การศึกษาผลของแบคทีเรียเดกซ์ทรานต่อการลดการไหลของน้ำในดิน เพื่อการปรับปรุงดินอย่างยั่งยืน

INVESTIGATING BACTERIAL DEXTRAN EFFECTS ON PERMEABILITY REDUCTION FOR MORE SUSTAINABLE GROUND IMPROVEMENT

กชกร วัฒนมีแก้ว

วรรณิศา ต๊ะปัญญา

สุดารัตน์ สุริยา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การศึกษาผลของแบคทีเรียเดกซ์ทรานต่อการลดการไหลของน้ำในดิน เพื่อการปรับปรุงดินอย่างยั่งยืน

INVESTIGATING BACTERIAL DEXTRAN EFFECTS ON PERMEABILITY REDUCTION FOR MORE SUSTAINABLE GROUND IMPROVEMENT

กชกร วัฒนมีแก้ว

วรรณิศา ต๊ะปัญญา

สุดารัตน์ สุริยา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVESTIGATING BACTERIAL DEXTRAN EFFECTS ON PERMEABILITY REDUCTION FOR MORE SUSTAINABLE GROUND IMPROVEMENT

KOTCHAKORN WATTANAMEEKEAW
WUNNISA TAPANYA
SUDARAT SURIYA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาผลของแบคทีเรียเดกซ์ทรานต่อการลดการไหลของน้ำในดินเพื่อการปรับปรุงดินอย่างยั่งยืน

Investigating bacterial dextran effects on soil permeability reduction for more sustainable ground improvement

นักศึกษา นางสาวกชกร วัฒนมีแก้ว รหัสนักศึกษา 58010002

นางสาววรรณิศา ต๊ะปัญญา รหัสนักศึกษา 58011109

นางสาวสุดารัตน์ สุริยา รหัสนักศึกษา 58011340

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิรุฬห์ คำชุม

ดร.ตรีสุคนธ์ ตรีบุพชาติสกุล

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์	
อ.อุบะ ศิริแก้ว	
ดร.ศลิษา ไชยพุทธ	
ดร.วิรุฬห์ คำชุม	
ดร.ประทีป หลือประเสริฐ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลของแบคทีเรียเดกซ์ทรานต่อการลดการไหลของน้ำในดิน เพื่อการปรับปรุงดินอย่างยั่งยืน

นางสาวกชกร วัฒนมีแก้ว รหัสประจำตัว 58010002
นางสาววรรณิศา ต๊ะปัญญา รหัสประจำตัว 58011109
นางสาวสุดารัตน์ สุริยา รหัสประจำตัว 58011340
ดร.วิรุฬห์ คำชุม
ดร.ตรีสุคนธ์ ตรีบุพชาติสกุล
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

วิธีการปรับปรุงดินเช่นการอัดฉีดน้ำปูนถูกนำมาใช้เพื่อลดอัตราการไหลของน้ำในดิน อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ทำให้เกิดความร้อนและเพิ่มพฤติกรรมแบบเปราะในดินซึ่งนำไปสู่การเกิดรอยแตกและเพิ่มอัตราการไหลของน้ำในดิน โครงงานนี้มุ่งศึกษาถึงผลของเดกซ์ทรานเป็นวัสดุธรรมชาติทดแทนเพื่อลดการไหลของน้ำในดินโดยใช้แบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroides* แบคทีเรียได้ถูกใส่ตัวอย่างดินทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ในช่วง 17 วันแรกมีการให้อาหารเลี้ยงเชื้อแต่ไม่มีการให้อาหารเลี้ยงเชื้อในช่วง 14 วันต่อมา การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในดินถูกวัดโดยการทดสอบอัตราการไหลแบบระดับน้ำคงที่ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียเดกซ์ทรานสามารถลดอัตราการไหลของน้ำในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ประมาณ 97% เทียบกับกรณีที่ไม่มีแบคทีเรีย) อัตราการไหลของน้ำในดินที่ลดลงยังคงอยู่แม้ว่าจะไม่มีการให้อาหารเลี้ยงเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVESTIGATING BACTERIAL DEXTRAN EFFECTS ON PERMEABILITY REDUCTION FOR MORE SUSTAINABLE GROUND IMPROVEMENT

Ms. Kotchakorn Wattanameekeaw Student ID. 58010002

Ms. Wunnisa Tapunya Student ID. 58011109

Ms. Sudarat Suriya Student ID. 58011340

Dr. Viroon Kamchoom

Dr. Treesukon Treebupachatsakul

Academic Year 2018

ABSTRACT

Conventional methods (e.g., jet grouting) has been used for soil permeability reduction. However, these methods would induce heat and soil brittleness, both resulting in the formation of cracks and increasing permeability. This project investigated effects of bacterial dextran, as construction substitutes, on soil permeability reduction. *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 was selected and embedded into six identical soil samples. Culture medium was supplied to each sample for first 17 days, while all samples were left without culture medium for another 14 days. Any change in soil permeability was measured by constant head test. The results suggested that bacterial dextran can effectively reduce soil permeability (i.e., by 97% compared to the case without bacteria). The reduction of permeability was remained even without culture medium.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร.วิรุฬห์ คำชุม ที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง อีกทั้งสละเวลาเพื่อให้คำปรึกษากับคณะผู้จัดทำตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับงานวิจัยนี้พวกเรา ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ให้คำแนะนำและกำลังใจอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณดร.ตรีสุคนธ์ ตรีบุพชาติสกุล ที่ช่วยเหลือด้านข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับจุลินทรีย์เพื่อนำมาทำการทดทดลองต่างๆ และเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยเล่มนี้ และขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำโครงงานรวมถึงการให้กำลังใจและความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

กชกร วัฒนมีแก้ว

วรรณิศา ต๊ะปัญญา

สุดารัตน์ สุริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... VI
สารบัญรูป..... VII
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์..... 1
1.3 ขอบเขตการศึกษา..... 1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3
2.2 Leuconostoc mesenteroides 4
2.3 สมบัติการซึมผ่านน้ำ..... 5
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 7
3.1 การทดสอบตัวอย่างดิน..... 7
3.2 กรณีที่ใช้ในการศึกษา..... 9
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 12
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล..... 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการศึกษา..... 19
4.1 ผลของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย..... 19
4.2 ผลการทดสอบค่าการซึมผ่านของน้ำในดินโดยวิธีความดันคงที่..... 19
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา..... 21
5.1 บทนำ..... 21
5.2 สรุปผลการทดลอง..... 21
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 21
บรรณานุกรม..... 22
ภาคผนวก ก..... 23
ภาคผนวก ข..... 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 ค่าโดยทั่วไปของสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินชนิดต่างๆ..... 6
ตาราง 4.1 ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 nm และเวลาช่วงเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย..... 18
ตาราง 4.2 แสดงผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำช่วงให้อาหารและไม่ให้อาหารแบคทีเรีย..... 19
ตาราง ข.1 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน 3 กรณี..... 25
ตาราง ข.2 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินกรณีให้อาหารเลี้ยงเชื้อและกรณีไม่ให้อาหารเลี้ยงเชื้อ..... 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปเดกซ์แทรนที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างของทราย[Ta et al., (2017)]..... 3
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินที่เวลา 41 วัน [Ta et al., (2017)]..... 4
รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างดินกรณีที่ 1 บดอัดเฉพาะทราย..... 9
รูปที่ 3.2 การเตรียมตัวอย่างดินกรณีที่ 2 หยดแบคทีเรียในแต่ละชั้นทราย..... 9
รูปที่ 3.3 การเตรียมตัวอย่างดินกรณีที่ 3 ฉีดแบคทีเรียเมื่อทำการบดอัดเสร็จ..... 10
รูปที่ 3.4 ภาชนะใส่ตัวอย่างดิน..... 10
รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์การทดลอง..... 11
รูปที่ 3.6 แสดงสัดส่วนของอาหารเหลว..... 12
รูปที่ 3.7 Flask ที่มีแบคทีเรียในอาหารเหลว..... 12
รูปที่ 3.8 การเก็บตัวอย่างแบคทีเรียในเครื่อง Shaking incubator..... 12
รูปที่ 3.9 การเก็บตัวอย่างแบคทีเรีย..... 13
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างแบคทีเรียที่เก็บในชั่วโมงที่ 4, 8, 11, 24 และ 72..... 13
รูปที่ 3.11 นำตัวอย่างแบคทีเรียไปหาค่าการดูดกลืนแสง โดย Spectrophotometer... 13
รูปที่ 3.12 ภาชนะใส่ตัวอย่างดิน..... 14
รูปที่ 3.13 ชุดอุปกรณ์การทดลอง..... 14
รูปที่ 3.14 การเตรียมตัวอย่างทรายก่อนการบดอัด..... 15
รูปที่ 3.15 การเตรียมตัวอย่างดินในกรณีที่ 2 โดยแต่ละชั้นจะทำการหยดแบคทีเรีย..... 15
รูปที่ 3.16 การเตรียมตัวอย่างดินในกรณีที่ 3 โดยทำการฉีดแบคทีเรียเป็นจำนวน 10 มิลลิลิตร..... 15
รูปที่ 3.17 การเก็บตัวอย่างดิน..... 16
รูปที่ 3.18 การเติมอาหารเหลวให้แก่ตัวอย่างดิน..... 16
รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียกับเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย..... 17
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของน้ำกับเวลาในการทดสอบของตัวอย่าง 2 กรณี..... 19
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของน้ำกับเวลา ระหว่างการให้อาหารและไม่ให้อาหาร..... 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี การซึมผ่านของน้ำในดินเป็นคุณสมบัติที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบสิ่งก่อสร้าง เช่น การสร้างฐานราก, ห้องใต้ดิน, คันดินกันน้ำ รวมไปถึงการสร้างเขื่อน เป็นต้น หากมีค่าการซึมผ่านของน้ำในดินมากจะทำให้เกิดปัญหาการพังทลายหรือการเคลื่อนที่ของดิน ซึ่งส่งผลทำให้โครงสร้างได้รับความเสียหาย โดยปัญหานี้เกิดจากการที่มีน้ำซึมผ่านดินมากทำให้ดินมีความหนาแน่นน้อย ไม่เกาะตัวกัน จากปัญหานี้สามารถแก้ไขปัญหาได้หลายวิธีเช่น Cavity Filling, Permeation Grouting, Consolidation Grouting เป็นต้น โดยวิธีเหล่านี้ช่วยลดช่องว่างในดิน และช่วยลดการซึมผ่านของน้ำในดินได้ แต่เนื่องด้วยค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ศึกษาเพื่อหาวิธีการที่สามารถใช้เป็นทางเลือกเพื่อประยุกต์ใช้กับวิธีการที่เคยมีมา โดยการใช้แบคทีเรียมาช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งวิธีการนี้เป็นนวัตกรรมใหม่ทาง bio technical ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และยังสามารถซ่อมแซมตัวเองได้ อย่างไรก็ตามวิธีการที่ได้ทำการศึกษานี้ยังต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Lueconostoc mesentroides* TISTR 473 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ

2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเดกซ์ทรานต่อการซึมผ่านของน้ำในดิน

3) เพื่อศึกษาผลกระทบของแบคทีเรียที่มีข้อจำกัดที่แตกต่างกันต่อการซึมผ่านของน้ำในดิน

4) เพื่อศึกษาความสามารถของเดกซ์ทรานต่อการซึมน้ำผ่านของน้ำในดินในระหว่างการให้อาหารและไม่ให้อาหาร

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำในดินโดยใช้ทราย Ottawa

2) งานวิจัยนี้ศึกษาผลที่ได้จากแบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473 ต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินแบบความดันคงที่ตามมาตรฐาน ASTM D2434

4) งานวิจัยนี้ศึกษาผลของแบคทีเรียต่อค่าการซึมผ่านของน้ำ 31 วัน

5) การศึกษานี้ไม่ได้ศึกษาผลกระทบของแบคทีเรียต่อสิ่งมีชีวิต

6) ตัวอย่างการทดลองมีขนาดความยาว 10 เซนติเมตร

7) ไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการประยุกต์ใช้แบคทีเรียในดิน

2) ศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroides* TISTR 473

3) วางแผนวิธีการในการทดสอบ

4) หาความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียต่อเวลาในการเพาะเลี้ยง

5) จัดทำอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดสอบ

6) เตรียมตัวอย่างดินและแบคทีเรียตามกรณีศึกษา

7) ทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินโดยวิธีความดันคงที่

8) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์

9) สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) แบคทีเรียที่นำมาใช้ทดสอบมีผลต่อการลดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน

2) สามารถนำวิธีการนี้ไปพัฒนาต่อเพื่อนำไประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างจริงได้

3) ฝึกฝนการวางแผนการทำงาน และการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Ta et al (2017) Effects of bacterial dextran on soil geophysical properties

Ta et al (2017) ได้ใช้แบคทีเรีย Leuconostoc mesenteroides ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่สร้าง dextran ที่เป็น Polysaccharide แบบหนืด เมื่อเชื้อL.mesenteroides เติบโตในทราย และสะสม dextran จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านกายภาพของดินในการศึกษานี้ใช้เวลาในการทดลอง 41 วัน ซึ่งเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของทรายที่ผ่านการทดลองพบว่า dextran สะสมอยู่ในช่องว่าง ทำให้การซึมน้ำลดลงระดับหนึ่ง เดกซ์ทราน เป็นสารละลายน้ำได้ที่ได้จาก *Leuconostoc mesenteroides* ที่ถูกเลี้ยงด้วยน้ำตาลซูโครส ซึ่งมีลักษณะหนืดสูง, ยืดตัว เมื่ออยู่ในดินจะสามารถลดช่องว่างระหว่างอนุภาค

L.mesenteroides ถูกเลือกให้ใช้เป็นเชื้อแบคทีเรียสำหรับกรณีศึกษานี้ ซึ่งเติบโตได้ดีทั้งในเงื่อนไขใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อให้อาหารด้วยซูโครส มันจะสามารถจะผลิต dextran เชื้อแบคทีเรียถูกเลี้ยงในทรายตัวอย่างที่อิ่มตัวและมีความพรุน ใช้ท่ออะคริลิกหนามีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 10.6 ซม. และสูง 7.62 ซม.

หลังจาก 41 วัน ตัวอย่างดินถูกตรวจสอบเพื่อสังเกตการเจริญเติบโตของเดกซ์ทราน ซึ่งภาพจะแสดงให้เห็นถึงเดกซ์ทรานที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างของทรายตัวอย่าง แสดงว่าเชื้อแบคทีเรียนั้นเติบโตในดินตัวอย่าง

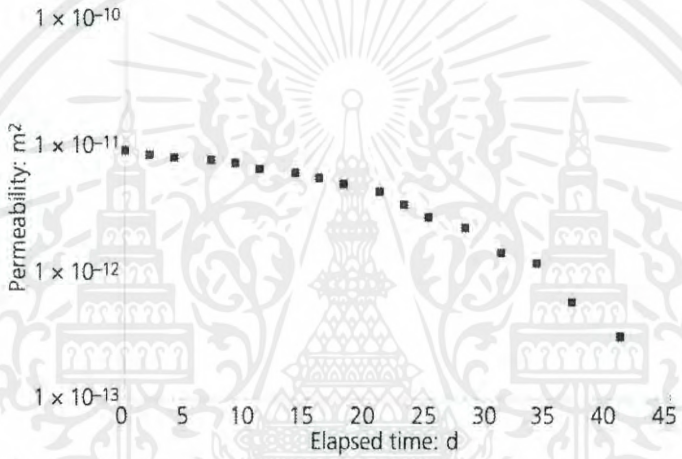
รูปที่ 2.1 รูปเดกซ์ทรานที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างของทราย[Ta et al., (2017)]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณนั้นได้นำกฎของดาร์ซีมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณหาค่าการซึมผ่านของน้ำในดิน โดยใช้สูตร

$$V = Q\mu L/\Delta PA$$

โดยอัตราการไหลเท่ากับ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการไหลแบบคงที่ ความหนืดของสารอาหารที่ช่วยในการเจริญเติบโตได้สมมติว่าถูกควบคุมด้วยสารละลายซูโครส 1.041×10^{-3} ปาสคาลต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความยาวประมาณ 20 มิลลิเมตร และพื้นที่หน้าตัด 6207 ตารางมิลลิเมตร



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินที่เวลา 41 วัน [Ta et al., (2017)]

2.2 Leuconostoc mesenteroides

Leuconostoc เป็นแบคทีเรียแกรมบวก เป็นสกุลของแบคทีเรียในวงศ์ Streptococcaceae ซึ่งอยู่ในวงศ์เดียวกับ Streptococcus และ Pediococcus

รูปร่างเป็นทรงกลม (coccus) หรือรูปไข่ ต่อกันเป็นสายหรือเป็นคู่ จัดอยู่ในกลุ่มที่สามารถหมักน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแล็กโทส ให้เกิดกรดแล็กทิก เจริญได้ทั้งในภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน สามารถย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตได้เดกซ์ทรานซึ่งทำให้เกิดเมือก เจริญได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำตาลสูง หลายสายพันธ์เจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ

พบในน้ำลาย ลำไส้ และอุจจาระของมนุษย์และสัตว์ ผัก ผลไม้ และอาหารสัตว์ เครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหาร ในโรงนม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สมบัติการซึมผ่านน้ำ (Permeability)

2.3.1 ความซึมน้ำของดิน

ในมวลดินจะประกอบไปด้วยส่วนของเม็ดดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งเรียงตัวคดเคี้ยวไปมาต่อเนื่องกัน การไหลของน้ำผ่านดินเกิดขึ้นได้เมื่อมีพลังงานต่างกันระหว่างจุดสองจุดในดิน โดยไหลจากจุดที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังจุดที่มีพลังงานต่ำ น้ำจะไหลผ่านช่องว่างเหล่านี้ ดังนั้นหากช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีขนาดเล็กน้ำก็จะไหลผ่านได้ยากกว่าดินที่มีช่องว่างขนาดใหญ่ ความสามารถของมวลดินที่ยอมให้น้ำไหลผ่านเรียกว่า "ความซึมน้ำของดิน" (Permeability) ซึ่งค่าที่จะบอกถึงความซึมน้ำได้ในดินเรียกว่า "สัมประสิทธิ์ความซึมได้" หรือ "Coefficient of Permeability, k"

นอกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินแล้วยังมีอิทธิพลอื่นๆที่มีผลต่อการไหลซึมผ่านของน้ำในดิน ได้แก่

1. การกระจายตัวของเม็ดดิน (Particle Size Distribution)
2. รูปร่างและผิวของเม็ดดิน (Particle Shape and Texture)
3. องค์ประกอบแร่ธาตุในมวลดิน (Mineralogical Composition)
4. อัตราส่วนช่องว่างของดิน (Voids Ratio)
5. ระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation)
6. ลักษณะโครงสร้างของมวลดิน (Soil Fabric)
7. คุณสมบัติของของเหลวในช่องว่าง (Nature of Fluid)

2.3.2 กฎการไหลของดาร์ซี่ (Darcy's Law)

ในปี ค.ศ. 1856 Darcy ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างการไหลของน้ำผ่านทรายว่า "อัตราการไหลจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความชันชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient)" คือ

$$V \alpha i$$

$$V = ki$$

เมื่อ v = อัตราการไหลของน้ำผ่านดิน

i = ความชันทางชลศาสตร์

k = สัมประสิทธิ์การซึมได้ของดิน (Permeability of Soil) ความซึมน้ำของดิน

$$q = vA$$

$$= kiA$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ q = ปริมาณการไหลของน้ำผ่านดินต่อหนึ่งหน่วยเวลา

A = พื้นที่หน้าตัดของดินในทิศทางตั้งฉาก (Cross-Sectional Area)

สัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินเป็นคุณสมบัติเฉพาะสำหรับดินแต่ละชนิด จึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาค่านี้สำหรับดินนั้นๆ

ตาราง 2.1 ค่าโดยทั่วไปของสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินชนิดต่างๆ

ชนิดของดิน	สัมประสิทธิ์การซึมได้	
	cm/sec	ft/min
ทรายสะอาด (Clean Sand)	1-100	2-200
ทรายเม็ดหยาบ (Coarse Sand)	1-0.01	2-0.02
ทรายเม็ดละเอียด (Fine Sand)	0.01-0.001	0.02-0.002
ดินตะกอน (Silt)	0.001-0.00001	0.002-0.00002
ดินเหนียว (Clay)	‹0.000001	‹0.000002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การทดสอบตัวอย่างดิน

3.1.1 Soil Permeability Test การทดลองหาความซึมน้ำของดิน

(มาตรฐานอ้างอิง: ASTM D 2434)

มวลดินเป็นวัสดุที่มีช่องว่างต่อเนื่องในระหว่างเม็ดดินซึ่งน้ำสามารถที่จะไหลซึมผ่านได้มวลดินที่น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย ได้แก่ดินจำพวก กรวดทราย ส่วนมวลดินที่น้ำไหลซึมผ่านได้ยากได้แก่ดินที่มีดินเหนียวปนอยู่หรือดินเหนียวล้วน ถ้าน้ำไหลผ่านมวลดินได้ง่ายค่าสัมประสิทธิ์จะมีมาก นั่น คือดินจะมีช่องว่างมาก หรือดินอยู่ในสภาพหลวมและถ้าค่าสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยเท่าใดก็แสดงว่าดินนั้นมีความหนาแน่นมาก เพราะฉะนั้นเราจึงทราบค่าการซึมน้ำของดินเพื่อให้ทราบคุณสมบัติของดินตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษา

การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดินสามารถทำได้หลายวิธี ตามความเหมาะสมของขนาดเม็ดดินและตามชนิดของดิน ดังนี้

1.การทดสอบแบบความดันน้ำคงที่สำหรับทดสอบกับดินเม็ดหยาบ

2.การทดสอบแบบความดันน้ำเปลี่ยนแปลง สำหรับทดสอบกับดินเม็ดละเอียด

ซึ่งเราเลือกใช้การทดสอบแบบความดันน้ำคงที่ เนื่องจากตัวอย่างดินที่เลือกใช้เป็นทรายออตตาวา ซึ่งเป็นดินเม็ดหยาบ

อุปกรณ์

1) ถาดใส่ตัวอย่าง (mixing pan)
2) เครื่องชั่งอ่านละเอียด 0.001 กิโลกรัม
3) ค้อนกระทุ้ง ช้อนตักดิน
4) ชุดทดสอบแบบความดันคงที่
5) ถาดสำหรับใส่น้ำ
6) ถังสำหรับใส่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1.นำตัวอย่างทรายไปอบเป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง

2.ชั่งตัวอย่างทรายจำนวน 1800 กรัม เพื่อนำไปผสมกับน้ำกลั่น 15% ของน้ำหนักตัวอย่างทราย แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูงของตัวอย่างใส่ดิน เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรของตัวอย่างดิน

4.ทำการบดอัดดินทรายเป็นจำนวน 5 ชั้นชั้นละ 2 เซนติเมตรแล้วกระทุ้งด้วยค้อนกระทุ้งหรือเคาะด้วยค้อนยางโดยให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับดินในธรรมชาติมากที่สุด ปรับผิวหน้าของตัวอย่างดินให้เรียบ

5.นำหินกรวดมาวางทับบนผิวหน้าของตัวอย่างดิน

6.นำตัวอย่างดินไปทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการนำไปแช่น้ำก่อนนำมาทดสอบ 24 ชั่วโมง

7.ประกอบตัวอย่างดินเข้ากับชุดทดลอง

8.เริ่มการทดลองโดยเปิดน้ำผ่านสายยางลงในชุดทดลอง

9.จนกระทั่งน้ำไหลออกจากตัวอย่างดินในช่องน้ำออก (Outflow) ในอัตราการไหลที่คงที่แล้วโดยลองวัดปริมาณน้ำดู 4-5 ครั้งในเวลาที่กำหนดขึ้นเอง

10.เมื่อมีอัตราการไหลคงที่แล้ว จึงหาอัตราการไหลที่แท้จริง โดยเริ่มจับเวลาพร้อมกับนำถาดมารองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน ซึ่งวิธีการก็เหมือนกับการทดลองหาอัตราการไหลที่คงที่นั้นเอง โดยให้หาอัตราการไหลจริงอย่างน้อย 5 ครั้ง แล้วจึงค่อยนำน้ำที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่า Q

วิธีการคำนวณ

1) วิธีคำนวณการทดลองแบบความดันน้ำคงที่

$$k = \frac{QL}{AH}$$

k = สัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดิน

Q = อัตราการไหล

L = ความยาวของการไหลซึม

h = การสูญเสียความดัน หรือระดับน้ำ

t = ช่วงเวลา (ปริมาณน้ำQ ไหลผ่าน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

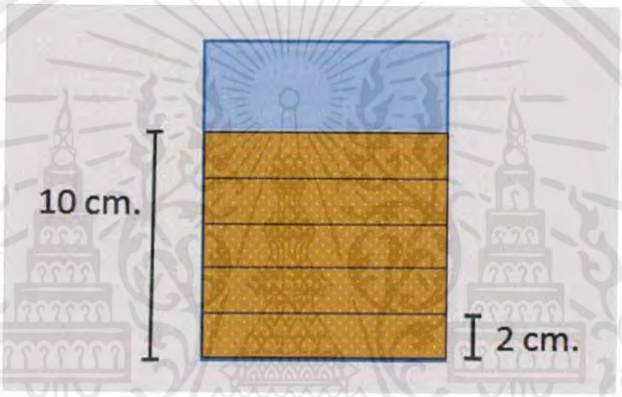
3.2 กรณีที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 รูปแบบของกรณีศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้มีอยู่ 3 กรณี

กรณีที่ 1

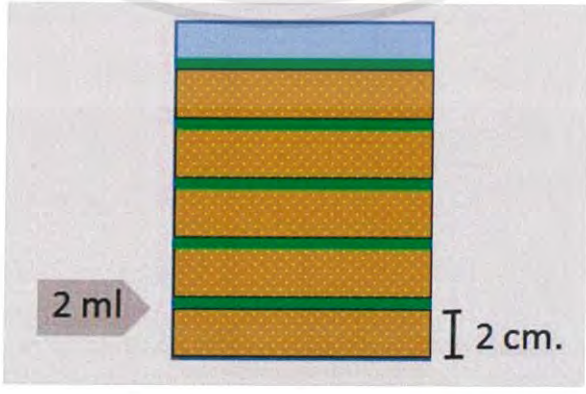
เป็นการบดอัดทรายออตตาวาเพียงอย่างเดียว เป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 2 เซนติเมตร เพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินทั่วไป ที่ยังไม่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพดิน



รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างดินกรณีที่ 1 บดอัดเฉพาะทราย

กรณีที่ 2

เป็นการบดอัดทรายออตตาวาเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 2 เซนติเมตร ซึ่งในแต่ละชั้นจะทำการหยดแบคทีเรียจำนวน 2 มิลลิลิตรลงบนผิวหน้าของชั้นดิน

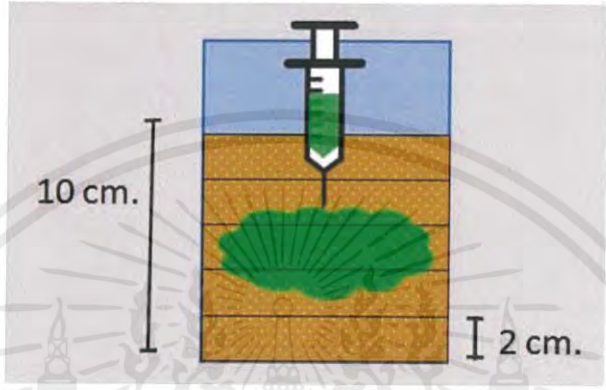


รูปที่ 3.2 การเตรียมตัวอย่างดินกรณีที่ 2 หยดแบคทีเรียในแต่ละชั้นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3

เป็นการบดอัดทรายออตตาวาเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 2 เซนติเมตร เมื่อทำการบดอัดเสร็จจะทำการฉีดแบคทีเรียที่กลางตัวอย่างดินเป็นจำนวน 10 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.3 การเตรียมตัวอย่างดินกรณีที่ 3 ฉีดแบคทีเรียเมื่อทำการบดอัดเสร็จ

3.2.2 ขนาดของอุปกรณ์การทดสอบ

ก) ขนาดของภาชนะใส่ตัวอย่างดิน

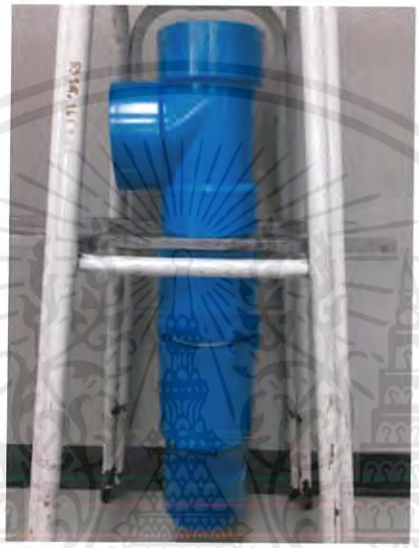
ในกรณีที่ศึกษาทั้ง 3 กรณีจะใช้ขนาดของภาชนะใส่ตัวอย่างดินที่เหมือนกัน ท่อพีวีซีหนา 8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว มีความสูง 20 เซนติเมตร ด้านล่างประกอบด้วยฝาครอบท่อที่นำไปเจาะรูเพื่อให้น้ำสามารถไหลออกได้ ซึ่งจะทำการเจาะเป็นจำนวน 9 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และส่วนด้านบนนำข้อต่อตรงเกลียวในมาสวมเข้าเพื่อต่อส่วนของภาชนะใส่ตัวอย่างดินและอุปกรณ์การทดสอบเข้าด้วยกัน

รูปที่ 3.4 ภาชนะใส่ตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) ขนาดของอุปกรณ์การทดสอบ

ส่วนของอุปกรณ์การทดสอบ จะตัดท่อพีวีซีหนา 8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว มีความสูง 15 เซนติเมตร ส่วนด้านบนของท่อพีวีซีประกอบเข้ากับข้อต่อสามทางและด้านล่างประกอบกับข้อต่อเกลียวนอกเพื่อใช้ต่อกับส่วนของภาชนะใส่ตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียและดูการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในอาหารเหลวเพื่อหาช่วงเวลาการเจริญเติบโตสูงสุดของแบคทีเรียไปใช้ในการเตรียมตัวอย่างดิน

วิธีการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย

1.การเตรียมอาหารเหลว เพื่อนำไปใช้ในการเลี้ยงแบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroides* TISTR473 ให้เจริญเติบโตโดยจะมีสัดส่วนของการเตรียมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUCROSE TRYPTONE AGAR (STA)	
Sucrose (g)	100
Tryptone (g)	10
Yeast Extract (g)	5
Agar (g)	15
Distilled water (L)	1

รูปที่ 3.6 แสดงสัดส่วนของอาหารเหลว

2.นำแบคทีเรีย *Leuconostoc Mesenteroides* ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.จากนั้นเก็บตัวอย่างแบคทีเรียชั่วโมงที่ 0 ลงใน Eppendorf จำนวน 1 มิลลิลิตร

4.นำ Flask ที่ใส่แบคทีเรียไปเข้าเครื่อง Shaking incubator ตั้งค่าเริ่มต้นที่ 30 องศาเซลเซียส ค่าการหมุน 150 รอบต่อนาที

5.เก็บตัวอย่างแบคทีเรียในชั่วโมงที่ 4, 8, 11, 24, 48 และ 72 ใส่ลงใน Eppendorf

6.นำตัวอย่างแบคทีเรียที่เก็บทั้งหมด ไปดูการเจริญเติบโตโดยเครื่อง Spectrophotometer ซึ่งค่าที่เก็บได้จะเป็นค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียที่ 600 นาโนเมตร

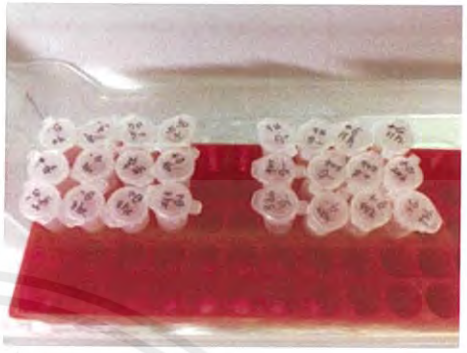
7.นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียและเวลา ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียสามารถบ่งบอกถึงจำนวนของแบคทีเรียหรืออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้

รูปที่ 3.7 Flask ที่มีแบคทีเรียในอาหารเหลว

รูปที่ 3.8 การเก็บตัวอย่างแบคทีเรียในเครื่อง Shaking incubator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 การเก็บตัวอย่างแบคทีเรีย



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างแบคทีเรียที่เก็บในชั่วโมงที่ 4, 8, 11, 24 และ 72

รูปที่ 3.11 นำตัวอย่างแบคทีเรียไปหาค่าการดูดกลืนแสง โดย Spectrophotometer

3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดสอบ

1) ทรายออตตาวา จำนวน 10 กิโลกรัม

2) ภาชนะใส่ตัวอย่างดิน จำนวน 6 อัน

3) ถาดใส่ตัวอย่าง (mixing pan)

4) ค้อนกระทุ้ง ช้อนตักดิน

5) อุปกรณ์การทดสอบอัตราการไหลแบบความดันคงที่

6) ขาตั้งอุปกรณ์การทดสอบ

7) ภาชนะใส่น้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านดิน

8) เครื่องชั่งอ่านละเอียด 0.001 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ภาชนะใส่ตัวอย่างดิน

รูปที่ 3.13 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

3.3.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน

ก) การเตรียมตัวอย่างดิน

1.นำตัวอย่างทรายไปอบเป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง

2.ชั่งตัวอย่างทรายจำนวน 1800 กรัม จำนวน 6 ถาด เพื่อนำไปผสมกับน้ำกลั่น 15% ของน้ำหนักตัวอย่างทราย แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.ทำการบดอัดดินทรายและเตรียมตัวอย่างดินตามกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี

(3.1) การบดอัดทรายออตตาวาเพียงอย่างเดียว เป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 2 เซนติเมตร

(3.2) การบดอัดทรายออตตาวาเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 2 เซนติเมตร แต่ละชั้นจะทำการหยดแบคทีเรียจำนวน 2 มิลลิลิตรลงบนผิวหน้าของชั้นดิน

(3.3) การบดอัดทรายออตตาวาเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 2 เซนติเมตร เมื่อทำการบดอัดเสร็จจะทำการฉีดแบคทีเรียที่กลางตัวอย่างดินเป็นจำนวน 10 มิลลิลิตร

4.วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูงของตัวอย่างดิน เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรของตัวอย่างดิน

5.นำตัวอย่างในกรณีที่ 1 ไปทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินทั่วไป ที่ยังไม่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพดิน เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงของดินทรายปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 การเตรียมตัวอย่างทรายก่อนการบดอัด

รูปที่ 3.15 การเตรียมตัวอย่างดินในกรณีที่ 2 โดยแต่ละชั้นจะทำการหยดแบคทีเรีย

รูปที่ 3.16 การเตรียมตัวอย่างดินในกรณีที่ 3 โดยทำการฉีดแบคทีเรียเป็นจำนวน 10 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) ขั้นตอนการเก็บรักษาตัวอย่างดิน

1.นำตัวอย่างดินเก็บไว้ในถังใส่น้ำแล้วทำการเติมน้ำให้อยู่เหนือระดับผิวหน้าของตัวอย่างดิน

2.ทำการเติมอาหารเหลวในตัวอย่างดินทั้ง 6 ตัวอย่าง โดยเติมตัวอย่างละ 320 มิลลิลิตร ซึ่งจะทำการเติมอาหารเหลวทุกๆสัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 ครั้ง ในช่วง 17 วันแรกหลังจากการเตรียมตัวอย่างดิน และในช่วง 14 วันหลัง จะไม่เติมอาหารเหลวให้แก่ตัวอย่าง

3.เก็บรักษาตัวอย่างดินไว้จนกระทั่งนำไปทดสอบในวันที่ 10, 14, 17, 24 และ 31 หลังจากการเตรียมตัวอย่าง

รูปที่ 3.17 การเก็บตัวอย่างดิน

รูปที่ 3.18 การเติมอาหารเหลวให้แก่ตัวอย่างดิน

3.3.4 การนำไปทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน

1.เมื่อเตรียมตัวอย่างดินเสร็จ นำตัวอย่างดินไปทดสอบโดยการประกอบภาชนะใส่ตัวอย่างดินเข้ากับชุดทดสอบวัดอัตราการไหลของน้ำแบบความดันคงที่

2.เริ่มการทดสอบโดยเปิดน้ำผ่านสายยางลงในชุดทดสอบที่ติดตั้งแล้ว

3.จนกระทั่งน้ำไหลออกจากตัวอย่างดินและล้นออกในช่องน้ำออก (Outflow) แล้วจึงลองวัดปริมาณน้ำดู 4-5 ครั้งในเวลาที่กำหนดขึ้นเอง

4.เมื่อมีอัตราการไหลคงที่แล้ว จึงหาอัตราการไหลที่แท้จริง โดยเริ่มจับเวลาพร้อมกับนำภาชนะมารองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน ซึ่งวิธีการก็เหมือนกับการทดลองหาอัตราการไหลที่คงที่นั้นเอง โดยให้หาอัตราการไหลจริงอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วจึงค่อยนำน้ำที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่า Q

5.ทำการทดสอบเช่นเดียวกับที่กล่าวมากับตัวอย่างดินทั้ง 6 ตัวอย่าง

6.เมื่อทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำแล้วจึงนำตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบแล้วไปเก็บในถังใส่น้ำดังเดิมเพื่อที่จะนำไปทดสอบในครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ทำการทดสอบเช่นเดิมในวันที่ 10, 14, 17, 24 และ 31

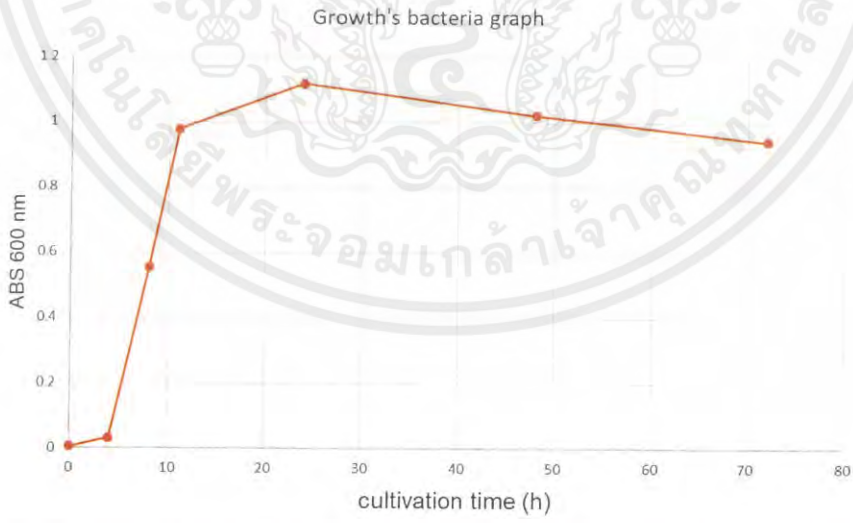
5.นำค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการเก็บข้อมูลจากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย ผลการทดลองที่ได้คือค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียที่บ่งบอกได้ถึงจำนวนของแบคทีเรียที่มากขึ้นตามเวลา เพื่อให้เห็นผลว่าช่วงเวลาใดที่แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้สูงที่สุด หรือมีจำนวนมากที่สุดแล้วจึงนำแบคทีเรียในช่วงเวลานั้นไปใช้ในการเตรียมตัวอย่างดินต่อไป

3.4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียและเวลาการเจริญเติบโตแบคทีเรีย

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียกับเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยใช้กราฟในการแสดงข้อมูล ตั้งแต่เริ่มใส่แบคทีเรียลงในอาหารเลี้ยงจนถึงเวลาที่ 72 ชั่วโมง แกนนอน(แกนx) แสดงเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ในหน่วยชั่วโมง และแกนตั้ง(แกนy) แสดงค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรีย หน่วย Absorbance



รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแบคทีเรียกับเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ผลของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

การเติบโตของแบคทีเรียโดยวัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 nm

Cultivation time (hour)	Absorbance 600 nm
0	0.006
4	0.032
8	0.554
11	0.978
24	1.118
48	1.022
72	0.942

ตาราง 4.1 ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 nm และเวลาช่วงเวลาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

จากตาราง 4.1 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 24 ชั่วโมง จึงถูกเลือกนำมาใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

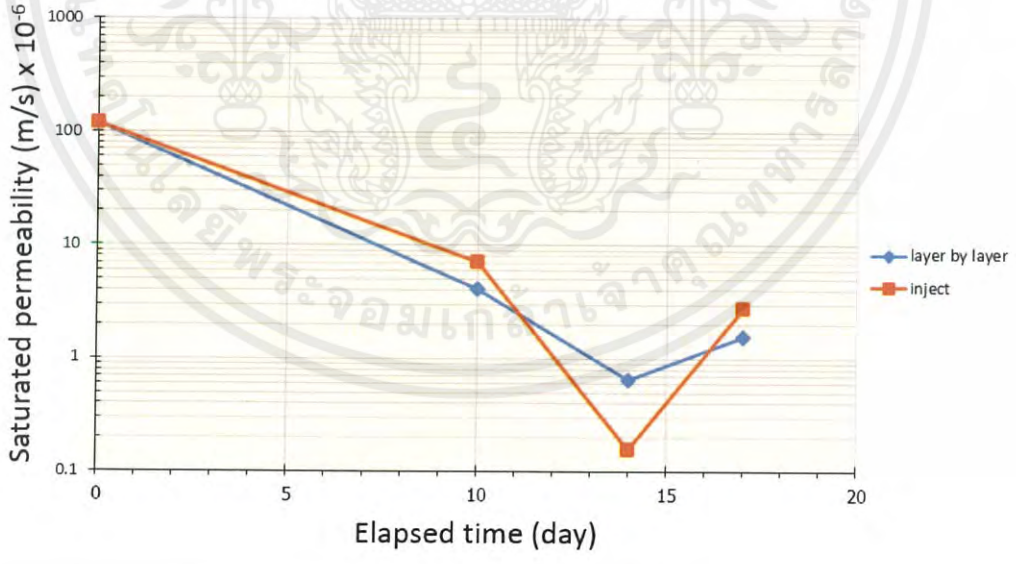
4.2 ผลการทดสอบค่าการซึมผ่านของน้ำในดินโดยวิธีความดันคงที่

ทำการทดลองโดยการต่อส่วนของท่อเข้ากับตัวอย่างดินเพื่อรักษาความดันน้ำให้คงที่ วัดอัตราการไหลโดยให้น้ำไหลผ่านหน้าตัดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง / เวลา (วัน)	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน x10^{-6} (m/s)						หมายเหตุ
		ให้อาหาร			ไม่ให้อาหาร		
	0	10	14	17	24	31	
1	120	6.107	0.0207	0.0828	0.138	0.1725	
2		2.093	1.288	3.036	41.887	129	
3		-	-	-	-	-	ตรวจสอบหาแบคทีเรีย
4	120	1.495	0.0516	0.23	0.713	2.0529	
5		12.76	0.2646	5.233	-	-	
6		49.6	47.649	40.369	-	-	

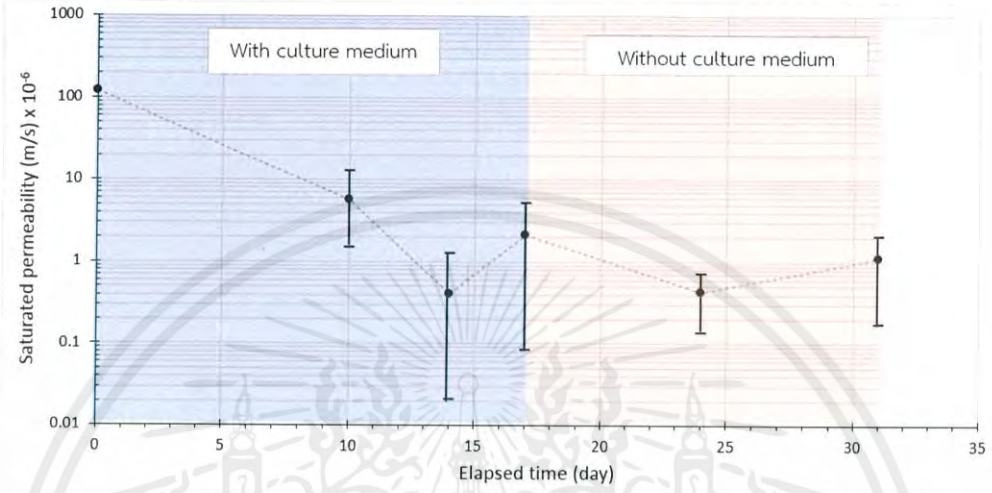
ตาราง 4.2 แสดงผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำช่วงให้อาหารและไม่ให้อาหารแบคทีเรีย



รูป 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของน้ำกับเวลาในการทดสอบของตัวอย่าง 2 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูป 4.1 พบว่าผลการทดลองค่าการซึมผ่านของน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นของตัวอย่างที่ไม่มีแบคทีเรียในวันที่ 0 จากกราฟ โดยลดลงมากกว่า 90% ทั้ง 2 กรณีมีค่าไม่ต่างกัน



รูป 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่านของน้ำกับเวลา ระหว่างการให้อาหารและไม่ให้อาหาร

จากกราฟในรูป 4.2 แสดงผลการทดลองค่าการซึมน้ำสำหรับช่วงให้อาหาร 17 วันแรกค่าการซึมผ่านของน้ำลดลงถึง 97% เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีแบคทีเรียในวันที่ 0 จากกราฟและคงที่ในช่วงวันที่ 14-17 ของการทดลอง หลังจาก 17 วัน ไม่ให้อาหารแบคทีเรียพบว่าค่าการซึมผ่านของน้ำคงที่จนถึงวันที่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 บทนำ

ผลกระทบของการศึกษาผลของแบคทีเรียเดกซ์ทรานต่อการลดการไหลของน้ำในดินเพื่อการปรับปรุงดินอย่างยั่งยืน เป็นศึกษาโดยใช้เดกซ์ทรานจากเชื้อแบคทีเรียที่ชื่อว่า Leuconostoc Mesenteroids ในการทดสอบค่าการซึมผ่านของน้ำในดิน โดยทดสอบจากวิธีการใส่เชื้อแบคทีเรียที่ต่างกัน

5.2 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลกระทบของผลจากแบคทีเรียเดกซ์ทราน จากการใส่เชื้อแบคทีเรียทีละชั้น และการใส่แบคทีเรียหลังบดอัดเสร็จ ปรากฏว่าสามารถลดค่าการซึมผ่านของน้ำลงมากกว่า 90% เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีแบคทีเรีย แต่ค่าทั้งสองไม่ต่างกัน ดังนั้นจึงมีการทดสอบโดยการให้อาหารและไม่ให้อาหาร ปรากฏว่าในช่วง 17 วันแรกที่ให้อาหารสามารถลดค่าลงถึง 97% เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีเชื้อแบคทีเรีย และคงที่ในช่วง 14-17 วัน หลังจากนั้นไม่ให้อาหาร เมื่อวัดค่าการซึมผ่านของน้ำคงที่

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) สามารถนำไปศึกษาต่อในการพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของดิน

2) เปลี่ยนชนิดของดินที่ใช้ในการทดสอบ

3) เปลี่ยนสูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

4) มีการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียตัวอื่นที่สามารถผลิตเดกซ์ทรานได้เหมือนกัน

5) เพิ่มตัวอย่างในการทดสอบ

6) เปลี่ยนขนาดของตัวอย่างในการทดสอบให้ใกล้เคียงกับหน้างานจริงมากที่สุด

7) การใช้งานในระดับดินที่ลึกลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

LUC DE VUYST, ERICK J. VANDAMME. 1994. BACTERIOCINS OF LACTIC ACID BACTERIA Microbiology, Genetics and Applicatins. Oxford, Great Britain : The Alden Press.

Ta, Muhunthan, et.al. (2017). Effects of bacterial dextran on soil geographysical properties. Institution of Civil Engineers.

ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. Leuconostoc / ลิวโคนอสตอก (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1985/leuconostoc [4 พฤศจิกายน 2561]

รศ.สุพจน์ ศรีนิล,รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร และอ.ชลธี เร่บ้านเกาะ . 2560. คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สัญลักษณ์

Q	=	อัตราการไหลของน้ำผ่านดิน
i	=	ความชันทางชลศาสตร์ $(\frac{\Delta h}{\Delta L})$
k	=	สัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน
A	=	พื้นที่หน้าตัดของดินในทิศทางตั้งฉาก
L	=	ความยาวของการไหลซึม
h	=	การสูญเสียความดัน หรือระดับน้ำ
t	=	ช่วงเวลา (ปริมาณน้ำ Q ไหลผ่าน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองจากแบบจำลอง

ข.1 ข้อมูลผลการทดลองจากแบบจำลอง

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลอง จากทั้ง 3 กรณี ได้แก่

1) กรณีที่ 1 การบดอัดทรายออตตาวาเพียงอย่างเดียว
2) กรณีที่ 2 การบดอัดทรายออตตาวาและแต่ละชั้นจะทำการหยดแบคทีเรีย
3) กรณีที่ 3 การบดอัดทรายออตตาวาและฉีดแบคทีเรียที่กึ่งกลางของชั้นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน 3 กรณี

Days	Case		v (cm^3)	Q (cm^3/s)	K(m^3/s)×10^{-6}	K_{Avg}(m^3/s)×10^{-6}
0	1		315.38	21.03	127.317	122.831
			297.44	19.83	120.071	
			300.00	20.00	121.106	
10	2	Sample 1	234.62	1.303	6.107	4.100
			232.05	1.289		
			214.10	1.189		
		Sample 2	70.513	0.392	2.093	
			75.641	0.420		
			87.179	0.484		
	3	Sample 4	70.513	0.392	1.495	7.131
			51.282	0.285		
			44.872	0.249		
		Sample 5	520.51	2.892	12.766	
			470.51	2.614		
			432.05	2.400		
14	2	Sample 1	2.5641	0.004	0.021	0.654
			2.5641	0.004		
			2.5641	0.004		
		Sample 2	38.462	0.214	1.288	
			46.154	0.256		
			58.974	0.328		
	3	Sample 4	7.6923	0.013	0.052	0.158
			6.4103	0.011		
			5.1282	0.009		
		Sample 5	10.256	0.057	0.265	
			10.256	0.057		
			8.9744	0.050		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17	2	Sample 1	3.8462	0.013	0.083	1.560
			5.1282	0.017		
			6.4103	0.021		
		Sample 2	94.872	0.527	3.036	
			115.38	0.641		
			128.21	0.712		
	3	Sample 4	8.9744	0.050	0.230	2.731
			8.9744	0.050		
			7.6923	0.043		
		Sample 5	141.03	0.783	5.233	
			210.26	1.168		
			232.05	1.289		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.2 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินกรณีให้อาหารเลี้ยงเชื้อและกรณีไม่ให้อาหารเลี้ยงเชื้อ

	Days	Case	v (cm^3)	Q (cm^3/s)	$K(m^3/s)\times10^{-6}$
With Culture medium	10	Sample 1	234.62	1.303	6.107
			232.05	1.289	
			214.10	1.189	
		Sample 4	70.513	0.392	1.495
			51.282	0.285	
			44.872	0.249	
	14	Sample 1	2.5641	0.004	0.021
			2.5641	0.004	
			2.5641	0.004	
		Sample 4	7.6923	0.013	0.052
			6.4103	0.011	
			5.1282	0.009	
	17	Sample 1	3.8462	0.013	0.083
			5.1282	0.017	
			6.4103	0.021	
		Sample 4	8.9744	0.050	0.230
			8.9744	0.050	
			7.6923	0.043	
Without Culture medium	24	Sample 1	3.8462	0.021	0.138
			6.4103	0.036	
			5.1282	0.028	
		Sample 4	21.795	0.121	0.713
			26.923	0.150	
			30.769	0.171	
	31	Sample 1	5.1282	0.028	0.173
			7.6923	0.043	
			6.4103	0.036	
		Sample 4	50.000	0.417	2.053
			51.282	0.427	
			51.282	0.427	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้