โมดูลัสการแตกร้าวของผ้าใบคอนกรีตในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

Modulus of Rupture of Concrete Fabric in various environments

กนกวรรณ อัสสานนท์, ศุภณัฐ โพธิ์ทอง, อนวรรษ ขัดวิลาศ, นิธิรัชต์ สงวนเดือน*, พงศธร โสภาพันธุ์

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน 73140

*E-mail: fengntr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ผ้าใบคอนกรีต (Concrete Fabric) เป็นนวัตกรรมที่พัฒนาโดยมีแนวคิดการนำไปใช้งานในการดาดคลองซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการก่อสร้าง ทั้งนี้ การนำผ้าใบคอนกรีตไปใช้ในการดาดคลอง จำเป็นต้องมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เหมาะสม ทั้งภายใต้สภาวะแวดล้อมปกติและสภาวะแวดล้อมวิกฤตต่างๆที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโมดูลัสการแตกร้าวของผ้าใบคอนกรีตในสภาวะปกติ และในสภาวะแวดล้อมวิกฤตที่อาจเกิดขึ้นจากการปนเปื้อนสารละลายลงสู่แหล่งน้ำได้แก่ สภาวะที่เป็นกรด และสภาวะที่เป็นด่าง จากผลการศึกษา พบว่า ในทุกสภาวะแวดล้อมโมดูลัสการแตกร้าวของผ้าใบคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของผ้าใบคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ สภาวะที่เป็นกรดและสภาวะที่เป็นด่างมีผลทำให้โมดูลัสการแตกร้าวของผ้าใบคอนกรีตลดต่ำลงกว่าในสภาวะปกติ

คำสำคัญ: ผ้าใบคอนกรีต, โมดูลัสการแตกร้าว

Abstract

Concrete Fabric, an innovative material, was developed for canal lining that can save time of construction. However, using of Concrete Fabric for canal lining has to ensure the engineering properties in both typical environment and critical environments, which may be occurred from water pollution: acid condition and base condition. The result shows that Modulus of Rupture of Concrete Fabric is increased when curing time increase in all environmental conditions. In addition, Modulus of Rupture of Concrete Fabric in the acid and base conditions are lower than in typical condition.

Keywords: Concrete Fabric, Modulus of Rupture

1. ที่มา

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีพ ดังนั้นการพัฒนาระบบส่งน้ำหรือสิ่งก่อสร้างที่มีความเกี่ยวข้องจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก และในด้านก่อสร้างได้มีการการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อช่วยลดระยะเวลา ทรัพยากร และแรงงานในการดำเนินการ รวมถึง “ผ้าใบคอนกรีต (Concrete Fabric)” ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้พัฒนาขึ้น และมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในการดาดคลองชลประทาน โดยสามารถช่วยลดระยะเวลาและขั้นตอนในการก่อสร้าง และไม่มีแนวโน้มที่จะเกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำให้เกินเกณฑ์คุณภาพน้ำด้านชลประทานเพื่อการเกษตรกรรม โดยในการติดตั้งจำเป็นต้องควบคุมขั้นตอนการฉีดพ่นน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำส่วนเกินซึ่งจะช่วยลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม [1]

ทั้งนี้ การนำผ้าใบคอนกรีตไปใช้งานจำเป็นต้องพิจารณาถึงสภาวะต่างๆที่อาจเกิดขึ้น เช่น การนำไปใช้ในพื้นที่วิกฤตด้านมลภาวะทางอากาศที่อาจทำให้เกิดฝนกรด หรือการปนเปื้อนของสารละลายลงสู่แหล่งน้ำ เป็นต้น ซึ่งสภาวะดังกล่าวอาจมีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของผ้าใบคอนกรีต ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโมดูลัสการแตกร้าวของผ้าใบคอนกรีตในสภาวะปกติ (สภาวะเป็นกลาง) และในสภาวะแวดล้อมวิกฤตที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผ้าใบคอนกรีต (Concrete Fabric)

เป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท สยามวิจัยและนวัตกรรม จำกัด ในเครือบริษัทปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ เส้นใยสังเคราะห์ ซีเมนต์ และวัสดุรอง ซึ่งได้รับการพัฒนาให้สามารถดัดและตัดให้มีลักษณะและขนาดตามความต้องการได้ก่อนการทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งจะทำให้นำไปใช้งานได้ง่าย รวมถึง สะดวกในการขนส่งผ้าใบคอนกรีตไปยังสถานที่ก่อสร้างทำได้ง่าย เนื่องจากสามารถม้วนหรือพับได้ [1]

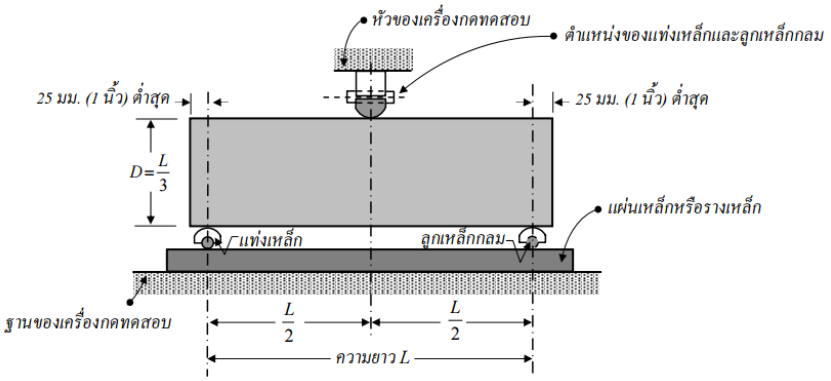
(a) ผ้าใบคอนกรีตก่อนพรมน้ำ

(b) ผ้าใบคอนกรีตหลังพรมน้ำและปล่อยให้แข็งตัว

รูปที่ 1 ผ้าใบคอนกรีต (Concrete Fabric)

2.2 โมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture: MOR)

หมายถึง ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดัดสูงสุดที่กระทำต่อตัวอย่างคอนกรีต ณ จุดวิบัติ โดยใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (Center-Point Loading) วางชิ้นทดสอบลงบนฐานรองรับคาน วางหัวกดให้ตำแหน่งของหัวกดอยู่ที่กึ่งกลางคาน [2] ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทดสอบโดยใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (Center-Point Loading) [2]

ในการคำนวณค่า MOR โดยใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (Center-Point Loading) สามารถหาได้จาก [2]

$$MOR = \frac{3PL}{2bd^2} \qquad (1)$$

เมื่อ MOR คือ ค่าโมดูลัสการแตกร้าว เป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

P คือ แรงสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ เป็น กิโลกรัม

L คือ ความยาวช่วงคาน เป็น เซนติเมตร

b คือ ความกว้างเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก เป็น เซนติเมตร

d คือ ความลึกเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก เป็น เซนติเมตร

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การหาระยะเวลาการบ่มในอากาศของผ้าใบคอนกรีตที่เหมาะสม

เพื่อศึกษาหาระยะเวลาการบ่มในอากาศที่ระยะเวลา 1 วัน (A1) 3 วัน (A3) และ 7 วัน (A7) ที่มีผลต่อโมดูลัสการแตกร้าวและผลต่อคุณภาพน้ำที่ใช้ในการแช่ตัวอย่างผ้าใบคอนกรีต ที่อายุการแช่ในน้ำ 7 14 และ 28 วัน โดยทำการเตรียมตัวอย่างผ้าใบคอนกรีต ขนาด 25x12 เซนติเมตร รวมเป็นจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 27 ตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ ดังนี้

- เตรียมตัวอย่างผ้าใบคอนกรีต ขนาด 25x12 เซนติเมตร โดยการขึ้นรูปด้วยการฉีดน้ำบนตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตให้ทั่วจนอิ่มตัวด้วยน้ำ ทิ้งไว้ 15 นาที ทำการฉีดน้ำลงบนตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตให้ทั่วอีกครั้งและทำการบ่มในอากาศตามระยะเวลาที่ทำการศึกษา จากนั้นนำตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตแช่ในน้ำตามอายุการที่ทำการศึกษา

- ทดสอบหาค่าโมดูลัสการแตกร้าว โดยเมื่อครบกำหนดตามอายุการแช่ในน้ำ นำตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตขึ้นจากน้ำ ทิ้งในอากาศ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจวัดขนาดของตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตและทำการทดสอบหากำลังรับแรงดัดของผ้าใบคอนกรีต เพื่อคำนวณหาค่าโมดูลัสการแตกร้าว

- ตรวจวัดคุณภาพน้ำของน้ำที่ใช้ในการแช่ตัวอย่างผ้าใบคอนกรีต โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid: TDS) และสารแขวนลอย (Suspended Solid : SS) โดยเทียบกับมาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ซึ่งกำหนดให้มีค่า TDS ไม่เกิน 1,300 mg/l และ SS ไม่เกิน 30 mg/l [3]

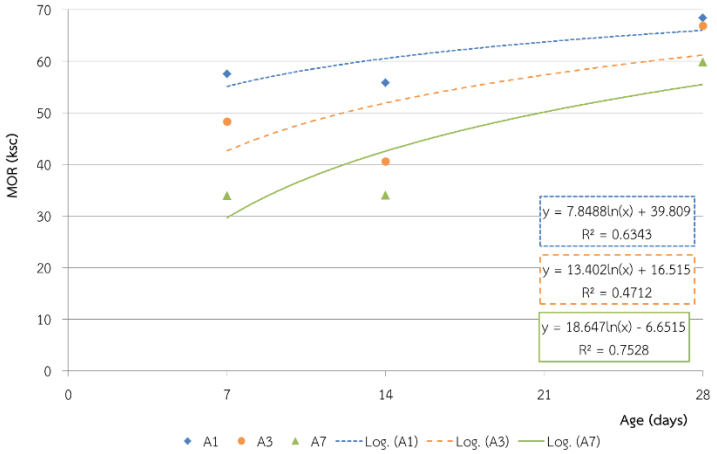
3.2 การหาผลที่เกิดจากสภาวะวิกฤตต่อค่าโมดูลัสการแตกร้าว

เพื่อศึกษาผลของสภาวะวิกฤตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในน้ำที่ใช้ในการแช่ตัวอย่างผ้าใบคอนกรีต ได้แก่ สภาวะที่เป็นกรด (pH < 4) สภาวะที่เป็นกลาง (pH ~ 7) และสภาวะที่เป็นด่าง (pH > 10) ที่มีผลต่อการพัฒนากำลังรับแรงดัด ที่อายุการแช่ในสารละลาย 3 7 14 21 28 35 42 และ 60 วัน ที่ระยะเวลาการบ่มในอากาศของผ้าใบคอนกรีตที่เหมาะสมจากผลการศึกษาในข้อ 3.1 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ รวมเป็นจำนวนทั้งสิ้น 72 ตัวอย่าง

4. ผลการศึกษา

4.1 ระยะเวลาการบ่มในอากาศของผ้าใบคอนกรีตที่เหมาะสม

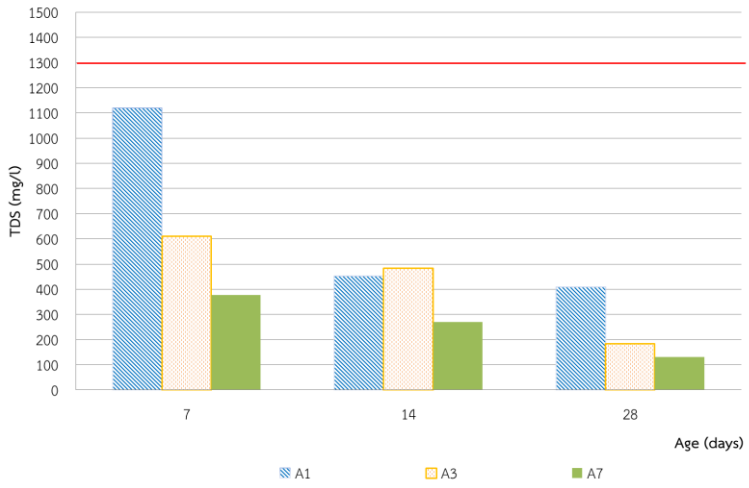
จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างผ้าใบคอนกรีต ที่ระยะเวลาการบ่มในอากาศและอายุการแช่ในน้ำต่างๆ (รูปที่ 3) พบว่า A1 มีค่า MOR เฉลี่ยที่อายุการแช่ต่างๆ อยู่ในช่วง 56-68 ksc รองลงมาคือ A3 และ A7 อยู่ในช่วง 40-67 และ 34-60 ksc ตามลำดับ ซึ่งการพัฒนากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างผ้าใบคอนกรีต ทุกระยะเวลาบ่มในอากาศมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออายุการแช่ในน้ำมากขึ้น และจากเส้นแนวโน้มการเพิ่ม MOR พบว่า เมื่ออายุการแช่ในน้ำอยู่ในช่วง 7-14 วันแรก มีค่า MOR เพิ่มขึ้นมากกว่าช่วงอายุการแช่ในน้ำที่ 14-28 วัน ดังนั้น MOR มีแนวโน้มแปรผกผันกับระยะเวลาการบ่มในอากาศ แต่ MOR จะเพิ่มขึ้นตามอายุการแช่ในน้ำ



รูปที่ 3 โมดูลัสการแตกร้าวเฉลี่ยของตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่มในอากาศและอายุการแช่ในน้ำต่างๆ

จากผลการตรวจคุณภาพน้ำของน้ำที่ใช้แช่ตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตระยะเวลาการบ่มในอากาศและอายุการแช่ในน้ำต่างๆ (รูปที่ 4) พบว่า TDS ที่เพิ่มขึ้นของน้ำใช้แช่ตัวอย่างทั้ง 3 ระยะเวลาการบ่มในอากาศ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการชลประทานในอ่างเก็บน้ำ ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และทางน้ำชลประทาน ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 1,300 mg/l [1] โดย TDS ลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มในอากาศเพิ่มมากขึ้นและอายุการแช่ในน้ำเพิ่มมากขึ้น โดย A1 ที่อายุการแช่ในน้ำมีค่า TDS ที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ 1,118 mg/l

ตารางที่ 1 แสดงผลการตรวจวัดการเพิ่มของ SS พบว่า มีเพียง A3 ที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการชลประทานในอ่างเก็บน้ำ ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และทางน้ำชลประทาน ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 30 mg/l [1] ในทุกอายุการแช่ในน้ำ โดย A1 และ A7 มี SS เกินกว่ามาตรฐานกำหนดที่อายุการแช่ในน้ำมากกว่า 14 วัน นอกจากนี้ พบว่า ตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตทุกระยะเวลาการบ่มในอากาศมีปริมาณการเพิ่ม SS สูงที่อายุการแช่ในน้ำในช่วง 14 วันแรก และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการแช่ในน้ำเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4 ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นของน้ำใช้แช่ตัวอย่างผ้าใบคอนกรีต
ที่ระยะเวลาการบ่มในอากาศและอายุการแช่ในน้ำต่างๆ

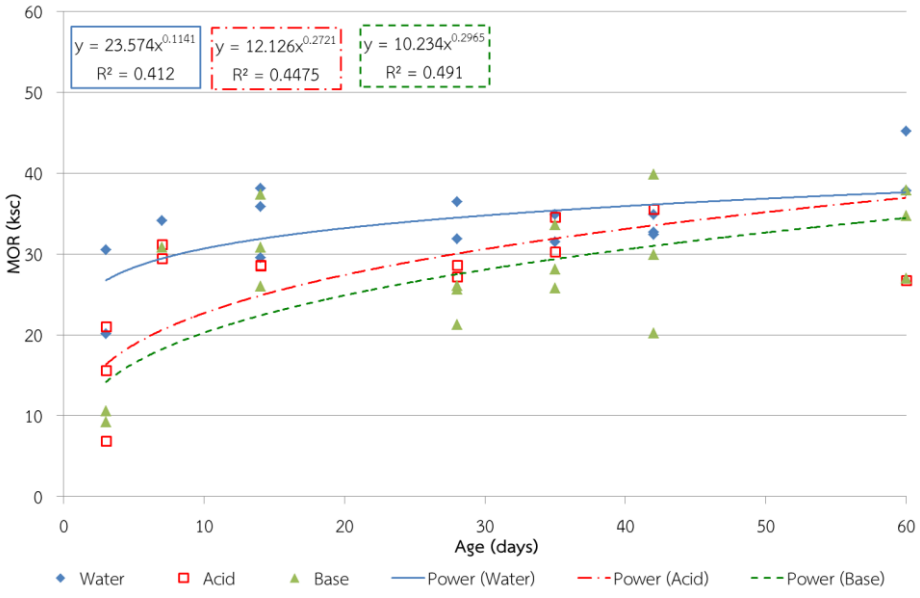
ตารางที่ 1 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นของน้ำที่ใช้แช่ตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่มในอากาศและอายุการแช่ในน้ำต่างๆ

ตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่มในอากาศ	ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้น (mg/l)		
	7 วัน	14 วัน	28 วัน
1 วัน (A1)	10	41	48
3 วัน (A3)	0	25	26
7 วัน (A7)	18	57	66

เมื่อวิเคราะห์ผลของ MOR ร่วมกับผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ พบว่า ระยะเวลาการบ่มในอากาศน้อยจะทำให้การพัฒนากำลังรับแรงดัดของผ้าใบคอนกรีตเกิดขึ้นได้เร็ว แต่ทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไปมาก ดังนั้นระยะเวลาการบ่มในอากาศที่เหมาะสมทั้งในด้านวิศวกรรมโครงสร้างและด้านสิ่งแวดล้อม คือ 3 วันภายหลังการฉีดพ่นน้ำให้ผ้าใบคอนกรีตแข็งตัว

4.2 ผลที่เกิดจากสภาวะวิกฤตต่อค่าโมดูลัสการแตกร้าว

จากตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตเพื่อทำการทดสอบจำนวนทั้งสิ้น 72 ตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตมีความหนาเฉลี่ย 0.81 ± 0.02 cm. และมีความหนาแน่นเฉลี่ย 1,703 ± 40 kg/m^3 หรือคิดเป็น 71% ของความหนาแน่นคอนกรีตทั่วไป (2,400 kg/m^3) เมื่อพิจารณาผลการทดสอบโมดูลัสการแตกร้าว ดังรูปที่ 5 พบว่า MOR เพิ่มขึ้นตามอายุในทุกสภาวะแวดล้อม โดยตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตที่แช่ในสภาพที่เป็นกลาง มีค่า MOR สูงที่สุด รองลงมาคือ ในสภาวะที่เป็นกรดและสภาวะที่เป็นด่างตามลำดับ ทั้งนี้ MOR ของผ้าใบคอนกรีตในสภาวะที่เป็นกรดและสภาวะที่เป็นด่างมีแนวโน้มใกล้เคียงกับ MOR ผ้าใบคอนกรีตที่แช่ในสภาพที่เป็นกลางเมื่อมีอายุการแช่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 5 โมดูลัสการแตกร้าวของตัวอย่างผ้าใบคอนกรีตที่สภาวะวิกฤตต่างๆ

5. สรุป

ในการศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมและคุณภาพน้ำของผ้าใบคอนกรีตที่บ่มในอากาศด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกันคือ 1 3 และ 7 วัน นั้น พบว่า ผ้าใบคอนกรีตที่บ่มในอากาศ 3 วัน มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในงานดาดคลอง และสภาวะวิกฤตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง มีผลทำให้กำลังรับแรงดัดของผ้าใบคอนกรีตลดลงเมื่อเทียบกับสภาวะเป็นกลาง โดยในทุกสภาวะแวดล้อมโมดูลัสการแตกร้าวของผ้าใบคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของผ้าใบคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น การนำผ้าใบคอนกรีตไปใช้งานควรสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมอย่างเหมาะสม

ทั้งนี้ การศึกษานี้เป็นการทดสอบสภาวะแวดล้อมวิกฤตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างเท่านั้น ดังนั้น จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในกรณีสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อนำไปใช้งาน เช่น ในพื้นที่ดินเค็มหรือการสัมผัสกับน้ำทะเล เป็นต้น รวมถึงการนำไปทดสอบในสภาพการใช้งานงานจริงต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนการดำเนินการจาก บริษัทสยามวิจัยและนวัตกรรม จำกัด ในเครือบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) และได้รับการอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการศึกษาจากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

7. บรรณานุกรม

[1] นิธิรัชต์ สงวนเดือน, นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์ และ สมชาย ดอนเจดีย์, 2559, “การศึกษาเบื้องต้นของการใช้ผ้าใบคอนกรีตในการดาดคลองชลประทานต่อคุณภาพน้ำ”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21, 2391-2396.

[2] กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2550, “มาตรฐานการทดสอบกำลังตานทานแรงดัดของคอนกรีต”, services.dpt.go.th/dpt_rsbldg/modules/standard/data_standard/Std_ts_method/1_2_1_1_.pdf [19 พฤษภาคม 2560].

[3] กรมชลประทาน, 2554, “มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน”, คำสั่งกรมชลประทานที่ 73/2554 เรื่อง แก้ไขการระบายน้ำที่มีคุณภาพต่ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน ลงวันที่ 1 เมษายน 2554.