

การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไอโซเลเตอร์โดยใช้วิธี พื้นผิวผลตอบ

Optimal Conditions of Isolator Production Using Response Surface Method

ฉัตรพล ทิมพา และ สรรฐติชัย ชิวสุทธิศิลป์*

Chatpon Phimpha and Suntichai Shevasuthisilp

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถ. ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

Department of Industrial Engineering, Chiang Mai University

239 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai, Thailand, 50200

*E-mail: shevasut@chiangmai.ac.th, Telephone Number: 053-944125-6

บทคัดย่อ

ไอโซเลเตอร์เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในโทรศัพท์มือถือ มีหน้าที่ป้องกันชิ้นส่วนจากสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามาในโทรศัพท์จากเสาอากาศขณะใช้งาน จากข้อร้องเรียนของลูกค้าพบว่าชิ้นงานมีค่าสัญญาณไม่ได้ตามข้อกำหนด ซึ่งเมื่อนำไปใช้จะทำให้อายุการใช้งานของโทรศัพท์มือถือสั้นลง จากผลการตรวจสอบพบว่าชิ้นงานไม่ได้ตามข้อกำหนด 0.5 เปอร์เซ็นต์ (ยอดการผลิตของไอโซเลเตอร์ 63.6 ล้านชิ้นต่อปี) บริษัทจึงต้องเพิ่มกระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน 100 เปอร์เซ็นต์ก่อนส่งงาน ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น 0.12 บาท ต่อชิ้น (ต้องเสียค่าใช้จ่าย 7.2 ล้านบาทต่อปี) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์โดยเลือกวิเคราะห์ค่าสัญญาณ 4 ค่าสัญญาณคือ ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 1920 เฮิร์ตซ์ และ 1980 เฮิร์ตซ์, ค่าความสูญเสียในระบบที่ความถี่ 1920 เฮิร์ตซ์ และ 1980 เฮิร์ตซ์ จากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่ามีปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลทั้งหมด 5 ปัจจัย จึงเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน 2^{5-1} และทดลองเพิ่มที่จุดศูนย์กลาง โดยทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยและตรวจสอบความเป็นส่วนโค้งของแบบจำลอง จากผลการวิเคราะห์พบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณ 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการอบชิ้นงาน ค่าของตัวเก็บประจุ 1 และค่าของตัวเก็บประจุ 2 ในทางกลับกันมี 2 ปัจจัยที่ไม่มีผลคือ เวลาในการอบ และค่าของตัวต้านทาน และเนื่องจากสมการเป็นแบบเส้นโค้ง ดังนั้นจึงทดลองเพิ่มเติมแบบส่วนประสมกลางเพื่อสร้างแบบจำลองที่เหมาะสม และจากแบบจำลองพบว่าค่าที่เหมาะสมในการผลิตคือ อุณหภูมิในการอบชิ้นงาน 68.35 องศาเซลเซียส ค่าของตัวเก็บประจุ 1 คือ 14.81 พิโกฟาร์ด ค่าของตัวเก็บประจุ 2 ที่ 4.33 พิโกฟาร์ด ส่วนปัจจัยอื่นกำหนดไว้ที่ระดับเดิม ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงน้อยลง จนไม่พบของเสียในกระบวนการผลิต

คำสำคัญ: การทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน, การทดลองแบบส่วนประสมกลาง

ABSTRACT

Isolator is an electronic component of a mobile phone that is used to prevent other components from the reflective signal from antenna during the phone call. From the customers' complain, the products were unable to emit signal into the required level which could shorten the lifetime of the mobile phone. Inspections was carried out at the isolator component and it was found that 0.5% defective component was found among the total production amount of 63.6 million isolators per year. The company needs to leverage the inspection level to 100% inspection before shipping then the process has increased cost of production of 0.12 baht per piece (7.2 million baht /year). This research has the purpose to determine the influential factors which affect the isolator's signal. An analysis involved the selection of 4 frequency ranges of signal which are within the disruptive prevention range between 1920 Hz and 1980 Hz, and insertion loss at 1920 Hz and 1980 Hz. The authors found that there were 5 influential factors that affected the signal of the isolator so that the fractional factorial design of 2^{5-1} was used with additional center points to experiment. The experiment filtered the potential factors and the curvation of the regression model was examined. The result indicated that there were 3 influential factors affected the signal, which were drying temperature, capacities of the capacitor 1 and 2. On the other hand, two factors were not significant. They were drying time and resistance of a resistor. Since the central composite design was added to the regression model, which was curvature, the results from the analysis of regression model showed that the optimal drying temperature was 68.35 degree celsius and the optimal capacitance for the capacitor 1 was 14.81 picofarad and for the capacitor 2 was 4.33 picofarad, respectively. Other factors remained as constant to minimize the signal distortion until the defective components were minimal.

Keyword : Fractional Factorial Design, Central Composite Design

1. บทนำ

ไอโซเลเตอร์เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในโทรศัพท์มือถือ โดยบริษัทผู้ผลิตไอโซเลเตอร์รายใหญ่ตั้งอยู่ในภาคกลาง ซึ่งมียอดการผลิต 63 ล้านชิ้นต่อปี โดยไอโซเลเตอร์มีหน้าที่ป้องกันชิ้นส่วนจากสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามาในโทรศัพท์จากเสาอากาศขณะใช้งาน ถ้าค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ไม่ได้ตามที่ลูกค้ากำหนดจะทำให้อายุการใช้งานของโทรศัพท์มือถือสั้นลง โดยที่ไอโซเลเตอร์มีค่าสัญญาณที่ต้องตรวจสอบ 4 ค่าสัญญาณประกอบด้วย ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 1920 เฮิร์ตซ์ และ 1980 เฮิร์ตซ์, ค่าความสูญเสียในระบบที่ความถี่ 1920 เฮิร์ตซ์ และ 1980 เฮิร์ตซ์ จากข้อร้องเรียนของลูกค้า พบว่าชิ้นงานมีค่าสัญญาณไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยค่าสัญญาณที่ลูกค้าพบปัญหาคือค่าการป้องกันสัญญาณรบกวน เมื่อได้รับข้อร้องเรียนทางบริษัทจึงได้ตรวจสอบชิ้นงานที่รอจัดส่งให้ลูกค้า โดยผลการตรวจสอบพบว่าค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ที่ปรับตั้งแล้วเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด 0.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเพื่อป้องกัน

ปัญหาดังกล่าว บริษัทจึงได้เพิ่มกระบวนการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อคัดกรองของเสีย ก่อนส่งไปให้ลูกค้า ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น 0.12 บาทต่อชิ้น คิดเป็นค่าใช้จ่าย 7.2 ล้านบาทต่อปี ซึ่งการเพิ่มกระบวนการตรวจสอบ ไม่ได้เป็นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ ทำให้บริษัทต้องเพิ่มต้นทุนในการผลิตและเวลาในการผลิตที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วนเพื่อคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลและการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต เพื่อให้ค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลองแบบเป็นลำดับขั้น

โดยปกติในช่วงเริ่มต้นของการทดลอง มักจะมีปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการจำนวนมาก [1] ดังนั้นการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง

ค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ จึงจะทำการทดลองเป็นลำดับขึ้น โดยการแบ่งการทดลองออกเป็นชุดเล็กๆ คือการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน และการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมีความเกี่ยวเนื่องและมีความสัมพันธ์กัน โดยหลังจากที่ทดลองครบทั้งสองชุดการทดลองแล้ว จะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อลดความซับซ้อนในช่วงเริ่มต้นการทดลอง และสามารถที่จะปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในการออกแบบการทดลองและเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการทดลอง

2.2 การคัดกรองปัจจัยโดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน

การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วนเป็นการออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญ [2] และสามารถลดจำนวนการทดลองลงในกรณีที่มีการทดลองมีจำนวนมาก [3] ซึ่งในงานวิจัยนี้มีจำนวนปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ 5 ปัจจัย คืออุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการอบงาน ค่าของตัวเก็บประจุ 1 และ 2 และค่าของตัวต้านทาน โดยถ้าทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มจำนวนจะต้องทดลองจำนวน 32 การทดลอง แต่การใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน 2^{5-1} โดยจะทำให้จำนวนการทดลองลดลงเหลือ 16 การทดลอง และในงานวิจัยมีการทดลองเพิ่มที่จุดศูนย์กลาง เพื่อตรวจสอบความเป็นส่วนโค้งของแบบจำลอง [4] โดยถ้าแบบจำลองเป็นส่วนโค้งจะต้องทดลองโดยการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

ตัวอย่างงานวิจัยของ Dente et al.(2003) [5] ได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วนเพื่อปรับปรุงผลของการผลิตพลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงพีทีเอ็ม ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปเกี่ยวกับ การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วนว่า มีความเหมาะสมที่จะใช้กับงานวิจัยเนื่องจากสามารถลดการทดลองจาก 16 การทดลองเหลือ 8 การทดลอง ซึ่งสามารถลดจำนวนการทดลองลงได้และยังสามารถคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อ

กระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ จึงเหมาะสมในการใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการ

2.3 การหาสถานะที่ดีที่สุดโดยการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ

การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบเป็นเทคนิคทางสถิติและทางคณิตศาสตร์ ในการพัฒนาปรับปรุง และการหาค่าที่ดีที่สุดของกระบวนการ [6] ซึ่งจะใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ในการทดลอง ซึ่งสามารถนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ร่วมกับผลการทดลองโดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วนเพื่อหาสถานะที่เหมาะสม ในการผลิตไอโซเลเตอร์เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณน้อยที่สุด

ตัวอย่างงานวิจัยของ Aslan (2008) [7] ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยสำหรับนำไปเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกโครเมียมโดยเครื่องแบบใช้แรงโน้มถ่วง โดยการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ ซึ่งงานวิจัยนี้ต้องการหาผลตอบของการแยกเกรดของโครเมียมและเปอร์เซ็นต์ของโครเมียมที่ได้ โดยการวิจัยนี้จะศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย หลังจากใช้วิธีการหาพื้นผิวผลตอบทำให้เพื่อวิเคราะห์ผลทำให้สามารถสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้การแยกเกรดของโครเมียม และเปอร์เซ็นต์ของโครเมียม โดยจากวิธีการออกแบบการทดลองแบบสามารถที่จะแยกสมการทางคณิตศาสตร์ได้เป็น 2 สมการ เพื่อใช้เป็นระดับในการผลิตที่เหมาะสม

จากงานวิจัยของ พิกิต ดวงมาลา (2006) [8] ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซ โดยการใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เพื่อคัดกรองปัจจัย 4 ปัจจัยได้แก่ กระแสไฟเชื่อม แรงดันไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อมและปริมาณก๊าซคลุม ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อม จากนั้นใช้การทดลองแบบส่วนประสมกลางเพื่อวิเคราะห์หาผลตอบที่ดีที่สุด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษากระบวนการผลิตไอโซเลเตอร์

จะดำเนินการศึกษาขั้นตอนการผลิตไอโซเลเตอร์ตามแผนผังกระบวนการ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนในการผลิตหลักจำนวน 4 ขั้นตอนเพื่อให้ทราบถึงข้อมูลในการผลิตเครื่องมือ เครื่องจักร ค่าสัญญาณที่ต้องตรวจสอบและค่ามาตรฐานต่างๆของไอโซเลเตอร์ เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดผลตอบค่าเป้าหมายและการกำหนดปัจจัยและขอบเขตของปัจจัย

3.2 การกำหนดผลตอบและค่าเป้าหมายของงานวิจัย

จะใช้ข้อมูลจากการศึกษากระบวนการ โดยผู้วิจัยจะกำหนดผลตอบของงานวิจัยจากค่าสัญญาณที่ไอโซเลเตอร์จะต้องตรวจสอบ และกำหนดค่าเป้าหมายในการวิจัยคือการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ซึ่งจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

3.3 กำหนดปัจจัยและขอบเขตของปัจจัยที่ใช้ในวิจัย

ในการวิจัยการกำหนดปัจจัยจะมาจากการระดมความคิดจากผู้จัดการฝ่ายผลิต วิศวกรผู้ควบคุมกระบวนการ และการศึกษากระบวนการผลิต โดยจะเลือกกำหนดปัจจัยจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับไอโซเลเตอร์ โดยพิจารณาจากชิ้นส่วนหลักที่ประกอบเป็นไอโซเลเตอร์ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ก่อให้เกิดค่าสัญญาณและปัจจัยอื่นในกระบวนการซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไอโซเลเตอร์

3.4 การคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์

ในการการทดลองจะทดลองแบบเป็นลำดับขั้น โดยลำดับแรกจะคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ จะใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน 2^{5-1} โดยในการออกแบบการทดลองมีตัวบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมคือ V ซึ่งผลให้ผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบหลักและไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย จะซ้ำซ้อนกับผลกระทบร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย ทำให้สามารถแยกผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่าง 2

ปัจจัยได้ ซึ่งจะมีการทดลองซ้ำที่จุดศูนย์กลาง เพื่อตรวจสอบความเป็นส่วนโค้งของแบบจำลอง และจะมีการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งในงานวิจัยจะใช้ระดับนัยสำคัญ α 0.05 เมื่อได้ผลจากการคัดกรองปัจจัยแล้วจะตรวจสอบความเป็นส่วนโค้งของแบบจำลองหากพบว่แบบจำลองมีความเป็นส่วนโค้งจะวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วยการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ซึ่งจะทดลองเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญซึ่งได้จากการคัดกรองปัจจัยโดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน

3.5 การวิเคราะห์ผลการคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ผลจากการโปรแกรม Minitab ซึ่งจะได้ผลที่ข้อมูลสถิติทดสอบแบบ T ซึ่งเป็นข้อมูลจากการคำนวณ และข้อมูลสถิติแบบ P ซึ่งเป็นข้อมูลที่ให้การยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐาน โดยจะเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ α 0.05 ถ้าหากค่า P ที่ได้มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α ที่กำหนดไว้แสดงว่าปัจจัยดังกล่าวนี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์

3.6 การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเพื่อให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของไอโซเลเตอร์น้อยที่สุด

การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่จะส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์น้อยที่สุดในขั้นตอนนี้จะกำหนดขอบเขตของผลตอบคือ ค่าเป้าหมาย และค่าสูงสุด โดยให้ค่าเป้าหมายเป็นศูนย์ และค่าสูงสุดเป็นค่าผลต่างของค่าสัญญาณระหว่างบริษัทและลูกค้า ซึ่งการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของค่าเป้าหมายจะกำหนดค่าไว้ที่ 1 เพื่อให้ผลตอบที่ได้อยู่ในค่าเป้าหมาย และการกำหนดค่าความสำคัญสำหรับแต่ละผลตอบจะกำหนดค่าที่ 1 เพื่อกำหนดว่าทุกผลตอบมีความสำคัญเท่ากัน โดยจะใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์

4. ผลการวิจัย

4.1 ศึกษากระบวนการผลิตไอโซเลเตอร์

กระบวนการผลิตไอโซเลเตอร์สามารถแบ่งขั้นตอนในการผลิตออกเป็นกระบวนการได้ 4 กระบวนการดังนี้

(1) กระบวนการประกอบ มีจุดประสงค์เพื่อประกอบชิ้นส่วนหลักของไอโซเลเตอร์ให้ยึดติดกันด้วยตะกั่วเหลว และนำไปผ่านความร้อนเพื่อให้ตะกั่วละลาย ทำให้ชิ้นส่วนยึดติดกัน ซึ่งชิ้นส่วนหลักที่ประกอบกันจะทำให้ไอโซเลเตอร์มีค่าสัญญาณเกิดขึ้น โดยชิ้นส่วนหลักประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ 1, ตัวเก็บประจุ 2 และตัวต้านทาน

(2) กระบวนการปรับตั้งค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ มีจุดประสงค์เพื่อปรับให้ค่าสัญญาณที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดของบริษัท ซึ่งค่าที่ปรับจะสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า โดยค่าที่จะต้องปรับจะมีค่ามาตรฐานดังที่แสดงในตารางที่ 1 และกระบวนการปรับตั้งค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์จะใช้เครื่องมือวัด S-Parameter Network Analyzer รุ่น 8753ES ดังรูปที่ 1 เพื่อตรวจสอบค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ ซึ่งเครื่องมือวัดจะมีการตรวจสอบความถูกต้องของค่าสัญญาณก่อนทำงานทุกวัน ด้วยอุปกรณ์มาตรฐานจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือวัด และจะต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด โดยบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือทุกปี

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานของไอโซเลเตอร์

ประเภทของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์	ค่าที่ต้องการ (dB)	
	บริษัทผู้ผลิต	ลูกค้า
ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ 1920 เฮิรตซ์	≥ 14.0	≥ 12.0
ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ 1980 เฮิรตซ์	≥ 14.0	≥ 12.0
ค่าความสูญเสียในระบบที่ 1920 เฮิรตซ์	≥ 0.70	≥ 0.50
ค่าความสูญเสียในระบบที่ 1980 เฮิรตซ์	≥ 0.70	≥ 0.50

(3) กระบวนการการพิมพ์และการอบหมึก โดยที่กระบวนการนี้มีจุดประสงค์เพื่อจะระบุข้อมูลการผลิตและสถานที่ผลิตลงบนชิ้นงานโดยใช้เครื่องพิมพ์หมึก พิมพ์ข้อมูลการผลิตลงบนชิ้นงาน และนำชิ้นงานเข้าอบโดยใช้เครื่อง Drying Oven รุ่น DX401 เพื่อให้หมึกพิมพ์แห้ง

โดยมาตรฐานของกระบวนการอบชิ้นงานคือ อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจะต้องนำชิ้นงานมาตรวจสอบว่าตัวหนังสือและสัญลักษณ์ที่พิมพ์บนชิ้นงานนั้นสามารถอ่านได้ชัดเจน

(4) กระบวนการยืนยันค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบค่าสัญญาณก่อนที่จะส่งงานไปให้ลูกค้า ซึ่งเป็นกระบวนการที่บริษัทเพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันข้อร้องเรียน กระบวนการยืนยันค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ซึ่งจะใช้เครื่องมือวัด S-Parameter Network Analyzer รุ่น 8753ES



รูปที่ 1 เครื่อง S-Parameter Network Analyzer รุ่น 8753ES



รูปที่ 2 เครื่อง Drying Oven รุ่น DX401

4.2 การกำหนดผลตอบและค่าเป้าหมายของงานวิจัย

ผลตอบในการทดลองคือ ค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของไอโซเลเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยค่าสัญญาณทั้งหมด 4 ประเภทตามที่ลูกค้าต้องตรวจสอบ ดังที่แสดงในตารางที่ 2 และในการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์จะใช้ผลต่างของค่าสัญญาณที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการปรับตั้งค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ และกระบวนการยืนยันค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ ค่าเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยคือ ต้องการให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของไอโซเลเตอร์น้อยที่สุด

ตารางที่ 2 ตารางผลตอบของการทดลอง

สัญลักษณ์	ค่าสัญญาณที่ใช้เป็นผลตอบ
y_1	ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ 1920 เฮิรตซ์
y_2	ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ 1980 เฮิรตซ์
y_3	ค่าความสูญเสียในระบบที่ 1920 เฮิรตซ์
y_4	ค่าความสูญเสียในระบบที่ 1980 เฮิรตซ์

4.3 กำหนดปัจจัยและขอบเขตของปัจจัยที่ใช้ในวิจัย

การกำหนดปัจจัยในการทดลองได้มาจากการระดมความคิดจากผู้จัดการฝ่ายผลิต วิศวกรผู้ควบคุมกระบวนการ และการศึกษากระบวนการผลิต ซึ่งพบว่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์มี 5 ปัจจัยซึ่งได้แสดงรายละเอียดของปัจจัยไว้ตามตารางที่ 3 การกำหนดระดับของปัจจัย C, D และ E และกำหนดค่าพิสัยความถี่ไว้ที่ 0.5 เปอร์เซนต์ เพราะค่าที่กำหนดนั้นเป็นคุณสมบัติของชิ้นส่วนจึงจำเป็นต้องกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 3 ตารางของระดับและปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	หน่วย	ระดับของปัจจัย		
		ระดับต่ำ(-1)	กลาง (0)	ระดับสูง (+1)
(A) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงาน	องศาเซลเซียส	100	150	200
(B) เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน	นาที	10	15	20
(C) ค่าของตัวเก็บประจุ 1	พิโกฟารัด	15.00 ± 0.5%	15.87 ± 0.5%	15.75 ± 0.5%
(D) ค่าของตัวเก็บประจุ 2	พิโกฟารัด	4.40 ± 0.5%	4.52 ± 0.5%	4.64 ± 0.5%
(E) ค่าของตัวต้านทาน	โอห์ม	61.00 ± 0.5%	62.81 ± 0.5%	64.62 ± 0.5%

4.4 การคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์

การทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย ที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน 2^{5-1} โดยในการทดลองจะเพิ่มการทดลองที่จุดศูนย์กลางจำนวน 5 การทดลอง เพื่อตรวจสอบความเป็นส่วนโค้งของผลการทดลอง และจะทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังนั้นจะต้องการทดลองจำนวน 63 การทดลอง โดยตารางการออกแบบการทดลองนั้นจะแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน 2^{5-1}

ลำดับการทดลอง	ปัจจัยในการทดลอง					ผลตอบ		
	(A) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงาน	(B) เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน	(C) ตัวเก็บประจุ 1	(D) ตัวเก็บประจุ 2	(E) ตัวต้านทาน	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3
1	-1 (100.00)	-1 (10.00)	-1 (15.00)	-1 (4.40)	+1 (64.62)			
2	+1 (200.00)	-1 (10.00)	-1 (15.00)	-1 (4.40)	-1 (61.00)			
3	-1 (100.00)	+1 (20.00)	-1 (15.00)	-1 (4.40)	-1 (61.00)			
4	+1 (200.00)	+1 (20.00)	-1 (15.00)	-1 (4.40)	+1 (64.62)			
5	-1 (100.00)	-1 (10.00)	+1 (15.75)	-1 (4.40)	-1 (61.00)			
6	+1 (200.00)	-1 (10.00)	+1 (15.75)	-1 (4.40)	+1 (64.62)			
7	-1 (100.00)	+1 (20.00)	+1 (15.75)	-1 (4.40)	+1 (64.62)			
8	+1 (200.00)	+1 (20.00)	+1 (15.75)	-1 (4.40)	-1 (61.00)			
9	-1 (100.00)	-1 (10.00)	-1 (15.00)	+1 (4.64)	-1 (61.00)			
10	+1 (200.00)	-1 (10.00)	-1 (15.00)	+1 (4.64)	+1 (64.62)			
11	-1 (100.00)	+1 (20.00)	-1 (15.00)	+1 (4.64)	+1 (64.62)			
12	+1 (200.00)	+1 (20.00)	-1 (15.00)	+1 (4.64)	-1 (61.00)			
13	-1 (100.00)	-1 (10.00)	+1 (15.75)	+1 (4.64)	+1 (64.62)			
14	+1 (200.00)	-1 (10.00)	+1 (15.75)	+1 (4.64)	-1 (61.00)			
15	-1 (100.00)	+1 (20.00)	+1 (15.75)	+1 (4.64)	-1 (61.00)			
16	+1 (200.00)	+1 (20.00)	+1 (15.75)	+1 (4.64)	+1 (64.62)			
17	0 (150.00)	0 (15.00)	0 (15.37)	0 (4.52)	0 (62.81)			
18	0 (150.00)	0 (15.00)	0 (15.37)	0 (4.52)	0 (62.81)			
19	0 (150.00)	0 (15.00)	0 (15.37)	0 (4.52)	0 (62.81)			
20	0 (150.00)	0 (15.00)	0 (15.37)	0 (4.52)	0 (62.81)			
21	0 (150.00)	0 (15.00)	0 (15.37)	0 (4.52)	0 (62.81)			

4.5 การวิเคราะห์ผลการคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์

การหาผลกระทบโดยการตรวจสอบค่า P กับระดับนัยสำคัญ α 0.05 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณ ได้แก่ปัจจัย A ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลตอบทุกตัว และพบว่าผลตอบ y_4 มีผลกระทบของปัจจัย C และมีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย AD และมีลักษณะของแบบจำลองเป็นส่วนโค้ง โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงข้อมูลไว้ดังตารางที่ 5-8

การวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง พบว่าการแจกแจงของข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ค่าส่วนตกค้างเมื่อของการทดลองเทียบกับค่าทำนายและเมื่อเทียบกับลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่มมีความเป็นอิสระ มีความถูกต้องตามสมมุติฐานจึงสามารถนำผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้ได้

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์สำหรับผลตอบ y_1 โดยการทดลองแบบ 2^{5-1}

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Constant		0.9261	0.0290	31.8900	0.00	✓
Block 1		0.0220	0.0359	0.6100	0.54	-
Block 2		-0.0376	0.0359	-1.0500	0.30	-
A	0.8241	0.4121	0.0290	14.1900	0.00	✓
B	-0.0316	-0.0158	0.0290	-0.5400	0.59	-
C	-0.0189	-0.0095	0.0290	-0.3300	0.75	-
D	-0.0894	-0.0447	0.0290	-1.5400	0.13	-
E	-0.0213	-0.0107	0.0290	-0.3700	0.72	-
A*B	0.0554	0.0277	0.0290	0.9500	0.35	-
A*C	-0.0115	-0.0058	0.0290	-0.2000	0.84	-
A*D	-0.0833	-0.0416	0.0290	-1.4300	0.16	-
A*E	-0.0669	-0.0335	0.0290	-1.1500	0.26	-
B*C	-0.0536	-0.0268	0.0290	-0.9200	0.36	-
B*D	-0.0265	-0.0133	0.0290	-0.4600	0.65	-
B*E	0.0006	0.0003	0.0290	0.0100	0.99	-
C*D	-0.1052	-0.0526	0.0290	-1.8100	0.08	-
C*E	0.0299	0.0149	0.0290	0.5100	0.61	-
D*E	-0.0152	-0.0076	0.0290	-0.2600	0.80	-
Ct Pt		-0.0014	0.0595	-0.0200	0.98	-

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์สำหรับผลตอบ y_2 โดยการทดลองแบบ 2^{5-1}

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Constant		0.97301	0.0302	32.220	0.00	✓
Block 1		0.03122	0.03728	0.840	0.41	-
Block 2		-0.05011	0.03728	-1.340	0.19	-
A	0.78576	0.39288	0.0302	13.010	0.00	✓
B	-0.09547	-0.04774	0.0302	-1.580	0.12	-
C	-0.02153	-0.01076	0.0302	-0.360	0.72	-
D	-0.09732	-0.04866	0.0302	-1.610	0.11	-
E	0.04001	0.02	0.0302	0.660	0.51	-
A*B	-0.00127	-0.00064	0.0302	-0.020	0.98	-
A*C	-0.00756	-0.00378	0.0302	-0.130	0.90	-
A*D	-0.03164	-0.01582	0.0302	-0.520	0.60	-
A*E	-0.01276	-0.00638	0.0302	-0.210	0.83	-
B*C	-0.01675	-0.00838	0.0302	-0.280	0.78	-
B*D	0.03926	0.01963	0.0302	0.650	0.52	-
B*E	0.07813	0.03906	0.0302	1.290	0.20	-
C*D	0.05464	0.02732	0.0302	0.900	0.37	-
C*E	-0.01048	-0.00524	0.0302	-0.170	0.86	-
D*E	-0.01927	-0.00964	0.0302	-0.320	0.75	-
Ct Pt		-0.08484	0.06188	-1.370	0.18	-

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์สำหรับผลตอบ y_3 โดยการทดลองแบบ 2^{5-1}

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Constant		0.0092	0.0003	31.100	0.00	✓
Block 1		0.0000	0.0004	0.070	0.94	-
Block 2		0.0000	0.0004	0.030	0.97	-
A	0.0073	0.0036	0.0003	12.240	0.00	✓
B	-0.0004	-0.0002	0.0003	-0.640	0.53	-
C	0.0000	0.0000	0.0003	-0.060	0.96	-
D	0.0002	0.0001	0.0003	0.270	0.79	-
E	0.0003	0.0002	0.0003	0.550	0.58	-
A*B	-0.0004	-0.0002	0.0003	-0.710	0.48	-
A*C	0.0005	0.0002	0.0003	0.770	0.45	-
A*D	-0.0007	-0.0003	0.0003	-1.170	0.25	-
A*E	-0.0005	-0.0003	0.0003	-0.920	0.37	-
B*C	-0.0004	-0.0002	0.0003	-0.640	0.53	-
B*D	0.0008	0.0004	0.0003	1.330	0.19	-
B*E	0.0005	0.0003	0.0003	0.920	0.36	-
C*D	-0.0009	-0.0005	0.0003	-1.560	0.13	-
C*E	0.0004	0.0002	0.0003	0.740	0.46	-
D*E	0.0004	0.0002	0.0003	0.710	0.48	-
Ct Pt		0.0000	0.0006	0.030	0.98	-

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์สำหรับผลตอบ y_4 โดยการทดลองแบบ 2^{5-1}

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Constant		0.0154	0.0005	30.890	0.00	✓
Block 1		-0.0007	0.0006	-1.110	0.27	-
Block 2		0.0005	0.0006	0.740	0.46	-
A	0.0078	0.0039	0.0005	7.840	0.00	✓
B	0.0010	0.0005	0.0005	0.960	0.34	-
C	-0.0020	-0.0010	0.0005	-1.980	0.05	✓
D	0.0003	0.0001	0.0005	0.280	0.78	-
E	0.0014	0.0007	0.0005	1.400	0.17	-
A*B	0.0017	0.0008	0.0005	1.670	0.10	-
A*C	-0.0019	-0.0010	0.0005	-1.930	0.06	-
A*D	-0.0024	-0.0012	0.0005	-2.440	0.02	✓
A*E	-0.0015	-0.0008	0.0005	-1.530	0.13	-
B*C	0.0004	0.0002	0.0005	0.370	0.71	-
B*D	-0.0002	-0.0001	0.0005	-0.150	0.88	-
B*E	-0.0009	-0.0004	0.0005	-0.890	0.38	-
C*D	-0.0008	-0.0004	0.0005	-0.760	0.45	-
C*E	0.0017	0.0009	0.0005	1.730	0.09	-
D*E	0.0006	0.0003	0.0005	0.620	0.54	-
Ct Pt		-0.0085	0.0010	-8.340	0.00	✓

การเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ จากการวิเคราะห์ ข้อมูลพบว่าข้อมูลของผลตอบ y_4 มีลักษณะของแบบจำลองเป็นส่วนโค้ง โดยพิจารณาจากเทอม Ct Pt ซึ่งบอกถึงลักษณะของผิวผลตอบ ว่ามีลักษณะเป็นส่วนโค้งหรือไม่ ดังที่แสดงในตารางที่ 8 จะพบว่าค่า P ที่ได้มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α 0.05 ดังจึงสรุปได้ว่าข้อมูลของผลตอบ y_4 มีลักษณะของแบบจำลองเป็นส่วนโค้ง จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ต่อเพื่อที่จะหาค่าที่เหมาะสมโดยการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางเนื่องจากมีความเหมาะสมในการสร้างแบบจำลองในกรณีที่มีผลตอบมีความเป็นส่วนตัว

4.6 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเพื่อให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของไอโซเลเตอร์น้อยที่สุด

การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยวิธีพื้นผิวผลตอบ ด้วยการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง เป็นการทดลองเพิ่ม โดยการเพิ่มระดับของปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์อย่างมีนัยสำคัญ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกับค่าเฉลี่ยจากการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน โดยปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติคือปัจจัย A, C และ D โดยตารางการออกแบบการทดลองนั้นจะแสดงในตารางที่ 9

การหาผลกระทบและตรวจสอบนัยสำคัญ โดยใช้ระดับนัยสำคัญ α 0.05 จากข้อมูลพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลกระทบ ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณ ได้แก่ ปัจจัย A ซึ่งส่งผลต่อผลตอบ y_1, y_2 และ y_3 โดยแสดงในตารางที่ 10-12 และจากการวิเคราะห์ผลตอบ y_4 พบว่ามีผลกระทบของปัจจัย A เทอมกำลังสองของปัจจัย A, C และปัจจัย D และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย AD โดยแสดงผลไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 9 ตารางการทดลองแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

ประเภทของการทดลอง	ลำดับการทดลองมาตรฐาน	ปัจจัยในการทดลอง			ผลการทดลอง
		(A) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงาน	(C) ตัวเก็บประจุ 1	(D) ตัวเก็บประจุ 2	
ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน	1	-1 (100.00)	-1 (15.00)	-1 (4.40)	
	2	+1 (200.00)	-1 (15.00)	-1 (4.40)	
	3	-1 (100.00)	+1 (15.75)	-1 (4.40)	
	4	+1 (200.00)	+1 (15.75)	-1 (4.40)	
	5	-1 (100.00)	-1 (15.00)	+1 (4.64)	
	6	+1 (200.00)	-1 (15.00)	+1 (4.64)	
	7	-1 (100.00)	+1 (15.75)	+1 (4.64)	
	8	+1 (200.00)	+1 (15.75)	+1 (4.64)	
	9	0 (150.00)	0 (15.37)	0 (4.52)	
	10	0 (150.00)	0 (15.37)	0 (4.52)	
	11	0 (150.00)	0 (15.37)	0 (4.52)	
	12	0 (150.00)	0 (15.37)	0 (4.52)	
ผลการทดลองแบบส่วนประสมกลาง	13	-1.633 (68.35)	0 (15.00)	0 (4.52)	
	14	+1.633 (231.65)	0 (15.00)	0 (4.52)	
	15	0 (150.00)	-1.633 (6.83)	0 (4.52)	
	16	0 (150.00)	+1.633 (23.16)	0 (4.52)	
	17	0 (150.00)	0 (15.00)	-1.633 (4.32)	
	18	0 (150.00)	0 (15.00)	+1.633 (4.71)	
	19	0 (150.00)	0 (15.00)	0 (4.52)	
	20	0 (150.00)	0 (15.00)	0 (4.52)	

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ ของผลตอบ y_1 โดยการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

Term	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Constant	0.978619	0.02921	33.503	0.00	✓
Block	-0.030471	0.01629	-1.871	0.09	-
A	0.387665	0.01955	19.832	0.00	✓
C	0.012317	0.01955	0.63	0.54	-
D	-0.023725	0.01955	-1.214	0.26	-
A*A	0.029572	0.01964	1.506	0.17	-
C*C	-0.018284	0.01964	-0.931	0.38	-
D*D	-0.036725	0.01964	-1.87	0.09	-
A*C	-0.005769	0.02524	-0.229	0.82	-
A*D	-0.041635	0.02524	-1.65	0.13	-
C*D	-0.052589	0.02524	-2.084	0.07	-

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ของผลตอบ y_2 โดยการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

Term	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Constant	0.836341	0.05852	14.292	0.00	✓
Block	0.025861	0.03263	0.792	0.45	-
A	0.383191	0.03916	9.785	0.00	✓
C	0.049897	0.03916	1.274	0.24	-
D	0.00545	0.03916	0.139	0.89	-
A*A	0.079914	0.03935	2.031	0.07	-
C*C	0.032111	0.03935	0.816	0.44	-
D*D	-0.009544	0.03935	-0.243	0.81	-
A*C	-0.003782	0.05056	-0.075	0.94	-
A*D	-0.015821	0.05056	-0.313	0.76	-
C*D	0.02732	0.05056	0.54	0.60	-

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ของผลตอบ y_3 โดยการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

Term	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Constant	0.00956	0.000342	27.921	0.00	✓
Block	-0.000199	0.000191	-1.041	0.33	-
A	0.003453	0.000229	15.069	0.00	✓
C	-0.000141	0.000229	-0.617	0.55	-
D	-0.000158	0.000229	-0.689	0.51	-
A*A	0.000268	0.00023	1.163	0.28	-
C*C	-0.00023	0.00023	-0.999	0.34	-
D*D	-0.000143	0.00023	-0.623	0.55	-
A*C	0.000228	0.000296	0.772	0.46	-
A*D	-0.000346	0.000296	-1.17	0.27	-
C*D	-0.000463	0.000296	-1.566	0.15	-

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์ของผลตอบ y_4 โดยการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

Term	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Constant	0.0074	0.0006	12.345	0.000	✓
Block	0.0007	0.0003	1.997	0.077	-
A	0.0040	0.0004	9.908	0.000	✓
C	-0.0004	0.0004	-1.092	0.303	-
D	0.0002	0.0004	0.620	0.551	-
A*A	0.0037	0.0004	9.342	0.000	✓
C*C	0.0015	0.0004	3.742	0.005	✓
D*D	0.0019	0.0004	4.677	0.001	✓
A*C	-0.0010	0.0005	-1.869	0.094	-
A*D	-0.0012	0.0005	-2.357	0.043	✓
C*D	-0.0004	0.0005	-0.730	0.484	-

การเขียนสมการทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณาจากเทอมที่มีนัยสำคัญจากการวิเคราะห์ผลคือ A (อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงาน) C (ค่าของตัวเก็บประจุ 1) และ D (ค่าของตัวเก็บประจุ 2) สามารถเขียนเป็นสมการทำนายผลของแต่ละผลตอบได้ดังนี้

$$y_1 \text{ (ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ 1920 เฮิรตซ์)} \\ = 0.978 + 0.387A$$

$$y_2 \text{ (ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ 1980 เฮิรตซ์)} \\ = 0.836 + 0.383A$$

$$y_3 \text{ (ค่าความสูญเสียในระบบที่ 1920 เฮิรตซ์)} \\ = 0.009 + 0.003A$$

$$y_4 \text{ (ค่าความสูญเสียในระบบที่ 1980 เฮิรตซ์)} \\ = 0.007 + 0.003A + 0.003A^2 + 0.001C^2 \\ + 0.004D^2 - 0.001AD$$

ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ ซึ่งค่าที่ได้ดังนี้

(1) ค่าของปัจจัยที่ควรปรับตั้ง

$$A \text{ (อุณหภูมิที่ใช้อบชิ้นงาน)} = -1.633$$

$$C \text{ (ค่าของตัวเก็บประจุ 1)} = -1.633$$

$$D \text{ (ค่าของตัวเก็บประจุ 2)} = -1.633$$

(2) ค่าพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์

$$y_1 \text{ (ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ 1920 เฮิรตซ์)} \\ = 0.0297$$

$$y_2 \text{ (ค่าป้องกันสัญญาณรบกวนที่ 1980 เฮิรตซ์)} \\ = 0.4141$$

$$y_3 \text{ (ค่าความสูญเสียในระบบที่ 1920 เฮิรตซ์)} \\ = 0.0026$$

$$y_4 \text{ (ค่าความสูญเสียในระบบที่ 1980 เฮิรตซ์)} \\ = 0.0134$$

(3) ค่าความพึงพอใจรวม = 0.9415

เมื่อนำค่าที่เหมาะสมแปลงเป็นค่าระดับของปัจจัยเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไอโซเลเตอร์ เพื่อให้ค่าสัญญาณของไอโซเลเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด จะได้ผลดังนี้

- (1) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงาน 68.35 องศาเซลเซียส
- (2) เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน 15 นาที
- (3) ค่าของตัวเก็บประจุ 1 คือ 14.81 พิโกฟารัด
- (4) ค่าของตัวเก็บประจุ 2 คือ 4.33 พิโกฟารัด
- (5) ค่าตัวต้านทาน 62.80 โอห์ม

5. สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาที่บริษัทผู้ผลิตไอโซเลเตอร์ได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องชิ้นงานมีค่าสัญญาณไม่ได้ตามข้อกำหนด ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่ต้องเพิ่มขึ้นเพราะกระบวนการที่ใช้ตรวจสอบเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน และทดลองเพิ่มที่จุดศูนย์กลาง โดยทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อคัดกรองปัจจัยและตรวจสอบความเป็นส่วนโค้งของแบบจำลอง และใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไอโซเลเตอร์คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงาน 68.35 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน 15 นาที ค่าของตัวเก็บประจุ 1 คือ

14.81 พิโกฟารัด ค่าของตัวเก็บประจุ 2 คือ 4.33 พิโกฟารัด และ ค่าตัวต้านทานคือ 62.80 โอห์ม เมื่อนำสภาวะที่ดีที่สุดจากสมการทำนายไปผลิต ผลคือไม่พบของเสียจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณ ทำให้สามารถลดกระบวนการตรวจสอบที่ทางผู้ผลิตเพิ่มขึ้นได้ และสามารถป้องกันข้อร้องเรียนจากลูกค้า

6. ข้อเสนอแนะ

บริษัทสามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ไอโซเลเตอร์รุ่นอื่นของบริษัทเนื่องจากกระบวนการผลิต และปัจจัยในการผลิตเหมือนกัน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนทุนในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] DeVor, R.E., Chang, T.H. and Sutherland, J.W. Sequential and iterative Nature of Experiment. *Statistical Quality Design and Control*, 2007; 797-830.
- [2] Montgomery, D.C. and Runger, G.C. Design of Experiments with Several Factors. *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 2003; 549-555.
- [3] Montgomery, D.C., Runger, G.C. and Hubrlr, N.F. The Strategy of Experiment. *Engineering Statistics*, 2007; 341-393.
- [4] Montgomery, D.C. The Addition of Center Point. *Design and Analysis of Experiments*, 2009; 257-258.
- [5] Dantea, R.C., Escamillaa, J.L., Madrigala, V., Theussa, T., Calder-ona, J.D., Solorzab, O. and Riverab, R. Fractional factorial design of experiments for PEM fuel cell performances improvement. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2003; 28: 343 – 348.
- [6] Mayers, R.H., Montgomery, D.C. Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Designed Experiments. *Response Surface Methodology*, 2002; 1-16.

- [7] Aslan, N. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling and optimization of a multi-gravity separator for chromite concentration. *Powder Technology*, 2008; 185, 80–86.
- [8] พิลิด ดวงมาลา (2549). การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิธีการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุมสำหรับเหล็กกล้า เอสที 37 โดยวิธีพื้นผิวผลตอบ, *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์*, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่