



การพัฒนาชุดการสอนปฏิบัติการเรื่อง คลื่นยืนบนสายส่งความถี่สูง

The Development of Laboratory Instructional Package for Standing Wave on High Frequency Transmission line

พินิจ เนื่องภิรมย์¹ กนกวรรณ เรืองศิริ² และสมศักดิ์ อรรถทิมากุล³

¹ มทร.ล้านนา ภาควิชาไฟฟ้า เชียงใหม่ 128 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

² วิทยาลัยเทคโนโลยีจิตรลดา, 604 สำนักพระราชวัง สนามเสือป่า ถนนศรีอยุธยา เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

³ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 1518 ถ.ประชาราษฎร์ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนปฏิบัติการเรื่องคลื่นยืนบนสายส่ง สำหรับการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ชุดทดลองปฏิบัติการ โปรแกรมจำลองและใบงานการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพ ได้แก่ แบบประเมินความเหมาะสมของชุดการสอนสำหรับผู้เชี่ยวชาญและแบบสอบถามความพึงพอใจสำหรับนักศึกษา กลุ่มตัวอย่างได้แก่ผู้เรียนที่ลงทะเบียนวิชาปฏิบัติการระบบโทรคมนาคม ในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือจำนวน 15 คน โดยเลือกแบบเจาะจงตามความเหมาะสม ผลการวิจัยชุดการสอนปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น ผ่านการประเมินจาก 5 ผู้เชี่ยวชาญในระดับมากที่สุด ด้านการประเมินความพึงพอใจผ่านการประเมินจากนักศึกษาในระดับมาก โดยภาพรวมถือว่าชุดการสอนที่พัฒนาขึ้น เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้พัฒนาการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: คลื่นยืน สายส่ง ชุดการสอนปฏิบัติการ วิศวกรรมโทรคมนาคม

Abstract

This dissertation aims to give the development of a laboratory instructional package for standing wave on transmission line. The research instruments were the experiment set, simulation tool and laboratory worksheets. The performance instruments were the expert's evaluation and the student's satisfaction. Samples were 15 students who registered in telecommunication systems laboratory subjects in science of education course of King Mongkut's University of Technology North Bangkok. The research results were as follows, the opinion of 5 experts was most level and the satisfaction of the sampling group was high level. Therefore, the laboratory instructional package can be applied and developed for learning in telecommunication engineering course.

Keyword: Standing wave, Transmission line, A Laboratory instructional package, Telecommunication engineering.

1. บทนำ

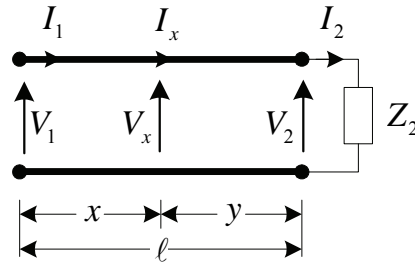
เทคโนโลยีทางด้านโทรคมนาคมมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างสูง ไม่ว่าจะเป็นในด้าน การแพทย์ การเกษตร การทหาร การเรียนการสอน และด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยเฉพาะทางด้าน การเรียนการสอน เนื้อหาเกี่ยวกับวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่มุ่งเน้นถึง การคำนวณ และการวิเคราะห์ผลการทำงานของวงจร ซึ่งมีขั้นตอนและการคำนวณทางทฤษฎีที่ซับซ้อน อีกทั้งผู้เรียนไม่สามารถที่จะเห็นพฤติกรรมที่เกิดจากการคำนวณได้ [1] และจากการศึกษาสภาพการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม พบว่า ควรมีการพัฒนาการเรียนการสอนให้มีความหลากหลาย เช่น การใช้โปรแกรมจำลอง โปรแกรมช่วยคำนวณ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ [2] สอดคล้องกับงานวิจัยของ อนุรักษ์ [3] และเอกพันธ์ [4] ที่พบว่าควรให้มีการพัฒนาสร้างสื่อประกอบการเรียนการสอน และสร้างชุดปฏิบัติการเกี่ยวกับวิศวกรรมโทรคมนาคมที่มีความสอดคล้องกับเนื้อหาทางทฤษฎี ประยุกต์สู่การปฏิบัติ

จากหลักการและเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการพัฒนาและสร้างชุดการสอนเรื่องคลื่นยืนบนสายส่ง ที่ประกอบไปด้วยโปรแกรมจำลอง ชุดทดลองปฏิบัติ ใบงาน การทดลองสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการระบบโทรคมนาคม ตามหลักสูตรศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ [5] เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ทางด้านทักษะ มีความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น จากการได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จริง

2. คลื่นยืนบนสายส่ง

การแพร่กระจายของคลื่นในวงจรสายส่งใดๆ จะเกิดปรากฏการณ์ของคลื่นที่เคลื่อนที่ตกกระทบและคลื่นสะท้อนภายในวงจรสายส่ง โดยขนาดของคลื่นต่างๆ จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งและภาระของโหลดที่ต่อในวงจรสายส่งนั่นเอง วงจรสายส่งสามารถ

แสดงดังภาพที่ 1 และเมื่อพิจารณาสำหรับวงจรสายส่งที่ปลายสาย ต่อภาระ (Load) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

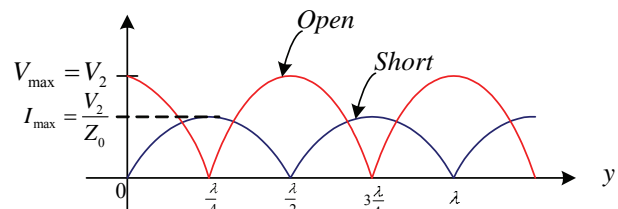


ภาพที่ 1 วงจรของสายส่งที่มีภาระ

$$v_y(t) = Z_0 I_L \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} y\right) \sin\left(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (1)$$

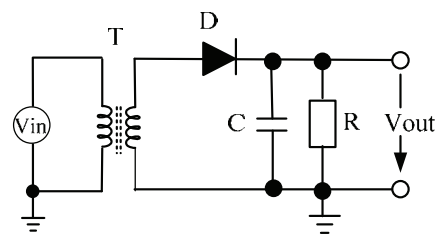
$$i_y(t) = I_L \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} y\right) \sin(\omega t + \phi) \quad (2)$$

จากสมการข้างต้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ขนาดของแรงดัน V_y และ กระแส I_y ที่ตำแหน่ง y ต่างๆ บนสายส่ง ดังรูปที่ 3 และเมื่อพิจารณาสำหรับวงจรสายส่งที่ปลายสาย Open circuit และ Short circuit สามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ขนาดของแรงดัน V_y และ กระแส I_y ที่ตำแหน่ง y ต่างๆ บนสายส่ง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขนาดและเฟสของคลื่นยืนของแรงดันและกระแส

ในการทดสอบเพื่อวัดขนาดของคลื่นแรงดันหรือคลื่นของกระแส จำเป็นต้องมีวงจรตรวจจับขนาดของคลื่น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วงจรวัดค่ายอดของคลื่น (Peak detector) ดังแสดงในภาพที่ 3 [6]



ภาพที่ 3 วงจรวัดค่ายอดของคลื่น (Peak detector)

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3.1.1 เพื่อพัฒนาและสร้างชุดการสอนเรื่องคลื่นยืนบนสายส่งความถี่สูง สำหรับรายวิชาปฏิบัติการระบบโทรคมนาคม (Telecommunication Systems Laboratory)

3.1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพชุดการสอนที่พัฒนาขึ้น

3.2 สมมติฐานของงานวิจัย

3.2.1 ชุดสื่อการสอนเรื่องคลื่นยืนบนสายส่ง ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับมาก

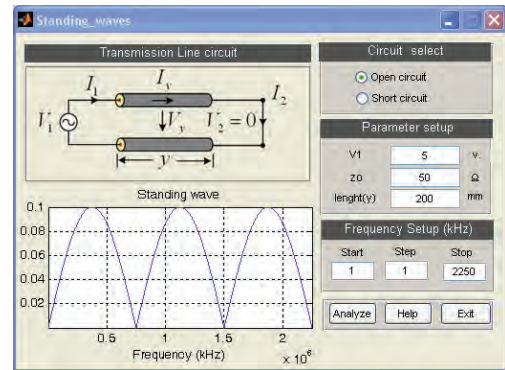
3.2.2 ระดับความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดการสอน เรื่องคลื่นยืนบนสายส่งที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก

3.3 การพัฒนาชุดการสอน

การออกแบบและสร้างชุดการสอนเรื่องคลื่นยืนบนสายส่ง ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการการสร้างชุดสื่อการสอน [7-8] และศึกษาข้อมูลของชุดทดลองของจริงที่มาจากต่างประเทศ แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองใช้กับการศึกษาในห้องเรียนพบว่า ยังมีปัญหาการใช้งานที่มีจำนวนจำกัด และไม่สามารถใช้งานได้ครอบคลุมเนื้อหาทางทฤษฎี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์และพัฒนาเอกสารใบงานและสื่อชุดทดลองขึ้นมาใหม่ ที่สามารถนำไปทดลองได้ครบถ้วนตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยได้ทำการสร้างและพัฒนา ดังนี้ 1) โปรแกรมจำลอง สร้างโดยใช้ฟังก์ชัน GUI ของโปรแกรม MATLAB 2) ชุดทดลองคลื่นยืนบนสายส่ง 3) ใบงานประกอบการทดลอง โดยแต่ละรายการมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 โปรแกรมจำลองคลื่นยืนบนสายส่ง

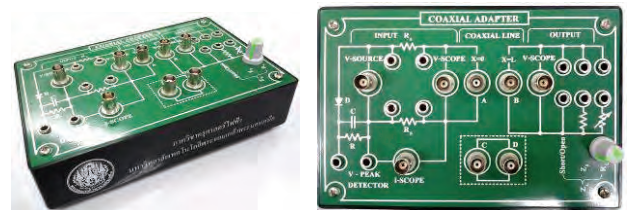
โปรแกรมจำลองสร้างขึ้นในลักษณะของกราฟิกประสานงานผู้ใช้ ผ่านฟังก์ชัน GUI ของโปรแกรม MATLAB ลักษณะของโปรแกรมประกอบไปด้วย ลักษณะการต่อวงจร การเลือกรูปแบบวงจร การป้อนตัวแปรพื้นฐานสำหรับคำนวณ การปรับความถี่กวาดสำหรับป้อนในวงจร การวิเคราะห์ห้วงจร และการแสดงผลกราฟ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โปรแกรมจำลองคลื่นยืนบนสายส่ง

3.3.2 ชุดทดลองคลื่นยืนบนสายส่ง

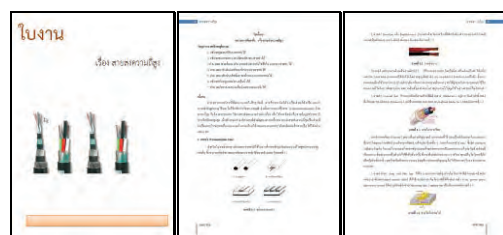
ชุดทดลองคลื่นยืนบนสายส่งพัฒนามาจากชุดทดลองเดิมที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ มีราคาแพงและจำนวนไม่เพียงพอต่อนักศึกษา ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาเพื่อให้มีราคาที่ถูกลง และยังคงครอบคลุมการทดลองสำหรับคุณสมบัติของสายส่ง เช่น การวัดหาค่าคุณสมบัติของคลื่นยืน การวัดหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ชุดทดลองคลื่นยืนบนสายส่ง

3.3.3 ใบงานเรื่องคลื่นยืนบนสายส่ง

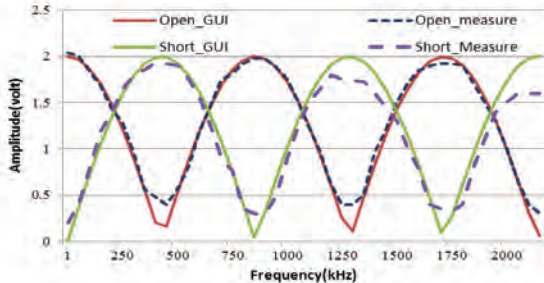
ใบงานประกอบการทดลอง ประกอบไปด้วย วัตถุประสงค์ เนื้อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ ขั้นตอนการทดลอง การบันทึกผล การสรุปผล และคำถามท้ายการทดลอง เพื่อให้ให้นักศึกษาได้มีแนวทางในการฝึกปฏิบัติอย่างเป็นขั้นตอน และเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพ ลักษณะของใบงานแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ใบงานการทดลอง

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการพัฒนาชุดการสอนปฏิบัติการเรื่องคลื่นยืนบนสายส่ง



ภาพที่ 7 คลื่นยืนบนสายส่งขณะเปิดและลัดวงจร

ชุดการสอนที่พัฒนาขึ้น ในส่วนของโปรแกรมจำลองและชุดทดลอง เมื่อนำไปวิเคราะห์สายส่งที่มีความยาว 100 เมตร ที่ระดับแรงดันด้านเข้า 5 โวลต์ อิมพีแดนซ์ของสาย 50 โอห์ม ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมจำลอง และจากการวัดจริงจากชุดทดลอง ผลการเปรียบเทียบที่ได้ คลื่นยืนบนสายส่ง

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพชุดการสอน โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	\bar{X}	S.D.
1.ด้านเอกสารใบงาน		
1.1 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความชัดเจน	4.80	0.45
1.2 ปริมาณของเนื้อหาเหมาะสม	4.60	0.55
1.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานมีความชัดเจน	4.40	0.55
1.4 การบันทึกผลและคำถามท้ายการทดลอง	4.40	0.55
1.5 ระดับความยาก-ง่ายของการทดลอง	4.60	0.55
ค่าผลเฉลี่ย	4.56	0.17
2. ด้านสื่อชุดทดลอง		
2.1 วงจรชุดทดลองสอดคล้องกับเนื้อหาทฤษฎี	4.40	0.55
2.2 จำนวนชุดทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงาน	4.20	0.45
2.3 การออกแบบ/ความถูกต้องของวงจร	4.60	0.55
2.4 ขนาดและตัวอักษรเหมาะสม	4.40	0.55
2.5 ความสะดวกในการใช้งาน	4.20	0.84
ค่าผลเฉลี่ย	4.36	0.36
3. ด้านสื่อโปรแกรมจำลอง		
3.1 มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.40	0.55
3.2 ผลลัพธ์มีความถูกต้อง	4.80	0.45
3.3 ใช้งานง่ายและสะดวก	4.40	0.55
3.4 เหมาะสมกับเนื้อหา และวัตถุประสงค์การสอน	4.60	0.55
3.5 สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี	4.80	0.45
ค่าผลเฉลี่ย	4.60	0.14
รวมทั้งหมด	4.51	0.12

ทั้งแบบเปิดวงจรและลัดวงจร มีผลการทดลองที่สอดคล้องกัน แสดงดังภาพที่ 7 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีและหลักการของคลื่นยืนในวงจรสายส่งความถี่สูง

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพชุดการสอนโดยผู้เชี่ยวชาญ

งานวิจัยนี้ใช้แบบประเมินความเหมาะสม ของชุดการสอนปฏิบัติการเรื่องคลื่นยืนบนสายส่ง โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ที่มีประสบการณ์ในการสอนในสาขาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ให้คะแนนแบบ 5 ระดับ [9] ผลการประเมินพบว่า ด้านเอกสารใบงาน มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 ค่า S.D. เท่ากับ 0.17 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านชุดทดลองมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 ค่า S.D. เท่ากับ 0.36 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก และด้านโปรแกรมจำลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 ค่า S.D. เท่ากับ 0.14 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยรวมชุดสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ที่ระดับค่าเฉลี่ย 4.51 และค่า S.D. = 0.12

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

รายการ	\bar{X}	S.D.
1.ด้านเอกสารใบงาน		
1.1 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความชัดเจน	4.20	0.89
1.2 ปริมาณของเนื้อหาเหมาะสม	4.40	0.83
1.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานมีความชัดเจน	4.13	0.64
1.4 การบันทึกผลและคำถามท้ายการทดลอง	4.27	0.59
1.5 ระดับความยาก-ง่ายของการทดลอง	4.20	0.68
ค่าผลเฉลี่ย	4.24	0.39
2. ด้านสื่อชุดทดลอง		
2.1 วงจรชุดทดลองสอดคล้องกับเนื้อหาทฤษฎี	4.47	0.64
2.2 จำนวนชุดทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงาน	4.33	0.62
2.3 การออกแบบ/ความถูกต้องของวงจร	4.47	0.64
2.4 ขนาดและตัวอักษรเหมาะสม	4.53	0.64
2.5 ความสะดวกในการใช้งาน	4.20	0.68
ค่าผลเฉลี่ย	4.40	0.34
3. ด้านสื่อโปรแกรมจำลอง		
3.1 มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.60	0.51
3.2 ผลลัพธ์มีความถูกต้อง	4.53	0.52
3.3 ใช้งานง่ายและสะดวก	4.60	0.51
3.4 เหมาะสมกับเนื้อหา และวัตถุประสงค์การสอน	4.33	0.82
3.5 สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี	4.53	0.52
ค่าผลเฉลี่ย	4.52	0.27
รวมทั้งหมด	4.39	0.17

4.3 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

ผู้วิจัยได้นำชุดการสอนปฏิบัติการที่สร้างขึ้น ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือจำนวน 15 คน ซึ่งหลังจากการเรียนด้วยชุดสื่อการสอน พบว่าผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น และผลความพึงพอใจของนักศึกษาต่อชุดการสอนชุดนี้ อยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยโดยรวมของชุดการสอนทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 ค่า S.D. เท่ากับ 0.17 แสดงในตารางที่ 2 ดังนั้นชุดสื่อการสอนปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพที่สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ระดับปริญญาตรีได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 8 กลุ่มตัวอย่างทำการทดลอง

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาและสร้างชุดการสอนปฏิบัติการ เรื่อง คลื่นยีนบนสายส่ง โดยผู้วิจัยได้นำชุดการสอนปฏิบัติการที่สร้างขึ้น ไปประเมินหาคุณภาพ พบว่ามีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุดและประสิทธิภาพการใช้งาน พบว่ามีค่าความพึงพอใจในระดับมาก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศรีนัย ชุคติ และสมศักดิ์ อรรถทิมากุล, “การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้อัจฉริยะ MIDEAP สำหรับการเรียนการสอนรายวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องท่อนำคลื่นและการประยุกต์ใช้งาน,” การประชุมวิชาการครูศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 3, 2553.
- [2] วิรุฒิ ชันรัตน์, พินิจ เนื่องภิรมย์, สุรพันธ์ ดันศรีวงษ์ และสมศักดิ์ อรรถทิมากุล, “การศึกษาศาภาพการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมหลักสูตรระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย,” การประชุมวิชาการครูศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 6, 2556.
- [3] อนุรักษ์ เมฆพะโยม และคณะ, “สภาพการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม กรณีศึกษาเรื่องระบบการสื่อสารดิจิทัลหลักสูตรระดับปริญญาตรี,” การประชุมวิชาการครูศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 4, 2554.
- [4] เอกพันธ์ พาเจริญ รัชพล จินะวงศ์ และสมศักดิ์ อรรถทิมากุล, “การศึกษาศาภาพการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม เรื่องสายอากาศไมโครสตริปหลักสูตรระดับปริญญาตรี,” การประชุมวิชาการครูศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 5, 2555.
- [5] เล่มหลักสูตรครูศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, ระดับปริญญาตรีครูศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครูศาสตร์อุตสาหกรรม, หลักสูตรปรับปรุง 2552.
- [6] สมศักดิ์ อรรถทิมากุล, “ข่ายการสื่อสารและสายส่ง,” กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] อำนาจ ปาละหงษา, “การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่อง การมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์และการมัลติเพล็กซ์ วิชาการระบบสื่อสาร 2 หลักสูตรครูศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2544),” วิทยานิพนธ์ครูศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.
- [8] วิสิฐ อุดมานนท์, “การพัฒนาและหาประสิทธิภาพชุดการสอนปฏิบัติการ เรื่องระบบการสื่อสารข้อมูลแบบแอนาล็อก สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี,” วิทยานิพนธ์ครูศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.
- [9] ธานินทร์ ศิลป์จารุ, “การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS และ AMOS,” พิมพ์ครั้งที่ 13. เอส.อาร์.พรินต์ติ้ง แมสโปรดักส์. กรุงเทพฯ, 2555.