

สหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ KPT กับค่าทดสอบ SPT และค่ามุมเสียดทานภายในของดิน
กรณีศึกษาหน่วยงานก่อสร้างในเขตภาคใต้ ประเทศไทย
CORRELATION BETWEEN KPT, SPT AND THE INTERNAL FRICTION
ANGLE OF SUBSOILS : A CASE STUDY OF CONSTRUCTION SITES IN
SOUTHERN THAILAND.

ชัชวาลย์ พุนลาภานิช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: chatshawal.po@spu.ac.th

ดร.คมวุธ วิชาวิไพศาล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: komwut.wi@spu.ac.th

ธนิช พันธวัฒน์

วัฒนชัย กระจ่างโคม

พงษ์นกุล พันธุ์สุจริตไทย

นักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทคัดย่อ

Kunzelstab Penetration Test (KPT) เป็นเครื่องมือทดสอบตอกหยั่งขนาดเบาตามมาตรฐาน DIN 4094 มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เหมาะสมใช้สำรวจข้อมูลชั้นดินในพื้นที่ทุรกันดาร แต่ค่าผลทดสอบ KPT (N_{KPT}) ยังมีข้อมูลสหสัมพันธ์กับพารามิเตอร์หรือคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่าง ๆ ของดินอย่างจำกัด งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลผลทดสอบดินใน 2 วิธีคือ การทดสอบ KPT และการทดสอบ SPT (Standard Penetration Test) จำนวน 76 ชุด จากพื้นที่หน่วยงานก่อสร้างทางภาคใต้ของประเทศไทย 11 หลุมเจาะ โดยนำค่า N_{KPT} มาวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ได้ผลดังนี้

- (1) สมการสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60} ของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา

$$N_{60} = 0.758 N_{KPT}^{0.70}$$

- (2) สมการสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ ϕ' ของชั้นดินทราย (SM SC) ในพื้นที่ศึกษา

$$\phi' = \left(\frac{11.67}{4\sqrt{\sigma_v}} \right) N_{KPT}^{0.64} + 20$$

สมการสหสัมพันธ์แบบ Empirical ที่ได้สามารถประยุกต์ใช้วิเคราะห์ห้ออกแบบงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคในพื้นที่โครงการและใกล้เคียง

คำสำคัญ : การตอกหยั่งคุนเซลสแตป การตอกทะลวงมาตรฐาน ค่ามุมเสียดทานภายในของดิน

ABSTRACT

Kunzelstab Penetration Test (KPT) is a soil's dynamic cone penetration testing technique used under the DIN 4094 standard. A small and light-weighted instrument of this technique is suitable for explorations of underground layers in remote areas. The KPT testing result, however, still has limited capability in order to correlate with some other engineering properties of the tested soils. This research employed 2 different soil testing techniques that were the KPT and the Standard Penetration Test (SPT). A total of 76 data sets were collected from 11 boring holes at construction sites in the southern provinces of Thailand. Test results were used to establish parametric relationships between the 2 testing techniques. These relationships are:

- (1) the number of blow counts from KPT (N_{KPT}) versus the number of blow counts from SPT (N_{60})

$$N_{60} = 0.758 N_{KPT}^{0.70} \quad \text{and}$$

- (2) the number of blow counts from KPT (N_{KPT}) versus internal friction angle (ϕ') of soil.

$$\phi' = \left(\frac{11.67}{4\sqrt{\sigma'_v}} \right) N_{KPT}^{0.64} + 20$$

The obtained mathematical equations of these relationships can be used for geotechnical analysis and design within a specific construction site and its vicinity.

Keywords : Kunzelstab penetration test, Standard penetration test, Internal friction angle

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

Standard Penetration Test (SPT) เป็นเครื่องมือทดสอบดินในสนามที่วิศวกรทั่วโลกนิยมใช้เจาะสำรวจชั้นดิน เพื่อได้ข้อมูลการจัดเรียงชั้นดินและคุณสมบัติทางวิศวกรรมธรณีเทคนิคมากที่สุด มีปริมาณการนำข้อมูลของการทดสอบนี้สำหรับการวิเคราะห์ออกแบบฐานราก งานวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินและอื่นๆ ประมาณ 80-90% ของงานวิศวกรรมปฐพีทั้งหมด การทดสอบ SPT มีข้อดีในหลายๆด้าน มีส่วนประกอบของอุปกรณ์และวิธีการทดสอบที่เรียบง่าย ทดสอบได้ในชั้นดินทุกประเภท รวมทั้งความรู้ประสบการณ์ในเรื่องการใช้งานและงานวิจัยในระยะเวลากว่า 80 ปี ทำให้มีข้อมูลมีสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ (N , N_{60} หรือ $(N_1)_{60}$) กับพารามิเตอร์หรือคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินจำนวนมาก เช่น Allowable bearing capacity, Shear strength, Relative Density, Settlement, และ Compressibility

สำหรับงานเจาะสำรวจชั้นดินในพื้นที่ทุรกันดาร การทดสอบ SPT มีข้อเสียเปรียบคือ อุปสรรคจากการขนย้ายอุปกรณ์ที่ขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ขาดต่อการเข้าถึงพื้นที่ที่ทดสอบ เป็นสาเหตุให้มีความพยายามทดแทนด้วยเครื่องมือทดสอบดกหยัง (Dynamic Cone Penetration Test, DCPT) ที่มีขนาดเล็กลง มีดัมต่อน้ำหนักเบาอาศัยเพียงแรงงานคนยกดก ในกลุ่มประเทศยุโรป มีการใช้งานเครื่องมือ DCPT นี้ในงานสำรวจชั้นดินอย่างแพร่หลายโดยมีลักษณะเครื่องมือ และระดับพลังงานดกทดสอบแตกต่างกันมากมาย มาตรฐานทดสอบระหว่างประเทศในกลุ่มยุโรป (เช่น DIN BS และ ISO) ได้จำแนกเครื่องมือ DCPT ออกเป็น 4 กลุ่มประกอบด้วย ชุดดกหยังขนาดเล็กเบา (Dynamic probing light, DPL) ขนาดกลาง (Dynamic probing medium, DPM) ขนาดหนัก (Dynamic probing heavy, DPH) และขนาดหนักมาก (Dynamic probing super heavy, DPSH) สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพชั้นดินและวัตถุประสงค์การทดสอบที่แตกต่างกัน ขณะที่มาตรฐานอเมริกัน (ASTM) มีการใช้งาน

เครื่องมือตอกหยั่งขนาดเบาแตกต่างไปจาก DPL ของมาตรฐานยุโรปเล็กน้อย เน้นการใช้ประเมินคุณสมบัติของวัสดุชั้นทาง อาทิเช่น ค่า CBR ค่า Unconfined compressive strength และค่า Resilient modulus รายละเอียดข้อมูลสังเขปของเครื่องมือ DCPT ที่กล่าวข้างต้นได้นำเสนอไว้ในตารางที่ 1 ส่วนในประเทศไทยมีการใช้งานและศึกษาวิจัยสหสัมพันธ์ของดินโดยเครื่องมือตอกหยั่งขนาดเบา 2 แบบ แบบแรกคือเครื่องมือตอกหยั่งเบา DCPT มาตรฐานอเมริกัน [1] โดยสำนักสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง มีงานวิจัยตัวอย่างเช่น ผลศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ DCPT กับ ค่า Unsoaked CBR [7] แบบที่สองเป็นเครื่องมือตอกหยั่งเบา Kunzelstab Penetration Test (KPT) ตามมาตรฐานเยอรมัน [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) ได้นำมาใช้สำรวจกำลังชั้นดินเพื่อออกแบบฐานรากของเสาไฟฟ้าแรงสูง การปรับปรุงซ่อมแซมเขื่อนดิน เป็นต้น

ตารางที่ 1 ลักษณะพื้นฐานของเครื่องมือทดสอบแบบตอกหยั่งประเภทต่างๆ

Type	Cone diameter (mm)	Cone nominal base area (cm ²)	Mass of hammer (kg)	Height of fall (mm)	Energy per blow per cone area (kN-m/m ²)
DPL (light)	35.7	10	10	500	50
DPM (medium)	43.7	15	30	500	100
DPH (heavy)	43.7	15	50	500	167
DPSH (super heavy)	DPSH-A	45	63.5	500	194
	DPSH-B	51	63.5	750	238
KPT (DIN 4049)	25.2	5	10	500	100
DCPT (ASTM D6951-03)	20	3.14	8	575	143

ถึงแม้ว่าการสำรวจชั้นดินด้วยการทดสอบ KPT มีข้อดีกว่าซึ่งเปรียบเทียบกับทดสอบ SPT อยู่หลายประการ แต่ก็มีข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับสหสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบกับพารามิเตอร์คุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อประยุกต์ใช้ในงานออกแบบฐานรากจำนวนจำกัด ปัจจุบันประเทศไทยมีเพียง Chart ความสัมพันธ์กับค่า Allowable bearing capacity ที่ใช้ออกแบบฐานรากแผ่นขนาด 2x2 ตารางเมตร อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน จำกัดค่าการทรุดตัวไม่เกิน 25 มิลลิเมตรที่ EGAT จัดทำขึ้นเพื่อใช้งานออกแบบฐานรากของเสาไฟฟ้าแรงสูงเท่านั้น ถ้าต้องประเมินหาค่าพารามิเตอร์กำลังของดิน (c' และ ϕ) จะต้องแปลงเป็นค่าผลทดสอบ SPT (N_{60}) ในเบื้องต้นก่อนแปลงซ้ำเป็นค่าพารามิเตอร์อื่น ซึ่งได้จากสหสัมพันธ์แบบ Empirical ทั้งสิ้น [11] งานวิจัยนี้ต้องการนำข้อมูลผลทดสอบ KPT (N_{KPT}) ของงานสำรวจชั้นดินโครงการก่อสร้างแห่งหนึ่งมาหาสหสัมพันธ์กับค่าผลทดสอบ SPT (N_{60}) และค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ) นำเสนอเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานและส่งเสริมให้เกิดวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อหาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ KPT (N_{KPT}) และค่าทดสอบ SPT (N_{60})
- (2) เพื่อหาสหสัมพันธ์ระหว่างค่าทดสอบ KPT (N_{KPT}) และค่ามุมเสียดทานภายในของดิน (ϕ)

3. ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

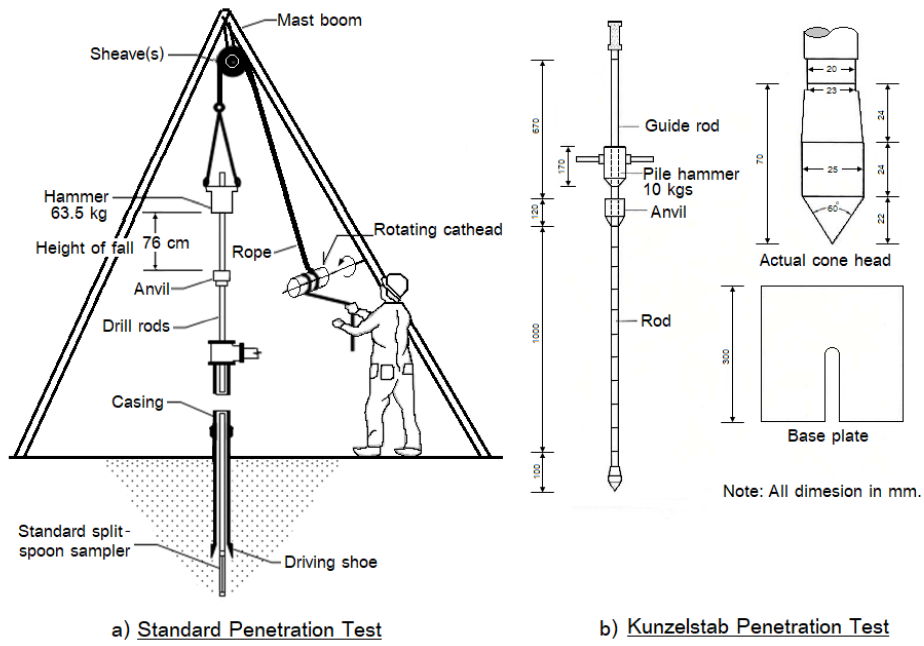
3.1 เครื่องมือและวิธีการทดสอบ

Standard Penetration Test (SPT) เป็นการทดสอบกำลังต้านทานชั้นดินด้วยการหยั่งตอกไปพร้อมกับการเก็บตัวอย่างแบบแปรสภาพ อุปกรณ์สำคัญในชุดทดสอบประกอบด้วย (รูปที่ 1a) 1. กระบอกลูกเหล็กมาตรฐาน (Standard split spoon sampler) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอก 1 3/8" และ 2" 2. ท่อเหล็กกันดิน (Casing) เส้นผ่าศูนย์กลาง 4" 3. ชุดก้านเจาะ (Drill rod) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.75" 4. ต้มตอก (Hammer) น้ำหนัก 63.5 kg 5. แท่นรองตอก (Anvil) 6. โครงสามขา (Mast boom) 7. รอกเหล็ก (Sheave) ขนาดรอก 1" เส้นผ่าศูนย์กลาง 6" 8. เชือกมะนิลา (Rope) เส้นผ่าศูนย์กลาง 1" ภายหลังการติดตั้งโครงสามขาและประกอบชุดทดสอบ ตอกท่อเหล็กกันดิน ณ ตำแหน่งหลุมเจาะ เจาะดินจนก้นหลุมถึงระดับทดสอบ วิธีตอกทดสอบใช้รอกยกต้มตอกจนระยะยกเหนือแท่นรองตอก 76 cm ปลดปล่อยให้ต้มตอกตกกระแทกแท่นรองตอก เกิดแรงกระแทกกระบอกลูกเหล็ก นับจำนวนครั้งที่ตอกจมไป 15 cm. จำนวน 3 ชุดติดต่อกัน โดยถือผลรวมจำนวนครั้งใน 2 ครั้งสุดท้ายเป็นค่า N มีหน่วยเป็นครั้งต่อฟุต (blows/300 mm) บันทึกผลตอกทดสอบพร้อมเก็บตัวอย่างดินทุกระยะห่างความลึก 1 m

Kunzelstab Penetration Test (KPT) เป็นการทดสอบกำลังต้านทานชั้นดินด้วยการหยั่งตอก แรงกระแทกจากต้มตอกถ่ายไปสู่ปลายของหัวเจาะรูปกรวย (Cone head) มุม 60° โดยไม่เกิดแรงเสียดทานที่ก้านเจาะ เนื่องจากหัวเจาะมีขนาดใหญ่กว่าก้านเจาะ เครื่องมือทดสอบ KPT ตามมาตรฐาน DIN 4094 ของประเทศเยอรมัน [2] ประกอบด้วย (รูปที่ 1b) 1. หัวเจาะรูปกรวย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 mm มีมุมที่ปลาย 60 องศา 2. ก้านเจาะ (Rod) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 mm 3. ต้มตอก (Hammer) น้ำหนัก 10 kg 4. แกนเหล็กนำ (Guide Rod) สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของค้อนตอก โดยทำเครื่องหมายไว้ เพื่อให้ได้ระยะยกต้มตอก 50 cm 5. แท่นรองตอก (Anvil) 6. แผ่นเหล็กรองพื้น (Base plate) ทำการตอกทดสอบแล้วบันทึกผลนับจำนวนครั้งของการตอกทุกความลึก 200 mm เป็นค่า N_{KPT} มีหน่วยเป็นครั้งต่อระยะจม 20 cm (blows/200 mm) เก็บข้อมูลต่อเนื่องจนกระทั่งถึงระดับความลึกที่กำหนด แผนภาพข้อมูลผลทดสอบค่า N_{KPT} กับระดับความลึกแสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 3

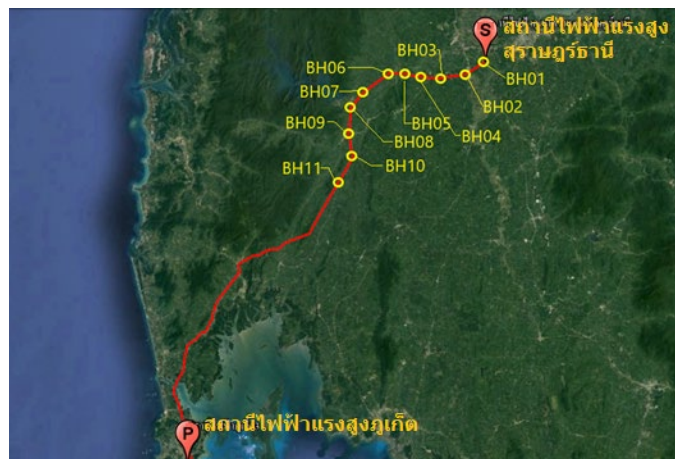
3.2 กลุ่มตัวอย่างที่วิจัย

ข้อมูลวิจัยรวบรวมจากข้อมูลการสำรวจชั้นดิน จากพื้นที่ก่อสร้าง 11 แห่งในโครงการก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจากสถานีไฟฟ้าแรงสูงสุราษฎร์ธานี ถึงสถานีไฟฟ้าแรงสูงภูเก็ต (รูปที่ 2) พื้นที่ก่อสร้างแต่ละแห่งได้ดำเนินการเจาะสำรวจชั้นดินโดยวิธีการทดสอบ SPT ควบคู่ไปกับการทดสอบ KPT โดยกำหนดระยะห่างระหว่างหลุมเจาะของทั้งสองการทดสอบไม่เกิน 2 m การทดสอบ SPT บันทึกค่าผลทดสอบการตอกหยั่งกำลังชั้นดินพร้อมเก็บตัวอย่างดินแปรสภาพ (disturbed samples) ด้วยกระบอกลูกเหล็กทุกระยะความลึก 1 m เพื่อใช้จำแนกประเภทดิน ขณะที่ทดสอบ KPT แบบต่อเนื่องตลอดความลึกชั้นดินจากผิวดินถึงระดับความลึก 7 m ทุกหลุมเจาะ ตัวอย่างแผนภาพ Boring log แสดงข้อมูลค่า N และ N_{KPT} กับระดับความลึกของหลุมเจาะ BH-01 นำเสนอไว้ในรูปที่ 3 จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ถูกเจาะสำรวจและนำมาใช้วิเคราะห์หาค่าสัมพัทธ์มีทั้งหมด 76 ชุด ผลวิเคราะห์ตัวอย่างแปรสภาพจากกระบอกลูกเหล็กในห้องปฏิบัติการพบว่าจำแนกกลุ่มดินได้เป็น 1. ทรายปนดินตะกอน (SM) 2. ทรายปนดินเหนียว (SC) 3. ดินเหนียวที่มีพลาสติกซีดีต่ำ (CL) 4. ดินตะกอนที่มีพลาสติกซีดีต่ำ (ML) มีจำนวนข้อมูล 18 ชุด 18 ชุด 36 ชุด และ 4 ชุด ตามลำดับ ปริมาณดินละเอียด (%fine) ในกลุ่มดินทราย SM และ SC มีค่าระหว่าง 26% ถึง 39%

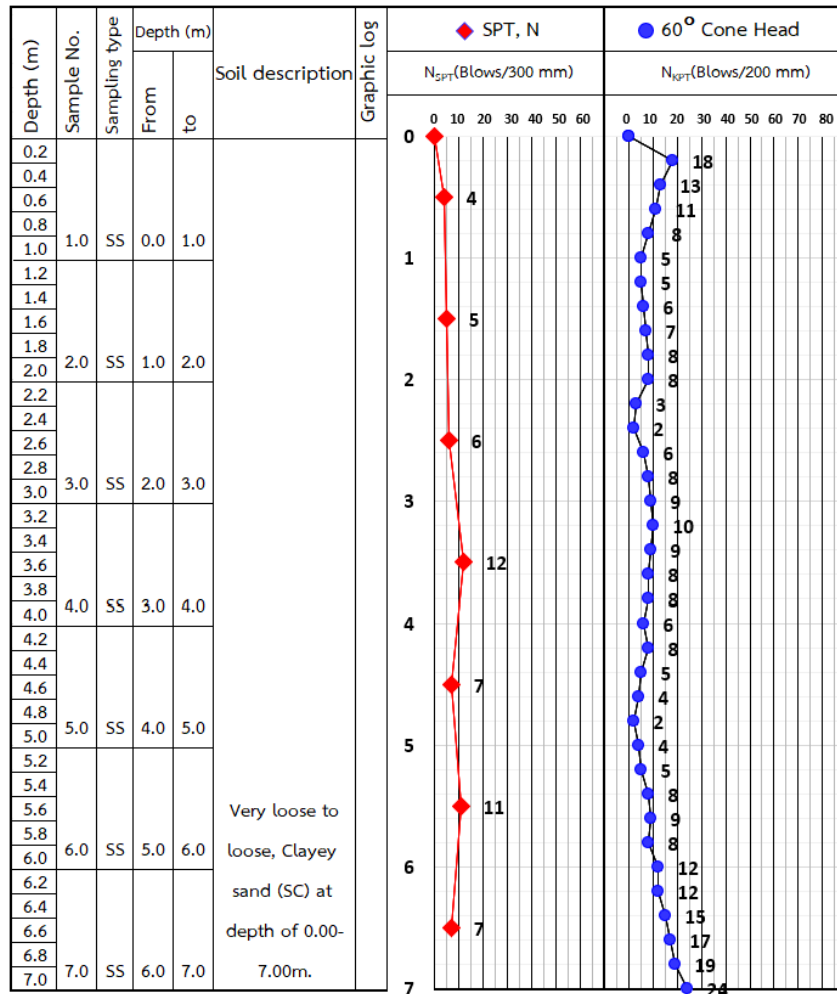


รูปที่ 1 เครื่องมือตอกหยั่งกำลังชั้นดินที่ใช้ในงานวิจัย

(a) Standard Penetration Test (SPT) (b) Kunzelstab Penetration Test (KPT)



รูปที่ 2 แผนที่ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจ 11 แห่งในโครงการก่อสร้างที่ศึกษา



รูปที่ 3 ตัวอย่าง Boring log ข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดินของหลุมเจาะ BH-01

3.3 การปรับแก้ข้อมูลผลทดสอบค่า N

ก่อนนำค่า N ของการทดสอบ SPT ไปใช้ประเมินคุณสมบัติวิศวกรรมของชั้นดินด้วยสมการสหสัมพันธ์ใดๆ พบว่าค่า N ที่ทดสอบได้ในภาคสนามโดยตรงยังมีความผิดพลาด ต้องปรับแก้ค่าจากอิทธิพลของ 4 ปัจจัยที่มาจกสภาพเครื่องมือทดสอบ ดังแสดงค่าไว้ในตารางที่ 2 การปรับแก้คำนวณได้ดังสมการ

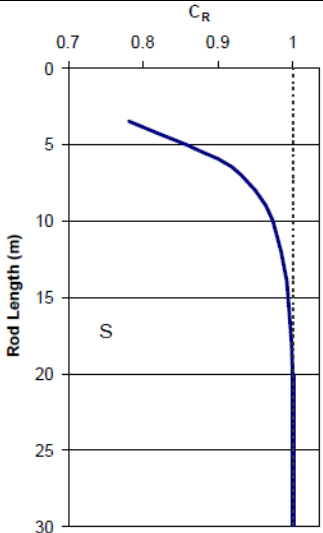
$$N_{60} = C_E C_R C_S C_B N \quad (1)$$

โดย N คือ ค่าผลทดสอบ SPT ที่บันทึกได้ในภาคสนาม หน่วย blows/300 mm C_E คือค่าปรับแก้ประสิทธิภาพพลังงานตกกระทบ (Energy) มายังค่า 60% ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพที่นิยมใช้เข้าไปสร้างสมการสหสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ดินต่างๆ C_R คือ ค่าปรับแก้เนื่องจากความยาวก้านเจาะ (Rod Length) C_S ค่าปรับแก้เนื่องจากการปรับแต่งกระบอกตัวอย่างไปจากสภาพมาตรฐาน C_B ค่าปรับแก้เนื่องจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหลุมเจาะ สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าปรับแก้ C_E เท่ากับ 0.75 กรณีใช้ตุ้มตอก Donut hammer [8] ค่า C_S และ C_B เลือกใช้ค่าเท่ากับ 1 ส่วนค่า C_R ใช้ค่าตามตารางที่ 2 กรณีมีความจำเป็นต้องใช้ค่า $(N_1)_{60}$ ซึ่งเป็นค่า N_{60} ที่ปรับแก้อิทธิพลน้ำหนักกดทับประสิทธิภาพชั้นดิน

$$(N_1)_{60} = C_N N_{60} = \sqrt{\frac{101}{\sigma'_v}} N_{60} \quad (2)$$

C_N คือ ค่าปรับแก้อิทธิพลของน้ำหนักกดทับประสิทธิผลชั้นดิน (Overburden effective stress correction) งานวิจัยนี้ใช้ค่าปรับแก้ที่เสนอโดย [6] โดย σ'_v คือหน่วยแรงกดทับประสิทธิผลของชั้นดิน หน่วย kPa

ตารางที่ 2 ตัวคูณปรับแก้ค่า N ของการทดสอบ SPT (ปรับปรุงจาก [6])

C_S	For samplers with an indented space for interior liners, but with liners omitted during sampling, $C_S = 1 + \frac{(N_1)_{60}}{100}$ With limits as $1.10 \leq C_S \leq 1.30$	C_R Rod Length Correction Factors (See figure below). 							
	C_B		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Borehole diameter</th> <th>Correction (C_B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>65 to 115 mm</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>150 mm</td> <td>1.05</td> </tr> <tr> <td>200 mm</td> <td>1.15</td> </tr> </tbody> </table>	Borehole diameter	Correction (C _B)	65 to 115 mm	1.00	150 mm	1.05
Borehole diameter	Correction (C _B)								
65 to 115 mm	1.00								
150 mm	1.05								
200 mm	1.15								
C_E	$C_E = \frac{E_R}{60\%}$ <ul style="list-style-type: none"> - Where ER (efficiency ratio) is the fraction or percentage of the theoretical SPT impact hammer energy actually transmitted to the sampler, express as % - The best approach is to directly measure the impact energy transmitted with each blow. When available, direct energy measurements were employed. 								

4. ผลวิเคราะห์

4.1 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60}

นำข้อมูลค่า N_{KPT} และ N_{60} มาดำเนินการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เพื่อหาสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60} ได้ผลดังนี้

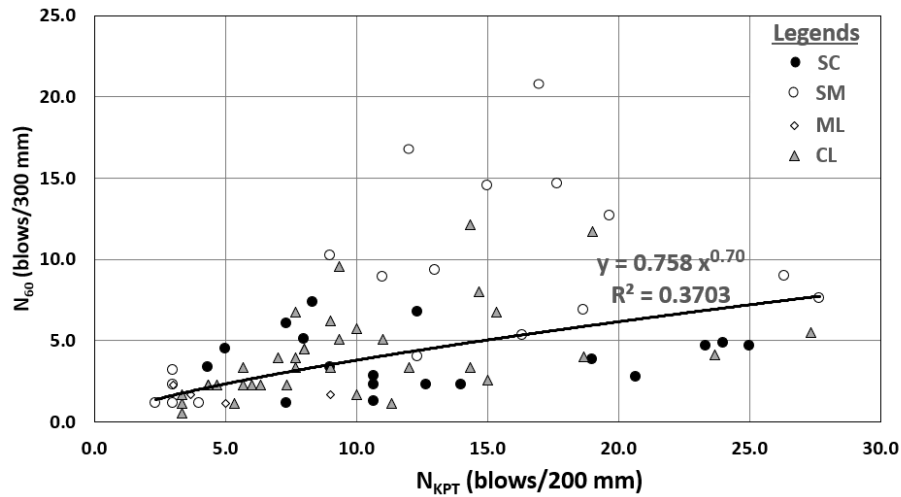
กรณีวิเคราะห์ข้อมูลดินทุกกลุ่ม (SM SC CL และ ML) จำนวน 76 ชุด

$$N_{60} = 0.758 N_{KPT}^{0.70} \quad (3)$$

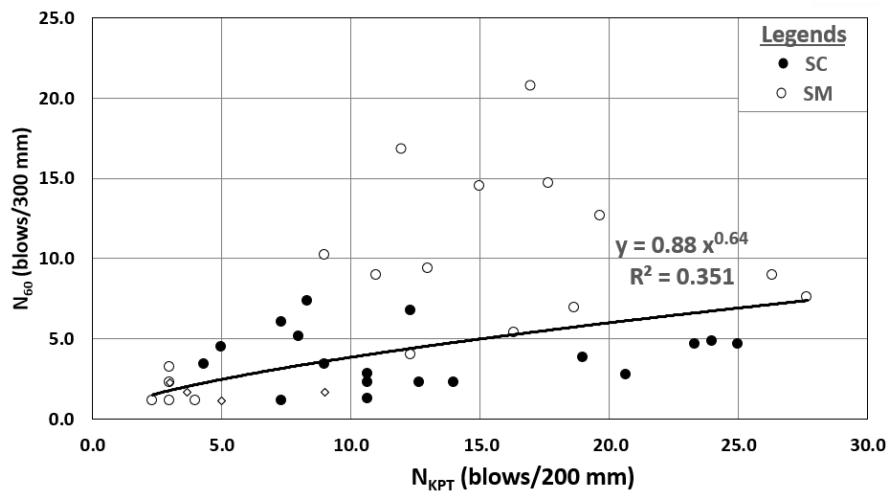
กรณีวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะกลุ่มดินทราย (SM และ SC) จำนวน 36 ชุด

$$N_{60} = 0.88 N_{KPT}^{0.64} \quad (4)$$

ผลลัพท์ข้อมูลและเส้นกราฟของสมการสหสัมพันธ์ทั้งสองกรณีแสดงไว้ในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 โดยมีค่า R^2 ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 0.370 และ 0.351 ตามลำดับ ทั้งสองกรณีมีแนวเส้นกราฟใกล้เคียงกันมาก ซึ่งว่าทั้งดินกลุ่มทรายและดินอื่น (รวมข้อมูลดินกลุ่ม CL และ ML) มีแนวโน้มสหสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบของ SPT และ KPT ใกล้เคียงกัน จนพิจารณาใช้สมการ (3) เพียงสมการเดียวแปลผลค่า N_{KPT} เป็นค่า N_{60} ของดินทั้ง 4 กลุ่มในโครงการได้โดยให้ผลไม่คลาดเคลื่อนมากนัก



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60} ของข้อมูลทุกกลุ่มดิน (SM SC CL และ ML) จำนวน 76 ชุด



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60} ของข้อมูลกลุ่มดินทราย (SM และ SC) จำนวน 36 ชุด

4.2 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ')

ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ') เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ของดินที่สำคัญสำหรับงานวิเคราะห์ห้ออกแบบด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค สามารถทดสอบหาค่าจากตัวอย่างดินโดยตรงด้วยการทดสอบกำลังเฉือนในห้องปฏิบัติการ เช่น Direct shear test หรือ Triaxial test แต่ส่วนใหญ่ได้ค่าผลทดสอบไม่ถูกต้องเพราะคุณภาพตัวอย่างดินถูกรบกวนจากการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่าง การทดสอบกำลังเฉือนข้างต้นกระทำได้ยาก เสียเวลา และมีค่าใช้จ่ายสูง ในเชิงปฏิบัติจึงนิยมหาค่า ϕ' จากสมการสหสัมพันธ์แบบ Empirical กับค่า $(N_1)_{60}$ ของการทดสอบ SPT ที่มีผู้นำเสนอไว้แตกต่างกันหลายสมการ โดยงานวิจัยนี้เลือกสมการสหสัมพันธ์ที่เสนอ โดย [5] ดังนี้

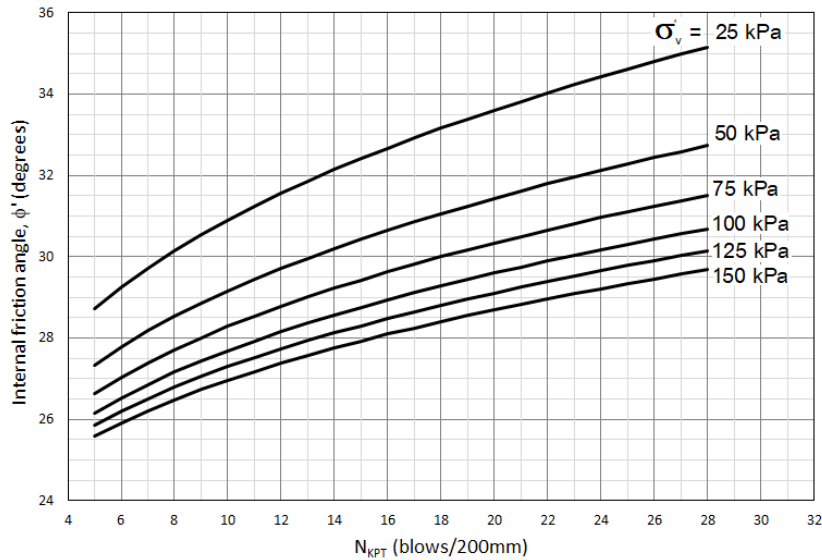
$$\phi' = \sqrt{15.4(N_1)_{60}} + 20 \quad (5)$$

ϕ' คือค่ามุมเสียดทานภายใน หน่วยองศา สมการ (5) ปรับปรุงจากผลวิจัยของ [3] ที่ดำเนินการทดสอบ Triaxial test ตัวอย่างดินทรายคงสภาพถูกแช่แข็ง (Undisturbed frozen samples) ในประเทศญี่ปุ่น โดย [5] ตรวจสอบกับข้อมูลทดสอบ Silty sand (%fine = 30%) ที่เก็บตัวอย่างจากชั้นดินตะกอน เมืองแอตแลนตา มลรัฐจอร์เจีย พบว่าให้ผลสอดคล้องเป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาจาก %fine ของตัวอย่างดินทรายของงานวิจัยนี้ที่มีปริมาณใกล้เคียงกัน

(%fine 26-39%) สมการ (5) จึงมีความเหมาะสมนำมาใช้งาน เมื่อแทนค่าสมการ (4) ในสมการ (5) ทำให้ได้ผลวิเคราะห์สมการสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ ϕ' ของชั้นดินทรายในโครงการดังนี้

$$\phi' = \left(\frac{11.67}{4\sqrt{\sigma'_v}} \right) N_{KPT}^{0.64} + 20 \quad (6)$$

โดย σ'_v คือหน่วยแรงกดทับประสิทธิภาพของชั้นดินที่ระดับทดสอบ หน่วย kPa เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้ จึงนำเสนอในรูปแบบ Chart ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 Chart สหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ ϕ' สำหรับประเมินคุณสมบัติของชั้นดินทรายในพื้นที่ศึกษาวิจัย

5. อภิปรายผล

(1) ในรูปที่ 4 แสดงเส้นแนวโน้มของสมการ (3) ซึ่งนำเสนอสหสัมพันธ์ระหว่างค่า N_{KPT} และ N_{60} ค่า R^2 จากการวิเคราะห์เท่ากับ 0.3703 ค่า R^2 ในช่วงดังกล่าวบ่งชี้ว่าข้อมูลกระจายตัวจากเส้นแนวโน้มเป็นแถบกว้าง แต่แนวเส้นผ่านกลางข้อมูลดินสามกลุ่ม (SC CL และ ML) คิดเป็นร้อยละ 76.3 ของข้อมูลทั้งหมดได้อย่างดี รวมทั้งยังเป็นแนวขอบเขตล่างโดยประมาณของข้อมูลดินกลุ่ม SM ซึ่งให้ค่า N_{60} ที่ conservative ไปใช้ในงานวิเคราะห์ออกแบบ จึงสรุปได้ว่า สมการ (3) เหมาะสมนำไปใช้ในงานประเมินสหสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบดินในทั้ง 2 วิธีข้างต้น เพื่อวิเคราะห์ออกแบบงานวิศวกรรมธรณีเทคนิคในพื้นที่โครงการและบริเวณใกล้เคียง

(2) ผลวิเคราะห์สมการสหสัมพันธ์ระหว่าง N_{KPT} และ N_{60} ทั้งกรณีวิเคราะห์ข้อมูลดินทุกกลุ่ม และกรณีวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลกลุ่มดินทราย มีค่า R^2 ในเกณฑ์ต่ำเพียง 0.370 และ 0.351 ตามลำดับบ่งชี้ว่าข้อมูลกระจายออกจากเส้นแนวโน้มค่อนข้างมากเนื่องจาก

- ความแปรปรวนคุณสมบัติของชั้นดินเชิงพื้นที่ทำให้แต่ละชุดข้อมูลที่ถูกจับคู่ที่ ณ ระดับความลึกเดียวไม่ได้มาจากผลทดสอบยังกำลังชั้นดินที่ระดับความแข็งแรงเหมือนกัน

- ปริมาณและขนาดของดินกรวดหรือหินผุร่อนมวลใหญ่ที่แทรกอยู่ในชั้นดินที่สำรวจมีผลทำให้ค่าทดสอบผิดไปจากค่าจริง โดยเฉพาะการทดสอบ KPT ที่ใช้ตุ้มตอกน้ำหนักเบาทดสอบ

- อิทธิพลของความยาวก้านเจาะต่อการส่งแรงกระแทกไปที่หัวทดสอบที่เปลี่ยนแปลงเร็วมากในชั้นดินระดับตื้น ซึ่งการทดสอบ KPT ไม่ได้นำมาพิจารณา

6. ข้อเสนอแนะ

อิทธิพลของความยาวก้านเจาะ (Rod length) น่าจะมีผลกระทบต่อ N_{KPT} ที่วัดได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ชั้นดินระดับตื้น สมมุติฐานนี้เทียบเคียงกับผลวิจัยประสิทธิภาพเครื่องมือทดสอบ SPT ซึ่งพบว่าขณะทดสอบด้วย ก้านเจาะสั้นการส่งแรงกระแทกไปที่หัวทดสอบมีประสิทธิภาพต่ำและแปรค่าเร็วมากในชั้นดินระดับตื้น การทดสอบ KPT น่าจะเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน อิทธิพลดังกล่าวน่าจะเป็นประเด็นศึกษาเพิ่มเติมที่มีประโยชน์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTM D6951-09. (2015). Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015
- [2] DIN 4094 part 1. (1974). Dynamic and Static penetrometers, Dimensions of apparatus and method of operation. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin.
- [3] Hatanaka, M. and Uchida, A. (1996). Empirical correlation between penetration resistance and effective friction angle of sandy soil. **Soils & Foundations**, 36 (4): 1 – 9.
- [4] Liao, S.C. & Whitman, R.V. 1986. Overburden correction factors for SPT in sand. **ASCE Journal of Geotechnical Engineering**, 112 (3): 373-377.
- [5] Mayne, P. W. (2001). Stress-strain-strength-flow parameters from enhanced in-situ tests. Proceedings, International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties & Case Histories [In-Situ 2001], Bali, Indonesia, May 21-24, 2001: 27-48.
- [6] Seed, R. B., et al.2003. Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework. Rep. EERC 2003–06, Earthquake Engineering Research Center.
- [7] ชีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และพรพรหม จันทร์เจริญ. การหาความสัมพันธ์ระหว่าง DCP กับ Unsoaked CBR ของ ดินวัสดุมวลรวมในห้องปฏิบัติการ. รายงานฉบับที่ วพ.180, กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและพัฒนางาน ทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.
- [8] สยาม ชัยศิริ. (2557). การศึกษาพลังงานประสิทธิผลในการทดสอบ Standard Penetration Test ตามแนวทางการทดสอบที่ดำเนินการในประเทศไทย. รายงานวิจัย, ชลบุรี :คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [9] อัฐพล ศักดิ์มณี, และก่อโชค จันทวางกูร. (2546). การสำรวจชั้นดินด้วยเครื่องตอกหยั่งชั้นดินขนาดเบา. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 (490-497). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.