



การพัฒนาชุดแผงโซลาร์เซลล์เคลื่อนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์  
(SOLAR SEEKER DEVELOPMENT)



โดย  
นาย ณรงค์ ณรงค์รัตน์  
นายศรัทธา ศรีสุธา  
นายอมรเทพ คูปวานิชพงษ์

วัน เดือน ปี..... 14.ค.ค. 2541  
เลขทะเบียน..... 038936  
เลขเรียกหนังสือ..... 1.201976 86211 ก.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2540

หัวข้อปริญญาโท	การพัฒนาชุดแผงโซลาร์เซลล์เคลื่อนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ SOLAR SEEKER DEVELOPMENT		
ชื่อนักศึกษา	นายณรงค์	ณรงค์รัตน์	NO. 38013355
	นายศรียา	ศรีสุธา	NO. 38013380
	นายอมรเทพ	คุณวานิชพงษ์	NO. 38013389
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ชวลิต	เบญจางคประเสริฐ	
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2540		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้นับปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาโท



- .....ประธานกรรมการ
- ( )
- .....กรรมการ
- ( )
- .....กรรมการ
- ( )
- .....กรรมการ
- ( )
- .....กรรมการ
- ( )

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาชุดแผงโซลาร์เซลล์เคลื่อนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์  
SOLAR SEEKER DEVELOPMENT

โดย	นายณรงค์	ณรงค์รัตน์	NO. 38013355
	นายศรีชา	ศรีสุธา	NO. 38013380
	นายอมรเทพ	คุณวานิชพงษ์	NO. 38013389
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ชวลิต	เบญจางคประเสริฐ	
ปีการศึกษา	2540		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับแผงโซลาร์เซลล์ และมีการนำมาใช้งานในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง เพื่อใช้เป็นพลังงานสำรอง แต่ประสิทธิภาพในการรับแสงของแผงโซลาร์เซลล์ยังไม่ดีพอ ดังนั้นผู้จัดทำจึงคิดที่จะทำการปรับปรุงให้การรับแสงของแผงโซลาร์เซลล์โดยการเคลื่อนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์ให้สามารถทำงาน ได้ดีกว่าที่มีอยู่เดิม

## SOLAR SEEKER DEVELOPMENT

BY	NARONG	NARONGRAT	NO. 38013355
	SRICHA	SRISUTHA	NO. 38013380
	AMORNTHAP	KUPAWANJAPONG	NO. 38013389
ADVISER	Assistant Professor CHAWALIT BENJANGKAPRASERT		
YEAR	2540		

## ABSTRACT

Solar energy is one of the alternative energy for the widely use fossil energy and solar-cell which change the solar energy to electrical current directly is one of the promising media.

A solar-cell panel must get the light ray perpendicular to itself in order to get a maximum efficiency. Solar seeker is a control equipment for this purpose. D.C. motor and two gearboxes are used in the seeker in order to control rotate direction both in East-West and North-South direction. Electric power from the solar-cell panel is used to charge batteries and enough power to the D.C. motors. Some restriction in the mechanic system need further improve.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงด้วยความเรียบร้อยด้วยการได้รับความสนับสนุนและให้คำปรึกษาจากหลายฝ่าย ฉะนั้นผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณท่าน ผศ. ชวดิศ เบญจางคประเสริฐ ที่กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโครงการ รวมทั้งได้ชี้แนะ หลักการ แนวทาง และความรู้ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับโครงการนี้ พร้อมทั้งขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน และบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
<b>บทที่ 1</b> ผลงานแสงอาทิตย์	1
1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์	1
1.2 ผลงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก	2
1.3 ผลกระทบของบรรยากาศโลกต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์	4
1.4 ผลงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลก	6
1.5 ผลงานรังสีตรงและรังสีกระจาย	10
1.6 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์	10
1.7 ผลงานแสงอาทิตย์บนระนาบระดับ และบนระนาบเอียง	17
<b>บทที่ 2</b> ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับแบบเคอร์รี	
2.1 เซลล์แบบอนุกรม	18
2.2 การทำงานของเซลล์โฟโตโวลตาอิก	19
2.3 แรงดันกับความต้านทาน	21
2.4 กำลังงานต่อชั่วโมง	23
2.5 เซลล์แบบปฏุมภูมิ	24
2.6 เซลล์แบบหุติขภูมิ	29
<b>บทที่ 3</b> เซลล์แสงอาทิตย์	
3.1 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์	43
3.2 โครงสร้างและคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์	44
3.3 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์	49
3.4 ข้อจำกัดบางประการของการต่อเซลล์ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์	59
3.4 การเชื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	59
3.5 อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์	60

บทที่ 4 ลักษณะของโครงการ	
4.1 บทนำระบบการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์	61
4.2 ทฤษฎีพื้นฐาน	61
4.3 หลักการออกแบบ	68
4.4 วงจรควบคุมการขับเคลื่อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	72
บทที่ 5 ผลการทดลอง	83
5.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	87
5.2 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	87
เอกสารอ้างอิง	88
ภาคผนวก ก	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### พลังงานแสงอาทิตย์

#### 1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

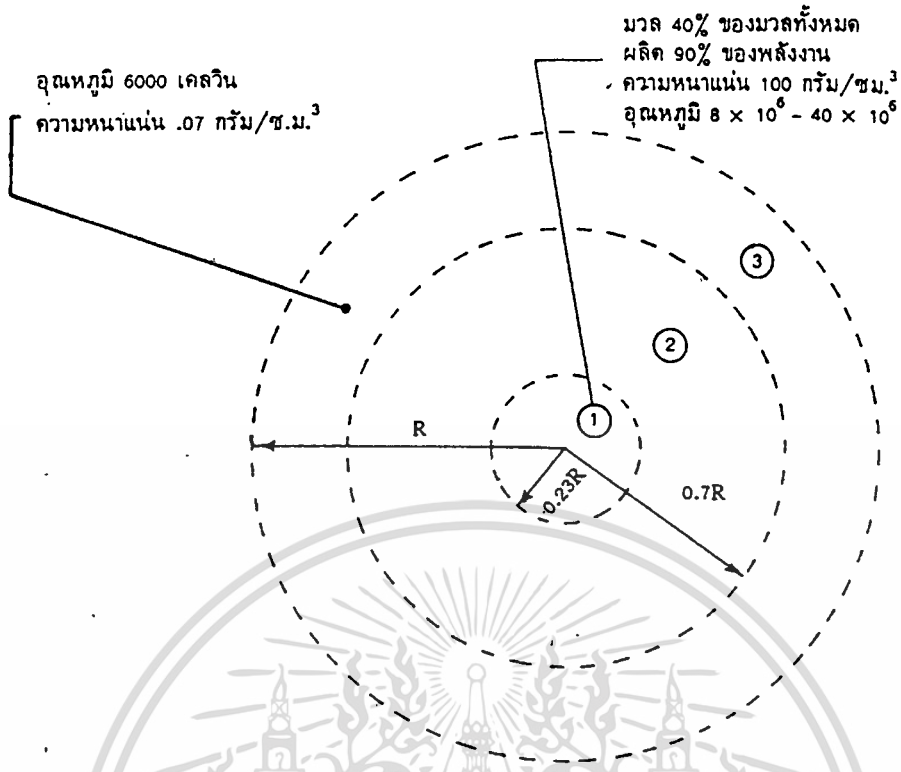
##### 1.1.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ  $1.39 \times 10^6$  กิโลเมตร มีมวลเท่ากับ  $1.99 \times 10^{30}$  กิโลกรัมและมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1410 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ดวงอาทิตย์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน(Hydrogen)ในปริมาณ 75% ที่เหลือเป็นธาตุฮีเลียม(Helium)และธาตุหนักอื่น เช่น เหล็ก เพราะฉะนั้น ณ จุดใดๆ บนพื้นโลกมองเห็นไปยังดวงอาทิตย์ จะเห็นดวงอาทิตย์ครอบคลุมขนาดไปประมาณครึ่งองศา ดังรูปที่ 1.1 และจากที่ทราบว่าโลกหมุนรอบตัวเองใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ดังนั้นดวงอาทิตย์จะเคลื่อนตำแหน่งไป 1 องศา จะใช้เวลา 4 นาที



รูปที่ 1.1 แสดงขนาดของดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับระยะทางจากโลกกับดวงอาทิตย์

โครงสร้างของดวงอาทิตย์แบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณตามที่ได้แสดงในรูปที่ 1.2 บริเวณแรกอยู่โดยรอบศูนย์กลางในรัศมี  $0.23R$  เมื่อ  $R$  คือรัศมีของดวงอาทิตย์มวลของส่วนนี้เท่ากับ 40% ของมวลทั้งหมด ซึ่งทำให้มีความหนาแน่นมวลประมาณ 100 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ และมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง  $8 \times 10^6$  ถึง  $40 \times 10^6$  องศาเคลวิน(Kelvin) อะตอมของธาตุไฮโดรเจน(Hydrogen)จะรวมกัน หรือหลอมเข้าด้วยกันเป็นธาตุฮีเลียม(Helium) ซึ่งหนักกว่า แต่โดยที่มวลของธาตุไฮโดรเจน(Hydrogen)ที่รวมกันหนักกว่ามวลของฮีเลียม(Helium) นิวเคลียส จึงมีมวลส่วนหนึ่งหายไป มวลจำนวนนี้เปลี่ยนเป็นพลังงานปริมาณมหาศาลถ่ายเทออกสู่มิวนอกของดวงอาทิตย์ บริเวณที่สองอยู่ถัดจากบริเวณแรกออกมาถึงตำแหน่ง  $0.7R$  ความหนาแน่นมวลและอุณหภูมิลดลง พลังงานซึ่งผลิตจากบริเวณที่หนึ่งจะถ่ายเทผ่านบริเวณนี้ออกสู่ภายนอก บริเวณที่สามอยู่ถัดจากบริเวณที่สองถึงผิววนอกของดวงอาทิตย์ ความหนาแน่นมวลลดลงเหลือประมาณ 0.07 เท่าของความหนาแน่นมวลของน้ำ อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 6000 องศาเคลวิน พลังงานที่ผลิตได้จากภายในและถ่ายเทมาที่บริเวณนี้จะแผ่รังสีออกไปโดยรอบ สารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



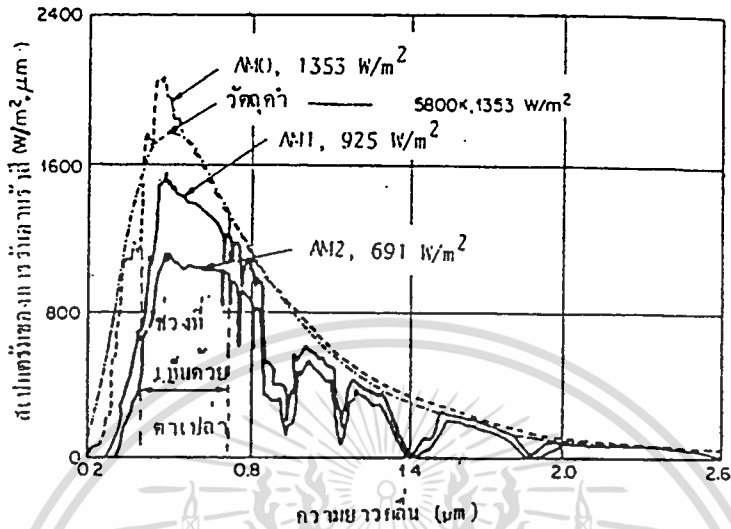
รูปที่ 1.2 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

## 1.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก

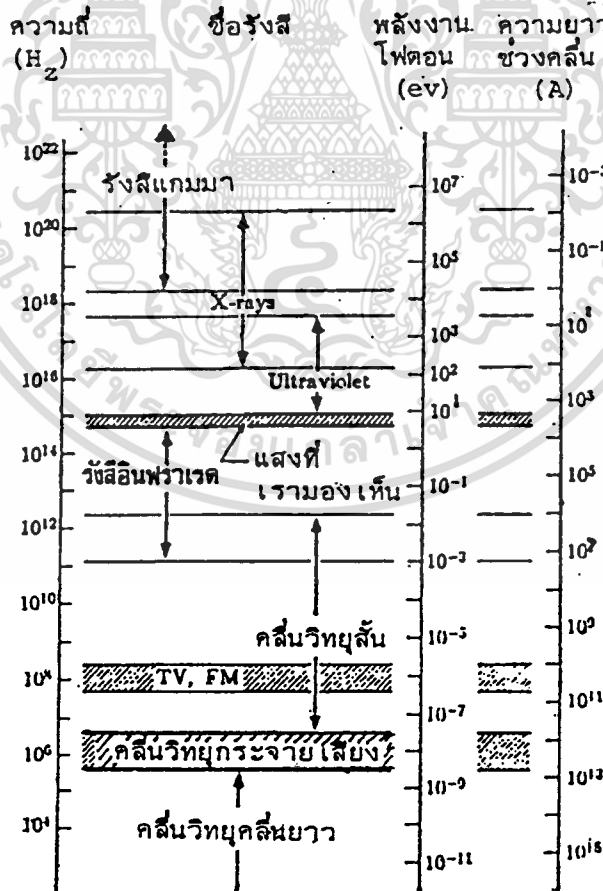
ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญในระบบสุริยะจักรวาล พลังงานที่เกิดบนดวงอาทิตย์เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ฟิวชัน (Thermonuclear Fusion) ของไฮโดรเจน (Hydrogen) 4 อะตอม (Atom) มาเป็นฮีเลียม (Helium) 1 อะตอม (Atom) มวลที่หายไปในการปฏิกิริยานี้กลายเป็นพลังงาน ตามสูตรของไอน์สไตน์คือ  $E = mc^2$  ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นมาแล้ว 4.5 พันล้านปี และคาดว่าจะยังมีไฮโดรเจนเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยานี้อีกประมาณ 4.5 พันล้านปี นับเป็นเวลานานหลายชั่วอายุของมนุษย์ ดังนั้นจึงมักได้ยินคำกล่าวอยู่เสมอว่า ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่จะมีให้ใช้ได้ตลอดไป ซึ่งดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ  $1.39 \times 10^6$  กิโลเมตร อยู่ห่างจากโลกเฉลี่ย  $1.496 \times 10^8$  กิโลเมตร การแผ่รังสีที่ผิวดวงอาทิตย์สู่ชั้นบรรยากาศนอกโลกประมาณเทียบได้กับการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Black Body) อุณหภูมิยังผลเป็น 5762 เคลวิน (Kelvin) ดังรูปที่ 1.3 เป็นสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่วัดในอวกาศ กับพื้นโลก โดยสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ในอวกาศเรียกว่าเป็น สเปกตรัมแบบ AMO (Air Mass Zero) ส่วนสเปกตรัมบนพื้นโลกที่วัดที่เส้นศูนย์สูตรที่ระดับน้ำทะเล ขณะที่ฟ้าแจ่มใสและดวงอาทิตย์อยู่เหนือหัวเรียกว่า สเปกตรัมแบบ AMI (Air Mass One) หากเป็นการวัดที่ตำแหน่งอื่น ๆ สภาพอากาศที่สเปกตรัมที่ได้จะเป็นแบบ AM1, AM3 แล้วแต่ปริมาณและสภาพบรรยากาศที่แสงผ่าน ตลอดจนความยาวของทางผ่านของแสงอาทิตย์ดวงอาทิตย์มีอัตราการปลดปล่อยกำลังงาน  $3.85 \times 10^{23}$  กิโลวัตต์ (Kilowatts) และบรรยากาศบริเวณผิวโลกได้รับ  $1.725 \times 10^{14}$  กิโลวัตต์ (Kilowatts) เทียบเป็นพลังงานที่ได้รับ ใน 1 ปี คือ  $1.51 \times 10^{18}$  กิโลวัตต์ชั่วโมง

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จะแปรอยู่ในช่วง  $1.5 \times 10^8$  กิโลเมตร  $\pm 1.7\%$  พลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้นอกบรรยากาศที่ระยะห่างดังกล่าวมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1400 วัตต์/เอกซาร์นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเมตร ในช่วงเดือนธันวาคมและเดือนมกราคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1305 วัตต์/ ตารางเมตร ในช่วงเดือน มิถุนายนและเดือนกรกฎาคม โดยเฉลี่ยแล้วพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้รายปีเท่ากับ 1353 วัตต์/ ตารางเมตร



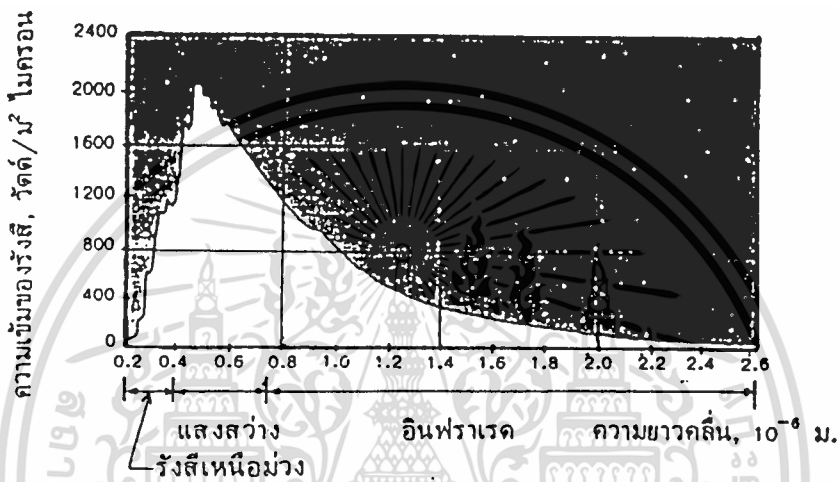
รูปที่ 1.3 แสดงสเปกตรัมของความรับอานรังสีแสงอาทิตย์(Solar Spectral Irradiance)



รูปที่ 1.4 แสดงสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องเข้ามาถึงบรรยากาศของโลกเรานั้นอยู่ในรูปของพลังงานรังสี(Radiant Energy) ประกอบด้วยรังสีทุกรูปแบบ เช่น คลื่นวิทยุ ความร้อน แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ และ รังสีแกมมา ความเข้มและความยาวคลื่นของรังสีแสดงในรูปที่ 1.5 พื้นที่ใต้เส้นโค้งแทนปริมาณกำลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้ มีค่าเท่ากับ 1353 วัตต์/ ตารางเมตร ดังนั้น ขนาดของแต่ละโฟตอนขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของรังสี นั้น ๆ รังสีที่มีความถี่มากจะมีพลังงาน 1 โฟตอน มากกว่ารังสีที่มีความถี่น้อยกว่าพิจารณาจากความถี่ พลังงานโฟตอน และความยาวช่วงคลื่นของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.5 การกระจายของรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งรับได้บนบรรยากาศของโลก ที่ตำแหน่งซึ่งห่างจากดวงอาทิตย์ เท่ากับระยะระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

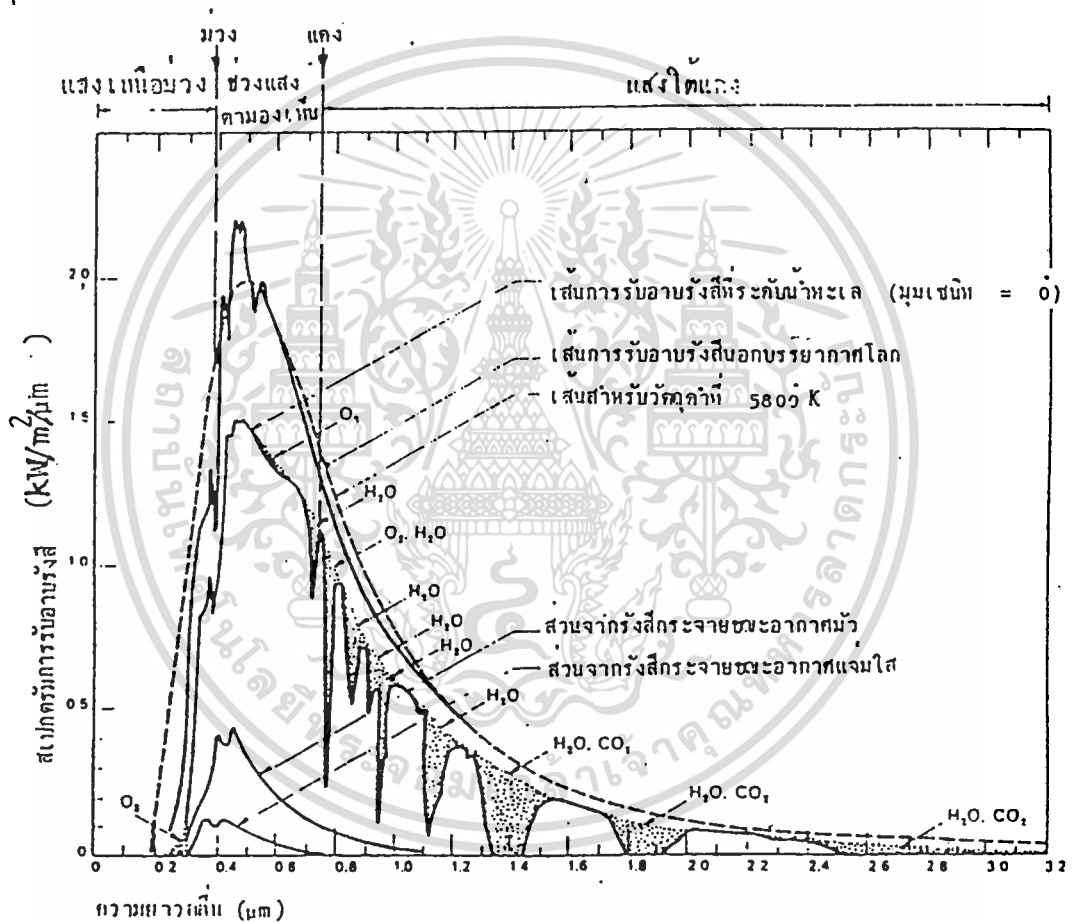
เนื่องจากพลังงาน 1 โฟตอนของรังสีจากดวงอาทิตย์มีขนาดความถี่หรือความยาวช่วงคลื่นต่างกัน เมื่อพลังงานนี้เข้าสู่บรรยากาศของโลกจะชนกับอะตอมของสสารที่มีขนาดต่าง ๆ กัน การเกิดปฏิกิริยาที่จะต่างกัน ด้วย ความยาวช่วงคลื่นของแต่ละโฟตอนจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของวัตถุที่จะสามารถดูดกลืนไว้ได้ พลังงาน 1 โฟตอน ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความยาวช่วงคลื่นประมาณ  $10^{-7}$  เมตร แต่พลังงาน 1 โฟตอนของรังสีอินฟราเรดมีความยาวช่วงคลื่นมากกว่า 100 เท่า ส่วนพลังงาน 1 โฟตอนของแสงมีความยาวช่วงคลื่นระหว่างรังสีทั้งสองนี้ โฟตอนของรังสีอุลตราไวโอเล็ต แสง และรังสีอินฟราเรด อาจถูกดูดกลืนไว้ได้ในอะตอมและโมเลกุล ส่วนโฟตอนของคลื่นวิทยุซึ่งมีความยาวช่วงคลื่นยาวมากนับเป็นร้อย ๆ เมตร ต้องใช้เสาอากาศยาว ๆ จึงจะรับคลื่นวิทยุได้ นอกจากนี้การดูดกลืนของรังสียังขึ้นกับชนิดของสสาร เช่น แก้วดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตไว้ได้ แต่ปล่อยให้แสงทะลุผ่านไปได้ กระจกอาจใช้กับรังสีอินฟราเรดและแสงไว้ได้ แต่ไม่อาจกั้นรังสีอัลตราไวโอเล็ต(Ultraviolet)ได้

### 1.3 ผลกระทบของบรรยากาศโลกต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์

#### 1.3.1 บรรยากาศกับการดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสี

รังสีแสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศโลกจะถูกดูดกลืนเนื่องจากองค์ประกอบต่าง ๆ จากกราฟสเปกตรัมสุริยะในบรรยากาศโลก รูปที่ 1.6 จะเห็นว่าความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงบางช่วงคลื่นดังนี้ ระเบียบขั้นตอนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วงอุตราไวโอเล็ต(Ultraviolet) ความยาวคลื่นต่ำกว่า  $0.3 \mu\text{m}$  พลังงานของแสงจะถูกดูดกลืนโดย  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_3$  ในชั้นไอโอโนสเฟียร์(Ionosphere) โดยเฉพาะ  $\text{O}_3$  สามารถดูดกลืนรังสีอุตราไวโอเล็ตได้มากทำให้แสงที่ตกกระทบผิวโลกเกือบจะไม่มีพลังงานแสงในช่วงอุตราไวโอเล็ตเหลืออยู่
2. ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้(Visible) ความยาวคลื่น  $0.4$  ถึง  $0.75 \mu\text{m}$  แสงถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของ  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$  และน้ำบางส่วน
3. ช่วงรังสีอินฟราเรดความยาวคลื่นมากกว่า  $0.8 \mu\text{m}$  แสงถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำและ  $\text{CO}_2$  การดูดกลืนนี้อยู่ในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลกและทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 1.6 แสดงสเปกตรัมสุริยะนอกชั้นบรรยากาศและที่ระดับพื้นดิน

ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง  $8.0-12.0 \mu\text{m}$  บรรยากาศจะโปร่งแสงเรียกช่วงนี้ว่า หน้าต่างของบรรยากาศ(Atmospheric window) ที่ความยาวคลื่นสูงกว่านี้แสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนโดยน้ำและ  $\text{CO}_2$  เกือบหมด นอกจากนี้แสงยังถูกสะท้อนและกระเจิง(Scattering) โดยฝุ่นละอองในอากาศ ก้อนและก้อนเมฆ พวกที่มีขนาดโมเลกุลใกล้เคียงหรือโตกว่าความยาวคลื่น การกระเจิงโดยโมเลกุลอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นรังสีเป็นไปตามทฤษฎีของราเลย์(Rayleigh)

### 1.3.2 รังสีตรงและรังสีกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของบรรยากาศที่มีต่อการแผ่รังสีแสงอาทิตย์มายังโลกทำให้รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกประกอบด้วยรังสี 2 ส่วนคือ

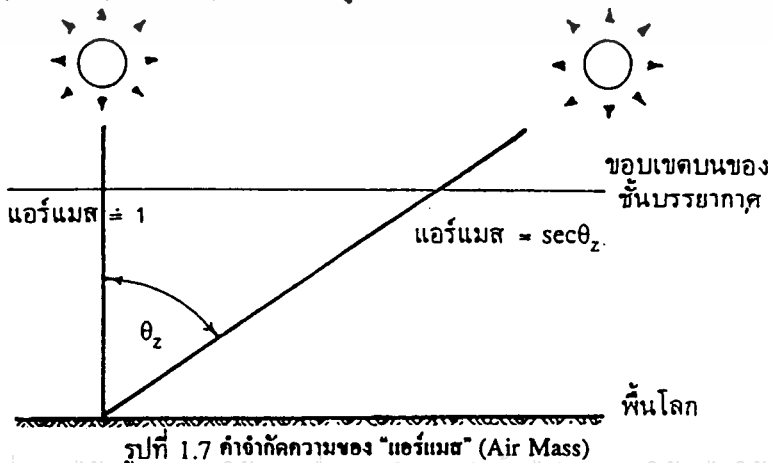
1. รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) รังสีส่วนนี้เป็นรังสีที่พื้นโลกได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์มีทิศทางแน่นอนถึงแม้จะมีการเปลี่ยนมุมตกกระทบบนพื้นที่ต่าง ๆ บนโลกไปตามเวลาที่ตาม บางครั้งเรียกรังสีตรงว่าเป็นรังสีช่วงคลื่นสั้น รังสีตรงเหมาะกับการใช้งานสำหรับอุปกรณ์รวมแสง

2. รังสีกระจาย (Diffuse or Scattering Radiation) ส่วนนี้ได้จากการสะท้อนและการกระเจิงของรังสีแสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ บางครั้งเรียกรังสีส่วนนี้ว่ารังสีช่วงคลื่นยาว ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายเรียกว่า รังสีรวม(Total or Global Radiation) เวลาอากาศโปร่งจะมีส่วนของรังสีกระจายเพียง 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์และจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีเมฆบังแสงอาทิตย์ การกระจายของค่ารังสีรวมเฉลี่ยรายวัน ณ บริเวณส่วนต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1.7, และ 1.8 หน่วยเป็น Langleys per Days; 1 Langley =  $0.0116 \text{ kWh/m}^2$

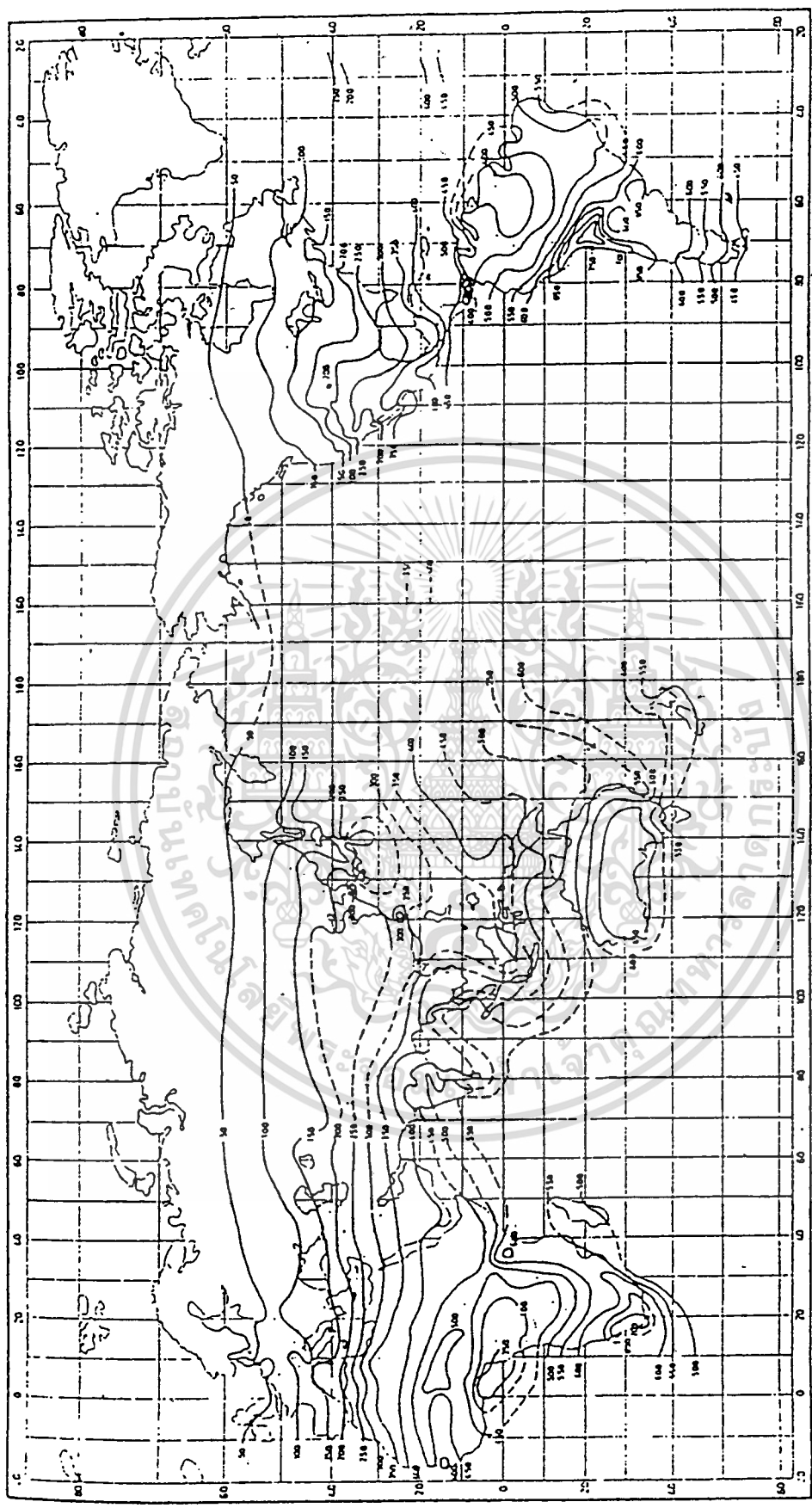
#### 1.4 พลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลก

บรรยากาศของโลกประกอบด้วยก๊าซชนิดต่าง ๆ ผุ่นละออง และไอน้ำเมื่อดวงอาทิตย์ส่องผ่านบรรยากาศ แสงอาทิตย์ส่วนที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 0.29 ไมครอน( 1 ไมครอนเท่ากับ  $10^{-6}$  เมตร )ซึ่งประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต(Ultraviolet) รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมาจะถูกดูดไว้โดยก๊าซโอโซน แสงอาทิตย์ส่วนที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.29 ไมครอน และ 2.3 ไมครอนซึ่งผ่านบรรยากาศของก๊าซโอโซนลงมาบางส่วนจะถูกก๊าซประเภทหลายอะตอม เช่น ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดูดเอาไว้ แสงอาทิตย์ซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า 2.3 ไมครอนจะผ่านบรรยากาศลงมาน้อยยิ่ง

ระยะทางที่แสงอาทิตย์ฉายผ่านบรรยากาศเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ฉายลงบนพื้นโลก ถ้าระยะทางที่แสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศยาว เช่น ในช่วงเวลาเช้าและเวลาเย็น ปริมาณแสงอาทิตย์ที่รับได้จะลดลง โดยนิยามค่าศัพท์ "แอร์แมส"(Air Mass) ขึ้นเพื่อใช้ระบุระยะทางสัมพัทธ์ที่แสงอาทิตย์ฉายผ่านบรรยากาศ โดยกำหนดให้ตำแหน่งซึ่งดวงอาทิตย์ตรงศีรษะมีค่าแอร์แมส (Air Mass) เป็น 1 ที่ตำแหน่งอื่น แอร์แมส(Air Mass) มีค่าเท่ากับ  $\sec\theta_z$  เมื่อ  $\theta_z$  คือมุมที่แนวแสงอาทิตย์ทำกับเส้นคิ่งคิ่งที่แสดงในรูปที่ 1.7 ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่แอร์แมส(Air Mass) ต่าง ๆ เปรียบเทียบกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่รับได้นอกบรรยากาศ(แอร์แมส(Air Mass) เท่ากับ 0) แสดงไว้ในรูปที่ 1.8, 1.9 ก. ข.

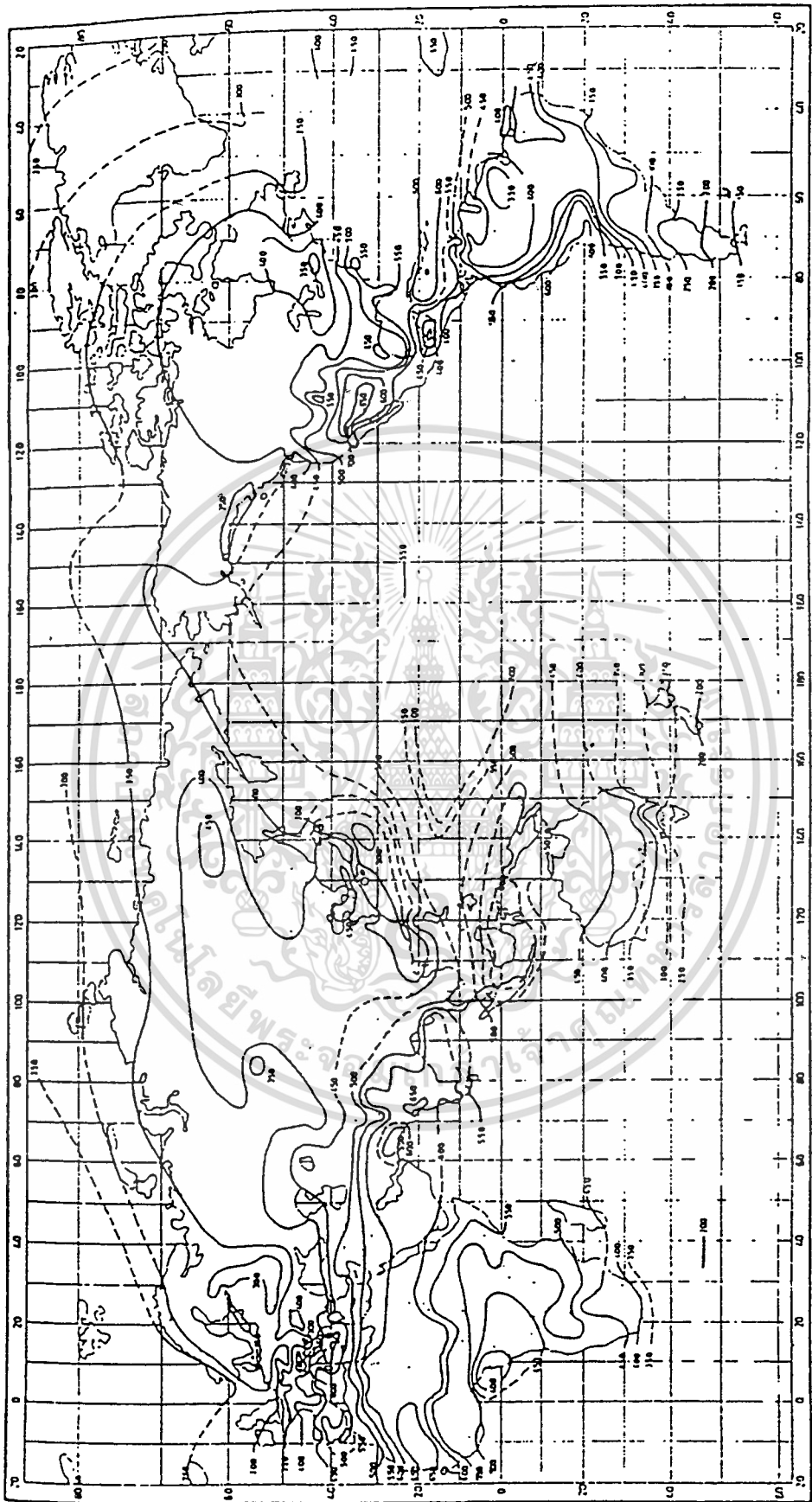


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



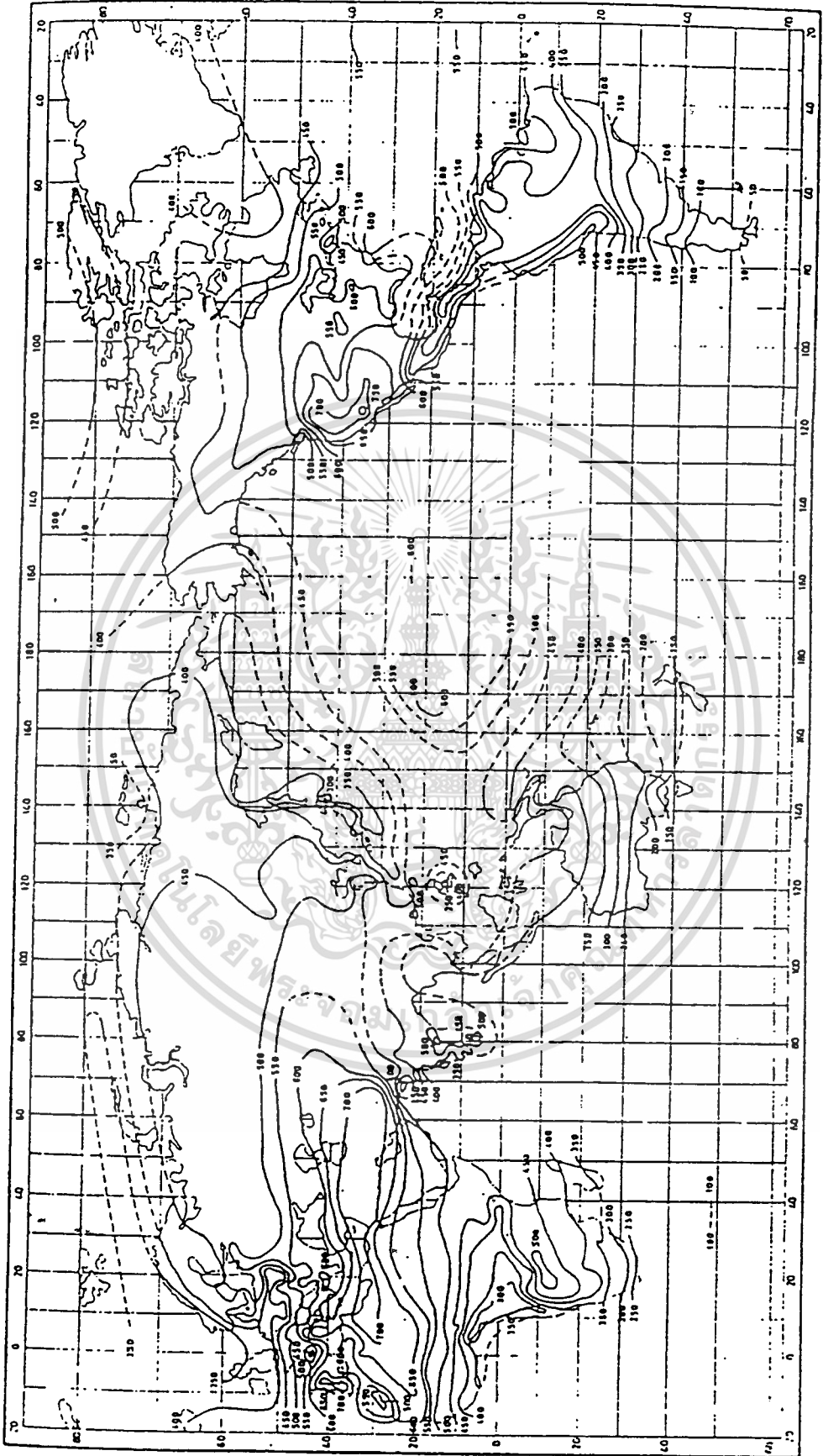
รูปที่ 1.8 ค่ารายวันเฉลี่ยของรังสีรวมบนพื้นระดับในเดือนมกราคม (หน่วย Langleys)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.9 ก คำรายวันเฉลี่ยของรังสีรวมบนพื้นดินระดับในเดือนเมษายน (หน่วย Langleys)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

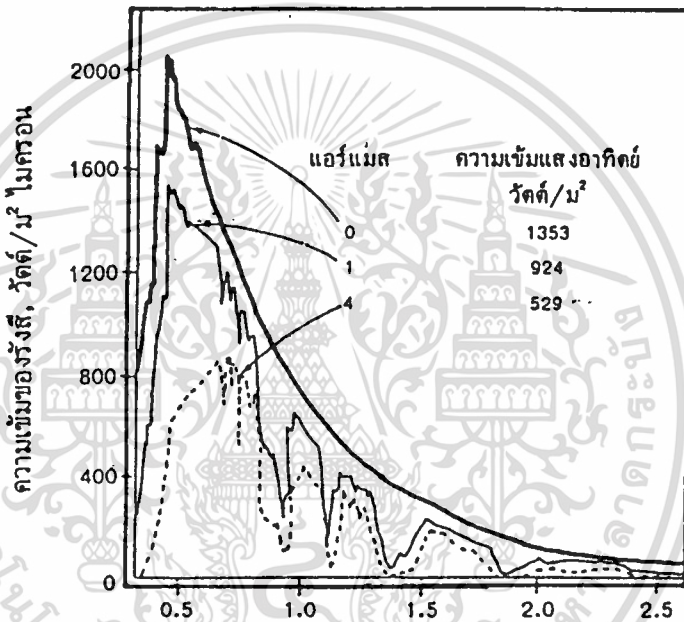


รูปที่ 1.9 ข ค่ารายวันเฉลี่ยของรังสีรวมบนพื้นดินระดับในเดือนกรกฎาคม (หน่วย Langleys)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. พลังงานรังสีตรง และพลังงานแสงอาทิตย์รังสีกระจาย

พลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยรังสี 2 ประเภทคือ รังสีตรงและรังสีกระจาย พลังงานแสงอาทิตย์ประเภทรังสีตรงเป็นรังสีที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์โดยตรงเป็นรังสีขนาน นำมารวมกันเพื่อให้ความเข้มสูงได้ เช่น คุยใช้แว่นขยาย พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายเป็นรังสีที่ออกจากตัวกลางอื่นที่ดวงอาทิตย์ส่งรังสีไปเช่น ฝ้า รังสีประเภทนี้มีทิศทางแบบกระจาย ไม่อาจนำมารวมกันเพื่อเพิ่มความเข้มเหมือนอย่างพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง



รูปที่ 1.10 การกระจายของพลังงานแสงอาทิตย์ที่แอร์แมส(Air Mass) ต่าง ๆ

ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส แสงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีตรงเป็นส่วนใหญ่ เช่นกว่า 80% เป็นแบบรังสีตรงที่เหลือเป็นรังสีแบบกระจาย ส่วนในวันที่ท้องฟ้าไม่แจ่มใสมีเมฆมากแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีแบบกระจายเป็นส่วนใหญ่

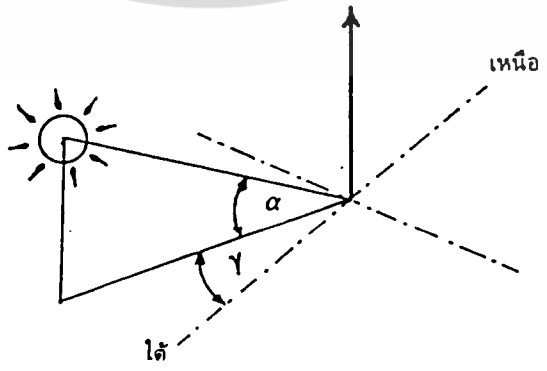
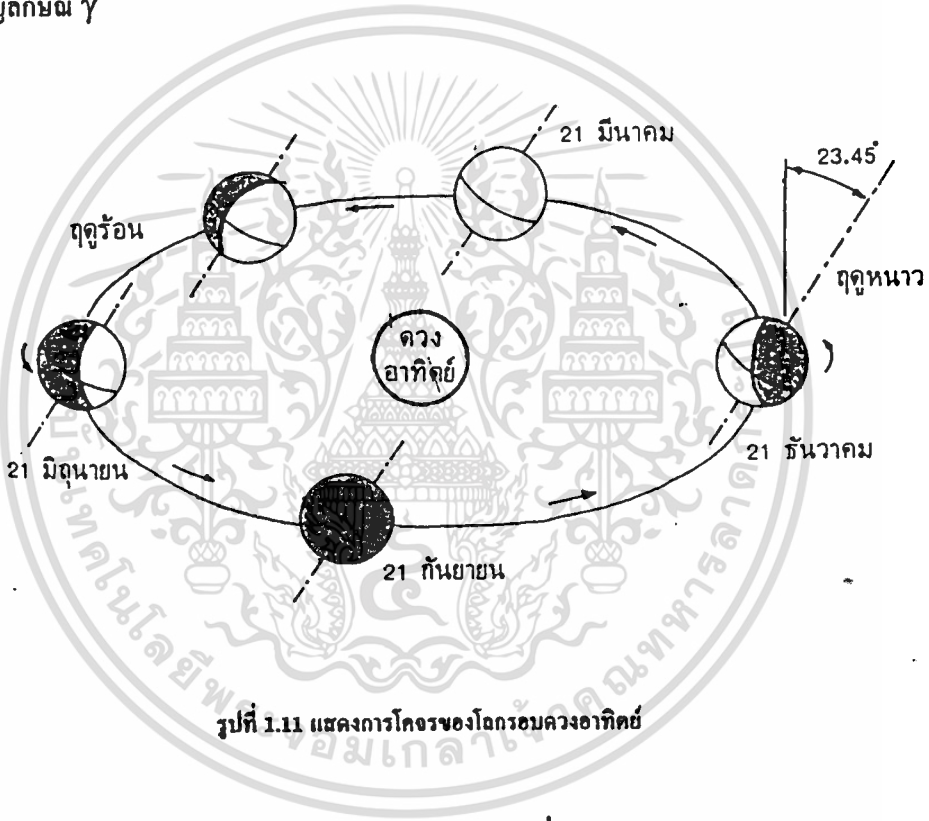
## 6. ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ในลักษณะที่แกนหมุนเอียงทำมุมกับแนวตั้ง 23.5 องศา ตำแหน่งบนพื้นโลกที่เข้าหาดวงอาทิตย์ตามลักษณะที่แสดงในรูปที่ 1.11 โดยทางซ้ายมือเป็นตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 มิถุนายน ในที่บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด คนที่อยู่บนเส้นละติจูดที่ 23.5 องศาเหนือจะเห็นดวงอาทิตย์ตรงศีรษะพอดีที่เวลาเที่ยงวัน ประเทศซึ่งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร เช่นประเทศไทยจะร้อนที่สุดหรือซัมเมอร์โซลสติส(Summer Solstice)(คำว่าโซลสติสแปลว่า พระอาทิตย์หยุดนิ่ง) หลังจากวันที่ 21 มิถุนายน โลกจะโคจรในลักษณะที่หันพื้นที่ทางซีกโลกภาคเหนือออกจากดวงอาทิตย์ ในวันที่ 21 กันยายน แนวของแสงอาทิตย์จะอยู่บนระนาบของเส้นศูนย์สูตร คนที่อยู่ที่เส้นศูนย์สูตรจะเห็นดวงอาทิตย์ตรงศีรษะพอดี ซีกโลกด้านเหนือและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีกโลกด้านใต้จะได้รับแสงอาทิตย์เท่ากัน และช่วงเวลาของกลางวันและกลางคืนเท่ากันซึ่งเท่ากับ 12 ชั่วโมง ที่เวลาดังกล่าวเรียกว่าอิกวินอกซ์(Equinox) หลังจากวันที่ 21 กันยายนโลกจะโคจรเอาพื้นที่ซีกโลกภาคเหนือออกจากดวงอาทิตย์ ที่วันที่ 21 ธันวาคมพื้นที่ทางซีกโลกภาคเหนือจะหันออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด เป็นคอนซึ่งหนาวที่สุด หรือวินเตอร์โซลสตีซ(Winter Solstice) หลังจากวันที่ 21 ธันวาคมโลกจะโคจรไปอยู่ที่ตำแหน่งอิกวินอกซ์(Equinox)อีกครั้งหนึ่งที่วันที่ 21 มีนาคม

พิกัดที่ใช้ระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์คือมุมอัลติจูด(Altitude Angle)และมุมแอสิมูทของดวงอาทิตย์(Sun Azimuth Angle) ดังที่แสดงในรูปที่ 1.12 มุมอัลติจูดคือมุมระหว่างแนวของแสงอาทิตย์กับระนาบระดับใช้สัญลักษณ์  $\alpha$  มุมแอสิมูทของดวงอาทิตย์(Sun Azimuth Angle) คือมุมระหว่างภาพฉายของแนวแสงอาทิตย์กับทิศใต้ใช้สัญลักษณ์  $\gamma$

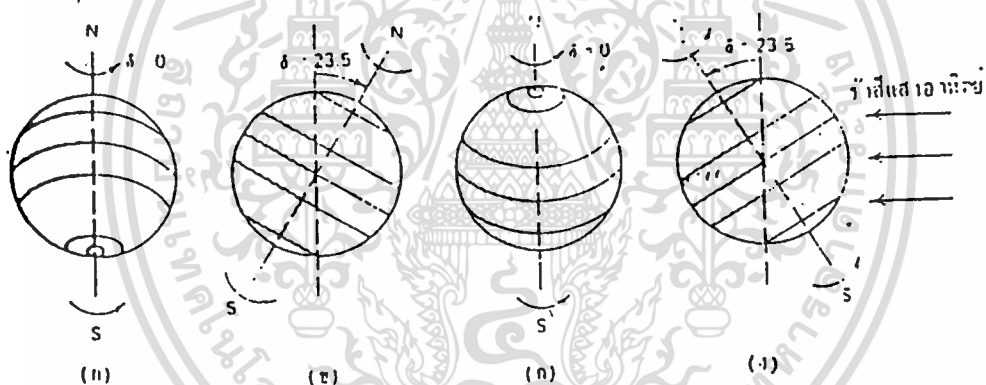


รูปที่ 1.12 มุมแอสิมูท(Azimuth Angle) และมุมอัลติจูด(Altitude Angle)ของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฤดูกาล ตำแหน่งและวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ในรูป 1.13 ในรอบ 1 รอบปี ทำให้เกิดฤดูกาล 4 ฤดู กล่าวคือ ในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 23 กันยายน แกนเอียงของโลกอยู่ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากดวงอาทิตย์จะปรากฏอยู่บนเส้นศูนย์สูตรของท้องฟ้า ในเมื่อโลกหมุนรอบตัวเอง ดวงอาทิตย์จะปรากฏขึ้นอยู่เหนือขอบฟ้า 12 ชั่วโมง และได้ขอบฟ้า 12 ชั่วโมง นั่นคือกลางวันกับกลางคืนยาวเท่ากัน เรียกตำแหน่งทั้งสองว่า อีควินอกซ์(Equinoxes) ดังรูปที่ 1.13 ก,ค

หลังจากวันที่ 21 มีนาคม โลกจะโคจรไปสู่ตำแหน่งที่หันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 21 มิถุนายน โลกหันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ซีกโลกด้านเหนือได้รับแสงเป็นเวลานานกลางวันยาวกว่ากลางคืน เฉพาะบริเวณตั้งแต่เส้นรุ้ง(Latitude) ที่ 66.5 องศาเหนือ ถึงขั้วโลกเหนือเป็นเวลากลางวัน 24 ชั่วโมง ขณะเดียวกันบริเวณตั้งแต่เส้นรุ้ง 66.5 องศาใต้ถึงขั้วโลกใต้จะเป็นเวลากลางคืน 24 ชั่วโมง จุดนี้เรียกว่า โขลตติษต์ฤดูร้อน(Summer Solstice)ดังรูปที่ 4.5 ข. โซนทั้งสองนี้เรียกว่า โซนอาร์กติก(Arctic Zone) ตรงกันข้ามคือที่ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 ธันวาคม โลกหันขั้วเหนือออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ดังนั้นซีกโลกเหนือจึงมีกลางวันสั้นกว่ากลางคืน จุดนี้เรียกว่า โขลตติษต์ฤดูหนาว (Winter Solstice) ดังรูปที่ 4.5 ง. ที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นการกำหนดฤดูกาลของตำบลในซีกโลกเหนือ สำหรับซีกโลกใต้กำหนดตรงกันข้ามกับซีกโลกเหนือ



รูปที่ 1.13 การเปลี่ยนฤดูกาล แสดงภาพที่มองจากทางโคจรโดยแสงอาทิตย์เข้าทางด้านขวามือ (ก) อีควินอกซ์ฤดูใบไม้ผลิ (ข) โขลตติษต์ฤดูร้อน (ฤดูหนาวในซีกโลกใต้) (ค) อีควินอกซ์ฤดูใบไม้ร่วง (ง) โขลตติษต์ฤดูหนาว (ฤดูร้อนในซีกโลกใต้)

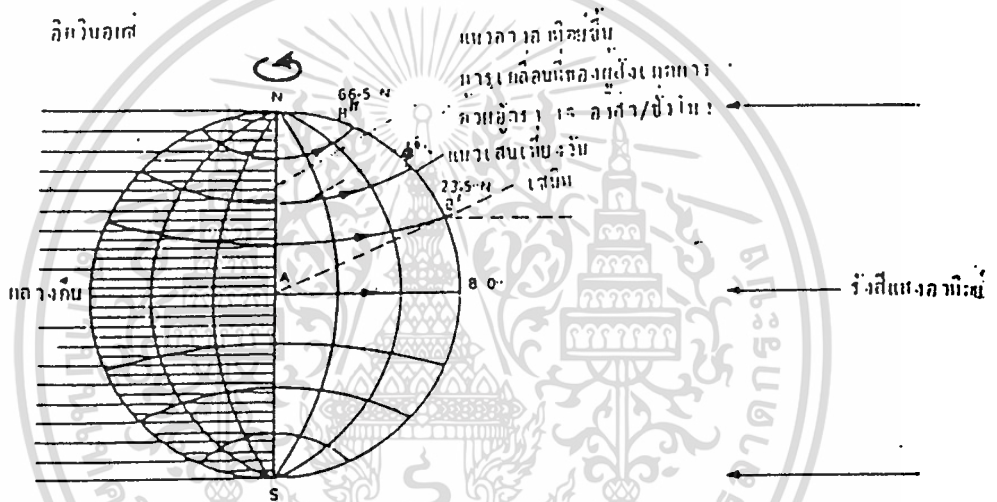
ตำบลที่อยู่ระหว่างเส้นรุ้ง 23.5 องศาเหนือและใต้ เรียกว่า โซนทอร์ริด(Torrid Zone) จะมีดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่เหนือศีรษะ 2 ครั้งใน 1 ปี ส่วนโซนระหว่างอาร์กติกกับโซนทอร์ริดจะไม่มีดวงอาทิตย์เที่ยงวันเหนือศีรษะ แพลกเตอร์ของฤดูกาลนี้มีผลกระทบต่อแผ่นรับแสงราบที่ติดตั้งตายตัว ในตอนที่ขั้ววันดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนมุมที่ทำกับแนวตั้งเหนือศีรษะ 47 องศา ( ± 23.5 องศา ) จากฤดูร้อนถึงฤดูหนาว ดังนั้นตำบลที่อยู่สูงกว่าเส้นรุ้ง 40 องศาเหนือ ในฤดูหนาวดวงอาทิตย์เที่ยงวันจะอยู่สูง 26.5 องศาจากแนวระดับ (90° - 40°) - 23.5° = 26.5°

ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า การหมุนที่แท้จริงประจำวันของโลกและการหมุนปรากฏของดวงอาทิตย์ที่อีควินอกซ์(Equinox) โขลตติษต์ฤดูหนาว(Winter Solstice) และ โขลตติษต์ฤดูร้อน(Summer Solstice) สำหรับบริเวณเส้นศูนย์สูตร และที่ตำแหน่งบนเส้นรุ้ง 3 แห่งในซีกโลกเหนือ แสดงในรูปที่ 1.14 ที่จุด

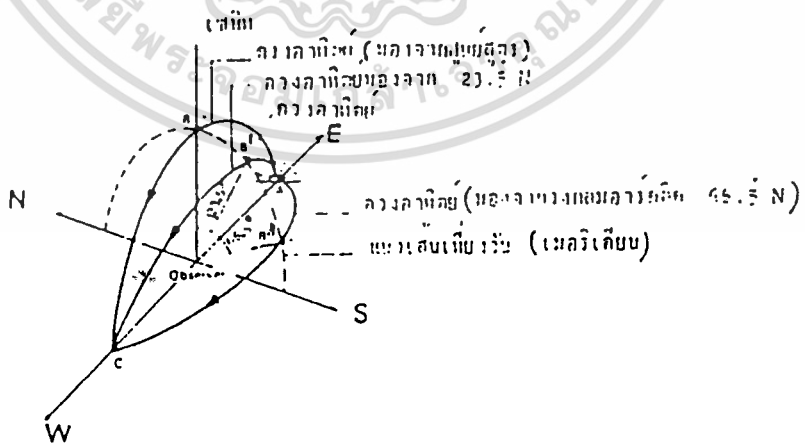
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิกวินออกซ์ทั้งสอง ระนาบของทางเดินที่ตำแหน่งหนึ่งบนโลกเคลื่อนไปในช่วงเวลาที่มีแสงตอนกลางวันในรูป 1.14 (ก) จะตั้งฉากกับแกนหมุนของโลกและขนานกับแนวการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ทางเดินของดวงอาทิตย์ปรากฏในท้องฟ้าจะเป็นเส้นตรง ดวงอาทิตย์ขึ้นทางตะวันออกและตกทางทิศตะวันตก รูป 1.14 (ข) ดวงอาทิตย์เที่ยงวัน ณ จุดสังเกตการณ์อยู่สูงทำมุม  $= 90^\circ$  - มุมเส้นรุ้งกับระนาบ

ที่โซลสติซส์ฤดูหนาว(Winter Solstice) ระนาบทางเดินที่ตำแหน่งหนึ่งบนโลกเคลื่อนที่ไปในช่วงเวลา กลางวันยังคงตั้งฉากกับแกนหมุนของโลกแต่ไม่ขนานกับทิศแนวการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ รูป 4.6 (ค) ทางเดินของ ดวงอาทิตย์ปรากฏในท้องฟ้าไม่เป็นเส้นตรงแต่กวาดเป็นส่วนโค้งของวงกลม ดวงอาทิตย์ขึ้นทางใต้ของทิศตะวัน ออก และตกทางใต้ของทิศตะวันตก รูป 1.14 (ง) กลางวันสั้นกว่า 12 ชั่วโมงในบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร ดวง อาทิตย์เที่ยงวันอยู่สูงทำมุมกับแนวระดับเป็นมุม  $90^\circ$  - มุมเส้นรุ้ง -  $23.5^\circ$  ณ โซลสติซส์ฤดูหนาว(Winter Solstice)



รูปที่ 1.14 (ก) การเคลื่อนที่ของโลกที่อิกวินออกซ์ แสดงเขมิตของจุด (23.5 องศา) ตอนเที่ยง

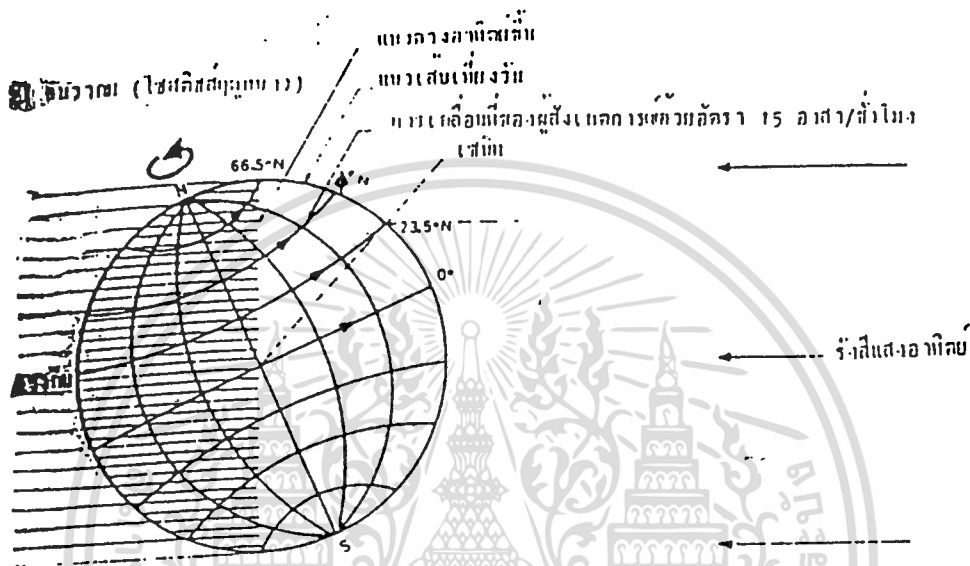


รูปที่ 1.14 (ข) การเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่อิกวินออกซ์ที่เส้นรุ้งต่าง ๆ กัน

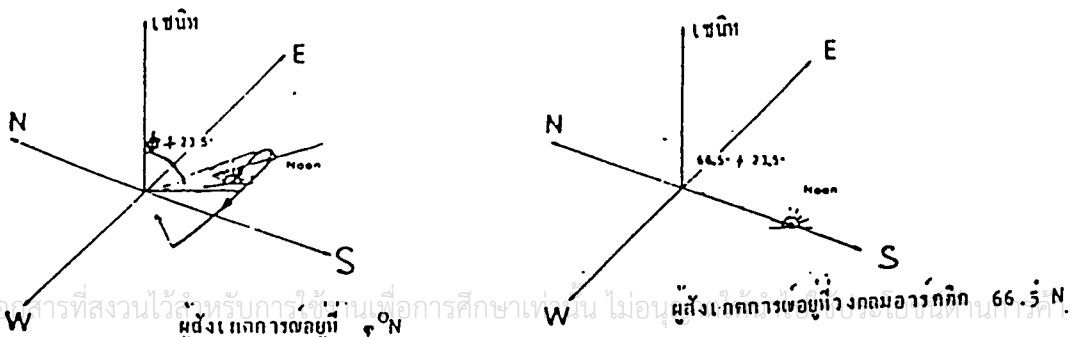
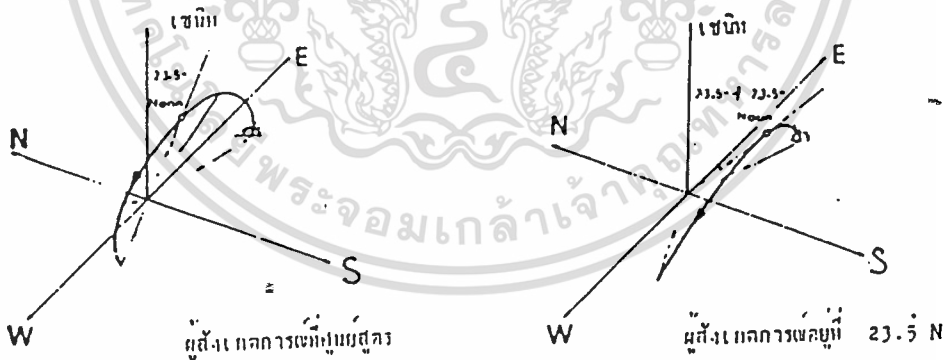
ที่โซลสติซส์ฤดูร้อน(Summer Solstice) (ครึ่งวงกลมด้านใต้เป็นฤดูหนาว) การเคลื่อนตัวของโลกแสดง ในรูป 1.14 (ง) ลักษณะกลับกันกับในรูป 1.14 (ค) ดวงอาทิตย์จะขึ้นและตกก่อนไปทางเหนือของแนวทิศตะวัน ออกเสมอ ในรูป 1.14 (ง) ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกและตกทางทิศตะวันตก เมื่ออยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกและทิศตะวันตกเป็นทางเดินวงกลม รูปที่ 1.14 (ก) เหนือเส้นศูนย์สูตรกลางวันจะยาวกว่า 12 ชั่วโมง ดวงอาทิตย์ที่ขงวันอยู่ท่ามุมแนวระดับเป็นมุม  $= (90^\circ - \text{มุมเส้นรุ้ง} + 23.5)$

ในรูปที่ 1.15 แสดงเส้นทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์มีผู้สังเกตการณ์อยู่ที่มุมเส้นรุ้ง  $\phi^\circ$  เหนือ ความยาวของเส้นทางเดินดวงอาทิตย์ที่โซลสติซส์(Solstice) อิกวินอกซ์(Equinox) แสดงสัดส่วนของความยาวของช่วงเวลากลางวันดังรูป 1.16



รูปที่ 1.14 (ก) การเคลื่อนที่ของโลกที่โซลสติซส์ฤดูหนาว (Winter Solstice)

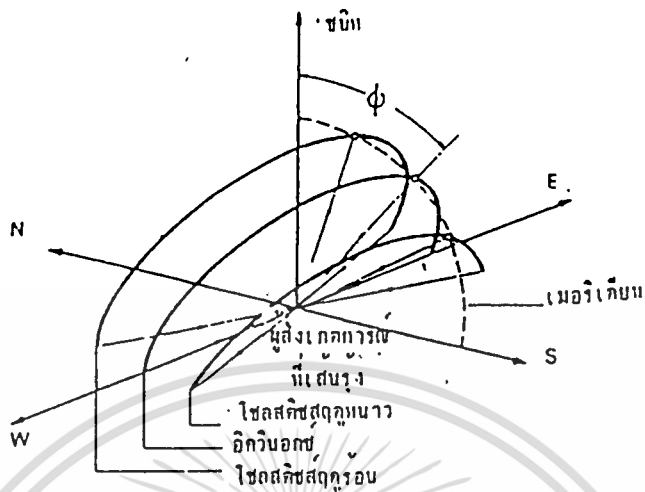


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุ... ผู้สังเกตการณ์อยู่ที่ขั้วกลมอาร์กติก 66.5°N

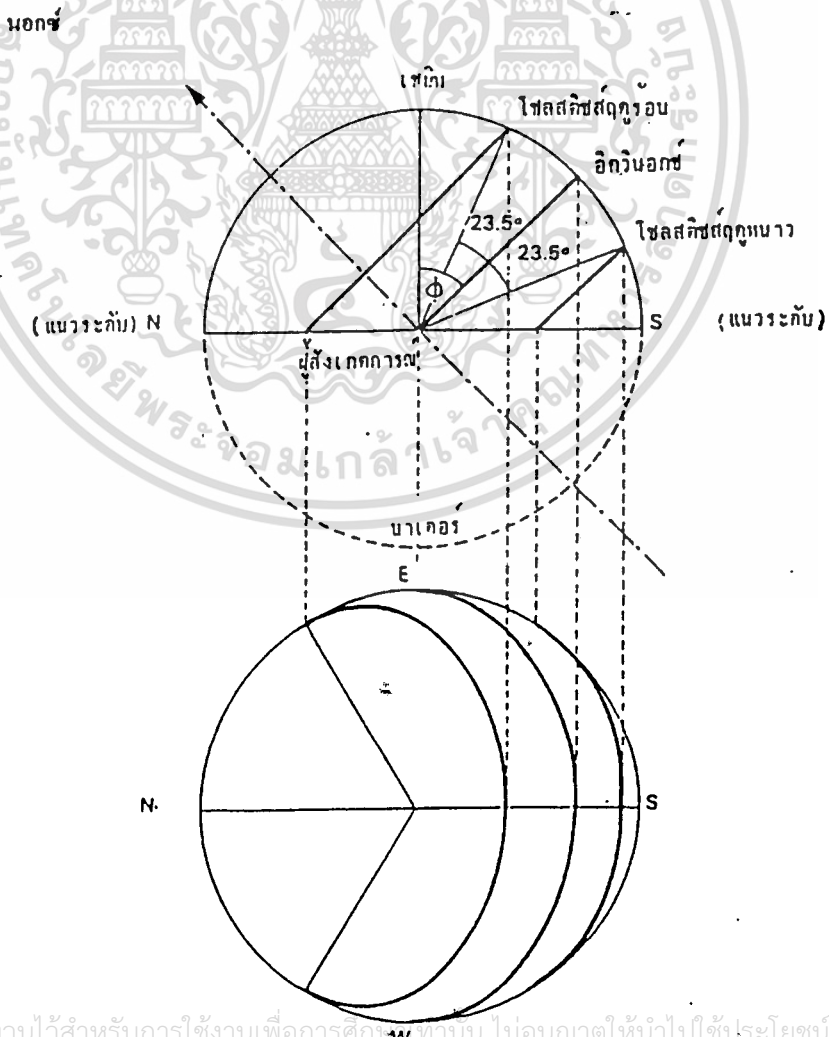
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงผู้แต่ง (21 ธันวาคม) ซึ่งมีการนำไปใช้

รูปที่ 1.14 (ง) การเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้งต่าง ๆ กัน (21 ธันวาคม)





รูปที่ 1.15 การเคลื่อนที่ปรากฏประจำวันของดวงอาทิตย์ที่เส้นรุ้ง  $\phi^{\circ}$  N ในโพลสตาร์ฤดูร้อนและฤดูหนาวและที่อิกวีนอกซ์

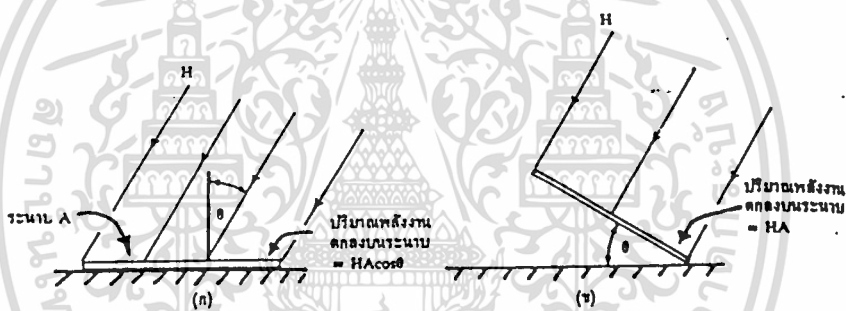


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 1.16 ภาพด้านข้างและด้านบนของการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์สำหรับจุดสังเกตการณ์ที่เส้นรุ้ง  $\phi^{\circ}$  N

### 1.7 พลังงานแสงอาทิตย์บนระนาบระดับ และบนระนาบเอียง

การนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ อุปกรณ์รับแสงอาทิตย์เช่น แผงรับแสงอาทิตย์จะติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งซึ่งไม่มีมีร่มเงาจากสิ่งก่อสร้างข้างเคียงมาบังระนาบซึ่งติดตั้งอุปกรณ์ให้หันหน้าไปทิศใต้ และให้มีมุมเอียงของระนาบที่เหมาะสม เพื่อที่จะได้ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์รายปีสูงสุด

คังที่แสดงในรูปที่ 1.17 A เป็นระนาบที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ถ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งฉายลงบนระนาบระดับมีความเข้มเป็น  $H$  วัตต์/ ตารางเมตร และแนวของแสงอาทิตย์ทำมุม  $\theta$  กับเส้นตั้งฉากของระนาบ A ปริมาณพลังงานทั้งหมดซึ่งตกลงบนระนาบ A ซึ่งติดตั้งบนระนาบระดับ (รูปที่ 1.17 ก) เท่ากับ  $H \cos \theta$  แต่ถ้าติดตั้งระนาบ A ให้มีมุมเอียงเป็น  $\theta$  ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งตกลงบนระนาบ A เพิ่มขึ้นเป็น  $H A$



รูปที่ 1.17 พลังงานแสงอาทิตย์บนระนาบระดับ และบนระนาบเอียง

มุมเอียงของระนาบที่เหมาะสมขึ้นกับองศาของเส้นละติจูดของสถานที่ซึ่งติดตั้งและลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ ถ้าอุปกรณ์ซึ่งต้องการพลังงานแสงอาทิตย์สูงในช่วงฤดูหนาว เช่น อุปกรณ์ทำน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับที่อยู่อาศัยที่ต้องใช้น้ำร้อนในอัตราสูงสำหรับช่วงฤดูหนาว ให้ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวบนระนาบ ซึ่งมีมุมเอียงมากกว่าจำนวนองศาของเส้นละติจูดประมาณ 12 องศา และถ้าเป็นอุปกรณ์ซึ่งต้องการพลังงานแสงอาทิตย์สูงในช่วงฤดูร้อนเช่น ระบบเครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ให้ติดตั้งอุปกรณ์บนระนาบซึ่งมุมเอียงน้อยกว่าจำนวนองศาของเส้นละติจูดประมาณ 12 องศา และถ้าต้องการปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีสูงสุด ให้ติดตั้งอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์บนระนาบซึ่งมีมุมเอียงเท่ากับจำนวนองศาของเส้นละติจูด เช่น อุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ซึ่งติดตั้งใช้งานที่กรุงเทพฯ ๑ ถ้าต้องการปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีสูงสุดให้ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวบนระนาบ ซึ่งเอียงทำมุมกับระนาบระดับเท่ากับเส้นละติจูดของกรุงเทพฯ ๑ ซึ่งเท่ากับ 13.5 องศา

## บทที่ 2

### ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่

ด้านไฟฉายที่เราใช้ทั่วไป เรียกว่า เซลล์(Cell) ซึ่งความหมายของคำว่า แบตเตอรี่ ในความหมายทางไฟฟ้า คือการนำเอาเซลล์(cell)เหล่านั้นมาต่อกันตามความต้องการที่จะใช้งาน เซลล์(Cell)ทั้ง 4 ขนาดที่เราเห็นกันทั่วไป แสดงดังรูปที่ 2.1, 2.2, 2.3, และ 2.4 ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับของจริง ส่วนรูปที่ 2.5 แสดงถึงแบตเตอรี่ขนาด PP-3 ซึ่งจัดเป็นแบตเตอรี่อย่างแท้จริง ซึ่งจะประกอบด้วย เซลล์(Cell)มาต่อกันเป็นชุด ซึ่งต่างกับ 4 ขนาดแรก



รูปที่ 2.1 แสดงถึงเซลล์(cell)ขนาด AAA ซึ่งมีความสูงประมาณ 44.5 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 2.2 เป็นเซลล์(cell)ขนาด AA มีความสูงประมาณ 50 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร และเป็นเซลล์ (cell) ขนาดหนึ่งชนิดที่นิยมใช้กันมากในกระบอกไฟฉาย วิทยุ และพวกขวานอะไหล่

รูปที่ 2.3 แสดงถึงเซลล์(cell)ขนาด C ซึ่งมีความสูงประมาณ 49 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

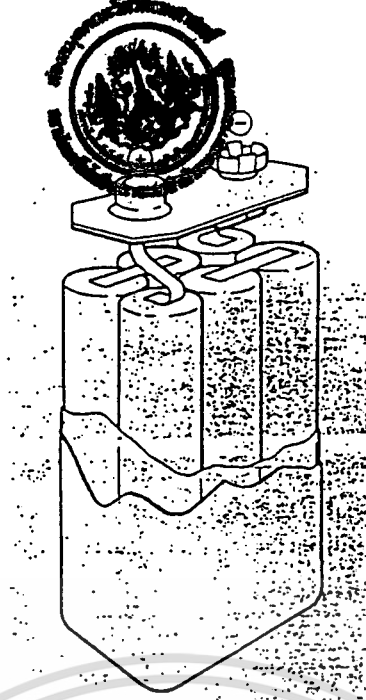
รูปที่ 2.4 แสดงถึงเซลล์(cell)ขนาด D ซึ่งมีความสูงประมาณ 80 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 33.2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่นิยมใช้กันมากที่สุดชนิดในวิทยุกระเป๋าทัวร์

รูปที่ 2.5 แสดงถึงแบตเตอรี่ขนาด PP-3 หรือแบตเตอรี่ 9 โวลต์(volts) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี เพราะหาได้ในพวกเครื่องเล่นต่าง ๆ ขนาด PP-3 นั้นจัดว่าเป็นแบตเตอรี่อย่างแท้จริง ซึ่งประกอบด้วยเซลล์(cell) มาต่อกันเป็นชุด ซึ่งต่างกับ 4 ขนาดแรก

#### 2.1 เซลล์แบบอนุกรม ( Series Cell )

แบตเตอรี่ขนาดหนึ่งชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ขนาด PP-3 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.5 แบตเตอรี่ขนาด PP-3 นี้เรียกได้ว่าเป็นแบตเตอรี่อย่างแท้จริงเนื่องจากมันประกอบไปด้วย เซลล์(Cell)ขนาดเล็ก 6 เซลล์(cell)ต่ออนุกรมกัน บรรจุอยู่ในตัวถังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 แต่ละเซลล์(cell)จะมีแรงดัน 1.5 โวลต์(Volts) ดังนั้นแบตเตอรี่ขนาด PP-3 จึงมีแรงดัน 9 โวลต์(Volts) แบตเตอรี่ชนิดอื่น ซึ่งเป็นแบบ PP ก็มี PP-1, PP-6, PP-9, และอื่น ๆ อีก ซึ่งมีโครงสร้างเช่นเดียวกับ PP-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงถึงลักษณะโครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ขนาด PP-3 โดยเซลล์(Cell)ทั้ง 6 เซลล์(Cell)จะต่อกัน

แบตเตอรี่อีกชนิดหนึ่งนั่นคือแบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งภายในประกอบด้วยเซลล์(Cell)มาต่อกัน 6 เซลล์ (Cell) ข้อแตกต่างกับแบตเตอรี่อื่นก็คือ เซลล์(Cell)ภายในตัวแบตเตอรี่แต่ละเซลล์(Cell)จะมีแรงดัน 2 โวลต์(Volts) ดังนั้นแบตเตอรี่รถยนต์จึงสามารถจ่ายแรงดันได้ 12 โวลต์(Volts) บางสิ่งที่แตกต่างไปสำหรับแบตเตอรี่รถยนต์กับแบตเตอรี่ต่าง ๆ ที่กล่าวถึงในตอนแรกนั่นคือมันสามารถเก็บประจุไฟฟ้าไว้ได้ สำหรับใช้ในการติดเครื่องยนต์เมื่อเครื่องยนต์ดับแล้วเอนอริเตอร์ (Generator) ในรถก็จะหมุนปั่นไฟประจุไฟ กลับสู่แบตเตอรี่ได้

การที่แบตเตอรี่รถยนต์สามารถประจุได้ก็เนื่องมาจากมันถูกสร้างให้เป็นเซลล์แบบทุติยภูมิ(Secondary Cell) โดยเซลล์แบบทุติยภูมินั้นเมื่อสร้างขึ้นแล้วต้องนำไปทำการประจุไฟหรือชาร์จไฟเสียก่อน จึงจะจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้ และเมื่อใช้กระแสไฟฟ้า(Discharge) ไปจนกระแสอ่อนลงแล้วก็นำไปประจุไฟใหม่ได้ ซึ่งไม่เหมือนกับเซลล์ที่กล่าวในตอนแรก ซึ่งเป็นขนาด AAA ขนาด AA ขนาด C ขนาด D และขนาด PP ทุกแบบ โดยทั่วไปนั้นเซลล์(Cell)ขนาดเหล่านี้ถูกสร้างมาเป็นแบบเซลล์ปฐมภูมิ(Primary Cell) ซึ่งเซลล์(Cell)ชนิดนี้เมื่อสร้างเสร็จแล้วก็นำไปใช้เพื่อให้ออกกระแสไฟฟ้าออกมาได้ทันที เมื่อใช้ไปแล้ว ส่วนประกอบบางส่วนจะหมดเปลืองไปโดยไม่กลับมาเป็นสภาพเดิมได้อีก หลังจากที่ใช้ไปชั่วระยะเวลาหนึ่งแล้วต้องเปลี่ยนส่วนประกอบใหม่จึงจะใช้ได้ติดตั้งเดิมและไม่สามารถประจุไฟเข้าไปใหม่ได้ นอกจากนี้ยังมีเซลล์แบบทุติยภูมิ(Secondary Cell) ที่มีขนาดเดียวกับเซลล์แบบปฐมภูมิ(Primary Cell) ดังกล่าวมีขายอยู่ในท้องตลาดซึ่งรู้จักกันในนามของเซลล์แบบนิเกิล-แคดเมียม(Nickel-Cadmium) หรือเรียกกันย่อ ๆ ว่า นิแคด(Nicad)

ในหัวข้อต่อไปนี่เราจะมาศึกษาให้ลึกซึ้งถึงเซลล์แบบปฐมภูมิชนิดต่าง ๆ ที่มีขายกันอยู่ในขณะนี้ว่ามันทำมาจากอะไร สามารถจ่ายกระแสออกมาได้อย่างไร ตลอดจนถึงประโยชน์ในการนำมันไปใช้งานต่อไป

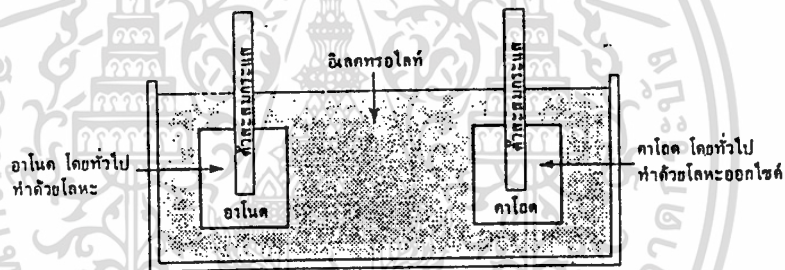
## 2.2 การทำงานของเซลล์ไฟฟ้า

เซลล์ไฟฟ้านั้นสร้างขึ้นได้โดยการนำแท่งตัวนำหรือเรียกว่า แท่งอิเล็กโทรด(Electrode) 2 แท่งมาจุ่มลงไปในสารละลายที่เรียกว่า อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 7 แท่งอิเล็กโทรด(Electrode) แท่งหนึ่งจะเรียกว่าแอโนด(Anode) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโลหะ ส่วนอีกแท่งหนึ่งเรียกว่า แคโทด(Cathode) ซึ่งส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุก 038936

ใหญ่จะทำมาจากออกไซด์(Oxide)ของโลหะซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างอะตอมของโลหะกับออกซิเจน(Oxygen)ซึ่งตัวอย่างที่เห็นกันบ่อย ๆ ของออกไซด์(Oxide)ของโลหะก็คือ ออกไซด์(Oxide)ของเหล็กที่เรียกกันว่าสนิมเหล็ก ซึ่งเกิดจากการที่เหล็กไว้ในอากาศ ซึ่งโลหะส่วนมากแล้วจะรวมตัวกับออกซิเจน(Oxygen) เมื่อนำออกไซด์(Oxide)ของโลหะมาใช้ในเซลล์(Cell) จะเป็นการใช้ในทางสร้างสรรค์ ไม่เหมือนกับสนิมเหล็กซึ่งเป็นตัวทำลาย ส่วนอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) ทำจากสารต่าง ๆ ได้หลายชนิด ซึ่งจะเลือกใช้ให้เหมาะกับอิเล็กโทรด(Electrode) แต่ละชนิดเท่านั้นโดยที่เซลล์ต่างชนิดกันจะใช้อิเล็กโทรด(Electrode) ต่างกัน ทำให้ใช้อิเล็กโทรไลต์ต่างกันด้วยแต่อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) แบบใดก็ตามก็เป็นตัวนำไฟฟ้าซึ่งจะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในทิศทางใดโดยเฉพาะซึ่งเราจะกล่าวถึงต่อไป

โลหะที่ใช้เป็นแอโนด(Anode)นั้นจะเลือกให้มีความสามารถในการรวมตัวกับออกซิเจน(Oxygen)ได้ดีกว่าโลหะที่ใช้เป็นคาโทด(Cathode) ถ้าแอโนด(Cathode)และแอโนด(Anode)มาวางไว้ด้วยกันแอโนด(Anode)จะดึงเอาออกซิเจน(Oxygen)ออกจากออกไซด์(Oxide)ของโลหะซึ่งเป็นคาโทด(Cathode)และทิ้งแก่คาโทด(cathode) ไว้เป็นโลหะ ในกรณีนี้เราเรียกว่าแอโนด(Anode) ถูกออกซิไดซ์(Oxidized) ส่วนคาโทด(Cathode)นั้นจะถูกรีดิซ์ (Reduced)



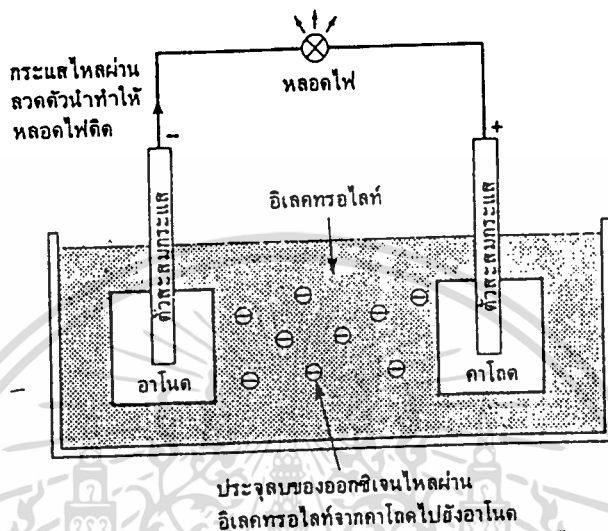
รูปที่ 2.7 เป็นเซลล์แบบพื้นฐานแสดงถึงแอโนด(Anode) คาโทด(Cathode) และอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)นั้นเป็นสารเคมีเฉพาะซึ่งยอมให้การแลกเปลี่ยนของออกซิเจน(Oxygen)ระหว่างแอโนด(Anode) และคาโทด(Cathode)เกิดขึ้น โดยแอโนด(Anode) และคาโทด(Cathode)ไม่จำเป็นต้องมาแตะกัน ในกรณีนี้สารอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) จะเป็นตัวนำอนุภาคของออกซิเจน(Oxygen)(ซึ่งมีประจุลบ) ซึ่งเกิดขึ้นที่คาโทด(Cathode)เคลื่อนที่เข้าไปสู่แอโนด(Anode) ดังนั้นคาโทด(Cathode)จึงถูกรีดิซ์(Reduce) ส่วนแอโนด(Anode) จะถูกออกซิไดซ์(Oxidized) ซึ่งเงื่อนไขในกรณีนี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าเซลล์อยู่ในลักษณะรูปที่ 7 ถึงแม้ว่าเราจะพูดว่าเกิดความต่างศักย์ขึ้น(ซึ่งหมายถึงแรงดันไฟฟ้า)ในการที่ประจุของออกซิเจน(Oxygen)จะไปรวมตัวกับโลหะที่แอโนด(Anode) อนุภาคแต่ละอนุภาคของโลหะจะต้องปล่อยอิเล็กตรอน(Electron)ออกมา ในขณะที่ขั้วที่อนุภาคของออกซิเจน(Oxygen)จะออกจากแอโนด(Cathode) และเข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) จะต้องได้รับประจุมา

เราสามารถให้ความต่างศักย์นี้ให้เป็นประโยชน์ ถ้าเราต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับขั้วของแอโนด(Anode) และคาโทด(Cathode) ดังแสดงในรูปที่ 8 ในกรณีนี้อิเล็กตรอน(Electron) ซึ่งมาจากการปล่อยของออกซิเจน(Oxygen) เพื่อที่จะไปรวมตัวกับแอโนด(Anode) จะเคลื่อนที่จากแอโนด(Anode) เข้าไปในวงจรผ่านหลอดไฟ(ทำให้หลอดไฟสว่างขึ้น) และเคลื่อนที่กลับเข้าไปสู่แอโนด(Anode) ซึ่งมันสามารถประจุอนุภาคของออกซิเจน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Oxygen) ได้ดีกว่า การไหลของประจุอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดการไหลของกระแสขึ้นในวงจรที่ต่ออยู่บนกระทั่งแท่งคาโทด(Cathode) ไม่มีอนุภาคของออกซิเจน(Oxygen)หรือจนกระทั่งแอโนด(Anode)ถูกออกซิไดซ์(Oxidized)หมดแล้ว ที่จุดนี้เรากล่าวได้ว่า เซล(Cell)คายประจุออก



รูปที่ 2.8 เป็นการทำงานของเซลล์(Cell)แบบพื้นฐานในกรณีที่มีขั้วทำให้หลอดไฟสว่างขึ้นมา

อนุภาคที่ไหลผ่านอิเลคโทรไลต์(Electrolyte)เรียกว่า ไอออน(Ion) ซึ่งจะมาจากสารอื่น ๆ ได้หลายชนิด ไม่เฉพาะแต่ออกซิเจน(Oxygen)เท่านั้น ขึ้นอยู่กับเซลล์(Cell)แต่ละชนิดและอิเลคโทรไลต์(Electrolyte)ที่ใช้ซึ่งก็ใช้หลักการเดียวกัน

เนื่องจากการใช้อิเลคโทรไลต์แตกต่างกัน ตลอดจนใช้แอโนด(Anode)และคาโทด(Cathode)ที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถผลิตเซลล์(Cell)ชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีราคาตลอดจนคุณสมบัติแตกต่างกัน ศึกษาดูถึงตัวแปรที่แตกต่างกันของเซลล์(Cell)ทั้งหมด ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สุดเพื่อที่จะได้ทราบข้อเปรียบเทียบของเซลล์(Cell)แต่ละชนิด

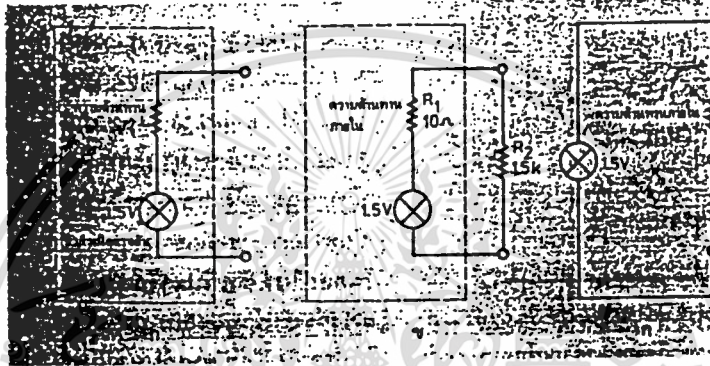
## 2.3 แรงดันกับความต้านทาน

ความต่างศักย์ภายนอกของเซลล์(Cell)นั้นเรียกกันว่าเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า(Electromotive Force หรือเรียกย่อว่า EMF) ค่าที่แน่นอนนั้น (โดยปกติจะอยู่ประมาณ 1.5 โวลต์(Volts)) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่นำมาเป็นแอโนด(Anode)และคาโทด(Cathode) และชนิดของสารอิเลคโทรไลต์(Electrolyte) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอายุของเซลล์(Cell) สำหรับเซลล์(Cell)ใหม่แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะสูงกว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุด(Rated) อยู่เล็กน้อยคือประมาณ 1.6 โวลต์(Volts) และจะตกลงมาเป็นค่าต่ำประมาณ 1.2 โวลต์(Volts) เมื่อเซลล์(Cell)เก่าและคายประจุหมด

การแปรเปลี่ยนไปของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์(Cell)แม้ว่าจะเป็นสิ่งสำคัญแต่ก็ไม่เจาะจงนัก เนื่องจากวงจรอิเลคทรอนิกส์(Electronic)หลายชนิดไม่ต้องการแรงดันไฟฟ้าที่คงที่และสม่ำเสมอในการทำงาน อย่างไรก็ตาม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คามมีอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญกว่า นั่นคือความต้านทานภายในของเซลล์(Internal Resistance) ซึ่งเป็นความต้านทานเสมือน(Effective Resistance) ภายในตัวเซลล์เองเกิดจากโครงสร้างและสารที่ใช้ทำ ทำความต้านทานภายในนี้ไม่สามารถละทิ้งได้ แต่จะมีค่าน้อยมากซึ่งขึ้นอยู่กับเซลล์(Cell)แต่ละเซลล์ชนิด

เราจะเห็นผลของค่าความต้านทานภายใน ถ้าดูตามแผนผังในรูปที่ 9 ก. ซึ่งเป็นวงจรเทียบเท่าของเซลล์ไฟฟ้า(Electric Cell) ซึ่งจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแรงดันต่ออนุกรมอยู่กับตัวต้านทาน(Resistance) โดยที่ตัวกำเนิดแรงดันจะแทนความต่างศักย์ของอานอด(Anode)คาโทด(Cathode)และอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)ร่วมกัน ในขณะที่ตัวต้านทาน(Resistance)นั้นจะแทนความต้านทานภายในของเซลล์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.9 ก, ข, และค. เป็นวงจรเทียบเท่า (ในรูปที่ 2.8) ของเซลล์(Cell)ขนาด 1.5 โวลต์(Volts) แสดงถึงความต้านทานภายในเซลล์

ในรูป 2.9. ข. แสดงให้เห็นเซลล์ไฟฟ้าซึ่งมีตัวกำเนิดแรงดันค่า 1.5 โวลต์(Volts) และมีค่าความต้านทานภายใน( $R_1$ ) ค่า 10 โอห์ม(Ohm) ต่ออยู่กับความต้านทานซึ่งเป็นวงจรงานนอก มีค่า 1.5 กิโลโอห์ม(Kilohms) เราสามารถคำนวณค่าของกระแสที่ไหลผ่านวงจรโดยใช้กฎของโอห์ม(Ohm)ว่า

$$I = \frac{1.5}{1500} = 1 \text{ mA}$$

อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานภายในเซลล์(Cell)ที่ต่ออนุกรมอยู่ก็มีผลต่อค่ากระแสและต้องนำเข้ามาคิดด้วย โดยวงจรจะเขียนใหม่เป็นดังรูปที่ 2.9 ค. ซึ่งเราจะเห็นตัวต้านทาน 2 ตัวต่อกันอยู่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานภายนอกค่า 1.5 กิโลโอห์ม(Kilohms) นั้นเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_{R_2} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times 1.5 \\ &= \frac{15}{10 + 1500} \times 1.5 \\ &= 1.49 \text{ โวลต์(Volts)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งต่ำกว่าที่เราคาดไว้ และค่ากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานภายนอกเท่ากับ

$$I = \frac{1.49}{1500} = 0.99 \text{ mA}$$

ซึ่งมีค่าต่ำลงเล็กน้อยค่าแรงดันและกระแสที่ต่ำลงเพียงเล็กน้อยนั้น ไม่มีผลเพียงพอที่จะกระทบการทำงานของวงจร

วงจรใหม่ในรูปที่ 2.10 ซึ่งวงจรภายนอกที่นำมาต่อมีความต้านทานทั้งหมดเพียง 5 โอห์ม(ohm) เหมือนกับตัวอย่างที่แล้ว เราจะคำนวณค่ากระแสในวงจรตอนแรกเมื่อยังไม่คิดถึงความต้านทานภายในเซลล์(Cell) ได้ค่ากระแสเท่ากับ

$$I = \frac{1.5}{5} = 300 \text{ mA}$$

แต่เมื่อนำเอาค่าความต้านทานภายในเซลล์(Cell)มาคิดด้วย ค่าแรงดันจริง ๆ ที่ตกคร่อมความต้านทานภายนอกคือ

$$VR_1 = \frac{5}{10 + 5} \times 1.5 = 0.5 \text{ V}$$

ค่ากระแสจริง ๆ ที่ไหลผ่านคือ

$$I = \frac{0.5}{5} = 100 \text{ mA}$$

ซึ่งค่าแรงดันและกระแสที่ลดต่ำลงอย่างมากนี้จะมีผลกระทบอย่างมากมายต่อการทำงานของวงจรภายนอกที่นำมาต่อด้วย ไม่เฉพาะแต่ความต้านทานภายในเซลล์(Cell)จะไปลดค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรภายนอกซึ่งเซลล์(Cell)จะจ่ายออกไป แต่ยังเป็นการสูญเสียพลังงานอีกด้วย โดยจากตัวอย่างข้างต้นแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานภายในเซลล์(Cell)เป็น  $1.5 - 0.5 = 1$  โวลต์(Volts) ทำให้เกิดกำลังงานสิ้นเปลืองไปเท่ากับ

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{1^2}{10} = 0.1 \text{ W}$$

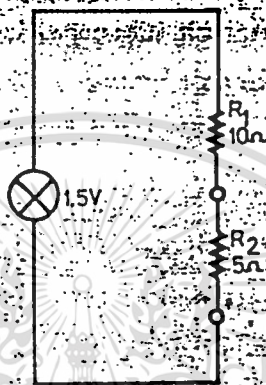
ซึ่งจะสูญเสียไปเป็นความร้อนเนื่องมาจากความต้านทานภายในเซลล์(Cell)ตัวเซลล์(Cell)จะอุ่นขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานภายในขึ้นอีกและจะมีผลให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานภายในเพิ่มขึ้น ทำให้ไปเพิ่มค่ากำลังงานและไปเพิ่มแรงดันที่ตกคร่อมขึ้นอีก วงเวียนกันเป็นวัฏจักรไปเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นกรณีที่เลวร้ายทำให้วงจรภายนอกที่นำมาต่อมีกระแสไฟไม่พอเลี้ยงในวงจรทำงานต่อไปได้ และถึงแม้ว่ากระแสจะพอเลี้ยงวงจรได้ พลังงานที่สูญเสียไปนี้ก็จะไปลดอายุการใช้งานของเซลล์(Cell)ลง

ดังนั้นจะเห็นว่าค่าความต้านทานภายในเซลล์จะเริ่มมีความสำคัญ ถ้ากระแสที่จ่ายออกจากเซลล์(Cell)มีค่ามาก โดยการลดค่าของความต้านทานภายในเซลล์(Cell)ลง ผลกระทบเนื่องจากความต้านทานภายในเซลล์(Cell)ก็จะลดน้อยลง แต่ก็ยังไม่สามารถลดลงจนเป็นศูนย์ได้

## 2.4 กำลังงานต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะสำคัญอันหนึ่งของเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งเราจำเป็นต้องศึกษาก่อนที่จะรู้ถึงชนิดของเซลล์(Cell)แบบต่าง ๆ นั่นก็คือ ค่าความจุของเซลล์(Cell Capacity)ซึ่งคือปริมาณของกระแสไฟฟ้าซึ่งเซลล์(Cell)หนึ่ง ๆ สามารถจ่ายออกไปได้ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่งมีความจุ 1,000 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง หมายความว่า (โดยการไม่คิดถึงค่าความต้านทานภายในเซลล์(Cell)) เซลล์(Cell)นี้สามารถจ่ายกระแสได้ 20 มิลลิแอมป์(Milliamps) เป็นเวลา 50 ชั่วโมง เป็นต้น



รูปที่ 2.10 แสดงถึงผลของความต้านทานภายในซึ่งมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรที่ภาวะกระแสสูง ๆ

แต่ถ้ากล่าวถึงค่าความจุกระแสของเซลล์(Cell)ในรูปของมิลลิแอมป์-ชั่วโมงโดยลำพัง ไม่ได้หมายถึงความจุทั้งหมดของเซลล์บางครั้งเราจะคำนึงถึงค่าแรงดันของเซลล์(Cell)ซึ่งจากตัวอย่างแรงดันของเซลล์(Cell)เท่ากับ 1.5 โวลต์(Volts) ดังนั้นมันจะมีความจุของพลังงานทั้งหมดอยู่ในหน่วยของมิลลิแอมป์-ชั่วโมง เช่น

$$1000 \times 1.5 = 1500 \text{ mWh}$$

## 2.5 เซลล์แบบปฐมภูมิ (Primary Cell)

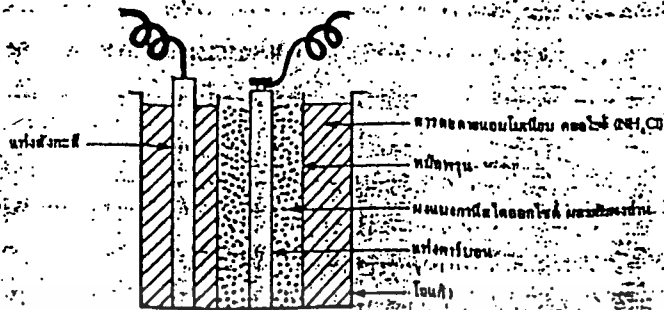
เซลล์แบบปฐมภูมิเป็นเซลล์ที่เมื่อพลังงานเคมีในตัวมันเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าหมดแล้วก็หมดสภาพในการเป็นแหล่งจ่ายไฟอีกต่อไป ซึ่งมีหลายชนิด และรูปแบบดังต่อไปนี้

### 2.5.1 เซลล์แบบสังกะสี-ถ่าน (Zinc Carbon Cell)

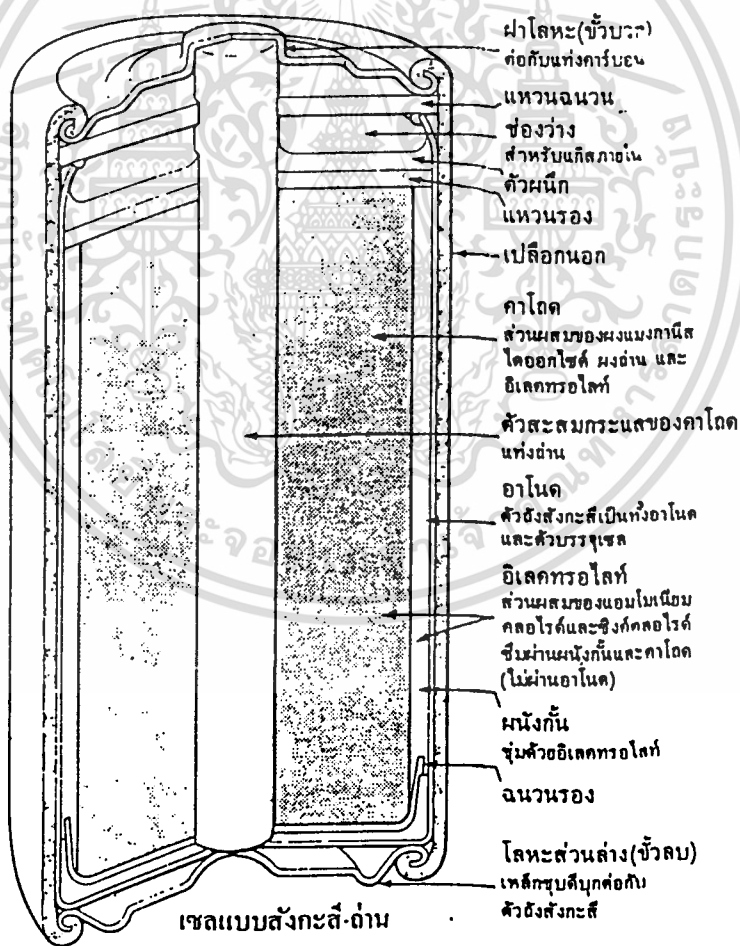
เซลล์(Cell)แบบสังกะสี-ถ่านที่ใช้กันในปัจจุบันนี้ได้หลักการมาจากเซลล์(Cell)แบบเริ่มแรกที่พัฒนาขึ้นโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศส ชื่อ จอร์จ เลอกลังเช่ ในปี พ.ศ. 2409 ซึ่งลักษณะเป็นโดแก้ว โดยมีแมงกานีสไดออกไซด์(Manganese Dioxide)เหลว ซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทด(Cathode)บรรจุในหม้อรูปทรง โดยตัวหม้อจะถูกล้อมรอบด้วยแอมโมเนียคลอไรด์(Ammonia Chloride) ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) โดยมีแท่งสังกะสีจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) ทำหน้าที่เป็นอานอด(Anode) การต่อออกมาจากแมงกานีสไดออกไซด์(Manganese Dioxide)ซึ่งเป็นคาโทด(Cathode)จะต่อโดยใช้แท่งถ่าน ส่วนเซลล์(Cell)แบบสังกะสี-ถ่านในปัจจุบันนี้ได้พัฒนาขึ้นมาเป็นระยะเวลาช้านานนับจากวันของเซลล์(Cell)แบบเลอกลังเช่ ซึ่งรู้จักในนามของเซลล์(Cell)แบบเปียก(Wet Cell) เนื่องจากลักษณะของส่วนผสมของอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อคุณได้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของเซลล์แบบเดอแลงเช่ (Leclanche Cell)



รูปที่ 2.12 แสดงถึงโครงสร้างภายในของเซลล์แบบสังกะสี-ถ่าน

ตัวถังภายนอกของเซลล์(Cell)แบบแห้งสมัยใหม่นี้ทำจากโลหะสังกะสีและทำหน้าที่เป็นแอโนด(Anode)

แอโนดภายในตัวถังสังกะสีจะเป็นชั้นบางๆ ซึ่งแยกแอโนดออกจากคาโทด(Cathode)และบรรจุไว้ด้วยอิเล็กโทรไลต์

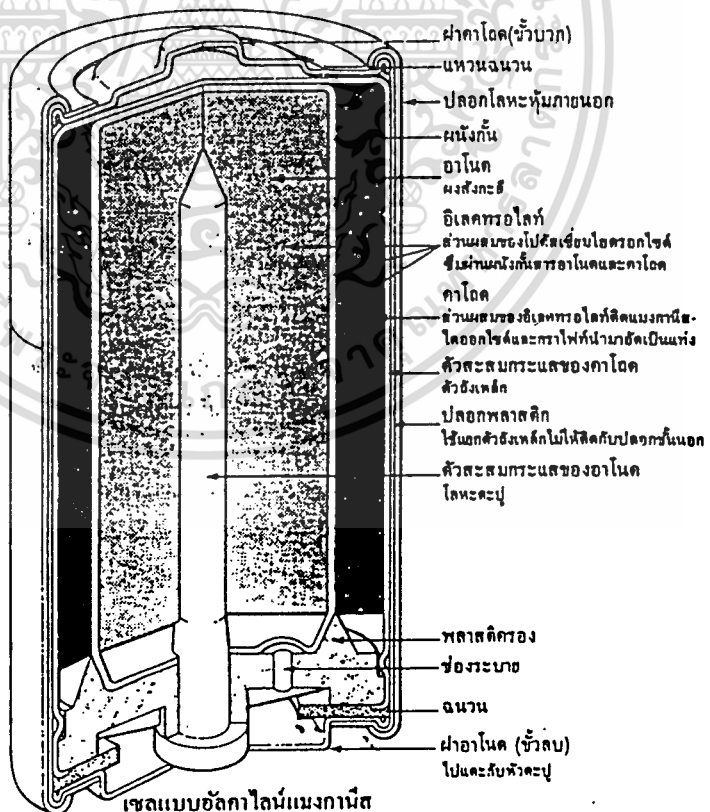
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Electrolyte) จนเต็ม อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)นั้นเป็นส่วนผสมของแอมโมเนียมคลอไรด์ และซิงค์คลอไรด์ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน ๆ คาโทด(Cathode) นั้นจะประกอบด้วยผงแมงกานีสไดออกไซด์(Manganese Dioxide) ผสมกับผงถ่านและอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) ทำใหม่ลักษณะเหลว ๆ และภายในจะสอดแท่งถ่านไว้ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสะสมกระแส ภายนอกตัวถังจะห่อด้วยกระดาษหลายชั้น และชั้นนอกสุดจะเป็นแผ่นพลาสติกบาง ๆ หุ้มอยู่

โดยการเปลี่ยนส่วนผสมของอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) จะสามารถทำเซลล์(Cell)แบบสังกะสีถ่านได้หลายแบบ ซึ่งเหมาะกับงานแต่ละชนิด ยกตัวอย่างเช่น อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) ที่ทำจากซิงค์คลอไรด์อย่างเดียวจะทำให้ได้เซลล์(Cell)ที่มีค่าความต้านทานภายในต่ำลงทำให้เหมาะกับงานหนักที่ต้องจ่ายกระแสสูง เช่นเดียวกับการใช้ส่วนผสมของแมงกานีสไดออกไซด์(Manganese Dioxide)ที่มีคุณภาพสูงเป็นคาโทด(Cathode)ก็จะให้ผลเช่นเดียวกัน

### 2.5.2 เซลล์แบบอัลคาไลน์แมงกานีส (Alkaline Manganese Cell)

ในเซลล์แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese)นั้นสารที่ใช้ทำแอโนด(Anode)และคาโทด(Cathode)ใช้สังกะสีและแมงกานีสไดออกไซด์(Manganese Dioxide)เช่นเดียวกับเซลล์(Cell)แบบสังกะสี-ถ่าน โดยที่แอโนด(Anode)นั้นประกอบด้วยผงสังกะสีซึ่งทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวขึ้น จะผสมกับอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) รวมกันอยู่ในลักษณะเหลว ๆ



รูปที่ 2.13 แสดงถึงโครงสร้างภายในของเซลล์แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

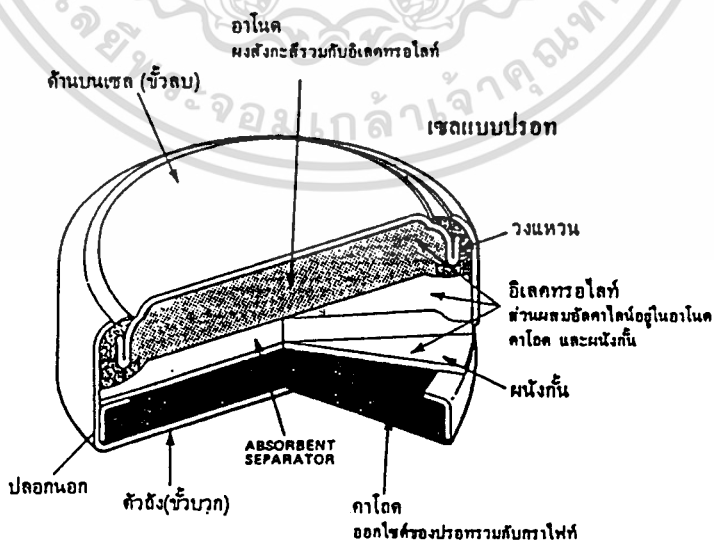
แมงกานีสไดออกไซด์(Manganese Dioxide)ซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทด(Cathode)ของเซลล์แบบอัลคาไลน์ แมงกานีส(Alkaline Manganese)นั้นทำมาจากสารที่บริสุทธิ์กว่าซึ่งรู้จักกันในนามของอิเล็กโทรไลต์ แมงกานีสไดออกไซด์(Electrolytic Manganese Dioxide) ซึ่งผลิตขึ้นมาเพื่อให้มีความจุของออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่วนผสมของโปดัสเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเรียกว่าอัลคาไลน์นั้นจะมีค่าความนำไฟฟ้าสูงมากทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) โดยการใช้อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)และสารที่ใช้ทำอโนด(Anode)และคาโทด(Cathode)ที่มีคุณภาพสูงทำให้เซลล์(Cell) ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานหนักที่ใช้กระแสสูง เป็นเซลล์(Cell)ที่มีคุณภาพสูงพร้อมทั้งมีความต้านทานภายในต่ำ และมีค่าความจุพลังงานสูง

เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างของเซลล์แบบสังกะสี-ด่างแล้ว เซลล์แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese)ในรูปที่ 2.13 นั้นจะกลับกันกับเซลล์(Cell)แบบสังกะสี-ด่าง กล่าวคือส่วนที่เป็นอโนด(Anode)จะอยู่ในส่วนที่เป็นคาโทด(Cathode)จะอยู่ภายนอก ตัวถังที่ใช้บรรจุสารนั้นทำจากเหล็ก จะไม่เหมือนกับตัวถังสังกะสีของเซลล์แบบสังกะสี-ด่างเนื่องจากไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของขบวนการเคมีในการผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาจึงไม่มีการกัดเมื่อมีการใช้งาน มันมีหน้าที่ในการเป็นตัวเพิ่มความแข็งแรงและป้องกันการรั่วไหลของส่วนผสมภายในเซลล์(Cell)แห่งโลหะตรงกลางที่ทำหน้าที่เป็นตัวสะสมกระแสซึ่งมีรูปเหมือนตะปุ่นั้น จะต่อโดยตรงกับอโนด(Anode)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าภายในเซลล์นั้นเนื่องจากใช้โลหะและออกไซด์ชนิดเดียวกันในการทำเป็นอโนด(Anode)และคาโทด(Cathode)เช่นเดียวกับเซลล์แบบสังกะสี-ด่าง จึงมีค่าโดยปกติ 1.5 โวลต์(Volts)

### 2.5.3 เซลล์แบบกระดุม (Button Cell)

เซลล์แบบกระดุม(Button Cell) เป็นเซลล์(Cell)ที่มีขนาดเล็กที่สุดและเบาที่สุดเมื่อเทียบกับค่าความจุของเซลล์(Cell)นั้น ซึ่งเซลล์(Cell)ชนิดนี้ใช้สำหรับจ่ายกำลังงานในนาฬิกาข้อมืออิเล็กทรอนิกส์(Digital) ในอุปกรณ์ช่วยฟัง สำหรับคนหูตึง เครื่องคิดเลขและอุปกรณ์การถ่ายภาพ มีรูปแบบและชนิดต่าง ๆ มากมาย



รูปที่ 2.14 แสดงถึงโครงสร้างของเซลล์ปรอทแบบกระดุม ส่วนเซลล์ซิลเวอร์(Silver Cell)แบบกระดุมและเซลล์แบบสังกะสีอากาศ ก็มีโครงสร้างเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แบบปรอทคังแสดงในรูปที่ 2.14 จะมีส่วนผสมของโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีน้ำเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) ผิวหน้าด้านบนภายในเซลล์(Cell)เป็นทองแดง ซึ่งจะเหมาะสมที่จะทำปฏิกิริยาไฟฟ้า-เคมี กับสังกะสี ซึ่งจะลดการสึกกร่อนสิ้นเปลืองให้เหลือน้อยที่สุด ตัวเซลล์(Cell)ภายนอกทำมาจากเหล็กชุบนิกเกิล(Nickel) ซึ่งจะต้านทานต่อการกัดกร่อนของอิเล็กโทรไลต์ได้อย่างดี

คาโอด(Cathode)นั้นทำมาจากออกไซด์(oxide)ของปรอทซึ่งมีความจุของออกซิเจน(Oxygen)สูง ถึงแม้ว่าจะมีราคาแพงก็ตามแต่ก็ให้ผลคุ้มค่า เนื่องจากจะมีอัตราส่วนระหว่างพลังงานต่อน้ำหนักและปริมาตรมีค่าสูง แรงดันเซลล์(Cell)โดยปกติจะเท่ากับ 1.35 โวลต์(Volts) ส่วนค่าความต้านทานภายในจะมีค่าแน่นอนและมีค่าต่ำ

#### 2.5.4 เซลล์แบบซิลเวอร์ออกไซด์ (Silver Oxide Cell)

สารที่ใช้ทำคาโอด(Cathode)ของเซลล์แบบกระดุมอีกชนิดหนึ่งคือ ออกไซด์ของเงินซึ่งโครงสร้างของเซลล์(Cell)ชนิดนี้จะเหมือนกับแบบปรอท แต่เซลล์(Cell)ชนิดนี้สามารถจ่ายแรงดันออกมาได้สูงกว่าเป็น 1.55 โวลต์(Volts) นอกจากนี้ความต้านทานภายในเซลล์(Cell)ก็ยังมีค่าต่ำ เซลล์(Cell)ชนิดนี้จึงเหมาะกับการใช้งานที่กระแสสูง ๆ เช่น อุปกรณ์ที่มีตัวแสดงผลเป็น LED เป็นต้น

ผลรวมของอัตราส่วนระหว่างพลังงานต่อน้ำหนักและปริมาตรซึ่งมีค่าสูง กักรุ่นก็อย่างดีเยี่ยม และอายุการเก็บรักษาได้นาน(ซึ่งคล้ายกับแบบปรอท) ทำให้เซลล์(Cell)แบบซิลเวอร์ออกไซด์(Silver Oxide)เป็นทางเลือกที่ดีเมื่อต้องคิดถึงเรื่องเนื้อที่สำหรับติดตั้งเซลล์(Cell)เป็นอันดับแรก อย่างไรก็ตามออกไซด์(Oxide)ของเงินก็เป็นสารที่มีราคาแพงมาก

#### 2.5.5 เซลล์แบบสังกะสี-อากาศ (Zinc Air Cell)

เซลล์(Cell)แบบสังกะสี-อากาศมีโครงสร้างและรูปร่างคล้ายกับเซลล์(Cell)แบบซิลเวอร์ออกไซด์(Silver Oxide)และแบบปรอท ต่างกันก็เพียงแต่มีรูให้อากาศเข้าที่ด้านล่าง

ออกซิเจน(Oxygen)จากอากาศรอบ ๆ เซลล์(Cell)จะใช้ในการออกซิไดซ์(Oxidized) ผงสังกะสีผสมกับอัลคาไลน์อิเล็กโทรไลต์(Alkaline Electrolyte)ซึ่งเป็นแอโนด(Anode)โดยผ่านเยื่อสังเคราะห์ จากความจริงที่ว่าอนุภาคของออกซิเจน(Oxygen)จะถูกนำมาจากอากาศไม่ได้มาจากคาโอด(Cathode)จะทำให้เหลือเนื้อที่ภายในเซลล์(Cell)มากขึ้นในการบรรจุแอโนด(Anode) ดังนั้นเซลล์(Cell)ชนิดนี้จึงมีค่าความจุไฟฟ้าสูงกว่าเซลล์(Cell)แบบปรอทและซิลเวอร์ออกไซด์(Silver Oxide)ถึง 2 เท่าตัว

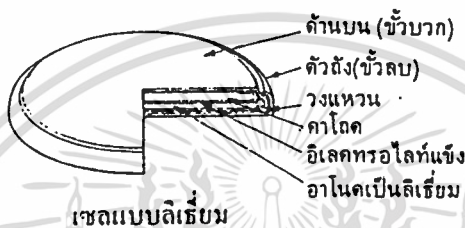
เซลล์แบบสังกะสี-อากาศจะมีอายุในการเก็บรักษานานเป็นพิเศษ ถ้ามันถูกผนึกก่อนจะถูกขนส่งไป ซึ่งตัวผนึกจะป้องกันอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับภายในเซลล์(Cell) เมื่อแกะตัวผนึกออกก็พร้อมที่จะใช้งานได้ทันที

ขนาดและจำนวนของรูอากาศสามารถกำหนดปริมาณอากาศที่นำไปใช้ได้ ดังนั้นเซลล์(Cell)ชนิดนี้จึงสามารถที่จะผลิตขึ้นสำหรับงานเฉพาะอย่างได้ ยกตัวอย่างเช่น ในการใช้งานซึ่งต้องการกระแสใช้งานสูง จะเจาะรูขนาดใหญ่และมีจำนวนมาก ส่วนการใช้งานที่กระแสต่ำเป็นระยะเวลานาน ๆ จะเจาะรูอากาศขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก ค่าแรงดันปกติของเซลล์(Cell)ชนิดนี้ เท่ากับ 1.45 โวลต์(Volts)

### 2.5.6 เซลล์แบบลิเทียม (Lithium Cell)

โครงสร้างของเซลล์แบบลิเทียม-แมงกานีสไดออกไซด์(Lithium Manganese Dioxide)แสดงในรูปที่ 15 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเซลล์(Cell)แบบกระดุมอื่น ๆ เพียงแต่แอโนด(Anode)เป็นลิเทียม(Lithium)และคาโทด(Cathode)เป็นแมงกานีสไดออกไซด์(Manganese Dioxide)

ลิเทียม(Lithium)เป็นสารที่มีปฏิกิริยาเร็วมากซึ่งนี้เป็นสารที่น่าดึงดูดใจมากในการนำมาใช้เป็นแอโนดของเซลล์(Cell) แต่ก็เป็นสารที่ต้องระมัดระวังไว้ด้วย โดยการจับถือและการประดิษฐ์ให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ต้องทำในที่ปราศจากอากาศและสภาพแวดล้อมที่ไม่มีควมชื้น



รูปที่ 2.15 แสดงถึงโครงสร้างของเซลล์ลิเทียมแบบกระดุม

เนื่องจากปฏิกิริยาที่เร็วมากนี้เองจึงทำให้เซลล์(Cell)ชนิดนี้มีค่าแรงดันสูงกว่าเซลล์(Cell)ทั่ว ๆ ไป คือสูงถึง 3.6 โวลต์(Volts) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้กับงานหนักที่ต้องการแรงดันสูงกว่าปกติ

เราสามารถใช้อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)ได้หลาย ๆ แบบในเซลล์(Cell)แบบลิเทียม(Lithium) ทำให้สามารถผลิตเซลล์ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ กันมีระบบหนึ่งใช้อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)แบบของแข็งซึ่งมีเสถียรภาพดีมาก แต่ก็มีค่าความต้านทานภายในเซลล์สูง ทำให้สามารถจ่ายกระแสได้ต่ำจึงสามารถจ่ายแรงดันได้เพียง 1.9 โวลต์(Volts)

อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)อีกตัวที่ใช้ในเซลล์(Cell)แบบลิเทียม(Lithium)นี้ก็คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งอยู่ในรูปของของเหลวซึ่งจะทำให้เซลล์(Cell)จ่ายแรงดันได้ถึง 3 โวลต์(Volts) อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)ซึ่งอยู่ในรูปของเหลว จะทำให้เซลล์(Cell)จ่ายแรงดันออกมาได้ 3.6 โวลต์(Volts) ค่าแรงดันที่สูงขึ้นนี้เป็นไปได้เนื่องจากอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)จะทำตัวเป็นอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)ผสมกับคาโทด(Cathode)ทำให้กำเนิดความต่างศักย์ออกมาได้สูงกว่า

เซลล์(Cell)แบบลิเทียม(Lithium)ทุกชนิดซึ่งต้องใช้อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)แบบของเหลวจะทำให้ได้ความต้านทานภายในเซลล์(Cell)ต่ำลง ทำให้สามารถจ่ายกระแสได้เพิ่มขึ้น

### 2.6 หลักการเลือกใช้เซลล์แบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ

โดยจะทำการเปรียบเทียบกันในเรื่องของน้ำหนัก ขนาด และคุณสมบัติในการใช้งานระหว่างเซลล์(Cell)ชนิดหลัก ๆ 2 ชนิด คือ เซลล์(Cell)แบบสังกะสี-ถ่าน และเซลล์(Cell)แบบอัลคาไลน์-แมงกานีส(Alkaline Manganese) รูปที่ 2.16 แสดงถึงกราฟแห่งเปรียบเทียบระหว่างเซลล์(Cell)ชนิดต่าง ๆ 7 ชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว

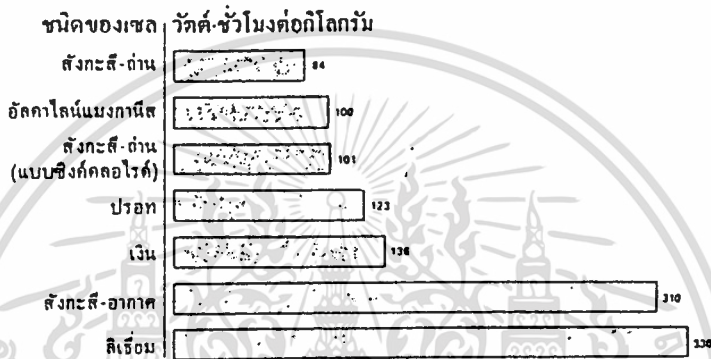
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

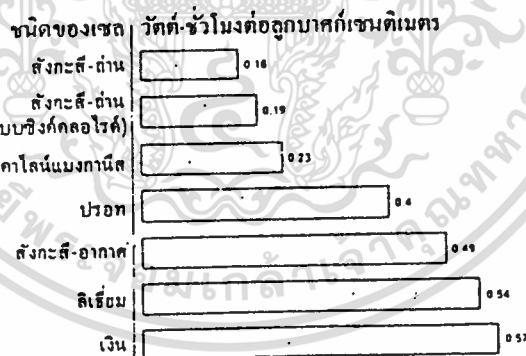
โดยพิจารณาถึงเรื่องน้ำหนักจะเห็นได้ชัดถึงเซลล์(Cell)แบบสังกะสี-อากาศและแบบลิเทียมจะมีน้ำหนักเบาเป็นพิเศษ

ในรูปที่ 2.16 นั้นเป็นกราฟแท่งแสดงถึงเซลล์(Cell)ชนิดต่าง ๆ โดยพิจารณาเกี่ยวกับปริมาตร จะเห็นว่าเซลล์(Cell)แบบซิลเวอร์ออกไซด์(Silver Oxide)จะให้คุณสมบัติที่ดีที่สุดในเรื่องของขนาด

แต่ข้อเปรียบเทียบที่สำคัญที่สุดที่เราต้องการและเป็นข้อแตกต่างที่เรายอมรับอย่างแน่นอนจะอยู่ในรูปของประสิทธิภาพโดยพิจารณาถึงราคาต่อหน่วยเวลาที่ใช้ ความยุ่งยากจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากราคาขายปลีกของเซลล์(Cell)แต่ละชนิดจะมีขอบเขตที่กว้าง แต่กระนั้นก็ตามข้อเสนอแนะที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นแนวทางที่มีเหตุผล



รูปที่ 2.16 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบความจุของเซลล์(Cell)แบบต่าง ๆ เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักด้วย



รูปที่ 2.17 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบความจุของเซลล์(Cell)แต่ละชนิด เมื่อพิจารณาถึงปริมาตรของเซลล์(Cell)

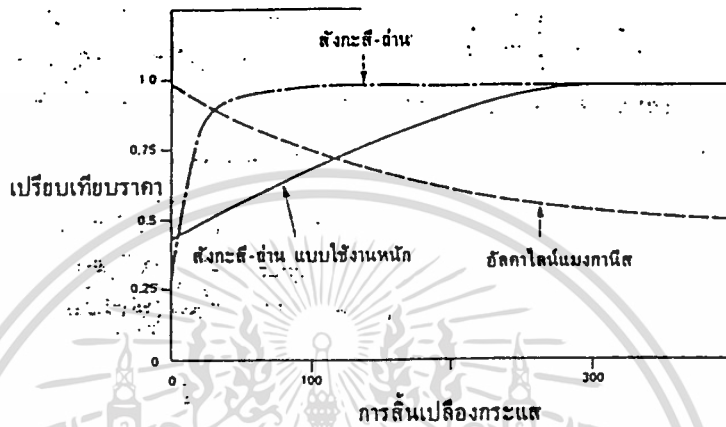
ถ้าจะพูดโดยทั่วไปแล้วเซลล์แบบกระดุมชนิดต่าง ๆ นั้นจะนำไปใช้งานเฉพาะอย่างซึ่งไม่สามารถใช้เซลล์(Cell)ชนิดอื่นแทนได้ เมื่อคำนึงถึงเรื่องประสิทธิภาพแล้วจะแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ 3 ชนิด คือ แบบสังกะสี-ถ่าน แบบสังกะสี-ถ่านที่ใช้งานหนัก(Heavy Duty Zinc Carbon) และแบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese) ซึ่งทั้ง 3 ชนิดนี้ได้ถูกผลิตขึ้นมาโดยมีขนาดเท่ากันและสามารถใช้ทดแทนกันได้ คำถามก็จะมีต่อไปว่าควรจะใช้แบบใดระหว่างแบบสังกะสี-ถ่าน หรือแบบสังกะสี-ถ่านที่ใช้งานหนัก หรือแบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese)ในงานเฉพาะอย่างหนึ่ง ๆ ในรูปที่ 2.17 จะอธิบายถึงกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาของเซลล์(Cell)ทั้งสามชนิดเปรียบเทียบกับกระแสที่จ่ายได้ และแสดงให้เห็นถึงอัตราการใช้กระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบเขียวประเขยชนดานการคร่า

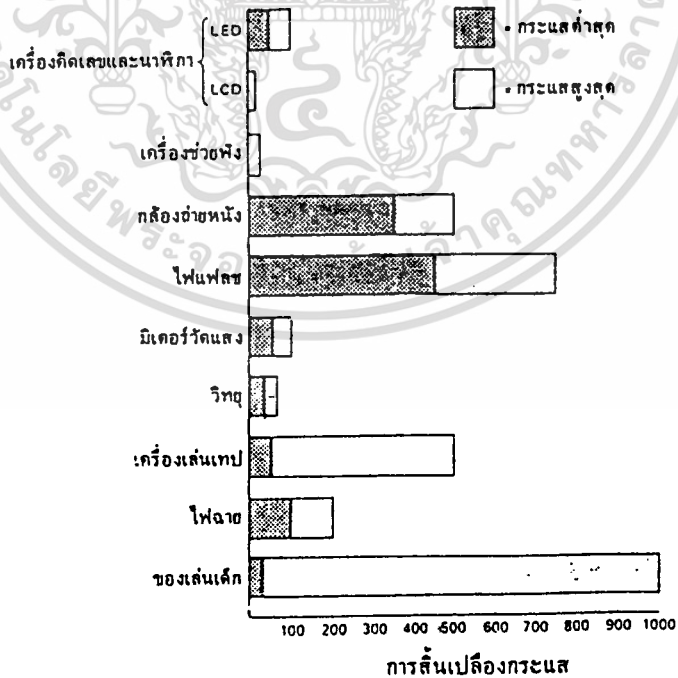
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง ๆ (ประมาณ 100 มิลลิแอมป์หรือกว่านั้น) เซล(Cell)แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese) จะมีราคาคุ้มค่ามากที่สุด

อย่างไรก็ตามที่จุดต่ำกว่า 100 มิลลิแอมป์(Milliamps)นี้ เซลแบบสังกะสี-ด่างที่ใช้งานหนักนั้นจะเหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟประเภทเคลื่อนที่ได้



รูปที่ 2.18 เป็นกราฟที่น่าสนใจ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างราคาของเซลล์(Cell)แบบอัลคาไลน์แมงกานีส (Alkaline Manganese) แบบสังกะสี-ด่าง และแบบสังกะสี-ด่างที่ใช้งานหนักโดยเทียบกับอัตราการใช้กระแส



รูปที่ 2.19 เป็นกราฟแสดงถึงอัตราการใช้กระแสของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้เซลล์ไฟฟ้าที่เป็นตัวจ่ายกำลังงานให้ โดยปกติแล้ว ถ้าเกิดความร้อนขึ้นมาก(เช่นในไฟแฟลช) และมีส่วนที่เคลื่อนไหวมาก(เช่น กล้องการขับเคลื่อนด้วยภาพยนตร์หรือเครื่องเล่นเทป)จะต้องใช้กำลังงานเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับที่ระดับกระแสต่ำ ๆ น้อยกว่า 20 มิลลิแอมป์(Milliamps)หรือกว่านั้น เซลล์(Cell)แบบสังกะสี-ด่างธรรมดาจะเหมาะสมกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese)

จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเซลล์(Cell)แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese)จะมีข้อดีกว่าในเรื่องของความจุ กำลังงานและคุณภาพกล่าวคือในเซลล์(Cell)แบบสังกะสี-ด่างนั้น ตัวตั้งที่เป็นสังกะสีจะเข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีด้วย ทำให้ตัวตั้งเกิดการรั่วขึ้นมา ในสภาวะการณ์ทั่วไปแล้วเซลล์(Cell)แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese) จะทนทานกว่าเซลล์(Cell)แบบสังกะสี-ด่าง โดยเซลล์(Cell)แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese) นี้จะจ่ายกระแสได้เป็นระยะเวลานานกว่า แต่ในด้านที่ใช้กระแสต่ำหรือปานกลางเป็นพัก ๆ นั้น การใช้เซลล์(Cell)ชนิดนี้ก็จะไม่เป็นการประหยัด

ในรูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นตารางการใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้กำลังจากเซลล์ไฟฟ้าในย่านกระแสใช้งานต่ำสุดและสูงสุด จะได้ใช้เป็นเครื่องตัดสินใจควรจะใช้เซลล์ไฟฟ้าชนิดใดกับเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทใดจึงเหมาะสมและประหยัดสุด

## 2.6 เซลล์แบบทุติยภูมิ (Secondary Cell)

เป็นเซลล์(Cell)อีกแบบหนึ่ง ซึ่งสามารถที่จะประจุไฟกลับใหม่ได้ โดยที่ปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมานั้นเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยการใช้เซลล์แบบทุติยภูมิ(Secondary Cell)นี้ทำให้เหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ามากเนื่องจากตัวเซลล์(Cell)ถูกใช้ไปจนหมดแล้ว สามารถจะประจุกลับไปใหม่เพื่อจะได้ใช้ต่อไปได้

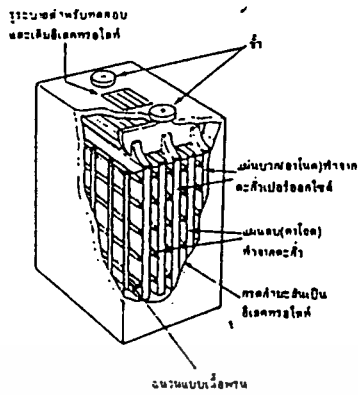
โดยเซลล์แบบทุติยภูมิ(Secondary Cell)นี้จะมีราคาแพงกว่าเซลล์แบบปฐมภูมิ(Primary Cell)เนื่องจากจำเป็นต้องซื้อเครื่องประจุไฟด้วย แต่เมื่อคิดในระยะยาวแล้วเซลล์แบบทุติยภูมิ(Secondary Cell)นี้จะมีค่าใช้จ่ายถูกกว่า ซึ่งขึ้นกับผู้เลือกใช้เซลล์(Cell)ชนิดใด ซึ่งมีดังต่อไปนี้

### 2.6.1 เซลล์แบบตะกั่ว-กรด (Lead Acid)

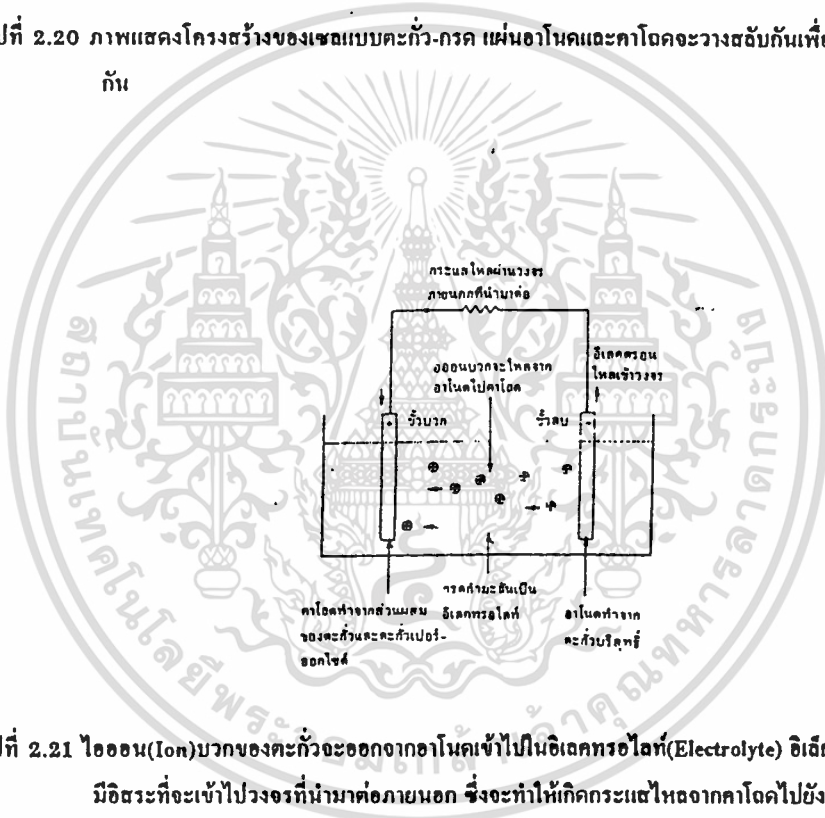
เซลล์แบบทุติยภูมิ(Secondary Cell)ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากคือ เซลล์แบบตะกั่ว-กรด(Lead Acid) ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ ตัวอย่างเซลล์(Cell)ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 20 ซึ่งเราจะเห็นมันประกอบด้วยแผ่นคาโทด(Cathode)และแผ่นแอนโนด(Anode)วางสลับกันจมอยู่ในอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลท(Plate)จะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด(Electrode)และอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)มากเท่าไร ปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้นนอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์(Cell)จะยังมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสวิธีที่นิยมใช้กันก็คือใช้แผ่นเพลทบาง ๆ กันด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน

อิเล็กโทรด(Electrode)ที่เป็นแอนโนด(Anode)จะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโทด(Cathode)จะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์(Lead Peroxide) ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้น อะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอนโนด(Anode)จะแตกตัวเป็นไอออน(Ion)ที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) และทิ้งอิเล็กตรอน(Electron)ให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



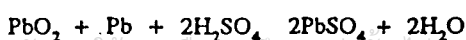
รูปที่ 2.20 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว-กรด แผ่นแอนโอดและคาโทดจะวางสลับกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างกัน



รูปที่ 2.21 ไอออน(Ion)บวกของตะกั่วจะออกจากแอนโอดเข้าไปในอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) อิเล็กตรอน(Electron)จะมีอิสระที่จะเข้าไปวงจรที่นำมาต่อภายนอก ซึ่งจะก่อให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดไปยังแอนโอด

ที่คาโทด(Cathode) ตะกั่วเปอร์ออกไซด์(Lead Peroxide)จะแตกตัวเป็นไอออน(Ton)ของตะกั่วซึ่งมีประจุบวกสูง และเป็นไอออน(Ion)ที่มีประจุลบสูงไอออน(Ton)ของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอน(Electron)จากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่ว(Lead Ion) ที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่แอนโอด(Anode)ทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทด(Cathode)ผ่านไปยังวงจรภายนอก

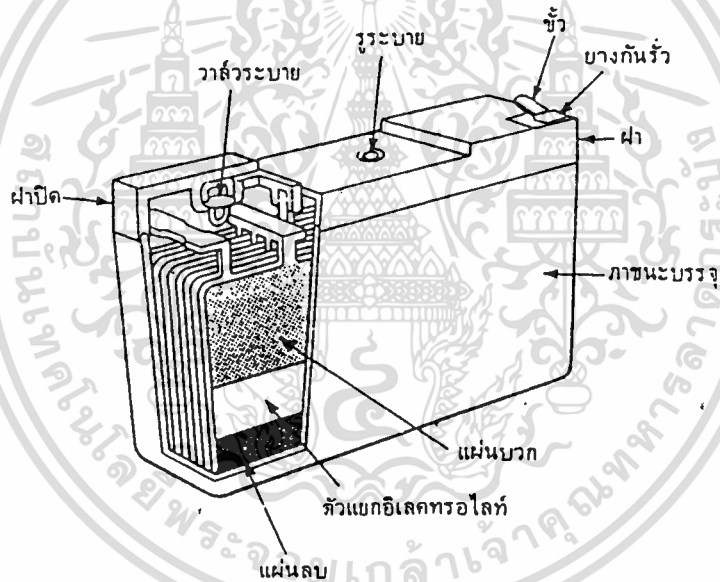
ไอออน(Ion)ของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรด(Electrode)ทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต(Lead Sulphate)(ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทรด(Electrode)ทั้งสอง) และก๊าซไฮโดรเจน(Hydrogen)(ซึ่งจะรวมกับไอออน(Ton)ของออกซิเจน(Oxygen)จากคาโทด(Cathode)กลายเป็นน้ำ) เราสามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแสดง(โดยลูกศร 2 ทิศทาง)ว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์(Cell)ใหม่ โดยการต่อวงจรซึ่งจะจับอิเล็กตรอน(Electron)ให้ไหลจากคาโทด(Cathode) ไปสู่อโนด(Anode) ดังจะเห็นวงจรต่อไป

สูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นขณะเดียวกับที่เซลล์(Cell)คายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานะการประจุและคายประจุของเซลล์(Cell)ได้ โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) ซึ่งจะบอกว่าการคายประจุของเซลล์(Cell)ใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อจะได้ประจุไฟกลับเข้าไปใหม่ โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์(Cell)ที่ประจุมาเต็มที่จะมีค่าประมาณ 1.25 และค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์(Cell)ที่คายประจุหมดจะมีค่าระบุไว้ประมาณ 1.2 เราใช้ไฮโดรมิเตอร์ในการวัด แรงดันของเซลล์(Cell)โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์(Volts)



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดที่มีการปิดผนึก ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถจะใช้ที่ใดก็ได้ โดยจะไม่ปล่อยอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)ออกมา ใช้ประโยชน์ในเครื่องมือแบบกระเป่าหิ้ว

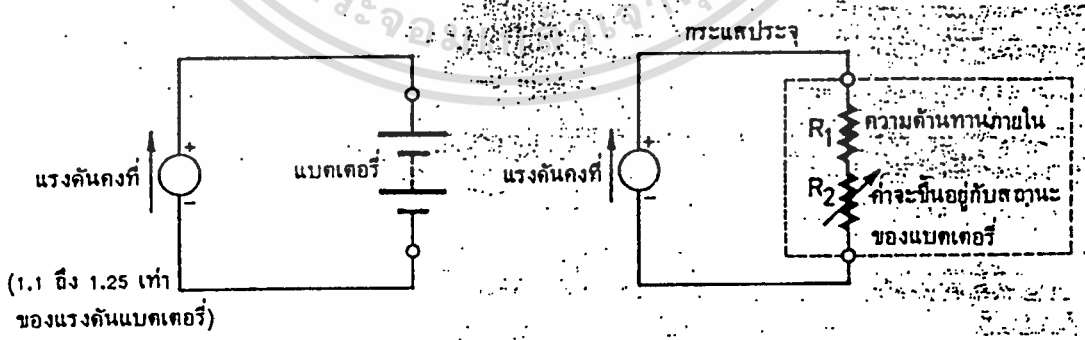
เซลล์แบบตะกั่ว-กรดนี้มีโครงสร้างแบบที่กล่าวมาเป็นระยะเวลาอันยาวนานแล้วการปรับปรุงที่เกิดขึ้นเร็ว ๆ นี้ได้ทำการปรับปรุงให้เซลล์(Cell)มีอายุการใช้งานนานขึ้นโดยที่แบตเตอรี่ที่มีการหมักอย่างดี และมีอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็งได้ถูกผลิตขึ้นมาแล้ว ซึ่งไม่ต้องมีการบำรุงรักษา จึงสามารถนำไปใช้ที่ใดก็ได้ นับว่ามีประโยชน์ในการใช้แทนหรือใช้อย่างปกติแทนเซลล์แบบปฐมภูมิ(Primary Cell)ในเครื่องมือวัดแบบกระเป่าหิ้ว เนื่องจากมันสามารถประจุไฟใหม่ได้ โครงสร้างของเซลล์(Cell)แบบนี้ในแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์(Volts) แสดงดังรูปที่ 2.22

การประจุเซลล์(Cell)แบบตะกั่ว-กรดนั้นสามารถทำได้อย่างง่าย ๆ โดยการป้อนกระแสกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เกิดจากทางขวามือไปทางซ้ายมือ ซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟต(Lead Sulphate)ให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม วิธีการที่ง่ายที่สุดในการป้อนกระแสกลับทางก็โดยการต่อไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วคาโทด(Cathode)(ขั้วบวก) และขั้วแอโนด(Anode)(ขั้วลบ)เข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟภายนอก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟภายนอกนี้จะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลล์(Cell)โดยปกติ ดังนั้นเซลล์(Cell)แบบนี้เซลล์(Cell)เดียวซึ่งมีแรงดันปกติ 2 โวลต์(Volts) สามารถที่จะประจุเข้าไปด้วยแรงดันระหว่าง 2.2 โวลต์(Volts)ถึง 2.5 โวลต์ ตัวอย่างที่เห็นได้ง่าย ๆ ก็คือแบตเตอรี่รถยนต์(ซึ่งแรงดันปกติเท่ากับ 12 โวลต์(Volts)) เนื่องจากประกอบด้วยเซลล์(Cell) 6 เซลล์(Cell)อนุกรมกัน)จะถูกประจุโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไดนาโมและผ่านชุดรักษาแรงดันให้เป็นไฟตรงมีค่าแรงดันคงที่ที่ 14 โวลต์

เห็นได้ชัดว่ากระแสที่ป้อนเข้าไปเมื่อประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์(Cell)ว่าคายประจุหมดเต็มที่หรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูงและเซลล์(Cell)คายประจุหมดเต็มที่แล้ว จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเซลล์จะมีค่ามากตามไปด้วย หรือถ้าเซลล์(Cell)ถูกใช้แบบเป็นวงรอบ(Cyclic) คือจากสถานะประจุเต็มไปสู่สถานะหมดประจุเต็มที่แล้วจึงค่อยประจุใหม่อีกครั้ง จะใช้กระแสในการประจุมากตามไปด้วย แต่ถ้าเซลล์(Cell)ถูกใช้งานพร้อมกับประจุไฟฟ้าเข้าตลอดเวลา เช่นในแบตเตอรี่รถยนต์แล้ว กระแสที่ใช้ในการประจุก็จะมีค่าต่ำ ซึ่งก็เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์(Volts) จึงใช้แรงดันในการประจุเพียง 14 โวลต์(Volts)ซึ่งประมาณ 1.17 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่

วงจรที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ แบบตะกั่ว-กรดนี้ แสดงในรูปที่ 2.4 ก. ซึ่งแสดงให้เห็นแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่อยู่กับแบตเตอรี่ วงจรสมมูลย์ของรูปที่ 2.4 ก. แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.4 ข. ซึ่งเราจะเห็นว่าแบตเตอรี่จะถูกพิจารณาว่าประกอบด้วยตัวต้านทาน(Resistor) 2 ตัว โดยตัวต้านทาน(Resistor)  $R_1$  จะเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เอง จะมีอยู่ในแบตเตอรี่เสมอไม่ว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังประจุหรือคายประจุอยู่ ส่วนตัวต้านทาน(Resistor)  $R_2$  นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับสถานะการหมดประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที่ ค่าความต้านทาน(Resistor)ตัวนี้จะมีค่าต่ำ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในการประจุจึงมีค่าสูง อย่างไรก็ตาม เมื่อแบตเตอรี่ใกล้หรือประจุจนเต็มที่แล้วค่าความต้านทาน(Resistor)  $R_2$  นี้จะมีค่าสูงขึ้นทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง



รูปที่ 2.23 ก. แสดงการประจุแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว-กรด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ขนาด 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ ข. เป็นวงจรสมมูลย์ของวงจรประจุแบตเตอรี่ในรูปที่ 2.4 ก.

เราสามารถตรวจสอบสถานะการประจุของแบตเตอรี่ได้โดยการสังเกตค่าของกระแสที่ใช้ในการประจุ ซึ่งจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ใช้ในการประจุมีค่าคงที่ (โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีการรักษาแรงดันออกให้คง

ที่) แบตเตอรี่รถยนต์โดยทั่วไป ตัวอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่จะจ่ายแรงดันออกมาไม่คงที่ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้วิธีการดูกระแสในการบอกสถานะการประจุของแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้อง

เราสามารถที่จะใช้วิธีประจូอย่างรวดเร็วแก่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ โดยใช้แรงดันคงที่ขนาด 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ โดยคอยสังเกตระดับกระแสที่ประจุไว้ และการประจู่จะสิ้นสุดเมื่อระดับกระแสที่ประจุตกลงมาจนถึงค่ากระแสสุดท้ายในการประจุ ซึ่งจะบ่งบอกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนั้น ภายได้เลื่อนใจนี้ การประจู่จะเต็ม(จากตอนที่แบตเตอรี่หมดประจุเต็มที่จนถึงประจุโดยสมบูรณ์) ภายในเวลา 5 ชั่วโมง ถ้าเราไม่สามารถรักษาระดับแรงดันในการประจุให้คงที่อยู่ได้ ก็ไม่สมควรที่จะใช้วิธีประจู่อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากจะทำความเสียหายแก่เซลล์(Cell)จนไม่สามารถแก้ไขได้ ในกรณีนี้จึงควรใช้แรงดันในการประจูน้อยลงเป็นประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่จึงจะดีที่สุด โดยใช้เวลาในการประจุเกินกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป

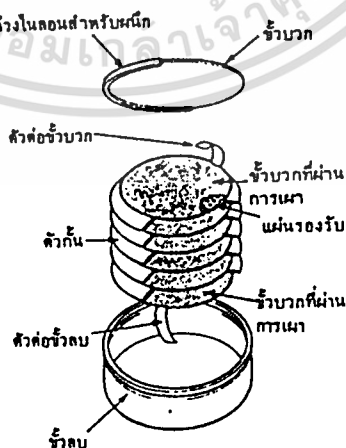
### 2.6.2 เซลล์แบบนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel - Cadmium)

เซลล์แบบทุติยภูมิ(Secondary Cell)ชนิดที่สองที่จะกล่าวถึงก็คือ เซลล์แบบนิกเกิล-แคดเมียม(Nickel-Cadmium Cell) เรียกกันย่อ ๆ ว่า นิ-แคด บางครั้งเซลล์(Cell)แบบนี้จะถูกเรียกว่าเซลล์แบบ DEAC (DEAC Cell) ซึ่งเป็นชื่อของของบริษัทแรกที่ผลิตขึ้นมาคือ Deutsche Edison Akkumulatoren Company ซึ่งอยู่ในเยอรมัน

ขั้วบวกของเซลล์แบบนี้ทำจากนิกเกิลไฮดรอกไซด์(Nickel Hydroxide) ส่วนขั้วลบนั้นทำจากแคดเมียมไฮดรอกไซด์(Cadmium Hydroxide) อิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)ทำจากสารละลายโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์(Potassium Hydroxide) ซึ่งก็เหมือนกับเซลล์แบบตะกั่วกรดคือ ปฏิกิริยาเคมีในการประจุและคายประจุเป็นดังนี้



โดยสถานะประจุเต็มก็คือทางด้านขั้วมือ และสถานะหมดประจุเต็มที่อยู่ทางด้านขวมือ ในเซลล์(Cell) ที่ได้รับการประจู่เพิ่มเติม ขั้วลบจะเป็นแคดเมียมบริสุทธิซึ่งจะถูกออกซิไดซ์(Oxidized)ในระหว่างการคายประจุ ส่วนขั้วบวกจะค่อย ๆ ลดระดับในการเกิดออกซิเดชัน(Oxidation) ระหว่างการคายประจุ

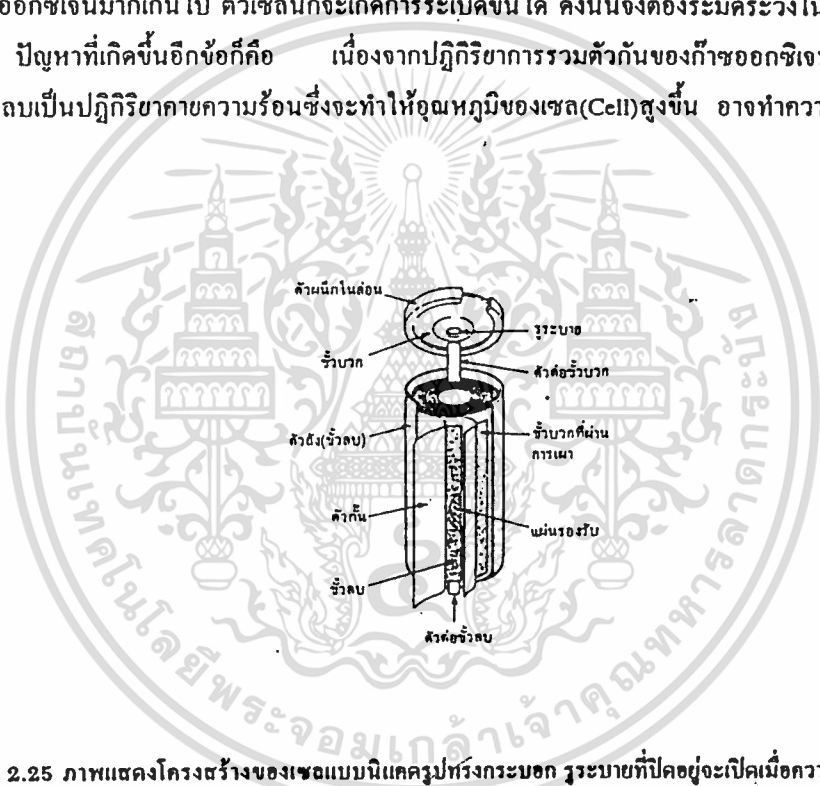


รูปที่ 2.24 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบนิกเกิลแคดเมียมรูปกระดุม ใช้ขั้วที่ผ่านการเผาเพื่อให้มีพื้นผิวสัมผัสมาก และให้ก๊าซออกซิเจน(Oxygen)วิ่งไประหว่างขั้วบวกและลบได้อย่างรวดเร็ว

ในระหว่างการประจู่ นอกจากปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกแล้วนั้น จะมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นด้วย ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซออกซิเจน(Oxygen)สามารถเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปรวมตัวกับขั้วลบ ปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นที่ขั้วลบจะผลิตก๊าซไฮโดรเจน(Hydrogen)ขึ้น โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขั้วลบอยู่ในสถานะประจุเต็มที โดยเราแน่ใจได้ว่าก๊าซไฮโดรเจน(Hydrogen)ที่เกิดขึ้นจะไม่รั่วไหลออกไป ถ้าทำให้ขนาดของขั้วลบใหญ่กว่าขั้วบวก

เราจะเห็นได้ว่าเมื่อเซลล์ถูกประจุจนเต็ม กระแสที่ไหลผ่านเซลล์ทั้งหมดจะใช้ในการผลิตก๊าซออกซิเจน(Oxygen)ที่ขั้วบวกซึ่งจะผ่านไปรวมตัวกันที่ขั้วลบ ซึ่งโครงสร้างของเซลล์(Cell)เป็นสิ่งที่จำเป็นมากที่จะต้องสร้างให้มีทางให้ก๊าซออกซิเจน(Oxygen)มารวมตัวได้ ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ โครงสร้างของเซลล์แบบนิแคครูปกระดุม แสดงในรูปที่ 2.24 ซึ่งเราจะเห็นว่าเราสร้างด้วยแผ่นเพลทมีรูพรุนมาก ๆ เพื่อช่วยให้ก๊าซออกซิเจนวิ่งจากขั้วบวกไปสู่ขั้วลบได้สะดวกขึ้น แผ่นเพลทที่ผ่านการเผาี้จะเป็นประโยชน์โดยช่วยเพิ่มหน้าสัมผัสของแต่ละขั้ว ถ้าเซลล์แบบกระดุมนี้ถูกประจุมากเกินไป ด้วยกระแสซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซออกซิเจนมากเกินไป ตัวเซลล์ก็จะเกิดการระเบิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการประจุไฟเข้าเซลล์(Cell) ปัญหาที่เกิดขึ้นอีกข้อก็คือ เนื่องจากปฏิกิริยาการรวมตัวกันของก๊าซออกซิเจนและอิเล็กโทรด(Electrode)ขั้วลบเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของเซลล์(Cell)สูงขึ้น อาจทำความเสียหายแก่เซลล์(Cell)ได้



รูปที่ 2.25 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบนิแคครูปทรงกระบอก รูระบายที่ปิดอยู่จะเปิดเมื่อความดันภายในเซลล์สูง เพื่อป้องกันเซลล์ระเบิดจากการประจุมากเกินไป

ปัญหาเกี่ยวกับการระเบิดของเซลล์แบบนี้สามารถบรรเทาลงได้ โดยการใช้เซลล์นิแคคแบบรูปทรงกระบอก ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.25 จะเห็นได้ว่าเราใช้แผ่นเพลทที่เผามาทำเป็นขั้วบวกและขั้วลบอีก แต่เรานำมาซ้อนให้เป็นรูปทรงกระบอก และมีรูระบายติดตั้งอยู่ที่ฝาบนของเซลล์ซึ่งจะปล่อยก๊าซออกซิเจนออกสู่ภายนอกเมื่อความดันขึ้นสูงกว่า 90 ปอนด์/ตารางนิ้ว ดังนั้นถ้าเซลล์(Cell)ถูกประจุมากเกินไป ด้วยกระแสที่สูงเกิน ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะถูกระบายออกจากเซลล์ทำให้เซลล์ไม่เกิดการระเบิดขึ้นอย่างไรก็ตาม ก๊าซออกซิเจนที่ระบายออกไปก็ไม่สามารถหากกลับมาทดแทนได้

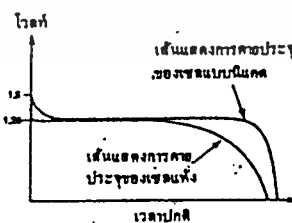
เซลล์(Cell)ที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกนี้สามารถที่จะเก็บพลังงานได้มากกว่าเซลล์(Cell)แบบกระดุม เมื่อมีขนาดเท่า ๆ กันและสามารถจ่ายกระแสได้มากกว่าด้วย(เนื่องจากมีความต้านทานภายในต่ำ) ฤดูแห่งความเอกสสำเร็จของเซลล์แบบทรงกระบอกนี้ ก็คือการใช้ตาข่ายนิเกิลบริสุทธิ์ที่มีรูพรุนเล็ก ๆ นำมาทำเป็นตะแกรงเพื่อให้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิกเกิลไฮดรอกไซด์(Nickel Hydroxide)และแคดเมียมไฮดรอกไซด์(Cadmium Hydroxide) สามารถก่อตัวเป็นขั้วบวกและขั้วลบบนตะแกรงนั้นได้อย่างรวดเร็ว แผ่นนิกเกิลจะถูกเชื่อมกับอิเล็กโทรด และต่อกับขั้วตั้งด้านลบของตัวแบตเตอรี่

ประโยชน์อีกข้อหนึ่งของเซลล์(Cell)ที่มีโครงสร้างแบบทรงกระบอกก็คือ สามารถทำเซลล์ให้มีขนาดเท่ากับขนาดของเซลล์แบบปฐมภูมิ(Primary Cell)ที่มีใช้กันอยู่ได้ คือขนาด AAA, AA, C, D และขนาด PP-3 และอื่น ๆ อีก ซึ่งหมายความว่าเราสามารถนำเซลล์แบบนิกเกิลนี้มาใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟในเครื่องใช้ต่าง ๆ ภายในบ้าน เช่น วิทยุเทปคาสเซต ไฟฉาย เป็นต้น แรงดันของเซลล์แบบนิกเกิลนี้โดยปกติมีค่าประมาณ 1.25 โวลต์(Volts)ซึ่งเมื่อเทียบกับเซลล์แบบปฐมภูมิ(Primary Cell)ชนิดเดียวกันแล้วซึ่งมีแรงดันประมาณ 1.5 โวลต์(Volts)แล้วอาจจะทำให้คิดว่าเครื่องใช้ต่าง ๆ จะไม่สามารถทำงานได้ ถ้าเปลี่ยนจากเซลล์แห้งธรรมดาไปเป็นเซลล์แบบนิกเกิลขนาดเดียวกัน แต่ก็ไม่เป็นความจริง เนื่องจาก

1. แรงดันของเซลล์แห้งที่กล่าวมานั้นเป็นแรงดันตอนที่ไม่มีโหลด(Load)อยู่ ซึ่งแรงดันนี้จะตกลงเล็กน้อยเมื่อโหลด(Load)ดึงกระแสไปใช้ ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความต้านทานภายในของเซลล์ ซึ่งเมื่อต่อเซลล์อนุกรมกันหลาย ๆ เซลล์แล้ว แรงดันตอนใช้งานอาจจะเหลือเพียงเซลล์ละ 1 โวลต์(Volts)(หรือน้อยกว่านั้น) แต่ค่าความต้านทานภายในที่ต่ำมาก ๆ ของเซลล์แบบนิกเกิลนี้ จะทำให้แรงดันตอนใช้งานจะยังคงเท่ากับ 1.25 โวลต์ ในการใช้งานหลายอย่างดูเหมือนว่า แรงดันปกติที่ต่ำของเซลล์นิกเกิลนี้จะให้คุณสมบัติที่คิดว่าเซลล์แห้งธรรมดา

2. แรงดันของเซลล์แห้งนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ถ้าเราเขียนกราฟระหว่างแรงดันของเซลล์แห้งกับเวลาและเปรียบเทียบกับกราฟของเซลล์แบบนิกเกิลในรูปที่ 2.26 จะเห็นว่า แรงดันของเซลล์แห้งจะสูงกว่าแรงดันของเซลล์แบบนิกเกิลในตอนแรก แต่เมื่อเซลล์คายประจุออกไปแล้วจะเห็นว่าในที่สุดแรงดันของเซลล์แห้งนี้จะเริ่มต่ำกว่าแรงดันของเซลล์แบบนิกเกิลในขณะที่แรงดันของเซลล์แบบนิกเกิลจะค่อนข้างคงที่ และจุดหมดประจุ คือเวลาที่คิดว่าเซลล์คายประจุหมดอย่างสมบูรณ์แล้ว จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อใช้เซลล์แบบนิกเกิลในเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อถึงจุดที่เซลล์หมดประจุเครื่องใช้นั้นก็จะหยุดทำงานทันที



รูปที่ 2.26 เป็นกราฟแสดงแรงดันของเซลล์กับเวลา เปรียบเทียบกันระหว่างเซลล์แห้ง(Dry Cell) และเซลล์แบบนิกเกิล ด้วยการจ่ายกระแสเท่ากัน

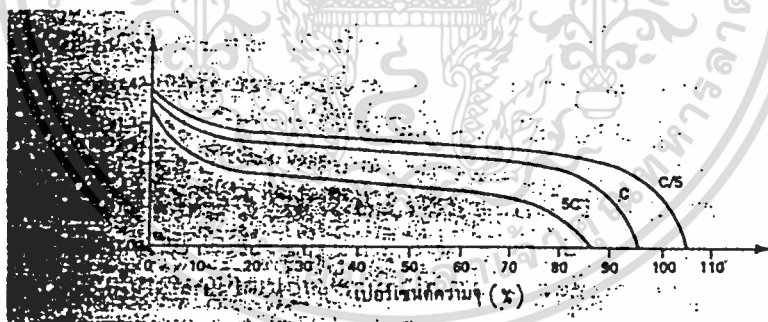
ชิ้นส่วน ในการทำเซลล์แบบนิกเกิลนี้ได้เลือกสรรและควบคุมอย่างเคร่งครัดในการเลือกวัตถุดิบ ตลอดจนใช้เทคนิคในการผลิตที่ประณีต จึงทำให้เซลล์แบบนิกเกิลนี้มีราคาแพง โดยจะแพงกว่าเซลล์แบบอัลคาไลน์

แมงกานีส(Alkaline Manganese) ขนาดเดียวกันประมาณ 2.5 เท่า ในขณะที่ความจุพลังงานมีเพียง 1 ใน 4 ของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese) ถ้าเรามองผิวมันแล้วอาจเห็นว่ามันไม่คุ้มค่า แต่อย่าลืมว่าเซลล์แบบนี้สามารถประจุไฟกลับเข้าไปใหม่ได้ และสามารถใช้ได้ยาวนานหลายครั้งกว่าไม่เหมือนกับเซลล์แบบปฐมภูมิ(Primary Cell) เช่น เซลล์แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese) เพื่อจะรู้ว่าเซลล์แบบนี้มีราคาคุ้มค่ากว่าเซลล์แบบปฐมภูมิ เราต้องมาศึกษาถึงวิธีการประจุไฟก่อน

ก่อนที่จะประจุไฟให้กับเซลล์แบบนี้โดยไม่ให้เกิดความเสียหายและสามารถประจุได้เต็มที่นั้น เราจะต้องรู้ถึงค่าความจุได้เต็มที่นั้น เราจะต้องรู้ค่าความจุของเซลล์ก่อน ความจุของเซลล์แบบนี้ คือปริมาณของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งเซลล์สามารถจ่ายออกมาได้เมื่อมันได้รับการประจุไฟจนเต็มที่ จะแสดงออกมาในรูปของตัวเลขเป็นแอมป์-ชั่วโมง เซลล์(Cell)ขนาดใดก็ตาม ค่าตัวเลขจริง ๆ นี้จะแปรเปลี่ยนไปโดยขึ้นอยู่กับกระแสที่จ่ายออกไป ดังนั้นมักจะกำหนดเงื่อนไขในการจ่ายกระแสเมื่อระบุถึงค่าความจุ ผู้ผลิตจะแจ้งถึงค่าความจุและเงื่อนไขในการจ่ายกระแสบนตัวเซลล์(Cell) รายละเอียดเกี่ยวกับความจุโดยปกติของเซลล์ขนาดต่าง ๆ ระบุไว้ในตารางที่ 1

ในเซลล์แบบทรงกระบอกนี้ค่าความจุโดยปกติ รู้จักกันในนามของ “ความจุ 5 ชั่วโมง” เนื่องจากเป็นจำนวนของพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์จะจ่ายออกมาได้เมื่อใช้เวลาในการจ่าย 5 ชั่วโมง อัตราการจ่ายกระแสใน 1 ชั่วโมง จะคายประจุออกจากเซลล์ในเวลา 1 ชั่วโมง โดยให้สัญลักษณ์ว่า “C” เช่นเดียวกับอัตราการจ่ายใน 5 ชั่วโมง (C/5) จะหมายถึงกระแสที่สามารถจ่ายออกจากเซลล์ในเวลา 5 ชั่วโมงเป็นต้น เซลล์จะถูกคิดว่าคายประจุหมดสิ้นเมื่อแรงดันของมันตกลงเหลือ 1 โวลต์(Volt) รูปที่ 2.27 แสดงถึงค่าความจุของเซลล์แบบนี้แควดซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปกับอัตราการจ่ายกระแสต่างกัน 3 ค่า จากรูปนี้จะพบว่าค่าความจุของเซลล์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยถ้าอัตราการจ่ายกระแสมีค่าลดต่ำลง และค่าความจุที่ลดลงจะเป็นผลมาจากอัตราการจ่ายกระแสสูงขึ้น

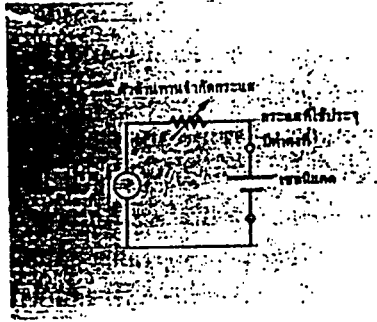


รูปที่ 2.27 แสดงถึงค่าความจุของเซลล์แบบนี้แควดจะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการจ่ายกระแส

ความจุของเซลล์แบบกระดุม เช่นเดียวกับกับแบบทรงกระบอก จะแสดงอยู่ในรูปของ “ความจุ 10 ชั่วโมง” และด้วยอัตราการจ่ายกระแสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง(C/10) จะทำให้แรงดันของมันตกลงเหลือ 1.1 โวลต์ ที่จุดนี้มันจะถูกพิจารณาว่าหมดประจุอย่างสมบูรณ์

เซลล์แบบนี้จะไม่เหมือนกับเซลล์แบบตะกั่ว-กรด (ถึงแม้จะเป็นเซลล์ทุติยภูมิ(Secondary Cell)เหมือนกัน) ตรงที่เซลล์แบบนี้จะต้องไม่ประจุไฟให้มันด้วยแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ เพราะว่าค่าความต้านทานภายในของมันมีค่าต่ำมาก จะทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่ามากเกินไป ซึ่งจะทำความเสียหายให้แก่เซลล์ได้ เราจะใช้แหล่งจ่ายไฟแบบกระแสคงที่แทนซึ่งจะจ่ายกระแสออกมาโดยกำหนดค่าได้ และอยู่ในอัตราที่ปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

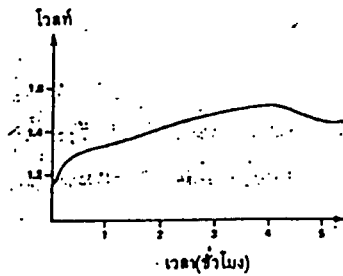


รูปที่ 2.28 วิธีการง่าย ๆ ในการสร้างวงจรประจุกระแสตรงที่ใช้ในการประจุเซลล์นิเกิล

วิธีที่ง่ายที่สุดในการจ่ายกระแสตรงที่แสดงในวงจรรูปที่ 2.28 ซึ่งแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ที่จะจ่ายกระแสออกมาประจุเซลล์แบบนิเกิล โดยผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแส ค่าของตัวต้านทานจะถูกเลือกให้ค่ากระแสที่ไปประจุเซลล์(Cell)จะไม่เกินค่าหาค่าลอคภัยสำหรับเซลล์(Cell)ขนาดนั้น โดยวงจรนี้เราจะต้องใช้อย่างระมัดระวัง วิธีการประจุเซลล์(Cell)โดยวงจรนี้เราจะต้องใช้อย่างระมัดระวัง วิธีการประจุเซลล์(Cell)โดยใช่วงจรนี้สามารถประจุเซลล์(Cell)ได้ 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ

1. การประจุทีละน้อย (Trickle Recharge) ถ้ากระแสในวงจรถูกรักษาไว้ที่อัตราเท่ากับ  $C/10$  (10% ของความจุ) แล้ว เซลล์ที่หมดประจุอย่างสมบูรณ์สามารถจะประจุได้ภายใน 10 ชั่วโมง แต่ความเป็นจริงจะใช้เวลามากกว่า 10 ชั่วโมงโดยเพื่อการสูญเสียไว้บ้าง จะใช้เวลาประจุ 12 ถึง 14 ชั่วโมง การประจุทีละน้อยด้วยอัตราขนาดนี้สามารถประจุทิ้งไว้ค้างคืนได้ ประโยชน์อีกข้อหนึ่งของการประจุเซลล์ด้วยอัตราขนาดนี้คือ ถึงแม้ว่าเซลล์จะถูกประจุเต็มแล้วก็ตาม ก็ไม่จำเป็นต้องนำเซลล์ออก เนื่องจากถ้าเราประจุต่อไปก็จะไม่ทำความเสียหายให้แก่เซลล์ เนื่องจากก๊าซออกซิเจน(Oxygen)ที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่ขั้วบวกจะรวมตัวกับขั้วลบ การประจุเซลล์โดยวิธีนี้เป็นวิธีเดียวที่สามารถจะประจุโดยไม่มีข้อจำกัด ซึ่งจะไม่ทำความเสียหายแก่เซลล์ ยกตัวอย่างเช่น เซลล์มีขนาดความจุ 500 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง ถ้าประจุด้วยอัตรา  $C/10$  ก็เท่ากับ 10% ของความจุ คือ 50 มิลลิแอมป์(Milliamps)

2. การประจุอย่างรวดเร็ว (Fast Recharge) เซลล์แบบนิเกิลนี้สามารถจะประจุด้วยอัตราที่สูงขึ้นกว่าได้ เช่นด้วยอัตรา  $C/3$  (33% ของความจุ) ถึง  $C/5$  (20% ของความจุ) โดยจะต้องเตรียมการตัดการประจุ เมื่อเซลล์ได้รับการประจุจนเต็มที่แล้ว ซึ่งสามารถทำได้โดยอัตโนมัติโดยใช่วงจรตรวจจับแรงดัน ซึ่งจะตัดกระแสที่ใช้ในการประจุออก เมื่อแรงดันของเซลล์เพิ่มขึ้นเกินกว่าค่าปัจจุบัน รูปที่ 2.29 แสดงถึงการแปรเปลี่ยนของแรงดันของเซลล์กับเวลาที่อัตราการประจุเท่ากับ  $C/4$  (25% ของความจุ) จะเห็นได้ชัดว่าวิธีการนี้สามารถใช้ได้เฉพาะ ถ้าสามารถวัดค่าแรงดันได้อย่างเที่ยงตรงและรวดเร็ว สามารถตัดกระแสที่ใช้ประจุออกก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น ปัญหาในการใช้การประจุแบบนี้ก็คือถ้ากระแสที่ใช้ในการประจุค่าสูง ๆ นี้ไม่ได้ถูกตัดออกอย่างทันทีเมื่อเซลล์(Cell)ได้รับการประจุจนเต็มที่แล้ว ก๊าซออกซิเจน(Oxygen)ที่เกิดขึ้นมากเกินไปจากขั้วบวกนี้จะไม่สามารถไปรวมกันที่ขั้วลบในปริมาณที่เพียงพอ ความดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเซลล์จะระบายก๊าซออกซิเจน(Oxygen)กับอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte) บางส่วนออกมา เนื่องจากเมื่ออิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)สูญเสียออกมาจากเซลล์แล้วก็ไม่สามารรถเติมกลับเข้าไปใหม่ได้ ดังนั้นความจุของเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ก็คือเซลล์(Cell)นั้นจะมีความจุน้อยลงตลอดไป



รูปที่ 2.29 แสดงถึงการที่แรงดันของเซลล์นิแคดแปรเปลี่ยนไปตามเวลา เมื่อทำการประจุ(หลังจากหมดประจุอย่างสมบูรณ์ แล้ว) ด้วยอัตราการประจุ  $C/4$

3. การประจุอย่างเร่งด่วน (Super-Fast Recharging) มีบางกรณีที่ใช้ต้องการที่จะประจุเซลล์(Cell) ภายในเวลาเพียง 2-3 นาที ยกตัวอย่างเช่น เครื่องบินเล็กที่ใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายกำลังจะต้องการการประจุเซลล์(Cell) ที่หมดประจุเพื่อที่จะนำเครื่องบินขึ้นสู่อากาศอีกครั้งโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

ตารางที่ 1

เซลล์แบบนิแคดขนาดต่าง ๆ พร้อมทั้งค่าความจุของมัน

ขนาดของเซลล์	ความจุโดยปกติ (มิลลิแอมป์-ชั่วโมง)
1/2AA	240
AA	500
C	2,000
D	4,000
PP-3	110

มันเป็นไปได้ที่จะประจุเซลล์อย่างเร่งด่วน ด้วยอัตราการประจุสูงถึง  $4C$  (4 เท่าของความจุ) หรือมากกว่านี้ โดยวิธีการต่อไปนี้ คือวัดแรงดันของเซลล์และตัดกระแสที่ใช้ประจุออกเมื่อแรงดันของเซลล์ขึ้นสูงถึงค่าที่สูงถึงค่าที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามวิธีการที่ง่ายกว่า แล้วยังก็เที่ยงตรงด้วยโดยจากหลักความจริงที่ว่าเซลล์(Cell) ได้หมดประจุอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะพยายามทำการประจุมันใหม่ ให้ประจุไฟเข้าโดยกำหนดค่ากระแสประจุตามที่ไว้ใช้เวลาในการประจุตามที่ต้องการ เช่นหลังจากเซลล์หมดประจุแล้ว กระแสที่ใช้ในการประจุขนาด  $3C$  (3 เท่าของความจุ) จะถูกป้อนเป็นเวลา 20 นาที หรือจะใช้กระแสในการประจุเป็น  $5C$  (5 เท่าของความจุ) ป้อนเข้าไปเป็นเวลา 12 นาที เป็นต้น แม้ว่าวิธีการนี้จะเป็นวิธีการที่ดี เช่น สำหรับนักเล่นเครื่องบินจำลองที่มีเพียงแหล่งจ่ายไฟเป็นเพียงแบตเตอรี่รถยนต์ก็ตาม ก็เป็นสิ่งที่ควรระวังไว้เนื่องจากการประจุมากเกินไปเพียง 2-3 วินาที อาจจะทำให้เกิดการรั่วของเซลล์ได้ กล่าวย่อ ๆ ก็คือ เมื่อจะใช้วิธีการนี้เซลล์จะต้องหมดประจุอย่างเต็มที่ และใช้กระแสในการประจุค่าที่แน่นอนเป็นระยะเวลาที่ถูกต้อง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามเซลล์แบบนิแคดนั้นจะสามารถประจุไฟได้เป็นเวลานาน แม้ว่าจะใช้งานโดยการคายประจุอย่างรวดเร็วและประจุด้วยกระแสจำนวนมาก ๆ มันก็สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถประจุได้เป็นร้อย ๆ ครั้ง แต่ถ้าใช้วิธีประจุทีละน้อย เราก็สามารถที่จะประจุได้เป็นพัน ๆ ครั้งทีเดียว โดยลองเปรียบเทียบระหว่างเซลล์แบบนิแคดกับเซลล์แบบปฐมภูมิ เช่น แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese) ดู แต่เนื่องจากไม่สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรงเนื่องจากขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น จำนวนเซลล์ที่ใช้งาน ราคาของเครื่องประจุ(Charge) ขนาดและราคาของเซลล์และการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตาม เราสามารถที่จะเปรียบเทียบโดยไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนได้เช่นกัน

ยกตัวอย่างเช่น เรามีเครื่องใช้ไฟฟ้าหนึ่งชิ้น เป็นวิทยุเทปซึ่งใช้เซลล์ขนาด AA โดยใช้งานสัปดาห์ละ 10 ชั่วโมงที่กระแส 200 มิลลิแอมป์(Milliamps) และแรงดันแหล่งจ่ายไฟประมาณ 2 ถึง 3 โวลต์(Volts) เราสามารถใช้เซลล์(Cell) 2 เซลล์(Cell)ต่อกัน และจ่ายกระแสออกมา 200 มิลลิแอมป์(Milliamps) ถ้าเราประมาณราคาของเครื่องประจุเซลล์แบบนิแคดเท่ากับ 300 บาท(อาจถูกกว่า) เซลล์แบบนิแคดขนาด AA ราคา 30 บาท และเซลล์แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese) ขนาด AA ราคา 12 บาท เราสามารถที่จะเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

เซลล์แบบอัลคาไลน์แมงกานีส(Alkaline Manganese Cell) 2 เซลล์(Cell)(ความจุ 1,800 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง)จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าขนาด 200 มิลลิแอมป์(Milliamps) ได้เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ส่วนเซลล์แบบนิแคด 2 เซลล์(Cell)(ความจุ 500 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง) จะสามารถจ่ายกระแสขนาดนั้นได้เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ดังนั้นจึงใช้เซลล์แบบอัลคาไลน์ แมงกานีส(Alkaline Manganese Cell) จำนวน 1.11 ชุด ทุกสัปดาห์เป็นเงิน 27 บาทต่อสัปดาห์ เช่นเดียวกันเซลล์แบบนิแคดจะต้องประจุไฟใหม่ 4 ครั้ง(โดยใช้ค่าใช้จ่าย 7 สตางค์ต่อการประจุ 1 ครั้ง ซึ่งประมาณไว้สูง) เป็นเงิน 28 สตางค์ต่อสัปดาห์ โดยเหตุผลนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ว่าเครื่องวิทยุเทปนั้นถูกใช้บ่อยแค่ไหน จุดคุ้มทุนก็จะเกิดเร็วเท่านั้น ถ้าจำนวนเซลล์(Cell)ที่ใช้มากขึ้น และใช้เครื่องประจุเครื่องเดียว จุดคุ้มทุนก็จะเกิดเร็วยิ่งขึ้น

## บทที่ 3

### เซลล์แสงอาทิตย์

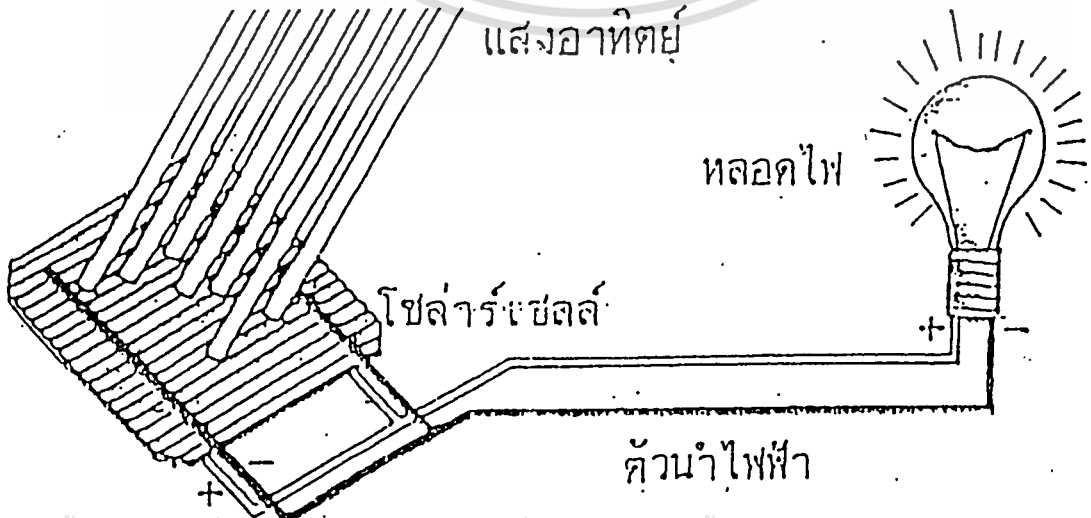
#### ( Solar Cell )

##### 3.1 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวหรือต้องทำให้ร้อน แสงอาทิตย์(โฟตอน) จะเข้าไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอน(Electron) ในสารกึ่งตัวนำที่มีพลังงานศักย์สูงขึ้นไปโดยตรง สารที่ใช้ในการดูดกลืนโฟตอนนี้จะประกอบด้วย ตัวต่อของสารที่มีคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์(Electronic)แตกต่างกัน เพื่อใช้แยกเอาอิเล็กตรอน(Electron) มีพลังงานศักย์สูงนี้ออกมา เป็นผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นระหว่างด้านบนและด้านล่างของสาร สารที่พบว่าสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพนี้ ได้แก่ สารกึ่งตัวนำ ในบรรดาสารที่เป็นสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์นี้ได้แก่ ซิลิกอน แกลเลียมอาร์เซไนด์ แกลเลียมซัลไฟด์ ได้ถูกนำมาใช้งานมากที่สุด สาเหตุที่ซิลิกอนได้รับความนิยมมากเพราะ ซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดชนิดหนึ่งในโลก กล่าวคือสกัดจากทรายที่มีอยู่ทั่วไป เทคโนโลยีเกี่ยวกับซิลิกอนได้รับการพัฒนามานาน เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในทางอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์(Electronic) จากเหตุผลดังกล่าวจึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าซิลิกอนยังคงมีบทบาทในเรื่องเซลล์แสงอาทิตย์นี้ไปอีกระยะเวลาอันยาวนาน

โฟโตโวลตาอิก เป็นคำมาจากภาษากรีก มีความหมายว่า ไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีคุณสมบัติการทำงานดังนี้คือ

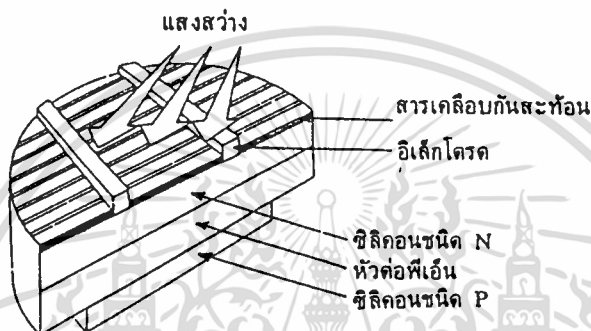
1. มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 30 ปี
2. มีประสิทธิภาพการทำงานสูง ไม่ขึ้นอยู่กับขนาด
3. สามารถออกแบบให้มีขนาดใช้งานตามต้องการได้
4. ไม่มีเสียงรบกวน
5. ไม่มีมลภาวะที่เป็นพิษต่อสภาพแวดล้อม
6. สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ทันทีที่แสงตกกระทบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ ๓.๑ แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 โครงสร้างและคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

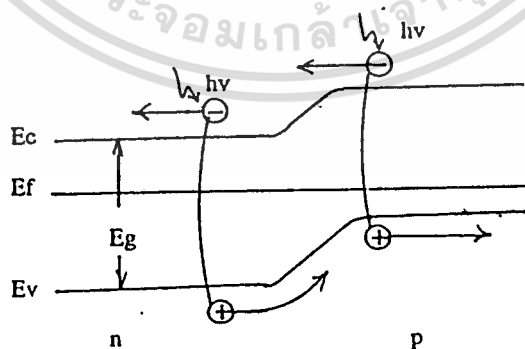
โครงสร้างหลักของแสงอาทิตย์ได้แก่หัวต่อพีเอ็น(P-N)ของสารกึ่งตัวนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนนั้นผลิตขึ้นโดยการนำแผ่นซิลิคอนหนาประมาณ 200-300 ไมครอน มาแพร่ซึมสว่างเจือปนเพื่อสร้างหัวต่อพี-เอ็น(P-N) โดยมีความลึกของชั้นแพร่ซึมหรือหัวต่อประมาณ 0.3-0.5 ไมครอน จากนั้นนำหัวต่อพีเอ็นไปทำผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง ผิวสัมผัสทางด้านหน้ามีลวดลายเป็นรูปนิ้วมือหรือก้างปลา เพื่อให้เหลือพื้นที่รับแสงมากที่สุดในขณะที่สามารถทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงอย่างมีประสิทธิภาพด้วย



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน

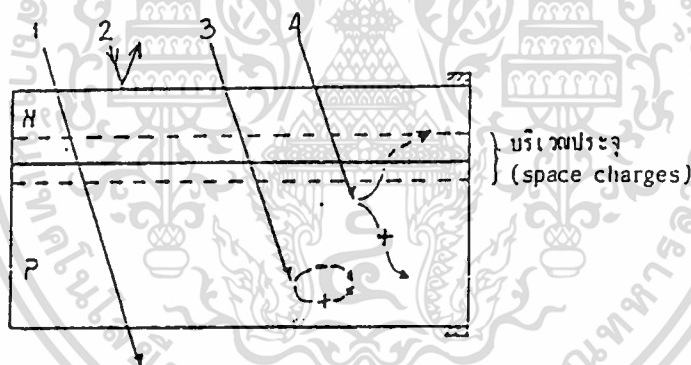
#### 3.2.1 หลักการเปลี่ยนพลังงาน

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก(Photovoltaic Effect) ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อมีรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำโคสลับบริเวณศักย์ขวางกันในตัว(Potential Barrier) ที่รอยต่อ ในที่นี้จะอธิบายในลักษณะของรอยต่อเอกพันธ์แบบ พี-เอ็น(P-N) ซึ่งเข้าใจง่าย อาศัยแผนภาพแถบพลังงานในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพแถบพลังงานของรอยต่อเอ็น-พี (N-P) เมื่อมีโฟตอนที่มีพลังงาน  $h\nu$  ตกกระทบบนแสดงการกระตุ้นอิเล็กตรอนและการเคลื่อนที่ของพาหะ

เซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อ พี-เอ็น(P-N) มีช่องว่างแถบพลังงานเดี่ยว  $E_g$  เมื่อโฟตอนที่ตกกระทบมีพลังงาน  $h\nu > E_g$  อิเล็กตรอน(Electron) ในสารกึ่งตัวนำจะถูกคลืนโฟตอนและยกระดับตัวเองจากแถบวาเลนซ์ (Valence) ขึ้นไปยังแถบการนำกลายเป็นพาหะประจุลบทั้งหมดซึ่งเป็นพาหะประจุบวกไว้ที่แถบวาเลนซ์ (Valence) อิเล็กตรอน(Electron)และหลุมคู่นี้เรียกว่าพาหะกลุ่มน้อยจะมาออกกันบริเวณสองด้านของรอยต่อ พาหะกลุ่มน้อยส่วนเกินจะแพร่ไปยังรอยต่อ พาหะดังกล่าวที่เกิดขึ้นที่ระยะทางต่ำกว่าความยาวแห่งการแพร่(Diffusion Length) (ความยาวแห่งการแพร่หมายถึง ความยาวหรือระยะเฉลี่ยที่พาหะเคลื่อนที่ไปก่อนจะมีการรวมตัว) จากสัคย์ขวางกัน เมื่อมาถึงรอยต่อจะถูกแยกด้วยสนามไฟฟ้า ณ ที่นั้นอิเล็กตรอน(Electron)ถูกกวาดเข้าไปในเขตเอ็น (N) ส่วนหลุมเข้าไปในเขตพี(P) การเคลื่อนที่ของพาหะดังกล่าวเป็นการลอยเลื่อน(Drift) ในสนามไฟฟ้า เมื่อพาหะเคลื่อนที่ออกนอกรอยต่อเข้าสู่เนื้อวัสดุ(Bulk Material) ของเซลล์พาหะจะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยการแพร่เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้าภายนอกบริเวณรอยต่อ อาจมีการสูญเสียพาหะไปส่วนหนึ่งเนื่องจากการรวมตัวของพาหะชนิดตรงข้ามและมีการดักจับ(Trap) พาหะเนื่องจากความบกพร่องในเนื้อวัสดุและบริเวณผิว พาหะที่เคลื่อนออกนอกเซลล์จะไหลผ่านโหลด(Load) ครบวงจรถ้าหากพิจารณากลไกของปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก(Photovoltaic Effect) ให้ละเอียดขึ้นอีกจะพบว่ารังสีแสงอาทิตย์มีสเปกตรัมกว้างมีโซโฟตอนทุกตัวที่ตกกระทบเซลล์จะสามารถสร้างพาหะในสารกึ่งตัวนำได้ทั้งหมด ถ้าดูในรูปที่ 3.4 เราจะเห็นโอกาสที่เป็นไปได้ต่าง ๆ กันดังนี้

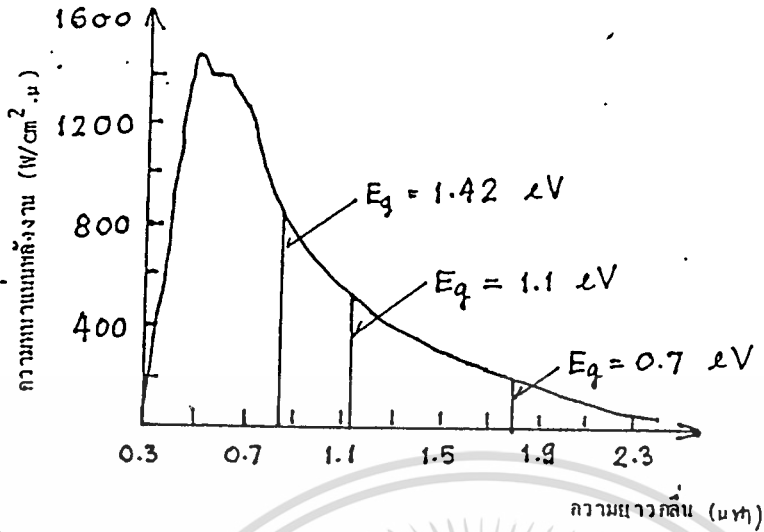


รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงการดูดกลืนโฟตอนภายในเซลล์

1. โฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่า  $E_g$  ไม่อาจทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน(Electron) หลุมในเซลล์ได้ ดังนั้นมันจึงไม่ถูกดูดกลืนแสง
2. โฟตอนสะท้อนกลับที่ผิวหน้าด้านนอกของเซลล์
3. โฟตอนถูกดูดกลืนที่ระยะห่างจากรอยต่อ พาหะที่เกิดขึ้นกลับรวมกันเสียก่อนที่มันจะเคลื่อนมาถึงบริเวณสัคย์ขวางกัน
4. โฟตอนมีพลังงานสูงพอที่ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน(Electron)-หลุมภายในระยะไม่เกินช่วงความยาวแห่งการแพร่จากสัคย์ขวางกัน ดังนั้น พาหะนี้จะถูกแยกด้วยสนามไฟฟ้าที่มีอยู่บริเวณชั้นของการพร่อง(Depletion Layer)

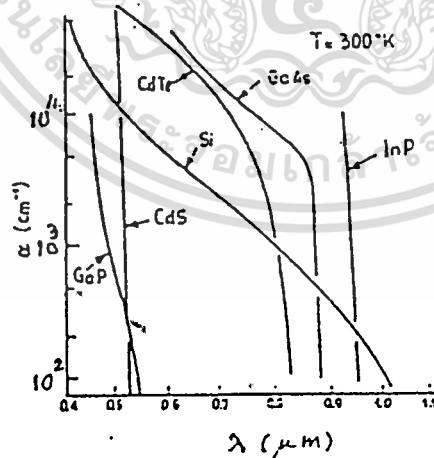
ใน 3 กรณีแรกเป็นการสูญเสียเนื่องจากกลไกการเปลี่ยนพลังงาน กรณีสุดท้ายเท่านั้นจึงจะก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 สเปกตรัมของรังสีแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล ดวงอาทิตย์อยู่ที่เซินิท(Zenith) อากาศแจ่มใส บางส่วนของสเปกตรัมที่เหมาะสมกับดาวกึ่งตัวนำบางตัว

เพื่อให้เข้าใจกรณีแรกให้ดูลักษณะสเปกตรัมสุริยะ(Solar Spectrum) ในรูปที่ 3.5 อยู่ในเงื่อนไขที่เรียก อากาศมวล (Air Mass One, AM1) ในรูปยังแสดงบางส่วนของสเปกตรัมที่เหมาะสมกับการใช้งานสารกึ่งตัวนำบางตัว เช่น เซอร์มาเนียม ซิลิกอน และแอลเลียมอาเซนไนด์ กลไกการดูดกลืนมีพารามิเตอร์ (Parameter) หนึ่งคือสัมประสิทธิ์การดูดกลืน(Absorption Coefficient,  $\alpha$ )  $\alpha$  เป็นฟังก์ชันที่สำคัญของพลังงานโฟตอน (ความยาวคลื่น) ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ส.ป.ศ. การดูดกลืนของสารกึ่งตัวนำบางตัว

สมมุติโฟตอนความยาวคลื่น  $\lambda$  ตกกระทบเซต อัตราการเกิดคู่อิเล็กตรอน(Electron) หลุมเนื่องจากการแผ่โฟตอนความยาวคลื่น  $\lambda$  ที่ระดับความลึก  $X$  จากผิวหน้าจะเป็น

$$g(\lambda, X) = N_0(\lambda) [1-R(\lambda)] \alpha(\lambda) \exp[-\alpha(\lambda) X]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$N_0(\lambda)$  เป็นฟลักซ์(Flux) ของโฟตอนที่ตกกระทบ (จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบต่อตารางเซนติเมตรต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง แถบ,  $R(\lambda)$  เป็นสัดส่วนของโฟตอนที่สะท้อนกลับจากผิวหน้า,  $\alpha(\lambda)$  เป็น ส.ป.ส. การดูดกลืน การดูดกลืนน้อยหมายถึงโฟตอนมีการทะลุทะลวง(Penetration) ลึกลงไปในเนื้อสาร การแก้ไขเพื่อลดการสูญเสียทำได้โดยเลือกการใช้เซมิคอนดักเตอร์ที่มีความหนาที่เหมาะสม เช่น ประมาณ 300 ไมครอน(Micron) ก็เพียงพอที่จะดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่า  $E_g$

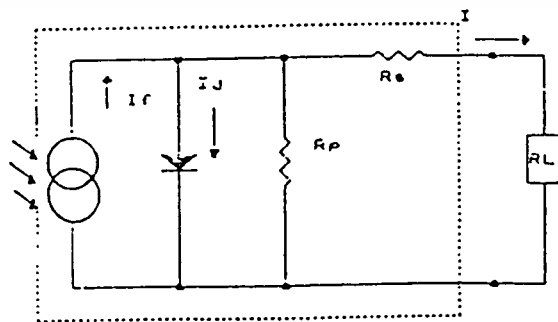
ในกรณีที่สองเกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนกลับที่ผิวหน้าของเซลล์ สามารถลดการสูญเสียได้โดยการฉาบผิวด้วยสารต้านการสะท้อน ( $\cong 1000$  อังสตรอม) เช่น  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}$  และ  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , กล่าวคือสามารถลดการสูญเสียได้ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ตลอดสเปกตรัมทั้งหมดเมื่อฉาบเพียง 1 ชั้น และต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการฉาบ 2 ชั้น

กรณีที่สำคัญที่สุดเพราะมันแสดงถึงประสิทธิภาพของเซลล์ การสูญเสียมีผลมาจากเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเซลล์เนื่องจากการแปรผันของ ส.ป.ส. การดูดกลืนขึ้นกับสเปกตรัมสุริยะ คู่อิเล็กตรอน-หลุมมักจะเกิดที่ระยะห่างจากชั้นของการพร่องมาก พาหะที่เกิดขึ้นที่ระยะห่างจากรอยต่อมากกว่าความยาวแห่งการแพร่จะกลับรวมตัวกัน ความยาวแห่งการแพร่ขึ้นอยู่กับค่าชีวิตและมีค่าได้สูงถึงร้อยไมครอน นอกจากนี้ชั้นแห่งการแพร่ของรอยต่อพี-เอ็น(P-N) ที่ถูกโด๊ป(Dope) อย่างหนักจะมีความยาวแห่งการแพร่ต่ำ ถ้าจะประมาณอย่างหยาบ ๆ ตำแหน่งที่เหมาะสมของรอยต่อควรมีค่าประมาณ  $x = 1/\alpha$  จากผิวหน้าของเซลล์

### 3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไป สามารถเขียนเป็นกราฟ ได้ดังรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าขณะเซลล์ได้รับแสง เซลล์จะสามารถจ่ายกระแสได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกลัดวงจร ซึ่งมีค่ากระแสขณะปิดวงจร (Short Circuit Current =  $I_{sc}$ ) โดยทั่วไปสำหรับเซลล์เดี่ยวแล้วขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าไม่เกิน 2.5 แอมป์

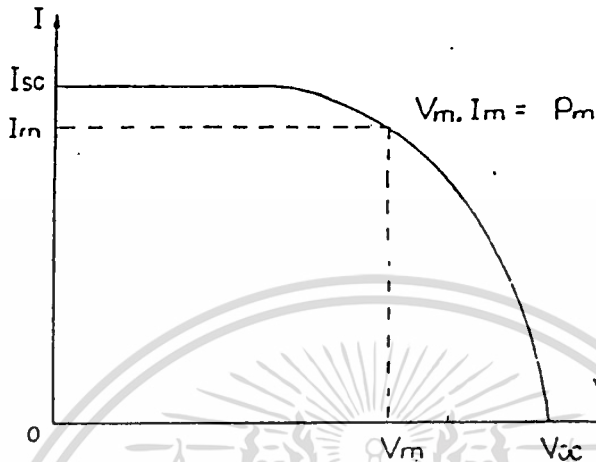
เซลล์จะสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจรออกซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันขณะเปิดวงจร(Open Circuit Voltage :  $V_{oc}$ ) กระแสที่เกิดจากเซลล์ขณะที่ได้รับแสงนี้ถูกเรียกว่า "กระแสไฟฟ้าแสง" (Photo Current) สำหรับเซลล์เดี่ยวจะมีค่า  $V_{oc}$  ไม่เกิน 0.6 โวลต์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าศักดาไฟฟ้าที่คร่อมแผง ขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่อแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าให้เหมาะสม กับการประยุกต์ไปใช้งานจริง



รูปที่ 3.7 วงจรพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรเราเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเรื่อย ๆ โดยที่แต่ละครั้งในการเปลี่ยนค่าความต้านทาน ให้บันทึกค่าศักดาที่ตกคร่อมตัวเซลล์แสงอาทิตย์ และค่ากระแสที่ไหลในวงจรเมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน

โดยที่

$$I = I_0 [ \exp ( V_{oc} / mV_t ) - \exp ( V / mV_t ) ] \dots\dots\dots[3.1]$$

$V_t =$  THERMAL VOLTAGE =  $K_q / T$   
 $K$  = BOLTZMAN CONSTANT  
 $q$  = ELECTRON CHARGE  
 $T$  = KELVIN DEGREE  
 $V_{oc}$  = OPEN CIRCUIT VOLTAGE  
 $I_0$  = LEAKAGE CURRENT  
 $m$  = CORRECTION FACTOR

ต่อไปจะพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถหาได้จากกราฟศักดาไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า โดยจะแยกพิจารณาทีละตัวดังต่อไปนี้

1. ขนาดของศักดาไฟฟ้าเปิดวงจร ( $V_{oc}$ ) คือขนาดของศักดาไฟฟ้า ขณะที่ความต้านทานมีค่าเป็นอนันต์ ( $R_L = \infty$ ) แยกพิจารณา ดังนี้

- สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์เดี่ยว จะมีค่า  $V_{oc}$  ไม่เกิน 0.6 โวลท์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซลล์ก็คือ ค่าความต่างศักย์ของรอยต่อพี-เอ็น (P-N) นั่นเอง

- สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นแผง ขึ้นอยู่กับการนำเซลล์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าให้เหมาะสม กับการประยุกต์ไปใช้งานจริง

2. ขนาดของกระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) มีลักษณะทำนองเดียวกันกับ  $V_{oc}$  โดยทั่วไปสำหรับเซลล์เดี่ยวแล้ว ขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าไม่เกิน 2.5 แอมป์(Amps)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $P_m$ ) หาได้จากตำแหน่งของกราฟ ที่ได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าศักดาไฟฟ้า กับกระแสไฟฟ้าที่จุดนี้ก็คือ จุด  $V_m$  และ  $I_m$  ตามลำดับ เพราะฉะนั้นเราสามารถเขียนนิสมการของกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดังนี้

$$P_m = V_m \cdot I_m \dots\dots\dots[3.2]$$

4. ฟิลล์แฟกเตอร์(Fill Factor) หาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้คือ

$$\text{FILL FACTOR} = P_m / P_o \dots\dots\dots[3.2]$$

โดยที่  $P_m = V_m \cdot I_m$

$$P_o = V_{oc} \cdot I_{sc}$$

5. ประสิทธิภาพของเซลล์(Efficiency) หาได้จากสมการต่อไปนี้

EFFICIENCY = กำลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์ ( mW )  $\div$  100%

กำลังงานที่ได้จากแสง ( mW/ cm<sup>2</sup> )  $\div$  พท.รับแสง

โดยทั่วไปแล้วจะคิดเทียบจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 100 mW/cm<sup>2</sup>

### 3.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

หลายคนมักคิดถึงแผงทำน้ำร้อน และคิดว่า สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นยิ่งร้อนยิ่งดี แต่จริง ๆ แล้ว ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องเผื่อไว้สำหรับความร้อน

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดขึ้นภายในตัวเซลล์แสงอาทิตย์ พวกอะตอมในคริสตัล (Crystal Lattice) จะสั่นสะเทือนแรงขึ้น เมื่อมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นในการที่อิเล็กตรอน(Electron) จะหลุดออกมา ก็ใช้พลังงานแสงอาทิตย์น้อยลงได้ ก็หมายความว่า ในแสงแดดที่มีความเข้มเท่ากันในอุณหภูมิสูงกว่า แต่พร้อมกันนั้นพวกอิเล็กตรอน(Electron) และโฮล(Hole) จะมีพลังงานมากขึ้นที่จะข้ามแดนและวิ่งในทางตรงข้าม ซึ่งจะมีผลให้กระแสไฟฟ้าลดลง ในเวลาเดียวกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าแบบลัดวงจร เราจะได้กระแสไฟฟ้ามากกว่าตอนที่แผงยังมีความเย็นอยู่แต่เมื่อมีโหลด(Load) ที่มีความต้านทานมากขึ้น จะมีการสะสมประจุไฟฟ้าในตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงและกระแสไฟฟ้าก็จะลดลงด้วย

### 3.3 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์

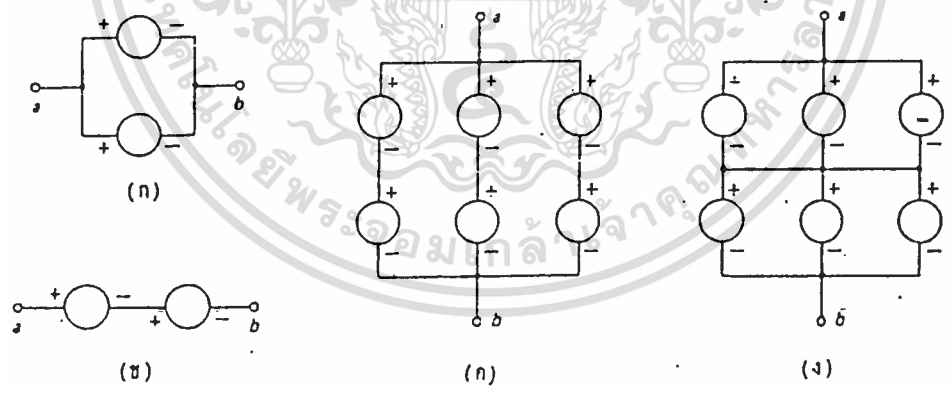
เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละตัวมีแรงดันไฟฟ้าเพียง 0.5 โวลต์ (สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน (Silicon)) และ 1 โวลต์(สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกเลียมอาร์เซไนด์) และกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตขึ้นได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง ในกรณีใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Panels) เพียงแผ่นเดียว ทำได้โดยจัดกลุ่มแถวลำดับ(Arrays) ซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์จำนวนหนึ่งซึ่งมีแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกำลังไฟเท่า ๆ กันทุกแผงในการใช้ประโยชน์เขาจะออกแบบมอดูล(Modules) เซลล์ฯ ตามที่ต้องการใช้งาน เช่น โมดูล(Modules)ที่มีแรงดันมาตรฐาน 1.5 V, 6 V, 12 V, 24 V, และ 48 V เป็นต้น ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้า จำเพาะขนาดหนึ่งก็อาจนำมอดูล(Modules)จำนวนหนึ่งที่พอเหมาะมาต่อในรูปแบบอนุกรม/ขนาน(หรือขนาน/อนุกรม) ก็เพื่อการใช้งานที่เหมาะสมกับโหลด(Load) โดยอาศัยหลักการคือ ถ้าต้องการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าก็ต่อ เซลล์แบบอนุกรม และถ้าต้องการกระแสสูง ๆ ก็ต่อเซลล์ฯแบบขนาน ซึ่งคล้าย กับการต่อแบตเตอรี่ แต่การต่อ เซลล์ฯในรูปแบบอนุกรม/ขนานจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดบางประการ คือ เซลล์ฯบางตัวเกิดชำรุด(เซลล์ฯมีการ เปิดหรือลัดวงจร) หรือเกิดเงาบังเซลล์บางส่วนของเซลล์ฯ ตัวอย่างเช่น เซลล์ฯให้แรงดัน 0.5 V กระแส 2 A นำ เซลล์ฯ 200 ตัวต่ออนุกรมเป็น 1 สตริงค์(String) ได้แรงดัน 100 V และต่อสตริงค์(String)นี้ขนานกัน 50 สตริงค์ (String) จะได้กระแส 100 A รวมได้กำลังไฟฟ้า 10,000 W ในทำนองกลับกันถ้าต่อเซลล์ฯ 50 ตัวขนานกันเป็น 1 ซับโมดูล(Sub Modules) ได้กระแส 100 A ต่อ 200 ซับโมดูล(Sub Modules) อนุกรมกันได้แรงดัน 100 V รวม ได้กำลังไฟฟ้า 10,000 W เช่นเดียวกันกับวิธีแรก ในทางปฏิบัติแล้วการต่อเซลล์ฯด้วยเทคนิคต่างกันจะให้ผลต่าง กันโดยเฉพาะเมื่อเกิดปัญหาเงาบัง หรือเซลล์ที่ส่วนใดส่วนหนึ่งในแถวลำดับเกิดชำรุด

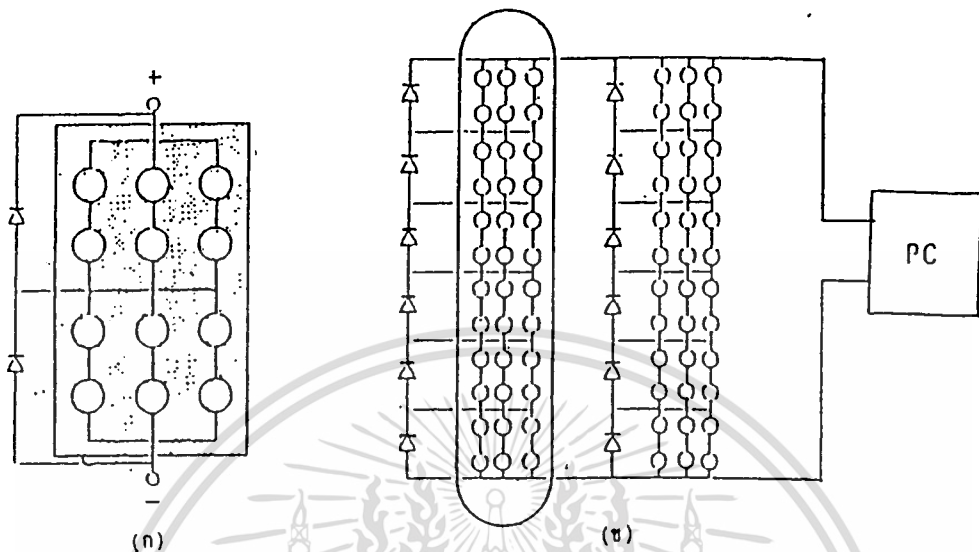
เพื่อความเข้าใจไปในแนวเดียวกันในการแยกชื่อส่วนต่าง ๆ ในวงจรที่มีเซลล์ฯต่อแบบอนุกรมและ ขนาน ให้ดูรูปที่ 3.9 ประกอบ ชุดของเซลล์ฯที่ต่อดังในรูปที่ 3.9 (ก) เมื่อนำมาต่ออนุกรมเพิ่มขึ้นจำนวนหนึ่งจนได้ แรงดันมาตรฐานดังที่กล่าวมาแล้ว เรียกว่า มอดูล(Modules)จัดเข้าแผงได้ รูปที่ 3-9 (ง) ก็เช่นเดียวกันเซลล์ฯ จำนวนหนึ่งต่อขนานกันเรียกว่า ซับโมดูล(Sub Modules) เอาซับโมดูล(Sub Modules) จำนวนหนึ่งต่ออนุกรม กันจนได้แรงดันมาตรฐาน เรียกว่า มอดูล(Modules) หรือสตริงค์(Strings)



รูปที่ 3.9 การต่อเซลล์ฯแสดงอาทิตย์แบบขนานและ(บ)อนุกรม (ก) เซล 2 ตัวต่อขนาน (ข) เซล 2 ตัวต่ออนุกรม (ค) การต่อเซลล์อนุกรม/ขนาน, สามสตริงค์(String)ขนานกันในแต่ละซับโมดูล มี 2 เซล(ต่ออนุกรม๑) (ง) การ ต่อเซลล์ ขนาน/อนุกรม 2ซับโมดูล(Sub Modules) อนุกรมกันในแต่ละซับโมดูล(Sub Modules)มี 3 เซล (ต่อขนานกัน)

ตัวอย่างการต่อเซลล์ฯแบบอนุกรม/ขนาน แสดงเป็น มอดูล(Modules)และวงจรกิ่ง(Branch Circuit) ในรูปที่ 3.10 (ก) มอดูล(Modules)ตัวอย่างนี้ประกอบด้วย 3 สตริงค์(String) ขนานกัน 2 บล็อก(Block)อนุกรม, 2 เซลล์ฯ ต่อซับสตริงค์(Sub String), 2 ไดโอด(Diode)ต่อมอดูล(Modules) ส่วนรูปที่ 3.10 (ข) เป็นวงจรกิ่งที่ต่อ

เสริมเข้าสู่ระบบแถบลำดับ ประกอบด้วย 3 สตริง(String) ขนานกัน, 6 บล็อกอนุกรม(Series Block), 2 เซลล์ต่อซับสตริง(Sub String)ทุกบล็อกมีไดโอด(Diode)เบี่ยงกลุ่ม



รูปที่ 3.10 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม/ ขนาน (ก) มอดูล(Modules) (ข) วงจรกิ่ง(Branch Circuit)

### 3.3.1 การไบแอสตรงของเซลล์แสงอาทิตย์ (Forward Bias of Solar Cell)

เซลล์ฯ ที่ถูกบังเงาจะถูกไบแอสตรง ถ้ามีเซลล์ฯ อีกจำนวนหนึ่ง ( ได้รับแสงและผลิตกำลังไฟอยู่ ) ต่อขนานกับตัวเซลล์ฯ ที่ถูกบังเงา ดังรูปที่ 3.11 (ก) ตามรูปสมมุติแยกซับมอดูล(Sub Modules)ออกมาจากแถวลำดับดังรูป 3.11 (ข) กระแสทั้งหมดที่ผลิตจากเซลล์ฯ (ต่อขนาน) ที่ถูกแสงจะผ่านเข้าไปยังเซลล์ฯ ตัวที่ถูกบังเงา เหตุการณ์นี้มักเกิดในตอนซ่อมบำรุง หรือเปลี่ยนเซลล์ฯ ในแผงกลางแดด

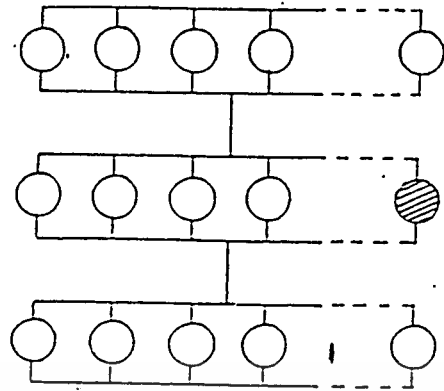
จากวงจรสมมูลในรูป 3.11 (ค) เซลล์ฯ ตัวถูกเงาบังมีลักษณะคล้ายไดโอดธรรมดา ( $I_{SC} = 0$ ) สมมุติมีเซลล์ฯ เหมือนกัน  $n$  ตัวต่อขนานกันแต่ละตัวที่ถูกแสงให้กระแส  $I_{SC} - I_D$  ถ้าเซลล์ฯ 1 ตัวถูกเงาบังมี เขียนสมการกระแสวงจรนี้ได้เป็น

$$(n - 1) (I_{SC} - I_D) = I$$

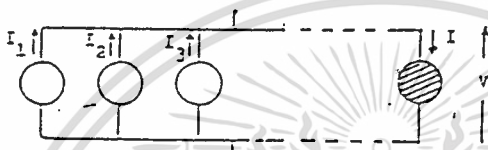
โดย	$I_{SC}$	เป็นกระแสลัดวงจรของเซลล์ฯ ที่ถูกแสง
	$I_D$	เป็นกระแสในตัวไดโอด
และ	$I$	เป็นกระแสผ่านเซลล์ฯ ตัวที่ถูกเงาบัง

ถ้าเซลล์ฯ  $n$  ตัวเหมือนกันทุกประการ เซลล์ฯ ตัวที่ถูกเงาบังจะมี  $I = I_D$  เพราะว่าแรงดัน  $V$  ของไดโอดทุกตัวเท่ากันและให้กระแส

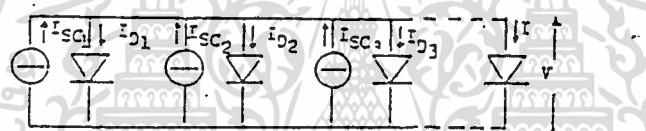
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.12 (ก) เซลล์ต่อขนาน/อนุกรม (ข) การไบแอสตรง(Forward Bias) ของเซลล์ 1 แถว 1 ตัว ใน 1 แถว ในแนวขนาน (ค) วงจรตัวนำของเซลล์ ต่อขนานในแถวเดียว

### 3.3.2 การไบแอสกลับของเซลล์แสงอาทิตย์ (Reverse Bias of Solar Cell)

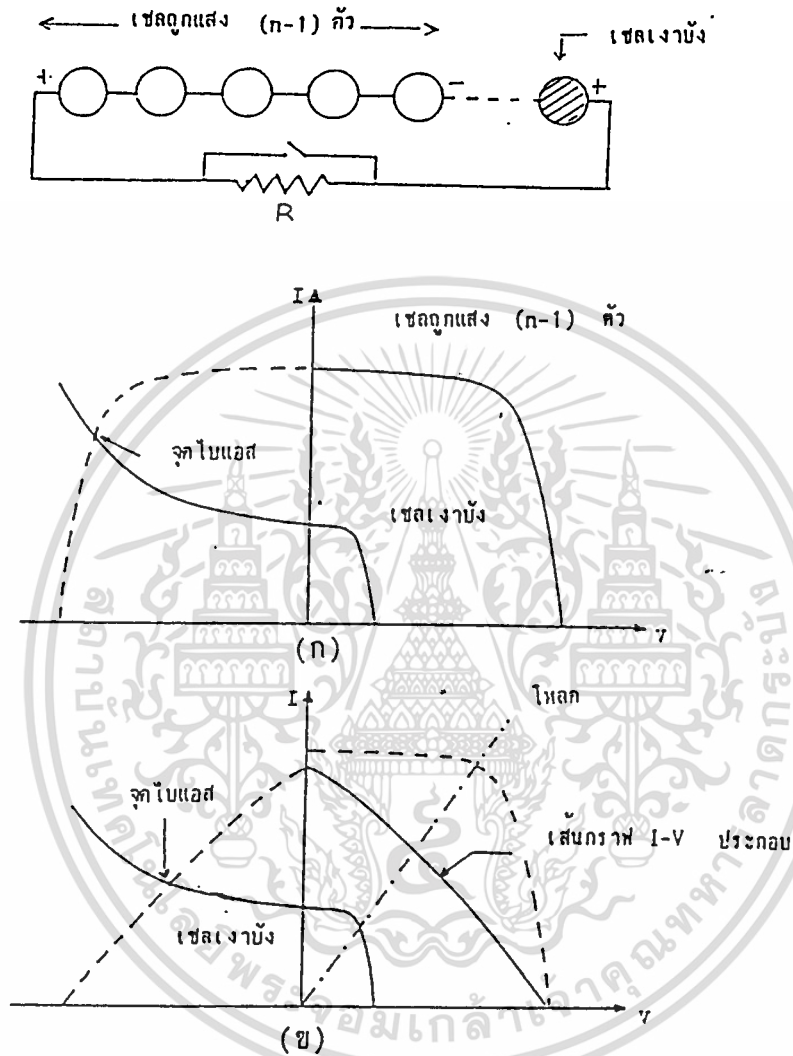
การไบแอสกลับของเซลล์ มักทำความเสียหายแก่เซลล์ (ผลที่ตามมาอาจทำให้เซลล์ทั้งหมดในแผงเสื่อมคุณภาพ) เนื่องจากเกิดความร้อนในตัวเซลล์ สูงเกินไป รูปที่ 3.13 แสดงเป็นกราฟที่ตรงกับปรากฏการณ์ในกรณีการต่อเซลล์ ตัวแบบอนุกรมต่างๆ โดยรูป 3.13 (ก) ในภาวะลัดวงจร 3.13 (ข) ในภาวะมีโหลด(Load) มาเกี่ยวข้อง เมื่อเซลล์ 1 ตัวมีกระแสต่างจากเซลล์ ตัวอื่นที่ต่ออนุกรมอยู่อาจมีสาเหตุมาจากการถูกเงาบังหรือเกิดการชำรุด เช่น กริด(Grid)แตกหัก เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงกำลังในตัวเซลล์ เนื่องจาก แรงดันของเซลล์ อื่น ๆ จะไปไบแอสกลับ(Reverse Bias) ต่อเซลล์ตัวนั้น จุดไบแอสของเซลล์ ตัวที่มีปัญหาได้จากจุดตัดระหว่างเส้นลักษณะเฉพาะ I-V กลับของมันกับเงาลักษณะเฉพาะตรงของ I-V อื่นที่ต่ออนุกรมอยู่ และโหลด(Load)ภายนอก

ในภาวะลัดวงจรเงาเส้น I-V ที่กล่าวถึงคือเส้น I-V ของเซลล์ (n-1) ตัว ส่วนในกรณีมีโหลด(Load) ต่ออนุกรมอยู่จะต้องคำนวณหาเงาของเส้น I-V โดยเอาแรงดันที่ตกคร่อมโหลด(Load) หักออกจากเส้น I-V เดิมเสียก่อน จากรูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นผลร้ายจากภาวะลัดวงจรเพราะว่าแรงดันรวมทั้งหมดของเซลล์ที่ถูกแสงจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปไบแอสกลับ (Reverse Bias) เซลล์ฯ ตัวเงาบัง กำลังขึ้นเปลืองอาจสูงมาก ดังนั้นในแถวลำดับแรงดันสูง(High Voltage Arrays) จึงควรมีครีวงจรออกแบบมอดูล(Modules)ให้มีการป้องกันที่เหมาะสมเพื่อความปลอดภัยของเซลล์ฯขณะทำงาน



รูปที่ 3.14 การถูกไบแอสกลับของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตัวที่อยู่ในสตริง(String)

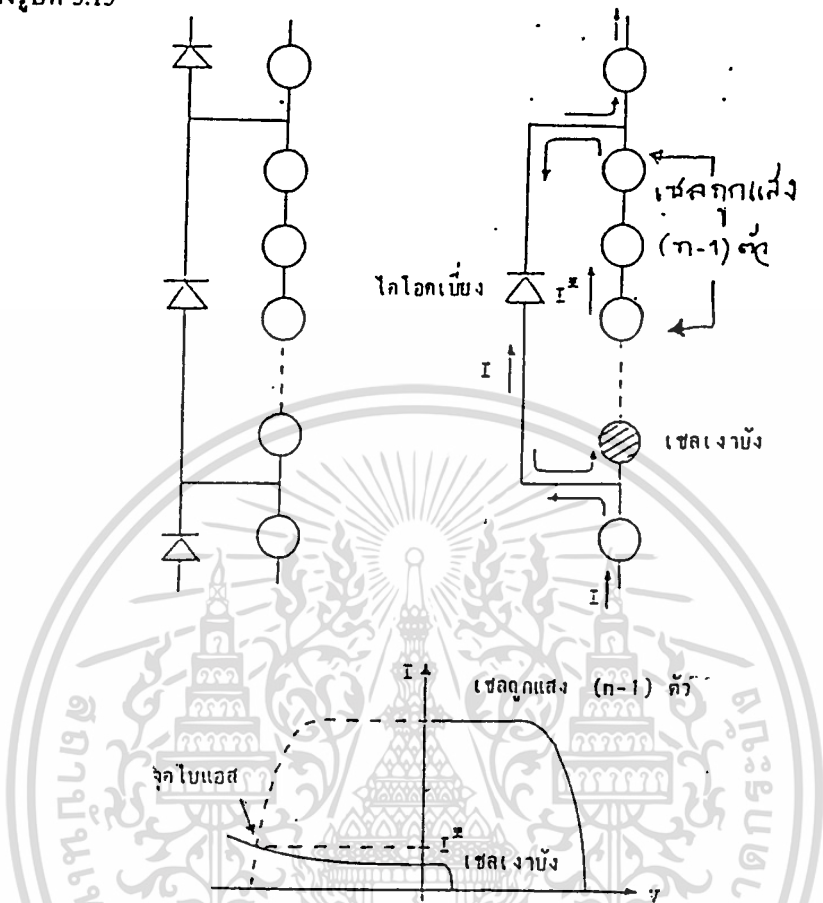
(ก) การแสดงกราฟเพื่อหาจุดไบแอส(Bias)ในกรณีฉลวงจร

(ข) เช่นเดียวกับ (ก) แต่มีโหลด(Load) ด้วย

### 3.3.3 การต่ออนุกรมเซลล์ฯ เดียวในหนึ่งสตริง (String)

ถ้าเซลล์ฯของมอดูล(Modules) ต่อในลักษณะเซลล์ฯ เดียวอนุกรมกัน เกณฑ์เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานของเซลล์ฯ คือจำกัดจำนวนเซลล์ฯ ที่ต่ออนุกรมจำนวนหนึ่ง ซึ่งให้แรงดันรวมสูงสุดต่ำกว่า แรงดันทั้งของเซลล์ฯ ดังนั้นเซลล์ฯ เงาบังจึงไม่มีโอกาสที่จะรับแรงดันสูงถึงขนาดแรงดันทั้งแน่นอน ถ้าจำเป็นต้องมีแรงดันออกสูงกว่า ก็อาจทำได้โดยใช้ไดโอดเบี่ยง(Bypass Diode) ต่อคล่อม(ขนาน) เซลล์ฯ  $n$  ตัวที่ต่ออนุกรมอยู่

การต่อให้อยู่ในลักษณะไดโอด(Diode) ถูกไบแอสกลับ(Reverse Bias)ในขณะที่เซลล์ฯ ทุกตัวกำลังทำงานในสภาวะปกติดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เซลล์ฯเดียวต่ออนุกรมพร้อมด้วยไดโอด(Diode)เบี่ยง

ดังรูปที่ 3.15 เมื่อเซลล์ฯ ตัวใดถูกเงาบัง(หรือชำรุด) กระแส  $I$  ที่ผลิตได้ต่ำมาก มันจะถูกไบแอสกลับ(Reverse Bias)จากแรงดันที่ผลิตจากเซลล์ฯ อื่น ๆ ที่ต่ออยู่ในช่วงที่มีไดโอด(Diode)เบี่ยงคล่อมอยู่ ขณะเดียวกันไดโอดนี้จะถูกไบแอสตรงด้วยแรงดันเดียวกันและมีกระแส  $I$  ไหลเลี้ยวไปผ่านไดโอด(Diode) กระแส  $I$  นี้เกิดจากเซลล์ฯ ที่อยู่นอกบ่วง(Loop) ของไดโอด(Diode) ตัวนี้ กรณีนี้ไดโอด(Diode)ประพฤติตัวเป็นวงจรกั้ต่อเซลล์ฯภายในบ่วงไดโอด(Diode Loop) ดังนั้นจะหาจุดไบแอส(Bias) ของเซลล์ฯ เงาบังได้ด้วยการสร้างกราฟดังที่เคยกล่าวมาแล้วดังร่างที่อยู่ในรูป 3.15

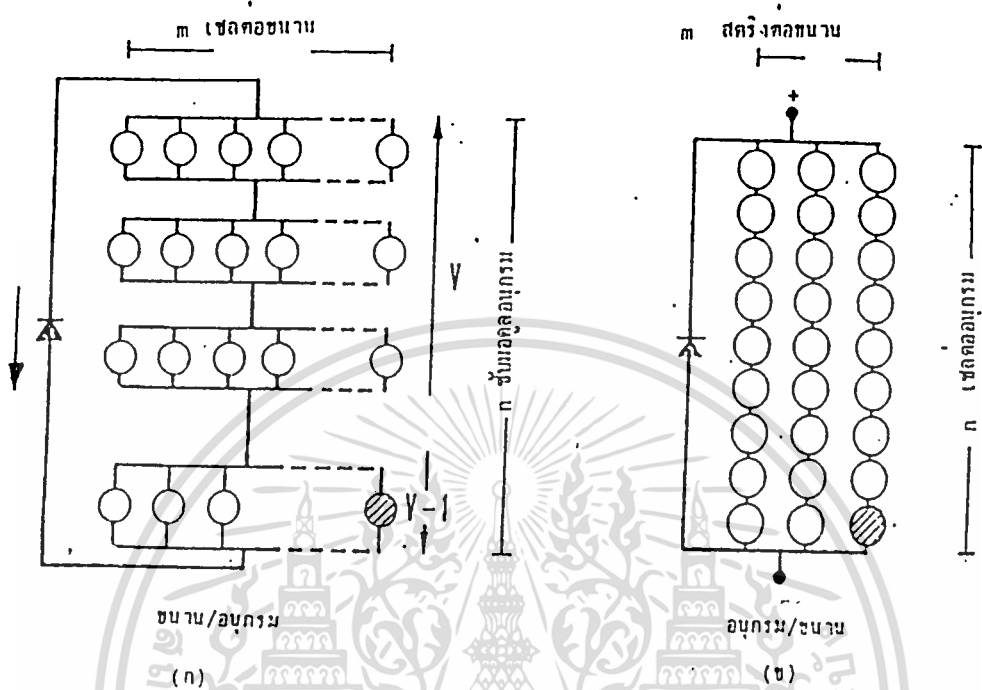
ไดโอด(Diode)เบี่ยงเป็นตัวจำกัดแรงดันไบแอสกลับ(Reverse Bias) ของเซลล์ฯ เงาบังเพราะเซลล์ฯที่ต่ออนุกรมซึ่งเป็นตัวการในการไบแอสกลับ(Reverse Bias) เป็นเซลล์ฯที่อยู่ในบ่วงไดโอด(Diode Loop) เท่านั้นเซลล์ฯที่อยู่ข้างนอกไม่เกี่ยว

### 3.3.4 การต่อขนาน/อนุกรมของเซลล์ฯ ในสตริง (String)

ในการต่อเซลล์ฯ ขนาน  $m$  ตัว ( 1 ซับมอดูล(Sub Module) และต่ออนุกรม  $n$  ซับมอดูล(Sub Module)

ถ้าเซลล์ฯ 1 ตัวถูกเงาบัง ความรุนแรงของการไบแอสกลับ(Reverse Bias) ต่อตัวมันจะน้อยเพราะว่าเซลล์ฯ ตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นทุกตัวที่ต่อขนานกับมันจะต้องถูกแรงดันไบแอส(Bias)อันเดียวกัน ในกรณีนี้เซลล์ ตัวอื่น ๆ (ที่ถูกแสง) จะขนานกันจะสิ้นเปลืองกำลังสูงกว่าเซลล์ ตัวถูกเงาบังเสียอีก เพราะที่แรงดันเดียวกัน มันจำต้องเฉลี่ยกันรับภาระกระแสเต็มที่ดังรูป 3.16 (ข)



รูปที่ 3.16 รูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์เป็นมอดูล(Module) หรือ สตริง(String)

(ก) มอดูล(Module)ของเซลล์ ที่ต่อขนาน/อนุกรม

(ข) การต่อเซลล์ แบบอนุกรม/ขนาน

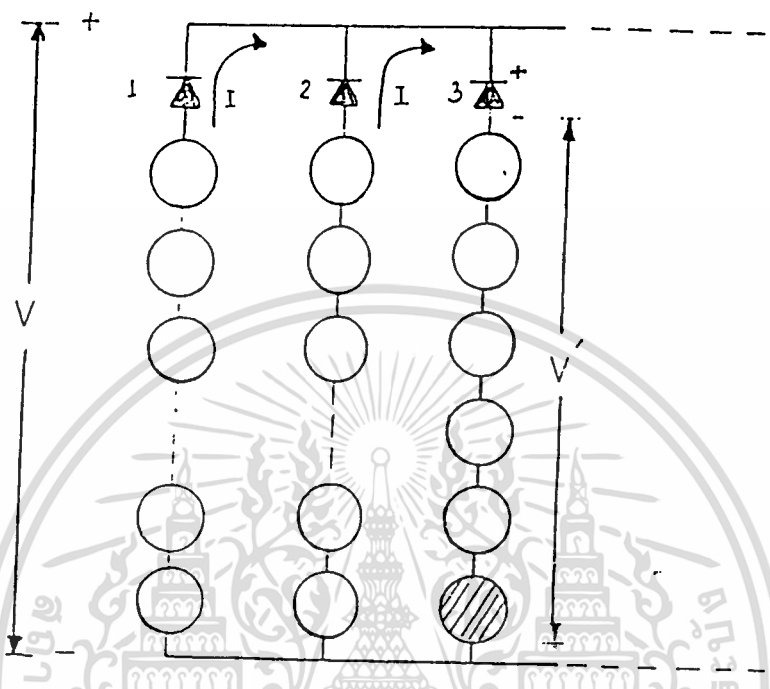
สมมติต่อ ไดโอด(Diode) เบี่ยงคล่อม  $n$  ซับมอดูล(Sub Module) ที่อนุกรมกัน ขณะนี้กำลังพิจารณาในแง่เมื่อเกิดภาวะการไบแอสกลับ(Reverse Bias) สำหรับเซลล์ เงาบัง 1 ตัวในกลุ่มเซลล์ ขนาน (ในซับมอดูล (Sub Module) อันในอันหนึ่ง)

**หมายเหตุ** ซับมอดูล(Sub Module) ที่มีเซลล์ เงาบังจะถูกสไบแอสกลับ(Reverse Bias)เมื่อซับมอดูล (Sub Module) ที่เหลือซึ่งอยู่ในสตริง(String) อนุกรมเดียวกัน พยายามดันกระแสซึ่งมากกว่าให้ผ่านซับมอดูล(Sub Module) ที่มีเซลล์ เงาบัง(กระแสสูงกว่า  $I_{sc}$  ของมันที่ควรจะมีตามปกติ สำหรับไดโอด(Diode)เบี่ยงมันจะถูกไบแอสตรง(Forward Bias)ทันทีที่ซับมอดูล (Sub Module) นี้ถูกไบแอสกลับ(Reverse Bias) เลี่ยงกระแสไม่ให้อ่านสตริง(String)นี้

### 3.3.5 รูปแบบการต่อเซลล์อย่างอนุกรม/ขนาน

ในกรณีของรูปที่ 3.13 (ข) ไดโอด(Diode)ขณะนำกระแสจะแยกสตริง(String) ( $m$  สตริง(String))ออกจากกันเพราะแต่ละสตริง(String) ขั้วทั้งสองของมันลัดวงจร ดังนั้นการวิเคราะห์จะใช้วิธีการคล้ายกับกรณีสตริง (String) ที่มีเซลล์ เดี่ยวต่ออนุกรมกันพร้อมทั้งมีไดโอด(Diode)เบี่ยงหนึ่งตัว ในการใช้งานจะมีไดโอดกักกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Blocking Diode) ต่อกันอนุกรมที่หัวของสตริง(String) แต่ละชุด ลักษณะการต่อให้ไดโอด(Diode) ถูกไบแอสตรง (Forward Bias)ขณะใช้งานปกติ ถ้าเซลล์ฯ หนึ่งตัวในสตริง(String) ใดชำรุดหรือเงาบัง เช่นในสตริง(String) ที่ 3 ของรูปที่ 3.17



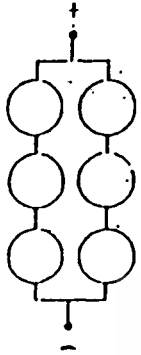
รูปที่ 3.17 การต่อเซลล์ฯอนุกรม/ขนาน แต่ละสตริง(String)มีไดโอดกักกันอนุกรมอยู่

แรงดันคล่อมเซลล์ฯ ในสตริง(String) 3 เป็น  $V' < V$  ไดโอด(Diode) 3 จะถูกไบแอสกลับ(Reverse Bias)จึงป้องกันไม่ให้กระแสจากสตริง(String) อื่นไหลเข้ามายังสตริง(String) นี้ เท่ากับแยกสตริงนี้ออกไปจากแถวถ้าดับเซลล์ฯ (คล้ายกับสตริง(String) นี้วงจรเปิดเมื่อไดโอด(Diode) 3 ถูกไบแอสกลับ(Reverse Bias)) ต่อไปนี้จะใช้รูปแสดงพฤติกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ฯ ที่ต่อในรูปแบบอนุกรม/ขนาน

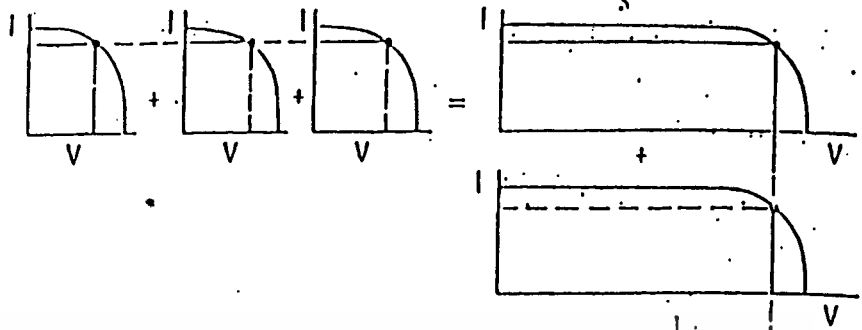
3.3.6 ผลของจุดร้อนในเซลล์ฯ ที่ขนาน ( Hot Spot )

จากการตั้งสมมุติฐานว่าเซลล์ฯ ทุกตัวที่ขนานกันมีลักษณะเฉพาะ I-V เหมือนกันทุกประการ แต่ที่จริงแล้วถึงแม้เซลล์ฯ จากกระบวนการผลิตเดียวกันก็ยังมีแรงดันหึ่งแตกต่างกันไป สิ่งนี้เป็นปัญหาทำให้เกิดปรากฏการณ์จุดร้อน(Hot Spot)ขึ้นได้ สำหรับการต่อเซลล์ฯ ขนาน/อนุกรม ชับมอดูล(Sub Modules)ใดถูกไบแอสกลับเนื่องจากมีเซลล์ฯบางตัวถูกเงาบัง(หรือชำรุด) เซลล์ฯ ดี (หมายถึงเซลล์ฯ ที่ถูกแสง) ทุกตัวที่ขนานอยู่จะต้องรับกระแสสูงขึ้นกว่า  $I_{sc}$  ตามปกติของมัน ถ้าเซลล์ฯ ตัวใดตัวหนึ่งมีค่าแรงดันหึ่งต่ำกว่าตัวอื่น เมื่อแรงดันไบแอสกลับเพิ่มขึ้นมันจะต้องรับภาระกระแสทั้งหมดที่ไหลผ่าน ชับมอดูล(Sub Modules)นี้ ทำให้เกิดกำลังสิ้นเปลืองอย่างมากร้อนจนไหม้ และอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์ฯ ทั้งแผงกรณีที่เลวร้ายยิ่งคือเมื่อเกิดเงาบังเซลล์ฯ ทุกตัวที่ต่อขนานกันในชับมอดูล(Sub Modules)หนึ่งของสตริง(String) เซลล์ฯ ที่มี  $V_{BR}$  สูงกว่าจะมีกระแสผ่านน้อยมากเมื่อเกิดการไบแอสกลับ(Reverse Bias)ต่อชับมอดูล(Sub Modules)นี้ ขณะที่เซลล์ฯที่มี  $V_{BR}$  ต่ำสุดตัว

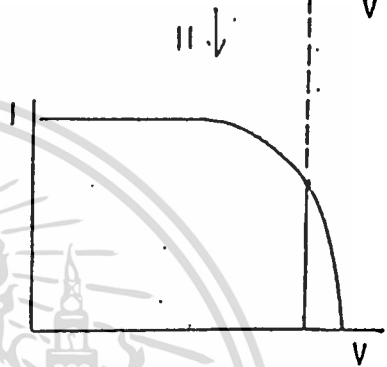
เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



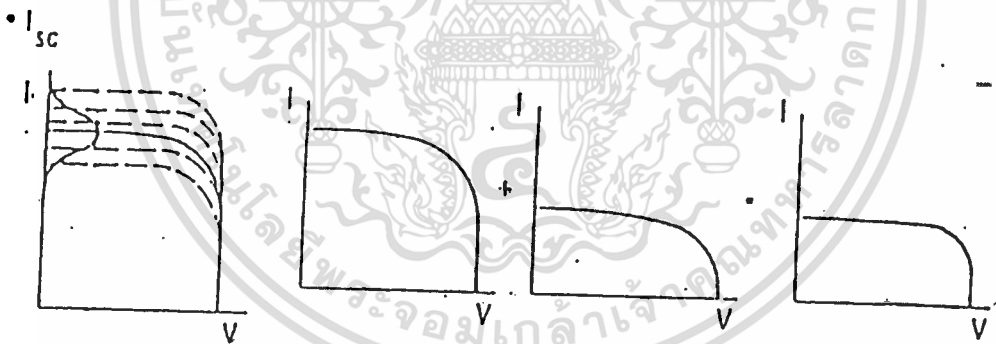
- เซลล์อนุกรมให้รวมแรงดันตามแนวเส้นกระแสแสงตัว



- เซลล์ขนานให้รวมกระแสตามแนวเส้นแรงดันคงตัว

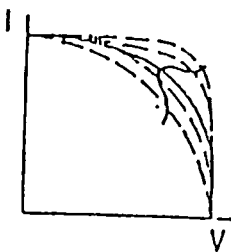


รูปที่ 3.17 กราฟลักษณะเฉพาะสำหรับเซลล์ฯ ต่ออย่างอนุกรม//ขนาน ในกรณีทุกตัวเหมือนกันทุกประการ



- ผลของความไม่คู่ควรที่รุนแรงแสดงออกที่เส้นกระแสแสงตัว

• FF

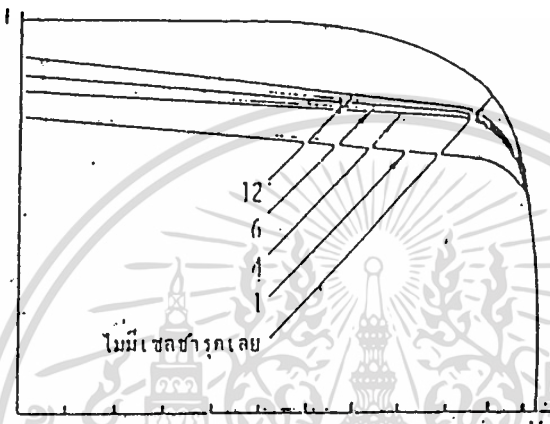
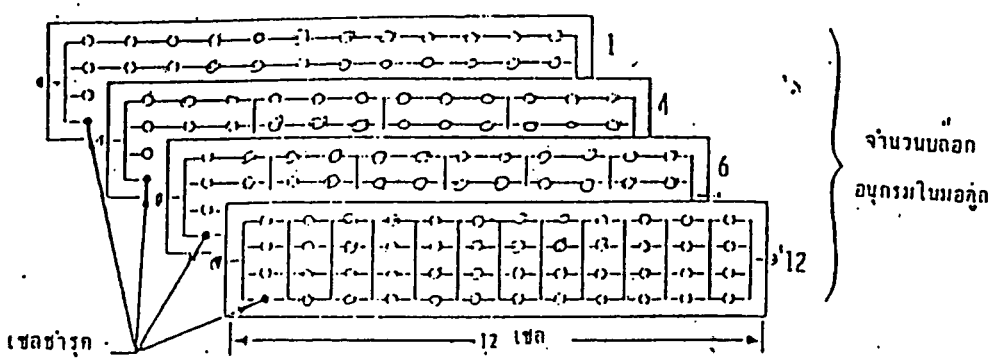


- ผลของความไม่คู่ควรไม่รุนแรงกว่าในกรณีที่มีความแตกต่างใน  $I_{sc}$

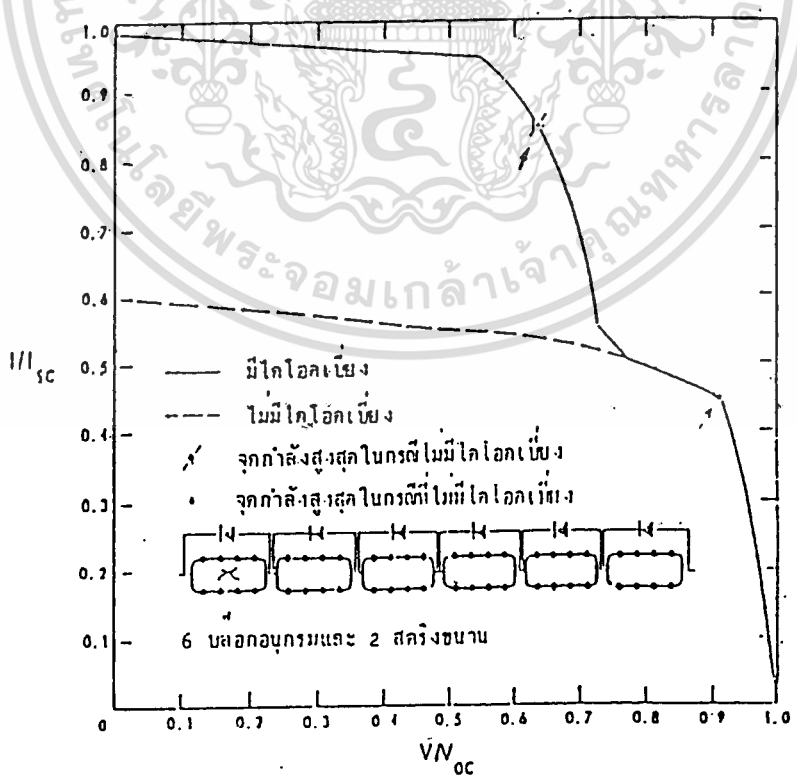
รูปที่ 3.18 เซลล์ฯ ไม่คู่ควรกันต่ออนุกรมเกิดปัญหาการสูญเสียกำลังอย่างมากโดยใช้การกระจายมุมของ

(ก) กระแสดีควงจร (ข) ฟิโธแพคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สหรับการเชิงในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ผลของการต่อเซลล์ 1 แบบอนุกรม/ขนานที่มีต่อมอดูล (Module) ซึ่งมีเซลล์ 1 ซารุก 1 ตัว



รูปที่ 3.20 กราฟลักษณะเฉพาะ I-V สำหรับกรณีเซลล์ 1 ซารุก 1 ตัว และมีไดโอด (Diode) เบียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ข้อจำกัดบางประการของการต่อเซลล์ โนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Panel)

การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) จะไม่ใช่แผงเซลล์ ใหญ่เพียงแผงเดียว แต่จะใช้โมดูล(Module)ย่อยซึ่งมีระดับแรงดันมาตรฐานมาต่ออนุกรม/ขนาน หรือ ขนาน/อนุกรม เพื่อให้ได้แรงดันและกำลังไฟตามระบบที่ต้องการ

อาจสรุปข้อควรจำในการต่อเซลล์ ไว้พอสังเขปดังนี้

(1) เพื่อให้ได้กำลังไฟและแรงดันสูง ๆ จะต้องนำเซลล์ จำนวนหนึ่งมาต่ออนุกรมและขนานอยู่ในแผง

(2) การเลือกเซลล์ ให้คู่ควรกัน โดยทั่ว ๆ ไปเซลล์ ที่นำมาต่อขนานกันควรมีแรงดันวงจรเปิดเท่ากันทุกตัวและที่สำคัญที่สุดคือ เซลล์ ทุกตัวจะต้องมีแรงดันที่จุดกำลังไฟสูงสุดเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ส่วนเซลล์ ที่จะนำมาต่ออนุกรมควรมีกระแสลัดวงจรเหมือนกันและมีกระแสที่จุดกำลังไฟสูงสุดเท่ากัน ถ้าหากใช้เซลล์ ที่ไม่คู่ควรกัน ผลก็คือจะได้แผงที่ประสิทธิภาพต่ำเพราะเซลล์ ที่มีแรงดันและกระแสไฟสูงกว่าจะถ่ายกำลังเกินพอของมันเข้าไปทำให้สั้นเปลืองกำลังไฟในเซลล์ ที่มีลักษณะเลวกว่า ผลลัพธ์ก็คือการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อันนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำหรือไม่มีเลยไปทางเซลล์ ตัวที่มีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อเกิดกำลังสั้นเปลืองในเซลล์ ก็ทำให้กำลังไฟที่ออกจากแผงลดลง โยงกันเป็นลูกโซ่

(3) การป้องกันการเกิดปัญหา “จุดร้อน” (Hot Spot) ให้ใช้เซลล์ ต่อขนานจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ แล้วจึงต่ออนุกรมเป็นสตริง(String) แบบนี้ถ้ามีเซลล์ ชำรุด 1 ตัว กำลังไฟจะไม่ตกมาก ถ้าการต่อเซลล์ ขนานจำนวนมาก ๆ เป็นไปได้ยาก อาจแก้ปัญหาโดยการต่อไดโอดเบี่ยงคล่อมเซลล์ ขนานในสตริง (String) (คร่อมทุก ๆ ชับโมดูล(Sub Module) มันจะยอมให้กระแสกลับจำนวนมากผ่านที่แรงดันกลับต่ำเวลามีเซลล์ 1 ตัวชำรุด

โมดูล(Module) หรือแผงเซลล์ ที่ซื้อขายกันในปัจจุบันมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ตัวเซลล์ แสงอาทิตย์เปราะแตกหักง่าย จึงต้องป้องกันทั้งสองด้านโดยติดเซลล์ บนซับสเตรท ด้านหน้าประกบด้วยแผ่นกระจก วัสดุที่ใช้ประกบเพื่อป้องกันเซลล์ นี้ควรมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนใกล้เคียงและสอดคล้องกับของซิลิกอน(Silicon) เซลล์ และกาว ปัจจุบันแผ่นกระจกใสจะใช้พวกแก้วและพลาสติกกันอย่างกว้างขวาง เซลล์ สุริยะที่ใช้แผ่นกระจกแก้วปิดมีข้อได้เปรียบตรงที่สมบัติทางทัศนศาสตร์ทางไฟฟ้าและทางกลไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการใช้งานตามปกติเป็นเวลานาน ๆ ส่วนพวกโพลีเมอร์(Polymer)ไม่สามารถป้องกันความชื้นที่เล็ดลอดเข้าไปยังรอยต่อและส่วนที่เป็นโลหะมันจะใช้งานได้ ถ้าส่วนที่อยู่ใต้เซลล์ และพวกโลหะภายในมีการป้องกันสนิมอย่างดี พลาสติกมีน้ำหนักเบาว่าแก้วมากแต่ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมเพราะบางชนิดเมื่อใช้งานไปเป็นเวลานาน ๆ อาจเกิดการเสื่อมในแง่ของการทะลุผ่านแสงและความทนแรงดึง (Tensile Strength) ปัจจุบันการพัฒนาในวิชาการโพลีเมอร์(Polymer)ทำให้ได้พลาสติก(Plastic)ที่มีสมบัติดีขึ้น

### 3.5 การเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Panel)ไปใช้งานแล้ว มันเกิดการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Panel)ขึ้น เราจึงควรรู้ถึงสาเหตุและสามารถตรวจสอบเพื่อป้องกันความเสียหายให้น้อยที่สุด การเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์(Solar Panel)พอสรุปได้ดังนี้

1. การมีฝุ่นละอองหรือเศษผงต่าง ๆ สะสมอยู่บนแผงเซลล์ฯ เป็นจำนวนมาก จึงควรมีการล้างทำความสะอาดแผงเซลล์ฯ เป็นระยะเวลาที่เหมาะสม
2. การเสื่อมสภาพในด้านกรอมให้แสงผ่านของแก้วหรือวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มตัวเซลล์ฯ เนื่องจากแสงอุลตราไวโอเลต
3. การเกิดรอยแตกหรือร้าวของแผงที่ใช้ห่อหุ้มตัวเซลล์ฯ แสงอาทิตย์ ทำให้ความชื้นเข้าไปถึงตัวเซลล์ฯ แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ได้
4. การเกิดคอร์เรชัน (Corrosion) ที่ผิวสัมผัสของตัวเซลล์ฯ
5. การเกิดการกร่อนของโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าของเซลล์ฯ เนื่องจากการสัมผัสหรือการขยายตัวเนื่องจากความร้อนและความเย็นในการใช้งาน
6. การเกิดสาขาระหว่างการต่อตัวเซลล์ฯ ทำให้เซลล์ฯ บางตัวเกิดความเสียหายขึ้น
7. การเกิด "จุดร้อน" (Hot Spot) เนื่องจากเซลล์ฯ ถูกบังเงา

### 3.6 อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) และระบบโฟโตโวลตาอิกเป็นครรชนที่จะชี้ให้เห็นถึงความคุ้มค่าเศรษฐกิจของการใช้งานอีกทางหนึ่ง เนื่องจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีนี้ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงใด ๆ นอกจากพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานได้เปล่า และมีให้ใช้ชั่วนิรันดร์ ราคาทั้งหมดจึงขึ้นอยู่กับราคาอุปกรณ์และอายุการใช้งานของอุปกรณ์เท่านั้น

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ทำจากสารกึ่งตัวนำที่ผ่านกระบวนการสร้างหัวต่อ P-N ที่อุณหภูมิสูงมาก ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) แต่เมื่อนำมาใช้งานในภาคสนามจะมีอุณหภูมิใช้งานเพียง  $30-35^{\circ}\text{C}$  สำหรับความเข้มแสงปกติหรือมีอุณหภูมิใช้งาน  $80-150^{\circ}\text{C}$  สำหรับความเข้มแสงสูง ดังนั้น เงื่อนไขของการใช้งานเช่นนี้จะไม่สามารถทำให้โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เสียหายได้เลย สาเหตุที่จะทำให้เซลล์ฯ เสียหายจึงมักได้แก่การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดจากสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น ไอเคมีที่มีอยู่ในบรรยากาศซึ่งอาจกระทำให้ขั้วโลหะของเซลล์ฯ เกิดการผุกร่อน ร้อนหัก หรือหลุดในที่สุด สาเหตุอีกประการหนึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางกลศาสตร์ เช่น การสัมผัส

## บทที่ 4

### ลักษณะของโครงการ

#### 4.1 บทนำหลักการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic System)

การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic System) จะประกอบด้วยการเลือกโครงสร้างที่เหมาะสมของระบบ และการเลือกขนาดของส่วนประกอบต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสภาพของอากาศ และความถี่ของภาระทางไฟฟ้า โดยจะต้องคำนึงถึงราคาต่อหน่วยพลังงาน ความเชื่อถือได้ของระบบ และปัญหาการบำรุงรักษาระบบเป็นหลัก ในช่วง 7-8 ปีที่ผ่านมา เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาให้มีราคาต่อวัตต์ลดลงหลายเท่าตัว แต่อย่างไรก็ดี ปัญหาการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบันก็ยังคงอยู่ที่ราคาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นส่วนใหญ่ จากปัญหาดังกล่าว ทำให้มีการคิดหาวิธีที่จะลดจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ลง เช่น การใช้วิธีการรวมแสงให้มีความเข้มข้นสูง (100-200 เท่า) หรือแบบที่มีความเข้มข้นปานกลาง (20-50 เท่า) ซึ่งในทั้งสองกรณีจะต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบพิเศษให้มีความต้านทานอนุกรมต่ำ และสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูง ระบบรวมแสงนี้มีความยุ่งยากมากจึงเหมาะสำหรับระบบที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น นอกจากนี้จะใช้วิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ เช่น การปรับปรุงการแผ่รังสีระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับภาระทางไฟฟ้า เพื่อให้กำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดตลอดเวลา อันเป็นการเพิ่มปริมาณของพลังงานออกของระบบให้มากขึ้น

ได้มีการคำนวณเปรียบเทียบปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกบนระนาบของตัวรับแสง ในกรณีที่มีการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน (ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก) กรณีที่มีการติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว (ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก) และกรณีที่ติดตั้งอยู่กับที่ โดยไม่คิดผลของสภาพอากาศของท้องถิ่น พบว่าการใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน จะได้รับพลังงานเฉลี่ยต่อปีเพิ่มขึ้นจากกรณีที่มีการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน ประมาณ 5-10% และได้รับพลังงานเพิ่มจากกรณีที่ติดตั้งอยู่กับที่ประมาณ 50% (1) ในกรณีที่เราก็คผลของสภาพอากาศของท้องถิ่น ความแตกต่างของปริมาณของแสงที่ได้รับในทั้งสามกรณีจะลดลงอันเนื่องมาจากการลดลงของปริมาณในแสงที่มาจกดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct radiation) สำหรับกรุงเทพมหานคร ปริมาณของแสงที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงเฉลี่ยต่อปี จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณแสงที่ได้รับทั้งหมด (2) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความเป็นไปได้โดยจะศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผงราบตามดวงอาทิตย์โดยจะศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผงราบ และปริมาณที่เพิ่มของพลังงานของระบบจากผลการติดตามดวงอาทิตย์ โดยคำนึงถึงพลังงาน ต้องใช้ในการหมุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ด้วย

#### 4.2 ทฤษฎีพื้นฐาน

##### 4.2.1 ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์แบบวงรอบปิด

หลักการของระบบ ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์แบบวงรอบปิดนั้นอาจถือได้ว่าเป็นระบบควบคุมตำแหน่งแบบที่มีการป้อนกลับ (Feedback position control system) อย่างหนึ่งซึ่งมีตำแหน่ง

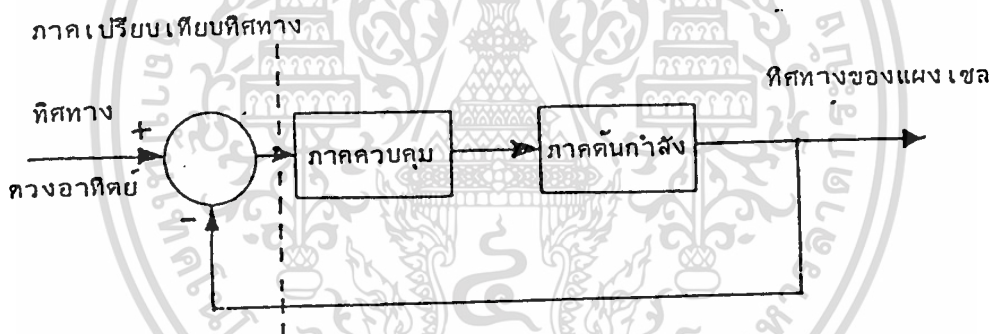
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือทิศทางของดวงอาทิตย์เป็นตัวควบคุมตำแหน่งหรือทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบนี้จะมีการตรวจจับทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับทิศทางจริงของดวงอาทิตย์ตลอดเวลา เมื่อมีความแตกต่างของทิศทางทั้งสองเกิดขึ้น ตัวเปรียบเทียบทิศทางจะส่งสัญญาณออกไปควบคุมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนไปในทิศทางของดวงอาทิตย์เพื่อลดความแตกต่างระหว่างทิศทางทั้งสอง ความผิดพลาดในการติดตามดวงอาทิตย์ของระบบนี้จะขึ้นอยู่กับความไวของตัวเปรียบเทียบทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับทิศทางจริงของดวงอาทิตย์

- โครงสร้างของระบบ ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์แบบวงรอบปิดจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้คือ

- ภาคตรวจจับ และเปรียบเทียบทิศทาง
- ภาคควบคุม
- ภาคคั่นกำลังขับเคลื่อนแผงเซลล์

ซึ่งเราอาจจะเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้คือ



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์แบบวงรอบปิด

ก) ภาคตรวจจับ และเปรียบเทียบทิศทาง อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับทิศทางของดวงอาทิตย์ และแผงเซลล์โดยทั่วไปจะเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแสง (Photosensitive device) เช่น โฟโตโวลตาอิกเดวิซ (Photovoltaic Device) หรือ (Photoconductive Device) เป็นต้น สำหรับการเปรียบเทียบทิศทางจะอาศัยการเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่ตกกระทบอุปกรณ์ไวแสงซึ่งทำได้สองวิธีคือ

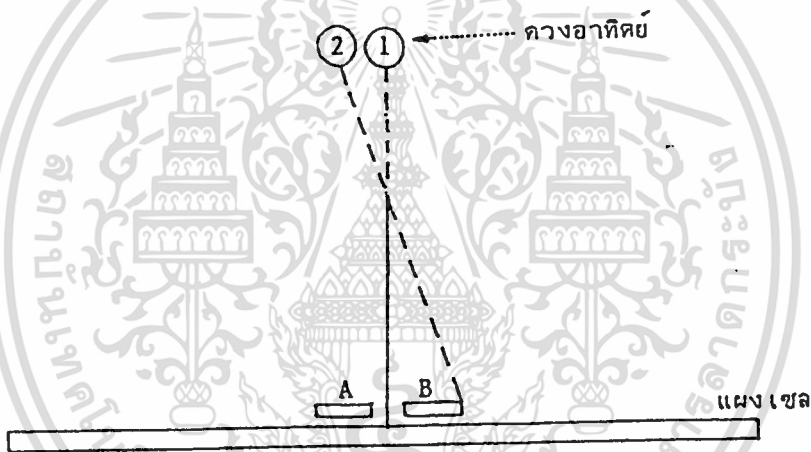
- การวางอุปกรณ์ไวแสงให้มีทิศทางต่างกัน (Angular sensors) วิธีการนี้จะติดตั้งอุปกรณ์ไวแสง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กซึ่งมีลักษณะเหมือนกันให้ทำมุมกันค่าหนึ่ง โดยให้ระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบของอุปกรณ์ทั้งสองอยู่ในแนวตะวันออกตะวันตก อุปกรณ์ไวแสงทั้งสองจะติดอยู่กับแผงเซลล์โดยทำมุมกับเส้นตั้งฉากของแผงเซลล์เท่า ๆ กัน เมื่อแผงเซลล์ทำมุมฉากกับแนวทิศทางของดวงอาทิตย์ อุปกรณ์ทั้งสองจะได้รับความเข้มของแสงเท่า ๆ กัน แต่ถ้ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นจะทำให้อุปกรณ์ทั้งสองได้รับความเข้มข้นไม่เท่ากัน อันจะเป็นการชี้บอกให้ทราบว่าดวงอาทิตย์อยู่เอียงไปทางทิศใดของแนวตั้งฉากของแผงเซลล์ ในกรณีที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้มีการติดตามในแนวเหนือ-ใต้ การเปรียบเทียบโดยวิธีนี้จะให้ความแม่นยำไม่สูงนัก คือจะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 2-5 องศา

- การบังให้เกิดเงา (Shadow sensor) วิธีการนี้เราจะวางอุปกรณ์ไวแสงซึ่งมีลักษณะเหมือนกันไว้สองข้างของวัตถุที่แสงซึ่งวางตั้งฉากกับแผงเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ในระบบที่มีการติดตามในแนวตะวันออก-ตะวันตก อุปกรณ์ไวแสง A และ B จะวางอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก แต่ถ้าต้องการให้มีการติดตามในแนวเหนือ-ใต้ด้วยเราก็ต้องเพิ่มอุปกรณ์ที่มีลักษณะเหมือนกันอีก 1 ชุด แต่จะต้องวางอุปกรณ์ A และ B ให้อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ จากในรูปที่ 2 เราจะเห็นได้ว่าถ้าแผงเซลล์ทำมุมตั้งฉากกับแนวทิศทางของดวงอาทิตย์ตั้งในตำแหน่ง 1 ทั้ง A และ B จะได้รับความเข้มของแสงเท่ากัน แต่ถ้าเกิดมีความคลาดเคลื่อนตั้งในตำแหน่ง 2 เซลล์ B จะถูกบังไม่ให้ได้รับแสง ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเป็นการชี้บอกให้ทราบว่าดวงอาทิตย์อยู่เอียงไปทางทิศใดของแนวตั้งฉากของแผงเซลล์ การเปรียบเทียบทิศทางโดยวิธีนี้ ความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับความยาวของอุปกรณ์ทำให้เกิดเงาโดยความแม่นยำจะสูงขึ้นเมื่อความยาวเพิ่มขึ้น วิธีการนี้อาจจะให้ความแม่นยำได้ถึง 0.1 องศา (3)



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบทิศทางโดย การบังให้เกิดเงา

ลักษณะสัญญาณออกของตัวเปรียบเทียบทิศทางอาจจะเป็นสัญญาณขึ้นหรือสัญญาณต่อเนื่องก็ได้ซึ่งจะแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ

- **สัญญาณศูนย์** เป็นสัญญาณที่แสดงว่าความแตกต่างของทิศทางของแผงเซลล์กับทิศทางของดวงอาทิตย์น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่ตัวเปรียบเทียบทิศทางจะสามารถตรวจจับได้
- **สัญญาณบวก** เป็นสัญญาณที่แสดงว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่เอียงไปทางทิศตะวันตกของแนวตั้งฉากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (หรืออาจจะเป็นตรงกันข้ามก็ได้)
- **สัญญาณลบ** หมายถึงสัญญาณที่แสดงว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่เอียงไปทางทิศตะวันออกของแนวตั้งฉากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (หรืออาจจะเป็นตรงกันข้ามก็ได้)

ขนาดของสัญญาณออกของตัวเปรียบเทียบทิศทางนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของทิศทางของแผงเซลล์กับทิศทางของดวงอาทิตย์แล้วยังจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct

radiation) คำนึงความแม่นยำของตัวเปรียบเทียบทิศทางจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ด้วย สาเหตุนี้จะทำให้อุปกรณ์ตรวจจับ และเปรียบเทียบทิศทางของดวงอาทิตย์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถทำงานได้ในขณะที่มีเมฆมาบังดวงอาทิตย์ หรืออาจจะมีการหลงทางชั่วขณะได้

ข) ภาคควบคุม ภาคควบคุมจะทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวเปรียบเทียบทิศทางเพื่อใช้ในการควบคุมให้ตัวค้นกำลังขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ระนาบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับทิศทางของดวงอาทิตย์ ภาคควบคุมโดยทั่วไปจะประกอบด้วย

- หน่วยรับสัญญาณ
- หน่วยขยาย และปรับปรุงสัญญาณ
- หน่วยขยายกำลัง
- หน่วยควบคุมทิศทาง

หน่วยรับสัญญาณ จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวเปรียบเทียบสัญญาณซึ่งอาจจะเป็นสัญญาณขึ้นหรือสัญญาณค่อเนื่องก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจรเปรียบเทียบที่ใช้ ถ้าเป็นวงจรเปรียบเทียบที่ใช้ผลต่างที่มีอัตราขยายต่ำ มักจะให้สัญญาณออกแบบค่อเนื่อง แต่ถ้าเป็นวงจรเปรียบเทียบผลต่างที่มีอัตราขยายสูงและมีการป้อนกลับแบบบวก มักจะให้สัญญาณออกเป็นสัญญาณขึ้น

หน่วยขยาย และปรับปรุงสัญญาณ อาจจะทำหน้าที่เพียงขยายสัญญาณที่ได้รับเข้า หรืออาจจะมีการปรับปรุงสัญญาณ เช่น การชดเชยความถี่เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบ หรืออาจจะทำหน้าที่จัดการกับสัญญาณ เพื่อให้เหมาะที่จะใช้ควบคุมระบบค้นกำลัง

หน่วยขยายกำลัง จะทำหน้าที่ขยายทั้งกระแส และแรงดัน เพื่อให้มีกำลังเพียงพอสำหรับการขับนำตัวค้นกำลังหน่วยขยายกำลังจะได้รับกำลังงานจากแหล่งไฟตรง เช่น แบตเตอรี่ในกรณีที่ระบบที่อยู่โดด ๆ แต่ถ้าเป็นระบบที่มีการค่อเข้ากับสายส่งซึ่งระบบเช่นนี้มักจะไม่มีการใช้แบตเตอรี่ เราจะต้องใช้กำลังงานสายส่งในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ส่วนในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เราก็อาจจะใช้กำลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็ได้

วงจรควบคุมทิศทาง จะทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการขับนำของตัวค้นกำลัง โดยอาศัยข้อมูลจากตัวเปรียบเทียบทิศทาง และเมื่อดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้า หน่วยควบคุมทิศทางจะควบคุมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หมุนกลับไปรอรับแสงอาทิตย์ในค่อนเช้าทางทิศตะวันออก โดยระบบจะเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ในวันถัดไป

ค) ตัวค้นกำลังขับเคลื่อนแผงเซลล์ ตัวค้นกำลังขับเคลื่อนแผงเซลล์จะทำหน้าที่ขับเคลื่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้รับการควบคุมจากภาคควบคุม ตัวค้นกำลังจะประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า และเฟืองหรือเกียร์ที่ครอบมอเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นมอเตอร์กระแสตรง เนื่องจากควบคุมความเร็วได้ง่าย และเหมาะกับแหล่งพลังงานที่มีอยู่คือ กระแสไฟตรงจากแบตเตอรี่ ส่วนสาเหตุที่ค่อมีเกียร์ที่ครอบก็เพื่อลดความเร็วของมอเตอร์มีค่าสูงทำให้ลงมาเป็นความเร็วค่าประมาณ 1 รอบค่อวันและเป็นการเพิ่มแรงบิดในการขับเคลื่อนแผงเซลล์ด้วย

#### ข้อดีข้อเสียของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) ข้อดีของระบบควบคุมแบบวงรอบปิด

- มีความแม่นยำสูง
- ไม่ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับทางโคจรของดวงอาทิตย์
- สามารถปรับตัวเองได้ตามฤดูกาล
- ระบบสามารถเริ่มต้น ได้เองเนื่องจากสามารถตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้เอง
- ไม่มีการสะสมความคลาดเคลื่อน

ข) ข้อเสียของระบบควบคุมแบบวงรอบปิด

- ต้องการใช้อุปกรณ์ที่มีความไวต่อแสงที่มีราคาแพง เนื่องจากต้องบรรจุในภาชนะโปร่งแสงที่ ต้องปิดมิดชิด เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดจาก อากาศ และความชื้น เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวต้อง อยู่กลางแจ้งตลอดเวลา
- ระบบ 1 ระบบจะต้องใช้ตัวเปรียบเทียบทิศทาง และภาคควบคุมอย่างละชุด เราไม่สามารถ ใช้ตัวเปรียบเทียบทิศทาง และภาคควบคุมหนึ่งชุดกับชุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลาย ๆ ชุดได้
- จะต้องใช้มอเตอร์ที่มีกำลังสูงเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งในบางครั้งอาจจะต้องทำอย่างรวดเร็ว เช่น ในภาวะที่มีเมฆมาก ๆ จะทำให้อุปกรณ์ไวแสงไม่สามารถตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ได้ ระบบจะหยุด อยู่กับที่ และเมื่อเมฆผ่านไป ระบบจะต้องปรับตำแหน่ง เพื่อให้ระนาบของแผงเซลล์ตั้งฉากกับแนวทิศทาง ของดวงอาทิตย์อย่างรวดเร็ว
- ระบบนี้อาจจะมีการหลงในบางขณะ เช่น ในภาวะที่มีเมฆมาก ซึ่งทำให้ต้องหมุนแผงเซลล์ ไป ๆ มา ๆ อันเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน

4.2.2 ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์แบบวงรอบเปิด

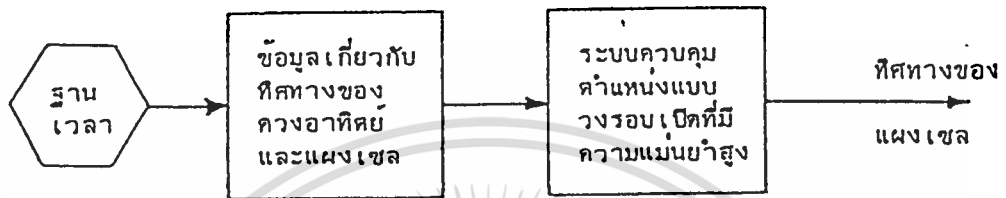
- หลักการทำงานของระบบ ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์แบบวงรอบเปิดนี้ จะใช้หลักการ ควบคุมตำแหน่งแบบวงรอบเปิดที่มีความแม่นยำสูง ร่วมกับข้อมูลเกี่ยวกับทิศทางของดวงอาทิตย์ และทิศทาง ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะใดขณะหนึ่ง ระบบควบคุมแบบนี้ จะใช้เวลาเป็นเครื่องอ้างอิง กล่าวคือ เรา จะต้องรู้ทิศทางของดวงอาทิตย์เทียบกับแกนอ้างอิงของที่ตั้งระบบที่เวลาต่าง ๆ กัน และเราจะต้องรู้ทิศทางของ แผงเซลล์เทียบกับแกนอ้างอิงเดียวกันตลอดเวลาด้วย จากข้อมูลของทิศทางทั้งสองเราจะควบคุมให้ทิศทางของ แผงเซลล์เคลื่อนเข้าหาทิศทางของดวงอาทิตย์เป็นช่วง ๆ ไป

- โครงสร้างของระบบ ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์แบบวงรอบเปิดจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้คือ

- ฐานเวลา
- แหล่งข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบควบคุมตำแหน่งแบบวงรอบเปิดที่มีความแม่นยำสูง  
ซึ่งเราจะเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมการติดตามควงอาทิตย์แบบวงรอบเปิด

1) **ฐานเวลา** เนื่องจากตำแหน่งของควงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงกับเวลา ดังนั้นการที่เราจะทราบตำแหน่งของควงอาทิตย์ได้ เราต้องมีข้อมูลของเวลา คือ ฐานเวลา ความถูกต้องของข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของควงอาทิตย์ จะขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของฐานเวลา เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของเวลาจะมีการสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อย ถ้าไม่มีการตั้งใหม่ จะทำให้ความผิดพลาดของข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งควงอาทิตย์ผิดพลาดได้ 1.3 องศาต่อปี

2) **แหล่งข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของควงอาทิตย์** เนื่องจากการโคจรของควงอาทิตย์มีกฎเกณฑ์ที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณหาตำแหน่งของควงอาทิตย์เทียบกับผู้สังเกต ณ จุดใด ๆ บนโลก ในขณะใดขณะหนึ่งได้แน่นอนถึง  $\pm 0.01$  องศา (4 5) และเนื่องจากในปัจจุบัน เราสามารถหาฐานเวลาที่มีความเที่ยงตรงสูงได้ง่าย เช่น ฐานเวลาที่ได้จากการลั่นของผลึกควอตซ์และการคำนวณสมการที่มีความยุ่งยากก็สามารถทำได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยไมโครคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเราจะสามารถรู้ตำแหน่งของควงอาทิตย์ในเวลาจริงได้อย่างรวดเร็วและแน่นอน ได้มีผู้ทดลองทำระบบควบคุมการติดตามควงอาทิตย์แบบวงรอบเปิด โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์คำนวณตำแหน่งของควงอาทิตย์ในเวลาจริง ซึ่งให้ความแม่นยำได้สูงถึง 0.25 องศา (6) สำหรับวิธีการคำนวณตำแหน่งควงอาทิตย์ไว้ล่วงหน้า จะไม่เป็นที่นิยมใช้กัน เนื่องจากจำนวนข้อมูลจะมีมากเกินไป จึงไม่สะดวกเท่าวิธีคำนวณในเวลาจริง แต่ในกรณีที่เราไม่ต้องการความแม่นยำสูงนัก เราอาจจะใช้วิธีการประมาณสมการการเคลื่อนที่ของควงอาทิตย์ด้วยสมการเส้นตรงซึ่งมีเวลาเป็นตัวแปรอิสระ วิธีนี้จะทำให้สามารถใช้วิธีควบคุมการติดตามควงอาทิตย์แบบวงรอบเปิดได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความยุ่งยาก และราคาแพง อย่างเช่น ไมโครคอมพิวเตอร์

3) **ระบบควบคุมตำแหน่งแบบวงรอบเปิดที่มีความแม่นยำสูง** การควบคุมตำแหน่งแบบวงรอบเปิดและมีความแม่นยำสูง จะทำได้โดยอาศัยการใช้ข้อมูลแบบตัวเลข และการขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์แบบขั้น (stepping motor) การที่มอเตอร์แบบขั้นนี้มีความแม่นยำสูง เนื่องจากมุมในการหมุนจะมีค่าแน่นอน และขึ้น

อยู่ดับจำนวนพัลส์ที่วงจรจับมอเตอร์ได้รับ ส่วนการใช้ข้อมูลแบบตัวเลขจะสามารถบันทึกจำนวนพัลส์ที่ใช้จับเคลื่อนมอเตอร์ได้อย่างถูกต้องไม่ผิดพลาด มุมที่มอเตอร์หมุนต่อพัลส์อาจจะมีค่า 1.8 2 7.5 หรือ 15 องศาแล้วแต่ความต้องการของเรา ถึงแม้มุมในการเคลื่อนที่ที่น้อยกว่าองศาได้ โดยการใช้เกียร์ทด ซึ่งปกติเราต้องใช้อยู่แล้วทั้งนี้เพราะระบบติดตามดวงอาทิตย์จะหมุนด้วยความเร็ว 360 องศาต่อวัน ในขณะที่มอเตอร์อาจจะหมุนด้วยความเร็วมากกว่า 10 รอบต่อวินาที ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมการหมุนที่เป็นมุมน้อยกว่า 0.01 องศาได้ อย่างง่ายดาย ระบบควบคุมตำแหน่ง จะมีความผิดพลาดน้อยมากถ้าหากได้รับข้อมูลคำสั่งเป็นแบบตัวเลข ความผิดพลาดส่วนใหญ่จะเกิดจากเกียร์ที่ใช้ทดรอบเนื่องจากพื้นของเกียร์จะขบกันไม่สนิท

#### ข้อดีข้อเสียของระบบ

##### ก) ข้อดีของระบบควบคุมแบบวงรอบเปิด

- ชุดควบคุมชุดเดียวสามารถใช้ควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้หลายชุด จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบใหญ่ ๆ
- มีความแม่นยำสูง ยกเว้นในกรณีที่เรานำวิธีการประมาณทางโคจรของดวงอาทิตย์ด้วยสมการเส้นตรง
- มอเตอร์ที่ใช้อาจมีกำลังน้อยกว่ามอเตอร์ที่ใช้กับระบบวงรอบปิด เนื่องจากการเคลื่อนที่จะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ไม่มีการหยุดถึงแม้จะมีเมฆบังดวงอาทิตย์
- ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ไวแสงในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

##### ข) ข้อเสียของระบบควบคุมแบบวงรอบเปิด

- วงจรจับเคลื่อนมอเตอร์จะมีความยุ่งยากกว่าวงจรจับเคลื่อนมอเตอร์แบบธรรมดา และมีราคาแพงด้วย
- ถ้าต้องการความแม่นยำสูงจำเป็นต้องใช้การคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความยุ่งยากมากกว่าระบบควบคุมแบบวงรอบปิดธรรมดา
- ต้องศึกษาทางโคจรของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล
- ต้องใช้ฐานเวลาที่มีความแม่นยำสูง
- มีการสะสมของความคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะความคลาดเคลื่อนของฐานเวลา
- ความแม่นยำในการติดตามดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความแน่นอนของตำแหน่ง และทิศอ้างอิง

#### 4.2.3 แนวความคิดในการเลือกระบบ

ในการเลือกระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผงราบ เราจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมดังนี้คือ

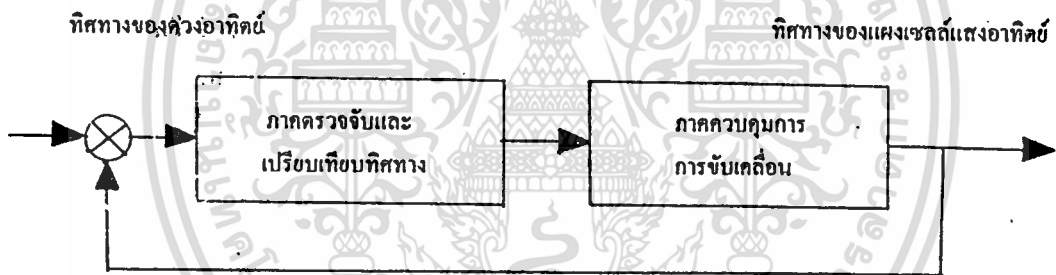
- ระบบควบคุมที่ใช้ควรจะใช้พลังงานน้อย เพื่อจะได้นำพลังงานที่ได้เพิ่มจากการใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์มากที่สุด ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

-ระบบที่ใช้ควรจะเป็นระบบที่ง่าย และต้องการบำรุงรักษาน้อย โดยเฉพาะระบบที่มีขนาดเล็กและอยู่ห่างไกล ซึ่งการรักษาก็ทำได้ยาก

-ระบบที่ใช้ไม่มีความจำเป็นมีความแม่นยำมากนัก ทั้งนี้เพราะการลดลงของปริมาณแสงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับจะมีค่าน้อยเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมน้อย ๆ กับแนวตั้งฉากของแผงเซลล์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าดวงอาทิตย์ทำมุม 15 องศา กับแนวตั้งฉากของแผง ปริมาณแสงที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง (direct radiation) จะลดลงประมาณ 4.4% เท่านั้น แต่เนื่องจากปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ในประเทศไทยจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 50% ของปริมาณแสงอาทิตย์ทั้งหมด (2) ดังนั้นการลดลงของปริมาณแสงเนื่องจากความผิดพลาดในการติดตามดวงอาทิตย์ 15 องศา จะทำให้ปริมาณของแสงลดลงน้อยกว่า 2% เท่านั้น

#### 4.3 หลักการออกแบบ

โครงการการศึกษาตำแหน่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเลือกหาตำแหน่งที่มีความเข้มของแสงมากที่สุด เพื่อที่จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังไฟที่ออกมาได้อย่างเต็มที่ และวงจรควบคุมการขับเคลื่อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะใช้ไฟเลี้ยงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยซึ่งสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 4.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของ การเลือกหาตำแหน่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4.3.1 ภาคตรวจจับและเปรียบเทียบทิศทาง อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับทิศทางของดวงอาทิตย์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ solar cell ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามแสงที่ตกกระทบ โดยจะยึดติดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลกมาก รังสีที่ตกกระทบลงพื้นโลกจึงมีลักษณะเกือบขนานกัน หรือไม่สามารถอ้างว่าแสงเหล่านี้มาจากแหล่งกำเนิดจุดเดียว (point source) ดังนั้นสูตรที่อ้างว่า ความเข้มของแสงแปรผกผันกับ  $1 / (\text{ระยะทาง})$  จึงนำมาใช้ไม่ได้ หรือในทางกลับกัน ถ้าถือว่าดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดจุดเดียวระยะทางที่แสงตกลงมาบนซูดเซนเซอร์ (Cencor) เกือบเท่ากัน เพราะฉะนั้น เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมเอียงไปเท่าไร ค่าความเข้มของแสงบน แอล.ดี.อาร์. แต่ละตัวจะมีค่าเท่า ๆ กัน

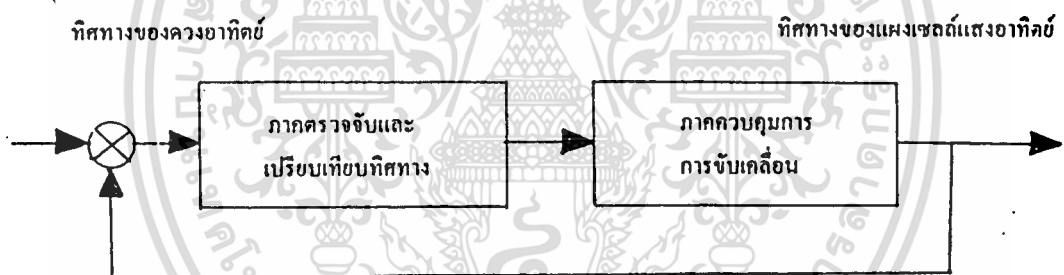
ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่น ๆ ที่ทำให้ค่าความเข้มของแสงบน โซลาเซลล์ แต่ละตัวมีค่าแตกต่างกัน เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ตกลงบนซูดเซนเซอร์ (Cencor) ทำมุมเอียงออกไป

- ระบบที่ใช้ควรจะเป็นระบบที่ง่าย และต้องการบำรุงรักษาน้อย โดยเฉพาะระบบที่มีขนาดเล็ก และอยู่ห่างไกล ซึ่งการบำรุงรักษาจะทำให้ยาก

- ระบบที่ใช้ไม่มีความจำเป็นคือมีความแม่นยำมากนัก ทั้งนี้เพราะการลดลงของปริมาณแสงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับจะมีค่าน้อยเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมน้อย ๆ กับแนวตั้งฉากของแผงเซลล์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าดวงอาทิตย์ทำมุม 15 องศา กับแนวตั้งฉากของแผง ปริมาณแสงที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง (direct radiation) จะลดลงประมาณ 4.4% เท่านั้น แต่เนื่องจากปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ในประเทศไทยจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 50% ของปริมาณแสงอาทิตย์ทั้งหมด (2) ดังนั้นการลดลงของปริมาณแสงเนื่องจากความผิดพลาดในการติดตามดวงอาทิตย์ 15 องศา จะทำให้ปริมาณของแสงลดลงน้อยกว่า 2% เท่านั้น

#### 4.3 หลักการออกแบบ

โครงการการศึกษาตำแหน่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเลือกหาตำแหน่งที่มีความเข้มของแสงมากที่สุด เพื่อที่จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาได้อย่างเต็มที่ และวงจรควบคุมการขับเคลื่อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะใช้ไฟเลี้ยงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยซึ่งสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 4.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของการทำงานของการเลือกหาตำแหน่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4.3.1 ภาคตรวจจับและเปรียบเทียบทิศทาง อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับทิศทางของดวงอาทิตย์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ LDR (Light Decreasing Resistance) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามแสงที่ตกกระทบ โดยจะยึดติดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

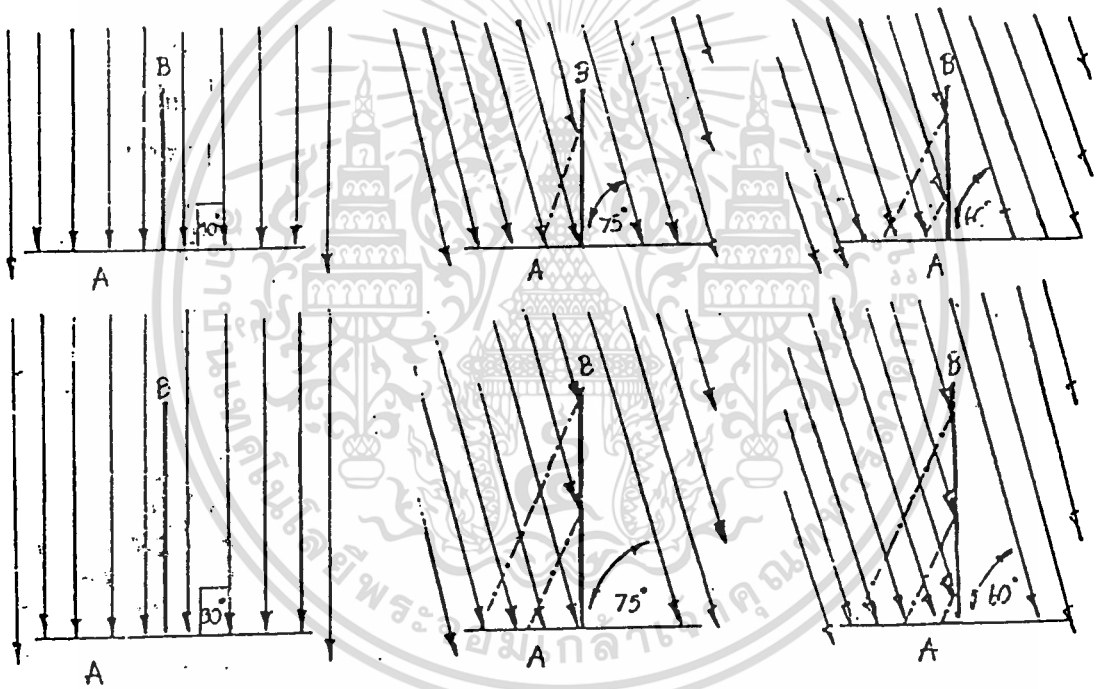
เนื่องจากดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลกมาก รังสีที่ตกกระทบลงพื้นโลกจึงมีลักษณะเกือบขนานกัน หรือไม่สามารถอ้างว่าแสงเหล่านี้มาจากแหล่งกำเนิดจุดเดียว (point source) ดังนั้นสูตรที่อ้างว่า ความเข้มของแสงแปรผกผันกับ  $1 / (\text{ระยะทาง})^2$  จึงนำมาใช้ไม่ได้ หรือในทางกลับกัน ถ้าถือว่าดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดจุดเดียว ระยะทางที่แสงตกลงมาบนซูดเซนเซอร์ (Censor) เกือบเท่ากัน เพราะฉะนั้น เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมเอียงไปเท่าไร ค่าความเข้มของแสงบน แอล.ดี.อาร์. แต่ละตัวจะมีค่าเท่า ๆ กัน

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่น ๆ ที่ทำให้ค่าความเข้มของแสงบน แอล.ดี.อาร์. แต่ละตัวมีค่าแตกต่างกัน เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ตกลงบนซูดเซนเซอร์ (Censor) ทำมุมเอียงออกไป

การพิจารณาเกี่ยวกับความเข้มของแสงนั้น นิยมแทนความเข้มขั้วนั้นด้วย ฟลักซ์ (Flux) (จำนวนเส้นแรงที่ตกกระทบบนพื้นที่ 1 หน่วย) เมื่อพิจารณาจากรูป 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อรังสีตกกระทบบนมุมเอียงจำนวนฟลักซ์ (Flux) ที่ตกกระทบบนพื้นที่ A หลังฉากกัน B จะน้อยกว่าด้านหน้า นอกจากนี้แล้ว โดยที่รังสีตกกระทบบนมุมเดิม แต่ความสูงของฉากกัน B เพิ่มขึ้น ความเข้มของแสงจากฉากกัน B ลงมายังพื้น A จำนวนฟลักซ์ (Flux) ที่สะท้อนกลับลงไปนั้น จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของฉากกัน

ดังนั้นพอจะกล่าวได้ว่า การใช้ฉากกันแสงจะมีผลเกิดขึ้นดังนี้

- 1) ถ้าฉากกันขนานกับรังสีจะไม่มี ความแตกต่างกัน บนพื้นที่ทั้งสองด้าน
- 2) เมื่อรังสีตกกระทบบนมุมเอียงมากขึ้น ความเข้มของแสงหลังฉากกันก็จะยิ่งน้อยลง
- 3) ในทำนองเดียวกัน ถ้าเพิ่มความสูงของฉากกันขึ้น ความเข้มของแสงหลังฉากกัน ก็จะยิ่งน้อยลง
- 4) จะมีรังสีส่วนหนึ่งสะท้อนจากฉากกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของฉาก ก็จะยิ่งน้อยลง



รูป 4.5 แสดงความแตกต่างที่มุมตกกระทบบนต่าง ๆ และความสูงของฉากกันที่ต่าง ๆ กัน

จากประโยชน์ของการมีฉากกันดังกล่าวแล้วข้างต้น จึงจำาออกแบบใช้ประโยชน์ร่วมกับชุดเซ็นเซอร์ (Cencer) โดยให้ฉากกันสูงกว่าด้านกว้างมาก ๆ เพื่อที่วรังสีตกกระทบบนมุมเอียงเล็กน้อย ความแตกต่างของความเข้มของแสงบนพื้นที่ทั้งด้านหน้า และด้านหลังของฉากกัน สามารถตรวจจับได้โดย โซลาเซลล์

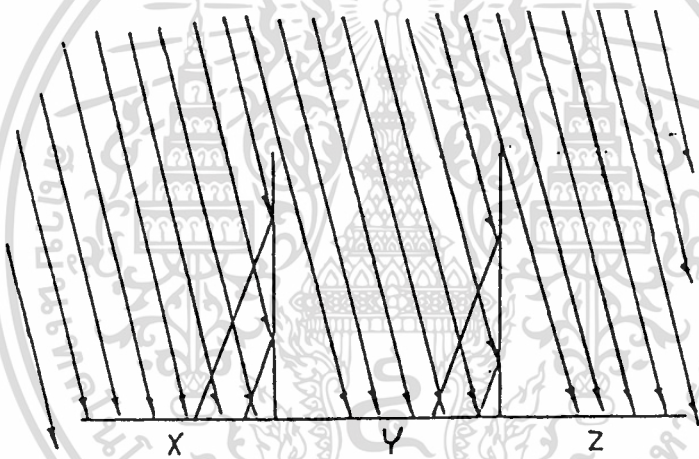
เนื่องจากว่าชุดเซ็นเซอร์ (Cencer) จะเคลื่อนที่เป็นลักษณะโค้งทั้งในแนวตั้ง (Vertical) และแนวนอน (Horizontal) บนแกน 2 แกน

การที่ฉากกันสูงมาก ๆ จะเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง เพราะว่าการที่วัตถุที่มีน้ำหนักยื่นห่างออกไปจากจุดหมุนมากขึ้นนั้น จะเป็นการเพิ่มแรงบิด หรือทอร์ค (Torque)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่มีข้อจำกัดทางด้านกลศาสตร์ (mechanics) ทำให้ฉากกันมีความยาวจำกัดจึงหันมาพิจารณาถึงความสามารถสะท้อนแสงที่ผิวฉากกัน เพราะว่ามีรังสีส่วนหนึ่งสะท้อนกลับลงบนพื้นด้านหน้าฉากกัน จากคุณสมบัติอันนี้ จึงนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยการเพิ่มชุดเซ็นเซอร์ (Cencer) ในแต่ละแนว ดังรูป 4.6 ซึ่งจะเห็นว่าพื้นที่บริเวณ X จะมีความเข้มสูงสุดจากรังสีตกกระทบโดยตรง ร่วมกับแสงสะท้อน ส่วนพื้นที่บริเวณ Y จะได้รับรังสีตกกระทบโดยตรงน้อยกว่า แต่ได้รับรังสีสะท้อนเท่า ๆ กับบริเวณ X แต่พื้นที่บริเวณ Z นั้น จะได้รับเฉพาะแสงตกกระทบโดยตรงที่เท่า ๆ กับด้าน Y เท่านั้น

จะเห็นได้ว่าการแบ่งพื้นที่รับแสงมี เซ็กเมนต์ (Segment) มากขึ้นเป็น 3 เซ็กเมนต์ (Segment) ก็ยังสามารถช่วยให้พิจารณาการตกกระทบของรังสี ได้ละเอียดขึ้นด้วยแต่การเพิ่มให้มีเซ็กเมนต์ (Segment) มาก ๆ เป็น 4 หรือ 5 เซ็กเมนต์ (Segment) นั้น ก็ไม่ได้หมายความว่า จะเพิ่มความละเอียดในการพิจารณาได้ เพราะว่าเซ็กเมนต์ (Segment) ที่ไม่ได้ต่อยูรีม จะได้รับรังสีในลักษณะเหมือนกันหมด ดังรูป 4.6 ด้าน F จะได้รับรังสีสะท้อนเช่นเดียวกับพื้นที่บริเวณ X ด้าน B จะได้รับรังสีตกกระทบอย่างเดียวกัน ทำนองเดียวกันกับบริเวณ Z และพื้นที่ตรงกลางบริเวณ  $M_1, M_2, \dots, M_i$  จะได้รับรังสีในทำนองเดียวกันกับบริเวณ Y เหมือนกันหมด



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของรังสี โดยมีฉากกัน 2 แผ่น

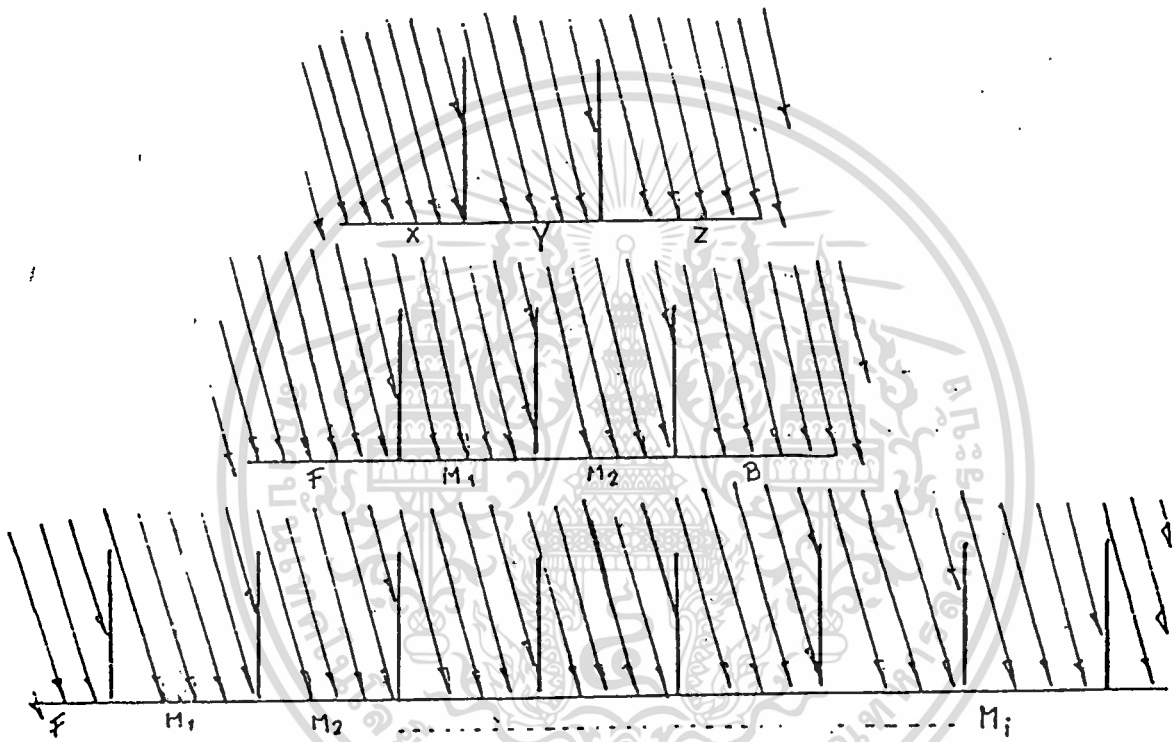
การออกแบบของการบังเงา 2 มิติ แล้วไม่ควรที่จะแบ่งพื้นที่รับรังสีมากกว่า 3 เซ็กเมนต์ (Segment) เพราะว่าเป็นการสิ้นเปลือง

ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกทุกวัน แต่ไม่ได้ขึ้น และตกลงที่ตำแหน่งเดิมทุกวัน จะมีการคลาดเคลื่อนไปในแต่ละวัน ฉะนั้นการตรวจหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์จึงเป็น 3 มิติ ดังนั้นจึงเพิ่มฉากบังแสงขึ้นอีกแนวหนึ่ง

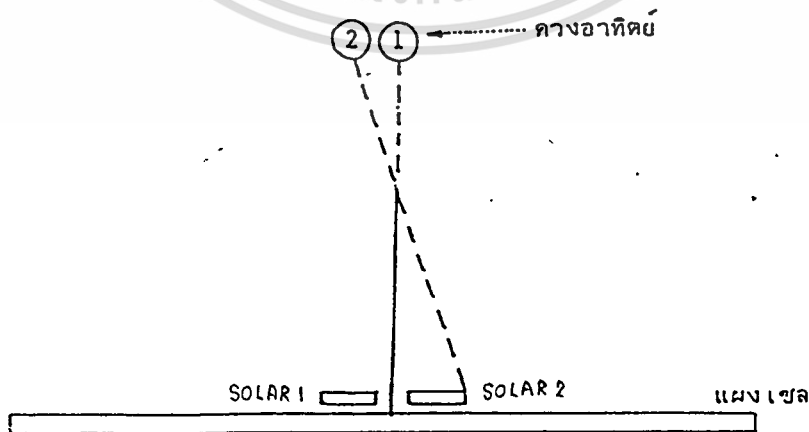
จากการกล่าวมาทั้งหมดข้างต้น เป็นการรำประโยชน์ของการใช้ฉากกันมาออกแบบร่วมกับชุดเซ็นเซอร์ (Cencer) นอกจากนั้นแล้ว การออกแบบจะต้องพิจารณานิจจัง ทางด้านอื่น ๆ อีก เช่น ด้านกลศาสตร์ ตลอดจนถึงสถาปัตยกรรม และอื่น ๆ อีกด้วย จากหลักการบังเงาที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น เราจะนำมาประยุกต์ใช้ในภาคตรวจจับ และเปรียบเทียบทิศทาง ซึ่งในรูปที่ 4.8 เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับแนวทิศทางของดวงอาทิตย์ ในตำแหน่งที่ 1 โซลา 1 และ โซลา 2 จะได้รับความเข้มของแสงเท่ากัน แต่ถ้ามี

ความคลาดเคลื่อนไปจากแนวตั้งฉากตั้งในตำแหน่งที่ 2 โขล้า 1 และ โขล้า 2 ได้รับความเข้มของแสงไม่เท่ากัน (โขล้า 2 น้อยกว่า) ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเป็นการชี้บอกให้ทราบว่า ดวงอาทิตย์อยู่เอียงไปทางทิศใดจากแนวตั้งฉากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4.3.2 ภาควิชาควบคุมการขับเคลื่อน ทำหน้าที่รับผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแสงจาก SOLAR CELL ทั้งสอง เพื่อที่จะใช้ในการควบคุมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ตั้งฉากกับทิศทางของดวงอาทิตย์ซึ่งวงจรควบคุมนี้จะเป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์



รูปที่ 4.7 ลักษณะรังสีเปรียบเทียบกับจำนวนแผ่นกัน



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบทิศทางโดย การบังให้เกิดเงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การควบคุมการขับเคลื่อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

##### 4.4.1 หลักการทำงานของวงจรมหาพิกา

วงจรมหาพิกาจะทำการ Set ให้วงจรควบคุมทำงาน เริ่มตั้งแต่เวลา 06.00 น. เมื่อเวลา 06.00 น. จะมีวงจรนับมาจับให้วงจร AND GATE ทำงาน ทำให้มีเอาพุทที่ขา ของ IC U16A ไป SET ให้ D Flip Flop (IC U20A) ทำงาน ทำให้มีเอาพุทไปป้อนให้กับ IC U20B มีผลทำให้ D1 ทำงาน RELAY (RL18) ทำงาน ทำให้มีไฟไปเลี้ยงตรวจเช็คความเข้มของแสง (ZC V21A) ซึ่งจะเปรียบเทียบกับแสงแดดกับค่าที่แรงดันที่ตั้งไว้ค่าหนึ่ง ถ้าแรงดันที่ J10 มากกว่าผลคือวงจร RELAY ไม่ทำงาน (RL2B) และที่ Contact ปกติปิด ต่อไปยังวงจรควบคุมทางแนวราบและแนวเอียง ถ้าแรงดัน J10 น้อยกว่าผลทำให้ RELAY ทำงาน ทำให้วงจรตั้งเวลา (ที่ ZC U23 และ ZC U24) ทำงานช่วงเวลาหนึ่งเพื่อขับระบบทางแนวราบเท่านั้น เมื่อถึงเวลาค่าที่ตั้งไว้วงจรก็จะไป SET ที่ ZC U20B เพื่อตัดไฟเลี้ยงออกไป

วงจร AND GATE ที่ 2C U19, U18, U14 จะทำการ SET ให้วงจรทำงานทำการ SET ให้วงจรควบคุมแนวราบและแนวเอียงทำงานทุก ๆ 5 นาที

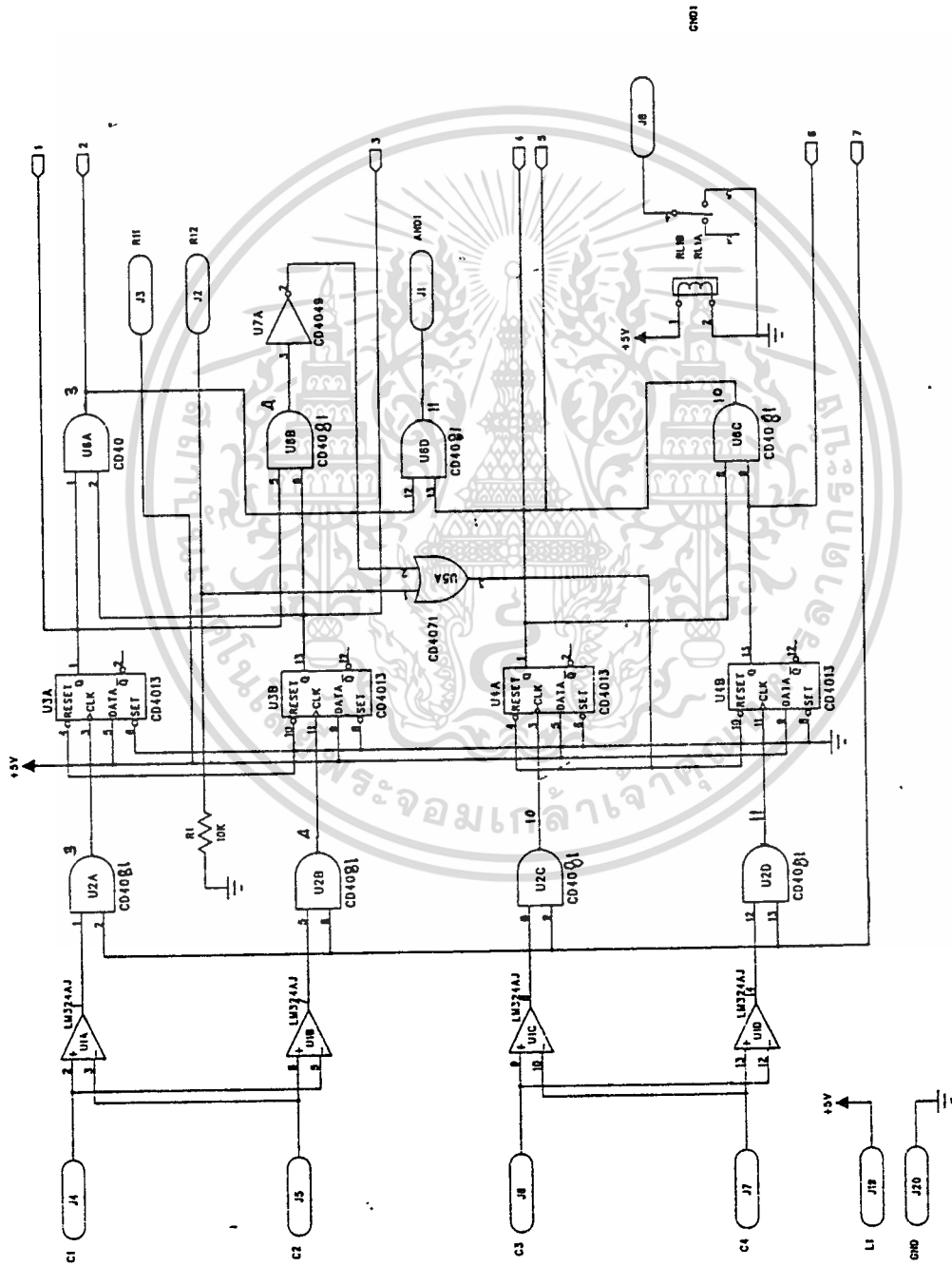
##### 4.4.2 หลักการทำงานทางแนวราบ

เมื่อระบบทางแนวเอียง SET ให้ระบบทางแนวราบเริ่มทำงาน OP-AMP จะทำการเปรียบเทียบแรงดันถ้าแรงดันทาง J6 มากกว่าทาง J7 ผลให้มีเอาพุทที่ขา 8 ของ ZC UIC แล้วไปทำการ AND กับ Clock เข้าไปยัง D Flip Flop แรงดันแยกออก 2 ทางที่เข้า IC U9A และเอาพุทจะไป Bias Q3 ทำงาน M2 จะขับระบบทางแนวราบ ระบบจะขับให้เคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ จน แรงดัน แรงดันทาง J7 เริ่มมากกว่า ทำให้ M2 หยุดทำงานพร้อมกับเอาพุทของ ZC U6D ที่ขา 11 ไป SET ให้ระบบควบคุมทั้งแนวเอียงและแนวราบหยุดทำงานทั้งระบบจนกว่าจะมีระบบควบคุมเวลาทำการ SET ให้ระบบเริ่มทำงานใหม่ ถ้าแรงดันทาง J7 มากกว่าแรงดันทาง J6 หลักการทำงานก็ทำให้ลักษณะเดียวกัน

##### 4.4.3 หลักการทำงาน ทางแนวเอียง

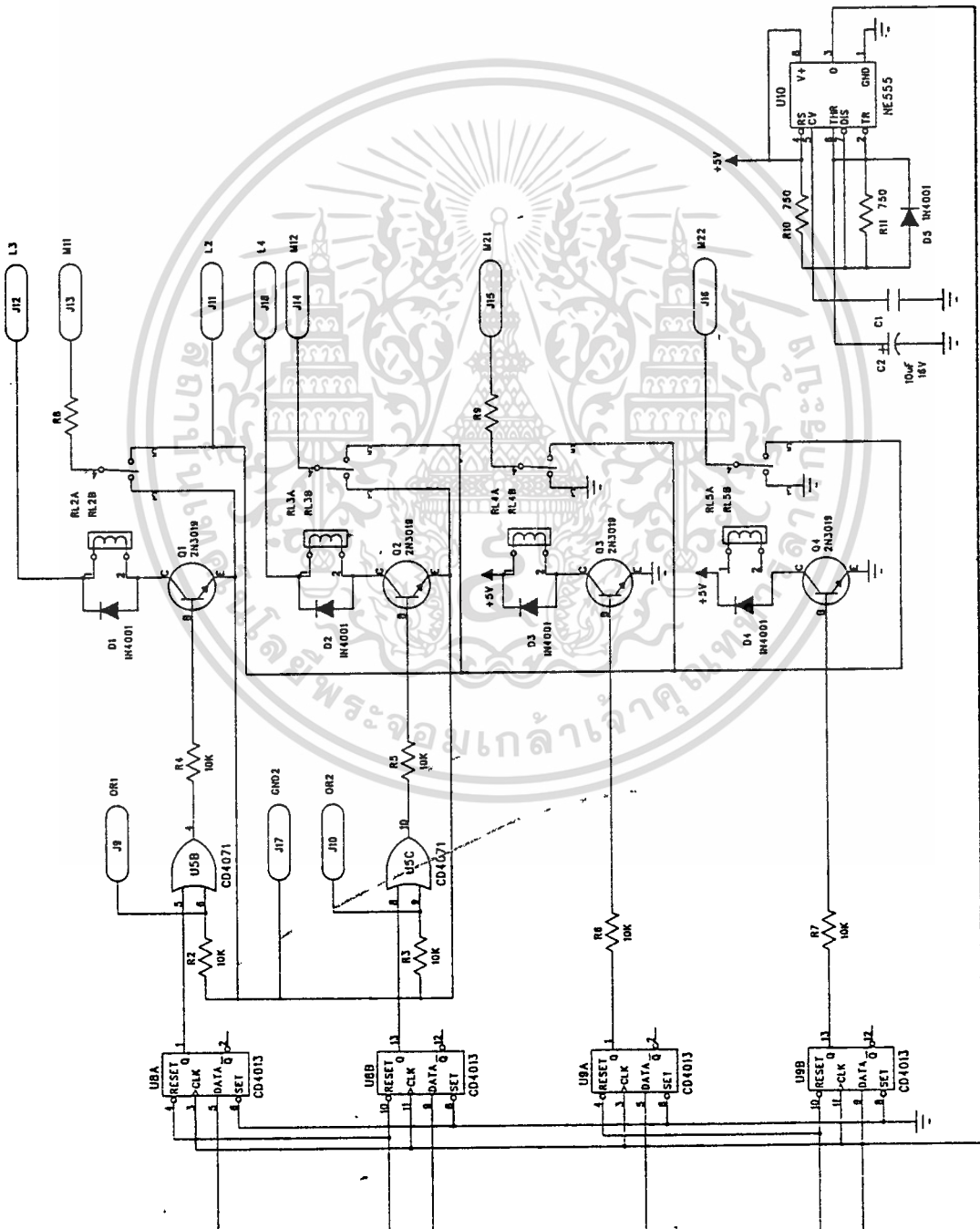
J4 และ J5 จะเป็นจุดต่อ ไปยัง SOLAR CELL โดยมี COMMON GROUND ร่วมกันเมื่อแรงดัน SOLAR CELL ที่ J4 มากกว่าแรงดัน SOLAR CELL ที่ J6 มีผลทำให้แรงดันเข้าพุทของ OP-AMP, U1A มีแรงดันออกค่าที่ขา 1 เข้า AND GATE และจะทำการ AND กับ CLOCK แล้วไปเข้า ขา 3 ของ D Flip Flop (U3A) ออกเอาพุทที่ขา 1 มีแรงดันแยกออก 2 ทาง ทางหนึ่งต่อไปยัง ขา 5 ของ IC U8A อีกทางหนึ่งต่อไปยัง IC U6A ขาที่ต่อไปยัง IC U8A มีเอาพุทป้อนให้กับ IC U58 (or GATE) แล้วไป BIAS ให้กับ Q1 ทำงาน ผลให้ M1 ทำงานในแนวเอียงเมื่อระบบแนวเอียงเคลื่อนที่ไปเรื่อยจนแรงดัน SOLAR CELL ที่จุด J5 เริ่มมากกว่าแรงดันของ SOLAR CELL ที่ J4 ผลทำให้ M1 หยุดทำงาน พร้อมกับ ไป SET กับระบบทางแนวราบให้ทำงาน

ถ้าแรงดันทาง J5 มากกว่า แรงดันของ J4 ผลทำให้มีแรงดันที่เอาพุทของ LC U1B ที่ขา 7 เข้า IC U2B ทำการ AND กับ CLOCK แล้วไปเข้า IC U3B ที่ขา 11 โดยที่แรงดันแยกออก 2 ทาง ทางหนึ่งไปเข้า IC U6B เพื่อทำการ AND กับเอาพุทของ IC U3A อีกทางหนึ่งไปเข้าขา 9 ของ LC U8A ที่เอาพุทของ U8A จะเข้า ORGATE ของ IC U5C แล้วไป BIAS ให้ Q2 ทำงาน เมื่อระบบขับเคลื่อนไปเรื่อย ๆ จนแรงดัน J4 เริ่มมากกว่าแรงดันของ J5 ทำให้ M1 หยุดทำงานพร้อมกับ ไป SET ให้ระบบทางแนวราบทำงาน



รูปที่ 1-1 วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวเอียง

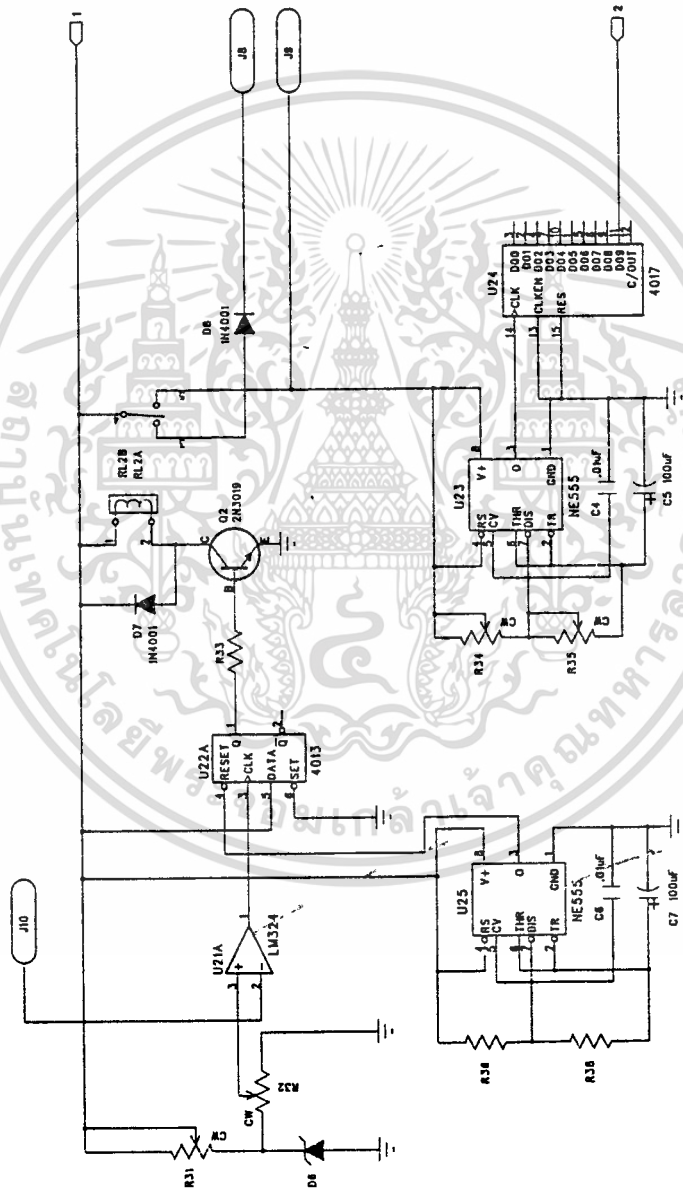
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1-2 วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวเอียง

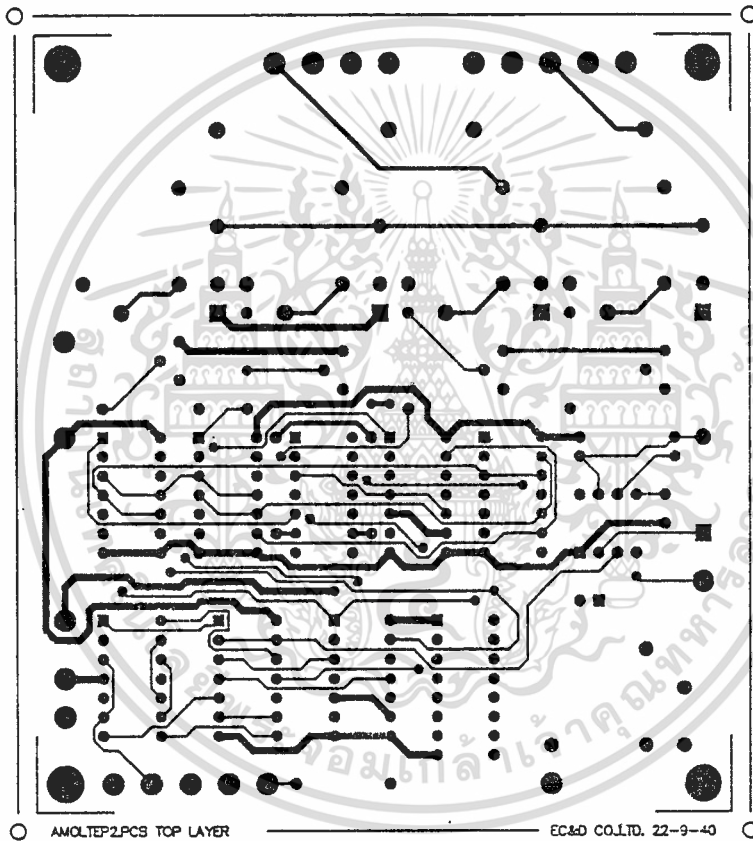
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เชิงพาณิชย์ การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





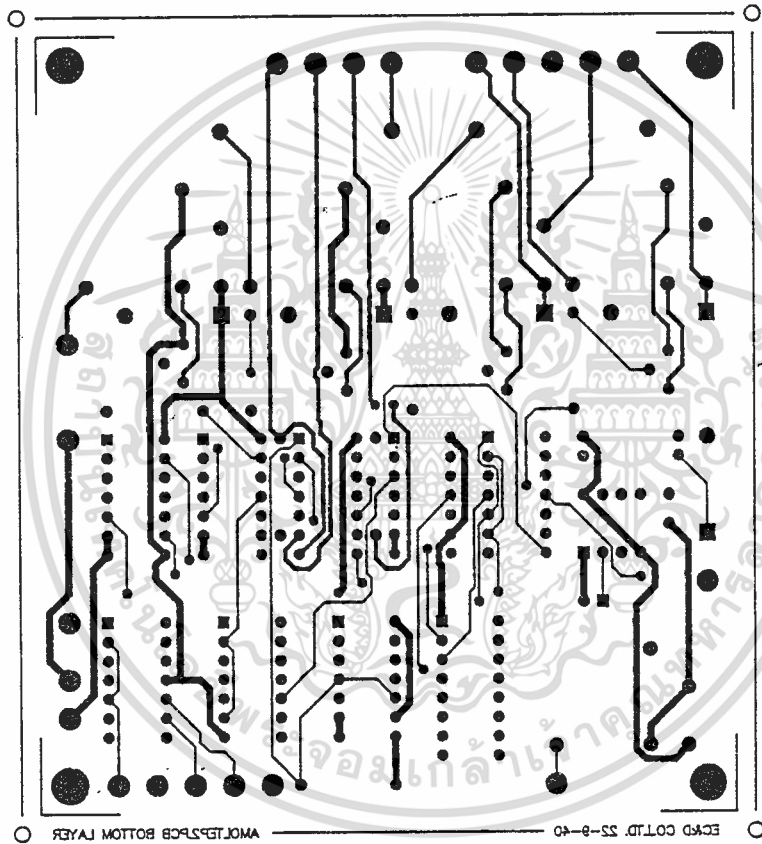
รูปที่ 2-2 วงจรนำพิกัดควบคุมเวลาการเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



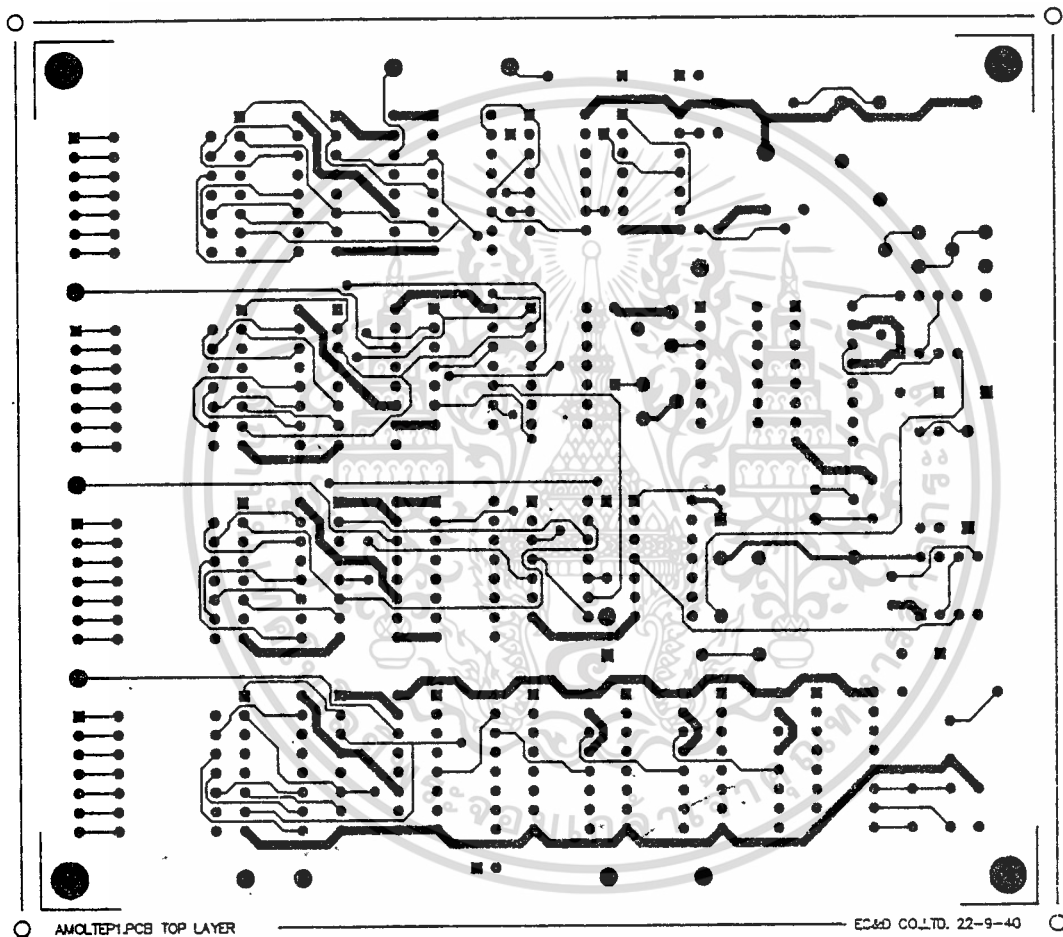
รูปที่ 3-1 แผ่นวงจรพิมพ์(PCB)วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวเอียง(บน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



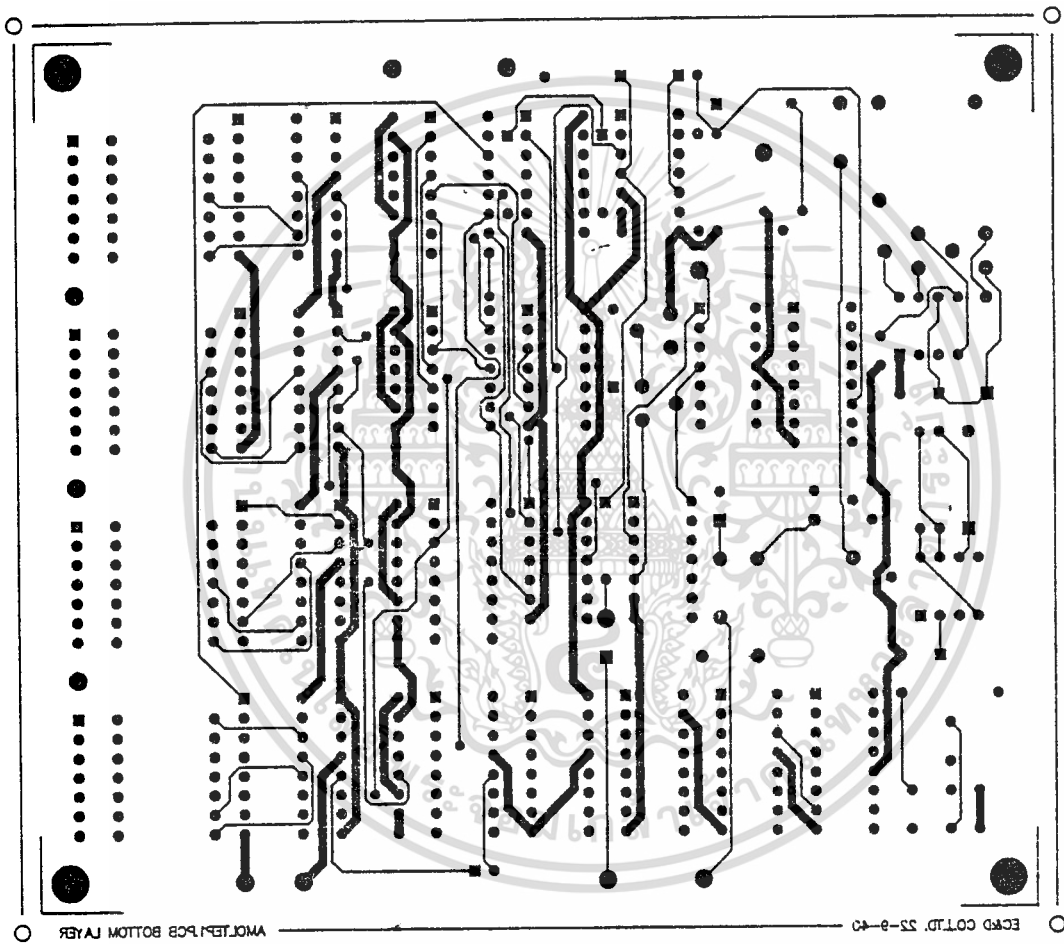
รูปที่ 3-2 แผ่นวงจรพิมพ์(PCB)วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวเอียง(ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



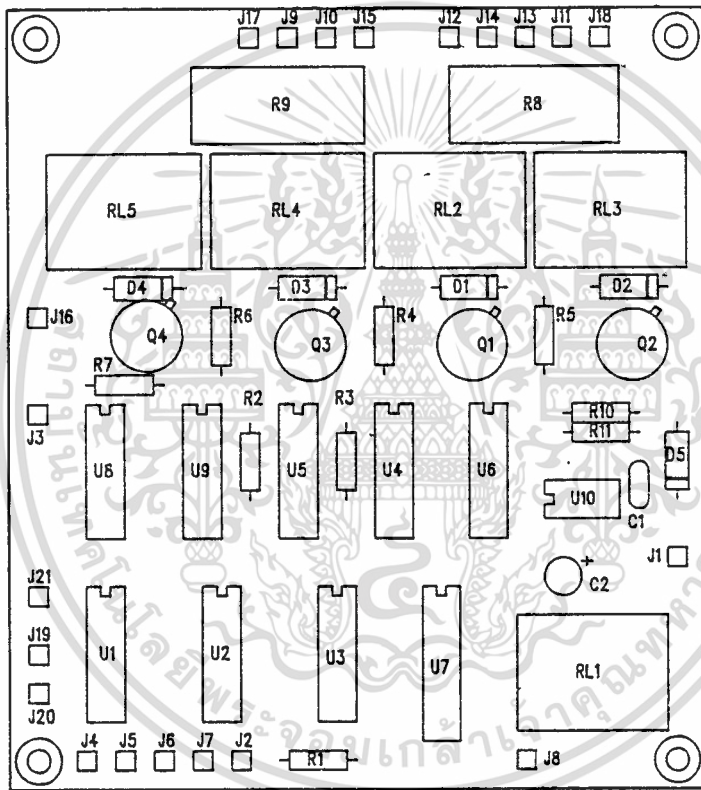
รูปที่ 4-1 แผ่นวงจรพิมพ์(PCB)วงจรนาฬิกาควบคุมเวลาการเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวเอียง(บน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

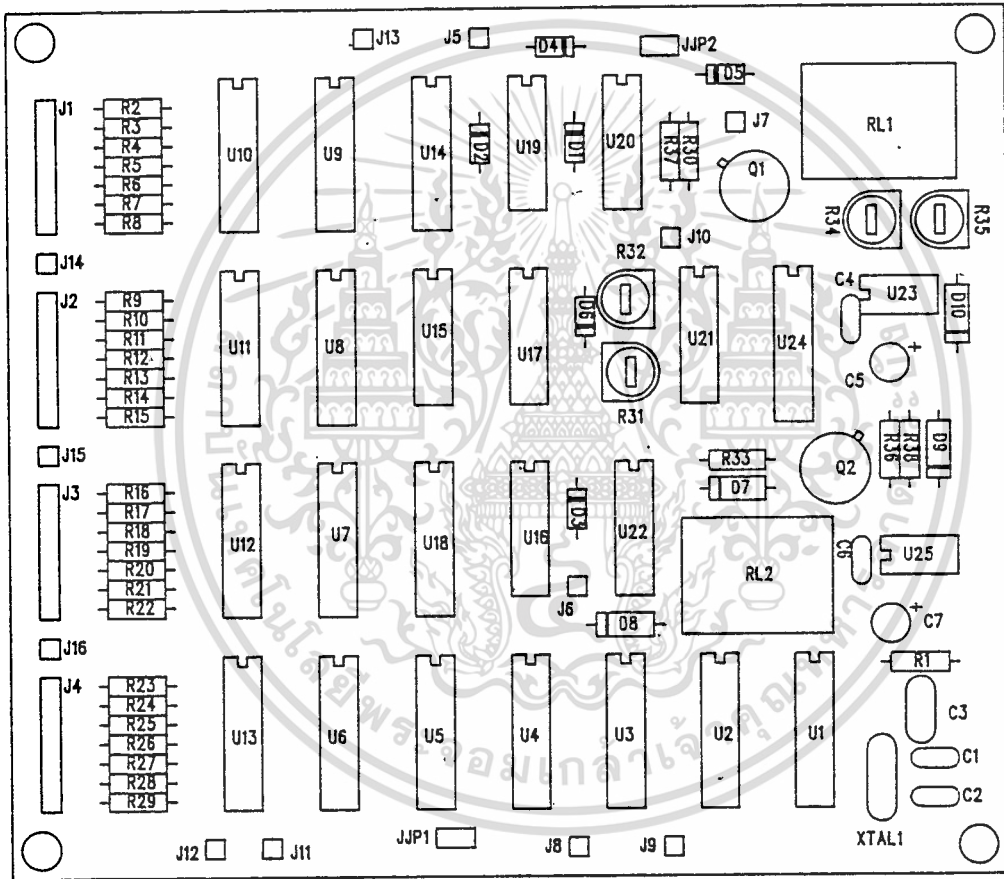


รูปที่ 4-2 แผงวงจรพิมพ์(PCB)วงจรมอเตอร์ควบคุมเวลาการเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวเอียง(ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวเอียง



รูปที่ 6 ตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ของวงจรนาฬิกาควบคุมเวลาการเคลื่อนที่ทางแนวราบและแนวเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	0 องศา			30 องศา			45 องศา		
	NO	ON		NO	ON		NO	ON	
	V	V	I(mA)	V	V	I(mA)	V	V	I(mA)
8:00	11.53	9.12	170.00	12.36	10.82	22.10	12.38	10.23	24.00
8:30	11.55	9.15	180.00	12.39	10.12	24.00	12.45	10.21	25.20
9:00	11.45	10.72	33.26	11.79	11.06	41.60	11.87	11.05	41.00
9:30	11.38	10.75	33.45	11.71	11.12	40.20	11.76	11.00	40.30
10:00	11.75	10.27	152.00	11.97	10.67	174.00	11.97	10.45	170.50
10:30	11.77	10.50	160.23	11.95	10.65	173.50	11.95	10.68	174.30
11:00	11.87	10.68	179.54	12.08	10.78	182.80	11.92	10.73	180.80
11:30	12.00	10.70	18.40	12.06	10.72	179.60	11.89	10.67	172.10
12:00	12.04	12.02	176.21	11.94	11.76	184.00	11.85	10.62	174.40
12:30	11.72	10.96	40.24	11.86	10.68	156.00	11.83	10.64	151.60
13:00	11.68	10.51	142.67	11.90	10.64	162.90	11.94	10.63	153.00
13:30	12.12	10.56	168.43	11.98	10.43	160.50	12.13	10.75	169.40
14:00	11.74	10.90	164.25	12.08	10.85	173.00	12.15	10.79	174.20
14:30	11.25	10.53	157.97	12.30	10.84	191.20	12.19	10.82	190.00
15:00	11.20	10.29	104.28	11.81	10.53	175.00	11.89	10.46	149.10
15:30	11.51	10.12	118.50	11.60	10.71	183.40	12.10	10.78	183.50
16:00	11.00	10.03	46.56	11.51	10.65	180.10	11.56	10.61	178.20
16:30	10.13	10.01	27.71	11.75	10.32	147.00	12.08	10.72	150.00
17:00	9.60	9.56	2.48	11.64	10.68	95.40	12.04	10.48	124.50

ตารางที่ 1 ค่ากระแส และแรงดันที่มุมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME	NO-LOAD	ON-LOAD		POWER
	V	V	I(mA)	(W)
8:00	10.72	9.53	60.50	0.57
8:30	11.55	9.58	55.70	0.53
9:00	11.45	10.07	134.50	1.35
9:30	11.82	10.14	120.80	1.22
10:00	11.93	10.16	131.40	1.33
10:30	11.95	9.92	67.10	0.67
11:00	12.04	10.35	120.70	1.25
11:30	12.00	11.10	154.20	1.71
12:00	12.56	11.08	185.80	2.06
12:30	11.72	10.72	150.40	1.61
13:00	11.68	10.86	152.50	1.66
13:30	11.64	10.82	175.00	1.89
14:00	11.38	10.59	134.30	1.42
14:30	11.25	10.75	136.10	1.46
15:00	10.58	10.20	78.50	0.80
15:30	10.65	9.98	62.70	0.63
16:00	10.72	8.74	61.50	0.54
16:30	10.56	7.62	55.40	0.42
17:00	10.27	8.54	50.60	0.43

ตารางที่ 2 แสดงการจ่ายโหลดเมื่อแรงดันขั้วติดตามดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME	ความเข้มแสง (lux)*100	SENSOR				
		C1 (V)	C2 (V)	C3 (V)	C4 (V)	C5 (V)
7:00	121	2.10	2.09	2.13	2.13	2.09
8:00	183	2.14	2.12	2.15	2.15	2.17
9:00	350	2.73	2.70	2.70	2.71	2.79
10:00	711	2.80	2.73	2.79	2.80	2.82
11:00	723	2.89	2.84	2.88	2.89	2.90
12:00	738	2.95	2.91	2.93	2.94	2.97
13:00	748	2.97	2.95	2.96	2.96	2.98
14:00	750	2.96	2.92	2.96	2.97	2.97
15:00	749	2.90	2.87	2.91	2.92	2.91
16:00	623	2.0	1.9	1.97	1.98	2.0
17:00	420	1.96	1.94	1.97	1.98	1.98

ตารางที่ 3 แสดงค่าแรงดันที่จุด sensor ตามความเข้มแสงที่เวลาต่างๆ กัน

## 5.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

เนื่องจากพลังงานที่ได้จากแผงโซลาเซลล์ มีไม่เพียงพอในการชาร์จแบตเตอรี่ ทำให้วงจรควบคุมทำงานผิดพลาด หรืออาจจะทำงานไม่ได้ ฉะนั้นจึงควรเพิ่มจำนวนโซลาเซลล์ เพื่อให้ได้แรงดันมากกว่า 12 โวลต์ เพื่อให้สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้เต็มที่

## 5.2 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลอง ลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ตามเวลา และวงจรควบคุมทิศทาง การเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ มีคุณสมบัติคือ วงจรที่ขับแผงโซลาเซลล์จะเริ่มทำงานเวลา 06.00 น. และสิ้นสุดเวลาการทำงานเวลา 18.00 น. พร้อมกับขับแผงโซลาเซลล์ให้กลับไปอยู่ในตำแหน่งเริ่มทำงานในทิศตะวันออก ในช่วงเวลาการทำงานวงจรควบคุมจะทำการตรวจสอบความเข้มของแสงทุกๆ 5 นาที



### เอกสารอ้างอิง

1. ดร. บุรณา กุลวิฑิต, “ระบบติดตามควมอาทิตย์สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์” คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2526
2. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, “เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์” พิมพ์ครั้งที่ 2 : 2530.
3. ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์, “เทคโนโลยีการสร้างและการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์”
4. ร.ศ. มาลี บานชื่น, “พลังงานและมลพิษ” พิมพ์ครั้งที่ 2 สนพ. ประกายพฤก 2534
5. ยุทธ อัครมาส, “ฟิสิกส์ของระบบเซลล์สุริยะ” สนพ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2530
6. จรวช บุญชูพล และคณะ, “พลังงาน” สนพ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2529
7. บริษัทซีอีคยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), “แบตเตอรี่และเครื่องชาร์จ” สนพ. ซีอีคยูเคชั่น 2538
8. วารสาร “Everyday with Practical Electronics”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการใช้งาน

1. เปิดสวิตช์ power
2. หันแผงโซลาเซลล์ด้านที่เขียนว่า EAST ไปทางทิศตะวันออก
3. ทำการตั้งเวลาที่ Clock Control Box ให้เป็นเวลาตามปกติ
4. ปล่อยให้ชุดควบคุมทำงานตามอัตโนมัติ

## วิธีการตั้งเวลา

1. กดสวิตช์ตัวที่ 2 ทำให้เวลาเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว จนถึงเวลาที่ต้องการ
2. ถ้าต้องการตั้งค่าเวลาเป็นนาที ให้เลื่อนสวิตช์ตัวที่ 3 ไปด้านบนแล้วกดสวิตช์ตั้งเวลานาที ถ้ากด 1 ครั้ง เวลาจะเลื่อนไป 1 นาที

## การเช็คการทำงาน

1. เมื่อตั้งเวลาปกติแล้วแผงโซลาเซลล์จะถูกขับไปในทางทิศตะวันตกทุกๆ 5 นาที  
ลักษณะการขับเคลื่อนมี 2 แบบ คือ
  - 1.1 จะขับแนวเอียงเพียงเดียว เมื่อมีแสงน้อยมากเช่นกรณีมีเมฆมาบังแสงอาทิตย์เป็นเวลานานๆ เกินกว่า 5 นาที
  - 1.2 จะขับเคลื่อนทางแนวราบและแนวเอียง เมื่อมีแสงตามปกติจากดวงอาทิตย์
2. เมื่อขับแผงโซลาเซลล์ไปจนสุดตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก แผงโซลาเซลล์จะหยุดการเคลื่อนที่
3. เมื่อถึงเวลา 18.00 น. แผงโซลาเซลล์จะถูกขับมาในตำแหน่งเริ่มต้นทางทิศตะวันออก เพื่อรอรับแสงอาทิตย์ในตอนเช้า
4. ตัวแผงโซลาเซลล์จะถูกขับให้ทำงานใหม่ในเวลา 06.05 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอุปกรณ์วงจรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### ตัวต้านทาน

R ปรับค่าได้ $100K\Omega$	4 ตัว
R $10 M\Omega$	1 ตัว
R $10 K\Omega$	4 ตัว
R $1 M\Omega$	1 ตัว

### ตัวเก็บประจุ

C 20 pF	1 ตัว
C 120 pF	1 ตัว
C 0.01 $\mu F$	3 ตัว
C 100 $\mu F$	2 ตัว

### อุปกรณ์กึ่งตัวนำ

IC MC14060	1 ตัว
IC MC14017	5 ตัว
IC CD40192	4 ตัว
IC MC14081	2 ตัว
IC MC14073	2 ตัว
IC 74LS47	4 ตัว
IC MC 14049	2 ตัว
IC MC 14013	2 ตัว
NE 555	2 ตัว
IC LM324	1 ตัว
DIODE 1N 4001	4 ตัว
DIODE 1N 4148	2 ตัว
DIODE 2N 3029	2 ตัว

### อุปกรณ์อื่นๆ

CRYTAL	1 ตัว
SOLAR CELL CENS OR	1 ตัว
RELAY DPST	2 ตัว

รายการอุปกรณ์วงจรควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่

ตัวต้านทาน

R 10 K $\Omega$  7 ตัว

R 250 K $\Omega$  2 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C 10  $\mu$ F 1 ตัว

C 0.01  $\mu$ F 1 ตัว

อุปกรณ์กึ่งตัวนำ

IC LM324 2 ตัว

IC MC14081 2 ตัว

IC MC14013 2 ตัว

IC MC14071 1 ตัว

IC MC14079 1 ตัว

DIODE 1N4001 4 ตัว

DIODE 2N3019 4 ตัว

NE 555 1 ตัว

อุปกรณ์อื่นๆ

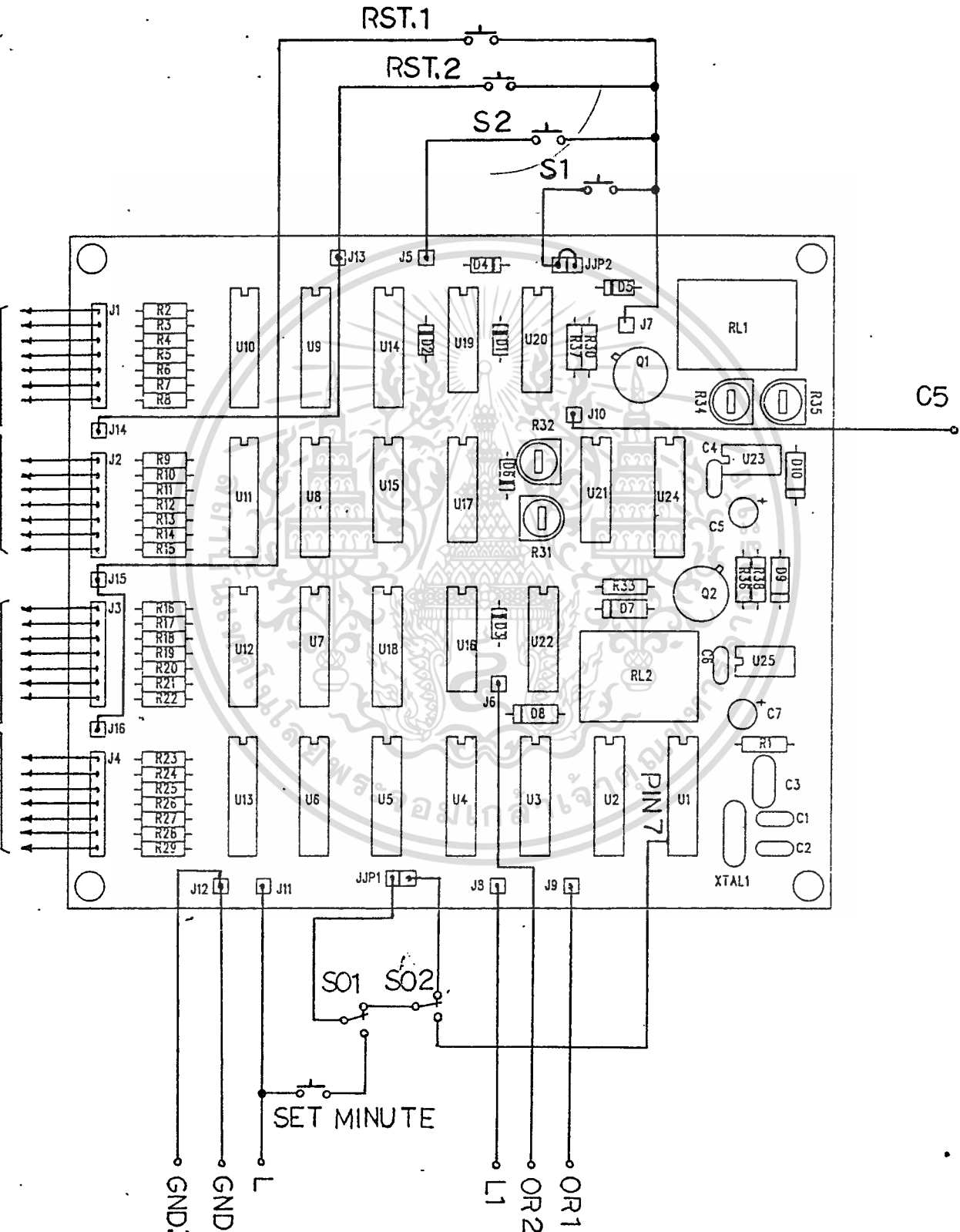
MOTOR DC 12V 2 ตัว

SOLAR CELL SENSOR 4 ตัว

RELAY DPST 5 ตัว

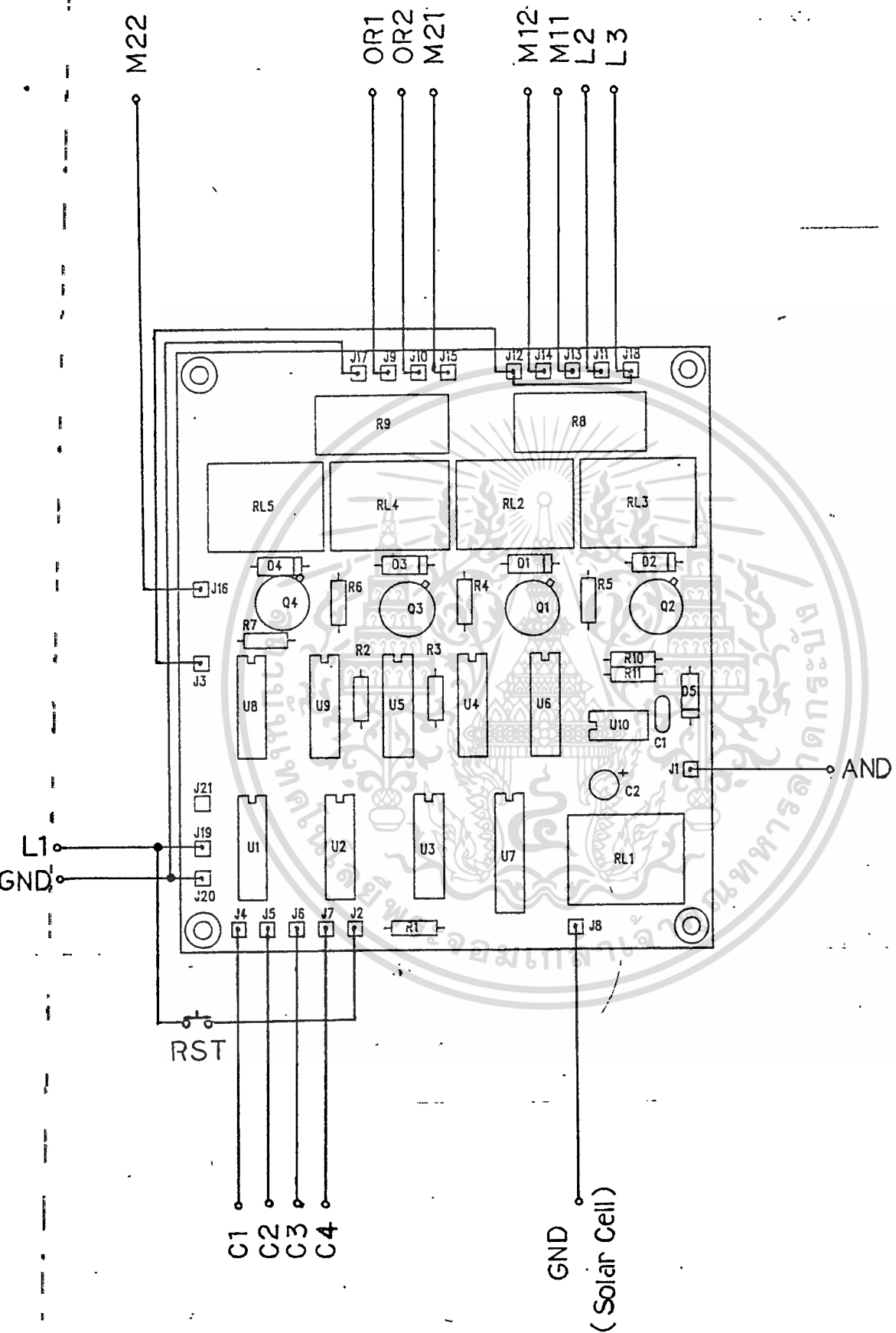
SWITCH กดติดปล่อยดับ 8 ตัว

- 7 SEGMENT - HOUR - 7 SEGMENT - MINUTE



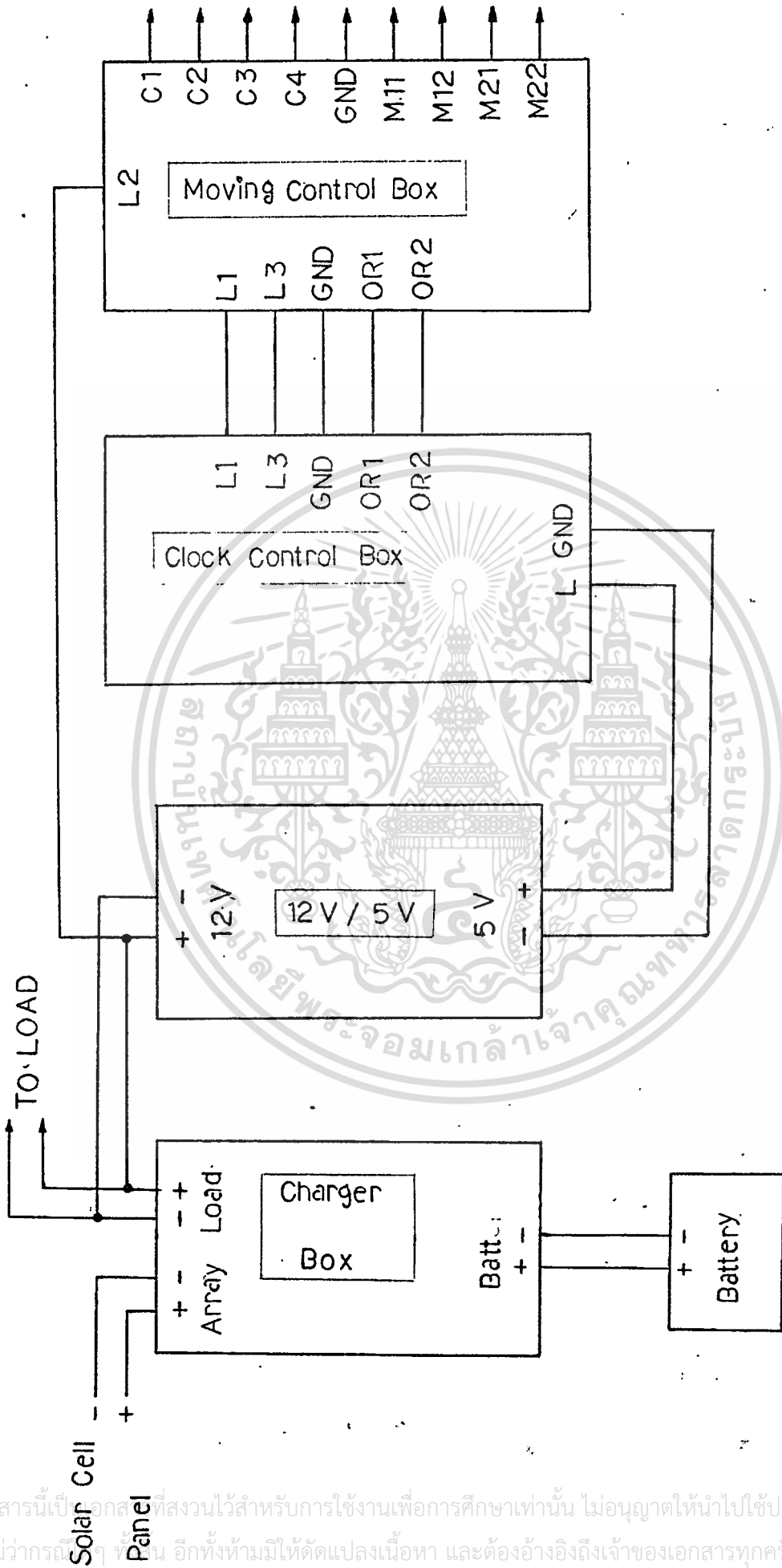
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jumping from PCB to Box



Jumping from PCB to Box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Jumping Box

# SCL4013B



# CMOS DUAL D-TYPE FLIP-FLOP

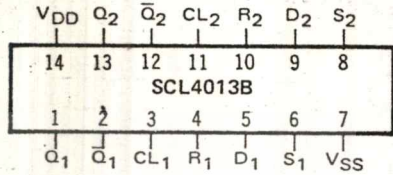
### FEATURES

- ◆ Independent Set and Reset Controls
- ◆ Static Operation
- ◆ Logic Edge-Clocked Design
- ◆ 16MHz Toggle Rate @ 10Vdc
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

### DESCRIPTION

The SCL4013B consists of two identical, independent D-type Flip-Flops. These devices can be used for shift register applications, and, by connecting the Q output to the Data input, for counter and toggle applications. The logic level present at the D input is transferred to the Q output during the positive-going transition of the Clock pulse. Setting or resetting is independent of the Clock and is accomplished by a high level on the Set or Reset line, respectively.

### CONNECTION DIAGRAM (all packages)



Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

### TRUTH TABLE

CL $\Delta$	D	R	S	Q	$\bar{Q}$
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0
x	x	0	0	Q	$\bar{Q}$
x	x	1	0	0	1
x	x	0	1	1	0
x	x	1	1	1	1

NO CHANGE

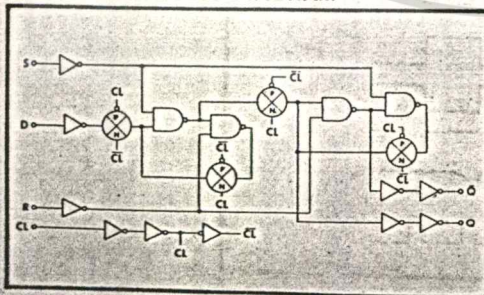
$\Delta$  = Level Change  
x = Don't Care

### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

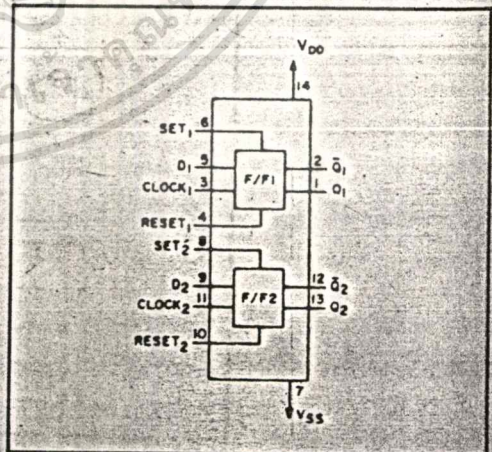
For maximum reliability:

DC Supply Voltage	V <sub>DD</sub> - V <sub>SS</sub>	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

### LOGIC DIAGRAM



### BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS <sup>1,2</sup>

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C			T <sub>HIGH</sub> <sup>2</sup>		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	V <sub>DD</sub>	V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	5	1.0	—	0.005	1.0	—	30	μA <sub>dc</sub>
			10	2.0	—	0.01	2.0	—	60	
			15	4.0	—	0.02	4.0	—	120	

NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".

<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device.

= -40°C for E device.

T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.

= + 85°C for E device.

<sup>3</sup> This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

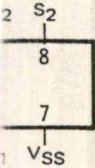
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
CLOCKED OPERATION					
PROPAGATION DELAY TIME	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5	125	250	ns
		10	65	130	
		15	45	90	
OUTPUT TRANSITION TIME	t <sub>TLH</sub> , t <sub>TML</sub>	5	100	200	ns
		10	50	100	
		15	40	80	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW <sub>CL</sub>	5	70	140	ns
		10	30	60	
		15	20	40	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f <sub>CL</sub>	5	3.5	7.0	MHz
		10	8.0	16	
		15	12.5	25	
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME <sup>1</sup>	t <sub>rCL</sub> , t <sub>fCL</sub>	5	15	—	μs
		10	10	—	
		15	5	—	
MINIMUM SETUP TIME	t <sub>setup</sub>	5	25	50	ns
		10	10	20	
		15	7.5	15	
MINIMUM HOLD TIME	t <sub>hold</sub>	5	-25	0	ns
		10	-10	0	
		15	-5	0	
SET AND RESET OPERATIONS					
PROPAGATION DELAY TIME S to Q, R to Q	t <sub>PLH</sub>	5	125	250	ns
		10	65	130	
		15	45	90	
MINIMUM SET AND RESET PULSE WIDTH	PW <sub>S</sub> , PW <sub>R</sub>	5	65	130	ns
		10	30	60	
		15	25	50	
SET AND RESET REMOVAL TIME	t <sub>rem</sub>	5	0	25	ns
		10	0	10	
		15	0	5	

<sup>1</sup>When units are cascaded, the maximum rise and fall times of the clock input should be equal to or less than the transition times of the data outputs driving data inputs, plus the propagation delay of the output driving stage for the output capacitive load.

IP-FLOP

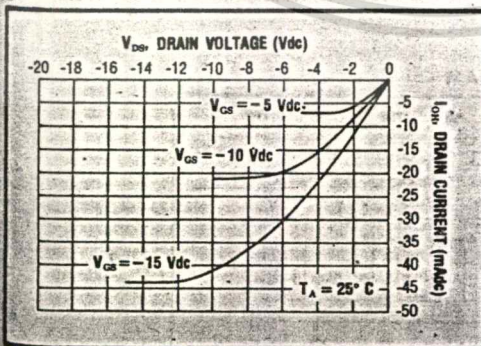
AM



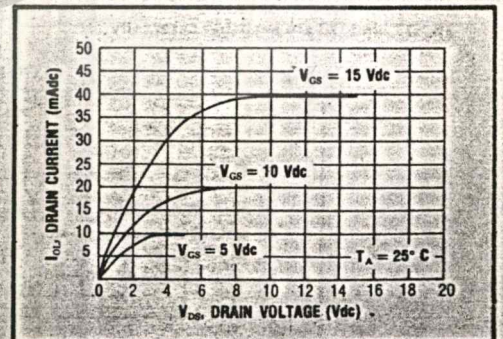
CONDITIONS

3 to 15 Vdc

55 to +125 °C  
-40 to +85 °C



Typical P-Channel Source Current Characteristics



Typical N-Channel Sink Current Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SCL4017AB



# CMOS DECADE COUNTER/DIVIDER

### FEATURES

- ◆ 10 Decoded Decimal Outputs
- ◆ Direct Reset
- ◆ Trigger from either Edge of Clock Input
- ◆ Carry Output for Cascading Stages
- ◆ Fully Static Operation - DC to 5MHz @ 10Vdc

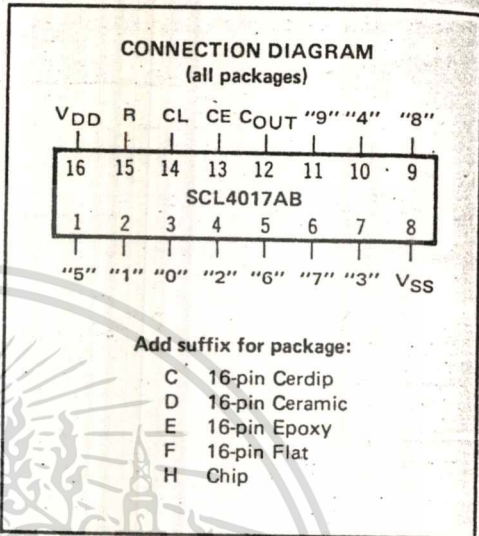
### DESCRIPTION

The SCL4017AB consists of a 5-stage Johnson Decade Counter, and an Output Decoder. Inputs include Clock, Reset, and Clock Enable signals.

The counter has interchangeable Clock and Clock Enable lines for incrementing on either a positive-going or negative-going transition, respectively. A high Reset signal clears the counter to its zero count.

Use of the Johnson decade counter configuration permits high-speed operation, 2-input decode gating, and spike-free decoded outputs. Anti-lock gating is provided, thus assuring proper counting sequence. The 10 decoded outputs are normally low and go high only at their respective decoded time slot. Each decoded output remains high for one full clock cycle. A Carry-out (C<sub>OUT</sub>) signal completes one cycle every 10 clock input cycles and is used to directly clock the succeeding counter in multi-stage applications.

This part can be used in frequency division circuits as well as decade counter or decimal decode display applications.



### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	V <sub>DD</sub> - V <sub>SS</sub>	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

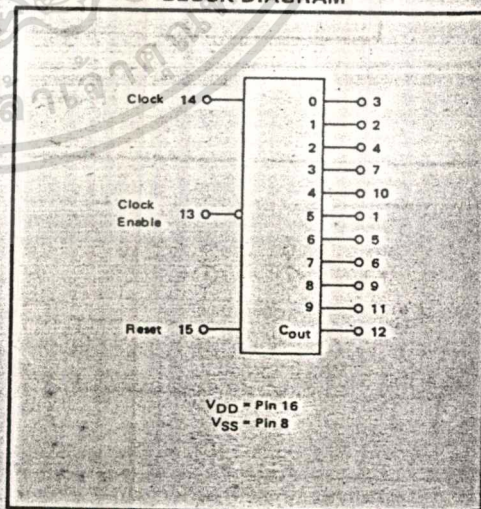
**FUNCTIONAL TRUTH TABLE**  
(Positive Logic)

Clock	Clock Enable	Reset	Decode Output = n
0	X	0	n
X	1	0	n
X	X	1	"0"
X	0	0	n + 1
X	X	0	n
X	X	0	n
1	X	0	n + 1

x = Don't Care

If n < 5 Carry = "1", Otherwise = "0"

**BLOCK DIAGRAM**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS <sup>1</sup>

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (V <sub>dC</sub> )	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C			T <sub>HIGH</sub> <sup>2</sup>		Units				
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.					
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I <sub>DD</sub>	5	V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	-	5	-	0.05	5	-	150	μA <sub>dC</sub>			
		10	All valid input combinations	-	10	-	0.1	10	-	300				
		15		-	20	-	0.2	20	-	600				
OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT C, D, F, H device Decoded Outputs	I <sub>OH</sub>	5	V <sub>OH</sub> = 4.6V	-0.05	-	-0.04	-0.3	-	-0.028	-	mA <sub>dC</sub>			
		10	V <sub>OH</sub> = 9.5V	-0.125	-	-0.1	-0.75	-	-0.07	-				
		15	V <sub>OH</sub> = 13.5V	-0.375	-	-0.3	-2.5	-	-0.21	-				
				V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>										
		Carry Output	5	V <sub>OH</sub> = 4.6V	-0.25	-	-0.2	-0.75	-	-0.14		-	mA <sub>dC</sub>	
			10	V <sub>OH</sub> = 9.5V	-0.62	-	-0.5	-1.1	-	-0.35		-		
			15	V <sub>OH</sub> = 13.5V	-1.9	-	-1.5	-3.5	-	-1.1		-		
				V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>										
		E device Decoded Outputs	I <sub>OH</sub>	5	V <sub>OH</sub> = 4.6V	-0.048	-	-0.04	-0.3	-		-0.032	-	mA <sub>dC</sub>
				10	V <sub>OH</sub> = 9.5V	-0.12	-	-0.1	-0.75	-		-0.08	-	
				15	V <sub>OH</sub> = 13.5V	-0.36	-	-0.3	-2.5	-		-0.24	-	
						V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>								
Carry Output	5			V <sub>OH</sub> = 4.6V	-0.24	-	-0.2	-0.75	-	-0.16	-	mA <sub>dC</sub>		
	10			V <sub>OH</sub> = 9.5V	-0.6	-	-0.5	-1.1	-	-0.4	-			
	15	V <sub>OH</sub> = 13.5V	-1.8	-	-1.5	-3.5	-	-1.2	-					
		V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>												
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device Decoded Outputs	I <sub>OL</sub>	5	V <sub>OL</sub> = 0.4V	0.05	-	0.04	0.4	-	0.028	-	mA <sub>dC</sub>			
		10	V <sub>OL</sub> = 0.5V	0.125	-	0.1	1.0	-	0.07	-				
		15	V <sub>OL</sub> = 1.5V	0.375	-	0.3	3.0	-	0.21	-				
				V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>										
		Carry Output	5	V <sub>OL</sub> = 0.4V	0.25	-	0.2	0.75	-	0.14		-	mA <sub>dC</sub>	
			10	V <sub>OL</sub> = 0.5V	0.62	-	0.5	1.3	-	0.35		-		
			15	V <sub>OL</sub> = 1.5V	1.9	-	1.5	4.0	-	1.1		-		
				V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>										
		E device Decoded Outputs	I <sub>OL</sub>	5	V <sub>OL</sub> = 0.4V	0.048	-	0.04	0.4	-		0.032	-	mA <sub>dC</sub>
				10	V <sub>OL</sub> = 0.5V	0.12	-	0.1	1.0	-		0.08	-	
				15	V <sub>OL</sub> = 1.5V	0.36	-	0.3	3.0	-		0.24	-	
						V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>								
Carry Output	5			V <sub>OL</sub> = 0.4V	0.24	-	0.2	0.75	-	0.16	-	mA <sub>dC</sub>		
	10			V <sub>OL</sub> = 0.5V	0.6	-	0.5	1.3	-	0.4	-			
	15	V <sub>OL</sub> = 1.5V	1.8	-	1.5	4.0	-	1.2	-					
		V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>												

NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".  
<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device.  
 = -40°C for E device.  
 T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.  
 = + 85°C for E device.

DECADE DIVIDER

M

4" 8"  
10 9

7 8  
3" V<sub>SS</sub>

DITIONS

3 to 15 V<sub>dC</sub>

5 to +125 °C  
-40 to +85 °C

3  
2  
4  
7  
10  
1  
5  
6  
9  
11  
12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

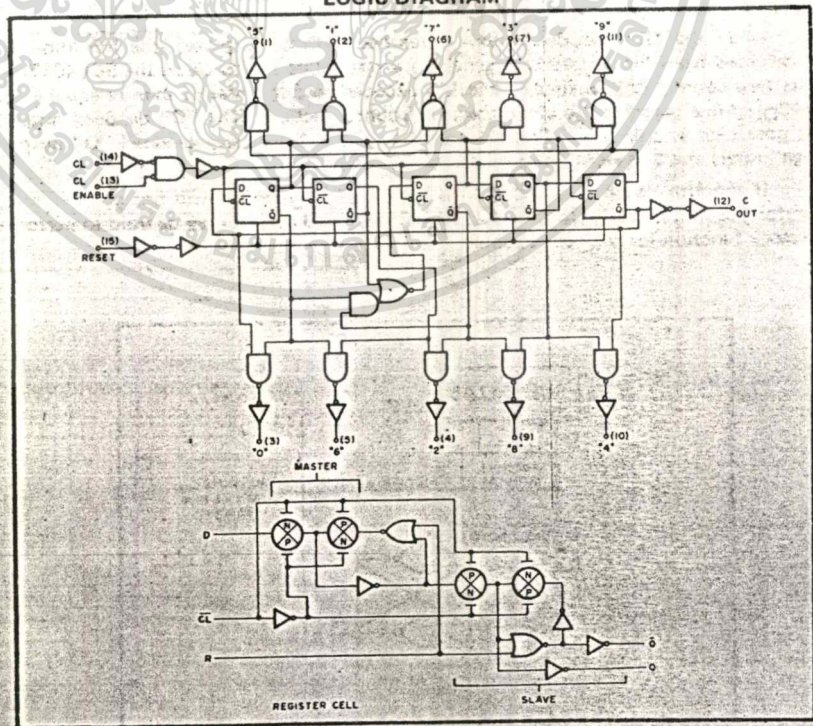
DYNAMIC CHARACTERISTICS ( $C_L = 50\text{pF}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

PARAMETER		V <sub>DD</sub> (V <sub>dC</sub> )	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>CLOCKED OPERATION</b>						
PROPAGATION DELAY TIME To Decoded Outputs	$t_{PLH}, t_{PHL}$	5	—	600	1200	ns
		10	—	240	480	
		15	—	180	360	
To Carry Output	$t_{PLH}, t_{PHL}$	5	—	500	1000	ns
		10	—	200	400	
		15	—	150	300	
OUTPUT TRANSITION TIME Decoded Outputs	$t_{TLH}, t_{THL}$	5	—	250	500	ns
		10	—	125	250	
		15	—	90	180	
Carry Output	$t_{TLH}, t_{THL}$	5	—	180	360	ns
		10	—	90	180	
		15	—	65	130	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW <sub>CL</sub>	5	—	200	400	ns
		10	—	100	200	
		15	—	80	160	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f <sub>CL</sub>	5	1.25	2.5	—	MHz
		10	2.5	5.0	—	
		15	3.0	6.0	—	
MAXIMUM CLOCK OR ENABLE RISE AND FALL TIME	$t_{rCL}, t_{fCL}$	5	15	—	—	μs
		10	15	—	—	
		15	5	—	—	
MINIMUM ENABLE SETUP TIME	t <sub>setup</sub>	5	—	175	350	ns
		10	—	75	150	
		15	—	55	110	
MINIMUM ENABLE REMOVAL TIME	t <sub>rem</sub>	5	—	250	500	ns
		10	—	100	200	
		15	—	75	150	
<b>RESET OPERATION</b>						
PROPAGATION DELAY TIME To Decoded Outputs	$t_{PLH}, t_{PHL}$	5	—	500	1000	ns
		10	—	200	400	
		15	—	140	280	
To Carry Output	t <sub>PLH</sub>	5	—	400	800	ns
		10	—	150	300	
		15	—	110	220	
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW <sub>R</sub>	5	—	150	300	ns
		10	—	75	150	
		15	—	60	120	
RESET REMOVAL TIME	t <sub>rem</sub>	5	—	250	500	ns
		10	—	100	200	
		15	—	80	160	

AC MEASUREMENT DEFINITION AND FUNCTIONAL WAVEFORMS



LOGIC DIAGRAM



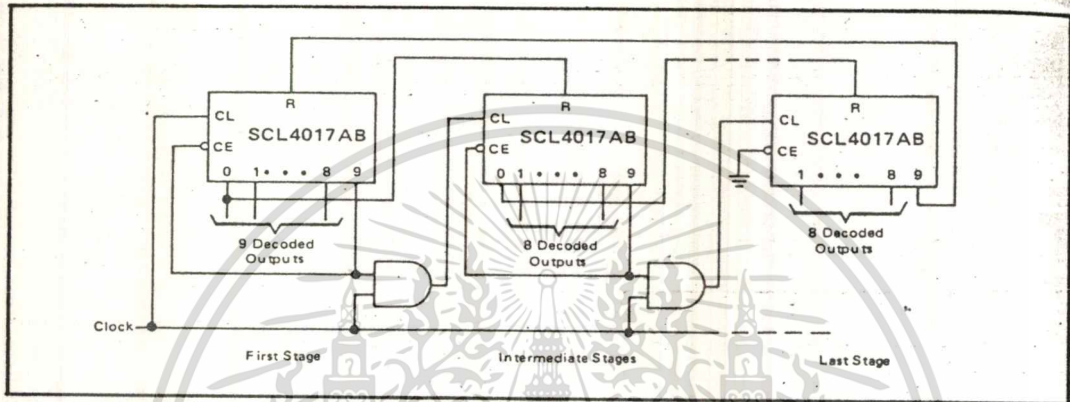
Units
ns
ns
ns
ns
ns
ns
MHz
μs
ns
ns
ns
ns
ns
ns
ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

COUNTER EXPANSION

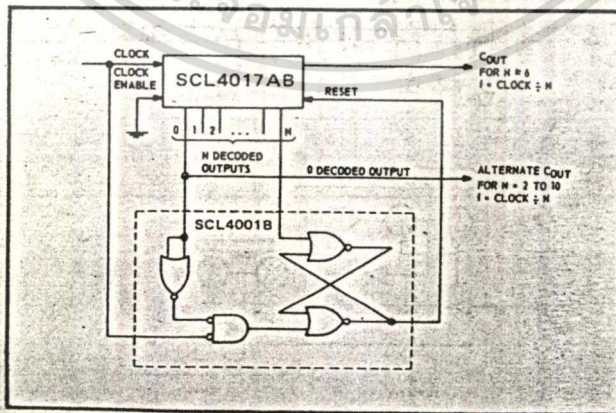
This figure shows a technique for extending the number of decoded output states for the SCL4017AB. Decoded outputs are sequential within each stage and from stage to stage, with no dead time (except propagation delay).



DIVIDE-BY-N COUNTER

When the Nth decoded output is reached (Nth clock pulse), the S-R flip-flop (constructed from the SCL4001B) generates a reset pulse which clears the SCL4017AB to its zero count. At this time, if the Nth decoded output is greater than or equal to 6, the COUT line goes high to clock the next counter section. The "0" decoded output also goes high at this time. Coincidence of the clock "low" and decoded "0" output "high" resets the S-R flip-flop to enable the SCL4017AB.

If the Nth decoded output is less than 6, the COUT line will not go high, and, therefore, cannot be used. In this case, the "0" decoded output may be used to perform the clock function for the next counter.



FEATURES

- ◆ Divide-by-N Counter
- ◆ One Enable Input
- ◆ Johnson Counter
- ◆ Fully Synchronous

DESCRIPTION

The SCL4017AB is a 17-stage, binary counter with a Preset Enable input. Divided outputs are provided for Q3, Q2, Q1, and Q0. The input divider can be implemented by the Data Input Enable input. The Data Input Enable can be active low or active high. The positive clock input clears the Preset-Enable inputs to prevent a race condition. The sequence of the counter is determined by the division ratio.

This document describes the division ratio.

1	"DATA" Input Enable
2	CLOCK
3	RESET
4	PRESET ENABLE
5	Q <sub>3</sub>
6	Q <sub>2</sub>
7	Q <sub>1</sub>
8	Q <sub>0</sub>
9	C <sub>OUT</sub>
10	0
11	1
12	2
13	3
14	4
15	5
16	6
17	7
18	8
19	9
20	10
21	11
22	12
23	13
24	14
25	15
26	16
27	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SCL4049UB Inverting  
SCL4050B Non-Inverting**



**CMOS  
HEX BUFFERS/CONVERTERS**

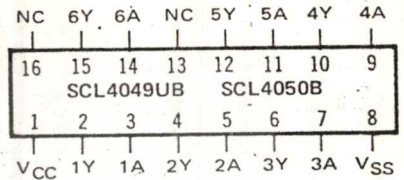
**FEATURES**

- ◆ Direct Drive of 2 TTL/DTL Loads
- ◆ Operation from Single Supply
- ◆ Pin-for Pin Replacements for SCL4009B, SCL4010B

**DESCRIPTION**

The SCL4049UB and SCL4050B are Inverting and Non-Inverting Hex Buffers, respectively, and feature logic-level conversion using only one supply voltage ( $V_{CC}$ ). The Input-signal high level ( $V_{IH}$ ) can exceed the  $V_{CC}$  supply voltage when these devices are used for logic-level conversions. These devices are intended for use as CMOS-to-DTL/TTL converters and can drive directly two DTL/TTL Loads. The SCL4049UB and SCL4050B are interchangeable with SCL4009UB and SCL4010B devices, respectively. In these applications the SCL4049UB and SCL4050B are pin-compatible with the SCL4009UB and SCL4010B, respectively, and can be substituted for these devices in existing as well as in new designs. Terminal No. 16 is not connected internally on the SCL4049UB or SCL4050B; therefore, connection to this terminal is of no consequence to circuit operation.

**CONNECTION DIAGRAM  
(all packages)**



**Add suffix for package:**

- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

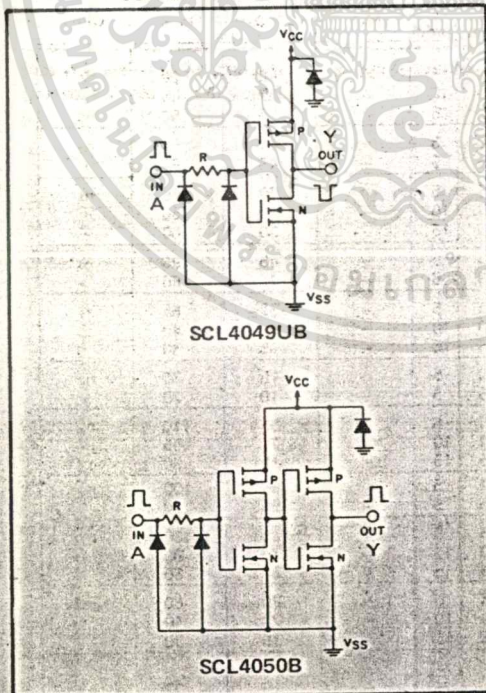
**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

For maximum reliability:

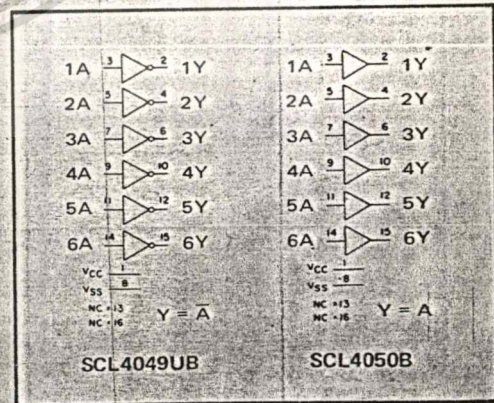
DC Supply Voltage	$V_{CC} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	$T_A$	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

**Note:** These devices contain input protection networks to  $V_{SS}$  only. Therefore,  $V_{IH}$  (max) may exceed  $V_{CC}$  without damage (subject to absolute maximum ratings).

**SCHEMATIC DIAGRAMS**



**LOGIC DIAGRAMS**



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS <sup>1,3</sup>

PARAMETER	V <sub>CC</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C			T <sub>HIGH</sub> <sup>2</sup>		Units	
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.		
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I <sub>CC</sub>	V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	—	1.0	—	0.005	1.0	—	30	μAdc	
			—	2.0	—	0.01	2.0	—	60		
			—	4.0	—	0.02	4.0	—	120		
MINIMUM INPUT HIGH VOLTAGE SCL4049UB	V <sub>IH</sub>	V <sub>OL</sub> =0.5V V <sub>OH</sub> =1.0V V <sub>OL</sub> =1.5V	—	4.0	—	2.75	4.0	—	4.0	Vdc	
			—	8.0	—	5.5	8.0	—	8.0		
			—	12.0	—	8.25	12.0	—	12.0		
MAXIMUM INPUT LOW VOLTAGE SCL4049UB	V <sub>IL</sub>	V <sub>OH</sub> =3.6V V <sub>OH</sub> =7.2V V <sub>OH</sub> =10.8V	1.0	—	1.0	2.25	—	1.0	—	Vdc	
			2.0	—	2.0	4.5	—	2.0	—		
			3.0	—	3.0	6.75	—	3.0	—		
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H devices	I <sub>OL</sub>	V <sub>OL</sub> =0.4V V <sub>OL</sub> =0.5V V <sub>OL</sub> =1.5V V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	4.0	—	3.2	6.4	—	2.4	—	mAdc	
			10	—	8.0	16	—	5.6	—		
			30	—	24.0	40	—	16.8	—		
			—	—	—	—	—	—	—		—
			—	—	—	—	—	—	—		—
			—	—	—	—	—	—	—		—
E device	I <sub>OL</sub>	V <sub>OL</sub> =0.4V V <sub>OL</sub> =0.5V V <sub>OL</sub> =1.5V V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	3.8	—	3.2	6.4	—	2.6	—	mAdc	
			9.6	—	8.0	16	—	6.4	—		
			28	—	24.0	40	—	19	—		
			—	—	—	—	—	—	—		—

NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".

<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device.

= -40°C for E device.

T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.

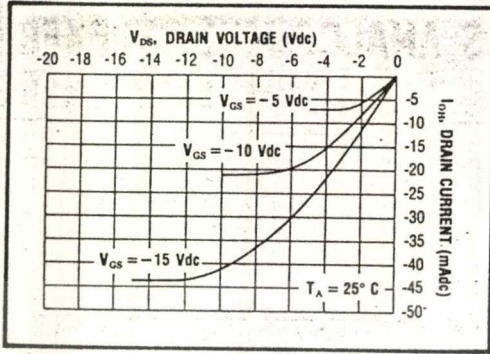
= +85°C for E device.

<sup>3</sup> These devices have been designed to meet the balanced output drive current specifications for Output High (Source) Current. Consult Family Specifications.

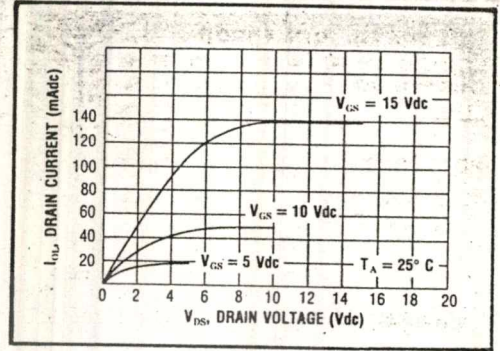
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

PARAMETER		V <sub>IN</sub> (Vdc)	V <sub>CC</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units		
PROPAGATION DELAY TIME SCL4049UB	t <sub>PLH</sub>	5	5	—	60	120	ns		
		10	10	—	32	65			
		15	15	—	25	50			
	SCL4050B	t <sub>PLH</sub>	10	5	—	45	90	ns	
			15	5	—	45	90		
			5	5	—	70	140		
		SCL4049UB	t <sub>PHL</sub>	10	10	—	40	80	ns
				15	15	—	30	60	
				10	5	—	45	90	
SCL4050B	t <sub>PHL</sub>		15	5	—	40	80	ns	
			5	5	—	15	30		
			10	10	—	32	65		
	OUTPUT TRANSITION TIME	t <sub>TLH</sub>	10	5	—	15	30	ns	
			15	5	—	10	20		
			5	5	—	55	110		
INPUT CAPACITANCE SCL4049UB		t <sub>THL</sub>	10	10	—	27	55	ns	
			15	15	—	15	30		
			10	5	—	50	100		
	C <sub>IN</sub>	—	—	—	—	15	22.5	pF	
				—	—	—	—		
				—	—	—	—		

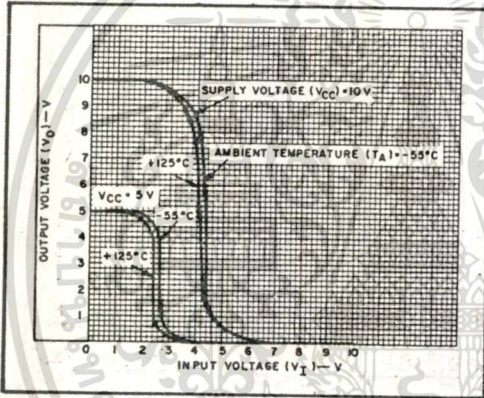
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



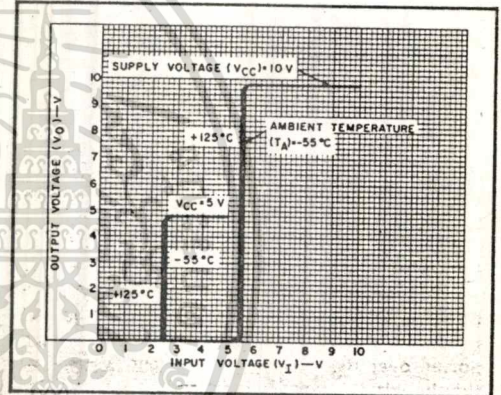
Typical P-Channel Source Current Characteristics



Typical N-Channel Sink Current Characteristics



Typical voltage transfer characteristics as a function of temperature for SCL4049UB.



Typical voltage transfer characteristics as a function of temperature for SCL4050B.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SCL4060AB



# CMOS 14-STAGE BINARY COUNTER AND OSCILLATOR

### FEATURES

- ◆ 14 Fully Static Stages
- ◆ 10 Buffered Outputs Available
- ◆ Common Reset Line
- ◆ 8MHz Counting Rate @ 10Vdc
- ◆ All Active Oscillator Components on Chip for R-C or Crystal Control

### DESCRIPTION

The SCL4060AB consists of an oscillator section and 14 ripple-carry binary counter stages. The oscillator configuration allows design of either R-C or crystal oscillator circuits. A Reset input is provided which resets the counter to the all-0's state. A high level on the Reset line accomplishes the reset function. The state of the counter is advanced one step in binary order on the negative transition of the Clock input  $\phi$ . All inputs and outputs are fully buffered. Outputs are available from stages 4 through 10 and 12 through 14.

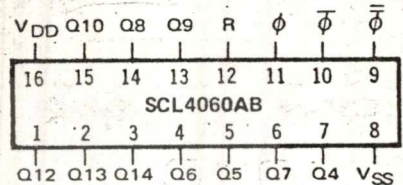
Applications include timers, frequency dividers, delay circuits and counter controls.

### TRUTH TABLE

CLOCK	RESET	OUTPUT STATE
	0	No Change
	0	Advance to next state
X	1	All Outputs are low

X = Don't Care

### CONNECTION DIAGRAM (all packages)



### Add suffix for package:

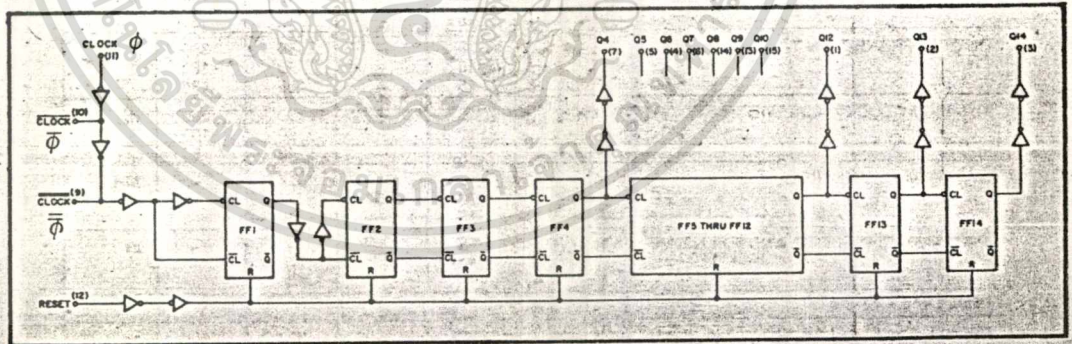
- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	$T_A$	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

### LOGIC DIAGRAM



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

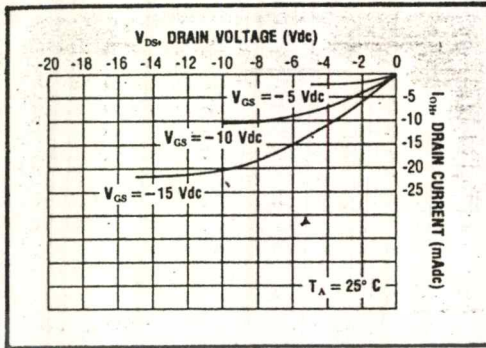
STATIC CHARACTERISTICS<sup>1</sup>

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C			T <sub>HIGH</sub> <sup>2</sup>		Units		
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.			
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I <sub>DD</sub>	V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	—	5	—	0.05	5	—	150	μAdc		
			—	10	—	0.1	10	—	300			
			—	15	—	0.2	20	—	600			
OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT C, D, F, H device	I <sub>OH</sub>	V <sub>OH</sub> =4.6V V <sub>OH</sub> =9.5V V <sub>OH</sub> =13.5V V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	-0.15	—	-0.12	-0.5	—	-0.08	—	mAdc		
			-0.37	—	-0.3	-1.15	—	-0.21	—			
			-1.25	—	-1.0	-4.5	—	-0.69	—			
			E device	V <sub>OH</sub> =4.6V V <sub>OH</sub> =9.5V V <sub>OH</sub> =13.5V V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	-0.14	—	-0.12	-0.5	—	-0.10	—	mAdc
					-0.35	—	-0.3	-1.15	—	-0.25	—	
					-1.2	—	-1.0	-4.5	—	-0.85	—	
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT C, D, F, H device	I <sub>OL</sub>	V <sub>OL</sub> =0.4V V <sub>OL</sub> =0.5V V <sub>OL</sub> =1.5V V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	0.15	—	0.12	0.5	—	0.08	—	mAdc		
			0.37	—	0.3	1.0	—	0.21	—			
			1.25	—	1.0	5.8	—	0.69	—			
			E device	V <sub>OL</sub> =0.4V V <sub>OL</sub> =0.5V V <sub>OL</sub> =1.5V V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub>	0.14	—	0.12	0.5	—	0.10	—	mAdc
					0.35	—	0.3	1.0	—	0.25	—	
					1.2	—	1.0	5.8	—	0.85	—	

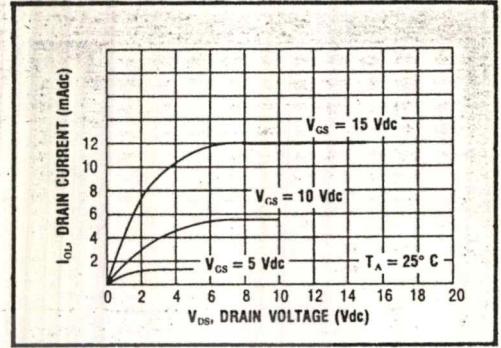
NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".  
<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device.  
= -40°C for E device.  
T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.  
= + 85°C for E device.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
<b>CLOCKED OPERATION</b>						
PROPAGATION DELAY TIME Clock to Q4 Q <sub>i</sub> to Q <sub>i+1</sub>	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5	—	650	1300	ns
		10	—	325	650	
		15	—	260	520	
	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5	—	150	300	ns
		10	—	75	150	
		15	—	60	120	
OUTPUT TRANSITION TIME t <sub>TLH</sub> , t <sub>THL</sub>	5	—	180	360	ns	
	10	—	90	180		
	15	—	65	130		
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH PW <sub>CL</sub>	5	—	100	200	ns	
	10	—	50	100		
	15	—	40	80		
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY f <sub>CL</sub>	5	2.0	4.0	—	MHz	
	10	4.0	8.0	—		
	15	5	10	—		
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME t <sub>rCL</sub> , t <sub>fCL</sub>	5	15	—	—	μs	
	10	15	—	—		
	15	5	—	—		
<b>RESET OPERATION</b>						
PROPAGATION DELAY TIME t <sub>PHL</sub>	5	—	300	600	ns	
	10	—	150	300		
	15	—	120	240		
MINIMUM RESET PULSE WIDTH PW <sub>R</sub>	5	—	150	300	ns	
	10	—	75	150		
	15	—	60	120		
RESET REMOVAL TIME t <sub>rem</sub>	5	—	250	500	ns	
	10	—	125	250		
	15	—	100	200		

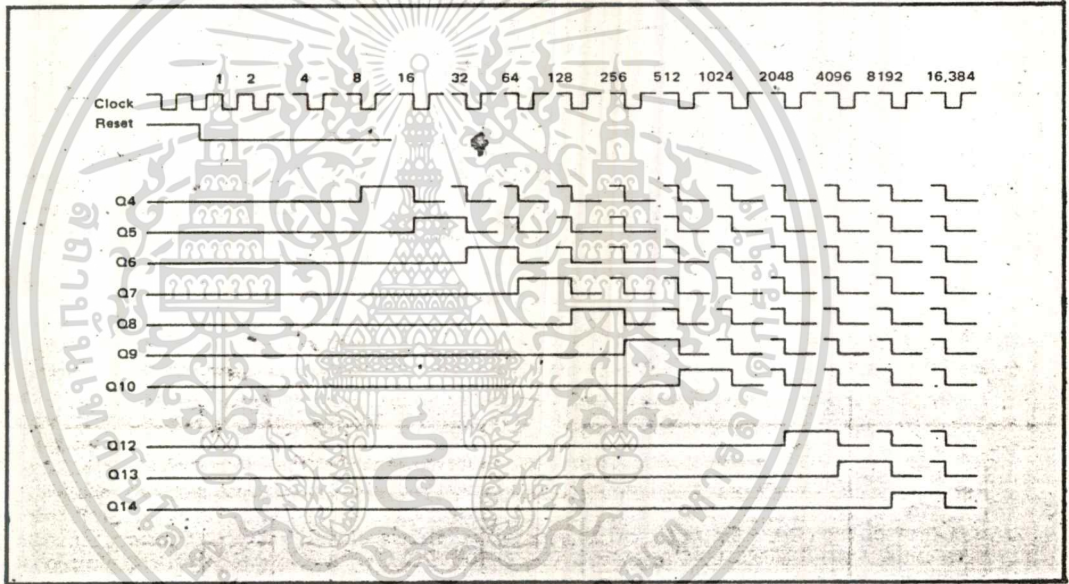


Typical P-Channel Source Current Characteristics

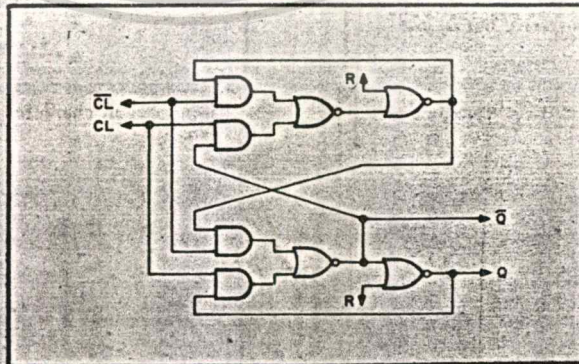


Typical N-Channel Sink Current Characteristics

TIMING DIAGRAM



TYPICAL COUNTER STAGE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

**TYPICAL COMPONENT VALUES AND CIRCUIT PERFORMANCE**

OSCILLATOR FREQUENCY	R <sub>S</sub> KΩ	R <sub>T</sub> KΩ	C <sub>T</sub>	I <sub>DD</sub> mA @ V <sub>DD</sub> = 10 V
10 Hz	450	45	1 μF	0.3
100 Hz	450	45	0.1 μF	0.3
1000 Hz	450	45	0.01 μF	0.4
10 KHz	450	45	0.001 μF	0.5
100 KHz	450	45	100 pF	0.7
1 MHz	45	4.5	100 pF	1

Typical RC oscillator circuit

Typical crystal oscillator circuit

**TYPICAL COMPONENT VALUES FOR OPERATION FROM 60 Hz INPUT AT V<sub>DD</sub> = 3 TO 15 VOLTS:**  
 R<sub>S</sub> = 150 KΩ  
 R<sub>F</sub> = 390 KΩ

(FOR USE WHEN INPUT SIGNALS WITH SLOW RISE-FALL TIME ARE USED AS CLOCK)

Input pulse-shaping circuit (Schmitt trigger)

$$V_p = \frac{R_s + R_f}{R_f} \cdot \frac{V_{DD}}{2}$$

$$V_n = \frac{R_f - R_s}{R_f} \cdot \frac{V_{DD}}{2}$$

$R_f > R_s$

Input circuit characteristics for pulse-shaping circuit.

SCL4071B, SCL4072B  
SCL4075B



CMOS OR GATES

SCL4071B - Quad 2-Input OR  
SCL4072B - Dual 4-Input OR  
SCL4075B - Triple 3-Input OR

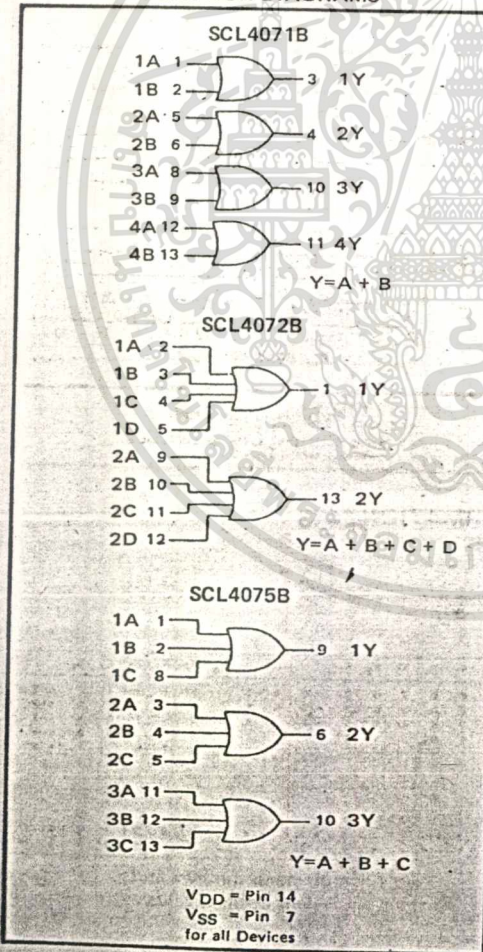
FEATURES

- ◆ Buffered Outputs
- ◆ Diode Protection on all Inputs
- ◆ Fully "B"-Series Compatible
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

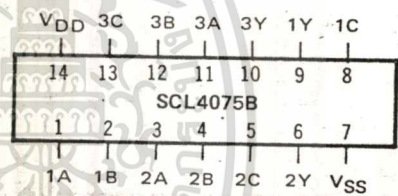
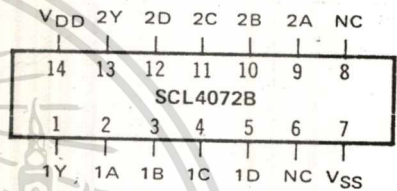
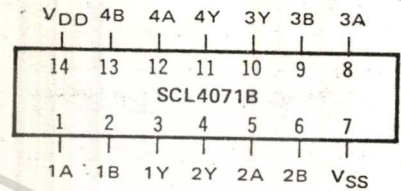
TRUTH TABLE

Inputs	Output
00...0	0
All other combinations	1

FUNCTION DIAGRAMS



CONNECTION DIAGRAMS  
(all packages)



Add suffix for package:

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	$T_A$	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

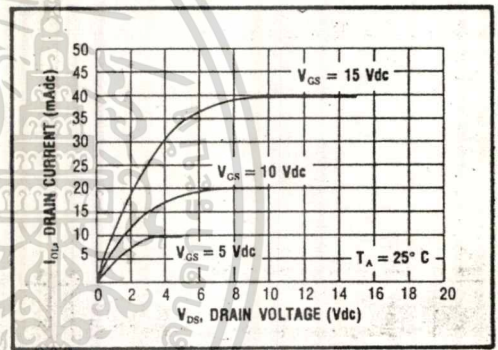
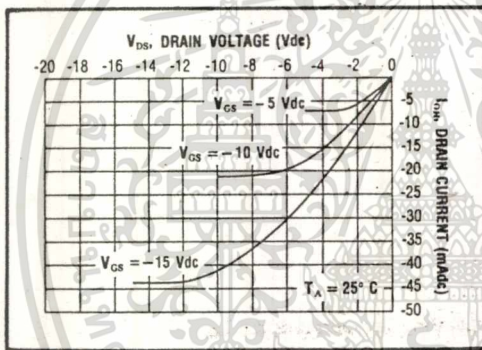
STATIC CHARACTERISTICS<sup>1,3</sup>

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C			T <sub>HIGH</sub> <sup>2</sup>		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I <sub>DD</sub>	V <sub>IN</sub> =V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	-	0.05	-	0.0005	0.05	-	1.5	μAdc
			-	0.10	-	0.001	0.10	-	3.0	
			-	0.20	-	0.002	0.20	-	6.0	

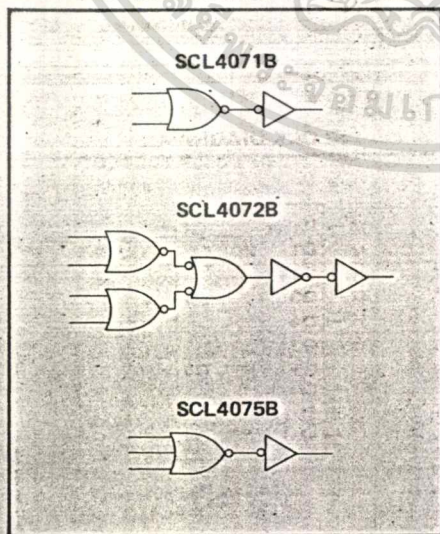
- NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications"  
<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device.  
 = -40°C for E device.  
 T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.  
 = + 85°C for E device.  
<sup>3</sup> These devices have been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

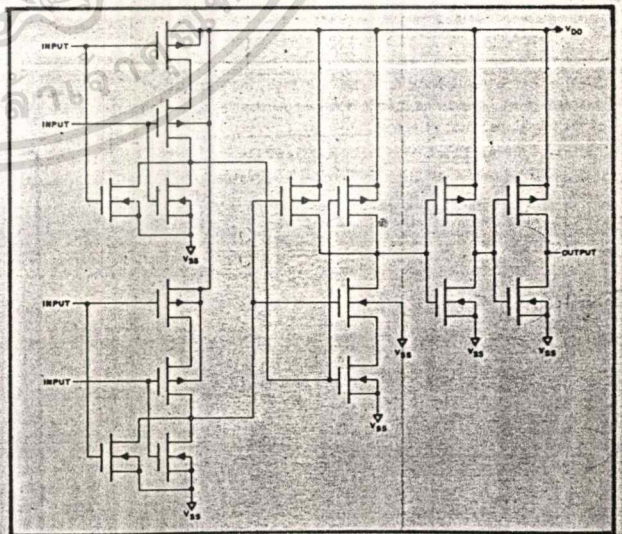
PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5	-	150	300
		10	-	65	130
		15	-	50	100
OUTPUT TRANSITION TIME	t <sub>TLH</sub> , t <sub>THL</sub>	5	-	100	200
		10	-	50	100
		15	-	40	80



LOGIC DIAGRAMS



SCHEMATIC DIAGRAM SCL4072B (1 of 2 gates)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Units
μAdc

tions.

Units
ns
ns

20
----

**SCL4081B, SCL4082B  
SCL4073B**



**CMOS AND GATES**

SCL4081B - Quad 2-Input AND  
SCL4082B - Dual 4-Input AND  
SCL4073B - Triple 3-Input AND

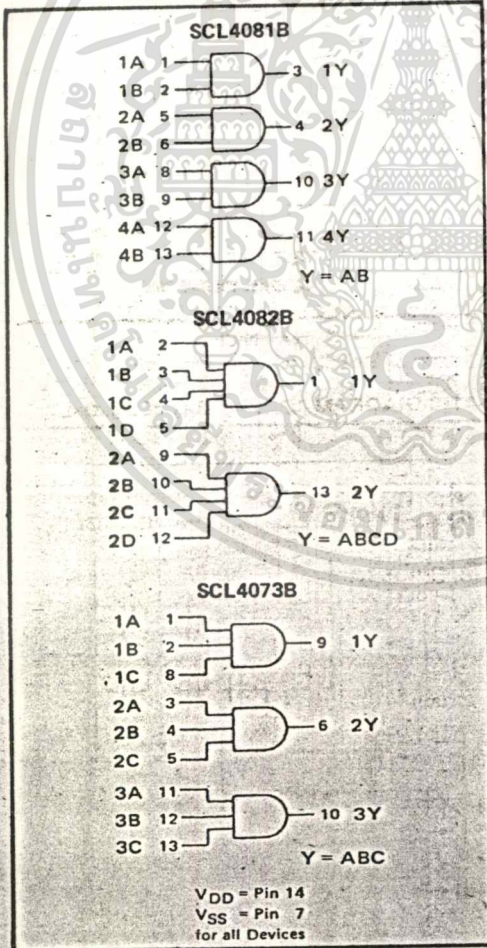
**FEATURES**

- ◆ Buffered Outputs
- ◆ Diode Protection on all Inputs
- ◆ Fully "B"-Series Compatible
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

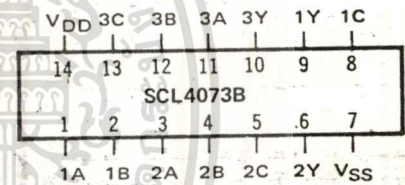
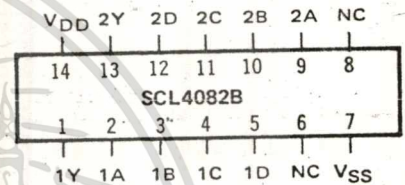
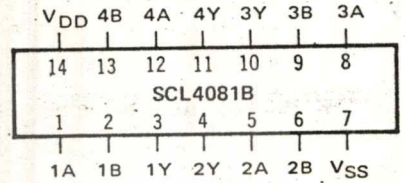
**TRUTH TABLE**

Inputs	Output
1 1 ... 1	1
All other combinations	0

**FUNCTION DIAGRAMS**



**CONNECTION DIAGRAMS**  
(all packages)



**Add suffix for package:**

- C 14-pin Cerdip
- D 14-pin Ceramic
- E 14-pin Epoxy
- F 14-pin Flat
- H Chip

**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	VDD - VSS	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	TA	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

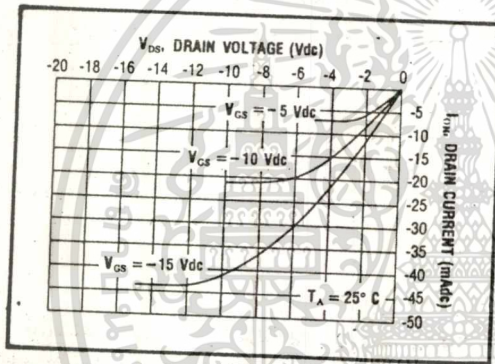
### STATIC CHARACTERISTICS <sup>1, 3</sup>

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	CONDITIONS	T <sub>LOW</sub> <sup>2</sup>		+25°C		T <sub>HIGH</sub> <sup>2</sup>		Units	
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.		Max.
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I <sub>DD</sub>	V <sub>IN</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> All valid input combinations	—	0.05	—	0.0005	0.05	—	—	μA <sub>dc</sub>
			—	0.10	—	0.001	0.10	—	1.5	
			—	0.20	—	0.002	0.20	—	3.0	

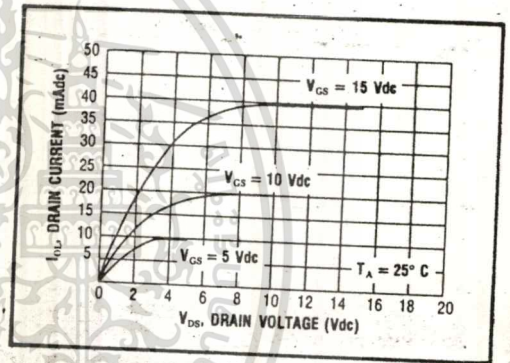
- NOTES: <sup>1</sup> Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications"  
<sup>2</sup> T<sub>LOW</sub> = -55°C for C, D, F, H device.  
 = -40°C for E device.  
 T<sub>HIGH</sub> = +125°C for C, D, F, H device.  
 = + 85°C for E device.  
<sup>3</sup> These devices have been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

### DYNAMIC CHARACTERISTICS (C<sub>L</sub> = 50pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

PARAMETER	V <sub>DD</sub> (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5	—	150	ns
		10	—	65	
		15	—	50	
OUTPUT TRANSITION TIME	t <sub>TLH</sub> , t <sub>THL</sub>	5	—	100	ns
		10	—	50	
		15	—	40	

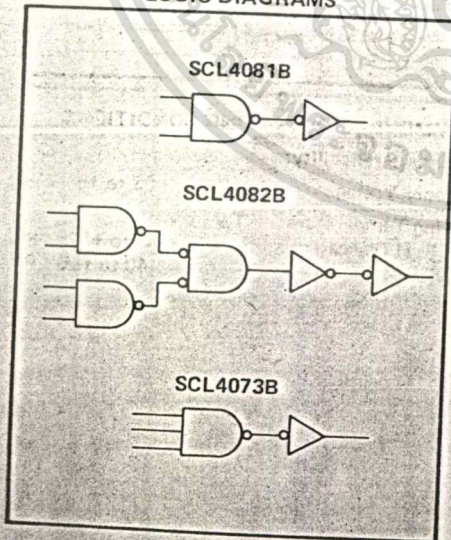


Typical P-Channel Source Current Characteristics

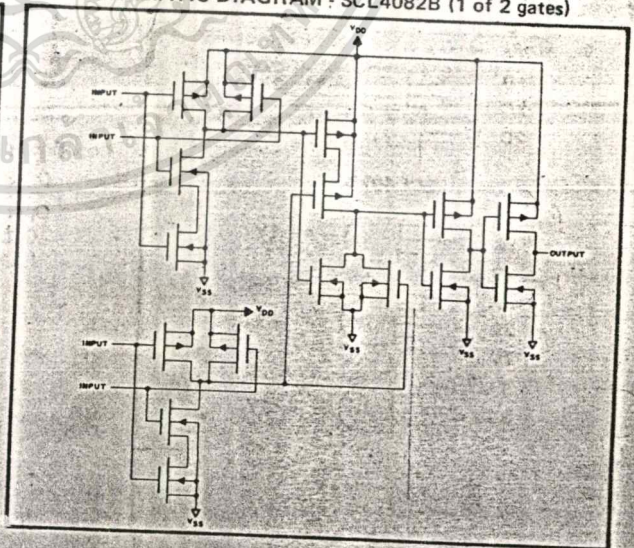


Typical N-Channel Sink Current Characteristics

### LOGIC DIAGRAMS



### SCHEMATIC DIAGRAM : SCL4082B (1 of 2 gates)





### absolute maximum ratings

(Notes 1 and 2)

V <sub>DD</sub> dc Supply Voltage	-0.5 to +18 V <sub>DC</sub>
V <sub>IN</sub> Input Voltage	-0.5 to V <sub>DD</sub> + 0.5 V <sub>DC</sub>
T <sub>S</sub> Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
P <sub>D</sub> Package Dissipation	500 mW
T <sub>L</sub> Lead Temperature, (Soldering, 10 seconds)	300°C

### recommended operating conditions

(Note 2)

V <sub>DD</sub> dc Supply Voltage	3 to 15 V <sub>DC</sub>
V <sub>IN</sub> Input Voltage	0 to V <sub>DD</sub> V <sub>DC</sub>
T <sub>A</sub> Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
	CD40192BM, CD40193BM
	CD40192BC, CD40193BC
	-40°C to +85°C

### dc electrical characteristics (Note 2) CD40192BM, CD40193BM

PARAMETER	CONDITIONS	-55°C		25°C			125°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I <sub>DD</sub> Quiescent Device Current	V <sub>DD</sub> = 5V		5			5		150	μA
	V <sub>DD</sub> = 10V		10			10		300	μA
	V <sub>DD</sub> = 15V		20			20		600	μA
V <sub>OL</sub> Low Level Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V		0.05			0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 10V		0.05			0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 15V		0.05			0.05		0.05	V
V <sub>OH</sub> High Level Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V	4.95		4.95			4.95		V
	V <sub>DD</sub> = 10V	9.95		9.95			9.95		V
	V <sub>DD</sub> = 15V	14.95		14.95			14.95		V
V <sub>IL</sub> Low Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V		1.5			1.5		1.5	V
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V		3.0			3.0		3.0	V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V		4.0			4.0		4.0	V
V <sub>IH</sub> High Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5			3.5		V
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V	7.0		7.0			7.0		V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0			11.0		V
I <sub>OL</sub> Low Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V	0.64	0.51	0.88			0.36		mA
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V	1.6	1.3	2.25			0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	4.2	3.4	8.8			2.4		mA
I <sub>OH</sub> High Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V	-0.64	-0.51	-0.88			-0.36		mA
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.5V	-1.6	-1.3	-2.25			-0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-4.2	-3.4	-8.8			-2.4		mA
I <sub>IN</sub> Input Current	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V		-0.1		-10 <sup>-5</sup>		-0.1		μA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V		0.1		10 <sup>-5</sup>		0.1		μA

### dc electrical characteristics (Note 2) CD40192BC, CD40193BC

PARAMETER	CONDITIONS	-40°C		25°C			85°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I <sub>DD</sub> Quiescent Device Current	V <sub>DD</sub> = 5V		20			20		150	μA
	V <sub>DD</sub> = 10V		40			40		300	μA
	V <sub>DD</sub> = 15V		80			80		600	μA
V <sub>OL</sub> Low Level Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V		0.05			0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 10V		0.05			0.05		0.05	V
	V <sub>DD</sub> = 15V		0.05			0.05		0.05	V
V <sub>OH</sub> High Level Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V	4.95		4.95			4.95		V
	V <sub>DD</sub> = 10V	9.95		9.95			9.95		V
	V <sub>DD</sub> = 15V	14.95		14.95			14.95		V
V <sub>IL</sub> Low Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V		1.5			1.5		1.5	V
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V		3.0			3.0		3.0	V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V		4.0			4.0		4.0	V
V <sub>IH</sub> High Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5			3.5		V
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1V or 9V	7.0		7.0			7.0		V
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0			11.0		V
I <sub>OL</sub> Low Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V	0.52	0.44	0.88			0.36		mA
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V	1.3	1.1	2.25			0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	3.6	3.0	8.8			2.4		mA
I <sub>OH</sub> High Level Output Current	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V	-0.52	-0.44	-0.88			-0.36		mA
	V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.5V	-1.3	-1.1	-2.25			-0.9		mA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-3.6	-3.0	-8.8			-2.4		mA
I <sub>IN</sub> Input Current	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V		-0.3		-10 <sup>-5</sup>		-0.3		μA
	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V		0.3		10 <sup>-5</sup>		0.3		μA

Conditions

3 to 15 V<sub>DC</sub>  
0 to V<sub>DD</sub> V<sub>DC</sub>  
-55°C to +125°C  
-40°C to +85°C

C	UNITS
MAX	
150	μA
300	μA
600	μA
0.05	V
0.05	V
0.05	V
	V
	V
1.5	V
3.0	V
4.0	V
	V
	V
	mA
	mA
	mA
	mA
	mA
-1.0	μA
1.0	μA

MAX	UNITS
150	μA
300	μA
600	μA
0.05	V
0.05	V
0.05	V
	V
	V
	V
1.5	V
3.0	V
4.0	V
	V
	V
	V
	V
	mA
	mA
	mA
	mA
	mA
0	μA
0	μA

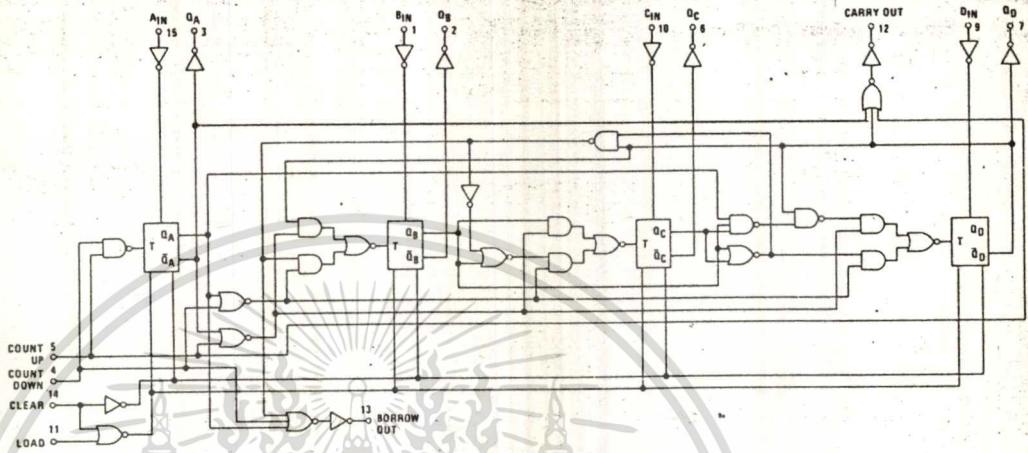
ac electrical characteristics T<sub>A</sub> = 25°C, C<sub>L</sub> = 50 pF, R<sub>L</sub> = 200KΩ, t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 20ns, unless otherwise specified.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
t <sub>PLH</sub> or t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay Time From Count Up Or Count Down To Q	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		250 100 80	400 160 130	ns
t <sub>PLH</sub> or t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay Time From Count Up To Carry	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		120 50 40	200 80 65	ns
t <sub>PLH</sub> or t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay Time From Count Down To Borrow	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		120 50 40	200 80 65	ns
t <sub>SU</sub>	Time Prior To Load That Data Must Be Present	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		100 30 25	160 50 40	ns
t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay Time From Clear To Q	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		130 60 50	220 100 80	ns
t <sub>PLH</sub> or t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay Time From Load To Q	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		300 120 95	480 190 150	ns
t <sub>TLH</sub> or t <sub>THL</sub>	Output Transition Time	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		100 50 40	200 100 80	ns
f <sub>CL</sub>	Maximum Count Frequency	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V	2.5 6 7.5	4 10 12.5		MHz
t <sub>RCL</sub> or t <sub>FCL</sub>	Maximum Count Rise Or Fall Time	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V	15 5 2			μs
t <sub>WH</sub> , t <sub>WL</sub>	Minimum Count Pulse Width	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		120 35 28	200 80 65	ns
t <sub>WH</sub>	Minimum Clear Pulse Width	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		300 120 95	480 190 150	ns
t <sub>WL</sub>	Minimum Load Pulse Width	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		100 40 32	160 65 55	ns
C <sub>IN</sub>	Average Input Capacitance	Load and Data Inputs (A,B,C,D)  Count Up, Count Down and Clear		5  10	7.5  15	pF
C <sub>PD</sub>	Power Dissipation Capacity	(Note 3)		100		pF

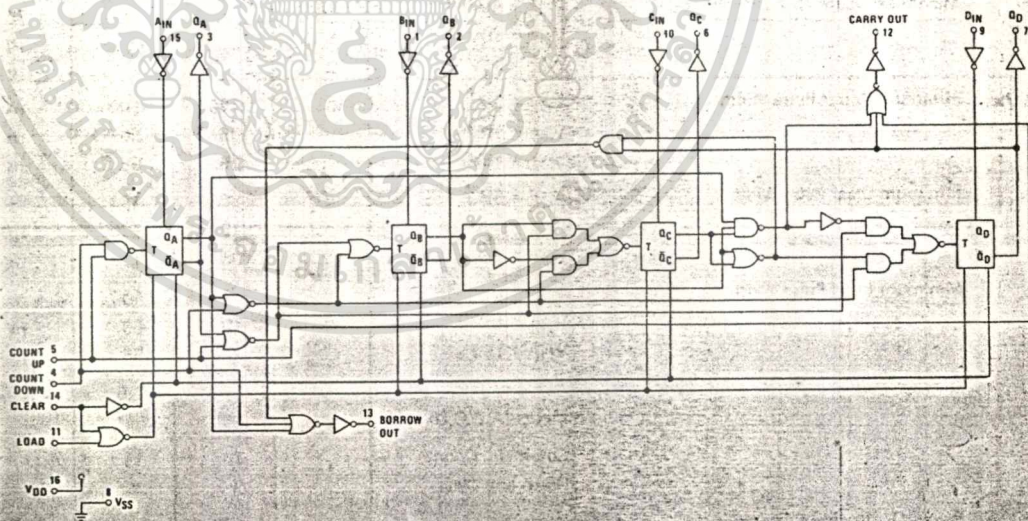
Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed; they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.  
 Note 2: V<sub>SS</sub> = 0V unless otherwise specified.  
 Note 3: C<sub>PD</sub> determines the no load ac power consumption of any CMOS device. For complete explanation, see 54C/74C Family Characteristics application note, AN-90.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

schematic diagrams



CD40192BM/CD40192BC Synchronous 4-Bit Up/Down Decade Counter

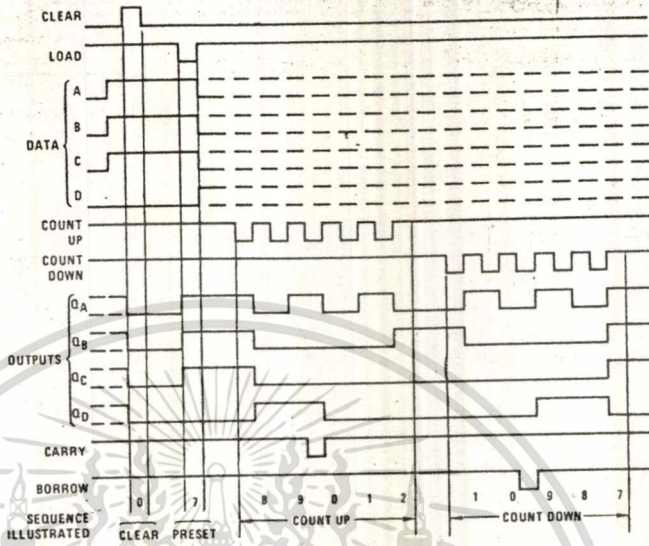
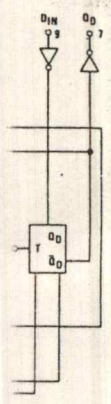


CD40193BM/CD40193BC Synchronous 4-Bit Up/Down Binary Counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

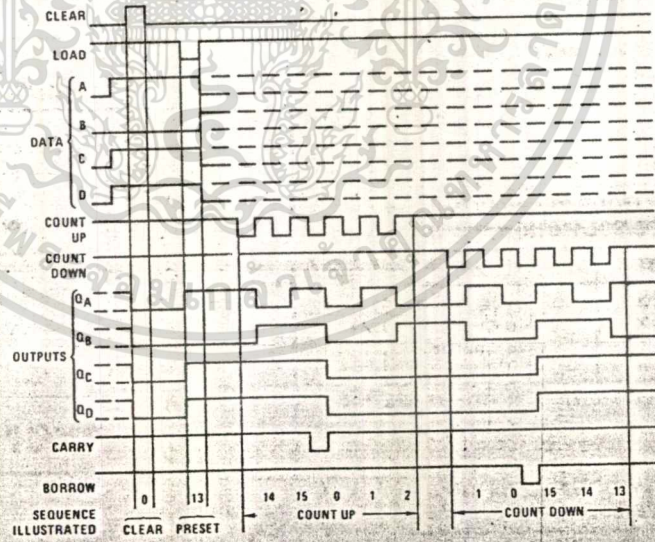
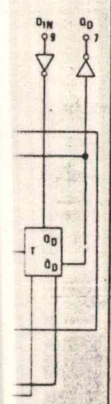


### timing diagrams



- Sequence:
1. Clear outputs to zero.
  2. Load (preset) to BCD seven.
  3. Count up to eight, nine, carry, zero, one and two.
  4. Count down to one, zero, borrow, nine, eight and seven.

CD40192BM/CD40192BC



- Sequence:
1. Clear outputs to zero.
  2. Load (preset) to binary thirteen.
  3. Count up to fourteen, fifteen, carry, zero, one and two.
  4. Count down to one, zero, borrow, fifteen, fourteen and thirteen.

CD40193BM/CD40193BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้