



ศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
Study and compare the induced voltage of Direct Current generator.

ณรงค์ศักดิ์ แพงสาย

ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไป
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประจำปีงบประมาณ 2556



ศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
Study and compare the induced voltage of Direct Current generator.

ณรงค์ศักดิ์ แพงสาย
พนักงานมหาวิทยาลัย สายวิชาการ ระดับตำแหน่งอาจารย์

ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททั่วไป
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประจำปีงบประมาณ 2556

๒

คำนำ

การวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนเรื่อง“ศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง” ประจำปีงบประมาณ 2556 ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาการจัดการเรียนการสอนวิชาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ และในรายวิชาอื่นๆ ต่อไป เพื่อเป็นการเพิ่มพูนความรู้ความสามารถของคณาจารย์ ในการจัดการเรียนการสอนที่เป็นประโยชน์โดยตรงแก่นักศึกษา อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่อไป

ณรงค์ศักดิ์ แพงสาย

31 สิงหาคม 2556

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนเรื่อง “ศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง” ประจำปีงบประมาณ 2556 ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี เพราะผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก สิบโท ดร. พิศุทธิ์ บัวเปรม คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ดร. บุญช่วย สุทธิรักษ์ อาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีอุตสาหกรรมก่อสร้าง มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ นายสุเมธ สงวนใจ หัวหน้าวิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ นายเสริมศักดิ์ ทิพย์วงศ์ อาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์และนายสุวิชา พุทธารัตน์ อาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ สนับสนุน ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆมาโดยตลอดจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณนักศึกษาระดับปริญญาตรี 4 ปี ภาคปกติ ชั้นปีที่ 3 ปีการศึกษา 2556 หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม หมู่เรียน 5511021351 จำนวน 30 คนและหมู่เรียน 5511021352 จำนวน 26 คน รวมทั้งหมด จำนวน 56 คน ที่ได้ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามเพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัย ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งและทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม ทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี ขอน้อมคารวะแด่ผู้เขียนตำราวิชาการที่ได้ศึกษาค้นคว้าและใช้อ้างอิงทุกท่าน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้อยู่เบื้องหลังการวิจัยทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจให้ประสบความสำเร็จในครั้งนี้ ซึ่งหากวิจัยฉบับนี้จะยังมีประโยชน์ทางด้านวิชาการต่อไป ผู้วิจัยขออุทิศให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านตามที่ได้กล่าวถึงข้างต้น

ณรงค์ศักดิ์ แพงสาย

สารบัญ

	หน้า
คำนำ.....	๗
กิตติกรรมประกาศ.....	๗
สารบัญ.....	๘
สารบัญตาราง.....	๙
สารบัญภาพ.....	๙

บทที่

1	บทนำ.....	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
	สมมติฐานการวิจัย.....	2
	ขอบเขตของการวิจัย.....	2
	นิยามคำศัพท์เฉพาะ.....	2
	ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
	เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	5
	ชุดสถิติ.....	6
	ชุดฝึก.....	12
	ชุดการสอน.....	12
	สื่อการเรียนการสอนวิชาช่างอุตสาหกรรม.....	13
	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	13
	มอเตอร์ไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร.....	15
	เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	17
	เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....	21
	การสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	22
	การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ(PWM).....	26
	กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	27
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	29
	ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	29
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	29
	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	31
	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
	สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
ตอนที่ 1 ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้แก่ เพศ หมู่เรียน โดยรายงานผลในรูปแบบความถี่และค่าร้อยละ.....	33
ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้า เหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เป็นแบบมาตราส่วน ประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ.....	34
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	42
สรุปผลการวิจัย.....	42
อภิปรายผล.....	43
ข้อเสนอแนะ.....	44
บรรณานุกรม.....	46
ภาคผนวก.....	48
ภาคผนวก ก แบบสอบถามการวิจัย.....	49
ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถาม.....	53
ภาคผนวก ค การตอบแบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถาม.....	56
ภาคผนวก ง รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย.....	59
ภาคผนวก จ การหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC).....	61
ประวัติผู้วิจัย.....	63

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 จำนวนนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์...	28
2 ประชากร กลุ่มตัวอย่าง นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.....	29
3 แสดงจำนวนความถี่ ค่าร้อยละของข้อมูลทั่วไปและความคิดเห็น ส่วนตัวของ ผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตาม เพศ.....	33
4 แสดงจำนวนความถี่ ค่าร้อยละของข้อมูลทั่วไป และความคิดเห็นส่วนตัวของ ผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตาม หมู่เรียน.....	34
5 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและ เปรียบเทียบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดของนักศึกษาเพศชาย ด้านอาหารรายวิชา	34
6 ค่าเฉลี่ยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและ เปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขณะไม่มีโหลด ของนักศึกษาเพศหญิง ด้านอาหารรายวิชา.....	35
7 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษา เพศชาย ด้านอาหารรายวิชา.....	36
8 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษาเพศ หญิง ด้านอาหารรายวิชา.....	37
9 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดของนักศึกษาเพศ ชาย ($\bar{X} = 54$) และเพศหญิง ($\bar{X} = 2$) ด้านอาหารรายวิชา แยกเป็นเพศ.....	37
10 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษาเพศ ชาย ($\bar{X} = 54$) และเพศหญิง ($\bar{X} = 2$) ด้านอาหารรายวิชา แยกเป็นเพศ.....	38
11 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ในสภาวะขณะไม่มีโหลดและ ขณะมีโหลด.....	38
12 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติทดสอบ t-test เปรียบเทียบแรงเคลื่อน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร แยกเป็นรายด้านอาหารรายวิชา ในสภาวะขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด จำแนกเพศ.....	39

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	6
2 ขั้วแม่เหล็กและขดลวดแม่เหล็กที่ยึดติดกับเฟรม.....	7
3 โรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	7
4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์ (โรเตอร์).....	8
5 วงจรแสดงการทำงานของซีรี่มอเตอร์.....	9
6 วงจรแสดงการทำงานของซันท์มอเตอร์.....	9
7 วงจรแสดงการทำงานของซอร์ทซันท์ คอมแปร์ตมอเตอร์.....	11
8 วงจรแสดงการทำงานของลองซันท์ คอมแปร์ตมอเตอร์.....	11
9 แสดงโครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	13
10 เปลือกโครงเหล็กของเครื่องกำเนิด.....	14
11 ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoe).....	15
12 ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoe).....	16
13 ขั้วแม่เหล็ก ก.....	16
14 ขั้วแม่เหล็ก ข.....	16
15 ลักษณะของขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก (Field Coil).....	17
16 ขดลวดแม่เหล็กอนุกรมและขดลวดแม่เหล็กขนาน.....	17
17 ขดลวดอนุกรมและขดลวดสนามแม่เหล็กขนาน.....	18
18 แปรงถ่าน และที่ยึดแปรงถ่าน.....	18
19 ตำแหน่งของขดลวดขดเชย.....	19
20 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์.....	20
21 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์.....	21
22 กระแสไฟฟ้าไหลวนในแกนเหล็ก.....	24
23 แสดงการสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	25
24 บล็อกไดอะแกรมควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบพื้นฐาน.....	26
25 สัญญาณควบคุมมอเตอร์ด้วยวิธี PFM.....	27

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาเป็นปัจจัยที่จำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนามนุษย์ให้มีความรู้ ความสามารถ มีคุณธรรม สามารถปรับตัวให้ทันกับความเปลี่ยนแปลงทางสังคม การเมือง และเศรษฐกิจ ผลผลิตจากการจัดการศึกษาจะสร้างคนไทยให้เป็นพลเมืองดี มีคุณภาพ สามารถมีชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่างปลอดภัยและมีความสุข ซึ่งเป็นไปตามเจตนารมณ์ของการศึกษาแห่งชาติ (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2542: 5) ดังนั้น การจัดการศึกษาที่จะจัดให้แก่ประชาชนจึงต้องเป็นไปในแนวทางที่เหมาะสมกับสภาพความต้องการทางเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และวัฒนธรรม การจัดการศึกษาของชาติจึงต้องจัดการและบริหารการศึกษาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

การจัดการเรียนการสอนของ สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีสื่อเพื่อใช้ประกอบการเรียนทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ อาจารย์ผู้สอนจะต้องเตรียมใช้สื่อการสอน หรือผลิตสื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะสื่อในวิชาภาคปฏิบัติ ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้มีการฝึกปฏิบัติ ทดลอง และเกิดจินตนาการในการเรียน เช่น ชุดสาธิต ชุดทดลอง เป็นต้น การมีสื่อการสอนที่ดีสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และหลักสูตรของรายวิชา และอาจารย์ผู้สอนนำไปใช้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะการทดลองเพื่อหาค่าต่างๆในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นผลทำให้กระบวนการเรียนการสอนรายวิชาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

จากความสำคัญและปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงวิจัยและทดลองหาค่าต่างๆของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มุ่งหวังให้นักศึกษามีความสนใจที่ต้องการจะศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวกระตุ้นและการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเพื่อการควบคุม การทดลองหาค่าต่างๆของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จึงเหมาะสำหรับนักศึกษาที่จะเรียนรู้และใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในรายวิชาเครื่องกลไฟฟ้าเป็นวิชาที่มีการจัดการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต พุทธศักราช 2550 ต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ในปัจจัย 2 ปัจจัย คือ เพศและหมู่เรียน
2. เพื่อเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด

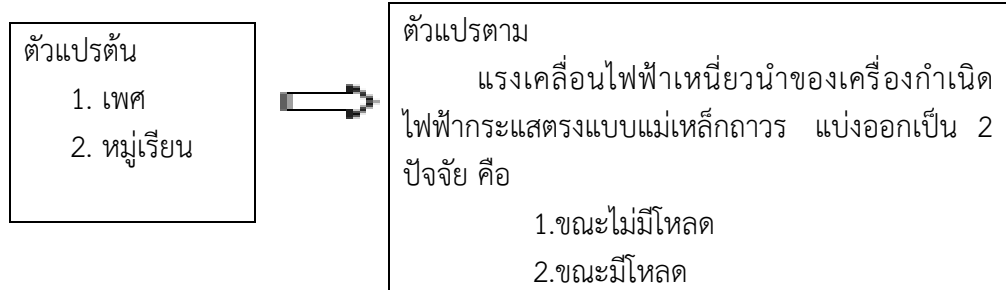
สมมติฐานการวิจัย(ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator)ต่างกัน ขณะไม่มีโหลดต่างกัน

2. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ต่างกัน ขณะมีโหลดต่างกัน

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



ขอบเขตของโครงการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด โดยประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตร กำหนดขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ 0.05 ได้ขนาดของประชากรและกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 56 คน การสุ่มกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มแบบอิงความน่าจะเป็น ส่วนการเลือกตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling)

ตัวแปรที่วิจัย แบ่งเป็น 2 ตัวแปร ได้แก่

1. ตัวแปรต้น ได้แก่

1.1 เพศ

1.2 หมู่เรียน

2. ตัวแปรตาม แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) แบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย

2.1 ขณะไม่มีโหลด

2.2 ขณะมีโหลด

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เพศ หมายถึง นักศึกษาชาย นักศึกษาหญิง หลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ระดับปริญญาตรี 4 ปี ภาคปกติ ชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2554

2. หมู่เรียน หมายถึง หมู่เรียนของนักศึกษาในสาขาวิชาของหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่การจัดการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี ปีการศึกษา 2556

3. ศึกษา หมายถึง เป็นกระบวนการให้ส่งเสริมให้บุคคลเจริญเติบโตและมีความเจริญงอกงามทางกาย อารมณ์ สังคม และสติปัญญาจนเป็นสมาชิกของสังคมที่มีคุณธรรมสูง

4. เปรียบเทียบ หมายถึง การนำเอาสิ่งใดสิ่งหนึ่งไปเทียบกับอีกสิ่งหนึ่ง โดยที่อีกสิ่งหนึ่งที่ถูกตั้งให้อีกสิ่งหนึ่งที่นำมาเทียบนั้นได้มาตรฐานที่ตั้งไว้แล้ว

5. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หมายถึง แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเคลื่อนที่ลวดในสนามแม่เหล็กอย่างสม่ำเสมอ มีหน่วยเป็น โวลต์

6. แม่เหล็กถาวร คือแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กตลอดไป เช่น แม่เหล็กที่ใช้ในลำโพง เป็นต้น ซึ่งได้มาจากการนำเอาลวดทองแดงอาบน้ำยาพันรอบแท่งเหล็กกล้าแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปดูดเหล็กผลึกโมเลกุลภายในแท่งเหล็กกล้า ให้มีการเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบตลอดไป เหล็กกล้าดังกล่าวก็จะคงสภาพเป็นแม่เหล็กถาวรต่อไป

7. ขณะมีโหลด หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ชนิดอื่นๆที่มีการต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ประเภทอื่นๆด้วยการต่อตรงหรือสายพาน

8. ขณะไม่มีโหลด หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ชนิดอื่นๆที่ไม่มีการต่อเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ประเภทอื่นๆ

9. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) หมายถึง ต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม

10. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator) คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบ่งตามกระแสไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง(DC Generator) กับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ(AC Generator)

11. กล่องควบคุม (Box Control) หมายถึง กล่องที่ใช้เก็บอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆมาไว้ในกล่องเดียวกัน

12. กล่องโหลด (Box Load) หมายถึง เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆที่นำมาเก็บไว้ในกล่องเดียวกันเพื่อสะดวกต่อการนำเอาออกมาใช้งาน

13. แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply) หมายถึง แหล่งจ่ายไฟ เป็นอุปกรณ์ หรือระบบที่ใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานชนิดอื่นๆ ไปสู่โหลดเอาต์พุต หรือกลุ่มของโหลด คำว่าแหล่งจ่ายไฟนี้ มักจะใช้กับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า แต่ก็มีบ้างก็หมายถึงแหล่งจ่ายพลังงานเชิงกลหรือพลังงานรูปแบบอื่นๆ

14. แอมป์มิเตอร์ (Amp Meter) หมายถึง เครื่องวัดที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งดัดแปลงจากการนำความต้านทาน (ชนิด) ที่มีค่าน้อยๆ มาต่อขนานกับแอมมิเตอร์ เพื่อแบ่งกระแสไม่ให้ไหลผ่านแอมมิเตอร์มากเกินไป จนทำให้แอมมิเตอร์พังได้

15. มัลติมิเตอร์ (Multi Meter) เป็นเครื่องมือวัดที่จำเป็นสำหรับงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพราะว่าเป็นเครื่องวัดที่ใช้ค่าพื้นฐานทางไฟฟ้าคือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบหรือการตรวจซ่อมวงจรต่าง ๆ ก็จำเป็นต้องวัดค่าเหล่านั้นทั้งสิ้น มัลติมิเตอร์เป็นการรวม Voltmeter Ammeter และ Ohmmeter ไว้ในตัวเดียวกัน และใช้ปุ่มเฟ้นต์ (Movement) ตัวเดียวจึงเรียก “VOM” (Volt-Ohm-Milliammeter)

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. จากผลการวิจัยได้แนวทางการพัฒนาการวิจัยเชิงในรายวิชาและสาขาอื่นต่อไป
2. ผลจากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสื่อนวัตกรรมด้านต้นแบบการจัดการเรียนการสอนต่อไป

3. สามารถนำเทคโนโลยีที่ได้จากผลการวิจัยไปถ่ายทอดผ่านคลินิกเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ได้
4. ประธานสาขาวิชาหรือคณะกรรมการบริหารสาขาวิชาได้พัฒนา ปรับปรุง แก้ไข หลักสูตรให้ตรงกับความต้องการของท้องถิ่น
5. อาจารย์ผู้สอนนำไปพัฒนาการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับนักศึกษา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเรื่องศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หลักการของอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ผู้วิจัยได้มีการศึกษาเอกสาร ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้เสนอตามหัวข้อ พอสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.1. เอกสาร ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- 2.1.1 ชุดสาธิต
- 2.1.2 ชุดฝึก
- 2.1.3 ชุดการสอน
- 2.1.4 สื่อการเรียนการสอนวิชาช่างอุตสาหกรรม
- 2.1.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
- 2.1.6 มอเตอร์ไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร
- 2.1.7 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง
- 2.1.8 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร
- 2.1.9 การสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง(Power Losses In Generator)
- 2.1.10 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ(PWM)

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3. กรอบแนวคิดของการวิจัย

2.1. เอกสาร ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีสื่อการเรียนการสอน

1. ชุดสาธิต

เป็นวิธีการอีกรูปแบบหนึ่งที่อาจารย์ผู้สอนจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ แล้วมีผู้แสดงให้ผู้เรียนชม โดยเน้นกระบวนการหรือขั้นตอนการกระทำที่ถูกต้อง หรือ แสดงเป็นตัวอย่างให้สำเร็จ

2. ชุดฝึก

หมายถึง การบอก แสดง หรือปฏิบัติเพื่อทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจจนเกิดความชำนาญหรือทำอยู่เสมอเพื่อให้เกิดความรู้ความชำนาญ

3.ชุดการสอน

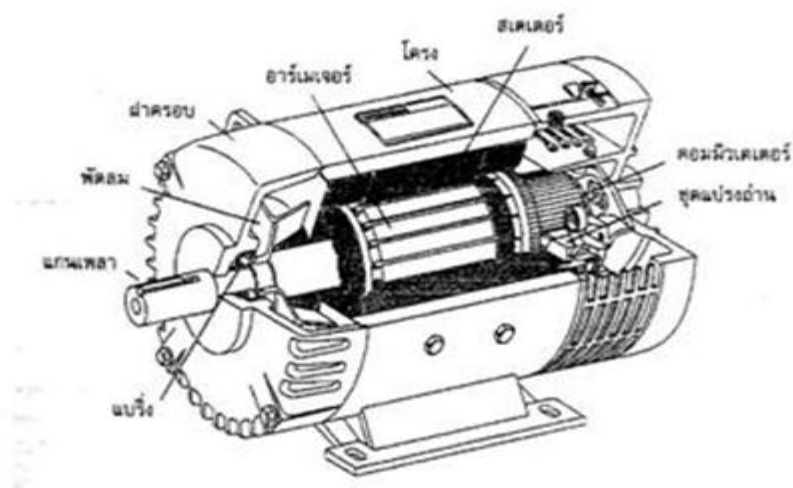
ชุดการสอน หมายถึง เป็นสื่อการสอนที่บูรณาการสื่อหลายๆ ชนิดมารวมกันอย่างมีระบบมีความสัมพันธ์และส่งเสริมซึ่งกันและกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายทอดเนื้อหาในการเรียนรู้ให้กับผู้เรียนในการเรียนรู้ให้บรรลุจุดมุ่งหมายที่วางไว้ (ורתัย กันปี, 2542: 55)

4. สื่อการเรียนการสอนวิชาช่างอุตสาหกรรม

สื่อการเรียนการสอนทางสาขาวิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากผู้ศึกษาค้นคว้าในรายวิชาต่างๆต้องการความรู้ความสามารถที่จะนำความรู้ที่ได้นำไปปฏิบัติงานจริง จึงต้องมีการฝึกฝนเพื่อให้เกิดความชำนาญก่อนที่จะนำไปปฏิบัติงานจริง ทางคณะผู้ศึกษาค้นคว้าจึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างชุดฝึกเครื่องกลไฟฟ้ากระแสดตรงนี้ เพื่อนำเนื้อหาที่ได้จากผู้สอนส่งไปยังผู้ที่ต้องการจะศึกษาค้นคว้า เพื่อให้เกิดความรู้ ความชำนาญและทักษะเพื่อที่จะนำไปใช้ปฏิบัติงานจริง

5.มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง

มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล มอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง (DC Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง เท่านั้น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรงนั้นจะใช้งานในด้านการขับเคลื่อนในแบบต่าง ๆ ที่มีอัตราเร็วไม่สูงมากนัก เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรงนั้นมีแรงบิดเริ่มต้นที่สูง (starting torque) สามารถควบคุมควบคุมอัตราเร็วได้ค่อนข้างง่าย แต่มีข้อเสียคือมีโครงสร้างที่ค่อนข้างซับซ้อนมากจึงจำไม่เหมาะที่จะใช้ในงานที่มีอัตราเร็วค่อนข้างสูงมาก (ณรงค์ นันทวรรณะ,2542)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสดตรง

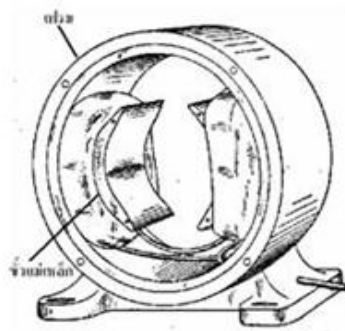
(ที่มา <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara01.htm>)

โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน หลักๆ คือ ส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่เคลื่อนที่

1. ส่วนที่อยู่กับที่

1.1 เฟรม คือ เป็นโครงสร้างภายนอก ที่เรามองเห็นเป็นตัวมอเตอร์ จะทำหน้าที่เป็นเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็ก และเป็นที่ยึดส่วนต่างๆ ให้แข็งแรง

2.2 ขั้วแม่เหล็ก จะประกอบด้วย แกนขั้วแม่เหล็ก ส่วนนี้จะติดอยู่กับเฟรมและขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) ที่พันรอบ ๆ แกนขั้วแม่เหล็ก จะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอก และสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิดขึ้น (Torque)

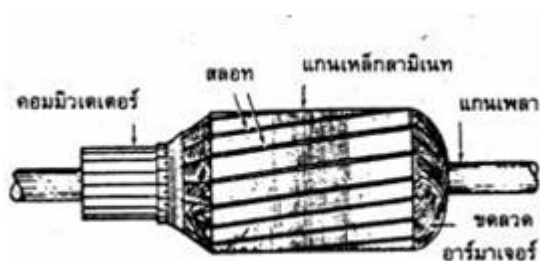


ภาพที่ 2.2 ขั้วแม่เหล็กและขดลวดแม่เหล็กที่ยึดติดกับเฟรม

(ที่มา <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara01.htm>)

2. ส่วนที่เคลื่อนที่

ส่วนที่เคลื่อนที่หรือโรเตอร์ (rotor) จะมีขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ที่พันอยู่บนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core) และมีคอมมิวเตเตอร์ยึดติดอยู่ที่ปลายของขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังรูปภาพที่ 2.3



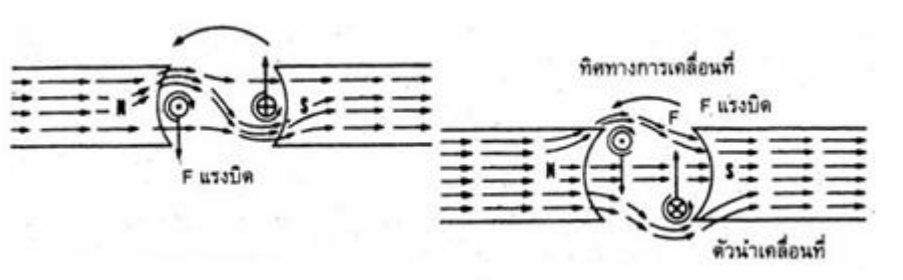
ภาพที่ 2.3 โรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

(ที่มา <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara01.htm>)

คอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่ในการสัมผัสกับแปรงถ่านคาร์บอน (Carbon Brushes) ที่อยู่ในมอเตอร์เพื่อที่จะให้มีกระแสไหลผ่านไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นเพื่อให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้อาร์เมเจอร์หมุนได้

หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor)

เมื่อมีกระแสไหลผ่านเข้าไปในมอเตอร์กระแสจะแบ่งออกไป 2 ทาง คือ ส่วนที่หนึ่งจะผ่านเข้าไปที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นและอีกส่วนหนึ่งจะผ่านแปรงถ่านคาร์บอนและผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเช่นกัน ซึ่งทั้งสองสนามจะเกิดขึ้นขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กแล้วจะไม่มี การตัดกัน จะมีแต่การหักล้างและการเสริมกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดในอาร์เมเจอร์ ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนซึ่งในการหมุนนั้นจะเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง (fleming's left hand rule) (ณรงค์ นันทวรรณ, 2542)



ภาพที่ 2.4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์ (โรเตอร์)

(ที่มา <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara01.htm>)

รายละเอียดพื้นฐานของมอเตอร์ที่จะนำมาพิจารณาเลือกใช้กับงานต่าง ๆ ที่จะกล่าวถึงมีอยู่ 4 อย่าง คือ แรงดันไฟฟ้า (voltage) การไหลของกระแส (current dawn) ความเร็ว (speed) แรงบิด (torque)

แรงดันไฟฟ้า

มอเตอร์ทุกตัวจะมีแรงดันไฟฟ้าใช้งานที่แตกต่างกันตามคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัวที่ผู้ผลิตกำหนดมาเช่น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เป็นต้น สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถใช้ไฟกระแสตรงหรือกระแสสลับก็ได้ แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้ไฟกระแสสลับเท่านั้น และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีผลต่ออัตราเร็วและแรงบิดของมอเตอร์คือ ถ้าหากแรงดันไฟฟ้ามากอัตราเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ก็จะมากด้วย

การไหลของกระแส

ในการไหลของกระแสนั้นจะกล่าวถึงในกรณีที่มอเตอร์ได้รับกระแสจากแหล่งจ่าย ในกรณีที่มอเตอร์ไม่ได้ต่อกับโหลดใด ๆ นั้นจะมีกระแสไหลผ่านน้อย แต่ในกรณีที่มีการใช้งานต่อกับโหลดจะมีปริมาณกระแสที่เพิ่มมากขึ้น การไหลของกระแสนั้นมีความจำเป็นเพราะถ้าหากกระแสไม่พอแล้วมอเตอร์ก็จะมีกำลังเพียงพอสำหรับการขับโหลด และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีผลต่ออัตราเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ด้วย คือ ถ้าหากจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์มากอัตราเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ก็จะมากด้วย

อัตราเร็ว

ส่วนใหญ่มอเตอร์กระแสตรงจะมีอัตราเร็วปกติที่ 4000-7000 รอบต่อนาที ซึ่งอัตราเร็วของมอเตอร์สามารถลดลงหรือเพิ่มขึ้นได้ตามความต้องการของผู้ใช้ ถ้าหากต้องการใช้งานที่ต้องการความเร็วมากก็ต้องเลือกมอเตอร์ที่มีอัตราเร็วสูง เป็นต้น แรงบิด เป็นแรงที่มอเตอร์กระทำกับโหลดในการพิจารณาเลือกมอเตอร์นั้นถ้าหากมีแรงบิดน้อยจะใช้งานได้กับโหลดที่ไม่หนักมากแต่ถ้ามีแรงบิดมากสามารถใช้งานกับโหลดที่มีน้ำหนักมากได้ ในการพิจารณาเลือกใช้งานมอเตอร์จึงจำเป็นต้องรู้ข้อมูลพื้นฐานของมอเตอร์เพื่อที่จะเป็นข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานต่อไป

ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor)

คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็วก็ลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลง แต่ขดลวด ของมอเตอร์ ไม่เป็นอันตรายจากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ในบ้านหลายอย่างเช่นเครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแสจะมากความเร็วรอบ จะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิดอันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ(ณรงค์ นันทวรรณ, 2542)

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor)

หรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ (Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวด ชุดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ แต่ความเร็วรอบคงที่ ชันทมอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับการใช้งานดังนี้พัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่ และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย(ณรงค์ นันทวรรณ, 2542)

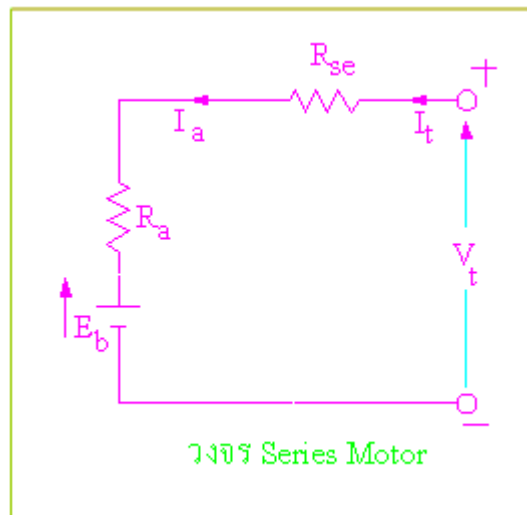
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor)

หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่มอเตอร์ไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่

มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดสนามหรือขดชั้นที่อยู่ 2 วิธี (ณรงค์ นันทวรรณะ.2542)

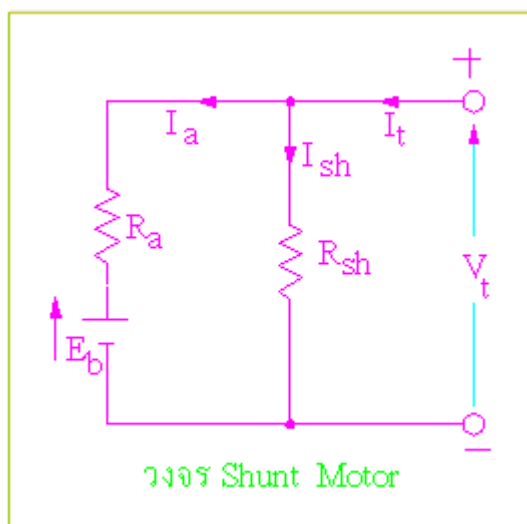
1.วิธีหนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชั้นที่ขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอทชัณฑ์ (Short Shunt Compound Motor)

2.อีกวิธีสองคือต่อขดลวด ขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่าลองชัณฑ์ คอมเปาเวต์มอเตอร์ (Long shunt motr)



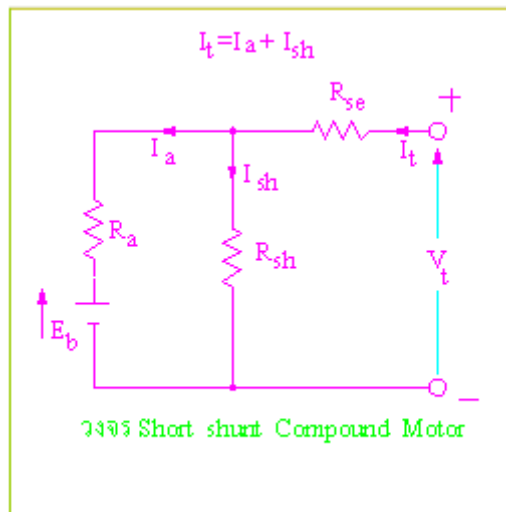
ภาพที่ 2.5 วงจรแสดงการทำงานของซีรี่มอเตอร์

(ที่มา <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara01.htm>)

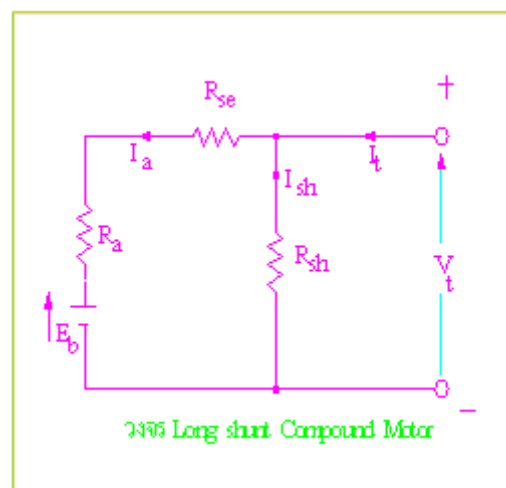


ภาพที่ 2.6 วงจรแสดงการทำงานของชัณฑ์มอเตอร์

(ที่มา <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara01.htm>)



ภาพที่ 2.7 วงจรแสดงการทำงานของชอร์ตชั๊นท์ คอมเปา์วต์มอเตอร์
(ที่มา <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara01.htm>)



ภาพที่ 2.8 วงจรแสดงการทำงานของลองชั๊นท์ คอมเปา์วต์มอเตอร์
(ที่มา <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/e-web/sara01.htm>)

6. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร มีสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวร ไม่สามารถปรับ flux แม่เหล็กได้ การเริ่มเดินของมอเตอร์ จะเริ่มจากเมื่ออาร์เมเจอร์หยุดนิ่ง ดังนั้น Back emf. จึงเป็นศูนย์ ทำให้กระแสไหลในอาร์เมเจอร์มาก แต่เมื่ออาร์เมเจอร์เริ่มหมุนจึงมี Back emf. เกิดขึ้นและจะมีค่าสูงขึ้นตามความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังสมการต่อไปนี้

$$V_t = E + I_a R_a$$

$$I_a = (V_t - E) / R_a$$

โดยที่

R_a = ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ (โอห์ม)

I_a = กระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (แอมป์)

E = Back emf. (V)

V_t = Supply Voltage (V)

จากสมการตอนเริ่มเดินเครื่อง Armature ยังไม่หมุน Back emf. จะเท่ากับ 0 หรือ $E=0$ ดังนั้น $I_a = V_t/R_a$ หรือ I_s (Starting Current) จึงจะเห็นว่าขณะเดินเครื่อง กระแสจะถูกจำกัดโดยค่า R_a เท่านั้น ดังนั้นกระแสเริ่มเดินจึงสูงมากเพราะ R_a มีค่าน้อยมาก จึงจำเป็นต้องลดกระแสลงโดยต่อความต้านทานอนุกรมกับ อาร์เมเจอร์ โดยค่าความต้านทานต้องเป็นค่าที่พอเหมาะ เพื่อให้มอเตอร์สามารถเริ่มเดินได้ ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบนี้ สามารถทำได้โดยปรับที่ Supply Voltage(V) นั่นคือ

$$n \text{ (rpm)} \sim V_t \text{ (V)}$$

โดยพิสูจน์ได้จากสมการ

โดยที่	V_t	=	$E + I_a R_a$
	K	=	$(ZP/60a)$
	Φ	=	flux ต่อขั้ว
	P	=	จำนวนขั้ว
	a	=	Parallel Path
	Z	=	จำนวนตัวนำทั้งหมดบน Armature
	n	=	ความเร็วรอบในการหมุน
	E	=	$K\Phi n$ ($K = Z/60 * P/a$)
	V_t	=	$K\Phi n + I_a R_a$
	n	=	$(V_t - I_a R_a)/K\Phi$
เพราะฉะนั้น	n	=	$V_t/K\Phi - I_a R_a/K\Phi$

เมื่อไม่คิดผลของ $I_a R_a$ เพราะ R_a น้อยมากจะได้ว่า

$$n = V_t/K\Phi$$

จะเห็นว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ (n) จะแปรผันตาม V_t

แรงบิดที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์ขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนอยู่ที่ $N/60$ รอบ/วินาที

ถ้า T_a เป็นนิวตัน-เมตร

$$\text{ดังนั้น กำลังที่เกิดขึ้นจะมีค่า } P = T_a \times 2\pi n/60 \quad (\text{W.})$$

แต่จากกำลังทางกลที่เกิดขึ้นจะมีค่า

$$P = E \cdot I_a \quad (\text{W.})$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า

$$T_a \times 2\pi n/60 = E \cdot I_a$$

เมื่อ

$$E = K\Phi n \quad (K = Z/60 * P/a)$$

โดยที่

$$K = (ZP/60a)$$

$$\Phi = \text{flux ต่อขั้ว}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \text{จำนวนขั้ว} \\
 a &= \text{Parallel Path} \\
 Z &= \text{จำนวนตัวนำทั้งหมดบน Armature} \\
 n &= \text{ความเร็วรอบในการหมุน}
 \end{aligned}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } T_a \times 2\pi n/60 = K \phi n \cdot I_a \quad (K = Z/60 \cdot P/a) \quad (\text{N-m})$$

$$\text{หรือ } T_a = (1/2\pi) K \phi n \cdot I_a \quad (\text{N-m})$$

$$\text{จากสมการ } T_a \times 2\pi n/60 = E \cdot I_a \quad \text{จะเห็นว่า}$$

$$T_a = (1/2\pi) (E \cdot I_a) / (n/60) \quad (\text{N-m})$$

$$= 0.159 E \cdot I_a \quad (\text{N-m})$$

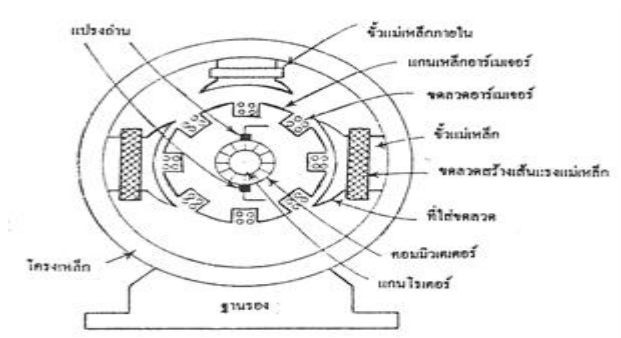
จากสมการจะพบว่าแรงบิดจะขึ้นอยู่กับกระแสของมอเตอร์ซึ่งกระแสของมอเตอร์เป็นผลกระทบจากโหลดที่เพลของมอเตอร์ด้วย(ไชยาญ หินเกิด,2539)

อาร์เมเจอร์รีแอคชั่น (Armature reaction)

อาร์เมเจอร์รีแอคชั่น หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสอาร์เมเจอร์ ซึ่งมีผลกระทบต่อเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก และเป็นสาเหตุทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดลดลง(ณรงค์ นันทวรรณนะ,2542)

7. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

ลักษณะโครงสร้าง เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือ เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่อยู่กับที่คือโครงเครื่อง (Frame) หรือ สเตเตอร์โยค (Stator Yoke) ซึ่งจะมีขั้วแม่เหล็กและขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ อีกส่วนหนึ่งคือส่วนที่หมุน (Rotating) จะมีขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ซึ่งคอมมิวเตเตอร์ (Comutator Sectors) แปรงถ่าน (Brushes) ส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแสดงตามภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงโครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณนะ.2542 หน้า 3)

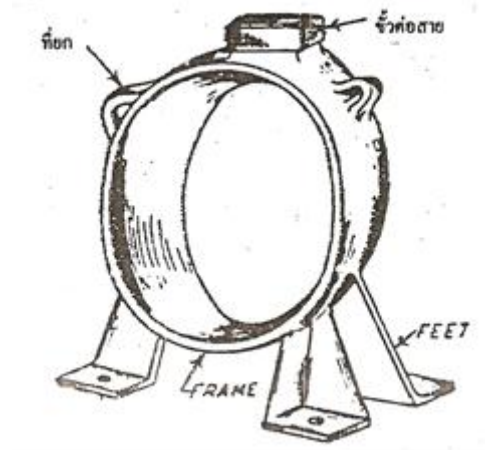
ภาพที่ 2.9 เป็นภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Generator) คือ จะประกอบด้วยขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก (Field Coil) ที่อยู่บนแกนเหล็กของขั้วแม่เหล็กของส่วนที่อยู่กับที่ 2 ขดคือส่วนลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขนาน (Shunt Field Coil) และ ขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอนุกรม (Series Field Coil) นอกจากนี้ยังมีขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหล็กเล็กๆที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กเหนือและขั้วแม่เหล็กใต้เรียกว่า ขั้วแม่เหล็กภายใน (Inter Pole) ขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหล็กเรียกว่าขดลวดคอมมิวเตตติ้ง (Commutating Winding) ส่วนขดลวดอีกขดคือขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหล็กของอาร์เมเจอร์ (Armature Core) เมื่อมองโดยภาพรวมแล้วจะสามารถแยกส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stationary Part) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotatory Part)(ณรงค์ นันทวรรณะ,2542)

ส่วนที่อยู่กับที่

หากเรามองดูเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไปส่วนแรกสุดที่เรามองเห็นก็คือ เปลือกนอกสุดของตังเครื่องจักรไฟฟ้านั้นซึ่งลักษณะของผิวด้านนอกสุดอาจจะเป็นครีบริบหรืออาจจะเป็นผิวเรียบก็ได้เมื่อเราเปิดฝาปิดหัวส่วนท้ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงออกมาก็จะเห็นส่วนต่างๆอีกหลายส่วนสำหรับแต่ละส่วนประกอบและหน้าที่ของมันยังแยกย่อยออกได้ดังนี้คือ

1. เปลือกโครงเหล็ก (Magnetic Frame or Yoke) ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กผสมผสมแม่เหล็กมีไว้เพื่อทำหน้าที่สองประการด้วยกันคือ

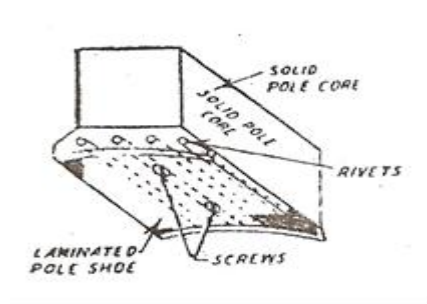
1.1 เป็นตัวรองรับแรงทั้งหมดและเป็นตัวรองรับตลับลูกปืน (Bearing) และทุ่นอาร์เมเจอร์ (Armature Core)



ภาพที่ 2.10 เปลือกโครงเหล็กของเครื่องกำเนิด
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณะ.2542 หน้า 4)

1.2 เป็นทางเดินผ่านของเส้นแรงแม่เหล็กคือ เส้นแรงแม่เหล็ก ที่เกิดจากขดลวดที่ใช้เส้นแรงแม่เหล็ก (Field Coil) ซึ่งกระจายอยู่ทั่วทั้งแกนเหล็กโดนที่เส้นแรงแม่เหล็กจะเดินทางจากขั้วแม่เหล็กเหนือ (North Pole) ผ่านช่องว่างอากาศระหว่างตัวที่อยู่กับที่ (Stator)

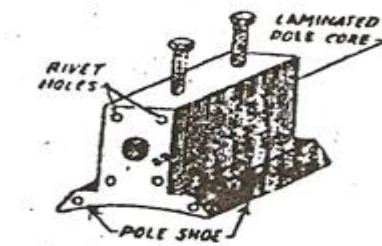
2.2.1 แกนของขั้วแม่เหล็ก (Pole Core) ของตัวมันเองเป็นแกนเหล็กตันที่ทำด้วยเหล็กหล่อ (Cast Iron) หรือเหล็กเหนียว (Cast Steel) แต่ตัวที่เป็นขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoe) จะทำด้วยเหล็กแผ่นที่เคลือบฉนวน (Laminated Sheet) หลายแผ่นนำมาอัดซ้อนกัน ให้มีรูปร่างเป็นขั้วแม่เหล็กหลังจากนั้นก็ใช้สกรูฝึงยึดขั้วแม่เหล็กให้ติดกับแกนของขั้วแม่เหล็กอีกครั้งหนึ่ง ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.12 ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoe)
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 5)

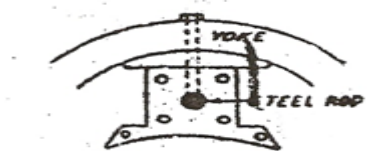
2.2.2 แกนของขั้วแม่เหล็ก (Pole Core) และขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoe) เป็นตัวเดียวกันประกอบขึ้นจากเหล็กแผ่นเคลือบด้วยฉนวนขึ้นเดียวกันหลายแผ่นที่เป็นเหล็กที่ทำให้เกิดการอ่อนตัว (Ancaled Sheet Steel) นำมาประกบกันจึงอัดด้วยความดันโดยใช้ไฮดรอลิกเพื่อย้ำให้ติดกันเป็นก้อนนำไปยึดติดกับกรอบนอกได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งจาก 2 วิธีคือ

2.2.2.1 โดยใช้สกรูขันทะลุผ่าน Yoke ยึดฝังลงไปในตัว Pole หรือขั้วแม่เหล็กเลยที่เดียวดังภาพที่ 2.5 ก เวลาที่จะใส่ขั้วแม่เหล็กหรือถอดขั้วแม่เหล็กทำได้โดยการขันสกรูเท่านั้น



ภาพที่ 2.13 ขั้วแม่เหล็ก ก.
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 6)

2.2.2.2 โดยใช้สกรูขันทะลุผ่าน Yoke แล้วไปยึดติดกับแท่งเหล็กที่ฝังทะลุลงในขั้วแม่เหล็กตามทางยาวของขั้วแม่เหล็ก ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ขั้วแม่เหล็ก ข.
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 6)

3. ขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก (Pole Coil) ก็คือขดลวดที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กพันด้วยลวดทองแดงอาบนํ้ายาหลายเส้นนำมาทำให้เป็นรูปร่างของขดลวดตัวนำตามที่ต้องการแล้วนำขดลวดตัวนำนี้สวมทับลงไปบนแกนเหล็กของขั้วแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดนี้ก็จะทำให้ขดลวดกลายเป็นขั้วแม่เหล็กเกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้น เส้นแรงแม่เหล็กจะถูกตัดผ่านด้วยขดลวดตัวนำภายในอาร์เมเจอร์อีกทีหนึ่งขดลวดที่พันอาจจะเป็นขดลวดเส้นเล็กจำนวนมาก ถ้าวัดค่าความต้านทานของขดลวด ค่าความต้านทานจะสูงก็คือขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กแบบขนาน (Shunt Field Coil) แต่ถ้าหากลวดทองแดงที่พัน พันด้วยเส้นโตจำนวนรอบน้อยเมื่อวัดค่าความต้านทานของขดลวดจะมีความต้านทานต่ำก็จะเป็นขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอนุกรม (Series Field Coil) ของขดลวดที่พันเสร็จแล้วจะถูกพันด้วยฉนวนอีกครั้งหนึ่งเราจะสังเกตได้จากปลายเส้นลวดที่ไหลออกมาอาจจะเป็น 2 ปลาย หรือ 4 ปลายก็ได้แสดงตามภาพที่ 2.15

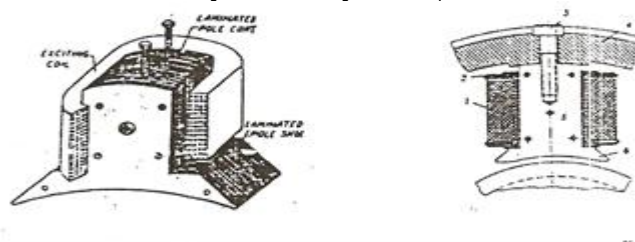


ภาพที่ 2.15 ลักษณะของขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก (Field Coil)
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 7)

ขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กที่พันเป็นขดลวดและรองฉนวนเรียบร้อยจะถูกใส่ลงไปในขั้วแม่เหล็กแล้วจึงยึดติดกับโครงเหล็กอีกทีหนึ่ง ดังภาพที่ 2.16

สรุป จะได้ว่าขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Machine) จะประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด พันทับกันอยู่ คือ

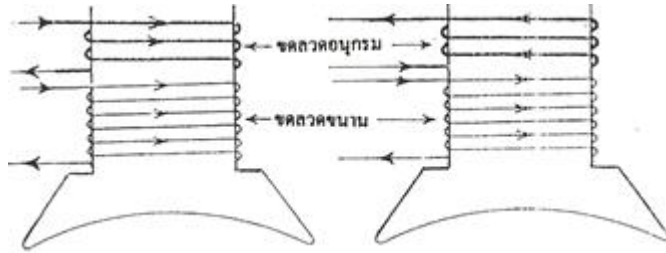
3.1 ขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขนาน (Shunt Field) จะพันด้วยลวดเส้นเล็กจำนวนรอบมากความต้านทานเส้นลวดสูง จะพันอยู่ด้านในสุดติดกับแกนเหล็กของขั้วแม่เหล็ก



ภาพที่ 2.16 ขดลวดแม่เหล็กอนุกรมและขดลวดแม่เหล็กขนาน
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 8)

3.2 ขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอนุกรม (Series Field) จะพันด้วยลวดเส้นใหญ่รอบน้อยความต้านทานต่ำ พันทับอยู่บนขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขนานเมื่อเราต่อ

แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่ขดลวดทั้งสองก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดทั้งสองขด อาจจะไหลไปทางเดียวกันทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเพิ่มมากขึ้นเรียกว่าเป็นการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กแบบเสริม (Cumulative) ถ้าให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลสวนทางกันเส้นแรงแม่เหล็กรวมจะลดลงเรียกว่าเป็นการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กแบบหักล้าง (Differential) ทิศทางขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองขด แสดงได้ตามภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 ขดลวดอนุกรมและขดลวดสนามแม่เหล็กขนาน
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 8)

4. แปรงถ่านและที่ยึดแปรงถ่าน (brushes and brush holder) แปรงแปรงถ่านทำด้วยแท่งคาร์บอนผสมกับกราไฟท์หรือคาร์บอนกับทองแดง มีความต้านทานต่ำ ถูกใส่ไว้ในช่องแปรงถ่าน ถูกกดด้วยสปริงเพื่อให้สัมผัสอยู่กับซีคอมมิวเตเตอร์ เพื่อนำกระแสไฟฟ้าออกสู่วงจรรภายนอก แรงกดของสปริงมีผลต่อแปรงถ่านมาก เพราะถ้าแรงกดของสปริงมีค่ามากเกินไปทำให้การสึกหรอของแปรงถ่านเร็ว แต่ถ้าหากแรงกดต่ำเกินไปก็จะทำให้ความต้านทาน ตรงจุดสัมผัสของแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ มีค่าสูงมาก เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะทำให้เกิดความร้อนสูง และเกิดประกายไฟ โดยทั่วไปแล้วแรงกดของสปริงที่แปรงถ่านจะประมาณ 2.5 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว รูปของแปรงถ่าน และ ช่องใส่แปรงถ่านแสดงตามภาพที่ 2.17

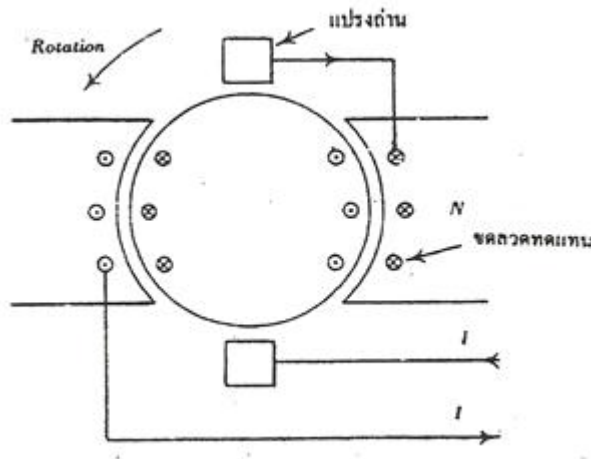


ภาพที่ 2.18 แปรงถ่าน และที่ยึดแปรงถ่าน
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 9)

5. ขั้วแม่เหล็กภายใน (Inter Pole or Commutating Pole) ขั้วแม่เหล็กที่แทรกอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กหลัก (Main Field Pole) พันด้วยขดลวดเส้นใหญ่ความต้านทานต่ำต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์ และภาระ (Load) หน้าที่แก้อาร์เมเจอร์รีแอ็คชั่น หรือ การเกิดประกายไฟ (Spark) ที่แปรงถ่าน ขั้วแม่เหล็กภายใน เป็นขั้วแม่เหล็กเล็กๆอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กหลักหรืออยู่

กึ่งกลางระหว่างขั้วแม่เหล็กเหนือ ขั้วแม่เหล็กใต้หรืออยู่ตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งของแปรงถ่าน ขดลวดของขั้วแม่เหล็กภายในมีทิศทางตรงข้าม กับ ขดลวดอาร์เมเจอร์ ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ภาระ ก็จะทำให้เกิดการหักล้างกันระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดอาร์เมเจอร์และเส้นแรงแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กภายใน ทำให้ประกายไฟที่แปรงถ่านลดลงขั้วแม่เหล็กภายใน

6. ขดลวดชดเชย (Compensating Winding) คือขดลวดที่พันอยู่ในผิวด้านในของขั้วแม่เหล็กขดลวดชดเชยนี้จะเป็นเส้นลวดตัวนำเหมือนกับเส้นลวดของขั้วแม่เหล็กภายใน หรือ จะเป็นแท่งทองแดงหรืออลูมิเนียม ฝังไว้แล้วจึงลัดวงจรที่หัวท้ายตัวนำก็ได้ ขดลวดชดเชยจะมีทิศทางตรงข้ามกับขดลวดอาร์เมเจอร์และ ต่ออนุกรมอยู่กับ ขดลวดอาร์เมเจอร์ และขดลวดแม่เหล็กภายใน ดังนั้นในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ก็จะเป็นกระแสไฟฟ้าจำนวนเดียวกัน ทำให้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกัน และเกิดจากกระแสไฟฟ้าตัวเดียวกันด้วย



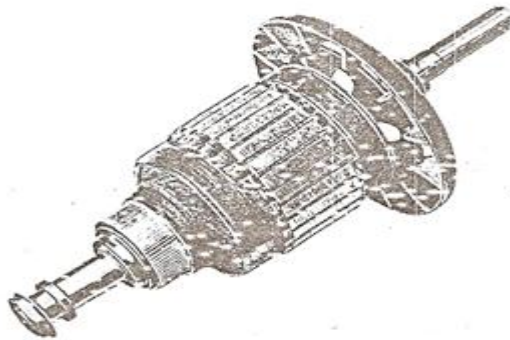
ภาพที่ 2.19 ตำแหน่งของขดลวดชดเชย
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 10)

ส่วนที่เคลื่อนที่

คือ ส่วนที่หมุนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ ที่เราเรียกว่าส่วนที่เป็นโรเตอร์ ส่วนที่หมุนนี้เองที่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นส่วนประกอบที่สำคัญของส่วนที่หมุน หรือ โรเตอร์ มีดังนี้คือ

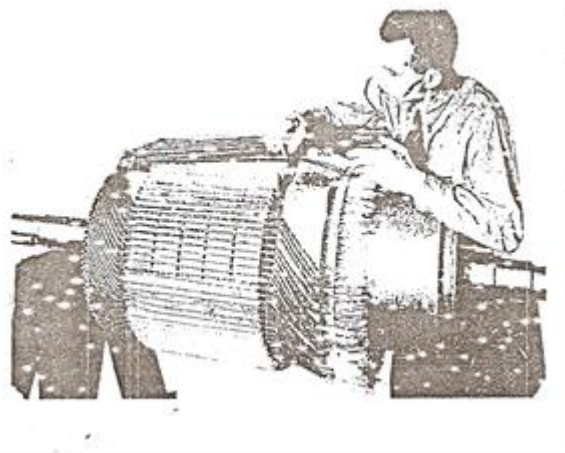
1. แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ที่ใช้สำหรับพันขดลวดลงไปแล้วจึงหาตัวต้นกำลังมาขับให้ตัวนำที่พันอยู่ในร่องก็จะหมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กจากส่วนที่อยู่กับที่ หน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก เพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็ก จากขั้วแม่เหล็กหลักคือขั้วเหนือ ผ่านช่องอากาศเข้าไปยังตัวหมุนหรือโรเตอร์ แล้วผ่านช่องอากาศ และกลับไปยังขั้วแม่เหล็กหลักขั้วใต้ โดยผ่านโยคแล้วกลับไปยัง ขั้วแม่เหล็กหลักขั้วเหนืออีกทีแกนเหล็กของตัวหมุน จะมีค่าความต้านทานทางแม่เหล็กต่ำ โครงสร้างโดยรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแสดงตามภาพที่ 2.19 ที่แสดงให้เห็นส่วนที่เป็นโรเตอร์ หรือ ทุ่นอาร์เมเจอร์ รูปร่างของทุ่นอาร์เมเจอร์ จะเป็นรูปทรงกระบอกซึ่งจะประกอบด้วยแผ่นเหล็กเหนียวเป็นวงกลมหลายแผ่นอาบด้วย

ฉนวน แล้วนำเอามาอัดต่อกันให้แน่นเป็นท่อนอาร์เมเจอร์ และ ที่พื้นผิวด้านนอกจะเจาะเป็นร่อง (Slot) ไปตามผิวของทรงกระบอกนั้นตรงกลางจะเจาะเป็นรูเพื่อ เอาไว้ใส่เพลลา (Shaft) แล้วก็บากเป็นร่องสี่เหลี่ยมของรูที่เจาะ เพื่อใส่ตัวล็อก (Lock) เพื่อที่ไม่ให้เกิดการเลื่อนระหว่างแกนเหล็กและท่อนอาร์เมเจอร์ นอกจากนี้ยังเจาะรู ระบายอากาศ (Air Hole) ทะลุ ตามความยาวเพื่อระบายความร้อนด้วย ตรงส่วนปลายของท่อนอาร์เมเจอร์ด้านหนึ่งจะมีซี่คอมมิวเตเตอร์ติดอยู่ที่เพลลา โดยมีซี่คอมมิวเตเตอร์และเพลลาจะทำให้ไม่ถึงกันโดยการขึ้นด้วยฉนวนส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของท่อนอาร์เมเจอร์จะติดไว้ด้วยพัลลมเพื่อช่วยระบายอากาศเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงาน ลักษณะของท่อนอาร์เมเจอร์แดงตามภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 11)

2. ขดลวดอาร์เมเจอร์ คือขดลวดที่พันอยู่ในร่องบนผิวของท่อนอาร์เมเจอร์ ขดลวดอาร์เมเจอร์จะพันด้วยลวดทองแดงอาบน้ำยาเป็นฉนวนลวดทองแดงนี้อาจจะกลมหรือเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยมก็ได้ การที่พันขดลวดอาร์เมเจอร์ลงในร่องบนผิวของท่อนอาร์เมเจournั้นอาจจะทำได้โดยใช้กระดาษรองในร่องเสียก่อนแล้วก็พันขดลวดลงไป แล้วปิดร่องด้วยไม้หรือไฟเบอร์ก็ได้หรืออาจจะพันขดลวดให้เป็นรูปตามขนาดที่ต้องการก่อนก็ได้ แล้วจึงบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ลงในร่อง ความกว้างของขดลวดคือระยะห่างของขดลวดจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งเท่ากับระยะห่างของขั้วแม่เหล็ก ในการพันขดลวดอาร์เมเจอร์อาจจะพันแบบรูปคลื่น (Wave) หรือแบบเหลื่อม (Lap) ก็ได้ ตรงปลายทั้งสองข้างของขดลวดก็จะถูกบัดกรีให้ติดกับซี่คอมมิวเตเตอร์ ปกติแล้วขดลวดจะถูกดัดแปลงให้ได้รูปร่างที่เหมาะสมแล้วนำไปใส่ลงใน ร่องของอาร์เมเจอร์ที่มีแนวร่องรับอยู่ในแต่ละร่อง แล้วทำการพันแผ่นฉนวนที่ใส่ไว้ในร่องพันขดลวดที่ใส่ลงไปหลังจากนั้นก็อัดฉนวนที่พันลงไปด้วยไม้ หรือแผ่นไฟเบอร์ (Fiber) เพื่อจะไม่ให้ตัวนำหลุดออกมาในขณะอาร์เมเจอร์หมุน การลงขดลวดในร่องอาร์เมเจอร์แสดงตามภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 การพันขดลวดอาร์เมเจอร์
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 12)

3. ชีคคอมมิวเตเตอร์ รูปร่างของคอมมิวเตเตอร์เป็นรูปทรงกระบอก ที่ประกอบด้วยชีทองแดงหลายชีมาต่อรวมกัน ซึ่งที่ชีทองแดงเหล่านี้จะถูกแยกจากกันด้วยแผ่นฉนวน ที่เป็นพวกไมก้า (mica) แต่ละชี จะต่อไปยังตัวของคอมมิวเตเตอร์ เพื่อเป็นการง่ายต่อการที่จะบัดกรีสายตัวนำที่พันในร่อง ของทุนอาร์เมเจอร์เพื่อความสะดวก ในการจะนำเอากระแสไฟฟ้าจากขดลวดอาร์เมเจอร์ ออกสู่วงจรภายนอก ดังนั้นหน้าที่ของชีคคอมมิวเตเตอร์ก็คือการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

เครื่องกำเนิดแบบแม่เหล็กถาวร เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่ต้องอาศัย แหล่งจ่ายไฟฟ้ามากระตุ้นให้เกิดสนามแม่เหล็ก แต่อาศัยสนามแม่เหล็กจาก แม่เหล็กถาวรที่อยู่ในเครื่องกำเนิด และเมื่อ Armature ถูกขับเคลื่อนด้วยตัวต้นกำลัง (Primer) ขดลวด Armature จะตัดกับสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวร ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ Armature ตามสมการ(ไชยชาญ หินเกิด,2539)

โดยที่	E_g	=	$(Z\phi n/60)*P/a$ หรือ $K\phi n$
	K	=	$(ZP/60a)$
	E_g	=	แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นใน Armature
	ϕ	=	flux ต่อขั้ว
	P	=	จำนวนขั้ว
	a	=	Parallel Path
	Z	=	จำนวนตัวนำทั้งหมดบน Armature
	n	=	ความเร็วรอบในการหมุน

จากสมการจะเห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำบน Armature จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนเท่านั้น โดยที่เราไม่สามารถปรับ flux แม่เหล็กได้เนื่องจากเครื่องกำเนิดเป็นแบบแม่เหล็กถาวร

เมื่อเครื่องกำเนิดจ่ายโหลด เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันที่ขั้วลดลงเพราะแรงเคลื่อนตกคร่อมภายใน Armature และผลของ Armature reaction ตามสมการ(ไชยชาญ หินเกิด,2539)

$$V_t = E_g - I_a R_a$$

เมื่อ

$$V_t = \text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้ว}$$

$$E_g = \text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ}$$

$$I_a = \text{กระแสที่ไหลผ่านขดลวด Armature}$$

$$R_a = \text{ความต้านทานภายในขดลวด}$$

9. การสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Power Losses In Generator)

ในขบวนการแปลงสภาพพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล จะมีการสูญเสียเกิดขึ้นในรูปของพลังงานความร้อนเสมอการสูญเสียนี้นี้มาจากความต้านทานที่มีอยู่ในวงจรไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กและการเสียดทานทางกล การสูญเสียเหล่านี้ถึงแม้จะไม่มีผลต่อการแปลงสภาพพลังงาน แต่จะมีผลทางด้านปฏิบัติมากเนื่องมาจากสาเหตุหลัก 2 ประการคือ

1. การสูญเสียนี้นี้มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักรไฟฟ้าคือมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องจักรไฟฟ้านั้น

2. การสูญเสียซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนจะมีผลต่ออุณหภูมิของเครื่องจักรไฟฟ้านั้น ดังนั้น “การสูญเสียจึงเป็นตัวกำหนดขีดความสามารถสูงสุด ที่เครื่องใช้ไฟฟ้าจะทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่เกิดความเสียหาย” การสูญเสียในเครื่องจักรไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ 3 พวกใหญ่ๆ คือ

1. การสูญเสียจากเส้นลวดทองแดง (Copper Losses) คือ การสูญเสียจากความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลวดทองแดงมีค่า $(I)^2 R$ วัตต์เมื่อ I คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานของเส้นลวดทองแดง ที่พันอยู่บนตัวหมุนหรือโรเตอร์ ความต้านทานของลวดทองแดงที่อยู่บนตัวที่อยู่กับที่ ของเครื่องจักรไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซินโครนัสและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาน การสูญเสียจากขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก มีค่าคงที่เพราะกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดมีค่าคงที่ ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Motor) มอเตอร์ไฟฟ้าต่ออนุกรมการสูญเสียในขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก และขดลวดอาร์เมเจอร์ ก็จะเปลี่ยนแปลงตามค่าของภาระที่นำมาต่อ การสูญเสียจากทองแดงยังแยกออกเป็นแต่ละจุดของขดลวดได้อีกดังต่อไปนี้คือ

1.1 การสูญเสียที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งหาได้จาก $(I_a)^2 R_a$ วัตต์ เมื่อ R_a คือความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ ความต้านทานของขดลวดขั้วแม่เหล็กภายในความต้านทาน

ที่ขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอนุกรมซึ่งขดลวดทั้งสามขดนี้จะต่ออนุกรมกันอยู่การสูญเสียนี้มีค่าประมาณ 30-40 % ของการสูญเสียเมื่อจ่ายภาระเต็มที่

1.2 การสูญเสียจากขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กแบบขนานหาได้จาก (If) 2Rf
 วัดเมื่อ If คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กแบบขนาน Rf คือค่าความต้านทานของขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขนาน

1.3 การสูญเสียจากขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กแบบอนุกรมหาได้จาก (I) 2
 Rs วัดเมื่อ I คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดอนุกรม Rs คือความต้านทานของขดลวดสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอนุกรม

2. การสูญเสียในแกนเหล็กคือ การสูญเสียอันเนื่องมาจากไฟฟ้าไหลวนและฮิสเตอร์ซิสสำหรับเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสสลับนั้นการสูญเสียนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดขึ้นบนแกนเหล็กของสเตเตอร์ การเปลี่ยนแปลงขั้วแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลาตามเวลาไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนของเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงการสูญเสียนี้อาจเกิดขึ้นมากบนแกนเหล็กของโรเตอร์ แต่การสูญเสียนิดนี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยการใช้เหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกันหลายแผ่นแทนเหล็กตัน เครื่องจักรไฟฟ้าทุกชนิด (ยกเว้นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอนุกรม, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนานที่เปลี่ยนความเร็วรอบได้และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงผสม) การสูญเสียนี้นี้มีค่าคงที่เสมอไม่ขึ้นอยู่กับภาระที่นำมาต่อ การสูญเสียในแกนเหล็กยังแบ่งย่อยได้อีกคือ

2.1 การสูญเสียจากการกลับตัวของโมเลกุลแม่เหล็ก เกิดจากการกลับขั้วของแม่เหล็กที่โรเตอร์ทำให้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กบนอาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยที่อาร์เมเจอร์หมุนผ่านจากภายใต้อิทธิพลของขั้วเหนือแล้วเปลี่ยนไปยังขั้วใต้ และจากขั้วใต้นี้ก็จะกลับไปยังขั้วเหนือเช่นเดิมอีกเป็นเช่นนี้เรื่อยไปตลอดเวลาที่มีการหมุนของอาร์เมเจอร์ ดังนั้นจึงทำให้แกนเหล็กได้รับการกลับขั้วแม่เหล็กครบหนึ่งรอบพอดี เมื่อมันหมุนผ่านขั้วแม่เหล็กไป 1 คู่ นั่นเองถ้าหาก P เป็นจำนวนขั้วแม่เหล็กและ S เป็นความเร็วรอบของการหมุนไป มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที แล้วจะได้ว่าจำนวนความถี่ (f) ของการกลับตัวของเส้นแรงแม่เหล็กนี้คือ $f = Ps/120$ รอบต่อนาที การสูญเสียนี้นี้ขึ้นอยู่กับปริมาตร และเกรดของแกนเหล็กที่ทำแกนความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่สูงที่สุด และความถี่ของการกลับตัวของเส้นแรงแม่เหล็ก หาได้จากสูตรของ Steinmetz ดังนี้คือ

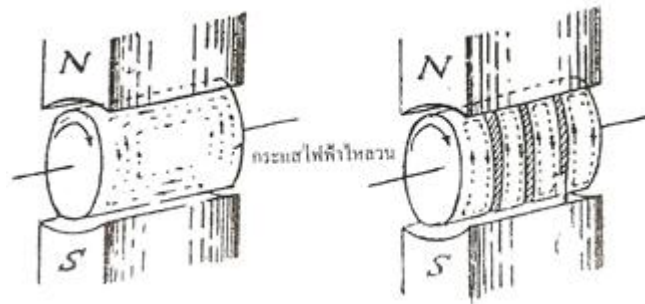
$$W_h = (B_m)^{1.6} F V \text{ Joules/sec (Watts)}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของแกนเหล็ก ลูกบาศก์เมตร (m)³

F คือ สัมประสิทธิ์ของ Steinmetz

ค่าของ F สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ดีซึ่งใช้ Sheet Steel จะมีค่า 502.4 และถ้าใช้ Silicon Steel จะมีค่าเป็น 191

2.2 การสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนในแกนเหล็ก (Eddy Current Loss) เมื่อให้ขดลวดอาร์เมเจอร์หมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นภายในแกนเหล็ก ตามกฎของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า แม้ว่าจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นเป็นจำนวนเล็กน้อยภายในแกนเหล็กก็ตาม แต่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนจำนวนมากภายในแกนเหล็กนี้ได้



ก. เมื่อเป็นแกนเหล็กตัน ข. เมื่อเป็นแกนเหล็กอัดซ้อน

ภาพที่ 2.22 กระแสไฟฟ้าไหลวนในแกนเหล็ก
(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 43)

ทั้งนี้เพราะแกนเหล็กมีความต้านทานต้านตัวเองกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเรียกว่า “กระแสไฟฟ้าไหลวน” หรือ “Eddy Current” กำลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการไหลวนของกระแสไฟฟ้านี้เรียกว่า “Eddy Current Loss” การสูญเสียชนิดนี้จะเกิดขึ้นได้มากกับเหล็กตันที่เป็นท่อนเดียวกันตลอดซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นอันเนื่องมาจากการสูญเสียนี้ เช่นในภาพที่ 2.22ก. แต่เมื่อทำให้แกนเหล็กนั้นเกิดจากเหล็กหลายแผ่นที่เคลือบฉนวนไว้แล้วนำมาต่ออัดเข้าด้วยกันวงจรการไหลของกระแสไฟฟ้าในแกนเหล็กก็จะแคบลงและไหลน้อยลงดังภาพที่ 2.22 ข.

ฉะนั้นเพื่อเป็นการลดการสูญเสียและความร้อนที่เกิดขึ้น ในการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้าใดๆ ทำให้ลดลงได้โดยการทำแกนเหล็กให้เป็นแผ่นบางๆ แล้วนำมาอัดซ้อนกันทั้งนี้เพื่อไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลต่อเนื่องจากแต่ละแผ่นไปยังอีกแผ่นได้แผ่นเหล็กบางเหล่านี้นามาย้ำ หรือ อัดด้วยหมุดโดยให้อยู่ในลักษณะการตั้งฉากกับการไหลของกระแสไหลวนในแกนเหล็กจากผลของการทำเช่นนี้ทำให้ กระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy) ลดลงดังภาพที่ 2.22ข. ส่วนภาพที่ 2.22ก. นั้นแสดงให้เห็นการไหลของกระแสไฟฟ้าไหลวนในแกนเหล็ก ที่มีจำนวนมากเมื่อแกนเหล็กที่ใช้เป็นแท่งเหล็กอันเดียวกันตลอด กระแสไฟฟ้านี้จะมากยิ่งขึ้นเมื่อพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กใหญ่ขึ้น ก็เพราะแกนเหล็กมีความต้านทานลดลงไปนั่นเองในภาพที่ 2.22ข. การหาค่ากำลังงานที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าไหลวน หาได้จากสูตรดังนี้

$$W_e = k (B_m)^2 f^2 t^2 V \quad \text{วัตต์ (Watts)}$$

เมื่อ B_{max} คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด (เส้น/เมตร)

f คือ ความถี่การกลับตัวโมเลกุลแม่เหล็ก (ไซเคิล/วินาที)

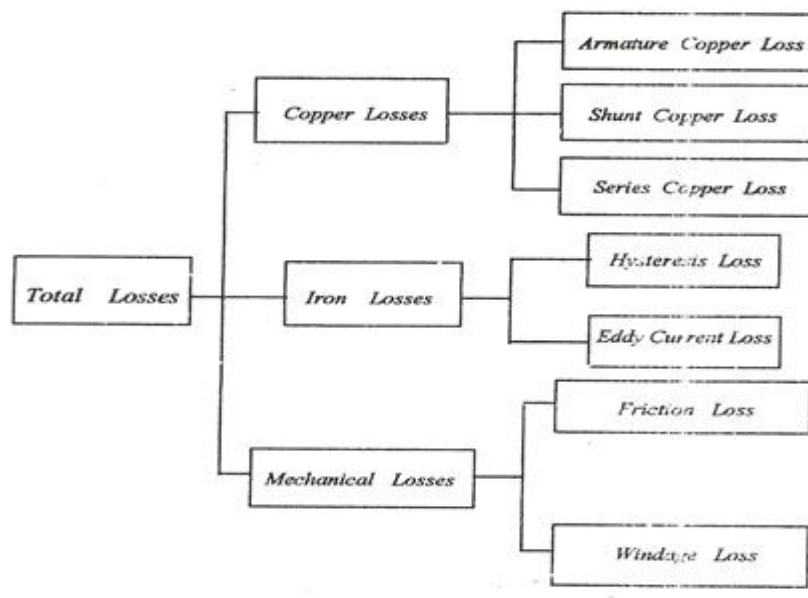
t คือ ความหนาแน่นของแผ่นเหล็ก (ซม.)

V คือ ปริมาตรของแกนเหล็ก (ม)³

k คือ ค่าคงที่ในการเกิดกระแสไฟฟ้าไหลวน

$$= 13.6 \text{ Watt/c.c. (P.237,E. Tech by H. Cotton)}$$

จากสมการพบว่าการสูญเสียเปลี่ยนแปลงไปกับความหนาแน่นของแผ่นเหล็กยกกำลังสอง ดังนั้นจึงต้องทำให้แผ่นเหล็กที่นำมาทำแกนให้บางที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังที่ได้กล่าวมาตอนต้น การสูญเสียในแกนเหล็ก ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงไม่เพียงแต่จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรไฟฟ้าลดลงไปเท่านั้น แต่ยังจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นโดยเฉพาะเมื่อเครื่องจักรไฟฟ้าจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับภาระ (Output) กำลังงานไฟฟ้าง่ายดังกล่าว ถูกจำกัดปริมาณความร้อนที่สูงขึ้น ฉะนั้น จึงต้องพยายามลดการสูญเสียให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามการสูญเสียในแกนเหล็กนี้ในเครื่องจักรไฟฟ้าทั่วไปจะมีค่าประมาณ 20-30% ของการสูญเสียที่เกิดขึ้น เมื่อเครื่องจักรไฟฟ้าจ่ายกำลังงานเต็มที่ (Full Load Losses)



ภาพที่ 2.23 แสดงการสูญเสียในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

(ที่มา ณรงค์ นันทวรรณ.2542 หน้า 46)

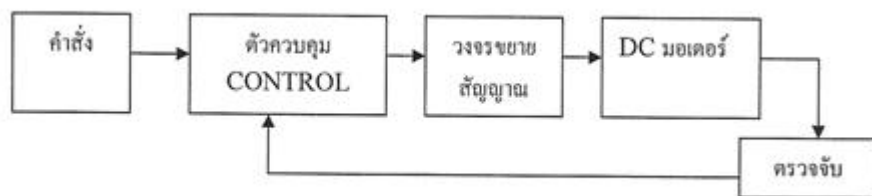
3. การสูญเสียทางกล (Mechanical Losses) คือ การสูญเสียที่เกิดจากการหมุนของโรเตอร์ การสูญเสียทางกลนี้คือการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเสียดทานตรงตลับลูกปืน ลมด้านที่ใบพัดที่ติดอยู่กับตัวโรเตอร์เพื่อช่วยในการระบายความร้อน การสูญเสียในแกนเหล็ก เรียกว่าการสูญเสียจากการหมุน (Rotational Loss) การสูญเสียนี้โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 10-20% ของการสูญเสียเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ภาระเต็มที่ การสูญเสียนี้จะมีค่าคงที่ถ้าความเร็วรอบของโรเตอร์คงที่ การสูญเสียทางกลยังแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ

3.1 การสูญเสียจากแรงเสียดทานที่ตลับลูกปืนและคอมมิวเตเตอร์ (Friction Loss)

3.2 การสูญเสียเนื่องจากแรงต้านทานจากใบพัดลม (Windage Loss)

10. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ(PWM)

เมื่อเราพูดถึงเรื่องของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสิ่งที่เราจะต้องคำนึงถึงทันทีก็คือเรื่องความเร็วรอบของการหมุน ต้องคิดว่าทำอย่างไรจึงจะควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ และในขณะเดียวกันต้องคิดถึงแรงบิดที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสร้างขึ้นมามีคุณลักษณะอย่างไร เมื่อต้องการที่จะศึกษาถึง วิธีควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่างๆ เพื่อจะได้ทราบถึงคุณลักษณะเฉพาะตัวของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแต่ละแบบจะได้เป็นประโยชน์ในการที่จะนำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไปใช้งานรายละเอียดของการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นทางคณะผู้ศึกษาค้นคว้า จะขอยกตัวอย่างการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ PWM

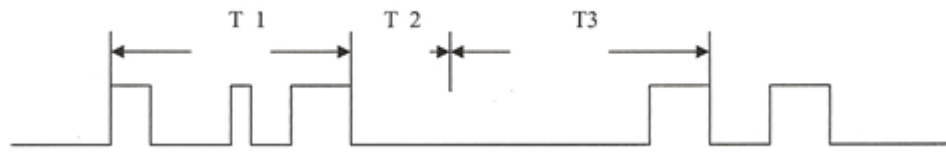


ภาพที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบพื้นฐาน
(ที่มา <http://introduction-pwm.blogspot.com/>)

โดยทั่วไปแล้วเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงตัวมันจะหมุนด้วยความเร็วสูงสุดที่จะสามารถหมุนได้ในค่าแรงดันไฟฟ้าค่านั้นๆ การควบคุมความเร็วจะทำได้โดยการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ แต่การทำงานแบบนี้จะต้องจ่ายแรงไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีการใช้วิธีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็นช่วงๆ ให้กับมอเตอร์แทนถ้าหากช่วงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าและหยุดการจ่ายแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกันไปก็จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์แตกต่างกันไปด้วย การควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้มีการใช้งานอยู่ 2 ลักษณะคือ แบบ Pulse – Frequency Modulation (PFM) และแบบ Pulse – Width Modulation (PWM)

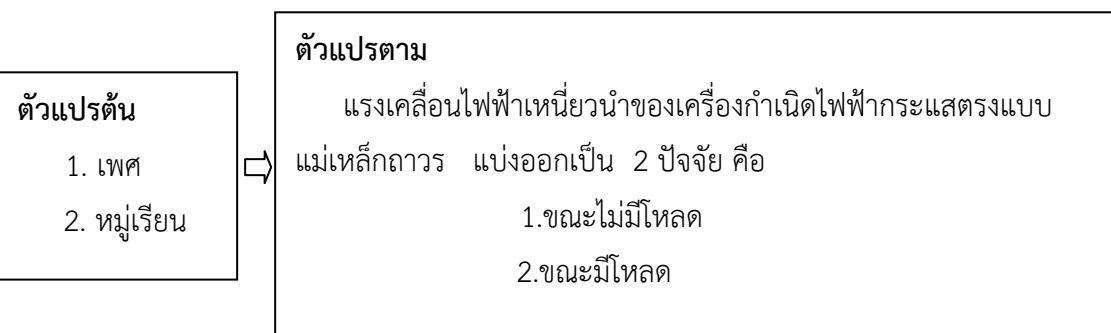
1.การควบคุมความเร็วรอบแบบ Pulse - Frequency Modulation (PFM)
การทำงานแบบนี้จะควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าและหยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพื่อ เปิด-ปิดมอเตอร์เป็นช่วงๆ การทำงานแบบนี้จะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์ได้รับมีค่าแตกต่างกันไป ความเร็วรอบของมอเตอร์ก็จะขึ้นอยู่กับเปิด-ปิดมอเตอร์นี้ แต่ความถี่ของสัญญาณควบคุมจะไม่แน่นอน

2.การควบคุมความเร็วรอบแบบ Pulse – Width Modulation (PWM)
การควบคุมแบบ PWM นี้จะใช้ความถี่ในการควบคุมที่คงที่ แต่จะปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์โดยวิธีการ (Duty Cycle) ดังแสดงในภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 สัญญาณควบคุมมอเตอร์ด้วยวิธี PFM
(ที่มา <http://introduction-pwm.blogspot.htm>)

กรอบแนวคิดของการวิจัย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

- 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม หมู่เรียน 5511021351 จำนวน 30 คนและหมู่เรียน 5511021352 จำนวน 26 คน รวมทั้งหมด จำนวน 56 คน คือ

ตารางที่ 1 จำนวนนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม	จำนวน	ร้อยละ
1. นักศึกษาหมู่เรียน 5511021351	30	53.57
2. นักศึกษาหมู่เรียน 5511021352	26	46.43
รวม	56	100.00

จากตารางที่ 1 แสดงว่า นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประชากร จำนวน 56 คน ส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาหมู่เรียน 5511021351 จำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 53.57 และน้อยที่สุดคือ นักศึกษาหมู่เรียน 5511021352 จำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 46.43

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม หมู่เรียน 5511021351 จำนวน 30 คนและหมู่เรียน 5511021352 จำนวน 26 คน

รวมทั้งหมด จำนวน 56 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้การสุ่มกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มแบบอิงความน่าจะเป็น จากจำนวนนักศึกษาทั้ง 2 หมู่เรียน เนื่องจากจำนวนนักศึกษามีน้อย และได้กำหนดขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ 0.05

ตารางที่ 2 ประชากร กลุ่มตัวอย่าง นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม	ประชากร			กลุ่มตัวอย่าง		
	ชาย	หญิง	รวม	ชาย	หญิง	รวม
1. นักศึกษาหมู่เรียน 5511021351	29	1	30	29	1	30
2. นักศึกษาหมู่เรียน 5511021352	25	1	26	25	1	26
รวม	54	2	56	54	2	56

จากตารางที่ 6 แสดงว่า นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 56 คน ส่วนใหญ่เป็นนักศึกษานักศึกษาหมู่เรียน 5511021351 จำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 53.57 และน้อยที่สุด คือ นักศึกษาหมู่เรียน 5511021352 จำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 46.43

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาโดยการศึกษาเอกสารต่างๆ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม ได้แก่ เพศ หมู่เรียน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ตอนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นอื่นๆที่เกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ขั้นตอนในการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การสร้างเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความคิดเห็นของบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการสร้างแบบสอบถาม

2. นำข้อมูลจากการศึกษามาวិเคราะห์ตามทฤษฎี สร้างแบบสอบถาม โดยแยกลักษณะของการศึกษา แบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ

2.1 ขณะไม่มีโหลด

2.2 ขณะมีโหลด

3. นำแบบสอบถามที่ได้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน พิจารณาเพื่อหาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (content validity) และทำการปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญโดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (index of Item Objective Congruence : IOC) ซึ่งคัดเลือกเฉพาะข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.5 มาใช้ โดยใช้สูตร

สูตร ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) = $\frac{\text{ผลรวมของคะแนนของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน}}{\text{จำนวนของผู้เชี่ยวชาญ}}$

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

โดยที่ IOC คือ ดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ คือ ผลรวมของคะแนนของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน

N คือ จำนวนของผู้เชี่ยวชาญ

คัดเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป ในที่นี้ผู้วิจัยได้เลือกทั้งหมดทุกข้อ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน มีดังนี้

- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 สิบโท ดร. พิศุทธิ์ บัวเปรม
คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2 ดร. บุญช่วย สุทธิรักษ์
อาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีอุตสาหกรรมก่อสร้าง
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3 นายสุเมธ สงวนใจ
หัวหน้าวิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4 นายเสริมศักดิ์ ทิพย์วงศ์
อาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5 นายสุวิชา พุทธรัตน์
อาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

4 นำแบบสอบถามที่แก้ไขปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้ (Try out) กับกลุ่มตัวอย่าง นักศึกษาวิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม หมู่เรียน 5411021351 จำนวน 30 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม(Reliability) โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ได้ความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.86

5 นำแบบสอบถามไปเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 56 คน

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ตามขั้นตอน ดังนี้

- 3.3.1 ตรวจสอบเอกสารเพื่อความถูกต้อง
- 3.3.2 จัดเตรียมสถานที่ อุปกรณ์ แบบสอบถาม เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.3.3 กำหนดเวลาในการไปเก็บข้อมูล
- 3.3.4 นำแบบสอบถามไปเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ในวิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้า อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- 3.3.5 อธิบายรายละเอียดพร้อมสาธิตการกรอกข้อมูลในแบบสอบถามทั้ง 3 ตอน
- 3.3.6 รวบรวมแบบสอบถามที่ได้ กลับคืนมาด้วยตนเอง
- 3.3.7 นำแบบสอบถามไปวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าทางสถิติที่ต้องการศึกษา

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้จากกลุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบความสมบูรณ์ จากนั้นนำมา วิเคราะห์ หาค่าทางสถิติตามลักษณะที่ต้องการศึกษา ดังนี้

- 3.4.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถาม ตอนที่ 1 เกี่ยวกับข้อมูลทั่วของผู้ตอบ แบบสอบถามมาแจกแจงความถี่และค่าร้อยละ แล้วนำเสนอในรูปแบบตารางประกอบความเรียง
- 3.4.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามตอนที่ 2 ทั้ง 2 ด้านโดยนำแต่ละด้านมาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แล้วนำเสนอในรูปแบบตารางประกอบความเรียง
- 3.4.3 เปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยจำแนกตามเพศชาย เพศหญิง สภาวะไม่มีโหลดและสภาวะมีโหลด
- 3.4.4 นำข้อมูลในตอนที่ 3 ซึ่งเป็นแบบสอบถามข้อเสนอแนะอื่นๆและความเห็นเพิ่มเติมมาวิเคราะห์ จากแบบสอบถามปลายเปิด โดยการสังเคราะห์จัดหมวดหมู่ลำดับของคำตอบ และนำเสนอในรูปแบบความเรียง

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- 3.5.1 สถิติเชิงพรรณนา (Discriptive Statistic)
 - 1.) ค่าร้อยละ(Percentage)
 - 2.) ค่าเฉลี่ย (Mean)
 - 3.) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.5.2 สถิติเชิงอนุมาน (Inferential)

สถิติที่ใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย t – test และ F– test ที่ระดับนัยสำคัญ .05

เกณฑ์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นคำถาม Rating scale ของ Likert method เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีการแบ่งคะแนนเป็น 5 ระดับ คือ

ระดับคะแนน	5	หมายถึง	ความพึงพอใจในการศึกษามากที่สุด
ระดับคะแนน	4	หมายถึง	ความพึงพอใจในการศึกษามาก
ระดับคะแนน	3	หมายถึง	ความพึงพอใจในการศึกษาปานกลาง
ระดับคะแนน	2	หมายถึง	ความพึงพอใจในการศึกษาน้อย
ระดับคะแนน	1	หมายถึง	ความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุด

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลและแจกแจงความถี่ของแบบสอบถาม เพื่อหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของกลุ่มตัวอย่าง การแปลความหมายค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ข้อมูล มีหลักการพิจารณานี้ (บุญชม ศรีสะอาด , 2543 , หน้า 99-100)

ค่าเฉลี่ยระหว่าง	4.51-5.00	หมายถึง	มีความพึงพอใจในการศึกษามากที่สุด
ค่าเฉลี่ยระหว่าง	3.51-4.50	หมายถึง	มีความพึงพอใจในการศึกษามาก
ค่าเฉลี่ยระหว่าง	2.51-3.50	หมายถึง	มีความพึงพอใจในการศึกษาปานกลาง
ค่าเฉลี่ยระหว่าง	1.51-2.50	หมายถึง	มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อย
ค่าเฉลี่ยระหว่าง	1.00-1.50	หมายถึง	มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุด

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยผู้วิจัยได้ไปเก็บข้อมูลแบบสอบถามด้วยตนเอง จำนวน 56 ฉบับ จากแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ จำนวน 56 ฉบับ ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำเสนอข้อมูลเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้แก่ เพศ หมู่เรียน โดยรายงานผลในรูปแบบ ความถี่และค่าร้อยละ

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ

ตอนที่ 3 การทดสอบสมมติฐาน การทดสอบสมมติฐานในการวิจัย ได้มีการทดสอบสมมติฐานดังนี้

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ขณะไม่มีโหลดแตกต่างกัน
2. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ขณะมีโหลดแตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำผลมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำเสนอข้อมูลเป็น 3 ตอน ตามลำดับดังนี้

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้แก่ เพศ สาขาวิชา โดยรายงานในรูปแบบความถี่และค่าร้อยละ

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนความถี่ ค่าร้อยละของข้อมูลทั่วไปและความคิดเห็น ส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตาม เพศ

เพศ	จำนวน	ร้อยละ
1. เพศชาย	54	96.42
2. เพศหญิง	2	3.58
รวม	56	100.00

จากตารางที่ 7 แสดงว่า นักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จำนวน 56 คน ส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาเพศชาย จำนวน 54 คน คิดเป็นร้อยละ 96.42 และเป็นนักศึกษาเพศหญิง จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 3.58

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนความถี่ ค่าร้อยละของข้อมูลทั่วไป และความคิดเห็นส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตาม หมู่เรียน

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม	จำนวน	ร้อยละ
1. นักศึกษาหมู่เรียน 5511021351	30	53.57
2. นักศึกษาหมู่เรียน 5511021352	26	46.43
รวม	56	100.00

จากตารางที่ 4 แสดงว่า นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 56 คน ส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาหมู่เรียน 5511021351 จำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 53.57 และน้อยที่สุดคือ นักศึกษาหมู่เรียน 5511021352 จำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 46.43

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด และขณะมีโหลด

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด ของนักศึกษาเพศชาย ด้านเนื้อหาวิชาแยกเป็นรายข้อดังนี้

ความพึงพอใจในการศึกษา	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ได้รับความรู้ใหม่จากเนื้อหาวิชา	4.82	0.38	มากที่สุด
2. เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ	4.69	0.46	มากที่สุด
3. เนื้อหาวิชามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.33	0.47	มาก
4. เนื้อหาวิชาทันสมัยและทันเหตุการณ์	4.28	0.57	มาก
5. เนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ	4.75	0.44	มากที่สุด
6. เนื้อหาวิชาก่อให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	3.93	0.68	มาก
7. เนื้อหาวิชาไม่ซ้ำซ้อนกับวิชาอื่น	4.56	0.50	มากที่สุด
8. ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน	4.19	0.60	มาก
9. เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้	3.82	0.39	มาก
10. ความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม	4.73	0.45	มากที่สุด
รวม	4.93	0.35	มากที่สุด

จากตารางที่ 5 แสดงว่าความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด ของนักศึกษาเพศชาย ด้านเนื้อหาวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า $\bar{X} = 4.93$ และ S.D. = 0.35 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของนักศึกษาเพศชาย ระดับมากที่สุด คือ ได้รับความรู้ใหม่จากเนื้อหาวิชา โดยมีค่า $\bar{X} = 4.82$ และ S.D. = 0.38 รองลงมาคือเนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ โดยมีค่า $\bar{X} = 4.75$ และ S.D. = 0.44 และรายข้อที่มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุดคือ เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยมีค่า $\bar{X} = 3.82$ และ S.D. = 0.39

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด ของนักศึกษาเพศหญิง ด้านเนื้อหาวิชา แยกเป็นรายข้อดังนี้

ความพึงพอใจในการศึกษา	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ได้รับความรู้ใหม่จากเนื้อหาวิชา	4.60	0.49	มากที่สุด
2. เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ	4.19	0.62	มาก
3. เนื้อหาวิชามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.67	0.47	มากที่สุด
4. เนื้อหาวิชาทันสมัยและทันเหตุการณ์	4.80	0.40	มากที่สุด
5. เนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ	4.80	0.40	มากที่สุด
6. เนื้อหาวิชาก่อให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	4.38	0.77	มาก
7. เนื้อหาวิชาไม่ซ้ำซ้อนกับวิชาอื่น	4.39	0.68	มาก
8. ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน	4.90	0.49	มากที่สุด
9. เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้	4.78	0.42	มากที่สุด
10. ความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม	4.85	0.36	มากที่สุด
รวม	4.90	0.49	มากที่สุด

จากตารางที่ 6 แสดงว่าความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด ของนักศึกษาเพศหญิง ด้านเนื้อหาวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า $\bar{X} = 4.90$ และ S.D. = 0.49 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของนักศึกษาเพศหญิง ระดับมากที่สุด คือ ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน โดยมีค่า $\bar{X} = 4.90$ และ S.D. = 0.49 รองลงมา คือ ความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม โดยมีค่า $\bar{X} = 4.85$ และ S.D. = 0.36 และรายข้อที่มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุด คือ เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ โดยมีค่า $\bar{X} = 4.19$ และ S.D. = 0.62

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษาเพศชาย ด้านเนื้อหารายวิชา แยกเป็นรายข้อดังนี้

ความพึงพอใจในการศึกษา	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ได้รับความรู้ใหม่จากเนื้อหาวิชา	4.29	0.49	มากที่สุด
2. เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ	4.43	0.53	มากที่สุด
3. เนื้อหาวิชาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.29	0.49	มากที่สุด
4. เนื้อหาวิชาทันสมัยและทันเหตุการณ์	4.29	0.49	มากที่สุด
5. เนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ	4.57	0.53	มากที่สุด
6. เนื้อหาวิชาก่อให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	4.29	0.76	มากที่สุด
7. เนื้อหาวิชาไม่ซ้ำซ้อนกับวิชาอื่น	4.14	0.69	มาก
8. ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน	4.00	0.58	มาก
9. เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้	4.71	0.49	มากที่สุด
10. ความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม	4.71	0.49	มากที่สุด
รวม	4.37	0.55	มากที่สุด

จากตารางที่ 7 แสดงว่าความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษาเพศชาย ด้านเนื้อหารายวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า $\bar{X} = 4.37$ และ $S.D. = 0.55$ และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของนักศึกษาเพศชาย ระดับมากที่สุด คือ เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้และความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม โดยมีค่า $\bar{X} = 4.71$ และ $S.D. = 0.49$ รองลงมา คือ เนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ โดยมีค่า $\bar{X} = 4.57$ และ $S.D. = 0.53$ และรายข้อที่มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุด คือ ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน โดยมีค่า $\bar{X} = 4.00$ และ $S.D. = 0.58$

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษาเพศหญิง ด้านเนื้อหาวิชา แยกเป็นรายข้อดังนี้

ความพึงพอใจในการศึกษา	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ได้รับความรู้ใหม่จากเนื้อหาวิชา	4.14	0.38	มาก
2. เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ	4.00	0.58	มาก
3. เนื้อหาวิชาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.29	0.49	มากที่สุด
4. เนื้อหาวิชาทันสมัยและทันเหตุการณ์	4.43	0.53	มากที่สุด
5. เนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ	4.43	0.53	มากที่สุด
6. เนื้อหาวิชาก่อให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	4.57	0.53	มากที่สุด
7. เนื้อหาวิชาไม่ซ้ำซ้อนกับวิชาอื่น	4.57	0.53	มากที่สุด
8. ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน	4.86	0.38	มากที่สุด
9. เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้	4.86	0.38	มากที่สุด
10. ความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม	4.86	0.38	มากที่สุด
รวม	4.50	0.51	มากที่สุด

จากตารางที่ 8 แสดงว่าความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษาเพศหญิง ด้านเนื้อหาวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า $= 4.50$ และ S.D. $= 0.51$ และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของนักศึกษาเพศหญิง ระดับมากที่สุด คือ ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน / เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้และความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม โดยมีค่า $= 4.86$ และ S.D. $= 0.38$ รองลงมา คือ เนื้อหาวิชาก่อให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ / เนื้อหาวิชาไม่ซ้ำซ้อนกับวิชาอื่น โดยมีค่า $= 4.57$ และ S.D. $= 0.53$ และรายข้อที่มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุด คือ เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ โดยมีค่า $= 4.00$ และ S.D. $= 0.58$

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด ของนักศึกษาเพศชาย ($n = 54$) และเพศหญิง ($n = 2$) ด้านเนื้อหาวิชา แยกเป็นเพศ ดังนี้

เพศ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. เพศชาย	4.93	0.35	มากที่สุด
2. เพศหญิง	4.90	0.49	มากที่สุด
รวม	4.91	0.37	มากที่สุด

จากตารางที่ 9 แสดงว่า แสดงว่าความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด ของนักศึกษาเพศชายและเพศหญิง ด้านเนื้อหารายวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า $\bar{X} = 4.91$ และ S.D. = 0.37 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของเพศชาย ด้านเนื้อหารายวิชา อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า $\bar{X} = 4.93$ และ S.D. = 0.35 และรองลงมาความพึงพอใจในการศึกษาของเพศหญิง ด้านเนื้อหารายวิชา อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า $\bar{X} = 4.90$ และ S.D. = 0.49

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษาเพศชาย ($n = 54$) และเพศหญิง ($n = 2$) ด้านเนื้อหารายวิชา แยกเป็นเพศ ดังนี้

เพศ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. เพศชาย	4.37	0.55	มากที่สุด
2. เพศหญิง	4.50	0.51	มากที่สุด
รวม	4.43	0.53	มากที่สุด

จากตารางที่ 10 แสดงว่า แสดงว่าความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษาเพศชายและเพศหญิง ด้านเนื้อหารายวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า = 4.43 และ S.D. = 0.53 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของเพศหญิง ด้านเนื้อหารายวิชา อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า = 4.50 และ S.D. = 0.51 และรองลงมาความพึงพอใจในการศึกษาของเพศชาย ด้านเนื้อหารายวิชา อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า = 4.37 และ S.D. = 0.55

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ในสภาวะขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด ดังนี้

สภาวะ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ขณะไม่มีโหลด	4.91	0.37	มากที่สุด
2. ขณะมีโหลด	4.43	0.53	มากที่สุด
รวม	4.67	0.45	มากที่สุด

จากตารางที่ 10 แสดงว่า แสดงว่าความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด และขณะมีโหลด โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า = 4.67 และ S.D. = 0.45 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาในสภาวะไม่มีโหลด อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า = 4.91 และ S.D. = 0.37 และรองลงมาความพึงพอใจในการศึกษาในสภาวะมีโหลด อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า = 4.43 และ S.D. = 0.53

ตอนที่ 3 การทดสอบสมมติฐานในการวิจัย โดยมีการทดสอบสมมติฐานดังนี้

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ต่างกัน ขณะไม่มีโหลดต่างกัน
2. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ต่างกัน ขณะมีโหลดต่างกัน

สมมติฐานข้อที่ 1

H_0 : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ต่างกัน ขณะไม่มีโหลดต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

H_1 : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ต่างกัน ขณะมีโหลดต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติทดสอบ t-test เปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร แยกเป็นรายด้านเนื้อหารายวิชา ในสภาวะขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด จำแนกเพศ

ด้านเนื้อหารายวิชา	จำแนกเพศ				t	Sig.
	ชาย($n=54$)		หญิง($n=2$)			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. ขณะไม่มีโหลด	4.93	0.35	4.90	0.49	1.55	0.12
2. ขณะมีโหลด	4.37	0.55	4.50	0.51	0.85	0.22
รวม	4.65	0.45	4.70	0.50	1.20	0.17

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 12 แสดงว่า นักศึกษาที่มีเพศต่างกันมีการเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยรวมเพศชาย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.65 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.45 เพศหญิง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.70 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.50 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.70 มากกว่าเพศชาย ($\bar{X}$) 4.65 แตกต่างกัน

ผลลัพธ์จากการประมวลผล แสดงว่าสถิติพื้นฐานของตัวแปรขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.17 ซึ่งมีความมากกว่า 0.05 (Sig.> 0.05) แสดงว่าเพศชายและเพศหญิงมีความไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานข้อที่ 1

H_0 : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ต่างกัน ขณะไม่มีโหลดต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในสภาวะขณะไม่มีโหลด เพศชาย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.93 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.35 เพศหญิง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.90 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.49 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.90 น้อยกว่าเพศชาย ($\bar{X}$) 4.93 ไม่แตกต่างกัน

ผลลัพธ์จากการประมวลผล แสดงว่าสถิติพื้นฐานของตัวแปรขณะไม่มีโหลดและ ขณะมีโหลด มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.12 ซึ่งมีความมากกว่า 0.05 (Sig.> 0.05) แสดงว่าเพศชายและเพศหญิงมีความไม่แตกต่างกัน

นั่นคือ ขณะไม่มีโหลด เพศชายและเพศหญิงมีความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สมมติฐานข้อที่ 2

H_1 : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ต่างกัน ขณะมีโหลดต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขณะมีโหลด เพศชาย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.37 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.55 เพศหญิง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.50 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.51 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเพศหญิง ($\bar{X}$) 4.50 มากกว่าเพศชาย ($\bar{X}$) 4.37 แตกต่างกัน

ผลลัพธ์จากการประมวลผล แสดงว่าสถิติพื้นฐานของตัวแปรด้านปัจจัยกระตุ้นและด้านปัจจัยต้าน มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.22 ซึ่งมีความมากกว่า 0.05 (Sig.> 0.05) แสดงว่าเพศชายและเพศหญิง มีความไม่แตกต่างกัน

นั่นคือ ในสภาวะขณะมีโหลด เพศชายและเพศหญิงมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ในปัจจัย 2 ปัจจัย คือ เพศและหมู่เรียน
2. เพื่อเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ประกอบด้วยนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม หมู่เรียน 5511021351 จำนวน 30 คน และหมู่เรียน 5511021352 จำนวน 26 คน รวมทั้งหมด จำนวน 56 คน โดยกำหนดขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ 0.05 การสุ่มกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มแบบอิงความน่าจะเป็น ส่วนการเลือกตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาโดยการศึกษาเอกสารต่างๆ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้แก่ เพศ หมู่เรียน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด

ตอนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นอื่นๆที่เกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัย เรื่อง ศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยผู้วิจัยได้ไปเก็บข้อมูลแบบสอบถามด้วยตนเอง จำนวน 56 ฉบับ จากแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ จำนวน 56 ฉบับ ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำเสนอข้อมูลเป็น 3 ตอน สรุปได้ดังนี้

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้แก่ เพศ หมู่เรียน โดยรายงานผลในรูปแบบความถี่และค่าร้อยละ พบว่า นักศึกษาที่ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาเพศชาย จำนวน 54 คน คิดเป็นร้อยละ 96.42 และเป็นนักศึกษาเพศหญิง จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 3.58 และพบว่านักศึกษาที่ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาหมู่เรียน 5511021351 จำนวน 30 คน

คิดเป็นร้อยละ 53.57 และน้อยที่สุดคือ นักศึกษาหญิงเรียน 5511021352 จำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 46.43

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด ดังนี้

1. ขณะไม่มีโหลด ความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด ของ นักศึกษาเพศชาย จำนวน 54 คน ด้านเนื้อหาวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.93 และ S.D. = 0.35 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของนักศึกษาเพศชาย ระดับมากที่สุด คือ ได้รับความรู้ใหม่จากเนื้อหาวิชา โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.82 และ S.D. = 0.38 รองลงมาคือเนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.75 และ S.D. = 0.44 และรายข้อที่มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุดคือ เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 3.82 และ S.D. = 0.39 ของ นักศึกษาเพศหญิง จำนวน 2 คน ด้านเนื้อหาวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.90 และ S.D. = 0.49 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของนักศึกษาเพศหญิง ระดับมากที่สุด คือ ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.90 และ S.D. = 0.49 รองลงมา คือ ความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.85 และ S.D. = 0.36 และรายข้อที่มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุด คือ เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.19 และ S.D. = 0.62

ความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด ของ นักศึกษาเพศชายและเพศหญิง จำนวน 56 คน ด้านเนื้อหาวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.91 และ S.D. = 0.37 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของเพศชาย ด้านเนื้อหาวิชา อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.93 และ S.D. = 0.35 และรองลงมาความพึงพอใจในการศึกษาของเพศหญิง ด้านเนื้อหาวิชา อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.90 และ S.D. = 0.49

2. ขณะมีโหลด ความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของ นักศึกษาเพศชาย จำนวน 54 คน ด้านเนื้อหาวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.37 และ S.D. = 0.55 และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของนักศึกษาเพศชาย ระดับมากที่สุด คือ เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้และความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.71

และ S.D. = 0.49 รองลงมา คือ เนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.57 และ S.D. = 0.53 และรายชื่อที่มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุด คือ ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.00 และ S.D. = 0.58 ของ นักศึกษาเพศหญิง จำนวน 2 คน ด้านเนื้อหาวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.50 และ S.D. = 0.51 และเมื่อพิจารณาเป็นรายชื่อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของนักศึกษาเพศหญิง ระดับมากที่สุด คือ ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน / เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้ และความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.86 และ S.D. = 0.38 รองลงมา คือ เนื้อหาวิชาก่อให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ / เนื้อหาวิชาไม่ซ้ำซ้อนกับวิชาอื่น โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.57 และ S.D. = 0.53 และรายชื่อที่มีความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุด คือ เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.00 และ S.D. = 0.58

ความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะมีโหลด ของนักศึกษาเพศชายและเพศหญิง จำนวน 56 คน ด้านเนื้อหาวิชา โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.43 และ S.D. = 0.53 และเมื่อพิจารณาเป็นรายชื่อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาของเพศหญิง ด้านเนื้อหาวิชา อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.50 และ S.D. = 0.51 และรองลงมาความพึงพอใจในการศึกษาของเพศชาย ด้านเนื้อหาวิชา อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.37 และ S.D. = 0.55

ความพึงพอใจในการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลด และขณะมีโหลด โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.67 และ S.D. = 0.45 และเมื่อพิจารณาเป็นรายชื่อ พบว่าความพึงพอใจในการศึกษาในสภาวะไม่มีโหลด อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.91 และ S.D. = 0.37 และรองลงมาความพึงพอใจในการศึกษาในสภาวะมีโหลด อยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่า ($\bar{X}$) = 4.43 และ S.D. = 0.53

ตอนที่ 3 การทดสอบสมมติฐานในการวิจัย โดยมีการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ต่างกัน ขณะไม่มีโหลดต่างกัน
2. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent-Magnet Generator) ต่างกัน ขณะมีโหลดต่างกัน

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยเรื่องศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง สามารถอภิปรายผลตามประเด็นสำคัญในด้านต่างๆ ดังนี้

1. ขณะไม่มีโหลด เพศชาย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.93 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.35 เพศหญิง มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.90 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.49 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) 4.90 น้อยกว่าเพศชาย ($\bar{X}$) 4.93 ไม่แตกต่างกัน

ผลลัพธ์จากการประมวลผล แสดงว่าสถิติพื้นฐานของตัวแปรขณะไม่มีโหลดและ ขณะมีโหลด มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.12 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 (Sig.> 0.05) แสดงว่าเพศชายและเพศหญิงมีความไม่แตกต่างกัน

นั่นคือ ขณะไม่มีโหลด เพศชายและเพศหญิงมีความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

2. ขณะมีโหลด เพศชาย มีค่าเฉลี่ย($\bar{X}$) 4.37 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.55 เพศหญิง มีค่าเฉลี่ย($\bar{X}$) 4.50 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) 0.51 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเพศหญิง($\bar{X}$) 4.50 มากกว่าเพศชาย($\bar{X}$) 4.37 แตกต่างกัน

ผลลัพธ์จากการประมวลผล แสดงว่าสถิติพื้นฐานของตัวแปรด้านปัจจัยกระตุ้นและด้านปัจจัยค้ำจุน มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.22 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 (Sig.> 0.05) แสดงว่าเพศชายและเพศหญิง มีความไม่แตกต่างกัน

นั่นคือ ในสภาวะขณะมีโหลด เพศชายและเพศหญิงมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการวิจัยเรื่องศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ควรนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนำมาสร้างเป็นแนวทางในการวางแผนนโยบายในการพัฒนาการวิจัยเชิงในรายวิชาและสาขาอื่นต่อไป
2. คณะกรรมการบริหารสาขาวิชา ประธานสาขาวิชา หลักสูตร และ ผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ นำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปวางแผน ปรับปรุง แก้ไข พัฒนาหลักสูตรให้ตรงกับความต้องการของท้องถิ่น
3. อาจารย์ผู้สอนนำไปวางแผน ปรับปรุง แก้ไข พัฒนาการเรียนการสอนเพื่อให้สอดคล้องกับนักศึกษา ชุมชนและท้องถิ่น

ข้อเสนอแนะเพื่อทำการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการวิจัยเปรียบเทียบการพัฒนาการวิจัยเชิงในรายวิชา สาขาวิชาและนักศึกษาหลักสูตรอื่นๆ ของคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ต่อไป
2. ควรมีการวิจัยศึกษาเปรียบเทียบการพัฒนาการวิจัยเชิงในรายวิชา สาขาวิชาหลักสูตรและคณะอื่นๆของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพื่อให้มีงานวิจัยในภาพรวมมากยิ่งขึ้น
3. ควรมีการวิจัยถึงสภาพ ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัยเปรียบเทียบการพัฒนาการวิจัยเชิงในรายวิชา สาขาวิชา หลักสูตร และคณะอื่นๆของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ด้วย
4. ควรมีการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาเปรียบเทียบในการพัฒนาการวิจัยเชิงในรายวิชา ในโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนทุกประเภท ทุกสังกัดเพื่อใช้เปรียบเทียบเป็นเกณฑ์กลางด้วย.

5. ควรมีการวิจัยเกี่ยวกับด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ด้านผู้สอน ด้านกิจกรรมการเรียนการสอน ด้านปัจจัยส่งเสริมการเรียนการสอนและด้านการประเมินผลการเรียนการสอน

แนวทางในการพัฒนาการวิจัย

จากผลการวิจัยเรื่อง ศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ของนักศึกษาภาคปกติ ระดับปริญญาตรี 4 ปี สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม ประจำภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 ในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอสรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางการพัฒนาการเรียนการสอนวิชาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ ดังนี้

ด้านเนื้อหาวิชา

จากผลการวิจัยพอสรุปได้ว่า นักศึกษามีความพึงพอใจในด้านเนื้อหาวิชาอยู่ในระดับมากที่สุด เพราะเนื้อหาวิชามีความทันสมัย ทันเหตุการณ์และน่าสนใจ และสามารถหาความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตจริง แต่ผู้วิจัยก็ควรที่จะเพิ่มเติมทฤษฎีเนื้อหาวิชา สำคัญเพิ่มเติมให้นักศึกษามีความเข้าใจในบทเรียนได้มากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งอธิบายยกตัวอย่างจากสถานการณ์จริงที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาวิชา มาประกอบการเรียนการสอนด้วย

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ในการทบทวนวิจัยเพื่อนำผลการวิจัยมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการเรียนการสอนในรายวิชาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ และในรายวิชาอื่นๆ ต่อไป การวิจัยควรจะทำการศึกษาในทุกภาคการศึกษา เพื่อให้ผู้สอนได้นำผลการวิจัยมาใช้เป็นแนวทางเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน ซึ่งจะทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ ได้ทราบถึงปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะต่างๆ จากการทบทวนวิจัย เป็นการพัฒนาและเพิ่มศักยภาพในตัวผู้สอนอย่างต่อเนื่อง และนักศึกษาที่ได้รับประโยชน์โดยตรงจากการทบทวนวิจัยของผู้สอน ทำให้การเรียนการสอนของผู้สอนมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- เชาว์ อินโย. (2540). งานวิจัย “ความพึงพอใจของนักศึกษาโครงการจัดการศึกษาสำหรับ
บุคลากรประจำการ(กศ.บป) ต่อกระบวนการเรียนการสอนสถาบันราชภัฏเลย”
สถาบันราชภัฏเลย.
- ทิพวัลย์ ศรีจันทร์ และคณะ. (2547). งานวิจัย “การศึกษาผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจ
ในการจัดการเรียนการสอนผ่านระบบวีดีโอคอนเฟอเรนซ์ของการเรียนการสอน
รายวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อคุณภาพชีวิตของนักศึกษาสถาบันราชภัฏสวนดุสิต”
คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏสวนดุสิต.
- สมบูรณ์ สงวนญาติ. (2536). งานวิจัย “การศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อกระบวนการเรียน
การสอน วิทยาลัยครูเทพสตรี”. คณะครุศาสตร์ วิทยาลัยครูเทพสตรี
- สิรินดา วรรณะวิภาต. (2543). งานวิจัย “ความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อสภาพแวดล้อมใน
มหาวิทยาลัยศรีปทุม” มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- สุวัฒนา สุวรรณเขตนิคม. (2538). แนวคิดและรูปแบบเกี่ยวกับการวิจัยในชั้นเรียน.
บพิธการพิมพ์. กรุงเทพฯ.
- สมบูรณ์ ต้นยะ. (2547). การประเมินทางการศึกษา. สุวีริยาสาส์น. กรุงเทพฯ.
- สมลักษณ์ ล้นสุชีพ. (2554) . แรงจูงใจในการเลือกศึกษาต่อวิทยาลัยนานาชาติ
มหาวิทยาลัยมหิดล. ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สมโภชน์ เอี่ยมสุภาษิต. (2545). จิตวิทยาทั่วไป . พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, สถาบันราชภัฏ . 2545 .
- สมบูรณ์ สงวนญาติ. (2536). งานวิจัย “ การศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อ
กระบวนการเรียนการสอน ”.คณะครุศาสตร์ วิทยาลัยครูเทพสตรี
- สมบูรณ์ ต้นยะ. (2547). การประเมินทางการศึกษา. สุวีริยาสาส์น. กรุงเทพฯ.
- สว่างจิตร์ พัทธมณีปกรณ์ . (2551) . เหตุจูงใจในการเลือกเรียนวิชาเอกคอมพิวเตอร์ธุรกิจ
ของนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลในเขตกรุงเทพมหานคร. ปริญญา
นิพนธ์. ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.
- สุกัญญา เกษมศิลป์. (2552) . การสำรวจทัศนคติเกี่ยวกับระบบการสอบคัดเลือกเข้า
ศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุวัฒน์ วัฒนวงศ์. (2549). การศึกษาถึงความหมายของแรงจูงใจ คณะกรรมการการ
อุดมศึกษา. กระทรวงศึกษาธิการ
- สุทิน ทฤษฎีคุณ. (2550) . การศึกษาความต้องการการศึกษาต่อระดับปริญญาตรี สาขาการ
ท่องเที่ยวและการโรงแรม : บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล.
- สุธิดา เกาวิเศษ. (2546). แรงจูงใจในการปฏิบัติงานของพนักงานในบริษัทชายนันท์อควิป
เม้นท์ จำกัด. การค้นคว้าแบบอิสระ ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกริก.
- สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.(2550 ก). การปฏิรูปการศึกษาศึกษาสำนักงาน
คณะกรรมการการอุดมศึกษา. กระทรวงศึกษาธิการ

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามการวิจัย

**แบบสอบถามเรื่อง ศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด**

คำชี้แจง

แบบสอบถามชุดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด การตอบแบบสอบถามนี้ไม่มีผิดหรือถูกและไม่ผลกระทบบต่อการเรียนแต่อย่างใด คำตอบทั้งหมดจะเก็บไว้เป็นความลับ จะมีการประมวลผลและนำเสนอผลการศึกษาวิจัยในภาพรวมเท่านั้น

แบบสอบถามชุดนี้มีทั้งหมด 3 ตอน ประกอบด้วย

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด

ตอนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นอื่นๆที่เกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ผู้วิจัยขอความร่วมมือนักศึกษาตอบให้ตรงกับความรู้สึกและความคิดเห็นของนักศึกษามากที่สุดและโปรดตอบให้ครบทุกข้อ

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามครั้งนี้

นายณรงค์ศักดิ์ แพงสาย

ผู้วิจัย

ตอนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป

คำชี้แจง แบบสอบถามนี้เป็นแบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของนักศึกษา เมื่อนักศึกษาอ่านข้อความแล้ว โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ใน [] และเติมข้อความในช่องว่างให้ตรงกับความเป็นจริง

1. เพศ

[] ชาย

[] หญิง

2. หมู่เรียน

[] หมู่เรียน 5511021351

[] หมู่เรียน 5511021352

ตอนที่ 2 การศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กระแสดร่ง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด

คำชี้แจง : โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความเป็นจริงตามความคิดของท่าน
ในช่องทางขวามือ ช่องใดช่องหนึ่งเพียงช่องเดียวเท่านั้น โดยมีการแบ่งคะแนน
เป็น 5 ระดับ คือ

ระดับคะแนน 5 หมายถึง ความพึงพอใจในการศึกษามากที่สุด
ระดับคะแนน 4 หมายถึง ความพึงพอใจในการศึกษามาก
ระดับคะแนน 3 หมายถึง ความพึงพอใจในการศึกษาปานกลาง
ระดับคะแนน 2 หมายถึง ความพึงพอใจในการศึกษาน้อย
ระดับคะแนน 1 หมายถึง ความพึงพอใจในการศึกษาน้อยที่สุด

ความพึงพอใจในการศึกษา	ระดับคะแนน				
	5	4	3	2	1
ด้านเนื้อหาวิชา					
1. ได้รับความรู้ใหม่จากเนื้อหาวิชา					
2. เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ					
3. เนื้อหาวิชามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์					
4. เนื้อหาวิชาทันสมัยและทันเหตุการณ์					
5. เนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ					
6. เนื้อหาวิชาก่อให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์					
7. เนื้อหาวิชาไม่ซ้ำซ้อนกับวิชาอื่น					
8. ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน					
9. เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้					
10. ความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม					

ตอนที่ 3 แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นอื่นๆที่เกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบ
แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณ
นายณรงค์ศักดิ์ แพงสาย
ผู้วิจัย

ภาคผนวก ข

แบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถาม

**แบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญ
เรื่อง ศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
กระแสตรง**

คำชี้แจง

1. แบบประเมินนี้ใช้ประเมินแบบสอบถามเรื่องการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ของผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น
2. เกณฑ์ในการลงความเห็น มีดังนี้
 - 2.1 ให้คะแนน +1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์
 - 2.2 ให้คะแนน 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์
 - 2.3 ให้คะแนน -1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์
3. โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องความเห็นตามที่ท่านเห็นด้วย
4. หากท่านมีข้อเสนอแนะใดๆโปรดขีดฆ่า หรือเขียนลงในข้อคำถามที่ท่านเห็นสมควรแก้ไข

นายณรงค์ศักดิ์ แพงสาย
ผู้วิจัย

ตอนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป

ข้อ	ความพึงพอใจในการศึกษา	ระดับความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
		+1	0	-1	
1.	เพศ [] ชาย [] หญิง				
2.	หมู่เรียน [] หมู่เรียน 5511021351 [] หมู่เรียน 5511021351				

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด

ข้อ	ความพึงพอใจในการศึกษา	ระดับความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
		+1	0	-1	
ด้านเนื้อหาวิชา					
1.	ได้รับความรู้ใหม่จากเนื้อหาวิชา				
2.	เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ				
3.	เนื้อหาวิชามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์				
4.	เนื้อหาวิชาทันสมัยและทันเหตุการณ์				
5.	เนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพ				
6.	เนื้อหาวิชาก่อให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์				
7.	เนื้อหาวิชาไม่ซ้ำซ้อนกับวิชาอื่น				
8.	ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน				
9.	เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้				
10.	ความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียนโดยภาพรวม				

ภาคผนวก ค

การตอบแบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถาม

**การตอบแบบประเมินคุณภาพของแบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญ
เรื่อง การศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิด
ไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด**

คำชี้แจง

1. แบบประเมินนี้ใช้ประเมินแบบสอบถามเรื่องการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด ของผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น
2. เกณฑ์ในการลงความเห็น มีดังนี้
 - 2.1 ให้คะแนน +1 ถ้าแน่ใจว่าข้อความวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์
 - 2.2 ให้คะแนน 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อความวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์
 - 2.3 ให้คะแนน -1 ถ้าแน่ใจว่าข้อความวัดได้ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์
3. โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องความเห็นตามที่ท่านเห็นด้วย
4. หากท่านมีข้อเสนอแนะใดๆโปรดขีดฆ่า หรือเขียนลงในข้อความที่ท่านเห็นสมควร
แก้ไข

นายณรงค์ศักดิ์ แพงสาย
ผู้วิจัย

จำนวนการแปลความหมายจากผลการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน

ตอนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป

ข้อที่	ความพึงพอใจในการศึกษา	คะแนนความคิดเห็น ผู้เชี่ยวชาญท่านที่					ค่าเฉลี่ย IOC	สรุปผล
		1	2	3	4	5		
1.	เพศ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2.	หมู่เรียน	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
รวม							1	ใช้ได้

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขณะไม่มีโหลดและขณะมีโหลด

ข้อที่	ความพึงพอใจในการศึกษา	คะแนนความคิดเห็น ผู้เชี่ยวชาญท่านที่					ค่าเฉลี่ย IOC	สรุปผล
		1	2	3	4	5		
ด้านเนื้อหารายวิชา								
1.	ได้รับความรู้ใหม่จากเนื้อหาวิชา	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2.	เนื้อหาวิชามีความสำคัญและน่าสนใจ	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
3.	เนื้อหาวิชามีความสอดคล้องกับ วัตถุประสงค์	+1	0	+1	+1	+1	0.8	ใช้ได้
4.	เนื้อหาวิชาทันสมัยและทันเหตุการณ์	+1	+1	0	+1	+1	0.8	ใช้ได้
5.	เนื้อหาวิชาที่เรียนมีประโยชน์ต่อการ ประกอบอาชีพ	+1	0	0	+1	+1	0.6	ใช้ได้
6.	เนื้อหาวิชาก่อให้เกิดความคิดริเริ่ม สร้างสรรค์	0	+1	+1	+1	+1	0.8	ใช้ได้
7.	เนื้อหาวิชาไม่ซ้ำซ้อนกับวิชาอื่น	0	0	+1	+1	+1	0.6	ใช้ได้
8.	ความเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของ ผู้เรียน	+1	+1	0	+1	+1	0.8	ใช้ได้
9.	เนื้อหาวิชานำไปประยุกต์ใช้ได้	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
10.	ความพึงพอใจต่อเนื้อหาวิชาที่ได้เรียน โดยภาพรวม	+1	+1	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
รวม							0.84	ใช้ได้

ภาคผนวก ง

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือวิจัย จำนวน 5 ท่าน

- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 สิบโท ดร. พิศุทธิ์ บัวเปรม
คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2 ดร. บุญช่วย สุทธิรักษ์
อาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีอุตสาหกรรมก่อสร้าง
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3 นายสุเมธ สงวนใจ
หัวหน้าวิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4 นายเสริมศักดิ์ ทิพย์วงศ์
อาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5 นายสุวิชา พุทธรัตน์
อาจารย์วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ภาคผนวก จ

การหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC)

การหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC)

การหาค่า IOC ของผู้เชี่ยวชาญจากการให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแบบสอบถามการวิจัย IOC คือ ค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม หรือค่าสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ หรือเนื้อหา (IOC : Index of item objective congruence) ปกติแล้วจะให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ ตั้งแต่ 3 คนขึ้นไปในการตรวจสอบโดยให้เกณฑ์ในการตรวจพิจารณาข้อคำถาม ดังนี้

ให้คะแนน +1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์

ให้คะแนน 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์

ให้คะแนน -1 ถ้าแน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์

แล้วนำผลคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณหาค่า IOC ตามสูตร

เกณฑ์

1. ข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50-1.00 มีค่าความเที่ยงตรง ใช้ได้
2. ข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.50 ต้องปรับปรุง ยังใช้ไม่ได้

วิธีการหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC)

ตัวอย่าง เช่น ข้อคำถาม ข้อ 1 ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน แต่ละท่าน ให้คะแนนมา คือ +1 ทั้ง 5 ท่าน การหาค่า IOC คือ หาผลรวมของคะแนนในข้อ 1 โดยการบวก $1+1+1+1+1$ เท่ากับ 5 คะแนน แล้วนำมาหารด้วยจำนวนผู้เชี่ยวชาญ คือ ผลรวมคะแนน / จำนวนผู้เชี่ยวชาญ เท่ากับ $5/5 = 1.00$ จากนั้นนำผลไปเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จากผลการหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม IOC แสดงว่า ข้อคำถามมีความเที่ยงตรงสูงนำไปใช้ได้ส่วนข้ออื่น ๆ ก็ทำหลักการเดียวกันทั้งหมดทุกข้อคำถาม

กรณีผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ตัวอย่าง เช่น

ผลคะแนน ทั้ง 5 ท่าน ได้ 5 คะแนน = 1.00 มีค่าความเที่ยงตรง ใช้ได้

ผลคะแนน ทั้ง 5 ท่าน ได้ 4 คะแนน = 0.80 มีค่าความเที่ยงตรง ใช้ได้

ผลคะแนน ทั้ง 5 ท่าน ได้ 3 คะแนน = 0.60 มีค่าความเที่ยงตรง ใช้ได้

ผลคะแนน ทั้ง 5 ท่าน ได้ 2 คะแนน = 0.40 ค่าความเที่ยงตรงต่ำกว่า 0.50 ยังใช้ไม่ได้

ต้องปรับปรุง

ผลคะแนน ทั้ง 5 ท่าน ได้ 1 คะแนน = 0.2 ค่าความเที่ยงตรงต่ำกว่า 0.50 ยังใช้ไม่ได้

ต้องปรับปรุง

การหาค่า IOC สามารถหาได้ทั้งแบบทดสอบ แบบวัด สามารถนำไปใช้ในการหาค่าความเที่ยงตรงของเครื่องมือได้เลย.

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล	นายณรงค์ศักดิ์ แพงสาย
วัน เดือน ปีเกิด	5 เมษายน 2503
สถานที่เกิด	21 หมู่ที่ 3 ตำบลหนองไขว่ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ 67110
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	21 หมู่ที่ 3 ตำบลหนองไขว่ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ 67110
ตำแหน่ง	พนักงานมหาวิทยาลัย สายวิชาการ ระดับตำแหน่งอาจารย์
สถานที่ทำงาน	วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2516	ประถมศึกษาปีที่ 7 โรงเรียนบ้านหนองไขว่ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ 67110
พ.ศ.2519	มัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนหล่มสักวิทยาคม อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ 67110
พ.ศ.2523	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
พ.ศ.2525	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
พ.ศ.2542	วิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000
พ.ศ.2555	ครุศาสตรมหาบัณฑิต(สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000