SWU Engineering Journal (2014) 9(2), 1-11
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ.2557

อิทธิพลของแผ่นออริฟิซที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลภายใต้สภาวะไฮ โดรไดนามิกส์คาวิเตชั่น

Influence of Orifice Plate on Percentage of Methyl Ester in Synthesis Biodiesel Process under Hydrodynamic Cavitation Conditions

อิทธิพล วรพันธ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
E-mail: i.worapun@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นสำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันทางด้านเข้าและแผ่นออริฟิซแบบต่าง ๆต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความดันทางด้านเข้า (1.5, 3 และ 5 บาร์) และรูปทรงของแผ่นออริฟิซที่มีความแตกต่างกันในส่วนของลักษณะ ขนาด จำนวนและรูปแบบการกระจายตัวของรู จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความดันทางด้านเข้าและรูปทรงของแผ่นออริฟิซมีผลต่ออัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์ ทั้งนี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของความดันทางด้านเข้ามีผลทำให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งความดันทางด้านเข้าที่เหมาะสมคือ 5 บาร์ ได้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดในแต่ละชนิดแผ่นออริฟิซที่ใช้ทดสอบ ในขณะที่รูปทรงของแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะรูแบบวงกลมจะให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะรูแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในกรณีแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะรูเหมือนกันแผ่นออริฟิซมีจำนวนรูมากกว่าและมีขนาดรูเล็กกว่าจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงโดยแผ่นออริฟิซที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลคือแผ่นออริฟิซชนิด B ที่มีลักษณะรูเป็นแบบวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเท่ากับ 2 มิลลิเมตรและมีจำนวนรูทั้งสิ้น 24 รู ให้ค่าเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 97 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 25 นาที การศึกษานี้สรุปได้ว่าแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะแบบรูวงกลมหลายรูและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเล็กมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำให้เกิดคาวิเตชั่นภายในถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

คำสำคัญ: แผ่นออริฟิซ ไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่น ไบโอดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ

ABSTRACT

This paper presents the application of hydrodynamic cavitation reactor for biodiesel synthesis with use crude palm oil as a feedstock. The purpose of this study is to investigate the effect of the inlet pressure and various orifice plate types on percentage of methyl ester in process of biodiesel synthesis. The variable parameters such as inlet pressure (1.5, 3 and 5 bar) and different geometry of the orifice plate in term of hole characteristic, size of hole, number of hole and patterns of hole distribution were investigated. From the study results, the inlet pressure and geometry of the orifice plates significantly

affects the rate of methyl ester. It was found that the percentage of methyl ester increases with increment of inlet pressure. The optimum of inlet pressure is 5 bar obtained high percentage of methyl ester in various types of orifice plate. While, the geometry of orifice plate with circular hole obtained rate of methyl ester more than square and rectangle hole. In this case similar hole, orifice plate which more number of holes and small diameter of hole will provide better reaction rate. The optimized orifice plate for biodiesel synthesis was type B. With an optimize plate geometry of circular hole, 2 mm hole diameter and 24 holes, which 97% of methyl ester have been obtained at reaction time of 25 minutes. This study concluded that multiple circular holes of orifice plate and small diameter of hole are more suitable to cavitation inducer in hydrodynamics cavitation reactor used biodiesel synthesis.

Keyword: Orifice plate, Hydrodynamic cavitation, Biodiesel, Crude palm oil

1. บทนำ

ในการการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น กังหัน (Turbines) หรือใบพัด (Propellers) สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงและหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดขึ้นคือปรากฏการณ์คาวิเตชั่น (Cavitation Phenomenon) ทั้งนี้เพราะเมื่อเกิดขึ้นแล้วอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ชิ้นส่วนเหล่านั้นได้ แต่ในขณะเดียวกันปรากฏการณ์คาวิเตชั่นก็ถูกนำมาช่วยแก้ปัญหาในงานทางด้านวิศวกรรมและกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม อาทิเช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสีย กระบวนการทางเคมี กระบวนการผสมกันของของเหลวต่างชนิดกันและงานด้านผลิตภัณฑ์ของอนุภาคนาโน เป็นต้น [1-3] ซึ่งการนำคาวิเตชั่นมาประยุกต์ใช้งานโดยส่วนมากจะมีวัตถุประสงค์หลักอยู่ 2 ประการคือเพื่อช่วยปรับปรุงอัตราการเคลื่อนที่ของกระบวนการและเพื่อช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาภายในกระบวนการ

โดยทั่วไปแล้วเราสามารถแบ่งคาวิเตชั่นออกได้เป็น 4 ชนิดตามรูปแบบของการทำให้เกิด ได้แก่ (1) อคูสติกคาวิเตชั่น (2) ไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่น (3) ออฟติกคาวิเตชั่นและ (4) พาร์ติเคิ่ลคาวิเตชั่น ซึ่งรูปแบบและวิธีการทำให้เกิดคาวิเตชั่นก็จะแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของคาวิเตชั่น ยกตัวอย่างเช่น กรณีของอคูสติสคาวิเตชั่นจะอาศัยการทำให้เกิดคาวิเตชั่นโดยการส่งผ่านคลื่นอุลตร้าโซนิคลงไปในของเหลวในขณะที่ไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นทำให้เกิดคาวิเตชั่นโดยการส่งของเหลวผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ที่มีการลดขนาดหน้าตัด เช่น วาล์วทรอตทลิ่ง แผ่นออริฟิซและท่อเวจูริ เป็นต้น อย่างไรก็ตามคาวิเตชั่นทั้ง 2 ชนิดนี้ก็จะมีหลักการพื้นฐานของการเกิดปรากฏการณ์คาวิเตชั่นที่เหมือนกันกล่าวคือเกิดจากการทำให้มีฟองอากาศขนาดเล็ก (Micro Bubble) เกิดขึ้นภายในของเหลวและในเวลาต่อมาฟองอากาศดังกล่าวจะเกิดการหดและขยายตัวอย่างรวดเร็วอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความดันภายในของเหลวจนถึงสภาวะหนึ่งฟองอากาศขนาดเล็กก็จะเกิดการยุบแตกตัวออก (Collapse) การยุบแตกตัวดังกล่าวทำให้เกิดความร้อนเฉพาะที่ (Hot Spot) ซึ่งเกิดขึ้นเป็นล้านๆจุดพร้อมกันภายในของเหลวเป็นผลให้เกิดสภาวะที่ความดันและอุณหภูมิในของเหลวที่จุดที่เกิดความร้อนเฉพาะที่มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าภาวะโดยรอบ [2] โดยความดันและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการแตกยุบตัวจะมีค่าประมาณ 10^3 บาร์ และ 10^4 องศาเคลวินตามลำดับ [3] และผลจากการยุบแตกตัวของฟองอากาศขนาดเล็กก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพขึ้นภายในของเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลทางกายภาพที่เกิดขึ้นได้แก่ การหมุนวนของของเหลว (Liquid Circulation) แรงเฉือน (Shear Force) และคลื่นกระแทก (Shock Wave) จะเป็นตัวช่วยส่งเสริมให้อัตราการถ่ายเทมวล ความร้อน และโมเมนตัมของของเหลวสูงขึ้นด้วยนั้นเอง ในปัจจุบันกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจะสังเคราะห์ด้วยการทำปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่าทรานส์

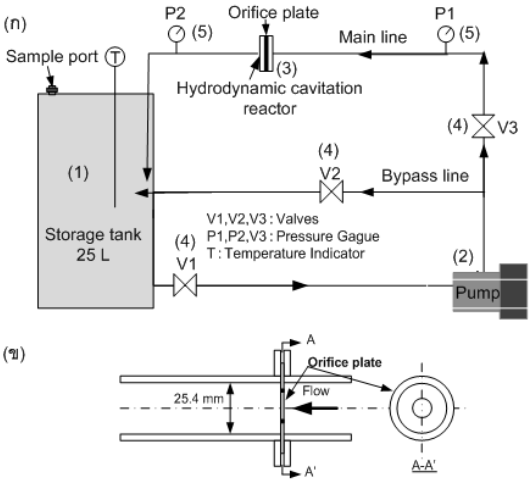
เอสเทอริฟิเคชั่น (Transesterification) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเป็นหนึ่งในกระบวนการทางเคมีที่ต้องการการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ แต่พบว่าถังปฏิกรณ์ที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลส่วนมากยังคงเป็นถังปฏิกรณ์ปั่นผสมแบบดั้งเดิม (Conventional Agitation) ซึ่งให้อัตราการการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ได้ไม่ดีนัก โดยมีสาเหตุเนื่องมาจากการปั่นผสมที่ไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่าจะเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลเราสามารถเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้สูงขึ้นได้โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวช่วยและอีกวิธีหนึ่งคือการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ให้สูงขึ้น [4] ดังนั้นคาวิเตชั่นจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากกรรมวิธีตามที่ได้กล่าวมาโดยอาศัยผลของการเปลี่ยนแปลงทางกายภายและทางเคมีที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์คาวิเตชั่นมาเป็นตัวช่วย ที่ผ่านมาการนำคาวิเตชั่นมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลพบว่ามีเพียงอคูสติกและไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นเท่านั้นที่มีความเหมาะสมและได้รับความนิยม จากรายงานผลการศึกษาพบว่าปรากฏการณ์คาวิเตชั่นช่วยทำให้การส่งถ่ายมวลระหว่างน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดการทำปฏิกิริยาที่สมบูรณ์และลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาลง โดยมีค่าร้อยละเมทิลเอสเตอร์ที่ได้สูงขึ้นอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 90 ถึง 98 ซึ่งจะเห็นว่าสูงกว่าวิธีการสังเคราะห์ไบโอดีเซลแบบดั้งเดิม [4, 5] แต่อคูสติกคาวิเตชั่นก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการขยายขนาด รวมไปถึงความยุ่งยากในการคำนวณและออกแบบอุปกรณ์กำเนิดคลื่นอัลตร้าโซนิค [6] ในขณะที่ไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นนั้นมีข้อดีหลายอย่าง อาทิเช่น ง่ายต่อการขยายขนาด ไม่ยุ่งยากในการออกแบบและการสร้างอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังพบว่าให้ประสิทธิภาพทางพลังงานที่สูงด้วย [7, 8] จากข้อดีดังกล่าวไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นจึงได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลในปัจจุบัน แต่หากเปรียบเทียบความรุนแรงของคาวิเตชั่นที่เกิดจากไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นและอคูสติกคาวิเตชั่นจะพบว่าความรุนแรงของคาวิเตชั่นที่เกิดจากไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นยังมีความรุนแรงต่ำกว่าคาวิเตชั่นที่เกิดจากอคูสติกคาวิเตชั่นอยู่ [8] ทั้งนี้ความรุนแรงของคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งสำคัญต่อการออกแบบและการกำหนดสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลก็เช่นเดียวกันความรุนแรงของคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมี กล่าวคือในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลต้องการคาวิเตชั่นที่มีความรุนแรงสูงเพื่อไปช่วยให้เกิดอัตราการส่งถ่ายมวลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้นและลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาลง โดยในกรณีของไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นนั้นผลของคาวิเตชั่นทั้งหลายจะขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการปั่นป่วนและจำนวนฟองอากาศที่เกิดขึ้น ทั้งนี้จุดที่มีความรุนแรงของคาวิเตชั่นสูงในถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นที่ใช้แผ่นออริฟิซเป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำให้เกิดคาวิเตชั่นจะเกิดขึ้นที่บริเวณด้านหลังของแผ่นออริฟิซ โดยที่ความรุนแรงของคาวิเตชั่นจะขึ้นอยู่กับขนาดของความดันตกคร่อม (Pressure Drop) ซึ่งค่าความดันตกคร่อมเป็นผลมาจากรูปทรงของแผ่นออริฟิซและสภาวะการไหลของของเหลวนั้นเอง [9] จากที่ผ่านมานักวิจัยยังให้ความสนใจในการศึกษาประเด็นนี้อยู่น้อยพบว่ามีวีระยุทธ นนท์ชนะและคณะ [10, 11] ได้ทดสอบหาลักษณะแผ่นขอบคม (แผ่นออริฟิซ) ที่เหมาะสมสำหรับถังปฏิกรณ์ไบโอดีเซลโดยทำการศึกษาผลของพื้นที่รูของแผ่นขอบคมต่อพื้นที่ของท่อและได้ทำการศึกษาลักษณะการเกิดคาวิเตชั่นของของไหลที่ไหลผ่านแผ่นขอบคมเพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นสำหรับผลิตไบโอดีเซลโดยใช้วิธีการคำนวณของไหลเชิงพลศาสตร์ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดคาวิเตชั่น นอกจากนี้ Ghayal *et.al* [4] ยังได้ทำการศึกษาถึงผลของรูปทรงแผ่นออริฟิซแบบต่างๆที่มีผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชทอดแล้ว โดยที่การหารูปทรงของแผ่นออริฟิซที่เหมาะสมจะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของถัง

ปฏิกรณ์และเพิ่มอัตราการทำปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม โดยส่วนมากนักวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาในเรื่องของสภาวะในการทำปฏิกิริยาทางเคมีในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นมากกว่า [2, 5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความดันทางด้านเข้าและรูปทรงของแผ่นออริฟิซแบบต่างๆที่ใช้เป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำในถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่น โดยนำมาประยุกต์ใช้กับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลเพื่อหาอิทธิพลของความดันทางด้านเข้าและรูปทรงของแผ่นออริฟิซที่เหมาะสมในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลเพื่อให้ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด

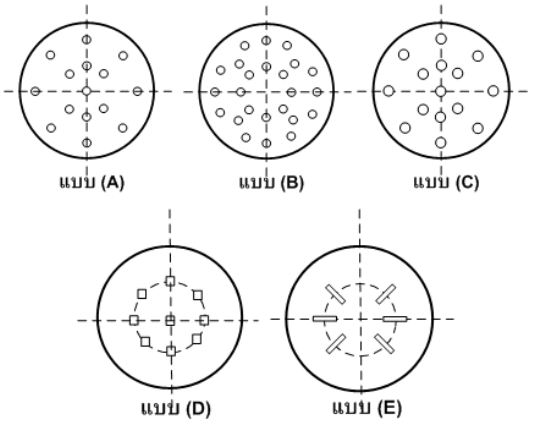
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลองสำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

แผนผังของอุปกรณ์การทดลองสำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นแสดงไว้ดังในรูปที่ 1 ชุดทดลองดังกล่าวประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆได้แก่ (1) ถังพัก (Storage Tank) ขนาดความจุของถัง 25 ลิตร ทำจาก Stainless Steel เกรด SUS304 ซึ่งต่อเข้ากับ (2) ปั๊ม แบบ Vertical Multistage รุ่น MVS-8/02TR ขนาด 0.75 กิโลวัตต์ ที่มีแรงดันใช้งานสูงสุด 8 บาร์ โดยปั๊มดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เพิ่มความเร็วให้แก่ของไหลที่จะผ่านเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ โดยขนาดของท่อที่ต่อกับปั๊มมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร ในส่วนของท่อส่ง (Discharge Pipe) ที่ออกจากปั๊มถูกแบ่งออกเป็น 2 ทาง คือ ส่วนท่อหลัก (Main Line) เข้าสู่ถังปฏิกรณ์และส่วนท่อรอง (Bypass Line) เข้าสู่ถังพัก ที่ส่วนท่อหลักประกอบไปด้วย (3) ถังปฏิกรณ์ที่เป็นส่วนของการทำให้เกิดคาวิเตชั่นซึ่งจะมีช่องสำหรับใส่แผ่นออริฟิซ ดังแสดงในรูปที่ 1(ข) ส่วนท่อรองจัดเตรียมไว้สำหรับควบคุมการไหลของของไหลที่จะผ่านเข้าไปสู่ท่อหลักโดยมี (4) วาล์ว (V_2) เป็นตัวควบคุม ซึ่งทั้งท่อหลักและท่อรองจะต่อเข้าไปข้างในถังพักและอยู่ต่ำกว่าระดับของไหลในถังพักเพื่อต้องการหลีกเลี่ยงให้เกิดการนำอากาศเข้าสู่ระบบนอกจากนี้ที่ท่อหลักยังมี (5) ชุดเกจวัดความดัน (P_1 และ P_2) สำหรับวัดความดันที่ทางด้านเข้าและทางด้านออก ตามลำดับ



รูปที่ 1 (ก) แผนผังแสดงรายละเอียดชุดทดลอง: 1-ถังพักขนาด 25 ลิตร, 2-ปั๊ม, 3-ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์, 4-วาล์ว, 5-เกจวัดความดัน (ข) ส่วนทดลองการติดตั้งแผ่นออริฟิซแบบต่างๆ



รูปที่ 2 รูปแบบการกระจายตัวของรูบนแผ่นออริฟิซแบบต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ในส่วนของแผ่นออริฟิซที่ใช้เป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำให้เกิดคาวิเตชั่นภายในถังปฏิกรณ์ในงานวิจัยนี้เป็นแบบหลายรู (Multiple Holes) ทำมาจาก Stainless Steel มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 29 มิลลิเมตร มีด้วยกันทั้งสิ้น 5 แบบแต่ละแบบมีความแตกต่างกันที่ลักษณะ ขนาด จำนวน และการจัดเรียงตัวของรูโดยมีรายละเอียดของแผ่นออริฟิซดังแสดงในตารางที่ 1 และ

รูปแบบการกระจายตัวของรูบนแผ่นออริฟิซแสดงไว้ในรูปที่ 2

2.2 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบที่ใช้สำหรับสังเคราะห์ไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้ ได้แก่น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) จากโรงหีบน้ำมันปาล์ม จังหวัดสุราษฎ์ธานี ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้มีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) โดยเฉลี่ยร้อยละ 4.2 และมีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆประกอบด้วย กรด Lauric 0.16 wt%, กรด Myristic 0.99 wt%, กรด Palmitic 43.03 wt%, กรด Palmitoleic 0.14 wt%, กรด Stearic 4.31 wt%, กรด Oleic 39.43 wt%, กรด Linoleic 10.82 wt%, และกรด Linolenic 0.29 wt% [12] ในส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลประกอบด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์ (KOH) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98.8 ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 ใช้เป็นแอลกอฮอล์สำหรับทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืช

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อความรุนแรงของคาวิเตชั่นซึ่งจะส่งผลต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ในการทดลองจึงได้กำหนดตัวแปรที่จะทำการศึกษาได้แก่ความดันทางด้านเข้าที่ค่าความดัน 1.5, 3 และ 5 บาร์และแผ่นออริฟิซที่แตกต่างกันทั้งสิ้น 5 แบบ โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 1 และรูปที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้คาวิเตชั่นกับกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ในการทดลองจึงได้กำหนดสภาวะของตัวแปรในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นสำหรับสังเคราะห์ไบโอดีเซลไว้ดังนี้ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มดิบ 6:1 ปริมาณโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 28 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) โดยสภาวะของตัวแปรที่กำหนดตามข้างบนนั้นเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากงานวิจัยของ Worapun *et al.* [12] ซึ่งในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลในแต่ละครั้งของการทดลองนั้น น้ำมันปาล์มดิบจำนวน 15 ลิตรจะถูกใส่เข้าไปในถังพักขนาด 25 ลิตร จากนั้นจะทำการประกอบแผ่นออริฟิซ แบบต่างๆตามที่ได้กำหนดไว้เข้าไปบนหน้าแปลนของถังปฏิกรณ์ ต่อมาก็ทำการเปิดปั๊มเป็นเวลา 5 นาทีเพื่อทำให้เกิดการหมุนวนของน้ำมันพืชภายในชุดทดลอง จากนั้นทำการเติมเมทานอลและโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายผสมกันแล้วตามปริมาณที่ได้กำหนดไว้ลงไปในถังพักแล้วทำการเปิดปั๊มเพื่อให้ชุดทดลองทำงาน และปรับค่าแรงดันทางด้านเข้าตามที่ต้องการศึกษา โดยการเปิดวาว์ล V_1 และ V_2 ในขณะที่วาว์ล V_3 จะควบคุมการเปิดเพื่อควบคุมความดันตามที่ต้องการ ซึ่งในขณะที่ทำการทดลองตัวอย่างน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาก็จะถูกดูดออกมาผ่านทางช่องเก็บตัวอย่างน้ำมันเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์หาค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ต่อไป โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำมันที่เวลาในการทำปฏิกิริยาทุกๆ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ

2.4 การวิเคราะห์หาค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์

การวิเคราะห์หาค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี (Gas Chromatography, GC) โดยอ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน EN 14103 ซึ่งใช้เมทิลเฮปตะดีคาโนเอต (C17:0) เป็นสารละลายมาตรฐานและสามารถคำนวณหาค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ได้จากสมการที่ 1

$$ME = \frac{\left(\sum A\right) - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{C_{EI} \times V_{EI}}{m} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

$\sum A$ คือผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่ C14:0 ถึง C24:0

A_{EI} คือพื้นที่ใต้กราฟของเมทิลเฮปตะดีคาโนเอต

C_{EI} คือปริมาณความเข้มข้นของเมทิลเฮปตะดีคาโนเอต (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

V_{EI} คือปริมาตรเมทิลเฮปตะดีคาโนเอต (มิลลิลิตร)

m คือน้ำหนักตัวอย่างไบโอดีเซล (มิลลิกรัม)

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของแผ่นออริฟิซแบบต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้

แบบของแผ่นออริฟิซ	A	B	C	D	E
รูปทรงของรู ขนาดรู (mm)/จำนวนรู	วงกลม 2/15	วงกลม 2/24	วงกลม 3/15	สี่เหลี่ยมจัตุรัส 2×2/19	สี่เหลี่ยมผืนผ้า 2×3/13
พื้นที่การไหลทั้งหมด (mm^2)	47.12	75.40	106.02	76.00	78.00
α * (mm^{-1})	2.00	2.00	1.33	2.00	1.67
เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (mm)	25.40				
พื้นที่หน้าตัดของท่อ (mm^2)	506.71				

*α = ผลรวมเส้นรอบรูปทั้งหมดของรู (mm)/ผลรวมพื้นที่รูของแผ่นออริฟิซ (mm^2)

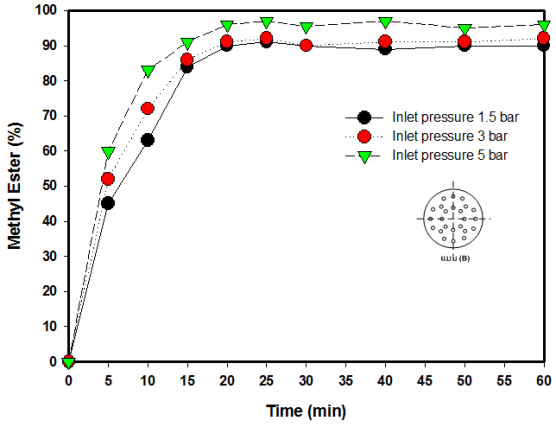
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 *อิทธิพลของความดันทางด้านเข้าที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเตอร์*

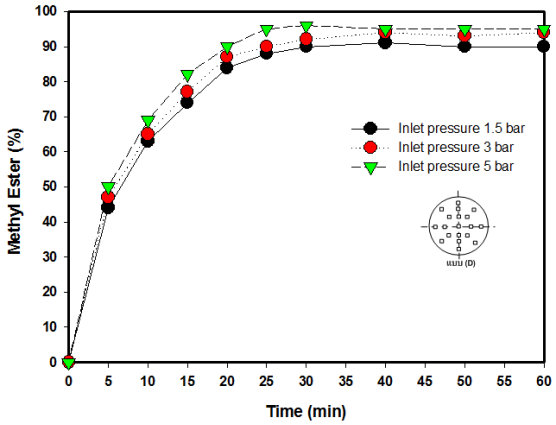
โดยทั่วไปความรุนแรงและระดับของไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นที่ทำให้เกิดขึ้นจากอุปกรณ์เหนี่ยวนำจะพิจารณาที่ค่าตัวเลขคาวิเตชั่น (Cavitation Number) ซึ่งค่าตัวเลขคาวิเตชั่นดังกล่าวเราสามารถคำนวณหาได้จากสมการเลขคาวิเตชั่นโดยมีค่าขึ้นอยู่กับตัวแปรคือความดันตกคร่อมบริเวณหน้าตัดของอุปกรณ์ลดพื้นที่หน้าตัดและความเร็วที่คอคอด ทั้งนี้ระดับความรุนแรงและความเข้มข้นของคาวิเตชั่นที่ทำให้เกิดโดยใช้อุปกรณ์เหนี่ยวนำแบบต่างๆซึ่งมีส่วนช่วยทำให้เกิดการผสมที่รุนแรงขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจะขึ้นอยู่กับเลขคาวิเตชั่นนั้นเอง จะเห็นได้ว่าความดันทางด้านเข้าความดันทางด้านเข้าเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสภาวะของคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นภายในถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่น ซึ่งจำนวนของฟองอากาศที่เกิดขึ้นและความรุนแรงของคาวิเตชั่น (ขนาดของความดันในการยุบแตกตัว) ขึ้นอยู่กับความดันทางด้านเข้านั้นเอง Maddikeri *et al.* [13] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าเลขคาวิเตชั่นกับความดันทางด้านเข้าเมื่อใช้อุปกรณ์เหนี่ยวนำแบบต่างๆพบว่าค่าเลขคาวิเตชั่นขึ้นอยู่กับค่าความดันทางด้านเข้ากล่าวคือค่าของเลขค่าวิเตชั่นมีค่าลดลงเมื่อความดันทางด้านเข้า (ความดันฝั่งส่งของปั๊ม) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าของเลขคาวิเตชั่นที่มีค่าต่ำจะแสดงให้เห็นว่าคาวิเตชั่นที่เกิดมีความรุนแรงสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกเอาความดันทางด้านเข้ามาเป็นหนึ่งในตัวแปรที่ทำการศึกษาในครั้งนี้เนื่องมาจากความดันมีผลต่อสมการของการหาค่าเลขคาวิเตชั่นและการใช้ตัวแปรความดันทางด้านเข้านั้นสามารถนำไปใช้ได้ดีในทางปฏิบัติเพราะสามารถอ่านค่าได้ทันที

จากรูปที่ 3 (ก - ค) แสดงอิทธิพลของความดันทางด้านเข้าต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆเมื่อใช้แผ่นออริฟิซแบบ B, D และ E เป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำให้เกิดคาวิเตชั่น โดยความดันทางด้านเข้าที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 5 บาร์ เหตุผลที่เลือกแผ่นออริฟิซแบบ B, D และ E มาทำการศึกษาเพราะแผ่นออริฟิซทั้ง 3 แบบมีลักษณะและจำนวนของรูที่แตกต่างกันซึ่งจะทำให้เห็นถึงข้อแตกต่างได้อย่างชัดเจน จากผลการศึกษาเมื่อใช้แผ่นออริฟิซทั้ง 3 แบบเป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำให้เกิดคาวิเตชั่นพบว่าร้อยละเมทิลเอสเตอร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความดันทางด้านเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.5 บาร์ ไปเป็น 5 บาร์ แต่เมื่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นไปถึงจุดสูงสุดแล้วเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นต่อจากนั้นค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ก็จะมีค่าลดลง โดยที่ความดันทางด้านเข้า 5 บาร์จะให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุด รองลงมาคือที่ความดันทางด้านเข้า 3 บาร์และ 1.5 บาร์ ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกันกับผลการศึกษาของ Ghayal *et al.* [4] ที่รายงานว่าเมื่อความดันทางด้านเข้าเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องมาจากเมื่อความดันทางด้านเข้าเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เลขคาวิเตชั่นมีค่าต่ำลง ทั้งนี้การลดลงของค่าเลขคาวิเตชั่นนำไปสู่สภาวะของคาวิเตชั่นที่มีความรุนแรงสูง

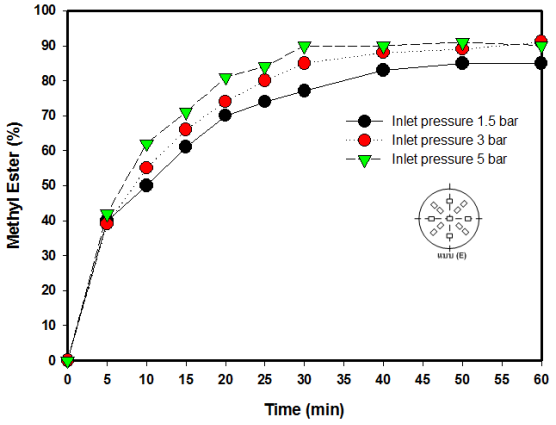
จึงทำให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าสูงตามไปด้วย [13]



(ก)



(ข)



(ค)

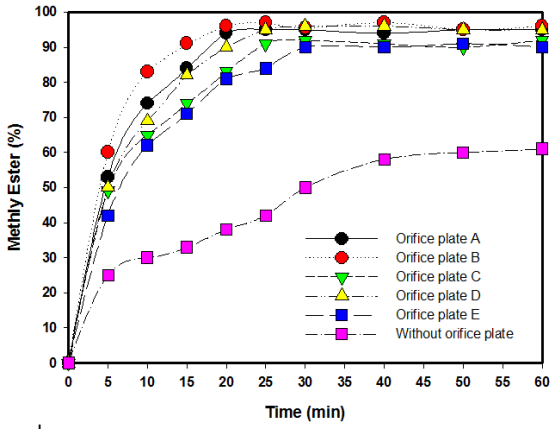
รูปที่ 3 อิทธิพลของความดันทางด้านเข้าต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แผ่นออริฟิซแบบต่างๆ (ก) แบบ B (ข) แบบ D และ (ค) แบบ E

เมื่อพิจารณาที่ความดันทางด้านเข้าที่เหมาะสมที่สุดคือที่ 5 บาร์ จะเห็นว่าแผ่นออริฟิซแบบ B ให้ค่าเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 97 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 25 นาที ในขณะที่แผ่นออริฟิซ แบบ D และ E ให้ค่าเมทิลเอสเทอร์สูงสุดร้อยละ 95 และ 91 ตามลำดับที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ทั้งนี้พบว่าแผ่นออริฟิซแบบ B ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าแผ่นออริฟิซแบบ D และ E ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแผ่นออริฟิซต่อความรุนแรงของคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นโดยแผ่นออริฟิซแต่ละแบบก็จะให้ค่าความรุนแรงของคาวิเตชั่นที่แตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามเหตุผลที่ความดันทางด้านเข้า 5 บาร์ให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดในทุกๆแบบของแผ่นออริฟิซที่ใช้ทดลองเป็นผลมาจากเมื่อความดันทางด้านเข้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ของเหลวที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิซมีความเร็วเพิ่มขึ้นการที่ของเหลวมีความเร็วเพิ่มขึ้นนี้เองจะส่งผลต่อปริมาณของเหลวต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเข้าสู่แผ่นออริฟิซดังนั้นปริมาณของของเหลวที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิซที่มากขึ้นจึงทำให้เกิดโซนของการเกิดคาวิเตชั่นเพิ่มขึ้นนอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของความดันทางด้านเข้ายังทำให้เกิดความดันตกคร่อมที่หน้าตัดของแผ่นออริฟิซด้วยเป็นผลทำให้เกิดการยุบแตกตัวที่รุนแรงของฟองอากาศในของเหลวจากปรากฏการณ์ของคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นนี้เองจึงไปช่วยทำลายขอบเขตของของเหลวที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (น้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์) ให้ผสมกันได้ดียิ่งขึ้นและส่งเสริมให้อัตราการถ่ายเทมวลระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากความดันทางด้านเข้าที่มีค่าสูงจึงมีค่าสูงตามไปด้วย

3.2 อิทธิพลของรูปทรงแผ่นออริฟิซที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเตอร์

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบอิทธิพลของรูปทรงของแผ่นออริฟิซแบบต่างๆต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ความดันทางด้านเข้าคงที่ 5 บาร์ โดยแผ่นออริฟิซทั้ง 5 แบบที่นำมาศึกษามีรูปทรงที่แตกต่างกันในส่วนของลักษณะ ขนาด จำนวนและรูปแบบการกระจายตัวของรู จากผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าแผ่นออริฟิซทั้ง 5 แบบนั้นทำให้อัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาในการทำ

ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและผลการศึกษาที่ได้ยังเป็นการยืนยันว่าค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้แผ่นออริฟิซเป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำให้เกิดคาวิเตชั่นจะมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่สังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยไม่ใช้แผ่นออริฟิซ (Without Orifice Plate) ที่ให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเพียงร้อยละ 59 เท่านั้นเอง ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของปรากฏการณ์คาวิเตชั่นที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของแผ่นออริฟิซภายในถังปฏิกรณ์นั้นเอง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากแผ่นออริฟิซแบบต่างๆจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงของเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 0 ถึง 30 นาทีจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปก็จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของร้อยละเมทิลเอสเทอร์ไม่แตกต่างกันมากนักในทุกๆแผ่นออริฟิซ โดยแผ่นออริฟิซที่ให้อัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด ได้แก่ แผ่นออริฟิซแบบ B รองลงมาก็จะเป็นแผ่นออริฟิซแบบ A, D, C และ E ตามลำดับ

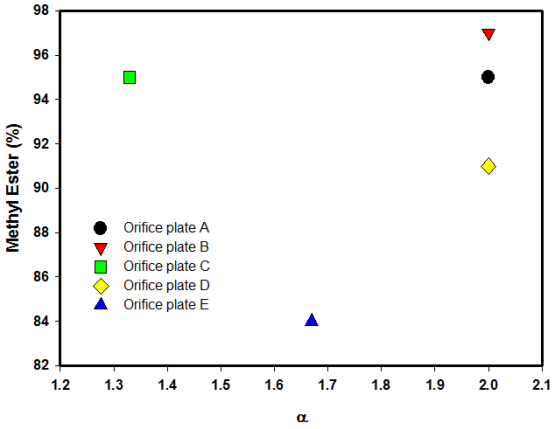


รูปที่ 4 เปรียบเทียบอิทธิพลของแผ่นออริฟิซแบบต่างๆ ที่มีต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์

อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาที่ผลของรูปทรงของแผ่นออริฟิซโดยการเปรียบเทียบแผ่นออริฟิซที่มีพื้นที่การไหลใกล้เคียงกันคือมีค่าประมาณ 76 mm^2 ได้แก่แผ่นออริฟิซแบบ B (75.4 mm^2), D (76 mm^2) และ E (78 mm^2) จะเห็นว่าแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะรูแบบวงกลม (แบบ B) จะให้อัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์สูงกว่ากรณีของแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะรูแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (แบบ D) และสี่เหลี่ยมผืนผ้า (แบบ E) ที่ทุกเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 25 นาทีให้ค่าเมทิลเอสเทอร์สูงสุดร้อยละ 97, 93 และ 84 ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะรูแบบวงกลมจะทำให้เกิดคาวิเตชั่นที่มีความรุนแรงมากที่สุด ดังนั้นลักษณะรูที่เหมาะสมก็คือแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะรูแบบวงกลม และเมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะของรูเป็นวงกลมเหมือนกันได้แก่ แผ่นออริฟิซแบบ A, B และ C พบว่าแผ่นออริฟิซที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูเล็กและมีจำนวนรูมากจะให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดซึ่งก็คือแผ่นออริฟิซแบบ B (ขนาดรู 2 มิลลิเมตร จำนวน 24 รู) ให้ค่าเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 97 รองลงมาคือแผ่นออริฟิซแบบ A (ขนาดรู 2 มิลลิเมตร จำนวน 15 รู) และแผ่นออริฟิซแบบ C (ขนาดรู 3 มิลลิเมตร จำนวน 15 รู) ให้ค่าเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 95.5 และ 91ตามลำดับ ในกรณีของแผ่นออริฟิซมีจำนวนรูเท่ากัน (แผ่นออริฟิซแบบ A และแบบ C) พบว่าแผ่นออริฟิซที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูเล็กกว่า (แผ่นออริฟิซแบบ A) จะให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้สูงกว่าแต่ก็ต่างกันไม่มากนัก และเมื่อเปรียบเทียบในกรณีของแผ่นออริฟิซที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูเท่ากัน (แผ่นออริฟิซ แบบ A และ B) ก็พบว่าแผ่นออริฟิซที่มีจำนวนรูมากกว่า (แผ่นออริฟิซ แบบ B) จะให้ร้อยเมทิลเอสเทอร์ที่ได้สูงกว่า ดังนั้นจากผลการทดลองในรูปที่ 4 จึงสรุปได้ว่าผลของรูปทรงของแผ่นออริฟิซที่มีความแตกต่างกันทั้ง 5 แบบมีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ นอกจากนี้แผ่นออริฟิซที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลในการศึกษานี้ก็คือแผ่นออริฟิซแบบ B ซึ่งมีลักษณะรูแบบวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู 2 มิลลิเมตรและจำนวนรู 24 รู โดยแผ่นออริฟิซแบบ B นั้นคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มข้นและรุนแรงกว่าคาวิเตชั่นจากแผ่นออริฟิซแบบอื่น ความรุนแรงของคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นนำไปสู่การเกิดการปั่นป่วน การหมุนวนและอีมัลชั่นของของเหลวในระดับจุลภาคทำให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าสูงขึ้น

รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของค่า α ต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แผ่นออริฟิซแบบต่างๆโดยกำหนดให้ความดันทางเข้ามีค่าคงที่ที่ 5 บาร์และเวลา

ในการทำปฏิกิริยา 25 นาที ซึ่งค่า α ที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ระหว่างค่ามากที่สุดคือ 2 (แผ่นออริฟิซแบบ A, B และ D) และค่าน้อยที่สุดคือ 1.33 (แผ่นออริฟิซแบบ C) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแผ่นออริฟิซแบบ B (α=2) ให้ค่าเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดร้อยละ 97 ในขณะที่แผ่นออริฟิซแบบ E (α=1.67) กลับให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์น้อยที่สุดคือร้อยละ 87 ส่วนแผ่นออริฟิซแบบ A (α=2), C (α=1.33) และ D (α=2) ให้ค่าเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 95.5, 91 และ 93 ตามลำดับ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า α กับค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้แผ่นออริฟิซแบบต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบแผ่นออริฟิซที่มีค่า α เท่ากัน ได้แก่ แผ่นออริฟิซแบบ A, B และ D ซึ่งมีค่า α=2 จะเห็นว่าแผ่นออริฟิซแบบ B ให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด (ร้อยละ 97) รองลงมาคือแบบ A (ร้อยละ 95.5) และแบบ D (ร้อยละ 93) ตามลำดับทั้งที่แผ่นออริฟิซทั้งสามแบบมีค่า α เท่ากันแต่ให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ไม่เท่ากัน เนื่องมาจากคำนิยามของค่า α คือ ผลรวมเส้นรอบรูปทั้งหมดของรูต่อผลรวมพื้นที่รูของแผ่นออริฟิซ ดังนั้นค่า α จึงขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของรูในแผ่นออริฟิซ ซึ่งทำให้แผ่นออริฟิซที่มีจำนวนรูมากกว่าคือแบบ B (24 รู) มีอัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าแผ่นออริฟิซแบบ A (15 รู) และแบบ D (19 รู) ทั้งนี้แผ่นออริฟิซที่มีจำนวนรูมากจะทำให้เกิดจุดในการกำเนิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้นรวมทั้งจำนวนของลำพุ่งของเหลวที่เกิดจากแผ่นออริฟิซก็จะมากตามไปด้วยจึงมีผลทำให้แรงเฉือนในการไหลมีค่าสูงขึ้นภายในถังปฏิกรณ์ ส่งผลให้คาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงขึ้น ความรุนแรงของคาวิเตชั่นที่เกิดขึ้นนี้เองจะไปช่วยส่งเสริมให้น้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ผสมกันเป็นอิมัลชั่น (Emulsion) ได้ดีขึ้น การผสมกันได้ดีขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสของของเหลวทั้งสอง จึงทำให้อัตราการส่งถ่ายมวลระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์เพิ่มสูงขึ้น

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาสามารถสรุปประเด็นสำคัญของงานวิจัยได้ว่า

(1) การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์แบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่นในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แผ่นออริฟิซเป็นอุปกรณ์เหนี่ยวนำให้เกิดคาวิเตชั่นนั้น สามารถทำให้เกิดร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่สูงโดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 90-97 ตามแต่ชนิดของแผ่นออริฟิซ ซึ่งร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าสูงเป็นผลมาจากปรากฏการณ์คาวิเตชั่น โดยการยุบแตกตัวของฟองอากาศในของเหลวทำให้เกิดการปั่นป่วนในระดับจุลภาค (Micro Level Turbulence) ของของเหลวรวมทั้งเกิดแรงเฉือนและคลื่นกระแทกซึ่งไปส่งเสริมให้น้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ผสมกันในรูปของอิมัลชั่นได้ดีขึ้นและช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ให้สูงขึ้น

(2) ความดันทางด้านเข้าและรูปทรงของแผ่นออริฟิซที่เหมาะสมต่อกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลในการศึกษานี้คือความดันทางด้านเข้า 5 บาร์และแผ่นออริฟิซแบบ B ที่มีลักษณะรูแบบวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู 5 มิลลิเมตรและจำนวนรู 24 รู โดยให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 97 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 25 นาที

(3) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าลักษณะรูจำนวนรูและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูของแผ่นออริฟิซมีผลต่อความรุนแรงของคาวิเตชั่นเมื่อพิจารณาความรุนแรงของคาวิเตชั่นคือค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้โดยแผ่นออริฟิซที่มีลักษณะรูแบบวงกลมมีจำนวนรูมากและเส้นผ่าศูนย์กลางรูเล็กจะทำให้ความรุนแรงของคาวิเตชั่นมีความรุนแรงมากกว่ากรณีของแผ่นออริฟิซมีลักษณะรูแบบสี่เหลี่ยมและมีจำนวนรูน้อย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] P. R. Gogate, "Cavitational reactors for process intensification of chemical processing applications: A critical review," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification,* vol. 47, pp. 515-527, 2008.

[2] M. A. Kelkar, P. R. Gogate, and A. B. Pandit, "Intensification of esterification of acids for synthesis of biodiesel using acoustic and hydrodynamic cavitation," *Ultrasonics Sonochemistry,* vol. 15, pp. 188-194, 2008.

[3] P. P. Oh, H. L. N. Lau, J. Chen, M. F. Chong, and Y. M. Choo, "A review on conventional technologies and emerging process intensification (PI) methods for biodiesel production," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 16, pp. 5131-5145, 2012.

[4] D. Ghayal, A. B. Pandit, and V. K. Rathod, "Optimization of biodiesel production in a hydrodynamic cavitation reactor using used frying oil," *Ultrasonics Sonochemistry,* vol. 20, pp. 322-328, 2013.

[5] I. Worapun, K. Pianthong, and P. Thaiyasuit, "Two-step Biodiesel Production from Crude Jatropha curcas L. Oil Using Ultrasonic Irradiation Assisted," *Journal of Oleo Science,* vol. 61, pp. 165-172, 2012.

[6] M. Franke, P. Braeutigam, Z.-L. Wu, Y. Ren, and B. Ondruschka, "Enhancement of chloroform degradation by the combination of hydrodynamic and acoustic cavitation," *Ultrasonics Sonochemistry,* vol. 18, pp. 888-894, 2011.

[7] P. R. Gogate and A. B. Pandit, "A review and assessment of hydrodynamic cavitation as a technology for the future," *Ultrasonics Sonochemistry,* vol. 12, pp. 21-27, 2005.

[8] L. P. Amin, P. R. Gogate, A. E. Burgess, and D. H. Bremner, "Optimization of a hydrodynamic cavitation reactor using salicylic acid dosimetry," *Chemical Engineering Journal,* vol. 156, pp. 165-169, 2010.

[9] J. Ozonek and K. Lenik, "Effect of different design features of the reactor on hydrodynamic cavitation process," *Archives of Materials Science and Engineering,* vol. 52, pp. 112-117, 2011.

[10] วีระยุทธ นนท์ชนะ, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, ประชา สันติ ไตรยสุทธิ์ และอิทธิพล วรพันธ์. “การจำลองการเกิดคาวิเทชั่นจากแผ่นขอบคมเพื่อช่วยออกแบบถังปฏิกรณ์ผลิตไบโอดีเซล”. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. ปีที่ 7 (ฉบับที่ 2): 45 - 55, 2555.

[11] วีระยุทธ นนท์ชนะ, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, ประชา สันติ ไตรยสุทธิ์ และอิทธิพล วรพันธ์. “การทดสอบหาแผ่นขอบคมที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปฏิกรณ์เพื่อผลิตไบโอดีเซลแบบไฮโดรไดนามิกส์คาวิเตชั่น”. *วารสารวิศวกรรมสาร มข*. ปีที่ 40 (ฉบับที่ 2): 185 - 192, 2555.

[12] I. Worapun, K. Pianthong, and P. Thaiyasuit, "Optimization of biodiesel production from crude palm oil using ultrasonic irradiation assistance and response surface methodology," *Journal of Chemical*

Technology & Biotechnology, vol. 87, pp. 189-197, 2012

[13] G. L. Maddikeri, P. R. Gogate, and A. B. Pandit, "Intensified synthesis of biodiesel using hydrodynamic cavitation reactors based on the interesterification of waste cooking oil," *Fuel,* vol. 137, pp. 285-292, 2014.