การออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง
Design of Concrete Handling System for High Building

โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ

อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Chokchai.a@fte.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะออกแบบและประเมินระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง โดยเริ่มจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ประเด็นต่อการเลือกระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา จากนั้นจึงคัดเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตโดยทดลองนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยซึ่งเลือกมาแบบเฉพาะเจาะจงจำนวน 30 คน เพื่อทำการประเมินคัดเลือกระบบที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจึงนำระบบที่คัดเลือกไปออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีต โดยใช้สูตรสำเร็จตาราง และข้อมูลต่างจากผู้ผลิตปั๊มคอนกรีต และทำการติดตั้งใช้งานต่อไป โดยผลการคัดเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงแบบต่างๆ พบว่าปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 3.75 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 1.07 จึงถูกคัดเลือกในการออกแบบระบบต่อไป ส่วนผลการออกแบบปั๊มคอนกรีตแบบลากจูงมีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมาก (มีค่าระหว่าง 3.5-4.49) ทุกประเด็น และผลการประเมินภายหลังการติดตั้งใช้งานจากผู้เกี่ยวข้องของโครงการก่อสร้างอาคารคอนโดมิเนียม 26 ชั้น จำนวน 5 ท่าน พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากทุกประเด็น

คำสำคัญ: การออกแบบ ระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีต ก่อสร้างอาคารสูง

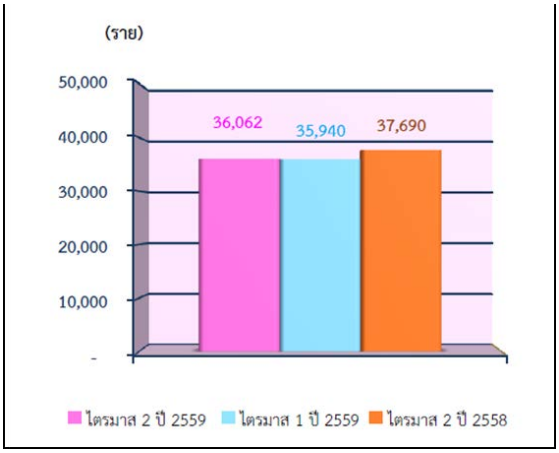
Abstract

The research aims to design and evaluate concrete handling system for high building construction. By the start of the study and data analysis, Analysts point to select the system by experts. Then select the concrete handling system, by experiment applied to the sample in this study which were selected purposively 30 samplers to evaluate the suitable system. Then the chosen system to design the concrete handling system, and install for further use. The results of the screening concrete handling systems for high building construction found that the trailer concrete pump with an average high of 3.75 and a standard deviation (S.D.) 1.07 thus it was selected to design the system. The designed results of a trailer concrete pump is very reasonable. (Ranged from 3.5 to 4.49) all issues and the assessment after the implementation of the project involves construction of 26-storey condominium building, with an average of 5 people found were very reasonable all issues.

Keyword: Design, Concrete Conveyor System, High Building Construction.

1. บทนำ

ในปัจจุบันในเขตกรุงเทพและปริมณฑล ตลอดจนหัวเมืองใหญ่ๆ ของประเทศไทยนั้นมีการก่อสร้างอาคารสูงเป็นจำนวนมาก โดยอาคารสูงหมายถึงอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 23 m. ขึ้นไป [1] ซึ่งภาวการณ์ก่อสร้างจะเปลี่ยนไปตามสภาวะเศรษฐกิจและสังคม ดังตัวอย่างเช่นผลการประมวลข้อมูลพื้นที่การก่อสร้าง ไตรมาสที่ 2 ปี 2559 ซึ่งแสดงตามภาพที่ 1 [12] พบว่าจำนวนผู้ได้รับอนุญาตให้ก่อสร้างสิ่งก่อสร้างประเภทอาคารโรงเรือนปี 2559 ค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และหากเทียบกับปี 2558 ก็เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากมีการก่อสร้างอาคารสูงตลอดเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีเขียวส่วนต่อขยายแบริ่ง-สมุทรปราการ, หมอชิต-ลำลูกกา, แนวเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีม่วง, แนวเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน (บางซื่อ-ท่าพระ และ หัวลำโพง-บางแค), แนวเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีแดง (บางซื่อ-ตลิ่งชัน และ บางซื่อ-รังสิต) โดยในการก่อสร้างอาคารสูงซึ่งโดยทั่วๆ ไปจะมีความสูงตั้งแต่ 7 ชั้นขึ้นไปจะใช้เครื่องจักรกลทุ่นแรงต่างๆ มากมาย โดยเครื่องจักรกลทุ่นแรงในงานคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงนั้นมีตั้งแต่การใช้รอก การใช้ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว (Material and Passenger Lifts or Hoists) การใช้ทาวเวอร์เครน (Tower Cranes) จนมาถึงในปัจจุบันนิยมใช้ปั๊มคอนกรีต (Concrete Pumps) และการขนส่งผงคอนกรีตด้วยลม (Pneumatic Conveyor) ซึ่งเจ้าของโครงการและวิศวกรควบคุมโครงการจะต้องพิจารณาเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีต (Concrete Handling Systems) ที่เหมาะสม ทั้งนี้ระบบดังกล่าวจะส่งต่อคุณภาพ (Quality) ต้นทุน (Cost) และระยะเวลาในการทำงานและส่งมอบงาน (Time and Delivery) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง ทั้งนี้เพื่อที่จะช่วยให้งานก่อสร้างอาคารสูงของประเทศไทยมีประสิทธิผล (Effectiveness) และมีประสิทธิภาพ (Efficiency) อีกทั้งยังให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานและรักษาสิ่งแวดล้อม (Work Safety and Environment) อีกด้วย



ภาพที่ 1 : จำนวนผู้ได้รับอนุญาตให้ก่อสร้างสิ่งก่อสร้างประเภทอาคารโรงเรือน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง

2.2 เพื่อประเมินความเหมาะสมของระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตแต่ละระบบสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง

3. สมมติฐานการวิจัย

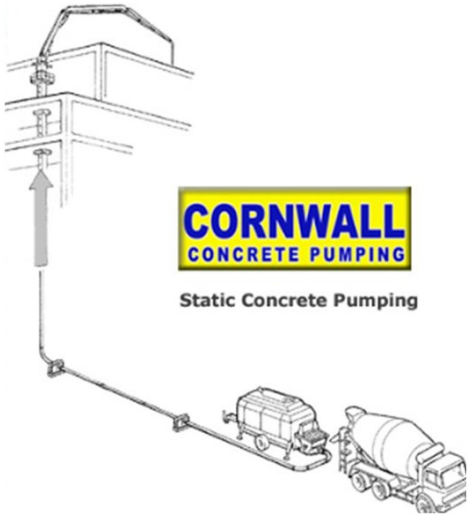
2.1 ระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงที่ได้ออกแบบขึ้นมีความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมาก (3.5-4.49) ของเกณฑ์แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

2.2 ภายหลังการติดตั้งระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงซึ่งได้ออกแบบไว้ ระบบสามารถใช้งานได้ตามข้อกำหนดรายละเอียดที่ได้ออกแบบไว้

4. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนามาเป็นลำดับตั้งแต่การใช้แรงงานคน การใช้รอก การใช้ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว การใช้ทาวเวอร์เครน การใช้รถเครน การใช้ปั๊มคอนกรีตหรือปั๊มคอนกรีตแบบลากจูงร่วมกับแขนบูมส่งคอนกรีต (Concrete Placing Boom) หรือที่นิยมเรียกชื่อย่อกัน

โดยทั่วไปว่า PCB การใช้รถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตและบูมการขนถ่ายผงซีเมนต์ด้วยลม ฯลฯ ซึ่งในการเลือกบรรดาวิธีการต่างข้างต้นย่อมส่งผลต่อความรวดเร็วในการทำงาน ความสะดวกในการทำงาน คุณภาพงาน ความปลอดภัยในการทำงาน การรักษาสิ่งแวดล้อม ตลอดจนต้นทุนในการทำงาน ดังนั้นผู้ออกแบบหรือสถาปนิกและวิศวกรจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ส่วนใหญ่อาศัยประสบการณ์การทำงานหรือความรู้ที่สะสมในองค์กร ในปัจจุบันงานก่อสร้างอาคารสูงตั้งแต่ 30 ชั้นขึ้นไปนิยมเลือกใช้ปั๊มคอนกรีต (Concrete Pump) ทั้งที่เป็นแบบรถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีต, ปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง และรถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตพร้อมแขนบูมมากกว่าการใช้ทาวเวอร์เครน โดยในการออกแบบแบบเลือกปั๊มคอนกรีต (Concrete Pump Design or Selection) ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญดังต่อไปนี้ 1) กำหนดอัตราการไหล และเลือกขนาดท่อ 2) ออกแบบแนวเส้นท่อคอนกรีต (Concrete Pipe Line and Fitting) 3) คำนวณหาค่าหัวภาระรวม (Total Head Loss) 4) เลือกขนาดปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสม โดยขั้นตอนการคำนวณหรือประมาณค่าหัวภาระรวม [7] (Total Head Loss) นั้นถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญหรือยากที่สุด [20, 21, 22, 23, 25,26, 27, 28, 29, 30]



ภาพที่ 2 : การติดตั้งปั๊มคอนกรีตแบบลากจูงในโครงการก่อสร้าง

ในขั้นตอนการกำหนดอัตราการไหลนั้นมีมูลเหตุมาจากความรวดเร็วในการทำงานที่ต้องการ ระยะเวลาในการส่งมอบคอนกรีตผสมเสร็จ ระยะทางระหว่างโรงผลิตคอนกรีตผสมเสร็จกับโครงการก่อสร้าง สภาพการจราจร ฯลฯ [8] ภายหลังการกำหนดอัตราการไหลแล้วก็จะทำการเลือกขนาดท่อ ซึ่งจะคำนึงถึงความเร็วแล่นที่เหมาะสมโดยไม่ก่อให้เกิดเสียงดัง แรงกระแทก ความเสียดทานในเส้นท่อและข้อต่อต่างๆ ฯลฯ ส่วนขั้นตอนการออกแบบแนวเส้นท่อคอนกรีตจะคำนึงถึงเส้นทางการสัญจรภายในโครงการ ความสามารถในการเข้าถึงของรถขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จ ความปลอดภัยในการทำงาน [9] การติดตั้งแนวเส้นท่อ ฯลฯ โดยในขั้นตอนนี้นอกจากจะได้แบบแล้วยังจะทราบถึงรายการท่อ ข้อต่อ ลิ้น อุปกรณ์รองรับ-จับยึด ฯ ขั้นตอนต่อมาเป็นการคำนวณค่าหัวภาระรวมซึ่งจะนำรายการวัสดุ-อุปกรณ์ (Bill of Quantities : BOQ) มาทำการคำนวณโดยใช้สูตรสำเร็จของผู้ผลิตปั๊มคอนกรีต เช่น Putzmeister, Schwing, Cifa, IHI, Zoonlion, Everdigm ฯลฯ ในที่นี้ใช้สูตรสำเร็จและตารางต่างๆ (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1) ของ Zoomlion [25,26, 27, 28, 29, 30] ขั้นตอนสุดท้ายจะทำการเลือกขนาดปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากกราฟสมรรถนะ (Performance Curve) ของปั๊มคอนกรีต เครื่องยนต์ต้นกำลังขับ (1 หรือ 2 เครื่อง, ใช้ร่วมหรือแยกกับรถบรรทุก, ขนาดแรงม้า) ระบบไฮดรอลิค (Closed Circuit หรือ Opened Circuit) ฯลฯ (Putzmeister, 1994)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการเทียบแปลงหัวภาระความเสียดทานของ Piping and Fitting ไปเป็นความยาวท่อเทียบ

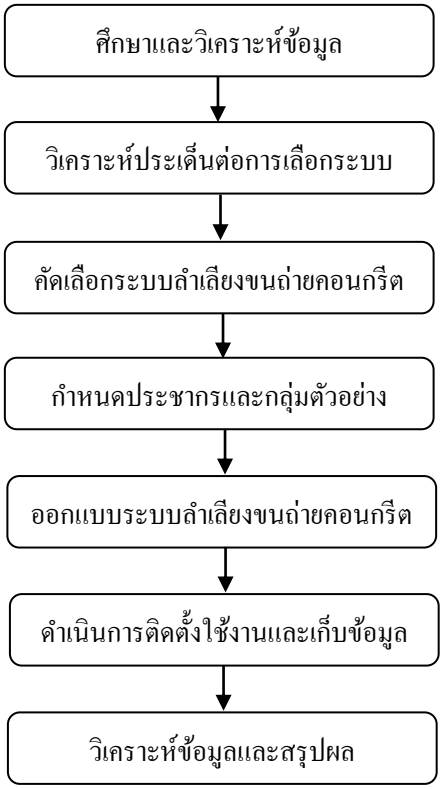
Piping and Fitting	ความยาวท่อเทียบ
ท่อ ϕ5” ขึ้นในแนวดิ่ง (1 m.)	5 m.
ข้อ 90° รัศมี 1 เมตร ติดตั้งในแนวราบ 1 ตัว	9 m.
ข้อ 90° รัศมี 0.5 เมตร ติดตั้งในแนวราบ 1 ตัว	12 m.
ข้อ 90° รัศมี 1 เมตร ติดตั้งในแนวดิ่ง 1 ตัว	14 m.

ในส่วนของการคำนวณหัวภาระรวม คิดจากดังนี้ 1) ความดันสูญเสียขณะเริ่มเดินเครื่อง (Pump Start Loss Pressure) 2) หัวภาระของท่อที่ต่อจากปั๊มคอนกรีตไปยังท่อแนวดิ่ง (Level Pipe on Ground) = 0.2-0.25 เท่าของความสูงท่อในแนวดิ่ง 3) ผลรวมความยาวเส้นท่อแปลงเป็นความยาวท่อเทียบและ

ผลรวมความยาวท่อเทียบจากข้อต่อต่างๆ 4) หัวภาระจากน้ำหนักลำตั้งคอนกรีตในแนวดิ่ง (หรือความสูงในแนวดิ่ง)

ภาพที่ 3 : รถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตแบบมีบูม (Truck Mounted Cocrete Boom Pump)

5. **วิธีดำเนินการวิจัย**



การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง ซึ่งมีขอบเขตครอบคลุม 1) กำหนดอัตราการไหล และเลือกขนาดท่อ 2) ออกแบบแนวเส้นท่อคอนกรีต (Concrete Pipe Line and Fitting) 3) คำนวณหาค่าหัวภาระรวม (Total Head Loss) 4) เลือกขนาดปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสม โดยขั้นตอนการวิจัยดังนี้

5.1 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการศึกษาข้อมูลจากทั้งงานวิจัย ตำรา หนังสือ เอกสาร [3, 4, 5, 6] ตลอดจนสัมภาษณ์เจ้าของ ผู้จัดการ เจ้าหน้าที่ฝ่ายขายและเช่า หัวหน้างาน พนักงานผู้ปฏิบัติงาน และเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานซึ่งมีประสบการณ์ตรงในการทำงานเกี่ยวกับงานลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตในงานก่อสร้าง ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยหรือขั้นตอนต่าง ที่ต้องคำนึงถึงต่อการออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง โดยผลการสัมภาษณ์เป็นคะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 12 ท่าน ผลการสัมภาษณ์มีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ที่ 4.1 (เหมาะสมมาก) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 0.56 โดยหัวข้อครอบคลุมดังนี้ 1) กำหนดอัตราการไหล และเลือกขนาดท่อ 2) ออกแบบแนวเส้นท่อคอนกรีต (Concrete Pipe Line and Fitting) 3) คำนวณหาค่าหัวภาระรวม (Total Head Loss) 4) เลือกขนาดปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสม

5.2 วิเคราะห์ประเด็นในการพิจารณาเลือกระบบลำเลียงคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง

ขั้นตอนนี้เริ่มจากการวิเคราะห์ประเด็นต่างๆ ในการพิจารณาเลือกระบบลำเลียงคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงโดยอาศัยข้อมูลเอกสาร หนังสือ ตำรา งานวิจัย ประสบการณ์การ ข้อคิดเห็นจากผู้ชำนาญเฉพาะด้าน ฯ ซึ่งในการประเมินผลการวิเคราะห์นั้นจะให้ผู้เชียวชาญจำนวน 5 ท่าน ซึ่งเป็นผู้จัดการโครงการ วิศวกรสนาม/โครงการ ผู้จัดการฝ่ายขาย-เช่าเครื่องจักรกล และวิศวกรซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลซึ่งเป็นผู้มีประสบการณ์ในการทำงานเกี่ยวกับการซื้อ เช่า เช่าซื้อ ขาย ให้เช่า ออกแบบ-คำนวณ ติดตั้ง รื้อถอน ซ่อมและบำรุงรักษาทาวเวอร์เครน ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว ปั๊มคอนกรีต (Concrete Pump) ทั้งที่เป็นแบบรถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตและปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง และรถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตพร้อมแขนบูม ฯลฯ โดยมีประสบการณ์ในการทำงานมาเป็นเวลานานมากกว่า 10 ปี ทำการประเมินผลการวิเคราะห์โดยผลการประเมินเป็นคะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ และคัดเลือกเฉพาะประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากขึ้นไป

5.3 คัดเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีต

ในขั้นตอนนี้จะนำประเด็นที่ผ่านการประเมินในการพิจารณาเลือกระบบลำเลียงคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคาร

สูงมาคัดเลือกหาระบบลำเลียงคอนกรีตที่มีความเหมาะสม ซึ่งในการประเมินคัดเลือกนั้นจะให้ผู้เชียวชาญจำนวน 30 ท่าน ซึ่งเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ผู้จัดการโครงการวิศวกรสนาม/โครงการ ผู้จัดการฝ่ายขาย-เช่าเครื่องจักรกล และวิศวกรซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลซึ่งเป็นผู้มีประสบการณ์ในการทำงานเกี่ยวกับการซื้อ เช่า เช่าซื้อ ขาย ให้เช่า ออกแบบ-คำนวณ ติดตั้ง รื้อถอน ซ่อมและบำรุงรักษาทาวเวอร์เครน ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว ปั๊มคอนกรีต (Concrete Pump) ทั้งที่เป็นแบบรถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตและปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง และรถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตพร้อมแขนบูม ฯลฯ โดยมีประสบการณ์ในการทำงานมาเป็นเวลานานมากกว่า 10 ปี ซึ่งใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยทำการประเมินผลการวิเคราะห์โดยผลการประเมินเป็นคะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ และคัดเลือกเฉพาะประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากขึ้นไป เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตต่อไป

5.4 กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้เป็นผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ-คำนวณ พิจารณาคัดเลือก ติดตั้ง ตรวจ-ทดสอบ ซ่อม-บำรุงรักษา และรื้อถอนระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งมีคุณลักษณะเดียวกันประชากรในการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย

- บริษัท สี่พระยาก่อสร้าง จำกัด
- Bouugues-Thai co;ltd

ภายหลังการวิเคราะห์ประเด็นในการพิจารณาเลือกระบบลำเลียงคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงและกำหนดกลุ่มตัวอย่างเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน จากนั้นจึงนำผลการคัดเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตที่มีความเหมาะสมไปทำการออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตต่อไป

5.5 ออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีต

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทดลองนำระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงที่ผ่านการคัดเลือกไปทำการออกแบบสำหรับโครงการก่อสร้างอาคารคอนโดมิเนียม 26 ชั้นแห่งหนึ่งย่านสะพานควาย ซึ่งประเด็นในการออกแบบครอบคลุม 1) แบบแนวเส้นท่อทาง การจับยึดท่อ และรายการวัสดุ-อุปกรณ์ 2) รายการคำนวณหัวภาระรวม 3) การเลือกขนาดปั๊มคอนกรีต 4) วิธีการ-ขั้นตอนการติดตั้ง 5) การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการปฏิบัติงานและการป้องกัน 6) การย้ายตำแหน่ง-รื้อถอน ซึ่งในการประเมินผลการออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตจะให้ผู้เชียวชาญจำนวน 5 ท่าน ซึ่งเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมซึ่งเป็นผู้มีประสบการณ์ในการทำงานเกี่ยวกับการออกแบบ-คำนวณ ติดตั้ง รื้อถอน ซ่อมและบำรุงรักษาปั๊มคอนกรีต (Concrete Pump) ทั้งที่เป็นแบบรถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตและปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง และรถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตพร้อมแขนบูม โดยมีประสบการณ์ในการทำงานมาเป็นเวลานานมากกว่า 5 ปี ทำการประเมินผลการออกแบบ โดยผลของการประเมินเป็นคะแนนแบบมาตรส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

5.6 ดำเนินการทดลองงานวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล

จากประเด็นที่ผ่านการประเมินในการพิจารณาเลือกระบบลำเลียงคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง จะทำการคัดเลือกหาระบบลำเลียงคอนกรีตที่มีความเหมาะสม ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมาจาก บริษัท สี่พระยาก่อสร้าง จำกัด และ Bouygues-Thai co;ltd

5.7 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำผลการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย (Sample) เพื่อทำการประเมินคัดเลือกหาระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงที่มีความเหมาะสม จากนั้นจึงออกแบบระบบลำเลียงคอนถ่ายขนกรีตซึ่งครอบคลุม 1) แบบแนวเส้นท่อทาง การจับยึดท่อ และรายการวัสดุ-อุปกรณ์ 2) รายการคำนวณหัวภาระรวม 3) การเลือกขนาดปั๊มคอนกรีต 4) วิธีการ-ขั้นตอนการติดตั้ง 5) การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการปฏิบัติงานและการป้องกัน 6) การย้ายตำแหน่ง-รื้อถอน

6. ผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าผลการวิเคราะห์ประเด็นต่อการพิจารณาเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงซึ่งผ่านเกณฑ์คัดเลือกเป็นคะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยแสดงเฉพาะประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากขึ้นไป (รายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 2) ส่วนผลการคัดเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงแบบต่างๆ พบว่าปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง (Trailerable Concrete Pump : TCP) มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 3.75 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 1.07 จึงถูกคัดเลือกในการออกแบบระบบต่อไป (รายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 3) และผลการออกแบบปั๊มคอนกรีตแบบลากจูงมีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากทุกประเด็น (รายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 4) และผลการประเมินภายหลังการติดตั้งใช้งานจากผู้เกี่ยวข้องของโครงการก่อสร้างอาคารคอนโดมิเนียม 26 ชั้น จำนวน 5 ท่าน พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากทุกประเด็น (รายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 5)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ประเด็นต่อการพิจารณาเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตงานก่อสร้างอาคารสูง

ประเด็นต่อการพิจารณาเลือกระบบ	S.D.	$\bar{X}$
1. ความสามารถในการใช้งานได้หลากหลายประเภทงาน	0.89	3.60
2. การตอบสนองงานเฉพาะด้าน / หน่วยงาน	0.89	4.40
3. เริ่มต้นทำงานได้เร็วเมื่อถึงโครงการ	0.84	3.80
4. เงินลงทุนด้านเครื่องจักรกลน้อย	0.71	4.00
5. ลดระยะเวลาในการทำงาน	0.89	4.40
6. ทักษะฝีมือแรงงานผู้ปฏิบัติงานไม่สูง	0.89	3.60
7. การซ่อมบำรุงรักษาทำได้ง่าย-	0.84	4.20
8. ความปลอดภัยในการทำงานสูง	0.84	3.80
9. การรักษาสิ่งแวดล้อม	0.89	4.40
10. เสถียรภาพความน่าเชื่อของระบบสูง	0.45	4.20
11. สะดวกต่อการรื้อถอนและขนย้าย	0.89	4.60

ตารางที่ 3 ผลการคัดเลือกระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงแบบต่างๆ

หัวข้อประเด็นในการประเมิน/	TC	TMCBP	TMCP	TCP
1. ความสามารถในการใช้งานได้หลากหลายประเภทงาน	4.00	3.60	1.00	1.40
2. การตอบสนองงานเฉพาะด้าน หน่วยงาน /	2.80	3.60	4.40	4.60
3. เริ่มต้นทำงานได้เร็วเมื่อถึงโครงการ	4.00	4.00	4.20	4.60
4. เงินลงทุนด้านเครื่องจักรกลน้อย	2.80	3.80	3.40	2.80
5. ลดระยะเวลาในการทำงาน	3.20	4.20	4.40	4.60
6. ทักษะฝีมือแรงงานผู้ปฏิบัติงานไม่สูง	4.00	2.80	2.80	3.20
7. การซ่อมบำรุงรักษา-ทำได้ง่าย	4.00	3.20	3.20	3.60
8. ความปลอดภัยในการทำงานสูง	2.60	3.40	3.80	4.00
9. การรักษาสิ่งแวดล้อม	2.60	3.40	4.60	4.80
10. เสถียรภาพความน่าเชื่อของระบบสูง	2.60	2.60	4.60	4.60
11. สะดวกต่อการรื้อถอนและขนย้าย	2.60	4.20	2.60	3.00
ค่าเฉลี่ย	3.20	3.53	3.55	3.75
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.66	0.52	1.11	1.07

หมายเหตุ : 1) TC : Tower Crane 2) TMCBP : Truck Mounted Concrete Boom Pump 3) TMCP : Truck Mounted Concrete Pump 4) TCP : Trailerable Concrete Pump

ในส่วนของการคำนวณหัวภาระรวม (Total Head Loss) คิดจากองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. Pump Start Loss Pressure

1.1) S-Tube = 2 MPa และ 1.2) Gate Valve = 2.8 MPa

2. หัวภาระของท่อที่ต่อจากปั๊มคอนกรีตไปยังท่อแนวดิ่ง (Level Pipe on Ground) มีค่าโดยประมาณ 0.2-0.25 เท่าของความสูงของท่อในแนวดิ่ง

3. ผลรวมความยาวเส้นท่อแปลงเป็นความยาวท่อเทียบและผลรวมความยาวท่อเทียบจากข้อต่อต่างๆ

4. หัวภาระจากน้ำหนักลำตั้งคอนกรีตในแนวดิ่ง

โดยผลการคำนวณหาค่าหัวภาระรวมมีค่า 696 เมตร หรือ 194.8 bar (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 6) และจากข้อมูลผู้ผลิตปั๊มคอนกรีต ZOOMLION ควรเลือกขนาดปั๊มคอนกรีตที่รุ่น HBT105.21.264S ซึ่งมีความเหมาะสม (รายละเอียดตามภาพที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 4 ประเมินผลการออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีต : Trailerable Concrete Pump

ประเด็นในการออกแบบ	S.D.	$\bar{X}$
1. แบบแนวเส้นท่อทาง การจับยึดท่อและรายการวัสดุ-อุปกรณ์	0.45	4.80
2. รายการคำนวณหัวภาระรวม	0.45	4.80
3. การเลือกขนาดปั๊มคอนกรีต	0.45	4.80
4. วิธีการ-ขั้นตอนการติดตั้ง	0.45	4.20
5. การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการปฏิบัติงานและการป้องกัน	0.45	4.80
6. การย้ายตำแหน่ง-รื้อถอน	0.55	4.40

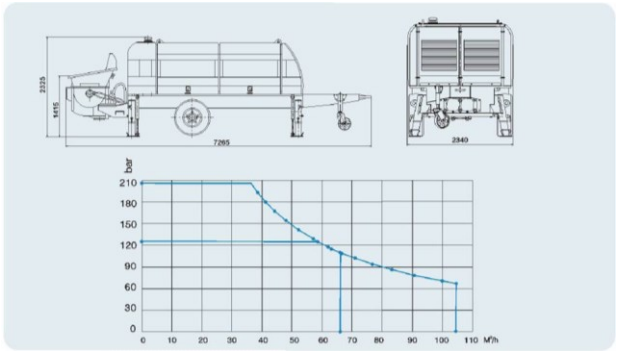
ตารางที่ 5 ผลการประเมินภายหลังการติดตั้งใช้งาน

ประเด็นในการประเมิน	S.D.	$\bar{X}$
1. ปั๊มคอนกรีตทำงานได้ตามวัตถุประสงค์การออกแบบ	0.45	4.20
2. มีความปลอดภัยในการทำงาน	0.45	4.80
3. การรั่วไหลตกหล่นของคอนกรีต	0.55	4.40
4. งานติดตั้งแล้วเสร็จภายในระยะเวลาที่กำหนด	0.45	4.20
5. ความพึงพอใจของผู้ใช้งานปั๊มคอนกรีต	0.45	4.80

ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณหัวภาระรวม (Total Head Loss)

ภาระต่างๆ	ข้อมูล	ความยาวท่อเทียบ	%
1. S-Tube	2 MPa	71.43 m.	10.2%
2. Gate Valve	2.8 MPa	100 m.	14.3%
3. Level Pipe on Ground	0.2*78	15.6 m.	2.2%
4. Vertical Pipe (125A)	78 m.	390 m.	56%
5. Bend 90° (R 1 m.)	1 ตัว	9 m.	1.2%
6. Vert. Bend 90° (R 1 m.)	1 ตัว	14 m.	2%
7. End Hose L = 3 m.	1 เส้น	18 m.	2.5
8. Gravity Head	78 m.	78 m.	11.2%
หัวภาระรวม		696 m.	
		194.8 bar	

ภาพที่ 4 : ปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง ZOOMLION รุ่น HBT105.21.264S



ภาพที่ 5 : กราฟสมรรถนะปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง ZOOMLION รุ่น HBT105.21.264S

7. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยการออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงพบว่าพบว่าปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง (Trailerable Concrete Pump : TCP) มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 3.75 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 1.07 และผลการออกแบบปั๊มคอนกรีตแบบลากจูงมีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากทุกประเด็น โดยผลการคำนวณหาค่าหัวภาระรวม (Total Head Loss) มีค่า 696 เมตร หรือ 194.8 bar และจากข้อมูลผู้ผลิตปั๊มคอนกรีต ZOOMLION ควรเลือกขนาดปั๊มคอนกรีตที่รุ่น HBT105.21.264S ซึ่งสามารถตอบสนองการทำงาน ณ ตำแหน่งความสูงมากที่สุดของโครงการ ส่วนผลการประเมินภายหลังการติดตั้งใช้งานจากผู้เกี่ยวข้องของโครงการก่อสร้างอาคารคอนโดมิเนียม 26 ชั้น จำนวน 5 ท่าน พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากทุกประเด็น ทั้งนี้เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญในการประเมินในขั้นตอนต่างๆ เป็นผู้มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ในการทำงานนั้นๆ เป็นอย่างดี จึงทำให้ผลการออกแบบปั๊มคอนกรีตแบบลากจูงและผลการประเมินภายหลังการติดตั้งใช้งานมีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากทุกประเด็น ส่วนประสิทธิภาพหรือสมรรถนะการทำงานของปั๊มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับช่วงจังหวะความสูงในการก่อสร้าง ซึ่งจะสูงมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นหากสามารถออกแบบให้โครงการสามารถใช้งานปั๊มคอนกรีต 2 รุ่น โดยแบ่งความสูงโครงการออกเป็น 2 ช่วงความสูง อันจะทำให้ปั๊มคอนกรีตสามารถทำงานได้ดียิ่งขึ้น

8. ข้อเสนอแนะ

ในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน สามารถที่จะเก็บเพิ่มขึ้นได้อีกหากมีการจัดทำและจัดเก็บฐานข้อมูลผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มอาชีพที่เกี่ยวข้องกับงานลำเลียงคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงค่อนข้างมีจำนวนจำกัด และหากมีการประสานงานที่ดีระหว่างหน่วยงานที่ต้นสังกัดของกลุ่มตัวอย่างกับเครือข่ายของผู้วิจัย เพื่อที่จะได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างในจำนวนที่มากขึ้น อันจะทำให้งานวิจัยมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ควรทำการติดตามผลการออกแบบภายหลังการติดตั้งแล้วเสร็จสักระยะเวลา 1-6 เดือน ทั้งนี้เพื่อทราบผลลัพธ์อย่างแท้จริง ส่วนในโอกาสต่อๆ ไปควรวิจัยการออกแบบอื่น เช่น ลิฟท์ขนส่งวัสดุชั่วคราว แขนบูมยิงคอนกรีต (Concrete Placing Boom) ฯลฯ

9. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงมหาดไทย, 2522. “พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522.” กรุงเทพฯ : กระทรวงมหาดไทย.

[2] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, 2554. “การออกและพัฒนาเครื่องตัดวางรายต้นพันธ์มันสำปะหลัง.” ปทุมธานี : ภาควิชาวิศวกรรมการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[3] โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ, 2549. “การใช้ปั้นจั่นและเครนอย่างปลอดภัย.” เทคนิคไฟฟ้า-เครื่องกล-อุตสาหการ, 23 (268), 151-52.

[4] โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ, 2549. “การใช้รถยกอย่างปลอดภัย.” เทคนิคไฟฟ้า-เครื่องกล-อุตสาหการ, 23 (269), 153-155.

[5] โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ, 2548. “คู่มือการฝึกอบรมเรื่องความปลอดภัยสำหรับปั๊มคอนกรีต.” กรุงเทพฯ : บริษัท เทอมอล แอนด์ ทรานส์มิชชั่น แมชชีน.

[6] โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ, 2550. “อุบัติเหตุที่เกิดจากการใช้งานรถเครน.” MECHANICAL TECHNOLOGY MAGAZINE, 6 (76), 81-83.

[7] ดุลยโชติ ชลศึกษ์, 2555. “การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม.” กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[8] นิพนธ์ ลักขณาอดิศร, 2554. “ปั๊มคอนกรีต.” TPA news, 171 (March 2011), 43-44.

[9] มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2550. “การบริหารงานอาชีวอนามัยและความปลอดภัย.” กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

[10] วิฑูรย์ สิมะโชคดี, วีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, 2543. “วิศวกรรมและการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน.” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

[11] เวียง อากรชี, วิบูลย์ เทเพนทร์, 2551. “ออกแบบเครื่องบดทุเรียนแห้ง.” กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

[12] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2559. “การประมวลข้อมูลพื้นที่การก่อสร้าง ไตรมาสที่ 2 ปี 2559.” กรุงเทพฯ : สำนักงานสถิติแห่งชาติ.

[13] American Concrete Pump Association, 2011. “Certified Operator Study Guide : Guidelines for The Safe Operation of Concrete Pumps.” USA : American Concrete Pump Association.

[14] ASME, 2014. “ASME B.30.27-2014 : American National Standard for Concrete Pump.” USA : ASME.

[15] Bergeron, B. (editor), 2003. “Essentials of Knowledge Management.” USA : John Wiley & Sons, Inc.
[16] CIFA, 2016. “Truck Mounted Concrete Boom Pump : K42L.” Italy : CIFA.
[17] Cornwall Concrete Pump, 2016. “Static Concrete Pumping Cornwall.” 7 มิถุนายน 2559. http://www.cornwallconcretepumping.co.uk.
[18] Dalkir, K, 2005. “Knowledge Management in Theory and Practice". USA : Elsevier.
[19] Ilic, D, 2012. “Knowledge Transfer.” New York : Nova Science Publishers, Inc.
[20] Putzmeister, 1994. “Operating Instructions." Germany : Putzmeister.
[21] Putzmeister, 2014. “BSA SERIES.” Germany : Putzmeister.
[22] SCHWING, 2015. “Operating Instructions : KVM 32 BPL 900 HDRM.” Germany : SCHWING.
[23] SCHWING, 2015. “SP 4800/SP 8800 Stationary Concrete Pumps.” Germany : SCHWING.
[24] Yaqub M and other, 2005. “Development of Mix Design for Pump Concrete Using Local Material.” Singapore : CI-Premier PTE. LTD. and Singapore Concrete Institute.
[25] ZOOMLION, 2011. “Operation and Maintenance Manual of Concrete Placing Boom (For both pipe column type and special type). “ China : ZOOMLION.
[26] ZOOMLION, 2012. “Operation and Maintenance Manual of Truck-mounted Concrete Pump. “ China : ZOOMLION.
[27] ZOOMLION, 2013. “The Maintenance Manual of Concrete Truck Mixer." China : ZOOMLION.
[28] ZOOMLION, 2014. “Spare Parts Manual of ZOOMLION 38X-5RZ Concrete Boom Pump. “ China : ZOOMLION.
[29] ZOOMLION, 2015. “Spare Parts Manual of ZOOMLION 40X-5RZ Concrete Boom Kit. “ China : ZOOMLION.
[30] ZOOMLION, 2016. “How to choose trailer pump for customer." China : ZOOMLION.