รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ

Visible Light Communications for Thailand: Technology Transfer, Human Resource Development, Industrial Standard Survey, and Its Publications

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

แบบ กทปส. ME-003

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

ผศ.ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์

รศ.ดร.อนันต์ สืบสำราญ

ดร.กมล เขมะรังษี

รศ.ดร.ปรีชา กอเจริญ

สิงหาคม 2559

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

แบบ กทปส. ME-003

รายงานฉบับสมบูรณ์

ทุนส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา
สัญญารับทุนเลขที่ T3-001/1-57

โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ

Visible Light communications for Thailand: Technology Transfer, Human Resource Development, Industrial Standard Survey, and Its Publications

(คณะ) นักวิจัย

1.	รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์	นักวิจัยหัวหน้าโครงการ
2.	ผศ.ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	นักวิจัยร่วม
3.	รศ.ดร.อนันต์ สืบสำราญ	นักวิจัยร่วม
4.	ดร.กมล เขมะรังษี	นักวิจัยร่วม
5.	รศ.ดร.ปรีชา กอเจริญ	นักวิจัยร่วม (เลขานุการ)

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

สิงหาคม 2559

แบบ กทปส. ME-003

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ
สิงหาคม 2559

แอลอีดี (LED: Light Emitting Diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ความสว่าง และกำลังเข้ามาแทนที่หลอดไฟแบบเดิมเพราะสามารถประหยัดพลังงานได้สูงมากและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากการให้ความสว่างแล้ว แอลอีดียังสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูลดิจิทัล (บิต 0 และบิต 1) ด้วยความเร็วที่สูงมากได้ โดยอาศัยผสมการเปลี่ยนแปลงจังหวะการขับวงจรเพื่อให้ความสว่างออกมา ดังนั้นจึงเกิดเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น (VLC: visible light communication) ขึ้นมา ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ด้านการสื่อสารไร้สายโดยใช้แสงในย่านที่มนุษย์มองเห็นได้เป็นตัวกลางนำพาสัญญาณ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การสื่อสารระหว่างรถยนต์กับรถยนต์ ระบบป้ายจราจรอัจฉริยะ การส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตภายในอาคาร/โรงพยาบาล/เครื่องบิน การสื่อสารใต้น้ำ และการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เพราะฉะนั้นในปัจจุบันหลายๆ ประเทศจึงให้ความสนใจในเทคโนโลยีนี้ และได้ออกเป็นมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นของแต่ละองค์กร ได้แก่ JEITA ของญี่ปุ่น, OMEGA ของสหภาพยุโรป, และ IEEE ของสหรัฐอเมริกา

โครงการวิจัย “โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ” มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบุคลากรให้ก้าวทันเทคโนโลยี VLC, ศึกษาและวิเคราะห์มาตรฐานเทคโนโลยีการส่องสว่างข้อมูลขององค์กรต่างๆ รวมทั้งศึกษาเชิงเปรียบเทียบพัฒนาการของต่างประเทศทั้งการลงทุน ผลงานวิจัย สิทธิบัตร และทรัพย์สินทางปัญญา เพื่อเตรียมความพร้อมในการคุ้มครองผู้ผลิต ผู้ให้บริการ และผู้ใช้งานเทคโนโลยีใหม่นี้ได้ทัน ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียจากการนำเข้าเทคโนโลยีนี้ในอนาคต

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำเว็บไซต์ http://dept.npru.ac.th/vlc/ และเฟสบุ๊ค http://www.facebook.com/VisibleLightThailand เพื่อเป็นช่องทางให้การประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ข่าวสารและองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี VLC ให้กับผู้สนใจทั่วไป จากนั้นคณะผู้วิจัยได้พัฒนาเอกสารต่างๆ เพื่อใช้ในการอบรมที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการ ได้แก่ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC และการประยุกต์ใช้งาน, ความท้าทายของการส่องสว่างข้อมูล, มาตรฐานของการส่องสว่างข้อมูล, ชุดพัฒนาระบบสื่อสารด้วยแสงสว่างตามมาตรฐาน CP-1223, ศักยภาพการนำเทคโนโลยี VLC ไปใช้ในเชิงพาณิชย์, การวิเคราะห์สิทธิบัตรการส่องสว่างข้อมูล, และ LED กับงานวิจัยด้านการแพทย์ นอกจากนี้เพื่อให้การอบรมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

มากยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาชุดสาธิตการรับส่งข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยี VLC และ LED รูปแบบต่างๆ จำนวน 8 ชุด คือ ชุดสาธิตไฟถนน ชุดสาธิตไฟรถยนต์เปิดไม้กั้น ชุดสาธิตพิพิธภัณฑ์อัจฉริยะ ชุดสาธิตส่งสัญญาณด้วยโพรโทคอลมอดบัสผ่านแสง ชุดต้นสาธิตการรับส่งข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ผ่านหลอดแอลอีดี ชุดสาธิตหมวกแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหนัง ชุดสาธิตเครื่องให้แสงแอลอีดีแบบพกพาเพื่อรักษาผิว และชุดสาธิตหน้ากากแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหน้า ซึ่งได้ถูกนำมาแสดงและสาธิตการทำงานให้ผู้เข้าอบรมได้ทดลองใช้งานและสอบถาม ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งจากผลการประเมินความพึงพอใจในการจัดอบรมทั้งหมด 7 ครั้งทั่วประเทศ พบว่าผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจมากในทุกๆ ด้าน ได้แก่ ด้านวิทยากร ด้านสถานที่และเวลา ด้านความรู้ความเข้าใจ และด้านของการนำความรู้ไปใช้ รวมทั้งอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 71.72

นอกจากนี้เพื่อเป็นการเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ในวงกว้าง คณะผู้วิจัยจึงได้ไปบรรยายพิเศษที่งานประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศประยุกต์ ครั้งที่ 9 และบริการวิชาการ (ACTIX & NCOBA 2016) และที่งาน LED Expo Thailand 2016, นำผลงานวิจัยไปแสดงในงาน Thailand Research Expo 2016 ซึ่งได้รับรางวัล Bronze Award, และนำองค์ความรู้ที่ได้มาเขียนบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการทั้งระดับชาติและนานาชาติ รวมทั้งวารสารวิจัยระดับชาติ

สุดท้ายคณะผู้วิจัยได้จัดทำรายงานแนวทางมาตรฐาน VLC (CP-1223) เพื่อให้ผู้เริ่มต้นสามารถพัฒนาชุดรับส่งข้อมูลผ่านแสงตามมาตรฐานนี้ได้ และรายงานการสำรวจเชิงเปรียบเทียบสำหรับประเทศไทย “ทรัพย์สินทางปัญญา งานวิจัย ผลิตภัณฑ์และพัฒนาการการส่องสว่างข้อมูล” เพื่อให้ตามทันเทคโนโลยี VLC และช่วยลดการสูญเสียจากการนำเข้าเทคโนโลยีนี้ในอนาคตได้ นอกจากนี้ยังได้สัมมนาระดมความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางแนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทย ซึ่งผู้ให้ข้อคิดเห็นส่วนมากเห็นตรงกันว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะนำเทคโนโลยี VLC มาใช้งานในประเทศไทย

บทคัดย่อ

โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ

รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

สิงหาคม 2559

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น (VLC: visible light communication) เป็นเทคโนโลยีใหม่ด้านการสื่อสารไร้สายโดยใช้แสงที่อยู่ในย่านที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้เป็นตัวกลางนำพาข่าวสารดิจิทัลซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ระบบขนส่งอัจฉริยะ การระบุตำแหน่งภายในอาคาร การสื่อสารใต้น้ำ การสื่อสารภายในอาคาร/โรงพยาบาล/เครื่องบิน เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบุคลากรให้ก้าวทันเทคโนโลยี VLC โดยจะเน้นไปที่การอบรม, การพัฒนาเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี VLC ทั้งด้านวิชาการ การลงทุน สิทธิบัตร และทรัพย์สินทางปัญญา, การพัฒนาชุดสาธิตการรับส่งข้อมูลผ่านแสง, และการเผยแพร่องค์ความรู้ในรูปของบทความวิจัย เพื่อเตรียมความพร้อมในการคุ้มครองผู้ผลิต ผู้ให้บริการ และผู้ใช้งานเทคโนโลยีใหม่นี้ได้ทัน ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียจากการนำเข้าเทคโนโลยีนี้ในอนาคต โดยจากผลการประเมินความพึงพอใจในการจัดอบรมทั้งหมดทั่วประเทศพบว่า ผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจมากในทุกด้านและ อยากให้มีการจัดอบรมอีกในอนาคต

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2559

Abstract

Visible Light communications for Thailand: Technology Transfer, Human Resource Development, Industrial Standard Survey, and Its Publications

Assoc.Prof. Dr.Piya Kovintavewat

August 2016

Visible light communication (VLC) is a new wireless communication technology that employs light in a visible band as a medium to convey digital information, which can be used in many applications such as intelligent transport system (ITS), indoor localization identification, underwater communication, communication in building/hospital/ airplane, etc. This research aims at preparing people to catch up the VLC technology by focusing on training, developing materials related to VLC (in academic, investment, patent, and intellectual property), developing VLC training kits, and publishing research papers, so as to prepare to protect manufacturers, service providers, and users for this upcoming technology, which will in turn help reduce loss from importing the VLC technology in the future. Results from trainees' satisfaction evaluation indicate that most trainees satisfy our training program in all aspects and would like to have this training again in the near future.

Research team

August 2016

สารบัญ

บทสรุปผู้บริหาร ..... **ก**
บทคัดย่อภาษาไทย ..... **ค**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... **ง**
สารบัญตาราง ..... **ซ**
สารบัญภาพ ..... **ฌ**

บทที่ 1 บทนำ **1**
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 3
1.3 ขอบเขตการวิจัย 4
1.4 ระยะเวลาในการวิจัย 4
1.5 คณะผู้ดำเนินงาน 4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **6**
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6
2.1.1 ระบบการสื่อสารเชิงแสง 6
2.1.2 การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ 9
2.1.3 หลอดแอลอีดี 11
2.1.4 พื้นฐานแอลอีดีเพื่อการประหยัดพลังงานและการประยุกต์การสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง 12
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
2.3 โครงการที่เกี่ยวข้อง 17
2.4 กรอบแนวคิด 17

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย **19**
3.1 ภาพรวมของการดำเนินโครงการ 19
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและพัฒนา 21
3.2.1 การประชุมคณะทำงาน 21
3.2.2 เว็บไซต์และ Facebook 21
3.2.3 การพัฒนาเอกสารอบรมและชุดสาธิต 21
3.2.4 การจัดอบรมเผยแพร่ความรู้ 24
3.2.5 การเผยแพร่และบริการวิชาการ 24

3.2.6 การพัฒนารายงาน..... 26
3.2.7 การสร้างเครือข่ายการทำวิจัยและการระดมสมอง..... 26

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล..... 27

4.1 ชุดสาธิตการรับส่งข้อมูลผ่านแสง..... 27
4.1.1 ชุดสาธิตไฟถนน..... 27
4.1.2 ชุดสาธิตไฟรถยนต์เปิดไม้กั้น..... 27
4.1.3 ชุดสาธิตพิพิธภัณฑ์อัจฉริยะ..... 27
4.1.4 ชุดสาธิตส่งสัญญาณด้วยโพรโทคอลมอดบัสผ่านแสง..... 29
4.1.5 ชุดสาธิตการส่งผ่านข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แบบไร้สายผ่านหลอดแอลอีดี..... 30
4.1.6 ชุดสาธิตหมวกแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหนัง..... 31
4.1.7 ชุดสาธิตเครื่องให้แสงแอลอีดีแบบพกพาเพื่อรักษาผิว..... 31
4.1.8 ชุดสาธิตหน้ากากแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหน้า..... 31
4.2 ผลการอบรม..... 33
4.2.1 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 1..... 33
4.2.2 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 2..... 38
4.2.3 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 3..... 41
4.2.4 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 4..... 45
4.2.5 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 5..... 48
4.2.6 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 6..... 53
4.2.7 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 7..... 55
4.2.8 สรุปผลการจัดอบรมทั้งหมด..... 59
4.2.9 ผลการประเมินการอบรม Train the Trainers 61

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 64

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 64
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 65

บรรณานุกรม..... 67

ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยเรื่อง **Visible Light Communication: Importance and Thai Preparations..... 69**

ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยเรื่อง **Visible Light Communication: An Innovative and Challenging Technology..... 75**

ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยเรื่อง Visible Light Communication Development Kits Compliant to CP1223 Standard..... **88**

ภาคผนวก ง ผลงานวิจัยเรื่อง การสื่อสารไร้สายระยะใกล้ด้วยแสงที่มองเห็น: เทคโนโลยี การพัฒนา และการขับเคลื่อน..... **93**

ภาคผนวก จ รายชื่อผู้เข้าร่วมกลุ่ม (VLC Consortium) **109**

ประวัตินักวิจัย..... **115**

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ภาพรวมกลุ่มเป้าหมายบุคลากรและประโยชน์ที่จะได้รับ 5
ตารางที่ 3.1 สรุปการจัดอบรมเผยแพร่ความรู้จำนวน 7 ครั้ง 24

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 พัฒนาการของแอลอีดี [1] 2
ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมแสงที่มองเห็น [9] 7
ภาพที่ 2.2 องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสาร 8
ภาพที่ 2.3 แบบจำลองระบบ VLC ของอุปกรณ์ภายในอาคาร [12] 10
ภาพที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญของหลอดไฟแบบต่างๆ [13] 12
ภาพที่ 3.1 เว็บไซด์ http://dept.npru.ac.th/vlc/ 21
ภาพที่ 3.2 Facebook http://www.facebook.com/VisibleLightThailand 22
ภาพที่ 3.3 ชุดพัฒนาที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านแสงตามมาตรฐาน CP-1223 23
ภาพที่ 3.4 บรรยากาศการนำเสนองานวิจัยในงาน Thailand Research Expo 2016 25
ภาพที่ 4.1 ชุดสาธิตไฟถนน 28
ภาพที่ 4.2 ชุดสาธิตไฟรถยนต์เปิดไม้กั้น 28
ภาพที่ 4.3 ชุดสาธิตพิพิธภัณฑ์อัจฉริยะ 29
ภาพที่ 4.4 (ซ้าย) บอร์ดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP-1223 และ (ขวา) ไดอะแกรมการส่งสัญญาณโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ 30
ภาพที่ 4.5 การทดลองการส่งสัญญาณโพรโทคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น 30
ภาพที่ 4.6 ชุดสาธิตการส่งผ่านข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แบบไร้สายผ่านหลอดแอลอีดี 31
ภาพที่ 4.7 ชุดสาธิตหมวกแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหนัง 32
ภาพที่ 4.8 ชุดสาธิตเครื่องให้แสงแอลอีดีแบบมือถือเพื่อรักษาผิว 32
ภาพที่ 4.9 ชุดสาธิตหน้ากากแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหน้า 33

บทที่ 1
บทนำ

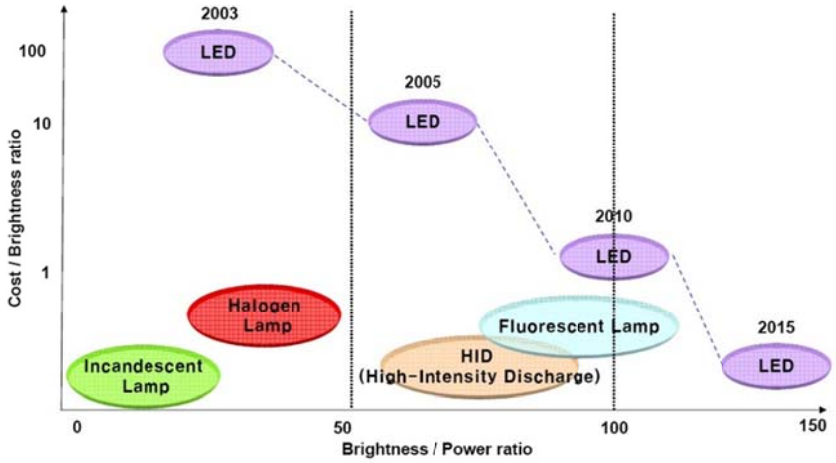
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

แอลอีดีหรือ LED (light emitting diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ให้ความสว่างด้วยแสงที่กำเนิดมาจากโซลิดเสตทหรือสารที่อยู่ในสถานะของแข็ง (solid state) กำลังเข้ามาแทนที่หลอดไฟแบบเดิม เนื่องจากการประหยัดพลังงานโดยรวมสูงมาก โดยหลอดแอลอีดีเมื่อเทียบกับหลอดไฟให้ความสว่าง (ทั้งหลอดไส้ หลอดประหยัดไฟหรือหลอดยาว/ผอมหรือฟลูออเรสเซนต์) จะใช้กำลังไฟน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกัน ณ ค่าความสว่างที่เท่ากัน ตามที่แสดงในภาพที่ 1.1 ดังนั้นหลอดแอลอีดีจึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า โดยรวมประสิทธิภาพการประหยัดไฟของแอลอีดีนี้เป็นที่ชัดเจนว่าสูงได้ถึงประมาณ 75% อายุการใช้งานยาวนานกว่าแบบชนิดหลอดถึง 25 เท่าโดยประมาณ

นอกเหนือไปจากการให้ความสว่างแล้ว การกำเนิดของเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมด้วยการพ่วงใช้มากับการส่องสว่างของแอลอีดีดังกล่าวนั้น กำลังเป็นพัฒนาการที่สร้างผลกระทบทั้งมูลค่าและการประยุกต์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก การใช้งานแอลอีดีหรือการขับวงจรเพื่อให้ความสว่างออกมานั้นสามารถปรับ/บังคับให้ผสมการเปลี่ยนแปลงจังหวะการขับความสว่างนั้นได้ด้วยความเร็วที่สูงมาก (มากกว่าหลักล้านครั้งต่อวินาที (Mbps) และสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามพัฒนาการ) จึงเกิดเป็นศักยภาพเพื่อการส่งข้อมูลขึ้น เกิดประโยชน์เสริมนอกจากการให้ความสว่างที่ประหยัดพลังงานคือเพื่อการควบคุม การตรวจจับ (sensor) และการสื่อสารในพื้นที่ที่ให้ความสว่างนั้นได้ด้วย อันเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับ บ้าน สำนักงาน หรือโรงงานอัจริยะ [2]

โดยพื้นฐานการนำการส่องสว่างมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลดังกล่าวนี้ ทำให้การสื่อสารระยะใกล้ตัว (personal area network) มีความเร็วที่สูงขึ้น และมีความปลอดภัยเพราะอยู่ในบริเวณที่มองเห็นความสว่างของแสงนั้นได้ เหมาะสำหรับความต้องการการสื่อสารในพื้นที่ปลอดคลื่นสัญญาณวิทยุด้วย เช่น ในอากาศยาน โรงพยาบาล ห้องปฏิบัติการหรือหน่วยงานที่ต้องการหลีกเลี่ยงคลื่นวิทยุรบกวนและเพื่อประโยชน์อื่นๆ อีกมาก [3]

โดยสรุป “การส่องสว่างข้อมูล”ที่กล่าวมานี้มีคำจำกัดความโดยสังเขปคือ“เมื่อเปิดไฟให้ความสว่างจากแอลอีดี จะได้การสื่อสารข้อมูลปลอดภัยพ่วงมาด้วย” จึงเรียกวิทยาการควบรวมนี้ว่า “การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้” หรือ Visible Light Communications (VLC) อันเป็นเทคโนโลยีใหม่



ภาพที่ 1.1 พัฒนาการของแอลอีดี [1]

ด้านการสื่อสารไร้สายใช้แสงที่อยู่ในช่วงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้เป็นตัวกลางนำสัญญาณ และเป็นระบบการสื่อสารที่มีศักยภาพสูงมาก

จากผลงานวิจัยตลาดของทีม ABI research [4] เมื่อต้นปี พ.ศ.2557 ระบุว่าการมาของเทคโนโลยีการส่องสว่างข้อมูลด้วยแสงที่มองเห็นได้ เมื่อผนวกกับคุณสมบัติของแอลอีดีที่มีอยู่เดิมแล้วจะกลายเป็นตัวปลดล็อกข้อจำกัดเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งในอาคารแบบเดิมที่ใช้จำพวกอาร์เอฟไอดี (RFID) บลูทูธ (Bluetooth) หรือการสื่อสารไร้สายระยะใกล้อื่นๆ เพราะตลาดนี้มีขนาดมูลค่าถึง 5 พันล้านเหรียญ ส่วนของ MarketsandMarkets [5] ที่ระบุรายงานการสำรวจตลาดทั่วโลกของการส่องสว่างข้อมูลสู่งานเครือข่ายการสื่อสารภายในอาคาร ใต้น้ำ การระบุตำแหน่ง และการจราจร อัจฉริยะคาดการณ์รวมว่าจะสูงถึง 6,138.02 ล้านเหรียญในปี พ.ศ.2561 โดยมีอัตราเติบโตเฉลี่ยสะสมต่อปีตั้งแต่ พ.ศ.2556 ที่เริ่มสำรวจ (หรือ CAGR) สูงถึง 82% และมีอุตสาหกรรมและผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งรายเก่าและรายใหม่ๆ รวมมากกว่าสามสิบแห่งทั่วโลกแล้วที่เข้าสู่ตลาดการผลิตเทคโนโลยีแสง รวมทั้งได้มีมาตรฐานในระดับนานาชาติประกาศใช้แล้ว เช่น การสื่อสารระยะใกล้ตัวด้วยแสง IEEE 802.15.7 (VLC) ของ [6] และ JEITA CP-1223 ของประเทศญี่ปุ่น [7]

ประเทศไทยจึงควรได้ตระหนักในการติดตามเทคโนโลยีโทรคมนาคมมาตรฐานใหม่นี้เพื่อการเพิ่มโอกาส รวมทั้งเตรียมการรองรับได้ทัน เช่น การพัฒนาบุคลากร การวิจัยและพัฒนา การคาดการณ์และวางแผนที่นำทางเทคโนโลยี การพัฒนาความร่วมมือระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่างๆ ทั้งนี้ เพื่อลดการสูญเสียเงินตราเพื่อการจัดซื้อจัดหาในอนาคต เช่น เทคโนโลยีเกิดใหม่อื่นๆ ก่อนหน้า

แต่เนื่องจากการส่องสว่างข้อมูลเป็นเทคโนโลยีใหม่ สำหรับประเทศไทยซึ่งได้เริ่มให้ความสนใจเป็นอย่างมากกับด้านการประหยัดพลังงานแล้ว หากด้านการสื่อสารข้อมูลที่ควบรวมยังมิได้มีหน่วยงานที่ทำกิจกรรมตอบรับกับเทคโนโลยีดังกล่าวมากนัก ทั้งด้านภาคการศึกษา อุตสาหกรรม

และผู้กำหนดนโยบาย ดังนั้น จากการรวมกลุ่มของนักวิชาการ (กลุ่ม LED-SmartCoN>>) [8] ที่ได้จัดกิจกรรมวิชาการในช่วงเวลาที่ผ่านมาโดยลำดับแล้วนั้น จึงได้พัฒนาต่อยอดเป็น “โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ” นี้ เพื่อที่จะทำการสำรวจ ศึกษา ติดตามเทคโนโลยีแอลอีดีเพื่อการให้ความสว่างที่ประหยัดพลังงาน และการควบรวมกับการสื่อสารข้อมูลยุคใหม่และวิเคราะห์มาตรฐานเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง โดยจะรวมกลุ่มผู้สนใจทั้งภาคนโยบาย ภาคการศึกษาและวิจัย และผู้ใช้งานหรือผู้ประกอบการ (VLC consortium) สู่การเตรียมความพร้อมเพื่อการคุ้มครองผู้ผลิต ผู้ให้บริการและผู้ใช้งานเทคโนโลยีใหม่นี้ได้ในอนาคตได้ทัน ลดการสูญเสียจากการนำเข้าเทคโนโลยีในอนาคต ทั้งนี้จะมีกิจกรรมที่ส่งเสริมทุกส่วนงาน เช่น การสร้างความร่วมมือการศึกษา และการถ่ายทอดเทคโนโลยี รวมทั้งมาตรฐานจากประเทศพัฒนาแล้ว เพื่อฝึกอบรมถ่ายทอดความรู้ต่อผู้มีความสนใจด้านการส่องสว่างข้อมูลในประเทศไทย หรือการศึกษาเชิงเปรียบเทียบพัฒนาการของต่างประเทศทั้งการลงทุน ผลงานวิจัย สิทธิบัตรและทรัพย์สินทางปัญญา (Intellectual Properties Surveys) การประยุกต์ และกลไกการผลักดันสู่ภาคอุตสาหกรรม ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาในรูปสื่อ หนังสือ หรือคู่มือเพื่อการฝึกอบรมและการเผยแพร่ออนไลน์สาธารณะ ทั้งด้านเทคนิคสำหรับภาคการศึกษาและอุตสาหกรรม และความรู้ทั่วไปสำหรับผู้ใช้งานและผู้สนใจ เพื่อการพัฒนาบุคลากร และเร่งยกระดับการเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับต่อเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงนี้ในอนาคตและการต่อยอดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อพัฒนาบุคลากรจากการสำรวจ ศึกษา ติดตามเทคโนโลยีแอลอีดี เพื่อการให้ความสว่างที่ประหยัดพลังงาน และการควบรวมกับการสื่อสารข้อมูลยุคใหม่สำหรับประเทศไทย
2) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์มาตรฐานเทคโนโลยีการส่องสว่างข้อมูล การประยุกต์ใช้งานและการออกแบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องอันมีศักยภาพและมูลค่าสูง สู่การเตรียมความพร้อมบุคลากรของภาคอุตสาหกรรมไทย
3) เพื่อรวมกลุ่มผู้สนใจ สร้างความตระหนักทั้งภาคนโยบาย ภาคการศึกษาและวิจัย และผู้ใช้งานหรือผู้ประกอบการสู่การคุ้มครองผู้ผลิต ผู้ให้บริการและผู้ใช้งานเทคโนโลยีใหม่นี้ในอนาคตอันใกล้
4) เพื่อสร้างเครือข่ายความร่วมมือบุคลากรด้านการศึกษาและการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากประเทศที่ได้พัฒนาก่อนหน้าแล้ว
5) เพื่อทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบพัฒนาการของต่างประเทศทั้งการลงทุน ผลงานวิจัย สิทธิบัตรและทรัพย์สินทางปัญญา การประยุกต์ และการพัฒนาบุคลากร

6) เพื่อนำผลที่ได้มาผลิตสื่อ หนังสือ หรือคู่มือเพื่อการเผยแพร่ออนไลน์สาธารณะ ทั้งด้านเทคนิคสำหรับภาคการศึกษา และอุตสาหกรรม ด้านความรู้พื้นฐานสำหรับผู้ใช้งานและผู้สนใจทั่วไป และการฝึกอบรม
7) เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนผู้สนใจให้มีส่วนร่วมการจัดทำกิจกรรมการพัฒนาบุคลากรร่วมกันในระยะยาว สู่การพัฒนาวิชาชีพอย่างต่อเนื่องสำหรับวิศวกรในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1) จัดการอบรมทั้งทฤษฎีและปฏิบัติการทั่วประเทศจำนวน 7 ครั้ง
2) ศึกษาและวิเคราะห์มาตรฐานการส่องสว่างข้อมูลของโลก (CP-1223) และพิมพ์เผยแพร่ออนไลน์เพิ่มโอกาสเข้าถึงกับผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมาย
3) สำรวจสิทธิบัตรและผลงานวิจัยทั่วโลก ความก้าวหน้า สินค้า และผลกระทบทั่วโลก ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี VLC รวมทั้งพิมพ์เผยแพร่ออนไลน์เพิ่มโอกาสเข้าถึงกับผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมาย
4) จัดสัมมนาระดมสมอง “แนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทยในอนาคต” และสร้างความร่วมมือกลุ่มสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น พลังงานและแสงสว่าง (เช่น การไฟฟ้าฯ) หน่วยงานด้านสุขภาพกับผลกระทบด้านการส่องสว่าง หน่วยงานการสื่อสาร และหน่วยงานด้านนโยบาย

1.4 ระยะเวลาในการวิจัย

วันที่ 22 มิถุนายน 2558 ถึง 23 สิงหาคม 2559 (427 วันนับจากวันลงนามในสัญญา) ตามเงื่อนไขแนบท้ายสัญญา

1.5 คณะผู้ดำเนินงาน

รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์	นักวิจัยหัวหน้าโครงการ
ผศ.ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	นักวิจัยร่วม
รศ.ดร.อนันต์ สืบสำราญ	นักวิจัยร่วม
ดร.กมล เขมะรังษี	นักวิจัยร่วม
รศ.ดร.ปรีชา กอเจริญ	นักวิจัยร่วม (เลขานุการ)
รศ.ดร.เอกชัย ลีลารัศมี	ที่ปรึกษาโครงการ
ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีพิมานวัฒน์	ที่ปรึกษาโครงการ
Prof. Shinichiro Haruyama	ที่ปรึกษาโครงการ

ตารางที่ 1.1 ภาพรวมกลุ่มเป้าหมายบุคลากรและประโยชน์ที่จะได้รับ

กลุ่มเป้าหมาย	ประโยชน์ที่ได้รับ สิ่งที่ได้รับ
ภาควิชาการ วิจัยและพัฒนา ภาคอุตสาหกรรม ภาครัฐ และผู้สนใจทั่วไป	ตระหนักถึงเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ อันเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานที่มีศักยภาพสูงในอนาคต
ภาควิชาการ ผู้ประกอบการและผู้เกี่ยวข้องด้านนโยบายภาครัฐ	รายงานวิจัยการเปรียบเทียบและประเมินศักยภาพของประเทศไทย พร้อมแผนงานที่จำเป็นต่อการพัฒนาของประเทศไทยในด้านการสื่อสารแสงที่มองเห็นได้ สู่การเป็นแผนที่นำทางเทคโนโลยีหรือส่วนหนึ่งของแผนแม่บทด้านสื่อสารโทรคมนาคมในอนาคตและแนวทางการจัดทำหลักสูตรการเรียนการสอนต่อไปได้ด้วย
นักวิจัย อาจารย์ และสมาคมวิชาชีพ	กลุ่มความร่วมมือด้านวิชาการสาขาควบรวมด้านการประหยัดพลังงานกับการสื่อสารสาขาใหม่ ที่จะส่งเสริมความเข็มแข็งของชุมชนวิชาชีพไฟฟ้าสื่อสารโทรคมนาคมได้อีกแนวทางหนึ่ง
วิศวกร นักศึกษา นักวิจัย	การพัฒนาวิชาชีพต่อเนื่องในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร แนวทางการศึกษา และโอกาสการประกอบอาชีพสาขาใหม่นี้ในอนาคต
หน่วยงานสนับสนุนส่งเสริมการวิจัย การกำกับกิจการโทรคมนาคมและพลังงาน	แนวทางการจัดสรรและการแบ่งปันทรัพยากร และแนวทางการวางโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องต่อเทคโนโลยีกำเนิดใหม่นี้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลผลิตหนังสือและสื่อดิจิทัล รายงานการสำรวจสิทธิบัตร ผลงานวิจัย และความก้าวหน้าทั่วโลกและการบรรยาย การสัมมนาวิชาการและความร่วมมืออุตสาหกรรม ที่จะได้รับเมื่อโครงการเสร็จสิ้นแล้วนั้น จะสามารถตอบวัตถุประสงค์กองทุนฯ กสทช. ดังมาตรา 52(3) เรื่องส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาบุคลากรด้านกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ กิจการโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศได้เป็นอย่างดี ซึ่งเชื่อมโยงสอดคล้องไปได้ด้วยกับการพัฒนาวิชาชีพต่อเนื่องในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารของสภาวิศวกร โดยโครงการจะสามารถช่วยพัฒนาความรู้ในวิชาชีพของวิศวกรหรือผู้เกี่ยวข้องกับกิจการโทรคมนาคมได้เป็นจำนวนมากด้วย ตารางที่ 1.1 สรุปภาพรวมกลุ่มเป้าหมายบุคลากรและประโยชน์ที่จะได้รับ

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบด้วย ระบบการสื่อสารเชิงแสง การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ หลอดแอลอีดี พื้นฐานแอลอีดีเพื่อการประหยัดพลังงานและการประยุกต์การสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง นอกจากนี้ยังสรุปงานวิจัยและโครงการที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งกรอบแนวคิดเพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงความสำคัญของโครงงานวิจัยนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

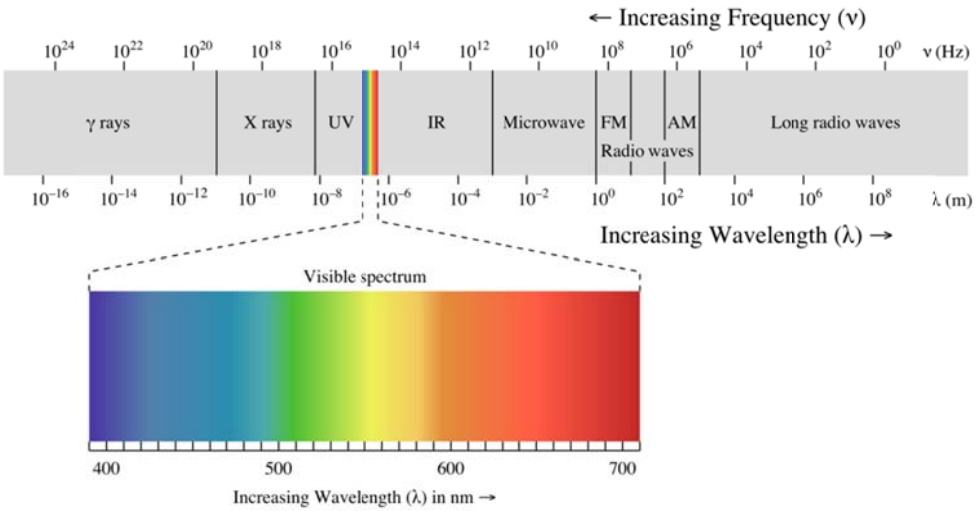
2.1.1 ระบบการสื่อสารเชิงแสง

การสื่อสาร (communication) หมายถึงการส่งข้อมูลจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งที่อยู่ห่างไกลออกไป โดยทั่วไปจะมีการนำข้อมูลข่าวสารมากล้ำสัญญาณ (modulation) กับสัญญาณคลื่นพาห์ (carrier signal) เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณ (channel) ไปได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น ในทำนองเดียวกันการสื่อสารเชิงแสง (optical communication) หมายถึงการสื่อสารข้อมูลที่ใช้แสงทำหน้าที่เป็นสัญญาณคลื่นพาห์ โดยแสงที่ใช้จะมีความถี่สูงมาก ซึ่งส่งผลทำให้แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณมีค่ามากขึ้นด้วย จึงทำให้ช่องสัญญาณสามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากขึ้น เพราะฉะนั้นการสื่อสารเชิงแสงจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการเชื่อมโยงข้อมูลปริมาณมากๆ ผ่านโครงข่ายหลัก (back-bone) ระหว่างชุมสาย หรือการโอนถ่ายข้อมูลความเร็วสูงอื่นๆ เป็นต้น

หลักการของแสง

โดยทั่วไปแสงสามารถแสดงพฤติกรรมเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค ถ้าแสงแสดงพฤติกรรมเป็นคลื่นจะเรียกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) ซึ่งประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกัน โดยแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง (แต่เมื่อเจอสิ่งกีดขวางต่างๆ ก็อาจจะเกิดการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด ได้) และสามารถเดินทางผ่านอากาศด้วยความเร็ว 3×10^{8} เมตรต่อวินาที และมีความถี่อยู่ในย่านที่ตามองเห็น (visible) ประมาณ 400 เทระเฮิรตซ์ (THz) – 800 THz ตามภาพที่ 2.1 ในกรณีที่แสงแสดงพฤติกรรมเป็นอนุภาคจะเรียกว่าโฟตอน (photon) ซึ่งสามารถใช้อธิบายหลักการทำงานของแหล่งกำเนิดแสง และวงจรตรวจจับแสง ณ วงจรภาครับ เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

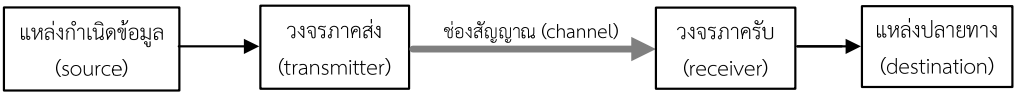
การสื่อสารผ่านช่องสัญญาณเชิงแสงมีหลักการทำงานดังนี้ เริ่มต้นแหล่งกำเนิดข้อมูลจะสร้างข้อมูลข่าวสารในรูปของสัญญาณไฟฟ้า (แบบแอนะล็อกหรือแบบดิจิทัล) จากนั้นวงจรผสมสัญญาณ



ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมแสงที่มองเห็น [9]

(multiplexer) จะทำการผสมสัญญาณรูปแบบเฉพาะเข้าไปเพื่อให้เกิดมีความเหมาะสม ก่อนส่งสัญญาณไปยังแหล่งกำเนิดแสงเพื่อแปลงสัญญาณข้อมูลให้เป็นสัญญาณแสง แล้วจึงส่งสัญญาณแสงออกไปยังช่องสัญญาณเชิงแสง ซึ่งอาจเป็นอากาศ (free pace) ชั้นบรรยากาศ (atmosphere) หรือตัวนำสัญญาณ (waveguide) โดยสัญญาณแสงจะถูกส่งไปยังวงจรภาครับ (receiver) ของสัญญาณเชิงแสง ซึ่งในขั้นแรกสัญญาณแสงจะถูกรวมแสงจากเลนส์ด้านหน้า จากนั้นถูกส่งไปยังวงจรตรวจจับแสงซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้กลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า (เพื่อแยกสัญญาณข้อมูลข่าวสารออกจากสัญญาณคลื่นพาห์) จากนั้นส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง เพื่อเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลแบบเดียวกับที่แหล่งกำเนิดข้อมูลส่งออกมา

การส่งข้อมูลด้วยไออาร์ดีเอ (IrDA) เป็นมาตรฐานการส่งข้อมูลของสมาคมไออาร์ดีเอ (The Infrared Data Association: IrDA) โดยใช้แสงอินฟราเรดขนาดความยาวคลื่น 875 นาโนเมตร (nm) และสามารถส่งสัญญาณได้ในระยะทางประมาณ 1-2 เมตร โดยมีขอบเขตการรับส่งข้อมูลในรัศมี 30 องศาระหว่างตัวส่งและตัวรับ ด้วยอัตราการส่งข้อมูล 2,400 – 16,000,000 บิตต่อวินาที ซึ่งช้ากว่าการส่งข้อมูลโดยใช้สายเชื่อมต่อ โดยการส่งข้อมูลด้วยไออาร์ดีเอนั้น วงจรภาคส่งจะต้องมีแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดเพื่อส่งข้อมูลในรูปของสัญญาณแสงไปยังวงจรภาครับ ผ่านช่องสัญญาณที่เป็นอากาศ และที่วงจรภาครับจะต้องมีวงจรตรวจจับแสงในการรับสัญญาณแสงจากวงจรภาคส่ง ซึ่งในการส่งข้อมูลนั้นอุปกรณ์ภาครับและภาคส่งต้องวางอยู่ในแนวเดียวกันและต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง นอกจากนี้หากสภาพแวดล้อมมีแสงแดดมาก ก็อาจจะไปรบกวนการส่งข้อมูลได้ ในทางปฏิบัติการส่งข้อมูลด้วยไออาร์ดีเอนิยมนำมาประยุกต์ใช้กับการสื่อสารระยะใกล้ เช่น รีโมตคอนโทรล การส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสาร

องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารเชิงแสง

ระบบการสื่อสารเชิงแสงมีองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญตามภาพที่ 2.2 ดังนี้

1) แหล่งกำเนิดข้อมูล (source) หมายถึงอุปกรณ์หรือแหล่งสร้างสัญญาณต่างๆ ซึ่งอาจเป็นสัญญาณภาพ ข้อมูล หรือเสียง เป็นต้น
2) วงจรภาคส่งสัญญาณเชิงแสง (optical transmitter) หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่เป็นอุปกรณ์ต้นทาง เช่น โมเด็มเชิงแสง เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องโทรศัพท์ อุปกรณ์ของสถานีวิทยุสถานีฐานต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง และส่งออกไปยังปลายทางผ่านช่องสัญญาณเชิงแสง ในส่วนของวงจรภาคส่งจะมีกระบวนการการผสมสัญญาณเชิงแสงร่วมอยู่ด้วย โดยสัญญาณที่ได้รับมาจากแหล่งกำเนิดข้อมูลต่างๆ จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อนจะนำไปผสมกับสัญญาณคลื่นพาห์ที่มีความถี่เชิงแสง เพื่อให้ได้สัญญาณแสงออกมา

   ในการผสมสัญญาณเชิงแสง ต้องมีแหล่งกำเนิดแสงซึ่งทำหน้าที่กำเนิดแสงที่จะนำมาผสมสัญญาณ เช่น ไดโอดเปล่งแสง (LED), เลเซอร์ (laser), หรือเลเซอร์ไดโอด (laser diode) โดยอุปกรณ์เหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเป็นระเบียบ มีทิศทางที่แน่นอน และมีความเข้มสูง การผสมสัญญาณเชิงแสงจะมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น การผสมสัญญาณเชิงความถี่ (frequency modulation: FM), การผสมสัญญาณเชิงเฟส (phase modulation: PM), หรือการผสมสัญญาณเชิงขนาด (amplitude modulation: AM) อย่างไรก็ตามรูปแบบของการสื่อสารเชิงแสงที่ใช้งานจริงจะถูกกำหนดโดยรูปแบบของการผสมสัญญาณและการตรวจจับเชิงแสง ซึ่งแบ่งเป็นสองประเภทหลักคือ การผสมเชิงความเข้มและตรวจจับแบบตรง (IM/DD: intensity modulation / direct detection) และการผสมสัญญาณแบบโคฮีเรนต์ (coherent) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง แต่มีความซับซ้อนและมีราคาแพงมาก โดยทั่วไปการสื่อสารเชิงแสงยังคงอยู่บนพื้นฐานของการผสมสัญญาณเชิงความเข้ม (intensity modulation : IM) เป็นหลัก ตัวอย่างเช่น การแปลงสัญญาณข้อมูล (บิต “0” หรือบิต “1”) จะถูกเปลี่ยนเป็นระดับความเข้มของแสงคือ มืดและสว่าง หรืออื่นๆ
3) ช่องสัญญาณเชิงแสง (optical channel) สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ ช่องสัญญาณที่ผ่านอากาศ และช่องสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
   - ช่องสัญญาณที่ผ่านอากาศ สัญญาณแสงจะถูกรวมและส่งออกไปในรูปแบบของลำแสงวิ่งตรงไปยังจุดหมายปลายทางเพียงจุดเดียว เช่น การส่งสัญญาณระหว่างสถานีภาคพื้นดิน

(terrestrial link) และสถานีทางอากาศ, การส่งสัญญาณระหว่างสถานีทางอากาศ (space-to-space crosslink) หรือการส่งสัญญาณจากสถานีทางอากาศไปยังสถานีที่อยู่ใต้น้ำก็ได้ (space-to-underwater link) โดยระบบการส่งสัญญาณแบบนี้จะไม่ใช้สายนำสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรงไปยังจุดหมายปลายทางเพียงจุดเดียว (แตกต่างจากการส่งสัญญาณวิทยุที่เป็นการส่งสัญญาณแบบกระจาย) และอาจได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศ เช่น แสงแดด เมฆ หมอก หรือฝน ได้

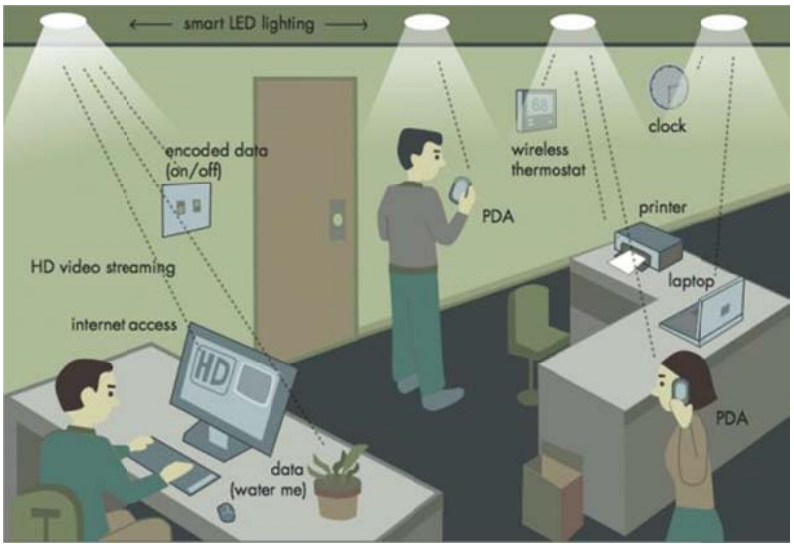
- ช่องสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสง สัญญาณแสงจะถูกส่งผ่านเส้นใยนำแสง (fiber optic) ที่เชื่อมต่อระหว่างวงจรภาคส่งและวงจรภาครับโดยใช้หลักการหักเหและสะท้อนของแสง เพื่อให้แสงสามารถเดินทางไปถึงปลายทางได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้การส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสงยังสามารถใช้ส่งสัญญาณแสงหลายลำแสงออกไปด้วยมุมที่ต่างกันพร้อมกันได้ ทำให้สามารถส่งสัญญาณได้ในปริมาณที่มากกว่าระบบการสื่อสารอื่นๆ รวมทั้งระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงยังช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับการสื่อสาร เพราะถูกดักจับสัญญาณได้ยากกว่าการสื่อสารผ่านทางอากาศ

4) วงจรภาครับสัญญาณเชิงแสง จะทำหน้าที่แยกสัญญาณข้อมูลข่าวสารออกจากสัญญาณคลื่นพาห์ที่มีความถี่เชิงแสงและสัญญาณรบกวน โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณคือ วงจรตรวจจับแสง (optical detector) ซึ่งมีหน้าที่ในการรับสัญญาณแสงและเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า องค์ประกอบในการแยกสัญญาณเชิงแสงประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ
   - ตัวรับสัญญาณแสงส่วนหน้า (optical receiving front-end) ซึ่งส่วนมากใช้เลนส์รวมแสงหรืออุปกรณ์โฟกัส
   - ตัวตรวจจับแสง หรือโฟโตไดโอด (photo-diode)
   - ตัวประมวลผลการตรวจจับแสงภาคหลัง (post detection processor)

   โดยตัวรับสัญญาณแสงส่วนหน้านี้จะทำหน้าที่กรองแสงและโฟกัสแสงไปยังตัวตรวจจับแสงซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยหากแสงที่มาตกกระทบผิวหน้าของไฟโตไดโอดมีจังหวะมืด/สว่าง ก็จะทำให้เกิดความต่างศักย์ที่คร่อมตัวโฟโตไดโอดเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามจังหวะของแสงที่มาตกกระทบ จากนั้นจะส่งผลลัพธ์ที่ได้ให้ตัวประมวลผลการตรวจจับแสงภาคหลัง เพื่อทำการขยายสัญญาณในส่วนที่จำเป็น และกรองสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณไฟฟ้าที่วงจรภาคส่งส่งมา

2.1.2 การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้

การสื่อสารข้อมูลด้วยคลื่นย่านความถี่วิทยุ (RF: radio frequency) มีข้อจำกัดสูง เช่น แบนด์วิดท์แคบ ความปลอดภัยน้อย สัญญาณรบกวนสูง สำหรับย่านความถี่แสงที่มองเห็นได้ (visible



ภาพที่ 2.3 แบบจำลองระบบ VLC ของอุปกรณ์ภายในอาคาร [12]

light) มีแนวความคิดที่ใช้แสงเป็นตัวกลางของการสื่อสารข้อมูลมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1880 [11] โดย Alexander Graham Bell ได้แสดงโฟโตโฟนที่สามารถส่งสัญญาณเสียงพูดผ่านแสงอาทิตย์ได้ไกลถึง 100 เมตร ซึ่งทำให้ทราบว่าจริงๆ แล้วการสื่อสารผ่านแสงเกิดขึ้นก่อนที่จะมีการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุ การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ (VLC) เริ่มต้นพัฒนามาจากการสื่อสารแบบอินฟาเรด ซึ่งใช้มากในอุปกรณ์จำพวกรีโมท (remote control) เนื่องจากข้อจำกัดของแสงอินฟาเรดที่กำลังส่งสูงๆ แสงอินฟาเรดจะอันตรายต่อตาของมนุษย์ได้

ดังนั้น VLC ถือเป็นเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกนำมาใช้เป็นช่องทางของการสื่อสารข้อมูลแบบต่างๆ โดยใช้แสงที่มองเห็นได้ ซึ่งแสงที่กล่าวถึงนี้เป็นแสงจากหลอดแอลอีดีสีขาว (white LED) เทคโนโลยี VLC นี้เริ่มมีการพัฒนาครั้งแรกในช่วงประมาณปี 1990-2000 และกำลังเป็นที่สนใจของนักวิจัยทั่วโลก [2] เพราะนอกจากประโยชน์ที่ได้จากความสว่างของแสงในพื้นที่ใช้งานแล้ว ยังสามารถใช้ส่งข้อมูลผ่านแสงดังกล่าวได้ด้วย เพราะฉะนั้นเทคโนโลยี VLC จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ มากมาย เช่น การสื่อสารระหว่างรถยนต์กับรถยนต์ (car-to-car communication), ระบบป้ายจราจรอัจฉริยะ, การส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตภายในอาคาร, การสื่อสารใต้น้ำ, ใช้ในโรงพยาบาล/เครื่องบิน, การระบุตำแหน่งภายในอาคาร เป็นต้น ภาพที่ 2.3 แสดงแบบจำลองระบบ VLC ภายในอาคารสำนักงานที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างตัวอุปกรณ์ต่างๆ ภายใน อย่างไรก็ตามระบบ VLC จะเผชิญกับปัญหาความเพี้ยนของข้อมูลที่เกิดจากผลกระทบต่างๆ เช่นอุปกรณ์ LED, ช่องสัญญาณ, การแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (ISI: intersymbol Interference) เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อความเร็ว คุณภาพ และประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล ดังนั้นงานวิจัยต่างๆ ที่จะช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้จึงยังคงเป็นหัวข้อวิจัยที่สำคัญในปัจจุบัน

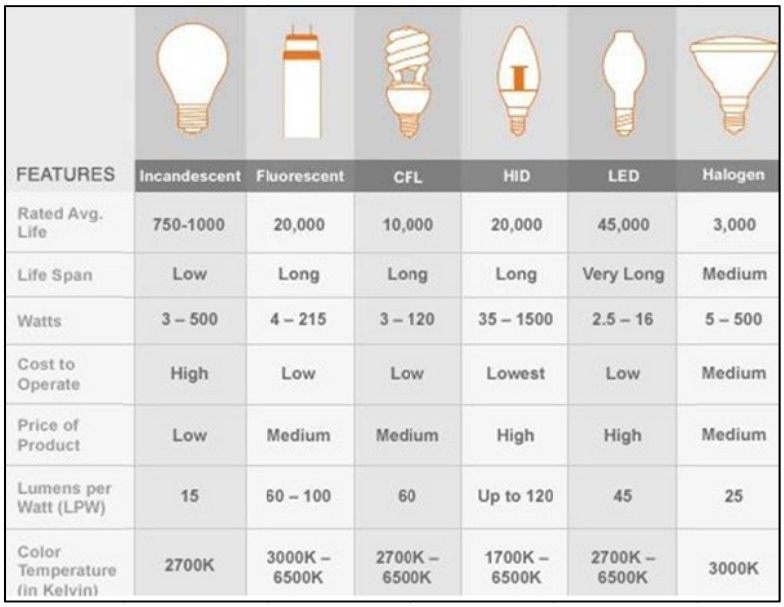
2.1.3 หลอดแอลอีดี

การประหยัดพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับการใช้ชีวิตประจำวัน การทำงาน การดำเนินธุรกิจ และด้านอุตสาหกรรม เพราะแหล่งพลังงานต่างๆ ในโลกกำลังลดน้อยลง ดังนั้นการตื่นตัวด้านการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นทั่วโลกจึงทำให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมเพื่อการประหยัดพลังในด้านต่างๆ อย่างมากมาย หลอดแอลอีดี เป็นอีกหนึ่งในอุปกรณ์ประหยัดพลังงานที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน แต่จริงๆ แล้วมีการเริ่มต้นใช้ในเชิงพาณิชย์มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1962 ซึ่งในช่วงแรกหลอดแอลอีดีให้ความเข้มแสงไม่มากและมีใช้เฉพาะความถี่ในช่วงแสง infrared ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ หลอดแอลอีดีได้ถูกพัฒนาให้สามารถเปล่งแสงที่มองเห็นได้ โดยแสงสีแดงถูกสร้างขึ้นมาก่อน แต่ยังคงมีความเข้มแสงน้อย จากนั้นหลอดแอลอีดีได้ถูกพัฒนามาโดยตลอดจนปัจจุบันสามารถให้แสงที่ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ infrared จนถึงย่าน visible light ซึ่งส่งผลทำให้มีการนำหลอดแอลอีดีมาใช้งานอย่างแพร่หลาย

นอกจากนี้หลอดแอลอีดีได้ถูกพัฒนาให้มีความเข้มแสงมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้สามารถนำมาใช้ในการแสดงไฟสัญญาณต่างๆ ได้ เช่น ไฟสัญญาณจราจร เนื่องจากหลอดแอลอีดีมีข้อดีหลายด้าน เช่น ด้านประหยัดพลังงาน ด้านอายุการใช้งานที่ยาวนาน ด้านความทนทานของหลอดแอลอีดี มีหลายรูปทรง และมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับหลอดไฟแบบอื่น นักวิจัยและบริษัทต่างๆ จึงมุ่งเน้นพัฒนาประสิทธิภาพด้านความเข้มแสงหรือความสว่างให้สูงขึ้นไป เพื่อจะได้สามารถนำหลอดแอลอีดีมาใช้เป็นไฟส่องสว่างตามอาคารและท้องถนน แทนหลอดไฟแบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่ติดปัญหาเรื่องการทำให้หลอดแอลอีดีมีแสงสีขาวเหมือนหลอดไฟทั่วไปไม่ได้ จนกระทั่งในปี 1990 นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น 3 คน ได้ร่วมกันพัฒนาหลอดแอลอีดีสีน้ำเงินจนประสบความสำเร็จ (ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้สามารถสร้างหลอดแอลอีดีที่เปล่งแสงสีขาวได้) จึงได้รับการยกย่องและได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ในปี ค.ศ. 2014 ในฐานะเป็นผู้คิดค้นสิ่งประดิษฐ์ที่จะทำให้เกิดการปฏิวัติวงการด้านไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้พลังงานทั่วโลกในศตวรรษที่ 21

ปัจจุบันหลอดแอลอีดีสามารถให้ความสว่างสูงพอๆ กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent lamp) และหลอดไส้ (incandescent lamp) และประหยัดพลังงานได้มาก จากงานวิจัยพบว่าหลอดฟูออเรสเซนต์จะต้องใช้พลังงานเป็นสองเท่าของหลอดแอลอีดี แต่หลอดแอลอีดีสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า ตามที่แสดงในภาพที่ 2.4 โดยหลอดแอลอีดีมีข้อดีที่สำคัญ เช่น ใช้พลังงานน้อย ไม่มีรังสียูวี มีความร้อนต่ำ มีอายุการใช้งานนานกว่า 50,000 ชั่วโมง (หรือประมาณ 6-12 ปี) และมีสีให้เลือกใช้งานมากมาย [11]

แอลอีดีเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันกับไดโอด เมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบไบอัสตรงจะทำให้แอลอีดีเปล่งแสงออกมา แสงจากหลอดแอลอีดีจะมีสเปกตรัมตั้งแต่ที่ความถี่ 400 เทระเฮิรตซ์ ถึง 800 เทระเฮิรตซ์ (หรือเป็นความยาวคลื่นที่ 380 นาโนเมตร ถึง 780 นาโนเมตร) ดัง



FEATURES	Incandescent	Fluorescent	CFL	HID	LED	Halogen
Rated Avg. Life	750-1000	20,000	10,000	20,000	45,000	3,000
Life Span	Low	Long	Long	Long	Very Long	Medium
Watts	3 – 500	4 – 215	3 – 120	35 – 1500	2.5 – 16	5 – 500
Cost to Operate	High	Low	Low	Lowest	Low	Medium
Price of Product	Low	Medium	Medium	High	High	Medium
Lumens per Watt (LPW)	15	60 – 100	60	Up to 120	45	25
Color Temperature (in Kelvin)	2700K	3000K – 6500K	2700K – 6500K	1700K – 6500K	2700K – 6500K	3000K

ภาพที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญของหลอดไฟแบบต่างๆ [13]

แสดงในภาพที่ 2.1 นอกจากนี้ภาพที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงพัฒนาการของเทคโนโลยีแอลอีดีในช่วง ค.ศ. 2003 ถึง ค.ศ. 2015 ซึ่งจะพบว่าแอลอีดีมีราคาถูกลง ให้ความสว่างสูงขึ้น และใช้พลังงานน้อยลง เมื่อเทียบกับหลอดชนิดอื่น ๆ และคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2015 หลอดแอลอีดีถูกนำมาแทนหลอดไฟที่ให้แสงสว่างทั่วไปอย่างแพร่หลาย

2.1.4 พื้นฐานแอลอีดีเพื่อการประหยัดพลังงานและการประยุกต์การสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง

จากข้อมูลของหน่วยงานด้านพลังงานของสหรัฐฯ (Department of energy) คาดการณ์ว่าเมื่อมีการใช้งานอย่างกว้างขวางจนในปี พ.ศ. 2577 (ค.ศ. 2027) หรือประมาณอีกสองทศวรรษจะประหยัดพลังงานได้ถึง 348 เทระวัตต์ชั่วโมง (หน่วยวัดไฟระดับการใช้ทั้งประเทศต่อปี (TWh)) [14] และมีการเปรียบเทียบการประหยัดไฟที่เห็นได้ชัดเจนมากด้วยว่า “คาดการณ์ว่าหากมีการเปลี่ยนหลอดไฟถนนในเมือง Chongqing ประเทศจีนทั้ง 20,000 ดวงแทนด้วยแอลอีดี จะสามารถประหยัดทั้งค่าบำรุงรักษารายปีถึงสามล้านเหรียญสหรัฐฯ และลดการใช้ไฟฟ้าไป 17.6 ล้านกิโลวัตต์ทีเดียว” ส่วนแนวโน้มด้านการตลาด แอลอีดีจะเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2553 ธุรกิจแอลอีดีมีมูลค่ามากกว่า 7 พันล้านยูโร (9.3 พันล้านเหรียญสหรัฐ) ธุรกิจแอลอีดีสามารถจำแนกได้หลายประเภท อาทิ หลอดไฟแอลอีดี ไฟแสงสว่างที่ใช้ในธุรกิจยานยนต์ และจอแอลอีดี ในปัจจุบันตลาดหลอดไฟแอลอีดี มีมูลค่าถึง 27 พันล้านเหรียญสหรัฐ โดยคิดเป็น 12% ของตลาดไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมด และคาดว่าจะพุ่งขึ้นสูงถึง 45-50% ในปี พ.ศ. 2558 ส่งผลให้ตลาดหลอดไฟแอลอีดีมีแนวโน้มที่จะเติบโตและพัฒนาได้อย่างรวดเร็ว [15]

สำหรับประเทศไทยในช่วง 10 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2553 (ม.ค.-ต.ค.) ตลาดรวมหลอดไฟและโคมไฟในประเทศมีมูลค่าประมาณ 2 หมื่นล้านบาทเติบโต 5% จากตลาดรวม แบ่งได้เป็นตลาดหลอดไฟ 8 พันล้านบาท โดยมีสัดส่วนของแอลอีดี 3% ส่วนตลาดโคมไฟ 1.2 หมื่นล้านบาท มีสัดส่วนของแอลอีดี 11% ซึ่งยังมีสัดส่วนการใช้งานน้อย แต่การเติบโตของหลอดแอลอีดีมีทิศทางที่ดี โดยปีที่ผ่านมาเติบโตถึง 30% และคาดว่ายังมีอัตราการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง และมีโอกาสที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้งานในตลาดเป็น 50% จากหลอดไฟทั้งหมด ภายในปี พ.ศ. 2563 [16]

แต่เนื่องจากราคาอุปกรณ์ส่องสว่างแบบนี้สำหรับการใช้งานทั่วไปยังคงสูง จึงยังเหมาะกับเพียงเฉพาะสถานที่ที่มีการใช้งานด้านการให้ความสว่างที่สูง และมีระยะเวลาการใช้งานติดต่อกันนานมาก เช่น ป้ายโฆษณา การจัดงานแสดง สถานบันเทิงและอื่นๆ เมื่อราคาโดยรวมลดลงหรือมีอัตราการเติบโตของตลาดแอลอีดีสูงขึ้นไปที่อัตรา 40-50 % ของตลาด อุปกรณ์การส่องสว่างจึงจะเหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงเพื่อใช้งาน โดยรวมได้รับการคาดว่า การพุ่งขึ้นจะเด่นชัดอยู่ในช่วงจากปี พ.ศ. 2557 ถึง พ.ศ. 2560 โดยสูงสุดและจะเริ่มถอยลง (โดย IMS Research market, Jamie Fox) (สูงสุดในปี พ.ศ. 2560 นั้นผลกระทบคาดว่าจะถึง $120 พันล้านเหรียญ) [17]

โดยนัยสำคัญนอกจากการให้ความสว่างแล้ว การใช้งานแอลอีดีหรือการขับวงจรเพื่อให้ความสว่างออกมานั้นสามารถปรับบังคับให้ผสมการเปลี่ยนแปลงจังหวะการขับความสว่างนั้นได้ด้วยความเร็วที่สูงมาก และได้ถึงมากกว่าหลักล้านครั้งต่อวินาที(และสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามพัฒนาการ) ในขณะที่หลอดไฟชนิดอื่นๆ แบบเก่าสามารถทำให้เกิดการผสมจังหวะได้ แต่ก็อยู่ในอัตราต่ำกว่ามาก และอาจเกิดการกระพริบของแสงอันเป็นผลเสีย ดังนั้น การแปลงจังหวะการขับพลังงานของแอลอีดีจะเสมือนการส่งข้อมูลผ่านจังหวะของแสงเหล่านี้ได้ จึงเกิดเป็นศักยภาพเพื่อการส่งข้อมูลขึ้น เกิดประโยชน์เสริมนอกจากการให้ความสว่างคือ เพื่อการควบคุม การตรวจจับ (sensor) และการสื่อสารในพื้นที่ที่ให้ความสว่างนั้นได้ด้วย รวมไปถึงการควบคุมให้ไฟหรี่สว่างหรือมืดได้ตามที่ต้องการเพื่อการประหยัดพลังงาน อันเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับ บ้าน สำนักงาน หรือโรงงาน อัฉริยะ และเมื่อการกำหนดให้ช่วงเวลาการขับไฟฟ้าเพื่อให้ความสว่างนั้นเป็นไปตามจังหวะที่ต้องการแบบเสมือนมีการผสมด้วยข้อมูลที่เหมาะสมจะพบว่ามีศักยภาพ 2 ขอบเขตหลักดังนี้

1) **การส่องสว่างข้อมูลความเร็วต่ำ** เช่น เพื่อใช้งานในพื้นที่ภายในอาคารที่กว้างโดยการประยุกต์ให้โคมไฟแอลอีดีแต่ละจุดบนฝ้าเพดานที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดนั้น จะสามารถให้ข้อมูลปริมาณน้อยๆ หรือความเร็วต่ำที่กำหนดตำแหน่งของจุดโคมไฟนั้นๆ ลงมากับแสงสว่างได้ด้วย อันจะเกิดประโยชน์เสมือนเป็นระบบกำหนดพิกัดภายในอาคาร (indoor GPS) สำหรับระบบอัตโนมัติหรือหุ่นยนต์ที่จะอาศัยข้อมูลตำแหน่งจากการส่องสว่างนั้นในการตัดสินใจเพื่อเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ หรือข้อมูลเพื่อผู้พิการทางสายตาเพื่อการเดินทางในอาคารขนาดใหญ่โดยอุปกรณ์ผู้ช่วยและอื่นๆ อีกมาก เป็นต้น

2) **การส่องสว่างข้อมูลความเร็วสูง** หากประยุกต์เพื่อการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงหรือบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ต เป็นศักยภาพที่กำลังได้รับการจับตามอง ซึ่งระบบสื่อสารพ่วงความสว่างนี้ได้รับการคาดการณ์ที่จะนำมาใช้งานเสริมร่วมกับระบบสื่อสารอื่นๆ ที่มีอยู่เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการสื่อสารไร้สายยุคหน้า (next generation of wireless communications)

โดยพื้นฐานการนำการส่องสว่างมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลดังกล่าวนี้ ทำให้การสื่อสารระยะใกล้ตัว (Personal Area Network)มีความเร็วที่สูงขึ้น มีความปลอดภัยเพราะอยู่ในบริเวณที่มองเห็นความสว่างของแสงนั้นได้ เหมาะสำหรับความต้องการการสื่อสารในพื้นที่ปลอดคลื่นสัญญาณวิทยุ เช่น ในอากาศยาน โรงพยาบาล ห้องปฏิบัติการ หรือหน่วยงานที่ต้องการหลีกเลี่ยงคลื่นวิทยุรบกวน และเพื่อประโยชน์อื่นๆ อีกมาก [3]

โดยสรุป “การส่องสว่างข้อมูล” ที่กล่าวมานี้มีคำจำกัดความโดยสังเขปคือ “เมื่อเปิดไฟให้ความสว่างจากแอลอีดี จะได้การสื่อสารข้อมูลปลอดภัยพ่วงมาด้วย” จึงมีการเรียกวิทยาการการควบรวมนี้ว่า “การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้” หรือ Visible Light Communications (VLC) อันเป็นเทคโนโลยีใหม่ด้านการสื่อสารไร้สายใช้แสงที่อยู่ในช่วงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้เป็นตัวกลางนำสัญญาณ การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้นี้เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในอนาคตเนื่องจาก

1) แสงที่มองเห็นได้ใช้ความถี่ย่านแสงระหว่างความยาวคลื่น 375 – 780 nm หรือความถี่ 400 – 800 THz ซึ่งสูงเกินกว่าย่านความถี่ 3 THz อันเป็นย่านสูงสุดที่หน่วยงานกำกับดูแลคลื่นความถี่ของแต่ละประเทศมีการควบคุม (licensed band) อีกทั้ง ช่วงความถี่คลื่นวิทยุปกติดังกล่าวมีอัตราการเติบโตของการใช้งานสูงมาก นำมาซึ่งความแออัดและเป็นอุปสรรคประการหนึ่งของการพัฒนาในอนาคตที่ท้าทาย จึงเป็นโอกาสที่เปิดใหม่สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีและผู้ผลิตอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารด้วยแสง
2) เมื่อพิจารณาย้อนกลับไปยังเทคโนโลยีการส่องสว่างปกติ ที่แนวโน้มอนาคตกำลังปรับมาใช้แอลอีดีจากประโยชน์ข้างต้น จำนวนมหาศาลของหลอดแอลอีดีที่จะเข้ามาทดแทนและประยุกต์ในรูปแบบต่างๆ ทั่วทั้งโลกนั้น คือจำนวนศักยภาพของการมีข้อมูลที่พ่วงมากับการส่องสว่างจากจำนวนแหล่งกำเนิดที่ใกล้เคียงจำนวนหลอด จึงเป็นดัชนีที่บ่งชี้การรองรับสังคมข่าวสารที่ประหยัดพลังงาน หรือการส่องสว่างข้อมูลได้เป็นอย่างดี
3) จากอนาคตการเติบโตของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถใช้เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณการส่องสว่างข้อมูล โดยอาจพัฒนาได้จากทั้งกล้องถ่ายภาพ และจากการควบรวมภาครับแสงในอนาคตกับอุปกรณ์ประจำตัว (personal devices) นั้นด้วย หรือรูปแบบในอนาคตอื่นๆ ที่จะมีจำนวนมหาศาลเช่นกัน (มีแนวโน้มอัตราที่เพิ่มขึ้นสูงมากเช่นเดียวกันกับแอลอีดี) จึงเกิดเป็นอีกหนึ่งช่องทางหรือโอกาสการพัฒนาอุตสาหกรรมที่เกิดจากการสื่อสารควบรวมกับการส่องสว่างดังกล่าว และเข้าถึงผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอยู่เดิมได้

สำหรับตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานการสื่อสารแสงที่มองเห็นได้ที่มีกิจกรรมอยู่ทั่วโลกหลักๆ ในช่วงเวลาเริ่มแรกนี้ เช่น

1) การประยุกต์เพื่อเครือข่ายสื่อสารไร้สายระยะใกล้ (light-wireless LAN / Wi-Fi หรือ Li-Fi)
2) QR code แบบใช้แสง (อาจมีสีต่างๆ กัน โดยการนำข้อมูลแฝงไว้ในป้ายโฆษณาที่มีแสงให้ความสว่าง เมื่อมีผู้นำอุปกรณ์รับสัญญาณในลักษณะคล้ายกับการใช้กล้องอ่านข้อมูลจาก QR code ส่องไปยังป้ายโฆษณา ข้อมูลจะปรากฏบนหน้าจอเครื่องรับ)
3) ระบบนำเสนอข้อมูลเฉพาะจุดพื้นที่ผ่านการส่องสว่างของแสง (เพื่อการให้ข้อมูลเฉพาะจุด เช่น สำหรับพิพิธภัณฑ์ พื้นที่แสดงสินค้า และนิทรรศการ เป็นต้น)
4) การกระจายข้อมูล (broadcast) การสื่อสารจากโคมไฟส่องสว่างในอาคาร (เช่น การให้ข้อมูลสินค้า หรือโปรโมชันต่างๆ จากห้างสรรพสินค้าผ่านโคมไฟส่องสว่างภายในห้าง)
5) ระบบ Intelligent Transport System (ITS) (โดยให้ข้อมูลแฝงไว้กับสัญญาณไฟจราจร การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ (car-2-car, M2M (machine-to-machine)) และ
6) การประยุกต์ใช้เพื่อระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (localization) เพื่องานด้านโลจิสติกส์ และอื่นๆ เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาเทคโนลียีการส่องสว่างข้อมูลนี้แนวโน้มของโลกเป็นไปอย่างคึกคัก โดยประเทศญี่ปุ่นมีการก่อตั้งกลุ่มเพื่อภารกิจการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ (visible light communication consortium) หรือ VLCC ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2545 เพื่อเริ่มสร้างความตระหนักกับงาน VLC นี้เป็นลำดับแรก และได้ออกมาตรฐานภายในด้วยคือ CP-1221 (visible light communications system) และ CP-1222 (visible light ID system) และมีพัฒนาการเร็วมาก เช่นจนถึงในปี พ.ศ. 2550 (ค.ศ. 2007) มหาวิทยาลัยเคียวโอ (Keio University) ได้นำเสนอการนำเทคโนโลยีนี้ไปพ่วงใช้ในรถไฟความเร็วสูงแล้ว [18]

สำหรับด้านยุโรป มีโครงการความร่วมมือภายใต้ชื่อ OMEGA โดยได้รับการสนับสนุนจากสหภาพยุโรป (EU FP7 program) เพื่อการพัฒนาการเชื่อมต่อการสื่อสารความเร็วสูงภายในอาคาร (Home gigabit access project) ซึ่งมีงานวิจัยและพัฒนาด้าน VLC อยู่ในโครงการนี้ด้วย โดยหลายสถาบัน เช่น มหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ด [19] ต่อมาสถาบันวิจัย Fruanhofer Heinrich Hertz Institute ของประเทศเยอรมนี ได้สร้างต้นแบบเพื่อการใช้งาน VLC แบบครบฟังก์ชันที่ความเร็ว 500 Mbps และนำเสนอมาตั้งแต่เริ่มปี พ.ศ. 2556 [20] อันเป็นการเปิดประตูสู่โลกการประยุกต์ใช้งานที่ชัดเจนมากขึ้นหลังจากที่วงการฯได้พัฒนาเฉพาะด้านวิชาการมาได้ในช่วงเวลาร่วมทศวรรษ รวมทั้งได้นำงานชิ้นนี้มาจัดแสดงในงาน ITU Telecom World'13 ณ ประเทศไทย เมื่อช่วงเดือนพฤศจิกายน

พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมา [21] ซึ่งความเร็วระดับดังกล่าวนี้ได้ล้ำหน้าการสื่อสารระยะใกล้ประเภทอื่น เช่น Bluetooth หรือ Wi-Fi ไปมากแล้ว หากแต่ยังต้องพัฒนาความสามารถด้านอื่นๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งาน รวมทั้งด้านราคาและข้อจำกัดเทคนิคอื่นๆ อีกระยะหนึ่ง ถึงจะเข้าสู่การควบรวมการใช้งานร่วมกับการสื่อสารประเภทอื่นๆ ที่มีอยู่ได้เป็นปกติ รวมทั้งความก้าวหน้าจากห้องปฏิบัติการร่วมของ 5 มหาวิทยาลัยในสหราชอาณาจักร โดยได้รับการสนับสนุนจากสภาวิจัยวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์กายภาพ (Engineering and Physical Sciences Research Council) สามารถสร้างเทคโนโลยีผสมสามสีเพื่อได้ความเร็วการกระพริบของแสงที่มีศักยภาพส่งข้อมูลได้ถึง 10 Gbps [22]

ส่วนด้านสหรัฐอเมริกา กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้าน VLC นำเสนอผลงานออกมาเป็นระยะ ณ มหาวิทยาลัยบอสตัน [23] โดยปรากฏแนวโน้มของการพัฒนาในรูปแบบ “แสงฉลาด” หรือ Smart Lighting อันเป็นการควบรวมกับการประยุกต์ในที่พักอาศัยคล้ายคลึงกับการสร้างบ้านหรือสำนักงานอัจริยะ (Smart home/ office) เช่นกัน รวมทั้งเกิดต้นแบบศูนย์การสื่อสารรอบตัวด้วยแสงหรือ Center for Ubiquitous Communication by Light (UC-Light) และศูนย์วิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ตามมา

ในส่วนของการพัฒนาแอลอีดีโดยเฉพาะแสงสีขาวเพื่อการส่องสว่างเอง การพัฒนาได้ขยับขับเคลื่อนจากเทคโนโลยีอันให้แสงสีขาวเทียมจากเทคนิคการกรองแสงและวัสดุอื่นๆ มาสู่เทคโนโลยีใหม่โดยการสร้างจากวัสดุสารกึ่งตัวนำเชิงแสงซิงค์ออกไซค์ (ZnO_2) ที่ใช้สำหรับการเปล่งแสงขาว ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดสู่การผลิตหลอดไฟส่องสว่างที่ให้แสงขาวแบบธรรมชาติ พร้อมทั้งสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 50% และมีอายุการใช้งานนานหลายปี มีความปลอดภัยในการใช้งานเนื่องจากส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม [24] รวมไปถึงการต่อยอดแบบล้ำหน้าของฟากสหรัฐอเมริกา เริ่มมีงานวิจัยที่การเน้น“การให้แสงสว่างพ่วงข่าวสารหรือการส่องสว่างข้อมูล” โดยจะมีการฝังข้อมูลขนาดเล็กๆ ไว้กับการเปล่งแสงของแอลอีดียุคใหม่ในอนาคต (embedded signal in next generation LED) เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้แอลอีดีสำหรับงานไฟจราจรหรือป้ายโฆษณาเป็นมูลค่าเพิ่มไปในการทำตัวแอลอีดีตั้งแต่ต้นน้ำ [25]

เมื่อกลับมาสู่มุม “การส่องสว่างข้อมูล” มีการพัฒนากันจนกระทั่งเกิดการรวมกลุ่มออกร่างมาตรฐานสากล โดยสมาคมสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers หรือ IEEE) ซึ่งเริ่มเมื่อ พ.ศ. 2552 (ค.ศ. 2009) โดยนำเสนอในกลุ่ม IEEE 802.15 (wireless personal area networks) Task Group 7 (visible light communication) ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะในหลายส่วนของการสื่อสารระยะใกล้ (short range) รูปแบบใช้แสงที่มองเห็นได้นี้เพื่อขับดันภาพรวมไปสู่ระดับเชิงพาณิชย์ ซึ่งออกมาตรฐานได้ครอบคลุมความเร็วการสื่อสารจากระดับต้นๆ หลักร้อยกิโลบิตต่อวินาที (bps) ไปจนถึง 96 (ล้าน) Mbps จนต่อมาการพัฒนาระบบ และอุปกรณ์ รวมทั้งเทคนิคก็ได้นำพาศักยภาพของ “การส่องสว่างข้อมูล” เข้าสู่หลักความเร็วระดับ Gbps

ได้ (เมื่อเทียบกับการสื่อสารไวไฟ (Wi-Fi) ที่อยู่ในช่วง (ปกติทั่วไป) 50 Mbps) [26] จึงเป็นการเน้นย้ำความตระหนักในระดับสากลของการส่องสว่างข้อมูลที่จะได้เข้ามาร่วมกับระบบสื่อสารเดิมที่มีอยู่ให้สามารถรองรับสังคมข่าวสารได้มากขึ้น

2.3 โครงการที่เกี่ยวข้อง

จากการรวมกลุ่มภาควิชาการก่อนหน้า (กลุ่ม LED-SmartCoN>>) [8] ที่ได้จัดกิจกรรมวิชาการในช่วงผ่านมาโดยลำดับ ซึ่งมีความเชี่ยวชาญด้านการพัฒนาบุคคลากร การจัดทำสื่อหนังสือหรือคู่มือ และผลผลิตทางวิชาการอื่นๆ รวมทั้งที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการส่องสว่างข้อมูลมาแล้ว เช่น โครงการวิจัยเรื่อง "พัฒนาความเป็นเลิศด้านการสื่อสารข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็น" ประจำปีงบประมาณ 2557 จากสภาวิจัยแห่งชาติ ระยะเวลา 1 ปี ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมนั้น จึงได้นำประสบการณ์เหล่านั้นมาร่วมกันเพื่อจัดทำโครงการนี้ต่อในด้านกิจกรรมหนังสือและสื่อดิจิทัล การสัมมนาวิชาการ และความร่วมมืออุตสาหกรรม

ส่วน การสำรวจสิทธิบัตร ผลงานวิจัย และความก้าวหน้าทั่วโลก เพื่อจัดทำรายงานการสำรวจเชิงเปรียบเทียบสำหรับประเทศไทยนั้น ทีมงานจะร่วมกับหน่วยงานด้านบริการความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งในและต่างประเทศ เพื่อการสำรวจข้อมูลจากเครือข่ายเปิดด้านสถานะงานวิจัย ทรัพย์สินทางปัญญาของเทคโนโลยี และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องทั่วโลก ด้วยการสำรวจและวิเคราะห์สิทธิบัตร ผลงานตีพิมพ์ ผลิตภัณฑ์ กลุ่มวิจัย อุตสาหกรรม และประเทศที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ทราบสถานะภาพโดยละเอียดเพื่อการตัดสินใจในระดับต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งด้านนโยบาย การวิจัย และการพัฒนาในระดับประเทศต่อไปได้ด้วย

รวมทั้งจากความร่วมมือกับกลุ่มนักวิชาการ นักวิจัยจากต่างประเทศ หรือผู้มีบทบาทในระดับนานาชาติจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีและประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องจากต่างประเทศ เพื่อปรับใช้ให้เหมาะสมสอดรับกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการ รวมทั้งจะเป็นการสร้างช่องทางการติดตามเทคโนโลยีสาขาใหม่นี้ได้รวดเร็วและมีโอกาสอื่นๆ มากขึ้น ซึ่งทีมงานได้ประสานและทำงานร่วมกันมาก่อนหน้าโดยลำดับ และมีความพร้อมแล้วเช่นกัน

2.4 กรอบแนวคิด

จากศักยภาพของ "การส่องสว่างข้อมูล"ของ"การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้" ประเทศไทยยังขาดแหล่งข้อมูลอ้างอิงเพื่อการเตรียมความพร้อมรับ กอปรกับการผลักดันที่จะเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของประเทศไทยตั้งแต่ช่วงการเริ่มต้นของเทคโนโลยี จึงเป็นที่มาของแนวคิดที่จะจัดทำโครงการศึกษาสำรวจเทคโนโลยี“การส่องสว่างข้อมูล”หรือ“การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้” โดยจะทำการพัฒนาบุคลากรพร้อมไปกับการสำรวจ ศึกษา ติดตามเทคโนโลยีแอลอีดีเพื่อการให้ความสว่างที่

ประหยัดพลังงาน และการควบรวมกับการสื่อสารข้อมูลยุคใหม่ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์มาตรฐานเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องของแอลอีดีด้านการส่องสว่างข้อมูล การประหยัดพลังงาน การสื่อสารไร้สายด้วยแสง การประยุกต์ใช้งานและการออกแบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะด้านการพัฒนาบุคลากรจะมีการรวมกลุ่มผู้มีความสนใจการส่องสว่างข้อมูลหรือการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้จากแอลอีดีในประเทศไทยทั้งภาควิชาการ อุตสาหกรรม ผู้กำหนดนโยบาย และผู้ใช้งาน เพื่อการศึกษาสำรวจดังกล่าวจนถึงการพัฒนาสร้างเครือข่ายความร่วมมือที่เกี่ยวข้องร่วมกับหน่วยงานในต่างประเทศ เช่น JEITA (Japan Electronics and Information Technology หรือ VLCC และ The European Telecommunications Standards Institute (ETSI) รวมทั้ง IEEE 802.15.7 และอื่นๆ ด้านวิจัยนโยบายเพื่อการสำรวจทรัพย์สินทางปัญญาที่มีอยู่แล้วทั้งสิทธิบัตร งานวิจัย สินค้า ฯ เพื่อนำเสนอเป็นรายงานการสำรวจเชิงเปรียบเทียบหรือ “แนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทยในอนาคต” เป็นต้น และเมื่อได้ผลจากการศึกษาสำรวจก็จะได้ร่วมเสนอสิ่งที่จำเป็นต่อการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่นี้ของประเทศไทยต่อหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาคนโยบาย วิชาการ อุตสาหกรรม และผู้ใช้งาน ในการเตรียมความพร้อมอนาคตของประเทศไทยต่อไป ทั้งยังจะมีการจัดการอบรมทั้งทฤษฎีและปฏิบัติการให้แก่วิศวกรโทรคมนาคม ผ่านองค์กรแม่ข่ายของสภาวิศวกรในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยผลผลิตหลักของโครงการคือรายงานที่จะจัดทำเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงในรูปแบบต่างๆ เช่น ในรูปแบบสื่อหนังสือ และสื่อดิจิทัล เป็นต้น โดยจะผลักดันให้เกิดประโยชน์โดยการสร้างความตระหนักสาธารณะต่อการเข้ามาของเทคโนโลยีใหม่นี้ในประเทศไทยต่อไปได้ และเพื่อให้ได้รับการสานต่อจากหน่วยงานด้านนโยบายที่เกี่ยวข้องพัฒนาเป็นแผนที่นำทางเทคโนโลยีดังกล่าวสำหรับประเทศไทยในอนาคตต่อไป

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการวิจัย “โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ” เป็นการวิจัยที่สอดคล้องกับนโยบายภาครัฐด้านแผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม เรื่องการพัฒนาบุคลากรด้านโทรคมนาคม และส่งเสริมอุตสาหกรรมและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง โดยโครงการนี้จะมีการสร้างความร่วมมือจากหลายภาคส่วน และการถ่ายทอดเทคโนโลยี รวมทั้งมาตรฐานจากประเทศพัฒนาแล้ว เพื่อฝึกอบรมถ่ายทอดความรู้ต่อผู้มีความสนใจด้านการส่องสว่างข้อมูลในประเทศไทย รวมทั้งมีการศึกษาเชิงเปรียบเทียบพัฒนาการของต่างประเทศทั้งการลงทุน ผลงานวิจัย สิทธิบัตรและทรัพย์สินทางปัญญา เพื่อเตรียมความพร้อมให้ผู้ประกอบการตามเทคโนโลยีนี้ได้ทัน และลดการสูญเสียจากการนำเข้าเทคโนโลยีในอนาคต

3.1 ภาพรวมของการดำเนินโครงการ

การดำเนินของโครงการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 โครงการย่อยดังนี้

- โครงการย่อย 1: หนังสือ คู่มือสาธารณะ และมาตรฐาน โดย
  - จัดเสวนา แปล และวิเคราะห์มาตรฐานการส่องสว่างข้อมูลของโลก (CP-1223)
  - จัดพิมพ์และเผยแพร่ออนไลน์เพิ่มโอกาสเข้าถึงกับผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมาย
- โครงการย่อย 2: สำรวจโครงการและการลงทุน ทรัพย์สินทางปัญญา สินค้าและบริการ โดย
  - จัดทำการสำรวจสิทธิบัตรและผลงานวิจัยทั่วโลก (intellectual properties survey)
  - จัดทำการสำรวจความก้าวหน้า สินค้า และผลกระทบทั่วโลก
  - จัดการสัมมนาระดมสมอง “แนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทยในอนาคต”
  - จัดพิมพ์และเผยแพร่ออนไลน์เพื่อเพิ่มโอกาสเข้าถึงกับผู้ใช้งานกลุ่มเป้าหมาย
- โครงการย่อย 3: ฝึกอบรม สัมมนาวิชาการและความร่วมมืออุตสาหกรรมทั้งระดับชาติและนานาชาติ โดย
  - สัมมนาภูมิภาค และกทม.
  - บรรยายพิเศษโดยผู้เชี่ยวชาญในและต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น จีน หรือออสเตรเลีย สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย องค์การด้านพลังงานและการสื่อสาร

- สร้างความร่วมมือกลุ่มสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น พลังงานและแสงสว่าง (เช่น การไฟฟ้าฯ) หน่วยงานด้านสุขภาพกับผลกระทบด้านการส่องสว่าง หน่วยงานการสื่อสาร และหน่วยงานด้านนโยบาย (Thai VLC consortium หรือกลุ่มการส่องสว่างข้อมูลไทย)
- จัดการอบรมทั้งทฤษฎีและปฏิบัติการ ผ่านองค์กรแม่ข่ายของสภาวิศวกรในทุกภูมิภาคของประเทศ

โดยการดำเนินโครงการย่อยต่างๆ เป็นไปตามแผนการดำเนินงานดังนี้

กิจกรรม	ไตรมาส 1			ไตรมาส 2			ไตรมาส 3			ไตรมาส 4			ไตรมาส 5	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ประชุมคณะทำงาน/ทีมที่ปรึกษา เพื่อค้นคว้าและ รวบรวมข้อมูล	/			/			/			/			/	
โครงการ ๑: หนังสือ คู่มือฯ														
แปลและวิเคราะห์มาตรฐาน (CP-1223)	/	/	/	/	/	/								
เว็บไซด์ / สื่ออิเล็กทรอนิกส์		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
โครงการ ๒: ทรัพย์สินทางปัญญา ฯ														
สัมมนาระดมสมอง “แนวทางการส่องสว่างข้อมูล สำหรับประเทศไทยในอนาคต”			/				/				/			
สำรวจทรัพย์สินทางปัญญา			/	/	/	/	/	/	/					
รายงานการสำรวจเชิงเปรียบเทียบฯ				/	/	/	/	/	/	/	/	/		
โครงการ ๓: ฝึกอบรมฯ														
อบรม สัมมนา บรรยายพิเศษ			/		/		/		/		/		/	/
การจัดซื้อจัดจ้าง		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
การประเมินผลโครงการ & ปรับปรุง						/						/		
จัดทำรูปเล่ม/ จัดพิมพ์						/	/	/			/	/	/	
การเปิดตัวโครงการ และส่งมอบหนังสือ												/	/	/
จัดทำรายงานความก้าวหน้า และรายงานฉบับสมบูรณ์				/			/			/			/	/

สำหรับตัวชี้วัดหลักที่ใช้ประเมินค่าความสำเร็จของโครงการตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้มีดังนี้

1) เว็บไซด์ VLC เพื่อเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ออนไลน์สาธารณะ
2) รายงานแนวทางมาตรฐานอุตสาหกรรม (CP-1223) ฉบับภาษาไทย
3) รายงานการสำรวจเชิงเปรียบเทียบสำหรับประเทศไทย “ทรัพย์สินทางปัญญา งานวิจัย ผลิตภัณฑ์ และพัฒนาการการส่องสว่างข้อมูล”
4) จัดอบรมสัมมนาวิชาการและความร่วมมืออุตสาหกรรม จำนวนรวม 7 ครั้ง โดยมีผู้สนใจเข้าร่วมอบรมไม่น้อยกว่า 1,000 คน

ภาพที่ 3.1 เว็บไซต์ http://dept.npru.ac.th/vlc/

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและพัฒนา

3.2.1 การประชุมคณะทำงาน

ในการดำเนินงานโครงการวิจัย ทางทีมได้มีการประชุมคณะทำงานเพื่อกำหนดแนวทางในการทำงาน วิเคราะห์และประเมินผลการดำเนินงาน รวมทั้งหมด 5 ครั้ง ดังนี้

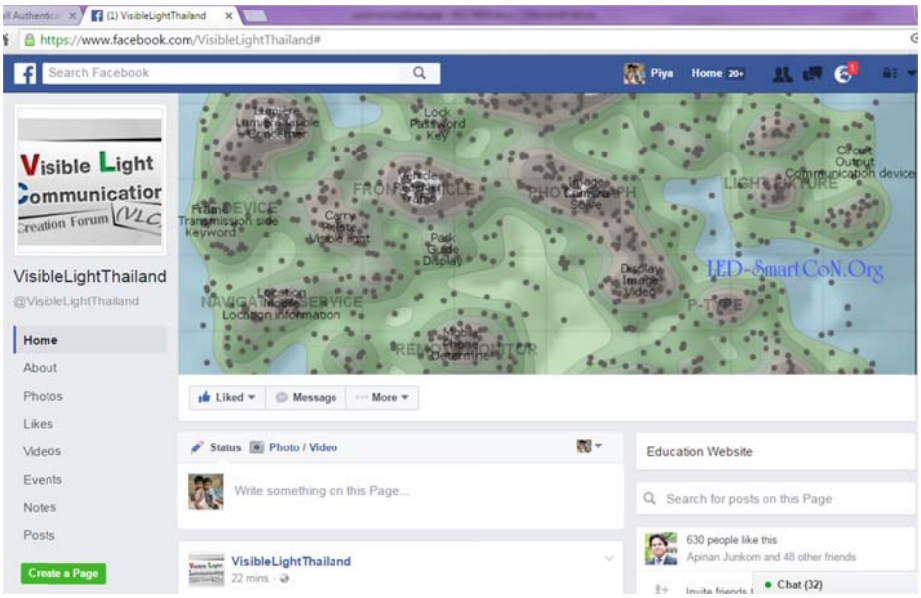
1) ประชุมครั้งที่ 1 วันจันทร์ที่ 7 กรกฎาคม 2558 ณ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
2) ประชุมครั้งที่ 2 วันเสาร์ที่ 31 ตุลาคม 2558 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
3) ประชุมครั้งที่ 3 วันพุธที่ 20 มกราคม 2559 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
4) ประชุมครั้งที่ 4 วันเสาร์ที่ 23 เมษายน 2559 ณ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
5) ประชุมครั้งที่ 5 วันเสาร์ที่ 2 กรกฎาคม 2559 ณ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

3.2.2 เว็บไซต์และ Facebook

นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยยังได้จัดทำเว็บไซต์ตามภาพที่ 3.1 และ Facebook ตามภาพที่ 3.2 เพื่อเป็นช่องทางในการเผยแพร่ข่าวสาร ความคืบหน้าของโครงการ และความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ซึ่งได้รับความสนใจจากบุคคลทั่วไปเป็นจำนวนมากที่เข้ามาใช้งาน

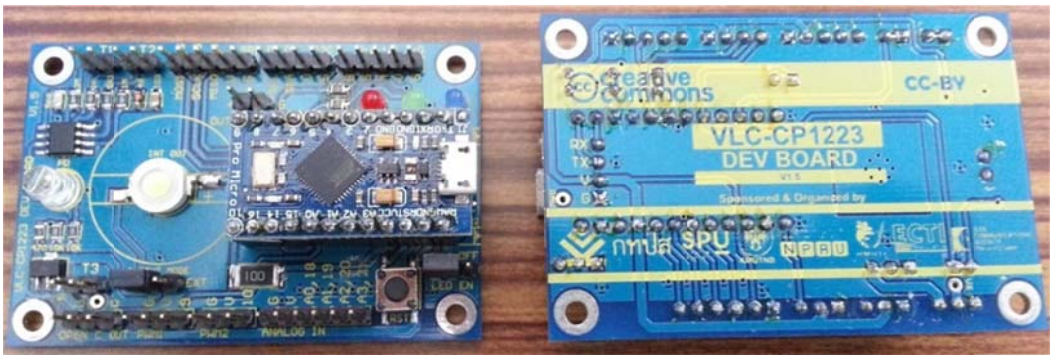
3.2.3 การพัฒนาเอกสารอบรมและชุดสาธิต

เนื่องจากการพัฒนาบุคลากรให้ตามทันเทคโนโลยี VLC เป็นเป้าหมายหลักของโครงการ ทางคณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเอกสารต่างๆ ที่ใช้ในการอบรมให้ความรู้เทคโนโลยี VLC ซึ่งประกอบด้วย



ภาพที่ 3.2 Facebook http://www.facebook.com/VisibleLightThailand

1) Visible Light Communication and its Applications
   สรุปประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยี VLC, ประโยชน์ของการใช้หลอดแอลอีดีในการส่งข้อมูล, ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานรูปแบบต่างๆ, การพัฒนาด้านฮาร์ดแวร์จากหน่วยงานต่างๆ ในต่างประเทศ, และตัวอย่างชุดสาธิตที่ทางคณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมา
2) ความท้าทายของการส่องสว่างข้อมูล
   อธิบายความท้าทายในการนำเทคโนโลยี VLC มาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ
3) มาตรฐานของการส่องสว่างข้อมูล
   เปรียบเทียบมาตรฐานของเทคโนโลยี VLC ที่นำเสนอในปัจจุบัน ได้แก่ CP-1223 ของประเทศญี่ปุ่น, OMEGA ของยุโรป, IEEE 802.15.7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา
4) ชุดพัฒนาระบบสื่อสารด้วยแสงสว่างตามมาตรฐาน CP-1223
   อธิบายวิธีการพัฒนาชุดสาธิตระบบสื่อสารด้วยแสงสว่างตามมาตรฐาน CP-1223 โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ซึ่งง่ายต่อการพัฒนาและราคาถูก
5) Potentials of deploying a VLC technology in the market
   เนื้อหาเกี่ยวกับตัวอย่างงานประยุกต์ด้านต่างๆ ที่ใช้เทคโนโลยี VLC ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพการใช้งานจริงของเทคโนโลยี VLC ที่น่าสนใจมาก
6) การวิเคราะห์สิทธิบัตรการส่องสว่างข้อมูล
   วิเคราะห์สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี VLC ของประเทศต่างๆ เพื่อดูว่า แนวโน้มในการพัฒนาเทคโนโลยี VLC มีทิศทางใด รวมทั้งแสดงผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้เทคโนโลยี VLC



ภาพที่ 3.3 ชุดพัฒนาที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านแสงตามมาตรฐาน CP-1223

7) LED กับงานวิจัยด้านการแพทย์

บรรยายเกี่ยวกับประโยชน์ของสีต่างๆ ที่สร้างจากหลอดแอลอีดีที่มีผลต่อการรักษาผิวหนัง โดยแสงแต่ละสี (หรือแต่ละความยาวคลื่น) จะส่งผลต่อผิวหนัง และทำให้เกิดผลการรักษาที่แตกต่าง

หมายเหตุ ผู้สนในสามารถดาวน์โหลดเอกสารต่างๆ เหล่านี้ได้ที่ http://dept.npru.ac.th/vlc/

นอกจากนี้การอบรมโดยใช้เอกสารอบรมต่างๆ เพียงอย่างเดียว อาจทำให้ผู้เข้าอบรมมองไม่เห็นภาพถึงประโยชน์ของการนำเทคโนโลยี VLC ไปใช้ในงานด้านต่างๆ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้สร้างชุดพัฒนาที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านแสงตามมาตรฐาน CP-1223 จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Pro Micro ตามที่แสดงในภาพที่ 3.3 จากนั้นก็ได้นำชุดพัฒนานี้มาประยุกต์ใช้สร้างชุดสาธิตการรับส่งข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยี VLC แบบต่างๆ ได้แก่

1) ชุดสาธิตไฟถนน
2) ชุดสาธิตไฟรถยนต์เปิดไม้กั้น
3) ชุดสาธิตพิพิธภัณฑ์อัจฉริยะ
4) ชุดสาธิตการส่งสัญญาณด้วยโพรโทคอลมอดบัสผ่านแสงเพื่อควบคุมพัดลมไฟฟ้า
5) ชุดต้นสาธิตการรับส่งข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ผ่านหลอดแอลอีดี
6) ชุดสาธิตหมวกแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหนัง
7) ชุดสาธิตเครื่องให้แสงแอลอีดีแบบพกพาเพื่อรักษาผิว
8) ชุดสาธิตหน้ากากแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหน้า

เพื่อให้ผู้เข้าอบรมเห็นการทำงานของอุปกรณ์จริงที่ใช้เทคโนโลยี VLC และ LED ซึ่งจะส่งผลทำให้ผู้เข้าอบรมสามารถเข้าใจถึงประโยชน์ของเทคโนโลยี VLC อย่างมีประสิทธิภาพ (รายละเอียดของชุดสาธิตแต่ละชุดจะแสดงในหัวข้อที่ 4.1)

ตารางที่ 3.1 สรุปการจัดอบรมเผยแพร่ความรู้จำนวน 7 ครั้ง

อบรมครั้งที่	สถานที่	วันที่จัดอบรม	จำนวนผู้เข้าอบรม
1	มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา	3 กันยายน 2558	141 คน
2	มหาวิทยาลัยศรีปทุม กทม.	25 พฤศจิกายน 2558	140 คน
3	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กทม.	2 มีนาคม 2559	120 คน
4	มหาวิทยาลัยราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา	16 มีนาคม 2559	186 คน
5	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จ.นครปฐม	1 เมษายน 2559	206 คน
6	มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่	25 เมษายน 2559	142 คน
7	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กทม.	2 สิงหาคม 2559	79 คน
รวมจำนวนผู้เข้าอบรม			**1014 คน**

3.2.4 การจัดอบรมเผยแพร่ความรู้

หลังจากที่พัฒนาเอกสารอบรมและชุดสาธิตเรียบร้อยแล้ว คณะผู้วิจัยก็ได้จัดอบรมและสัมมนาเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสง (VLC) ครอบคลุมพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศ รวมทั้งหมด 7 ครั้ง ตามตารางที่ 3.1 นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้จัดอบรมเชิงปฏิบัติการ Train the Trainers เรื่อง “การพัฒนาชุดรับส่งข้อมูลผ่านระบบการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นและการประยุกต์ใช้งาน” สำหรับอาจารย์จำนวน 25 ท่าน ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จ.นครปฐม เมื่อวันที่ 28-29 มกราคม 2559 เพื่อสอนอาจารย์ให้สามารถสร้างชุดพัฒนารับส่งข้อมูลผ่านแสงตามมาตรฐาน CP-1223 ด้วยตนเองได้ เพื่อให้อาจารย์นำไปสอนนักศึกษาและสนับสนุนให้นักศึกษาสนใจทำโครงงานทางด้าน VLC นี้ สำหรับรายละเอียดผลการประเมินและตัวอย่างภาพบรรยากาศการอบรมต่างๆ จะแสดงในหัวข้อที่ 4.2

นอกจากนี้ ดร.เกียรติศักดิ์ (ที่ปรึกษาโครงการ) ได้เชิญ ดร.อัมพร โพธิ์ใย (ผู้อำนวยการ TMEC) มาบรรยายพิเศษในงานแสดงสินค้า LED Expo Thailand ณ IMPACT Exhibition & Convention Centre, Bangkok, Thailand เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2559 เวลา 10:30 - 11:30 น. ณ ห้อง Meeting Room I เรื่อง “Basics and Applications of Visible Light Communications By ECTI” เพื่อให้ผู้สนใจได้ทราบถึงเทคโนโลยี VLC และการประยุกต์ใช้งาน

3.2.5 การเผยแพร่และบริการวิชาการ

ในขณะที่คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและพัฒนาชุดสาธิตต่างๆ ทางด้านเทคโนโลยี VLC จึงเกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่คณะผู้วิจัยต้องการที่จะเผยแพร่ให้กับบุคคลทั่วไปทราบถึงประโยชน์และศักยภาพของเทคโนโลยี VLC จึงได้เขียนบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการทั้งในและนอกประเทศ รวมทั้งเป็นวิทยากรบรรยายพิเศษ ดังนี้

1) วิทยากรบรรยายพิเศษ เรื่อง “Introduction to VLC and Its Applications” ในงานประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศประยุกต์ ครั้งที่ 9 และบริการวิชาการ (ACTIX & NCOBA 2016) ณ ห้องประชุมปิ่นเกลียว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เมื่อวันศุกร์ที่ 19 กุมภาพันธ์ 2559
2) นำเสนอผลงานวิจัย เรื่อง “Visible Light Communication: Importance and Thai Preparations” ในงานประชุมวิชาการ The 2016 International Electrical Engineering Congress (iEECON2016) จ.เชียงใหม่ เมื่อวันที่ 2-4 มีนาคม 2559 (ภาคผนวก ก)
3) ส่งบทความวิจัยเรื่อง “Visible Light Communication: An Innovative and Challenging Technology” เพื่อลงตีพิมพ์ลงในวารสาร ECTI E-Magazine (ภาคผนวก ข)
4) นำเสนอบทความวิจัยเรื่อง “Visible Light Communication Development Kits Compliant to CP-1223 Standard” ในการประชุมวิชาการนานาชาติ ITC-CSCC 2016 ระหว่างวันที่ 10-13 กรกฎาคม 2559 ณ เมืองโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น (ภาคผนวก ค)
5) ส่งบทความวิจัย เรื่อง “การสื่อสารไร้สายระยะใกล้ด้วยแสงที่มองเห็น : เทคโนโลยี การพัฒนาและการขับเคลื่อน” เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสาร กสทช (ภาคผนวก ง)
6) นำเสนอผลงานวิจัยในงาน Thailand Research Expo 2016 ณ Centara Grand at Central World, กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 17-21 สิงหาคม 2559 โดยทีมวิจัยของ รศ.ดร.ปรีชา กอเจริญ ซึ่งได้รับรางวัล Bronze Award ในงาน Thailand Research Expo 2016 ซึ่งมี 20 รางวัล จากร้อยกว่าสถาบันที่เข้าร่วมในงาน ตามที่แสดงในภาพที่ 3.4

ภาพที่ 3.4 บรรยากาศการนำเสนองานวิจัยในงาน Thailand Research Expo 2016

3.2.6 การพัฒนารายงาน

เพื่อให้โครงงานวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจ ศึกษา ติดตามเทคโนโลยีแอลอีดีเพื่อการให้ความสว่างที่ประหยัดพลังงาน และการควบรวมกับการสื่อสารข้อมูลยุคใหม่และวิเคราะห์มาตรฐานเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งศึกษาเชิงเปรียบเทียบพัฒนาการของต่างประเทศทั้งการลงทุน ผลงานวิจัย สิทธิบัตร และทรัพย์สินทางปัญญา เพื่อเตรียมความพร้อมให้กับผู้ผลิต ผู้ให้บริการ และผู้ใช้งาน ได้ตามเทคโนโลยีใหม่นี้ได้ทัน ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียจากการนำเข้าเทคโนโลยีเหล่านี้ในอนาคตได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำรายงานต่างๆ เพื่อเผยแพร่ออน์ไลน์ดังต่อไปนี้ (สามารถดาวน์โหลดได้ที่ http://dept.npru.ac.th/vlc/)

1) รายงานแนวทางมาตรฐาน VLC (CP-1223) ฉบับภาษาไทย
2) รายงานการสำรวจเชิงเปรียบเทียบสำหรับประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทยในอนาคต “ทรัพย์สินทางปัญญา งานวิจัย ผลิตภัณฑ์และพัฒนาการการส่องสว่างข้อมูล”
3) รายงานสรุปผลการสัมมนาวิชาการและความร่วมมืออุตสาหกรรม

3.2.7 การสร้างเครือข่ายการทำวิจัยและการระดมสมอง

คณะผู้วิจัยได้ทำการสร้างชุดพัฒนาที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านแสงตามมาตรฐาน CP-1223 ตามภาพที่ 3.3 จำนวนมาก และได้มอบให้กับอาจารย์และผู้สนใจทั่วไปที่มีความประสงค์จะนำชุดพัฒนานี้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เพื่อสนับสนุนการสร้างเครือข่ายการทำวิจัยและสร้างความร่วมมือในกลุ่มสาขาที่เกี่ยวข้อง ตามรายชื่อที่แสดงในภาคผนวก จ นอกจากนี้ยังได้จัดสัมมนาระดมสมอง “แนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทยในอนาคต เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยี VLC มาใช้ในประเทศไทย

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

4.1 ชุดสาธิตการรับส่งข้อมูลผ่านแสง

คณะผู้วิจัยได้สร้างชุดสาธิตการรับส่งข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยี VLC รูปแบบต่างๆ ดังนี้

4.1.1 ชุดสาธิตไฟถนน

การทำงานของชุดสาธิตไฟถนนมีลักษณะเรียบง่าย หลักการคือไฟถนนหรือไฟส่องทางมีการใช้งานเพื่อให้แสงสว่างยามค่ำคืนอยู่แล้ว และการติดตั้งไฟส่องทางหรือไฟถนน จะเป็นการติดตั้งในลักษณะถาวร มีตำแหน่งที่แน่นอน ดังนั้นสามารถนำข้อมูลของสถานที่หรือข้อมูลจำเพาะของบริเวณนั้นๆ แฝงเข้ากับแสงสว่างที่เกิดจากโคมไฟถนนนั้นๆ ได้ โดยในการพัฒนาเลือกใช้โคมไฟแอลอีดีทั่วไปที่มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับโคมไฟส่องทาง จากนั้นจึงนำมาปรับปรุงวงจรขับกระแส เพื่อป้อนสัญญาณการควบคุมจังหวะการเปิดปิดของแอลอีดีตามจังหวะข้อมูลข่าวสาร อีกส่วนของชุดสาธิตที่ต้องทำการพัฒนาคือ ส่วนของวงจรรับสัญญาณและแสดงผล ในการพัฒนาเลือกใช้รถยนต์จำลองเสมือนกับการขับรถยนต์และสามารถรับข้อมูลที่ส่งมาจากโคมไฟถนนได้ โดยทำการติดตั้งวงจรรับสัญญาณและหน้าจอแสดงผลบนรถยนต์จำลองเพื่อแสดงข้อมูลที่รับได้ โครงสร้างชุดสาธิตไฟถนนแสดงดังภาพที่ 4.1

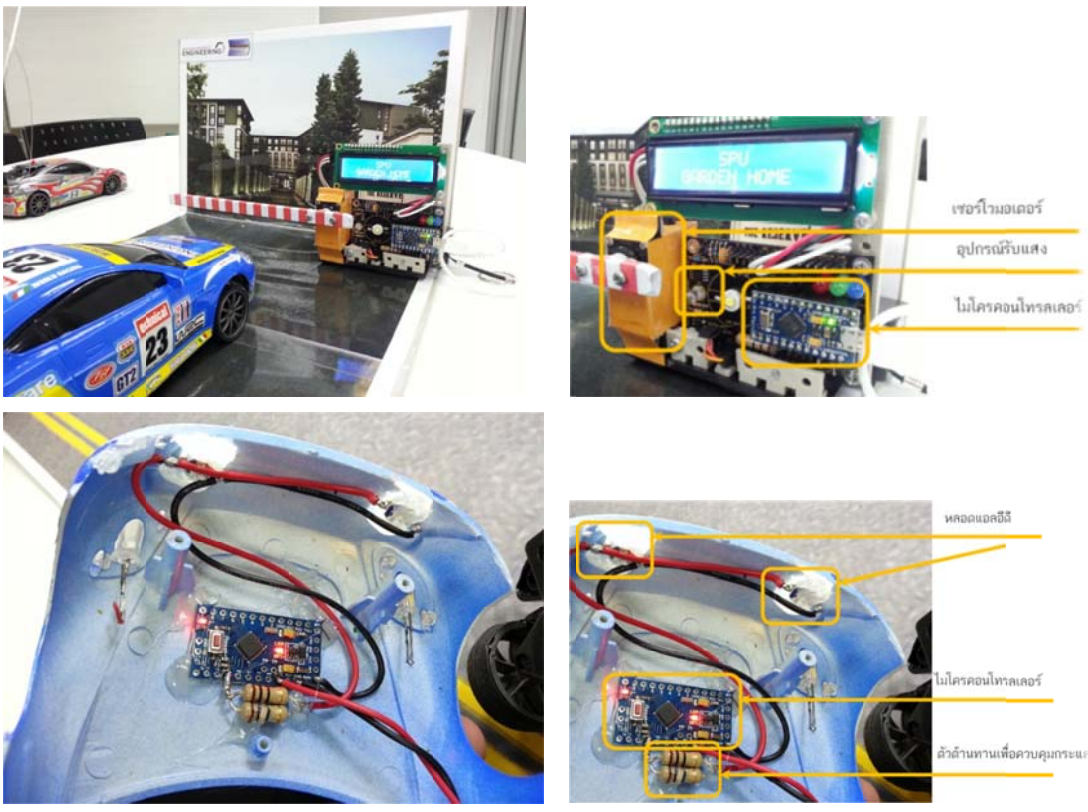
4.1.2 ชุดสาธิตไฟรถยนต์เปิดไม้กั้น

การทำงานของชุดสาธิตไฟรถยนต์เปิดไม้กั้นจะรับสัญญาณจากไฟหน้ารถยนต์ โดยได้เลือกรถยนต์จำลองขนาดเล็กมาทำการติดตั้งหลอดแอลอีดีที่ด้านหน้ารถ คล้ายกับไฟส่องทางหน้ารถยนต์ จากนั้นทำการควบคุมการส่งสัญญาณที่แฝงไว้ผ่านการส่องสว่างที่เป็นการระบุค่ารหัส โดยกำหนดค่ารหัสของรถยนต์แต่ละคันที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อรถยนต์แล่นเข้าใกล้ไม้กั้นทาง สัญญาณค่ารหัสที่ส่งผ่านหลอดไฟแอลอีดีหน้ารถยนต์เพื่อเปิดไม้กั้นทาง หากค่ารหัสที่ส่งออกไปจากรถยนต์ตรงกันกับรหัสในฐานข้อมูลของอุปกรณ์กั้นทาง ในส่วนอุปกรณ์กั้นทางก็ทำการติดตั้งวงจรการรับสัญญาณและเซอร์โวมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนไม้กั้นทางหากรหัสที่ได้รับนั้นถูกต้อง โครงสร้างชุดสาธิตไฟรถยนต์เปิดไม้กั้นในส่วนไฟแอลอีดีหน้ารถยนต์และอุปกรณ์ควบคุมการเปิดไม้กั้นทางแสดงดังภาพที่ 4.2

4.1.3 ชุดสาธิตพิพิธภัณฑ์อัจฉริยะ

โครงสร้างของชุดสาธิตพิพิธภัณฑ์อัจริยะประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ ส่วนโคมส่องชิ้นงานที่แฝงรหัสข้อมูลไว้กับแสงที่มองเห็นจำนวนสามโคม ต่อมาคือวงจรรับแสงและประมวลสัญญาณเพื่อกู้

ภาพที่ 4.1 ชุดสาธิตไฟถนน



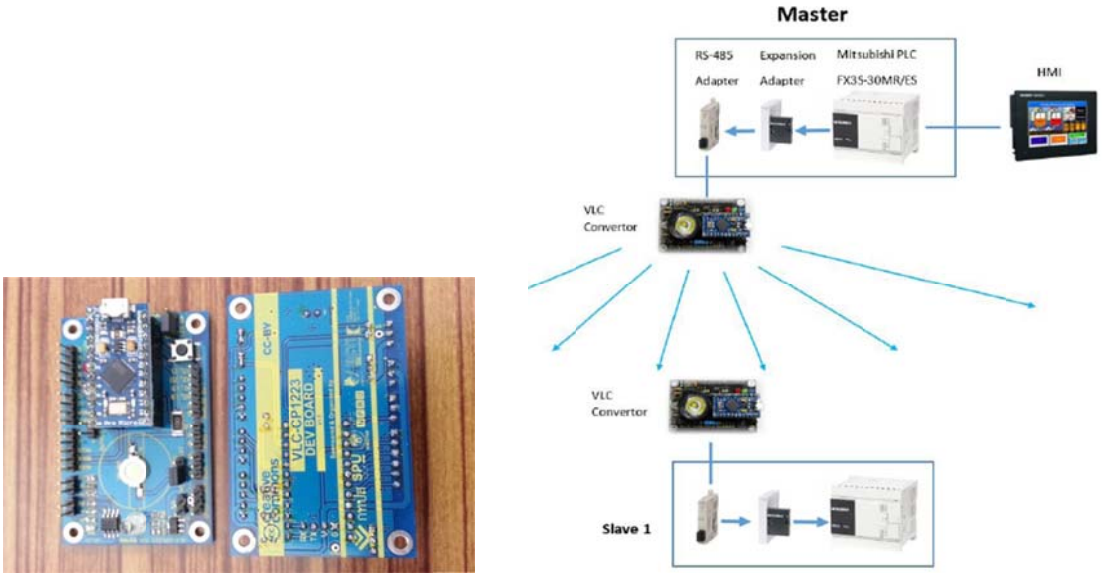
ภาพที่ 4.2 ชุดสาธิตไฟรถยนต์เปิดไม้กั้น

ภาพที่ 4.3 ชุดสาธิตพิพิธภัณฑ์อัจฉริยะ

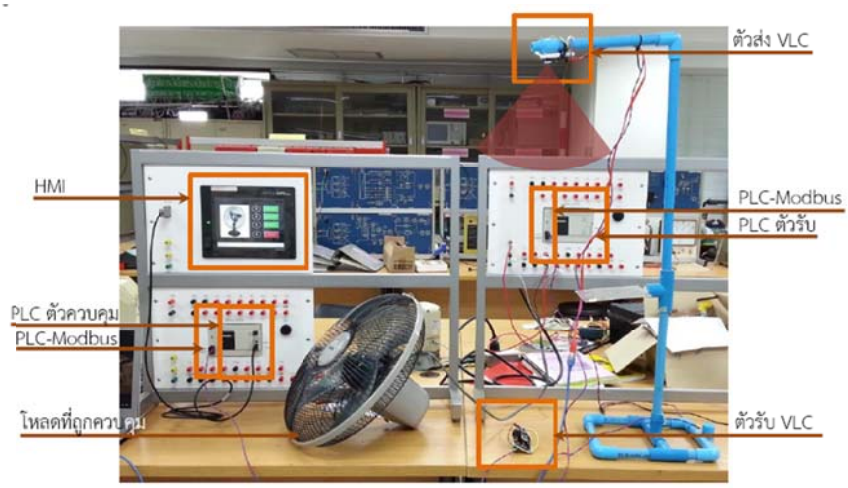
คืนรหัสที่ส่งแฝงมา และส่วนสุดท้ายคือวงจรเล่นไฟล์เสียงเอ็มพีสาม เพื่อใช้เป็นส่วนแสดงผลด้วยเสียงพูดที่ถูกบันทึกไว้ โคมส่องชิ้นงานแต่ละโคมจะมีการส่งสัญญาณรหัสที่แตกต่างกัน เมื่อวงจรรับสัญญาณจากโคมแต่ละโคมก็จะเล่นไฟล์เสียงที่แตกต่างกันออกมา โครงสร้างชุดสาธิตพิพิธภัณฑ์อัจริยะในส่วนไฟแอลอีดีส่องชิ้นงาน และอุปกรณ์ควบคุมการเล่นไฟล์เอ็มพีสามพร้อมวงจรรับสัญญาณแสดงดังภาพที่ 4.3

4.1.4 ชุดสาธิตส่งสัญญาณด้วยโพรโทคอลมอดบัสผ่านแสง

การประยุกต์การส่งสัญญาณด้วยโพรโทคอลมอดบัสผ่านแสงตามมาตรฐาน CP-1223 เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือเครื่องจักร และลดปัญหาการส่งผ่านข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงได้ โดยในการทดลองได้ทำการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์พีแอลซีที่ใช้มอดบัสผ่านมายังชุดพัฒนา VLC-CP1223 Development board v1.0 ที่ทางทีมวิจัยได้พัฒนาขึ้น เพื่อเป็นการลดทรัพยากรและเวลาในการสร้างนวัตกรรมหรือสิ่งประดิษฐ์ด้านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับผู้สนใจ ชุดพัฒนานี้ทำหน้าที่แปลงโพรโทคอลมอดบัสเป็นโพรโทคอลตามมาตรฐาน CP-1223 ที่เป็นสัญญาณแสงที่มองเห็น และทำการส่งสัญญาณแสงไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อควบคุมอุปกรณ์ ฝั่งรับสัญญาณจะรับสัญญาณแสงและแปลงสัญญาณแสงที่รับได้เป็นโพรโทคอลมอดบัสและส่งต่อไปยังอุปกรณ์พีแอลซีเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์พีแอลซี ซึ่งในการทดลองใช้ควบคุมพัดลมไฟฟ้า โดยผลการทดลองสามารถทำได้ตรงตามที่สั่งการควบคุมผ่านหน้าจอควบคุมแบบเอชเอ็มไอทุกประการ ภาพที่ 4.4 แสดงบอร์ดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP-1223 และไดอะแกรมการส่งสัญญาณโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ และภาพที่ 4.5 แสดงการทดลองการส่งสัญญาณโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น



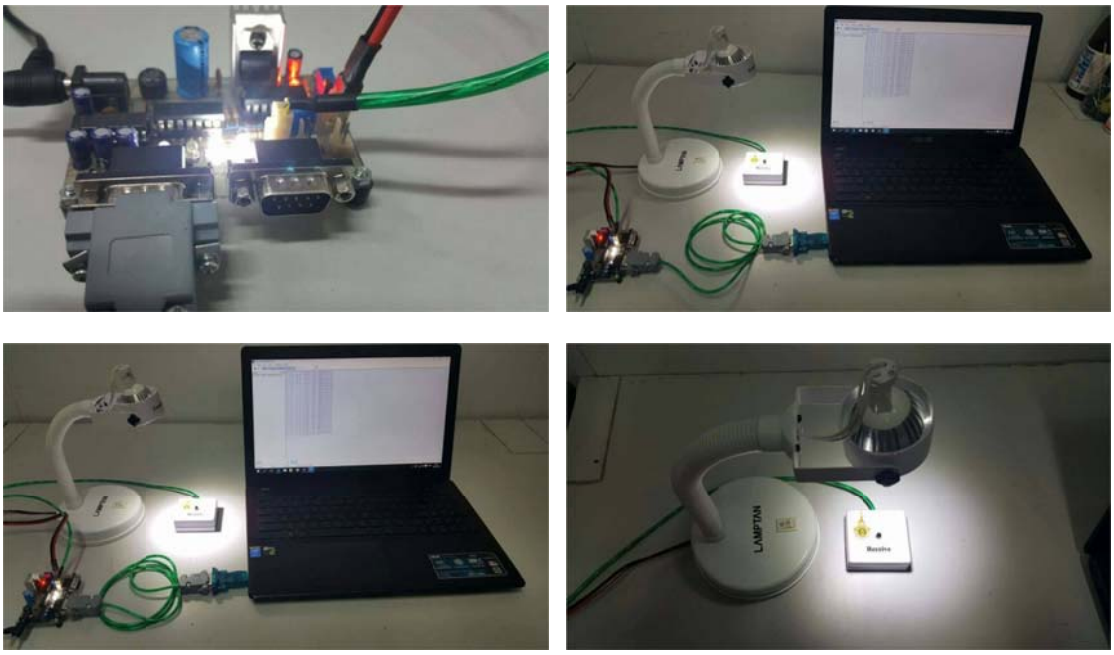
ภาพที่ 4.4 (ซ้าย) บอร์ดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP-1223 และ (ขวา) ไดอะแกรมการส่งสัญญาณโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้



ภาพที่ 4.5 การทดลองการส่งสัญญาณโพรโทคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น

4.1.5 ชุดสาธิตการส่งผ่านข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แบบไร้สายผ่านหลอดแอลอีดี

ชุดสาธิตนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลผ่านคอมพิวเตอร์เครื่องส่ง โดยแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปการติด/ดับของหลอดแอลอีดีด้วยความถี่สูง และรับแสงด้วยโฟโตไดโอดที่ต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ที่ภาครับเพื่อแปลงสัญญาณการติดดับของแสงกลับมาเป็นข้อมูลดิจิทัล ภาพที่ 4.6 แสดงชุดสาธิตการส่งผ่านข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แบบไร้สายผ่านหลอดแอลอีดี



ภาพที่ 4.6 ชุดสาธิตการส่งผ่านข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แบบไร้สายผ่านหลอดแอลอีดี

4.1.6 ชุดสาธิตหมวกแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหนัง

ชุดสาธิตนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์จากแสงแอลอีดีที่มีคุณสมบัติในการบำรุงรักษาหนังศีรษะ สำหรับผู้มีปัญหาผมบาง ศีรษะล้าน หมวกลักษณะดังกล่าวมีขายในท้องตลาดในราคาสูงมาก แต่จริงๆ แล้วสามารถสร้างขึ้นได้ในราคาที่ถูกกว่าท้องตลาดถึง 10 เท่า ภาพที่ 4.7 แสดงชุดสาธิตหมวกแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหนัง

4.1.7 ชุดสาธิตเครื่องให้แสงแอลอีดีแบบพกพาเพื่อรักษาผิว

ชุดสาธิตเครื่องให้แสงแอลอีดีแบบมือถือเพื่อรักษาผิวตามภาพที่ 4.8 เป็นอุปกรณ์พกพาสำหรับเปล่งแสงแอลอีดีที่เหมาะสำหรับการรักษาผิวหนังในจุดต่างๆ ได้ตามต้องการ สามารถเปล่งแสงแอลอีดีได้หลายสี (แต่ละสีมีความสามารถในการรักษาต่างกัน) ชาร์ตแบตเตอรีเพื่อนำมาใช้งานแบบไร้สายได้

4.1.8 ชุดสาธิตหน้ากากแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหน้า

ชุดสาธิตหน้ากากแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหน้าตามภาพที่ 4.9 ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเปล่งแสงแอลอีดีในการรักษาผิวหน้า ซึ่งสามารถเปล่งแสงเป็นสีต่างๆ ได้ เพื่อรักษาผิวหน้าตามคุณสมบัติของแสงแต่ละสีที่แตกต่างกัน สามารถควบคุมการทำงานได้ด้วยรีโมท และตั้งเวลาการทำงานเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการรับแสงที่นานเกินไป เป็นการสร้างอุปกรณ์เพื่อนำมาใช้ในลักษณะเดียวกับที่มีในสถาบันผิวหนังต่างๆ แต่มีราคาในการสร้างชุดต้นแบบที่ต่ำมากกว่าราคาในท้องตลาด

ภาพที่ 4.7 ชุดสาธิตหมวกแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหนัง

ภาพที่ 4.8 ชุดสาธิตเครื่องให้แสงแอลอีดีแบบมือถือเพื่อรักษาผิว

ภาพที่ 4.9 ชุดสาธิตหน้ากากแอลอีดีเพื่อรักษาผิวหน้า

4.2 ผลการอบรม

หัวข้อนี้จะสรุปผลการประเมินการจัดอบรมเพื่อให้ความรู้ทางด้านเทคโนโลยี VLC และการประยุกต์ใช้งาน ทั้ง 7 ครั้ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.2.1 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 1

การอบรมครั้งที่ 1 จัดที่มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 3 กันยายน 2558 โดยมีผู้เข้าร่วมการอบรมทั้งสิ้น 141 คน ซึ่งเป็นการลงทะเบียนล่วงหน้าจำนวน 133 คน และลงทะเบียนหน้างาน 8 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 103 คน โดยผู้เข้าร่วมฟังการบรรยายส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็น

1) ด้านความพึงพอใจต่อวิทยากรในด้านการถ่ายทอดความรู้ของวิทยากรมีความชัดเจน อยู่ในระดับมาก ถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.42 จากระดับคะแนนเต็ม 5 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.57 ส่วนความพึงพอใจต่อวิทยากรในด้านอื่นๆ มีคะแนนลดหลั่นลงมา แต่ยังคงอยู่ในช่วงระดับคะแนนมาก ถึงมากที่สุดเช่นกัน
2) ด้านความรู้ความเข้าใจผู้เข้าร่วมการอบรมมีระดับความเข้าใจก่อนการอบรมอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.41 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.93 แต่หลังจากเข้ารับฟังการบรรยาย ผู้เข้าอบรมมีความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเพิ่มขึ้นในระดับมาก ถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.29 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.64

3) ด้านของการนำความรู้ไปใช้ ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม มีความคิดเห็นว่า สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้ ในระดับมาก ถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.22 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.63 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจ และแนวโน้มที่จะนำไปสู่การนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ และความเข้าใจที่มีต่อการสื่อสารทางแสงผ่าน LED ที่เป็นประเด็นในการอบรมในครั้งนี้
4) นอกจากนี้ผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อการอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 89.32 โดยมีข้อเสนอแนะบางข้อที่อยากให้มีการอบรมในเชิงลึกเพิ่มมากยิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป

รายละเอียดของระดับความพึงพอใจ

ประเด็นความคิดเห็น	ความพึงพอใจ / ความรู้ความเข้าใจ / การนำไปใช้					รวม	ค่าเฉลี่ย	SD
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด			
	1	2	3	4	5			
ด้านวิทยากร								
1. การถ่ายทอดความรู้ของวิทยากร	0	0	4	52	47	103	4.42	0.57
2. ความสามารถในการอธิบายเนื้อหา	0	0	8	48	47	103	4.38	0.63
3. การเชื่อมโยงของเนื้อหาในการอบรม	0	0	9	59	35	103	4.25	0.61
4. ความครบถ้วนของเนื้อหา	0	0	6	62	35	103	4.28	0.57
5. การใช้เวลาตามที่กำหนดไว้	0	0	11	54	38	103	4.26	0.64
6. การตอบข้อซักถามในการอบรม	0	0	15	50	38	103	4.22	0.68
ด้านสถานที่ / เวลา								
1. สถานที่มีความเหมาะสม	0	1	7	36	59	103	4.49	0.67
2. ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	0	1	9	44	49	103	4.37	0.69
3. ระยะเวลาในการอบรมที่เหมาะสม	0	0	11	63	29	103	4.17	0.60
ด้านความรู้ความเข้าใจ								
1. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **ก่อน** การอบรม	1	15	42	31	14	103	3.41	0.93
2. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **หลัง** การอบรม	0	0	10	53	40	103	4.29	0.64

ด้านการนำความรู้ไปใช้								
1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้	0	0	12	56	35	103	4.22	0.63
2. มีความมั่นใจและสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ได้	0	0	18	56	29	103	4.11	0.67
3. สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดได้	0	2	28	50	23	103	3.91	0.76
4. สามารถนำความรู้ไปสร้างสิ่งประดิษฐ์และงานวิจัยได้	0	1	22	49	31	103	4.07	0.74

ความเห็นด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม

ผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่ได้ความคิดเห็นถึงด้านประโยชน์เกี่ยวกับการใช้แสงมาช่วยในการบำบัดรักษาโรคต่างๆ และความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้แสงในด้านการสื่อสาร เช่น

- ได้รับรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีทางแสงในปัจจุบัน การนำแสง LED ไปประยุกต์ใช้ในด้านการแพทย์และทางวิศวกรรม ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการส่ง DATA ผ่านทางแสง ทราบว่าการส่ง DATA สามารถทำได้โดยอาศัยการกระพริบของหลอด LED
- มีความเข้าใจด้านการใช้แสง LED รักษาโรคต่างๆ ในวงการแพทย์ สามารถนำความรู้ไปใช้กับงานวิจัยในการเรียนได้
- รู้และตระหนักถึงประโยชน์ของการนำแสงมาใช้ในรูปของ LED ทั้งทางการแพทย์และทางวิศวกรรม เช่น ทางการแพทย์ใช้ในการวินิจฉัย และรักษาโรคโดยไม่ส่งผลข้างเคียงต่อคนไข ทางวิศวกรรมใช้ในการสื่อสารข้อมูลทางวิศวกรรม สามารถใช้แสงส่งข้อมูลได้แทนสัญญาณทางไฟฟ้า แต่ต้องมีมาตรฐานที่ตรงกันถึงจะสื่อสารกันได้
- ทำให้รู้และเข้าใจในการใช้ประโยชน์เกี่ยวกับหลอด LED ในด้านต่างๆ ทั้งการสื่อสาร และการแพทย์

ข้อเสนอแนะ ติ ชม ในการอบรม

คำชม เช่น

- ข้อมูลมีความละเอียดค่อนข้างดี เหมาะแก่นักศึกษาวิศวกรเป็นอย่างยิ่ง
- เสนอให้ความรู้ได้ดีมาก
- วิทยากรและพิธีกรมีความเป็นกันเอง เป็นการอบรมที่ไม่อึดอัด
- ให้ความรู้เกี่ยวกับแสงคู่กับวงการแพทย์ได้ดีมาก

คำติ เช่น

- อากาศในสถานที่ร้อน อาจจะบกพร่องทางเครื่องปรับอากาศ

- ผู้ที่มาอบรมยังน้อยและข่าวประชาสัมพันธ์ยังไม่ทั่วถึงคนที่ต้องการความรู้
- ควรมีเนื้อหาด้าน Circuit
- ควรมีกิจกรรม เช่น ถามคำถาม แจกรางวัลขณะอบรมมากกว่านี้

ภาพบรรยากาศ

LED For Health

4.2.2 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 2

การอบรมครั้งที่ 2 จัดที่มหาวิทยาลัยศรีปทุม กทม. เมื่อวันพุธที่ 25 พฤศจิกายน 2558 โดยมีผู้เข้าร่วมการอบรมทั้งสิ้น 140 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 71 คน โดยผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็น สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ด้านความพึงพอใจต่อวิทยากร ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านความสามารถในการอธิบายเนื้อหาอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.58 จากระดับคะแนนเต็ม 5 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.55 ส่วนความพึงพอใจต่อวิทยากรในด้านอื่นๆ มีคะแนนลดหลั่นลงมาแต่ยังคงอยู่ในช่วงระดับคะแนนปานกลางถึงมากที่สุดเช่นกัน
2) ด้านความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลา ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านสถานที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.73 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.45 ส่วนความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลาในด้านอื่นๆ มีคะแนนอยู่ในช่วงระดับคะแนนปานกลางถึงมากที่สุด
3) ด้านความรู้ความเข้าใจผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความเข้าใจก่อนการอบรมอยู่ในระดับน้อยที่สุด ถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.10 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.30 แต่หลังจากเข้ารับฟังการบรรยาย ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเพิ่มขึ้นในระดับปานกลางถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.42 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.62
4) ด้านของการนำความรู้ไปใช้ ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้สูงที่สุดอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.39 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.71

จากผลของการประเมินเมื่อพิจารณาในด้านความรู้ความเข้าใจและด้านการนำความรู้ไปใช้แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ได้เป็นอย่างดี และผู้ตอบแบบสอบถามมีแนวโน้มที่สามารถนำความรู้ไปสู่การประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ได้ในอนาคต นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อการอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 95.77

รายละเอียดของระดับความพึงพอใจ

ประเด็นความคิดเห็น	ความพึงพอใจ / ความรู้ความเข้าใจ / การนำไปใช้					รวม	ค่าเฉลี่ย	SD
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด			
	1	2	3	4	5			
ด้านวิทยากร								
1. การถ่ายทอดความรู้ของวิทยากร	-	-	3	26	42	71	4.55	0.58

2. ความสามารถในการอธิบายเนื้อหา	-	-	2	26	43	71	4.58	0.55
3. การเชื่อมโยงของเนื้อหาในการอบรม	-	-	3	27	41	71	4.54	0.58
4. ความครบถ้วนของเนื้อหา	-	-	2	30	39	71	4.52	0.56
5. การใช้เวลาตามที่กำหนดไว้	-	-	5	22	44	71	4.55	0.63
6. การตอบข้อซักถามในการอบรม	-	-	6	27	38	71	4.45	0.65
ด้านสถานที่ / เวลา								
1. สถานที่มีความเหมาะสม	-	-	-	19	52	71	4.73	0.45
2. ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	-	-	2	29	40	71	4.54	0.56
3. ระยะเวลาในการอบรมที่เหมาะสม	-	-	3	26	42	71	4.55	0.58
ด้านความรู้ความเข้าใจ								
1. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **ก่อน** การอบรม	8	19	15	16	13	71	3.10	1.30
2. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **หลัง** การอบรม	-	-	5	31	35	71	4.42	0.62
ด้านการนำความรู้ไปใช้								
1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้	-	-	9	25	37	71	4.39	0.71
2. มีความมั่นใจและสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ได้	-	-	11	29	31	71	4.28	0.72
3. สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดได้	-	-	16	21	34	71	4.25	0.81
4. สามารถนำความรู้ไปสร้างสิ่งประดิษฐ์และงานวิจัยได้	-	1	11	25	34	71	4.30	0.78

ความเห็นด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม

มีทั้งหมด 24 ความคิดเห็น ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

- ผู้เข้าอบรมได้ความรู้และแนวคิดในการนำเทคโนโลยี VLC ไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ และสามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาพัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ได้
- ได้เป็นแนวทางในอนาคตเกี่ยวกับงานที่ทำอยู่ในด้าน automation system

ข้อเสนอแนะ ติ ชม ในการอบรม

คำชม เช่น

- ควรจัดอบรมบ่อยๆ
- ดีมากแล้วครับ
- การจัดได้ดีมากโดยรวม
- อาหารอร่อยดี

คำติ เช่น

- ระบบเสียงในการบรรยายได้ยินไม่ทั่วถึง
- มีวิทยากรหลายคนทำให้บางครั้งพูดในเรื่องเดียวกัน
- อยากให้มีชีทเนื้อหามากกว่านี้

ภาพบรรยากาศ

4.2.3 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 3

การอบรมครั้งที่ 3 จัดที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กทม. เมื่อวันพุธที่ 2 มีนาคม2559 โดยมีผู้เข้าร่วมการอบรมทั้งสิ้น 120 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 67 คน โดยผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็น สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ด้านความพึงพอใจต่อวิทยากร ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านความสามารถในการอธิบายเนื้อหาอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.51 จากระดับคะแนนเต็ม 5 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.56 ส่วนความพึงพอใจต่อวิทยากรในด้านอื่นๆ มีคะแนนลดหลั่นลงมาแต่ยังคงอยู่ในช่วงระดับคะแนนปานกลางถึงมากที่สุดเช่นกัน
2) ด้านความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลา ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านสถานที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.45 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.66 ส่วนความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลาในด้านอื่นๆ มีคะแนนอยู่ในช่วงระดับคะแนนปานกลางถึงมากที่สุด
3) ด้านความรู้ความเข้าใจผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความเข้าใจก่อนการอบรมอยู่ในระดับน้อยที่สุดถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.30 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.11 แต่หลังจากเข้ารับฟังการบรรยาย ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเพิ่มขึ้นในระดับปานกลางถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.16 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.64
4) ด้านของการนำความรู้ไปใช้ ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้สูงที่สุดอยู่ในระดับน้อยถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.04 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.75

จากผลของการประเมินเมื่อพิจารณาในด้านความรู้ความเข้าใจและด้านการนำความรู้ไปใช้แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ได้เป็นอย่างดี และผู้ตอบแบบสอบถามมีแนวโน้มที่สามารถนำความรู้ไปสู่การประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ได้ในอนาคต นอกจากนี้ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อการอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 97.01

รายละเอียดของระดับความพึงพอใจ

ประเด็นความคิดเห็น	ความพึงพอใจ / ความรู้ความเข้าใจ / การนำไปใช้					รวม	ค่าเฉลี่ย	SD
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด			
	1	2	3	4	5			
ด้านวิทยากร								
1. การถ่ายทอดความรู้ของวิทยากร	-	-	2	29	36	67	4.51	0.56
2. ความสามารถในการอธิบายเนื้อหา	-	-	9	31	27	67	4.27	0.69
3. การเชื่อมโยงของเนื้อหาในการอบรม	-	-	6	39	22	67	4.24	0.61
4. ความครบถ้วนของเนื้อหา	-	1	3	35	28	67	4.34	0.64
5. การใช้เวลาตามที่กำหนดไว้	-	-	5	31	31	67	4.39	0.63

6. การตอบข้อซักถามในการอบรม	-	-	7	30	30	67	4.34	0.66
ด้านสถานที่ / เวลา								
1. สถานที่มีความเหมาะสม	-	-	6	25	36	67	4.45	0.66
2. ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	-	-	7	32	28	67	4.31	0.66
3. ระยะเวลาในการอบรมที่เหมาะสม	-	2	11	36	18	67	4.04	0.75
ด้านความรู้ความเข้าใจ								
1. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **ก่อน** การอบรม	6	7	24	21	9	67	3.30	1.11
2. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **หลัง** การอบรม	-	-	9	38	20	67	4.16	0.64
ด้านการนำความรู้ไปใช้								
1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้	-	-	9	25	37	71	4.39	0.71
2. มีความมั่นใจและสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ได้	-	-	11	29	31	71	4.28	0.72
3. สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดได้	-	-	16	21	34	71	4.25	0.81
4. สามารถนำความรู้ไปสร้างสิ่งประดิษฐ์และงานวิจัยได้	-	1	11	25	34	71	4.30	0.78

ความเห็นด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม

มีทั้งหมด 28 ความคิดเห็น ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

- ผู้เข้าอบรมได้เรียนรู้เรื่อง VLC สามารถต่อยอดและนำความรู้ไปใช้ในการวิจัยทำโครงงาน
- ได้ทราบว่า VLC คืออะไร เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันอย่างไร และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเรียนหรืออนาคตต่อๆ ไป
- ได้รับความรู้เกี่ยวกับการสื่อสาร การรับส่งข้อมูลในอินเทอร์เน็ต การเชื่อมต่อต่างๆ โดยนำข้อมูลเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้เข้ากับสิ่งรอบตัวได้
- ได้ความรู้เกี่ยวกับ LED มีประโยชน์มากแค่ไหน จำเป็นมากน้อยเพียงใด

ข้อเสนอแนะ ติ ชม ในการอบรม

คำชม เช่น

- เป็นกิจกรรมที่ดี ควรจัดอบรมบ่อยๆ
- เรื่องเกี่ยวกับการบรรยายอาจใช้เวลานานพอสมควร แต่ก็ได้รับความรู้ ความเข้าใจในด้านต่างๆ

- เรื่องเวลาการบรรยายอาจใช้เวลานานพอสมควร แต่บางประการได้รับความรู้ความเข้าใจต่างๆ
- ได้รู้ในเรื่อง VLC ด้วยแสง นำไปใช้ประยุกต์ต่อการดำรงชีวิตได้หลายอย่างเพื่อทดแทนพลังงานได้
- ไม่มีครับ ผมว่าเหมาะสมดี
- ดีครับ เพื่ออนาคตของประเทศเรา
- ทำดีแล้วครับ ชอบมาก มีประโยชน์ในการเรียนรู้และต่อยอด
- บรรยายได้ดีและเข้าใจง่ายมากครับ (เปรียบเทียบได้ดีเยี่ยมครับ) ขอบคุณครับ ชอบ
- พิธีกรสื่อความหมาย ถ่ายทอดความรู้ได้ดีมาก
- สนุกสนาน วิทยากรให้ความรู้เข้าใจง่าย อธิบายชัดเจน โดยรวมถือว่าดี

คำติ เช่น

- ควรใช้เวลาให้น้อยกว่านี้
- ต้องการแสงไฟเวทีให้สว่างมากกว่านี้
- สิ่งสาธิตและอุปกรณ์ในการนำเสนอควรมากกว่านี้
- อยากให้มีรูปภาพประกอบตามสไลด์ต่าง ๆ จะนำความรู้ด้านชิ้นงานไปประยุกต์ทำโครงงานโปรเจคจบต่อไป

ภาพบรรยากาศ

4.2.4 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 4

การอบรมครั้งที่ 4 จัดที่มหาวิทยาลัยราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา เมื่อวันพุธที่ 16 มีนาคม 2559 โดยมีผู้เข้าร่วมการอบรมทั้งสิ้น 186 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 124 คน โดยผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็น สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ด้านความพึงพอใจต่อวิทยากร ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านความสามารถในการอธิบายเนื้อหาอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.47 จากระดับคะแนนเต็ม 5 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.58 ส่วนความพึงพอใจต่อวิทยากรในด้านอื่นๆ มีคะแนนลดหลั่นลงมาแต่ยังคงอยู่ในช่วงระดับคะแนนปานกลางถึงมากที่สุดเช่นกัน
2) ด้านความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลา ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านสถานที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.44 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.64 ส่วนความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลาในด้านอื่นๆ มีคะแนนอยู่ในช่วงระดับคะแนน ปานกลางถึงมากที่สุด

3) ด้านความรู้ความเข้าใจผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความเข้าใจก่อนการอบรมอยู่ในระดับน้อยที่สุดถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.28 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.06 แต่หลังจากเข้ารับฟังการบรรยาย ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเพิ่มขึ้นในระดับปานกลางถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.13 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.64
4) ด้านของการนำความรู้ไปใช้ ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้สูงที่สุดอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.07 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.65

จากผลของการประเมินเมื่อพิจารณาในด้านความรู้ความเข้าใจและด้านการนำความรู้ไปใช้แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ได้เป็นอย่างดี และผู้ตอบแบบสอบถามมีแนวโน้มที่สามารถนำความรู้ไปสู่การประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ได้ในอนาคต นอกจากนี้ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อการอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 75.00

รายละเอียดของระดับความพึงพอใจ

ประเด็นความคิดเห็น	ความพึงพอใจ / ความรู้ความเข้าใจ / การนำไปใช้					รวม	ค่าเฉลี่ย	SD
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด			
	1	2	3	4	5			
ด้านวิทยากร								
1. การถ่ายทอดความรู้ของวิทยากร	-	-	5	56	63	124	4.47	0.58
2. ความสามารถในการอธิบายเนื้อหา	-	-	18	59	47	124	4.23	0.69
3. การเชื่อมโยงของเนื้อหาในการอบรม	-	-	11	74	39	124	4.23	0.60
4. ความครบถ้วนของเนื้อหา	-	4	8	60	52	124	4.29	0.73
5. การใช้เวลาตามที่กำหนดไว้	-	-	11	55	58	124	4.38	0.65
6. การตอบข้อซักถามในการอบรม	-	-	14	54	56	124	4.34	0.67
ด้านสถานที่ / เวลา								
1. สถานที่มีความเหมาะสม	-	-	10	49	65	124	4.44	0.64
2. ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	-	-	13	60	51	124	4.31	0.65
3. ระยะเวลาในการอบรมที่เหมาะสม	-	4	18	68	34	124	4.06	0.74
ด้านความรู้ความเข้าใจ								
1. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **ก่อน** การอบรม	9	14	49	37	15	124	3.28	1.06

2. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **หลัง** การอบรม	-	-	18	72	34	124	4.13	0.64
ด้านการนำความรู้ไปใช้								
1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้	-	-	22	71	31	124	4.07	0.65
2. มีความมั่นใจและสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ได้	-	-	28	65	31	124	4.02	0.69
3. สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดได้	-	-	33	64	27	124	3.95	0.70
4. สามารถนำความรู้ไปสร้างสิ่งประดิษฐ์และงานวิจัยได้	-	-	29	60	35	124	4.05	0.72

ความเห็นด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม

มีทั้งหมด 15 ความคิดเห็น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ได้แนวความคิดในการไปสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่ออำนวยความสะดวกได้มากมาย
- สามารถนำไปต่อยอดในเรื่องการผลิตนวัตกรรมใหม่ได้
- ได้รับความรู้เรื่อง VLC ว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไรในชีวิตประจำวัน
- ได้ความรู้เพื่อไปทำโปรเจค

ข้อเสนอแนะ ติ ชม ในการอบรม

คำชม เช่น

- ขอขอบคุณวิทยากรและอาจารย์
- สนุกดีครับ

คำติ เช่น

- สถานที่ไม่จี๊ดอะ
- อยู่ในช่วงเวลาที่ต้องใช้สอบ ไม่มีเวลาอ่านหนังสือ

ภาพบรรยากาศ

4.2.5 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 5

การอบรมครั้งที่ 5 จัดที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จ.นครปฐม เมื่อวันศุกร์ที่ 1 เมษายน 2559 โดยมีผู้เข้าร่วมการอบรมทั้งสิ้น 206 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 141 คน โดยผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็น สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ด้านความพึงพอใจต่อวิทยากร ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านความสามารถในการอธิบายเนื้อหาอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.33 จากระดับคะแนนเต็ม 5 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.54 ส่วนความพึงพอใจต่อวิทยากรในด้านอื่นๆ มีคะแนนลดหลั่นลงมาซึ่งคะแนนการประเมินอยู่ในช่วงระดับคะแนนน้อยที่สุดถึงมากที่สุด
2) ด้านความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลา ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านสถานที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับน้อยถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.23 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่

ที่ 0.73 ส่วนความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลาในด้านอื่นๆ มีคะแนนการประเมินอยู่ในช่วงระดับคะแนนน้อยที่สุดถึงมากที่สุด

3) ด้านความรู้ความเข้าใจผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความเข้าใจก่อนการอบรมอยู่ในระดับน้อยที่สุดถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.68 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.98 แต่หลังจากเข้ารับฟังการบรรยาย ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเพิ่มขึ้นในระดับน้อยถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.18 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.61
4) ด้านของการนำความรู้ไปใช้ ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้สูงที่สุดอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.23 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.63

จากผลของการประเมินเมื่อพิจารณาในด้านความรู้ความเข้าใจและด้านการนำความรู้ไปใช้แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ได้เป็นอย่างดี และผู้ตอบแบบสอบถามมีแนวโน้มที่สามารถนำความรู้ไปสู่การประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ในอนาคต นอกจากนี้ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อการอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 51.77

รายละเอียดของระดับความพึงพอใจ

ประเด็นความคิดเห็น	ความพึงพอใจ / ความรู้ความเข้าใจ / การนำไปใช้					รวม	ค่าเฉลี่ย	SD
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด			
	1	2	3	4	5			
ด้านวิทยากร								
1. การถ่ายทอดความรู้ของวิทยากร	-	-	5	85	51	141	4.33	0.54
2. ความสามารถในการอธิบายเนื้อหา	-	-	8	80	53	141	4.32	0.58
3. การเชื่อมโยงของเนื้อหาในการอบรม	-	-	15	74	52	141	4.26	0.64
4. ความครบถ้วนของเนื้อหา	-	1	20	78	42	141	4.14	0.67
5. การใช้เวลาตามที่กำหนดไว้	1	4	17	69	50	141	4.16	0.80
6. การตอบข้อซักถามในการอบรม	2	3	20	69	47	141	4.11	0.83
ด้านสถานที่ / เวลา								
1. สถานที่มีความเหมาะสม	1	-	18	69	53	141	4.23	0.72
2. ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	1	3	16	68	53	141	4.20	0.78
3. ระยะเวลาในการอบรมที่เหมาะสม	1	-	26	72	42	141	4.09	0.74

ด้านความรู้ความเข้าใจ								
1. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **ก่อน** การอบรม	2	16	37	56	30	141	3.68	0.98
2. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **หลัง** การอบรม	-	2	10	90	39	141	4.18	0.61
ด้านการนำความรู้ไปใช้								
1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้	-	-	15	79	47	141	4.23	0.63
2. มีความมั่นใจและสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ได้	-	-	17	87	37	141	4.14	0.60
3. สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดได้	1	1	23	80	36	141	4.06	0.71
4. สามารถนำความรู้ไปสร้างสิ่งประดิษฐ์และงานวิจัยได้	2	2	16	84	37	141	4.08	0.75

ความเห็นด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม

มีทั้งหมด 19 ความคิดเห็น ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

- ได้ความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยี VLC เพิ่มมากขึ้นรวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์
- ได้รับความรู้ สามารถนำความรู้ที่ได้จากการอบรมนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้และเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ทำโปรเจ็ค

ข้อเสนอแนะ ติ ชม ในการอบรม

คำชม เช่น

- ชอบกิจกรรม ทำให้มองได้ชัดเจนมากขึ้น
- การอบรมดีมากค่ะ วิทยากรมีความรู้มากมาย บรรยายสนุก มีกิจกรรมให้ร่วมเยอะ ทำให้การอบรมไม่น่าเบื่อ
- ชอบกิจกรรมที่ผู้บรรยายให้ผู้รับฟังมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม มีเกมให้เล่น ทำให้สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น
- ชอบวิทยากร พูดอธิบายได้ชัดเจนดี ตอบคำถามได้ดี
- ท่านวิทยากรความรู้แน่นมาก แต่อยากให้พูดช้าลงนิดหนึ่ง บางช่วงฟังไม่ทัน
- ท่านวิทยากรอธิบายได้ดีมาก ตอบได้ทุกคำถาม
- วิทยากรอธิบายเข้าใจง่าย ไม่ยุ่งยาก
- อยากให้มีการอบรมอีกหลายครั้ง

คำติ

- ควรมีกิจกรรมสันทนาการเพื่อช่วยให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น
- มารยาทของผู้รับฟัง
- วิทยากรพูดเร็วมากเลย
- อยากให้พูดช้าลงนิดหนึ่ง บางช่วงฟังไม่ทัน
- น่าจะมีการปฏิบัติเกี่ยวกับ VLC จริงๆ ให้นักศึกษาได้ลองทำจริง มีกิจกรรมนันทนาการควบคู่วิชาการ เพื่อให้ น.ศ. บางสาขาที่ไม่รู้เกี่ยวกับ VLC ได้มีส่วนร่วม เพื่อให้ได้ทั้งความรู้และความสนุกสนาน

ภาพบรรยากาศ

SPU

4.2.6 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 6

การอบรมครั้งที่ 6 จัดที่มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่ เมื่อวันจันทร์ที่ 25 เมษายน 2559 โดยมีผู้เข้าร่วมการอบรมทั้งสิ้น 142 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 80 คน โดยผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็น สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ด้านความพึงพอใจต่อวิทยากร ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านความสามารถในการอธิบายเนื้อหาอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.45 จากระดับคะแนนเต็ม 5 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.59 ส่วนความพึงพอใจต่อวิทยากรในด้านอื่นๆ มีคะแนนลดหลั่นลงมาแต่ยังคงอยู่ในช่วงระดับคะแนนน้อยถึงมากที่สุด
2) ด้านความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลา ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านสถานที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.28 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.73 ส่วนความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลาในด้านอื่นๆ มีคะแนนอยู่ในช่วงระดับคะแนนน้อยถึงมากที่สุด
3) ด้านความรู้ความเข้าใจผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความเข้าใจก่อนการอบรมอยู่ในระดับน้อยที่สุดถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.95 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.10 แต่หลังจากเข้ารับฟังการบรรยาย ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเพิ่มขึ้นในระดับน้อยถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.96 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.60
4) ด้านของการนำความรู้ไปใช้ ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้สูงที่สุดอยู่ในระดับน้อยถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.11 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.69

จากผลของการประเมินเมื่อพิจารณาในด้านความรู้ความเข้าใจและด้านการนำความรู้ไปใช้แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ได้เป็นอย่างดี และผู้ตอบแบบสอบถามมีแนวโน้มที่สามารถนำความรู้ไปสู่การประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ในอนาคต นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อการอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 98.75

รายละเอียดของระดับความพึงพอใจ

ประเด็นความคิดเห็น	ความพึงพอใจ / ความรู้ความเข้าใจ / การนำไปใช้					รวม	ค่าเฉลี่ย	SD
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด			
	1	2	3	4	5			
ด้านวิทยากร								
1. การถ่ายทอดความรู้ของวิทยากร	-	-	3	43	34	80	4.39	0.56
2. ความสามารถในการอธิบายเนื้อหา	-	-	4	36	40	80	4.45	0.59
3. การเชื่อมโยงของเนื้อหาในการอบรม	-	-	4	41	35	80	4.39	0.58
4. ความครบถ้วนของเนื้อหา	-	1	6	45	28	80	4.25	0.65
5. การใช้เวลาตามที่กำหนดไว้	-	-	4	43	33	80	4.36	0.58
6. การตอบข้อซักถามในการอบรม	-	1	11	35	33	80	4.25	0.74
ด้านสถานที่ / เวลา								
1. สถานที่มีความเหมาะสม	-	-	13	32	35	80	4.28	0.73
2. ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	1	-	14	34	31	80	4.18	0.81
3. ระยะเวลาในการอบรมที่เหมาะสม	-	-	12	44	24	80	4.15	0.66
ด้านความรู้ความเข้าใจ								
1. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **ก่อน** การอบรม	6	24	26	16	8	80	2.95	1.10
2. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **หลัง** การอบรม	-	1	13	54	12	80	3.96	0.60
ด้านการนำความรู้ไปใช้								
1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้	-	1	12	44	23	80	4.11	0.69
2. มีความมั่นใจและสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ได้	-	1	12	50	17	80	4.04	0.65
3. สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดได้	1	1	26	36	16	80	3.81	0.81
4. สามารถนำความรู้ไปสร้างสิ่งประดิษฐ์และงานวิจัยได้	-	2	14	40	24	80	4.08	0.76

ความเห็นด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม

มีทั้งหมด 37 ความคิดเห็น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ได้แนวทางใหม่ในการรับส่งข้อมูลในระยะใกล้ที่ปลอดภัย
- ได้รู้จักเทคโนโลยี VLC รวมถึงวิธีการทำงาน สามารถนำไปประยุกต์ใช้
- การสื่อสารด้วยความสว่างนั้นมีประโยชน์ แต่ยังมีขอบเขตที่ไม่กว้าง ควรมีการพัฒนาเพื่อให้มีประโยชน์มากที่สุด
- เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่น่าสนใจ และในอนาคตจะเป็นสิ่งที่เป็นสื่อกลางที่มีความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะแสงเป็นสิ่งที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ จึงควรค่าต่อการศึกษาเป็นอย่างมาก
- ได้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสื่อสารด้วยแสง

ข้อเสนอแนะ ติ ชม ในการอบรม

คำชม เช่น

- ดีเยี่ยม เนื้อหาเป็นทฤษฎี ซึ่งความเข้าใจได้ง่าย หากให้ลงมือปฏิบัติ
- เป็นกิจกรรมที่ดี ให้ความรู้ทางเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นบนโลกเพื่อเกิดการพัฒนาเทคโนโลยีให้กับคนรุ่นใหม่
- ได้ความรู้เพิ่มเติมมากขึ้น พัฒนาแนวคิดใหม่ได้ของเรื่อง visible light

คำติ เช่น

- เครื่องเสียงในห้องเบาเกินไป ไม่เหมาะสม
- เพิ่มเนื้อหา หัวข้อให้มากขึ้น
- การบรรยายเชิงวิชาการมันน่าเบื่อเกินไป ควรมีการทดลองปฏิบัติแทรกการบรรยาย
- อยากให้มีการทดลองด้วยตัวเองของผู้เข้าอบรม
- อยากให้มีบอร์ดแจกแก่ผู้เข้าอบรมพร้อมทั้งมีการทดลองใช้เบื้องต้นไปพร้อมกับ ผู้บรรยาย
- อยากให้มีการยกตัวชุดทดลองให้มากขึ้น ให้มีความหลากหลายมากขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปคิดเพื่อแนวทางที่ชัดเจน

4.2.7 ผลการประเมินการอบรมครั้งที่ 7

การอบรมครั้งที่ 7 จัดที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กทม. เมื่อวันพุธที่ 2 สิงหาคม 2559 โดยมีผู้เข้าร่วมการอบรมทั้งสิ้น 79 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 50 คน โดยผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็น สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ด้านความพึงพอใจต่อวิทยากร ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านการใช้เวลาตามที่กำหนดไว้อยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.42 จากระดับคะแนนเต็ม 5 โดยมี

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.67 ส่วนความพึงพอใจต่อวิทยากรในด้านอื่นๆ มีคะแนนลดหลั่นลงมาแต่ยังคงอยู่ในช่วงระดับคะแนนปานกลางถึงมากที่สุด

2) ด้านความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลา ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านสถานที่มีความเหมาะสมและด้านความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์ ซึ่งได้ผลการประเมินเท่ากัน คือ อยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.50 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.65 ส่วนความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลาในด้านอื่นๆ มีคะแนนอยู่ในช่วงระดับคะแนนปานกลางถึงมากที่สุด
3) ด้านความรู้ความเข้าใจผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความเข้าใจก่อนการอบรมอยู่ในระดับน้อยที่สุดถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.96 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.03 แต่หลังจากเข้ารับฟังการบรรยาย ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเพิ่มขึ้นในระดับปานกลางถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.24 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.56
4) ด้านของการนำความรู้ไปใช้ ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้สูงที่สุดอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.26 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.63

จากผลของการประเมินเมื่อพิจารณาในด้านความรู้ความเข้าใจและด้านการนำความรู้ไปใช้แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ได้เป็นอย่างดี และผู้ตอบแบบสอบถามมีแนวโน้มที่สามารถนำความรู้ไปสู่การประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ในอนาคต นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อการอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 80

รายละเอียดของระดับความพึงพอใจ

ประเด็นความคิดเห็น	ความพึงพอใจ / ความรู้ความเข้าใจ / การนำไปใช้					รวม	ค่าเฉลี่ย	SD
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด			
	1	2	3	4	5			
ด้านวิทยากร								
1. การถ่ายทอดความรู้ของวิทยากร	-	-	4	22	24	50	4.40	0.64
2. ความสามารถในการอธิบายเนื้อหา	-	-	7	24	19	50	4.24	0.69
3. การเชื่อมโยงของเนื้อหาในการอบรม	-	-	7	24	19	50	4.24	0.69
4. ความครบถ้วนของเนื้อหา	-	-	5	23	22	50	4.34	0.66
5. การใช้เวลาตามที่กำหนดไว้	-	-	5	19	26	50	4.42	0.67
6. การตอบข้อซักถามในการอบรม	-	-	8	21	21	50	4.26	0.72

ด้านสถานที่ / เวลา								
1. สถานที่มีความเหมาะสม	-	-	4	17	29	50	4.50	0.65
2. ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	-	-	4	17	29	50	4.50	0.65
3. ระยะเวลาในการอบรมที่เหมาะสม	-	-	3	24	23	50	4.40	0.61
ด้านความรู้ความเข้าใจ								
1. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **ก่อน** การอบรม	3	13	22	7	5	50	2.96	1.03
2. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **หลัง** การอบรม	-	-	3	32	15	50	4.24	0.56
ด้านการนำความรู้ไปใช้								
1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้	-	-	5	27	18	50	4.26	0.63
2. มีความมั่นใจและสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ได้	-	-	7	29	14	50	4.14	0.64
3. สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดได้	-	-	11	25	14	50	4.06	0.71
4. สามารถนำความรู้ไปสร้างสิ่งประดิษฐ์และงานวิจัยได้	-	-	11	18	21	50	4.20	0.78

ความเห็นด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม

มีทั้งหมด 10 ความคิดเห็น ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

- ได้แนวทางการประยุกต์และต่อยอด Idea ที่คิดไว้เกี่ยวกับ VLC เพื่อนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ทั้งด้านการศึกษา อุตสาหกรรม
- ได้ทราบถึงนวัตกรรมใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นใกล้ตัว และพัฒนาการของเทคโนโลยีด้านนี้
- การได้เห็นภาพของ application ในโลกของความเป็นจริง ของ VLC Technology
- มาตรฐานในการสื่อสาร VLC ทราบชัดเจน และแบบจำลองสามารถเข้าใจได้ดี
- สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานในการพัฒนาและการสื่อสารเพื่อควบคุมเครื่องจักรในที่ทำงาน

ข้อเสนอแนะ ติ ชม ในการอบรม

- เป็นการอบรมที่ให้ความรู้มาก
- ควรแจกบอร์ดชุดพัฒนาเยอะๆ
- ควรยกตัวอย่างการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้าอื่นๆ เช่น Pic 18Fxx

- วิทยากรถ่ายทอดความรู้ได้ดีมาก เข้าใจง่าย

ภาพบรรยากาศ

4.2.8 สรุปผลการจัดอบรมทั้งหมด

สรุปผลจากแบบประเมินความพึงพอใจผู้เข้ารับการอบรมทั้งหมด 7 ครั้ง ซึ่งมีผู้เข้าอบรมทั้งหมด 1014 คน แต่มีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น จำนวน 633 คน โดยผู้เข้าอบรมส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็นสรุปได้ดังนี้

- ด้านความพึงพอใจต่อวิทยากร ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านการถ่ายทอดความรู้ของวิทยากรมีความชัดเจน โดยมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.42 จากระดับคะแนนเต็ม 5 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.57
- ด้านความพึงพอใจต่อสถานที่และเวลา ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจสูงสุดในด้านสถานที่มีความเหมาะสม โดยมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.50 จากระดับคะแนนเต็ม 5 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.57

- ด้านความรู้ความเข้าใจผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความเข้าใจก่อนการอบรมอยู่ในระดับน้อยที่สุดถึงมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.26 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.09 แต่หลังจากเข้ารับฟังการบรรยาย ผู้ตอบแบบสอบถามมีความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.14 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.62
- ด้านของการนำความรู้ไปใช้ ความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้สูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.14 จากระดับคะแนนเต็ม 5 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.67

จากผลของการประเมินเมื่อพิจารณาในด้านความรู้ความเข้าใจและด้านการนำความรู้ไปใช้แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ได้เป็นอย่างดี และผู้ตอบแบบสอบถามมีแนวโน้มที่สามารถนำความรู้ไปสู่การประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ในอนาคต นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อการอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 71.72

สรุปรายละเอียดของระดับความพึงพอใจ

ประเด็นความคิดเห็น	ความพึงพอใจ / ความรู้ความเข้าใจ / การนำไปใช้					รวม	ค่าเฉลี่ย	SD
	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด			
	1	2	3	4	5			
ด้านวิทยากร								
1. การถ่ายทอดความรู้ของวิทยากร	-	-	27	312	294	633	**4.42**	**0.57**
2. ความสามารถในการอธิบายเนื้อหา	-	-	65	312	256	633	4.30	0.65
3. การเชื่อมโยงของเนื้อหาในการอบรม	-	-	57	343	233	633	4.28	0.62
4. ความครบถ้วนของเนื้อหา	-	10	51	326	246	633	4.28	0.68
5. การใช้เวลาตามที่กำหนดไว้	1	4	58	285	285	633	4.34	0.68
6. การตอบข้อซักถามในการอบรม	2	4	80	285	262	633	4.27	0.72
ด้านสถานที่ / เวลา								
1. สถานที่มีความเหมาะสม	1	-	61	251	320	633	**4.40**	**0.67**
2. ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	2	3	69	289	270	633	4.30	0.70
3. ระยะเวลาในการอบรมที่เหมาะสม	1	10	88	326	208	633	4.15	0.72
ด้านความรู้ความเข้าใจ								
1. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **ก่อน** การอบรม	43	103	220	182	85	633	**3.26**	**1.09**

2. ความรู้ความเข้าใจในเรื่องนี้ **<u>หลัง</u>** การอบรม	-	3	75	384	171	633	**4.14**	**0.62**
ด้านการนำความรู้ไปใช้								
1. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการเรียนและการปฏิบัติงานได้	-	3	96	341	193	633	**4.14**	**0.67**
2. มีความมั่นใจและสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ได้	-	3	116	352	162	633	4.06	0.67
3. สามารถนำความรู้ไปถ่ายทอดได้	2	5	153	323	150	633	3.97	0.73
4. สามารถนำความรู้ไปสร้างสิ่งประดิษฐ์และงานวิจัยได้	3	9	119	315	187	633	4.06	0.76

จากการอบรมทั้งหมดพบว่า โดยภาพรวมผู้เข้าอบรมมีความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC อย่างมาก และสามารถเสนอแนวคิดต่างๆ ที่จะนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้งานได้ นอกจากนี้ผู้เข้าอบรมมีความพึงพอใจอยากมากที่ได้เข้าร่วมอบรม และต้องการให้มีการจัดอบรมหัวข้อนี้อีกในอนาคต รวมทั้งหัวข้อที่อยากให้จัดอบรมต่างๆ ในโอกาสต่อไป ดังนี้

- Li-Fi
- RFID
- การทำอุปกรณ์ VLC ว่าทำยังไง
- การประยุกต์ที่ใช้ได้จริงของ VLC กับเครื่องมือ
- อยากดูเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่กำลังพัฒนาอยู่ ที่อยู่ในขั้นทดลองหลาย ๆ อย่าง
- Fiber Obtic
- 4G และโครงข่าย
- การประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม
- VLC และการประยุกต์ใช้ในหลายๆ รูปแบบ รวมทั้งการได้ลงมือปฏิบัติจริง
- การทดลองนำไปใช้งานจริงของ Lifi ที่ส่งสัญญาณภาพและเสียงได้ ระดับ 5MB/s ขึ้นไป
- การใช้งานในแอปพลิเคชั่นต่าง และการสร้างโปรดักที่สามารถต่อยอดเป็นสินค้าได้
- VLC กับการประยุกต์ใช้งานใกล้ตัว
- เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมใหม่ๆ

4.2.9 ผลการประเมินการอบรม Train the Trainers

คณะผู้วิจัยยังได้จัดอบรมเชิงปฏิบัติการ Train the Trainers เรื่อง “การพัฒนาชุดรับส่งข้อมูลผ่านระบบการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นและการประยุกต์ใช้งาน” สำหรับอาจารย์จำนวน 25 ท่าน ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จ.นครปฐม เมื่อวันที่ 28-29 มกราคม 2559 เพื่อสอนอาจารย์

ให้สามารถสร้างชุดพัฒนารับส่งข้อมูลผ่านแสงตามมาตรฐาน CP-1223 ด้วยตนเองได้ โดยจากผลของการประเมินพบว่า ก่อนการอบรมผู้เข้าอบรมมีความรู้ในหัวข้อที่อบรมค่อนข้างต่ำ และหลังการอบรมผู้เข้าอบรมมีความรูในหัวข้อที่ได้รับการอบรมในระดับดี โดยผลการประเมินมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รายการ	คะแนนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ก่อนอบรมท่านมีความรู้ในหัวข้อที่อบรมนี้	2.24	1.05
2. หลังอบรมท่านมีความรู้ในหัวข้อที่อบรมนี้	4.00	0.65
3.1 ความสามารถในการถ่ายทอดความรู้แก่ผู้เข้าอบรม	4.44	0.58
3.2 การจัดลำดับความสำคัญของเนื้อหา	4.20	0.65
3.3 ความรอบรู้ของวิทยากรต่อหัวข้อที่บรรยาย	4.52	0.59
3.4 การใช้สื่อในการถ่ายทอดความรู้	4.44	0.58
3.5 เอกสารการอบรม	4.28	0.54
4. เนื้อหาการอบรมสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้	3.69	0.60
5. ความเหมาะสมของสถานที่และอุปกรณ์	4.08	0.81
6. ความเหมาะสมของสื่อและอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	4.24	0.52
7. อาหาร/อาหารว่างและเครื่องดื่ม	4.36	0.57

ภาพบรรยากาศ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยฯ ได้ดำเนินการตามขอบเขตการวิจัยที่แสดงในหัวข้อที่ 1.3 โดยได้ดำเนินการจัดการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC จำนวนรวม 7 ครั้ง ทั่วประเทศ โดยมีผู้เข้าอบรมทั้งสิ้นจำนวน 1014 คน ซึ่งผลการประเมินการอบรมเป็นที่น่าพอใจมากในทุกๆ ด้าน ได้แก่ ด้านวิทยากร ด้านสถานที่และเวลา ด้านความรู้ความเข้าใจ และด้านของการนำความรู้ไปใช้ ตามที่แสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2.8 นอกจากนี้ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความคิดเห็นต่อการอยากให้มีการจัดอบรมอีกถึงร้อยละ 71.72

ปัจจัยสำคัญที่ช่วยทำให้การอบรมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่

1) คณะผู้วิจัยได้พัฒนาชุดสาธิตการรับส่งข้อมูลด้วยแสงสว่างตามมาตรฐาน CP-1223 หลายแบบตามที่แสดงในหัวข้อที่ 4.1 ซึ่งช่วยทำให้ผู้เข้าอบรมสามารถเข้าใจหลักการทำงานของเทคโนโลยี VLC ได้ดียิ่งขึ้น อันส่งผลทำให้ผู้เข้าอบรมหลายท่านนำเทคโนโลยี VLC นี้ไปประยุกต์ใช้ในการทำวิจัยต่อยอด
2) คณะผู้วิจัยได้พัฒนาเอกสารอบรมที่หลากหลายตามที่อธิบายในหัวข้อที่ 3.2.3 (ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดเอกสารทั้งหมดได้ที่ http://dept.npru.ac.th/vlc/) ซึ่งช่วยให้ผู้เข้าอบรมสามารถเรียนรู้และศึกษาได้ด้วยตนเองเพิ่มเติม ทำให้เข้าใจในเทคโนโลยี VLC มากยิ่งขึ้น
3) คณะผู้วิจัยได้จัดทำรายงานเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ที่สำคัญ 2 รายงานคือ
    - รายงานแนวทางมาตรฐานอุตสาหกรรม (CP-1223) ฉบับภาษาไทย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้สนใจที่ต้องการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานได้ทราบถึงข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ต่างๆ ที่จำเป็นที่จะทำให้อุปกรณ์หรือระบบการสื่อสารที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้ แม้ว่าอุปกรณ์หรือระบบจะถูกสร้างขึ้นจากผู้ผลิตหรือผู้พัฒนาที่แตกต่างกัน โดยรายงานฉบับนี้จะเน้นไปที่มาตรฐาน CP-1223 ของประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากเป็นการสื่อสารแบบทิศทางเดียวและสามารถพัฒนาเป็นอุปกรณ์รับส่งได้ง่าย
    - รายงานการสำรวจเชิงเปรียบเทียบสำหรับประเทศไทยแนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทยในอนาคต "ทรัพย์สินทางปัญญา งานวิจัย ผลิตภัณฑ์และพัฒนาการการส่องสว่างข้อมูล” ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมความพร้อมในการคุ้มครองผู้ผลิต ผู้ให้บริการ และผู้ใช้งานเทคโนโลยี VLC นี้ได้ทัน รวมทั้งช่วยลดการสูญเสียจากการนำเข้าเทคโนโลยีนี้ในอนาคต

หมายเหตุ ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดเอกสารทั้งหมดได้ที่ http://dept.npru.ac.th/vlc/

4) คณะผู้วิจัยได้เชิญวิทยากรต่างประเทศ Prof.Shinichiro Haruyama จาก Keio University ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน VLC และได้พัฒนางานประยุกต์ต่างๆ ที่ใช้เทคโนโลยี VLC ในประเทศญี่ปุ่น มาบรรยายพิเศษเรื่อง “Potentials of deploying a VLC technology in the market” ซึ่งกล่าวถึงศักยภาพการนำเทคโนโลยี VLC มาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ที่น่าสนใจมาก ทำให้ผู้เข้าอบรมทราบถึงความสมารถของเทคโนโลยี VLC มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ให้บริการวิชาการในด้านต่างๆ ทั้งงานเขียนบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการทั้งในและนอกประเทศ รวมทั้งเป็นวิทยากรบรรยายพิเศษ และนำผลงานวิจัยไปแสดงในงาน Thailand Research Expo 2016 ตามที่แสดงในหัวข้อที่ 3.2.5 ซึ่งเป็นการเผยแพร่เทคโนโลยี VLC ให้เป็นทราบในวงกว้างมากขึ้น

คณะผู้วิจัยได้ทำการสร้างชุดพัฒนาที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านแสงตามมาตรฐาน CP-1223 ตามภาพที่ 3.3 จำนวนมาก และได้มอบให้กับอาจารย์และผู้สนใจทั่วไปที่มีความประสงค์จะนำชุดพัฒนานี้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เพื่อสนับสนุนการสร้างเครือข่ายการทำวิจัย ตามรายชื่อที่แสดงในภาคผนวก จ

สุดท้ายคณะผู้วิจัยได้ทำการระดมสมองและสำรวจข้อคิดเห็นเกี่ยวกับ “แนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทย” จากทุกภาคส่วน เกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยี VLC มาใช้ในประเทศไทย ซึ่งผลปรากฏว่าผู้ให้ข้อคิดเห็นส่วนมากกว่า 70% เห็นชอบกับแนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทยในอนาคตตามที่มผู้วิจัยได้นำเสนอทุกประการ

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาบุคลากรให้พร้อมสำหรับเทคโนโลยี VLC โดยมีกิจกรรมสำคัญที่ได้ดำเนินการดังนี้

1) การจัดอบรมจำนวน 7 ครั้งทั่วประเทศ เพื่อเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC
2) การวิเคราะห์และจัดทำรายงานแนวทางมาตรฐานอุตสาหกรรม (CP-1223) ฉบับภาษาไทย
3) การจัดทำรายงานการสำรวจเชิงเปรียบเทียบสำหรับประเทศไทยแนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทยในอนาคต "ทรัพย์สินทางปัญญา งานวิจัย ผลิตภัณฑ์และพัฒนาการการส่องสว่างข้อมูล”
4) การพัฒนาชุดสาธิตการรับส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยี VLC แบบต่างๆ
5) การจัดสัมมนาระดมสมองเกี่ยวกับ “แนวทางการส่องสว่างข้อมูลสำหรับประเทศไทย”

โดยภาพรวมพบว่า การดำเนินงานโครงการวิจัยนี้เป็นไปด้วยดีตามแผนที่วางไว้ อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะที่อาจช่วยให้โครงการวิจัยนี้เกิดประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น ดังต่อไปนี้

1) ควรพัฒนาชุดสาธิตการรับส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยี VLC ให้หลายหลากมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ผู้เข้าอบรมสามารถมองเห็นประโยชน์จากเทคโนโลยี VLC ได้ง่ายยิ่งขึ้น
2) ระยะเวลาในการอบรมแต่ละครั้งควรจะประมาณ 2 วัน เพื่อให้ครอบคลุมทั้งภาคบรรยายและภาคปฏิบัติ เนื่องจากเนื้อหาในการอบรมมีค่อนข้างมากและเป็นเทคโนโลยีใหม่ ทำให้บ้างครั้งผู้เข้าอบรมตามไม่ทัน
3) ควรมีการจัดอบรมในรูปของ “Train the Trainers” กับกลุ่มของอาจารย์ทั่วประเทศ เพื่อให้อาจารย์นำไปถ่ายทอดให้นักศึกษาต่อไป ซึ่งจะทำให้ได้กลุ่มผู้สนใจมากยิ่งขึ้น
4) ควรมีการจัดการแข่งขันประกวดนวัตกรรมที่สร้างจากเทคโนโลยี VLC เพื่อให้ผู้สนใจได้พัฒนางานประยุกต์ต่างๆ ที่ตอบโจทย์ความต้องการของประเทศ
5) ควรมีการทำความร่วมมือในสถาบันอุดมศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเปิดรายวิชาเกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ให้กับนักศึกษาสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อให้นักศึกษาเหล่านี้ทราบถึงศักยภาพของเทคโนโลยี VLC
6) ควรมีมาตรการกระตุ้นให้ภาคอุตสาหกรรมและผู้ประกอบการหันมาให้ความสนใจในการทำวิจัยทางด้านเทคโนโลยี VLC ให้มากขึ้น เนื่องจากหลายๆ หน่วยงานยังไม่กล้าที่จะตัดสินใจที่จะลงทุนทำวิจัยในด้านนี้ (รอดูแนวโน้มในต่างประเทศ ซึ่งบางครั้งก็อาจจะทำให้เสียโอกาสในการเป็นผู้นำทางด้านนี้ในอนาคต)

บรรณานุกรม

[1] Visible light communication [online], Available http://www.slideshare.net/parthsaxena35/visible-light-communication-61038495 [Access: August 1, 2016]

[2] T. Komine and M. Nakagawa, “Fundamental Analysis for Visible Light Communication System using LED Light,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, February 2004.

[3] Lighting Controls Association [online], Available http://lightingcontrolsassociation.org/content/whitepapers/visible-light-communication-finds-its-applications/ [Access: August 1, 2016]

[4] ABI research [online], Available https://www.abiresearch.com/press/led-and-visible-light-communications-could-be-key-/ [Access: August 1, 2016]

[5] Markets and Markets [online], Available http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/visible-light-communication-market-946.html [Access: August 1, 2016]

[6] IEEE [online], Available http://www.ieee802.org/15/pub/TG7.html [Access: August 1, 2016]

[7] JEITA [online], Available http://www.jeita.or.jp/japanese/standard/book/CP-1223/ [Access: August 1, 2016]

[8] Visible Light Thailand [online], Available http://www.facebook.com/VisibleLightThailand [Access: August 1, 2016]

[9] Wikipedia [online], Available https://en.wikipedia.org/wiki/Light [Access: August 1, 2016]

[10] เกียรติศักดิ์ ศรีพิมานวัฒน์, การส่องสว่างข้อมูล 1 (Visible Light Communication 1), จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ [Available at http://www.ebooks.in.th/ebook/36821/การส่องสว่างข้อมูล_1_(Visible_Light_Communication_1)/]

[11] T. Komine and M. Nakagawa, “Performance evaluation of Visible-Light Wireless Communication System using White LED Lighting,” in Proc. of the ninth IEEE Symposium on Computers and Communications, pp. 258-263, 2004.

[12] Visible Light Communication [online], Available http://wikid.eu/index.php/Visible_Light_Communication [Access: August 1, 2016]

[13] Arcadian [online], Available http://arcadianhome.com/blog/troubleshooting-light-bulbs-lighting-fixtures-and-lamps [Access: August 1, 2016]

[14] Electro Optics [online], Available http:// http://www.electrooptics.com/features/feature.php?feature_id=242 [Access: August 1, 2016]

[15] LED Expo Thailand [online], Available http://www.ledexpothailand.com [Access: August 1, 2016]

[16] Siamturakij [online], Available http://www.siamturakij.com/main/news_content.php?nt=4&nid=5669 [Access: August 1, 2016]

[17] Optics.org [online], Available http://optics.org/indepth/3/2/5 [Access: August 1, 2016]

[18] Shinichiro Haruyama [online], Available http://www.sdm.keio.ac.jp/en/faculty/haruyama_s.html [Access: August 1, 2016]

[19] University of Oxford [online], Available http://www.eng.ox.ac.uk/communications/research/optical-communications/current-projects-1/visible-light-communications [Access: August 1, 2016]

[20] Fraunhofer [online], Available https://www.hhi.fraunhofer.de/index.php?id=25&L=1 [Access: August 1, 2016]

[21] ITU [online], Available http://world2013.itu.int/ [Access: August 1, 2016]

[22] BBC [online], Available http://www.bbc.co.uk/news/technology-24711935 [Access: August 1, 2016]

[23] Bangkok University [online], Available http://www.bu.edu/energy/research/technologies-engineered-systems/visual-light-comm/ [Access: August 1, 2016]

[24] Eureka [online], Available http://eureka.bangkokbiznews.com/detail/552721 [Access: August 1, 2016]

[25] Cypress [online], Available http://www.cypress.com [Access: August 1, 2016]

[26] H. Le-Minh, D. O'Brien, and et al. "A 1.25-Gb/s Indoor Cellular Optical Wireless Communications Demonstrator," *IEEE Photonics. Technol. Lett*., vol. 22, no. 21, pp. 1598-1600, November 1, 2010.

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัย

เรื่อง

Visible Light Communication: Importance and Thai Preparations

Available online at www.sciencedirect.com

SciVerse ScienceDirect

Procedia Computer Science 00 (2016) 000–000

Procedia Computer Science

www.elsevier.com/locate/procedia

The 2016 International Electrical Engineering Congress

Visible Light Communication: Importance and Thai Preparations

Preecha Kocharoen*

Department of Electrical Engineering and Applied Electronics, Sripatum University, 2410/2 Phaholyothin rd., Bangkok 10220, Thailand.

Abstract

Since the Internet of Thing allows devices to be interconnected across communication networks, the demand for bandwidth in personal communication are growing rapidly as the number of devices increases. Moreover, the location estimation in an indoor environment requires a proper technology because the global positioning system cannot provide satisfactory accuracy. Thus, a visible light communication (VLC) technology is introduced so as to add extra capacity to an existing radio frequency infrastructure. In practice, the VLC can utilize the lighting system infrastructure to transmit data via light intensity together with illumination. Several VLC standards have been published by the visible light communication consortium (VLCC) and the institute of electrical and electronics engineers (IEEE) in 2003 and 2011 respectively. In the past five years, many researchers in Thailand have focused on both VLC basic research and technology implementation. Additionally, the inter-University co-operation known as LED-SmartCon has also been established by ECTI Association to promote the VLC technology in Thailand.

© 2013 The Authors. Published by Elsevier B.V.

Selection and/or peer-review under responsibility of the organizers of the 2016 International Electrical Engineering Congress

Keywords: Visible Light Communication; Communication Standard; Thai Preparations

1. Introduction

Optical transmission has been used by ancient Greeks and Romans since approximately 800 BC. They used fire beacons for transmitting single bit information over a long distance between mountain tops. The transmission rate of optical transmission was increased by employing an optical telegraph invented by Claude Chappe in early 1790's. Almost a century later, the photophone was invented by Alexander Graham Bell. The voice signal was modulated with reflected light from the sun on a foil diaphragm. Since the pioneer work of F.R.Gfeller and G.Bapst in 1979, the optical transmission in the free-space infrared band has been extensively studied. Then, the open standard for IR data communications was published by the infrared data association

* Corresponding author. Tel.: +662-579-1111 ext. 2260.
E-mail address: preecha.ko@spu.ac.th.

(IrDA) in 1993. For visible light communication (VLC), two standards were published by the visible light communication consortium (VLCC) [1] and the institute of electrical and electronics engineers (IEEE) [2] in 2003 and 2011 respectively.

Since a demand for bandwidth in personal communication, i.e., mobile phone, computer, wearable device, and Internet of Thing, are growing rapidly as the number of users increases, an alternative communication technology is required to add extra capacity to an existing radiofrequency infrastructure. Radio frequency communication has some limitation when people carry more than one communication device at the same time, because each device needs high data rate. Furthermore, a location-specific service has recently been received more attention because the global positioning system (GPS) cannot provide satisfactory accuracy for estimating the location in both an indoor and an outdoor environments. Examples for indoor and outdoor environment services are location-specific multimedia contents, security messages, illuminated advertising boards, car-to-car communication, intelligent transport systems (ITS), and so forth.

Optical communication technology is the promising technology that could be used for addressing the congested spectrum bandwidth of radio frequency communication. The optical wireless communication that carries information by modulating light around 400 – 700 nm is called VLC. The VLC system can utilize the existing lighting system infrastructure to transmit data along with illumination, which can be achieved by employing LED lights to send data via light intensity.

2. VLC System

A typical indoor VLC system is illustrated in Fig.1. The LED lamps are installed on the ceiling for illuminating all areas in a building, including rooms and corridors. One of the lamps is functioned as a coordinator to transmit visible light beacon or data frame, e.g., computer data, serial number, product information, or location information, through all LED lamps. Thus, the receiver or VLC end device can obtain information from the coordinator device via light intensity. The information may include additional data, e.g., product name, product specification, or the location where the lamp is installed. The up-link from a VLC end device to a coordinator device could be on a modulated retro reflector [3], transmitting VLC in the dark [4], or existing RF or IrDA link. A modulated retro reflector controls the amplitude of the incident light from the LED transmitter before reflecting back to the coordinator. In the case of VLC in the dark, the duty cycle of the LED light is reduced in order to produce a very narrow pulse width such that the lamp appears dark while the receiver at the coordinator device can still detect the transmitted signal.

In addition, Fig. 2 shows an outdoor VLC system, which can provide connectivity between car and road infrastructure, e.g., car's head light and rear light, traffic light, or illuminated advertising board so as to exchange information among all devices in the intelligent transport systems.

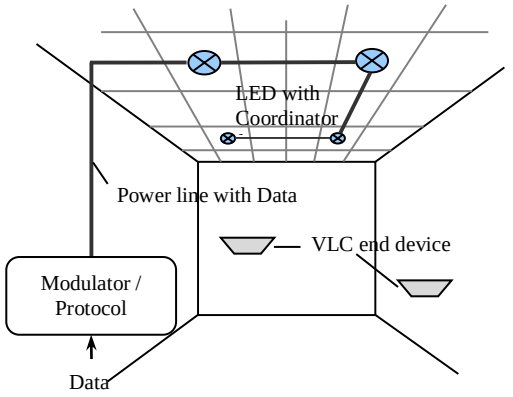


Fig 1: An example of an indoor VLC system

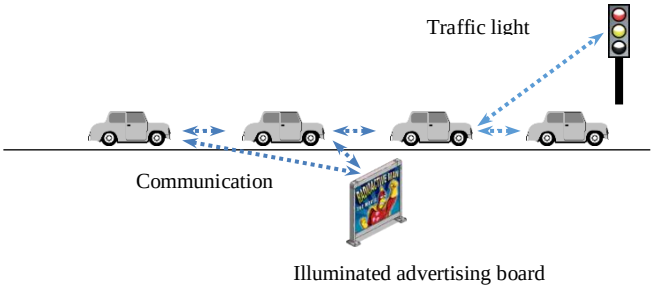


Fig 2: An example of
an outdoor VLC system

Applications on VLC can be classified into four groups, based on indoor/outdoor with low/high bit rate. An example of an indoor/low bit rate group is the infrastructure with fixed lamp location to enable identification broadcasting or location information, whereas that of an indoor/high bit rate group is a data communication via a mobile device, which uses battery as a power supply; therefore, it can transmit data only for a short distance. On the other hand, an example of outdoor/low bit rate group is a car to car communication or car to road infrastructure communication that has moderate power supply and intense light source for using long range communication, while that of an outdoor/high bit rate group is a communication between two network stations using very intense light source with fixed coordinator.

3. VLC Standard

There are several standards related to VLC, but only two potential standards are described in this paper, namely IEEE 802.15.7 and CP1223. The institute of electrical and electronics engineers defined a standard, called IEEE 802.15.7, for short-range optical wireless communication using visible light. This standard defines only two layers, physical layer (PHY) and medium access control layer (MAC), in OSI 7-layers model [2]. The PHY layer is responsible for controlling light transceiver along with signal-level control mechanism. Three types of PHY layer are supported, which are different in spectrum frequency band, data rate and optical clock rate. The PHY I is intended for outdoor usage with low data rate applications. This mode can support data rate up to 266.6 kbps. The PHY II is intended for indoor usage with moderate data rate applications. It uses on-off keying or variable pulse position modulation as a modulation scheme with higher optical rate up to 120 MHz. This mode can support data rate up to 96 Mbps. The last mode, PHY III, is intended for application using multiple light sources and detector that can gain advantage from band-hopping to avoid interference. The PHY III uses color-shift keying (CSK) as a modulation scheme with optical rate up to 24 MHz. This mode can support data rate up to 96 Mbps.

The MAC layer handles all accesses to the PHY layer using superframe structure. The superframe composes of several slots including active period, beacon, contention access period (CAP) or Contention free period (CFP), and inactive period. The beacons are used to synchronize end devices to the coordinator device. When any end device wants to communicate with the coordinator, it might have to compete with other devices via random access during contention access period. On the other hand, for the end device that requires specific data bandwidth, the dedicate portions, called guaranteed time slots (GTSs), are assigned by a coordinator device during contention free period.

The other standard called CP1223 was proposed by the visible light communication consortium, Japan. This standard prescribes the unidirectional communication system with visible light as the medium for multimedia applications. The visible light beacon transmitter can transmit information either arbitrary data or an ID code. Optical wavelengths of this standard are around 380 – 780 nm with data rate about 4.8 kbps. The transmission system for modulation of visible light is inverted 4 pulse position modulation (I-4PPM). The transmission frame structure consists of preamble (PRE), frame-type (F-TYPE), payload and cyclic redundancy check (CRC-16). Payload may contain ID information and/or 128-bits data. This standard can be applied for various multimedia applications, such as transmission of advertisement or security information from illuminated advertising board, emergency exit signs, where Content ID is sent from an LED light and various location-dependent contents directly from the light.

4. Thai Preparations

In the past five years, many researchers in Thailand have focused on the VLC technology. For example, researchers at faculty of engineering, Chulalongkorn University and the national electronics and computer technology center (NECTEC) presented channel modeling of visible light communication [5]. Moreover, they proposed an indoor positioning system for LEDs based on received signal strength and fingerprinting in order

to estimate the position of the receiver [6]. On the other hand, at the industrial robot research and development center, King Mongkut's University of technology north Bangkok, researchers have proposed an indoor positioning system for robot localization. They proposed an integrated angle of arrival-received signal strength (AOA-RSS) localization method using the VLC. It has been implemented to achieve high accuracy for robot localization with small error approximation of a few centimeters [7]. The alternative technique for location estimation using spread spectrum has been proposed by researchers from faculty of engineering, Sripatum University. This technique embeds the Gold sequence to LED lamp which can distinguish from other sequences by using the correlator [8]. The study on handover in visible light communication was reported by researchers at faculty of engineering, Naresuan University [9]. In addition, Researchers at the Bangkok University center of research in optoelectronics, communications and control systems (BU-CROCCS), school of engineering, Bangkok University has concentrated mainly on low cost transceiver design supporting both digital and analogue intensity modulation formats. The transceiver has been designed to support VLC over dimmable light. A software defined approach has been used for the implementations of the modulation and coding schemes to improve the quality of VLC communication links. They also presents an application of software defined communication systems to transmit location information of displayed item in a smart museum [10]. Application of LED for health has been focused by researchers at Rajamangala University of technology Isan and demonstrated in the 7th Rajamamgala University of technology conference [11].

To accelerate the VLC technology development in Thailand, both fundamental research and technology implementation have to be developed at the same time. The VLC development kit that in compliance with CP1223 standard has been developed by inter-University co-operation, Sripatum University, Nakhon Pathom Rajabhat University, Rajamamgala University of technology Isan, King Mongkut's University of technology north Bangkok and NECTEC, in order to accelerate the product time to market for industrial partners. Not only the inter-University co-operation has been set up, but also Thai VLC consortium, called LED-SmartCon, has been established by ECTI Association. The LED-SmartCon aims to promote the LED for communications, industrial applications, and health, among researchers, students, and industrial partner. One of LED-SmartCon activity is to promote VLC by arranging a meeting for researchers, students, and industrial partners from all around Thailand. The website and social media are also set up for LED-SmartCon, which can be found at http://led-smartcon.org/, https://www.facebook.com/VisibleLightThailand, and http://dept.npru.ac.th/vlc.

5. Summary

As we rapidly run out of radio spectrum, VLC could be an alternative technology to support the Internet of Things age. Applications on VLC can be classified into four groups based on indoor/outdoor with low/high bitrate. For indoor, the VLC could use the existing infrastructure of the lighting system to transmit visible light beacon or data frame along with illumination. Uplink from the VLC end device to the coordinator device could use several methods, a modulated retro reflector, transmitting VLC in the dark or existing RF/IrDA link. For outdoor, VLC can be used in the intelligent transport systems by providing communication between car to car or car to road infrastructure. Currently, Thai VLC consortium, namely LED-SmartCon, has been established by ECTI Association to accelerate both VLC fundamental research and technology implementation in Thailand. The LED-SmartCon aims to promote the LED for communications, industrial applications, and health, among researchers, students, and industrial partners. Furthermore, the VLC development kit has been developed by LED-SmartCon researchers in order to accelerate the product time to market for industrial partners.

Acknowledgements

This work is supported by NBTC grants T3-001/1-57 under the project "Visible Light communications for Thailand: Technology Transfer, Human Resource Development, Industrial Standard Survey, and Its Publications"

References

[1] JEITA, JEITA visible light communication standards, Information on http://www.jeita.or.jp/cgi-bin/standard_e/list.cgi?ateid=1&subcateid=50. (Accessed 26/6/2015).
[2] IEEE Computer Society, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light (IEEE Std 802.15.7TM-2011), New York, The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2011.
[3] Rosenkrantz E., and Arnon S., An innovative modulating retro-reflector for free-space optical communication, SPIE Optical Engineering + Applications, International Society for Optics and Photonics, 2013.
[4] Borogovac T., Rahaim M. B., Tuganbayeva M., and Little T. D., Lights-off visible light communications, In Proceedings of 2nd IEEE Globecom 2011 Workshop on Optical Wireless Communications, 2011, pp. 797-801.
[5] Saadi M., et al., Visible light communication: opportunities, challenges and channel models, International Journal of Electronics & Informatics, 2.1 (2013): 1-11.
[6] Bajpai A., et al., A Novel Two Dimensional Visible Light Positioning System Based on Received Signal Strength and Bi-literation, The 29th international technical conference on circuits/systems, computers and communications (ITC-CSCC 14), 1-4 July 2014, Phuket, Thailand, pp. 900-903.
[7] Nguyen, Ngoc-Tan, et al., Design and simulation of a novel indoor mobile robot localization method using a light-emitting diode positioning system, Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2015.
[8] Intachuen S., Nantivatana P. and Kocharoen P., Indoor Location Estimation using Gold Sequences Modulation of Light Emitting Diodes, The 29th international technical conference on circuits/systems, computers and communications (ITC-CSCC 14), 1-4 July 2014, Phuket, Thailand, pp. 889 – 893.
[9] Thai-Chien B., et al., LEDs configuration method for supporting handover in visible light communication, The 2014 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2014), 2014, pp.1-6.
[10] Information on http://bucroccs.bu.ac.th/
[11] Information on http://www.rmutcon.rmuti.ac.th/index.php/th/

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัย

เรื่อง

Visible Light Communication: An Innovative and Challenging Technology

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

[Article]

Visible Light Communication: An Innovative and Challenging Technology

Preecha Kocharoen[1], Petch Nantivatana[1], Kata Jaruwongrungsee[2],
Termpong Srited[1], Wannaree Wongtrairat[3], and Piya Kovintavewat[4]

preecha.ko@spu.ac.th and piya@npru.ac.th

[1]*School of Engineering, Sripatum University, Bangkok, Thailand*
[2]*Nanoelectronics and MEMS Laboratory, National Electronic and Computer Technology Center (NECTEC), Thailand*
[3]*Department of Electronics Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, RMUTTI, Korat, Thailand*
[4]*Data Storage Technology Research Center, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand*

Abstract

Since the Internet of Thing allows devices to be interconnected across communication networks, the demand for bandwidth in personal communication is growing rapidly as the number of devices increases. Moreover, the location estimation in an indoor environment requires a proper technology because the global positioning system cannot provide satisfactory accuracy. Thus, a visible light communication (VLC) technology is introduced so as to add extra capacity to an existing radio frequency infrastructure. In practice, the VLC can utilize the lighting system infrastructure to transmit data via light intensity together with illumination. Several VLC standards have been published by the Japan Electronics and Information Technology Industries Association (JEITA) and the institute of electrical and electronics engineers (IEEE) in 2003 and 2011, respectively. In the past five years, many researchers in Thailand have focused on both VLC basic research and technology implementation. Additionally, the inter-University co-operation known as LED-SmartCon has also been established by ECTI Association to promote the VLC technology in Thailand. Moreover, the VLC development kit was developed by SARGMET researchers, according to the CP1223 standard definition. This helps reduce the time to develop the VLC products with the ease of use and low complexity.

Keywords: *Visible Light Communication; Communication Standard; Thai Preparations*

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

1. Introduction

Since a demand for bandwidth in personal communication, i.e., mobile phone, computer, wearable device, and Internet of Thing, is growing rapidly as the number of users increases, an alternative communication technology is required to add extra capacity to an existing radio frequency infrastructure. Radio frequency communication has some limitation when people carry more than one communication device at the same time, because each device needs high data rate. Furthermore, a location-specific service has recently been receiving more attention because the global positioning system (GPS) cannot provide satisfactory accuracy for estimating the location in both indoor and outdoor environments. Examples for indoor and outdoor environment services are location-specific multimedia contents, security messages, illuminated advertising boards, car-to-car communication, intelligent transportation systems (ITS), and so forth. Visible light communication (VLC) is an emerging technology that is being researched to use light emitting diode (LED) as a transmitting light source for communication systems. Unlike radio frequency systems, VLC can be used in hospitals, under water communication and electromagnetic interference sensible locations. Applications such as VLC for audio systems and information broadcasting using traffic lights are examples of the capabilities of VLC. This optical communication could be used for addressing the congested spectrum bandwidth of radio frequency communication. This wireless communication carries information by modulating the light with wavelength of about 400 – 700 nm, which is in the visible light spectrum band. The VLC system can utilize the existing lighting system infrastructure to transmit data along with illumination, which can be achieved by sending data via light intensity. There are two common approaches to produce LED white light illumination, namely the blue LED with a phosphor, and the combination of red, green, and blue (RGB) LEDS. However, if a high transmission rate is required, the RGB method is preferred because the phosphor has a slow response and then the bandwidth is limited. Moreover, the RGB LEDs could be transmitted simultaneously by using a wavelength division multiplexing (WDM) technique, which could increase the transmission rate.

Now the light we use in our daily life is employed not only for providing light, but also for communication; however, many technical issues might need to be addressed. For visible light communication, two standards were published by the visible light communication consortium (VLCC) [1] and the institute of electrical and electronics engineers (IEEE) [2] in 2003 and 2011, respectively.

2. VLC System

Generally, VLC utilizes LEDs to transmit data by turning on and turning off the light at a speed undetectable by a human eye. At the receiver, the photodiode will convert the optical signal to the electrical signal, and then the modulating signal will be retrieved. A typical indoor VLC system is illustrated in Figure 1. The LED lamps are installed on the ceiling for illuminating all areas in a building, including rooms and corridors. One of the lamps is functioned as a coordinator to transmit visible light beacon or data frame, e.g., computer data, serial number, product information, or location information, through all LED lamps. Thus, the receiver or the VLC end device can obtain information from the coordinator device via light intensity. The information may include additional data, e.g., product name, product specification, or the location where the lamp is installed. The up-link from a VLC end device to a coordinator device could be on a modulated retro reflector [3], transmitting VLC in the dark [4], or existing RF or IrDA link. A modulated retro reflector controls the amplitude of the incident light from the LED transmitter before reflecting back to the coordinator. In the case of VLC in the dark, the duty cycle of the LED light

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

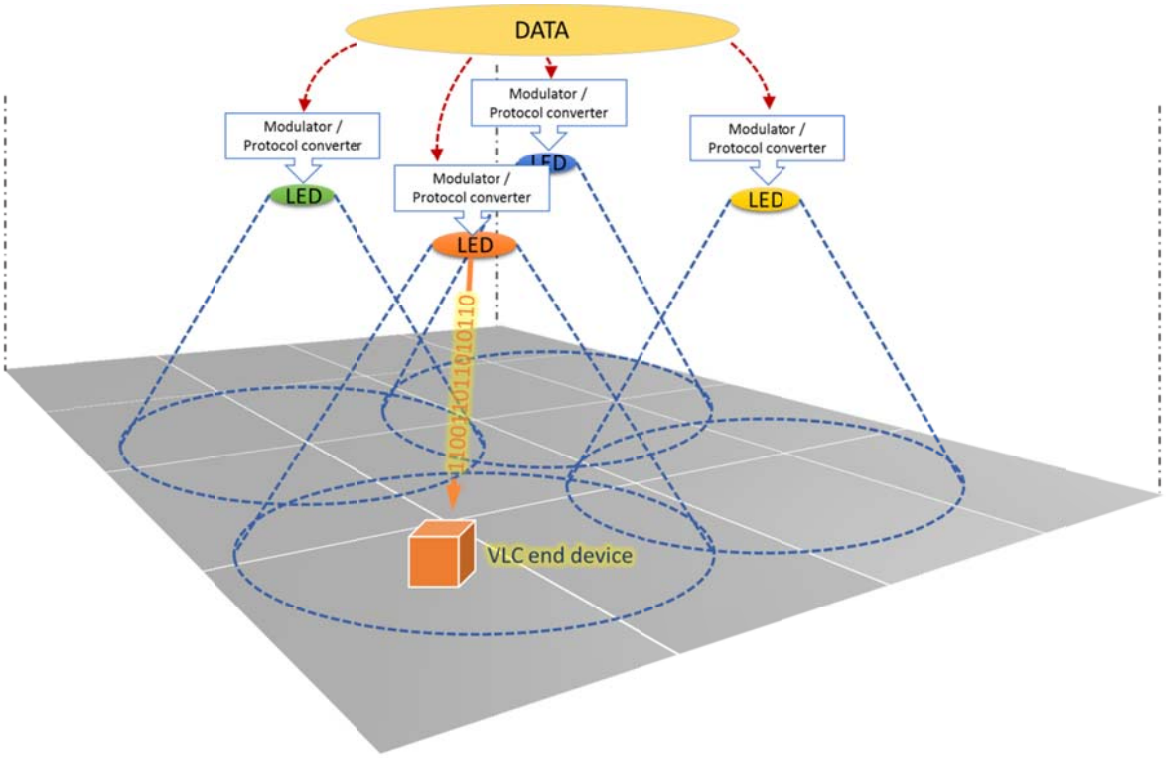


Figure 1. An example of an indoor VLC system.

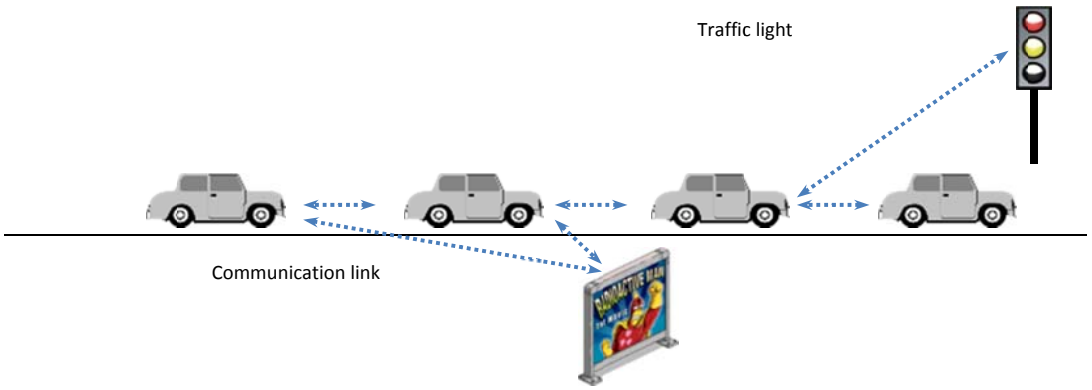


Figure 2. An example of an outdoor VLC system.

is reduced so as to produce a very narrow pulse width such that the lamp appears dark, while the receiver in the coordinator device can still detect the transmitted signal.

In addition, Figure 2 shows an outdoor VLC system, which can provide connectivity between car and road infrastructure, e.g., car's head light and rear light, traffic light, or illuminated advertising board so as to exchange information among all devices in the intelligent transport systems.

ISSN: 2286-7074
วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine

Applications on VLC can be classified based on indoor/outdoor applications or low/high bit rate. An example of an indoor/low bit rate group is the infrastructure with fixed lamp location to enable identification broadcasting or location information, whereas that of an indoor/high bit rate group is a data communication via a mobile device, which uses battery as a power supply; therefore, it can transmit data only for a short distance. On the other hand, an example of outdoor/low bit rate group is a car to car communication or car to road infrastructure communication that has a moderate power supply and intense light source for using long range communication, while that of an outdoor/high bit rate group is a communication between two network stations using a very intense light source with fixed coordinator. Examples of VLC potential applications are included:

1) Indoor data communication that uses light from LEDs as a medium to deliver high-speed communication.
2) Low-cost indoor navigation that uses existing ceiling lamps to broadcast location IDs that the mobile receiver unit can be used to calculate the current location.
3) Location based services that use the existing lighting infrastructure to deliver personalized content based on location e.g. pushing the digital content to shoppers in the stores or personalized content delivery in the museums or galleries.
4) Visible light barcodes broadcasted from billboards or advertising boards.
5) Intelligent transportation systems that could be used for vehicular communications, e.g., vehicle to infrastructure, vehicle to vehicle, or infrastructure to vehicle.
6) VLC can be used as smart lighting from public lighting, i.e., street lamps. The lamps could be used to provide communication hotspots or could be used to monitor or controlling some devices.
7) VLC can provide a robust communication comparable to radio frequency communication in the hazardous environments such as mines or industrial plants.
8) VLC does not interfere with medical instruments such as MRI scanners or aircraft radio communications; therefore, it could be used in the hospital or airplanes.
9) VLC could be used in underwater communications where radio frequency communication could not be used because of extremely high RF and acoustic wave signal distortion.

3. VLC Standard

There are several standards related to VLC, but only two potential standards are described in this paper, namely IEEE 802.15.7 and CP1223. The institute of electrical and electronics engineers defined a standard, called IEEE 802.15.7, for short-range optical wireless communication using visible light. This standard defines only two layers, physical layer (PHY) and medium access control layer (MAC), in OSI 7-layers model [2]. The PHY layer is responsible for controlling light transceiver along with signal-level control mechanism. Three types of PHY layer are supported, which are different in spectrum frequency band, data rate and optical clock rate. The PHY I is intended for outdoor use with low data rate applications. This mode can support a data rate up to 266.6 kbps. The PHY II is intended for indoor use with moderate data rate applications. It uses on-off keying or variable pulse position modulation as a modulation scheme with higher optical rate up to 120 MHz. This mode can support data rate up to 96 Mbps. The last mode, PHY III, is intended for application using multiple light sources and detector that can gain advantage from band-hopping to avoid interference. The PHY III uses color-shift keying (CSK) as a modulation scheme with optical rate up to 24 MHz. This mode can support data rate up to 96 Mbps.

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

The MAC layer handles all accesses to the PHY layer using superframe structure. The superframe composes of several slots, including active period, beacon, contention access period (CAP) or Contention free period (CFP), and inactive period. The beacons are used to synchronize end devices to the coordinator device. When any end device wants to communicate with the coordinator, it might have to compete with other devices via random access during a contention access period. On the other hand, for the end device that requires specific data bandwidth, the dedicate portions, called guaranteed time slots (GTSs), are assigned by a coordinator device during a contention free period.

The other standard called CP1223 was issued by the Japan Electronics and Information Technology Industries Association (JEITA), Japan. This standard prescribes the unidirectional communication system with visible light as a medium for multimedia applications. The visible light beacon transmitter can transmit information either arbitrary data or an ID code. Optical wavelengths of this standard are around 380 – 780 nm with data rate of about 4.8 kbps. The modulation techniques used in this system is inverted 4 pulse position modulation (I-4PPM). The transmission frame structure consists of a preamble (PRE), frame-type (F-TYPE), payload and cyclic redundancy check (CRC-16). The payload may contain ID information and/or 128-bits data. This standard can be applied for various multimedia applications, such as the transmission of advertisements or the security information from illuminated advertising board, emergency exit signs, where Content ID is sent from an LED light and various location-dependent contents directly from the light.

4. Recent Researches in Thailand

In the past five years, many researchers in Thailand have focused on the VLC technology. For example, researchers at the faculty of engineering, Chulalongkorn University and the national electronics and computer technology center (NECTEC) presented channel modeling of visible light communication [5]. Moreover, they proposed an indoor positioning system for LEDs based on received signal strength and fingerprinting in order to estimate the position of the receiver [6]. On the other hand, at the industrial robot research and development center, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, researchers have proposed an indoor positioning system for robot localization. They proposed an integrated angle of arrival-received signal strength (AOA-RSS) localization method using the VLC. It has been implemented to achieve high accuracy for robot localization with a small error approximation of a few centimeters [7]. The alternative technique for location estimation using spread spectrum has been proposed by researchers from the faculty of engineering, Sripatum University. This technique embeds the Gold sequence to LED lamp, which can distinguish from other sequences by using the correlator [8]. The study on handover in visible light communication was reported by researchers at the faculty of engineering, Naresuan University [9]. In addition, Researchers at the Bangkok University center of research in optoelectronics, communications and control systems (BU-CROCCS), school of engineering, Bangkok University has concentrated mainly on low cost transceiver design supporting both digital and analogue intensity modulation formats. The transceiver has been designed to support VLC over dimmable light. A software defined approach has been used for the implementations of the modulation and coding schemes to improve the quality of VLC communication links. They also present an application of software defined communication systems to transmit location information of displaying item in a smart museum [10]. Application of LED for health has been focused by researchers at Rajamangala University of Technology Isan and demonstrated at the 7th Rajamangala University of technology conference [11].

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

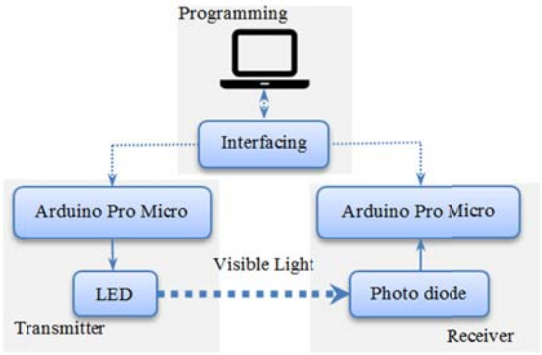


Figure 3. System overview.

To accelerate the VLC technology development in Thailand, both fundamental research and technology implementation have to be developed at the same time. The VLC development kit that in compliance with CP1223 standard has been developed by inter-University co-operation, Sripatum University, Nakhon Pathom Rajabhat University, Rajamangala University of technology Isan, King Mongkut's University of technology north Bangkok and NECTEC, in order to accelerate the product time to market for industrial partners. Not only the inter-University co-operation has been set up, but also Thai VLC consortium, called LED-SmartCon, has been established by ECTI Association. The LED-SmartCon aims to promote the LED for communications, industrial applications, and health, among researchers, students, and industrial partners. One of LED-SmartCon activity is to promote VLC by arranging a meeting for researchers, students, and industrial partners from all around Thailand. The website and social media are also set up for LED-SmartCon, which can be found at http://led-smartcon.org/, https://www.facebook.com/VisibleLightThailand, and http://dept.npru.ac.th/vlc.

5. VLC Development Kits

To accelerate the VLC technology development, the guideline of development platform both hardware and software are needed. Therefore, the VLC development kit in compliance with the CP1223 standard has been developed in order to accelerate the production time to market for industrial partners. The development kit consists of two parts, namely the hardware and the software. In the hardware design, the ease of use and cost of building or development work have been taken into account. The ease of use has made the selection of Arduino microcontroller in order to start the development of optical communication products quickly and easily. The selected Arduino microcontroller model used in this design is Arduino Pro micro (mini Leonardo), which is popular among developers and it is small and affordable. This Arduino Pro micro is employed to control the operation of electronic hardware. In the software or programming part, the structure of the program is made clear and easy to edit. Moreover, we are also preparing all source codes so as to demonstrate a large number of applications.

The wireless optical development kits consist of a wireless transmitter and receiver kits as shown in Figure 3. Both devices have the same hardware that can be configured to be a transmitter or a receiver module. Each development board equipped with a main board, a microcontroller Arduino Pro micro (mini Leonardo), and the extensions that are supported input and output as illustrated in Figure 4. The block diagram of the development board is also given in Figure 5. The processing equipment and a controlling device utilize the Arduino Pro micro

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

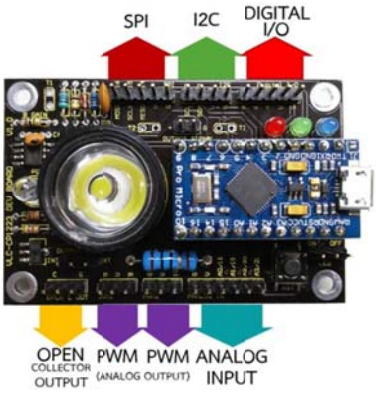


Figure 4. A development board.

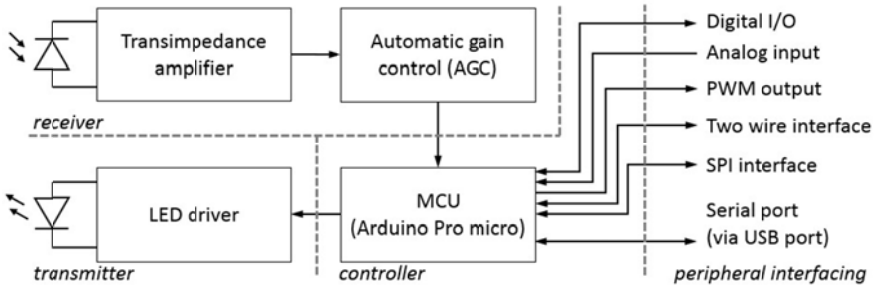


Figure 5. Block diagram of the development board.

microcontroller that has to be programmed differently. For the transmitter board, the information signal generated from the microcontroller is fed to a transmitting circuit that is connected to the LED light source device. The information is transmitted via the illumination of the emitted light by the LED driver circuit on the development board.

At the receiver, the signal is retrieved by using a photo diode with an amplifier and then passes through the microcontroller, which is programmed to decode the transmitted sequences. The operation of the control system for this wireless optical communication can be done by microcontroller software programming through a computer via an interface board.

To control the microcontroller Arduino Pro micro (mini Leonardo), the Arduino IDE program is used. This Arduino IDE program is an open source that is developed for programming and uploads the program sketch to the microcontroller device. The Arduino IDE can be downloaded at https://www.arduino.cc/en/Main /Software. The microcontroller programs are developed by the two major parts, namely the main program and the function library. Generally, the main program is used to control the development board, including commands to control variables, registers and ports, and command sequence control functions to control the program procedure. Moreover, the program that controls the basic level, which is called the function library, VLC_CP1223_QSC.h, is written separately from the main program and will be run when needed. This function library is written to declare addressing, the list of critical functions, constants and variables of the transmitter and the receiver.

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

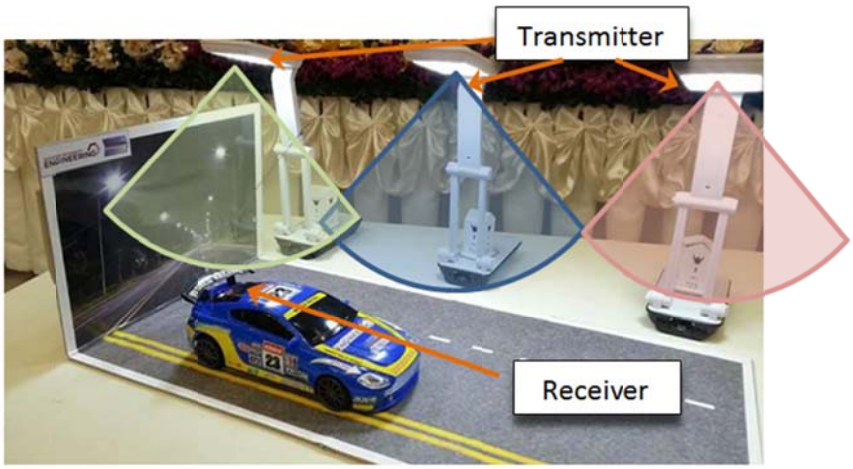


Figure 6. Broadcasting information from street light application.

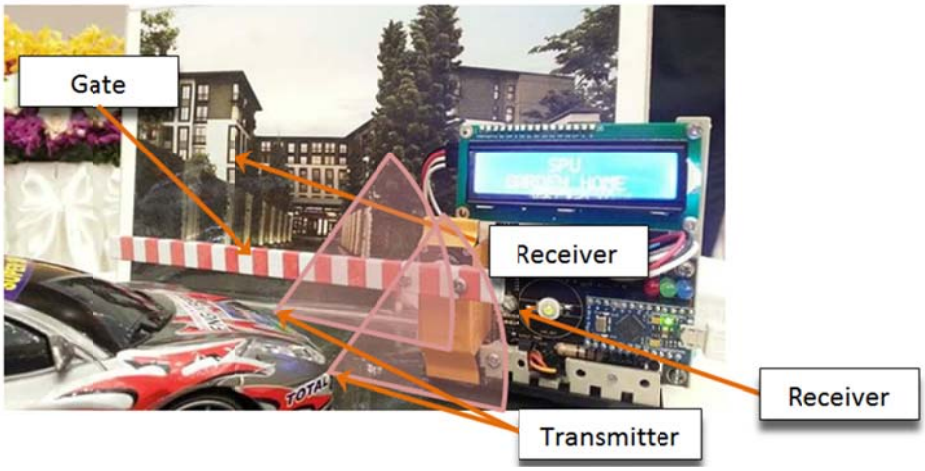


Figure 7. Gate control application.

Examples of implementation by using VLC Development Kits are shown in Figure 6 to Figure 9. Figure 6 demonstrates three different visible light data from three street light models. The photo diode receiver is installed on the car model when the signal from the street light model above the car, the VLC signal is demodulated and decoded. After moving the car to the other street light, the different information from the next transmitter is then obtained. Therefore, this can be used to broadcast information by using street light. Figure 7 demonstrates the vehicle gate control application. The VLC system is installed on the car model that can transmit the gate-open code from the car front light. When the car is closed to the gate, the receiver will receive the gate-open code from the front light. If the gate-open code is correct, then the gate will be opened. Moreover, the smart museum application is displayed in Figure 8. The VLC system is installed in the flood light to broadcast the object's identity. When the VLC receiver receives the data from the floodlight, the receiver will demodulated and decoded to get the information and command the audio player module to play the audio file on the memory card. This can be

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

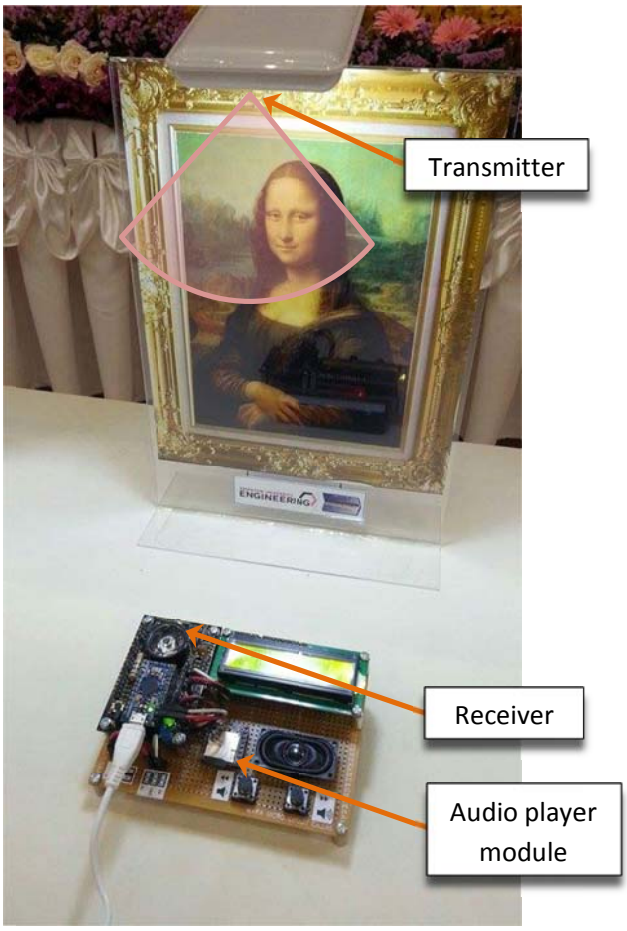


Figure 8. Smart museum application

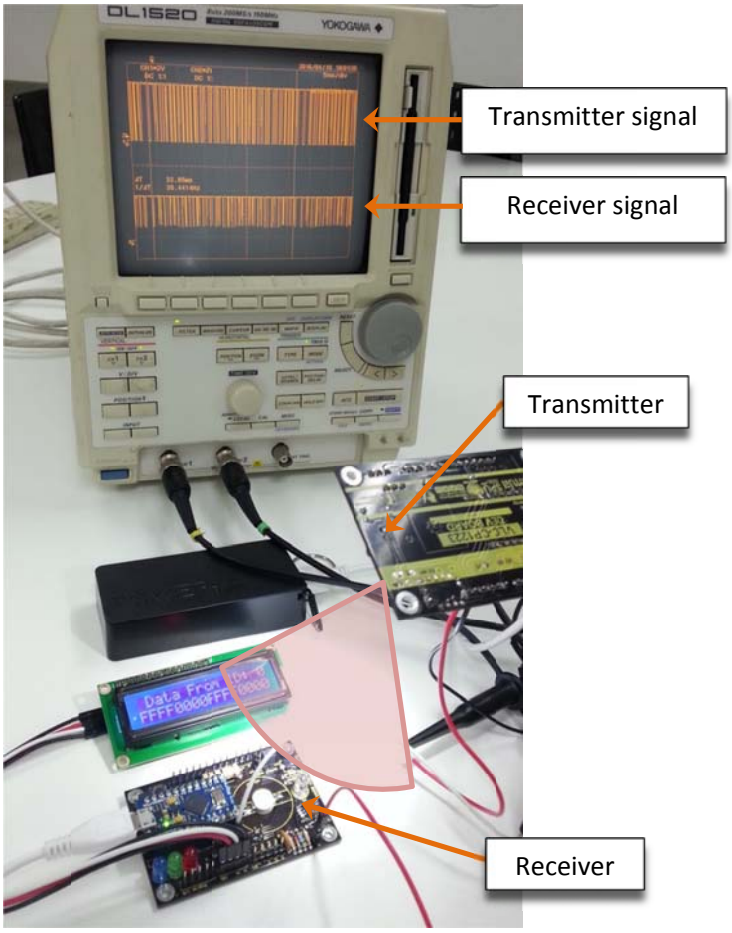


Figure 9. Signal measurement

used in the smart museum that each flood light can represent the object's identities and the visitor who want to get the information of the displayed object only need to take the receiver be shined under the object's flood light. Finally, the signal of both transmitter and receiver of the VLC development kits is measured and shown in Figure 9.

6. Conclusions

As we rapidly run out of radio spectrum, VLC could be an alternative technology to support the Internet of Things age. Applications on VLC can be classified into four groups based on indoor/outdoor with low/high bitrate. For indoor, the VLC could use the existing infrastructure of the lighting system to transmit visible light beacon or data frame along with illumination. For outdoor, VLC can be used in the intelligent transportation systems by providing communication between car to car and car to road infrastructure. Currently, Thai VLC consortium, namely LED-SmartCon, has been established by ECTI Association to accelerate both VLC fundamental research and technology implementation in Thailand. The LED-SmartCon aims to promote the LED for communications, industrial applications, and health, among researchers, students, and industrial partners. Furthermore, the VLC

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

development kit has been developed by SARGMET researchers, which could be used to expedite the production time to market for industrial partners. The guideline of development platform both hardware and software for CP1223 standard has been introduced to accelerate the development of VLC technology in Thailand.

7. Acknowledgements

This work is supported by NBTC grants T3-001/1-57 under the project "Visible Light communications for Thailand: Technology Transfer, Human Resource Development, Industrial Standard Survey, and Its Publications"

8. References

[1] JEITA, JEITA visible light communication standards, Information on http://www.jeita.or.jp/cgi-bin/standard_e/list.cgi?ateid=1&subcateid=50. (Accessed 26/6/2015).

[2] IEEE Computer Society, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light (IEEE Std 802.15.7TM-2011), New York, The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2011.

[3] Rosenkrantz E. and Arnon S., An innovative modulating retro-reflector for free-space optical communication, SPIE Optical Engineering + Applications, International Society for Optics and Photonics, 2013.

[4] Borogovac T., Rahaim M. B., Tuganbayeva M., and Little T. D., Lights-off visible light communications, In Proceedings of 2nd IEEE Globecom 2011 Workshop on Optical Wireless Communications, 2011, pp. 797-801.

[5] Saadi M., et al., Visible light communication: opportunities, challenges and channel models, International Journal of Electronics & Informatics, 2.1 (2013): 1-11.

[6] Bajpai A., et al., A Novel Two Dimensional Visible Light Positioning System Based on Received Signal Strength and Bi-literation, The 29th international technical conference on circuits/systems, computers and communications (ITC-CSCC 14), 1-4 July 2014, Phuket, Thailand, pp. 900-903.

[7] Nguyen, Ngoc-Tan, et al., Design and simulation of a novel indoor mobile robot localization method using a light-emitting diode positioning system, Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2015.

[8] Intachuen S., Nantivatana P., and Kocharoen P., Indoor Location Estimation using Gold Sequences Modulation of Light Emitting Diodes, The 29th international technical conference on circuits/systems, computers and communications (ITC-CSCC 14), 1-4 July 2014, Phuket, Thailand, pp. 889 – 893.

[9] Thai-Chien B., et al., LEDs configuration method for supporting handover in visible light communication, The 2014 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2014), 2014, pp.1-6.

[10] Information on http://bucroccs.bu.ac.th/

[11] Information on http://www.rmutcon.rmuti.ac.th/index.php/th

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

Biography

Associate Professor Dr. Kocharoen has been working as a lecturer with the Sripatum University since 1999. He graduated in B.Eng. (Electrical), M.Eng (Communications), and D.Eng (Telecommunications) in 1997, 1998, and 2006 respectively. He received best faculty award for young researcher and best faculty award in academic in 2009 and 2013 respectively. He has been serving to several professional organizations for many years including Thai Embedded System Association (TESA) and IEEE ComSoc (Thailand). He is currently an IEEE senior member and ECTI member.

Petch Nantivatana has been working as a lecturer with the Sripatum University. He graduated in B.Eng. (Electrical) from Sripatum University and M.Eng (Electronics) from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), in 2000 and 2005 respectively. His current research interests include microwave ablation, signal and image processing, embedded system, wireless sensor network and visible light communication.

Kata Jaruwongrungsee received his B.Eng. (electronics), M.Eng. (electronics) and D.Eng. (Electrical) from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, in 2003, 2005, and 2015 respectively. He has been working as a Researcher in Nanoelectronics and MEMS Laboratory, National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), Thailand, since 2006. His research is mainly focused on chemical and biological sensing technology.

Termpong Srited has been working as a lecturer with the Sripatum University since 2001. He graduated in B.Eng. (Electrical) in 1998.

Assistant Professor Dr. Wannaree Wongtrairat was born in Nakhonratchasima, Thailand. She received the B.Eng. and M.Eng. degrees in telecommunications engineering in 2000 and 2003, respectively, and D.Eng. degree in Electrical Engineering in 2009 from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand. She is a lecturer at the Department of Electronics Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima. Her research interests wireless communications, digital signal processing, and electronic application device for agricultures.

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ ECTI
ECTI e-magazine
ISSN: 2286-7074

Associate Professor Dr.Piya Kovintavewat received the B.Eng. summa cum laude from Thammasat University, Thailand (1994), the M.S. degree from Chalmers University of Technology, Sweden (1998), and the Ph.D. degree from Georgia Institute of Technology (2004), all in Electrical Engineering. He currently works at Nakhon Pathom Rajabhat University. His research interests include coding and signal processing as applied to digital data storage systems. Prior to working at NPRU, he worked as a research assistant at National Electronics and Computer Technology Center (1999), both in Thailand. He also had work experiences with Seagate Technology, Pennsylvania, USA (summers 2001, 2002, and 2004).

ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัย
เรื่อง

Visible Light Communication Development Kits Compliant to CP1223 Standard

Visible Light Communication Development Kits Complianted to CP1223 Standard

Petch Nantivatana[1], Kata Jaruwongrungsee[2], Termpong Srited[1], Piya Kovintavewat[3], and Preecha Kocharoen[1]
[1] Study and Applied Research Group on Microcontroller, Electronics and Telecommunications: SARGMET,
Faculty of Engineering, Sripatum University, 2410/2 Phaholyothin Road, Jatujak, Bangkok, Thailand, 10900
[2] Nanoelectronics and MEMS Laboratory, National Electronic and Computer Technology Center (NECTEC), Thailand.
[3] Data Storage Technology Research Center, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand
E-mail: [1]petch.na@spu.ac.th, [2]kata.jaruwongrungsee@nectec.or.th, [3]piya@npru.ac.th

Abstract:
The guideline of development platform both hardware and software for CP1223 standard has been introduced to accelerate the development of visible light communication (VLC) technology in Thailand. This development kit was developed by SARGMET researchers, which could be used to expedite the production time to market for industrial partners. The hardware is developed from the Arduino Pro micro (mini Leonardo) microcontroller, which is used to control a driver and a receiver circuit of the LED light source and the photo diode. The development kit also provides the microcontroller software scripts to create and control the I-4PPM modulation and serial data formatting according to the CP1223 standard defined. This can reduce the time to develop the VLC products with the ease of use and low complexity.

1. Introduction

A visible light communication (VLC) technology can utilize the solid state lights, i.e., LED lights to transmit data via light intensity together with illumination. The LED lamps could be installed on the ceiling for illumination covered all places in a building, including room and corridor, or installed in an illuminated advertising board or an emergency exit sign. Information can be retrieved from the LED light based on light intensity. Recently, there are several standards related to VLC. The CP1223 standard [1] was proposed by the VLC consortium, Japan, which prescribes the unidirectional communication system with visible light as the medium for multimedia applications. In addition, the institute of electrical and electronics engineers (IEEE) defines an IEEE 802.15.7 standard [2] for short-range optical wireless communication using visible light. This standard defines only two layers, physical layer (PHY) and medium access control layer (MAC) in the OSI 7-layers model.

To accelerate the VLC technology development, the guideline of development platform both hardware and software are needed. Therefore, the VLC development kit that in compliance with CP1223 standard has been developed in order to accelerate the production time to market for industrial partners. This paper focuses only on the VLC development kit based on the CP1223 standard.

2. CP1223 Standard

The CP1223 standard is introduced for a visible light beacon system for multimedia applications. Generally, it describes a unidirectional communication system with visible light as a medium. The communication model for this standard is simple, consisting of two types of devices,

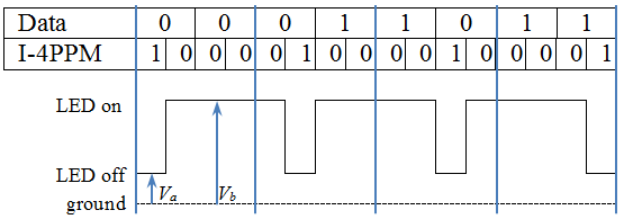


Figure 1. I-4PPM signal waveform.

which are visible light transmitter and visible light receiver. The light transmitter can transmit information either arbitrary data or an ID code in a beacon frame form through a lower communication layer, while the light receiver receives information beacon directly from the transmitter and then decodes to retrieve the information. The lower communication layer in the CP1223 standard composes of two layers, which are a physical layer and a frame layer. However, data or ID code are in the higher communication layer that is not included in the CP1223 standard.

2.1 Physical layer

An optical wavelength of this system is around 380 – 780 nm with data rate of 4.8 kbps and its tolerance of data rate shall be no more than 0.5%. The transmission system for modulation of visible light is Inverted - 4 Pulse Position Modulation (I-4PPM) as shown in Figure 1. In the Figure 1, the voltage signal in 'LED on' stage is V_b, while the voltage signal in 'LED off' stage is V_a.

2.2 Frame layer

In frame layer or data link layer, the frame consists of start of the frame (SOF), payload, and end of frame (EOF). The SOF composes of the preamble (PRE) and the frame-type (F-TYPE), where the payload contains ID information and/or data. The EOF is the cyclic redundancy check (CRC-16). The 20 octets frame structure of CP1223 is shown in Figure 2. The 6-bits preamble is divided into 3 of '1' and 9 of '0' pulses to create optical pulses as shown in Figure 3. This preamble is different from all I-4PPM code; therefore, it can be used to classified the start of frame from the received sequences.

After a preamble sequence, the type or the purpose of the data payload usage is shown with 8 bits length. For experimental purpose, the frame type is set to '00h'. In the payload segment, ID code or data can be transmitted up to 128 bits. Both ID code and data can be transmitted all together in the payload segment or they can be transmitted individually. If both ID code and data are transmitted together, the total length of the payload is still strictly 128 bits.

Start of Frame (SOF)		Payload	End of Frame (EOF)
PRE (6 bits)	FTYPE (8 bits)	ID/DATA (128 bits)	CRC-16 (16 bits)

Figure 2. Frame structure.

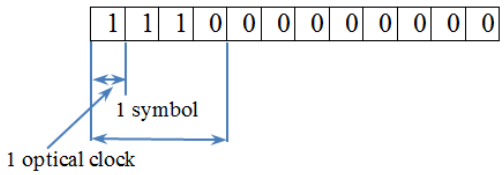


Figure 3. Preamble sequence.

At the end of frame, 16-bits error checking sequence is calculated from the frame type and payload data using CRC-16 generator polynomial ($x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$).

The CP1223 frame length is 158 bits, which are encoded using I-4PPM as illustrated in Figure 1. Between two consequences transmitting frames, the transmitter should send something to avoid flicker. There are two methods to transmit the signals between frames that are transmitting all 128-bit data with '0' or adjusting the signal voltage to the specific voltage level ($V_b' = V_a + (3\ V_b / 4)$ V).

3. CP1223 Development Kits

An optical wireless communications development kit consists of two parts, namely the hardware and the software. In the hardware design, the ease of use and cost of building or development work has been taken into account. The ease of use has made the selection of Arduino microcontroller, in order to start the development of optical communication products quickly and easily.

The selected Arduino microcontroller model to use in this design is Arduino Pro micro (mini Leonardo), which is popular among developers and it is small and affordable. This Arduino Pro micro is used to control the operation of electronic hardware. In the software or programming part, the structure of the program is made clear and easy to edit. Moreover, we are also preparing all source codes so as to demonstrate a large number of applications.

3.1 Specifications

Optical wireless communications devices have been developed in accordance with the CP1223 standard to control the LED emitting visible light along with signal transmission. At the receiver, the received light is converted back to an electrical signal using a photo diode. The hardware features of the development kits are shown below.

- Arduino Pro micro (mini Leonardo) 2 boards
- Interface boards 2 boards
- 16 MHz clock frequency
- Input voltage 5 V (if the RAW pin, can be 6 - 20 V)
- current output = 50 mA
- 2 × PWM output port, 4 × analog and 3 × digital input ports, 1 × I^2C and 1 × SPI port
- Software Arduino bootloader
- LED High Brightness 1W, I_f = 350 mA, V_f = 3.4 V, Luminous Intensity = 100 lm
- Silicon PIN Photodiode SFH213, V_R = 5 V, Responsivity = 0.65 A/W, Wavelength range 400 - 1100 nm, $t_r = t_f$ = 5 ns, sensitivity area = 1 mm^2.

3.2 System Overview

The wireless optical development kits consist of a wireless transmitter and receiver kits as shown in Figure 4. Both devices have the same hardware that can be configured to be a transmitter or a receiver module. The processing equipment and a controlling device use the Arduino Pro micro microcontroller that has to be programmed differently. For the transmitter board, the information signal, which is generated from the microcontroller, is fed to transmitting circuit that is connected to the LED light source device. The information is transmitted via the illumination of the emitted light.

At the receiver, the signal is retrieved by using a photo diode with an amplifier and then passes through the microcontroller, which is programmed to decode the transmitted sequences. The operation of the control system for this wireless optical communication can be done by microcontroller software programming through a computer via an interface board.

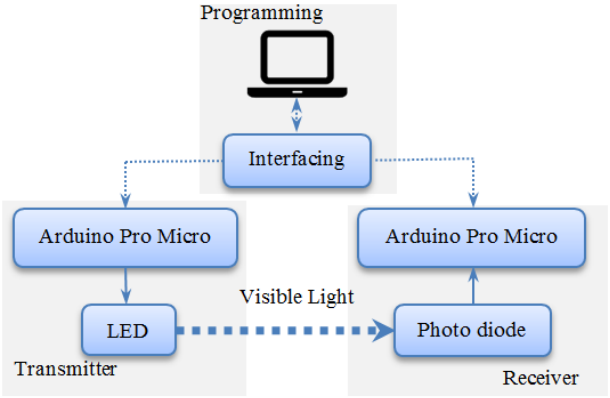


Figure 4. System overview

3.3 Details of the development board

A development board equipped with a main board, a microcontroller Arduino Pro micro (mini Leonardo), and the extensions that are supported input and output as shown in Figure 5. The block diagram of the development board is also shown in Figure 6.

For transmitting light signal, the signal from a microcontroller is sent to control the illumination of the LED lamp via the LED driver circuit on the development board. On the other hand, the reception of visible light signal is passed to the microcontroller on the development board via the photo diode and the light receiver circuit. After the signal is received, the microcontroller will calculate and retrieve the transmitted signal back.

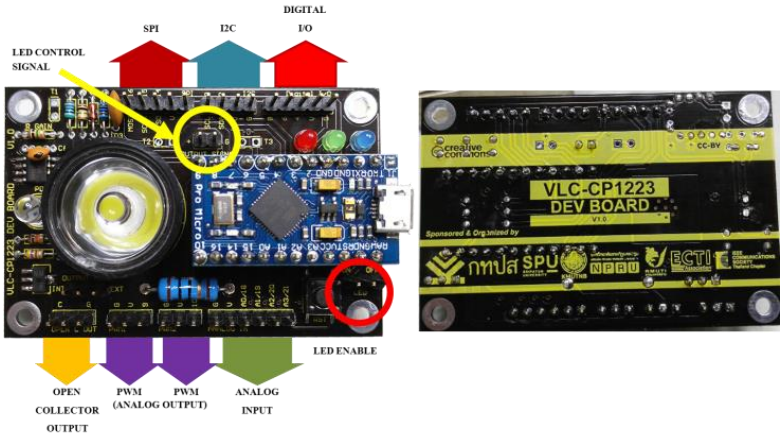


Figure 5. Development board (front - back)

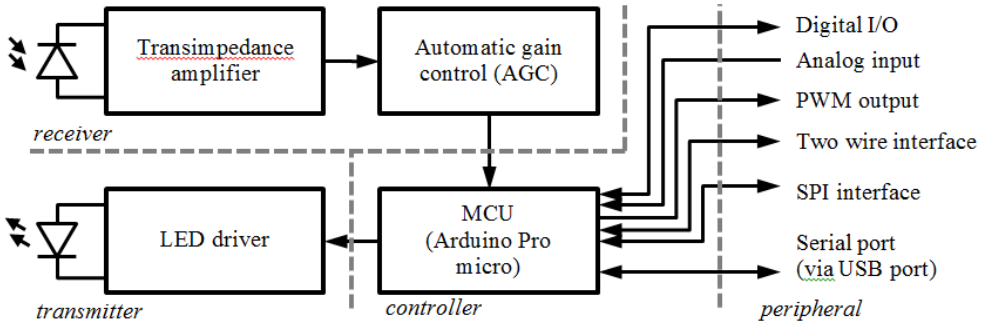


Figure 6. Block diagram of the development board

3.4 Details of the Microcontroller Programming

To control the microcontroller Arduino Pro micro (mini Leonardo), the Arduino IDE program is used. This Arduino IDE program is an open source that is developed for programming and uploads the program sketch to the microcontroller device. The Arduino IDE can be downloaded at https://www.arduino.cc/en/Main/Software.

The microcontroller programs are developed by the two major parts, namely the main program and the function library. Generally, the main program is used to control the development board, including commands to control variables, registers and ports, and command sequence control functions to control the program procedure. Moreover, the program that controls the basic level, which is called the function library, VLC_CP1223_QSC.h, is written separately from the main program and will be run when needed. This function library is written to declare addressing, the list of critical functions, constants and variables of the transmitter and the receiver.

3.5 Usage Examples

Examples of the microcontroller programs on both the transmitter and the receiver side are written in order to send and receive data over the visible light according to the CP1223 standard. The examples of programs are developed to show, in details, the separate development of the transmitting and receiving program scripts that are listed in the Figure 7 and Figure 8 respectively.

```
/*
  Example  Transmit VLC-CP1223 DATA

  Credit:
  This work used the VLC-CP1223 driver-code VLC_CP1223_QSC.h
  "VLC-CP1223 QUICK STARTER CODE", Kata Jaruwongrungsee, CC-BY
  Which is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0
International License.
  To view a copy of this license, visit
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
*/

#include"VLC_CP1223_QSC.h"  //Add this file & include it first
void setup()
  startVLC_OUT(5);  //SET VLC_out PIN (default = 5)
                    //PWM PIN IS NEEDED (3,5,6,9,10 for Leonardo)
  char data[] ={(char)0x1b,(char)0x1b,(char)0x1b,(char)0x1b,
                (char)0x1b,(char)0x1b,(char)0x1b,(char)0x1b,
                (char)0x1b,(char)0x1b,(char)0x1b,(char)0x1b,
                (char)0x1b,(char)0x1b,(char)0x1b,(char)0x1b};
  setupMessage((char) 0, data); //SET MESSAGE TO SEND
//--->> FUNCTION: setupMessage(FTYPE(1 byte), DATA(max 16 byte))
}
void loop()
{
//--->> TRANSMIT DATA - FUNCTION: transmitALL();
    transmitALL();
}
```

Figure 7. Transmitting program scripts

4. Experimental Results

The transmitting and receiving signals of the development modules that are configured to be the transmitter and receiver are shown in Figure 9. The transmitted signal is in the upper trace and the received signal is in the lower trace of the oscilloscope. The details of the transmitted signal are shown in Figure 10, which are in the I-4PPM format with 6-bits PRE, FTYPE = 00h (00h = 0000 0000b and I-4PPM = 1000 1000 1000 1000), Data = 1B1B1B1B1B1B1B1Bh (1Bh = 0001 1011b and I-4PPM = 1000 0100 0010 0001)

```
/*
  Example 2 Show Received VLC DATA(CP1223) on Serial Port
  Show Received VLC DATA on Serial Port
  Credit:
  This work used the VLC-CP1223 driver-code VLC_CP1223_QSC.h
  "VLC-CP1223 QUICK STARTER CODE", Kata Jaruwongrungsee, CC-BY
  Which is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0
International License.
  To view a copy of this license, visit
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
*/
#include"VLC_CP1223_QSC.h"  //Add this file & include it first
void setup()
{
  startVLC_IN(7);   //SET VLC_IN  PIN (default 7);
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  //Main Function is "VLCread()"
  //which return 1(integer) when data is correct
  //and return 0(integer) when no data detected
  //IF DATA IS DETECTED PAYLOAD_IN[0-17] (byte) will be updated
  //PAYLOAD_IN[0] = FTYPE, ID
  //PAYLOAD_IN[1-17] = MESSAGE
   if(VLCread()==1) //<<----- VLC Signal Detecting
      {
      printMESSAGE_IN();   //Print Message (ID+Message);
      }
}
```

Figure 8. Receiving program scripts

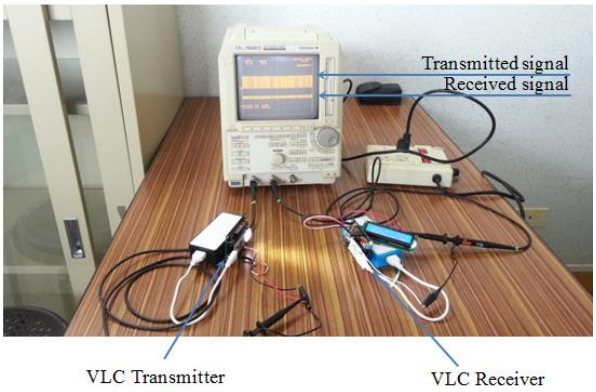


Figure 9. Experiment in the transmitting and receiving

and 16-bits CRC. From the measurement, the optical clock pulse is exactly 104 μs, which can perform 4.8 kbps data transmission with less than 0.5% tolerance of data rate. In addition, the transmitted frame period of 158-bits length is 32.864 ms. In the receiver side, the received signal is obtained from the silicon PIN photodiode SFH213 and passed through the amplifier to the microcontroller and then the information is recovered.

5. Conclusion

The VLC wireless optical communications development kit compliant to the CP1223 standard composes of hardware and software. The hardware is developed from the Arduino Pro micro (mini Leonardo) microcontroller, which is small, inexpensive, widely used, and easy to get started. The microcontroller is used to control the driver and receiver circuit of the LED light source and the photo diode.

On the other hand, the software scripts are programmed into the microcontroller to create and control the I-4PPM modulation and the serial data formatting according to the CP1223 standards defined. The development kit will be able to reduce the time to develop the VLC products with the ease of use and low complexity.

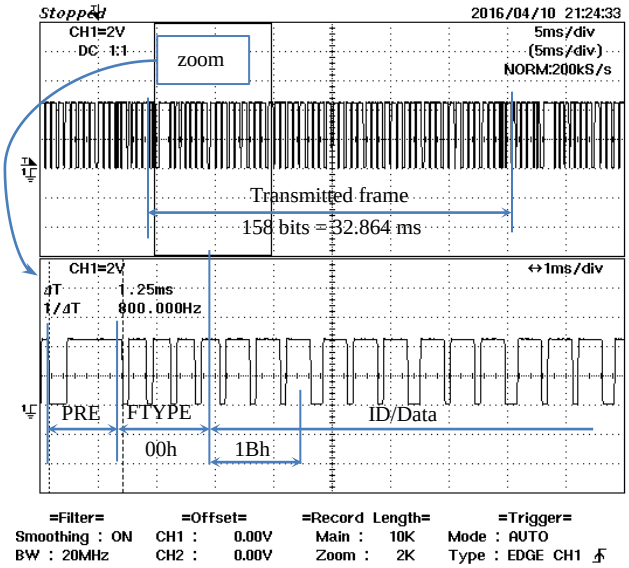


Figure 10. The transmitted signal waveform

Acknowledgements

This work is partly supported by NBTC grants T3-001/1-57 under the project entitled "Visible Light communications for Thailand: Technology Transfer, Human Resource Development, Industrial Standard Survey, and Its Publications."

References

[1] JEITA, JEITA visible light communication standards, URL: http://www.jeita.or.jp/cgi-bin/standard_e/list.cgi? ateid=1&subcateid=50. [Accessed 26/6/2015]

[2] IEEE Computer Society, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks—Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light (IEEE Std 802.15.7TM-2011), New York, The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2011.

ภาคผนวก ง

ผลงานวิจัย

เรื่อง

การสื่อสารไร้สายระยะใกล้ด้วยแสงที่มองเห็น : เทคโนโลยี การพัฒนา และการขับเคลื่อน

การสื่อสารไร้สายระยะใกล้ด้วยแสงที่มองเห็น : เทคโนโลยี การพัฒนา และการขับเคลื่อน
Short-range wireless communication with visible light: Technology, Development and Technology-Driven

[1]ปรีชา กอเจริญ [2]ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ [1]เพชร นันทิวัฒนา
[3]คทา จารุวงศ์รังสี [1]เติมพงษ์ ศรีเทศ [1]นริศ เสริมปรุงสุข และ [4]วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์

บทคัดย่อภาษาไทย

การนำการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น หรือวีแอลซีไปประยุกต์ร่วมกับวิธีการสื่อสารที่ในภาคอุตสาหกรรมใช้กันอยู่อย่างกว้างขวางอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น เป็นแนวทางหนึ่งที่กลุ่มวิจัยนำเสนอที่สามารถสร้างทางเลือกของเทคโนโลยีการสื่อสารให้กับภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้การลดเวลาในการพัฒนานวัตกรรมหรือสิ่งประดิษฐ์ที่ประยุกต์ใช้การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นด้วยชุดพัฒนาที่ทางกลุ่มวิจัยได้พัฒนาขึ้นก็เป็นอีกหนึ่งในแนวทางหนึ่งที่ส่งเสริมการใช้งานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นให้แพร่หลายมากขึ้น จากแนวทางที่กล่าวมากลุ่มผู้วิจัยได้ทดลองประยุกต์การส่งสัญญาณด้วยโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารแสงที่มองเห็น เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือเครื่องจักร และลดปัญหาการส่งผ่านข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงได้ โดยใช้ชุดพัฒนาที่ทางทีมวิจัยได้พัฒนาขึ้นเพื่อควบคุมพัดลมไฟฟ้า โดยผลการทดลองสามารถทำได้ตรงตามที่สั่งการควบคุมผ่านหน้าจอควบคุมแบบเอชเอ็มไอทุกประการ

Abstract

Bringing visible light communication in conjunction with the existing communication methods is one of the guideline methods that the research group present. This conjunction method can be an alternative communication technique to gain better performance for the industrial sector. In addition, to reduce development time for innovative applications with visible light communication, the research group has developed visible light communication development kits to promote visible light communication to more widespread. From the above guideline, the researchers applied a MODBUS communication protocol via visible light for adding flexibility in communication between devices or machines. The visible light communication can reduce the transmission errors in environments with high electromagnetic interference. Using the development kit as the protocol converter, the researchers can control electric fans via command on HMI controlled screen of the PLC devices.

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 Email: preecha.ko@spu.ac.th
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[3]ห้องปฏิบัติการวิจัยนาโนอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องกลจุลภาค ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค)
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน

ความเป็นมาหรือความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น หรือวีแอลซี (Visible Light Communication, VLC) จะไม่สามารถทำให้แพร่หลายและมีผู้นำไปใช้ในวงกว้างได้หากทำโดยการพยายามพัฒนาเทคโนโลยีโดยลำพัง เนื่องจากไม่มีเทคนิคหรือวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่เหนือกว่าทุกๆเทคนิคในทุกด้าน การสื่อสารบางเทคนิคอาจมีจุดเด่นในบางเรื่อง แต่ก็อาจมีจุดด้อยในบางเรื่องเช่นเดียวกัน หนึ่งในวิธีการที่สามารถเป็นแรงผลักดันให้การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นมีการใช้งานที่แพร่หลายได้คือการนำไปประยุกต์ร่วมกับวิธีการสื่อสารที่ในภาคอุตสาหกรรมใช้กันอยู่อย่างกว้างขวางอยู่แล้ว ซึ่งจะเป็นการนำไปใช้ในการเสริมจุดด้อยที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างหนึ่งที่อาจเป็นแนวทางที่เสริมในการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นในภาคอุตสาหกรรมคือการประยุกต์ร่วมกับการสื่อสารในภาคอุตสาหกรรมที่ใช้อุปกรณ์พีแอลซี (Programmable Logic Control) มีการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์พีแอลซีด้วยโปรโตคอลมอดบัส (Modbus) (Modbus, 2004) หากเรานำการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นไปประยุกต์ใช้ในมิติที่เสริมจุดด้อยของการสื่อสาร ก็จะสามารถทำให้เกิดการเลือกใช้การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นในอุตสาหกรรมนั้นได้ อันจะเป็นการผลักดันให้เกิดการใช้งานเทคโนโลยีนี้มากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นยังมีประเด็นของการพัฒนานวัตกรรมหรือเทคโนโลยีใหม่ จำเป็นต้องใช้นักพัฒนาที่มุ่งสู่ปัญหาทางเทคนิกของเทคโนโลยีใหม่ มีความซับซ้อนและใช้ทรัพยากรมาก การมีชุดพัฒนาการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นเพื่อเป็นแม่แบบของการนำไปต่อยอดการสร้างนวัตกรรม จะเป็นการช่วยลดเวลาการพัฒนาลงได้มาก

การสื่อสารแสงที่มองเห็น เป็นการสื่อสารทางเลือกใหม่ที่สามารถเสริมระบบการสื่อสารเดิมที่ใช้สายตัวนำหรือการส่งผ่านด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสื่อสารด้วยสายตัวนำมีข้อดีหลายประการทั้งในด้านเสถียรภาพและความรวดเร็วของการสื่อสาร แต่มีข้อจำกัดด้านกายภาพที่ต้องมีสายตัวนำเชื่อมต่อสัญญาณจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ ส่วนการสื่อสารผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุหรือย่านไมโครเวฟมีความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีความสะดวกในการใช้งาน ไม่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณ ตัวอย่างระบบการสื่อสารผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้แก่ การสื่อสารผ่านดาวเทียม การสื่อสารผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ การแพร่ภาพสัญญาณโทรทัศน์ ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล เป็นต้น และเมื่อการสื่อสารไร้สายผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสะดวก และมีข้อจำกัดต่ำ ความนิยมจึงเพิ่มสูงขึ้นมากอย่างรวดเร็ว ประกอบกับการเติบโตของเครือข่ายสังคมออนไลน์ และการดูวิดีทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เนตเช่น ยูทูป มีการพัฒนาขึ้นอย่างมาก ความต้องการการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรคมนาคมต่างๆจึงมีสูงมากขึ้นตามไปด้วย การพัฒนาเทคโนโลยีของการสื่อสารไร้สายจึงต้องทำการพัฒนาให้มีความสามารถและประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อจะสามารถรองรับความต้องการการสื่อสารของผู้ใช้บริการ เทคโนโลยีใหม่ๆที่เกิดขึ้นมีมากมาย แต่ทุกเทคโนโลยีก็ต้องการใช้คลื่นความถี่ซึ่งมีอยู่จำนวนจำกัดเท่าเดิม มีการยกเลิกการให้บริการระบบการสื่อสารเดิมที่มีประสิทธิภาพในการใช้คลื่นความถี่ต่ำเพื่อการจัดสรรคลื่นความถี่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นการยุติแพร่สัญญาณโทรทัศน์แอนะล็อกและนำคลื่นความถี่กลับมาใช้ใหม่ในกิจการอื่น เป็นต้น เพื่อเพิ่มแถบความถี่สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายใหม่ๆ อย่างไรก็ตามคลื่นความถี่ที่ใช้ก็ยังมีปริมาณจำกัดเช่นเดิม การสื่อสารไร้สายด้วยแสงที่มองเห็นในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380 nm – 780 nm จึงเป็นทางเลือกเพิ่มเติมสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลการสื่อสารในสภาวะที่ช่องทางคลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟถูกใช้อย่างหนาแน่น การสื่อสารไร้สายด้วยแสงที่มองเห็นทำการส่งข้อมูลด้วยการกล้ำความเข้มของแหล่งกำเนิดแสง (Intensity Modulating) โดยอาจใช้แหล่งกำเนิดแสงจากอุปกรณ์แอลอีดี (Light-Emitting Diodes : LEDs) หรืออุปกรณ์เลเซอร์ไดโอด (Laser Diodes : Lds) ที่มีความเร็วมากกว่า การกล้ำความเข้มจะทำที่ความเร็วของการเปลี่ยนแปลงสูงมาก สูงกว่าความสามารถของการรับรู้ของตามนุษย์ (Persistence of the Human Eye)

นอกจากนี้แสงที่มองเห็นสามารถใช้ในการให้ความสว่างแก่พื้นที่ได้ นั่นหมายถึงเทคนิคที่ทำการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นมีความสามารถทั้งด้านการส่องสว่างและความสามารถด้านการส่งผ่านข้อมูลไว้ด้วยกัน จึงทำให้การสื่อสารที่มองเห็นสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การส่องสว่างข้อมูลบนพื้นที่หรือเครื่องจักรการใช้การสื่อสารผ่านป้ายสัญลักษณ์ ป้ายบอกทาง หรือป้ายโฆษณา การส่งข้อมูลผ่านไฟส่องทาง ไฟส่องถนน ไฟสัญญาณไฟส่องสว่างในยานพาหนะ หรือสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น (PracTel, 2014), (Haruyama, 2010)

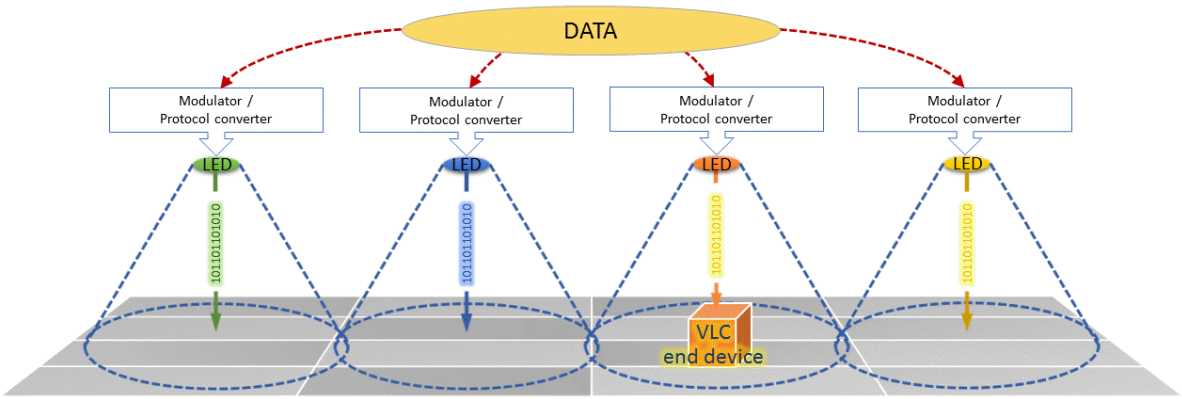
การนำเทคโนโลยีใหม่ด้านการสื่อสารเสริมเข้ากับเทคโนโลยีเดิมที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายอยู่แล้ว เป็นหนทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารให้มากยิ่งขึ้น รวมถึงสามารถลดข้อจำกัดที่เทคโนโลยีเดิมของการสื่อสารมีอยู่ลงไปได้เช่น เดิมในโรงจักร หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรที่กำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การส่งสัญญาณด้วยโปรโตคอลมอดบัสที่นิยมใช้สำหรับการควบคุม และตรวจวัดสัญญาณจากเซนเซอร์จำเป็นจะต้องทำการป้องกันสายตัวนำด้วยการชิลด์ สายตัวนำดังกล่าวจะมีราคาสูงมากขึ้น การติดตั้งจะดำเนินการและมีขั้นตอนมากขึ้นด้วย สำหรับในเครื่องจักรบางประเภทที่มีส่วนเคลื่อนไหว การส่งสัญญาณผ่านจากอุปกรณ์ที่อยู่กับที่ไปยังส่วนที่มีการเคลื่อนไหว การออกแบบเพื่อเชื่อมสัญญาณด้วยสายตัวนำสามารถทำได้ยาก ดังนั้นการส่งผ่านสัญญาณมอดบัสด้วยตัวกลางอื่น เช่นการสื่อสารแสงที่มองเห็นจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ และอีกอุปสรรคหนึ่งในการสร้างนวัตกรรมหรือการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์การสื่อสารนั้นคือความซับซ้อนของโปรโตคอล ที่มีการกำหนดรูปแบบของสัญญาณ รูปแบบของข้อมูล ขนาดของเฟรมข้อมูล ฯลฯ ที่มีลักษณะทางเทคนิคเฉพาะ มีความยุ่งยากและต้องอาศัยความรู้และข้อมูลทางเทคนิคมาก จึงเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้การพัฒนาเป็นไปได้ช้า

บทความนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์โปรโตคอลการควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่างเดิมที่มีอยู่ ร่วมกับมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น เพื่อเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพและการประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารเดิมที่มีอยู่ให้มีมากและหลากหลายยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นหนึ่งในตัวอย่างของแนวทางในการผลักดันให้เกิดนวัตกรรมการประยุกต์ใช้งานงานสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ ให้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังทำการสร้างชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายที่เป็นบอร์ดพัฒนาสำเร็จรูป เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้นักพัฒนาสามารถลดเวลาในการสร้างนวัตกรรมที่ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ให้สามารถทำได้เร็วยิ่งขึ้น ชุดพัฒนาที่สร้างขึ้นทำหน้าที่เป็นส่วนควบคุมกระบวนการการสื่อสาร มีส่วนประกอบสองส่วนคือ ส่วนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และส่วนโปรแกรมควบคุม ตามมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น CP1223 ของประเทศญี่ปุ่น ที่มีรูปแบบการส่งผ่านข้อมูลทิศทางเดียว และมีความซับซ้อนต่ำ ซึ่งจะทำให้การเริ่มต้นการพัฒนานวัตกรรมการสื่อสารทางแสงได้ง่ายและรวดเร็ว และในส่วนฮาร์แวร์ ได้เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นที่นิยมในกลุ่มนักพัฒนาคือ Arduino ในรุ่นที่มีขนาดเล็ก ราคาไม่แพง เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ควบคุมการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น

หลักการพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นคือการควบคุมให้แหล่งกำเนิดแสงทำการเปิดและปิดตามจังหวะของข้อมูลดิจิทัลที่ป้อนเข้ามาสู่ระบบ ซึ่งการเปิดและปิดของแสงจะต้องทำด้วยความเร็วที่สูงพอที่จะไม่มีผลกระทบต่อการรับรู้ของสายตาของมนุษย์ เนื่องจากการสื่อสารที่มองเห็นนั้นใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ส่งข้อมูลที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงเดียวกันกับที่ใช้ในการส่องสว่างโดยทั่วไป หรืออาจพิจารณาได้ว่าแสงที่ให้ความสว่างในพื้นที่หรือบริเวณต่างๆ สามารถแทรกข้อมูลเสริม โดยแฝงร่วมกันมากับความสว่าง และที่อุปกรณ์ตัวรับ อาจเลือกใช้อุปกรณ์โฟโต้ไดโอดทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งจะสามารถกู้คืนสัญญาณข่าวสารกลับมาได้ รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างระบบการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นที่ใช้ภายในอาคาร

ข้อมูลจะถูกป้อนเข้าสู่แหล่งกำเนิดแสงที่โดยทั่วไปแล้วจะใช้หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode: LED) ซึ่งแอลอีดีจะกระพริบตามจังหวะของข้อมูล เมื่ออุปกรณ์ตัวรับแสงได้รับสัญญาณแสงจะทำการเปลี่ยนสัญญาณกลับเป็นข้อมูลอีกครั้ง

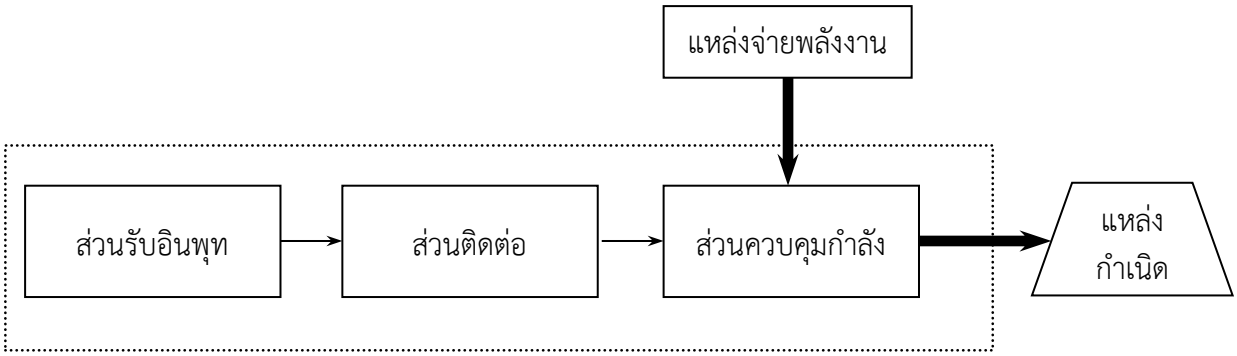


รูปที่ 1 ตัวอย่างระบบการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นที่ใช้ภายในอาคาร

โปรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่าง

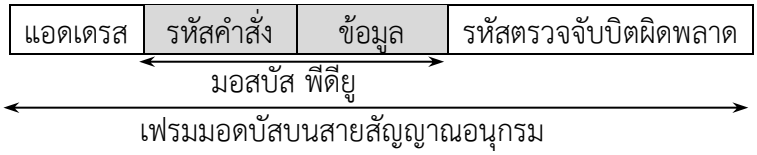
โปรโตคอลการควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่างหมายถึงระบบหรือคำสั่งที่สามารถทำการควบคุมความเข้มของการส่องสว่างที่ตอบสนองจากตัวกระตุ้นที่อาจเป็นสวิทช์กดที่มีสองสถานะ สวิทช์เลื่อนปรับเปลี่ยนหลายสถานะการกระตุ้นในบริเวณที่ต้องการควบคุมจากการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง การรับรู้จากเซนเซอร์วัดการเคลื่อนไหว การหน่วงเวลา หรือการควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น (Modbus, 2004) โดยการควบคุมดังกล่าวจำเป็นจะต้องให้อุปกรณ์ในระบบที่ต้องการควบคุมอยู่ภายใต้โปรโตคอลเดียวกันจึงจะสามารถทำการควบคุมได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ สถาปัตยกรรมอย่างง่ายของโปรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่างประกอบด้วย 1) ส่วนรับอินพุทจากผู้ใช้งาน (user input) มีได้หลายวิธีเช่น สวิทช์ สวิทช์ปรับค่าความต้านทาน เซนเซอร์ชนิดต่างๆ หน้าจอสัมผัส หรือส่วนควบคุมและแสดงผลด้วยกราฟฟิก เป็นต้น 2) ส่วนติดต่อ (interface) เป็นส่วนที่รับค่าจากส่วนรับอินพุทโดยจะเป็นกลไก อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ที่มีระบบการสื่อสารที่สามารถนำสัญญาณจากอินพุทไปควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่างได้ โดยส่วนติดต่อนี้สามารถทำการติดต่ออุปกรณ์เพียงตัวเดียว หรือสามารถติดต่อเพื่อควบคุมอุปกรณ์จำนวนหลายตัวได้และ 3) ส่วนควบคุมกำลัง (power controller) เพื่อควบคุมกระแส แรงดัน และรูปแบบสัญญาณในการป้อนไปยังแหล่งกำเนิดแสง รูปแบบของสัญญาณที่ถูกควบคุมอาจเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ หรือแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างของพัลส์ปรับเปลี่ยนได้ สถาปัตยกรรมอย่างง่ายของโปรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่างแสดงดังรูปที่ 2 โดยโปรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่างที่ได้รับความนิยมมีหลายโปรโตคอล ซึ่งในบทความนี้จะกล่าวถึงโปรโตคอลที่ได้รับความนิยมในภาคอุตสาหกรรมคือโปรโตคอลมอดบัส

บริษัทโมดิคอน (Modicon) พัฒนาโปรโตคอลมอดบัสให้เป็นโปรโตคอลการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่มีความฉลาด มีความสามารถตอบโต้และเรียกดูข้อมูลจากอุปกรณ์ลูกข่ายได้ ในปี ค.ศ. 1979 ซึ่งต่อมาดูแลโดยบริษัทไชนเดอร์อิเล็กทริก (Schneider Electric) มอดบัสเป็นโปรโตคอลที่ใช้มาตรฐานเปิดและได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเป็นอย่างสูง มีผู้ผลิตจำนวนมากให้การรองรับโปรโตคอลมอดบัส และใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ของตน เมื่อมอดบัสเป็นที่นิยม อุปกรณ์จำนวนมากจึงสามารถติดต่อสื่อสารระหว่างกันได้แม้จะต่างผู้ผลิตกัน อุปกรณ์ที่นิยมใช้โปรโตคอลมอดบัสเช่น อุปกรณ์ที่ใช้การตรวจวัดและแสดงผล อุปกรณ์เซนเซอร์ และตัวกระตุ้น รวมถึงการแสดงผลการควบคุมและการตรวจวัดบนเครื่องคอมพิวเตอร์ รวมถึงโรงงานอุตสาหกรรม โรงจักรต่างๆ อาคารสำนักงานอัจฉริยะ ระบบขนส่งมวลชน เป็นต้น (Modicon, 1996)



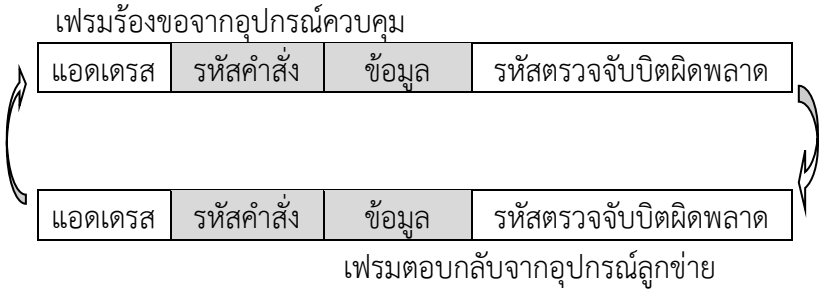
รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมอย่างง่ายของโปรโตคอลควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่าง

สำหรับการใช้งานควบคุมอุปกรณ์ส่องสว่างมอดบัสมีโปรโตคอลการควบคุมอุปกรณ์ด้วยการส่งคำร้องจากอุปกรณ์ควบคุมไปยังอุปกรณ์ส่องสว่าง เมื่ออุปกรณ์ลูกข่ายได้รับสัญญาณก็จะส่งคำตอบรับกลับมายังอุปกรณ์ควบคุม หรือใช้หลักการสื่อสารแบบมาสเตอร์-สเลฟ (master-slaves protocol) ซึ่งจะไม่มีการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์ลูกข่ายไปยังอุปกรณ์ควบคุมหากไม่ได้รับคำร้อง การส่งข้อมูลใดๆจะเป็นการส่งคำร้องขอจากอุปกรณ์ควบคุมไปยังอุปกรณ์ตัวอื่นๆเท่านั้น รวมถึงอุปกรณ์ลูกข่ายจะไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน อุปกรณ์ควบคุมหรืออุปกรณ์มาสเตอร์จะมีเพียงตัวเดียวเท่านั้นในเครือข่ายและไม่จำเป็นต้องมีการระบุแอดเดรส ส่วนอุปกรณ์ลูกข่ายหรืออุปกรณ์สเลฟจะมีได้มากสุด 247 ตัวกำหนดแอดเดรสระหว่าง ‘1 – 247’ มีการกำหนดแอดเดรส‘248 – 255’สงวนไว้ สำหรับแอดเดรส ‘0’ สำหรับการกระจายข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุมไปสู่อุปกรณ์ลูกข่ายทุกตัว อุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์ลูกข่ายทุกตัว ทำการเชื่อมต่อผ่านบัสการสื่อสารอนุกรม (serial bus) การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ในเครือข่ายสามารถทำได้สองโทโพโลยีคือ 1) โทโพโลยียูนิคาส (unicast) อุปกรณ์ควบคุมจะทำการส่งเฟรมพีดียู (Protocol Data Unit, PDU) ไปที่อุปกรณ์ลูกข่ายที่ถูกระบุแอดเดรสไว้ โดยหากส่งข้อมูลด้วยการสื่อสารอนุกรม เฟรมพีดียูจะถูกเพิ่มด้วยแอดเดรสของอุปกรณ์ลูกข่ายในช่วงต้นเฟรม และเพิ่มรหัสตรวจจับบิตผิดพลาดที่ท้ายเฟรมดังแสดงในรูปที่ 3 และ 2) โทโพโลยีกระจายหรือบรอดคาส (broadcast) อุปกรณ์ควบคุมจะส่งข้อมูลคำสั่งไปยังอุปกรณ์ลูกข่ายทุกตัวพร้อมกัน ซึ่งอุปกรณ์ลูกข่ายจะไม่มีการตอบกลับคำสั่ง นอกจากนี้ความยาวของเฟรมสื่อสารโดยรวมของโปรโตคอลมอดบัสจะต้องไม่มากกว่า 256 ไบต์ (Automation, 2002)



รูปที่ 3 เฟรมมอดบัส

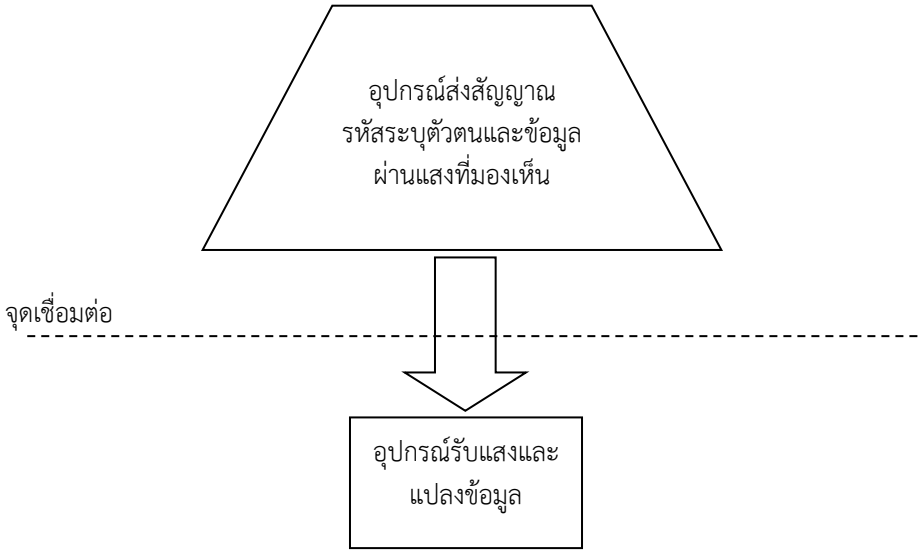
ในโปรโตคอลการสื่อสารมอดบัส อุปกรณ์ควบคุมบนจะเป็นผู้เริ่มต้นการสื่อสารด้วยการส่งเฟรมร้องขอไปยังอุปกรณ์ลูกข่าย ในเฟรมจะทำการระบุแอดเดรสของอุปกรณ์ลูกข่ายที่จะสื่อสารด้วย รหัสคำสั่ง ข้อมูลที่จำเป็นในการทำตามคำสั่งการร้องขอ และรหัสตรวจจับบิตผิดพลาด เมื่ออุปกรณ์ลูกข่ายได้รับเฟรมร้องขอที่มีคำสั่ง ก็จะตรวจสอบความถูกต้องของเฟรม โดยหากข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ควบคุมมีความผิดพลาดและตรวจจับได้จากรหัสตรวจจับบิตผิดพลาด รหัสคำสั่งที่ถูกส่งกลับด้วยค่าที่แสดงว่าเฟรมที่อุปกรณ์ลูกข่ายได้รับมีความผิดพลาด แต่หากตรวจสอบแล้วไม่ผิดพลาดก็จะดำเนินการตามคำสั่งร้องขอนั้น เช่นการอ่านค่ารีจีสเตอร์ภายในอุปกรณ์ลูกข่ายเป็นต้น และเมื่อดำเนินการให้ได้ค่าตามคำสั่งแล้วอุปกรณ์ลูกข่ายจะทำการจัดเฟรมตอบกลับไปยังอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งจะประกอบด้วยแอดเดรส รหัสคำสั่ง ข้อมูล และรหัสตรวจจับบิตผิดพลาดเช่นเดียวกันกับเฟรมข้อมูลที่ได้รับมา โดยที่เฟรมมอดบัสที่ถูกส่งกลับเป็นการนำแอดเดรสของอุปกรณ์ลูกข่ายประกอบลงในเฟรมเพื่ออุปกรณ์ควบคุมทราบว่าเฟรมที่ได้รับนั้นมาจากอุปกรณ์ตัวใด ส่วนรหัสที่ถูกส่งกลับคือรหัสคำสั่งที่ปฏิบัติเสร็จสิ้น ตามด้วยข้อมูลที่ถูกร้องขอ และรหัสตรวจจับบิตผิดพลาด กระบวนการสื่อสารตามโปรโตคอลในลักษณะมาสเตอร์-สเลฟ มีการวนรอบซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4เฟรมการร้องขอ และการตอบกลับบนมอดบัส

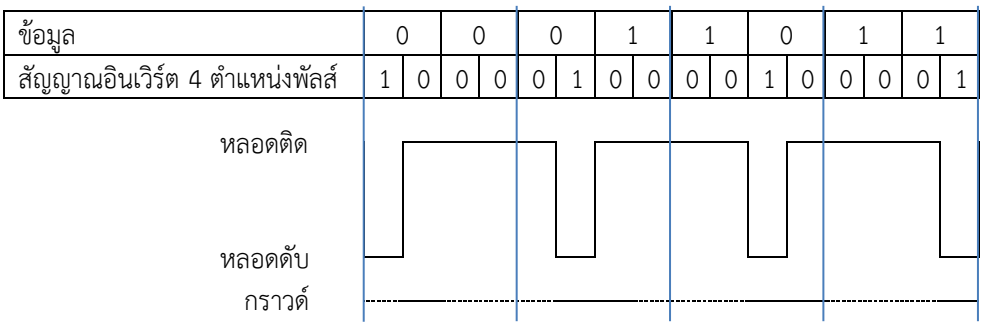
มาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น CP1223

ประเทศญี่ปุ่นมีมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นจำนวน 3 มาตรฐานคือ CP1221 CP1222 และ CP1223 โดยที่จะกล่าวถึงในบทความนี้คือมาตรฐาน CP1223 ที่ว่าด้วยมาตรฐานการส่งรหัสระบุตัวตนหรือข้อมูลสำหรับอุปกรณ์ด้านมัลติมีเดียด้วยแสงที่มองเห็น ซึ่งมาตรฐานระบบนี้มีรูปแบบการสื่อสารทิศทางเดียวผ่านตัวกลางแสงที่มองเห็น (JEITA, 2013) โมเดลของมาตรฐานแสดงในรูปที่ 5 โครงสร้างของโมเดลประกอบด้วยอุปกรณ์ส่งแสงและอุปกรณ์รับแสง อุปกรณ์ส่งแสงทำหน้าที่แฝงรหัสระบุตัวตนหรือข้อมูลไปพร้อมกันกับกระจายแสง ส่วนอุปกรณ์รับแสงมีหน้าที่รับแสงและแปลงข้อมูลแสงกลับเป็นรหัสระบุตัวตนหรือข้อมูล



รูปที่ 5 โมเดลมาตรฐานการสื่อสารแสง CP1223

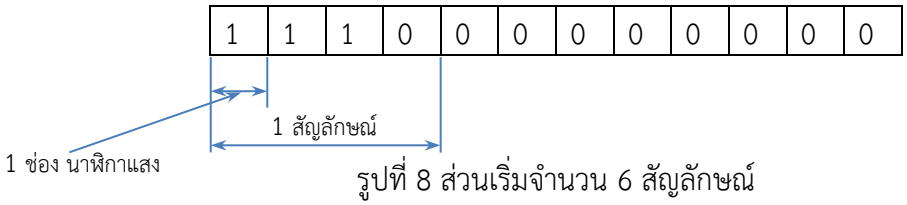
การกำหนดมาตรฐานของ CP1223 มีการกำหนดมาตรฐานในชั้นฟิสิกคอลและชั้นแมกเช่นเดียวกัน โดยในชั้นฟิสิกคอลมีการกำหนดความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380nm – 780 nm ที่ความเร็วในการสื่อสาร 4.8 kbps ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 เปอร์เซนต์ และใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบอินเวิร์ต 4 ตำแหน่งพัลส์ (Inverted 4 Pulse Position Modulation, I-4PPM) ดังแสดงในรูปที่ 6 สำหรับในชั้นแมกรูปแบบเฟรมข้อมูลแสดงดังรูปที่ 7 มีโครงสร้างประกอบด้วย 1) ส่วนเริ่มต้นเฟรมที่มีข้อมูลสองส่วนคือส่วนเริ่ม (preamble, PRE) จำนวน 6 บิตในรูปแบบการเข้ารหัสที่แตกต่างจากการมอดูเลตแบบอินเวิร์ต 4 ตำแหน่งพัลส์ที่มีอยู่ เพื่อให้สามารถจำแนกการเริ่มต้นเฟรมได้ โดยหากส่วนเริ่มที่มีจำนวน 6 บิตถูกแบ่งออกเป็น 12 ช่อง การเข้ารหัสส่วนเริ่มจะให้ค่า ‘1’ จำนวน 3 ช่อง และตามด้วย ‘0’ จำนวน 9 ช่อง เมื่อรวมกันแล้วจะได้ส่วนเริ่มจำนวน 6 บิต ดังแสดงในรูปที่ 8 อีกส่วนของส่วนเริ่มต้นเฟรมคือประเภทของเฟรม (frame type, FTYPE) จำนวน 8 บิต เพื่อระบุชนิดของข้อมูลในเพย์โหลด 2) ส่วนเพย์โหลด จำนวน 128 บิตสามารถบรรจุรหัสระบุตัวตนหรือข้อมูลตามชนิดที่ระบุไว้ในประเภทของเฟรม และ 3) ส่วนจบเฟรม จำนวน 16 บิต ที่มีการส่งรหัสตรวจสอบบิตผิดพลาด โดยใช้อนุกรม CRC-16 ซึ่งสร้างจากโพลิโนเมียลกำเนิด (Generator polynomial) {x16 + x15 + x2 + 1} สำหรับรีจิสเตอร์ในการคำนวณค่ารหัสตรวจสอบบิตผิดพลาดนี้ เริ่มต้นกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 และจะทำการคำนวณเฉพาะ ประเภทของเฟรม และเพย์โหลด เท่านั้น



รูปที่ 6 เทคนิคการมอดูเลตแบบอินเวิร์ต 4 ตำแหน่งพัลส์

ส่วนเริ่มต้นเฟรม (SOF)		เพย์โหลด (Payload)	ส่วนจบเฟรม (EOF)
PRE(6 bits)	FTYPE(8 bits)	ID/DATA (128 bits)	CRC-16 (16 bits)

รูปที่ 7 เฟรมข้อมูลตามมาตรฐาน CP1223



รูปที่ 8 ส่วนเริ่มจำนวน 6 สัญลักษณ์

โปรโตคอลมอดบัสบนมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น

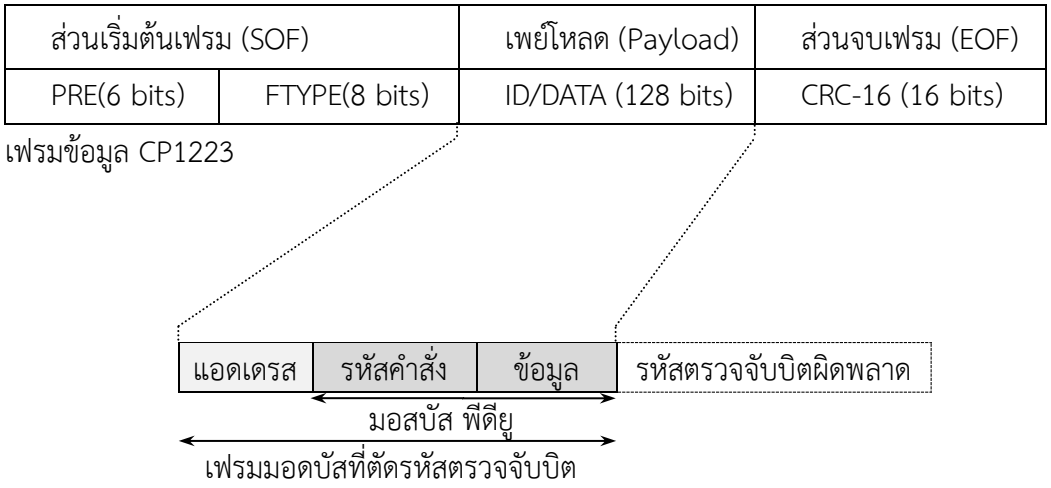
โปรโตคอลมอดบัสสามารถส่งข้อมูลการสื่อสารอนุกรมได้สองรูปแบบคือ 1) ทำการส่งข้อมูลโดยจัดให้อยู่ในโหมดแอสกี้ (ASCII) ซึ่งทำการส่งข้อมูลแปดบิตด้วยรหัสแอสกี้จำนวนสองตัว และ 2) จัดข้อมูลให้อยู่ในโหมดอาร์ทียู (Remote Terminal Unit : RTU) ซึ่งทำการส่งข้อมูลแปดบิตด้วยการส่งรหัสฐานสิบหกจำนวนสองตัว ความแตกต่างคือการส่งข้อมูลในโหมดอาร์ทียูจะได้จำนวนรหัสในการส่งมากกว่าเมื่อใช้แบนด์วิทเท่ากันกับโหมดแอสกี้ หรือโหมดอาร์ทียูจะมีความเร็วในการสื่อสารมากกว่าโหมดแอสกี้ประมาณสองเท่าเฟรมข้อมูลมอดบัสในโหมดอาร์ทียูแสดงดังรูปที่ 9 การเริ่มต้นเฟรมจะบ่งชี้ด้วยบิตเริ่ม ทำได้ด้วยการหยุดส่งสัญญาณใดๆในบัสเป็นระยะเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 เท่าของระยะเวลาในการส่งรหัสฐานสิบหกหนึ่งตัว ตามด้วยแอดเดรส รหัสคำสั่ง ข้อมูล และรหัสตรวจจับบิตผิดพลาดปิดท้ายเฟรมด้วยบิตจบเพื่อให้ทราบว่าเฟรมมอดบัสนี้ครบถ้วนแล้ว ด้วยการหยุดส่งสัญญาณใดๆในบัสเป็นระยะเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 เท่าของระยะเวลาในการส่งรหัสฐานสิบหกหนึ่งตัวเช่นเดิม ซึ่งบิตจบของเฟรมนี้สามารถใช้เป็นบิตเริ่มของเฟรมถัดไปได้ด้วย

≥ 3.5ตัวอักษร	8 บิต	8 บิต	n x 8 บิต	16 บิต	≥ 3.5ตัวอักษร
บิตเริ่ม	แอดเดรส	รหัสคำสั่ง	ข้อมูล	รหัสตรวจจับบิต	บิตจบ

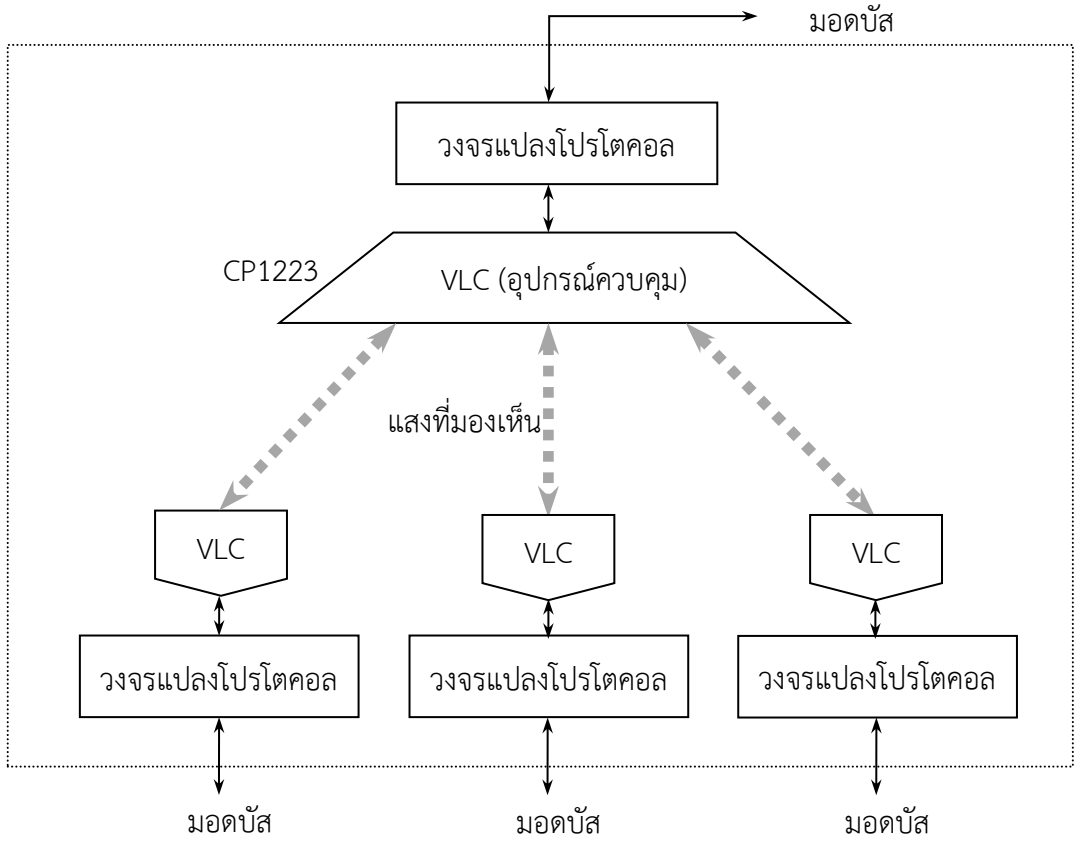
รูปที่9 เฟรมมอดบัสในโหมดอาร์ทียู

เมื่อพิจารณาโปรโตคอลมอดบัสในโหมดกระจายซึ่งเป็นการสื่อสารทางเดียวจากอุปกรณ์ควบคุม และสามารถส่งผ่านข้อมูลได้ในจำนวน 256 ไบต์รวมข้อมูลส่วนหัวและส่วนท้ายเฟรม โดยมีการระบุแอดเดรสของอุปกรณ์ลูกข่ายที่จะติดต่อสื่อสารด้วย ซึ่งสอดคล้องกับโปรโตคอลการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น CP1223 ดังนั้นการนำเฟรมข้อมูลมอดบัสส่งผ่านบนเฟรมข้อมูลมาตรฐาน CP1223 จึงสามารถทำได้ โดยต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโปรโตคอลด้วย หากส่วนหัวและส่วนท้ายเฟรมใดมีความซ้ำซ้อนและไม่จำเป็น สามารถตัดส่วนนั้นออกก่อนโดยผ่านหน่วยประมวลผลโปรโตคอลที่ทำหน้าที่เสมือนเกตเวย์ ในกรณีของมาตรฐาน CP1223 มีรหัสตรวจจับบิตผิดพลาดอยู่แล้วดังนั้นข้อมูลรหัสตรวจจับบิตผิดพลาดของเฟรมมอดบัสจึงถูกตัดออกก่อนจะส่งผ่านไปเป็นข้อมูลในส่วนเพย์โหลดของเฟรมข้อมูลตามมาตรฐาน CP1223 ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยในส่วนของเฟรมควบคุมตามมาตรฐาน CP1223 สามารถสร้างได้ด้วยอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเร็วประมวลผลไม่มากนัก และมีราคาไม่แพงแต่หากเป็นการแปลงข้อมูลที่มีความเร็วสูงมากขึ้นอุปกรณ์เอฟพีจีเอ (FPGA) ก็สามารถนำมาใช้ในการดำเนินการดังกล่าวได้ ตัวอย่างรูปแบบ

โมเดลการสื่อสารมอดบัสผ่านการสื่อสารแสงที่มองเห็นแสดงในรูปที่ 11 ใช้การสื่อสารด้วยการกระจายข้อมูลอุปกรณ์ควบคุมรับสัญญาณการสื่อสารในรูปแบบโปรโตคอลมอดบัสและทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบเฟรมข้อมูล CP1223 ก่อนที่จะส่งไปสู่วงจรควบคุมและขับกระแสเพื่อป้อนพลังงานและข้อมูลสู่แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะสามารถส่งสัญญาณจากโคมไฟที่ติดตั้งบนเพดานพร้อมให้แสงสว่างและส่งข้อมูลมายังอุปกรณ์ลูกข่ายจำนวนมากได้โดยไม่ต้องต่อสายตัวนำ เมื่ออุปกรณ์ลูกข่ายรับสัญญาณจากแสงที่มองเห็นด้วยโปรโตคอล CP1223 จะทำการส่งต่อไปยังวงจรแปลงโปรโตคอลเพื่อจัดรูปแบบเฟรมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของเฟรมมอดบัส เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ลูกข่ายต่อไป



รูปที่ 10 มอดบัสเฟรมบนมาตรฐาน CP1223



รูปที่ 11 แนวทางการสื่อสารมอดบัสบนแสงที่มองเห็นโทโพโลยีสตาร์

บอร์ดพัฒนาการสื่อสารทางแสงตามมาตรฐาน CP1223

อุปกรณ์การสื่อสารทางแสงแบบไร้สายถูกพัฒนาขึ้นตามมาตรฐาน CP1223 โดยทำการควบคุมสัญญาณเพื่อให้หลอดแอลอีดี (Light Emitted Diode : LED) เปล่งแสงที่มองเห็นได้ไปพร้อมกับการส่งข้อมูล และทำการรับแสงเพื่อแปลงกลับเป็นข้อมูลด้วยอุปกรณ์โฟโต้ไดโอด (Photo diode) โดยอุปกรณ์ส่วนฮาร์ดแวร์มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1

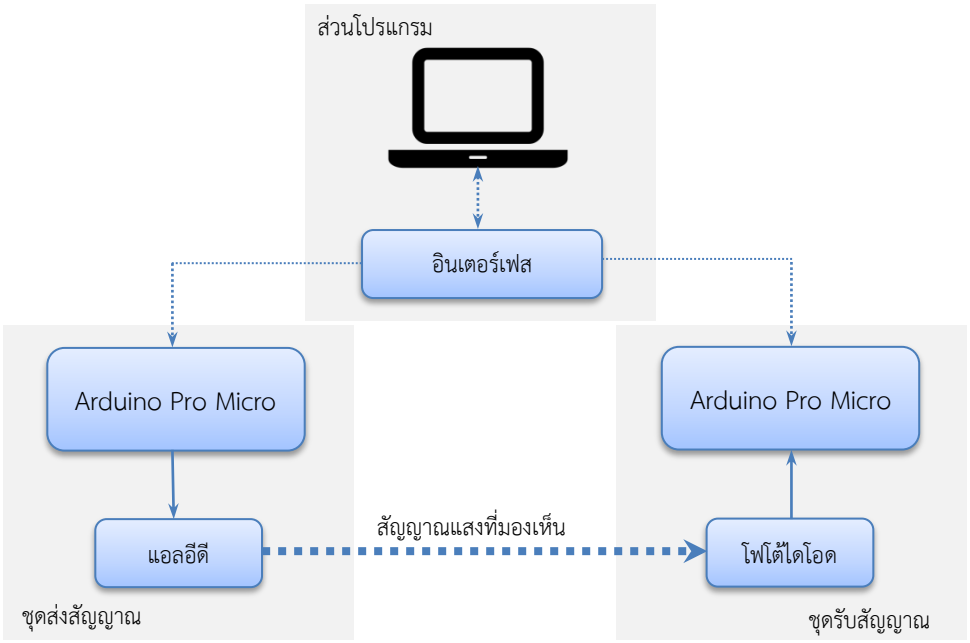
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของบอร์ดพัฒนา

รายการ	คุณสมบัติ / ลักษณะ
ไมโครคอนโทรลเลอร์	Arduino Pro micro (mini Leonardo)
ความถี่สัญญาณนาฬิกา	16 MHz
แรงดันไฟฟ้า	5 V (หากป้อนเข้าขา RAW สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ 6 – 16 V)
กระแสเอาท์พุท	50 mA
จำนวนพอร์ต	PWM เอาท์พุท 2 พอร์ต แอนะล็อกอินพุท 4 พอร์ต และดิจิทัล 3 พอร์ต อนุกรม I2C 1 พอร์ต และอนุกรม SPI 1 พอร์ต
อุปกรณ์กำเนิดแสง	LED High Brightness 1W If = 350 mA, Vf = 3.4 V, Luminous Intensity = 100 lm
อุปกรณ์รับแสง	Silicon PIN Photodiode SFH213 V_R = 5 V, Responsivity = 0.65 A/W, Wavelength range 400 – 1100 nm, t_r= t_f = 5 ns, sensitivity area = 1 mm^2

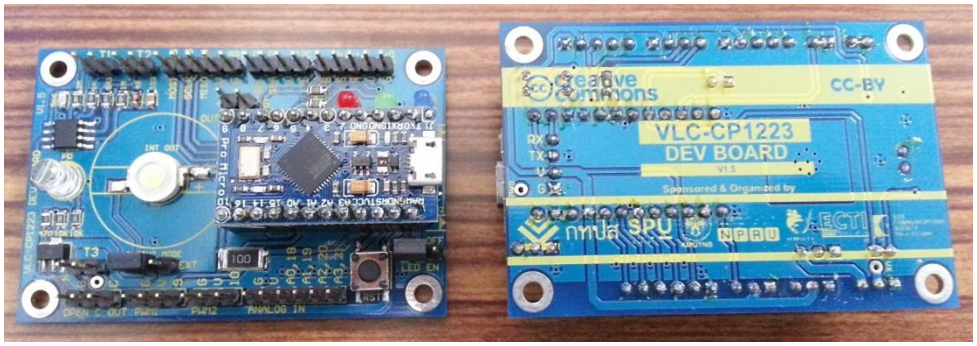
ชุดพัฒนาระบบการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายประกอบด้วยอุปกรณ์ชุดส่งสัญญาณ และอุปกรณ์ชุดรับสัญญาณ โดยอุปกรณ์ทั้งสองชุดนี้มีโครงสร้างฮาร์ดแวร์ที่เหมือนกันในส่วนอุปกรณ์ประมวลผลและควบคุมการทำงาน ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Pro micro (mini Leonardo) ในส่วนที่แตกต่างจะเป็นส่วนชั้นฟิสิกคอลซึ่งชุดส่งสัญญาณจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์กำเนิดแสงแอลอีดี ที่ให้แสงสีขาวในการส่องสว่างและส่งข้อมูล ส่วนชุดรับจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รับแสงโฟโต้ไดโอดที่มีวงจรขยายภายใน การควบคุมการทำงานของชุดพัฒนาระบบการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายสามารถทำได้จากการป้อนโปรแกรมควบคุมผ่านอินเตอร์เฟสบอร์ดที่ต่อผ่านบอร์ดยูเอสบีของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการโปรแกรมสามารถทำได้โดยการโปรแกรมผ่าน Arduino bootloader ภาพรวมของชุดพัฒนาแสดงดังรูปที่ 12 ซึ่งมาตรฐานระบบนี้มีรูปแบบการสื่อสารทิศทางเดียวผ่านตัวกลางแสงที่มองเห็น การกำหนดโปรโตคอลตามมาตรฐาน CP1223 มีการกำหนดสองชั้นคือชั้นฟิสิกคอล (Physical layer) และชั้นเฟรม (Frame Layer) ที่ความเร็วในการสื่อสาร 4.8 kbps และใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบอินเวิร์ต 4 ตำแหน่งพัลส์ (Inverted 4 Pulse Position Modulation, I-4PPM) ภาพบอร์ดพัฒนา วงจรส่วนต่อขยาย วงจรด้านฝั่งส่งและ วงจรด้านฝั่งรับ แสดงในรูปที่ 13

ผลการศึกษา

ทำการศึกษาการสื่อสารด้วยโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารทางแสงที่มองเห็นได้ตามมาตรฐาน CP1223 ของประเทศญี่ปุ่น อุปกรณ์พีแอลซีที่ทำการสื่อสารด้วยโปรโตคอลมอดบัสคือ พีแอลซียี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3S-30MR/ES เป็นพีแอลซีขนาดเล็ก แต่ประสิทธิภาพสูง มีใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม สามารถใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์รับค่าการสั่งงานแบบเอชเอ็มไอ (Human Machine Interface: HMI) โดย



รูปที่ 12 ภาพรวมของชุดพัฒนาระบบการสื่อสารทางแสงแบบไร้สาย

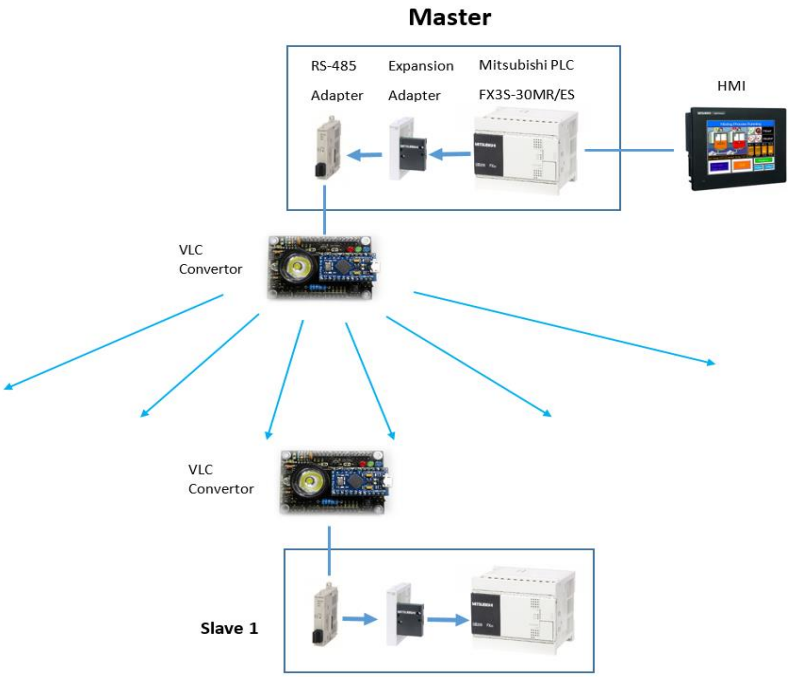


(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

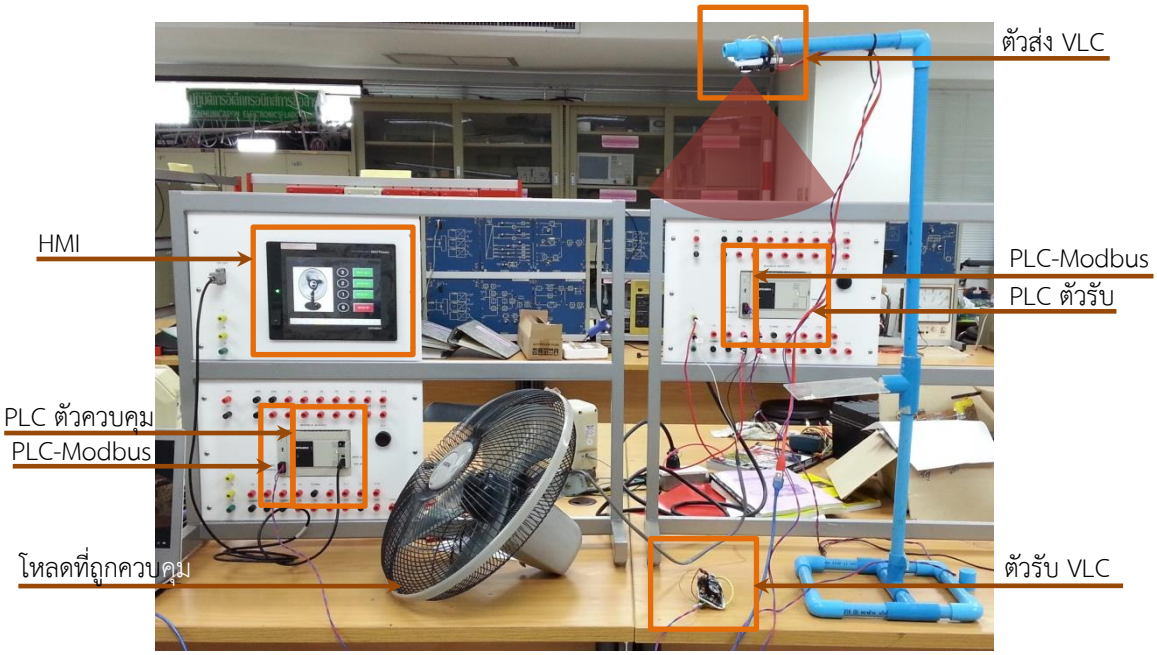
รูปที่ 13 บอร์ดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP 1223

มีการต่อพ่วงกับอุปกรณ์ต่อเสริมฟังก์ชันยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น MFX3S-30MR/ES เป็นอุปกรณ์ต่อเสริมฟังก์ชันสำหรับพีแอลซี ที่เป็นตัวแปลงพิเศษสำหรับการสื่อสารแบบ RS-485 ที่ใช้โปรโตคอลมอดบัส การใช้งานอุปกรณ์พีแอลซีจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมลำดับการทำงานของส่วนต่างๆ เพื่อใช้ในการควบคุม ซึ่งเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้ซอฟแวร์ GX-Work2 การเขียนโปรแกรมควบคุมสามารถเขียนได้หลากหลายลักษณะ เช่น Sequential Function Chart (SFC) language, Ladder Logic, Function Block Diagram (FBD) และ Structured Text เป็นต้น โดยสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ต่อเสริมที่ใช้โปรโตคอลมอดบัสถูกส่งผ่านมายังชุดพัฒนา VLC-CP1223 Development board v1.0 ที่ทางทีมวิจัยได้พัฒนาขึ้น เพื่อเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณของโปรโตคอลมอดบัส RS-485 เป็นสัญญาณแสงตามมาตรฐาน CP1223 และทำการส่งสัญญาณแสงเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่อไป ฝั่งรับสัญญาณจะรับด้วยชุดพัฒนา VLC-CP1223 Development board v1.0 เพื่อเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณแสงที่รับได้เป็นโปรโตคอลมอดบัส RS-485 และส่งต่อไปยังอุปกรณ์ต่อเสริมฟังก์ชัน เพื่อการนำสัญญาณไปแปลงกลับเป็นการควบคุมอุปกรณ์พีแอลซีต่อไป ซึ่งในการทดลองนี้คือการควบคุมการเปิดและปิดอุปกรณ์พัดลมไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำได้ตรงตามที่สั่งการควบคุมผ่านหน้าจอควบคุมแบบเอชเอ็มไอทุกประการ

ในการทดสอบพีแอลซีที่ติดต่อสื่อสารด้วยโปรโตคอลมอสบัสผ่านแสงที่มองเห็นได้เบื้องต้นนั้นได้ทำการเขียนโปรแกรมจัดการข้อมูลการติดต่อสื่อสารดังนี้ 1) กำหนดชุดรหัสคำสั่งโปรโตคอลมอดบัสที่ต้องการทดสอบสองคำสั่งคือ 05 - สั่งบิตทำงาน (Write Single Coil) และ 15 - สั่งบิตทำงานแบบชุด (Write Multiple Coils) 2) เขียนโปรแกรมให้พีแอลซีรับ-ส่งข้อมูลมอดบัสตามรหัสคำสั่งที่ได้กำหนดไว้ และ 3) ทำการส่งผ่านการควบคุมอุปกรณ์พีแอลซีเข้าสู่ชุดพัฒนา VLC-CP1223 Development board v1.0 ผ่านพอร์ต RS-485 ไดอะแกรมการทดลองเพื่อศึกษาการทำงานการส่งสัญญาณโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นแสดงดังรูปที่ 14 และรูปขณะทำการทดลองการส่งสัญญาณโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น แสดงดังรูปที่ 15

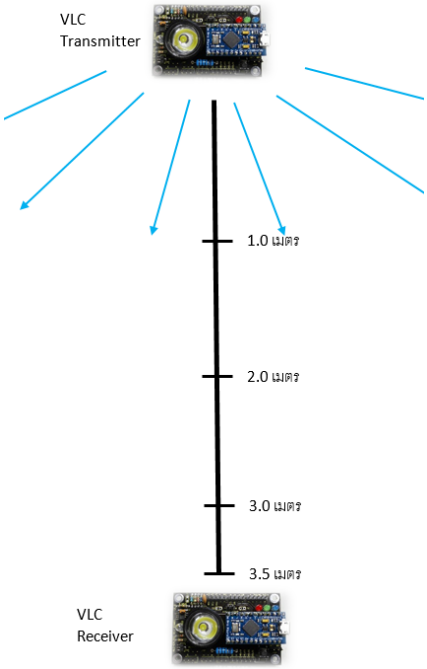


รูปที่ 14 ไดอะแกรมการส่งสัญญาณโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น



รูปที่ 15 การทดลองการส่งสัญญาณโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น

ในส่วนของบอร์ดพัฒนา VLC-CP1223 Development board v1.0 ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพที่มีระยะทางการส่งข้อมูลเป็นตัวแปร โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตัวส่งข้อมูลที่ระยะสูงกว่า 3.5 เมตร และทำการติดตั้งอุปกรณ์ตัวรับพร้อมกับลักซ์มิเตอร์ ที่ระยะในแนวตรงที่ระยะห่าง 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300 และ 350 ซม. ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 16 ทำการทดสอบในลักษณะให้แสงจากภายนอกมีผลกระทบน้อยที่สุดโดยทำการทดลองในเวลากลางคืนและปิดโคมไฟในบริเวณที่ทดสอบ มีแสงสว่างในพื้นที่การทดสอบน้อยกว่า 10 ลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 17 ในการทดสอบทำการส่งข้อมูลจำนวน 40 ชุดที่มีข้อมูลเดียวกันและนับจำนวนข้อมูลที่ได้รับที่มีความถูกต้องหลังจากทำการดีมอดูเลตและถอดรหัสข้อมูลแล้ว ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1 โดยมีอัตราการรับข้อมูลที่ถูกต้องเฉลี่ย 43.1 %



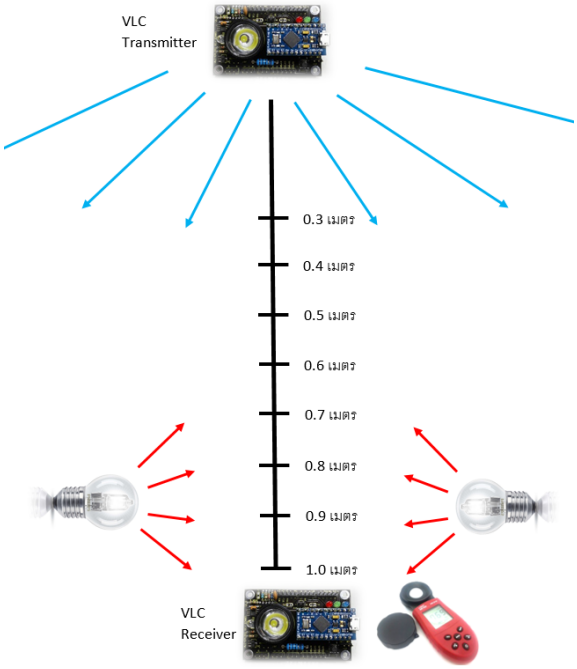
รูปที่ 16 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ทดสอบแนวตรง

รูปที่ 17 บรรยากาศการทดสอบ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองส่งสัญญาณข้อมูลในระยะแนวตรง

ระยะความสูง (ซม.)	25	50	75	100	150	200	250	300	350
จำนวนครั้งที่รับได้	17	18	17	17	19	19	18	16	14

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของบอร์ดพัฒนา VLC-CP1223 Development board v1.0 ในกรณีที่มีการรบกวนจากแสงภายนอกที่มีระยะทางการส่งข้อมูลเป็นตัวแปร โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตัวส่งข้อมูลที่ระยะสูงกว่า 3.5 เมตร และทำการติดตั้งอุปกรณ์ตัวรับพร้อมกับลักซ์มิเตอร์ ที่ระยะในแนวตรงที่ระยะห่าง 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 ซม. ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 18 ทำการทดสอบในลักษณะให้มีแสงจากภายนอกที่มีค่าความเข้มแสงที่บริเวณตัวรับอยู่ที่ 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500 และ 2000 ลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 19 ในการทดสอบทำการส่งข้อมูลจากนั้นอ่านค่าการรับข้อมูล และความเข้มแสงรวมที่บริเวณตัวรับ และบันทึกผลลงตารางที่ 2 โดยมีประสิทธิภาพในการรับสัญญาณในสภาวะที่มีแสงรบกวนจากภายนอกได้ดี



รูปที่ 18 การทดสอบที่มีแสงรบกวนจากภายนอก

รูปที่ 19 บรรยากาศการทดสอบที่มีแสงรบกวน

ตารางที่ 2 ผลการทดลองแสงรบกวนภายนอกระยะความสูงในแนวตรง

ระยะความสูง (ซม.)	แสงรบกวนภายนอก/แสงรวมที่เกิดขึ้น (ลักซ์)																	
	100		200		300		400		600		800		1000		1500		2000	
	รับค่า	แสงรวม	รับค่า	แสงรวม	รับค่า	แสงรวม	รับค่า	แสงรวม	รับค่า	แสงรวม	รับค่า	แสงรวม	รับค่า	แสงรวม	รับค่า	แสงรวม	รับค่า	แสงรวม
30	ได้	1400	ได้	1400	ได้	1450	ได้	1520	ได้	1620	ได้	1750	ได้	1780	ได้	2020	ได้	2390
40	ได้	1000	ได้	1000	ได้	1100	ได้	1230	ได้	1420	ได้	1650	ได้	1650	ได้	1980	ได้	2370
50	ได้	700	ได้	700	ได้	830	ได้	960	ได้	1220	ได้	1370	ได้	1480	ได้	1920	ได้	2310
60	ได้	600	ได้	600	ได้	720	ได้	820	ได้	1040	ได้	1260	ได้	1410	ได้	1850	ไม่ได้	2250
70	ได้	400	ได้	500	ได้	600	ได้	700	ได้	890	ได้	1160	ได้	1360	ได้	1770	ไม่ได้	2190
80	ได้	300	ได้	430	ได้	530	ได้	620	ได้	810	ได้	1080	ได้	1220	ได้	1720	ไม่ได้	2160
90	ได้	180	ได้	370	ได้	480	ได้	570	ได้	780	ได้	980	ได้	1190	ไม่ได้	1610	ไม่ได้	2110
100	ได้	160	ได้	300	ได้	420	ได้	530	ได้	760	ได้	960	ได้	1140	ไม่ได้	1570	ไม่ได้	2050

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การนำเทคโนโลยีใหม่ด้านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นเสริมเข้ากับเทคโนโลยีเดิมที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายอยู่แล้วในอุตสาหกรรมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารและลดข้อจำกัดที่เทคโนโลยีเดิมของการสื่อสารมีอยู่ลงไปได้ ตัวอย่างการประยุกต์การส่งสัญญาณด้วยโปรโตคอลมอดบัสผ่านการสื่อสารแสงที่มองเห็นตามมาตรฐาน CP1223 เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือเครื่องจักร และลดปัญหาการส่งผ่านข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงได้ ในการทดลองได้ทำการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์พีแอลซีที่ใช้มอดบัสผ่านมายังชุดพัฒนา VLC-CP1223 Development board v1.0 ที่ทางทีมวิจัยได้พัฒนาขึ้น เพื่อเป็นการลดทรัพยากรและเวลาในการสร้างนวัตกรรมหรือสิ่งประดิษฐ์ด้านการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นสำหรับผู้สนใจ ชุดพัฒนานี้ทำหน้าที่แปลงโปรโตคอลมอดบัสเป็นโปรโตคอลตามมาตรฐาน CP1223 ที่เป็นสัญญาณแสงที่มองเห็น และทำการส่งสัญญาณแสงไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อ

ควบคุมอุปกรณ์ ฝั่งรับสัญญาณจะรับสัญญาณแสงและแปลงสัญญาณแสงที่รับได้เป็นโปรโตคอลมอดบัสและส่งต่อไปยังอุปกรณ์พีแอลซีเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์พีแอลซี ซึ่งในการทดลองใช้ควบคุมพัดลมไฟฟ้า โดยผลการทดลองสามารถทำได้ตรงตามที่สั่งการควบคุมผ่านหน้าจอควบคุมแบบเอชเอ็มไอทุกประการ

กิติกรรมประกาศ

ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะ ภายใต้โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐานและสื่อ เลขที่สัญญา T3-1-001/57

<u>บรรณานุกรม</u>

Modbus, I. D. A. (2004). Modbus application protocol specification v1. 1a. *North Grafton, Massachusetts.*

PracTel Inc. (2014). Progress in Optical Wireless Communications – VLC and FSO Technologies, *Applications and Markets*. Retrieved July 5, 2014, from http://www.researchandmarkets.com/reports/2813840/progress-in-optical-wireless-communications-vlc

Haruyama, S. (2010). Visible light communication. In *17th International Display Workshops, IDW'10*.

Modicon, I. (1996). Modicon modbus protocol reference guide. *North Andover, Massachusetts*, 28-29.

Automation, S. (2002). MODBUS over serial line–Specification and Implementation guide. *V*. Modbus Organization, Inc.

JEITA. (2013). JEITA visible light communication standards. Retrieved July 1, 2015, from http://www.jeita.or.jp/japanese/standard/book/CP-1223.

ภาคผนวก จ

รายชื่อผู้เข้าร่วมกลุ่ม (VLC Consortium)

รายชื่อผู้เข้าร่วมกลุ่ม (VLC Consortium)

โครงการวิจัยนี้มีการสร้างร่วมกลุ่มผูสนใจให้มีสวนรวมการทำกิจกรรมการพัฒนาบุคลากร และพัฒนางาน ประยุกต์ต่างๆ เพื่อสนับสนุนการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี VLC ในวงกว้าง ตารางต่อไปนี้แสดงรายชื่อผู้สนใจที่เข้าร่วมกลุ่มเพื่อพัฒนาทางด้าน VLC โดยทีมผู้วิจัยจะให้ชุดพัฒนาการรับส่งข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยี VLC เพื่อใช้ในการทำวิจัยต่อยอด

ชื่อ-นามสกุล	หน่วยงาน	จำนวนชุด
1. อาจารย์อดิศร แก้วภักดี	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
2. อาจารย์ ดร.สันติ กูลการขาย	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
3. อาจารย์เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระ กาญจนสินธุ	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
5. อาจารย์วิศวะ สื่อสุวรรณ	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
6. อาจารย์สมบัติ หทัยรัตนานนท์	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
7. อาจารย์เกษรินทร์ ชาวเกรียน	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
8. อาจารย์วีระศักดิ์ ชื่นตา	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
9. อาจารย์ ดร.สัญญา ควรคิด	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
10. อาจารย์หฤทัย ดิ้นสกุล	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
11. อาจารย์ขนิษฐา แซ่ลิ้ม	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
12. อาจารย์ธานิล ม่วงพูล	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
13. อาจารย์อวยไชย อินทรสมบัติ	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
14. อาจารย์โสภณ มหาเจริญ	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
15. อาจารย์มงคล รอดจันทร์	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
16. อาจารย์วิโรจน์ บัวงาม	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
17. อาจารย์ บัญชา หิรัญสิงห์	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
18. อาจารย์ สมจินต์ จันทรเจษฎากร	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
19. อาจารย์ศุภกฤษ นาคป้อมฉิน	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
20. นายนิรัช ชัยหา	ม.ราชภัฏนครปฐม	1

21. นายบรรเจิด เจริญพันธ์	ม.ราชภัฏนครปฐม	1
22. นายวิศรุต จินตวิจิต	KMITL	1
23. นายชัชรัศพัษ จั่นเคลือบ	KMITL	1
24. ดร.จินดา สามัคคี	มทร.ศรีวิชัย สงขลา	2
25. ดร.พินิจ เนื่องภิรมย์	มทร.ล้านนา เชียงใหม่	2
26. ดร.ถนอมศักดิ์ โสภณ	มทร.อีสาน โคราช	4
27. อ.กีรดิษ สายพัทลุง	มรภ.พระนคร	2
28. ดร.นพดล มณีเฑียร	มทร.ล้านนา เชียงใหม่	2
29. คุณลิขิต วรานนท์	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	1
30. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชานนท์ วริสาร	KMITL	1
31. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุกฤษฏ์ มั่นคง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	1

แบบคำร้องเพื่อขอรับชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP1223

กิจกรรมของโครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส)

เรียน หัวหน้าโครงการ

ข้าพเจ้า นาย ชัระ กาญจนสินธุ ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงาน คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ ..... E-mail: .....

มีความประสงค์ในการขอรับชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP1223 จำนวน 1 ชุด เพื่อใช้ในงานด้าน

☑ การศึกษา ☐ การวิจัย ☐ สนับสนุนภารกิจหน่วยงานภาครัฐ

☐ อื่นๆ โปรดระบุ .....

ข้าพเจ้าได้รับทราบและยินดีปฏิบัติตามข้อปฏิบัติที่กำหนดในเอกสารฉบับนี้ทุกประการ

ลงชื่อ .....
(ผศ.ชัระ กาญจนสินธุ)
ผู้ขอใช้บริการ

ลงชื่อ .....
(รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์)
หัวหน้าโครงการวิจัย

ข้อปฏิบัติ

1. ชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP1223 เป็นลิขสิทธิ์ของผู้พัฒนา และอนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่ต่อได้ โดยระบุสิทธิ์ตาม Creative Common
2. เพื่อให้การบริการเป็นไปอย่างทั่วถึง ในเบื้องต้นจะกำหนดจำนวนโดยหัวหน้าโครงการ
3. เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ในเชิงวิชาการ ผู้นำชุดพัฒนาไปใช้ สามารถทำได้อย่างเสรี โดยขอให้ใส่ข้อความการยอมรับ (acknowledgement) ว่า ได้รับการสนับสนุนจากกิจกรรม "โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ" สนับสนุนโดย กสปส. และ กสทช.
4. ผู้พัฒนาขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลง/เพิ่มเติมข้อปฏิบัติตามความเหมาะสม

แบบคำร้องเพื่อขอรับชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP1223

กิจกรรมของโครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส)

เรียน หัวหน้าโครงการ

ข้าพเจ้า นาย อดิศร แก้วภักดี ตำแหน่ง อาจารย์

หน่วยงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ ..... E-mail: .....

มีความประสงค์ในการขอรับชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP1223 จำนวน.....ชุด เพื่อใช้ในงานด้าน

☑ การศึกษา ☑ การวิจัย ☐ สนับสนุนภารกิจหน่วยงานภาครัฐ

☐ อื่นๆ โปรดระบุ .....

ข้าพเจ้าได้รับทราบและยินดีปฏิบัติตามข้อปฏิบัติที่กำหนดในเอกสารฉบับนี้ทุกประการ

ลงชื่อ .....
(นาย อดิศร แก้วภักดี)
ผู้ขอใช้บริการ

ลงชื่อ .....
(รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์)
หัวหน้าโครงการวิจัย

ข้อปฏิบัติ

1. ชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP1223 เป็นลิขสิทธิ์ของผู้พัฒนา และอนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่ต่อได้ โดยระบุสิทธิ์ตาม Creative Common
2. เพื่อให้การบริการเป็นไปอย่างทั่วถึง ในเบื้องต้นจะกำหนดจำนวนโดยหัวหน้าโครงการ
3. เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ในเชิงวิชาการ ผู้นำชุดพัฒนาไปใช้ สามารถทำได้อย่างเสรี โดยขอให้ใส่ข้อความการยอมรับ (acknowledgement) ว่า ได้รับการสนับสนุนจากกิจกรรม "โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ" สนับสนุนโดย กสปส. และ กสทช.
4. ผู้พัฒนาขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลง/เพิ่มเติมข้อปฏิบัติตามความเหมาะสม

แบบคำร้องเพื่อขอรับชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP1223

กิจกรรมของโครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส)

เรียน หัวหน้าโครงการ

ข้าพเจ้า นาย วิศิษฐ จินตวิจิต ตำแหน่ง นักศึกษา

หน่วยงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ ..... E-mail: .....

มีความประสงค์ในการขอรับชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP1223 จำนวน 1 ชุด เพื่อใช้ในงานด้าน

☑ การศึกษา ☑ การวิจัย ☐ สนับสนุนภารกิจหน่วยงานภาครัฐ

☐ อื่นๆ โปรดระบุ .....

ข้าพเจ้าได้รับทราบและยินดีปฏิบัติตามข้อปฏิบัติที่กำหนดในเอกสารฉบับนี้ทุกประการ

ลงชื่อ .....

(วิศิษฐ จินตวิจิต)

ผู้ขอใช้บริการ

ลงชื่อ .....

(รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์)

หัวหน้าโครงการวิจัย

ข้อปฏิบัติ

1. ชุดพัฒนาการสื่อสารทางแสงแบบไร้สายตามมาตรฐาน CP1223 เป็นลิขสิทธิ์ของผู้พัฒนา และอนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่ต่อได้ โดยระบุสิทธิ์ตาม Creative Common
2. เพื่อให้การบริการเป็นไปอย่างทั่วถึง ในเบื้องต้นจะกำหนดจำนวนโดยหัวหน้าโครงการ
3. เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ในเชิงวิชาการ ผู้นำชุดพัฒนาไปใช้ สามารถทำได้อย่างเสรี โดยขอให้ใส่ข้อความการยอมรับ (acknowledgement) ว่า ได้รับการสนับสนุนจากกิจกรรม "โครงการพัฒนาความพร้อมระดับประเทศของการสื่อสารด้วยแสงสว่าง: การถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาบุคลากรด้านกิจการโทรคมนาคม การจัดทำร่างมาตรฐาน และสื่อ" สนับสนุนโดย กสปส. และ กสทช.
4. ผู้พัฒนาขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลง/เพิ่มเติมข้อปฏิบัติตามความเหมาะสม

ประวัตินักวิจัย

ประวัติผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

ตำแหน่ง คณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โทรศัพท์

โทรสาร

อีเมล์ piya@npru.ac.th

สำเร็จการศึกษาปริญญาเอกวิศวกรรมศาสตร์ สาขาโทรคมนาคม จาก Georgia Institute of Technology, USA ปี พ.ศ. 2547 ปริญญาโทวิทยาศาสตร์ สาขาการสื่อสารดิจิทัล จาก Chalmers University of Technology, Sweden พ.ศ. 2541 ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (เกียรตินิยม) พ.ศ. 2537 ประสบการณ์และงานวิจัยด้านระบบการประมวลผลสัญญาณสำหรับการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล มีบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่มากกว่า 100 บทความ หนังสือ 10 เล่ม และมีส่วนร่วมในการเขียนหนังสือทางด้านไฟฟ้าสื่อสาร 4 ฉบับ ได้รับรางวัลวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกในระดับดี จากสภาวิจัยแห่งชาติ เมื่อปี พ.ศ. 2548 ได้รับเชิญเป็นอาจารย์พิเศษและวิทยากรบรรยายจำนวนมาก ปัจจุบันดำรงตำแหน่งคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

2. ชื่อ-นามสกุล ผศ.ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสาตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

โทรศัพท์ 044-233073 ต่อ 3120

โทรสาร 044-233074

อีเมล์ wannaree.wo@rmuti.ac.th

สำเร็จการศึกษาปริญญาเอกวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ในปี พ.ศ. 2552 ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ในปี พ.ศ. 2546 ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ในปี พ.ศ. 2543 จากสถาบันเทคโนโลยีพระ

จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประสบการณ์และงานวิจัยด้านระบบการสื่อสารไร้สาย การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล และประยุกต์ใช้งานระบบอิเล็กทรอนิกส์กับเครื่องมือทางการเกษตรและการแพทย์ มีบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่กว่า 30 บทความ ได้รับทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานของอาจารย์รุ่นใหม่จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยเมื่อปี พ.ศ. 2554 ปี พ.ศ. 2555 ทำหน้าที่เป็นรองประธาน IEEE Communication Society Thailand Chapter และในปี พ.ศ. 2557 ถึงปัจจุบัน ทำหน้าที่เป็นกรรมการอำนวยการ ฝ่ายประชาสัมพันธ์ ของสมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศแห่งประเทศไทย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

3. ชื่อ-นามสกุล รศ.ดร.อนันต์ สืบสำราญ
ตำแหน่ง อาจารย์ คณะครุศาสตร์อุตสหากรรม
โทรศัพท์
โทรสาร
อีเมล์ asr@kmutnb.ac.th

สำเร็จการศึกษาปริญญาเอกและปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเมคคาโทรนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปี พ.ศ. 2549 และปี พ.ศ. 2540 ปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2539 ประสบการณ์และงานวิจัยด้านระบบการเมคคาโทรนิคส์และหุ่นยนต์ และเทคโนโลยี LED มีบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่กว่า 20 บทความ ได้รับรางวัลจากการแข่งขันรถอัจฉริยะชิงแชมป์ประทศไทย รางวัลการแข่งขันหุ่นยนต์และระบบออโตเมชั่นสำหรับระบบการผลิต ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล ครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

4. ชื่อ-นามสกุล ดร.กมล เขมะรังษี
ตำแหน่ง นักวิจัย
โทรศัพท์ 02 5646900 ต่อ 2540
โทรสาร -
อีเมล์ kamol.kaemarungsi@nectec.or.th

สำเร็จการศึกษาปริญญาเอกวิทยาการสารสนเทศ สาขาโทรคมนาคมจาก University of Pittsburgh, USA ปี พ.ศ. 2548 ปริญญาโท สาขาโทรคมนาคมจาก University of Colorado at Boulder ปี พ.ศ. 2542 ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2537 มีประสบการณ์ทำงานกับบริษัทผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 ปี ก่อนเดินทางไปศึกษาต่อในประเทศสหรัฐอเมริกา มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสารไร้สาย เครื่องรบกวนสัญญาณ โทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบหาตำแหน่งภายในอาคาร การประยุกต์ใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อการเกษตร อุปกรณ์เซนเซอร์วัดชั้นดินดาน มีบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการและงานประชุมวิชาการทั้งใน และต่างประเทศกว่า 30 บทความ มีส่วนร่วมในการเขียนหนังสือด้านโทรคมนาคมและการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ จำนวน 3 ฉบับ ได้รับเชิญให้เป็นวิทยากรบรรยายพิเศษ และเป็นอาจารย์พิเศษในหลายสถาบันการศึกษา ในปี พ.ศ. 2551 เป็นหัวหน้าทีมผู้ดูแลศูนย์ประสานงานการรักษาความปลอดภัยคอมพิวเตอร์ ประเทศไทย (ThaiCERT) ซึ่งเป็นสมาชิกของกลุ่มความร่วมมือระหว่างศูนย์ประสานงานการรักษาความปลอดภัยคอมพิวเตอร์ (CERT) ในปี พ.ศ. 2555 – พ.ศ. 2557 เป็นกรรมการสายวิชาการโทรคมนาคม และในปี พ.ศ. 2557 – พ.ศ. 2558 เป็นกรรมการกลาง ของสมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศแห่งประเทศไทย ปัจจุบันเป็น Thailand Chapter Chair ของ IEEE Communications Society และดำรงตำแหน่งนักวิจัยอาวุโส ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว หน่วยวิจัยระบบอัตโนมัติและอิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

5. ชื่อ-นามสกุล รศ.ดร.ปรีชา กอเจริญ

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

โทรศัพท์

โทรสาร -

อีเมล์ preecha.ko@spu.ac.th

สำเร็จการศึกษาปริญญาเอกวิศวกรรมศาสตร์ สาขาโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปี พ.ศ. 2549 ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการสื่อสาร จาก University of Manchester Institute of Science and Technology, UK พ.ศ. 2541 ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยศรีปทุม พ.ศ. 2539 ประสบการณ์และงานวิจัยด้านระบบการสื่อสารไร้สาย การประมวลผลภาพดิจิทัล และการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด

เล็กเพื่อชุมชน มีบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่กว่า 20 บทความ มีส่วนร่วมในการเขียนหนังสือทางด้านไฟฟ้าสื่อสาร 2 ฉบับ ได้รับรางวัลบทความวิจัยดีเด่นจากการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าจำนวน 2 รางวัล ได้รับรางวัลบุคคลากรดีเด่นของมหาวิทยาลัยศรีปทุมประจำปี 2552 ประเภทนักวิจัยรุ่นใหม่ ได้รับเชิญเป็นกรรมการและผู้เชี่ยวชาญทางเทคนิคจากสำนักตรวจสอบการใช้ความถี่วิทยุ และสำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีโทรคมนาคม สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554 ดำรงตำแหน่งหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

(สำนักงาน กสทช.)