การป้องกันสารพิษจากบ่อฝังกลบขยะซึมลงน้ำใต้ดิน โดยใช้น้ำยางธรรมชาติ

Prevention of Toxic Seepage from a Landfill to Groundwater Using Natural Latex

ประชุม คำพุฒ[1/] และกิตติพงษ์ สุวีโร[1/]

Prachoom Khamput[1/] and Kittipong Suweero[1/]

Abstract: This research aims to study the development of compacted clay liner of landfill using natural latex. High plasticity inorganic clay is mixed with natural latex in 5 different ratios: 0, 2.5, 5, 7.5 and 10% by weight of clay. From physical, mechanical, and cracking tests, it was found that the natural latex could improve the properties of compacted clay liner such as higher unconfined compression, lower water permeability, higher dry and wet density, and lower crackability. The appropriate amount of natural latex by weight of clay that could improve the satisfying properties and cost of compacted clay liner is 5%. Moreover, the natural latex could reduce the leachate from compacted clay liner of landfill to environment.

Keywords: Landfill, compacted clay liner, clay, natural rubber, leachate

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาชั้นดินเหนียวบดอัดของบ่อฝังกลบขยะด้วยน้ำยางธรรมชาติ โดยใช้ดินเหนียวอนินทรีย์ที่มีความเหนียวสูงผสมเข้ากับน้ำยางธรรมชาติ รวม 5 อัตราส่วน คือ ปริมาณร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5, และ10 ของน้ำหนักดินเหนียว ทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และการแตกร้าว พบว่า น้ำยางธรรมชาติสามารถพัฒนาสมบัติต่าง ๆ ของชั้นดินเหนียวบดอัดให้ดีขึ้น ได้แก่ ความต้านทานแรงอัดแกนเดียวดีขึ้น, การซึมผ่านของน้ำลดลง, ความหนาแน่นแห้งและเปียกเพิ่มขึ้น และการแตกร้าวลดลงอย่างมาก โดยปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมในการพัฒนาชั้นดินเหนียวบดอัดของบ่อฝังกลบขยะ คือ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินเหนียว เนื่องจากเป็นปริมาณที่ได้ชั้นดินเหนียวบดอัดซึ่งมีสมบัติต่าง ๆ และต้นทุนเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้การพัฒนาชั้นดินเหนียวบดอัดด้วยน้ำยางธรรมชาติ สามารถช่วยลดรอยแตกร้าวหรือช่องว่างด้านบนของบ่อฝังกลบขยะ ทำให้น้ำชะขยะมีปริมาณลดลง รวมทั้งช่วยในการลดการซึมผ่านของน้ำชะขยะที่อาจซึมออกมาจากบ่อฝังกลบขยะและเกิดเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ดี

คำสำคัญ: บ่อฝังกลบขยะ ชั้นดินเหนียวบดอัด ดินเหนียว น้ำยางธรรมชาติ น้ำชะขยะ

[1/]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

[1/]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

คำนำ

การเพิ่มขึ้นของขยะมูลฝอย (municipal solid wastes) ในปัจจุบันเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของทุกประเทศในโลก โดยเฉพาะประเทศแถบเอเชีย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจ และการเติบโตของอุตสาหกรรม ดังจะเห็นได้จากปริมาณขยะของประเทศไทยที่ปัจจุบันมีประมาณ 0.75 – 1.00 กิโลกรัม / คน / วัน ถ้าไม่มีวิธีหรือระบบการบริหารจัดการที่ดี ขยะมูลฝอยก็จะเป็นตัวการหลักที่จะลดความน่าอยู่ของประเทศไทยลงไป โดยวิธีทั่วไปที่นิยมและเป็นที่ยอมรับของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกในการกำจัดปัญหานี้ คือ การฝังขยะมูลฝอยลงในบ่อฝังกลบขยะ (landfill) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักได้แก่ ชั้นดินเดิม (natural soil) ชั้นดินเหนียวบดอัด (compacted clay liner) ชั้นกรวด (gravel) และชั้นขยะมูลฝอย (municipal solid wastes) โดยส่วนประกอบที่ถือได้ว่ามีความสำคัญมากของบ่อฝังกลบ คือ ชั้นดินเหนียวบดอัด ในต่างประเทศชั้นดินเหนียวบดอัดนี้ จะทำหน้าที่ป้องกันการซึมผ่านของมลภาวะต่าง ๆ ได้โดยไม่ค่อยพบปัญหา แต่สำหรับประเทศไทยนั้นชั้นดินเหนียวบดอัดมักเกิดปัญหาการแตกร้าวภายหลังการบดอัด โดยเฉพาะชั้นดินเหนียวบดอัดที่อยู่ด้านบนของบ่อฝังกลบขยะ ทั้งนี้เนื่องจากภูมิอากาศของประเทศไทยและต่างประเทศที่มีความแตกต่างกัน ประเทศไทยมีภูมิอากาศที่ร้อนอย่างมากทำให้ดินเหนียวที่ทำการบดอัดเกิดพฤติกรรมการหดตัวคายน้ำ (shrinkage) อย่างรุนแรง (บรรชา และคณะ, 2550; ศิริชัย, 2548) ส่งผลต่อการแตกร้าวของดินเหนียว น้ำฝนจึงสามารถซึมผ่านชั้นฝาครอบดินเหนียวบดอัดด้านบน (ภาพที่ 1) เกิดเป็นปริมาณน้ำชะขยะ (leachate) ที่มากเกินไป และนำมาสู่การรั่วไหลของมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นการปะปนในแหล่งน้ำใต้ดิน ในอากาศ หรือกลายเป็นที่อาศัยของสัตว์มีพิษ อย่างไรก็ตามบ่อฝังกลบขยะบางประเภทก็มีการเพิ่ม ชั้นพลาสติก (geomembrane) เพื่อแก้ไขปัญหาการแตกร้าวของชั้นดินเหนียวบดอัดนี้ แต่ก็ไม่สามารถครอบคลุมบ่อฝังกลบขยะได้ทั้งหมดเหมือนกับชั้นดินเหนียวบดอัด รวมทั้งมีราคาแพง และต้องมีการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ตลอดจนมีกระบวนการผลิตที่สิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนของมลภาวะจากการแตกร้าวของชั้นดินเหนียวบดอัดในการฝังขยะลงในบ่อฝังกลบขยะ จึงควรมีการพัฒนาให้ชั้นดินเหนียวบดอัดเกิดการแตกร้าวให้น้อยที่สุดหรือไม่เกิดขึ้นเลย จากงานวิจัยที่ผ่านมาของผู้วิจัยพบว่า น้ำยางธรรมชาติเมื่อผสมลงในวัสดุจำพวกคอนกรีต และดินเหนียวต่าง ๆ ในปริมาณที่เหมาะสมนั้น สามารถช่วยเพิ่มสมบัติด้านกำลังดึง กำลังอัด กำลังดัด และลดการดูดซึมน้ำได้ (ประชุม, 2549; สิทธิชัย และคณะ, 2548; อรสา, 2535; Ohama, 1987) เนื่องจากวัสดุที่มีความพรุน จะมีการซึมผ่านน้ำมาก (นันทชัย, 2556) น้ำยางธรรมชาติที่มีสมบัติทึบน้ำ จึงสามารถแทรกตัวเข้าไประหว่างอนุภาคเพื่อลดช่องว่าง และเพิ่มการยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ จากสมบัติดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ที่ชั้นดินเหนียวบดอัดที่มีการผสมน้ำยางธรรมชาติ จะสามารถลดการเพิ่มปริมาณและการซึมผ่านของน้ำชะขยะที่ล้นผ่านออกมาทางรอยแตกของชั้นฝาครอบดินเหนียวบดอัดด้านบนได้ อันจะช่วยป้องกันการปะปนของสารมลพิษที่เกิดจากการฝังขยะลงในบ่อฝังกลบขยะสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะแหล่งน้ำใต้ดินได้เป็นอย่างดี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางกล และการแตกร้าวของดินเหนียวบดอัดที่มีการผสมน้ำยางธรรมชาติ สำหรับป้องกันสารพิษจากบ่อฝังกลบขยะซึมลงน้ำใต้ดิน

Figure 1 The big cracking of compacted clay liner (top soil) of landfill

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

1) การเตรียมน้ำยางธรรมชาติที่นำมาใช้ในงานดินเหนียวบดอัดเป็นน้ำยาง “ข้น” ชนิดแอมโมเนียสูง หรือ HA (High Ammonia) ที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด โดยไม่ผสมสารเคมีอื่นเพิ่มในน้ำยาง

2) การคำนวณเพื่อแปรปริมาณของเนื้อยางที่อยู่ในน้ำยางธรรมชาติ จะอยู่บนฐานของค่า % TSC (total solid content) เป็นหลัก ดังสมการที่ (1) เนื่องจากมีความสะดวกในการทดสอบมากกว่าค่า % DRC (dry rubber content) (อรสา, 2535)

$$\% TSC = \{1-[(W_1-W_2) / (W_1)]\}\times 100 \quad \text{----------(1)}$$

เมื่อ %TSC คือ ร้อยละของสารที่เป็นของแข็งทั้งหมด

W_1 คือ น้ำหนักของยางธรรมชาติสดก่อนอบ (น้ำหนักเปียก)

W_2 คือ น้ำหนักของยางธรรมชาติหลังอบ (น้ำหนักแห้ง)

3) การเตรียมดินเหนียวบดอัดสำหรับงานบ่อฝังกลบขยะใช้ดินเหนียว ชนิด CH

2. การเตรียมตัวอย่างดินเหนียวบดอัดผสมน้ำยางธรรมชาติ

1) ทำการทดสอบชนิดและสมบัติเบื้องต้นของดินเหนียวที่จะนำมาบดอัด ได้แก่ natural moisture content determination test (ASTM D 2216), Atterberg limit test (ASTM D 4318), specific gravity test (ASTM D 854) และ hydrometer test (ASTM D 422) (ASTM, 2010) โดยกำหนดให้ใช้ตัวอย่างทดสอบ การทดสอบละ 5 ตัวอย่าง

2) ทำการหาอัตราส่วนของดินเหนียวและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปดินเหนียวบดอัด โดยการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียว ได้แก่ natural moisture content determination test (ASTM D 2216) และ compression test (ASTM D 698) (ASTM, 2010) โดยกำหนดให้ใช้ตัวอย่างทดสอบ ความชื้นละ 10 ตัวอย่าง

3) ออกแบบอัตราส่วนของดินเหนียวบดอัดที่มีส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติ อย่างน้อย 4 อัตราส่วน เริ่มจากอัตราส่วนที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติเพียงเล็กน้อยไปจนถึงอัตราส่วนที่มีน้ำยางธรรมชาติมาก โดยทุกอัตราส่วนให้คำนึงถึงปริมาณน้ำและเนื้อของยางธรรมชาติด้วย โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างดินเหนียวบดอัด ให้ใช้ปริมาณน้ำรวมกับปริมาณน้ำในน้ำยางธรรมชาติแล้วได้ค่ากำลังอัดสูงสุด (Optimum Moisture Content, OMC)

3. การทดสอบตัวอย่างดินเหนียวบดอัดผสมน้ำยางธรรมชาติ

1) ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของดินเหนียวบดอัดที่มีส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติ ได้แก่ unconfined compression test (ASTM D 2166), permeability test (ASTM D 2434), compression test

(ASTM D 698) และ sand cone test (ASTM D 1556) (ASTM, 2010) ใช้ตัวอย่างทดสอบ อัตราส่วนละ 10 ตัวอย่าง

2) ทำการทดสอบการแตกร้าวในสถานที่จำลองของดินเหนียวบดอัดที่มีการผสมน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ ภายใต้สภาพภูมิอากาศจริงในช่วงฤดูหนาว – ร้อน ซึ่งเป็นช่วงที่ดินเหนียวมักจะสูญเสียความชื้นและเกิดการแตกร้าวเป็นอย่างมาก

4. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้านต้นทุน

ทำการวิเคราะห์ต้นทุน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของดินเหนียวบดอัดที่ผสมน้ำยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับดินเหนียวบดอัดทั่วไป เพื่อสรุปว่าน้ำยางธรรมชาติที่ผสมลงในดินเหนียวบดอัดสำหรับงานบ่อฝังกลบขยะ สามารถช่วยแก้ไขปัญหาการแตกร้าว ตลอดจนเพิ่มสมบัติทางกายภาพและทางกลได้คุ้มค่ากับต้นทุนหรือไม่

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สมบัติเบื้องต้นของดินเหนียวที่จะนำมาบดอัด

จากการสำรวจชั้นดิน ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี สามารถสรุปชั้นดิน และสมบัติเบื้องต้นของดินเหนียวได้ ดังภาพที่ 2

การเก็บตัวอย่างดินเหนียวสีน้ำตาล (brown clay) ที่ระดับความลึก 0.50 – 1.50 เมตร จากผิวดิน สำหรับใช้ในการบดอัดชั้นดินเหนียว สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 1

2. อัตราส่วนของดินเหนียวและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปดินเหนียวบดอัด

ส่วนของการทดสอบการบดอัดหรือการหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดดินเหนียว โดยใช้การทดสอบ compression test (ASTM D 698) สามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 3

จากผลการทดสอบการบดอัดเฉลี่ยของดินเหนียวที่จะนำมาบดอัดหรือ compression test (ASTM D 698) พบว่า ความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดดินเหนียว (OMC) เท่ากับ ร้อยละ 28.3 โดยมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด เท่ากับ 1.443 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3. การออกแบบอัตราส่วนของดินเหนียวบดอัดที่มีส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติ

การออกแบบอัตราส่วนของดินเหนียวบดอัดที่มีส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติ อย่างน้อย 4 อัตราส่วน เริ่มจากอัตราส่วนที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติเพียงเล็กน้อย ไปจนถึงอัตราส่วนที่มีน้ำยางธรรมชาติมาก โดยทุกอัตราส่วนให้คำนึงถึงปริมาณน้ำและเนื้อของยางธรรมชาติ ควบคุมความแน่นของการบดอัดจากน้ำหนักของดิน และปริมาณน้ำให้ใช้ปริมาณน้ำรวมกับปริมาณน้ำในน้ำยางธรรมชาติ แล้วได้ค่ากำลังอัดสูงสุด (OMC) สามารถสรุปเป็นอัตราส่วนของดินเหนียวผสมน้ำยางธรรมชาติ จำนวน 4 อัตราส่วน รวมกับอัตราส่วนดินเหนียวบดอัดที่ไม่ผสมน้ำยางธรรมชาติ อีกจำนวน 1 อัตราส่วน รวมเป็นทั้งหมด 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 2

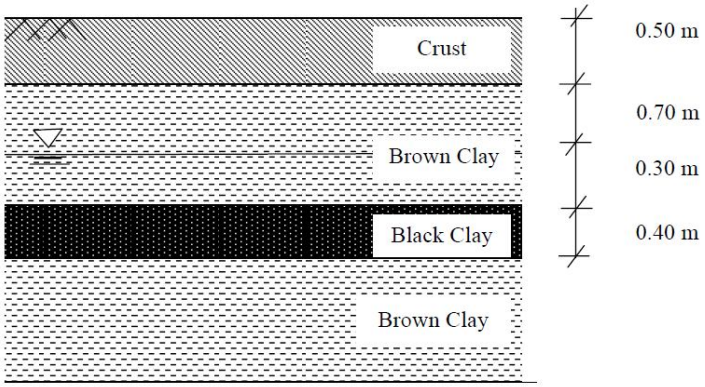

Figure 2 The soil profile at Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Table 1 The properties of clay which was compacted

Clay Properties	Average Values
Natural moisture content test (ASTM D 2216)	48.58 %
Liquid limit test, W_L (ASTM D 4318)	64 %
Plastic limit test, W_P (ASTM D 4318)	29.2 %
Plasticity index test, PI (ASTM D 4318)	35.4 %
Specific gravity test (ASTM D 854)	2.69
Hydrometer test (ASTM D 422)	97.6 % (Passed sieve #200)
Soil classification (USCS)	CH

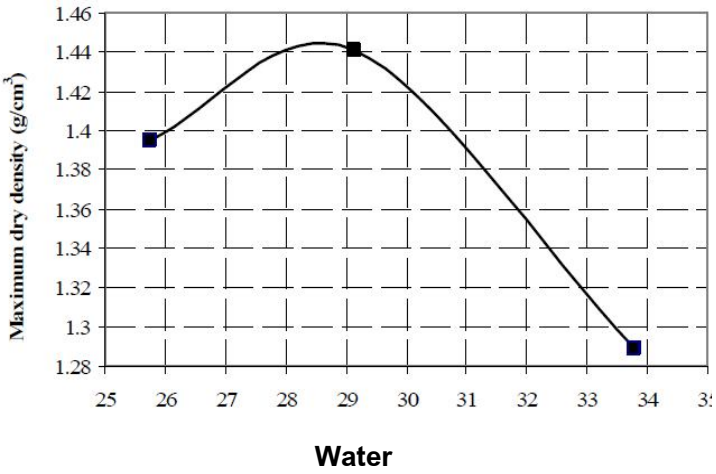

Figure 3 The compression test result of the clay which was compacted

Figure 4 The mixing of natural latex and clay

Table 2 The ratios of clay mixed with natural latex

Ratios	Clay	Natural latex	Water in latex + Water
NR0.000	1	-	0.283
NR0.025	1	0.025	0.258
NR0.050	1	0.050	0.233
NR0.075	1	0.075	0.208
NR0.100	1	0.10	0.183

ทั้งนี้กระบวนการผสมน้ำยางธรรมชาติลงในดินเหนียว สามารถทำได้โดยเริ่มจากการเทน้ำยางธรรมชาติและน้ำประปาลงในดินเหนียว แล้วจึงผสมให้เข้ากันด้วยอุปกรณ์ผสมปูนทั่ว ๆ ไป ร่วมกับการย่ำด้วยเท้า ส่วนการบดอัดชั้นดินเหนียว ทำได้โดยการใช้เครื่องจักรกล เช่น รถแบ็คโฮ และเครื่องบดอัดแบบสั่นสะเทือน เป็นต้น

4. การทดสอบตัวอย่างดินเหนียวบดอัดผสมน้ำยางธรรมชาติ

เมื่อทำการผสมน้ำยางธรรมชาติในดินเหนียวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวบดอัด สรุปผลได้ดังภาพที่ 5 และตารางที่ 3

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลในงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่า น้ำยางธรรมชาติ สามารถพัฒนาสมบัติของชั้นดินเหนียวบดอัดได้ดี โดยดินเหนียวผสมน้ำยางธรรมชาติ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักดินเหนียวให้สมบัติทางกายภาพและทางกลของชั้นดินเหนียวบดอัดดีที่สุด รองลงมาคือ ร้อยละ 7.5, 5, 2.5, และ 0 มีสมบัติด้อยที่สุด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการผสมปริมาณน้ำยางธรรมชาติ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินเหนียวก็เพียงพอต่อการพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกล และการลดการแตกร้าวของชั้นดินเหนียวบดอัดได้ดี

5. การทดสอบการแตกร้าวในสถานที่จำลองของดินเหนียวบดอัดที่มีการผสมน้ำยางธรรมชาติ

ทำการทดสอบการแตกร้าวในสถานที่จำลองของดินเหนียวบดอัดที่มีการผสมน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ ภายใต้สภาพภูมิอากาศจริงในช่วงฤดูหนาว – ร้อน ซึ่งเป็นช่วงที่ดินเหนียวมักจะสูญเสียความชื้นและเกิดการแตกร้าวเป็นอย่างมาก โดยบ่อฝังกลบขยะจำลองที่ทำการทดสอบการแตกร้าวของชั้นดินเหนียวบดอัด สรุปได้ดังภาพที่ 6 และตารางที่ 4

จากผลการทดสอบการแตกร้าวในสถานที่จำลองของดินเหนียวบดอัดที่มีการผสมน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ ภายใต้สภาพภูมิอากาศจริงในช่วงฤดูหนาว – ร้อน หรือ เดือนกุมภาพันธ์ – พฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ดินเหนียวมักจะสูญเสียความชื้นและเกิดการแตกร้าวจากพฤติกรรมการหดตัวคายน้ำ (shrinkage) อย่างมาก พบว่า ชั้นดินเหนียวบดอัดที่ไม่มีการผสมน้ำยางธรรมชาติจะมีการแตกร้าวในทุกช่วงเวลา โดยการแตกร้าวจะลดลงเมื่อมีการผสมน้ำยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่สามารถลดการแตกร้าวได้ คือ ตั้งแต่ร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินเหนียวที่ใช้ขึ้นไป ทั้งนี้เป็นผลมาจากน้ำยางธรรมชาติที่ใช้หลังจากผสมดินเหนียวแล้ว จะหมดสภาพการเป็นน้ำยาง คงเป็นตัวยางที่ผสมเข้ากันกับเนื้อดิน ช่วยยึดเหนี่ยวอนุภาคเม็ดดิน (บรรชา และคณะ, 2550) และช่วยลดการสูญเสียความชื้นของดินเหนียวบดอัดได้ การแตกร้าวจึงลดลง

6. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้านต้นทุน

จากผลการวิเคราะห์ต้นทุนของดินเหนียวบดอัดทั้งที่ผสมและไม่ผสมน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งนำมาทำเป็นชั้นดินเหนียวบดอัดของบ่อฝังกลบขยะ ขนาดความหนา 30 เซนติเมตร สามารถสรุปเป็นรายละเอียดได้ ดังตารางที่ 5

Figure 5 The unconfined compression test of compacted clay liners

Table 3 The physical and mechanical properties of compacted clay liners

Ratios / Properties	NR0.000	NR0.025	NR0.050	NR0.075	NR0.100
Unconfined compression test (ASTM D 2166)	175 (kPa)	191 (kPa)	205 (kPa)	223 (kPa)	247 (kPa)
Permeability test (ASTM D 2434)	6.31×10^{-7} (cm/s)	3.32×10^{-7} (cm/s)	1.87×10^{-7} (cm/s)	3.95×10^{-8} (cm/s)	1.19×10^{-8} (cm/s)
Compression test (ASTM D 698)	1.492 (g/cm^3) (OMC=28.3%)	1.494 (g/cm^3) (OMC=28.3%)	1.503 (g/cm^3) (OMC=28.3%)	1.514 (g/cm^3) (OMC=28.3%)	1.517 (g/cm^3) (OMC=28.3%)
Sand cone test (ASTM D 1556)	1.492 (g/cm^3) 1.942 (g/cm^3)	1.494 (g/cm^3) 1.954 (g/cm^3)	1.503 (g/cm^3) 1.963 (g/cm^3)	1.514 (g/cm^3) 1.974 (g/cm^3)	1.517 (g/cm^3) 1.977 (g/cm^3)

Figure 6 The compacted clay liner (top soil) of landfill which was mixed with natural latex

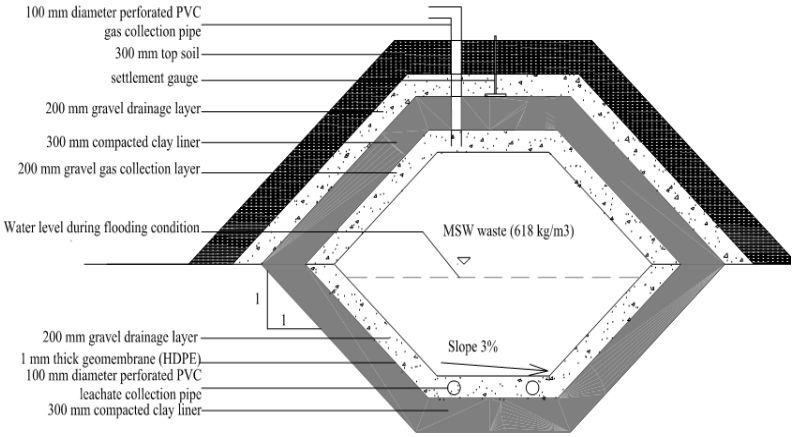

Figure 7 The components of landfill

Table 4 The cracking of compacted clay liners (top soil) in field test

Ratios	Cracking in February 2012	Cracking in March 2012	Cracking in April 2012	Cracking in May 2012
NR0.000	Big cracking	Big cracking	Big cracking	Big cracking
NR0.025	Slight cracking	Slight cracking	Slight cracking	Slight cracking
NR0.050	No cracking	No cracking	No cracking	No cracking
NR0.075	No cracking	No cracking	No cracking	No cracking
NR0.100	No cracking	No cracking	No cracking	No cracking

Table 5 The cost analysis of compacted clay liners (top soil) which were mixed with natural latex

Cost \ Ratios	NR0.000	NR0.025	NR0.050	NR0.075	NR0.100
Clay cost ($Baht/m^2$) ($200 Baht/ m^3$)	70	70	70	70	70
Concentrated latex ($Baht/ m^2$) (40 Baht/kg)	0	300	600	900	1,200
Sanitary water ($Baht/ m^2$) (0.001 Bath/liter)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Labor and tool cost ($Baht/ m^2$) (8,000 Baht/day)	300	300	300	300	300
Total cost ($Baht/ m^2$)	370.5	670.5	970.5	1,270.5	1,570.5

ต้นทุนการผสมน้ำยางธรรมชาติลงในดินเหนียวเพื่อบดอัดเป็นชั้นดินเหนียวบดอัดของบ่อฝังกลบขยะนั้น พบว่า ส่วนใหญ่แปรผันตามปริมาณของน้ำยางธรรมชาติที่ผสม ซึ่งมีผลต่อการเลือกปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานจริง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาต้นทุนร่วมกับสมบัติทางกายภาพและทางกลของดินเหนียวบดอัด ทั้งที่ผสมและไม่ผสมน้ำยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่า การผสมปริมาณน้ำยางธรรมชาติ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินเหนียว เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากเพียงพอต่อการพัฒนาสมบัติทางกายภาพ และทางกล ตลอดจนการลดการแตกร้าวของชั้นดินเหนียวบดอัด และมีต้นทุนที่ไม่สูงมากจนเกินไป

สรุป

การผสมน้ำยางธรรมชาติลงในดินเหนียวเพื่อทำการบดอัดเป็นชั้นดินเหนียวบดอัดสำหรับงานบ่อฝังกลบขยะสามารถพัฒนาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ความต้านทานแรงอัดแกนเดียวดีขึ้น, การซึมผ่านของน้ำลดลง, ความหนาแน่นแห้งและเปียกเพิ่มขึ้น และการแตกร้าวลดลงอย่างมาก โดยปริมาณน้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมในการพัฒนาชั้นดินเหนียวบดอัดของบ่อฝังกลบขยะ คือ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินเหนียว เนื่องจากเป็นปริมาณที่ได้ชั้นดินเหนียวบดอัดซึ่งมีสมบัติต่าง ๆ และต้นทุนเป็นที่น่าพอใจ ทั้งนี้การพัฒนาชั้นดินเหนียวบดอัดด้วยน้ำยางธรรมชาติสามารถช่วยลดรอยแตกร้าวหรือช่องว่างด้านบนของบ่อฝังกลบขยะ ทำให้น้ำชะขยะมีปริมาณลดลง รวมทั้งช่วยในการลดการซึมผ่านของน้ำชะขยะที่อาจซึมออกมาจากบ่อฝังกลบขยะและเกิดเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ดี จากราคาของน้ำยางธรรมชาติที่มีความผันผวนส่งผลต่อต้นทุนชั้นดินเหนียวบดอัดของบ่อฝังกลบขยะซึ่งผสมน้ำยางธรรมชาติที่อาจสูงเกินไป ควรมีการพัฒนาชั้นดินเหนียวบดอัดให้มีปริมาณการผสมน้ำยางธรรมชาติที่ลดต่ำลง โดยการผสมเส้นใยธรรมชาติซึ่งมีราคาถูกเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้น้ำยางธรรมชาติและลดต้นทุนการก่อสร้างชั้นดินเหนียวบดอัดของบ่อฝังกลบขยะ และยังคงประสิทธิภาพในการป้องกันการแพร่กระจายของมลพิษจากการซึมออกของน้ำชะขยะได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ประจำปี พ.ศ. 2553 ผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

นันทชัย ชูศิลป์. 2556. หน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์มน้ำมัน. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1(1): 97-106.

บรรชา เงินยวง พงษ์สยาม โสมาบุตร พรชนก วิรัตน์ธรรม และมานิตย์ จันนาคา. 2550. การปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเหนียวด้วยน้ำยางธรรมชาติ. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพฯ.

ประชุม คำพุฒ. 2549. การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

ศิริชัย ห่วงจริง. 2548. การปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบขอนแก่นโดยยางธรรมชาติเพื่องานการทาง. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สิทธิชัย ศิริพันธุ์ พิทักษ์ บุญนุ่น กิจถาวร โลหะ และอนุรักษ์ กำเนิดว้ำ. 2548. การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต. เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10. หน้า 205 –210. *ใน:* โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้จอมเทียน จ.ชลบุรี.

อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย. 2535. การผสมสารเคมีลงในน้ำยางเพื่อให้ได้ความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด. รายงานผลการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, ปัตตานี.

ASTM. 2010. Annual Book of ASTM Standard. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

Ohama, Y. 1987. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes. ACI Materials Journal. 84(16): 511-518.