

การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงในงานก่อสร้างระบบป้องกันดินพัง RISK FACTOR ANALYSIS FOR CONSTRUCTION SOIL PROTECTION SYSTEMS

พาสิตี หล่อธีรพงศ์¹ และไพจิตร ผาวัน²

Pasit Lorterapong and Paijit Pawan

¹บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
เลขที่ 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร. 0-2470-9791 โทรสาร 0-2427-9798

E-mail: pasit.lor@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การก่อสร้างชั้นใต้ดิน สำหรับอาคารสูงเป็นงานที่มีความสลับซับซ้อนและมีความเสี่ยง (Risk) มากกว่าการก่อสร้างโครงสร้าง ส่วนเหนือดิน ปัญหาสำคัญที่มักพบเห็นในงานก่อสร้างใต้ดิน คือ การเคลื่อนตัวของดิน ซึ่งมีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปัจจัยเสี่ยง (Risk Factors) ในงานก่อสร้างระบบป้องกันดินพัง ชนิดเข็มพืดแบบมีค้ำยัน 2 ชั้น เพื่อนำไปพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคาดการณ์ค่าความเป็นไปได้ที่ทำให้อาคารข้างเคียงเสียหาย โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญด้านงานก่อสร้างระบบป้องกันดินพัง โดยกำหนดสถานการณ์ต่างๆ ของปัจจัยเสี่ยงขึ้น จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบสอบถามนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยเสี่ยง จากการศึกษพบว่าวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก เป็นวิธีที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้คาดการณ์ความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ความเสี่ยงที่อาคารข้างเคียงเสียหาย ข้อมูลดังกล่าวเป็นประโยชน์ในการบริหารความเสี่ยงในงานก่อสร้าง

Abstract

Underground construction is one of the most risky parts for high-rise building construction. Typically this type of work is found to be more complicated and riskier than that of superstructure. The challenge commonly encountered in

underground construction is the ground movement causing damages to adjacent buildings. This research attempts to identify risk factors found in the construction of a two-layers-bracing sheet pile wall soil protection system. A Model has been developed to predict the possibility of adjacent buildings being damaged by operation; Outcomes from different scenarios of risk factors were gathered from experts in this field. The Logistic Regression method has been used to generate coefficients associated with each risk factor. The method is simple and can be used to produce useful information which is difficult to obtain in real-life constructions.

1. บทนำ

โครงสร้างชั้นใต้ดินเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอาคารสูงในเขตกรุงเทพฯ หรือในบริเวณที่เป็นศูนย์กลางของธุรกิจ การก่อสร้างสำหรับโครงสร้างใต้ดิน โดยทั่วไปจะมีความสลับซับซ้อนและมีความเสี่ยง (Risk) มากกว่าการก่อสร้างโครงสร้างบนดินสำหรับปัญหาสำคัญที่มักพบเห็นในงานก่อสร้างใต้ดินในเขตกรุงเทพมหานคร คือปัญหาดินเคลื่อนตัว ซึ่งมีสาเหตุหลายประการ เช่น การเลือกใช้ระบบป้องกันดินพัง (Soil Protection System :SPS) ที่ไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมหรืออาจเกิดจากประเภทและคุณสมบัติของดิน เป็นต้น วันชัยและณรงค์[1] ได้ยกตัวอย่างระบบป้องกัน

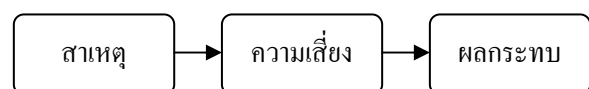
ดินพังกัดเข็มพิค (Sheet Pile Wall) ว่าเป็นระบบที่ต้องระมัดระวัง เรื่องการเคลื่อนตัวของดินอย่างมากจากแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ขณะทำการตอกเข็มพิค ฉะนั้น ผู้วางแผนงานก่อสร้างโดยใช้ระบบนี้จำเป็นต้อง เข้าใจพฤติกรรมของระบบตลอดจน ขั้นตอนการก่อสร้างอย่างถ่องแท้ เพราะความเสี่ยงและปัจจัยเสี่ยงต่างๆ อาจเกิดขึ้นจากการทำงานผิดขั้นตอน เป็นต้น ตัวอย่างเช่น การก่อสร้างฐานรากและชั้นใต้ดินที่ต้องขุดดินลึกใกล้อาคารข้างเคียง ด้วยระบบกำแพงกันดิน ถ้าผู้วางแผนไม่เข้าใจขั้นตอน ในการก่อสร้างหรือขาดประสบการณ์ ก็อาจไปถอดค้ำยัน (Struts) ออกก่อนที่จะถมทรายลงในช่องว่างระหว่างโครงสร้างกำแพงกันดินถาวรกับกำแพงกันดินชั่วคราว ดังรูปที่ 1. เป็นเหตุให้ดินเคลื่อนตัว ส่งผลให้อาคารข้างเคียงเสียหายได้ งานขุดดินเพื่อก่อสร้างฐานรากอาคารหากไม่ระมัดระวังอาจทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนตัว ส่งผลให้ เกิดจากรอยแตกร้าวที่เสาเข็ม (Tension crack) และเสาเข็มหนีศูนย์ (Pile deviation) ได้ จากการศึกษาของ Thasnanipan และคณะ [2] พบว่าเสาเข็มขนาดเล็กจะเสียหายมากกว่าเสาเข็มขนาดใหญ่



รูปที่ 1. แสดงการถอดค้ำยันออกก่อนที่จะถมทราย [3]

นอกจากปัจจัยเสี่ยงที่มาจากมนุษย์แล้วงานก่อสร้างยังมีปัจจัยเสี่ยงที่เกิดจากธรรมชาติอีก Chen และ Hiew [4] ได้ศึกษาหาสาเหตุความเสียหายของกำแพงกันดินที่เกิดจากความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติ เช่น ฝนตกหนักติดต่อกันหลายวัน ส่งผลให้แรงดันด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงมากขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงของค้ำยันลดลงจากเดิม เนื่องจากสนิมทำลายเนื้อเหล็ก ทำให้กำแพงพัง ดินเคลื่อนตัว ถนนที่อยู่รอบบริเวณแตกร้าวเสียหาย จะเห็นได้ว่าความเสี่ยงเกิดขึ้นได้เสมอในระหว่างการดำเนินงาน การบริหารความเสี่ยง (Risk

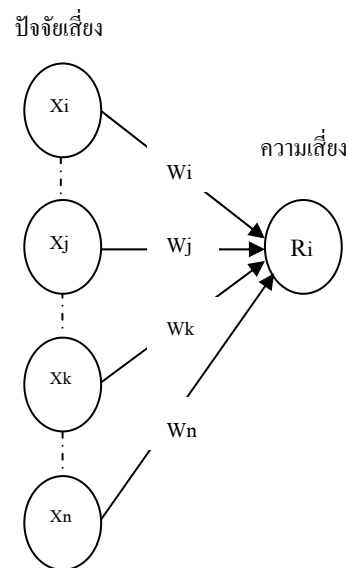
Management) จึงเป็นสิ่งสำคัญ กรอบการทำงานเกี่ยวกับบริหารความเสี่ยง (Risk Management Framework) มีอยู่หลายระบบ แต่ละระบบก็มีวัตถุประสงค์ต่างกัน COSO[5] เป็นตัวอย่างของระบบการบริหารความเสี่ยงที่ทำทั่วทั้งองค์กร (Enterprise Risk Management) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคธุรกิจ ผู้พัฒนาระบบ COSO ได้กำหนดกรอบแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารความเสี่ยงว่าเป็นกระบวนการที่พึงปฏิบัติโดยบุคลากรทุกคนในองค์กรตั้งแต่ระดับกรรมการบริษัทผู้บริหารและพนักงานทุกคน โดยทั่วไปกิจกรรมในการบริหารความเสี่ยงประกอบด้วย การระบุเหตุการณ์ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อความเสี่ยงนั้นต้องคาดการณ์หาพบว่าความเสี่ยงใดๆ เป็นความเสี่ยงที่อยู่ในระดับที่ไม่พึงปรารถนา องค์กรก็ต้องจัดการความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่องค์กรยอมรับได้ตามนโยบายความเสี่ยงที่กำหนดขึ้น AI-Bahar และ Crandall[6] ได้กล่าวไว้ว่า การบริหารความเสี่ยงเป็นกระบวนการที่เป็นระบบ ซึ่งสามารถวิเคราะห์และจัดการกับเหตุการณ์ความเสี่ยงของโครงการได้ ซึ่งการบริหารความเสี่ยงประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การระบุหรือการจำแนกความเสี่ยง (Risk Identification) การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) การตอบสนองต่อความเสี่ยงที่เกิดขึ้น (Risk Response) และการควบคุมความเสี่ยง (Risk Controlling) Chapman [7] กล่าวว่า การวิเคราะห์ความเสี่ยงอย่างเป็นระบบจะทำให้ควบคุมและจัดการความเสี่ยงได้ดีกว่าการใช้ความรู้สึก การค้นหาและการระบุความเสี่ยง เป็นการพิจารณาว่ามีสิ่งใดที่อาจเป็นปัญหา ทำให้การดำเนินงานไม่สำเร็จตามวัตถุประสงค์ ดังนั้น การระบุสาเหตุความเสี่ยงควรเป็นสาเหตุที่สอดคล้องกับกิจกรรมต่างๆ เพื่อจะได้ประเมินและกำหนดมาตรการลดความเสี่ยงได้อย่างถูกต้องสำหรับการระบุความเสี่ยงอย่างเป็นระบบเริ่มด้วยการพิจารณาสาเหตุ ความเสี่ยง และผลกระทบ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. แสดงการค้นหาสาเหตุความเสี่ยง [8]

Leung และคณะ [9] ได้จำแนกปัจจัยเสี่ยงออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือปัจจัยภายนอกและภายในโครงการ โดยปัจจัยภายนอกมี 3 ประเภท คือ 1) ภัยธรรมชาติ (Acts of God) 2) การเมือง สภาพแวดล้อม (Political and Environmental) 3) การเงินและสถานะเศรษฐกิจ (Financial and Economic) สำหรับปัจจัยภายในมี 3 ประเภท คือ 1) การออกแบบ (Design risk) 2) สภาพหน่วยงาน (Job-Site-Related) และ 3) การดำเนินงานและการจัดการ (Operational and Managerial) ต่อมา Mulholland และ Christian [10] ได้ศึกษาหาปัจจัยเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อตารางกำหนดเวลางานก่อสร้าง (Construction schedules) โดยการสร้างฐานความรู้ (Knowledge Base) เพื่อช่วยในการตัดสินใจ ประกอบด้วยความเสี่ยง 4 ประเภท คือ 1)การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering design) 2) การจัดซื้อจัดหา(Procurement) 3) หน่วยงานก่อสร้าง (Site construction) และ 4) การบริหารโครงการ (Project management) และยังคงวิธีเพื่อกำหนดหาปริมาณความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมตามตารางกำหนดเวลาก่อสร้างโดยการใช้ PERT วิเคราะห์หาปริมาณความเสี่ยง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้วัดความเสี่ยงทางด้านปฏิบัติการ (Operation Risk) ได้เป็นอย่างดี งานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่า องค์ความรู้และแนวทางเกี่ยวกับการบริหารความเสี่ยงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างเป็นระบบและถูกนำไปใช้สำหรับการทำธุรกิจ แต่สำหรับงานก่อสร้างนั้น การบริหารความเสี่ยงยังไม่ได้ปฏิบัติกันอย่างแพร่หลาย ทั้งๆที่สภาพแวดล้อมในการทำงานมีปัจจัยทั้งภายในและภายนอกที่ควบคุมยาก ส่งผลให้การดำเนินการจริง ประสบกับปัญหาและอุปสรรคทำให้เกิดความล่าช้ากว่าแผนงานที่กำหนดไว้และ/หรือทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น อุปสรรคที่สำคัญประการหนึ่งในการบริหารความเสี่ยงในงานก่อสร้าง คือ การระบุปัจจัยเสี่ยง (Risk Factors) และเหตุการณ์ความเสี่ยง (Risk Events) รูปที่ 3. แสดงให้เห็นว่า ความเสี่ยงใด อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยเสี่ยงหลายอย่าง เช่น ในกิจกรรมการติดตั้งเสาเข็มพิคจะมีปัจจัยเสี่ยง ในการปฏิบัติงาน ได้แก่ ระยะห่างการตอกเข็มพิคกับอาคารข้างเคียง ระดับการสั่นสะเทือนจากเครื่องมือตอกและลักษณะความมั่นคงของอาคาร เป็นต้น ซึ่ง

ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงในระดับความสำคัญ (W_i) ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3. รูปแบบการกำหนดค่าน้ำหนักปัจจัยเสี่ยง

องค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่งของเหตุการณ์ความเสี่ยงใดๆ คือ โอกาสที่จะเกิดหรือความเป็นไปได้ที่เหตุการณ์ความเสี่ยงนั้นจะเกิดขึ้น การคาดการณ์ ความเป็นไปได้ ในการเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงในงานก่อสร้างสามารถทำได้สองวิธี คือ 1) Quantitative Analysis และ 2) วิธี Qualitative Analysis [11] วิธี Quantitative Analysis อาศัยการเก็บข้อมูลความถี่ของเหตุการณ์ความเสี่ยงใดๆ ที่เกิดขึ้นในอดีต จากนั้นก็ใช้ทฤษฎี ความน่าจะเป็น ในการคำนวณค่าโอกาส (Probability) ที่เหตุการณ์นั้นๆ จะเกิดขึ้นกับโครงการใหม่ที่อยู่ระหว่างวางแผน สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้าง วิธีนี้จะทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากขาดการเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ วิธีที่สองคือวิธี Qualitative Analysis วิธีนี้จะอาศัยความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ (Experts) ในการคาดการณ์ความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในโครงการใหม่นี้จึงเป็นวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างได้ดีกว่า เนื่องจากงานก่อสร้างมีความซับซ้อนแต่ละโครงการมีลักษณะเฉพาะ ที่ต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ อย่งไรก็ตามการประเมินหาความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ความเสี่ยงโดยผู้เชี่ยวชาญก็ยังมี ความซับซ้อนเนื่องจากปัญหาความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยเสี่ยงและ

เหตุการณ์ความเสี่ยงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการบริหารความเสี่ยงในงานก่อสร้าง โดยใช้งานก่อสร้าง ระบบป้องกันดินพัง ชนิดเข็มพืด แบบมีค้ำยัน 2 ชั้น เป็นกรณีศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์หลักสองประการ คือ

1. เพื่อศึกษาพัฒนารูปแบบการเก็บข้อมูลระหว่างปัจจัยเสี่ยง (Risk factor) และความเป็นไปได้ในงานระบบป้องกันดินพังของเหตุการณ์ความเสี่ยง (Risk Event) ในกรณีศึกษา
2. เพื่อพัฒนาวิธีการคาดการณ์ ความเป็นไปได้ (Likelihood) ที่เหตุการณ์ความเสี่ยงใดๆ จะเกิดขึ้น โดยใช้ข้อมูลที่สอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ ควบคู่กับข้อมูลของโครงการใหม่ที่อยู่ในระหว่างการพิจารณาสำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ความเสี่ยง จะใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression Analysis) เพราะเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีตัวแปรทั้งที่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ นอกจากนี้ Fang และคณะ [12] เคยใช้วิธีวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก ในการประเมินความเสี่ยง เพื่อประเมินงานก่อสร้างของผู้รับเหมาในประเทศจีน โดยการวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ของปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อการประมูล แบบจำลองดังกล่าว สามารถช่วยให้ผู้รับเหมาทั้งในประเทศจีนและต่างประเทศใช้ในการตัดสินใจเข้าประมูลงานก่อสร้างอาคารในประเทศได้ ในส่วนต่อไปจะเป็นการนำเสนอแนวคิดทฤษฎีวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

2. วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์

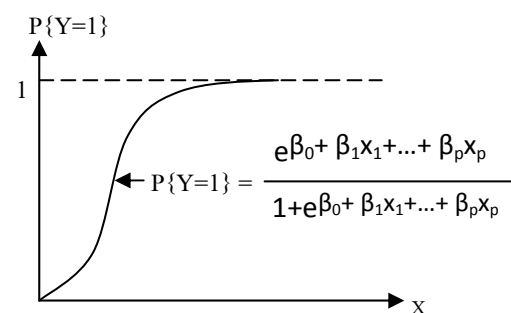
การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความเป็นไปได้ที่กล่าวข้างต้น จะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณทั้งตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรอิสระ (X) การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยแบบหนึ่งที่มีตัวแปรตาม (Y) เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพแบบมีค่า 2 ค่าและแบบที่มีค่ามากกว่า 2 ค่า ส่วนตัวแปรอิสระ (X) ที่อาจจะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณหรือตัวแปรเชิงคุณภาพ หรืออาจจะมทั้งตัวแปรเชิงปริมาณหรือตัวแปรเชิงคุณภาพก็ได้ จึงเป็นการวิเคราะห์ที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว ส่วนตัวแปรตาม Y แบบมี 2 ค่า คือแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม [13] ดังนี้

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าเกิดเหตุการณ์} \\ 0 & \text{ถ้าไม่เกิดเหตุการณ์} \end{cases}$$

$$P\{Y=1\} = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n}} \quad (1)$$

$$P\{Y=0\} = 1 - P\{Y=1\} \quad (2)$$

เนื่องจาก Y มีค่า 2 ค่า คือ 0 และ 1 จึงทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y ไม่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้น ดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4. แสดงความสัมพันธ์ P{เกิดเหตุการณ์} กับ ตัวแปร X

2.1 การประมาณตัวแบบความถดถอยโลจิสติก

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยความถดถอยโลจิสติก เป็นการประมาณค่าความเป็นไปได้ของการเกิดเหตุการณ์ ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวแปร [14] สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{Prob (event)} = \frac{e^z}{1 + e^z} \quad (3)$$

เมื่อได้ค่า ความเป็นไปได้ของการเกิดเหตุการณ์ก็สามารถหาค่าความเป็นไปได้ของการไม่เกิดเหตุการณ์นั้นได้ดังนี้

$$\text{Prob (no event)} = 1 - \frac{e^z}{1 + e^z} \quad (4)$$

$$Z = e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p}$$

โดยที่

β หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ประมาณได้จากข้อมูล

Z หมายถึง ตัวแบบถดถอยโลจิสติก

e หมายถึง ค่า natural logarithm ในทางคณิตศาสตร์มี

ค่าประมาณ 2.71828

2.2 การวัดระดับความสัมพันธ์

ในการวิเคราะห์ความถดถอย การวัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ จะใช้สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่ง เป็นค่าที่ระบุถึงสัดส่วนของความผันแปรของตัวแปรตามที่อธิบายได้ด้วย ตัวแปรอิสระ ดังนี้

Cox & Snell R^2 (R^2_{CS})

$$(R^2_{CS}) = 1 - \left| \frac{L(0)}{L(B)} \right|^{2/n} \quad (5)$$

โดยที่

$L(0)$ = ฟังก์ชันความควรจะเป็นของฟังก์ชันที่มีค่าคงที่เท่านั้น

$L(B)$ = ฟังก์ชันความควรจะเป็นของฟังก์ชันที่มีตัวแปรอิสระ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้เริ่มจาก การศึกษาค้นหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับปัจจัยเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อเวลาของกิจกรรมงานก่อสร้างระบบป้องกันดินพังชนิดเข็มพืดแบบมีค้ำยัน 2 ชั้นในเขตกรุงเทพฯ โดยกำหนดโครงสร้างรายการงาน (Work Breakdown Structure: WBS) และโครงสร้างความเสี่ยง (Risk Breakdown Structure: RBS) จากนั้นได้สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในองค์กรที่ดำเนินงานเกี่ยวกับงานระบบป้องกันดินพัง และทำการวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ความเสี่ยงที่เกิดจากปัจจัยเสี่ยงต่างๆ

3.1 โครงสร้างรายการงาน (WBS)

โครงสร้างรายการงาน ที่ใช้ในการศึกษาหาสาเหตุความเสี่ยงของงานก่อสร้างระบบป้องกันดินพังและขุดดินลึกคือชนิดเข็มพืดเหล็กแบบมีค้ำยัน และจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญระบบป้องกันดินพัง แล้วนำมาจัดเขียน โครงสร้างรายการงาน ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 5.

3.2 การเก็บข้อมูล

ในการศึกษานี้จะเลือกเหตุการณ์ความเสี่ยง “อาคารข้างเคียงเสียหาย” ที่เกิดขึ้นกับกิจกรรมติดตั้งเข็มพืด มาเป็นตัวอย่างในการเก็บข้อมูลและการประมวลผล ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ “อาคารข้างเคียงเสียหาย” ประกอบด้วย 3 ปัจจัยที่สำคัญได้แก่ “การสั่นสะเทือน” “ระยะห่างของอาคาร” และ “ลักษณะของ

อาคาร” ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยนี้เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพที่ได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญในงานระบบป้องกันดินพัง จากนั้น เก็บข้อมูลด้วยการเข้าสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 2 ท่าน ตามแบบสัมภาษณ์ โดยกำหนดไว้ 9 สถานการณ์ ในแต่ละสถานการณ์จะให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้เลือกระดับตัวแปรเทียมต่างๆ ขึ้นเอง ตามหลักการของเหตุและผล (Logic) ของผู้เชี่ยวชาญโดยพิจารณาจากปัจจัยเสี่ยงต่างๆ เช่น สถานการณ์ที่ 1. ถ้า (IF) ตัวแปร “การสั่นสะเทือนฯ” อยู่ในระดับ “น้อย” และ (AND) ตัวแปร “ระยะห่างอาคารฯ” อยู่ในระดับ “ปานกลาง “ และ (AND) “ความมั่นคงของอาคาร” อยู่ในระดับ “มั่นคง” แล้ว (THEN) “อาคารข้างเคียงไม่เสียหาย” ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5. ซึ่งการระบุค่าความเป็นไปได้ สามารถเลือกได้ 3 ระดับ คือ “ไม่เสียหาย” “น่าจะเสียหาย” และ “มีโอกาสเสียหาย” สำหรับสถานการณ์อื่นๆ ผู้เชี่ยวชาญก็จะใช้ประสบการณ์ที่ผ่านมากำหนดขึ้นเองตามหลักการข้างต้น

1) งานเสาเข็มพืด (Sheet pile work)

1.1) งานขนย้ายเครื่องจักร(Mobilization work)

1.1.1) งานขนย้ายเสาเข็มพืด

1.1.2) งานขนย้ายแผ่นพื้นและค้ำยัน

1.2) งานสำรวจ(Survey work)

1.2.1) งานวางแผน

1.2.2) งานระดับ

1.3) งานติดตั้งเข็มพืด (Sheet pile Installation work)

1.3.1) งานตอกเข็มพืด

1.3.2) งานตอกเสารองรับ

1.4) งานติดตั้งค้ำยัน (Bracing Installation work)

1.4.1) งานค้ำยันระดับที่ 1.

1.4.2) งานค้ำยันระดับที่ 2.

1.5) งานขุดดิน (Excavations work)

1.5.1) งานขุดดินระดับที่ 1.

1.5.2) งานขุดดินระดับที่ 2.

1.5.3) งานขุดดินระดับที่ 3.

1.6) งานฐานราก (Foundation work)

1.7) งานรื้อถอนและขนย้ายกลับ (Removal work)

รูปที่ 5. โครงสร้างรายการงานระบบป้องกันดินพัง

4. การวิเคราะห์ข้อมูลและการนำไปประยุกต์ใช้งาน

การวิเคราะห์ข้อมูลจะเริ่มจากการแบ่งกลุ่มตัวแปรอิสระและแบ่งกลุ่มตัวแปรตาม สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานได้ใช้กรณีศึกษาจากโครงการจริง โดยศึกษาความเป็นไปได้ที่อาคารข้างเคียงจะเสียหายจากกิจกรรมการติดตั้งเข็มพืด ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ได้มาจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญเพื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นไปได้ของอาคารข้างเคียงที่จะเสียหาย ทั้งนี้การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์จะนำไปใช้คาดการณ์ความเป็นไปได้ที่จะเกิด ความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงในโครงการต่อไป

4.1 การแบ่งกลุ่มตัวแปรอิสระ

การคาดการณ์ความเป็นไปได้ที่เหตุการณ์ความเสี่ยงจะเกิดพิจารณาจากตัวแปรอิสระ(X) หรือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงอาคารข้างเคียงเสียหาย ในที่นี้ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพมี 3 ตัวแปร คือ ความมั่นคงของอาคาร ระยะห่างของอาคาร และการสั่นสะเทือนจากการปฏิบัติงาน โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรอิสระแต่ละตัวให้อยู่ในรูปตัวแปรเทียมได้ 3 ตัวแปร เช่น ตัวแปรความมั่นคงของอาคาร จะกำหนดเกณฑ์ชี้วัด 3 ระดับ คือ (1)มั่นคง (2) มั่นคงปานกลาง และ(3)ไม่มั่นคง ในแต่ละเกณฑ์จะมีความหมายต่างกัน เช่น ถ้าสำรวจรอบบริเวณโครงการแล้วพบความเสียหายในโครงสร้างหลักของอาคารข้างเคียง จะประมาณว่าอาคารข้างเคียงไม่มั่นคง ซึ่งส่งผลกระทบต่อความเป็นไปได้ที่อาคารข้างเคียงจะเสียหายมาก จะให้เกณฑ์ชี้วัดเป็นระดับ 3 ดังแสดงในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. เกณฑ์ชี้วัดตัวแปรความมั่นคงของอาคาร

เกณฑ์ชี้วัด	ความมั่นคงของอาคาร	ความหมาย
1	มั่นคง	ไม่พบความเสียหาย
2	มั่นคงปานกลาง	พบความเสียหายในโครงสร้างรอง
3	ไม่มั่นคง	พบความเสียหายในโครงสร้างหลัก

สำหรับตัวแปรระยะห่างของอาคาร จะกำหนดเกณฑ์ชี้วัด 3 ระดับ คือ (1)ระยะห่างน้อย (2)ระยะห่างปานกลาง และ (3)ระยะห่างมาก ในแต่ละเกณฑ์จะมีความหมายในการพิจารณาต่างกัน เช่น ถ้าอาคารข้างเคียงมีระยะห่างจากแนวป้องกันดินมากกว่า 3 เมตร จะประมาณว่าระยะห่างอาคารข้างเคียงกับแนวระบบป้องกันดินมีค่ามาก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความเป็นไปได้ที่อาคารข้างเคียงจะเสียหายน้อย ก็ให้เกณฑ์ชี้วัดเป็นระดับ 1 ดังแสดงในตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. เกณฑ์ชี้วัดตัวแปรระยะห่างอาคารข้างเคียง

เกณฑ์ชี้วัด	ระยะห่างอาคารข้างเคียง	ความหมาย
1	ระยะห่างมาก	อาคารข้างเคียงมีระยะห่างจากแนวระบบป้องกันดินมากกว่า 3 เมตร
2	ระยะห่างปานกลาง	อาคารข้างเคียงมีระยะห่างจากแนวระบบป้องกันดินเท่ากับ 3 เมตร
3	ระยะห่างน้อย	อาคารข้างเคียงมีระยะห่างจากแนวระบบป้องกันดินน้อยกว่า 3 เมตร

และตัวแปรการสั่นสะเทือน จะกำหนดเกณฑ์ชี้วัด 3 ระดับ คือ (1)สั่นสะเทือนน้อย (2)สั่นสะเทือนปานกลาง และ (3)สั่นสะเทือนมาก ในแต่ละเกณฑ์จะมีความหมายต่างกัน เช่น ถ้าการปฏิบัติงานระบบป้องกันดินในกิจกรรมติดตั้งเข็มพืดโดยใช้ระบบการตอกแบบไฮดรอลิกส์ (Silent piler) จะประมาณว่าการสั่นสะเทือนจากการติดตั้งเข็มพืดมีค่าการสั่นสะเทือนน้อย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความเป็นไปได้ที่อาคารข้างเคียงจะเสียหายน้อยและจะให้เกณฑ์ชี้วัดเป็นระดับ 1 ดังแสดงในตารางที่ 3. การนำค่าเกณฑ์ชี้วัดของตัวแปรทั้งสามไปวิเคราะห์ จะพิจารณาเมื่อผู้เชี่ยวชาญเลือกตัวแปรเทียมตัวใด จะใช้ให้ค่าของตัวแปรเทียมตัวนั้นมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนตัวแปรอื่นๆ จะมีค่าเท่ากับ 0

ตารางที่ 3. เกณฑ์ชี้วัดตัวแปรการสั่นสะเทือน

เกณฑ์ ชี้วัด	การสั่นสะเทือนจากการ ติดตั้งเข็มพืด	ความหมาย
1	สั่นสะเทือนน้อย	ติดตั้งเข็มพืดโดยใช้ระบบการตอกแบบไฮดรอลิกส์ (Silent Piler)
2	สั่นสะเทือนปานกลาง	ติดตั้งเข็มพืดโดยใช้ระบบการตอกแบบสั่น (Vibro hammer) ระดับการสั่นน้อย
3	สั่นสะเทือนมาก	ติดตั้งเข็มพืดโดยใช้ระบบการตอกแบบสั่น (Vibro hammer) ระดับสั่นมาก

4.2 การแบ่งกลุ่มตัวแปรตาม

การกำหนดค่าตัวแปรตาม(Y) ในที่นี้คือค่าความเป็นไปได้ที่อาคารข้างเคียงจะเสียหาย ซึ่งเป็นตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ โดยสามารถแบ่งกลุ่มของตัวแปรตามให้อยู่ในรูปของตัวแปรเทียมได้ 3 ตัวแปร คือ ความเป็นไปได้ที่อาคารข้างเคียง ไม่เสียหาย น่าจะเสียหายและมีโอกาสเสียหาย ในแต่ละเกณฑ์ก็จะมีค่าความหมายต่างกัน เช่น ถ้าผู้เชี่ยวชาญคิดว่าปัจจัยที่สำคัญจากตัวแปรอิสระทั้งสามอยู่ในระดับ 3 ก็จะส่งผลกระทบต่อความเป็นไปได้ที่จะทำให้อาคารข้างเคียงเสียหายอยู่ในระดับ 1 คือ มีโอกาสเสียหาย หมายความว่า จะพบความเสียหายที่รุนแรงมาก ดังแสดงในตารางที่ 4. การนำค่าเกณฑ์ชี้วัดของตัวแปรไปวิเคราะห์ จะพิจารณาเมื่อผู้เชี่ยวชาญเลือกตัวแปรเทียมตัวใด จะใช้ให้ค่าของตัวแปรเทียมตัวนั้นมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนตัวแปรอื่นๆ จะมีค่าเท่ากับ 0

ตารางที่ 4. เกณฑ์ชี้วัดตัวแปรอาคารข้างเคียงเสียหาย

เกณฑ์ ชี้วัด	ความเป็นไปได้ที่ อาคารข้างเคียง	ความหมาย
0	ไม่เสียหาย	ไม่พบความเสียหาย
0.5	น่าจะเสียหาย	พบความเสียหาย แต่ไม่รุนแรง
1	มีโอกาสดังกล่าว	พบความเสียหายที่รุนแรงมาก

จากการระบุค่าความเป็นไปได้ตามสถานการณ์ต่างๆ ในตารางที่ 5. สามารถวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นไปได้ ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกแบบหลายกลุ่ม (Multinomial Logistic Regression Analysis) ซึ่งจะหาค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นไปได้ของ “อาคารข้างเคียง

เสียหาย” ในกิจกรรมติดตั้งเข็มพืด (Sheet pile) ดังแสดงในตารางที่ 6. โดยมีค่าระดับความสัมพันธ์ $R^2_{CS} = 0.864$

การคาดการณ์ความเป็นไปได้ของอาคารข้างเคียงเสียหายในกิจกรรมติดตั้งเข็มพืด สามารถคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์ที่วิเคราะห์มาได้จากตารางที่ 6. และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้

4.3 การนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน

ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยโลจิสติกของเหตุการณ์ความเสี่ยงต่างๆสามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้ดังตารางที่ 7. โดยสมมุติโครงการตัวอย่างที่จะพิจารณาขึ้น 3 โครงการ คือ A,B และ C จากนั้นผู้วางแผนจะประเมินสถานการณ์ในกิจกรรมตอกเสาเข็มพืดที่มีปัจจัยเสี่ยงที่ระบุไว้ เช่น โครงการ A ความมั่นคงของอาคารข้างเคียงมีลักษณะไม่มั่นคง (ให้ค่าเป็น 3) ระยะห่างของอาคารมีระยะห่างปานกลาง (ให้ค่าเป็น 2) และการสั่นสะเทือนจากการตอกเข็มพืดมีการสั่นสะเทือนระดับต่ำ (ให้ค่าเป็น 1) สำหรับโครงการ B ความมั่นคงของอาคารมีลักษณะมั่นคง (ให้ค่าเป็น 1) ,ระยะห่างของอาคารมีระยะห่างปานกลาง (ให้ค่าเป็น 2) และการสั่นสะเทือนจากการตอกเข็มพืดมีการสั่นสะเทือนระดับสูง (ให้ค่าเป็น 3) สำหรับโครงการ C ความมั่นคงของอาคารมีลักษณะมั่นคงปานกลาง (ให้ค่าเป็น 2) ระยะห่างของอาคารมีระยะห่างปานกลาง (ให้ค่าเป็น 2) และการสั่นสะเทือนจากการตอกเข็มพืดมีการสั่นสะเทือนระดับปานกลาง (ให้ค่าเป็น 2) จากนั้นแบบจำลองก็สามารถคาดการณ์ความเสี่ยงได้ โดยให้ค่าความเป็นไปได้(ค่าความเสี่ยง) ที่อาคารข้างเคียงเสียหายของโครงการ A เท่ากับ 0.99 โครงการ B เท่ากับ 0.61 และโครงการ C เท่ากับ 0.35 ซึ่งคาดการณ์ได้ว่าอาคารข้างเคียง

ตารางที่ 5. การระบุค่าความเป็นไปได้ตามสถานการณ์ต่าง

ความคิดเห็น ผู้เชี่ยวชาญ	สถานการณ์ ที่	ตัวแปรอิสระ									ตัวแปรตาม		
		การสัมผัสเตือนฯ			ระยะห่างอาคารของอาคาร			ความมั่นคงของอาคาร			ความเป็นไปได้ที่อาคาร		
		ตัวแปรเทียม			ตัวแปรเทียม			ตัวแปรเทียม			ตัวแปรเทียม		
		น้อย (1)	ปานกลาง (2)	มาก (3)	มาก (1)	ปานกลาง (2)	น้อย (3)	มั่นคง (1)	ปานกลาง (2)	ไม่มั่นคง (3)	ไม่เสียหาย (0)	น่าจะเสียหาย (0.5)	มีโอกาสเสียหาย (1)
คนที่ 1	1	✓				✓		✓			✓		
	2		✓				✓	✓				✓	
	3			✓			✓			✓			✓
	4			✓	✓					✓		✓	
	5	✓			✓				✓		✓		
	6		✓			✓		✓			✓		
	7	✓					✓		✓			✓	
	8			✓		✓			✓			✓	
	9		✓			✓				✓			✓
คนที่ 2	1		✓				✓	✓				✓	
	2		✓				✓		✓				✓
	3	✓				✓				✓		✓	
	4			✓	✓				✓			✓	
	5		✓		✓			✓			✓		
	6	✓				✓			✓		✓		
	7			✓			✓	✓				✓	
	8			✓			✓			✓			✓
	9	✓			✓				✓		✓		

ตารางที่ 6. ค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นไปได้ของ “อาคารข้างเคียงเสียหาย” ในกิจกรรมติดตั้งเข็มพืด (Sheet pile)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นไปได้								
เกณฑ์การสัมผัสเตือน			เกณฑ์ระยะห่างฯ			เกณฑ์ความมั่นคง		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
-133.91	-170.16	-74.92	0	75.34	58.51	0	94.22	70.97

ตารางที่ 7. การคาดการณ์ความเป็นไปได้ของ “อาคารข้างเคียงเสียหาย” ในกิจกรรมติดตั้งเข็มพืด (Sheet pile)

โครงการ ตัวอย่าง	กิจกรรม	ปัจจัยเสี่ยง (อาคารข้างเคียงเสียหาย)			โลจิสติก (Z)	ความเป็นไปได้ที่ อาคารข้างเคียง เสียหาย	ผลการคาดการณ์
		สันสะท้อน	ระยะห่าง	ความมั่นคง			
A	ติดตั้งเข็มพืด	1 (การสันระดับ 1)	2 (ปานกลาง)	3 (ไม่มั่นคง)	12.4	$0.99 > 0.5$	อาคารข้างเคียง มีแนวโน้มที่จะเสียหาย
B	ติดตั้งเข็มพืด	3 (การสันระดับ 3)	2 (ปานกลาง)	1 (มั่นคง)	0.42	$0.61 > 0.5$	อาคารข้างเคียง มีแนวโน้มที่จะเสียหาย
C	ติดตั้งเข็มพืด	2 (การสันระดับ 2)	2 (ปานกลาง)	2 (ปานกลาง)	-0.60	$0.35 < 0.5$	อาคารข้างเคียง มีแนวโน้มที่จะไม่เสียหาย

ของโครงการ A และ B มีแนวโน้มที่จะเสียหาย สำหรับอาคารข้างเคียงของโครงการ C มีแนวโน้มที่จะไม่เสียหาย โดยกำหนดค่าเกณฑ์การตัดสินใจ ความเป็นไปได้ของอาคารข้างเคียงเสียหาย ไว้ที่ 0.5 สำหรับโครงการ A หากจะบริหารความเสี่ยงดังกล่าวสามารถทำได้โดย 1) ประเมินค่าใช้จ่ายในการเสริมความมั่นคงของอาคารข้างเคียงไว้ในการเสนอราคาก่อนการประมูล 2) ติดต่อประสานงานกับเจ้าของอาคารข้างเคียงเพื่อเข้าทำการปรับปรุง เสริมโครงสร้างหลักและ 3) ถ่ายโอนความเสี่ยงโดยให้บริษัทประกันภัยช่วยแบ่งความรับผิดชอบ สำหรับโครงการ B ทำได้โดย 1) จัดประชุมและวางแผนควบคุมวิธีการทำงานอย่างเคร่งครัด 2) เปลี่ยนวิธีการตอกจากระบบการตอกแบบสั่น (Vibro hammer) เป็นการตอกแบบไฮดรอลิกส์ (Silent piler) ก็อาจจะส่งผลให้ความเป็นไปได้ที่จะทำให้อาคารข้างเคียงเสียหายมีแนวโน้มลดลง

5. สรุปและเสนอแนะ

งานก่อสร้างระบบป้องกันดินพัง เป็นงานที่มีความสลับซับซ้อนและมีความเสี่ยงสูง ซึ่งมีรูปแบบความเสี่ยงหลายประเภท ทั้งนี้ความเสี่ยงดังกล่าวหากไม่ได้รับการจัดการที่ดี จะทำให้เกิดความเสียหายกับงานก่อสร้าง การบริหารความเสี่ยงที่เป็นระบบจำเป็นที่จะต้องอาศัยเครื่องมือเข้ามาช่วยในการคาดการณ์ โอกาสที่เหตุการณ์ความเสี่ยง

นั้นๆ จะเกิดขึ้น แต่ทั้งนี้การหาโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงจำเป็นต้องอาศัยการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบซึ่งในทางปฏิบัติทำได้ยาก การศึกษานี้ได้แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และนำไปใช้ในการคาดการณ์ค่าความเป็นไปได้ที่อาคารข้างเคียงเสียหาย อันเนื่องมาจากการติดตั้งเข็มพืดในงานระบบป้องกันดินพัง โดยพิจารณาความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วย ปัจจัยเสี่ยง 3 ปัจจัย ได้แก่ การสันสะท้อน ระยะห่าง และความมั่นคงของอาคารข้างเคียง ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาได้จากการสอบถามประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งสามารถเก็บรวบรวมได้ง่ายและเหมาะสมกว่าการเก็บข้อมูลทางสถิติ จากกรณีศึกษาพบว่าปัจจัยความมั่นคงมีผลกระทบต่อความเสียหายสูงกว่าปัจจัยการสันสะท้อนและระยะห่างของอาคารข้างเคียง ทั้งนี้ได้นำค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย มาคำนวณค่าความเป็นไปได้ ซึ่งสามารถที่จะคาดการณ์แนวโน้มที่อาคารข้างเคียงจะเสียหาย ทำให้ผู้วางแผนงานสามารถกำหนดมาตรการป้องกันเหตุการณ์ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับโครงการได้ ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ จึงเป็นวิธีที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน

การคาดการณ์ความเป็นไปได้ และการวางแผนการบริหาร
ความเสี่ยงในงานก่อสร้าง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วันชัย เทพรักษ์ และ ณรงค์ ทศนนิพันธ์, “การออกแบบและก่อสร้างขั้นได้ดินลึกในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ”, คณะกรรมการวิชาการ สาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2549, หน้า 1-7.
- [2] N.Thasanipan, A.W. Maung, and P.Tanseng, “Problems of Pile Foundations Building”, The Sixth International Conference On Problems of Pile Foundations Building, Russia, Sep. 1998, pp. 14-18.
- [3] www.bca.gov.sg/structuralplan . “Failure Of Sheet Pile Retaining Wall When Struts Were Removed”, Figure :1.
- [4] C.S.Chen, L.C. Hiew, and B.T.Sofiana, “Failures due to Excavation in Soft Clay”, Seminar on Failure Related to Geotechnical Works, The Institution of Engineers, Malaysia, 23-24 Oct. 2000.
- [5] สมาคมผู้ตรวจสอบภายในแห่งประเทศไทยและตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย, “กรอบโครงสร้างการบริหารความเสี่ยงขององค์กรเชิงบูรณาการ : บทสรุปสำหรับผู้บริหารและกรอบโครงสร้าง”, บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), พิมพ์ครั้งที่ 1, มิถุนายน 2551, หน้า 17-66.
- [6] F.Jamak, A.Bahar, and C.Keith, “Systematic Risk Management Approach For Construction Projects”, Journal of Construction Engineering and Management, Vol.116, No. 3, Sep. 1990.
- [7] J.C.Robert, “The Controlling Influences on Effect Risk Identification and Assessment for Construction design management”, International Journal of Project Management 19, 2001.
- [8] F.Roger and N.George, “Risk Management And Construction”, Black Well Scientific Publications, 1993, pp. 47-49.
- [9] H.M. Leung, K.B. Chuah, and V.R.Tummala, “A Knowledge-based System for Identifying Potential Project Risks”, Omega, Int. J. Mgmt Sci, Elsevier Science Ltd, Printed in Great Britain, Vol.26, No.5, 1998, pp. 623-638.
- [10] B. Mulholland and J. Christian. “Risk Assessment in Construction Schedules”, Journal of Construction Engineering and Management, Jan./Feb. 1999.
- [11] A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK® Guide – Third Edition, 2004.
- [12] F.Dongping, S.F.Patrick, and L.Mingen., “Risk Assessment Model of Tendering for Chinese Building Projects”, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Nov./Dec.2004.
- [13] กัลยา วานิชย์บัญชา, “การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร”, บริษัท ธรรมสาร จำกัด, 2550, หน้า 424-484.
- [14] อุไรวรรณ อมรนิมิต, การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Logistic Regression : ทางเลือกของการวิเคราะห์ความเสี่ยง, วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, หน้า 21-35.