การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง

DESIGN OF EQUIPMENT FOR DETECTING SIGNALS IN OPTICAL FIBERS

นายดนัย สร้อยศรี

นายวชิรวิทย์ ปัญญาดี

นายอนุกูล จั่นศรี

โครงงานวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2559

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง

DESIGN OF EQUIPMENT FOR DETECTING SIGNALS IN OPTICAL FIBERS

นายดนัย สร้อยศรี
นายวชิรวิทย์ ปัญญาดี
นายอนุกูล จั่นศรี

โครงงานวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง
ปีการศึกษา 2559

โดย

นายดนัย สร้อยศรี

นายวชิรวิทย์ ปัญญาดี

นายอนุกูล จั่นศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำคุณ ศรีสนิท

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงงานวิศวกรรมนี้คือการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสงและตรวจสอบอุปกรณ์แปลงสัญญาณเส้นใยนำแสง หลักการทำงานของระบบจะเป็นแบบตัวรับและตัวส่ง (client/server) คือ ให้ผู้ส่งร้องขอข้อมูลจากผู้รับและผู้รับจะส่งข้อมูลที่ผู้ส่งร้องขอกลับไป หลักการทำงานของเครื่องจะสุ่มเสียบสาย กดปุ่มเริ่มทำงานโปรแกรมและรอผลที่ขึ้นบนหน้าจอทำแบบนี้ไปจนสามารถระบุได้ว่าการเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นนั้นถูกต้อง จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสงนั้น สามารถทำงานได้จริงและมีความรวดเร็วมากกว่าการค้นหาการเชื่อมสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์

คำสำคัญ: ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสง ตัวรับและตัวส่ง

DESIGN OF EQUIPMENT FOR DETECTING SIGNALS IN OPTICAL FIBERS

Academic Year 2016

By

Mr. Danai Sroisri

Mr. Wachirawit Panyadee

Mr. Anukoon Junsri

Advisor

Asst. Prof. Namkhun Srisanit, Ph.D.

Abstract

The objective of this engineering project is to design and construct fiber optic signal detectors and to check optical fiber converters. The principle of the system is that the sender requests information from the receiver and receiver sends it back the sender's request. The principle of the machine is randomly plugged in. Press the program start button and wait for the results to be displayed on the screen to determine that the connection is correct. Based on the results, it has been shown that the optical fiber detection device is it works properly and faster than searching for a computer connection.

Keywords: Optical fiber detection, Receiver and Transmitter

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมฉบับนี้จะไม่สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดี หากผู้จัดทำไม่ได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆ ส่วนด้วยกันอันดับแรกผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.นำคุณ ศรีสนิท ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และอธิบายเนื้อหาในส่วนต่างๆ ที่ผู้จัดทำไม่เข้าใจ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ต่อการปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนสละเวลาใน การพิจารณา ตรวจสอบความถูกต้องของโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ท่านได้ให้ความรู้ ความร่วมมือในการให้ข้อมูล ความช่วยเหลือ และข้อเสนอแนะต่างๆ ให้กับคณะผู้จัดทำโครงงาน ทางคณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ต่อมาผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนๆ และคนรอบตัวทุกๆ คน สำหรับแรงบันดาลใจและแรงกระตุ้นที่ดีตลอดระยะเวลาของการทำโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้ และสุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่ให้ความรักความเข้าใจ สนับสนุน ให้กำลังใจทุกๆ เรื่อง และกำลังทรัพย์สนับสนุนการศึกษาของผู้จัดทำมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้หากโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้ ได้ก่อให้เกิดคุณประโยชน์ประการใด ผู้จัดทำขอมอบคุณความดีนั้นแด่ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้ หากโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้เกิดข้อผิดพลาดหรือได้รับคำติชมประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับคำติชมและความผิดพลาดนั้นและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเส้นใยนำแสง	3
2.1.1 โครงสร้างของเส้นใยนำแสง	3
2.1.2 ประเภทของเส้นใยนำแสง	5
2.1.3 หัวต่อเส้นใยนำแสง	6
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของ Arduino	9
2.2.1 โครงสร้างของ Arduino	10
2.2.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino	11
2.2.3 จอ Character LCD กับ Arduino	11
2.2.4 การเชื่อมต่อกับจอ Character LCD	12
2.2.5 Ethernet Shield	13
2.3 หลักการ Client/Server	14
2.3.1 ประโยชน์ของระบบ Client/Server	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและโครงสร้างอุปกรณ์	16
3.1 ลักษณะอุปกรณ์ในส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสง	16
3.2 ลักษณะอุปกรณ์ในส่วนของอุปกรณ์ในการใช้ทดสอบ	21
3.2.1 หัวต่อเส้นใยนำแสง	22
3.3 การออกแบบการทดลอง	25
3.3.1 การสุ่มต่อสาย	26
3.3.2 คำร้องขอข้อมูล	26
3.4.3 ประมวลคำขอและส่งข้อมูล	26
3.3.4 การแสดงผล	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
4.1 การต่อสาย	29
4.1.1 กรณีที่สายหัวต่อเป็นแบบ 2 สาย	29
4.1.2 กรณีที่สายหัวต่อเป็นแบบสายเดียว	32
4.2 การเปรียบเทียบการใช้งานจริงระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงกับคอมพิวเตอร์	35
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	36
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผล	37
5.2 เสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก	39
ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน	45

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเส้นใยนำแสง	4
2.2 เส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโหมด	5
2.3 เส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด	6
2.4 หัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ	6
2.5 หัวต่อชนิดเอสที	7
2.6 หัวต่อชนิดเอฟซี	7
2.7 หัวต่อชนิดเอสซี	8
2.8 หัวต่อชนิดเอฟดีดีไอ	8
2.9 โครงสร้างArduino รุ่น UNO R3	10
2.10 การเขียนโปรแกรมลงบน Arduino	11
2.11 การเชื่อมต่อ Arduino กับจอ Character LCD	12
2.12 Ethernet shield	13
3.1 โปรแกรม Arduino	16
3.2 บอร์ด Arduino	17
3.3 Ethernet Shield	18
3.4 Character LCD	18
3.5 รางถ่านขนาด 3.7V แบบใส่ถ่าน 2 ก้อน	19
3.6 สายไฟหัวต่อแบบตัวผู้ ตัวเมียในเส้นเดียว	19
3.7 สวิตช์เปิดปิดหลังเต่าขนาดเล็ก	20
3.8 ถ่านขนาด 3.7V	20
3.9 สายไฟเบอร์ออฟติกแบบเดินภายนอกอาคาร	21
3.10 หัวต่อแบบเอสซี	22
3.11 หัวต่อแบบเอสที	22
3.12 กล่องเก็บสาย 6 คอร์	23
3.13 ตัวแปลงสัญญาณ	23
3.14 สายแลน	24
3.15 การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสง	25

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยเมื่อต่อเข้ากับจุดรับและจุดส่ง	27
3.17 แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยเมื่อต่อเข้ากับจุดรับและจุดส่ง	27
4.1 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง	28
4.2 แสดงการต่อถูกทั้ง 2 สาย	29
4.3 แสดงผล Connect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อถูกทั้ง 2 สาย	30
4.4 แสดงการต่อผิดเส้นใดเส้นหนึ่ง	30
4.5 แสดงผล Disconnect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อผิดเส้นใดเส้นหนึ่ง	31
4.6 แสดงการต่อผิดทั้งสายรับและสายส่ง	31
4.7 แสดงผล Disconnect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อผิดทั้งสายรับและสายส่ง	32
4.8 แสดงการต่อสายถูก	33
4.9 แสดงผล connect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อสายถูก	33
4.10 แสดงการต่อสายผิด	34
4.11 แสดงผล Disconnect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อสายผิด	34
4.12 เปรียบเทียบขนาดของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงและคอมพิวเตอร์	35

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 การเปรียบเทียบการใช้งานจริงระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงกับคอมพิวเตอร์ 34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสื่อสารได้ถูกพัฒนาไปอย่างกว้างขวาง ต่อเนื่องและรวดเร็ว เพราะการติดต่อสื่อสารนั้นมีอยู่ทั่วทุกพื้นที่ ทั่วทุกแห่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการดำเนินชีวิตประจำวัน เทคโนโลยีด้านการสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทต่อเรา ซึ่งการติดต่อสื่อสารที่สำคัญคือ การติดต่อสื่อสารข้อมูลที่เป็นกระบวนการถ่ายโอนแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างต้นทางและปลายทางโดยมีอุปกรณ์โทรคมนาคมเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลระหว่างกัน

เส้นใยนำแสง (Fiber optic) ได้เข้ามามีบทบาทด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ รวมถึงกลายมาเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเส้นใยนำแสงมีลักษณะเด่นหลายประการด้วยกัน อาทิเช่น ในการรับและส่งข้อมูลที่รวดเร็ว ไม่มีการเหนี่ยวนำจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีอัตราการสูญเสีย การลดทอนในการรับและส่งสัญญาณต่ำ แต่ทั้งนี้ ในการส่งข้อมูลจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงระหว่างภาคส่งและภาครับเพื่อให้สัญญาณระหว่างภาคส่งและภาครับเชื่อมต่อกัน ได้อย่างถูกต้อง

จากสาเหตุดังกล่าวทางผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง โดยอุปกรณ์นั้นสามารถตรวจสอบสัญญาณระหว่างภาคส่งและภาครับได้อย่างถูกต้อง เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งระบบการสื่อสารเส้นใยนำแสง และเป็นการศึกษาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในบทเรียนมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง

1.2.2 เพื่อตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงระหว่างภาคส่งและภาครับ

1.2.3 เพื่อใช้แทนคอมพิวเตอร์ในการตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สามารถออกแบบโปรแกรมตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงได้

1.3.2 สามารถตรวจสอบสัญญาณที่มาจากลิงค์เส้นใยนำแสงได้

1.3.3 สามารถตรวจสอบสัญญาณในเส้นใยนำแสงแบบ 6 คอร์ ระยะทางในการทดสอบ 20 เมตร โดยใช้ทดสอบหัวต่อแบบ SC-ST เท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ตรวจสอบสัญญาณในเส้นใยนำแสง

1.4.2 ใช้แทนคอมพิวเตอร์ในการตรวจสอบหาสัญญาณที่มีต้นทุนที่สูงและยากต่อการพกพา

1.4.3 ให้นิสิตรุ่นถัดไปเรียนรู้พื้นฐานการใช้อาดูโน่

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เส้นใยนำแสง (Fiber Optic) คือสายนำสัญญาณข้อมูลที่อาศัยหลักการหักเหของแสง กล่าวคือ ใช้กับสัญญาณข้อมูลในรูปของคลื่นแสงเท่านั้น โดยมีแกนกลางซึ่งอาจทำด้วยแก้วหรือพลาสติกขนาดเล็กหลาย ๆ เส้นอยู่รวมกัน เส้นใยแต่ละเส้นมีขนาดเล็กเท่าเส้นผมและภายในกลวง และเส้นใยเหล่านั้นจะได้รับการห่อหุ้มด้วยเส้นใยอีกชนิดหนึ่ง ก่อนจะหุ้มชั้นนอกสุดด้วยฉนวนและอาศัยหลักการของแสงในการรับส่งข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของคลื่นแสง ซึ่งมีใยแก้วชั้นนอกทำหน้าที่เป็นกระจกแสงสะท้อน แล้วให้แสงสะเคลื่อนที่สะท้อนไปมาภายในเส้นในจนถึงปลายทาง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสง (Fiber Optic) หมายถึง เส้นใยโปร่งแสงทรงกระบอกตันขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยทั้งเส้นประมาณ 125 ไมโครเมตร หรือ 0.125 มิลลิเมตร และมักทำมาจากแก้ว พลาสติก หรือวัสดุอื่น ๆ เราอาจเรียกเส้นใยนำแสง ว่า เส้นใยแก้ว หรือ เส้นใยแสง โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแสงมักเป็นสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ หรืออื่น ๆ เนื้อแก้วอาจถูกเจือด้วยสารหรือวัสดุบางอย่าง เพื่อทำให้แก้วมีค่าดัชนีหักเหของแสง (Reflactive Index) ตามที่ต้องการ นอกจากนี้เนื้อแก้วจะถูกเคลือบด้วยสีซิลิโคนโดยรอบ สีนี้จะช่วยบ่งบอกว่าเส้นใยแก้วนำแสงเป็นสายลำดับที่เท่าไร เพราะเนื่องจากสายแต่ละเส้นมีขนาดเล็กมาก ๆ สายใยแก้วจึงถูกมัดรวมกันเป็นชุด ชุดละไม่เกิน 12 เส้น อยู่ในหลอดพลาสติกคล้ายหลอดกาแฟ เรียกว่า (Loose Tube) แต่ละเส้นจึงบอกให้รู้ว่าเส้นไหนเป็นเส้นไหน ต้นทางปลายทางจะได้ต่อเป็นเส้นเดียวกัน เนื่องจากเส้นใยนำแสงมีคุณสมบัติหลักในการนำแสงได้ดีการนำมาประยุกต์ใช้งานจึงเกี่ยวข้องกับแสงโดยตรง แสงสามารถเดินทางเข้าไปในเส้นใยนำแสง ได้โดยใช้คุณสมบัติของแสง ที่เรียกว่า การสะท้อนกลับหมดของแสง (Total Internal Reflection:TIR) บางครั้งเรียกว่า ปรากฏการณ์ TIR แสงจะเคลื่อนที่สะท้อนไปมาภายในท่อแก้วเดินทางตามลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนำแสงจนกระทั่งถึงปลายอีกด้านหนึ่งแล้วแสงจะถูกส่งออกมา

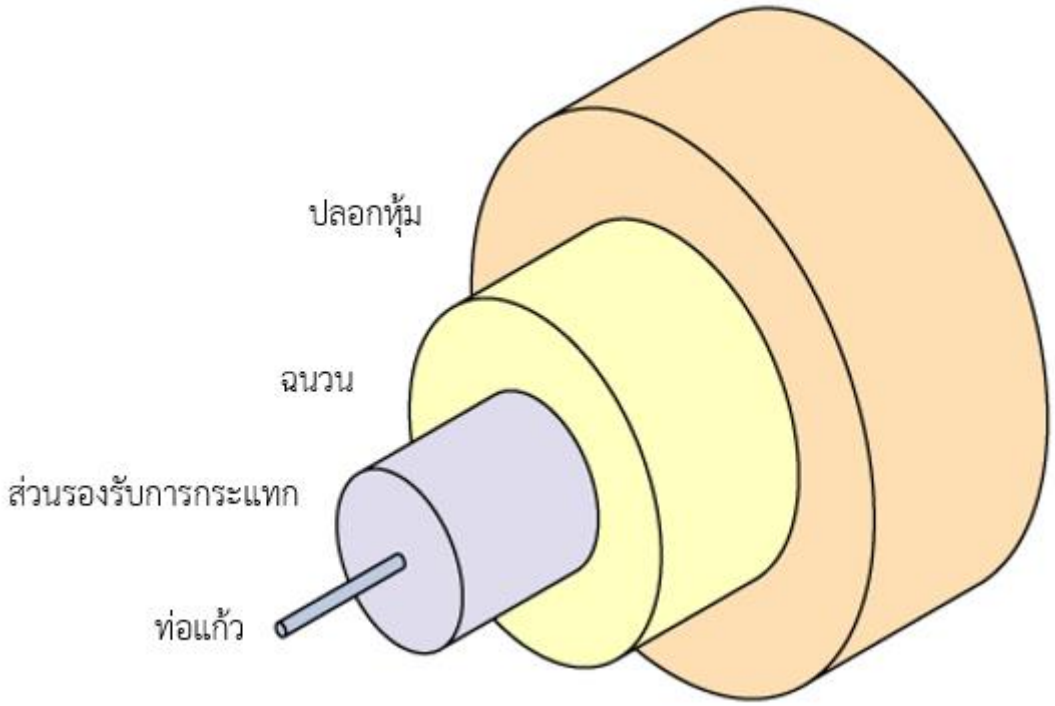
2.1.1 โครงสร้างของเส้นใยนำแสง

โครงสร้างของเส้นใยนำแสงประกอบไปด้วยส่วนสำคัญทั้งหมด 3 ส่วน ด้วยกัน คือ ส่วนที่เรียกว่า แกน จะอยู่ตรงกลางหรือชั้นในสุด ส่วนที่อยู่ถัดออกมาจะเรียกว่า ส่วนห่อหุ้ม และส่วนสุดท้ายคือส่วนป้องกัน โดยที่แต่ละส่วนจะทำหน้าที่แตกต่างกันดังนี้

2.1.1.1 แกน (Core) เป็นส่วนตรงกลางของเส้นใยแก้วนำแสง และเป็นส่วนนำแสง โดยดัชนีหักเหของแสงส่วนนี้ต้องมาก กว่าส่วนของแคลดลำแสง ที่ผ่านไปในแกนจะถูกขังหรือเคลื่อนที่ไปตามแกนของเส้นใยแก้วนำแสงด้วยกระบวนการสะท้อน กลับหมดภายใน

2.1.1.2 ส่วนห่อหุ้ม (Cladding) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มส่วนของแกนเอาไว้ มีหน้าที่ในการหักเหแสงจากส่วนของแกนออกไปที่ภายนอก และป้องกันไม่ให้แสงจากภายนอกมารบกวน โดยส่วนนี้จะมีดัชนีหักเหน้อยกว่าส่วนของแกน เพื่อ ให้แสงที่เดินทางภายในแกนสะท้อนอยู่ภายในแกนตามกฎของการสะท้อนด้วยการสะท้อนกลับหมด โดยใช้หลักของมุมวิกฤติ

2.1.1.3 ส่วนป้องกัน (Coating/Buffer) ทำหน้าที่ป้องกันส่วนที่เป็นแกนและส่วนห่อหุ้มเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของสายสัญญาณ โดยทำจากวัสดุที่แตกต่างกันไปแล้วแต่วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน เช่นการนำไปใช้ในอาคาร (Indoor Fiber Cable) นำไปใช้นอกอาคาร (Outdoor Fiber Cable) หรือนำไปใช้ใต้ท้องทะเล (Submarine Fiber Cable) ต้องใช้ส่วนป้องกันที่คุณสมบัติต่างกันออกไป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเส้นใยนำแสง

ที่มา: https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_electronics/wiki/3c457/10.html

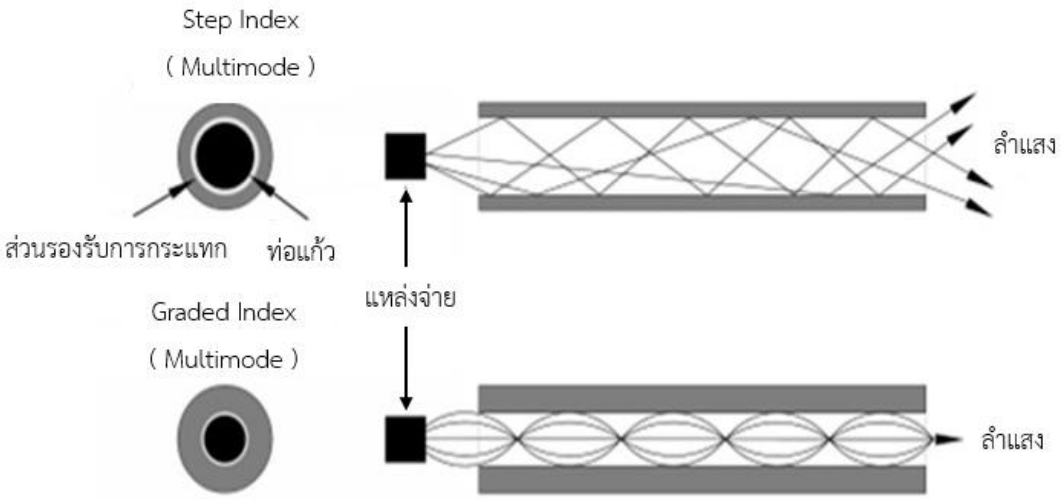
2.1.2 ประเภทของเส้นใยนำแสง

สายใยแก้วนำแสงสามารถแบ่งตามความสามารถในการนำแสงออกได้เป็น 2 ชนิด คือ สายใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (Single-mode Optical Fibers, SM) และชนิดหลายโหมด (Multimode Optical Fibers, MM)

2.1.2.1 Single Mode Fiber Optic มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนและ Cladding ประมาณ 5-10 และ 125 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยใช้ตัวนำแสงที่บีบลำแสงให้พุ่งตรงไปตามท่อแก้ว โดยมีการกระจายแสงออกทางด้านข้างน้อยที่สุด ซิงเกิลโหมดจึงเป็นสายใยแก้วนำแสงที่มีกำลังสูญเสียทางแสงน้อยที่สุด เหมาะสำหรับในการใช้กับระยะทางไกล ๆ การเดินสายใยแก้วนำแสงกับระยะทางไกลมาก เช่น เดินทางระหว่างประเทศ ระหว่างเมือง มักใช้แบบซิงเกิลโหมด

รูปที่ 2.2 เส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโหมด
ที่มา: https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet1/hardware/fddi/fddi.html

2.1.2.2 Multimode Fiber Optic เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงออกด้านข้างได้ ดังนั้นจึงต้องสร้างให้มีดัชนีหักเหของแสงกับอุปกรณ์ฉาบผิวที่สัมผัสกับเคล็ดดิงให้สะท้อนกลับหมด หากการให้ดัชนีหักเกของแสงมีลักษณะทำให้แสงเลี้ยวเบนทีละน้อยเราเรียกว่าแบบเกรดอินเด็กซ์ (Grade Index) หากให้แสงสะท้อนโดยไม่ปรับคุณสมบัติของแท่งแก้วให้แสงค่อยเลี้ยวเบนก็เรียกว่าแบบสเต็ปอินเด็กซ์ (Step Index) เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในเครือข่ายแลน ส่วนใหญ่ใช้แบบมัลติโหมด โดยเป็นขนาด 62.5/125 ไมโครเมตร หมายถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแก้ว 62.5 ไมโครเมตร และของแคล็ดดิงรวมท่อแก้ว 125 ไมโครเมตรคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสแต็ปอินเด็กซ์มีการสูญเสียสูงกว่าแบบเกรดอินเด็กซ์ เหมาะสำหรับใช้ภายในอาคารเท่านั้น



รูปที่ 2.3 เส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด
ที่มา: https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet1/hardware/fddi/fddi.html

2.1.3 หัวต่อเส้นใยนำแสง

หัวต่อเส้นใยนำแสง (Connector) มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงสองเส้น หรือระหว่างเส้นใยนำแสงกับดีเท็กเตอร์ทำหน้าที่ต่อหรือปลดสายออกจากกัน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับสายที่ออกจากเครื่องมือ สายเดินในบอร์ด หรือสายคัพเปลอร์ในระบบ LAN เมื่อมีหัวต่อในวงจรจะเกิดการสูญเสียในแต่ละจุดที่ใช้หัวต่อ แต่จำนวนหัวต่อที่ต้องใช้นั้นอย่างน้อยที่สุดก็ต้องมีสองจุด คือที่เครื่องส่ง 1 ตัว และเครื่องรับ 1 ตัว และถ้ามีความจำเป็นถ้าใช้สายเชื่อมต่อหรือเดินในแผง จำนวนหัวต่อก็จะเพิ่มขึ้นอีก

2.1.3.1.หัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ (SMA) หัวต่อชนิดนี้เป็นที่นิยมมาก หัวต่อเป็นน็อตหกเหลี่ยมและนิยมใช้กับสายเคเบิลแบบมัลติโหมด การออกแบบและประกอบหัวต่อชนิดนี้ทำได้ง่ายกว่าชนิดอื่น ๆ การออกแบบหัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ ขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของปลอกที่บังคับหน้าสัมผัส

รูปที่ 2.4 หัวต่อชนิดเอสเอ็มเอ
ที่มา: http://www.geocities.ws/fiberoptic_rmutsv/connectortype.html

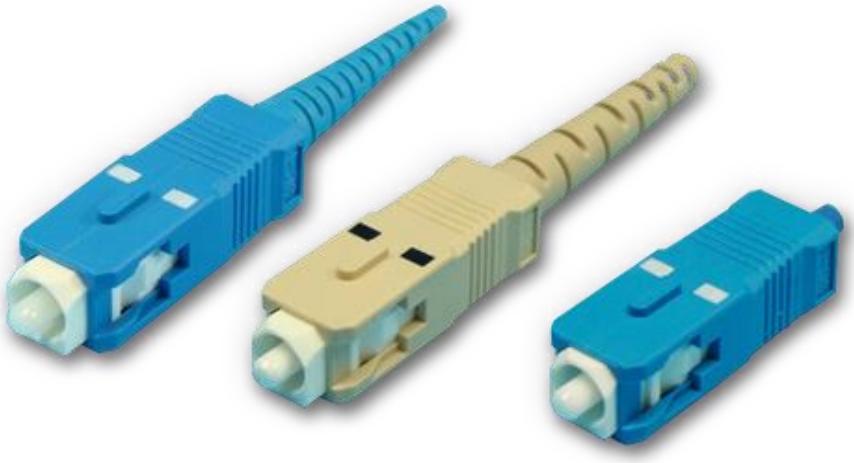
2.1.3.2 หัวต่อชนิดเอสที (ST) เป็นหัวต่อที่ถูกนำมาใช้งานสำหรับเส้นใยนำแสงชนิด Single Mode และ Multimode มากที่สุด โดยที่หัวต่อประเภทนี้ มีอัตราการสูญเสียกำลังแสงเพียงแค่ไม่เกิน 0.5 dB เท่านั้น วิธีการเชื่อมต่อก็เพียงสอดเข้าไปที่รูหัวต่อแล้วบิดตัวเพื่อให้เกิดการล็อคตัวขึ้น เพิ่มความทนทาน ทำให้ไม่เกิดปัญหาเนื่องจากการสั่นสะเทือน ถูกนำมาใช้กับระบบ LAN Hub หรือ Switches

รูปที่ 2.5 หัวต่อชนิดเอสที
ที่มา: https://sites.google.com/site/it39000009/hnwy-thi-4?tmpl

2.1.3.3 หัวต่อเอฟซี (FC) ส่วนมาก จะถูกนำไปใช้งานทางด้านเครือข่ายโทรศัพท์ เนื่องจากหัวต่อแบบนี้ อาศัยการขันเกลียว เพื่อยึดติดกับหัวปรับ ข้อดีของหัวต่อประเภทนี้ ได้แก่ การเชื่อมต่อที่แน่นหนา แต่ข้อเสียคือการเชื่อมต่ออาจต้องเสียเวลามาก

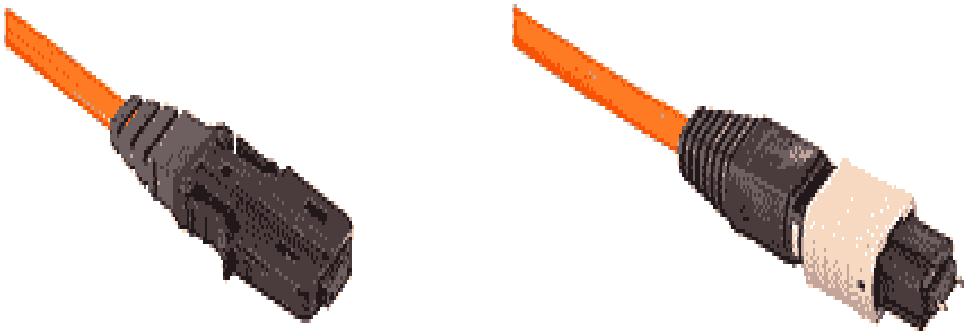
รูปที่ 2.6 หัวต่อชนิดเอฟซี
ที่มา: https://sites.google.com/site/it39000009/hnwy-thi-4?tmpl

2.1.3.4 หัวต่อเอสซี (SC) สำหรับการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งเครือข่าย LAN ชนิดนี้ เหมาะสำหรับ งานที่ต้องการถอดเปลี่ยนหัวต่ออย่างรวดเร็ว โดยไม่สนใจความแน่นหนาของหัวต่อ



รูปที่ 2.7 หัวต่อชนิดเอสซี
ที่มา: https://sites.google.com/site/it39000009/hnwy-thi-4?tmpl

2.1.3.5 หัวต่อชนิดเอฟดีดีไอ (FDDI) บางทีเรียกว่า "Media Interface Connector (MIC)" ออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์อันแรก คือ เชื่อมต่อระบบส่งเส้นใยนำแสงจากสายส่งเส้นใยนำแสงชุดแรกไปยังชุดที่สอง หรือส่งสัญญาณจากเส้นใยนำแสงผ่านหัวต่อเอฟดีดีไอแล้วแยกไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องรับ เครื่องส่ง หรือ สวิตช์บายพาส (Bypass Switch) ตัวปลั๊กเสียบมีปุ่มล็อกเพื่อล็อกกับตัวรับอีกทีหนึ่ง หัวต่อชนิดนี้มีปลอกโลหะสำหรับยึดสายจำนวนสองปลอก เพื่อใช้งานกับเคเบิลแบบ ดูเพล็กซ์ (Duplex Cable) ตัวปลอกมีสภาพเป็นประเภทยืดหด หรือปรับตัวได้ขณะที่เสียบต่อกัน



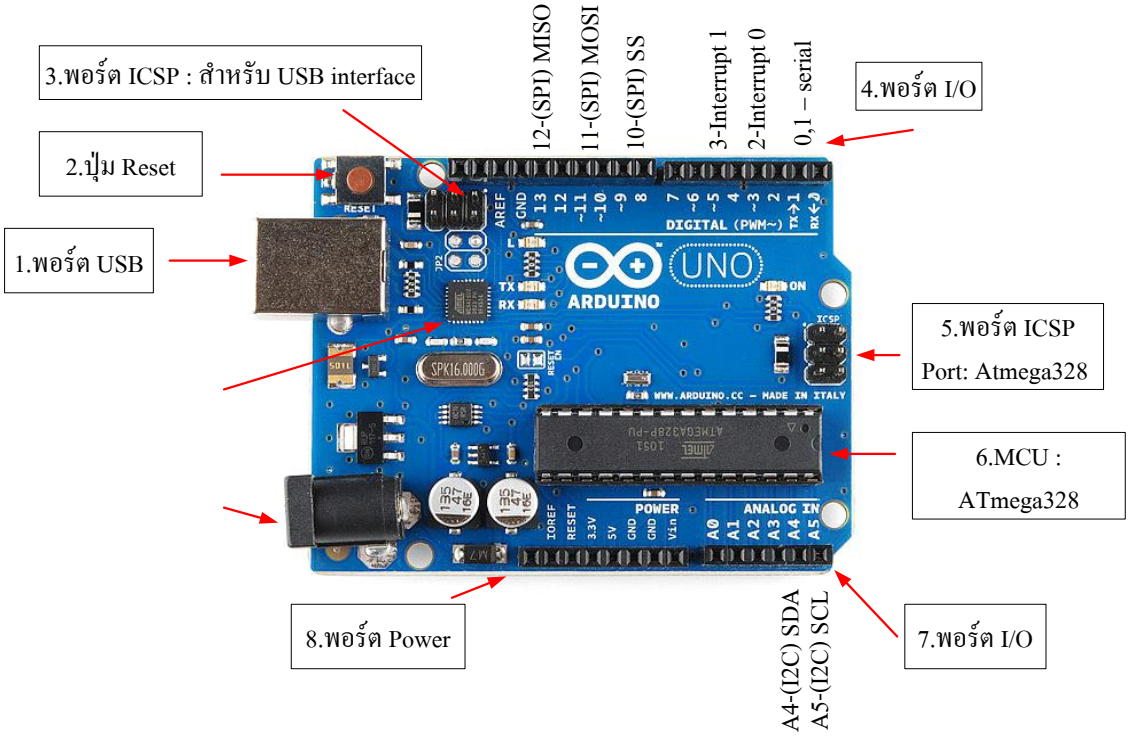
รูปที่ 2.8 หัวต่อชนิดเอฟดีดีไอ
ที่มา: http://www.geocities.ws/fiberoptic_rmutsv/connectortype.html

2.2 ทฤษฎีพื้นฐาน Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วยโดยความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ คือ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ดหรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภท เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ด Arduino จะต้องเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาของ Arduino โดยจะอ้างอิงตามภาษา C/C++ จึงอาจกล่าวได้ว่าการเขียนโปรแกรมสาหรับ Arduino ก็คือการเขียนโปรแกรมภาษา C โดยเรียกใช้ฟังก์ชั่นและไลบรารีที่ทาง Arduino เตรียมไว้ให้แล้ว ซึ่งสะดวกและทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างลึกซึ้งสามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้

2.2.1 โครงสร้าง Arduino



รูปที่ 2.9 โครงสร้าง Arduino รุ่น UNO R3

ที่มา: http://jjhobby.blogspot.com/2015/12/arduino_27.html

2.2.1.1 USBPort ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัพโหลดโปรแกรมเข้าMCUและจ่ายไฟให้กับบอร์ด

2.2.1.2 Reset Button เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

2.2.1.3 ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

2.2.1.4 I/OPort Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM

2.2.1.5 ICSP Port Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader

2.2.1.6 MCU Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ดอาดูโน่

2.2.1.7 I/OPort นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5

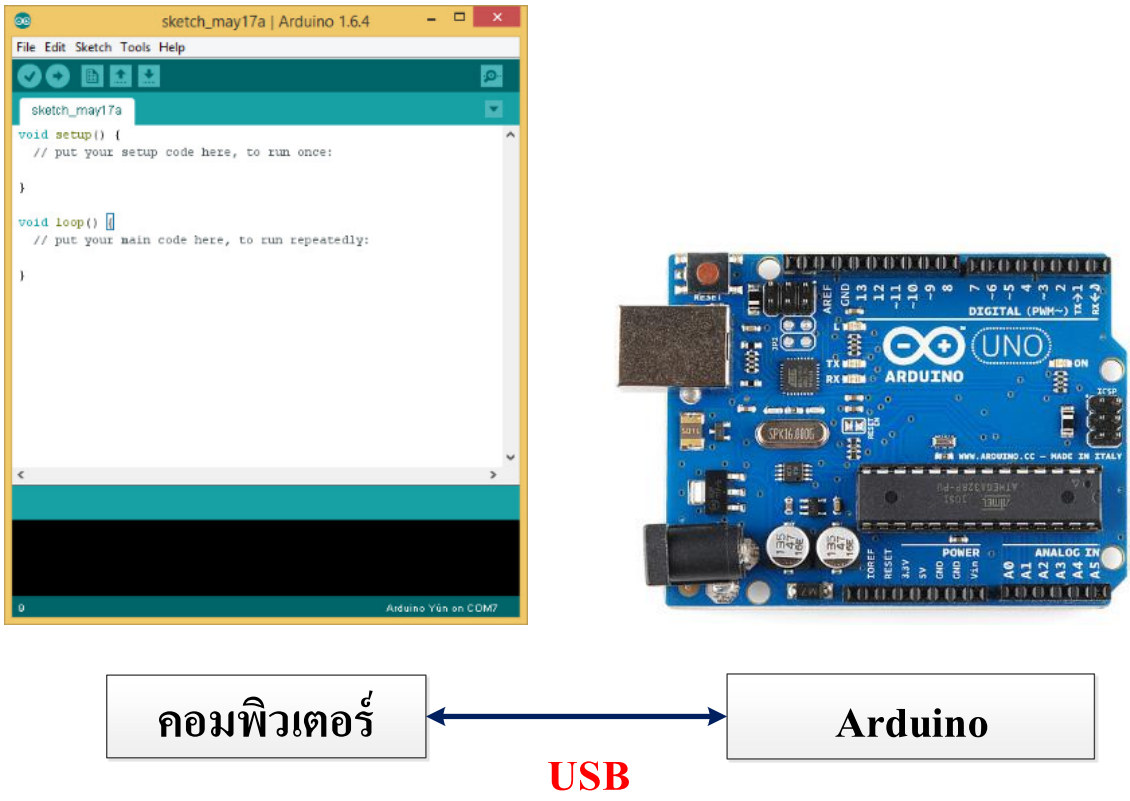
2.2.1.8 Power Port ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}

2.2.1.9 Power Jack รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

2.2.1.10 MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

2.2.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่ง Arduino IDE คือเครื่องมือการเขียนโปรแกรมที่มีใช้งานได้กับ Arduino ได้ทุกรุ่น โดยภายในจะมีเครื่องมือที่จะเป็นสำหรับติดต่อ Arduino เช่น การค้นหา Arduino ที่ติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ การเลือกรุ่น Arduino ที่ต่ออยู่ เพื่อตรวจสอบว่าขนาดของโปรแกรมที่เขียน หรือไลบรารี่ต่าง ๆ ซับพอร์ตกับ Arduino รุ่นนั้น ๆ ไหม อีกทั้งยังมีโปรแกรมติดต่อผ่านซีเรียลโดยตรงสำหรับคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเขียนโปรแกรมลงบน Arduino

ที่มา: http://pic-arduino.blogspot.com/2015/08/arduino.html

2.2.3 จอ Character LCD กับ Arduino

คำว่า LCD ย่อมาจากคำว่า Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นจอที่ทำมาจากผลึกคริสตอลเหลว หลักการคือด้านหลังจอจะมีไฟส่องสว่าง หรือที่เรียกว่า Backlight อยู่ เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้า

เข้าไปกระตุ้นที่ผลึก ก็จะทำให้ผลึกโปร่งแสง ทำให้แสงที่มาจากไฟ Backlight แสดงขึ้นมาบนหน้าจอ ส่วนอื่นที่โดนผลึกปิดกั้นไว้ จะมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตอล เช่น สีเขียว หรือ สีฟ้า ทำให้เมื่อมองไปที่จอก็จะพบกับตัวหนังสือสีขาว แล้วพบกับพื้นหลังสีต่าง ๆ กัน

จอ LCD จะแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ตามลักษณะการแสดงผลดังนี้

2.2.3.1 Character LCD เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว เช่น จอ LCD ขนาด 16x2 หมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน ส่วน 20x4 จะหมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 20 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัด

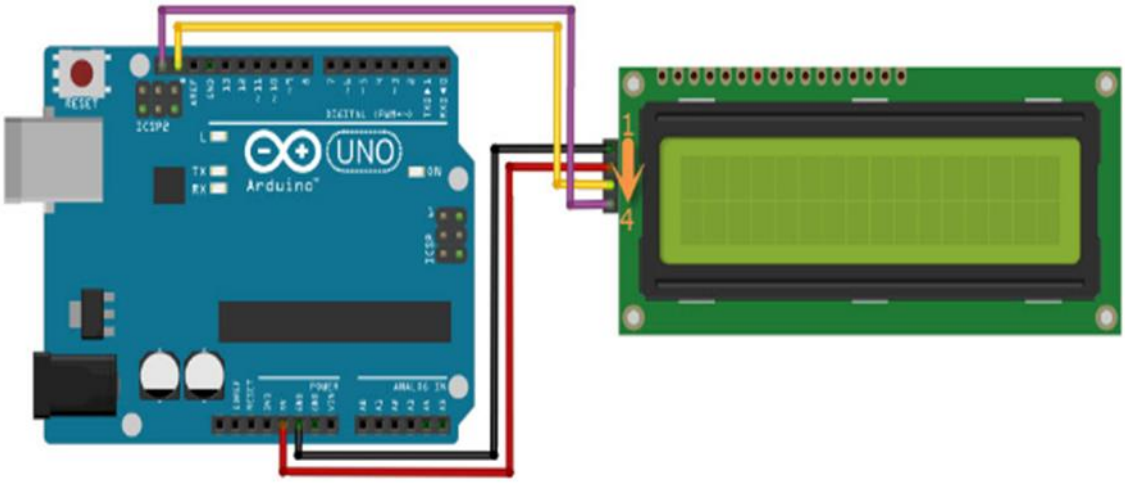
2.2.3.2 Graphic LCD เป็นจอที่สามารถกำหนดได้ว่าจะให้แต่ละจุดบนหน้าจอกั้นแสง หรือปล่อยแสงออกไป ทำให้จอนี้สามารถสร้างรูปขึ้นมาบนหน้าจอได้ การระบุขนาดจะระบุในลักษณะของจำนวนจุด (Pixels) ในแต่ละแนว เช่น 128x64 หมายถึงจอที่มีจำนวนจุดตามแนวนอน 128 จุด และมีจุดตามแนวตั้ง 64 จุด

2.2.4 การเชื่อมต่อ Arduino กับจอ Character LCD

การเชื่อมต่อจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

2.2.4.1 การเชื่อมต่อแบบขนาน เป็นการเชื่อมต่อจอ LCD เข้ากับบอร์ด Arduino โดยตรง โดยจะแบ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบ 4 บิต และการเชื่อมต่อแบบ 8 บิต ใน Arduino จะนิยมเชื่อมต่อแบบ 4 บิต เนื่องจากใช้สายในการเชื่อมต่อน้อยกว่า

2.2.4.2 การเชื่อมต่อแบบอนุกรม เป็นการเชื่อต่อกับจอ LCD ผ่านโมดูลแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อกับจอ LCD จากแบบขนาน มาเป็นการเชื่อมต่อแบบอื่นที่ใช้สายน้อยกว่า เช่น การใช้โมดูล I2C Serial Interface จะเป็นการนำโมดูลเชื่อมเข้ากับตัวจอ LCD แล้วใช้บอร์ด Arduino เชื่อมต่อกับบอร์ดโมดูลผ่านโปรโตคอล I2C ทำให้ใช้สายเพียง 4 เส้น ก็ทำให้หน้าจอแสดงผลข้อความต่าง ๆ ออกมาได้



รูปที่ 2.11 การเชื่อมต่อ Arduino กับจอ Character LCD

ที่มา: http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/

2.2.5 Ethernet Shield

Ethernet Shield คืออุปกรณ์ที่ใช้ประกอบกับ Arduino UNO เพื่อที่จะทำให้สามารถติดต่อกับระบบเครือข่ายหรือเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ โดยการเชื่อมต่อกับ Ethernet ShieldHIELD นี้เป็นการเชื่อมต่อแบบใช้สาย LAN โดยจะใช้สาย RJ45 หรืออาจจะใช้ CAT5 หรือ CAT6 ความเร็วในการสื่อสารของบอร์ดนี้จะอยู่ที่ 10/50 Mbps หรือ 10/100 Mbps

รูปที่ 2.12 Ethernet shield
ที่มา: http://forum.arduino.cc/index.php?topic=219313.0

ในส่วนของ Ethernet shield นี้มีโมดูลที่สามารถรองรับ Power over Ethernet ซึ่งสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟของบอร์ดได้เลย นอกจากนี้ยังมีไฟแสดงผลซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.5.1 PWR: ไฟแสดงสัญญาณ Power

2.2.5.2 LINK: ไฟแสดงสถานะการอัพโหลดและดาวโหลดข้อมูลผ่านเครือข่าย

2.2.5.3 FULLD: ไฟแสดงสถานะของการเชื่อมต่อแบบ Full Duplex

2.2.5.4 100M:ไฟแสดงถานะเมื่อมีการเชื่อมต่อเครือข่ายได้ถึง 100 Mbps

2.2.5.5 RX:ไฟแสดงสถานะเมื่อ ETHERNET SHIELD มีการรับข้อมูล

2.2.5.6 TX:ไฟแสดงสถานะเมื่อ ETHERNET SHIELD เมื่อมีการส่งข้อมูล

2.2.5.7 COLL: ไฟแสดงสถานะเมื่อมี IP ชนกันของเครือข่าย

2.3 หลักการ Client/Server

Client/Server เป็นระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพสูง และมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางมากกว่าระบบเครือข่ายแบบอื่นที่มีในปัจจุบัน ระบบ Client/Server สามารถสนับสนุนให้มีเครื่องลูกข่ายได้เป็นจำนวนมาก และสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้หลาย การทำงานลักษณะ Client/Server นั้นประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนของผู้ใช้บริการ (Client) ส่วนเครือข่าย (Network) ส่วนของผู้ให้บริการ (Server) โดย ตัว Client จะเริ่มด้วยการส่ง Request ผ่าน Networkไปยัง Server เพื่อให้ Server ตอบรับและให้บริการตามคำร้องขอแก่ Client ตัว Server ไม่สามารถเป็นตัวเริ่มการติดต่อได้ ตัวเซิร์ฟเวอร์จะทำการแปลข้อความและพยายามทำตามคำร้องขอนั้นซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับฐานข้อมูล การประมวลผลข้อมูลการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก หรือการส่งคำร้องขอเพิ่มเติมไปยังเซิร์ฟเวอร์ตัวอื่น ตามลักษณะโครงสร้างแล้ว Client หนึ่งตัวสามารถส่งคำร้องขอไปยังเซิร์ฟเวอร์ได้หลายตัวและเซิร์ฟเวอร์หนึ่งตัวก็สามารถให้บริการแก่ Client ได้หลายตัวเช่นกัน หรือจะเรียกเซอร์ฟเวอร์ที่ทำงานแตกต่างกัน หากในระบบมี Server ที่ดูแลดาต้าเบสหลายตัว ระบบนั้นก็จะเป็นระบบจัดการข้อมูลแบบกระจาย ดังนั้นระบบฐานข้อมูลแบบกระจายจึงเป็นระบบที่ต้องทำงานโดยอาศัยการทำงานตามโมเดล Client/Server จากนั้นทางฝั่งclient จะแปลงออกมาให้อยู่ในรูปที่ผู้ใช้สามารถเข้าใจได้
ลักษณะการทำงานที่เรียกว่าเป็น Client/Server ได้แก่ การทำงานในรูปแบบ Internet ที่ผู้ใช้ร้องขอข้อมูลhomepageโดยการพิมพ์ URL เข้าไปผ่านทางบราวเซอร์ของฝั่งclientจากนั้น ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังฝั่ง Server เมื่อได้รับแล้ว Server จะทำการประมวลผลจากนั้นจะส่งกลับมาให้ฝั่ง Client ซึ่งข้อมูลที่ส่งมาจะอยู่ในรูปของ HTML ซึ่งจะแสดงให้ผู้ใช้เห็นกราฟฟิกต่าง ๆ ได้โดยผ่านการประมวลผลด้วย Browser ของฝั่ง Client เองหรือการทำงานในรูปแบบของ Database Server ซึ่งหากจัดการข้อมูลเป็นฐานข้อมูลและให้บริการการเรียกใช้ผ่านคำสั่งจัดการฐานข้อมูลมาตรฐาน เช่น SQL ส่วนทางฝั่งที่ทำหน้าที่ขอใช้บริการเรียกว่า ไคลแอนต์ เช่น พีซีที่ต่ออยู่บนเครือข่าย ขอเรียกใช้ฐานข้อมูลเราเรียกพีซีนี้ว่า ดาต้าเบสไคลแอนต์

Client และ Server เป็นตัว Software ไม่มีอุปกรณ์ Hardware มาเกี่ยวข้องเพราะรูปแบบขั้นพื้นฐานของ Client/Server จะเกี่ยวข้องกับโปรแกรมการร้องขอ (Request) ซึ่งตัว Client จะส่งออกไปเมื่อตัวเซิร์ฟเวอร์ได้รับคำร้องขอนั้นตัวเซิร์ฟเวอร์จะพยายามตอบรับการร้องขอนั้นและจะส่งโปรแกรมการตอบรับ (Response) Hardware นั้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบเน็ตเวิร์คที่จะทำให้ข้อมูลมีการส่งถึงกันได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Client / Server เป็นเพียงโมเดลหนึ่งในระบบ เน็ตเวิร์คเท่านั้น

2.3.1 ประโยชน์ของระบบ Client/Server

2.3.1.1 การใช้ทรัพยากรร่วมกัน เช่น เครื่องพิมพ์ ฮาร์ดดิสก์ การเชื่อมโยงสื่อสารระหว่างกัน และแอพพลิเคชันต่าง ๆ

2.3.1.2 ช่วยแบ่งเบาภาระการประมวลผลในการทำงานของระบบเครือข่าย เมนเฟรมและมินิคอมพิวเตอร์ที่ยุ่งยากและราคาแพง มาสู่ระบบเครือข่าย Client and Server ที่มีราคาถูกกว่า

2.3.1.3 การจัดเก็บข้อมูลง่าย สะดวกและ สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงแก้ไขฐานข้อมูลให้ถูกต้อง และทันสมัยอยู่ตลอดเวลา

2.3.1.4 ช่วยลดค่าใช้จ่ายของการบำรุงรักษา (Maintenance Costs) ของ Software และ Hardware แต่ละเครื่อง

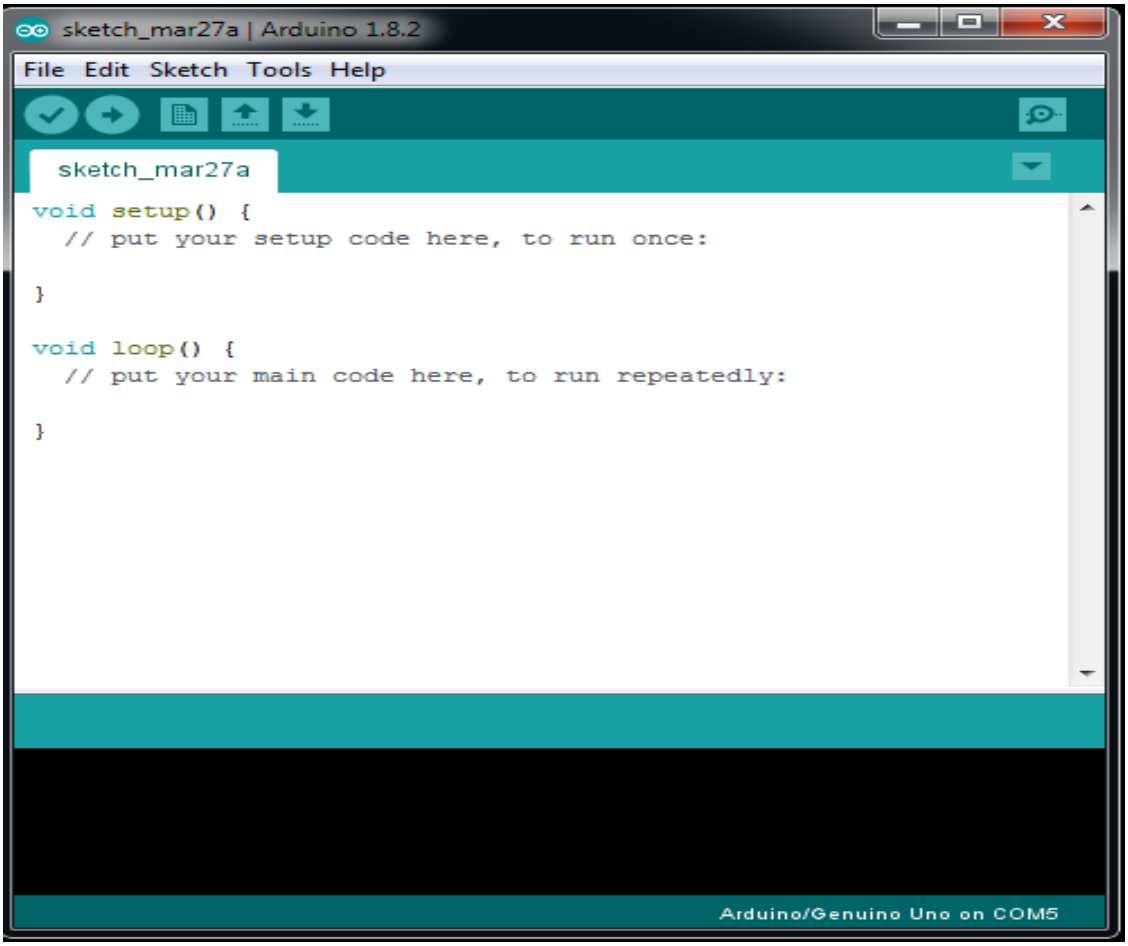
2.3.1.5 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ Workstation

บทที่ 3
การออกแบบ

ในการศึกษาการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสง ในบทนี้จะมีส่วนของวิธีการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสงและเทียบกับการวัดโดยใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสะดวกรวดเร็วในการวัดโดยใช้คอมพิวเตอร์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสง

3.1 ลักษณะอุปกรณ์ในส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสง

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสง ทำการเขียนโค้ดในโปรแกรมอาดูโน่ดังแสดงในรูปที่ 3.1

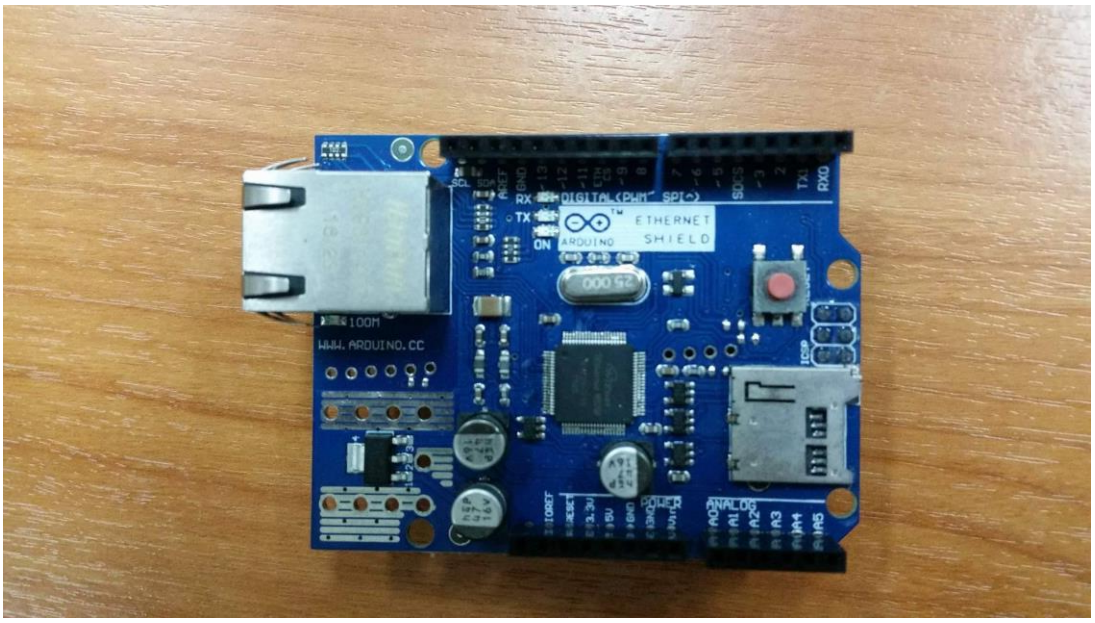


รูปที่ 3.1 โปรแกรม Arduino

จากรูปที่ 3.1 โปรแกรมภาษาของอาดูโน่ จะได้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษีประยุกต์ แบบหนึ่ง ที่มีโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) อื่น ๆ เพียงแต่ได้มีการปรับปรุงแบบในการเขียนโปรแกรมบางส่วนที่ผิดเพี้ยนไปจาก ANSI-C เล็กน้อย เพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมและให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและสะดวกมากกว่าการเขียนภาษาซีตามแบบมาตรฐานของ ANSI-C โดยตรง

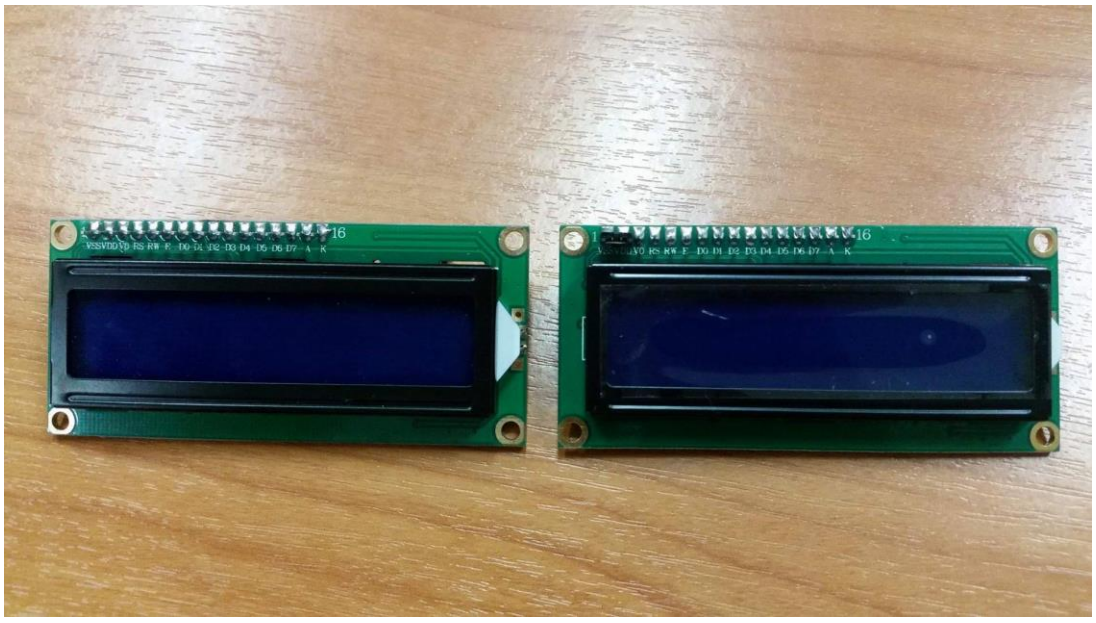
รูปที่ 3.2 บอร์ด Arduino

จากรูปที่ 3.2 อาดูโน่เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ ตัว บอร์ดอาดูโน่ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายและยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติมพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย



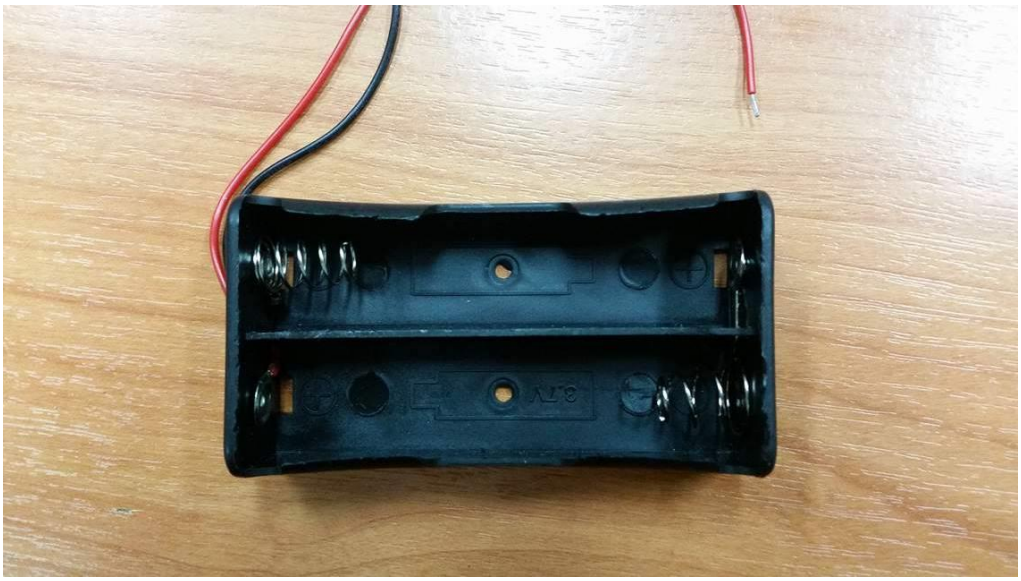
รูปที่ 3.3 Ethernet Shield

จากรูปที่ 3.3 Ethernet Shield นี้จะใช้ประกอบกับ Arduino UNO เพื่อที่จะทำให้สามารถติดต่อกับระบบเครือข่ายได้ โดยใช้ Ethernet Library การเชื่อมต่อกับ Ethernet Shield นี้จะใช้สาย RJ45 , CAT5 หรือ CAT6 ในการต่อก็ได้ ความเร็วในการสื่อสารของบอร์ดนี้จะอยู่ที่ 10/50 Mbps หรือ 10/100 Mbps แล้วแต่แหล่งผลิต



รูปที่ 3.4 Character LCD

จาก**รูปที่** 3.4 Character LCD เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว ใส่ได้ทั้งหมด 16 ตัวอักษร และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน



รูปที่ 3.5 รางถ่านขนาด 3.7 V แบบใส่ถ่าน 2 ก้อน

จากรูปที่ 3.5 รางถ่านขนาด 3.7 V แบบใส่ถ่าน 2 ก้อน มีไว้สำหรับบรรจุถ่านขนาด 3.7 V

รูปที่ 3.6 สายไฟหัวต่อแบบตัวผู้ ตัวเมียในเส้นเดียว

จากรูปที่ 3.6 สายไฟหัวต่อแบบตัวผู้-ตัวเมียในเส้นเดียว มีไว้สำหรับนำไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ถูกเชื่อม

รูปที่ 3.7 สวิตช์เปิดปิดหลังเต่าขนาดเล็ก

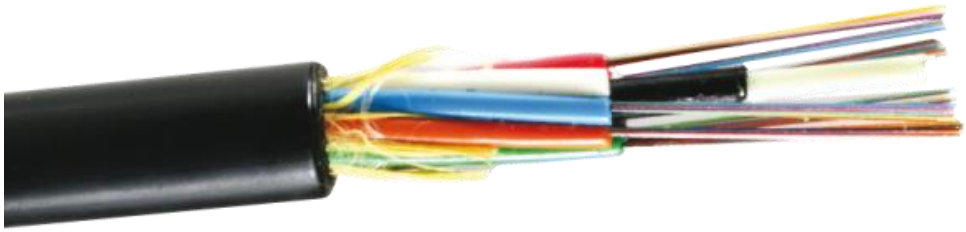
จากรูปที่ 3.7 สวิตช์เปิดปิดหลังเต่าขนาดเล็ก เป็นตัวจ่ายไฟและตัวไฟของวงจร

รูปที่ 3.8 ถ่านขนาด 3.7 V

จากรูปที่ 3.8 ถ่านขนาด 3.7 V เป็นตัวจ่ายไฟไปยังตัวอุปกรณ์

3.2 ลักษณะอุปกรณ์ในส่วนของอุปกรณ์ในการใช้ทดสอบ

ในส่วนอุปกรณ์ในการใช้ทดสอบนั้นจะประกอบไปด้วยสายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Cable) คือ สายนำสัญญาณข้อมูลที่ใช้หลักการทางแสง กล่าวคือ ใช้กับสัญญาณข้อมูลที่อยู่ในรูปของคลื่นแสงเท่านั้นตัวแก้วนำแสงอาจทำจากแก้วหรือพลาสติก โดยสัญญาณข้อมูลจะถูกเปลี่ยนเป็นคลื่นแสงแล้วจึงส่งให้เดินทางสะท้อนภายในสายใยแก้วเรื่อยไปจนถึงผู้รับที่ปลายทางสายใยแก้ว มีคุณสมบัติที่ดีกว่าสายทั่วไปหลายประการ เช่น มีขนาดเล็ก ส่งผ่านข้อมูลได้ครั้งละมาก ๆ สัญญาณข้อมูลมีโอกาสถูกลดทอนน้อยมาก ทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยข้อจำกัด คือ เมื่อสายใยแก้วขาด หักงอหรือแตกหัก จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์พิเศษในการซ่อมแซม ซึ่งยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าแบบอื่น



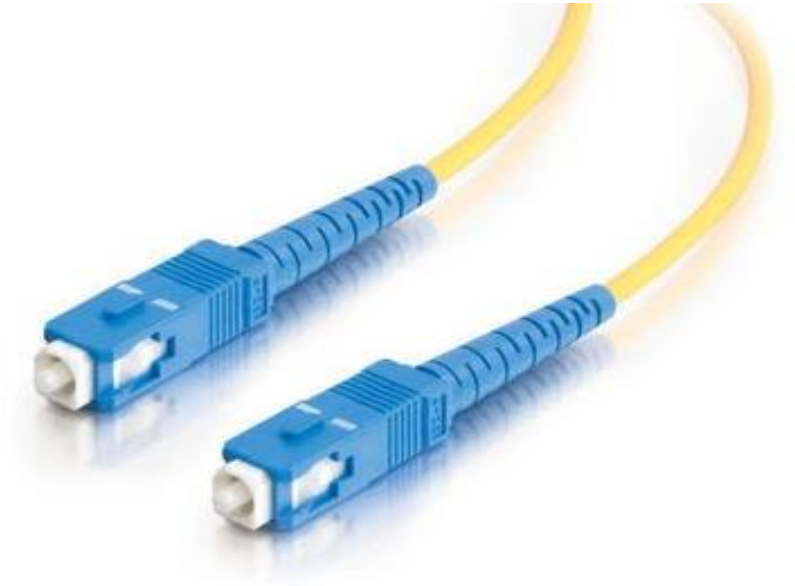
รูปที่ 3.9 สายไฟเบอร์ออฟติกแบบเดินภายนอกอาคาร

Loose Tube เป็นสายไฟเบอร์ออฟติกที่ออกแบบมาใช้เดินภายนอกอาคาร (Outdoor) โดยการนำสายไฟเบอร์ออฟติกมาไว้ในแท่งพลาสติก และใส่เยลกันน้ำเข้าไป เพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับแรงต่าง ๆ อีกทั้งยังกันน้ำซึมเข้าภายในสาย

จากรูปที่ 3.9 เป็นสายแบบ ADSS (All Dielectric Self Support) เป็นสายไฟเบอร์ออฟติก ที่สามารถโยงระหว่างเสาได้ โดยไม่ต้องมีลวดสลิงเพื่อประคองสาย

3.2.1 หัวต่อเส้นใยนำแสง

การเชื่อมต่อเส้นใยแสงยังสามารถทำได้โดยการใช้หัวต่ออีกด้วย ทำให้มีความสะดวกในการถอดได้ตามความจำเป็นหัวต่อสำหรับเส้นใยแสง



รูปที่ 3.10 หัวต่อแบบ SC

จากรูปที่ 3.11 หัวต่อแบบ sc จะใช้เชื่อมต่อเส้นใยแสงภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งเครือข่ายงานบริเวณเฉพาะที่ (Local Area Network หรือ LAN) ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการถอดเปลี่ยนหัวต่ออย่างรวดเร็ว โดยไม่สนใจความแน่นหนาของหัวต่อ

รูปที่ 3.11 หัวต่อแบบ ST

หัวต่อแบบ ST เป็นหัวต่อที่ใช้ได้ทั้งเส้นใยแสงแบบโหมดเดี่ยว (Single-Mode) และ เส้นใยแสงแบบหลายโหมด (Multi-Mode) โดยที่หัวต่อประเภทนี้ มีอัตราการสูญเสียกำลังแสงไม่เกิน 0.5 dB เท่านั้น วิธีการเชื่อมต่อก็เพียงสอดเข้าไปที่รูหัวต่อแล้วบิดตัวเพื่อให้เกิดการล็อคตัวขึ้น เพิ่มความทนทาน ทำให้ไม่เกิดปัญหาเนื่องจากการสั่นสะเทือน

รูปที่ 3.12 กล่องเก็บสาย 6 คอร์

จากรูปที่ 3.12 กล่องเก็บสาย 6 คอร์ เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างสายไฟเบอร์ภายในอาคารและสายไฟเบอร์ภายนอกอาคาร

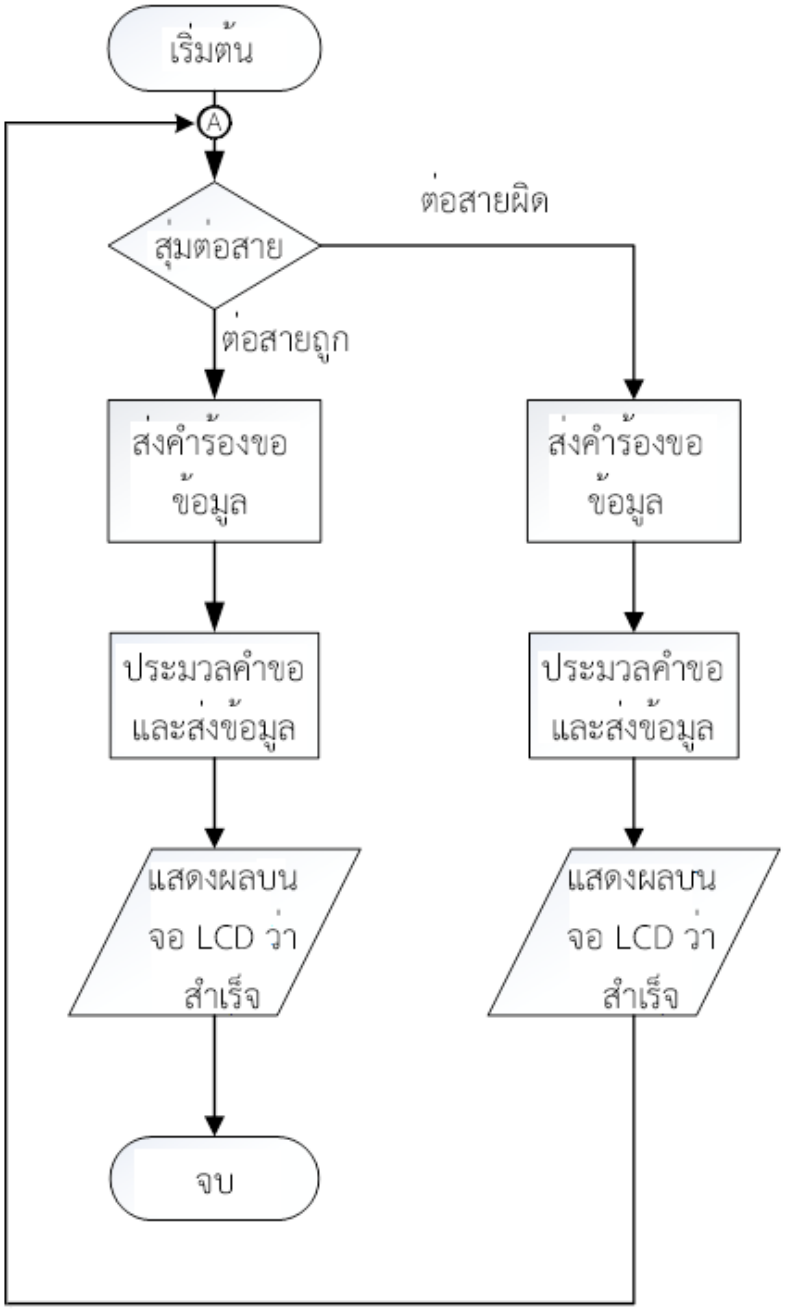
รูปที่ 3.13 ตัวแปลงสัญญาณ

จากรูปที่ 3.13 ตัวแปลงสัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบให้ทำการแปลงสัญญาณจากใยแก้วนำแสงเป็นสัญญาณในสายเคเบิ้ลทองแดงทั้งแปลงไปและแปลงกลับ ออกแบบมาภายใต้มาตรฐาน ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานในรูปแบบการส่งผ่านหลายโหมดและโหมดเดียว

รูปที่ 3.14 สายแลน

จากรูปที่ 3.14 สายแลน (Lan Cable) เป็นสายนำสัญญาณที่ใช้ต่อกับคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่ายอย่าง Switch หรือ Hub และสายแลนก็ใช้ต่อกับ โมเด็มเราเตอร์เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณอินเตอร์เน็ตได้อีกด้วย การส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์โดยตรงก็สามารถที่จะใช้สายแลนในการเชื่อมต่อได้

3.3 การออกแบบการทดลอง



รูปที่ 3.15 การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสง

จากรูปที่ 3.15 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสงเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

3.3.1 การสุ่มต่อสาย

3.3.1.1 กรณีที่สายหัวต่อเป็นแบบ 2 สาย

ในกรณีที่สายหัวต่อเป็นแบบ 2 สาย (สายหนึ่งเป็นตัวรับ สายสองเป็นตัวส่ง) นั้นจะมีการจำแนกการสุ่มต่อสายเป็น 3 วิธี คือ

3.3.1.1.1 สายหัวต่อต่อถูกทั้ง 2 สาย

3.3.1.1.2 สายหัวต่อต่อผิดเส้นใดเส้นหนึ่ง

3.3.1.1.3 สายหัวต่อต่อผิดทั้งสายรับและสายส่ง

3.3.1.2 กรณีที่สายหัวต่อเป็นแบบสายเดียว

ในกรณีที่สายหัวต่อเป็นแบบสายเดียว (มีทั้งตัวรับและตัวส่งในเส้นเดียว) นั้นจะมีการจำแนกการสุ่มต่อสายเป็น 2 วิธี คือ

3.3.1.2.1 สายหัวต่อต่อถูก

3.3.1.2.2 สายหัวต่อต่อผิด

3.3.2 คำร้องขอข้อมูล

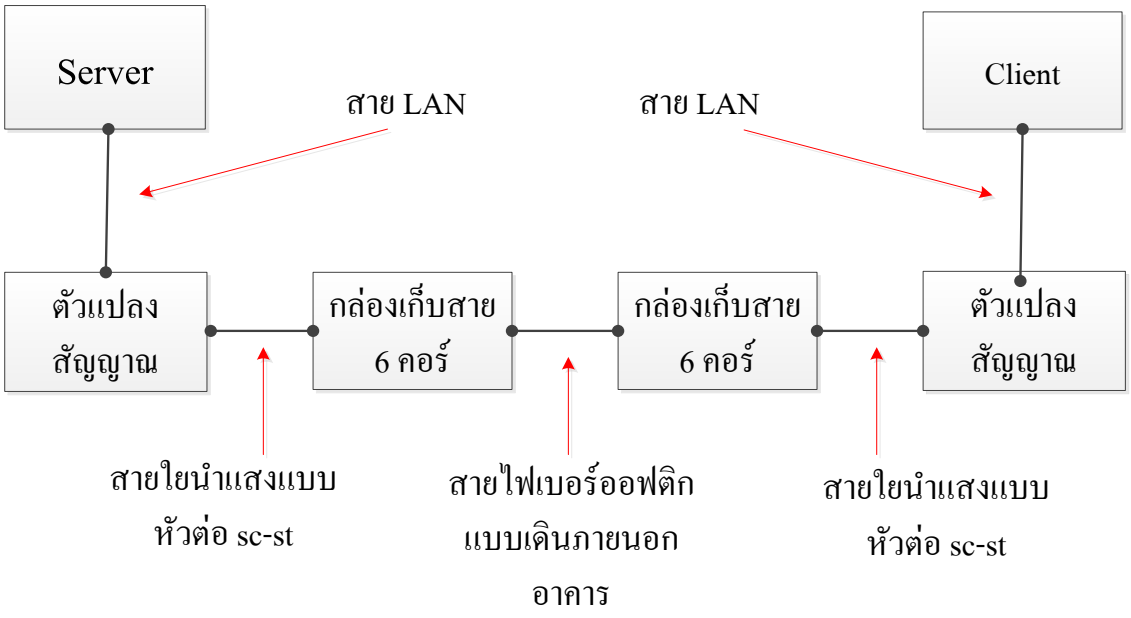
เป็นการทำงานโดยอุปกรณ์ที่เป็นผู้ส่ง (Client) จะสร้างคำขอข้อมูลเพื่อขอไปยังอุปกรณ์หนึ่งที่เป็นผู้รับ (Server)

3.3.3 ประมวลคำขอและส่งข้อมูล

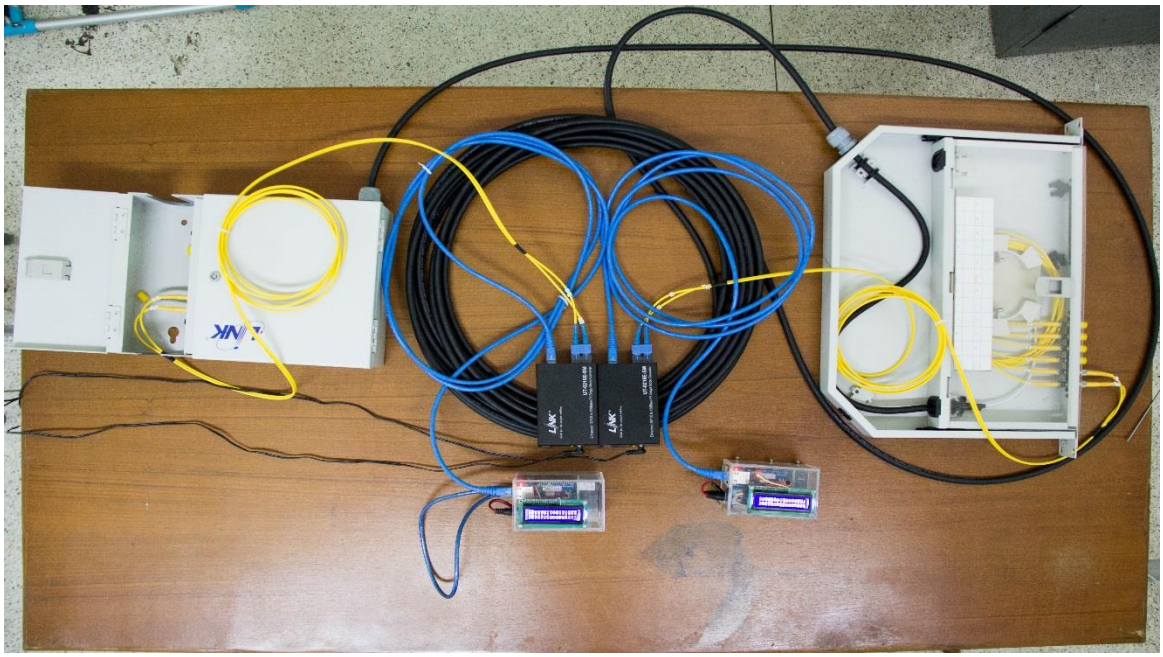
เป็นการทำงานแบบผู้รับโดยอุปกรณ์ที่เป็นผู้รับจะรับคำขอของผู้ส่งมาและหาข้อมูลที่ผู้ส่งต้องการจนครบถ้วนและส่งกลับไปยังผู้ส่ง

3.3.4 การแสดงผล

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำงานอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยนำแสง หลังจากที่ผู้รับส่งข้อมูลไปยังผู้ส่งเสร็จก็จะแสดงผลบนหน้าจอ LCD ทั้งบนอุปกรณ์ผู้ส่งและผู้รับ



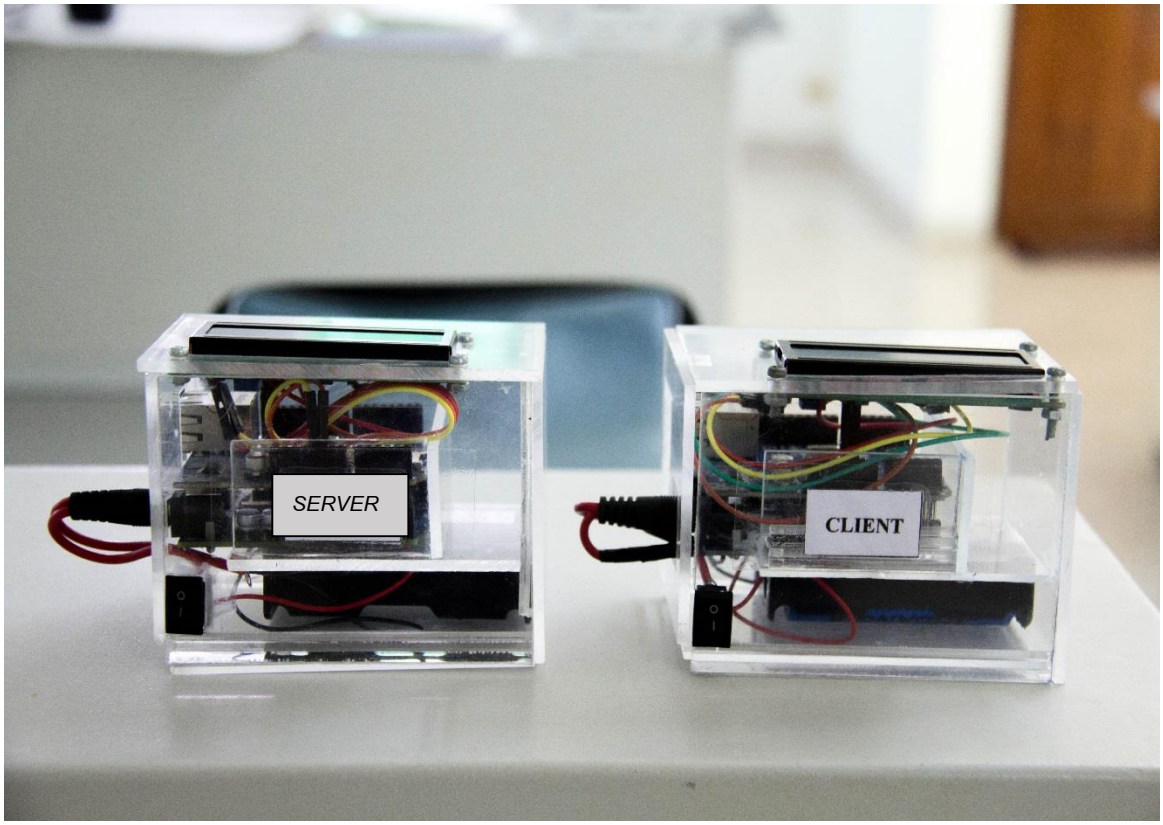
รูปที่ 3.16 การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยเมื่อต่อเข้ากับจุดรับและจุดส่ง



รูปที่ 3.17 แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณภายในเส้นใยเมื่อต่อเข้ากับจุดรับและจุดส่ง

บทที่ 4
ผลการทดลอง

สำหรับในส่วนของเนื้อหาของบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง ที่ได้มีการอธิบายหลักทฤษฎีเอาไว้แล้วในตอนต้นเพื่อพิสูจน์ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงนั้นใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง

4.1 การต่อสาย

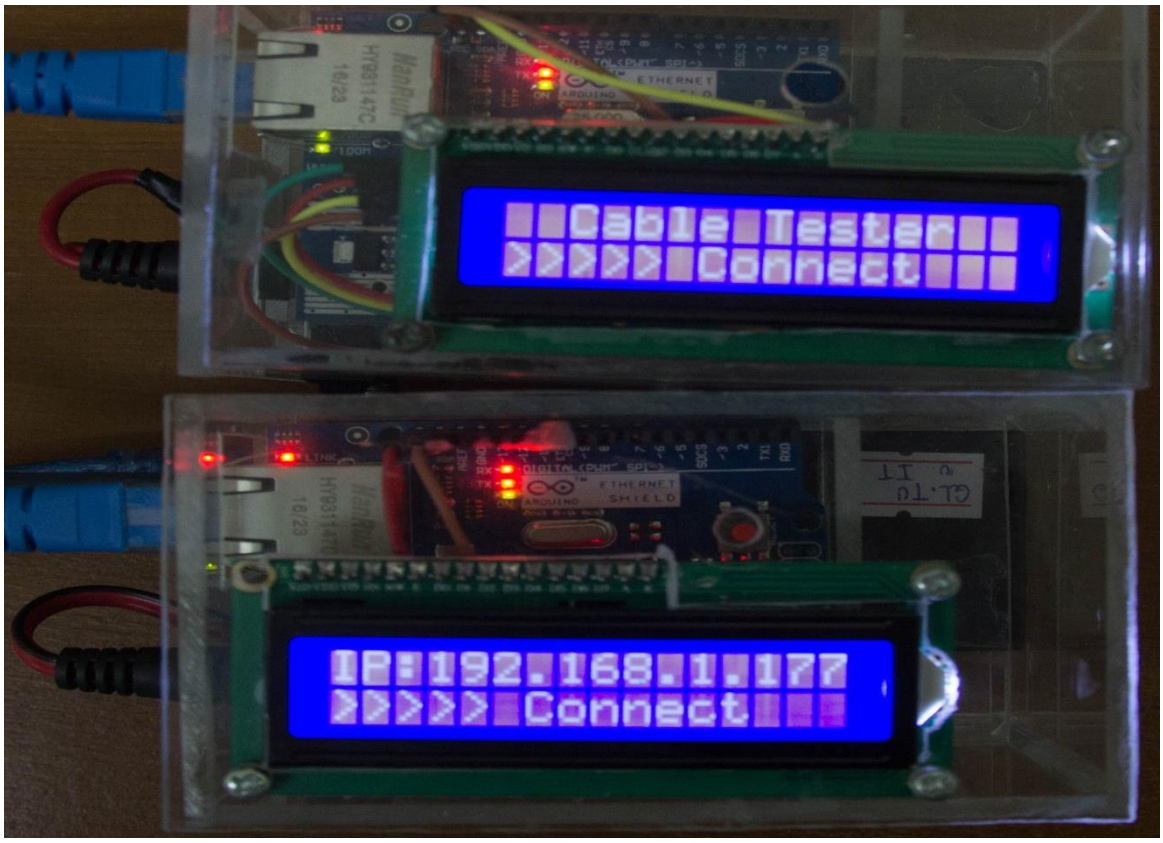
สำหรับในโครงงานวิศวกรรมนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ

4.1.1 กรณีที่สายหัวต่อเป็นแบบ 2 สาย

4.1.1.1 จำแนกการสุ่มต่อสายเป็น 3 วิธี

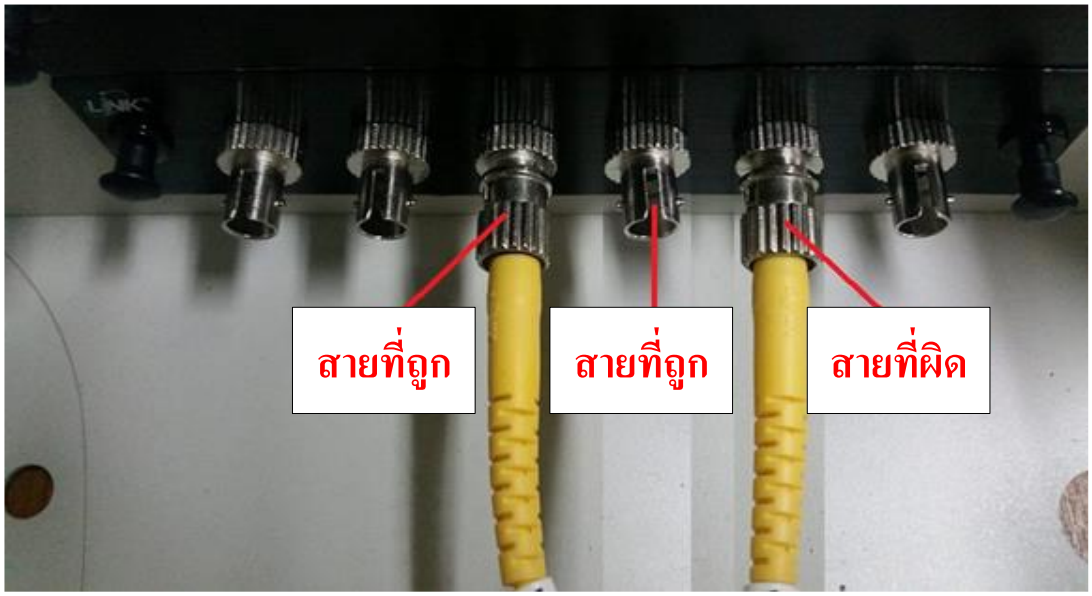
4.1.1.1.1 สายหัวต่อต่อถูกทั้ง 2 สาย

รูปที่ 4.2 แสดงการต่อถูกทั้ง 2 สาย

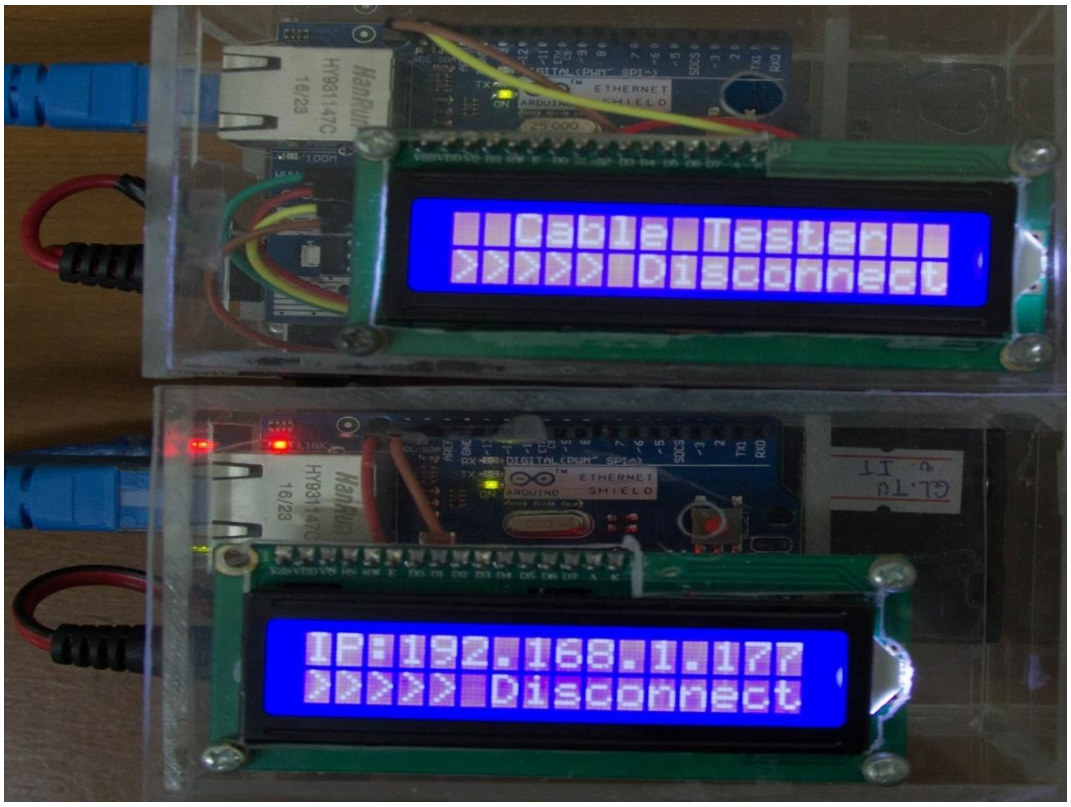


รูปที่ 4.3 แสดงผล Connect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อถูกทั้ง 2 สาย

4.1.1.1.2 สายหัวต่อต่อผิดเส้นใดเส้นหนึ่ง

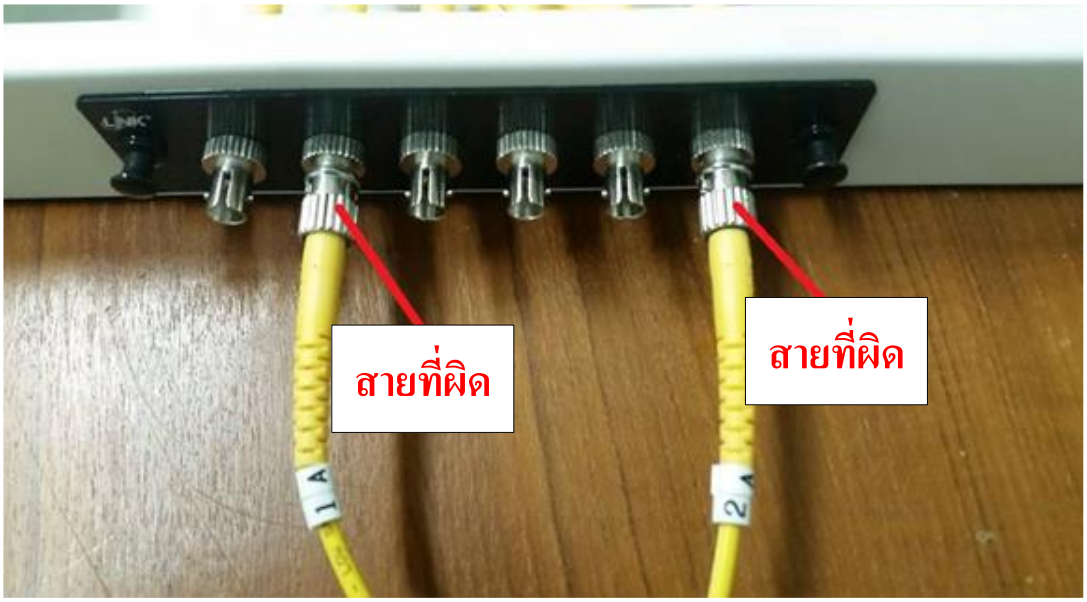


รูปที่ 4.4 แสดงการต่อผิดเส้นใดเส้นหนึ่ง

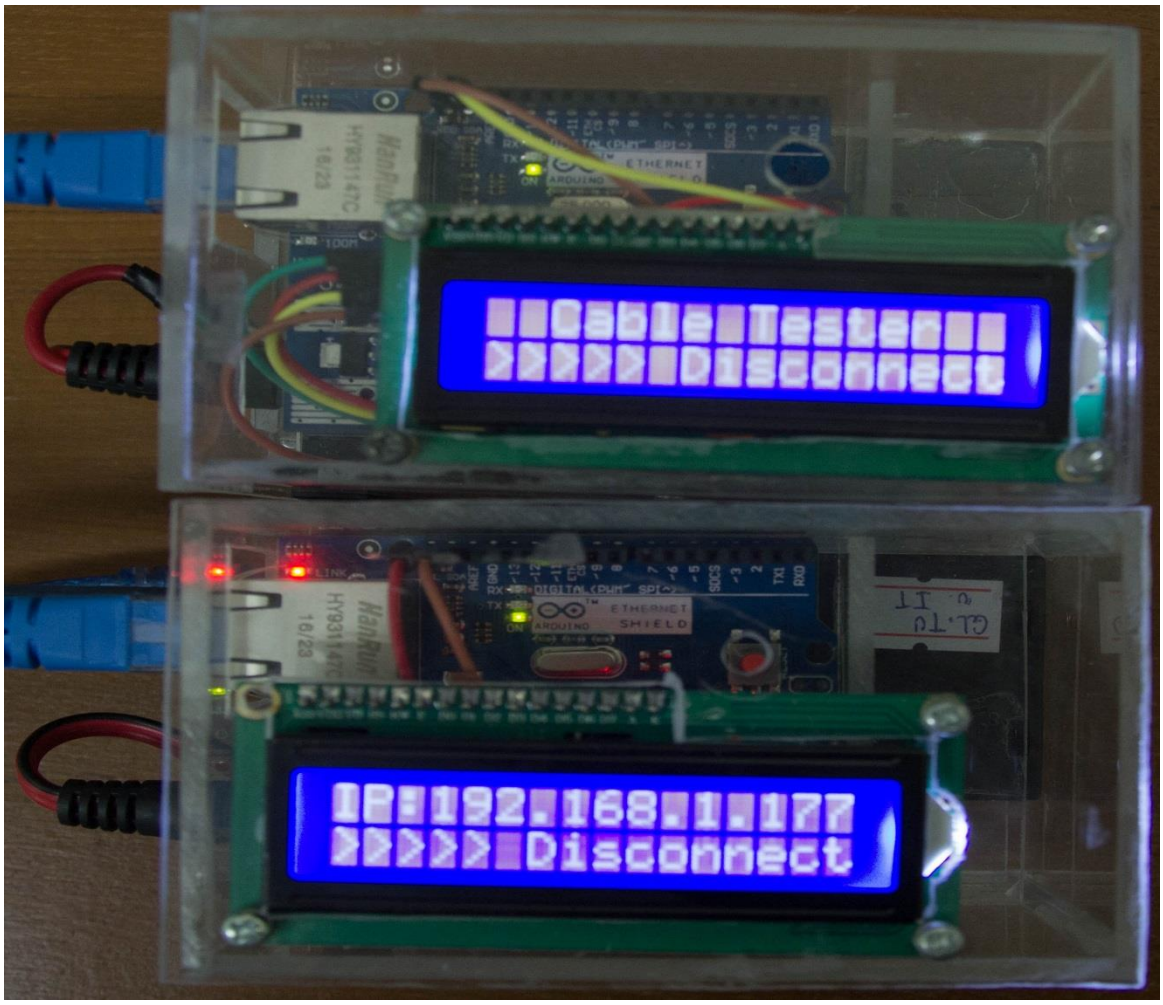


รูปที่ 4.5 แสดงผล Disconnect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อผิดเส้นใดเส้นหนึ่ง

4.1.1.1.3 สายหัวต่อต่อผิดทั้งสายรับและสายส่ง



รูปที่ 4.6 แสดงการต่อผิดทั้งสายรับและสายส่ง



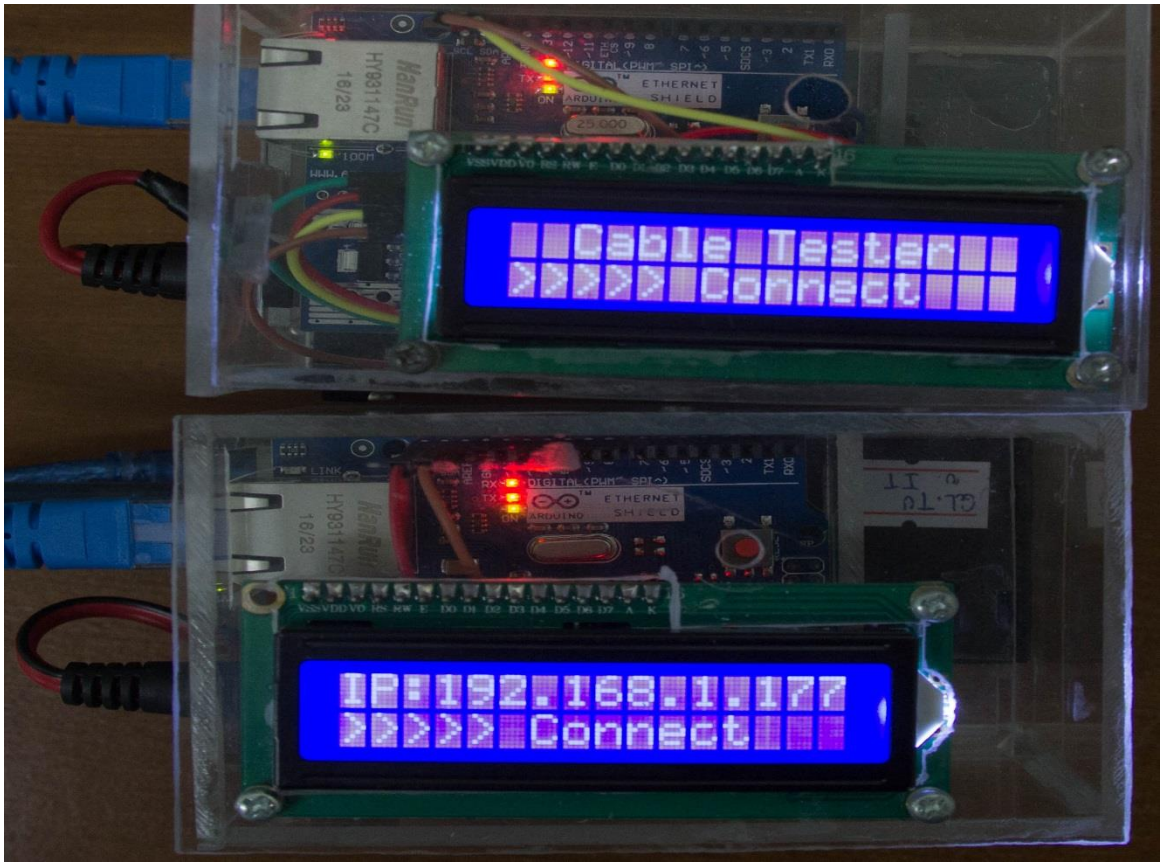
รูปที่ 4.7 แสดงผล Disconnect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อผิดทั้งสายรับและสายส่ง

4.1.2 กรณีที่สายหัวต่อเป็นแบบสายเดียว

4.1.1.2 จำแนกการสุ่มต่อสายเป็น 2 วิธี

4.1.1.2.1 สายหัวต่อต่อถูก

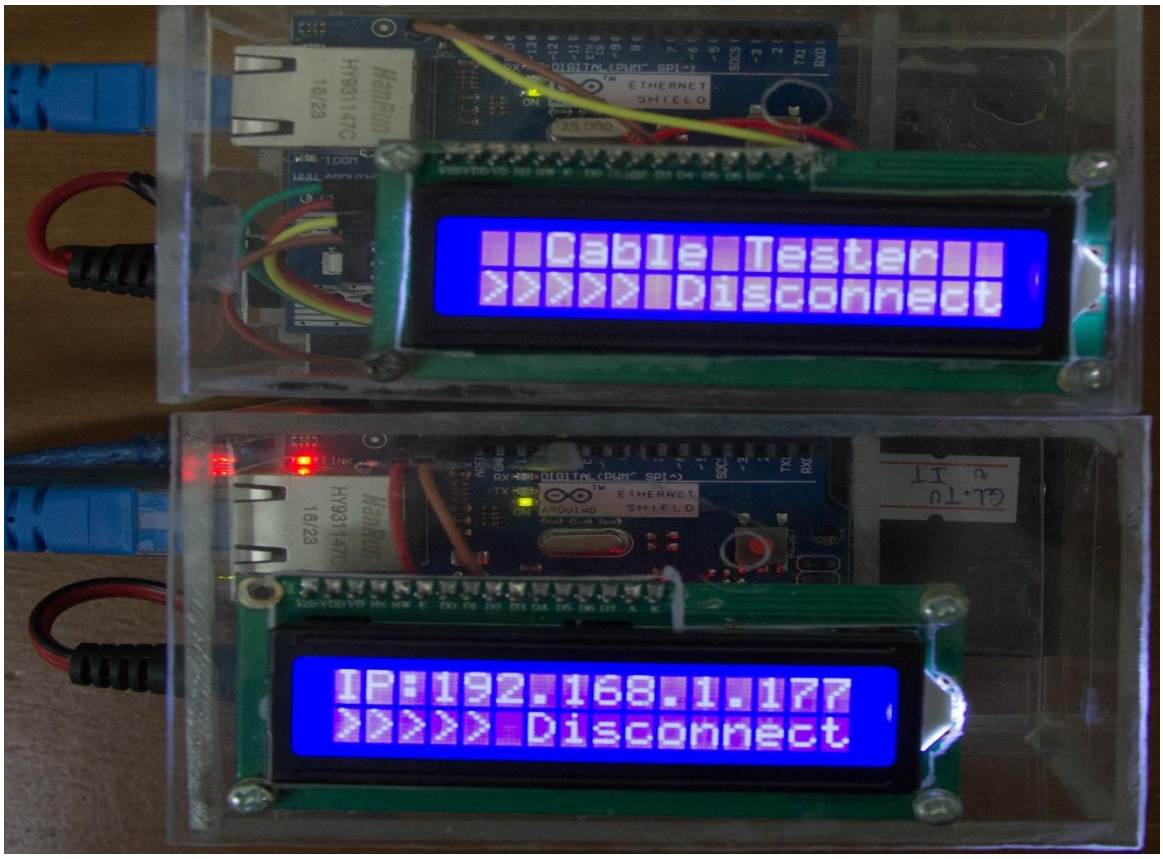
รูปที่ 4.8 แสดงการต่อสายถูก



รูปที่ 4.9 แสดงผล Connect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อสายถูก

4.1.1.2.2 สายหัวต่อต่อผิด

รูปที่ 4.10 แสดงการต่อสายผิด



รูปที่ 4.11 แสดงผล Disconnect บนหน้าจอ LCD เมื่อต่อสายผิด

4.2 การเปรียบเทียบการใช้งานจริงระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงกับคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบการใช้งานจริงระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงกับคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์	ความเร็วในการเชื่อมต่อ IP (วินาที/การเปลี่ยนแปลง 1 ครั้ง)	ราคา (บาท)
อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง	9	2000
คอมพิวเตอร์	12	15000 - 20000

รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบขนาดของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงและคอมพิวเตอร์

จากตารางและรูปที่ 4.11 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงนั้นมีความเร็วในการเชื่อมต่อกับระบบ IP ใกล้เคียงกับการใช้คอมพิวเตอร์แต่มีความสะดวกต่อการใช้งานและพกพามากกว่าคอมพิวเตอร์ และมีต้นทุนที่ต่ำกว่าคอมพิวเตอร์

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากรูปที่ 4.1 – 4.11 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงสามารถใช้งานได้จริง ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนตัวแปลงสัญญาณก็ตาม และใช้งานได้สะดวกรวดเร็วเมื่อเทียบกับการใช้คอมพิวเตอร์ทดสอบปลายทางว่าได้ทำการเชื่อมต่อกับระบบ IP

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทสุดท้ายนี้จะเป็นการกล่าวสรุปการดำเนินงานทั้งหมดที่ได้เกิดขึ้นในโครงงานวิศวกรรมฉบับนี้ รวมทั้งการสรุปผลที่เป็นข้อดีจากการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสง เพื่อใช้ในการตรวจจับสัญญาณ และข้อเสนอแนะหรือแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในตัวอุปกรณ์ให้มีความสามารถเพิ่มยิ่งๆ ขึ้นไป

5.1 สรุปผล

เนื่องจากการตรวจเช็คหาสายและการส่งข้อมูลที่ถูกต้องนั้นต้องใช้คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่มีต้นทุนที่สูงในการตรวจหาข้อมูลระหว่างจุดรับข้อมูลและจุดส่งข้อมูล ทางคณะผู้จัดทำจึงออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงขึ้นเพื่อให้สะดวกต่อการพกพา ง่ายต่อการใช้งานและมีต้นทุนที่ถูก โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงจะให้อุปกรณ์ที่เป็นผู้ส่ง (client) จะสร้างคำขอข้อมูลเพื่อขอไปยังอุปกรณ์หนึ่งที่เป็นผู้รับ (server) ผู้รับจะรับคำขอของผู้ส่งมาและหาข้อมูลที่ผู้ส่งต้องการจนครบถ้วนและส่งกลับไปยังผู้ส่ง หลังจากที่ผู้รับส่งข้อมูลไปยังผู้ส่งเสร็จก็จะแสดงผลบนหน้าจอ LCD ทั้งบนอุปกรณ์ผู้ส่งและผู้รับ จากผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงนั้นสามารถใช้งานได้จริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับในอนาคตการปรับปรุงหรือพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณในเส้นใยนำแสงนั้น สามารถทำได้โดยการสร้างโค้ดในการเพิ่มความสามารถในการตรวจหาระยะห่างระหว่างตัวรับและตัวส่ง โดยการนำข้อมูลจากโครงงานนี้ไปปรับปรุงและพัฒนาในลำดับต่อไป

5.3 ข้อจำกัด

1. ไม่สามารถบอกได้ว่าเส้นไหนถูกหรือผิด เมื่อทำการต่อแบบ 2 สาย (สายรับและสายส่งคนละเส้น)
2. ไม่สามารถระบุได้ถ้าหากทำการสุ่มครบทุกสายแล้วอุปกรณ์แสดงผลว่าไม่เชื่อมต่อ อาจเป็นเพราะสายหรือตัวอุปกรณ์แปลงสัญญาณชำรุด

ภาคผนวก

CLIENT

```
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);
byte mac[ ] = { 0xAE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress server(192, 168, 1, 177);
IPAddress ip(192, 168, 1, 188);
EthernetClient client;
String checkStatus = "";
void setup() {
  lcd.begin();
   lcd.backlight();
 Serial.begin(115200);
  while (!Serial)
// start the Ethernet connection:
  Ethernet.begin(mac, ip);
}
void loop() {
   if (client.available()) {
    char c = client.read();
    Serial.print(c);
    checkStatus += c;
```

```
}
 if (!client.connected()) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("   Cable Tester   ");
    if (checkStatus.equals("Pass")) {
      Serial.println("PASSSSSSSSSSSSSSSSED!!");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print(">>>>> Connect    ");
    } else {
      Serial.println("Deny");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print(">>>>> Disconnect");
    }
    checkStatus = "";
    client.stop();
  if (client.connect(server, 80)) {
      Serial.println("Clinetconnected");
      client.println();
    } else {
      Serial.println("connection failed");
    }
    Serial.print(checkStatus);
  }
```

SEVER

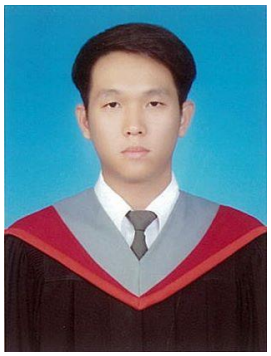
```
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);
byte mac[ ] = {
  0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED
};
IPAddress ip(192, 168, 1, 177);
EthernetServer server(80);
int count = 0;
void setup() {
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial) {
    ;
  }
  Ethernet.begin(mac, ip);
  server.begin();
  Serial.print("server is at ");
  Serial.println(Ethernet.localIP());
  lcd.setCursor(0, 0);
```

```
  lcd.print("IP:");
  lcd.setCursor(3, 0);
  lcd.print(Ethernet.localIP());
  lcd.setCursor(0, 1);
          lcd.print(">>>>> Disconnect");
}
void loop() {
  EthernetClient client = server.available();
  if (client) {
    Serial.println("new client");
    boolean currentLineIsBlank = true;
    while (client.connected()) {
      if (client.available()) {
        char c = client.read();
        Serial.write(c);
        if (c == '\n' && currentLineIsBlank) {
          // send a standard http response header
          client.print("Pass");
          lcd.setCursor(0, 1);
          lcd.print(">>>>> Connect    ");
          break;
        }
      }
```

```
    }
    delay(1);
    client.stop();
    Serial.println("client disconnected");
  }
}
```

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน



ชื่อ ชื่อสกุล	นายดนัย สร้อยศรี
วันเดือนปีเกิด	24 พฤษภาคม 2538
สถานที่เกิด	อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	3/5 หมู่ที่ 4 ตำบลเกาะเปริด
	อำเภอแหลมสิงห์ จังหวัดจันทบุรี 22130
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ	099-153-9124
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2557	มัธยมศึกษาปีที่ 6
	จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จันทบุรี
พ.ศ. 2560	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน

ชื่อ ชื่อสกุล	นายวชิรวิทย์ ปัญญาดี
วันเดือนปีเกิด	9 พฤษภาคม 2538
สถานที่เกิด	อำเภอธัญบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	475 ตำบลประชาธิปัตย์
	อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12130
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ	090-016-8511

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2557	มัธยมศึกษาปีที่ 6
	จากโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
พ.ศ. 2560	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน

ชื่อ ชื่อสกุล	นายอนุกูล จั่นศรี
วันเดือนปีเกิด	28 ตุลาคม 2537
สถานที่เกิด	อำเภอผักไห่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	39/1 หมู่ที่ 8 ตำบลลาดชิด อำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13120
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ	085-228-5183
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2557	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนผะดุงศิษย์พิทยา
พ.ศ. 2560	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เอกสารอ้างอิง

อธิคม กฤษบุตร. (2543). เส้นในแก้วและการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด.

ปรีชา ยุพาพิน. (2543). เครือข่ายใยนำแสง.กรุงเทพฯ : ส.เอเชียเพรส. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สหมิตรออฟเซต.

ประจิน พลังสันติกุล. (2553). พื้นฐานภาษา C สำหรับ Arduino. กรุงเทพฯ: แอพซอฟต์เทค.

นิรุธ อำนวยศิลป์. (2548). เขียนโปรแกรมบนระบบเครือข่ายด้วยC/C++. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.

อธิบายการทำงานของ Arduino (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.myarduino.net/article/14/arduino-web-sever-อธิบายการทำงาน.

การใช้งาน LC2 IC2 LCD (ออนไลน์). แหล่งที่มา: https://www.arduitronics.com/article/57การใช้งาน-i2c-lcd.