การประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นในการประเมินความเสี่ยงของขั้นตอนการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำ

Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in Risk Assessment of Steam Pipeline Installation Procedures

ยลดา งาใหญ่[1*] นันท์นภัสร อินยิ้ม[1] เลิศเลขา ศรีรัตนะ[1] และ เสรีย์ ตู้ประกาย[1]

Yonlada Ngayai[1*], Nannapasorn Inyim[1], Lerdlekha Sriratana[1] and Seree Tuprakay[1]

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร

[1]Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Bangkok

[*]Corresponding Author: 6614350002@rumail.ru.ac.th

Received: April 1, 2025 **Revised:** July 22, 2025 **Accepted:** August 4, 2025

บทคัดย่อ

กระบวนการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำประกอบด้วยกิจกรรมหลากหลาย ซึ่งแต่ละกิจกรรมมีอันตรายแฝงและมีระดับความเสี่ยงต่อผู้ปฏิบัติงานแตกต่างกัน งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินความเสี่ยงของกระบวนการดังกล่าวอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถวางแผนควบคุมและป้องกันอุบัติเหตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นเป็นกรอบในการตัดสินใจ เริ่มจากการศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานและเอกสารขออนุญาตทำงานของโครงการกรณีศึกษา เพื่อนำมาวิเคราะห์และจำแนกขั้นตอนหลักของกระบวนการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำ พร้อมทั้งระบุอันตรายที่อาจเกิดขึ้น การประเมินความเสี่ยงมีเป้าหมายเพื่อค้นหาขั้นตอนการทำงานที่มีความเสี่ยงมากที่สุด โดยใช้เกณฑ์การตัดสิน 3 ด้าน ได้แก่ ความน่าจะเป็นของการเกิดอันตราย ความรุนแรงของอันตราย และค่าใช้จ่ายในการป้องกัน จากนั้นจึงจัดทำแบบสอบถามการประเมินความเสี่ยงแบบเปรียบเทียบเป็นคู่ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำจำนวน 5 ท่านทำการประเมินระดับความเสี่ยงภายใต้เกณฑ์แต่ละด้าน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่า งานยกประกอบท่อบนพื้นที่สูงเป็นขั้นตอนที่มีความเสี่ยงสูงสุด โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักรวมเท่ากับ 0.259 รองลงมาคือ การทดสอบแนวเชื่อมด้วยรังสี (0.143) การเชื่อมท่อ (0.129) การหุ้มฉนวนกันความร้อน (0.101) การบรรจุก๊าซไนโตรเจนเข้าท่อ (0.097) การยกประกอบท่อบนพื้นที่ราบ (0.095) การขนส่งท่อ (0.092) และการทดสอบแรงดันและทำความสะอาดท่อ (0.085) ผลจากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดลำดับความสำคัญของมาตรการควบคุมความเสี่ยงเพื่อเพิ่มระดับความปลอดภัยให้กับโครงการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำในอนาคต

คำสำคัญ: การติดตั้งท่อส่งไอน้ำ, การประเมินความเสี่ยง, กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

Abstract

Steam pipeline installation processes consist of various activities, each with hidden dangers and different levels of risk to workers. This research aimed to systematically assess the risks of such processes to enable effective planning for accident control and prevention. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied as a decision-making framework, starting with studying work procedures and work permit documents from case study projects to analyze and classify the main steps of the steam pipeline installation process

and identify potential hazards. The risk assessment aimed to find the work steps with the highest risk using three decision criteria: the probability of hazard occurrence, the severity of hazards, and the costs of prevention. A pairwise comparison risk assessment questionnaire was then prepared for five steam pipeline installation experts to evaluate the risk levels under each criterion. The data analysis results showed that elevated pipe lifting and assembly was the step with the highest risk, with a total weighted value of 0.259 followed by radiographic testing (0.143), pipe welding (0.129), thermal insulation (0.101), nitrogen gas filling into the pipeline (0.097), ground-level pipe lifting and assembly (0.095), pipe transportation (0.092), and pressure testing and pipe cleaning (0.085). The findings of this research can serve as a guideline for prioritizing risk control measures to increase safety for future steam pipeline installation projects.

Keywords: Steam pipeline installation, Risk assessment, Analytic hierarchy process

1. บทนำ

อุตสาหกรรมจำนวนมากพึ่งพาระบบไอน้ำในกระบวนการผลิต เนื่องจากไอน้ำเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น ให้ความร้อน ขับเคลื่อนอุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนที่ของก๊าซและของเหลว ใช้ในกระบวนการแยกสาร ทำความสะอาด เพิ่มความชื้นพร้อมกับให้ความร้อน รวมถึงการควบคุมหรือปรับระดับความชื้นในอากาศ ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากไอน้ำในอุตสาหกรรมหลักต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มใช้ไอน้ำในกระบวนการต้ม อบแห้ง นึ่ง และฆ่าเชื้อ อุตสาหกรรมสิ่งทอใช้ไอน้ำในกระบวนการฟอก ย้อม และรีดผ้า อุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมีใช้ไอน้ำเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับสารเคมี รวมถึงควบคุมอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ โรงไฟฟ้าพลังไอน้ำใช้ไอน้ำแรงดันสูงในการหมุนกังหันเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ด้วยความสามารถของไอน้ำในการส่งถ่ายพลังงานและการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้หลากหลายด้าน ทำให้ระบบไอน้ำกลายเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของภาคการผลิตโดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ต้องการพลังงานความร้อนในปริมาณมากอย่างสม่ำเสมอ

โดยทั่วไป ระบบไอน้ำประกอบด้วยสามส่วนหลัก ได้แก่ (1) หม้อไอน้ำ (Boiler) ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันตามที่กระบวนการผลิตต้องการ โดยใช้พลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงต่าง ๆ เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำและเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (Steam Distribution System) ทำหน้าที่ลำเลียงไอน้ำจากหม้อไอน้ำไปยังจุดใช้งานต่าง ๆ ภายในโรงงาน และ (3) ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (Condensate Return System) ทำหน้าที่รวบรวมน้ำร้อนที่ได้จากการควบแน่นไอน้ำหลังใช้งาน และส่งกลับเข้าสู่หม้อไอน้ำเพื่อนำมาใช้ใหม่ (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2010) ซึ่งแต่ละส่วนล้วนมีบทบาทสำคัญทั้งในด้านประสิทธิภาพของการส่งผ่านพลังงานความร้อน และความปลอดภัยของระบบ หากองค์ประกอบใดมีข้อบกพร่องหรือติดตั้งไม่ถูกต้อง อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงาน การทำงานไม่ต่อเนื่อง หรือแม้แต่เกิดอุบัติเหตุที่รุนแรง ทั้งนี้ในภาพรวม กระบวนการก่อสร้างและติดตั้งระบบไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นงานที่มีความซับซ้อน ประกอบด้วยหลายขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับแรงงาน วัสดุอุปกรณ์ เครื่องจักร และสภาพแวดล้อมการทำงาน ซึ่งมีอันตรายแฝงในทุกขั้นตอนของการดำเนินงาน ทั้งอันตรายทางกายภาพ ความร้อน แรงดัน สารเคมี รวมถึงความเสี่ยงด้านการทำงานในที่สูง การใช้เครื่องมือกล และเครื่องจักรกลหนัก ดังนั้น การวิเคราะห์อันตรายอย่างรอบด้าน การประเมินความเสี่ยง การวางแผนป้องกัน และกำหนดมาตรการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ จึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อความปลอดภัยในการทำงาน จากการสำรวจงานวิจัยก่อนหน้าพบว่างานส่วนใหญ่มุ่งเน้นการวิเคราะห์ความเสี่ยงในส่วนของหม้อไอน้ำ เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนโดยตรง และมีความเสี่ยงสูงที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงที่ส่งผล

กระทบในวงกว้าง นอกจากนี้ การติดตั้งและใช้งานหม้อไอน้ำยังอยู่ภายใต้การควบคุมของกฎหมายและมาตรฐานด้านความปลอดภัยหลายฉบับ ทำให้เกิดการวิจัยเพื่อรองรับและพัฒนามาตรฐานเหล่านั้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่การศึกษาความเสี่ยงในส่วนของระบบท่อส่งไอน้ำยังมีข้อมูลอยู่จำกัด ทั้งที่ระบบดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เชื่อมโยงการกระจายพลังงานความร้อนไปยังจุดต่าง ๆ และต้องทำงานภายใต้แรงดันและอุณหภูมิสูงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหากขาดมาตรการควบคุมที่มีประสิทธิภาพก็อาจนำไปสู่เหตุการณ์ร้ายแรงที่ส่งผลกระทบทั้งต่อบุคลากร ทรัพย์สิน และการทำงานของระบบได้เช่นเดียวกับหม้อไอน้ำ การศึกษาความเสี่ยงในการติดตั้งระบบท่อจึงมีความสำคัญในการช่วยเติมเต็มองค์ความรู้ด้านความปลอดภัยในระบบไอน้ำอย่างเป็นองค์รวม ดังนั้น ในการดำเนินงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำเพื่อนำไปสู่แนวทางควบคุมความเสี่ยงที่เป็นระบบ และสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อพัฒนาคู่มือการปฏิบัติงานและมาตรฐานความปลอดภัยในอุตสาหกรรมให้มีความชัดเจนและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

กระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำประกอบด้วยขั้นตอนที่หลากหลาย ทั้งการจัดเตรียมอุปกรณ์และพื้นที่ก่อสร้าง การขนย้ายท่อและอุปกรณ์ การยกและติดตั้งท่อ การเชื่อมต่อท่อและอุปกรณ์ประกอบ การทดสอบแรงดัน การตรวจสอบการรั่วไหล และการปรับสภาพระบบก่อนใช้งาน ซึ่งแต่ละขั้นตอนต่างมีอันตรายแฝงอยู่หลายด้าน ทำให้แม้โครงการก่อสร้างต่าง ๆ จะมีการกำหนดมาตรการด้านความปลอดภัยอยู่แล้ว แต่ยังพบการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน ดังเห็นได้จากข้อมูลอุบัติเหตุในงานติดตั้งท่อของบริษัทก่อสร้างกรณีศึกษา ในช่วงปี พ.ศ. 2562–2566 จำนวน 8 โครงการ มีอุบัติเหตุจากการทำงานถึงขั้นบาดเจ็บเกิดขึ้นถึง 17 ครั้ง สะท้อนถึงความจำเป็นในการปรับปรุงมาตรการด้านความปลอดภัยให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น ซึ่ง ผู้วิจัยมีกรอบแนวคิดในการนำเทคนิคการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) มาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงของแต่ละขั้นตอนในการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ เพื่อประโยชน์ในการจัดลำดับความสำคัญของมาตรการควบคุมความเสี่ยงและเสริมสร้างระดับความปลอดภัยให้กับโครงการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำ

เทคนิค AHP เป็นหนึ่งในวิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายด้าน ผ่านกระบวนการเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) และจัดโครงสร้างข้อมูลในรูปแบบลำดับชั้น (Hierarchy) ข้อดีของ AHP คือ ช่วยให้กระบวนการตัดสินใจมีความเป็นระบบ ตรวจสอบย้อนกลับได้ และรองรับทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ จึงเหมาะกับการประเมินที่ต้องอาศัยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ หรือการพิจารณาปัจจัยที่ไม่สามารถวัดได้โดยตรง การประยุกต์ใช้ AHP ในการประเมินความเสี่ยงสามารถช่วยสะท้อนมุมมองของผู้ประเมินได้อย่างครบถ้วน พร้อมทั้งเน้นให้เห็นปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุดในแต่ละประเด็นได้อย่างเป็นระบบ (Saravisutra, 2016) เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการประเมินความเสี่ยงอื่น ๆ เช่น Expected Monetary Value (EMV), Fault Tree Analysis (FTA), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) หรือ Layer of Protection Analysis (LOPA) (Ericson, 2015) พบว่าเทคนิคเหล่านี้แม้จะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์เชิงสถิติและเหตุการณ์เฉพาะ แต่ยังมีข้อจำกัดในการจัดการกับข้อมูลเชิงคุณภาพ และไม่สามารถสะท้อนลำดับความสำคัญของปัจจัยที่หลากหลายได้อย่างครอบคลุมในคราวเดียว อีกทั้งยังมักตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าความเสี่ยงสามารถประเมินได้จากข้อมูลที่เป็นตัวเลขหรือค่าความน่าจะเป็น ซึ่งไม่เหมาะกับงานที่มีข้อมูลจำกัด และต้องพึ่งพาดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ ในทางตรงกันข้าม AHP มีความยืดหยุ่นสูง สามารถผสานข้อมูลเชิงปริมาณและความคิดเห็นเชิงคุณภาพเข้าด้วยกัน ช่วยให้สามารถประเมินสถานการณ์ที่มีข้อมูลไม่ครบถ้วนได้อย่างมีเหตุผล อีกทั้งกระบวนการเปรียบเทียบเป็นคู่ยังช่วยลดอคติจากการประเมินแบบรวมยอด (Holistic) และตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency) ของการตัดสินใจได้

ที่ผ่านมา เทคนิค AHP ได้รับการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในหลายสาขา ทั้งด้านการจัดสรรทรัพยากร การวางแผนกลยุทธ์ การคัดเลือกเทคโนโลยี และการประเมินโครงการด้านเศรษฐกิจ โดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ความคุ้มค่า เช่น การใช้ทรัพยากรภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณ เวลา หรือข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหรือผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ AHP ในบริบทของความปลอดภัยในการทำงาน โดยเฉพาะในภาคการก่อสร้างยังพบได้ไม่มากนัก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการใช้จุดแข็งของ AHP ในการวิเคราะห์และจัดลำดับ

ความเสี่ยงของขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำซึ่งเป็นงานที่มีอันตรายแฝงหลายประการ และยังมีช่องว่างของการศึกษาในเชิงระบบ การนำ AHP มาใช้จะช่วยให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยเสี่ยงได้อย่างมีเหตุผลบนพื้นฐานของเกณฑ์ที่ชัดเจน ลดอคติในการตัดสินใจ และช่วยให้สามารถออกแบบมาตรการควบคุมความเสี่ยงได้สอดคล้องกับบริบทจริงของงานก่อสร้าง ผู้วิจัยมุ่งหวังว่าผลการศึกษานี้จะช่วยให้ทราบถึงขั้นตอนการทำงานติดตั้งท่อส่งไอน้ำที่มีความเสี่ยงสูงสุด เพื่อให้สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการวางแผนควบคุมความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์เป็นแนวทางหรือแม่แบบในการประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสิ่งแวดล้อมในการทำงานสำหรับโครงการอื่น ๆ ในอนาคต โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงของขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ โดยประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research) โดยใช้การวิเคราะห์เชิงคุณภาพควบคู่กับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อประเมินและจัดลำดับความเสี่ยงของขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำ มีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัย มีดังนี้

2.1 การวิเคราะห์กิจกรรมและจำแนกขั้นตอนหลักในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ

การวิเคราะห์กิจกรรมในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำอาศัยข้อมูลจากคู่มือปฏิบัติงานและเอกสารขออนุญาตทำงานของโครงการก่อสร้างระบบท่อส่งไอน้ำจำนวน 2 โครงการ ซึ่งมีขนาดของโครงการแตกต่างกันแบ่งตามมูลค่าของงาน คือ โครงการที่มีมูลค่าเกิน 100 ล้านบาท และโครงการที่มีมูลค่าอยู่ในช่วง 50–100 ล้านบาท ข้อมูลสำคัญที่ศึกษาได้แก่ กิจกรรมย่อยต่าง ๆ ในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ ลักษณะการปฏิบัติงาน วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ สภาพแวดล้อมของพื้นที่ปฏิบัติงาน อันตรายแฝง รวมถึงจุดที่ควรระวัง หรืออุบัติเหตุที่เคยเกิดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกขั้นตอนหลักของงานติดตั้งท่อส่งไอน้ำ โดยแบ่งตามลักษณะกิจกรรม อันตรายแฝง และลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

2.2 การกำหนดโครงสร้างลำดับชั้นของการประเมินความเสี่ยงตามหลักการ AHP

โครงสร้างลำดับชั้น (Hierarchy Structure) ตามหลักการ AHP ประกอบด้วย 3 ลำดับชั้น คือ เป้าหมาย (Goal) เกณฑ์การตัดสินใจ (Criteria) และทางเลือก (Alternatives) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรายละเอียดของแต่ละลำดับชั้น ได้แก่

ลำดับชั้นที่ 1 เป้าหมาย (Goal) คือ การจัดลำดับความเสี่ยงของขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ

ลำดับชั้นที่ 2 เกณฑ์การตัดสินใจ (Criteria) คือ ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงของแต่ละขั้นตอนในการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ โดยเกณฑ์เหล่านี้จะถูกใช้เป็นกรอบการตัดสินใจในการเปรียบเทียบความเสี่ยงระหว่างขั้นตอนการติดตั้งทีละคู่ (Pairwise Comparison) เพื่อพิจารณาว่าขั้นตอนใดมีความเสี่ยงมากกว่าเมื่อประเมินภายใต้เกณฑ์เดียวกัน

เกณฑ์การประเมินความเสี่ยงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการทบทวนเอกสารมาตรฐานและแนวปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเสี่ยง ได้แก่ แนวทางของกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน มาตรฐาน ISO 45001 และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ในการประเมินความเสี่ยงในงานวิจัยนี้

ลำดับชั้นที่ 3 ทางเลือก (Alternatives) คือ ขั้นตอนหลักแต่ละขั้นในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ ที่ต้องได้รับการประเมินและจัดลำดับความเสี่ยงภายใต้เกณฑ์ที่กำหนด

2.3 การจัดทำแบบสอบถามการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ และการประเมินความเสี่ยงโดยผู้เชี่ยวชาญ

แบบสอบถามการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ โดยมีโครงสร้างอ้างอิงตามโครงสร้างลำดับชั้นของการประเมินความเสี่ยงตามหลักการ AHP ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่

(1) การเปรียบเทียบรายคู่ในระดับเกณฑ์การตัดสินใจ (เกณฑ์ด้านความเสี่ยง)

(2) การเปรียบเทียบรายคู่ในระดับทางเลือก (ขั้นตอนการทำงาน)

การเปรียบเทียบแต่ละคู่ดำเนินการโดยใช้ค่าตัวเลข 1–9 เพื่อแสดงระดับความสำคัญเชิงสัมพัทธ์ของปัจจัยทั้งสองตามมาตราส่วนที่พัฒนาโดย Saaty (2008) ตัวเลขแต่ละค่ามีคำอธิบายดังแสดงในตารางที่ 1 (Table 1.)

Table 1. Scales of relative importance according to Saaty for Pairwise Comparison

Intensity of Importance	Explanation
1	- Both factors contribute equally to the objective.
3	- One factor is moderately more important than the other.
5	- One factor is strongly more important than the other.
7	- One factor is very strongly more important than the other.
9	- One factor is of the highest importance compared to the other.
2, 4, 6, 8	- Intermediate levels of importance between the main scale values; when compromise is needed

Adapted from Saaty (2008)

จำนวนครั้งในการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$N = \frac{n^2 - n}{2} \quad (1)$$

เมื่อ N = จำนวนครั้งในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

n = จำนวนปัจจัยที่ถูกนำมาเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ

การประเมินความเสี่ยงดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามที่จัดทำขึ้น ส่งให้กับผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยและการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ จำนวน 5 ท่านจากโครงการกรณีศึกษา ซึ่งแต่ละท่านมีคุณสมบัติตามตารางที่ 2 (Table 2.) และทุกท่านต้องเคยผ่านการอบรมหรือมีความรู้ในการประเมินความเสี่ยง เข้าใจกระบวนการ AHP และดำเนินการประเมินได้อย่างถูกต้อง

Table 2. Expert Qualifications

Expert Group	Number of respondents	Qualifications
Safety Manager/ Professional Safety Office/ Technical Safety Officer	3	- Experienced in steam pipeline installation safety
Mechanical Engineer (Associate Level)	1	- Involved in design and technical aspects of steam pipeline systems
Mechanical Supervisor	1	- Directly supervises installation activities
Total	**5**	

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค AHP เพื่อการจัดลำดับความเสี่ยงของขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการของ AHP เป็นการนำค่าคะแนนจากการเปรียบเทียบเป็นคู่ที่รวบรวมได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย (เกณฑ์ความเสี่ยง และขั้นตอนการติดตั้ง) ที่นำมาเปรียบเทียบกัน พร้อมทั้งตรวจสอบค่าความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ของการตัดสินใจ ซึ่งต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 เพื่อรับรองความสมเหตุสมผลของการประเมิน โดยมีขั้นตอนและสมการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

(1) การสร้างเมทริกซ์ของการเปรียบเทียบเป็นคู่ (Pairwise Comparison Matrix)

จากข้อมูลการเปรียบเทียบเป็นคู่ ระหว่างเกณฑ์ความเสี่ยงทุกด้าน และระหว่างขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอน นำมาสร้างเมทริกซ์จัตุรัส (Square Matrix) A ขนาด n×n โดยมีสมาชิกใน A เป็นค่าตัวเลขของคะแนนประเมิน (Rating Score) จากการเปรียบเทียบเป็นคู่ซึ่งถูกปรับค่าให้เป็น 1 แล้ว ดังสมการ (2)

$$A = [a_{ij}] \tag{2}$$

โดยที่ $a_{ij} = 1$ เมื่อ $i = j$ และ $a_{ij} = 1/a_{ji}$ เมื่อ $i \neq j$

n = จำนวนปัจจัยที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ

(2) การคำนวณเวกเตอร์น้ำหนัก (Weight Vector)

ใช้วิธีค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue Method) เพื่อคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ความเสี่ยง และแต่ละขั้นตอนการติดตั้งที่นำมาเปรียบเทียบกัน ดังรูปแบบสมการ (3)

$$Aw = \lambda_{max} w \tag{3}$$

เมื่อ w คือ Eigenvector (เวกเตอร์น้ำหนักความสำคัญ)

λ_{max} คือ Eigenvalue ที่มีค่าสูงสุด

(3) การตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency Check)

- หาค่าดัชนีแสดงความสอดคล้อง (Consistency Index, C.I.) จากสมการ (4)

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{n - 1} \tag{4}$$

- หาค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) จากสมการ (5)

$$C.R. = C.I./R.I \tag{5}$$

โดยที่ R.I. คือค่า Random Index ซึ่งมีค่าตามขนาดของเมตริกซ์ หรือจำนวนปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งมีค่าดังในตารางที่ 3 (Table 3.)

Table 3. Random Index Values (R.I) Based on Matrix Size.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R.I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57

Saaty (1980)

อัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: C.R.) เป็นตัวชี้วัดความสอดคล้องของการให้คะแนนเปรียบเทียบเป็นคู่ของผู้เชี่ยวชาญตามหลักการของวิธี AHP โดยใช้ในการตรวจสอบว่าการให้คะแนนมีความสอดคล้องในเชิงตรรกะเพียงพอหรือไม่ โดยทั่วไป หากค่า C.R. มีค่าไม่เกิน 0.1 จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถใช้ค่าคะแนนดังกล่าวไปคำนวณหาค่าน้ำหนักสัมพัทธ์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์หรือทางเลือกต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม

(4) การหาค่าถ่วงน้ำหนักรวมของความเสี่ยง (Overall Weighted Risk) ของแต่ละขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ เมื่อได้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ความเสี่ยง และแต่ละขั้นตอนการทำงาน นำมาคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักรวม (Overall Weighted Risk: WRA) โดยใช้สมการ (6)

$$WRA_j = \sum(W_{pi}W_{cij}) \quad (6)$$

โดยที่ WRA_j = คะแนนถ่วงน้ำหนักรวม สำหรับขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ ลำดับที่ j

WP_i = ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ความเสี่ยงลำดับที่ i

WC_{ij} = ค่าน้ำหนักความเสี่ยงของขั้นตอนการทำงานลำดับที่ j ภายใต้เกณฑ์ความเสี่ยงลำดับที่ i

2.5 การจัดลำดับความเสี่ยงของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ

ค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักรวม (WSA) ที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนที่ 2.5 ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับความเสี่ยงของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ โดยพิจารณาจากลำดับของค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักรวม ซึ่งขั้นตอนที่มีคะแนนถ่วงน้ำหนักรวมสูงสุดจะถูกจัดให้อยู่ในลำดับความเสี่ยงสูงสุด และลดหลั่นลงมาตามลำดับค่าคะแนนที่ต่ำลง เพื่อระบุขั้นตอนการทำงานที่ควรได้รับความสำคัญเป็นลำดับแรกในการควบคุมและป้องกันความเสี่ยง

3. ผลการวิจัย

3.1 การจำแนกขั้นตอนหลักของกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ

จากการศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงาน (SOP) และเอกสารขออนุญาตทำงาน (Work Permit) ของโครงการกรณีศึกษา โดยการวิเคราะห์ลักษณะของแต่ละกิจกรรมย่อยตามลำดับการปฏิบัติงานจริงในโครงการ และใช้เทคนิคการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (Job Safety Analysis: JSA) ในการระบุอันตรายที่อาจเกิดขึ้น พบว่า สามารถจำแนกขั้นตอนหลักในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำได้เป็น 8 ขั้นตอน ได้แก่

3.1.1 การขนส่งท่อไอน้ำ (Transportation of Steam Pipes) เป็นการขนส่งท่อจากโรงงานผลิตไปยังสถานที่ก่อสร้าง โดยใช้รถเทรลเลอร์ขนส่งท่อตามเส้นทางที่มีการวางแผนไว้เพื่อความปลอดภัยและไม่กระทบต่อผู้ใช้ทางสาธารณะ

3.1.2 การยกประกอบท่อในพื้นที่ราบ (Ground-Level Pipe Lifting and Assembly) โดยใช้เครนเคลื่อนที่ทำการยกท่อไอน้ำขึ้นวางบนจุดรองรับ (Pipe Support) ที่จัดเตรียมไว้บนระดับพื้นดิน จากนั้นใช้รอกหรือ Chain Block ช่วยจัดแนวท่อ (Line-Up) ให้ตรงตามแบบวิศวกรรม พร้อมตรวจสอบระดับ ความสูง และระยะห่างของจุดยึด เพื่อความมั่นคงก่อนการเชื่อม

3.1.3 การยกประกอบท่อบนพื้นที่สูง (Elevated Pipe Lifting and Assembly) โดยใช้เครนเคลื่อนที่ยกท่อขึ้นไปยังโครงสร้างนั่งร้านหรือ Pipe Rack ที่อยู่เหนือพื้นดิน จากนั้นใช้รอกเพื่อจัดแนวท่อให้ได้ตำแหน่งตามแบบ

3.1.4 การเชื่อมท่อ (Pipe Welding) ช่างเชื่อมจะทำการจัดแนว (Line-Up) และเชื่อมตามแนว จากนั้นใช้หินเจียรแต่งแนวรอยต่อให้เรียบ และตรวจสอบเบื้องต้นด้วยกระบวนการ PT (Penetrant Testing) ซึ่งเป็นการใช้สเปรย์ตรวจสอบรอยร้าวหรือรูพรุน

3.1.5 การทดสอบแนวเชื่อมด้วยรังสี (Radiographic Testing) โดยใช้รังสีแกมมา (Gamma Ray) ฉายผ่านแนวเชื่อมท่อเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ภายใน การดำเนินการมักทำในเวลากลางคืนเพื่อความปลอดภัย

3.1.6 การหุ้มฉนวนกันความร้อน (Thermal Insulation) ใช้วัสดุฉนวน (Rockwool) หุ้มรอบท่อไอน้ำ พร้อมทั้งตรวจสอบความต่อเนื่องของฉนวนและการยึดให้แน่นหนา เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานและป้องกันผู้ปฏิบัติงานจากการสัมผัสผิวท่อที่มีอุณหภูมิสูง

3.1.7 การทดสอบแรงดันและทำความสะอาดท่อ (Pressure Testing and Cleaning) เป็นการเติมน้ำสะอาดเข้าในท่อแล้วอัดแรงดันถึง 150 บาร์ เพื่อทดสอบการรั่วซึม และใช้ไอน้ำแรงดันสูงเป่าไล่ตะกรันและสนิมที่อาจตกค้าง เพื่อให้ท่อสะอาดพร้อมใช้งาน การทดสอบทั้งสองต้องติดตั้งมาตรวัดความดัน (Pressure Gauge) วาล์วนิรภัย (Relief Valve) และใช้เครื่องมือวัดอย่างแม่นยำ

3.1.8 การบรรจุก๊าซไนโตรเจนเข้าในท่อ (Nitrogen Gas Filling into Pipeline) หลังจากทดสอบและทำความสะอาดเรียบร้อย โดยการเติมก๊าซไนโตรเจนเข้าในท่อเพื่อป้องกันการเกิดสนิมภายในท่อก่อนการจ่ายไอน้ำจริง เป็นการรักษาสภาพภายในท่อให้อยู่ในสภาวะปลอดความชื้น (Inert Condition)

ขั้นตอนการทำงานทั้ง 8 ขั้นตอน มีอันตรายแฝงที่อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ดังแสดงใน Table 4. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในแต่ละขั้นตอนมีลักษณะของอันตรายที่เฉพาะเจาะจง ตามลักษณะของกิจกรรมที่ดำเนินการในแต่ละขั้นตอน ทั้งนี้ การระบุอันตรายแฝงในแต่ละขั้นตอนจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นแนวทางสำคัญในการวางแผนควบคุมและป้องกันอุบัติเหตุในกระบวนการติดตั้งระบบท่อส่งไอน้ำอย่างเป็นระบบและครอบคลุมครอบคลุม

Table 4. Installation Work Steps and Associated Potential Hazards

	Work Steps	Potential Hazards
1	Transportation of steam pipes	1.1 Hazard from road transportation accidents. 1.2 Hazard from pipe falling and hitting the ground during transport. 1.3 Hazard from steel pipe crushing worker's fingers. 1.4 Hazard from improper use of lifting tools and equipment. 1.5 Hazard from intoxicated driver.
2	Ground-level pipe lifting and assembly	2.1 Hazard from forklift tipping over. 2.2 Hazard from broken or damaged hoist. 2.3 Hazard from crane contacting 24 kV power lines, causing electric shock. 2.4 Hazard from broken lifting sling. 2.5 Hazard from pipe striking hands. 2.6 Hazard from public vehicle rear-ending the crane during pipe lifting. 2.7 Hazard from improper lifting posture or lifting excessive weight.
3	Elevated pipe lifting and assembly	3.1 Hazard of falling from height. 3.2 Hazard from pipe sliding off scaffolding. 3.3 Hazard from falling tools or materials.
4	Pipe welding	4.1 Hazard from welding arc light. 4.2 Hazard from welding fumes and fine dust. 4.3 Hazard from welding heat. 4.4 Hazard of fire caused by sparks contacting flammable materials. 4.5 Hazard of electric shock. 4.6 Hazard from grinding wheel kickback causing hand injury.
5	Radiographic Testing (RT Test)	5.1 Hazard of damage to skin cells and tissue. 5.2 Hazard from high radiation exposure, potentially fatal. 5.3 Risk of cancer from prolonged exposure.
6	Thermal insulation	6.1 Hazard from insulation dust affecting the respiratory system. 6.2 Hazard from skin irritation. 6.3 Hazard from eye irritation. 6.4 Hazard of finger cuts or pinching from utility knife or tools.
7	Pressure Testing and Cleaning	7.1 Hazard from pipe or flange explosion. 7.2 Hazard from debris or residue ejected from inside the pipe. 7.3 Hazard from wet and slippery floor surfaces.
8	Nitrogen Gas Filling into Pipeline	8.1 Hazard from explosion of valve or fittings. 8.2 Hazard of frostbite from extremely cold gas exposure.

3.2 โครงสร้างลำดับชั้นของการประเมินความเสี่ยงตามหลักการ AHP

โครงสร้างลำดับชั้นของการประเมินความเสี่ยงตามหลักการ AHP เพื่อใช้ในการจัดลำดับความเสี่ยงของขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ มีลักษณะดังแสดงใน Figure 1.

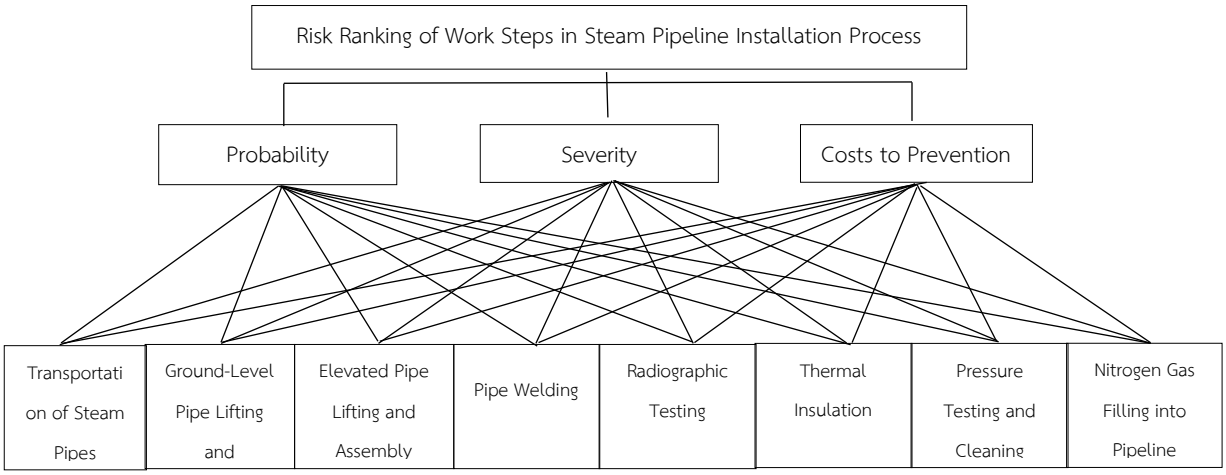

Figure 1. Hierarchical Diagram for Steam Pipeline Installation Steps

โครงสร้างลำดับชั้นใน Figure 1. ประกอบด้วย

ลำดับชั้นที่ 1: เป้าหมายหลักของการประเมิน (Goal) คือ การจัดลำดับความเสี่ยงของขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ

ลำดับชั้นที่ 2: เกณฑ์ในการประเมินความเสี่ยง (Criteria) ได้แก่ ปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจเพื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงแบบเป็นคู่ระหว่างแต่ละขั้นตอนในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ จากการศึกษาทบทวนเอกสาร แนวทางปฏิบัติของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีปัจจัยหลักที่มักใช้ในการพิจารณาความเสี่ยงอยู่ 3 ด้าน (Kanesan, 2021) ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินความเสี่ยงในครั้งนี้ ได้แก่

ความน่าจะเป็นของการเกิดอันตราย (Probability) พิจารณาจากความถี่หรือความเป็นไปได้ที่อันตรายจะเกิดขึ้นจากขั้นตอนการทำงานนั้น

ความรุนแรง (Severity) พิจารณาจากระดับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้ปฏิบัติงาน หากอันตรายนั้นเกิดขึ้นจริง

ค่าใช้จ่ายในการป้องกัน (Costs to prevention) พิจารณาจากทรัพยากรหรือต้นทุนที่จำเป็นในการดำเนินมาตรการป้องกันหรือควบคุมความเสี่ยง เพื่อให้อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนการทำงานนั้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ลำดับชั้นที่ 3: ทางเลือก (Alternatives) คือ ขั้นตอนหลักในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำจำนวน 8 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การขนส่งท่อ (2) การยกประกอบท่อในพื้นที่ราบ (3) การยกประกอบท่อบนพื้นที่สูง (4) การเชื่อมท่อ (5) การทดสอบแนวเชื่อมด้วยรังสี (6) การหุ้มฉนวนกันความร้อน (7) การทดสอบแรงดันและทำความสะอาดท่อ และ (8) การบรรจุก๊าซไนโตรเจนเข้าในท่อ

ตามโครงสร้างลำดับชั้นดังกล่าว การประเมินความเสี่ยงโดยการเปรียบเทียบเป็นคู่จึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความน่าจะเป็นของการเกิดอันตราย ความรุนแรงของอันตราย และค่าใช้จ่ายในการป้องกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์

ส่วนที่ 2 เป็นการประเมินความเสี่ยงของขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำทั้ง 8 ขั้นตอน โดยการเปรียบเทียบความเสี่ยงของขั้นตอนต่าง ๆ ทีละคู่ เพื่อหาค่าน้ำหนักของแต่ละขั้นตอนภายใต้เกณฑ์ความเสี่ยงแต่ละด้าน

3.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบรายคู่โดยผู้เชี่ยวชาญ ตามหลักการของ AHP

จากข้อมูลตัวเลขระดับความสำคัญซึ่งได้มาจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ผ่านแบบสอบถามการเปรียบเทียบเป็นคู่ นำมาวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ (Relative Weight) ตามหลักการ AHP พร้อมตรวจสอบค่าความสอดคล้องของการประเมิน (C.R.) มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

3.3.1 ผลการวิเคราะห์ความสำคัญของเกณฑ์การประเมินความเสี่ยง

ผลการวิเคราะห์ความสำคัญของเกณฑ์การประเมินความเสี่ยง มีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ (Relative Weights) ของเกณฑ์แต่ละด้านดังแสดงใน Table 5.

Table 5. Relative Weights and Consistency Ratio (C.R.) of the Three Risk Assessment Criteria

Criteria	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Average
Probability	0.142	0.210	0.163	0.159	0.210	0.177
Severity	0.428	0.240	0.297	0.251	0.548	0.353
Costs to Prevention	0.428	0.548	0.539	0.588	0.240	0.469
C.R.	0.000	0.016	0.008	0.046	0.016	

โดยภาพรวม ค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงทั้งสามด้าน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่ให้ค่าใช้จ่ายในการป้องกันอันตราย (Costs to Prevention) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุดในการประเมินความเสี่ยงของขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ โดยมีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 0.469 รองลงมาคือ ความรุนแรงของอันตราย (Severity) เฉลี่ยเท่ากับ 0.353 และความน่าจะเป็นในการเกิดอันตราย (Probability) เฉลี่ยเท่ากับ 0.177

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาข้อมูลในรายบุคคล พบว่ามีผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่านที่มีรูปแบบการให้ค่าน้ำหนักแตกต่างจากท่านอื่น โดยให้ค่าน้ำหนักสูงสุดกับความรุนแรงของอันตราย ขณะที่ให้ค่าน้ำหนักกับค่าใช้จ่ายในการป้องกันในระดับต่ำที่สุด จากความแตกต่างดังกล่าว ผู้วิจัยได้ดำเนินการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเพิ่มเติมเพื่อทำความเข้าใจมุมมองในการให้ค่าน้ำหนัก พบว่า มุมมองของผู้เชี่ยวชาญต่อการประเมินความสำคัญของเกณฑ์ความเสี่ยงยังแตกต่างกันตามประสบการณ์และบทบาทหน้าที่ในการทำงาน กล่าวคือ ผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายในการป้องกันอันตราย มักพิจารณาความคุ้มค่าของมาตรการควบคุมความเสี่ยงควบคู่กันไป โดยจากประสบการณ์พบว่าค่าใช้จ่ายที่สูงเกินไปอาจเป็นอุปสรรคต่อการดำเนินมาตรการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ และหากไม่สามารถควบคุมค่าใช้จ่ายได้อย่างเหมาะสม อาจส่งผลให้การจัดการความเสี่ยงขาดความยั่งยืนในระยะยาว ในทางกลับกัน ผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความสำคัญกับความรุนแรงของอันตรายจะพิจารณาว่าระดับความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นต่อชีวิตและสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินระดับความเสี่ยง ซึ่งควรใช้ในการกำหนดลำดับความสำคัญของมาตรการควบคุมความเสี่ยงก่อนปัจจัยด้านอื่น

ทั้งนี้ ผลการตรวจสอบอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: C.R.) ของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่าน พบว่ามีค่าไม่เกิน 0.1 (0.000–0.046) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามหลักการ AHP สะท้อนว่าการให้คะแนนของผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องเพียงพอ จึงสามารถนำค่าคะแนนดังกล่าวไปคำนวณหาค่าน้ำหนักสัมพัทธ์เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงของแต่ละขั้นตอนการทำงานได้อย่างเหมาะสม

3.3.2 ผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงของขั้นตอนการทำงานภายใต้เกณฑ์การประเมินความเสี่ยงแต่ละด้าน

การวิเคราะห์ความเสี่ยงของขั้นตอนการทำงาน 8 ขั้นตอน ภายใต้เกณฑ์การประเมินความเสี่ยงแต่ละด้าน คือ ความน่าจะเป็น ความรุนแรง และค่าใช้จ่ายในการป้องกัน มีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ความเสี่ยง (Relative Risk Weight) ดังแสดงใน Table 6., 7. และ 8. ตามลำดับ

Table 6. Relative Risk Weights of Steam Pipeline Installation Steps under the Probability Criterion

Installation Steps	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Average
Steam Pipeline Transportation	0.113	0.080	0.065	0.075	0.088	0.084
Ground-Level Pipe Lifting and Assembly	0.082	0.073	0.076	0.054	0.097	0.077
Elevated Pipe Lifting and Assembly	0.238	0.267	0.151	0.281	0.297	0.247
Pipe Welding	0.090	0.184	0.273	0.133	0.106	0.157
Radiographic Testing	0.147	0.100	0.092	0.109	0.193	0.128
Thermal Insulation	0.095	0.073	0.081	0.140	0.074	0.093
Pressure Testing and Cleaning	0.118	0.108	0.148	0.078	0.065	0.103
Nitrogen Gas Filling into Pipeline	0.113	0.111	0.112	0.126	0.076	0.108
C.R.	**0.100**	**0.090**	**0.098**	**0.096**	**0.099**	

Table 7. Relative Risk Weights of Steam Pipeline Installation Steps under the Severity Criterion.

Installation Steps	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Average
Steam Pipeline Transportation	0.070	0.055	0.100	0.098	0.105	0.086
Ground-Level Pipe Lifting and Assembly	0.085	0.061	0.100	0.087	0.092	0.085
Elevated Pipe Lifting and Assembly	0.243	0.198	0.168	0.207	0.289	0.221
Pipe Welding	0.074	0.308	0.196	0.179	0.073	0.166
Radiographic Testing	0.118	0.118	0.143	0.127	0.163	0.134
Thermal Insulation	0.162	0.099	0.097	0.105	0.103	0.113
Pressure Testing and Cleaning	0.128	0.082	0.091	0.081	0.080	0.092
Nitrogen Gas Filling into Pipeline	0.116	0.075	0.101	0.112	0.091	0.099
C.R.	**0.095**	**0.066**	**0.086**	**0.088**	**0.097**	

Table 8. Relative Risk Weights of Steam Pipeline Installation Steps under the Costs of Prevention Criterion.

Installation Steps	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Average
Steam Pipeline Transportation	0.070	0.105	0.117	0.095	0.104	0.098
Ground-Level Pipe Lifting and Assembly	0.118	0.092	0.089	0.066	0.067	0.086
Elevated Pipe Lifting and Assembly	0.289	0.289	0.308	0.286	0.287	0.292
Pipe Welding	0.168	0.073	0.074	0.069	0.067	0.090
Radiographic Testing	0.129	0.163	0.154	0.165	0.161	0.155
Thermal Insulation	0.078	0.103	0.101	0.077	0.106	0.093
Pressure Testing and Cleaning	0.056	0.080	0.063	0.149	0.113	0.092
Nitrogen Gas Filling into Pipeline	0.087	0.091	0.089	0.090	0.091	0.090
C.R.	**0.098**	**0.097**	**0.094**	**0.081**	**0.100**	

ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของขั้นตอนการทำงานทั้ง 8 ขั้นตอน ภายใต้เกณฑ์การประเมินความเสี่ยงแต่ละด้าน แสดงให้เห็นรูปแบบที่สอดคล้องกันว่า ขั้นตอนการยกประกอบท่อบนพื้นที่สูง (Elevated Pipe Lifting and Assembly) มีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์สูงที่สุดในเกณฑ์ทั้ง 3 ด้าน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.247, 0.221 และ 0.292 สำหรับเกณฑ์ด้านความน่าจะเป็น ด้านความรุนแรง และด้านค่าใช้จ่ายในการป้องกัน ตามลำดับ ในขณะที่ขั้นตอนอื่น ๆ เช่น การทดสอบแนวเชื่อมด้วยรังสี (Radiographic Testing) และการเชื่อมท่อ (Pipe Welding) มีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ในระดับปานกลาง ส่วนขั้นตอนที่มีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ต่ำ ได้แก่ การทดสอบแรงดันและทำความสะอาดท่อ (Pressure Testing and Cleaning) และการขนส่งท่อ (Steam Pipeline Transportation)

ผลการตรวจสอบค่าอัตราส่วนความสอดคล้องของการประเมิน (C.R.) โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่ามีค่าไม่เกิน 0.1 ทุกกรณี แสดงถึงความสมเหตุสมผลของการให้คะแนนประเมินของผู้เชี่ยวชาญ

3.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าผลรวมถ่วงน้ำหนักความเสี่ยงของขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ และการจัดลำดับความเสี่ยง

จากค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงทั้ง 3 ด้าน และค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของขั้นตอนการทำงานทั้ง 8 ขั้นตอน นำมาคำนวณหาค่าผลรวมถ่วงน้ำหนักความเสี่ยง (Overall Weighted Risk) ของขั้นตอนการทำงาน มีผลวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 9.

Table 9. Overall Weighted Risk of Steam Pipeline Installation Steps and Risk Ranking

Installation Steps	Overall Weighted Risk	Risk Ranking
Steam Pipeline Transportation	0.092	7
Ground-Level Pipe Lifting and	0.085	8
Assembly Elevated Pipe Lifting and	0.259	1
Assembly	0.129	3
Pipe Welding	0.143	2
Radiographic Testing	0.101	4
Thermal Insulation	0.095	6
Pressure Testing and Cleaning	0.097	5
Nitrogen Gas Filling into Pipeline		

ผลการวิเคราะห์ค่าผลรวมถ่วงน้ำหนักความเสี่ยงของขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำทั้ง 8 ขั้นตอน พบว่าขั้นตอนการยกประกอบท่อบนพื้นที่สูงมีค่าผลรวมถ่วงน้ำหนักความเสี่ยงสูงที่สุด (0.259) รองลงมาคือขั้นตอนการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยรังสี (0.143) และขั้นตอนการเชื่อมท่อ (0.129) ตามลำดับ สำหรับขั้นตอนอื่น ๆ ได้แก่ การติดตั้งฉนวนกันความร้อน การเติมก๊าซไนโตรเจนเข้าท่อ การทดสอบแรงดันและทำความสะอาดท่อ การขนย้ายท่อ และการยกประกอบท่อบนพื้นที่ราบ พบว่ามีค่าผลรวมถ่วงน้ำหนักความเสี่ยงในระดับที่ต่ำกว่า

4. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการประเมินความเสี่ยงโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น พบว่าขั้นตอนการยกประกอบท่อบนพื้นที่สูงมีค่าผลรวมถ่วงน้ำหนักความเสี่ยงสูงที่สุด (0.259) รองลงมาคือขั้นตอนตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยรังสี (0.143) และขั้นตอนการเชื่อมท่อ (0.129) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นรูปแบบที่สอดคล้องกันในเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงทั้งสามด้าน

ได้แก่ ความน่าจะเป็น ความรุนแรง และค่าใช้จ่ายในการป้องกัน โดยขั้นตอนการยกประกอบท่อบนพื้นที่สูงมีค่าน้ำหนักสัมพัทธ์สูงสุดในทั้งสามด้าน ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าขั้นตอนนี้มีความเสี่ยงสูงทั้งในด้านโอกาสเกิด ความรุนแรงของผลกระทบ และต้นทุนที่ต้องใช้ในการควบคุมอันตราย ความเสี่ยงที่สูงของขั้นตอนนี้สอดคล้องกับลักษณะงานที่ต้องทำงานบนที่สูง ซึ่งมีอันตรายสำคัญ ได้แก่ อันตรายจากการตกจากที่สูงของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การตกจากนั่งร้าน บันได หรือโครงสร้างชั่วคราวระหว่างการปฏิบัติงาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บรุนแรงหรือเสียชีวิต อันตรายจากท่อเลื่อนหรือตกจากนั่งร้านหรืออุปกรณ์รองรับระหว่างการยกประกอบหรือการจัดวางชั่วคราว ซึ่งอาจทำให้ท่อหล่นลงมาก่อให้เกิดอุบัติเหตุหรือสร้างความเสียหายต่อทรัพย์สิน รวมถึงอันตรายจากการตกหล่นของเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือวัสดุต่าง ๆ เช่น ประแจ อุปกรณ์เชื่อม หรือชิ้นส่วนโครงสร้าง ที่อาจตกลงมาโดนผู้ปฏิบัติงานด้านล่าง ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บได้เช่นกัน

การวิเคราะห์ผลการให้ค่าน้ำหนักเกณฑ์ความเสี่ยงของผู้เชี่ยวชาญพบว่า ผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายในการป้องกันอันตรายเป็นหลัก รองลงมาคือความรุนแรง และความน่าจะเป็น ซึ่งสะท้อนถึงมุมมองในการบริหารจัดการความเสี่ยงในงานติดตั้งท่อส่งไอน้ำที่ต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าของมาตรการควบคุมควบคู่กับความรุนแรงของอันตรายเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดการความเสี่ยงและความยั่งยืนในระยะยาว อย่างไรก็ตาม พบว่ามีผู้เชี่ยวชาญบางท่านที่ให้ความสำคัญกับความรุนแรงมากกว่าต้นทุน โดยเน้นการป้องกันอันตรายร้ายแรงต่อชีวิตและสุขภาพก่อน ซึ่งเป็นการแสดงถึงความแตกต่างในมุมมองตามบทบาทและประสบการณ์ในการทำงานของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่าน อย่างไรก็ตาม ผลการตรวจสอบอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: C.R.) ของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่าน พบว่า มีค่าไม่เกิน 0.1 ทุกกรณี แสดงถึงความสอดคล้องของการให้คะแนนประเมินในระดับที่ยอมรับได้ตามหลัก AHP ทำให้ผลการประเมินมีความน่าเชื่อถือ

ดังนั้น ในภาพรวมจึงกล่าวได้ว่าการใช้วิธี AHP ในการประเมินความเสี่ยงในงานวิจัยนี้ช่วยให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของขั้นตอนการทำงานที่มีความเสี่ยงได้อย่างเป็นระบบ สามารถนำข้อมูลไปใช้ประกอบการวางแผนด้านความปลอดภัย การจัดสรรทรัพยากร และการกำหนดมาตรการควบคุมความเสี่ยงให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ประยุกต์ใช้วิธีการ AHP ในการประเมินและจัดลำดับความเสี่ยงของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ พบว่าขั้นตอนการยกประกอบท่อบนพื้นที่สูงเป็นขั้นตอนที่มีความเสี่ยงสูงที่สุด รองลงมาคือการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยรังสี และการเชื่อมท่อ ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายในการป้องกันอันตรายเป็นหลัก รองลงมาคือความรุนแรงและความน่าจะเป็น โดยผลการประเมินทั้งหมดมีค่าความสอดคล้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามหลักการของ AHP แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธี AHP มีความเหมาะสมและสามารถใช้จัดลำดับความสำคัญของความเสี่ยงในขั้นตอนการติดตั้งท่อส่งไอน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในเชิงปฏิบัติ ควรนำผลการจัดลำดับความเสี่ยงไปใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมความเสี่ยงในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการทำงาน โดยให้ความสำคัญกับการจัดสรรทรัพยากรด้านความปลอดภัยให้กับขั้นตอนการยกประกอบท่อบนพื้นที่สูงเป็นลำดับแรก เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่มีระดับความเสี่ยงสูงสุดทั้งในด้านความน่าจะเป็น ความรุนแรง และค่าใช้จ่ายในการควบคุมอันตราย มาตรการควบคุมที่ควรนำมาใช้ ได้แก่ การใช้ระบบป้องกันการตกจากที่สูง (Fall Protection System) เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานตกจากที่สูง หรือช่วยลดความรุนแรงของการบาดเจ็บหากเกิดการตกในระหว่างการทำงานบนที่สูง ตัวอย่างเช่น การติดตั้งราวกันตก ตาข่ายนิรภัย (Safety Net) การใช้สายรัดนิรภัยร่วมกับสายกันตกที่มีความยาวจำกัด หรือระบบกันตกแบบดูดซับแรง (Shock Absorbing System) ทั้งนี้ การใช้ท่อสำเร็จรูปเพื่อลดกิจกรรมการทำงาน

บนพื้นที่สูง จะช่วยลดระยะเวลาการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยง อีกทั้งควรจัดให้มีการอบรมพนักงานให้มีความรู้และทักษะในการทำงานบนที่สูงอย่างปลอดภัย เพื่อสร้างความตระหนักรู้ ลดความประมาท และป้องกันการเกิดอุบัติเหตุซ้ำ

5.2.2 ในเชิงนโยบายองค์กร องค์กรสามารถนำหลักการ AHP ไปพัฒนาเป็นเครื่องมือประเมินความเสี่ยงในงานติดตั้งระบบท่อหรืองานอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น งานติดตั้งระบบไฟฟ้า งานเดินท่ออุตสาหกรรม หรือโครงการก่อสร้างอาคารสูง เพื่อเสริมสร้างระบบการจัดการความเสี่ยงเชิงรุกอย่างยั่งยืน

5.2.3 ในเชิงการวิจัยต่อยอดแนะนำให้ศึกษาผลการประเมินความเสี่ยงเมื่อใช้กลุ่มผู้ประเมินที่มีประสบการณ์หรือบทบาทหน้าที่แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์ผลของความแตกต่างระหว่างผู้ประเมินต่อผลการจัดลำดับความเสี่ยง นอกจากนี้ควรพิจารณาเพิ่มตัวแปรด้านเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงอื่น ๆ เช่น ความซับซ้อนทางเทคนิค หรือการจำแนกเกณฑ์ย่อยในด้านความรุนแรง เพื่อเพิ่มมิติและความครอบคลุมในการจัดลำดับความเสี่ยงให้เหมาะสมกับสภาพงานมากยิ่งขึ้น

5.2.4 ในเชิงวัฒนธรรมความปลอดภัย การใช้ผลการวิจัยนี้ร่วมกับการสื่อสารความเสี่ยงภายในองค์กรจะช่วยสร้างความตระหนักด้านความปลอดภัยในทุกระดับ และสนับสนุนให้เกิดวัฒนธรรมความปลอดภัยที่ยั่งยืนในองค์กร

6. เอกสารอ้างอิง

Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2010). Industrial steam systems. In Manual for designated persons responsible for energy (Factory) (Part 3, Chapter 2). Bangkok: Ministry of Energy. (in Thai)

Ericson, C. A. (2015). Hazard analysis techniques for system safety. New Jersey: John Wiley & Sons.

Muthusamy, K., David, J. S., Nair, S. D., & Ainarappan, N. (2021). OSH Hazards Risk Assessment Using AHP Technique–A Case study of an Electronics Manufacturing Company. In Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (pp. 92-103).

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process mcgraw hill, New York. Agricultural Economics Review, 70(804), 10-21236.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International journal of services sciences, 1(1), 83-98.

Saravisutra, A. (2016). Multi-criteria decition making: Comparison between SAW, AHP, TOPSIS concept and methods. Princess of Naradhiwas University Journal, 8(2), 180-192.