

การควบคุมระบบ Servo Electro-hydraulic System สำหรับไถระเบิดดินดาน
ชนิดสันที่ขา 2 ขา ด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

The Control on Servo Electro-hydraulic System of Double Shank
Vibrating Subsoiler by using a Fuzzy - based Frequency Control

ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์^{1/} ดนัย ศาลทูลพิทักษ์^{1/} อนุชา เชาวโชติ^{1/} มงคล ตุ่นเฮ้า^{1/} พุทธิธินันท์ จารูวัฒน์^{1/}
ปรีชา อานันท์รัตนกุล^{1/} พีรพงษ์ เชาวพงษ์^{2/} อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์^{2/} จิระวีณ์ มหิทธิธินาศักดิ์^{3/} กันต์ธกรณ์ เขาทอง^{4/}
Tinnasit Kaisinburasak^{1/} Danai Saratunpithak^{1/} Anucha Chaochot^{1/} Mongkol Tunhaw^{1/} Puttinun Jaruwat^{1/}
Preecha Ananratanakul^{1/} Peerapong Chaovanapong^{2/} Anusorn Tiensiroek^{2/}
Jiravee Mahittithanasak^{3/} Kunthakorn Khaothong^{4/}

ABSTRACT

The aim of this study was to design the servo electro-hydraulic system for double shank vibrating subsoiler by using a Fuzzy - based frequency control as compared to proportional-integral-derivative (PID) frequency control. The steady vibration of subsoiler was controlled to enhance the subsoiler's performance and convenient to change the frequency level. After inputting a preferred frequency through the controller, a proportional valve was opened to control a flow rate of hydraulic oil into the hydraulic motor which connected to the vibration system. This process was measured by sensors, transducers and feedback signal processing devices. The experiments were conducted in sandy clay loam soil of 20.60% (db) moisture content, 1.66 g/cm³ dry bulk density and 2.58 MPa cone penetration resistance at a forward speeds of 2.09 km/h, a tillage depths of 30 cm, a constant oscillatory amplitude of 36.5 mm and three oscillatory frequencies (7, 9 and 11 Hz). The experimental results showed that both controllers efficiently controlled the stable oscillatory frequency for a tillage. However, the fuzzy-based control

^{1/} สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{1/} Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{2/} กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{2/} Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{3/} กลุ่มควบคุมพันธุ์พืช สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{3/} Agricultural Regulatory Office, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{4/} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

^{4/} Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering at Kamphaengsaen Kasetsart University Kamphaengsaen district Nakhonpathom 73140

performed better response than the PID controller. Fuzzy-based controller had higher speed and more accuracy than PID controller which had high overshoot.

Key words: Servo Electro-hydraulic System, Double Shank Vibrating Subsoiler, Fuzzy logic controller

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบการควบคุมระบบ Servo Electro-hydraulic System (SEHS) สำหรับไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา ด้วยการควบคุมความถี่ในการสั่นแบบพีซีซี เปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอดี โดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยให้การสั่นของไถดินดานคงที่ตลอดการไถ ส่งผลให้ไถดินดานมีสมรรถนะการทำงานสูงสุดและง่ายต่อการปรับเปลี่ยนความถี่ในการสั่น มีลักษณะการทำงานโดยการป้องกันความถี่ที่ต้องการควบคุมผ่านตัวควบคุม ตัวควบคุมจะไปเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลให้น้ำมันไฮดรอลิกไปขับมอเตอร์ไฮดรอลิกซึ่งต่ออยู่กับชุดสั่นสะเทือนของไถระเบิดดินดานทำให้เกิดการสั่นขึ้น โดยใช้สัญญาณป้อนกลับเป็นอุปกรณ์วัด และประมวลผลเป็นความถี่ที่ติดตั้งไว้ ทำการทดสอบในพื้นที่ดินร่วนเหนียวปนทราย ความชื้นดินเฉลี่ย 20.60 %db ความหนาแน่นดินสภาวะแห้งเฉลี่ย 1.66 ก./ลบ.ซม. และค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินเฉลี่ย 2.58 เมกกะปาสคาล ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2.09 กม./ชม. ความลึกในการไถ 30 ซม. ความกว้างในการสั่นที่ปลายขาไถ 36.5 มม. โดยทดลองที่ความถี่ในการสั่น 3 ระดับ คือ 7 9 และ 11 เฮิรตซ์ จากการทดลองพบว่า ตัวควบคุมแบบพีซีซีและแบบพีไอดี สามารถควบคุมความถี่ในการ

สั่นทั้ง 3 ค่าได้คงที่ตลอดการไถ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลระหว่างการควบคุมแบบพีซีซีและแบบพีไอดี ตัวควบคุมแบบพีซีซีจะมีความเร็วและมีความแม่นยำในขณะที่ขาไถเริ่มสั่นจากจุดหยุดนิ่งจนถึงความถี่ที่ต้องการควบคุมได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งตัวควบคุมแบบพีไอดีจะให้ผลตอบสนองที่มีค่า Overshoot สูงกว่า

คำสำคัญ: ระบบ Servo Electro-hydraulic System ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา ตัวควบคุมแบบพีซีซีลอจิก

บทนำ

การปลูกพืชไร่ที่สำคัญหลายชนิด เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง หรืออ้อย ซึ่งนิยมปลูกบนพื้นที่ขนาดใหญ่มีการใช้แทรกเตอร์ เครื่องจักรกลและรถบรรทุกที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากทำงานบนพื้นที่ในแต่ละรอบการผลิตเป็นจำนวนหลายครั้ง จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดชั้นดินดานใต้ผิวดิน ปัญหาจากการเกิดชั้นดินดานจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตเกษตรกรจะแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องทำลายดินดานหรือ ไถระเบิดดินดาน (Subsoiler) พวงติดกับแทรกเตอร์ แล้วไถที่ระดับความลึกประมาณ 30-50 ซม. 3-5 ปีต่อครั้ง การไถระเบิดดินดานต้องใช้แรงฉุดลากสูงด้วยรถแทรกเตอร์ต้นกำลังขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาไถระเบิดดินดานแบบสั้นเพื่อลดแรงฉุดลาก โดยมีแบบสั้นที่ขาไถ (Vibrating Subsoiler) และแบบสั้นทั้งโครง (Shakareator) ทั้ง 2 แบบใช้ต้นกำลังจากเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์

ธัญญา และคณะ (2549) รายงานว่า เมื่อทำการไถ ความถี่ในการสั่นของไถดินดานมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากสภาพของดินมีความแข็งไม่เท่ากัน

ถ้าดินบางแห่งมีความแข็งมาก ความถี่ในการสั่นของไถดินดานจะลดลง 3-5 เฮิร์ตซ์ ส่งผลให้การทำงานของไถดินดานมีค่าไม่เต็มสมรรถนะ นอกจากนี้หากต้องการเปลี่ยนความกว้างและความถี่ในการสั่น จะต้องเปลี่ยนชุดเฟือง และเปลี่ยนตุ้มน้ำหนักไม่สมดุล ซึ่งใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง

ต่อมาได้มีการนำระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตอัตราทดแปรผันต่อเนื่องมาใช้ โดยใช้ต้นกำลังจากเพลาอำนาจกำลัง (PTO) ขับปั๊มไฮดรอลิกเพื่อสร้างความดันให้น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันแรงดันสูงจะถูกส่งผ่านระบบท่อไปขับมอเตอร์ไฮดรอลิกซึ่งต่อเข้ากับชุดสั่นสะเทือนของไถระเบิดดินดานทำให้เกิดการสั่น การควบคุมมีวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกก่อนเข้ามอเตอร์ไฮดรอลิก ระบบนี้เรียกว่า Servo Electro-hydraulic System (SEHS) ซึ่งเป็นระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) การหาสมการที่แม่นยำเพื่อใช้ในระบบควบคุมค่อนข้างซับซ้อน (Kwanchai, 2011) ขณะที่ระบบควบคุมแบบ Fuzzy ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่มีความคงทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของระบบทางพลศาสตร์และไม่ต้องการข้อมูลที่แม่นยำ (K. Edge, 1997) จึงมีความสะดวก และเหมาะสมกับการนำมาใช้ออกแบบตัวควบคุม ผลการควบคุมความถี่ในการสั่นของไถระเบิดดินดานด้วยตัวควบคุมพีซีจะถูกเปรียบเทียบกับผลการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี (PID; Proportional Integral Derivative) ซึ่งตัวควบคุมพีไอดีเป็นการรวมการควบคุมแบบ Proportional (P) แบบ Integral (I) และแบบ Derivative (D) เข้าด้วยกัน เพื่อให้ระบบมีความเสถียรมากที่สุด (Jinghua, 2006)

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบ และสร้างชุดควบคุมความถี่ในการสั่น เพื่อช่วยให้การสั่นของไถ

ดินดานคงที่ตลอดการไถ ส่งผลให้ไถดินดานมีสมรรถนะการทำงานสูงสุด และง่ายต่อการปรับเปลี่ยนความถี่ในการสั่นโดยใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตอัตราทดแปรผันต่อเนื่อง ใช้ น้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวถ่ายทอดกำลัง และมีระบบควบคุมแบบ Fuzzy

อุปกรณ์และวิธีการ

1 การติดตั้งระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิตกับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา

ในงานวิจัยนี้ใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา ที่ออกแบบและสร้างโดย ธีัญญา และคณะ (2539) ดังแสดงใน Figure 1 ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ โครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ โครงเครื่องมือขาไถ และชุดกลไกการสั่น โดยโครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์เชื่อมต่อกับโครงเครื่องมือขาไถ ดินดานมี 2 ขา ขนาดพื้นที่หน้าตัด 150 x 38 มม. สูง 970 มม. ส่วนของเล็บตัดดิน มีขนาดยาว 400 มม. กว้าง 70 มม. ยึดทำมุมกับแนวระดับ 30 องศา สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึกหรอ ด้านหน้าของขาไถเป็นมุมแหลมรูปตัววีขนาด 40 องศา ขณะทำงานตัวขาไถสั่นไปมาในระนาบตั้งฉากในแนวตั้งตามทิศการเคลื่อนที่ของตัวรถ (ระนาบ X-Y) รอบแกนหมุนที่ติดอยู่บนโครงเครื่องมือ ระยะห่างระหว่างขาไถ 750 มม. โครงเครื่องมือติดตั้งชุดเฟืองดอกจอก (Bevel Gear) อัตราทด 1:3.75 และชุดกลไกการสั่นแบบแผ่นเอียงศูนย์ (Eccentric disc) ที่ระยะเยื้อง 6 มม. ติดตั้งที่ส่วนบนของขาไถเพื่อให้ขาไถสั่นลักษณะไป-กลับ กลไกการสั่นถูกขับจากเพลา PTO ของรถแทรกเตอร์โดยมีความถี่ในการสั่นคงที่ 9.4 เฮิร์ตซ์ ความกว้างในการสั่นที่ปลายขาไถคงที่ 36.5 มม. ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบ/นาที

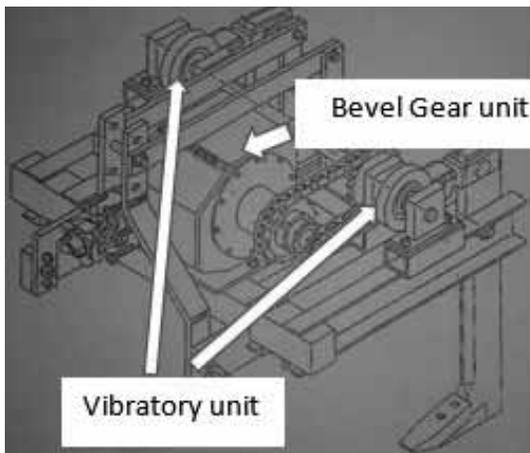


Figure 1 Isometric drawing for Double Shank Vibrating Subsoiler
Source: Thanya *et al.* (2539)

โดยเปลี่ยนชุดเฟืองดอกจอก ซึ่งเป็นชุดถ่ายทอดกำลังที่ต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถออก แล้วติดตั้งระบบไฮดรอลิกดังนี้

1.1 ปัมไฮดรอลิกขนาด 55 มล./รอบ อัตราการไหล 119 ล./นาที ความเร็วรอบสูงสุด 2,500 รอบ/นาที ที่ความดัน 210 บาร์ โดยต่อกับเพลลาอำนาจกำลังเพื่อใช้เป็นต้นกำลัง

1.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิก

1.3 มอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 มล./รอบ แรงบิดสูงสุด 264 นิวตัน-เมตร ความเร็วสูงสุด 3,000 รอบ/นาที ที่ความดัน 172 บาร์ ต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถเพื่อสร้างความถี่ในการสั่น

1.4 ถังน้ำมันไฮดรอลิกขนาด 25 ล. ติดตั้งบนโครงหลังที่นั่งคนขับสำหรับส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปใช้ในระบบ

1.5 วาล์วลดความดัน ติดตั้งก่อนเข้าวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์จากความดันเกินในระบบ

1.6 อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 250 กิโลแคลอรี/ชม. ที่อุณหภูมิ 30 °ซ โดยต่อจากมอเตอร์ไฮดรอลิกเพื่อระบายความร้อนของน้ำมันหลังการใช้งานวงจรไฮดรอลิกในการติดตั้ง และผลการติดตั้งแสดงใน Figure 2 และ 3

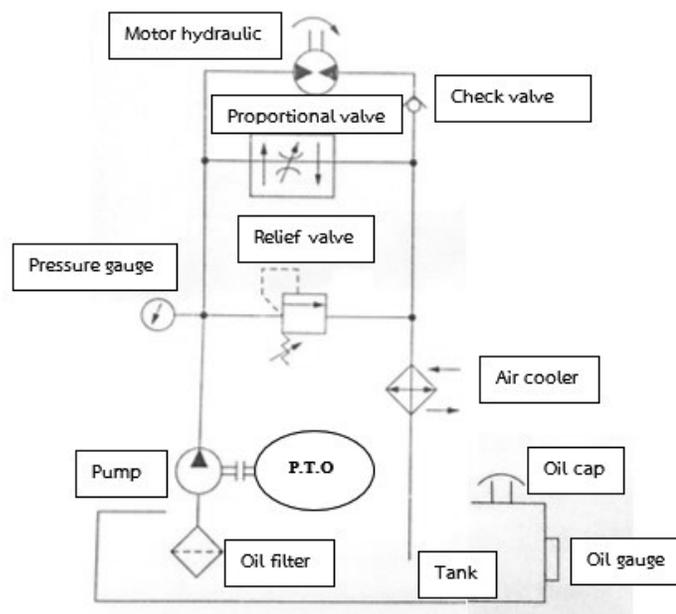


Figure 2 The schematic diagram of hydraulic system for installation on a Double Shank Vibrating Subsoiler

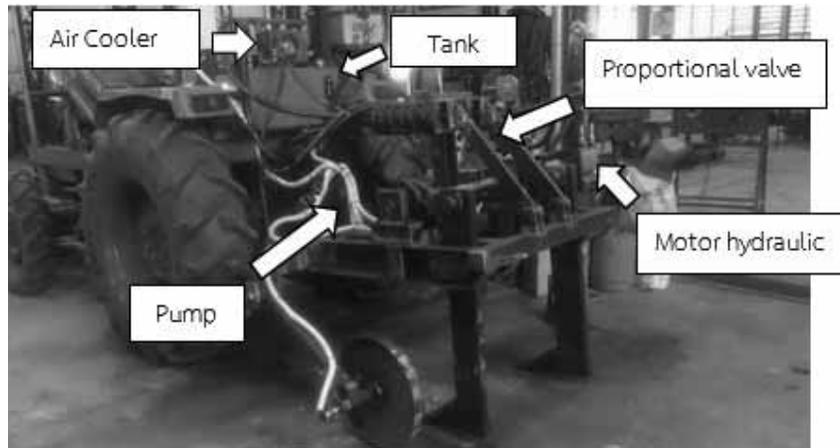


Figure 3 Installation of the hydraulic system on a Double Shank Vibrating Subsoiler

หลักการการทำงานเริ่มจาก เพลลาอำนาจ กำลังหมุนที่ความเร็วรอบ 540 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านชุดเฟือง อัตราทด 1:4 ขับปั๊มไฮดรอลิกที่ความเร็วรอบ 2,160 รอบ/นาที อัตราการไหลประมาณ 98 ล./นาที มีวาล์วควบคุมความดันที่ 250 บาร์ น้ำมันไฮดรอลิกถูกส่งผ่านระบบท่อไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า ซึ่งจะเปิดหรือปิดวาล์วด้วยตัวควบคุม และต่อไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิก ที่ต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถ น้ำมันที่ผ่านมอเตอร์ไฮดรอลิกจะเกิดความร้อนซึ่งแปรผันกับขนาดของภาระงาน จะถูกส่งไปยังตัวระบายความร้อนแบบพัดลมระบายอากาศเพื่อระบายความร้อน และส่งกลับเข้าถังน้ำมันไฮดรอลิกหมุนเวียนตลอดการใช้งาน

2 อุปกรณ์ควบคุมความถี่ในการสั่น

การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความถี่ในการสั่นของขาไถ แสดงวงจรการติดตั้ง และอธิบายการทำงานใน Figure 4 มอเตอร์ไฮดรอลิกจะขับภาระ

ซึ่งประกอบไปด้วยชุดสั่นสะเทือน และขาไถ โดยรับน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อใช้ในการถ่ายทอดกำลังจากวาล์วควบคุมอัตราการไหล การสั่นของขาไถจะถูกวัดที่เพลลาขับลูกเบี้ยวโดย Proximity Sensor ในหน่วย rpm (รอบ/นาที) ผ่านโปรแกรมประมวลผลซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Arduino 1.6.9 ในหน่วย เฮิร์ตซ์ ไปแสดงผลที่หน้าจอ LCD ที่ตัวควบคุม และเป็นสัญญาณป้อนกลับ

การควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อไปควบคุมความเร็วในการหมุนขั้วภาระของมอเตอร์ไฮดรอลิก กระทำโดยโปรแกรมควบคุมความถี่ด้วยตัวควบคุมแบบพีซี และแบบพีไอดี ที่เขียนด้วยโปรแกรม Arduino 1.6.9 ในคอมพิวเตอร์ผ่านบอร์ดควบคุม ซึ่งจะคำนวณสัญญาณควบคุมตามสัญญาณสั่งงานและสัญญาณป้อนกลับ สัญญาณสั่งงานจากบอร์ดควบคุมจะถูกขยายด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Valve Amplifier) ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหล

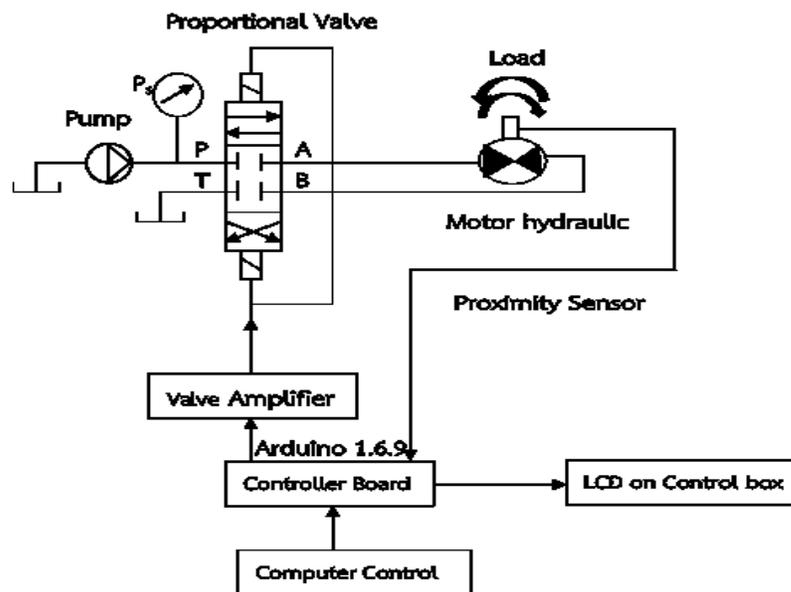


Figure 4 The schematic diagram for installation a Vibrating Controller

3 การออกแบบตัวควบคุมระบบ Servo Electro-hydraulic System หรือ SEHS โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Controller)

การทำงานของระบบเริ่มจากการกำหนดค่า input อ้างอิงเป็น เฮิร์ตซ์ ระบบจะสั่งงานตามค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นค่าแรกในขณะที่ยังไม่มีค่าป้อนกลับเมื่อทำการไถ และขาไถเริ่มสั่น Proximity Sensor จะเป็นตัวส่งค่าป้อนกลับผ่านโปรแกรมประมวลผลในหน่วย เฮิร์ตซ์ มาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (F reference) มีค่าตั้งแต่ 0 – 13 เฮิร์ตซ์ เพื่อคำนวณหาค่าผิดพลาด ($e(k)$) และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด ($e(k)$) เป็น 2 input ไปเข้ากฎฟัซซี เพื่อเป็น output ควบคุมแรงดันไฟฟ้า

ให้กับวาล์วควบคุมอัตราการไหล (U_{Fuzzy}) ถ้าค่าป้อนกลับมากกว่าค่าอ้างอิงทำให้ค่าผิดพลาดมีค่าเป็นลบ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า output จะลดลง ถ้าค่าป้อนกลับน้อยกว่าค่าอ้างอิงจะทำให้ค่าผิดพลาดมีค่าเป็นบวก ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า output จะเพิ่มขึ้น โดยที่
 $F_{reference} =$ ค่า input อ้างอิง

$$e(k) = \text{ค่าผิดพลาดของความถี่ในการสั่น} \\ = F_{reference} - F$$

$$e(k) = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดความถี่ในการสั่น}$$

$$U_{Fuzzy} = \text{เอาต์พุตในการเปิด ปิด Proportional Valve โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี}$$

การทำงานของระบบโดยรวม ดังแสดงใน Figure 5

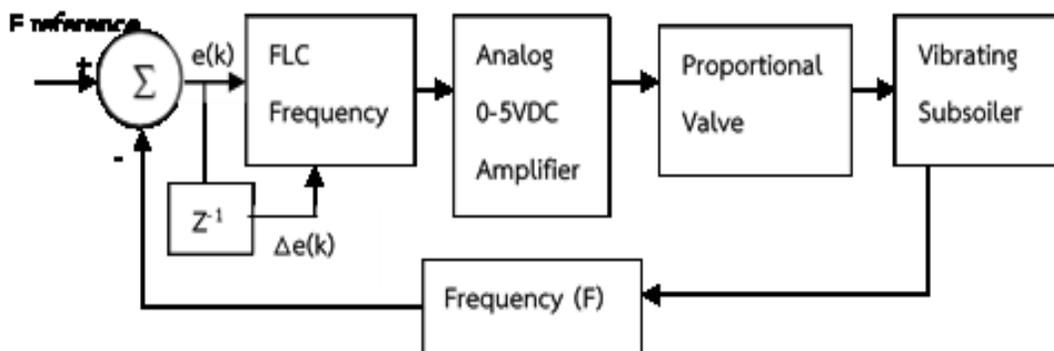


Figure 5 Block diagram for fuzzy controller with a proportional valve

การออกแบบฟังก์ชันสมาชิก (membership function) ของ input ทั้งสองตัว คือค่าความผิดพลาด ($e(k)$) และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ($\Delta e(k)$) แสดงใน Figure 6 และกฎที่ใช้ในการควบคุมฟuzzyลอจิกของความถี่ และแรงดันไฟฟ้ามีรายละเอียดดังแสดงใน Table 1

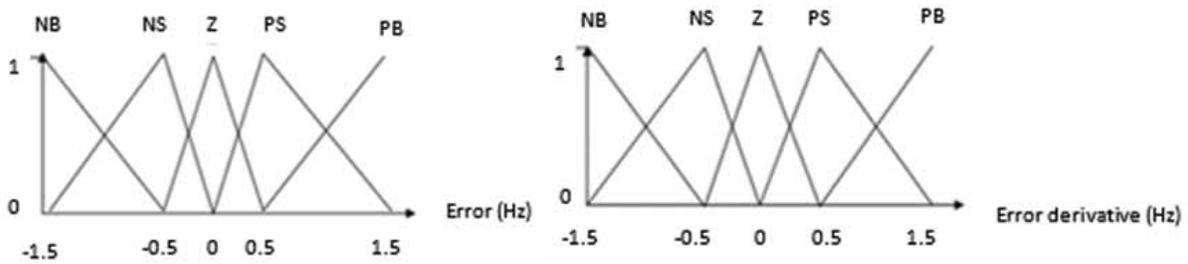


Figure 6 Design the membership function of Input signal in Frequency loop

Table 1 Rules of the fuzzy control in Frequency loop

dError \ Error	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	Z	Z	Z
NM	NB	NB	NB	NM	PS	PS	PS
NS	NB	NB	NB	NS	PS	PM	PM
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NS	NS	NS	PS	PM	PB	PB
PM	Z	Z	Z	PM	PB	PB	PB
PB	Z	Z	Z	PB	PB	PB	PB

When: NB = Negative Big PS = Positive Small Z = Zero
 NM = Negative Medium PM = Positive Medium
 NS = Negative Small PB = Positive Big

การออกแบบฟังก์ชันสมาชิก output การแปลงสัญญาณของ output ให้เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสั่งงาน U โดยใช้ทฤษฎีจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity; COG) ดังแสดงใน Figure 7

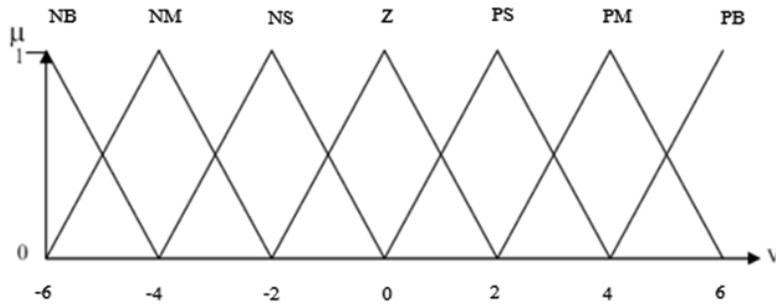


Figure 7 Design the membership function of Output signal in Frequency loop

ตัวควบคุมแบบพีไอดี เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ 1

$$U_{PID} = K_p e(k) + K_i \int_0^t e(k)dk + K_d \frac{de(k)}{dt} \quad (1)$$

โดย K_p คือ เกนของตัวควบคุมเชิงสัดส่วน

K_i คือ เกนของตัวควบคุมเชิงอินทิกรัล

K_d คือ เกนของตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์

U_{PID} คือ ค่าเอาต์พุตในการเปิด ปิด Proportional Valve โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

การทำงานของระบบมีการทำงานโดยรวมเหมือนตัวควบคุมแบบฟuzzy แต่ค่าผิดพลาด ($e(k)$) ที่เข้าไปประมวลผลที่ตัวควบคุมพีไอดี จะเป็นค่าความผิดพลาดระหว่างค่าอ้างอิง และค่าที่วัดได้จาก Proximity Sensor ดังนั้นสามารถเขียนสมการ output ของการควบคุมแบบดิจิตอลพีไอดีของรูปความถี่ตามสมการที่ 2

$$U_{PID} = K_p \times e(k)(n) + K_i \times \text{SUM}_i (e(k)(i) \times dT(n)) + K_d \times \left(\frac{e(k)(n) - e(k)(n-1)}{dT(n)} \right) \quad (2)$$

โดย $e(k)(n)$ คือ ค่าผิดพลาด ณ เวลา n ของรูปความถี่

$e(k)$ คือ ผลรวมจาก $i = 0$ ถึง $i = n$

(n) คือ เวลาที่แตกต่างระหว่าง $n-1$ และ n

การปรับตัวควบคุมแบบพีไอดี การกำหนดค่าของ K_p เริ่มด้วยการกำหนด $K_p = 0$, $K_i = 0$ และ $K_d = 0$ ต่อจากนั้นเพิ่ม K_p จนกระทั่ง

output เกิด Overshoot ; $K_p = 4$

การกำหนดค่าของ K_d เพิ่ม K_d จนกระทั่ง

Overshoot ลดลง ; $K_p = 4$; $K_d = 0.1$; $K_i = 0$

การกำหนดค่าของ K_i เพิ่ม K_i จนกระทั่งค่าผิดพลาดมีค่าเท่ากับศูนย์ ; $K_p = 4$; $K_d = 0.1$; $K_i = 0.3$

4. การทดสอบความสามารถของระบบควบคุมฟuzzyลอจิก

การทดสอบความสามารถของระบบควบคุมฟuzzyลอจิกกระทำโดยการควบคุมความถี่ในการสั่นของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา โดยเปรียบเทียบกับระบบควบคุม PID การทดสอบเลือกใช้ความถี่ในการสั่น 3 ระดับคือ 7, 9 และ 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ Low 2 (2.09 กม/ชม.) และความลึกในการไถ 30 ซม. โดยมีความกว้างในการสั่นที่ปลายขาไถคงที่ 36.5 มม. ขนาดแปลงทดสอบ 3 x 20 ตร.ม. ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา ชนิดของดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-60 ซม. มีค่าความชื้นของดินเฉลี่ย 20.60 %db ความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินเฉลี่ย 1.66 ก/ลบ.ซม. รถแทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบเป็นแทรกเตอร์ Kubota รุ่น M 5000 SU ขนาด 50 แรงม้า

ผลการทดลองและวิจารณ์

ระบบ Servo Electro-hydraulic System หรือ SEHS สำหรับไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา ที่ออกแบบมาจ่ายต่อการปรับเปลี่ยนความถี่ในการสั่น โดยทำการป้อนความถี่ในการสั่นที่ต้องการควบคุมผ่านบอร์ดควบคุมความถี่ในการสั่นจากการควบคุมแบบพีซี และแบบพีไอดีของระบบ SEHS ที่ความถี่ในการสั่น 3 ระดับ คือ 7, 9 และ 11 เฮิร์ตซ์ โดยการควบคุมแบบพีซีมีค่า 7 – 7.08, 9 – 9.05, 11 – 11.07 เฮิร์ตซ์ และการควบคุมแบบพีไอดีมีค่า 7 – 7.14, 9 – 9.17, 11 – 11.18 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ ตลอดการไถ

ผลตอบสนองความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์

การตอบสนองของระบบควบคุมความถี่ในการสั่นแบบพีซี ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 ซม. กำหนดให้ความถี่ในการสั่น Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีซีคือ 7 เฮิร์ตซ์ ผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่นกับเวลา พบว่า การสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 7 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 15 มิลลิวินาที

ช่วงเวลา Delay Time = 6 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 9 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 12 มิลลิวินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ความถี่ในการสั่น 7 – 7.08 เฮิร์ตซ์ ตลอดการไถ

Figure 8 (A)

ขณะที่ระบบควบคุมความถี่ในการสั่นแบบพีไอดี ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 ซม. กำหนดให้ความถี่ในการสั่น Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีไอดีคือ 7 เฮิร์ตซ์ กราฟผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่นกับเวลา พบว่า การสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 7 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 20 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 3 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 6 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 19 มิลลิวินาที เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ขึ้น 11.71% ของค่าอ้างอิง มีค่าความผิดพลาด (Error) = 0.53 เฮิร์ตซ์ คิดเป็น 7.57% ของตำแหน่งอ้างอิง ความถี่ในการสั่น 7 – 7.14 เฮิร์ตซ์ ตลอดการไถ

Figure 8 (B)

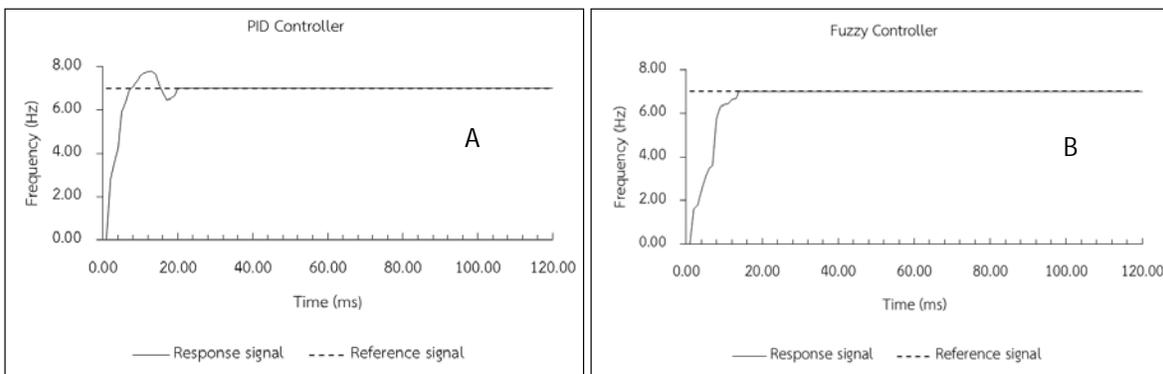
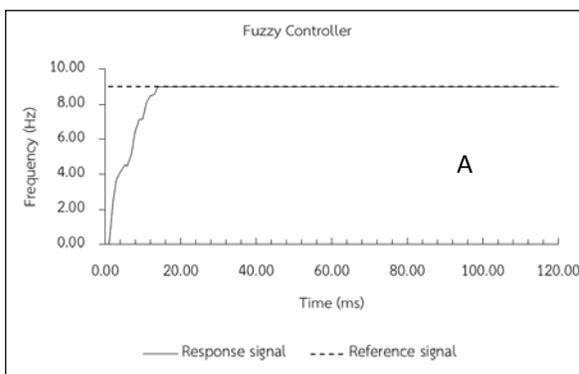


Figure 8 Response for 7 Hz by fuzzy controller (A) and PID controller (B) compare with the reference signal

ผลตอบสนองความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์

ผลการตอบสนองของระบบควบคุมความถี่ในการสั่นแบบฟัซซี่ ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 ซม. กำหนดให้ความถี่ในการสั่น Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบฟัซซี่คือ 9 เฮิร์ตซ์ ผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่นกับเวลา พบว่าการสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 9 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 14 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 6 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 11 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 13 มิลลิวินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ความถี่ในการสั่น 9 – 9.05 เฮิร์ตซ์ ตลอดการไถ Figure 9 (A)



ระบบควบคุมความถี่ในการสั่นแบบพีไอดี ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 ซม. กำหนดให้ความถี่ในการสั่น Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีไอดีคือ 9 เฮิร์ตซ์ ผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่นกับเวลา พบว่าการสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 9 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 18 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 4 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 6 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 16 มิลลิวินาที เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ขึ้น 6% ของค่าอ้างอิง มีค่าความผิดพลาด (Error) = 0.51 เฮิร์ตซ์ คิดเป็น 5.67% ของตำแหน่งอ้างอิงความถี่ในการสั่น 9 – 9.17 เฮิร์ตซ์ ตลอดการไถ Figure 9 (B)

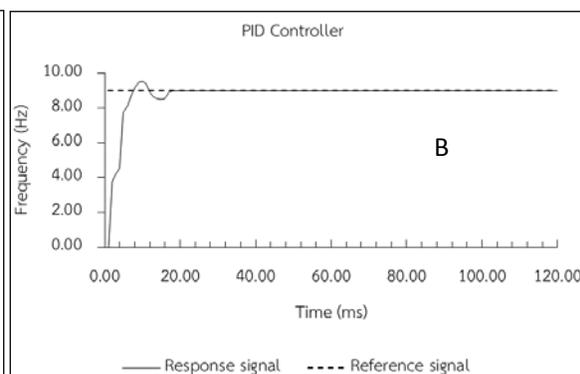


Figure 9 Response for 9 Hz by fuzzy controller (A) and PID controller (B) compare with the reference signal

ผลตอบสนองความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์

ผลการตอบสนองของระบบควบคุมความถี่ในการสั่นแบบฟัซซี่ ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 ซม. กำหนดให้ความถี่ในการสั่น Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบฟัซซี่คือ 11 เฮิร์ตซ์ ผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการ

สั่นกับเวลา พบว่าการสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 11 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 15 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 7 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 11 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 13 มิลลิวินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ความถี่ในการสั่น 11 – 11.07 เฮิร์ตซ์ ตลอดการไถ (Figure 10A)

ผลตอบสนองของระบบควบคุมความถี่ในการสั่นแบบพีไอดี ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 ซม. และกำหนดให้ความถี่ในการสั่น Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีไอดีคือ 11 เฮิร์ตซ์ แสดงกราฟผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่นกับเวลา พบว่าการสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการ

สั่น) จนถึง 11 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 19 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 4 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 6 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 17 มิลลิวินาที เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ขึ้น 6.55% ของค่าอ้างอิง มีค่าความผิดพลาด (Error) = 0.55 เฮิร์ตซ์ คิดเป็น 5% ของตำแหน่งอ้างอิง ความถี่ในการสั่น 11 – 11.18 เฮิร์ตซ์ ตลอดการไถ (Figure 10 B)

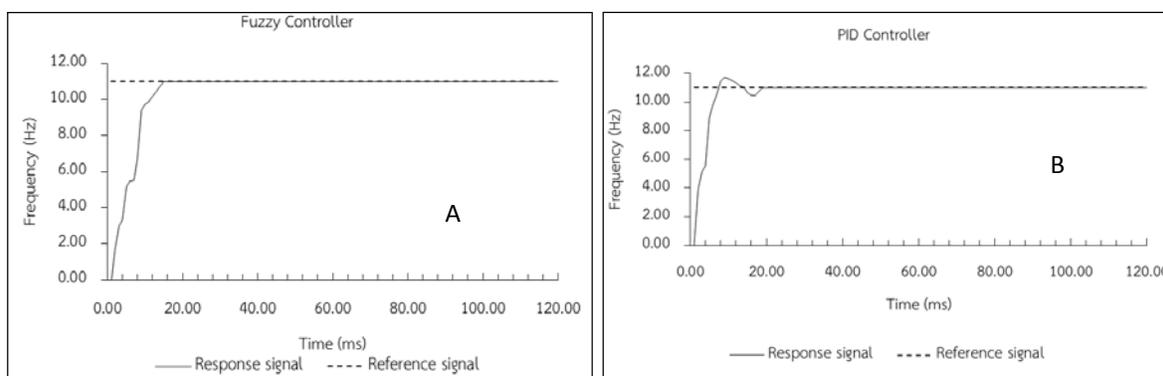


Figure 10 Response for 11 Hz by fuzzy controller controller (A) and PID controller (B) compare with the reference signal

สรุปผลการทดลอง

การควบคุมระบบ Servo Electro-hydraulic System หรือ SEHS แบบพีซีและแบบพีไอดี ที่ความถี่ในการสั่น 3 ระดับ คือ 7, 9 และ 11 เฮิร์ตซ์ พบว่า การสั่นของขาไถโดยการควบคุมด้วยแบบพีไอดี จะมีความรวดเร็วในการสั่นจากจุดหยุดนิ่งจนถึงความถี่ที่ต้องการควบคุมจะมีค่าน้อยกว่าแบบพีซี โดยสามารถดูได้จากช่วงเวลา Delay Time และช่วงเวลา Rise Time ของระบบ โดยพีไอดีมีช่วงเวลา Delay Time น้อยกว่าพีซี 3, 2 และ 3 มิลลิวินาที และมีช่วงเวลา Rise Time น้อยกว่า 3, 5 และ 5 มิลลิวินาที แต่ช่วงเวลา Setting Time ของแบบพีซีเร็วกว่าแบบพีไอดี 7, 3 และ 4 มิลลิวินาที และ

ช่วงเวลา Response Time ของพีซีเร็วกว่าพีไอดี 5, 4 และ 4 มิลลิวินาที ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบการควบคุมระบบ SEHS ระหว่างแบบพีซีกับแบบพีไอดี การควบคุมแบบพีซีใช้เวลาในการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้เร็วกว่าพีไอดี เพราะการควบคุมด้วยพีไอดีมีค่าพุ่งเกินเกิดขึ้นสูงถึง 11.71, 6 และ 6.55% ซึ่งเกินจากค่าของตำแหน่งอ้างอิงที่กำหนดแล้วจึงลดลงเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิง จากเหตุผลดังกล่าวถ้านำไปใช้ในเครื่องจักรที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่นเครื่องตัดโลหะอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานได้ แต่สำหรับการควบคุมความถี่ในการสั่นของไถระเบิดดินดานที่ไม่ต้องการความแม่นยำมาก ตัวควบคุมแบบพีซีและแบบพีไอดีสามารถใช้งานได้

เอกสารอ้างอิง

- ธัญญา นิยมภา และชัยรัตน์ รางแดง. 2539. *ไถดินดานชนิดสั้น*. รายงานการวิจัยและพัฒนาฉบับสมบูรณ์, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- ธัญญา นิยมภา พินิจ จิระคกุล ณรงค์ อุ๋นคง วิชัย หมอชาติ ชัยรัตน์ รางแดง ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล และนฤมล บุญกระจ่าง. 2549. *เผยแพร่ไถดินดานชนิดสั้นที่ผลิตในประเทศไทยสู่เกษตรกร*. รายงานการวิจัยและพัฒนาฉบับสมบูรณ์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- Jinghua Zhong. 2006. *PID Controller Tuning: A Short Tutorial*. Pages 42 – 45 In. Mechanical Engineering, Purdue University.
- K. Edge. 1997. *The control of fluid power systems – responding to the future*. Part I. Vol. 211 Pages 91-110. In: Proc. of Instn. Mech. Engrs.
- Kwanchai Sinthipsomboon, Issaree Hunsacharoonroj, Joseph Khedari, Watcharin Pongaen, and Pornjit Pratumswan. 2011. A Hybrid of Fuzzy and Fuzzy self-tuning PID Controller for Servo Electro-hydraulic System. *Transactions of the IEEE* 6, 220-225.