

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

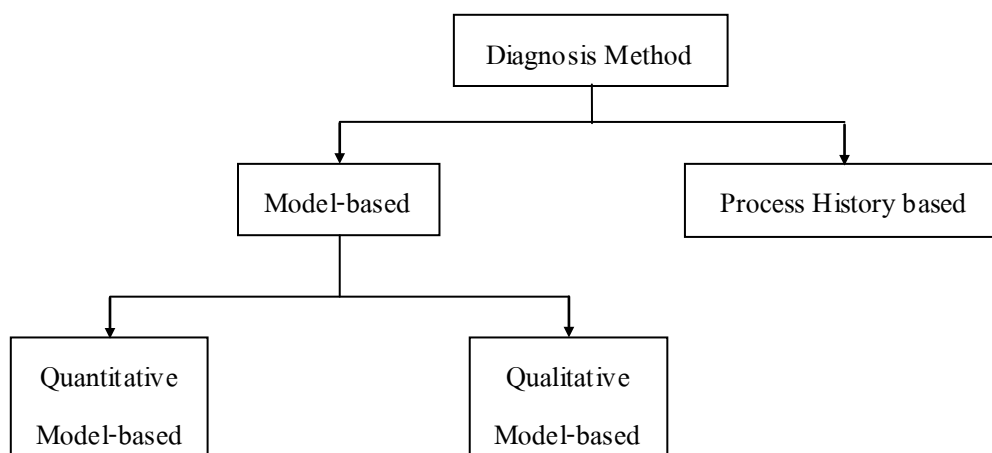
ในอุตสาหกรรมต่างๆ ระบบควบคุมนั้นถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการผลิต ซึ่งกระบวนการผลิตโดยทั่วไปนั้นประกอบด้วยแอกชูเอเตอร์ (actuator) และเซ็นเซอร์ (sensor) ที่ทำงานร่วมกันเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ขึ้นมา อุปกรณ์ที่ถือเป็นหัวใจหลักในระบบควบคุมนั้นคือวาล์วควบคุม (control valve) เนื่องจากเป็น อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย (final control element) ที่เป็นปัจจัยหลักในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบและผลิตภัณฑ์ วาล์วควบคุมในปัจจุบันได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานให้สูงมากขึ้นด้วยการเพิ่มส่วนของไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (microelectronics) และซอฟต์แวร์ (software) ให้ทำงานภายในวาล์วควบคุม ที่เรียกว่าอุปกรณ์ฉลาด (smart device) (Bayart, M., 2003) และจะทำให้วาล์วควบคุมนั้นคิดและทำการควบคุมตนเองได้ ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานให้แก่ระบบ เช่น ลดค่าใช้จ่ายในการผลิต, ง่ายแก่การควบคุม, การสร้างแผนงาน (schedule) และการควบคุมแบบเรียลไทม์ (real time)

วาล์วควบคุมที่ใช้กันส่วนใหญ่อยู่ในปัจจุบันจะเป็นแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ลม หรือไฮดรอลิก ซึ่งมีข้อเสียที่ขนาดของวาล์วควบคุมเหล่านี้มีขนาดใหญ่ และราคาแพง รวมถึงอุปกรณ์วัดระยะก้านวาล์ว (positioner) เสียหายเร็วเนื่องจากการตอบสนองที่รวดเร็วของแอกชูเอเตอร์ที่ใช้ลมเป็นตัวขับเคลื่อนมีผลกระทบบ่อน โครงสร้างของอุปกรณ์วัดระยะก้านวาล์วให้เสียหายได้ จึงได้เริ่มมีการนำโลหะผสมจำรูป หรือ shape memory alloy (SMA) มาใช้เป็นตัวขับเคลื่อนวาล์วควบคุม (Hines, A. et al., 2002) ซึ่งมีข้อดีที่ทำให้ขนาดตัวขับเคลื่อนของวาล์วควบคุมเล็กลง ลดการทำงานของระบบวัดการระยะของก้านวาล์วที่ไม่จำเป็น เพิ่มระยะเวลาการใช้งานของแอกชูเอเตอร์โดยอาศัยความทนทานของโลหะผสมจำรูปที่สามารถรองรับโหลดได้สูงและให้แรงมากเมื่อเทียบกับขนาดอุปกรณ์ขับเคลื่อน

อย่างไรก็ตาม การใช้งาน โลหะผสมจำรูปเป็นตัวขับเคลื่อนแอกชูเอเตอร์ในวาล์วควบคุมอาจเกิดความผิดปกติเมื่อผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากผลกระทบจากภาระทางกลและความร้อน ที่เส้นลวดได้รับตลอดการใช้งาน ก่อให้เกิดความล้าจากการใช้งาน (functional fatigue) ขึ้นบนโลหะผสมจำรูป การวินิจฉัยเมื่อเกิดความล้าขึ้นในวาล์วขณะใช้งานจึงมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากความล้าความผิดปกติดังกล่าวสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการควบคุมและก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ได้

เมื่อโลหะผสมจํารูปผ่านการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งหรือรับโหลดในปริมาณหนึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใน ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความสามารถในการคืนรูป และสามารถนำมาบ่งชี้ได้ถึงสถานะของโลหะผสมจํารูป Gall, K., et al. (Gall, K. et al., 2001) ได้วิเคราะห์ลักษณะที่แสดงออกทางกายภาพเป็นรอยแตกร้าวบนโลหะผสมจํารูปเมื่อเกิดความผิดปกติจากความล้า ซึ่งเป็นลักษณะความล้าทางโครงสร้าง (structural fatigue) ลักษณะความล้าแบบนี้ใช้การวิเคราะห์โลหะผสมจํารูปแบบออฟไลน์และมีข้อเสียคือต้องทำลายโลหะผสมจํารูปนั้นเพื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างที่แสดงออกทางกายภาพ (Farias Nascimento, M.M.S. and Jose de Araujo, C., 2006) ได้สังเกตผลการแสดงออกในด้านของฮิสเทอรีซิสของโลหะผสมจํารูปในภาวะที่โหลดเพิ่มมากขึ้น จะได้ความกว้างของฮิสเทอรีซิสที่น้อยลง และ (Meier, H., 2009) ศึกษาความสัมพันธ์ของความล้าและค่าความต้านทานภายในโลหะผสมจํารูป กล่าวได้ว่าเมื่อโหลดที่กระทำต่อโลหะผสมจํารูปมากขึ้น ปริมาณความล้าจะมากขึ้นโดยสังเกตปริมาณความล้าจากระยะการหดตัวที่ลดลง ซึ่งเป็นลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะที่เกิดจากความล้าจากการใช้งาน (functional fatigue) การวิเคราะห์ความล้าลักษณะนี้มีประโยชน์และสามารถนำมาใช้ในฟังก์ชันการวินิจฉัยตัวเองสำหรับวาล์วควบคุมแบบอัจฉริยะ

Venkatasubramanian, V. (Venkatasubramanian, V., 2003) ได้แบ่งวิธีการวินิจฉัยความผิดปกติดังรูปที่ 1.1

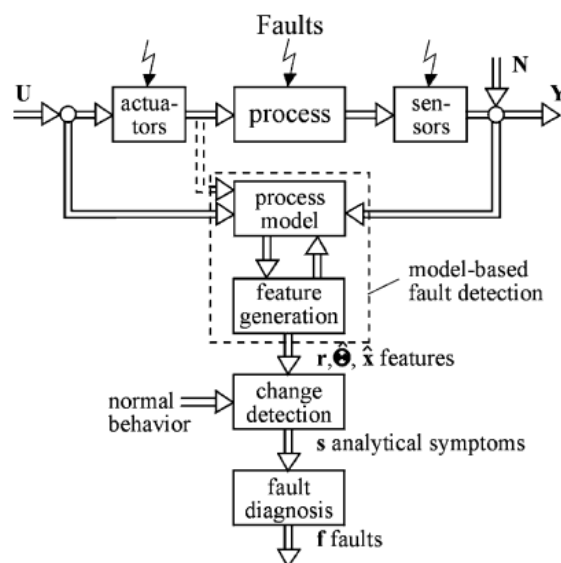


รูปที่ 1.1 วิธีการวินิจฉัยความผิดปกติ

โดยทั่วไปนั้นการวินิจฉัยความผิดปกติแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ process history based หรือ signal-based และ model-based ในส่วนของ process history เป็นวิธีการวินิจฉัยความผิดปกติในระบบไดนามิกในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลา (time-varying) โดยใช้เพียงสัญญาณของระบบ ไม่ใช่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (model) ในขณะที่วิธี model-based ซึ่งอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์

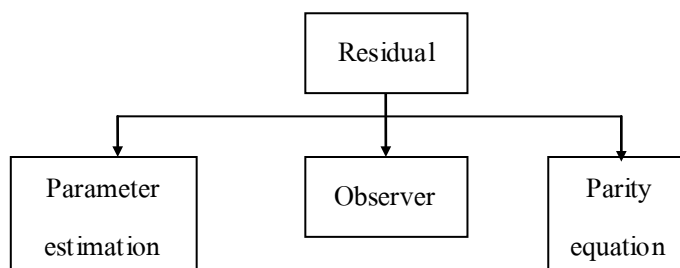
ร่วมกับข้อมูลวัดในการอธิบายพฤติกรรมของระบบ มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อยู่สองประเภทได้แก่ qualitative model ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำการวิเคราะห์โดยอาศัยข้อมูลในลักษณะของตัวอักษร รูปภาพ หรือวัตถุ และ quantitative model ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในลักษณะของสมการความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโมเดลแบบ quantitative เหมาะกับการนำไปพัฒนาเพื่อตรวจจับความผิดปกติแบบออนไลน์

Isermann (Isermann, R., 2005) ได้สรุปเกี่ยวกับวิธีการตรวจจับความผิดปกติโดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ซึ่งพัฒนามาจากความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตและนำโมเดลทางไดนามิกของระบบที่จำลองขึ้นมาไปใช้เปรียบเทียบกับระบบทางไดนามิก ดังรูปที่ 1.2 โดยมีเป้าหมายที่จะสร้างสัญญาณที่ใช้แสดงอาการ (symptom) เพื่อชี้ให้เห็นความแตกต่างระหว่างสถานะที่เป็นปกติ (nominal) และสถานะที่เกิดความผิดพลาดขึ้น (faulty)



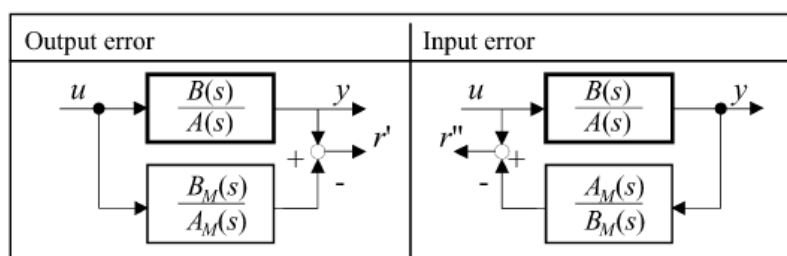
รูปที่ 1.2 โครงสร้างพื้นฐานของการตรวจจับความผิดปกติโดยใช้โมเดล (Isermann, 2005)

การตรวจจับความผิดปกติโดยการใช้วิธีการ model based มีวิธีการคร่าวๆดังรูปที่ 1.2 ซึ่งแสดงการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตรวจจับความผิดปกติเพื่อหาสัญญาณตกค้าง (residual) ด้วย feature generation หรือ residual generation ด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ parameter estimation, observer, หรือ parity equation ค่าสัญญาณตกค้างนี้ควรจะมีย่านปกติในสภาวะปกติ และมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย (mean) หรือค่าความแปรปรวน (variance) ในสภาวะเกิดความผิดปกติขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถตรวจจับได้ด้วยเทคนิคทางสัญญาณเรียกว่า change detection

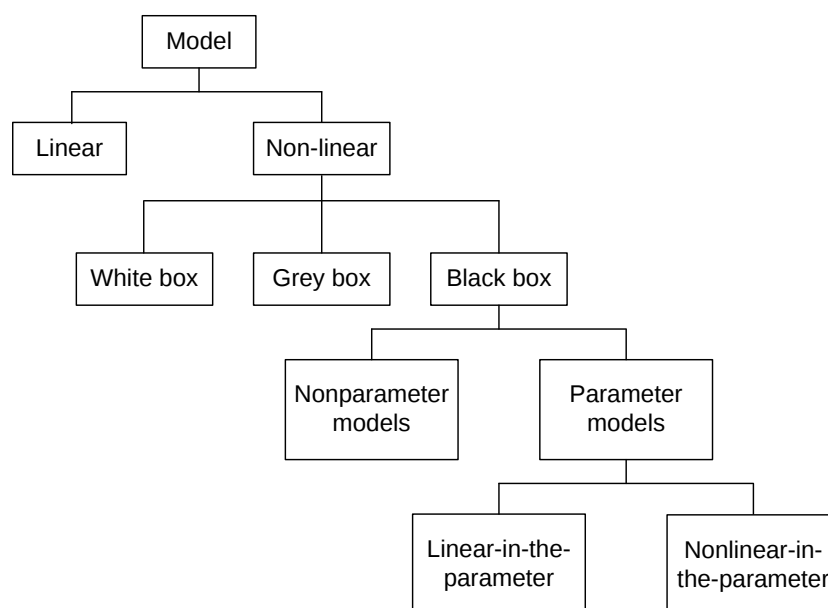


รูปที่ 1.3 ประเภทของสัญญาณตกค้าง

วิธีการสร้างสัญญาณตกค้างเพื่อใช้ตรวจจับความผิดปกติโดยใช้โมเดลมี 3 วิธี ได้แก่ parameter estimation, observer และ parity equation (Isermann, R., 2005; Chiang, L.H., 2002) วิธี parameter estimation เป็นวิธีที่จะทำการประมาณค่าตัวแปรภายในระบบบางตัวที่ไม่สามารถวัดได้ด้วยค่าของสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต ซึ่งสันนิษฐานว่ามีตัวแปรบางตัวในระบบมีความสามารถในการอธิบายคุณลักษณะทางกายภาพของระบบเมื่อระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงภายใน วิธีการนี้จะเหมาะสมเมื่อความผิดปกติในระบบมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนตัวแปรในโมเดลและโมเดลที่ใช้อ้างอิงมีความเหมาะสม วิธี observer จะทำการออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากทรานสเฟอร์ฟังก์ชันเพื่อประมาณตัวแปรสเตต (state estimation) ซึ่งวิธีการนี้จะเหมาะสมเมื่อความผิดปกติมีความสัมพันธ์กับตัวแปรสเตต (state variable) ในโมเดล และวิธี parity equation ซึ่งอาศัยการสร้างโมเดลที่สภาวะปกติขึ้นมา และสร้างสัญญาณตกค้างโดยอาศัยโมเดลดังกล่าวซึ่งสามารถสร้างได้ 2 วิธี คือจาก output error หรือ input error ดังรูปที่ 1.4 output error เป็นวิธีการสร้างสัญญาณตกค้างจากค่าความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตของโปรเซสกับเอาต์พุตของโมเดล ในขณะที่ input error เป็นวิธีการสร้างสัญญาณตกค้างจากสัญญาณทางด้านอินพุต หน่วยงานวิจัยนี้ใช้เทคนิค parameter estimation ร่วมกับ parity equation ในการบ่งชี้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบแล้วควบคุมที่พิจารณา



รูปที่ 1.4 การหาสัญญาณตกค้างด้วยวิธี parity equation (Isermann, 2005)



รูปที่ 1.5 แผนผังแสดงการโมเดลระบบแบบไม่เชิงเส้น

ประสิทธิภาพของการตรวจจับความผิดปกติโดยอาศัยโมเดลนั้น สิ่งที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งคือ ความถูกต้องของโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายระบบที่ศึกษา เนื่องจากโลหะผสมจำรูปมีพฤติกรรมแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งแสดงออกในรูปของฮิสเทอรีซิส (Meier, H., 2009; Farias Nascimento, M.M.S., 2006 ดังนั้นจึงได้เลือกใช้โมเดลแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear model) สำหรับการอธิบายวาล์วควบคุมแบบใช้โลหะผสมจำรูปขับเคลื่อนในรูปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (ความร้อน) กับเอาต์พุต (ระยะเคลื่อนที่) โมเดลแบบไม่เชิงเส้นนั้นมีหลายรูปแบบดังรูปที่ 1.5 ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้การโมเดลแบบ black-box ในการโมเดลระบบวาล์วควบคุม เนื่องจากวาล์วควบคุมที่ใช้โลหะผสมจำรูปเป็นตัวขับเคลื่อนนั้นมีตัวแปรทางไดนามิกและสตาติกที่สามารถอธิบายได้ยากและ โมเดลนี้ไม่จำเป็นต้องทราบสมการพื้นฐานที่ใช้อธิบายหลักการทางฟิสิกส์หรือสมมูลพลังงานต่างๆ ของระบบ ใช้เพียงแค่ค่าวัดของอินพุตและเอาต์พุตของระบบเท่านั้น โดยที่โมเดลแบบ parametric มีความง่ายในการสร้างและประยุกต์ใช้กว่าแบบ nonparametric ดังนั้นการโมเดลแบบ parametric black box จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการอธิบายวาล์วควบคุมสำหรับงานนี้

parametric block-box model ที่เลือกใช้มีรูปแบบที่เรียกว่า Nonlinear AutoRegressive with eXogenous inputs model (NARX) ซึ่งเป็นโมเดลแบบ linear-in-the-parameters โดยเลือกใช้ฟังก์ชัน polynomial เป็น kernel function หรือที่เรียกว่า polynomial NARX model เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่ายในการหาค่าพารามิเตอร์ของโมเดล โดยมีตัวอย่างงานวิจัยที่ประสบความสำเร็จในการนำโครงสร้างโมเดลแบบ NARX นี้มาใช้ตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนระบบมากมาย เช่น ผลงานของ (Tang,

M., 2009; J.S., Sakellariou, 2002) โมเดลแบบ NARX นี้ถูกนำมาใช้เป็น process model ดังรูปที่ 1.2 เพื่อสร้างสัญญาณตกค้างด้วยการเปรียบเทียบโมเดลกับวาล์วขณะใช้งาน จากนั้นนำสัญญาณตกค้างมาวิเคราะห์เพื่อตรวจจับความผิดปกติขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณตกค้าง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น limit checking, rule selection และ การตรวจจับการเปลี่ยนแปลง (change detection) วิธีการ limit checking นั้นเป็นวิธีการดั้งเดิมโดยเปรียบเทียบค่าของสัญญาณตกค้างกับค่าปรับตั้ง (threshold) ที่กำหนด ซึ่งมีข้อเสียที่วิธีการนี้ไม่ robust เนื่องจากอาจเกิดความผิดพลาดแบบ false alarm นั่นคือ มีการระบุว่ามีความผิดปกติขึ้น ในขณะที่ในความเป็นจริงแล้วระบบทำงานปกติ ความผิดพลาดดังกล่าวมักเกิดจากสัญญาณรบกวนในระบบ วิธีการ rule selection ใช้สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณตกค้างโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่ลอจิก (Peter Balle, 2000) โดยอาศัยสัญญาณตกค้างหลายตัวเพื่อนำมาใช้วินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการการตรวจจับการเปลี่ยนแปลง (change detection) ซึ่งหลายวิธี เช่น cumulative summation (CUSUM) (Page, E.S., 1954, Zhao, Q., 2009; Xie, J., 2007), likelihood-based test หรือ adaptive filter (Heath, R.A., 1982) วิธี CUSUM เป็นการทดสอบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางสถิติของลักษณะสัญญาณตกค้าง เช่น ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) หรือค่าความแปรปรวน (variance) เมื่อระบบมีพฤติกรรมทางไดนามิกเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากความผิดปกติที่เกิดขึ้น

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ความถี่เชิงใช้งานของลวดโลหะผสมจำรูปที่สามารถทำการตรวจสอบแบบออนไลน์ได้เพื่อประยุกต์กับการออกแบบฟังก์ชันการตรวจสอบตัวเองของวาล์วแบบอัจฉริยะที่ใช้โลหะผสมจำรูปเป็นตัวขับเคลื่อนวาล์ว โดยทดสอบเทคนิคที่พัฒนากับวาล์วควบคุมจากงานวิจัยของ อุกฤษณ์ (อุกฤษณ์, 2008) ซึ่งศึกษาและออกแบบวาล์วควบคุมโดยใช้โลหะผสมจำรูปชนิดเส้นลวดเป็นแอคชูเอเตอร์ กระบวนการทำงานของวาล์วควบคุมด้วยความร้อนบนโลหะผสมจำรูป โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID บนคอมพิวเตอร์ เทคนิคที่พัฒนาอาศัยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายพฤติกรรมทางไดนามิกของโลหะผสมจำรูป และคาดว่าหากโครงการนี้สำเร็จจะได้วิธีการตรวจสอบความเสื่อมสภาพของวัสดุแบบใหม่ ซึ่งไม่ทำลายวัสดุและสามารถตรวจสอบความเสื่อมสภาพได้ทันทีในขณะที่ใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. พัฒนาวิธีการตรวจสอบ และวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดจากความถี่บนโลหะผสมจำรูปเมื่อนำไปใช้งานเป็นตัวขับเคลื่อนแอคชูเอเตอร์ในวาล์วควบคุม
2. วิเคราะห์และจัดระดับความถี่เชิงใช้งานของโลหะผสมจำรูปเมื่อนำไปใช้งานเป็นตัวขับเคลื่อนแอคชูเอเตอร์ในวาล์วควบคุม

3. ทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ใช้ตรวจจับและวินิจฉัยความผิดปกติของโลหะผสมจำรูปเมื่อนำไปใช้งานเป็นตัวขับเคลื่อนแอกชูเอเตอร์ในวาล์วควบคุม
4. สร้างต้นแบบของวาล์วควบคุมอัจฉริยะ (smart control valve) ที่มีฟังก์ชันการตรวจสอบตัวเอง (self-validation) ได้

1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบผลการตอบสนองของโลหะผสมจำรูปเมื่อได้รับความล้าจากการใช้งาน
2. สร้างอัลกอริทึมเพื่อตรวจจับและวินิจฉัยความผิดปกติของโลหะผสมจำรูปเมื่อนำไปใช้งานเป็นตัวขับเคลื่อนแอกชูเอเตอร์ในวาล์วควบคุม
3. เป็นแนวทางการพัฒนาเพื่อสร้าง วาล์วอัจฉริยะ ที่ขับเคลื่อนด้วยโลหะผสมจำรูป
4. พัฒนาระบบตรวจจับความผิดปกติด้วยอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับวาล์วควบคุม
5. นำไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับวาล์วควบคุมได้

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมของความล้าของโลหะผสมจำรูปสำหรับขับเคลื่อนแอกชูเอเตอร์
2. ออกแบบการทดสอบการสร้างความล้าให้เหมาะสมกับโลหะผสมจำรูปสำหรับขับเคลื่อนแอกชูเอเตอร์
3. พัฒนาระบบการตรวจจับความผิดปกติเฉพาะสำหรับวาล์วต้นแบบในขณะใช้งาน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาอิทธิพลของความล้าที่เกิดขึ้นบนโลหะผสมจำรูป
2. ศึกษาผลกระทบเมื่อเกิดความล้าขึ้นบนโลหะผสมจำรูปต่อวาล์วควบคุม
3. การสร้างความล้าจากการใช้งานโลหะผสมจำรูปสำหรับขับเคลื่อนแอกชูเอเตอร์ของวาล์วควบคุม
4. การโมเดลความล้าด้วยโมเดลแบบ NARX
5. ตรวจจับความล้าที่เกิดขึ้น โดยใช้โมเดล
6. แก้ไขปรับปรุงการทำงานและจัดทำผลการทดลองรวมทั้งหมด
7. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์