การพัฒนาชุดสื่อการสอนปฏิบัติการเรื่องวิศวกรรมสายส่งความถี่สูง

Development of Laboratory Instructional Media Set on High Frequency Transmission Line Engineering

เมธี สุคนธรัตน์ [1*] สมศักดิ์ อรรคทิมากูล[2] และ พินิจ เนื่องภิรมย์[3]

Metee Sukontharat Somsak Akatimagool and Pinit Nuangpirom

[1]นักศึกษาบัณฑิต สาขาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ [2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ [3] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ภาคพายัพ เชียงใหม่

Abstract

This research aimed at developing and validating the efficiency of a laboratory instructional media set on high frequency transmission line engineering. The research tools consisted of a laboratory sheet, which two topics were studied, four experimental sets including a property measurement, a characteristic impedance measurement, standing wave and impedance matching measurement of transmission lines. Sample populations were 15 students that evaluated the satisfaction of the instructional media set. The research results showed that the instructional media set was most appropriate ($\overline{X}$ = 4.76, S.D.=0.15). The satisfaction of the students after learning through the developed instructional media set was in high level. ($\overline{X}$ = 4.41, S.D.=0.42). Thus, the instructional media set can be used effectively in the teaching of telecommunication engineering.

Keywords: *Instructional Media Set, Experiment Set, High Frequency Transmission Line Engineering*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดสื่อการสอนปฏิบัติการ เรื่องวิศวกรรมสายส่งความถี่สูง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ใบงาน จำนวน 2 หน่วยเรียน และชุดทดลองจำนวน 4 เรื่อง ได้แก่ 1) การวัดคุณสมบัติ 2) การวัดค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ 3) การวัดหาค่าของคลื่นยืน และ 4) การแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ของสายส่ง หลังจากสร้างชุดสื่อการสอนแล้วได้มีการประเมินหาคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน จากนั้นนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 15 คน และประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน ผลการวิจัยปรากฏว่า ชุดสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ =4.76, S.D=0.15) และผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้เรียนที่ใช้งานชุดสื่อการสอนนี้ นี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.41, S.D.=0.42) ดังนั้นชุดสื่อการสอนนี้สามารถนำไปใช้ในการสอนทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: *ชุดสื่อการสอน ชุดทดลอง วิศวกรรมสายส่งความถี่สูง*

บทนำ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารทางด้านโทรคมนาคม มีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยในการติดต่อสื่อสารนั้น จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการส่งสัญญาณจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เพื่อที่จะสามารถส่งข้อมูลข่าวสารจากแหล่งกำเนิดหรือผู้ส่งไปยังปลายทางหรือผู้รับได้ (อนุรักษ์ เมฆพะโยม และคณะ , 2554)ซึ่งองค์ประกอบในการส่งข้อมูลข่าวสารที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญที่สุดคือ สายส่งสัญญาณ ตัวอย่างสายส่งที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่หลายชนิด เช่น สายส่งคู่ขนาน สายส่งเส้นเดียว สายโคแอกเชียล สายส่งแบบไมโคร สตริป เป็นต้น การศึกษาเรื่องหลักการและโครงสร้างของสายส่งนั้น จำเป็นต้องเริ่มต้นในการศึกษาพื้นฐานของสายส่งที่มีโครงสร้างที่ง่ายและไม่ซับซ้อน ซึ่งจะสามารถทำให้เข้าใจหลักการทำงานได้ง่าย และเป็นพื้นฐานของการศึกษาสายส่งชนิดอื่นๆต่อไป (Jia-shenG.Hong and M.J.Lancaster,2001) อย่างไรก็ตามการศึกษาสายส่งจากเนื้อหาทางทฤษฎีเพียงอย่างเดียวนั้น จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ไม่ลึกซึ้ง ไม่สามารถมองเห็นภาพของการส่งสัญญาณที่แท้จริงได้ โดยเฉพาะสายส่งที่ทำงานในย่านความถี่สูง ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาเรื่องสายส่งมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น ควรมีการพัฒนาสร้างสื่อประกอบการเรียนการสอนและสร้างชุดปฏิบัติการเกี่ยวกับสายส่งความถี่สูงที่มีคุณภาพสอดคล้องกับเนื้อหาทางทฤษฎีและมีจำนวนมากเพียงพอต่อการใช้งาน (เอกพันธ์ พาเจริญ และคณะ,2555)

สายส่ง (Transmission Lines) เป็นหัวข้อหนึ่งในวิชา"ข่ายการสื่อสารและสายส่ง (Communication Network and Transmission Line) ซึ่งเป็นเนื้อหาทางด้านทฤษฎี ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นในการเรียนการสอนได้แก่ สื่อการสอนในเนื้อหาดังกล่าวมีน้อย และการคำนวณมีความซับซ้อนและใช้เวลานาน สำหรับการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการระบบโทรคมนาคม (Telecommunication Systems Laboratory) พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในวิชานี้ ได้แก่ ชุดปฏิบัติการมีคุณลักษณะไม่สอดคล้องกับเนื้อหาทางทฤษฎี คุณภาพค่อนข้างต่ำ และมีจำนวนน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ วิสิฐ อุตมานนท์ (2553) ดังนั้นจำเป็นต้องมีการพัฒนาชุดการสอนที่มีคุณภาพและสอดคล้องกับเนื้อหาทางทฤษฎีเพิ่มมากขึ้น

จากหลักการและเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการพัฒนาและสร้างสื่อการสอนปฏิบัติการเรื่องวิศวกรรมสายส่งความถี่สูง สำหรับใช้ประกอบในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการระบบ โทรคมนาคม ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ(เล่มหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,2552) เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ทางด้านทักษะ มีความคิดที่สร้างขึ้น จากการได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จริงและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.) เพื่อพัฒนาและสร้างสื่อการสอนปฏิบัติการเรื่องสายส่งความถี่สูง สำหรับรายวิชา 222347 วิชาปฏิบัติการระบบโทรคมนาคม (Telecommunication Systems Laboratory)

2.) เพื่อหาประสิทธิภาพชุดสื่อการสอนปฏิบัติการเรื่องสายส่งความถี่สูงที่สร้างขึ้น

สมมติฐานของงานวิจัย

1.) ชุดสื่อการสอนปฏิบัติการเรื่อง สายส่งความถี่สูง ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับมาก

2.) ระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดสื่อการสอนปฏิบัติการ เรื่อง สายส่งความถี่สูง ที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก

การดำเนินการวิจัย

การออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่องสายส่งความถี่สูง ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการการสร้างชุดสื่อการสอน (อำนาจ ปาละหงษา,2551;วิสิฐ อุตมานนท์,2553) และศึกษาข้อมูลของชุดการทดลองของจริงที่มาจากต่างประเทศ แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองใช้กับการศึกษาในห้องเรียนพบว่ายังมีปัญหาการใช้งานที่มีจำนวนจำกัด และไม่สามารถใช้งานได้ครอบคลุมเนื้อหาทางทฤษฎี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์และพัฒนาเอกสารใบงานและสื่อชุดทดลองขึ้นมาใหม่ ที่สามารถนำไปทดลองได้ครบถ้วนตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมโดยทำการออกแบบเอกสารใบงานและสร้างสื่อชุดทดลอง จำนวน 4 เรื่อง ดังนี้ 1) การวัดคุณสมบัติของสายส่งความถี่สูง 2) การวัดค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่ง 3) การวัดหาค่าของคลื่นยืน และ 4) การแมทชิ่งทางอิมพีแดนซ์ของสายส่ง โดยรายละเอียดในการออกแบบและสร้างเป็นดังนี้

การวัดคุณสมบัติของสายส่งความถี่สูง

ชุดทดลองการวัดคุณสมบัติของสายส่งความถี่สูง เป็นการทดลองวัดหาค่าของคุณสมบัติของสายส่งในรูปแบบของวงจรเทียบเคียง ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวนำ และตัวเก็บประจุ แสดงดังวงจรในรูปที่ 1 การทดสอบวัดหาค่าของอุปกรณ์ต่างๆ จะอาศัยการวัดด้วยวิธีวีสโตลบริดจ์ (สมศักดิ์ อรรคทิมากูล,2548) แสดงดังรูปที่ 1 การปรับค่าอิมพีแดนซ์เพื่อให้วงจรบริดจ์สมดุล (V=0) จะได้ดังนี้ $Z_1Z_4 = Z_2Z_3$ ดังนั้นการออกแบบวงจรวัดหาคุณสมบัติของสายส่ง พิจารณาตามเงื่อนไข ต่อไปนี้

ก) กรณีวัดหาค่าตัวต้านทานของสายส่ง (R)

กำหนดให้ $Z_1 = R_1, Z_2 = R_2, Z_3 = R_3, Z_4 = R_4$ โดยที่อิมพีแดนซ์ Z_3 แทนด้วยสายส่งที่ปิดวงจรที่ปลายสาย (วงจรเทียบเคียงของสายส่งที่ความถี่ต่ำ จะเปรียบเสมือนเป็นตัวต้านทานเท่านั้น โดยที่อิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำมีค่าต่ำมาก ตัวเก็บประจุมีค่าสูงมาก และตัวนำมีค่าน้อยมาก) ดังนั้นเมื่อปรับค่าอิมพีแดนซ์ Z_1 หรืออิมพีแดนซ์ Z_2 ให้วงจรบริดจ์สมดุล ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าตัวต้านทานดังนี้

$$R = R_3 = \frac{R_4}{R_2} \times R_1 \qquad (1)$$

ข) กรณีวัดหาค่าตัวเหนี่ยวนำของสายส่ง (L)

กำหนดให้ต่อค่าตัวเก็บประจุขนานกับอิมพีแดนซ์ Z_2 และมีความสัมพันธ์ดังนี้

$Z_1 = R_1, Z_2 = R_2 // C_2, Z_3 = R_3 + j\omega L_3, Z_4 = R_4$ โดยที่อิมพีแดนซ์ Z_3 แทนด้วยสายส่งที่ปิดวงจรที่ปลายสาย (วงจรเทียบเคียงที่ความถี่ต่ำ จะเปรียบเสมือนเป็นตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ โดยที่อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บ

ประจุมีค่าสูงมาก และตัวนำมีค่าน้อยมาก ดังนั้นเมื่อปรับค่าอิมพีแดนซ์ Z_1 และอิมพีแดนซ์ Z_2 ให้วงจรบริดจ์สมดุล จะคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ Z_3 จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$Z_3 = R_3 + j\omega L_3 = \frac{R_1 R_4}{R_2} + j\omega C_2 R_1 R_4 \qquad (2)$$

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$R = R_3 = \frac{R_1 R_4}{R_2}, \quad L = L_3 = C_2 R_1 R_4 \qquad (3)$$

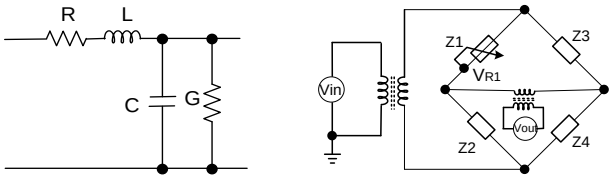
ค) กรณีวัดหาค่าตัวเก็บประจุของสายส่ง (C)

กำหนดให้ต่อค่าตัวเก็บประจุขนานแทนที่ค่าอิมพีแดนซ์ Z_1 ความสัมพันธ์ของสมการเป็น $Z_1 = 1/\, j\omega C_1, Z_2 = R_2,$ $Z_3 = 1/(G_3 + j\omega C_3), Z_1 = R_4$ โดยที่อิมพีแดนซ์ Z_3 แทนด้วยสายส่งที่เปิดวงจรที่ปลายสาย (วงจรเทียบเคียงของสายส่ง จะเปรียบเสมือนเป็นตัวนำต่อขนานกับตัวตัวเก็บประจุ โดยที่ตัวต้านทานและอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำมีค่าน้อยมาก) ดังนั้นเมื่อปรับค่าอิมพีแดนซ์ Z_2 ให้วงจรบริดจ์สมดุล จะได้ดังนี้

$$1/Z_3 = G_3 + j\omega C_3 \approx j\omega C_3 \qquad (4)$$

ดังนั้นการหาค่าตัวเก็บประจุ จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$C = C_3 = \frac{R_2 C_1}{R_4} \qquad (5)$$



รูปที่ 1 วงจรเทียบเคียงสายส่งความถี่สูงและวงจรการวัดคุณสมบัติ

การวัดค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะสายส่ง

พิจารณาค่าของอิมพีแดนซ์ทางเข้าของสายส่งที่ไม่มีการสูญเสียในกรณีของสายส่งไม่มีการสูญเสีย (Lossless line) จะได้ว่า $\alpha = 0$ ดังนั้น $\gamma = j\beta = j\frac{2\pi}{\lambda}$ สมการอิมพีแดนซ์ที่ทางเข้า เขียนได้ดังนี้

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan\beta l}{Z_0 + jZ_L \tan\beta l} \qquad (6)$$

เมื่อทำการเชื่อมปลายสายช็อตเข้าด้วยกันทำให้ $Z_L = 0$ ดังนั้น จะได้สมการของ Short-circuit impedance : $Z_{in(0)}$ เป็นดังนี้

$$Z_{in(0)} = jZ_0 \tan(\beta l) \qquad (7)$$

เมื่อทำการเปิดวงจรที่ปลายสาย ทำให้ $Z_L = \infty$ จากสมการข้างต้น จะได้สมการของ Open-circuit impedance ; $Z_{in(\infty)}$ เป็นดังนี้

$$Z_{in(\infty)} - jZ_0 \cot(\beta l) \qquad (8)$$

ดังนั้นการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Z_0) ของสายส่ง สามารถทำได้โดยการหาค่าอิมพีแดนซ์ทางเข้าในเทอมอัตราส่วนของแรงดันทางเข้าต่อกระแสทางเข้าของวงจรสายส่ง ที่ต่อปลายสายใน 2 กรณี ได้แก่

การต่อปลายสายแบบปิดวงจร และ การต่อปลายสายแบบเปิดวงจร จากนั้นพิจารณาความสัมพันธ์ของผลคูณของสมการที่ (7) และสมการที่ (8) จะได้ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Z_0) ของสายส่ง ดังนี้ (สมศักดิ์ อรรคทิมากูล,2548)

$$Z_0 = \sqrt{Z_{in(0)} \times Z_{in(\infty)}} \qquad (9)$$

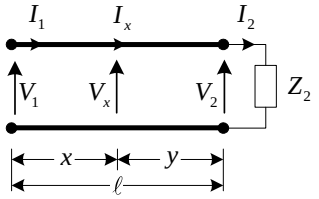
การวัดหาค่าของคลื่นยืน

การแพร่กระจายของคลื่นในวงจรสายส่งใดๆจะเกิดปรากฏการณ์ของคลื่นที่เคลื่อนที่ตกกระทบและคลื่นสะท้อนภายในวงจรสายส่ง โดยขนาดของคลื่นต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งและภาระของโหลดที่ต่อในวงจรสายส่ง นั่นเอง วงจรสายส่งสามารถแสดงดังในรูปที่ 2 และเมื่อพิจารณาสำหรับวงจรสายส่งที่ปลายสาย Short circuit จะได้ $V_L = 0$ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

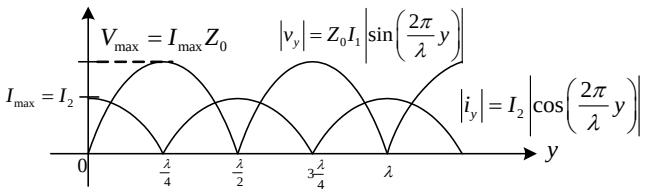
$$v_y(t) = Z_0 I_L \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} y\right) \sin\left(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (10)$$

$$i_y(t) = I_L \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} y\right) \sin(\omega t + \phi) \qquad (11)$$

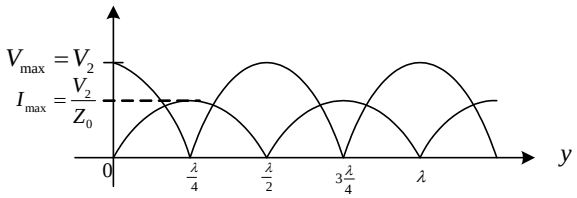
จากสมการข้างต้น สามารถแสดงงความสัมพันธ์ขนาดของแรงดัน V_y และ กระแส I_y ที่ตำแหน่ง y ต่างๆ บนสายส่ง ดังรูปที่ 3 และเมื่อพิจารณาสำหรับวงจรสายส่งที่ปลายสาย Open circuit สามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ขนาดของแรงดัน V_y และ กระแส I_y ที่ตำแหน่ง y ต่างๆ บนสายส่ง ดังรูปที่ 4 โดยที่รูปที่ 3 และ 4 เป็นรูปของคลื่นยืนที่ปรากฏอยู่บนสายส่งที่ระยะทางต่างๆ ดังนั้นในการทดสอบเพื่อวัดขนาดของคลื่นแรงดันหรือคลื่นของกระแสจำเป็นต้องมีวงจรตรวจจับขนาดของคลื่น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วงจรวัดค่ายอดของคลื่น (Peak detector) ดังแสดงในรูปที่ 5(สมศักดิ์ อรรคทิมากูล,2548)



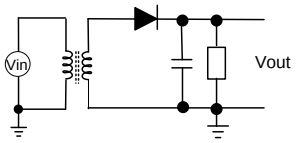
รูปที่ 2 วงจรของสายส่งที่มีภาระ



รูปที่ 3 ขนาดและเฟสของคลื่นยืนของแรงดันและกระแส



รูปที่ 4 ขนาดและเฟสของคลื่นยืนของแรงดันและกระแส



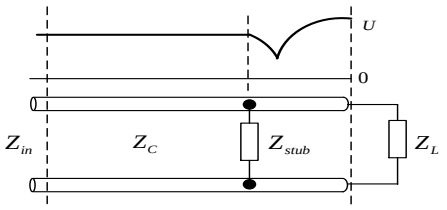
รูปที่ 5 วงจรวัดค่ายอดของคลื่น (Peak detector)

การแมทชิ่งทางอิมพีแดนซ์ของสายส่ง

การออกแบบให้วงจรสายส่งแมทชิ่ง ทำได้โดยการต่อสตับ (Stub) เข้าไปในวงจรสายส่ง ซึ่งสามารถเลือกใช้สตับได้หลายชนิดเช่น แบบ Short circuit, Open circuit ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ เป็นต้น เมื่อต่อสตับเข้าไปในวงจรสายส่ง จะได้ผลแสดงดังรูปที่ 6 โดยการต่อสตับในวงจรสายส่งสามารถต่อได้ 2 แบบ ได้แก่ ต่อแบบอนุกรม และต่อแบบขนาน สำหรับการต่อแบบขนาน จะต่ออยู่หน้าโหลดที่มีระยะห่างที่ทำให้เกิดค่าอินพุตแอดมิตแตนซ์ เป็นดังนี้(สมศักดิ์ อรรคทิมากูล,2548)

$$\frac{Y_{input}}{Y_0} = 1 - j\frac{Y_1}{Y_0} \qquad (12)$$

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จำเป็นต้องใช้แผนภูมิ เพื่อหาค่าของระยะห่างระหว่างตัวสตับกับโหลด และหาค่าขนาดของอุปกรณ์สตับที่ต้องการใช้งานที่ทำให้เกิดการแมทชิ่งที่โหลด



รูปที่ 6 สายส่งเกิดการแมทชิ่งจากการต่อสตับ

ผลการวิจัย

ผลจากการดำเนินการวิจัยในการพัฒนาและสร้างชุดสื่อการสอนปฏิบัติการ เรื่อง วิศวกรรมสายส่งความถี่สูง จะได้ชุดใบงาน จำนวน 2 หน่วยการเรียน และชุดสื่อทดลองการสอนปฏิบัติการ จำนวน 4 เรื่องๆ ละ 4 ชุด รวมจำนวน 16 ชุด แสดงดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 ชุดสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพชุดสื่อการสอนโดยผู้เชี่ยวชาญ

งานวิจัยนี้จะใช้แบบประเมินในด้านความเหมาะสม ของชุดสื่อการสอนปฏิบัติการ เรื่อง วิศวกรรมสายส่งความถี่สูง ซึ่งทางผู้เชี่ยวชาญจะให้คะแนนแบบ 5 ระดับ โดยสรุปเป็นตารางผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดสื่อการสอน รายละเอียดในตารางที่ 1 ที่เป็นผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดสื่อการสอนปฏิบัติการโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ที่มีประสบการณ์ในการสอนและสร้างสื่อการเรียนการสอนในสาขาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ผลการประเมินความเหมาะสมของชุดสื่อการสอน เรื่อง วิศวกรรมสายส่งความถี่สูง พบว่า ด้านเอกสารใบงาน มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ $\overline{X}$ = 4.72, S.D. = 0.11 แสดงว่ามีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ด้านชุดทดลอง มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ $\overline{X}$ = 4.80,S.D. = 0.20 แสดงว่ามีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก และค่าเฉลี่ยโดยรวมมีค่า $\overline{X}$ = 4.76, S.D. = 0.15 แสดงว่าชุดสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดการสอนโดยผู้เชี่ยวชาญ

ที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	$\overline{X}$	S.D	ความเหมาะสม
	ด้านเอกสารใบงาน			
1.	วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความชัดเจน	5.00	0.00	มากที่สุด
2.	ปริมาณของเนื้อหาเหมาะสม	4.60	0.55	มากที่สุด
3.	ขั้นตอนการปฏิบัติงานมีความชัดเจน	4.80	0.45	มากที่สุด
4.	การบันทึกผลและคำถามท้ายการทดลอง	4.80	0.45	มากที่สุด
5.	ระดับความยาก-ง่ายของการทดลอง	4.40	0.55	มาก
	ค่าผลเฉลี่ย	4.72	0.11	มากที่สุด
	ด้านสื่อชุดทลอง			
1.	วงจรชุดทดลองสอดคล้องกับเนื้อหารายวิชา	5.00	0.00	มากที่สุด
2.	จำนวนชุดทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงาน	4.40	0.55	มาก
3.	การออกแบบ/ความถูกต้องของวงจร	5.00	0.00	มากที่สุด
4.	ขนาดและตัวอักษรเหมาะสม	5.00	0.00	มากที่สุด
5.	ความสะดวกในการใช้งาน	4.60	0.55	มากที่สุด
	ค่าผลเฉลี่ย	4.80	0.20	มากที่สุด
	ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	4.76	0.15	มากที่สุด

ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

ผู้วิจัยได้นำชุดการสอนปฏิบัติการที่สร้างขึ้น ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จำนวน 15 คน ซึ่งหลังจากการเรียนด้วยชุดสื่อการสอนแล้ว พบว่าผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น และผลความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดการสอนชุดนี้อยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยโดยรวมของชุดการสอนทั้งหมดมีค่า $\overline{X}$=4.41, S.D.=0.42 แสดงในตารางที่ 2 ดังนั้นชุดสื่อการสอนปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพที่สามารถนำไปใช้ ประกอบการเรียนการสอนในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ระดับปริญญาตรีได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

ที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	$\overline{X}$	S.D	ความพึงพอใจ
	ด้านเอกสารใบงาน			
1	เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.64	0.50	มากที่สุด
2	ปริมาณเนื้อหา/ใบงานมีจำนวนเหมาะสม	4.14	0.77	มาก
3	ลำดับเนื้อหาและขั้นตอนทดลองต่อเนื่อง	4.00	0.39	มาก
4	เนื้อหามีความถูกต้องและสมบูรณ์	4.50	0.65	มากที่สุด
5	ขนาดตัวอักษรเหมาะสมและภาพชัดเจน	4.79	0.43	มากที่สุด
	ค่าเฉลี่ย	4.41	0.43	มาก
	ด้านสื่อชุดทดลอง			
1	การออกแบบวงจรมีความเหมาะสมและสวยงาม	4.29	0.61	มาก
2	ขนาดและภาพแบบตัวอักษรมีความเหมาะสม	4.57	0.51	มากที่สุด
3	สัญลักษณ์วงจรถูกต้องและมองเห็นได้ชัดเจน	4.64	0.63	มากที่สุด
4	การต่อใช้งานง่ายและสะดวก	4.43	0.76	มาก
5	การซ่อมบำรุงและเก็บรักษาทำได้สะดวก	4.14	0.77	มาก
	ค่าเฉลี่ย	4.41	0.46	มาก
	ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	**4.41**	**0.42**	**มาก**

สรุปผล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาและสร้างชุดสื่อการสอนปฏิบัติการ เรื่อง วิศวกรรมสายส่งความถี่สูง โดยผู้วิจัยได้นำชุดการสอนปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปประเมินหาคุณภาพ พบว่ามีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากและประสิทธิภาพการใช้งาน พบว่ามีค่าความพึงพอใจในระดับมาก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพที่สามารถไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

อำนาจ ปาละหงษา, การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่อง การมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์และการมัลติเพล็กซ์วิชาระบบสื่อสาร2หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2544). วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

วิสิฐ อุตมานนท์, การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนปฏิบัติการ เรื่องระบบการสื่อสารข้อมูลแบบแอนาล็อก สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี, วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.

ไชยยศ เรืองสุวรรณ, เทคโนโลยีทางการศึกษาหลักการและแนวปฏิบัติ, กรุงเทพมหานคร :สำนักพิมพ์วัฒนาพานิช, 2526.

วัลลภ จันทร์ตระกูล, การเลือกใช้สื่อการสอน, วารสารครุศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 4, 2529.

อนุรักษ์ เมฆพะโยม สุรพันธ์ ตันศรีวงษ์ และ สมศักดิ์ อรรคทิมากูล.2554. สภาพการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม กรณีศึกษาเรื่องระบบการสื่อสารดิจิตอลหลักสูตรระดับปริญญาตรี.ในรายงานการประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่4วันที่ 7-8 กรกฎาคม 2554 รายงาน ณ.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เอกพันธ์ พาเจริญ รัฐพล จินะวงค์ และสมศักดิ์ อรรคทิมากูล.2555.การศึกษาสภาพการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม เรื่องสายอากาศไมโครสตริปหลักสูตรระดับปริญญาตรี.ในรายงานการประชุมวิชาการ ครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 5 วันที่ 5-6 กรกฎาคม 2555 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. เล่มหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า.2552 ระดับปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม.หลักสูตรปรับปรุง 2552

สมศักดิ์ อรรคทิมากูล.2548.ข่ายการสื่อสารและสายส่ง.กรุงเทพฯ:ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Jia-shenG.Hong and M.J.Lancaster "Microstrip Filter for RF/Microwave Application", New York,2001.