สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดการส่งผ่านของฟิล์มกรองแสง

นางสาวชุติมา หมัดละ
นางสาวสิริพรรณ สุธรรม
นางสาวสุธาสินี พจน์ศิริ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 38544
วัน, เดือน, ปี..... - 5 ส.ค. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Film Transmission Meter

Ms.Chutima Madla

Ms.Siripan Sutham

Ms.Sutasinee Pojsiri

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ เครื่องวัดการส่งผ่านของฟิล์มกรองแสง
(Film Transmission Meter)

โดย นางสาวชุติมา หมัดละ รหัส 39054414
นางสาวสิริพรรณ สุธรรม รหัส 39054455
นางสาวสุธาสินี พจน์ศิริ รหัส 39054456

หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สุวรรณ คูสำราญ
ผศ.อนุพงศ์ สรงประภา
ดร.จิติ หนูแก้ว

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

(รศ.สุรพล รักวิจัย) หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

(รศ. สุวรรณ คูสำราญ) ประธานกรรมการ

(ดร. จิติ หนูแก้ว) กรรมการ

(ผศ. อนุพงศ์ สรงประภา) กรรมการ

(ผศ. เครือวัลย์ ศีตะจิตต์) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เครื่องวัดการส่งผ่านของฟิล์มกรองแสง		
โดย	นางสาวชุติมา	หมัดละ	รหัส 39054414
	นางสาวสิริพรรณ	สุธรรม	รหัส 39054455
	นางสาวสุธาสินี	พจน์ศิริ	รหัส 39054456
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สุวรรณ คูสำราญ		
	ผศ.อนุพงศ์ สรงประภา		
	ดร.จิติ หนูแก้ว		
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์		
ปีการศึกษา	2542		

บทคัดย่อ

เครื่องวัดการส่งผ่านของฟิล์มกรองแสงเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มกรองแสง ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ 1. การแยกสเปกสตรัมของแสงที่ใช้ในการวัด โดยใช้แสงจากหลอดไฟขนาด 35 วัตต์ และทำการแยกสเปกตรัมออกเป็นช่วงความยาวคลื่นต่างกัน 7 ช่วงโดยจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของสีต่าง ๆ โดยใช้เกรตติงเป็นตัวแยกแสง 2. การตรวจจับความเข้มแสงโดยใช้โฟโตไดโอด แล้ววัดค่าแรงดันซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มแสง 3. ส่วนภาคขยาย ใช้ออปแอมป์เบอร์ LF412A ซึ่งเป็นแบบที่มีสัญญาณรบกวนและค่าออฟเซ็ตต่ำขยายสัญญาณที่ได้จากโฟโตไดโอด เพื่อนำไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป 4. ส่วนประมวลผลและแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ใช้เป็น PC-Card เบอร์ ADDA-12 ซึ่งมีความละเอียดในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 12 บิต โดยใช้ภาษาซีในการคำนวณ และควบคุมการทำงาน แล้วจึงแสดงผลเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Film Transmission Meter
Name	Ms.Chutima Madla
	Ms.Siripan Sutham
	Ms.Sutasinee Pojsiri
Special Project Advisor	Assoc.Prof. Suwan Kusamran
	Asst.Prof. Anupong Srongprapa
	Dr. Jiti Nukeaw
Department	Applied Physics, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	1999

Abstract

Film Transmission Meter is designed and developed for measuring film transmittance. It is consisted of 4 important parts, i.e; 1. Light source , tungsten lamp , with grating for wavelength separation. 2. Light detector (photodiode) 3. Detector amplifier circuit with low noise and low offset for amplification of output voltage from photodiodes before converting to digital signal 4. Processing and display unit for converting analog signal to digital signal with 12 bit resolution. C language programming is used for calculation and control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้ประสบกับปัญหาและอุปสรรค์ต่าง ๆ มากมาย และการแก้ไขปัญหาเหล่านี้จะไม่สามารถแก้ไขปัญหาและอุปสรรค์ดังกล่าวได้ ถ้าหากขาดผู้ที่มีอุปการคุณเหล่านี้

รศ. สุวรรณ คูสำราญ	ผู้ให้โอกาสและคำปรึกษาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับโครงงานพิเศษรวมทั้ง หนังสือ และอุปกรณ์
ผศ.อนุพงศ์ สรงประภา	ผู้ให้คำปรึกษาและแนวทางต่าง ๆ ในส่วนของวงจรและตัวดีเทคเตอร์
ดร.จิติ หนูแก้ว	ผู้ให้คำปรึกษาและแนวทางต่าง ๆ ในส่วนของวงจร A/D
นายธวัชชัย คำศรี	ผู้ให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาต่าง ๆ
พี่ ๆ ที่ NECTEC	ผู้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับดีเทคเตอร์ และเปรียบเทียบผล
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์	
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	สถานที่ให้วิชาความรู้ต่าง ๆ มากมาย

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามด้วยความจริงใจ

ชุติมา หมัดละ
สิริพรรณ สุธรรม
สุธาสินี พจน์ศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 สเปกตรัม (Spectrum)	3
2.2 สเปกโตรสโคปี (Spectroscopy)	4
2.3 การวัดสเปกตรัมในช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible Spectrophotometer)	4
2.4 เกรตติง (Grating)	5
2.5 ค่าการส่องผ่าน (Transmittance) , ค่าการสะท้อน (Reflectance) , ค่าการดูดกลืน (Absorptance)	7
2.6 โฟโตไดโอด (Photodiode)	9
2.7 ออปแอมป์ (Op-amp)	11
2.7.1 ต้นกำเนิดของออปแอมป์	11
2.7.2 วงจรออปแอมป์พื้นฐาน	12
2.7.3 การใช้ออปแอมป์ทำงานเป็นวงจรขยายไม่กลับเฟส	13
2.8 อนาลอกและดิจิตอล(Analog and Digital)	14
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบวงจร	17
3.1.1 ส่วนการตรวจจับความเข้มแสง	18
3.1.2 ส่วนการตรวจจับความเข้มแสง	18
3.1.3 ส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.2 การพัฒนาโปรแกรม 20

บทที่ 4 การทดสอบอุปกรณ์

4.1 การตรวจสอบดีเทคเตอร์ 28

4.2 การตรวจสอบส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 31

บทที่ 5 ผลการทดลองและสรุป

5.1 ผลการทดลอง 35

5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 40

5.2.1 เปรียบเทียบลักษณะของรูปกราฟ 40

5.2.5 เปรียบเทียบค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์ม 40

5.3 ข้อผิดพลาด 63

5.4 แนวทางการพัฒนา 63

5.5 ผลสำเร็จของโครงงาน 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	เกรตติงสเปกโตรมิเตอร์	6
รูปที่ 2.2	สเปกตรัมของอาร์กปรอท	6
รูปที่ 2.3	ลักษณะสมบัติของโฟโตไดโอด	10
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสารที่นำมาใช้ทำโฟโตไดโอด	10
รูปที่ 2.5(a)	สัญลักษณ์ของออปแอมป์	11
รูปที่ 2.5(b)	แรงดันเออเร่อร์ (Error Voltage)	11
รูปที่ 2.6	แผนผังภายในของไอซีออปแอมป์	12
รูปที่ 2.7	วงจรขยายไม่กลับเฟส	13
รูปที่ 3.1	แผนภาพไดอะแกรมของเครื่องวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มกรองแสง	17
รูปที่ 3.2	วงจรส่วนรับแสงโดยใช้โฟโตไดโอด	18
รูปที่ 3.3	วงจรขยายไม่กลับเฟส	18
รูปที่ 3.4	A/D การ์ด	20
รูปที่ 3.5	การจัดอุปกรณ์ภายในเครื่องวัดการส่งผ่านแสง	27
รูปที่ 3.6	ตัวรับแสงของเครื่องวัดการส่งผ่านแสง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	สมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	4
ตารางที่ 4.1	ผลการทดสอบดีเทคเตอร์ของฟิล์ม RE70NEARL	29
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบดีเทคเตอร์ของฟิล์ม RE50NEARL	30
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบ PC-Card ทั้ง 7 ช่องสัญญาณ	32
ตารางที่ 5.1	ผลการทดลองของฟิล์ม SCLAR400/SH4CLE	35
ตารางที่ 5.2	ผลการทดลองของฟิล์ม RE70NEARL	36
ตารางที่ 5.3	ผลการทดลองของฟิล์ม RE50NEARL/RE50NEL	36
ตารางที่ 5.4	ผลการทดลองของฟิล์ม P43ARL/P43AL	37
ตารางที่ 5.5	ผลการทดลองของฟิล์ม S35NEARL	37
ตารางที่ 5.6	ผลการทดลองของฟิล์ม RE35NEARL	38
ตารางที่ 5.7	ผลการทดลองของฟิล์ม SH4SIL	38
ตารางที่ 5.8	ผลการทดลองของฟิล์ม P18	39
ตารางที่ 5.9	ผลการทดลองของฟิล์ม RE20NEARL	39
ตารางที่ 5.10	ผลการทดลองของฟิล์ม PNTHR5	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของโครงงานพิเศษ

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการออกกฎหมายควบคุมคุณภาพของฟิล์มกรองแสงที่ใช้ติดรถยนต์ โดยการกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงได้ไม่เกิน 40% ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงนี้สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ และต้องทำการวัดในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งค่าที่ได้จะแม่นยำกว่าค่าที่ได้จากวิธีอื่น ๆ แต่เนื่องจากวิธีดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยาก และต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ และสามารถในการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ทั้งยังราคาแพง และไม่สะดวกในการทำไปใช้งานในภาคสนามด้วย

และวิธีการวัดค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงอีกวิธีหนึ่งก็คือ การวัดค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงโดยตรง โดยไม่มีการแยกสเปกตรัมของแสง ซึ่งวิธีนี้สามารถทำได้ง่าย ค่าใช้จ่ายน้อย และสะดวกต่อการนำไปประยุกต์เป็นเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงสำหรับใช้ในภาคสนาม แต่ค่าที่วัดได้จากวิธีนี้จะมีความคลาดเคลื่อนมากเมื่อเทียบกับการวัดโดยใช้สเปกโตรมิเตอร์

โครงงานพิเศษนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาจากทั้งสองวิธีข้างต้น โดยจำลองหลักการทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงสำหรับใช้ในภาคสนาม ซึ่งจะทำให้ได้ค่าที่แม่นยำกว่าวิธีการวัดโดยตรงโดยไม่แยกสเปกตรัม รวมทั้งประหยัด และสะดวกกว่าการใช้สเปกโตรมิเตอร์อีกด้วย

1.2 จุดประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบการตรวจวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มกรองแสงให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น
2. เพื่อออกแบบวงจรสร้างเครื่องวัดการส่งผ่านแสงของฟิล์มกรองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. การศึกษาสเปกตรัมของแสงที่ผ่านฟิล์มกรองแสงออกมารวบรวมข้อมูลและข้อผิดพลาดในเครื่องมือวัดแบบเดิม จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ปัญหาแล้วจึงสรุปและแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว

2. การออกแบบระบบซึ่งได้รับการแก้ไขแล้ว ซึ่งจากการวิเคราะห์ปัญหาทั้งหมดแล้วนั้น พอสรุปได้ว่า การวัดค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มกรองแสงโดยไม่ทำการแยกสเปกตรัมของแสง ทำให้ได้ค่าที่ผิดพลาดเนื่องจากการส่งผ่านแสงในแต่ละความยาวคลื่นมีค่าไม่คงที่

3. การออกแบบวงจรที่จะทำหน้าที่รับแสง ขยายสัญญาณ ประมวลผล และแสดงผล ซึ่งจะอยู่ในรูปของอุปกรณ์ดิจิตอล ซึ่งน่าจะให้ความเชื่อถือได้สูงกว่า

4. การทดสอบเครื่องมือก่อนการใช้งานจริง แล้วสรุปผลความพึงพอใจในระบบการวัดแบบใหม่

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของการวัดค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มกรองแสง
2. รู้จักการใช้งาน A/D Card เพื่อแสดงผลผ่านระบบคอมพิวเตอร์
3. รู้จักค้นคว้าและวิเคราะห์ข้อมูล
4. รู้จักวิธีการทำงานอย่างมีระบบ และสามารถแก้ไขปัญหาอย่างมีหลักการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 สเปกตรัม (Spectrum)

โดยทั่วไปแล้วสเปกตรัมคือ การแสดงผลหรือกราฟของความเข้มของการแผ่รังสี (การแผ่รังสีของอนุภาค , โฟตอน) โดยเป็นฟังก์ชันของมวล โมเมนตัม ความยาวคลื่น ความถี่ หรือปริมาณใดๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สเปกตรัมของรังสีเบตา จะเป็นการกระจายพลังงานหรือโมเมนตัม ของอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมาเองโดยไม่มีการกระตุ้น (Spontaneous emission) ส่วน แมสสเปกตรัม (mass spectrum) จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคที่มีประจุ (อะตอมหรือโมเลกุลที่ถูกไอออไนซ์) ผ่าน แมสสเปกโตรกราฟ (Mass spectrograph) ในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปตามอัตราส่วนระหว่างประจุต่อมวลของมัน (charge-to-mass ratio)

ในกรณีการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของพลังงานการแผ่รังสีที่ค่าความยาวคลื่นหรือความถี่ต่าง ๆ โดยในช่วงความถี่ทั้งหมดสามารถแบ่งออกเป็นช่วง ๆ ตามลักษณะการเกิดหรือลักษณะการกระตุ้นของคลื่นต่าง ๆ กัน ได้เป็น ช่วงคลื่นวิทยุ ช่วงรังสีอินฟราเรด ช่วงแสงที่มองเห็นได้ ช่วงรังสีอัลตราไวโอเลต ช่วงรังสีเอ็กซ์เรย์ เป็นต้น

สเปกตรัมของการปลดปล่อย (Emission spectrum) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการแผ่รังสีจากแหล่งกำเนิดแสงที่ถูกกระตุ้นซึ่งอาจทำได้โดยการใช้พลังงานความร้อน การชนของอิเล็กตรอนและอิออน (impacting) หรือโดยการดูดกลืนของโฟตอนซึ่งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแหล่งกำเนิดแสงนั้น ๆ สเปกตรัมของการปลดปล่อยอาจจะต่อเนื่องหรือไม่ก็ได้ ในกรณีที่ไม่ต่อเนื่องสามารถแสดงเป็นสเปกตรัมแบบเส้น แบบแถบ หรือทั้งสองแบบก็ได้

สเปกตรัมของการดูดกลืน (Absorption spectrum) เกิดขึ้นโดยการใส่วัสดุซึ่งจะไปลดความเข้มของการแผ่รังสีที่ค่าความยาวคลื่นหนึ่ง สเปกตรัมจะเป็นแบบต่อเนื่องในช่วงความยาวคลื่นกว้าง ๆ

สเปกตรัมแบบต่อเนื่องจะเกิดจากพวกที่มีอุณหภูมิสูง ๆ และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดโดยการกระจายของพลังงานจะอยู่ในรูปฟังก์ชันของอุณหภูมิและความยาวคลื่น

สเปกตรัมแบบเส้นเป็นสเปกตรัมที่ไม่ต่อเนื่อง มีลักษณะของการกระตุ้นอะตอมและอิออน ในขณะที่สเปกตรัมแบบแถบเป็นลักษณะของโมเลกุลก๊าซหรือพันธะเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สเปกโตรสโคปี (Spectroscopy)

วิชาสเปกโตรสโคปีเป็นวิชาที่ว่าด้วยการวัดและวิเคราะห์รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) ซึ่งถูกสสารดูดกลืน หรือเปล่งออกมาจากสสาร ในปัจจุบันนี้วิชาสเปกโตรสโคปีมีขอบเขตกว้างขวางมากขึ้นมากโดยครอบคลุมถึงการศึกษาการใช้เครื่องมือชนิดต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ให้กำเนิดรังสีในช่วงเหล่านี้โดยสสาร ตลอดจนการบันทึกข้อมูลเหล่านี้ออกมาเป็นสเปกตรัมด้วย

ที่จริงแล้ว รากฐานของวิชาสเปกโตรสโคปีมีปรากฏขึ้นในลักษณะเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติมานานแล้ว นับตั้งแต่มนุษย์มีกำเนิดขึ้นในโลก ปรากฏการณ์นี้ได้แก่การเกิดรุ้งกินน้ำซึ่งอธิบายตามหลักวิทยาศาสตร์ว่า เกิดจากการที่แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าทะลุผ่านหยดน้ำในอากาศแล้วเกิดการหักเห รังสีซึ่งมีความยาวคลื่นต่าง ๆ กันที่ประกอบกันเป็นลำแสงอาทิตย์จะหักเหไม่เท่ากัน เมื่อทะลุผ่านหยดน้ำจึงปรากฏให้เห็นเป็นแถบสีต่าง ๆ กัน

2.3 การวัดสเปกตรัมในช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible spectrophotometer)

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานซึ่งสามารถทะลุทะลวงผ่านอวกาศออกไปได้ และประกอบด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน นับตั้งแต่รังสีคอสมิคจนถึงคลื่นวิทยุ รังสีเหล่านี้จึงมีพลังงานแตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากตารางของแถบรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ตามรูปที่ 2.1

ตารางที่ 1.1 สมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

ลักษณะคลื่น	ประเภทของรังสี	ความยาวคลื่น			เลขคลื่น	ความถี่	พลังงาน		การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
		แองสตรอม Å	ไมโครเมตร	ซม.	$\bar{\nu} = 1/\lambda$ ซม.$^{-1}$	ν = รู้เฮิรตซ์	อิเล็กตรอนโวลต์	แคลอรี่/โมล	
	ไกา	10^{-3}	10^{-7}	10^{-8}	10^{8}	3×10^{18}	10^{5}	10^{6}	การแตกตัวของนิวเคลียส
		10^{-2}	10^{-6}	10^{-7}	10^{7}	3×10^{17}	10^{4}	10^{5}	
	เอกซ์	10^{-1}	10^{-5}	10^{-6}	10^{6}	3×10^{16}	10^{3}	10^{4}	
	อัลตราไวโอเลต	10^{0}	10^{-4}	10^{-5}	10^{5}	3×10^{15}	12.4	2.85×10^{5}	การแตกตัวของอิเล็กตรอนใน valence shell และ shell ถัดไป
		10^{1}	10^{-3}	10^{-4}	10^{4}	3×10^{14}	1.24	2.85×10^{4}	
		10^{2}	10^{-2}	10^{-3}	10^{3}	3×10^{13}	10^{-1}	2.85×10^{3}	
		10^{3}	10^{-1}	10^{-2}	10^{2}	3×10^{12}	10^{-2}	2.85×10^{2}	
		10^{4}	1	10^{-1}	10	3×10^{11}	10^{-3}	28.5	
		10^{5}	10	1	1	3×10^{10}	10^{-4}	2.85	การหมุนของโมเลกุล
	ไมโครเวฟ	10^{6}	10^{2}	1	10^{-1}	3×10^{9}	10^{-5}	0.285	
	อินฟราเรดไกล	10^{7}	10^{3}	10^{-1}	10^{-2}	3×10^{8}	10^{-6}	0.0285	
	อินฟราเรดใกล้	10^{8}	10^{4}	10^{-2}	10^{-3}	3×10^{7}	10^{-7}	0.00285	
	แสงที่มองเห็นได้								
	แดงอิฐ	8×10^{3}			1.2×10^{-4}	3.7×10^{14}	1.55	3.57×10^{4}	การสั่นของโมเลกุล
	แดงม่วง	4×10^{3}			2.4×10^{-4}	7.5×10^{14}	3.10	7.14×10^{4}	
	อัลตราไวโอเลต	3×10^{3}			3.2×10^{-4}	1×10^{15}	4.1	9.5×10^{4}	
	รังสีเอกซ์	1	10^{-4}	10^{-9}	10^{9}	3×10^{18}	10^{4}	10^{5}	
	รังสีแกมมา	10^{-3}	10^{-7}	10^{-10}	10^{10}	3×10^{20}	10^{6}	10^{7}	การแตกตัวของนิวเคลียส
	รังสีคอสมิค	10^{-4}	10^{-8}	10^{-13}	10^{13}	3×10^{22}	10^{7}	10^{8}	

ตารางที่ 2.1 สมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันนี้ เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่ารังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติเป็นทวิภาวะ (Dual property) กล่าวคือ เป็นทั้งอนุภาคและคลื่นในขณะเดียวกัน ในการกล่าวถึงรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจึงจำต้องคำนึกถึงข้อเท็จจริงประการนี้เสมอ

สเปกตรัมของแสงช่วงที่มองเห็นได้ (Visible light spectrum) จะครอบคลุมช่วงแคบ ๆ จาก 380-780 นาโนเมตร การวัดสเปกตรัมในช่วงนี้ จะใช้ หลอดไส้ทังสเตนเป็นแหล่งกำเนิดแสง ใช้ปริซึมแก้วหรือควอตซ์ หรือเกรตติงเป็นตัวแยกลำแสงและ มีโฟโตมัลติไพเออร์เซลล์ เป็นตัวดีเทคแสง (detector) การดูดกลืนแสงในบริเวณนี้เป็นผลมาจากการกระตุ้นของอิเล็กตรอนตัวนอกของโมเลกุลโดยใช้ลำแสงเป็นตัวกระตุ้น

การวัดสเปกตรัมของแสงในช่วงที่มองเห็นได้นี้ เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะเป็นวิธีที่สามารถใช้ได้กับวัตถุต่าง ๆ กันได้มาก วิธีนี้มักใช้กับวัตถุตัวอย่างที่เป็นของเหลว และมักใช้วัดในเชิงปริมาณมากกว่าการวัดในเชิงคุณภาพ สเปกตรัมของการสะท้อน (Reflection spectrum) จะเกิดขึ้นโดยพิจารณาสีเป็นสำคัญ หรือเกิดเมื่อวัตถุตัวอย่างเป็นแบบทึบแสง ในกรณีวัตถุตัวอย่างเป็นก๊าซ สเปกตรัมจะเกิดขึ้น เมื่อมีการดูดกลืนความเข้มของแสงซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ยากในช่วงแสงที่มองเห็นได้นี้

2.4 เกรตติง(Grating)

เกรตติง – ความยาวคลื่นของแสงที่ปล่อยออกมาหรือดูดกลืนโดยสารชนิดหนึ่งจะบอกเรื่องราวเกี่ยวกับโครงสร้างของวัสดุนั้น วิธีหนึ่งที่ใช้กันมากในการวัดความยาวคลื่น คือ เกรตติงสเปกโตรมิเตอร์

ดังได้เห็นในบทก่อนว่า เกรตติงเลี้ยวเบนให้ริ้วคมชัดมากที่มุมเลี้ยวเบนและคล้องตามสมการเกรตติง

$$a = \sin\theta = m\lambda$$

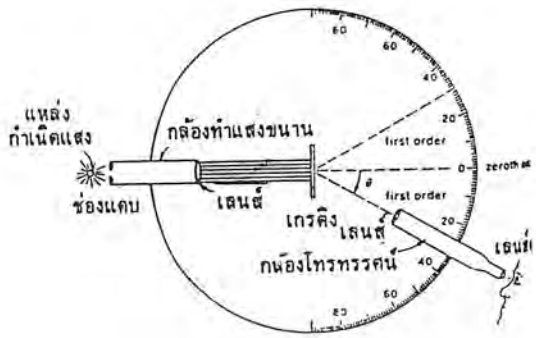
เมื่อ a = ระยะทางระหว่างช่องแคบ

θ = มุมเลี้ยวเบน

m = จำนวนอันดับของริ้ว(แถบ)

ถ้าทราบ a , θ และ m ก็คำนวณหาความยาวคลื่นที่ทำให้เกิดริ้วนั้นได้ การทดลองที่ให้นิสิตนักศึกษาทำกันได้แสดงไว้ในรูป 2.1 หน้าที่ต่าง ๆ ของอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

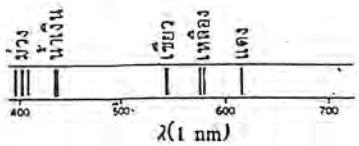
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เกรตติงสเปกโตรมิเตอร์

แหล่งกำเนิดแสงส่องสว่างช่องแคบและช่องแคบนี้อยู่ที่จุดโฟกัสของเลนส์ที่เรียกว่าเลนส์ทำแสงขนาน ผลก็คือจะได้แสงขนานออกมาจากกล้องทำแสงขนานและตกกระทบตั้งฉากกับเกรติง ถ้าเป็นแสงเอกรงค์ที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง จะได้ลำแสงเข้มทางขวาของเกรตติง ณ มุมซึ่งคล้องตามสมการเกรตติง โดยการหันกล้องโทรทรรศน์ไปอยู่ในมุมที่เหมาะพอดี ย่อมจะมีลำแสงเข้ามาในกล้องโทรทรรศน์และเลนส์ วัตถุของกล้องโทรทรรศน์จะทำให้เกิดภาพของช่องแคบของกล้องทำแสงขนาน ภาพของช่องแคบนี้เกิดที่มุมแน่นอนมุมหนึ่งซึ่งคล้องตามสมการเกรตติง จากตำแหน่งที่ได้นี้จะทำให้สามารถคำนวณหาความยาวคลื่นของแสงนี้ได้

ดังที่ชี้บ่งไว้แล้วว่า ความยาวคลื่นแต่ละขนาดที่ออกมาจากกล้องทำแสงขนานจะเป็นผลให้เกิดภาพของช่องแคบที่เลนส์ตาของกล้องโทรทรรศน์ ภาพของช่องแคบเหล่านี้ปรากฏเป็น *เส้น* ในบริเวณที่มองดูและนิยมเรียกกันว่า *เส้นสเปกตรัม* จริง ๆ แล้วเส้นเหล่านี้ คือ ภาพของช่องแคบภาพหนึ่ง สำหรับความยาวคลื่นหนึ่งในอันดับการเลี้ยวเบนที่กำหนดให้ ตำแหน่งของภาพต่าง ๆ ของช่องแคบหรือตำแหน่งเส้นสเปกตรัมหาได้โดยสมการเกรตติง ระบบเลนส์ตานิยมเปลี่ยนเป็นฟิล์มถ่ายรูปแทน และบันทึกเส้นสเปกตรัมไว้บนฟิล์ม แผนภาพของเส้นสเปกตรัมได้ให้ไว้ในรูป 2.2 ดังจะเป็นในภายหลังว่ารูปแบบและความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมที่ปล่อยออกมาโดยอะตอมเป็นลักษณะเฉพาะตัวของอะตอมนั้นและช่วยให้เราได้ข้อมูลเกี่ยวกับอะตอมด้วย ตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูป 2.2 เป็นแสงที่ได้จากอาร์กปรอท

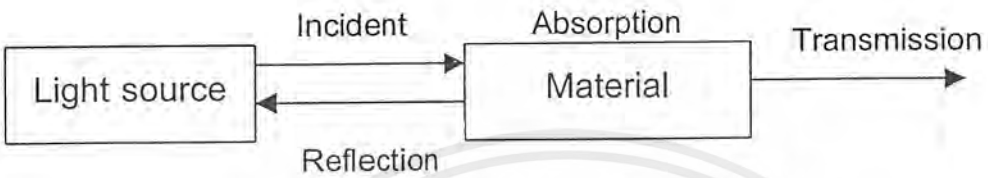


รูปที่ 2.2 เมื่อใช้สเปกโตรมิเตอร์ถ่ายภาพของช่องแคบที่ส่องสว่างโดยอาร์กปรอทจะปรากฏภาพของช่องแคบ (เส้นสเปกตรัม)บนภาพถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ค่าการส่งผ่าน (transmittance) ค่าการสะท้อน (reflectance) และค่าการดูดกลืน (absorptance)

เมื่อส่องแสงไปตกกระทบยังวัตถุ ดังรูป จะเกิดกระบวนการที่สำคัญ 3 กระบวนการด้วยกันก็คือ กระบวนการส่งผ่าน กระบวนการสะท้อน และกระบวนการดูดกลืน



จากรูป จะเห็นว่ามีกระบวนการเกิดขึ้น 3 กระบวนการก็คือ

กระบวนการส่งผ่าน ซึ่งหมายถึงกระบวนการที่ฟลักซ์ที่ตกกระทบ ผ่านตัวกลางหรือผิวออกไปที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลาง โดยมีค่าที่แสดงการส่งผ่านเรียกว่า ค่าการส่งผ่าน (transmittance) ซึ่งค่าการส่งผ่านนี้คือ อัตราส่วนของฟลักซ์ที่ผ่านออกไปได้กับฟลักซ์ที่ตกกระทบ โดยสามารถเขียนได้เป็น

$$\tau = \frac{I_t}{I_0}$$

กระบวนการสะท้อน คือ กระบวนการที่ฟลักซ์ที่ตกกระทบและสะท้อนจากผิวหรือตัวกลาง โดยมีฟลักซ์ที่สะท้อนออกมาทางด้านเดียวกับฟลักซ์ที่ตกกระทบ มีค่าการสะท้อน (reflectance) คือ อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ที่ถูกสะท้อนออกมากับฟลักซ์ที่ตกกระทบ สามารถเขียนได้เป็น

$$\rho = \frac{I_r}{I_0}$$

กระบวนการดูดกลืน คือกระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางดูดกลืนฟลักซ์ที่ตกกระทบไว้ในเนื้อสารทำให้ค่าความเข้มของฟลักซ์นั้นลดน้อยลง โดยค่าการดูดกลืน (absorptance)นี้ก็คืออัตราส่วนของฟลักซ์ที่ถูกดูดกลืนกับฟลักซ์ที่ตกกระทบ สามารถเขียนได้เป็น

$$\alpha = \frac{I_a}{I_0}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีกฎสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนอยู่ 2 กฎด้วยกัน ก็คือ กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) และ กฎของเบียร์ (Beer's law)

กฎของแลมเบิร์ต

กฎของแลมเบิร์ตมีใจความว่า เมื่อแสงสีเดียว (Monochromatic light) ซึ่งก็คือแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียว (homogeneous) สัดส่วนของความเข้มข้นของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่ตกกระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน

เราอาจขยายความกฎข้อนี้ได้ว่า หากให้ลำแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางหนึ่งที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ความเข้มข้นของลำแสงนั้นและลดลงเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล กับความหนาของตัวกลาง ซึ่งอาจเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$dI = -kIdb$$

จะได้ว่า

$$\ln(\frac{I}{I_0}) = -kb$$

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-kb)$$

เมื่อ I เป็นความเข้มแสงความยาวคลื่นเดียว

k เป็นสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนของแสงซึ่งมีค่าคงที่สำหรับแต่ละความยาวคลื่น แต่โดยปกติแล้วเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นและอุณหภูมิ

dI เป็นความเข้มข้นของแสงที่เปลี่ยนไป

โดยกฎของแลมเบิร์ตนี้ใช้ได้กับตัวกลางเนื้อเดียวที่ไม่ก่อให้เกิดการกระเจิง (scattering) ทุกชนิด ทั้งของแข็ง ของเหลว ก๊าซ หรือสารละลาย

กฎของเบียร์

กฎของเบียร์มีใจความว่า เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มข้นของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราอาจขยายความกฎข้อนี้ได้ว่า ในกรณีที่โมเลกุลของสารต่างก็เป็นอิสระแก่กันและกัน และอิทธิพลของตัวทำละลายคงที่เมื่อความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไป แต่ละโมเลกุลของสารจะดูดกลืนความเข้มข้นของแสงที่ได้รับเป็นสัดส่วนที่เท่ากัน หรืออีกนัยหนึ่ง สัดส่วนของลำแสงที่ผ่านสารละลายที่มีความหนาขนาดหนึ่งจะลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลกับความเข้มข้นของสารที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเขียนเป็นรูปสมการดังนี้

$$I = I_0 \exp(-k_m bc)$$

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-k_m bc)$$

เมื่อ c เป็นความเข้มข้นของสารในหน่วยโมลต่อลิตร

b เป็นความหนาแน่นของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

k_m เป็นสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงเมื่อความเข้มข้นของสารมีหน่วยโมลต่อลิตร ค่านี้เป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารซึ่งไม่ขึ้นกับความเข้มข้น แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายและอุณหภูมิ

เมื่อเราวัดการดูดกลืนของสารละลาย ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎของแลมเบิร์ตและกฎของเบียร์เข้าด้วยกัน เรียกเป็นกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต และเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$A = \log(\frac{I_0}{I}) = \varepsilon bc$$

เมื่อ ε เป็น Molar absorptivity (เคยเรียกว่า molar extinction coefficient)

b เป็นความหนาของสารละลายในหน่วยเซนติเมตร

c เป็นความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยโมลต่อลิตร

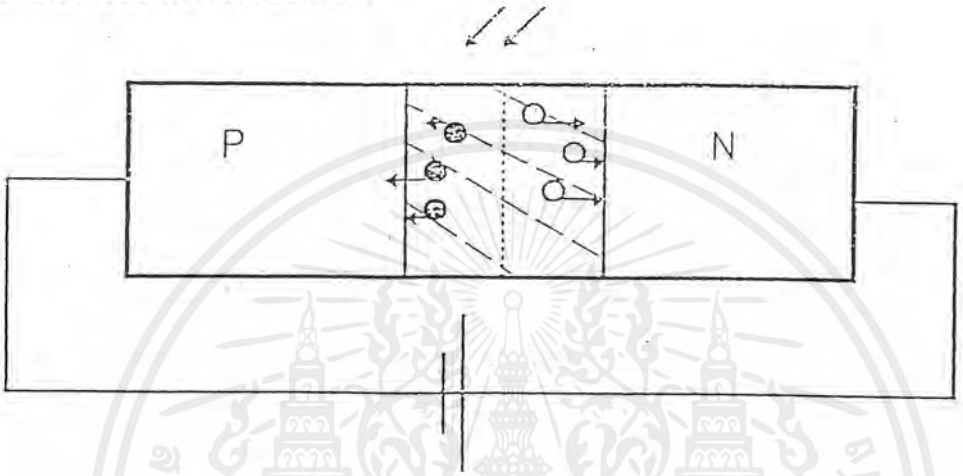
A เป็นค่า absorbance

2.6 โฟโตไดโอด(Photodiode)

โฟโตไดโอดจะทำงานด้วยแรงดันไบอัสย้อนกลับ เมื่อต่อแรงดันไบอัสย้อนกลับ ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อพี-เอ็นจะสูงมาก ปกติแล้วกระแสจะไม่สามารถไหลผ่านได้ ส่วนกระแสที่ไหลผ่านรอยต่อก็คือกระแสรั่วไหลเรียกว่า กระแสมืด(Dark Current) ถ้าเป็นเจอร์มาเนียมอาจมีค่าสูงถึง 10 มิลลิแอมแปร์ แต่ถ้าเป็นชนิดซิลิคอนจะมีค่าต่ำมากเป็น 20 นาโนแอมแปร์ ความต้าน

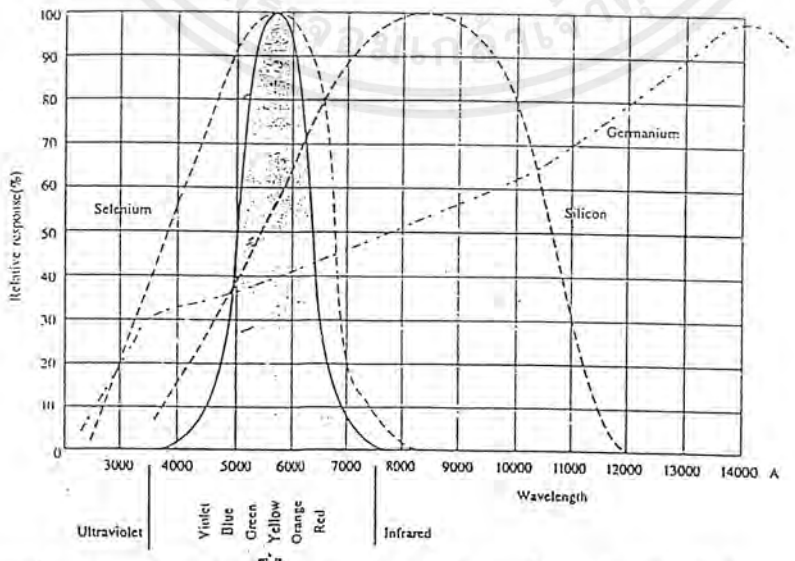
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทานที่มีค่าสูงระหว่างรอยต่อนั้นสามารถทำให้ลดน้อยลงได้โดยการฉายแสงลงไประหว่างรอยต่อ ดังนั้นเมื่อรอยต่อได้รับแสงกระตุ้นจากภายนอกเป็นผลทำให้เกิดอิเล็คตรอนอิสระและโฮลเกิดขึ้น พาหะส่วนน้อยเหล่านี้จะได้รับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าที่รอยต่อทำให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปได้ และเกิดกระแสไหลเราเรียกว่า กระแสพลังแสง(Photo Current) ซึ่งไดโอดชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพโฟตอน นั่นคือจำนวนอิเล็คตรอนอิสระที่เกิดขึ้นจะแปรโดยตรงกับความเข้มของแสงแต่เมื่อเพิ่มความเข้มของแสงถึงค่าหนึ่งแล้วจะไม่มีการเพิ่มของอิเล็คตรอนอิสระอีก จึงเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอิ่มตัวและยังเกี่ยวข้องกับความยาวคลื่น



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะสมบัติของโฟโตไดโอด

ส่วนรูปที่ 2.4 นั้นหากใช้โฟโตไดโอดที่ทำมาจากซีลีเนียมจะตอบสนองความถี่ที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นเป็นแสงได้ดีที่สุด รวมไปถึงรังสีเหนือม่วงด้วย ส่วนโฟโตไดโอดที่ทำจากซิลิคอนนั้นจะทำงานได้ดีที่สุดในรังสีอินฟราเรด นอกจากนี้แล้ว เจอร์มาเนียมก็จะทำงานได้ในย่านกว้างคือ สามารถทำงานได้ดีตั้งแต่รังสีเหนือม่วงจนกระทั่งถึงรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสารที่นำมาใช้ทำโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

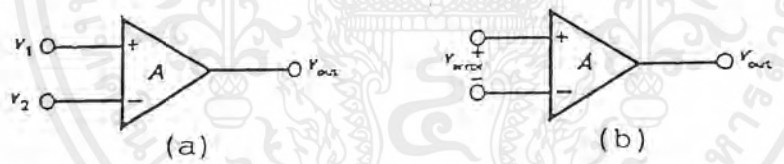
2.7 ออปแอมป์

ออปแอมป์เป็น IC เชิงเส้นชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นวงจรขยาย(ไฟตรง) อัตราขยายสูงใช้ในช่วงความถี่ 0 ถึง มากกว่า 1MHz. เพียงการต่อตัวต้านทานต่าง ๆ แก่ออปแอมป์ ก็สามารถปรับอัตราขยายแรงดันและแบนด์วิดท์ตามที่ต้องการได้ มีออปแอมป์มากกว่า 2,000 ชนิด ในท้องตลาดเกือบทั้งหมดเป็น IC เชิงเส้น ณ อุณหภูมิห้องมีกำลังสูญเสียน้อยกว่า 1 W. เมื่อใดก็ตามที่ต้องการอัตราขยายแรงดันต่ำ(น้อยกว่า 1 W.) ควรเลือกใช้ออปแอมป์ ออปแอมป์นอกจากจะเป็นวงจรขยายโดยตรงแล้ว อาจต่อและดัดแปลงในการทำงานอย่างอื่นได้มากมาย

2.7.1 ต้นกำเนิดของออปแอมป์

ภาคแรกของออปแอมป์ส่วนใหญ่จะเป็นวงจรขยายผลต่าง(Differential Amplifeier)และภาคสุดท้ายมักจะเป็นวงจรขยายคลาส B พุช-พูล อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ รูป 2.5(a) แสดงสัญลักษณ์ของออปแอมป์ มี 2 อินพุต 1 เอาท์พุต อินพุทตัวบนเรียกว่า อินพุทไม่กลับเฟส (Noninverting input) มีเครื่องหมายบวกกำกับอยู่เพื่อที่จะบอกว่า V_{OUT} มีเฟสตรงกับ V_1 อินพุทตัวล่างเรียกว่า อินพุทกลับเฟส(Inverting input) มีเครื่องหมายลบกำกับ V_{OUT} จะกลับเฟสกับ V_2 180° สมมติว่า A คือ อัตราขยายแรงดันทั้งหมดของออปแอมป์

$$V_{OUT} = A(V_1 - V_2) \tag{1}$$



รูปที่ 2.5 (a) สัญลักษณ์ของออปแอมป์ (b) แรงดันเออเร่อร์(ERROR VOLTAGE)

นั่นคือแรงดันเอาท์พุทเท่ากับ อัตราขยายแรงดันคูณกับผลต่างของแรงดันของอินพุททั้ง 2 เมื่อกล่าวถึง การป้อนกลับลบ(Negative feedback)ในหัวข้อ 3 จะใช้แรงดันเออเร่อร์ V_{error}

$$V_{error} = V_1 - V_2 \tag{2}$$

ซึ่งคือแรงดันคร่อมระหว่าง ปลายอินพุททั้ง 2 ดังรูป 2.5(b)

$$V_{OUT} = AV_{error} \tag{3}$$

จะได้กล่าวถึงความสำคัญต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่ควรจำเกี่ยวกับออปแอมป์

1. มีผลตอบสนองความถี่ในย่านสัญญาณไฟตรง ถึงความถี่สูง ๆ

2. อินพุทอิมพิแดนซ์สูง , เอาท์พุทอิมพิแดนซ์ต่ำ , อัตราขยายแรงดันสูง

3. การใช้ออปแอมป์ต้องมีการต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมเสมอก่อนจะใช้งานวงจรออปแอมป์พื้นฐาน

2.7.2 วงจรออปแอมป์พื้นฐาน

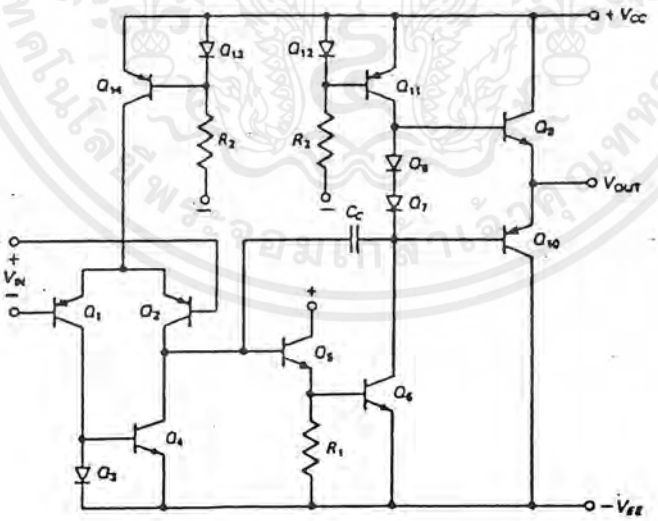
รูปที่ 2 เป็นแผนผังของออปแอมป์ซึ่งเป็นวงจรเสมือนของ 741 และออปแอมป์ชนิดใหม่ ๆ อีกหลายตัว

ภาคอินพุท

Q_{13} และ Q_{14} เป็นวงจรสะท้อนกระแส ดังนั้น Q_{14} จะจ่ายกระแสเทลให้วงจรขยายผลต่าง (Q_1 และ Q_2) ซึ่งวงจรขยายผลต่างจะขับวงจรสะท้อนกระแส(Q_3และ Q_4) สัญญาณอินพุท V_{IN} ทรานซิสเตอร์ตรงอินพุทปกติมี β เท่ากับ 300 ดังนั้น

$$Z_{IN} = 2\beta r_e' = 2 \times 300 \times 3.33k\Omega = 2M\Omega$$

ซึ่งเป็นไปตามใบกำกับข้อมูลของ 741 ที่กำกับไว้



รูปที่ 2.6 แผนผังภายในของไอซีออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 อนาลอกและดิจิตอล

ระบบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีการทำงานโดยใช้ระบบดิจิตอลมากมาย เนื่องจากข้อมูลในรูปดิจิตอลสามารถเก็บและนำไปประมวลผลได้ง่าย ที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้น การส่งผ่านข้อมูลด้วยระบบดิจิตอลจะมีสัญญาณรบกวนได้ยากกว่าการส่งผ่านข้อมูลแบบอนาลอก เพราะว่าข้อมูลในรูปดิจิตอลใช้สถานะของศักย์ไฟฟ้าที่มีความแตกต่างกัน 2 สถานะ ซึ่งต่างจากข้อมูลในรูปของ อนาลอก ที่มีค่าต่อเนื่อง ดังนั้นปัญหาที่จะรบกวนระบบดิจิตอลได้จะต้องมีสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ เพื่อที่จะทำให้ข้อมูลในรูปดิจิตอลผิดไป แต่สำหรับข้อมูลในรูปสัญญาณอนาลอก สัญญาณรบกวนเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ข้อมูลผิดเพี้ยนไปได้ สิ่งที่เป็นสาเหตุในการรบกวนทางไฟฟ้าอาจจะมาจากหลายสาเหตุ บางอย่างอาจจะแก้ไขได้และบางอย่างอาจจะแก้ไขได้ลำบากมาก เช่น ปัญหาเนื่องมาจากความร้อน ปัญหาเนื่องมาจากระบบจ่ายไฟซึ่งไม่สม่ำเสมอ ปัญหาเนื่องมาจากมีสัญญาณไฟฟ้าขนาดใหญ่มาแทรกสอดและอื่น ๆ อีกมาก

อย่างไรก็ตามเราไม่อาจที่จะใช้ระบบดิจิตอลเพียงอย่างเดียวในการทำงานงานหนึ่งให้สำเร็จลงได้ เนื่องจากปริมาณข้อมูลทางกายภาพในชีวิตจริง ไม่ว่าจะเป็นระดับแรงดัน ความเร็ว อุณหภูมิ และอัตราการไหลของสสาร ก็ล้วนแล้วแต่เป็นปริมาณที่ต่อเนื่องซึ่งเราอาจจะเปลี่ยนรูปปริมาณเหล่านี้ด้วย Transducers หรือ sensors เพื่อให้อยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เช่น เป็นปริมาณแรงดันไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้าหรือในรูปความต้านทาน เป็นต้น แต่ข้อมูลที่ได้มาก็จะอยู่ในรูปอนาลอก โดยมากแล้วสัญญาณที่ได้จะมีขนาดเล็ก(ในระดับไมโคร) ซึ่งกระบวนการทำงานอย่างหนึ่งที่ระบบดิจิตอลยังไม่สามารถทำได้ในขณะนี้คือ "กระบวนการขยายสัญญาณ(Amplification)" ด้วยเหตุนี้ในการประยุกต์ระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาแก้ไขปัญหาทางวิทยาศาสตร์ หรือปัญหาการทำงานในเชิงวิศวกรรมแล้วจะต้องใช้ทั้งสองระบบเข้ามาประยุกต์ทำงานร่วมกัน

ตัวอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในการเชื่อมต่อระบบอนาลอกและดิจิตอลเข้าด้วยกันก็คือ Analog to Digital Converter (ADC) และ Digital to Analog Converter (DAC) โดยมีหน้าที่ในการเปลี่ยนข้อมูลจากระบบอนาลอกให้อยู่ในรูปข้อมูลดิจิตอลและเปลี่ยนข้อมูลจากรูปดิจิตอลให้อยู่ในรูปข้อมูลอนาลอกตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอนาลอกกับข้อมูลดิจิตอล

การที่เราจะทำการเชื่อมต่อระบบข้อมูลทั้งสองแบบเข้าด้วยกัน เราจะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างระบบทั้งสอง โดยเมื่อผ่าน Data Converter แล้วข้อมูลทางด้านอินพุทและเอาท์พุทจะต้องแปรผันตามกัน เพื่อที่จะให้เรานำไปใช้อ้างถึงปริมาณของอีกระบบหนึ่งที่อยู่ทางด้านอินพุทได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากข้อมูลในระบบดิจิตอลแสดงออกมาในรูปตัวเลขรหัสโดยมีค่าไม่ต่อเนื่อง(Discrete) สิ่งที่เราทราบได้จากจำนวนบิตของระบบดิจิตอลก็คือจำนวนค่าข้อมูลที่ระบบดิจิตอลสามารถแสดงได้ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{จำนวนค่าข้อมูลที่สามารถแสดงด้วย ระบบดิจิตอล n bits} = 2^n$$

โดย n = จำนวนบิตของข้อมูลในระบบดิจิตอลนั้น ๆ

ซึ่งการที่เราจะทราบว่าข้อมูลดิจิตอลค่าหนึ่งสัมพันธ์กับข้อมูลอนาลอกปริมาณเท่าใดนั้น สิ่งที่เราต้องทราบก็คือ "ช่วงกว้างของระดับสัญญาณอนาลอกที่เราใช้งาน" โดยเมื่อเราทราบช่วงกว้างของสัญญาณอนาลอก เราก็จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดิจิตอลอนาลอกที่แปลงออกมาจาก Data Converter ได้

ในที่นี้จะยกตัวอย่างระบบแปลงข้อมูลขนาด 4 บิต จากอนาลอกเป็นดิจิตอลในรหัสเลขฐานสอง(Binary Code) เนื่องจาก ADC นี้มีหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณอนาลอกในช่วงที่เราต้องการให้ไปเป็นตัวเลขฐานสองขนาด 4 บิต โดยสามารถแสดงข้อมูลได้ทั้งหมด 16 ข้อมูล คือ จาก 0 ถึง 15 หรือจาก 0000_2 ถึง 1111_2 ซึ่งข้อมูลในแต่ละบิตจะมีค่านัยสำคัญไม่เท่ากัน โดยบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของระดับสัญญาณอนาลอกสูงที่สุด (full-scale range, FSR) และถ้าบิตถัดมาจะมีค่าลดลงเป็น 2 เท่า เรื่อยไปจนถึงบิตสุดท้ายจะมีค่าเท่ากับ 1/16 เท่าของระดับสัญญาณอนาลอกสูงสุด ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\text{ระดับสัญญาณอนาลอกที่อ้างถึง} = [\, d_3/2 + d_2/4 + d_1/8 + d_0/16 \,] \times \text{ระดับแรงดันสูง}$$

โดย d_3 , d_2 , d_1 , d_0 = สถานะบิตของข้อมูลดิจิตอลที่มีเลขนัยสำคัญสูงที่สุดเรื่อยไปจนถึงต่ำที่สุดตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดของข้อมูลที่ Data-Converter แสดงได้ก็คือ ค่านัยสำคัญต่ำสุด (Least significant bit ; LSB) ซึ่งเราสามารถหาได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการลบกันระหว่างระดับสัญญาณของข้อมูลที่อยู่ติดกันก็ได้ แต่วิธีการที่เหมาะสมที่ใช้ในการพิจารณาเลือก Data Converter ในการทำงานนั้นคือ

$$LSB = \text{full-scale range} / 2^n$$

โดย n คือจำนวนบิตของส่วนที่เป็นดิจิตอล

ซึ่งในการทำงานค่า full-scale range อาจพิจารณาได้ว่า คือ ค่าระดับสัญญาณอินพุทที่ได้จาก transducers หรือ sensors ก็ได้ หรืออาจจะเป็นค่าระดับสัญญาณเอาท์พุทที่จะนำไปขับส่วนแสดงผล(Actuator) เช่น ลำโพง ก็ได้เป็นต้น

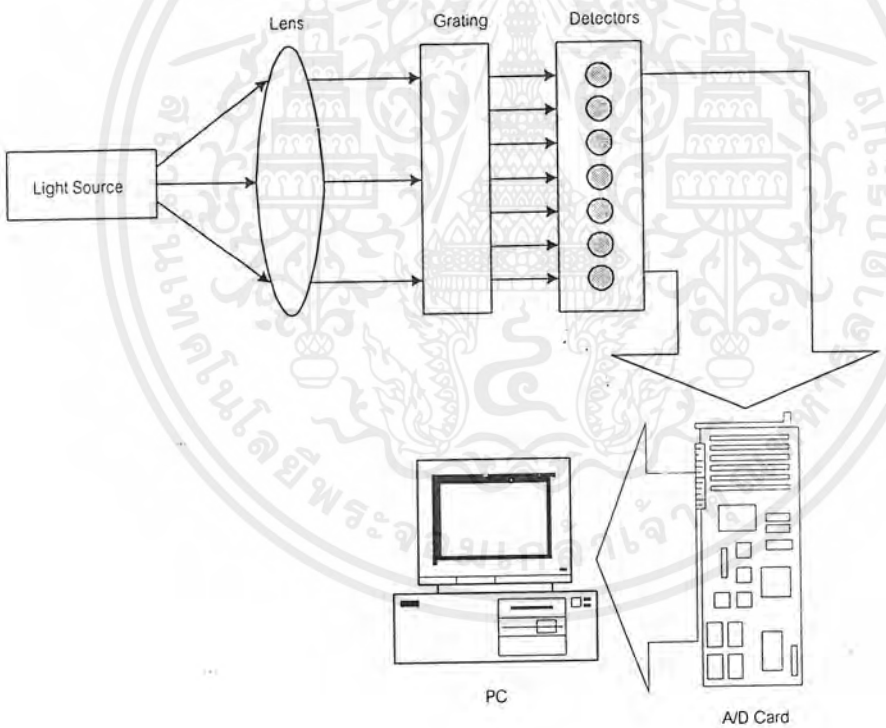
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

โครงงานพิเศษฉบับนี้ ได้สร้างเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มกรองแสง โดยใช้หลักการของสเปกโตรสโคปี ซึ่งมีรายละเอียดของการดำเนินงานดังนี้

3.1 การออกแบบวงจร



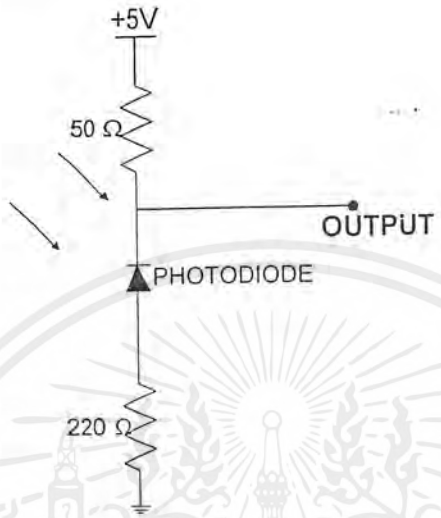
รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพไดอะแกรมของเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มกรองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

38544

3.1.1 ส่วนการตรวจจับความเข้มแสง

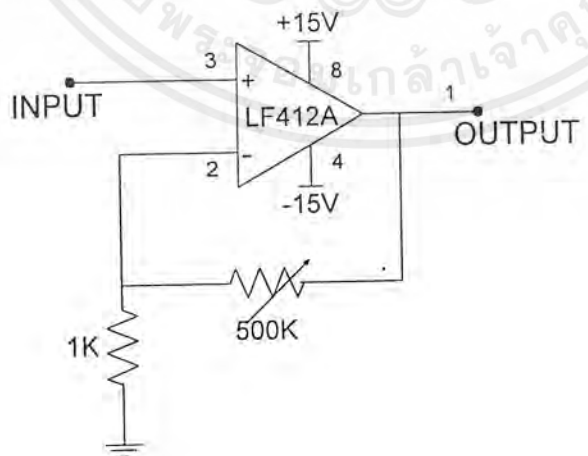
ในโครงงานนี้ใช้โฟโตไดโอดเป็นตัวรับแสง โดยจะให้แรงดันไฟฟ้าออกมา โดยเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มแสงที่มาตกกระทบไดโอด โดยแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะเป็นสัญญาณอนาลอก และนำไปเข้าวงจรขยายต่อไป



รูปที่ 3.2 วงจรส่วนรับแสงโดยใช้โฟโตไดโอด

3.1.2 ส่วนวงจรขยาย

วงจรขยายที่ใช้เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส มีอัตราขยาย 500 เท่า ไอซีที่ใช้เป็นไอซีออปแอมป์เบอร์ LF412A ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่มีสัญญาณรบกวน และค่าออฟเซตต่ำ สามารถปรับค่าอัตราขยายได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้



รูปที่ 3.3 วงจรขยายไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ cardเบอร์ PC ADD A-12 CARD FPC-010 สามารถรับค่าอินพุทได้แบบอนาลอกโดยตรง มีค่าอินพุทสูงสุด 9 โวลต์ โดยการ์ดจะรับสัญญาณอินพุทเข้ามาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิง แล้วจึงเปลี่ยน เป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งมีอัตราการแปลงสัญญาณเป็น 60 ไมโครวินาที และมีช่องสัญญาณ 16 ช่องสัญญาณ ซึ่งมีความละเอียดในการแปลงข้อมูล 12 บิท โดยสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ส่วนการเลือกช่องสัญญาณ (Multiplexer) ใช้ไอซีเบอร์ CD-4051 ของ Harris ซึ่งเป็น multiplexer แบบ 8 ช่องสัญญาณ 2 ตัวเพื่อทำการเลือกสัญญาณอินพุทจาก 16 ช่องสัญญาณ เพื่อทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลทีละ 1 ช่องสัญญาณ

2. ส่วนการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล จะรับสัญญาณอินพุทมาจากส่วน multiplexer แล้วนำค่าที่ได้ไปแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอล 12 บิท และนำค่าที่ได้แสดงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

โดยทั้งสองส่วนการทำงานนี้จะต้องใช้โปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงาน ซึ่งจะกล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อต่อไป

ตำแหน่งและหน้าที่ของรีจิสเตอร์มีดังนี้

port + 0 : ใช้สำหรับเลือกตำแหน่งของช่องสัญญาณ

port + 1 : ใช้อ่านข้อมูล A/D 8 บิทล่าง

port + 2 : ใช้อ่านข้อมูล A/D 4 บิทบน

port + 3 : ใช้ส่งค่า 0 เพื่อไปเคลียร์ A/D register

port + 4 : ใช้วนลูปเพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 6 บิทบน

port + 5 : ใช้วนลูปเพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 6 บิทล่าง

port + 6 : ใช้ข้อมูลเอาท์พุทของสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก 8 บิทล่าง

port + 7 : ใช้ข้อมูลเอาท์พุทของสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก 4 บิทบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำค่าใน voltage มาหารกับค่า reference voltage แล้วนำค่าที่ได้คูณกับ 100 แล้วแสดงผลออกทางหน้าจอ

โปรแกรมสำหรับการวัดค่าการส่องผ่านของฟิล์ม

```
#include<conio.h>
#include<math.h>
#include<stdio.h>
#include<dos.h>
int             input,i,j,c,y,inputhigh,inputlow;
float           volts,A[7],B[7],T[7];
char            color[7];
unsigned char   key1,key,z;
void colors(int co);
void measure();
void col(int ja);
void main()
   {                                        //open main
  A2:clrscr();
     gotoxy(25,12);
     printf("THIS IS FILM TRANSMISSION METER\n");
     delay(1000);
     clrscr();
     gotoxy(20,12);
     printf("press 'y' for measure reference volts when without film\n");
     gotoxy(25,13);
     printf("press 'q' for quit this program\n");
  A1:key = getch();
     clrscr();
     if(key=='y')
{                                       //open if1
 for(j=0;j<7;j++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{                                   //open loop for
 measure();
 A[j]=volts;
 colors(j);
 gotoxy(c+1,y);
 printf("reference volt = %f\n",volts);
 delay(1000);
 }                                  //close loop for
 printf("press 'o' for measure volts with film\n");
A3:key = getch();
 if(key=='o')
 {                                  //open if2
  for(j=0;j<7;j++)
  {                                 //open loop for
   measure();
   B[j]=volts;
   T[j]=(B[j]/A[j])*100;
   col(j);
   gotoxy(c,y);
   printf("volt = %f percent T = %f\n",volts,T[j]);
   delay(2000);
  }                                 //close loop for
 gotoxy(20,23);
 printf("**total percent T = %f**\n",(T[0]+T[1]+T[2]+T[3]+T[4]+T[5]+T[6])/7);
 delay(2000);
 printf("press 'q' to quit or 'c' to continue");
 key1 = getch();
 if(key1=='c')
 {
   goto A2;
 }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(key1=='q')
{
 clrscr();
  gotoxy(25,15);
  printf("close program");
  delay(2000);
  goto END;
 }
 if(key!='c'&&key!='q')
 {
  printf("please press c or q only!!!\n");
  delay(2000);
  goto A2;
 }
}                                    //close if2
 if(key!='o'&&key!='q')
 {
   printf("please press o or q only!!!\n");
   delay(2000);
   goto A3;
 }
}                                    //close if1
if(key=='q')
{
  clrscr();
  gotoxy(25,15);
  printf("close program");
  delay(2000);
  goto END;
 }
 if(key!='y'&&key!='q')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        {
         printf("please press q or y only!!!\n");
         goto A1;
        }
    END:
    }                                          //close main
void measure()
{
   outportb(0x273,0);
   delay(10);
   outportb(0x270,j);
   for(i=0;i<700;i++)
   z = inportb(0x275);
   for(i=0;i<700;i++)
   z = inportb(0x274);
   z = inportb(0x272);
   z = z&0x0f;
   inputhigh = z;
   inputhigh <<=8;
   z = inportb(0x271);
   inputlow = z;
   input = inputhigh+inputlow;
   volts = input*0.00219780219;
}
void colors(int co)
{
  switch(co)
  {
    case 0: printf("color = violet\n");
            c=1;
            y=2;
```

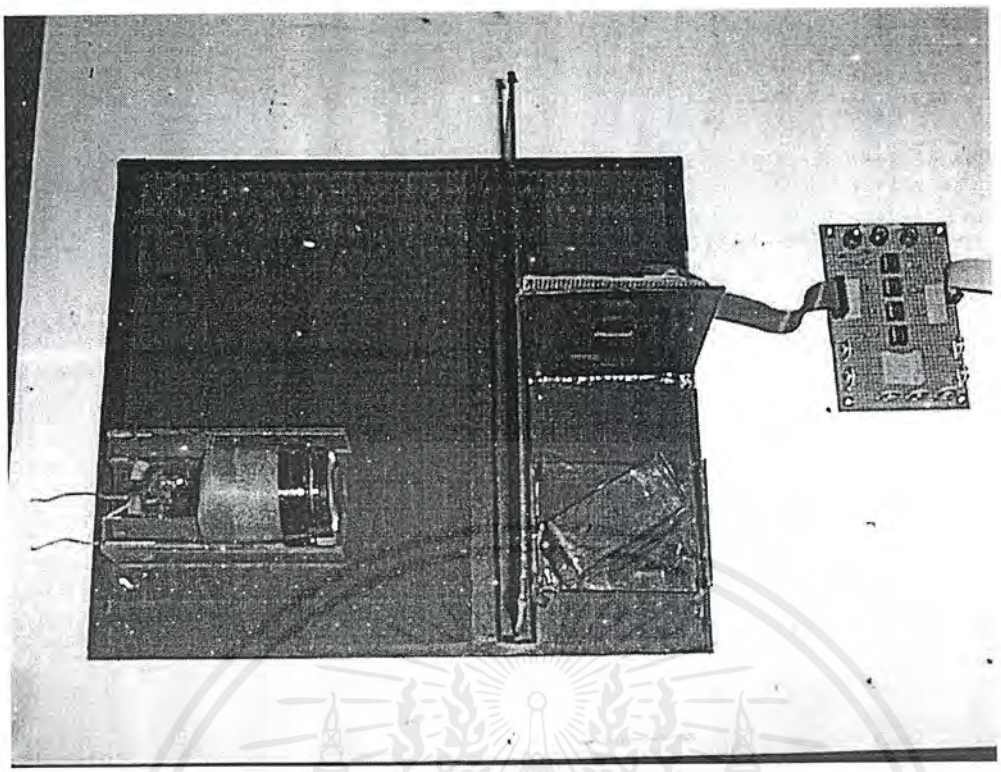
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            break;
case 1: printf("color = dark blue\n");
            c=1;
            y=4;
            break;
case 2: printf("color = blue\n");
            c=1;
            y=6;
            break;
case 3: printf("color = green\n");
            c=1;
            y=8;
            break;
case 4: printf("color = yellow\n");
            c=1;
            y=10;
            break;
case 5: printf("color = orange\n");
            c=1;
            y=12;
            break;
case 6: printf("color = red\n");
            c=1;
            y=14;
            break;
 }
}
void col(int ja)
{
 switch(ja)
 {
```

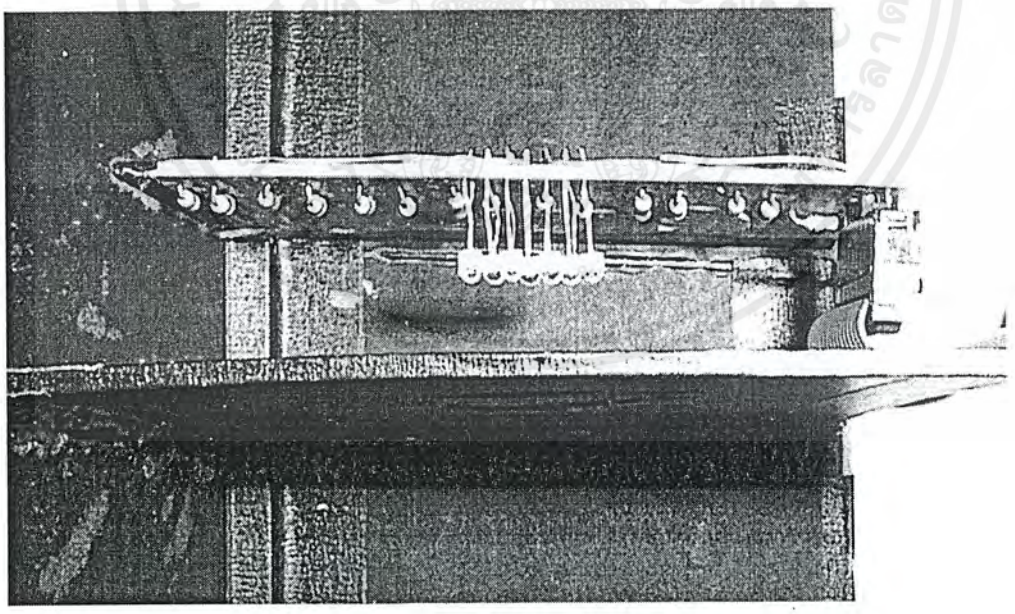
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 0:
        c=31;
        y=2;
        break;
case 1:
        c=31;
        y=4;
        break;
case 2:
        c=31;
        y=6;
        break;
case 3:
        c=31;
        y=8;
        break;
case 4:
        c=31;
        y=10;
        break;
case 5:
        c=31;
        y=12;
        break;
case 6:
        c=31;
        y=14;
        break;
}
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการจัดอุปกรณ์ภายในเครื่องวัดการส่งผ่านแสง



รูปที่ 3.6 แสดงตัวรับแสงของเครื่องวัดการส่งผ่านแสง

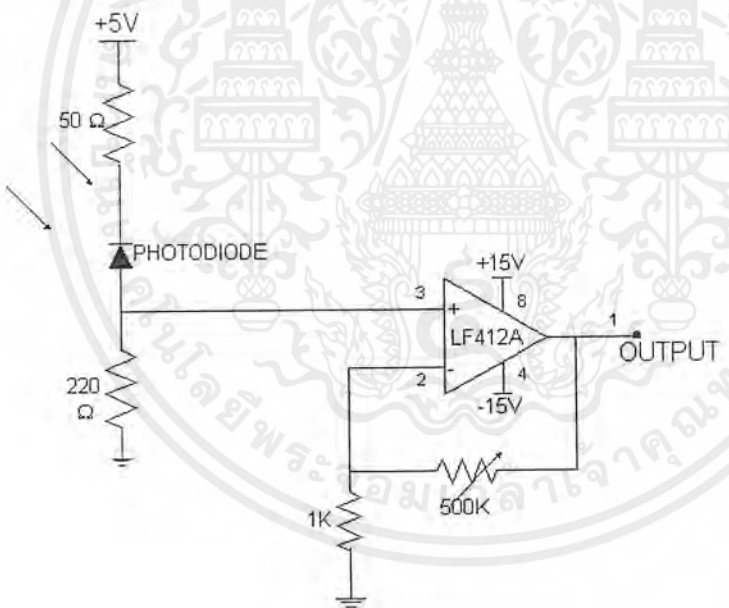
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบอุปกรณ์

ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือส่วน test detectorและส่วนทดสอบการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล(A/D) ซึ่งแต่ละส่วนมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

4.1 วิธีการทดสอบส่วน detector

1. ต่อวงจรดังรูป



2. ปรับ monochromator ไปที่ค่าความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร
3. วัดค่า V_0 ใช้ฟิล์มเบอร์ RE70NEARL (66%)
4. วัดค่า V
5. คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของฟิล์มกรองแสง (%T)
6. ลดค่าความยาวคลื่นทีละ 20 นาโนเมตร ไปจนถึง 400 นาโนเมตร
7. เปลี่ยนฟิล์มเป็นเบอร์ RE50NEARL (51%) ทำซ้ำข้อ 2-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบดีเทคเตอร์

ชนิดฟิล์ม RE70NEARL %T = 66

	Reference voltage:v_0 with out film (v.)	Voltage:v with film (v.)	Percent transmittance (%T) = v/v_0
680	7.11	4.21	59.2
660	6.63	3.91	59.0
640	6.11	3.53	57.8
620	5.33	3.15	59.1
600	4.86	2.89	59.5
580	3.34	2.57	77.0
560	3.74	2.24	59.9
540	3.26	1.93	59.2
520	2.58	1.47	57.0
500	2.00	1.15	57.5
480	1.53	0.92	60.1
460	1.15	0.73	63.5
440	0.86	0.51	59.3
420	0.65	0.42	64.6
400	0.51	0.39	76.5
			%T ของฟิล์มเฉลี่ย = 61.9

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบดีเทคเตอร์ ของฟิล์ม RE70NEARL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดฟิล์ม RE50NEARL %T = 51

	Reference voltage:v_0 with out film (v.)	Voltage:v With film (v.)	Percent transmittance (%T) = v/v_0
680	7.11	3.03	42.6
660	6.63	2.79	42.1
640	6.11	2.65	43.4
620	5.33	2.25	42.2
600	4.86	2.16	44.4
580	3.34	1.86	55.7
560	3.74	1.65	44.1
540	3.26	1.41	43.3
520	2.58	1.18	45.7
500	2.00	0.92	46.0
480	1.53	0.77	50.3
460	1.15	0.52	45.2
440	0.86	0.41	47.7
420	0.65	0.34	52.3
400	0.51	0.32	62.8
			%T ของฟิล์มเฉลี่ย = 47.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบดีเทคเตอร์ ของฟิล์ม RE50NEARL

จากการทดสอบดีเทคเตอร์พบว่ามีการตอบสนองต่อการตรวจจับสัญญาณในช่วง visible light และค่าการส่องผ่านของแสงมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับโครงงานนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการทดสอบส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D)

1. ต่อ A/D card เข้ากับคอมพิวเตอร์
2. ป้อนแรงดัน 2,3,5,7 และ 9 โวลต์ ให้กับ channel 0
3. บันทึกค่าที่การ์ดสามารถอ่านได้
4. เปลี่ยน channel เป็น channel ที่1-6 แล้วทำการทดลองซ้ำ

โปรแกรมทดสอบ A/D Converter

```
#include<conio.h>
#include<math.h>
#include<stdio.h>
#include<dos.h>
int             input,i,j,inputhigh,inputlow;
float           volts;
unsigned char   z;
void main()
{
  outportb(0x273,0);
  delay(10);
  outportb(0x270,6);
  for(i=0;i<700;i++)
  z = inportb(0x275);
  for(i=0;i<700;i++)
  z = inportb(0x274);
  z = inportb(0x272);
  z = z&0x0f;
  inputhigh = z;
  inputhigh <<=8;
  z = inportb(0x275);
  z = inportb(0x271);
  inputlow = z;
  input = inputhigh+inputlow;
  volts = input*0.00219780219;
  printf("volts = %f \n",volts);
  delay(4000);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ PC-Card

channel 0

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Input Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)
2	1.967033	1.967033	1.967033	1.967033
3	2.810989	2.810989	2.810989	2.810989
5	5.059340	4.780220	5.059340	4.966300
7	7.169231	7.169231	6.749451	7.029304
9	8.718681	8.997802	8.997802	8.904762

channel 1

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Input Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)
2	1.967033	1.967033	1.967033	1.967033
3	2.810989	2.810989	2.810989	2.810989
5	4.920879	4.920879	4.780220	4.873993
7	7.169231	7.169231	7.169231	7.169231
9	8.718681	8.718681	8.997802	8.811721

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

channel 2

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Input voltage (v.)	Output voltage (v.)	Output voltage (v.)	Output voltage (v.)	Output Voltage (v.)
2	1.967033	1.967033	1.967033	1.967033
3	2.810989	2.810989	2.810989	2.810989
5	5.059340	5.059340	5.059340	5.059340
7	7.030769	7.030769	7.030769	7.030769
9	8.859341	8.718681	8.859341	8.812454

channel 3

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Input Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)
2	1.967033	1.967033	1.967033	1.967033
3	2.810989	2.810989	2.810989	2.810989
5	4.780220	4.780220	4.920879	4.827106
7	7.030769	7.030769	7.030769	7.030769
9	9.000000	9.000000	8.859341	8.953114

channel 4

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Input Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)
2	1.967033	1.967033	1.967033	1.967033
3	2.810989	2.810989	2.810989	2.810989
5	4.780220	4.780220	4.780220	4.780220
7	7.030769	7.030769	7.169231	7.076923
9	8.997802	8.718681	8.997802	8.904762

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

channel 5

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Input Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)
2	1.967033	1.967033	1.967033	1.967033
3	2.810989	2.951648	2.951648	2.904762
5	5.059340	5.059340	4.780220	4.966300
7	6.749451	6.749451	7.169231	6.889378
9	8.859341	9.000000	8.718681	8.859341

channel 6

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Input Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)	Output Voltage (v.)
2	1.967033	1.826374	1.967033	1.920147
3	2.810989	2.810989	2.810989	2.810989
5	4.780220	5.059340	4.920879	4.920146
7	7.169231	7.169531	7.169531	7.169531
9	8.859341	8.859341	8.997802	8.905495

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ PC-Card ทั้ง 7 ช่องสัญญาณ

จากการทดสอบการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลโดยการใช้ PC ADDA-12 CARD FPC-010 พบว่าการ์ดนี้สามารถแปลงสัญญาณได้ใกล้เคียงกับค่าที่มิเตอร์สามารถอ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดลองและสรุป

5.1 ผลการทดลอง

ชนิดฟิล์ม SCLAR 400/SH4CLE %T = 86

	percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	85.71	90.09	83.64
Indigo	84.67	81.61	91.25
Blue	85.61	86.51	88.97
Green	87.50	83.59	92.83
Yellow	84.62	86.81	91.54
Orange	84.82	82.71	97.12
Red	83.59	79.17	97.22
	%T ของฟิล์ม = 85.22	%T ของฟิล์ม = 84.36	%T ของฟิล์ม = 91.80

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 87.13

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองของฟิล์ม SCLAR 400/SH4CLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดฟิล์ม RE70NEARL %T = 66

	Percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	57.14	55.12	59.29
Indigo	53.65	54.14	55.21
Blue	54.84	55.93	53.82
Green	66.67	57.76	58.04
Yellow	57.40	59.86	58.54
Orange	58.66	60.61	57.59
Red	57.93	59.67	55.65
	%T ของฟิล์ม = 58.04	%T ของฟิล์ม = 57.58	%T ของฟิล์ม = 56.88

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 57.50

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองของฟิล์ม RE70NEARL

ชนิดฟิล์ม RE50NEARL/RE50NEL %T = 51

	Percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	40.44	38.40	44.86
Indigo	34.80	37.20	47.57
Blue	37.21	39.67	42.14
Green	35.18	40.13	44.14
Yellow	37.45	40.39	43.36
Orange	37.20	41.02	44.20
Red	35.88	39.34	43.40
	%T ของฟิล์ม = 36.82	%T ของฟิล์ม = 39.45	%T ของฟิล์ม = 43.52

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 39.93

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองของฟิล์ม RE50NEARL/RE50NEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดฟิล์ม P43ARL/P43AL %T = 43

	Percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	47.06	40.17	34.19
Indigo	40.35	40.00	37.27
Blue	35.63	35.74	34.18
Green	36.94	35.96	31.94
Yellow	37.82	37.25	33.33
Orange	37.66	34.94	33.50
Red	29.59	29.23	26.81
	%T ของฟิล์ม = 37.86	%T ของฟิล์ม = 36.18	%T ของฟิล์ม = 33.12

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 35.72

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองของฟิล์ม P43ARL/P43AL

ชนิดฟิล์ม S35NEARL %T = 37

	percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	29.57	28.70	38.46
Indigo	25.61	25.32	31.51
Blue	25.16	26.26	31.02
Green	28.26	27.39	33.03
Yellow	28.47	27.80	31.49
Orange	28.40	28.08	30.79
Red	26.47	26.85	29.46
	%T ของฟิล์ม = 27.42	%T ของฟิล์ม = 27.20	%T ของฟิล์ม = 32.25

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 28.9

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองของฟิล์ม S35NEARL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดฟิล์ม RE35NEARL %T = 37

	Percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	30.23	33.15	29.02
Indigo	28.30	28.32	26.83
Blue	27.76	28.35	27.78
Green	28.03	27.33	29.47
Yellow	28.54	29.06	30.56
Orange	28.63	27.07	29.91
Red	27.14	26.66	29.00
	%T ของฟิล์ม = 28.38	%T ของฟิล์ม = 28.56	%T ของฟิล์ม = 28.94

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 28.63

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองของฟิล์ม RE35NEARL

ชนิดฟิล์ม SH4SIL %T = 19

	percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	15.49	12.67	17.17
Indigo	12.69	9.35	11.25
Blue	10.84	10.04	10.97
Green	11.36	11.63	11.64
Yellow	10.11	10.23	10.38
Orange	11.85	12.38	11.18
Red	10.08	9.83	9.49
	%T ของฟิล์ม = 11.77	%T ของฟิล์ม = 10.88	%T ของฟิล์ม = 11.73

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 11.46

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองของฟิล์ม SH4SIL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดฟิล์ม P18 %T = 19

	percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	16.05	15.96	16.8
Indigo	10.11	9.29	12.17
Blue	10.86	10.33	10.69
G.een	11.78	12.27	13.71
Yellow	9.13	10.85	12.05
Orange	8.89	11.21	14.11
Red	7.76	10.11	10.29
	%T ของฟิล์ม = 10.65	%T ของฟิล์ม = 11.43	%T ของฟิล์ม = 12.83

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 11.64

ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองของฟิล์ม P18

ชนิดฟิล์ม RE20NEARL %T = 16

	Percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	10.24	11.71	11.43
Indigo	7.49	10.60	8.16
Blue	8.76	10.88	9.82
Green	10.26	12.25	10.96
Yellow	10.37	11.13	10.43
Orange	11.19	11.96	11.17
Red	9.53	10.66	10.65
	%T ของฟิล์ม = 9.69	%T ของฟิล์ม = 11.32	%T ของฟิล์ม = 10.37

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 10.46

ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองของฟิล์ม RE20NEARL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดฟิล์ม PNTHR5 %T = 8

	Percent transmittance(%T) = v/v_0		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Violet	3.31	4.00	4.09
Indigo	5.67	5.18	5.97
Blue	2.08	2.08	2.00
Green	3.14	3.09	3.44
Yellow	8.68	7.07	9.63
Orange	3.72	3.68	5.21
Red	1.35	1.43	1.65
	%T ของฟิล์ม = 3.99	%T ของฟิล์ม = 3.79	%T ของฟิล์ม = 4.57

ดังนั้น % T ของฟิล์ม เฉลี่ย คือ 4.12

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองของฟิล์ม PNTHR5

5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.2.1 เปรียบเทียบลักษณะของรูปกราฟ

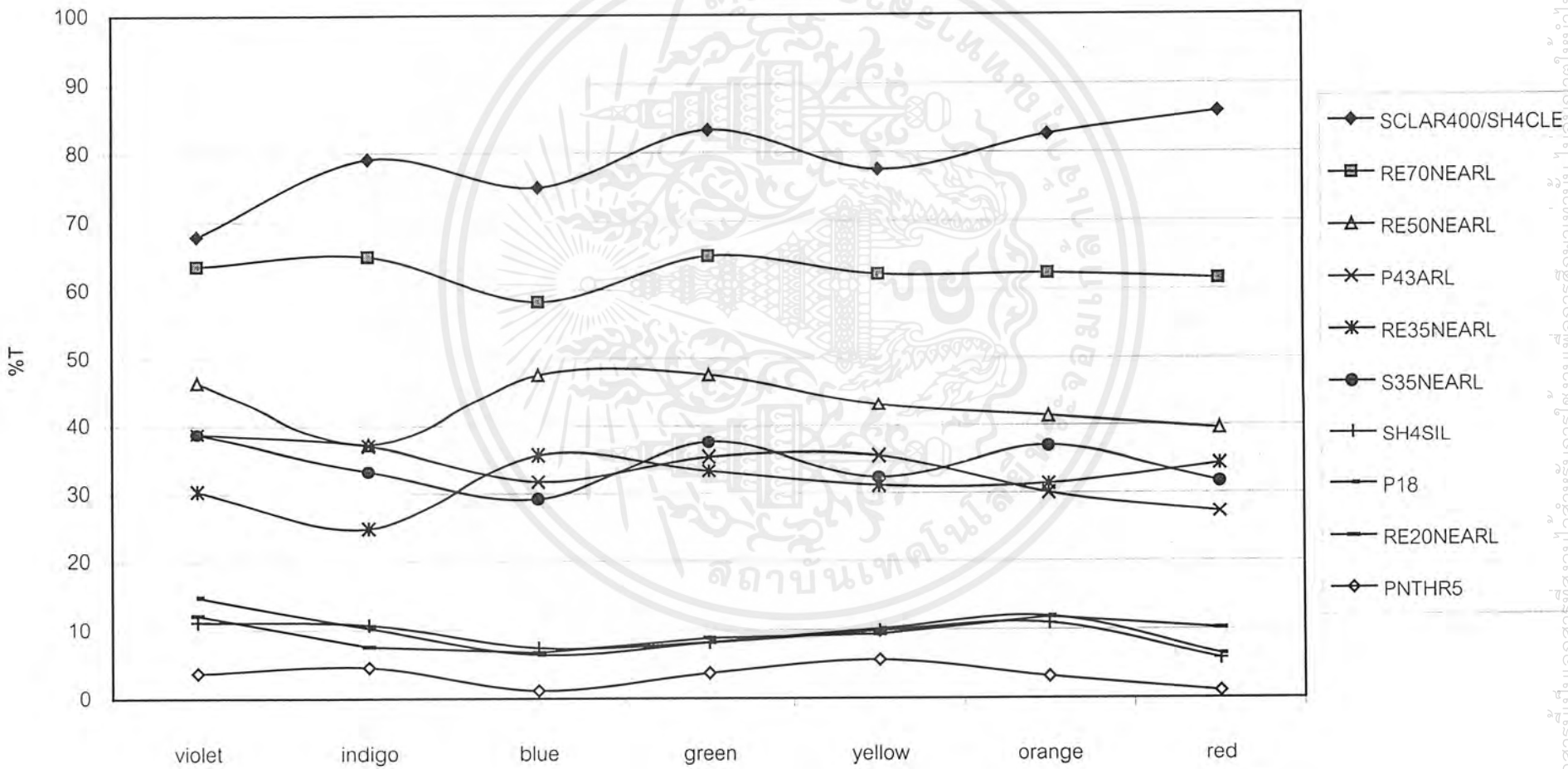
จากกราฟเปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มที่ได้จากสเปกโตรมิเตอร์และผลที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นพบว่า ค่าเปอร์เซนต์ที่ได้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันโดยลักษณะของเส้นกราฟที่ได้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มแต่ละตัว

5.2.2 เปรียบเทียบค่าการส่งแสงผ่านของฟิล์ม

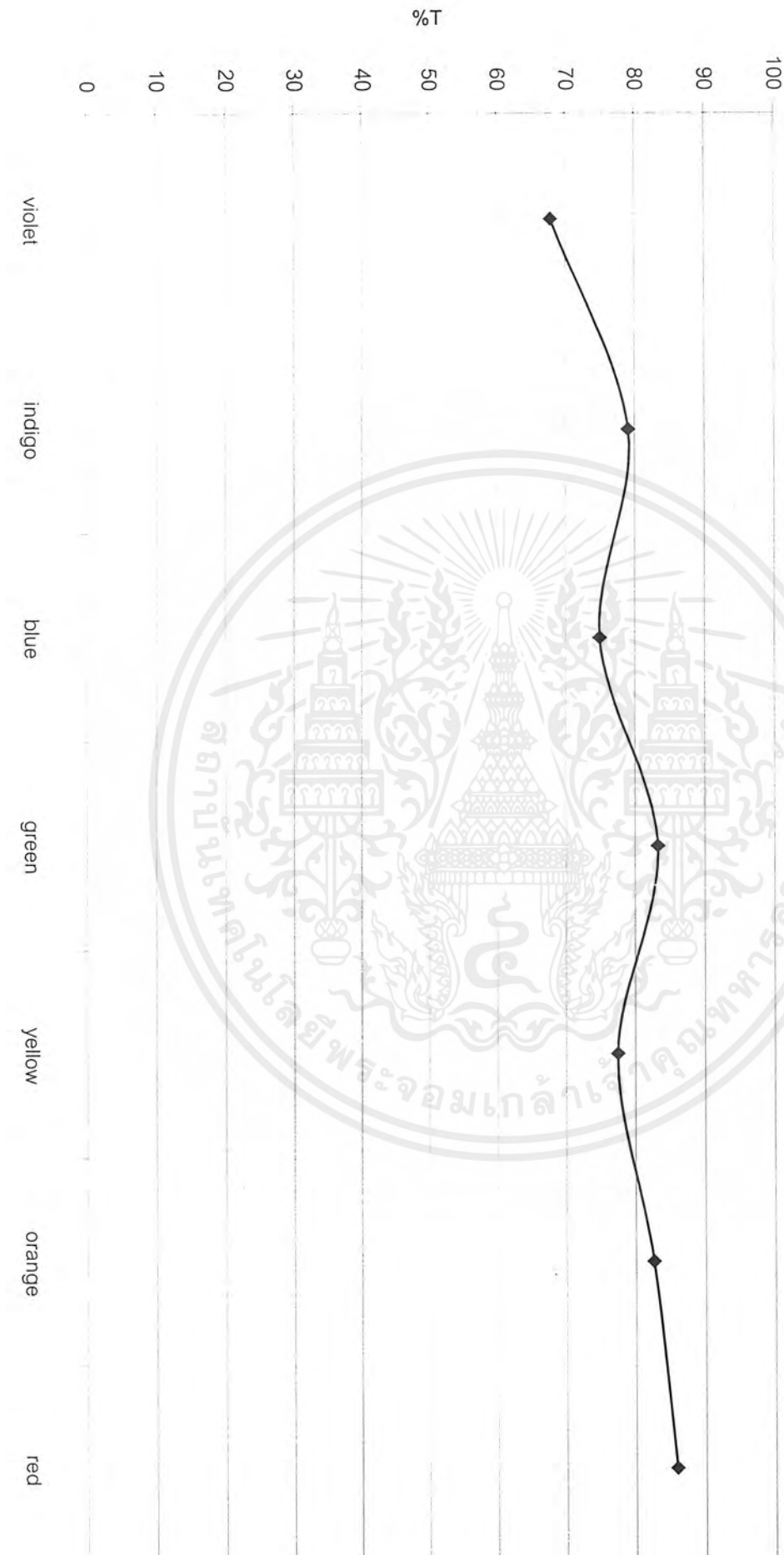
ค่าที่เราวัดได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซนต์จริงที่กำหนดมาจากผู้ผลิตฟิล์มพบว่า ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงประมาณ 10% ซึ่งอาจสรุปได้ว่าเครื่องมือที่เราสร้างขึ้นสนใจการวัดในช่วงแสงขาว (Visible light) เท่านั้น แต่เครื่องมือที่ทางผู้ผลิตฟิล์มกรองแสงใช้วัดค่าอ้างอิงนั้นเป็นการวัดทั้งสามช่วงความยาวคลื่นคือ ช่วงอัลตราไวโอเลต แสงขาว และช่วงอินฟราเรด ทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ต่างจากค่าที่วัดได้ในช่วงเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

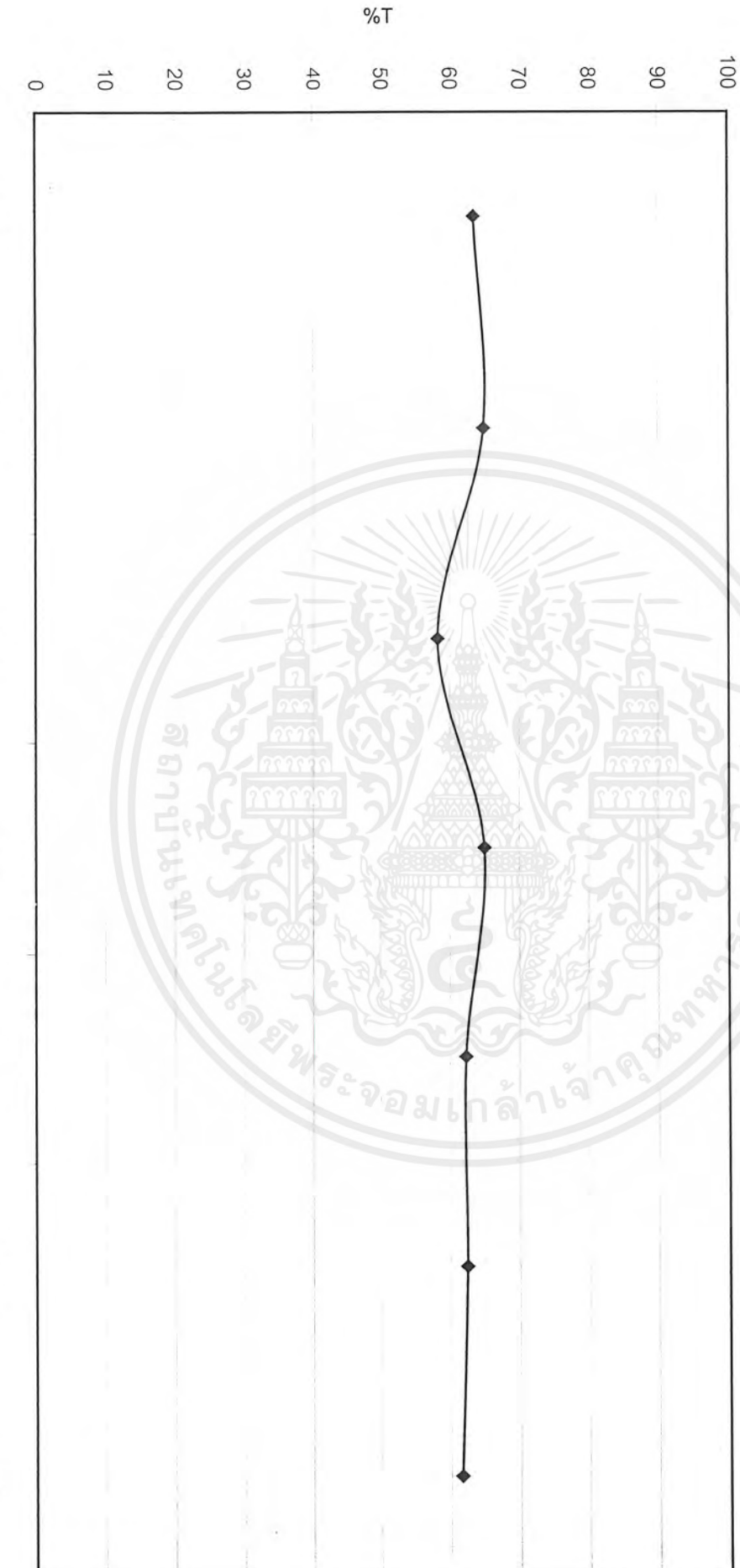
กราฟแสดงค่าเปอร์เซนต์การส่งผ่านแสงกับความยาวคลื่น จากคอมพิวเตอร์



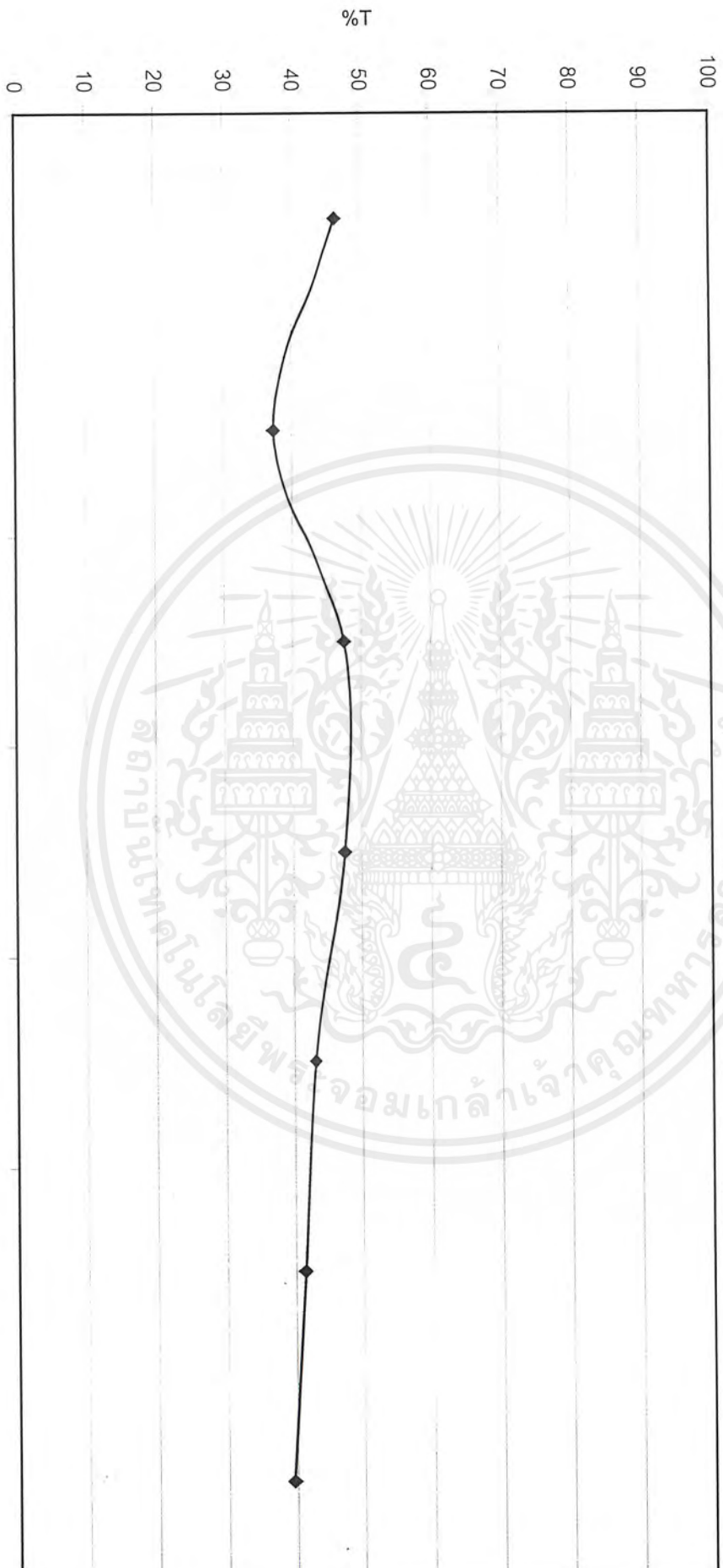
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

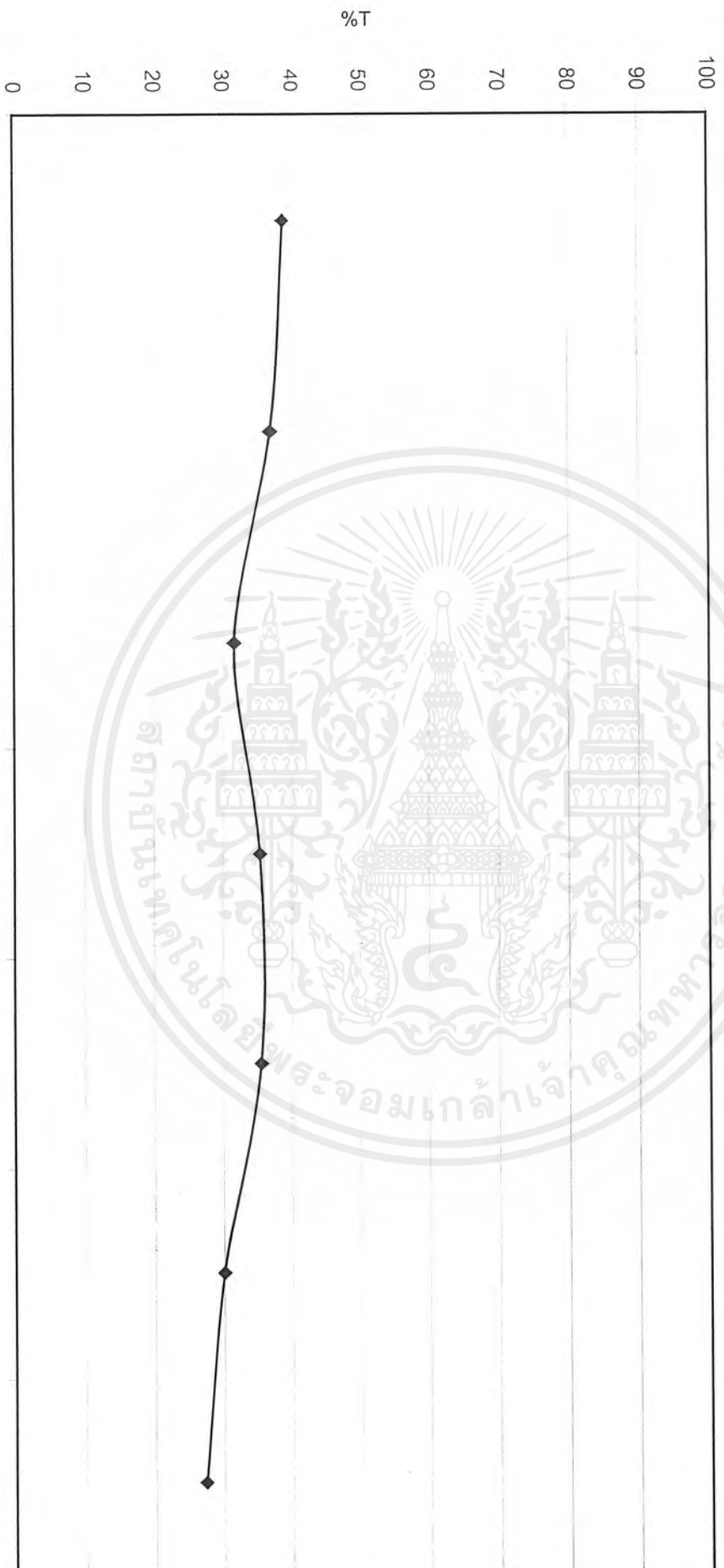


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



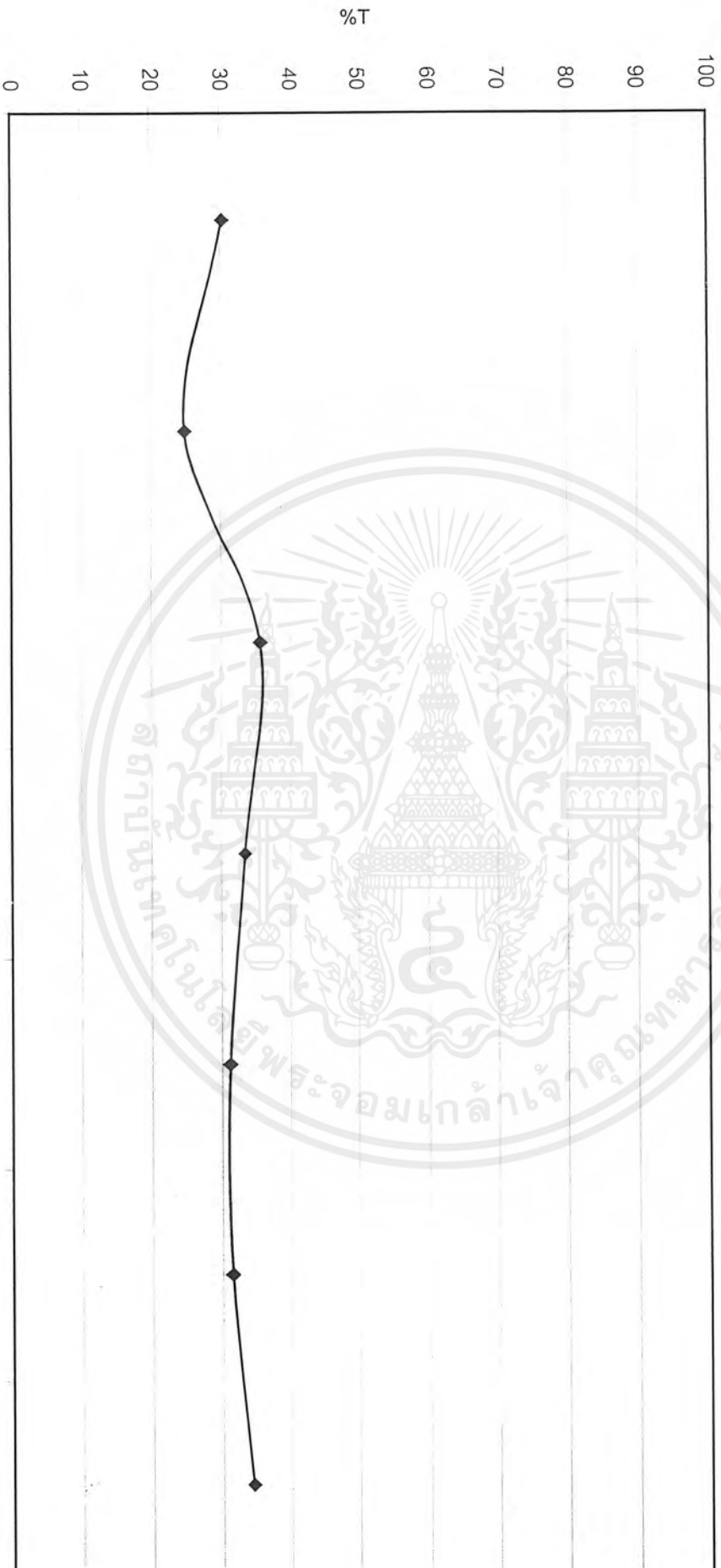
RE50NEARL :computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



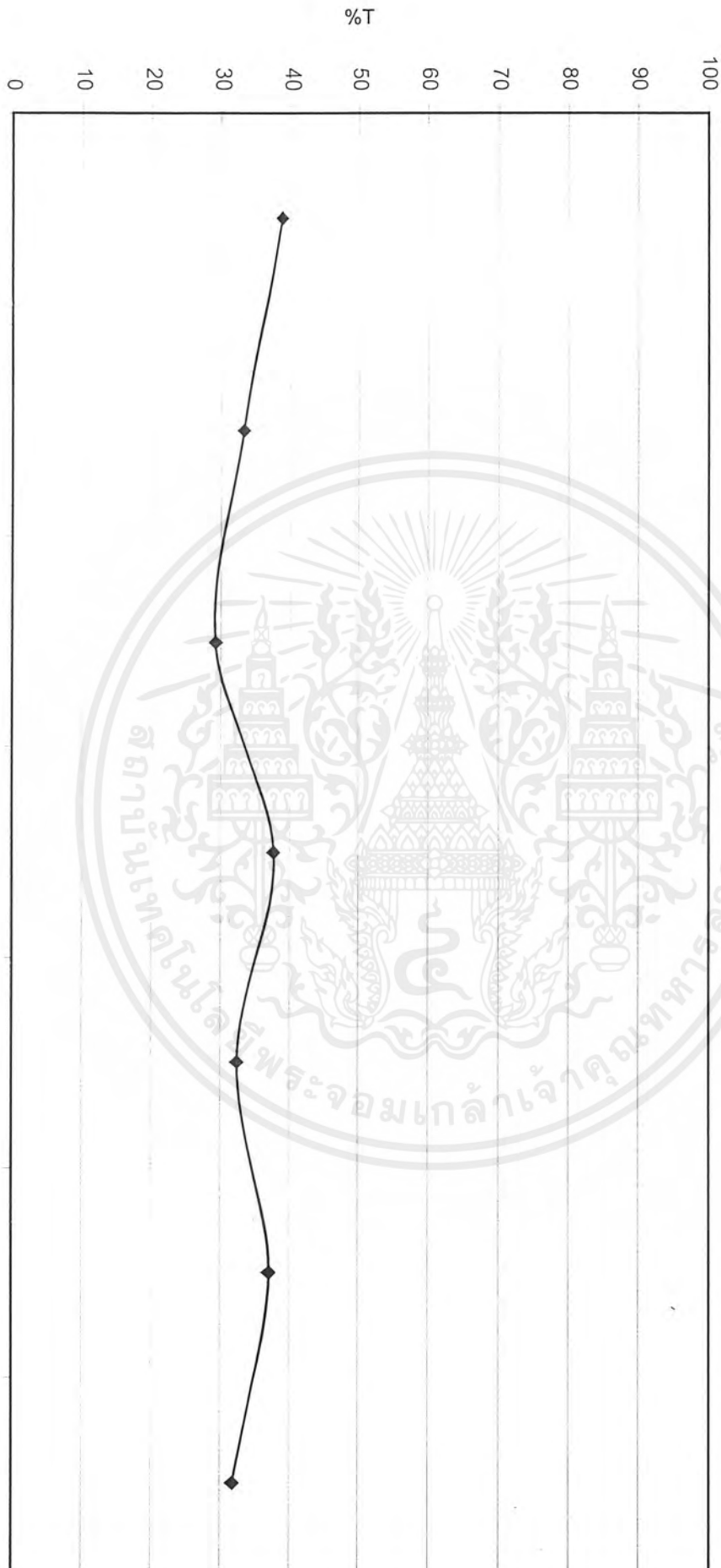
P43ARL : computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



RE35NEARL : computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

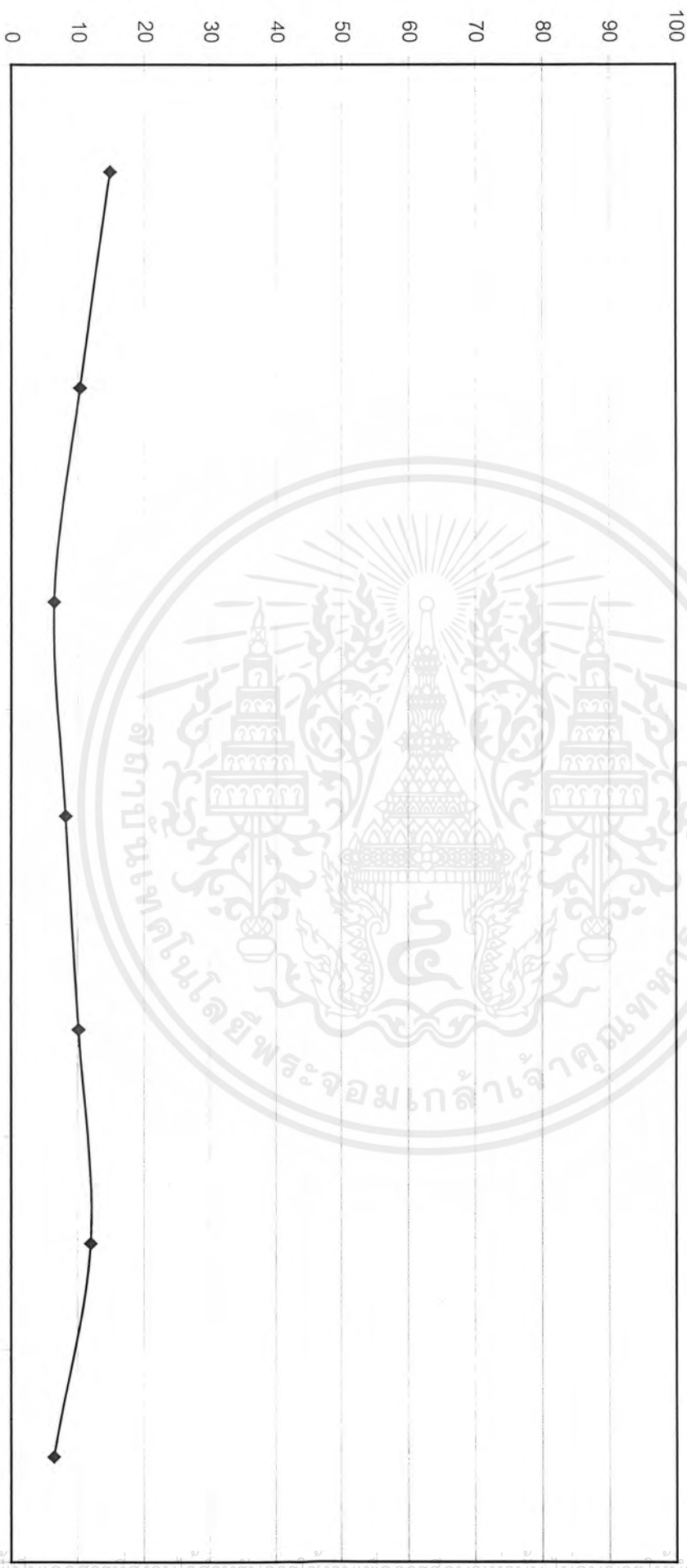


S35NEARL : computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SH4SIL : computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



P18 : computer

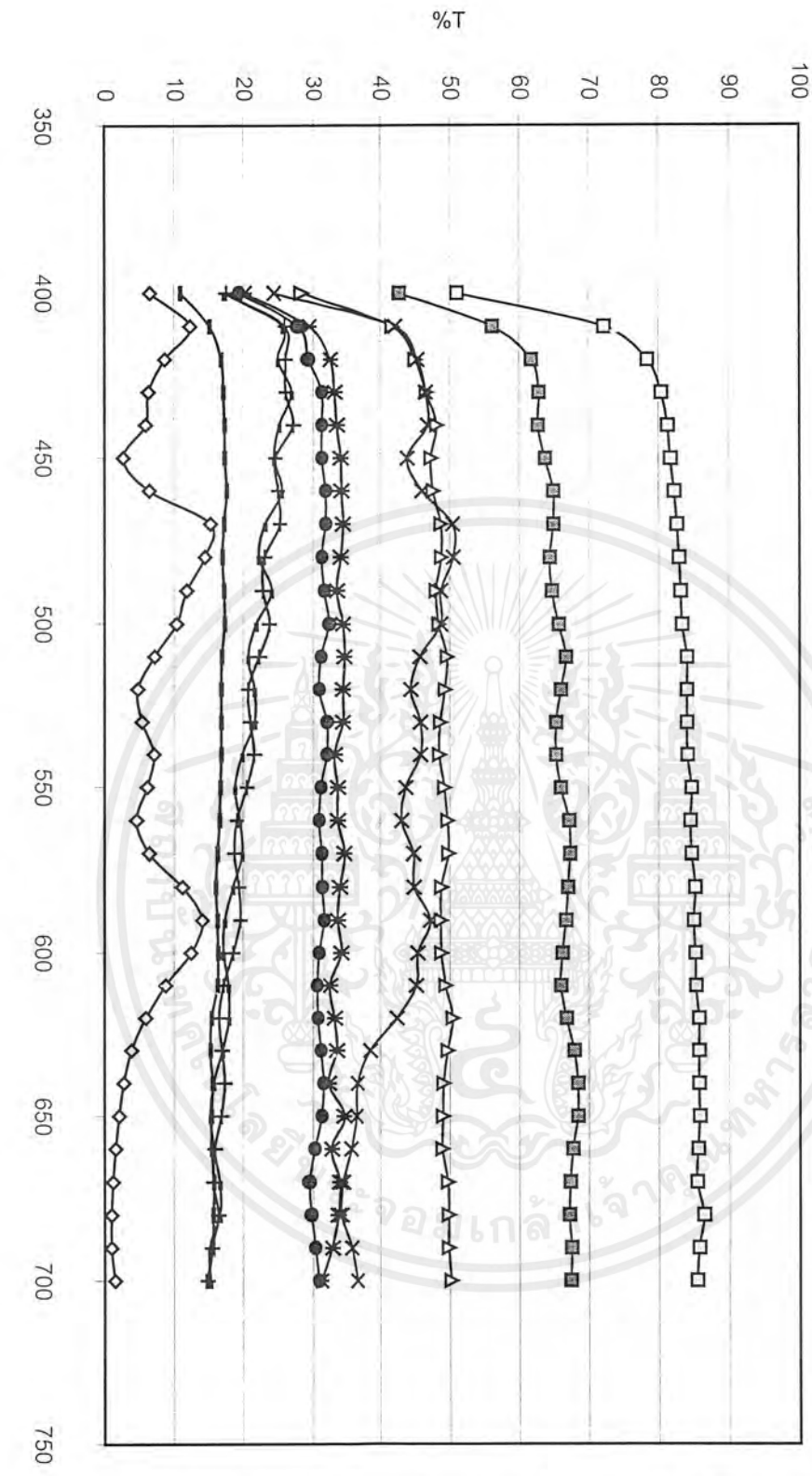
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

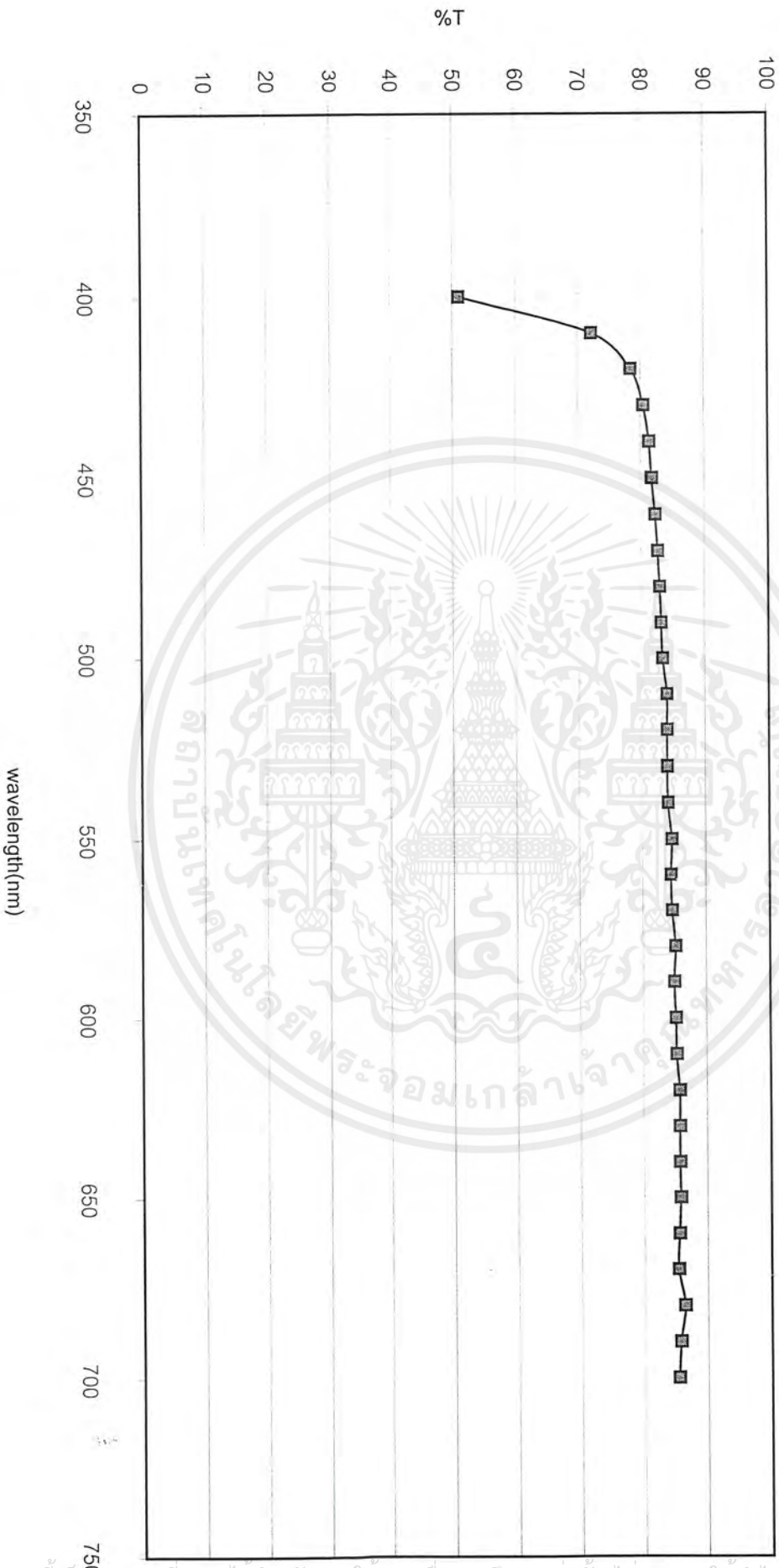
PNTHR5 : computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

spectrometer data

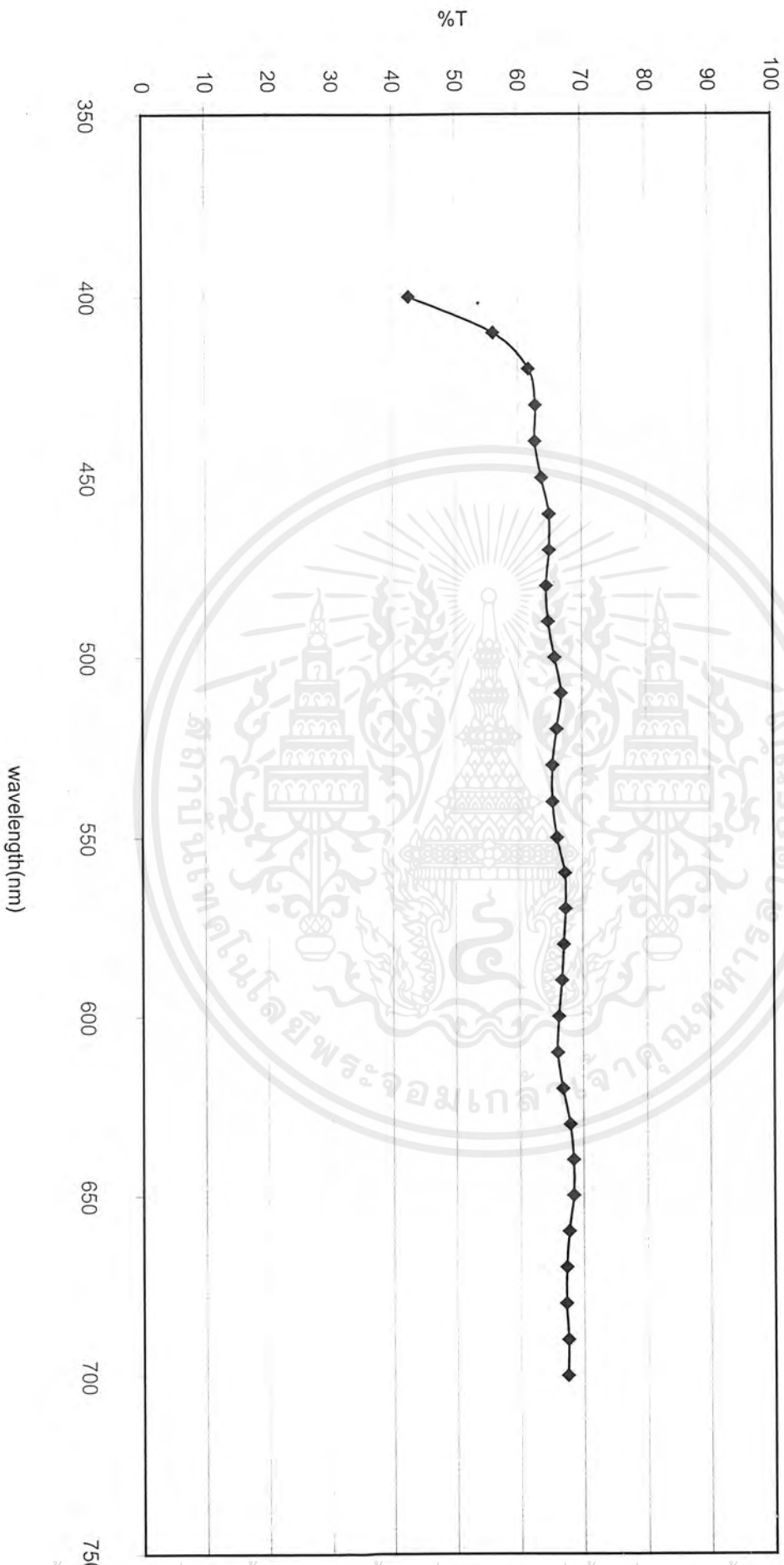


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

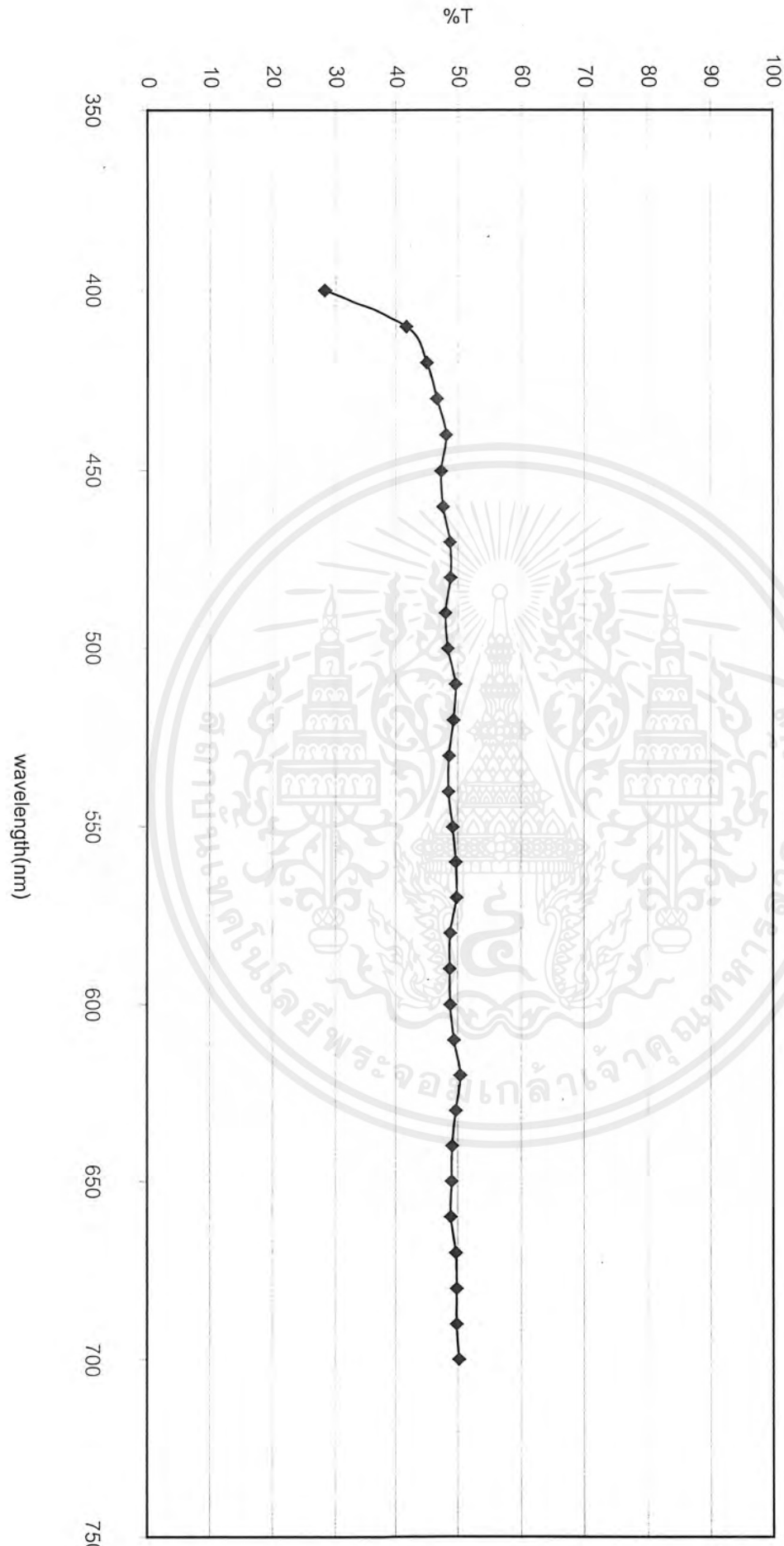


SCLAR400/SH4CLE:spectrometer

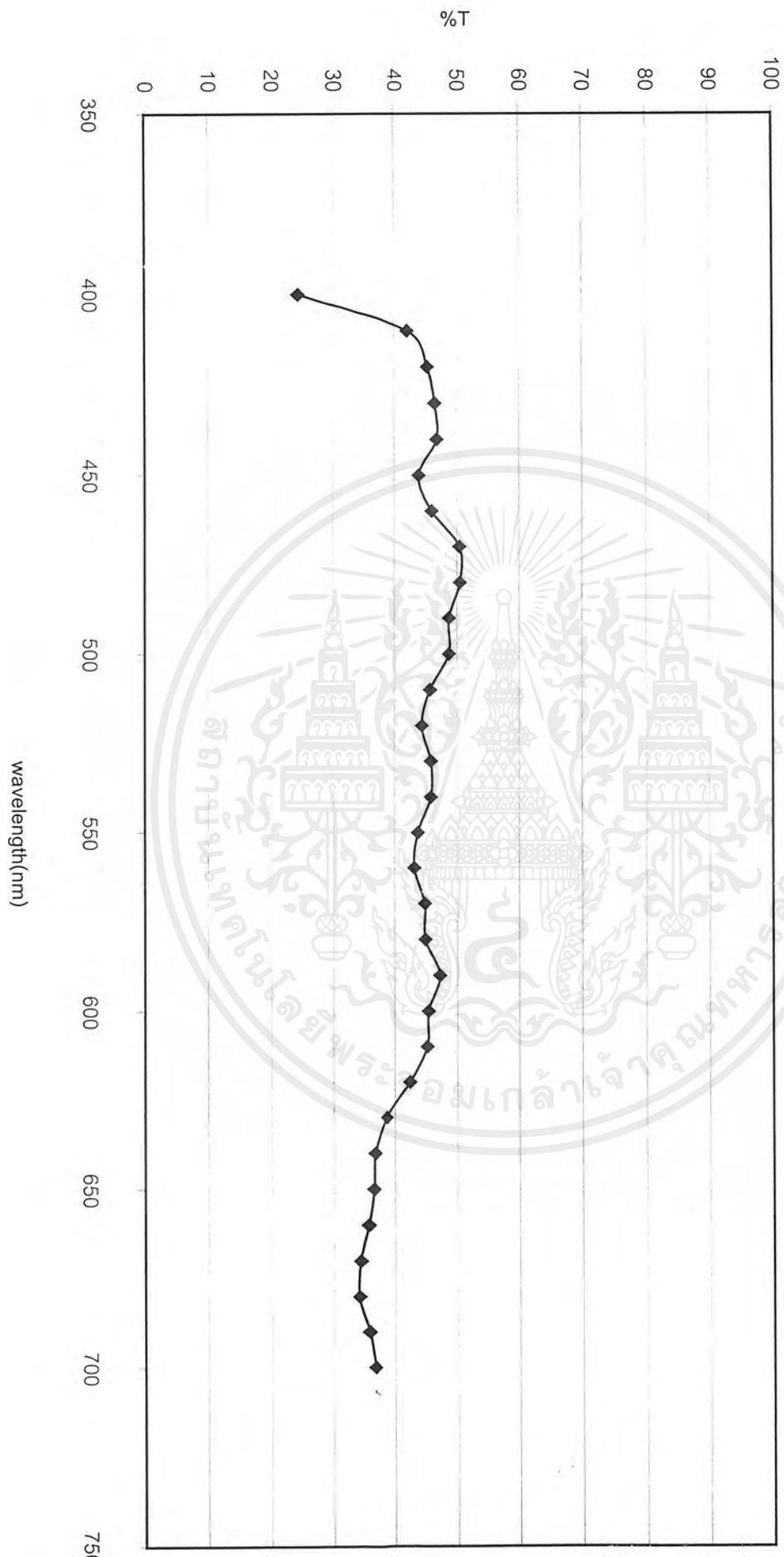
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



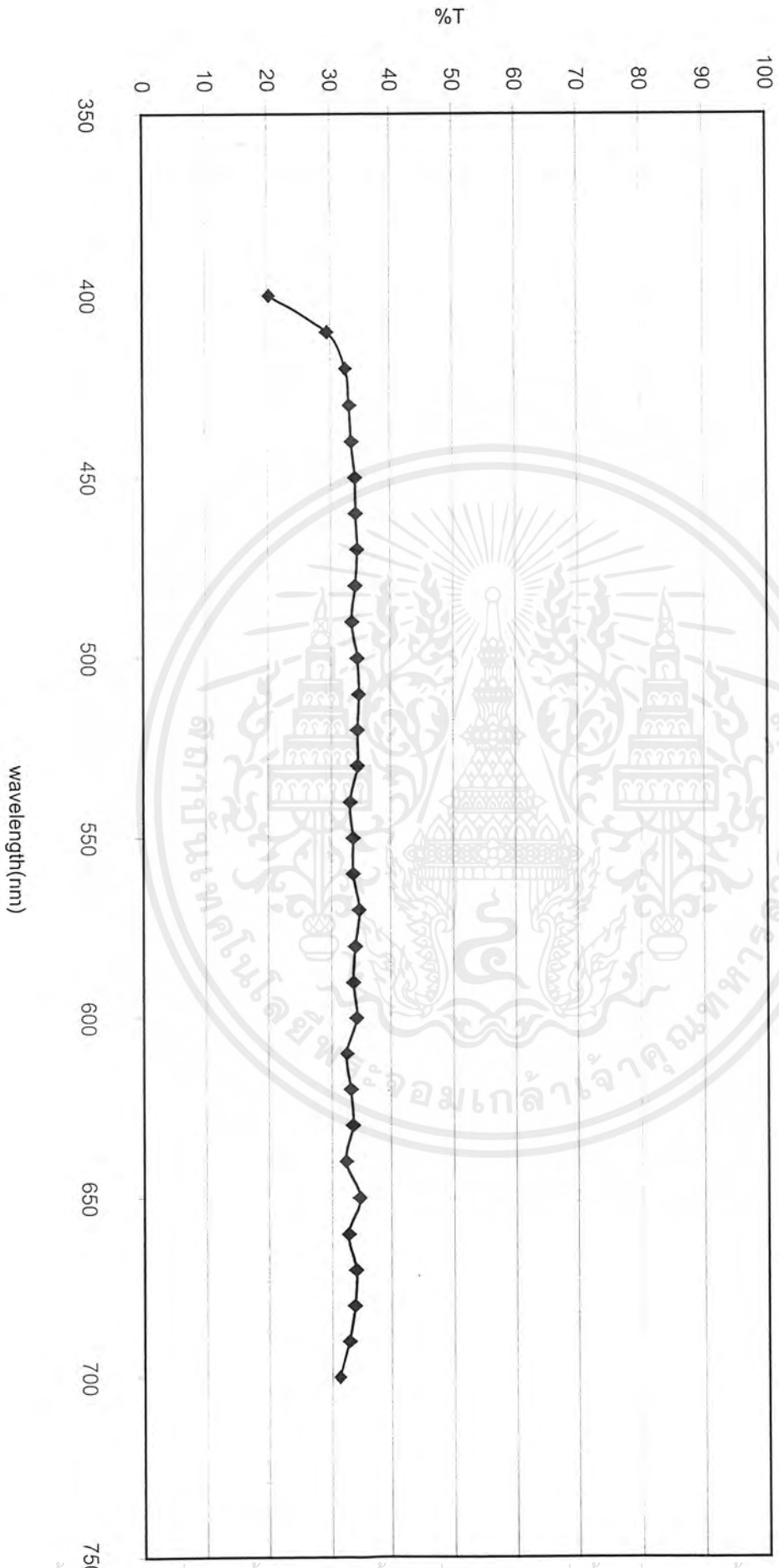
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



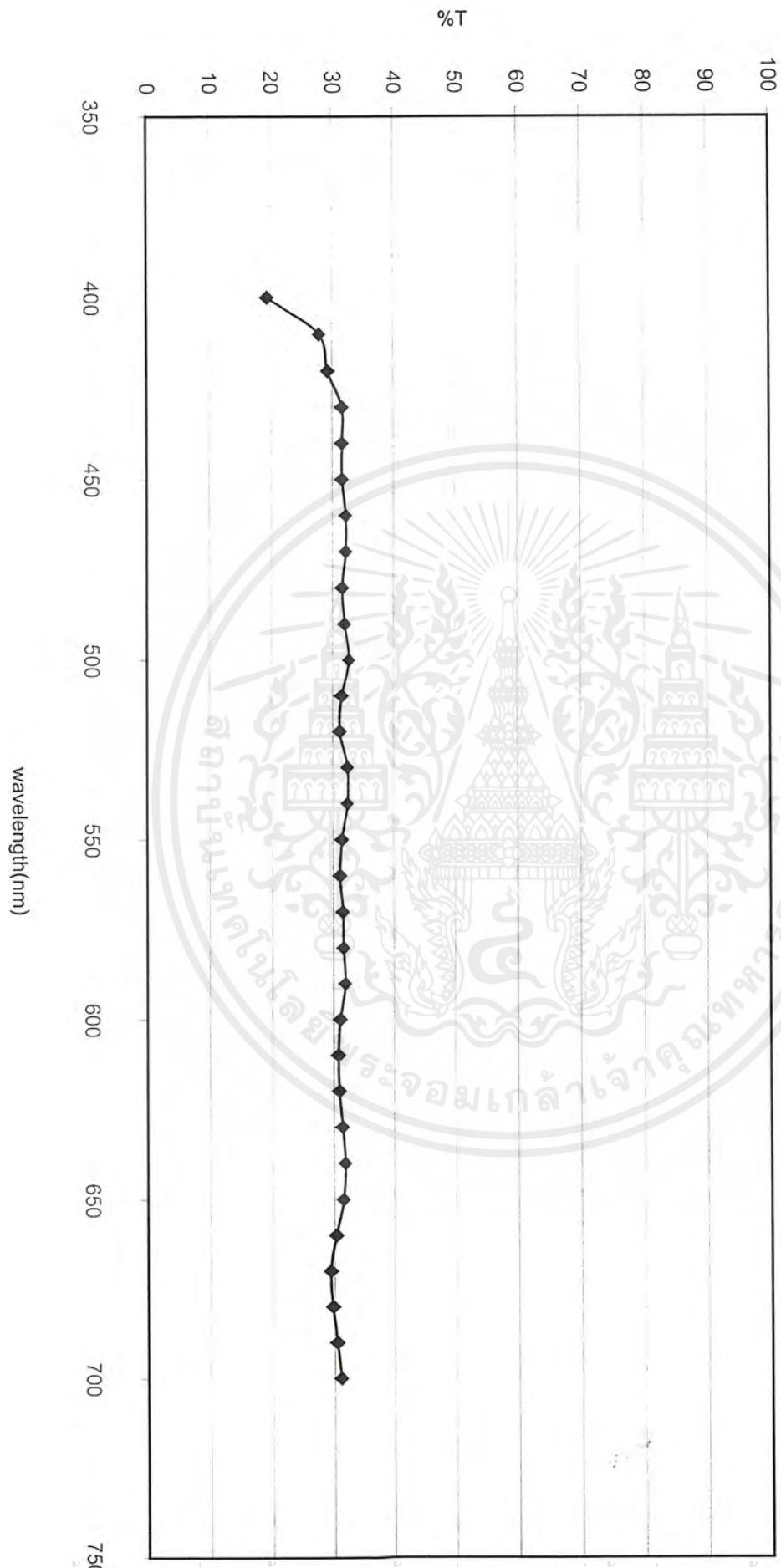
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



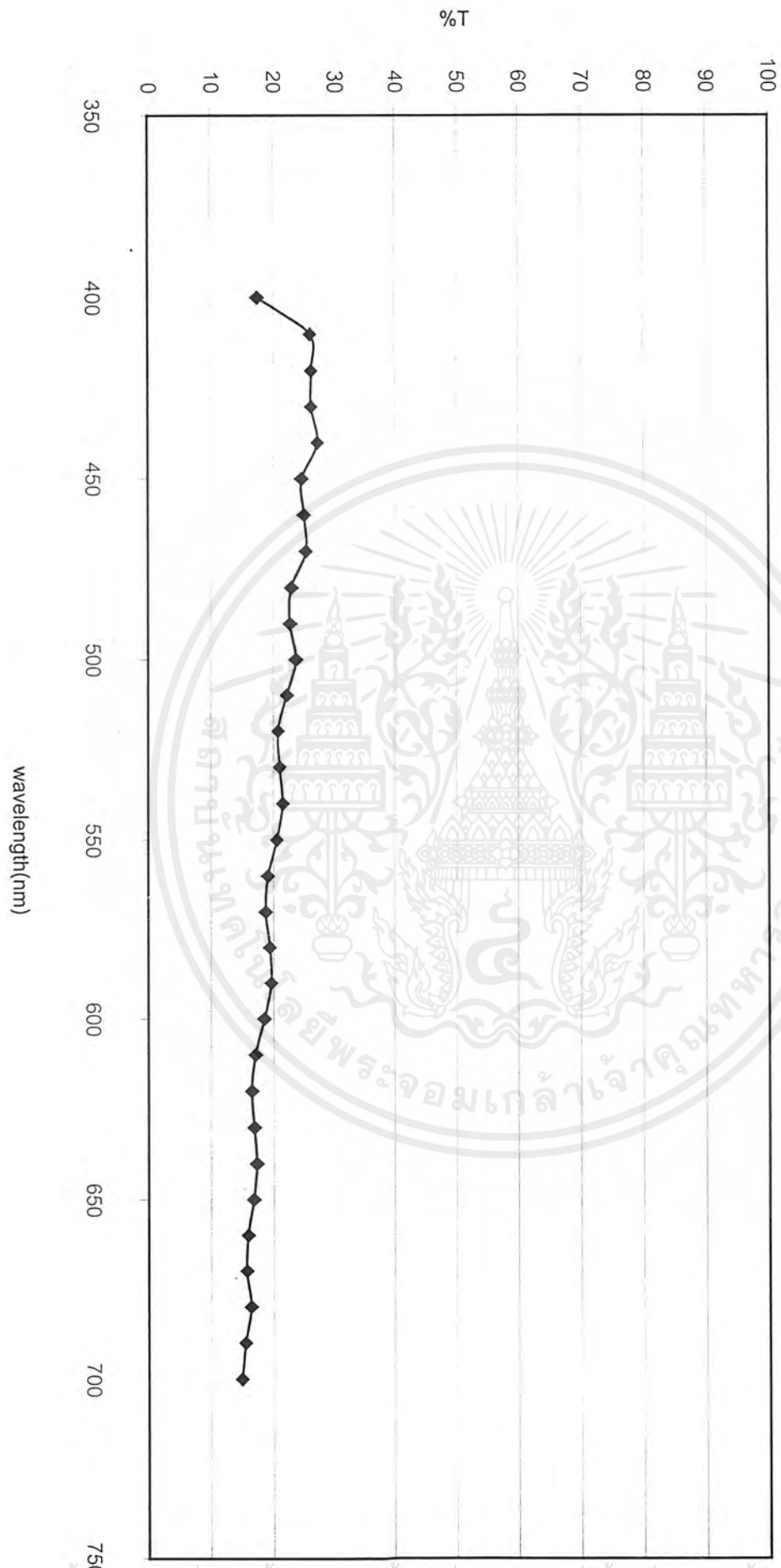
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

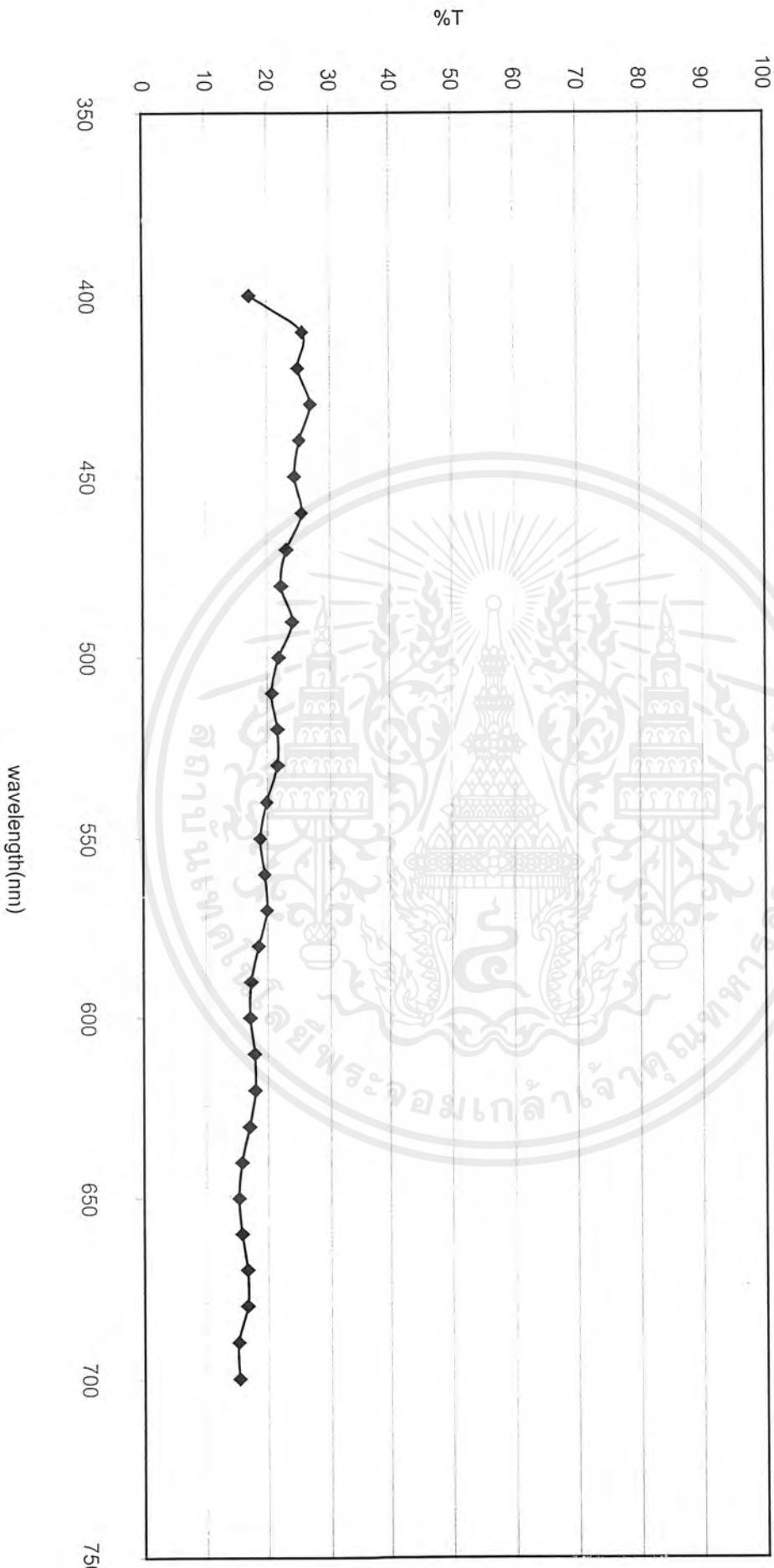


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



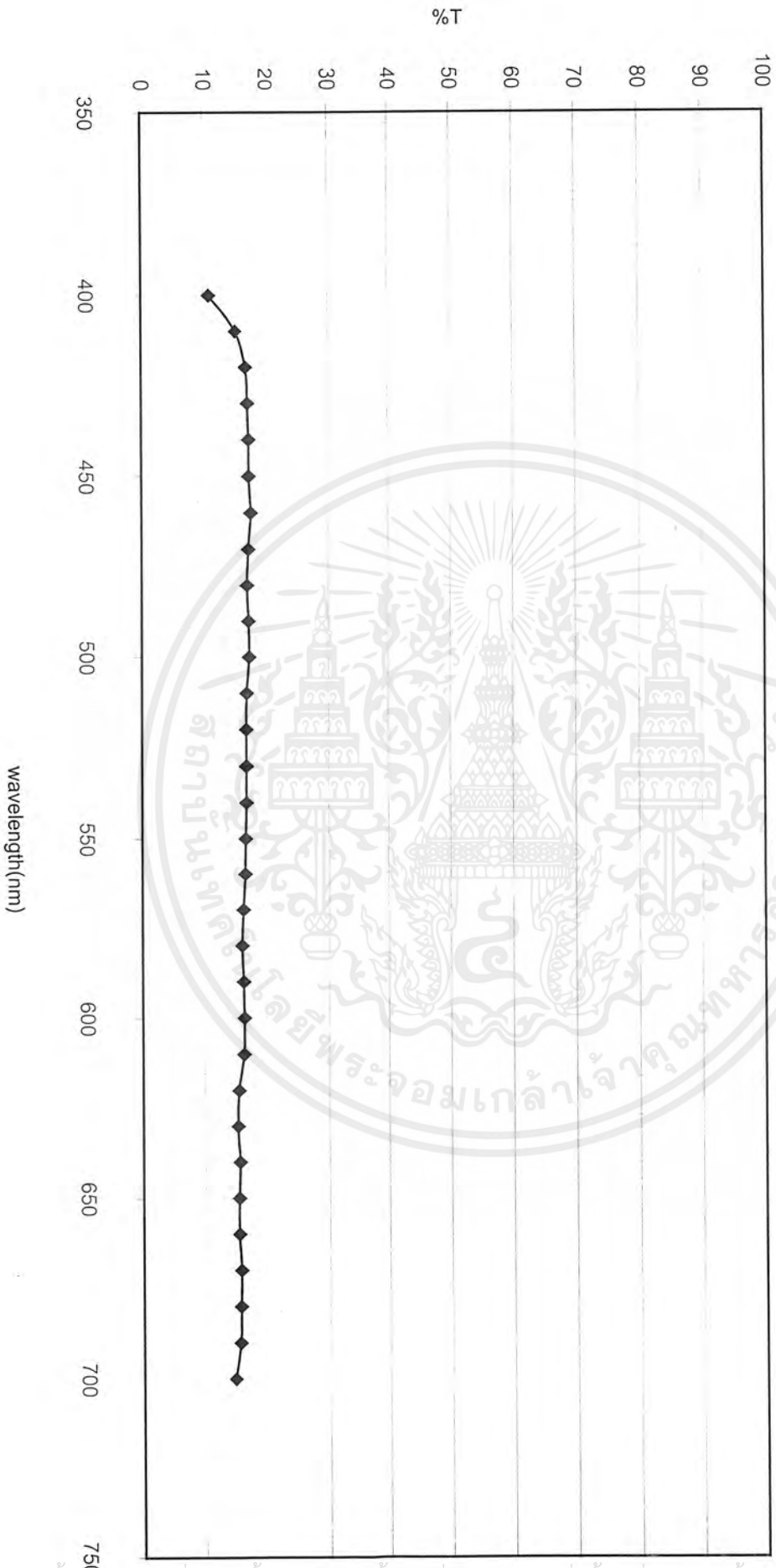
SH4SIL:spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

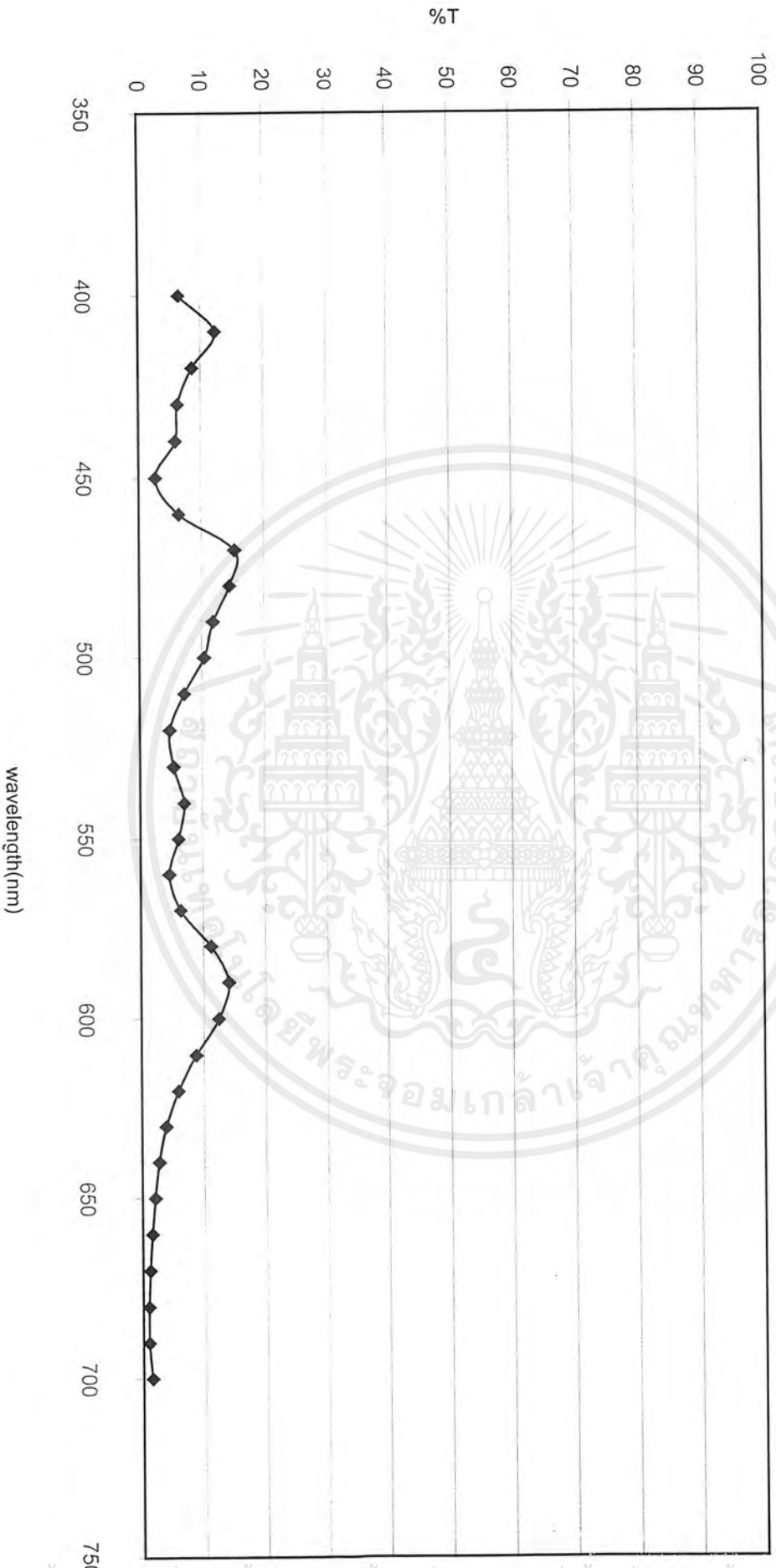


P18:spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PNTHR5:spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อผิดพลาด

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าการส่งผ่านของฟิล์มกรองแสงมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงที่แนบมากับฟิล์มเล็กน้อย ทั้งนี้มีผลเนื่องมาจากตัวตรวจจับ หรืออาจมาจากสภาพแวดล้อมในการวัดฟิล์มที่มีความแตกต่างกับของค่าอ้างอิง

5.4 แนวทางการพัฒนา

เนื่องจากโครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาเพื่อทดลองสร้างเครื่องมือ หากจะนำไปใช้งานจริงจะต้องมีการพัฒนาต่อในส่วนของตัวตรวจจับ(detector) และแหล่งกำเนิดแสงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ขนาดของเครื่องมือจะต้องกระทัดรัดเพื่อนำไปใช้ในภาคสนามได้ และถ้าเป็นไปได้สามารถตรวจวัดได้ทั้งในช่วง infrared ,visible และ ultraviolet ซึ่งจะทำให้เครื่องมือมีประสิทธิภาพอย่างมาก และยังเป็นที่ต้องการของหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

5.5 ผลสำเร็จของโครงงาน

เครื่องมือนี้มีความสามารถวัดการส่องผ่านของฟิล์มกรองแสงในช่วง visible light(400-700 nm) พบว่าสามารถหาค่าเฉลี่ยจากแต่ละความยาวคลื่นได้ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับฟิล์มที่มีการตอบสนองแต่ละความยาวคลื่นแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และเครื่องมือสามารถคำนวณหาค่าการส่องผ่านของฟิล์มกรองแสงได้จึงทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการวัดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. นางสาวชุติมา หมัดละ เกิดเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2520 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า เขตบางกะปิ จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2538 และการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2542
2. นางสาวสิริพรรณ สุธรรม เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2522 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมจากโรงเรียนสายน้ำผึ้ง เขตพระโขนง จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2538 และการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2542
3. นางสาวสุธาสินี พจน์ศิริ เกิดเมื่อวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2521 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมจากโรงเรียนระยองวิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดระยอง เมื่อปีการศึกษา 2538 และการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ก่องกัญจน์ ภัทรากาญจน์ , ธนกาญจน์ ภัทรากาญจน์ , " **ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย เล่ม2**" , สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , หน้า 706 – หน้า 709,2530
2. วันชัย คุณากรวงศ์ , บัณฑิต บัวบูชา , รัฐวุฒิ ประทุมราช , รุ่งแสง เครือไวศยวรรณ , **"การคำนวณวงจรทรานซิสเตอร์"** , สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ ,หน้า 266 – หน้า 285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PC ADDA-12 CARD

FPC-010

USER'S MANUAL

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

MU-PC010/D-00
1995. 01.

1. Introduction

The ADDA-12 card an analog-digital/digital-analog high performance data conversion card operating at a twelve-bit resolution for IBM PC and compatible system. The card operates with 16 single ended analog input or 8 differential analog input and 1 analog output.

2. Specifications

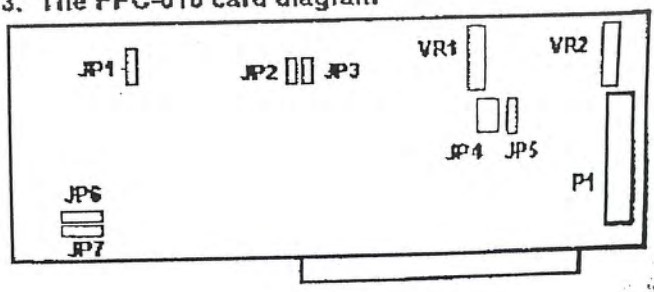
Digital to Analog:

- Output Channel: 1
- Output Range: Bipolar +/- 9V
  Unipolar 0-9V
- Settling Time: 3us for 9V step
- Accuracy: 0.2%
- Resolution: 12 bits

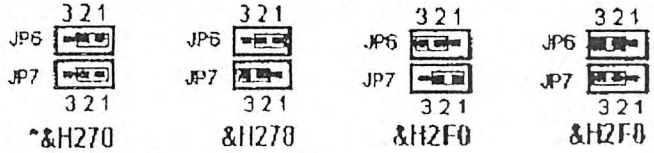
Analog to Digital:

- Input Channels: 16 single ended or 8 differential
- Input Ranges: Bipolar +/- 9V
  Unipolar 0-9V
- Conversion Time: 60us pre channel
- Accuracy: +/-0.3%
- Single enden input Impedance: >10M ohm
- Differential input Impedance: 100K ohm
- Resolution: 12 bit

3. The FPC-010 card diagram



4. Base Address Selection (JP6 and JP7)

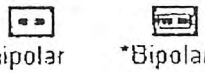


*Factory setting to hex 270

5. Jumpers Setting

5.1. Analog output range

JP3 is used to select unipolar or bipolar for D/A.



Unipolar *Bipolar

5.2. Analog input range

a. JP2 is used to select unipolar or bipolar for A/D.

*Unipolar Bipolar

b. JP1,JP4 and JP5 are used to select 16 single ended or 8 differential for A/D.

	JUMPER		
	JP1	JP4	JP5
*Single ended			
Differential			

6. Potential Resistor (VR1)

This resistor (VR1) adjusts the A/D, D/A full scare reference voltage which is normal at 9 VDC. To change the voltage, turn the screw at the top of the resistor unitil the desired voltage is attained.

7. Register & Format

The following are the registers which are addressable form the I/O port base address along with the location and usage of the registers:

PORT+0 = output data (0-15) to select 16 single ended A/D channel
or (0-7) to select 8 differential A/D channel
PORT+1 = read A/D low 8-bit data
PORT+2 = read A/D high 4-bit data (bits 0-3)
PORT+3 = output zero (0) to clear A/D register
PORT+4 = loop back seven times to start A/D high 6-bit conversion
PORT+5 = loop back seven times to start A/D low 6-bit conversion
PORT+6 = output D/A low 8-bit data
PORT+7 = output D/A high 4-bit data (bits 0-3)

8. Analog to Digital Conversion Procedure

a. output channel number to PORT+0
b. initiate register using softswitch in PORT+3 to clear previous data
c. start conversion using softswitch in PORT+4 and PORT+5 exactly seven times individually
d. read data in PORT+2 (bits 0-3) for high 4-bit data and PORT+1 for low 8-bit data

9. Digital to Analog Conversion Procedure

a. output high 4-bit data to PORT+7
b. output low 8-bit data to PORT+6

10. D-type Connector Pinout

16 Single ended		8 Differential	
PIN	NAME	PIN	NAME
1	A.GND	1	A.GND
2	D/A OUTPUT	2	D/A OUTPUT
3	5V.	3	5V
4	A.GND	4	A.GND
5	A/D CH0	5	A/D CH0 High
6	A/D CH1	6	A/D CH1 High
7	A/D CH2	7	A/D CH2 High
8	A/D CH3	8	A/D CH3 High
9	A/D CH4	9	A/D CH4 High
10	A/D CH5	10	A/D CH5 High
11	A/D CH6	11	A/D CH6 High
12	A/D CH7	12	A/D CH7 High
13	12V	13	12V
14	A.GND	14	A.GND
15	- 5V	15	- 5V
16	A.GND	16	A.GND
17	A/D CH15	17	A/D CH7 Low
18	A/D CH14	18	A/D CH6 Low
19	A/D CH13	19	A/D CH5 Low
20	A/D CH12	20	A/D CH4 Low
21	A/D CH11	21	A/D CH3 Low
22	A/D CH10	22	A/D CH2 Low
23	A/D CH9	23	A/D CH1 Low
24	A/D CH8	24	A/D CH0 Low
25	- 12V	25	- 12V

********** CAUTION **********

The PC ADDA-12 card uses 4051 CMOS chips as multiplexer for analog input channels. Do not input any voltage higher than + 12V or lower than -12V to the 4051, out-of-limit input voltage way cause permanent damage to the multiplexer circuits.

11. D/A Programming Example

The following programming example, written in BASIC, show how to program D/A channel to generate a voltage of +5.0 volts.

a. Unipolar (demo1.bas)

```
10 PORT=&H270          'Base address for factory setting
20 V=5.0               'Unipolar analog
                       'output 0V  to 9V
30 D=V/9*4095          'Convert value to voltage
40 LO%=D MOD 256       'Calculate value of low byte
50 HI%=(D-LO%)/256     'Calculate value of high byte
60 OUT PORT+6,LO%      'Write D/A channel low byte
70 OUT PORT+7,HI%      'Write D/A channel high byte
80 END
```

b. Bipolar (demo2.bas)

```
10 PORT=&H270          'Base address for factory setting
20 V=5.0+9             'Bipolar analog
                       'output -9V  to +9V
30 D=V/18*4095         'Convert value to voltage
40 LO%=D MOD 256       'Calculate value of low byte
50 HI%=(D-LO%)/256     'Calculate value of high byte
60 OUT PORT+6,LO%      'Write D/A channel low byte
70 OUT PORT+7,HI%      'Write D/A channel high byte
80 END
```

12. A/D Programming Example

The following programming example, written in BASIC, is to sample all the A/D channel and print the results.

a. Unipolar (single end) (demo3.bas)

```
 10 PORT=&H270              'Base address for factory setting
 20 CLS                     'Clear screen
*30 FOR CH=0 TO 15
 40 GOSUB 120
 50 HI=INP(PORT+2)          'Read A/D high byte
 60 LO=INP(PORT+1)          'Read A/D low byte
 70 D=HI*256+LO             'Calculate value
 75 'Unipolar 0V to 9V
 80 V=(D/4095)*9            'Convert value to voltage
 90 PRINT CH,D,V    'Print channel number, value and voltage
100 NEXT CH
105 END
110 '--- A/D routine ----
120 OUT PORT+3,0            'Initiate register to clear
                             previous data
130 OUT PORT+0,CH           'Select channel
140 'Trigger A/D high byte and low byte convertor
**150 FOR I=1 TO 7: A=INP(PORT+4): NEXT I
**160 FOR I=1 TO 7: A=INP(PORT+5): NEXT I
170 RETURN
```

*Note 1: While you use the differential mode, Please change the line 30 to:

```
30 FOR CH=0 TO 7     (demo5.bas)
```

**Note 2:In case if the implementing speed of the program for line 150,160 faster then the A/D conversion time(3us). We recommend you to add a delay in the line 150,160. Please refer to the following sample:

```
150 FOR I=1 TO 7: FOR DL=1 TO 100:NEXT DL:
    A=INP(PORT+4):NEXT I
160 FOR I=1 TO 7: FOR DL=1 TO 100:NEXT DL:
    A=INP(PORT+5):NEXT I
```


b. Bipolar (single end) (demo4.bas)

```
 10 PORT=&H270              'Base address for factory setting
 20 CLS                     'Clear screen
*30 FOR CH=0 TO 15
 40 GOSUB 120
 50 HI=INP(PORT+2)          'Read A/D high byte
 60 LO=INP(PORT+1)          'Read A/D low byte
 70 D=HI*256+LO             'Calculate value
 75 'Bipolar - 9V to + 9V
 80 V=(D-2048)/2047*9       'Convert value to voltage
 90 PRINT CH,D,V    'Print channel number,value and voltage
100 NEXT CH
105 END
110 '--- A/D routine ----
120 OUT PORT+3,0            'Initiate register to clear
                             previous data
130 OUT PORT+0,CH           'Select channel
140 'Trigger A/D high byte and low byte convertor
**150 FOR I=1 TO 7: A=INP(PORT+4): NEXT I
**160 FOR I=1 TO 7: A=INP(PORT+5): NEXT I
170 RETURN
```

*Note 1: While you use the differential mode, Please change the line 30 to:

```
30 FOR CH=0 TO 7     (demo6.bas)
```

**Note 2:In case if the implementing speed of the program for line 150, 160 faster then the A/D conversion time(3us). We recommend you to add a delay in the line 150,160. Please refer to the following sample:

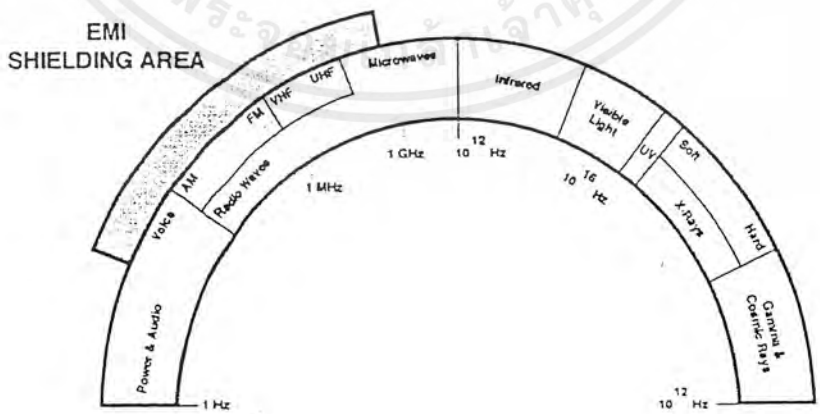
```
150 FOR I=1 TO 7: FOR DL=1 TO 100:NEXT DL:
    A=INP(PORT+4):NEXT I
160 FOR I=1 TO 7: FOR DL=1 TO 100:NEXT DL:
    A=INP(PORT+5):NEXT I
```

13. A/D Differential Input Per-amplifier Offset Adjustment

1. Short High and Low input of A/D channel 0 to GND.
2. Set jumper (JP1,4,5) for differential mode.
3. Unipolar:
   a. Set JP2 open (off) for unipolar mode.
   b. RUN"BASICA DEMO5"program to get A/D data on the screen continuously.
   c. Adjust VR2 till A/D channel 0 data equal to Zero (0V)
4. Bipolar:
   a. Set JP2 close (on) for bipolar mode.
   b. RUN"BASICA DEMO6"program to get A/D data on the screen continuously.
   c. Adjust VR2 till A/D channel 0 data equal to 2048 (0V)

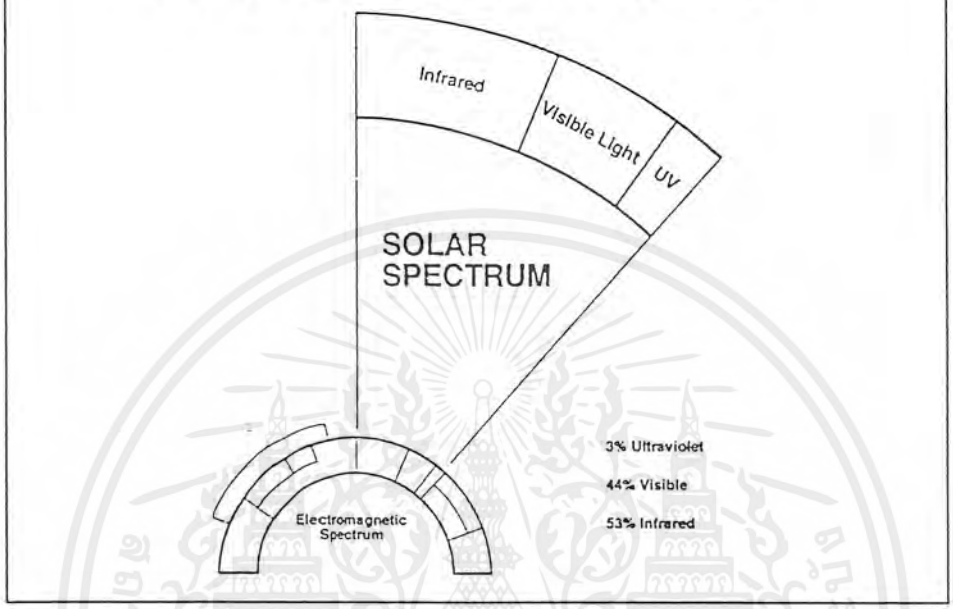
การลดความร้อนของฟิล์มกรองแสง

Electromagnetic Spectrum

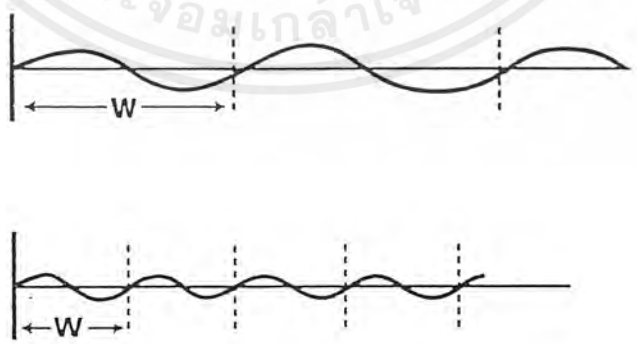


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบรังสีจากดวงอาทิตย์



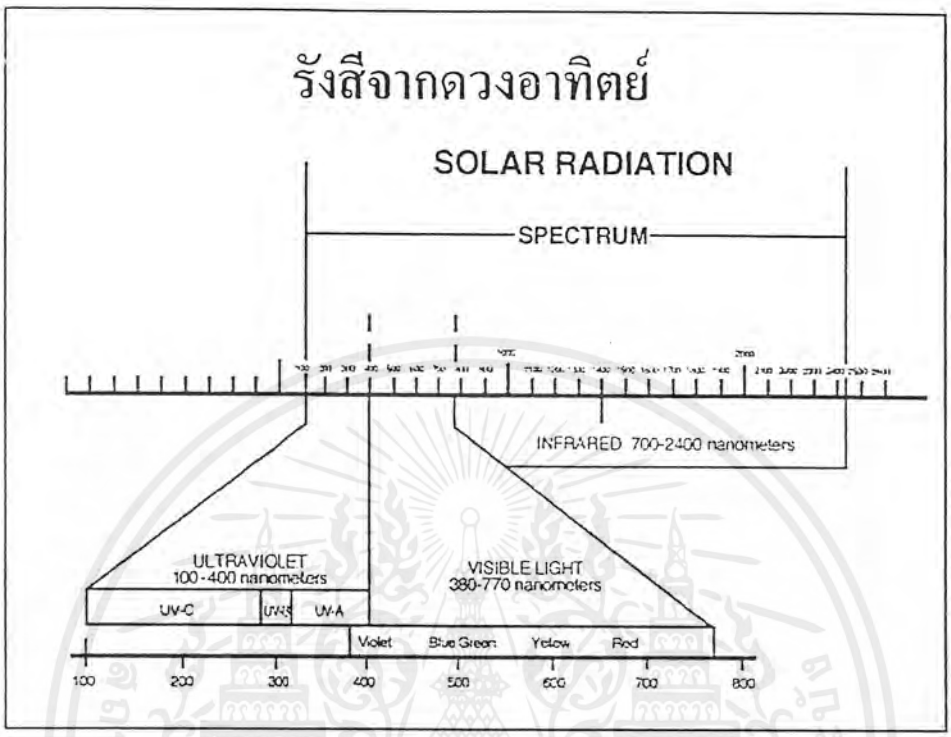
ความยาวคลื่น (Wavelength)

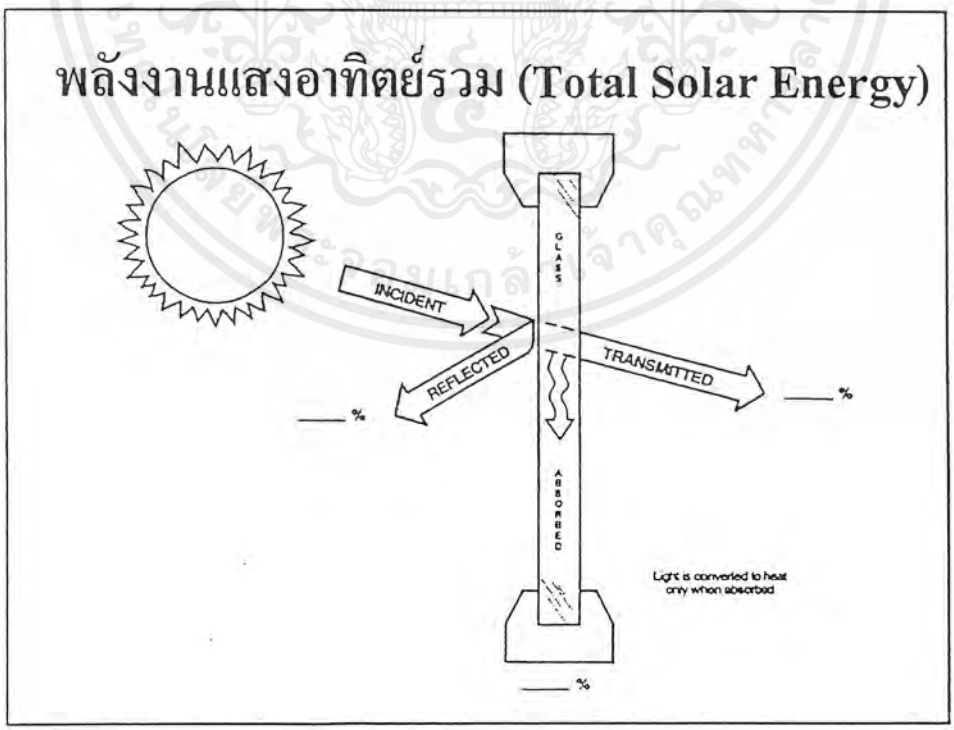


One Nanometer = .000000001 meters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

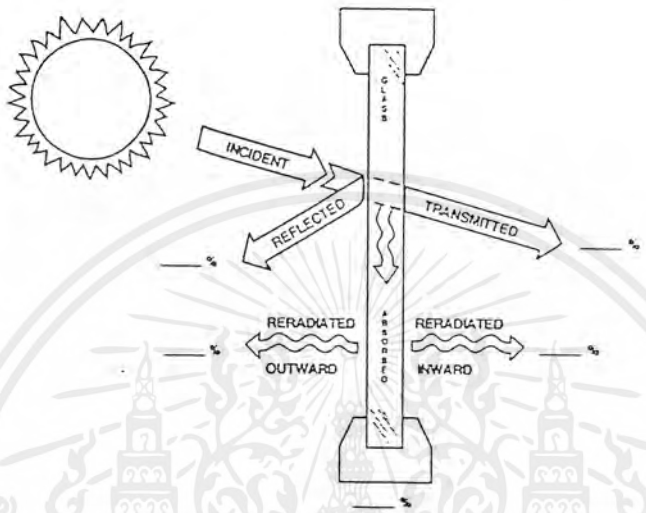
เปลี่ยนตาราง





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์การลดความร้อน (Shading Coefficient)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

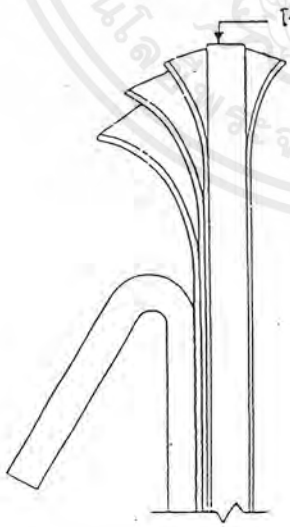
การยึดกระจกไว้ไม่ให้แตกกระจาย

ชนิดของกระจกหลัก

- กระจกโฟลท
- กระจกโฟลทตัดแสง
- กระจกสะท้อนแสง
- กระจก Low -E
- กระจก Insulated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชั้นโพลีเอสเตอร์ (Polyester)



- ใช้โพลีเอสเตอร์ที่เหมาะสมในการมองผ่าน
- ไม่แห้งกรอบเมื่อใช้เป็นระยะเวลานาน
- ไม่เปลี่ยนสี
- ใส บาง

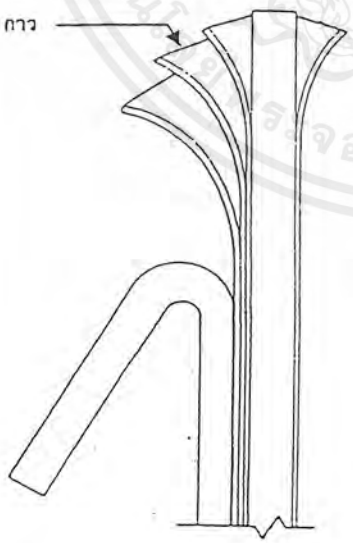
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั้นสารเคลือบป้องกันรังสีอุลตร้าไวโอเลต

(Barrier coat contains special UV inhibitor)

- ป้องกันไม่ให้สีซีดจาง
- ป้องกันชั้น โพลีเอสเตอร์ ไม่เสื่อมสภาพเร็ว

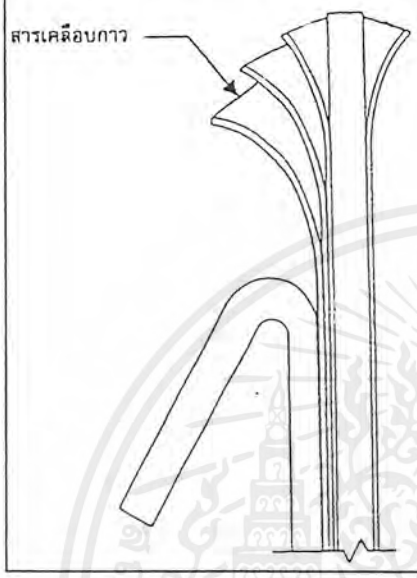
3. ชั้นกาว (Pressure sensitive adhesive)



- เป็นกาวที่คิดค้นโดยบริษัท 3M
- เป็นกาวที่เหมาะสำหรับติดกระจก
- ใส เมื่อติดกระจกแล้วไม่เกิดการรบกวนสายตา
- มีความเหนียว บาง

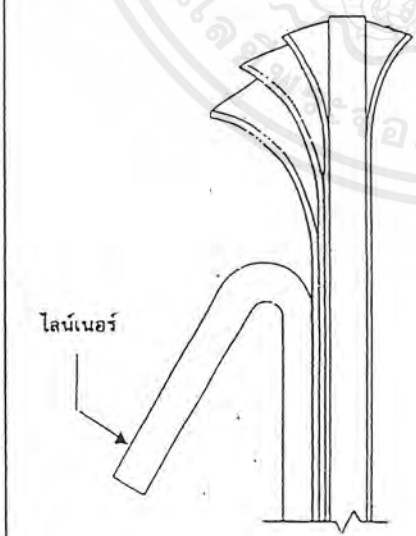
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ชั้นสารเคลือบกาว (Overcoat)



- ทำให้จัดตำแหน่งฟิล์มได้สะดวก
- สามารถไล่ฝุ่นที่ตกค้างอยู่ที่กระจก
- เวลาติดตั้งสามารถใช้มือจับชั้นกาวได้

5. ชั้นแผ่นพลาสติกรองหลัง (Clear Polyester liner)



- เป็นโพลีเอสเตอร์ใส
- ไม่มีสารจำพวกซิลิโคนเคลือบอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ชั้นเคลือบสารป้องกันการขูดขีด

(Abrasion resistant coating)

✪ป้องกันรอยขูดขีดอัน
เนื่องมาจาก
- การติดตั้ง
- การทำความสะอาด
- การใช้งาน

ประเภทของฟิล์ม

SCOTCHTINT™ & SCOTCHSHIELD™

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ฟิล์มกรองแสง 3M SCOTCHTINT™

✪ สีเงิน	P18
	RE15SIX
	RE35SIARL
✪ สีเทา	RE20NEARL
	RE35NEARL
	RE50NEARL
✪ สีเทาฟ้า	RE25SLARL
	P43ARL

1. ฟิล์มกรองแสง 3M SCOTCHTINT™

✪ สีควันบุหรี่	PNTHR5
	PNTHR20
	PNTHR35
✪ สีทอง	RE35AMARL
	RE50NIARL
	RE65NIARL
✪ สีบรอนซ์	RE20BRARL
	RE35BRARL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฟิล์มนิรภัย 3M SCOTCHSHIELD™

✪ สีใส	SCLARL150
	SCLARL400
	SCLARL600
✪ สีเทา	S35NEAR400
	S50NEAR400
✪ สีเงิน	S20SIAR400

3. ฟิล์มนิรภัยฝ้า 3M SCOTCHSHIELD™

✪ ฟิล์มฝ้าสีขาว	SH2MAML
	SH2MAMM
✪ ฟิล์มฝ้าลายญี่ปุ่น	SH2PTYA
	SH2PTSA
✪ ฟิล์มฝ้ามีลาย	SH2EMOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Guide

Glass/3M Film Product		Shading Coefficient	Visible Light		Emissivity	"U" Value	Heat Gain Reduction	Heat Loss Reduction	Glare Reduction	UV Blocked	Total Solar Energy Rejected
			Reflected	Transmitted							
	1/4 IN CLEAR	.94	8%	88%	.84	1.06	—	—	—	—	18%
	LE20SIAR	.25	53%	17%	.45	.82	73%	23%	81%	98%	78%
	LE30CUARL	.34	28%	32%	.39	.78	64%	26%	64%	98%	70%
	LE35AMARL	.29	56%	31%	.34	.74	69%	30%	65%	99%	75%
	LE50AMARL	.42	39%	49%	.35	.75	55%	29%	44%	98%	63%
	P-18(AR)	.26	58%	19%	.65	.95	72%	10%	78%	74% (99%)	77%
	PNTHR5	.65	5%	8%	.87	1.09	31%	0%	91%	99%	43%
	PNTHR20	.69	5%	21%	.87	1.09	27%	0%	77%	99%	40%
	PNTHR35	.73	5%	34%	.87	1.09	22%	0%	61%	99%	36%
	PNTHR50	.78	6%	49%	.87	1.09	17%	0%	44%	99%	32%
	RE15SIX	.20	63%	16%	.84	1.06	79%	0%	82%	99%	83%
	RE20BRARL	.51	10%	26%	.84	1.06	46%	0%	70%	99%	56%
	RE20NEARL	.39	17%	16%	.84	1.06	59%	0%	82%	99%	66%
	RE25SLARL	.49	12%	26%	.84	1.06	48%	0%	70%	99%	57%
	RE35AMARL	.30	55%	30%	.68	.95	68%	10%	66%	99%	74%
	RE35BRARL	.59	9%	35%	.84	1.06	37%	0%	60%	99%	49%
	RE35NEARL	.51	20%	37%	.84	1.06	45%	0%	58%	99%	56%
	RE35SLARL	.60	9%	38%	.84	1.06	36%	0%	57%	99%	48%
	RE50NEARL	.66	15%	51%	.84	1.06	30%	0%	42%	98%	43%
	RE50SLARL	.68	8%	47%	.84	1.06	28%	0%	47%	99%	41%
	RE70NEARL	.76	9%	66%	.87	1.08	19%	0%	25%	98%	34%
	1/4 IN TINTED	.69	5%	50%	.84	1.06	—	—	—	—	40%
	LE20SIAR	.27	22%	10%	.45	.82	61%	23%	80%	99%	77%
	LE30CUARL	.32	13%	19%	.39	.78	54%	26%	62%	99%	72%
	LE35AMARL	.30	18%	19%	.34	.74	57%	30%	62%	99%	74%
	LE50AMARL	.36	18%	29%	.35	.75	48%	29%	42%	99%	69%
	P-18(AR)	.30	20%	10%	.65	.95	57%	10%	80%	94% (99%)	74%
	PNTHR5	.52	4%	5%	.87	1.09	25%	0%	90%	99%	55%
	PNTHR20	.55	4%	13%	.87	1.09	20%	0%	74%	99%	52%
	PNTHR35	.57	4%	17%	.87	1.09	17%	0%	66%	99%	50%
	PNTHR50	.60	5%	28%	.87	1.09	13%	0%	44%	99%	48%
	RE15SIX	.16	62%	8%	.84	1.06	77%	0%	84%	99%	86%
	RE20BRARL	.45	6%	17%	.84	1.06	35%	0%	66%	99%	61%
	RE20NEARL	.37	8%	9%	.84	1.06	46%	0%	82%	99%	68%
	RE25SLARL	.43	7%	16%	.84	1.06	38%	0%	68%	99%	63%
	RE35AMARL	.33	22%	18%	.68	.95	52%	10%	64%	99%	71%
	RE35BRARL	.49	6%	21%	.84	1.06	29%	0%	58%	99%	57%
	RE35NEARL	.45	9%	22%	.84	1.06	35%	0%	56%	99%	61%
	RE35SLARL	.49	6%	23%	.84	1.06	29%	0%	54%	99%	57%
	RE50NEARL	.48	6%	25%	.84	1.06	30%	0%	50%	99%	58%
	RE50SLARL	.52	6%	26%	.84	1.06	25%	0%	48%	99%	55%
	RE70NEARL	.61	6%	41%	.87	1.08	12%	0%	18%	99%	47%

Additional information regarding double pane glass is available upon request.

3M

Construction Markets
3M Thailand Limited
159 Asoke Road, Klongtoey-Nua
Wattana Bangkok 10110
Tel. 260-8577
Fax. 261-7535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS FOR
3M™ SCOTCHTINT™ SUN CONTROL WINDOW FILM

1.0 Scope

This specification is for an abrasion resistant solar control window film which when applied to the interior window surface will reduce the gain of solar heat energy through the window. The film shall be called 3M Scotchtint Sun Control Window Film _____.

2.0 Applicable Documents

The publications listed below form a part of this specification to the extent referenced. The publications are referred to in the text by the basic designation only.

The 1985 American Society for Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Handbook of Fundamentals.

The American Society for Testing and Materials (ASTM) publication:

ASTM E-308 Standard Recommended Practice for Spectophotometry and Description of Color in CIE 1931 System

ASTM E-903 Standard Methods of Test for Solar Absorbance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres

ASTM D-1044 Standard Method of Test for Resistance of Transparent Plastics to Surface Abrasion (Taber Abrader Test)

ASTM G-90 Standard Practice for Performing Accelerated Outdoor Weatherizing for Non-metallic Materials Using Concentrated Natural Sunlight

ASTM E-84 Standard Method of Test for Surface Burning Characteristics of Building Materials

Window 4.0, A Computer Tool for Analyzing Window Thermal Performance, Lawrence Berkeley Laboratory

3.0 Requirements of the Film

3.1 **Film Material:** The film material shall be an optically clear (metallized or dyed) polyester film which may be laminated to a (clear or dyed) polyester film. There must be an acrylic abrasion resistant coating over the surface of the film for enhanced durability. The film color is derived from the metal coating (and/or dyed film combination). The metallic coating shall be uniform without noticeable pin holes, streaks, thin spots, scratches or banding. The film shall have a nominal thickness of _____ mils (_____ inches). The density of the film across the web is not to exceed plus or minus 2%. There shall be no evidence of coating voids. The film shall be identified as to Manufacturer of Origin (hereafter to be called Manufacturer).

3.2 **Emissivity:** The emissivity of the non-adhesive surface of the film shall be _____ nominal when measured using a Devices & Services Emissometer Model AE at or near room temperature. The Manufacturer shall provide laboratory data of emissivity and calculated window "U" Values for various outdoor temperatures based upon established calculation procedure defined by the 1985 ASHRAE Handbook of Fundamentals, ch. 27, or Lawrence Berkeley Laboratory Window 4.0 Computer Program.

3.3 **U Value:** The U Value of the film applied to 1/4" (6mm) clear glass shall be _____ nominal when measured in accordance with test procedures described in 3.2 for Emissivity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS: 3M™ SCOTCHTINT™ SUN CONTROL WINDOW FILM
Page 2

3.4 **Transmission - Visible:** When applied to 1/4" (6mm) clear glass, the luminous transmittance shall be _____ nominal when measured with an integrating sphere spectrophotometer as referenced by ASTM E-903 and calculated per ASTM E-308 using Standard CIE Source "C" for average daylight.

3.5 **Reflection - Visible:** When applied to 1/4" (6mm) clear glass, the total luminous reflection from the glass surface shall be _____ nominal when measured with an integrating sphere spectrophotometer as referenced by ASTM E-903 and calculated per ASTM E-308 using Standard CIE Source "C" for average daylight.

3.6 **Transmission - Ultraviolet Light:** When applied to 1/4" 6mm) clear glass, the total transmission of solar ultraviolet radiation of air mass = 2 over the spectral range of 3000 to 3800 angstroms shall not exceed _____ when measured with an integrating sphere spectrophotometer as referenced by ASTM E-903.

3.7 **Shading Coefficient:** When applied to 1/4" (6mm) clear glass, the shading coefficient shall be _____ nominal when solar energy transmittance and reflection are measured per ASTM E-903 and the shading coefficient is computed in accordance with the established procedures defined by The ASHRAE Handbook of Fundamentals.

3.8 **Adhesive System:** The film shall be supplied with a pressure sensitive weatherable acrylate adhesive applied uniformly over the surface opposite the abrasion resistant coating. A water soluble detackifier shall be incorporated over the pressure sensitive adhesive to facilitate handling. The adhesive shall be essentially optically flat and shall meet the following criteria:

a. Viewing the film from a distance of ten feet at angles up to 45 degrees from either side of the glass, the film itself shall not appear distorted.

3.9 **Weatherability:** The Manufacturer shall provide independent test data showing that the solar and heat retarding properties of the film shall remain within 10% of the values specified herein after 600,000 langleys of solar exposure.

3.10 **Flammability:** The Manufacturer shall provide independent test data showing that the window film shall meet the requirements of a Class A Interior Finish for Building Materials for both Flame Spread Index and Smoked Development Values per ASTM E-84.

3.11 **Abrasion Resistance:** The Manufacturer shall provide independent test data showing that the film shall have a surface coating that is resistant to abrasion such that, less than 5% increase of transmitted light haze will result in accordance with ASTM D-1044 using 100 cycles, 500 grams weight, and the CS10F Calbrase Wheel.

4.0 Requirements of the Authorized Dealer/Applicator (ADA)

4.1 The ADA shall provide documentation that the ADA is certified by the Manufacturer of the window film to install said window film as per the Manufacturer's specifications and in accordance with specific requests as to be determined and agreed to by the customer.

4.2 Authorization of dealership may be verified through the company's 3M I.D. Number.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS: 3M™ SCOTCHTINT™ SUN CONTROL WINDOW FILM
Page 3

4.3 The ADA will provide a commercial building reference list of ten (10) properties where the ADA has installed window film. This list will include the following information:

* Name of building
* The name and telephone number of a management contact
* Type of glass
* Type of film
* Amount of film installed
* Date of completion

4.4 Upon request, the ADA will provide a Glass Stress Analysis of the existing glass and proposed glass/film combination as recommended by the film Manufacturer.

4.5 Upon request, the ADA will provide an application analysis to determine available energy cost reduction and savings.

5.0 Requirements of the Manufacturer

5.1 The Manufacturer will insure proper quality control during production, shipping and inventory, clearly identify and label each film core with the product designation and run number.

5.2 The Manufacturer will, upon request and pre-approval, provide 100% financing for the complete installation of the window film to the end-user customer in either an installment purchase or lease purchase format to be decided upon by customer.

5.3 Materials shall be manufactured by:

3M Construction Markets Division
3M Center Building 225-4S-08
St. Paul, MN 55144-1000

6.0 Application

6.1 **Examination:** Examine glass surfaces to receive new film and verify that they are free from defects and imperfections which will affect the final appearance. Correct all such deficiencies before starting film application.

6.2 **Preparation:**

a. The window and window framing will be cleaned thoroughly with a neutral cleaning solution. The inside surface of the window glass shall be bladed with industrial razors to insure the removal of any foreign contaminants.

b. Toweling or other absorbent material shall be placed on the window sill or sash to absorb moisture accumulation generated by the film application.

6.3 **Installation:** The film shall be applied as to the specifications of the Manufacturer by an ADA.

a. Materials will be delivered to the job site with the manufacturer's labels intact and legible.

b. To minimize waste, the film will be cut to specification utilizing a vertical dispenser designed for that purpose. Film edges shall be cut neatly and square at a uniform distance of 1/8" to 1/16" of the window sealing device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c. Clear, clean water will be used to remove the water soluble overcoat that protects the pressure sensitive adhesive. Water and film slip solution only will be used on the window glass to facilitate the proper positioning of the film.

d. To insure efficient removal of excess water from the underside of the film and to maximize bonding of the pressure sensitive adhesive, polyplastic bladed squeegees will be utilized.

e. Upon completion, the film shall have a dimpled appearance from residual moisture. Said moisture shall, under reasonable weather conditions, dry flat with no moisture dimples within a period of 30 calendar days when viewed under normal viewing conditions.

f. After installation, any left over material will be removed and the work area will be returned to original condition. Use all necessary means to protect the film before, during and after the installation.

7.0 Cleaning

The film may be washed using common window cleaning solutions, including ammonia solutions, 30 days after application. Abrasive type cleaning agents and bristle brushes which could scratch the film must not be used. Synthetic sponges or soft cloths are recommended.

8.0 Warranty

8.1 The application shall be warranted by the film manufacturers (3M) for a period of five (5) years in that the film will maintain solar reflective properties without cracking, crazing, delaminating, or peeling. Film manufacturer also warrants that neutral films will not fade or discolor for a period of five (5) years after installation. In the event that the product is found to be defective under warranty, the seller will replace such quantity of the film proved to be defective, and will additionally provide the removal and reapplication labor free of charge.

8.2 The film manufacturer (3M) also warrants against glass failure (maximum value $500 per window) due to thermal shock fracture of glass provided the film is applied to recommended types of glass and the failure occurs within one (1) year from the start of application. Any glass failure must be reviewed by the film manufacturer (3M) prior to replacement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
91 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด
เขตราษฎร์บูรณะ กรุงเทพฯ 10140

ที่ ทม 1602.7/ 4352

11 มิถุนายน 2540

เรื่อง แจ้งผลการทดสอบการวัดฟิล์มกรองแสง

เรียน บริษัท 3 เอ็มประเทศไทย จำกัด

ตามที่บริษัทได้ส่งฟิล์มกรองแสงตัวอย่างมาทำการวัดค่าการส่องผ่านแสง สภาวะการทดสอบมีดังนี้

การทดสอบ : สภาพการส่งผ่านของแสง (Transmittance) ผ่านแผ่นฟิล์มบนกระจก หนา 6 มิลลิเมตร ทิศทางแสงตกกระทบแผ่นแก้วและผ่านฟิล์มตามลำดับ

อุปกรณ์ : เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ของบริษัท Shimadsu รุ่น 3100 ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นแบบ 2 ลำแสง

ช่วงความยาวคลื่นที่วัด : 300-2400 นาโนเมตร (nm)

ผลการทดสอบ : การส่งผ่านของแสงดังแสดงในกราฟที่แนบ ซึ่งคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 300-2400 นาโนเมตร ได้ ดังสรุปในตาราง

ค่าความคาดเคลื่อนในการทดสอบ ±1 %

NO	FILM	UV CUT OFF	%T UV (300-380)	%T VIS (400-760)	%R VIS (400-760)	%T NIR (780-2400)	SHADING COEFF.
1	GLASS 3 mm.	-	-	-	-	85	-
2	GLASS 6 mm.	300 nM	54.0	85	8	80	0.94
3	RE20NEARL ON GLASS	370 nM	0.6	14	20	10	0.11
4	RE35AMARL ON GLASS	370 nM	2.0	28	51	5	0.05
5	S35NEARL ON GLASS	370 nM	1.0	30	20	23	0.27
6	LE30CUARL ON GLASS	370 nM	1.2	28	29	9	0.10
7	SH4SIL ON GLASS	370 nM	0.5	19	46	8	0.09
8	P18 ON GLASS	300 nM	8.0	16	52	6	0.07
9	PNTHR5 ON GLASS	370 nM	0.0	11	5	75	0.88

หมายเหตุ ค่า Shading coeff. = % T NIR (sample) / % T NIR (Glass 3 mm.)

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายมงคล ราชนิยม)
ผู้ดำเนินการทดสอบ

(ผศ.พยุร เกตุกราย)
หัวหน้าศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา

(รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ)
ผู้ดำเนินการทดสอบ

ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา โทรศัพท์ 427-0039 ต่อ 4401-2

รายงานนี้ใช้ได้กับชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบเท่านั้น ผลการทดสอบตามรายงานนี้ใช้ไม่ได้กับวัสดุอื่น หรือผลิตภัณฑ์อื่นฯ แม้จะผลิตโดยบริษัทเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้