

ระบบฐานความรู้เพื่อการออกแบบและประมาณราคา โครงการก่อสร้างอาคารเบื้องต้น

พาสีที หล่อธีรพงศ์¹ และ พงษ์พันธุ์ อิศโรทัยกุล²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

การประมาณราคาในเบื้องต้นคือการคำนวณต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้างโครงการ เพื่อนำไปวิเคราะห์กระแสเงินสดในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ต้นทุนการก่อสร้างดังกล่าวมักได้มาจากการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมเบื้องต้น ซึ่งเป็นขบวนการที่ต้องใช้ทั้งความรู้และประสบการณ์และมักดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ

โครงการวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับสถาปนิกและวิศวกรในการออกแบบและประเมินราคาเบื้องต้นสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยถึงสำนักงาน ระบบซอฟต์แวร์ชื่อ “Mid-Rise” ใช้เทคนิคระบบฐานความรู้ในการจำลองขั้นตอนการออกแบบของผู้เชี่ยวชาญ และรวบรวมความรู้ด้านเทคนิค กฎระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้องเข้ามาช่วยงานในขั้นตอนการออกแบบและประมาณราคาในเบื้องต้น ระบบ Mid-Rise สามารถสร้างรูปแบบ Floor-layout ต่างๆ ตามขนาดของพื้นที่และข้อกำหนดของเจ้าของโครงการโดยไม่ขัดต่อกฎระเบียบข้อบังคับของทางราชการและมีความเหมาะสมกับบริเวณที่จะก่อสร้าง นอกจากนี้ระบบ Mid-Rise ยังสามารถวิเคราะห์ ออกแบบโครงสร้างโดยวิธีประมาณและคำนวณต้นทุนในการก่อสร้างได้จากการทดสอบการทำงานของระบบพบว่าสามารถช่วยลดระยะเวลาในการหางบประมาณการก่อสร้างอาคาร วิธีการดังกล่าวสามารถทำได้ละเอียดและรวดเร็ว ต้นทุนการก่อสร้างที่ได้จากระบบ Mid-Rise มีความใกล้เคียงกับต้นทุนที่คำนวณได้จากการออกแบบโครงสร้างโดยผู้มีประสบการณ์

¹ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

² อดีตนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

A Knowledge-Based System for Preliminary Building Design and Cost Estimate

Pasit Lorterapong¹ and Pongphan Isarotaikul²

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

Conceptual cost estimate is a very important process in the project feasibility study. It provides approximate construction costs that can be used in the project cash flow analysis. It mainly involves preliminary design which is a complicated, time-consuming, and knowledge-intensive in nature. This process is normally performed by experts. The accuracy of the conceptual design is vital since it affects the decision to continue or terminate the project.

This study presents a software system that has been developed as a tool to assist architects and engineers in performing design and cost estimates for mid-rise building projects in the conceptual phase. The prototype system called "Mid-Rise" employs the knowledge-based approach to model the conceptual design process and to capture knowledge pertaining to architectural and structural design of residential-office buildings. The system can be used to generate a number of practical floor-layout alternatives according to the size of the plot and user's requirements. The height of the building is then checked with the official regulations depending on the locality of the project. Mid-Rise also performs approximate structural analysis and design as well as construction cost estimate. The construction costs determined using the proposed system are found to be very close to those performed by experiential engineers.

¹ Lecturer, Department of Civil Engineering.

² Former Graduate Student, Department of Civil Engineering.

บทนำ

วัฏจักรของโครงการทางวิศวกรรมมักจะเริ่มต้นด้วยการบ่งชี้ความต้องการ (Need) หรือความจำเป็นที่จะต้องสร้างสิ่งปลูกสร้างใดๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งขอบเขตของโครงการโดยสังเขป จากนั้นจึงเป็นขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะจะทำให้ทราบว่าโครงการจะมีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์หรือไม่ ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่จะทำให้การศึกษาความเป็นไปได้อาจมีความถูกต้อง คือการประมาณการต้นทุนก่อสร้างเพราะว่าเป็นค่าใช้จ่ายประเภทลงทุนที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายประเภทอื่นของโครงการ การประมาณต้นทุนการก่อสร้างให้ใกล้เคียงกับค่าก่อสร้างจริงเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญหลายด้านมาช่วยกันพิจารณา ในทางปฏิบัติต้นทุนในการก่อสร้างโครงการจะได้จากการออกแบบเบื้องต้น (conceptual design) สำหรับงานอาคาร การออกแบบเบื้องต้นจะมีทั้งทางด้านสถาปัตยกรรมและทางวิศวกรรม กระบวนการทั้งสองต้องอาศัยทั้งหลักวิชาการ ประสบการณ์ และข้อมูลโครงการในอดีตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน นอกจากนี้การออกแบบอาคารยังต้องคำนึงถึงกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันหน่วยงานของรัฐบาลได้ออกกฎหมายบังคับใช้สำหรับการก่อสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานครเพื่อให้เกิดความเป็นระเบียบเรียบร้อย ความสวยงามด้านทัศนียภาพและเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานอาคาร บางครั้งส่งผลให้เกิดความสับสนและอาจมีผลต่อการออกแบบ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ระบบฐานความรู้สำหรับการออกแบบและประมาณต้นทุนการก่อสร้างอาคารสำนักงานเพื่อใช้สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ โดยได้มีการรวบรวมความรู้เกี่ยวกับการออกแบบอาคารสำนักงาน ทางสถาปัตยกรรมและทางวิศวกรรมโครงสร้าง ตลอดจนกฎระเบียบข้อบังคับของทางราชการที่เกี่ยวข้อง โดยได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระบบฐานความรู้สำหรับออกแบบ ออกแบบอาคารสำนักงานจากฐานความรู้ที่ได้รวบรวมและหาราคาโดยประมาณของอาคารที่ออกแบบ

งานวิจัยที่ผ่านมา

กระบวนการออกแบบทางสถาปัตยกรรมว่าเป็นกระบวนการแก้ปัญหาซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจระหว่างทางเลือกต่างๆ ที่มีอยู่ กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความรู้ควบคู่กับประสบการณ์เพื่อให้ได้แบบทางสถาปัตยกรรมที่เหมาะสม [1] จากลักษณะของกระบวนการออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรมที่กล่าวมา Ulrich และ Robert [2] เป็นหนึ่งในบรรดานักวิจัยที่ได้ริเริ่มนำเอาเทคนิคทางคอมพิวเตอร์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในนามระบบฐานความรู้เข้ามาประยุกต์ใช้กับกระบวนการออกแบบทางสถาปัตยกรรม และได้สนับสนุนเทคนิคดังกล่าวด้วยเหตุผลที่ว่าระบบฐานความรู้สามารถสร้างรูปแบบที่รัดกุมในการออกแบบได้โดยพิจารณาจากเงื่อนไขในการทำงานที่เหมาะสม ระบบฐานความรู้สามารถจำลองวิธีการที่ผู้เชี่ยวชาญใช้ในการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบฐานความรู้ในการออกแบบเกิดขึ้นมากมาย เช่น Gerhard [3] ได้พัฒนาระบบฐานความรู้ชื่อ

ARCHPLAN ขึ้นที่ Canegie Mellon เพื่อใช้สำหรับออกแบบอาคารในช่วง Conceptual Design สำหรับอาคารสูงที่ใช้เป็นสำนักงาน จากนั้น ARCHPLAN จะสร้างทางเลือกที่เป็นรูปแบบของอาคารออกมาหลายรูปแบบให้ผู้ใช้เลือก โดยพิจารณารูปแบบให้มีราคาเป็นไปตามข้อมูลราคาค่าก่อสร้าง เมื่อผู้ใช้เลือกรูปแบบที่ต้องการได้แล้วระบบจะทำการออกแบบรายละเอียดทางด้านสถาปัตยกรรมอื่นๆ เช่นการจัดสัดส่วนของพื้นที่ตามหน้าที่ใช้สอย พื้นที่ทางเดินในอาคาร เป็นต้น นอกจากนี้แล้วระบบยังจะเลือกระบบโครงสร้างที่เหมาะสมให้ด้วย นอกจากระบบ ARCHPLAN แล้ว Bedard และ Ravi [4] ได้สร้างระบบฐานความรู้ที่ใช้ในการสร้างทางเลือกของ Floor Layout ในรูปแบบต่างๆ พร้อมกับการกำหนดตำแหน่งของช่องลิฟต์ที่เหมาะสมในช่วง Conceptual Design โดยระบบจะใช้ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดที่ดินและข้อมูลเกี่ยวกับอาคารที่ต้องการ เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของเจ้าของงาน และเป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ ผลลัพธ์ที่ได้จากระบบจะเป็นข้อมูลจำนวนชั้น ขนาดของผังพื้น ขนาดและตำแหน่งของช่องลิฟต์ ออกมาหลายรูปแบบเรียงตามลำดับคะแนนที่ประเมินได้จากระบบ

นอกเหนือจากการออกแบบทางสถาปัตยกรรมแล้ว ในส่วนของการออกแบบทางวิศวกรรม นั้น Ghosh และ Kalyanaraman [5] พัฒนาระบบฐานความรู้สำหรับออกแบบโครงสร้างเหล็กชื่อ EXSEL โดยให้เหตุผลของการใช้ระบบฐานความรู้ว่า เนื่องจากมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างไม่มีความชัดเจนเพียงพอ ยากต่อการทำความเข้าใจและยังไม่มีแนวทางสำหรับการออกแบบที่จะทำให้ได้หน้าตัดที่มีความเหมาะสมโดยไม่ต้องทำการลองผิดลองถูก ข้อมูลและองค์ความรู้เหล่านี้จะได้จากวิศวกรที่มีประสบการณ์ในการออกแบบ ระบบฐานความรู้ที่ได้มีความซับซ้อน ไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน และไม่เหมาะที่จะโปรแกรมโดยใช้วิธีการโปรแกรมโดยทั่วไป (Conventional Programming)

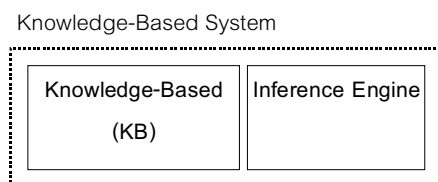
นอกเหนือจากการประยุกต์ใช้ระบบฐานความรู้สำหรับการออกแบบแล้ว ในส่วนของการนำมาใช้ในการประมาณราคานั้น ปัจจุบันนี้ยังมีงานวิจัยอยู่ไม่มากนัก เช่นในงานวิจัยของ Kitti [6] ซึ่งได้พัฒนาระบบฐานความรู้ชื่อ KSDE ซึ่งเป็นระบบฐานความรู้สำหรับประมาณราคาอาคารสูงในเบื้องต้น ระบบ KSDE สามารถหาราคาในเบื้องต้นของอาคารสูงได้อย่างรวดเร็ว โดยระบบ KSDE นี้จะใช้ฐานความรู้ที่รวบรวมจากงานวิจัยของ Radomdej [7] ซึ่งเป็นแบบจำลองสำหรับหาราคาอาคารสูงโดยใช้การออกแบบไว้ก่อน (pre-design)

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการออกแบบทั้งสถาปัตยกรรม การออกแบบทางวิศวกรรมและงานต่างๆ ทางด้านวิศวกรรมโยธา ล้วนแล้วแต่ต้องอาศัยความรู้ ความชำนาญ ประกอบกับประสบการณ์ที่มีอยู่ในการทำงานเพื่อให้ได้ผลงานที่เหมาะสมตามหลักวิชาการ ไม่ขัดต่อกฎระเบียบและมีปัญหาในการก่อสร้างน้อย การประยุกต์ใช้ระบบฐานความรู้ในงานด้านต่างๆ นั้น จะมีการเก็บรวบรวมความรู้ ความชำนาญและประสบการณ์ที่ได้จากการทำงานของผู้เชี่ยวชาญ และแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถรับรู้และใช้งานได้โดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบที่ได้พัฒนาขึ้น

จะช่วยให้แนวทางหรือคำแนะนำในการทำงานกับผู้ที่ยังไม่มีประสบการณ์ และในบางครั้งระบบที่พัฒนาขึ้นมาจะยังสามารถช่วยผู้ที่มีประสบการณ์ได้อีกด้วย เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำกว่า

ระบบฐานความรู้ (Knowledge-Based System)

ระบบฐานความรู้ คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อจำลองความสามารถในการแก้ไขปัญหาของผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ [6] โดยทั่วไปแล้วระบบฐานความรู้เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาเพื่อเลียนแบบการแก้ปัญหาของผู้เชี่ยวชาญเฉพาะสาขา (domain expert) ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบฐานความรู้ประกอบด้วย 1) ฐานความรู้ (knowledge base) และ 2) กลไกในการหาเหตุผลจากฐานความรู้ (inference engine) ซึ่งสองส่วนนี้จะแยกจากกันอย่างเด็ดขาด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 องค์ประกอบที่สำคัญของระบบฐานความรู้

การเขียนโปรแกรมโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญจะแตกต่างจากการโปรแกรมในแบบเดิม (conventional programming) กล่าวคือการโปรแกรมในแบบดั้งเดิมนั้นจะเน้นไปที่ข้อมูล (data) และวิธีการแก้ปัญหา (algorithm) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ ส่วนการเขียนโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญจะเน้นในเรื่องของความรู้ (knowledge) กล่าวคือจะเน้นการโมเดลความรู้ที่ใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะทาง ซึ่งสามารถรวบรวมจากแหล่งต่างๆ รวมถึงประสบการณ์ที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญใช้ในการแก้ปัญหา และทำการแปลงความรู้เหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถประมวลผลได้โดยคอมพิวเตอร์ การที่ฐานความรู้แยกออกจากส่วนที่ใช้ในการค้นหา ทำให้การแก้ไขหรือเพิ่มเติมความรู้ลงในโปรแกรมระบบฐานความรู้สามารถทำได้โดยง่าย ซึ่งจะเหมาะสมกับการแก้ปัญหาที่ต้องอาศัยประสบการณ์นอกเหนือไปจากวิธีการแก้ปัญหาที่มีรูปแบบตายตัว

การพัฒนาฐานความรู้โดยทั่วไปสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาถึงความเหมาะสมของวิธีการในการแก้ปัญหา และกำหนดขอบเขตของปัญหา
2. การรวบรวมความรู้ (knowledge acquisition) โดยในขั้นตอนนี้จะเริ่มต้นจากการระบุแหล่งของความรู้ที่ต้องการ เช่น ผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้นๆ (domain expert) และเอกสารต่างๆ

3. การออกแบบระบบฐานความรู้ โดยในขั้นตอนนี้จะมีการจัดการโครงสร้างและหาเทคนิคที่เหมาะสมในการโมเดลความรู้ (knowledge representation) จากนั้นจึงจะเริ่มออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการออกแบบจะเริ่มด้วยการทดลองสร้างแบบจำลอง (prototype) ขึ้นมาเพื่อให้เข้าใจปัญหาและทำการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้นๆ ว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องเพียงพอสำหรับปัญหานั้นๆ หรือไม่ ก่อนจะพัฒนาเป็นระบบฐานความรู้ที่สมบูรณ์
4. การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (system validation) เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นทั้งในส่วน of โปรแกรมและฐานความรู้

ระบบฐานความรู้ Mid-Rise

Mid-Rise เป็นระบบฐานความรู้ต้นแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการช่วยวางแบบแปลน (Layout) ของอาคาร การวิเคราะห์และออกแบบส่วนวิศวกรรมโครงสร้างเบื้องต้น และประเมินต้นทุนการก่อสร้างอาคาร โดยอาคารที่พิจารณาเป็นอาคารประเภทสำนักงานกึ่งที่พักอาศัยที่มีความสูงไม่เกิน 23.0 เมตร ซึ่งตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องการควบคุมการก่อสร้างอาคาร พ.ศ. 2522 อาคารดังกล่าวไม่จัดว่าเป็นอาคารสูง [9] อาคารประเภทสำนักงานกึ่งที่พักอาศัยส่วนใหญ่จะมีที่จอดรถยนต์อยู่ชั้นล่างสุด ชั้นสองและชั้นสามจะเป็นสำนักงาน ส่วนชั้นที่อยู่เหนือขึ้นไปเป็นส่วนที่ใช้สำหรับพักอาศัย

ข้อมูลที่ได้จาก Mid-Rise จะเป็น แบบ Schematic Layout ของอาคาร และต้นทุนในการก่อสร้าง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ และ/หรือเพื่อออกแบบรายละเอียดต่อไป

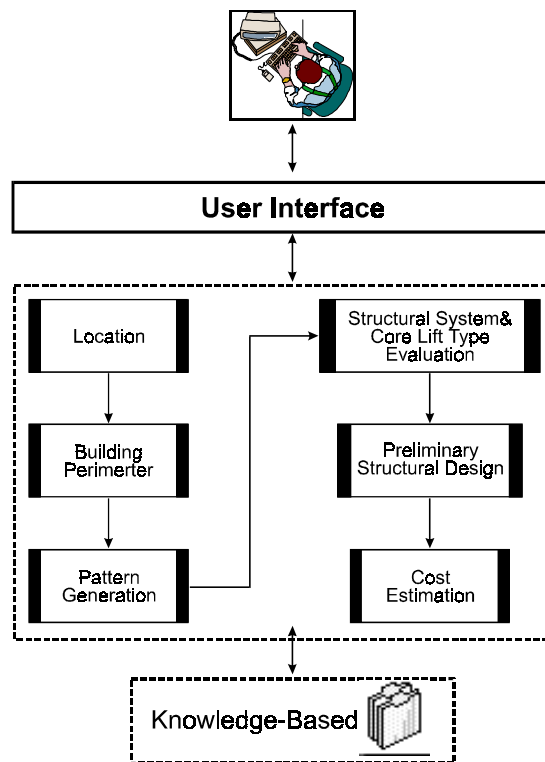
1. โครงสร้างของระบบ Mid-Rise

ระบบ Mid-Rise ประกอบด้วย 7 โมดูลซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกันดังนี้

- โมดูล User Interface จะเป็นโมดูลที่ใช้สำหรับติดต่อกับผู้ใช้ทั้งในส่วนของการให้ข้อมูลกับผู้ใช้ รับข้อมูล แสดงผลทางหน้าจอ และให้ความช่วยเหลือในการใช้งานกับผู้ใช้ด้วย
- โมดูล Location เป็นโมดูลที่ใช้สำหรับตรวจสอบตำแหน่งที่จะทำการก่อสร้างอาคารกับกฎหมายที่มีผลบังคับใช้ในท้องถิ่นๆ
- โมดูล Building Perimeter จะใช้สำหรับตรวจสอบระยะร่น (Set Back) รอบอาคาร และความสูงของอาคารตามกฎหมายที่ใช้ควบคุมการก่อสร้างอาคาร
- โมดูล Pattern Generation จะใช้ข้อมูลที่ได้จากโมดูล Location และ Building Perimeter ในการออกแบบทางเลือกของอาคารภายในขอบเขตของที่ดินที่กำหนด

- โมดูล Structural System & Core Lift Type Evaluation จะใช้ฐานความรู้ที่รวบรวมจากสถาปนิกและวิศวกรที่มีประสบการณ์ในการประเมินรูปแบบของโครงสร้าง และชนิดของช่องลิฟต์
- โมดูล Preliminary Structural Design จะทำการหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างต่างๆ ของอาคารและทำการออกแบบโครงสร้างอาคารเบื้องต้น
- โมดูล Cost Estimating จะทำหน้าที่คำนวณต้นทุนการก่อสร้างอาคาร ซึ่งส่วนที่เป็นโครงสร้างจะใช้ข้อมูลที่ได้จากโมดูล Preliminary Structural Design ส่วนที่เป็นงานสถาปัตยกรรมและงานระบบอื่นๆ จะมีฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยของสมภพ [10] และบัญชา [11] ในการคำนวณต้นทุนค่าก่อสร้างอาคาร

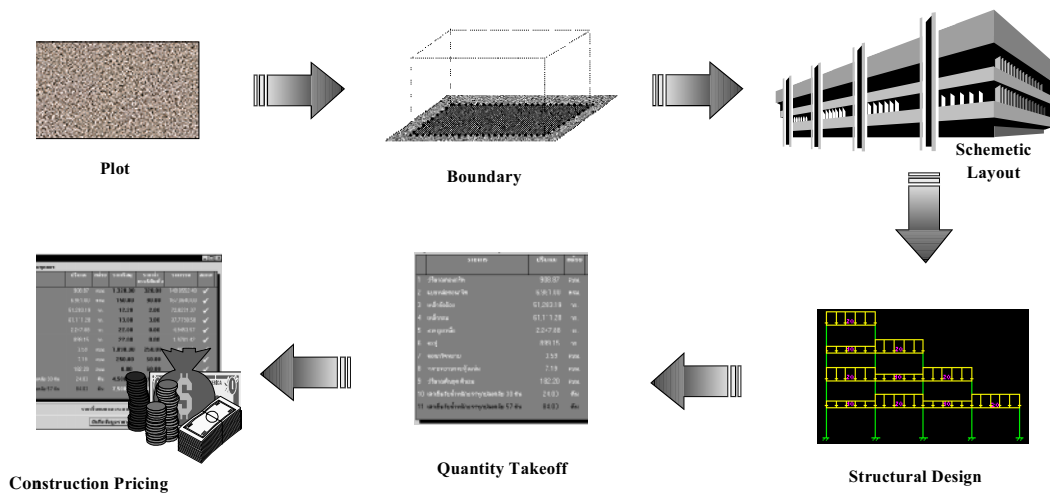
โมดูลทั้งหมดจะทำงานตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 2 โดยที่ในโมดูลๆ หนึ่งจะมีส่วนที่เป็นฐานความรู้ (knowledge base) ส่วนที่เป็นฐานข้อมูล (data base) และส่วนที่เป็นวิธีที่ใช้ในการประมวลผล (method)



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของระบบ Mid-Rise

2. การทำงานของระบบ Mid-Rise

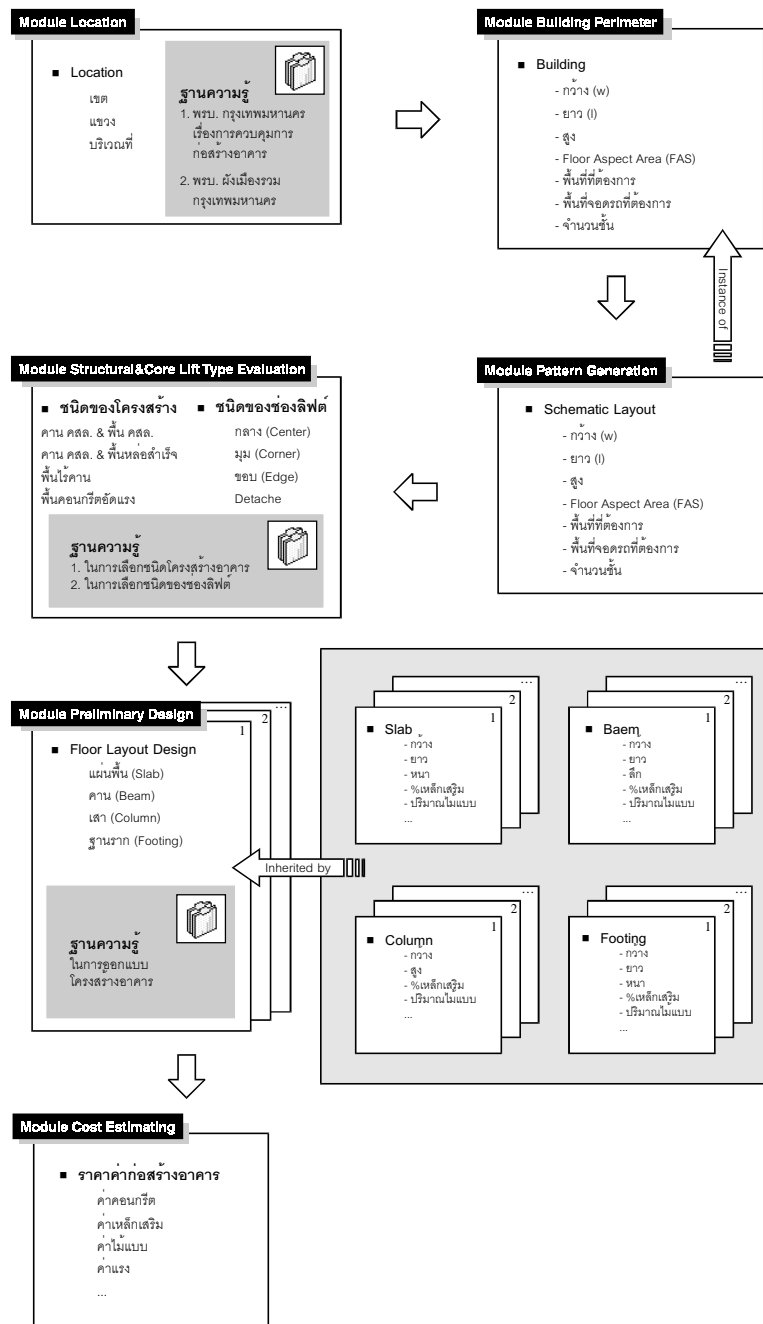
การทำงานของระบบ Mid-Rise จะเริ่มจากผู้ใช้ (user) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับที่ตั้งและรายละเอียดต่างๆ ของโครงการ เช่น บริเวณที่จะทำการก่อสร้าง ขนาดของที่ดิน พื้นที่ใช้สอยที่ต้องการ เป็นต้น จากนั้นระบบ Mid-Rise จะทำการสร้างรูปแบบต่างๆ ที่เป็นไปได้ของอาคารขึ้นมาโดยใช้ความรู้ที่มีอยู่ในโมดูลต่างๆ หลังจากนั้นระบบจะทำการประเมินเลือกรูปแบบที่เหมาะสม แล้วจึงทำการออกแบบโครงสร้างอาคารในเบื้องต้นขึ้น และในขั้นตอนสุดท้าย ระบบ Mid-Rise จะทำการถอดแบบและจะคำนวณค่าก่อสร้างโดยประมาณของอาคารออกมาได้ ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ Mid-Rise

3. การพัฒนาระบบ Mid-Rise

การพัฒนาระบบ Mid-Rise ใช้วิธีการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming; OOP) การเขียนโปรแกรมแบบ OOP มีคุณสมบัติเด่น คือการสืบทอดคุณสมบัติ (inheritance) object หลักที่ได้ถูกกำหนดขึ้นจะสามารถถ่ายทอดคุณสมบัติไปสู่ object ย่อยอื่นได้ด้วย ทำให้การโปรแกรมทำได้ง่ายขึ้นเนื่องจากระบบที่พัฒนาขึ้นถูกแบ่งออกเป็นหลายโมดูล และในแต่ละโมดูลจะมีการทำงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นการออกแบบ object ต่างๆ ภายในระบบจะต้องออกแบบให้เหมาะสมเนื่องจากในบางโมดูลอาจต้องใช้ตัวแปรของระบบร่วมกัน ถ้ามีการการออกแบบระบบไม่ดีพอ อาจทำให้เกิดความสับสนขึ้นกับตัวแปรเหล่านี้ได้ ในระบบ Mid-Rise จะแบ่งออกเป็น 7 โมดูลย่อยๆ โดยมีโมดูล user interface ทำการติดต่อกับผู้ใช้และควบคุมการทำงานของอีก 6 โมดูลที่เหลือ ซึ่งรายละเอียดของ object ภายในระบบของแต่ละโมดูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดง Object ของระบบ Mid-Rise

4. ตัวอย่างของฐานความรู้ที่ใช้ภายในระบบ Mid-Rise

ฐานความรู้ที่ได้พัฒนาขึ้นภายในระบบ Mid-Rise มีอยู่หลายส่วนเช่น ฐานความรู้เกี่ยวกับข้อกำหนดของการก่อสร้างตามพระราชบัญญัติผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีทั้งแบบ forward และ backward chaining ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นฐานความรู้ที่ใช้สำหรับพิจารณาพื้นที่ที่กำลังจะก่อสร้างว่าอยู่ในเขตพื้นที่ควบคุมตามพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างหรือไม่ และกฎสำหรับประมาณขนาดเหล็กเสริมยื่นและเหล็กปลอกในเสาตามขนาดของเสา ซึ่งได้มาจากการสอบถามผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์

IF พื้นที่ก่อสร้างอยู่ในเขตดุสิต
 AND พื้นที่ก่อสร้างอยู่ในแขวงสวนจิตรลดา
 OR พื้นที่ก่อสร้างอยู่ในแขวงถนนนครไชยศรี
 OR พื้นที่ก่อสร้างอยู่ในแขวงดุสิต
 OR พื้นที่ก่อสร้างอยู่ในแขวงวชิรพยาบาล
 OR พื้นที่ก่อสร้างอยู่ในแขวงสี่แยกมหานาค
 THEN พื้นที่ก่อสร้างอยู่ในพื้นที่ควบคุมตามพระราชบัญญัติ

ตัวอย่างฐานความรู้ที่ใช้สำหรับหาระยะร่นด้านที่อยู่ติดถนนของอาคาร

IF ความกว้างของถนน (ม.) \geq 6
 AND ความกว้างของถนน (ม.) $<$ 10
 THEN ระยะร่นด้านติดถนน (ม.) = 6 - [ความกว้างของถนน(ม.) / 2]

ตัวอย่างฐานความรู้ที่ใช้สำหรับหาชนิดของเหล็กเสริมในเสา

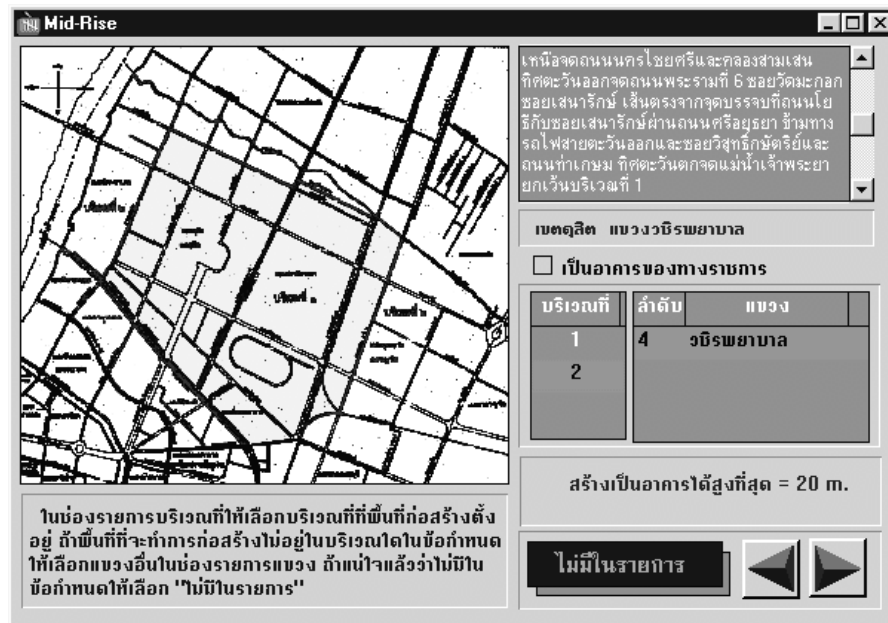
IF ขนาดของเสา (ซม.) \leq 30
 THEN ขนาดเหล็กยื่น = DB12
 AND ขนาดเหล็กปลอก = RB6
 AND ระยะห่างระหว่างเหล็กปลอก (ซม.) = 15

ในการทำงานของระบบ เครื่องอนุมานจะทำหน้าที่ค้นหาและเลือกใช้ฐานความรู้ที่เหมาะสมกับขั้นตอนใดๆ เมื่อประมวลผลเสร็จจะกำหนดให้ผลที่ได้เป็นข้อเท็จจริงใหม่ (facts) และเครื่องอนุมานจะเลือกฐานความรู้ที่เกี่ยวข้องมาประมวลอีกจนกว่าจะได้ผลสรุปขั้นสุดท้าย กฎที่แสดงข้างต้นในส่วนของกฎประมาณขนาดเหล็กเสริม เป็นกฎที่ chain ต่อเนื่องกันมา ซึ่งเหมาะสมกับช่วง span ของอาคารที่ประเมินอยู่ขณะนั้น ไม่ใช่เป็นกฎที่ใช้สำหรับทุกอาคาร

นอกเหนือจากฐานความรู้ที่กล่าวแล้ว ระบบ Mid-Rise ยังมีฐานความรู้ที่เกี่ยวข้องอย่างอื่นอีกเช่น ฐานความรู้ที่บรรจุข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องการควบคุมการก่อสร้างอาคาร [9] ฐานความรู้ที่บรรจุความรู้เกี่ยวกับ Schematic Design ที่ใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบทางสถาปัตยกรรม ฐานความรู้เกี่ยวกับระบบโครงสร้างต่างๆ กับประโยชน์ใช้สอย [12] เป็นต้น

5. ตัวอย่างหน้าจอแสดงการทำงานของระบบ Mid-Rise

ระบบ Mid-Rise ได้ถูกออกแบบให้มีความง่ายต่อผู้ใช้งาน (user-friendly) รูปที่ 5 ถึง รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างของหน้าจอบางส่วนที่มีอยู่ในระบบ Mid-Rise ในหน้าจอดังรูปที่ 5 เป็นหน้าจอสำหรับให้ผู้ใช้เลือกเขตและแขวงของสถานที่ตั้งโครงการ ซึ่งจากรูปจะเป็นการเลือกแขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต ซึ่งจะอยู่ในบริเวณที่ 2 ตามพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคารกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 5 หน้าจอสำหรับให้ผู้ใช้เลือกบริเวณของตำแหน่งที่ตั้งโครงการในแผนที่

ตัวอย่างหน้าจอดังแสดงในรูปที่ 6 นี้เป็นหน้าจอสำหรับประเมินเพื่อเลือกระบบโครงสร้างที่จะก่อสร้างของอาคาร ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องให้ความสำคัญของรายการแต่ละรายการดังแสดงในรูป จากนั้น Mid-Rise จะทำการประเมินผลโดยใช้ฐานความรู้ที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งปรับปรุงมาจากงานวิจัยของ Edward และ Joseph [13] และประเมินความเหมาะสมโดยสถาปนิกที่มีประสบการณ์ในประเทศ ตัวเลขที่แสดงในตารางจะบ่งชี้ถึงความเหมาะสมเชิงเปรียบเทียบของระบบโครงสร้างต่างๆ กับเงื่อนไขนั้นๆ โดยหมายเลข 1 แสดงความเหมาะสมมากที่สุด และหมายเลข 4 แสดงความเหมาะสมน้อยที่สุด ระบบ Mid-Rise จะประเมินผลและแสดงรายการของระบบโครงสร้างเรียงตามลำดับคะแนนที่ได้จากมากไปน้อย ดังแสดงในรูป ซึ่งจากหน้าจอในรูปที่ 6 นี้ ระบบที่ได้คะแนนมากที่สุดคือ ระบบโครงสร้างที่ใช้คานเป็นคอนกรีตหล่อในที่และพื้นเป็นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Cast-in-place beam with pre-cast slab) ซึ่งหลังจากเลือกระบบของโครงสร้างได้แล้ว ระบบ Mid-Rise จะออกแบบและสามารถแสดงผลการออกแบบในรูปแบบสามมิติได้ดังแสดงในรูปที่ 7 และยังสามารถหาราคาต้นทุนที่ใช้ก่อสร้างอาคารโดยประมาณได้ดังแสดงในรูปที่ 8

ตารางที่ 1 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินเลือกระบบโครงสร้างชนิดของระบบโครงสร้าง

ชนิดของระบบ โครงสร้าง	Cast-in-Place Beam & Cast-in-Place Slab	Cast in Place Beam & Pre-Cast Slab	Flat Slab	Post-tension Slab
การใช้ประโยชน์				
1 ลดความสูงระหว่างชั้น	4	3	2	1
2 ลดระยะเวลาการติดตั้ง	4	1	3	2
3 ลดระยะเวลาในการก่อสร้าง	4	2	2	1
4 มีอัตราการทนไฟมากที่สุดเมื่อเกิดเพลิงไหม้	2	3	1	4
5 ราคาก่อสร้างน้อยที่สุด	1	2	3	4
6 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอาคารทำได้ง่ายที่สุด	2	1	3	4
7 สามารถก่อสร้างได้ในสภาวะอากาศที่ไม่ดี	4	3	4	4
8 สามารถใช้โครงสร้างของพื้นแทนเพดานได้	4	4	3	2
9 ทำแบบหล่อคอนกรีตได้มากที่สุด	4	1	3	2
10 ทำงานเหล็กเสริมคอนกรีตได้ง่ายที่สุด	2	1	4	2

1 = เหมาะสมที่สุด / 4 = เหมาะสมน้อยที่สุด

The screenshot shows the 'Mid-Rise' software interface. On the left, there are ten evaluation criteria with star ratings:

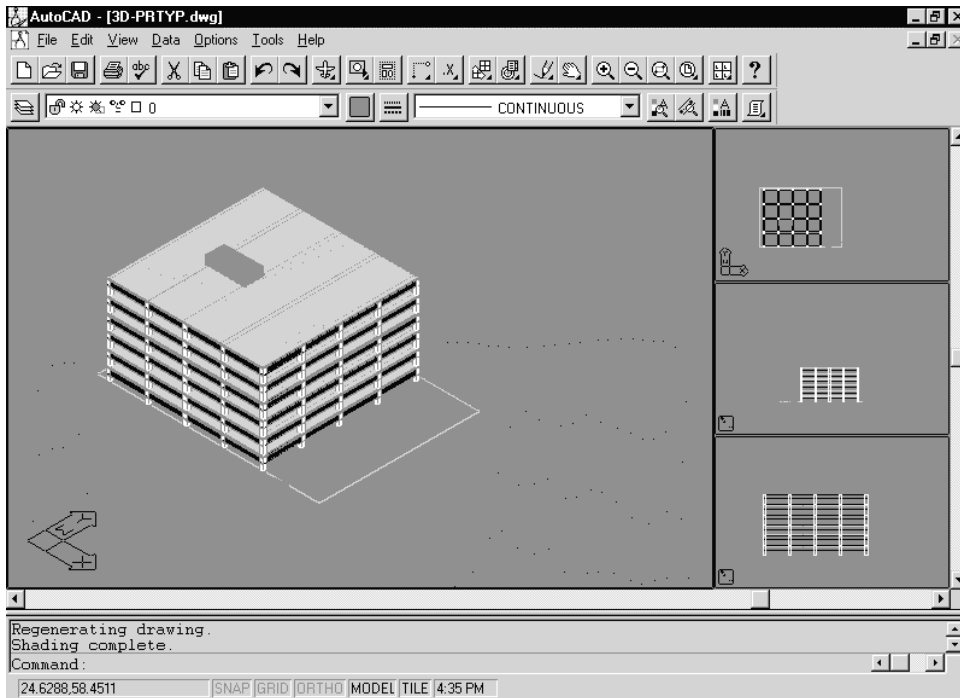
- ความสูงระหว่างชั้นน้อยที่สุด: 3 stars
- ระยะเวลาการติดตั้งที่ Site งานน้อยที่สุด: 3 stars
- ระยะเวลาการก่อสร้างน้อยที่สุด: 4 stars
- อัตราการทนไฟมากที่สุด (เมื่อเกิดเพลิงไหม้): 0 stars
- ราคาในการก่อสร้างน้อยที่สุด: 3 stars
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาคารทำได้ง่ายที่สุด: 1 star
- สามารถทำการก่อสร้างได้ในสภาวะอากาศที่ไม่ดี: 0 stars
- สามารถใช้โครงสร้างของพื้นแทนเพดานได้: 1 star
- ทำแบบหล่อคอนกรีตได้ง่ายที่สุด: 4 stars
- ทำงานเหล็กเสริมได้ง่ายที่สุด: 4 stars

 On the right, a table compares four systems:

ระบบ	คะแนน
Cast-in-Place Beam with Pre-Cast Slab	243.75
Postension Flat Plate	200
Cast-in-Place Flat Slab	125
Cast-in-Place (Beam and Slab)	87.5

 Below the table, it says 'เลือก : Cast-in-Place Beam with Pre-Cast Slab' and has buttons for 'ประเมินผล' and 'ทำงานต่อ'.

รูปที่ 6 หน้าจอสำหรับประเมินเลือกระบบโครงสร้าง



รูปที่ 7 หน้าจอแสดงผลการออกแบบโครงสร้างผ่านทางโปรแกรม Graphics

Mid-Rise							
กรุณาใส่ราคาในตารางนี้ครบทุกแถว							
	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาวัสดุ	ราคาค่าแรง&ติดตั้ง	ราคารวม	สถานะ
1	ปริมาณคอนกรีต	908.87	ลบม.	1,320.00	320.00	149,0552.40	✓
2	แบบหล่อคอนกรีต	6,961.00	ตรม.	150.00	90.00	167,0640.00	✓
3	เหล็กข้ออ้อย	51,283.19	กก.	12.20	2.00	72,8221.37	✓
4	เหล็กกลม	61,111.28	กก.	13.00	3.00	97,7780.58	✓
5	ลวดผูกเหล็ก	2,247.88	กก.	22.00	0.00	4,9453.57	✓
6	ตะปู	899.15	กก.	22.00	0.00	1,9781.42	✓
7	คอนกรีตหยาบ	3.59	ลบม.	1,090.00	250.00	4819.31	✓
8	ทรายหยาบกระทุ้งแน่น	7.19	ลบม.	250.00	50.00	2157.90	✓
9	ปริมาณดินขุด ดินถม	182.20	ลบม.	0.00	60.00	1,0932.00	✓
10	เสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 30 ต้น	24.00	ต้น	4,500.00	2,200.00	16,0800.00	✓
11	เสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 57 ต้น	84.00	ต้น	7,500.00	2,500.00	84,0000.00	✓

ราคารวมของระบบโครงสร้าง = **5,955,138.58** บาท

รูปที่ 8 หน้าจอแสดงผลการประมาณราคาของระบบโครงสร้างของอาคาร

การตรวจสอบการทำงานของระบบ Mid-Rise

นอกเหนือจากการตรวจสอบระบบ Mid-Rise กับการออกแบบและประมาณราคาจริงแล้ว ยังได้ทำการเปรียบเทียบกับ การประมาณราคาโดยใช้ราคาต่อพื้นที่ใช้สอย จากข้อมูลของเศรษฐกิจ [8] พบว่าราคาของงานโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 5-6 ชั้น ณ ปี 2539 มีราคา 2,039 บาท ต่อตารางเมตร ดังนั้นจากตัวอย่างทดสอบมีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งสิ้น 5,400 ตารางเมตร และเมื่อคิดเป็นราคาต่อพื้นที่ใช้สอย ราคาของงานโครงสร้างอาคารที่ได้จากระบบ Mid-Rise จะมีราคา 1,749 บาท ต่อตารางเมตร ซึ่งพบว่าจะมีความแตกต่างกันร้อยละ -16.58 โดยราคาที่แตกต่างกันนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากความหลากหลายของลักษณะงานโครงสร้างในด้านหน้าหน้าบรทุกใช้งาน ระยะช่วงเสา ลักษณะของงานฐานราก และลักษณะการใช้สอยของพื้นที่ภายในตัวอาคารอันเป็นผลทำให้ราคาที่เหมาะสมได้มีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สำหรับต้นทุนก่อสร้างในส่วนองงานในระบบอื่นเช่น ระบบสุขาภิบาล ระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ฯลฯ Mid-Rise ใช้ข้อมูลของงานวิจัยที่มีมาก่อนมาทำการประเมินโดยคิดเป็นสัดส่วนเปรียบเทียบกับงานโครงสร้าง ทั้งนี้เนื่องจากจากงานวิจัยดังกล่าวพบว่า งานโครงสร้างมีสัดส่วนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับงานระบบอื่น เพื่อให้ต้นทุนการก่อสร้างงานระบบมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้นจึงได้แบ่งราคางานในแต่ละระบบออกเป็น ราคาสูง ราคากลางและราคาต่ำ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกได้ตามความเหมาะสม รายละเอียดของการประมาณราคางานระบบสามารถสืบค้นได้จากงานวิจัย [10], [11] ต้นทุนก่อสร้างทั้งหมดของโครงการสามารถหาได้จากการนำส่วนที่เป็นงานโครงสร้างรวมกับงานระบบอื่นๆ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

สรุปผล

จากการทำการศึกษารายละเอียดเพื่อพัฒนาระบบฐานความรู้สำหรับการออกแบบ และประมาณราคาอาคารพักอาศัยสำนักงานในเบื้องต้นนั้น สามารถสรุปได้ว่า มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาระบบฐานความรู้เข้ามาช่วยในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมโดยเฉพาะในส่วนที่มีการตรวจสอบกับกฎหมายต่างๆ เนื่องจากมีขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อนทำให้การเขียนโปรแกรมในแบบเดิมทำได้ยาก ดังนั้นการพัฒนาระบบฐานความรู้เข้ามาช่วยงานในส่วนนี้จะช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินงานและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ งานวิจัยนี้พบว่าการพัฒนาแบบซอฟต์แวร์โดยวิธีฐานความรู้มีความเหมาะสมกับการออกแบบเบื้องต้นของอาคาร ซึ่งเป็นงานวิชาชีพที่มีการเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยีตลอดจนกฎระเบียบต่างๆ อยู่เสมอ เพราะระบบฐานความรู้แยกส่วนที่เป็นฐานความรู้กับส่วนที่เป็นเครื่องอนุมาณออกจากกัน ทำให้สามารถปรับปรุงหรือเพิ่มเติมความรู้ให้ทันสมัยอยู่เสมอ ในส่วนของการออกแบบทางวิศวกรรมและการประมาณราคาในเบื้องต้นนั้น เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในระบบส่วนใหญ่จะเป็นฐานข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างและการประมาณราคา ดังนั้นการพัฒนาโดยใช้ระบบฐานข้อมูลจะสามารถทำได้ง่ายและมีความเหมาะสมมากกว่า การบูรณาการระหว่างระบบฐานข้อมูลและระบบฐานความรู้ จึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ซึ่งต้องอาศัยทั้งหลักวิชาการ ความรู้และประสบการณ์ เงื่อนไขเฉพาะ และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง

1. วิมลสิทธิ์ หรยางกูร, 2532, *การจัดทำรายละเอียดโครงการเพื่อการออกแบบงานสถาปัตยกรรม*, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-35
2. Ulrich, F. and Robert, W., 1995, "Software Environment to Support Early Phases in Building Design (SEED): Overview," *Journal of Architectural Engineering*, Vol. 1, No. 4, pp. 147-152.
3. Gerhard, S., 1988, "ARCHPLAN: An Architectural Planning Front End to Engineering Design Expert Systems," *Expert Systems for Engineering Design*, Edited by Michael, D.R., New York, Academic Press, pp. 257-277.
4. Bedard, C. and Ravi, M., 1992, "Knowledge-Based Approach to Overall Configuration of Multistory Office Building," *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 5, No. 4, pp. 336-353.
5. Ghosh, D.K. and Kalyanaraman, V., 1993, "KBES for Design of Steel Structural Elements," *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 7, No. 1, pp. 23-35.
6. Kitti, L. 1997, "A Knowledge-Based System for Design Cost Estimating (KSDE)," *Master of Engineering Thesis*, Civil Engineering Program, Asian Institute of Technology, pp. 1-5.
7. Radomdej, T., 1994, "A Pre-Design Cost Estimating Model for Office Building in Bangkok," *Master of Engineering Thesis*, Civil Engineering Program, Asian Institute of Technology, pp. 1-3.
8. เศรษฐพงษ์ ศรีวิริยานนท์, 2539, "การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการประเมินราคาอาคาร," *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, หน้า 4-123.
9. คุณพัทธ์ อัจจงค์ และ สุรพล อนุวัชรพงศ์พันธ์, 2538, "รวมกฎหมายควบคุมอาคาร เล่ม 1," *สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์*, หน้า 76-418.
10. สมภพ ลิ้มประไพพงษ์, 2537, "การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการประเมินราคา งานโครงสร้างและสถาปัตยกรรมอาคารชั้นสูง," *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, หน้า 96-106.
11. บัญชา สัจจงษ์, 2537, "การพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการประเมินราคางานระบบอาคารสูง," *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี* หน้า 46-60.

12. พงษ์พันธ์ุ อิศโรทัยกุล, 2541, “ระบบฐานความรู้สำหรับการออกแบบและประมาณราคา
ในเบื้องต้นสำหรับอาคารขนาดกลาง,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
13. Edward, A. and Joseph, I. 1995, *The Architect's Studio Companion: Rules of
Thumb for Preliminary Design*, New York, John Wiley & Sons, pp. 17-169.