

Received: 1 เม.ย. 2569

Revised: 22 มิ.ย. 2569

Accepted: 24 มิ.ย. 2569

แพลตฟอร์มการประเมินวุฒิภาวะวัฒนธรรมความปลอดภัยโดยใช้เทคนิค HEART
Safety Culture Maturity Assessment Platform with HEART

ธันวา ชัยรัตนานนท์, อรรถวิทย์ ชังคมานนท์, ก้องกาญจน์ ดุลยไชย และ สมนึก สินธุพาน*
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Tunwa Chairattananon, Attawit Changkamanon, Kongkarn Dullayachai
and Somnuek Sinthupuan*

Computer Science Department, Faculty of Science, Maejo University

*Corresponding author: somnuk@mju.ac.th

Abstract

This study presents a web-based Safety Culture Maturity Assessment Platform designed to overcome limitations of conventional assessment practices based on paper forms or generic online questionnaires. Traditional approaches often suffer from delayed data consolidation, data loss, discontinuous progress monitoring, and limited analytical capability. The proposed platform supports role-based access control for assessors, assessment administrators, and super users. It enables continuous data recording, centralized data management, real-time monitoring of assessment progress, and presentation of results through interactive dashboards and automated summary reports.

The platform was developed using React.js for the user interface, Node.js with Express for application logic and API services, and MySQL for centralized relational data storage. This technology stack was selected to support role-based access control, scalable form handling, structured data management, and real-time dashboard reporting in a web environment. To extend the analysis beyond conventional Likert-scale score summaries, this research applies the Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART) to the assessment workflow. Questionnaire responses are linked to grouped Error Producing Conditions (EPCs), and assessment scores are transformed into Assessed Proportion (AP) values to generate a HEART-based comparative risk index for analysis across organizations and

operational conditions. In this study, twenty questionnaire items are consolidated into six EPC groups: Time Pressure, Operational Uncertainty, Stress, Training/Preparedness, Human-Machine Interface/Equipment, and Communication.

The platform was evaluated using pilot sample data representing 90 scenario-based cases from three oil transportation organizations, with 30 cases per organization and 10 cases assigned to each condition within each organization. The assessment covered three conditions: normal, wartime, and post-war. The results show a consistent pattern across all scenarios: wartime conditions produced the highest HEART-based comparative risk index, followed by post-war conditions, while normal conditions produced the lowest. In addition, the results indicate that Company C showed the highest relative risk, followed by Company B and Company A.

Keywords: *Safety Culture; Maturity Assessment; HEART; HEART-based Comparative Risk Index; Web-based Assessment Platform; Dashboard Analytics*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแพลตฟอร์มประเมินวุฒิภาวะวัฒนธรรมความปลอดภัยภายในองค์กรในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของการประเมินแบบเดิมที่อาศัยเอกสารหรือแบบฟอร์มออนไลน์ทั่วไป ซึ่งมักประสบปัญหาความล่าช้าในการรวบรวมและสรุปผล การสูญหายของข้อมูลการติดตามความคืบหน้าที่ไม่ต่อเนื่อง และข้อจำกัดด้านการวิเคราะห์เชิงลึก ระบบที่พัฒนาขึ้นรองรับการกำหนดสิทธิ์ตามบทบาทผู้ใช้งาน ได้แก่ ผู้ประเมิน ผู้ดูแลผลการประเมิน และผู้ดูแลระบบสูงสุด โดยสามารถบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง จัดการข้อมูลแบบรวมศูนย์ ติดตามความคืบหน้าของการประเมินแบบเรียลไทม์ และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดและรายงานสรุปอัตโนมัติ

แพลตฟอร์มนี้พัฒนาด้วย React.js สำหรับส่วนติดต่อผู้ใช้ Node.js ร่วมกับ Express สำหรับตรรกะการทำงานและบริการ API และ MySQL สำหรับการจัดเก็บข้อมูลเชิงสัมพันธ์แบบรวมศูนย์ โดยเลือกใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อรองรับการจัดการสิทธิ์ผู้ใช้ การรับแบบประเมิน การประมวลผลผลลัพธ์ และการแสดงผลเชิงวิเคราะห์ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อยกระดับการวิเคราะห์ให้มากกว่าการสรุปคะแนนแบบมาตราส่วนลิเคิร์ต งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique) โดยเชื่อมโยงคำตอบจากแบบสอบถามกับกลุ่มปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดของมนุษย์ (Error Producing Conditions: EPCs) และแปลงคะแนนประเมินเป็นค่า Assessed Proportion (AP) เพื่อคำนวณเป็นดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART สำหรับใช้

เปรียบเทียบความเสี่ยงระหว่างองค์กรและระหว่างสถานการณ์อย่างเป็นระบบ ในการศึกษาได้จัดกลุ่มข้อคำถาม 20 ข้อออกเป็น 6 กลุ่ม EPC ได้แก่ Time Pressure, Operational Uncertainty, Stress, Training/Preparedness, Human-Machine Interface/Equipment และ Communication

การประเมินระบบใช้ข้อมูลตัวอย่างเชิงนาร์่องจำนวน 90 กรณี จากองค์กรตัวอย่างในธุรกิจขนส่งน้ำมัน 3 องค์กร ได้แก่ บริษัท A บริษัท B และบริษัท C โดยกำหนดให้องค์กรละ 30 กรณี และแบ่งเป็น 3 สภาวะ ได้แก่ สภาวะปกติ สภาวะสงคราม และสภาวะหลังสงคราม สภาวะละ 10 กรณีต่อองค์กร เพื่อทดสอบความสามารถของแพลตฟอร์มในการจัดเก็บ ประมวลผล และแสดงผลข้อมูลเชิงวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่าแนวโน้มของผลการคำนวณมีความสอดคล้องกันในทุกกรณี กล่าวคือ สภาวะสงครามให้ค่าดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART สูงที่สุด รองลงมาคือ สภาวะหลังสงคราม และต่ำที่สุดคือสภาวะปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า บริษัท C มีค่าดัชนีความเสี่ยงสูงที่สุด รองลงมาคือบริษัท B และต่ำสุดคือบริษัท A

ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าแพลตฟอร์มสามารถสนับสนุนการประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัย การเปรียบเทียบความเสี่ยง และการใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ เพื่อประกอบการตัดสินใจของผู้บริหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้ควรตีความในฐานะ “ดัชนีความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบ” มากกว่าค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดโดยตรง เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งประเมินความสามารถของแพลตฟอร์มด้วยข้อมูลเชิงสถานการณ์ในระดับนาร์่อง

คำสำคัญ: วัฒนธรรมความปลอดภัย; วุฒิสภาวะความปลอดภัย; HEART; ดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART; เว็บแอปพลิเคชัน; แดชบอร์ดวิเคราะห์ข้อมูล

1. บทนำ

ปัจจุบัน การสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยที่เข้มแข็งถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อความยั่งยืนขององค์กร โดยเฉพาะในองค์กรที่มีลักษณะงานเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงสูง ซึ่งความผิดพลาดของมนุษย์อาจนำไปสู่อุบัติเหตุ ความเสียหายต่อทรัพย์สิน ตลอดจนผลกระทบต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้โดยตรง ดังนั้น การประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยจึงเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถตรวจสอบสถานะปัจจุบัน ระบุจุดอ่อน และกำหนดแนวทางพัฒนาได้อย่างเป็นระบบ

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่ากระบวนการประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยในหลายองค์กรยังคงอาศัยแบบประเมินในรูปแบบเอกสารหรือแพลตฟอร์มทั่วไป เช่น Google Forms ซึ่งแม้จะอำนวยความสะดวกในระดับหนึ่ง แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ ความล่าช้าในการรวบรวมและสรุปผล ความเสี่ยงต่อการสูญหายหรือการจัดกระจายของข้อมูล การติดตามความคืบหน้าของ

ผู้ตอบแบบประเมินที่ทำได้จำกัด รวมถึงการวิเคราะห์ผลที่ยังไม่สามารถสะท้อนความเสี่ยงเชิงลึก หรือเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างหน่วยงานและช่วงเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในบริบทของอุตสาหกรรมขนส่งน้ำมัน ความปลอดภัยไม่ได้ขึ้นอยู่กับเพียงความพร้อมของอุปกรณ์หรือกระบวนการเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับความพร้อมของบุคลากร การสื่อสาร ความกดดันด้านเวลา และระดับความไม่แน่นอนในการปฏิบัติงาน ซึ่งล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญของวัฒนธรรมความปลอดภัยในระดับองค์กร การประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยจึงไม่ควรจำกัดอยู่เพียงการสุ่มคะแนนเฉลี่ยจากแบบสอบถาม แต่ควรสามารถสะท้อนความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบและสนับสนุนการตัดสินใจด้านความปลอดภัยได้อย่างเป็นระบบ

ด้วยเหตุนี้คณะผู้จัดทำจึงพัฒนาแพลตฟอร์มแบบประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยภายในองค์กรในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อยกระดับกระบวนการประเมินจากรูปแบบเดิมไปสู่ระบบดิจิทัลที่สามารถจัดการข้อมูลแบบรวมศูนย์บันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ติดตามสถานะการตอบแบบประเมินแบบเรียลไทม์ และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดและรายงานสรุปได้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังบูรณาการเทคนิค HEART เข้ากับกระบวนการประเมิน โดยเชื่อมโยงคำตอบจากแบบสอบถามกับปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดของมนุษย์ (Error Producing Conditions: EPCs) และค่าสัดส่วนผลกระทบ (Assessed Proportion: AP) เพื่อประมวลผลเป็นดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART ซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ลึกกว่าการสุ่มคะแนนแบบสอบถามทั่วไป ทั้งในด้านการระบุปัจจัยเสี่ยง การเปรียบเทียบระดับความเสี่ยงระหว่างหน่วยงานหรือสถานการณ์ แม้งานวิจัยก่อนหน้านี้จะมีการพัฒนาเครื่องมือวัดวัฒนธรรมความปลอดภัย แบบจำลองวุฒิภาวะ และเทคนิคการวิเคราะห์ความผิดพลาดของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง แต่ยังพบช่องว่างสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ (1) งานจำนวนมากประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยโดยไม่เชื่อมโยงกับการวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิง HEART (2) งานด้าน HEART ส่วนใหญ่มักใช้กับภารกิจหรือขั้นตอนการทำงานเฉพาะจุดมากกว่าการประเมินในระดับองค์กร และ (3) ยังมีงานไม่มากนักที่พัฒนาเครื่องมือในรูปแบบแพลตฟอร์มดิจิทัลที่สามารถเก็บข้อมูลติดตามความคืบหน้า และวิเคราะห์ผลเชิงเปรียบเทียบได้ในระบบเดียว งานวิจัยนี้จึงมุ่งบูรณาการการประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยเข้ากับการคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART ในรูปแบบแพลตฟอร์มเว็บเพื่อยกระดับการใช้งานจริงในองค์กรและสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารอย่างเป็นระบบ

ดังนั้น แพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นจึงไม่ได้ทำหน้าที่เป็นเพียงเครื่องมือเก็บข้อมูลแบบประเมินเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจด้านความปลอดภัยขององค์กร โดยช่วยให้ผู้บริหารสามารถใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ในการกำหนดแนวทางป้องกันอุบัติเหตุ วางแผนปรับปรุงมาตรการด้านความปลอดภัย และส่งเสริมการพัฒนาวัฒนธรรมความปลอดภัยขององค์กรให้มีความเข้มแข็ง และยั่งยืนมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มประเมินวุฒิภาวะวัฒนธรรมความปลอดภัยในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถจัดการข้อมูลแบบรวมศูนย์ ติดตามความคืบหน้าแบบเรียลไทม์ และสร้างรายงานเชิงวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิค HEART ในระบบประเมิน โดยเชื่อมโยงผลแบบสอบถามกับกลุ่มปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดของมนุษย์ (EPCs) และค่า Assessed Proportion (AP) เพื่อคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART

3) เพื่อประเมินความสามารถของแพลตฟอร์มในการสนับสนุนการวิเคราะห์วัฒนธรรมความปลอดภัยขององค์กรและการเปรียบเทียบความเสี่ยงระหว่างองค์กรและระหว่างสถานการณ์ โดยใช้ข้อมูลตัวอย่างเชิงนำร่องจากองค์กรตัวอย่าง 3 องค์กร จำนวนรวม 90 กรณี

3. กรอบแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดวัฒนธรรมความปลอดภัยได้รับการอธิบายว่าเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างค่านิยมทัศนคติ พฤติกรรมของบุคลากร และระบบการบริหารขององค์กร มิได้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี หรือกฎระเบียบเพียงอย่างเดียว (IAEA, 1991) Cooper (2000) เสนอว่าการทำความเข้าใจวัฒนธรรมความปลอดภัยควรพิจารณาาร่วมกันทั้งมิติด้านจิตวิทยา พฤติกรรม และระบบองค์กร ขณะที่ Guldenmund (2000) ชี้ให้เห็นว่าแนวคิด safety culture และ safety climate ยังมีความหลากหลายในเชิงนิยามและการตีความ ส่งผลให้การประเมินในแต่ละงานวิจัยมีความแตกต่างกัน ส่วน Hudson (2007) และ Zohar (2010) อธิบายว่าการพัฒนาวัฒนธรรมความปลอดภัยในองค์กรต้องอาศัยการสื่อสาร การมีส่วนร่วมของบุคลากร และการติดตามผลอย่างต่อเนื่อง

ในช่วงหลัง แนวคิดด้านวุฒิภาวะวัฒนธรรมความปลอดภัยได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดย Waterson et al. (2019) วิจารณ์ว่าการใช้ maturity models ช่วยให้เห็นระดับพัฒนาการขององค์กรได้ชัดเจนขึ้น แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความเที่ยงตรงและความสม่ำเสมอของเกณฑ์ Ayob et al. (2022) ทบทวนวิธีการวัดวุฒิภาวะวัฒนธรรมความปลอดภัยและพบว่ามีความหลากหลายทั้งในด้านมิติที่ใช้วัด เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล และวิธีตีความผลลัพธ์ ขณะที่ Curti et al. (2025) สรุปว่า safety culture maturity models ยังคงมีบทบาทสำคัญในงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย แต่ยังคงจำเป็นต้องพัฒนาเครื่องมือให้มีความชัดเจนด้านความตรงและความน่าเชื่อถือมากขึ้น

ในด้านการวิเคราะห์ความผิดพลาดของมนุษย์ Reason (1990) อธิบายว่าความผิดพลาดควรถูกพิจารณาในบริบทของระบบงานและเงื่อนไขแวดล้อม มากกว่าการอธิบายว่าเป็นความบกพร่องเฉพาะบุคคล หลักคิดดังกล่าวเป็นพื้นฐานสำคัญของ Human Reliability Analysis (HRA) ซึ่ง Bell

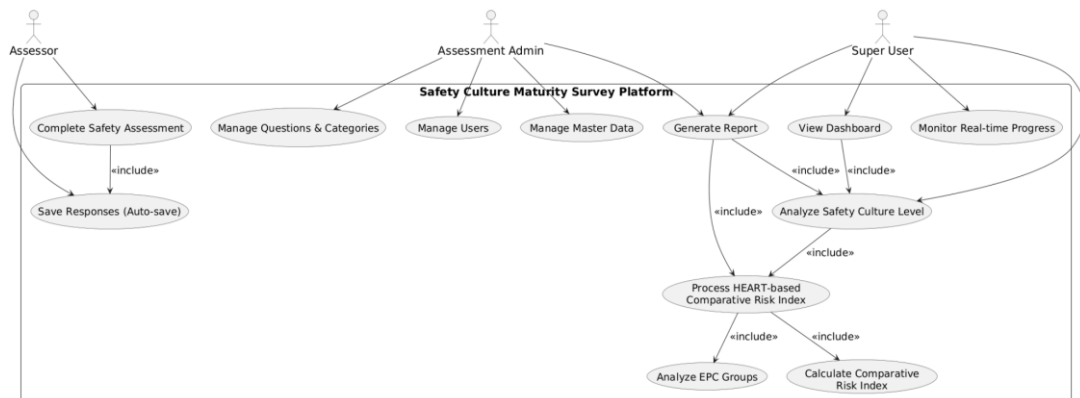
and Holroyd (2009) อธิบายว่าเป็นแนวทางที่ใช้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเพื่อประเมินบทบาทของมนุษย์ต่อความเสี่ยงในระบบที่มีความซับซ้อน ต่อมา Liu et al. (2021) ชี้ให้เห็นว่าการวิจัยด้าน HRA มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมที่มีความเสี่ยงสูง

สำหรับเทคนิค HEART ซึ่งเป็นแกนของงานวิจัยนี้ Williams (1985) ได้เสนอ Human Error Assessment and Reduction Technique เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของมนุษย์โดยเริ่มจากการเลือก Generic Task Type (GTT) และปรับค่าด้วย Error Producing Conditions (EPCs) ตามลักษณะของงานและสภาพแวดล้อม ต่อมา Bell and Williams (2016) ได้สรุปและจัดระเบียบหลักการของ HEART ให้มีความเป็นระบบมากขึ้น ขณะที่ Akyuz and Celik (2015) แสดงให้เห็นว่า HEART สามารถประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบระดับความเสี่ยงของการปฏิบัติงานในบริบทการขนส่งได้อย่างมีโครงสร้าง

เมื่อพิจารณาร่วมกัน จะเห็นว่างานวิจัยเดิมมีจุดแข็งใน 3 ด้านหลัก ได้แก่ การพัฒนารอบแนวคิดด้านวัฒนธรรมความปลอดภัย การพัฒนาแบบจำลองพฤติกรรมขององค์กร และการพัฒนาเทคนิควิเคราะห์ความผิดพลาดของมนุษย์ เช่น HRA และ HEART อย่างไรก็ตาม งานส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นเพียงด้านใดด้านหนึ่ง เช่น การประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยโดยไม่เชื่อมกับการวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิง HEART หรือการวิเคราะห์ความผิดพลาดของมนุษย์โดยไม่ได้พัฒนาเป็นเครื่องมือดิจิทัลสำหรับการใช้งานในองค์กร ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งบูรณาการการประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยเข้ากับการคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART ในรูปแบบแพลตฟอร์มเว็บ เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์และการตัดสินใจด้านความปลอดภัยอย่างเป็นระบบ

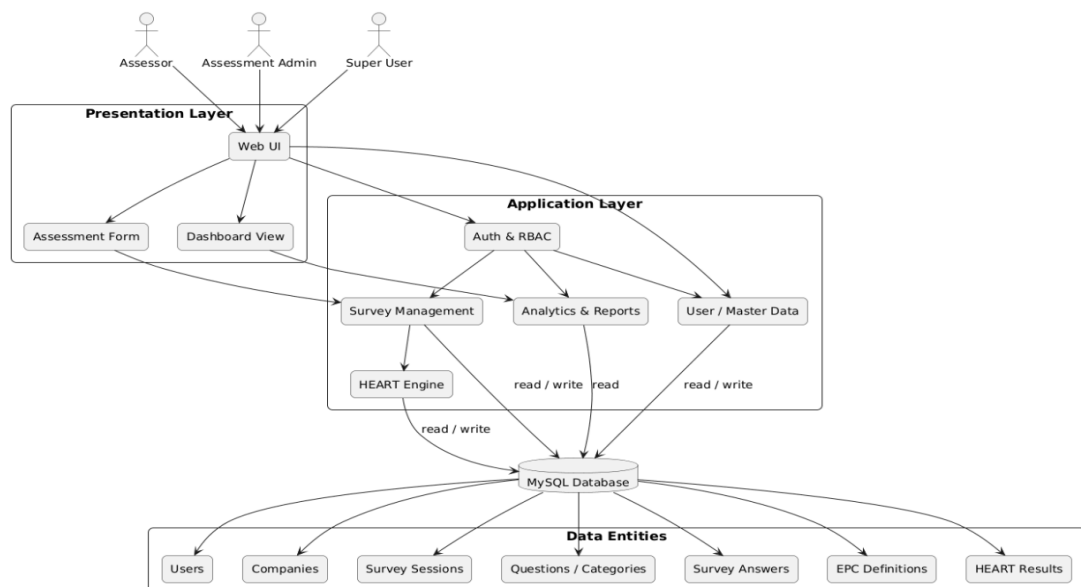
4. วิธีการวิจัย

4.1 การออกแบบระบบ แผนภาพยูสเคสของระบบแสดงบทบาทของผู้ใช้งาน 3 ระดับ ได้แก่ ผู้ประเมิน ผู้ดูแลผลการประเมิน และผู้ดูแลระบบสูงสุด โดยผู้ประเมินสามารถทำแบบประเมินและบันทึกคำตอบแบบอัตโนมัติ ผู้ดูแลผลการประเมินสามารถจัดการผู้ใช้งาน ข้อมูลพื้นฐาน คำถาม และหมวดหมู่ รวมถึงออกรายงานสรุปผล ขณะที่ผู้ดูแลระบบสูงสุดสามารถติดตามความคืบหน้าแบบเรียลไทม์ เรียกดูแดชบอร์ด และวิเคราะห์ระดับวัฒนธรรมความปลอดภัยขององค์กรได้ นอกจากนี้ระบบยังรองรับการประมวลผลดัชนีความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบตามแนวคิด HEART โดยวิเคราะห์ข้อมูลในรูปของกลุ่มปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาด (EPC groups) และคำนวณ comparative risk index เพื่อใช้เปรียบเทียบระดับความเสี่ยงระหว่างองค์กรและระหว่างสถานการณ์



รูปที่ 1 ยูสเคสไดอะแกรมของแพลตฟอร์ม แสดงบทบาทของผู้ประเมิน ผู้ดูแลผลการประเมิน และผู้ดูแลระบบสูงสุด รวมถึงฟังก์ชันหลักด้านการประเมิน การจัดการข้อมูล และการประมวลผลดัชนีความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบตามแนวคิด HEART

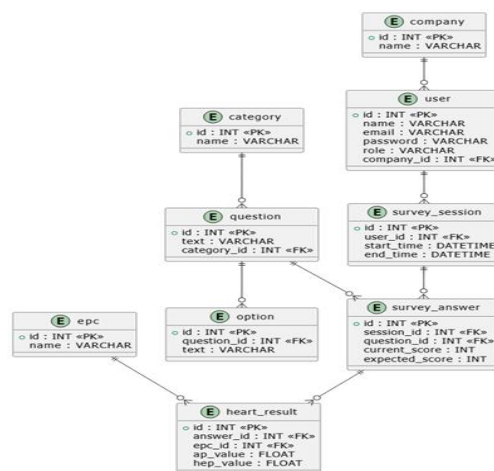
สถาปัตยกรรมของระบบถูกออกแบบตามหลัก 3-tier architecture ประกอบด้วย Presentation Layer, Application Layer และ Data Layer โดยผู้ใช้งานทุกบทบาทเข้าถึงระบบผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชันในชั้น Presentation Layer จากนั้นคำขอจะถูกส่งต่อไปยังชั้น Application Layer เพื่อดำเนินการยืนยันตัวตน จัดการข้อมูลแบบประเมิน ประมวลผลดัชนีความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบตามแนวคิด HEART และวิเคราะห์ผลเพื่อแสดงผ่านแดชบอร์ดและรายงานสรุป ข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บและเรียกใช้ผ่าน Data Layer ซึ่งประกอบด้วยฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์และหน่วยข้อมูลหลักของระบบ โดยไม่มีการเข้าถึงฐานข้อมูลโดยตรงจากผู้ใช้งาน



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมระบบและเวิร์กโฟลว์ของแพลตฟอร์มการประเมินวุฒิภาวะวัฒนธรรมความปลอดภัย

ในด้านเทคโนโลยี ระบบถูกพัฒนาด้วย React.js สำหรับการพัฒนา user interface เนื่องจากสามารถรองรับแบบฟอร์มเชิงโต้ตอบและแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ได้ดี ส่วนการประมวลผลฝั่งเซิร์ฟเวอร์ใช้ Node.js ร่วมกับ Express เพื่อจัดการตรรกะของระบบ การยืนยันตัวตน การกำหนดสิทธิ์ตามบทบาท และการเชื่อมต่อ API กับฐานข้อมูล ขณะที่ใช้ MySQL เป็นฐานข้อมูลหลัก เนื่องจากโครงสร้างข้อมูลของงานวิจัยนี้มีลักษณะเชิงสัมพันธ์ชัดเจน เช่น ผู้ใช้งาน บริษัท รอบการประเมิน คำถาม คำตอบ และผลการวิเคราะห์ การเลือก technology stack ดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการพัฒนาแพลตฟอร์มประเมินที่ต้องรองรับทั้งการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมาก ความถูกต้องของความสัมพันธ์ระหว่างตาราง และการสรุปผลเชิงวิเคราะห์ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

4.2 การออกแบบฐานข้อมูล โครงสร้างฐานข้อมูลรองรับการทำงานตั้งแต่การจัดการผู้ใช้งาน การสร้างแบบประเมิน การเก็บคำตอบ ไปจนถึงการวิเคราะห์ผล โดยประกอบด้วยตารางหลัก ได้แก่ ผู้ใช้งาน (user) บริษัท (company) รอบการประเมิน (survey_session) หมวดหมู่ (category) คำถาม (question) ตัวเลือกคำตอบ (option) คำตอบแบบประเมิน (survey_answer) ปัจจัยความผิดพลาด (epc) และผลการวิเคราะห์ (heart_result) ความสัมพันธ์ดังกล่าวช่วยให้สามารถจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบและพร้อมสำหรับการวิเคราะห์ทั้งในระดับรายบุคคล รายบริษัท และรายรอบการประเมิน



รูปที่ 3 แผนภาพความสัมพันธ์ของข้อมูล

4.3 กรอบการประยุกต์ใช้ HEART ในงานวิจัย งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้แนวคิด HEART เพื่อสร้างดัชนีความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบจากข้อมูลแบบสอบถาม โดยกำหนดให้ข้อคำถาม 20 ข้อถูกจัดกลุ่มเป็น 6 กลุ่ม EPC ได้แก่ 1) Time Pressure 2) Operational Uncertainty 3) Stress 4) Training / Preparedness 5) Human-Machine Interface / Equipment และ 6) Communication

การจัดกลุ่มข้อความทั้ง 20 ข้อเข้าสู่ 6 กลุ่ม EPC อาศัยหลักเกณฑ์ 3 ประการ คือ (1) ความสอดคล้องเชิงเนื้อหาระหว่างข้อความกับนิยามของ EPC ตามกรอบ HEART (2) การลดความซ้ำซ้อนของปัจจัยย่อย เพื่อหลีกเลี่ยงการนับผลกระทบซ้ำหลายครั้งในสมการที่มีลักษณะคุณต่อเนื่อง และ (3) ความเหมาะสมต่อการตีความผลในระดับองค์กรและการใช้งานจริงผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัล

เพื่อให้การกระจายข้อความมีความสมดุล งานวิจัยนี้กำหนดสัดส่วนข้อความในแต่ละกลุ่มดังนี้ Time Pressure 3 ข้อ, Operational Uncertainty 4 ข้อ, Stress 3 ข้อ, Training/Preparedness 4 ข้อ, Human-Machine Interface/Equipment 3 ข้อ และ Communication 3 ข้อ รวมทั้งสิ้น 20 ข้อ การจัดสัดส่วนดังกล่าวช่วยให้แต่ละมิติสำคัญของความเสี่ยงมีตัวแทนเพียงพอ โดยไม่ทำให้กลุ่มใดมีน้ำหนักมากเกินไปจนสมควรเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น

ตารางที่ 1 การจัดกลุ่มข้อความ 20 ข้อเข้าสู่ 6 กลุ่ม EPC

กลุ่ม EPC	คำถาม	ประเด็นคำถามโดยสรุป	จำนวน	เหตุผลในการจัดกลุ่ม
Time Pressure	Q1– Q3	ความเพียงพอของเวลาในการตรวจสอบงาน, ความเร่งด่วนในการตัดสินใจ, เวลาในการแก้ไขข้อผิดพลาด	3	สะท้อนแรงกดดันด้านเวลาและโอกาสในการตรวจจับ / แก้ไขความคลาดเคลื่อน
Operational Uncertainty	Q4– Q7	ความคุ้นเคยต่อสถานการณ์ผิดปกติ, ความชัดเจนของขั้นตอนเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน, ความพร้อมต่อสถานการณ์ใหม่, ความไม่แน่นอนของข้อมูลประกอบการตัดสินใจ	4	สะท้อนความไม่คุ้นเคยและความไม่แน่นอนของสภาพการปฏิบัติงาน
Stress	Q8– Q10	ความเครียดจากงาน, ความกดดันจากผลกระทบของงาน, ภาระทางอารมณ์ขณะปฏิบัติงาน	3	สะท้อนภาวะอารมณ์ที่อาจลดคุณภาพการตัดสินใจ
Training / Preparedness	Q11– Q14	ประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน, ความเพียงพอของการฝึกอบรม, การซ้อมแผนฉุกเฉิน, ความพร้อมก่อนเริ่มงาน	4	สะท้อนความพร้อมและประสบการณ์ของบุคลากร
Human-Machine Interface / Equipment	Q15– Q17	ความเหมาะสมของอุปกรณ์, ความชัดเจนของสัญญาณหรือหน้าจอ, ความสอดคล้องของระบบกับการใช้งานจริง	3	สะท้อนปัญหาการใช้งานอุปกรณ์และส่วนต่อประสานมนุษย์-เครื่องจักร

ตารางที่ 1 การจัดกลุ่มข้อความคำถาม 20 ข้อเข้าสู่ 6 กลุ่ม EPC (ต่อ)

กลุ่ม EPC	คำถาม	ประเด็นคำถามโดยสรุป	จำนวน	เหตุผลในการจัดกลุ่ม
Communication	Q18– Q20	ความชัดเจนของคำสั่ง, การสื่อสารระหว่างหน่วยงาน, ความครบถ้วนของข้อมูลที่ใช้ปฏิบัติงาน	3	สะท้อนคุณภาพการสื่อสารและการส่งผ่านข้อมูล

สำหรับแต่ละกลุ่ม จะเลือก EPC representative ที่สอดคล้องกับแนวคิด HEART เพื่อใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มในการคำนวณ โดยการรวมข้อความคำถามเป็นรายการกลุ่มช่วยลดการนับปัจจัยซ้ำซ้อนและทำให้การตีความผลลัพธ์มีความเหมาะสมมากกว่าการคูณปัจจัยย่อยทั้งหมด 20 ข้อในงานเดียว อย่างไรก็ตาม การจัดกลุ่มและการเลือก representative EPC ในงานวิจัยนี้เป็นการกำหนดเชิงวิธีวิทยาเพื่อรองรับการประมวลผลในแพลตฟอร์มต้นแบบ และยังคงได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติมด้วยผู้เชี่ยวชาญและการทดสอบความไวของผลลัพธ์ในงานวิจัยระยะต่อไป

การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถาม ผู้วิจัยได้นำข้อความคำถามจำนวน 20 ข้อที่จัดอยู่ใน 6 กลุ่ม EPC ได้แก่ Time Pressure, Operational Uncertainty, Stress, Training/Preparedness, Human-Machine Interface/Equipment และ Communication ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 4 ท่านประเมินความสอดคล้องของข้อความคำถามกับวัตถุประสงค์และกลุ่ม EPC โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 4 ท่านได้รับการคัดเลือกจากผู้มีความรู้และประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านวัฒนธรรมความปลอดภัยและอาชีวอนามัยและความปลอดภัยผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์ความผิดพลาดของมนุษย์ตามแนวคิด HEART/HRA ผู้เชี่ยวชาญด้านการปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมขนส่งน้ำมันหรือระบบงานที่มีความเสี่ยงสูง และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผลหรือการพัฒนาแบบสอบถาม ทั้งนี้ ผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมีประสบการณ์ในสาขาที่เกี่ยวข้องและสามารถให้ข้อพิจารณาได้ทั้งในเชิงเนื้อหา เชิงปฏิบัติ และเชิงวิธีวิทยา โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อความคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนแต่ละข้อในระดับ +1, 0 และ -1 จากนั้นจึงนำคะแนนรวมมาคำนวณค่า IOC รายข้อ

ผลการประเมินพบว่า ข้อคำถามส่วนใหญ่มีค่า IOC อยู่ในระดับยอมรับได้และสอดคล้องกับกลุ่ม EPC ที่กำหนดไว้ โดยข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.75 ขึ้นไปถือว่ามีความสอดคล้องในระดับดี และสามารถนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลต่อได้ ส่วนข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่าข้ออื่นได้ถูกนำไปพิจารณาปรับปรุงถ้อยคำและความชัดเจนของเนื้อหาให้เหมาะสมยิ่งขึ้นก่อนนำไปใช้จริง

เมื่อพิจารณาในภาพรวม ผลการตรวจสอบ IOC สนับสนุนว่าการจัดข้อความคำถาม 20 ข้อเข้าสู่ 6 กลุ่ม EPC มีความเหมาะสมในเชิงเนื้อหา และสอดคล้องกับกรอบแนวคิดของ HEART ในระดับที่

ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังช่วยยืนยันว่าการเชื่อมโยงข้อคำถามกับกระบวนการแปลงคะแนนเป็นค่า Assessed Proportion (AP) และการคำนวณ HEART-based comparative risk index มีพื้นฐานของเครื่องมือที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัยมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบด้วย IOC ในงานวิจัยนี้เป็นการยืนยันความตรงเชิงเนื้อหาในระดับต้น โดยยังควรมีการตรวจสอบเพิ่มเติมในระยะต่อไป เช่น การประเมินความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง และการทวนสอบความเหมาะสมของการจัดกลุ่มข้อคำถามกับ EPC โดยผู้เชี่ยวชาญในบริบทการใช้งานจริง

4.4 การแปลงคะแนนแบบประเมินเป็นค่า AP ในการศึกษานี้ ใช้มาตราส่วนประเมินแบบ Likert 5 ระดับ และกำหนดวิธีแปลงคะแนนเป็นค่า Assessed Proportion (AP) เพื่อใช้ในการประมวลผลอัตโนมัติในระบบ โดยใช้สูตร

$$AP = \frac{\text{score} - 1}{4} \quad (1)$$

ดังนั้น คะแนน 1, 2, 3, 4 และ 5 จะถูกแปลงเป็นค่า 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 ตามลำดับ สำหรับคำถามเชิงบวกที่คะแนนสูงหมายถึงความเสี่ยงต่ำ จะทำการกลับคะแนนก่อนด้วยสูตร

$$\text{reverse score} = 6 - \text{score} \quad (2)$$

จากนั้นจึงนำคะแนนที่ได้ไปแปลงเป็นค่า AP ตามสูตรข้างต้น

รูปที่ 4 แสดงฟอร์มการประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัย

การใช้มาตราส่วน Likert 5 ระดับเหมาะสมกับงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ผู้ตอบเข้าใจง่าย ใช้แพร่หลายในงานด้านวัฒนธรรมความปลอดภัย และสามารถสะท้อนระดับการรับรู้หรือ

ความเห็นของผู้ตอบได้อย่างเป็นลำดับ การแปลงคะแนนดังกล่าวเป็นค่า AP ในช่วง 0.00–1.00 ช่วยให้ระบบสามารถนำข้อมูลเชิงการรับรู้เข้าสู่กระบวนการคำนวณแบบ HEART ได้อย่างเป็นระบบ และตีความเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มได้ง่ายขึ้น งานวิจัยนี้เลือกใช้การแปลงแบบเชิงเส้น เพราะเป็นวิธีที่ตรงไปตรงมา โปร่งใส และเหมาะกับการพัฒนาเป็นกฎการประมวลผลอัตโนมัติในแพลตฟอร์ม โดยไม่เพิ่มความซับซ้อนเกินจำเป็นสำหรับงานวิจัยระยะนำร่อง อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยตระหนักว่าการแปลง Likert เป็น AP ในลักษณะนี้เป็นการ operationalize วิธีการเพื่อวัตถุประสงค์ของระบบ มิได้อ้างว่าเทียบเท่ากับการประเมิน HEART แบบดั้งเดิมทุกประการ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงควรตีความในฐานะดัชนีความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบมากกว่าค่าความน่าจะเป็นโดยตรง

4.5 สูตรที่ใช้คำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART งานวิจัยนี้ใช้ค่าความไม่น่าเชื่อถือพื้นฐานของงาน (GTT) 3 กรณี เพื่อสะท้อนลักษณะงานที่แตกต่างกัน ได้แก่

GTT = 0.02 สำหรับงานประจำที่ผู้ปฏิบัติงานมีความคุ้นเคยและทำซ้ำเป็นประจำ

GTT = 0.09 สำหรับงานที่ค่อนข้างง่ายแต่ต้องทำอย่างรวดเร็ว หรืออาจถูกละเลยได้ง่าย

GTT = 0.003 สำหรับงานที่มีขั้นตอนชัดเจนและมีการตรวจสอบบางส่วน

การเลือกใช้ค่า GTT จำนวน 3 ค่าในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อครอบคลุมลักษณะงานที่อาจเกิดขึ้นในบริบทของการขนส่งน้ำมัน ซึ่งมีทั้งงานประจำ งานที่มีขั้นตอนชัดเจน และงานที่ต้องตัดสินใจรวดเร็วภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลา การเลือกหลายค่าแทนการใช้ค่าเดียวช่วยให้แพลตฟอร์มสามารถสาธิตความสามารถในการวิเคราะห์ภายใต้สมมติฐานของลักษณะงานที่ต่างกันได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนั้น ค่า GTT ทั้ง 3 ค่าในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้ถูกใช้เพื่อยืนยันค่าความน่าจะเป็นที่แท้จริงของงานขนส่งน้ำมันโดยตรง แต่ใช้เพื่อกำหนดกรอบการเปรียบเทียบที่มีเหตุผลเชิงวิธีวิทยา

เมื่อได้ค่า AP เฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม EPC แล้ว จะคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART ด้วยสูตร

$$HEP = GTT \times \prod_{g=1}^n [1 + (EPC_g - 1) \times AP_g] \quad (3)$$

โดยที่ คือค่า AP เฉลี่ยของกลุ่ม EPC ลำดับที่ g และ คือค่า multiplier ของ EPC representative ของกลุ่มนั้น $AP_g EPC_g$

ผลลัพธ์ที่ได้ในงานวิจัยนี้ถูกใช้ในฐานะ ดัชนีความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบ สำหรับเปรียบเทียบระหว่างบริษัทและระหว่างสถานการณ์ มิได้ตีความเป็นค่าความน่าจะเป็นโดยตรง

4.6 อัลกอริทึมหลักของระบบ ระบบได้ออกแบบอัลกอริทึมเพื่อรองรับการประมวลผลข้อมูลแบบสอบถามโดยครอบคลุมการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART (Survey_HEART_Processing) และการประเมินระดับวัฒนธรรมความปลอดภัย (Calculate_Culture_Level) ซึ่งถูกนำเสนอในรูปแบบ pseudo-code เพื่อแสดงลำดับการทำงานของระบบอย่างชัดเจน

อัลกอริทึมการประมวลผลแบบประเมินร่วมกับ HEART ทำหน้าที่รับคำตอบจากผู้ใช้งานและบันทึกลงระบบ จากนั้นจะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาด (EPCs) และคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เชิงวิเคราะห์ที่สะท้อนระดับความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบของผู้ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 2 ค่า EPC ที่นำเสนอของแต่ละกลุ่ม

กลุ่ม EPC	ค่า representative ที่ใช้	Multiplier	หมายเหตุ
Time Pressure	A shortage of time available for error detection and correction	11	สะท้อนแรงกดดันด้านเวลา
Operational Uncertainty	Unfamiliarity with a situation which is potentially important, but which only occurs infrequently or which is novel	17	สะท้อนความไม่คุ้นเคยและความไม่แน่นอนของสถานการณ์
Stress	High level emotional stress	1.3	สะท้อนความเครียดที่กระทบการตัดสินใจ
Training / Preparedness	Operator inexperience	3	สะท้อนความพร้อมและประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน
Human-Machine Interface / Equipment	A mismatch between an operator's model of the world and that imagined by the designer	8	สะท้อนปัญหาการใช้งานระบบหรืออุปกรณ์
Communication	Impoverished quality of information conveyed by procedures and person-to-person interaction	3	สะท้อนคุณภาพการสื่อสารและข้อมูล

Algorithm: Survey_HEART_Processing

Input: UserResponses

Output: HEART_Risk_Index

BEGIN

Save responses to database

```

Group responses into 6 EPC categories
FOR each group g DO
  Convert scores to AP values
  Compute average AP of group g
END FOR
Select GTT according to task type
Initialize RiskIndex  $\leftarrow$  GTT
FOR each EPC group g DO
  RiskIndex  $\leftarrow$  RiskIndex  $\times$   $[1 + (\text{EPC\_g} - 1) \times \overline{\text{AP\_g}}]$ 
END FOR
Save RiskIndex to heart_result table
RETURN RiskIndex
END

```

อัลกอริทึมการคำนวณระดับวัฒนธรรมความปลอดภัยทำหน้าที่นำคะแนนจากแบบประเมินมาคำนวณค่าเฉลี่ยและจัดกลุ่มระดับวัฒนธรรมความปลอดภัยเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ในภาพรวมขององค์กร:

Algorithm: Calculate_Culture_Level

```

Input: SurveyAnswers
Output: CultureLevel
BEGIN
  total_score  $\leftarrow$  0
  count  $\leftarrow$  0
  FOR each answer IN SurveyAnswers DO
    total_score  $\leftarrow$  total_score + answer.current_score
    count  $\leftarrow$  count + 1
  END FOR
  average_score  $\leftarrow$  total_score / count
  IF average_score < 2 THEN
    CultureLevel  $\leftarrow$  "Reactive"
  ELSE IF average_score < 3 THEN

```

```

CultureLevel ← "Calculative"
ELSE IF average_score < 4 THEN
CultureLevel ← "Proactive"
ELSE
CultureLevel ← "Generative"
END IF
RETURN CultureLevel
END

```

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการประเมินความสามารถของแพลตฟอร์ม การประเมินแพลตฟอร์มในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลตัวอย่างเชิงนําร่องจำนวน 90 กรณี จากองค์กรตัวอย่าง 3 องค์กรในธุรกิจขนส่งน้ำมัน ได้แก่ บริษัท A บริษัท B และบริษัท C โดยแต่ละองค์กรมีข้อมูล 30 กรณี และแบ่งเป็น 3 สภาวะ คือ สภาวะปกติ สภาวะสงคราม และสภาวะหลังสงคราม สภาวะละ 10 กรณีต่อองค์กร

ตารางที่ 3 ลักษณะข้อมูลนําร่องที่ใช้ในการประเมินแพลตฟอร์ม

องค์กรตัวอย่าง	ปกติ (กรณี)	สงคราม (กรณี)	หลังสงคราม (กรณี)	รวม (กรณี)
บริษัท A	10	10	10	30
บริษัท B	10	10	10	30
บริษัท C	10	10	10	30
รวม	30	30	30	90

การกำหนดจำนวนข้อมูลในลักษณะสมดุลงานนี้ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างองค์กรและระหว่างสถานการณ์ได้ชัดเจน และเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยซึ่งมุ่งประเมินความสามารถของแพลตฟอร์มในระยะนําร่อง ทั้งนี้ ข้อมูลดังกล่าวถูกใช้ในฐานข้อมูลตัวอย่างเชิงสถานการณ์เพื่อทดสอบกลไกของระบบ การคำนวณ และการแสดงผล มิได้มีเจตนาอ้างอิงเป็นตัวแทนของประชากรในอุตสาหกรรมทั้งหมดโดยตรง

5.2 ผลการประเมินความสามารถของแพลตฟอร์ม แพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการบันทึกข้อมูลแบบประเมินอย่างต่อเนื่อง จัดเก็บข้อมูลแบบรวมศูนย์ และประมวลผลผลการประเมินเพื่อแสดงผลผ่านแดชบอร์ดและรายงานสรุปได้อย่างเป็นระบบ ระบบสามารถรองรับการ

คำนวณค่า AP จากคะแนนแบบสอบถาม การจัดกลุ่มคำตอบตาม EPC และการประมวลผลดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART สำหรับการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างบริษัทและสถานการณ์

เพื่อให้ผู้อ่านสามารถตรวจสอบที่มาของค่าดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอค่า AP เฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม EPC ซึ่งได้จากการแปลงคะแนนแบบสอบถามมาตราส่วน Likert 5 ระดับเป็นค่า Assessed Proportion (AP) และเฉลี่ยในระดับกลุ่ม EPC สำหรับแต่ละองค์กรและแต่ละสภาวะ โดยค่าดังกล่าวเป็นค่ากลางสำคัญที่ถูกนำไปใช้ในการคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART ในตารางถัดไป

ตารางที่ 4 ค่า AP เฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม EPC จำแนกตามองค์กรและสภาวะ

บริษัท	สภาวะ	Time Pressure	Operational Uncertainty	Stress	Training / Preparedness	Human-Machine Interface / Equipment	Communication
บริษัท A	ปกติ	0.15	0.15	0.55	0.55	0.15	0.24
บริษัท A	สงคราม	0.35	0.75	0.75	0.80	0.55	0.48
บริษัท A	หลังสงคราม	0.25	0.30	0.60	0.55	0.30	0.25
บริษัท B	ปกติ	0.20	0.25	0.60	0.55	0.25	0.31
บริษัท B	สงคราม	0.60	0.80	0.80	0.85	0.60	0.55
บริษัท B	หลังสงคราม	0.40	0.45	0.70	0.65	0.35	0.30
บริษัท C	ปกติ	0.30	0.35	0.70	0.60	0.30	0.35
บริษัท C	สงคราม	0.80	0.85	0.90	0.90	0.75	0.78
บริษัท C	หลังสงคราม	0.40	0.70	0.80	0.80	0.50	0.50

หมายเหตุ: ค่า AP ในตารางนี้เป็นค่าเฉลี่ยรายกลุ่ม EPC ที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในแพลตฟอร์ม และแสดงในรูปทศนิยมสองตำแหน่ง ดังนั้นเมื่อนำไปคำนวณซ้ำอาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากค่าดัชนีในตารางถัดไปเนื่องจากการปัดเศษ

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า ค่า AP เฉลี่ยในสภาวะสงครามมีแนวโน้มสูงกว่าสภาวะปกติ และสภาวะหลังสงครามอย่างชัดเจนในเกือบทุกกลุ่ม EPC โดยเฉพาะ Time Pressure และ Operational Uncertainty ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มค่าดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART อย่างเด่น

ชัดเมื่อเข้าสู่สมการแบบผลคูณ ขณะเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างองค์กร พบว่า บริษัท C มีค่า AP อยู่ในระดับสูงกว่าองค์กรอื่นในหลายกลุ่ม EPC โดยเฉพาะในสภาวะสงครามและหลังสงคราม ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART ที่ปรากฏในตารางถัดไป

5.2 ผลการคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART แบบรวม 6 กลุ่ม EPC เพื่อให้เปรียบเทียบผลลัพธ์ได้ชัดเจน ตารางที่ 5-7 แสดงค่าดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART ของบริษัทตัวอย่าง 3 บริษัท ภายใต้ 3 สภาวะ โดยใช้ค่า GTT ต่างกัน

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART โดยใช้ GTT = 0.02

บริษัท	ปกติ	สงคราม	หลังสงคราม
บริษัท A	1.2681	35.2853	4.6583
บริษัท B	3.2925	70.4222	12.5709
บริษัท C	7.4505	149.2524	35.2853

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART โดยใช้ GTT = 0.09

บริษัท	ปกติ	สงคราม	หลังสงคราม
บริษัท A	5.7065	158.7836	20.9625
บริษัท B	14.8164	316.8998	56.5692
บริษัท C	33.5271	671.6360	158.7836

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART โดยใช้ GTT = 0.003

บริษัท	ปกติ	สงคราม	หลังสงคราม
บริษัท A	0.1902	5.2928	0.6988
บริษัท B	0.4939	10.5633	1.8856
บริษัท C	1.1176	22.3879	5.2928

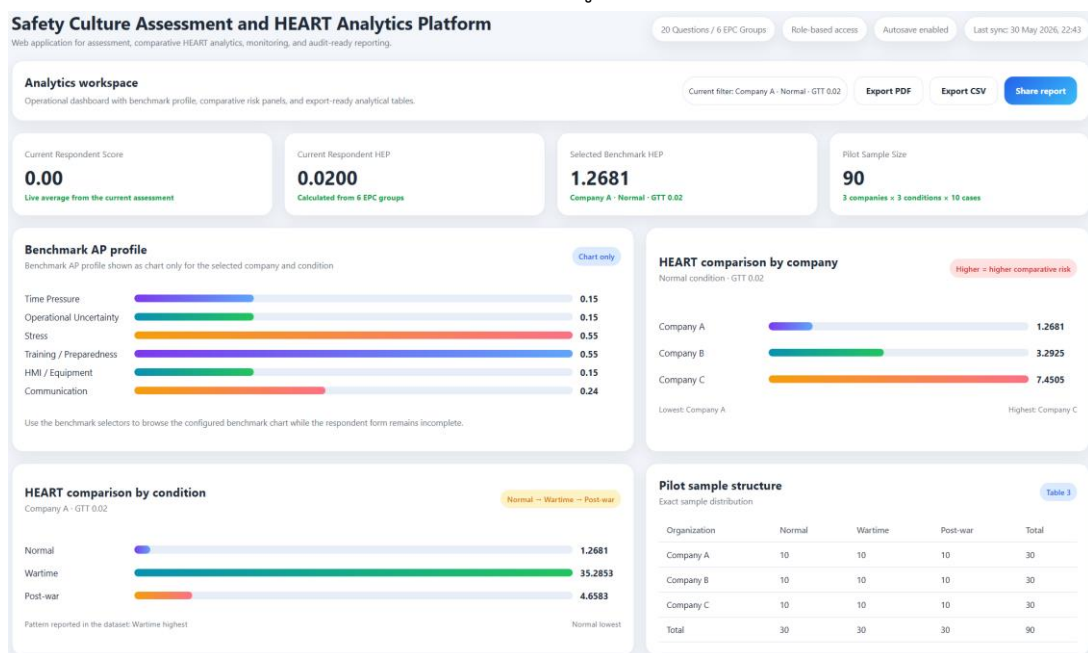
5.3 การอภิปรายผล ผลการคำนวณในทั้งสามกรณีของ GTT แสดงแนวโน้มสอดคล้องกัน อย่างชัดเจน คือ สภาวะสงครามให้ค่าดัชนีความเสี่ยงสูงที่สุด รองลงมาคือสภาวะหลังสงคราม และต่ำที่สุดคือสภาวะปกติ สะท้อนให้เห็นว่าสถานการณ์ที่มีข้อจำกัดด้านเวลา ความไม่แน่นอน ความเครียด และข้อจำกัดด้านการสื่อสาร ส่งผลให้ระดับความเสี่ยงเพิ่มสูงขึ้นอย่างเป็นระบบในทุกบริษัท

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างบริษัท พบว่าบริษัท C มีค่าดัชนีความเสี่ยงสูงที่สุดในทุกสภาวะ รองลงมาคือบริษัท B และต่ำสุดคือบริษัท A แนวโน้มดังกล่าวสะท้อนความแตกต่างเชิง

เปรียบเทียบของระดับความเปราะบางต่อปัจจัยเสี่ยงในข้อมูลตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ในงานวิจัยนี้ควรถูกตีความในฐานะดัชนีความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบ มากกว่าการตีความเป็นค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดโดยตรง

ในเชิงวิธีวิทยา การรวมคำถาม 20 ข้อให้เป็น 6 กลุ่ม EPC ช่วยให้การคำนวณสอดคล้องกับการประยุกต์ใช้ HEART ในระดับงานมากขึ้น และลดปัญหาการนับปัจจัยย่อยซ้ำซ้อนเมื่อเทียบกับการคูณคำถามทั้งหมดทีละข้อ ผลลัพธ์ที่ได้จึงเหมาะสำหรับการใช้เป็นตัวชี้วัดเชิงเปรียบเทียบในแพลตฟอร์มวิเคราะห์วัฒนธรรมความปลอดภัย โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการติดตามแนวโน้มเปรียบเทียบองค์กร หรือเปรียบเทียบสภาวะการปฏิบัติงานที่แตกต่างกัน

แม้ค่าดัชนีในสภาวะสงครามจะสูงกว่าสภาวะปกติอย่างมากในหลายกรณี แต่ผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ตามโครงสร้างของสมการ HEART ที่มีลักษณะเป็นผลคูณของหลายปัจจัย เมื่อหลาย EPC มีค่า AP สูงขึ้นพร้อมกัน โดยเฉพาะ Time Pressure และ Operational Uncertainty ผลลัพธ์รวมจะเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดได้มากกว่าการสรุปคะแนนแบบเฉลี่ยธรรมดา ดังนั้น ความแตกต่างที่พบจึงมีความสมเหตุสมผลในเชิงแบบจำลองและควรถูกตีความเป็นความแตกต่างเชิงสัมพัทธ์ระหว่างสถานการณ์ มากกว่าค่าความเสี่ยงสัมบูรณ์โดยตรง



รูปที่ 5 หน้าจอแดชบอร์ดแสดงผลการเปรียบเทียบ

6. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นสามารถประมวลผลข้อมูลแบบประเมินและสะท้อนความแตกต่างของระดับความเสี่ยงระหว่างบริษัทและระหว่างสถานการณ์ได้อย่างชัดเจน

โดยแนวโน้มของผลลัพธ์สอดคล้องกันในทุกกรณี คือ สภาวะสงครามมีค่าดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART สูงที่สุด รองลงมาคือสภาวะหลังสงคราม และต่ำที่สุดในสภาวะปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าในข้อมูลตัวอย่าง บริษัท C มีค่าดัชนีสูงที่สุด รองลงมาคือบริษัท B และต่ำสุดคือบริษัท A ผลดังกล่าวสะท้อนว่าปัจจัยด้านเวลา ความไม่แน่นอน ความเครียด ความพร้อมของบุคลากร การใช้งานอุปกรณ์ และการสื่อสารมีผลต่อระดับความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบอย่างเป็นระบบ

ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Cooper (2000) ที่เสนอว่าวัฒนธรรมความปลอดภัยควรพิจารณาร่วมกันทั้งมิติด้านจิตวิทยา พฤติกรรม และระบบองค์กร ไม่ใช่มองเฉพาะกฎระเบียบหรือเทคโนโลยีเพียงด้านเดียว ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อองค์กรอยู่ในสภาวะที่มีแรงกดดันสูง เช่น สงคราม ค่าความเสี่ยงจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกบริษัท ซึ่งสะท้อนว่าความปลอดภัยไม่ได้ขึ้นอยู่กับการมีขั้นตอนการทำงานเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับบริบทของงาน การรับรู้ของบุคลากร และความสามารถขององค์กรในการจัดการปัจจัยแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย ข้อค้นพบนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Hudson (2007) และ Zohar (2010) ที่ชี้ว่าการสื่อสาร การมีส่วนร่วมของบุคลากร และการติดตามผลอย่างต่อเนื่อง เป็นองค์ประกอบสำคัญของการพัฒนาวัฒนธรรมความปลอดภัยในองค์กร

ในมิติของการวิเคราะห์ความผิดพลาดของมนุษย์ ผลการวิจัยสอดคล้องกับหลักการของ Williams (1985) ผู้เสนอเทคนิค HEART ซึ่งเน้นว่าความเสี่ยงจากความผิดพลาดของมนุษย์เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างลักษณะงานพื้นฐานและปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาด (EPCs) งานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลแบบสอบถาม โดยจัดกลุ่มข้อคำถามเป็น 6 กลุ่ม EPC และคำนวณเป็นดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART เพื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์ ผลลัพธ์ที่พบว่าในสภาวะสงครามค่าดัชนีสูงขึ้นอย่างเด่นชัด สะท้อนให้เห็นว่าปัจจัยแวดล้อมที่รุนแรงขึ้นมีผลต่อความเสี่ยงของการปฏิบัติงานตามกรอบแนวคิดของ HEART อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับงานของ Akyuz and Celik (2015) ที่แสดงให้เห็นว่า HEART สามารถประยุกต์ใช้ในบริบทการขนส่งเพื่อเปรียบเทียบระดับความเสี่ยงของการปฏิบัติงานภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันได้อย่างเป็นระบบ จุดที่คล้ายกันคือการใช้ HEART เป็นเครื่องมือช่วยจัดโครงสร้างการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความเสี่ยงจากหลายปัจจัยพร้อมกัน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากงานดังกล่าวตรงที่ไม่ได้มุ่งประเมินภารกิจปฏิบัติงานเฉพาะจุดเพียงอย่างเดียว แต่เชื่อม HEART เข้ากับแพลตฟอร์มประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยในระดับองค์กร ทำให้ผลลัพธ์สามารถนำไปใช้ในมิติของการติดตามภาพรวม การเปรียบเทียบระหว่างองค์กร และการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงบริหารได้มากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ใช้ HEART จะพบว่างานส่วนใหญ่มักประยุกต์เทคนิคดังกล่าวกับการกิจเฉพาะหรือขั้นตอนการปฏิบัติงานเฉพาะด้าน ขณะที่งานวิจัยนี้นำ HEART มา

ประยุกต์กับข้อมูลแบบประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยในระดับองค์กร และเชื่อมต่อเข้ากับแพลตฟอร์มดิจิทัลที่สามารถเก็บข้อมูล ติดตามความคืบหน้า และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดได้ในระบบเดียว จุดเด่นของงานนี้จึงอยู่ที่การทำให้การประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยมีมิติด้านความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบและพร้อมต่อการใช้งานจริงในเชิงบริหารมากขึ้น

อย่างไรก็ดี ควรตีความผลลัพธ์ที่ได้ในฐานดัชนีความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบ มากกว่าค่าความน่าจะเป็นโดยตรง เนื่องจากงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ HEART กับข้อมูลจากแบบสอบถามและใช้ค่า AP ที่แปลงจากมาตราส่วนลิเคิร์ตเพื่อการประมวลผลในระบบ จึงเหมาะสำหรับการเปรียบเทียบแนวโน้มระหว่างบริษัทและสถานการณ์ มากกว่าการตีความเป็นค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดในเชิงปฏิบัติการโดยตรง ประเด็นนี้สะท้อนว่าการประยุกต์ใช้ HEART ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นการยกระดับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบประเมินให้มีความเสี่ยงมากขึ้น มากกว่าการใช้ HEART ในรูปแบบดั้งเดิมที่มุ่งประเมินงานเฉพาะรายการ

งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดสำคัญ ได้แก่ การใช้ข้อมูลตัวอย่างเชิงนาร์องขนาด 90 กรณี ซึ่งแม้เพียงพอสำหรับการประเมินต้นแบบระบบ แต่ยังไม่มากพอสำหรับการอ้างอิงเชิงทั่วไปในระดับอุตสาหกรรม การจัดกลุ่มข้อคำถาม 20 ข้อเข้าสู่ 6 EPC ยังเป็นการกำหนดเชิงวิธีวิทยาเพื่อรองรับแพลตฟอร์ม และยังคงได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติมโดยผู้เชี่ยวชาญ รวมถึงการแปลงคะแนน Likert เป็น AP ซึ่งเป็นการ operationalize สำหรับการคำนวณในระบบ มิใช่การแทนค่าการประเมิน HEART แบบดั้งเดิมทั้งหมด นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังไม่ได้รายงานการทดสอบระบบในเชิงเทคโนโลยีอย่างเป็นทางการ เช่น usability, user acceptance, performance และ security

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรมีการเก็บข้อมูลจริงจากหลายองค์กรและเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้น เช่น 150–300 กรณี จากอย่างน้อย 5 องค์กร เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการศึกษา ควรตรวจสอบ reliability และ validity ของแบบประเมินอย่างเป็นระบบ ศึกษาความไวของผลลัพธ์ต่อการเลือก GTT และ representative EPC และพัฒนาระบบต่อยอดด้วย AI หรือ predictive analytics เพื่อใช้คาดการณ์แนวโน้มความเสี่ยงและสนับสนุนการแจ้งเตือนเชิงป้องกันในองค์กร

โดยสรุป ผลการวิจัยยืนยันว่าแพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นสามารถเชื่อมการประเมินวัฒนธรรมความปลอดภัยเข้ากับการวิเคราะห์เชิง HEART ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลที่สอดคล้องกับกรอบแนวคิดสำคัญทั้งด้านวัฒนธรรมความปลอดภัยและการประเมินความผิดพลาดของมนุษย์ โดยเฉพาะแนวคิดของ Cooper (2000) และ Williams (1985) ซึ่งถือเป็นฐานสำคัญของงานวิจัยนี้

7. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแพลตฟอร์มประเมินวุฒิภาวะวัฒนธรรมความปลอดภัยในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อสนับสนุนการเก็บข้อมูลแบบประเมิน การติดตามความคืบหน้าแบบเรียลไทม์ การจัดการข้อมูลแบบรวมศูนย์ และการนำเสนอผลผ่านแดชบอร์ดและรายงานสรุปอย่างเป็นระบบ แพลตฟอร์มรองรับผู้ใช้งานหลายบทบาทและเชื่อมโยงข้อมูลแบบสอบถามเข้ากับกลไกการวิเคราะห์เชิง HEART

จุดเด่นของงานวิจัยอยู่ที่การประยุกต์ใช้ HEART เพื่อยกระดับการประเมินจากการสรุปคะแนนแบบสอบถามทั่วไปไปสู่การสร้างดัชนีความเสี่ยงเชิง HEART สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างบริษัทและระหว่างสถานการณ์ โดยผลจากข้อมูลตัวอย่างเชิงนำร่องจำนวน 90 กรณี จากองค์กรตัวอย่าง 3 องค์กร แสดงแนวโน้มที่สอดคล้องกันในทุกกรณี ได้แก่ สภาวะสงครามมี ค่าดัชนีสูงที่สุด รองลงมาคือ สภาวะหลังสงคราม และต่ำที่สุดคือ สภาวะปกติ ขณะเดียวกันยังพบความแตกต่างเชิงเปรียบเทียบระหว่างบริษัท ซึ่งสะท้อนศักยภาพของแพลตฟอร์มในการสนับสนุนการวิเคราะห์ และการตัดสินใจด้านความปลอดภัย

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านขนาดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ การใช้ข้อมูลเชิงสถานการณ์ในระดับนำร่อง การจัดกลุ่ม EPC ที่ยังควรได้รับการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และการยังไม่มี การประเมินระบบในเชิงเทคโนโลยีอย่างเป็นทางการ ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตควรมุ่งตรวจสอบความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือด้วยข้อมูลจริงจากหลายองค์กร เพิ่มการทดสอบในบริบทอุตสาหกรรมอื่น และพัฒนาระบบให้สามารถรองรับการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ร่วมกับเทคนิค AI ได้ต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

- Akyuz, E. and Celik, M. (2015). A methodological extension to human reliability analysis for cargo tank cleaning operation on board chemical tanker ships. **Safety Science** 75: 146–155.
- Ayob, A. N., Che Hassan, C. R. and Hamid, M. D. (2022). Safety culture maturity measurement methods: A systematic literature review. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries** 80: 104910.
- Bell, J. and Holroyd, J. (2009). **Review of human reliability assessment methods (RR679)**. London: Health and Safety Executive.
- Bell, J. and Williams, J. C. (2016). Consolidation of the HEART Human Reliability Assessment Principles. In: **Hazards 26, Symposium Series No. 161**. Rugby: IChemE.

- Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. **Safety Science** 36(2): 111–136.
- Curti, S., Gallo, M., Nocilla, M. R., Montagnani, A., Mattioli, S., Gnoni, M. G. and De Merich, D. (2025). Safety culture maturity models in occupational safety and health: An updated scoping review. **Safety Science** 187: 107003.
- Guldenmund, F. W. (2000). The nature of safety culture: A review of theory and research. **Safety Science** 34(1–3): 215–257.
- Hudson, P. (2007). Implementing a safety culture in a major multi-national. **Safety Science** 45(6): 697–722.
- International Atomic Energy Agency. (1991). **Safety culture: A report by the International Nuclear Safety Advisory Group (Safety Series No. 75-INSAG-4)**. Vienna: IAEA.
- Liu, H., Wei, J., Li, Z. and Yang, Y. (2021). Two decades on human reliability analysis: A bibliometric analysis and literature review. **Applied Ergonomics** 95: 103448.
- Reason, J. (1990). **Human error**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Waterson, P., Robertson, M. M., Cooke, N. J., Militello, L., Roth, E. and Stanton, N. A. (2019). Maturity models and safety culture: A critical review. **Safety Science** 117: 88–100.
- Williams, J. C. (1985). HEART—A proposed method for achieving high reliability in process operation by means of human factors engineering technology. In: **Proceedings of a Symposium on the Achievement of Reliability in Operating Plant** (pp. 235–250).
- Zohar, D. (2010). Thirty years of safety climate research: Reflections and future directions. **Accident Analysis & Prevention** 42(5): 1517–1522.