

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิเคราะห์โครงการ

ในการทำการศึกษาวิจัยได้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง

คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง	
Specific Gravity , $G_s$	2.60
Liquid Limit (LL) (%)	18.91
Plastic Limit (PL) (%)	16.03
Plasticity Index (PI) (%)	2.88
จำแนกดินประเภทดินระบบ Unified	GW
จำแนกดินประเภทดินระบบ AASHTO	A-1-a(GI=0.59)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ทดสอบโดยหน่วยวิจัยลักษณะเฉพาะของวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ห้องปฏิบัติการเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน และเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ในตัวอย่างด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในตัวอย่าง

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณธาตุในดินลูกรัง

ธาตุ	ปริมาณธาตุในตัวอย่าง(%wt)
	ดินลูกรัง
ออกซิเจน (O)	48.20
ฟลูออรีน (F)	0.23
โซเดียม (Na)	0.03
แมกนีเซียม (Mg)	0.15
อะลูมิเนียม (Al)	6.07
ซิลิกอน (Si)	34.66
ฟอสฟอรัส (P)	0.03
คลอรีน (Cl)	0.01
โพแทสเซียม(K)	0.66
แคลเซียม (Ca)	0.17

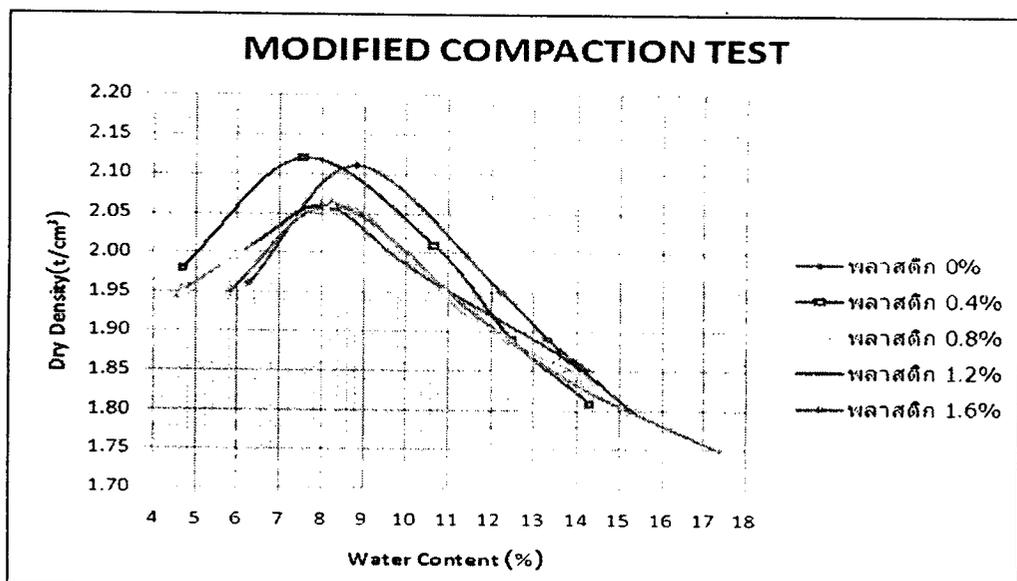
ธาตุ	ปริมาณธาตุในตัวอย่าง(%wt)
	ดินลูกรัง
ไทเทเนียม (Ti)	0.25
วานาเดียม (V)	0.02
เหล็ก (Fe)	6.35
ทองแดง (Cu)	0.01
สารหนู (As)	0.01
รูบิเดียม (Rb)	0.01
สตรอนเชียม (Sr)	<0.01
อิตเทรียม (Y)	<0.01
เซอร์โคเนียม (Zr)	<0.01
แบเรียม (Ba)	0.03
ทังสแตน (W)	0.04
%LOI at 10°C -25°C	3.02
รวม	100.00

ที่มา : (ทดสอบโดยหน่วยวิจัยลักษณะเฉพาะของวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ)

ผลการทดสอบการบดอัดดิน Compaction Test (บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าผลการทดสอบการบดอัดดิน (บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน)

Plastic Percent (%)	0	0.4	0.8	1.2	1.6
Maximum Dry Density (t/m <sup>3</sup> )	2.11	2.12	2.06	2.06	2.06
Optimum Moisture Content (%)	8.82	7.55	8.20	8.08	8.14



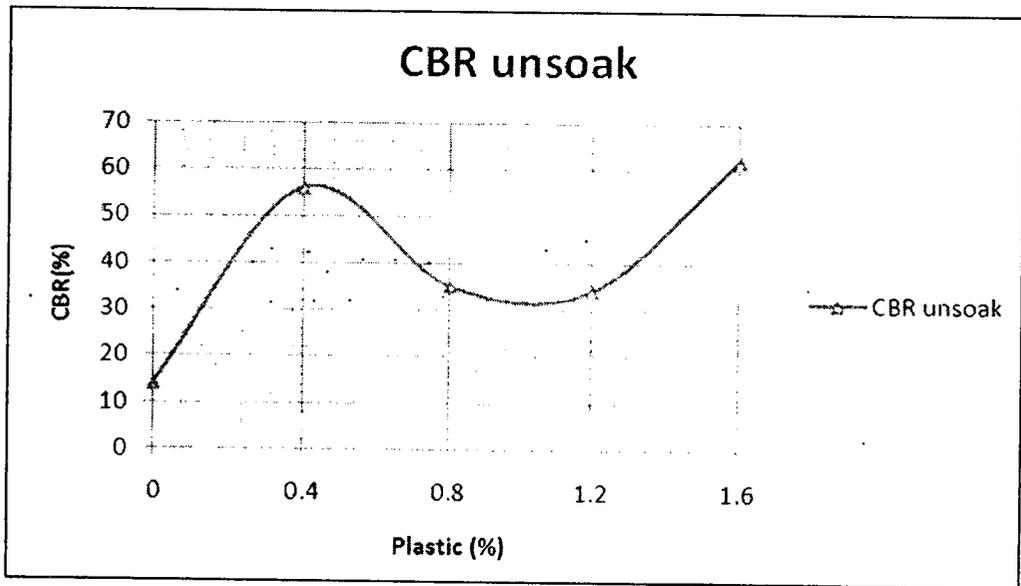
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบการบดอัดดิน (บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน)

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อมีการผสมพลาสติกเข้าไปในอัตราส่วนการผสมที่ทำการออกแบบแล้วทำการบดอัดด้วยวิธีที่สูงกว่ามาตรฐาน ค่า Maximum Dry Density และค่า Optimum Moisture Content ที่ได้มีค่าไม่แน่นอนคือมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง แต่ก็ทำให้ได้ค่า Maximum Dry Density และค่า Optimum Moisture Content ของการผสมพลาสติกในแต่ละอัตราส่วนที่เหมาะสม และที่อัตราส่วนผสม 0.4% เมื่อเปรียบเทียบกับแบบอัตราส่วนผสม 0% มีค่า Maximum Dry Density สูงกว่าและค่า Optimum Moisture Content น้อยกว่า

**ผลการทดสอบหาค่า CBR (บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน)**

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบหาค่า CBR (บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน)

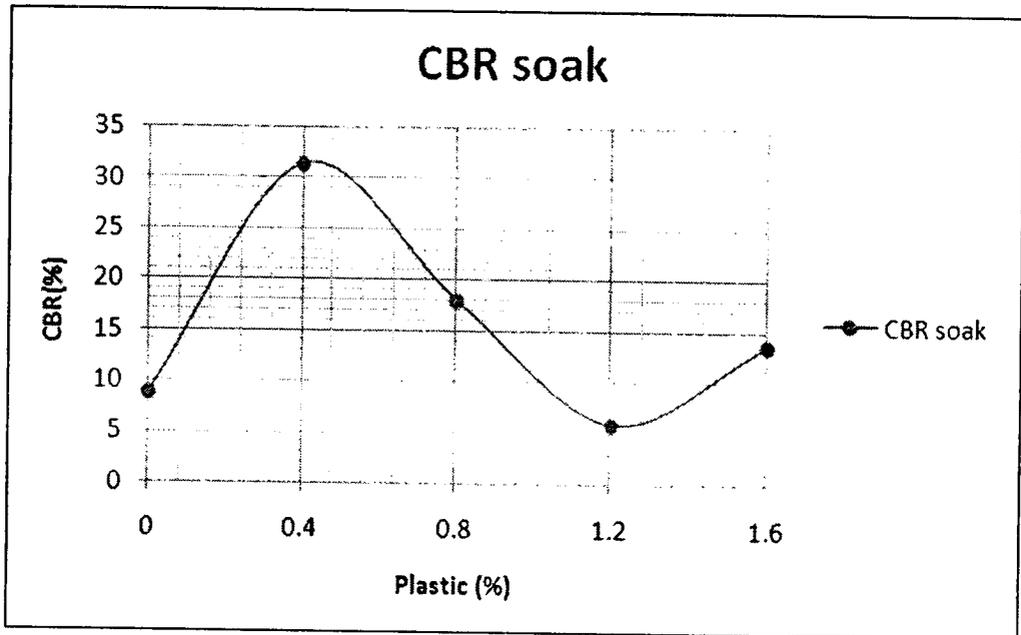
Plastic Percent (%)		0	0.4	0.8	1.2	1.6
CBRunsoak (%)		14	56	35	34	62
CBRsoak (%)		8.8	31.4	18	5.8	13.5
Maximum Dry Density (t/m <sup>3</sup> )		2.11	2.12	2.06	2.06	2.06



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบค่า CBR แบบไม่แช่น้ำ (บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน)

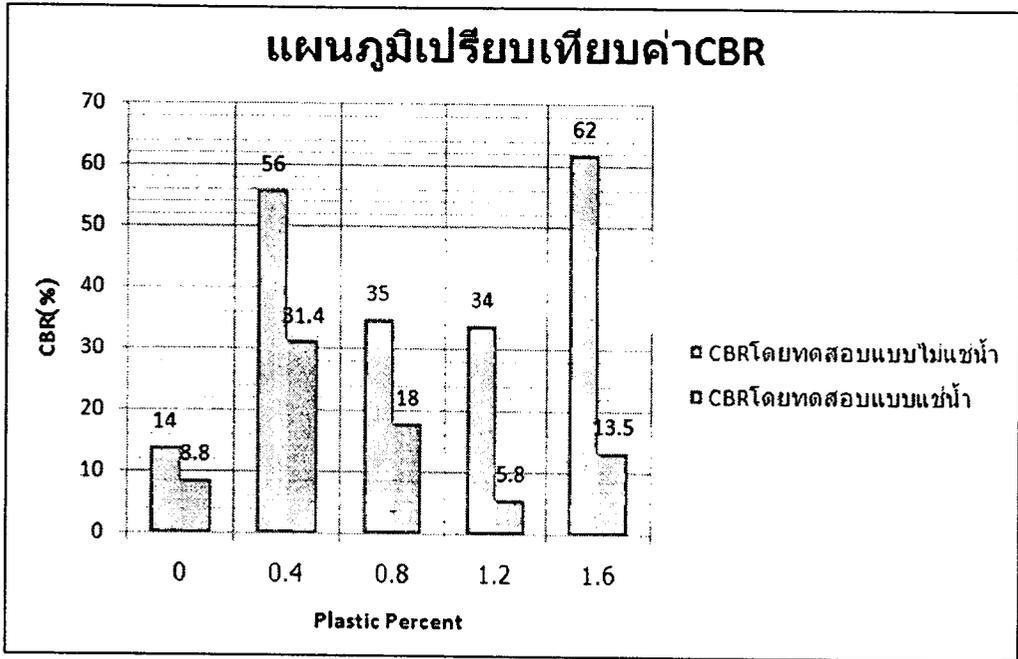
จากรูปที่ 4.2 ผลการทดสอบหาค่า CBR แบบไม่แช่น้ำลักษณะของกำลังที่รับได้มีลักษณะที่ไม่แน่นอนคือมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง และจะสังเกตเห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อทำการผสมพลาสติกเข้าไปในทุกๆอัตราส่วนการผสมทำให้ค่า CBR สูงขึ้นมากกว่าแบบอัตราส่วนผสม 0% จะสังเกตเห็นว่าที่อัตราส่วนการผสมพลาสติก 0.8% และ 1.2% ค่า CBR ที่ได้จะมีค่าลดลงมาเนื่องจากเมื่อผสมพลาสติกเข้าไปเป็นปริมาณมากตามอัตราส่วนการผสมทำให้มีปริมาณดินน้อยลง เมื่อปริมาณดินที่ทำหน้าที่ในการยึดจับพื้นที่ผิวของพลาสติกมีน้อยแล้วนำไปรับกำลังกดจึงสามารถรับกำลังได้ค่อนข้างน้อย และเมื่อผสมพลาสติกเข้าไปที่ 1.6% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณพลาสติกเยอะมากการรับกำลัง

ที่ได้โดยส่วนมากก็จะเป็นตัวพลาสติกที่รับกำลังแทน และอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.4% มีค่า CBR ต่ำกว่าอัตราส่วนผสมพลาสติก 1.6% แต่เนื่องด้วยอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.4% มีปริมาณพลาสติกค่อนข้างน้อยและมีปริมาณดินที่พอเหมาะทำหน้าที่ยึดจับกับผิวพลาสติกได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.4% รับกำลังโดยดินเป็นหลักและเสริมกำลังโดยพลาสติกเป็นอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบค่า CBR แบบแช่น้ำ(บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน)

จากรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่า CBR แบบแช่น้ำลักษณะของการรับกำลังเป็นไปในทำนองเดียวกันกับแบบที่ไม่มีการแช่น้ำ คือ รับกำลังได้ในลักษณะที่ไม่แน่นอนมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จะสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนผสมพลาสติก 1.2% ได้ค่า CBR ต่ำกว่าอัตราส่วนผสมพลาสติก 0% เนื่องจากเมื่อผสมพลาสติกเข้าไปเป็นปริมาณมากจึงทำให้น้ำสามารถซึมเข้าไปในมวลดินได้ค่อนข้างง่ายโดยจะซึมผ่านทางรอยต่อระหว่างผิวดินและผิวพลาสติกทำให้ดินมีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้นและความชื้นแน่นระหว่างเม็ดดินลดน้อยลง และจะเห็นว่าอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.4% ได้ค่า CBR สูงที่สุดเนื่องจากมีปริมาณพลาสติกในปริมาณน้อยและมีปริมาณดินที่พอเหมาะในการยึดจับพื้นที่ผิวของพลาสติกทำให้เมื่อนำไปทดสอบค่า CBR จึงรับกำลังได้มากที่สุด



รูปที่4.4 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า CBR ระหว่างการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ และแบบแช่น้ำ(บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน)

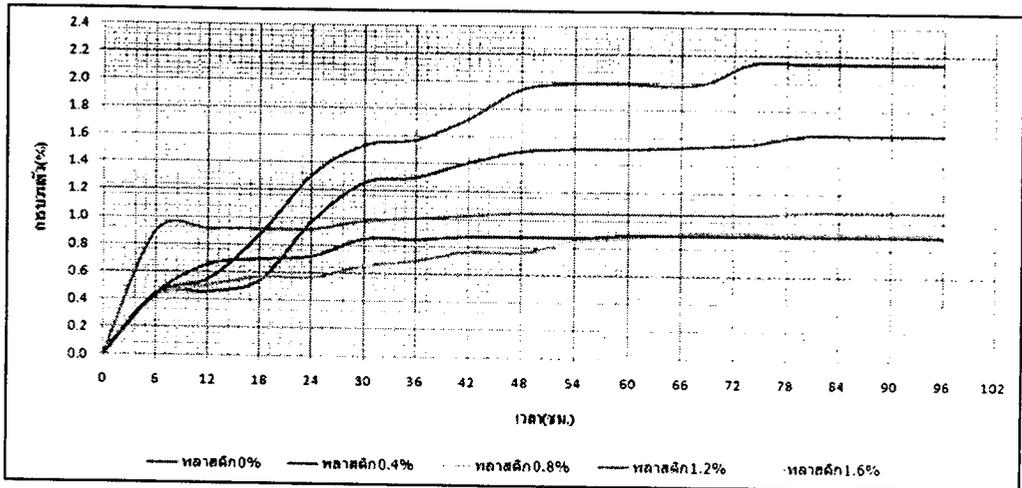
จากรูปที่4.4 จะพบว่าค่า CBR ที่ทำการทดสอบแบบแช่น้ำจะมีค่าน้อยกว่าแบบที่ไม่แช่น้ำ เนื่องจากการทดสอบแบบแช่น้ำ ความชื้นจากภายนอกจะเข้าไปในมวลดินมากขึ้นทำให้ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นเกิดการขยายตัวมีช่องว่างเกิดขึ้นและมีความเขื่อมแน่นน้อยลง เป็นสาเหตุที่ทำให้มีค่า CBR น้อยกว่าแบบที่ไม่แช่น้ำ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า CBR จะสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนผสมพลาสติก 1.2% และ 1.6% ค่า CBR แบบแช่น้ำเมื่อทำการผสมพลาสติกเข้าไป พลาสติกไม่ได้ส่งผลได้ค่า CBR ของดินเพิ่มสูงขึ้นมาได้ และที่อัตราส่วนผสมพลาสติก 0.4% และ 0.8% มีความแตกต่างกันระหว่างค่า CBR แบบแช่น้ำและแบบไม่แช่น้ำค่อนข้างน้อยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน แบบอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.4% มีความแตกต่างกันน้อยสุดเท่ากับ 44% ส่วนแบบอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.8% มีความแตกต่างกันเท่ากับ49% เนื่องจากแบบอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.4% มีค่า CBR ที่สูงกว่าจึงสรุปได้ว่าแบบอัตราส่วนผสมพลาสติก0.4% มีความเหมาะสมที่จะนำมาทำการออกแบบเพื่อรับแรงกดได้ดีที่สุด

ผลการทดสอบการหาอัตราการบวมตัวของ CBRsoak

อัตราการบวมตัว(%)ต่อเวลา(ชม.)พลังงานการบดอัด10ครั้งในทุกๆอัตราส่วนผสมพลาสติก

ตารางที่ 4.5แสดงอัตราการบวมตัว (%) ที่พลังงานการบดอัด 10 ครั้ง ต่อเวลา (96ชม.)

พลาสติก(%)	0	0.4	0.8	1.2	1.6
อัตราการบวมตัว(%)ที่96ชม.	2.14	1.63	0.92	0.90	1.07

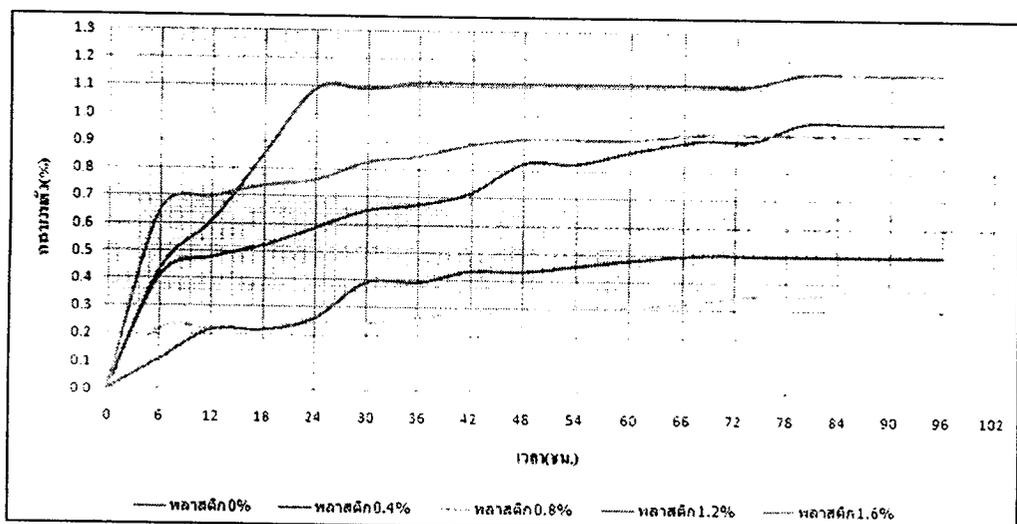


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอัตราการบวมตัว (%) ที่พลังงานการบดอัด 10 ครั้ง ต่อเวลา (ชม.)

จากตารางที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.5 เมื่อผสมพลาสติกเข้าไปในทุกๆอัตราส่วนและให้พลังงานการบดอัด 10 ครั้ง ทำให้อัตราส่วนการบวมตัว (%) ของดินลดน้อยลงได้ในทุกๆอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ไม่ได้ผสมพลาสติก แบบอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.8%, 1.2% และ 1.6% ทำให้ค่าการบวมตัวของดินลดลงไปได้ค่อนข้างมาก จะมีการบวมตัวในระยะเวลา 6 ชม.แรกของการทดลองและค่าการบวมตัวจะเริ่มคงที่ไปจนถึงระยะเวลา 96 ชม. และจากการให้พลังงาน 10 ครั้ง อัตราส่วนผสมพลาสติก 1.2% มีค่าการบวมตัวน้อยที่สุด

อัตราการบวมตัว (%) ต่อเวลา (ชม.) พลังงานการบดอัด 25 ครั้ง ในทุกๆอัตราส่วนผสมพลาสติก ตารางที่ 4.6 แสดงอัตราการบวมตัว (%) ที่พลังงานการบดอัด 25 ครั้ง ต่อเวลา (96 ชม.)

พลาสติก (%)	0	0.4	0.8	1.2	1.6
อัตราการบวมตัว (%) ที่ 96 ชม.	1.16	0.98	0.38	0.50	0.94

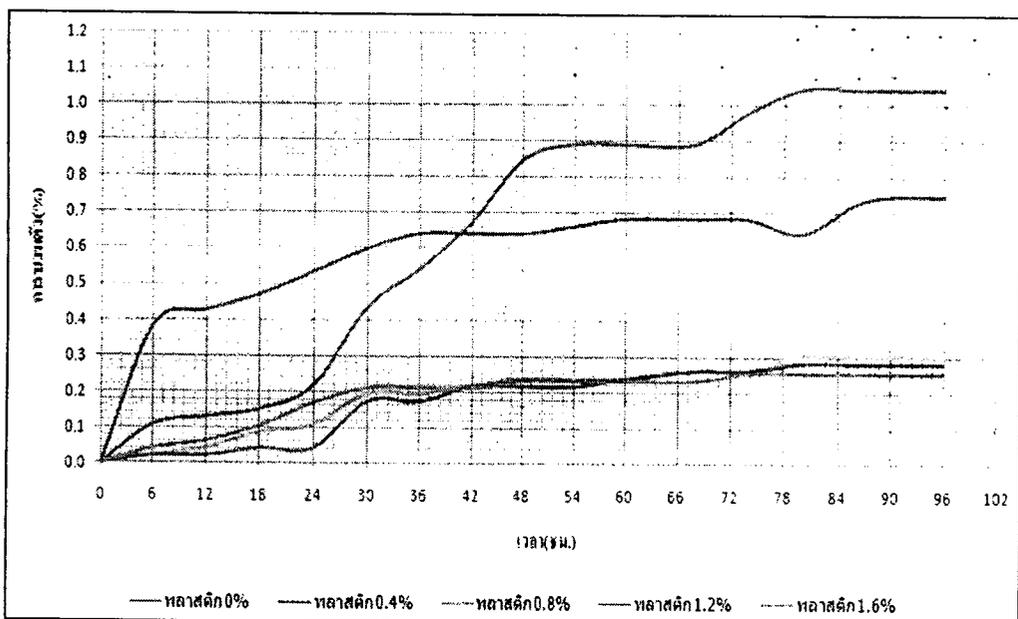


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอัตราการบวมตัว (%) ที่พลังงานการบดอัด 25 ครั้ง ต่อเวลา (ชม.)

จากตารางที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.6 เมื่อผสมพลาสติกเข้าไปในทุกๆอัตราส่วนและให้พลังงานการบดอัด 25 ครั้ง ทำให้อัตราส่วนการบวมตัว (%) ของดินลดน้อยลงได้ในทุกๆอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ไม่ได้ผสมพลาสติกอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.8% และ 1.2% ทำให้ค่าการบวมตัวของดินลดลงไปได้ค่อนข้างมาก จะมีการบวมตัวในระยะเวลา 24 และ 30 ชม.แรกของการทดลองและค่าการบวมตัวจะเริ่มคงที่ไปจนถึงระยะเวลา 96 ชม. แต่จะสังเกตเห็นว่าแบบอัตราส่วนผสมพลาสติก 1.6% มีค่าการบวมตัวสูงขึ้นมาอีกครั้งและจะมีอัตราการบวมตัวที่เพิ่มขึ้นแบบช้าๆ ซึ่งจากข้อนี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณพลาสติกในปริมาณมากก็ไม่ได้ช่วยให้การบวมตัวลดลงได้ดีที่สุดของแต่ละการให้พลังงานการบดอัด เนื่องจากสาเหตุที่ว่าเมื่อมีปริมาณพลาสติกมากทำให้น้ำสามารถซึมผ่านทางรอยต่อระหว่างเม็ดดินและผิวพลาสติกได้หลายจุดทำให้ดินมีปริมาณความชื้นและช่องว่างเพิ่มขึ้นทำให้การบวมตัวเพิ่มขึ้นได้ง่ายและจากการให้พลังงาน 25 ครั้ง อัตราส่วนผสมพลาสติก 0.8% มีค่าการบวมตัวน้อยที่สุด อัตราการบวมตัว(%)ต่อเวลา(ชม.) พลังงานการบดอัด 56 ครั้งใน ทุกๆอัตราส่วนผสมพลาสติก

ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราการบวมตัว (%) ที่พลังงานการบดอัด 56 ครั้ง ต่อเวลา (96 ชม.)

พลาสติก(%)	0	0.4	0.8	1.2	1.6
อัตราการบวมตัว(%)ที่96ชม.	1.05	0.75	0.31	0.28	0.26

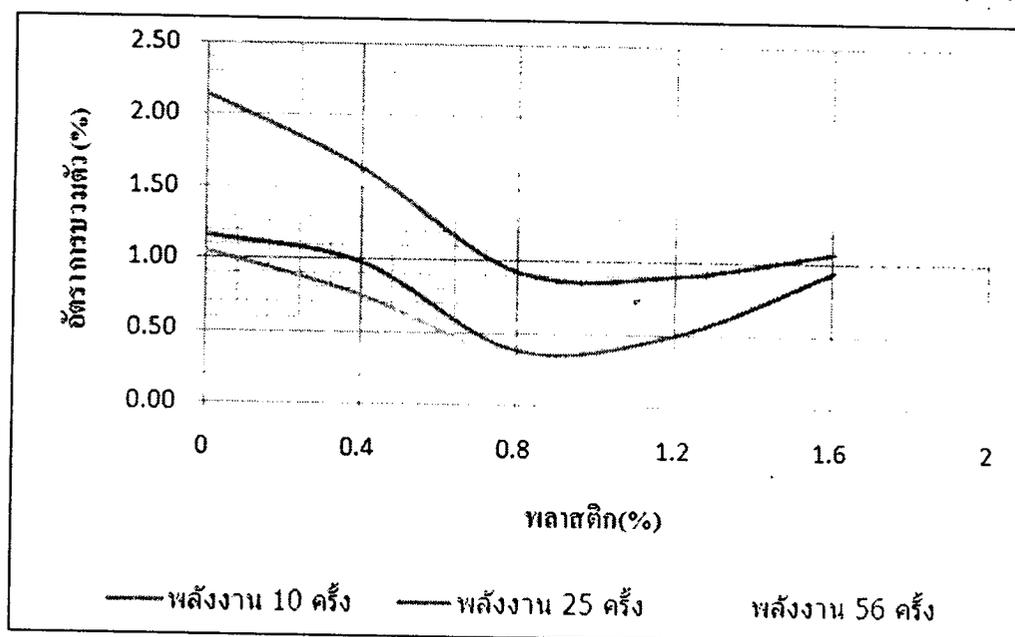


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอัตราการบวมตัว (%) ที่พลังงานการบดอัด 56 ครั้ง ต่อเวลา (ชม.)

จากตารางที่ 4.7 และ รูปที่ 4.7 เมื่อผสมพลาสติกเข้าไปในทุกๆอัตราส่วนและให้พลังงานการบดอัด 56 ครั้ง ทำให้อัตราส่วนการบวมตัว (%) ของดินลดน้อยลงได้ในทุกๆอัตราส่วนผสมเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ไม่ได้ผสมพลาสติก อัตราส่วนผสมพลาสติก 0.8% , 1.2% และ 1.6% ทำให้ค่าการบวมตัวของดินลดลงไปได้ค่อนข้างมากและมีค่าใกล้เคียงกันจะมีการบวมตัวเพิ่มขึ้นแบบช้าๆ ในระยะเวลา 30 ชม.แรกของการทดลองและค่าการบวมตัวจะเริ่มคงที่ไปจนถึงระยะเวลา 96 ชม. แต่จะสังเกตเห็นว่าแบบอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.4% มีค่าการบวมตัวในช่วงระยะเวลา 40 ชม.แรกของการทดลองค่อนข้างสูงกว่าแบบอัตราส่วนที่ไม่มีการผสมพลาสติก และจะมีอัตราการบวมตัวคงที่ไปจนถึงระยะเวลา 96 ชม.จากการให้พลังงาน 56 ครั้ง อัตราส่วนผสมพลาสติก 1.6% มีค่าการบวมตัวน้อยที่สุดอัตราการบวมตัว (%) ที่เวลา 96 ชม.ต่อพลาสติก (%) ของพลังงานการบดอัด 10 ครั้ง, 25 ครั้ง และ 56 ครั้ง

ตารางที่ 4.8 แสดงอัตราการบวมตัว (%) ที่เวลา 96 ชม.ต่อพลาสติก (%)

อัตราการบวมตัว (%) ที่เวลา 96 ชม.			
พลังงาน (ครั้ง)	10	25	56
พลาสติก 0%	2.14	1.16	1.05
พลาสติก 0.4%	1.63	0.98	0.75
พลาสติก 0.8%	0.92	0.38	0.31
พลาสติก 1.2%	0.90	0.50	0.28
พลาสติก 1.6%	1.07	0.94	0.26

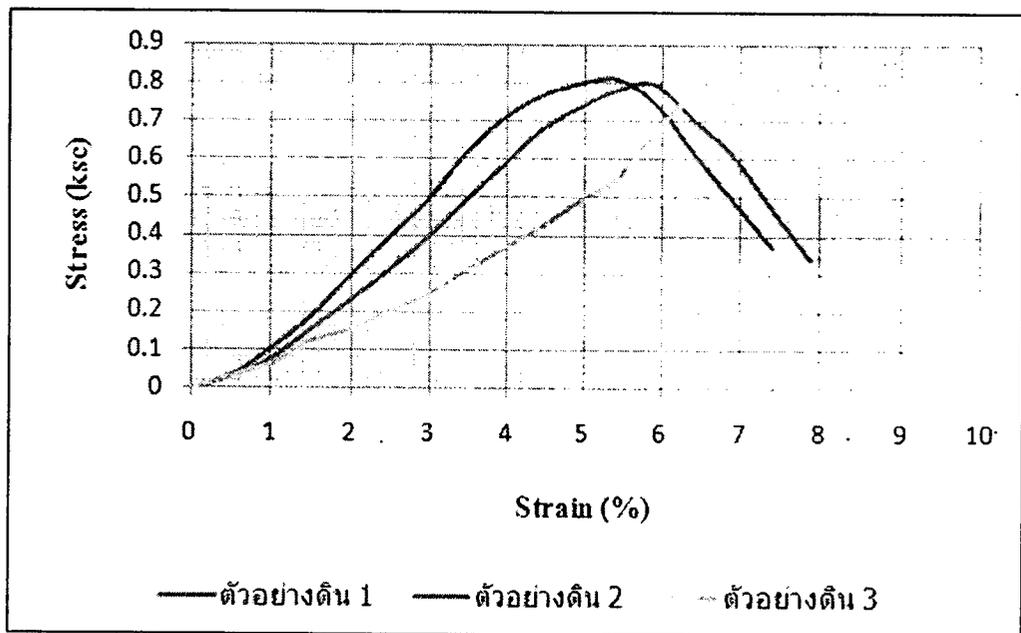


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอัตราการบวมตัว (%) ที่เวลา 96 ชม.ต่อพลาสติก (%)

จากตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.8 เมื่อผสมพลาสติกเข้าไปและให้พลังงานการบดอัด 10 ครั้ง, 25 ครั้ง, 56 ครั้ง ทำให้อัตราส่วนการบวมตัว (%) ของดินลดน้อยลงได้ในทุกๆ อัตราส่วนการผสม โดยที่ การให้พลังงานการบดอัด 10 ครั้ง และ 25 ครั้ง ผสมพลาสติก 1.2% และ 1.6% มีแนวโน้มที่อัตราการบวมตัวจะเพิ่มสูงขึ้นแต่ที่การให้พลังงาน 56 ครั้ง มีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราการบวมตัวลดลงได้อีก และจะสังเกตเห็นว่าที่อัตราส่วนการผสมพลาสติก 0.8% สามารถช่วยลดการบวมตัวของดินได้ดีในทุกแบบของการให้พลังงาน แต่การให้พลังงาน 56 ครั้ง แบบที่ผสมพลาสติก 1.6% สามารถช่วยลดการบวมตัวได้ดีที่สุด

การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด ( Unconfined Compression Test )

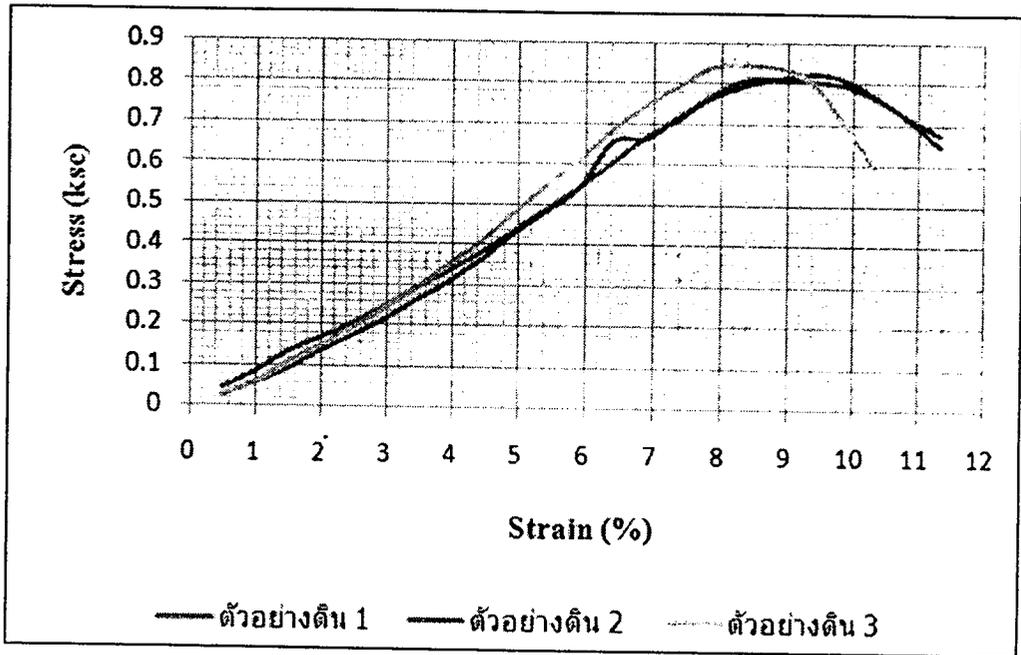
การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดที่การผสมพลาสติก 0% ได้ค่าเฉลี่ย Stress=0.805ksc, Strain=5.6 %



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain ของการผสมพลาสติก 0%

การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดที่การผสมพลาสติก 0.4% ได้ค่าเฉลี่ย

Stress=0.830ksc, Strain=8.72%



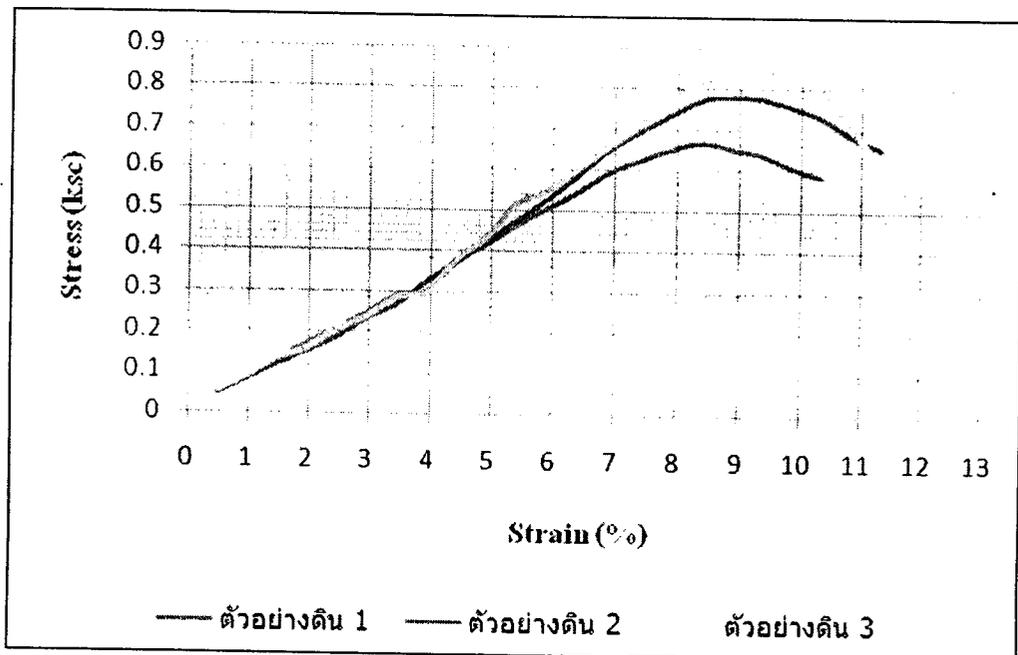
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain ของการผสมพลาสติก 0.4%

การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดที่การผสมพลาสติก

0.8%

ได้ค่าเฉลี่ย

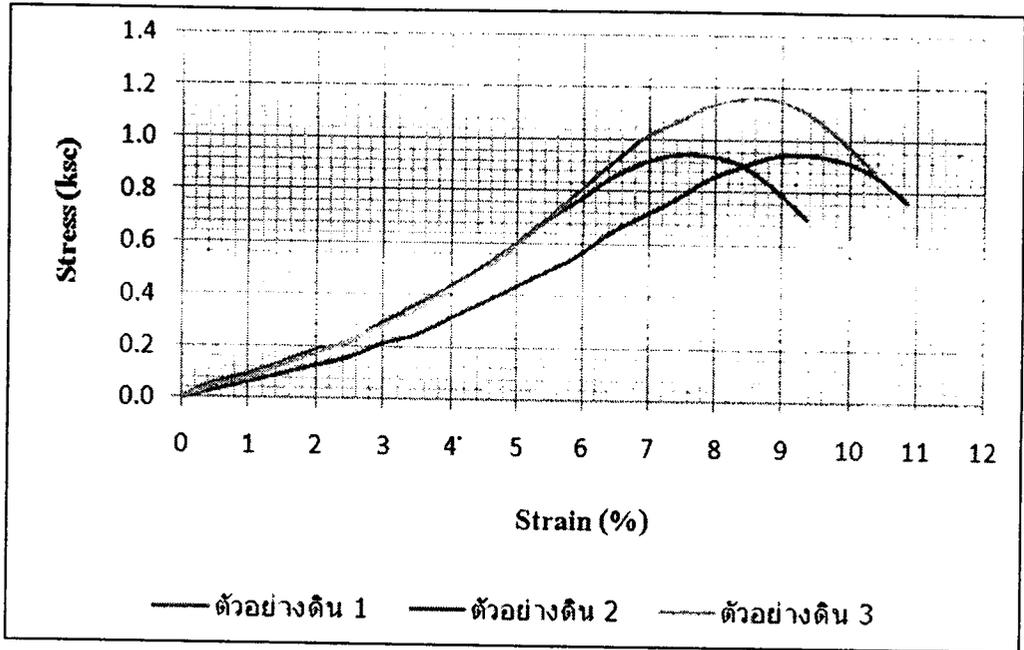
Stress=0.81ksc, Strain=9%



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain ของการผสมพลาสติก 0.8%

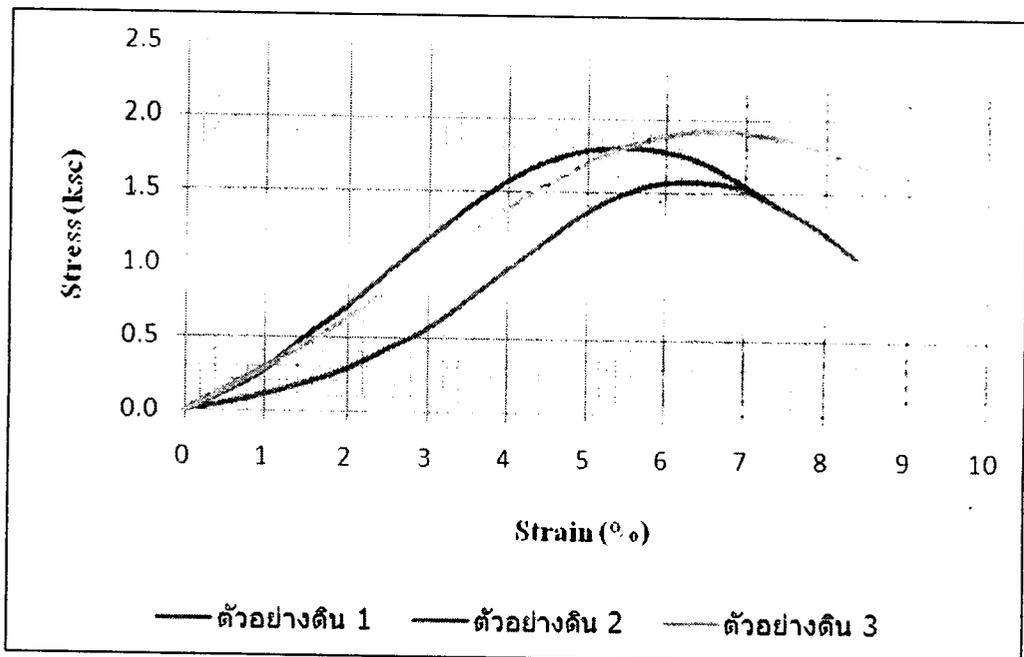
การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดที่การผสมพลาสติก 1.2% ได้ค่าเฉลี่ย

Stress=0.96ksc, Strain=8.40%



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain ของการผสมพลาสติก 1.2%

การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดที่การผสมพลาสติก 1.6% ได้ค่าเฉลี่ย Stress=1.85ksc, Strain=6%



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain ของการผสมพลาสติก 1.6%

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain

Plastic%	Stress (ksc)	Strain (%)
0	0.805	5.60
0.4	0.833	8.72
0.8	0.810	9.00
1.2	0.960	8.40
1.6	1.850	6.00

จากการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดจะเห็นว่าอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.4%, 0.8%, 1.2% และ 1.6% มีค่า Stress เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแบบที่ไม่ได้ผสมพลาสติกเนื่องจากเมื่อผสมพลาสติกเข้าไปพลาสติกมีส่วนช่วยในการยึดรั้งมวลดิน ทำให้รับกำลังได้ดีขึ้นแต่ไม่ได้ช่วยให้มีค่า Strain ลดน้อยลงกว่าแบบที่ไม่ได้ผสมพลาสติกแต่อย่างใดและอัตราส่วนผสมพลาสติก 0.8% มีระยะการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดส่วนอัตราส่วนผสมพลาสติก 1.6% มีค่า Stress มากที่สุดและยังมีค่า Strain ค่อนข้างน้อยแต่จากการทดสอบแบบอัตราส่วนผสม 1.6% ในขั้นตอนการนำตัวอย่างดินออกจากโมลไม่ว่าจะเป็นการดันตัวอย่างดินหรือการเปิดโมลแบบปกติจะสังเกตเห็นรอยร้าวของดิน จึงสรุปว่าตัวอย่างดินไม่มีความสมบูรณ์ สาเหตุของรอยร้าวเกิดจาก เมื่อมีการผสมพลาสติกเข้าไปในปริมาณที่มากจนเกินไปทำให้มีปริมาณดินน้อยความชื้นแน่นของเม็ดดินจึงมีน้อยตามไปด้วย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบอัตราส่วนผสมพลาสติก 1.2% มีค่า Stress มากที่สุด และค่า Strain ค่อนข้างน้อย