หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบความแน่นหลังการบดอัด

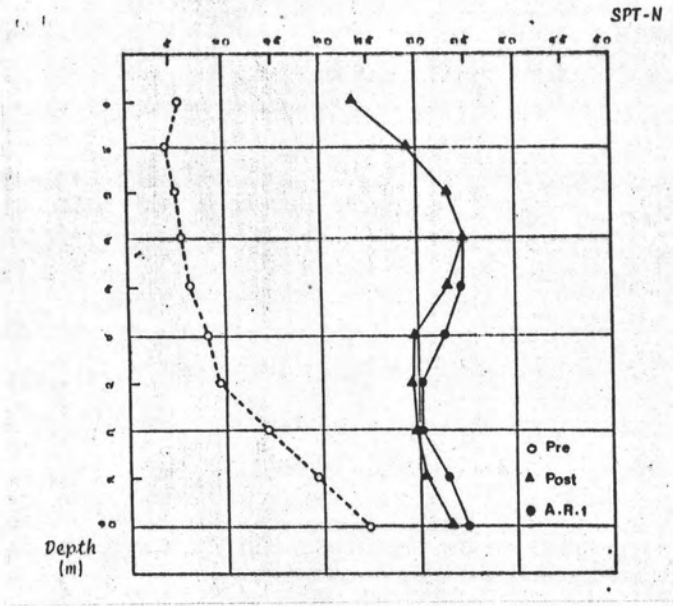
การเจาะและตอกทดสอบหลังการบดอัดจะทำการเจาะทดสอบ 1 หลุมต่อพื้นที่ 200 ตารางเมตร โดยวิธีการเจาะและตอกทดสอบจะกระทำเหมือนก่อนบดอัด แตกต่างเพียงตำแหน่งจุดตอกทดสอบหลังการบดอัดจะเลื่อนจากตำแหน่งเดิมก่อนการบดอัดไปยังจุดที่คาดว่าความแน่นของชั้นดินควรจะน้อยที่สุด ซึ่งจำนวนจุดการเจาะและตอกทดสอบในโซนต่าง ๆ เป็นดังต่อไปนี้คือ

โซน 1U	จำนวน	43	จุด
โซน 1C/D	จำนวน	56	จุด
โซน 2U	จำนวน	69	จุด
โซน 2C/D	จำนวน	41	จุด
โซน 3U	จำนวน	80	จุด
โซน 3C/D	จำนวน	70	จุด
โซน 4U	จำนวน	48	จุด
โซน 4C/D	จำนวน	42	จุด
โซน 5U	จำนวน	48	จุด
โซน 5C/D	จำนวน	42	จุด
โซน AD	จำนวน	14	จุด
รวมจำนวนจุดตอกทดสอบทั้งสิ้น	จำนวน	553	จุด

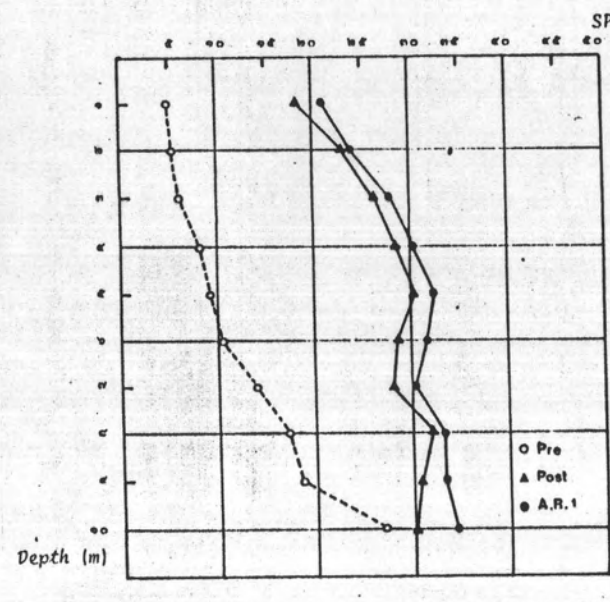
จากผลการทดสอบซึ่งได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.$_1$ นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Derivation) ได้ดังตารางที่ 4.1-4.5 และรูปที่ 4.1-4.5 แล้วนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ โดยสมการของ Fardis and Veneziano (สมการที่ 2.6) ได้ดังตารางที่ 4.6-4.10 และรูปที่ 4.6-4.10 ตามลำดับ

โซน / ความลึก	1U		2U	
	Post	A.R.#1	Post	A.R.#1
๑.๐๐	๒๓.๕๑±๔.๙๗	๒๓.๓๓±๕.๔๙	๑๘.๖๒±๗.๕๘	๒๐.๙๗±๕.๐๑
๒.๐๐	๒๘.๙๑±๖.๒๑	๒๘.๓๖±๖.๘๓	๒๓.๐๐±๕.๕๗	๒๔.๑๘±๕.๑๐
๓.๐๐	๓๒.๗๙±๕.๙๙	๓๒.๘๘±๗.๐๐	๒๖.๓๘±๖.๐๑	๒๘.๑๐±๕.๘๗
๔.๐๐	๓๔.๗๖±๕.๑๒	๓๔.๒๕±๕.๙๒	๒๘.๔๐±๖.๔๓	๓๐.๒๙±๖.๘๐
๕.๐๐	๓๓.๓๒±๕.๕๒	๓๔.๖๐±๖.๔๐	๓๐.๒๔±๖.๙๘	๓๒.๒๕±๖.๙๑
๖.๐๐	๒๙.๕๘±๖.๗๙	๓๒.๗๑±๕.๘๕	๒๘.๖๔±๗.๑๘	๓๑.๖๗±๖.๙๓
๗.๐๐	๒๙.๓๔±๖.๗๐	๓๐.๒๐±๖.๐๔	๒๗.๗๘±๖.๖๙	๓๐.๓๔±๕.๔๖
๘.๐๐	๒๙.๗๓±๖.๔๕	๓๐.๒๔±๕.๖๐	๓๑.๙๕±๗.๒๒	๓๓.๓๘±๕.๒๒
๙.๐๐	๓๐.๖๖±๘.๔๓	๓๓.๓๑±๖.๓๙	๓๐.๘๓±๘.๓๒	๓๓.๕๐±๖.๑๑
๑๐.๐๐	๓๓.๓๓±๕.๗๓	๓๔.๙๓±๕.๐๓	๓๐.๓๑±๙.๖๒	๓๔.๔๔±๖.๒๑
๑๑.๐๐	> ๕๐	> ๕๐	> ๕๐	> ๕๐
E/A	๔๑๒.๔๘	๔๒๑.๙๕	๓๕๓.๑๐	๓๙๒.๘๙
D	๑๐.๐๖±๑.๕๐	๙.๙๐±๑.๖๘	๑๐.๑๙±๑.๒๓	๑๐.๑๐±๑.๓๕

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า SPT-N เฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหลังการบดอัด โซน 1U และ 2U



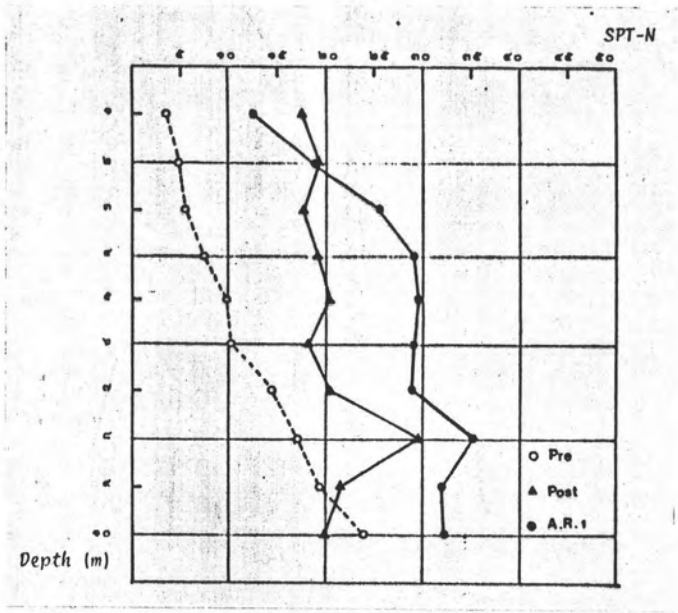
รูปที่ 4.1 (ก) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัด โซน 1U



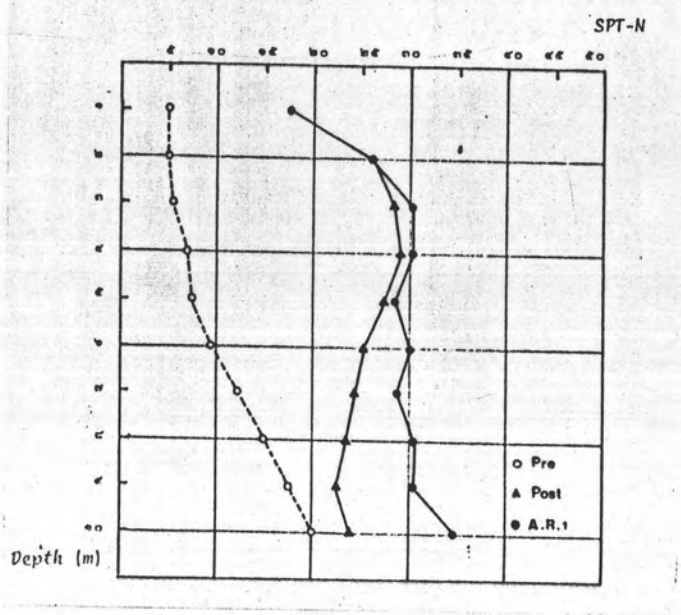
รูปที่ 4.1 (ข) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัด โซน 2U

โซน / ความลึก	1C/D		2C/D	
	Post	A.R.#1	Post	A.R.#1
๑.๐๐	๑๗.๔๓±๔.๔๗	๑๗.๔๖±๓.๑๒	๑๗.๔๖±๔.๔๖	๑๒.๖๔±๖.๐๖
๒.๐๐	๒๖.๓๔±๘.๔๓	๒๖.๐๒±๗.๒๔	๑๔.๒๓±๔.๒๔	๑๘.๖๘±๖.๕๔
๓.๐๐	๒๘.๕๗±๗.๔๑	๓๐.๓๔±๗.๕๓	๑๗.๘๕±๗.๑๘	๒๕.๔๖±๖.๒๘
๔.๐๐	๒๔.๐๕±๗.๘๔	๓๐.๒๐±๗.๐๕	๑๔.๒๓±๖.๕๕	๒๘.๔๕±๖.๑๘
๕.๐๐	๒๗.๕๓±๖.๔๔	๒๘.๕๐±๕.๒๔	๒๐.๕๔±๖.๓๗	๒๔.๔๐±๕.๔๕
๖.๐๐	๒๕.๒๔±๘.๓๕	๓๐.๑๔±๖.๗๗	๑๘.๓๘±๗.๖๑	๒๔.๒๓±๖.๖๔
๗.๐๐	๒๔.๓๗±๗.๘๘	๒๘.๗๑±๕.๓๐	๒๐.๔๒±๖.๗๔	๒๘.๗๔±๕.๕๓
๘.๐๐	๒๓.๔๓±๗.๔๗	๓๐.๔๔±๔.๕๘	๒๔.๗๓±๑๓.๒๐	๓๕.๓๗±๗.๖๔
๙.๐๐	๒๒.๖๗±๗.๗๒	๓๐.๔๑±๔.๐๗	๒๑.๖๒±๑๐.๘๗	๓๒.๐๐±๕.๖๖
๑๐.๐๐	๒๓.๘๓±๙.๖๐	๓๔.๘๕±๕.๙๒	๑๙.๗๘±๗.๑๐	๓๒.๓๕±๖.๑๐
๑๑.๐๐	> ๕๐	> ๕๐	> ๕๐	> ๕๐
E/A	๔๐๕.๐๘	๔๘๒.๖๕	๓๒๗.๓๙	๔๘๖.๒๐
D	๑๐.๐๓±๑.๖๒	๙.๙๐±๑.๖๕	๑๐.๘๑±๐.๖๖	๑๐.๕๑±๐.๕๕

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า SPT-N เฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หลังการบดอัดโซน 1C/D และ 2C/D



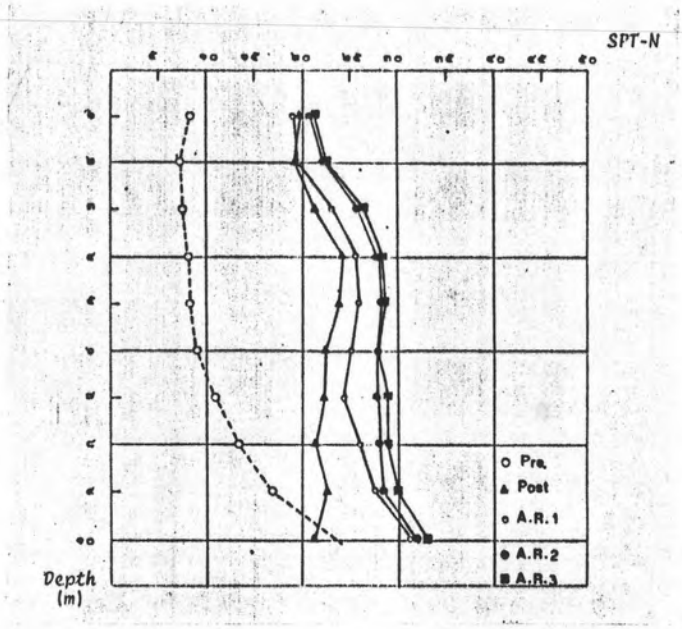
รูปที่ 4.2 (ก) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัด โซน 1C/D



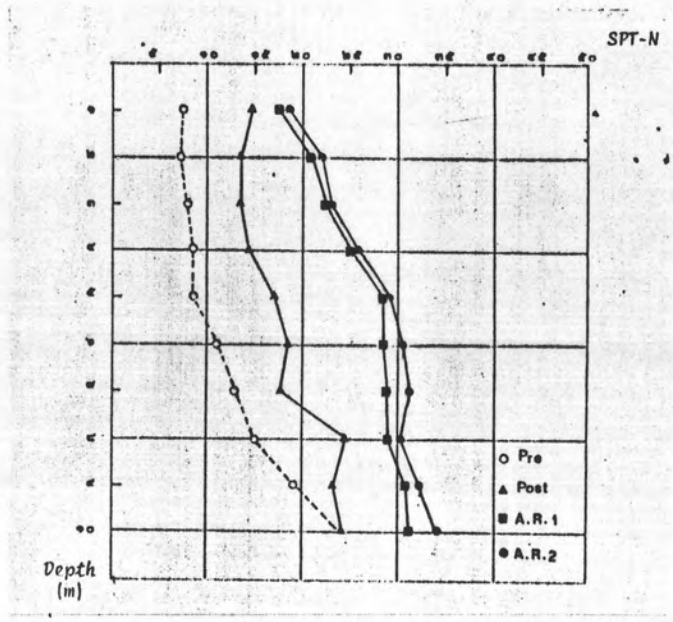
รูปที่ 4.2 (ข) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัด โซน 2C/D

โซน / ความลึก	3U			3C/D (R)		
	Post	A.R.#1	A.R.#2	A.R.#3	Post	A.R.#1	A.R.#2
๑.๐๐	๑๙.๘๗±๖.๑๘	๑๙.๑๕±๘.๒๒	๒๐.๘๑±๕.๙๙	๒๑.๒๒±๕.๑๐	๑๙.๗๕±๕.๙๓	๑๗.๕๗±๕.๙๑	๑๘.๙๕±๔.๙๓
๒.๐๐	๑๙.๒๖±๗.๘๖	๑๙.๓๕±๘.๑๙	๒๒.๓๐±๗.๓๐	๒๒.๖๒±๖.๑๘	๑๓.๕๔±๖.๒๒	๒๑.๑๐±๘.๑๒	๒๑.๙๖±๗.๓๙
๓.๐๐	๒๑.๖๗±๗.๙๖	๒๓.๑๙±๘.๓๘	๒๕.๗๙±๘.๑๗	๒๖.๗๐±๗.๑๐	๑๓.๖๓±๖.๕๕	๒๒.๒๖±๗.๘๕	๒๓.๑๖±๗.๓๙
๔.๐๐	๒๔.๓๒±๘.๗๐	๒๕.๗๐±๖.๗๙	๒๗.๙๘±๖.๒๓	๒๘.๑๙±๖.๒๐	๑๙.๒๙±๕.๘๒	๒๕.๐๐±๗.๕๓	๒๕.๘๑±๖.๓๙
๕.๐๐	๒๔.๑๕±๗.๘๐	๒๖.๑๒±๗.๖๙	๒๘.๓๕±๕.๙๖	๒๘.๖๕±๕.๖๐	๒๒.๒๒±๕.๒๖	๒๘.๕๑±๖.๓๘	๒๘.๗๙±๗.๐๑
๖.๐๐	๒๒.๙๘±๘.๐๙	๒๕.๒๙±๗.๓๒	๒๗.๙๒±๕.๙๙	๒๘.๑๑±๕.๑๕	๒๓.๕๘±๕.๕๑	๒๘.๕๙±๖.๕๙	๓๐.๙๙±๖.๖๖
๗.๐๐	๒๒.๓๖±๗.๘๓	๒๕.๖๗±๗.๘๓	๒๗.๙๐±๕.๗๙	๒๙.๑๕±๔.๘๙	๒๒.๘๐±๗.๐๒	๒๘.๗๙±๗.๓๐	๓๑.๒๙±๗.๒๑
๘.๐๐	๒๑.๕๗±๘.๘๕	๒๕.๙๒±๗.๑๒	๒๗.๙๖±๕.๕๑	๒๙.๑๒±๔.๑๙	๒๙.๙๕±๖.๘๕	๒๙.๐๐±๕.๕๖	๓๐.๒๑±๕.๗๐
๙.๐๐	๒๒.๖๕±๘.๙๑	๒๗.๕๐±๗.๒๐	๒๘.๖๙±๖.๑๙	๒๙.๘๗±๕.๒๑	๒๓.๓๗±๗.๗๗	๓๐.๙๒±๘.๙๓	๓๒.๙๐±๕.๗๓
๑๐.๐๐	๒๑.๙๖±๘.๓๓	๓๑.๙๘±๗.๘๘	๓๑.๙๐±๖.๘๘	๓๓.๓๗±๖.๒๐	๒๙.๐๐±๖.๗๙	๓๑.๒๐±๗.๙๓	๓๙.๑๕±๕.๙๑
	< ๕๐	< ๕๐	< ๕๐	< ๕๐	< ๕๐	< ๕๐	> ๕๐
E/A	๓๙๖.๑๓	๕๓๗.๘๘	๕๙๙.๙๖	๕๐๒.๖๐	๕๕๘.๓๒	๕๙๙.๓๘	๕๐๗.๘๓
D	๑๐.๐๓±๑.๕๕	๙.๖๗±๑.๕๐	๙.๗๖±๑.๙๕	๙.๘๘±๑.๙๕	๑๐.๒๓±๑.๑๘	๑๐.๕๐±๑.๑๘	๑๐.๙๙±๑.๑๘

ตารางที่ 4.3 แสดงว่า SPT-N เฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หลังการบดอัดโซน 3U และ 3C/D (R)



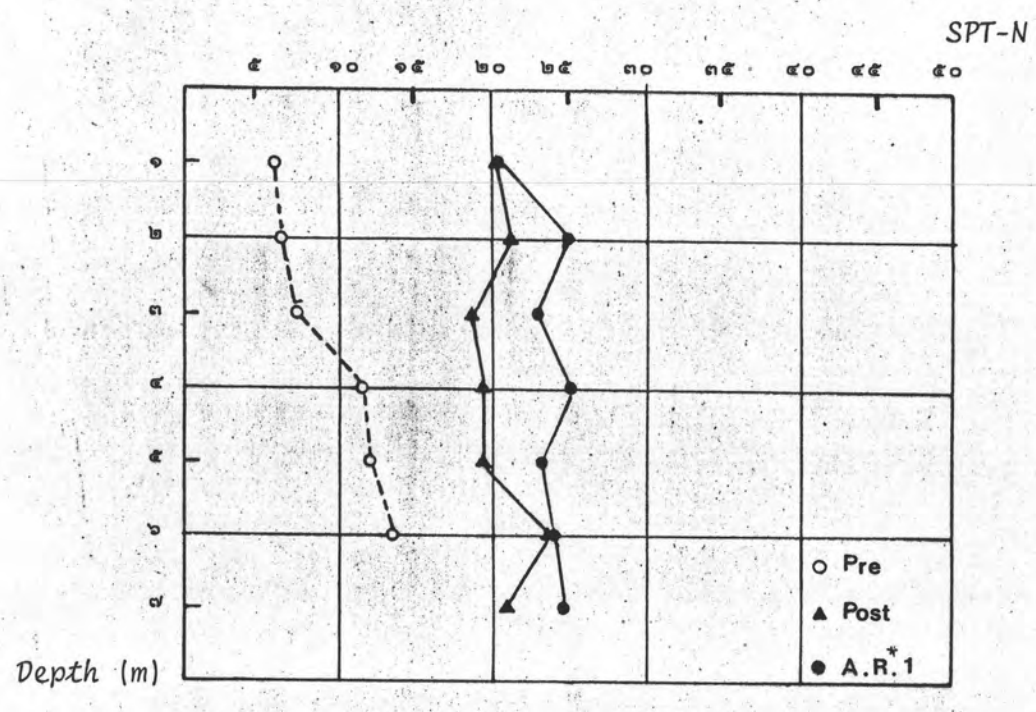
รูปที่ 4.3 (ก) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัด โซน 3U



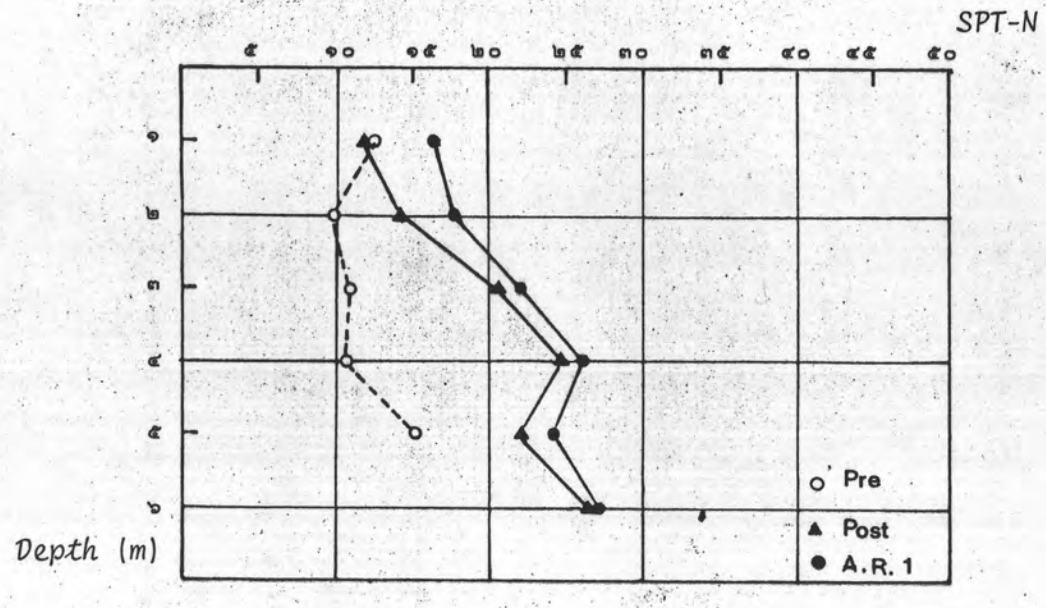
รูปที่ 4.3 (ข) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัด โซน 3C/D (R)

โซน / ความลึก	AD		3C/D (L)		4U (4P)	
	Post	A.R.#1	Post	A.R.#1	Post	A.R.#2
๑.๐๐	๒๐.๓๖±๕.๔๖	๒๐.๕๘±๔.๑๕	๑๑.๔๕±๕.๒๘	๑๖.๖๐±๒.๗๖	๑๘.๗๕±๖.๑๑	๒๐.๐๐±๖.๐๒
๒.๐๐	๒๑.๒๑±๔.๖๔	๒๕.๐๐±๗.๑๗	๑๔.๑๕±๖.๐๓	๑๗.๖๕±๕.๐๗	๑๘.๓๓±๖.๒๘	๑๘.๔๔±๕.๑๘
๓.๐๐	๑๘.๓๖±๕.๔๔	๒๓.๐๗±๖.๐๕	๒๐.๕๕±๔.๑๐	๒๑.๘๐±๔.๐๐	๑๔.๘๐±๖.๐๒	๒๑.๕๕±๖.๕๘
๔.๐๐	๑๔.๖๔±๖.๐๘	๒๕.๑๔±๕.๕๕	๒๔.๗๕±๕.๔๒	๒๖.๑๕±๕.๒๒	๑๔.๔๕±๕.๕๔	๒๒.๘๐±๕.๒๑
๕.๐๐	๑๔.๐๗±๕.๗๗	๒๓.๓๑±๓.๗๗	๒๒.๐๕±๓.๗๓	๒๓.๔๕±๔.๐๓	๒๕.๗๕±๕.๘๓	๒๗.๕๕±๖.๘๔
๖.๐๐	๒๓.๖๐±๔.๓๕	๒๔.๐๐±๔.๓๔	๒๖.๕๘±๔.๘๔	๒๖.๗๐±๓.๕๒	๓๓.๐๐±๘.๐๗	๓๓.๗๘±๘.๘๐
๗.๐๐	๒๑.๐๐±๓.๕๑	๒๔.๘๐±๒.๕๖	> ๕๐	> ๕๐	> ๕๐	> ๕๐
๘.๐๐	> ๕๐	> ๕๐				
E/A	๑๔๕.๑๔	๒๘๑.๕๒	๒๔๗.๕๐	๒๖๗.๘๗	๒๓๘.๓๓	๒๕๔.๑๖
D	๗.๑๗±๑.๐๗	๗.๐๐±๑.๒๐	๖.๘๑±๐.๘๕	๖.๖๓±๐.๗๓	๖.๓๒±๐.๘๔	๖.๕๐±๐.๘๔

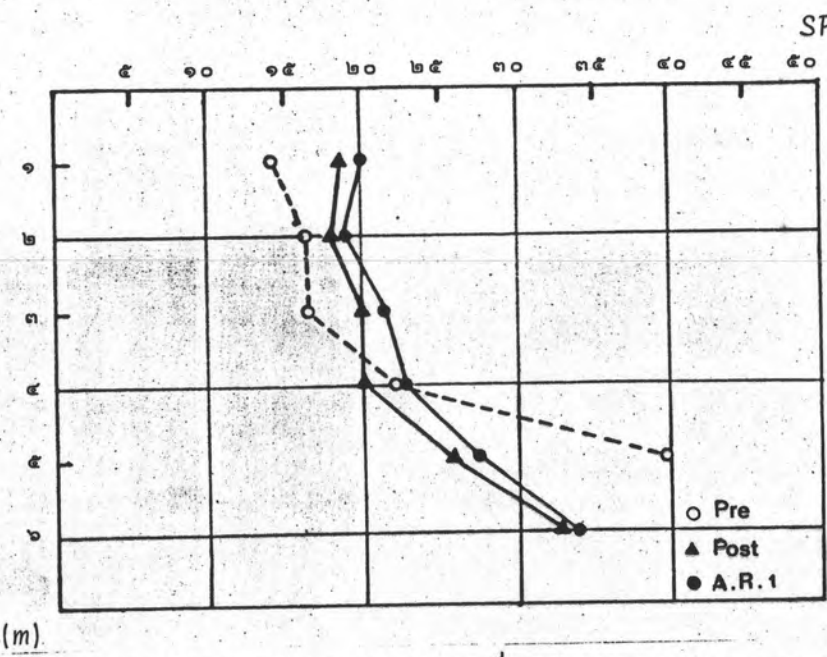
ตาราง 4.4 แสดงค่า SPT-N เฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หลังการบดอัด โซน AD, 3C/D (L) และ 4U (4P)



รูป 4.4 (ก) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัด โซน AD



รูปที่ 4.4 (ข) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัด โซน 3C/D (L)

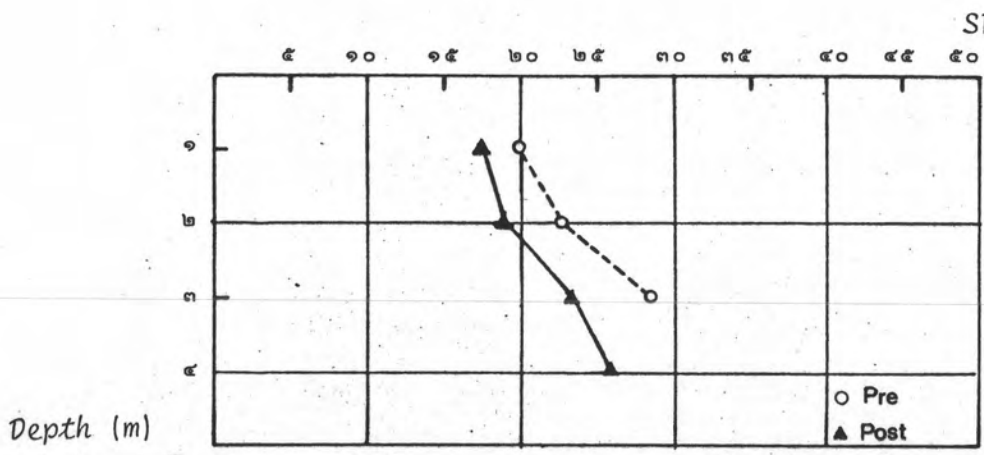


รูปที่ 4.4 (ค) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัด โซน 4U (4P)

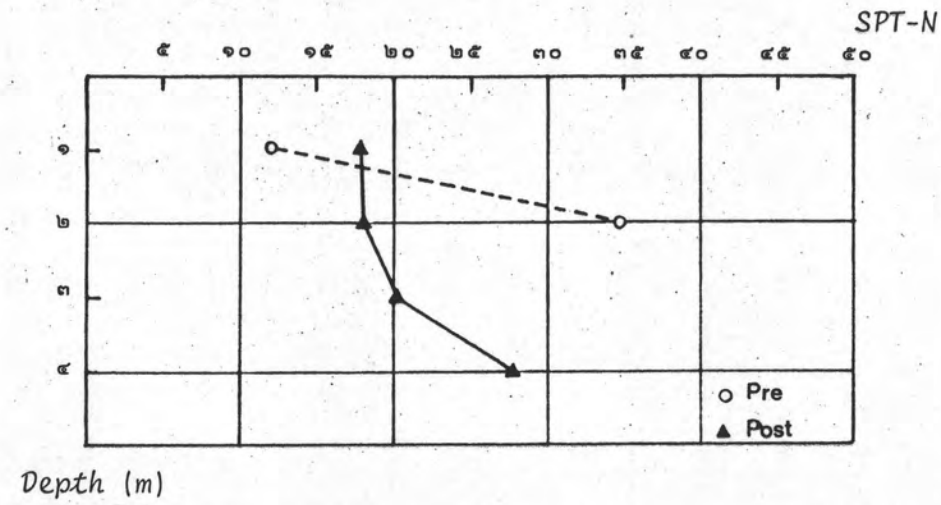
โซน / ความลึก	4U (3P)	4C/D (L)	4C/D (R)
	Post	Post	Post
๑.๐๐	๑๗.๖๒±๖.๒๖	๑๗.๗๘±๔.๐๐	๑๘.๖๒±๕.๑๑
๒.๐๐	๑๘.๘๒±๓.๖๑	๑๘.๑๔±๒.๑๗	๒๐.๐๐±๕.๔๑
๓.๐๐	๒๓.๔๗±๓.๘๒	๒๐.๒๐±๕.๐๑	๒๒.๗๕±๔.๘๐
๔.๐๐	๒๖.๑๑±๗.๐๕	๓๒.๗๕±๗.๑๕	๒๖.๐๗±๔.๘๒
๕.๐๐	> ๕๐	> ๕๐	> ๕๐
E/A	๑๕๐.๔๓	๑๘๓.๓๓	๒๑๐.๘๓
D	๔.๕๒±๑.๑๕	๔.๐๔±๐.๗๒	๔.๗๑±๐.๖๕

หมายเหตุ : ในโซนที่ ๕ ผลการทดสอบ ข้อมูลกระจายแตกต่างกันมาก ไม่สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยได้

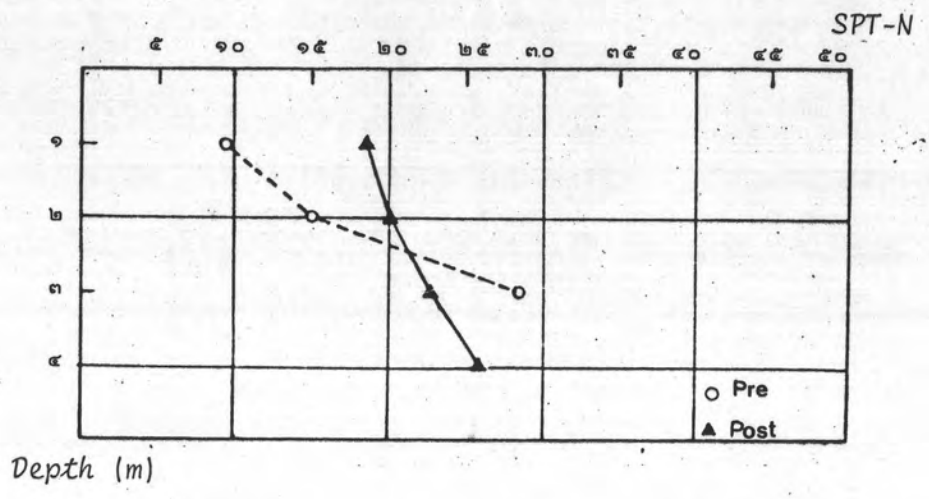
ตารางที่ 4.5 แสดงผลค่า SPT-N เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัด โซน 4U (3P), 4C/D (L) และ 4C/D (R)



รูปที่ 4.5 (ก) แสดงผลของ SPT-N เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 4U (3P)



รูปที่ 4.5 (ข) แสดงผลของ SPT-N เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 4C/D (L)



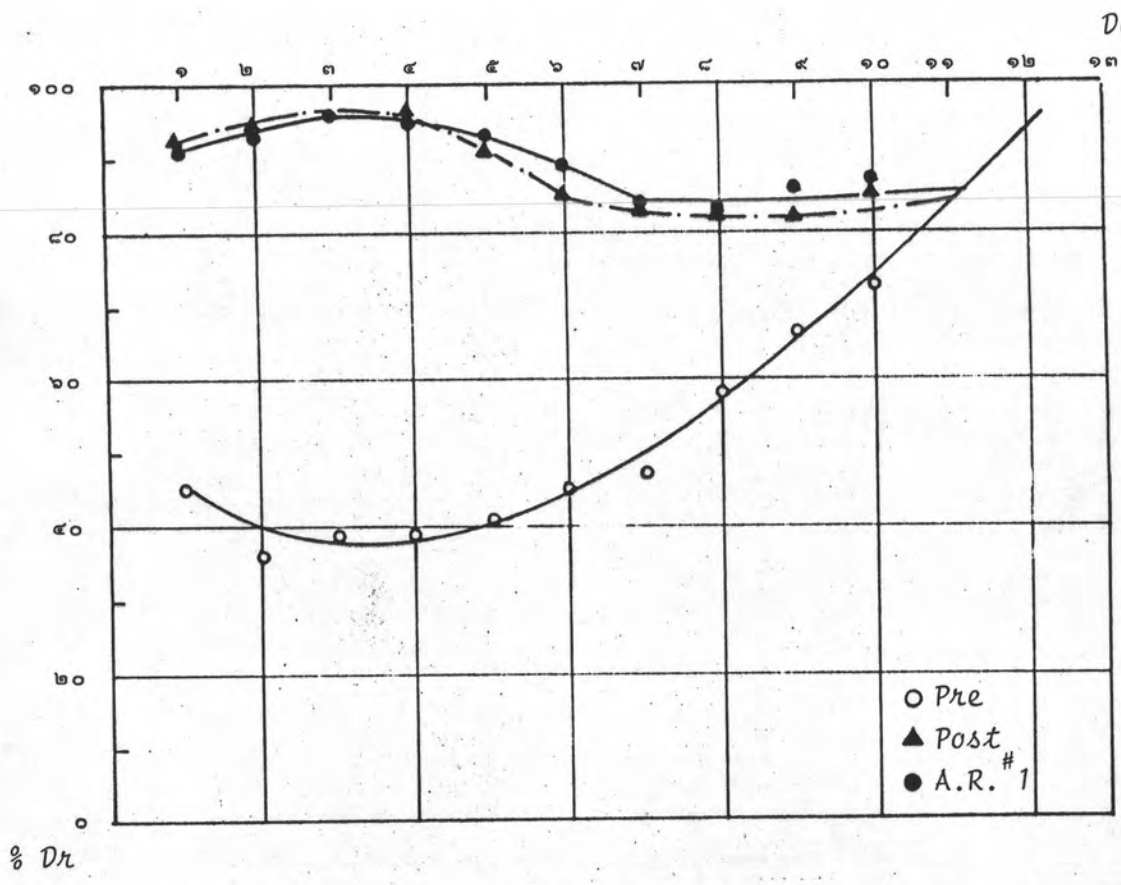
รูปที่ 4.5 (ค) แสดงผลของค่า SPT-N เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 4C/D (R)

ความลึก (ม)	1U						2U					
	Post			A.R#1			Post			A.R#1		
	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max
๑.๐๐	๘๒	๙๒	๑๐๑	๘๐	๙๑	๑๐๑	๖๙	๘๒	๙๗	๗๖	๘๗	๙๖
๒.๐๐	๘๙	๙๙	๑๐๓	๘๒	๙๓	๑๐๙	๗๙	๘๙	๙๙	๗๗	๘๖	๙๕
๓.๐๐	๘๗	๙๖	๑๐๙	๘๕	๙๖	๑๐๕	๗๖	๘๖	๙๕	๗๙	๘๙	๙๗
๔.๐๐	๘๘	๙๖	๑๐๒	๘๖	๙๕	๑๐๒	๗๖	๘๗	๙๖	๗๙	๘๙	๙๙
๕.๐๐	๘๙	๙๑	๙๘	๘๙	๙๓	๑๐๑	๗๗	๘๗	๙๖	๘๐	๙๐	๙๙
๖.๐๐	๗๙	๘๕	๙๓	๘๑	๘๙	๙๖	๗๒	๘๓	๙๓	๗๗	๘๗	๙๖
๗.๐๐	๗๓	๘๓	๙๒	๗๕	๘๙	๙๒	๗๑	๘๑	๙๐	๗๖	๘๙	๙๑
๘.๐๐	๗๓	๘๒	๙๐	๗๕	๘๓	๙๐	๗๕	๘๕	๙๙	๘๐	๘๗	๙๓
๙.๐๐	๗๐	๘๒	๙๓	๗๗	๘๖	๙๓	๗๑	๘๓	๙๓	๗๘	๘๖	๙๓
๑๐.๐๐	๗๗	๘๕	๙๒	๘๐	๘๗	๙๓	๖๗	๘๑	๙๓	๗๘	๘๖	๙๓
E/A	๔๑๒.๔๘			๔๒๑.๙๕			๓๕๓.๑๐			๓๙๒.๘๙		
$\bar{D}r$	๗๙	๘๙	๙๗	๘๑	๙๐	๙๘	๗๒	๘๙	๙๙	๗๘	๘๗	๙๕
$\bar{N}$	๒๙	๓๖	๔๔	๓๐	๓๗	๓๙	๒๔	๓๓	๔๑	๒๘	๓๕	๔๒

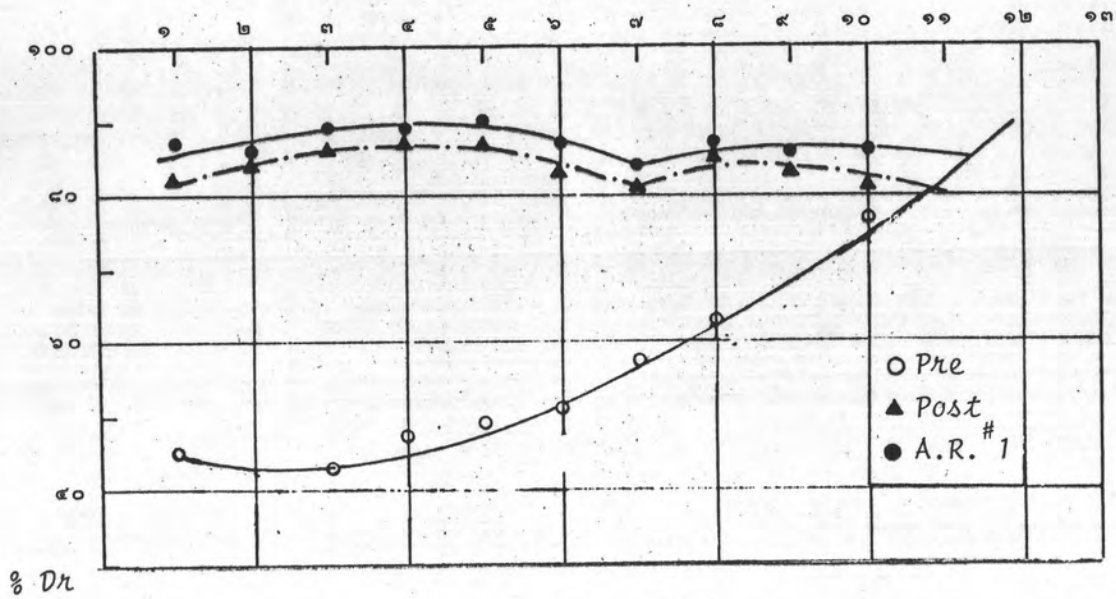
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดโซน 1U และ 2U

ความลึก (ม)	1C/D						2C/D					
	Post			A.R#1			Post			A.R#1		
	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max
๑.๐๐	๗๐	๘๐	๙๐	๗๓	๘๐	๘๗	๖๘	๗๙	๙๐	๕๐	๖๘	๘๒
๒.๐๐	๗๕	๙๐	๑๐๓	๗๖	๘๙	๑๐๑	๖๘	๗๗	๘๕	๖๒	๗๖	๘๘
๓.๐๐	๗๗	๙๐	๑๐๑	๘๐	๙๒	๑๐๓	๕๖	๗๑	๘๔	๗๔	๘๕	๙๔
๔.๐๐	๗๕	๘๘	๙๘	๗๘	๘๙	๙๙	๕๙	๗๒	๘๓	๗๘	๘๗	๙๖
๕.๐๐	๗๒	๘๓	๙๓	๗๗	๘๕	๙๒	๖๐	๗๒	๘๒	๗๘	๘๖	๙๓
๖.๐๐	๖๕	๗๘	๙๐	๗๕	๘๕	๙๔	๕๒	๖๗	๗๙	๗๔	๘๔	๙๓
๗.๐๐	๖๓	๗๖	๘๗	๗๔	๘๒	๘๙	๕๗	๖๙	๘๐	๗๔	๘๒	๘๙
๘.๐๐	๖๐	๗๓	๘๔	๗๗	๘๓	๘๙	๖๒	๘๒	๙๘	๗๙	๘๙	๙๘
๙.๐๐	๕๘	๗๑	๘๒	๗๗	๘๒	๘๗	๕๐	๗๐	๘๕	๗๗	๘๔	๙๑
๑๐.๐๐	๕๖	๗๒	๘๕	๗๙	๘๗	๙๔	๕๓	๖๖	๗๙	๗๖	๙๔	๙๑
E/A	๔๐๕.๐๘			๔๘๒.๖๕			๓๒๗.๓๙			๔๘๖.๒๐		
$\bar{D}r$	๖๗	๘๐	๙๑	๗๗	๘๕	๙๔	๕๙	๗๓	๘๔	๗๒	๘๓	๙๒
$\bar{N}$	๒๑	๓๐	๓๙	๒๗	๓๔	๔๑	๑๖	๒๔	๓๓	๒๔	๓๒	๓๙

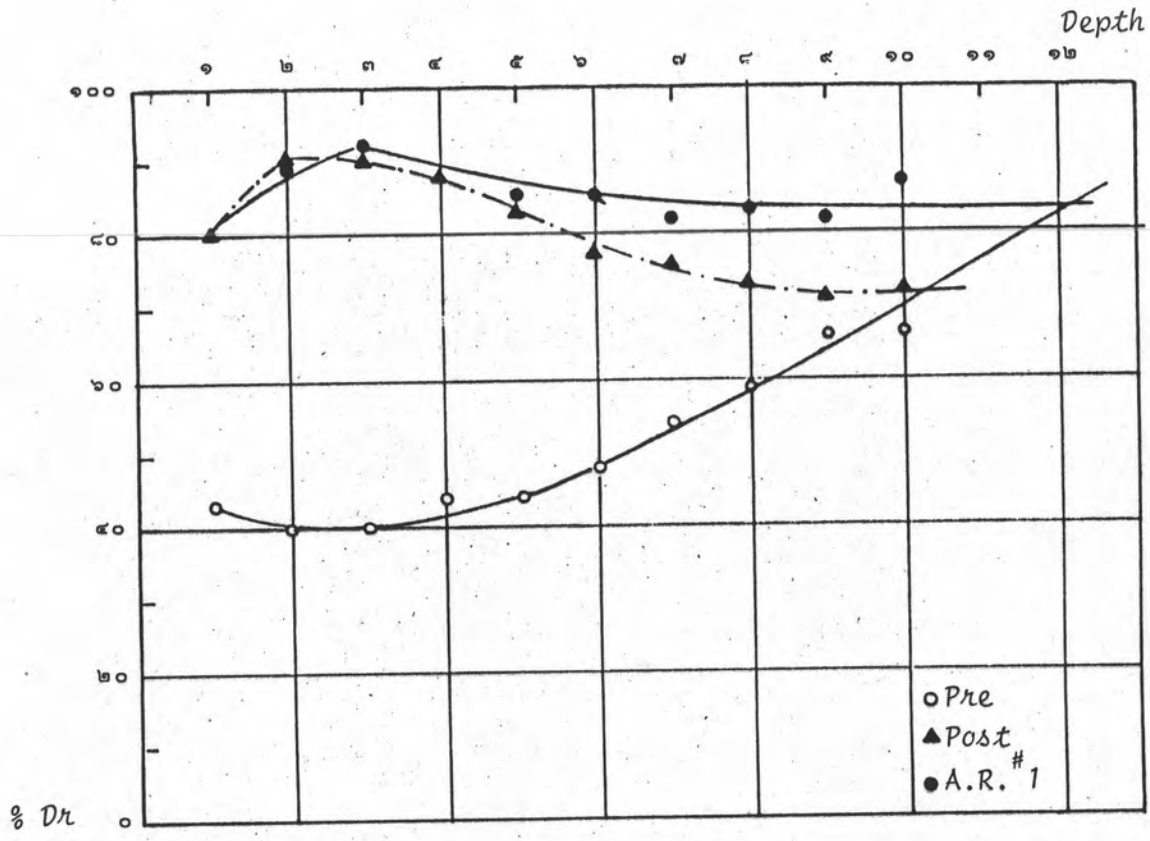
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดโซน 1C/D และ 2C/D



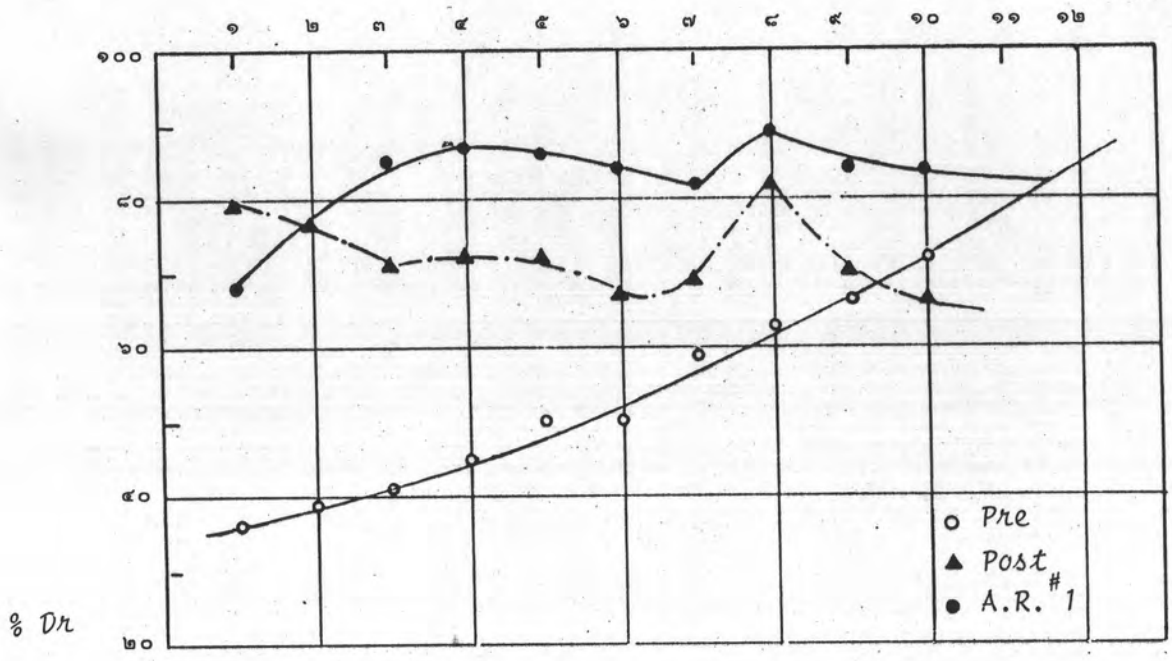
รูปที่ 4.6 (ก) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 1U



รูปที่ 4.6 (ข) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 2U



รูปที่ 4.7 (ก) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 1C/D



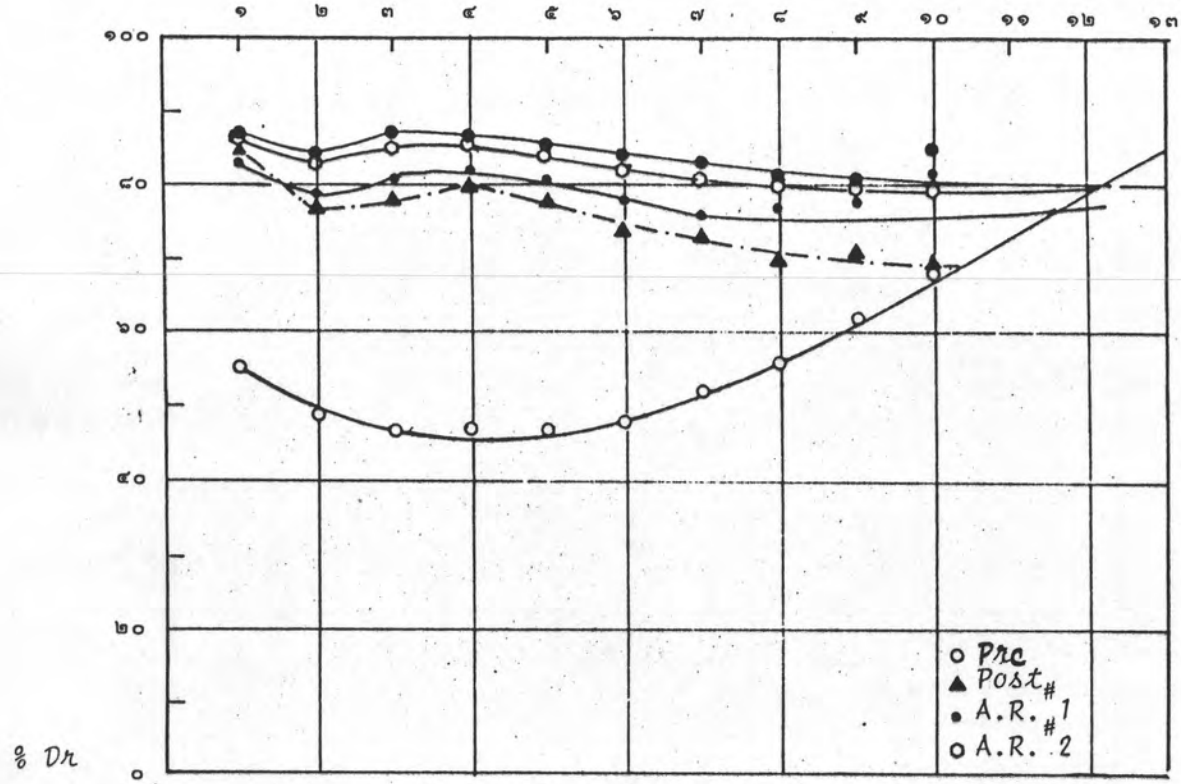
รูปที่ 4.7 (ข) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 2C/D

ความลึก (ม)	3U								3C/D (R)							
	Post			A.R# 1		A.R# 2		A.R# 3	Post			A.R# 1		A.R# 2		
	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max
๑.๐๐	๓๑	๓๕	๔๑	๓๖	๓๘	๓๓	๓๖	๔๓	๓๖	๓๘	๔๓	๓๕	๓๘	๔๒	๓๐	๓๒	๓๔
๒.๐๐	๓๖	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๖	๓๗	๓๘	๓๕	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๖	๓๗	๓๘
๓.๐๐	๓๖	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๗	๓๘	๓๕	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๕	๓๗	๓๘
๔.๐๐	๓๖	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๗	๓๘	๓๕	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๕	๓๗	๓๘
๕.๐๐	๓๖	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๗	๓๘	๓๕	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๕	๓๗	๓๘
๖.๐๐	๓๖	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๗	๓๘	๓๕	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๕	๓๗	๓๘
๗.๐๐	๓๖	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๗	๓๘	๓๕	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๕	๓๗	๓๘
๘.๐๐	๓๖	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๗	๓๘	๓๕	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๕	๓๗	๓๘
๙.๐๐	๓๖	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๗	๓๘	๓๕	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๕	๓๗	๓๘
๑๐.๐๐	๓๖	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๗	๓๘	๓๕	๓๗	๓๙	๓๕	๓๗	๓๕	๓๕	๓๗	๓๘
E/A	๕๓๙.๐๖			๕๓๙.๐๘		๕๔๕.๔๖		๕๐๒.๑๐	๕๔๘.๖๕			๕๔๔.๕๖		๕๐๗.๕๖		
$\bar{D}_R$	๑๙	๒๕	๒๘	๒๑	๒๔	๒๑	๒๔	๒๗	๒๑	๒๔	๒๗	๒๑	๒๔	๒๑	๒๑	๒๔	๒๗
$\bar{N}$	๙๑	๙๒	๑๐	๙๔	๙๗	๙๕	๙๗	๑๐	๙๕	๙๗	๑๐	๙๔	๙๗	๙๕	๙๕	๙๗	๑๐

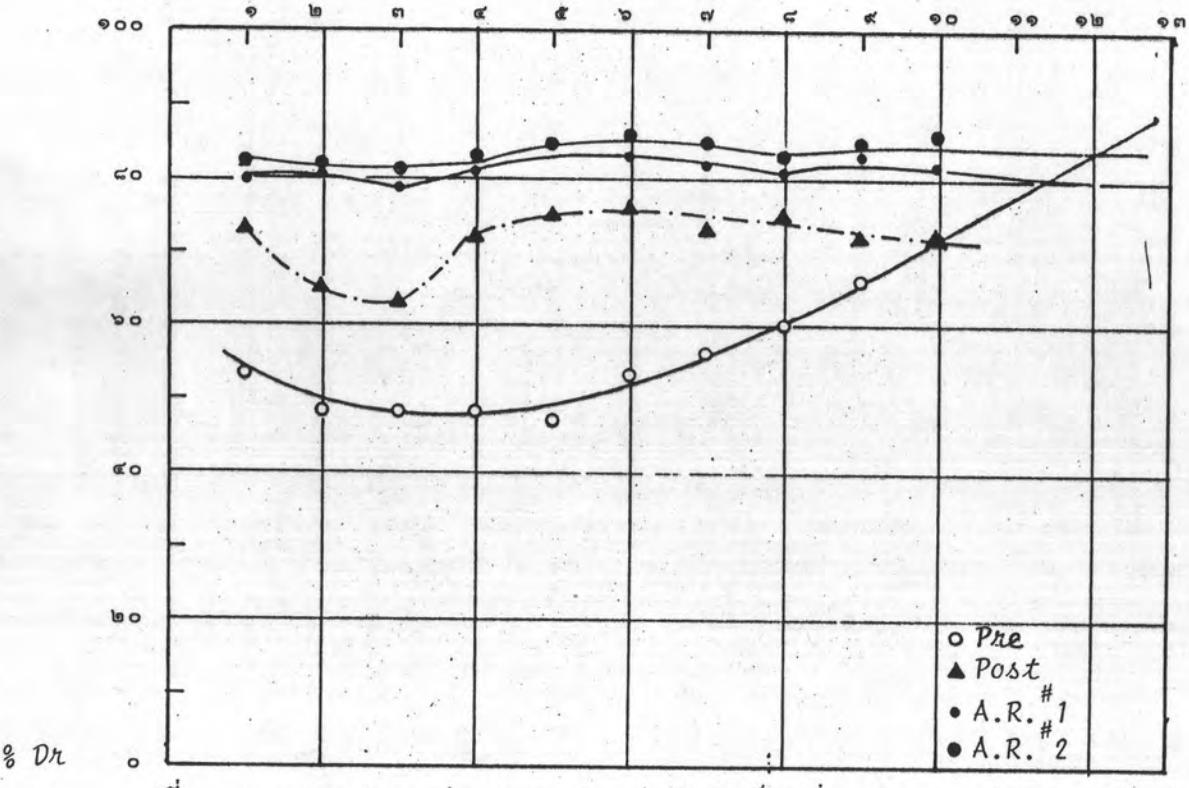
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดโซน 3U และ 3C/D (R)

ความลึก (ม)	AD						3C/D (L)						4U (4P)					
	Post			A.R.# 1			Post			A.R.# 1			Post			A.R.# 2		
	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max
๑.๐๐	๗๔	๘๖	๔๖	๗๗	๘๖	๔๔	๕๐	๖๖	๗๔	๗๑	๗๗	๘๓	๖๘	๘๒	๔๕	๗๑	๘๕	๔๖
๒.๐๐	๗๒	๘๑	๔๔	๗๔	๘๘	๔๔	๕๑	๖๗	๗๔	๖๓	๗๔	๗๔	๖๙	๘๕	๔๗	๗๖	๘๗	๔๖
๓.๐๐	๖๑	๗๒	๔๒	๗๐	๘๑	๔๐	๖๔	๗๖	๘๓	๗๑	๗๔	๘๕	๖๓	๗๕	๔๕	๖๕	๗๘	๔๔
๔.๐๐	๖๐	๗๒	๔๓	๗๒	๘๒	๔๐	๖๒	๘๑	๔๔	๗๕	๘๓	๔๑	๖๒	๘๓	๔๒	๖๔	๗๘	๔๖
๕.๐๐	๕๘	๗๐	๔๔	๗๑	๗๗	๘๓	๖๘	๗๕	๘๑	๗๑	๗๘	๘๔	๗๑	๘๑	๔๔	๗๒	๘๓	๔๘
๖.๐๐	๕๔	๗๖	๔๔	๖๔	๗๖	๘๓	๗๓	๘๐	๘๗	๗๕	๘๐	๘๕	๗๘	๘๔	๔๔	๗๘	๘๐	๑๐๑
๗.๐๐	๖๕	๗๐	๗๖	๗๒	๗๖	๘๐	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E/A	๑๔๕.๑๔			๒๘๑.๕๒			๒๔๗.๕๐			๒๖๗.๘๗			๒๓๘.๓๓			๒๕๔.๑๖		
$\bar{D}t$	๖๔	๗๕	๘๕	๗๒	๘๑	๘๘	๖๔	๗๒	๘๓	๗๑	๗๔	๘๕	๖๗	๗๔	๘๔	๗๐	๘๒	๔๒
$\bar{N}$	๑๗	๒๔	๓๑	๒๒	๒๘	๓๔	๑๗	๒๓	๒๘	๒๑	๒๕	๓๐	๑๘	๒๖	๓๓	๒๐	๒๘	๓๕

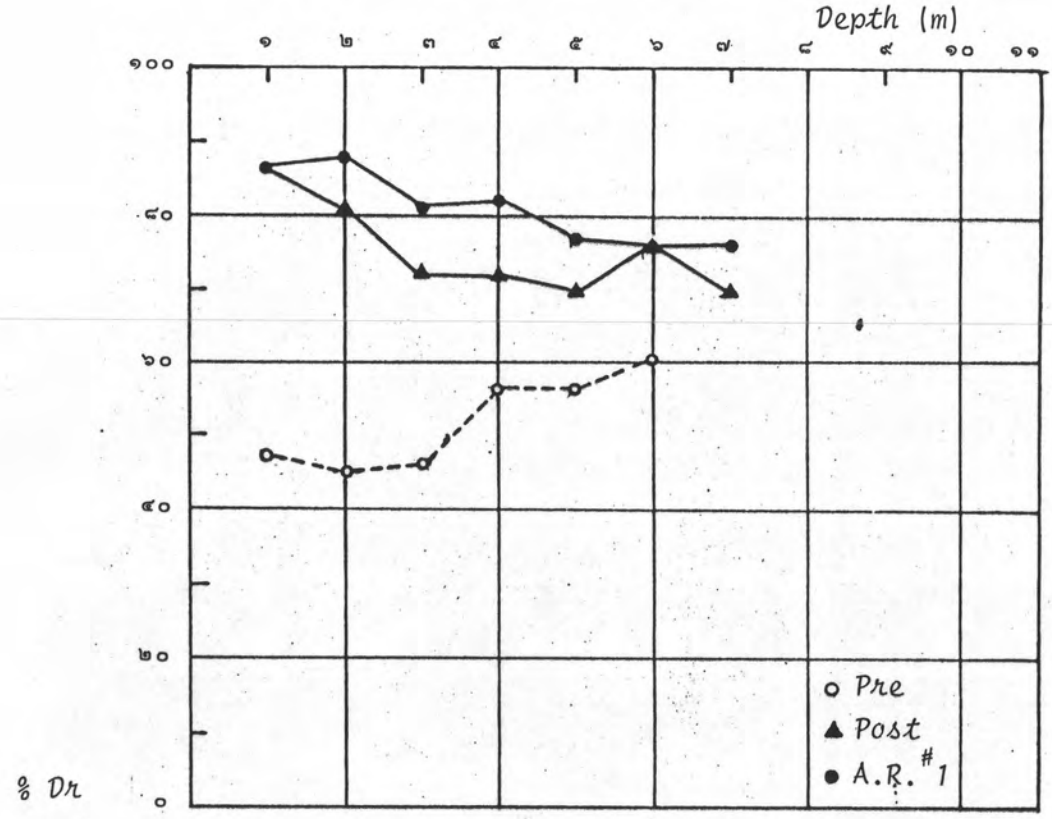
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดโซน AD, 3C/D (L) และ 4U (4P)



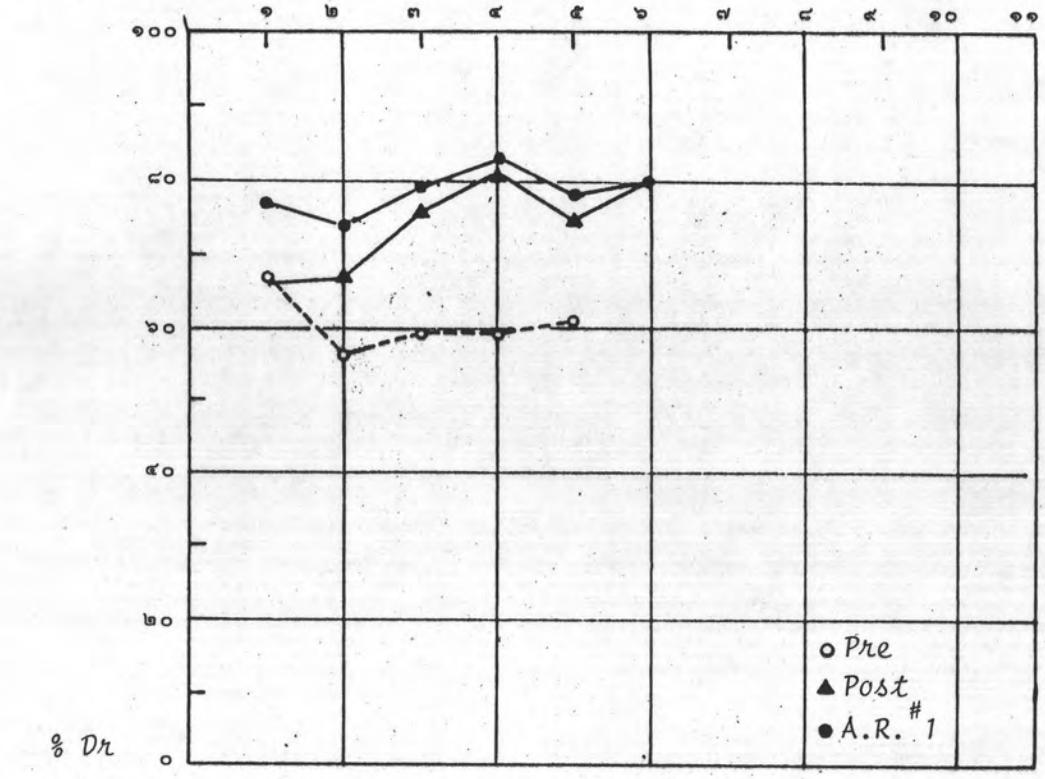
รูปที่ 4.8 (ก) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 3U



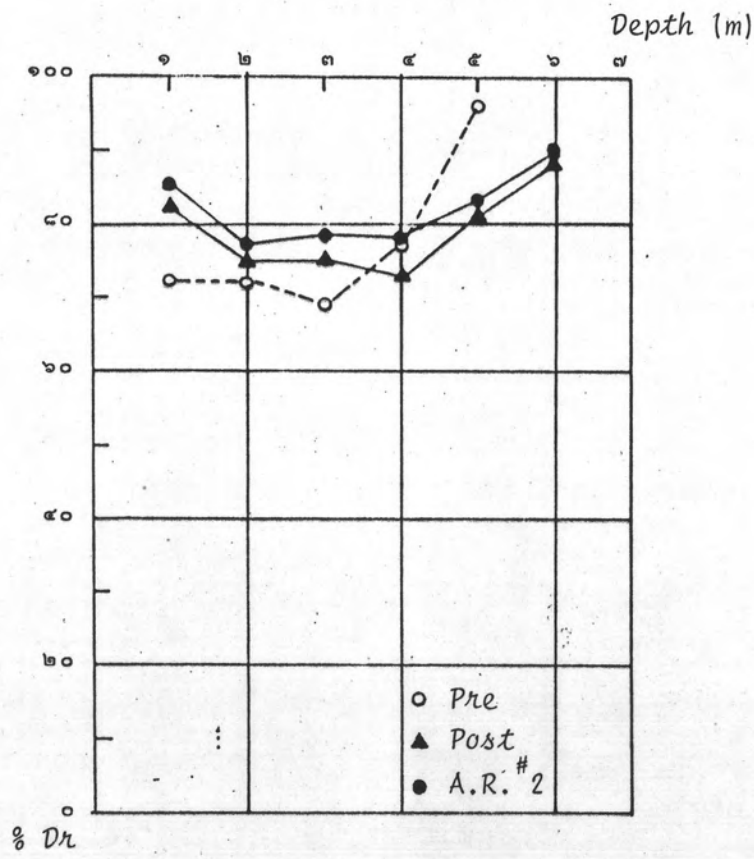
รูปที่ 4.8 (ข) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 3C/D (R)



รูปที่ 4.9 (ก) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน AD



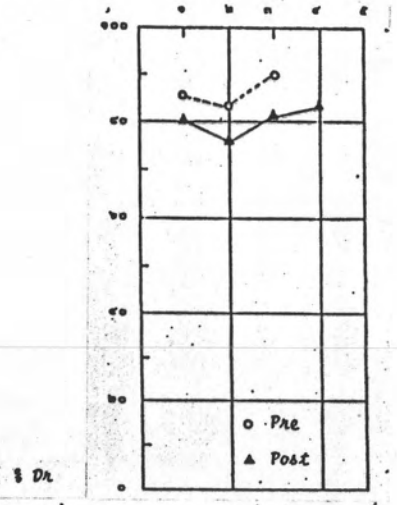
รูปที่ 4.9 (ข) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดโซน 3C/D (L)



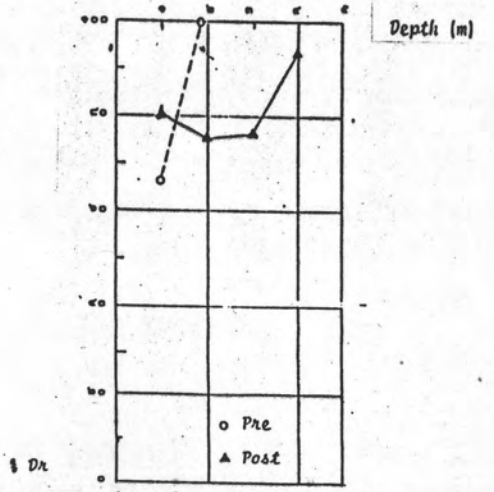
รูปที่ 4.9 (ค) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัด โซน 4U (4P)

ความลึก (ม)	4U (3P)			4C/D (L)			4C/D (R)		
	Post			Post			Post		
	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max
๑.๐๐	๖๔	๘๐	๙๒	๗๑	๘๐	๘๘	๗๐	๘๒	๙๒
๒.๐๐	๖๔	๗๖	๘๓	๗๑	๗๕	๗๙	๖๘	๗๙	๘๘
๓.๐๐	๗๕	๘๑	๘๘	๖๖	๗๖	๘๔	๗๑	๘๐	๘๘
๔.๐๐	๗๔	๘๓	๙๓	๘๒	๙๓	๑๐๒	๗๕	๘๓	๙๐
E/A	๑๕๐.๔๓			๑๘๓.๓๓			๒๑๐.๘๓		
$\bar{D}r$	๗๑	๘๐	๘๙	๗๓	๘๑	๘๘	๗๑	๘๑	๙๐
$\bar{N}$	๑๙	๒๔	๓๐	๒๐	๒๕	๓๐	๑๙	๒๕	๓๐

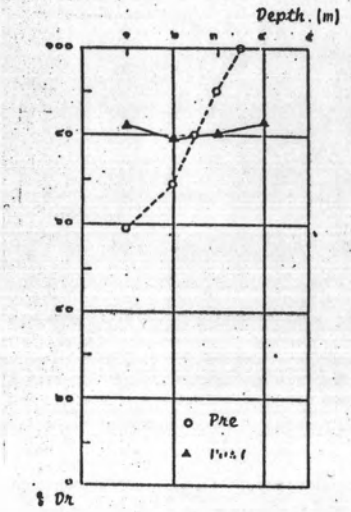
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดโซน 4U (3P) 4C/D (L) และ 4C/D (R)



รูปที่ 4.10 (ก) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัดโซน โซน 4U (3P)



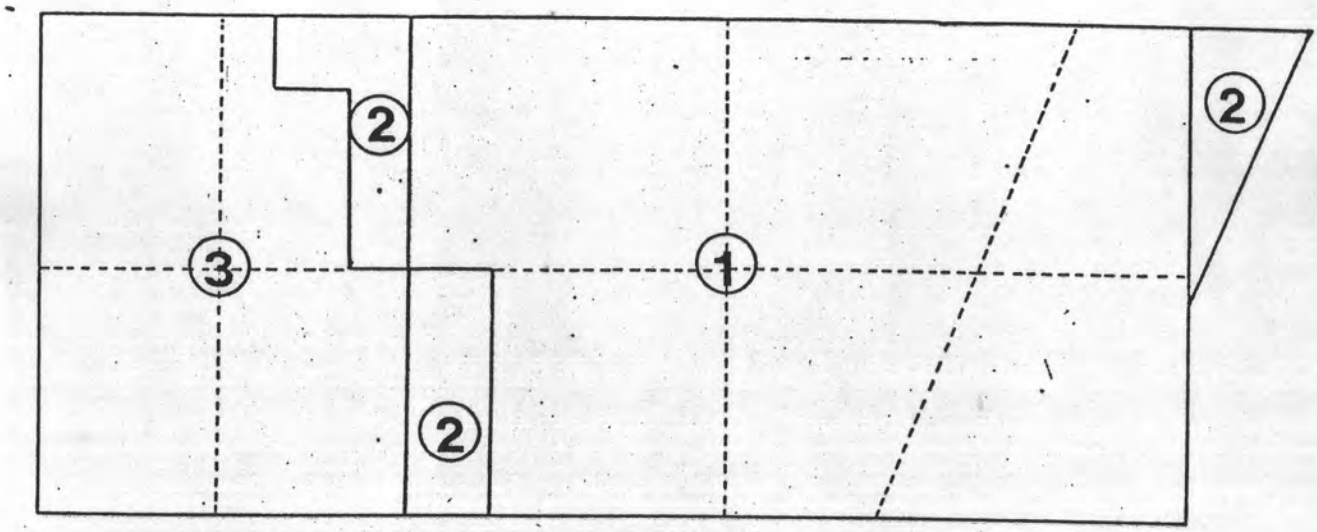
รูปที่ 4.10 (ข) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัดโซน 4C/D (L)



รูปที่ 4.10 (ค) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ย ก่อนและหลังการบดอัดโซน 4C/D (R)

4.2 ผลกระทบเนื่องจากสภาพความแน่นตามธรรมชาติ และความหนาของชั้นทรายที่มีต่อการปรับปรุง

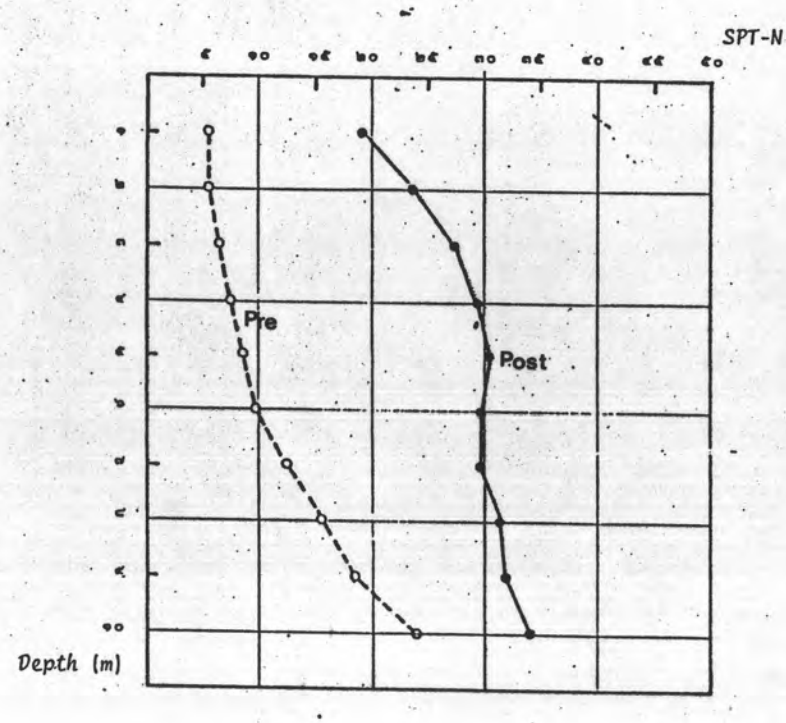
จากผลการทดสอบความแน่นก่อนและหลังการบดอัด บริเวณโซนต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.4 และหัวข้อที่ 4.1 เห็นได้ว่าการปรับปรุงชั้นทรายของเขื่อนทับเสลา โดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนัก มีประสิทธิภาพเพียงพอและเหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติของชั้นทรายให้มีสภาพแน่นขึ้น ได้เฉพาะบางโซนเท่านั้น เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบเนื่องจากสภาพความแน่นตามธรรมชาติ และความหนาของชั้นทรายก่อนการบดอัด โดยแบ่งพื้นวิเคราะห์ตามสภาพความแน่นตามธรรมชาติและความหนาของชั้นทรายก่อนการบดอัดที่ใกล้เคียงกันออกเป็น 3 บริเวณ (ดังแสดงในรูปที่ 4.11) จากผลการเปรียบเทียบค่าความแน่นและความหนาของชั้นทรายดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 - รูปที่ 4.16 พอสรุปได้ดังนี้



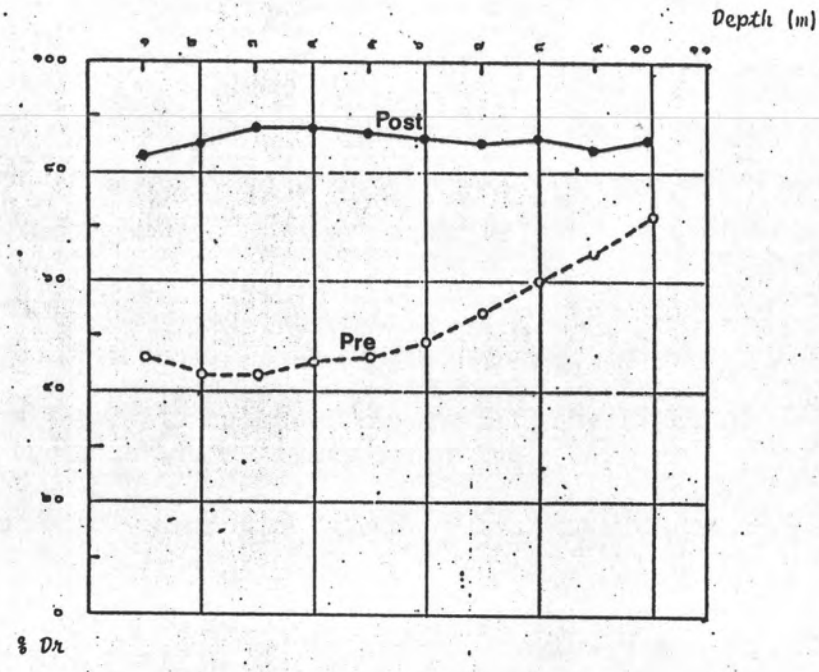
รูปที่ 4.11 แสดงการแบ่งพื้นที่วิเคราะห์ตามสภาพความแน่นความหนาของชั้นทรายก่อนบดอัด

1. พื้นที่ปรับปรุงบริเวณโซน 1U, 1C/D, 2U, 2C/D, 3U และ 3C/D (R) (พื้นที่วิเคราะห์ที่ 1) จากระยะ กม. 2+160 ถึง ระยะ กม. 2+500

สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายก่อนการบดอัดมีสภาพหลวมถึงแน่นปานกลาง (38% < Dr < 63%) โดยความแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกจากผิวดินเพิ่มขึ้น ความหนาของชั้นทรายก่อนการบดอัดอยู่ระหว่าง 9-12 เมตร เมื่อทำการปรับปรุงโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนัก ปรากฏว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอและเหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติของชั้นดินเดิม ซึ่งเป็นทรายหลวมให้มีความแน่นเพิ่มขึ้นจนถึงเกณฑ์ความแน่นที่กำหนดได้ หลังการบดอัดดินจะเปลี่ยนสภาพเป็นดินแน่นถึงแน่นมาก(76% < Dr < 94%) โดยค่าความแน่นหลังการบดอัดจะเป็นสัดส่วนกับพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่ สำหรับการวิจัยนี้พบว่า เมื่อใช้พลังงานในการทุบต่อพื้นที่ประมาณ 400-500 ตัน ม/ม.^{2} จะทำให้ชั้นทรายมีค่า N หลังจากบดอัดเพิ่มขึ้นเป็น 2-4 เท่าของค่า N ก่อนบดอัด และเมื่อดินมีขนาดคละของอนุภาคที่เหมาะสม วิธีการนี้สามารถปรับปรุงจนค่าความแน่นสัมพัทธ์สูงถึง 95%



รูปที่ 4.12 แสดงค่า SPT-N เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดของพื้นที่วิเคราะห์ที่ 1



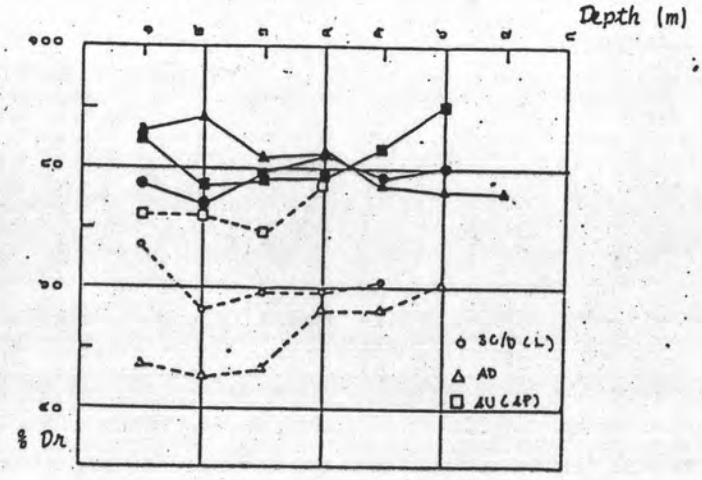
รูปที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นสัมพัทธ์ก่อนและหลังการบดอัดของพื้นที่วิเคราะห์ที่ 1

2. พื้นที่ปรับปรุงบริเวณโซน AD, 3C/D (L) และ 4U (4P) (พื้นที่วิเคราะห์ที่ 2)

2.1 โซน AD ความหนาของชั้นทรายก่อนการบดอัดอยู่ระหว่าง 5-7 เมตร สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายก่อนบดอัดมีสภาพหลวมถึงแน่นปานกลาง (33% < Dr < 64%) เมื่อทำการปรับปรุงโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนัก พลังงานที่ใช้ทุบต่อพื้นที่เท่ากับ 282 ตัน ม./ม.^{2} ปรากฏว่าทำให้ดินเดิมมีสภาพที่แน่นขึ้น (72% < Dr < 88%) และความหนาของชั้นทรายหลังการบดอัดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1 เมตร

2.2 โซน 3C/D (L) ความหนาของชั้นทรายก่อนบดอัดอยู่ระหว่าง 5-7 เมตร สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายก่อนบดอัดมีสภาพหลวมถึงแน่น (40% < Dr < 72%) เมื่อทำการปรับปรุงโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนัก พลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่เท่ากับ 268 ตัน ม./ม.^{2} ปรากฏว่า ทำให้ดินเดิมมีสภาพที่แน่นขึ้น (71% < Dr < 85%) และความหนาของชั้นทรายหลังการบดอัดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1 เมตร

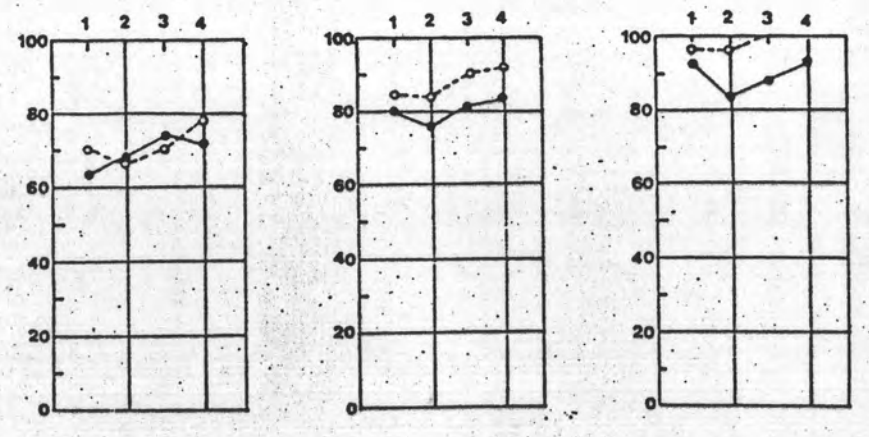
2.3 โซน 4U (4P) ความหนาของชั้นทราบก่อนการบดอัดอยู่ระหว่าง 4.5-6.0 เมตร สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายก่อนการบดอัดมีสภาพแน่นปานกลางถึงแน่น (59% < Dr < 91%) เมื่อทำการปรับปรุงโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนัก พลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่เท่ากับ 259 ตัน ม./ม.^{2} ปรากฏว่าทำให้ดินมีสภาพแน่นขึ้นเล็กน้อย (70% < Dr < 92%) และความหนาของชั้นทรายหลังการบดอัดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.15 เมตร



รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดที่ระดับต่าง ๆ ของพื้นที่วิเคราะห์ที่ 2

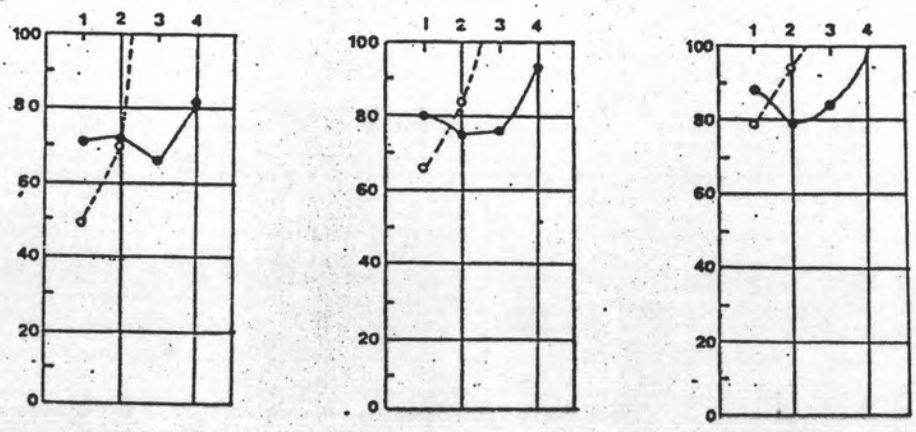
3. พื้นที่ปรับปรุงบริเวณโซน 4U (3P), 4C/D (L), 4C/D (R) และโซนที่ 5 (พื้นที่วิเคราะห์ที่ 3) จากระยะ กม. 2+000 ถึง ระยะ กม. 2+160

3.1 โซน 4U (3P) สภาพความแน่นตามธรรมชาติก่อนการบดอัดมีสภาพแน่นถึงแน่นมาก (Dr > 70%) ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ความแน่นที่กำหนดเกือบทุกจุด ความหนาของชั้นทรายก่อนการบดอัดอยู่ระหว่าง 2.5-4.5 เมตร เมื่อทำการปรับปรุงโดยวิธีด้วยลูกตุ้มหนัก พลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่เท่ากับ 150 ตัน ม./ม.^{2} ปรากฏว่า ทำให้ดินเดิมซึ่งมีสภาพแน่นอยู่แล้วกลับมีสภาพความแน่นลดลง โดยค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดลดลงเล็กน้อยประมาณ 5% ถึง 10% และความหนาของชั้นทรายหลังการบดอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 80 ซม.



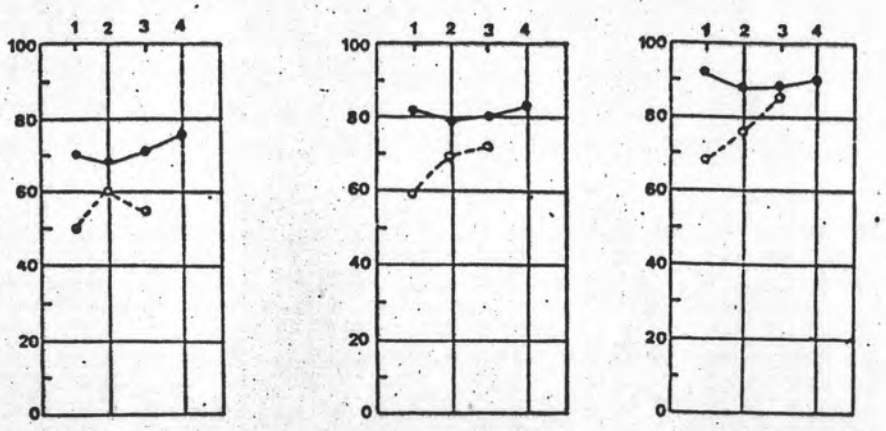
รูปที่ 4.15 (ก) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ก่อนและหลังการบดอัดโซน 4U (3P)

3.2 โซน 4C/D (L) สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายก่อนการบดอัดมีสภาพแน่นปานกลางถึงแน่น (49% < Dr < 79%) ที่ระดับเมตรแรกจากผิวดิน และมีสภาพแน่นถึงแน่นมากที่ระดับเมตรถัด ๆ มา (Dr > 70%) เห็นได้ว่าความแน่นก่อนบดอัดไม่ถึงเกณฑ์ความแน่นที่กำหนดเฉพาะเมตรแรกเท่านั้น ความหนาของชั้นทรายก่อนบดอัดอยู่ระหว่าง 2.0-3.5 เมตร เมื่อทำการปรับปรุงโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนัก พลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่เท่ากับ 183 ตัน ม./ม.^{2} ปรากฏว่า ทำให้ดินเดิมมีความแน่นเพิ่มขึ้นที่ระดับเมตรแรก แต่ที่ระดับความลึกถัด ๆ มามีความแน่นลดลง และความหนาของชั้นทรายหลังการบดอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 1.20 เมตร



<u>รูปที่ 4.15</u> (ข) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ก่อนและหลังการบดอัดโซน 4C/D (L)

3.3 โซน 4C/D (R) สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายก่อนบดอัดมีสภาพแน่นปานกลาง (55% < Dr < 76%) ส่วนมากความแน่นก่อนการบดอัดยังไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนดความหนาของชั้นทรายก่อนการบดอัดอยู่ระหว่าง 3.5-4.5 เมตร เมื่อทำการปรับปรุงโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนัก พลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่เท่ากับ 211 ตัน ม./ม.^{2} ปรากฏว่า ทำให้ดินเดิมมีสภาพที่แน่นขึ้น โดยค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นประมาณ 15% แต่ความหนาของชั้นทรายหลังการบดอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 80 ซม.

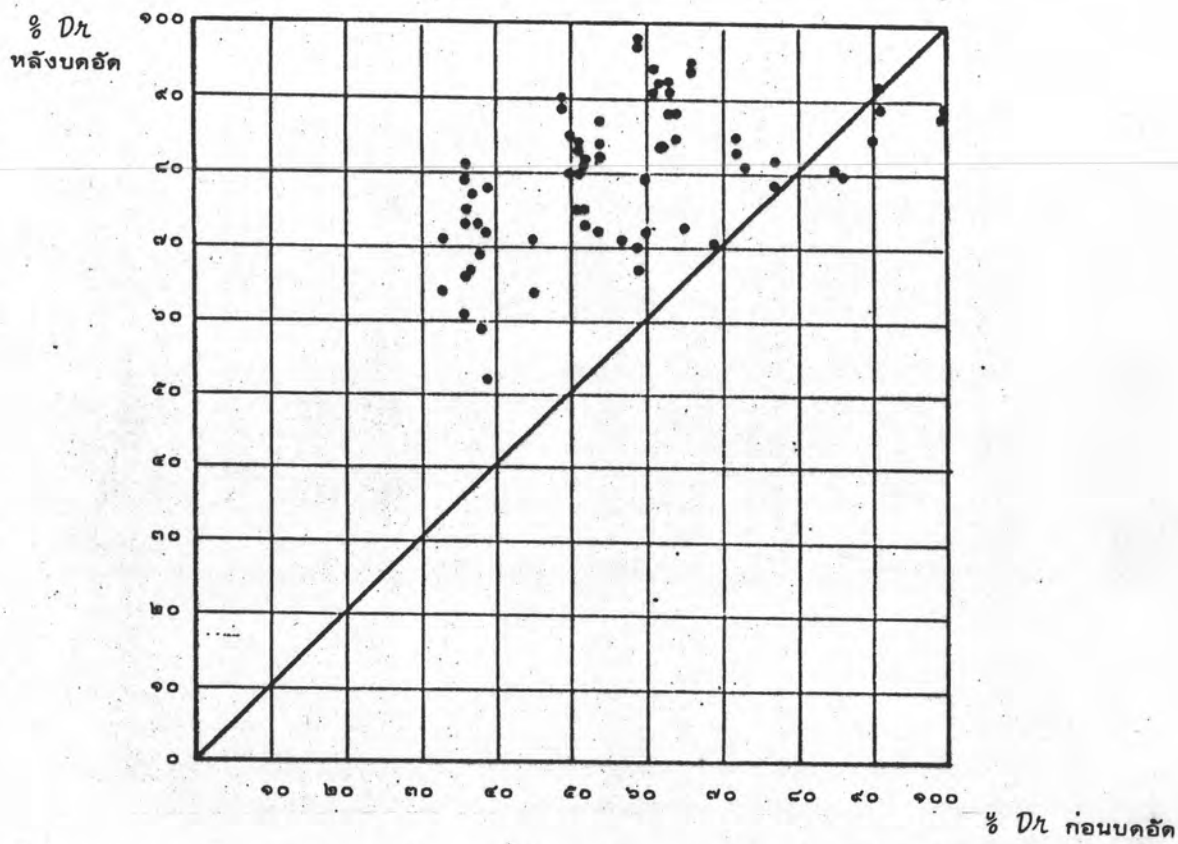


รูปที่ 4.15 (ค) แสดงค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ก่อนและหลังการบดอัดโซน 4C/D (R)

3.4 โซนที่ 5 ทั้งหมด สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายก่อนการบดอัดมีสภาพแน่นถึงแน่นมาก (Dr > 70%) ส่วนมากความแน่นจะมากกว่าเกณฑ์ความแน่นที่กำหนด ยกเว้นที่ระดับเมตรแรกจากผิวดินบางบริเวณเท่านั้น ความหนาของชั้นทรายก่อนการบดอัดอยู่ระหว่าง 2-4 เมตร เมื่อทำการปรับปรุงโดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนัก พลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่เท่ากับ 147 ตัน ม./ม.^{2} ปรากฏว่า ทำให้ดินเดิมซึ่งมีสภาพแน่นอยู่แล้วกลับมีสภาพความแน่นลดลงเล็กน้อย ซึ่งคล้ายกับโซน 4U (3P)

พื้นที่วิเคราะห์ที่	โซน	สภาพความแน่นก่อนบดอัด	D ก่อนบดอัด	D หลังบดอัด	%Dr ก่อนบดอัด			%Dr หลังบดอัด			$\bar{N}$ ก่อนบดอัด			$\bar{N}$ หลังบดอัด			$N_{หลัง}$ / $N_{ก่อน}$		
					Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max	Min	$\bar{X}$	Max
(1)	1U	หลวม - ปานกลาง	๑๐.๒๕	๔.๔๐	๓๖	๔๔	๕๔	๘๑	๙๐	๙๘	๖	๑๑	๑๖	๓๐	๓๗	๔๔	๕.๐	๓.๔	๒.๘
	2U	หลวม - ปานกลาง	๑๐.๘๖	๑๐.๑๐	๓๔	๕๔	๖๖	๗๘	๘๗	๙๕	๗	๑๓	๒๐	๒๘	๓๕	๔๒	๔.๐	๒.๗	๒.๑
	1C/D	หลวม - ปานกลาง	๔.๙๘	๔.๙๐	๓๗	๕๐	๖๑	๗๗	๘๕	๙๔	๖	๑๑	๑๗	๒๗	๓๔	๔๑	๔.๕	๓.๑	๒.๔
	2C/D	หลวม - ปานกลาง	๑๐.๓๘	๑๐.๕๑	๓๔	๕๒	๖๒	๗๒	๘๓	๙๒	๗	๑๒	๑๗	๒๔	๓๒	๓๙	๓.๙	๒.๗	๒.๓
	3U	หลวม - ปานกลาง	๔.๗๕	๔.๘๘	๓๖	๕๑	๖๓	๗๕	๘๔	๙๒	๖	๑๒	๑๘	๒๖	๓๓	๔๐	๔.๓	๒.๘	๒.๒
	3C/D (R)	หลวม - ปานกลาง	๔.๙๗	๑๐.๙๙	๓๘	๕๓	๖๕	๗๓	๘๙	๙๓	๖	๑๓	๑๙	๒๕	๓๓	๔๐	๙.๒	๒.๕	๒.๑
(2)	AD	หลวม - ปานกลาง	๖.๐๕	๗.๐๐	๓๓	๕๒	๖๙	๗๒	๘๑	๘๘	๙	๑๑	๑๗	๒๒	๒๘	๓๙	๕.๕	๒.๕	๒.๐
	3C/D (L)	หลวม - แน่น	๕.๗๖	๖.๖๓	๙๐	๖๐	๗๒	๗๑	๗๙	๘๕	๘	๑๙	๒๐	๒๑	๒๕	๓๐	๒.๖	๑.๘	๑.๕
	4U (4P)	ปานกลาง - แน่น	๕.๒๕	๖.๙๐	๕๙	๗๗	๙๑	๗๐	๘๒	๙๒	๑๙	๑๙	๓๓	๒๐	๒๘	๓๕	๑.๙	๑.๒	๑.๑
(3)	4U (3P)	แน่น - แน่นมาก	๓.๕๕	๙.๕๒	๖๙	๘๖	๑๐๐	๗๑	๘๐	๘๙	๑๗	๒๖	๓๖	๑๙	๒๙	๓๐	๑.๑	๐.๙	๐.๘
	4C/D (L)	ปานกลาง - แน่นมาก	๒.๘๕	๙.๐๙	๖๙	๘๕	๑๐๐	๗๓	๘๑	๘๘	๑๓	๒๓	๓๓	๒๐	๒๕	๓๐	๑.๕	๑.๑	๐.๙
	4C/D (R)	ปานกลาง - แน่น	๓.๙๓	๙.๗๑	๕๗	๗๓	๘๕	๗๑	๘๑	๘๐	๑๑	๑๙	๒๖	๑๙	๒๕	๓๐	๑.๗	๑.๓	๐.๘

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความแน่นและความหนา
ของชั้นทรายก่อนการบดอัดกับหลังการบดอัดบริเวณโซนต่าง ๆ



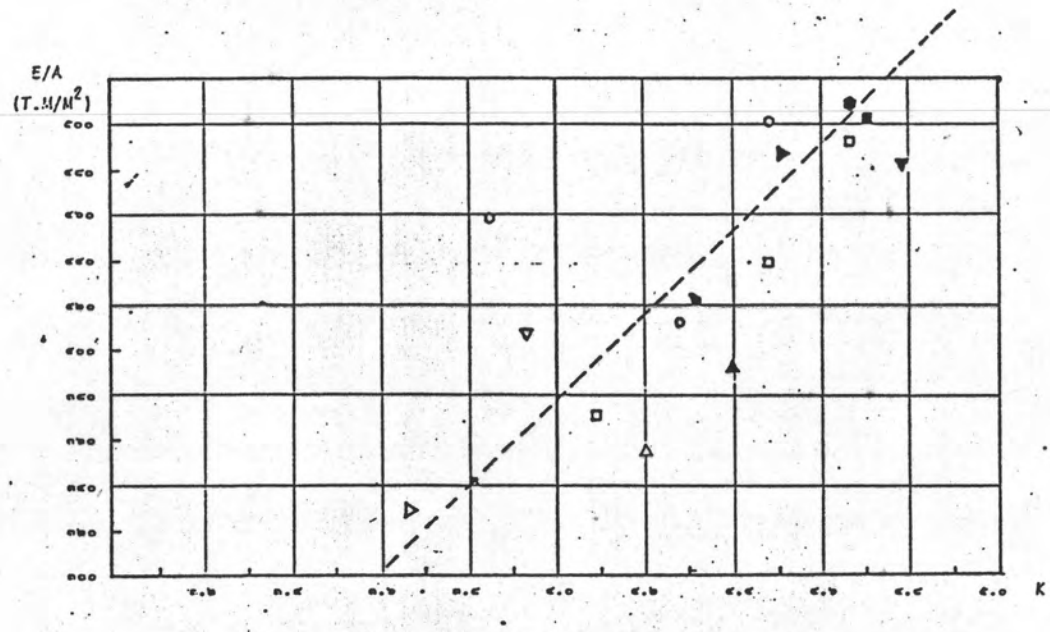
รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ก่อนและหลังการบดอัด

4.3 ผลการประมาณค่าความลึกอิทธิพลและค่าสัมประสิทธิแก้ไข

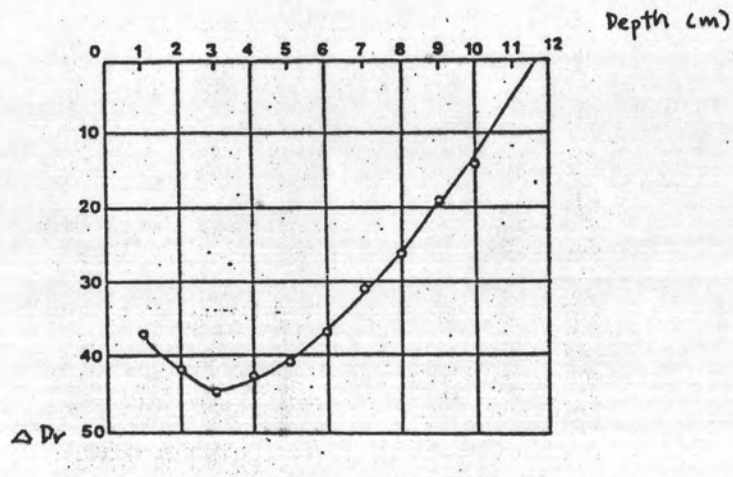
เนื่องจากความหนาของชั้นทรายบริเวณที่ทำการปรับปรุงมีขนาดจำกัดอยู่ระหว่าง 2-12 เมตร ซึ่งไม่มากนักทำให้ไม่สามารถทราบถึงค่าความลึกอิทธิพลที่แน่นอนได้ เนื่องจากตอกทดสอบถึงระดับชั้นหินแข็งก่อนที่ค่าความแน่นหลังการบดอัดจะลดลงจนเท่ากับความแน่นก่อนบดอัด ดังนั้นในการหาความลึกอิทธิพลจะได้จากการประมาณค่าโดยลากเส้นเชื่อมต่อค่าความแน่นก่อน และหลังการบดอัดให้มาบรรจบกัน (ซึ่งหาได้เฉพาะพื้นที่วิเคราะห์ที่ 1 เท่านั้น ส่วนพื้นที่วิเคราะห์ที่ 2 และที่ 3 ความหนาของชั้นทรายน้อยเกินไป) ผลการประมาณค่าความลึกอิทธิพลและค่าสัมประสิทธิแก้ไข บริเวณโซนต่าง ๆ ของพื้นที่วิเคราะห์ที่ 1 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.12

โซน		ความลึกอิทธพล (ม)	W	H	K	E/A
1U	Post	๑๑.๐๐	๓๐	๒๒	๐.๔๒๘	๔๑๒.๘๗
	A.R.#1	๑๑.๑๐	๓๐	๒๒	๐.๔๓๒	๔๑๒.๙๕
2U	Post	๑๐.๘๐	๓๐	๒๒	๐.๔๒๐	๓๕๓.๑๐
	A.R.#1	๑๑.๓๐	๓๐	๒๒	๐.๔๔๐	๓๙๑.๘๙
1C/D	Post	๑๐.๑๐	๓๐	๒๒	๐.๓๙๓	๔๐๕.๘๘
	A.R.#1	๑๒.๓๐	๓๐	๒๒	๐.๔๗๙	๔๘๒.๖๕
2C/D	Post	๙.๔๐	๓๐	๒๒	๐.๓๖๖	๓๒๗.๓๙
	A.R.#1	๑๑.๖๐	๓๐	๒๒	๐.๔๕๑	๔๘๖.๒๐
3U	Post	๑๐.๕๐	๓๐	๒๒	๐.๔๐๙	๓๖๙.๑๓
	A.R.#1	๑๑.๕๐	๓๐	๒๒	๐.๔๔๘	๔๓๗.๘๘
	A.R.#2	๑๒.๐๐	๓๐	๒๒	๐.๔๖๗	๔๔๔.๙๖
	A.R.#3	๑๒.๑๐	๓๐	๒๒	๐.๔๗๑	๕๐๒.๖๐
3C/D (R)	Post	๙.๙๐	๓๐	๒๒	๐.๓๘๕	๔๕๘.๓๒
	A.R.#1	๑๑.๕๐	๓๐	๒๒	๐.๔๔๘	๔๙๙.๓๘
	A.R.#2	๑๒.๐๐	๓๐	๒๒	๐.๔๖๗	๕๐๗.๘๓

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการประมาณค่าความลึกอิทธิพลและค่าสัมประสิทธิแก้ไขบริเวณโซนต่าง ๆ ของพื้นที่วิเคราะห์ที่ 1



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการทุบ/พื้นที่ กับ ค่า K



รูปที่ 4.18 แสดงผลการประมาณค่าความลึกอิทธิพลจากผลต่าง ของความหนาแน่น สัมพัทธ์ก่อนและหลังการบดอัดของพื้นที่วิเคราะห์ที่ 1

4.4 <u>ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่กับความแน่นหลังการบดอัด</u>

ในการปรับปรุงชั้นทรายหลวมถึงแน่นปานกลาง ความหนาแน่นสัมพัทธ์น้อยกว่า 70% โดยวิธีการทุบด้วยลูกตุ้มหนักพบว่า ความแน่นของดินจะเพิ่มขึ้นตามพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่ ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2 เมื่อนำค่าพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่กับความแน่นหลังการบดอัดมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ พบว่า ค่า SPT-N ณ ระดับต่ำสุดที่ต้องการบดอัด ซึ่งเทียบเท่าค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นสัมพัทธ์ (ทุกระดับความลึก) แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าลอการิทึมของพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่ ($\bar{N} \propto \log E/A$) เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N ณ ระดับต่ำสุดที่ต้องการบดอัด ซึ่งเทียบเท่ากับค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ย $(\bar{N})_{mean}$ และค่า SPT-N ณ ระดับต่ำสุดที่ต้องการบดอัด ซึ่งเทียบเท่ากับค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นสัมพัทธ์ต่ำสุด $(\bar{N})_{min}$ กับค่าลอการิทึมของพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่ ($\log E/A$) บริเวณโซนต่าง ๆ (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.13) ซึ่งผลการวิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ในโซนต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตาราง 4.14 ได้ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่าง $(\bar{N})_{mean}$ กับ $\log (E/A)$ ดังสมการที่ 4.1 โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 และค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่าง $(\bar{N})_{min}$ กับ $\log (E/A)$ ดังสมการที่ 4.2 โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.11 ซึ่งได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ไว้ในรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ

$$\log (E/A) = 2.00+0.0182 (\bar{N})_{mean} \quad \text{.....(4.1)}$$

$$\log (E/A) = 2.25+0.0143 (\bar{N})_{min} \quad \text{.....(4.2)}$$

โซน		E/A	log (E/A)	$(\bar{D}r)_{mean}$	$(\bar{N})_{mean}$	$(\bar{D}r)_{min}$	$(\bar{N})_{min}$
1U	Post	๔๑๒.๔๘	๒.๖๑๕๔	๘๔	๓๖	๗๔	๒๙
	A.R.#1	๔๒๑.๔๕	๒.๖๒๕๓	๔๐	๓๗	๘๑	๓๐
2U	Post	๓๕๓.๑๐	๒.๕๔๗๔	๘๔	๓๓	๗๒	๒๔
	A.R.#1	๓๔๒.๘๔	๒.๕๔๔๓	๘๗	๓๕	๗๘	๒๘
1C/D	Post	๔๐๕.๐๘	๒.๖๐๗๕	๘๐	๓๐	๖๗	๒๑
	A.R.#1	๔๘๒.๖๔	๒.๖๘๓๖	๘๕	๓๔	๗๗	๒๗
2C/D	Post	๓๒๗.๓๔	๒.๕๑๕๑	๗๓	๒๔	๕๔	๑๖
	A.R.#1	๔๘๖.๒๐	๒.๖๘๖๘	๘๓	๓๒	๗๒	๒๔
3U	Post	๓๔๖.๑๓	๒.๕๔๗๘	๗๕	๒๖	๖๑	๑๗
	A.R.#1	๔๓๗.๘๘	๒.๖๕๑๔	๘๐	๒๔	๖๖	๒๐
	A.R.#2	๔๔๔.๔๖	๒.๖๔๔๖	๘๓	๓๒	๗๓	๒๔
	A.R.#3	๕๐๒.๖๐	๒.๗๐๑๒	๘๔	๓๓	๗๕	๒๖
3C/D (R)	Post	๔๕๘.๓๒	๒.๖๖๑๑	๗๒	๒๔	๕๔	๑๖
	A.R.#1	๔๔๔.๓๘	๒.๖๔๘๔	๘๒	๓๑	๖๔	๒๒
	A.R.#2	๕๐๗.๘๓	๒.๗๐๕๗	๘๔	๓๓	๗๓	๒๕
AD	Post	๑๔๕.๑๔	๒.๒๔๐๓	๗๕	๒๔	๖๔	๑๗
	A.R.#1	๒๘๑.๕๒	๒.๔๔๔๕	๘๑	๒๘	๗๒	๒๒
3C/D (L)	Post	๒๔๗.๕๐	๒.๓๔๓๖	๗๒	๒๓	๖๔	๑๗
	A.R.#1	๒๖๗.๘๗	๒.๔๒๗๔	๗๔	๒๕	๗๑	๒๑
4U (4P)	Post	๒๓๘.๓๓	๒.๓๗๗๒	๗๔	๒๖	๖๗	๑๘
	A.R.#1	๒๕๔.๑๖	๒.๔๑๓๖	๘๒	๒๘	๗๐	๒๐

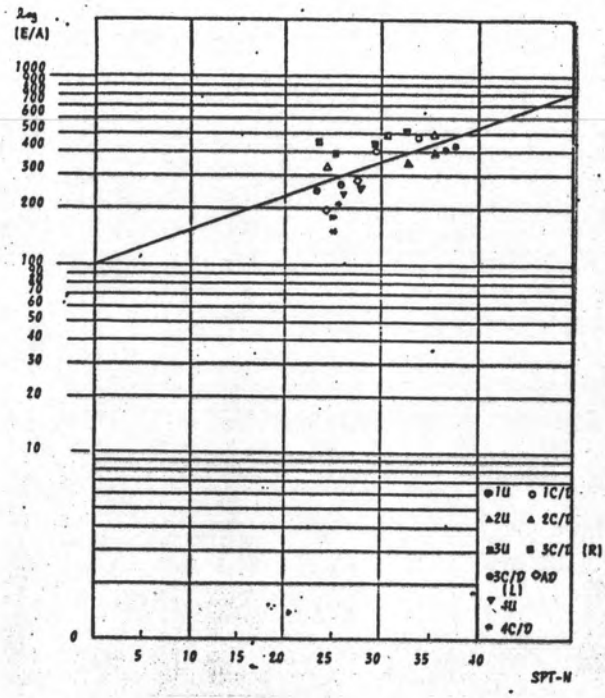
ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ $(\bar{N})_{max}$ และ $(\bar{N})_{min}$

พื้นที่วิเคราะห์	โซน	ชั้นหิน ก่อนบตอัด	ความหนาของชั้นทราย	สมการความสัมพันธ์
1	1U	49	10.25	$\log (E/A) = 1.950+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	2U	54	10.86	$\log (E/A) = 1.950+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	1C/D	50	9.98	$\log (E/A) = 2.067+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	2C/D	52	10.38	$\log (E/A) = 2.079+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	3U	51	9.75	$\log (E/A) = 2.113+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	3C/D (R)	53	9.97	$\log (E/A) = 2.123+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	Mean	52	10.20	$\log (E/A) = 2.057+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
2	AD	52	6.05	$\log (E/A) = 1.896+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	3C/D (L)	60	5.76	$\log (E/A) = 1.963+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	4U (4P)	77	5.25	$\log (E/A) = 1.902+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	Mean	63	5.69	$\log (E/A) = 1.920+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
3	4U (3P)	86	3.54	$\log (E/A) = 1.722+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	4C/D (L)	85	2.86	$\log (E/A) = 1.811+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	4C/DR	73	3.93	$\log (E/A) = 1.857+0.0182 (\bar{N})_{mean}$
	Mean	81	3.44	$\log (E/A) = 1.797+0.0182 (\bar{N})_{mean}$

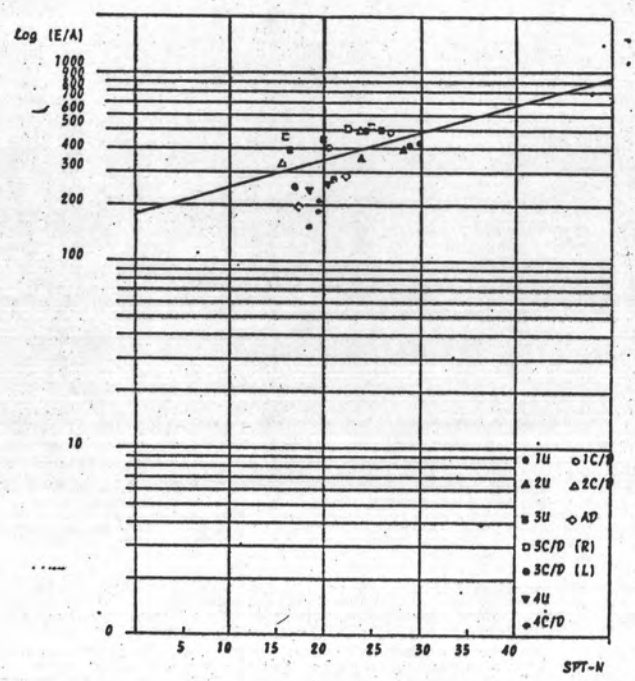
ตารางที่ 4.14 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ $(\bar{N})_{mean}$ บริเวณโซนต่าง ๆ

พื้นที่วิเคราะห์	โซน	ชีวิต ก่อนบตอัด	ความหนาของชั้นทราย	สมการความสัมพันธ์
1	1U	49	10.25	$\log (E/A) = 2.198+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	2U	54	10.86	$\log (E/A) = 2.198+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	1C/D	50	9.98	$\log (E/A) = 2.305+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	2C/D	52	10.38	$\log (E/A) = 2.318+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	3U	51	9.75	$\log (E/A) = 2.349+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	3C/D (R)	53	9.97	$\log (E/A) = 2.385+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	Mean	52	10.20	$\log (E/A) = 2.292+0.0143 (\bar{N})_{min}$
2	AD	52	6.05	$\log (E/A) = 2.087+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	3C/D (L)	60	5.76	$\log (E/A) = 2.138+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	4U (4P)	77	5.25	$\log (E/A) = 2.116+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	Mean	63	5.69	$\log (E/A) = 2.114+0.0143 (\bar{N})_{min}$
3	4U (3P)	86	3.54	$\log (E/A) = 1.909+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	4C/D (L)	85	2.86	$\log (E/A) = 1.981+0.0143 (\bar{N})_{min}$
	4C/D (R)	73	3.93	$\log (E/A) = 2.044+6.0143 (\bar{N})_{min}$
	Mean	81	3.44	$\log (E/A) = 1.978+0.0143 (\bar{N})_{min}$

ตารางที่ 4.14 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ $(\bar{N})$ min บริเวณโซนต่าง ๆ



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ $(\bar{N})$ mean



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ $(\bar{N})_{min}$

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมกับความแน่นหลังการบดอัด

4.5.1 ผลการประมาณค่าอัตราส่วนปริมาณทรายที่ใช้เติบกลบหลุม

เนื่องจากการวัดปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม (Δ V) โดยตรงในสนาม เพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียดแน่นอนทำได้ยากและเสียเวลา จึงทำการวัดทางอ้อมโดยทำการวัดความลึกของหลุมแล้วความกว้างของปากหลุมและนำมาประมาณค่าปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม จากสมการที่ 3.4 ซึ่งกำหนดสมมติฐานว่าหลุมที่เกิดจากการทุบเป็นรูปกรวยตัดหงายไม่มีการปูดของดินบริเวณปากหลุมและความกว้างของก้นหลุมมีขนาดเท่ากับความกว้างของฐานลูกตุ้ม จากผลการประมาณค่าปริมาตรทราบที่ใช้เติม (Δv) และอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม (Δ V/V) ของแต่ละโซนบริเวณที่ทำการปรับปรุง ซึ่งแสดงไว้ในตาราง ที่ 4.15 (ก)- 4.15 (ฎ)

Phase	n	ΔV	ΔV/V	ΔV/V	E/A	Σ E/A
๑	๒๐๖	๘๘๓	๓.๘๔๘	๓.๘๔๘	๓๖.๓๒	๓๖.๓๒
๒	๒๔๗	๗๓๓	๓.๒๓๖	๗.๑๓๔	๕๒.๓๕	๘๘.๖๗
๓	๑๓๓	๕๑๕	๒.๒๗๔	๔.๔๐๘	๒๓.๔๔	๑๑๒.๑๑
๔	๑๕๕	๔๐๕	๑.๗๘๘	๑๑.๑๔๖	๒๗.๓๒	๑๓๔.๔๓
๕	๓๑๖	๗๗๖	๓.๔๒๖	๑๔.๖๒๒	๕๕.๗๑	๑๔๕.๑๔
Retamp	๔๔๐	๔๐๖	๔.๐๐	๑๘.๖๒๒	๘๖.๓๘	๒๘๑.๕๒

หมายเหตุ : โซน AD มีพื้นที่ ๓.๗๔๔ ม.^{2} ความหนาเฉลี่ยของชั้นทราย ๖.๐๕ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๒๒.๖๕๑ ม.^{3}

ตารางที่ 4.15 (ก) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมโซน AD

Phase	n	Δ V	Δ V/V	Δ V/V	E/A	Σ E/A
๑	๒๔๐	๑๑๒๔	๑.๒๗๕	๑.๒๗๕	๑๘.๓๓	๑๘.๓๓
๒	๒๔๐	๑๐๖๔	๑.๒๐๑	๒.๔๗๖	๑๘.๓๓	๓๖.๖๗
๓	๗๒๐	๒๓๗๑	๒.๖๗๗	๕.๑๕๓	๕๕.๐๐	๔๑.๖๗
๔	๔๖๐	๒๗๕๘	๓.๑๑๔	๘.๒๖๗	๗๓.๓๓	๑๖๕.๐๐
๕	๒๔๐๐	๕๕๐๐	๖.๒๑๕	๑๔.๔๘๒	๑๘๓.๓๓	๓๔๘.๓๒
๖	๘๔๐	๑๒๑๓	๑.๓๗๐	๑๕.๘๕๒	๑๘๓.๓๓	๔๑๒.๔๘
Retamp	๑๒๔	๑๗๘	๐.๒๐๑	๑๖.๐๕๕	๔.๔๗	๔๒๑.๔๕

หมายเหตุ : โซน 1U มีพื้นที่ ๘,๖๔๐ ม.^{๒} ความหนาชั้นทรายเฉลี่ย ๑๐.๒๕ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๘๘,๕๖๐ ม.^{๓}

ตารางที่ 4.15 (ข) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมโซน 1U

Phase	n	Δ V	Δ V/V	Δ V/V	E/A	Σ E/A
๑	๒๑๑	๑๔๑๔	๐.๘๔๕	๐.๘๔๕	๔.๕๘	๔.๕๘
๒	๕๘๘	๒๑๓๖	๑.๓๕๒	๒.๒๔๗	๒๖.๖๘	๓๖.๒๖
๓	๒๐๑๕	๔๔๔๘	๒.๘๔๘	๕.๐๔๕	๔๑.๔๔	๑๒๗.๗๐
๔	๑๒๐๔	๒๔๐๑	๑.๕๒๐	๖.๖๑๕	๕๔.๘๖	๑๘๒.๕๖
๕	๗๐๐	๑๑๐๒	๐.๗๐๔	๗.๓๒๔	๓๑.๗๗	๒๑๔.๓๓
๖	๑๔๓๘	๒๖๗๕	๑.๖๔๓	๔.๐๑๗	๖๕.๒๕	๒๗๔.๕๘
๗	๑๖๒๐	๒๖๔๗	๑.๗๐๘	๑๐.๗๒๕	๗๓.๕๑	๓๕๓.๑๐
Retamp	๘๔๖	๑๗๖๐	๑.๒๔๑	๑๑.๔๖๗	๓๘.๓๔	๓๔๒.๒๒

หมายเหตุ : โซน 2U มีพื้นที่ ๑๔.๕๔๔ ม.^{๒} ความหนาของชั้นทรายเฉลี่ย ๑๐.๘๑ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๑๕๗.๔๔๘ ม.^{๓}

ตารางที่ 4.15 (ค) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมโซน 2U

Phase	n	ΔV	ΔV/V	ΔV/V	E/A	Σ E/A
๑	๓๘๕	๒๔๒๔	๑.๔๔๓	๑.๔๔๓	๒๐.๘๑	๒๐.๘๑
๒	๓๘๕	๑๕๓๒	๑.๒๕๗	๓.๒๕๐	๒๐.๘๑	๔๑.๖๒
๓	๕๓๔	๑๔๕๕	๑.๑๔๔	๔.๔๔๔	๒๔.๑๔	๗๐.๗๖
๔	๗๗๐	๑๖๔๔	๑.๓๔๔	๕.๗๔๓	๔๑.๖๒	๑๑๒.๓๘
๕	๑๑๕๕	๑๗๔๔	๑.๔๓๕	๗.๒๒๘	๖๒.๔๓	๑๗๕.๘๑
๖	๒๓๑๓	๓๑๔๔	๒.๕๘๔	๔.๘๑๒	๑๒๔.๘๖	๒๔๔.๘๑
๗	๔๗๕	๒๕๔๑	๒.๑๒๖	๑๑.๔๓๘	๕๒.๗๐	๓๕๒.๓๗
๘	๔๗๕	๒๔๕๘	๒.๐๑๗	๑๓.๔๕๕	๕๒.๗๐	๔๐๕.๐๘
Retamp	๑๔๓๕	๒๓๐๐	๑.๘๘๗	๑๕.๘๔๐	๗๗.๕๗	๔๘๒.๖๕

หมายเหตุ : โซน 1C/D มีพื้นที่ ๑๒.๒๑๐ ม.^{2} ความหนาของชั้นทรายเฉลี่ย ๔.๔๘ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๑๒๑,๘๕๖ ม.^{3}

ตารางที่ 4.15 (ง) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมโซน 1C/D

Phase	n	ΔV	ΔV/V	Σ(ΔV/V)	E/A	Σ(E/A)
๑	๓๓๕	๑๗๔๔	๑.๗๗๗	๑.๗๗๗	๖๒.๗๓	๖๒.๗๓
๒	๖๗๐	๑๘๕๔	๑.๘๓๗	๓.๖๑๔	๔๕.๔๗	๑๐๘.๒๐
๓	๘๐๔	๑๗๓๐	๑.๗๑๔	๕.๓๖๘	๕๔.๕๖	๑๖๖.๗๖
๔	๑๐๐๕	๑๗๐๓	๑.๖๘๗	๗.๐๑๕	๖๔.๖๑	๑๔๐.๔๖
๕	๑๐๐๕	๑๖๔๔	๑.๖๖๘	๘.๖๔๓	๖๘.๖๑	๒๕๔.๑๘
๖	๑๐๐๕	๑๔๗๖	๑.๕๖๗	๑๐.๒๐๔	๖๘.๖๑	๓๒๗.๓๔
๗	๗๘๐	๒๓๔๓	๒.๓๗๐	๑๒.๘๗๔	๕๒.๔๔	๓๘๐.๓๓
๘	๗๘๐	๑๔๒๓	๑.๔๕๐	๑๔.๔๗๔	๕๒.๔๔	๔๓๓.๒๗
๔	๗๘๐	๑๕๕๐	๑.๕๓๕	๑๖.๐๑๔	๕๒.๔๔	๔๘๖.๒๐

หมายเหตุ : โซน 2C/D มีพื้นที่ ๔.๗๒๕ ม.^{2} ความหนาของชั้นทรายเฉลี่ย ๑๐.๓๘ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๑๐๐,๔๔๑ ม.^{3}

ตารางที่ 4.15 (จ) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมโซน 2C/D

Phase	n	ΔV	ΔV/V	Σ(ΔV/V)	E/A	Σ(E/A)
๑	๖๔๖	๑๔๖๖	๐.๔๖๔	๐.๔๖๔	๑๖.๕๖	๑๖.๕๖
๒	๕๔๐	๓๔๔๐	๒.๖๔๕	๓.๖๕๔	๖๕.๐๔	๓๗.๖๐
๓	๑๐๕๑	๓๐๓๐	๑.๔๔๘	๕.๖๕๗	๔๕.๐๖	๘๒.๖๐
๔	๑๓๘๔	๓๖๐๓	๒.๓๗๖	๗.๖๓๓	๕๘.๔๐	๑๔๑.๑๐
๕	๑๓๘๐	๔๒๘๐	๒.๘๒๒	๑๐.๔๕๕	๕๘.๕๖	๑๔๔.๖๖
๖	๓๔๔๓	๖๘๓๔	๔.๕๐๗	๑๔.๔๖๒	๑๖๔.๔๗	๓๖๔.๑๓
Retamp# 1	๑๖๒๐	๒๖๒๓	๑.๗๓๐	๑๖.๖๔๒	๖๘.๗๕	๔๓๗.๘๘
Retamp# 2	๑๓๔๕	๒๑๗๓	๑.๔๓๓	๑๘.๑๒๕	๕๗.๑๘	๔๔๔.๔๖
Retamp# 3	๑๔๐	๒๘๓	๐.๑๘๗	๑๘.๓๑๒	๗.๖๔	๕๐๒.๖๐

หมายเหตุ : โซน 3U มีพื้นที่ ๑๕.๕๕๒ ม.^{2} ความหนาของชั้นทรายเฉลี่ย ๔.๗๕ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๑๕๑.๖๓๒ ม.^{3}

ตารางที่ 4.15 (ฉ) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมโซน 3U

Phase	n	ΔV	ΔV/V	Σ(ΔV/V)	E/A	Σ(E/A)
๑	๓๖๓	๒๐๗๖	๑.๔๕๗	๑.๔๕๗	๒๑.๔๒	๒๑.๔๒
๒	๔๔๐	๑๕๑๔	๑.๓๕๔	๓.๒๑๖	๒๖.๕๗	๔๔.๔๔
๓	๗๒๔	๒๖๑๖	๒.๓๔๐	๕.๕๕๖	๔๓.๗๔	๔๒.๒๗
๔	๗๖๔	๒๐๐๔	๑.๗๔๒	๗.๓๔๔	๔๖.๓๔	๑๓๔.๖๕
๕	๗๗๒	๑๕๒๕	๑.๓๖๔	๔.๗๑๒	๔๖.๖๒	๑๔๕.๒๗
๖	๑๑๕๐	๒๖๗๔	๒.๓๔๑	๑๑.๑๐๓	๖๔.๔๓	๒๕๔.๑๐
๗	๑๔๒๗	๒๔๔๒	๒.๒๒๐	๑๓.๓๒๓	๔๒.๑๗	๓๔๐.๒๗
๘	๑๔๕๕	๔๐๕๕	๓.๖๒๗	๑๖.๔๕๐	๑๑๔.๐๕	๔๕๔.๓๒
Retamp# 1	๖๔๐	๑๖๕๕	๑.๔๘๐	๑๘.๔๓๐	๔๑.๔๕	๕๐๐.๒๔
Retamp# 2	๑๔๐	๒๔๐	๐.๒๑๕	๑๐.๖๔๕	๘.๔๕	๕๐๔.๗๔

หมายเหตุ : โซน 3C/D ฝั่งขวา มีพื้นที่ ๑๐.๔๓๐ ม.^{2} ความหนาของชั้นทราย เฉลี่ย ๑๐.๕๐ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๑๑๑.๔๑๔ ม.^{3}

ตารางที่ 4.15 (ช) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมโซน 3C/D (R)

Phase	n	ΔV	ΔV/V	ΔV/V	E/A	Σ E/A
๑	๔๘๗	๒๔๑๔	๗.๘๓๑	๗.๘๓๑	๗๑.๘๐	๗๑.๘๐
๒	๔๔๐	๑๒๑๗	๓.๔๔๐	๑๑.๗๗๑	๓๕.๖๕	๑๐๗.๔๕
๓	๕๑๔	๑๑๓๒	๓.๖๖๕	๑๕.๔๓๖	๓๗.๓๔	๑๔๔.๘๔
๔	๕๐๔	๔๓๕	๓.๐๒๗	๑๘.๔๖๓	๓๖.๖๗	๑๘๑.๕๑
๕	๔๐๗	๑๔๕๘	๖.๓๓๔	๒๔.๘๐๒	๖๔.๔๖	๒๕๗.๕๐
Retamp	๒๘๐	๕๔๘	๑.๗๗๔	๒๖.๕๗๖	๒๐.๓๗	๒๖๗.๘๗

หมายเหตุ : โซน 3C/D ฝั่งซ้าย มีพื้นที่ ๔,๕๓๖ ม.^{๒} ความหนาของชั้นทราย เฉลี่ย ๖.๘๑ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๓๐,๘๔๐ ม.^{๓}

ตารางที่ 4.15 (ช) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมโซน 3C/D (L)

Phase	n	ΔV	ΔV/V	ΔV/V	E/A	Σ E/A
๑	๗๔๘	๑๔๕๖	๓.๗๓๖	๓.๗๓๖	๒๔.๒๖	๒๔.๒๖
๒	๗๐๒	๑๒๓๐	๓.๑๕๖	๖.๘๔๒	๒๕.๗๔	๕๕.๐๐
๓	๒๕๐๐	๒๕๔๒	๖.๖๕๑	๑๓.๕๔๓	๔๔.๐๕	๑๔๖.๖๗
๔	๔๔๐	๑๓๘๘	๓.๕๖๒	๑๗.๑๐๕	๓๖.๓๐	๑๘๒.๔๗
Retamp#1	๑๗๑	๑๑๕๒	๒.๔๕๖	๒๐.๐๖๑	๖.๒๗	๑๘๔.๒๔
Retamp#2	๕๔	๓๑๒	๐.๘๐๑	๒๐.๘๖๒	๑.๔๘	๑๔๑.๒๒

หมายเหตุ : โซน 4U มีพื้นที่ ๔,๐๐๐ ม.^{๒} ความหนาเฉลี่ยของชั้นทราย ๔.๓๓ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๓๘,๔๗๐ ม.^{๓}

ตารางที่ 4.15 (ฌ) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมโซน 4U

Phase	n	ΔV	ΔV/V	ΔV/V	E/A	ΣE/A
๑	๑๒๘๐	๑๘๕๐	๔.๔๗	๔.๔๗	๔๓.๑๒	๔๓.๑๒
๒	๔๔๐	๔๗๐	๕.๒๓	๑๕.๒๐	๓๕.๖๕	๑๒๘.๗๗
๓	๗๕๐	๑๕๐๓	๘.๑๐	๒๓.๓๐	๕๔.๕๖	๑๘๓.๓๓

หมายเหตุ : โซน 4C/D ฝั่งซ้าย มีพื้นที่ ๔.๕๓๖ ม.^{๒} ความหนาของชั้นทราย เฉลี่ย ๔.๐๔ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๑๘.๕๕๒ ม.^{๓}

ตารางที่ 4.15 (ญ) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมโซน 4C/D (L)

Phase	n	ΔV	ΔV/V	ΔV/V	E/A	ΣE/A
๑	๑๐๔๒	๒๐๔๐	๔.๕๕	๔.๕๕	๗๕.๘๐	๗๕.๘๐
๒	๕๔๓	๔๘๑	๔.๕๔	๑๔.๑๔	๓๔.๕๐	๑๑๕.๓๐
๓	๕๑๓	๑๐๘๖	๕.๐๘	๑๔.๒๒	๓๗.๓๓	๑๕๒.๖๓
๔	๘๐๐	๑๖๐๔	๗.๕๓	๒๖.๗๕	๕๘.๒๐	๒๑๐.๘๓

หมายเหตุ : โซน 4C/D ฝั่งขวา มีพื้นที่ ๔.๕๓๖ ม.^{๒} ความหนาของชั้นทราย เฉลี่ย ๔.๗๑ ม. ดังนั้นปริมาตรเท่ากับ ๒๑.๓๖๕ ม.^{๓}

ตารางที่ 4.15 (ฎ) แสดงอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมโซน 4C/D (R)

4.5.2 <u>ผลการวัดค่าระดับผิวดินที่เพิ่มขึ้น และการประมาณค่าอัตรายุบทรุดตัว</u>

จากผลการวัดระดับผิวดินก่อนและหลังการบดอัดบริเวณโซนต่าง ๆ นำมาประมาณหาค่าอัตราการยุบตัวของชั้นทรายดังแสดงในตารางที่ 4.16 พบว่า ค่าอัตราการยุบตัวในโซนต่าง ๆ จะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 12%-16% (ค่าเฉลี่ยประมาณ 14%)

โซน	① ระดับผิวดินก่อนหดตัว (ม)	② ระดับผิวดินหลังหดตัว (ม)	③ ระดับผิวดินที่เพิ่มขึ้น (ม)	④ ความหนาของชั้นดินอ่อน (ม)	⑤ อัตราการปูดตัวของดิน (%)	⑥ $\Delta V/V$ (%)	⑦ $\Delta h/h$ (%)
1U	๑๓๓.๔๔๘	๑๓๓.๕๘๒	๐.๑๒๕	๑๐.๒๕	๑.๒๑๐	๑๖.๐๕๕	๑๕.๘๔๕
2U	๑๓๓.๒๙๖	๑๓๓.๕๒๕	๐.๑๕๐	๘๐.๐๐	๑.๓๓๓	๑๑.๔๓๗	๑๐.๖๐๕
1C/D	๑๓๒.๔๘๐	๑๓๓.๑๐๐	๐.๑๒๐	๔.๔๘	๑.๒๐๒	๑๕.๘๔๐	๑๕.๖๓๘
2C/D	๑๓๓.๐๓๒	๑๓๓.๑๔๕	๐.๑๖๒	๑๐.๓๘	๑.๕๖๑	๑๖.๐๑๕	๑๕.๔๕๓
3U	๑๓๓.๕๔๖	๑๓๓.๔๘๓	๐.๔๓๗	๔.๗๕	๕.๔๘๓	๑๘.๓๑๒	๑๓.๘๓๐
3C/D (R)	๑๓๔.๔๓๗	๑๓๔.๒๑๕	๐.๒๗๗	๑๐.๕๐	๒.๖๓๘	๑๘.๖๕๕	๑๖.๐๐๗
AD	๑๓๓.๓๐๐	๑๓๓.๓๑๐	๐.๔๐๖	๖.๐๕	๖.๘๑๑	๑๘.๖๒๒	๑๑.๔๑๑
3C/D (L)	๑๓๓.๖๑๐	๑๓๔.๒๒๐	๐.๖๑๐	๖.๘๑	๖.๐๖๔	๒๖.๕๓๖	๑๗.๖๑๔
4U	๑๓๓.๕๔๔	๑๓๓.๔๔๗	๐.๔๐๓	๔.๓๓	๔.๓๐๗	๒๐.๔๖๒	๑๑.๕๕๕
4C/D (L)	๑๓๓.๕๔๔	๑๓๔.๐๐๒	๐.๔๕๘	๔.๐๔	๑๑.๑๔๘	๒๓.๓๐๐	๑๒.๑๐๒
4C/D (R)	๑๓๓.๓๖๔	๑๓๓.๔๑๒	๐.๕๔๘	๔.๗๑	๑๑.๖๓๕	๒๖.๗๕๐	๑๕.๑๑๕

หมายเหตุ : ① = ② - ③, ④ = ③ ÷ ⑤, ⑥ = ⑤ - ④

ตารางที่ 4.16 ผลการวัดค่าระดับผิวดินที่เพิ่มขึ้น และการประมาณค่าอัตราการยุบตัวของโซนต่าง ๆ

4.5.3 <u>เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น กับอัตราการยุบตัว และกับอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม</u>

จากสมการที่ 3.5 อัตราการยุบตัวแปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น และจะเท่ากันเมื่อไม่มีความคลาดเคลื่อน เห็นได้ว่าค่าอัตราการยุบตัวและอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมพอเป็นแนวทางในการตรวจสอบหาความแน่นหลังการบดอัดได้ สำหรับการวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าอัตราการยุบตัวและค่าอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมกับอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น โดยนำค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนและหลังการบดอัดบริเวณโซนต่าง ๆ มาหาความหนาแน่นแห้ง จากสมการที่ 2.2 (ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.769 กรัม/ซม.^{3}, ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นแห้งต่ำสุดเท่ากับ 1.506 กรัม/ซม.^{3}) จากผลการประมาณค่าความหนาแน่นแห้งก่อนและหลังการบดอัดและผลการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้นกับอัตราการยุบตัว และกับอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมบริเวณโซนต่าง ๆ ซึ่งได้รวบรวมแสดงไว้ในตารางที่ 4.17 พบว่ามีค่าแตกต่างกันมาก โดยบริเวณโซนที่เป็นชั้นทรายหลวมอัตราการยุบตัวมีค่าประมาณ 1.7-2.7 เท่าของอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น และอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมมีค่าประมาณ 2.0-3.0 เท่าของอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น และบริเวณโซนที่เป็นชั้นทรายแน่นอัตราการยุบตัวและอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม มีค่ามากกว่า 5 เท่า ของอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น

โซน	๑	๒	๓	๔	๕	๖	๗	๘	๙
	ปีน (%) ตอนบน	ปีน (%) หลังบดอัด	γd หลังบดอัด	γd หลังจราจร	$\Delta\gamma d/\gamma d$	$\Delta V/V$	⑤÷④	$\Delta h/h$	⑦÷④
1U	๔๙	๔๐	๑๖๓.๐	๑๖๓.๐	๐.๐๐๐	๐.๐๕๕	๒.๐๐๓	๐๕.๕๕๕	๐.๐๐๐
2U	๔๙	๔๗	๑๖๐.๐	๑๖๓.๐	๐.๕๐๖	๐๑.๕๓๐	๒.๔๐๖	๑๐.๖๐๕	๐.๕๐๕
1C/D	๕๐	๔๕	๑๖๘.๐	๑๖๓.๐	๐.๕๕๓	๐๕.๕๕๐	๒.๔๐๒	๐๕.๖๖๕	๒.๔๒๐
2C/D	๕๒	๔๓	๑๖๔.๐	๑๖๓.๐	๕.๘๔๔	๐๖.๐๑๔	๒.๔๐๐	๐๔.๔๕๓	๒.๔๐๐
3U	๕๐	๔๔	๑๖๖.๐	๑๖๓.๐	๖.๐๔๕	๐๔.๐๖๓	๒.๔๔๔	๐๓.๘๓๐	๒.๔๔๔
3C/D (R)	๕๓	๔๔	๑๖๓.๐	๑๖๓.๐	๕.๘๖๘	๐๔.๖๔๕	๓.๒๓๒	๐๖.๐๐๗	๒.๔๔๕
AD	๕๒	๔๐	๑๖๔.๐	๑๖๓.๐	๕.๔๑๔	๐๔.๖๒๒	๓.๔๓๔	๐๐.๔๐๐	๒.๒๓๐
3C/D (L)	๖๐	๔๔	๑๖๓.๐	๑๖๓.๐	๓.๔๓๓	๒๖.๕๓๒	๔.๐๖๔	๐๗.๖๐๔	๕.๐๖๔
4U	๔๗	๔๒	๑๖๔.๐	๑๖๓.๐	๐.๔๓๐	๒๐.๔๖๒	๒๓.๔๓๒	๐๐.๕๕๕	๐๒.๔๓๐
4C/D (L)	๔๕	๔๐	๑๖๓.๐	๑๖๔.๐	-๐.๔๔๔	๒๓.๐๐	๒๓.๐๐	๐๒.๑๐๒	๐๒.๑๐๓
4C/D (R)	๔๓	๔๐	๑๖๓.๐	๑๖๓.๐	๐.๔๖๓	๒๖.๔๕	๑๐.๕๖	๐๕.๑๐๕	๔.๔๒

ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบ $\frac{\Delta rd}{rd}$ กับ $\frac{\Delta h}{h}$ และกับ $\frac{\Delta V}{V}$

4.5.4 <u>เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่กับอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม</u>

จากผลการประมาณค่าอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมขณะพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่ต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.15 (ก) -4.15 (ฎ) เห็นได้ว่าอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมมีค่าเพิ่มขึ้นตามพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำค่าทั้งสองมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์พบว่า ค่าลอการิทึมของพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าลอการิทึมของอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุม $\log (E/A) \propto \log (\Delta V/V)$ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นได้ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์บริเวณโซนต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.18 และได้แสดงไว้ในกราฟความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.21 พอสรุปได้ดังนี้

สำหรับพื้นที่วิเคราะห์ที่ 1 ซึ่งเป็นชั้นทรายหนา 9-12 เมตร สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายมีสภาพหลวมถึงแน่นปานกลาง ความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 38% ถึง 63% ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ log ($\Delta V/V$) ได้ดังสมการที่ 4.3 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.143

$$\log (E/A) = 1.022 + 1.367 \log (\Delta V/V) \quad \ldots\ldots\ldots (4.3)$$

สำหรับพื้นที่วิเคราะห์ที่ 2 ซึ่งเป็นชั้นทรายหนา 5-7 เมตร สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายมีสภาพหลวมถึงแน่น ความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 56% ถึง 75% ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ log ($\Delta V/V$) ได้ดังสมการที่ 4.4

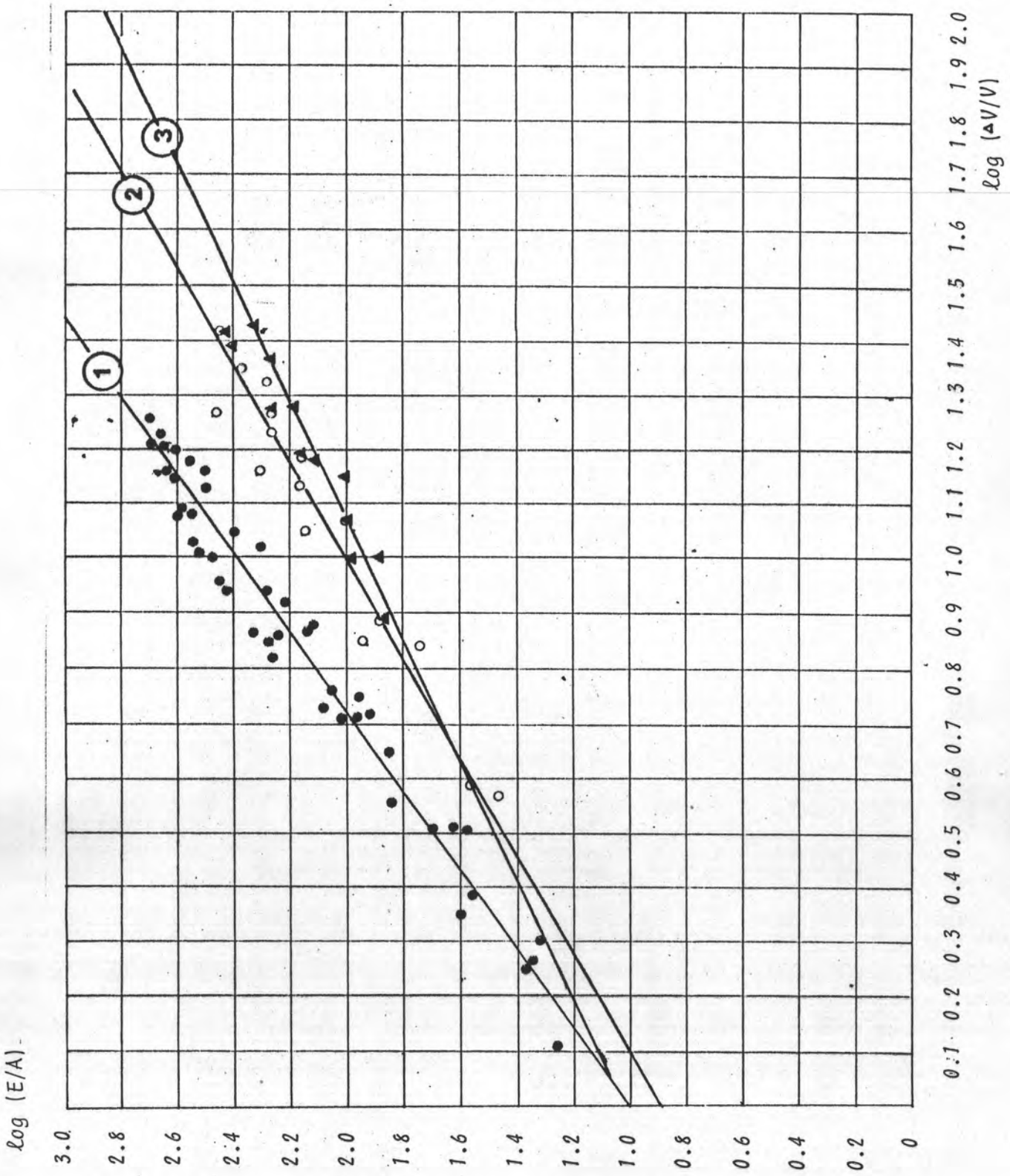
$$\log (E/A) = 0.845+1.160 \log (\Delta V/V) \quad \ldots\ldots\ldots (4.4)$$

สำหรับพื้นที่วิเคราะห์ที่ 3 ซึ่งเป็นชั้นทรายหนา 1-4 เมตร สภาพความแน่นตามธรรมชาติของชั้นทรายมีสภาพแน่นปานกลางถึงแน่นมาก ความหนาแน่นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 65% ถึง 100% ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ log ($\Delta V/V$) ได้ดังสมการที่ 4.5

$$\log (E/A) = 1.031 + 0.903 \log (\Delta V/V) \quad \ldots\ldots\ldots (4.5)$$

พื้นที่วิเคราะห์	โซน	$\bar{D}_r$ (%) ก่อนบดอัด	ความหนาของชั้นทราย	สมการความสัมพันธ์
1	1U	49	10.25	log (E/A) = 1.096+1.249 log (ΔV/V)
	2U	54	10.86	log (E/A) = 1.072+1.436 log (ΔV/V)
	1C/D	50	9.98	log (E/A) = 0.848+1.570 log (ΔV/V)
	2C/D	52	10.38	log (E/A) = 1.050+1.404 log (ΔV/V)
	3U	51	9.75	log (E/A) = 1.022+1.299 log (ΔV/V)
	3C/D (R)	53	10.50	log (E/A) = 0.973+1.363 log (ΔV/V)
	Mean	52	10.30	log (E/A) = 1.022+1.367 log (ΔV/V)
2	AD	52	6.05	log (E/A) = 0.845+1.250 log (ΔV/V)
	3C/D (L)	60	6.81	log (E/A) = 0.880+1.085 log (ΔV/V)
	4U	77	6.33	log (E/A) = 0.809+1.148 log (ΔV/V)
	Mean	63	5.73	log (E/A) = 0.845+1.160 log (ΔV/V)
3	4C/D (L)	73	4.09	log (E/A) = 1.179+0.790 log (ΔV/V)
	4C/D (R)	85	4.71	log (E/A) = 0.975+0.975 log (ΔV/V)
	Mean	79	4.50	log (E/A) = 1.031+0.903 log (ΔV/V)

ตารางที่ 4.18 แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ log (ΔV/V) ของโซนต่าง ๆ



รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ log (ΔV/V) ของพื้นที่วิเคราะห์ต่าง ๆ

4.5.5 <u>ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมกับความแน่นหลังการบดอัด</u>

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ $(\bar{N})_{mean}$ บริเวณโซนต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.14 ก. ในหัวข้อ 4.4 และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง log (E/A) กับ log ($\Delta V/V$) บริเวณโซนต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.18 ในหัวข้อ 4.5.4 เมื่อจับมาเทียบเท่ากัน ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\bar{N})_{mean}$ กับ log ($\Delta V/V$) ของพื้นที่วิเคราะห์ต่าง ๆ ดังสมการที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 ซึ่งได้รวบรวมแสดงไว้ในตารางที่ 4.19

สำหรับพื้นที่วิเคราะห์ที่ 1

$$(\bar{N})_{mean} = 75.11 \log (\Delta V/V) - 56.87 \quad \ldots\ldots\ldots (4.6)$$

สำหรับพื้นที่วิเคราะห์ที่ 2

$$(\bar{N})_{mean} = 64.02 \log (\Delta V/V) - 59.07 \quad \ldots\ldots\ldots (4.7)$$

สำหรับพื้นที่วิเคราะห์ที่ 3

$$(\bar{N})_{mean} = 49.61 \log (\Delta V/V) - 41.87 \quad \ldots\ldots\ldots (4.8)$$

จากสมการที่ 4.6-4.8 สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบหาความแน่นของดินหลังการบดอัดขณะต่าง ๆ โดยประมาณได้ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 5%-25% ซึ่งน้อยกว่าการตรวจสอบความแน่นจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาตรทรายที่ใช้เติมกลบหลุมกับอัตราส่วนความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้น ดังกล่าวมาแล้วจากหัวข้อ 4.5.3

พื้นวิเคราะห์	ความหนาแน่นสัมพัทธ์	ความหนาของชั้นทราย	สมการความสัมพันธ์
๑	๓๘ - ๖๓	๔ - ๑๒	$(\bar{N})_{mean} = 75.11 \log (\Delta V/V) - 56.87$
๒	๕๖ - ๗๕	๕ - ๗	$(\bar{N})_{mean} = 64.02 \log (\Delta V/V) - 59.07$
๓	๖๕ - ๑๐๐	๑ - ๔	$(\bar{N})_{mean} = 49.61 \log (\Delta V/V) - 41.87$

<u>ตารางที่ 4.19</u> แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่าง $(\bar{N})_{mean}$ กับ log ($\Delta V/V$)

4.6 ผลกระทบเนื่องจากขนาดคละของอนุภาคที่มีต่อการบดอัด

4.6.1 ผลการทดสอบขนาดคละของอนุภาค

สำหรับการวิจัยนี้ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากระบอกเก็บตัวอย่าง ณ ระดับความลึกจากผิวดินต่าง ๆ กัน จำนวน 180 ตัวอย่าง นำมาทำการทดสอบหาขนาดคละของอนุภาคในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากดินตัวอย่างเป็นทรายจึงทำการทดสอบโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เพียงอย่างเดียว จากผลการทดสอบขนาดคละของอนุภาคทรายซึ่งได้รวบรวมไว้ในตารางที่ $ค_1$ และแสดงไว้ในกราฟการกระจายขนาดคละ รูปที่ $ค_1$-$ค_7$ ในภาคผนวก ค. พอสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

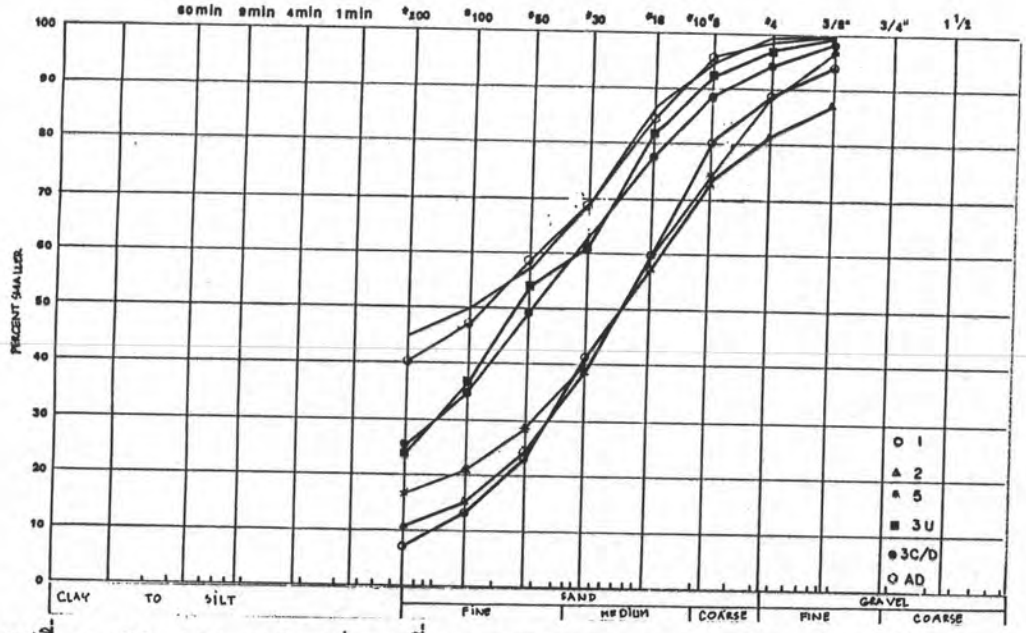
ขนาดคละของอนุภาคโซน 1U, 2U และโซนที่ 5 มีขนาดคละใกล้เคียงกันส่วนใหญ่เป็นทรายประมาณ 80% มีขนาดเม็ดดินละเอียด (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ปนอยู่ 10% และมีเม็ดดินขนาดใหญ่พวกกรวด (ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 3/8") ปนอยู่ 10%

ขนาดคละของอนุภาคโซน 3U และ 3C/D (R) มีขนาดคละใกล้เคียงกัน ส่วนใหญ่เป็นทรายประมาณ 75% มีขนาดเม็ดดินละเอียด ปนอยู่ 25% และไม่มีเม็ดดินขนาดใหญ่พวกกรวดปนอยู่เลย

ขนาดคละของอนุภาคโซน AD และโซนที่ 4 มีขนาดคละใกล้เคียงกันประกอบด้วยทรายประมาณ 55%-60% มีขนาดเม็ดดินละเอียดปนอยู่ 40%-45% และไม่มีเม็ดดินขนาดใหญ่พวกกรวดปนอยู่เลย

โซน	จำนวน	#๒๐๐	#๑๐๐	#๕๐	#๓๐	#๑๐	#๘	#๔	#๘/๕
1U	๓๔	๗.๒๓± ๕.๑๓	๑๑.๔๔± ๕.๔๓	๒๓.๑๔±๒๐.๔๔	๔๐.๒๕±๒๐.๔๔	๕๗.๓๑±๒๐.๓๕	๗๒.๔๑±๔๔.๕๕	๔๑.๕๕±๑๖.๕๔	๔๕.๒๑± ๒.๔๕
2U	๑๔	๑๐.๑๖± ๖.๕๕	๑๔.๖๔± ๗.๖๒	๒๕.๒๕± ๔.๕๓	๔๘.๒๕± ๔.๕๓	๕๔.๕๕±๑๐.๑๓	๕๘.๑๔± ๔.๕๑	๔๕.๒๕± ๘.๒๖	๔๕.๒๖± ๖.๑๖
3U	๓๓	๒๕.๕๕±๒๐.๔๔	๔๕.๔๔±๒๕.๔๔	๔๔.๒๖±๒๕.๕๕	๖๓.๐๔±๒๕.๓๔	๕๘.๕๓±๑๔.๓๐	๔๘.๐๔±๑๐.๖๑	๔๖.๓๔± ๗.๔๕	๔๘.๑๔± ๔.๑๔
3C/D (R)	๒๔	๒๖.๐๐±๒๐.๒๒	๔๖.๒๔±๒๒.๐๖	๔๔.๐๕±๑๓.๕๖	๖๗.๕๔±๒๔.๔๔	๔๕.๔๐±๑๓.๐๐	๔๕.๔๓± ๔.๒๓	๔๓.๖๔± ๖.๒๕	๔๔.๑๐± ๒.๐๑
AD	๘	๔๕.๑๐±๒๔.๒๔	๔๐.๓๔±๒๖.๐๓	๔๗.๒๔±๒๖.๐๗	๖๘.๗๔±๒๔.๔๑	๔๕.๔๐±๑๓.๐๐	๔๕.๔๓± ๔.๒๓	๔๓.๖๔± ๖.๒๕	๔๔.๑๐± ๒.๐๑
4	๑๔	๔๐.๓๑±๒๑.๒๗	๔๘.๔๔±๒๓.๒๔	๔๔.๑๐±๒๐.๔๖	๘๐.๔๗±๒๔.๔๓	๔๕.๖๔± ๔.๐๑	๔๕.๔๔± ๔.๕๓	๔๕.๖๔± ๑.๔๓	๔๔.๔๔± ๐.๓๔
5	๔	๑๖.๖๖± ๖.๑๒	๒๐.๔๔± ๖.๐๔	๒๔.๔๔± ๔.๔๖	๔๐.๖๔± ๕.๐๔	๔๔.๑๐± ๗.๔๖	๗๗.๖๔± ๔.๐๔	๔๕.๖๔± ๖.๑๔	๔๗.๔๕± ๒.๑๔

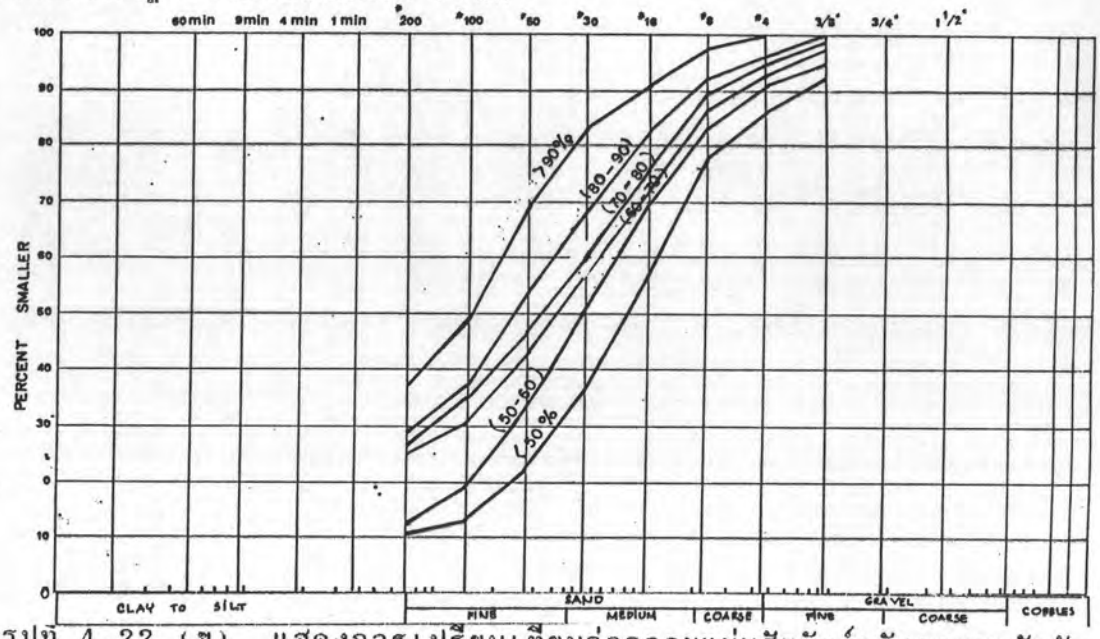
ตารางที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดคละของอนุภาคบริเวณโซนต่าง ๆ



รูปที่ 4.22 (ก) แสดงค่าเฉลี่ยของขนาดคละของอนุภาคบริเวณโซนต่าง ๆ

4.6.2 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดกับขนาดคละของอนุภาค

จากการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดกับขนาดคละอนุภาคดังตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 ข. พบว่า เมื่อพลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่ใกล้เคียงกัน มวลดินที่มีขนาดเม็ดดินใหญ่สามารถบดอัดให้มีความแน่นสัมพัทธ์สูงกว่ามวลดินที่มีขนาดเล็ก



รูปที่ 4.22 (ข) แสดงการเปรียบเทียบค่าความแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดกับขนาดคละของอนุภาค

ช่วง	จำนวน	#๑๐๐	#๑๕	#๒๐	#๒๕	#๓๐	#๓๕	#๔๐
๐๐-๐๕	๐๐	๑๐.๓๕±๐.๔๐	๒๒.๓๒±๑.๐๔	๓๕.๑๐±๑.๔๕	๔๖.๕๐±๑.๔๕	๕๔.๓๐±๑.๔๕	๖๐.๖๕±๑.๔๕	๖๕.๔๓±๑.๔๕
๐๕-๑๐	๐๕	๑๒.๐๕±๐.๒๐	๒๓.๔๑±๐.๔๐	๓๕.๓๕±๐.๔๕	๔๖.๐๕±๑.๔๕	๕๓.๔๕±๑.๓๕	๕๘.๔๐±๑.๓๕	๖๐.๔๐±๑.๓๕
๑๐-๑๕	๐๕	๑๔.๘๒±๐.๒๕	๒๓.๓๕±๐.๔๕	๓๕.๔๕±๑.๐๕	๔๖.๔๕±๑.๐๕	๕๓.๔๕±๑.๐๕	๕๘.๔๕±๑.๐๕	๖๐.๔๕±๑.๐๕
๑๕-๒๐	๐๓	๑๒.๔๕±๐.๒๕	๒๓.๐๕±๐.๔๕	๓๔.๔๐±๑.๐๕	๔๕.๘๕±๑.๐๕	๕๒.๘๕±๑.๐๕	๕๗.๓๕±๑.๐๕	๕๙.๘๕±๑.๐๕
๒๐-๒๕	๐๓	๑๓.๔๕±๐.๒๕	๒๔.๐๕±๐.๔๕	๓๔.๔๕±๑.๐๕	๔๕.๔๕±๑.๐๕	๕๒.๔๕±๑.๐๕	๕๗.๐๕±๑.๐๕	๕๙.๔๕±๑.๐๕
๒๕-๓๐	๐๒	๑๓.๔๕±๐.๒๕	๒๔.๐๕±๐.๔๕	๓๔.๔๕±๑.๐๕	๔๕.๔๕±๑.๐๕	๕๒.๔๕±๑.๐๕	๕๗.๐๕±๑.๐๕	๕๙.๔๕±๑.๐๕
๓๐-๓๕	๐๑	๑๓.๔๕±๐.๒๕	๒๔.๐๕±๐.๔๕	๓๔.๔๕±๑.๐๕	๔๕.๔๕±๑.๐๕	๕๒.๔๕±๑.๐๕	๕๗.๐๕±๑.๐๕	๕๙.๔๕±๑.๐๕
๓๕-๔๐	๐๑	๑๓.๔๕±๐.๒๕	๒๔.๐๕±๐.๔๕	๓๔.๔๕±๑.๐๕	๔๕.๔๕±๑.๐๕	๕๒.๔๕±๑.๐๕	๕๗.๐๕±๑.๐๕	๕๙.๔๕±๑.๐๕

ตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแน่นสัมพัทธ์หลังการบดอัดกับขนาดคละของอนุภาค

4.6.3 ผลกระทบเนื่องจากขนาดคละของอนุภาคที่มีต่อพลังงานในการทุบ

จากสมการที่ 4.1 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในการทุบต่อพื้นที่บริเวณโซนต่าง ๆ จะแตกต่างกันมากพอสมควร โดยเฉพาะในชั้นทรายที่มีความหนามาก ๆ เห็นได้ว่า โซน 3U และโซน 3C/D (R) ใช้พลังงานในการทุบต่อพื้นที่มากกว่าโซน 1U และ 2U ประมาณ 100 ตัน ม./ม.^{2} และจากผลการทดสอบขนาดคละของอนุภาคสามารถปรับแก้ไขสมการที่ 4.1 โดยคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจากขนาดคละของอนุภาคได้เป็นดังสมการที่ 4.9 คือ

$$\log (E/A) = 2.00+0.0182 (\bar{N})_{mean} + \delta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4.9)$$

โดย δ = ค่าแก้ไขเนื่องจากขนาดคละของอนุภาค

δ = -0.05 เมื่อมีขนาดของเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์* 200 จำนวน 10%

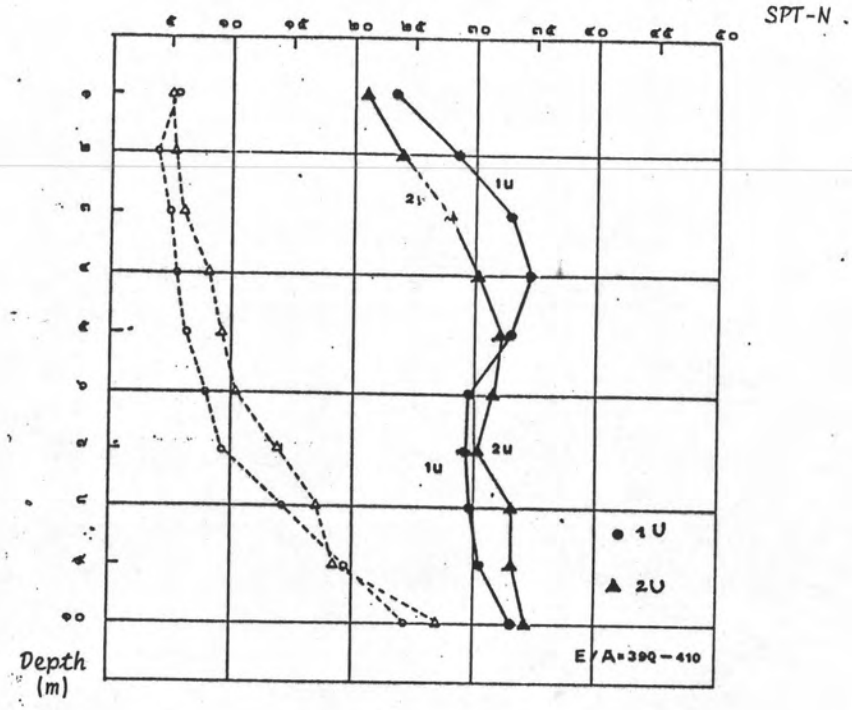
δ = 0.12 เมื่อมีขนาดของเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์* 200 จำนวน 25%

4.7 ข้อสังเกตความแน่นหลังการบดอัดในรูปแบบการทุบที่แตกต่างกัน

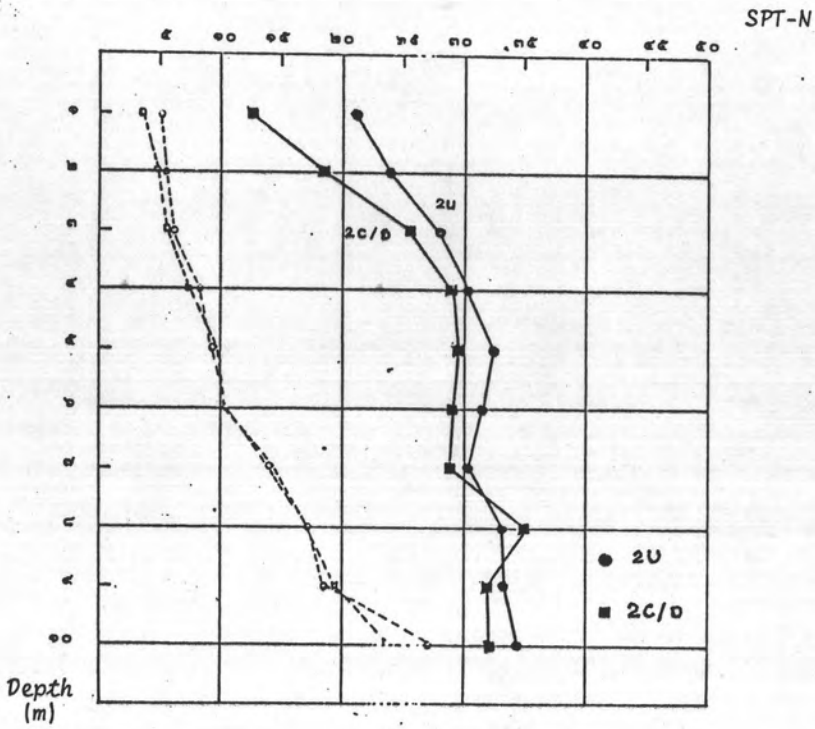
จากผลการทดสอบและผลการประมาณค่าต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วข้างต้นในหัวข้อ 4.1-4.6 เมื่อทำการเปรียบเทียบความแน่นหลังการบดอัดในรูปแบบการทุบที่แตกต่างกันพอสรุปได้ดังนี้

1. เปรียบเทียบรูปแบบการทุบแบบคาบเกี่ยวกับรูปแบบการทุบแบบเดี่ยว สังเกตจากโซน 1U และโซน 2U มีขนาดคละของอนุภาค, ความหนาของชั้นทราย, ความแน่นก่อนบดอัดและพลังงานที่ใช้ในการทุบ/พื้นที่ใกล้เคียงกันมาก แต่มีรูปแบบการทุบที่แตกต่างกันโดยโซน 1U มีรูปแบบการทุบแบบคาบเกี่ยว ส่วนในโซน 2U มีรูปแบบการทุบแบบเดี่ยว เมื่อทำการเปรียบเทียบความแน่นหลังการบดอัดพบว่าค่าความแน่นเฉลี่ยใกล้กันมากเกือบเท่ากัน แต่แตกต่างกันที่บริเวณใกล้ผิวดินระดับ 1-5 เมตร การทุบแบบคาบเกี่ยวมีความแน่นหลังการบดอัดมากกว่าการทุบแบบเดี่ยวส่วนบริเวณใกล้ชั้นหินที่ระดับ 6-10 เมตร การทุบแบบเดี่ยวมีความแน่นหลังการบดอัดมากกว่าการทุบแบบคาบเกี่ยว (ดังรูปที่ 4.23)

2. เปรียบเทียบรูปแบบการทุบแบบเดี่ยวตำแหน่งเดี่ยวกับสองตำแหน่งสังเกตจากโซน 2U และ 2C/D มีขนาดคละของอนุภาค, ความหนาของชั้นทรายและความแน่นก่อนการบดอัดใกล้เคียงกัน แต่โซน 2U มีรูปแบบการทุบแบบเดี่ยวเพียงตำแหน่งเดียว โดยจำนวนครั้งแปรผันไปตามความลึก ส่วนโซน 2C/D มีรูปแบบการทุบเป็นรูปแบบเดี่ยวสองตำแหน่งโดยจำนวนครั้งการทุบในแต่ละตำแหน่งเท่ากันตลอดทั้งโซน พบว่าหลังการบดอัดสิ้นสุด ความแน่นหลังการบดอัดใกล้เคียงกัน แต่โซน 2C/D ใช้พลังงานในการทุบต่อพื้นที่มากกว่าโซน 2U (ดังรูปที่ 4.24)



รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบความแน่นหลังการบดอัดโซน 1U กับ 2U



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบความแน่นหลังการบดอัดโซน 2U กับ 2C/D