



ชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กสำหรับทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์

MINI COMPACTION APPARATUS FOR STANDARD PROCTOR TEST

เอกชัย ม่านโลกสูง (Ekachai Maan-Kooksung)¹

อนุชิต อุชายภิชชาติ (Anuchit Uchaipichat)²

อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ (Avirut Chinkulkijniwat)³

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี M4940388@sut.ac.th

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ : บทความนี้นำเสนอต้นแบบชุดทดสอบการบดอัดดินขนาดเล็กเพื่อใช้แทนการบดอัดดินแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ในดินเม็ดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดดินไม่เกิน 4.75 mm ชุดทดสอบการบดอัดดินขนาดเล็กที่เสนอมีความแตกต่างจากชุดทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปเพียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบที่ใช้บดอัดดิน ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ทั่วไป เมื่อตรวจสอบผลทดสอบการบดอัดโดยใช้ชุดทดสอบที่เสนอเปรียบเทียบกับผลทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์กับดินตัวอย่างทั้งหมด 5 ชนิด พบว่า แบบบดอัดขนาดเล็กที่เสนอนี้ให้ผลทดสอบการบดอัดเป็นที่น่าพอใจ

ABSTRACT : A prototype of mini compaction apparatus is proposed to replace a standard apparatus for standard Proctor test with fine grain soils having their grain size no greater than 4.75 mm. An internal diameter of a compaction mould is only the difference from the standard apparatus. Thus adoption of this proposed apparatus in any soil mechanics laboratory is easy. Compaction test using the proposed apparatus with 5 different soils was conducted. Comparison between test results from standard Proctor test and those from the proposed apparatus is presented. Good agreement between test results from the mini compaction apparatus and those from the standard Proctor test can be observed.

KEYWORDS : Laboratory compaction test, Standard Proctor, Mini compaction apparatus

1. บทนำ

ในงานก่อสร้างโครงสร้างดิน จำเป็นต้องนำดินจากแหล่งดินที่เลือกแล้วมาทำการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติ โดยมักนิยมทำการทดสอบแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ (ASTM D698-91) [1] หรือสูงกว่ามาตรฐานพล็อกเตอร์ (ASTM D 1557-91) [2] แต่เนื่องจากแบบขนาดมาตรฐานที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานการทดสอบยังมีขนาดใหญ่ ทำให้มีงานวิจัยที่พยายามพัฒนาแบบบดอัดให้มีขนาดเล็กลง เช่น Diaz-Zorita et al. (2001) [3] หรือ

Shiharan & Sivapullaiah (2005) [4] ได้เสนอชุดทดสอบการบดอัดดินด้วยแบบบดอัดที่มีขนาดเล็ก ซึ่งให้ผลทดสอบใกล้เคียงกับผลทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ อย่างไรก็ตามชุดทดสอบที่เสนอมาก่อนหน้านี้ มีความแตกต่างกับชุดทดสอบมาตรฐานค่อนข้างมาก ในการพัฒนาชุดทดสอบขนาดเล็กดังกล่าวจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทดสอบรวมทั้งวิธีทดสอบในลักษณะลองผิดลองถูก (Trial and error) เพื่อให้ได้ผลทดสอบการบดอัดดินใกล้เคียงกับผลทดสอบการบด

อัดดินแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ ซึ่งทำให้การพัฒนาชุดทดสอบดังกล่าวเสียเวลามาก นอกจากนี้การนำชุดทดสอบดังกล่าวมาใช้จริงในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์อื่นๆก็ไม่ใช่ที่แพร่หลายส่วนหนึ่งเนื่องมาจากความซับซ้อนของชุดทดสอบเอง

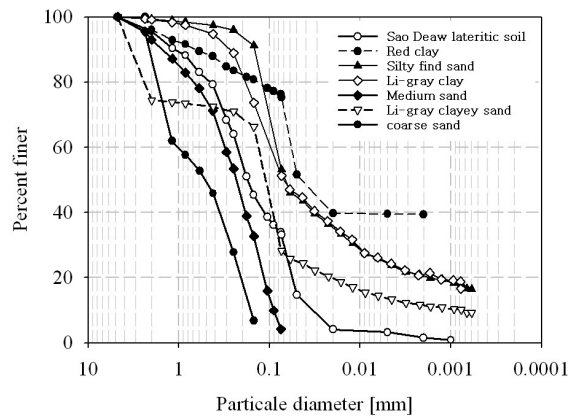
บทความนี้นำเสนอชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กซึ่งมีคุณลักษณะของชุดทดสอบใกล้เคียงกับคุณลักษณะของชุดทดสอบแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ ทำให้การนำชุดทดสอบที่นำเสนอไปใช้งานจริงเป็นไปได้โดยง่าย อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการจัดทำชุดทดสอบขนาดเล็กที่นำเสนอยังมีราคาถูกลงมาก

2. การพัฒนาแบบบดอัดดินขนาดเล็ก

ในการพัฒนาชุดทดสอบการบดอัดดินให้มีขนาดเล็กลง จำต้องมีการลดขนาดของแบบบดอัดดินลง ทำให้คุณลักษณะของชุดทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้สามารถพัฒนาชุดทดสอบการบดอัดดินขนาดเล็กเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของชุดทดสอบการบดอัดดิน โดยใช้ดินสองชนิดที่มีความแตกต่างกันอย่างมากคือ (1) Sao Deaw lateritic soil และ (2) Red Clay ซึ่งมีการกระจายขนาดของเม็ดดินทั้งสองดังภาพที่ 1 และมีคุณสมบัติทางกายภาพและคัชนีแสดงดังตารางที่ 1 โดยมีรายการทดสอบการบดอัดดินโดยควบคุมพลังงานต่อปริมาตรให้เท่ากับ 592.6 kJ/m³ เพื่อศึกษาผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของชุดทดสอบการบดอัดดินสรุปอยู่ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐาน

Soil type	LL	PL	PI	G _s	USCS
	[%]	[%]	[%]		
Sao-Deaw lateritic soil	NP	NP	NP	2.67	SM
Red clay	75	24.6	50.4	2.70	CH
Li-gray clay	28.7	19.4	9.3	2.72	CL
Silty find sand	NP	NP	NP	2.69	SM
Medium sand	NP	NP	NP	2.72	SP
Li-gray clayey sand	28.7	19.4	9.3	2.72	SC
Coarse sand	NP	NP	NP	2.72	SP



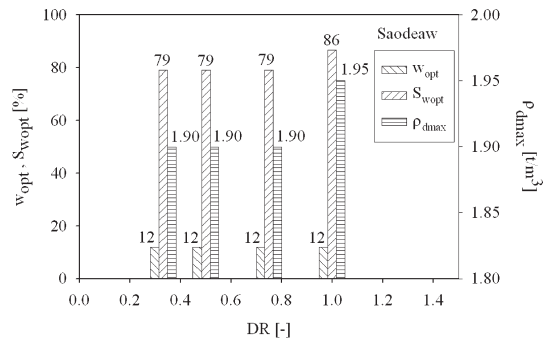
ภาพที่ 1 การกระจายขนาด

จากผลการทดสอบพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของชุดทดสอบทุกตัวไม่ส่งผลกระทบต่อผลทดสอบการบดอัด ยกเว้นการทดสอบบดอัดดินโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางก้อนต่อเส้นผ่านศูนย์กลางแบบบดอัดดิน (Diameter ratio: DR) เท่ากับ 1.00 ภาพที่ 2 แสดงผลทดสอบบดอัดดินที่ DR ต่างๆ ตามวิธีทดสอบที่ 1.1) 1.2) 1.3) และ 1.4) ในตารางที่ 2 โดยภาพที่ 2ก เป็นผลทดสอบการบดอัดดิน Sao-Deaw lateritic soil ส่วนภาพที่ 2ข เป็นผลทดสอบการบดอัดดิน Red clay

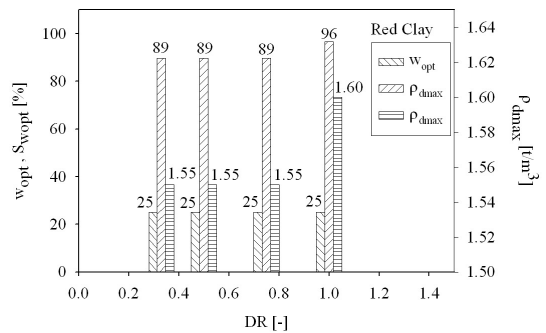
เมื่อเทียบผลทดสอบการบดอัดดินที่ DR ต่างๆ กับผลทดสอบการบดอัดดินที่ DR เท่ากับ 0.50 ซึ่งเป็นการบดอัดตามมาตรฐานพล็อกเตอร์ พบว่าการบดอัดโดยใช้ DR ทุกค่า ให้ค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum water content: w_{opt}) ใกล้เคียงกันทั้งหมด แต่สำหรับความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density: $\rho_{d max}$) การบดอัดโดยใช้ DR ต่างๆ จะให้ผลทดสอบใกล้เคียงกัน ยกเว้นการบดอัดโดยใช้ DR เท่ากับ 1.00 ซึ่งจะให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดสูงกว่าการทดสอบโดยใช้ DR อื่น ทั้งนี้เนื่องมาจากบดอัดดินที่ DR เท่ากับ 1.00 จะมีประสิทธิภาพการบดอัดที่ดีกว่าการบดอัดดินที่ DR อื่นๆ ซึ่งเห็นได้จากค่าระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำที่ความชื้นเหมาะสม (Optimum degree of saturation: S_{wopt}) สำหรับการบดอัดดินที่ DR เท่ากับ 1.00 จะมี S_{wopt} สูงกว่าการบดอัดดินที่ DR ค่าอื่นๆ

ถึงแม้ว่าการบดอัดที่ DR เท่ากับ 1.00 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ แต่เราไม่สามารถใช้ชุดทดสอบที่มี DR เท่ากับ 1.00 มาแทนชุดทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ได้ และเนื่องจากผลการศึกษาพบว่า

คุณลักษณะของชุดทดสอบอื่นไม่มีผลต่อผลทดสอบการบดอัดดิน ผู้เขียนจึงเสนอชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กโดยใช้แบบบดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 76.2 mm (3 in.) สูง 116.4 mm (4.54 in.) และยังคงใช้ก้อนบดอัดซึ่งใช้ในชุดทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ นั่นคือเป็นก้อนบดอัดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.80 mm (2 in.) และมีน้ำหนัก 2.5 kg โดยมีระยะตกอิสระของก้อนเท่ากับ 304.8 mm (1.00 ft.) ทำให้ดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กมีค่า DR เท่ากับ 0.75 ภาพที่ 3 แสดงรายละเอียดดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็ก เทียบกับชุดทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ ขนาดของแบบบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 mm (4 in.) ส่วนความสูงของดินแบบแบบบดอัดขนาดเล็กและแบบบดอัดมาตรฐานจะมีขนาดเท่ากันคือ 116.4 mm จะเห็นว่าดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กที่เสนอนี้ ยังคงคุณลักษณะของอุปกรณ์ทดสอบเหมือนกับชุดทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ โดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแบบบดอัดเท่านั้น



ก) ผลทดสอบการบดอัดดิน Sao Deaw lateritic soil



ข) ผลทดสอบการบดอัดดิน Red clay

ภาพที่ 2 ผลกระทบของอัตราส่วนของหน้าตัดต่อผลการทดสอบบดอัด

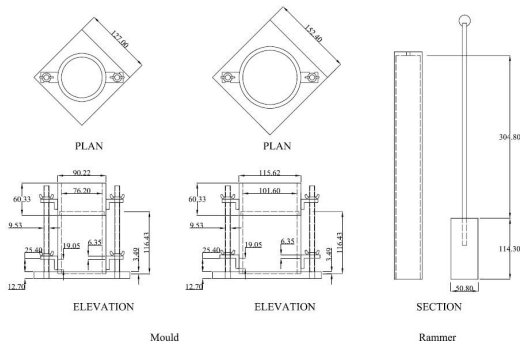
ตารางที่ 2 รายละเอียดการศึกษาผลกระทบเนื่องจากเครื่องมือ

TESTS No.	Mold Diameter [mm]	Rammer Diameter [mm]	Diameter ratio [-]	Layers thickness [mm]	Rammer		No. of blow [No.]
					Weight [kg]	Drop height [mm]	
1.1	152.4	50.8	0.33	38.8	2.5	304.8	56
1.2	101.6	50.8	0.5	38.8	2.5	304.8	25
1.3	101.6	76.2	0.75	38.8	2.5	304.8	25
1.4	76.2	76.2	1	38.8	2.5	304.8	15
2.1	101.6	50.8	0.5	58.2	2.5	304.8	37
2.2	101.6	50.8	0.5	38.8	2.5	304.8	25
2.3	101.6	50.8	0.5	29.1	2.5	304.8	19
2.4	101.6	50.8	0.5	23.3	2.5	304.8	15
3.1	101.6	50.8	0.5	38.8	4.5	304.8	14
3.2	101.6	50.8	0.5	38.8	3.2	304.8	16
3.3	101.6	50.8	0.5	38.8	2.5	304.8	25
3.4	101.6	50.8	0.5	38.8	1	304.8	62
4.1	101.6	50.8	0.5	38.8	2.5	450	17
4.2	101.6	50.8	0.5	38.8	2.5	381	20
4.3	101.6	50.8	0.5	38.8	2.5	304.8	25
4.4	101.6	50.8	0.5	38.8	2.5	228.6	33

ขั้นตอนการทดสอบการบดอัดดิน จะเหมือนกับการทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ ตัวอย่างดินเม็ดละเอียดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 4.75 mm จำนวน 2.5 กิโลกรัม จะถูกนำมาผสมน้ำให้มีความชื้นตามที่ต้องการแล้วคลุมพลาสติกไว้ระยะเวลาหนึ่งขึ้นกับประเภทของดินเพื่อให้ความชื้นในตัวอย่างดินมีความสม่ำเสมอ หลังจากนั้นจะแยกดินออกมาเป็นสามกองเพื่อบดอัดลงในแบบขนาดเล็กเป็นจำนวนสามชั้น ในแต่ละชั้นจะทำการบดอัดด้วยก้อนบดอัด 14 ครั้ง ตารางที่ 3 รายละเอียดการบดอัดดินด้วยดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็ก เทียบกับการบดอัดดินด้วยชุดทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ พลังงานต่อปริมาตรของชุดทดสอบการบดอัดดินขนาดเล็กจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานต่อปริมาตรของชุดทดสอบมาตรฐานเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 3 รายละเอียดการทดสอบการบดอัดดินด้วยชุดทดสอบมาตรฐานและดินแบบชุดทดสอบการบดอัดดินขนาดเล็ก

Mould Dia. [mm.]	DR. [-]	Drop [Blow]	Lay. [-]	Rammer		Compaction Effort [kJ/m ³]
				Weight [kg]	Drop [mm]	
76.2	0.75	14	3	2.5	300	581.4
101.6	0.5	25	3	2.5	300	592.6

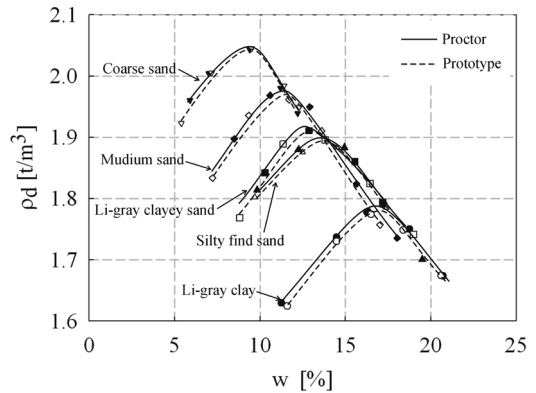


ภาพที่ 3 ดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กและชุดทดสอบมาตรฐาน

3. ผลทดสอบการบดอัดดินด้วยชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็ก

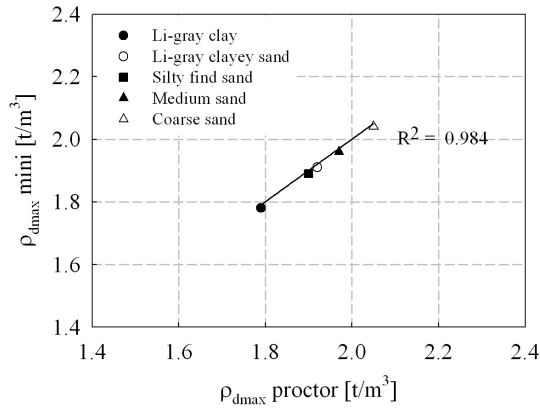
ทำการตรวจสอบการใช้ชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กในการบดอัดดินเทียบกับชุดทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ โดยใช้ตัวอย่างดิน 5 ชนิด ได้แก่ Li-gray clay, Silty

find sand, medium sand, Li-gray clayey sand และ Coarse sand ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและดัชนีแสดงดังตารางที่ 1 และการกระจายขนาดของเม็ดดินดังรูปที่ 1

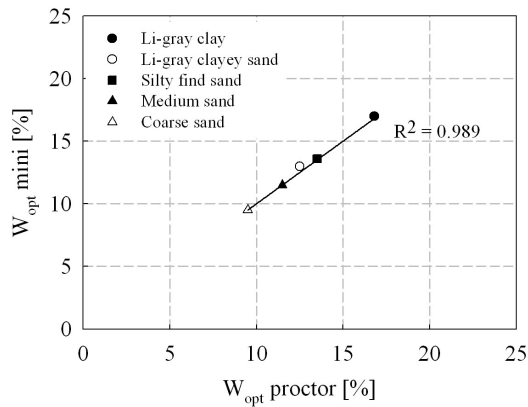


ภาพที่ 4 เส้นโค้งการบดอัดจากชุดทดสอบมาตรฐานและดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็ก

ภาพที่ 4 แสดงเส้นโค้งการบดอัด (Compaction curve) ของดินทั้ง 5 ชนิดที่บดอัดโดยใช้ดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็ก เทียบกับผลทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ จากภาพพบว่าผลการทดสอบบดอัดในแบบบดอัดขนาดเล็กและแบบบดอัดมาตรฐานพล็อกเตอร์ให้ผลการทดสอบไม่ต่างกัน ภาพที่ 5ก แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า ρ_{dmax} ที่ได้จากการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ กับค่า ρ_{dmax} ที่ได้จากการทดสอบการบดอัดโดยใช้ดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็ก ส่วนภาพที่ 5ข แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า w_{opt} ที่ได้จากการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพล็อกเตอร์ กับค่า w_{opt} ที่ได้จากการทดสอบการบดอัดโดยใช้ดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็ก พบว่าผลทดสอบการบดอัดโดยใช้ดินแบบชุดทดสอบขนาดเล็กให้ผลเป็นที่น่าพอใจ เมื่อทำการวิเคราะห์ความถดถอยโดยเส้น 1:1 พบว่าค่า R^2 มีค่าสูงกว่า 0.98 อย่างไรก็ตามจากภาพจะพบว่าความสัมพันธ์ของ ρ_{dmax} จะอยู่ใต้เส้น 1:1 เล็กน้อย ในขณะที่ความสัมพันธ์ของ w_{opt} ที่อยู่เหนือเส้น 1:1 เล็กน้อยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานต่อปริมาตรที่ใช้ในดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กมีค่าน้อยกว่าพลังงานต่อปริมาตรที่ใช้ในแบบบดอัดมาตรฐานพล็อกเตอร์



ก) ผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด



ข) ผลการเปรียบเทียบค่า ปริมาณความชื้นเหมาะสม

ภาพที่ 5 ผลเปรียบเทียบผลทดสอบบดอัดที่ได้จากดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กและชุดทดสอบมาตรฐาน

4. สรุปผล

ดินแบบชุดทดสอบการบดอัดดินขนาดเล็กที่เสนอในบทความนี้ได้จากการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของชุดทดสอบการบดอัดดิน โดยดินแบบชุดทดสอบการบดอัดขนาดเล็กมีการเปลี่ยนแปลงจากชุดทดสอบมาตรฐานเพียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแบบที่มีขนาดเล็กลง จาก 101.6 mm เหลือเพียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.2 mm รายละเอียดและขั้นตอนการทดสอบ ยังคงไว้ตามการทดสอบโดยวิธีมาตรฐานพลา็อกเตอร์ ผลการทดสอบบดอัดด้วยดินแบบชุดทดสอบการบดอัดดินขนาดเล็กกับตัวอย่างดินที่มีความแตกต่างกัน 5 ชนิด ให้ผลทดสอบการบดอัดที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับผลการทดสอบด้วยชุดทดสอบบดอัดแบบมาตรฐาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTM D 698-91,(1995). Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil using Standard Effort [12,400 ft-lb/ft³(600kN-m/m³)],*Annual Books of ASTM Standards*, ASTM international, West Conshohcken, PA, Sec. 4, Vol. 04.08, 69-76.
- [2] ASTM D 1557-91,(1995). Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil using Modified Effort [56,400 ft-lb/ft³(2,700kN-m/m³)],*Annual Books of ASTM Standards*, ASTM international, West Conshohcken, PA, Sec. 4, Vol. 04.08, 118-125.
- [3] Diaz-Zorita, M., Grove, J.H., Perfect E.,(2001). Compaction of Soil using a Small Mold Procedure. *Soil Science Society of American Journal*, Vol. 65,1593-1598
- [4] Sridharan, A.,Sivapullaiah,P.V.,(2004). Mini Compaction Test Apparatus for Fine Grained Soils. *Geotechnical Testing Journal*, Vol.28, No.3, 240-246