บทที่ 5

การพัฒนาเครื่องมือและการทดสอบ

จากการวิเคราะห์วิธีการการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นของผู้ประกอบการในปัจจุบันจากบทที่ 4 ที่ผ่านมานั้น โดยการศึกษาเหตุผลที่ผู้ประกอบการเลือกใช้วิธีในการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น อีกทั้งการวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นในแต่ละวิธีด้วยแผนภูมิต้นเหตุและผลกระทบ ประกอบกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการตอกเสาเข็มสั้นของผู้ประกอบการ (Conventional Method) กับวิธีการตอกเสาเข็มที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม พบว่าวิธีการตอกเสาเข็มในปัจจุบันนั้นมีข้อบกพร่องหลายประการ ซึ่งจะได้นำข้อบกพร่องที่ได้ทำการวิเคราะห์มาเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นเพื่อพัฒนาปรับปรุงกระบวนการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

5.1 แนวทางในการพัฒนาเครื่องมือ

แนวทางในการออกแบบเครื่องมือเพื่อใช้ในการพัฒนาข้อด้อยต่างๆ ของวิธีที่ใช้ในการตอกเสาเข็มสั้นในปัจจุบัน ทั้งนี้ในส่วนของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มสั้นนั้นจะคำนึงถึง ปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ ปัจจัยเวลา (Time) ปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย (Cost) และปัจจัยด้านคุณภาพ (Quality) ของงานตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น ซึ่งมีแนวทางดังจะกล่าวต่อไปนี้

5.1.1 กำหนดจุดประสงค์ของการพัฒนาเครื่องมือ

กำหนดจุดประสงค์ที่ต้องการเพื่อใช้เป็นเป้าหมายในการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือ โดยที่จุดประสงค์ของการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือจะพิจารณาตามแผนภูมิต้นเหตุและผล

5.1.2 กำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

หลักเกณฑ์การออกแบบเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นนั้นคำนึงถึงปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ ปัจจัยด้านเวลา ปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย และ ปัจจัยด้านคุณภาพ โดยที่ให้

ความสำคัญกับปัจจัยด้านคุณภาพเป็นพิเศษ เพราะการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมนั้นปัจจัยด้านคุณภาพมีบทบาทมากที่สุด โดยได้แบ่งหลักเกณฑ์ย่อยในการออกแบบจากปัจจัยหลักที่ได้กำหนดไว้

5.1.3 การออกแบบหลักการทำงานของเครื่องมือ

ในส่วนของการออกแบบหลักการทำงานของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นจะพิจารณาจากหลักการทำงานของเครื่องมือที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันกับข้อมูลที่วิเคราะห์จากแผนภูมิต้นเหตุและผลกระทบ ซึ่งในส่วนของขั้นตอนการทำงานที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมได้ทำการออกแบบหลักการทำงานของเครื่องมือจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) และปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านเครื่องกล ซึ่งในการพัฒนาเครื่องมือชนิดใหม่ขึ้นมานั้นจะตั้งอยู่บนพื้นฐานของการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

5.1.4 การออกแบบส่วนประกอบของเครื่องมือ

การออกแบบส่วนประกอบของเครื่องมือจะคำนึงถึงปัจจัยหลัก คือ สามารถหาซื้อวัสดุอุปกรณ์ได้ตามท้องตลาด อีกทั้งคำนึงถึงในส่วนของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการก่อสร้าง จำนวนแรงงานที่ใช้ในการปฏิบัติงาน อัตราผลิตภาพ และความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้สามารถก่อสร้างได้บนพื้นฐานเทคโนโลยีของประเทศไทย

5.1.5 การทดสอบเครื่องมือ

การทดสอบเครื่องมือนั้นจะกระทำเมื่อมีการสร้างเครื่องมือต้นแบบ (Prototype) เสร็จเรียบร้อย ซึ่งการทดสอบเครื่องมือสามารถทราบถึงสมรรถภาพและข้อบกพร่องของเครื่องมือ ซึ่งจะมีการแก้ไขข้อบกพร่องต่อไปเพื่อให้บรรลุถึงจุดประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ โดยการปรับปรุงแก้ไขส่วนประกอบให้เครื่องมือสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้

นอกจากนี้จะทำการทดสอบการตอกเสาเข็มเพื่อเปรียบเทียบสมรรถภาพของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับวิธีที่ผู้ประกอบการใช้ในปัจจุบัน ทั้งนี้ในขั้นตอนการทดสอบเครื่องมือช่วย

ตอกเสาเข็มสั้นนั้นจะกระทำบนสภาวะเดียวกันกับวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นแบบไม่ประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มของผู้ประกอบการ โดยการควบคุมสภาวะนี้สามารถทดสอบสมรรถภาพของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นได้อย่างแท้จริง โดยปราศจากการรบกวนของปัจจัยภายนอก

5.2 จุดประสงค์ในการออกแบบเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากหน่วยงานตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น โดยใช้แผนภูมิต้นเหตุและผลกระทบประกอบกับตารางสรุปข้อดี ข้อเสีย สามารถนำผลที่ได้มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือตอกเสาเข็มสั้นชนิดใหม่นี้ ซึ่งสามารถแจกแจงจุดประสงค์ของการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นชนิดใหม่ดังนี้

1) ปรับปรุงการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นเป็นไปตามหลักวิศวกรรม

2) ในการปฏิบัติงานตอกเสาเข็มสั้นต้องมีความปลอดภัยที่มากขึ้นจากวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน

3) มีต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ

4) ใช้จำนวนแรงงานที่ใช้ในการปฏิบัติงานน้อย

5) มีอัตราการตอกเสาเข็มสั้นที่ใกล้เคียงกับวิธีการตอกเสาเข็มสั้นโดยไม่ประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

6) สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพื้นฐานของประเทศไทยได้ และสามารถจัดหาวัสดุอุปกรณ์ได้สะดวก

5.3 หลักเกณฑ์ในการพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

หลักเกณฑ์ในการพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นนั้นพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงปัจจัยหลัก 3 ประการอันได้แก่ เวลา (Time) ค่าใช้จ่าย (Cost) และคุณภาพ (Quality) เป็นกรอบของแนวคิดโดยเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นที่ได้นั้นสามารถตอบสนองปัจจัยต่างๆ ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

เครื่องมือที่พัฒนานั้นอาจจะประสบความสำเร็จเพียงบางปัจจัย แต่ในปัจจัยอื่นอาจไม่ประสบความสำเร็จ โดยในขั้นตอนการพัฒนาหลักเกณฑ์นั้นได้ให้น้ำหนักของเรื่องคุณภาพของเสาเข็มคอนกรีตสั้นเป็นหลัก โดยปัจจัยในส่วนของเวลา และค่าใช้จ่ายนั้นพิจารณาเป็นเกณฑ์รอง ทั้งนี้เพราะจุดประสงค์หลักคือ การพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นที่สามารถตอกเสาเข็มได้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม อีกทั้งมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงานมากขึ้น โดยมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ และสามารถพัฒนาได้ด้วยเทคโนโลยีพื้นฐานของประเทศไทย เพื่อให้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มสั้นนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั่วไป นอกจากนี้ในเรื่องของจำนวนแรงงานที่ใช้นั้นก็ควรมีจำนวนที่น้อย และท้ายที่สุดคือมีอัตราผลิตภาพของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ทั้งนี้ได้แบ่งหลักเกณฑ์ในการพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นออกเป็น 4 หัวข้อหลัก ดังนี้

5.3.1 สภาพของเสาเข็มคอนกรีตสั้นหลังตอกมีสภาพดี

กล่าวคือในระหว่างขั้นตอนการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นนั้นจะต้องไม่เกิดการร้าวของเสาเข็ม อันมีสาเหตุมาจากหลากหลายประการ เช่น การตอกเสาเข็มไม่ได้ระนาบดิ่งซึ่งส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งของเสาเข็ม อันกระทำให้เกิดโมเมนต์ดัดขึ้นในเสาเข็ม ทั้งนี้หากขณะตอกเสาเข็มเกิดค่าความคลาดเคลื่อนมากจนเกินกำลังรับแรงดัดของเสาเข็มอาจทำให้เสาเข็มได้รับความเสียหายได้ ในอีกสาเหตุหนึ่งได้แก่ การกองเก็บและขนย้ายเสาเข็มคอนกรีตสั้นที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม แต่ในสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับการขนย้ายนั้นอยู่นอกขอบเขตของการวิจัย

5.3.2 สามารถตรวจสอบระนาบดิ่ง และระนาบราบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กล่าวคือในส่วนของขั้นตอนการปฏิบัติงานระหว่างการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น นั้นการควบคุมให้เสาเข็มอยู่ในระนาบดิ่งและระนาบราบนั้นเป็นปัจจัยหลักที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก เพราะหากผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถควบคุมระนาบดิ่งได้เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบกำหนด จะส่งผลให้เสาเข็มเอียงขณะตอก ซึ่งจะทำให้เกิดโมเมนต์ดัดขึ้นระหว่างการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น ทั้งนี้หากเสาเข็มคอนกรีตสั้นเอียงอยู่ในระดับที่ไม่มากก็ไม่เป็นปัญหา แต่หากเสาเข็มคอนกรีตสั้นเอียงมากระหว่างขั้นตอนการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นจะส่งผลให้เสาเข็มร้าวหรืออาจหักได้ในขณะตอก เพราะในการออกแบบนั้นเสาเข็มคอนกรีตสั้น (หกเหลี่ยมกลวง) นั้นไม่มีการอัดแรงในขั้นตอนการผลิต ทำให้กำลังรับแรงอัดและกำลังรับโมเมนต์ดัดนั้นมีค่าไม่มากเมื่อเทียบกับเสาเข็มชนิดอื่น

นอกจากนี้การตรวจสอบระนาบราบก็เป็นอีกหนึ่งในขั้นตอนที่ต้องใช้ความระมัดระวังขณะปฏิบัติงาน ทั้งนี้เพราะหากผู้ปฏิบัติงานละเลยอาจส่งผลให้ตำแหน่งของเสาเข็มนั้นเยื้องศูนย์ และอาจทำให้ต้องมีการตอกเสาเข็มเสริมหากระยะที่เยื้องศูนย์นั้นมีค่ามากเกินกว่าที่ผู้ออกแบบจะยอมรับได้

ดังนั้นในระว่างขั้นตอนการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นกระบวนการตรวจสอบระนาบดิ่งจึงเป็นกระบวนการที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ

5.3.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในหน่วยงานก่อสร้าง

เนื่องจากกระบวนการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นของผู้ประกอบการในปัจจุบันนั้นจะเป็นการรับจ้างเหมาในสองลักษณะ คือ จ้างเหมาเช่าเครื่องจักรรายวัน หรือรายเดือน และจ้างเหมารับจ้างตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นโดยคิดตามจำนวนเสาเข็มคอนกรีตสั้นที่ตอก ซึ่งจากลักษณะงานจ้างเหมาข้างต้นจะพบว่าการพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นนั้นจะต้องคำนึงถึงการประยุกต์นำไปใช้งานได้จริงหน้างานด้วย โดยคำนึงถึงความสะดวกในการขนย้ายด้วยรถบรรทุกขนาดเล็ก (รถกระบะ) ใช้เวลาในการปฏิบัติงานที่เหมาะสม กล่าวคือมีอัตราการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นที่ใกล้เคียงกับวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นโดยเครื่องจักรขุดดิน และใช้แรงงานในการปฏิบัติงานไม่มาก นอกจากนั้นในส่วนของค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องมือต่ำ และ

ท้ายที่สุดเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นควรจะมีความแข็งแรงทนทานสามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ได้หลายครั้ง

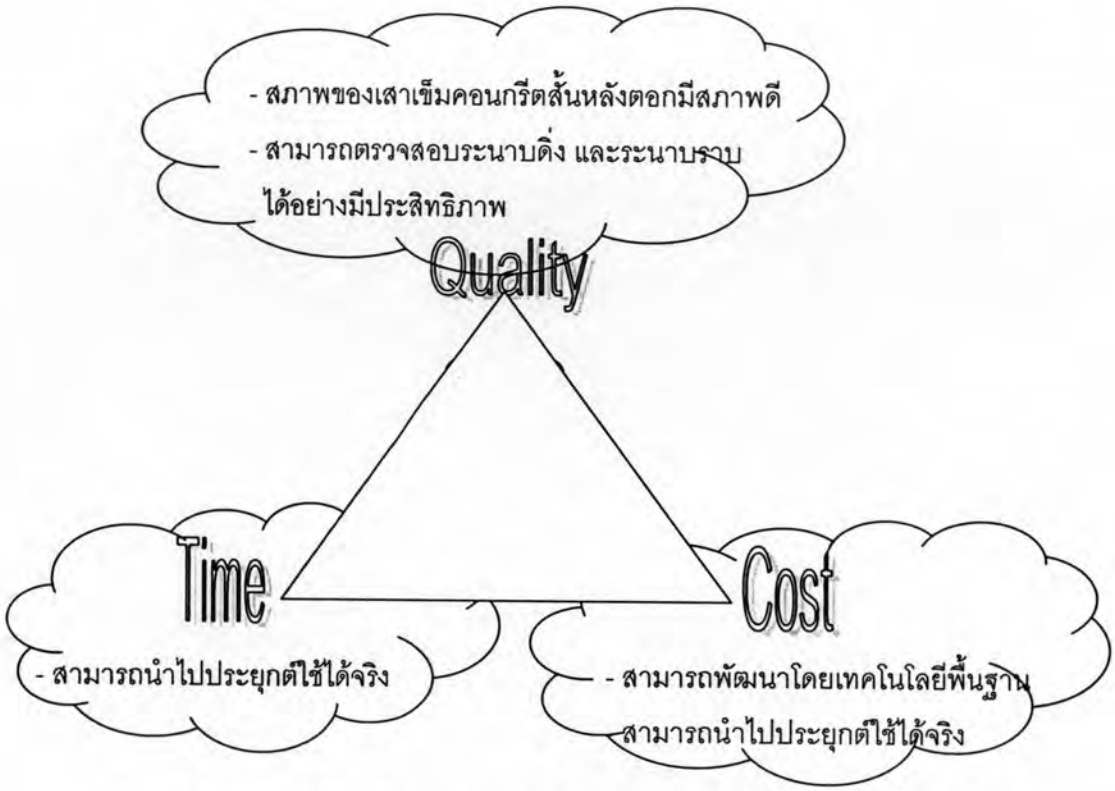
5.3.4 สามารถพัฒนาโดยเทคโนโลยีพื้นฐานของประเทศไทย

ในส่วนของหลักเกณฑ์สุดท้ายคือ สามารถพัฒนาได้บนพื้นฐานของเทคโนโลยีของประเทศไทย กล่าวคือขั้นตอนในการก่อสร้างนั้นไม่ยุ่งยากซับซ้อน อีกทั้งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ยังสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

จากหลักเกณฑ์ในการพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นข้างต้น ประกอบกับการวิเคราะห์โดยแผนภูมิต้นเหตุและผลกระทบในบทที่ 4 พบว่าวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบังคับให้เสาเข็มคอนกรีตสั้นอยู่ในแนวระนาบดิ่งระหว่างขั้นตอนการกดเสาเข็ม คือวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นโดยใช้ปั้นจั่น อีกทั้งในวิธีการนี้ยังสามารถควบคุมและตรวจสอบระนาบราบได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

แต่เนื่องจากโครงถักของปั้นจั่นนั้นมีขนาดใหญ่และขาดความคล่องตัวในการปฏิบัติงาน จึงไม่เหมาะสมที่จะทำการพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นบนพื้นฐานของวิธีการนี้ และในวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นโดยใช้กำลังคนนั้นพบข้อบกพร่องหลายประการไม่ว่าจะเป็นการใช้แรงงานจำนวนมากในการปฏิบัติงาน ไม่สามารถตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นได้ในบางพื้นที่ อีกทั้งการควบคุมตรวจสอบระนาบราบและระนาบดิ่งนั้นทำได้ยาก จึงมีความเหมาะสมที่จะทำการพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นบนพื้นฐานของวิธีการตอกเสาเข็มสั้นโดยใช้เครื่องจักรขุดดิน ทั้งนี้เพราะมีความสะดวกคล่องตัวในการปฏิบัติงานสูง มีอัตราผลิตภาพสูง ใช้แรงงานในการปฏิบัติงานน้อย

ดังนั้นสมมติฐานของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นจึงพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นโดยใช้เครื่องจักรขุดดิน ที่สามารถควบคุมตรวจสอบระนาบราบและระนาบดิ่งได้โดยใช้หลักการของปั้นจั่น



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของหลักเกณฑ์ในการพัฒนาเครื่องมือกับปัจจัยทั้งสาม

และเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสิ้นโดยใช้เครื่องจักรขุดดินนั้นจะต้องสามารถต้านทานแรงกระทำจากเครื่องจักรขุดดินได้ และมีความมั่นคงแข็งแรงในขณะปฏิบัติงาน ซึ่งพบว่าหลักการทำงานของขาตั้งกล้องระดับนั้นมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้

จึงสามารถสรุปสาเหตุในการเลือกพัฒนาเครื่องมือได้ดังนี้

1) สาเหตุที่พัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้กับวิธีตอกเสาเข็มคอนกรีตสิ้นโดยเครื่องจักรขุดดิน

- มีความสะดวกคล่องตัวในการปฏิบัติงาน
- มีอัตราผลิตภาพสูง
- เป็นวิธีที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย

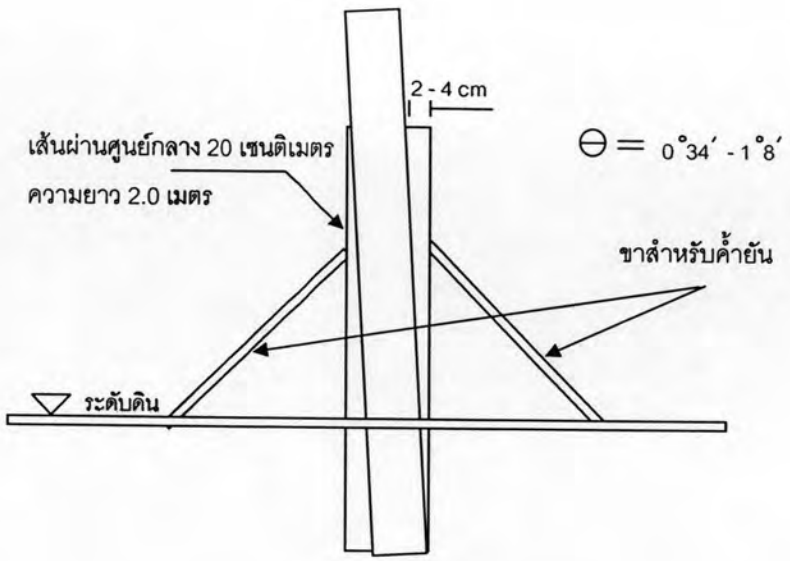
2) สาเหตุที่ไม่พัฒนาวิธีการตอกเสาเข็มสั้นโดยกำลังคนและวิธีใช้ปั้นจั่น

- วิธีใช้แรงคนไม่สามารถตอกเสาเข็มได้ในบางพื้นที่เนื่องจากสภาพดิน
- วิธีใช้แรงคนใช้แรงงานในการปฏิบัติงานมาก
- สภาพของเสาเข็มหลังตอก (วิธีใช้แรงคน) พบข้อบกพร่องมาก
- วิธีใช้ปั้นจั่นไม่เป็นที่แพร่หลาย
- วิธีใช้ปั้นจั่นมีอัตราผลิตภาพที่ต่ำ
- วิธีใช้ปั้นจั่นไม่มีความคล่องตัวในการปฏิบัติงาน

5.4 หลักการทำงานของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

เบื้องต้นมีแนวคิดในการใช้เหล็กราง หรือเหล็กท่อขนาดเล็กถักเป็นโครง แต่เนื่องจากเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นนั้นต้องมีความทนทาน และสามารถต้านทานแรงกระทำจากเครื่องจักรขุดดินได้ จึงได้มีการเลือกใช้ท่อเหล็กกลมขนาดใหญ่เพื่อทำหน้าที่ประคองเสาเข็มขณะทำการตอกเสาเข็มในลักษณะของปลอก โดยในที่นี้เลือกท่อเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ความยาว 2.0 เมตร ทั้งนี้เนื่องจากขนาดหน้าตัดด้านกว้างที่สุดของเสาเข็มหกเหลี่ยมกลวงคือ ประมาณ 18 เซนติเมตร และด้านแคบสุดคือประมาณ 16 เซนติเมตร จะทำให้มีช่องว่างเหลืออยู่หลังจากใส่เสาเข็มคอนกรีตสั้น 2 ถึง 4 เซนติเมตร

และนอกจากนี้เมื่อคำนึงถึงความคงทน และความสามารถในการรับแรงกระทำจากเครื่องจักรขุดดินจึงได้มีการออกแบบให้บางส่วนของเครื่องมือยึดกับพื้นดิน เพื่อทำหน้าที่เป็นฐานรองรับแรงทางด้านข้าง อีกทั้งสนับสนุนการรับแรงกระทำด้านข้างด้วยขาค้ำ ซึ่งใช้หลักการทำงานเดียวกันกับขาค้ำของกล่องสองระดับ



รูปที่ 5.2 หลักการทำงานของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

5.5 รายละเอียดของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น ดังรูปที่ 5.3 นั้นสร้างขึ้นโดยใช้ส่วนประกอบหลักเป็นเหล็กรูปพรรณและเหล็กแผ่น โดยส่วนประกอบของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นนั้นประกอบไปด้วยสองส่วน ดังรูปที่ 5.4 คือ ส่วนประคองเสาเข็มคอนกรีตสั้น และส่วนค้ำยัน โดยที่ส่วนประคองเสาเข็มคอนกรีตสั้นนั้นทำมาจากท่อเหล็ก และส่วนค้ำยันนั้นมีสามขาสามารถเคลื่อนไหวได้ตามระยะที่กำหนด โดยรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ มีดังนี้

ก. ส่วนประคองเสาเข็มคอนกรีตสั้น ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกประกอบไปด้วย

(1) ท่อเหล็ก ใช้สำหรับประคองเสาเข็มให้อยู่ในระนาบดิ่ง

เส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร ความหนา 8 มิลลิเมตร เหล็กมาตรฐาน Schedule 40 ความยาว 2.0 เมตร น้ำหนักรวม 85 กิโลกรัม

(2) หน้าแปลน สำหรับรับน้ำหนักเครื่องมือ

เส้นผ่านศูนย์กลาง 340 มิลลิเมตร ความหนา 8 มิลลิเมตร เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 216 มิลลิเมตร น้ำหนักรวม 3.4 กิโลกรัม

(3) หูหิ้ว สำหรับร้อยสลิง

ทำจากเหล็กแผ่นเจาะรูสำหรับร้อยสลิง ความหนา 8 มิลลิเมตร น้ำหนัก 0.7 กิโลกรัม และในชิ้นส่วนนี้จะนำสเกนร้อยน็อตเพื่อยึดกับสลิง เพื่อใช้ในการยกเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มสั้นโดยใช้แขนของเครื่องจักรขุดดิน

(4) แนวบังคับขาค้ำยัน สำหรับบังคับไม่ให้ขาค้ำยันเลื่อนออกนอกเขตที่กำหนด

ข. ส่วนค้ำยัน ประกอบไปด้วย

(1) ท่อเหล็ก สำหรับค้ำยัน

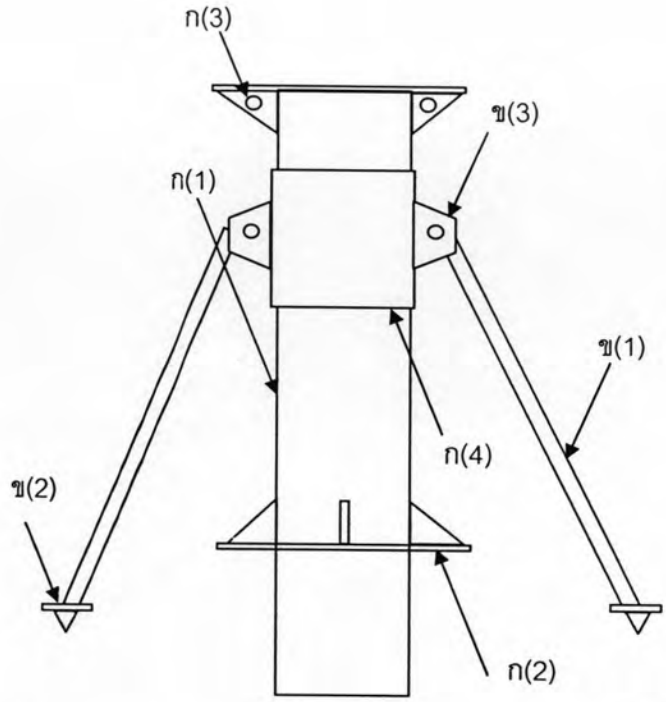
เส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร ความหนา 4.5 มิลลิเมตร มีความยาว 1.5 เมตร ทำจากเหล็กมาตรฐาน Schedule 80 น้ำหนักต่อ 3 ขา คือ14.53 กิโลกรัม

(2) ปลายแหลม สำหรับยึดพื้น

ทำจากก้อนเหล็กหล่อนำไปกลึงขึ้นรูปปลายแหลม น้ำหนัก 0.7 กิโลกรัม

(3) หูยึด

ทำจากเหล็กแบนตัดให้ได้ขนาด มีน้ำหนักทั้งหมด 4.9 กิโลกรัม



รูปที่ 5.3 รายละเอียดของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

5.6 การประมาณต้นทุนของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

ต้นทุนของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น โดยประมาณจากส่วนประกอบของเครื่องมือได้ดังนี้

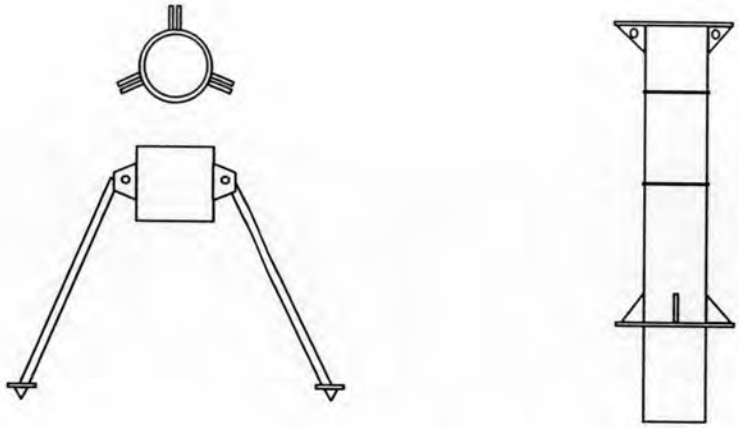
(1) ส่วนประคองเสาเข็มคอนกรีตสั้น	น้ำหนักวัสดุรวม	117.18	กิโลกรัม
(2) ส่วนค้ำยัน	น้ำหนักวัสดุรวม	32.82	กิโลกรัม

คิดเป็นเงิน 3,750 บาท (เหล็กรูปพรรณ 25 บาทต่อกิโลกรัม)

(3) ค่าแรงประกอบชิ้นงาน

คิดเป็นเงิน 6,000 บาท (20 ชั่วโมงทำงาน 300 บาทต่อชั่วโมง)

รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 9,750 บาท



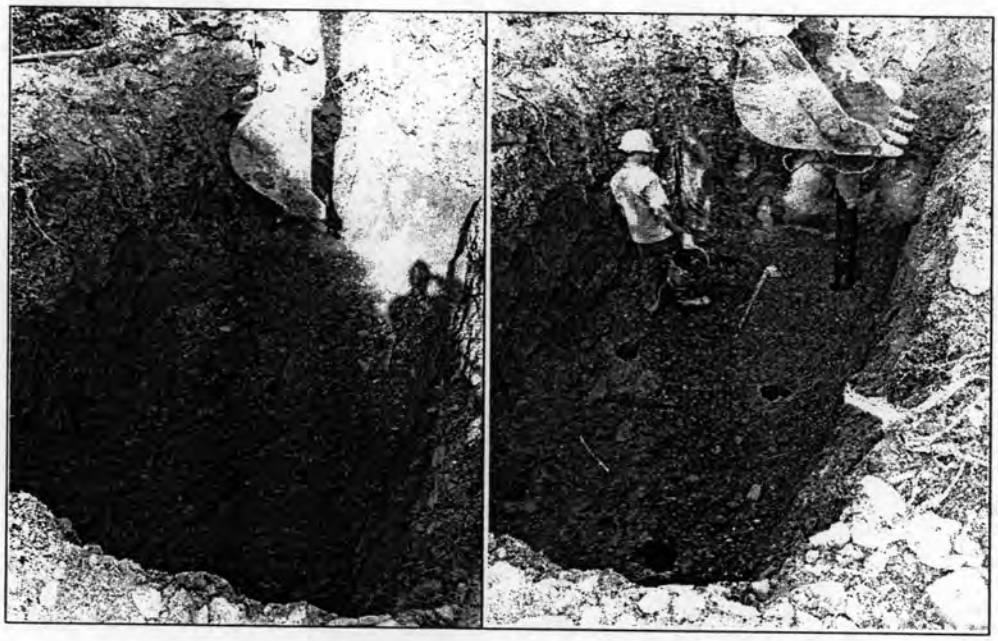
รูปที่ 5.4 สององค์ประกอบหลักของเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น
ได้แก่ ส่วนค้ำยัน และส่วนประคองเสาเข็ม

5.7 การทดสอบเครื่องมือต้นแบบ

ในส่วนของการทดสอบเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนทดสอบเครื่องมือต้นแบบ (Prototype) และส่วนทดสอบเปรียบเทียบสมรรถภาพระหว่างวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นแบบปกติกับวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นเมื่อมีการประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น โดยในส่วนขั้นตอนของการทดสอบเครื่องมือขั้นต้นนั้นมีจุดประสงค์เพื่อทดลองใช้งานเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นว่ามีจุดด้อยที่ใด เพื่อทำการพัฒนาปรับปรุงก่อนการนำไปทดสอบเปรียบเทียบสมรรถภาพจริง

ในส่วนของการทดสอบเครื่องมือเบื้องต้นนั้นทดสอบ ณ บริเวณ จังหวัดสระบุรี โดยเป็นฐานรากสำหรับถังบำบัด จำนวนเสาเข็มที่ทำการตอกทั้งสิ้น 6 ต้น มีความยาวต้นละ 4 เมตร โดยหน้างานลึกกว่าระดับดินเดิม 2 เมตร โดยที่มีการใช้เสาเหล็กกดนำ จากนั้นจึงทำการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทดสอบ

จากการทดสอบพบว่าตัวเครื่องมือทดสอบต้นแบบนั้นยังมีข้อบกพร่องหลักๆ 2 ประการคือ การตรวจสอบระนาบดิ่งนั้นทำได้ยากเพราะผู้ปฏิบัติงานต้องใช้การคาดคะเน

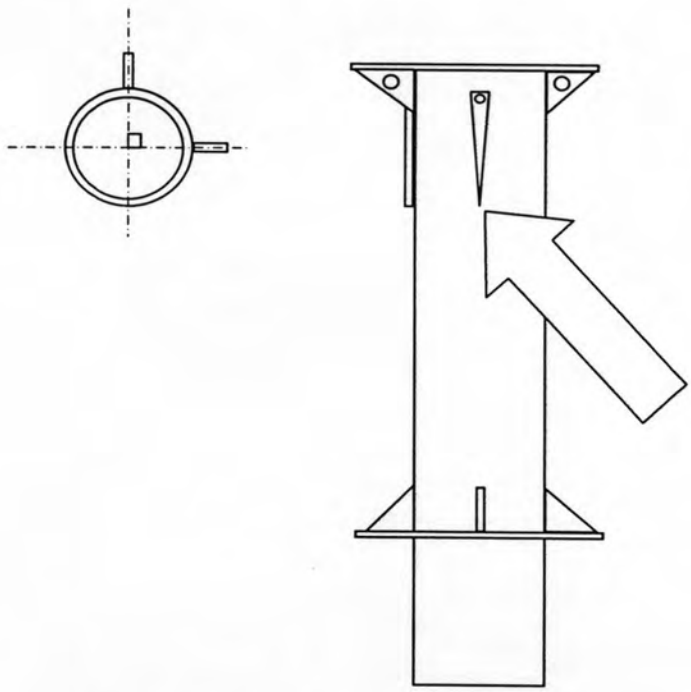


รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการเตรียมหน้างาน

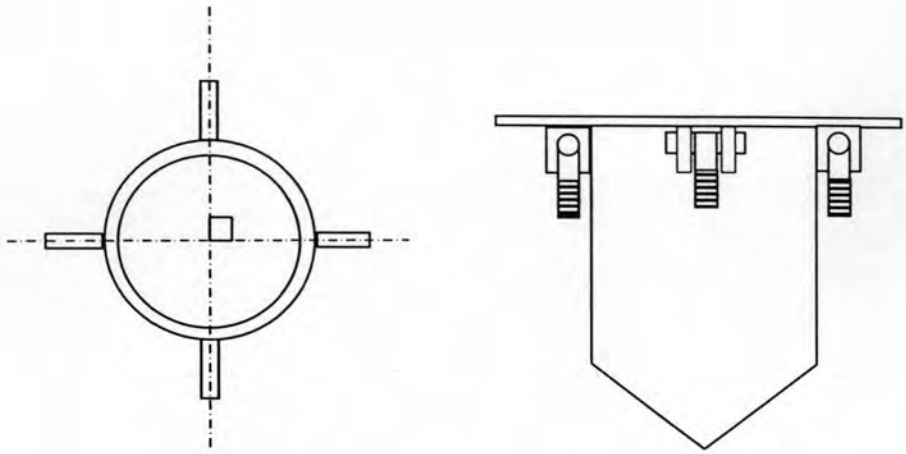
รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือและระหว่างปฏิบัติงาน

จึงอาจทำให้ได้ระนาบดิ่งที่คลาดเคลื่อนได้ ในส่วนที่สองคือการที่ต้องใช้เสาเหล็กเพื่อทำการกดนำก่อนนั้นเป็นการเพิ่มขั้นตอนการทำงาน ทำให้ขาดความคล่องตัวในการปฏิบัติงาน

ในส่วนของขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถภาพระหว่างวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นแบบปกติกับวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นเมื่อมีการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นจึงแก้ไขปัญหาเรื่องการตรวจสอบระนาบดิ่งโดยการติดตั้งเครื่องวัดระนาบดิ่ง และในส่วนของการลดขั้นตอนในการใช้เข็มเหล็กกดนำด้วยการทำปลอกเหล็กสวมส่วนปลายของเครื่องมือ



รูปที่ 5.7 อุปกรณ์ตรวจวัดระนาบดิ่ง



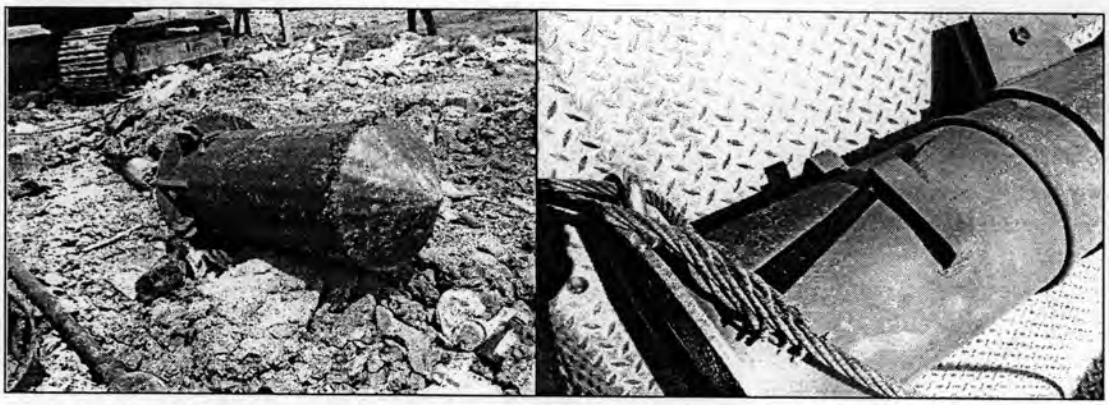
รูปที่ 5.8 อุปกรณ์นำส่งเสาเข็ม

5.8 การทดสอบเปรียบเทียบสมรรถภาพระหว่างวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นแบบปกติกับวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นเมื่อมีการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้น

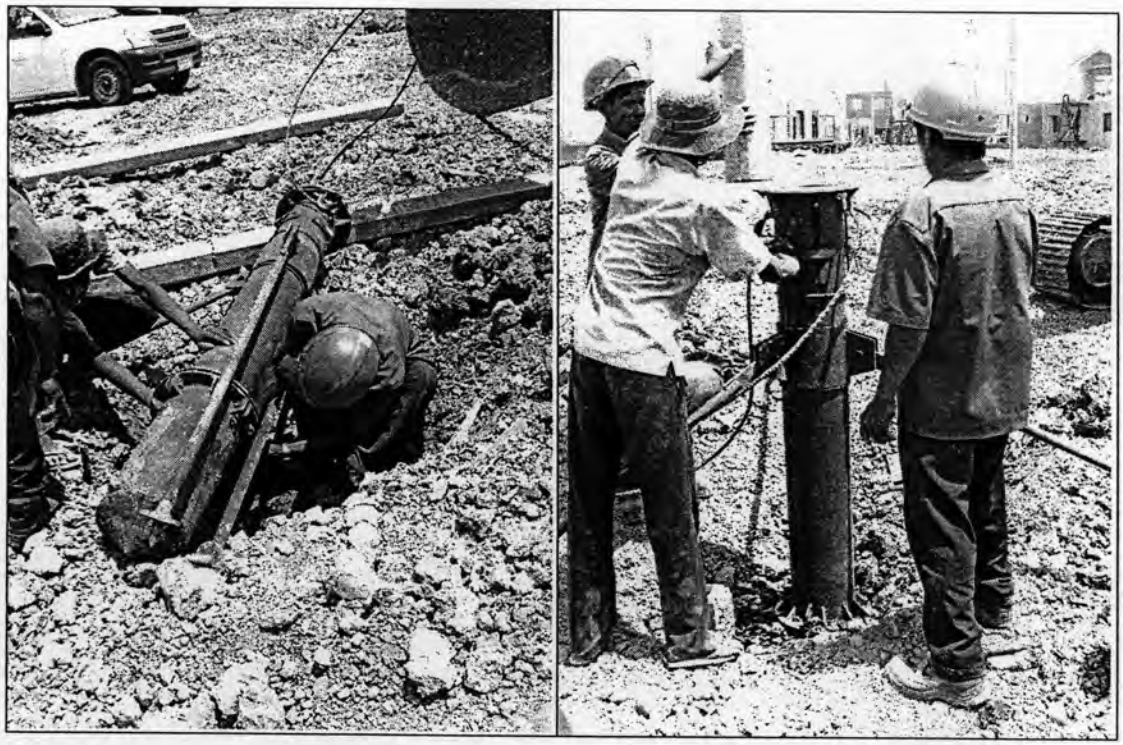
ในส่วนของการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถภาพระหว่างวิธีที่ผู้ประกอบการใช้ในปัจจุบัน และวิธีการประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น โดยได้จำลองการทดสอบออกเป็น 2 ลักษณะ คือ เมื่อประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นกับเสาเข็มที่มีความยาว 6 เมตร และ เมื่อประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นกับเสาเข็มที่มีความยาว 4 เมตร โดยในทั้งสองกรณีนั้นจะเป็นการทดสอบแบบควบคุมสภาวะแวดล้อม กล่าวคือ ในการทดสอบจะใช้เครื่องจักรตัวเดียวกัน คนขับเครื่องจักรคนเดียวกัน ผู้ปฏิบัติงานชุดเดียวกัน คนควบคุมงานคนเดียวกัน อีกทั้งสภาพอากาศลักษณะเดียวกัน

โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.8.1 การทดสอบสมรรถนะระหว่างวิธีที่ผู้ประกอบการใช้ และวิธีการประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น เมื่อเสาเข็มมีความยาว 6 เมตร



รูปที่ 5.9 ปลอกนำและเครื่องมือวัดระนาบดิ่ง



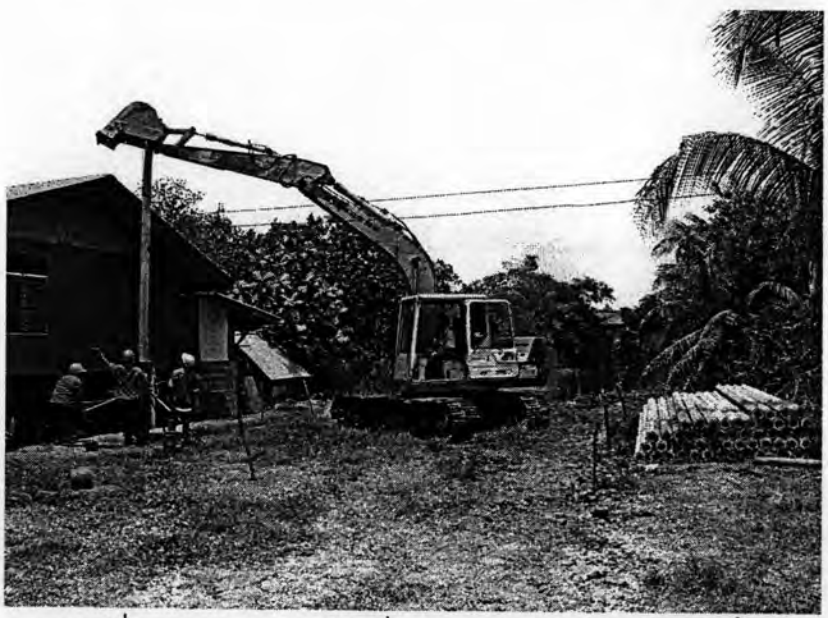
รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการติดตั้งและระหว่างปฏิบัติงาน

หน่วยงานที่ไม่ทำการเก็บข้อมูลเป็นงานโครงสร้างอาคารชั้นเดียว บริเวณจังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง แบ่งเป็น

- เก็บข้อมูลแบบไม่ประยุกต์ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้น 30 ตัวอย่าง
- เก็บข้อมูลแบบประยุกต์ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้น 30 ตัวอย่าง

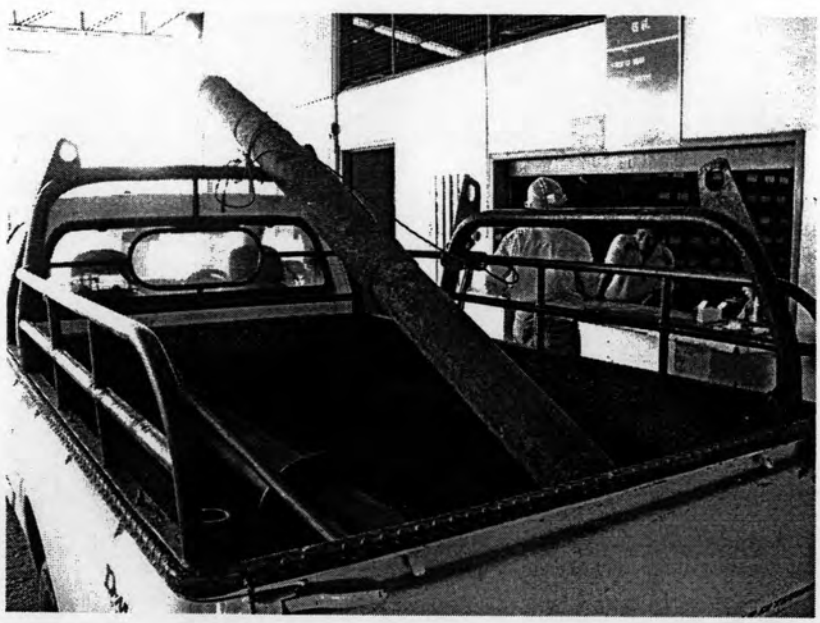
ในขั้นตอนการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถภาพระหว่างวิธีที่ผู้ประกอบการใช้ในปัจจุบัน และวิธีการประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น ที่ขนาดความยาวของเสาเข็มคอนกรีตสั้น 6 เมตร นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

ในขั้นตอนการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นที่มาประยุกต์ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนั้น ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งที่น้อยกว่า ซึ่งระนาบดิ่งที่วัดได้แตกต่างกันประมาณ 2 องศา โดยที่มีระยะห่างมากที่สุด 6 องศา ในส่วนของระยะเวลาในการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นแตกต่างกันประมาณ 4 นาที โดยที่วิธีประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นใช้เวลามากกว่าประมาณ 2 นาที โดยที่ส่วนของเวลาที่มากกว่าเกิดจากขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็ม แต่ในส่วนของจำนวนแรงงานที่ใช้นั้นมีจำนวนเท่ากันคือ 3 คน

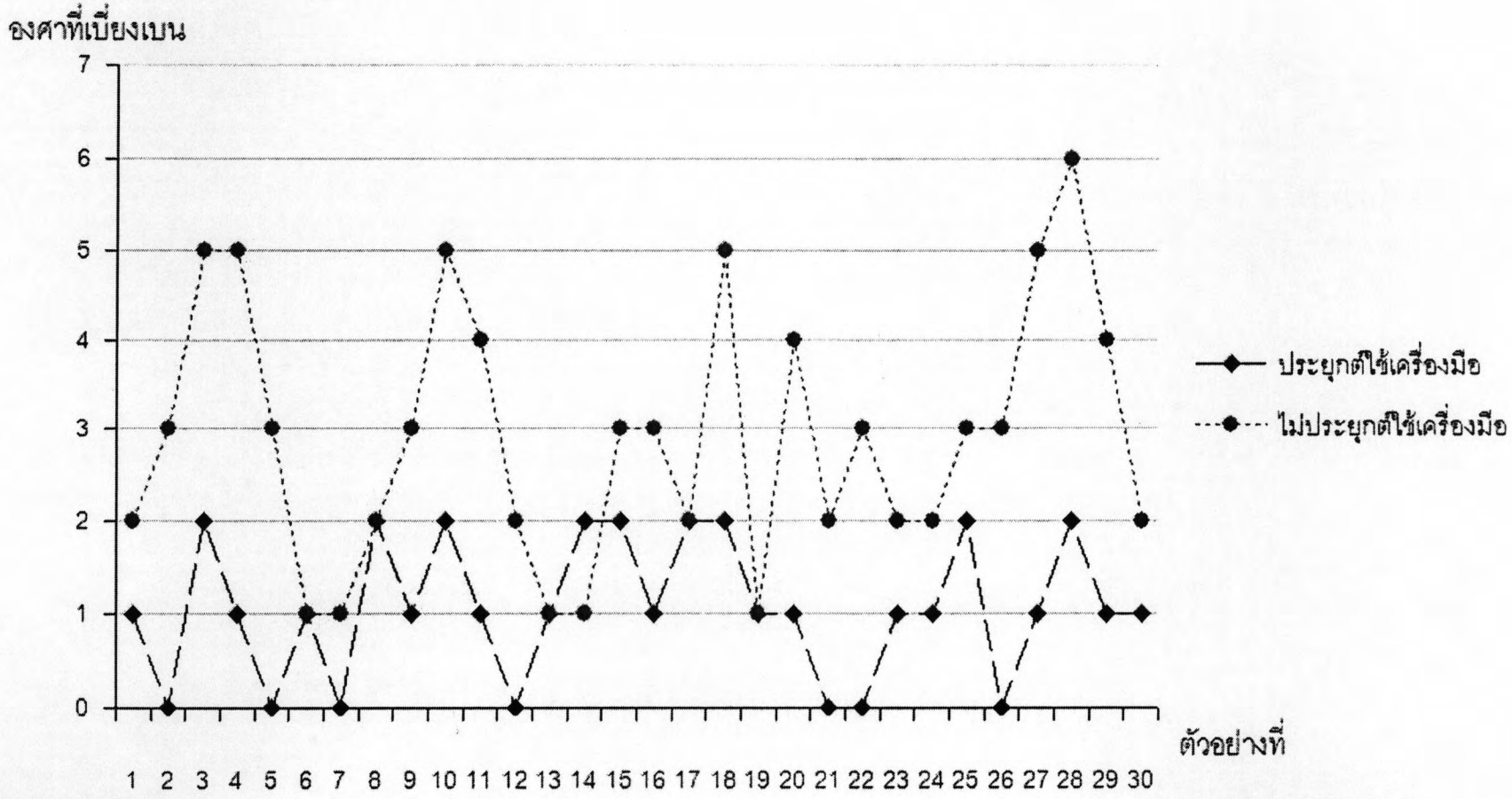


รูปที่ 5.11 การประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

รูปที่ 5.12 การติดตั้งเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น



รูปที่ 5.13 การขนย้ายเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น



รูปที่ 5.14 องศาที่เบี่ยงเบนของเสาเข็มคอนกรีตสั้นขนาดความยาว 6 เมตรกับตัวอย่างลำดับต่างๆ

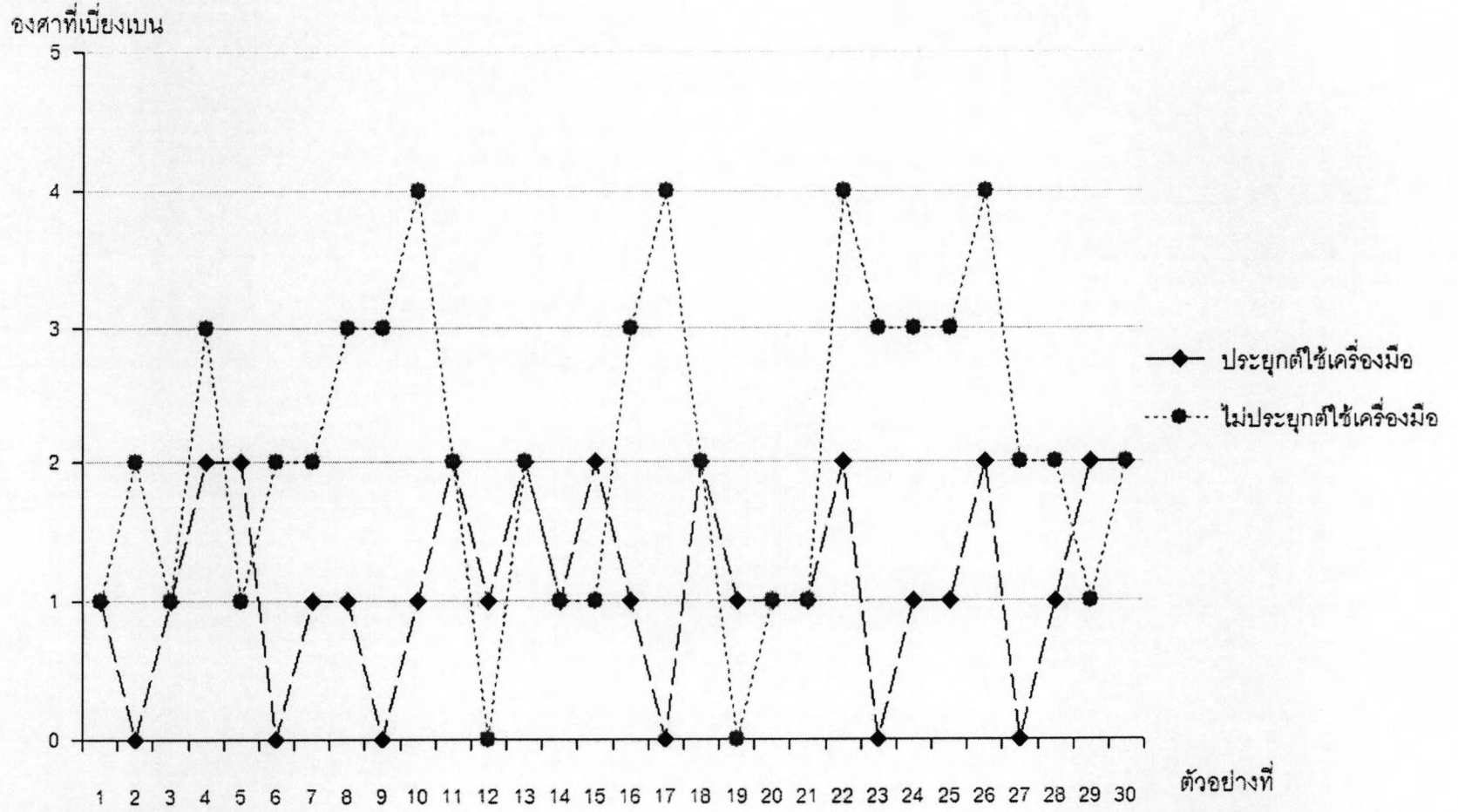
5.8.2 การทดสอบสมรรถนะระหว่างวิธีที่ผู้ประกอบการใช้ และวิธีการประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น เมื่อเสาเข็มมีความยาว 4 เมตร

หน่วยงานที่เก็บข้อมูลเป็นงานโครงสร้างรั้ว โครงการบ้านจัดสรร บริเวณ จังหวัดนนทบุรี จำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง แบ่งเป็น

- เก็บข้อมูลแบบไม่ประยุกต์ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้น 30 ตัวอย่าง
- เก็บข้อมูลแบบประยุกต์ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้น 30 ตัวอย่าง

ในขั้นตอนการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นที่มาประยุกต์ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนั้น ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งที่น้อยกว่า ซึ่งระนาบดิ่งที่วัดได้แตกต่างกันประมาณ 2 องศา โดยที่มีระยะห่างมากที่สุด 4 องศา ในส่วนของระยะเวลาในการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นแตกต่างกันประมาณ 3 นาที โดยที่วิธีประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นใช้เวลามากกว่าประมาณ 2 นาที โดยที่ส่วนของเวลาที่มากกว่าเกิดจากขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็ม แต่ในส่วนของจำนวนแรงงานที่ใช้นั้นมีจำนวนเท่ากันคือ 3 คน

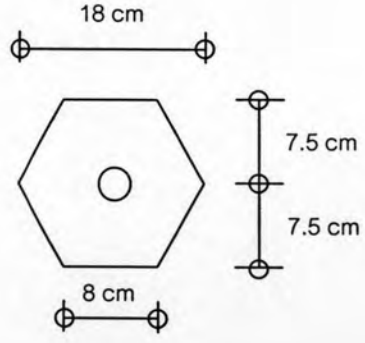
รูปที่ 5.15 เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นเมื่อประยุกต์ใช้กับเสาเข็มความยาว 4 เมตร



รูปที่ 5.16 องศาที่เบี่ยงเบนของเสาเข็มคอนกรีตสั้นขนาดความยาว 4 เมตรกับตัวอย่างลำดับต่างๆ

เนื่องจากในระหว่างการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถภาพระหว่างวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นแบบปกติกับวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นเมื่อมีการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนั้นไม่ได้ทำการบันทึกค่ารอยร้าวของเสาเข็มคอนกรีตสั้นในระหว่างขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนั้นจึงคำนวณหาขอบเขตของการร้าวจากค่าโมดูลัสของการแตกร้าว (Modulus of Rupture : f_r) ซึ่งมีค่าเท่ากับ สองเท่าของรากที่สองของค่ากำลังอัดที่กำหนด โดยตั้งสมมติฐานว่าถ้าหน่วยแรงของคอนกรีตบนพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มมีค่ามากเกินกว่าค่าโมดูรัสของการแตกร้าวให้คิดว่าเสาเข็มคอนกรีตนั้นได้เกิดรอยร้าวขึ้น อันส่งผลให้เสาเข็มคอนกรีตได้รับความเสียหาย โดยมีรายละเอียดดังนี้

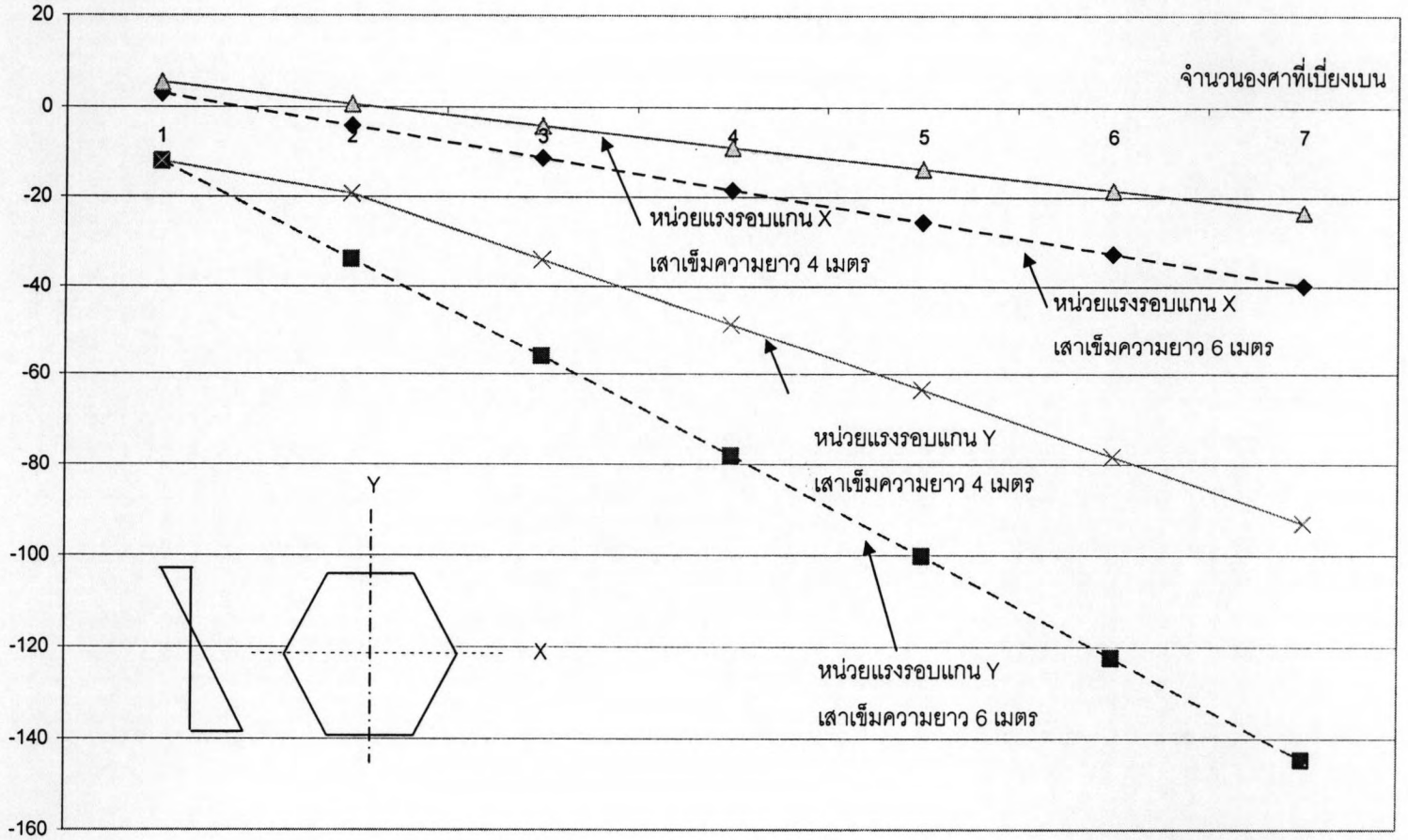
- กำลังอัดที่กำหนด เท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- จำนวนเหล็กยืน 4 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร
- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต เท่ากับ 15120 $\sqrt{f'c}$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม มีค่า 2.04 x 10^6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม เท่ากับ 194 ตารางเซนติเมตร อ้างอิงจากรูปที่ 5.17
- สมมติแรงกดของเครื่องจักรขุดดิน มีค่า 2000 กิโลกรัม



รูปที่ 5.17 ขนาดหน้าตัดของเสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง

หน่วยแรงที่หน้าตัดของเสาเข็ม (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

(ค่าบวก = กำลังอัด, ค่าลบ = กำลังดึง)



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกับจำนวนองศาที่เบี่ยงเบน

จากข้อมูลข้างต้นจะได้ค่าโมดูลัสของการแตกร้าว มีค่าเท่ากับ 31.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบภาคสนามของการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น ความยาว 4 เมตร และ 6 เมตร มาเปรียบเทียบเพื่อหาตำแหน่งที่เกิดรอยร้าวบนเสาเข็ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อนำข้อมูลรูปที่ 5.14 ของการทดสอบประสิทธิภาพเสาเข็มความยาว 6 เมตร ซึ่งค่าหน่วยแรงควบคุมคือหน่วยแรงรอบแกน Y จะเริ่มมีการร้าวที่องศาเบี่ยงเบนที่ 2 องศา โดยเมื่อมีการประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นพบว่าจำนวนตัวอย่างที่มีค่าหน่วยแรงเกินกว่าค่าโมดูลัสการแตกร้าวคือ 9 ตัวอย่างคิดเป็น ร้อยละ 30 ของตัวอย่างทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ในขณะที่ขั้นตอนการตอกเสาเข็มความยาว 6 เมตร แบบไม่ประยุกต์ใช้เครื่องมือพบว่ามีตัวอย่างจำนวน 25 ตัวอย่างที่มีค่าหน่วยแรงเกินค่าโมดูลัสการแตกร้าว คิดเป็น ร้อยละ 83 ของตัวอย่างทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าเมื่อประยุกต์ใช้เครื่องช่วยตอกเสาเข็มนั้นสามารถลดการร้าวของเสาเข็มคอนกรีตได้ถึง ร้อยละ 53

เมื่อนำข้อมูลรูปที่ 5.16 ของการทดสอบประสิทธิภาพเสาเข็มความยาว 4 เมตร ซึ่งค่าหน่วยแรงควบคุมคือหน่วยแรงรอบแกน Y จะเริ่มมีการร้าวที่องศาเบี่ยงเบนที่ 3 องศา โดยเมื่อมีการประยุกต์ใช้เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นพบว่าหน่วยแรงไม่เกินค่าโมดูลัสของการแตกร้าว ดังนั้นตามสมมติฐานจึงไม่เกิดรอยร้าวบนเสาเข็มคอนกรีตสั้นในขณะตอก ในขณะที่ขั้นตอนการตอกเสาเข็มความยาว 4 เมตร แบบไม่ประยุกต์ใช้เครื่องมือพบว่ามีตัวอย่างจำนวน 11 ตัวอย่างที่มีค่าหน่วยแรงเกินค่าโมดูลัสการแตกร้าว คิดเป็น ร้อยละ 36 ของตัวอย่างทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง

5.9 สรุป

การพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นโดยอาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์ตามตารางเปรียบเทียบ ข้อมูลจากการเปรียบเทียบหลักวิศวกรรมกับการทำงานของผู้ประกอบการ ในปัจจุบัน และข้อมูลจากแผนภูมิต้นเหตุและผลกระทบในบทที่ 4 พบว่าวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นโดยใช้ปั้นจั่นและกำลังคนนั้นมีข้อบกพร่องในเรื่องของข้อจำกัดของการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้น

ความสะดวกคล่องตัวในการปฏิบัติงาน ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นจึงพัฒนาบนพื้นฐานการทำงานของวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นโดยใช้เครื่องจักรขุดดิน

เครื่องมือช่วยตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นที่พัฒนาขึ้นนั้นมีการประยุกต์ใช้หลักการของโครงถักปั้นจั่น และขาตั้งกล้องระดับเป็นแนวคิดหลัก ทั้งนี้จากผลการทดสอบเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นพบว่าประสิทธิภาพในการควบคุมระนาบราบและระนาบดิ่งดีขึ้นและเป็นไปตามหลักวิศวกรรม ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ และใช้จำนวนแรงงานในการปฏิบัติงานน้อย ทั้งนี้ในส่วนของอัตราการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นนั้นมีอัตราการตอกที่น้อยกว่าวิธีการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นโดยใช้เครื่องจักรขุดดิน และมีอัตราการตอกเสาเข็มคอนกรีตสั้นมากกว่าวิธีใช้กำลังคนและวิธีใช้ปั้นจั่น