

เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบหมุนลอยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

SOLAR CELL FLOTING WATER CIRCULATION



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42245
วัน, เดือน, ปี 15 พ.ค. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOLAR CELL FLOTING WATER CIRCULATION



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

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบหมุนลอยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
SOLAR CELL FLOTING WATER CIRCULATION

นักศึกษา

นาย สุภกิจ โภคา เลขประจำตัว 41013394
นาย สุรัชย์ ถิ่นสิริพัฒนกิจ เลขประจำตัว 41013395
นาย สุริยนต์ แก้วอำไพ เลขประจำตัว 41013396

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เรืองศักดิ์ เจริญผ่อง

ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา

2543

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์เรืองศักดิ์ เจริญผ่อง)

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบหมุนลอยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์		
	SOLAR CELL FLOTING WATER CIRCULATION		
นักศึกษา	นาย สุภกิจ	โกคา	เลขประจำตัว 41013394
	นาย สุรัชย์	ถิ่นศิริพัฒน์กิจ	เลขประจำตัว 41013395
	นาย สุริยนต์	แก้วอำไพ	เลขประจำตัว 41013396
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์เรืองศักดิ์ เจริญผ่อง		
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2543		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ วิธีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ เพื่อนำไปจ่ายให้แก่เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบหมุนลอยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ระบบนี้เริ่มต้นจากการนำเอาพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากโซลาร์เซลล์ ไปต่อผ่านวงจรอัดประจุแบตเตอรี่เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่และใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งใช้เป็นพลังงานสำรองในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือเวลากลางคืนพร้อมทั้งจ่ายให้แก่ มอเตอร์ เพื่อนำไปขับเคลื่อนใบพัดค้ำน้ำให้ทำงานต่อไป

Thesis Title	SOLAR CELL FLOTING WATER CIRCULATION		
Student	Mr. Supakit Poca	ID	41013394
	Mr. Surachai Tinsiripattanakit	ID	41013395
	Mr. Suriyon Kaew-Um-Pai	ID	41013396
Advisor	Mr. Ruengsak Jaroenpong		
Academic Year	2000		

ABSTRACT

This report is representing for the process of the useful solar cell and transform it to be the electric power for the direct current 24 volts. That its mainly driving the Solar Cell Floating Water Circulation. The process is starting at the part of solar cell produces the direct current and go through the regulator circuit for leveling the voltage for stabilization, this process is for battery charging and it is use for the back up power whenever no sunshine by the time. It is also supply the power to drive the DC motor to run the fan on making the bubble in the water.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ จากบุคคลหลายๆ ฝ่าย ดังนั้นจึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่าน ดังมีรายนามต่อไปนี้

กราบขอบพระคุณ อาจารย์เรืองศักดิ์ เจริญผ่อง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ผู้ที่ให้ทั้งความรู้ ความช่วยเหลือ คอยดูแล ชี้แนะ ส่งเสริม รวมทั้งให้หลักการและข้อคิดต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์ นับตั้งแต่เริ่มต้นปริญญาานิพนธ์ ตลอดมาจนกระทั่งจบปริญญาานิพนธ์ ทำให้ปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ผศ.อุทัย ศรีธีระวิโรจน์ หัวหน้าภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ ชี้แนะ ส่งเสริม รวมทั้งให้หลักการและข้อคิดต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณเจริญพร วงศ์ประทุม ที่ช่วยเหลือจัดหาเอกสาร พิมพ์เอกสารและให้คำปรึกษาทางด้านเทคนิคการพิมพ์ การจัดรูปเล่มต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณวิโรจน์ วุฒิ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางตัวเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณโยธิน ทองท้วม ที่ช่วยให้คำปรึกษาเรื่องการทำงานของวงจร

ขอขอบคุณ คุณเฉลิมพล บุตรศรี ที่ช่วยเหลือจัดหาเอกสาร

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ น้องๆ ห้อง U2 ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจตลอดการทำปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ คณะผู้จัดทำทั้ง 3 คน ที่ได้พยายามจัดสรรเวลาและสละเวลาที่ทำงาน อันมีค่ายิ่งของพวกท่าน มาร่วมมือร่วมใจกันทำให้ปริญญาานิพนธ์ชิ้นนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีในระดับหนึ่ง

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้กำลังใจตลอดมา

นาย สุภกิจ โภคา

นาย สุรัชย์ ถิ่นศิริพัฒน์กิจ

นาย สุริยนต์ แก้วอำไพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	7
1.3 ขอบเขตของโครงการ	7
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	8
บทที่ 2 เซลล์แสงอาทิตย์	9
2.1 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.2 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำ	11
2.3 การดูดซับพลังงานแสงของสารกึ่งตัวนำ	12
2.4 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.5 การสูญเสียในเซลล์แสงอาทิตย์	16
2.6 การลดการสูญเสียของแสงสะท้อน	19
2.7 คุณสมบัติเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารประกอบกึ่งตัวนำ	20
2.8 การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์	22
บทที่ 3 มอเตอร์	29
3.1 ประเภทของมอเตอร์	29
3.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	30
3.3 การทำงานพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	33
3.4 ชนิดของมอเตอร์กระแสตรง	35
3.5 สมการหลักๆ ของมอเตอร์กระแสตรง	38
3.6 ค่าความสูญเสียในมอเตอร์	39
3.7 สตาร์ทเตอร์และการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง	39
3.8 ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์กระแสตรง	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 แบตเตอรี่	42
4.1 การจ่ายกระแส	43
4.2 ความจุของแบตเตอรี่	43
4.3 การประจุไฟใหม่	44
4.4 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ต้องการในระบบแสงอาทิตย์	44
4.5 ชนิดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	45
4.6 ขนาดของแบตเตอรี่, การคำนวณหาขนาด	45
4.7 การรักษาแบตเตอรี่	46
บทที่ 5 สายพาน, โซลาร์ และ เฟือง	47
5.1 สายพาน	47
5.2 เฟือง	50
บทที่ 6 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (Charge Regulator)	54
บทที่ 7 ความเสถียรของวัตถุที่ลอย (Stability of floating)	55
บทที่ 8 การคำนวณและการออกแบบระบบ	59
8.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array)	59
8.2 Blocking Diode	60
8.3 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (CHARGER REGULATOR)	60
8.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR)	61
8.5 การคำนวณขนาดแบตเตอรี่	61
8.6 ชุดใบพัดตีน้ำ	61
8.7 รูปแบบจำลองของชุดใบพัดตีน้ำและทุ่นลอย	62
8.8 การออกแบบขนาดของชุดใบพัดตีน้ำและทุ่นลอย	63
บทที่ 9 สรุปและวิจารณ์	64
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก ก.	67
ภาคผนวก ข.	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	แสดงชนิดของโซลาร์เซลล์และคุณสมบัติ (ต่อเซลล์)	10
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่างๆ	22
ตารางที่ 2.3	ตัวอย่างเงื่อนไขความสว่างของแสงที่ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ ในการใช้งานกับเครื่องประจุแบตเตอรี่	23
ตารางที่ 2.4	ตัวอย่างในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ	25
ตารางที่ 2.5	อัตรามาตรฐานของการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงกังหันน้ำชัยพัฒนา	3
รูปที่ 1.2 แสดงชัยพัฒนาซูเปอร์ฟองแอร์	5
รูปที่ 1.3 แสดงชัยพัฒนาแอร์เจท	6
รูปที่ 1.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ	8
รูปที่ 2.1 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ	9
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	10
รูปที่ 2.3 ช่วงพลังงานและการเกิด โสลและอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำ	12
รูปที่ 2.4 การเกิด electron-hole pairs	12
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป	14
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์	15
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามืดและแรงดันไฟฟ้าของรอยต่อ p-n โดยพิจารณากรณีมีการรวมตัวของพาหะในชั้นปลอดพาหะ	17
รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์และแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด	18
รูปที่ 2.9 (ก) แสดงอิทธิพลของความต้านทานอนุกรม	19
(ข) อิทธิพลของความต้านทานชั้นดีที่มีต่อลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์	
รูปที่ 2.10 ปรากฏการณ์การแทรกสอดของแสงที่เกิดขึ้นในชั้นป้องกันการสะท้อนแสง ที่มีความหนาเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่นแสง	19
รูปที่ 2.11 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และความหนาของผลึกชนิด Si และ ชนิด GaAs	21
รูปที่ 2.12 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Si AlGaAs/GaAs	21
รูปที่ 2.13 วงจรการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งใช้แบตเตอรี่สำหรับประจุไฟฟ้า	23
รูปที่ 2.14 กราฟลักษณะสมบัติ I-V ของ zener diode	24
รูปที่ 2.15 แสดงวิธีการกำหนดค่าความต้านทาน R_c สำหรับควบคุมกระแสไฟฟ้า	25
รูปที่ 2.16 วิธีการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในเวลากลางวัน	27
รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นโครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมด	30
รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบ โครงสร้างของขั้วสนามแม่เหล็ก	30
รูปที่ 3.3 แสดงร่องสลิตสำหรับฝังขดลวดตัวนำในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์	31
รูปที่ 3.4 (a) เป็นรูปขณะพันลวดล่องสลิตของอาร์เมเจอร์	32
(b) แสดงให้เห็นอาร์เมเจอร์เมื่อพันลวดและประกอบเสร็จแล้ว	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของคอมมิวเตเตอร์	32
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของชุดแปรงถ่าน	33
รูปที่ 3.7 หลักการของมอเตอร์กระแสตรง	33
รูปที่ 3.8 การเกิดแรงทางกลและการหาทิศทางโดยใช้กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง	34
รูปที่ 3.9 ทิศทางแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎมือขวา	35
รูปที่ 3.10 มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น	36
รูปที่ 3.11 มอเตอร์กระแสตรงแบบขั้วแม่เหล็กขนาน	36
รูปที่ 3.12 มอเตอร์กระแสตรงแบบขั้วแม่เหล็กอนุกรม	37
รูปที่ 3.13 มอเตอร์กระแสตรงแบบขั้วแม่เหล็กผสม	38
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะ โครงสร้างเบตเตอร์	42
รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบความดันแบกทานของสายพานลิ่มกับสายพานแบน โดยมีพื้นที่สัมผัสและความดันตั้งฉากขนาดเท่ากัน	47
รูปที่ 5.2 รายละเอียดสายพานลิ่ม	48
รูปที่ 5.3 สายพานลิ่มที่มีรูปตัดของฟันเป็นรูปครึ่งวงกลม และขนาด โดบนสายพาน แต่ขนาดเล็กบนล้อยับ	49
รูปที่ 5.4 ก) โซ่ลูกกลิ้งและชั้นส่วน ข) โซ่เงียบ	50
รูปที่ 5.5 ลักษณะของด้อยฟันเฟือง	51
รูปที่ 5.6 เฟืองเฉียงหรือเฟืองฟันเลื่อย	51
รูปที่ 5.7 เฟืองคอกจอก	52
รูปที่ 5.8 เฟืองหนอน	52
รูปที่ 5.9 แสดงลักษณะเฟืองทั้ง 3 แบบ	53
รูปที่ 6.1 แสดงตัวอย่างวงจร Charge Regulator	54
รูปที่ 7.1 แสดงวัตถุที่ลอยอยู่ในของเหลว	55
รูปที่ 7.2 ลักษณะการลอยตัวของวัตถุ	56
รูปที่ 7.3 การลอยตัวของเรือ	57
รูปที่ 8.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ	59
รูปที่ 8.2 แสดงวงจรอัดประจุเบตเตอร์	60
รูปที่ 8.3 แสดงรูปแบบจำลองของชุดใบพัดคัตน้ำและท่อนลอย ทาง FRONT VIEW	62
รูปที่ 8.4 แสดงรูปแบบจำลองของชุดใบพัดคัตน้ำและท่อนลอย ทาง TOP VIEW	62
รูปที่ 8.5 แสดงรูปแบบจำลองของชุดใบพัดคัตน้ำและท่อนลอย ทาง SIDE VIEW	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา

พระเกียรติคุณประกาศผลงานคิดค้นหรือสิ่งประดิษฐ์
ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ประเทศชาติประจำปี 2536
เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย
หรือ “กังหันน้ำชัยพัฒนา”

“ด้วยคณะกรรมการบริหารสภาวิจัยแห่งชาติ ในการประชุมครั้งที่ 7/2536 เมื่อวันที่ 22 กรกฎาคม 2536 ได้พิจารณาเห็นว่า เครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย หรือ “กังหันน้ำชัยพัฒนา” นี้เป็นผลงานที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ทรงห่วงใยต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยในแหล่งชุมชน จึงได้พระราชทานคำริให้ประดิษฐ์คิดค้นผลงานดังกล่าว เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากแหล่งชุมชนและแหล่งอุตสาหกรรม นับว่าเป็นผลงานที่ก่อให้เกิดประโยชน์แบบอเนกประสงค์ ได้ทั้งการเติมอากาศ การขับเคลื่อน และการกวนผสมผสมสามารถติดตั้งได้ทั้งแบบอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนที่ได้ ส่วนสำคัญของเครื่องได้แก่ช่องดักกัวน้ำ ซึ่งออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเพื่อให้ตักน้ำได้ปริมาณมากสาดกระจายเป็นฝอยทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศได้อย่างทั่วถึงออกซิเจนในอากาศละลายเข้าไปในน้ำได้รวดเร็ว และในขณะที่น้ำถูกยกขึ้นมากระจายสัมผัสกับอากาศตกลงไปยังผิวน้ำ จะทำให้เกิดฟองอากาศจมตามลงไปใต้ผิวน้ำก่อให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนอีกส่วนหนึ่ง และเมื่อของคว่ำลงบนผิวน้ำจะมีปริมาณออกซิเจนในช่องซึ่งจะส่งผลให้มีการเติมอากาศได้มากที่สุด เครื่องกลนี้สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียที่มีความสกปรก (BOD₅) 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้วันละ 600 ลูกบาศก์เมตร ทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ได้สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยมาก โดยเสียค่าใช้จ่ายเพียงลูกบาศก์เมตรละ 96 สตางค์ คิดเป็นจำนวนความสกปรกในหน่วยกิโลกรัมบีโอดีเสียค่าใช้จ่าย 3.84 บาทเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันมีภาคเอกชนและหน่วยงานของรัฐได้นำสิ่งประดิษฐ์นี้ไปใช้เป็นจำนวนมากและได้รับการจดสิทธิบัตรแล้ว จึงเป็นผลงานที่มีขั้นตอนและการประดิษฐ์ในระดับที่สูงกว่าสิ่งประดิษฐ์ที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน นับได้ว่าเป็นประดิษฐ์กรรมขั้นที่ 9 ของโลก ถือได้ว่าเป็นประวัติศาสตร์ของเราออกสิทธิบัตรแก่สิ่งประดิษฐ์ของไทยซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงพระปรีชาสามารถ การเอาพระราชหฤทัยใส่ในปัญหาสิ่งแวดล้อมของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว และทรงเป็นตัวอย่างในการคิดค้นประดิษฐ์สิ่งใหม่ของคนไทยให้เดินตามเบื้องยุคลบาทให้มากขึ้นด้วย ซึ่งจะมีส่วนในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศต่อไป จึงมีมติเห็นสมควรทูลเกล้าฯ ถวายรางวัลงานคิดค้นหรือสิ่งประดิษฐ์ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ประเทศชาติ ประจำปี 2536 รางวัลที่ 1”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพระเกียรติคุณประกาศดังที่คณะกรรมการบริหารสภาวิจัยแห่งชาติได้ถวายสดุดีแด่องค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ย่อมเป็นที่ประจักษ์อย่างชัดเจนต่อสายตาของชาวโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อพสกนิกรชาวไทย ถึงพระอัจฉริยภาพในด้านการประดิษฐ์ของพระองค์ได้อย่างชัดเจน

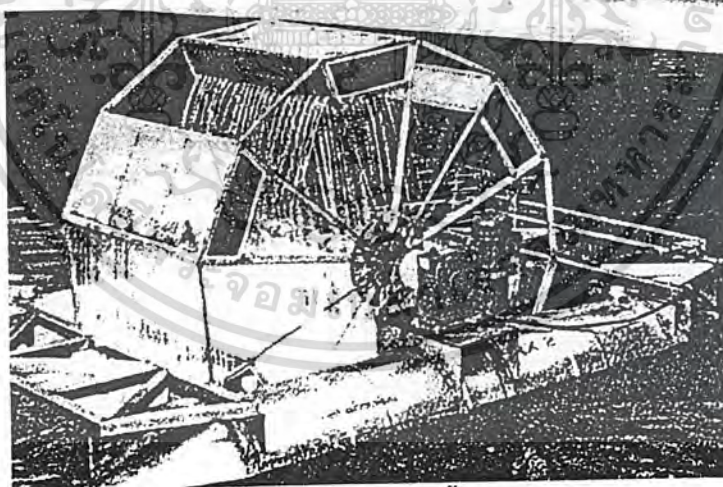
และหากจะพินิจโดยถ่องแท้แล้วก็จะตระหนักได้ดีว่า พระอัจฉริยภาพดังกล่าวของพระองค์นั้น เกิดจากน้ำพระทัยที่ทรงห่วงใยทุกข์สุขของอาณาประชาราษฎร์เป็นเบื้องต้น ด้วยทรงตระหนักถึงปัญหาเรื่องน้ำเสียซึ่งนับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงและก่อให้เกิดปัญหาอย่างใหญ่หลวงต่อความเป็นอยู่ของชุมชนซึ่งมีอัตราการขยายตัวของประชากรสูงขึ้นโดยลำดับ ควบคู่ไปกับการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งหากไม่สามารถหาวิธีการใดมาขจัดปิดเป่าปัญหาดังกล่าวก็ย่อมจะเกิดวิกฤตการณ์ใหญ่หลวงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม เนื่องจากน้ำเสียนอกจากจะโสโครกมีกลิ่นเหม็นเสียด้านแล้ว ยังอาจมีสารเคมีที่มีพิษเจือปนอยู่ด้วย เมื่อน้ำเสียไหลลงสู่แหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง ก็จะแปรสภาพแหล่งน้ำที่สะอาดตามธรรมชาติให้กลายเป็นน้ำเสียไปด้วย ทำให้ไม่อาจใช้น้ำจากแหล่งน้ำเหล่านั้นได้อีกต่อไป อีกทั้งยังส่งกลิ่นเหม็นตลบไปทั่วบริเวณ ทำให้อากาศหายใจไม่บริสุทธิ์ เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยและความเป็นอยู่ของประชาชนอย่างร้ายแรง นอกจากนี้ สัตว์น้ำทั้งหลายที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ หากไม่ตายก็ต้องอพยพหนีไปอยู่ที่อื่น ส่วนที่ทนอาศัยอยู่ต่อไปได้ก็ย่อมจะมีรสชาติของเนื้อผิดแปลกไป ความเสียหายที่เกิดขึ้นไม่เพียงแต่ในด้านอนามัยของประชาชนเท่านั้น หากยังกระทบกระเทือนถึงเศรษฐกิจของประเทศด้วย เพราะกิจการต่างๆ ที่ต้องใช้น้ำเป็นวัตถุดิบ เช่น การประปาและการอุตสาหกรรม ไม่อาจจะใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเหล่านั้นได้ เป็นเหตุให้ต้นทุนการผลิตสูง

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้เสด็จพระราชดำเนินทอดพระเนตรสภาพน้ำเสียในพื้นที่หลายแห่งตั้งแต่ต้นสืบนื่องมาเริ่มปี ทั้งในเขตกรุงเทพมหานคร ปริมณฑล และต่างจังหวัด และได้พระราชทานพระราชดำริเรื่องการแก้ไขน้ำเน่าเสียมาแต่แรก เริ่มจากการแก้ไขน้ำเสียในรูปแบบต่างๆ ในช่วงแรกระหว่าง พ.ศ.2527-2530 ด้วยการใช้น้ำที่มีคุณภาพดีมาบรรเทาน้ำเสียตามคลองต่างๆ ในกรุงเทพมหานครที่เชื่อมกับแม่น้ำเจ้าพระยา รับน้ำดีเข้าไปตามจังหวะขึ้นลง ได้แก่ คลองบางเขน คลองบางซื่อ คลองสามเสน คลองเทเวศน์ คลองบางลำพู ฯลฯ อีกวิธีหนึ่ง ใช้วิธีการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวาให้ทำหน้าที่ดูดสารพิษ สารเคมี โลหะหนัก ตลอดจนสารอินทรีย์ที่แขวนลอยมากับน้ำ เช่น โครงการบึงมักกะสันอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งก็ได้ผลในระดับหนึ่งเท่านั้น ต่อมาใน พ.ศ.2531 เป็นต้นมา สภาพความเน่าเสียของน้ำที่บริเวณต่างๆ ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น การแก้ไขน้ำเสียในรูปแบบดังกล่าวข้างต้น ไม่ได้ผลเท่าที่ควร จึงได้พระราชทานแนวพระราชดำริให้ทำเครื่องกลเติมอากาศที่มีขั้นตอนการประดิษฐ์ที่คนไทยน่าจะจัดทำขึ้นมาได้ด้วยตนเอง มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยอีกทางหนึ่ง ทรงมีพระราชประสงค์ที่จะช่วยเหลือรัฐบาล ในการบรรเทาสถานะน้ำเสียในที่ต่างๆ โดยการเสียค่าใช้จ่ายแต่น้อย

เมื่อวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ.2531 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้พระราชทานพระราชดำริแก่เจ้าหน้าที่ของสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริและเจ้าหน้าที่ของกรมชลประทาน ณ อาคารชัยพัฒนาภายในสวนจิตรลดา มีสาระสำคัญดังนี้

“การเติมอากาศลงไปในน้ำเสียมีอยู่ 2 วิธี วิธีหนึ่งให้อากาศอัดเข้าไปตามท่อ เป่าลงไปใต้ผิวน้ำแบบกระจายฟอง อีกวิธีหนึ่ง น่าจะกระทำโดยกังหันวิดน้ำ วิดตักน้ำ ขึ้นไปบนผิวน้ำแล้วปล่อยให้ตกลงไปยังผิวน้ำตามเดิมโดยที่กังหันวิดน้ำดังกล่าวจะหมุนช้าๆ ด้วยกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ไม้ให้เกิน 2 แรงม้า หรืออาจจะใช้พลังน้ำไหลก็ได้ จึงสมควรพิจารณาสร้างต้นแบบแล้วนำไปติดตั้งทดลองใช้บำบัดน้ำเสียภายในบริเวณโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า และที่วัดบวรนิเวศ”

กรมชลประทานได้รับสนองพระราชดำริในการสร้างต้นแบบ ด้วยการประดิษฐ์และทดลองใช้งานบำบัดน้ำเสียเป็นลำดับมา จนกระทั่งได้รับผลสำเร็จเมื่อวันที่ 30 เมษายน พ.ศ.2532 โดยได้นำไปติดตั้งและทดลองใช้บำบัดน้ำเสียที่โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า และที่วัดบวรนิเวศ ในปี พ.ศ.2532 และต่อมาได้ขยายแหล่งทดลองติดตั้งเพิ่มเติมอีกหลายแห่ง ทั้งในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัด อาทิ ที่สนามกอล์ฟกองทัพบก กองพลทหารม้าที่ 2 คลองแม่จ่า จังหวัดเชียงใหม่ ฯลฯ นับเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น สามารถใช้ในกิจกรรมบำบัดน้ำเสียได้อย่างเนกประสงค์ ปัจจุบันได้มีหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนได้นำเอากังหันน้ำชัยพัฒนาไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียตามชุมชนต่างๆ อย่างแพร่หลายเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 1.1 แสดง กังหันน้ำชัยพัฒนา

“Chaipattana Low Speed Surface Aerator,” Model RX-2

“กังหันน้ำชัยพัฒนา” หรือนามพระราชทาน “Chaipattana Low Speed Surface Aerator,” Model RX-2 เป็นเครื่องกลเติมอากาศแบบทุ่นลอย มีใบพัดขับเคลื่อนน้ำหมุนรอบเป็นวงกลมสำหรับขับเคลื่อนน้ำและวิดน้ำขึ้นไปสาดกระจายเป็นฝอย เพื่อให้สัมผัสกับอากาศได้อย่างทั่วถึง

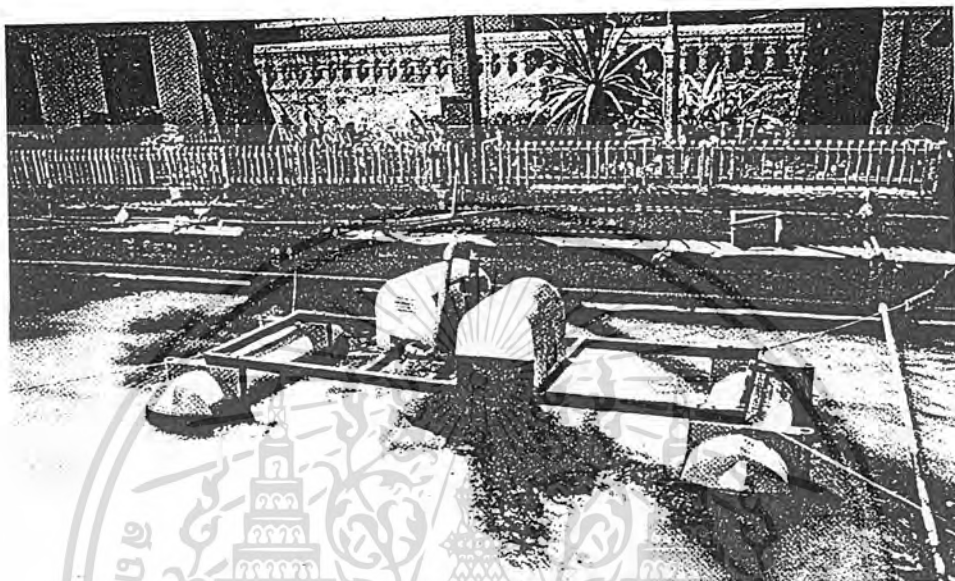
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผลให้ออกซิเจนในอากาศสามารถละลายเข้าไปในน้ำได้เร็ว และในช่วงที่น้ำเสียถูกยกขึ้นมากระจายสัมผัสกับอากาศตกลงไปยังผิวน้ำจะทำให้เกิดฟองอากาศจมตามลงไป ก่อให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจน อีกส่วนหนึ่ง ซึ่งกั้นน้ำช่วยพัฒนาแบบนี้จะใช้ประโยชน์ได้ทั้งการเติมอากาศ การกวนแบบผสมผสาน และการทำให้เกิดการไหลตามทิศทางที่กำหนด จากการทดสอบประสิทธิภาพในระยะแรก ปรากฏว่าสามารถถ่ายเทออกซิเจนได้เท่ากับ 0.9 กิโลกรัมต่อแรงม้าต่อชั่วโมง โดยเสียค่าไฟฟ้าประมาณ 1.10 บาทต่อชั่วโมง และได้พัฒนาต่อมาจนสามารถถ่ายเทออกซิเจนได้สูงถึง 1.2 กิโลกรัมต่อแรงม้าต่อชั่วโมง จึงใช้ประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนหรืออากาศลงในน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น สามารถนำไปใช้ในกิจกรรมบำบัดน้ำเสียได้อย่างอเนกประสงค์ ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายง่าย เหมาะสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียในแหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ สระน้ำ หนองน้ำ คลอง บึง ลำห้วย ฯลฯ ที่มีความลึกมากกว่า 1.00 เมตร และมีความกว้างมากกว่า 3.00 เมตร สามารถติดตั้งในลักษณะอยู่กับที่ หรือให้ขับเคลื่อนไปตามแหล่งน้ำด้วยตัวเองก็ได้ แหล่งน้ำเสียบริเวณใดที่มีพลังงานไฟฟ้าเข้าถึงขอมใช้วิธีการติดตั้งอยู่กับที่ ขับส่งกำลังด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า แต่ถ้าแหล่งน้ำเสียใดไม่มีพลังงานไฟฟ้าเข้าถึง ขอมสามารถดัดแปลงใช้เครื่องยนต์เป็นตัวขับเคลื่อนที่แล่นไปตามลำน้ำด้วยตัวเอง พร้อมกันกับการเติมออกซิเจนไปในน้ำ ในลักษณะของการบำบัดน้ำเสียรูปแบบ Mobile Unit ใช้เจ้าหน้าที่เป็นผู้บังคับเครื่องจำนวน 1 คน โดยปรับทิศทางให้เป็นไปตามต้องการ

นอกเหนือจากเครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย หรือ “กั้นน้ำช่วยพัฒนา” แล้ว ทรงมีพระราชดำริให้สร้างเครื่องกลเติมอากาศรูปแบบอื่นๆ ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานในสภาพภูมิประเทศต่างๆ กันอีก ดังนี้

1) เครื่องกลเติมอากาศระบบเป่าอากาศลงไปได้น้ำและกระจายฟอง (Chaipattana Aerator, Model RX-1) เป็นเครื่องกลเติมอากาศที่ออกแบบเป่าฟองเติมอากาศให้กับน้ำเสีย ใช้วิธีอัดอากาศเข้าไปที่ท่ออากาศ แล้วแบ่งแยกออกไปกระจายตามท่อกระจายซึ่งเจาะรูเล็กๆ ไว้ รูที่เจาะไว้จะปล่อยอากาศออกมาเติมให้กับน้ำเสีย ในขณะที่เดียวกันจะทำให้ น้ำเสียเกิดการปั่นป่วนและการเติมอากาศจะดีขึ้น ซึ่งได้ทดสอบประสิทธิภาพ ในการถ่ายเทออกซิเจนแล้ว ได้เท่ากับ 0.45 กิโลกรัมของออกซิเจนต่อแรงม้าต่อชั่วโมง โดยเสียค่าไฟฟ้าประมาณ 1.10 บาทต่อชั่วโมง ได้มีการนำไปใช้ที่โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า ขณะนี้ได้เลิกใช้แล้วเนื่องจากประสิทธิภาพต่ำและมีปัญหาการอุดตันของท่อกระจายฟองอากาศ

2) เครื่องกลเติมอากาศระบบเป่าอากาศหมุนใต้น้ำ หรือ “ชัยพัฒนาซูเปอร์ฟองแอร์” (Chaipattana Aerator, Model RX-3) เป็นแบบทุ่นลอย ใช้วิธีอัดอากาศลงไปใต้น้ำแล้วแยกกระจายเป็น 8 ท่อ ตามแนวนอน ท่อกระจายฟองอากาศนี้จะหมุนเคลื่อนที่ได้โดยรอบ ทำให้การเติมอากาศเป็นไปอย่างทั่วถึง จากการทดลองประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน ได้เท่ากับ 0.75 กิโลกรัมของออกซิเจนต่อแรงแม่ต่อชั่วโมง โดยเสียค่าไฟฟ้าประมาณ 2.20 บาท ต่อชั่วโมง

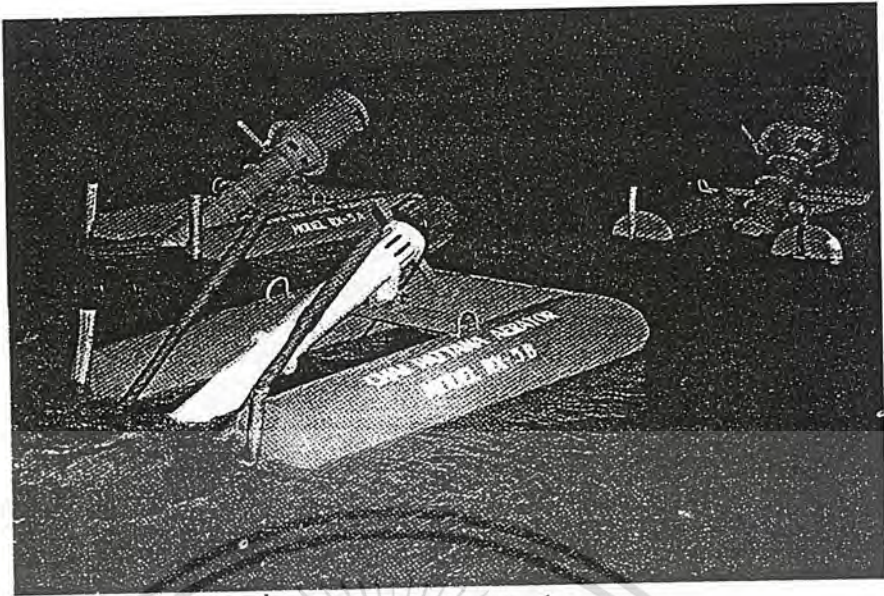


รูปที่ 1.2 แสดง ชัยพัฒนาซูเปอร์ฟองแอร์
(Chaipattana Aerator, Model RX-3)

3) เครื่องกลเติมอากาศแรงดันใต้น้ำ หรือ “ชัยพัฒนาเวนจอร์” (Chaipattana Aerator, Model RX-4) เป็นเครื่องใช้ปั๊มแบบจุ่มหรือที่เรียกว่าไดโว่ เป็นตัวขับเคลื่อนน้ำให้ออกไปตามท่อจ่ายโดยที่ปลายท่อจะทำเป็นคอคอดเพื่อดูดอากาศจากข้างบนผสมกับน้ำ เครื่องนี้ทดสอบประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนได้เท่ากับ 0.55 กิโลกรัมของออกซิเจนต่อแรงแม่ต่อชั่วโมง โดยเสียค่าไฟฟ้าประมาณ 0.80 บาทต่อชั่วโมง

4) เครื่องกลเติมอากาศระบบอัดและดูดอากาศลงใต้น้ำ หรือ “ชัยพัฒนาแอร์เจท” (Chaipattana Aerator, Model RX-5) ใช้ใบพัดหมุนอยู่ใต้น้ำ สำหรับขับเคลื่อนน้ำให้เกิดการปั่นป่วนและมีความเร็วสูง สามารถดึงดูดอากาศจากภายนอกให้ลงไปสัมผัสกับน้ำด้านล่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) เครื่องกลเติมอากาศแบบตีน้ำสัมผัสอากาศ หรือ “เครื่องตีน้ำชัยพัฒนา” (Chaipattana Aerator, Model RX-6) จะใช้ใบพัดตีน้ำให้กระจายเป็นฝอยเพื่อนำน้ำสัมผัสกับอากาศด้านบน



รูปที่ 1.3 แสดง ชัยพัฒนาแอร์เจท
(Chaipattana Aerator, Model RX-5)

6) เครื่องกลเติมอากาศแบบดูดและอัดน้ำลงไปใต้ผิวน้ำ หรือ “ชัยพัฒนาไฮโดรแอร์” (Chaipattana Aerator, Model RX-7) โดยใช้ปั๊มดูดน้ำจากข้างใต้น้ำมาสัมผัสกับอากาศ แล้วขับดันน้ำดังกล่าวลงสู่ใต้น้ำอีกครั้งหนึ่งจะทำให้ น้ำด้านล่างเกิดการปั่นป่วน

7) เครื่องจับเกาะจุลินทรีย์ หรือ “ชัยพัฒนาไบโอ” (Chaipattana Bio-Filter, Model RX-8) เป็นเครื่องที่ใช้ร่วมในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้เส้นเชือกเป็นวัสดุตัวกลางสำหรับให้จุลินทรีย์ใช้เป็นที่อยู่อาศัย เพื่อย่อยสลายความสกปรกในน้ำเสีย

8) เครื่องกลเติมอากาศแบบกระจายน้ำสัมผัสอากาศ หรือ “น้ำพุชัยพัฒนา” (Chaipattana Aerator, Model RX-9A RX-9B) ขณะนี้กำลังอยู่ระหว่างดำเนินการวิจัยและพัฒนา

ในปัจจุบันนี้ปรากฏว่าได้มีการผลิตสิ่งประดิษฐ์ซึ่งได้นำไปติดตั้งใช้งานแล้วและกำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการผลิต จำนวน 99 เครื่อง เป็นเงิน 6,435,000.-บาท ซึ่งถ้าหากจัดซื้อจากต่างประเทศจะมีมูลค่าถึง 49.5 ล้านบาท

พระอัจฉริยภาพด้านการประดิษฐ์ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวนั้น มิใช่แต่ทรงประดิษฐ์เฉพาะกังหันน้ำชัยพัฒนาเท่านั้น ยังมีสิ่งประดิษฐ์อื่นๆ ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากพระราชดำริก่อนและหลัง “กังหันน้ำชัยพัฒนา” อีกหลายรูปแบบซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในกิจกรรมโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อาทิ เครื่องสีข้าวใช้แรงคน เครื่องนวดข้าวใช้แรงคน เครื่องสูบน้ำทำเหยียบ เครื่องตะบันน้ำ เครื่องสูบน้ำกังหันน้ำ เครื่องไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก เครื่องสูบน้ำพลังน้ำไหล เป็นต้น

ดังนั้น จึงเป็นที่ประจักษ์ชัดว่าสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นเป็นผลงานที่เกิดจากน้ำพระราชหฤทัยของพระองค์ที่ทรงห่วงใยต่อคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ของพสกนิกรชาวไทยทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู่เหล่า ทั้งผู้ที่อยู่ในเขตเมืองและอยู่ในเขตชนบท พระองค์ทรงมีพระราชหฤทัยและพระราชปณิธานที่แน่วแน่ในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของพสกนิกร ด้วยพระราชกรณียกิจในการพัฒนาประเทศร่วมกับรัฐบาลทุกยุคทุกสมัย อันยิ่งใหญ่ ยาวนานและแผ่ไพศาลครอบคลุมทั่วทั้งประเทศจนเป็นที่ประจักษ์เลื่องลือไปทั่วสารทิศ ไปจนถึงนานาอารยประเทศ ซึ่งสะท้อนให้เห็นพระอัจฉริยภาพ พระวิริยอุตสาหะอันสูงส่ง ในการคิดสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยส่วนรวม นับเป็นพระมหากษัตริย์คุณต่อพสกนิกรชาวไทยเป็นล้นพ้น และทรงเป็นแบบฉบับให้นักประดิษฐ์ไทยเจริญรอยตามเบื้องพระยุคลบาทในการคิดประดิษฐ์สิ่งใหม่ๆ ก่อให้เกิดการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ ดังคำกล่าวสดุดีพระเกียรติคุณขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติเนื่องในโอกาสทูลเกล้าฯ ถวายเหรียญ Agricola ว่า พระราชกรณียกิจด้านการพัฒนาของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เป็นการพัฒนาที่ยั่งยืนเพื่อสร้างสรรค์ประโยชน์ในอนาคต (Sustainable Development for Secure Future)

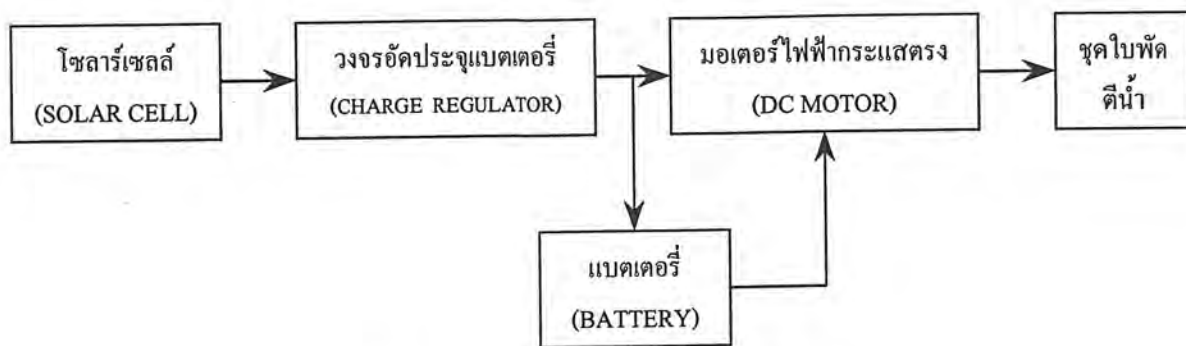
1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเจริญรอยตามเบื้องพระยุคลบาทในการคิดประดิษฐ์สิ่งใหม่ๆ ก่อให้เกิดการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์
2. เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนหรืออากาศลงในน้ำ
3. เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน โดยใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์
4. เพื่อที่จะใช้น้ำบาดน้ำเสียได้อย่างอเนกประสงค์
5. เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

การทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบหมุนลอยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell floating water circulation) จะเริ่มต้นจากการที่แผงโซลาร์เซลล์ (Solar cell) ทำการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานที่ได้จะเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง แต่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ค่อนข้างจะไม่คงที่ จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของแสงสว่างที่ตกกระทบบนแผงโซลาร์เซลล์ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับระดับแรงดันให้คงที่ โดยใช้วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (Charge Regulator) เพื่อควบคุมระดับแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่ (Battery) ไม่ให้เกิน 24 V ซึ่งแบตเตอรี่จะใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าสำรองในเวลากลางคืน หรือในเวลาที่ไม่เพียงพอ และวงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (Charge Regulator) ยังใช้ในการควบคุมระดับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ด้วย เมื่อมอเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะทำงาน ทำให้ชุดใบพัดตีน้ำ หมุนตีน้ำเป็นวงกลม ทำให้น้ำกระจายเป็นฝอย เพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ ได้อย่างทั่วถึง เป็นผลให้ออกซิเจนในอากาศสามารถผสมผสานเข้าไปในน้ำได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ

จากบล็อกไดอะแกรมข้างต้นจะเห็นได้ว่า โครงสร้างของเครื่องบปั๊มติ่น้ำเสียแบบท่อนลอย โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

แผงโซลาร์เซลล์ (Solar cell)

วงจรอับประจุแบตเตอรี่ (Charge Regulator)

แบตเตอรี่ (Battery)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC. motor)

ชุดปั๊มติ่น้ำ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนหรืออากาศลงในน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายง่าย เหมาะสำหรับใช้บปั๊มติ่น้ำเสียในแหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ สระน้ำ หนองน้ำ คลอง บึง ลำห้วย

2. สามารถใช้กับชนบทที่ห่างไกล โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟ

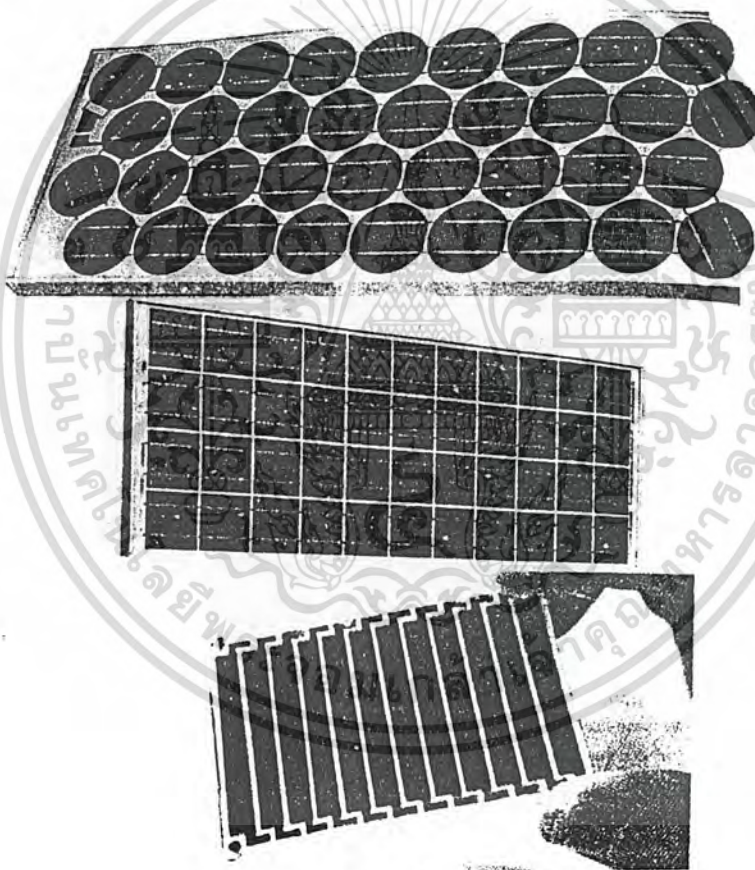
3. สามารถนำไปใช้ในกิจกรรมบปั๊มติ่น้ำเสียได้อย่างอเนกประสงค์ เช่น นำไปประยุกต์ใช้กับนาุ้ง นำไปประยุกต์ใช้กับบ่อเลี้ยงปลา ฯลฯ

4. ราคาที่ผลิตในประเทศจะถูกมากกว่าการจัดซื้อจากต่างประเทศซึ่งจะมีราคาแพงมากกว่า แต่ราคาในการทำโครงการจะมีราคาถูกกว่าในการจัดซื้อจากในประเทศและต่างประเทศ

บทที่ 2

เซลล์แสงอาทิตย์ (SOLAR CELL)

เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ทันทีที่แสงตกกระทบ เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ทันทีและไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC current) เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (renewable energy) ที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าสะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆ ขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม เพียงแต่ติดตั้ง เซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแสงอาทิตย์ก็สามารถใช้งานได้ทันที



รูป 2.1 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ

ปัจจุบันมีมากมายหลายชนิดแต่ชนิดที่ได้รับความนิยมและมีการใช้อย่างแพร่หลายคือ คริสตัลไลน์ซิลิคอนเซลล์ (crystalline silicon cell) สารกึ่งตัวนำที่สามารถนำไปใช้สร้างโซลาร์เซลล์มีหลายชนิดแต่ประเภทที่มีประสิทธิภาพสูงคือ gallium arsenide มีการนำไปติดตั้งบนดาวเทียม แต่เนื่องจากใช้ต้นทุนสูงจึงไม่มีการใช้โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของโซลาร์เซลล์และคุณสมบัติ (ต่อเซลล์)

Classification	Effic(%)	Voc (V)	Jsc (mA/cm)	FF (%)
Si (crystalline)	24.0	0.709	40.9	82.74
Si (moderate area)	23.7	0.704	41.5	81.00
Si (multicrystalline)	17.8	0.628	36.2	78.50
Si (large multicrystalline)	17.2	0.610	36.4	77.70
Si (thin crystalline)	21.5	0.699	37.9	81.10
Si (supported film)	14.9	0.600	31.4	79.20
Si (large thin film)	14.2	0.608	30.0	78.10
GaAs (crystalline cell)	25.1	1.022	28.2	87.10
GaAs (thin film cell)	23.3	1.011	27.6	79.70
GaAs (submodule)	21.0	4.040	6.6	80.00
GaAs (multicrystalline cell)	18.2	0.944	23.0	79.70
InP (crystalline cell)	21.9	0.878	29.3	85.40
CdTe (cell)	15.8	0.843	25.1	74.50
CdTe (submodule)	10.5	9.406	1.7	64.90
CIGS (cell)	16.4	0.678	32.0	75.80
CIGS (submodule)	14.2	6.808	3.1	68.30

2.1 หลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างและหลักการทำงานพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าชนิดประจุลบ และประจุบวกขึ้นซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อ p-n จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และแยกโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดกระแสตรง (เช่น หลอดแสงสว่าง มอเตอร์กระแสตรง ฯลฯ) ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3 A และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.5 V ถ้าต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้ามากๆ ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายเซลล์มาต่อขนานกัน หรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายเซลล์มาต่ออนุกรมกัน เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายโดยทั่วไปจะถูกออกแบบให้อยู่ในกรอบอลูมิเนียมสีเหลืองผิวดำ ซึ่งเรียกว่า แผงหรือ โมดูล (module) แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดประมาณ 1.2 x 0.5 ตารางเมตร ภายใน 1 แผง จะมีเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากต่ออนุกรมกัน (เช่น 32 – 40 เซลล์) เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 16-20 V กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3-4 A และให้กำลังไฟฟ้าประมาณ 40-50 W ในกรอบอลูมิเนียมนี้จะออกแบบปิดผนึกด้านหน้าด้วยแผ่นกระจกใส และด้านหลังปิดผนึกด้วยวัสดุกันความชื้นและฝุ่นละอองไม่ให้เข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์

2.2 โครงสร้างของสารกึ่งตัวนำ

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่รอยต่อ p-n ของสารกึ่งตัวนำ และวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกและมีมากที่สุดบนพื้นโลกได้แก่ ซิลิกอน ซึ่งถลุงได้จากแร่ควอตไซต์หรือทราย และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ ตลอดจนการทำให้เป็นผลึก โครงสร้างของผลึกซิลิกอนบริสุทธิ์จะเป็นรูปพีระมิดฐานสามเหลี่ยม อิเล็กตรอนทุกตัวในวงโคจรนอกสุด (valence band) จะสร้างพันธะโควาเลนต์กับอิเล็กตรอนข้างเคียง พันธะโควาเลนต์นี้จะหลุดก็ต่อเมื่ออิเล็กตรอนในพันธะได้รับพลังงานเพียงพอ ซึ่งสำหรับซิลิกอนจะมีค่าประมาณ 1.12 eV. พลังงานนี้ใช้ในการเคลื่อนอิเล็กตรอนจากวงโคจรนอกสุดไปสู่แถบนำ (conduction band) ใช้อักษรย่อว่า E_g

ณ อุณหภูมิต่ำมาก (0°K) สารกึ่งตัวนำจะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระเลย ทำให้มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ที่อุณหภูมิห้อง (298°K) พันธะโควาเลนต์ บางส่วนถูกทำลายเนื่องจากพลังงานความร้อนที่สารได้รับ ทำให้สารกึ่งตัวนำสามารถนำกระแสได้บ้าง แต่ก็ยังไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเนื่องจากค่าความต้านทานยังสูงมาก และความนำยังเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิต่างอย่าง มาก่อนจะนำไปใช้จึงต้องมีวิธีการเพื่อเพิ่มสภาพนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำให้สูงขึ้น วิธีที่นิยมมากที่สุด คือ กาวเติมสารเจือลงไปเรียกว่า การโด๊ป (doping) ปริมาณสารที่เหมาะสมโดยประมาณคือ สารเจือ 1 อะตอมต่ออะตอมของซิลิกอน 10^6 - 10^8 อะตอมเคมีจะไม่เปลี่ยนแปลงไปได้นัก เพียงแค่จะนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น เราสามารถแบ่งสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการโด๊ป ได้ 2 ประเภท คือ

2.2.1 สารกึ่งตัวนำชนิด P-type

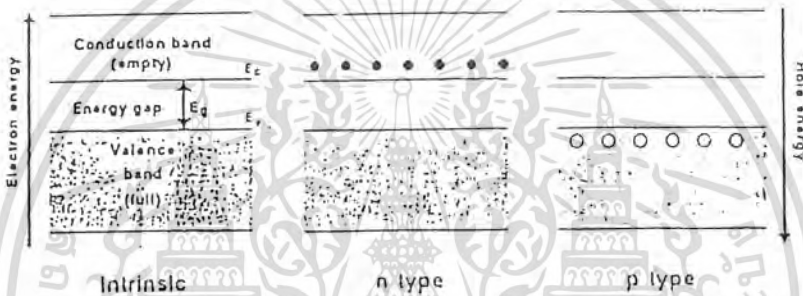
เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการเติมสารเจือเป็นธาตุหมู่ที่ 5 ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว เมื่อเติมลงไปวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ใน 5 ตัวจะไปสร้างพันธะโควาเลนต์กับวาเลนซ์อิเล็กตรอน 4 ตัวของสารกึ่งตัวนำ วาเลนซ์อิเล็กตรอนที่เหลืออีก 1 ตัว ของสารเจือจะเป็นอิเล็กตรอนอิสระซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ดีธาตุหมู่ 5 ที่นิยมใช้ได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) เป็นส่วนมาก นอกจากนี้ได้แก่ แอนติโมนี (Sb), อาร์เซนไนท์ (As) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สารกึ่งตัวนำชนิด N-type

เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการเติมสารเจือที่เป็นธาตุหมู่ที่ 3 ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัวเมื่อเติมลงไปอิเล็กตรอนทั้ง 3 ตัว จะไปสร้างพันธะโควาเลนซ์กับวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ใน 4 ตัว ของสารกึ่งตัวนำ วาเลนซ์อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งตัวของสารกึ่งตัวนำ

เมื่อไม่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนมาสร้างพันธะด้วยจะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นที่เรียกว่าโฮล (holes) มีคุณสมบัติคล้ายกับอนุภาพบวกซึ่งเคลื่อนที่ได้เกิดขึ้นจาก เมื่อมีโฮลเกิดขึ้น อิเล็กตรอนข้างเคียงก็จะเลื่อนมาเพื่อจะเติมโฮลให้เต็ม เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนมาที่เก่าของอิเล็กตรอนตัวนั้นก็เกิดโฮลขึ้น เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ ทำให้เห็นเสมือนว่าโฮลเคลื่อนที่ได้แต่ที่จริงเป็นอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ และทิศทางการเลื่อนของโฮลจะตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ธาตุหมู่ 3 ที่นิยมใช้ได้แก่ โบรอน (B), แกลเลียม (Ga), อินเดียม (In)

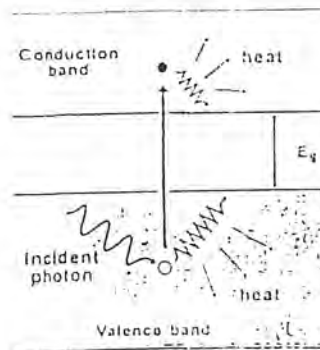


รูปที่ 2.3 ช่วงพลังงานและการเกิดโฮลและอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำ

2.3 การดูดซับพลังงานแสงของสารกึ่งตัวนำ

ระบบไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ อาศัยหลักการของทฤษฎีควอนตัมที่ว่า แสงมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคที่มีพลังงานเรียกว่า โฟตอน (photons)

ในวันที่อากาศปลอดโปร่งจะมีโฟตอน 4.4×10^{17} โฟตอน ตกกระทบพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรบนพื้นผิวโลกทุกวินาที แต่มีปริมาณพลังงานเพียงน้อยนิดเท่านั้นที่ โซลาร์เซลล์ สามารถแปลงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.4 การเกิด electron-hole pairs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนรูปพลังงานเริ่มต้นจากเมื่อโฟตอนตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานเพิ่ม ถ้าวาเลนซ์อิเล็กตรอนตัวไหนได้รับพลังงานมากเพียงพอที่จะข้ามไปยังแถบนำ เกิดเป็นอิเล็กตรอนอิสระ และตำแหน่งที่เดิมของอิเล็กตรอนตัวนั้นจะเกิดโฮล ขึ้นดังรูป 2.4 เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดอิเล็กตรอนโฮลแพร์ (electron-hole pairs) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น

สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดสามารถรับสเปกตรัม (spectrum) ของสารได้บางช่วงเท่านั้นแตกต่างกันออกไป เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนไปอยู่ในชั้นคอนดักชันแบน จะอยู่ในสถานะไม่เสถียรและจะคายพลังงานเพื่อให้ตัวเองกลับมาอยู่ที่สถานะเดิม พลังงานส่วนใหญ่จึงสูญเสียไปในรูปความร้อน ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

เราสามารถประมาณการปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นได้ โดยเริ่มจากการที่แสงอาทิตย์ทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านแถบว่าง (band gap) เรียกว่ากระแสเจเนอเรชัน (generation current) ถ้าไม่คิดการสูญเสีย โฟตอนแต่ละตัวสามารถนำอิเล็กตรอน 1 ตัว ให้เกิดเป็นกระแสอิเล็กตรอน กระแสที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ

$$I_g = qNA$$

q : ประจุของอิเล็กตรอน

N : ปริมาณโฟตอนในพื้นที่ ที่พิจารณาของสเปกตรัมที่สามารถรับได้

A : พื้นที่ของสารกึ่งตัวนำที่แสงตกกระทบบ

จากสมการนี้จะพบว่าซิลิกอนโซลาร์เซลล์ สามารถแปลงรูปพลังงานได้ประมาณ 44 mA/cm^2 สำหรับค่าศักดาไฟฟ้า (V) ที่เกิดขึ้นนั้นหาได้จากพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ ไปยังแถบนำคือ E_g ดังนั้นค่าศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นได้คือ $V = E_g / q$

แต่ค่าศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าศักดาสูงสุดนี้ โดยสารกึ่งตัวนำที่มีแบนแกปกว้างให้ค่าศักดาไฟฟ้าสูงกว่า สารกึ่งตัวนำที่มีแบนแกปแคบ

2.4 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้อธิบายลักษณะสมบัติเอาต์พุต (output characteristics) ของเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้

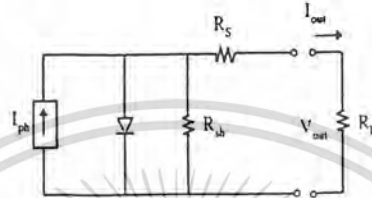
2.4.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy conversion efficiency) คือ อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ อาจเรียกสั้นๆ ว่า ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และใช้สัญลักษณ์ว่า η เขียนเป็นสูตรได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด} \times 100\%}{\text{พื้นที่รับแสง} \times \text{กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์}}$$

$$\eta = \frac{P_{\max}(\text{W})}{\text{Area}(\text{m}^2) * P_{\text{in}}(\text{W})} * 100\%$$

2.4.2 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current) ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาพลัดวงจร เราเรียกกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรว่า กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current: I_{sc})



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

รูปที่ 2.5 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ถูกส่องด้วยแสงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามีด I และแรงดันไฟฟ้า V ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพมีดจะมีรูปเหมือนกับสมการของกระแสไฟฟ้าของไดโอด คือ

$$I = I_0 \left\{ \exp(qV/nkT) - 1 \right\}$$

โดยที่ $I_0 = qA \left(\frac{D_n p_n}{L_n} + \frac{D_p n_p}{L_p} \right)$

เรียกว่า กระแสไฟฟ้าย้อนอ้อมตัว และ n คือ ค่าแฟกเตอร์อุดมคติของไดโอด

A คือ คือพื้นที่รับแสง

ดังนั้นกระแสไฟฟ้า I_{out} ที่ไหลออกสู่วงจรภายนอกจะเท่ากับผลต่างระหว่างกระแสไฟฟ้ามีด I และกระแสไฟฟ้าโฟโต $I_{ph} (=I_{sc})$ ดังนี้

$$I_{out} = I - I_{ph}$$

ถ้าพิจารณาความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้แก่ ความต้านทานอนุกรม R_s และความต้านทานขนัต์ R_{sh} ด้วย จะทำให้กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต I_{out} มีค่าดังนี้

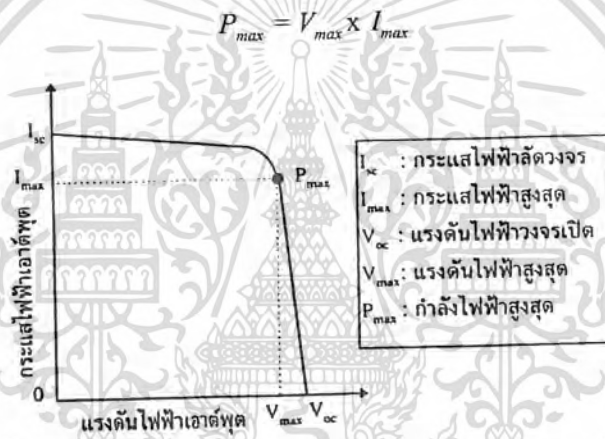
$$I_{out} = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{q(V-IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right\} + \frac{V-IR_s}{R_{sh}} - I_{ph}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (Open circuit voltage) ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาวะวงจรถัด (open circuit) แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (Open circuit voltage : V_{oc})

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right)$$

รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ จุดกราฟตัดแกนแรงดันไฟฟ้า คือแรงดันไฟฟ้าวงจรถัด จุดที่กราฟตัดแกนกระแสไฟฟ้า คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าสูงสุด P_{max} (maximum power) ที่เราจะได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใหญ่ที่สุด ภายในกราฟลักษณะสมบัตินี้ซึ่งแสดงด้วยเส้นไขปลาในรูปที่ 2. ถ้าให้ V_{max} (Maximum voltage) และ I_{max} (maximum current) คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามลำดับที่จะให้ถึงไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้น



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

เราสามารถคำนวณหา V_{max} ได้ด้วยการหาค่าอนุพันธ์ของ P_{max} เทียบกับ V_{max} และกำหนดให้ $\partial P_{max} / \partial V_{max} = 0$ ผลลัพธ์ คือ

$$\exp \left(\frac{qV_{max}}{nkT} \right) \left(1 + \frac{qV_{max}}{nkT} \right) = \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right)$$

ด้วยวิธีการคำนวณในทำนองเดียวกัน I_{max} จะมีค่าเท่ากับ

$$I_{max} = \frac{(I_{sc} + I_0) (qV_{max} / nkT)}{1 + (qV_{max} / nkT)}$$

จากสมการทั้ง 2 นี้ให้เราทราบว่า P_{max} จะมีค่ามากเมื่อ I_0 มีค่าน้อย และ n มีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 **ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor)** ฟิลล์แฟกเตอร์ (fill factor) เขียนย่อว่า FF นิยามของ FF คืออัตราส่วนของพื้นที่ของ $V_{max} \times I_{max}$ ต่อพื้นที่ของ $V_{oc} \times I_{sc}$ และเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

$$= \frac{V_{max}}{V_{oc}} \left(\frac{1 - \exp(qV_{max}/nkT) - 1}{\exp(qV_{oc}/nkT) - 1} \right)$$

ถ้าความต้านทานอนุกรม R_s ในเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อย จะทำให้ฟิลล์แฟกเตอร์ FF มีค่ามาก

2.5 การสูญเสียในเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.1 การสูญเสียกระแสไฟฟ้าลัดวงจร มีสาเหตุดังต่อไปนี้

2.5.1.1 การสะท้อนแสงที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากผิวที่รับแสงของสารกึ่งตัวนำนั้น โดยทั่วไปมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่สูงมาก ดังนั้น โฟตอนจำนวนมากจึงถูกสะท้อนกลับ โดยไม่เดินทางเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ วิธีการลดการสะท้อนแสงวิธีหนึ่ง ได้แก่ การเคลือบฟิล์มป้องกันการสะท้อนแสง เช่น SiO_2 และ Si_3N_4

2.5.1.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าบนผิวด้านรับแสง เช่น การเคลือบขั้ว AI เป็นลายเส้นด้านผิวด้านรับแสง ทำให้เกิดการบังแสงพื้นที่บังแสงมีประมาณ 5-15 % ของพื้นที่ทั้งหมด

2.5.1.3 โฟตอนบางตัวไม่ถูกดูดกลืน แต่สามารถเดินทางทะลุสารกึ่งตัวนำออกไปทางด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพราะสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงมีค่าไม่มาก วิธีการแก้ไขคือการใช้ผลึกที่มีความหนาที่เพียงพอ สารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดไม่ตรงต้องใช้ความหนามากกว่าสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดตรง

2.5.1.4 มีการสูญเสียเนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮล รวมกันก่อนที่จะออกสู่ภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ การรวมตัวเกิดขึ้นมากที่บริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำ ในชั้นที่ไม่มีสนามไฟฟ้าภายใน ปกติพาหะโฟโตนิกที่สามารถเดินทางออกสู่ภายนอกได้ดี ได้แก่ พาหะโฟโตนิกที่เกิดขึ้นในย่านปลอดพาหะ ซึ่งศักย์ไฟฟ้าภายใน (built-in potential) ช่วยพัดพาให้พาหะโฟโตนิกไหลด้วยสนามไฟฟ้า

2.5.2 การสูญเสียแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

กระบวนการที่เป็นตัวกำหนดการสูญเสียของ V_{oc} โดยพื้นฐานได้แก่กระบวนการรวมตัวของพาหะในสารกึ่งตัวนำ การรวมตัวของพาหะทำให้กระแสไฟฟ้าย้อนอิมตัวเพิ่มขึ้น

การรวมตัวอาจเกิดขึ้นได้ทั้งภายในสารกึ่งตัวนำ และที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ ระดับแตร็ป (Trap levels) ในย่านปลอดพาหะมีอิทธิพลมากต่อการรวมตัวของพาหะ อัตราการรวมตัวของพาหะที่ระดับแตร็ป แสดงได้ด้วยสมการ

$$U = \frac{np - n_i^2}{\tau_{ho}(n + n_i) + \tau_{co}(p + p_i)}$$

np คือ จำนวนอิเล็กตรอนต่อพื้นที่ในชั้น p

n_i คือ ความหนาแน่นของพาหะ

τ_h คือ อายุของโฮล

τ_c คือ อายุของอิเล็กตรอน

การรวมตัวที่ระดับแตร็ปในย่านปลอดพาหะ จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่มีค่ามากขึ้นตามสมการดังนี้

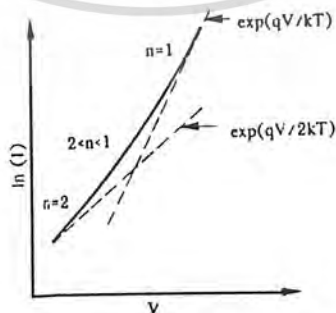
$$I = I_o (e^{qV/kT} - 1) + I_w (e^{qV/2kT} - 1)$$

โดยที่ I_w มีค่าเท่ากับ

$$I_w = \frac{qAn_i\pi}{2\sqrt{\tau_{co}\tau_{ho}}} \cdot \frac{kT}{q\xi_{max}}$$

โดยที่ ξ_{max} คือ สนามไฟฟ้าสูงสุดในรอยต่อ $p-n$ [15]

W คือ ความหนาของชั้นปลอดพาหะ



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่มีค่าและแรงดันไฟฟ้าของรอยต่อ $p-n$

โดยการพิจารณากรณีที่มีการรวมตัวของพาหะในชั้นปลอดพาหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามีดและแรงดันไฟฟ้าของรอยต่อ p-n พจน์ในสมการด้านบน จะมีอิทธิพลมากในขณะที่กระแสไฟฟ้ามีค่าน้อย (ทำให้ $n=2$) และพจน์ที่หนึ่งในสมการด้านบน จะมีอิทธิพลมากในขณะที่กระแสไฟฟ้ามีค่ามาก (ทำให้ $n=1$)

เพื่อความสะดวก เราอาจจะเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

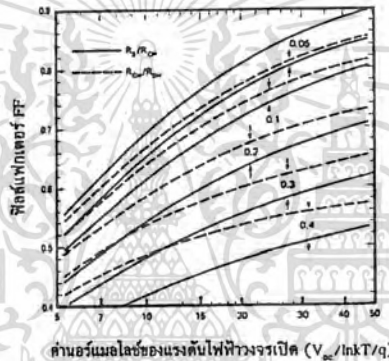
$$I = I_0 (e^{qV/nkT} - 1)$$

โดยที่แฟกเตอร์ n มีค่าอยู่ระหว่าง 1-2

จากการที่กระแสไฟฟ้ามีดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการรวมของพาหะดังกล่าว จึงทำให้ V_{oc} มีค่าลดลง

2.5.3 การสูญเสียฟิลล์แฟกเตอร์ มีสาเหตุดังต่อไปนี้

2.5.3.1 เกิดจากค่าแฟกเตอร์ n และ V_{oc}



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟิลล์แฟกเตอร์และแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

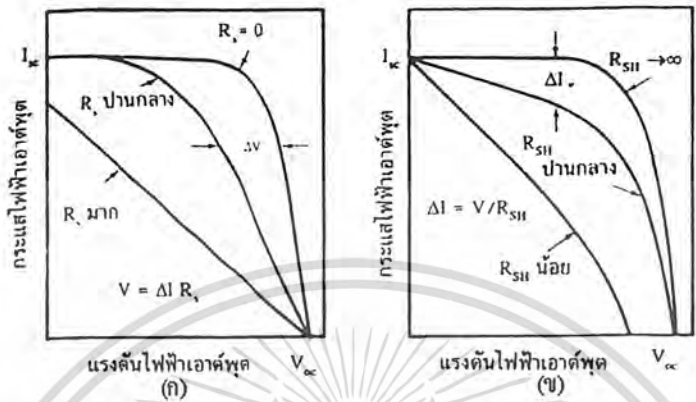
จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าถ้าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดลดลง จะทำให้ฟิลล์แฟกเตอร์ลดลงด้วย ถ้าแฟกเตอร์ n เพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ V_{oc} ลดลง ดังนั้นค่าฟิลล์แฟกเตอร์ในรูปที่ 2.8 ก็จะต้องลดลงด้วย ถ้า n มีค่าเพิ่มขึ้น

ถ้าให้นิยามว่า $V_{oc} = V_{oc} / (nkT/q)$ ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการของฟิลล์แฟกเตอร์ให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ว่า

2.5.3.2 เกิดจากค่าความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชั้นดี

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีความต้านทานอนุกรม (series resistance) R_s น้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติ ความต้านทานอนุกรมนี้อาจเกิดขึ้นหลายสาเหตุ เช่น ความต้านทานอนุกรมของเนื้อสารกึ่งตัวนำ ความต้านทานของรอยต่อ p-n ความต้านทานของขั้วไฟฟ้า ความต้านทานที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำและขั้วไฟฟ้า เป็นต้น

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีความต้านทานขนานชั้น (shunt resistance) R_{sh} มากที่สุด แต่ในทางปฏิบัติความต้านทานขนานชั้นนี้อาจมีค่าลดลง อันเนื่องจากการเกิดร้าวของกระแสไฟฟ้าที่ขอบของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก



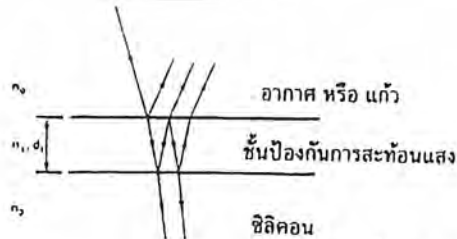
รูปที่ 2.9 (ก) แสดงอิทธิพลของความต้านทานอนุกรม

(ข) อิทธิพลของความต้านทานขนานชั้นที่มีต่อลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

2.6 การลดการสูญเสียของแสงสะท้อน

การเคลือบผิวบนด้วยชั้นป้องกันการสะท้อนแสง (Anti-reflection)

แสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ บางส่วนจะถูกขั้วกริดสะท้อนกลับหมด บางส่วนจะถูกสารกึ่งตัวนำสะท้อน ปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นสาเหตุของการสูญเสียแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ การเคลือบฟิล์มบางทับด้านบนของเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นวิธีหนึ่งจะช่วยลดการสะท้อนแสงของสารกึ่งตัวนำได้ และทำให้แสงเดินทางเข้าสู่เซลล์อาทิตย์ได้มากขึ้น ฟิล์มบางที่นำมาเคลือบด้วยวัสดุประสมนี้เรียกว่า “ชั้นป้องกันการสะท้อน Anti-reflection layer” นิยมเรียกสั้นๆ ว่า “ชั้น AR” และต้องการมีการออกแบบทั้งด้านความหนาและค่าดัชนีหักเหแสงที่เหมาะสมดังนี้ (ดูรูปที่ 2.10)



รูปที่ 2.10 ปรากฏการณ์การแทรกสอดของแสงที่เกิดขึ้นในชั้นป้องกันการสะท้อนแสงที่มีความหนาเท่ากับ 1/4 ของความยาวคลื่นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความหนา d_1 ของชั้น AR ควรเป็นไปตามกฎ “ $1/4$ ของความยาวคลื่นแสง” ถ้าแสงที่เราพิจารณามีความยาวคลื่น λ เช่น ยอดของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ และดัชนีหักเหแสงชั้น AR เท่ากับ n_1 ดังนั้นความหนาที่เหมาะสมของชั้น AR คือ $d_1 = \lambda / 4n_1$

2. ชั้น AR มีความโปร่งใสที่ดีและดัชนีหักเหแสง n_1 ในอุดมคติควรมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของของผลคูณของค่าดัชนีหักเหแสงอากาศ และของสารกึ่งตัวนำตามสมการดังนี้ $n_1 = \sqrt{n_0 n_2}$

โดยที่ n_0, n_1, n_2 คือดัชนีหักเหแสงอากาศ ชั้น AR และสารกึ่งตัวนำตามลำดับ

ด้วยเงื่อนไขดังกล่าวทั้ง 2 ข้อี้ จะทำให้ความเข้มข้นของแสงสะท้อนมีค่าน้อยที่สุด เงื่อนไขข้อที่ 1. นั้นจะทำให้เฟสของแสงที่สะท้อนผิวบนสุดและที่สะท้อนที่ผิวสารกึ่งตัวนำมีความแตกต่างกัน 180 องศา ดังนั้นจึงทำให้แสงที่สะท้อนทั้ง 2 แห่งนั้นไปทำการแทรกสอดแบบหักล้างกัน เมื่อสะท้อนออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ จึงทำให้แสงสะท้อนสุทธิมีความเข้มข้นน้อยที่สุด ตัวอย่างวัสดุที่นิยมผลิตเป็นชั้น AR ได้แก่ Si_3N_4 และ SiO_2

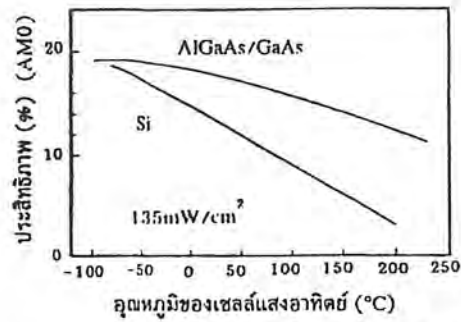
2.7 คุณสมบัติเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารประกอบกึ่งตัวนำ มีดังต่อไปนี้

2.7.1 มีศักยภาพที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง

จากการศึกษาทางทฤษฎีพบว่าช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่จะทำให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดมีค่าอยู่ในช่วง 1.4 – 1.5 eV วัสดุสารประกอบกึ่งตัวนำหลายชนิด เช่น GaAs (1.41 eV) InP (1.35 eV) และ CdTe (1.44 eV) จึงมีศักยภาพที่จะให้ประสิทธิภาพสูงได้

2.7.2 มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูง และสามารถผลิตให้เป็นฟิล์มบางได้

กรณีวัสดุ Si ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดช่องว่างพลังงานแบบไม่ตรง ดังนั้นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของ Si จึงมีค่าน้อย และการที่จะให้ Si ดูดกลืนแสงอาทิตย์มากๆ ต้องใช้ผลึก Si ที่มีความหนาถึงระดับ 100 μm ในขณะที่สารประกอบกึ่งตัวนำหลายชนิดมีช่องว่างพลังงานชนิดตรง จึงมีความสามารถดูดกลืนแสงได้ดี และความหนาเพียงระดับ 10 μm ก็สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้มาก รูปที่ 2.11 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และความหนาของผลึกชนิด Si และ ชนิด GaAs จากรูปจะเห็นได้ว่า ถ้าเราต้องได้ประสิทธิภาพประมาณ 15 % เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด GaAs จะใช้ความหนาเพียง 10 μm ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ Si จะต้องใช้ความหนาถึง 100 μm

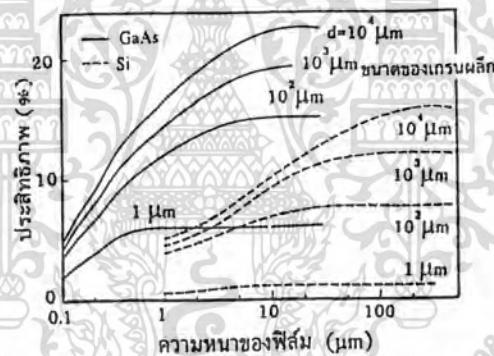


รูปที่ 2.11 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และความหนาของผลึกชนิด Si และ ชนิด GaAs

2.7.3 มีความคงทนต่อรังสีต่างๆ ในอวกาศ

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารประกอบกึ่งตัวนำไม่ใช้ความหนามาก จึงมีคุณสมบัติทนทานต่อรังสีต่างๆ ในอวกาศ ได้ดีกว่า Si ในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้แสงอาทิตย์ชนิด GaAs และ InP ในดาวเทียม

2.7.4 ทำงานได้ดีภายใต้แสงที่มีความเข้มสูง



รูปที่ 2.12 อธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Si AlGaAs/GaAs

สารประกอบกึ่งตัวนำเหล่านี้มีช่องว่างพลังงานกว้างกว่า Si ดังนั้นแม้จะใช้งานที่อุณหภูมิสูงกระแสไฟฟ้ามีด จึงเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า จึงยังรักษาประสิทธิภาพให้คงไว้ที่ค่าสูงได้ดีกว่า Si ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ดังนั้นจึงได้รับผลกระทบต่อความร้อนขณะใช้นาน้อย

2.7.5 มีศักยภาพในการดูดกลืนแสงในลักษณะสเปกตรัมที่กว้างได้ดี

เราสามารถผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยสารประกอบกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานต่างๆ ให้ซ้อนทับกันหลายชั้นได้ ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายชั้น สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้ที่ย่านความยาวคลื่นที่กว้าง ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.8 การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

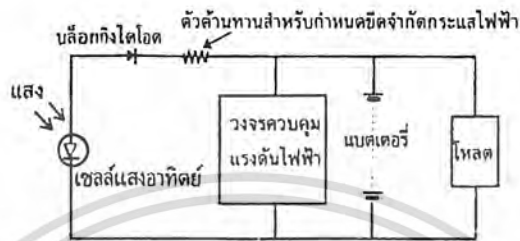
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่างๆ

การคมนาคม	ทางทะเล	แสงไฟประภาคาร แสงไฟของทุ่นลอยน้ำ แสงไฟข้างเรือ
	ทางบก	ไฟสัญญาณข้างถนน ไฟสัญญาณพื้นถนน ไฟสัญญาณให้รถไฟ โคมไฟบนทางด่วน โทรศัพท์ฉุกเฉินบนทางด่วน กล้องวิดีโอ ข้างถนน พัดลมระบายอากาศที่หน้าต่าง/หลังคารถยนต์
	ทางอากาศ	ดวงไฟสิ่งกีดขวางในที่สูง ดวงไฟนำร่องขึ้นลง
การสื่อสาร	สถานีถ่ายทอดวิทยุโทรทัศน์บนภูเขาสูง เครื่องวัดพยากรณ์อากาศ วิทยุสื่อสาร กล้องตรวจความปลอดภัยที่เขื่อน โทรศัพท์มือถือ โทรศัพท์ทหาร	
ป้องกันการสึกกร่อน	ท่อน้ำมัน ท่อก๊าซ สะพานเหล็ก เขื่อนกั้นคลื่น แสงไฟท่อก๊าซ	
อุปกรณ์นอกอาคาร	โคมไฟถนน โคมไฟสนามหญ้า โคมไฟประตูรั้ว โคมไฟป้ายรถเมล์ โคมไฟตู้ โทรศัพท์ โคมไฟป้ายประกาศ โคมไฟป้ายลิฟท์ โคมไฟหอนาฬิกา หอนาฬิกา เครื่องขยายเสียง บัมสูบน้ำ ประตูรั้วไฟฟ้า ติดผนังอาคารเสริมงาน สถาปัตยกรรม ติดตั้งที่หลังคาสระว่ายน้ำ ติดตั้งที่หลังคาสนามกีฬา	
การอวกาศ	ดาวเทียม สถานีอวกาศ ยานอวกาศเดินทางไกล	
การปศุสัตว์	รั้วไฟฟ้าป้องกันสัตว์หนี บัมน้ำคั้นน้ำใช้ แสงไฟจับกบจับอะไรต่างๆ	
การประมง	เครื่องกระตุ้นการแพร่พันธุ์สัตว์น้ำในทะเลด้วยเสียงและแสงไฟ โคมไฟล่อปลา ในทะเล โคมไฟหาปลาในทะเล ห้องเข้เก็บสัตว์ทะเล เป่าลมลงบ่อเลี้ยงสัตว์ น้ำกระตุ้นการแพร่พันธุ์	
การเกษตรกรรม	บัมสูบน้ำ แสงไฟกรีดยางพารา บ้านชาวสวนยาง หุ่นไล่กาห้องไล่นก ห้องอบ พืชให้แห้ง เครื่องนวดข้าวกลางทุ่งนา การชลประทาน ระบบฉีดพ่นน้ำ	
การวัดและรักษา สภาพแวดล้อม	เครื่องวัดอุณหภูมิในทะเล เครื่องวัดความเค็มในทะเล เครื่องวัดความเร็วน้ำ ทะเล เครื่องวัดความสูงคลื่นทะเล เครื่องวัดฝุ่นในอากาศ เครื่องวัดระดับเสียง/ ควีน เครื่องวัดละอองเกสรดอกไม้(ป้องกันโรคมุมิแพ้) เป่าลมลงบ่อน้ำ/คลอง	
การแพทย์	ตู้เย็นเก็บยาและวัคซีน โคมไฟสถานีอนามัย วิทยุสื่อสาร	
การบันเทิง	เรือมอเตอร์ โคมไฟแคมป์ วิทยุสื่อสาร โทรศัพท์ โคมไฟบ้านพักตากอากาศ เครื่องบิน เครื่องร่อน รถยนต์ไฟฟ้า ของเล่นไฟฟ้า หมวกติดพัดลม	
ระบบไฟฟ้า	ต่อเข้าระบบของการไฟฟ้า หมู่บ้านห่างไกล โรงเรียนห่างไกล สถานีอนามัยห่างไกล	
ภายในอาคาร	เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ ของเล่น ประตุน้ำต่างผลิตไฟฟ้าได้ พัดลม ระบายอากาศติดหน้าต่าง	
ติดตั้งบนหลังคาบ้าน	จ่ายไฟฟ้าตอนกลางวันให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ในบ้าน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 วงจรพื้นฐาน

การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องประจุแบตเตอรี่ รูปที่ 2.13 แสดงวงจรการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีแบตเตอรี่สำหรับประจุไฟฟ้า จะต้องมิได้อัดทำหน้าที่ป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้าไหลย้อนจากแบตเตอรี่กลับไปสู่เซลล์แสงอาทิตย์ และมีตัวต้านทานสำหรับควบคุมไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลเกินขีดจำกัด(หรืออาจใช้วงจรควบคุมแรงดันแทนก็ได้)



รูปที่ 2.13 วงจรการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งใช้แบตเตอรี่สำหรับประจุไฟฟ้า

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างเงื่อนไขความสว่างของแสงที่ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ในการใช้งานกับเครื่องประจุแบตเตอรี่

อุปกรณ์	ต้นกำเนิดแสง	ความสว่างของแสง	
เครื่องประจุแบตเตอรี่	ส่วนมากเป็นแสงอาทิตย์	มาตรฐาน	10,000-100,000 lux
		สูงสุด	120,000 lux

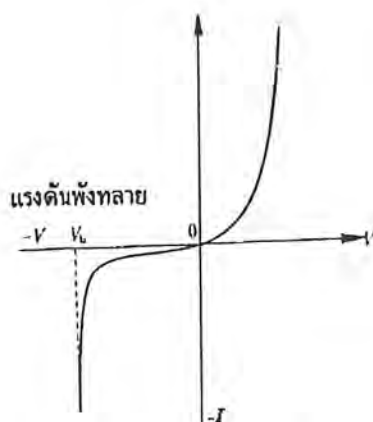
2.8.2 วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

2.8.2.1 ไดโอดสำหรับควบคุมแรงดันไฟฟ้าคร่อมโหลดไม่ให้สูงเกินขีดจำกัด

ปกติการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้ผลิตภัณฑ์ข้ออิเล็กทรอนิกส์มักจะต้องการให้แรงดันไฟฟ้าคงที่หรือต้องการไม่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงเกินขีดจำกัด มิฉะนั้นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์อาจจะเสียหายได้ วิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้ามี 2 วิธีคือ

1. วิธีการต่อ zener diode แบบ reverse bias (กลับทิศทาง) กับเซลล์แสงอาทิตย์ รูปที่ 2.14 แสดงกราฟลักษณะสมบัติ I-V ของ zener diode หลักการทำงานของ zener diode นี้คือ ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สูงเกินแรงดันพังทลายของ zener diode กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่าน zener diode ทันทีและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดจะไม่สูงเกินกว่าค่าแรงดันพังทลายของ zener diode แรงดันพังทลายของ zener diode ที่มีขายมีหลายชนิด เช่นตั้งแต่ค่าต่ำระดับ 1.5 V ไปจนถึงระดับ 100 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 กราฟลักษณะสมบัติ I-V ของ zener diode

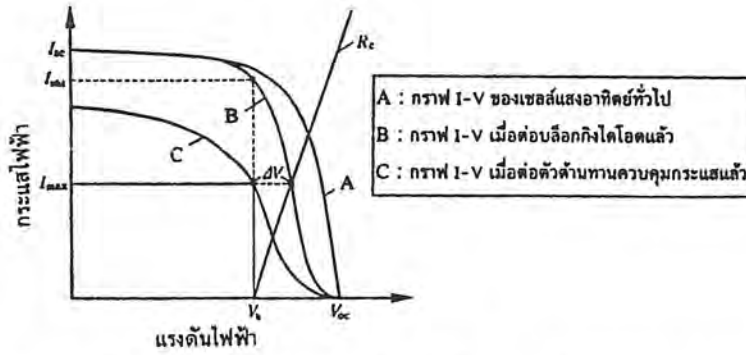
2. วิธีการต่อ diode แบบ forward bias กับเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สูงเกินค่าแรงดันเทอร์ชโฮลด์ของ diode กระแสไฟฟ้ายิ่งจะไหลผ่านไดโอด

2.8.2.2 ไดโอดสำหรับป้องกันไม่ให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้าเซลล์แสงอาทิตย์

ในสภาพที่เกิดความมืด เช่น ตอนกลางคืนหรือเซลล์แสงอาทิตย์วางอยู่ในที่มืด ถ้าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงต่ำกว่าแรงดันของแบตเตอรี่ จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลย้อนจากแบตเตอรี่ไปสู่เซลล์แสงอาทิตย์ วิธีการป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้จำเป็นต้องมีไดโอดต่อเพิ่มเข้าไปในวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.13 ไดโอดที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า “บล็อกกิงไดโอด” (blocking diode) วิธีการต่อบล็อกกิงไดโอดคือให้ต่อแบบอนุกรมกับเซลล์แสงอาทิตย์โดยให้กระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไหลได้สะดวกขณะมีแสง (forward bias) คุณสมบัติของบล็อกกิงไดโอดที่พึงปรารถนาได้แก่กระแสไฟฟ้าย้อนกลับอิมิตีวควรมีค่าน้อยที่สุด และแรงดันไฟฟ้าคร่อมตอน forward bias ควรมีค่าน้อยที่สุด

2.8.2.3 วงจรควบคุมอัตราการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ไม่ให้สูงเกินขีดจำกัด

ในการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่จะต้องมีการควบคุมมิให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าแบตเตอรี่ด้วยอัตราที่สูงเกินขีดจำกัด อัตราการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่มีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดว่าอัตราการประจุเท่ากับ 40 Ah หมายความว่าในการประจุเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะต้องควบคุมไม่ให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเกิน 40 A วิธีการควบคุมอัตราการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่สามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมเข้ากับแบตเตอรี่ รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะการกำหนดค่าความต้านทาน R_c สำหรับควบคุมอัตราการประจุกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 แสดงวิธีการกำหนดค่าความต้านทาน R_c สำหรับควบคุมกระแสไฟฟ้า

ให้ A คือ เส้นกราฟลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีแสงความเข้มสูงมากที่สุด

ให้ B คือ เส้นกราฟเมื่อมีการต่อ บล็อกกิ้งไดโอด

ให้ V_b คือ แรงดันไฟฟ้าคร่อมแบตเตอรี่

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่คือ I_{out}

ถ้าต้องการลดกระแสไฟฟ้าที่ประจุเข้าแบตเตอรี่ให้เหลือ I_{limit} เราสามารถทำได้โดยการต่อตัวต้านทาน R_c แบบอนุกรมกับแบตเตอรี่และจะทำให้กราฟกลายเป็นเส้น C ค่า R_c กำหนดได้จาก

$$R_c = \frac{\Delta V}{I_{limit}}$$

โดยที่ ΔV คือแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงตามที่แสดงในรูป

2.8.3 การออกแบบขนาดของมอดูลของเซลล์แสงอาทิตย์

มอดูล หมายถึง ชุดที่ประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนหลายแผ่นที่ถูกนำมาต่อกันเพื่อให้ได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่จะได้จากมอดูลจะแปรผันตรงกับพื้นที่ของมอดูลการออกแบบมอดูลจะต้องกำหนดชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ และต้องทราบเงื่อนไขสภาพการใช้งาน เช่นสเปกตรัมของแสง ความเข้มขึ้นของแสง อุณหภูมิการใช้งาน กำลังไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ต้องการ

2.8.3.1 การกำหนดจำนวนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะต่ออนุกรม

เซลล์แสงอาทิตย์ต่างชนิดกันจะให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตแตกต่างกัน ตัวอย่างการใช้งานภายใต้แสงความเข้มขึ้น 100 lux – 100,000 lux แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ จะมีค่าโดยประมาณดังนี้

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

	ชนิดผลึก Si ต่อเซลล์	ชนิดอะมอร์ฟิซซิลิคอน (a-Si:H)	ชนิดผลึก GaAs
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V)	0.3 – 0.4	0.4 – 0.6	0.6 – 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นต้นกำเนิดไฟฟ้าให้โหลด

$$\text{จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรม} = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ต้องการ}}{\text{แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต สูงสุดของ 1 เซลล์}}$$

กรณีใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประจุกระแสไฟฟ้าให้แบตเตอรี่

$$\text{จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรม} = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ} + \text{แรงดันไฟฟ้าคร่อมบล็อกรังไดโอด}}{\text{แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต สูงสุดของ 1 เซลล์}}$$

2.8.3.2 การกำหนดพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์

กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกกำหนดด้วยพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ ในกรณีที่ความต้องการกระแสไฟฟ้าไม่สูงนัก ไม่จำเป็นต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน แต่ถ้าต้องการกระแสไฟฟ้าสูงมาก เราจะต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานหลายตัว ถ้าให้ S คือพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ และ I_{max} คือกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่ I คือความต้องการกระแสไฟฟ้าที่จุดทำงาน ดังนั้นพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการใช้คือ

$$S = I/m // I_{max}$$

โดยที่ m คือแฟกเตอร์ที่ขึ้นกับชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

2.8.3.3 การออกแบบขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อกับแบตเตอรี่

การประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ มีแฟกเตอร์หลายข้อที่ควรระวัง เช่น กำลังไฟฟ้าที่ประจุจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งขึ้นกับความจุของแบตเตอรี่ และเวลากลางคืนจะไม่มีกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ความเข้มขั้วของแสงอาทิตย์ในเวลาวันมีค่าประมาณ 100,000 – 200,000 lux และมีแสงประมาณ 5-7 ชั่วโมง

คำว่า “ความจุของแบตเตอรี่” หมายถึง “ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้งานได้ โดยเมื่อมีการประจุแบตเตอรี่จนเต็มแล้ว และใช้งานด้วยอัตรากระแสไฟฟ้าที่คงที่ที่จนกระทั่งแรงดันของแบตเตอรี่ลดลง จนถึงค่าต่ำสุด” มีหน่วยคือ แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) วัตต์-ชั่วโมง (Wh) โดยทั่วไปนิยมใช้หน่วย Ah

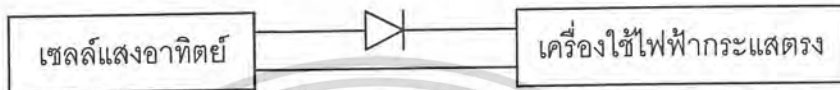
เพื่อป้องกันมิให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็ว จะมีการกำหนดค่าการประจุกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการประจุเข้าแบตเตอรี่ด้วยตัวอักษร C เช่น อัตราการประจุกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.1C สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 100 mAh หมายความว่า จะต้องประจุด้วยกระแสไฟฟ้าที่ไม่สูงกว่า 10 mA (= 0.1 x 100 mAh) ตารางที่ 2.4 แสดงค่ามาตรฐานของการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีการใช้แบตเตอรี่ชนิด Ni-Cd ก็บววิทย์ การประจุที่อัตรา 0.1C จะทำให้ไม่เกิดการประจุมากเกินไป หรือถ้าพิจารณาว่าสามเข้มน้ของแสงไม่สูงมากนักและมีแสงอาทิตย์สั้นเพียง 3-4 ชั่วโมงต่อวัน ก็อาจประจุที่อัตรา 0.2-0.4C ก็ได้ ในกรณีแบตเตอรี่ชนิด AgCl ซึ่งนิยมใช้กับนาฬิกาข้อมือนั้น ควรใช้อัตราการประจุที่น้อยมากๆ คือ 0.001C

ถ้าจ่ายไฟฟ้าให้เฉพาะเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในเวลากลางวัน เช่น หลอดไฟกระแสตรง ระบบจะเป็นค้รูปที่ 2.16

ไดโอดป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ (บล็อกกิง ไดโอด)



รูปที่ 2.16 วิธีการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในเวลากลางวัน

ตารางที่ 2.5 อัตรามาตรฐานของการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่

ชนิดของแบตเตอรี่	ประสิทธิภาพ	อัตรากระแสไฟฟ้าที่ใช้ประจุ	ควรใช้งานให้เหลือที่เปอร์เซ็นต์ของค่าความจุ จึงจะประจุครั้งต่อไป
นิกเกิลแคดเมียม (Ni-Cd)	0.8-0.9	0.1C-0.3C	0% (ใช้ให้หมด)
ตะกั่ว (Lead acid)	0.85-0.95	0.5C-1C	70%
นิกเกิลไฮไดรด์ (NiH)	0.7-0.9	0.1C	0% (ใช้ให้หมด)
เงินคลอไรด์ (AgCl)	0.9-1.0	0.001C	70%

2.8.4 การกำหนดสถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรเป็นที่โล่ง ไม่มีเงาบังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่อยู่ใกล้สถานที่เกิดฝุ่นมาก อาจติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน หรือบนหลังคาบ้านก็ได้ ควรวางให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีความลาดเอียงประมาณ 10-15 องศาจากระดับแนวนอนและหันหน้าไปทางทิศใต้ การวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความลาดดังกล่าว จะช่วยให้เซลล์แสงอาทิตย์รับแสงอาทิตย์ได้เฉลี่ยมากที่สุด และเกิดการระบายน้ำฝนได้รวดเร็ว ต้องออกแบบให้มีอุปกรณ์ยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างแข็งแรง สามารถทนต่อแรงลมและฝนได้เพียงพอ และถ้าด้านล่างของแผงมีช่องระบายลมได้ด้วยก็จะดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

MOTORS

3.1 ประเภทของมอเตอร์

โดยทั่วไปมอเตอร์ที่ใช้ในงานปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะไฟฟ้าของแหล่งจ่าย หลักการหมุน และ โครงสร้าง ได้แก่

3.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current motors : AC motors) เป็นมอเตอร์ที่ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดของมอเตอร์ไหลกลับไปมาตลอดเวลา สามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามความสำคัญและสัดส่วนของการใช้งาน ได้ดังนี้

3.1.1.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ (induction motors)

3.1.1.1.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (single-phase induction motors) แบ่งเป็น

- 1) แบบเริ่มเดินเครื่องด้วยการแยกเฟส (split-phase start)
- 2) แบบเริ่มเดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ เดินเครื่องด้วยการเหนี่ยวนำ (capacitor start induction run)
- 3) แบบเริ่มเดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ เดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ (capacitor start capacitor run)
- 4) แบบเริ่มเดินเครื่องและเดินเครื่องด้วยตัวเก็บประจุ (capacitor start and run)
- 5) แบบรีพัลชัน (repulsion start)

3.1.1.1.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (three-phase induction motors) แบ่งเป็น

- 1) แบบกรงกระรอก (squirrel-cage) แบ่งออกเป็นชนิด single speed, two speed และ three speed
- 2) แบบโรเตอร์พันลวด (wound-rotor) แบ่งออกเป็นชนิด slip ring และ commutator

3.1.1.2 มอเตอร์ซิงโครนัส (synchronous motors)

3.1.1.3 มอเตอร์สเต็ปิง (stepping motors)

3.1.1.4 มอเตอร์แบบมีคอมมิวเตเตอร์ (commutator motors)

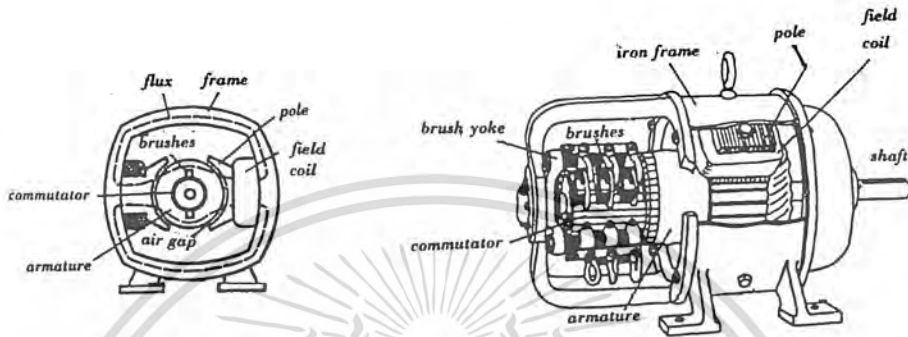
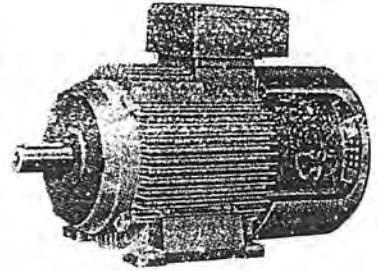
3.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (direct current motors: DC motors)

การใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงค่อนข้างจำกัด เนื่องจากในปัจจุบันนี้มีการใช้มอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ ปรึบความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ที่ปรับความถี่กันมากขึ้น แต่ก็ยังคงใช้กันอยู่มากในกรณีที่ใช้เครื่องจักรกลซึ่งต้องเริ่มหมุนหรือต้องเดินหน้าถอยหลังที่โหลดเต็มที่ และมีการปรับความเร็วอย่างละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ปกติเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเพียงเครื่องเดียวก็อาจเป็นได้ทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า กล่าวคือ ถ้าได้รับแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกจะทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า และถ้าได้รับเป็นพลังงานกลจากภายนอกจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



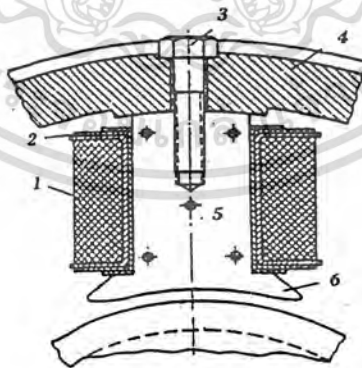
รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็น โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมด

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ

3.2.1 ขั้วสนามแม่เหล็ก (Field poles)

ขั้วสนามแม่เหล็กเป็นส่วนที่สร้างฟลักแม่เหล็ก เมื่อนำในอาร์เมเจอร์หมุนตัดผ่านฟลัก แม่เหล็กนี้จะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้น

ส่วนประกอบ โครงสร้างของขั้วสนามแม่เหล็ก ในรูปที่ 3.2 มีดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบโครงสร้างของขั้วสนามแม่เหล็ก

หมายเลข 1 ขดสนามแม่เหล็ก (Field Coil)

ทำจากขดลวดทองแดง มีหน้าที่สร้างอำนาจแม่เหล็กหลังจากจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 2 ฉนวนรองรับขดลวดสนามแม่เหล็ก

ทำจากวัสดุ เช่น กระดาษบางๆ (หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) หรือพลาสติกที่ทำให้เกิดการซึมซาบจากยางสน หรือผ้า เป็นต้น มีหน้าที่รองรับขดลวดสนามแม่เหล็ก ในปัจจุบันการออกแบบเครื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็กจะไม่มีฉนวนรองรับขดลวดสนามแม่เหล็ก

หมายเลข 3 สกรูยึด (Special Bolt)

ทำหน้าที่ยึดขั้วแม่เหล็กให้ติดกับเปลือกหรือโครงเหล็ก

หมายเลข 4 เปลือกหรือโครงเหล็ก (Frame or Yoke)

ทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องกลไฟฟ้า

หมายเลข 5 แกนขั้วแม่เหล็ก (Pole core or laminated core)

ทำจากแผ่น โลหะบางๆ เพื่อลดความสูญเสียจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (eddy current loss) แกนขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่สร้างฟลักแม่เหล็กเมื่อได้รับการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า จากขดลวดสนามแม่เหล็ก

หมายเลข 6 ปลายขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoe)

เป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับอาร์เมเจอร์มากที่สุด โดยมีช่องอากาศ (Air gap) เป็นตัวคั่นกลาง ปลายขั้วแม่เหล็กจะมีส่วนที่ยื่นออกมาเพื่อให้ฟลักแม่เหล็กไหลผ่านได้สะดวก

3.2.2 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core)

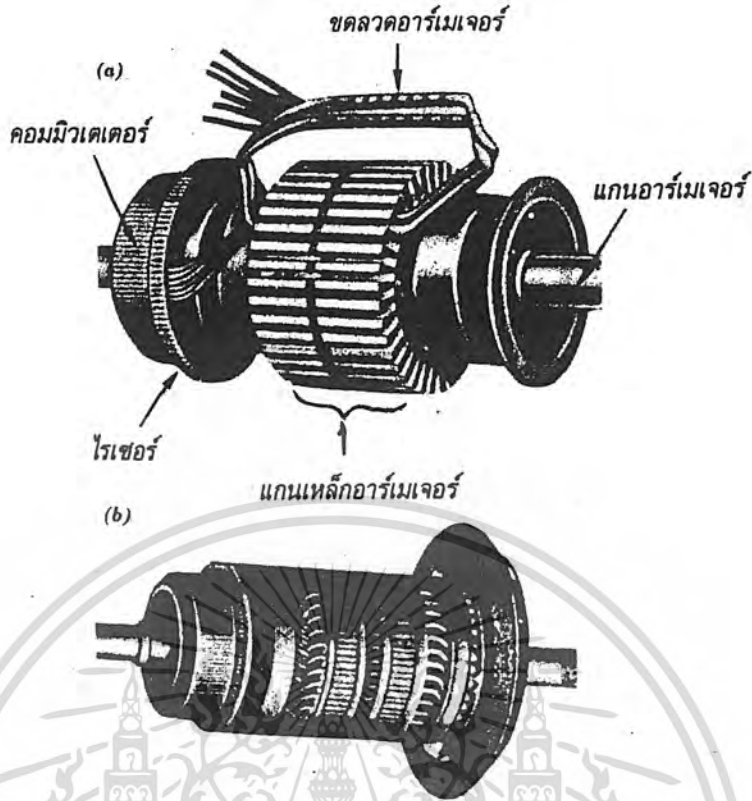
แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ทำจากแผ่นเหล็กบางๆ แต่ละแผ่นอบน้ำยาวานิช หรือกั้นด้วยกระดาษแลวน้ำไปอัดเป็นรูปแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (รูปที่ 3.4) สาเหตุที่ต้องใช้แผ่นลามิเนตทำแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ เพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (eddy current loss) ที่เกิดขึ้นในตัวอาร์เมเจอร์เอง

แกนเหล็กอาร์เมเจอร์จะมีร่องสลอตมากมายสำหรับฝังขดลวดตัวนำลงไปในเรื่องนี้(รูป 3.3)

ร่องสลอต



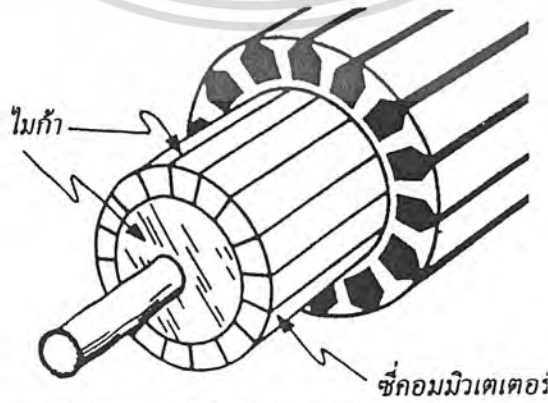
รูปที่ 3.3 แสดงร่องสลอตสำหรับฝังขดลวดตัวนำในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์



รูปที่ 3.4 (a) เป็นรูปขณะพันลวดลงร่องสลอตของอาร์เมเจอร์
 (b) แสดงให้เห็นอาร์เมเจอร์เมื่อพันลวดและประกอบเสร็จแล้ว

3.2.3 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายๆ ซี่ อัดกดด้วยความแน่นนำไปกึ่งผิวให้เป็นรูปทรงกระบอก ซี่คอมมิวเตเตอร์แต่ละซี่คั่นด้วยแผ่นฉนวนไมก้าเพื่อไม่ให้ค้อถึงกัน คอมมิวเตเตอร์มีหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากแปรงถ่านเพื่อส่งไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์

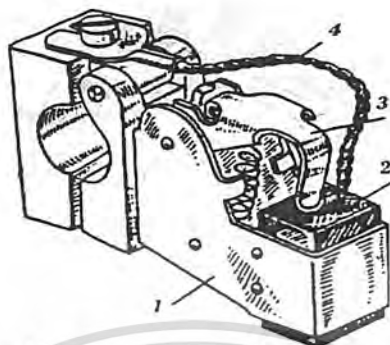


รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 แปรงถ่านและที่ยึดแปรงถ่าน (Brush and brush holder)

แท่งแปรงถ่านอาจทำจากส่วนผสมของคาร์บอนกับกราไฟท์ หรือคาร์บอนกับทองแดง แปรงถ่านทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากวงจรรายนอกส่งไปยังคอมมิวเตเตอร์ ชุดแปรงถ่านมีดังนี้



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของชุดแปรงถ่าน

หมายเลข 1 ก่องใส่แปรงถ่าน (Brush-holder box)

หมายเลข 2 แท่งแปรงถ่าน (Brush)

หมายเลข 3 สปริงแรงอัด (Pressure Spring)

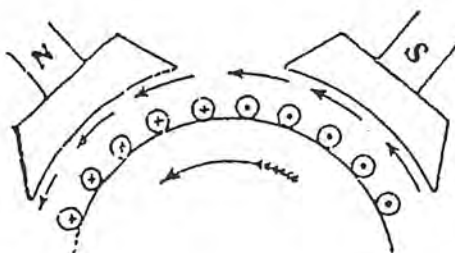
ทำหน้าที่กดแปรงถ่านให้สัมผัสกับพื้นผิวของคอมมิวเตเตอร์ด้วยแรง $1.5-2.5 \text{ N/cm}^2$ สามารถปรับค่าของแรงที่กดได้

หมายเลข 4 หางเปียแปรงถ่าน (Brush Pigtail)

เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าที่ถูกส่งเข้ามายังแปรงถ่าน หรือถูกส่งออกจากแปรงถ่านสู่วงจรรายนอก

3.3 การทำงานพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

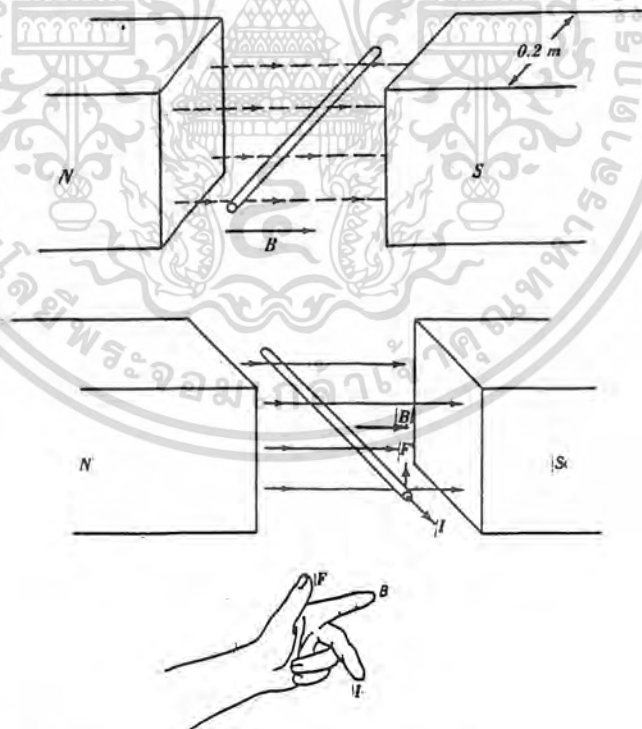
มอเตอร์ก็คือตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลเพื่อนำพลังงานที่ได้ไปขับเคลื่อนสิ่งต่างๆ ตามที่ต้องการ อาการทางกลที่เกิดขึ้นก็อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อมีกระแสไฟไหลในตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กนั้นย่อมทำให้เกิดแรงขึ้น



รูปที่ 3.7 หลักการของมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 แสดงส่วนหนึ่งของมอเตอร์กระแสไฟตรงที่มีหลายขั้วแม่เหล็ก เมื่อใส่ไฟเข้าไปที่สนามกระตุ้นยอมทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ขั้วแม่เหล็ก และเมื่อกระแสให้ไหลผ่านในตัวนำที่อาร์เมเจอร์ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นในตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก นั่นคือทำให้อาร์เมเจอร์หมุนในที่นี้ ได้กำหนดให้กระแสในตัวนำของอาร์เมเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ N มีทิศของกระแสพุ่งเข้าไปข้างในทางลูกศรที่เป็นกากบาท ส่วนตัวนำที่อยู่ภายใต้ขั้วใต้ให้กระแสพุ่งออกมาข้างนอกดังหัวลูกศรที่เป็นจุดเมื่อเป็นเช่นนี้ จึงหาทิศทางการเคลื่อนของตัวนำทุกๆ ตัวที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้ง N และ S ได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง วิธีหาก็คือกางมือซ้ายออกโดยให้นิ้วหัวแม่มือชี้และนิ้วกลางตั้งฉากซึ่งกันและกัน จากนั้นให้นิ้วชี้ไปทิศทางการเคลื่อนของสนามแม่เหล็ก คือชี้จากขั้วจาก N ไป S ให้นิ้วกลางชี้ไปตามทิศทางการไหลของกระแสในตัวนำที่ต้องการหาทิศทางการเคลื่อนที่ นั้น นั่นคือหัวแม่มือจะชี้ทางการเคลื่อนที่ตัวนำนั้นๆ จะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำทุกๆ ตัวภายใต้ขั้วแม่เหล็กเดียวกัน และจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์เมเจอร์นั้นๆ และพบว่าแรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุกๆ ขั้ว ที่สลับกันไปในนั้นจะมีทิศทางไปทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยแต่ละแรงจะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์เมเจอร์ นั่นคือภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วก็จะมีแรงตั้งขึ้นแรงหนึ่ง ฉะนั้นเมื่อมีหลายขั้วก็จะมีหลายแรงและทุกๆ แรง ต่างก็รวมกันเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่ง ฉะนั้นจึงทำให้มอเตอร์หมุนไปได้จากแรงนี้

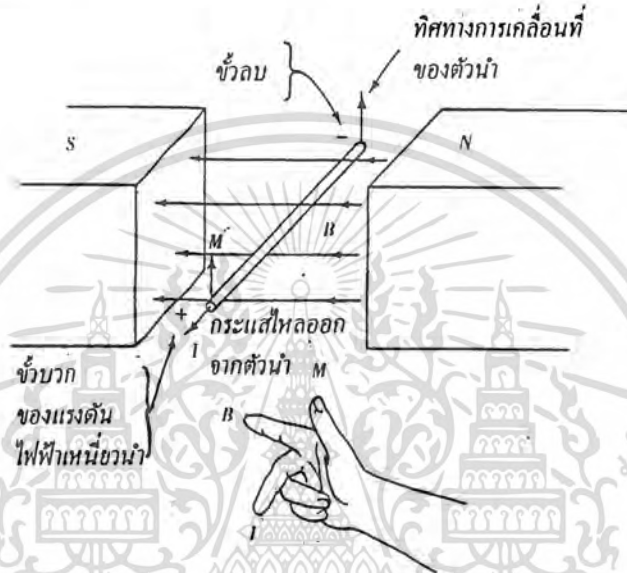


รูปที่ 3.8 การเกิดแรงทางกลและการหาทิศทางโดยใช้กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = BIl$$

- โดยที่ F คือ แรงที่เกิดขึ้นในลวดตัวนำ มีหน่วยเป็นตัน
 B คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น Wb/m^2
 I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ มีหน่วยเป็นแอมแปร์
 l คือ ความยาวของตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเมตร



รูปที่ 3.9 ทิศทางแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎมือขวา

$$e = Blv$$

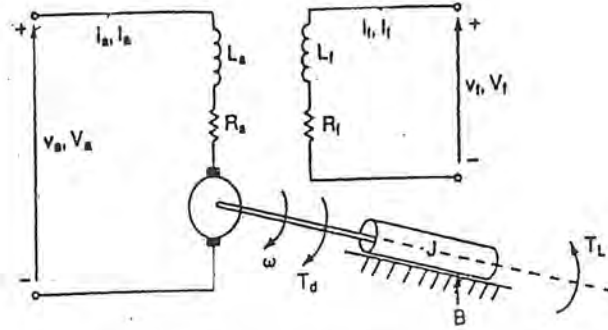
- โดยที่ e คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดในตัวนำ
 B คือ ความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็ก
 l คือ ความยาวของตัวนำที่วางตัวตัดกับฟลักแม่เหล็ก
 v คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กของตัวนำ

3.4 ชนิดของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงประกอบด้วยสเตเตอร์ซึ่งมีขั้วแม่เหล็ก (pole) และ โรเตอร์ซึ่งมีขดลวดอะเมเจอร์ (amature) พันอยู่โดยรอบ โดยมีปลายขดลวดอะเมเจอร์ต่อที่คอมมิวเตเตอร์ (commutator) การต่อขดลวดสนามแม่เหล็กกับขดลวดอะเมเจอร์มีอยู่หลายแบบ เราเรียกชื่อมอเตอร์กระแสตรงตามการต่อขดลวดนี้กับขดลวดอะเมเจอร์ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

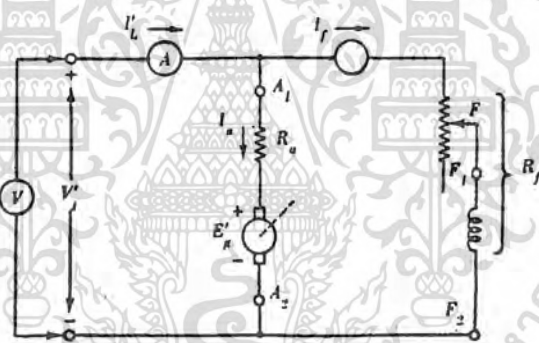
3.4.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น (Separately excited motors)



รูปที่ 3.10 มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น

3.4.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง (Self excited motor) แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

3.4.2.1 มอเตอร์แบบวงจรขั้วแม่เหล็กขนาน (shunt motors)



รูปที่ 3.11 มอเตอร์กระแสตรงแบบขั้วแม่เหล็กขนาน

จากวงจรในรูป 3.11 ถ้านำกฎมือซ้ายมาพิจารณาจะได้ว่า

- ถ้าสลับขั้วอาร์เมเจอร์ (สลับตำแหน่ง A_1 และ A_2) เพียงอย่างเดียวจะทำให้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดตัวนำในอาร์เมเจอร์ไหลกับทิศทาง ทำให้แรงเกิดในตัวนำและแรงบิดเปลี่ยนทิศทางในลักษณะตรงข้ามกับทิศทางเดิม ดังนั้นมอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทาง

- ถ้าสลับขั้วลวดฟิลด์ (สลับตำแหน่ง F_1 และ F_2) เพียงอย่างเดียว จำทำให้ขั้วแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง (ขั้วเหนือเป็นขั้วใต้) นั่นคือ ทิศทางของฟลักแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงจึงทำให้แรงที่เกิดขึ้นในตัวนำเปลี่ยนทิศทางในลักษณะตรงกันข้าม ดังนั้นมอเตอร์จึงหมุนกับทิศทาง

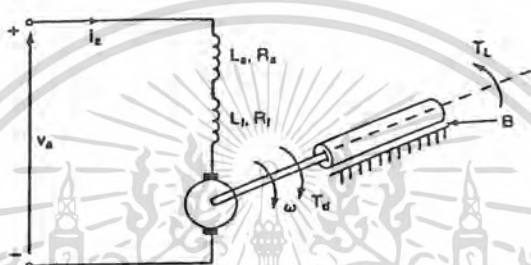
- ถ้าสลับขั้วแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (สลับตำแหน่งขั้ว + และขั้ว -) ก็เปรียบเหมือนกับว่าเราเปลี่ยนทั้งขั้วแม่เหล็ก และทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ทั้ง 2 อย่าง

ทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขดลวดสนามแม่เหล็กต่อคร่อมที่แปลงถ่านของมอเตอร์และมีแรงดันไฟฟ้าเต็มป้อนให้ ขดลวด ขดลวดสนามแม่เหล็กจะมีความต้านทานสูง กระแสไหลผ่านจะมีค่าโดยทั่วไปประมาณ 1-3 % ของกระแสเมเจอร์เนื่องจากขดลวดสนามแม่เหล็กต่อกับแรงดันของแหล่งจ่ายจะได้ฟลักซ์แม่เหล็กคงที่ ดังนั้น ความเร็วของมอเตอร์ชนิดนี้เกือบจะคงที่ จะมีความเร็วเปลี่ยนแปลงประมาณ 5 % ระหว่างมอเตอร์ตัวเปล่ากับเมื่อมีโหลดเต็มที่ ถ้ามีอินเตอร์โพลด้วย ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงเพียงประมาณ 3-4 % เท่านั้น ถ้าโหลดของมอเตอร์เพิ่ม กระแสเมเจอร์จะเพิ่มตามไปด้วย มอเตอร์ต่อขนานไม่เหมาะกับเครื่องที่มีโหลดหนักเมื่อเริ่มเดินเครื่อง แต่มีลักษณะพิเศษตรงที่มีความเร็วค่อนข้างคงที่ มอเตอร์ชนิดนี้จึงเหมาะกับการขับเคลื่อนเครื่องมือกล ปัม ที่ต้องการความเร็วทำงานคงที่

3.4.2.2 มอเตอร์แบบวงจรขั้วแม่เหล็กอนุกรม (series motors)



รูปที่ 3.12 มอเตอร์กระแสตรงแบบขั้วแม่เหล็กอนุกรม

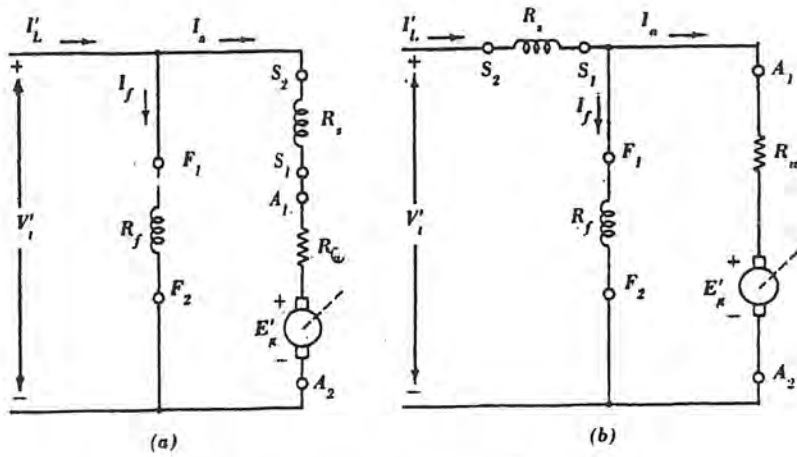
มีขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออย่างอนุกรมกับอะเมเจอร์ ดังนั้น กระแสเมเจอร์จะไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กซึ่งมีจำนวนรอบน้อยด้วย เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนที่โหลดเต็มที่จะมีกระแสไหลมากและทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กมาก แรงบิดตอนเริ่มหมุนจะสูง ด้วยเหตุนี้ มอเตอร์ต่ออนุกรมจึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องที่ต้องการแรงบิดเริ่มต้นที่สูง เช่น เคนและรถรางไฟฟ้า ในขณะที่เริ่มหมุนตอนมีโหลด ฟลักซ์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะสูง ซึ่งทำให้ความเร็วของมอเตอร์ต่ำและจะเพิ่มขึ้นโดยเร็วเมื่อกระแสเมเจอร์ลดลง ดังนั้น มอเตอร์แบบนี้จึงมีความเร็วที่เปลี่ยนแปลงได้ แต่ถ้าโหลดลดลงทันทีทันใด หรือสนามแม่เหล็กหายไปทันใด ความเร็วจะเพิ่มขึ้นทันที

3.4.2.3 มอเตอร์แบบวงจรขั้วแม่เหล็กผสม (compound motors) แบ่งเป็น 2 แบบ

- ชนิด Short Shunt
- ชนิด Long Shunt

ฟลักซ์ที่ได้จากขดลวดทั้งสองในโพลเดียวกันจะเสริมกัน ลักษณะสมบัติของมอเตอร์ชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นผลจากขดลวดทั้งสอง ขดลวดต่อแบบขนานจะให้สนามแม่เหล็กคงที่และทำให้มอเตอร์มีความเร็วคงที่ แต่เมื่อโหลดมอเตอร์เพิ่มขึ้น ผลจากขดลวดต่ออันดับจะเพิ่มขึ้น นั่นคือแรงบิดจะเพิ่ม ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อโหลดเปลี่ยนจากไม่มีโหลดเป็นโหลดเต็มที่ประมาณระหว่าง 15-20 % เนื่องจากผลของขดลวดที่ต่อแบบขนาน จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ชนิดนี้ ไม่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดเมื่อโหลดเปลี่ยน จึงเหมาะกับเครื่องที่มีโหลดเกิดเป็นช่วงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 มอเตอร์กระแสตรงแบบขั้วแม่เหล็กผสม

3.5 สมการหลักๆ ของมอเตอร์กระแสตรง

ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ในการนำไปใช้งานควบคุม มีดังต่อไปนี้
 สมการแรงบิด (Torque) $T = K_1 \Phi I_a$ นิวตันเมตร

สมการความเร็ว (Speed) $S = \frac{V - I_a R_a}{K_2 \Phi} = \frac{E_a}{K_2 \Phi}$ rpm
 $= V / K_2 \Phi$ โดยประมาณ

สมการแรงดัน $E_a = V - I_a R_a$ โวลต์
 $I_a = (V - E_a) / R_a$ แอมป์

สมการกำลัง $P = K_3 (V I_a - I_a^2 R)$ วัตต์

$T =$ แรงบิด (Torque).....(N-m)

$K =$ ค่าคงที่ของพารามิเตอร์ทางกายภาพของมอเตอร์

$\Phi =$ ฟลักซ์แม่เหล็กต่อขั้ว..... เวเบอร์ (wb)

$I_a =$ กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์(A)

$S =$ ความเร็วรอบ (rpm)

$V =$ แรงดันไฟฟ้าที่โหลดหรือแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว..... (V)

$R_a =$ ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์..... (Ω)

$P =$ Output power(w)

$E_a =$ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ.....(V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ค่าความสูญเสียในมอเตอร์

ค่าความสูญเสียต่างๆ ในมอเตอร์เกิดจากโครงสร้างทางไฟฟ้า ทางกล และการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าดังต่อไปนี้

3.6.1 ค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์ (stator losses) จะอยู่ในรูปของความร้อนเกิดจากกระแสไหลที่ผ่านของขดลวดที่มีความต้านทานอยู่ภายใน (I^2R)

3.6.2 ค่าความสูญเสียที่แกนเหล็ก (core losses) เกิดจากพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ไหลอยู่ในแกนเหล็ก (hysteresis losses) รวมทั้งความสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (eddy current losses)

3.6.3 ความสูญเสียที่โรเตอร์ (rotor losses) อยู่ในรูปความร้อนเช่นเดียวกับสเตเตอร์แต่เกิดที่ขดลวดในโรเตอร์

3.6.4 ค่าความสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน (windage and friction losses) เกิดจากแรงเสียดทานในดรัมลูกปืนและแรงต้านของครีบบระบายอากาศที่ตัวมอเตอร์ โดยรวมแล้วการสูญเสียที่แกนเหล็ก การสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน เป็นค่าสูญเสียที่มีค่าคงที่และไม่ขึ้นกับโหลดของมอเตอร์เรียกโดยรวมว่า “ค่าความสูญเสียขณะที่มีมอเตอร์ไม่มีโหลด” (no-load losses)

3.6.5 ค่าการสูญเสียจากภาระการใช้งาน (stray losses) เป็นผลจากค่าความสูญเสียที่เกิดจากความถี่ในแกนเหล็กที่โรเตอร์ ค่ากระแสไหลวนในขดลวดที่สเตเตอร์ ค่าความสูญเสียจากค่ากระแสฮาร์มอนิกในคาน้ำของโรเตอร์ขณะที่มีโหลด ค่าสนามแม่เหล็กรั่วไหลที่เกิดจากกระแสไหลวน ซึ่งการสูญเสียที่สเตเตอร์ โรเตอร์ และจากภาระการใช้งาน จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของโหลด เรียกโดยรวมว่า “ค่าความสูญเสียขณะมีโหลด”

ค่าความสูญเสียแบ่งแยกตามลักษณะการทำงานของมอเตอร์

1. ค่าความสูญเสียขณะมอเตอร์ไม่มีโหลด (no-load losses) ประกอบด้วยค่าความสูญเสียจากแกนแม่เหล็ก และค่าความสูญเสียทางกล
2. ค่าความสูญเสียขณะมอเตอร์มีโหลด (load losses) ประกอบด้วยค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์ ค่าความสูญเสียที่โรเตอร์และค่าความสูญเสียจากภาระการใช้งาน

3.7 สตาร์ทเตอร์และการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง สามารถทำได้ดังนี้

1. การลดฟลักซ์แม่เหล็ก โดยการลดกระแส I_f ทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้น แต่แรงบิดจะลดลงไปด้วยในขณะที่กำลังปริมาณเท่าเดิม ด้วยวิธีนี้จะควบคุมความเร็วได้ประมาณ 3 %
2. การลดแรงดันไฟฟ้า V ให้ต่ำลง ความเร็วของมอเตอร์จะลดลง ให้กระแสอาร์เมเจอร์คงที่ จะได้แรงบิดคงที่ กำลังของมอเตอร์จะลดลงตามความเร็วพิกัดควบคุมความเร็ว จะขึ้นกับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับอาร์เมเจอร์ ช่วงประมาณ 6-12 V หรือประมาณ 50 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์

ลักษณะสมบัติความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกและอนุกรมที่แรงดันอาร์เมเจอร์ต่างๆ กัน โดยการลดแรงดันอาร์เมเจอร์ทำให้ความเร็วลดลงจาก natural speed จะเป็นศูนย์ ดังนั้นย่านในการควบคุมความเร็วจะกระทำได้ไม่เกินเส้น natural ของลักษณะสมบัติความเร็วและแรงบิด

วิธีการควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้ คือ สามารถที่จะขับมอเตอร์ที่แรงบิดสูงสุดได้ และแรงบิดที่ได้จากมอเตอร์จะคงที่ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ กระทำได้โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ หรือตัวแปลงผันต่อไปนี้

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้าเอซี ใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์เข้าเรียงกระแสเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้าดีซี
2. แหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซี ใช้วงจรสลับไฟฟ้า (Chopper) เปลี่ยนไฟฟ้าดีซี จากแหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้าดีซี

3.7.2 การควบคุมที่ฟลักซ์ของขดสนามแม่เหล็ก (Field Control)

ลักษณะสมบัติความเร็วของแรงบิดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก และแบบอนุกรม เมื่อทำการควบคุมที่ฟลักซ์ในมอเตอร์แบบกระตุ้นแยกการควบคุมที่ฟลักซ์ กระทำโดยเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดสนามแม่เหล็ก โดยการใช้ Control rectifier หรือ Chopper ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าแหล่งจ่ายที่ใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ในมอเตอร์แบบขนานการควบคุมฟลักซ์ กระทำได้โดยใส่ความต้านทานปรับค่าได้เข้าไปในวงจรของขดสนามแม่เหล็กเพื่อทำการแบ่งการไหลของกระแสไฟฟ้า

3.7.3 การควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์และฟลักซ์ร่วมกัน (Armature Voltage and Field Control)

การขับเคลื่อนที่ต้องการควบคุมความเร็วได้ในย่านที่กว้างขึ้นนั้นทำได้โดยใช้วิธีการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ ร่วมกับการควบคุมฟลักซ์การควบคุมความเร็วจากหยุดหมุนจนถึง base speed จะต้องควบคุมที่ขดสนามแม่เหล็กโดยการลดปริมาณฟลักซ์ ผลการควบคุมร่วมกับดังกล่าวทำให้มีขีดจำกัดทางด้านแรงบิดและกำลัง

3.7.4 การควบคุมแรงดันไฟตรงของอาร์เมเจอร์ (Armature Voltage Control)

เนื่องจากความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง จะแปรผันตรงกับแรงดันที่ใส่ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์โดยการควบคุมแรงดันของอาร์เมเจอร์ วิธีการนี้จะใช้ในช่วงความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด (base speed หรือ N_{base}) การควบคุมนี้จะทำให้แรงบิดสูงสุด (Maximum torque) ของมอเตอร์ที่มีค่าคงที่ตลอดช่วงความเร็วเมื่อกระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับค่าสูงสุด ส่วนกำลังออกของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วเป็นเส้นตรง โดยจะมีกำลังออกสูงสุดที่ความเร็วที่กำหนด (base speed) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง โดยทั่วไปจะใช้การควบคุมแรงดันของอาร์เมเจอร์ เนื่องจากให้แรงบิดสูง

3.7.5 การควบคุมความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Flux Control Method)

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง มีย่านความเร็วที่สูงกว่าความเร็วที่กำหนด (N_{base}) จะทำโดยการควบคุมกระแสขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ เมื่อเราต้องการเพิ่มความเร็ว เราจะต้องลดขนาดของกระแสของขดลวดลง ขณะที่กำลังออกสูงสุดของมอเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลง วิธีการนี้จะใช้กับโหลดที่ต้องการความเร็วสูง โดยที่แรงบิดของโหลดจะต้องลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ไม่เช่นนั้นจะเป็นการโอเวอร์โหลดมอเตอร์

3.7.6 การควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์ (Armature resistance Control)

การควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยการควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์นั้น เป็นวิธีที่กระทำกันมานานแล้ว การควบคุมกระทำได้โดยต่อตัวต้านทานปรับค่าได้อินทรีย์กับวงจรอาร์เมเจอร์ เป็นผลให้แรงดันอาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงได้เมื่อปรับความต้านทาน แต่วิธีการนี้มีข้อเสียคือ ประสิทธิภาพที่ได้จากมอเตอร์จะต่ำเนื่องจากมีค่าสูญเสียที่ตัวต้านทานดังกล่าว และจากลักษณะสมบัติและแรงบิดเมื่อควบคุมความต้านทานอาร์เมเจอร์ จะเห็นได้ว่า เมื่อปรับความต้านทานเพิ่มขึ้นจะเป็นผลให้แรงบิดสูงที่ได้จากมอเตอร์ลดลงเป็นอย่างมาก การควบคุมความเร็วด้วยวิธีการนี้เหมาะที่จะนำไปใช้ในการควบคุมความเร็วที่ต้องการเปลี่ยนแปลงความเร็วในช่วงเวลาสั้นๆ

3.8 ข้อดีและข้อเสียของมอเตอร์กระแสตรง

ข้อดี

มีคุณสมบัติเหมาะสมในการควบคุมอัตราเร็วของการขับเคลื่อน โดยมีพิสัยของอัตราเร็วกว้างมาก ซึ่งเราสามารถเพิ่มอัตราเร็วให้สูงหรือต่ำกว่าอัตราเร็วปกติ

1. มีแรงหมุนขณะสตาร์ทสูงมาก ซึ่งเหมาะสมกับงานยกของ และขับเคลื่อน
2. วิธีการควบคุมของมอเตอร์กระแสตรงง่ายกว่า เรียบร้อยกว่า และนุ่มนวลกว่ามอเตอร์กระแสสลับที่ทำงานคล้ายกัน

ข้อเสีย

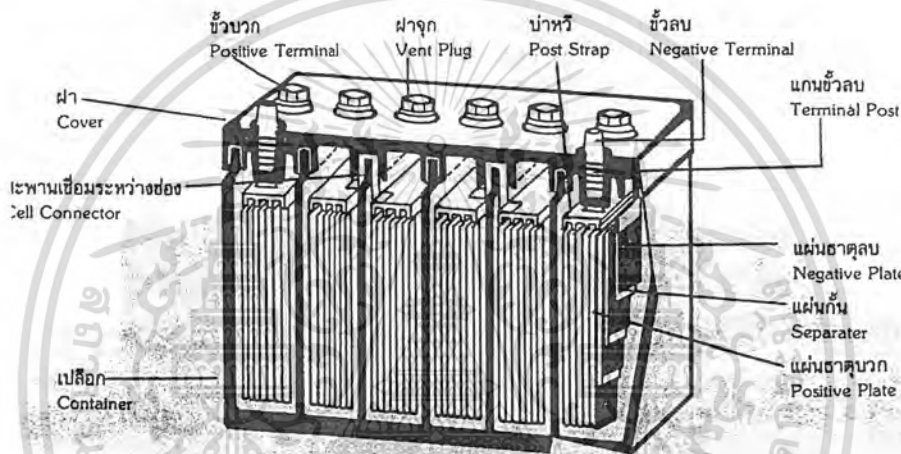
1. ต้องจัดหาแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีไว้ใช้งานเป็นพิเศษ
2. สำหรับของแรงม้าเท่ากันมอเตอร์ดีซีมีขนาดใหญ่ และมีราคาสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ
3. ในการสตาร์ทมอเตอร์ดีซีต้องมีวิธีพิเศษ และยุ่งยากกว่ามอเตอร์เอซึยกเว้นสำหรับมอเตอร์ขนาดเล็กเท่านั้นที่ไม่ต้องการวิธีสตาร์ทพิเศษ
4. ต้องการการซ่อมบำรุงรักษามากกว่ามอเตอร์เอซึทั้งนี้เนื่องมาจากคอมมิวเตเตอร์ มีการสึกหรอที่เกิดจากอาร์ค ประกายไฟและการการขัดสีระหว่างแปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์
5. ระหว่างเซ็กเมนต์ (segment) ของคอมมิวเตเตอร์มีแรงดันแตกต่างกันสูงสุดได้ประมาณ 20 V จึงจะให้คอมมิวเตชันเป็นผลดีเฉพาะฉะนั้นจึงไม่สามารถสร้างมอเตอร์กระแสตรงให้มีขนาดอัตราแรงดันสูงกว่า 600 V และมีขนาดใหญ่หลายพันแรงม้าได้ ถึงแม้ว่ามอเตอร์ดีซีมีข้อดี 2-3 ข้อแต่เป็นข้อได้ดีที่สำคัญมาก เราจึงยังมีการใช้งานมอเตอร์กระแสตรงอยู่จนถึงทุกวันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

BATTERY

ประกอบขึ้นจากเซลล์ตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไปมาบรรจุรวมกันในหม้อเก็บ โดยที่เซลล์ในหม้อเก็บจะต่อเป็นแบบอนุกรมหรือต่อแบบขนานหรือแบบผสม จะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่ต้องการใช้งาน เซลล์ทุติยภูมิเป็นเซลล์ไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าออกไปใช้งานได้ทันที トラบเท่าที่มีปฏิกิริยาเคมีอยู่เช่นเดียวกับเซลล์ปฐมภูมิ แต่เมื่อกระแสไฟฟ้าหมดแล้วก็สามารถนำมาประจุไฟฟ้า (Charge) ใหม่ได้อีกโดยใช้เวลาเพียงไม่นานก็สามารถใช้ได้เหมือนเดิม ส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์ทุติยภูมิหรือแบตเตอรี่มีดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะโครงสร้างแบตเตอรี่

1. ภาชนะบรรจุแผ่นเซลล์ไฟฟ้าเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ทรงสูง ภายในแบ่งเป็นห้องๆ ละ 1 เซลล์อาจจะเป็น 3 ห้อง หรือ 6 ห้อง เพื่อใช้สำหรับบรรจุแผ่นธาตุ
2. แผ่นธาตุลบ จะทำมาจากตะกั่วพูนแผ่นบางๆ มีสีเทา มี 1 แผ่นต่อ 1 เซลล์ แล้วนำมาต่อเชื่อมเป็นชุดๆ
3. แผ่นธาตุบวกทำด้วยตะกั่วไดออกไซด์แผ่นบางๆ มีสีน้ำตาลแก่ขนาดเท่ากับแผ่นลบ แล้วนำมาต่อเชื่อมกันเป็นชุดๆ แต่จะมีจำนวนน้อยกว่าแผ่นลบหม้อละ 1 แผ่นเสมอ
4. แผ่นกั้น ทำด้วยแผ่นเยื่อไม้บางๆ หรือแผ่นกระดาษพิเศษหรือพลาสติกชนิดพิเศษจะอยู่ระหว่างแผ่นธาตุทั้งสองมีลักษณะแข็งแต่จะบางๆ มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ใช้กั้นระหว่างแผ่นธาตุทั้งสอง ไม่ให้สัมผัสกันได้ ลักษณะของแผ่นกั้นจะเป็นลูกคลื่นมีรูเล็กๆ เจาะอยู่ซึ่งน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ สามารถผ่านได้
5. สารละลายหรือเรียกว่าอิเล็กโทรไลต์ เป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) อย่างเจือจาง ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 บรรจุในขวดจะมีขายตามท้องตลาดทั่วไป ใช้สำหรับเติมลงไปในแต่ละเซลล์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การจ่ายกระแส

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกจากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ สภาพทั่วไปของหม้อแบตเตอรี่ และสภาพสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จำนวนและขนาดของแผ่นธาตุ ซึ่งแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ย่อมจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าแบตเตอรี่ขนาดเล็ก

ดังนั้นอัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะเขียนบอกรายละเอียดไว้ข้างหม้อแบตเตอรี่ ว่าสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เท่าไรต่อชั่วโมง เช่น เขียนบอกไว้ว่า 20 Ampere-Hour หรือ 20 A-hr

หมายความว่า หม้อแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 20 แอมแปร์ต่อชั่วโมง หรือจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 10 แอมแปร์ภายใน 2 ชั่วโมง แล้วจะไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อไปได้อีก จะต้องนำไปประจุไฟฟ้าใหม่จึงใช้ต่อไปได้

การใช้งานจะต้องต่อขั้วไฟฟ้าให้ถูกต้อง ส่วนความจุของกระแสนั้นอาจจะสังเกตได้จากขนาดหม้อแบตเตอรี่นั้นๆ หากมีขนาดเล็ก เช่น แบตเตอรี่ของรถจักรยานยนต์ ก็จะมีความจุของกระแสประมาณ 6-10 แอมแปร์ ซึ่งจะน้อยกว่าแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ ก่อนข้างจะมีราคาแพง แต่อายุการใช้งานจะนานหากหมั่นตรวจสอบดูแลอยู่เสมอ จะมีอายุการใช้งานได้ถึง 5 ปี จะมีความทนทานแข็งแรงให้กระแสไฟฟ้ามกกว่าเซลล์แห้ง (ถ่าน) แต่จะมีข้อเสีย คือ รูปร่างลักษณะเทอะทะกะกะขนาดโต น้ำหนักมาก เปลืองเนื้อที่ ดูแลรักษายาก ต้องคอยเติมน้ำกรด น้ำกลั่นและประจุไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ

4.2 ความจุของแบตเตอรี่

ความจุของแบตเตอรี่ คือ ความสามารถของแบตเตอรี่ ที่จะเก็บประจุไฟฟ้าไว้คิดเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-hour : A-hr) เช่น แบตเตอรี่ขนาด 100 A-hr หมายถึงแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ จะเทียบเท่ากับเวลา 8 ชั่วโมง เสมอ

ตัวอย่าง แบตเตอรี่เขียนไว้ว่า DC 24 V Rated 300 A-hr จงคำนวณหา

1. เวลาในการทำงานเมื่อแบตเตอรี่จ่ายกระแสต่อเนื่อง 25 A ให้กับเครื่องขยายเสียงในสนามกีฬา

2. ถ้าความจุของแบตเตอรี่เหลือ 10 A-hr แล้วนำหลอดไฟรอบสนามกีฬามาต่อพ่วง เมื่อรวมทั้งกระแสของหลอดที่นำมาต่อได้ 250 A จะมีเวลาได้นานเท่าไร แบตเตอรี่จึงหมดกระแสไฟ

วิธีทำ

$$1. \text{ พิกัดของแบตเตอรี่ (A-hr)} = A \times t$$

$$t = A\text{-hr} / A = 300 \text{ A-hr} / 25 \text{ A} = 12 \text{ hour}$$

2. เวลาที่ใช้

$$A\text{-hr} = 100$$

$$t = 100 \text{ Ah} / 250 \text{ A} = 0.4 \text{ hour} = 24 \text{ นาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การประจุไฟใหม่

การใช้ไฟใหม่ การใช้แบตเตอรี่อย่างปลอดภัยให้แบตเตอรี่หมดหม้อ แล้วจึงค่อยประจุใหม่ ควรจะทำการประจุใหม่ในขณะที่สภาพของแบตเตอรี่ต่ำกว่าสภาพปกติ มีวิธีการดังนี้

1. ต้องตรวจสอบสารละลายกรดซัลฟูริกอย่างเจือจางก่อน โดยปกติจะมีความเข้มข้นประมาณ 1.250 ดีกรี มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 เมื่อใช้เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะเรียกว่า Hydrometer ถ้าหากว่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายลดลงถึงประมาณ 1.20 หรือต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 68° F แสดงว่าหม้อแบตเตอรี่นั้นใกล้หรือหมดไฟแล้ว ควรหยุดใช้งานแล้วให้ประจุไฟใหม่

2. ตรวจสอบระดับสารละลาย ในแต่ละเซลล์ต้องท่วมแผ่นธาตุสูงขึ้นมาประมาณ 1.5 ซม. อย่างปลอดภัยให้แห้ง หากแห้งต้องซื้อมาเติมใหม่และก่อนประจุต้องคลายฝาจุกช่องเติมสารละลายให้หลวมๆ ทั้งหมดหรืออย่างน้อย 1 ช่อง เพื่อให้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในระหว่างการประจุระบายออกมาได้

3. ต่อขั้วบวกเข้ากับขั้วบวก และต่อขั้วลบเข้ากับขั้วลบของเครื่องประจุแบตเตอรี่กระแสตรง ที่มีแรงเคลื่อนสูงกว่าแบตเตอรี่เล็กน้อยปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 2-12 ชม. แล้วแต่ชนิดของเครื่องประจุ แล้วให้วัดความถ่วงจำเพาะสารละลายให้ได้สูงขึ้นไปถึง 1.25 ที่อุณหภูมิ 68 องศาฟาเรนไฮต์ ก็แสดงว่าแบตเตอรี่พร้อมจะนำไปใช้งานได้

4. ขณะทำการประจุแบตเตอรี่ไม่ควรสูดหายใจเอาก๊าซที่เกิดจากการประจุแบตเตอรี่เข้าไปในร่างกาย และไม่ควรสูบบุหรี่ในห้องที่ทำการประจุแบตเตอรี่เพราะบุหรี่ทำให้เกิดประกายไฟได้ อาจเกิดการระเบิดเนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนได้

4.4 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ต้องการในระบบแสงอาทิตย์ คือ

1. มีวงจรสำหรับดีพไซเคิลสูง (deep cycle) คือ ช่วงเวลาที่มีการประจุแทนที่ไม่เพียงพอกับจำนวนที่ใช้ไปในแต่ละวัน
2. ต้องการบำรุงรักษาต่ำ
3. ประสิทธิภาพการประจุสูง
4. ความสามารถในการคายประจุอย่างสมบูรณ์
5. มีอัตราการคายประจุด้วยตนเองต่ำ
6. เชื้อถั่วได้
7. มีการเปลี่ยนแปลงต่ำในช่วงอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ชนิดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีดังนี้

1. นิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-cadmium)
2. ตะกั่ว-กรด (Lead-acid)
3. นิกเกิล-เหล็ก (Nickel-iron)
4. โซเดียม-กำมะถัน (Sodium-sulphur)

4.6 ขนาดของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่จะบอกขนาดเป็นโวลต์ และจะบอกความจุเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง ในแบตเตอรี่ประกอบไปด้วยเซลล์มากกว่าหนึ่งเซลล์ แต่ละเซลล์ที่อยู่ในหม้อแบตเตอรี่จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเซลล์ละ 2 โวลต์ จึงมักเห็นบ่อยๆ ว่าแบตเตอรี่หม้อหนึ่งสร้างขึ้นอย่างน้อย 3 เซลล์ สามารถสังเกตได้จากฝาจุก หรือจากช่องสำหรับเติมสารละลายถ่านมี 3 ช่อง ก็แสดงว่า 3 เซลล์ และในแต่ละเซลล์ได้ต่ออนุกรมกันไว้ทำให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์ หากหม้อใดมี 6 เซลล์ก็จะให้แรงเคลื่อน 12 โวลต์ โดยที่ขั้วของหม้อแบตเตอรี่จะมีเครื่องหมายบวกและลบบอกไว้ชัดเจน

การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ สามารถคำนวณได้ดังนี้

1. หาจำนวนโวลต์ที่ใช้ทั้งหมดในช่วงที่มีแสงและไม่มีแสงโดยจะเฉพาะช่วงที่ไม่มีแสงค่ากำลังที่ได้จะต้องหารด้วยประสิทธิภาพการชาร์จของแบตเตอรี่เสียก่อน เพราะช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแผงโซลาร์เซลล์จะช่วยจ่ายด้วย

$$\text{กำลังทั้งหมด} = (\text{กำลัง} \times \text{ชั่วโมงที่มีแสง}) + (\text{กำลังโหลด} \times \text{ชั่วโมงที่ไม่มีแสง}) \quad \text{ก)}$$

ก: ประสิทธิภาพการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

2. หากำลังที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถจ่ายได้ โดยหาได้จาก

$$\text{พลังงานที่สามารถจ่ายได้} = \text{พลังงานต่อแผง} \times \text{จำนวนแผง} \times \text{ค่าแคร์ อินโซเลชัน}$$

ค่าแคร์ อินโซเลชัน (Daily Insolation) เป็นค่าที่ใช้เพื่อประมาณค่าเอาท์พุทจากแผงโซลาร์เซลล์ ค่านี้จะคำนึงถึงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับผิวระนาบรวมทั้งปริมาณแสงที่ลดลงเนื่องจากเมฆ หมอก ที่คลุมด้วย ซึ่งได้มาจากสถานีตรวจอากาศทั่วโลก

3. หาค่าแบตเตอรี่โดยนำแรงดันที่ใช้ไปหารค่าที่ได้จากข้อสอง จะได้ค่า A.hr ซึ่งค่าที่แบตเตอรี่คายประจุ 20% เพราะฉะนั้นค่า A.hr จริงของแบตเตอรี่จะเท่ากับค่า A.hr หารด้วย 20% จะได้ค่า A.hr ของแบตเตอรี่ที่จะใช้

4.7 การรักษาแบตเตอรี่

อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับการใช้และการบำรุงรักษา ถ้ามีการบำรุงรักษาดีก็สามารถใช้งานได้หลายปี แต่ถ้าขาดการบำรุงรักษาอายุของแบตเตอรี่ก็จะสั้น หลักในการปฏิบัติเกี่ยวกับการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ มีดังต่อไปนี้

1. อย่าปล่อยให้สารละลายแห้ง หมั่นตรวจสอบระดับสารละลายในแต่ละเซลล์อย่างสม่ำเสมอ โดยวิธีการใช้หลอดคาแฟจุ่มลงในแต่ละเซลล์ให้ชนหลังแผ่นธาตุ แล้วใช้นิ้วปิดปลายหลอดด้านบนยกขึ้นตรวจสอบให้อยู่ท่วมหลังแผ่นธาตุสูงขึ้นไปประมาณ 1.5 ซม. หากต่ำกว่านี้ควรเติมน้ำกลั่นให้ได้ระดับดังกล่าวข้างต้น
2. อย่าใช้กระแสไฟฟ้ามากๆ ติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้แผ่นธาตุร้อนและเสื่อมเร็วยิ่งขึ้น และอย่าไปใช้ไปจนไฟหมดหม้อแบตเตอรี่ จะทำให้แผ่นธาตุเสื่อมเร็วกว่าปกติ
3. ทำความสะอาดขั้วแบตเตอรี่ให้สะอาดอยู่เสมอ กระแสไฟจะไหลได้สะดวกเมื่อใช้ไปนานๆ จะมีขุยสีเขียวอมฟ้า หรือสีขาวเกาะติดรอบๆ ขั้วแบตเตอรี่ ทำความสะอาดได้โดยใช้โซดาไฟโรยบนขั้ว แล้วใช้แปรงขัดทำความสะอาดล้างด้วยน้ำ หรือใช้ถอดขั้วออกไปล้างน้ำอุ่น ขัดด้วยกระดาษทราย แล้วเช็ดให้แห้งก่อนจะนำมาต่อเข้าไปใหม่ และควรใช้จาระบีเคลือบไว้กันไม่ให้เกิดขุยได้อีก หรืออาจใช้วัสดุหล่อลื่นอย่างอื่นที่เหมาะสม

บทที่ 5

สายพาน, โซ่ขับ และ เฟือง

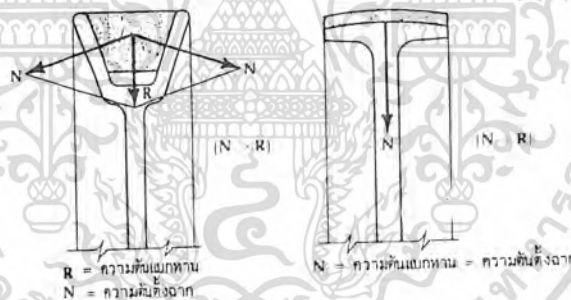
สายพานและโซ่ขับใช้เป็นตัวกลางเพื่อส่งถ่ายกำลังและความเร็วรอบระหว่างเพลา 2 เพลา กล่าวคือ เพลาหนึ่งเป็นเพลาขับ อีกเพลาหนึ่งเป็นเพลาตาม เพลาทั้งสองนี้อาจอยู่ห่างกันได้มากพอควร

5.1 สายพาน แบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

- 1) สายพานแบน (Flat Belts)
- 2) สายพานลิ้ม (V-Belts)
- 3) สายพานลือก (Timing Belts)

5.1.1 การเปรียบเทียบระหว่างสายพานลิ้มกับสายพานแบน

ในปัจจุบันนี้การใช้สายพานแบนเพื่อส่งถ่ายความเร็วและกำลัง ถูกสิ่งที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเข้าไปแทนที่นั่นคือสายพานลิ้มการใช้สายพานแบนนั้นจะไม่ปลอดภัยเนื่องจากการลื่นไถลหลุดออกมาจากล้อได้ง่าย หากว่าความตึงลดลงไปและไม่มีส่วนป้องกันไว้ความดันแบกทานสูงและต้องการที่ ระบบมากกว่า นอกจากนี้การใช้สายพานแบนยังส่งเสียงดังเป็นที่น่ารำคาญอีกด้วย



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบความดันแบกทานของสายพานลิ้มกับสายพานแบน

โดยมีพื้นที่สัมผัสและความดันตั้งฉากขนาดเท่ากัน

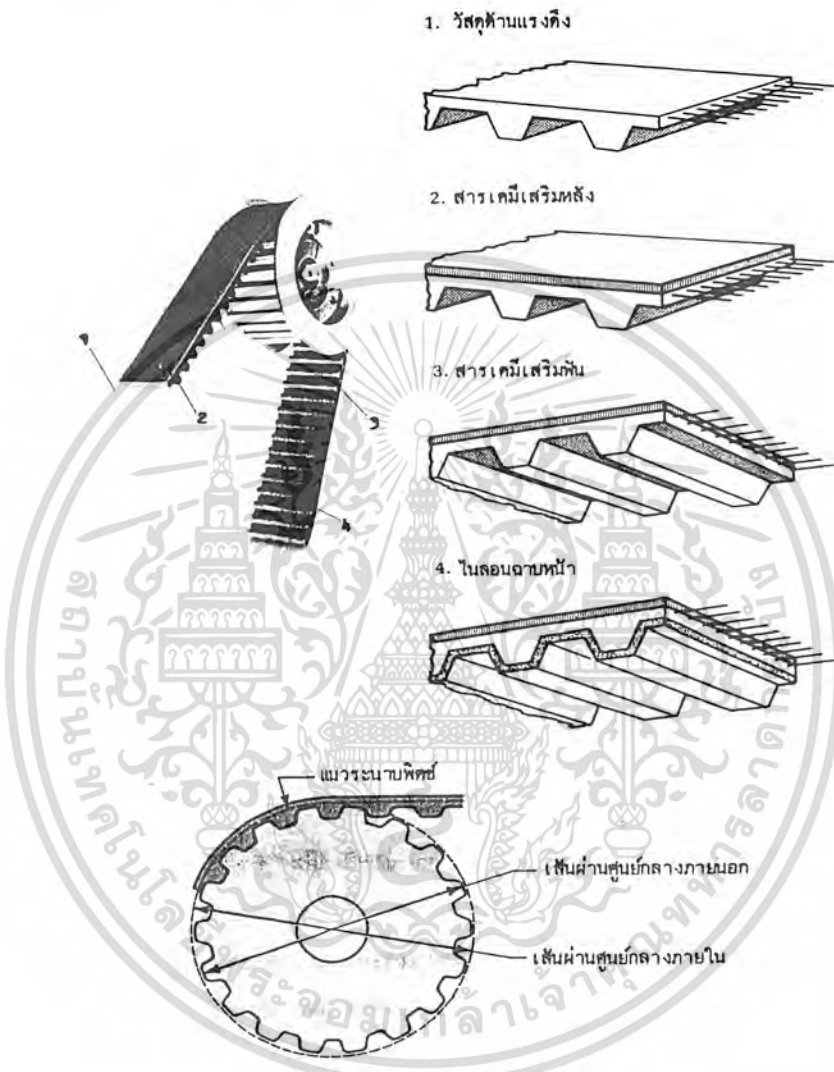
สายพานลิ้มสามารถที่จะรับแรงกระแทก(Shock Load) ได้เป็นอย่างดีและไม่ต้องการบำรุงรักษามากนัก สำหรับพื้นที่ที่สัมผัสกับล้อขับหรือตามพื้นที่ที่เท่ากันสายพานลิ้มจะมีหน้าแคบแต่หนากว่าสายพานแบนแต่มีความแบกทานน้อยกว่าสายพานลิ้มจะมีความเสียดทานภายในมากกว่าสายพานแบนเนื่องจากความหนาที่มากกว่าและมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย 95%

สายพานลิ้มได้ถูกผลิตมาให้มีการเสริมความแข็งแรงภายในด้วยไนลอนหรือเส้นใยอย่างอื่นสายพานลิ้มยังมีการหุ้มวัสดุเพื่อให้มีการทนทานต่อน้ำมันและการสึกหรออย่างอื่นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 สายพานล้อยก (Timing Belts)

ข้อเสียของสายพานเรียบและลิ่มก็คือ อัตราทความเร็วไม่คงตัวตลอดเวลา เนื่องจากการลื่นไถลของสายพานในบางครั้ง จึงเป็นที่มาของการผลิตและพัฒนาสายพานล้อยกขึ้นมา สายพานชนิดนี้เป็นการเสริมความแข็งแรงภายใน ลักษณะโดยทั่วไป ทั้งสายพานและล้อสายพาน เป็นไปดังรูป



รูปที่ 5.2 รายละเอียดสายพานล้อยก

แรงกดคั่นระหว่างสายพานล้อยกกับล้อสายพานมีมากเนื่องมาจาก การสัมผัสระหว่างสายพานกับล้อล้อยกกันอยู่อย่างน้อย 6 ช่อง การชำรุดจะเกิดขึ้น เนื่องจากแรงเฉือนโก่งๆ กับฐานของฟันของสายพาน ได้มีความพยายามที่จะทำให้สายพานล้อยก มีความสามารถถ่ายทอดกำลังได้มากขึ้น ก็โดยการออกแบบให้มีฟันของสายพานให้โตขึ้นและฟันเป็นรูปครึ่งวงกลม ในขณะที่สายพานจะมีร่องที่ตื้นขึ้น ดังรูปที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วัสดุต้านแรงดึง

รูปที่ 5.3 สายพานล้อยกที่มีรูปตัดของฟันเป็นรูปครึ่งวงกลม และขนาดโคบนสายพาน แต่ขนาดเล็กบนล้อขับ

ข้อดีและข้อเสียของสายพานแบบล้อยก (Timing Belts)

ข้อดี

1. มีน้ำหนักเบาจึงให้ความเร็วได้สูงอาจถึง 4900 ม/นาที
2. ต้องการแรงดึงที่เริ่มหมุนน้อย
3. มีอัตราทดที่คงตัว
4. ไม่ต้องการการหล่อลื่น หรือบำรุงรักษา
5. เสียงไม่ดังมาก
6. มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า

ข้อเสีย

1. มีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้เพียงเล็กน้อย
2. ใช้ได้ในอุณหภูมิที่จำกัด โดยประมาณ -54 ถึง 121 องศาเซลเซียส เท่านั้น เนื่องจาก

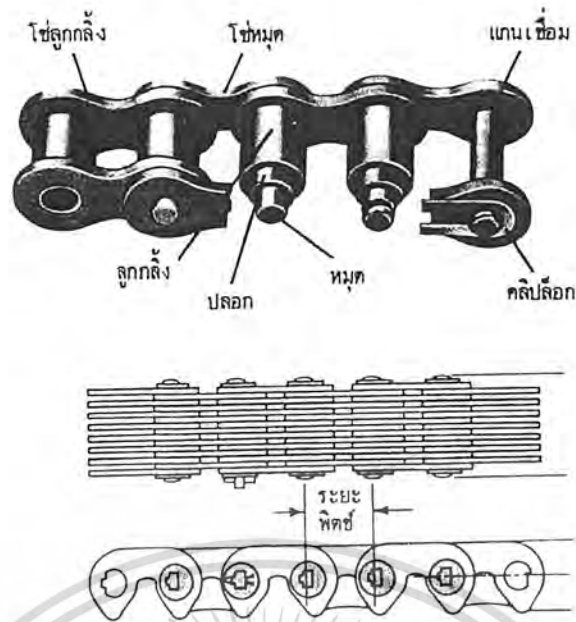
วัสดุที่ใช้ทำมาจากยาง

5.1.3 สายพานโซ่ (Chain Drives)

สายพานโซ่ได้ถูกพัฒนาคิดค้นขึ้นมาจากแนวคิดในเรื่องข้อดีของสายพานแบนและลิมซึ่งมีการลื่นไถลเกิดขึ้นมาก ทำให้การถ่ายทอตกกำลังทำได้ไม่เต็มที่ สายพานโซ่นั้นมีอยู่หลายชนิด แต่ที่ใช้กันแพร่หลายมากเรียกว่า สายพานโซ่ลูกกลิ้ง (Roller Chains) และสายพานโซ่เงียบ (Inverted Tooth หรือ Silent Chains) ดังรูปที่ 5.4

สายพานโซ่ลูกกลิ้ง อาจพิจารณาได้ว่ามี General Baring หลายๆอันมาต่อเนื่องกัน โดยมีโลหะแผ่นขนาดเล็กๆ เป็นตัวเชื่อมโยงกัน ซึ่งแสดงว่า การหล่อลื่นสำหรับการใช้งานโซ่ เป็นสิ่งจำเป็น หากว่าแผ่นเชื่อมลูกกลิ้งของโซ่ หรือ General Baring ได้มีการปรับปรุงในเรื่องความแน่นหนา และขนาด อาจนำไปใช้ในการเพื่อการขนถ่ายวัสดุได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ก) โซ่ลูกกลิ้งและชิ้นส่วน ข) โซ่เย็บ

การหล่อลื่นส่วนใหญ่ใช้น้ำมัน (จาระบีไม่เหมาะสมในการใช้) ลูกกลิ้งบางอย่างทำด้วยโลหะซึ่งมีน้ำมันหล่อลื่นอยู่ภายใน จึงไม่จำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นจากภายนอกอีก

การขับและส่งถ่ายสายพานโซ่กระทำบนจานโซ่ที่เรียกว่า Sprocket อัตราทดความเร็ว เป็นสัดส่วนกลับของจำนวนฟันของจานโซ่ทั้งสอง (N_2/N_1) และหมุนตามกันไปโนทิศทางเดียวกัน ค่าอัตราทดความเร็วซึ่งถ้ามีค่ามากกว่า 7 จะไม่สมควรใช้สายพานโซ่เป็นตัวส่งถ่ายกำลัง

ความยาวของโซ่ควรจะต้องมีจำนวนฟันที่น้อยที่สุดของจานโซ่ต้องไม่น้อยกว่า 12 ฟัน สำหรับความเร็วต่ำ 17 ฟันสำหรับความเร็วปานกลาง และ 21 ฟันสำหรับความเร็วสูง

จานโซ่ (Sprocket) ส่วนใหญ่จะทำจากเหล็กกล้า แต่ในการใช้งานเบาๆก็สามารถใช้ในลอนก็ได้

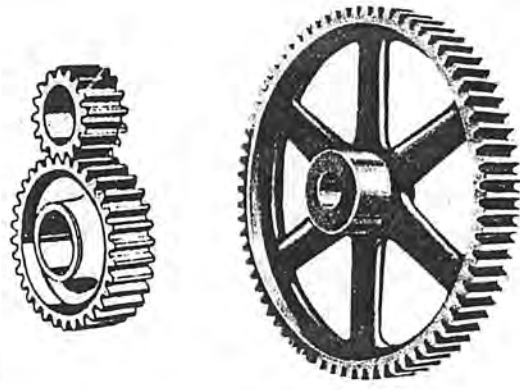
5.2 เฟือง (Gears)

5.2.1 หลักการของเฟือง

การส่งกำลังระหว่างเพลาสองเพลากะทำได้หลายแบบ ล้อความฝืดเป็นการส่งกำลังอย่างหนึ่งที่ใช้ล้อสองล้อกดให้ติดกัน เมื่อล้อแต่ละล้อติดอยู่กับเพลาดำหมุนเพลาดำใดตัวหนึ่ง เพลาของอีกตัวหนึ่งจะหมุนตามไปด้วย เนื่องจากผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความฝืดเนื่องจากการสัมผัส

จากการส่งกำลังด้วยล้อความฝืดดังกล่าว เมื่อมีภาระมากการส่งกำลังสูงๆ หรือเมื่อเกิดแรงกระตุก (Chock Load) จะเกิดการลื่นไถล ทำให้การส่งกำลังไม่แม่นยำได้อัตราทดไม่แน่นอน เพื่อให้ได้การถ่ายทอดการหมุนที่แม่นยำขึ้น และสามารถถ่ายทอดกำลังสูงๆระหว่างเพลาสองเพลาก็จึงได้คิดฟันเฟืองไว้ที่ผิวของล้อโดยรอบ ล้อก็จะมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ทำให้การส่งกำลังและถ่ายทอดการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งได้โดยไม่มี การลื่นไถล ล้อที่เราคิดฟันเฟืองเข้าไปโดยรอบนี้เราเรียกว่าเฟือง (Gear) ดังรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ลักษณะของล้อฟันเฟือง

เฟืองเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมาก มีใช้ในงานวิศวกรรมอย่างกว้างขวางเพราะสามารถส่งกำลังได้แม่นยำเที่ยงตรง ไม่มีการสั่น ไถลให้อัตราทดที่แน่นอน เช่นเดียวกับการส่งกำลังด้วยสายพาน

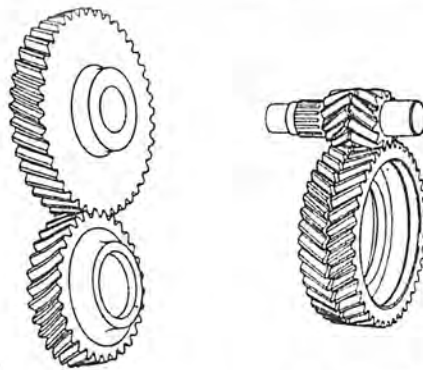
5.2.2 ชนิดของเฟือง แบ่งตามลักษณะรูปร่างจะมีอยู่ 4 แบบคือ

5.2.2.1 เฟืองตรง (Spur Gears)

เฟืองตรงจะมีลักษณะเป็นล้อทรงกระบอกกลมมีฟันขนานกับแกนของตัวเฟืองหรือแกนของเพลาน้ำตัดของฟันเฟืองจะมีขนาดเท่ากันและเหมือนกันตลอดทั้งฟันเฟือง เฟืองตรงจะมีใช้งานอย่างกว้างขวางเช่นในเครื่องจักรนาฬิกาข้อมือ ในเครื่องวัดที่เข็มมิเตอร์ ชุดเฟืองทดในเครื่องจักรกลทุกชนิด ในกระปุกเกียร์รถยนต์ สำหรับเฟืองขนาดใหญ่จะพบได้ตาม โรงงานรีดเหล็ก

5.2.2.2 เฟืองเฉียง หรือเฟืองฟันเลื่อย (Helical and Spiral Gears)

เฟืองเฉียงจะมีลักษณะคล้ายกับเฟืองตรง จะต่างกันตรงที่ฟันของเฟืองเฉียงจะเอียงทำมุมกับแกนของตัวเฟืองหรือแกนของเพลาน้ำตัดของเพลาน้ำตัดของเฟืองจะใช้ส่งกำลังระหว่างเพลาน้ำตัดที่ขนานกัน เพลาน้ำตัดตั้งฉากกันและเพลาน้ำตัดน้อยกว่ามุมฉาก เฟืองเฉียงอาจจะจัดเรียงเป็นมุมสองมุมอยู่คนละด้านกันซึ่งจะเรียกว่าเฟืองก้างปลา (Herring-Bone Gears) ซึ่งจะใช้ส่งกำลังได้ระหว่างเพลาน้ำตัดที่ขนานกันเท่านั้น ดังรูป

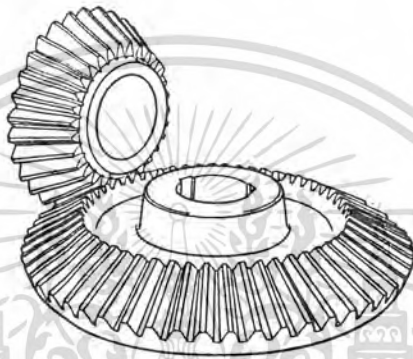


รูปที่ 5.6 เฟืองเฉียงหรือเฟืองฟันเลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 เฟืองคอกจอก (Bevel Gears)

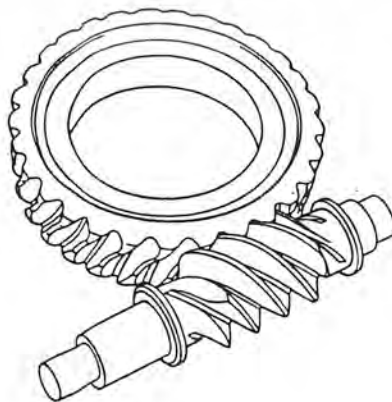
เฟืองคอกจอกหรือบางครั้งอาจเรียกว่าเฟืองบายศรี มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปทรงกรวย (Cone) มีฟันเฟืองอยู่โดยรอบผิว ฟันจะถูกตัดขนานกับแกนของเฟืองหรือแกนเพลลา หน้าตัดด้านหน้ากับด้านหลังจะไม่เท่ากัน เฟืองคอกจอกจะใช้สำหรับส่งกำลังระหว่างเพลลาที่ตั้งฉากกัน ส่งกำลังระหว่างเพลลาที่ทำมุมกันน้อยกว่า 90 องศา และมากกว่า 90 องศา ฟันของเฟืองคอกจอกจะมีหลายแบบได้แก่ ฟันตรง, ฟันเลี้ยว และ ฟันเอียง เป็นต้น เฟืองคอกจอกจะใช้งานในระบบการส่งกำลังของเฟืองท้ายรถยนต์ ในระบบการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน ในเครื่องจักรกลทั่วไป ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 เฟืองคอกจอก

5.2.2.4 เฟืองหนอน (Worm Gearing)

เฟืองหนอนจะประกอบด้วยตัวเกลิยวหนอนและเฟืองหนอน ซึ่งจะต้องใช้งานร่วมกัน โดยเกลิยวหนอนจะส่งกำลังหมุน ไปขับให้เฟืองหนอนหมุนตาม ระยะพิทซ์ของเกลิยวกับระยะพิทซ์ของเฟืองหนอนจะต้องมีค่าเท่ากัน เกลิยวหนอนและเฟืองหนอนจะส่งกำลังระหว่างเพลลาที่ตั้งฉากกันและเป็นเพลลาที่วางข้ามกัน ชุดเฟืองหนอนจะมีใช้ในชุดหัวแบ่ง (Indexing Head) ในเครื่องมือวัดบางอย่าง และ ในเครื่องจักรกลบางชนิดที่ต้องการลดรอบจากความเร็วสูงให้เป็นความเร็วต่ำมากๆ ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 เฟืองหนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การจำแนกประเภทของเฟือง

ถ้าจะจำแนกประเภทของเฟืองโดยยึดเอาตำแหน่งในการวางเพลาส่งกำลัง สามารถจำแนกได้ดังนี้

1) การส่งกำลังเมื่อวางเพลานานกัน (Parallel Shaft) เฟืองที่ใช้ได้แก่

- เฟืองตรง (Spur Gears)
- เฟืองเฉียง (Helical Gears)
- เฟืองก้างปลา (Herring Bone Gears)

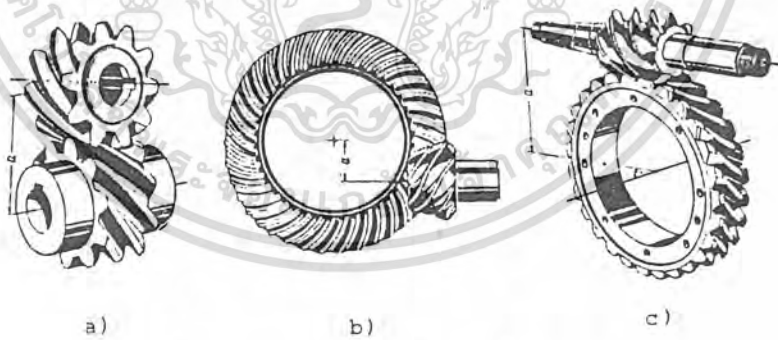
2) การส่งกำลังเมื่อวางเพลาคัดกัน (Intersecting Shaft) เฟืองที่ใช้คือเฟืองดอกจอกซึ่งมี 2 แบบได้แก่

- เฟืองดอกจอกฟันตรง (Straight Teeth)
- เฟืองดอกจอกฟันเลื่อย (Spiral Bevel Gears)

3) การส่งกำลังเมื่อวางเพลานอนขนานกันและไม่ตัดกัน (Non Parallel, Non Intersecting) หรือเพลาคู่ที่ข้ามกัน เฟืองที่ใช้ได้แก่

- เฟืองเกลียวกากบาท (Crossed Helical Gears)
- เฟืองหน้าเอียง (Hypoid Gears)
- เฟืองหนอน (Worm Gears)

เฟืองทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 5.9 แสดงลักษณะเฟืองทั้ง 3 แบบ

- a) เฟืองเกลียวกากบาท
- b) เฟืองหน้าเอียง
- c) เฟืองหนอน

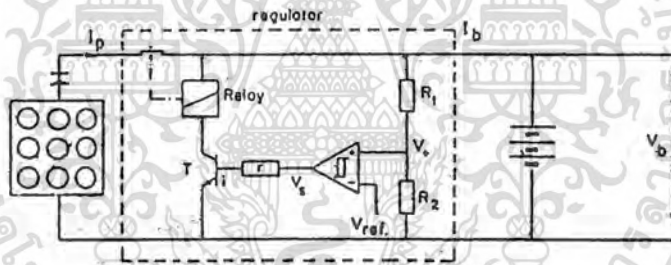
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (Charge Regulator)

พลังงานที่ไหลในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยแผงเซลล์สุริยะ, แบตเตอรี่ และโหลดจะมีสองเงื่อนไขที่จะเกิด คือ

1. สภาวะลอยตัว (Floating) คือสภาวะที่แรงดันของแบตเตอรี่มีค่าอยู่ระหว่างค่าแรงดันต่ำสุด และแรงดันต่ำสุดของแบตเตอรี่ แรงดันจะเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาการรักษาระดับแรงดันให้อยู่ ระหว่างนี้จะเป็นไปโดยอัตโนมัติ ที่สำคัญจะต้องมีบล็อกกิงไดโอดเพื่อป้องกันกระแสจากแบตเตอรี่เข้าสู่แผงโซลาร์เซลล์

2. สภาวะโอเวอร์ชาร์จ (Overcharge) และ โอเวอร์ดิสชาร์จ (Overdischarge) จะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าถึงสูงสุดหรือค่าต่ำสุดของแรงดัน ซึ่งตัววงจรเรกกูเลเตอร์จะเป็นตัวกำหนดว่าถึงค่าใดค่าหนึ่งควรทำอย่างไร เช่นค่าแรงดันเกินแรงดันสูงสุดวงจรเรกกูเลเตอร์ จะทำการตัดวงจรแผงโซลาร์เซลล์ออก



รูปที่ 6.1 แสดงตัวอย่างวงจร Charge Regulator

การใช้อุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromechanical) เพื่อการตัดต่อวงจร เป็นวงจรชาร์จเรกกูเลเตอร์ อีกแบบหนึ่งที่ใช้ โดยมีการทำงานดังนี้ เมื่อค่าแรงดันของแบตเตอรี่มีค่าสูงกว่าค่าแรงดันแบตเตอรี่ ที่กำหนดครีเลย์ จะทำการตัดวงจรแผงโซลาร์เซลล์ออกจากระบบ อีกกรณีหนึ่งคือ เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะทำการรีเลย์ปิดทำให้วงจรทำงานกันดังเดิม

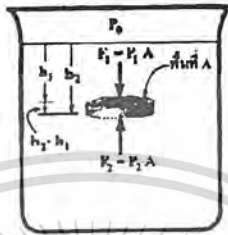
ข้อดี ของการใช้แบบรีเลย์ ก็จะไม่มีความสูญเสียในวงจรเรกกูเลเตอร์ และสามารถจ่ายกำลังได้เยอะเนื่องจากมีหน้าสัมผัสเยอะ

ข้อเสีย คือหน้าสัมผัสของรีเลย์มีอายุการทำงานขึ้นกับกระแส และความถี่ที่ใช้ การปิดเปิดแบบนี้ สนับสนุนเงื่อนไขการประจุน้อย

บทที่ 7

ความเสถียรของวัตถุที่ลอย (Stability of floating)

“วัตถุที่จมหรือลอยอยู่ในของเหลวจะมีแรงลอยตัวซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุดังกล่าว” เป็นคำกล่าวที่ “อาร์คิมิดีส” นักปราชญ์ตั้งเป็นหลักไว้



รูปที่ 7.1 แสดงวัตถุที่ลอยอยู่ในของเหลว

พิจารณาวัตถุรูปทรงกระบอกซึ่งลอยอยู่ในของเหลวเป็นระยะ h_1 จากผิวหน้าดังรูป 7.1 ถ้าวัตถุดังกล่าวมีพื้นที่หน้าตัด A สามารถหาแรงลอยตัว (Buoyancy, F_b) ได้

$$\begin{aligned} F_b &= F_2 - F_1 \\ &= P_2 A - P_1 A \\ &= (P_0 + \rho g h_2) A - (P_0 + \rho g h_1) A \\ &= \rho g A (h_2 - h_1) \end{aligned}$$

เมื่อ $A(h_2 - h_1)$ คือปริมาตรของวัตถุ (V) ดังกล่าว ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่ จากสมการ $\rho g A (h_2 - h_1)$ จะได้ว่า

$$F_b = \rho g V = mg$$

เมื่อ $m = \rho V$ คือมวลของของเหลว ดังนั้นแรงลอยตัวมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุซึ่งเป็นไปตามหลักของอาร์คิมิดีสนั่นเอง

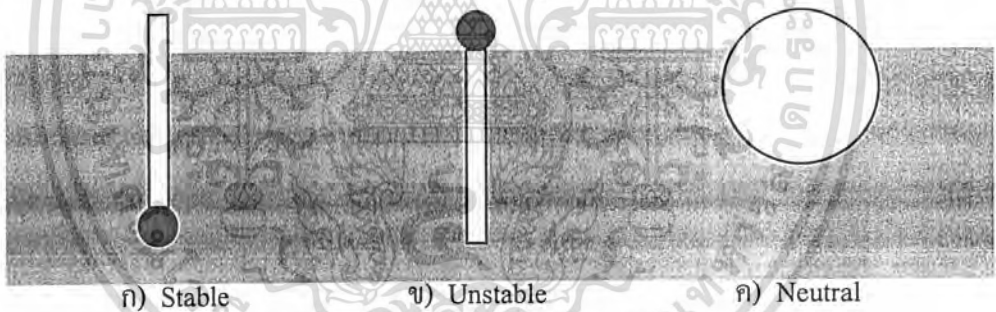
วัตถุที่ลอยอยู่ในของเหลวที่อยู่นิ่งจะมีเสถียรภาพในแนวตั้ง (vertical stability) การลอยตัวสูงขึ้นจะทำให้ปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่นั้นลดน้อยลง และจะมีแรงที่เกิดจากความไม่สมดุลเกิดขึ้น แรงดังกล่าวนี้จะมีทิศทางหันลงสู่ด้านล่างและจะพยายามดึงให้วัตถุดังกล่าวนั้นคืนกลับสู่ตำแหน่งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุจะมีเสถียรภาพเชิงเส้น (linear stability) ได้ก็ต่อเมื่อแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับจากการลอยตัวในทิศทางใดๆ สามารถบังคับให้วัตถุนั้นคืนกลับสู่ตำแหน่งเดิมได้ ส่วนวัตถุจะมีเสถียรภาพเชิงมุม (rotational stability) ได้ก็ต่อเมื่อโมเมนต์แรงคู่ควบที่เกิดจากการเอียงตัวเป็นมุมเล็กๆ สามารถบิดหรือโยกวัตถุนั้นให้กลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมได้

ดังนั้น ในกรณีที่วัตถุซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลเกิดการขยับตัวเปลี่ยนจากตำแหน่งเดิมไป ถ้าหากแรงหรือโมเมนต์แรงคู่ควบที่เกิดขึ้นสามารถบังคับให้วัตถุก่อนนั้นคืนกลับสู่ตำแหน่งเดิมได้ ก็แสดงว่าวัตถุก่อนนั้นอยู่ในสภาพสมดุลที่มีเสถียรภาพ เสถียรภาพของวัตถุที่อยู่ใต้น้ำ (submerged) หรือลอยอยู่ที่ผิวน้ำนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแรงลอยตัวและน้ำหนักของวัตถุนั้น แรงลอยตัวนี้จะกระทำผ่านศูนย์กลางแรงลอยตัว (center of buoyancy) ซึ่งจะเป็นจุดเดียวกับศูนย์กลางของมวล (จุดศูนย์กลางถ่วง) ของก้อนของไหลที่ถูกแทนที่

วิธีหาเสถียรภาพเชิงมุมนั้นหาได้ดังนี้ เนื่องจากวัตถุอาจจะลอยอยู่ในลักษณะสมดุลที่มีเสถียรภาพ (stable), ไม่เสถียรภาพ (unstable), หรือในลักษณะที่เป็นกลาง (neutral) ก็ได้ ถ้าหากวัตถุที่ลอยอยู่ในสภาพสมดุลไม่มีเสถียรภาพเกิดการเอียงตัวเพียงเล็กน้อย โมเมนต์แรงคู่ควบที่เกิดจากการเอียงตัวก็จะพยายามไปช่วยเพิ่มมุมเอียงให้มากขึ้น ส่วนวัตถุที่มีลักษณะเป็นกลางนั้น มุมเอียงใดๆ ที่เกิดขึ้นจะไม่ทำให้เกิดโมเมนต์แรงคู่ควบเลย



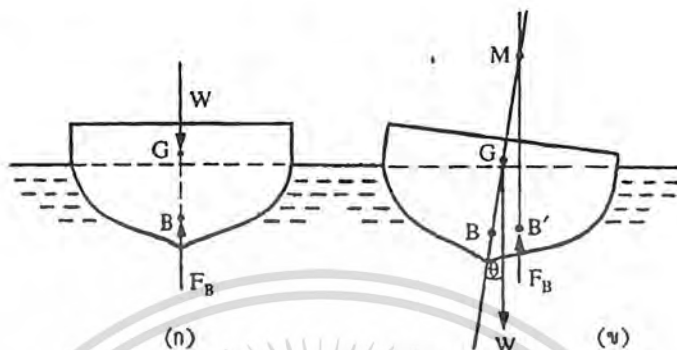
รูปที่ 7.2 ลักษณะการลอยตัวของวัตถุ

ในรูปที่ 7.2 แสดงให้เห็นลักษณะการสมดุลของวัตถุ 3 ลักษณะด้วยกัน คือ

- (ก) เป็นท่อนไม้ที่มีก้อนโลหะติดอยู่กับปลายด้านล่าง ลักษณะของการสมดุลลักษณะนี้เป็นแบบที่มีเสถียรภาพ
- (ข) เป็นท่อนไม้ที่มีก้อนโลหะติดอยู่กับปลายด้านบน วัตถุก่อนนี้จะอยู่ในสภาวะสมดุล แต่ถ้าท่อนไม้นี้เอียงไปเพียงเล็กน้อยมันก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นแบบรูป (ก) ลักษณะการสมดุลแบบนี้เป็นแบบที่ไม่มีเสถียรภาพ
- (ค) เป็นวัตถุทรงกลมหรือทรงกระบอกที่มีเนื้อสม่ำเสมอและเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ทั้งก้อน วัตถุในรูปนี้สามารถลอยอยู่ในสภาพสมดุลได้ทุกตำแหน่ง นั่นก็คือ ไม่มีโมเมนต์แรงคู่ควบเกิดขึ้นจากการเอียงตัวของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขสำหรับความเสถียรเชิงมุมของวัตถุที่ลอยอยู่ที่ผิวของของเหลวนั้น เมื่อวัตถุนั้นเอียงรอบแกนที่อยู่ในแนวนอนแล้ว รูปร่างของส่วนที่จมอยู่ใต้น้ำก็จะเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ศูนย์กลางแรงลอยตัวก็จะย้ายไปยังตำแหน่งอื่น จึงทำให้วัตถุนั้นสามารถลอยอยู่ในสภาพสมดุลที่มีเสถียรภาพได้ แม้ว่าจุด G จะอยู่เหนือจุด B ก็ตาม



รูปที่ 7.3 การลอยตัวของเรือ

รูปที่ 7.3 (ก) เป็นรูปเรือที่ลอยอยู่ในสภาพสมดุลที่ผิวน้ำ ดังนั้นแรงลัพธ์ที่กระทำกับเรือก็จะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นก็คือแรงลอยตัวจะเท่ากับน้ำหนักของเรือ และจะไม่มีโมเมนต์มากระทำกับตัวเรือเลย รูปที่ 7.3 (ข) เป็นสภาพของเรือที่เอียงไปเป็นมุม θ ซึ่งเป็นมุมขนาดเล็กๆ ในที่นี้ถือว่าจุดศูนย์กลางถ่วง G ของเรืออยู่ที่ตำแหน่งเดิมของเรือ (ตำแหน่งศูนย์กลางถ่วงของเรือนี้อาจจะเปลี่ยนตำแหน่งได้ เพราะในขณะที่เรือเอียงไปนั้นสินค้าที่บรรจุอยู่บนเรืออาจจะเคลื่อนที่) ส่วนตำแหน่งศูนย์กลางแรงลอยตัว B นั้น จะเปลี่ยนตำแหน่งไป สมมติว่าแนวของแรงลอยตัวตัดกับแกน BG ซึ่งอยู่ในแนวตั้งที่จุด M เราเรียกจุด M ที่เกิดจากการเอียงของเรือเป็นมุม θ เล็กๆ นี้ว่าจุดเมตาเซนเตอร์ (metacenter) ตามรูปที่ 7.3 นั้น จุด M อยู่เหนือจุด G และโมเมนต์แรงคู่ควบที่กระทำกับเรือ่นั้นเป็นโมเมนต์ที่พยายามบิดเรือให้กลับสู่ตำแหน่งเดิม (restoring couple) แต่ถ้าจุด M อยู่ต่ำกว่าจุด G โมเมนต์แรงคู่ควบที่เกิดขึ้นก็จะเป็นโมเมนต์ที่พยายามทำให้เรือคว่ำลง (overturning couple) และตำแหน่งที่สมดุลเดิมก็จะเป็นตำแหน่งที่ไม่มีเสถียรภาพ

ระยะ MG นี้มีชื่อเรียกว่า ความสูงของจุดเมตาเซนเตอร์ (metacentric height) วัตถุที่เสถียรภาพนั้นจะต้องมีค่าความสูงของจุดเมตาเซนเตอร์เป็นบวก นั่นก็คือจุด M จะต้องอยู่เหนือจุด G จะเห็นได้ว่าในสภาพสมดุลที่เป็นกลางนั้นค่า metacentric height นี้จะต้องมีค่าเป็นศูนย์ หรือจุด M กับจุด G ต้องอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นในกรณีที่เป็นวัตถุลอยจึงหาความเสถียรของเรือจากตำแหน่งของ B และ G แต่เพียงอย่างเดียวไม่ได้

จากรูป 7.3 จะเห็นได้ว่าโมเมนต์แรงคู่ควบที่ทำให้เรือ หรือวัตถุคืนกลับสู่ตำแหน่งเดิมนั้น จะมีค่าเป็น

$$\text{โมเมนต์แรงคู่ควบ, } T = W.MG.\sin\theta$$

ดังนั้นระยะ MG จึงทำหน้าที่เป็นตัววัดความเสถียรของวัตถุลอย และสามารถสรุปได้ว่า

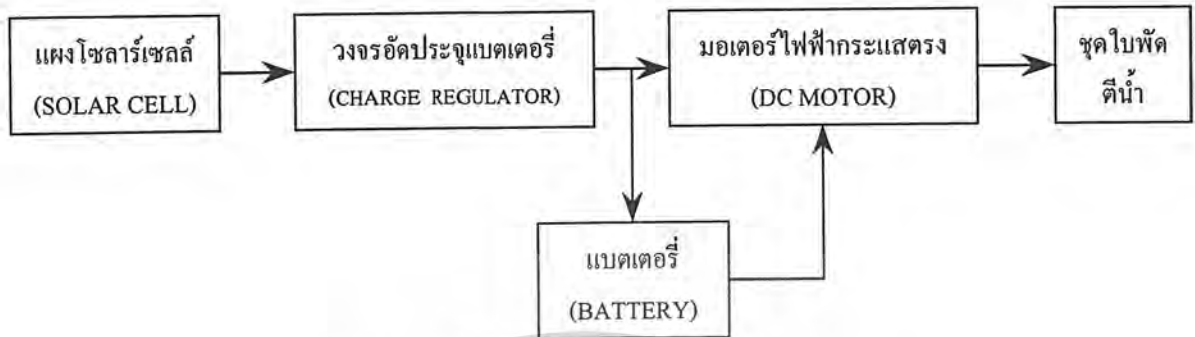
- 1) เมื่อจุด M อยู่เหนือจุด G ก็จะทำให้วัตถุมีเสถียรภาพ
- 2) เมื่อจุด M อยู่ใต้จุด G ก็จะทำให้วัตถุไม่มีเสถียรภาพ
- 3) เมื่อจุด M อยู่ทับจุด G ก็จะทำให้วัตถุมีลักษณะที่เป็นกลาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การคำนวณและการออกแบบระบบ



รูปที่ 8.1 บล็อกไดอะแกรม โครงสร้างของระบบ

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ การออกแบบวงจรการทำงานจะอ้างอิงขอบเขตการทำงานดังนี้

การทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบหมุนลอยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell floating water circulation) จะเป็นการรับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาส่งต่อให้กับแบตเตอรี่ เพื่อสะสมพลังงานไปใช้ในเวลากลางคืน หรือช่วงเวลาที่แสงสว่างไม่เพียงพอ และส่วนหนึ่งก็จะส่งไปขับมอเตอร์เพื่อให้ชุดปั้พคติน้ำทำงาน

8.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้เป็นชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว (Monocrystalline) ซึ่งเป็นรุ่นที่นิยมใช้ โดยทั่วไปของบริษัท BP Thai Solar โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 2 ชุด ราคาชุดละ 13,000 บาท และเนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ มีราคาแพงมาก ทางคณะผู้จัดทำไม่มีงบประมาณเพียงพอในการจัดซื้อ แต่ได้หารรายละเอียดไว้เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป ซึ่งแต่ละชุดมีข้อมูลดังนี้

- ขนาดกำลังสูงสุด (Peak Power Point) 55.0 W
- พิกัดแรงดันสูงสุด 17.0 V
- พิกัดแรงดันจ่ายปกติ 12.0 V
- เปิดวงจร (open circuit) 21.2 V
- พิกัดกระแสสูงสุด 3.23 A
- สั้ดวงจร (short circuit) 3.54 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 Blocking Diode

เป็นอุปกรณ์ที่ต่อจาก PV Array เพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสย้อนกลับเข้าไปใน Parray ซึ่งจะทำให้ PV array เสียหายได้

เนื่องจาก PV array = 55 W 2 ชุด (12x2 = 24 V)

∴ กำลังทั้งหมด $P = 55 \times 2 = 110 \text{ W}$

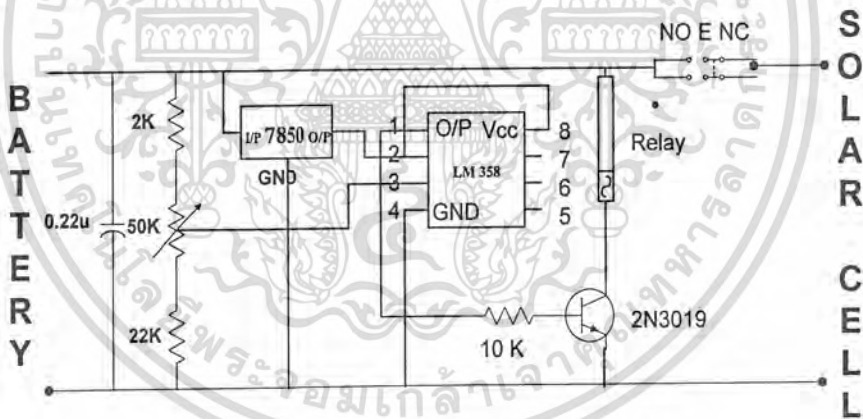
ค่ากระแสที่ไหล $I = 110/24 = 4.58 \text{ A}$

∴ ใช้ Diode 5A 1 ตัว

8.3 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (CHARGE REGULATOR)

พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์จะเก็บพลังงานโดยแบตเตอรี่ ในการเก็บพลังงานสำหรับนั้นต้องมีการควบคุมการประจุเพื่อป้องกันความเสียหายให้แก่แบตเตอรี่ เนื่องจากการประจุเกิน โดยมีหลักการเบื้องต้นคือเมื่อแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ต่ำ วงจรควบคุมการประจุจะประจุแบตเตอรี่จนแรงดันของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นตัวแสดงว่าแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้ว วงจรควบคุมการประจุก็จะหยุดทำงาน ดังมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

8.3.1 การทำงานของวงจร



รูปที่ 8.2 แสดงวงจรอัดประจุแบตเตอรี่

เมื่อแรงดันทางด้านแบตเตอรี่เริ่มต่ำลง จะทำให้แรงดันที่ขาของ op-amp ต่ำกว่าขาเปรียบเทียบ จึงทำให้ op-amp on เมื่อ op-amp on จะทำให้ 2N3019 ทำงาน และจะทำให้ Relay ทำงาน เมื่อ Relay ทำงานหน้าสัมผัสก็จะปิด ทำให้ Solar cell จ่ายพลังงานเข้าแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันที่แบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้นจนเต็ม จะทำให้แรงดันที่ขาของ op-amp สูงกว่าขาเปรียบเทียบ จึงทำให้ op-amp off เมื่อ op-amp off จะทำให้ 2N3019 ไม่ทำงาน และจะทำให้ Relay ไม่ทำงาน หน้าสัมผัสก็จะเปิดออก และจะยุติการชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR)

เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 V 45 W

พิกัดกระแส	NO LOAD	0.48 A
	FULL LOAD	1.9 A

8.5 การคำนวณขนาดแบตเตอรี่

พิจารณาที่ Full Load 1.9 A, 24 V, 45 W ที่ Backup Time 10 ชั่วโมงต่อเนื่อง

$$\therefore \text{Power Load} = 45 \times 10 = 450 \text{ W.hr}$$

กำหนดให้ประสิทธิภาพของระบบ = 75 %

$$\therefore \text{Power Load} = 450 \times 0.75 = 337.5 \text{ W.hr}$$

$$\therefore \text{ที่ } 24 \text{ V จะได้ขนาดของ Batt} = 337.5 / 24 = 14.1 \text{ A.hr.}$$

ถ้าใช้ 20% ของ Batt Capacity

$$\text{จะต้องใช้ Battery ขนาด} = 14.1 / 0.2 = 70.5 \text{ A.hr.}$$

ถ้าใช้ 30% ของ Batt Capacity

$$\text{จะต้องใช้ Battery ขนาด} = 14.1 / 0.3 = 47 \text{ A.hr.}$$

ถ้าใช้ 40% ของ Batt Capacity

$$\text{จะต้องใช้ Battery ขนาด} = 14.1 / 0.4 = 35.25 \text{ A.hr.}$$

ถ้าใช้ 50% ของ Batt Capacity

$$\text{จะต้องใช้ Battery ขนาด} = 14.1 / 0.5 = 28.2 \text{ A.hr.}$$

ถ้าใช้ 55% ของ Batt Capacity

$$\text{จะต้องใช้ Battery ขนาด} = 14.1 / 0.55 = 25.64 \text{ A.hr.}$$

\therefore เราจะเลือกใช้ที่ 55% เนื่องจากคำแนะนำจากโรงงานผู้ผลิต Battery ให้อยู่ในช่วง 30-60% คือประมาณ 26 A.hr. แต่เนื่องจากว่าทางกลุ่มโครงการได้ใช้ Battery ขนาด 45 A.hr. เพราะสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก

8.6 ชุดโบบัดตีน้ำ

8.6.1 เพื่องานสายพานเล็ก มีหน้าที่ในการรับ-ถ่ายกำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ แล้วส่งกำลังขึ้นไปยังเพื่องานสายพานใหญ่ที่ติดตั้งอยู่บนแกนเพลลาของโบบัดตีน้ำ

8.6.2 สายพานขับ มีหน้าที่ในการรับ-ถ่ายกำลังขับเคลื่อนจากเพื่องานสายพานเล็ก ไปยังเพื่องานสายพานใหญ่

8.6.3 เพื่องานสายพานใหญ่ มีหน้าที่ในการรับ-ถ่ายกำลังขับเคลื่อนจากเพื่องานสายพานเล็ก ผ่านสายพานขับแล้วถ่ายกำลังขับเคลื่อนต่อไปยังเพลลาโบบัดตีน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

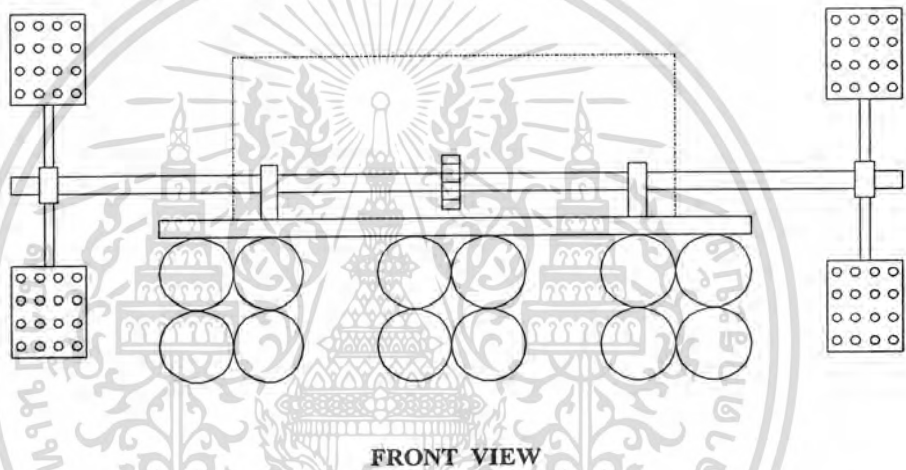
8.6.4 ชุดลัดถูกป็น มีหน้าที่รับน้ำหนักของเพลากับพัดตีน้ำและใบพัดตีน้ำทั้งชุดให้สามารถหมุนได้โดยรอบอยู่ได้อย่างอิสระ ซึ่งได้ประกอบและติดตั้งไว้ที่ส่วนปลายของหัวเพลาน้ำจำนวน 2 ชุด เพื่อให้เกิดการทรงตัวในแกนนอนของเพลานานกับผิวน้ำ

8.6.5 เพลากับพัดตีน้ำ มีหน้าที่ในการรับ-ถ่ายกำลังขับ จากงานสายพานใหญ่ ส่งให้ใบพัดตีน้ำให้เกิดการหมุน

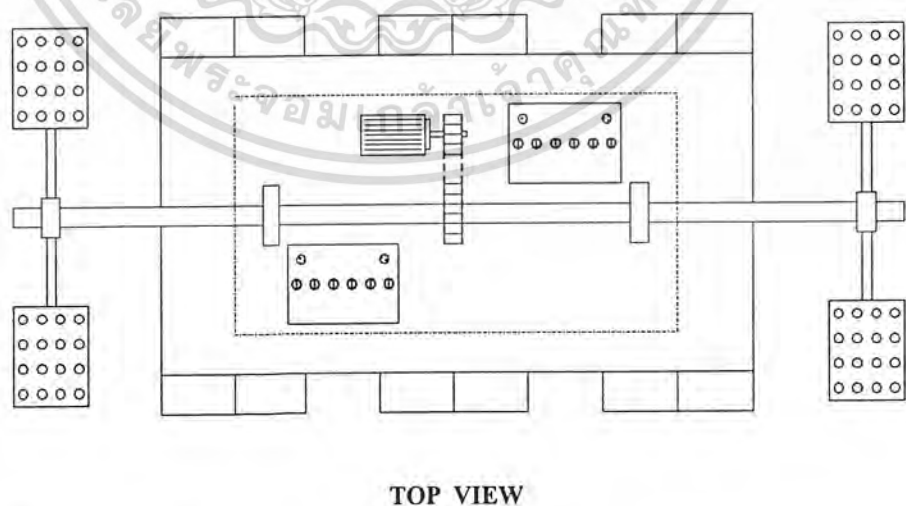
8.6.6 ใบพัดตีน้ำ มีหน้าที่ในการตีน้ำ ให้แตกกระจายเพื่อให้น้ำมีพื้นที่สัมผัสอากาศให้มากที่สุด

8.6.7 ทุ่นลอย มีหน้าที่ในการรับน้ำหนักของอุปกรณ์เครื่องกลไกทั้งหมดให้สามารถอยู่บนผิวน้ำขึ้นลงตามระดับน้ำได้อย่างอิสระ

8.7 รูปแบบจำลองของชุดใบพัดตีน้ำและทุ่นลอย

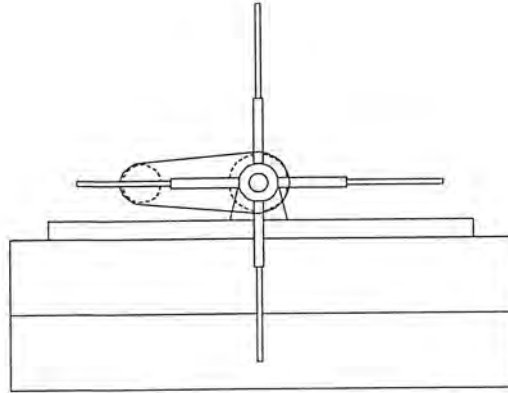


รูปที่ 8.3 แสดงรูปแบบจำลองของชุดใบพัดตีน้ำและทุ่นลอย ทาง FRONT VIEW



รูปที่ 8.4 แสดงรูปแบบจำลองของชุดใบพัดตีน้ำและทุ่นลอย ทาง TOP VIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SIDE VIEW

รูปที่ 8.5 แสดงรูปแบบจำลองของชุดโบบัดตีน้ำและท่อนลอย ทาง SIDE VIEW

8.8 การออกแบบขนาดของชุดโบบัดตีน้ำและท่อนลอย

ชุดโบบัด

- แกนเพลลา ยาว 1.20 เมตร
- โบบัด มีขนาด 9x9 ซม.
- ขนาดของรูบน โบบัด 0.5 ซม.
- จำนวนรูบน โบบัด 16 รู ต่อโบบัด
- ความยาวแกนโบบัด 10 ซม.

ท่อนลอย

- ท่อ PVC จำนวน 12 ท่อ โดย 1 ท่อ รับน้ำหนักได้ ≈ 5 กก.
- เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว
- ยาว 45 ซม.
- ท่อ PVC 4 ท่อ = 1 ท่อน
- \therefore ท่อนลอยมีจำนวน 3 ท่อน
- ระยะการวางของท่อนแต่ละท่อนห่างกัน 10 ซม.
- แผ่นฐานรองชุดเบตเตอร์ขนาด
 - กว้าง 50 ซม.
 - ยาว 87.5 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

สรุปและวิจารณ์

เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบทวนลอยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการแปลงเอาเครื่องบำบัดน้ำเสียแบบกักตันซ์พัฒนา มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบกับมีการเก็บพลังงานสำรองไว้ที่แบตเตอรี่ โดยใช้วงจรอัดประจุแบตเตอรี่เพื่อใช้ในเวลากลางคืน สามารถสรุปประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการนี้ได้ดังนี้

1. เครื่องบำบัดน้ำเสียแบบทวนลอย โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนหรืออากาศลงในน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น
2. สามารถประยุกต์ใช้กับนาุ้ง, บ่อเลี้ยงปลา หรือชนบทที่ห่างไกลได้ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า
3. ราคาในการทำโครงการจะมีราคาถูกกว่าการจัดซื้อจากในประเทศและต่างประเทศ

ปัญหาและอุปสรรคที่พบในโครงการ

- ส่วนของการต่อวงจรอัดประจุแบตเตอรี่
จะมีปัญหาเกิดขึ้นที่แรงดันที่ขา op-amp และขาเปรียบเทียบคือ เมื่อแรงดันแบตเตอรี่เริ่มต่ำ แรงดันที่ขาของ op-amp และแรงดันที่ขาเปรียบเทียบจะเท่ากัน ทำให้ 2N3019 ไม่ทำงานและ Relay จะไม่ทำงาน ส่งผลให้ไม่มีการชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่
- ส่วนของทวนลอย
อุปกรณ์ที่วางบนทวนลอย เช่นแบตเตอรี่, มอเตอร์ ฯลฯ มีน้ำหนักมาก ทำให้เกิดปัญหา มีความยุ่งยากในการออกแบบ และการจัดตำแหน่งเพื่อให้เกิดความสมดุลของทวนลอย
- ส่วนของโซลาร์เซลล์
แผงโซลาร์เซลล์มีราคาสูงจนเกินไป จึงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในการทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

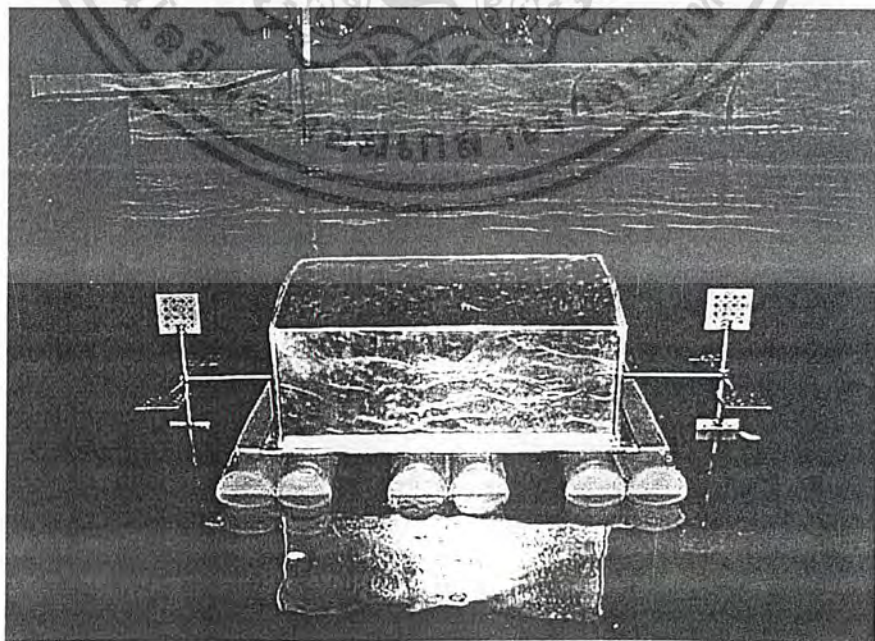
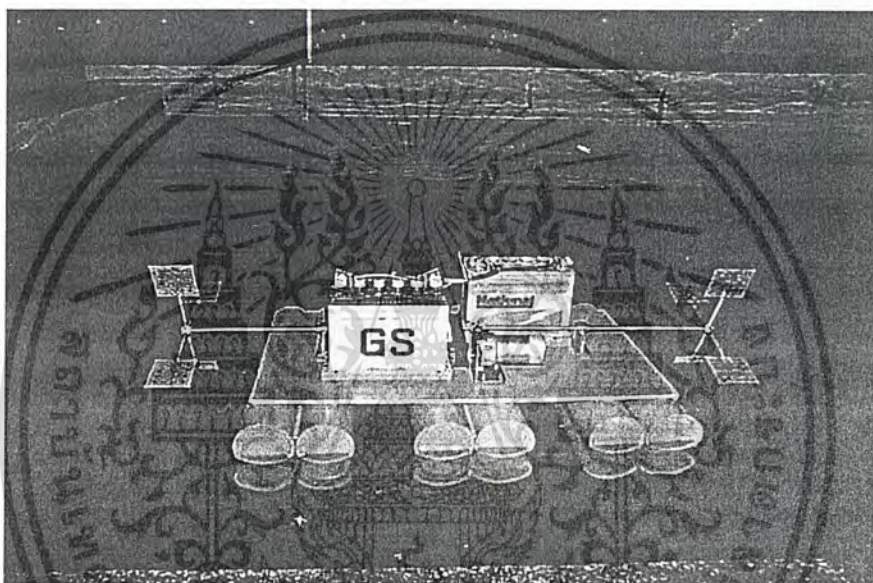
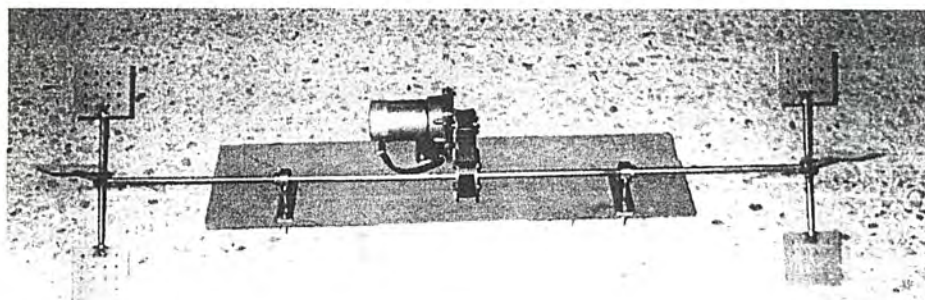
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สารบัญญัเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า กรุงเทพฯ :
 ภาค วิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- เจน สงสมพันธุ์. เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพฯ : โรงเรียนอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพ, 2534.
- คูสิต เครื่องาม. สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยีและการใช้งาน กรุงเทพฯ :
 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- ปราโมทย์ อุณหไวกษะ วิศวกรรมศาสตร์ภาคปฏิบัติ กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- พรเทพ เมืองแมน. ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สำหรับสื่อการเรียนการสอน ปัตตานี :
 ภาควิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต
 ปัตตานี, 2538.
- มงคล ทองสงคราม. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง กรุงเทพฯ : รามการพิมพ์, 2533.
- วันชัย ศิริชนะ และคนอื่นๆ. เอกภยตรีย้อจจริยะ กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์, 2540.
- สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว. ข้อกำหนดของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงสุด กรุงเทพฯ :
 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541.
- สุนันท์ ศรีณชนิดย์. กลศาสตร์ของไหล กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.
- เอกวิทย์ แก้วประดิษฐ์. ไฟฟ้าและสื่ออิเล็กทรอนิกส์สำหรับสื่อการสอน สงขลา :
 ภาควิชาเทคโนโลยีและสื่อการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2541.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

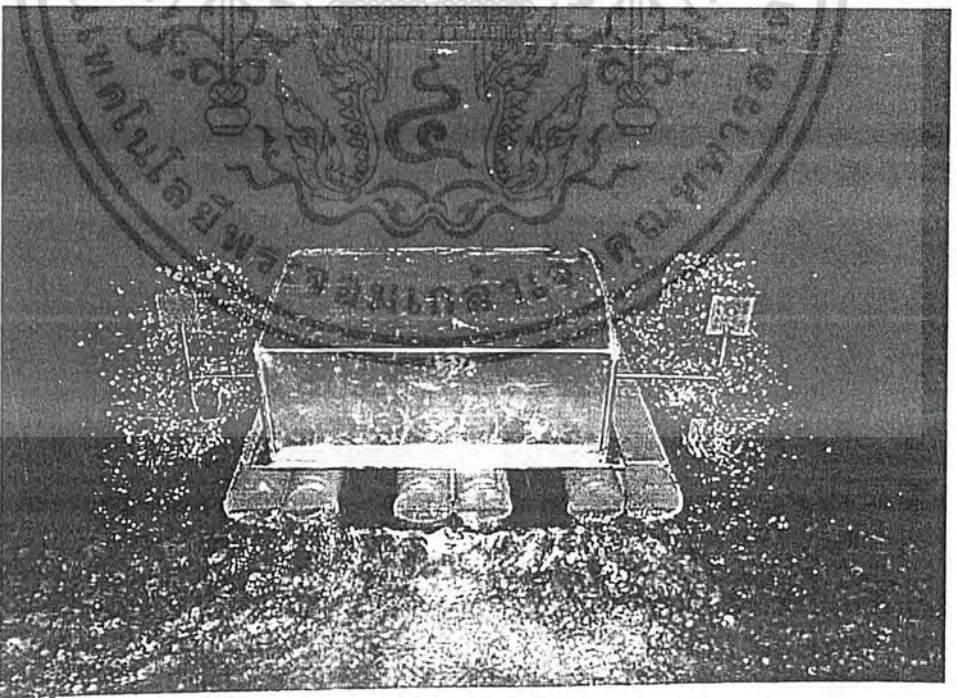
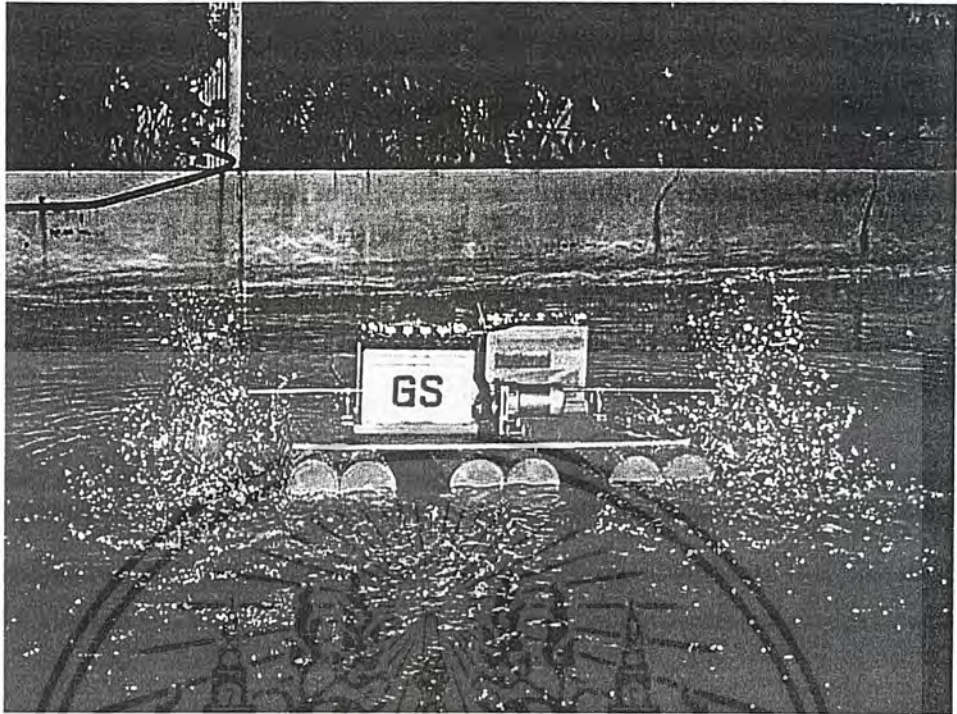


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

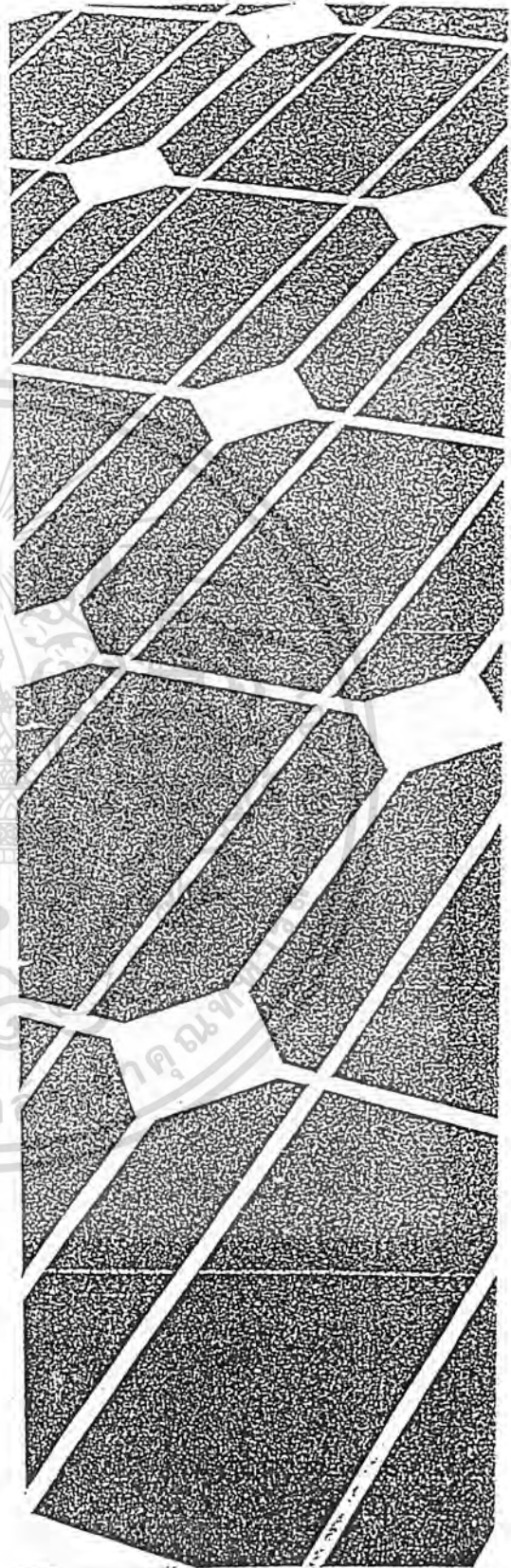


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.



BP SOLAR

*SOLAR MODULES**MODULOS SOLARES**MODULES SOLAIRE**SOLARMODULS**MODULI SOLARI**SOLMODULER**PAPAN SURIA*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BP SOLAR MODULES: HEALTH & SAFETY INFORMATION

Before handling, wiring or using any BP Solar photovoltaic (PV) product please read the information and safety precautions.

In doubt consult a competent, qualified electrician prior to attempting installation.

MODULE HANDLING AND USE:

ELECTRIC SHOCKS:



PV modules generate DC electrical energy when exposed to sunlight. Although single modules produce only a low voltage and current, shocks and burns are still a potential hazard. The shock hazard increases as modules are connected in series producing higher voltage and the burn hazard increases as modules are connected in parallel producing higher current.

PV modules can be made safe to work on by covering the front surface with a dense opaque material or placing the module face down on a flat surface. A voltmeter can be used to verify that the output voltage is safe.

B) OTHERS CONSIDERATIONS:

- Handle the modules with care. Damage can result from impacts to either front or rear surface.
- Do not bend PV modules.
- Do not disassemble PV modules. There are no user serviceable parts.
- This type of PV module is not designed to be used with light concentrators. The high temperatures associated with this type of equipment will damage the PV module.

ELECTRICAL CONNECTIONS:

Although there are regional variations electrical installations should in general comply with BS7671:1992 (IEC364) or other relevant national standard.

- Remove metallic jewellery from hands, wrists and neck.
- Use insulated tools
- Cables must be installed in specific order.

TO BATTERIES:

The most common application for PV modules is to recharge secondary cells (lead-acid or nickel-cadmium types). BP Solar recommend the use of a charge controller in this type of application. A charge controller will prevent over charging of lead acid battery cells and thus limit electrolyte loss, prevent the build up of explosive gases and extend battery life. Overcharging of sealed batteries can in some circumstances lead to explosion and thermal runaway.

- Follow the battery manufacturer's recommended safety precautions.
- Seek advice from your PV module supplier
- The use of a blocking diode is recommended to prevent discharge of the battery through PV modules at night. This is usually only necessary if two or more modules are connected in parallel. Blocking diodes are frequently supplied with the system charge regulator.

TO A CHARGE CONTROLLER:

The following connection sequence should be observed. However, specific manufacturer's instructions should be followed:

- Connect the battery positive and negative cables to the charge controller first. Connect the battery positive and negative cables to the battery - check that the charge controller is operational - see manufacturer's instructions. The charge controller may also require the connection of battery sense and temperature sense cables.
- Connect the PV array positive and negative cables to the PV array first, then connect the PV array positive and negative cables to the charge controller.

INTERCONNECTION TO FORM AN ARRAY:

- Construction of PV arrays must not be attempted in high winds. Care must be taken when lifting PV modules and structural members and in working at high levels. A useful reference is BS5531 (1988) Safety in Erecting Structural Frames.
- PV modules must be shaded during installation to prevent shock and burn hazards.
- Do not connect more than 21 PV modules in series, maximum system voltage with standard terminal block 380V, maximum system voltage with uprated terminal block 600V. For further details contact BP Solar.

EARTHING AND LIGHTNING:

To make a PV system as safe as possible, all exposed metal (e.g. PV module frame, Charge Controller enclosure etc.) should be earthed. Earthing the equipment ensures that the system voltage cannot drift away from ground potential and thus reduces the risk of electric shocks. Adequate earthing provides a path for lightning induced fault currents.

PREVENTIVE MAINTENANCE:

- As a minimum requirement PV installations should be inspected annually. In particular check that all fixings and electrical connections are tight and corrosion free.
- Accumulated dust and dirt can be removed from the front surface of the PV module by washing gently with water and a detergent solution. Do not use solvents or abrasive cleaners on any part of the PV module.

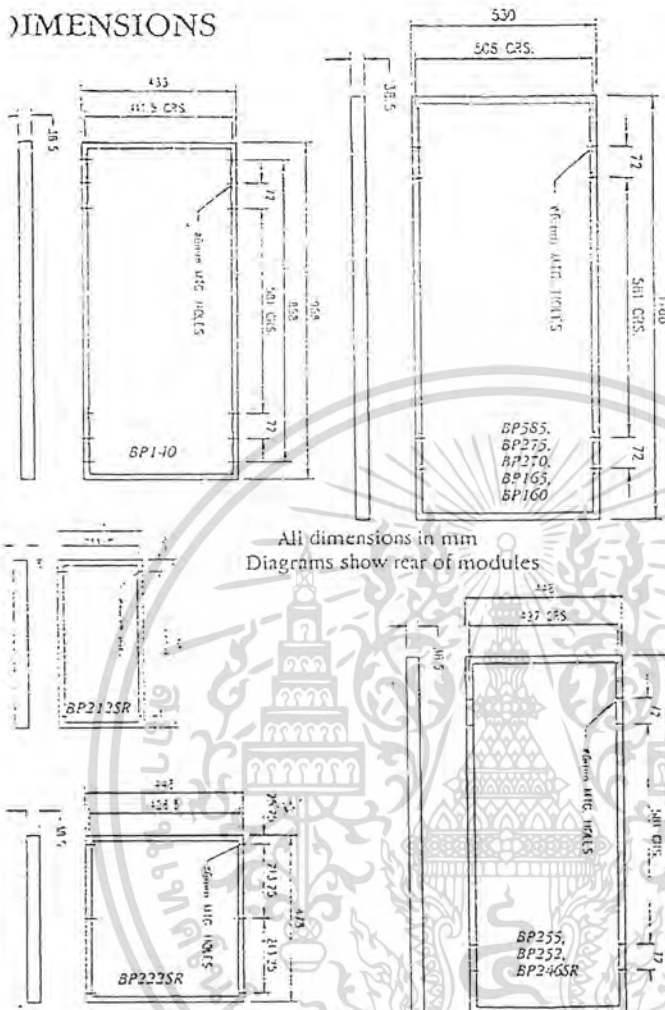
CERTIFICATION:

BP Solar PV Modules have been certified by the Commission of the European Communities Joint Research Centre at Ispra, in Italy to CEC505 specification.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BP SOLAR MODULES: TECHNICAL SPECIFICATIONS

DIMENSIONS



PRODUCT FEATURES

- High efficiency monocrystalline square silicon cells.
- Designed for maximum reliability and minimum maintenance.
- Produced using in-house technology in cell manufacturing and encapsulation.
- Highly resistant to water, abrasion, hail impact and other environmental factors.
- Lightweight anodised aluminium frame with silicone edge sealant around the laminate.
- All proven products. Only materials with extensive field experience used.
- Designed and manufactured to comply with European and equivalent international standards.

COMPONENTS

Glass: Toughened high transmission (92%) glass, 3mm thick.

Encapsulant: Ethylene Vinyl Acetate (EVA).

Frame: Anodised Aluminium.

Frame Seals: Silicone.

Junction Box: 2 by-pass diodes fitted and 4 cable entry points, standard in the following modules, BP585, BP275, BP270, BP165, BP160, BP255, BP252, BP140, BP246SR.

All BP Solar modules are measured under the Standard Industry Test Conditions, described in the Electrical Characteristics Section, each module is supplied against an agreed specification within a power tolerance band, normally minus 5% from the maximum peak power value; (minus 10% for BP246SR, BP140, BP222SR and BP212SR). For further details on system sizing and module performance under field conditions anywhere in the world, contact BP Solar or their authorised Distribution Network.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

* = CE 503 approved

Catalogue Number	Peak Power (W)	Self Regulating	Nominal Voltage (V)	Cell Number	Peak Voltage (V)	Peak Current (A)	Open Circuit Voltage (V)	Short Circuit Current (A)	Weight (kg)
BP585*	85	NO	12	36	18.0	4.72	22.10	5.00	7.5
BP275*	75	NO	12	36	17.0	4.45	21.40	4.75	7.5
BP270*	70	NO	12	36	17.0	4.16	21.20	4.48	7.5
BP165	65	NO	12	36	17.0	3.80	21.40	4.00	7.5
BP160	60	NO	12	36	17.0	3.51	21.40	3.70	7.5
BP255*	55	NO	12	36	17.0	3.23	21.20	3.54	5.9
BP252*	52	NO	12	36	17.0	3.06	21.20	3.55	5.9
BP140*	40	NO	12	36	17.0	2.34	21.60	2.44	5.2
BP246SR	46	YES	12	32	15.2	3.05	19.00	3.35	5.5
BP222SR	22	YES	12	32	15.2	1.45	19.00	1.65	4.0
BP212SR	12	YES	12	32	15.2	0.78	19.00	0.80	1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BP SOLAR MODULES: ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER SPECIFICATIONS

All performance specifications given are as measured at the standard test conditions.

Standard Test Conditions

Description	Parameter	Value
Intensity of Illumination	Irradiation (W/m ²)	1000
Spectral Density	Air Mass (AM)	1.5
Operating Temperature	Cell Temperature (°C)	25

Description of performance parameters

P _{max}	Maximum power of a module. The point on the curve where the PV product is a maximum.
V _{mp}	Voltage at the maximum power point.
I _{mp}	Current at the maximum power point.
I _{sc}	The short circuit current of a PV module.
V _{oc}	The open circuit voltage of a PV module.
P _{min}	Minimum guaranteed power of a module.

Tolerance - Minimum power, the peak power of all high power modules is normally supplied within minus 5% actual of the nominal value, for further details contact BP Solar.

CEC APPROVAL SPECIFICATION NO. 503

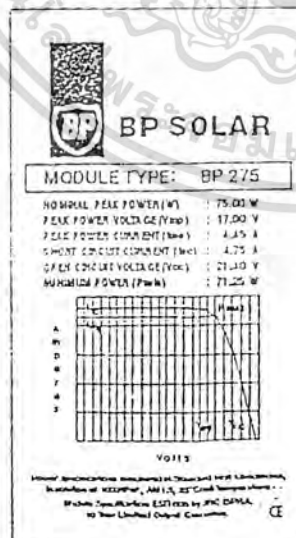
BP Solar modules have been tested and qualified to the Commission of European Communities specification number 503 at the CEC Joint Research Centre in Ispra, Italy. The qualification tests are designed to demonstrate the module's suitability for use in field conditions. Modules are designed to last at least 20 years, with a 10 year warranty.

- 200 thermal cycles from -40°C to 85°C.
- 10 humidity/freeze cycles - from 85°C at 85% relative humidity to -40°C.

- Ice ball impact test.
- Ultra violet exposure.
- Outdoor exposure.
- Damp heat.
- Hot spot endurance (to simulate partial shading).
- Mechanical endurance, to simulate wind loads of up to 225km/h.

Power specifications are measured at Standard BP Solar Test Conditions. For further information on module performance contact BP

Rear Module Label



36 CELL MODULES

To boost charge a nominally 12 volt standard flooded lead acid battery the terminal voltage must be taken to 15 volts at 20°C. At this voltage the battery will be gassed sufficiently to remove stratification and to ensure cell equalisation. In some applications it is necessary to ensure that the boost voltage is reached as quickly as possible even at high temperatures. To ensure that this happens most modules are manufactured with 36 silicon solar cells connected in series which will yield approximately 17 volts at the maximum power point. The additional 3.0 volts are required to overcome tabbing and blocking diode losses. However, system using 36 cell modules must be equipped with a charge controller to ensure that the batteries are not over charged during periods of surplus energy.

- Telecommunications
- Cathodic protection.
- Navigational aids
- Medical Refrigeration
- Telemetry.
- Railway Signalling.
- Obstruction lighting.
- Water Pumping.
- Domestic lighting/power.
- Grid-connect.

Typical Professional Applications

32 CELL SELF REGULATED MODULES (SR)

All self regulating (SR) modules have been designed so that they can be safely connected directly to the battery without regulator when used in an appropriate situation. They offer reliable lower cost solution to the majority of small solar system applications. Self regulating (SR) modules are used extensively for marine navigational aids and leisure applications.

HOW DOES IT WORK?

A self regulating module has a lower output voltage characteristic than a normal regulating module. This means a charging characteristic more closely matches that of a lead acid battery.

When the battery is at a low state of charge (S.O.C.) correspondingly lower voltage ensures the full charging current of the solar module is being used to charge the battery. As a battery reaches higher S.O.C.s, its terminal voltage rises. The rise in voltage forces the solar module to start tapering off charging to a point where only a trickle charge is allowed to the battery to maintain a high S.O.C.

WHAT CONDITIONS ARE REQUIRED FOR SELF REGULATION?

- The ratio of battery storage capacity (Ah) to solar module output power (watts) should be at least 2.5:1 or more (larger the battery bank the better).
- Frequent use of battery.
- Regular battery maintenance of at least 3 weeks major intervals and topping up of battery electrolyte if reqy otherwise use with sealed batteries.

WHEN WOULD SELF REGULATION BE UNSUITABLE?

- If the battery capacity is too small
- If the battery is only used very infrequently
- If the battery will be unattended for extended periods (in excess of 3-4 weeks)

In such cases we would recommend the use of a self regulating module with a regulator.

If you're unsure as to how suitable self regulation is for your particular system, BP Solar will be pleased to advise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BP SOLAR MODULES: INTERNATIONAL WARRANTY TERMS

GENERAL WARRANTY TERMS

Equipment supplied by BP Solar will be warranted for a period of one (1) year from the date of sale to the original consumer purchaser against defects resulting from faulty workmanship and/or materials, when such equipment is installed and used under normal conditions.

BP Solar's solar modules are warranted for a period of ten (10) years from the date of sale to the original consumer purchaser against degradation in excess of ten (10) per cent of the minimum power output measured at an optimum voltage under the standard conditions of 100mW/cm² at a cell temperature of 25°C. BP Solar warrant to replace the lost power provided such degradation is determined to be due to faulty workmanship or materials.

Faulty material is to be returned, freight prepaid and accompanied by a copy of the original invoice, to the point of sale or a nominated company location for either repair or replacement as warranted.

CONDICIONES PARA LA GARANTIA EN GENERAL

Todo el equipo suministrado por BP Solar está garantizado por un periodo de un (1) año desde la fecha de venta al comprador consumidor original contra defectos que ocurren debido a mano de obra y/o materiales defectuosos, siempre y cuando dicho equipo esté instalado y utilizado bajo condiciones normales.

Los Módulos solares de BP Solar se garantizan por un periodo de diez (10) años desde la fecha de venta al comprador o consumidor original contra una degradación mayor del diez (10) por ciento de la mínima potencia de salida medida a un voltaje óptimo bajo las condiciones estándar de 100mW/cm² a una temperatura de célula de 25°C. BP Solar garantiza el reemplazo de la energía perdida siempre y cuando se determine que tal degradación ha ocurrido debido a una mano de obra o materiales defectuosos.

Todo material defectuoso se debe devolver, con transporte prepago y debe ser enviado, con una copia de la factura original, al punto de venta o a un lugar denominado por la compañía ya sea para repararlo o para reemplazarlo tal como se garantiza.

TERMES GENERAUX DE LA GARANTIE

L'équipement fourni par BP Solar sera garanti pendant une période de un (1) an à partir de la date de vente à l'acheteur consommateur, contre tout défaut résultant d'une faute de fabrication et/ou de matériel utilisé, quand un tel équipement est installé et utilisé dans des conditions normales.

Les modules BP Solar sont garantis pendant une période de dix (10) ans à partir de la date de vente à l'acheteur consommateur, contre une dégradation dépassant dix (10) pour-cent de la production d'énergie minimum mesurée sous tension optimale et dans les conditions standard d'une batterie de 100mW/cm² avec une température d'élément de 25°C. BP Solar garantit le remplacement de cette énergie perdue à condition qu'il soit prouvé qu'une telle dégradation soit due à un défaut de fabrication ou de matériaux.

Le matériel défectueux doit être renvoyé, livraison prépayé et accompagnée d'une copie de la facture d'origine, au point de vente ou à une adresse de compagnie désignée, soit en vue d'une réparation, soit en vue d'un remplacement, selon la garantie.

ALLGEMEINE GARANTIEBEDINGUNGEN

Für von BP Solar gelieferte Anlagen wird eine Garantie von einem (1) Jahr ab dem Zeitpunkt des Verkaufs an den ursprünglichen Verbraucher und Käufer für Mängel aufgrund von Fertigungs- und/oder Materialfehlern übernommen, wenn diese Anlagen unter normalen Bedingungen installiert und eingesetzt werden.

Für die Solarmodule von BP Solar wird eine Garantie von zehn (10) Jahren ab dem Zeitpunkt des Verkaufs an den ursprünglichen Verbraucher und Käufer hinsichtlich einer Verschlechterung der Mindestleistungsabgabe von über zehn (10) Prozent, gemessen bei einer optimalen Spannung unter den Standardbedingungen von 100mW/cm², bei einer Zelltemperatur von 25°C, übernommen. BP Solar garantiert, daß eine derartige Verschlechterung auf Fertigungs- oder Materialfehler zurückzuführen ist.

Fehlerhaftes Material ist Fracht vorausbezahlt und mit eine Kopie der Originalrechnung an die Verkaufsstelle oder an ein Vertragsunternehmen zur Reparatur oder zum Ersatz entsprechend der Garantie zurückzuschicken.

TERMINI GENERALI DI GARANZIA

Gli apparecchi forniti dall BP Solar saranno garantiti per un periodo di un (1) anno dalla data di vendita all'acquirente consumatore originale, contro i difetti risultanti da esecuzione e/o da materiali difettosi, purché tali apparecchi siano installati ed usati in delle condizioni normali.

I moduli solari della BP Solar sono garantiti per un periodo di dieci (10) anni dalla data di vendita, all'acquirente consumatore originale, contro la degradazione di oltre diecimila (10) per cento dell'erogazione minima di potenza, misurata ad una tensione ottimale in conformità alle condizioni standard di 100mW/mq., ad una temperatura di cellula di 25°C. La BP Solar

garantisce la sostituzione della potenza persa, purché sia determinato che tale degradazione sia stata causata da esecuzione o materiali difettosi.

Il materiale difettoso dev'essere restituito, solo non assegnato, ed accompagnato da una copia della fattura originale, al punto vendita o in un luogo nominato della società, o per riparazione o per sostituzione secondo la garanzia.

ALLMANNA GARANTIBESTÄMMELSE

Erföring leverad av BP Solar har en garanti på ett (1) år från försäljningsdatum till ursprunglig köpare, mot en nedgång i den bristfälligt utifrån och/eller material. då sådan utrustning installeras och används under normala förhållanden.

BP Solars solmoduler har en garanti på tio (10) år från försäljningsdatum till ursprunglig köpare, mot en nedgång övergående till (10) procent av minsta möjliga energiproduktion uppsett vid optimal spänning enligt följande normalförhållanden på 100mW/cm² samt en celltemperatur på 25°C. BP Solar garanterar att ersätta sådan förlorade energi, förutsatt att nedgången bedöms bero på bristfälligt utifrån och/eller material.

Bristfälligt material skall efter försäkratsbedömning avskasas, återändas till försäljningsställe eller till annan utsedd plats för berättigad reparation eller ersättning.

SYARAT-SYARAT JAMINAN AM

Peralatan yang dibekalkan oleh BP Solar dijamin selama satu (1) tahun dari tarikh jualan kepada pengguna asal dari kecacatan pembuatan dan/atau bahan dengan syarat peralatan tersebut dipasang dan diguna dalam keadaan biasa.

Papan suria (Solar Modules) dari BP Solar adalah dijamin selama sepuluh (10) tahun dan tarikh jualan kepada pengguna asal dari kemerosotan tahap minima pengeluaran kuasa elektrik yang melebihi sepuluh (10) peratus apabila diukur pada kadar voltan optima dalam keadaan tetap 100mW/cm² pada suhu sel 25°C. BP Solar memberi jaminan akan menggantikan kuasa yang hilang dengan syarat kemerosotan tersebut terbukti disebabkan oleh kecacatan pembuatan atau bahan.

Barangan cacat mestilah dipulangkan, dengan kos penghantaran dibiayai oleh pengguna, berserta sesalinan inbois asal, ke pusat jualan yang atau tempat syarikat yang terpilih untuk kerja membaiki-pulih atau diganti seperti yang dijamin.

The above warranty terms apply to the following standard catalogue products: BP335, BP270, BP163, BP160, BP255, BP252, BP246SE and the BP1-0. The BP222SR, BP212SR standard products are covered by a 1 year limited warranty, for materials, workmanship and electrical performance; in all other aspects the standard warranty terms are generic. For further details of the International Warranty Procedure contact the original point of sale or a nominated BP Solar location.

WARRANTY LIMITATION

BP Solar shall not be liable to replace or repair the modules in accordance with this warranty if the serial or identification number has been altered, defaced or removed, or if the goods are not properly installed and maintained in accordance with BP Solar's recommendations or if the goods have been subject to misuse, replacement, modification or repair other than in accordance with BP Solar's written instructions. This warranty shall only apply to the original consumer purchaser of the module.

Indirect Loss - BP Solar shall not be liable in any way whatsoever for any indirect, incidental, consequential or special losses or special damage or for loss of profit or anticipated profit (whether or not of a kind described in (i) above), arising out of or in any way connected with the equipment supplied by BP Solar which forms the subject of this product warranty. This does not affect the consumers statutory rights.

As part of our policy of continuous improvement BP Solar reserves the right to change product specifications at any time without prior notice.

The above warranty applies to modules in terrestrial land base applications.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BP SOLAR MODULES: MECHANICAL INSTALLATION

1. For maximum module performance, where possible face the module towards the equator (i.e. due south in the northern hemisphere or due north in the southern hemisphere).
2. Ensure an unshaded location throughout the year and select a tilt angle from the table; within 10 degrees of the equator the module can face either pole without any reduction of performance. Detailed system design reports with performance simulations at optimum tilt angles are generally available from BP Solar on their Distribution network.

ALTITUDE	TILT ANGLE	ALTITUDE	TILT ANGLE
0 - 10°	10°	41 - 45°	45°
11 - 15°	15°	46 - 50°	50°
16 - 20°	20°	51 - 55°	55°
21 - 25°	25°	56 - 60°	60°
26 - 30°	30°	61 - 65°	65°
31 - 35°	35°	66 - 70°	70°
36 - 40°	40°	71 - 75°	75°

MECHANICAL LOADING

The module is capable of withstanding uniformly-distributed loads of up to 2400 Pa applied to the front or back surfaces. This corresponds to a maximum simulated windspeed gust of 225 km/h (62.5 m/sec).

Any design of support structure for the modules should utilise an appropriate code of practice in order to calculate wind loadings since these codes take edge effects into account.

MOUNTING ARRANGEMENTS

Holes are provided in the frame of the module for mounting purposes. M5 fasteners (stainless steel) should be used since the frame incorporates a channel which holds an M5 nut captive.

The module should be mounted so that no corner is displaced from the plane of the other 3 corners by more than 5mm.

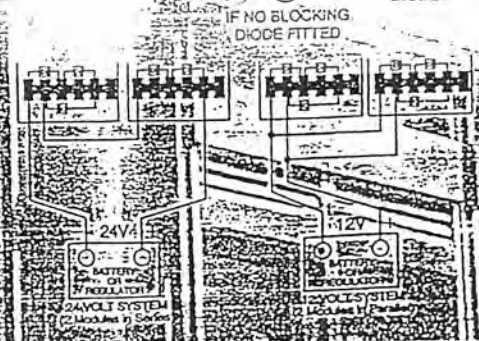
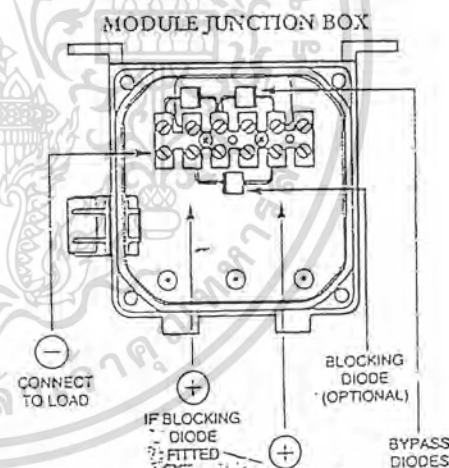
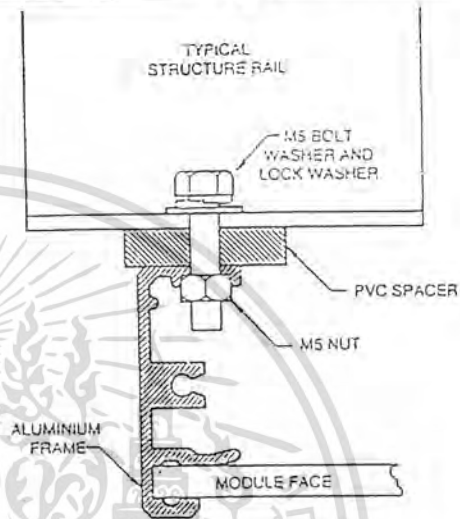
USING M5 FASTENERS

Secure the module as shown, using at least four mounting points on each module. The PVC spacer is recommended when modules are to be mounted on metal (non aluminium) frames to prevent corrosion from dissimilar metals.

ELECTRICAL INSTALLATION

1. Cut and strip the cables as required.
2. Undo the four screws securing the lid on the junction box.
3. Open the lid to reveal connections as shown.
4. Push the cable through the gland and using a suitable screwdriver make the connection as required.
5. Tighten the cable gland to secure the cable and seal the junction box.
6. Replace the junction box lid and tighten the four screws firmly into place.

The junction box is standard equipment on the following modules: BP585, BP275, BP270, BP165, BP160, BP255, BP252, BP246SR, BP140. Modules designated BP222SR and BP212SR are supplied with flying leads for external electrical connections. External leads are colour coded for positive and negative connections.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Voltage Regulators

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number

of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

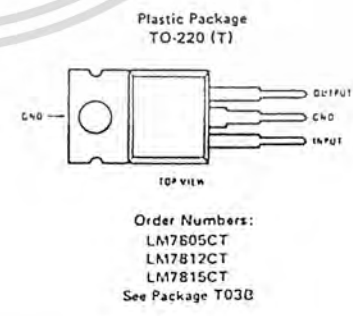
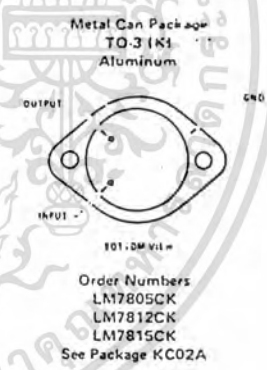
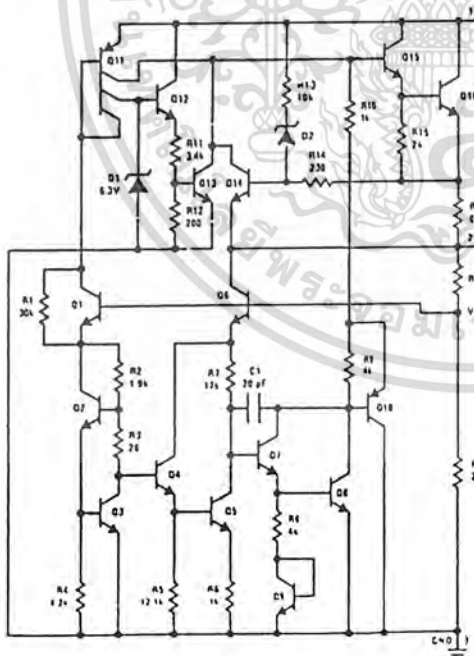
Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Schematic and Connection Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Input Voltage ($V_O = 5V, 12V$ and $15V$)	35V
Internal Power Dissipation (Note 1)	Internally Limited
Operating Temperature Range (T_A)	0°C to $+70^\circ\text{C}$
Maximum Junction Temperature	
(K Package)	150°C
(T Package)	125°C
Storage Temperature Range	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	
TO-3 Package K	300°C
TO-220 Package T	230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) $0^\circ\text{C} < T_j < 125^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

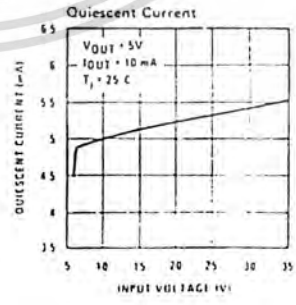
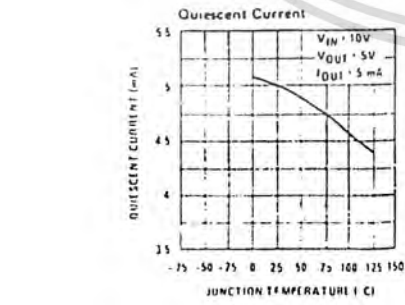
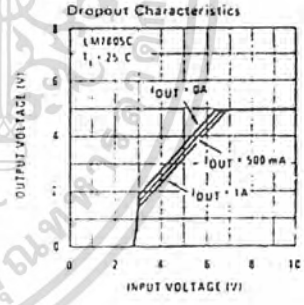
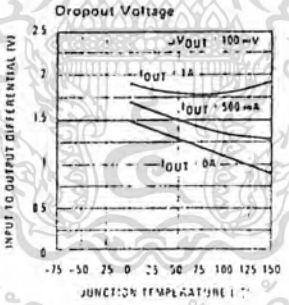
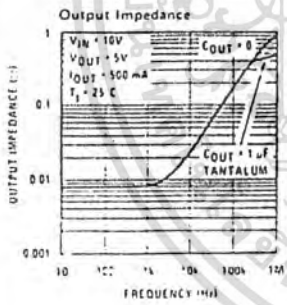
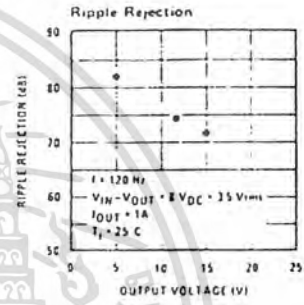
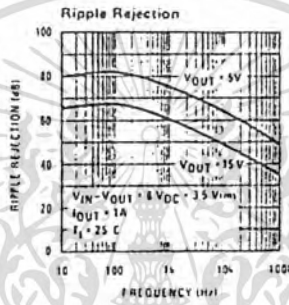
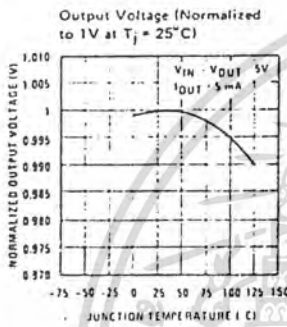
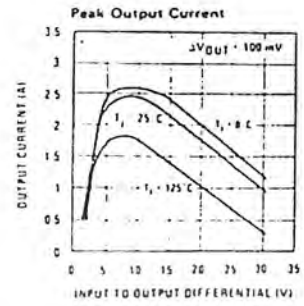
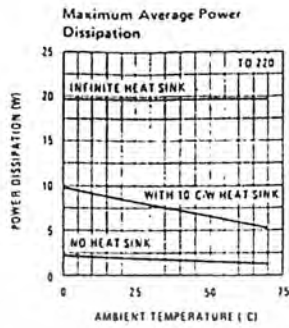
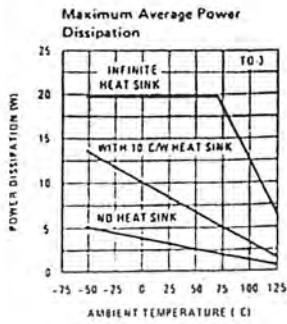
OUTPUT VOLTAGE		5V			12V			15V			UNITS	
INPUT VOLTAGE (unless otherwise noted)		10V			19V			23V				
PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
V_O Output Voltage	$T_j = 25^\circ\text{C}, 5\text{ mA} < I_O < 1\text{ A}$	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V	
	$P_D < 15\text{ W}, 5\text{ mA} < I_O < 1\text{ A}$	4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V	
	$V_{\text{MIN}} < V_{\text{IN}} < V_{\text{MAX}}$	(7 < $V_{\text{IN}} < 20$)				(14.5 < $V_{\text{IN}} < 27$)			(17.5 < $V_{\text{IN}} < 30$)		V	
ΔV_O Line Regulation	$I_O = 500\text{ mA}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$		3	50		4	120		4	150	mV
		ΔV_{IN}		(7 < $V_{\text{IN}} < 25$)		(14.5 < $V_{\text{IN}} < 30$)		(17.5 < $V_{\text{IN}} < 30$)				V
		$0^\circ\text{C} < T_j < +125^\circ\text{C}$			50		120		150		150	mV
	$I_O < 1\text{ A}$	ΔV_{IN}		(8 < $V_{\text{IN}} < 20$)		(15 < $V_{\text{IN}} < 27$)		(18.5 < $V_{\text{IN}} < 30$)				V
		$T_j = 25^\circ\text{C}$			50		120		150		150	mV
		ΔV_{IN}		(7.3 < $V_{\text{IN}} < 20$)		(14.6 < $V_{\text{IN}} < 27$)		(17.7 < $V_{\text{IN}} < 30$)				V
ΔV_O Load Regulation	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$5\text{ mA} < I_O < 1.5\text{ A}$		10	50		12	120		12	150	mV
		$250\text{ mA} < I_O < 750\text{ mA}$			25		60		75		75	mV
	$5\text{ mA} < I_O < 1\text{ A}, 0^\circ\text{C} < T_j < +125^\circ\text{C}$			50		120		150		150	mV	
I_O Quiescent Current	$I_O < 1\text{ A}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$			8		8		8		8	mA
		$0^\circ\text{C} < T_j < +125^\circ\text{C}$			8.5		8.5		8.5		8.5	mA
ΔI_O Quiescent Current Change	$5\text{ mA} < I_O < 1\text{ A}$				0.5		0.5		0.5		0.5	mA
	$T_j = 25^\circ\text{C}, I_O < 1\text{ A}$				1.0		1.0		1.0		1.0	mA
	$V_{\text{MIN}} < V_{\text{IN}} < V_{\text{MAX}}$				(7.5 < $V_{\text{IN}} < 20$)		(14.8 < $V_{\text{IN}} < 27$)		(17.9 < $V_{\text{IN}} < 30$)			V
	$I_O < 500\text{ mA}, 0^\circ\text{C} < T_j < +125^\circ\text{C}$				1.0		1.0		1.0		1.0	mA
	$V_{\text{MIN}} < V_{\text{IN}} < V_{\text{MAX}}$				(7 < $V_{\text{IN}} < 25$)		(14.5 < $V_{\text{IN}} < 30$)		(17.5 < $V_{\text{IN}} < 30$)			V
V_N Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10\text{ Hz} < f < 100\text{ kHz}$			40		75		90			μV	
$\frac{\Delta V_{\text{IN}}}{\Delta V_{\text{OUT}}}$ Ripple Rejection	$f = 120\text{ Hz}$	$I_O < 1\text{ A}, T_j = 25^\circ\text{C}$ or	62	80	55	72	54	70			dB	
		$I_O < 500\text{ mA}$	62		55		54				dB	
		$0^\circ\text{C} < T_j < +125^\circ\text{C}$										V
	$V_{\text{MIN}} < V_{\text{IN}} < V_{\text{MAX}}$			(8 < $V_{\text{IN}} < 18$)		(15 < $V_{\text{IN}} < 25$)		(19.5 < $V_{\text{IN}} < 28.5$)				
R_O	Dropout Voltage	$T_j = 25^\circ\text{C}, I_{\text{OUT}} = 1\text{ A}$		2.0		2.0		2.0			V	
	Output Resistance	$f = 1\text{ kHz}$		8		18		19			$\text{m}\Omega$	
	Short-Circuit Current	$T_j = 25^\circ\text{C}$		2.1		1.5		1.2			A	
	Peak Output Current	$T_j = 25^\circ\text{C}$		2.4		2.4		2.4			A	
	Average TC of V_{OUT}	$0^\circ\text{C} < T_j < +125^\circ\text{C}, I_O = 5\text{ mA}$		0.6		1.5		1.8			$\text{mV}/^\circ\text{C}$	
V_{IN} Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_j = 25^\circ\text{C}, I_O < 1\text{ A}$	7.3			14.6			17.7			V	

NOTE 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically $4^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case and $35^\circ\text{C}/\text{W}$ case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically $4^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case and $50^\circ\text{C}/\text{W}$ case to ambient.

NOTE 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of $0.22\ \mu\text{F}$, and a capacitor across the output of $0.1\ \mu\text{F}$. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_w < 10\text{ ms}$, duty cycle $< 5\%$). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้