

การศึกษาการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร

โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการยิงปัมคอนกรีตได้สูงถึง 500 เมตร และประเมินความเหมาะสมของการศึกษา และเลือกปัมคอนกรีตที่สามารถยิงคอนกรีตได้สูงถึง 500 เมตร ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ประเด็นการศึกษาความเป็นไปได้โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง การประเมินความเหมาะสมการศึกษากับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยจำนวน 15 คน เพื่อประเมินประเด็นที่สำคัญอย่างมากต่อความเป็นไปได้ในการยิงปัมคอนกรีตขึ้นอาคารสูงถึง 500 เมตร และตรวจสอบความเหมาะสมด้วยสถิติ t-test ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\bar{X} = 0.01$ จากนั้นทำการคัดเลือกปัมคอนกรีตซึ่งพิจารณาจากผลการคำนวณหวัภาระความดันเปรียบเทียบกับสมรรถนะของปัมคอนกรีตแบบลูกสูบ และขั้นตอนสุดท้ายทำการประเมินความสามารถของปัมคอนกรีตที่มีใช้งานในประเทศไทย โดยประเด็นสำคัญที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในการยิงปัมคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร มีเพียง 5 ประเด็น คือ ระบบไฮดรอลิก, เครื่องยนต์ต้นกำลังขับเคลื่อน, ปัมคอนกรีตแบบลูกสูบ, ท่อคอนกรีตและข้อต่อต่างๆ และคอนกรีต ในภาพรวมมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 0.17 ค่าเฉลี่ย 3.92 ส่วนปัมคอนกรีต ZOOMLION รุ่นที่มีใช้งานในปัจจุบันไม่สามารถตอบสนองต่อความเป็นไปได้ในการยิงปัมคอนกรีตได้สูงถึง 500 เมตร แต่ก็สามารถแก้ไขปรับปรุงพัฒนาโดยทำการเพิ่มความดันระบบไฮดรอลิกให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น และ/หรือ ลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบของปัมคอนกรีตให้มีค่าเล็กลง

คำสำคัญ : การยิงคอนกรีต อาคารสูง

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ

* ผู้นิพนธ์หลัก e-mail : chokchai.a@fte.kmutnb.ac.th

STUDY IN OPERATING THE CONCRETE PUMP RISE TO HIGH BUILDING OF 500 METERS

Chokchai Alongkrontuksin^{1*}**Abstract**

This research aims to study on shooting of concrete pumping up to 500 meters and assess the suitability of the study. And select a concrete pump that be able to shoot concrete up to 500 meters. The research process starts with studying and analyzing data. Analysis of studies by 5 experts using descriptive statistics (Mean and standard deviation), determine population and sampling groups, evaluate the appropriateness of the study in the research sample of 15 persons in order to assess the very important matters of the feasibility of shooting concrete pump up to a 500 meter high building and check the suitability of the t-test statistic at the significance level of 0.01. Then select the concrete pump, based on the pressure head compared to the capability of a piston concrete pump. And the final step is to evaluate the capability of the concrete pumps that available in Thailand. Only 5 cruxes affecting the feasibility of shooting concrete pumps up to a 500 meter high building which are the Hydraulic system, the Engine prime mover, the Piston concrete pump, Concrete Pipe and Joints, and concrete. Overall, the standard deviation (S.D.) was 0.17, with an average of 3.92. As for the current ZOOMLION concrete pump does not meet the feasibility of shooting concrete pumps up to 500 meters but it can be modified and improved by increasing the hydraulic pressure to a higher value and / or to reduce the piston diameter of the concrete pump to a smaller value.

Keywords : Concrete Pumping, High Building

¹ Teacher Training in Mechanical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

* Corresponding author, e-mail : chokchai.a@fte.kmutnb.ac.th

บทนำ



ภาพที่ 1 New Admixture Technology for Reducing Concrete Viscosity ของ BASF MasterEase

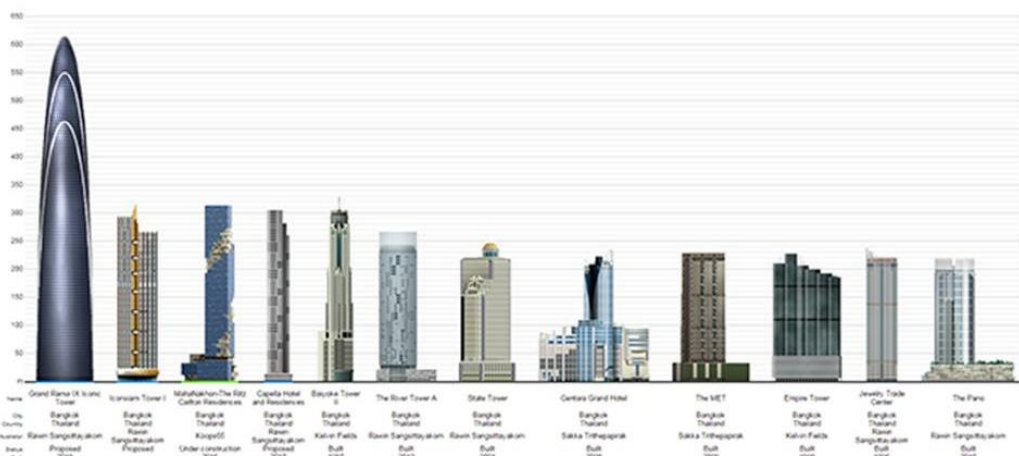
ในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ประเทศไทยจะมีการก่อสร้างอาคารสูงซึ่งเป็นอาคารควบคุมตามกฎหมาย (กระทรวงมหาดไทย, 2522) ซึ่งจะมีการทำลายสถิติความสูงที่เคยมีมามากขึ้นเรื่อยๆ ดังเช่น อาคารเดอะริเวอร์สูง 256 เมตร อาคารมหานคร 310 เมตร ส่วนที่อยู่ระหว่างการกำลังก่อสร้างได้แก่ อาคารแมกโนเลียส์อเวอ์ฟรอนท์ 315 เมตร และอาคารโพซิชั่น ไพรวท เรสซิเดนซ์ 385 เมตร (รายละเอียดดังแสดงตามภาพที่ 2) โดยอนาคตอันใกล้จะมีการก่อสร้างอาคารซูเปอร์ทาวเวอร์ 615 เมตร (โชคชัย, 2560; Thinkofliving, 2559) โดยกำหนดการก่อสร้างที่แนชชั่นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพเศรษฐกิจของประเทศ ในการก่อสร้างอาคารสูงมากๆ นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเตรียมการศึกษความพร้อมทางด้านเทคนิคและวิศวกรรม เช่น งานก่อสร้างฐานรากขนาดใหญ่ งานก่อสร้างใกล้ริมแม่น้ำและดินอ่อน งานเชื่อมต่อกับรถไฟใต้ดิน ฯลฯ จากงานต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นล้วนเกี่ยวข้องกับงานคอนกรีตทั้งสิ้น ซึ่งปัญหาความยุ่งยากของงานคอนกรีตมีตั้งแต่การใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง คอนกรีตรับแรงเร็วกว่าปกติ งานคอนกรีตที่มีความหนาหลายๆ อันจะนำไปสู่ปัญหาการแตกร้าว (รายละเอียดดังแสดงตามภาพที่ 1) งานคอนกรีตอัดแรง ตลอดจนเครื่องจักรกลที่ใช้ในงานคอนกรีต ซึ่งเครื่องจักรกลในงานคอนกรีตมีมากมายหลายชนิด (รายละเอียดดังแสดงตามภาพที่ 4) เช่น เครื่องผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ รถบรรทุกติดตั้งไม่คอนกรีตผสมเสร็จ รถบรรทุกติดตั้งปั๊มคอนกรีตแบบมีบูม ปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง (รายละเอียดดังแสดงตามภาพที่ 5) เครื่องลำเลียงผงคอนกรีตด้วยลม ฯลฯ โดยในการก่อสร้างอาคารสูงมากๆ นั้นปั๊มคอนกรีตแบบลากจูง (Trailerable Concrete Pump : TCP) นิยมใช้งานเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากมีจุดเด่นในด้านการลดต้นทุนการก่อสร้าง (โชคชัย, 2559) ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่างานยังคอนกรีตขั้นที่สูงมากๆ จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับสมบัติของคอนกรีตในแง่ต่างๆ เช่น ความหนืดหรือความสามารถในการไหลเท ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและรูปร่างหินและทรายต่ออัตราการสึกหรอท่อส่ง

ลำเลียงคอนกรีต ฯ ขนาดท่อ ข้อต่อ และลื่นต่างๆ การติดตั้ง-รื้อถอนแนวท่อ ขนาดปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสม สมรรถนะความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน ความปลอดภัยในการทำงาน ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการทำงาน ฯลฯ ซึ่งงานหรือศาสตร์ในด้านนี้ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่ยังขาดองค์ความรู้อยู่มากและจำเป็นต้องพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศเกือบทั้งหมด



ภาพที่ 2 โครงการก่อสร้างอาคารไฟชีชั้น ไพรเวท เรสซิเดนซ์ สูง 385

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร ทั้งนี้เพื่อที่จะทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่องานยิงคอนกรีตขึ้นที่สูงมากๆ ที่ยังไม่เคยมีในประเทศไทยมาก่อน ซึ่งจะได้เตรียมความพร้อมในการทำงานในอนาคต ตลอดจนฝึกอบรมพัฒนากำลังคนในส่วนของเครื่องจักรกลสำหรับงานคอนกรีต (Concrete Machinery) ของประเทศไทย



ภาพที่ 3 สถิติการก่อสร้างอาคารสูงมากเป็นพิเศษในประเทศไทย

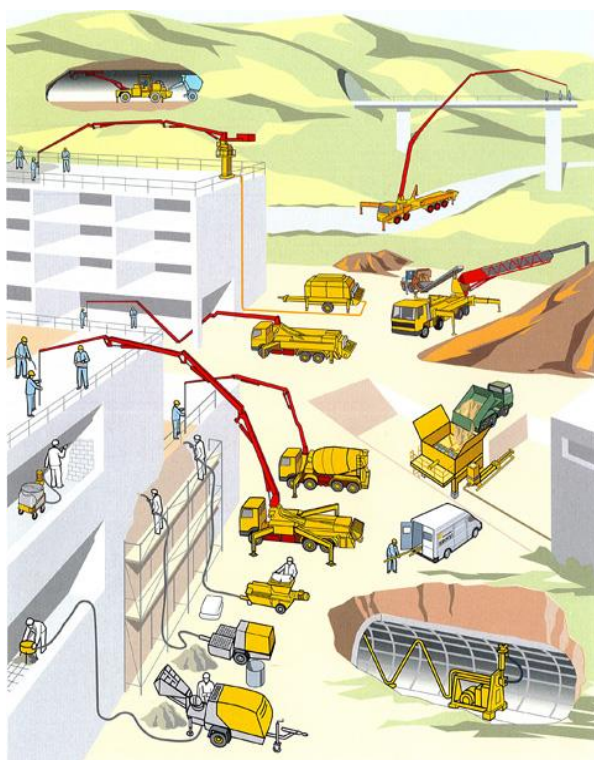
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและประเมินผลการศึกษาในการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร
2. เพื่อคัดเลือกปั๊มคอนกรีตที่มีความสามารถยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร
3. เพื่อประเมินความสามารถของปั๊มคอนกรีตที่มีใช้งานในประเทศไทย

สมมติฐานการวิจัย

1. ผลการศึกษามีความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมาก (3.5-4.49) ของเกณฑ์แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ
2. ปั๊มคอนกรีตที่ผ่านการคัดเลือกมีความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมาก (3.5-4.49) ของเกณฑ์แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 4 เครื่องจักรกลในงานคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างลักษณะต่างๆ

ในโครงการก่อสร้างอาคารสูงมากเป็นพิเศษจำเป็นต้องใช้คอนกรีตกำลังอัดสูงกว่า 450 ksc. ที่อายุ 28 วัน สำหรับเทคอนกรีตที่พื้น และอาจสูงถึง 800 ksc. สำหรับงานเทคอนกรีตที่เสาหรือคาน และงานหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปซึ่งต้องใช้คอนกรีตรับแรงเร็วเพื่อต้องการให้คอนกรีตแข็งตัวเร็วกว่าปกติ มีกำลังอัดที่กำหนดในช่วงระยะเวลาสั้น (8-24 ชั่วโมง หรือน้อยกว่า 28 วัน) ส่วนในงานเทพื้นฐานโครงสร้างที่มีความหนามากกว่า 0.9 m. ซึ่งมักพบปัญหาการแตกร้าวจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรคอนกรีตที่แตกต่างกันของอุณหภูมิภายในและ

ภายนอก (โดยปกติอุณหภูมิใจกลางไม่ควรเกิน 74 °C) อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ก็จำเป็นต้องใช้คอนกรีตความร้อนต่ำ หรือในงานเทพื้นคอนกรีตอัดแรง (Post-Tension Concrete) ซึ่งต้องการการพัฒนา กำลังอัดในช่วงต้นอายุ 3-7 วัน สูงมากเป็นพิเศษ หรืออาจมีค่าน้อยกว่า 3 วัน ตามแต่ลูกค้ากำหนด (อินทรีปูนซีเมนต์นครหลวง, 2559; BASF, 2016; Sika, 2016) ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่างานยิงคอนกรีตขึ้นที่สูงมากๆ จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับสมบัติของคอนกรีตในแง่ต่างๆ (ซีแพค, 2559) รวมถึงขนาดท่อ ข้อต่อ และ ลินต่างๆ การติดตั้ง-รื้อถอนแนวท่อ ขนาดปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสม สมรรถนะความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน ความปลอดภัยในการทำงาน ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการทำงาน ฯลฯ (โชคชัย, 2559) โดยคอนกรีตตามที่กล่าวข้างต้นนิยมใช้ปั๊มคอนกรีตยิงลำเลียงส่งไปตามท่อ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบเลือกปั๊มคอนกรีต (Concrete Pump Design or Selection) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญดังต่อไปนี้ 1) กำหนดอัตราการไหล และเลือกขนาดท่อ 2) ออกแบบแนวเส้นท่อคอนกรีต (Concrete Pipe Line and Fitting) 3) คำนวณค่าหัว ภาระรวม (Total Head Loss) 4) เลือกขนาดปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสม โดยขั้นตอนการคำนวณหรือประมาณค่าหัวภาระรวม (Total Head Loss) (โชคชัย, 2559) นั้นถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญหรือยากที่สุด ในขั้นตอนการกำหนดอัตราการไหลนั้นมีมูลเหตุมาจากความเร็วในการทำงานที่ต้องการ ระยะเวลาในการส่งมอบคอนกรีตผสมเสร็จ ระยะทางระหว่างโรงผลิตคอนกรีตผสมเสร็จกับโครงการก่อสร้าง สภาพการจราจร ฯลฯ (นิพนธ์, 2554) ภายหลังจากกำหนดอัตราการไหลแล้วก็จะทำการเลือกขนาดท่อ ซึ่งจะคำนึงถึงความเร็วแล่นที่เหมาะสมโดยไม่ก่อให้เกิดเสียงดัง แรงกระแทก ความเสียหายในเส้นท่อและข้อต่อต่างๆ ฯลฯ ส่วนขั้นตอนการออกแบบแนวเส้นท่อคอนกรีตจะคำนึงถึงเส้นทางการสัญจรภายในโครงการ ความสามารถในการเข้าถึงของรถขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จ ความปลอดภัยในการทำงาน (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2550) การติดตั้งแนวเส้นท่อ ฯลฯ โดยในขั้นตอนนี้นอกจากจะได้แบบแล้วยังจะทราบถึงรายการท่อ ข้อต่อ ลิน อุปกรณ์รองรับ-จับยึด ฯ ขั้นตอนต่อมาเป็นการคำนวณค่าความหนาแน่นท่อ และค่าหัวภาระรวมซึ่งจะนำรายการวัสดุ-อุปกรณ์ (Bill of Materials : BOQ) มาทำการคำนวณโดยใช้สูตรสำเร็จของผู้ผลิตปั๊มคอนกรีต เช่น Putzmeister, Schwing, Cifa, IHI, Zoomlion, Everdigm ฯลฯ ในที่นี้ใช้สูตรสำเร็จและตารางต่างๆ (รายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 1) ของ Zoomlion (ZOOMLION, 2016) ขั้นตอนสุดท้ายจะทำการเลือกขนาดปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากกราฟสมรรถนะ (Performance Curve) ของปั๊มคอนกรีต เครื่องยนต์ต้นกำลังขับ (1 หรือ 2 เครื่อง, ใช้ร่วมหรือแยกกับรถบรรทุก, ขนาดแรงม้า) ระบบไฮดรอลิก (Closed Circuit หรือ Opened Circuit) ฯลฯ (Putzmeister, 1994)

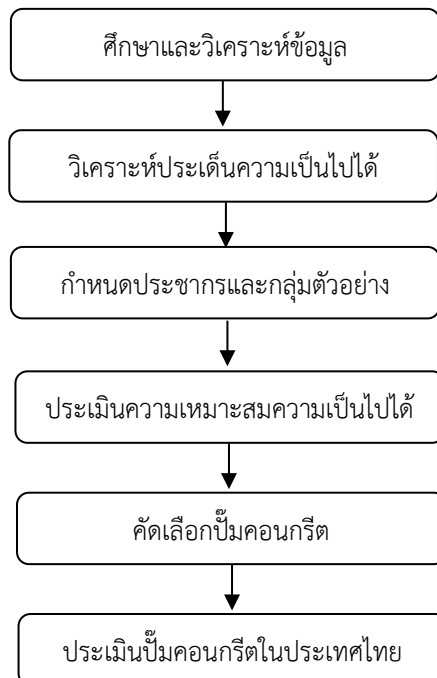
ตารางที่ 1 ตัวอย่างการเทียบแปลงหัวภาระความเสียหายของ Piping and Fitting ไปเป็นความยาวท่อเทียบ

Piping and Fitting	ความยาวท่อเทียบ
ท่อ $\phi 5"$ ขึ้นในแนวตั้ง (1 m.)	5 m.
ท่อ $\phi 5"$ ขึ้นในแนวตั้ง (1 m.)	5 m.
ข้อ 90° รัศมี 1 เมตร ติดตั้งในแนวราบ 1 ตัว	9 m.
ข้อ 90° รัศมี 0.5 เมตร ติดตั้งในแนวราบ 1 ตัว	6 m.
ข้อ 45° รัศมี 1 เมตร ติดตั้งในแนวราบ 1 ตัว	4.5 m.
ข้อ 90° รัศมี 0.5 เมตร ติดตั้งในแนวราบ 1 ตัว	12 m.
ข้อ 90° รัศมี 1 เมตร ติดตั้งในแนวตั้ง 1 ตัว	14 m.



ภาพที่ 5 ปัมคอนกรีตแบบลากจูง (Trailerable Concrete Pump) SCHWING SP 8800

วิธีดำเนินการวิจัย



การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารที่กำลังทำการก่อสร้างสูง 500 เมตร ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการศึกษาข้อมูล เอกสาร (Yaqub M and other, 2005) หนังสือ ตำรา ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบปั๊มคอนกรีต (ZOOMLION, 2016) การบังคับปั๊มคอนกรีต (Putzmeister, 1994) โดยผลการศึกษาและนำมาวิเคราะห์พบว่าปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสมกับลักษณะงานยิงคอนกรีตขึ้นที่สูงให้ได้ 500 เมตร คือ ปั๊มคอนกรีตแบบลูกสูบ (Piston or Reciprocating Type Trailerable Concrete Pump) (โชคชัย, 2559) จากนั้นจะได้วิเคราะห์ถึงประเด็นปัญหา จุดด้อย หรือความเป็นไปได้มาก-น้อยในการยิงคอนกรีตขึ้นที่สูง

วิเคราะห์ประเด็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร

ภายหลังเสร็จจากขั้นตอนการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล ต่อจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ประเด็นต้นร่าง (Draft or Pilot Items) ของการศึกษความเป็นไปได้ ซึ่งความเป็นไปได้ในการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร นี้ จะพิจารณาประเมินให้น้ำหนักความคิดเห็นต่อประเด็นที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อความเป็นไปได้ โดยได้ทดลองกำหนดหรือระบุประเด็นต่างๆ ของการศึกษา จากนั้นจึงส่งให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมิน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน เป็นผู้จัดการ วิศวกร และช่างเทคนิคที่มีประสบการณ์ในการทำงานไม่น้อยกว่า 10 ปี เกี่ยวกับการขาย เช่า เช่า-ซื้อ ออกแบบ-คำนวณ ติดตั้ง ใช้งาน ตรวจ-ทดสอบ รื้อถอน และซ่อม-บำรุงรักษาปั๊มคอนกรีต โดยต้นร่างประเด็นต่างๆ ประกอบด้วย 1) ระบบไฮดรอลิก 2) เครื่องยนต์ต้นกำลังขับเคลื่อน 3) ปั๊มคอนกรีตแบบลูกสูบ 4) ขนาดและน้ำหนักปั๊มคอนกรีต 5) ท่อคอนกรีตและข้อต่อต่างๆ 6) การติดตั้งข้อต่อ และอุปกรณ์จับยึด 7) การสื่อสารและบังคับควบคุมใช้งานปั๊มคอนกรีต 8) ความรู้และทักษะผู้บังคับปั๊มคอนกรีต 9) คอนกรีต 10) การขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จ 11) การล้างทำความสะอาดท่อคอนกรีต 12) การรื้อถอน 13) การแก้ไขปัญหาในภาวะฉุกเฉิน ผลการประเมินเป็นคะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ซึ่งจะทำให้การคัดเลือกเฉพาะประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากขึ้นไป

กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรในการวิจัยในครั้งนี้เป็นวิศวกร ช่างเทคนิค และฝ่ายสนับสนุนข้อมูลทางเทคนิค และงานขาย ซึ่งทำงานเกี่ยวกับการออกแบบ คำนวณ ติดตั้ง ตรวจ-ทดสอบ ซ่อม-บำรุงรักษา และรื้อถอนปั๊มคอนกรีต และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งมีคุณลักษณะเดียวกันกับประชากรในการวิจัย จำนวน 15 คน โดยเลือกจาก 1) บริษัท จีเทค อินเทอร์เน็ต จำกัด 2) บริษัท จีเทค คอนสตรัคชั่น เซอร์วิส จำกัด 3) ZOOMLION CO;LTD 4) Power Pump co;ltd 5) บริษัท พี เอส ที ทรานสปอร์ต แอนด์ เซอร์วิส จำกัด เพื่อทำการประเมินผลความเหมาะสมของผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร ซึ่งการประเมินความเหมาะสมนั้นจะพิจารณาประเมินให้น้ำหนักความคิดเห็นต่อประเด็นที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อความเป็นไปได้

ประเมินความเหมาะสมการศึกษาความเป็นไปได้

ในขั้นตอนของการประเมินความเหมาะสมความเป็นไปได้ในการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร จากแบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นต่อความเหมาะสมของความเป็นไปได้ของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยจำนวน 15 ท่าน ต่อประเด็นที่สำคัญซึ่งผลต่อความเป็นไปได้ในการยิงปั๊มคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร ผลการประเมินเป็นคะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยประเด็นที่มีความเหมาะสมจะต้องมีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากขึ้นไป โดยตรวจสอบความเหมาะสมด้วยสถิติ t-test ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.01$

คัดเลือกปั๊มคอนกรีต

ภายหลังทำการประเมินความเหมาะสมของการศึกษาความเป็นไปได้แล้ว ขั้นตอนต่อมาจะทำการคัดเลือกปั๊มคอนกรีตที่มีความเหมาะสมในการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร ได้ถูกประเมินแบบมาตรฐานประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับโดยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นวิศวกรเครื่องกลจำนวน 5 ท่าน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้อาศัยข้อมูลจากผู้ผลิตปั๊มคอนกรีตจากประเทศจีน ZOOMLION และความดันสูญเสียของคอนกรีตกำลังแรงสูง (High Strength Concrete) ขณะไหลผ่านท่อประมาณค่าดังนี้ (ZOOMLION, 2016)

กรณีท่อในแนวนอน (ราบ) 0.02 MPa/m.

กรณีท่อในแนวตั้ง 0.028 MPa/m.

ประเมินความสามารถของปั๊มคอนกรีตที่มีใช้งานในประเทศไทย

ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำผลการคัดเลือกปั๊มคอนกรีตที่มีความเหมาะสมของคุณลักษณะ (Specifications) ทั้งในส่วนหัวการะความดันและอัตราการไหล จากนั้นจึงนำปั๊มคอนกรีต (ผู้ผลิตและรุ่น) ที่มีใช้งานในประเทศไทยมาทำการศึกษาเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการยิงปั๊มคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร

ผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า การประเมินต้นร่างประเด็นต่างๆ ของการศึกษาความเป็นไปได้ 13 ประเด็น โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ซึ่งเป็นคะแนนแบบมาตรฐานประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยจะทำการคัดเลือกเฉพาะประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากขึ้นไป (3.5-4.49) พบว่ามี 5 ประเด็น คือ ประเด็นที่ 1, 2, 3, 5 และ 9 (ระบบไฮดรอลิก, เครื่องยนต์ต้นกำลังขับ, ปั๊มคอนกรีตแบบลูกสูบ, ท่อคอนกรีตและข้อต่อต่างๆ และคอนกรีต) เท่านั้นที่ผ่านการคัดเลือก ทั้งนี้เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญจะพิจารณาประเมินให้น้ำหนักความคิดเห็นต่อประเด็นที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อความเป็นไปได้ (รายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินประเด็นต้นร่างต่างๆ ของการศึกษาความเป็นไปได้

ความเป็นไปได้ในประเด็นต้นร่างต่างๆ	S.D.	$\bar{X}$
1. ระบบไฮดรอลิก	0.89	3.60
2. เครื่องยนต์ต้นกำลังขับ	0.45	3.80
3. ปั๊มคอนกรีตแบบลูกสูบ	1.14	3.40
4. ขนาดและน้ำหนักปั๊มคอนกรีต	0.84	2.20
5. ท่อคอนกรีตและข้อต่อต่างๆ	1.30	3.80
6. การติดตั้งท่อ ข้อต่อ และอุปกรณ์จับยึด	1.30	3.20
7. การสื่อสารและบังคับควบคุมใช้งานปั๊มคอนกรีต	1.48	2.80
8. ความรู้และทักษะผู้บังคับปั๊มคอนกรีต	0.45	3.20
9. คอนกรีต	0.84	3.80
10. การขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จ	0.71	2.00
11. การล้างทำความสะอาดท่อคอนกรีต	1.52	3.40
12. การรื้อถอน	1.30	2.80
13. การแก้ไขปัญหาในภาวะฉุกเฉิน	1.30	2.80

และผลการประเมินการศึกษาความเป็นไปได้ในการยิงคอนกรีตคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร ในแต่ละประเด็นมีรายละเอียดในภาพรวมดังนี้ คือ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 0.17 ค่าเฉลี่ย 3.92 ส่วนรายละเอียดปลีกย่อยของประเด็นความเป็นไปได้ต่างๆ ดังแสดงตามตารางที่ 3 ซึ่งจากแบบสัมภาษณ์ในส่วนของการแสดงความคิดเห็นพบว่ามีข้อคิดเห็นเพิ่มเติมในแต่ละประเด็นที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

1. ระบบไฮดรอลิก

1.1 ปัมไฮดรอลิกชนิดหลายลูกสูบและปรับอัตราการไหลและความดันได้ มีความเหมาะสมเป็นไปได้นี้เนื่องจากง่ายต่อการควบคุมวงจรไฮดรอลิก อีกทั้งยังทนทานต่อการใช้งาน ส่วนขนาดของปัมไฮดรอลิกยังสามารถผลิต-สร้างหรือเลือกซื้อมาติดตั้งให้เหมาะสมกับขนาดเครื่องยนต์ันกำลังขับ ซึ่งสอดคล้องกับสมการ

$$\text{Power}_{\text{hyd.}} = \gamma h Q = P Q$$

$$\text{Power}_{\text{engine}} = 2 \pi T n$$

1.2 ชนิดของวงจรระบบไฮดรอลิกแบบ Closed Hydraulic Circuit มีจุดเด่นตรงที่เริ่มทำงานได้รวดเร็ว แต่ระบบระบายความร้อนจะต้องดีหากต้องทำงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานๆ หรือติดตั้งใช้งานในบริเวณที่มีการถ่ายระบายอากาศได้ดีหรือมีน้ำเพียงพอต่อระบบระบายความร้อนในกรณีที่ต้องการเพิ่มเติม

1.3 ความเร็วรอบหมุนขับปัมไฮดรอลิกต้นกำลังขับที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับกราฟสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ันกำลังขับ (Performance Curve) ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับค่าแรงบิดสูงสุด กำลังแรงม้าสูงสุด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จุดทำงานที่เหมาะสมบนกราฟสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ันกำลังขับ ค่าอัตราการสึกหรอ ณ ตำแหน่งความเร็วรอบต่างๆ ฯลฯ

1.4 ความดันทำงานระบบไฮดรอลิก (working Pressure) ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลโดยตรงกับแรง ความดัน และกำลังของฟ้ง (ด้าน) ปัมคอนกรีตแบบลูกสูบ ซึ่งแสดงได้ดังสูตรคำนวณ

$$F_{\text{concrete piston}} = F_{\text{hyd. rod}} = P_{\text{hyd.}} * A_{\text{rod}}$$

1.5 เทคโนโลยีวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันพัฒนาดีขึ้นมาก ดังนั้นจึงไม่ปัญหา

1.6 การระบายความร้อน ซึ่งต้องสอดคล้องกับประเด็นชนิดของวงจรระบบไฮดรอลิก

1.7 ขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (Rod Area) ซึ่งจะสอดคล้องกับประเด็นความดันทำงานระบบไฮดรอลิก (working Pressure) โดยหากเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบก็ย่อมจะส่งผลให้แรงทางฟ้งก้านสูบหรือลูกสูบ (Piston) ปัมคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น

2. เครื่องยนต์ันกำลังขับ หากเลือกใช้ 2 เครื่องยนต์ันกำลังขับก็จะให้ยืดหยุ่นต่อการทำงาน เช่น การยิงคอนกรีตในช่วงเริ่มต้นโครงการ และมีความน่าเชื่อถือของระบบสูง

3. ปัมคอนกรีตแบบลูกสูบ

3.1 ความดันทำงานฟ้งปัมคอนกรีต (working Pressure) ในการเพิ่มค่าความดันทำงานฟ้งปัมคอนกรีตนั้นสามารถกระทำได้โดยเพิ่มค่าความดันฟ้งระบบไฮดรอลิก และ/หรือ เพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (Rod Area) และ/หรือ ลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (Piston Area)

3.2 ขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (Piston Area) หากมีการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบก็ย่อมจะส่งผลให้ค่าความดันทำงานฝั่งปั๊มคอนกรีต (working Pressure) มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 3 ผลประเมินการศึกษาความเป็นไปได้ประเด็นต่างๆ ในการยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร

ประเด็นต่างๆ	S.D.	$\bar{X}$
1. ระบบไฮดรอลิก		
1.1 ชนิดและขนาดปั๊มไฮดรอลิกต้นกำลังขับ	0.88	4.07
1.2 ชนิดวงจรระบบไฮดรอลิก (Opened / Closed Hydraulic Circuit)	0.88	3.93
1.3 ความเร็วรอบหมุนขับปั๊มไฮดรอลิกต้นกำลังขับ	0.86	3.80
1.4 ความดันทำงานระบบไฮดรอลิก (working Pressure)	0.92	3.87
1.5 เทคโนโลยีวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ	1.03	3.73
1.6 การระบายความร้อน	0.99	4.13
1.7 ขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (Rod Area)	1.05	3.67
2. เครื่องยนต์ต้นกำลังขับ		
2.1 จำนวนเครื่องยนต์ดีเซล 1 เครื่อง	0.92	3.87
2.2 จำนวนเครื่องยนต์ดีเซล 2 เครื่อง	0.96	4.07
3. ปั๊มคอนกรีตแบบลูกสูบ		
3.1 ความดันทำงานฝั่งปั๊มคอนกรีต (working Pressure)	0.96	3.73
3.2 ขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (Piston Area)	0.86	4.20
3.3 ค่าความเร็วแล่นคอนกรีตที่เหมาะสมกับขนาดท่อ	0.83	3.87
3.4 ค่าอัตราการไหลคอนกรีตที่ต้องการ	0.88	3.93
4. ท่อคอนกรีตและข้อต่อต่างๆ		
4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	0.88	3.93
4.2 ความหนาผนังท่อ	0.80	4.07
4.3 เทคโนโลยีวัสดุที่ใช้ทำท่อและข้อต่อ (ท่อเหล็กกล้า-ท่อผนัง 2 ชั้น-ทังสแตนคาร์ไบด์)	1.06	4.13
5. คอนกรีต		
5.1 คอนกรีตกำลังอัดสูงกว่า 800 ksc.	0.92	4.13
5.2 คอนกรีตรับแรงเร็ว / แข็งตัวเร็ว	1.13	3.87
5.3 คอนกรีตความร้อนต่ำ	0.86	3.80
5.4 คอนกรีตความหนืดต่ำ	1.16	3.93
5.5 หินและทรายในคอนกรีตที่สร้างอัตราการสึกหรอให้กับท่อส่งคอนกรีตต่ำ	0.83	3.60
ค่าเฉลี่ย	0.17	3.92

4. ท่อคอนกรีตและข้อต่อต่างๆ จะต้องมีความหนาเพียงพอต่อการทนต่อความดันและการสึกหรอ
5. คอนกรีต จะต้องมีความแข็งแรงให้กำลังอัดสูงกว่า 800 ksc. สามารถรับแรงเร็วหรือแข็งตัวเร็ว ในกรณีที่คอนกรีตมีความหนาหลายๆ จะต้องมีความร้อนต่ำที่ใจกลางต่ำ มีความหนืดต่ำขณะไหลเท และหินและทรายที่ใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตนั้นสร้างอัตราการสึกหรอให้กับท่อส่งคอนกรีตต่ำ

ตารางที่ 4 แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยและร้อยละของการแสดงความคิดเห็นในประเด็นที่ 3.2

	N	ΣX	$\bar{X}$	ร้อยละ
ความคิดเห็น	15	63	4.2	84.0
เกณฑ์ความเหมาะสม	15	52.5	3.5	70.0

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างความคิดเห็นกับเกณฑ์ความเหมาะสม

	N	ΣX	ΣD	ΣD^2	t
เกณฑ์ความเหมาะสม	15	3.5	10.5	17.75	3.15**
ความคิดเห็น	15	4.2			

จากผลการหาค่าเฉลี่ยและร้อยละของการแสดงความคิดเห็นในประเด็นที่ 3.2 ขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (Piston Area) พบว่าค่าความคิดเห็นคิดเป็นร้อยละ 84 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง โดยค่าเฉลี่ยของความคิดเห็นมีค่า 4.2 (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4) ในส่วนของความเหมาะสมของความคิดเห็น จากสถิติ t-test พบว่ามีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งค่าดังกล่าวได้จากการเปรียบเทียบกันระหว่างเกณฑ์ความเหมาะสมที่ตั้งกำหนดไว้กับค่าความคิดเห็นต่อความเหมาะสมในประเด็นที่ 3.2 (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5)

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณหัวภาวบรวมเพื่อคัดเลือกปั๊มคอนกรีต

หัวภาวต่าง ๆ		Pipe Equi.	MPa	%
1. Vert. Bend 90°	1 ตัว	9 m.		
2. End Hose	1 เส้น	18 m.		
ความยาวท่อเทียบรวม		27 m.	0.54	2.31%
3. Vertical Pipe	500 m.		14	59.98%
4. Level Pipe on Ground	0.2 km.		4	17.13%
5. S-tube	1 ตัว		2	8.56%
6. Gate Valve	1 ตัว		2.8	11.99%
หัวภาวรวม			23.34	100%
หัวภาวรวมเผื่ออีก 30%			30.34	

หมายเหตุ : สูตรในการคำนวณเพื่อประมาณค่าความสูงที่ปั๊มคอนกรีต ZOOMLION ที่สามารถยิงคอนกรีตขึ้นไปในแนวตั้ง

$$L = \frac{\frac{P - 2}{0.0135} - 129}{5.15}$$

ตารางที่ 7 ผลการประเมินความสามารถของปั๊มคอนกรีตที่มีใช้งานในประเทศไทย

ZOOMLION HBT105-21-264S	MPa	m
1. ค่าความสามารถในการสร้างหัวความดัน	21	
2. ค่าความสูงมากที่สุดที่สามารถยิงคอนกรีตขึ้นที่สูงในแนวตั้ง		248.23

ส่วนผลการคำนวณหัวภาวรวม (Total Head Loss) ในการติดตั้งปั๊มคอนกรีตแบบลูกสูบเพื่อยิงคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร เป็นผลให้ปั๊มคอนกรีตต้องสร้างความดันถึง 23.34 MPa รายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 6 และผลการคัดเลือกปั๊มคอนกรีต ZOOMLION จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน (S.D 0.86 $\bar{X}$ 4.23) ปั๊มคอนกรีตที่เหมาะสมเป็นรุ่น HBT90-48-572RS ซึ่งมีใช้งานในต่างประเทศเท่านั้น โดยปั๊มคอนกรีตสามารถสร้างความดันได้ 48 MPa หรือยิงคอนกรีตขึ้นไปได้สูง 636 เมตร ซึ่งตอบสนองความต้องการของการศึกษาความเป็นไปได้ในครั้งนี้ ส่วนผลการประเมินความสามารถของปั๊มคอนกรีต ZOOMLION HBT105-21-264S ซึ่งมีใช้งานในประเทศไทยพบว่าปั๊มคอนกรีตสามารถสร้างความดันได้เพียง 21 MPa หรือยิงคอนกรีตขึ้นไปได้สูงเพียง 248.23 เมตร ซึ่งน้อยกว่า 500 เมตร จึงยังไม่ตอบสนองความต้องการของการศึกษาความเป็นไปได้ในครั้งนี้ (รายละเอียดดังแสดงตามตารางที่ 7)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าการประเมินต้นทุนการประเดิมต้นร่างประเด็นต่างๆ ของการศึกษาความเป็นไปได้พบว่ามีเพียง 5 ประเด็นที่เท่านั้นที่อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมมากขึ้นไป คือ ประเด็นระบบไฮดรอลิก, เครื่องยนต์ต้นกำลังขับ, ปัมคอนกรีตแบบลูกสูบ, ท่อคอนกรีตและข้อต่อต่างๆ และคอนกรีต และผลการประเมินการศึกษาความเป็นไปได้ในการยิงคอนกรีตคอนกรีตขึ้นอาคารสูง 500 เมตร ภาพรวมของทุกๆ ประเด็นมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 0.17 ค่าเฉลี่ย 3.92 โดยประเด็นหลักที่ 3) ปัมคอนกรีตแบบลูกสูบ ประเด็นย่อยที่ 3.2) ขนาดพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (Piston Area) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 0.86 ค่าเฉลี่ย 4.2 และมีความเหมาะสมตามเกณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นประเด็นที่สำคัญส่งผลโดยตรงต่อความเป็นไปได้ในการยิงปัมคอนกรีตขึ้นอาคารสูงถึง 500 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการสร้างและพัฒนาปัมคอนกรีตของผู้ผลิตปัมคอนกรีตส่วนใหญ่ ส่วนผลการคำนวณหัวการะรวม (Total Head Loss) มีค่าหัวการะความดันเมื่อ 23.34 MPa โดยปัมคอนกรีตที่มีความเหมาะสมคือ ZOOMLION HBT90-48-572RS และผลการประเมินความสามารถปัมคอนกรีต ZOOMLION HBT105-21-264S ซึ่งมีใช้งานในประเทศไทย พบว่าปัมคอนกรีตไม่สามารถสร้างความดันได้เพียงพอ จึงยังไม่ตอบสนองความต้องการของการศึกษาความเป็นไปได้ในครั้งนี้ ดังนั้นจึงควรพิจารณาปัมคอนกรีตรุ่นที่มีสมรรถนะความสามารถสูงกว่าที่มีใช้งานทั่วๆ ไปในประเทศไทยในปัจจุบัน ตลอดจนแนวทางการสร้างและพัฒนาปัมคอนกรีตของผู้ผลิตรายต่างๆ เช่น Putzmeister, Schwing ฯลฯ จะใช้แนวทางปรับปรุงความดันระบบไฮดรอลิกให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น หรือลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปัมคอนกรีตลงอีก ๆ นอกจากนี้หากคอนกรีตที่ใช้ในงานที่สูงมากกว่า 500 m. ก็ยังจะสร้างหัวการะความดันมากขึ้นไปอีก จึงควรให้ความสำคัญตรงจุดนี้เพิ่มขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะ

ในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 15 คน สามารถที่จะเก็บเพิ่มขึ้นได้อีกหากมีการจัดทำและจัดเก็บฐานข้อมูลผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มอาชีพที่เกี่ยวข้องกับงานลำเลียงคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงค่อนข้างมีจำนวนจำกัดมีผู้ปฏิบัติงานค่อนข้างน้อยและกระจายตัว และหากมีการประสานงานที่ดีระหว่างหน่วยงานที่ต้นสังกัดของกลุ่มตัวอย่างกับเครือข่ายของผู้วิจัย เพื่อที่จะได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างในจำนวนที่มากขึ้น อันจะทำให้งานวิจัยมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ส่วนในโอกาสต่อไปควรวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้อื่นๆ เช่น การศึกษาความเป็นไปได้ในการยิงปัมคอนกรีตได้สูงถึง 1 กิโลเมตร ฯลฯ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านผู้บริหาร ผู้จัดการ วิศวกร ตลอดจนพนักงานบริษัท จีเทค คอนสตรัคชั่น เซอร์วิส จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เอกสารและข้อมูล ตลอดจนเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงมหาดไทย. (2522). พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. กรุงเทพฯ : กระทรวงมหาดไทย.
- โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ. (2549). การใช้ปั้นจั่นและเครนอย่างปลอดภัย. เทคนิคไฟฟ้า-เครื่องกล-อุตสาหกรรม, 23 (268), 151-52.
- โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ. (2549). การใช้รถยกอย่างปลอดภัย. เทคนิคไฟฟ้า-เครื่องกล-อุตสาหกรรม, 23 (269), 153-155.

- โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ. (2548). คู่มือการฝึกอบรมเรื่องความปลอดภัยสำหรับปั๊มคอนกรีต. กรุงเทพฯ : บริษัท เทอมอล แอนด์ ทรานส์มิชชั่น แมชชีน.
- โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ. (2550). อุบัติเหตุที่เกิดจากการใช้งานรถเครน. MECHANICAL TECHNOLOGY MAGAZINE, 6 (76), 81-83.
- โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ. 2559. การออกแบบระบบลำเลียงขนถ่ายชนกรีตสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูง. การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 9. 24-25 พฤศจิกายน 2559 ณ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ. (2559). ทำอย่างไร? ถึงจะยิง Pump Concrete ได้สูง 1 กิโลเมตร. การออกแบบและการก่อสร้างอาคารสูงในประเทศไทย, 27 พฤศจิกายน 2559 อิมแพค เมืองธานี, กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.
- โชคชัย อลงกรณ์ทักษิณ. 2560. การออกศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบลิฟท์ที่ใช้ทั้งขนส่งวัสดุและโดยสารชั่วคราวสำหรับงานก่อสร้างอาคารสูงถึง 1 กิโลเมตร. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 12. 15-17 กุมภาพันธ์ 2560 ณ โรงแรม Regent Cha-am Beach Resort. เพชรบุรี : สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.
- ซีแพค บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด. (2559). การเทฐานรากคอนกรีต 13,000 ลบ.ม. ในครั้งเดียว. การออกแบบและการก่อสร้างอาคารสูงในประเทศไทย, 27 พฤศจิกายน 2559 อิมแพค เมืองธานี, กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.
- ดุยโชติ ชลศึกษ์. (2555). การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- นิพนธ์ ลักขณาอดิศร. (2554). ปั๊มคอนกรีต. TPA news, 171 (March 2011), 43-44.
- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2550). การบริหารงานอาชีวอนามัยและความปลอดภัย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- วิฑูรย์ สิมะโชคดี และวีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์. (2543). วิศวกรรมและการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- อินทรีปูนซีเมนต์นครหลวง. (2558). อินทรีคอนกรีต. กรุงเทพฯ : บริษัท นครหลวงคอนกรีต จำกัด.
- อินทรีปูนซีเมนต์นครหลวง. (2559). นวัตกรรมผลิตภัณฑ์. 17 มิถุนายน 2559.
<http://www.siamcitycement.com>.
- American Concrete Pump Association. (2011). Certified Operator Study Guide : Guidelines for The Safe Operation of Concrete Pumps. USA : American Concrete Pump Association.
- ASME. (2014). ASME B.30.27-2014 : American National Standard for Concrete Pump. USA : ASME.
- BASF. (2016). MASTER BUILDERS. Thailand : BASF.
- Bergeron, B. (editor). (2003). Essentials of Knowledge Management. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- CIFA. (2016). Truck Mounted Concrete Boom Pump : K42L. Italy : CIFA.
- Concreting Mechanics. (2559). Concrete Pump Applications. 17 มิถุนายน 2559.
<http://www.p3planningengineer.com>.

- Cornwall Concrete Pump. (2016). Static Concrete Pumping Cornwall. 7 มิถุนายน 2559. <http://www.cornwallconcretepumping.co.uk>.
- Dalkir, K. (2005). Knowledge Management in Theory and Practice. USA : Elsevier.
- Ilic, D. (2012). Knowledge Transfer. New York : Nova Science Publishers, Inc.
- Putzmeister. (1994). Operating Instructions. Germany : Putzmeister.
- Putzmeister. (2014). BSA SERIES. Germany : Putzmeister.
- SCHWING. (2015). Operating Instructions : KVM 32 BPL 900 HDRM. Germany : SCHWING.
- SCHWING. (2015). SP 4800/SP 8800 Stationary Concrete Pumps. Germany : SCHWING.
- Sika. (2016). ViscoCrete Technology. Thailand : Sika.
- Thinkofliving. (2559). Landmark Waterfront. 17 มิถุนายน 2559. <http://www.thinkofliving.com>.
- Yaqub M and other. (2005). Development of Mix Design for Pump Concrete Using Local Material. Singapore : CI-Premier PTE. LTD. and Singapore Concrete Institute.
- ZOOMLION. (2011). Operation and Maintenance Manual of Concrete Placing Boom (For both pipe column type and special type). China : ZOOMLION.
- ZOOMLION. (2012). Operation and Maintenance Manual of Truck-mounted Concrete Pump. China : ZOOMLION.
- ZOOMLION. (2013). The Maintenance Manual of Concrete Truck Mixer. China : ZOOMLION.
- ZOOMLION. (2014). Spare Parts Manual of ZOOMLION 38X-5RZ Concrete Boom Pump. China : ZOOMLION.
- ZOOMLION. (2015). Spare Parts Manual of ZOOMLION 40X-5RZ Concrete Boom Kit. China : ZOOMLION.
- ZOOMLION. (2016). How to choose trailer pump for customer. China : ZOOMLION.