

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์สำหรับ
ตรวจจับและวิเคราะห์การรั่วของสารทำความเย็น
Automatic Fault Detection and Diagnosis for Refrigerant Leakage

เกรียงไกร อัสวามาศันลือ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์-บางเขน
50 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทร 0-29428555 ต่อ 1847 Email: kriengkrai.a@ku.ac.th

Kriengkrai Assawamartbunlue

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
50 Phaholyothin Rd., Ladyao, Jatujak, Bangkok 10900
Tel: 0-29428555 Ext. 1847 Email: kriengkrai.a@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อตรวจจับและวิเคราะห์การรั่วของสารทำความเย็นในระบบทำความเย็นขนาดใหญ่ที่มีโครงข่ายของอุปกรณ์ทำความเย็นต่อเข้าด้วยกันจำนวนมาก สารทำความเย็นประเภทคลอโรฟลูออโรคาร์บอนก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก (Green House Effect) และรูรั่วในชั้นโอโซน (Ozone Depletion) วิธีการตรวจจับการรั่วในปัจจุบันทำได้ยากเนื่องจากสารประเภทคลอโรฟลูออโรคาร์บอนเป็นสารที่ไม่มีกลิ่นและสี การตรวจจับต้องใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งมีราคาแพง โดยอาศัยการตรวจวัดความเข้มข้นของสารทำความเย็นในบรรยากาศซึ่งจะต้องนำอุปกรณ์ไปตรวจวัดตามจุดต่างๆหรือติดตั้งไว้ที่ใดที่หนึ่งก็คาดว่าจะมีการรั่วเกิดขึ้นมากที่สุด ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ทุกจุดหรือตรวจสอบได้ตลอดเวลา ดังนั้นเองจะรู้ว่ามีสารรั่วเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อประสิทธิภาพของระบบลดลงซึ่งก็สูญเสียสารทำความเย็นไปเป็นจำนวนมากแล้ว

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์ที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้อาศัยการตรวจวัดคุณสมบัติทางความร้อนของสารทำความเย็นภายในระบบ ผสมผสานกับหลักการทางด้านสถิติ (Probabilistic Inference) เทคนิค Belief Network และทฤษฎีการตัดสินใจ (Decision Theory) ซึ่งลอกเลียนและคล้ายคลึงกับการวิเคราะห์และตัดสินใจของมนุษย์ เทคนิคเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและแม่นยำ จากการทดสอบในระบบทำความเย็นตัวอย่างพบว่าระบบสามารถตรวจจับการรั่วได้ตลอด 24 ชั่วโมงและแจ้งสัญญาณเมื่อมีสารทำความเย็นรั่วออกไป 1% ของปริมาณเดิมหรือประมาณ 5.2 กิโลกรัม ระบบแจ้งสัญญาณการรั่วผิดพลาด 1 ครั้งจากจำนวน 10 ครั้ง

Abstract

An automatic fault detection and diagnosis was developed to detect and diagnose refrigerant leakages in large refrigeration systems, especially chlorofluorocarbons. Chlorofluorocarbons are harmful substances to atmospheres and cause several environmental problems such as green house effect, ozone depletion. Current techniques based on concentration of substances in the air are not efficient and too expensive. They are not able to continuously detect leakages of the entire system. In such case, the leakage is detected by the aggravation of the system performance if the system loses a great amount of refrigerant.

The developed detection and diagnosis system (DDS) is based on refrigerant thermodynamic properties. Probabilistic inference, belief network and decision theory are implemented to emulate decision-making processes of a typical human by which the final decision will be more accurate and reasonable. By using these technique, DDS does not require to learn a fault mode before being capable to classify such fault system. DDS was initially tested in an refrigeration system. It continuously monitored the system and alerted a "leakage" message when the system lost the refrigerant of 1% of the original amount or approximately 5.2 kg. DDS issued one wrong message from ten messages.

1. บทนำ

การพัฒนากระบวนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์นี้มีจุดเริ่มต้นจากความพยายามที่ต้องการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสารประเภทคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) และไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFC) ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Green House Effect) และรูรั่วของชั้นโอโซน (Ozone Depletion) สารประเภทนี้ถูกใช้ในหลายอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมที่ใช้สารนี้มากอุตสาหกรรมหนึ่งได้แก่อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็น สารนี้จะถูกใช้เป็นสารทำความเย็นในระบบทำความเย็นเนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสารทำความเย็นประเภทนี้คิดเป็นที่สองรองจากคาร์บอนไดออกไซด์หรือประมาณ 8% ของสารที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม [1]

ปัจจุบันได้มีความพยายามในการพัฒนาสารทำความเย็นที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลงขึ้นมา แต่สารที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ยังคงมีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมีราคาแพง ดังนั้นเองสาร CFC และ HCFC ยังคงเป็นที่นิยมใช้ในระบบสารทำความเย็น เมื่อพิจารณาจากจุดนี้จะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะเป็นสารทำความเย็นประเภทใดถ้าเกิดการรั่วออกสู่อากาศก็สามารถเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ในมุมมองกลับกันถ้าสารทำความเย็นถูกเก็บไว้อย่างดี หรือระบบสามารถตรวจสอบได้ทันทีเมื่อมีการรั่วไหล ไม่ว่าจะเป็นสารทำความเย็นประเภทใดก็ไม่สามารถทำอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้ จากแนวคิดนี้เองทำให้เกิดความคิดริเริ่มในการพัฒนาระบบตรวจวัดการรั่วของสารทำความเย็นที่สามารถตรวจสอบระบบทำความเย็นได้ตลอดเวลาและสามารถตรวจสอบได้ทุกจุดในระบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับระบบขนาดใหญ่ที่มีการต่อเชื่อมของอุปกรณ์จำนวนมาก อาทิเช่นซูเปอร์มาร์เก็ต เป็นต้น

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจวัดและวิเคราะห์การรั่วของสารทำความเย็น (DDS) ที่ได้พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้อาศัยหลักการทางสถิติ (Probabilistic Models) และเทคนิคการเชื่อมโยงเครือข่าย (Belief Networks) ในการคำนวณหาความเป็นไปได้ที่จะเกิดการรั่วในระบบจากข้อมูลคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่ตรวจวัดได้จากระบบ โดยหลักการ DDS สามารถแยกแยะระบบที่รั่วกับระบบที่ไม่รั่วโดยการเปรียบเทียบปริมาณสารทำความเย็นที่ควรจะมีอยู่ในถังเก็บกับปริมาณสารทำความเย็นที่มีอยู่จริงในถังเก็บ แต่การเปรียบเทียบไม่สามารถกระทำได้โดยตรงเนื่องจากความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของข้อมูลที่ตรวจวัดและความแม่นยำของการประมาณปริมาณสารทำความเย็นในถังเก็บ ดังนั้นเองแทนที่จะเปรียบเทียบค่าๆ หนึ่งจะกลายเป็นการเปรียบเทียบโดยอาศัยการกระจายของความเป็นไปได้ในการที่จะเกิดค่าๆ นั้น ต่อจากนั้น DDS จะใช้ข้อมูลเปรียบเทียบที่ได้ในการตัดสินใจว่าระบบรั่วหรือไม่ การตัดสินใจของ DDS อาศัยทฤษฎีความเสียหายต่ำ (Principle of Minimum Risk) ซึ่งระบบจะตัดสินใจบนพื้นฐานที่ว่าผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจากการตัดสินใจนั้นก่อให้เกิดความเสียหายต่ำที่สุด เทคนิคที่ใช้ทำให้ DDS เป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ไม่ต้องอาศัยการเรียนรู้หรือฝึกฝนให้แยกแยะระหว่างระบบที่รั่วกับระบบที่ไม่รั่ว

การพัฒนา DDS สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการพัฒนาการคำนวณปริมาณสารทำความเย็นในระบบทำความ

เย็นซึ่งจะไม่กล่าวถึงในบทความนี้แต่จะกล่าวถึงในเอกสารอ้างอิง [2] ส่วนที่สองจะเป็นการพัฒนากระบวนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์ ในบทความนี้จะกล่าวถึงการพัฒนา DDS เฉพาะในส่วนที่สองและการทดสอบในระบบทำความเย็น

2. การตรวจสอบเอกสาร

2.1 เทคนิคการตรวจวัดการรั่วของสารทำความเย็น

เทคนิคการตรวจวัดการรั่วในปัจจุบันอาศัยการตรวจวัดความเข้มข้นของสารทำความเย็นในบรรยากาศซึ่งสามารถวัดได้ด้วย 3 วิธีหลักๆ คือ 1.การตรวจวัดการเหนี่ยวนำของสารประเภท Metal Oxide 2.การตรวจวัดความสามารถในการดูดซับพลังงานจากแสง Infrared 3.การตรวจวัดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไอออนของอัลคาไลน์กับไอออนของฮาโลเจนของโมเลกุลของสารทำความเย็น เมื่อความเข้มข้นของสารทำความเย็นในบรรยากาศเปลี่ยนไป คุณสมบัติเหล่านี้ก็จะเปลี่ยนไป อุปกรณ์ตรวจวัดที่ถูกพัฒนาขึ้นมาส่วนใหญ่อาศัยหลักการพื้นฐานเหล่านี้ นอกจากเทคนิคพื้นฐาน 3 อย่างนี้แล้วยังมีเทคนิคอื่นเช่นการตรวจวัดความต้านทานของชั้นส่วนประกอบออกไซด์ของดีบุก การใช้เสียงตรวจหารอยรั่ว การผสมสารประเภทฟลูออเรสเซนต์ลงไปในสารหล่อลื่น

อุปกรณ์และเครื่องมือที่อาศัยเทคนิคเหล่านี้มีข้อจำกัดหลายอย่าง อาทิเช่นความยุ่งยากในการติดตั้ง ความยืดหยุ่นในการใช้งาน ความซับซ้อนของเทคนิค การซ่อมบำรุง เวลาที่ใช้ ความแม่นยำและราคาที่แพง เป็นต้น นอกจากนั้นยังตรวจวัดได้เฉพาะบางจุดเท่านั้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดที่มีการถ่ายเทอากาศสะดวกจะไม่สามารถตรวจวัดการรั่วได้

2.2 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์ในยุคแรกได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับการตรวจวัดและวิเคราะห์สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบที่มีความซับซ้อนสูง เทคนิคและแนวคิดมากมายได้ถูกพัฒนาขึ้นมา อาทิเช่น Neural Network, Fuzzy Logic, Model-Based, Knowledge-Based เป็นต้น ซึ่งแต่ละเทคนิคก็มีความเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน จากประโยชน์ที่ได้จากการใช้ระบบนี้ทำให้เริ่มมีการนำระบบนี้เข้ามาใช้ในงานอื่นๆที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าเช่นในระบบปรับอากาศ ระบบทำความเย็น เป็นต้น

Brother[3] พัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์โดยใช้เทคนิค Knowledge-Based Expert System ในการตรวจหาสิ่งผิดปกติในระบบปรับอากาศของอาคารธุรกิจแห่งหนึ่งที่เป็นสาเหตุของความไม่สะดวกสบายของผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร Lee[4] ใช้เทคนิค Neural Network ในการตรวจวัดสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดลมเย็นของระบบปรับอากาศ Rossi[5] พัฒนาเทคนิค Statistical, Rule-Based System ในการตรวจวัดสิ่งผิดปกติในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

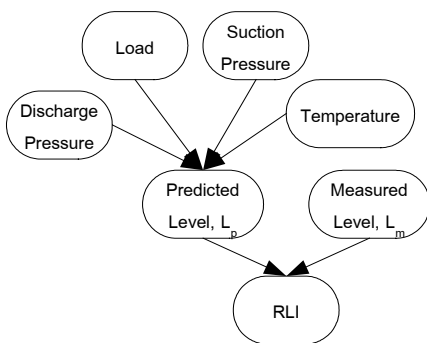
นอกจากการพัฒนาดังกล่าวข้างต้นแล้วยังมีการนำระบบปัญญาประดิษฐ์ไปใช้ในงานอื่นๆอีกมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการตรวจวัดสิ่งผิดปกติในเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบทำความเย็น ในเครื่องทำน้ำเย็นของอาคารธุรกิจ หรือแม้กระทั่งการตรวจสอบสาเหตุของสิ่งผิดปกติที่ทำให้การใช้พลังงานในอาคารผิดปกติและอื่นๆอีกมากมาย [6]

3. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์

ระบบตรวจจับสนและวิเคราะห์สิ่งผิดปกติสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ตรวจสอบว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในระบบหรือไม่ซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างสิ่งที่ควรจะเป็นในระบบกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในระบบ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่วิเคราะห์ว่าสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นจากสาเหตุใด

โดยหลักการพื้นฐาน การรู้ในระบบสามารถตรวจสอบได้โดยการเปรียบเทียบปริมาณสารทำความเย็นที่ควรจะมีอยู่ในถังเก็บกับปริมาณสารทำความเย็นจริงที่มีอยู่ ถ้าความแตกต่างระหว่างสองปริมาณนี้เกินกว่าค่าที่กำหนดก็แสดงว่าระบบมีการรั่วเกิดขึ้น สารทำความเย็นที่ควรจะมีอยู่สามารถหาได้จากการคำนวณโดยอาศัยหลักการพื้นฐานทางวิศวกรรม ส่วนสารทำความเย็นที่มีอยู่จริงได้จากการตรวจวัดระดับสารทำความเย็นในถังเก็บ แต่อย่างไรก็ดีการเปรียบเทียบค่าทั้งสองนี้ไม่ยุ่งยากที่คิดเนื่องจากความไม่แน่นอนในการตรวจวัดค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณหรือการวัดระดับของสารในถังเก็บ แม้กระทั่งความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการคำนวณซึ่งจะทำให้ความแม่นยำในการตัดสินใจลดลง

การพัฒนาระบบที่สามารถนำเอาความไม่แน่นอนเหล่านี้ไปพิจารณาด้วยจะต้องอาศัยหลักการทางสถิติ (Probabilistic Problems) ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าสองค่านั้นเปลี่ยนไปเป็นการเปรียบเทียบการกระจายของความเป็นไปได้ของค่า (Probability Distribution) ที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการคำนวณและการตรวจวัด ในการพัฒนานี้การกระจายของความเป็นไปได้หาได้โดยใช้เทคนิคของ Belief Network ซึ่งสามารถรวมเอาความไม่แน่นอนของการตรวจวัดและสมการต่างๆที่ใช้เข้าไปคำนวณเพื่อที่จะหาค่าที่เป็นไปได้ของระดับสารทำความเย็นในถังเก็บ รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของ Belief Network ที่ใช้ในการคำนวณ ผลลัพธ์ที่ต้องการได้จากโครงสร้างนี้คือการกระจายของความเป็นไปได้ของค่าความแตกต่างระหว่างระดับสารทำความเย็นที่ควรจะมีอยู่ในถังเก็บกับระดับที่มีอยู่จริง (RLI) ในที่นี้ค่า RLI จะขึ้นอยู่กับตัวแปร 5 ตัวคือความดันด้านดูด ความดันด้านส่ง อุณหภูมิของห้องเย็น ภาระความร้อนของระบบและระดับสารทำความเย็นในระบบที่ได้จากการตรวจวัด



รูปที่ 1 โครงสร้าง Belief Network

RLI คือความแตกต่างระหว่างระดับสารทำความเย็นที่ควรจะเป็นกับระดับที่มีอยู่จริงสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$RLI = L_m - L_p \quad (1)$$

โดย L_p เป็นระดับสารทำความเย็นที่ควรจะเป็นและ L_m เป็นระดับสารทำความเย็นที่มีอยู่จริงในถังเก็บซึ่งได้จากการตรวจวัด ถังและกลองในโครงสร้างแสดงตัวแปรที่มีผลกับระบบซึ่งอาจจะได้มาจากการตรวจวัดโดยตรงหรือการคำนวณก็ได้ ลูกศรในโครงสร้างแสดงทิศทางของผลกระทบไปยังตัวแปรถัดไปหรือแสดงถึงสาเหตุของตัวแปรถัดไป

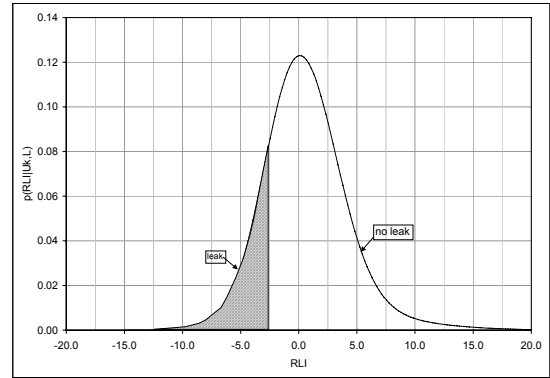
ผลลัพธ์ที่ต้องการได้จากโครงสร้าง Belief Network คือ Posterior Probability ของตัวแปร RLI ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$p(RLI|U_k, L_m) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(RLI|L_p, L_m) p(L_p|U_k) dL_p \quad (2)$$

โดย U_k เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรที่สามารถตรวจวัดได้จากระบบ เนื่องจาก RLI คำนวณได้จากสมการ (1) สมการ (2) สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ

$$p(RLI|L_p, L_m) = \int_{-\infty}^{+\infty} p_{L_p}(L_p) p_L(L_p - RLI) dL_p \quad (3)$$

การคำนวณสมการ (3) มีความซับซ้อนและยุ่งยากต้องอาศัยเทคนิคด้าน Numerical Method มาช่วยในการคำนวณ เมื่อนำผลที่ได้จากสมการ (3) มาทำเป็นกราฟจะได้กราฟที่มีลักษณะดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 The RLI Posterior Distribution

กราฟที่ได้แสดงค่าการกระจายของความเป็นไปได้ที่จะเกิด RLI ค่าต่างๆ ค่า RLI ที่เป็นลบจะแสดงถึงส่วนที่คาดว่าน่าจะมีการรั่วเกิดขึ้นในระบบ ส่วนค่าที่เป็นบวกจะเป็นค่าที่คาดว่าไม่มีการรั่วเกิดขึ้นในระบบหรือเกิดจากความผิดปกติอื่นๆซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ กราฟจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนโดยใช้จุดตัดของการรั่ว (Leakage Threshold, ξ) การนำค่านี้มาใช้เพื่อลดความเสี่ยงจากการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งเมื่อพิจารณาตัดสินใจเรื่องใดเรื่องหนึ่งมักจะมีค่าที่ตั้งไว้อยู่ในใจ การตัดสินใจจะขึ้นอยู่กับค่าที่วัดได้เทียบกับค่าที่ได้ตั้งไว้ การเลือกค่าจุดตัดของการรั่วนี้ควรพิจารณาเลือกค่าในช่วงที่ทำให้เกิดความมั่นใจว่าเกิดการรั่วขึ้นแน่นอนเมื่อ RLI ต่ำกว่าจุดนี้ ประสมการณ์ของผู้เชี่ยวชาญจะมีส่วนช่วยอย่างมากในการเลือกค่าจุดตัดของการรั่วนี้

จากเส้นจุดตัดของการรั่ว พื้นที่ใต้กราฟจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน พื้นที่ด้านซ้ายแสดงความเป็นไปได้ที่ระบบจะเกิดการรั่ว พื้นที่ด้านขวาแสดงความเป็นไปได้ที่ระบบจะไม่เกิดการรั่วซึ่งคำนวณได้จาก

$$p(RLI \leq \xi|U_k, L_m) = \int_{-\infty}^{\xi} p(RLI|U_k, L_m) dRLI \quad (4)$$

$$p(RLI > \xi|U_k, L_m) = \int_{\xi}^{+\infty} p(RLI|U_k, L_m) dRLI \quad (5)$$

ค่าความเป็นไปได้ที่คำนวณได้จากสมการ (4) และ (5) จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ระบบจะใช้ในการตัดสินใจว่าระบบเกิดการรั่วหรือไม่

หลักการหนึ่งของทฤษฎีในการตัดสินใจ (Decision Theory) ที่นำมาประยุกต์ใช้อยู่บนพื้นฐานของหลักการความเสี่ยงต่ำ (Principle of Minimum Risk) ซึ่งกล่าวไว้ว่าในสถานการณ์ที่ตึงเครียดความไม่แน่นอน การกระทำที่ดีที่สุดคือการกระทำที่ทำให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด ความเสียหายที่อ้างถึงอาจจะอยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายหรือทรัพย์สิน เป็นต้น นอกจากจะกล่าวถึงค่าของความเสียหายที่เกิดขึ้น ในการตัดสินใจจะต้องรวมเอาความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ขึ้นมาพิจารณาด้วย ดังนั้นค่าความเสี่ยงของการกระทำจะหาได้จากค่าความเสียหายของการกระทำกับค่าความเป็นไปได้ที่เหตุการณ์จะเกิดขึ้น สามารถคำนวณได้จาก

$$R(a|x) = \sum_{S'} C(a|S')p(S'|x) \quad (6)$$

โดย $R(a|x)$ คือค่าความเสี่ยงของการกระทำ a โดยให้ข้อมูล x $C(a|S')$ คือค่าความเสียหายของการกระทำ a ถ้าเกิดเหตุการณ์ S' $p(S'|x)$ คือความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ S' โดยให้ข้อมูล x การตัดสินใจของระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ได้พัฒนาจะขึ้นอยู่กับค่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นโดยระบบจะเลือกการกระทำที่เกิดค่าความเสี่ยงน้อยที่สุด ค่าความเสียหาย C เป็นเมตริกขนาดเท่ากับจำนวนเหตุการณ์และการกระทำที่จะเกิดขึ้น

ในการตรวจสอบการรั่ว เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นมี 2 เหตุการณ์คือระบบทำความเย็นรั่วและระบบทำความเย็นไม่รั่ว การกระทำที่ระบบปัญญาประดิษฐ์จะกระทำก็มี 2 การกระทำคือระบบแจ้งเตือนว่ามีารรั่วเกิดขึ้นในระบบทำความเย็นและไม่มีการรั่วเกิดขึ้นในระบบทำความเย็น ดังนั้นค่าความเสียหาย C จะเป็นเมตริกขนาด 2×2 ซึ่งแสดงค่าความเสียหายของการกระทำดังต่อไปนี้

- แจ้งเตือนว่ามีารรั่วและมีการรั่วเกิดขึ้นจริง
- แจ้งเตือนว่ามีารรั่วแต่ไม่มีการรั่วเกิดขึ้นจริง
- แจ้งเตือนว่าไม่มีการรั่วแต่มีการรั่วเกิดขึ้นจริง
- แจ้งเตือนว่าไม่มีการรั่วและไม่มีการรั่วเกิดขึ้นจริง

ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจจะพิจารณาจากมูลค่าของสารทำความเย็น ค่าจ้างในการจัดส่งเจ้าหน้าที่ไปตรวจสอบระบบ เวลาที่ใช้ ฯลฯ สามารถเขียนได้ดังตาราง 1

ตารางที่ 1 ค่าความเสียหาย $C(S' x)$			
		เหตุการณ์	
		ระบบรั่ว	ระบบไม่รั่ว
การกระทำ	เตือนเหตุรั่ว	0	ค่าจ้าง + เวลา
	เตือนเหตุไม่รั่ว	มูลค่าสารทำความเย็น + ปัญหาสิ่งแวดล้อม	0

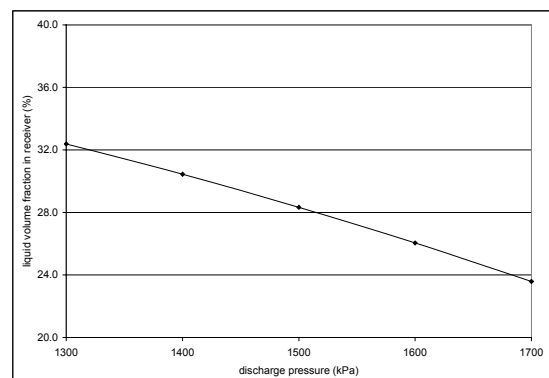
4. การประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์ที่ได้พัฒนาขึ้นถูกนำไปทดลองใช้กับระบบทำความเย็นแห่งหนึ่งซึ่งประกอบไปด้วยคอมเพรสเซอร์จำนวน 3 เครื่อง ตู้แช่แข็งจำนวน 16 ตู้ คอนเดนเซอร์ถึงแยกน้ำมันสารหล่อลื่น (Oil Separator) ถังเก็บสารทำความเย็นเหลวด้านความดันสูง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Recovery)

อุปกรณ์หล่อเย็นน้ำมันเครื่อง ตู้แช่แข็งถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มๆแรกทำงานที่อุณหภูมิระหว่าง -35 ถึง -29°C มีขีดความสามารถทำความเย็น 99730 Btu/hr และกลุ่มที่สองทำงานที่อุณหภูมิ -29 ถึง -26°C มีขีดความสามารถทำความเย็น 241686 Btu/hr ท่อสารทำความเย็นมีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 1350 เมตร

คอมเพรสเซอร์ 1 ตัวใช้กับตู้แช่แข็งอุณหภูมิต่ำ ที่เหลืออีกใช้กับอุณหภูมิสูง คอมเพรสเซอร์มีท่อทางดูดแยกออกจากกันแต่มีท่อทางส่งต่อเชื่อมถึงกัน คอนเดนเซอร์ที่ใช้เป็นแบบ Evaporative Condenser มีอัตราการไหลของอากาศและน้ำเท่ากับ 24100 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และ 150 แกลลอนต่อนาทีตามลำดับ ข้อมูลที่วัดได้ประกอบไปด้วยอุณหภูมิของตู้แช่แข็ง ความดันด้านดูดและด้านส่ง อุณหภูมิของสารทำความเย็นเหลวและก๊าซร้อนด้านส่ง ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์และระดับสารทำความเย็นในถังเก็บ ข้อมูลถูกเก็บไว้ทุกๆ 3 นาที

ระบบทำความเย็นได้ถูกจำลองขึ้นมาเพื่อคำนวณระดับสารทำความเย็นที่ควรจะมีอยู่ในถังเก็บโดยใช้โปรแกรม DRSSIM [2] จากการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับสารทำความเย็นในถังเก็บประกอบไปด้วยภาวะความร้อน ความดันด้านดูดและความดันด้านสูงของคอมเพรสเซอร์ ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของระดับสารทำความเย็นแสดงไว้ในรูปที่ 3 นอกจากปัจจัยหลักทั้งสองนี้ตัวแปรที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการคำนวณปริมาณสารทำความเย็นในระบบได้แก่ Void Fraction Models และสมมติฐานเกี่ยวกับการไหลของความร้อน ผลกระทบจากตัวแปรนี้สามารถศึกษาได้จาก [7]



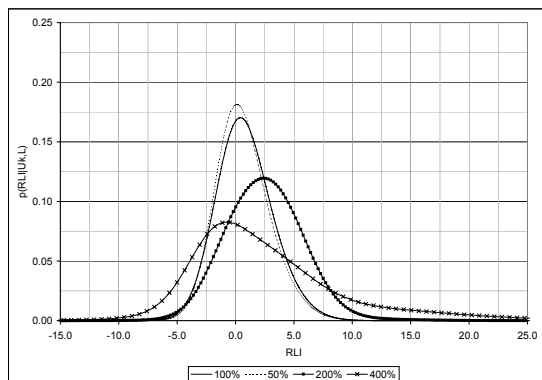
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของระดับสารทำความเย็นเทียบกับความดันด้านสูงของคอมเพรสเซอร์

จากรูปจะเห็นได้ว่าระดับของสารทำความเย็นในถังเก็บจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นต้องสามารถแยกแยะออกว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดขึ้นจากการรั่วของสารทำความเย็น นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าระบบตรวจจับการรั่วแบบเก่าที่อาศัยการเปรียบเทียบระหว่างระดับสารทำความเย็นที่วัดได้กับค่าคงที่ค่าหนึ่งที่ตั้งไว้ไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบที่มีต่อปัจจัยภายนอกได้ เนื่องจากสารทำความเย็นไม่ได้สูญหายออกจากระบบเพียงแต่ไปหมุนเวียนอยู่ที่ส่วนประกอบอื่นเท่านั้น

5. การวิเคราะห์ระบบปัญญาประดิษฐ์

กราฟแสดงการกระจายของความเป็นไปได้ของตัวแปร RLI ถือได้ว่าเป็นหัวใจหลักของระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ได้พัฒนาขึ้น เมื่อนำข้อมูล

ที่ได้จากการตรวจวัดมาวิเคราะห์จะพบว่านอกจากตัวแปรพื้นฐานดังกล่าวในหัวข้อ 4 ซึ่งมีผลต่อระดับสารความเย็นในถังเก็บแล้ว ความแม่นยำของข้อมูลแต่ละตัวที่ใช้ในการคำนวณมีผลอย่างมากต่อรูปร่างของการกระจายของความเป็นไปได้ซึ่งสะท้อนไปถึงค่าความเสี่ยงที่จะคำนวณได้ในขั้นตอนสุดท้าย รูปที่ 4 แสดงการกระจายของความเป็นไปได้ของ RLI เทียบกับความแม่นยำของข้อมูลด้านความดันด้านดูดของคอมเพรสเซอร์ ความแม่นยำของข้อมูลสามารถสะท้อนให้เห็นได้ในรูปของค่าเบี่ยงเบน (Standard Deviation) ซึ่งในการศึกษาได้ปรับเปลี่ยนค่าเบี่ยงเบนเป็น 0.5, 2.0, และ 4.0 เท่าของค่าเบี่ยงเบนที่ได้จากข้อมูลจริง



รูปที่ 4 การกระจายของความเป็นไปได้ของ RLI เทียบกับความแม่นยำของข้อมูลด้านความดันด้านดูด

จากกราฟจะเห็นได้ว่าความแม่นยำของข้อมูลจะทำให้รูปร่างของการกระจายเปลี่ยนไปกล่าวคือการกระจายของความเป็นไปได้จะขยายกว้างขึ้น ซึ่งก็สอดคล้องกับความเป็นจริง เมื่อความไม่แน่นอนของข้อมูลมีมากขึ้นโอกาสที่จะเกิดค่า RLI ที่หลากหลายก็มีมากขึ้น เปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีความแม่นยำสูงซึ่งจะทำให้ค่า RLI ที่มีความเป็นไปได้สูงที่สุดอยู่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง นอกจากจะทำให้กราฟของการกระจายกว้างขึ้นแล้วความแม่นยำยังทำให้ค่าเฉลี่ยของ RLI เปลี่ยนไป การขยับตัวไปมาของการกระจายเกิดจากความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non-Linear Relations) ระหว่างข้อมูลตรวจวัดกับค่า RLI ขึ้นอยู่กับว่าข้อมูลที่ได้อาศัยช่วงใดของเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสอง

จากการที่ความแม่นยำของข้อมูลเปลี่ยนไปทำให้พื้นที่ใต้กราฟแสดงความเป็นไปได้ระหว่างระบบที่มีการรบกวนกับระบบที่ไม่มีการรบกวนเปลี่ยนไป แต่อย่างไรก็ดีการตัดสินใจของระบบปัญญาประดิษฐ์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวเลขสองตัวนี้เท่านั้น การนำทฤษฎีการตัดสินใจมาประยุกต์ใช้จะทำให้ระบบปัญญาประดิษฐ์เลือกตัดสินใจการกระทำที่ทำให้เกิดค่าความเสี่ยงน้อยที่สุด ดังนั้นเองไม่จำเป็นว่าระบบจะเลือกการกระทำที่เหตุการณ์มีค่าความเป็นไปได้สูงที่สุดเสมอ ตัวอย่างเช่นในกรณีที่ค่าความเสียหายแตกต่างกันมากระหว่างการที่ระบบเตือนว่าระบบทำความเย็นไม่มีการรบกวนแต่ในความเป็นจริงระบบทำความเย็นมีการรบกวนขึ้นก็มีค่าสูงกว่าค่าความเสียหายของการที่ระบบเตือนว่าระบบทำความเย็นมีการรบกวนแต่ในความเป็นจริงระบบทำความเย็นไม่มีการรบกวนขึ้น จะทำให้ระบบตัดสินใจที่จะเลือกเตือนว่าระบบทำความเย็นมีการรบกวนขึ้นถึงแม้ว่าความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นน้อยกว่า เพราะแม้ว่า

ระบบจะตัดสินใจผิดพลาดแต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นก็ยังน้อยกว่าการที่ระบบบอกว่าไม่มีการรบกวนแต่มีการรบกวนขึ้นจริง นอกจากนี้ค่าจุดตัดของการรบกวนและมูลค่าของค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องจะมีผลกระทบกับความสามารถในการตัดสินใจของระบบปัญญาประดิษฐ์ (Sensitivity) ถ้าค่าเหล่านี้เปลี่ยนไปจะทำให้ผลของการตัดสินใจเปลี่ยนไป

ในการประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ในระบบทำความเย็นจริงดังกล่าวในข้อ 4 ระบบสามารถตรวจจับการรบกวนได้ถ้าระบบทำความเย็นมีการรบกวนของสารทำความเย็นออกไปแล้วประมาณ 1% ของปริมาณสารทำความเย็นที่บรรจุเข้าไปหรือคิดเป็น 5.2 กิโลกรัม นอกจากนี้ในการทดสอบความถูกต้องในการแยกแยะระหว่างระบบทำความเย็นที่มีการรบกวนหรือไม่รบกวน ระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถแยกแยะได้ถูกต้องถึง 9 ครั้งจากจำนวน 10 ครั้ง ซึ่งในการทดสอบพบว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับค่าจุดตัดของการรบกวน (ξ) เท่ากับ -3.5% โดยประเมินมูลค่าของสารทำความเย็นที่ 1,016 บาทต่อกิโลกรัมและค่าใช้จ่ายในการสำรวจระบบทำความเย็นที่ 4,200 บาทต่อครั้ง ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์และการกระทำที่ระบบปัญญาประดิษฐ์เลือกจากข้อมูลที่ได้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์และการกระทำที่ระบบปัญญาประดิษฐ์เลือกโดยให้ข้อมูลตรวจวัดที่ต้องการ

ข้อมูลที่	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์		ค่าความเสียหาย		การกระทำที่เลือก
	รบกวน	ไม่รบกวน	รบกวน	ไม่รบกวน	
1	0.971	0.029	2.880	416.42	เตือนระบบรบกวน
2	0.992	0.008	0.762	564.28	เตือนระบบรบกวน

6. สรุป

ระบบตรวจจับการรบกวนของสารทำความเย็นที่ได้พัฒนาขึ้นอาศัยการตรวจวัดคุณสมบัติทางด้านความร้อนของสารทำความเย็นภายในระบบคือ อุณหภูมิ ความดันและระดับของสารทำความเย็น ซึ่งสามารถทำการตรวจวัดได้ง่าย ข้อมูลการตรวจวัดจะถูกนำมาประมวลผลเพื่อหาระดับสารทำความเย็นที่ควรจะมีอยู่เพื่อเปรียบเทียบกับระดับสารทำความเย็นที่ได้จากการตรวจวัด ผลจากการเปรียบเทียบจะถูกนำไปวิเคราะห์และตัดสินใจโดยอาศัยหลักการทางสถิติและเทคนิคการตัดสินใจ การผสมผสานระหว่างเทคนิคเหล่านี้ทำให้การวิเคราะห์และการตัดสินใจมีความแม่นยำยิ่งขึ้น ระบบที่พัฒนาได้สามารถทำการตรวจสอบการรบกวนตลอดเวลาไม่ว่าการรบกวนจะเกิดขึ้นที่จุดไหนและใช้บุคลากรน้อยทำให้มีค่าใช้จ่ายน้อยลง อย่างไรก็ตามระบบยังไม่สามารถตรวจหาตำแหน่งของรอยรั่วได้ การตรวจหาตำแหน่งของรอยรั่วจำเป็นต้องอาศัยจุดการตรวจวัดเพิ่มเติม

จากการพัฒนาและทดสอบเบื้องต้นของระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์เห็นได้ว่าเทคนิคที่นำมาใช้สามารถตรวจสอบการรบกวนของระบบทำความเย็นได้ดี การนำมูลค่าความเสี่ยงและความเป็นไปได้ (Probability) มาพิจารณาในการตัดสินใจทำให้ระบบสามารถตัดสินใจได้คล้ายคลึงกับการตัดสินใจของมนุษย์โดยระบบจะเลือกการกระทำที่เกิดค่าความเสี่ยงน้อยที่สุด นอกจากนี้การกระทำที่ระบบเลือกอาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาอาทิเช่นปัจจุบันค่าจ้างเจ้าหน้าที่ตรวจสอบมีราคาต่ำแต่ราคาสารทำความเย็นแพง แนวโน้มของการกระทำอาจจะเอนเอียงไปทางให้ส่งเจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจสอบเพราะค่าความเสี่ยงมี

น้อยกว่า แต่ถ้านอนาคค่าจ้างเจ้าหน้าที่มีราคาสูงขึ้นแต่ราคาสารทำความเย็นเท่าเดิม การตัดสินใจก็จะแตกต่างกันไป การนำเทคนิคนี้มาใช้ทำให้ระบบสามารถยืดหยุ่นไปตามสภาวะการใช้งานจริง

ค่าจุดตัดของการรั่วเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญ การเลือกค่าจุดตัดของการรั่วจะมีผลกระทบต่อความไวของระบบที่มีต่อการรั่ว ตัวแปรตัวนี้สะท้อนให้เห็นถึงค่าคงที่ตัวหนึ่งที่อยู่ในใจของมนุษย์ซึ่งใช้เมื่อมีการตัดสินใจ ค่าคงที่ตัวนี้จะเปลี่ยนไปตามประสบการณ์การทำงาน สำหรับผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ค่าตัวนี้อาจจะค่อนข้าง 0⁺ แต่สำหรับผู้ที่มีประสบการณ์ค่าตัวนี้อาจจะอยู่ห่างจาก 0⁺ ไปมากกว่าเนื่องจากผู้รู้ระบบทำความเย็นและการไหลเวียนของสารทำความเย็นมากกว่าและสามารถคาดคะเนช่วงการเปลี่ยนแปลงของระดับสารทำความเย็นในถังเก็บได้ สำหรับการพัฒนานอนาคเพื่อให้ระบบปัญญาประดิษฐ์มีพัฒนาการคล้ายกับการเรียนรู้ข้อผิดพลาดของมนุษย์ ระบบจะสามารถเรียนรู้เมื่อตัดสินใจผิดพลาดและจะปรับแต่งค่าจุดตัดของการรั่วได้ด้วยตัวเอง

การพัฒนาระบบตรวจจับการรั่วนี้เป็นเพียงจุดเริ่มต้นของการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจและปัญญาประดิษฐ์เท่านั้น เทคนิคที่นำมาใช้ในการพัฒนานี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจจับสิ่งผิดปกติอื่นได้อีก อาทิเช่น การอุดตันในคอนเดนเซอร์หรือตู้แช่แข็ง การรั่วของวาล์วคอมเพรสเซอร์ การอุดตันในท่อสารทำความเย็น เป็นต้น การพัฒนาไม่ได้จำกัดเฉพาะในระบบทำความเย็นเท่านั้น เทคนิคสามารถนำไปใช้ตรวจจับสิ่งผิดปกติในระบบอื่นอีกเช่น การตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ การควบคุมเครื่องจักรกล ระบบปรับอากาศ การบริหารจัดการพลังงาน ขบวนการผลิต เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] RAC1195. "Refrigeration and global warming", Refrigeration and Air Conditioning, Oct 1997, Vol.99, No.1195, pp.26-27.
- [2] Assawamartbunlue, K. and Brandemuehl, M.J. "DRSSIM – A computer simulation program for a distributed refrigeration system in supermarkets", Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, May 26-30, 2003, pp.258-271.
- [3] Brother, P. and Cooney, K. "A Knowledge-Based System for Comfort Diagnostics", ASHRAE Journal, 1989, Vol.31, No.9, pp.60-67.
- [4] Lee, W.Y.L. et al. "Fault Diagnosis of an Air-Handling Unit Using Artificial Neural Networks", Artificial Intelligence in Engineering, Jan-Apr, 1998, Vol.12, No.1, pp.35-47.
- [5] Rossi, T.M. and Braun, J.E. "Statistic, Rule-Based Fault Detection and Diagnosis Method for Vapor Compression Air Conditioners", HVAC&R Research, 1997, Vol.3, No.1, pp.19-37.
- [6] Assawamartbunlue, K. "Fault Detection and Diagnosis for Refrigerant Leakage in a Distributed Refrigeration system for Supermarket Application, Doctoral Thesis, Department of Civil,

Architectural, and Environmental Engineering, University of Colorado, 2000.

- [7] Assawamartbunlue, K. and Brandemuehl, M.J. "The Effect of Void Fraction Models and Heat Flux Assumption on Predicting Refrigerant Charge Level in Receivers", The 5th International Compressor Engineering Conference, Purdue, 2000, July 25-28.