

เครื่องนับจำนวน โบลว์ เคาท์ ของการตอกเสาเข็มควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Microcontroller Measuring Blow Count and Depth of Piles

ชัยยศ คำมี

Chaiyos Commee

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University

E-mail: chaiyos3249@gmail.com โทร. 081-8730649

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องนับจำนวนโบลว์ เคาท์ ของการตอกเสาเข็มควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยดำเนินการสร้างและประเมินค่าเพื่อหาความเหมาะสมของเครื่องนับจำนวนโบลว์ เคาท์ ของการตอกเสาเข็มควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในการทำงานด้านการก่อสร้างอาคารและการตอกเสาเข็มจำนวน 20 ท่าน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ เครื่องนับจำนวนโบลว์ เคาท์ ของการตอกเสาเข็มควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบการใช้งานจริง และแบบสอบถามความเหมาะสมของเครื่องนับจำนวนโบลว์ เคาท์ วิธีดำเนินการวิจัยหลังจากที่ผู้วิจัยสร้างเครื่องนับจำนวนโบลว์ เคาท์ เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยเชิญผู้เชี่ยวชาญมาประเมินความเหมาะสมของเครื่องนับจำนวนโบลว์ เคาท์ โดยการสาธิตการทำงานเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสม และเก็บรวบรวมข้อมูล ผลการวิจัย พบว่าเครื่องมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงในระดับมาก ($\bar{x} = 4.42$) สำหรับการทดลองการนำเครื่องนับจำนวนโบลว์ เคาท์ ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ไปทดลองใช้กับการตอกเสาเข็มจริง จำนวน 60 ต้น โดยการตรวจสอบกับการนับโดยช่างเทคนิคที่มีความเชี่ยวชาญในการตอกเสาเข็ม พบว่า การทดลองมีความถูกต้อง 100% ส่วนข้อเสนอของผู้เชี่ยวชาญได้เสนอข้อคิดเห็นที่น่าสนใจคือ เป็นการพัฒนาทักษะทางวิศวกรรมศาสตร์ที่ดี ควรมีการพัฒนาเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ : โบลว์เคาท์ 10 ฟุตสุดท้าย ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This study aimed to construct and measure the performance of the microcontroller measuring the blow count and depth of piles. The microcontroller measuring the blow count and depth of piles was constructed and then assessed the suitability. The participants of this study were 20 experts in building construction and pile driving. The instruments used in this study were the Microcontroller which measures the blow count and depth of piles, and the suitability questionnaire. The microcontroller measuring the blow count and depth of piles was determined the performance by comparing with people counting. To assess the suitability of this counting machine, after it was constructed; it was observed by the participants for 3 hours of demonstration and then they evaluated its performance suitability. The data were analyzed using statistical method to obtain the mean scores and standard deviation of the suitability. The results revealed that the microcontroller measuring the blow count and depth of piles had high suitability ($\bar{x} = 4.42$). The completely constructed microcontroller measuring the blow count and depth of piles was finally tested with 60 piles, compared with examining and counting by the experts in pile driving. It showed a 100% accuracy of its performance. Moreover, the experts also gave the interesting suggestions. Firstly, it was

the outstanding development of engineering skill. Secondly, it should be further developed to be the model for commerce.

Keywords : Blow count, Last Ten Blow, Microcontroller

1. บทนำ

จากเหตุการณ์ความเสียหายเนื่องจากอาคารที่พักอาศัยหรือตึกสิ่งปลูกสร้างถล่มในประเทศไทย ได้สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินจำนวนมาก สอดคล้องงานวิจัยเรื่อง “อันตรายและมาตรการความปลอดภัยในงานเสาเข็มเจาะ” (Hazards & Safety In Bored Piling Works) (Surakun *et al.*, 2014) โดยศึกษาเกี่ยวกับอันตรายจากเสาเข็มจากการก่อสร้างประเภทต่าง ๆ เพื่อให้องค์กรเกี่ยวกับการก่อสร้างมาหามาตรการความปลอดภัยมาใช้ เช่นเดียวกับ งานวิจัยเรื่อง “ความปลอดภัยในงานตอกเสาเข็มแบบตัมกระแทก” (Bunluea and Phanchomphu, 2009) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเกี่ยวกับความปลอดภัยในการตอกเสาเข็มโดยใช้เครื่องตอกเสาเข็มแบบตัมกระแทก การวางแผนงานความปลอดภัยในงานตอกเสาเข็มมีความสำคัญคือจะช่วยลดหรือป้องกันการเกิดอุบัติเหตุซึ่งจะก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือสูญเสียชีวิตได้ ทั้งนี้ จากการตรวจสอบพบว่า สาเหตุของการที่ตึกถล่มมีสาเหตุหลายประการ โดยสาเหตุสำคัญประการหนึ่ง คือ การวางรากฐานหรือการตอกเสาเข็มของอาคารใหม่ไม่ได้มาตรฐานนั่นเอง ซึ่งมีบุคคลพยายามแก้ปัญหาดังกล่าวโดยได้ศึกษาและออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (Computer Program for Pile Footing Reinforced Concrete Design (Strength Design Method: SDM)) (Thiranaew and Kulmeng, 2010) เพื่อช่วยให้การคำนวณการออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กและรวมไปถึงการออกแบบเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงให้มีความรวดเร็วและถูกต้องยิ่งขึ้น ซึ่งโครงการนี้สำหรับการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กจะยึดหลักตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 พ.ศ. 2538 และสำหรับการออกแบบเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงจะยึดหลักตาม มาตรฐาน มอก. 396-2524 เป็นหลัก เป็นต้น สาเหตุของการตอกเสาเข็มที่ไม่ได้มาตรฐานเกิดจาก 2 ปัจจัยหลักคือ 1) คุณภาพของตัวเสาเข็มเอง สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องปัญหาในงานเสาเข็มเจาะที่เกิดจากคุณภาพคอนกรีต (Thasnanipan *et al.*, 2014) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นที่คอนกรีตจากกระบวนการผลิตเสาเข็มเจาะซึ่งระบุคุณสมบัติสำคัญของคอนกรีตที่จะใช้สำหรับผลิตเสาเข็ม และเช่นเดียวกับงานวิจัยเรื่องการควบคุมคุณภาพเสาเข็มระบบเจาะแห้งโดยเครื่องเจาะแบบสามขา (Sriwanwit *et al.*, 2001) สำหรับสาเหตุที่ 2) คือกระบวนการในการตอกเสาเข็มเป็นปัญหาที่เกิดจากกระบวนการในการตอกเสาเข็มซึ่งเป็นเสมือนหัวใจในการตอกเสาเข็มเกิดจากหลายสาเหตุดังนี้คือ (1) เสาเข็มเอียง (2) เสาเข็มหนีศูนย์ (3) เสาเข็มไม่ได้ทาบ (Tip) มีสาเหตุมาจากไม่มีข้อมูลการสำรวจโครงสร้างดิน (structure subsurface investigation) เช่นเดียวกับงานวิจัยเรื่องการควบคุมการตอกเสาเข็มตามหลักสมดุลพลังงาน (Kwankeng *et al.*, 2008) เพื่อควบคุมงานตอกเสาเข็มให้มีคุณภาพ และสาเหตุที่สำคัญที่สุดของปัญหาในกระบวนการตอกเสาเข็ม คือเสาเข็มไม่ได้โบว์เคาท์ (blow count) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ย่างยากที่สุดในการตอกเสาเข็มเพราะต้องเกี่ยวข้องกับทั้ง (1) ลักษณะของดินบริเวณในการตอกเสาเข็ม (2) ส่วนของเครื่องมือสำหรับการนับจำนวนโบว์เคาท์ ของการตอกเสาเข็ม และ (3) ผู้ควบคุมในการตอกเสาเข็ม โดยที่พื้นที่ที่ชั้นดินมีลักษณะเปลี่ยนแปลงมากมีสาเหตุมาจาก เกณฑ์กำหนด (criteria) ที่ต่างกันส่วนใหญ่ที่มาจากไดนามิค ฟอรัลูลา (dynamic formula) และ ความผิดปกติของชั้นดินที่ไม่มีการเจาะนำ (soil boring) ในส่วนของการควบคุมกระบวนการตอกเสาเข็มที่เกิดจากผู้ควบคุมงานตอกเสาเข็มไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากความยากลำบากในการตอกเสาเข็มคือสิ่งรบกวนต่าง ๆ เช่น การตั้งศูนย์ของเสาเข็ม, ควันทันที่เกิดขึ้นจากการตอกเสาเข็ม, เสียงดังจากการตอกเสาเข็ม, ความร้อนของอากาศขณะตอกเสาเข็มและความสั่นสะเทือนของดินขณะตอกเสาเข็ม และสุดท้ายคือการขาดแคลนเครื่องมือในการตรวจสอบจำนวนของการนับจำนวนการตอกเสาเข็ม 10 พุดสุดท้ายที่เรียกว่า ลาส เทนโบว์ (last ten blow) ที่ได้มาตรฐาน โดยที่สาเหตุต่าง ๆ เหล่านี้ส่งผลให้การควบคุมการนับจำนวนครั้งของการตอกเสาเข็มหรือโบว์ เคาท์ มีความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมากส่งผลให้นับจำนวนโบว์ เคาท์ ไม่ตรงตามที่ต้องการส่งผลให้การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มทั้งการทดสอบ

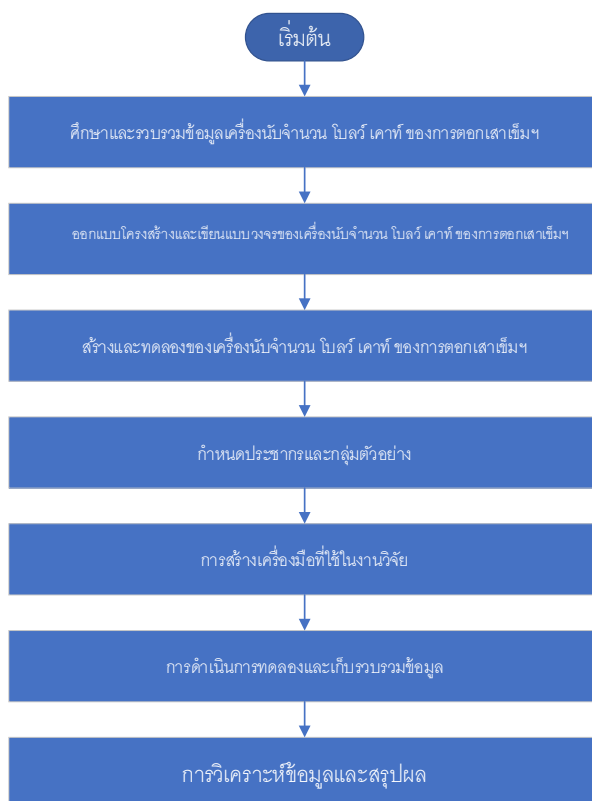
แบบสถิติก (static pile load test) และการทดสอบแบบไดนามิก (dynamic load test) ไม่ผ่านและส่งผลเสียต่อฐานรากของอาคารทำให้ไม่แข็งแรงจึงต้องแก้ปัญหาหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นการแก้ไขโดยการตอกเข็มแซมใหม่ทำให้เสียทั้งค่าใช้จ่ายและเวลาซึ่งหากผลของการตรวจสอบการรับน้ำหนักไม่มีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพมากพอจะส่งผลต่อการรับน้ำหนักของอาคารในอนาคตซึ่งอาจทำให้เป็นสาเหตุหลักในการพังถล่มของตึกในที่สุด ในส่วนของเครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจสอบจำนวนครั้งของการตอกเสาเข็ม 10 ฟุตสุดท้าย หรือลาสต์ เทน โบล์ว (last ten blow) และเครื่องนับจำนวนโบล์ว เคาท์ของการตอกเสาเข็มยังไม่มีผู้ผลิตในเชิงพาณิชย์รายใดผลิตขึ้นมาใช้หรือผลิตเพื่อจำหน่ายทำให้ปัจจุบันนี้ยังไม่มีเครื่องมือที่มาตรฐานในการใช้งาน

จากสภาพปัญหาที่กล่าวมา แนวทางที่ผู้วิจัยนำมาใช้เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดกับชีวิตและทรัพย์สินในการตอกเสาเข็มที่ไม่ได้โบล์ว เคาท์ คือ การสร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องนับจำนวนโบล์ว เคาท์ ของการตอกเสาเข็มควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้เป็น “นวัตกรรมใหม่” เนื่องจากยังไม่มีผู้ใดผลิตขึ้นมาใช้งานและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์มาก่อน นอกจากใช้ในการนับจำนวนของการตอกเสาเข็มในงานจริงได้แล้วยังสามารถทำเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับผู้เรียนหรือบุคคลที่สนใจในการพัฒนาในการสร้างเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ในอนาคตต่อไป พร้อมทั้งสามารถนำมาเป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชา โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (วศ.บ) โดยที่เครื่องนับจำนวนการตอกเสาเข็มที่สร้างขึ้นนอกจากจะสามารถนำมาใช้งานได้จริงทดแทนการทำงานของมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังจะเป็นเครื่องต้นแบบของการพัฒนาเพื่อใช้งานในเชิงพาณิชย์อย่างเต็มประสิทธิภาพต่อไป

2. วิธีการศึกษาวิจัย

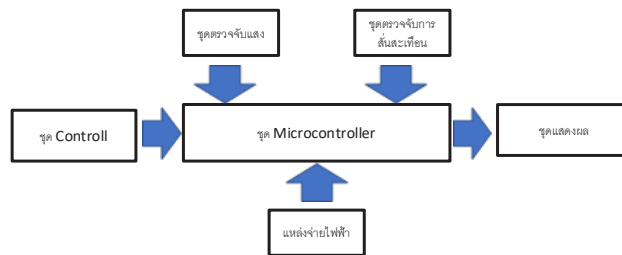
2.1 การดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยมีวิธีการและลำดับขั้นตอนดังนี้

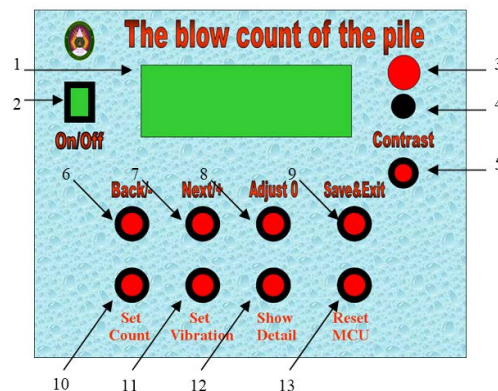


ภาพที่ 1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องนับจำนวน โบลว์ เคห์ ของการตอกเสาเข็มควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องนับ โบลว์ เคห์ ฯ



ภาพที่ 3 แผงหน้าปัทม์ควบคุมของเครื่องนับ โบลว์ เคห์ ฯ

เครื่องนับจำนวน โบลว์ เคห์ ของการตอกเสาเข็มควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีอุปกรณ์ทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้

1. จอแสดงผล LED
2. สวิตช์ ปิด/เปิด
3. ไฟ LCD
4. Buzzer
5. ปุ่มปรับความคมชัดของจอแสดงผล
6. ปุ่ม Back / - สำหรับ ลดค่าต่างๆ
7. ปุ่ม Next / + สำหรับ เพิ่มค่าต่างๆ
8. ปุ่ม Adjust 0 สำหรับ รีเซ็ตค่าให้เป็น 0
9. ปุ่ม Save / Exit สำหรับ บันทึกค่าที่ตั้งไว้ และออกจากการตั้งค่า
10. ปุ่ม Set Count สำหรับตั้งค่า จำนวนนับในการตอกเสาเข็ม
11. ปุ่ม Set Vibration สำหรับตั้งค่า การตอบสนองของเซนเซอร์
12. ปุ่ม Show Detail สำหรับแสดงจำนวนครั้งของการตอกเสาเข็มในแต่ละฟุต
13. ปุ่ม Reset MCU สำหรับ Reset เครื่อง



ภาพที่ 4 เครื่องนับ โบล์ว เคาท์ ฯ เสร็จสมบูรณ์

2.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน

2.3.1 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานแสดง Flowchart การทำงานโปรแกรมของเครื่องนับ โบล์ว เคาท์ ฯ



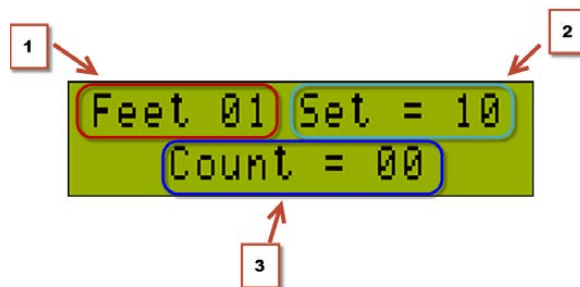
ภาพที่ 5 Flowchart การทำงานโปรแกรมของเครื่องนับ โบล์ว เคาท์ ฯ

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องฯ โดยที่ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องฯ แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพการทำงานตามรายการในตารางการทดสอบก่อนจากนั้นจึงนำไปทดลองการทำงานกับการตอกเสาเข็มจริง จำนวน 60 ต้น และเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญในเรื่องการประเมินความเหมาะสมทางกายภาพของเครื่อง จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล และอธิบายผลต่อไปโดยมีทดลองการทำงานของเครื่องฯ ดังต่อไปนี้คือ



ภาพที่ 6 แสดงการทดลองการใช้เครื่องนับ โบลว์ เคาท์ ๆ กับการตอกเสาเข็มจริง



ภาพที่ 7 แสดงส่วนแสดงผลของเครื่องนับ โบลว์ เคาท์ ๆ

1. แสดงค่า จำนวนฟุตที่กำลังตอกเสาเข็ม
2. แสดงค่า จำนวนการตั้งค่าของการตอกเสาเข็ม
3. แสดงค่า จำนวนครั้งของการตอกเสาเข็มในฟุตนั้น

ตารางที่ 1 ตัวอย่างตารางการทดลองการตอกเสาเข็มจริงต้นที่1-5 (จาก 60 ต้น)

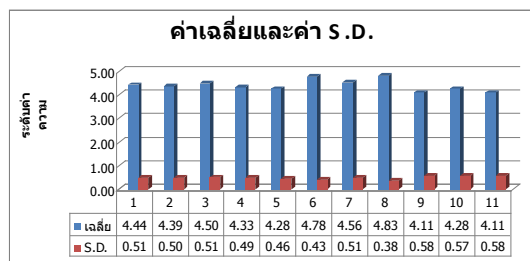
ต้นที่				1		2		3		4		5	
				คน (นับ)	เครื่อง (นับ)	คน (นับ)	เครื่อง (นับ)	คน (นับ)	เครื่อง (นับ)	คน (นับ)	เครื่อง (นับ)	คน (นับ)	เครื่อง (นับ)
จำนวนครั้งที่ตอกนับต่อ 30 ซม.	ฟุตที่ 1	ความยาวเสาเข็มเหนือพื้นดิน , ม.	2.7 - 3.0	28	28	29	29	39	39	38	38	35	35
	ฟุตที่ 2		2.4 - 2.7	35	35	32	32	48	48	48	48	39	39
	ฟุตที่ 3		2.1 - 2.4	41	41	39	39	57	57	59	59	42	42
	ฟุตที่ 4		1.8 - 2.1	47	47	48	48	66	66	70	70	46	46
	ฟุตที่ 5		1.5 - 1.8	52	52	59	59					50	50
	ฟุตที่ 6		1.2 - 1.5	63	62	67	67					59	59
	ฟุตที่ 7		0.9 - 1.2									66	66
	ฟุตที่ 8		0.6 - 0.9										
	ฟุตที่ 9		0.3 - 0.6										
	ฟุตที่ 10		0.0 - 0.3										
ผลการทดลอง				✓		✓		✓		✓		✓	

สรุป: ตัวอย่างการทดลองทดลองนำเครื่องไปทดลองใช้จริงต้นที่ 1-5 ในงานตอกเสาเข็มจำนวนทั้งหมด 60 ต้น โดยการเทียบกับการนับจากคนนับ ผลการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ คิดเป็น 100 %

3.1 ผลการประเมินความเหมาะสมของเครื่องฯ

หลังจากที่ทดสอบประสิทธิภาพทางเทคนิคแล้วได้นำเครื่องฯ ไปสาธิตการใช้งานเพื่อประเมินความเหมาะสมทั้งหมด 20 คน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 วิเคราะห์ แบบประเมินความเหมาะสมของเครื่องฯ



ภาพที่ 8 ความเหมาะสมของเครื่องนับ โบลว์ เคาท ๓

1. การออกแบบเครื่องนับจำนวนฯ
2. วัสดุที่ใช้ในการผลิตมีอยู่ทั่วไปหาได้ง่าย
3. ความเหมาะสมในการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ
4. ความแข็งแรง ทนทาน ของชิ้นส่วนอุปกรณ์
5. ความสะดวกในการควบคุมการทำงานของเครื่อง
6. ความปลอดภัยในการใช้งาน
7. การแจ้งเตือนเมื่อครบจำนวนมีความเหมาะสม
8. ความสะดวกในการติดตั้งและการใช้งาน
9. ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา
10. ความเหมาะสมในการเป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาต่อยอด
11. ความสมบูรณ์ของเครื่องฯ

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์แบบประเมินข้อเสนอแนะอื่นๆ ของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อเครื่องฯ มีดังนี้

เป็นการพัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์ประยุกต์ที่ดี ควรมีการพัฒนาเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการพาณิชย์ต่อไป

4. สรุปผลการทดลอง

สำหรับการทดลองการนำเครื่องฯ ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้วไปทดลองกับการตอกเสาเข็มจริงโดยตั้งตัวตรวจนับในระยะที่ทำงานในระยะที่ถูกตอก 100% จำนวน 60 ต้น โดยการตรวจสอบกับการนับโดยช่างเทคนิคที่มีความเชี่ยวชาญในการตอกเสาเข็ม พบว่าการทดลองมีความถูกต้อง 100% และมีการแจ้งเตือนด้วยเสียงและสัญญาณไซเรนเตือนเมื่อการตอกครบจำนวนที่ตั้งไว้ได้ถูกต้องแม่นยำและในการทดลองทุกครั้งสามารถมอนิเตอร์การทำงานของโปรแกรมได้ตลอดเวลา พร้อมทั้งสามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนการตั้งค่าของจำนวนครั้งของการเตือนได้ตลอดเวลาของการทำงาน โดยขึ้นอยู่กับสูตรของจำนวนครั้งของการตอกเสาเข็ม จากการทดลองใช้เครื่องฯ การทำงานปรากฏว่าสามารถทำตามเกณฑ์เป้าหมายที่ตั้งไว้ได้จริง ในส่วนของการประเมินความเหมาะสมของเครื่องฯ นี้ ระดับค่าเฉลี่ยความเหมาะสมของเครื่องฯ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 4.78 และต่ำสุด 4.1 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดคืออยู่ระหว่างมากถึงมากที่สุด สรุปความเหมาะสมของเครื่องฯ โดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42 เมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้อยู่ในเกณฑ์มาก ซึ่งหมายความว่าเครื่องฯ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงในการนับการตอกเสาเข็มมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะมีการเพิ่มเติมในส่วนของสูตรการคำนวณ เกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม ในการพัฒนาครั้งต่อไป
2. ควรจะมีการเพิ่มฟังก์ชันของการนับการตอกเสาเข็มเพื่อให้ใช้งานทดแทนบุคลากรในการทำงานต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดีได้ต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และผู้เกี่ยวข้องในทุกกระบวนการวิจัยทุกท่าน

6. เอกสารอ้างอิง

- Bunluea, N. and S. Phanchomphu. 2009. **Study of Safety in Pile Driving by Dropped Hammer**. Engineering Project Education according to the Bachelor of Engineering Degree Program Department of Civil Engineering Faculty of Engineering. Burapha University, Chon Buri. (in Thai)
- Kwankeng, W., K. Chantawarangkul and S. Sornlump. 2008. **Pile driving control by the principle of energy balance**. The 13th National Civil Engineering Conference Kasetsart University, 14-16 May 2008: 67-72. (in Thai)
- Sriwanwit, P., N. Chuwong and C. Hiran. 2001. **Quality control of dry process bored piles excavated by tripod rig**. The 7th National Civil Engineering Conference, Chulalongkorn University, 17-18 May 2001.:218-226 (in Thai)
- Surakun, S., S. Prawetwararat and T. Nopphan. 2014. **Hazards & safety in bored piling works**. Experience in bored pile construction and underground structures in Thailand. 19 December 2014. :17-24. (in Thai)
- Thasnanipan, N., S. Wisuthiphitakul and S. Prawetwararat. 2014. **Problems in bored piling works caused by improper concrete mixed**. Experience in bored pile construction and underground structures in Thailand, 19 December 2001: 37-44. (in Thai)
- Thiranaew, P. and Kulmeng, S. 2010. **Computer program for pile footing reinforced concrete design (Strength Design Method: SDM)**. Project of Engineering in Major Field: Structural Engineering, Academic Year: 2010. (in Thai)

(Received: 30/May/2019, Revised: 8/Dec/2020, Accepted: 15/Dec/2020)