หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ประวัติความเป็นมาในอดีตโดยสังเขป

2.1 ยุคเริ่มต้นของการใช้ระบบการขุดเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่

ก่อน ค.ศ. 1940 การขุดเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่มีขอบเขตการนำไปประยุกต์ใช้งานอยู่ในวงจำกัด ส่วนใหญ่จะใช้งานทางด้านการขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลและการขุดเจาะเพื่อสำรวจหาแหล่งน้ำมัน ซึ่งหน้าที่ที่สำคัญของสเลอรี่ที่ใช้คือ ทำหน้าที่ปรับความดันให้อยู่ในสภาวะที่สมดุลย์กับความดันของน้ำบาดาลและก๊าซที่เกิดขึ้นในหลุมเจาะ ตลอดจนเป็นสื่อในการนำเศษดิน เศษหินที่ได้จากการขุดเจาะขึ้นมา นอกจากนี้ยังเป็นตัวช่วยระบายความร้อนให้กับหัวเจาะ ทำให้หัวเจาะไม่ร้อนจนเกินไป และช่วยหล่อลื่นก้านเจาะ ป้องกันมิให้เศษดิน เศษหินตกลงไปที่ก้นหลุม ในกรณีที่ระบบไหลหมุนเวียนของสเลอรี่หยุดชงัก สเลอรี่ที่ใช้ในตอนแรกจึงต้องการเพียงสารแขวนลอย (Colloid) ที่มีลักษณะอยู่ระหว่างของแข็งกับของเหลวคล้ายกับวุ้น และสามารถเตรียมได้จากน้ำโคลนธรรมดาทั่ว ๆ ไป

ยุคเริ่มต้นของการพัฒนาทางเทคโนโลยีที่ใช้ในการขุดเจาะอาศัยพื้นฐานมาจากศิลป การขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลของชาวจีน ซึ่งสามารถขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลได้ลึก 600 เมตร เมื่อปี ค.ศ. 1500 และในเวลาต่อมา เครื่องมือที่ใช้ในการขุดเจาะแบบก้านเจาะหมุนรอบตัวเองของ Leonardo da Vinci เป็นเครื่องขุดเจาะแบบหนึ่งที่ได้สร้างความประหลาดใจเป็นอย่างมากในยุคต้นของการพัฒนา

การขุดเจาะโดยระบบการไหลเวียนของของเหลว (Circulating Fluid) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ของเหลวที่ไหลเวียนอยู่ในระบบโดยผ่านทางก้านเจาะกลวงเป็นสื่อในการนำเศษดิน เศษหินที่ได้จากการขุดเจาะขึ้นมา การขุดเจาะโดยระบบไหลเวียนนี้ M Fauvelle วิศวกรชาวฝรั่งเศสนำไปใช้ในการขุดเจาะเมื่อปี ค.ศ. 1845 ซึ่งเขาสามารถขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลได้ลึก 170 เมตร ภายในเวลา 22 วัน ในขณะเดียวกันที่ประเทศอังกฤษ Beart ได้ผลิตเครื่องขุดเจาะระบบการไหลเวียนของ

ของเหลวแบบก้านเจาะกลวงหมุนรอบตัวเองและผลผลิตของเขาก็ได้รับการพัฒนาขึ้นมาตามลำดับ โดยการใช้ Hydraulic Rotary และใช้ก้านเจาะแบบสี่เหลี่ยมกลวง (Hollow Square Kelly) เครื่องขุดเจาะที่ขับเคลื่อนด้วยสายพานและได้มีการปรับปรุงเครื่องขุดเจาะหมุนรอบตัวเองด้วย แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีของระบบการขุดเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ก็ได้รับการพัฒนามาตามลำดับ จนสามารถใช้ได้ผลดีและเริ่มใช้กันอย่างกว้างขวางเมื่อปี ค.ศ. 1921 8 ปีต่อมาก็นำเบนโทไนท์สเลอรี่มาใช้เป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1931 ก็ได้นำเอาเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพของสเลอรี่มาใช้ คือ Stormer Viscometer และในปีเดียวกันนี้เอง March ก็ได้ประดิษฐ์ Funnel Viscometer ซึ่งยังคงใช้กันทุกวันนี้ จากนั้นการพัฒนาก็เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทั้งทางด้านเทคนิค, เครื่องจักร, เครื่องมือที่ใช้ในการขุดเจาะ สเลอรี่ที่ใช้และการควบคุมคุณภาพของสเลอรี่

2.2 ยุคเริ่มต้นของการนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมโยธา

ถ้านับย้อนหลังกลับไปในอดีตประมาณ 45 ปี จะเห็นได้ว่าการขุดเจาะหลุมเพื่อทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่นั้น ส่วนใหญ่ของงานขุดเจาะยังต้องอาศัยแรงงานของคนทำการขุดเจาะด้วยมือ การป้องกันการพังทลายของผนังหลุมที่ขุดเจาะจะทำได้ด้วยวิธีการค้ำยันด้วยไม้ ทำให้เสียเวลาในการทำเป็นอย่างมาก และปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะขุดเจาะ คือ ปัญหาของน้ำใต้ดินเมื่อการขุดเจาะผ่านชั้นดินทรายที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน การทำงานจึงมีความลำบาก ต่อมาได้มีการดัดแปลงเครื่องมือที่ใช้ในการเจาะบ่อน้ำบาดาลมาขุดเจาะหลุมสำหรับทำเสาเข็มเจาะ ซึ่งในตอนแรกยังต้องอาศัยแรงงานของคนและการพัฒนาก็ได้ก้าวหน้าขึ้นตามลำดับโดยได้อาศัยแรงม้ามาใช้แทนแรงคนในการขับเครื่องขุดเจาะให้ทำงาน เครื่องขุดเจาะที่ใช้กำลังจากเครื่องยนต์ได้นำมาใช้สำหรับงานทำเสาเข็มเจาะเมื่อ ค.ศ. 1920 แต่เครื่องขุดเจาะที่มีประสิทธิภาพในการขุดเจาะสูงสามารถเจาะได้รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายได้นำมาใช้เมื่อปลายปี ค.ศ. 1940 จากนั้น หลังสงครามโลกครั้งที่สอง การพัฒนาเครื่องขุดเจาะก็เป็นไปอย่างรวดเร็วและในปัจจุบันจะมีเครื่องขุดเจาะมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการขุดเจาะสูงมากเมื่อเทียบกับเครื่องในอดีตที่ผ่านมา

สำหรับระบบการขุดเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ ได้นำเข้ามาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมโยธาอย่างแท้จริง เมื่อปี ค.ศ. 1926 โดย Powell ได้ขอจดทะเบียนสิทธิบัตรระบบการขุดเจาะที่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมโยธาเป็นครั้งแรก เป็นระบบการขุดเจาะแบบการไหลหมุนเวียนของสเลอรี่ที่ใช้น้ำโคลน และน้ำโคลนนี้จะเป็นตัวป้องกันการพังทลายของหลุมที่เจาะด้วย ระบบการขุดเจาะของ Powell นั้น จะประกอบด้วยการขุดเจาะหลุมโดยจะมีน้ำโคลนไหลหมุนเวียนทำหน้าที่หล่อลื่นก้านเจาะระบายความร้อนให้กับหัวเจาะ เมื่อขุดเจาะจนได้ความลึกที่ต้องการแล้วก็จะดึงเอาหัวเจาะขึ้นมาจากหลุม จากนั้นจะใส่ปลอกเหล็กลงไปในหลุมแล้วหมุนปลอกเหล็กให้ส่วนปลายที่มีความคมสามารถตัดดินออกได้ ปลอกเหล็กก็จะฝังตัวลึกลงไปในชั้นดินแข็ง เมื่อสูบเอาน้ำโคลนออกจากหลุมแล้วก็เทคอนกรีตต่อไป ข้อได้เปรียบของการขุดเจาะแบบนี้ คือ สามารถที่จะทำงานได้รวดเร็ว

ในปี ค.ศ. 1934 การทำเสาเข็มเจาะโดยการเทคอนกรีตใต้เบนโทไนท์สเลอรี่ประสบผลสำเร็จและการก่อสร้างก็สามารถที่จะทำให้เสาเข็มติดกันเพื่อป้องกันการไหลซึมของน้ำใต้ดินได้ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของการทำ Inter-Locking Pile Walls และในปี ค.ศ. 1948 ก็ได้มีการทำเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ลึก 65 เมตรขึ้นไป Algeria

ใน ค.ศ. 1950 ที่ Beautor ประเทศฝรั่งเศสได้นำระบบการขุดเจาะแบบสเลอรี่ไหลวนกลับ (Reverse Circulation of Slurry) มาใช้ในการทำเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.55 เมตร ลึก 30 เมตร

Verder และ Marconi ได้พัฒนาระบบการก่อสร้าง Structural Slurry Trenches ขึ้นมาเป็นครั้งแรก โดยได้ทำการทดลองเป็นการส่วนตัวเมื่อ ค.ศ. 1948 และทดลองทางด้านการค้าขึ้นที่ Fedala Dam และที่ Venatro ริมแม่น้ำ Volturno ประเทศอิตาลี เมื่อปี ค.ศ. 1950 ใน ค.ศ. 1953 Marconi ได้ใช้ระบบการขุดเจาะแบบ Reverse Circulation ทำการขุดเจาะร่องเพื่อที่จะทำเป็นผนัง (Slurry Trench Wall) แทนที่ระบบ Interlocking Pile Walls

2.3 การศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกน

การคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็ม โดยอาศัยสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ให้ได้ผลถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงจะต้องทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเสียก่อน โดยการศึกษาพฤติกรรมบางประการของเสาเข็มในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนได้แก่ การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนจนเสาเข็มพิบัติ ทั้งนี้จะต้องติดตั้งเครื่องมือพิเศษ เพื่อตรวจสอบการวิรูป (Deformation) และน้ำหนักบรรทุก (Load) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ กันตลอดความยาวของเสาเข็ม แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบมาศึกษาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณตามทฤษฎีโดยอาศัยสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจดินในบริเวณเดียวกัน ด้วยหลักการดังกล่าวก็สามารถที่จะหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้และด้วยเหตุที่ได้มีการใช้เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่กันอย่างกว้างขวางในประเทศอังกฤษ ตามรายงานของ CIRIA (1977) ซึ่งประมาณว่าในปีหนึ่งจะมีการทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่มีความยาวรวมกันไม่น้อยกว่า 2 ล้านเมตร ดังนั้น การศึกษา, ทดสอบและการวิเคราะห์ผลที่เกี่ยวกับพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็มเจาะส่วนใหญ่ จึงทำกันที่ประเทศอักฤษ

2.3.1 พารามิเตอร์สำหรับเสาเข็มเจาะในชั้นดินเหนียว

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็มเจาะในดินเหนียว คือ ตัวประกอบความติดแน่น (Adhesion Factor, α) ระหว่างพื้นที่ผิวประสิทธิผลของเสาเข็มกับมวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็มและตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธาร (Bearing Capacity Factor, N_c) ของมวลดินที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็ม การศึกษาเกี่ยวกับตัวประกอบความติดแน่นและตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธารในดินเหนียวโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดินลอดดอน ได้มีผู้ศึกษาหลายรายด้วยกัน เช่น SKEMPTON, 1959; BURLAND, BUTLER และ DURLAND 1966; WHITAKER และ COORE, 1966; BUTLER และ MORTON, 1971; BURLAND และ COOKE, 1974 เป็นต้น ตัวประกอบความติดแน่นจะขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายอย่างด้วยกัน รวมทั้งวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม ชนิดของดินที่ล้อมรอบเสาเข็มและวิธีการที่ใช้ในการทำเสาเข็ม TOMLINSON (1981) ได้รวบรวมตัวประกอบความติดแน่นที่ใช้สำหรับเสาเข็มเจาะ ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 2.1

และจะได้กล่าวอย่างละเอียดในบทที่ 4 อีกครั้งหนึ่ง สำหรับตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธาร SKEMPTON (1951) แนะนำให้ใช้ค่า 6.14 สำหรับฐานรากกลม เมื่อฐานรากอยู่ที่ผิวดินและมีค่าสูงสุดเท่ากับ 9 เมื่อความลึกของฐานรากมีค่ามากกว่าสี่เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งจากการทดสอบของ SKEMPTON (1959) พบว่า สำหรับดินลอนดอน ค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธารมีค่าเท่ากับ 9 อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของผู้อื่นพบว่ามีค่าแตกต่างกันออกไป เช่น SOWER (1961) ได้พบว่า ค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธาร N_c มีค่าอยู่ระหว่าง 5-8 และ MOHAN (1961) ได้ค่า N_c ระหว่าง 5.7-8.2 สำหรับ Expansive Clays จากการศึกษาและทดสอบของ WHITAKER และ COOKE (1966) ได้พบว่า สำหรับดินแข็ง (Stiff Clays) ค่า N_c เท่ากับ 9 เป็นค่าที่เหมาะสม

2.3.2 พารามิเตอร์สำหรับเสาเข็มเจาะในดินทราย

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็มเจาะในดินทราย คือ สัมประสิทธิ์ความดันทางข้างของดิน (K_s) และมุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มและมวลดินที่ล้อมรอบเสาเข็ม (ϕ_a) ตลอดจนตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธานในดินทราย (N_q) สำหรับเสาเข็มตอก ค่า K_s และ ϕ_a สามารถหาได้จากตารางที่ 2.2 เนื่องจากการทำเสาเข็มเจาะจะมีผลกระทบกระเทือนทำให้ดินทรายอยู่ในสภาพหลวมตัวมากขึ้นจากเดิม TOUMA และ REESE (1974) แนะนำให้ใช้สัมประสิทธิ์ความดันทางข้างของดินเท่ากับ 0.7 สำหรับค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธารในดินทราย ได้มีผู้ศึกษาหลายรายส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาสำหรับเสาเข็มตอก ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และมุมเสียดทานภายในของดิน ϕ ได้แสดงในรูปที่ 2.2 VESIC (1964) ได้พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง N_q และ ϕ ที่เสนอโดย BEREZANTSEV (1961) เป็นค่าที่ให้ผลใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มจริงในสนามมากที่สุด เนื่องจากการทำเสาเข็มเจาะจะมีผลกระทบกระเทือนทำให้ดินทรายอยู่ในสภาพหลวมตัวมากขึ้นจากเดิม POULOS และ DAVIS (1980) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า ให้แก้ไขมุมเสียดทานภายในโดยการลบออกด้วย 3 ก่อนที่จะนำไปใช้ในการหาค่า (N_q) ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในบทที่ 4 ต่อไป

ตารางที่ 2.1 ตัวประกอบความติดแน่นสำหรับเสาเข็มเจาะในดินเหนียว

สถานที่	ชนิดของดิน	ความเชื่อมแน่นของดิน		ตัวประกอบความติดแน่น
		ตัน/ม^2	ปอนด์/ฟ^2.	
SE England	London	50-240	1,000-5,000	0.3-0.6
Luterworth, UK	Lias clay	200	4,200	0.1-0.3
Grimsby, UK	Glacial till	140	3,000	0.4-0.6
Glasgow, UK	Glacial till	160	3,300	0.85
Glasgow, UK	Laminated glacial	96	2,000	1.0-1.2
Canada	clay	110	2,300	0.31
Keilor, Australia	Keilor clay	140-160	3,000-3,300	0.34-0.36
Kerang, Australia	Kerang clay	120-190	2,600-4,000	0.46-0.28
Houston, USA	Beaumont clay	96-190	2,000-4,000	0.40-0.52
Lemoore, USA	-	96	2,000	0.49-0.52

2.4 การนำระบบเสาเข็มเจาะเข้ามาใช้ในประเทศไทย

ในประเทศไทยได้มีการใช้เสาเข็มเจาะเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2505 เพื่อสร้างโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่บางกรวย หลังจากนั้น บริษัท CPAC ก็ได้นำระบบเสาเข็มเจาะที่เรียกว่า Instrusion Prepakt Piles เข้ามาใช้ในบริเวณกรุงเทพฯ สำหรับเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่ขุดเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ระบบของเหลวไหลวนกลับก็ได้นำเข้ามาใช้สร้างสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2514 สำหรับอาคารได้มีการใช้เสาเข็มเจาะโดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ สำหรับฐานรากอาคารสำนักงานใหญ่ธนาคารกรุงเทพ จำกัด ถนนสีลม เมื่อปี พ.ศ. 2519 จากนั้นได้มีการทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่สำหรับฐานรากของอาคารมากขึ้นตามลำดับ แต่ส่วนใหญ่การขุดเจาะจะใช้กรรมวิธีแห้ง (Dry Processes) และเมื่อปี พ.ศ. 2522 ก็ได้นำระบบเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่โดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่มาทำเสาเข็มเจาะฐานรากอาคารไทยิงทาวเวอร์และมีแนวโน้มว่าการทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่โดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่ในบริเวณกรุงเทพฯ จะมีมากขึ้นในอนาคต

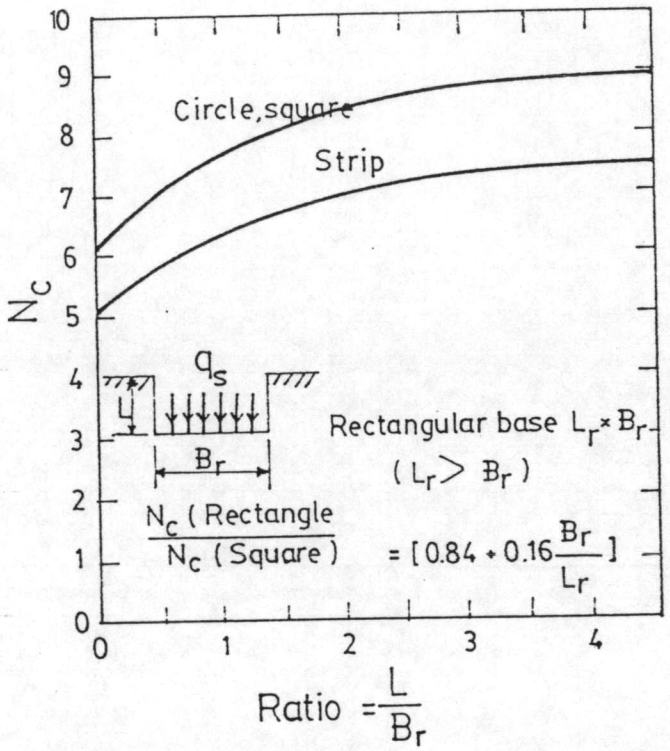
2.5 การศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนในดินกรุงเทพฯ

การศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนในดินกรุงเทพฯ นั้น มีผู้ศึกษาอยู่น้อยราย ประจิต จิรัปปภา (1968) ได้ทดสอบและวิเคราะห์ผลของการทดสอบหาพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะขนาดเล็กในชั้นดินอ่อนกรุงเทพฯ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความเสียดทานของตัวเข็มและแรงธารที่ปลายเสาเข็มเจาะขนาดเล็กในชั้นดินอ่อนกรุงเทพฯ โดยใช้วิธีของ VAN WEELE ในการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงในสนาม อาศัย Load Cell เพื่อตรวจสอบค่าแรงธารที่ปลายเข็ม วีระ สุวรรณกูล (1969) ได้ทดสอบและวิเคราะห์ผลของการทดสอบหาพฤติกรรมของเสาเข็มขนาดเล็ก ในชั้นดินแข็งของดินกรุงเทพฯ และพบว่าความติดแน่น มีค่าประมาณ 1.22 และตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธารในดินเหนียว N_c มีค่าประมาณ 8.25 นอกจากนี้ อภิชัย จุฑาศิริวงศ์ (1972) ได้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะที่ทำโดยการตอกปลอกเหล็กลงไปก่อนแล้วเทคอนกรีตลงในปลอกเหล็ก (Vibro Pile) จากการทดสอบพบว่า

ความเสียดทานที่ตัวเข็มจะมีค่าประมาณ 80 % ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่เสาเข็มจะสามารถรับได้

สำหรับพฤติกรรมในการรับน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่ทำการขุดเจาะโดยใช้กรรมวิธีแห้ง นั้น LEE (1979) ได้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็มเจาะจนพิบัติ จากผลของการวิเคราะห์เขาได้พบว่า แรงธารที่ปลายของเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เมตร จะมีค่าประมาณ 35 % ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสาเข็มสามารถรับได้โดยที่ปลายของเสาเข็มอยู่ในชั้นดินแข็งกรุงเทพฯ และแรงธารที่ปลายของเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 เมตร จะมีค่าประมาณ 55 % ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสาเข็มสามารถรับได้โดยที่ปลายของเสาเข็มอยู่ในชั้นดินทราย ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธารในดินทราย (N_q) ที่เหมาะสม คือ 20 (การขุดหลุมทำโดยการตอกปลอกเหล็กด้วยการสั่นสะเทือนแล้วใช้ Grabbing Rigs ขุดเอาดินในปลอกเหล็กออก) นอกจากนี้ LEE ยังได้พบว่าตัวประกอบความเชื่อมแน่นที่เหมาะสมในการคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะโดยใช้กรรมวิธีแห้ง คือ ค่าเฉลี่ยของ HLLMBERG (1970) ตามที่แสดงในรูปที่ 2.3

การศึกษา ทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบน้ำหนักบรรทุก เพื่อหาพฤติกรรมในการตอบสนองต่อน้ำหนักบรรทุกตามแนวแกนของเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่โดยการแทนที่ด้วยสเลอรี่นั้น ยังไม่ปรากฏว่าได้มีการศึกษา ทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบกันอย่างจริงจังสำหรับดินกรุงเทพฯ

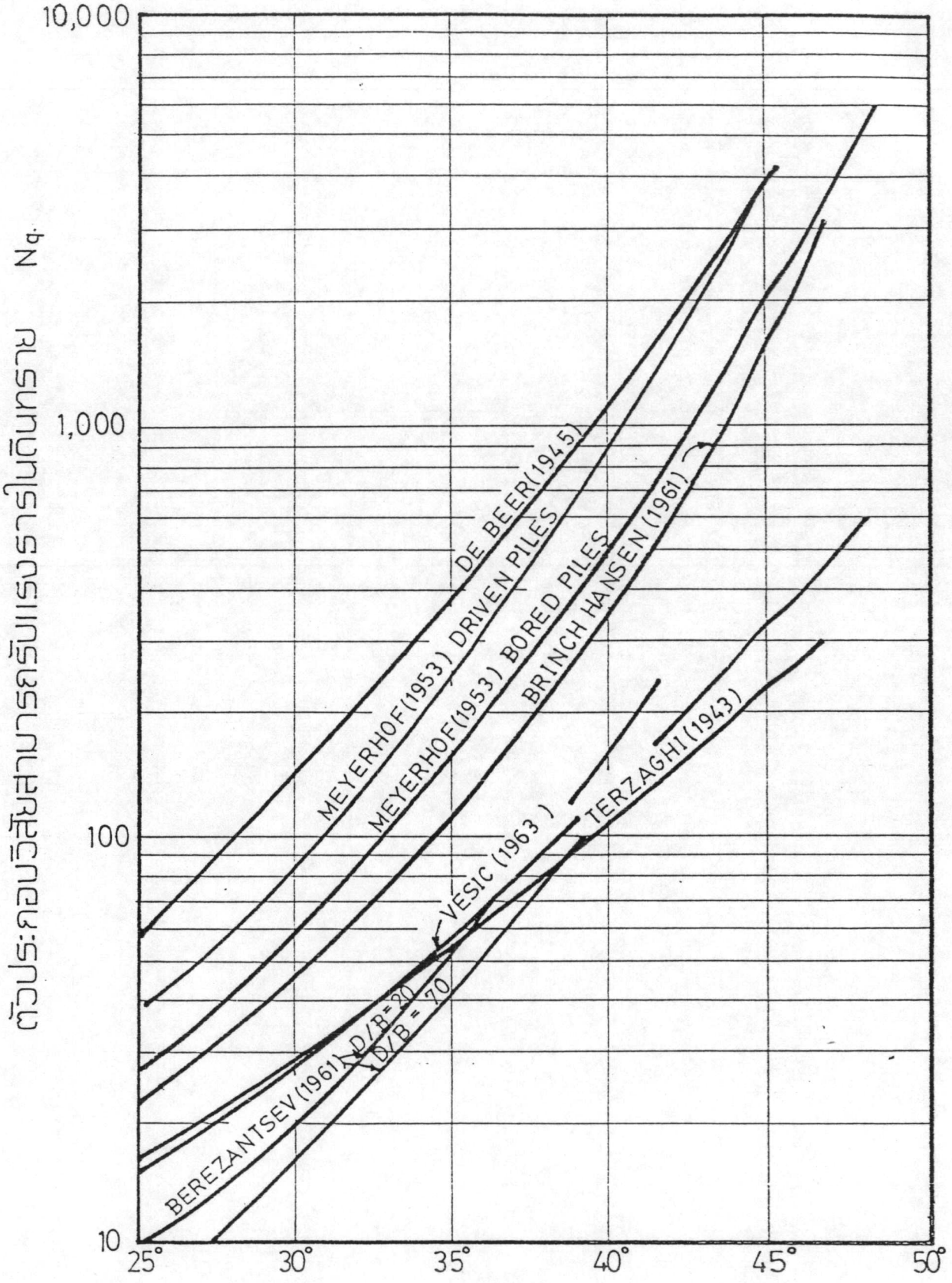


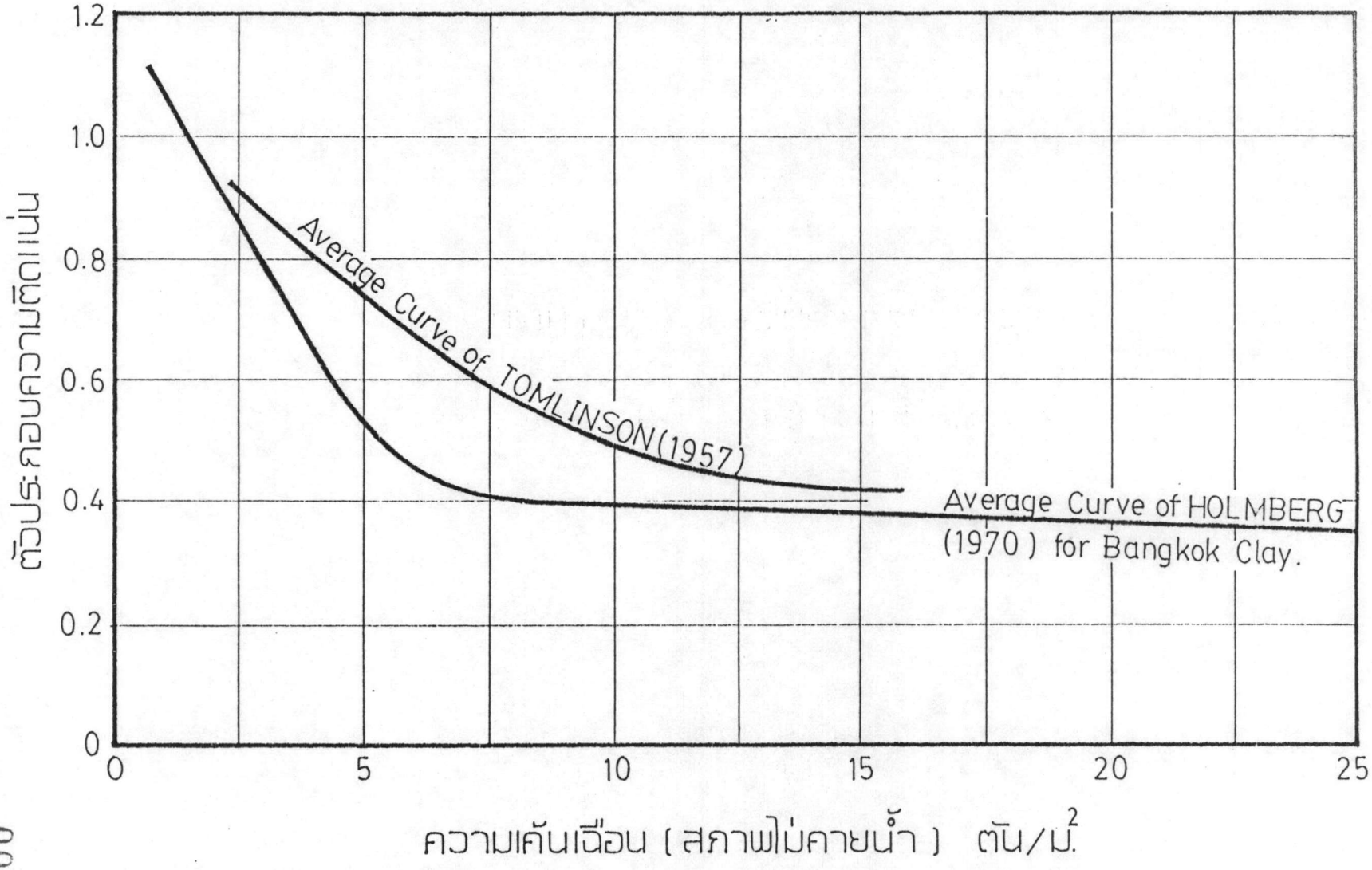
รูปที่ 2.1 ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธารในดินเหนียว (SKEMPTON, 1951)

Pile type	$\emptyset_a$	K_s for	
		Low relative density	High relative density
Steel	20°	0.5	1.0
Concrete	(3/4) $\emptyset$	1.0	2.0
Wood	(2/3) $\emptyset$	1.5	4.0

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์ความดันทางข้างของดิน (BROMS, 1966)

รูปที่ 2.2 ตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงธาร
สำหรับฐานรากกลมในดินทราย





รูปที่ 2.3 ตัวประกอบความติดแน่นสำหรับดินเหนียว (α)

9457400