



การวิบัติของอาคารชลประทานในสภาวะสิ่งแวดล้อมรุนแรง  
FAILURE OF IRRIGATION STRUCTURES IN SEVERE ENVIRONMENT

นันทวัฒน์ ขมหวาน<sup>1</sup> และ นิมิตร เจริญพันธ์พิพัฒน์<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140 \*E-mail: fengnwk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

อาคารชลประทานในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องมีอายุใช้งานราว 28-32 ปี อาคารหลายแห่งซึ่งเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเริ่มมีสภาพชำรุดอันมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย การวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจความเสียหายของโครงสร้างอาคารชลประทานเบื้องต้นด้วยวิธีตรวจพินิจจำนวน 32 อาคาร และทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณข้างเคียงกับอาคารชลประทานดังกล่าว รวมถึงการเจาะเก็บตัวอย่างผกคอนกรีตจากอาคารชลประทานที่มีขนาดใหญ่และมีความสำคัญในโครงการจำนวน 5 อาคาร จากนั้นนำตัวอย่างดินและผกคอนกรีตที่ได้วิเคราะห์ปริมาณเกลือซัลเฟตและคลอไรด์ จากผลการศึกษาความเสียหายของอาคารชลประทานด้วยวิธีการตรวจพินิจพบว่า โครงสร้างอาคารชลประทานร้อยละ 53.6 ของอาคารชลประทานที่ทำการสำรวจมีระดับความเสียหายในระดับปานกลาง (ระดับที่ 3) และพบว่าอาคารบางส่วนมีรอยร้าวที่มีลักษณะขนานกับผิวเหล็กเสริมในบางจุด จึงจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบโดยละเอียดต่อไป ผลการทดสอบตัวอย่างดินพบว่าดินบริเวณอาคารชลประทานส่วนใหญ่มีปริมาณของซัลเฟตอยู่ในช่วงร้อยละ 0.0004 – 0.084 โดยน้ำหนัก ซึ่งพื้นที่จุดสำรวจส่วนใหญ่พบปริมาณซัลเฟตอยู่ในสภาวะที่น้อยมากเมื่อเทียบกับข้อกำหนด และมีปริมาณคลอไรด์ร้อยละ 0-0.04 โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตพบว่า ในเนื้อคอนกรีตของอาคารชลประทานมีปริมาณซัลเฟตอยู่ในช่วงร้อยละ 0.53 – 1.90 โดยน้ำหนัก ซึ่งจัดอยู่ในสภาวะที่รุนแรง และมีปริมาณคลอไรด์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.25 – 0.98 โดยน้ำหนักของคอนกรีตเกินกว่าค่าสูงสุดของคลอไรด์ที่ยอมรับได้ (ร้อยละ 0.018 โดยน้ำหนักคอนกรีต) ปริมาณเกลือในคอนกรีตอาจจะส่งผลต่อการวิบัติและอายุการใช้งานของโครงสร้างในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: การวิบัติ, อาคารชลประทาน, สิ่งแวดล้อมรุนแรง, คลอไรด์, ซัลเฟต

ABSTRACT

The irrigation structures in Songphinong operation and maintenance project are at the age between 28-32 years old. These are reinforced concrete structures. The deterioration of several structures are effected by many factors. In this research, visual inspection was conducted to evaluate the concrete deterioration of 32 irrigation structures. In addition, the soil

Nantawat Khomwan<sup>1</sup> and Nimit Cherdchanpipat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus

Kamphaeng Saen District, Nakhon Pathom 73140 Thailand

*samples were collected at the position adjacent to these structures and concrete powder from 5 large irrigation structures in the project area. All samples were tested at Soil Science Laboratory of Kasetsart University and Central Laboratory of Kasetsart University. The results reveal that structures of 53.6 percent have the level of the moderate damage in class 3 with some of structures have crack parallel to reinforcing steel and need for more examine in details. While the results of soil and concrete chemical testing, the most of soil in the area have amount of sulfate between 0.0004-0.084 percent by weight which less than minimum value of allowable sulfate, the amount of chloride in soil between 0-0.04 percent by weight off concert. From results of testing concrete, there were found that sulfate in concrete of irrigation structures have between 0.53-1.90 percent by weight which were higher than the minimum value of allowable sulfate for severe condition. Moreover amount of chloride higher results more than maximum value of allowable chloride. It may affect the service life of the structures in future.*

**KEYWORDS:** failure, water conveyance structure, severe environment, chloride, sulfate

## 1. บทนำ

พื้นที่ในแถบภาคกลางของไทยเคยมีน้ำทะเลท่วมถึง จากหลักฐานการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในประเทศไทย ([1], [2], [3]) พบว่า ในอดีตหลายพันปีมาแล้ว พื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึงอยู่ในเขตตั้งแต่กรุงเทพฯ ถึงจังหวัดชัยนาทเกือบถึงแนวเทือกเขา และเกิดการทับถมของตะกอนต่อมาระดับน้ำทะเลลดถอย จนกระทั่งประมาณ 4,000 ปีที่ผ่านมา มีการรุกของน้ำทะเลอีกครั้งถึงจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ดังนั้นได้ผิวดินของบริเวณดังกล่าวจะมีการทับถมของตะกอนจากน้ำทะเล (Marine deposit) ที่ปกคลุมด้วยตะกอนน้ำจืด (Alluvial deposit) และชั้นตะกอนน้ำจืดที่คลุมตะกอนน้ำทะเลจะมีความหนาบางแตกต่างกันออกไปตามความใกล้ไกลจากทางน้ำ ด้วยเหตุนี้ตะกอนน้ำเค็ม และตะกอนน้ำกร่อย จึงเป็นสาเหตุของปัญหาดินเค็มในภาคกลาง ([1], [2], [3])

เกลือในสิ่งแวดล้อมเป็นสาเหตุสำคัญต่ออายุการใช้งานของคอนกรีตและเหล็กเสริม ซึ่งเกลือในดินหรือน้ำ อาจก่อให้เกิดความเสียหายดังกล่าวคือ พื้นที่บริเวณภาคกลางส่วนใหญ่เคยเป็นพื้นที่ที่มีน้ำทะเลท่วมถึง จึงทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่มีเกลือโดยตรง ซึ่งความเสียหายดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดียวกันกับโครงสร้างที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเล [1] อีกทั้งยังมีข้อมูลการสำรวจเกลือในดินของบริเวณจังหวัดสุพรรณบุรี [4] โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับ 0.50 ม. จากระดับดินเดิมจำนวน 20 ตัวอย่าง ใน 10 อำเภอ ของจังหวัดสุพรรณบุรี ผลการศึกษาพบว่า มีเกลือซัลเฟตความเข้มข้นอยู่ระหว่างร้อยละ 0.007-0.407 และเกลือคลอไรด์มีความเข้มข้นโดยน้ำหนักอยู่ระหว่างร้อยละ 0.0015 - 0.12 ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของโครงสร้าง

เกลือซัลเฟตทุกชนิดเป็นอันตรายต่อคอนกรีต โดยซัลเฟตจะทำปฏิกิริยากับ Hydrated calcium aluminate และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เกิดผลผลิตเป็น Ettringite ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งที่ทำให้คอนกรีตมีปริมาตรเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Ettringite จะทำให้เกิดแรงดันในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตเกิดการกะเทาะแตกตัว จากนั้นการเสื่อมสภาพก็จะลุกลามต่อไปเป็นบริเวณกว้าง โดยทั่วไปการเสื่อมสภาพของคอนกรีตโดยเกลือซัลเฟตที่พบมากจาก สิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ และในกระบวนการทางอุตสาหกรรมคือ เกลือโซเดียมซัลเฟต แคลเซียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต ดินหรือน้ำที่มีซัลเฟตเหล่านี้อยู่ เรียกว่า Alkaline soil หรือ Alkaline water โดยระดับความรุนแรงมีสาเหตุมาจากธรรมชาติและการสะสมทับถม [5] เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากซัลเฟต คอนกรีตที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตต้องเป็นไปตามตารางที่ 1 [6]

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากเกลือคลอไรด์ สามารถอธิบายได้ดังนี้ คลอไรด์ไอออนจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตจากผิวที่สัมผัสจนถึงเหล็กเสริมและการสะสมของคลอไรด์ไอออนที่ผิวของเหล็กเพิ่มจนมีค่ามากกว่าปริมาณคลอไรด์วิกฤติ ชั้นฟิล์มที่เคลือบผิวเหล็กเสริมจะถูกทำลายลงทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อน การกัดกร่อนของเหล็กเสริมทำให้เกิดการสูญเสียการรับแรง (การลดลงของพื้นที่หน้าตัดเหล็ก) การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว (Bonding) ระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม ซีเมนต์เพสต์รอบผิวที่มีการอ่อนตัวและละลายไปโดยการเกิดสนิมเหล็กที่เป็นกรด เช่น  $FeCl_2$  และการแตกออกของเนื้อคอนกรีตที่หุ้มเหล็กอยู่ (การขยายตัวซึ่งมาจากสนิมเหล็กที่เกิดขึ้น) เกลือคลอไรด์ที่ซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีต จะมีเพียงคลอไรด์อิสระเท่านั้นที่จะทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริม ดังนั้นเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของอนุมูลคลอไรด์ ปริมาณอนุมูลคลอไรด์ในคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ต้องไม่เกินค่าที่แสดงในตารางที่ 2 [6]

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดสำหรับคอนกรีตที่สัมผัสกับสารละลายซัลเฟต [6]

สภาวะการสัมผัสกับสารละลายซัลเฟต	ปริมาณซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$ ) ที่ละลายได้ในดิน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$ ) ในน้ำ (หนึ่งในล้านส่วน)	ประเภทปูนซีเมนต์	ค่าสูงสุดของ W/C <sup>(1)</sup>	คอนกรีตกำลังอัดต่ำ (ksc)
น้อยมาก	0.00 - 0.10	0 - 150	-	-	-
ปานกลาง <sup>(3)</sup>	0.10 - 0.20	150 - 1,500	II,I <sup>(2)</sup>	0.50	250
รุนแรง	0.20 - 2.00	1,500 - 10,000	V	0.45	300
รุนแรงมาก	มากกว่า 2.00	>10,000	V	0.45	300

ผสมปอชโซลาน<sup>(4)</sup>

- หมายเหตุ:
- 1) ในกรณีที่ต้องการคอนกรีตกันน้ำซึมหรือเพื่อป้องกันคอนกรีตในเหล็กเสริมให้ใช้อัตราส่วนผสมที่ต่ำกว่าหรือกำลังอัดที่สูงกว่าในตาราง
  - 2) ปูนซีเมนต์ประเภท I ชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถต้านทานซัลเฟตในสภาวะปานกลางได้
  - 3) น้ำทะเล
  - 4) วัสดุปอชโซลานที่นำมาผสมกับคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ประเภท V ต้องรับรองหรือทดสอบให้แน่ชัดว่าสามารถเพิ่มความต้านทานซัลเฟตในสภาวะรุนแรงได้

การส่งน้ำชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องมีความสำคัญต่อเขตเศรษฐกิจของจังหวัดสุพรรณบุรีและประเทศ ความยั่งยืนของอาคารชลประทานจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อการพัฒนาประเทศ การป้องกันเหตุการณ์ที่จะทำให้ไม่สามารถส่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือไม่สามารถส่งน้ำได้จึงมีความเสี่ยง ดังนั้นการสำรวจความเสียหายของอาคารชลประทานจึงเป็นการสำรวจเพื่อเป็นข้อมูลในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา อีกทั้งยังทำให้ทราบถึงสาเหตุของการเสื่อมสภาพของอาคารชลประทานในระยะสั้นและความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กต่อสภาพแวดล้อมที่อาจส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานในระยะยาวอีกด้วย

ตารางที่ 2 ปริมาณสูงสุดของอนุภาคคลอไรด์เพื่อป้องกันการเกิดสนิม [6]

ชนิดขององค์อาคาร	ปริมาณสูงสุดของอนุภาคคลอไรด์ (Cl <sup>-</sup> ) ที่ละลายน้ำได้ในคอนกรีต (ร้อยละโดยน้ำหนักของซีเมนต์)
คอนกรีตอัดแรง	0.06
คอนกรีตเสริมเหล็กที่สัมผัสกับคลอไรด์ขณะใช้งาน	0.15
คอนกรีตเสริมเหล็กในที่แห้งหรือป้องกันความชื้นขณะใช้งาน	1.00
งานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอื่นๆ	0.30

## 2. วัตถุประสงค์ ขอบเขต พื้นที่ของการประเมินความเสียหาย

วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย (1) เพื่อสำรวจระดับความเสียหายของอาคารชลประทาน (2) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของเกลือในดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้าง โดยทำการศึกษาระดับความเสียหายของอาคารชลประทานในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องตามมาตรฐาน [กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2551] และรายละเอียดดังตารางที่ 3 [7] โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 14°04' - 14°24' เหนือ และเส้นแวงที่ 99°46' - 100°03' ตะวันออก มีพื้นที่โครงการประมาณ 380,000 ไร่ และมีพื้นที่ชลประทานประมาณ 307,000 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่ของโครงการตั้งอยู่ในเขต อ.พนมทวน จ.กาญจนบุรี และ อ.สองพี่น้อง อ.อุ้มทอง จ.สุพรรณบุรี ระบบส่งน้ำของโครงการประกอบด้วยคลองสายใหญ่และสายซอยจำนวน 30 สาย ความยาวรวม 309 กิโลเมตร คลองระบายน้ำอีกจำนวน 35 สาย ความยาวรวม 306 กิโลเมตร ในระบบส่งน้ำและระบายน้ำดังกล่าวมีอาคารชลประทานประเภทต่างๆ เช่น ประตูระบายปากคลองส่งน้ำ (ปตร.) ท่อระบายปลายคลอง อาคารอัดน้ำกลางคลอง ท่อลอดถนน ไซฟอน ท่อส่งน้ำเข้านา ท่อระบายปลายคลอง อาคารทิ้งน้ำ และสะพาน เป็นต้น ทั้งที่เป็นอาคารขนาดเล็กและขนาดใหญ่ รวมทั้งสิ้นประมาณ 900 อาคาร ทำหน้าที่ควบคุม บังคับน้ำและป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นในขณะที่มีการส่งน้ำ อาคารทั้งหมดเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และมีอายุการใช้งานราว 28 - 32 ปีมาแล้ว

เนื่องจากโครงการสองพี่น้อง ซึ่งพื้นที่โครงการส่วนที่อยู่ในเขต จ.สุพรรณบุรี มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ใกล้กับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่สามารถทำการศึกษาวิจัยได้สะดวกกว่าพื้นที่โครงการส่วนที่อยู่ในเขต จ.กาญจนบุรี จึงทำการศึกษาวิจัยเฉพาะพื้นที่โครงการส่วนของ จ.สุพรรณบุรี ซึ่งลักษณะภูมิศาสตร์ส่วนใหญ่ของจังหวัดสุพรรณบุรีเป็นที่ราบต่ำติดชายฝั่งแม่น้ำมีทิวเขาขนาดเล็กอยู่ทางด้านเหนือและทางด้านตะวันตก ด้านตะวันออกเฉียงใต้เป็นที่ราบลุ่มของแม่น้ำสุพรรณบุรี (แม่น้ำท่าจีน) ใช้เป็นพื้นที่ปลูกข้าว การปกครองแบ่งออกเป็น 10 อำเภอ 110 ตำบล 977 หมู่บ้าน มีพื้นที่ 5,358 ตารางกิโลเมตร

การจัดกลุ่มอายุของคลองและอาคารชลประทานเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 มีอายุประมาณ 32 ปี (ก่อสร้างช่วง พ.ศ. 2526 - 2529) จำนวนทั้งสิ้น 577 อาคาร และกลุ่มที่ 2 มีอายุประมาณ 28 ปี (ก่อสร้างช่วง พ.ศ. 2530 - 2535) จำนวนทั้งสิ้น 323 อาคาร การสุ่มตัวอย่างเลือกสายคลองที่จะทำการสำรวจตามประเภทของคลองส่งน้ำ โดยจะเลือกอาคารของคลองส่งน้ำสายใหญ่ 2 ซ้าย (2L), คลองซอย 5 ซ้าย - 2 ซ้าย (5L-2L) และคลองแยกซอยจะทำการเลือกสายคลองที่อยู่บริเวณต้น กลาง และปลายของคลองซอย 5L-2L ซึ่งประกอบไปด้วย คลองแยกซอย 1 ขวา - 5 ซ้าย - 2 ซ้าย (1R-5L-2L), คลอง 2 ขวา - 5 ซ้าย - 2 ซ้าย (2R-5L-2L) และคลอง 4 ขวา - 5 ซ้าย - 2 ซ้าย (4R-5L-2L) จากนั้นทำการสำรวจอาคารชลประทานตามสายคลองที่เลือก โดยเลือกอาคารชลประทานที่จะสำรวจ

ตามชนิดของอาคารชลประทานที่มีอยู่ในสายคลองนั้นๆ รวมทั้งสิ้น 32 อาคารชลประทาน ซึ่งจะแสดงตำแหน่งที่ตั้งของอาคารที่ทำการสำรวจและคลองส่งน้ำสายต่างๆ ในโครงการ ดังรูปที่ 1

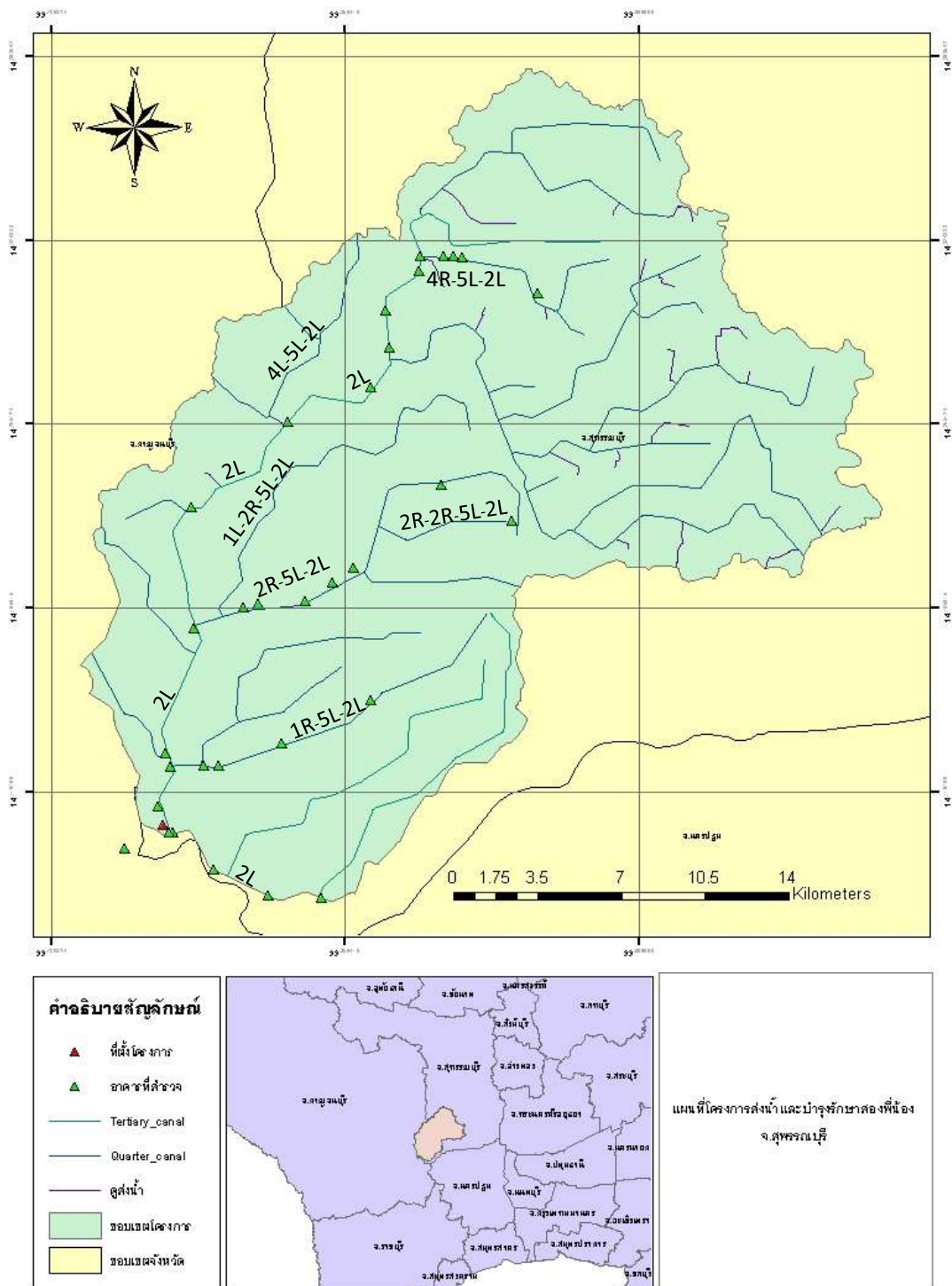
ตารางที่ 3 รายละเอียดระดับความเสียหาย (ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2551)

ระดับความเสียหาย	คำอธิบาย
ระดับ 1	โครงสร้างที่ไม่มีจุดบกพร่องจากการก่อสร้างและยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ และยังไม่จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด
ระดับ 2	โครงสร้างที่มีจุดบกพร่องจากการก่อสร้างซึ่งส่งผลกระทบต่อความคงทน แต่ยังไม่แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพ จุดบกพร่องดังกล่าวควรได้รับการแก้ไข
ระดับ 3	โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพที่สามารถสังเกตได้ชัดเจนในบางจุด แต่ยังไม่ถึงระดับที่มีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อวางแผนบำรุงรักษา
ระดับ 4	โครงสร้างที่มีการเสื่อมสภาพเป็นวงกว้าง และสูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และต้องการประเมินอัตราการเสื่อมสภาพ ควรต้องมีการบำรุงรักษาอย่างทันทั่วทั้งที่
ระดับ 5	โครงสร้างที่เกิดความเสียหายที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้โครงสร้างอย่างชัดเจน และจำเป็นต้องออกมาตรการสำหรับความปลอดภัยในการใช้งาน โครงสร้าง และ โครงสร้างควรได้รับการซ่อมบำรุงโดยด่วน

### 3. ตัวอย่างทดสอบและการทดสอบ

การเลือกอาคารชลประทานที่จะทำการเก็บตัวอย่างดินจากข้อมูลอาคารชลประทานที่ทำการสำรวจด้วยวิธีการตรวจพินิจ ทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณอาคารชลประทานที่มีขนาดใหญ่ (จากคลองที่มีอัตราการไหลมากกว่า 2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) อาคารละ 2 ตัวอย่าง อาคารชลประทานขนาดเล็กจะเก็บตัวอย่างอาคารละ 1 ตัวอย่าง (รูปที่ 2 (a) – (e)) โดยตำแหน่งการเจาะดินจะเก็บตรงบริเวณแฉกแนวกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กของตัวอาคารชลประทาน เนื่องจากเป็นส่วนของอาคารที่สัมผัสกับดินอยู่ตลอดเวลา ทำการขุดดินบริเวณที่ติดกับอาคารชลประทาน ด้วยความลึกประมาณ 30-50 เซนติเมตรจากผิวดิน และบรรจุดินที่ได้ประมาณ 1 กิโลกรัม

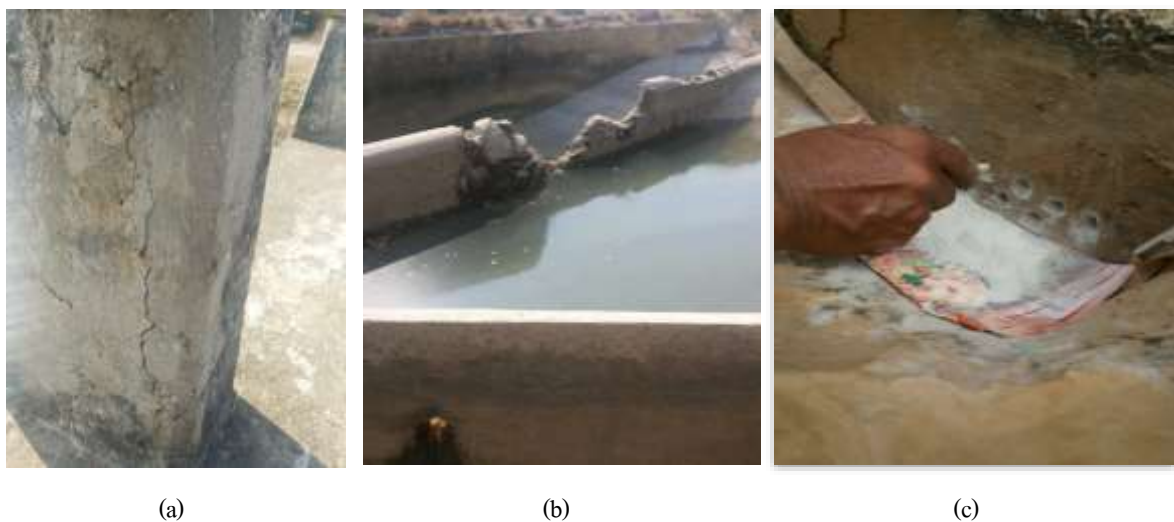
การเลือกอาคารในการสำรวจเกลือในคอนกรีตจะทำการเลือกอาคารชลประทานที่มีขนาดใหญ่ในโครงการชลประทานและเป็นอาคารตัวที่มีความสำคัญจำนวน 5 อาคาร โดยเลือกอาคารชลประทานจากคลองสายใหญ่ 2 ซ้าย (2L) จำนวน 2 อาคาร และอาคารชลประทานจากคลองสายซอย (5L - 2L) จำนวน 3 อาคาร (กม. 14+750, กม. 20+300 และ กม. 24+500) ใช้ส่วนทำการเจาะรูบนอาคารชลประทานจำนวน 10 รู ต่อ 1 อาคาร แบ่งเป็นระดับความลึกของการเก็บตัวอย่างคอนกรีตออกเป็น 5 ช่วง ช่วงละ 2 เซนติเมตร คือ 0-2, 2-4, 4-6, 6-8 และ 8-10 เซนติเมตร แล้วทำการปิดซ่อมรูเจาะทั้งหมดด้วย Non-shrink grout (รูปที่ 3 (c)) นำผงตัวอย่างคอนกรีตที่ได้มาทดสอบปริมาณคลอไรด์อิสระ (Free chloride content) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (Water-soluble chloride) ตามมาตรฐาน ASTM C 1218 [8] สำหรับซัลเฟตโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (Water-soluble sulfate) ตามมาตรฐาน ASTM C 1580 [9]



รูปที่ 1 แผนที่ตำแหน่งที่ตั้งของอาคารที่ทำการสำรวจและคลองส่งน้ำสายต่างๆ ในโครงการ



รูปที่ 2 อาคารชลประทานที่ทำการเจาะสำรวจดินและคอนกรีต



รูปที่ 3 การสำรวจความเสียหายของโครงสร้าง: (a) แนวการแตกร้าว (b) ความเสียหายจากการกระทำของมนุษย์ และ (c) การสำรวจหาปริมาณเกลือในคอนกรีต

#### 4. ผลการทดสอบ

ผลของการสำรวจโครงสร้างของอาคารชลประทานในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จากการตรวจสอบโครงสร้างอาคารชลประทานด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual inspection method) ซึ่งได้ผลการสำรวจดังรูปที่ 3 และ 4 โดยลักษณะของความเสียหายที่พบคือ การเกิดรอยร้าวขนานกับผิวเหล็กเสริมในคอนกรีต (Delamination) และเกิดรอยร้าวทะลุโครงสร้างคอนกรีต ดังรูปที่ 3(a) ผลจากการสำรวจของอาคารชลประทานตามกลุ่มอายุ พบว่า อาคารชลประทานที่อยู่ในกลุ่มอายุประมาณ 32 ปี ร้อยละ 53.6 ของอาคารที่ทำการสำรวจ มีระดับความเสียหายระดับ 3 (ตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง) และอาคารในกลุ่มอายุประมาณ 28 ปี ร้อยละ 50 ของอาคารที่ทำการสำรวจ มีระดับความเสียหายระดับ 4 จากข้อมูลจะเห็นว่า อาคารชลประทานในกลุ่มอายุประมาณ 28 ปี มีระดับความเสียหายมากกว่าอาคารชลประทานในกลุ่มอายุประมาณ 32 ปี แต่พบว่าอาคารชลประทานในกลุ่มอายุประมาณ 28 ปี ที่มีความเสียหายในระดับ 4 นั้น มีลักษณะความเสียหายที่เกิดจากการถูกทำลายจากการกระทำของมนุษย์ มีการใช้ก้อนทุบทำลายบริเวณฝายของอาคารเพื่อให้น้ำสามารถไหลต่อไป (รูปที่ 3 (b)) จึงทำการแยกอาคารชลประทานเหล่านี้ออกจากกลุ่มตัวอย่าง ทำให้อาคารชลประทานในกลุ่มอายุประมาณ 28 ปี มีจำนวนร้อยละ 50 มีระดับความเสียหายในระดับ 1 และระดับ 3

##### 4.1 ผลการศึกษาความเสียหายด้วยวิธีการตรวจพินิจ

จากข้อมูลการสำรวจที่ทำการแยกอาคารชลประทานที่มีความเสียหายในระดับ 4 ออกไปแล้วเนื่องจากพบว่าเป็นความเสียหายที่เกิดจากการถูกทุบทำลายจากคนไม่ได้เกิดจากธรรมชาติ พบว่า อาคารชลประทานที่อยู่ในกลุ่มอายุประมาณ 32 ปี มีระดับความเสียหายในระดับ 3 ซึ่งมีความเสียหายระดับเดียวกันกับอาคารชลประทานที่อยู่ในกลุ่มอายุประมาณ 28 ปี และเมื่อพิจารณาจากจำนวนอาคารทั้งหมดจำนวน 28 อาคารของทั้ง 2 กลุ่มอายุ พบว่า ร้อยละ 53.6 มีความเสียหายในระดับ 3, ร้อยละ 32.1 มีความเสียหายในระดับ 1 และร้อยละ 14.3 มีความเสียหายในระดับ 2

ผลการสำรวจเกลือในสภาพแวดล้อมในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จากรูปที่ 5 พบว่า เกลือซัลเฟตในดินบริเวณคลอง 4R-5L-2L มีปริมาณค่าของซัลเฟตอยู่ในช่วงร้อยละ 0.0004 – 0.42 และพบว่ามีปริมาณมากในดินของคลองสาย 4R-5L-2L กับ 5L-2L (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.0008 - 0.84 โดยน้ำหนักดิน) ส่วนคลองสาย 1R-5L-2L มีค่าในช่วงร้อยละ 0.0004 – 0.0009 โดยน้ำหนัก และคลองสาย 2R-5L-2L พบในปริมาณน้อย มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.0004 – 0.0007 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้อาจพอสรุปได้ว่า ปริมาณเกลือซัลเฟตอาจเกิดขึ้นในเฉพาะบางจุดของพื้นที่โครงการ ไม่ได้เกิดแพร่กระจายเป็นวงกว้าง อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลดังกล่าว ดังนั้นแนวโน้มผลกระทบของเกลือซัลเฟตต่อโครงสร้างอาจเกิดขึ้นกับอาคารชลประทานบางอาคารเท่านั้น สำหรับผลของการสำรวจปริมาณเกลือคลอไรด์ในดินดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่ามีปริมาณน้อยมาก อย่างไรก็ตามความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการเกิดสนิมของเหล็กเสริมและการแตกร้าวตามแนวเหล็กเสริมของโครงสร้างอาคารชลประทานบางจุดนั้นเป็นหลักฐานที่เด่นชัดทำให้ต้องทำการสำรวจชั้นรายละเอียดของเกลือในคอนกรีตของอาคารชลประทานทั้ง 5 อาคาร

##### 4.2 ผลการศึกษาปริมาณซัลเฟต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในคอนกรีตตามความลึกดังแสดงในรูปที่ 7 จากอาคารชลประทานที่มีขนาดใหญ่และสำคัญ 5 อาคาร คือ จากคลอง 2L จำนวน 2 อาคาร จากคลอง 5L-2L จำนวน 3 อาคาร แต่ละอาคารอยู่ห่างกันราว 4-5 กิโลเมตร ปริมาณซัลเฟตที่ระดับความลึก เปรียบเทียบกับค่าต่ำสุดของซัลเฟตในสภาวะสัมผัสกับ ระดับซัลเฟตรุนแรง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1500 ppm หรือเท่ากับ ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก ปริมาณของซัลเฟตที่ระดับความลึกการเจาะต่างๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.65 โดยน้ำหนัก (ร้อยละ 0.053 -



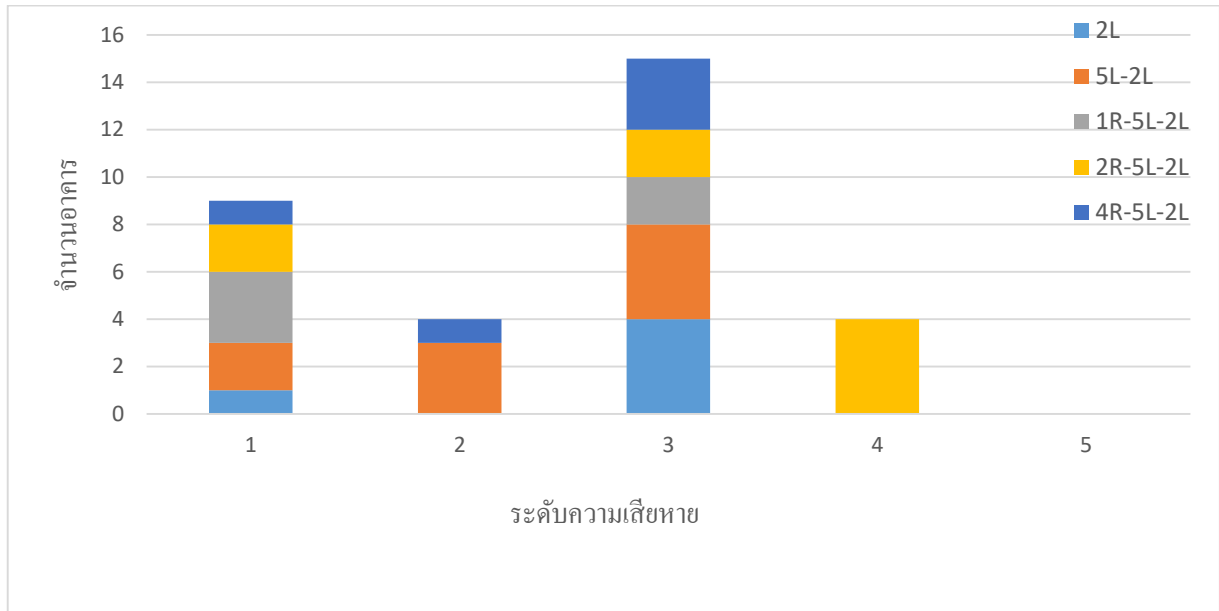
1.90 โดยน้ำหนัก) อยู่ในช่วงของค่ามาตรฐานร้อยละของซัลเฟตรุนแรงโดยแนวโน้มของการแทรกซึมของซัลเฟตในอาคารที่ 2, 4 และ 5 มีการแทรกซึมของซัลเฟตเข้าไปถึงความลึกที่ 6 ซม. ส่วนอาคาร 1 และ 3 นั้นการแทรกซึมของซัลเฟตเข้าไปลึกถึง 10 ซม. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการสำรวจด้วยวิธีการตรวจพินิจนั้น อาคารทั้งหมดมีความเสียหายจากเกลือซัลเฟตค่อนข้างน้อย ยังไม่มีการหลุดร่อนของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยาของซัลเฟตอย่างเด่นชัด

**ตารางที่ 4** ผลการสำรวจความเสียหายของโครงสร้างอาคารชลประทาน โดยวิธีการสำรวจด้วยวิธีการตรวจพินิจ  
(Visual Inspection Method)

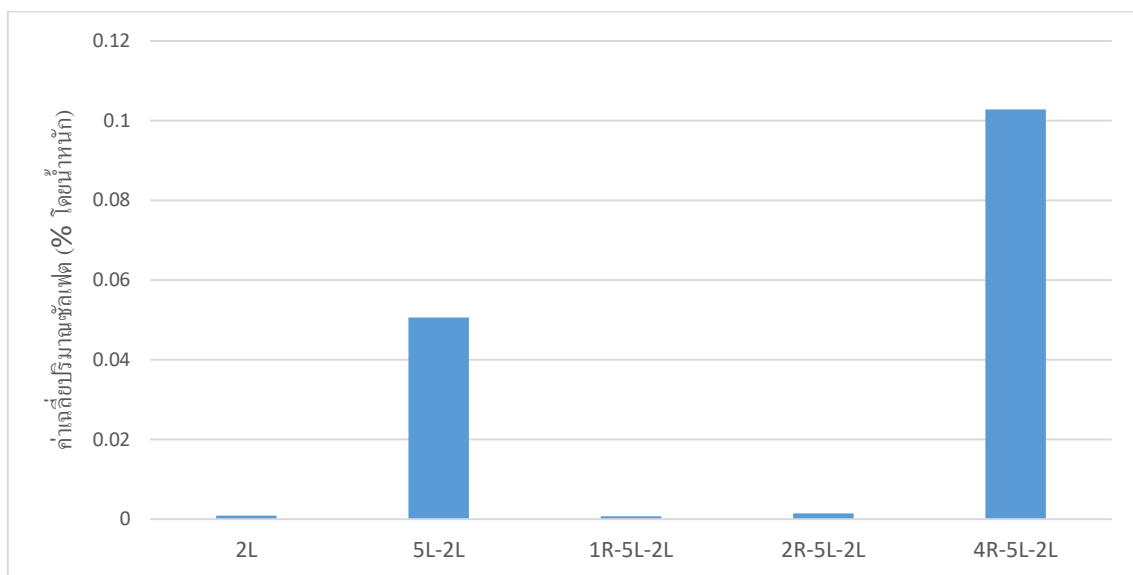
ลำดับที่	ชื่อคลอง	ชื่ออาคารชลประทาน	ระดับความเสียหาย
1	2L	สะพานรถยนต์	ระดับ 3
2		ปตร.กลางคลอง	ระดับ 3
3		ท่อส่งน้ำเข้านา(ฝั่งซ้าย)	ระดับ 1
4		ท่อลอดทางหลวง	ระดับ 3
5		ปตร.กลางคลอง	ระดับ 3
6	5L-2L	ปตร.ปากคลอง	ระดับ 3
7		สะพานรถยนต์	ระดับ 3
8		ปตร.กลางคลอง	ระดับ 2
9		ปตร.กลางคลอง	ระดับ 3
10		ปตร.กลางคลอง	ระดับ 2
11		ปตร.กลางคลอง	ระดับ 1
12		ท่อลอดถนน(อาคารอัดน้ำ)	ระดับ 1
13	5L-2L	ท่อลอดถนน(อาคารอัดน้ำ)	ระดับ 3
14		ท่อส่งน้ำเข้านา(ฝั่งขวา)	ระดับ 2

**ตารางที่ 4** ผลการสำรวจความเสียหายของโครงสร้างอาคารชลประทาน โดยวิธีการสำรวจด้วยวิธีการตรวจพินิจ (Visual Inspection Method) (ต่อ)

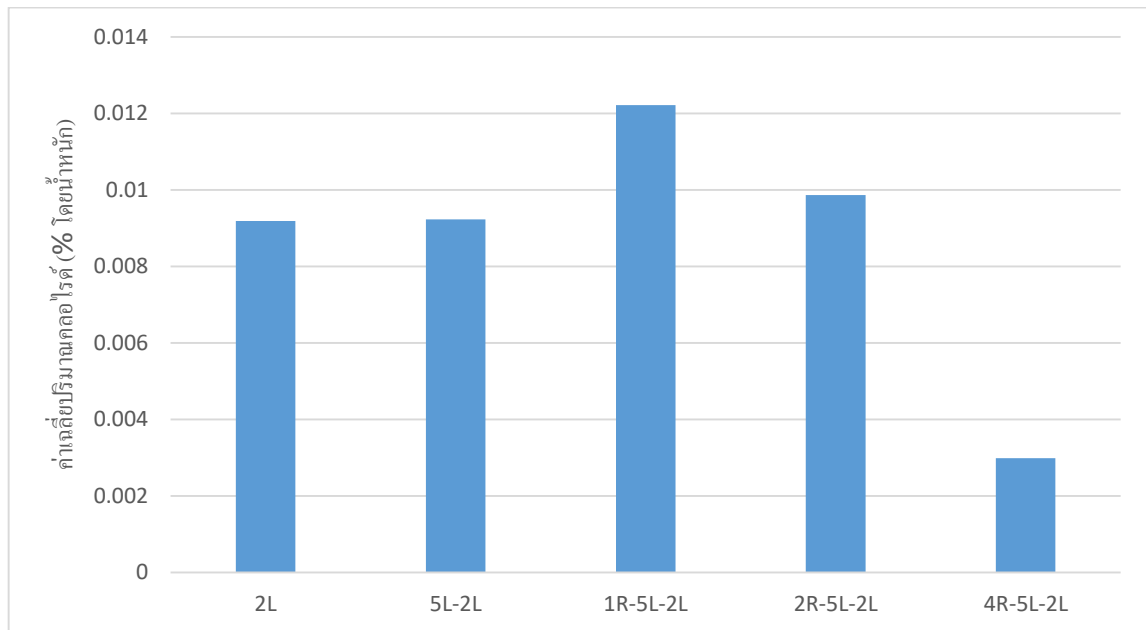
ลำดับที่	ชื่อคลอง	ชื่ออาคาร	ระดับความเสียหาย
15	1R-5L-2L	ทรบ.ปากคลอง	ระดับ 1
16		ท่อลอดถนน(อาคารอัดน้ำ)	ระดับ 1
17		อาคารระบายน้ำล้นลูกเขิน	ระดับ 3
18		ท่อลอดถนน(อาคารอัดน้ำ)	ระดับ 3
19		ท่อส่งน้ำเข้านา(ฝั่งขวา)	ระดับ 1
20	2R-5L-2L	ทรบ.ปากคลอง	ระดับ 3
21		ท่อลอดถนน(อาคารอัดน้ำ)	ระดับ 4
22		อาคารทคน้ำ	ระดับ 4
23		อาคารทิ้งน้ำ	ระดับ 1
24		สะพานรถยนต์	ระดับ 3
25		ท่อลอดถนน(อาคารอัดน้ำ)	ระดับ 4
26		ท่อส่งน้ำเข้านา(ฝั่งขวา)	ระดับ 1
27		ท่อลอดถนน(อาคารอัดน้ำ)	ระดับ 4
28	4R-5L-2L	ทรบ.ปากคลอง	ระดับ 3
29		ท่อลอดถนน(อาคารอัดน้ำ)	ระดับ 2
30		ท่อส่งน้ำเข้านา(ฝั่งขวา)	ระดับ 1
31		สะพานคนเดิน	ระดับ 3
32		ท่อลอดถนน(อาคารอัดน้ำ)	ระดับ 3



รูปที่ 4 ระดับความเสียหายของอาคารชลประทานแยกตามคลองชลประทาน



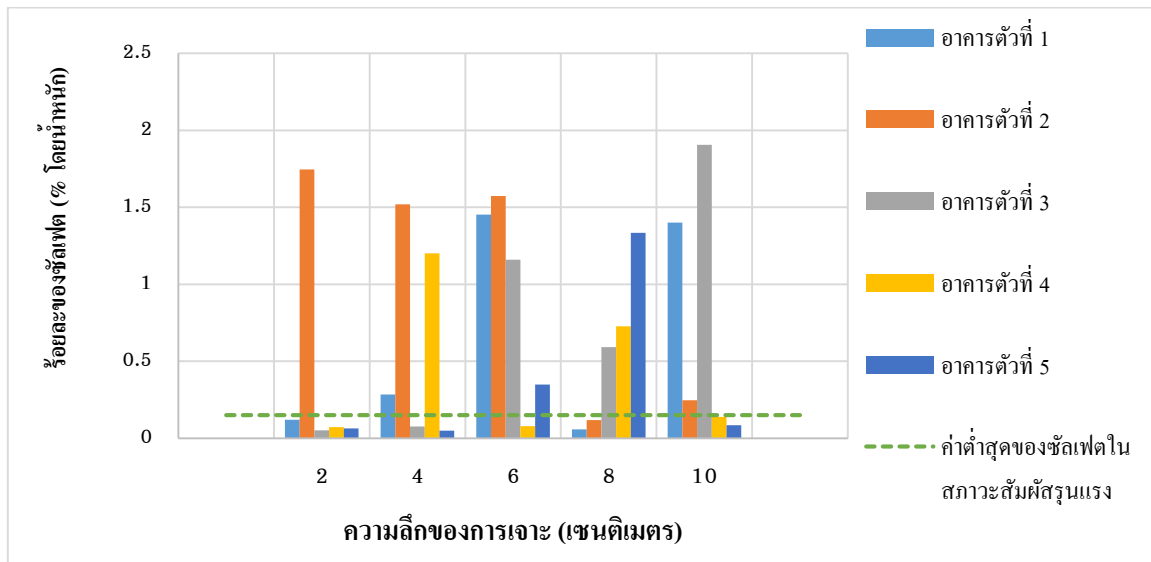
รูปที่ 5 ปริมาณเกลือซัลเฟตในดิน



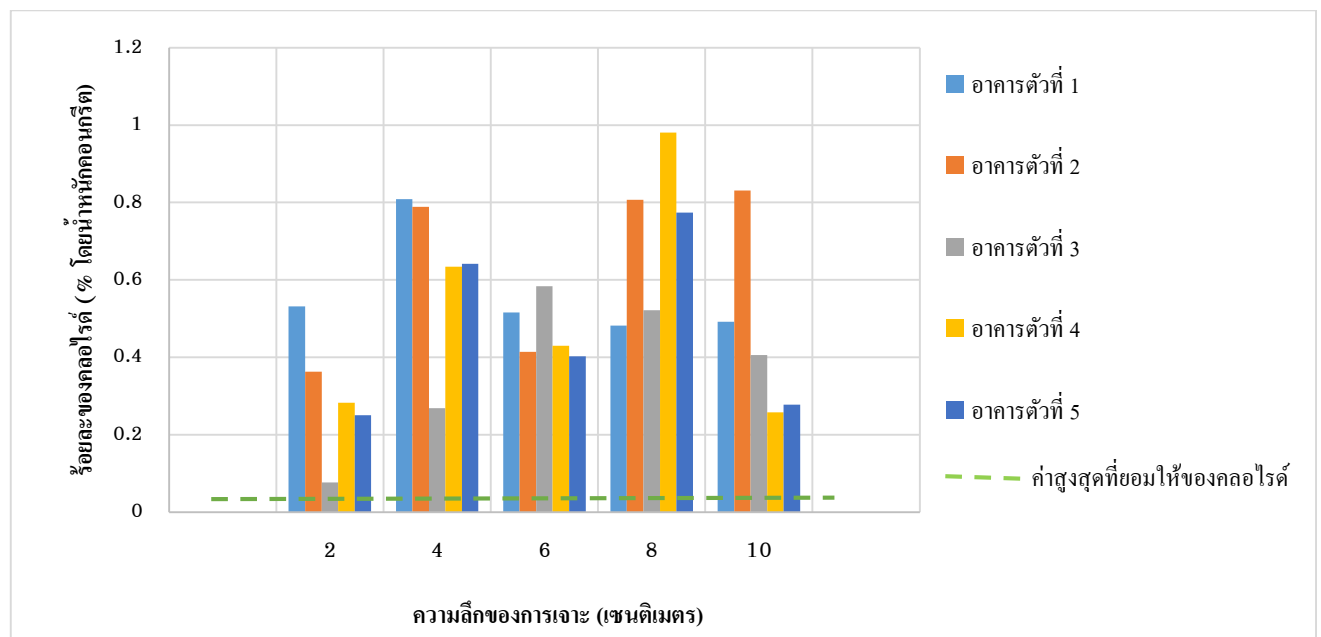
รูปที่ 6 ปริมาณเกลือคลอไรด์ในดิน

### 4.3 ผลการศึกษาปริมาณคลอไรด์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ดังแสดงในรูปที่ 8 ปริมาณคลอไรด์ที่ระดับความลึกการเจาะเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดที่ยอมให้ของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ยอมให้ ซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับร้อยละ 0.018 โดยน้ำหนักคอนกรีต (กำหนดให้คอนกรีต 1 ลบ.ม. มีน้ำหนัก 2,400 กก. และใช้ปูนซีเมนต์ 300 กก.) ปริมาณของคลอไรด์ที่ระดับความลึกการเจาะต่างๆ มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามาตรฐานร้อยละของคลอไรด์ในช่วงรุนแรงในตารางที่ 2 อาคารที่ 1, 2 และ 4 มีปริมาณคลอไรด์ในระดับที่สูงมาก (สูงมากกว่าร้อยละ 0.018 โดยน้ำหนักของคอนกรีต) โดยพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.25 - 0.98 โดยน้ำหนักของคอนกรีต ซึ่งอาจจะมีแนวโน้มที่เหล็กเสริมของโครงสร้างได้รับผลกระทบ อย่างไรก็ตามการแทรกซึมของเกลือคลอไรด์ของทุกอาคารอยู่ในระดับที่สูง จึงควรมีแผนบำรุงรักษาอาคารให้ทันทั่วทั้งที่ แม้ว่าการเกิดการแตกร้าวจากสนิมของเหล็กเสริมยังไม่ปรากฏในขณะที่ทำการสำรวจด้วยวิธีการตรวจพินิจ



รูปที่ 7 ปริมาณของขี้เถ้าของแต่ละอาคารที่ระดับความลึกการเจาะต่างๆ



รูปที่ 8 ปริมาณของคลอไรด์ของแต่ละอาคารที่ระดับความลึกการเจาะต่างๆ

## 5. สรุปผล

บทความนี้ศึกษาการวิบัติของอาคารชลประทานจากการสำรวจอาคารชลประทานทั้งหมด 32 อาคาร โดยวิธีการสำรวจด้วยวิธีตรวจพินิจและวิเคราะห์ปริมาณเกลือที่มีผลกระทบต่อโครงสร้าง โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอายุคืออาคารชลประทานที่มีอายุประมาณ 32 ปี และอาคารชลประทานที่มีอายุประมาณ 28 ปี จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ผลการทดสอบ จากการสำรวจอาคารชลประทานทั้งหมด 32 อาคาร พบว่า อาคารชลประทานที่ทำการสำรวจร้อยละ 53.6 มีระดับความเสียหายอยู่ที่ระดับ 3 ซึ่งจากการสำรวจพบว่าอาคารบางส่วนเกิดความเสียหายเป็นรอยร้าวที่มีลักษณะขนานกับผิวเหล็กเสริมในบางจุด ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบโดยละเอียด เพื่อหาแนวทางในการบำรุงรักษาต่อไป

(2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือในคอนกรีต จากการสุ่มเจาะคอนกรีตของอาคารชลประทานขนาดใหญ่ 5 อาคาร จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าปริมาณซัลเฟตตามความลึกการเจาะจะมีปริมาณซัลเฟตอยู่ในช่วงร้อยละ 0.053 - 1.90 โดยน้ำหนัก สูงกว่าค่าต่ำสุดของซัลเฟตในสภาวะรุนแรง คือ มีค่ามากกว่าร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณคลอไรด์ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.25 - 0.98 โดยน้ำหนักของคอนกรีต สูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของคลอไรด์ คือ มีค่ามากกว่าร้อยละ 0.018 โดยน้ำหนักของคอนกรีต ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้อาคารเกิดรอยแตกร้าวต่างๆ ที่พบจากการสำรวจด้วยวิธีการตรวจพินิจ

(3) อาคารในบริเวณ 5L-2L มีความเสียหายจากสิ่งแวดล้อมรุนแรงมากที่สุด เนื่องจากมีจำนวนอาคารที่มีความเสียหายจากการตรวจพินิจในระดับ 3 มากที่สุด อีกทั้งแนวโน้มของเกลือซัลเฟตและคลอไรด์อยู่ในปริมาณที่สูง

(4) ความเข้มข้นของซัลเฟตและคลอไรด์มีความแปรปรวน อาจเนื่องมาจากจุดที่ทำการเจาะสำรวจผงคอนกรีตอยู่เหนือผิวดินเดิม การแทรกซึมของเกลืออาจมีลักษณะการแทรกซึมจากด้านล่างขึ้นมาสู่ด้านบน (Capillary suction) ผิวนอกสุดของคอนกรีตอาจถูกชะล้างจากน้ำจึงมีความเข้มข้นน้อยกว่าเนื้อคอนกรีตภายใน

## 6. ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ของพฤติกรรมปริมาณซัลเฟตและคลอไรด์ในดินและการแทรกซึมผ่านในคอนกรีตในสภาวะแวดล้อมจริง ควรมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม ซึ่งเกลือในดินอาจไม่ได้เป็นสาเหตุหลักของการเกิดปริมาณคลอไรด์และซัลเฟตในเนื้อคอนกรีต ปริมาณซัลเฟตและคลอไรด์ในเนื้อคอนกรีตนั้นอาจมาจากการปะปนของซัลเฟตและคลอไรด์ในวัสดุผสมหรือ น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2558 รหัสโครงการวิจัย ก-ย(ค)26.58

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Pramotejane, P. Cause and distribution of saline soil in upper central handbook, 1st ed. London: Land development department, 1993.
- [2] Anuruktipun, Y., Yuwanियอม, A., and Rungsangchan P. Management of saline soil, 1st ed. London: Land development department.
- [3] Arunee, S. Saline soil in thailand, 1st ed. London: Land development department, 1996.
- [4] Khomwan, N., Pengklub, N., Chanjapa, T., Thonglevan, N. Effect of Salinity in Soil to Irrigation Structure Life : Suphanburi Province, 5<sup>th</sup> National Conference on Water Engineering, Le Méridien Chiang Rai Resort, September 5-6, 2013, pp. 81
- [5] Wongsiangdang, P., Sanchareoeng, P, Pansuk, V, and Tangtermsirikul, S. Corrosion of steel and zinc coated steel in reinforced concrete structure due to chloride In: 18th National Convention on Civil Engineering, Chiangmai, 8-10 May 2013, pp.171-178.
- [6] The Engineering Institution of thailand. Durability of concrete. Concrete and material committee, 2010, 76 p
- [7] Department of Public Works and Town and Country Planning Standards. MRT1501-51. Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. Bangkok, 2008.

- [8] Department of Public Works and Town & Country Planning, 2008. Inspection of reinforce concrete structures by visual inspection method. Standard of non destructive test of reinforce concrete structures. (มยพ. 1501-51) 18 p.
- [9] ASTM C1218-99 (1999), Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.02, Concrete and Aggregates, ASTM International, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [10] ASTM C1580-05 (2005), Standard Test Method for Water-Soluble Sulfate in Soil, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.02, Concrete and Aggregates, ASTM International, [www.astm.org](http://www.astm.org).