



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สาย
สำหรับการใช้งานภายในอาคาร

A prototype development of visible light system
for Optical indoor wireless communication

อ.ชนภรณ์ ตีลาพัฒนานนท์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สาย
สำหรับการใช้งานภายในอาคาร

A prototype development of visible light system
for Optical indoor wireless communication

อ.ชนภรณ์ ตีลาวัฒนานนท์

1269685๗

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): การพัฒนาต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สายสำหรับการ
ใช้งานภายในอาคาร

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2557

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ : นางสาว ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

แอลอีดีสีขาวมีจุดเด่นในด้านของความสว่างสูง,ความนำเชื่อถือ,ใช้พลังงานน้อยและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน นอกจากแอลอีดีสามารถให้ความสว่างได้แล้ว มันยังสามารถถูกนำมาใช้เป็นตัวส่งข้อมูลทางแสงได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้นำเสนอระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สายสำหรับการใช้งานภายในอาคาร โดยออกแบบให้แอลอีดีเป็นตัวส่งข้อมูลทางแสงซึ่งสามารถใช้ส่งข้อมูลได้ทั้งประเภท ไฟล์ข้อมูล ไฟล์เสียง ไฟล์ภาพ และไฟล์วีดีโอ และใช้อินเตอร์เฟสอีกประเภทหนึ่งที่ชื่อว่า Universal Serial Bus (USB) ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลได้รวดเร็วกว่าอินเตอร์เฟสประเภท RS-232 ในงานวิจัยนี้เราจะแสดงข้อมูลของอัตราบิตในการส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ที่ระดับความสูงต่างๆกันของวงจรภาคส่งสัญญาณ เมื่อใช้โฟโตไดโอดจำนวน 2 ชนิดเป็นตัวรับแสง คือ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiode นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้แสดงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายความส่องสว่างของวงจรภาคส่งสัญญาณที่มุม (half angle) ต่างๆ และแสดงการตรวจจับ waveform ของ transmission signal เปรียบเทียบกับ waveform ของ receiver signal ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความคล้ายคลึงกันมากอีกด้วย

คำสำคัญ: ระบบรับ-ส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สาย, แอลอีดีกำลังไฟฟ้าสูง, อินเตอร์เฟสประเภทยูเอสบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: A prototype development of visible light system for Optical indoor
wireless communication

Researcher: Miss Tanaporn Leelawattananon

Faculty: The Faculty of Sciences

Department: Department of Physics

Abstract

White LEDs (Light Emitting Diode) offers advantageous properties such as high brightness, reliability, lower power consumption and long lifetime. Besides White LEDs are used as reading light, the LEDs lighting is used as a transmitter to send data files. We proposed an optical indoor wireless communication system that used white LEDs as transmitter devices sending data files such as text files, audible files, image files and video files. Our system can be used with a different type of interface which can work with higher data transfer rates than RS-232 interface, namely Universal Serial Bus (USB). We show a data transmission rate without errors in the received data for several distances by using two types of receiver, VBPW24R Photodiode and FDS10x10 Photodiode. The half angle of the transmitter is determined by the illuminant distribution plot. The waveforms of the transmission signal and receiver signal are also compared.

Keywords : visible light data transferring system, high power white LEDs, USB interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการเล่มนี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาต้นแบบของระบบส่งข้อมูลทางแสงแบบไร้สายสำหรับการใช้งานภายในอาคาร เกิดขึ้นและดำเนินการจนสำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือทางด้านคำแนะนำและแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆจาก รศ.วิจิต ศิริโชติ จึงขอขอบคุณเป็นอย่างมาก

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือที่ดีเสมอมา

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความสนับสนุนทางด้านทุนจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แหล่งทุนการจัดสรรทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 จึงขอขอบคุณ ณ ที่นี้

อ. ธนภรณ์ ถีลาวัฒนานนท์
ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการของแสง (Principle of Light)	4
2.2 การสื่อสาร (Communication)	5
2.2.1. ความหมายของการสื่อสาร	5
2.2.2. ส่วนประกอบของการสื่อสารข้อมูล	5
2.2.3. คุณสมบัติพื้นฐาน 3 ประการของการสื่อสารข้อมูล	6
2.3. หลักการของแสงเพื่อการสื่อสาร (Principle of Light for Communication)	7
2.4. องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเชิงแสง	8
(Basic Elements of Optical Communication System)	
2.4.1. แหล่งกำเนิดข้อมูล (Source)	8
2.4.2. ภาควิทยุณยานเชิงแสง (Optical Transmitter)	8
2.4.3. ช่องสัญญาณเชิงแสง (Optical Channel)	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
2.5. อุปกรณ์แสง (Optical Device)	9
2.5.1. อุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (ตัวส่ง)	9
2.5.2. อุปกรณ์ตัวรับแสง	11
2.6. อินเทอร์เน็ต EIA-232 หรือ RS-232	12
2.6.1. คุณลักษณะสำคัญของการอินเทอร์เน็ต EIA-232 หรือ RS-232	13
2.7. Universal Serial Bus (USB)	16
2.8. ข้อมูลและสัญญาณ	18
2.8.1. ข้อมูล	18
2.8.2. สัญญาณ	18
2.9. หน่วยความเร็วในการรับส่งข้อมูล	18
2.9.1. อัตราบิต (Bit Rate/Data Rate)	18
2.9.2. อัตราบอด (Baud Rate)	18
2.10. รูปแบบของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมและอัตราบอด(Baud Rate)	18
2.11. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)	20
2.11.1. การสื่อสารด้วยคลื่นความเร็วสูงบนถนน	20
2.11.2. การบูรณาการระบบการสื่อสารด้วย LED และการสื่อสารผ่านสายไฟ	21
2.11.3. ระบบควบคุมขั้นสูงสำหรับการสื่อสารด้วยแสง	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1. ขั้นตอนการสร้างวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณ	23
3.1.1. วงจรภาคส่งสัญญาณ	23
3.1.2. วงจรภาครับสัญญาณ	24
3.2. ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่าง ที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆ ของวงจรภาคส่ง สัญญาณของโมเดลต้นแบบ (visible light communication, VLC)	25
3.3. ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็ว ในการส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors)	26

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1. ทดลองและประเมินความสามารถของการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ และที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรส่งสัญญาณ	31
4.2. ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็ว (อัตราบิต) ในการส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) โดยใช้ตัวรับแสงชนิดที่ 1 VBPW24R Photodiode และตัวรับแสงชนิดที่ 2 FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ	52
4.2.1. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ	52
4.2.2. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ	55
4.3. ทดสอบส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ เช่น ภาพ เสียง และวีดีโอ โดยใช้ตัวรับแสงชนิดที่ 2 คือ FDS10x10 Photodiode และใช้โปรแกรม Hyper Terminal โดยใช้อัตราบิตในการรับ-ส่งข้อมูลหลายๆค่า พร้อมทั้งบันทึกเวลาของการรับ-ส่งข้อมูลเหล่านั้น	63
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	68
ข้อมูลประวัติผู้วิจัย	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1. แสดงรายละเอียดของสัญญาณตามมาตรฐานของ RS-232 (DB9)	14
ตารางที่ 2.2. แสดงอัตราบอดที่ใช้กันทั่วไป	19
ตารางที่ 4.1. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 210 CM.	31
ตารางที่ 4.2. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 190 CM.	33
ตารางที่ 4.3. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 170 CM.	34
ตารางที่ 4.4. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 150 CM.	36
ตารางที่ 4.5. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 130 CM.	37
ตารางที่ 4.6. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 110 CM.	39
ตารางที่ 4.7. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 90 CM.	40
ตารางที่ 4.8. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 70 CM.	42
ตารางที่ 4.9. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 50 CM.	43
ตารางที่ 4.10. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 40 CM.	45
ตารางที่ 4.11. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 30 CM.	46
ตารางที่ 4.12. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 20 CM.	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.13. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 15 CM.	48
ตารางที่ 4.14. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 10 CM.	49
ตารางที่ 4.15. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 5 CM.	50
ตารางที่ 4.16. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 50 CM, R=484 K Ω	52
ตารางที่ 4.17. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 40CM, R= 356 K Ω	52
ตารางที่ 4.18. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 30 CM, R=200 K Ω	53
ตารางที่ 4.19. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 20 CM, R=110 K Ω	53
ตารางที่ 4.20. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 15 CM, R=65 K Ω	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.21. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 10 CM, R=30.6 KΩ	53
ตารางที่ 4.22. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 5 CM, R= 12 KΩ	54
ตารางที่ 4.23. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 210CM., R=484KΩ	55
ตารางที่ 4.24. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 190 CM., R=484KΩ	56
ตารางที่ 4.25. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 170 CM., R=484KΩ	56
ตารางที่ 4.26. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 150 CM., R=385KΩ	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.27. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 130 CM., R=280K Ω	57
ตารางที่ 4.28. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 110CM., R=200K Ω	58
ตารางที่ 4.29. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 90 CM., R=115K Ω	58
ตารางที่ 4.30. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 70 CM., R=73K Ω	59
ตารางที่ 4.31. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 50 CM., R= 33K Ω	59
ตารางที่ 4.32. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 40 CM., R=25K Ω	60
ตารางที่ 4.33. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 30 CM., R=12K Ω	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.34. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 20CM., R=5.31K Ω	60
ตารางที่ 4.35. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 15 CM., R= 2.5K Ω	61
ตารางที่ 4.36. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 10 CM., R=0K Ω	61
ตารางที่ 4.37. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการ รับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 5 CM., R=0K Ω	61
ตารางที่ 4.38. ผลการทดสอบส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ เช่น ภาพ เสียง และวีดีโอ โดยใช้อัตราบิตในการรับ-ส่งข้อมูลหลายๆค่า ดังนี้ 128000 bps, 576000 bps, 19200 bps, 9600 bps ที่ระยะความสูง 20 cm.	63

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	4
รูปที่ 2.2. ส่วนประกอบของการสื่อสาร	6
รูปที่ 2.3. องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารเชิงแสง	7
รูปที่ 2.4. แสดงลักษณะของแอลอีดี	9
รูปที่ 2.5. อิเล็กตรอนอิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปลงหลุมที่ P ทำให้เกิด โชนดิพลีชันซึ่งเป็นฉนวนกั้นการไหลของอิเล็กตรอน	10
รูปที่ 2.6. เมื่อต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P ทำให้อิเล็ก ตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ	11
รูปที่ 2.7. เมื่อต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วลบเข้ากับ P โชนดิพลีชัน มีขนาดกว้างขึ้นอิเล็กตรอนและโฮลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ	11
รูปที่ 2.8. แสดงลักษณะของ โฟโตไดโอด (Photo Diode)	12
รูปที่ 2.9. แสดงลักษณะการไบอัสไบอัสกลับ (Reverse Bias) ของ โฟโตไดโอด	12
รูปที่ 2.10. แสดงลักษณะของ EIA-232 หรือ RS-232	13
รูปที่ 2.11. แสดงรายละเอียดของสัญญาณของ RS232 ที่ (PIN) ต่างๆ	14
รูปที่ 2.12. แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9	16
รูปที่ 2.13. แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น	16
รูปที่ 2.14. แสดงลักษณะของ Universal Serial Bus (USB)	17
รูปที่ 2.15. การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	19
รูปที่ 2.16. การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม	19
รูปที่ 2.17. แสดงการใช้แสงในการรับส่งข้อมูลบนถนน	21
รูปที่ 2.18. คลื่นสัญญาณในสายไฟ	21
รูปที่ 2.19. แผนภาพแสดงการรับและส่งข้อมูล	22
รูปที่ 3.1. วงจรภาคส่งสัญญาณ	23
รูปที่ 3.2. อุปกรณ์ UM232R	24
รูปที่ 3.3. วงจรภาครับสัญญาณ	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.4. แผนภาพระบบการรับ-ส่งข้อมูลทางแสง	25
รูปที่ 3.5. การเชื่อมต่อวงจรส่งสัญญาณเข้ากับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์	25
รูปที่ 3.6. Lux meter	26
รูปที่ 3.7. การเชื่อมต่อวงจรภาครับสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน PORT (COM5)	27
รูปที่ 3.8. แสดงลักษณะของPhotodiode ชนิดVBPW2	27
รูปที่ 3.9. แสดงการตั้งค่า Baud rate ของวงจรภาคส่ง.(ก)และภาครับสัญญาณ (ข) ให้ตรงกัน	28
รูปที่ 3.10. หน้าต่างการส่งไฟล์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมTerminal v1.9b	29
รูปที่ 3.11. หน้าต่างรับข้อมูลของโปรแกรมTerminalv1. เมื่อรับ ไฟล์ข้อมูลจากวงจรส่งสัญญาณเสร็จสิ้นแล้ว	29
รูปที่ 3.12. แสดงลักษณะของ Photodiode ชนิด FDS10x10	30
รูปที่ 4.1. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 210 CM.	33
รูปที่ 4.2. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 190 CM	34
รูปที่ 4.3. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 170 CM	36
รูปที่ 4.4. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 150 CM	37
รูปที่ 4.5. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 130 CM	39
รูปที่ 4.6. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 110 CM	40
รูปที่ 4.7. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 90 CM.	42
รูปที่ 4.8. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 70 CM	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.9. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 50 CM	45
รูปที่ 4.10. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 40 CM	46
รูปที่ 4.11. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 30 CM	47
รูปที่ 4.12. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 20 CM.	48
รูปที่ 4.13. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 15 CM	49
รูปที่ 4.14. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 10 CM	50
รูปที่ 4.15. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 5 CM	50
รูปที่ 4.16. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง ความสูง และ มุมfield of view (FOV) ที่ระยะความสูง 5-40cm.	51
รูปที่ 4.17. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง ความสูง และ มุมfield of view (FOV) ที่ระยะความสูง 50-210cm.	51
รูปที่ 4.18. กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง มุม field of view (FOV) และ Baud rates ที่ระยะความสูง5,10 CM. ของ VBPW24R Photodiode	54
รูปที่ 4.19. กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง มุม field of view (FOV) และ Baud rates ที่ระยะความสูง15,20,30,40,50 CM. ของ VBPW24R Photodiode	55
รูปที่ 4.20. กราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง มุมfield of view (FOV)และ Baud rates ที่ระยะความสูง 90,70,50,40,30,20,15,10,5 เซนติเมตร ของ FDS10X10 Photo diode	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.21. กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง มุม field of view (FOV) และ Baud rates ที่ระยะ ความสูง 210,190,170,150,130,110 CM ของ FDS10X10 Photodiode	62
รูปที่ 4.22. แสดง waveform ของ source file (yellow line) และ waveform ของ received file (blue line) ที่ส่งด้วยอัตราบิต 128,000 bit/s	64
รูปที่ 4.23. แสดง waveform ของ source file (yellow line) และ waveform ของ received file (blue line) ที่ส่งด้วยอัตราบิต 19,200 bit/s	64
รูปที่ 4.24. แสดง waveform ของ source file (yellow line) และ waveform ของ received file (blue line) ที่ส่งด้วยอัตราบิต 9,600 bit/s	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในศตวรรษที่ 21 นี้ สามารถกล่าวได้ว่าการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงมีบทบาทสำคัญมากต่อชีวิตประจำวัน และเครือข่ายการสื่อสารแบบไร้สายเป็นกุญแจสำคัญตัวหนึ่ง ที่จะช่วยให้การสื่อสารข้อมูลเป็นไปตามเป้าหมายที่เราต้องการได้ แต่อย่างไรก็ตาม ความถี่ RF ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน มีขีดจำกัดในด้านการจัดการแบนวิธร์ช่องสัญญาณ ดังนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายทางเลือกอื่นๆ จึงถูกคิดค้นขึ้นมาแทนที่

การสื่อสารข้อมูลโดยใช้แสงในย่านที่ตามองเห็นได้ (visible light communication) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้ถูกคิดค้นขึ้นมา เทคโนโลยี VLC มีข้อดีหลายข้อ ดังนี้

1. เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลแบบ VLC จะใช้หลอด White LEDs ซึ่งเป็นหลอดให้แสงสว่างที่มีการใช้กันมากในปัจจุบัน ทั้งในบ้านเรือนและตามอาคารสำนักงานทั่วไป หรือแม้แต่ตามท้องถนน นอกจากนี้เรายังใช้หลอด LEDs สำหรับให้ความสว่างทั้งบนเครื่องบินและในรถไฟ ไฟฟ้าด้วย จึงทำให้เราสามารถนำหลอด White LEDs มาใช้ประโยชน์ได้ 2 ทาง ทั้งการให้ความสว่างและใช้ทางด้านการสื่อสารข้อมูลด้วย
2. แสงขาวในย่านที่ตามองเห็นได้มีความยาวคลื่น 400 – 700 nm ดังนั้นแบนวิธร์ช่องสัญญาณแสงจะกว้างมาก
3. อุปกรณ์ของภาคส่งสัญญาณ และภาครับสัญญาณมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์สำหรับการส่งสัญญาณ RF
4. แสงขาวเป็นแสงที่มีความปลอดภัยต่อผิวหนังและร่างกายของมนุษย์ และความถี่ของแสงขาวจะไม่รบกวนการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ ในโรงพยาบาลหรืออุปกรณ์ที่ทำงานบนเครื่องบิน ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน

ถึงแม้ว่าสัญญาณอินฟราเรดจะได้รับความนิยมในการส่งข้อมูลแบบไร้สาย และมักถูกนำมาใช้งานภายในอาคารเช่นกัน[1] แต่อย่างไรก็ตาม การใช้งานสัญญาณอินฟราเรดเป็นระยะเวลานานๆ จะส่งผลเสียต่อสุขภาพได้ ดังนั้น white LEDs จึงมีความน่าสนใจมากกว่าสำหรับการใช้งานด้านการสื่อสารข้อมูล[2] นอกจากนี้ white LEDs ให้ความสว่างสูงกว่ามาก กินไฟน้อย และยังมีอายุการใช้งานนาน จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางการส่งข้อมูลแบบไร้สายความเร็วสูงร่วมกับประโยชน์ทางการให้ความสว่าง

ประโยชน์การใช้งาน VLC ภายในอาคารที่เกิดขึ้นได้จริงในช่วงที่ผ่านมา คือ การใช้แสงขาวจากหลอด LEDs บนเพดาน หรือจากโคมไฟบนโต๊ะทำงาน ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์หรือสัญญาณวิดีโอผ่านเครือข่าย LAN[3] , สำหรับประโยชน์การใช้งาน VLC นอกอาคาร เช่น การใช้แสงจาก LEDs ของไฟจราจร เพื่อส่งสัญญาณเตือนผู้ขับรถให้ชะลอความเร็วรถเพื่อป้องกันการฝ่าไฟแดง[4] หรือแม้แต่การส่งสัญญาณจากแสง LEDs ที่อยู่ท้ายรถ ให้แก่ผู้ขับรถที่ตามหลังมาในขณะเบรกรถ เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุรถชนกัน etc.

จะเห็นได้ว่าประโยชน์การใช้งานจากเทคโนโลยี VLC มีหลายรูปแบบ[5] การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีนี้ในงานเชิงพาณิชย์จำนวนมากมักจะเน้นเฉพาะงานทางด้านระบบขนส่ง สำหรับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีนี้สำหรับใช้ในอาคารจะพบไม่มากนัก ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและพัฒนาโมเดลต้นแบบ VLC สำหรับใช้ประโยชน์ทางการสื่อสารข้อมูลภายในอาคาร

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1. เพื่อศึกษาหลักการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่าน Visible Light
- 1.2.2. ศึกษาและสร้างโมเดลต้นแบบ (Visible Light Communication, VLC)
- 1.2.3. ศึกษาการทำงานของโมเดลต้นแบบ VLC และประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ
- 1.2.4. ศึกษาการทำงานของโมเดลต้นแบบ VLC และประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (Data Rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (Errors) ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ

1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1. ศึกษาหลักการรับและส่งข้อมูลด้วยแสงในย่าน Visible Light
- 1.3.2. ศึกษาการทำงานของวงจรรภาคส่งสัญญาณ และวงจรรภาครับสัญญาณ
- 1.3.3. ออกแบบและสร้างโมเดลต้นแบบ (Visible Light Communication, VLC)
- 1.3.4. ทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ
- 1.3.5. ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (Data Rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (Errors) ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4. วิธีดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาพื้นฐานการทำงานของเทคโนโลยี VLC
- 1.4.2 สร้างโมเดลต้นแบบใหม่ของ VLC โดยใช้ USB port ในส่วนของ ภาคส่งสัญญาณแสง
- 1.4.3 ทดลองและวัดค่าความส่องสว่างของวงจรภาคส่งสัญญาณ ที่มุม (field of view) ต่างๆ และที่ระดับความสูงต่างๆ ตั้งแต่ระยะห่าง 50 cm. ถึง 2 m
- 1.4.4 ออกแบบและสร้างวงจรภาครับสัญญาณแสง ชนิดที่ 1 คือ VBPW24R photodiode driver circuit พร้อมทั้งทดลองรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file โดยใช้โปรแกรม Terminal v1.9 b และใช้ความเร็วของการส่งข้อมูลหลายๆค่า บันทึกผลของการรับ-ส่งข้อมูลเหล่านั้น
- 1.4.5 ออกแบบและสร้างวงจรภาครับสัญญาณแสง ชนิดที่ 2 คือ FDS10x10 silicon photodiode driver circuit พร้อมทั้งทดลองรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file โดยใช้โปรแกรม Terminal v1.9 b และใช้ความเร็วของการส่งข้อมูลหลายๆค่า บันทึกผลของการรับ-ส่งข้อมูลเหล่านั้น
- 1.4.6 ทดสอบส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ เช่น ภาพ เสียง และวีดีโอ โดยใช้วงจรรับข้อมูล ชนิดที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Hyper Terminal และใช้ความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลหลายๆค่า พร้อมทั้งบันทึกเวลาของการรับ-ส่งข้อมูลเหล่านั้น
- 1.4.7 สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับ performance ของโมเดลต้นแบบ VLC ที่สร้างขึ้นมา

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1. สามารถนำโมเดลต้นแบบนี้ ไปใช้ในการส่งข้อมูลแบบไร้สายภายในอาคารได้
- 1.5.2. สามารถนำโมเดลต้นแบบนี้ไปใช้ในวิชาปฏิบัติการทางแสงได้ เพื่อให้นักศึกษาเรียนรู้ และทำความเข้าใจเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลในรูปแบบใหม่
- 1.5.3. สามารถนำโมเดลต้นแบบ VLC นี้ เป็นต้นแบบในการพัฒนาภาคส่งและภาครับสัญญาณ ของเทคโนโลยี VLC ต่อไปได้ในอนาคต

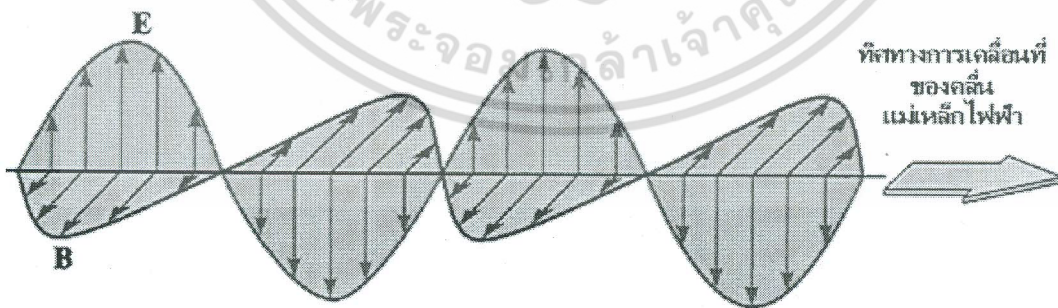
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. หลักการของแสง (Principle of Light)

ธรรมชาติของแสงนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาคกรณีที่แสง แสดงพฤติกรรมเป็นคลื่น เรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ซึ่งจะประกอบด้วย สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกันดังรูปที่ 2.1 ตามปกติแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง แต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางแสงจะมีการเปลี่ยนทิศทางไป เรียกว่า การสะท้อน และถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิดที่มีความหนาแน่นต่างกัน เรียกว่า หักเหตของแสง ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในการอธิบายว่าจะสามารถส่งสัญญาณแสง(Optical Signal) ออกไปยังช่องสัญญาณที่เป็นเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ได้ เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูเปิดเล็กๆ หรือช่องแคบที่ปล่อยให้คลื่นแสงผ่านไปได้ เรียกว่า การเลี้ยวเบน ส่วนการแทรกสอดนั้นเกิดจากการที่คลื่นแสงสองวงเคลื่อนที่มาพบกันเกิดการเสริมกันและหักล้างกัน โดยแหล่งกำเนิดแสงต้องให้กำเนิดแสงความถี่เดียวกันและความยาวคลื่นเท่ากัน แสงเดินทางผ่านอากาศด้วยความเร็วสามร้อยล้านเมตรต่อวินาที และมีความถี่อยู่ในย่านที่ตามองเห็น(Visible) อจรวมถึงอินฟราเรด (Infrared) และอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet)



รูปที่ 2.1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. การสื่อสาร (Communication)

2.2.1. ความหมายของการสื่อสาร

การสื่อสาร หมายถึง กระบวนการที่ยินยอมให้ข้อมูลถูกส่งจากตำแหน่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งหรือจากผู้ส่งไปยังผู้รับสาร

2.2.2. ส่วนประกอบของการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลจะสัมฤทธิ์ผลและมีความสมบูรณ์ ก็ต่อเมื่อครบส่วนประกอบของระบบการสื่อสารดังรูปที่ 2.2 โดยส่วนประกอบของระบบการสื่อสารประกอบด้วย

1. ข่าวสาร (Message)

ข่าวสารหรือสารสนเทศต่างๆ ที่อาจเป็นข้อความ ตัวเลข รูปภาพ เสียง และวิดีโอ ข่าวสารที่ส่งไปจะต้องได้รับการเข้ารหัส (Encoding) เพื่อส่งผ่านสื่อกลาง เมื่อปลายทางได้รับข้อมูล ก็จะทำการถอดรหัส (Decoding) ให้กลับมามีข้อมูลดั้งเดิมเช่นเดียวกับที่ส่งมา

2. ผู้ส่ง (Sender/ Source)

ผู้ส่งหรือแหล่งกำเนิดข่าวสารคือ อุปกรณ์ที่ใช้ส่งข่าวสาร ซึ่งอาจเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ เวิร์กสเตชัน โทรศัพท์ กล้องวิดีโอ เป็นต้น

3. ผู้รับ (Receiver/Destination)

ผู้รับหรือจุดหมายปลายทางคือ อุปกรณ์ที่รับข่าวสาร ซึ่งอาจเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ เวิร์กสเตชัน โทรศัพท์ กล้องวิดีโอ เป็นต้น

4. สื่อกลางส่งข้อมูล (Transmission Medium)

สื่อกลางส่งข้อมูลคือ เส้นทางเชิงกายภาพที่ใช้การลำเลียงข่าวสารจากผู้ส่งไปยังผู้รับ เช่น สายโคแอกเชียล สายคู่บิดเกลียว สายไฟเบอร์ออปติก และคลื่นวิทยุ เป็นต้น

5. โปรโตคอล (Protocol)

โปรโตคอลคือ กลุ่มของกฎเกณฑ์หรือข้อปฏิบัติต่างๆที่กำหนดขึ้นมา เพื่อใช้เป็นข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้ส่งหรือผู้รับเพื่อใช้การสื่อสารบรรลุผล ถึงแม้อุปกรณ์ทั้งสองฝั่งจะเชื่อมต่อกัน หากปราศจากโปรโตคอลก็จะไม่สามารถสื่อสารกันได้อย่างเข้าใจ และส่งผลให้การสื่อสารล้มเหลว เช่น คนหนึ่งพูดภาษาฝรั่งเศส ส่วนอีกคนหนึ่งพูดภาษาญี่ปุ่น ทำให้สื่อสารกันล้มเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2. ส่วนประกอบของการสื่อสาร

2.2.3. คุณสมบัติพื้นฐาน 3 ประการของการสื่อสารข้อมูล (Fundamental Characteristics of Data Communications)

เมื่อการสื่อสารข้อมูลเกิดขึ้น อุปกรณ์การสื่อสารจะต้องถือเป็นส่วนหนึ่งของระบบการสื่อสารด้วย เพื่อให้สามารถสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การดำเนินการจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติพื้นฐาน 3 ประการดังนี้

1. การส่งมอบ (Delivery)

ระบบต้องสามารถส่งมอบข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้อย่างถูกต้อง ข้อมูลที่ส่งไปจะต้องไปยังอุปกรณ์ตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการ

2. ความถูกต้องแม่นยำ (Accuracy)

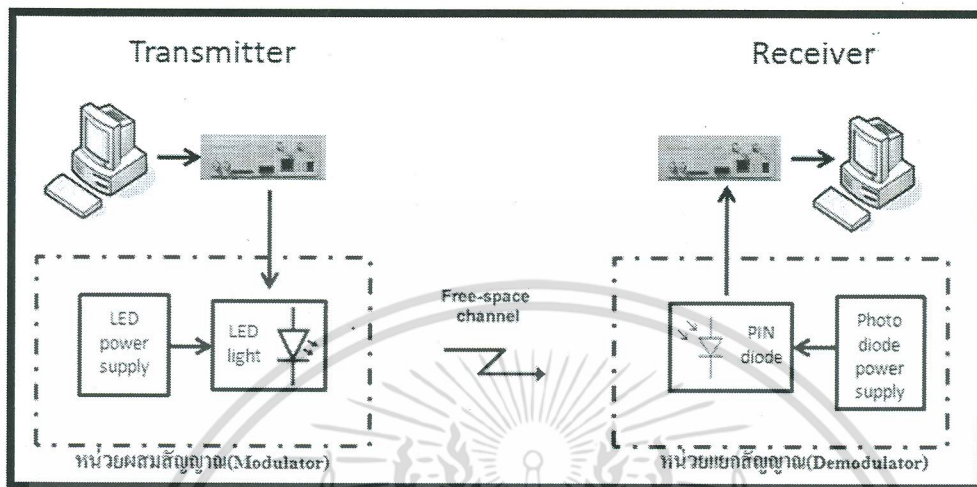
ระบบสื่อสารจะต้องส่งมอบข้อมูลได้อย่างเที่ยงตรง สำหรับระบบการสื่อสารที่ดี ควรมีการส่งสัญญาณเตือนไปยังผู้ส่ง/ผู้รับให้รับทราบ กรณีที่การส่งข้อมูลในขณะนั้นล้มเหลวหรือข้อมูลสูญหาย

3. ระยะเวลา (Timeliness)

ระบบจะต้องมีการส่งมอบไปยังปลายทางภายในระยะเวลาที่เหมาะสม โดยคำว่าระยะเวลาที่เหมาะสม หมายถึง ทันต่อเหตุการณ์ในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งนี้แต่ละระบบจะต้องตอบสนองเวลาที่เหมาะสมแตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. หลักการของแสงเพื่อการสื่อสาร (Principle of Light for Communication)



รูปที่ 2.3. องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารเชิงแสง

การสื่อสารผ่านช่องสัญญาณเชิงแสง มีหลักการเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารเชิงแสงดังรูปที่ 2.3 ขั้นตอนที่หนึ่งแหล่งกำเนิดข้อมูลหรืออุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูล โทรสาร เป็นต้น จะสร้างข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าแบบแอนะล็อก (Analog) หรือสัญญาณดิจิทัล (Digital) ขั้นตอนที่สองภาคผสมสัญญาณจะทำการเพิ่มผสมสัญญาณรูปแบบเฉพาะเพื่อให้ทำให้เกิดความเหมาะสม จากนั้นส่งสัญญาณไปผ่านแหล่งกำเนิดแสงเพื่อทำการแปลงสัญญาณข้อมูลไฟฟ้าเข้ากับคลื่นพาห้มาจากความถี่ของแสง หลังจากทำการแปลงสัญญาณสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสง (Optical Signal) ที่มีลักษณะเป็นลำแสง ขั้นตอนที่สามจะส่งสัญญาณออกไปยังช่องสัญญาณเชิงแสงซึ่งอาจเป็นอากาศ (Free space) บรรยากาศ สัญญาณแสงนั้นจะถูกส่งไปยังภาครับสัญญาณเชิงแสง โดยในขั้นแรกสัญญาณแสงจะถูกรวมแสงจากเลนส์ด้านหน้า จากนั้นถูกส่งไปยังตัวตรวจจับแสงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า (O/E) โดยการแยกสัญญาณข้อมูลออกจากคลื่นพาห้ จากนั้นส่งสัญญาณไฟฟ้า ที่ได้ไปยังอุปกรณ์ปลายทางเพื่อทำการเปลี่ยนกลับคืนให้เป็นสัญญาณ เพื่อให้ได้ข้อมูลแบบเดียวกับที่แหล่งกำเนิดข้อมูลส่งออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเชิงแสง (Basic Elements of Optical Communication System)

2.4.1. แหล่งกำเนิดข้อมูล (Source)

แหล่งกำเนิดข้อมูลคืออุปกรณ์หรือแหล่งสร้างสัญญาณต่างๆ ซึ่งอาจเป็นสัญญาณภาพ ข้อมูล หรือเสียง เป็นต้น

2.4.2. ภาคส่งสัญญาณเชิงแสง (Optical Transmitter)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ซึ่งเป็นอุปกรณ์ต้นทาง เช่น โมเด็มเชิงแสง คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงและส่งออกไปยังปลายทาง ผ่านช่องสัญญาณเชิงแสง ในส่วนของภาคส่งจะมีกระบวนการการผสมสัญญาณเชิงแสง (Optical Modulation) โดยสัญญาณต่างๆที่ได้รับมาจากแหล่งกำเนิดข้อมูล จะนำมาถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าและนำสัญญาณไฟฟ้านั้นไปผสมกับคลื่นพาห้ที่มีความถี่เชิงแสง เพื่อให้ได้ สัญญาณแสงออกมา

ในการผสมสัญญาณเชิงแสงจะต้องมีแหล่งกำเนิดแสง ที่ทำหน้าที่ให้กำเนิดแสงที่จะนำ มาผสมสัญญาณ เช่น ไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diodes: LED) อุปกรณ์เหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเป็นระเบียบ มีทิศทางที่แน่นอน และมีความเข้มสูง การผสมสัญญาณมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น การผสมสัญญาณเชิงความถี่ (Frequency Modulation: FM) การผสมสัญญาณเชิงเฟส (Phase Modulation: PM) หรือการผสมสัญญาณเชิงขนาด (Amplitude Modulation: AM) ซึ่งรูปแบบของการสื่อสารโดยใช้แสงที่มีใช้งานจริงจะถูกกำหนดโดยรูปแบบของการผสมสัญญาณ (Optical Modulation) และการตรวจจับเชิงแสง (Optical Detection) ซึ่งแบ่งเป็นสองประเภทหลัก คือ การผสมเชิงขนาดและตรวจจับแบบตรง (Intensity modulation/ Direct Detection: IM/DD) และการผสมสัญญาณแบบโคฮีเรนท์ (Coherent)

2.4.3. ช่องสัญญาณเชิงแสง (Optical Channel)

โดยพื้นฐานช่องสัญญาณเชิงแสงแบ่งเป็นสองประเภทคือ ช่องสัญญาณแบบผ่านอากาศ โดยตรงและช่องสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสง ในระบบการสื่อสารผ่านทางอากาศ (Space System) สัญญาณแสงจะถูกรวมและส่งออกในรูปแบบของลำแสง ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งออกไปในแนวเส้นตรงตามหลักการของแสงที่เดินทางเป็นเส้นตรง โดยจะมีจุดหมายปลายทางเพียงจุดเดียว

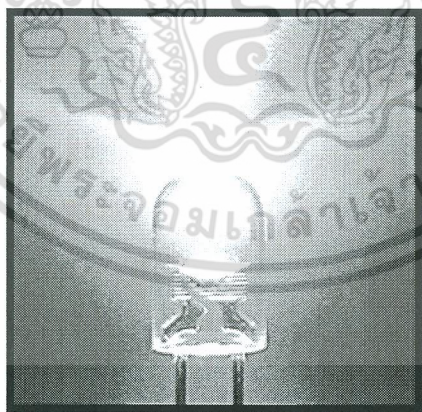
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. อุปกรณ์แสง (Optical Device)

เป็นอุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (ตัวส่ง) และตัวรับแสง ที่เป็นส่วนประกอบของการสื่อสาร ทางแสง โดยการส่งด้านนี้จะมีอุปกรณ์ส่งแสงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าของสัญญาณให้เป็นพลังงานแสง แล้วส่งผ่านอากาศออกไปให้ยังด้านรับ ซึ่งด้านรับนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้กลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (Transmitter Devices) อุปกรณ์ให้กำเนิดแสงเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้แสงออกมาโดยเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ซึ่งอุปกรณ์ให้กำเนิดแสงที่นิยมใช้ในการสื่อสารด้วยแสง คือ LED

2.5.1. อุปกรณ์ให้กำเนิดแสง (ตัวส่ง)

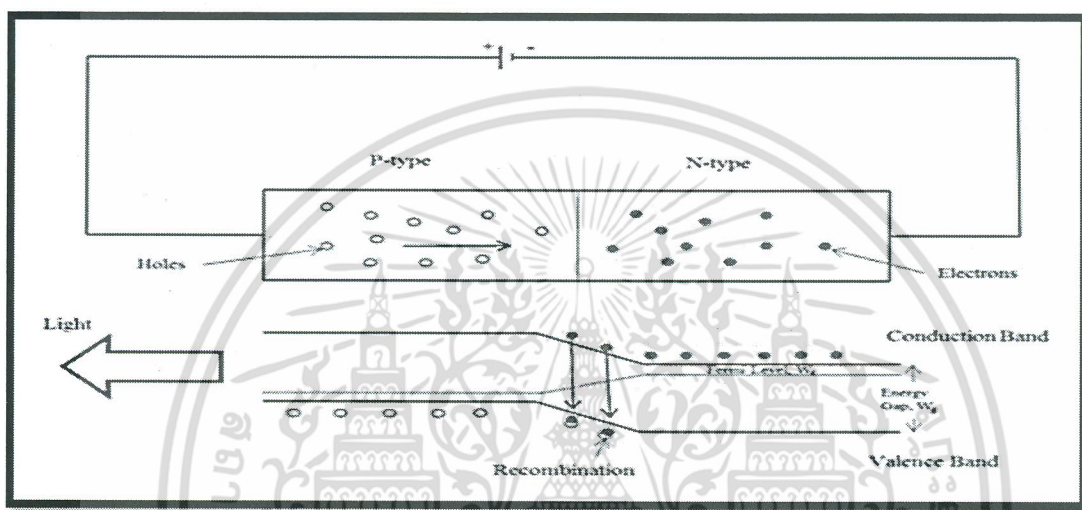
แอลอีดี(LED) หรือไดโอดเปล่งแสง(Light Emitting Diode) ดังรูปที่ 2.4 LED มีหลายสีแต่สีที่เป็นที่ต้องการสำหรับการส่งส่องสว่างมากที่สุดก็คือสีขาว แสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 480nm-750nm โดยสารเรืองแสง InGaN blue ที่เคลือบใน LED และจะถูกรวมกับสีฟ้าใน LED ซึ่งเกิดจากภายในของหลอดไฟ LED เมื่อได้รับเมื่อแรงดันจากภายนอก และเมื่อแสงสีฟ้ารวมกับสารเรืองแสงก็จะเปล่งแสงขาวออกมา



รูปที่ 2.4. แสดงลักษณะของแอลอีดี

แอลอีดี (LED) เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้ ปกติวัสดุสารกึ่งตัวนำเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เหลว เมื่อใส่สารเจือปนเข้าไปทำให้สามารถควบคุมการนำไฟฟ้า เรียกวิธีนี้ว่า การโด๊ป (doping) โดยส่วนใหญ่หลอด LED ใช้สารอลูมิเนียมไนไตรด์ (AlN) เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

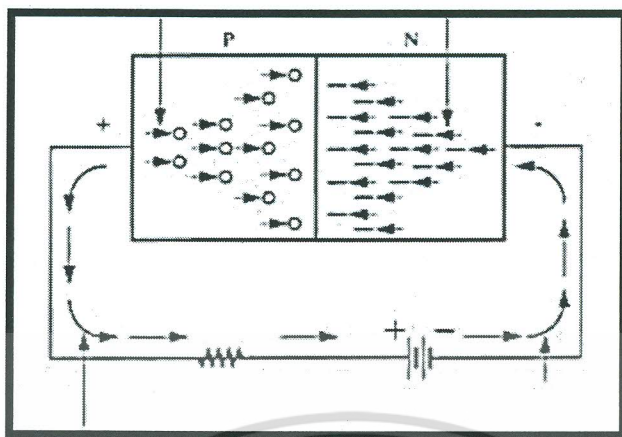
(aluminium-gallium-arsenide) ย่อเป็น AlGaAs เป็นสารกึ่งตัวนำถ้ายังไม่ได้ใส่สารเจือปนพันธะในอะตอม จะเกาะกันอย่างแข็งแรงไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ(ประจุไฟฟ้าลบ) จึงไม่นำกระแสแต่เมื่อทำการโคปโดยการเติมสารเจือปน จะทำให้ความสมดุลของวัสดุเปลี่ยนไป เมื่อใส่สารเจือปนแล้วทำให้อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้น เรียกว่า สารประกอบชนิด N ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ใส่สารเจือปนแล้วมีประจุไฟฟ้าบวกหรือโฮล เพิ่มขึ้น เรียกว่าสารประกอบชนิด P



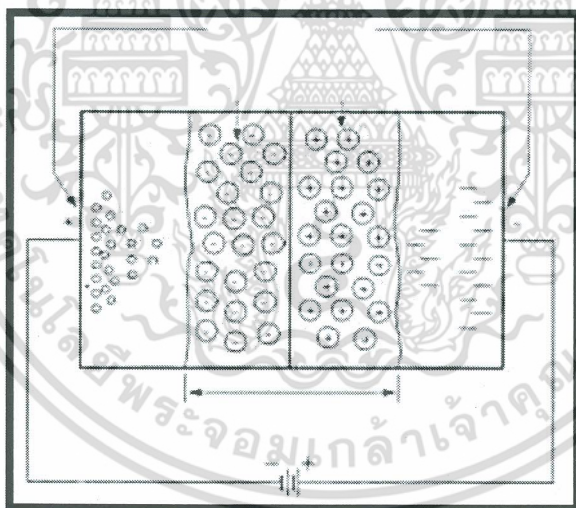
รูปที่ 2.5. อิเล็กตรอนอิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปลงหลุมที่ P ทำให้เกิด โชนตีพลีชั่น ซึ่งเป็นฉนวนกั้นการไหลของอิเล็กตรอน

ไดโอดเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด N ติดเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P เชื่อมสายไฟเข้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อยังไม่มีการให้แรงดันไฟฟ้า อิเล็กตรอนอิสระจาก N จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปที่ P เกิด โชนตีพลีชั่น (depletion) ขึ้นเมื่อ โชนตีพลีชั่นนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระยากขึ้นและอาจทำให้อิเล็กตรอนหยุดการเคลื่อนที่ได้ เพื่อจะทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านโชนตีพลีชั่นได้สะดวกขึ้น จึงจำเป็นต้องทำให้โชนตีพลีชั่นนี้แคบลงโดยการต่อขั้ว N ของไดโอดเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ และขั้วบวกเข้ากับขั้ว P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระใน N ถูกดันด้วยแรงดันทางไฟฟ้าและประจุบวกขั้ว P จะถูกดันด้วยแรงทางไฟฟ้าเช่นเดียวกันถ้าแรงดันทางไฟฟ้ามากพอ โชนตีพลีชั่นนี้จะแคบจนหายไปและอิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อได้สะดวกขึ้นในทางกลับกันถ้าต่อขั้วลบเข้ากับ P และขั้วบวกเข้ากับ N จะทำให้การไหลของอิเล็กตรอนจะเป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม โชนตีพลีชั่นจะหนาเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6. เมื่อต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ



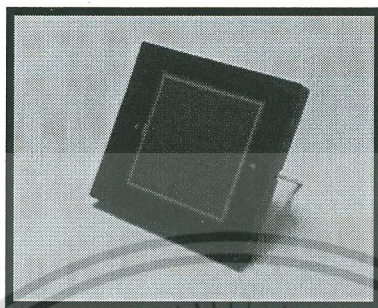
รูปที่ 2.7. เมื่อต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้ากับ N และขั้วลบเข้ากับ P โชนดึฟลิชั่นมีขนาดกว้างขึ้นอิเล็กตรอนและโฮลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

2.5.2. อุปกรณ์ตัวรับแสง

โฟโตไดโอด (Photo Diode) ดังรูปที่ 2.8. โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N โดยที่รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุ

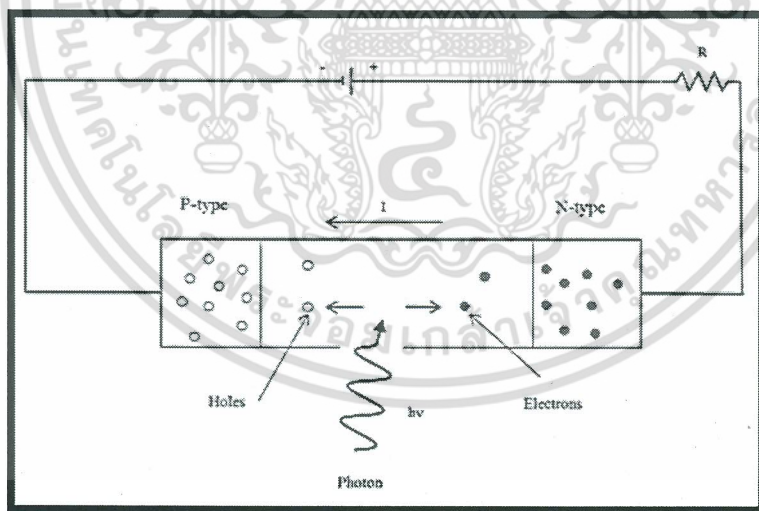
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส เป็นต้น โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด (IR Photo Diode)



รูปที่ 2.8. แสดงลักษณะของโฟโตไดโอด (Photo Diode)

โฟโตไดโอด (Photo Diode) จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตไดโอดได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่ง และมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มากกระทบมีความยาวคลื่นหรือมุมที่เหมาะสม จะทำให้มีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจรจะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มากกระทบ ดังรูปที่ 2.9

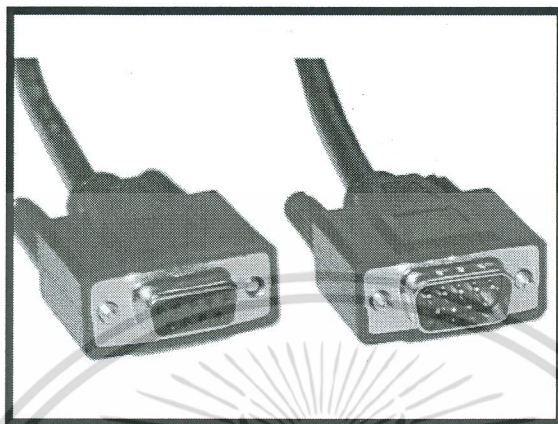


รูปที่ 2.9. แสดงลักษณะการไบอัสไบอัสกลับ (Reverse Bias) ของโฟโตไดโอด

2.6. อินเทอร์เน็ต EIA-232 หรือ RS-232

มาตรฐานอินเทอร์เน็ตหนึ่งที่สำคัญคือ EIA-232 ที่พัฒนาโดยสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association: EIA) เป็นอินเทอร์เน็ตที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ DTE (data terminal equipment) และ DCE (data circuit terminating equipment) ซึ่งแต่เดิมได้มีการใช้ชื่อเรียกว่า RS-232 (Recommended Standard) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10. แสดงลักษณะของ EIA-232 หรือ RS-232

2.6.1. คุณลักษณะสำคัญของการอินเทอร์เฟซ EIA-232 หรือ RS-232

อินเทอร์เฟซ EIA-232 แบบดั้งเดิมจะเป็นแบบ 25 เข็ม สำหรับปลั๊กตัวผู้ และแบบ 25 ไซต์ ออกเกิดสำหรับตัวเมีย โดยมาตรฐานจะครอบคลุมข้อกำหนดทั้ง 4 ประการดังนี้

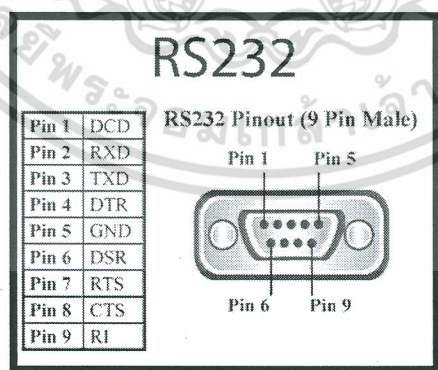
1. ข้อกำหนดทางกลไก เป็นส่วยกายภาพของปลั๊ก EIA-232 ที่ใช้เชื่อมต่อ
2. ข้อกำหนดทางไฟฟ้า เป็นข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับรายละเอียดของสัญญาณไฟฟ้า เป็นเรื่องของสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ DTE หรือ DCE สัญญาณดิจิทัลที่ใช้จะมีทั้งสายกราวด์ แรงดันไฟฟ้าลบที่น้อยกว่า -3 โวลต์ (-3 ถึง -15) เพื่อใช้แปลงไบนารี 1 และแรงดันไฟฟ้าบวกที่มากกว่า +3 โวลต์ (+3 ถึง +15) ในการแปลเป็นไบนารี 0 โดยจะยอมรับสัญญาณที่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 12 โวลต์ ทั้งบวกและลบ ส่วนพื้นที่ที่จัดเป็น Undefined Area หรือ Dead Area จะอยู่ระหว่าง +3 ถึง -3 โวลต์
3. ข้อกำหนดด้านฟังก์ชันการทำงาน ถือเป็นสิ่งที่สำคัญหัวเข็มแต่ละหัว จะมีการกำหนดหน้าที่การทำงานเฉพาะหน้าที่ของตน
4. ข้อกำหนดด้านขั้นตอนการทำงาน เป็นรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการติดต่อการสื่อสารและขั้นตอนการทำงาน รวมถึงการควบคุมจังหวะและขั้นตอนการแลกเปลี่ยนข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1. แสดงรายละเอียดของสัญญาณตามมาตรฐานของ RS-232 (DB9)

CIRCUIT (EIA signal name)	DB9 pin #	SIGNAL NAME
AB	5	Signal Ground
BA	3	Transmitted Data
BB	2	Received Data
CA	7	Request to Send
CB	8	Clear to Send
CC	6	DCE Ready
CD	4	Data Terminal Ready (DTE Ready)
CE	9	Ring Indicator
CF	1	Carrier Detect

จากตารางที่ 2.1 เป็นรายละเอียดของสัญญาณต่างๆ ตามมาตรฐาน RS-232 โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานของเซอร์กิตหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 2.11. แสดงรายละเอียดของสัญญาณของ RS232 ที่ (PIN) ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สายกราวด์

เซอร์กิต AB (pin 5) เป็น Signal Ground ระหว่างอุปกรณ์ DTE และ DCE ซึ่งอาจเรียกว่า Protective Ground ที่ช่วยป้องกันการช็อกทางไฟฟ้า (Electric Shock)

2. การถ่ายโอนข้อมูล(Data Transfer)

เซอร์กิต BA (pin 3) / Transmitted Data เป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ DTE ไปยังอุปกรณ์ DCE โดยสถานะทางลอจิกจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล เซอร์กิต BB (pin 2) / Received Data เป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับรับข้อมูลจากอุปกรณ์ DCE ไปยังอุปกรณ์ DTE โดยสถานะทางลอจิกจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล

3. การตอบโต้กัน(Handshaking)

เซอร์กิต CA (pin 7) / Request to Send เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ DTE ที่ส่งไปยังอุปกรณ์ DCE เพื่อให้รับรู้ว่าเตรียมพร้อมแล้วที่จะส่งข้อมูลซึ่งสัญญาณนี้จะใช้งานควบคู่กับเซอร์กิต CB

เซอร์กิต CB(pin 8) / Clear to Send เป็นสัญญาณตอบรับจากอุปกรณ์ DCE ที่ส่งให้กับอุปกรณ์ DTE ว่าพร้อมรับข้อมูลจากอุปกรณ์ DTE แล้ว

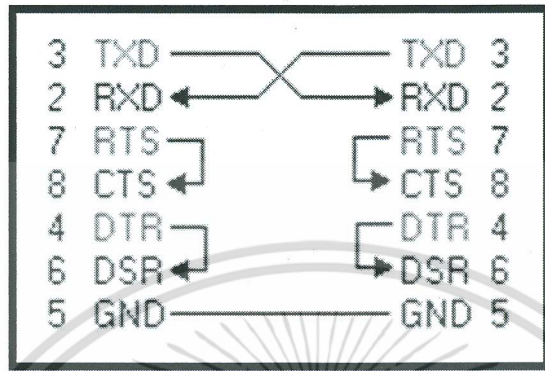
4. การควบคุม (ใช้สำหรับควบคุมโมเด็ม)

เซอร์กิต CC (pin 6) / DCE Ready เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ DCE ที่บอกกับฝ่ายส่งว่าอุปกรณ์ DCE อยู่ในสถานะพร้อมที่จะส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่ได้ทำการเชื่อมต่อ กล่าวคือ โมเด็มจะมีการสร้างการเชื่อมต่อกับโมเด็มระยะไกลของอีกฝ่ายหนึ่งเพื่อส่งผ่านข้อมูลระหว่างกัน เซอร์กิต CF(pin 1) / Carrier Detect เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ DCE ไปยังอุปกรณ์ DTE ว่าได้รับการตอบรับสัญญาณจากอุปกรณ์ทางไกลของอีกฝั่งหนึ่งแล้ว

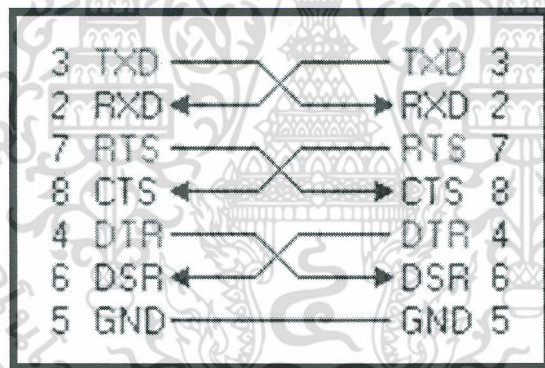
เซอร์กิต CD (pin 4) / Data Terminal Ready (DTE Ready) เป็นสัญญาณจากอุปกรณ์ DTE ว่าพร้อมแล้วจะทำงาน

โดย RS-232 เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลสื่อสารระหว่าง DTE และ DCE ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์นี้รองรับอัตราการส่งบิตถึง 115,200 bps ในการสื่อสารแบบอนุกรม โดยพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุต โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสายสัญญาณ, ระยะเวลา, ปริมาณ และสัญญาณรบกวนโดยพอร์ตอนุกรมของ PC จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ (Male) ดังรูปที่ 2.12 ส่วนพอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอกจะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ DB9 ตัวเมีย (FeMale) ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12. แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9



รูปที่ 2.13. แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

2.7. Universal Serial Bus (USB)

USB จัดเป็นมาตรฐานใหม่ สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ โมเด็มและอุปกรณ์อื่นๆ โดยจะพบว่าคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันจะผนวกพอร์ตมาตรฐาน USB มาให้รวมถึงอุปกรณ์รอบข้างที่นำมาเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ส่วนใหญ่พอร์ต USB แทบทั้งสิ้น USB เป็นอุปกรณ์อินเตอร์เฟซที่ใช้ สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่สร้างความสะดวกและความยืดหยุ่นต่อผู้ใช้งานดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14. แสดงลักษณะของ Universal Serial Bus (USB)

สำหรับข้อเสียของ USB คือการรับส่งข้อมูลมีความเร็วต่ำ โดย USB เวอร์ชัน 1.1 จะมีความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลเพียง 12 Mbps แต่ปัจจุบัน USB เวอร์ชัน 2.0 (Hi-Speed USB) ซึ่งเป็นเวอร์ชันใหม่ ได้มีการพัฒนาความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลสูงขึ้น โดยความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 480 Mbps และยังคงใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่เป็นอินเทอร์เน็ตเฟส USB รุ่นเก่า ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลก็จะเท่ากับ 12 Mbps แต่ USB 2.0 ซึ่งมีความเร็วถึง 480 Mbps

ส่วนภายในสายเคเบิล USB จะประกอบด้วยสายสัญญาณจำนวน 4 เส้น โดยชื่อที่กำกับไว้ในสัญญาณแต่ละเส้นจะมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. GND คือสายกราวด์
2. VBUS คือสายสัญญาณที่ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์ไปยังอุปกรณ์
3. D+ คือสายส่งข้อมูลสัญญาณบวก (Positive) ที่มีการเข้ารหัสแบบ NRZ-L
4. D- คือสายส่งข้อมูลสัญญาณลบ (Negative) ที่มีการเข้ารหัสแบบ NRZ-L พร้อมกับกำหนดระยะเวลาของสัญญาณลบเพื่อลดการแทรกแซงของสัญญาณรบกวนและข้อผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8. ข้อมูลและสัญญาณ

2.8.1. ข้อมูล

คือ สิ่งที่มีความหมายในตัวโดยข้อมูลทั่วไปที่ใช้งานในระบบคอมพิวเตอร์จะเป็นข้อมูลชนิดตัวเลขตัวอักษรภาพหนึ่งรวมถึงภาพเคลื่อนไหวต่างในการส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งผ่านทางสายสื่อสารหรือคลื่นวิทยุข้อมูลที่ต้องการส่งจะต้องได้รับการแปลงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณที่เหมาะสมกับระบบการสื่อสาร

2.8.2. สัญญาณ

คือ ปริมาณใดๆที่สามารถเปลี่ยนแปลงและสัมพันธ์ไปกับเวลาโดยสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารคือกระแสไฟฟ้าหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นการสนทนาผ่านระบบโทรศัพท์การส่งพิมพ์งานการดาวน์โหลดข้อมูล

2.9. หน่วยความเร็วในการรับส่งข้อมูล

2.9.1. อัตราบิต (Bit Rate/Data Rate)

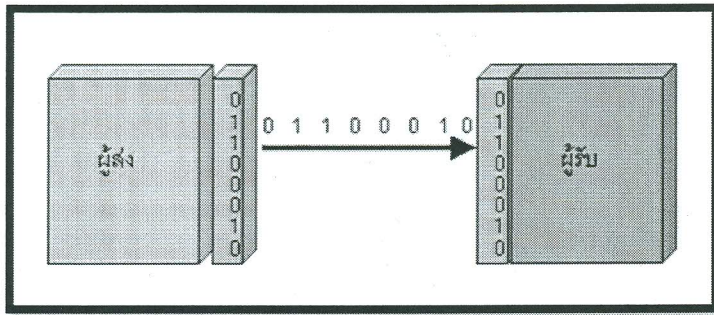
คือ จำนวนบิตที่สามารถส่งได้ภายในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bps)

2.9.2. อัตราบอด (Baud Rate)

คือจำนวนของสัญญาณที่สามารถส่งได้ต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในหนึ่งหน่วยเวลา (baud per second : bps)

2.10. รูปแบบของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมและอัตราบอด(Baud Rate)

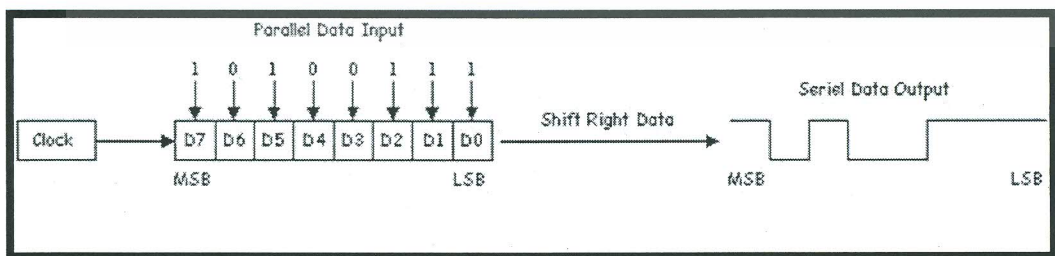
อัตราบอด(Baud Rate) คือความเร็วในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที ซึ่งจะบอกจำนวนบิตที่รับและส่งในเวลา 1 วินาทีเช่นส่งข้อมูลด้วยอัตรา 9600 บิตต่อวินาทีก็คือการส่งข้อมูลตัวอักษรขนาด 10 บิต (บิต Start 1 บิตบิตข้อมูล 8 บิตบิต Stop 1 บิต) ได้ 9600 ตัวอักษรใน 1 วินาที



รูปที่ 2.15. การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

ตารางที่ 2.2. แสดงอัตราบอดที่ใช้กันทั่วไป

อัตราบอด	ช่วงเวลาของแต่ละบิต
110	9.91 ms
150	6.67 ms
300	3.33 ms
600	1.67 ms
1200	0.833 ms
2400	0.417 ms
4800	0.208 ms
9600	0.104 ms
19200	0.052 ms



รูปที่ 2.16. การแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 เป็นการแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม โดยเริ่มแรกข้อมูลแบบขนานจะถูกนำไปเก็บไว้ใน Shift Register หลังจากนั้นจะใช้สัญญาณนาฬิกาในการเลื่อนค่าในรีจิสเตอร์ออกมาทีละบิต (โดยการเลื่อนค่าไปทางขวามือ) โดยบิตแรกที่ถูกเลื่อนออกมาคือบิต LSB ของข้อมูลและบิตที่สองที่ถูกเลื่อนออกมาก็คือบิตที่อยู่ถัดจากบิต LSB และบิตต่อไปสำหรับบิตสุดท้ายที่ถูกเลื่อนออกมาก็คือบิต MSB ของข้อมูล

การแปลงข้อมูลแบบอนุกรมไปเป็นข้อมูลแบบขนานนั้นจะมีขั้นตอนตรงกันข้ามกับที่กล่าวมานั้นคือข้อมูลแบบอนุกรมจะถูกเคลื่อนเข้าไปใน Shift Register โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวควบคุมและหลังจากที่มีการเคลื่อนข้อมูลทุกบิตเข้าไปใน Shift Register ได้หมดแล้วข้อมูลในรีจิสเตอร์นี้จะถูกนำออกมาแบบขนานเพื่อนำไปใช้งานต่อไป อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลแบบอนุกรมเป็นข้อมูลแบบขนานและแปลงข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรมเรียกว่า UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) ซึ่งนอกจากจะมีหน้าที่ในการแปลงข้อมูลแล้ว UART ยังมีหน่วยควบคุมและหน่วยตรวจสอบการทำงานอีกด้วยในการส่งข้อมูลขนาด 8 บิตแบบอนุกรมนี้จะต้องมีบิตเริ่มต้น (Start Bit) และบิตหยุด (Stop Bit) เพิ่มขึ้นมาซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ส่งไปจริงๆ นั้นมีขนาด 10 บิต

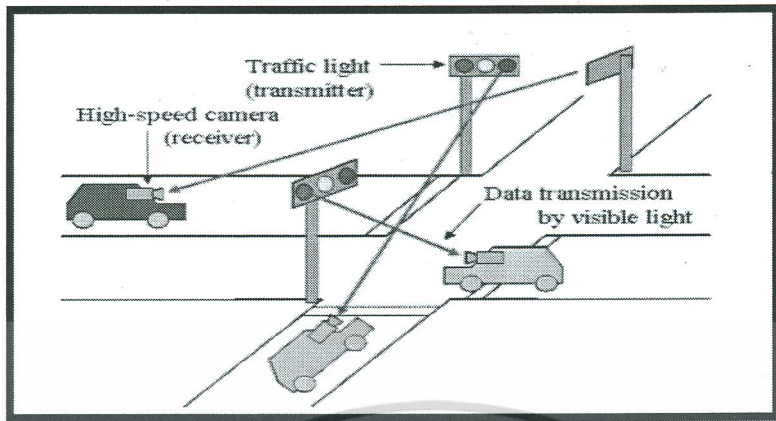
2.11 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

งานวิจัยทางด้านการส่งข้อมูลทางแสง ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นการนำ LED มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานหลายด้าน ดังต่อไปนี้

2.11.1 การสื่อสารด้วยกล้องความเร็วสูงบนถนน

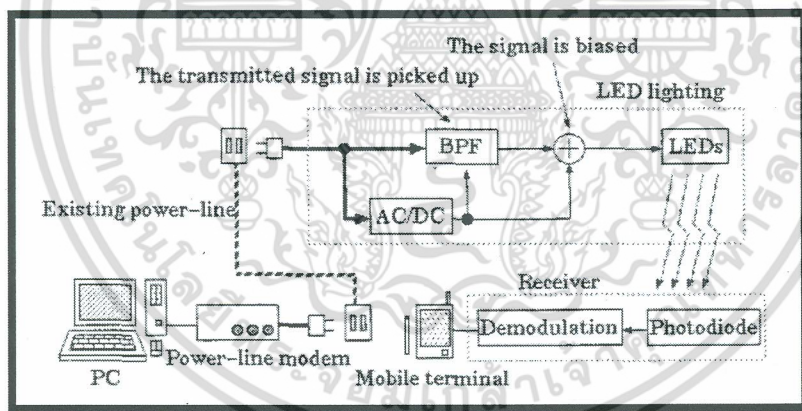
ไฟ LED ที่เป็นสัญญาณจราจรจะนำมาใช้ในการควบคุมยานพาหนะบนถนน จากรูปที่ 2.17 แสดงพื้นฐานของการใช้ LED จะเห็นได้ว่า LED ที่ใช้ในไฟจราจร เป็นตัวส่งสัญญาณ และกล้องซึ่งติดตั้งที่รถยนต์จะเป็นตัวรับสัญญาณ ในรุ่นนี้จะติดตั้งกล้องที่ด้านหน้าของรถ โดยกล้องจะถูกนำมาใช้เป็นตัวรับสัญญาณข้อมูลจากสัญญาณไฟจราจร โดยจุดประสงค์ของการใช้งานในลักษณะนี้ เพื่อควบคุมระบบเบรกของรถยนต์ได้อย่างทันท่วงที หากผู้ขับขี่ไม่ได้เหยียบเบรก ขณะสัญญาณไฟจราจรเป็นสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17. แสดงการใช้แสงในการรับส่งข้อมูลบนถนน [6]

2.11.2. การบูรณาการระบบการสื่อสารด้วย LED และการสื่อสารผ่านสายไฟ การสื่อสารโดยใช้สายไฟภายในอาคาร แสดงสายไฟสำหรับการสื่อสารด้วย LED สีขาวและเครื่องถ่ายพื้นฐานอื่นๆนั้น จะใช้สายไฟที่มีอยู่แล้วตามอาคารรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18. คลื่นสัญญาณในสายไฟ [7]

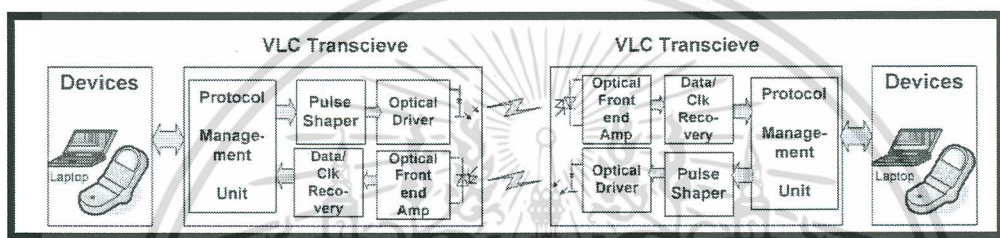
จากรูป แสดงแผนภาพของระบบ โดยเริ่มจากคอมพิวเตอร์ต้นทางจะทำการส่งข้อมูลผ่าน power line modem โดยใช้ระบบสายไฟภายในบ้านเป็นตัวกลาง จากนั้นระบบจะทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับในบ้านเรือนให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง พร้อมกับกรองสัญญาณที่ส่งไปด้วยวงจร BPF ด้วยในเวลาเดียวกัน สัญญาณที่ผ่านวงจร BPF แล้วจะถูกส่งไปยัง LED ซึ่งเป็นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการส่งข้อมูลทางแสง สำหรับส่วนของการรับข้อมูลจะประกอบไปด้วยโฟโตไดโอดและวงจร demodulation เพื่อแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าต้นฉบับอีกครั้ง

2.11.3. ระบบควบคุมขั้นสูงสำหรับการสื่อสารด้วยแสง

สำหรับการสื่อสารด้วยแสงนอกอาคารนั้นได้มีการกล่าวถึง โดยใช้โทรศัพท์มือถือซึ่งมี LED และโฟโตไดโอดฝังอยู่ในตัวเครื่องในการรับและส่งข้อมูลภายนอกอาคาร ดังในรูป 2.19 แสดงการรับและส่งสัญญาณจะใช้ LED และโฟโตไดโอด



รูปที่ 2.19. แผนภาพแสดงการรับและส่งข้อมูล [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

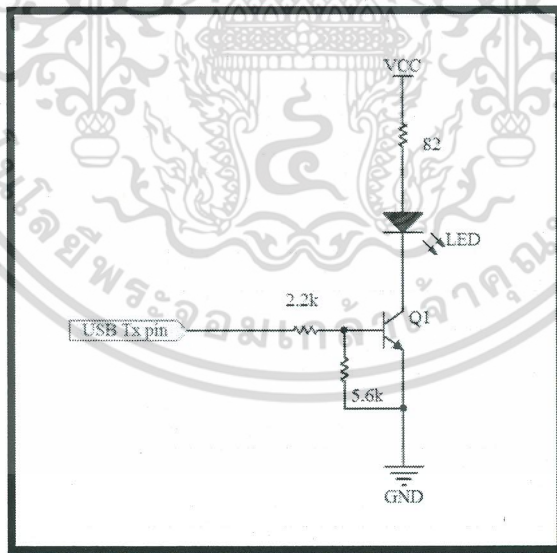
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยได้ทำการออกแบบวงจรส่งสัญญาณทางแสงและวงจรรับสัญญาณทางแสงของโมเดลต้นแบบ (VLC) โดยใช้ High power white LEDs เป็นตัวส่งสัญญาณทางแสง และใช้ตัวรับสัญญาณทางแสง 2 ชนิดคือ ชนิดที่ 1 คือ VBPW24R Photodiode และชนิดที่ 2 คือ FDS10x10 Photodiode จากนั้นทำการทดลองและประเมินความสามารถด้านความเร็ว(อัตราบิต) ในการรับส่งข้อมูล ของโมเดลต้นแบบเมื่อใช้ตัวรับแสงทั้ง 2 ชนิดนี้ และประเมินทางด้านการส่องสว่างของ LEDs ในวงจรส่งสัญญาณที่ตำแหน่งมุมต่างๆ

3.1. ขั้นตอนการสร้างวงจรรับสัญญาณและวงจรส่งสัญญาณ

ในขั้นตอนการสร้างวงจรรับสัญญาณและวงจรส่งสัญญาณเป็นการศึกษาและออกแบบวงจรเพื่อให้ได้วงจรมีกระแส, แรงดันและคุณลักษณะ ที่เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ

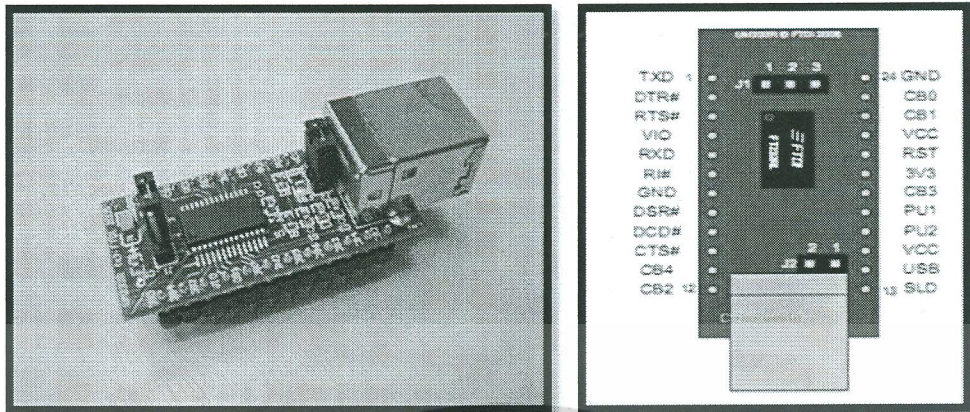
3.1.1. วงจรภาคส่งสัญญาณ



รูปที่ 3.1. วงจรภาคส่งสัญญาณ

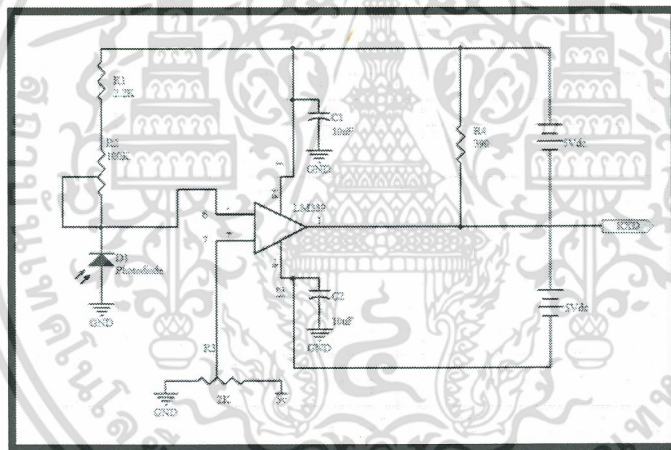
การทำงานของวงจรส่งสัญญาณดังรูปที่ 3.1. นี้ เราจะควบคุมจังหวะการดับ-สว่างของ LED ด้วย switching transistor เบอร์ 2N4401 โดยทรานซิสเตอร์ในวงจรส่งสัญญาณนี้ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ของ LED โดยที่ขา Base ของทรานซิสเตอร์จะต่อเข้ากับอุปกรณ์ UM232R ที่ขา 1 ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2. อุปกรณ์ UM232R

3.1.2. วงจรภาครับสัญญาณ



รูปที่ 3.3. วงจรภาครับสัญญาณ

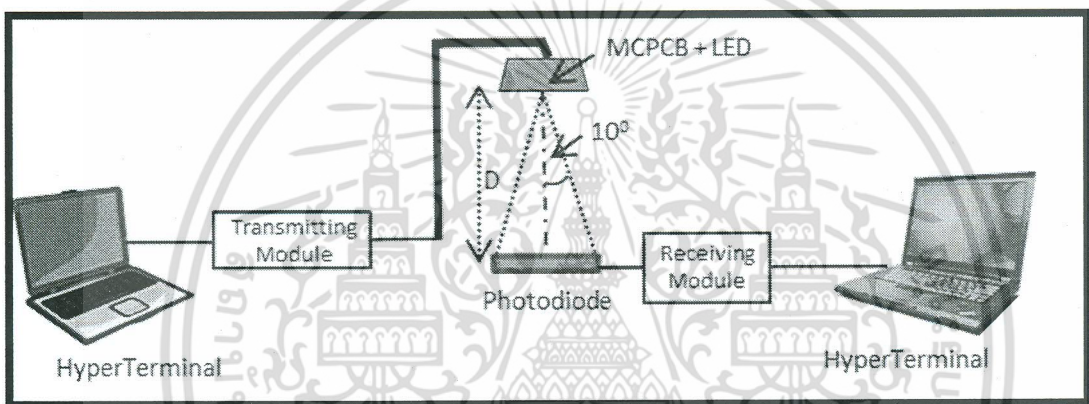
หลักการทำงานของวงจรภาครับสัญญาณดังรูปที่ 3.3 นี้ สำหรับวงจรับสัญญาณเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage comparator) โดยจะใช้ LM 339 ซึ่งมีทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดัน (Quad comparator) โดยป้อนแรงดันอินพุต V_{in} ที่ขา 6 (non-inverting input) และป้อนแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) เข้าที่อินพุตขา 7 (inverting input) จะทำให้เกิดผลต่างระหว่างแรงดันอินพุต (V_d) ถ้าหากป้อนแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) เข้าที่อินพุต ขา 7 (inverting input) ด้วยค่า 0 และป้อนแรงดันอินพุต เข้าที่ ขา 6 (non-inverting input) ด้วยค่าที่มากกว่า 0 V จะทำให้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ $+V_{sat}$ แต่ถ้าป้อนแรงดันอินพุตเข้าที่ ขา 6 (non-inverting input) ด้วยค่าที่น้อยกว่า 0 V จะทำให้แรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ $-V_{sat}$ ซึ่งเอาต์พุตที่ได้มีกระแสค่อนข้างน้อยมากจึงใช้ R_4 390 Ω ต่อระหว่างขาเอาต์พุตที่ขา 1 กับไฟเลี้ยง +5V เพื่อเพิ่มกระแสให้เพียงพอสำหรับต่อเข้ากับอุปกรณ์ UM232 ที่ขา 5 ดังรูปที่ 3.2

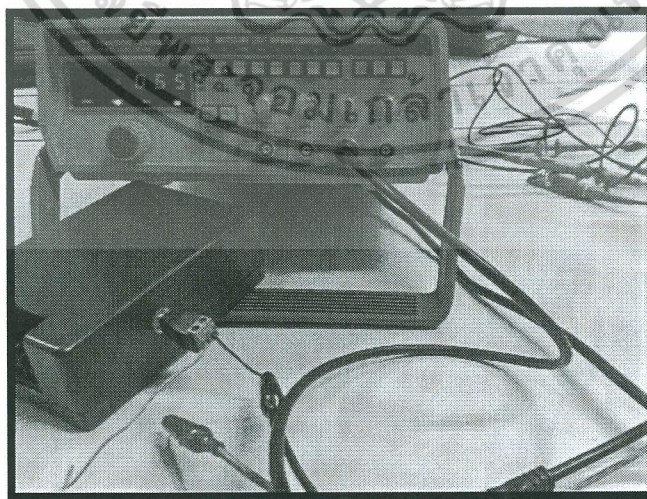
3.2. ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆและที่ระดับความสูงต่างๆ ของวงจรถ่ายส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ (visible light communication, VLC)

1. ติดตั้งระบบรับ-ส่งข้อมูลทางแสง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4. แผนภาพระบบการรับ-ส่งข้อมูลทางแสง

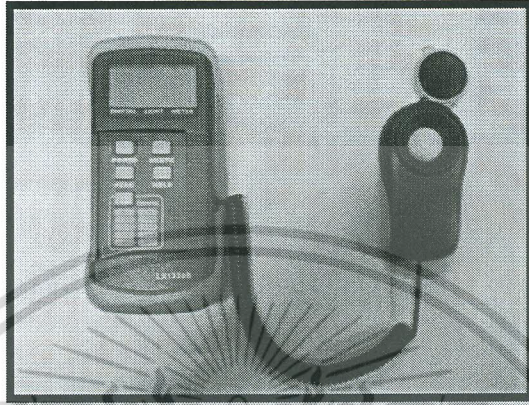
2. เชื่อมต่อวงจรส่งสัญญาณ (Transmitting module) เข้ากับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5. การเชื่อมต่อวงจรส่งสัญญาณเข้ากับฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) โดยใช้ Lux meter ดังรูปที่ 3.6 ในตำแหน่งต่างๆที่สามารถรับและส่งสัญญาณของ โมเดลต้นแบบ (VLC)



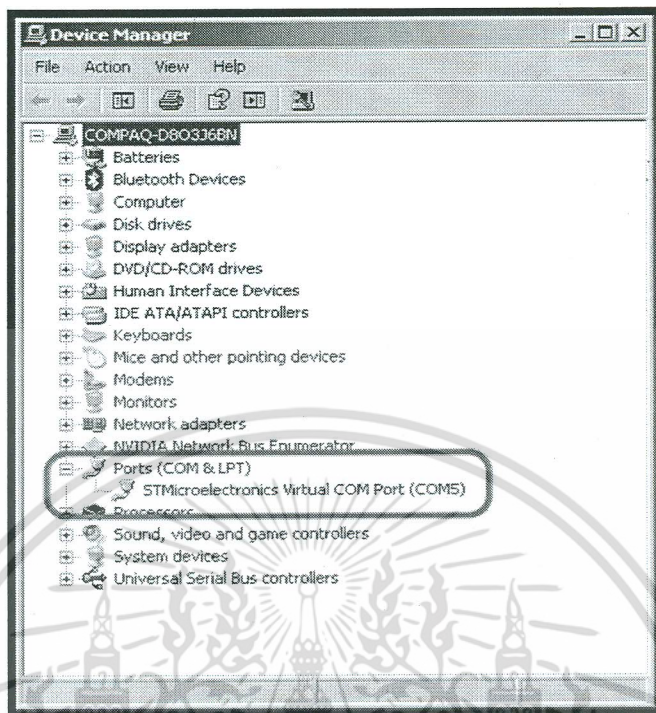
รูปที่ 3.6. Lux meter

4. ใช้ Lux meter หาค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) ที่ได้จากตำแหน่ง (X,Y) ต่างๆ และบันทึกค่ามุม (FOV) ที่ได้จากตำแหน่ง (X,Y) ต่างๆ โดยจะเก็บที่ระยะตั้งแต่ 210 ,190 ,170 ,150 ,130 ,110 ,90 ,70 ,50 ,40 ,30 20 ,15 ,5 CM.

3.3. ขั้นตอนดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของโมเดลต้นแบบ (VLC)

1. ติดตั้งวงจรรับสัญญาณและวงจรส่งสัญญาณในแนวตั้ง โดยให้วงจรรับสัญญาณอยู่ด้านล่างและวงจรส่งสัญญาณอยู่ด้านบน
2. เชื่อมต่อวงจรรับสัญญาณและวงจรส่งสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง โดยผ่านโปรแกรม Terminal v1.9b ดังรูปที่ 3.7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7. การเชื่อมต่อวงจรรับสัญญาณเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน PORT (COM5)

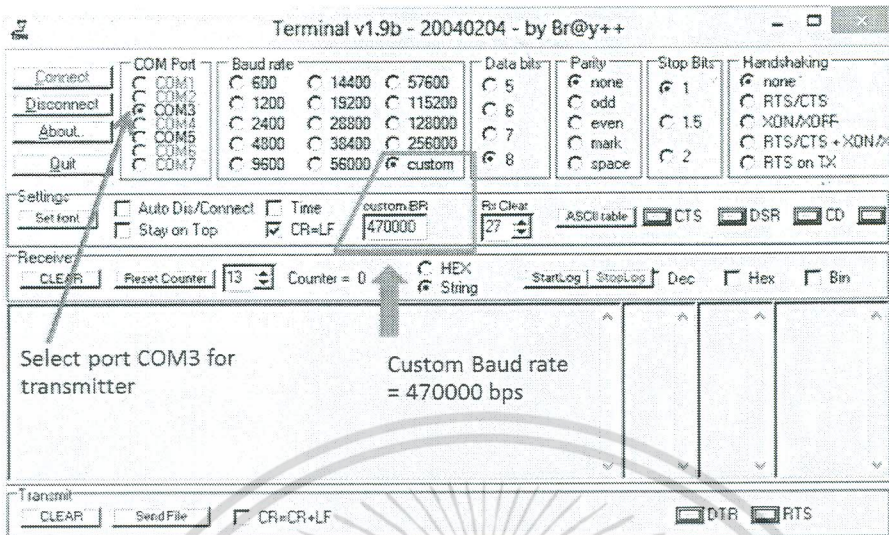
4. ทดลองโดยใช้ตัวรับแสงชนิดที่ 1 คือ VBPW24R Photodiode ในวงจรรับสัญญาณ ดังรูปที่ 3.8.



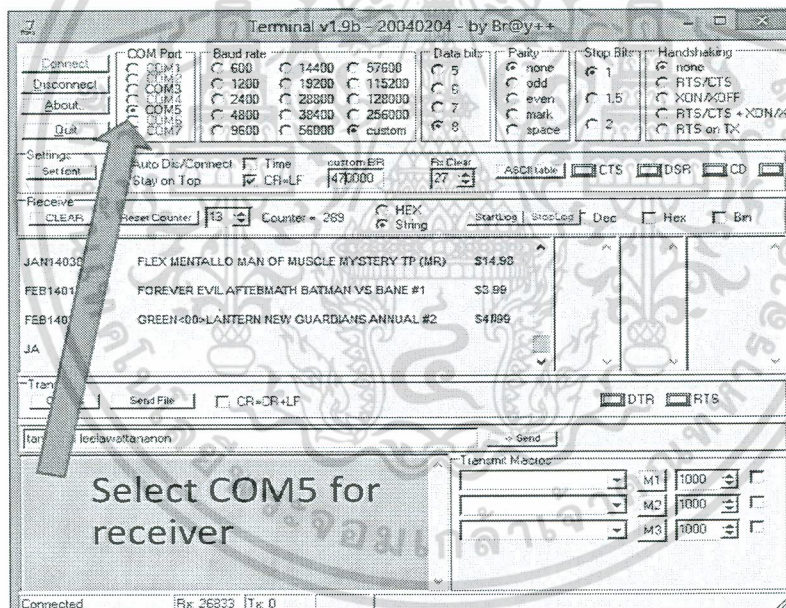
รูปที่ 3.8. แสดงลักษณะของ Photodiode ชนิด VBPW2

5. ปรับหาระยะความสูงที่สูงสุดของการรับและส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ(VLC)และเลื่อน Photodiode ให้ได้มุม field of view (FOV) ที่ตำแหน่ง 0° องศา
6. ปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าที่เหมาะสมกับระยะการรับและส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ(VLC)
7. ตั้งค่า Baud rate ที่โปรแกรม Terminal v1.9b ทั้งวงจรส่งสัญญาณและวงจรรับสัญญาณให้ตรงกัน โดยเริ่มจากค่าน้อยสุด คือ 600 bit/s ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) หน้าต่างโปรแกรม Terminal v1.9b วงจรส่งสัญญาณ

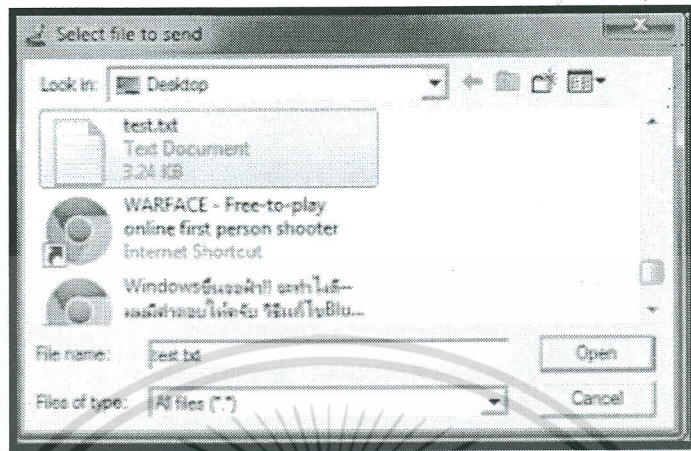


(ข) หน้าต่างโปรแกรม Terminal v1.9b วงจรภาครับสัญญาณ

รูปที่ 3.9. แสดงการตั้งค่า Baud rate ของวงจรส่ง.(ก)และภาครับสัญญาณ (ข) ให้ตรงกัน

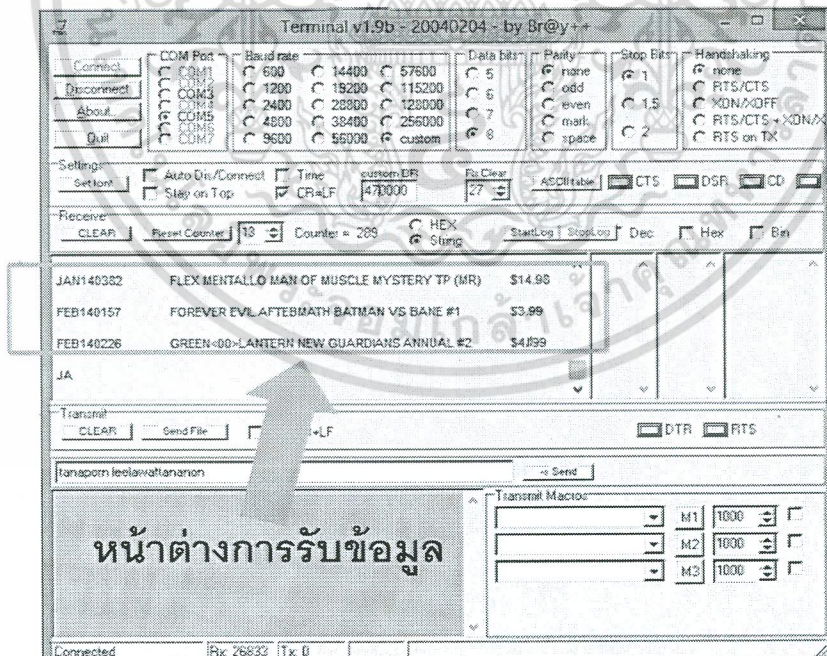
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ส่งไฟล์ข้อมูล test.txt จากหน้าต่างส่งข้อมูล ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10. หน้าต่างการส่งไฟล์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Terminal v1.9b

9. ตรวจสอบความถูกต้องของไฟล์ข้อมูล จากหน้าต่างการรับข้อมูลของโปรแกรม Terminal v1.9b ดังรูปที่ 3.11 (หากไฟล์ข้อมูลมีความผิดพลาด ให้ปรับตัวตัวทานให้น้อยลงและตั้งค่า Baud rate ลดลง)



รูปที่ 3.11. หน้าต่างรับข้อมูลของโปรแกรม Terminal v1.9b

เมื่อรับไฟล์ข้อมูลจากวงจรส่งสัญญาณเสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. บันทึกค่าของตัวต้านทาน, มุม field of view (FOV) และ baud rates ที่มีค่ามากที่สุด ที่สามารถรับส่งข้อมูลได้โดยไม่มี ความผิดพลาดเกิดขึ้น
11. เลื่อน Photodiode ให้มีมุม FOV ที่ตำแหน่งต่างๆที่สามารถรับและส่งสัญญาณของโมเดล ต้นแบบ (VLC) และทำการทดลองซ้ำข้อที่ 6-9
12. ลดระยะความสูงของการรับและส่งสัญญาณลงครึ่งละ 10 CM. จนถึงที่ระยะความสูง 20 CM. แล้วจึงลดระยะความสูงของการรับและส่งสัญญาณลงให้เหลือครึ่งละ 5 CM. และเลื่อน Photodiode ให้มีมุม Half angle ที่ตำแหน่ง 0° องศา และทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 5-10
13. ทดลองโดยใช้ตัวรับแสงชนิดที่ 2 คือ FDS10x10 Photodiode ในวงจรรับสัญญาณ ดังรูปที่ 3.12 และทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 4-11



รูปที่ 3.12. แสดงลักษณะของ Photodiode ชนิด FDS10x10

14. ทดสอบส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ เช่น ภาพ เสียง และวิดีโอ โดยใช้วงจรรับข้อมูลชนิดที่ 2 คือ FDS10x10 photodiode และใช้โปรแกรม Hyper Terminal ในการรับ-ส่งข้อมูล และกำหนดความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลหลายๆค่า พร้อมทั้งบันทึกเวลาของการรับ-ส่งข้อมูลเหล่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เมื่อทำการออกแบบวงจรภาครับสัญญาณและวงจรภาคส่งสัญญาณเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดสอบความสามารถด้านต่างๆ โดยมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1. ทดลองและประเมินความสามารถของการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ และที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรส่งสัญญาณ

4.2. ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็ว (อัตราบิต) ในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) โดยใช้ตัวรับแสงชนิดที่ 1 VBPW24R Photodiode และตัวรับแสงชนิดที่ 2 FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ

4.3. ทดสอบส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ เช่น ภาพ เสียง และวิดีโอ โดยใช้ตัวรับแสงชนิดที่ 2 คือ FDS10x10 Photodiode และใช้โปรแกรม Hyper Terminal โดยกำหนดอัตราบิตในการรับ-ส่งข้อมูลหลายๆค่า พร้อมทั้งบันทึกเวลาของการรับ-ส่งข้อมูลเหล่านั้น

4.1. ทดลองและประเมินความสามารถของการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ และที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรส่งสัญญาณ

ผลการทดลองและประเมินความสามารถของการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ และที่ระดับความสูงต่างๆ ของวงจรภาคส่งสัญญาณ ที่ระดับความสูงต่างๆ เป็นดังนี้

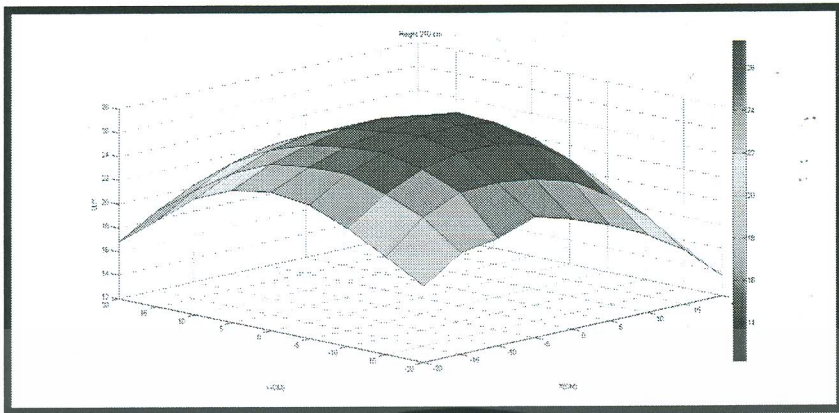
ตารางที่ 4.1 ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ที่ระยะ 210 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	27.3	-	-		
5	0	1.363928	26.9	15	-5	4.305808	21.8
10	0	2.726311	24.9	15	-10	4.90661	20.5
15	0	4.085617	21.6	15	-15	5.768181	18.8
20	0	5.440332	17.8	15	-20	6.788975	16.6
-5	0	-1.363928	26.7	20	-5	5.606715	25.6
-10	0	-2.726311	26.1	20	-10	6.077921	24.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
-15	0	-4.085617	25.1	20	-15	6.788975	22.7
-20	0	-5.440332	23.7	20	-20	7.670835	20.2
0	5	1.363928	26.5	-5	5	-1.928521	26.3
0	10	2.726311	25.0	-5	10	-3.047534	25.1
0	15	4.085617	23.2	-5	15	-4.305808	23.5
0	20	5.440332	20.6	-5	20	-5.606715	20.9
0	-5	1.363928	27.2	-10	5	-3.047534	25.6
0	-10	2.726311	26.3	-10	10	-3.852681	24.5
0	-15	4.085617	24.0	-10	15	-4.90661	22.7
0	-20	5.440332	21.3	-10	20	-6.077921	20.2
5	5	1.928521	25.7	-15	5	-4.305808	24.7
5	10	3.047534	23.9	-15	10	-4.90661	23.2
5	15	4.305808	21.7	-15	15	-5.768181	21.1
5	20	5.606715	19.1	-15	20	-6.788975	18.7
10	5	3.047534	23.4	-20	5	5.606715	23.2
10	10	3.852681	21.2	-20	10	-6.077921	21.8
10	15	4.906610	19.7	-20	15	-6.788975	19.3
10	20	6.077921	16.8	-20	20	-7.670835	16.8
15	5	4.305808	20.3	-5	5	-1.928521	27.0
15	10	4.90661	18.7	-5	10	-3.047534	26.3
15	15	5.768181	17.1	-5	15	-4.305808	24.4
15	20	6.788975	14.8	-5	20	-5.606715	22.2
20	5	5.606715	15.8	-10	-5	-3.047534	26.3
20	10	6.077921	14.4	-10	-10	-3.852681	25.6
20	15	6.788975	13.4	-10	-15	-4.906610	24.3
20	20	7.670835	12.2	-10	-20	-6.077921	21.1
5	-5	1.928521	26.7	-15	-5	-4.305808	25.2
5	-10	3.047534	25.5	-15	-10	-4.90661	24.2
5	-15	4.305808	23.1	-15	-15	-5.768181	22.9
5	-20	5.606715	20.1	-15	-20	-6.788975	20.6
10	-5	3.047534	24.7	-20	-5	-5.606715	23.3
10	-10	3.852681	23.5	-20	-10	-6.077921	22.0
10	-15	4.90661	21.2	-20	-15	-6.788975	20.3
10	-20	6.077921	18.6	-20	-20	-7.670835	18.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



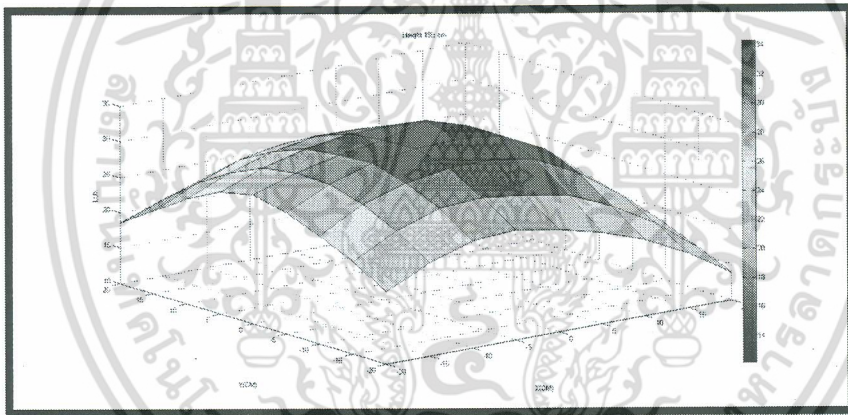
รูปที่ 4.1. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 210 CM.

ตารางที่ 4.2. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 190 CM

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	34.3	-	-		
5	0	1.507436	32.4	15	-5	4.75707	29.3
10	0	3.012788	29.1	15	-10	5.420165	27.4
15	0	4.513988	24.8	15	-15	6.370601	24.1
20	0	6.009006	19.9	15	-20	7.495858	20.8
-5	0	-1.507436	32.6	20	-5	6.192526	24.0
-10	0	-3.012788	31.6	20	-10	6.712139	23.1
-15	0	-4.513988	30.2	20	-15	7.495858	20.6
-20	0	-6.009006	28.2	20	-20	8.467132	17.7
0	5	1.507436	32.2	-5	5	-2.131344	19.2
0	10	3.012788	30.2	-5	10	-3.367623	18.0
0	15	4.513988	27.3	-5	15	-4.757070	16.0
0	20	6.009006	23.6	-5	20	-6.192526	13.9
0	-5	1.507436	32.2	-10	5	-3.367623	32.0
0	-10	3.012788	30.2	-10	10	-4.256807	30.3
0	-15	4.513988	27.3	-10	15	-5.420165	27.8
0	-20	6.009006	23.6	-10	20	6.712139	23.8
5	5	1.928521	33.0	-15	5	-4.757070	31.0
5	10	3.047534	31.5	-15	10	-5.420165	29.2
5	15	4.305808	27.9	-15	15	-6.370601	26.7
5	20	5.606715	24.4	-15	20	-7.495858	22.9
10	5	3.047534	30.7	-20	5	-6.192526	29.5
10	10	3.852681	28.0	-20	10	-6.712139	27.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	15	4.906610	25.2	-20	15	-7.495858	24.5
10	20	6.077921	21.0	-20	20	-8.467132	20.9
15	5	4.305808	27.4	-5	5	-2.131344	27.2
15	10	4.906610	24.7	-5	10	-3.367623	24.8
15	15	5.768181	22.0	-5	15	-4.757070	21.7
15	20	6.788975	18.3	-5	20	-6.192526	18.6
20	5	5.606715	22.7	-10	-5	-3.367623	32.8
20	10	6.077921	21.1	-10	-10	-4.256807	31.5
20	15	6.788975	19.1	-10	-15	-5.420165	28.7
20	20	7.670835	15.6	-10	-20	-6.712139	25.5
5	-5	2.131344	18.6	-15	-5	-4.757070	31.9
5	-10	3.367623	17.1	-15	-10	-5.420165	30.5
5	-15	4.757070	15.4	-15	-15	-6.370601	28.3
5	-20	6.192526	12.2	-15	-20	-7.495858	25.1
10	-5	3.367623	32.3	-20	-5	-6.192526	30.0
10	-10	4.256807	30.4	-20	-10	-6.712139	28.6



รูปที่ 4.2. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรถ่ายแสงสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 190 CM.

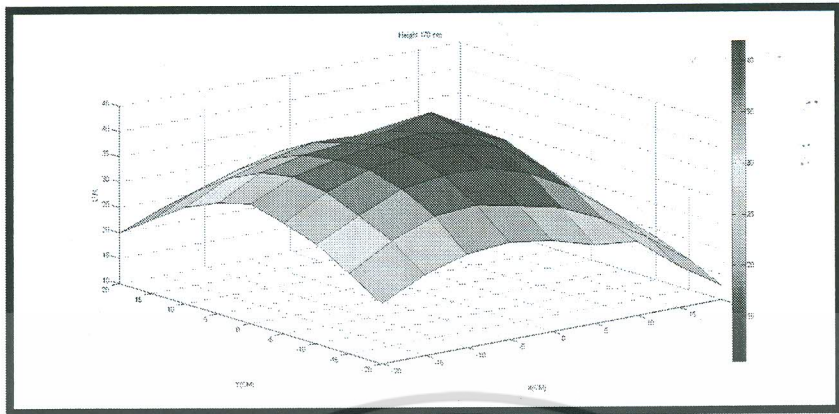
ตารางที่ 4.3. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 170 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	41.4	-	-		
5	0	1.684684	39.9	15	-5	5.313689	27.0
10	0	3.366461	36.8	15	-10	6.053343	24.9
15	0	5.042451	27.5	15	-15	7.112805	22
20	0	6.709837	20.7	15	-20	8.365886	18.2
-5	0	-1.684684	40.6	20	-5	6.914372	20.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
-10	0	-3.366461	39.3	20	-10	7.493293	18.4
-15	0	-5.042451	37.4	20	-15	8.365886	16.0
-20	0	-6.709837	33.6	20	-20	9.446233	12.9
0	5	1.684684	39.8	-5	5	-2.381817	39
0	10	3.366461	36.9	-5	10	-3.762736	37.2
0	15	5.042451	32.6	-5	15	-5.313689	33.5
0	20	6.709837	25.4	-5	20	-6.914372	26.7
0	-5	1.684684	41	-10	5	-3.762736	38.2
0	-10	3.366461	38.5	-10	10	-4.755431	35.5
0	-15	5.042451	32.9	-10	15	-6.053343	31.3
0	-20	6.709837	28	-10	20	-7.493293	25.8
5	5	2.381817	42	-15	5	-5.313689	36.2
5	10	3.762736	36.4	-15	10	-6.053343	33.1
5	15	5.313689	28.9	-15	15	-7.112805	28.6
5	20	6.914372	21.7	-15	20	-8.365886	23.4
10	5	3.762736	31.9	-20	5	-6.914372	31.9
10	10	4.755431	28.1	-20	10	-7.493293	29
10	15	6.053343	24.4	-20	15	-8.365886	24.7
10	20	7.493293	19.3	-20	20	-9.446233	20.0
15	5	5.313689	25.8	-5	5	-2.381817	40.7
15	10	6.053343	23.3	-5	10	-3.762736	38.6
15	15	7.112805	20.3	-5	15	-5.313689	34.6
15	20	8.365886	15.1	-5	20	-6.914372	29.3
20	5	6.914372	19.7	-10	-5	-3.762736	39.3
20	10	7.493293	17.6	-10	-10	-4.755431	37.4
20	15	8.365886	14.9	-10	-15	-6.053343	34.0
20	20	9.446233	10.6	-10	-20	-7.493293	28.5
5	-5	2.381817	39.2	-15	-5	-5.313689	36.4
5	-10	3.762736	35.8	-15	-10	-6.053343	33.8
5	-15	5.313689	30.9	-15	-15	-7.112805	30.8
5	-20	6.914372	25.6	-15	-20	-8.365886	26.0
10	-5	3.76273	34.0	-20	-5	-6.9143720	31.9
10	-10	4.755431	31.3	-20	-10	-7.493293	29.7
10	-15	6.053343	27.1	-20	-15	-8.365886	25.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



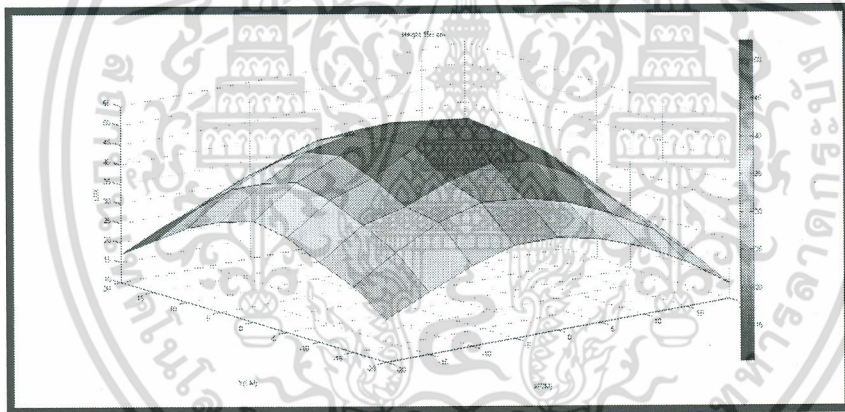
รูปที่ 4.3. แสดงความสัมพันธ์ของค่าค่า ความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 170 CM.

ตารางที่ 4.4. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 150 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	52.6	-	-		
5	0	1.684684	51.9	15	-5	5.313689	35.2
10	0	3.366461	45.3	15	-10	6.053343	31.1
15	0	5.042451	35.1	15	-15	7.112805	27.2
20	0	6.709837	25.2	15	-20	8.365886	21.3
-5	0	-1.684684	50.5	20	-5	6.914372	24.6
-10	0	-3.366461	48.5	20	-10	7.493293	22.2
-15	0	-5.042451	43.7	20	-15	8.365886	18.1
-20	0	-6.709837	35.7	20	-20	9.446233	13.9
0	5	1.684684	50.4	-5	5	-2.381817	49.2
0	10	3.366461	46.0	-5	10	-3.762736	45.2
0	15	5.042451	38.3	-5	15	-5.313689	38.3
0	20	6.709837	27.6	-5	20	-6.914372	28.1
0	-5	1.684684	52.2	-10	5	-3.762736	33.0
0	-10	3.366461	47.8	-10	10	-4.755431	28.8
0	-15	5.042451	41.2	-10	15	-6.053343	23
0	-20	6.709837	33.6	-10	20	-7.493293	17.1
5	5	2.381817	48.1	-15	5	-5.313689	51.2
5	10	3.762736	42.5	-15	10	-6.053343	28.0
5	15	5.313689	34.5	-15	15	-7.112805	42.1
5	20	6.914372	24.1	-15	20	-8.365886	33.6
10	5	3.762736	40.7	-20	5	-6.914372	39.4
10	10	4.755431	34.9	-20	10	-7.493293	31.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	15	6.053343	29.2	-20	15	-8.365886	34
10	20	7.493293	20.3	-20	20	-9.446233	31.5
15	5	5.313689	32.3	-5	5	-2.381817	41.6
15	10	6.053343	28.8	-5	10	-3.762736	37.8
15	15	7.112805	23.0	-5	15	-5.313689	33.4
15	20	8.365886	15.5	-5	20	-6.914372	25.8
20	5	6.914372	23.8	-10	-5	-3.762736	34.0
20	10	7.493293	21.0	-10	-10	-4.755431	30.3
20	15	8.365886	15.3	-10	-15	-6.053343	26.7
20	20	9.446233	10.5	-10	-20	-7.493293	20.8
5	-5	2.381817	51.0	-15	-5	-5.313689	21.3
5	-10	3.762736	46.0	-15	-10	-6.053343	24.6
5	-15	5.313689	38.1	-15	-15	-7.112805	22.2
5	-20	6.914372	31.2	-15	-20	-8.365886	18.1
10	-5	3.762736	44.1	-20	-5	-6.914372	13.9
10	-10	4.755431	40.3	-20	-10	-7.493293	49.2



รูปที่ 4.4. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 150 CM.

ตารางที่ 4.5. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 130 CM.

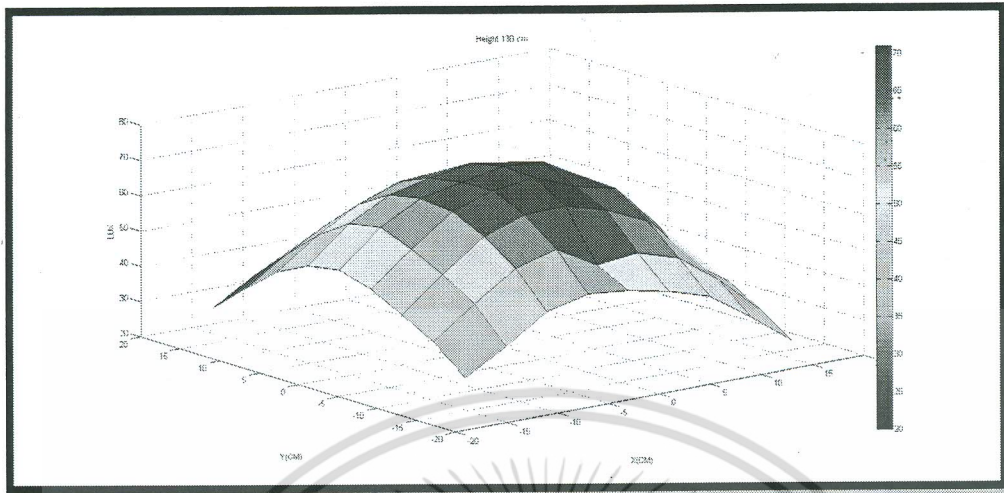
ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	52.6	-	-		
4	0	1.762391	51.9	12	-4	5.557434	50.9
8	0	3.521453	45.3	12	-8	6.330509	43.1
12	0	5.273896	35.1	12	-12	7.437493	40.3
16	0	7.016502	25.2	12	-16	8.746162	32.5
-4	0	-1.762391	50.5	16	-4	7.230193	38.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับครูโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-8	0	-3.521453	48.5	16	-8	7.834935	35.2
-12	0	-5.273896	43.7	16	-12	8.746162	29.9
-16	0	-7.016502	35.7	16	-16	9.873816	23.8
0	4	1.762391	50.4	-4	4	-2.491612	67.3
0	8	3.521453	46.0	-4	8	-3.935867	63.5
0	12	5.273896	38.3	-4	12	-5.557434	55.8
0	16	7.016502	27.6	-4	16	-7.230193	43.5
0	-4	1.762391	52.2	-8	4	-3.935867	64.7
0	-8	3.521453	47.8	-8	8	-4.973835	59.2
0	-12	5.273896	41.2	-8	12	-6.330509	50.9
0	-16	7.016502	33.6	-8	16	-7.834935	40.8
4	4	2.491612	48.1	-12	4	-5.557434	58.6
4	8	3.935867	42.5	-12	8	-6.330509	52.6
4	12	5.557434	34.5	-12	12	-7.437493	44.4
4	16	7.230193	24.1	-12	16	-8.746162	35.9
8	4	3.935867	40.7	-16	4	-7.230193	48.9
8	8	4.973835	34.9	-16	8	-7.834935	44.4
8	12	6.330509	29.2	-16	12	-8.746162	36.8
8	16	7.834935	20.3	-16	16	-9.873816	28.8
12	4	5.557434	32.3	-4	-4	-2.491612	51.2
12	8	6.330509	28.8	-4	-8	-3.935867	48.0
12	12	7.437493	23.0	-4	-12	-5.557434	42.1
12	16	8.746162	15.5	-4	-16	-7.230193	33.6
16	4	7.230193	23.8	-8	-4	-3.935867	39.4
16	8	7.834935	21.0	-8	-8	-4.973835	31.5
16	12	8.746162	15.3	-8	-12	-6.330509	34.0
16	16	9.873816	10.5	-8	-16	-7.834935	31.5
4	-4	2.491612	51.0	-12	-4	-5.557434	41.6
4	-8	3.935867	46.0	-12	-8	-6.330509	37.8
4	-12	5.557434	38.1	-12	-12	-7.437493	33.4
4	-16	7.230193	31.2	-12	-16	-8.746162	25.8
8	-4	3.935867	44.1	-16	-4	-7.230193	34.0
8	-8	4.973835	40.3	-16	-8	-7.834935	30.3
8	-12	6.330509	33.2	-16	-12	-8.746162	26.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



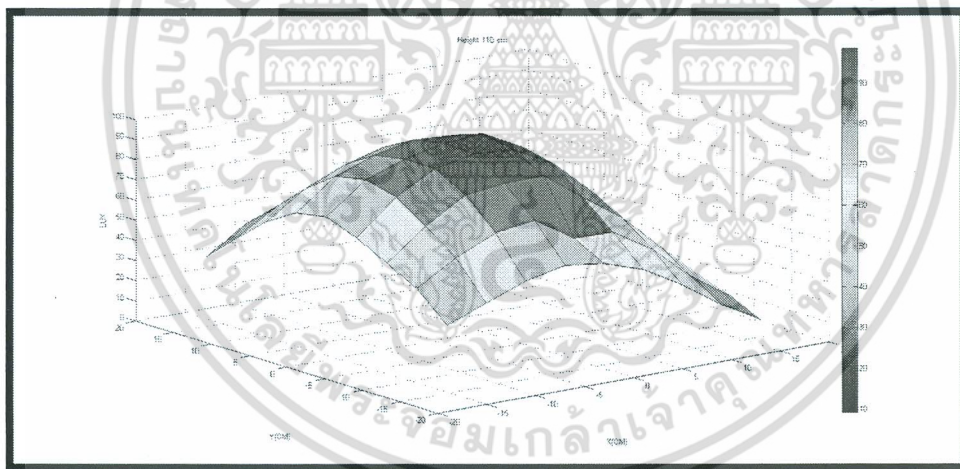
รูปที่ 4.5. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 130 CM

ตารางที่ 4.6. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 110 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	98.6	-	-		
4	0	2.082565	88.2	12	-4	6.559739	45.9
8	0	4.159642	69.7	12	-8	7.469498	40.3
12	0	6.225829	47.8	12	-12	8.770323	30.8
16	0	8.275893	28.9	12	-16	10.30485	21.3
-4	0	-2.082565	97.2	16	-4	8.526906	28.1
-8	0	-4.159642	92.6	16	-8	9.236759	22.8
-12	0	-6.225829	86.0	16	-12	10.30485	17.5
-16	0	-8.275893	71.2	16	-16	11.62382	10.5
0	4	2.082565	93.2	-4	4	-2.943896	94.3
0	8	4.159642	83.3	-4	8	-4.648583	86.2
0	12	6.225829	69.2	-4	12	-6.559739	70.3
0	16	8.275893	44.6	-4	16	-8.526906	48.3
0	-4	2.082565	94.9	-8	4	-4.648583	90.3
0	-8	4.159642	86.7	-8	8	-5.872331	80.7
0	-12	6.225829	60.1	-8	12	-7.469498	66.4
0	-16	8.275893	52.2	-8	16	-9.236759	47.5
4	4	2.943896	81.8	-12	4	-6.559739	83.2
4	8	4.648583	71.2	-12	8	-7.469498	72.3
4	12	6.559739	56.5	-12	12	-8.770323	58.4
4	16	8.526906	36.7	-12	16	-10.30485	45.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	4	4.648583	64.1	-16	4	-8.526906	68.5
8	8	5.872331	55.8	-16	8	-9.236759	59.7
8	12	7.469498	44.0	-16	12	-10.30485	46.9
8	16	9.236759	28.3	-16	16	-11.62382	32.8
12	4	6.559739	47.0	-4	-4	-2.943896	96.4
12	8	7.469498	40.0	-4	-8	-4.648583	86.3
12	12	8.770323	29.0	-4	-12	-6.559739	72.5
12	16	10.30485	16.8	-4	-16	-8.526906	55.0
16	4	8.526906	28.2	-8	-4	-4.648583	92.5
16	8	9.236759	22.9	-8	-8	-5.872331	84.1
16	12	10.30485	15.6	-8	-12	-7.469498	70.0
16	16	11.62382	9.2	-8	-16	-9.236759	50.4
4	-4	2.943896	84.6	-12	-4	-6.559739	82.0
4	-8	4.648583	72.4	-12	-8	-7.469498	72.0
4	-12	6.559739	59.6	-12	-12	-8.770323	61.0
4	-16	8.526906	45.9	-12	-16	-10.30485	43.3
8	-4	4.648583	67.0	-16	-4	-8.526906	65.4
8	-8	5.872331	58.6	-16	-8	-9.236759	57.3



รูปที่ 4.6. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 110 CM.

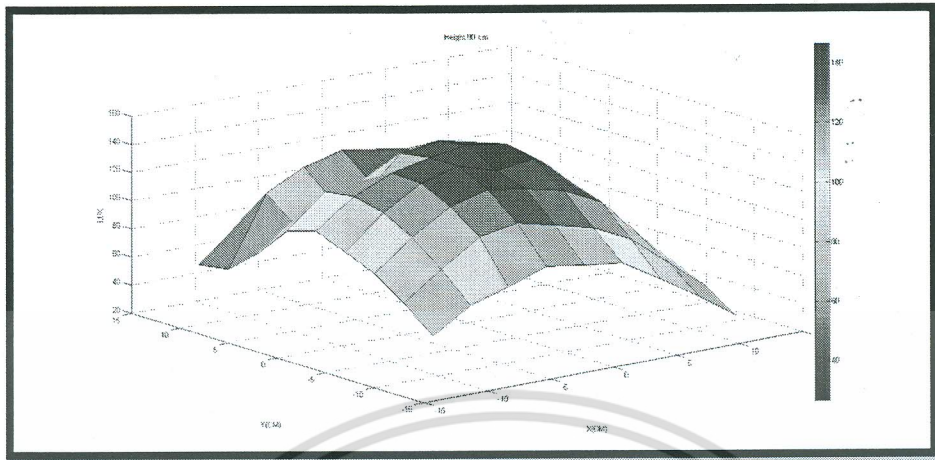
ตารางที่ 4.7. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 90 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	146.5	-	-		
3	0	1.909152	142.3	9	-3	6.017285	88.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	0	3.814075	124.0	9	-6	6.853225	79.3
9	0	5.710593	94.2	9	-9	8.049467	66.4
12	0	7.594643	67.0	9	-12	9.462322	49.4
-3	0	-1.909152	142.3	12	-3	7.825526	61.6
-6	0	-3.814075	136.7	12	-6	8.478713	53.4
-9	0	-5.710593	124.8	12	-9	9.462322	44.4
-12	0	-7.594643	105	12	-12	10.67841	30.6
0	3	1.909152	143.2	-3	3	-2.698951	139.4
0	6	3.814075	131.8	-3	6	-4.262693	128.9
0	9	5.710593	112.2	-3	9	-6.017285	111.5
0	12	7.594643	82.5	-3	12	-7.825526	83.1
0	-3	1.909152	114.5	-6	3	-4.262693	113.3
0	-6	3.814075	127.7	-6	6	-5.385977	121.5
0	-9	5.710593	108.6	-6	9	-6.853225	103.5
0	-12	7.594643	86.1	-6	12	-8.478713	77.6
3	3	2.698951	135.1	-9	3	-6.017285	121.9
3	6	4.262693	118.2	-9	6	-6.853225	108.2
3	9	6.017285	101.8	-9	9	-8.049467	91.6
3	12	7.825526	75.2	-9	12	-9.462322	69.5
6	3	4.262693	111.5	-12	3	-7.825526	98.7
6	6	5.385977	100.2	-12	6	-8.478713	59.1
6	9	6.853225	81.1	-12	9	-9.462322	76.2
6	12	8.478713	58.7	-12	12	-10.67841	55.7
9	3	6.017285	87.9	-3	-3	-2.698951	142.6
9	6	6.853225	79.0	-3	-6	-4.262693	132.2
9	9	8.049467	63.1	-3	-9	-6.017285	115.1
9	12	9.462322	43.8	-3	-12	-7.825526	90.1
12	3	7.825526	63.5	-6	-3	-4.262693	135.9
12	6	8.478713	55.9	-6	-6	-5.385977	125.4
12	9	9.462322	41.2	-6	-9	-6.853225	110.1
12	12	10.67841	26.6	-6	-12	-8.478713	81.0
3	-3	2.698951	137.8	-9	-3	-6.017285	119.7
3	-6	4.262693	121.8	-9	-6	-6.853225	108.7
3	-9	6.017285	101.5	-9	-9	-8.049467	92.2
3	-12	7.825526	82.9	-9	-12	-9.462322	72.6
6	-3	4.262693	115.2	-12	-3	-7.825526	96.8
6	-6	5.385977	108.2	-12	-6	-8.478713	87.9
6	-9	6.853225	88.5	-12	-9	-9.462322	73.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



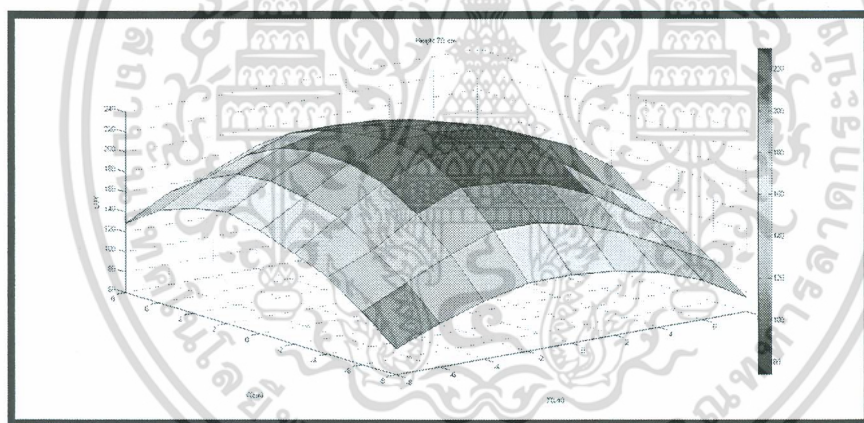
รูปที่ 4.7. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากสี่เหลี่ยม
(Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 90 CM.

ตารางที่ 4.8. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 70 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	230	-	-		
2	0	1.636577	225	6	-2	5.162701	165
4	0	3.270488	210	6	-4	5.881621	145
6	0	4.899092	193	6	-6	6.911576	122
8	0	6.519802	163	6	-8	8.130102	99
-2	0	1.636577	229	12	-2	6.71865	139
-4	0	-3.270488	214	12	-4	7.28153	121
-6	0	-4.899092	188	12	-6	8.130102	100
-8	0	-6.519802	162	12	-8	9.181002	74
0	2	1.636577	225	-2	2	-2.31384	225
0	4	3.270488	216	-2	4	-3.655525	219
0	6	4.899092	206	-2	6	-5.162701	206
0	8	6.519802	187	-2	8	-6.71865	183
0	-2	1.636577	225	-4	2	-3.655525	216
0	-4	3.270488	200	-4	4	-4.620158	209
0	-6	4.899092	170	-4	6	-5.881621	191
0	-8	6.519802	128	-4	8	-7.28153	165
2	2	2.31384	222	-6	2	-5.162701	194
2	4	3.655525	214	-6	4	-5.881621	191
2	6	5.162701	203	-6	6	-6.911576	175
2	8	6.71865	183	-6	8	-8.130102	152
4	2	3.655525	210	-8	2	-6.71865	171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	4	4.620158	201	-8	4	-7.28153	164
4	6	5.881621	187	-8	6	-8.130102	152
4	8	7.28153	163	-8	8	-9.181002	129
6	2	5.162701	184	-2	-2	-2.31384	222
6	4	5.881621	178	-2	-4	-3.655525	203
6	6	6.911576	162	-2	-6	-5.162701	170
6	8	8.130102	144	-2	-8	-6.71865	128
8	2	6.71865	159	-4	-2	-3.655525	205
8	4	7.28153	149	-4	-4	-4.620158	184
8	6	8.130102	139	-4	-6	-5.881621	154
8	8	9.181002	115	-4	-8	-7.28153	118
2	-2	2.31384	216	-6	-2	-5.162701	178
2	-4	3.655525	190	-6	-4	-5.881621	156
2	-6	5.162701	160	-6	-6	-6.911576	134
2	-8	6.71865	124	-6	-8	-8.130102	104
4	-2	3.655525	195	-8	-2	-6.71865	150
4	-4	4.620158	172	-8	-4	-7.28153	137



รูปที่ 4.8. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 70 CM.

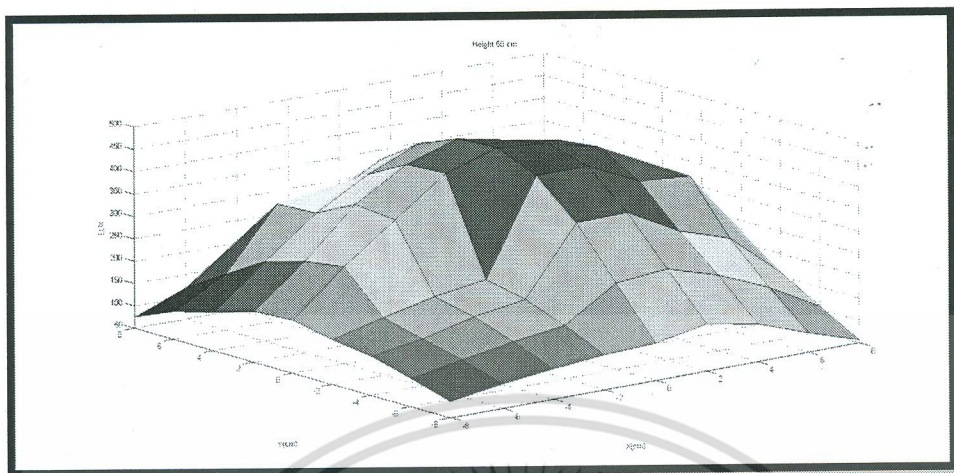
ตารางที่ 4.9. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 50 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	471	-	-		
2	0	2.29061	466	6	-2	7.209121	370
4	0	4.573921	430	6	-4	8.206727	256
6	0	6.842773	368	6	-6	9.631652	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	0	9.090277	246	6	-8	11.30993	94
-2	0	-2.29061	434	12	-2	9.365159	206
-4	0	-4.573921	351	12	-4	10.14211	158
-6	0	-6.842773	267	12	-6	11.30993	108
-8	0	-9.090277	168	12	-8	12.74985	57
0	2	2.29061	461	-2	2	-3.237688	429
0	4	4.573921	431	-2	4	-5.11109	382
0	6	6.842773	353	-2	6	-7.209121	302
0	8	9.090277	274	-2	8	9.365159	228
0	-2	2.29061	433	-4	2	-5.11109	361
0	-4	4.573921	353	-4	4	-6.45483	317
0	-6	6.842773	243	-4	6	-8.206727	362
0	-8	9.090277	134	-4	8	-10.14211	188
2	2	3.237688	443	-6	2	-7.209121	255
2	4	5.11109	417	-6	4	-8.206727	229
2	6	7.209121	357	-6	6	-9.631652	175
2	8	9.365159	257	-6	8	-11.30993	121
4	2	5.11109	421	-8	2	-9.365159	162
4	4	6.45483	384	-8	4	-10.14211	136
4	6	8.206727	316	-8	6	11.30993	113
4	8	10.14211	228	-8	8	-12.74985	75
6	2	7.209121	350	-2	-2	-3.237688	222
6	4	8.206727	317	-2	-4	-5.11109	203
6	6	9.631652	257	-2	-6	7.209121	170
6	8	11.30993	179	-2	-8	-9.365159	128
8	2	9.365159	241	-4	-2	-5.11109	205
8	4	10.14211	231	-4	-4	-6.45483	184
8	6	11.30993	193	-4	-6	-8.206727	154
8	8	12.74985	119	-4	-8	-10.14211	118
2	-2	3.237688	433	-6	-2	-7.209121	178
2	-4	5.11109	356	-6	-4	-8.206727	156
2	-6	7.209121	254	-6	-6	-9.631652	134
2	-8	9.365159	156	-6	-8	-11.30993	104
4	-2	5.11109	380	-8	-2	-9.365159	150
4	-4	6.45483	293	-8	-4	-10.14211	137
4	-6	8.206727	220	-8	-6	-11.30993	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

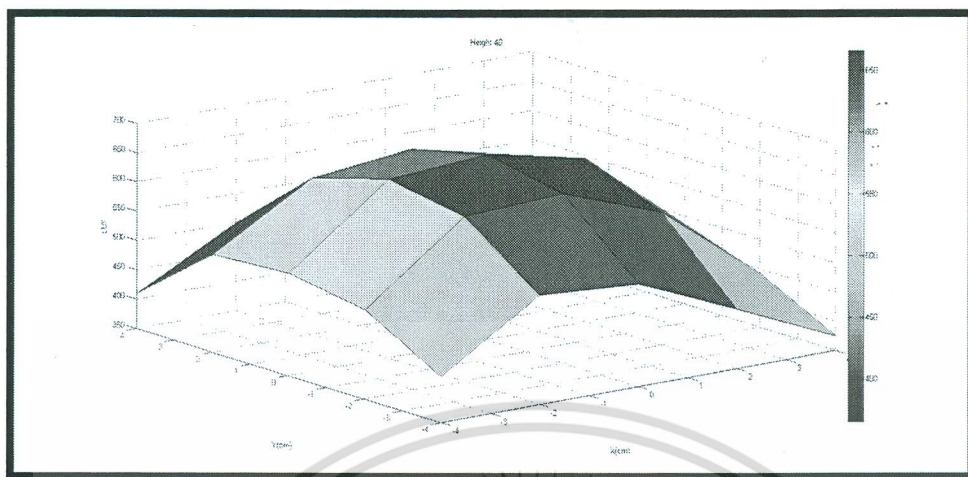


รูปที่ 4.9. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากสี่สัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 50 CM.

ตารางที่ 4.10. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 40 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	666	-	-		
2	0	2.862405	629	2	-2	4.04469	577
4	0	5.710593	484	2	-4	6.37937	452
-2	0	-2.862405	655	4	-2	6.37937	442
-4	0	-5.710593	548	4	-4	8.049467	375
0	2	2.862405	635	-2	2	-4.04469	617
0	4	5.710593	529	-2	4	-6.37937	500
0	-2	2.862405	640	-4	2	-6.37937	517
0	-4	5.710593	525	-4	4	-8.04946	410
2	2	4.044691	589	-2	-2	-4.04469	632
2	4	6.37937	484	-2	-4	-6.37937	537
4	2	6.37937	454	-4	-2	-6.37937	503
4	4	8.049467	365	-4	-4	-8.049467	429

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

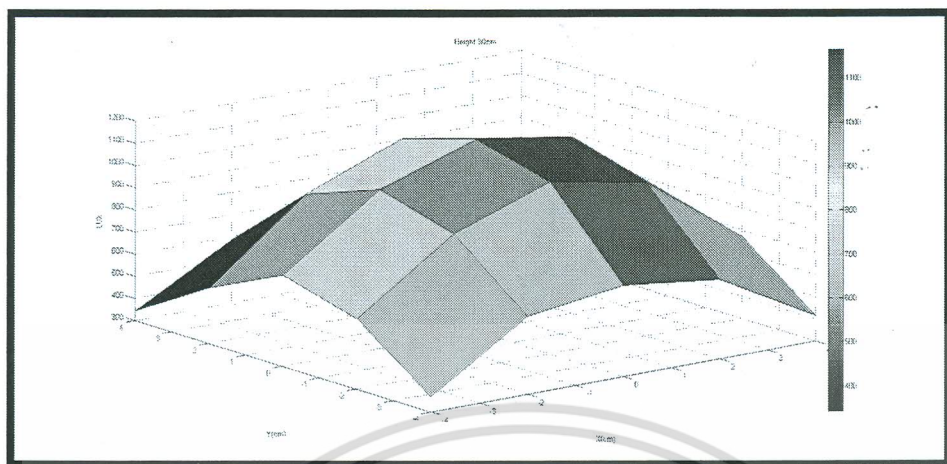


รูปที่ 4.10. แสดงความสัมพันธ์ของค่าค่า ความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากาส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 40 CM.

ตารางที่ 4.11. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของ โมเดลต้นแบบที่ระยะ 30 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	1165	-	-		
2	0	3.814075	1097	2	-2	5.385977	996
4	0	7.594643	758	2	-4	8.478713	658
-2	0	-3.814075	1019	4	-2	8.478713	672
-4	0	-7.594643	683	4	-4	10.67841	416
0	2	3.814075	1064	-2	2	-5.385977	895
0	4	7.594643	705	-2	4	-8.478713	587
0	-2	3.814075	1077	-4	2	-8.478713	551
0	-4	7.594643	711	-4	4	-10.67841	343
2	2	5.385977	989	-2	-2	-5.385977	922
2	4	8.478713	620	-2	-4	-8.478713	650
4	2	8.478713	666	-4	-2	-8.478713	616
4	4	10.67841	380	-4	-4	-10.67841	369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

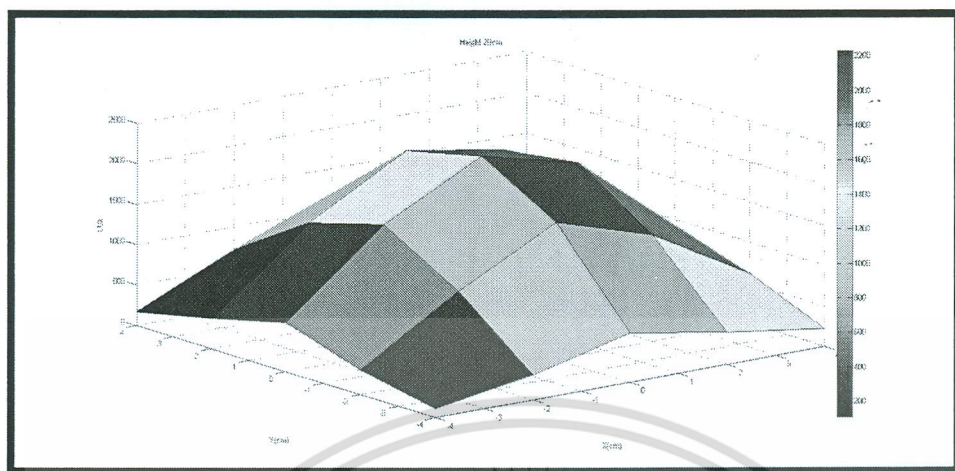


รูปที่ 4.11. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรถ่ายสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 30 CM.

ตารางที่ 4.12. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 20 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	2230	-	-		
2	0	5.710593	1930	2	-2	8.049467	1320
4	0	11.30993	860	2	-4	12.60438	400
-2	0	-5.710593	1600	4	-2	12.60438	620
-4	0	-11.30993	600	4	-4	15.79317	220
0	2	5.710593	2010	-2	2	-8.049467	1340
0	4	11.30993	1100	-2	4	-12.60438	720
0	-2	5.710593	1700	-4	2	-12.60438	370
0	-4	11.30993	610	-4	4	-15.79317	170
2	2	8.049467	1800	-2	-2	-8.049467	1060
2	4	12.60438	690	-2	-4	-12.60438	320
4	2	12.60438	830	-4	-2	-12.60438	310
4	4	15.79317	340	-4	-4	-15.79317	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

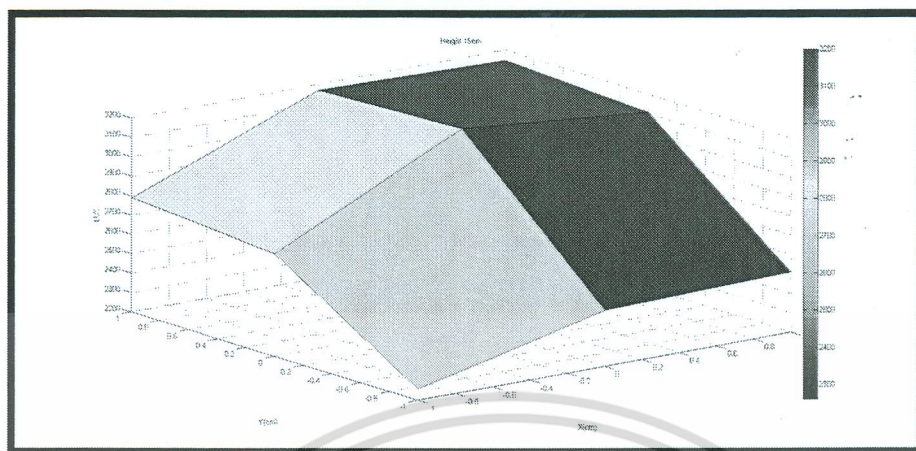


รูปที่ 4.12. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรากสี่สัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 20 CM.

ตารางที่ 4.13. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 15 CM.

ตำแหน่ง		HALF ANGLE	LUX	ตำแหน่ง		HALF ANGLE	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	3200	-	-		
1	0	3.814075	3110	1	1	5.385977	3150
-1	0	-3.814075	2730	1	-1	5.385977	2510
0	1	3.814075	3170	-1	1	-5.385977	2790
0	-1	3.814075	2490	-1	-1	-5.385977	2260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

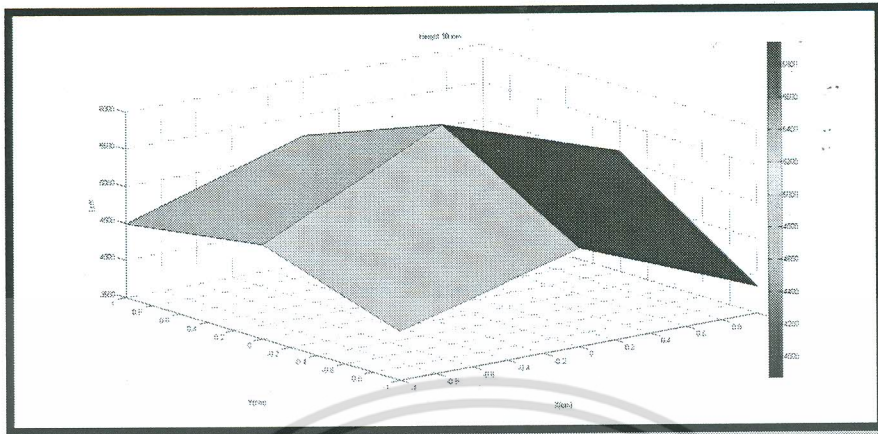


รูปที่ 4.13. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรรภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 15 CM.

ตารางที่ 4.14. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 10 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	5940	-	-		
1	0	5.71059	5130	1	1	8.049467	4170
-1	0	-5.71059	4770	1	-1	8.049467	3870
0	1	5.71059	5230	-1	1	-8.049467	4490
0	-1	5.71059	4830	-1	-1	-8.049467	4170

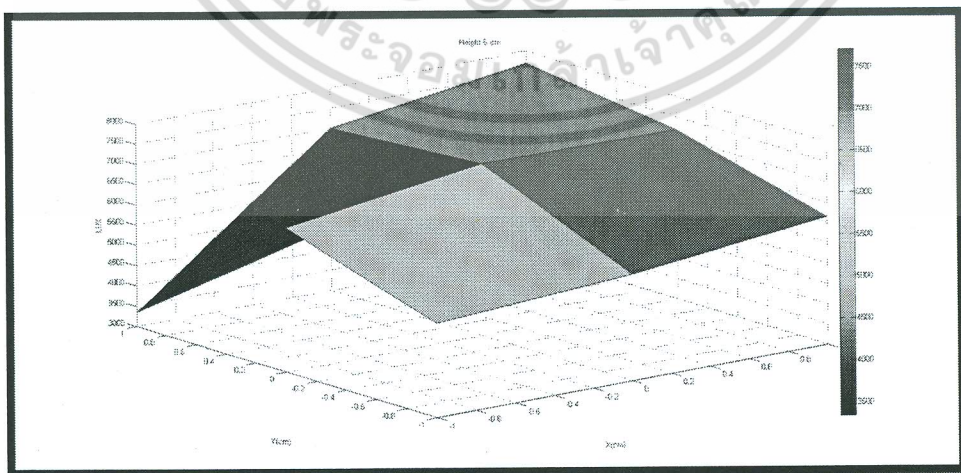
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจระภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 10 CM.

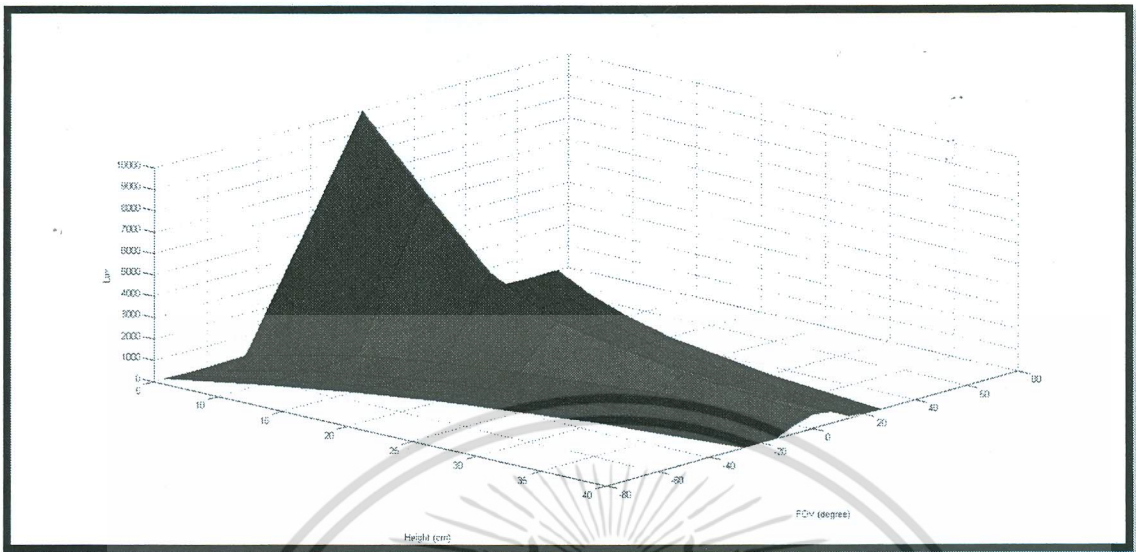
ตารางที่ 4.15. ผลทดลองและประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ ของโมเดลต้นแบบที่ระยะ 5 CM.

ตำแหน่ง		FOV	LUX	ตำแหน่ง		FOV	LUX
X	Y			X	Y		
0	0	0	7246	-	-		
1	0	11.30993	7180	1	1	15.79317	7710
-1	0	-11.30993	6550	1	-1	15.79317	6140
0	1	11.30993	7000	-1	1	-15.79317	3340
0	-1	11.30993	5640	-1	-1	-15.79317	5330

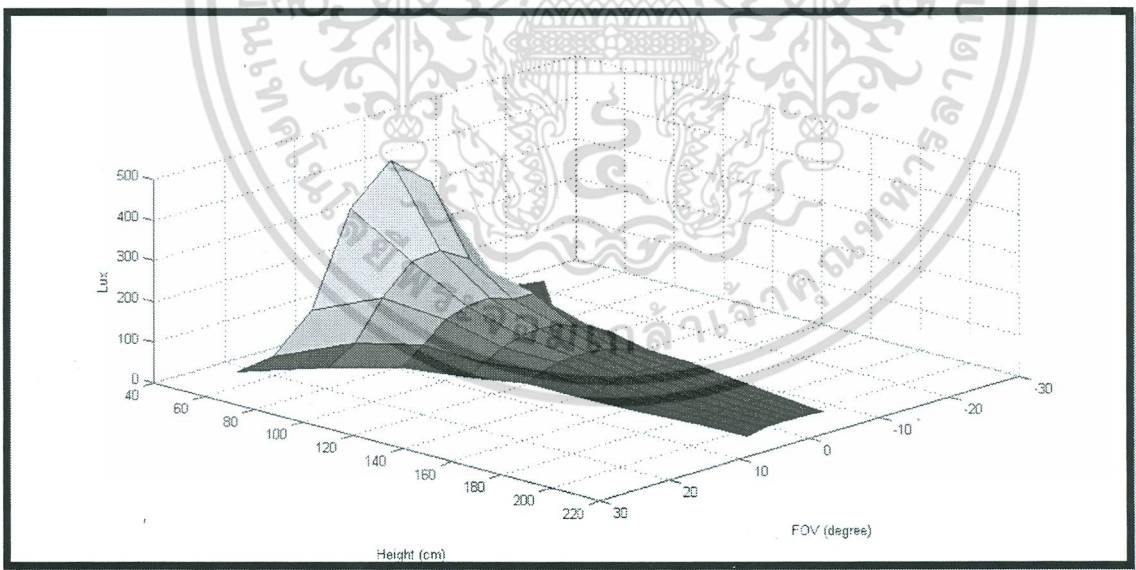


รูปที่ 4.15. แสดงความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจระภาคส่งสัญญาณ (Illumination Transmission) กับตำแหน่ง (X,Y) ที่ระดับความสูง 5 CM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง ความสูง และ มุม field of view (FOV) ที่ระยะความสูง 5-40cm



รูปที่ 4.17. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง ความสูง และ มุม field of view (FOV) ที่ระยะความสูง 50-210cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็ว (อัตราบิต) ในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) โดยใช้ตัวรับแสงชนิดที่ 1 VBPW24R Photodiode และตัวรับแสงชนิดที่ 2 FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ

4.2.1 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ

ตารางที่ 4.16. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 50CM, R=484 KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	4800	-	-
2.290610	4800	-2.290610	2400
3.237688	4800	-3.237688	2400
4.573921	4800	-4.573921	1200
5.111090	4200	-5.111090	300
6.454830	2400	-6.454830	0
7.209121	1200	-7.209121	0
6.842773	2400	-6.842773	0
8.206727	450	-8.206727	0
9.090277	0	-9.090277	0

ตารางที่ 4.17. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 40C ,R=356KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	14400	-	-
2.862405	14400	-2.862405	9600
4.044691	9600	-4.044691	7200
5.710593	9600	-5.710593	1200
6.379370	7800	-6.379370	1800
8.049467	2400	-8.049467	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 30CM, R=200KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	28800	-	-
3.814075	28800	-3.814075	19600
5.385977	24200	-5.385977	9600
7.594643	4800	-7.594643	1200
8.478713	4200	-8.478713	0
10.67841	0	-10.67841	0

ตารางที่ 4.19. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 20CM, R=110KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	57600	-	-
5.710593	47550	-5.710593	9600
8.049467	35550	-8.049467	14400
11.30993	2400	-11.30993	0
12.60438	1200	-12.60438	0

ตารางที่ 4.20. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 15CM, R=65KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	57600	-	-
3.814075	57600	-3.814075	57600
5.385977	38400	-5.385977	29000

ตารางที่ 4.21. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 10 CM, R=30.6KΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

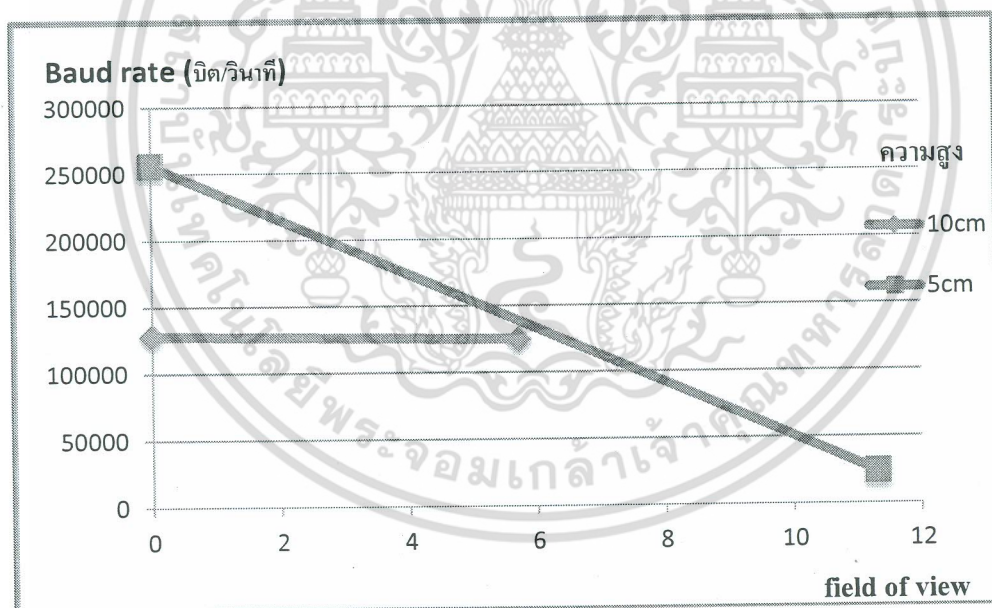
HALF ANGLE	BAUD RATE
0	128000
8.04947	128000
5.71059	0

HALF ANGLE	BAUD RATE
-	-
-8.04947	121600
-5.71059	0

ตารางที่ 4.22. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง VBPW24R Photodiode ที่ความสูง 5CM,R=12K Ω

FOV	BAUD RATE
0	256000
11.3099	28800
15.7932	0

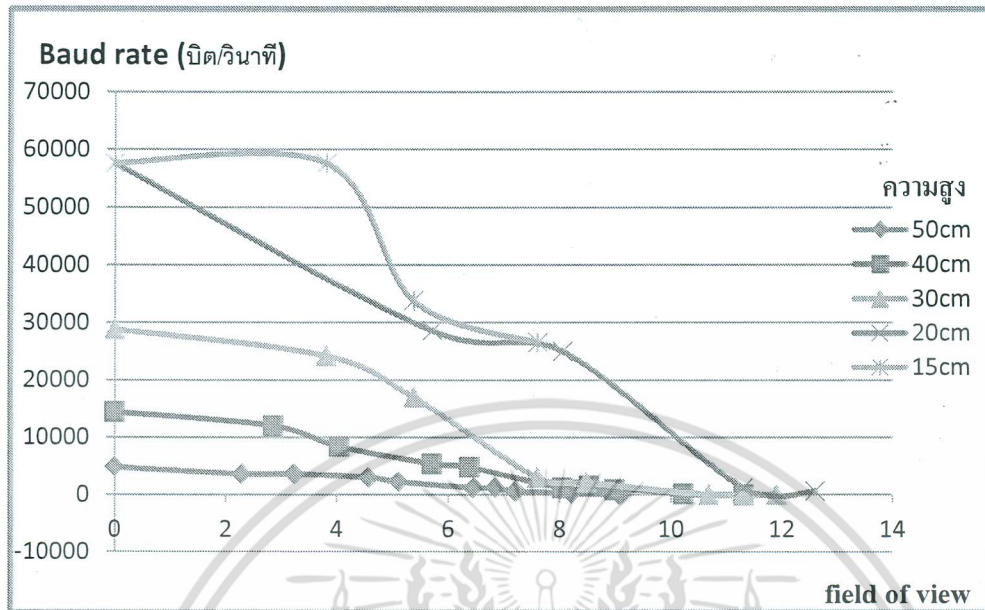
FOV	BAUD RATE
-	-
-11.3099	19200
-15.7932	0



กราฟที่ 4.18.กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง มุม field of view (FOV) และ Baud rates ที่ระยะความสูง

5,10 CM. ของ VBPW24R Photodiode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.19. กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง มุมfield of view (FOV)และ Baud rates ที่ระยะความสูง 15,20,30,40,50 CM ของ VBPW24R photodiode

4.2.2. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (baud rates)

แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆ

ตารางที่ 4.23. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 210CM. ,R=484KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	1200	-	-
1.363927532	1200	-1.363927532	1200
1.928520625	1200	-1.928520625	1200
2.726310994	1200	-2.726310994	1200
3.047533696	1200	-3.047533696	1200
3.852681365	1200	-3.852681365	1200
4.305808282	900	-4.305808282	1200
4.08561678	900	-4.08561678	1050
4.906610105	900	-4.906610105	900
5.440332031	600	-5.440332031	900
5.606714848	600	-5.606714848	900
5.768181186	600	-5.768181186	900
6.077920619	300	-6.077920619	750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 190CM., R=484K Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	1200	-	-
1.507435759	1200	-1.507435759	1200
2.13134448	1200	-2.13134448	1200
3.012787504	1200	-3.012787504	1200
3.367623452	1200	-3.367623452	1200
4.256806676	1200	-4.256806676	1200
4.757069595	1200	-4.757069595	1200
4.513988458	1200	-4.513988458	1200
5.420164707	1050	-5.420164707	1200
6.009005957	900	-6.009005957	1200
6.19252593	900	-6.19252593	1050
6.370601131	900	-6.370601131	900
6.712138565	750	-6.712138565	900
7.49585764	300	-7.49585764	750
8.467132095	300	-8.467132095	300

ตารางที่ 4.25. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 170CM., R=484K Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	2400	-	-
1.684684	2400	-9.44623	2400
2.381817	2400	-8.36589	2400
3.366461	2400	-7.49329	2400
3.762736	2100	-7.11281	2400
4.755431	1800	-6.91437	1800
5.313689	1500	-6.70984	1800
5.042451	1200	-6.05334	1500
6.053343	1200	-5.31369	1200
6.709837	900	-5.04245	1200
6.914372	900	-4.75543	1050
7.112805	900	-3.76274	900
7.493293	900	-3.36646	900
8.365886	450	-2.38182	750
9.446233	300	-1.68468	300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 150CM.,R=385KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	2400	-	-
1.909152433	2400	-1.909152433	2400
2.698950909	2400	-2.698950909	2400
3.814074834	2400	-3.814074834	2400
4.262693045	2100	-4.262693045	2400
5.385977099	1800	-5.385977099	1800
5.710593137	1500	-5.710593137	1800
6.017284864	1200	-6.017284864	1500
6.853224835	1200	-6.853224835	1200
7.594643369	900	-7.594643369	1200
7.825525625	900	-7.825525625	1050
8.049466976	900	-8.049466976	900
8.478713147	900	-8.478713147	900
9.462322208	450	-9.462322208	750
10.67841492	300	-10.67841492	300

ตารางที่ 4.27 ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 130CM.,R=280KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	4800	-	-
1.762391024	4800	-1.762391024	4800
2.491611823	4800	-2.491611823	4800
3.521453377	3600	-3.521453377	4800
3.935866851	3600	-3.935866851	4800
4.973835334	2400	-4.973835334	2400
5.557433917	2100	-5.557433917	2400
5.273895957	2400	-5.273895957	2100
6.330509401	1500	-6.330509401	1800
7.016501745	600	-7.016501745	1200
7.230192839	750	-7.230192839	900
7.437492753	600	-7.437492753	900
7.834934925	450	-7.834934925	750
8.746162263	0	-8.746162263	0
9.873815697	0	-9.873815697	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 110CM.,R=200K Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	9600	-	-
2.08256528	4800	-2.08256528	7200
2.943896419	4800	-2.943896419	7200
4.159642294	3600	-4.159642294	4800
4.648582565	3600	-4.648582565	4200
5.872330774	3000	-5.872330774	3000
6.559739205	2100	-6.559739205	3600
6.225829064	1200	-6.225829064	2100
7.469498416	1200	-7.469498416	1200
8.275892827	0	-8.275892827	1200
8.526905525	600	-8.526905525	900
8.770322786	1200	-8.770322786	0
9.236759197	300	-9.236759197	0
10.30484647	0	-10.30484647	300
11.62381883	0	-11.62381883	1200

ตารางที่ 4.29. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 90CM.,R=115K Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	14400	-	-
1.909152433	9600	-1.909152433	9600
2.698950909	9600	-2.698950909	9600
3.814074834	4800	-3.814074834	7200
4.262693045	6000	-4.262693045	6000
5.385977099	3600	-5.385977099	3600
6.017284864	3000	-6.017284864	4800
5.710593137	1200	-5.710593137	3300
6.853224835	1800	-6.853224835	2400
7.594643369	1200	-7.594643369	2400
7.825525625	600	-7.825525625	900
8.049466976	1200	-8.049466976	1200
8.478713147	300	-8.478713147	0
9.462322208	0	-9.462322208	0
10.67841492	0	-10.67841492	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 70CM.,R=73K Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	19200	-	-
1.636577042	19200	-1.636577042	19200
2.313840414	19400	-2.313840414	17000
3.270487923	14400	-3.270487923	14400
3.655524979	15700	-3.655524979	12000
4.620158166	12000	-4.620158166	9600
5.162701244	10800	-5.162701244	9600
4.899092454	12000	-4.899092454	6000
5.881620561	9600	-5.881620561	3600
6.519801752	7200	-6.519801752	2400
6.718650453	7200	-6.718650453	1800
6.911576313	4800	-6.911576313	1200
7.281529855	4800	-7.281529855	600
8.130102354	3000	-8.130102354	0
9.181002364	0	-9.181002364	19200

ตารางที่ 4.31. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 50CM.,R=33K Ω

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	56000	-	-
2.290610	38400	-2.290610	47200
3.237688	29000	-3.237688	47200
4.573921	29000	-4.573921	29000
5.111090	12100	-5.111090	28900
6.454830	4800	-6.454830	17000
7.209121	2400	-7.209121	12200
6.842773	7200	-6.842773	12000
8.206727	0	-8.206727	7300
9.090277	0	-9.090277	0
9.365159	0	-9.365159	7200
9.631652	0	-9.631652	0
10.14211	0	-10.14211	3600
11.30993	0	-11.30993	0
12.74985	0	-12.74985	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.32. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 40 CM.,R=25KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	57600	-	-
2.862405	57600	-2.862405	57600
4.044691	57600	-4.044691	57600
5.710593	38400	-5.710593	38400
6.37937	26400	-6.37937	26400
8.049467	9600	-8.049467	7200

ตารางที่ 4.33. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 30CM.,R=12KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	128000	-	-
3.814075	121600	-3.814075	92800
5.385977	48000	-5.385977	57600
7.594643	28800	-7.594643	14400
8.478713	0	-8.478713	3600
10.67841	0	-10.67841	0

ตารางที่ 4.34. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 20CM.,R=5.31KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	128000	-	-
5.710593	128000	-5.710593	47800
8.049467	64000	-8.049467	9600
11.30993	0	-11.30993	0
12.60438	0	-12.60438	0
15.79317	0	-15.79317	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.35. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 15CM.,R=2.5KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	256000	-	-
3.814075	256000	-3.814075	128000
5.385977	192000	-5.385977	128000

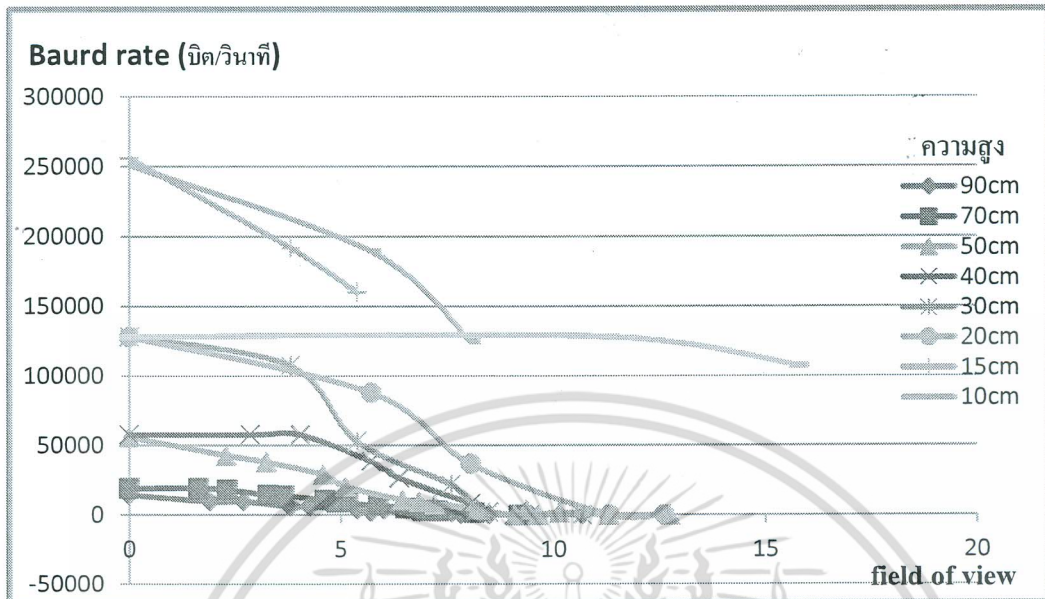
ตารางที่ 4.36. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 10CM.,R=0KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	251000	-	-
8.04947	251000	-8.04947	121600
5.71059	128000	-5.71059	128000

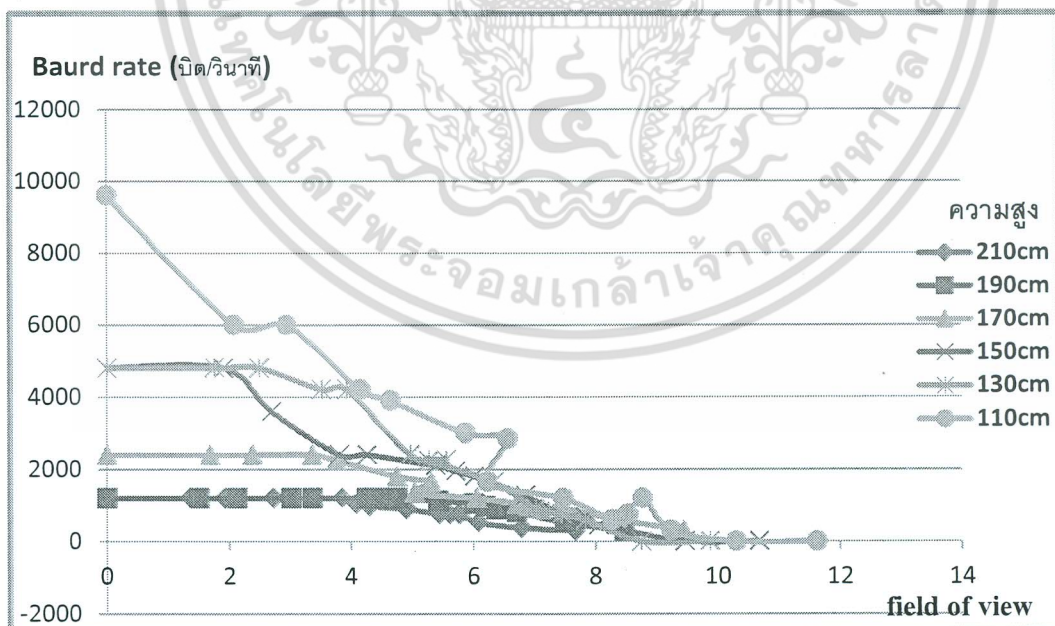
ตารางที่ 4.37. ผลทดลองและประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในรับ-ส่งข้อมูล (baud rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) เมื่อใช้ตัวรับแสง FDS10x10 Photodiode ที่ความสูง 5CM.,R=0KΩ

FOV	BAUD RATE	FOV	BAUD RATE
0	128000	-	-
11.3099	128000	-11.3099	121600
15.7932	92800	-15.7932	128000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20. กราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง มุมfield of view (FOV)และ Baud rates ที่ระยะความสูง 90,70,50,40,30,20,15,10,5 เซนติเมตร ของ FDS10X10 Photo diode



รูปที่ 4.21. กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง มุมfield of view (FOV) และ Baud rates ที่ระยะความสูง 210,190,170,150,130,110 CM ของ FDS10X10 Photodiode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ทดสอบส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ เช่น ภาพ เสียง และวิดีโอ โดยใช้ตัวรับแสงชนิดที่ 2 คือ

FDS10x10 Photodiode และใช้โปรแกรม Hyper Terminal โดยใช้อัตราบิตในการรับ-ส่งข้อมูล
หลายๆค่า พร้อมทั้งบันทึกเวลาของการรับ-ส่งข้อมูลเหล่านั้น

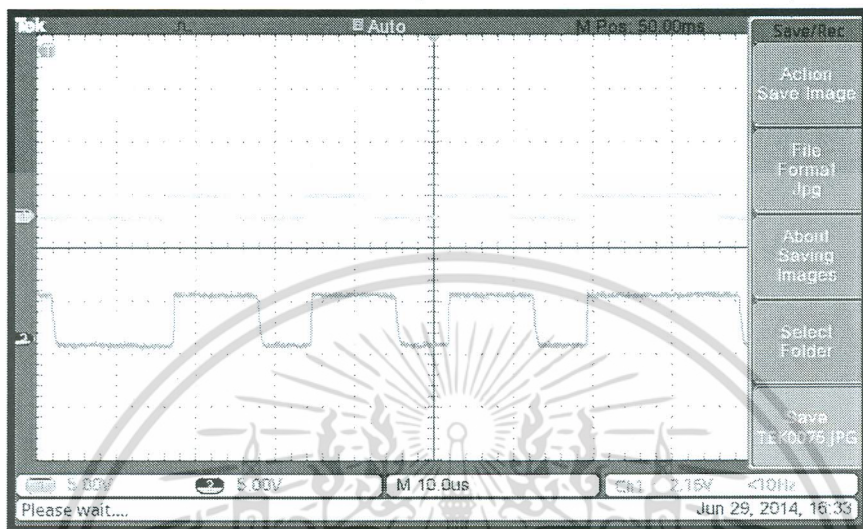
ตารางที่ 4.38. ผลการทดสอบส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ เช่น ภาพ เสียง และวิดีโอ โดยใช้อัตราบิตใน
การรับ-ส่งข้อมูลหลายๆค่า ดังนี้ 128000 bps, 576000 bps, 19200 bps, 9600 bps ที่ระยะความสูง
20 cm.

File type	Size (KB)	Total time (Hr:min:sec)			
		128000 bps	576000 bps	19200 bps	9600 bps
.jpg	10	00.00.00	00.00.01	00.00.04	00.00.10
.xhtml	52	00.00.04	00.00.09	00.00.29	00.01.01
.jpg	162	00.00.14	00.00.31	00.01.28	00.02.57
.jpg	227	00.00.21	00.00.40	00.02.04	00.04.06
.jpg	309	00.00.28	00.00.56	00.02.49	00.05.42
.ppt	427	00.00.38	00.01.14	00.03.54	00.07.52
.pdf	529	00.00.48	00.01.37	00.04.50	00.09.41
.wmp	615	00.00.59	00.01.53	00.05.38	00.11.08
.ppt	718	00.01.11	00.02.18	00.06.51	00.13.57
.pdf	857	00.01.18	00.02.35	00.07.51	00.15.39
.pdf	931	00.01.27	00.02.50	00.08.31	00.16.58
.mp4	1380	00.02.08	00.04.13	00.12.40	00.25.25

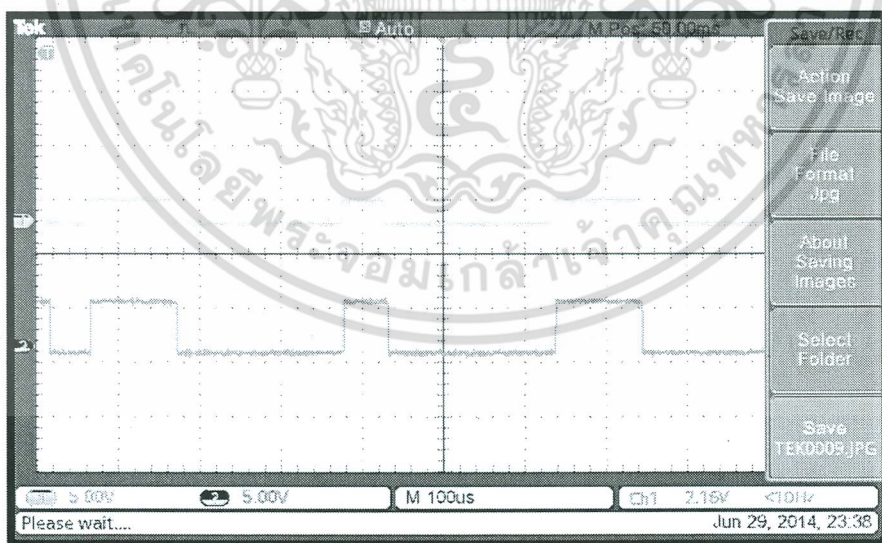
ในขณะที่ทำการรับ-ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิต 128000 bps, 19200 bps และ 9600 bps ได้มีการ
ตรวจจับรูปสัญญาณทางไฟฟ้าของ source files (สีเหลือง) ที่ขา (Tx) สำหรับส่งข้อมูล เพื่อ
เปรียบเทียบกับรูปสัญญาณทางไฟฟ้าของ destination files (สีฟ้า) ที่รับได้จากวงจรรับข้อมูล ผล

ปรากฏว่ารูปสัญญาณทางไฟฟ้าที่ตัวส่งข้อมูลและที่ตัวรับข้อมูลมีความเหมือนกันเป็นอย่างมาก
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขณะที่ระบบ VLC นี้กำลังรับข้อมูลที่ส่งมาอยู่นั้น ไม่มีความผิดพลาดของข้อมูลเกิดขึ้น

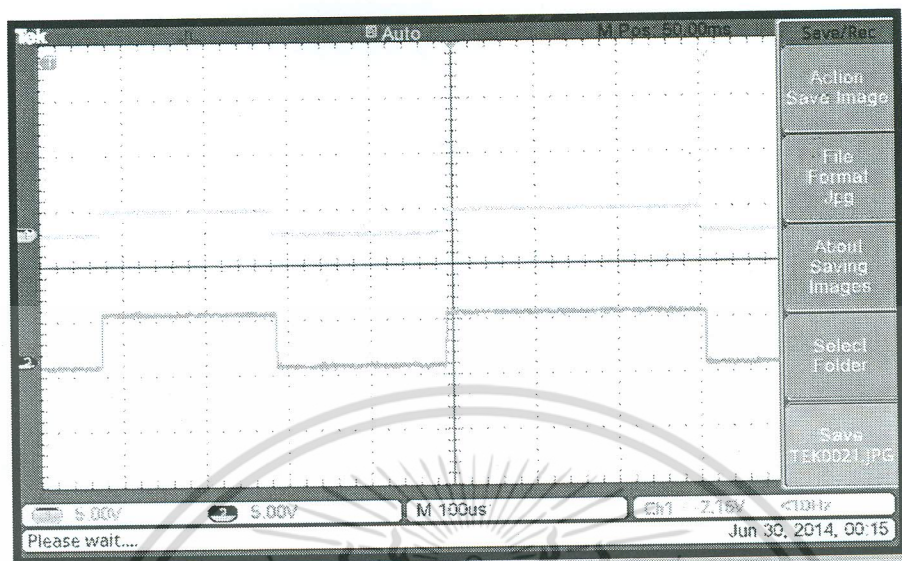


รูปที่ 4.22 แสดง waveform ของ source file (yellow line) และ waveform ของ received file (blue line) ที่ส่งด้วยอัตราบิต 128,000 bit/s



รูปที่ 4.23 แสดง waveform ของ source file (yellow line) และ waveform ของ received file (blue line) ที่ส่งด้วยอัตราบิต 19,200 bit/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดง waveform ของ source file (yellow line) และ waveform ของ received file (blue line) ที่ส่งด้วยอัตราบิต 9,600 bit/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในปัจจุบัน LED มีบทบาทสำคัญมากในการใช้งานทั้งด้านการให้ความสว่างและด้านการรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สาย ในงานวิจัยนี้เราได้นำ high power white LED มาใช้ประโยชน์ทางด้านการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง ผ่านทาง UART232R USB port สำหรับการทดลองและการประเมินความสามารถทางด้านความเร็วในการส่งข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ของ VBPW24R Photodiode และ FDS10x10 Photodiode ที่ระดับความสูงต่างๆของวงจรถอดส่งสัญญาณ ทำให้สรุปได้ว่า Photodiode ชนิด FDS10x10 มีความสามารถในการรับข้อมูล (data rates) แบบไม่มีความผิดพลาด (errors) ได้เร็วกว่า Photodiode ชนิด VBPW24R เนื่องจาก Photodiode ชนิด FDS10x10 มีพื้นที่การรับแสงที่เยอะกว่าชนิด VBPW24R และมีความไวในการรับแสงสูงกว่าชนิด VBPW24R และสามารถสรุปได้ว่า ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (baud rate) แปรผกผัน กับความสูงระหว่างตัวรับและตัวส่งข้อมูล และแปรผกผันกับมุม field of view อีกด้วย

สำหรับการทดลองและการประเมินความสามารถในการส่องสว่างที่มุม (field of view) ต่างๆ และที่ระดับความสูงต่างๆ ของวงจรถอดส่งสัญญาณของโมเดลต้นแบบ (VLC) โดยใช้ Lux meter วัดค่าความส่องสว่างที่มุมต่างๆของวงจรถอดส่งสัญญาณ (Illumination Transmission ที่ตำแหน่ง (X,Y)ต่างๆ พบว่าเมื่อวางวงจรถอดส่งสัญญาณแสงให้อยู่ในตำแหน่งที่สูงมากขึ้น ค่าความส่องสว่างที่ Lux meter วัดได้จะมีค่าความส่องสว่างน้อยลง และเมื่อเลื่อน Lux meter ขยับไปทางด้านข้าง โดยทำมุม field of view ต่างๆกับวงจรถอดส่งสัญญาณ ก็ส่งผลให้ค่าความส่องสว่างที่ Lux meter วัดได้ มีค่าน้อยลงด้วยเช่นกัน ทำให้สรุปได้ว่า ความส่องสว่างของตัวส่งสัญญาณแสง แปรผกผันกับระยะความสูง

สำหรับการทดสอบส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ เช่น ภาพ เสียง และวิดีโอ โดยใช้วงจรรับข้อมูล ชนิดที่ 2 คือ FDS10x10 Photodiode และใช้โปรแกรม Hyper Terminal ซึ่งสามารถกำหนดอัตราบิตในการรับ-ส่งข้อมูลหลายๆค่า คือ 128000 bps, 576000 bps, 19200 bps, 9600 bps ที่ระยะความสูง 20 cm. พร้อมทั้งบันทึกเวลาของการรับ-ส่งข้อมูลเหล่านั้น พบว่าระบบสามารถรับ-ส่งไฟล์ชนิดต่างๆในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่านอกจากหลอด LED สามารถให้ความสว่างตามปกติแล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องในเวลาเดียวกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกด้วย และสุดท้าย เราได้นำเสนอผลการตรวจจับ waveform ของทั้ง transmission signal และ receiver signal พบว่ามีความคล้ายคลึงกันเป็นอย่างมาก สำหรับทุกค่าอัตราบิตการรับ-ส่งข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. H. Park and J. Barry, "Modulation Analysis for Wireless Infrared Communications" in proceedings of International Conference on Communications-ICC'95, vol. 2, June 18-22 1995, pp. 1182-1186.
2. S. Nakamura, "Present Performance of InGaN-Based Blue/Green/Yellow LEDs" in Proceedings of SPIE Conference on Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing and Applications, vol. 3002, 1997, pp. 26-35.
3. Le-Minh, H., O'Brien-Dc, Faulkner, G., Zeng, L., and Lee, K, "High-Speed visible light communications using multiple-resonant equalization", Photonics Technology Letters, 2008, 20, (15), pp. 1243-4245.
4. M. Nakagawa, "Visible Light Communication and ITS" Technical Report of IEICE, ITS2006-14, Jul 2006.
5. S. Haruyama, "Visible Light Communication", IEICE, Trans. A, Vol. J86-A, No. 12, pp. 1284-1291, Dec 2003.
6. S. Iwasaki, C. Premachandra, T. Endo, T. Fujii, M. Tanimoto, and Y. Kimura. "Visible light road-to-vehicle communication using high-speed camera", in Proc.IEEE IVS'08, June 2008, Eindhoven, Netherlands, pp. 13-18.
7. T. Komine and M. Nakagawa, "Integrated System of White LED Visible-Light Communication and Power-Line Communication", Proceedings of IEEE Transactions on Consumer Electronics, Feb. 2003, Vol. 49, pp. 71-79.
8. N. Kumar, L. A. Nero and R. L. Aguiar, "Visible Light Communication for Advanced Driver Assistant Systems", The work is part of FCT project VIDAS –PDTC/EEA-TEL/75217, 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)

นางสาว ชนภรณ์ ลีลาวพัฒนานนท์

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

ที่อยู่

เลขที่ 3 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กทม.

10520

โทรศัพท์

02-329-8000 ต่อ 6212

โทรศัพท์มือถือ

089-131-5442

E-mail:

kltanapo@kmitl.ac.th

1. ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2540	ปริญญาตรี	วท.บ.	ฟิสิกส์	สจล.กรุงเทพฯ
2548	ปริญญาโท	วท.ม.	วิทยาการสารสนเทศ	สจล.กรุงเทพฯ

2. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

- a. โครงการวิจัยเรื่อง “การหาผลเฉลยเชิงตัวเลขโดยใช้สมการ Gross-Pitaevskii equation สำหรับ

Bose-Einstein condensation (BEC)”

ตำแหน่ง

หัวหน้าโครงการวิจัย

แหล่งทุนสนับสนุน

เงินรายได้ ประจำปี 2553

งบประมาณ 50,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- b. โครงการวิจัยเรื่อง “การวัดความเรียบของพื้นผิวโดยใช้เทคนิคอินเตอร์เฟอโรเมตรีแบบเลื่อนเฟส”

ตำแหน่ง

หัวหน้าโครงการวิจัย

แหล่งทุนสนับสนุน

เงินรายได้ ประจำปี 2556

งบประมาณ 50,000 บาท

ผลงานตีพิมพ์

1. Thanaporn, Leelawattananon and Suphamit Chittayasothorn , **A Student-oriented Physics E-tutorial System**, Proceedings of the 9th WSEAS International on COMPUTERS 2005, July 11-16, 2005, Vouliagmeni, Athens, Greece. (ผู้วิจัย)
2. Thanaporn, Leelawattananon and Suphamit Chittayasothorn, **The ORM Model as a Knowledge Representation for E-tutorial Systems**, Proceedings of the 6th International Conference on Enterprise Information Systems 2004, vol.2, 2004, pp. 479-484, Feb.12-16, 2004, Porto, Portugal. (ผู้วิจัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้