# บทที่ 5

# สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบโครงสร้างการควบคุมโดยใช้หลักการแพลนท์ไวด์ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการควบคุม

การจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตไบโอดีเซล เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางพลวัตของกระบวนการสามารถสรุปเป็นประเด็นที่น่าสนใจได้ 3 ประเด็น คือ

1. ศึกษาการออกแบบโครงสร้างการควบคุมเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมกระบวนการที่แตกต่างกัน

2. การศึกษาชนิดของตัวแปรรบกวนกระบวนการทางด้านมวลสาร และพลังงานที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และอัตราการผลิตของกระบวนการ

3. เปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมของโครงสร้างที่ได้จากการออกแบบโครงสร้างการควบคุม โดยใช้ค่าไอเออีในการพิจารณา

คุณภาพ และอัตราการผลิตไบโอดีเซลของกระบวนการ ขึ้นอยู่กับค่าปริมาณสารเมทานอล และอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์เป็นตัวแปรหลัก ในงานวิจัยนี้จะทำการการรบกวนกระบวนการ โดยการรบกวนอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์ในช่วง 100 นาทีทำการลดอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์ลงจาก 25 องศาเซลเซียสเป็น 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการรบกวนระบบแบบลบ จากนั้นทำการรบกวนระบบ โดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 30 องศาเซลเซียส อีก 100 นาที ซึ่งเป็นการรบกวนระบบแบบบวก จากนั้นหยุดการรบกวนระบบอีก 200 นาที จากนั้นจะรบกวนอัตราการไหลของเมทานอลในช่วง 100 นาทีแรก โดยลดอัตราการไหลของเมทานอลลงจาก 215.1 กิโลกรัมต่อชั่วโมงเป็น 182.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นการรบกวนระบบแบบลบ จากนั้นทำการรบกวนระบบโดยเพิ่มอัตราการไหลเป็น 247.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อีก 100 นาที เพื่อการรบกวนระบบแบบบวกแล้วหยุดการรบกวนระบบอีก 200 นาที

## 5.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุม

งานวิจัยนี้เสนอโครงสร้างการควบคุม 3 โครงสร้างเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยเลือกใช้ค่าไอเออี เป็นตัวเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุม ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการรบกวนทั้ง 2 กรณี คือ

5.1.1 กรณีรบกวนกระบวนการโดยเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์

โครงสร้างแบบที่ 1 ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมินั้นจะเห็นว่าแม้จุดยอดของความแปรปรวนจะสูงแต่ระบบก็สามารถกลับเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว และในส่วนของการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยอัตราการไหลของสารผลิตภัณฑ์นั้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่อัตราการผลิตจะไม่คงที่

สำหรับโครงสร้างแบบที่ 2 ได้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องสำหรับการรบกวนมวลสารของกระบวนการในกระแสการรีไซเคิลโดยจะเห็นว่าอุณหภูมิในหอกลั่นที่หน่วยแยกเมทานอลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่มีความปั่นป่วนน้อยลงเมื่อเทียบกับโครงสร้างการควบคุมที่ 1 และในส่วนของลูปการควบคุมอุณหภูมิอื่นๆสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้เร็วกว่า แต่ในส่วนของอัตราการผลิตนั้นมีความแปรปรวนมากกว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ในส่วนของคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นระบบควบคุมสามารถควบคุมได้ดี

สำหรับโครงสร้างแบบที่ 3 ในการรบกวนกระบวนการโดยเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์ย่อมส่งผลกับมวลสารภายในกระบวนการด้วย โครงสร้างแบบที่ 3 นี้จึงได้นำความสามารถในการลดผลกระทบจากการรบกวนระบบโดยอัตราการไหลของเมทานอลของโครงสร้างแบบที่ 2 มาติดตั้ง ซึ่งจะเห็นว่าความแปรปรวนของอุณหภูมิที่หอกลั่นเมทานอลน้อยลงซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลของสายรีไซเคิลแปรปรวนน้อยลงตามไปด้วย ทำให้ปฏิกิริยาถูกรบกวนน้อยลง ด้วยเหตุผลดังกล่าวโครงสร้างระบบควบคุมแบบที่ 3 จึงสามารถควบคุมได้ดีทั้งในด้านอุณหภูมิ การควบคุมทั้งปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิด

จากการเปรียบเทียบผลการรบกวนด้วยการเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์โดยเปรียบเทียบค่าไอเออีรวม โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 1 มีค่า 2.4994 โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 มีค่า 2.5550 และ โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 3 มีค่า 2.3350

5.1.2 กรณีรบกวนกระบวนการโดยอัตราการไหลของเมทานอลใหม่

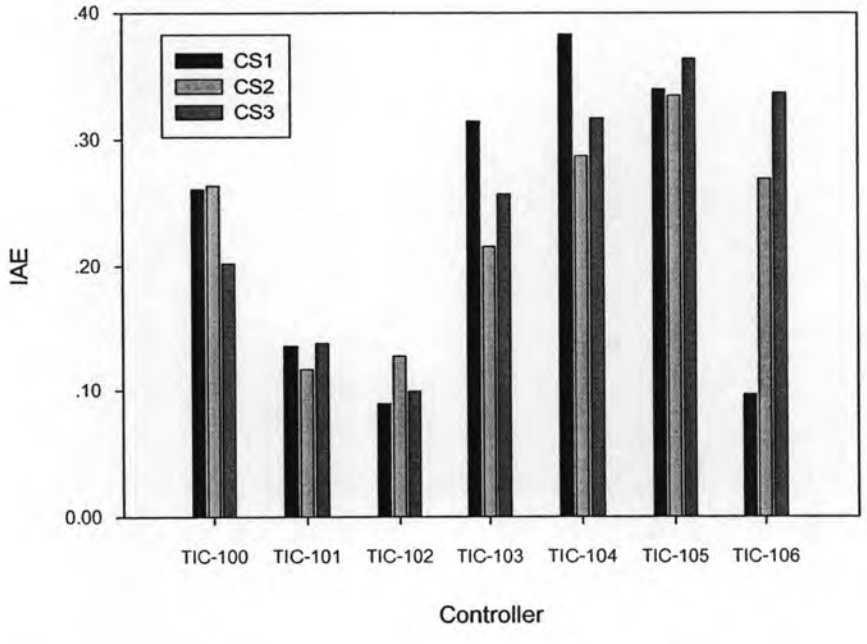
สำหรับโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 1 นั้นจะเห็นได้ว่ากระแสการรีไซเคิลมีความแปรปรวนมาก เนื่องจากโครงสร้างการควบคุมนี้มิได้ออกแบบให้กระบวนการสามารถรองรับตัวรบกวนทางด้านมวลสารได้ดีเท่าที่ควรเมื่อมวลสารเกิดความแปรปรวนย่อมส่งผลต่อความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ โดยจะเห็นว่าระบบยังสามารถควบคุมอุณหภูมิไว้ได้แต่จะเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ช้ากว่ากรณีศึกษาแรก และในส่วนของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ แต่จุดยอดของกราฟสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 และจะเห็นว่ามีบางช่วงที่ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานแต่ก็แค่ในช่วงเวลาไม่นานจึงจัดได้ว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ในส่วนของโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 นั้นจะเห็นได้ว่ากระแสการรีไซเคิล และอัตราการผลิตมีความแปรปรวนน้อยลงเมื่อเทียบกับโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 1 และยังคงควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมินั้นให้ผลคล้ายกับโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 1 แต่ในส่วนของความร้อนที่ป้อนเข้าในแต่ละหน่วยปฏิบัติการ รวมถึงความร้อนที่ถ่ายออกจากฟลัดคอนเดนเซอร์นั้นมีความแปรปรวนมากและยังใช้พลังงานเพิ่มขึ้นด้วย

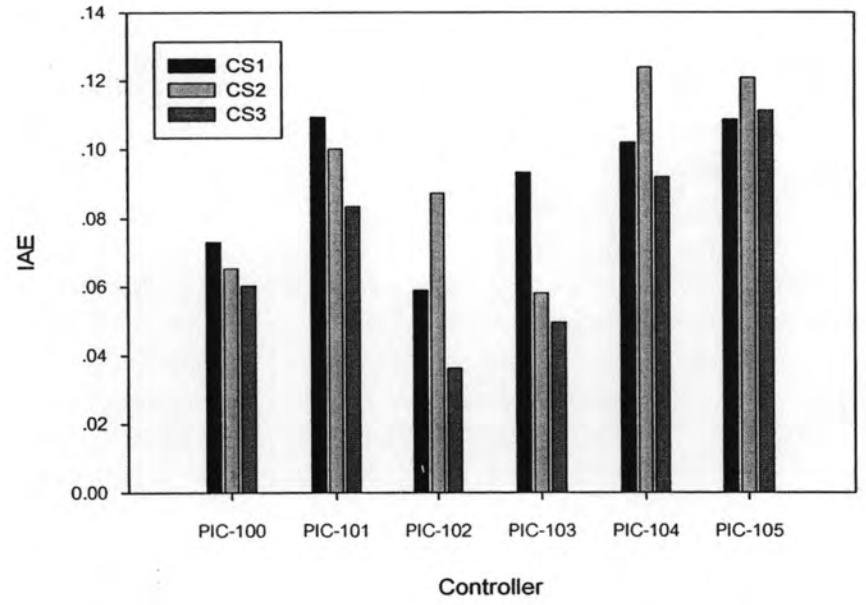
โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 3 สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์กระแสการรีไซเคิล และอัตราการผลิตได้ดีที่สุด ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมินั้นให้ผลคล้ายกับโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 1 แต่ในส่วนของความร้อนที่ป้อนเข้าในแต่ละหน่วยปฏิบัติการ รวมถึงความร้อนที่ถ่ายออกจากฟลัดคอนเดนเซอร์นั้นมีความแปรปรวนมากที่สุดและยังใช้พลังงานมากขึ้นด้วย

เมื่อรบกวนกระบวนการโดยอัตราการไหลของเมทานอล พบว่าโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 1 มีค่าไอเออีรวม 3.3690 โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 มีค่า 2.7398 โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 3 มีค่า 2.1274

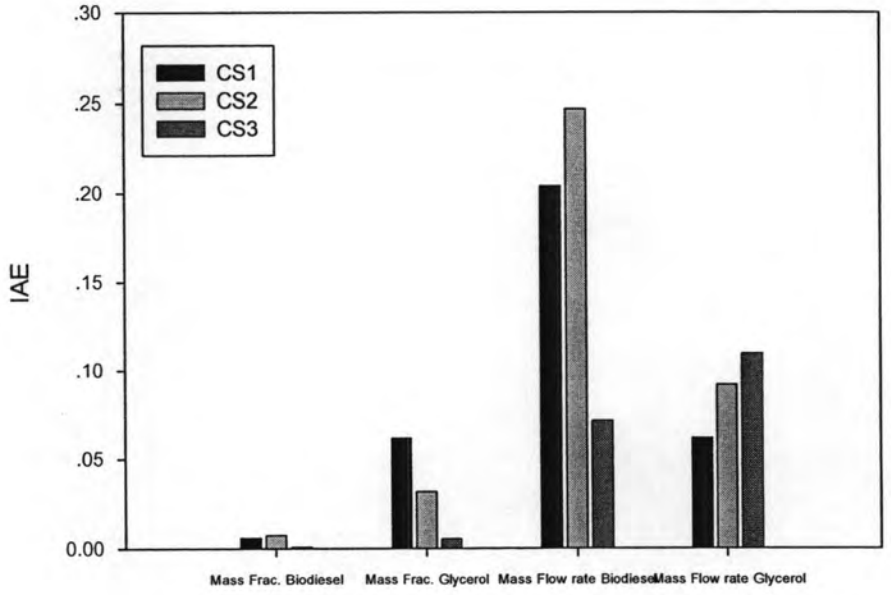
**รูปที่** 5.1 กราฟการสรุปผลค่าไอเออีของโครงสร้างการควบคุมกรณีรบกวนกระบวนการโดยเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าเครื่องปฏิกรณ์



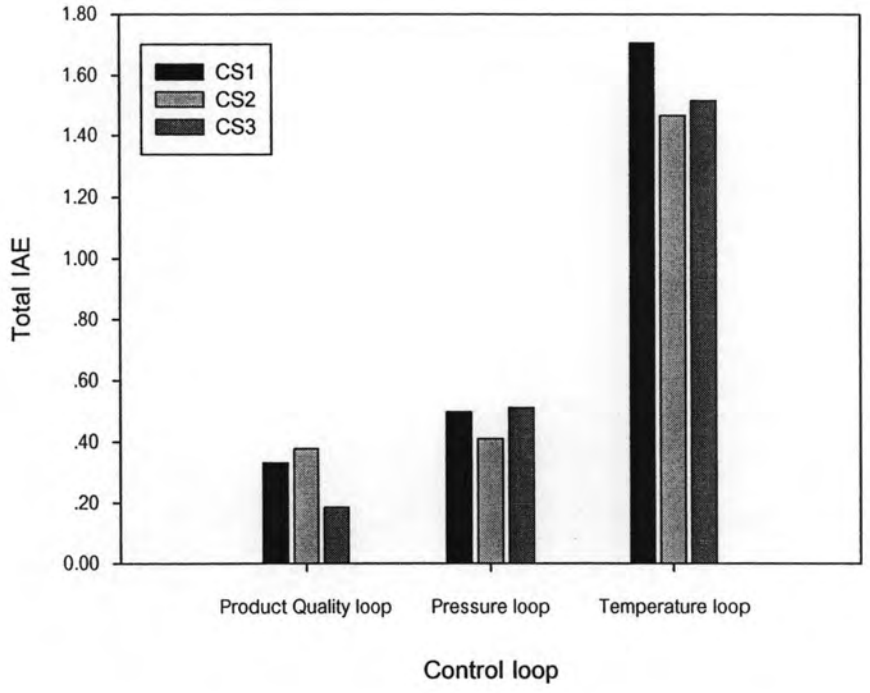

**รูปที่** 5.1ก กราฟแสดงค่าไอเออีของลูปควบคุมอุณหภูมิในแต่ละโครงสร้างการควบคุม



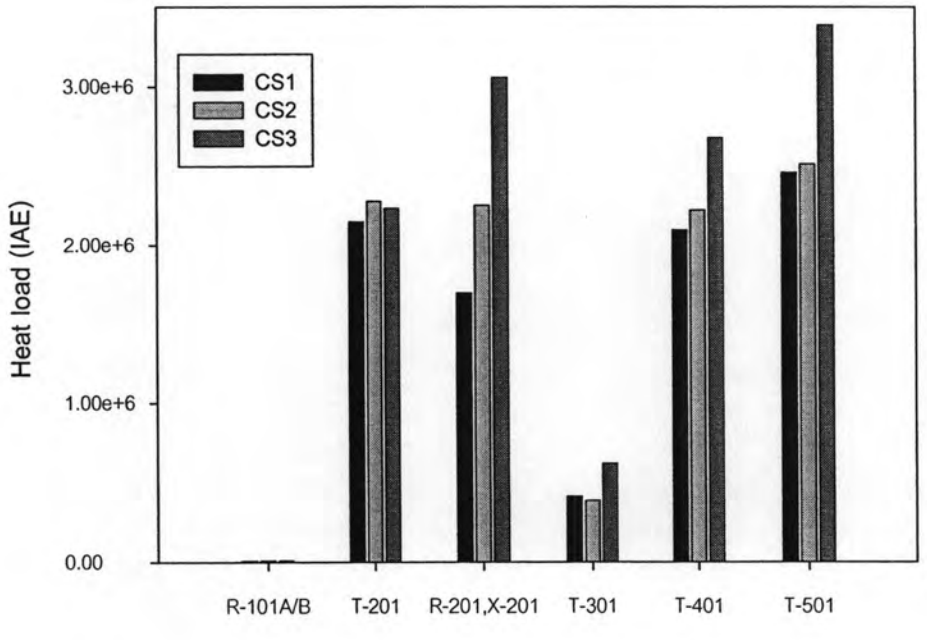

**รูปที่** 5.1ข กราฟแสดงค่าไอเออีของลูปควบคุมความดันในแต่ละโครงสร้างการควบคุม




**รูปที่** 5.1ค กราฟแสดงค่าไอเออีของเศษส่วนโดยมวล และอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ในแต่ละโครงสร้างการควบคุม

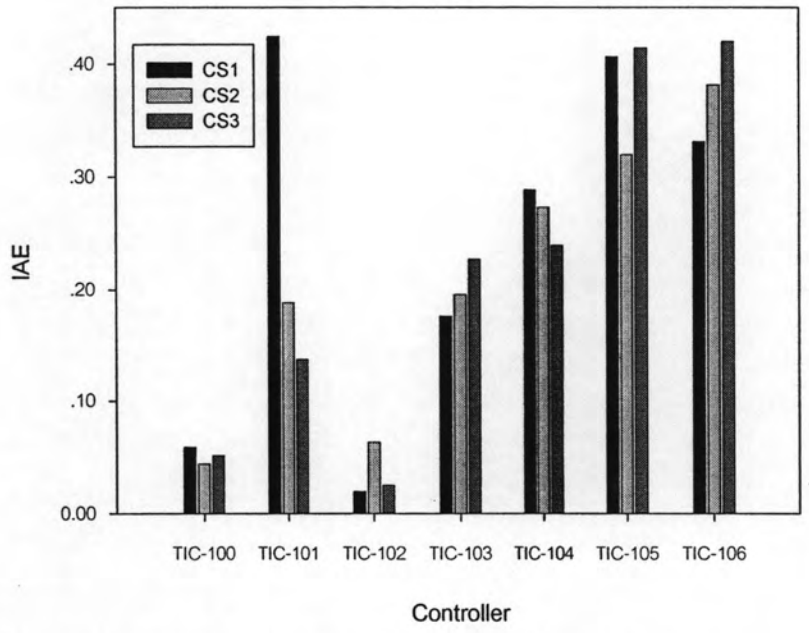



**รูปที่** 5.1ง กราฟแสดงค่าไอเออีรวมในแต่ละลูปของแต่ละโครงสร้างการควบคุม

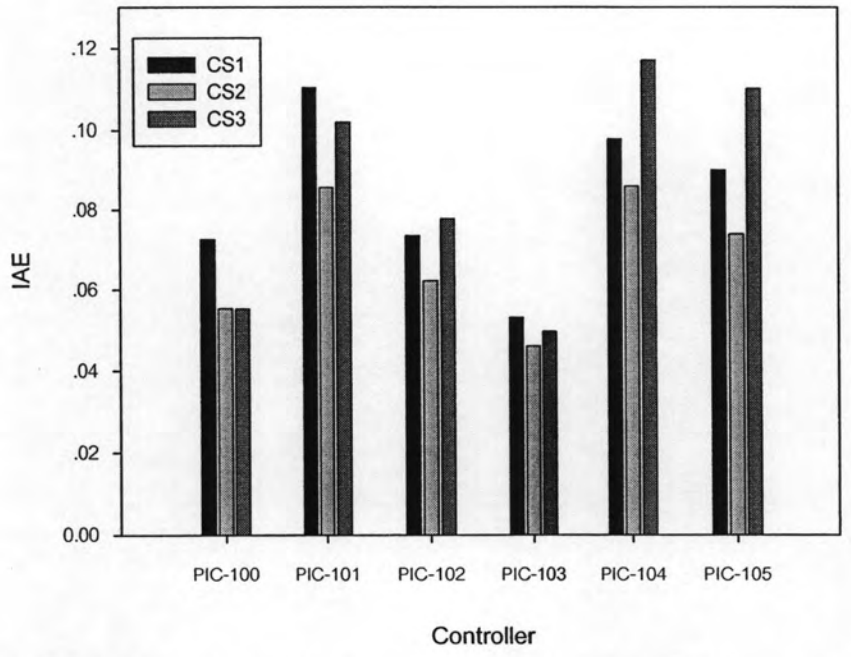



**รูปที่** 5.1จ กราฟแสดงค่าของพลังงานที่มากกว่าที่สภาวะปกติที่ใช้ในการทำให้กระบวนการกลับสู่ค่าเป้าหมายในแต่ละหน่วยปฏิบัติการของแต่ละโครงสร้างการควบคุม

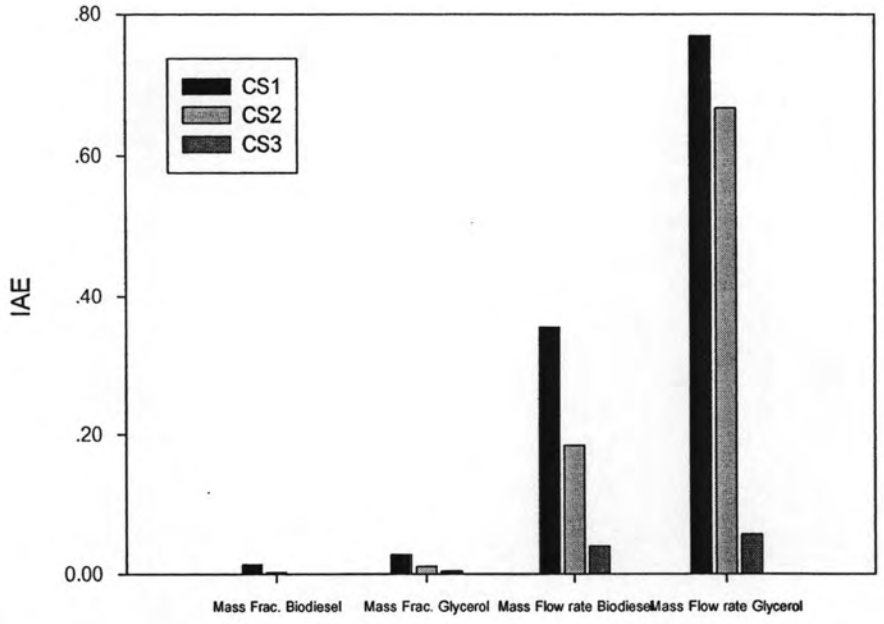
**รูปที่** 5.2 กราฟการสรุปผลค่าไอเออีของโครงสร้างการควบคุมกรณีรบกวนกระบวนการโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณเมทานอลในกระบวนการ



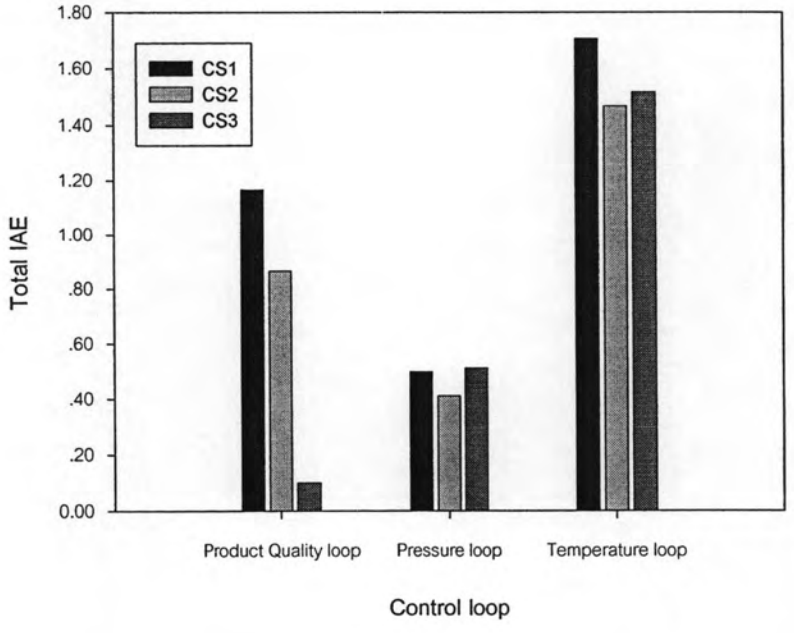

**รูปที่** 5.2ก กราฟแสดงค่าไอเออีของลูปควบคุมอุณหภูมิในแต่ละโครงสร้างการควบคุม



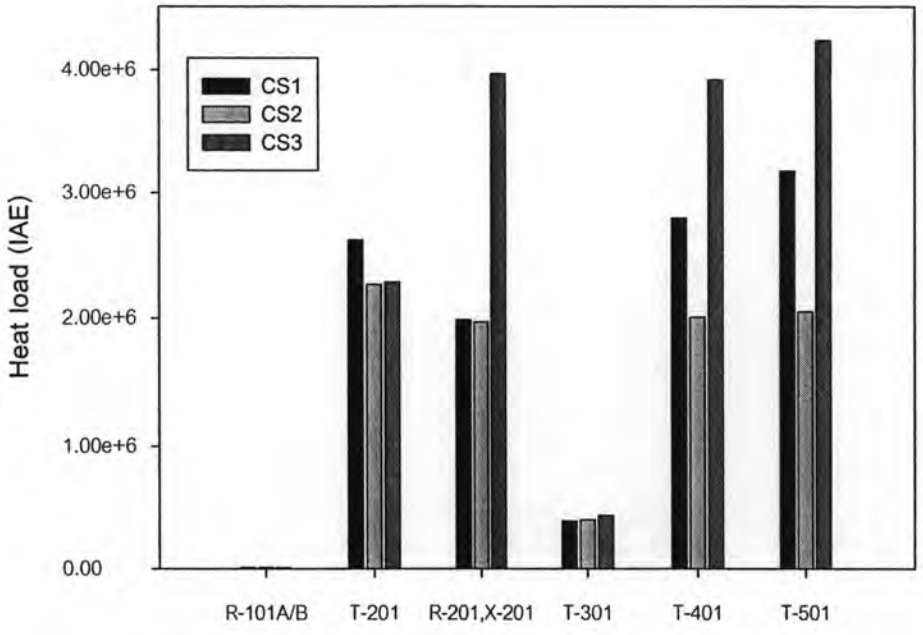

**รูปที่** 5.2ข กราฟแสดงค่าไอเออีของลูปควบคุมความดันในแต่ละโครงสร้างการควบคุม




**รูปที่** 5.2ค กราฟแสดงค่าไอเออีของเศษส่วนโดยมวล และอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ในแต่ละโครงสร้างการควบคุม




**รูปที่** 5.2ง กราฟแสดงค่าไอเออีรวมในแต่ละลูปของแต่ละโครงสร้างการควบคุม




**รูปที่** 5.2จ กราฟแสดงค่าของพลังงานที่มากกว่าที่สภาวะปกติที่ใช้ในการทำให้กระบวนการกลับสู่ค่าเป้าหมายในแต่ละหน่วยปฏิบัติการของแต่ละโครงสร้างการควบคุม

จากข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 จะสังเกตได้ว่าจากการรบกวนกระบวนการด้วยตัวแปรที่ทำให้กำลังการผลิตเปลี่ยนแปลงทั้งสองการทดสอบนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะในส่วนของการควบคุมอุณหภูมินั้น จะเห็นว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 2 นั้นมีการตอบสนองการรบกวนเร็วกว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 1 และ 3 เนื่องจากโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 ออกแบบให้เมื่อเกิดการรบกวนระบบ ระบบควบคุมของหอกลั่นจะส่งการรบกวนออกนอกหอทำให้ลูปควบคุมอุณหภูมิใช้เวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายเร็วกว่า

เมื่อพิจารณาประกอบกับวงจรควบคุมอื่นที่สำคัญ คือ วงจรควบคุมสัดส่วนโดยมวลของผลิตภัณฑ์ วงจรควบคุมอัตราการไหลผลิตภัณฑ์ และวงจรควบคุมความดัน จะเห็นว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ให้ค่าไอเออีรวมต่ำกว่าโครงสร้างการควบคุมแบบอื่นซึ่งถ้าดูเฉพาะสมรรถนะการควบคุมโดยรวมนั้นจะเห็นว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 3 มีสมรรถนะดีที่สุด แต่ก็ต้องใช้จำนวนเครื่องควบคุมที่มากกว่าโครงสร้างอื่น

เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานโดยพิจารณาในช่วง 100 นาทีที่ใช้พลังงานมากกว่าที่สภาวะปกติเพื่อทำให้กระบวนการกลับสู่ค่าเป้าหมายนั้น โครงสร้างการควบคุมที่ 3 ใช้พลังงานมากกว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 1 และ 2 โครงสร้างที่มีค่าการใช้พลังงานต่ำที่สุดคือโครงสร้างการควบคุมที่ 2

## 5.2 สรุปผลการวิจัย

ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินการของกระบวนการผลิต ในที่นี้เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานในช่วง 100 นาทีที่ใช้พลังงานมากกว่าที่สภาวะปกติเพื่อทำให้กระบวนการกลับสู่ค่าเป้าหมายนั้นจะเห็นว่าโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 มีค่าการใช้พลังงานต่ำที่สุด ซึ่งหมายความว่าเมื่อระบบถูกรบกวน โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 ใช้พลังงานมากกว่าที่สภาวะปกติต่ำที่สุดทำให้การใช้พลังงานในการควบคุมน้อยลงเมื่อเทียบกับโครงสร้างการควบคุมแบบอื่น และมีการตอบสนองต่อการรบกวนได้ดีในด้านการใช้พลังงานเพื่อทำให้กระบวนการกลับสู่ค่าเป้าหมาย และอีกส่วนหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากในโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 ยังสามารถควบคุมสัดส่วนโดยมวลของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ถึงแม้ว่าอัตราการผลิตจะไม่คงที่ก็ตาม แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำไปทำกระบวนการต่อเนื่องแต่อาจนำไปเก็บรักษาไว้ในถังพักเพื่อรอนำไปจำหน่าย ดังนั้นอัตราการผลิตที่คงที่จึงมีความสำคัญน้อยลง

ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เป็นเหตุให้โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 เหมาะสมกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามากที่สุด ทั้งในด้านสมรรถนะการควบคุมและการใช้พลังงานเพื่อให้กระบวนการกลับสู่ค่าเป้าหมาย

## 5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

5.2.1 ควรออกแบบโครงสร้างการควบคุมที่สามารถควบคุมปริมาณสารตั้งต้นที่กระแสป้อนเข้ากระบวนการโดยการตรวจจับปริมาณสารตั้งต้นก่อนเข้าสู่การรีไซเคิลเพื่อให้เกิดสมดุลในกระบวนการ

5.2.2 ควรสร้างโครงสร้างการควบคุมสำหรับกระบวนการที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในกระบวนการเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน โดยใช้หลักการส่งผ่านความแปรปรวนของปริมาณสารในส่วนของการเกิดปฏิกิริยารบกวน ส่วนของการแยกสารให้น้อยที่สุด