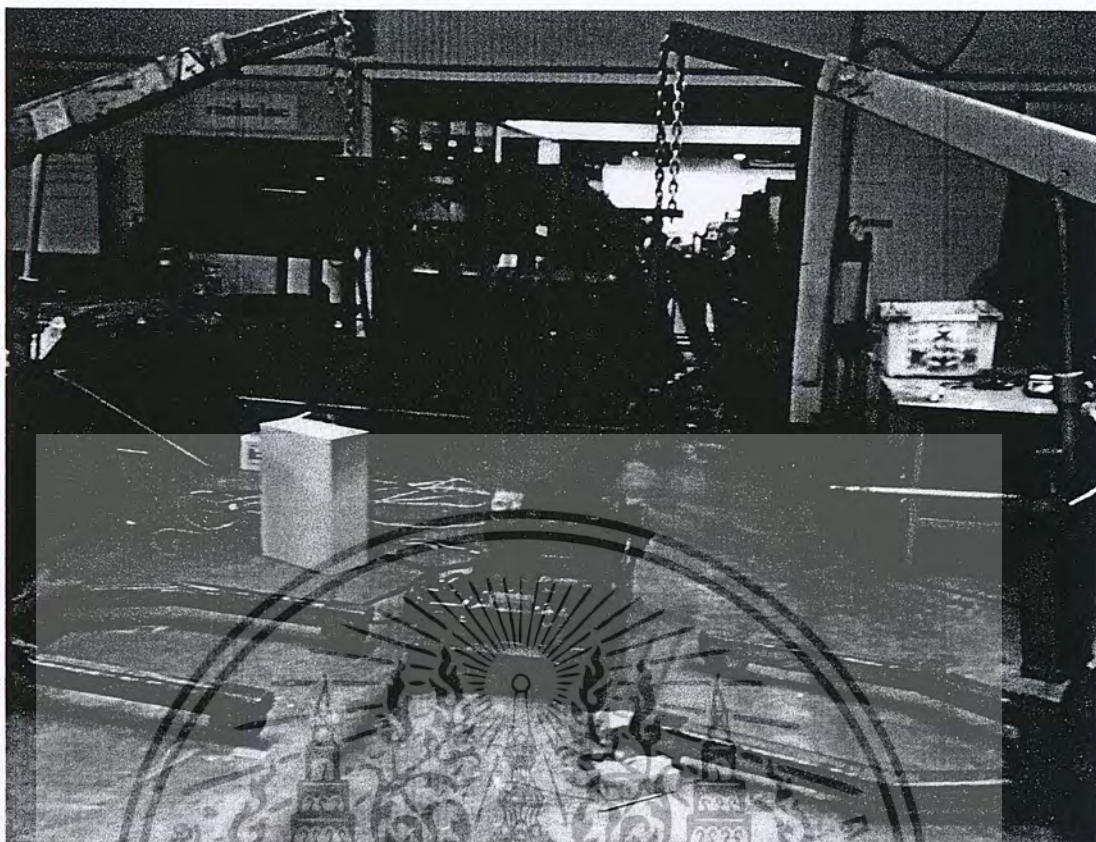


รูปที่ 4.16 ติดตั้งสติ๊กเกอร์ผ่านห่วงที่ทำไว้เพื่อกันสติ๊กเกอร์ติดและสติ๊กเกอร์ลอกที่องซ้าง

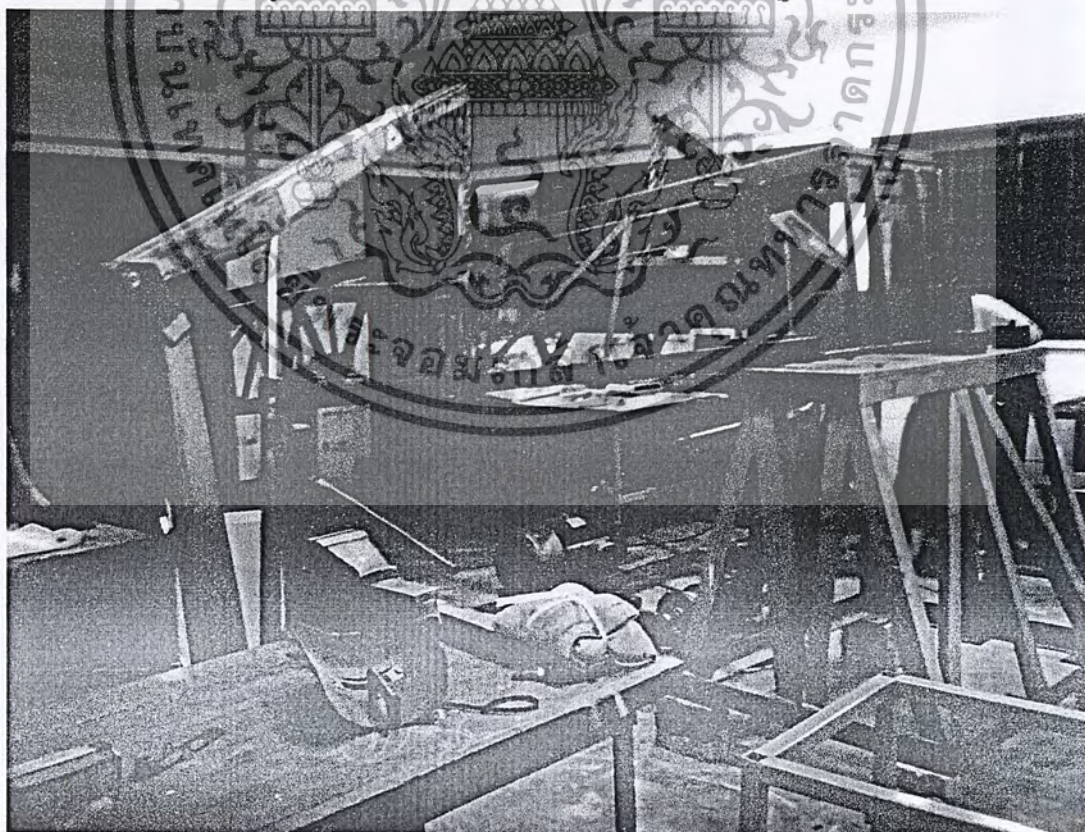


รูปที่ 4.17 ติดตั้งชุดส่งกำลังมาประกอบเข้ากับโครงสร้างฐานยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทเอกชนเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

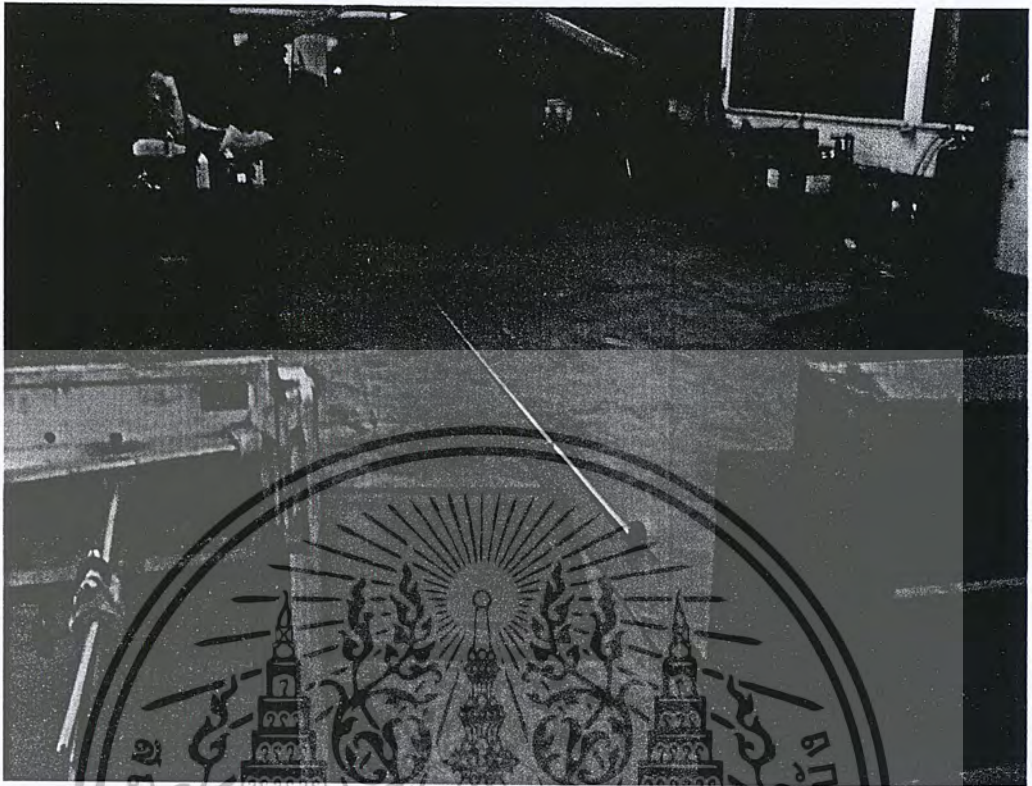


รูปที่ 4.18 ใช้แม่แรงในการช่วยยกโครงสร้างฐาน

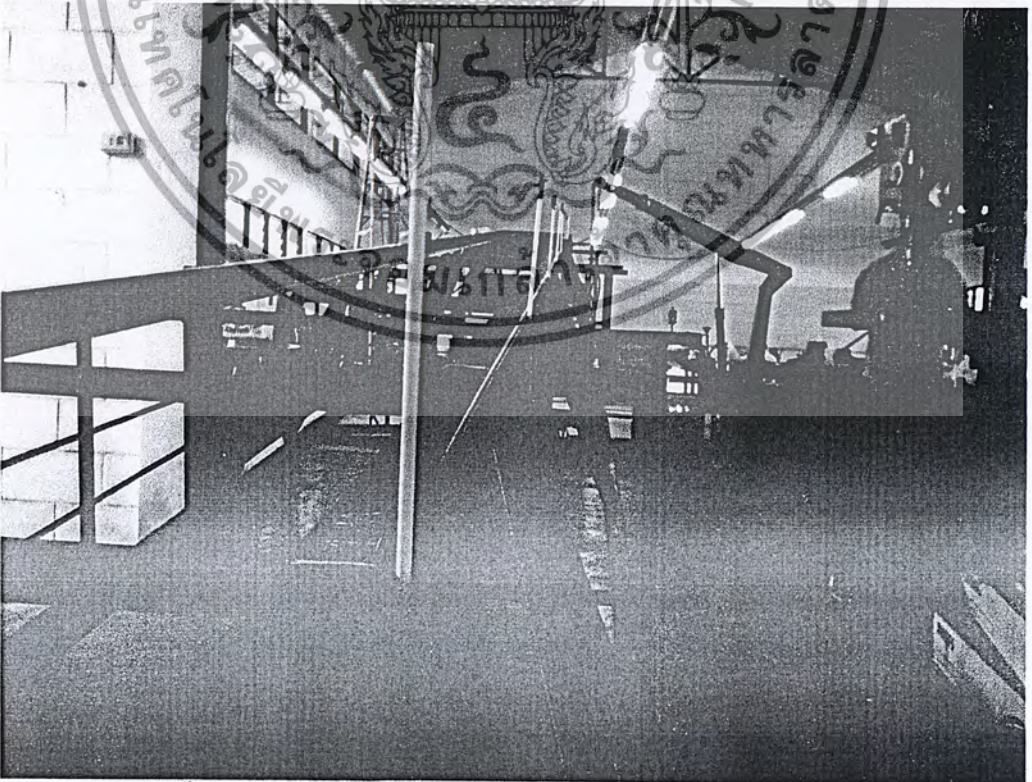


รูปที่ 4.19 นำฐานรองมาสอดข้างใต้โครงสร้างฐานยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

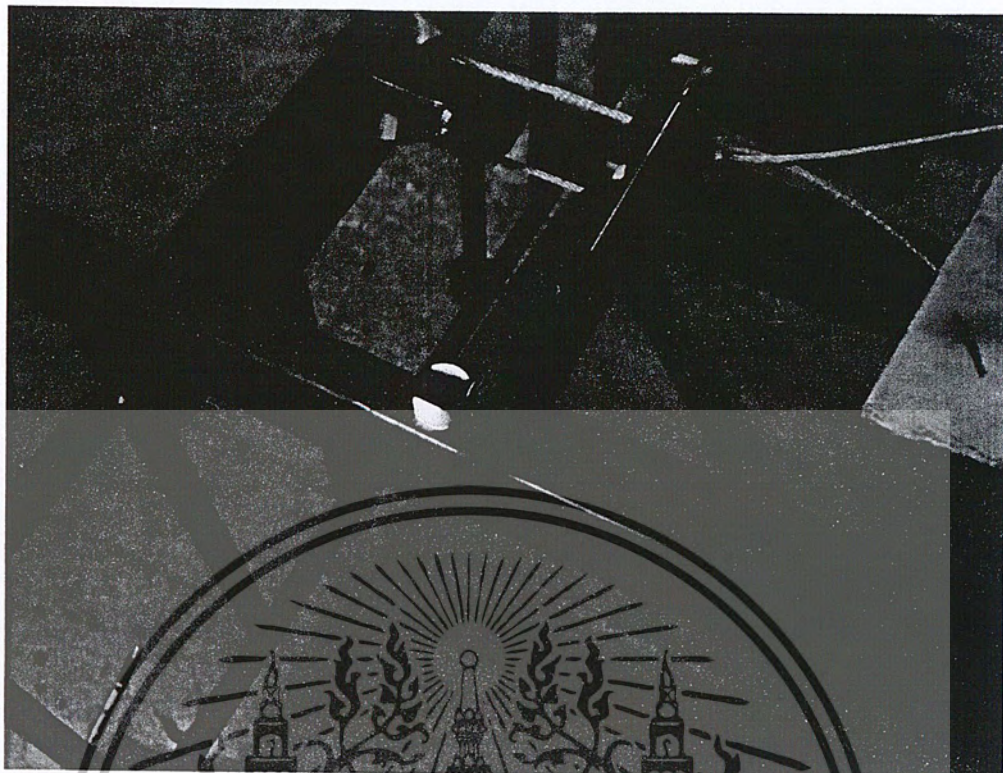


รูปที่ 4.20 ติดตั้งดัลบเมตรเพื่อวัดจุดตกของวัตถุ



รูปที่ 4.21 ติดตั้งเสาเพื่อวัดตำแหน่งฐานวางเครื่องบินขณะที่เคลื่อนที่โดยใช้กล้องวีดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ติดตั้งแท่นยืนเพื่อกระแทกกับเสา

บทที่ 5

การทดสอบและผลการทดลอง

5.1 วิธีการทดลอง

เพื่อทราบถึงความเร็วสุดท้ายของมวลทดสอบที่ได้จริง ที่มุมยกของฐานคิดอากาศยาน 7 องศา โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

5.1.1 วิธีวัดความเร็วจากการคำนวณระยะตกของมวลทดสอบ

- (1) ติดตั้งมวลทดสอบ 5 กิโลกรัม ลงบนฐานวางเครื่องบิน
- (2) ยิงมวลทดสอบ
- (3) วัดระยะตกของมวลในแนวราบ
- (4) คำนวณหาความเร็วสุดท้ายจากระยะตก ด้วยสมการการเคลื่อนที่

แนวตั้ง :
$$s_y = v_y t + \frac{1}{2} g t^2$$

แนวราบ :
$$s_x = v_x t$$

และ
$$v_x = v \cos \theta$$

$$v_y = v \sin \theta$$

โดย s_x คือ ระยะตกของมวลในแนวราบ

s_y คือ ความสูงจากปลายรางถึงพื้น

v คือ ความเร็วสุดท้ายของมวลขณะออกจากฐานวางเครื่องบิน

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

- (5) ทำซ้ำตามวิธีข้อ (1)-(4) โดยเปลี่ยนมวลเป็น 10 และ 15 กิโลกรัม

5.1.2 วิธีวัดความเร็วจากการใช้กล้องวิดีโอตรวจวัดความเร็ว

- (1) ติดตั้งตัววัดตำแหน่งของฐานวางเครื่องเครื่องบินที่ตำแหน่ง 1 2 3 ... 10 เมตร
- (2) ติดตั้งมวลทดสอบ ลงบนฐานวางเครื่องบิน
- (3) ติดตั้งกล้องวิดีโอที่ใช้ในการบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของฐานวางเครื่องบิน
- (4) ยิงมวลทดสอบ
- (5) หาเวลาที่ฐานวางเครื่องบินเคลื่อนที่ผ่านจุดต่างๆ โดยดูจากวิดีโอบันทึกภาพ
- (6) คำนวณหาความเร็วแต่ละจุด
- (7) ทำซ้ำตามวิธีข้อ (2)-(6) โดยเปลี่ยนมวลเป็น 5 10 และ 15 กิโลกรัม

5.2 ผลการทดสอบ

5.2.1 วิธีวัดความเร็วจากการคำนวณระยะตกของมวลทดสอบ

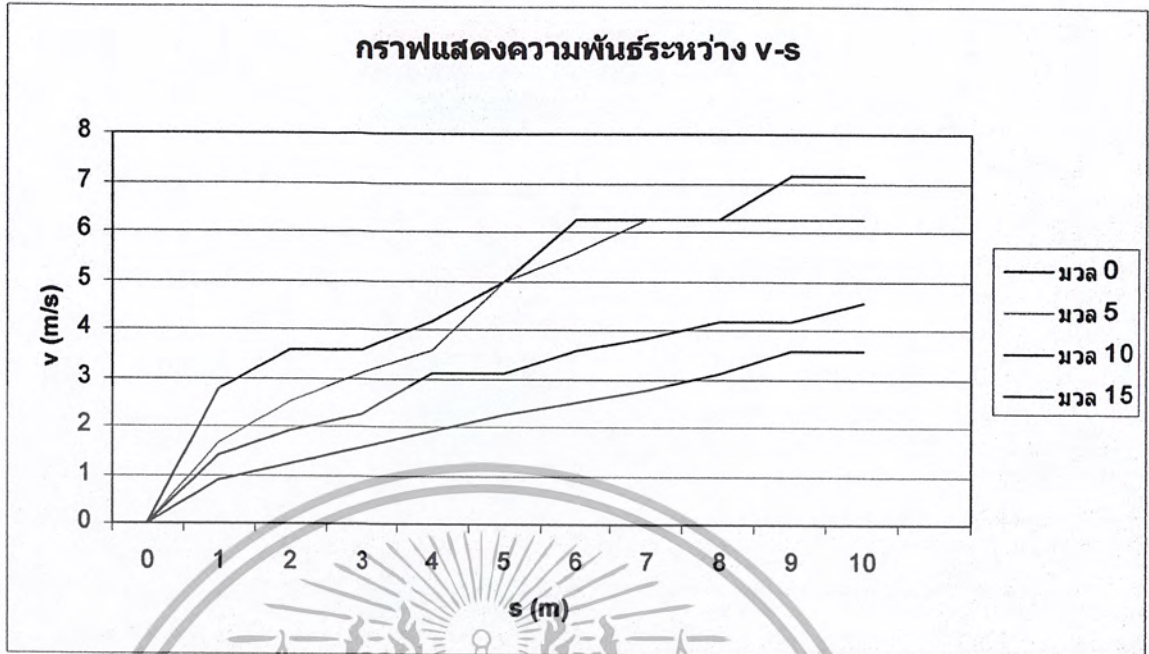
มวล (กิโลกรัม)	ระยะตกเฉลี่ย (เมตร)	ความเร็ว (m/s)
5	5.1	7.34
10	3.77	5.6
15	3.03	4.59

รูป 5.1 ตารางผลการทดสอบด้วยวิธีวัดความเร็วจากการคำนวณระยะตกของมวลทดสอบ

5.2.2 วิธีวัดความเร็วจากการใช้กล้องวิดีโอตรวจวัดความเร็ว

ตำแหน่ง (m)	มวล 0 kg		มวล 5 kg		มวล 10 kg		มวล 15 kg	
	เวลา (s)	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	ความเร็ว (m/s)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.36	2.78	0.6	1.67	0.72	1.39	1.12	0.89
2	0.64	3.57	1	2.5	1.24	1.92	1.92	1.25
3	0.92	3.57	1.32	3.12	1.68	2.27	2.56	1.56
4	1.16	4.17	1.6	3.57	2	3.12	3.08	1.92
5	1.36	5	1.84	5	2.32	3.12	3.52	2.27
6	1.52	6.25	2.04	5.56	2.6	3.57	3.92	2.5
7	1.68	6.25	2.22	6.25	2.86	3.84	4.18	2.78
8	1.84	6.25	2.38	6.25	3.1	4.17	4.6	3.12
9	1.98	7.14	2.54	6.25	3.34	4.17	4.88	3.57
10	2.12	7.14	2.7	6.25	3.56	4.54	5.16	3.57

รูป 5.2 ตารางผลการทดสอบด้วยวิธีวัดความเร็วจากการใช้กล้องวิดีโอตรวจวัดความเร็ว



รูป 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะทางของการทดสอบด้วยวิธีวัดความเร็วจากการใช้กล้องวิดีโอตรวจวัดความเร็ว

5.3 ประสิทธิภาพของเครื่องดีดอากาศยาน

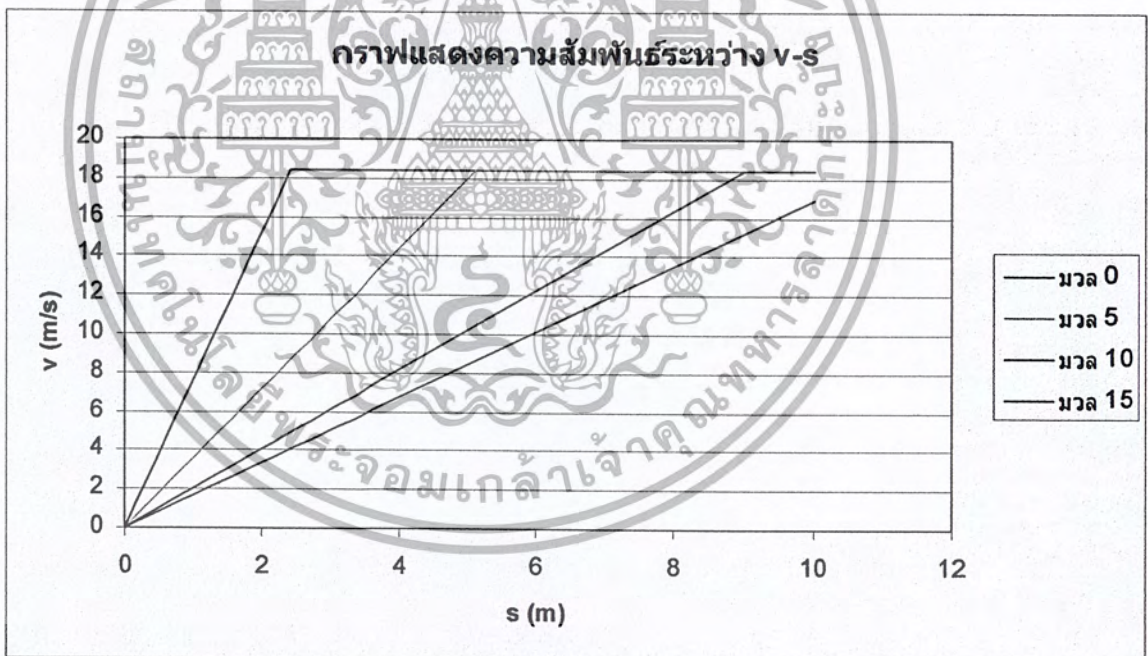
มวล (กิโลกรัม)	ความเร็วทางทฤษฎี (m/s)	ความเร็วจากการทดลอง (m/s)	ประสิทธิภาพ (%)
5	18.38	7.34	39.95
10	17.6	5.6	31.81
15	15.92	4.59	28.85

รูปที่ 5.4 ตารางเปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีของการทดสอบด้วยวิธีวัดความเร็วจากการคำนวณระยะตกของมวลทดสอบ

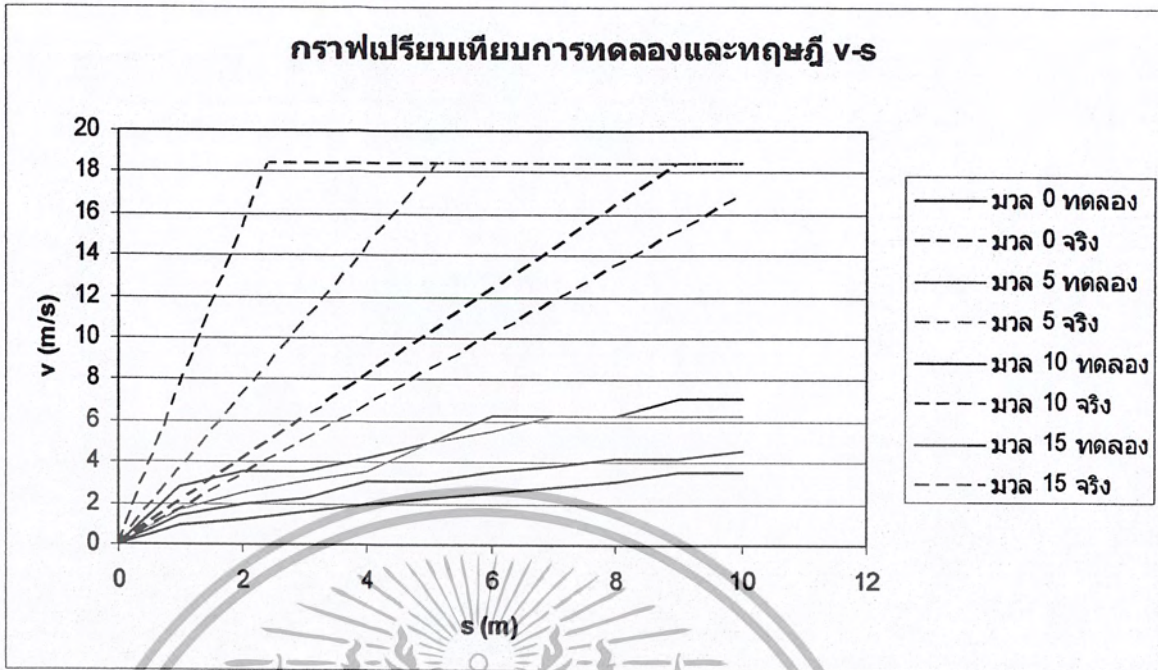
มวล (กิโลกรัม)	ความเร็วทางทฤษฎี (m/s)	ความเร็วจากการทดลอง (m/s)	ประสิทธิภาพ (%)
0	18.38	7.14	38.86
5	18.38	6.25	34
10	17.6	4.54	25.82
15	15.92	3.57	22.43

รูปที่ 5.5 ตารางเปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีของการทดสอบด้วยวิธีวัด

ความเร็วจากการใช้กล้องวิดีโอตรวจวัดความเร็ว



รูป 5.6 กราฟที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะทาง



รูป 5.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีกับการทดสอบด้วยวิธีวัด

ความเร็วจากการใช้กล้องวีดีโอตรวจวัดความเร็ว



บทที่ 6

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลโครงการงาน

จากผลการดำเนินโครงการเครื่องคิดอากาศยานขึ้นจากพื้น พบว่าโครงสร้างฐานยิงนั้นมีความแข็งแรงพอตรงตามที่ได้คำนวณไว้ในทฤษฎี แต่ในส่วนของระบบส่งกำลังนั้นพบว่าจะมีปัญหาบางประการซึ่งเห็นได้จากผลการทดลองคือ

ที่มุมยิง 7° วัดด้วยวิธีการวัดระยะจุดตก

- มวล 5 kg ได้ประสิทธิภาพ 39.95 %
- มวล 10 kg ได้ประสิทธิภาพ 31.81 %
- มวล 15 kg ได้ประสิทธิภาพ 28.85 %

ที่มุมยิง 7° วัดด้วยการใช้กล้องวัดไอศรจววัดวัดความเร็ว

- มวล 0 kg ได้ประสิทธิภาพ 38.86 %
- มวล 5 kg ได้ประสิทธิภาพ 34.00 %
- มวล 10 kg ได้ประสิทธิภาพ 25.83 %
- มวล 15 kg ได้ประสิทธิภาพ 22.43 %

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการวัดทั้ง 2 แบบนั้นต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากจำนวนครั้งในการทดลองมากทำให้แมคเนติกคลัตช์ในระบบชุดส่งกำลังมีการเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้ผลการทดลองที่ได้นั้นต่างกัน

ในส่วนการเปรียบเทียบผลของมวลต่อประสิทธิภาพนั้นพบว่ามวลจะส่งผลต่อประสิทธิภาพ คือ มวลยิ่งมากประสิทธิภาพจะยิ่งลดลง เพราะเมื่อเพิ่มมวลจะทำให้เกิดการไถล (slip) ของแมคเนติกคลัตช์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพที่ได้นั้นลดลง

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้ก็นั้นแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบส่งกำลังนั้นมีค่าน้อย ซึ่งมีผลมาจากแมคเนติกคลัตช์ที่ใช้ในระบบส่งกำลังเป็นของที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจึงมี ประสิทธิภาพที่ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งในส่วนของมอเตอร์ที่นำมาทดลองใช้นั้นเป็นของที่ผ่านการใช้งาน มาเช่นเดียวกัน

6.2 แนวทางการปรับปรุง

- เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพเต็มที่จากมอเตอร์ไฟฟ้าควรใช้มอเตอร์ไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านการ ใช้งาน แต่ก็จะทำให้ต้นทุนที่ใช้เพิ่มสูงขึ้นมาก
- แมคเนติกคลัตช์ที่ใช้ในระบบส่งกำลังมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ อีกทั้งยังไม่ได้ถูกออกแบบ มาเพื่อใช้ในการส่งแรงบิดที่สูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าวจึงควรใช้คลัตช์ที่ส่งแรงบิด ได้สูง เช่น คลัตช์รถยนต์ แต่มีข้อจำกัดในด้านราคาและความยุ่งยากในการติดตั้ง

เครื่องดีดอากาศยานขึ้นจากพื้นที่ได้ทำการออกแบบตัดแปลงสร้างขึ้นนี้ยังไม่สามารถนำไป ใช้งานได้อย่างเต็มที่ แต่แนวการคำนวณและออกแบบนี้สามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้มี ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yunus A.Cengel , Michael A. Boles Thermodynamics (an engineering approach / 6th edition)
- [2] โดยคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,ฟิสิกส์ 1
- [3] ศ.ดร. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน , การออกแบบเครื่องจักรกล Machine Design1,2
- [4] Ansel C. Ugural , Mechanics of Materials
- [5] รศ.มนตรี พิรุณเกษร ,กลศาสตร์ของวัสดุ
- [6] เครื่องกลไฟฟ้าและทฤษฎีมอเตอร์เหนี่ยวนำตามเฟส และเฟสเดียว , รัชชชัย อัดดิวิบูลย์กุล ,
ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ

