

## “ปัญหาเสาเข็มตอกบนฐานรากหินแกรนิต และการประเมินความเสี่ยงโดยระบบ GIS”

ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์<sup>1</sup>

นายศิริชัย แก้วกิตติคุณ<sup>2</sup>

นายเสวก จินโต<sup>3</sup>

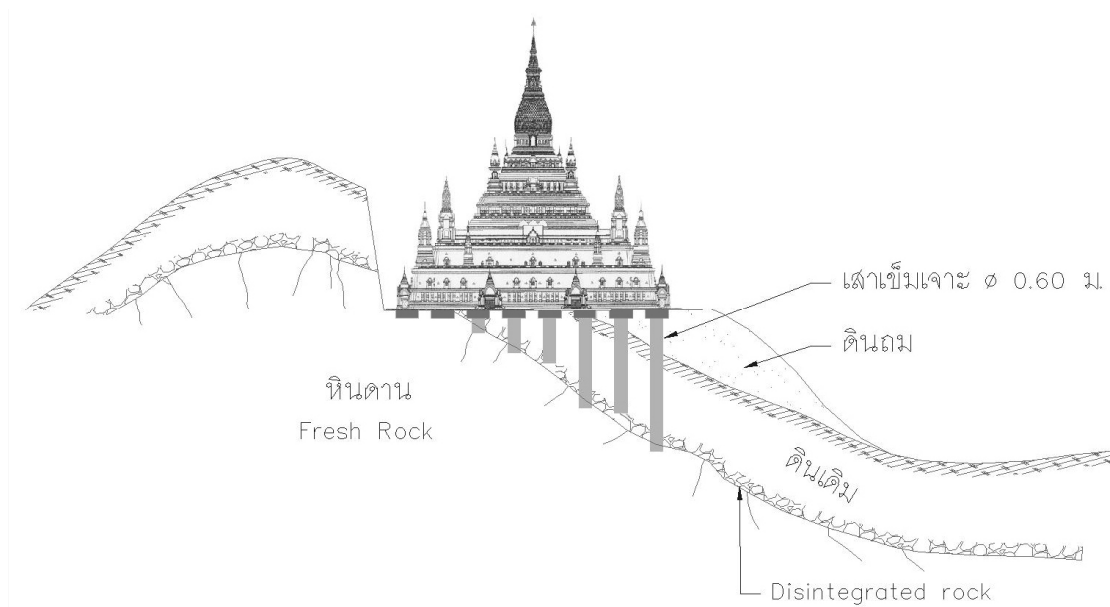
<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ และหัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengsus@ku.ac.th)

<sup>2,3</sup> นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### ความเป็นมา

โครงการก่อสร้างเจดีย์บูรพาวิริยาประชาสามัคคี ณ วัดเขาสุกิม อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ได้ก่อสร้างตามเจตนารมณ์ของพระวิสุทธิญาณเถร (หลวงปู่สมชายฐิตวิริโย) เพื่อประดิษฐานพระพุทธรูปหินอ่อนและพระบรมสารีริกธาตุขององค์สมเด็จพระสัมมาสัมพุทธเจ้า โดยได้เริ่มดำเนินการก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ.2538 โดยองค์เจดีย์ที่ก่อสร้างมีขนาดที่ฐาน 99×99 เมตร ความสูง 119 เมตร ตำแหน่งขององค์เจดีย์ก่อสร้างบนไหล่เขา ซึ่งเป็นภูเขาหินแกรนิต (รูปที่ 1 และ 2) ชนิด Hornblende-Biotite มีขนาด Grain ใหญ่ มีรอยแตกสม่ำเสมอและมีความผูกพันปานกลางถึงสูง ฐานรากเจดีย์ส่วนหนึ่งวางอยู่บนชั้นหินแข็ง ส่วนที่เหลือก่อสร้างโดยการใส่เสาเข็มเจาะระบบแห้ง ขนาด 60 ซม. โดยเสาเข็มได้ถูกออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 120 ตัน/ต้น และน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ 300 ตัน/ต้น ระหว่างก่อสร้างได้ทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม เมื่อปี พ.ศ.2541 และพบว่าเสาเข็มเจาะส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ Dynamic Pile Load Test (ลุ่มทดสอบ 42 ต้น ไม่ผ่าน 20 ต้น) และไม่ผ่าน Static Pile Load Test ที่กำลังรับน้ำหนักสูงสุด (ทดสอบ 8 ต้น ไม่ผ่านทั้ง 8 ต้น) จากเหตุดังกล่าวทำให้การก่อสร้างต้องหยุดชะงักลง เหตุผลสำคัญที่เสาเข็มเจาะระบบแห้ง ไม่สามารถผ่านการทดสอบการรับน้ำหนักดังกล่าว เนื่องจากเป็นธรรมชาติของหินแกรนิตที่ผูกพันในลักษณะเข้าศูนย์กลาง โดยการผูกพันจะก่อให้เกิดหินลอยแทรกอยู่ในมวลดินที่ผูกพันแล้ว (รูปที่ 3) ลักษณะดังกล่าวทำให้ปลายเสาเข็มเจาะวางอยู่บนหินลอยมากกว่าที่จะวางอยู่บนหินพิศ จากการเจาะสำรวจในภายหลังได้พบว่าสมมุติฐานดังกล่าวได้ถูกต้อง เนื่องจากระดับหินพิศส่วนใหญ่จากการเจาะสำรวจอยู่ต่ำกว่าระดับปลายเสาเข็มเจาะ ใน พ.ศ. 2548 หลังจากการมรณภาพของหลวงปู่สมชายและเสร็จงานบำเพ็ญกุศลสวดอภิธรรมครบ 100 วัน เหล่าศิษยานุศิษย์จึงได้มีมติในการสานต่อโครงการก่อสร้างเจดีย์ โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้เข้ามาดำเนินการศึกษาและหาแนวทางแก้ไขปัญหาในอดีต ทางเลือกต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ถูกนำมาพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบ ข้อดี-ข้อเสีย และราคาการก่อสร้าง ทางเลือกต่างๆ ประกอบด้วยการย้ายองค์เจดีย์เข้าไปด้านในภูเขาหรือย้ายไปบนยอดเขา การอัดฉีดน้ำปูนลงที่ปลายเสาเข็มเจาะเพื่อเพิ่มแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม การตอกอัดเสาเข็มเจาะเดิม (Re-Strike) และการตอกเสาเข็มแซมโดยการเจาะนำ จากทางเลือกต่างๆ ข้างต้น พบว่าการตอกเสาเข็มแซมโดยการเจาะนำ เป็นทางเลือกที่

เป็นไปได้มากที่สุดเนื่องจากการใช้เสาเข็มตอกจะทำให้มั่นใจถึงสภาพการรับน้ำหนักที่ปลายเข็มได้ดี โดยใช้เสาเข็ม Pre-Stress ขนาด  $52.5 \times 52.5$  ซม. ตอกแซมเสาเข็มเจาะทุกต้น (แซม 100%) และเพื่อลดการดันตัวของดินจากเสาเข็มตอกจึงใช้การเจาะนำ (Pre-Bored) ก่อนสอดเสาเข็มเพื่อตอก นอกจากนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่ปลายเสาเข็ม จึงได้ใช้ Steel Shoe ที่ปลายเสาเข็ม (รูปที่ 4) เพื่อป้องกันความเสียหายของปลายเสาเข็มและเพื่อกระแทกหินลอยขนาดเล็กให้หลีกหรือแตก โดยสรุปจำนวนเสาเข็มตอกมีทั้งสิ้น 448 ต้น ประกอบด้วยเสาเข็มความยาว 11, 18, 21 และ 24 เมตร (รูปที่ 5) การแบ่งพื้นที่ความยาวการตอกเสาเข็มพิจารณาจากผลการเจาะสำรวจชั้นดินและชั้นหินจำนวน 16 หลุม การเจาะสำรวจดังกล่าวทำให้ได้ข้อมูลที่นำเชื่อถือในการกำหนดความยาวของเสาเข็ม นอกจากนั้นผลการเจาะสำรวจดังกล่าวยังนำไปใช้ในการปรับความยาวเสาเข็มใหม่ ทำให้สามารถลงงบประมาณเสาเข็มได้กว่า 5 ล้านบาท



รูปที่ 1 ลักษณะฐานรากองค์เจดีย์ที่ส่วนหนึ่งเป็นฐานรากแผ่ ส่วนหนึ่งเป็นฐานรากเสาเข็ม



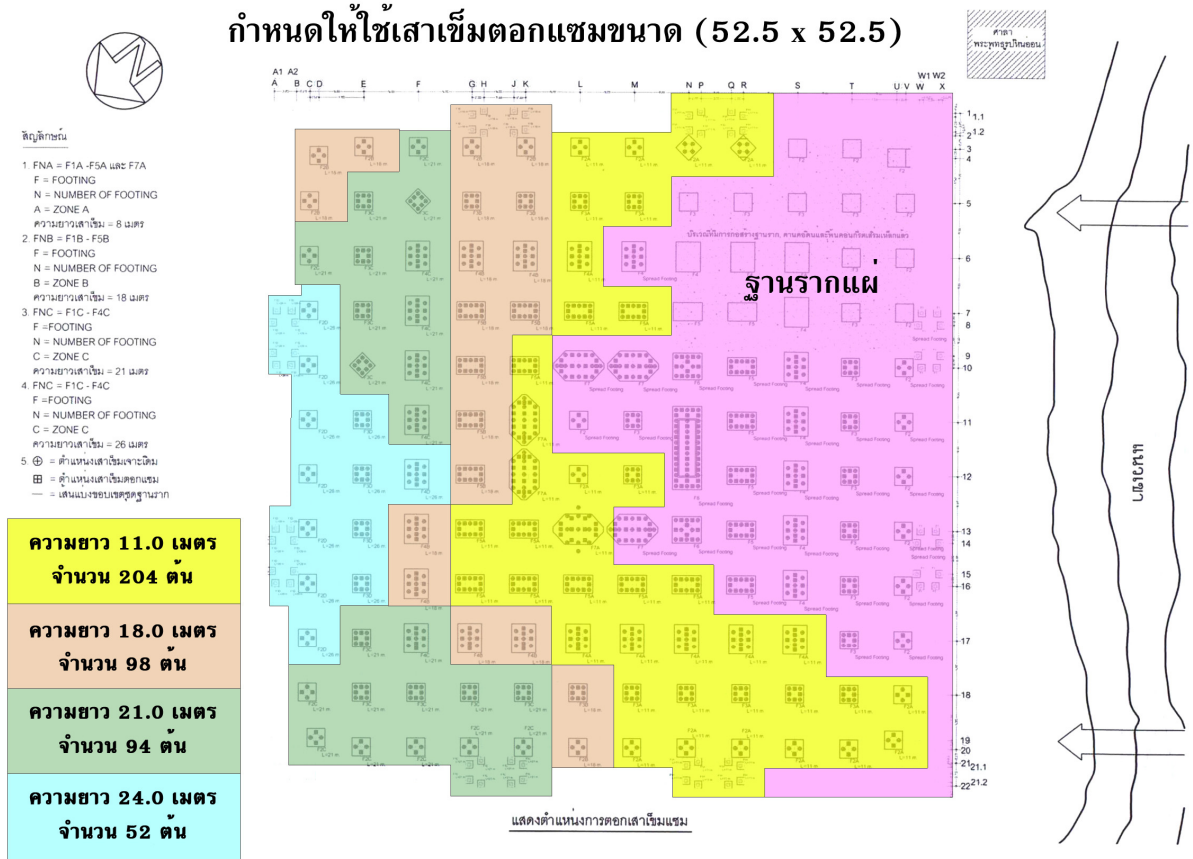
รูปที่ 2 พื้นที่ดำเนินงานก่อสร้าง



รูปที่ 3 การแตกและผุพังของหินแกรนิตทำให้เกิดหินลอย



รูปที่ 4 Steel Shoe เพื่อป้องกันปลายเสาเข็มและตอกกระแทกหินลอย



รูปที่ 5 แผนผังการตอกเสาเข็มและความยาวเสาเข็ม

### การควบคุมคุณภาพ

เนื่องจากการออกแบบเสาเข็มต้องการให้เสาเข็มมีพฤติกรรมเป็น End bearing pile ดังนั้นการควบคุมการตอกเสาเข็มจึงควบคุมจากระยะจมจากการตอก 10 ครั้งสุดท้าย (Last Ten Blows) โดยช่วงแรกของการก่อสร้าง Last ten blows ควบคุมระยะที่ 1 ซม. จากนั้นจึงพิสูจน์กำลังรับน้ำหนักโดยวิธี Dynamic Pile Load Test ซึ่งพบว่ากำลังรับน้ำหนักได้เกินเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมาก (กว่า 500 ตัน/ตัน) จึงผ่อนผันให้ใช้ระยะที่ 2 และ 3 ซม. ได้ตามลำดับ เพื่อลดโอกาสเกิดความเสียหายของเสาเข็มจากการตอก โดยทุกครั้งที่เปลี่ยนแปลงระยะควบคุมการตอกได้ทำการสุ่มทดสอบ Dynamic Pile Load Test เพื่อตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักเสมอ การทดสอบ Dynamic Pile Load Test นี้ได้ดำเนินการสุ่มทดสอบทุกฐานราก ฐานรากละ 1 ต้น หรือมากกว่าขึ้นอยู่กับจำนวนเสาเข็มต่อฐานรากนั้น โดยจะเลือกเสาเข็มที่ได้ค่า Last Ten Blows มากที่สุด นอกจากนั้นยังได้ทำการทดสอบ Seismic Test กับเสาเข็มทุกต้น เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม สำหรับการทดสอบ Static Pile Load Test ได้ทำการทดสอบเสาเข็มจำนวน 8 ต้น โดยเลือกเสาเข็มที่มีความยาวต่าง ๆ กัน และเลือกเสาเข็มในฐานรากที่รับน้ำหนักสูง ผลการทดสอบพบว่าเสาเข็มทั้ง 8 ต้น รับน้ำหนักได้ตามกำหนด

## พฤติกรรมการตอกเสาเข็ม

เนื่องจากการตอกเสาเข็มเป็นการตอกลงสู่ฐานหินแกรนิต ดังนั้นจึงประสบปัญหาที่เกิดจากสภาพหินล้อยหรือความไม่สม่ำเสมอของหน้าหินแกรนิต ดังต่อไปนี้

1) เสาเข็มเอียง เกิดจากปลายเสาเข็มเกิดการสั่นไถลกับหินล้อยหรือตอกลงสู่หินฟืดที่ขรุขระ ทำให้การตอกเสาเข็มเอียง พฤติกรรมนี้ทำให้เกิดการเอียงศูนย์ของเสาเข็มและเสี่ยงต่อการแตกร้าวของเสาเข็ม (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 การเอียงของเสาเข็ม

2) การตอกเสาเข็มในกลุ่มเดียวกันแต่ได้ความลึกต่างกันอย่างมาก แม้จะมีระยะห่างกันไม่มาก เสาเข็มต้นที่ตอกไม่ลงเนื่องจากปลายเสาเข็มวางอยู่บนชั้นหินหรือหินล้อยขนาดใหญ่ ไม่สามารถตอกทะลุลงไปได้ ส่วนเสาเข็มที่ตอกแล้วมีการจมลงมากเกินไปเนื่องจากปลายเสาเข็มวางอยู่บนช่องว่างระหว่างหินหรือซอกหิน (รูปที่ 7)

3) เสาเข็มจมลงไปในดินมากหรือความยาวเสาเข็มไม่เพียงพอ จากสภาพชั้นหินด้านล่างนั้นแปรปรวนมากตามธรรมชาติของหินแกรนิต อย่างไรก็ตาม เนื่องมีการเจาะสำรวจถึง 16 หลุมซึ่งถือว่า

มากสำหรับพื้นที่ขนาดนี้ ทำให้พบปัญหานี้อยู่ในปริมาณที่ไม่มาก การแก้ไขดำเนินการโดยใช้เหล็กส่งตอกส่งลงไปอีกแต่กำหนดให้ส่งได้ไม่เกิน 2 เมตร

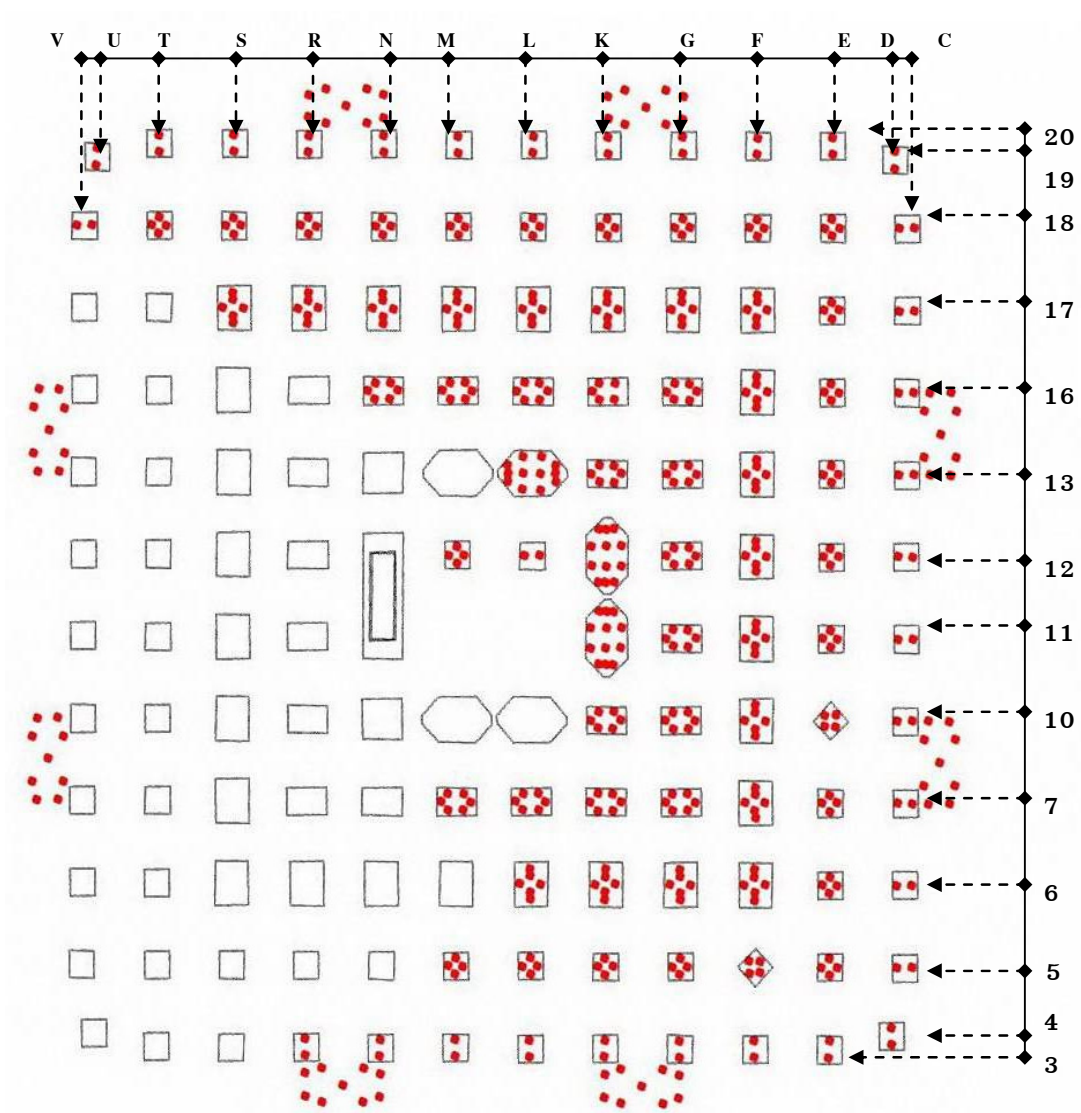


รูปที่ 7 ปลายเสาเข็มต่างระดับกันแม้จะอยู่ห่างกันไม่มาก

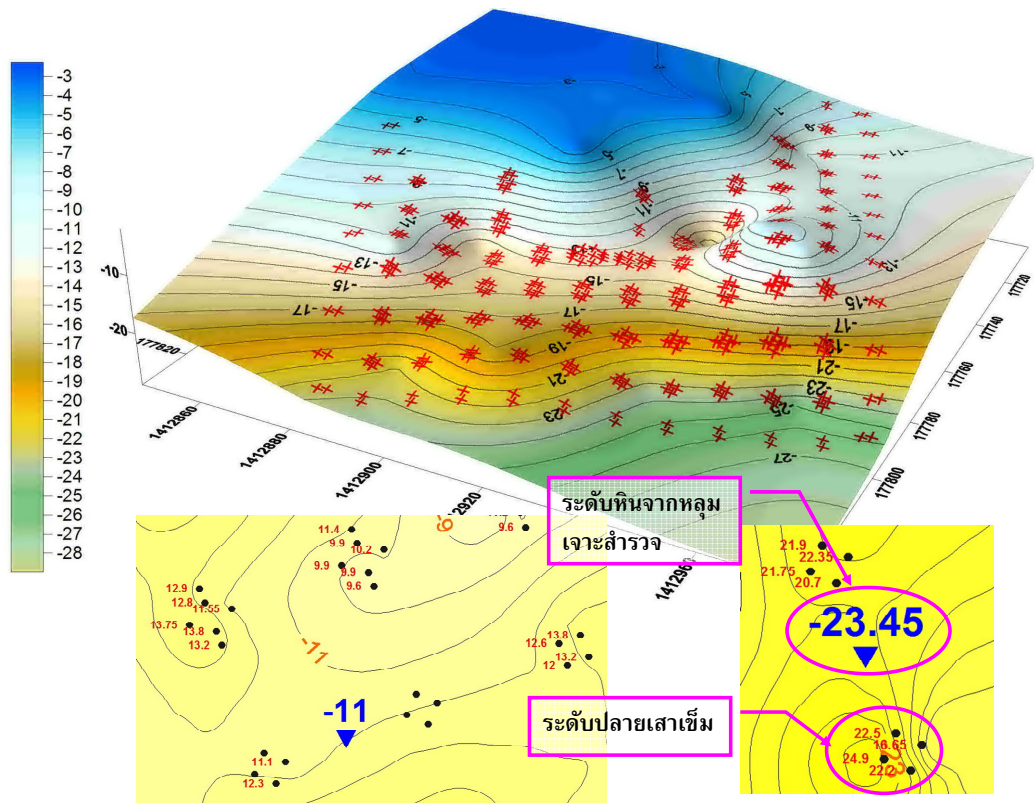
### การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เชิงพื้นที่

จากปัญหาที่ประสบดังกล่าวทำให้การตอกเสาเข็มแต่ละต้นไม่เป็นไปตามลักษณะที่ผู้ออกแบบได้คาดการณ์ไว้ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบเพื่อปรับแบบการก่อสร้างของฐานราก เนื่องจากเสาเข็มมีเป็นจำนวนมากและข้อมูลที่เกี่ยวข้องของเสาเข็มแต่ละต้นมีหลากหลาย ผู้เขียนจึงได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐานด้านตำแหน่ง วันที่ดำเนินการตอก คุณภาพของเสาเข็มก่อนตอก ขนาดลูกตุ้มที่ใช้ตอก และความยาวเสาเข็ม ข้อมูลด้านการควบคุมคุณภาพการตอกเสาเข็มอันประกอบด้วย ค่าการทรุดตัว 10 ครั้งสุดท้าย ค่าคำนวณกำลังรับน้ำหนักสูงสุดจาก Hiley's Formular ค่าการเยื้องศูนย์ของเสาเข็ม ค่าการเอียงของเสาเข็ม ผลการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มโดยวิธี Seismic ผลการทดสอบพฤติกรรมความสามารถในการรับน้ำหนักโดยวิธี Dynamic Pile Load Test และ Static Pile Load Test ข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมไม่เกี่ยวข้องกับฐานรากแก่ที่ก่อสร้างไปแล้ว ฝั่งฐานรากในระบบ GIS แสดงดังรูปที่ 8 นอกจากการจัดเก็บข้อมูลการตอกเสาเข็มยังได้จัดเก็บข้อมูลผลการเจาะสำรวจและสามารถเปรียบเทียบตำแหน่งปลายเสาเข็มกับตำแหน่งชั้นหินพีตที่ได้จากการเจาะสำรวจดังแสดงในรูปที่ 9 จากผลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประเมินความถูกต้องของการวางปลายเสาเข็มในชั้นหินพีต

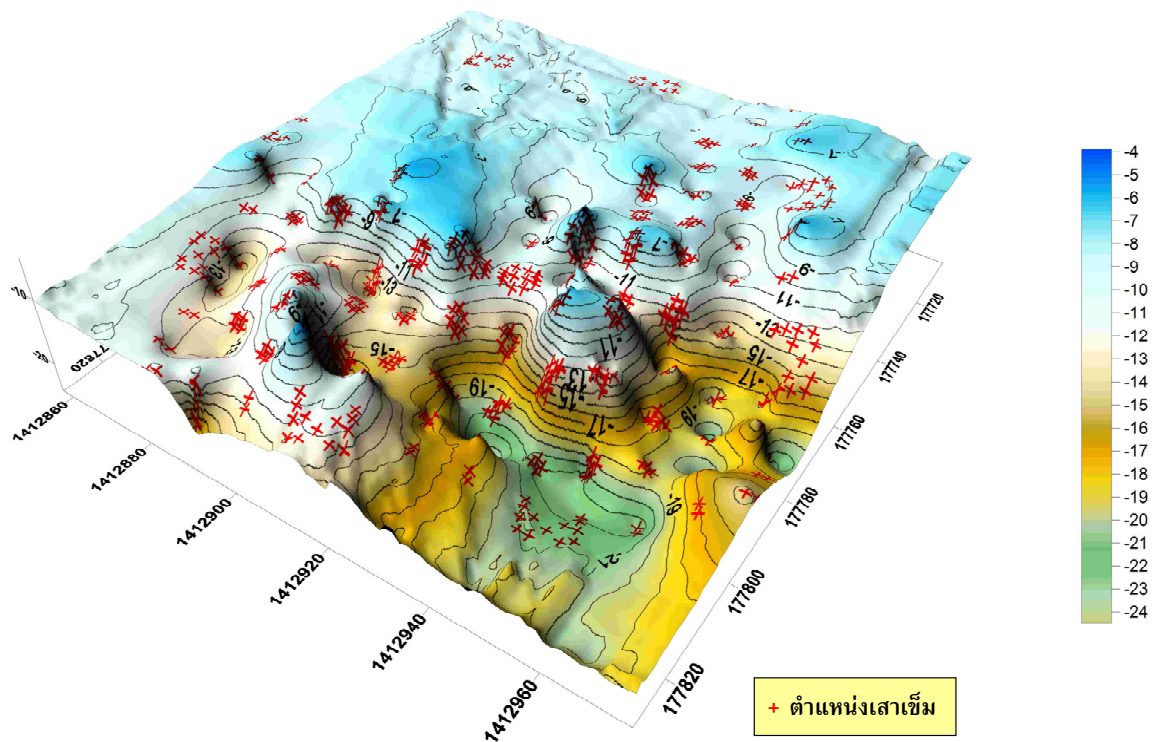
รูปที่ 10 แสดงลักษณะหินฐานรากที่ได้จากการ Plot ข้อมูลปลายเสาเข็มที่ตอกเสร็จสิ้น โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อให้เห็นสภาพของหินฐานราก รูปที่ 11-12 แสดงการเปรียบเทียบ การผ่านเกณฑ์กำหนดจากการคำนวณโดย Hiley's formular และจากผลการทดสอบ Dynamic Pile Load Test ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการคำนวณกำลังรับน้ำหนักจากค่า Last Ten Blows โดยใช้ Hiley's formular เป็นเพียงการคำนวณที่เหมาะสมกับการคุมการก่อสร้างเท่านั้น ไม่ควรนำมาใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินค่า กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม นอกจากนี้จากข้อมูลผลการควบคุมคุณภาพเสาเข็มทั้งหมดสามารถนำมาใช้ ประเมินพฤติกรรมความเสี่ยงได้ เช่น รูปที่ 13 แสดงตำแหน่งและขนาดการเอียงของเสาเข็มที่บ่งบอกถึง อิทธิพลของแนวไหลลึกลงใต้พื้นที่ดินถมที่ทำให้เสาเข็มเอียง สุดท้ายเมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาตั้งเกณฑ์เพื่อ ประเมินความเสี่ยงของเสาเข็มดังตารางที่ 1 เราสามารถแสดงตำแหน่งเสาเข็มที่มีความเสี่ยงสูงได้ดังแสดง ในรูปที่ 14



รูปที่ 8 ผังฐานรากเสาเข็มในระบบ GIS

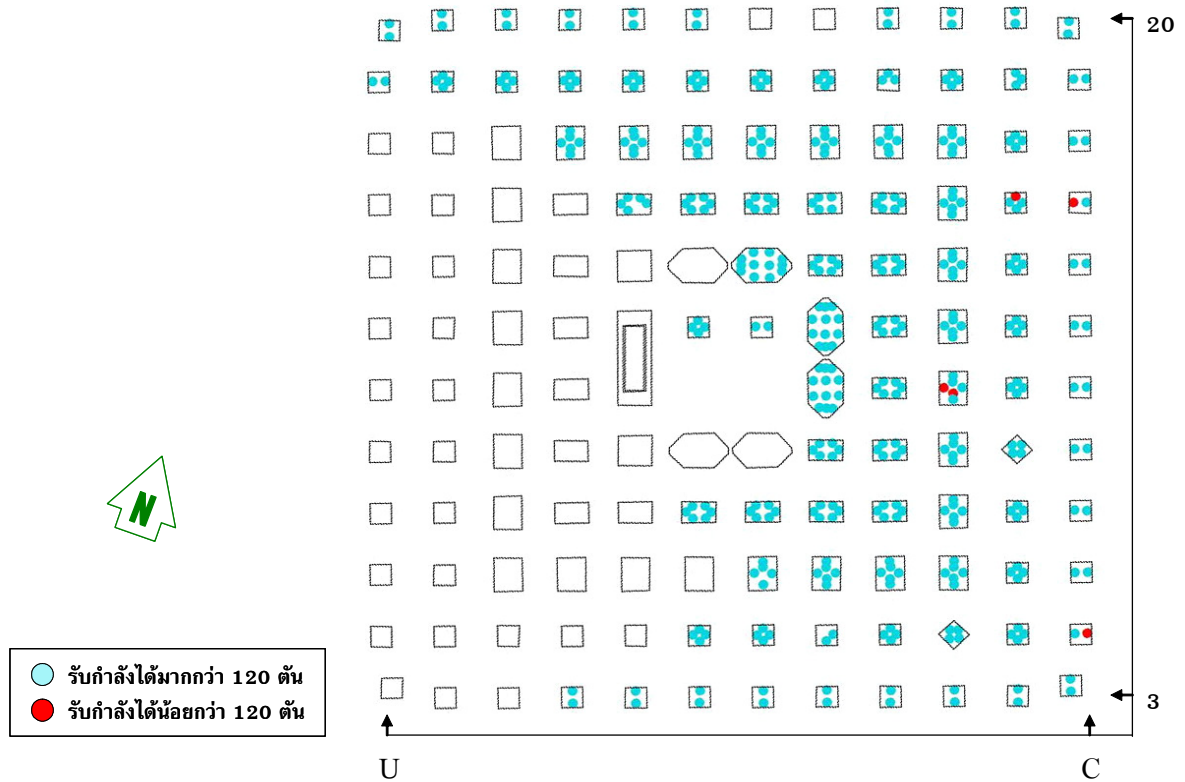


รูปที่ 9 การเปรียบเทียบระดับปลายเสาเข็มกับระดับชั้นหินจากการเจาะสำรวจ

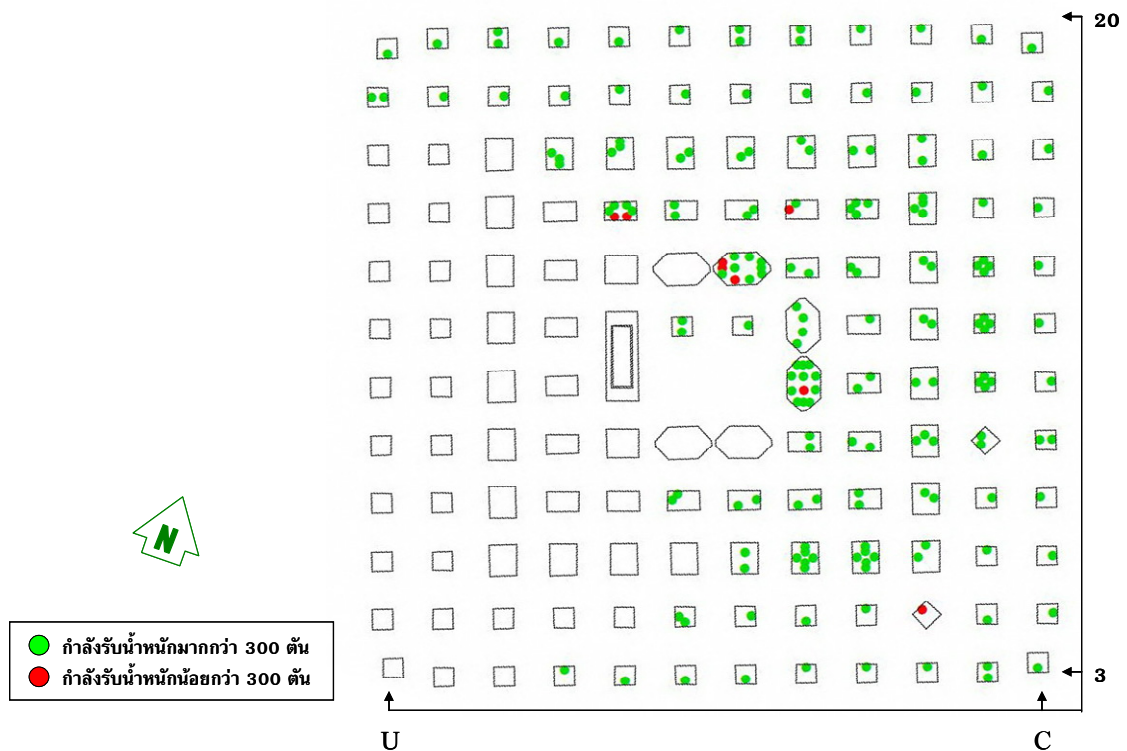


รูปที่ 10 เส้นระดับแสดงตำแหน่งปลายเสาเข็มทำให้เห็นลักษณะระดับหินฐานราก

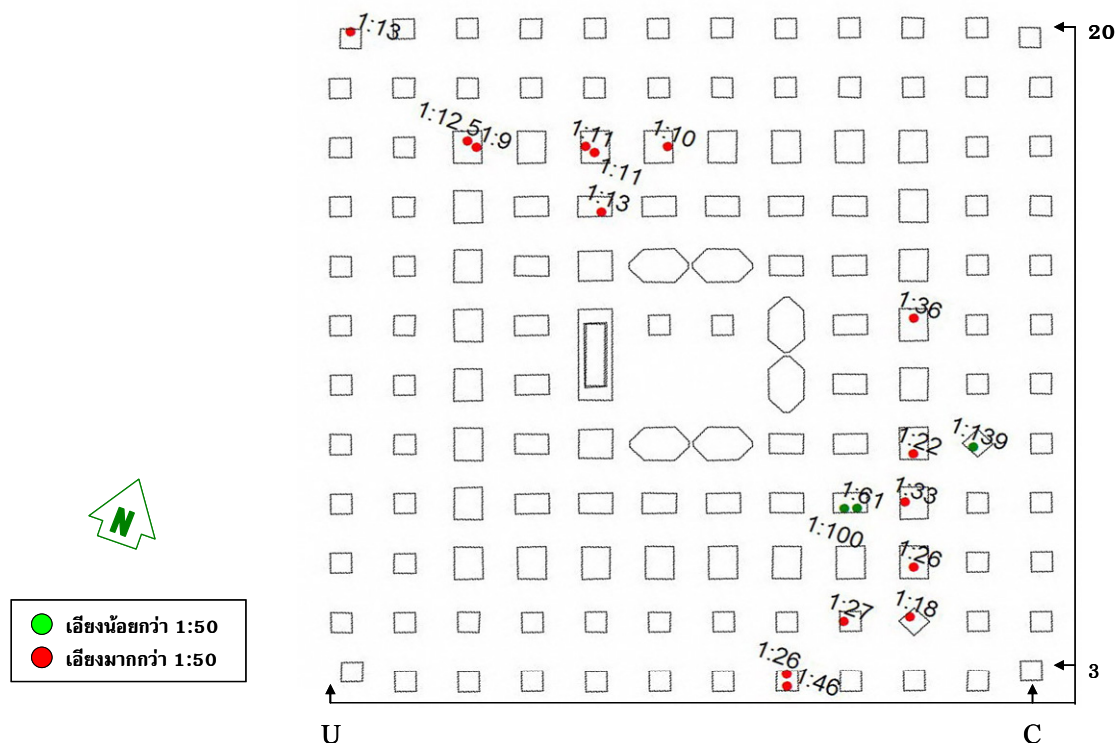




รูปที่ 11 กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยจาก Hiley's Formular



รูปที่ 12 กำลังรับน้ำหนักสูงสุดจากการทดสอบ Dynamic Pile Load Test

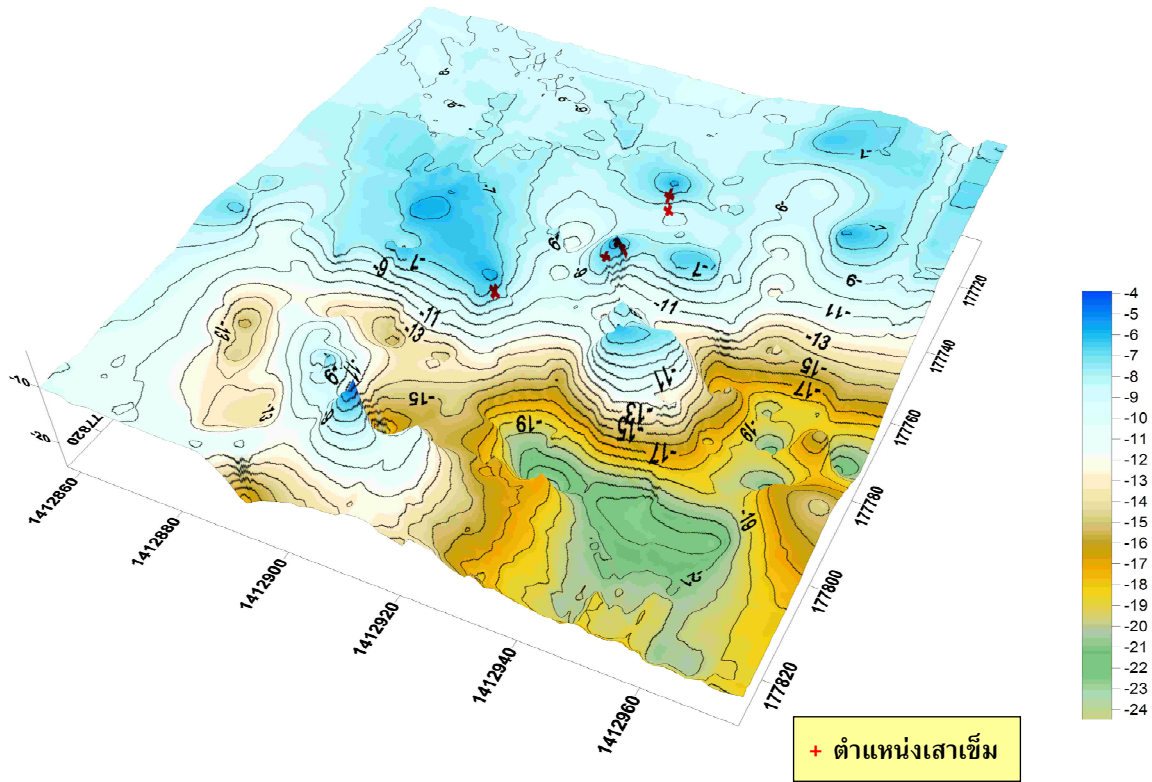


รูปที่ 13 ตำแหน่งเสาเข็มที่เกิดการเอียง

ตารางที่ 1 เกณฑ์การกำหนดความเสี่ยงของเสาเข็ม

กำลังจาก Hiley's Formula	ผลทดสอบ Dynamic	ผลทดสอบ Seismic	เสาเข็มเอียง	เสาเข็มเอียงศูนย์	ระดับความเสี่ยง
×	×	×	×	×	ความเสี่ยงสูงสุด
×	×	×	-	-	ความเสี่ยงสูงสุด
✓	×	✓	-	-	ความเสี่ยงสูง
×	×	✓	-	-	ความเสี่ยงสูง
✓	✓	×	-	-	ความเสี่ยงปานกลาง
×	✓	✓	-	-	ความเสี่ยงปานกลาง
✓	✓	✓	×	-	ความเสี่ยงปานกลาง
✓	✓	✓	-	×	ความเสี่ยงปานกลาง
✓	✓	✓	-	-	ความเสี่ยงน้อย

หมายเหตุ      ×      ไม่ผ่านเกณฑ์  
                   ✓      ผ่านเกณฑ์



รูปที่ 14 ตำแหน่งเสาเข็มที่มีความเสี่ยงสูง

สรุป



การก่อสร้างเสาเข็มตอกในชั้นหินแกรนิตได้ประสบปัญหาหลายประการ เนื่องจากลักษณะธรรมชาติของหินแกรนิตที่มีความไม่สม่ำเสมอ รวมถึงมีความตึงไม่เท่ากันในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้ การ

ผู้ฟังของหินแกรนิตจะปรากฏหินลอยที่พบได้โดยทั่วไป การใช้เสาเข็มเจาะในอดีตจึงพบปัญหาการวางปลายเสาเข็มในชั้นหินลอย ทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ตามเกณฑ์ การแก้ไขปัญหาโดยใช้เสาเข็มตอกถือว่าเหมาะสมเมื่อใช้ร่วม Pile Shoe ขนาดเหมาะสมในการป้องกันความเสียหายของปลายเสาเข็ม จากการสังเกตพฤติกรรมการตอกเสาเข็มพบว่า เสาเข็มตอกสามารถตอกหินลอยขนาดเล็กให้แตกหรือผลัดดันให้หินลอยดังกล่าวออกนอกแนวการตอกได้ ความสามารถในการรับน้ำหนักเบื้องต้นสามารถควบคุมได้โดยค่า Last Ten Blows อย่างไรก็ตามลักษณะดินดังกล่าวได้ส่งผลให้การควบคุมตำแหน่งและการเอียงเป็นไปได้ยากและยังก่อให้เกิดปรากฏรอยแตกในเสาเข็ม (จากการทดสอบ Seismic Test) โดยพบเสาเข็มที่เป็นปัญหาทั้งสิ้นประมาณ 5% จากจำนวนเสาเข็มทั้งหมด อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักพบว่าเสาเข็มที่ไม่ผ่านการทดสอบ Dynamic Pile Load Test มีเพียง 1% ทำให้สรุปได้ว่าการแก้ไขปัญหาดังกล่าวประสบผลที่น่าพอใจ เสาเข็ม 1% ที่มีปัญหาทั้งหมด ได้รับการแก้ไขโดยการตอกแซม

เพื่อให้การปรับแบบก่อสร้างของฐานรากเป็นไปได้อย่างคล่องตัวข้อมูลการก่อสร้างและควบคุมการตอกเสาเข็มทั้งหมดจึงได้นำมารวบรวมโดยใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ผลจากการใช้ทำให้สามารถมองเห็นภาพรวมของปัญหาได้อย่างชัดเจนและทราบถึงพฤติกรรมเสี่ยงและตำแหน่งเสี่ยงของฐานรากที่จะได้ทำการเฝ้าติดตามพฤติกรรมภายหลังการก่อสร้างต่อไป