บทที่ 5

บทสรุป

จุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยก็คือ การสร้างชุดส่งและรับสัญญาณข้อมูลเชิงเลขที่ใช้แสงอินฟราเรดส่งผ่านบรรยากาศโดยให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลเชิงเลขที่มีความเร็ว 2 Mb/s และสามารถส่งระหว่างตึกภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งห่างกันประมาณ 600 เมตรได้ งานวิจัยที่ดำเนินงานมาทั้งหมดนั้น อาจจะแยกเป็นหัวข้อสำคัญ ๆ ได้ดังนี้ คือ

(1) การศึกษาคุณสมบัติและการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์แสง

(2) การออกแบบวงจรภาคส่งและวงจรภาครับ ให้สามารถตอบสนองความถี่ได้สูงกว่า 2 MHz

(3) การออกแบบระบบเลนซ์

(4) การสร้างชุดรับ-ส่งสัญญาณข้อมูลเชิงเลขโดยใช้แสงอินฟราเรดขึ้น 2 ชุด

(5) การทดลองเพื่อหาค่าคงที่ของการลดทอนกำลังแสงในบรรยากาศและมุมลู่ออกของลำแสงของชุดส่งและรับสัญญาณข้อมูลเชิงเลขที่สร้างขึ้น และนำข้อมูลที่ได้นี้มาคำนวณหากำลังแสงที่สามารถรับได้ที่ระยะทางต่าง ๆ

ในหัวข้อที่ (1) ได้ทำการศึกษาข้อมูลด้านคุณสมบัติต่าง ๆ พร้อมกับพิจารณาถึงราคาของแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงประกอบกัน และได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นในด้านการกระจายแสงของแหล่งกำเนิดแสงแบบ LED พบว่า การใช้ LED จะให้มุมลู่ออกของลำแสงมาก แต่พิจารณาจากระยะทางที่จะใช้พิจารณาเห็นว่า LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมเพราะราคาไม่สูงมากนัก ส่วนทางด้านรับแสงได้พิจารณาเลือกใช้ PIN PD เพราะสะดวกต่อการใช้งานและมีคุณสมบัติที่ดีเนื่องจากระบบไม่ต้องส่งที่ความถี่สูงมากนัก

ในหัวข้อที่ (2) นั้น ได้เน้นในเรื่องการพิจารณาคัดเลือกวงจรภาคส่งและภาครับรวมถึงคัดเลือก PIN PD ที่จะใช้งาน พบว่าในการออกแบบวงจรภาคส่งสัญญาณข้อมูลเชิงเลขที่ส่งสัญญาณแบบทีทีแอลนั้น โดยทั่วไปสามารถตอบสนองความถี่ได้สูงถึงหลาย ๆ MHz ได้ การออกแบบจึงไม่มีข้อยุ่งยากมากนักและสามารถเลือกใช้อุปกรณ์ IC ประเภททีทีแอลที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดได้ แต่สำหรับทางด้านวงจรภาครับ ต้องสามารถทำงานทำการรับสัญญาณกำลังต่ำ ๆ ได้ กล่าวคือต้องมีความไวสูง มีอัตรา

การขยายสูงและยังตอบสนองความถี่ได้สูงกว่า 2 MHz ด้วย การออกแบบจึงค่อนข้างยุ่งยาก เพราะถ้าหากภาครับมีอัตราการขยายสูง สัญญาณรบกวนจะสูงตามไปด้วย ดังนั้น ในการออกแบบจึงได้ทดลองออกแบบวงจรภาครับหลาย ๆ วิธี เริ่มตั้งแต่การใช้ทรานซิสเตอร์เพียงอย่างเดียว จนถึงการใช้ทรานซิสเตอร์หลาย ๆ ตัว และการออกแบบโดยใช้ออปแอมป์เป็นภาคขยายภาคหน้า ปรากฏว่า ไม่สามารถตอบสนองเงื่อนไขที่ต้องการได้ดีนัก จึงได้ทำการออกแบบใช้ทรานซิสเตอร์ประเภทที่มีสัญญาณรบกวนต่ำเป็นภาคต้นและใช้ออปแอมป์เป็นภาคขยายอะนาลอกต่อมา ซึ่งทำให้ได้คุณสมบัติดีขึ้นสามารถใช้งานได้ สำหรับการทดสอบเพื่อคัดเลือก PIN PD พบว่าสามารถใช้ PIN PD เบอร์ TIL 100 ซึ่งสามารถตอบสนองความถี่ได้สูงกว่า 2 MHz ตามที่ต้องการ

ในหัวข้อที่ (3) ขั้นแรกได้ทำการคัดเลือกเลนซ์ซึ่งได้เลือกเลนซ์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 7.5 ซม. มีทางยาวโฟกัส 15 ซม. การเลือกในตอนแรกได้ทำการเลือกเลนซ์ภาคส่ง 2 อัน เพราะต้องทำการออกแบบระบบเลนซ์เพื่อใช้กับ LED เบอร์ OC-1 แต่ภายหลังได้เปลี่ยนมาใช้ LED เบอร์ FED 081 W ที่มีมุมการส่องสว่างแคบกว่า จึงใช้เลนซ์เพียงตัวเดียว การที่เลนซ์มีความยาวโฟกัสสั้นทำให้ระบบเลนซ์มีขนาดกะทัดรัดและกระบอกยึดเลนซ์ทำด้วยอลูมิเนียมจึงมีน้ำหนักเบาสะดวกต่อการใช้งาน สำหรับระบบเลนซ์ทางภาครับก็เป็นเช่นเดียวกับทางภาคส่ง จึงได้ทำการยึดระบบเลนซ์ทาง 2 ภาคไว้ให้มีแกนกลางขนานกัน ทำให้สามารถหมุนหรือปรับระบบเลนซ์ไปได้ทั้งคู่ โดยที่ยังให้เงื่อนไขทางด้านส่งและรับคงที่

ในหัวข้อที่ (4) การสร้างชุดรับ-ส่งสัญญาณขึ้นมา 2 ชุดนั้น จากหัวข้อที่ (3) ได้ทำการยึดตัวเลนซ์ทั้ง 2 ภาค เข้าด้วยกันแล้วประกอบวงจรภาคส่งที่มี LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงและวงจรภาครับแล้วยึดกับกล่องอลูมิเนียมร่วมกัน ทำให้ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีความแข็งแรงและทนต่อการสั่นสะเทือนได้

หัวข้อที่ (5) นับว่าเป็นหัวใจของการวิจัย และยุ่งยากเพราะข้อมูลเกี่ยวกับการวัดค่าคงที่ของการลดทอนกำลังแสงย่านอินฟราเรดในประเทศไทยไม่สามารถหาได้ จึงจำเป็นต้องมีการทำการทดลองทำการวัดโดยใช้ชุดส่งสัญญาณแสงที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกันทั้ง 2 ชุด ซึ่งค่าคงที่ของการลดทอนกำลังแสงนี้จะเปลี่ยนไปตามความยาวคลื่น ดังนั้น แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นแบบ LED ซึ่งให้แสงที่มีแถบสเปกตรัมกว้างก็จะมีค่าคงที่ของการลดทอนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับย่านความยาวคลื่นที่ให้แสงออกมา จากการวัดพบว่า สำหรับชุดส่งสัญญาณแสงชุดที่ 1 และชุดที่ 2 มีค่าคงที่ของการลดทอนเป็น $1.54\ km^{-1}$ และ $1.45\ km^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งค่าคงที่ของการลดทอนนี้ยังมีโอกาสเปลี่ยนแปลงไปได้

ตามช่วงของฤดูกาล อย่างไรก็ตามการทดลองที่ทำไว้นี้เป็นช่วงของฤดูฝนซึ่งความชื้นในบรรยากาศสูง จึงได้ตัวเลขที่สูง ถ้าเปรียบเทียบตัวเลขนี้กับผลการทดลองในต่างประเทศที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงกันจะเป็นตัวเลขคาคงที่ของการลดทอนของอากาศที่มีสภาพอากาศเกือบจะมีหมอกบาง ๆ ปกคลุม แต่อย่างไรก็ตามตัวเลขที่ได้จะต่ำลงหรือเกิดการลดทอนน้อยลงในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว

ในส่วนที่สำคัญของหัวข้อที่ 5 อีกประการหนึ่ง ก็คือ การวัดมุมลู่ออกของลำแสง เพื่อนำมาใช้ในทางคำนวณกำลังแสงที่รับได้ที่ระยะทางต่าง ๆ เนื่องจาก ถ้าแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กเป็นจุด และความยาวคลื่นเดียวสามารถทำการคำนวณได้ตามทฤษฎี แต่กรณีของ LED ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดใหญ่และความยาวคลื่นที่เปล่งออกมายังเป็นแถบ ทำให้มุมลู่ออกที่วัดได้มีขนาดใหญ่และแพทเทอร์นการกระจายแสงที่ได้มีขนาดกว้าง ทำให้ไม่สามารถทำการคำนวณทางทฤษฎีได้โดยสะดวก วิธีที่สะดวกจึงได้คิดวิธีคำนวณสมมูลย์แบบมุมโซลิดโดยทำการวัดแพทเทอร์นการกระจายแสงที่ออกไปกับการวัดกำลังแสงที่รับได้ที่ระยะทางประมาณ 50 เมตร ถึง 205 เมตร แล้วนำข้อมูลมาคำนวณหามุมลู่ออกของลำแสง ซึ่งจากการทดลองพบว่าชุดส่งสัญญาณชุดที่ 1 มีมุมลู่ออกของลำแสงเป็น 3.9 มิลลิเรเดียน และชุดที่ 2 เป็น 3.6 มิลลิเรเดียน ตามลำดับ

อันที่จริงค่าคงที่ของการลดทอนกำลังแสงหรือเรียกอีกอย่างว่า สัมประสิทธิ์ของการลดทอนของลำแสง (Attenuation Co-efficient) ก็ดีหรือค่ามุมลู่ออกของลำแสงก็ดี ควรเป็นค่าที่รู้แน่นอนก่อนที่จะทำการออกแบบระบบทั้งหมด เพราะการกำหนดความต้องการกำลังที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงก็ดี การกำหนดความไวของอุปกรณ์รับแสงก็ดีจะต้องใช้ข้อมูลในส่วนนี้ แต่เนื่องจากค่าทั้งสองค่าไม่สามารถหาได้โดยง่าย เพราะไม่มีผู้ทำการทดลองในประเทศไทยไว้ก่อน ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องทำการทดลอง เพื่อหาค่าเหล่านี้ด้วยค่าคงที่ของการลดทอนกำลังแสงในบรรยากาศนั้น เนื่องจากได้ทำการวัดที่ระยะทางต่าง ๆ และปรับเลนซ์รับอย่างละเอียดประกอบกับทำการทดลอง 2 ชุดเปรียบเทียบ จึงคิดว่าสามารถใช้ในการอ้างอิงสำหรับการออกแบบระบบส่งแสงอินฟราเรดส่งผ่านบรรยากาศที่ใช้ความยาวคลื่น 0.85 μm จาก LED ได้ สำหรับมุมลู่ออกของลำแสงนั้นเป็นค่าเฉพาะของชุดส่งสัญญาณแสงแต่ละชุด และจะเปลี่ยนไปได้ตามขนาดของเลนซ์และชนิดของแหล่งกำเนิดแสง จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยทั่วไป อย่างไรก็ตามจากการศึกษาข้อมูลของชุดส่งสัญญาณที่ใช้ LED ที่มีจำหน่ายอยู่ พบว่ามุมลู่ออกของลำแสงจะอยู่ระหว่าง 2.5-4.0 มิลลิเรเดียน เพราะฉะนั้นในการออกแบบโดยทั่วไปจะสามารถใช้ค่าที่อยู่ในย่านนี้ได้

ในการออกแบบระบบในงานวิจัยในขั้นแรกได้ใช้ค่าคงที่ของการลดทอนกำลังแสงในบรรยากาศเป็น 0.844 km^{-1} ซึ่งเป็นข้อมูลของประเทศเมืองหนาวและใช้ค่ามุมลู่ออกของลำแสงเป็น 3 มิลลิเรเดียน

เมื่อคำนวณเป็นกำลังแสงของภาคส่งของ LED แล้วพบว่าถ้าใช้ LED ที่มีกำลังส่ง 10 mW หรือสูงกว่าก็จะสามารถทำการส่งในระยะทาง 620 เมตร ได้อย่างแน่นอน จึงได้เลือกหา LED ที่มีกำลังส่ง 10 mW มาใช้ แต่ปรากฏว่า LED ตัวจริงที่ใช้งานนั้นมีกำลังแสงต่ำกว่าข้อกำหนดมาก คือได้อย่างสูงประมาณ 3 mW เท่านั้น จึงทำให้กำลังส่งค่อนข้างจะต่ำไปบ้าง อย่างไรก็ตามชุดส่งและรับสัญญาณที่สร้างขึ้น 2 ชุด ก็มีความสามารถเพียงพอที่จะส่งในระยะทางดังกล่าวได้ เมื่อสรุปคุณสมบัติของชุดส่งและรับสัญญาณแสงที่สร้างขึ้นจะเป็นไปตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของชุดส่งและรับสัญญาณแสงที่สร้างขึ้น

รายการ	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2
ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง	LED 0.865 μm	LED 0.865 μm
ชนิดของตัวรับแสง	PIN PD	PIN PD
กำลังการส่งของแหล่งกำเนิดแสง	1.5 mW	3 mW
ความไวของตัวรับแสง	0.6 A/W	0.6 A/W
การตอบสนองความถี่	3.5 MHz	3.5 MHz
ความไวของชุดรับแสง	0.2 μW	0.2 μW
มุมลู่ออกของลำแสง	3.9 มิลลิเรเดียน	3.6 มิลลิเรเดียน
กำลังแสงที่รับได้ที่ระยะห่าง 620 เมตร	0.25 μW	0.65 μW

จากความไวของชุดรับแสงและกำลังแสงที่สามารถรับได้ที่ระยะห่าง 620 เมตร ในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าชุดส่งและรับสัญญาณทั้ง 2 ชุด จะสามารถติดต่อกันได้ที่ระยะทาง 620 เมตร โดยชุดที่ 1 มีค่าเผื่อ 1 dB และชุดที่ 2 มีค่าเผื่อ ประมาณ 5.12 dB แต่ค่าเผื่อที่ได้จะเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำถ้าหากจะใช้งานจริงควรจะมีการเพิ่มค่าเผื่อ หรือเพิ่มกำลังการส่งให้สูงขึ้น ถ้าหากเพิ่มกำลังส่งเป็น 10 mW ทั้ง 2 ชุดจะทำให้ชุดที่ 1 มีค่ามาร์จิ้นเป็น 9.21 dB และชุดที่ 2 มีค่าเผื่อเป็น 10.35 dB ซึ่งจะทำให้ทั้งสองชุดนี้สามารถติดต่อกันได้อย่างแน่นอน

แต่อย่างไรก็ดี ชุดรับ-ส่งข้อมูลทั้ง 2 ชุดนี้ ถ้านำมาติดตั้งที่ระยะทางใกล้เข้ามาอีกเช่นที่การทดลองทำการติดตั้งระหว่างดาดฟ้าตึกโคลัมโบและห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้าสื่อสาร ซึ่งอยู่ห่างกันประมาณ 200 เมตร จะให้ผลการรับ-ส่งแน่นอนมาก เพราะกำลังแสงที่รับได้นั้นมีค่ามากพอ

เมื่อสรุปผลการวิจัยแล้ว จะเห็นได้ว่าผลของการวิจัยเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ตอนแรก และการทดลองต่าง ๆ ที่ทำไว้รวมทั้งวิธีการในการออกแบบที่เสนอไว้จะเป็นพื้นฐานสำคัญของการออกแบบระบบสื่อสารโดยใช้แสงอินฟราเรดส่งผ่านบรรยากาศต่อไป