การปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อติดตั้งสตัทฝังในโครงสร้างเสาคอนกรีต
Work process improvement of anchor bolt installation in concrete columns

เทพศักดิ์ ศศิสุวรรณ*, อสุธารณ์ แก้วกิติชัย, สิทธิชัย รัชยศโยธิน
Thapsak Sasisuwan*, Asutharn Keokitichai, Sitthichai Ruchayosyothin

Received: 15 February 2022 ; **Revised**: 23 May 2022 ; **Accepted**: 9 June 2022

บทคัดย่อ
การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต (Anchor Bolt) เป็นเหล็กเส้นรูปตัวอักษรเจ มีปลายด้านหนึ่งเป็นเกลียวไว้ยึดนัท เพื่อยึดแน่นและติดตั้งโครงสร้างเสาโดยพิจารณาจากการวัดผลทางประสิทธิภาพการทำงานรวม ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับ 3 ตัวชี้วัดในการทำงาน ได้แก่ อัตราการทำงาน ประสิทธิภาพการทำงาน และอัตราคุณภาพ เมื่อทำการโดยออกแบบและพัฒนากระบวนการโดยใช้ตัวจับยึดที่ช่วยสนับสนุนการติดตั้งชิ้นส่วนในการจับยึดโครงสร้างและควบคุมระยะคลาดเคลื่อนดังกล่าว 3 แกน คือ แนวการเคลื่อนตัวในทิศทางองค์ประกอบของระนาบฐานและระดับความสูง โดยอุปกรณ์ช่วยจับยึดดังกล่าวสามารถลดเวลาในการปรับตำแหน่งการวางตัวในตำแหน่งตามมาตรฐานที่กำหนด ผลการปรับปรุงพบว่าการติดตั้งโครงสร้างเสาขนาดหน้าตัด 36 ตารางเซนติเมตร และมีความสูง 20 เมตร จำนวน 1 เสา ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 22 นาทีต่อต่อเสาโครงสร้างเมื่อทำการเปรียบเทียบการทำงานก่อนและภายหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่าระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีระยะลดลง ร้อยละ 45 หลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน ทำให้อัตราทำงาน (A) เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ประสิทธิภาพการทำงาน (P) เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 อัตราคุณภาพ (Q) เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานรวม (OEE) เพิ่มขึ้นร้อยละ 11 ค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) เพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุงที่ระดับ 1.14 และหลังปรับปรุงที่ระดับ 2.22 ซึ่งมีผลต่อการลดต้นทุนในการดำเนินการได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต ประสิทธิภาพการทำงานรวม อุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึด

Abstract
This research aims to improve J-type Anchor bolt installation in the column structure process. Determining the impact of the joining process on those Anchor bolts and column bases, the work was concerned with the Overall Equipment Effectiveness (OEE) data. Three major process indicators corresponded to the scale of OEE ; Availability, Performance, and Quality rate. The use of jig and fixture has been a well-established approach to control the column base within the standard position. All of the control points have been measured on the 3D axis, as 2D in the support plane and the vertical level of the column base. Consequently, the problem of downtime loss due to the adjustment of column base position was decreased. Complete one job installation of a column with 36 CM^2 cross-section and 20m of the height, took an averaged-cycle time of 22 minutes. Also, the before and after improvement of the process were compared resulting to an increase in the rate of the first right job by 45 percent. Availability increased by 4%, Performance increased by 5%, Quality rate increased by 4%. resulting in an overall equipment effectiveness increase of 11%, and the Process Capability Index (C_p) was increased from 1.14 to 2.22 leading to suitable operating costs.

Keywords: Anchor bolts setting, overall equipment effectiveness, Jig

[1] สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย
[1] School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat University,Nonthaburi,Thailind
* Corresponding author ; e-mail address: dongdoog@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการทำงานในงานสำหรับการติดตั้งโครงสร้างของอาคารในรูปแบบโครงถักด้วยวัสดุเหล็กเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยมีงานฐานราก (Foundation) ถือเป็นจุดที่สำคัญในงานโยธาและติดตั้งเครื่องจักรทุกชนิด (ณัฐพงศ์ มกระธัช และยศพงศ์ วงศ์ระวีกุล, 2556) ตลอดจนงานโครงถักชิ้นส่วนชนิดเหล็ก โดยงานฐานรากของงานโครงถักชนิดเหล็กนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือ งานคอนกรีตชนิดเสริมเหล็ก ส่วนที่สอง คือ งานคอนกรีตฝังยึดด้วย สตัทฝังในคอนกรีต โดยเนื้อหาของงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงงานฐานรากในส่วน สตัทฝังในคอนกรีต ซึ่งใช้พื้นฐานรากของโครงสร้างหลังคาโครงงาน

โดยเนื้อหาของงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงงานฐานรากในส่วนสตัทฝังในคอนกรีต ซึ่งใช้พื้นฐานรากของละเอียดและมีความแม่นยำที่สูงเพื่อใช้ในการปรับระดับของฐานรากให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดหากระดับความสูงของ สตัทฝังในคอนกรีต มีระยะที่ผิดพลาดจะเป็นผลทำให้เกิดปัญหากับระยะของโครงสร้างเสาที่คลาดเคลื่อนผิดเพี้ยนไปจากแบบแปลนการก่อสร้าง จนส่งผลกระทบเกี่ยวเนื่องทำให้โครงสร้างอาคารมีตำแหน่งผิดเพี้ยนไปทุกๆ จุด หากการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต มีระดับต่ำกว่าค่าที่กำหนดจะส่งผลให้การขันยึดด้วยนัท เพื่อยึดกับเกลียวสตัท ไม่สามารถทำได้เนื่องจากระยะเกลียวสั้นจนไม่สามารถขันนัทยึดแผ่นเพลทกับโคนเสาได้

อีกปัญหาหนึ่งในการทำงานสตัทฝังในคอนกรีต คือ กระบวนการทำงาน และขั้นตอนการทำงาน ที่มีความยุ่งยากมีข้อจำกัดที่เป็นอุปสรรค เช่น การปรับตั้งระดับของสตัทต้องยึดเกาะกับเหล็กโครงสร้างเสาปูน ซึ่งการจะยึดเกาะได้อย่างแข็งแรงนั้น ต้องทำการเชื่อมสตัทฝังในคอนกรีตติดกับเหล็กโครงสร้างเหล็กเสริมแรงเสาปูนในขณะการใช้ลวดเชื่อมความร้อนสูงเชื่อมสตัทฝังในคอนกรีต กับเหล็กโครงสร้างเหล็กเสริมแรงเสาปูน จะทำให้ทั้งสตัทฝังในคอนกรีตและเหล็กโครงสร้างเสาปูนเสียโครงสร้างในการรับแรงภายในตัวเหล็กเนื่องจากเกิดความเค้นเนื่องจากความร้อนขึ้น จึงต้องมีการหาวิธีแก้ไขและวิธีการทำงานแบบใหม่เพื่อปรับปรุงกระบวนการการทำงานที่เกิดข้อเสียหายนี้ ไม่ว่าจะเป็นการมัดสตัทฝังในคอนกรีตด้วยลวดผูกเหล็ก หรือการมัดเหล็กปลอกเข้ากับโครงสร้างเสาปูนแล้วทำการเชื่อมสตัทฝังในคอนกรีตเข้ากับเหล็กปลอกแต่วิธีการที่กล่าวมาทั้งสองวิธีนี้ยังมีข้อบกพร่องหลังจากเทคอนกรีตฝังสตัทฝังในคอนกรีต เมื่อเกิดการแข็งตัว จะมีความคลาดเคลื่อน ทั้งตำแหน่งและระดับความสูงของตัว สตัทผิดพลาด ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบกับคุณภาพของงานติดตั้งโครงสร้างเหล็กตามมา รวมถึงขั้นตอนการทำงาน เวลาการทำงานที่มีความยุ่งยากหลายขั้นตอน เวลาการทำงานต่อหนึ่งสถานีการทำงานใช้เวลามากกว่าแบบเดิม (พงษ์ณัฐจ์ สุทธิกุลสมบัติ และปณัทพร เรืองเชิงชุม ,2563) จึงเป็นที่มาของงานวิจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการและขั้นตอนการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพงานสตัทฝังในคอนกรีต ซึ่งจะช่วยปรับปรุงแก้ไขในเรื่องของขั้นตอนการทำงาน เวลาการทำงาน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานหลังจากทำการปรับปรุง

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การทดลองครั้งนี้ออกแบบเพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงกระบวนการทำงาน และหาค่าประสิทธิภาพโดยรวมของการทำงานติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต ฝังคอนกรีตเริ่มทำการวิจัยทดลองกับกลุ่มตัวอย่างสัปดาห์แรกของเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 สิ้นสุดการเก็บตัวอย่างทดลองสัปดาห์ที่สุดท้ายของเดือนกันยายนพ.ศ.2564 แบ่งประชากรทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มที่ตัวอย่างทดลอง 133 ตัวอย่าง โดยจะใช้ตัวชี้วัดผลเปรียบเทียบ 2 ประการคือ1คุณภาพงาน 2ประสิทธิภาพการทำงานรวม อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่1จะใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตแบบเชื่อมยึดติดกับโครงสร้างเหล็กในเสาปูน โดยใช้เทคนิคการเชื่อมแบบไฟฟ้า ซึ่งใช้ผู้ปฏิบัติงาน 3 คน ดัง Figure 1

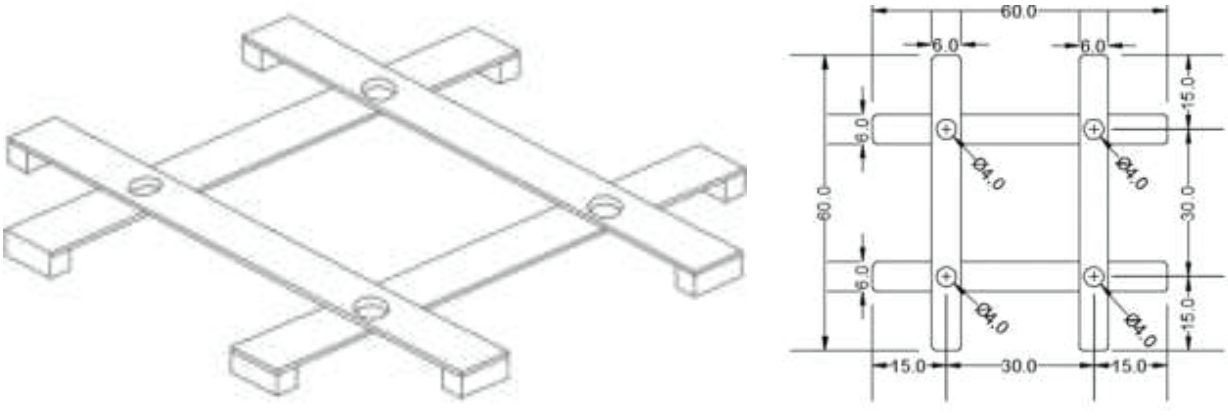
Figure 1 The setting anchor bolts use the electric welding cabinet. (before improving the work process.)

กลุ่ม 2 จะใช้อุปกรณ์ในการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตแบบจุ่มอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึดซึ่งได้ทำการออกแบบนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ โดยมีรูปแบบของอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึด ดัง (Figure 3) รวมถึงผู้ช่วยในการวิจัยขั้นตอนการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต หลังปรับปรุงขบวนการ 2 คนโดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียม อุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง และจับยึดประกอบเข้ากับสตัทฝังในคอนกรีต Figure 2 (a1) ขั้นตอนต่อมาทำการตรวจสอบระยะขอบแบบเสาปูนให้ถูกต้องก่อนทำการติดตั้งกับสตัทฝังในคอนกรีต Figure 2 (a2) ทำการจุ่มลงในแบบเสาคอนกรีตหลังจากปูนแข็งตัว Figure 2 (a3) ทำการตรวจวัดค่าระยะ Figure 2 (a4) เขียนค่าความคลาดเคลื่อนไว้บนหัวเสา Figure 2 (a5) แล้วทำการจดบันทึกข้อมูล Figure 2 (a6)

(a1) (a2) (a3)

(a4) (a5) (a6)

Figure 2 Anchor bolts setting use jig.



(b1) (b2)

Figure 3 Jig design

การทดลองครั้งนี้เริ่มทำการทดลองพร้อมกันกับโครงการก่อสร้างที่มีสภาพปัจจัยแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันทั้งสภาพพื้นที่การทำงานลักษณะเฉพาะของงาน เริ่มทำการเก็บข้อมูลจากการทำงานสตัทฝังในคอนกรีตก่อนมีการปรับปรุงกระบวนการทำการเก็บข้อมูลเรื่องของเวลาที่ใช้ในการทำงาน จำนวนแรงงานที่ใช้ในการทำงาน และคุณภาพงานหลังจากการทำงานกับกลุ่มตัวอย่างทดลองที่ 1 เริ่มทำการเก็บข้อมูลจากการทำงานสตัทฝังในคอนกรีตฝังคอนกรีตภายหลังจากการปรับปรุงกระบวนการทำการเก็บข้อมูลเรื่องการศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำงาน จำนวนแรงงานที่ใช้ในการทำงาน และตัวชี้วัดคุณภาพงาน (พิพัฒพงษ์ เพ็ญศิริ และสิทธิพร พิมพ์สกุล, 2558) หลังจากการทำงานกับกลุ่มตัวอย่างทดลองที่ 2 ดำเนินการเก็บข้อมูลการทดลอง ดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลโดยใช้แผนภูมิควบคุมทดสอบคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทดลองโดยจะทำการเปรียบเทียบและประเมินผล การทดลองออกเป็นสองส่วน

ส่วนที่หนึ่งประเมินเรื่องเวลาและขั้นตอนการทำงานโดยจะใช้หลักการการวิเคราะห์ขั้นตอนในการปรับปรุงกระบวนการ การทำงาน (ECRS) ในการปรับปรุงกระบวนการในการทำงาน ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานโดยการตัดสิ่งที่ไม่จำเป็นในการทำงานในระบบ (Elimination) การหาวิธีรวมงานเข้าด้วยกันเพื่อประหยัดเวลา (Combination) การจัดเรียงลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่เพื่อให้เกิดความง่าย (Rearrangment) และ การปรับปรุงวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้นเพื่อลดวิธีการทำงาน (Simplification) โดย 4 ขั้นตอนนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบว่าปัจจัยใดที่เป็นสาเหตุหลักส่งผลต่อการสูญเสีย เพื่อก่อให้เกิดมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงในกระบวนการทำงาน ผลของการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงทำให้ประสิทธิผลในการทำงาน ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการส่งผลอย่างไร เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนา (มงคล กิตติญาณขจร และคณะ, 2562) และใช้เทคนิคการประเมินผลและทบทวนโครงการดำเนินการการวิเคราะห์ข่ายงาน PERT มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิถีวิกฤตของโครงการ ขั้นตอนการวิเคราะห์ข่ายงานประกอบด้วย การแยกประเภทงาน (Job breakdown) เป็นขั้นตอนการแบ่งหมวดหมู่ของกิจกรรมต่างๆ ที่จำเป็นต้องทำในโครงการทั้งหมดว่ามีกิจกรรมอะไรบ้างที่ต้องทำ มีความสัมพันธ์กันอย่างไร กิจกรรมใดต้องทำก่อน กิจกรรมใดต้องทำหลัง การประมาณการเวลาของกิจกรรม (Activity time estimation) เป็นการประมาณการเวลาที่ต้องใช้ทำแต่ละกิจกรรมโดยอาศัยผู้ชำนาญงาน สำหรับข่ายงาน (กาญจนา จำนงค์นารถ และสุนีรัตน์ กุศลาศัย, 2562)

ส่วนที่สองประเมินเรื่องคุณภาพของงานโดยใช้ค่าอัตราความสามารถของกระบวนการมาทำการชี้วัด ซึ่งความสามารถของกระบวนการในการทดลอง เป็นการ วิเคราะห์แหล่งที่มาของความผันแปรที่เกิดขึ้นใน กระบวนการผลิต ซึ่งเป็นการพิจารณาจากแหล่งความผัน แปรที่เกิดจากการวัดค่าของข้อมูลจากตัวอย่าง การวัด ความสามารถของกระบวนการจะมีความสามารถหรือไม่ นั้นขึ้นอยู่กับค่าตัวเลขที่ได้จากขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง (สุรพงศ์ บางพาน, 2559) โดยกำหนดค่า USL คือ ค่ากำหนดมาตรฐานด้านบน LSL คือค่ากำหนดมาตรฐานด้านล่าง UCL คือค่าแสดงสภาวะปกติของข้อมูลด้านบน LCL คือค่าแสดงสภาวะปกติของข้อมูลด้านล่าง (วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, 2552) เป็นค่าทางวิศวกรรมที่ได้มาจากการคำนวณโดยหาได้จาก (DeWolf & Bieker, 1990) ตำแหน่ง m และ n ดัง Figure 4

$$m = \frac{(N - xb)}{2} \quad (1) \qquad n = \frac{(B - yd)}{2} \quad (2)$$

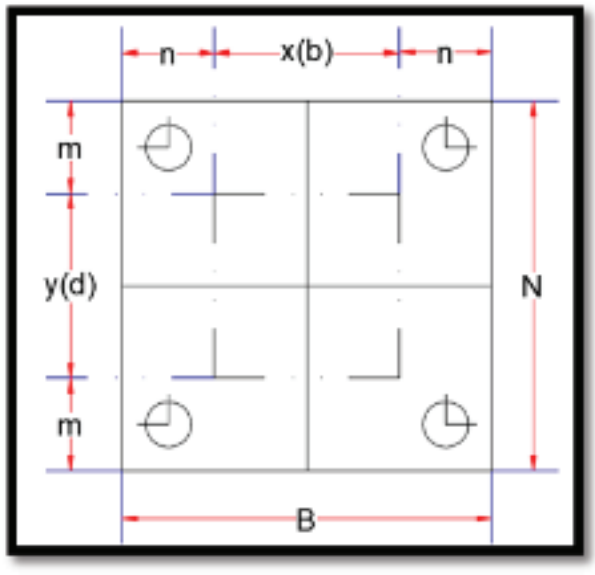


Figure 4 Column base plate dimension design

ประสิทธิภาพการทำงานรวมทั้งหมดของกระบวนการโดยใช้วิธีการหาค่าประสิทธิผลโดยรวมในการทำงาน (OEE) มาทำการเปรียบเทียบกระบวนการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการและหลังปรับปรุงกระบวนการว่ามีผลอย่างไร โดยการคำนวณหาค่า OEE จะมีส่วนประกอบสามอย่างคือ อัตราการทำงาน (Availability) ประสิทธิภาพการทำงาน (Performance efficiency) และอัตราคุณภาพ (Quality rate) ค่า OEE ที่ได้จะนำมาชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานรวมของการทดลองทั้งสองกลุ่มตัวอย่าง วิเคราะห์เปรียบเทียบ (Overall equipment effectiveness: OEE) ของการทำงานว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาด้านคุณภาพงาน จากการทดลองและเก็บตัวอย่างข้อมูลพบว่าหลังปรับปรุงกระบวนการสามารถลดการกระจายตัวระยะความห่าง จาก สตัท ถึง สตัท ดัง Figure 5 ได้ร้อยละ 47 เมื่อเทียบกับการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ รายละเอียดตัวอย่างข้อมูล ดัง Figures 6

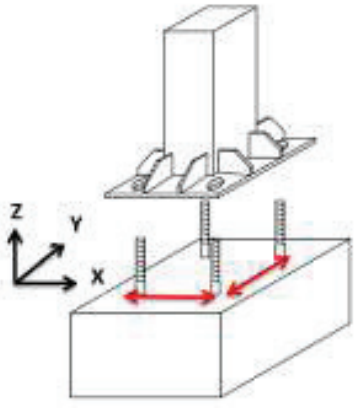
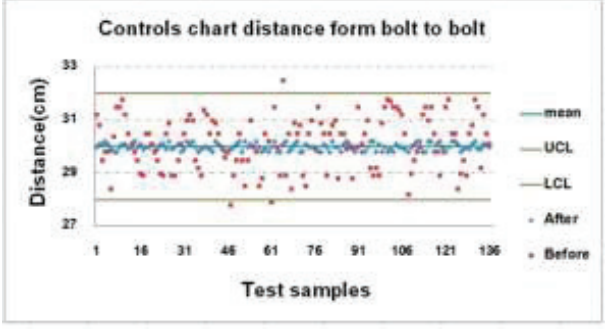
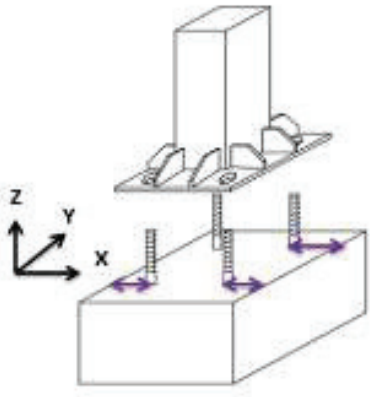


Figure 5 Distance of bolt to bolt

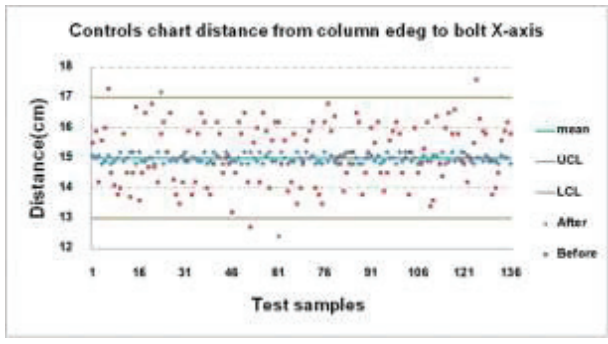


Figures 6 Control chart distance from bolt to bolt

หลังปรับปรุงกระบวนการสามารถลดการกระจายตัวระยะความห่าง จากขอบเสาถึงสตัทในแนวแกน X ดัง Figure 7 ได้ร้อยละ 83 เมื่อเทียบกับการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ รายละเอียดตัวอย่างข้อมูล ดัง Figures 8



Figures 7 Distance of column edge to bolt X-axis



Figures 8 Distance control chart of column edge to bolt X-axis

หลังปรับปรุงกระบวนการสามารถลดการกระจายตัวระยะความห่างจากขอบเสาถึงสตัทในแนวแกน Y ดัง Figure 9 ได้ร้อยละ 91 เมื่อเทียบกับการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ รายละเอียดตัวอย่างข้อมูล ดัง Figures 10

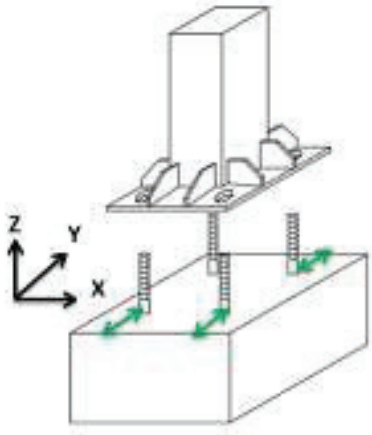
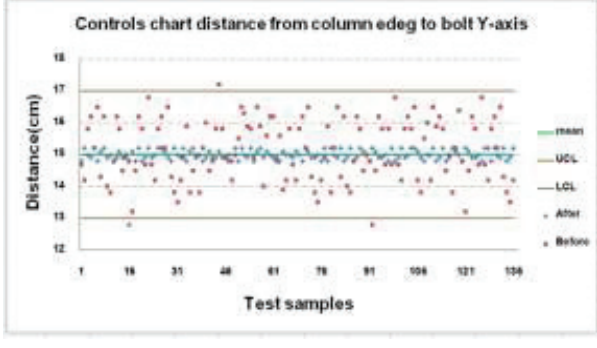


Figure 9 Distance of column edge to bolt Y-axis



Figures 10 Control chart distance of column edge to bolt Y-axis

หลังปรับปรุงกระบวนการสามารถลดการกระจายตัวระดับความสูงจาก Base plate ถึงปลายสตัทในแนวแกน Z ดัง Figure 11 ได้ร้อยละ 61 เมื่อเทียบกับการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการ รายละเอียดตัวอย่างข้อมูล ดัง Figures 12

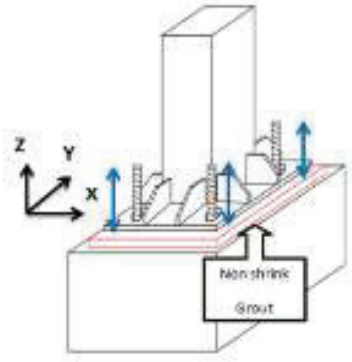
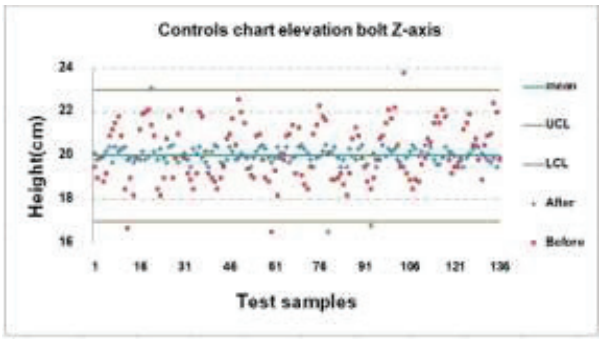


Figure 11 Elevation bolt in Z-axis



Figures 12 Control chart of elevation bolt in Z-axis

จากข้อมูลการทดลองทำให้อัตราค่าความสามารถของกระบวนการ (C_P) เพิ่มขึ้นโดยพิสูจน์ได้จาก (Steiner *et al*., 2014)

$$C_P = \frac{USL-LSL}{UCL-LCL} \quad (3)$$

พบว่าก่อนปรับปรุงกระบวนการทำงานค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ

$$C_{P\text{ก่อนปรับปรุง}} = 1.14$$

และหลังปรับปรุงกระบวนการทำงานค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ

$$C_{P\text{หลังปรับปรุง}} = 2.22$$

จากค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการหลังปรับปรุงกระบวนการทำงานเมื่อค่า C_P มากกว่า 2.00 ถือว่าค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ อยู่ในระดับดีเลิศ (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551)

2. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานรวม ผลการเปรียบเทียบ การรอคอยในการทำงาน งานติดตั้ง สตัทฝังในคอนกรีตเปรียบเทียบระหว่างการทำงาน ก่อนปรับปรุงกระบวนการและหลังปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีขั้นตอนในการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการที่มากกว่าหลังปรับปรุงขบวนการโดยมีผังขั้นตอนการทำงานเปรียบเทียบดัง Figure 13 และ Figure 14 โดยมีรายละเอียดเวลาการทำงาน ติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตก่อนและ หลังปรับปรุงกระบวนการทำงานดัง Table 1 และ Table 2

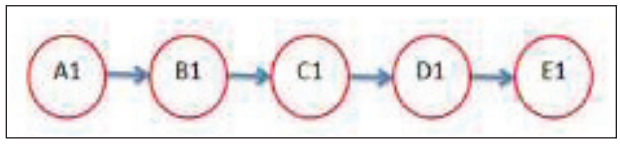


Figure 13 Flowchart of process before improvement

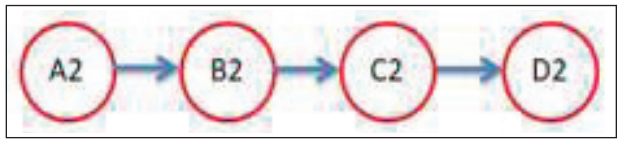


Figure 14 Flowchart of after process after improvement

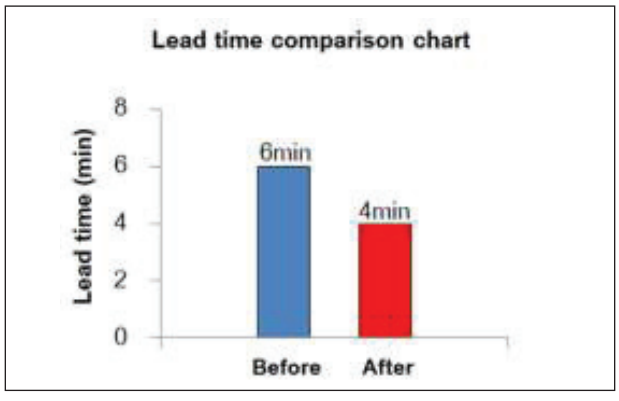
Table 1 Time measurement of process before improvement

Process.	Time. (min)
A1 = Prepare anchor bolts.	5
B1 = Measure distance.	10
C1 = Welding anchor bolt.	20
D1 = Edit distance.	5
E1 = Phase check.	4
Total time.	44

Table 2 Time measurement of process after improvement.

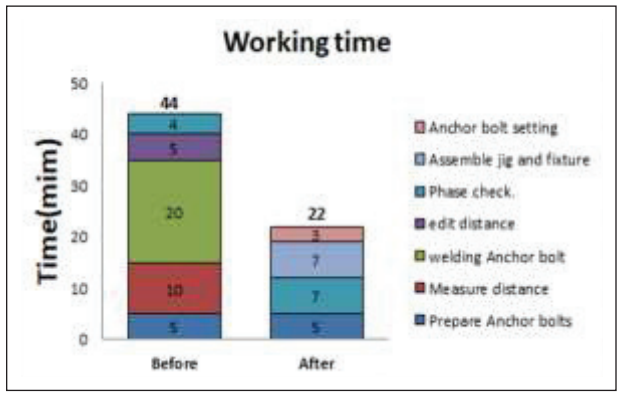
Process.	Time. (min)
A2 = Prepare anchor bolts.	5
B2 = Assemble jig and fixture.	7
C2 = Phase check.	7
D2 = Anchor bolt setting.	3
Total time.	**22**

หลังปรับปรุงกระบวนการลดลงถึง 2 นาทีต่อ 1 ชิ้นงาน จากเดิมก่อนการปรับปรุงกระบวนการใช้เวลาการทำงานเฉลี่ย 6 นาที แต่หลังปรับปรุงกระบวนการ สามารถลดเวลาการทำงานได้เหลือ 4 นาที เนื่องจากหลังปรับปรุงกระบวนการไม่มีการรอคอยในการเชื่อมด้วยตู้เชื่อมไฟฟ้าและขั้นตอนในการติดตั้งลดลง แสดงรายละเอียดข้อมูล ดัง Figures 15



Figures 15 The averaged lead time for each job

จากผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน สามารถลดปัญหาเรื่องเวลาการทำงานที่ใช้เวลาการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตฝังในคอนกรีต โดยสามารถลดเวลาในการทำงานต่อชิ้นงานได้ถึง 22 นาทีโดยขั้นตอนที่ทำให้เวลาสามารถลดลงกว่าครึ่งส่งผลมาจากหลังปรับปรุงกระบวนการไม่มีการเชื่อมสตัท และการตรวจสอบระยะติดตั้งของสตัททีละจุด ต่างกับการติดตั้งแบบใช้อุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึด ซึ่งจะมีการยึดตำแหน่งของสตัททุกตัวของตัวอย่างทดลองไว้ แสดงรายละเอียดข้อมูล ดัง Figures 16



Figures 16 The averaged working time for each job

ผลการเปรียบเทียบเวลาการทำงาน ทั้งหมดจนจบโครงการได้ผลเวลาการทำงานก่อนการปรับปรุงกระบวนการทั้งหมด 6,010 นาที เปรียบเทียบกับการทำงานหลังปรับปรุงกระบวนการใช้เวลาทั้งหมด 3,040 นาที ซึ่งสามารถลดเวลาการทำงานทั้งโครงการ ของเวลาการทำงานในงานสตัทฝังในคอนกรีต ทั้งโครงการได้ถึง 2,970 นาที

จากผลการทดลองข้อมูลเวลาในการทำงาน เวลาการทำงานก่อนปรับปรุงกระบวนการหลังปรับปรุงกระบวนการและเวลาตามแผนงาน รายละเอียดข้อมูล ดัง Table 3 และ Table 4 สามารถนำมาแปรผลหาค่าผลการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานรวม Overall equipment effectiveness เปรียบเทียบ 2 การทดลอง ได้ผลการทดลอง (ทวีชัย อวยพรกชกร, 2555)

Table 3 Working period data

Working period.			
Experimental results.	**Before improving process.(min)**	**After improving process.(min)**	**Schedule time.(min)**
Time/piece	44.19	22.35	50
Total time	6,010	3,040	6,800
Lead time/ piece	6.10	4.11	15

Table 4 Results of the samples test before and after the process improvement.

Samples test before and after the process improvement.		
Sample group.	**Complete piece.**	**Number of samples.**
Before improving process.	125 pc	133 pc
After improving the process.	130 pc	133 pc

$$OEE = A \times P \times Q \quad (4)$$

* หมายเหตุ A = อัตราการทำงาน
P = ประสิทธิภาพการทำงาน
Q = อัตราคุณภาพ

$$A = \frac{\text{เวลาการทำงาน (ตามแผน) - เวลาที่รอคอย}}{\text{เวลาการทำงาน (ตามแผน)}} \quad (5)$$

$$P = \frac{\text{(เวลาการทำงานจริง x จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้)}}{\text{ผลรวมเวลาที่ใช้ในการทำงาน}} \quad (6)$$

$$Q = \frac{\text{(งานที่ผลิต - งานที่เสีย)}}{\text{งานที่ผลิต}} \quad (7)$$

จากข้อมูลการทดลองที่ได้จาก Table 3 และ Table 4 จึงนำมาสู่การแปลผลได้ค่า A P Q และ OEE จากสมการ (4) (5) (6) และ (7) ได้ผลการทดลองแสดงผลดัง Table 5

Table 5 The overall equipment effectiveness of experimental result

Experimental results.		
	Before improving process.	**After improving process.**
A	87%	91%
P	91%	96%
Q	93%	97%
OEE	73%	84%

จากผลการทดลองเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงกระบวนการทำงาน และหลังการปรับปรุงกระบวนการทำงาน ได้ข้อสรุปของผลการทดลองตรงตาม สมติฐานว่า หลังการปรับปรุงกระบวนการทำงานทำให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานรวม Overall equipment effectiveness ในกระบวนการทำงานเพิ่มขึ้นแสดงรายละเอียดข้อมูล ดัง Diagram 7

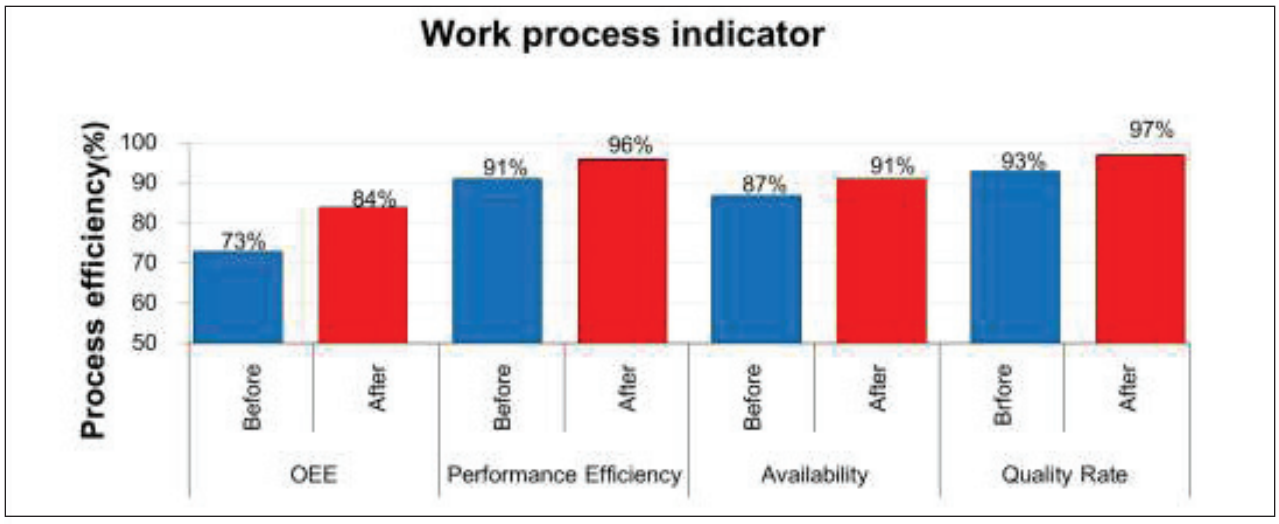


Diagram 7 Work process indicator

ผลข้อมูลด้านคุณภาพจากการวิจัยทดลองพบว่า หลังการปรับปรุงกระบวนการงานสตัทฝังในคอนกรีต มีความคลาดเคลื่อนของระยะติดตั้ง จากข้อมูลระยะความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 2.6 เซนติเมตรก่อนปรับปรุงกระบวนการ หลังปรับปรุงกระบวนการระยะความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.3 เซนติเมตร ทำให้หลังปรับปรุงกระบวนการค่าความคลาดเคลื่อนลดลงถึงร้อยละ 88 การกระจายตัวของข้อมูลจาก การวัดการกระจายตัวของข้อมูลที่พิจารณาจากความแปรปรวนดังนี้

$$S^2 = \frac{\sum X^2}{N} - (\bar{X})^2 \qquad (8)$$

S^2ก่อนปรับปรุง = 1.1

S^2หลังปรับปรุง = 0.6

สามารถลดการกระจายตัวของข้อมูลพิจารณาจากความแปรปรวนได้ถึงร้อยละ45 (Leelaphaiboon & Phuenaree, 2021) มีระยะความคลาดเคลื่อนของ สตัทฝังในคอนกรีตจากขอบเสาถึงสตัทในระยะตามแนวแกน X ลดลงถึงร้อยละ 85 และสามารถลดการกระจายตัวของข้อมูลได้ถึงร้อยละ 83 มีระยะความคลาดเคลื่อนของสตัทฝังในคอนกรีต จากขอบเสาถึงสตัทในแนวแกน Y ลดลงถึงร้อยละ 86 มีระดับความคลาดเคลื่อนของปลายสตัทฝังในคอนกรีตถึง Base plate ลดลงถึงร้อยละ 86 สามารถลดการกระจายตัวของข้อมูลตามแนวแกน Z ได้ถึงร้อยละ 61

สรุปผล

จากการทดลองหลังการนำอุปกรณ์ อุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง และจับยึดที่ทำการออกแบบ มาใช้ในการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต หลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน เปรียบเทียบกับการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีตแบบใช้ตู้เชื่อมไฟฟ้า ที่เป็นกระบวนการทำงานก่อนปรับปรุงการติดตั้งสตัทฝังในคอนกรีต หลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน สามารถลดเวลาในการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานรวมของกระบวนการได้ โดยไม่ทำให้คุณภาพงานลดลง จากการ เก็บผลข้อมูลและแปลค่าจะได้ผลข้อมูลค่าอัตราการทำงานก่อนการปรับปรุงกระบวนการจะได้ อัตราการทำงานที่ร้อยละ 87 แต่หลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงาน ค่าอัตราการทำงานได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 91 จากค่าอัตราการทำงานที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 4

ประสิทธิภาพการทำงานก่อนการปรับปรุงกระบวนการจะได้ ประสิทธิภาพการทำงานที่ร้อยละ 91 แต่หลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงาน ประสิทธิภาพทำงานได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 96 จากค่าประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 5

ค่าอัตราคุณภาพก่อนการปรับปรุงกระบวนการจะได้อัตราคุณภาพที่ร้อยละ 93 แต่หลังจากปรับปรุงกระบวนการทำงาน อัตราคุณภาพได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 97 จากค่าอัตราคุณภาพที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 4

ค่าประสิทธิภาพการทำงานรวม ก่อนการปรับปรุงกระบวนการทำงานที่ร้อยละ 73 และค่าประสิทธิภาพการทำงานรวมหลังปรับปรุงกระบวนการทำงานที่ร้อยละ 84 จากค่าประสิทธิภาพการทำงานรวมที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 หลังปรับปรุงกระบวนการทำงาน

ค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) ก่อนปรับปรุงกระบวนการอยู่ที่ 1.44 อยู่ในระดับดี หลังปรับปรุงกระบวนการ ค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ เพิ่มขึ้นเป็น 2.22 ซึ่งอยู่ในระดับดีเลิศ

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำรวมถึงให้กำลังใจจาก ดร.สิทธิชัย รัชยศโยธิน ประธานกรรมการประจำสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณคุณกิตติพงษ์ ผ่องอ่อน ผู้จัดการทั่วไป บริษัท เอสทีเฟรมแอนทรัส จำกัด ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเรื่องการออกแบบอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งและจับยึด พร้อมทั้งให้คำปรึกษาในกระบวนการทำงานที่ซับซ้อนในงานก่อสร้าง ขอขอบพระคุณทีมงานผู้ช่วยงานวิจัยที่สละเวลาให้ความร่วมมือในการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างวิจัยภาคสนาม

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เพื่อนนักศึกษาและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิจัยครั้งนี้ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

ณัฐพงศ์ มกระธัช และยศพงศ์ วงศ์ระวีกุล. (2556). เทคนิคการก่อสร้างฐานรากคอนกรีตขนาดใหญ่ ในงานอาคารสูง.*วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 3*, 166-182.

ทวีชัย อวยพรกชกร. (2555). กระบวนการหาค่าประสิทธิผลโดยรวม (OEE) ด้วยพฤติกรรมเวลา. *วารสารร่มพฤกษ์มหาวิทยาลัยเกริก, 30*(1) ,1-24.

พงษ์ณัฐฐ์ สุทธิกุลสมบัติ และปณัทพร เรืองเชิงชุม. (2563). การลดความสูญเสียจากเวลาหยุดเดินเครื่องจักรด้วยการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรและควบคุมอัตราความเร็วในกระบวนการพิมพ์แบบออฟเซ็ท. *วารสารการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 12*(3), 143-156.

พิพัฒพงษ์ เพ็ญศิริ และสิทธิพร พิมพ์สกุล. (2558). การปรับปรุงกระบวนการผลิตเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต โดยแนวคิดของการผลิตแบบลีน กรณีศึกษา.*วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและ พัฒนา, 26*, 81-96.

มงคล กิตติญาณขจร, นภัสสร โพธิสิงห์ และธนวัตร พัดเพ็ง. (2562). การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต: กรณีศึกษา กระบวนการผลิตก้อนเชื้อเห็ด. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 9*(2) ,71-89.

กาญจนา จำนงค์นารถ และสุนีรัตน์ กุศลาศัย. (2562). การดำเนินงานในโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรด้วยรูปแบบการทำงานที่มีลักษณะซ้ำกัน. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 31*(1), 11-21.

สุรพงศ์ บางพาน. (2559). ความสามารถกระบวนการของการตัดชิ้นทดสอบความแข็งโดย การประยุกต์เทคนิคเชิงสถิติ.*วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 23*(2), 67-78.

วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์. (2552). *การหาค่าพิกัดของแผนภูมิควบคุม*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2551). *การวิเคราะห์ความสามารถของขบวนการ (5).* สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

DeWolf & Bieker. (1990). *Column Base Plats*. American Institute of Steel Construction.

Leelaphaiboon, M. & Phuenaree, B. (2021). Two-sample location tests under violation of the normality and variance homogeneity assumptions. *Current Applied Science and Technology, 21*(4), 721-734.

Steiner, S., Abraham, B. & Mackay, J. (2014). *Understanding process capability Indices*. http://www.stats.uwaterloo.ca/~shsteine/papers/cap.pdf, 2021.