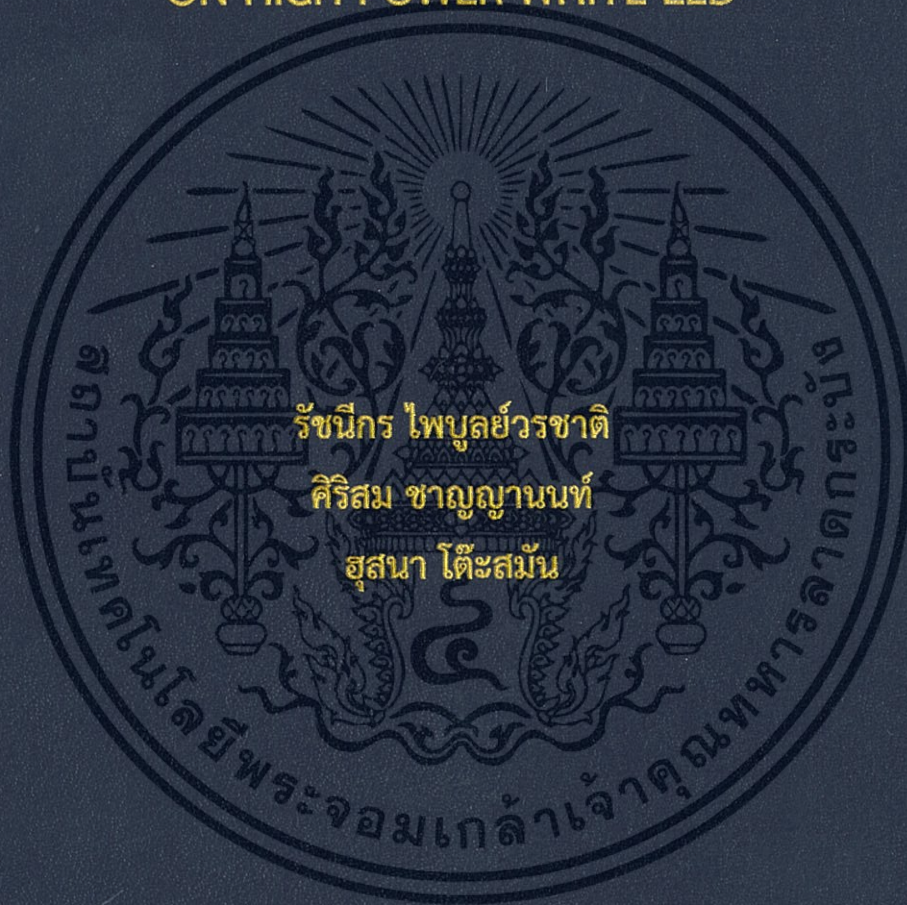


การพัฒนาต้นแบบของการรับส่งข้อมูลสองทิศทางโดยใช้แสงจาก
แอลอีดีกำลังสูง

A PROTOTYPE DEVELOPMENT OF FULL-DUPLEX
VISIBLE LIGHT DATA TRANSFERRING SYSTEM BASED
ON HIGH POWER WHITE LED



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การพัฒนาต้นแบบของการรับส่งข้อมูลสองทิศทางโดยใช้แสงจาก
แอลอีดีกำลังสูง

A PROTOTYPE DEVELOPMENT OF FULL-DUPLEX
VISIBLE LIGHT DATA TRANSFERRING SYSTEM BASED
ON HIGH POWER WHITE LED



b. 00265570
i.

TB00151

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2558
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A PROTOTYPE DEVELOPMENT OF FULL-DUPLEX
VISIBLE LIGHT DATA TRANSFERRING SYSTEM BASED
ON HIGH POWER WHITE LED



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในของบัณฑิตวิทยาลัยเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2015

หัวข้อโครงการพิเศษ

การพัฒนาต้นแบบของการรับส่งข้อมูลสองทิศทางโดยใช้แสงจาก แอลอีดีกำลังสูง

A Prototype Development of Full-Duplex Visible Light Data Transferring System Based on High Power White LED

ชื่อนักศึกษา

นางสาวรัชนิกร ไพบูลย์วรชาติ รหัสนักศึกษา 55051593
นางสาวศิริสม ขาญญานนท์ รหัสนักศึกษา 55051623
นางสาวอุสนา โต๊ะสมัน รหัสนักศึกษา 55051680

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ธนภรณ์ ลีลาวพัฒนานนท์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.พิชานันท์ สีเศรษฐ์โสภณ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.กฤษกร โล่เจริญรัตน์ กรรมการ	
รศ.วิชาญ เตชิตธีระ กรรมการ	
อ.ธนภรณ์ ลีลาวพัฒนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาต้นแบบของการรับส่งข้อมูลสองทิศทางโดยใช้แสงจากแอลอีดีกำลังสูง	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรัชนิกร ไพบูลย์วรชาติ	รหัสนักศึกษา 55051593
	นางสาวศิริสม ชาญญานนท์	รหัสนักศึกษา 55051623
	นางสาวสุสนา โต้ะสมัน	รหัสนักศึกษา 55051680
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์	

บทคัดย่อ

ปัจจุบันหลอดแอลอีดีได้ถูกพัฒนาให้มีทั้งความสามารถในการส่องสว่าง อายุการใช้งานยาวนาน ประหยัดพลังงาน และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม หลอดแอลอีดีจึงถูกนำมาใช้ในด้าน การส่องสว่างแทนที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ และมีงานวิจัยจำนวนมากนำหลอดแอลอีดีมาประยุกต์ใช้ในด้าน การสื่อสารข้อมูลไร้สายด้วยแสงแทนที่เทคโนโลยีไร้สายด้วยคลื่นวิทยุ (RF) ในโครงการนี้เป็นการนำเสนอ ระบบการรับส่งข้อมูลไร้สายด้วยแสงจากแอลอีดีแบบสองทิศทางในแนวนอน โดยโครงการนี้ได้มีการ นำโปรแกรม Terminal V1.9b มาใช้เพื่อทดสอบหาระยะไกลที่สุดที่สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างไม่มีความผิดพลาด และใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C# ทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการรับส่งข้อมูล ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางลำแสงขณะรับส่งข้อมูล โดยมีวัตถุกีดขวางลำแสง เป็นระยะเวลาต่างๆกัน แอลอีดีที่ใช้เป็นตัวส่งข้อมูล คือ Luxeon Label White LED และตัวรับ ข้อมูลที่ใช้ในโครงการนี้ คือ Silicon Photodiode FDS10x10 นอกจากนี้ยังได้มีการนำเลนส์นูนมาใช้ ในการทดลอง เพื่อเพิ่มระยะทางในการรับส่งข้อมูลให้ไกลขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ : การรับส่งข้อมูลไร้สายด้วยแสงแบบสองทิศทาง แอลอีดีกำลังสูง

Title	A Prototype Development of Full-Duplex Visible Light Data Transferring System Based on High Power White LED		
Students	Miss Ratchaneekon Phaiboonworachat	Student ID 55051593	
	Miss Sirisom Chanyanon	Student ID 55051623	
	Miss Husna Tohsaman	Student ID 55051680	
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)		
Department	Physics		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Lecturer Thanaporn Leelawattananon		

Abstract

Currently, LED has been developed to have both luminance, long lifetime energy and environmentally safe. Popularly, The LED has been used to replace fluorescent. Also, many research works have used LEDs in wireless communication technology applications instead of frequency RF. This project presents a prototype development of a full-duplex visible light data transferring system based on high power white LED. Terminal V1.9b program is used to determine the furthest distance without errors. This project, a data transfer program is developed. The program written in the Microsoft visual C # language is used to test percentage errors of the data transmission in the case where an object moves pass the laser beam at obstruction times. Luxeon Lebel White LEDs are used as the light transmitter and Silicon Photodiode FDS10x10 is used as the receiver. The experiment including using convex lens is tested for increasing more transmission distances.

Keywords : full-duplex visible light data transferring , high power white LED

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่อง การพัฒนาต้นแบบของการรับส่งข้อมูลสองทิศทางโดยใช้แสงจากแอลอีดี กำลังสูง สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากคณาจารย์ที่คอยให้การสนับสนุน ดูแล และให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการดำเนินงาน รวมถึงการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการจัดทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบคุณ อ.ธนภรณ์ สีลาวัฒนานนท์ และอาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่คอยให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการพิเศษนี้ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ในการจัดทำโครงการพิเศษ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



รัชนีกร ไพบูลย์วรชาติ

ศิริสม ชาญญานนท์

สุสนา โต๊ะสมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การให้ความสว่างของแอลอีดี	4
2.2 ชนิดของแอลอีดี	5
2.3 ตัวรับแสงในระบบการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสง	6
2.4 สัญญาณรบกวน	6
2.5 การประยุกต์ใช้งานระบบ VLC	6
2.6 ข้อจำกัดของระบบ VLC	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	9
3.1 การสร้างวงจรรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง	9
3.2 การทดลองและประเมินความสามารถด้านอัตราบิต ในการรับ-ส่งข้อมูลทิศทางเดียว แบบไม่มีความผิดพลาดของโมเดลต้นแบบ VLC กรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง และกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Terminal V1.9b ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file	9
3.3 การทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้ เมื่อมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง และมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ กรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C# ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file	12

เอกสาร **บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล** เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 14 คำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1 ผลการทดลองและประเมินความสามารถด้านอัตราบิต ในการรับ-ส่งข้อมูลทิศทางเดียว แบบไม่มีความผิดพลาดของโมเดลต้นแบบ VLC กรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Terminal V1.9b ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file	14
4.2 ผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้ เมื่อมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง และมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C# ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file	14
4.2.1 ผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้ เมื่อมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง และมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วยภาษา Visual C# ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file	14
4.2.2 ผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้ เมื่อมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง และมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วยภาษา Visual C# ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file	25
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการวิจัย	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก โค้ดที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลด้วย Microsoft Visual C#	
ภาคผนวก ข Datasheet	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน	3
2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของแอลอีดีแต่ละชนิด	5
4.1 แสดงผลการทดลองและประเมินความสามารถด้านอัตราบิด ในการรับ-ส่งข้อมูล ทิศทางเดียว แบบไม่มีความผิดพลาดของโมเดลต้นแบบ VLC เพื่อหาระยะห่าง ระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูลที่ไกลที่สุดและอัตราบิดสูงสุดในการรับ-ส่งข้อมูล ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรม สำเร็จรูป Terminal V1.9b ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file	14
4.2 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 960 lux	15
4.3 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 960 lux	15
4.4 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 845 lux	16
4.5 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 845 lux	17
4.6 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 3550 lux	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.7 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 3550 lux	26
4.8 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง แบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 100 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 2560 lux	26
4.9 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง แบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 100 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 2560 lux	27
4.10 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง แบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 2050 lux	28
4.11 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจาก คอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง แบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็น ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 2050 lux	28

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	1
3.1 แสดงแผนภาพวงจรรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง	9
3.2 แสดงลักษณะของ Photodiode ชนิด FDS10x10	9
3.3 แสดงการตั้งค่า Baud rate ของคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง ให้ตรงกัน	10
3.4 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Terminalv1.9b ที่คอมพิวเตอร์ปลายทาง เมื่อรับไฟล์ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ต้นทางแล้ว	11
3.5 แสดงการวางวงจรับ-ส่งข้อมูลทั้ง 2 ชุด กรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง	11
3.6 แสดงการวางวงจรับ-ส่งข้อมูลทั้ง 2 ชุด กรณีใช้เลนส์รวมแสง	12
3.7 แสดงโปรแกรมสำหรับรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual c#	13
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรับ-ส่งข้อมูล 10 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง	18
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรับ-ส่งข้อมูล 10 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง	18
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรับ-ส่งข้อมูล 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง	19
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรับ-ส่งข้อมูล 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง	19
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง	20
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง	20
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 2 วินาที ที่ระยะห่าง	

เอกสารนี้เป็นระหว่างวงจรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงซึ่งประโยชน์ด้าน 21 คำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 4 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง	35
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง	36
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง	36



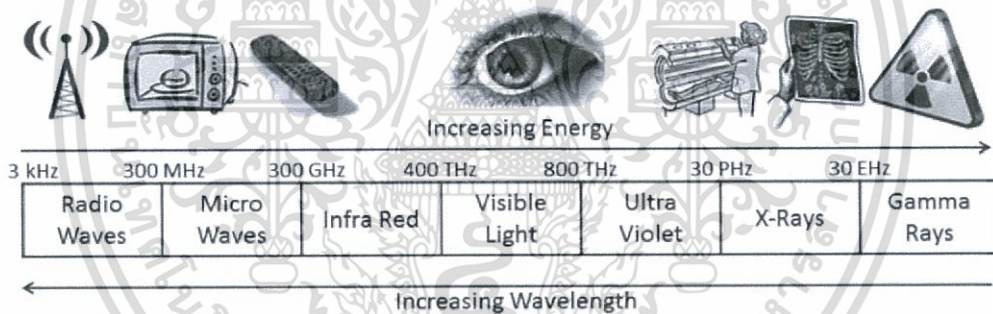
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless communication) ได้รับความนิยมในการเลือกใช้งานเป็นอย่างมาก เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลที่อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อกลางในการนำสัญญาณ จึงไม่จำเป็นต้องใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่อ ทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน ส่งผลให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายอย่างต่อเนื่อง รูปที่ 1.1 แสดงสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับความยาวคลื่นของคลื่นชนิดต่างๆ ได้แก่ คลื่นวิทยุ (Radio wave), คลื่นไมโครเวฟ (Microwave), อินฟราเรด (Infrared), แสงที่ตามองเห็น (visible light), อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet: UV), รังสีเอกซ์ (X-rays) และรังสีแกมมา (Gamma ray) โดยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency: RF) ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ 3 kHz ถึง 300 GHz เป็นย่านที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากที่สุดในด้านการสื่อสารข้อมูล



รูปที่ 1.1 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)

(ที่มา: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?arnumber=7072557>)

อย่างไรก็ตามการสื่อสารข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RF) ยังค่อนข้างมีข้อจำกัด อาทิเช่น แบนด์วิดท์แคบ มีความปลอดภัยน้อย สัญญาณรบกวนสูง และถูกจำกัดพื้นที่ในการใช้งานภายในโรงพยาบาลและบนเครื่องบิน ซึ่งคลื่นวิทยุอาจไปรบกวนการทำงานของเครื่องมือทางการแพทย์ และรบกวนการทำงานของระบบการบิน ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ของการใช้งานคลื่นวิทยุ จึงทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลรูปแบบใหม่ โดยอาศัยหลักการทำงานของแสงในย่านที่ตามองเห็นในการรับส่งสัญญาณข้อมูล (Visible Light Communication หรือ VLC) ด้วยการใช้แสงจากหลอด LED ซึ่งนอกจากประโยชน์ด้านการส่องสว่างแล้ว ยังสามารถใช้เป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลได้อีกด้วย เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลด้วยแสงเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีความปลอดภัยในการใช้งานค่อนข้างสูง สามารถป้องกันการลักลอบใช้สัญญาณจากบุคคลอื่นได้ ไม่ว่าจะเป็นใครๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นที่ไม่ได้รับอนุญาตได้ เนื่องจากสัญญาจะกระจายเฉพาะจุดที่มีการรับส่งสัญญาณข้อมูลเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการสื่อสารข้อมูลภายในโรงพยาบาลและบนเครื่องบินที่มีการจำกัดการใช้งานของคลื่นวิทยุได้อีกด้วย

ในโครงการพิเศษนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างโมเดลต้นแบบสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็นแบบ 2 ทิศทาง (Full-Duplex Communication) โดยใช้ Luxeon Lebel White LED เป็นตัวส่งสัญญาณแสง และใช้ Photodiode ชนิด FDS10x10 เป็นตัวรับสัญญาณแสง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาหลักการของการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น
- 2) ศึกษาและทำการสร้างโมเดลต้นแบบสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น
- 3) ประเมินความสามารถด้านอัตราบิตของการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง แบบไม่มีความผิดพลาดที่ระยะต่างๆระหว่างวงจรับ-ส่งข้อมูล
- 4) ประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้ ในการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ ในกรณีที่มิใช่เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาหลักการของการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น
- 2) ศึกษาการทำงานของวงจรรภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ
- 3) ทำการสร้างโมเดลต้นแบบสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น
- 4) ทดลองและประเมินความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง ที่ระยะต่างๆ
- 5) ทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้ ในการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ ในกรณีที่มิใช่เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็น
- 2) ศึกษาวงจรรภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ
- 3) สร้างโมเดลสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลโดยใช้แสงในย่านที่ตามองเห็น
- 4) ดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถด้านอัตราบิตของการรับ-ส่งข้อมูลทิศทางเดียวแบบไม่มีความผิดพลาดที่ระยะต่างๆ ในกรณีที่มิใช่เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Terminal V1. 9b ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ศึกษาค้นคว้าการเขียนและออกแบบโปรแกรมการรับ-ส่งข้อมูล โดยใช้ Microsoft Visual C#

6) ดำเนินการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้ ในการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ ในกรณีที่มิใช่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C# ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอน	ปี 2558					ปี 2559			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ขั้นตอนที่ 1									
ขั้นตอนที่ 2									
ขั้นตอนที่ 3									
ขั้นตอนที่ 4									
ขั้นตอนที่ 5									
ขั้นตอนที่ 6									

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถอธิบายหลักการทำงานของการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็นได้
- 2) สามารถนำโมเดลต้นแบบการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็นไปใช้ประโยชน์ในการรับ-ส่งข้อมูลได้จริง โดยเฉพาะการรับ-ส่งข้อมูลในบริเวณที่มีข้อห้ามการใช้คลื่นวิทยุ (RF) เช่น Petro-chemical plant, โรงพยาบาล, เครื่องบิน เป็นต้น
- 3) สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การให้ความสว่างของแอลอีดี (LED Illuminance)

แอลอีดี คืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งมีความสามารถในการชาร์จไฟโดยตรง เพื่อให้พลังงานแสง โครงสร้างสำคัญของแอลอีดี คือ เป็นชิปสารกึ่งตัวนำชนิด p-n junction วัสดุของสารกึ่งตัวนำถูกโด๊ปด้วยสารไม่บริสุทธิ์ มีพาหะหลักๆ คือ อิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งเคลื่อนที่อยู่ภายใน อันเนื่องมาจากความต่างศักย์ โดยอุปกรณ์จะสามารถทำงานได้เมื่อให้อิเล็กตรอนเจอกับโฮล และตกลงไปยังระดับพลังงานที่ต่ำกว่าและปลดปล่อยพลังงานจากโฟตอน รูปแบบของโฟตอนเป็นแสงที่มองเห็นที่ถูกปล่อยออกมา เรียกว่า Electroluminescence แอลอีดีมีความได้เปรียบในหลายด้านเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการให้ความสว่างแบบดั้งเดิม ดังนี้

- 1) LED ให้พลังงานที่มีประสิทธิภาพและปลดปล่อยรังสีความร้อนในปริมาณน้อย สามารถลดการใช้พลังงานได้ 80%
- 2) LED มีอายุการใช้งานค่อนข้างนานและสามารถทำงานได้ 25,000 - 50,000 ชั่วโมงก่อนที่ประสิทธิภาพจะลดลงไป 70% เมื่อเทียบกับหลอดไส้มาตรฐานที่มีอายุการใช้งานเพียง 6,000 - 15,000 ชั่วโมง
- 3) LED มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงกว่าหลอดไฟแบบเดิม เนื่องจากการนำ InGaN มาใช้ในการผลิต LED สีน้ำเงินและสีเขียว จึงทำให้แอลอีดีมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา พบว่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของผลิตภัณฑ์จาก Cree Inc. เท่ากับ 254 ลูเมน/วัตต์ ในขณะที่หลอดไส้มีค่าการส่องสว่างเท่ากับ 14 ลูเมน/วัตต์ และหลอดฟลูออโรเรสเซนต์มีค่าการส่องสว่างเท่ากับ 75 ลูเมน/วัตต์
- 4) LED เป็นหลอดที่ปราศจากสารที่เป็นอันตราย เช่น Mercury
- 5) โดยธรรมชาติแบนด์วิดธ์มอดูเลตของ LED มีได้ถึงหลายร้อยเมกะเฮิร์ต จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการสื่อสารข้อมูลด้วยแสง ควบคู่กับการให้ความสว่างของ LED
- 6) สามารถนำ LED มาใช้ในการส่งข้อมูลได้ แม้ในบริเวณนั้นจะมีสภาพแวดล้อมที่เป็น Ambient light

ด้วยเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมานี้ ทำให้แอลอีดีได้รับความสนใจอย่างมากที่จะนำมาใช้ในงานด้านการสื่อสารข้อมูลด้วยแสง มีการสร้างงานวิจัยมากมายและนำมาใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมการใช้งานภายในอาคารและนอกอาคาร รวมไปถึงใช้ในระบบไฟจราจร

2.2 ชนิดของแอลอีดี (LED Types)

ในส่วนนี้เป็นการจำแนกประเภทความแตกต่างของแอลอีดีกับลักษณะที่สำคัญ โดยจะเปรียบเทียบความแตกต่างของแอลอีดีแต่ละชนิด จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าแอลอีดีแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะตัว ทำให้เราสามารถเลือกใช้งานแอลอีดีได้ตามความต้องการและเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ดังนี้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของแอลอีดีแต่ละชนิด

พารามิเตอร์	PC-LED	RGB LED	μ -LED	OLED
Band width	3-5 MHz	10-20 MHz	≥ 300 MHz	≤ 1 MHz
Elticacy	130 lm/W	65 lm/W	N/A	45 lm/W
Cost	Low	High	High	Lowest
Complexity	Low	Moderate	Highest	High
Application	Illumination	Illumination	Bio-sensor	Display

1) PC-LED: แสงสีขาวจากแอลอีดีเป็นผลมาจากการใช้ Phosphor Converted LED ที่เป็นแสงสีฟ้าแบบเดี่ยวใน Indium Gallium Garnet (InGaN) ชิปไปยัง Yttrium Aluminium Garnet (YAG) ที่เคลือบด้วย Phosphor แปลงเป็นแสงสีฟ้า สีเขียว สีเหลือง และสีแดงบางส่วนของสเปกตรัม ในขณะที่ส่วนอื่นๆของแสงสีฟ้านั้นรั่วไหลออกมา โดยส่วนผสมที่ทำให้เกิดแสงสีขาวจะขึ้นอยู่กับปริมาณของ Phosphor โดยแสงสีขาวจาก PC-LED สามารถจำแนกได้เป็น Warm-White, Neutral-White หรือ Cool-White

2) Multi-Chip LED: “Multi-Chip” คือ การใช้ประโยชน์จากการเปล่งแสงสีที่ต่างกัน 3 สี หรือมากกว่านั้น แต่โดยทั่วไปแล้วจะเป็นสีแดง สีเขียว และสีฟ้า (RGB) แสงสีขาวที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสงที่ต่างกันของชิป ซึ่งสามารถควบคุมสีได้ Multi-Chip LED มีค่า Color Rendering Index (CRI) ต่ำ เนื่องจาก Cool White LED มีจำนวนฟอสฟอรัสที่น้อยที่สุด ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพมากที่สุดและมีกำลังสูงสุดในพีคของสีฟ้า จึงมีการกรองส่วนของแสงสีฟ้าออกมาเพื่อนำแสงส่วนนี้ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ตัวรับแสงในระบบการรับ-ส่งข้อมูลด้วยแสง (VLC)

โดยทั่วไปแล้วมีการนำโฟโตนิกเทคโนโลยี 2 ชนิดมาใช้ในระบบ VLC คือ PIN PD และ Avalanche PD (APD) ข้อดีของ APD คือให้การขยายสัญญาณสูง แต่ข้อเสียของการใช้ APD คือ ในขณะที่มี Photocurrent เกิดขึ้นจะทำให้เกิดขอร์รอนอยส์จำนวนมาก ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ PIN PD ได้รับความนิยมมากกว่าในการนำมาใช้งานกับระบบ VLC เนื่องจากทนความร้อนได้สูง ต้นทุนต่ำ และยังสามารถรับความเข้มแสงแบบ flood ได้ค่อนข้างสูง แต่ APD จะถูกนำมาใช้ ในการรับแสงที่มีความเข้มแสงอ่อนๆ โดยทั่วไปแล้วจะใช้โฟโตไดโอดชนิดที่เป็นซิลิกอนโฟโตไดโอด (Silicon Photo Diode) ซึ่งตอบสนองการใช้งานได้ดีที่มีความยาวคลื่น 800 nm ทำให้มีความไวต่อแสงสีแดงสูงกว่าแสงสีเขียวหรือแสงสีฟ้า

2.4 สัญญาณรบกวน (Noise)

1) **Thermal Noise:** เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความร้อน หรืออุณหภูมि เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระดับของสัญญาณรบกวนก็จะสูงขึ้นด้วย

2) **Shot Noise:** เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นทั่วไปในชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีสาเหตุจากความไม่แน่นอนในการปล่อยอิเล็กตรอนของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อการทำงานของวงจรเป็นอย่างมาก เพราะเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสก็จะเกิด shot noise บริเวณรอยพี-เอ็นทั้งสองด้านของทรานซิสเตอร์

2.5 การประยุกต์ใช้งานระบบ VLC

นอกจากประโยชน์ด้านการให้ความสว่างของแอลอีดีแล้ว ยังสามารถนำมาใช้เป็นตัวส่งสัญญาณแสงในระบบ VLC ได้ด้วย และสามารถใช้งานระบบนี้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆได้ ดังนี้

1) **ระบบ Intelligent Transport:** VLC สนับสนุนการทำงานของระบบ Intelligent Transport (ITS) ที่มีการใช้หลอด LED ในสัญญาณไฟจราจร โดยสัญญาณไฟจราจรจากหลอดแอลอีดีจะถูกส่งไปให้กับยานพาหนะ การสื่อสารระหว่างยานพาหนะถึงยานพาหนะด้วยกัน และยานพาหนะถึงโครงสร้างพื้นฐาน การส่งข้อมูลไปยังสถานที่ต่างๆหรือข้อมูลการขับขี่ที่ปลอดภัย จากการศึกษาเบื้องต้นได้มีการทำการทดลองขึ้นที่ประเทศญี่ปุ่นถึงแม้ว่าจะได้รับการยืนยันสิทธิบัตรก่อน แต่เหตุผลหลักที่เทคโนโลยีการสื่อสารระหว่างยานพาหนะถึงยานพาหนะด้วยกันยังไม่เป็นที่ยอมรับ เพราะในช่วงเริ่มต้นที่จะซื้อรถใหม่ที่มีเทคโนโลยีนี้อยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากการใช้งาน multihop ที่หลายคนคาดการณ์ไว้ ต้องมีอัตราขั้นต่ำ 10% หรือมากกว่านั้น จากระบบของ VLC ใน ITS อุปกรณ์รับสัญญาณจะต้องสามารถติดตามการส่งสัญญาณในขณะที่มีการเคลื่อนไหวได้ นอกจากนี้ระยะทางในการเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้นก็มีบทบาทที่สำคัญเช่นกัน ส่วนใหญ่ในการนำเสนอการใช้งาน ITS จะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเฟรมของกล้องความเร็วสูงสำหรับการรับสัญญาณ ในขณะที่เซ็นเซอร์ภาพยังมีการตอบสนอง กล้องจึงเป็นสิ่งที่มีความสะดวกในการติดตามข้อมูล ทั้งนี้แบนวิดธ์จะถูกจำกัดโดยอัตราเฟรมของ กล้องความเร็วสูง โดยทั่วไปอัตราเฟรมจะอยู่ที่ประมาณ 1000 เฟรมต่อวินาที ซึ่งจะทำให้ต้องใช้ ความถี่มอดคูเลตสัญญาณอยู่ที่ประมาณ 500 เฮิร์ตซ์ ในทางปฏิบัติอาจเป็นไปได้ เนื่องจากต้องใช้ กล้องความเร็วสูงสุดซึ่งมีราคาแพงและมีการประมวลผลภาพที่ซับซ้อน อาจจำเป็นต้องใช้การติดตาม การส่งสัญญาณและการมอดคูเลตสัญญาณที่สอดคล้องกันเข้ามาในระบบการจราจร หากการใช้งาน ด้านการจราจรเกิดขึ้นได้จะมีประโยชน์อย่างมากในการเตือนการชนกัน และการส่งสัญญาณในการ เปลี่ยนเลนขณะขับรถ

2) **Intelligent Lighting:** ระบบ Intelligent Lighting จะทำการตรวจสอบปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มของแสง สี และการส่องสว่างของแอลอีดี โดยควบคุมปริมาณแสงให้มีความสว่างที่ เหมาะสมต่อการใช้งาน เมื่อมีการนำ LED มาใช้ในระบบ Intelligent Lighting ยกตัวอย่างเช่น การ ปรับแสงสว่างให้เหมาะสมสำหรับการดูหนัง, แสงสว่างสำหรับการอ่านหนังสือ เป็นต้น เมื่อเร็วๆนี้ Philips made “Hue” ได้มีการติดตั้งระบบ Intelligent Lighting ที่สามารถควบคุมสีและทำให้แสง สว่างน้อยลง โดยการใช้โทรศัพท์มือถือ iPhone และใช้ Wi-Fi เชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน ซึ่งระบบยังอยู่ ภายใต้อการพัฒนาาร่วมกับการวางแผนการใช้จีพีเอสโดยอัตโนมัติเมื่อผู้ใช้งานมีการเปิดไฟภายในบ้าน

3) **EMI-Sensitive environment:** การใช้ระบบ VLC นั้นไม่ก่อให้เกิดการรบกวนทาง แม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ซึ่งสามารถนำระบบ VLC นี้มาใช้งานได้ในพื้นที่บางแห่งได้ เช่น ห้องโดยสาร เครื่องบิน, โรงพยาบาล และยานอวกาศ นอกจากนี้ยังสามารถนำระบบ VLC มาใช้งานใน สภาพแวดล้อมที่มีความอันตราย เช่น โรงงานปิโตรเคมี ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีข้อห้ามใช้คลื่น RF หรือนำ ระบบ VLC นี้มาใช้ในเครื่องบิน โดยใช้เป็นโคมไฟ VLC สำหรับอ่านหนังสือ เป็นต้น การพัฒนาหลอด LED ในปัจจุบันนี้ ทำให้ระบบ VLC ถูกคาดว่าจะมีบทบาทสำคัญในอนาคต สำหรับการใช้งาน เครื่องข่ายสื่อสาร การใช้งานในอาคาร และการใช้งานนอกอาคาร

2.6 ข้อจำกัดของระบบ VLC

สำหรับการใช้งานระบบ VLC นั้น มีปัจจัยบางประการที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งาน ดังนี้

1) **Interference:** แสงจากธรรมชาติจะมีส่วนไปเพิ่ม shot noise ให้กับสัญญาณแสงที่ ตัวรับสัญญาณรับได้ และหาก shot noise มากเกินไป จะทำให้เกิดการ saturated ที่ตัวรับสัญญาณ จึงต้องมีการเพิ่มฮาร์ดแวร์สำหรับกำจัด shot noise ที่เกิดขึ้นออกไป เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ การทำงานของระบบ VLC

2) **Shadowing:** สำหรับการใช้งานระบบ VLC ภายในอาคาร จะมีลักษณะการรับ-ส่ง สัญญาณในระดับสายตา (Line of sight, LOS) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นบริเวณที่มีการรับ-ส่งสัญญาณ แสงควรเป็นบริเวณโล่งเพื่อไม่ให้เกิดเงา และสามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มการกระจายแสงจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดแสงให้มากขึ้น จะทำให้ค่า signal to noise: SNR เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถลดผลกระทบจากการเกิดเงาแสงได้

3) **Effect of LED Junction Temperature and Long Term Stability:** การจัดการความร้อนเป็นเรื่องที่สำคัญต่อการออกแบบ High power LED เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อ PN จะทำให้ค่า SNR ของสัญญาณแสงลดลง ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวคลื่น สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสขับแอลอีดี หรือความร้อนภายในแอลอีดีเพิ่มขึ้นขณะทำงาน จึงจำเป็นต้องมีระบบระบายความร้อนให้กับแอลอีดี โดยเฉพาะการใช้งานอาร์เรย์แอลอีดีที่มีแอลอีดีหลายๆตัวอยู่ติดกัน



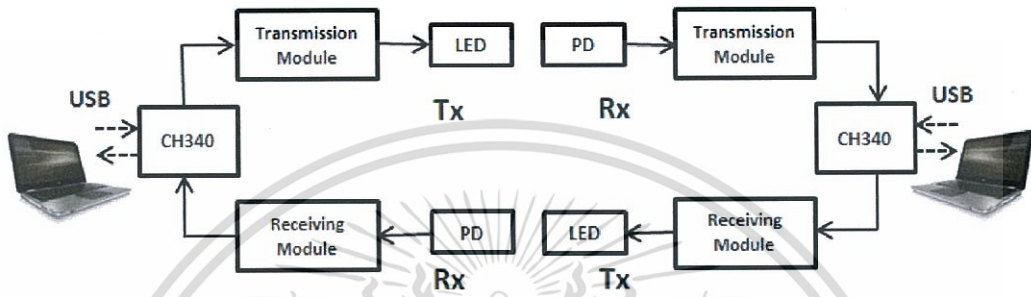
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การสร้างวงจรรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง (Full duplex communication)

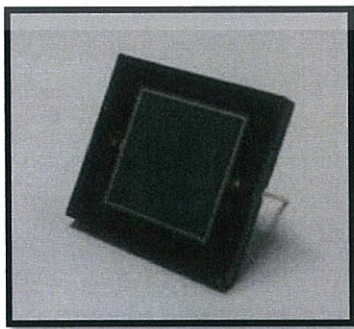
โดยมีแผนภาพวงจรดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพวงจรรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง

3.2 การทดลองและประเมินความสามารถด้านอัตราบิต (Baud rates) ในการรับ-ส่งข้อมูลทิศทางเดียว แบบไม่มีความผิดพลาด (Errors) ของโมเดลต้นแบบ VLC กรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Terminal V1.9b ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file

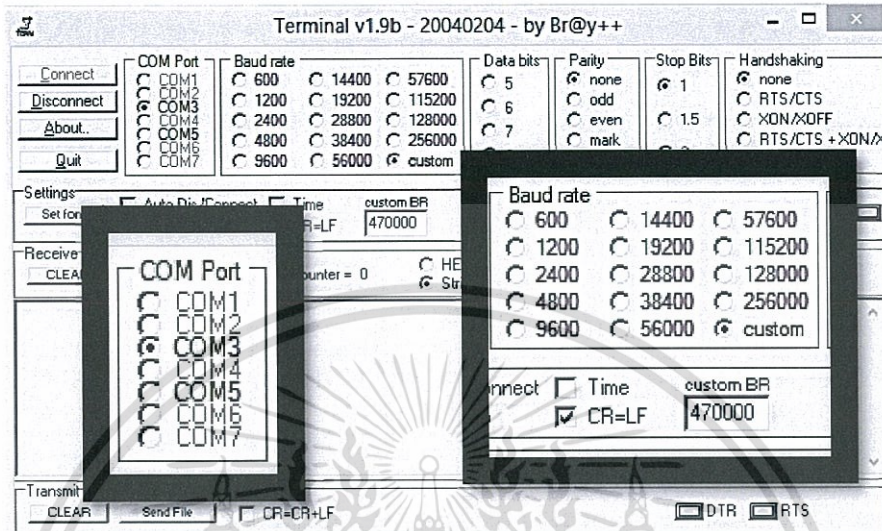
- 1) เชื่อมต่อวงจรรับ-ส่งข้อมูลทั้ง 2 ชุดเข้ากับคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง โดยใช้ CH340 chip Prolific PL203 USB port และใช้โปรแกรม Terminal v1.9b ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการรับ-ส่งข้อมูล
- 2) วางวงจรรับ-ส่งข้อมูลทั้ง 2 ชุดให้ห่างกัน เริ่มต้นที่ 10 เซนติเมตร โดยใช้ Luxeon Lebel White LED เป็นตัวส่งสัญญาณแสง และใช้ Photodiode ชนิด FDS10x10 เป็นตัวรับสัญญาณแสง



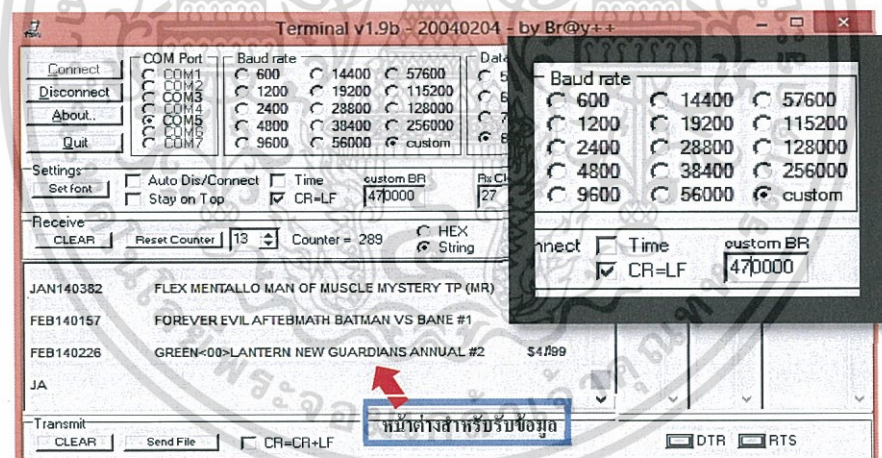
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของ Photodiode ชนิด FDS10x10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการทดสอบการรับและส่งข้อมูล โดยตั้งค่า Baud rate ในโปรแกรม Terminal v1.9b ที่คอมพิวเตอร์ฝั่งผู้ส่ง ให้ตรงกับ Baud rate ของโปรแกรม Terminal v1.9b ที่คอมพิวเตอร์ฝั่งผู้รับ โดยเริ่มที่ค่า Baud rate ต่ำสุด 600 bit/s ดังรูปที่ 3.3



ก) หน้าต่างโปรแกรม Terminal v1.9b ที่คอมพิวเตอร์ฝั่งผู้ส่ง



ข) หน้าต่างโปรแกรม Terminal v1.9b ที่คอมพิวเตอร์ฝั่งผู้รับ

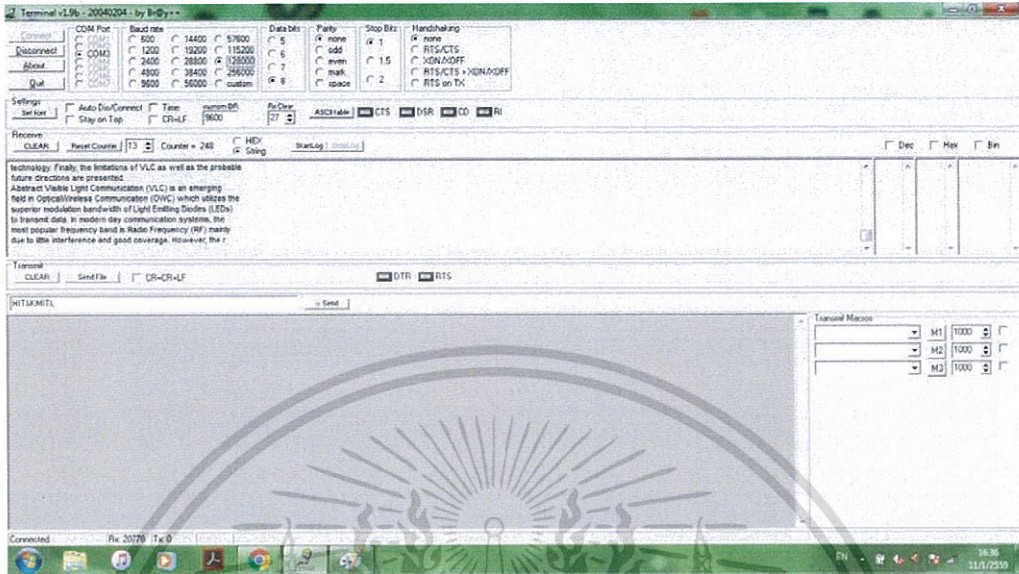
รูปที่ 3.3 แสดงการตั้งค่า Baud rate ของคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง ให้ตรงกัน

4) ส่งไฟล์ข้อมูลประเภท text file จากคอมพิวเตอร์ฝั่งผู้ส่ง โดยส่งผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป Terminal v1.9b

5) ตรวจสอบความถูกต้องของไฟล์ข้อมูลที่ได้รับได้ในโปรแกรม Terminal v1.9b ที่คอมพิวเตอร์ปลายทาง ดังรูปที่ 3.4 หากพบว่าข้อมูลมีความถูกต้องให้เพิ่มอัตราบิตที่สูงขึ้นค่าถัดไป

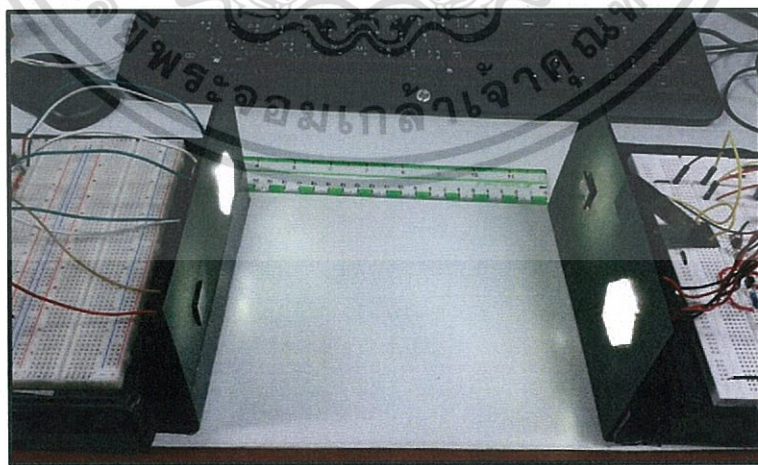
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทดลองส่งซ้ำ และตรวจสอบความถูกต้องของไฟล์ข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ปลายทางรับได้เช่นเดิม และบันทึกค่าอัตราบิตสูงสุดสำหรับการรับ-ส่งข้อมูลแบบไม่มีความผิดพลาดของระยะห่างดังกล่าว



รูปที่ 3.4 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Terminal v1.9b ที่คอมพิวเตอร์ปลายทาง เมื่อรับไฟล์ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ต้นทางแล้ว

6) เพิ่มระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูลทั้ง 2 ชุด ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 3-6 จนกระทั่งได้ระยะห่างไกลที่สุดที่วงจรรับ-ส่งข้อมูลทั้ง 2 ชุด สามารถรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file ได้โดยไม่มี ความผิดพลาด ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการวางวงจรรับ-ส่งข้อมูลทั้ง 2 ชุด กรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 6 โดยเพิ่มการใช้เลนส์นูนเพื่อรวมแสงจากแอลอีดี วางเลนส์นูนอันแรกข้างหน้าไฟโอดีไอโอดี และวางเลนส์นูนอีกอันด้านหน้าแอลอีดี ดังรูป



รูปที่ 3.6 แสดงการวางวงจรรับ-ส่งข้อมูลทั้ง 2 ชุด กรณีใช้เลนส์รวมแสง

8) เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ในกรณีที่ใช้เลนส์กับกรณีที่ไม่ใช้เลนส์

3.3 การทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับ เมื่อมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง และมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ กรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C# ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file

เนื่องจากปัญหาที่พบเมื่อใช้โปรแกรม Terminal V1.9b ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการรับ-ส่งข้อมูล คือ

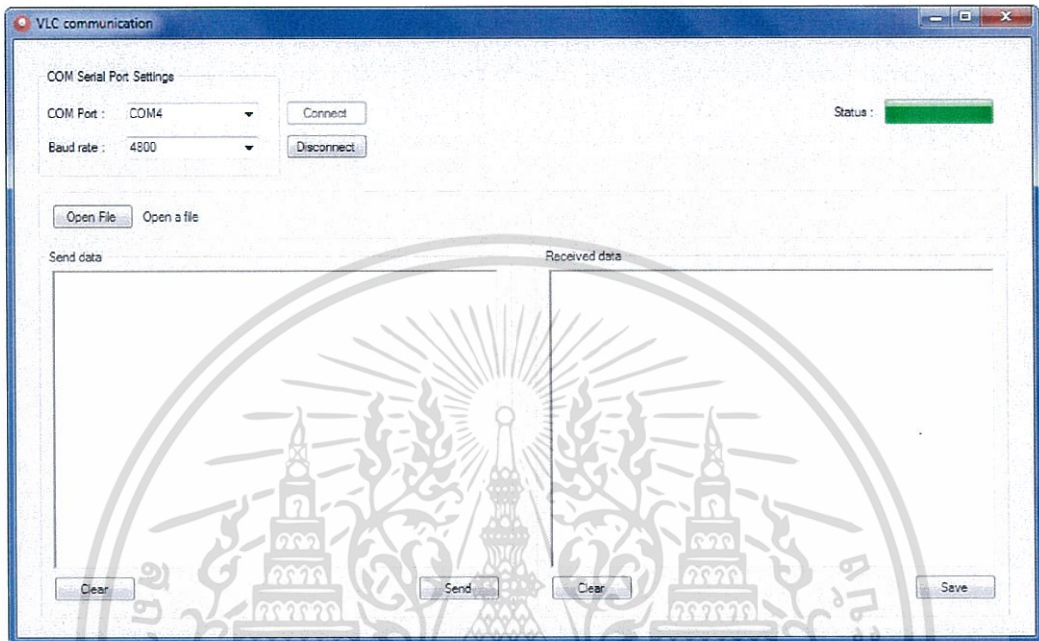
1) การเชื่อมต่อ COM port เช่น COM 6 สำหรับการส่งข้อมูล และ COM 3 สำหรับการรับข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Terminal V1.9b นั้น พบปัญหาการเชื่อมต่อยาก ในหลายครั้งไม่สามารถเชื่อมต่อได้ ถึงแม้ว่าจะทำการปิดโปรแกรม Terminal V1.9b และถอดพอร์ตออกแล้วเสียบใหม่ ก็ยังพบปัญหาเชื่อมต่อยากเช่นเดิม

2) ไม่สามารถ save ข้อมูลที่ได้รับได้ในหน้าต่างรับข้อมูลของโปรแกรม Terminal V1.9b ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ เนื่องจากโปรแกรม Terminal V1.9b ทำหน้าที่เพียงแค่แสดงข้อมูลที่ได้รับเท่านั้น ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงสร้างหน้าต่างการรับ-ส่งข้อมูลขึ้นมาใหม่ด้วยโปรแกรม Microsoft Visual C# โดยเพิ่มฟังก์ชันของการ save ข้อมูลที่ได้รับ ให้สามารถบันทึกลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทางได้ ซึ่งโปรแกรมการรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นใหม่ด้วยภาษา Visual C# นี้

ได้ศึกษาการเขียนโปรแกรม โดยทำการรวบรวมมาจากแหล่งต่างๆดังที่แสดงในภาคผนวก ก และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลดังกล่าวนี้ มีความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง เช่นเดียวกับ โปรแกรม Terminal V1.9b

เมื่อสร้างโปรแกรมสำหรับรับ-ส่งข้อมูลขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C# หน้าต่างแสดงการทำงานเป็นดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงโปรแกรมสำหรับรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C#

ขั้นตอนการดำเนินงานเป็นดังนี้

- 1) ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลแบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1 วินาที โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2 ตั้งแต่ข้อที่ 1 - ข้อที่ 6 และบันทึกผลการทดลอง
- 2) ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลแบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 2 วินาที โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2 ตั้งแต่ข้อที่ 1 - ข้อที่ 6 และบันทึกผลการทดลอง
- 3) ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลแบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 3 วินาที โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2 ตั้งแต่ข้อที่ 1 - ข้อที่ 6 และบันทึกผลการทดลอง
- 4) ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลแบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 4 วินาที โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2 ตั้งแต่ข้อที่ 1 - ข้อที่ 6 และบันทึกผลการทดลอง
- 5) ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลแบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 5 วินาที โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2 ตั้งแต่ข้อที่ 1 - ข้อที่ 6 และบันทึกผลการทดลอง
- 6) ทำข้อ 1-5 โดยการเพิ่มเลนส์นูนเพื่อทำหน้าที่รวมแสง โดยวางเลนส์นูนอันแรกด้านหน้าโฟโตไดโอด และวางเลนส์นูนอีกอันด้านหน้าแอลอีดี
- 7) เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ในกรณีที่ใช้เลนส์กับกรณีที่ไม่ใช้เลนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อดำเนินการออกแบบและสร้างวงจรรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทางเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้ดำเนินการทดลองและประเมินความสามารถด้านอัตราบิต (Baud rates) ของโมเดลต้นแบบ VLC โดยห้องที่ทำการทดลอง มีความสว่างเนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในห้อง ซึ่งวัดค่าได้ 330 lux และมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ผลการทดลองและประเมินความสามารถด้านอัตราบิต (Baud rates) ในการรับ-ส่งข้อมูลทิศทางเดียว แบบไม่มีความผิดพลาด (Errors) ของโมเดลต้นแบบ VLC กรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Terminal V1.9b ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file

ตาราง 4.1 แสดงผลการทดลองและประเมินความสามารถด้านอัตราบิต ในการรับ-ส่งข้อมูลทิศทางเดียว แบบไม่มีความผิดพลาดของโมเดลต้นแบบ VLC เพื่อหาระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูลที่ไกลที่สุดและอัตราบิตสูงสุดในการรับ-ส่งข้อมูล ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Terminal V1.9b ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file

กรณี	ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล (cm)	อัตราบิตสูงสุด (bits/second)	ความสว่างของ LED (lux)
ไม่ใช้เลนส์	21	56,000	730
ใช้เลนส์	175	28,800	420

4.2 ผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้ เมื่อมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง และมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสงและกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C# ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file

4.2.1 ผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้ เมื่อมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง และมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วยภาษา Microsoft Visual C# ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 960 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.03	0.04	0.08	0.08	0.10
1200	0.05	0.09	0.13	0.16	0.19
2400	0.09	0.16	0.25	0.33	0.41
4800	0.16	0.34	0.53	0.67	0.83
9600	0.34	0.69	1.06	1.33	1.68
14400	0.52	1.07	1.48	1.96	2.45
19200	0.79	1.30	2.19	2.87	3.41
28800	1.29	2.23	3.09	3.96	4.86
38400	1.92	3.27	4.59	6.06	6.99
57600	2.60	4.25	6.31	8.10	10.01
128000	5.99	10.67	14.09	18.06	22.15
256000	12.12	19.49	28.70	35.63	45.13

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 960 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.02	0.04	0.07	0.09	0.10
1200	0.04	0.08	0.13	0.16	0.19
2400	0.08	0.16	0.26	0.33	0.40

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
4800	0.15	0.34	0.52	0.67	0.82
9600	0.34	0.68	1.03	1.33	1.67
14400	0.47	1.03	1.46	1.96	2.43
19200	0.74	1.26	2.19	2.85	3.33
28800	1.25	2.19	3.03	3.88	4.77
38400	1.85	3.22	4.49	5.99	6.94
57600	2.47	4.13	6.18	8.04	9.98
128000	5.67	10.34	13.87	17.92	21.94
256000	11.43	18.90	28.30	35.01	44.70

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 845 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11
1200	0.05	0.11	0.13	0.19	0.25
2400	0.12	0.19	0.27	0.36	0.45
4800	0.22	0.39	0.57	0.73	0.88
9600	0.45	0.72	1.05	1.40	1.78
14400	0.66	1.10	1.68	2.14	2.64
19200	0.86	1.50	2.14	2.96	3.60
28800	1.40	2.08	3.04	3.87	4.98
38400	1.89	2.89	4.36	5.71	6.79

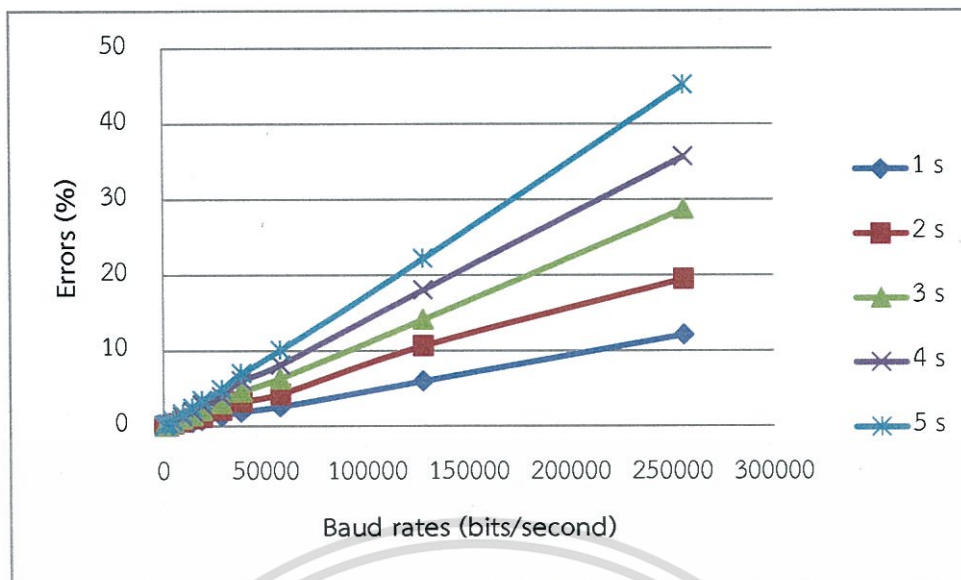
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
57600	2.38	3.77	6.13	7.98	10.14
128000	5.00	10.00	15.01	20.67	25.03

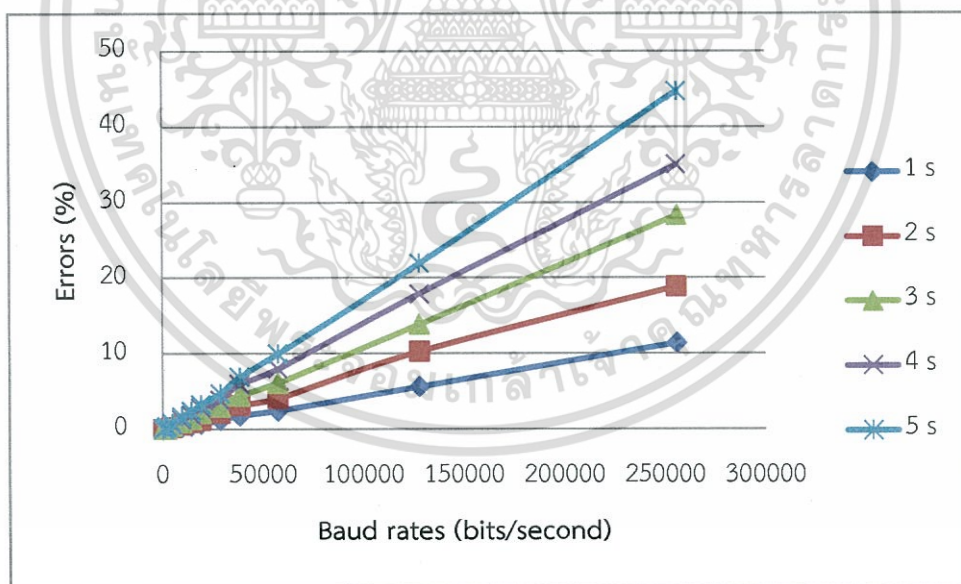
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างจอร์รับ-ส่งข้อมูล 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 845 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.02	0.05	0.07	0.08	0.10
1200	0.05	0.09	0.15	0.18	0.24
2400	0.10	0.20	0.27	0.36	0.45
4800	0.22	0.39	0.57	0.74	0.89
9600	0.45	0.72	1.09	1.40	1.79
14400	0.67	1.12	1.69	2.16	2.66
19200	0.86	1.52	2.16	3.00	3.62
28800	1.46	2.14	3.08	3.95	5.02
38400	1.95	2.98	4.44	5.77	6.94
57600	2.47	3.92	6.23	8.16	10.29
128000	5.19	10.23	15.27	20.86	25.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

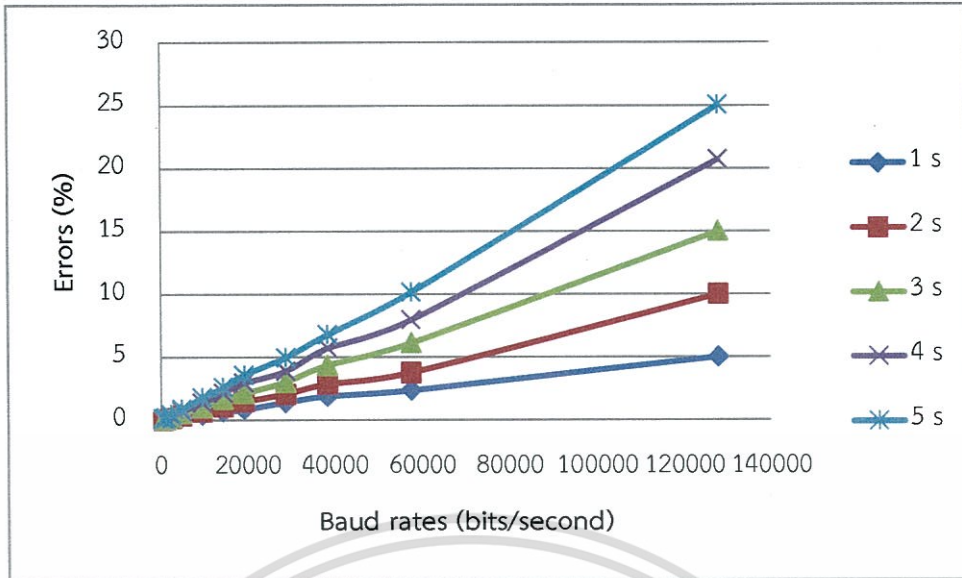


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

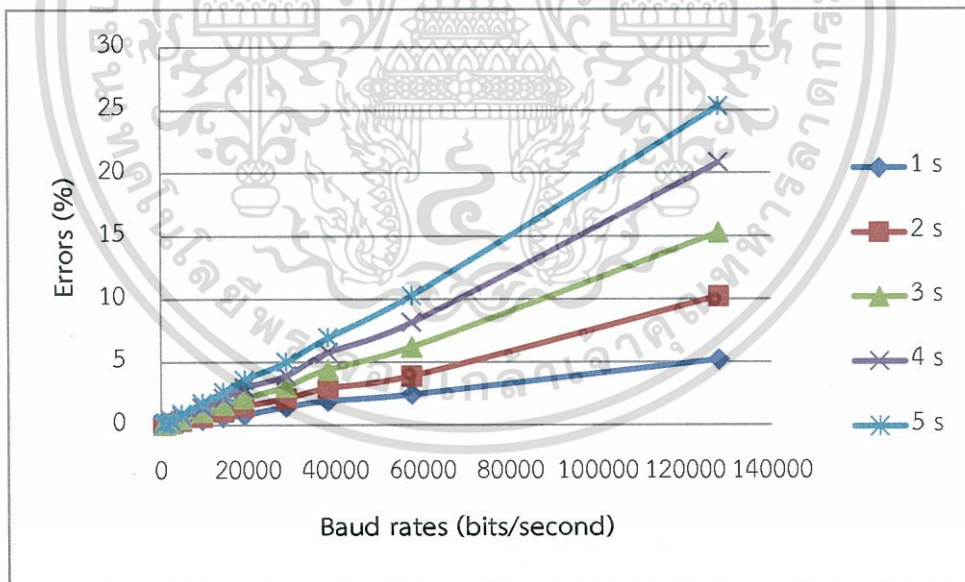


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

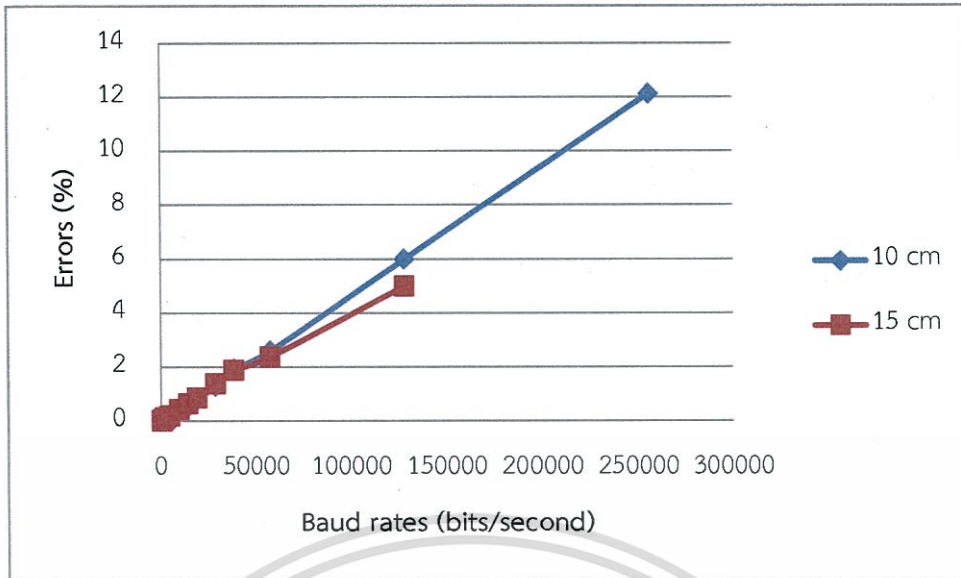


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

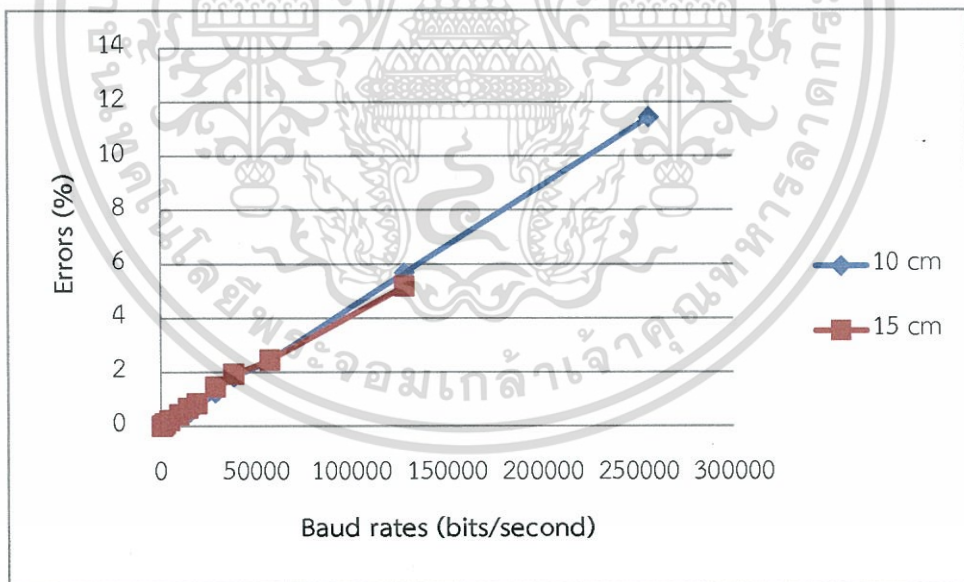


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

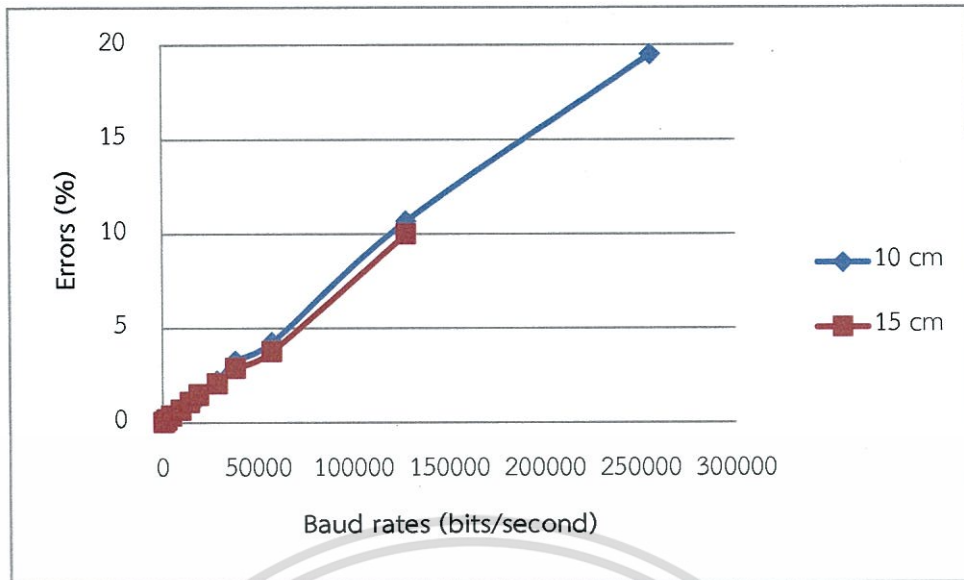


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

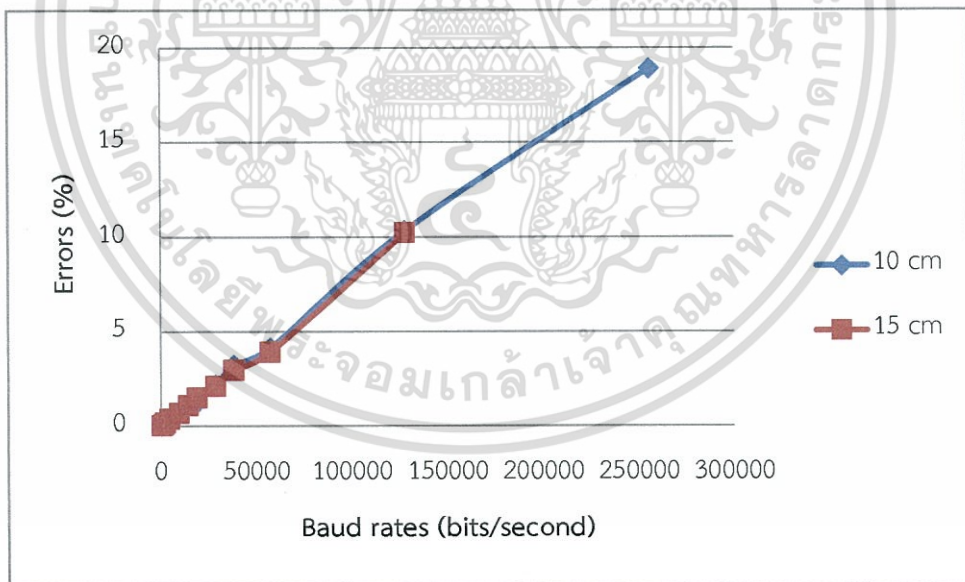


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

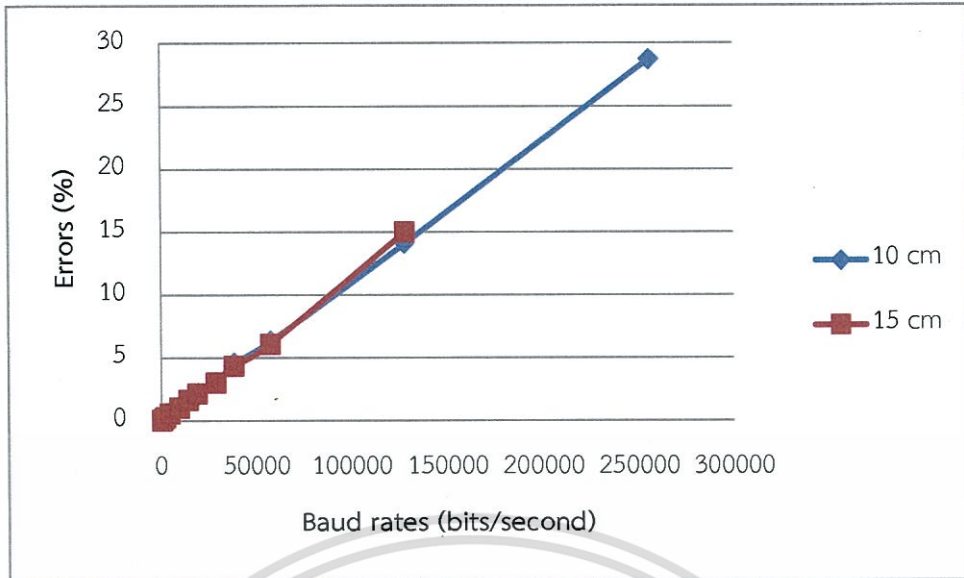


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 2 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

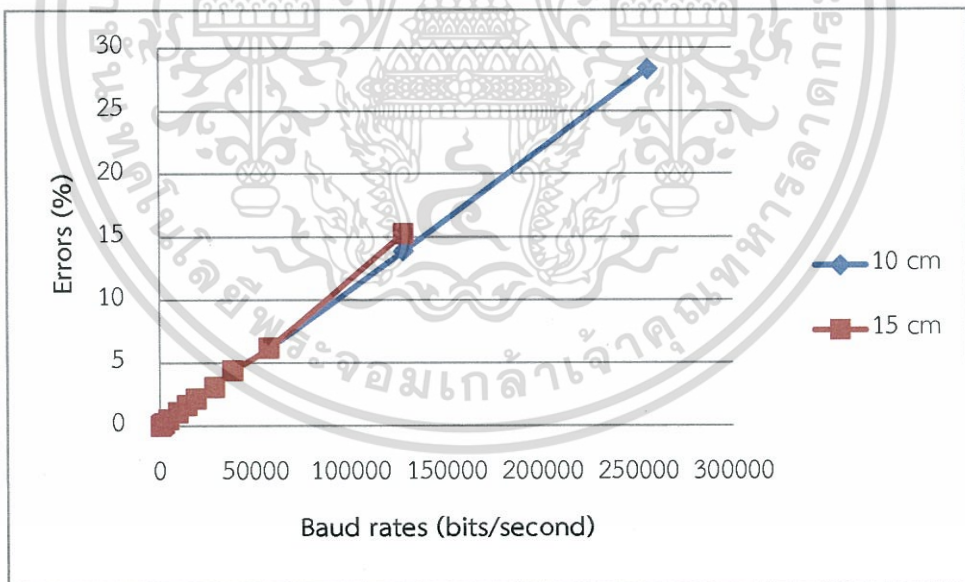


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 2 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

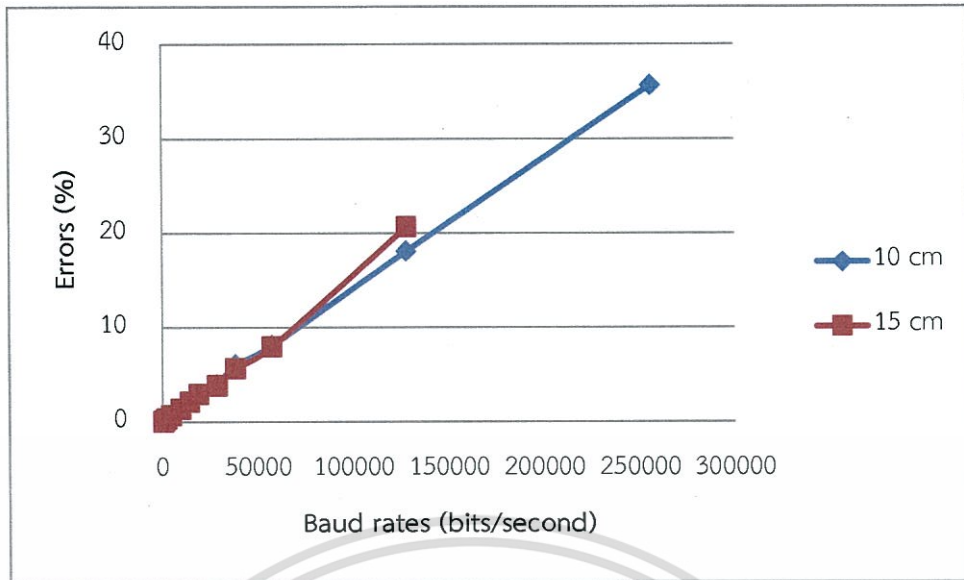


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 3 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

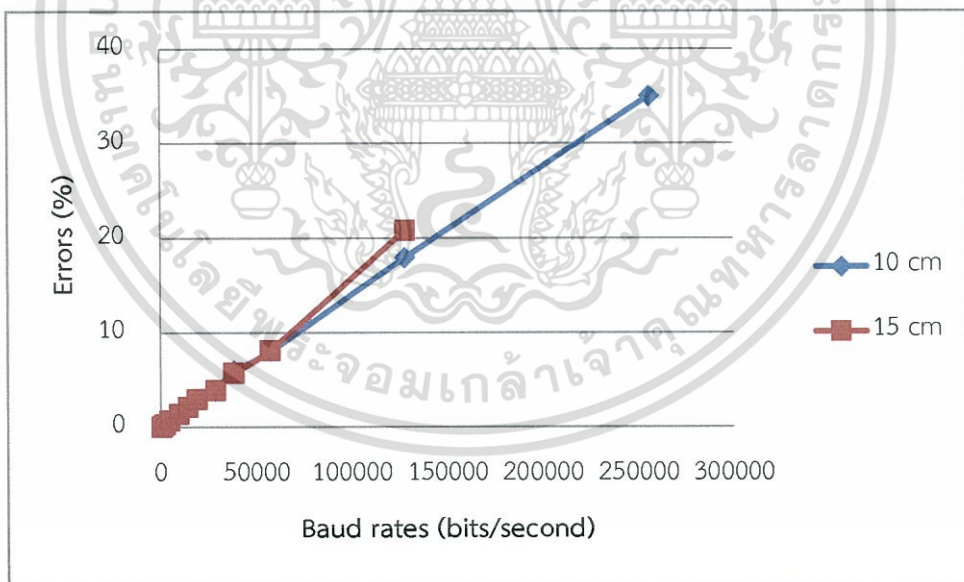


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 3 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

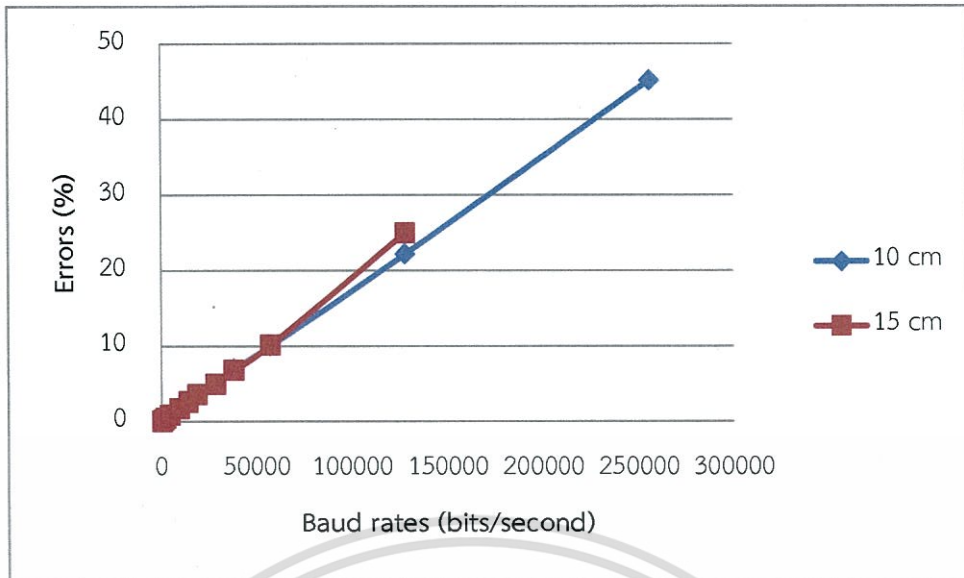


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 4 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

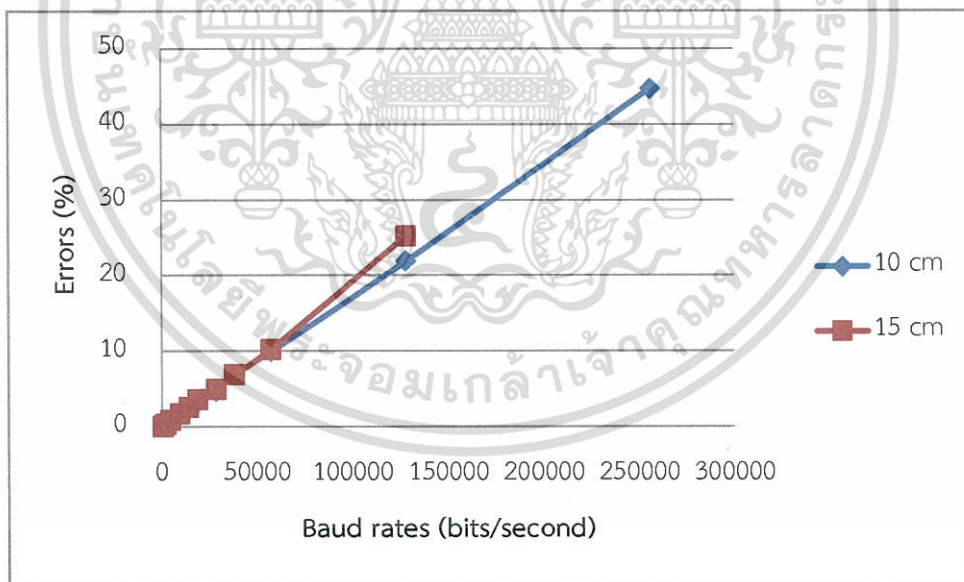


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 4 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 10 และ 15 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับได้ เมื่อมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง และมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C# ในการรับ-ส่งข้อมูลประเภท text file

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรับ-ส่งข้อมูล 50 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 3550 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11
1200	0.07	0.11	0.16	0.22	0.27
2400	0.13	0.20	0.28	0.39	0.46
4800	0.22	0.41	0.56	0.77	0.97
9600	0.45	0.77	1.10	1.43	1.85
14400	0.70	1.09	1.79	2.17	2.65
19200	0.84	1.51	2.19	2.82	3.38
28800	1.17	1.97	3.08	3.89	4.96
38400	1.58	2.86	4.29	5.37	6.64
57600	2.22	3.89	5.97	7.95	9.80
128000	4.54	8.74	13.27	18.14	22.13
256000	9.36	16.77	27.34	37.88	45.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 3550 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.02	0.06	0.09	0.10	0.12
1200	0.06	0.10	0.15	0.20	0.24
2400	0.13	0.20	0.29	0.39	0.46
4800	0.22	0.41	0.56	0.76	0.96
9600	0.45	0.78	1.10	1.41	1.83
14400	0.68	1.10	1.78	2.16	2.64
19200	0.85	1.52	2.19	2.83	3.40
28800	1.25	2.06	3.20	3.96	5.06
38400	1.88	3.03	4.47	5.71	6.86
57600	2.50	4.22	6.26	8.20	10.12
128000	5.06	9.36	13.90	18.65	22.63
256000	11.08	18.02	28.62	39.13	46.79

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง แบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 100 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 2560 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.02	0.06	0.07	0.11	0.12
1200	0.06	0.13	0.18	0.18	0.26
2400	0.13	0.22	0.27	0.36	0.43

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
4800	0.26	0.47	0.59	0.73	0.95
9600	0.43	0.75	1.10	1.37	1.72
14400	0.69	1.08	1.72	2.20	2.71
19200	0.86	1.47	2.13	2.93	3.69
28800	1.16	2.06	3.30	4.22	5.20
38400	1.79	3.27	4.53	5.53	7.54
57600	2.72	4.87	7.00	8.97	10.89
128000	5.37	9.93	15.01	18.75	24.25

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง แบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 100 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 2560 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.03	0.05	0.08	0.10	0.12
1200	0.06	0.12	0.17	0.19	0.27
2400	0.15	0.23	0.28	0.35	0.47
4800	0.26	0.46	0.58	0.74	0.94
9600	0.45	0.77	1.11	1.40	1.75
14400	0.71	1.10	1.74	2.20	2.73
19200	0.87	1.48	2.14	2.95	3.69
28800	1.17	2.09	3.30	4.24	5.24
38400	1.82	3.29	4.57	5.60	7.62
57600	2.65	4.90	7.10	9.03	10.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
128000	5.63	9.64	15.12	19.04	25.04

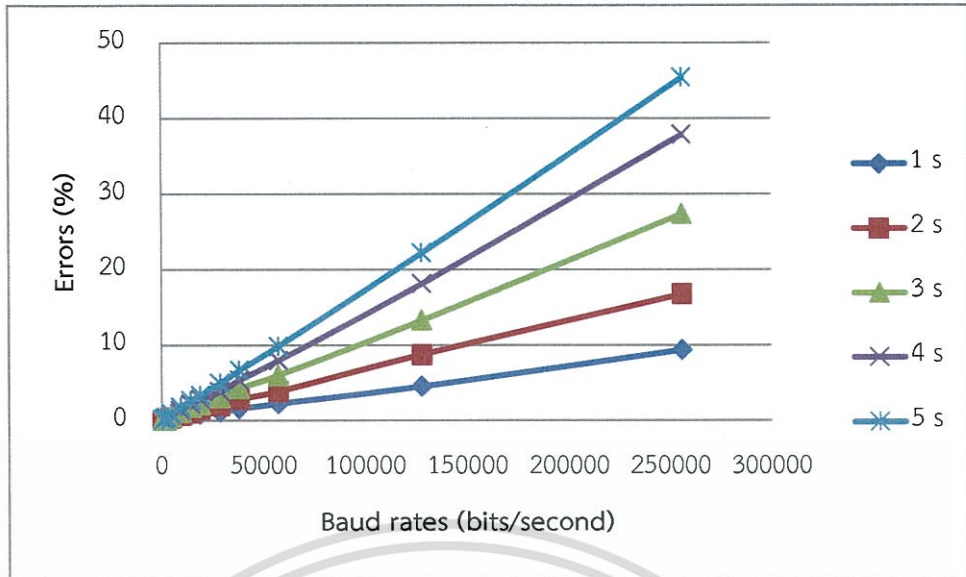
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง แบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 2050 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.03	0.06	0.08	0.09	0.12
1200	0.07	0.11	0.14	0.19	0.24
2400	0.13	0.20	0.29	0.37	0.48
4800	0.28	0.43	0.596	0.74	0.92
9600	0.49	0.77	1.14	1.44	1.72

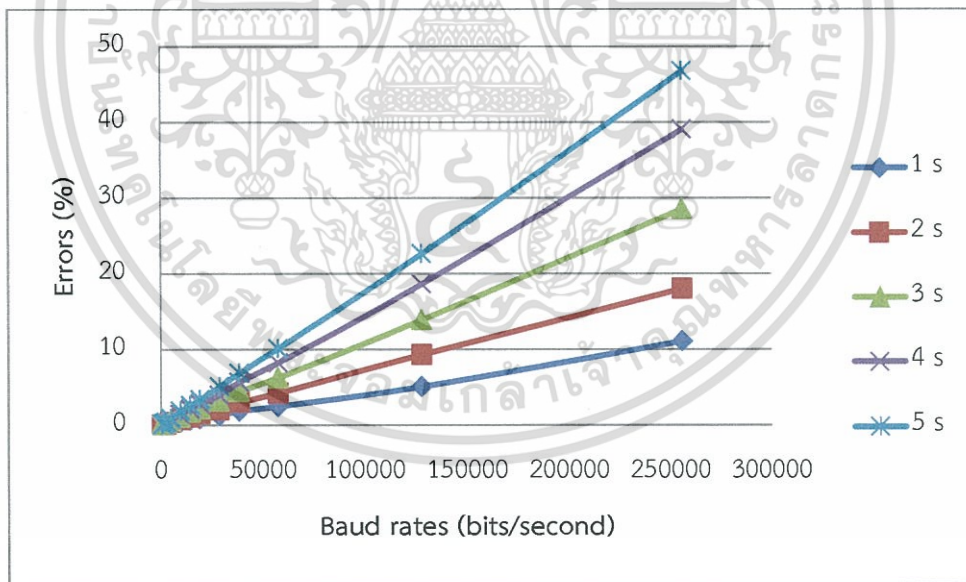
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองและประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 ในการรับ-ส่งข้อมูล 2 ทิศทาง แบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง โดยมีค่าความสว่างของแอลอีดี 2050 lux

Baud rates (bits/second)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลาต่างๆ (%)				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
600	0.05	0.08	0.07	0.11	0.15
1200	0.10	0.12	0.18	0.20	0.23
2400	0.14	0.21	0.29	0.37	0.48
4800	0.27	0.42	0.59	0.75	0.91
9600	0.48	0.76	1.13	1.44	1.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

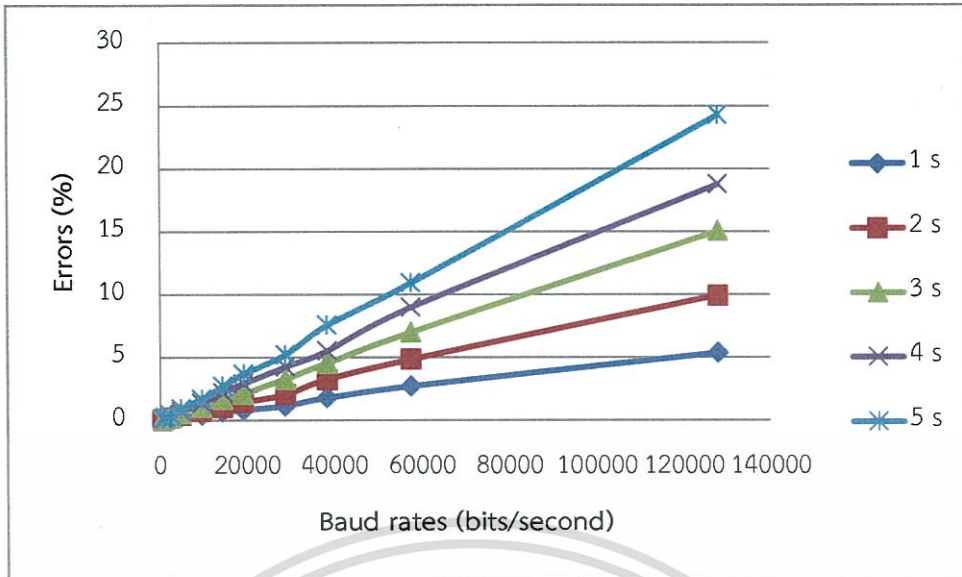


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

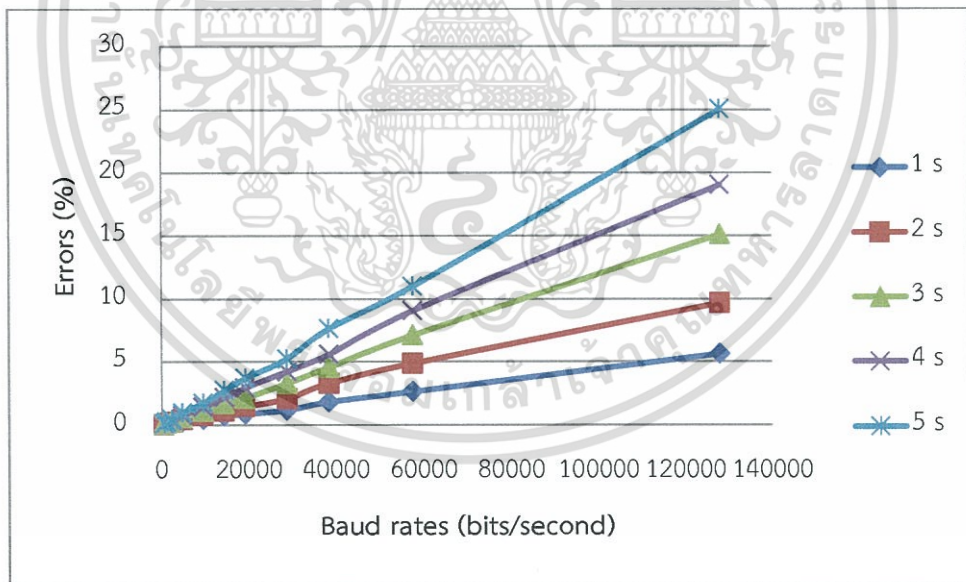


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

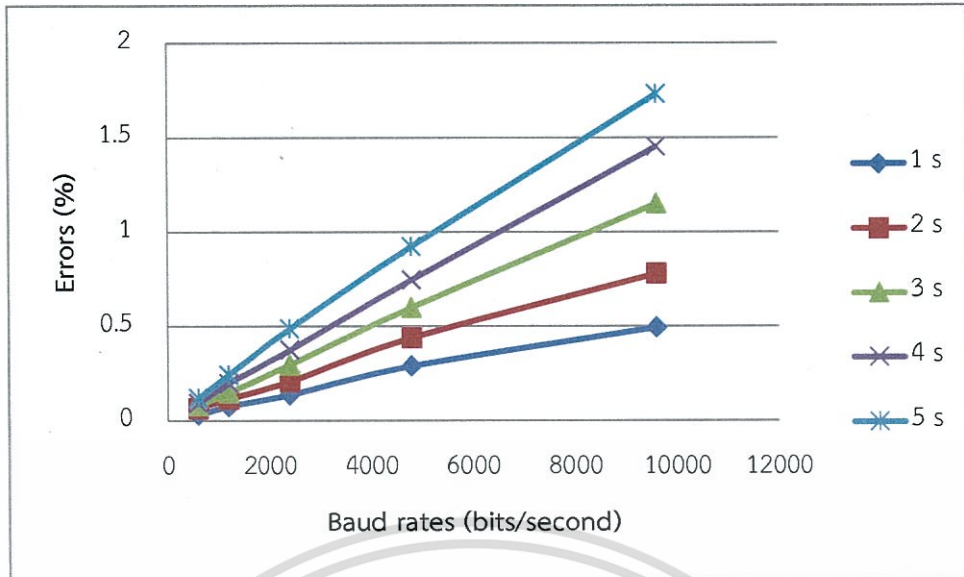


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 100 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

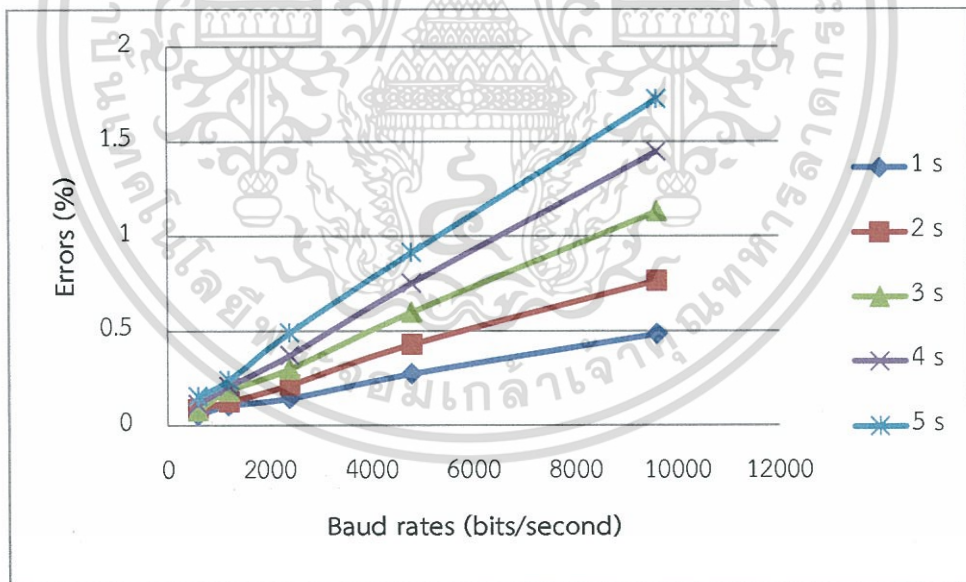


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 100 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

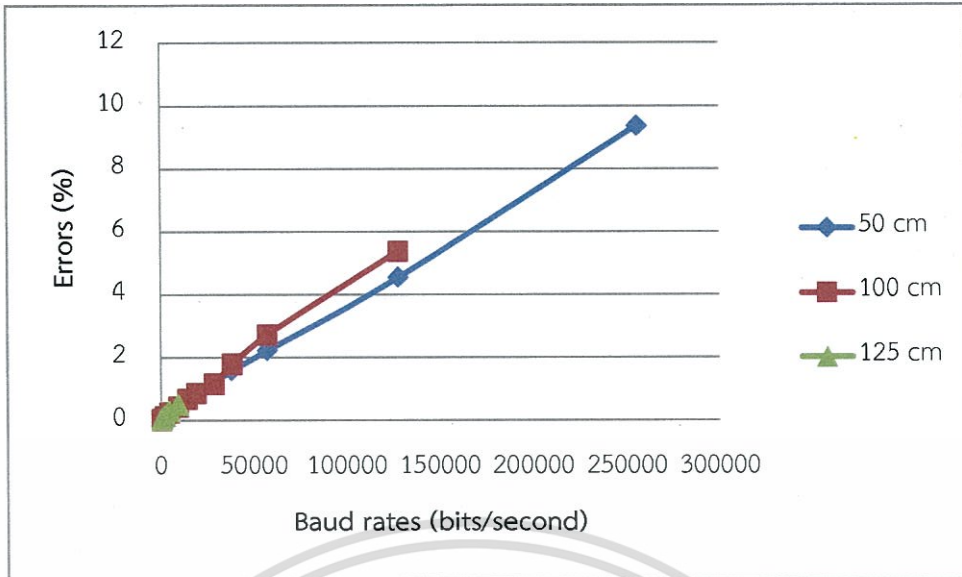


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

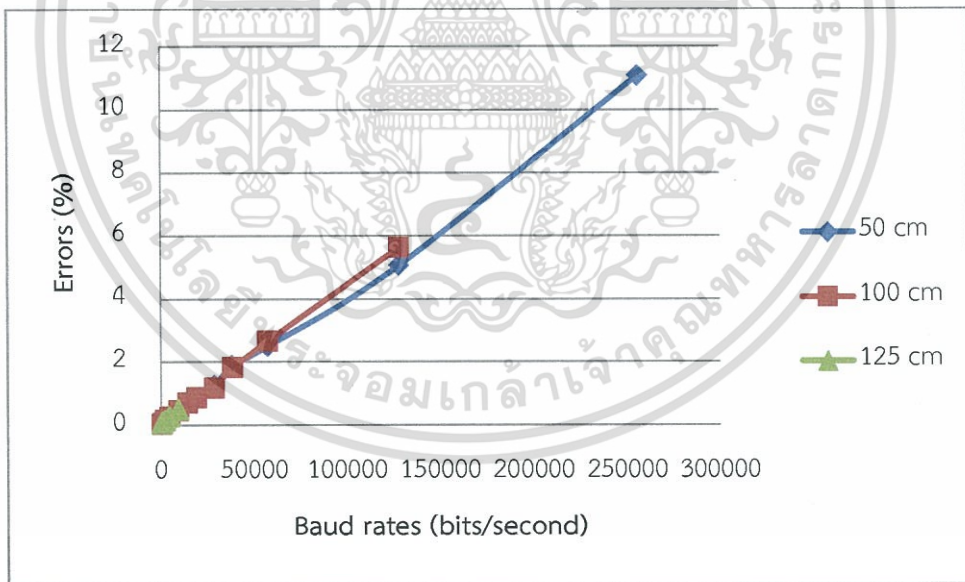


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานานาน 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

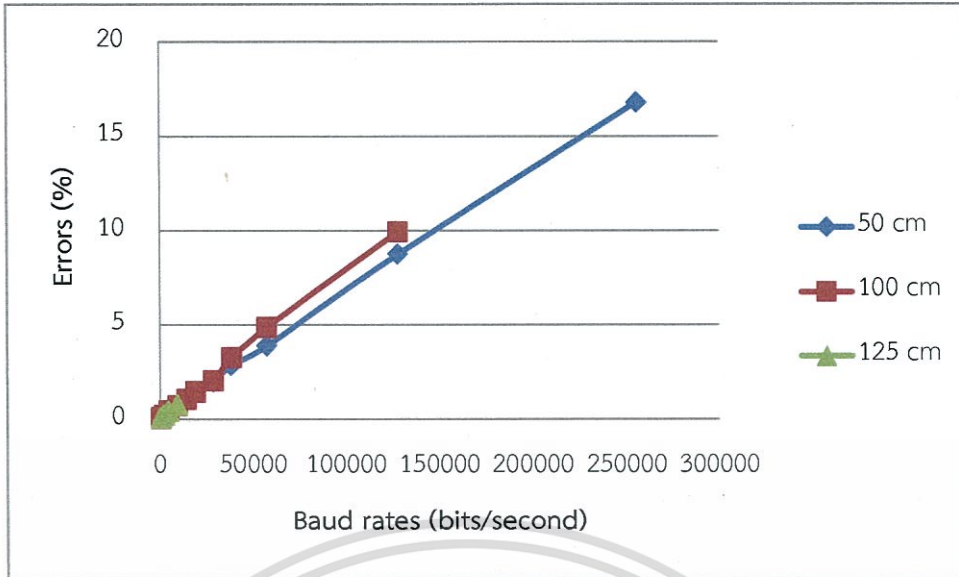


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

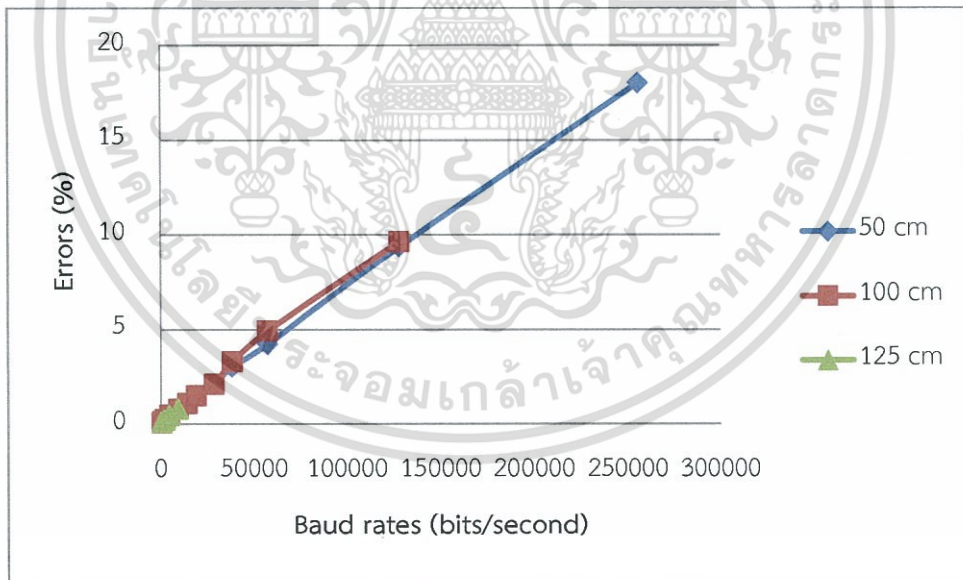


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 1 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

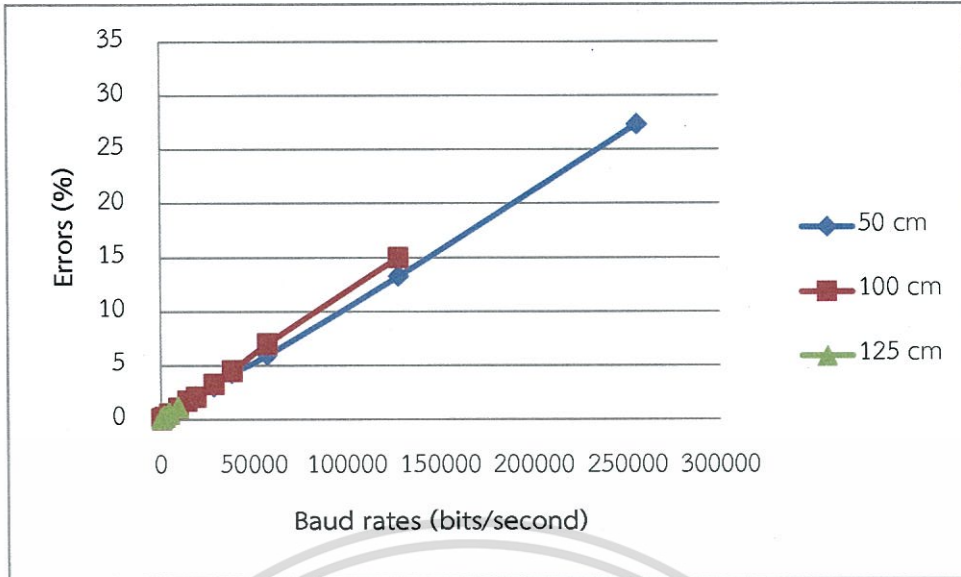


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 2 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

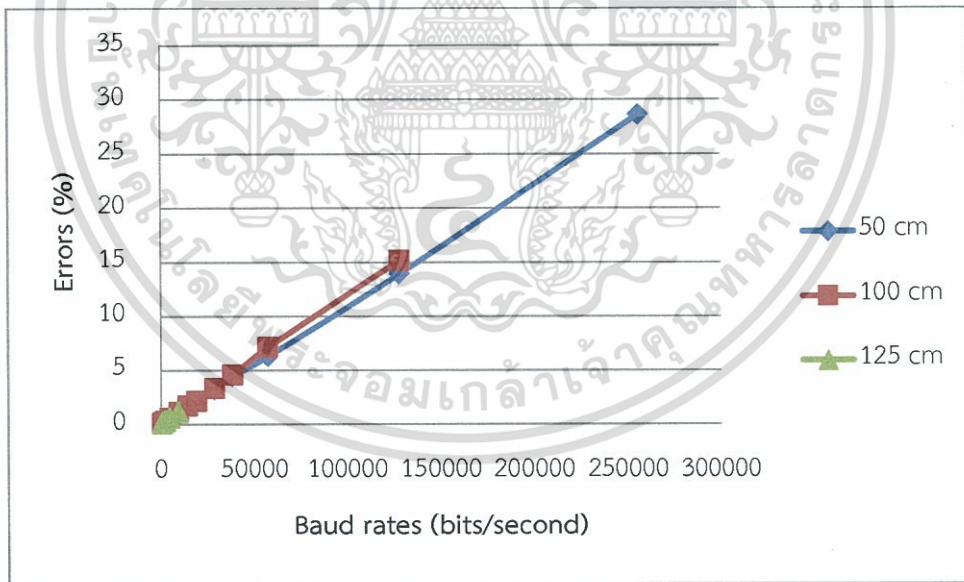


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 2 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

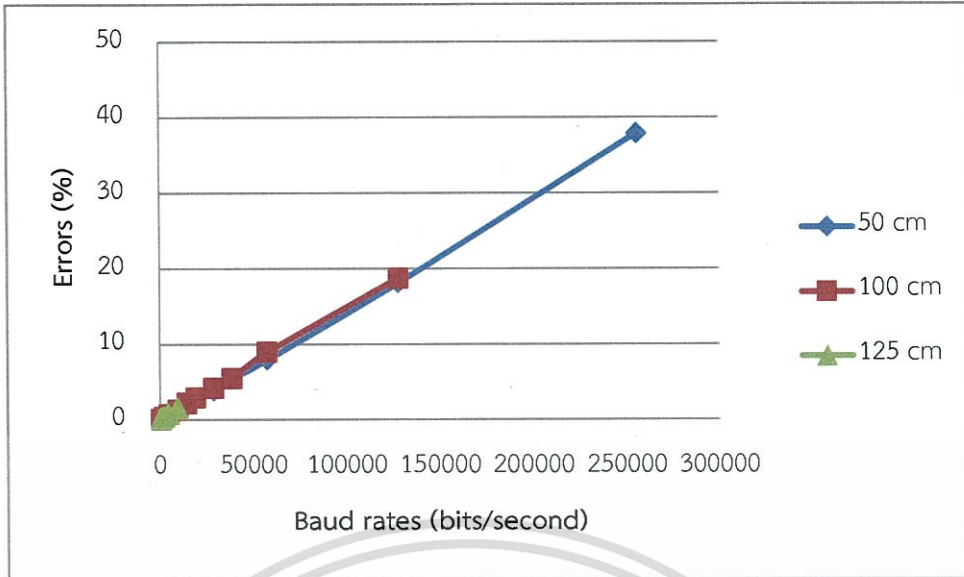


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 3 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

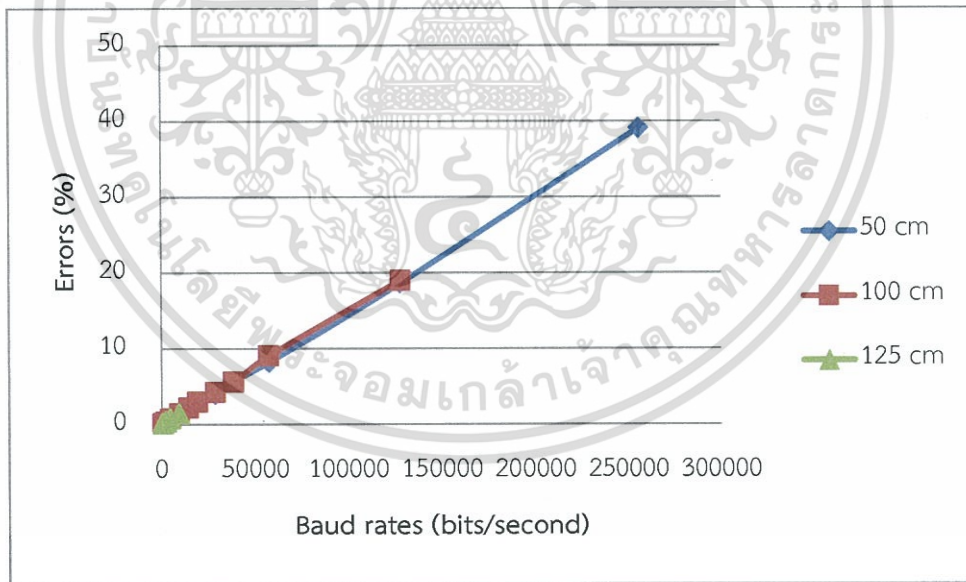


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 3 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

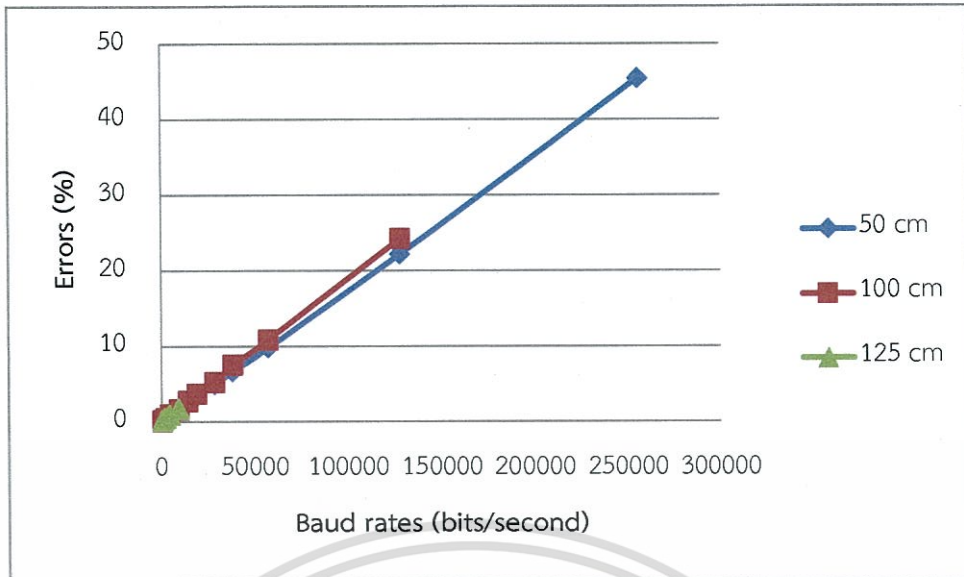


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 4 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

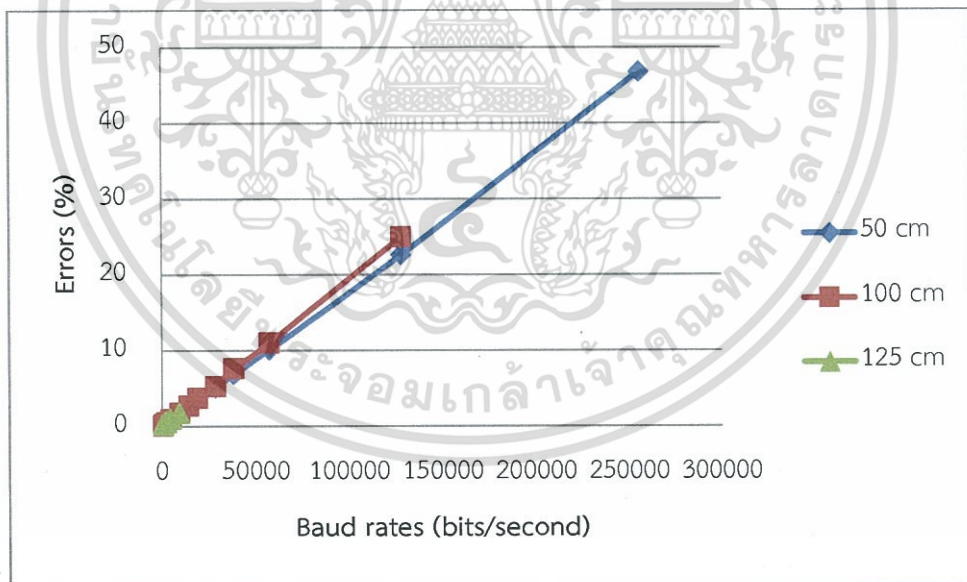


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 4 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิต (Baud rates) กับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูล (Errors) ที่รับได้จากคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 2 เมื่อมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นเวลานาน 5 วินาที ที่ระยะห่างระหว่างวงจรรับ-ส่งข้อมูล 50, 100 และ 125 เซนติเมตร ในกรณีที่มีการใช้เลนส์รวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและทดลองการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทางด้วยแสงจากแอลอีดี ได้ทำการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลแบบไม่มีความผิดพลาด โดยใช้โปรแกรม Terminal V19.b และใช้โปรแกรมการรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนขึ้นเองด้วย Microsoft Visual C# เพื่อประเมินเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้ ในการรับ-ส่งข้อมูลแบบมีสิ่งกีดขวางลำแสงสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

กรณีที่ 1 การทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลทิศทางเดียวแบบไม่มีความผิดพลาด ผลการทดสอบพบว่า สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ในระยะไกลที่สุด 21 เซนติเมตร โดยมีอัตราบิตสูงสุดของการรับ-ส่งข้อมูลแบบไม่มีความผิดพลาดอยู่ที่ 56,000 bits/second และเมื่อมีการนำเลนส์นูนเข้ามาช่วยในการรวมแสงจากแอลอีดีแล้ว ผลการทดสอบพบว่า สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ถึงระยะ 175 เซนติเมตร ด้วยอัตราบิตสูงสุดของการรับ-ส่งข้อมูลแบบไม่มีความผิดพลาดอยู่ที่ 28,800 bits/second

กรณีที่ 2 การทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง โดยมีสิ่งกีดขวางลำแสง ผลการทดสอบเมื่อไม่ได้ใช้เลนส์นูนในการทดลองพบว่า ที่ระยะห่างของการรับ-ส่งข้อมูล 10 เซนติเมตร สามารถรับ-ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตสูงสุดที่ 256,000 bits/second และที่ระยะห่างของการรับ-ส่งข้อมูล 15 เซนติเมตร สามารถรับ-ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตสูงสุดที่ 128,000 bits/second โดยระบบสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ไกลสุดที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร

ส่วนผลการทดสอบเมื่อมีการใช้เลนส์นูนในการทดลองพบว่า ที่ระยะห่าง 50 เซนติเมตร อัตราบิตที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดเท่ากับ 256,000 bits/second ที่ระยะห่าง 100 เซนติเมตร สามารถรับ-ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตสูงสุดที่ 128,000 bits/second และที่ระยะห่าง 125 เซนติเมตร สามารถรับ-ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตสูงสุดที่ 9,600 bits/second โดยระบบสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ไกลสุดที่ระยะห่าง 125 เซนติเมตร

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบิตในการรับ-ส่งข้อมูลกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้ ที่ระยะห่างเท่ากัน พบว่าเมื่อวัตถุกีดขวางลำแสงเป็นเวลานานขึ้น ส่งผลให้ข้อมูลที่รับได้มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากขึ้นด้วย

และหากมีการนำเลนส์นูนเข้ามาช่วยในการรวมแสง จะทำให้ระยะของการรับ-ส่งข้อมูลไกลมากขึ้นและที่ระยะห่างมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าอัตราบิตสูงสุดของการรับ-ส่งข้อมูลแบบไม่มีความผิดพลาดต่ำลง สำหรับที่ระยะห่างเท่ากันหากมีสิ่งกีดขวางลำแสงเป็นระยะเวลานานขึ้น พบว่าจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้มากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไม่ได้ใช้เลนส์นูนในการทดลอง ยังไม่สามารถประเมินได้แน่ชัดว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้นั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างตัวรับแสงกับแอลอีดีหรือไม่ เนื่องจากระยะห่างที่ทดลองรับ-ส่งข้อมูลได้นั้นค่อนข้างน้อยมาก โดยระยะห่างมากที่สุดที่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้เท่ากับ 15 เซนติเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

- สำหรับการทดสอบการทำงานของวงจรรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทางในโครงงานนี้ เป็นเพียงวงจรต้นแบบ อาจมีการพัฒนาให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการเพิ่มวงจรขยายสัญญาณและวงจรกรองสัญญาณทางแสง

- ในการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง บอร์ดของวงจรรับ-ส่งข้อมูลที่ประกอบขึ้นมาในแต่ละบอร์ดนั้น มีทั้งแอลอีดีและตัวรับแสงอยู่บนบอร์ดเดียวกัน หากตัวรับแสงและแอลอีดีที่อยู่บนบอร์ดเดียวกันถูกวางให้อยู่ใกล้กันเกินไป จะทำให้แสงของแอลอีดีบนบอร์ดนั้นไปรบกวนการทำงานของตัวรับแสงที่อยู่บนบอร์ดเดียวกันได้ และส่งผลให้ตัวรับแสงนั้นรับข้อมูลได้ผิดพลาดมากขึ้น ดังนั้นวิธีการแก้ไขสามารถทำได้โดยจัดวางตำแหน่งของแอลอีดีและตัวรับแสงบนบอร์ดเดียวกันให้มีระยะห่างกันมากขึ้น เพื่อลดการรบกวนของแสงซึ่งกันและกัน

เอกสารอ้างอิง

อัคคพงษ์ พันธุ์พฤษ. (2558). **สัญญาณรบกวน**. สืบค้นจาก

http://www.academia.edu/4460412/บทที่_6_สัญญาณรบกวน

Chand, M. (n.d.). **SaveFileDialog in C#**. Retrieved from

<http://www.c-sharpcorner.com/uploadfile/mahesh/savefiledialog-in-C-Sharp/>

Jhanvi. (2014). **How to clear a textbox once a button is clicked in WPF?**

Retrieved from <http://stackoverflow.com/questions/16236392/how-to-clear-a-textbox-once-a-button-is-clicked-in-wpf>

Karunatilaka, D., Zafar, F., & Kalavally, V. (2015). **LED Based Indoor Visible Light**

Communications: State of the Art. Retrieved from

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?arnumber=7072557>

Simple Serial Communication with Microsoft Visual C# Express. (n.d.).

Retrieved from <http://csharp.simpleserial.com/>

Tshepang. (2014). **Extracting Path from OpenFileDialog path/filename**.

Retrieved from <http://stackoverflow.com/questions/439007/extracting-path-from-openfiledialog-path-filename>

Vadovic, D. (n.d.). **Serial communication using c#**. Retrieved from

<http://developrog.com/index.php/categories-of-articles/application-prog/item/50-serial-communication-using-c>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

โค้ดที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลด้วย Microsoft Visual C#

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดแสดงพอร์ต

(ที่มา: <http://developrog.com/index.php/categories-of-articles/application-prog/item/50-serial-communication-using-c>)

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using System.IO;

namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            getAvailablePorts(); // for com port
            CheckForIllegalCrossThreadCalls = false; // for recieve
        }
        void getAvailablePorts()
        {
            String[] ports = SerialPort.GetPortNames();
            comboBox1.Items.AddRange(ports);
        }
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดคอนเนคพอร์ต (Connect) (ที่มา: <http://csharp.simpleserial.com/>)

```
private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (comboBox1.Text == "" || comboBox2.Text == "")
        {
            richTextBox2.Text = "Please select port
setting";
        }
        else
        {
            serialPort1.PortName = comboBox1.Text;
            serialPort1.BaudRate =
Convert.ToInt32(comboBox2.Text);
            serialPort1.Open();
            button1.Enabled = true;
            button2.Enabled = true;
            richTextBox1.Enabled = true;
            button3.Enabled = false;
            button4.Enabled = true;
            button5.Enabled = true;
            button6.Enabled = true;
            button7.Enabled = true;
            button8.Enabled = true;
        }
    }
    catch (UnauthorizedAccessException)
    {
        richTextBox2.Text = "Unauthorized Access";
    }
}
```

โค้ดดีสคอนเนคพอร์ต (Disconnect) (ที่มา: <http://csharp.simpleserial.com/>)

```
private void button6_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Close();
    button1.Enabled = false;
    button2.Enabled = false;
    button3.Enabled = true;
    button4.Enabled = false;
    button5.Enabled = false;
    button7.Enabled = false;
    button8.Enabled = false;
    richTextBox1.Enabled = false;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดปุ่มส่งข้อมูล (Send)

(ที่มา: <http://developrog.com/index.php/categories-of-articles/application-prog/item/50-serial-communication-using-c->)

```
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.WriteLine(richTextBox1.Text);
    richTextBox1.Text = "";
}
```

โค้ดปุ่มเปิดไฟล์ (Open file)

(ที่มา: <http://stackoverflow.com/questions/439007/extracting-path-from-openfiledialog-path-filename>)

```
private void button8_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (openFileDialog1.ShowDialog() ==
        System.Windows.Forms.DialogResult.OK)
    {
        label15.Text = openFileDialog1.FileName;
        richTextBox1.Text = File.ReadAllText(label15.Text);
    }
}
```

โค้ดปุ่มเคลียร์ (Clear)

(ที่มา: <http://stackoverflow.com/questions/16236392/how-to-clear-a-textbox-once-a-button-is-clicked-in-wpf>)

```
private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    richTextBox1.Clear();
}

private void button7_Click(object sender, EventArgs e)
{
    richTextBox2.Clear();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดปุ่มบันทึก (Save)

(ที่มา: <http://www.c-sharpcorner.com/uploadfile/mahesh/savefiledialog-in-C-Sharp/>)

```
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (saveFileDialog1.ShowDialog() ==
System.Windows.Forms.DialogResult.OK)
    {
        File.WriteAllText(saveFileDialog1.FileName,
richTextBox2.Text);
    }
}
```

โค้ดอ่านข้อมูลจากพอร์ต

(ที่มา: <http://developrog.com/index.php/categories-of-articles/application-prog/item/50-serial-communication-using-c>)

```
int i = 0;
private void serialPort1_DataReceived(object sender,
SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    richTextBox2.AppendText(serialPort1.ReadLine());
    richTextBox2.AppendText("\n");
    Console.WriteLine(i++);
}
private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    String[] strPortNames = SerialPort.GetPortNames();
    foreach (string n in strPortNames)
    {
        comboBox1.Items.Add(n);
    }
    comboBox1.SelectedIndex = 0;
}
```

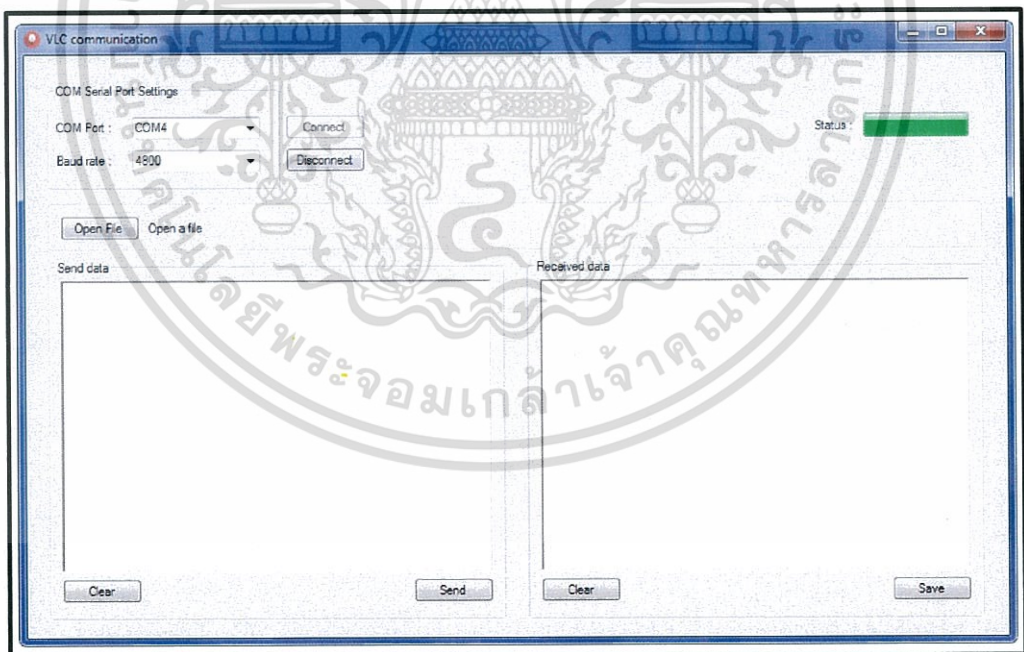
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดส่งข้อมูล (Send Data)

(ที่มา: <http://developrog.com/index.php/categories-of-articles/application-prog/item/50-serial-communication-using-c>)

```
private void transmit()  
{  
    Select();  
    try  
    {  
        serialPort1.Open();  
        serialPort1.Write(richTextBox1.Text);  
    }  
    catch  
    {  
        MessageBox.Show("com port is not available");  
    }  
}
```

หน้าต่างโปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลที่เขียนด้วย Microsoft Visual C#

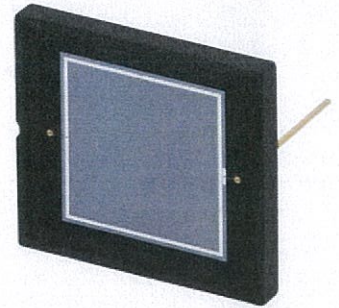


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
Datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Description

The Thorlabs FDS10X10, silicon photodiode is ideal for measuring both pulsed and CW fiber light with sensitivity from 340 to 1100 nm. The detector is housed in a ceramic package with an anode and cathode connection. Under reverse bias application, the photodiode anode produces a current, which is a function of the incident light power and the wavelength. The responsivity $\mathfrak{R}(\lambda)$, can be read from Figure 1 to estimate the amount of photocurrent per incident light energy. The photodiode current can be converted to a voltage by placing a load resistor (R_L) between the photodiode anode and the circuit ground. The output voltage is derived as:

$$V_o = P \times \mathfrak{R} \times R_L$$

The bandwidth, f_{BW} , and the rise time response, t_R , are determined from the diode capacitance, C_j , and the load resistance, R_L , as shown below. The diode capacitance can be lowered by placing a bias voltage from the photodiode cathode to the circuit ground.

$$f_{BW} = \frac{1}{(2\pi)R_L C_j}, \quad t_R = \frac{0.35}{f_{BW}}$$

Specifications

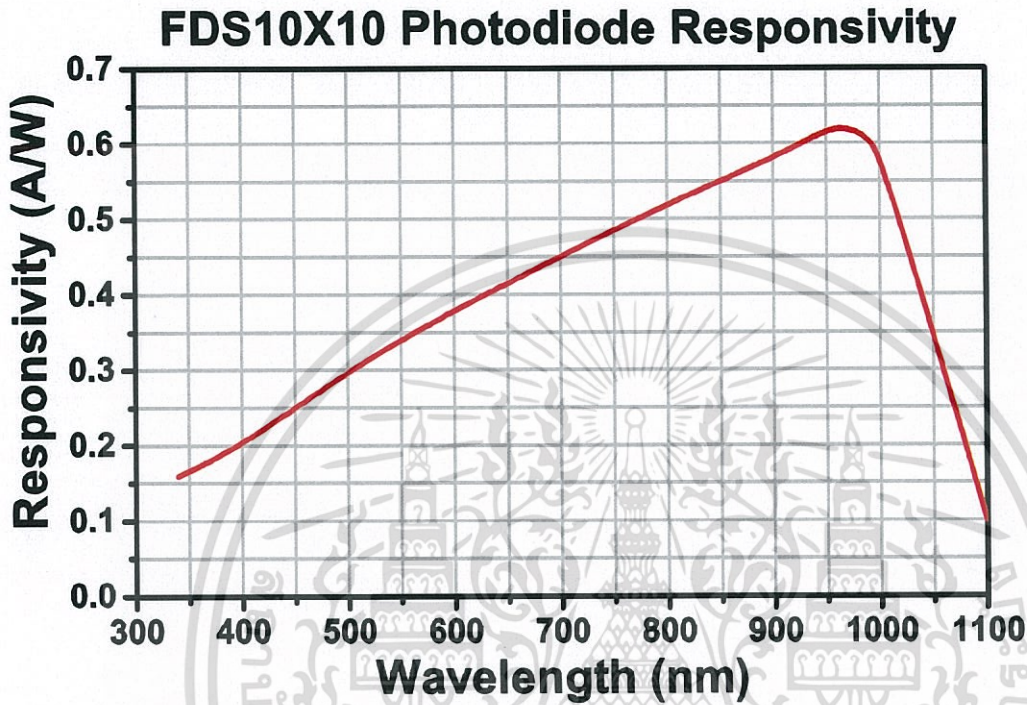
Specification		Value
Wavelength Range	λ	340 - 1100 nm
Peak Wavelength	λ_p	960 nm
Responsivity	$\mathfrak{R}(\lambda_p)$	0.62 A/W
Active Area		100 mm ²
Rise/Fall Time ($R_L=50 \Omega$, 5 V)	t_r/t_f	150 ns / 150 ns
NEP, Typical (960 nm)	W/Hz	1.50×10^{-14}
Dark Current (5 V)	I_d	200 pA
Capacitance (5 V)	C_j	380 pF
Package		Ceramic
Sensor Material		Silicon (Si)



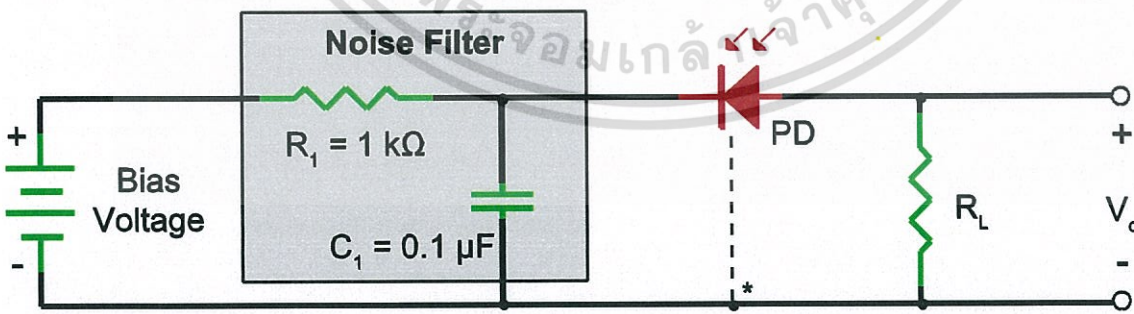
Maximum Rating

Max Bias (Reverse) Voltage	5 V
Operating Temperature	-40 to +75 °C
Storage Temperature	-55 to +125 °C

Typical Spectral Intensity Distribution

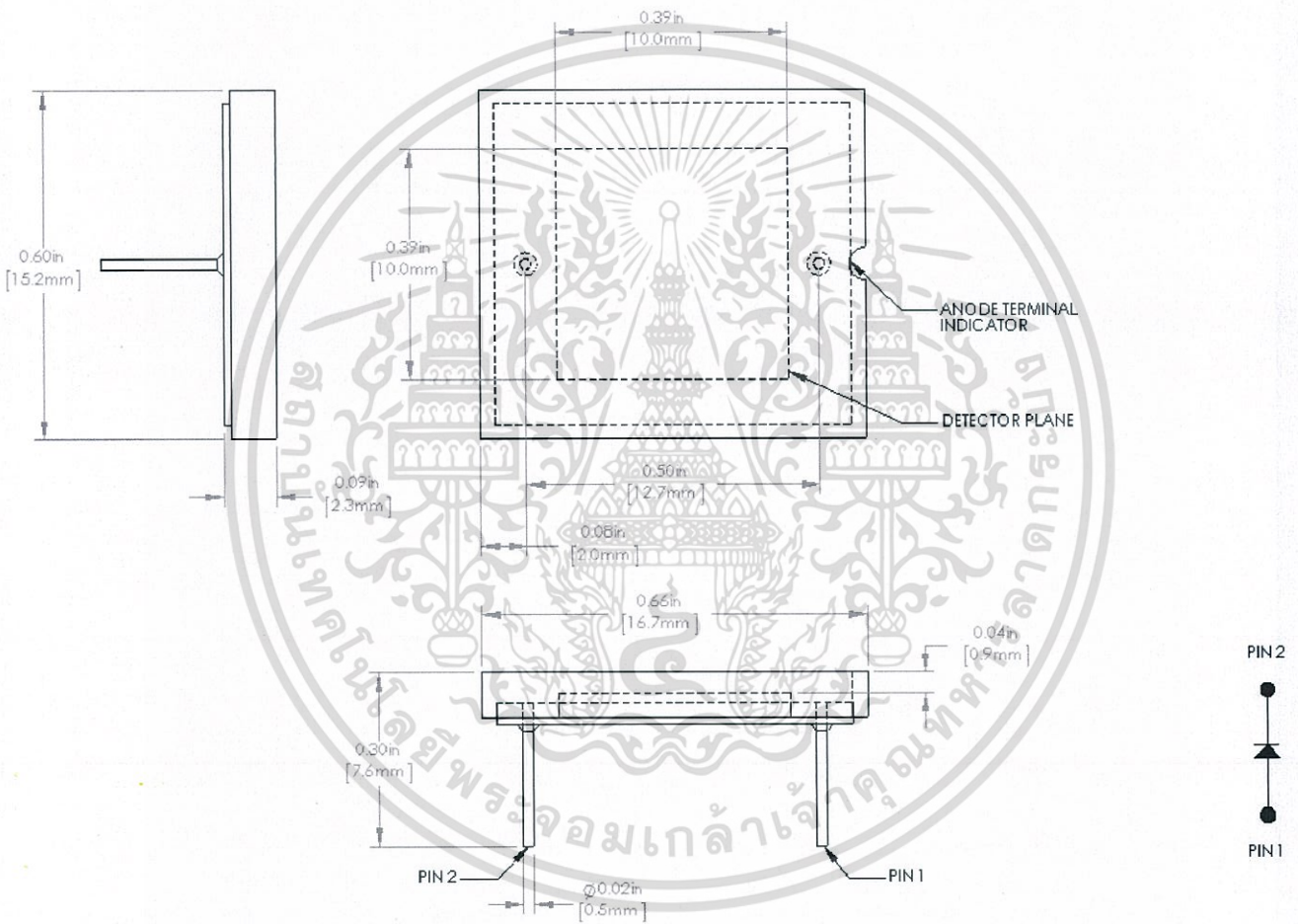


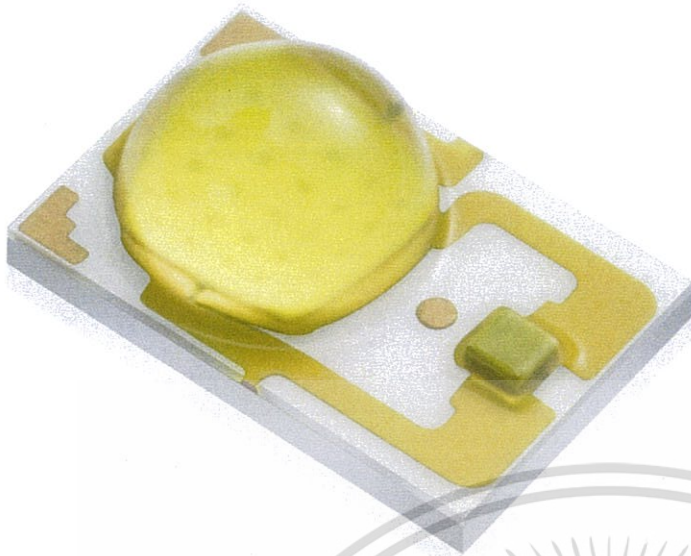
Recommended Circuit



* Case ground for PD with a third lead.

Drawing





LUXEON Rebel ES

Leading lumen output

Technical Datasheet DS61

LUXEON[®]
never before possible



LUXEON[®] Rebel ES

Leading lumen output and efficacy

Introduction

LUXEON[®] Rebel ES gives you the flexibility you need for designing luminaires and lamps. Tested and binned at 700 mA, you can confidently design LUXEON Rebel ES into high lumen applications or create more energy efficient devices using the same emitter. You can count on LUXEON Rebel ES for quality, reliability and in-device performance.

- Perfect for applications that require high lumen output
- deliver high quality light that people appreciate
- reduces the cost of ownership
- delivers over 200 lumens at 700 mA in 4100K Neutral-White and 5650K Cool-White
- are REACH and RoHS Compliant
- use less electricity to operate while achieving the desired lumen output.

PHILIPS
LUMILEDS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Product Selection

Product Selection for LUXEON Rebel ES Thermal Pad Temperature = 25°C

Table 1.

Performance at Test Current					
Nominal CCT/ Color	Part Number	Minimum CRI	Typical CRI	Minimum Luminous Flux (lm) ^{[1][2]}	Test Current (mA)
4100K Neutral-White	LXML-PWN2	60	65	200	700
5650K Cool-White	LXML-PWC2	60	70	200	700
3500K	LXW8-PW35	80	85	160	700
4000K	LXW8-PW40	80	85	170	700
5000K	LXW8-PW50	80	85	180	700

Notes for Table 1:

1. Minimum luminous flux performance within published operating conditions. Philips Lumileds maintains a tolerance of $\pm 6.5\%$ on luminous flux measurements.
2. LUXEON Rebel ES products with even higher luminous flux levels will become available in the future. Please consult Philips Lumileds or Future Lighting Solutions for more information.

Typical Luminous Flux Characteristics at 350 mA, 700 mA and 1000 mA for LUXEON Rebel ES, Thermal Pad Temperature = 25°C

Table 2.

Nominal CCT/ Color	Typical Luminous Flux (lm) @ 350 mA Forward Current	Typical Luminous Flux (lm) @ 700 mA Forward Current	Typical Luminous Flux (lm) @ 1000 mA Forward Current
4100K Neutral-White	130	230	310
5650K Cool-White	135	235	320
3500K	103	185	252
4000K	106	190	258
5000K	111	200	272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Optical Characteristics

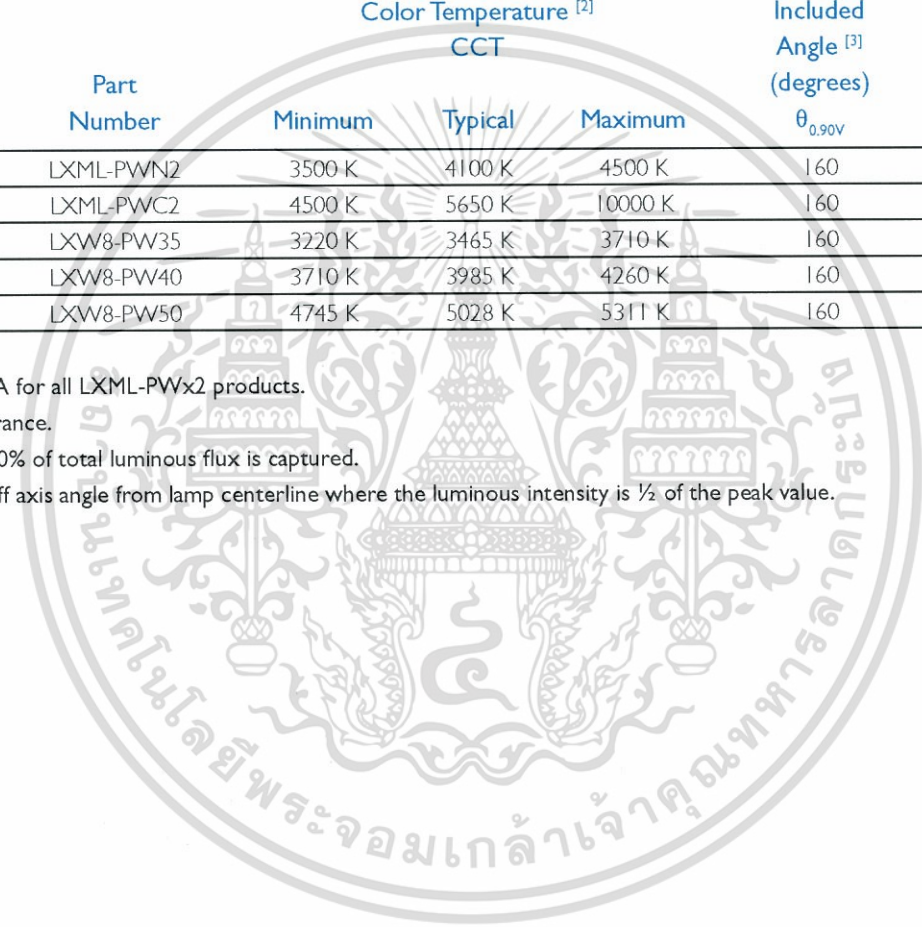
LUXEON Rebel ES at Test Current ^[1, 5] Thermal Pad Temperature = 25°C

Table 3.

Nominal CCT/ Color	Part Number	Color Temperature ^[2] CCT			Typical Total Included Angle ^[3] (degrees) $\theta_{0.90V}$	Typical Viewing Angle ^[4] (degrees) 2 θ 1/2
		Minimum	Typical	Maximum		
4100K Neutral-White	LXML-PWN2	3500 K	4100 K	4500 K	160	120
5650K Cool-White	LXML-PWC2	4500 K	5650 K	10000 K	160	120
3500K	LXW8-PW35	3220 K	3465 K	3710 K	160	120
4000K	LXW8-PW40	3710 K	3985 K	4260 K	160	120
5000K	LXW8-PW50	4745 K	5028 K	5311 K	160	120

Notes for Table 3:

1. Test current is 700 mA for all LXML-PWx2 products.
2. CCT $\pm 5\%$ tester tolerance.
3. Total angle at which 90% of total luminous flux is captured.
4. Viewing angle is the off axis angle from lamp centerline where the luminous intensity is $\frac{1}{2}$ of the peak value.



Electrical Characteristics

Electrical Characteristics at 700 mA for LUXEON Rebel ES Thermal Pad Temperature = 25°C

Table 4.

Nominal CCT/ Color	Forward Voltage V_f [1] (V)			Typical Temperature Coefficient of Forward Voltage [2] (mV/°C) $\Delta V_f / \Delta T_j$	Typical Thermal Resistance Junction to Thermal Pad (°C/W) $R_{\theta_{j-c}}$
	Min.	Typ.	Max.		
4100K Neutral-White	2.5	3.0	3.5	-2.0 to -4.0	6
5650K Cool-White	2.5	3.0	3.5	-2.0 to -4.0	6
3500K	2.5	3.0	3.5	-2.0 to -4.0	6
4000K	2.5	3.0	3.5	-2.0 to -4.0	6
5000K	2.5	3.0	3.5	-2.0 to -4.0	6

Notes for Table 4:

1. Philips Lumileds maintains a tolerance of $\pm 0.06V$ on forward voltage measurements.
2. Measured between $25^\circ C = T_j = 110^\circ C$ at $I_f = 700$ mA.

Typical Electrical Characteristics at 350 mA, 700 mA and 1000 mA for LUXEON Rebel ES, Thermal Pad Temperature = 25°C

Table 5.

Nominal CCT/ Color	Typical Forward Voltage V_f (V) @ 350 mA Forward Current	Typical Forward Voltage V_f (V) @ 700 mA Forward Current	Typical Forward Voltage V_f (V) @ 1000 mA Forward Current
4100K Neutral-White	2.85	3.00	3.10
5650K Cool-White	2.85	3.00	3.10
3500K	2.85	3.00	3.10
4000K	2.85	3.00	3.10
5000K	2.85	3.00	3.10

Note for Table 5:

- Philips Lumileds maintains a tolerance of $\pm 0.06V$ on forward voltage measurements.

Absolute Maximum Ratings

Table 6.

Parameter	4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 3500K, 4000K and 5000K
DC Forward Current (mA)	1000 mA
Peak Pulsed Forward Current (mA) ^[2]	1200 mA
Average Forward Current (mA)	1000 mA
ESD Sensitivity	< 8000V Human Body Model (HBM) Class 3B JESD22-A114-E
LED Junction Temperature ^[1]	150°C
Operating Case Temperature at 350 mA	-40°C - 135°C
Storage Temperature	-40°C - 135°C
Soldering Temperature	JEDEC 020c 260°C
Allowable Reflow Cycles	3
Autoclave Conditions	121°C at 2 ATM 100% Relative Humidity for 96 Hours Maximum
Reverse Voltage (Vr)	LUXEON Rebel ES LEDs are not designed to be driven in reverse bias

Notes for Table 6:

1. Proper current derating must be observed to maintain junction temperature below the maximum.
2. Maximum Rating of 1200 mA Peak Pulsed Forward Current can be applied for device operation not to exceed 60 seconds.

JEDEC Moisture Sensitivity

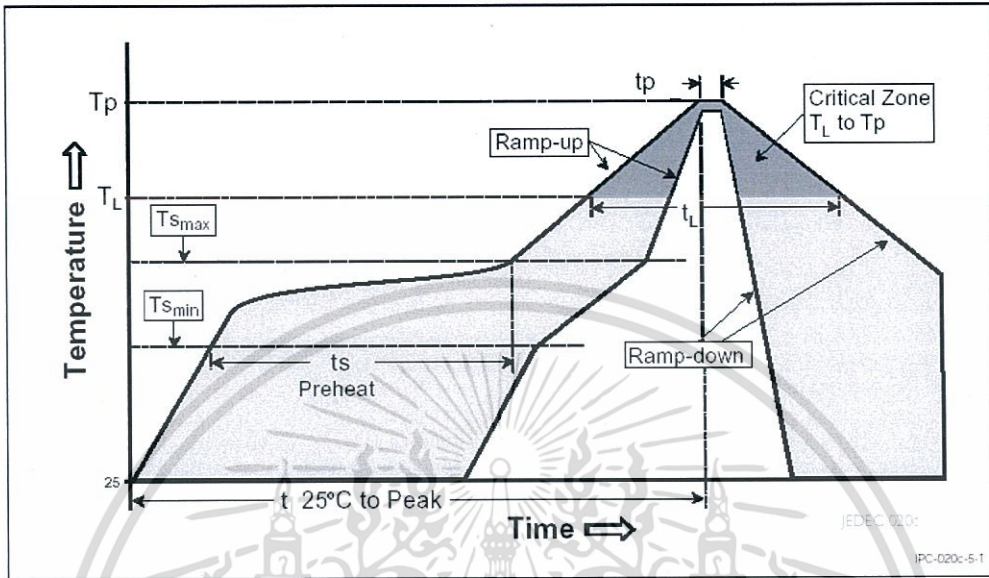
Table 7.

Level	Floor Life		Soak Requirements	
	Time	Conditions	Time	Conditions
1	unlimited	≤ 30°C / 85% RH	168h + 5 / -0	85°C / 85% RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

LUXEON Rebel ES Datasheet DS61 20110412  อีกรหัสห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reflow Soldering Characteristics



Temperature Profile for Table 8.

Table 8.

Profile Feature	Lead Free Assembly
Average Ramp-Up Rate ($T_{s_{max}}$ to T_p)	3°C / second max
Preheat Temperature Min ($T_{s_{min}}$)	150°C
Preheat Temperature Max ($T_{s_{max}}$)	200°C
Preheat Time ($t_{s_{min}}$ to $t_{s_{max}}$)	60 - 180 seconds
Temperature (T_L)	217°C
Time Maintained Above Temperature (T_L)	60 - 150 seconds
Peak / Classification Temperature (T_p)	260°C
Time Within 5°C of Actual Peak Temperature (t_p)	20 - 40 seconds
Ramp - Down Rate	6°C / second max
Time 25°C to Peak Temperature	8 minutes max

Notes for Table 8:

- All temperatures refer to the application Printed Circuit Board (PCB), measured on the surface adjacent to the package body.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Mechanical Dimensions

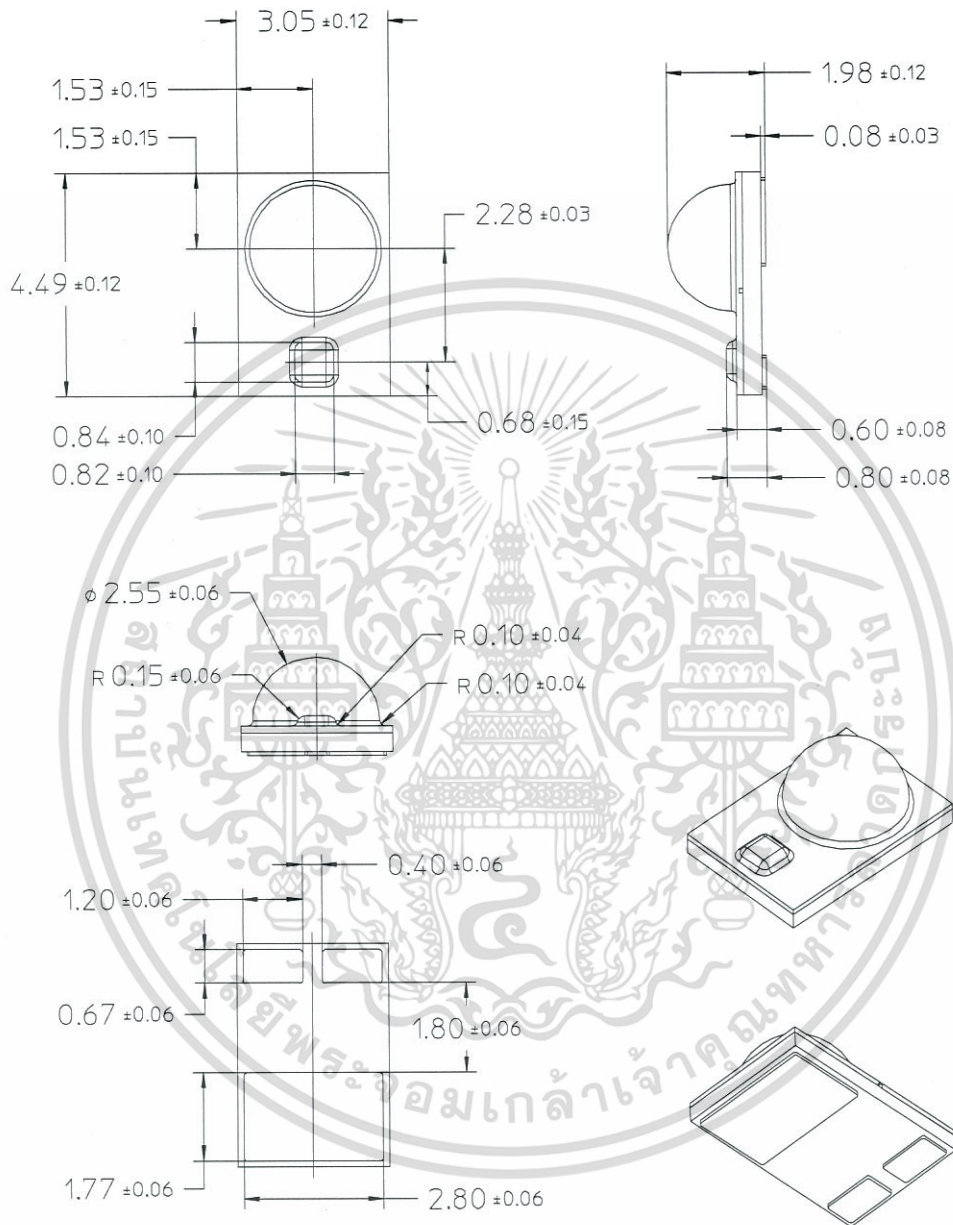


Figure 1. Package outline drawing.

Notes for Figure 1:

- Care should be taken to avoid damage to the lens or the interior of the device that can be damaged by excessive force to the lens.
- Drawings not to scale.
- All dimensions are in millimeters.
- The Thermal Pad is electrically isolated from the Anode and Cathode contact pads.

Pad Configuration

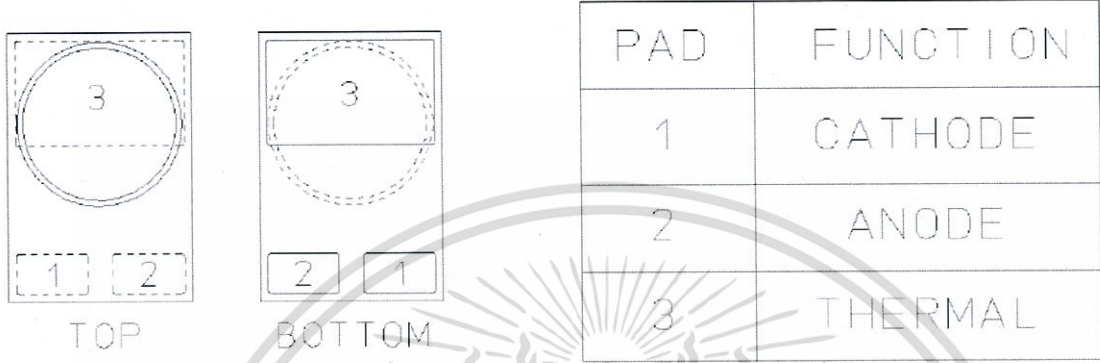


Figure 2. Pad configuration.

Note for Figure 2:

- The Thermal Pad is electrically isolated from the Anode and Cathode contact pads.

Solder Pad Design

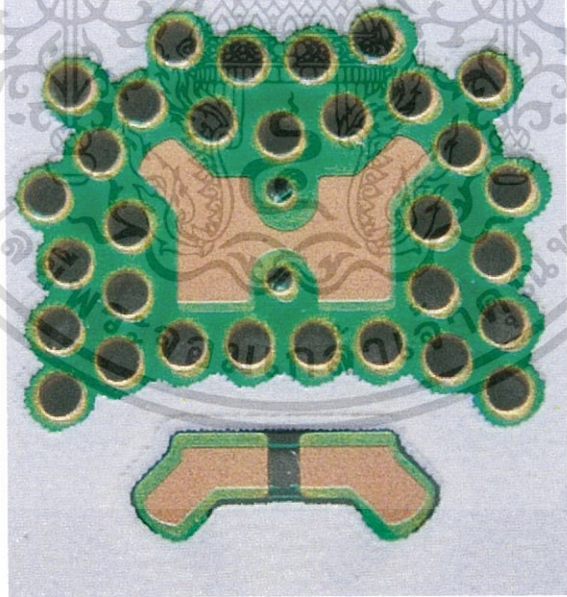


Figure 3. Solder pad layout.

Note for Figure 3:

- The photograph shows the recommended LUXEON Rebel ES layout on Printed Circuit Board (PCB). This design easily achieves a thermal resistance of 7K/W.
- Application Brief AB32 provides extensive details for this layout. In addition, the .dwg files are available at www.philipslumileds.com and www.philipslumileds.cn.com.

Relative Spectral Distribution vs. Wavelength Characteristics

4100K Neutral-White at Test Current, Thermal Pad Temperature = 25°C

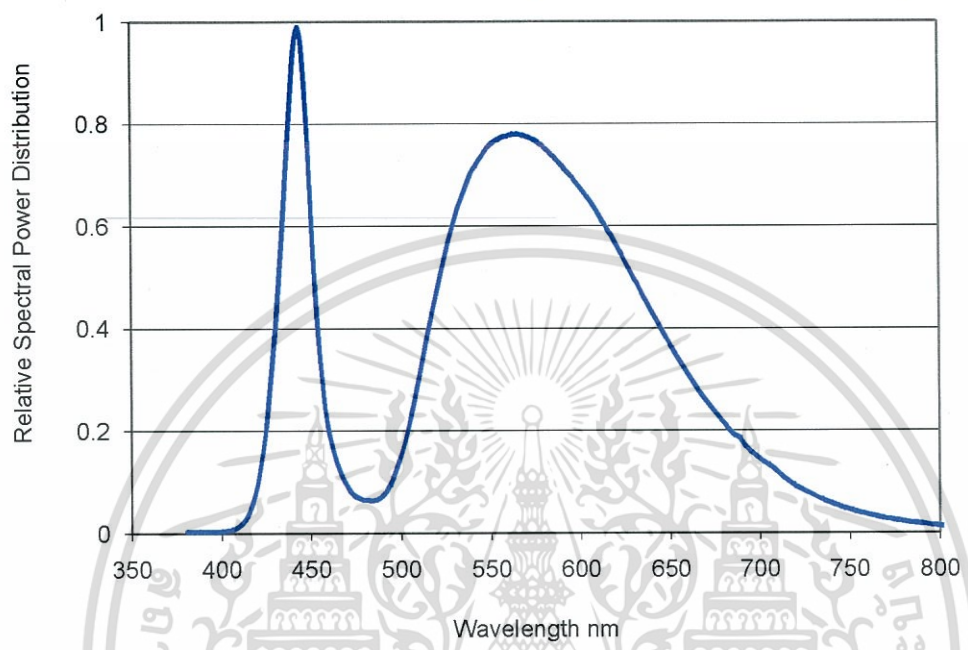


Figure 4. 4100K Neutral-White color spectrum of typical CCT part, integrated measurement.

5650K Cool-White at Test Current, Thermal Pad Temperature = 25°C

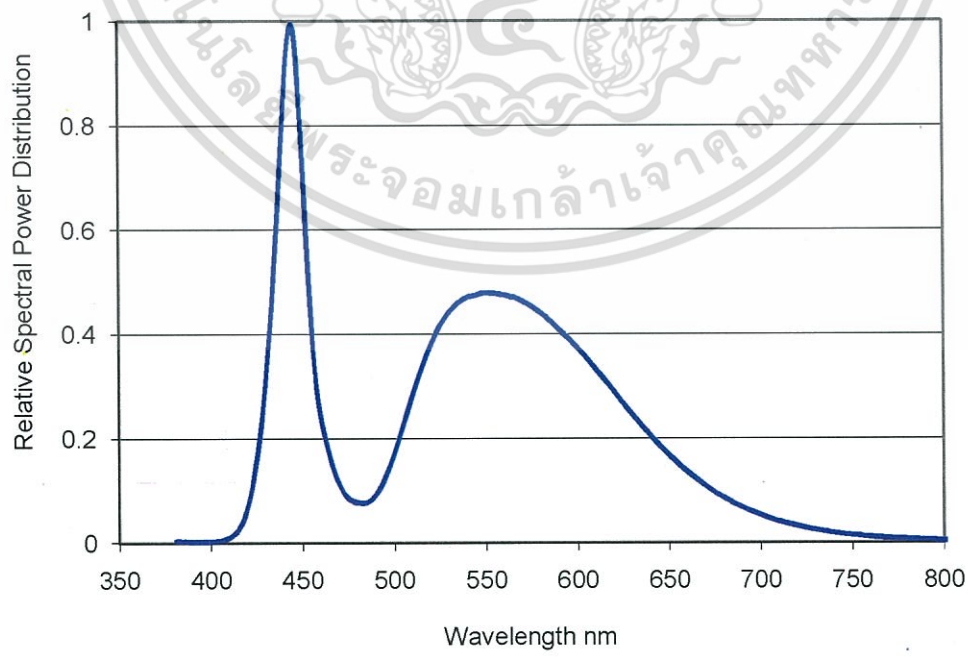


Figure 5. 5650K Cool-White color spectrum of typical CCT part, integrated measurement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

LUXEON Rebel ES Datasheet, DS61, 20110412 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3500K at Test Current, Thermal Pad Temperature = 25°C

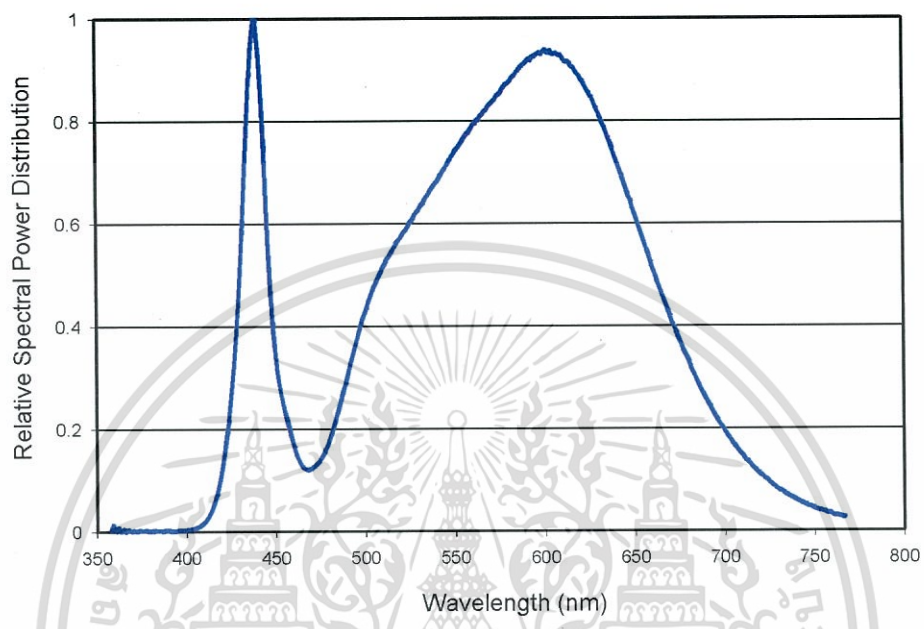


Figure 6. 3500K color spectrum of typical CCT part, integrated measurement.

4000K at Test Current, Thermal Pad Temperature = 25°C

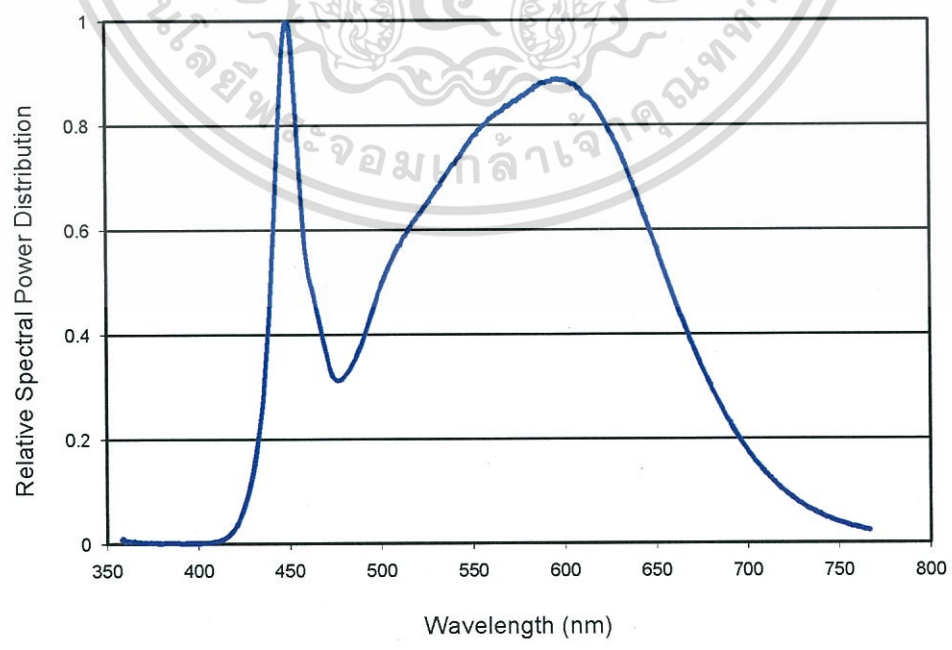


Figure 7. 4000K color spectrum of typical CCT part, integrated measurement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5000K at Test Current, Thermal Pad Temperature = 25°C

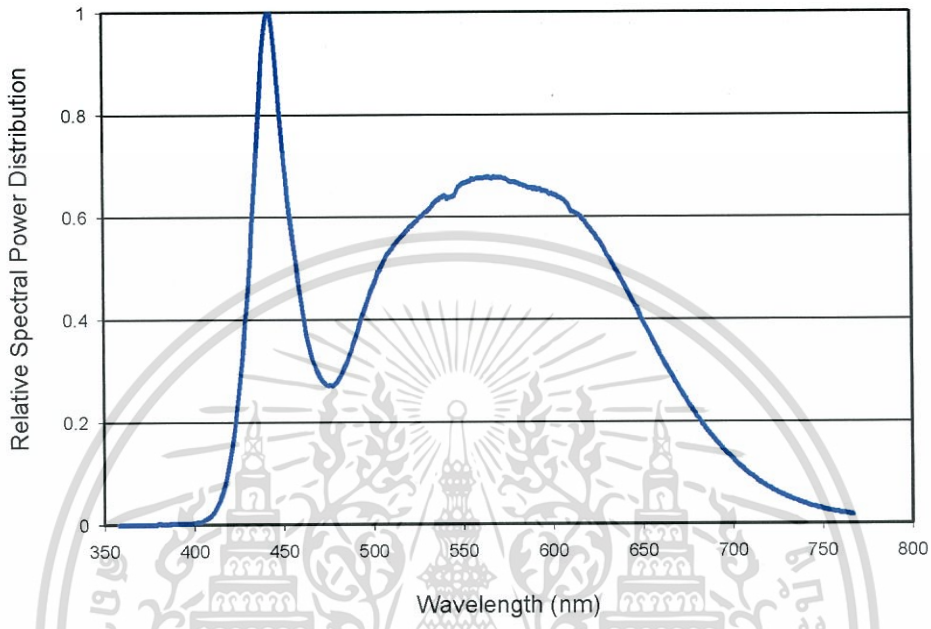


Figure 8. 5000K color spectrum of typical CCT part, integrated measurement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Light Output Characteristics over Temperature

4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 3500K, 4000K and 5000K at Test Current

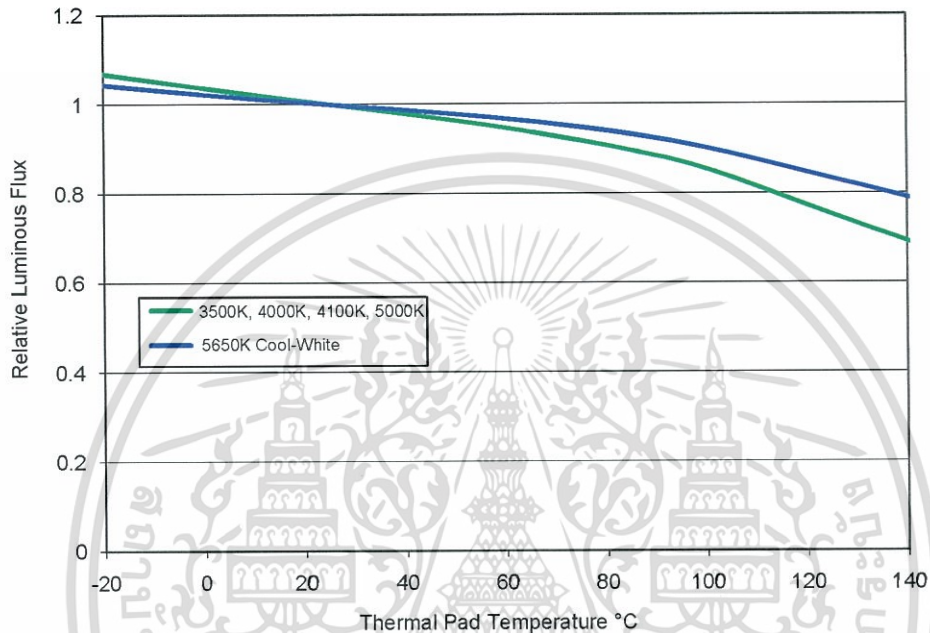


Figure 9. Relative light output vs. thermal pad temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Typical Forward Current Characteristics

4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 3500K, 4000K and 5000K
Thermal Pad Temperature = 25°C

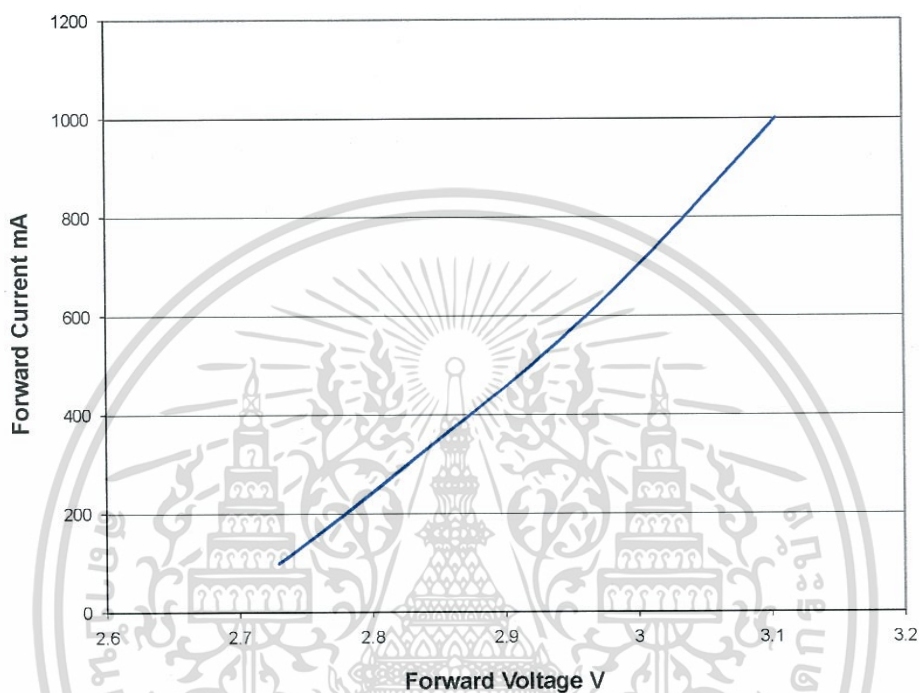


Figure 10. Forward current vs. forward voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

LUXEON Rebel ES Datasheet DS61 20110412. ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Luminous Efficacy

Typical Luminous Efficacy Characteristic vs. Forward Current, 4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 3500K, 4000K and 5000K

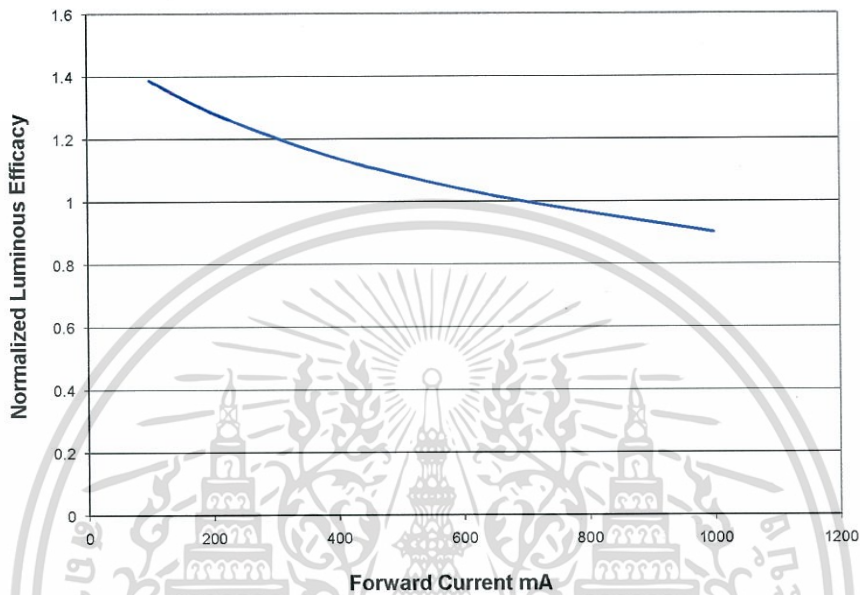


Figure 11. Typical luminous efficacy characteristic vs. forward current, thermal pad temperature = 25°C.

Typical Relative Luminous Flux vs. Forward Current for 4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 3500K, 4000K and 5000K Thermal Pad Temperature = 25°C

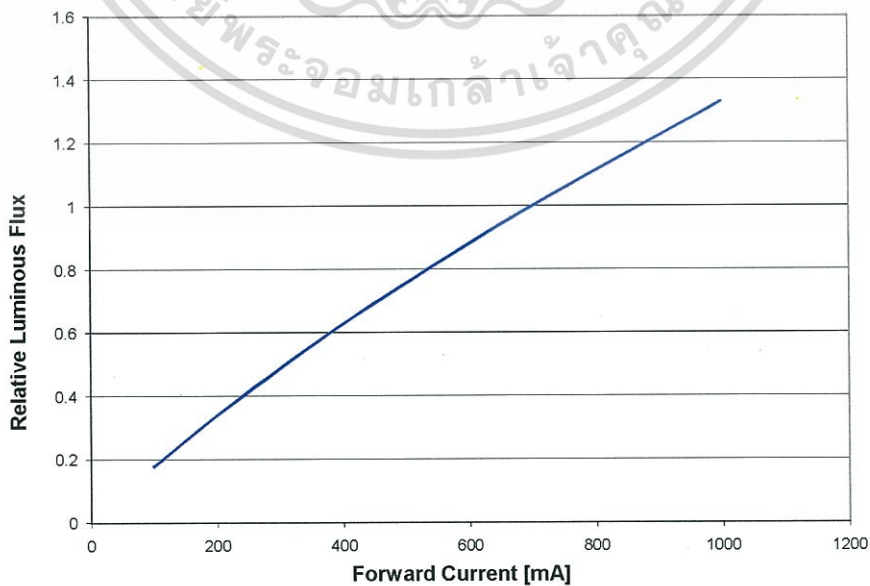


Figure 12. Typical relative luminous flux vs. forward current, thermal pad temperature = 25°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Relative Luminous Efficacy vs. Temperature

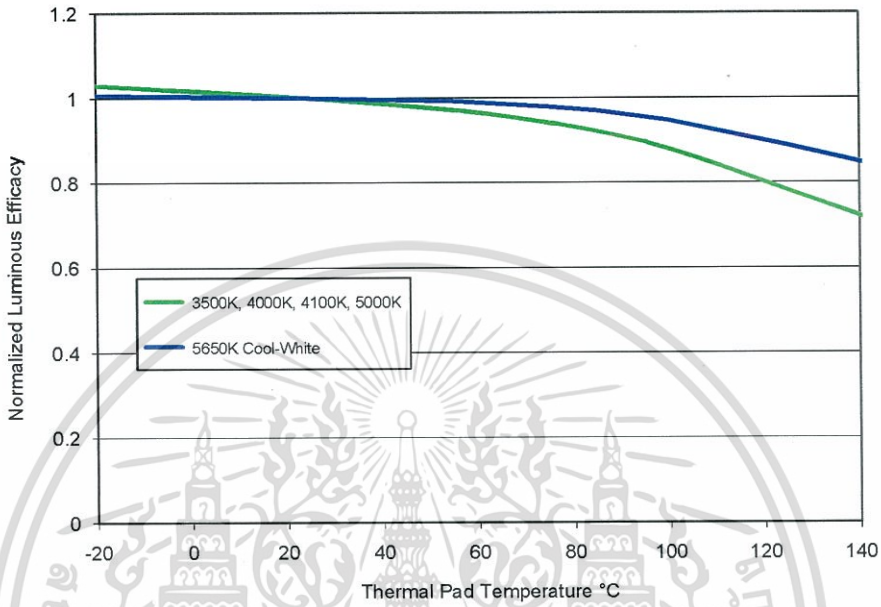


Figure 13. Relative luminous efficacy vs. thermal pad temperature, test current at 700 mA.

Current Derating Curves

Current Derating Curve for 350 mA Drive Current 4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 3500K, 4000K and 5000K

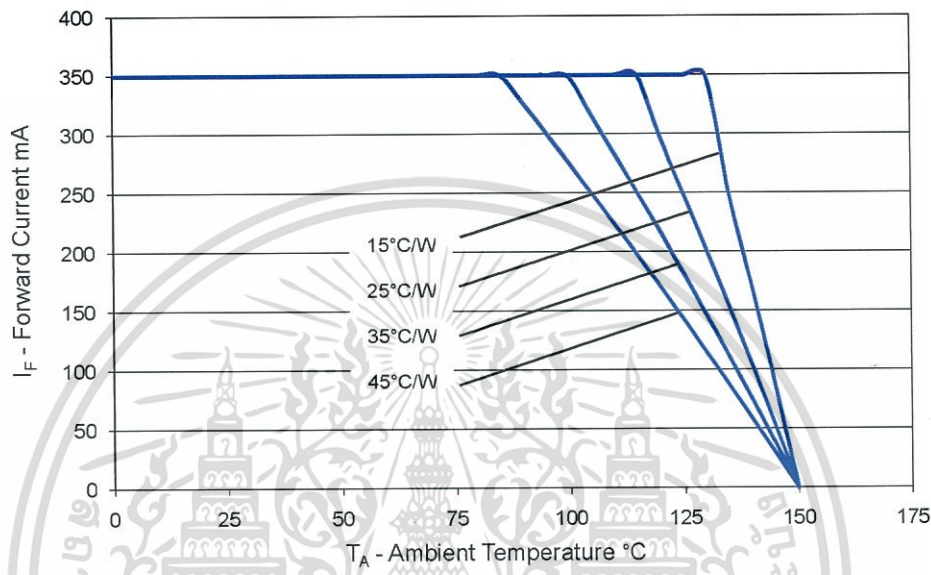


Figure 14. Maximum forward current vs. ambient temperature, based on $T_{JMAX} = 150^{\circ}C$.

Current Derating Curve for 700 mA Drive Current 4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 3500K, 4000K and 5000K

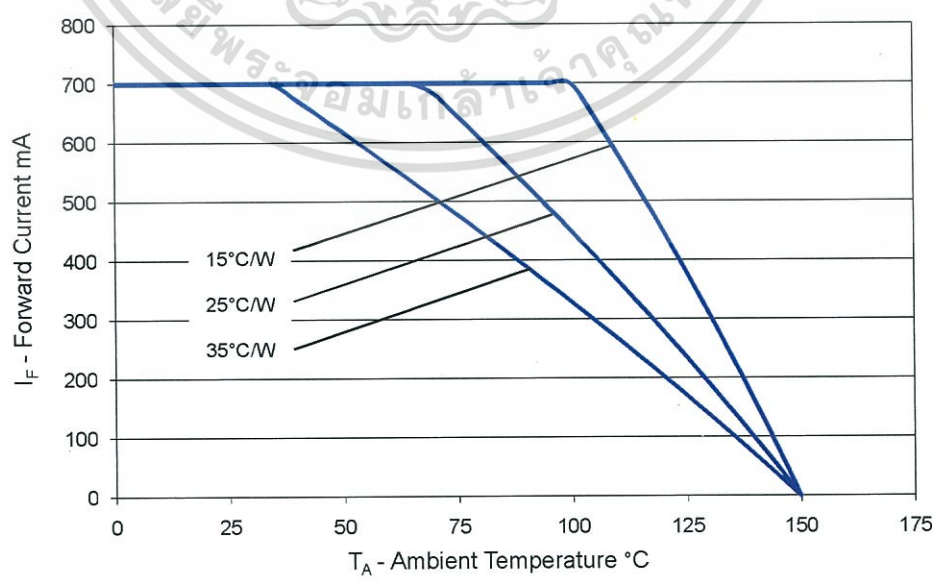


Figure 15. Maximum forward current vs. ambient temperature, based on $T_{JMAX} = 150^{\circ}C$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Current Derating Curve for 1000 mA Drive Current 4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 3500K, 4000K and 5000K

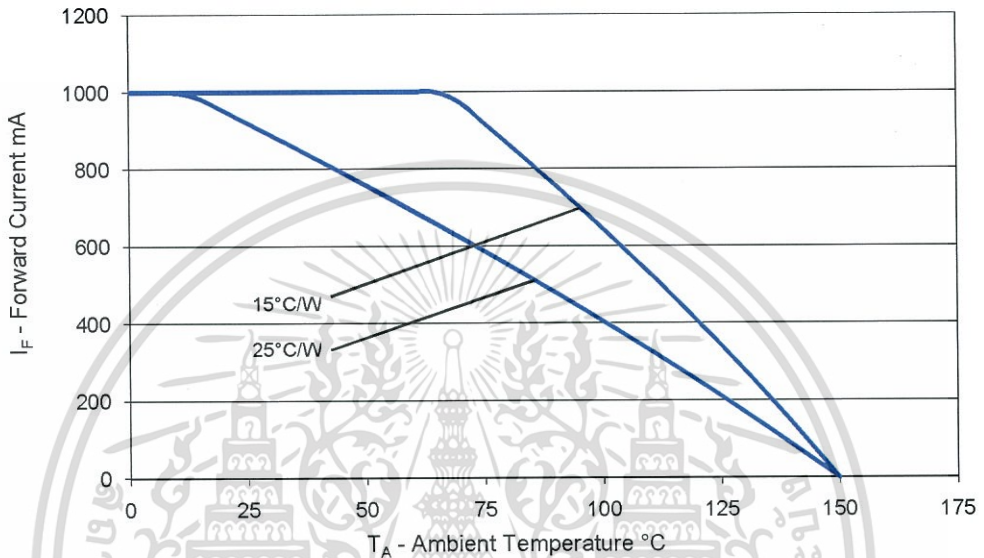


Figure 16. Maximum forward current vs. ambient temperature, based on $T_{JMAX} = 150^{\circ}C$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Typical Radiation Patterns

Typical Spatial Radiation Pattern for 4100K Neutral-White, 5650K Cool-White, 3500K, 4000K and 5000K

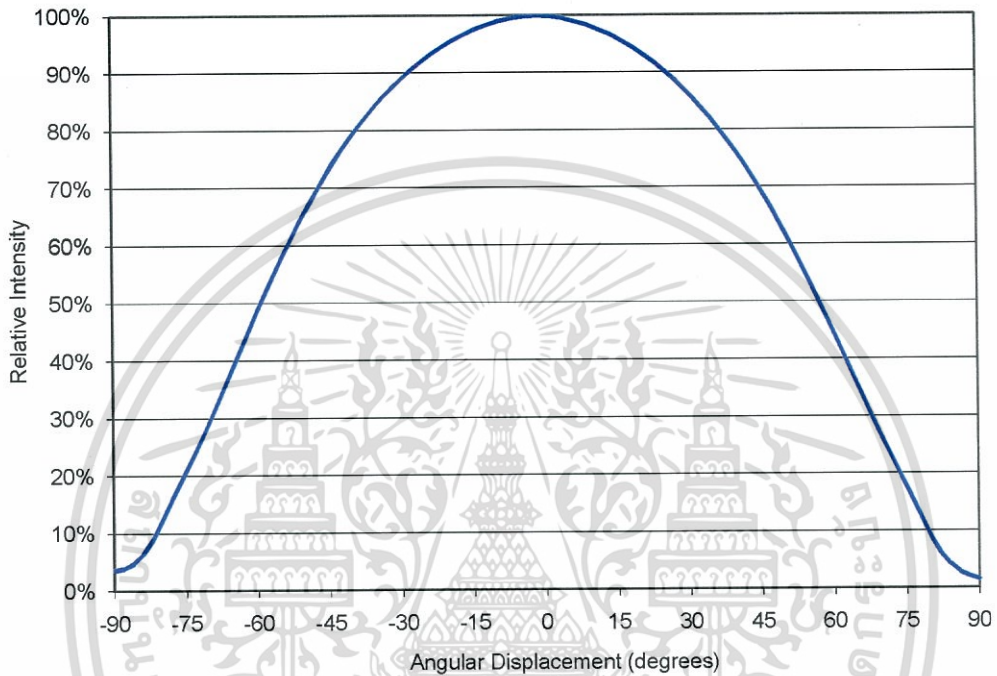
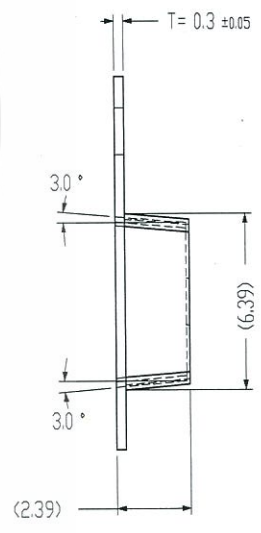
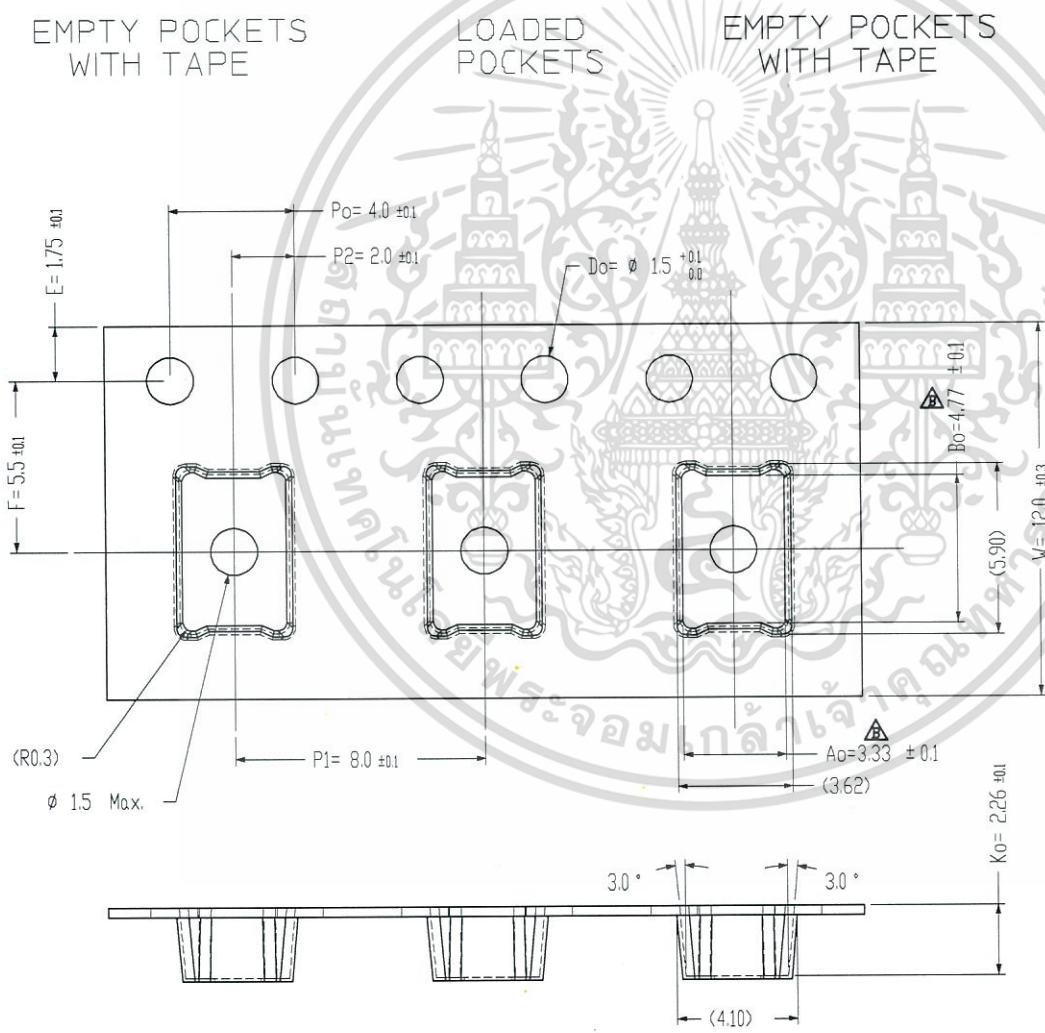
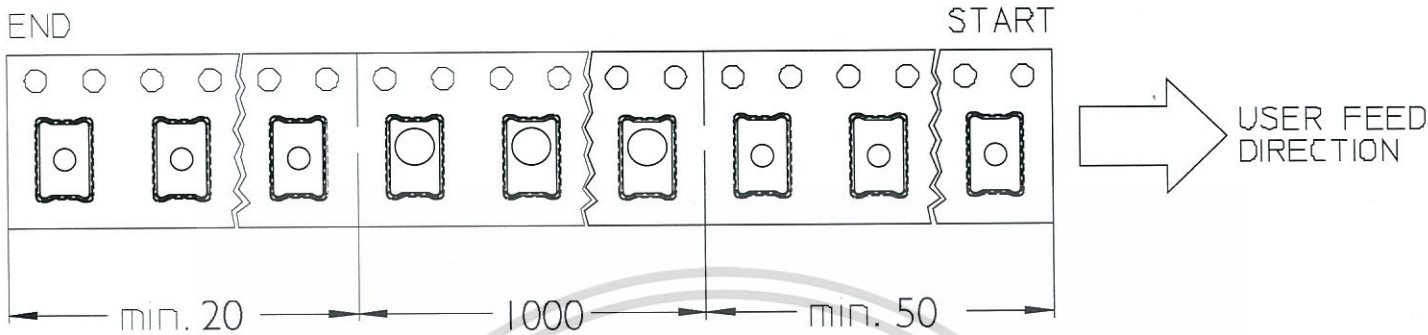


Figure 17. Typical representative spatial radiation pattern for 4100K neutral-white, 5650K cool-white, 3500K, 4000K and 5000K lambertian.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

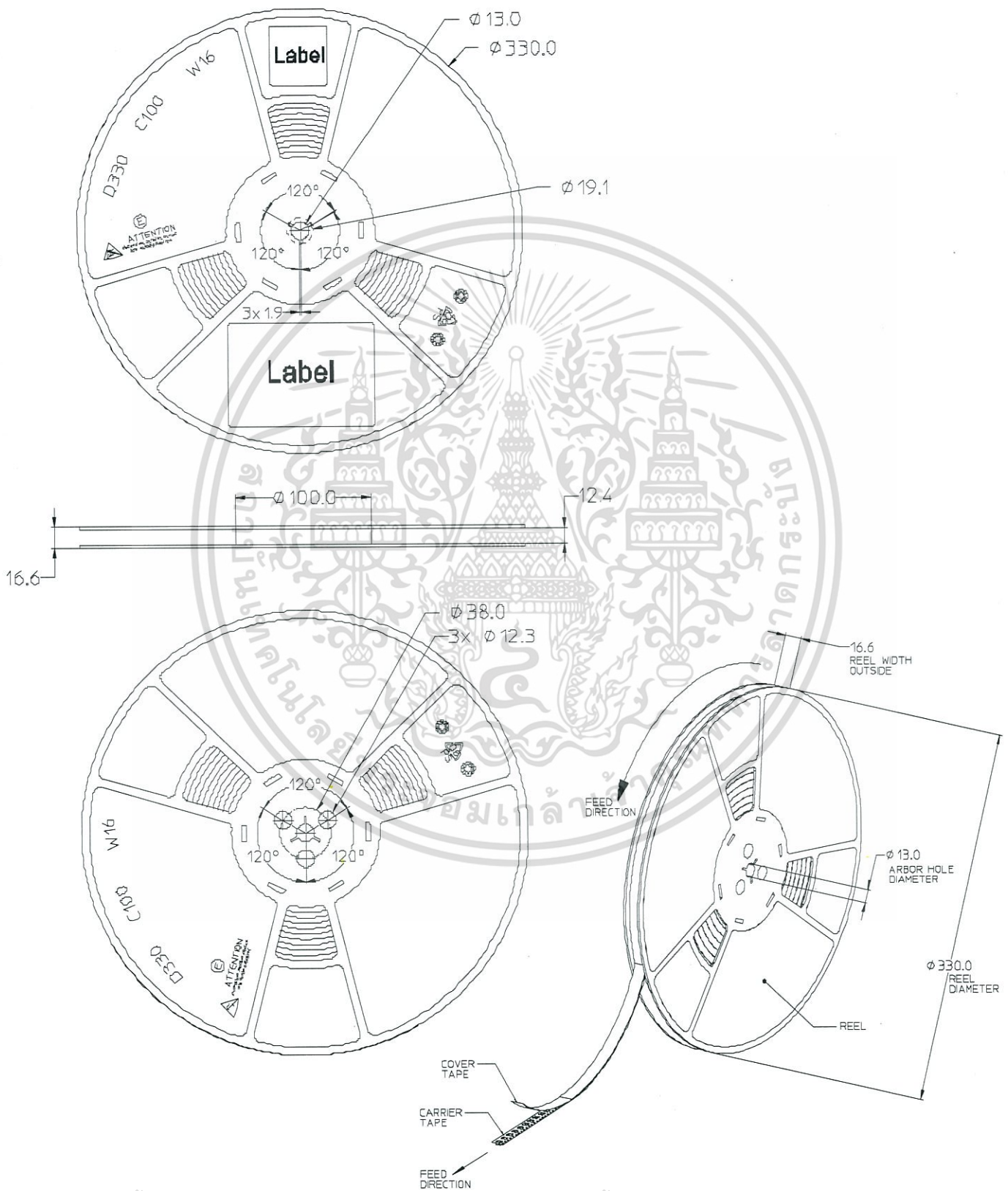
LUXEON Rebel ES Datasheet DS6 | 20110412 | วิกิตั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Emitter Pocket Tape Packaging



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Emitter Reel Packaging



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Luminous Flux Bins

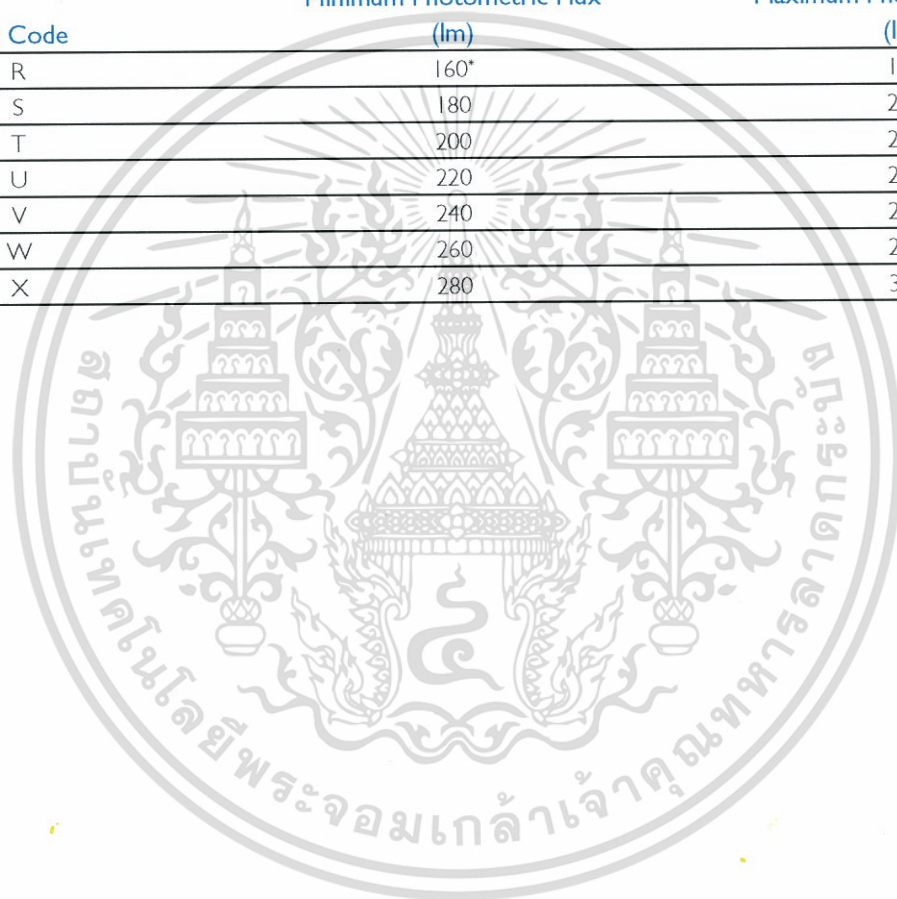
Table 9 lists the standard photometric luminous flux bins for LUXEON Rebel ES emitters (tested and binned at 700 mA).

Although several bins are outlined, product availability in a particular bin varies by production run and by product performance. Not all bins are available in all colors.

Table 9.

Bin Code	Flux Bins	
	Minimum Photometric Flux (lm)	Maximum Photometric Flux (lm)
R	160*	180
S	180	200
T	200	220
U	220	240
V	240	260
W	260	280
X	280	300

* 170 lm for LXW8-PW40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

LUXEON Rebel ES Datasheet DS61 20110412 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4100K Neutral-White Bin Structure

4100K Neutral-White LUXEON Rebel ES emitters are tested and binned by x,y coordinates. 12 Color Bins, CCT Range 3,500K to 4,500K.



Figure 18. 4100K Neutral-White bin structure.

Table 10.

4100K Neutral-White Bin Coordinates

Bin Code	X	Y	Typical CCT (K)	Bin Code	X	Y	Typical CCT (K)
TM	0.367294	0.400290	4300	SO	0.378264	0.382458	3950
	0.385953	0.412995			0.392368	0.390932	
	0.381106	0.393747			0.387071	0.373899	
	0.364212	0.382878			0.374075	0.365822	
TN	0.364212	0.382878	4300	SP	0.374075	0.365822	3950
	0.381106	0.393747			0.387071	0.373899	
	0.378264	0.382458			0.382598	0.359515	
TO	0.362219	0.371616	4300	RM	0.370582	0.351953	3650
	0.362219	0.371616			0.402270	0.422776	
	0.378264	0.382458			0.420940	0.432618	
	0.374075	0.365822			0.414776	0.416097	
TP	0.359401	0.355699	4300	RN	0.396279	0.403508	3650
	0.374075	0.365822			0.414776	0.416097	
	0.370582	0.351953			0.408593	0.399525	
	0.357079	0.342581			0.392368	0.390932	
SM	0.385953	0.412995	3950	RO	0.392368	0.390932	3650
	0.402270	0.422776			0.408593	0.399525	
	0.396279	0.403508			0.402113	0.382156	
SN	0.381106	0.393747	3950	RP	0.387071	0.373899	3650
	0.396279	0.403508			0.387071	0.373899	
	0.392368	0.390932			0.402113	0.382156	
	0.378264	0.382458			0.396564	0.367284	
					0.382598	0.359515	

Note for Table 10:

- Philips Lumileds maintains a tester tolerance of ± 0.005 on x,y color coordinates. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5650K Cool-White Bin Structure

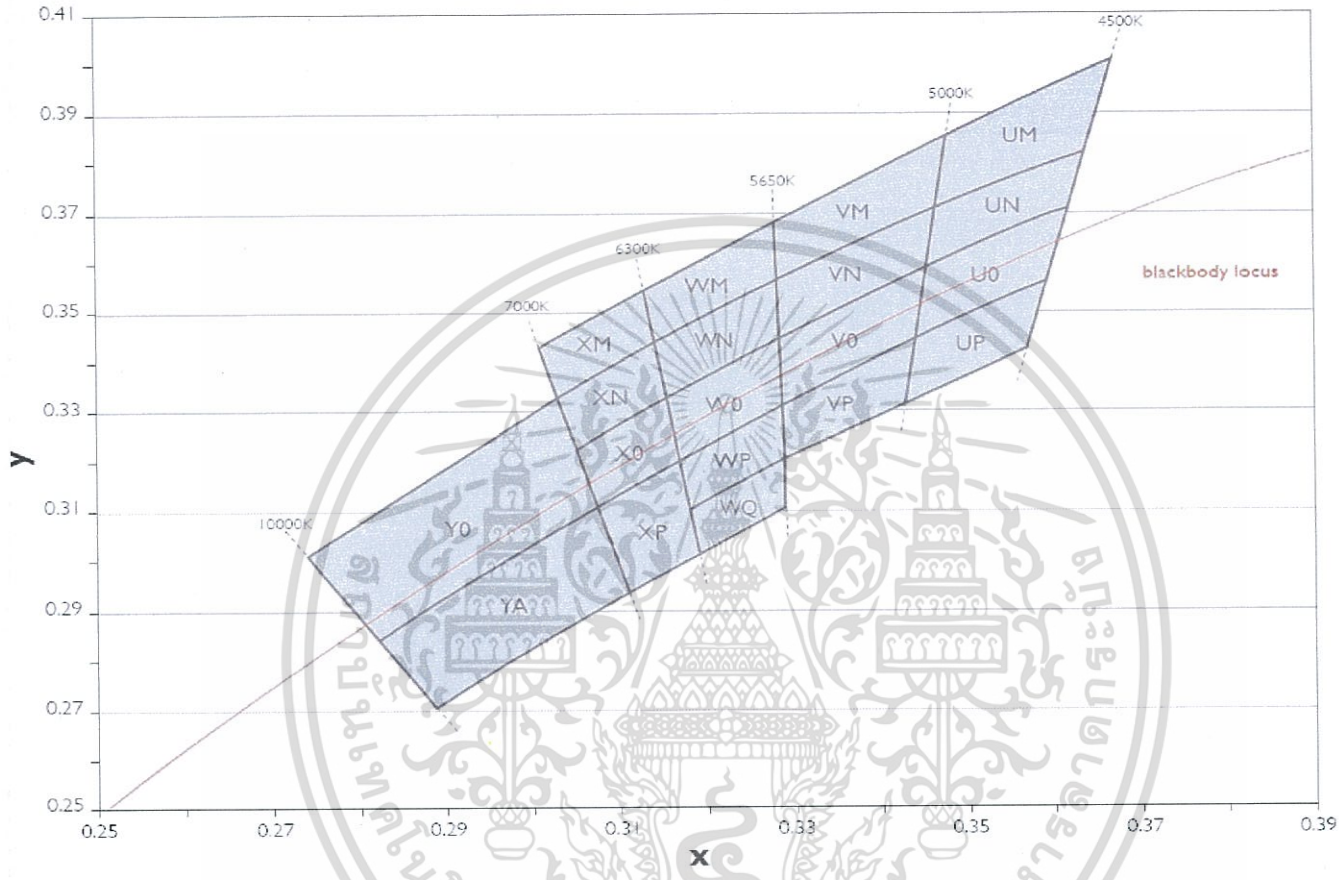


Figure 19. 5650K Cool-White bin structure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5650K Cool-White LUXEON Rebel ES emitters are tested and binned by x,y coordinates. 19 Color Bins, CCT Range 4,500K to 10,000K.

Table 11.

5650K Cool-White Bin Coordinates

Bin Code	X	Y	Typical CCT (K)	Bin Code	X	Y	Typical CCT (K)
Y0	0.274238	0.300667	8000	WQ	0.318606	0.310201	6000
	0.303051	0.332708			0.329393	0.320211	
	0.307553	0.310778			0.329544	0.310495	
	0.282968	0.283772			0.319597	0.301303	
YA	0.282968	0.283772	8000	VM	0.328636	0.368952	5300
	0.307553	0.310778			0.348147	0.385629	
	0.311163	0.293192			0.346904	0.371742	
	0.289922	0.270316			0.328823	0.356917	
XM	0.301093	0.342244	6700	VN	0.328823	0.356917	5300
	0.313617	0.354992			0.346904	0.371742	
	0.314792	0.344438			0.345781	0.359190	
	0.303051	0.332708			0.329006	0.345092	
XN	0.303051	0.332708	6700	V0	0.329006	0.345092	5300
	0.314792	0.344438			0.345781	0.359190	
	0.316042	0.333222			0.344443	0.344232	
	0.305170	0.322386			0.329220	0.331331	
X0	0.305170	0.322386	6700	VP	0.329220	0.331331	5300
	0.316042	0.333222			0.344443	0.344232	
	0.317466	0.320438			0.343352	0.332034	
	0.307553	0.310778			0.329393	0.320211	
XP	0.307553	0.310778	6700	UM	0.348147	0.385629	4750
	0.317466	0.320438			0.367294	0.400290	
	0.319597	0.301303			0.364212	0.382878	
	0.311163	0.293192			0.346904	0.371742	
WM	0.313617	0.354992	6000	UN	0.346904	0.371742	4750
	0.328636	0.368952			0.364212	0.382878	
	0.328823	0.356917			0.362219	0.371616	
	0.314792	0.344438			0.345781	0.359190	
WN	0.314792	0.344438	6000	U0	0.345781	0.359190	4750
	0.328823	0.356917			0.362219	0.371616	
	0.329006	0.345092			0.359401	0.355699	
	0.316042	0.333222			0.344443	0.344232	
W0	0.316042	0.333222	6000	UP	0.344443	0.344232	4750
	0.329006	0.345092			0.359401	0.355699	
	0.329220	0.331331			0.357079	0.342581	
	0.317466	0.320438			0.343352	0.332034	
WP	0.317466	0.320438	6000				
	0.329220	0.331331					
	0.329393	0.320211					
	0.318606	0.310201					

Note for Table 11:

- Philips Lumileds maintains a tester tolerance of ± 0.005 on x,y color coordinates.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

LUXEON Rebel ES ANSI 1/4th Quadrant Color Bin Structure

ANSI 1/4th quadrant color bin structure for LXW8-PW35, LXW8-PW40 and LXW8-PW50 emitters

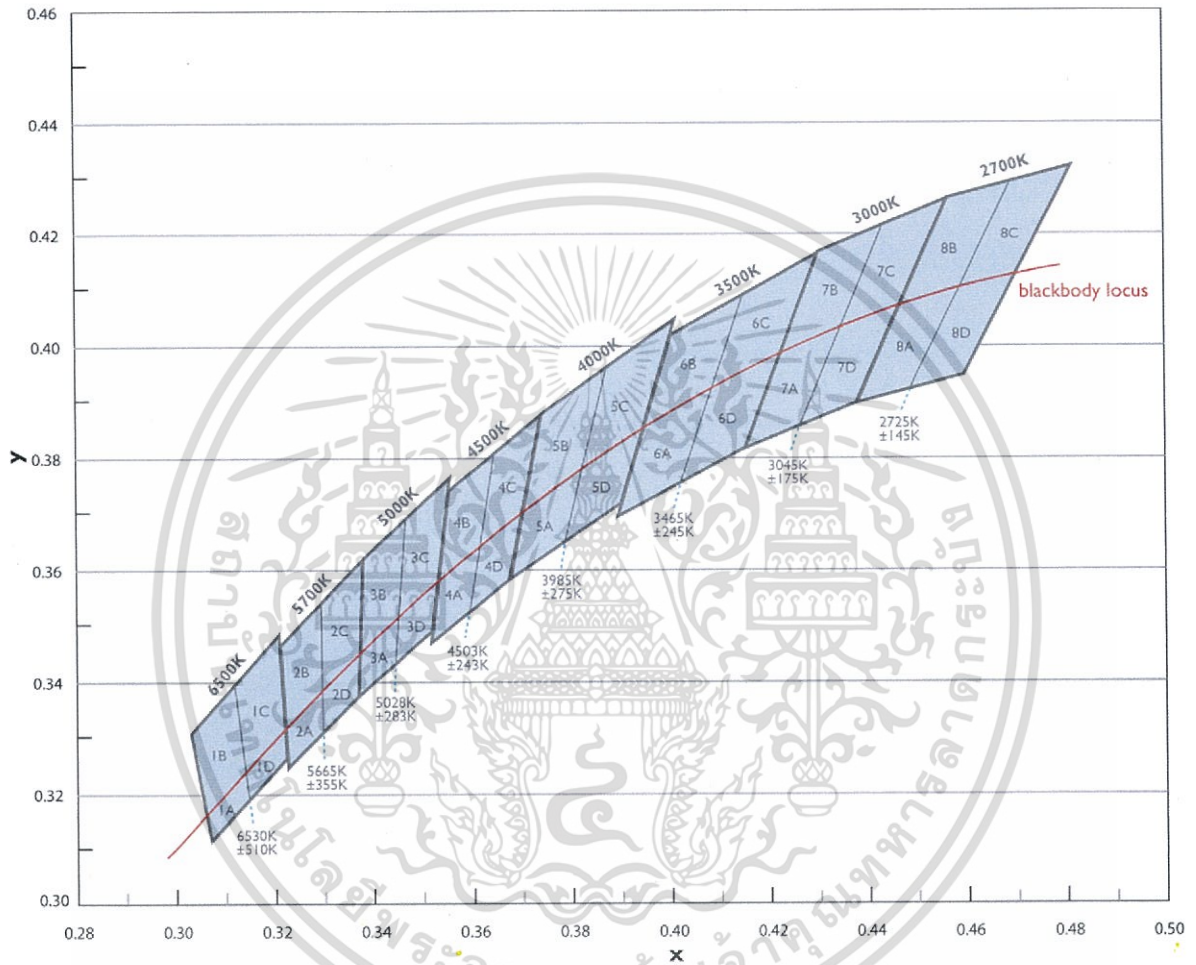


Figure 20. LUXEON Rebel ES ANSI 1/4th quadrant color bin structure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

LUXEON Rebel ES Datasheet DS61-20110412 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LUXEON Rebel ANSI 1/4th Quadrant Bin Coordinates, Continued

LUXEON Rebel Emitters are tested and binned by x,y coordinates.
32 Color Bins, CCT Range 2580K to 7040K

Table 12.

LUXEON Rebel ES ANSI 1/4th quadrant color bin coordinates							
Nominal CCT	Bin Code	x	y	Nominal CCT	Bin Code	x	y
3500K	6A	0.408216	0.392153	5000K	3A	0.344719	0.351301
		0.394131	0.384815			0.336916	0.344873
		0.388900	0.369000			0.336600	0.336900
		0.401706	0.375155			0.343985	0.342749
	6B	0.414622	0.408937		3B	0.346260	0.368726
		0.399600	0.401500			0.337600	0.361600
		0.394131	0.384815			0.336916	0.344873
		0.408216	0.392153			0.344719	0.351301
	6C	0.429900	0.416500		3C	0.355100	0.376000
		0.414622	0.408937			0.346260	0.368726
		0.408216	0.392153			0.344719	0.351301
		0.422071	0.398417			0.352638	0.357500
	6D	0.422071	0.398417		3D	0.352638	0.357500
		0.408216	0.392153			0.344719	0.351301
		0.401706	0.375155			0.343985	0.342749
		0.414700	0.381400			0.351500	0.348700
4000K	5A	0.381883	0.377641				
		0.369655	0.369740				
		0.367000	0.357800				
		0.378297	0.364637				
	5B	0.386955	0.395809				
		0.373600	0.387400				
		0.369655	0.369740				
		0.381883	0.377641				
5C	0.400600	0.404400					
	0.386955	0.395809					
	0.381883	0.377641					
	0.394131	0.384815					
5D	0.394131	0.384815					
	0.381883	0.377641					
	0.378297	0.364637					
	0.389800	0.371600					

Notes for Table 12:

- Philips Lumileds maintains a tester tolerance of ± 0.005 on x,y color coordinates.
- Applicable for LXW8-PW35, LXW8-PW40 and LXW8-PW50 emitters.

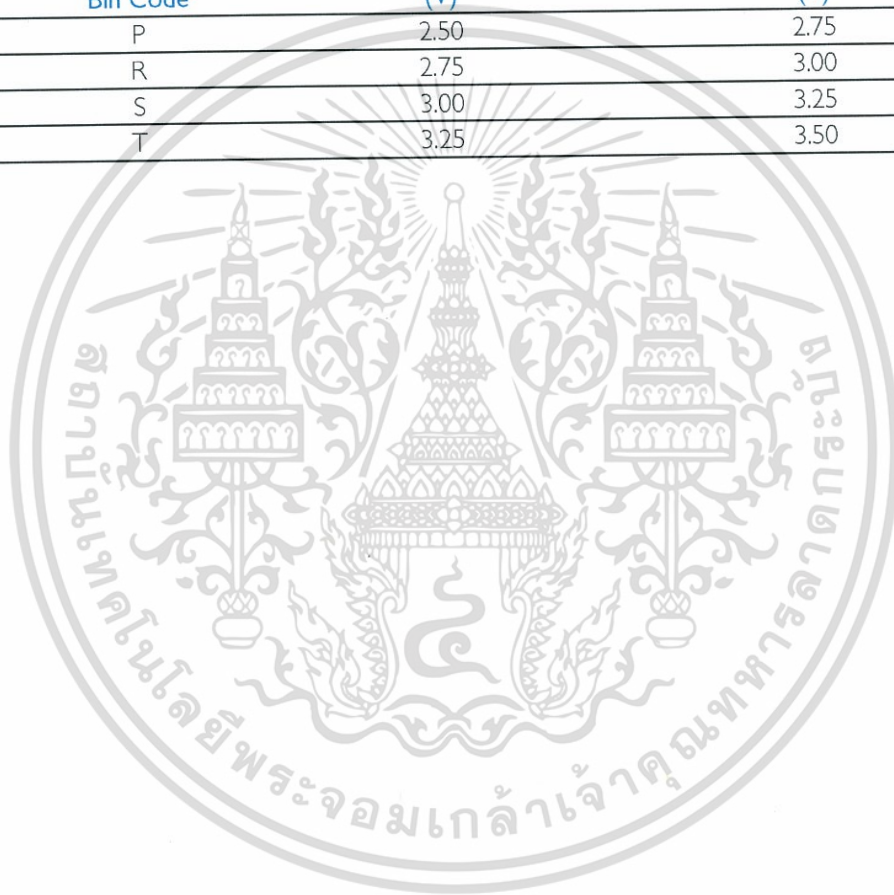
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ผู้ทรงคุณวุฒิฯ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Forward Voltage Bins

Table 13 lists minimum and maximum V_f bin values per emitter (tested and binned at 700 mA). Although several bins are outlined, product availability in a particular bin varies by production run and by product performance.

Table 13.

Bin Code	V_f Bins	
	Minimum Forward Voltage (V)	Maximum Forward Voltage (V)
P	2.50	2.75
R	2.75	3.00
S	3.00	3.25
T	3.25	3.50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้