

การประยุกต์แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวเพื่อประเมินความเสี่ยง ระบบวัดคุนิรภัยในระบบหม้อไอน้ำของโรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัย

คณิศร วรรณ มากสุข¹, อารุณ เกตุสาคร^{2*}

^{1, 2}คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th²

Received: Mar 09, 2024

Revised: Mar 30, 2024

Accepted: Apr 03, 2024

บทคัดย่อ

หม้อไอน้ำจำนวนมากมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิดเนื่องจากลักษณะของงานและอาจเกิดข้อผิดพลาดที่ทำให้ระบบวัดคุนิรภัยทำงานล้มเหลว การศึกษาครั้งนี้เพื่อประยุกต์แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวสำหรับประเมินความเสี่ยงในระบบวัดคุนิรภัยและคำนวณค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายสำหรับจัดระดับความปลอดภัยของระบบควบคุมหม้อไอน้ำของโรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัย แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวถูกนำมาใช้เพื่อระบุความล้มเหลวของระบบวัดคุนิรภัยในการประเมินความเสี่ยงและเพื่อคำนวณความน่าจะเป็นโดยเฉลี่ยของความผิดพลาดอันตรายสำหรับจำแนกระดับความปลอดภัยของหม้อไอน้ำ การศึกษานี้ดำเนินการตั้งแต่เดือนเมษายนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2566 ที่โรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในประเทศไทย การรวบรวมข้อมูลใช้แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวโดยแผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวประกอบด้วย Feed water pump, Level indicator transmitter 1, และ Level indicator transmitter 2 แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวทั้ง 3 แผนภูมิมีความน่าจะเป็นความผิดพลาดอันตรายสูงสุด ระบบควบคุมทั้ง 3 ระบบแสดงความน่าจะเป็นโดยเฉลี่ยที่จะเกิดความผิดพลาดอันตรายเท่ากับ 8.5×10^{-1} และค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคุนิรภัยระดับ 1 ดังนั้น ควรมีความพยายามในการกำกับดูแลความเสี่ยงเหล่านั้นโดยจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสมเพื่อลดสถานะที่ไม่พึงประสงค์จากความล้มเหลวของระบบวัดคุนิรภัย

คำสำคัญ : ระบบวัดคุนิรภัยในระบบหม้อไอน้ำ, ค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคุนิรภัย, แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลว, ความน่าจะเป็นความผิดพลาดอันตราย

The Application of Fault Tree Analysis for Assessing the Risk in Safety Instrumented System of Steam Boiler at a University Hospital

Kanutsawan Maksuk¹, Arroon Ketsakorn^{2*}

^{1, 2}Faculty of Public Health, Thammasat University

Email: arroon.k@fph.tu.ac.th²

Received: Mar 09, 2024

Revised: Mar 30, 2024

Accepted: Apr 03, 2024

Abstract

Many boilers are at high risk of fire and explosion due to the nature of work and it takes mistake to cause a safety instrumented system failure. This study was to apply the fault tree analysis (FTA) for assessing the risk in safety instrumented system and to calculate the average probability of failure on demand (PFD) for classifying the safety integrity level (SIL) of steam boiler controller at a university hospital. The FTA was applied to identify the failure of safety instrumented system for assessing the risk. The average PFD was then calculated for classifying the SIL of steam boiler. The study was conducted from April to August 2023 at a university hospital in Thailand. Data collection used FTA. The FTA was consisted of feed water pump, level indicator transmitter 1, and level indicator transmitter 2. The three loop control systems had the highest probability of failure on demand. All three loop control systems showed the average probability of failure on demand as 8.5×10^{-1} and safety integrity level for level 1 (SIL1). Eventually, efforts should be made to supervise those risks by setting up the suitable preventive maintenance plan to reduce undesirable conditions from the safety instrumented system failure.

Keywords : Safety instrumented system in steam boiler, Safety integrity level (SIL), Fault tree analysis (FTA), Probability of failure on demand (PFD)

บทนำ

ไอน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการผลิตทั้งในอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้า โรงแรม รวมไปถึงโรงพยาบาล ซึ่งมีการใช้ประโยชน์จากไอน้ำในด้านของการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางการแพทย์ ชุดบุคคลากรทางการแพทย์ ชุดผู้ป่วย และการประกอบอาหาร [1]

การผลิตไอน้ำจะต้องใช้เครื่องกำเนิดไอน้ำหรือที่เรียกว่า หม้อไอน้ำ (Boiler) โดยกระบวนการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำเกิดจากการที่น้ำได้รับการถ่ายเทความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง [2] ซึ่งจะทำให้ภายในหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิและแรงดันที่สูง ทำให้หม้อไอน้ำต้องได้รับการออกแบบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มีวัสดุแข็งแรง สามารถทนต่อแรงดันภายในหม้อไอน้ำ [3]

อย่างไรก็ตามระบบหม้อไอน้ำมีโอกาสเกิดความผิดพลาด ทั้งจากการอุปกรณ์และจากปฏิบัติงาน ซึ่งสามารถส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สิน โดยในระหว่างปี พ.ศ. 2563 – 2565 พบว่าในประเทศไทยมีเหตุการณ์ระเบิดของระบบหม้อไอน้ำกว่า 60 ครั้ง ส่งผลให้มีผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตกว่า 60 คน [4] มีสาเหตุสำคัญมาจากอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิขัดข้องส่งผลให้อุณหภูมิในหม้อไอน้ำสูงกว่าค่าที่กำหนด (Set Point) ทำให้เกิดการสะสมของอุณหภูมิหม้อภายในไอน้ำ และเกิดการระเบิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบอุบัติเหตุจากห้องหลอมไอน้ำ (Boiler House) ที่มีสาเหตุมาจากการใช้คู่มือด้านความปลอดภัยที่ล้าสมัย [5]

ทั้งนี้ในการลดความเสี่ยงที่จะเกิดความผิดพลาดในการทำงานของระบบหม้อไอน้ำ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการซึ่งบ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของระบบวัดควบคุมปริมาณตามมาตรฐาน IEC 61508 และ IEC 61511 ตัวอย่างเช่น การประเมินความเสี่ยงในระบบวัดควบคุมปริมาณของกระบวนการผลิตทางปิโตรเคมี [6, 7] อีกทั้งยังพบการประเมินความเสี่ยงในกระบวนการทางเคมีที่มีการใช้ของเหลวไวไฟอย่างเฮกเซนเป็นตัวทำละลายใน

กระบวนการผลิต ซึ่งอาจเกิดการรั่วไหลได้ มีโอกาสเกิดไฟไหม้และการระเบิดได้เนื่องจากความซับซ้อนของกระบวนการ [8] นอกจากนี้พบการประเมินความเสี่ยงของกระบวนการฉีดขึ้นรูปอะลูมิเนียมเพื่อสร้างแนวทางในการป้องกันอุบัติเหตุด้วยวิธีการแผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลว (FTA) [9] ซึ่งเป็นเทคนิคการซึ่งบ่งอันตรายเทคนิคหนึ่ง ใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหา อาศัยหลักการทางตรรกะวิทยาในการหาเหตุและผล ส่วนบนสุดของแผนภูมิ คือ เหตุการณ์ตั้งต้น (Top event) เช่น การเกิดระเบิดของหม้อไอน้ำ การเกิดไฟฟ้า ฯลฯ และในส่วนของกิ่งก้านรองลงมา คือ เหตุการณ์ย่อยๆ (Intermediate event) วิเคราะห์จนถึงสาเหตุพื้นฐาน (Basic event) เช่น อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิไม่ทำงานทำให้อุณหภูมิในหม้อไอน้ำสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด อุปกรณ์ประมวลไม่ทำงานทำให้ไม่มีการส่งสัญญาณต่อไปยังอุปกรณ์ตัวสุดท้าย อุปกรณ์ตัวสุดท้ายไม่ทำงานทำให้ไม่สามารถหยุดระบบเมื่อเกิดความขัดข้องได้ [10] ซึ่งเหตุการณ์แต่ละชั้นจะถูกเชื่อมโยงด้วยสัญลักษณ์ AND Gates และ OR Gates ซึ่ง AND Gates หมายความว่า เหตุการณ์ตั้งต้นหรือเหตุการณ์ย่อยจะเกิดขึ้นได้ ต้องเกิดจากหลายเหตุการณ์และเกิดขึ้นพร้อมกัน ส่วน OR Gates หมายความว่า เหตุการณ์ตั้งต้นหรือเหตุการณ์ย่อยนั้น จะเกิดขึ้นได้จะต้องมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งเท่านั้น [11]

โดยจากทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการศึกษาในโรงพยาบาลค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับการซึ่งบ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงในระบบวัดควบคุมปริมาณของหม้อไอน้ำ

จากการซึ่งบ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงของหม้อไอน้ำในโรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งพบว่าระบบควบคุมพื้นฐาน (Basic Process Control Systems ,BPCS) มีความผิดพลาดอยู่ในระดับสูง ที่ระบบควบคุมหมายเลข 1 ระบบป้อนน้ำเข้า (Feed Water) ระบบควบคุมหมายเลข 2 ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 1 (Level Indicator Transmitter 1) ระบบวัดระดับน้ำใน

หม้อไอน้ำตัวที่ 2 (Level Indicator Transmitter 2) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวสำหรับประเมินความเสี่ยงในระบบวัดคูนิรภัยและคำนวณหา ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายสำหรับจัดระดับความปลอดภัยของระบบควบคุมหม้อไอน้ำของโรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัย และสามารถกำหนดแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM Plan) ซึ่งจะช่วยลดโอกาสเกิดความผิดพลาดในการทำงานของระบบหม้อไอน้ำ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประยุกต์แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวสำหรับการประเมินความเสี่ยงระบบวัดคูนิรภัยในระบบหม้อไอน้ำ
2. เพื่อหาค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level: SIL) ของระบบควบคุมหม้อไอน้ำ

ระเบียบวิธีวิจัย

ผู้วิจัยออกแบบการวิจัยศึกษาวัตถุประสงค์ ขอบเขต และกรอบแนวคิดการวิจัย โดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

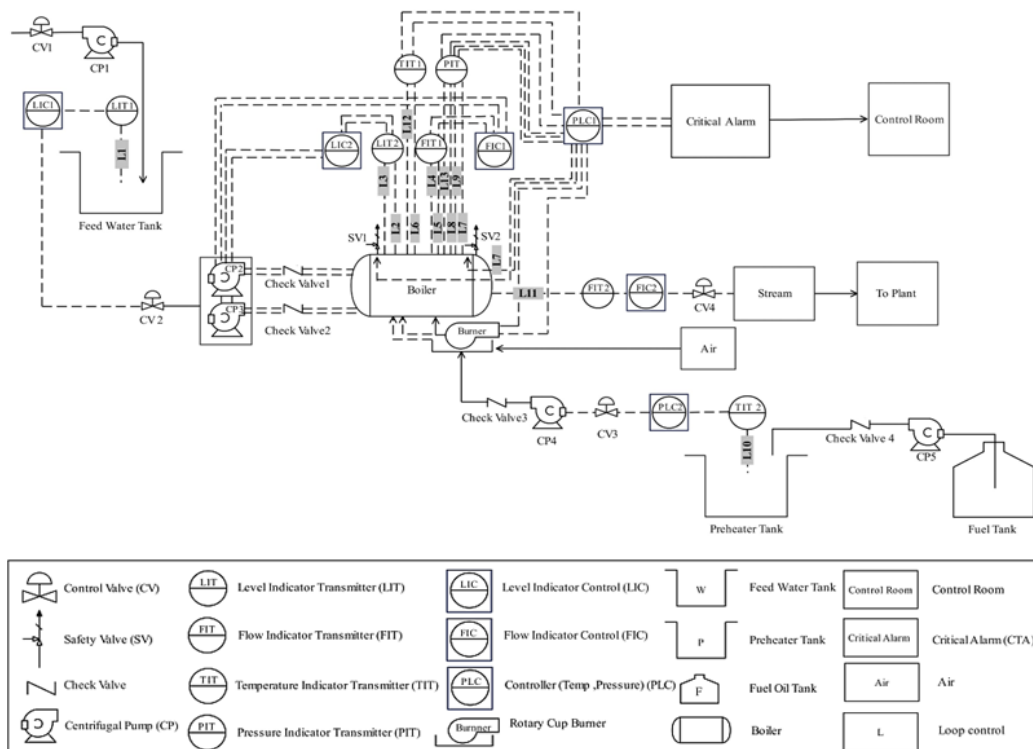
1. รูปแบบการศึกษาและพื้นที่ศึกษาการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบภาคตัดขวาง (Cross – Sectional Study) ทำการศึกษาระหว่างเดือนเมษายน - สิงหาคม พ.ศ. 2566 ในระบบหม้อไอน้ำของโรงพยาบาลสังกัดมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง ในจังหวัดปทุมธานี

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1 ข้อมูลระบบหม้อไอน้ำ

เก็บรวบรวมข้อมูลของหม้อไอน้ำโดยการสำรวจระบบหม้อไอน้ำตามแบบ Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) แสดงดังรูปที่

1



รูปที่ 1 Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

2.2 ข้อมูลค่าอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์

กำหนดค่าความล้มเหลวของอุปกรณ์ในระบบควบคุมหม้อไอน้ำ จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องแสดงดังตารางที่ 1

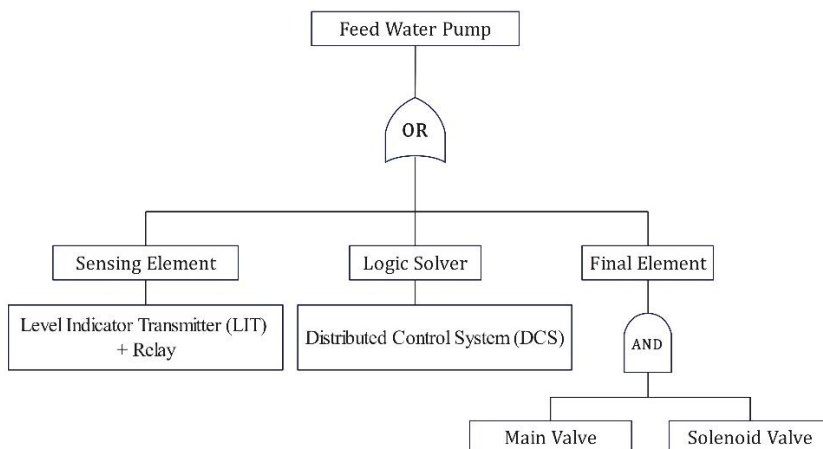
ตารางที่ 1 ข้อมูลความล้มเหลวของอุปกรณ์ [12]

อุปกรณ์	อัตราความล้มเหลว/ปี (μ)
Controller (Pressure, Temperature)	0.29
Control valve	0.60
Check valve	0.019
Level Indicator Controller	0.29
Level Indicator Transmitter	1.70
Flow Indicator Controller	0.29
Flow Indicator Transmitter	1.14
Solenoid valve	0.42
Main valve	0.01
Relay	0.003
DCS (Logic solver)	0.0002

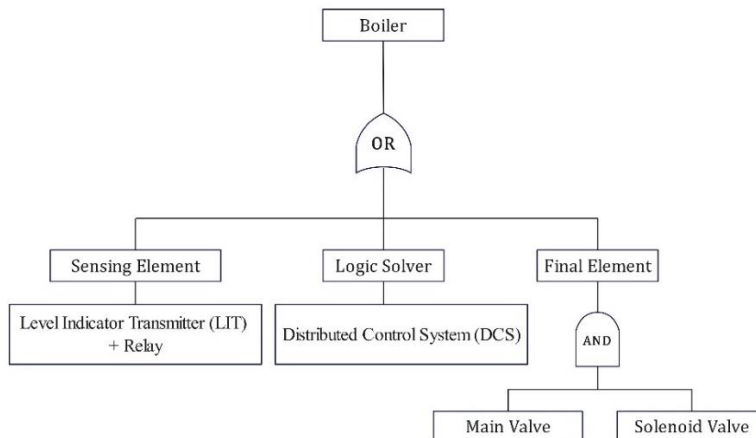
2.3 วิเคราะห์ระดับความปลอดภัยของระบบวัดคุมนิรภัย (SIL)

ระบบวัดคุมนิรภัย ประกอบด้วย 3 อุปกรณ์ย่อย ได้แก่ อุปกรณ์การวัด (Sensing Element: SE) อุปกรณ์ประมวลผล (Logic Solver: LS) และ

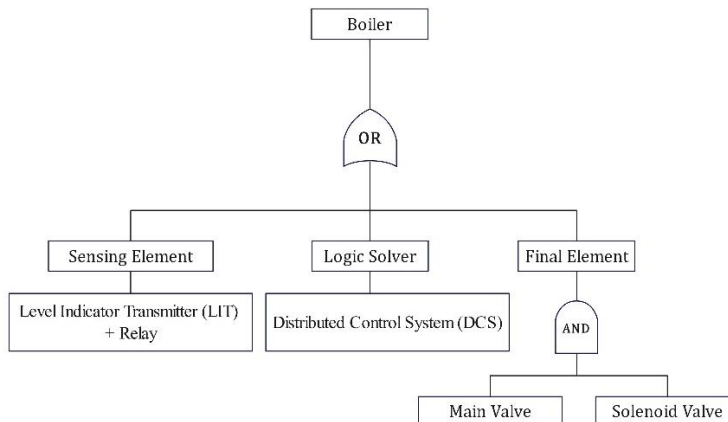
อุปกรณ์ตัวสุดท้าย (Final Element: FE) ซึ่งในระบบหม้อไอน้ำมีหลายฟังก์ชัน เช่น ฟังก์ชันในการควบคุมอุปกรณ์วัดระดับในหม้อไอน้ำ อุปกรณ์ประมวลผล วาล์วหลัก และวาล์วย่อย ดังแสดงตามรูปที่ 2-4



รูปที่ 2 แผนผังต้นไม้แห่งความล้มเหลวระบบควบคุมที่ 1



รูปที่ 3 แผนผังต้นไม้แห่งความล้มเหลวระบบควบคุมที่ 2



รูปที่ 4 แผนผังต้นไม้แห่งความล้มเหลวระบบควบคุมที่ 3

ซึ่งสามารถวิเคราะห์ค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคัมมิรภัย โดยเริ่มจากการหาค่าความผิดพลาดอันตรายของระบบควบคุม (Probability of a Failure on Demand, PFD) จากสมการที่ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดอันตรายของระบบควบคุม (Average Probability of a Failure on Demand, PFDavg) ตามสมการที่ 2

$$PFD_{\text{อุปกรณ์ในระบบควบคุม}} = \lambda^D T \quad (1)$$

เมื่อ $PFD_{\text{อุปกรณ์ในระบบควบคุม}}$ = ค่าความผิดพลาดอันตรายของระบบควบคุม

λ^D = อัตราความผิดพลาดอันตราย (ครั้ง/ชั่วโมง)
 T = ระยะเวลาในการทดสอบ (1 ปี)

$$PFD_{\text{avg}} = \frac{1}{2} \int_0^T PFD_{\text{อุปกรณ์ในระบบควบคุม}} dt \quad (2)$$

เมื่อ PFD_{avg} = ค่าความผิดพลาดอันตรายเฉลี่ยของอุปกรณ์

T = ระยะเวลาในการทดสอบ (1 ปี)

โดยที่ใช้เทคนิคต้นไม้แห่งความล้มเหลววิเคราะห์ค่าความผิดพลาดอันตรายในแต่ละระบบควบคุม โดยหาได้จากผลรวมของค่าความผิดพลาดอันตรายเฉลี่ยของอุปกรณ์ จากสมการที่ 9

$$PFDavg_{SIF} = PFDavg_{SE} + PFDavg_{LG} + PFDavg_{FE} \quad (9)$$

เมื่อ $PFDavg_{SE}$ = ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์การวัด

$PFDavg_{LG}$ = ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ประมวลผล

$PFDavg_{SE}$ = ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ตัวสุดท้าย

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดอันตรายของระบบควบคุมกับค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคูนิรภัยดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Safety Integrity Level (SIL) Low demand mode of operation [13]

Safety Integrity Level (SIL)	Low demand mode of operation (Average probability of failure to perform its design function on demand) (time per year)
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

ผลการวิจัย

1. ผลการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงของหม้อไอน้ำ

จากการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงของหม้อไอน้ำโดยใช้แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวของระบบควบคุมพื้นฐาน (Basic Process Control Systems: BPCS) ตามรูปที่ 2-4 พบว่า มีความผิดพลาดอยู่ในระดับสูงที่ระบบควบคุมหมายเลข 1 ระบบป้อนน้ำเข้า (Feed Water Pump) ค่าความ

น่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดเท่ากับ 0.926 ระบบควบคุมหมายเลข 2 ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 1 (Level Indicator Transmitter 1) ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดเท่ากับ 0.926 และระบบควบคุมหมายเลข 3 ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 2 (Level Indicator Transmitter 2) ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดเท่ากับ 0.926 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงของหม้อไอน้ำ

ระบบควบคุม	อุปกรณ์	ค่าความน่าเชื่อถือรวม (R)	ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาด (P)
หมายเลข 1: ระบบป้อนน้ำเข้า (Feed Water Pump)	LIT1+Relay+LIC1+CV2	0.074	0.926
หมายเลข 2 : ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 1 (Level Indicator Transmitter 1)	LIT2+Relay+LIC2+CP2+Check valve1	0.074	0.926
หมายเลข 3: ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 2 (Level Indicator Transmitter 2)	LT2+Relay+LIC2+CP3+Check valve2	0.074	0.926

2. ผลการวิเคราะห์ค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคูนิรภัย (SIL)

จากการวิเคราะห์ค่าระดับความปลอดภัยของ

ระบบวัดคูนิรภัย พบว่า เมื่อทำการติดตั้งระบบวัดคูนิรภัยในทั้ง 3 ระบบควบคุม ซึ่งมีค่าความผิดพลาดอันตรายเฉลี่ยของระบบควบคุม ($PFDavg$) ทั้ง 3 ระบบ

เท่ากับ 8.5×10^{-1} ครั้งต่อปี ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคูนินทรีย์ (SIL)

ระบบควบคุม	อุปกรณ์	ค่าความผิดพลาด อันตรายเฉลี่ยแต่ละ อุปกรณ์ (PFD _{avg})	ค่าความผิดพลาด อันตรายเฉลี่ยของระบบ ควบคุม (PFD _{avg})
หมายเลข 1: ระบบป้อนน้ำเข้า (Feed Water Pump)	LIT1+Relay DCS Solenoid valve +Main Valve	8.5×10^{-1} 1.2×10^{-4} 1.8×10^{-3}	8.5×10^{-1}
หมายเลข 2: ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 1 (Level Indicator Transmitter 1)	LIT2+Relay DCS Solenoid valve + Main Valve	8.5×10^{-1} 1.2×10^{-4} 1.8×10^{-3}	8.5×10^{-1}
หมายเลข 3: ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 2 (Level Indicator Transmitter 2)	LIT2+Relay DCS Solenoid valve + Main Valve	8.5×10^{-1} 1.2×10^{-4} 1.8×10^{-3}	8.5×10^{-1}

ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดอันตรายของระบบควบคุมกับค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคูนินทรีย์ พบว่า ทั้ง 3 ระบบ มีค่าระดับความปลอดภัย เท่ากับ 1 ซึ่งหมายถึงมีโอกาสเกิดความผิดพลาด 1 ใน 10 ครั้งต่อปีดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดอันตรายของระบบควบคุมกับค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคูนินทรีย์

ระบบควบคุม	ค่าความผิดพลาด อันตรายเฉลี่ยของระบบควบคุม (PFD _{avgSIF})	Low demand mode of operation (time per year)	ค่าระดับความ ปลอดภัย (SIL)
หมายเลข 1: ระบบป้อนน้ำเข้า (Feed Water Pump)			
หมายเลข 2: ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 1 (Level Indicator Transmitter 1)	8.5×10^{-1}	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	1
หมายเลข 3: ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 2 (Level Indicator Transmitter 2)			

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงโดยประยุกต์แผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลวและคำนวณค่าความผิดพลาดอันตรายเฉลี่ยของระบบควบคุมหม้อไอน้ำสำหรับกำหนดระดับความปลอดภัยของหม้อไอน้ำ พบว่า ทั้ง 3 ระบบควบคุม ได้แก่ ระบบป้อนน้ำเข้า ระบบวัดระดับน้ำในหม้อไอน้ำตัวที่ 1 และ 2 มีค่าความผิดพลาดอันตรายเฉลี่ยของระบบควบคุมหม้อไอน้ำ เท่ากับ 8.5×10^{-1} ครั้งต่อปี มีค่าระดับความปลอดภัย เท่ากับ SIL 1

ผลการศึกษาความผิดพลาดอันตรายเฉลี่ยของอุปกรณ์ภายในระบบควบคุมหม้อไอน้ำมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงระบบวัดอุณหภูมิของระบบผลิตไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี ที่มีค่าเท่ากับ 1.4×10^{-1} ครั้งต่อปี ซึ่งมีค่าระดับความปลอดภัย เท่ากับ SIL 1 [7] เช่นเดียวกันกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบวัดอุณหภูมิของเครื่องตรวจจับก๊าซในถังเก็บของเหลวไวไฟ ที่มีค่าความผิดพลาดอันตรายเฉลี่ย เท่ากับ 1.0×10^{-1} ครั้งต่อปี ซึ่งมีค่าระดับความปลอดภัย เท่ากับ SIL 1[8]

ระบบควบคุมทั้ง 3 ระบบมีค่าระดับความปลอดภัยจัดอยู่ในระดับ SIL 1 โดยมีโอกาสเกิดความล้มเหลว 1 ใน 10 ครั้งต่อปี จากการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ในระบบ เช่น อุปกรณ์การวัดระดับไม่ทำงานทำให้ระดับน้ำหรือเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด (Set point) อุปกรณ์ประมวลไม่ทำงานทำให้ไม่มีการส่งสัญญาณต่อไปยังอุปกรณ์ตัวสุดท้าย หรือ การที่อุปกรณ์ตัวสุดท้ายอย่าง วาล์วควบคุม วาล์วหลัก รวมถึงวาล์วย่อยไม่ทำงาน ส่งผลให้เกิดการระเบิดขึ้นได้ ดังนั้นในการกำกับดูแลความเสี่ยงเหล่านั้นโดยผู้วิจัยเสนอให้จัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสมเพื่อลดสถานะที่ไม่พึงประสงค์จากความล้มเหลวของระบบวัดอุณหภูมิ

References

- [1] K. Usaka, T. Rittirod, N. Waropastrakul and P. Supprung “Guidelines for Improving Steam Generation Systems of Srinagarind Hospital, Khon Kaen University,” Kku Res J (GS), vol. 12, 4, 2012. [Online]. Available: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/gskku/article/view/22884>
- [2] Chirawiboon C., “Steam boiler for use in factories.” Bangkok: Technology Promotion Association (Thai-Japan), 2011.
- [3] D. o. A. E. D. a, “Efficiency Handbook for those responsible for energy (factories).” 2018.
- [4] Department of Industrial Works Thailand, “Statistics on boiler explosions in Thailand 2020-2023.” 2023.
- [5] A.R.N.Q. Lutfianto and M.A. Febrianti, “Management Analysis on Occupational Health and Safety in the Boiler House Using Method of Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control,” in Third International Sustainability and Resilience Conference: Climate Change, 2021: IEEE, pp. 358-361, doi:10.1109/IEEECONF 53624.2021.9668034.
- [6] P. Soda, “Risk Assessment on Safety Instrumented System of Heat Exchanger in Plastic Pellet Process,” Kasetsart University, 2021.
- [7] N. Asavaviriyakul and N. Hansupalak, “Risk Assessment of Instrumentation System for the Steam Generation System in a Petrochemical Industry Plant,” KU Engineering Journal, vol. 21, no. 64, pp. 44-56, 2008.

- [8] S. Famuyiro, "Use of combustible gas detectors in Safety Instrumented Systems—A practical application case study," J Loss Prev Process Ind, vol. 54, pp. 333-339, 2018, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423018302110>
- [9] W. Mongkhonthae, K. Sudsakorn and T. Srinophakun, "Risk assessment using fault tree analysis in the aluminium molding process," KU Engineering Journal, vol. 22, pp. 47-55, 2009.
- [10] C. S. Ketsakorn A., "Fault Tree Analysis (FTA) and Analytic Hierarchy Process (AHP) for Assessing the Risk of Dust Explosion in the Process of Tapioca Starch Production," Journal of Safety and Health, vol. 14, 2020.
- [11] P. Buapim and A. Ketsakorn, "Risk assessment by the Fault Tree Analysis (FTA) and Analytic Hierarchy Process (AHP) of infectious waste management in health promoting hospital," Warasan Wichakan Phrachomklao Phranakhon Nua, vol. 29, no. 3, Apr. 2019, doi: 10.14416/j.kmutnb.2019.04.003.
- [12] S. Mannan, "Lees Loss Prevention in the Process Industries, 2012," [Online]. Available: https://books.google.co.th/books?hl=th&lr=&id=73M6aqqy-uUC&oi=fnd&pg=PP1&dq=loss+prevention+in+the+process+industries+london+butterworths,1986&ots=_Fa-52TxhV&sig=_80dFMg-vUJqS836EYUqKg62crs&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [13] M. Hennell, J. Woodcock and M. Woodward, "The safety integrity levels of IEC 61508 and a revised proposal," Embedded Systems Show, 2006.