การประเมินอัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างของสะพานคอนกรีตของกรมทางหลวงชนบท

นายณัฐพงศ์ สุทธิยุทธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF DETERIORATION RATE OF CONCRETE BRIDGE STRUCTURE OF DEPARTMENT OF RURAL ROAD

Mr. Nuttapong Suttiyut

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินอัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างของสะพานคอนกรีตของกรมทางหลวงชนบท
โดย	นายณัฐพงศ์ สุทธิยุทธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พูลศักดิ์ เพียรสุสม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.หทัยรัตน์ มณีเทศ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ณัฐพงศ์ สุทธิยุทธ์ : การประเมินอัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างของสะพานคอนกรีตของกรมทางหลวงชนบท (EVALUATION OF DETERIORATION RATE OF CONCRETE BRIDGE STRUCTURE OF DEPARTMENT OF RURAL ROAD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี, 106 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงสะพานภายใต้การดูแลของกรมทางหลวงชนบทซึ่งทางกรมทางหลวงชนบทได้มีการศึกษาและพัฒนาระบบบริหารการบำรุงสะพาน (Bridge Maintenance Management System : BMMS) เนื่องจากอัตราการเสื่อมสภาพมีผลกระทบต่อการพยากรณ์ความเสียหายที่เกิดขึ้นในอนาคตว่ามากน้อยเพียงใด จึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการตัดสินใจในการจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มอัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างของสะพานด้วยทฤษฎีของมาร์คอฟ และประเมินระดับความเสียหายของสะพานที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องด้วยฐานข้อมูลไม่มีผลการตรวจสอบสะพานครั้งก่อนหน้านี้ จึงพิจารณาจากสภาพเริ่มต้นใช้งานของสะพานมาแทนผลการตรวจสอบสะพานครั้งก่อน และนำมาทำการวิเคราะห์กับผลตรวจสอบความเสียหายสะพานครั้งปัจจุบัน โดยนำข้อมูลความเสียหายที่ได้จากการตรวจสอบมาจัดเรียงลำดับข้อมูลตามอายุ ชิ้นส่วน และประเภทความเสียหาย เพื่อนำไปทำเป็นเปอร์เซ็นต์ตามระดับความเสียหายของปีนั้นๆ และนำเปอร์เซ็นต์ที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาอัตราการเสื่อมสภาพตามประเภทของความเสียหายและตามประเภทชิ้นส่วนของสะพาน เนื่องมาจากความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอดีตนั้นมีการซ่อมบำรุง ทำให้ผลการตรวจสอบสะพานครั้งปัจจุบันนั้นไม่พบความเสียหายเกิดขึ้น ทำให้สะพานอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ซึ่งทำให้ผลจากการศึกษาตามประเภทความเสียหายทุกประเภทพบว่ามีค่าอัตราการเสื่อมสภาพที่น้อยกว่าค่าอัตราการเสื่อมสภาพที่ JICA ได้เสนอมาเบื้องต้น

Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

5570505021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: DETERIORATION / MARKOV / MARKOV CHAIN

NUTTAPONG SUTTIYUT: EVALUATION OF DETERIORATION RATE OF CONCRETE BRIDGE STRUCTURE OF DEPARTMENT OF RURAL ROAD. ADVISOR: ASST. PROF. CHATPAN CHINTANAPAKDEE, Ph.D., 106 pp.

This research investigates the bridges of Department of Rural Road. The Department of Rural Road studies and develops a system to maintain of the bridge (Bridge Maintenance Management System : BMMS). The deterioration rate does affect to forecast the damage in the future that much. It is a key factor in the decision to prioritize maintenance. This research has analyzed the trend of deterioration of bridge structure by Markov theory. And estimate the damage of the bridge will occur in the future. Because of data has not the bridge inspection previous. Therefore, considering the initial bridge replaces the bridge inspection previous and analyzes with the bridge inspection present. Using the inspection damage data sort by age, component, and type of damage which to analyze percent of damage level of the year. And the percentage will be analyzed to determine the rate of deterioration on the type of damage and the type of bridge components. Because of the damage in the past may be maintenance, so the bridge inspection present cannot inspect the damage in the present. And so the result of the research showed that all types of damage is less than the rate of deterioration from JICA has proposed preliminary.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Civil Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Civil Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้านายณัฐพงศ์ สุทธิยุทธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้รวมทั้งให้ความรู้ทางด้านการเขียนโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการเสื่อมสภาพ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พูลศักดิ์ เพียรสุสม ที่ได้ให้คำแนะนำในฐานะประธานกรรมการ ที่เป็นประโยชน์ต่การศึกษา รวมทั้งข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ กรมทางหลวงชนบท ที่ได้อนุเคราะหข้อมูลความเสียหายของสะพานในการวิเคราะห์ครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณ วรรณา กรสวัสดิ์ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือประสานงานมาโดยตลอด และขอขอบคุณ เพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ที่สำคัญที่สุดข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคือ บิดา มารดาที่ช่วยอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู และให้กำลังใจ รวมไปถึงญาติพี่น้อง ที่คอยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 สมมติฐาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 การตรวจสอบและประเมินโครงสร้างสะพาน 4

2.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างด้วยสายตา 5

2.1.2 การตรวจสอบทางกายภาพโดยการใช้เครื่องมือพื้นฐาน 5

2.1.3 การประเมินความเสียหาย 5

2.1.3.1 ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม 7

2.1.3.2 การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน 9

2.1.3.3 ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง 11

2.1.3.4 รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ 12

2.1.3.5 การหลุดร่อนในแผ่นพื้น 14

2.1.3.6 รอยแตกในแผ่นพื้น 16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.2 แบบจำลองมาร์คอฟ (Markov Model) 21
2.2.1 ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงตามแบบจำลองมาร์คอฟ 21
2.2.2 แนวทางการคำนวณสมการที่ใช้การพยากรณ์อัตราการเสื่อมสภาพ 22
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 27
3.1 การคัดเลือกสะพาน 28
3.1.1 สะพานที่พิจารณา 28
3.1.2 คุณสมบัติของสะพานที่พิจารณา 28
3.2 การจัดเรียงข้อมูล 28
3.3 การวิเคราะห์ตามประเภทความเสียหาย 30
3.4 แนวทางการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพาน 30
3.5 การวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพาน 31
บทที่ 4 การวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพาน 32
4.1 การวิเคราะห์ตามประเภทของความเสียหาย 32
4.2 การวิเคราะห์ตามชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพาน 63
4.3 บทวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพ 91
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 96
5.1 สรุปผลการวิจัย 96
5.2 ข้อเสนอแนะ 97
รายการอ้างอิง 98
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 106

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 สถานที่ทำการตรวจสอบ 4

ตารางที่ 2 ประเภทของความเสียหายและระดับความเสียหายในคู่มือการตรวจสอบสะพานและประเมินผล (JICA, 2013) 6

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินผลระดับของความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม(JICA, 2013) 7

ตารางที่ 4 ตัวอย่างความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม (JICA, 2013)....8

ตารางที่ 5 เกณฑ์การประเมินผลระดับของการกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน (JICA, 2013)....9

ตารางที่ 6 ตัวอย่างความเสียหายในการกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน (JICA, 2013)....10

ตารางที่ 7 เกณฑ์การประเมินผลระดับของความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง (JICA, 2013) 11

ตารางที่ 8 ตัวอย่างความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง (JICA, 2013) 12

ตารางที่ 9 เกณฑ์ประเมินผลของ รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (JICA, 2013)....13

ตารางที่ 10 ตัวอย่างของรอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ ในบริเวณโครงสร้างส่วนบน (JICA, 2013)....13

ตารางที่ 11 ตัวอย่างของรอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ ในบริเวณโครงสร้างส่วนล่าง (JICA, 2013)....14

ตารางที่ 12 เกณฑ์ประเมินผลการหลุดร่อนในแผ่นพื้น (JICA, 2013) 15

ตารางที่ 13 ตัวอย่างของการหลุดร่อนในแผ่นพื้น (JICA, 2013) 15

ตารางที่ 14 เกณฑ์ประเมินผลของรอยแตกในแผ่นพื้น (JICA, 2013) 16

ตารางที่ 15 ตัวอย่างรอยแตกในแผ่นพื้น (JICA, 2013) 17

ตารางที่ 16 ตารางเกณฑ์ประเมินผลของความเสียหายการโผล่ของเหล็กเสริม (JICA, 2013)....18

ตารางที่ 17 ตัวอย่างของการโผล่ของเหล็กเสริม (JICA, 2013)....19

ตารางที่ 18 ตารางเกณฑ์ประเมินผลของความเสียหายในที่รองรับสะพาน (JICA, 2013) 20

ตารางที่ 19 ตัวอย่างของความเสียหายในที่รองรับสะพาน (JICA, 2013).....20
ตารางที่ 20 ข้อมูลสะพาน (Setunge และ Hasan, 2011) 25
ตารางที่ 21 ตารางตัวอย่างความน่าจะเป็นของสำนักที่1 ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม.....29
ตารางที่ 22 ระดับความเสียหายที่มีการแบ่งระดับในความเสียหายประเภทต่างๆที่พิจารณา.....32
ตารางที่ 23 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1..34
ตารางที่ 24 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 2..35
ตารางที่ 25 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 3..37
ตารางที่ 26 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 4..38
ตารางที่ 27 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 5..40
ตารางที่ 28 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 6..42
ตารางที่ 29 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 7..43
ตารางที่ 30 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 8..45
ตารางที่ 31 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 9..46
ตารางที่ 32 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1048
ตารางที่ 33 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1150
ตารางที่ 34 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1251
ตารางที่ 35 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1353
ตารางที่ 36 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1454
ตารางที่ 37 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1556
ตารางที่ 38 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1658
ตารางที่ 39 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1759
ตารางที่ 40 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1861
ตารางที่ 41 ชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพานที่มีผลจากประเภทความเสียหาย 63

ตารางที่ 42 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 1.....65
ตารางที่ 43 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 2.....66
ตารางที่ 44 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 3.....67
ตารางที่ 45 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 4.....69
ตารางที่ 46 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 5.....70
ตารางที่ 47 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 6.....72
ตารางที่ 48 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 7.....73
ตารางที่ 49 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 8.....75
ตารางที่ 50 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 9.....76
ตารางที่ 51 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 10 78
ตารางที่ 52 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 11 79
ตารางที่ 53 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 12 81
ตารางที่ 54 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 13 82
ตารางที่ 55 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 14 83
ตารางที่ 56 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 15 85
ตารางที่ 57 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 16 86
ตารางที่ 58 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 17 88
ตารางที่ 59 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 18 89
ตารางที่ 60 พารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชนของ 18 สำนัก ตามประเภทความเสียหาย 91
ตารางที่ 61 ตารางความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตของความเสียหายประเภทรอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน.....93
ตารางที่ 62 พารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชนของ 18 สำนัก ตามชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน.....94
ตารางที่ 63 ตารางความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตของชิ้นส่วนตอม่อตับกลาง(เสา) 95

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ภาพของทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทรานซิชั่นมาร์คอฟ (JICA, 2013) 21

รูปที่ 2 แผนภาพตัวอย่างความเสียหายที่มีการเลื่อนระดับความเสียหาย (JICA, 2013).....22

รูปที่ 3 แผนภาพวิธีการคำนวณสมการคาดการณ์การเสื่อมสภาพ (JICA, 2013).....23

รูปที่ 4 แผนภาพแสดง Bridge Health Index ที่ลดลงอายุสะพาน (Seto และคณะ, 2012)....23

รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงาน และผลลัพธ์ของ Bocchini และ คณะ (2011) 24

รูปที่ 6 การใช้ทฤษฎี Markov Chain เพื่อการเสื่อมสภาพไปตามเวลา (Abdulkader และ คณะ, 2006).....24

รูปที่ 7 แนวโน้มอัตราการเสื่อมถอย (Setunge และ Hasan, 2011).....25

รูปที่ 8 แผนภาพแสดง Bridge Health Index ที่ลดลงตามอายุสะพาน (Seto และ คณะ, 2012).....26

รูปที่ 9 แผนภาพแสดง Bridge Health Index ต่ออายุสะพานตามทฤษฎี Bayersian (Seto และ คณะ, 2012).....26

รูปที่ 10 แผนผังการดำเนินงาน 27

รูปที่ 11 แผนภาพแสดงวิธีการคำนวณสมการคาดการณ์การเสื่อมสภาพ (JICA, 2013).....30

รูปที่ 12 การลดลงเกิน 2 ระดับ และการฟื้นระดับของความเสียหายไม่ต้องนำมาพิจารณาจะได้ทรานซิชั่น (JICA, 2013).....31

รูปที่ 13 ค่ารวมในแนวตั้งของเมทริกซ์ ต้องเป็น 1 เสมอ (JICA, 2013).....31

รูปที่ 14 การเสื่อมสภาพของการกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพานที่อาจจะเกิดขึ้นใน 50 ปี สำนักที่ 1.....32

รูปที่ 15 การเสื่อมสภาพของความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรงที่อาจจะเกิดขึ้นใน 50 ปี สำนักที่ 1 33

รูปที่ 16 อัตราการเสื่อมสภาพของคานหลัก 63

รูปที่ 17 อัตราการเสื่อมสภาพของตอม่อตับริม(เสา).....64

รูปที่ 18 การเสื่อมสภาพของความเสียหายประเภทรอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพานที่อาจจะเกิดขึ้นใน50 ปี.....92

รูปที่ 19 การเสื่อมสภาพของตอม่อตับกลาง(เสา)ที่อาจจะเกิดขึ้นใน 50 ปี.....94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การก่อสร้างสะพานได้มีมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทำให้ปัจจุบันมีจำนวนของสะพานเก่าจะมีแต่การเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าใช้จ่ายของการซ่อมบำรุงสะพานนั้นมีจำกัด เพื่อที่จะสามารถใช้งานสะพานจำนวนมากให้ได้ระยะเวลานานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการจัดการการบำรุงรักษาให้เป็นสิ่งสำคัญมากกว่าการก่อสร้างใหม่

กรมทางหลวงชนบทมีสะพานในชนบทที่จะต้องบำรุงรักษามากกว่า 8,000 สะพาน ด้วยเหตุนี้ กรมทางหลวงชนบทได้ศึกษาและพัฒนาระบบบริหารการบำรุงสะพาน (Bridge Maintenance Management System : BMMS) โดยได้รับความร่วมมือทางวิชาการจากองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น (JICA) (พ.ศ. 2554-2556) ระบบดังกล่าวจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลการตรวจสอบสะพานอย่างละเอียด ผลตรวจสอบที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลผลการตรวจสอบในอดีตหรือผลจากการวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อประเมินสภาพสะพานในปัจจุบัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการซ่อมบำรุง วิธีการซ่อมบำรุง และวิธีการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น

อัตราการเสื่อมสภาพเป็นปัจจัยสำคัญต่อการตัดสินใจที่จะซ่อมบำรุงหรือก่อสร้างขึ้นมาใหม่ รวมไปถึงการจัดอันดับความสำคัญในการซ่อมบำรุง เพราะว่าอัตราการเสื่อมสภาพมีผลต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นการที่อัตราการเสื่อมสภาพทำให้ทราบว่าสะพานที่พิจารณาจะมีระดับการเสื่อมสภาพของโครงสร้างสะพานว่ามีลักษณะแนวโน้มการเสื่อมสภาพที่รวดเร็วหรือช้า จึงทำให้ทราบถึงความจำเป็นทางด้านการดูแลรักษา และสามารถวางแผนและจัดสรรงบประมาณที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยอัตราการเสื่อมสภาพจะเขียนให้อยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ของมาร์คอฟเชน (Markov Chain) เพราะว่าโปรแกรมการคำนวณการจัดสรรงบประมาณของกรมทางหลวงชนบทใช้การคำนวณในรูปแบบของมาร์คอฟเชน (Markov Chain) เนื่องจากกรมทางหลวงนั้นไม่มีข้อมูลการตรวจสอบของสะพานในอดีต จึงทำให้ต้องคำนวณหาเมทริกซ์ของมาร์คอฟเชน (Markov Chain) จากอายุการใช้งานและต้องมีการจัดกลุ่มสะพานที่มีลักษณะภูมิประเทศใกล้เคียงกัน และเนื่องมาจากกรมทางหลวงชนบทได้ก่อตั้งมาระยะเวลาไม่นานจึงทำให้สะพานที่ทราบอายุการใช้งานนั้นมีจำนวนจำกัด จึงต้องมีการจัดประเภทของสะพานที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้นเพื่อนำมาคำนวณหาเมทริกซ์ของมาร์คอฟเชน (Markov Chain) ให้มีความถูกต้องและแม่นยำ

จากเหตุผลในข้างต้น ความสำคัญของอัตราการเสื่อมสภาพของโครงสร้างสะพานนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาสะพานที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อที่จะให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นและเพื่อจัดการปัญหาทางด้านการงบประมาณทางด้านการซ่อมแซมและบำรุงรักษาที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 หัวข้อดังต่อไปนี้

1. ศึกษาอัตราการเสื่อมสภาพของสะพาน ในรูปแบบเมทริกซ์ของมาร์คอฟเชน (Markov Chain)

2. วิเคราะห์แนวโน้มอัตราการเสื่อมสภาพของสะพาน และทำการประเมินระดับความเสียหายของสะพานในอนาคต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 หัวข้อดังต่อไปนี้คือ

1. สะพานที่ทำการศึกษาเป็นสะพานที่อยู่ในสังกัดของกรมทางหลวงชนบท และเป็นสะพานที่ทราบถึงอายุการใช้งาน และไม่ใช่สะพานที่สร้างขึ้นภายในปีค.ศ. 1999

2. พิจารณาความเสียหายที่ทราบจากการตรวจสอบของกรมทางหลวงชนบท ในระบบการบริหารการบำรุงรักษาสะพาน (Bridge Maintenance Management System : BMMS) ที่พัฒนาโดย JICA ซึ่งเป็นการตรวจสอบสะพานตามกำหนดเวลา

3. วิเคราะห์ความเสียหาย เพื่อนำมาประเมินหาอัตราการเสื่อมสภาพในรูปแบบเมทริกซ์ของมาร์คอฟเชน (Markov Chain)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 สมมติฐาน

1. ในการคำนวณหาอัตราการเสื่อมสภาพที่มีความถูกต้อง จะต้องใช้ผลการตรวจสอบของสะพานครั้งก่อนกับผลการตรวจสอบครั้งปัจจุบันมาทำการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากทางกรมทางหลวงชนบท ไม่มีผลการตรวจสอบครั้งก่อน ทำให้ต้องใช้สภาพก่อนเริ่มต้นใช้งานของสะพานมาแทนผลการตรวจสอบสะพานครั้งก่อน และค่อยนำมาทำการวิเคราะห์กับผลตรวจสอบครั้งปัจจุบัน โดยสมมติให้ไม่มีการซ่อมบำรุงสะพาน

2. สภาพก่อนเริ่มต้นใช้งานของสะพานนั้นต้องทราบอายุของสะพาน แต่เนื่องจากทางกรมทางหลวงชนบทมีสะพานที่ทราบอายุในปริมาณที่ไม่มาก ทางผู้วิจัยคิดว่าในลักษณะสำนักเดียวกันลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะของความเสียหายที่ใกล้เคียงกัน จึงคิดว่าสะพานที่ตั้งอยู่ภายในสำนักเดียวกันนั้นสามารถนำมารวมกลุ่มพิจารณาลักษณะความเสียหายได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตรวจสอบและประเมินโครงสร้างสะพาน

การตรวจสอบสภาพโครงสร้างปัจจุบันอย่างทั่วถึงและถูกต้อง คือขั้นตอนแรกของการซ่อมแซมโครงสร้าง สะพานคอนกรีตสามารถเสื่อมสภาพได้จากหลายสาเหตุเช่น ความผิดพลาดจากการออกแบบ หรือการเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม อีกทั้งคอนกรีตเองก็สามารถเสื่อมสภาพหรือเสียหายจากการใช้งานได้ด้วย โดยได้มีการได้ตรวจสอบทั้งหมด 18 สำนัก ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถานที่ตั้งของสำนักการทางของกรมทางหลวงชนบท

สำนัก	จังหวัด
1	ปทุมธานี
2	สระบุรี
3	ชลบุรี
4	เพชรบุรี
5	นครราชสีมา
6	ขอนแก่น
7	อุบลราชธานี
8	นครสวรรค์
9	อุตรดิตถ์
10	เชียงใหม่
11	สุราษฎร์ธานี
12	สงขลา
13	ฉะเชิงเทรา
14	สุพรรณบุรี
15	อุดรธานี
16	กาฬสินธุ์
17	เชียงราย
18	กระบี่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างด้วยสายตา

การตรวจสอบโครงสร้างด้วยสายตาเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการก่อนเป็นอันดับแรก ก่อนที่จะทำการตรวจสอบด้วยวิธีการที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น เพื่อดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลที่สามารถสังเกตได้ด้วยสายตา ซึ่งบ่งบอกถึงภาพรวมของปัญหาในโครงสร้างสะพานเพื่อประเมินความเสียหายระดับความรุนแรง เพื่อแก้ไขตรงกับความเสียหายที่เกิดขึ้น

การตรวจสอบโครงสร้างด้วยสายตามีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาความเสียหายของโครงสร้างที่เห็นได้ชัด เช่น

- รอยแตกร้าว
- การหลุดร่อน
- คราบสนิม

2.1.2 การตรวจสอบทางกายภาพโดยการใช้เครื่องมือพื้นฐาน

การตรวจสอบทางกายภาพโดยการใช้เครื่องมือพื้นฐาน สามารถให้ผลการตรวจสอบมีความถูกต้องยิ่งขึ้น และตรงต่อสาเหตุการเสื่อมสภาพและครอบคลุมรายละเอียดมากยิ่งขึ้น เช่นการตรวจสอบโครงสร้างด้วย Copper-Copper Surface Half cell เพื่อทำตารางแผนที่ความต่างศักย์ เป็นต้น

2.1.3 การประเมินความเสียหาย

การวัดสภาพของชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ โดยจำแนกตามประเภทความเสียหายและชนิดของชิ้นส่วน และทำการบันทึกข้อมูลเพื่อทำให้สามารถประเมินผลกระทบต่อความปลอดภัยของโครงสร้างสะพานได้อย่างคร่าวๆ โดยแต่ละความเสียหายจะมีการประเมินระดับความเสียหายที่ต่างกันตามตารางที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2 ประเภทของความเสียหายและระดับความเสียหายในคู่มือการตรวจสอบสะพานและประเมินผล (JICA, 2013)

หมายเลข	ประเภทความเสียหาย	ระดับประเมินผล	หมายเหตุ
1	การทรุดตัว เคลื่อนที่ เอียงตัวในโครงสร้างส่วนล่าง	1, 5	
2	ความไม่เรียบของพื้นผิวถนน	1, 3, 5	
3	ความเสียหายในรอยต่อพื้นสะพาน	1, 3, 5	
4	ความเสียหายในราวสะพาน	1, 3, 5	
5	ความเสียหายในอุปกรณ์ระบายน้ำ	1, 5	
6	ความเสียหายในทางเท้า	1, 5	
7	ความเสียหายในอุปกรณ์อื่นๆ	1, 5	
8	ความเสียหายในบริเวณด้านหลังตอม่อตับริม	1, 3, 5	
9	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม	1, 3, 5	ความเสียหายที่พิจารณา
10	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน	1, 3, 5	
11	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง	1, 5	
12	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)	1, 2, 3, 4, 5	
13	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน	1, 3, 5	
14	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน	1, 2, 3, 4, 5	
15	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)	1, 2, 3, 5	
16	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน	1, 3, 5	

2.1.3.1 ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม

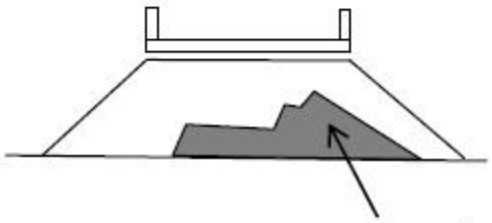
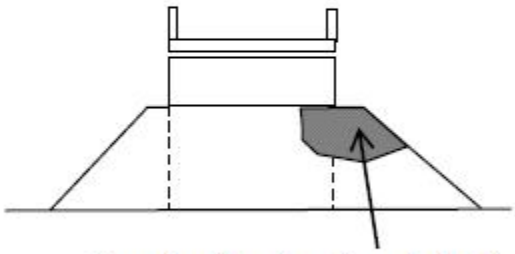
สภาพโดยทั่วไปและลักษณะพิเศษของความเสียหาย เกิดจากการแตกร้าว การทรุดตัว การพังทลายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งบริเวณตอม่อตับริม โดยมีความเสียหายเกิดขึ้นเนื่องจากดินถมที่อยู่บริเวณด้านหลังของโครงสร้างป้องกันตลิ่งถูกชะล้างและพัดพาออกไปมีเกณฑ์การประเมินผลระดับความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริมตามตารางที่ 3 และรูปตัวอย่างของความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริมตามตารางที่ 4 โดยจากตารางที่ 4 นั้นแสดงให้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการทรุดตัวและการพังทลายที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินผลระดับของความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม (JICA, 2013)

เกณฑ์การประเมินผล	ระดับความเสียหาย
ไม่มีความเสียหาย ทรุดตัว พังทลาย	1
มีความเสียหายเล็กน้อย	3
มีความเสียหาย ทรุดตัว พังทลายอย่างชัดเจน	5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 ตัวอย่างความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม (JICA, 2013)

ระดับความเสียหาย 3	ระดับความเสียหาย 3
มีความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งเล็กน้อย	มีความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งเล็กน้อย
ระดับความเสียหาย 5	
	
โครงสร้างป้องกันตลิ่งพังทลาย	การพังทลายของโครงสร้างป้องกันตลิ่ง
ระดับความเสียหาย 5	
	
ดินถมบริเวณด้านหลังของโครงสร้างป้องกันตลิ่งถูกน้ำพัดพาออกไป	ดินถมบริเวณด้านหลังของโครงสร้างป้องกันตลิ่งถูกน้ำพัดพาออกไป

2.1.3.2 การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน

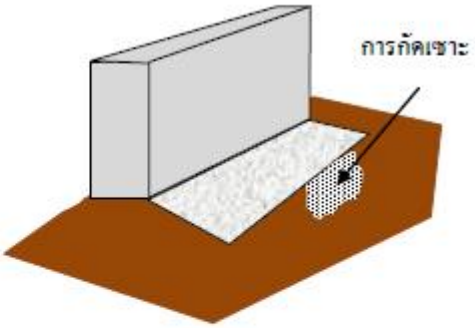
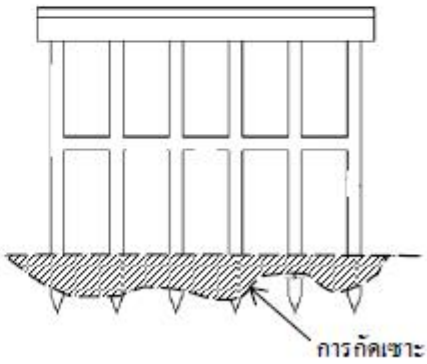
สภาพโดยทั่วไปและลักษณะพิเศษของความเสียหาย คือความเสียหายที่เกิดจากการกัดเซาะในบริเวณเสาตอม่อและตอม่อตับริม ทำให้ฐานรากเสาเข็มในโครงสร้างส่วนล่างโผล่ มีเกณฑ์การประเมินผลระดับความเสียหายตามตารางที่ 5 และรูปตัวอย่างของความเสียหายในการกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพานตามตารางที่ 6 โดยจากตารางที่ 6 นั้นแสดงให้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกัดเซาะที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 5 เกณฑ์การประเมินผลระดับของการกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน (JICA, 2013)

เกณฑ์การประเมินผล	ระดับความเสียหาย
ไม่มีการกัดเซาะ	1
มีการกัดเซาะเล็กน้อยและมีการกีดขวางทางน้ำเป็นบางแห่ง	3
มีการกัดเซาะอย่างรุนแรงและมีการกีดขวางทางน้ำค่อนข้างมาก	5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6 ตัวอย่างความเสียหายในการกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน (JICA, 2013)

ระดับความเสียหาย 3	
มีการกัดเซาะเล็กน้อย	
ระดับความเสียหาย 3	
มีการกีดขวางทางน้ำเล็กน้อย	มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ
ระดับความเสียหาย 5	
โครงสร้างส่วนล่างถูกกัดเซาะอย่างชัดเจน	

2.1.3.3 ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง

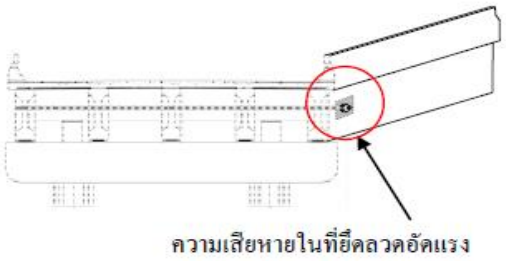
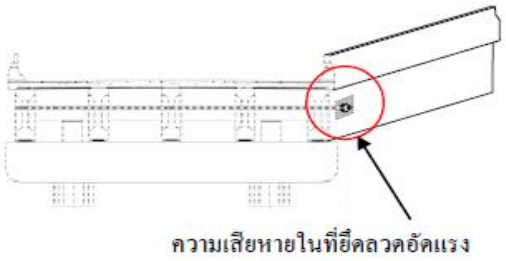
สภาพโดยทั่วไปและลักษณะพิเศษของความเสียหาย จะมีน้ำสนิมที่รอยแตกของคอนกรีตในบริเวณที่ยึดลวดอัดแรง หรือมีการหลุดร่อนของเนื้อคอนกรีตในบริเวณที่ยึดลวดอัดแรง นอกจากนี้ยังรวมถึงการเกิดสนิมในลวดอัดแรงในบริเวณที่ยึดลวดอัดแรงด้วย ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบจะทำการตรวจสอบจะทำการตรวจสอบในที่ยึดแรงทั้งหมดของสะพานเท่าที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตา มีเกณฑ์การประเมินผลระดับความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรงตามตารางที่ 7 และรูปตัวอย่างของความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรงตามตารางที่ 8 โดยจากตารางที่ 8 นั้นแสดงให้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการหลุดร่อนของคอนกรีตบริเวณที่ยึดลวดอักแรง

ตารางที่ 7 เกณฑ์การประเมินผลระดับของความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง (JICA, 2013)

เกณฑ์การประเมินผล	ระดับความเสียหาย
ไม่มีความเสียหาย	1
มีความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง (ไม่ขึ้นกับระดับความเสียหาย) มีความเสียหายในลวดอัดแรง	5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 ตัวอย่างความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง (JICA, 2013)

ระดับความเสียหาย 5	
 การหลุดร่อนของคอนกรีตบริเวณที่ยึดลวดอัดแรง และมีสนิมเหล็ก	
ระดับความเสียหาย 5	
 การหลุดร่อนของคอนกรีตบริเวณที่ยึดลวดอัดแรง และการหลุดออกของลวดอัดแรง	

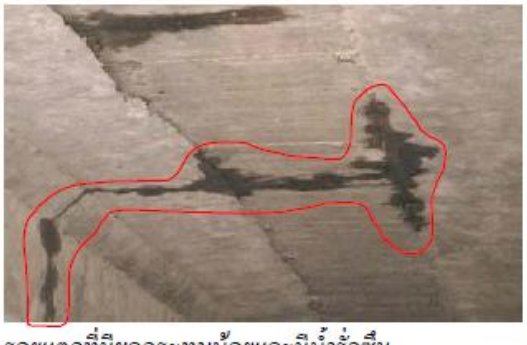
2.1.3.4 รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ

สภาพโดยทั่วไปและลักษณะพิเศษของความเสียหาย จะมีรอยแตกเกิดขึ้นที่ผิวของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต หรือมีการรั่วซึมหรือซึมแทรกของน้ำหรือคราบเกลือออกมาจากบริเวณรอยแตกหรือรอยต่อในการเทคอนกรีต ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบลักษณะภายนอกของชิ้นส่วนหลักของคานหลัก และโครงสร้างส่วนล่างโดยสายตาในระยะใกล้เท่าที่สามารถเข้าถึงได้ มีเกณฑ์การประเมินผลของ รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ ตามตารางที่ 9 และรูปตัวอย่างของรอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือที่มีผลกระทบน้อย ตามตารางที่ 10 และรูปตัวอย่างของรอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือที่มีผลกระทบมากตามตารางที่ 11

ตารางที่ 9 เกณฑ์ประเมินผลของ รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (JICA, 2013)

เกณฑ์การประเมินผล				ระดับความเสียหาย
รอยแตก	ตำแหน่งของรอยแตก	ความกว้างของรอยแตก*	น้ำรั่วซึม คราบเกลือ	
ไม่มี	-	-	-	1
มี	อ้างอิงตาม "รอยแตกที่มีผลกระทบอย่างมากต่อโครงสร้าง"	น้อยกว่า 0.2 mm (เล็ก)	ไม่ต้องพิจารณา	3
		มากกว่า 0.2 mm (ใหญ่)	มีเฉพาะรอยแตก	3
			มีเฉพาะน้ำรั่วซึม	4
			มีคราบเกลือเล็กน้อย	4
			มีคราบเกลือและสนิมอย่างรุนแรง	5
	นอกเหนือจากที่ระบุไว้ข้างบน (ผลกระทบน้อย)	น้อยกว่า 0.2 mm (เล็ก)	ไม่ต้องพิจารณา	2
		มากกว่า 0.2 mm (ใหญ่)	มีเฉพาะรอยแตก	2
			มีเฉพาะน้ำรั่วซึม	3
			มีคราบเกลือเล็กน้อย	3
			มีคราบเกลือและสนิมอย่างรุนแรง	4

ตารางที่ 10 ตัวอย่างของรอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ ในบริเวณโครงสร้างส่วนบน (JICA, 2013)

ระดับความเสียหาย 2	ระดับความเสียหาย 2
รอยแตกที่มีผลกระทบน้อย (ระบุด้วยชอล์ก)	รอยแตกที่มีผลกระทบน้อย (ระบุด้วยชอล์ก)
ระดับความเสียหาย 3	ระดับความเสียหาย 3
	
รอยแตกที่มีผลกระทบมาก (ระบุด้วยชอล์ก) รูปแบบรอยแตก No.1	รอยแตกที่มีผลกระทบน้อยและมีน้ำรั่วซึม

ตารางที่ 11 ตัวอย่างของรอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ ในบริเวณโครงสร้างส่วนล่าง (JICA, 2013)

ระดับความเสียหาย 4	ระดับความเสียหาย 4
รอยแตกที่มีผลกระทบมาก มีน้ำรั่วซึมและคราบเกลือ **รูปแบบรอยแตก No.3**	รอยแตกที่มีผลกระทบน้อยและมีคราบสนิม
ระดับความเสียหาย 5	**ระดับความเสียหาย 5**
รอยแตกที่มีผลกระทบมากและมีคราบเกลืออย่างรุนแรง **รูปแบบรอยแตก No.6**	รอยแตกที่มีผลกระทบมากและมีคราบเกลืออย่างรุนแรง **รูปแบบรอยแตก No.6**

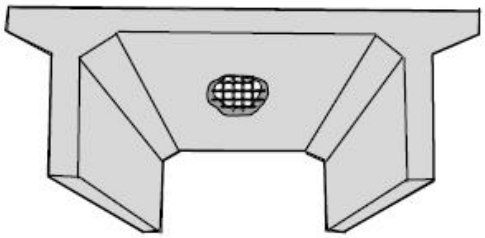
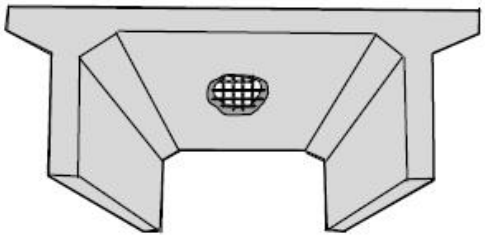
2.1.3.5 การหลุดร่อนในแผ่นพื้น

สภาพโดยทั่วไปและลักษณะพิเศษของความเสียหาย คือการหลุดร่อนของคอนกรีตทับหน้า (Topping) คานสะพาน (รวมทั้งคอนกรีตที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างคานหลัก) ในกรณีของคอนกรีตทับหน้านั้น ส่วนใหญ่มักปรากฏเป็นรอยแตกลายหนังจระเข้ (Alligator crack) แต่ในกรณีของคอนกรีตที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างคานหลักหรือพื้นยื่น(Cantilever slab) นั้น จะมีการหลุดร่อนของคอนกรีตบริเวณช่วงกึ่งกลางระยะห่างของเหล็กเสริม โดยที่อาจไม่มีการการเกิดรอยแตกที่ชัดเจนในบริเวณรอบๆ ตำแหน่งที่ตรวจสอบ จะทำการตรวจสอบแผ่นพื้นทั้งหมดของสะพานที่สามารถตรวจสอบด้วยสายตาได้ ว่ามีการหลุดร่อนของคอนกรีต รวมทั้งกานรั่วซึมของน้ำในคอนกรีตที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างคานหลักมีเกณฑ์การประเมิน ตามตารางที่ 12 และรูปตัวอย่าง การหลุดร่อนในแผ่นพื้น ตามตารางที่ 13

ตารางที่ 12 เกณฑ์ประเมินผลการหลุดร่อนในแผ่นพื้น (JICA, 2013)

เกณฑ์การประเมินผล	ระดับความเสียหาย
ไม่มีความเสียหาย ไม่มีน้ำรั่วซึมจากช่องว่างระหว่างคานหลัก (พื้นคอนกรีตที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างคานหลัก)	1
มีน้ำรั่วซึมจากช่องว่างระหว่างคานหลัก (พื้นคอนกรีตที่อยู่บริเวณช่องว่างระหว่างคานหลัก)	3
มีการหลุดร่อนของคอนกรีต	5

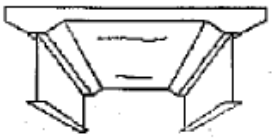
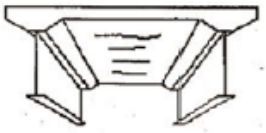
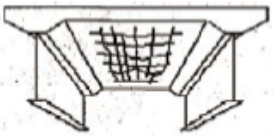
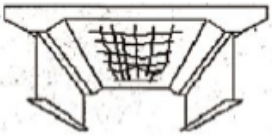
ตารางที่ 13 ตัวอย่างของการหลุดร่อนในแผ่นพื้น (JICA, 2013)

ระดับความเสียหาย 5	
ตัวอย่างการหลุดร่อน	
ระดับความเสียหาย 5	
ตัวอย่างการหลุดร่อน	

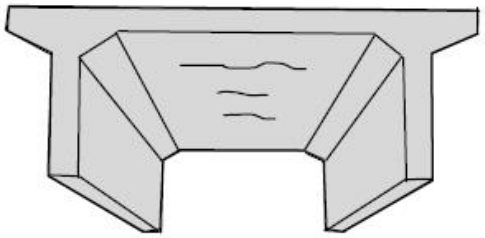
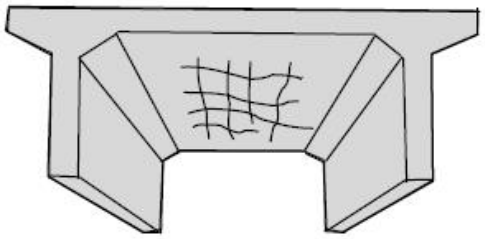
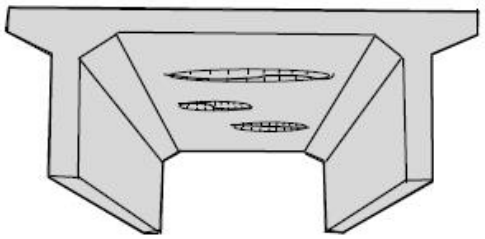
2.1.3.6 รอยแตกในแผ่นพื้น

สภาพโดยทั่วไปและลักษณะพิเศษของความเสียหายคือรอยแตกที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นคอนกรีต โดยอาจเกิดในทิศทางเดียวหรือทั้งสองทิศทางที่ผิวด้านล่างของพื้นคอนกรีต ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบจะทำการตรวจสอบแผ่นพื้นทั้งหมดของสะพานเท่าที่สามารถตรวจสอบด้วยสายตา มีเกณฑ์การประเมินของรอยแตกในแผ่นพื้นตามตารางที่ 14 และรูปตัวอย่าง รอยแตกในแผ่นพื้นตามตารางที่ 15

ตารางที่ 14 เกณฑ์ประเมินผลของรอยแตกในแผ่นพื้น (JICA, 2013)

เกณฑ์การประเมินผล	รูปประกอบ	ระดับความเสียหาย
ไม่มีรอยแตกหรือรอยแตกมีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 0.2 มม.) และ ระยะห่างระหว่างรอยแตกค่อนข้างมาก ประมาณ 1.0 ม. ไม่มีร่องรอยน้ำรั่วซึมหรือคราบเกลือ		1
รอยแตกมีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 0.2 มม.) และเกิดในทิศทางเดียวกัน ระยะห่างระหว่างรอยแตกประมาณ 0.5 ม. ไม่มีร่อยรอยน้ำรั่วซึมหรือคราบเกลือ		2
รอยแตกเป็นรูปตาข่าย (Grid pattern) มีขนาดประมาณ 0.2 มม. และไม่มีร่อยรอยน้ำรั่วซึมหรือคราบเกลือหรือว่ารอยแตกเกิดในทิศทางเดียวกันและมีร่อยรองน้ำรั่วหรือคราบเกลือ		3
รอยแตกเป็นรูปตาข่าย (Grid pattern) มีขนาดประมาณ 0.2 มม. และมีร่อยรอยน้ำรั่วซึมหรือคราบเกลือหรือว่ารอยแตกมีขนาดใหญ่กว่า 0.2 มม. อย่างเห็นได้ชัด และมีการหลุดร่อนที่ขอบเป็นบางแห่งแต่ไม่มีร่องรอยน้ำรั่วซึมหรือคราบเกลือ		4
มีการหลุดร่อนที่ขอบรอยแตกอย่างต่อเนื่องและมีร่อยรอยของน้ำรั่วซึมหรือคราบเกลือ		5

ตารางที่ 15 ตัวอย่างรอยแตกในแผ่นพื้น (JICA, 2013)

ระดับความเสียหาย 2	
รอยแตกในทิศทางเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ (ระบุด้วยชอล์ก)	
ระดับความเสียหาย 3	
รอยแตกในสองทิศทาง (ระบุด้วยชอล์ก)	
ระดับความเสียหาย 3	
รอยแตกในทิศทางเดียวกันและมีคราบเกลือ	

2.1.3.7 การโผล่ของเหล็กเสริม

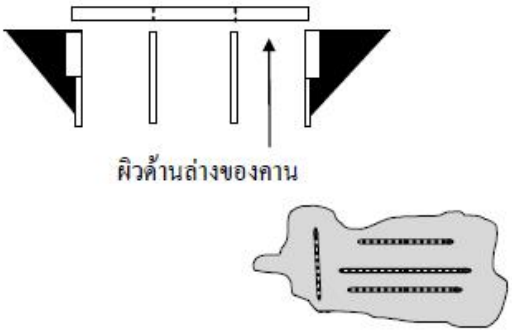
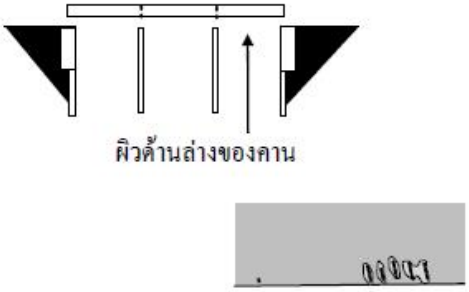
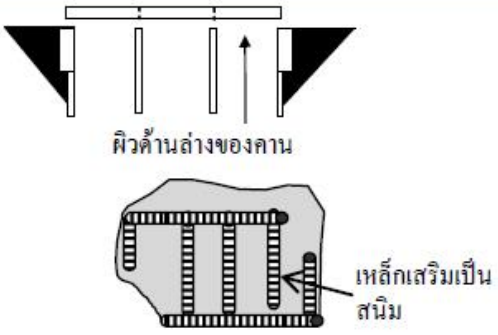
สภาพโดยทั่วไปและลักษณะพิเศษของความเสียหายการโผล่ของเหล็กเสริม คือ การหลุดร่อนของผิวของชิ้นส่วนคอนกรีตและมีเหล็กเสริมโผล่ออกมา ในบางกรณีอาจเกิดจากตำแหน่งของเหล็กเสริมอยู่ใกล้ชิดผิวคอนกรีตมากกว่าค่าตำแหน่งที่ออกแบบไว้ เนื่องจากการก่อสร้างที่ไม่ได้คุณภาพ มีเกณฑ์การประเมินของการโผล่ของเหล็กเสริมตามตารางที่ 16 และรูปตัวอย่างการโผล่ของเหล็กเสริมตามตารางที่ 17

ตารางที่ 16 ตารางเกณฑ์ประเมินผลของความเสียหายการโผล่ของเหล็กเสริม (JICA, 2013)

เกณฑ์การประเมินผล			ระดับความเสียหาย
การโผล่ของเหล็กเสริม	บริเวณที่เกิดสนิม	ระดับการเกิดสนิม	
ไม่มี	-	-	1
มี	เป็นบางแห่ง	เฉพาะผิวเหล็กเสริม	2
		การลดลงของหน้าตัดเหล็กเสริม การบวมขยายตัวของสนิมในเหล็กเสริมอย่างรุนแรง	3
	เป็นบริเวณกว้าง	เฉพาะผิวเหล็กเสริม	3
		การลดลงของหน้าตัดเหล็กเสริม การบวมขยายตัวของสนิมในเหล็กเสริมอย่างรุนแรง	5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 17 ตัวอย่างของการโผล่ของเหล็กเสริม (JICA, 2013)

ระดับความเสียหาย 2	
 มีเหล็กเสริมโผล่เป็นบางแห่ง	
ระดับความเสียหาย 2	
 มีเหล็กเสริมโผล่เป็นบางแห่ง	
ระดับความเสียหาย 3	
 มีเหล็กเสริมเป็นสนิมบางแห่ง	

2.1.3.8 ความเสียหายในที่รองรับสะพาน

สภาพโดยทั่วไปและลักษณะพิเศษของความเสียหาย คือสภาพความเสียหายบางส่วนหรือทั้งหมดในการทำงานของที่รองรับสะพาน ซึ่งได้แก่ความสามารถในการรับน้ำหนักและการเคลื่อนตัว มีเกณฑ์การประเมินของความเสียหายในที่รองรับสะพานตามตารางที่ 18 และรูปตัวอย่าง ความเสียหายในที่รองรับสะพานตามตารางที่ 19

ตารางที่ 18 ตารางเกณฑ์ประเมินผลของความเสียหายในที่รองรับสะพาน (JICA, 2013)

เกณฑ์การประเมินผล	ระดับความเสียหาย
ไม่มีความเสียหาย	1
มีความเสียหายในที่รองรับสะพาน	3
มีความเสียหายอย่างรุนแรงในที่รองรับสะพาน	5

ตารางที่ 19 ตัวอย่างของความเสียหายในที่รองรับสะพาน (JICA, 2013)

ระดับความเสียหาย 3	ระดับความเสียหาย 3
ยางเสื่อมสภาพแต่ไม่มีความเสียหายในการทำงาน	ยางเสื่อมสภาพแต่ไม่มีความเสียหายในการทำงาน
ระดับความเสียหาย 5	ระดับความเสียหาย 5
มีความเสียหายในการทำงานด้านการเคลื่อนที่เนื่องจากการสะสมของเศษดินและฝุ่น	มีความเสียหายในการทำงานเนื่องจากมีสนิม

2.2 แบบจำลองมาร์คอฟ (Markov Model)

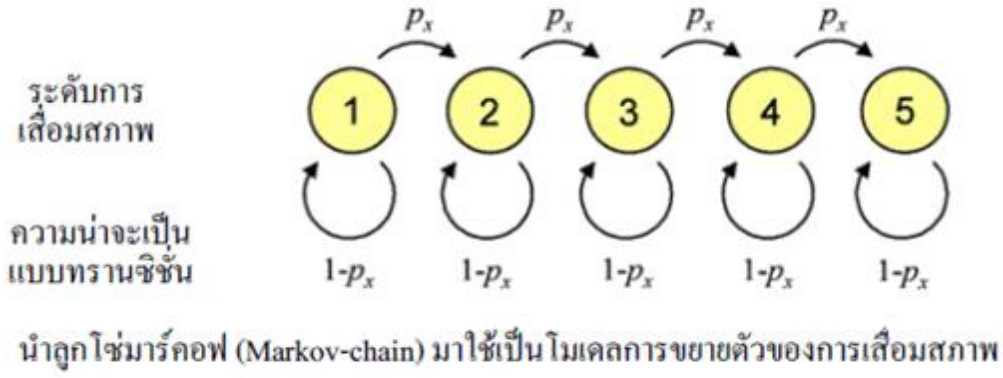
แบบจำลองมาร์คอฟ คือ แนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปร เพื่อพยากรณ์ค่าในอนาคตของตัวแปรนั้น โดยใช้ข้อมูลของเหตุการณ์ในปัจจุบันมาคำนวณหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (Transition Probability) ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ใช้ในการพยากรณ์หรือประมาณสถานการณ์ในอนาคตโดยต้องทราบสถานะปัจจุบันและความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงจากสถานะหนึ่งไปเป็นอีกสถานะหนึ่ง

มาร์คอฟเชน (Markov Chain) เป็นกระบวนการสุ่มแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับระบบหรือองค์ประกอบที่มีผลลัพธ์เป็นการสุ่ม ผลของการสุ่มจะเป็นฟังก์ชั่นของตัวแปรตาม เช่น อุณหภูมิ เพราะว่าเป็นเหตุการณ์ไม่สามารถคาดเดาได้ด้วยความแน่นอน

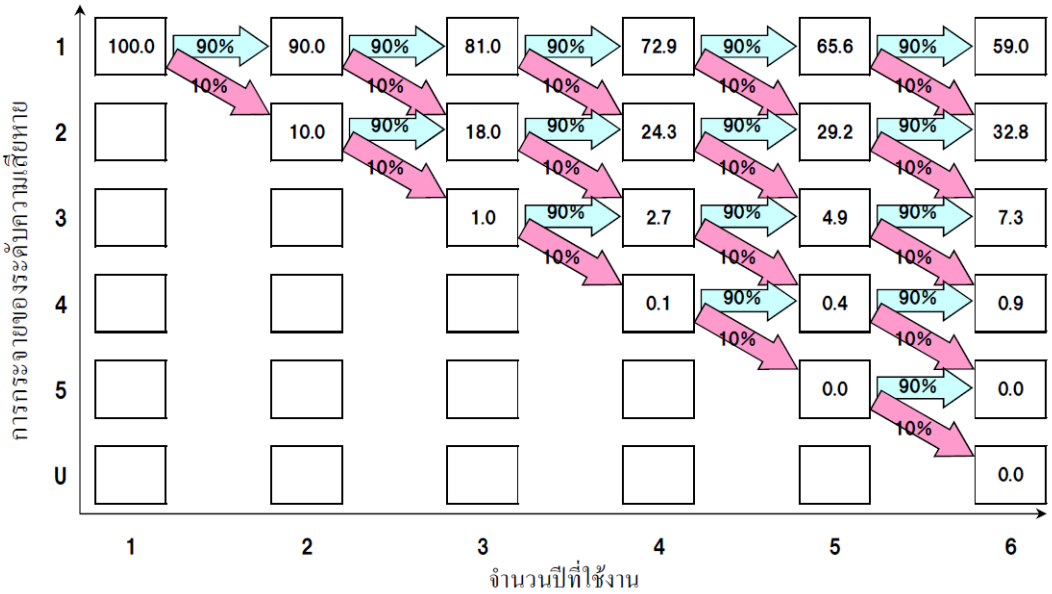
2.2.1 ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงตามแบบจำลองมาร์คอฟ

หลักการความน่าจะเป็นแบบทรานซิชั่นของมาร์คอฟ คือ การสร้างโมเดลที่แสดงให้เห็นว่าจะมีความเปลี่ยนแปลงด้วยความน่าจะเป็นมากน้อยเท่าใดจากสภาพหนึ่งไปสู่สภาพถัดไปตัวอย่างเช่นหากมีการตั้งสมมติฐานว่าใน 1 ปีค่าการเสื่อมสภาพจะเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 ด้วยความน่าจะเป็นที่มีปัจจัยเปลี่ยนแปลงเท่ากับ Px โดยส่วนที่เหลือ (1-Px) จะหยุดอยู่ที่ระดับการเสื่อมสภาพ 0 เมื่อทำการคำนวณซ้ำๆ เช่นนี้ปีละ 1 ครั้งจะสามารถคำนวณการกระจายของความน่าจะเป็นที่บอกว่ามีการเสื่อมสภาพอยู่ในระดับใดดังรูปที่ 1 รวมไปถึงแสดงถึงการคาดเดาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตดังรูปที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



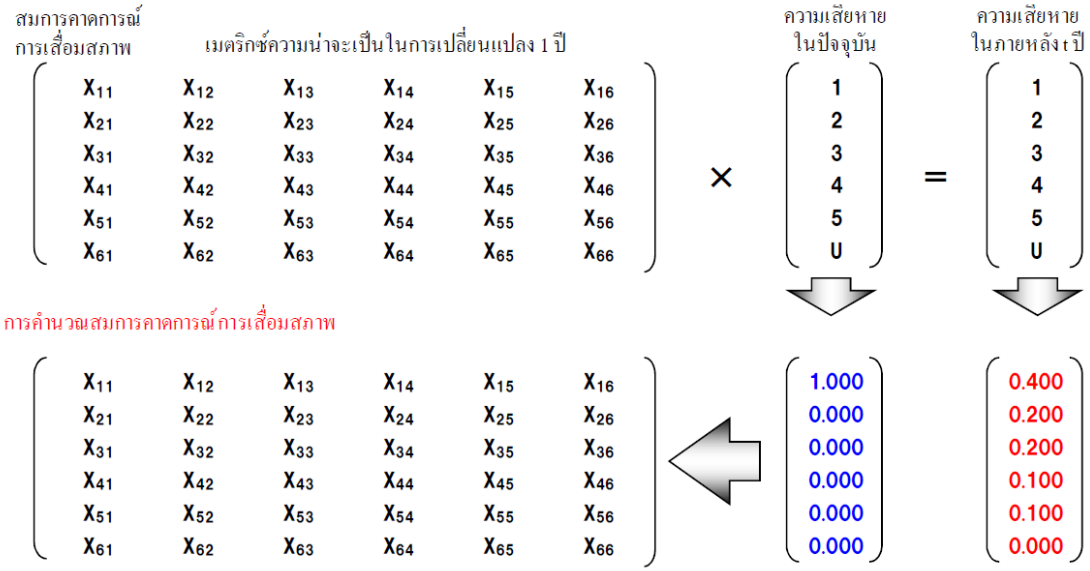
รูปที่ 1 ภาพของทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทรานซิชั่นมาร์คอฟ (JICA, 2013)



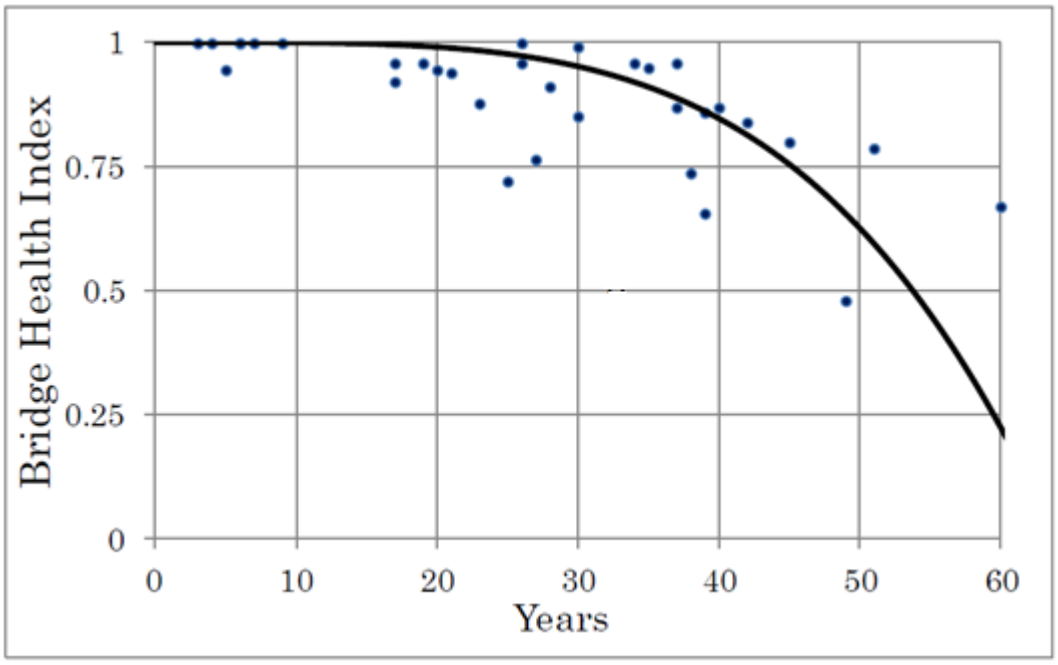
รูปที่ 2 แผนภาพตัวอย่างความเสียหายที่มีการเลื่อนระดับความเสียหาย (JICA, 2013)

2.2.2 แนวทางการคำนวณสมการที่ใช้การพยากรณ์อัตราการเสื่อมสภาพ

เพื่อให้การพยากรณ์อัตราการเสื่อมสภาพมีความแม่นยำสูงต้องมีวิธีคำนวณสมการพยากรณ์อัตราการเสื่อมสภาพเฉพาะชิ้นส่วนโครงสร้างของสะพานแต่ละแห่ง นอกจากนี้สะพานเป้าหมายของการวางแผนบริหารงานบำรุงรักษาระยะยาวยังจำกัดอยู่เพียงสะพานที่มีการตรวจสอบตามกำหนดเวลาเท่านั้น ทำให้สามารถเก็บผลการตรวจสอบของสะพานทั้งหมดที่เป็นเป้าหมายของการวางแผนได้ ดังนั้น จะต้องมีการคำนวณสมการพยากรณ์การเสื่อมสภาพโดยใช้วิธีคำนวณสมการพยากรณ์การเสื่อมสภาพเฉพาะของแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างในสะพานแต่ละแห่งเป็นพื้นฐาน สำหรับการคำนวณสมการพยากรณ์อัตราการเสื่อมสภาพ สิ่งที่ดีที่สุดคือการคำนวณกลับจากสมการพยากรณ์การเสื่อมสภาพเฉพาะของชิ้นส่วนโครงสร้างแต่ละส่วนในสะพานแต่ละแห่งโดยใช้ผลการตรวจสอบหลายๆ ครั้งดังรูปที่ 3 แต่เนื่องจากทางกรมทางหลวงชนบท ไม่มีผลการตรวจสอบสะพานในอดีต จึงต้องคำนวณสมการพยากรณ์อัตราการเสื่อมสภาพจากรูปที่ 4 ที่เกิดจากสภาพความสมบูรณ์กับอายุการใช้งานของสะพานด้วยสมมติฐานดังที่กล่าวในหัวข้อ 1.4



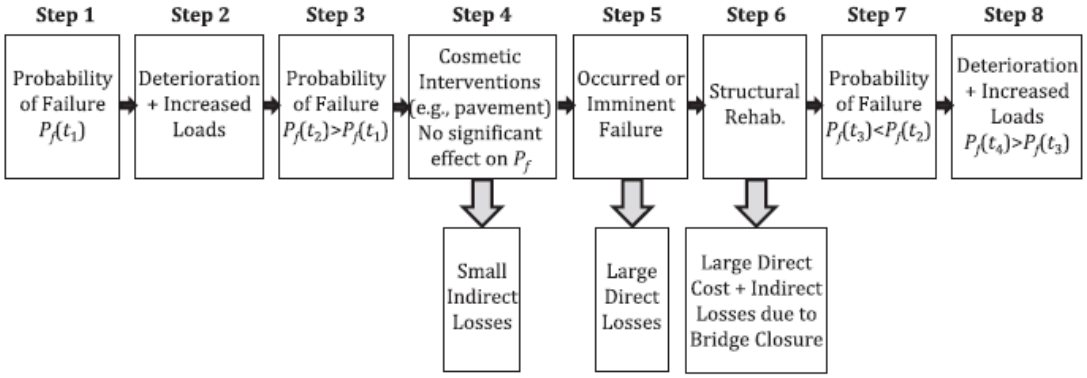
รูปที่ 3 แผนภาพวิธีการคำนวณสมการคาดการณ์การเสื่อมสภาพ (JICA, 2013)



รูปที่ 4 แผนภาพแสดง Bridge Health Index ที่ลดลงอายุสะพาน (Seto และคณะ, 2012)

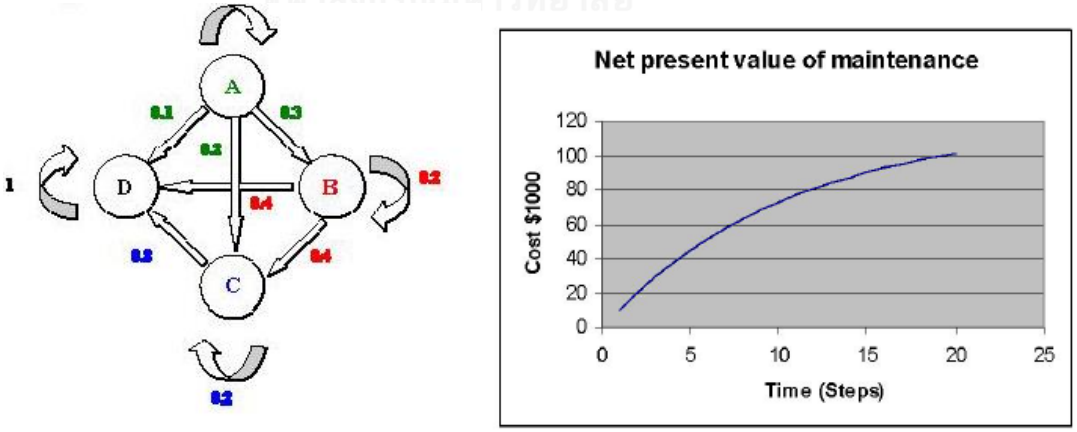
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bocchini และ คณะ (2011) ได้ทำการทดสอบหาวงจรชีวิตของกลุ่มสะพานที่มีความต่างทางด้านอายุสะพาน โดยมีการใส่แรงกระทำต่อสะพานเพื่อดูความเสียหายที่เกิดขึ้นแล้วใส่แรงเพิ่มไปทีละระดับเพื่อดูความเสียหายที่เกิดต่อไป



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงาน และผลลัพธ์ของ Bocchini และ คณะ (2011)

Abdulkader และคณะ (2006) ได้มีการใช้ทฤษฎี Markov Chain เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพ และควบคุมความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐาน ได้มีการสร้างแบบจำลอง ลักษณะรูปแบบการสุ่ม เพื่อที่จะอธิบายกระบวนการสุ่มที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยที่ A เป็นผลที่ดีที่คาดว่าจะดำเนินการได้เพียงพอต่อชีวิตปรกติ B เป็นผลที่พอใช้ได้มีความปลอดภัยระดับหนึ่ง C เป็นผลที่พอใจแต่ต้องมีการปรับปรุงในไม่ช้า และ D เป็นความล้มเหลว



รูปที่ 6 การใช้ทฤษฎี Markov Chain เพื่อการเสื่อมสภาพไปตามเวลา (Abdulkader และ คณะ, 2006)

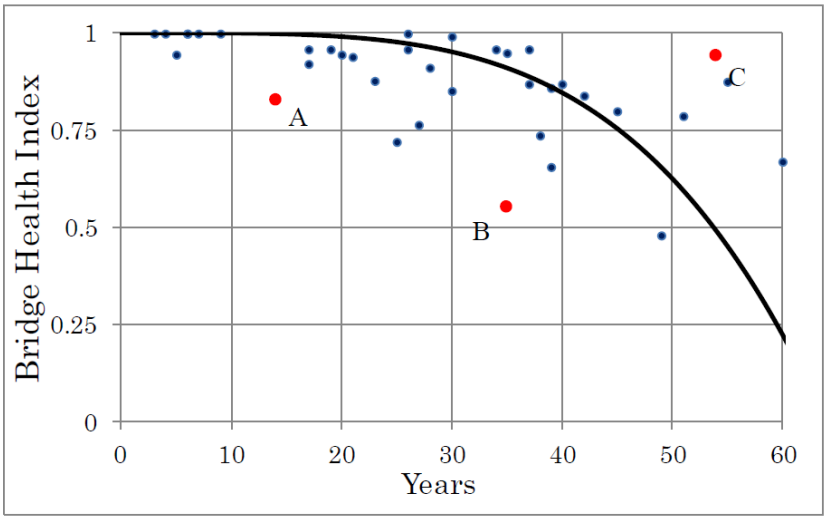
Setunge และ Hasan (2011) ทำการทำนายพยากรณ์อัตราการเสื่อมสภาพของสะพานคอนกรีต โดยมีการเก็บข้อมูล 2 ช่วงในระยะเวลาที่ต่างกันเพื่อที่จะทำตามทฤษฎีของ Markov Chain และมีการแยกประเภทตามขนาดของสะพาน

ตารางที่ 20 ข้อมูลสะพาน (Setunge และ Hasan, 2011)

Structure ID	*Date Constructed*	*First Inspection Date:*	*Inspection Condition Rating*				*Second Inspection Date:*	*Inspection Condition Rating*				*Inspection Interval*
			1	*2*	*3*	*4*		*1*	*2*	*3*	*4*	
SN2086	*30/6/1959*	*20/4/'04*	*100*	*0*	*0*	*0*	*6/06/'06*	*100*	*0*	*0*	*0*	*2.1*
SN3936	*30/6/1952*	*3/4/'03*	*82*	*5*	*11*	*2*	*6/06/'06*	*82*	*5*	*11*	*2*	*3.2*
SN3232	*01/6/1940*	*3/5/'02*	*100*	*0*	*0*	*0*	*24/1/'06*	*78*	*22*	*0*	*0*	*3.7*
SN2800	*30/6/1961*	*1/6/'02*	*100*	*0*	*0*	*0*	*4/04/'06*	*100*	*0*	*0*	*0*	*3.8*
SN2104	*30/6/1963*	*16/4/'04*	*69*	*10*	*21*	*0*	*24/1/'07*	*35*	*44*	*14*	*7*	*2.8*

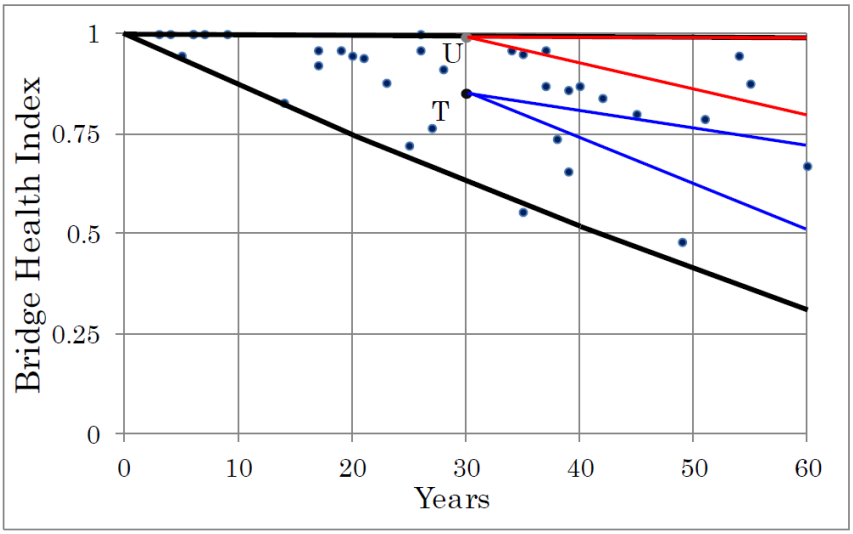
รูปที่ 7 แนวโน้มอัตราการเสื่อมถอย (Setunge และ Hasan, 2011)

Seto และคณะ (2012) ได้มีการเปรียบเทียบระหว่างวิธีมาร์คอฟเชน กับทฤษฎีบาเยเซียน (Bayesian) ได้มีการนำข้อมูลของสะพานมาทำการหาแนวโน้มของวิธีมาร์คอฟเชน ดังรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสะพาน A B C นั้นเป็นจุดที่มีค่าความแปรปรวนที่สูง Seto และคณะ (2012) จึงได้เสนอทฤษฎีบาเยเซียน (Bayesian) เพื่อทำให้ข้อมูลมีค่าการแปรปรวนที่น้อยลง



รูปที่ 8 แผนภาพแสดง Bridge Health Index ที่ลดลงตามอายุสะพาน (Seto และ คณะ, 2012)

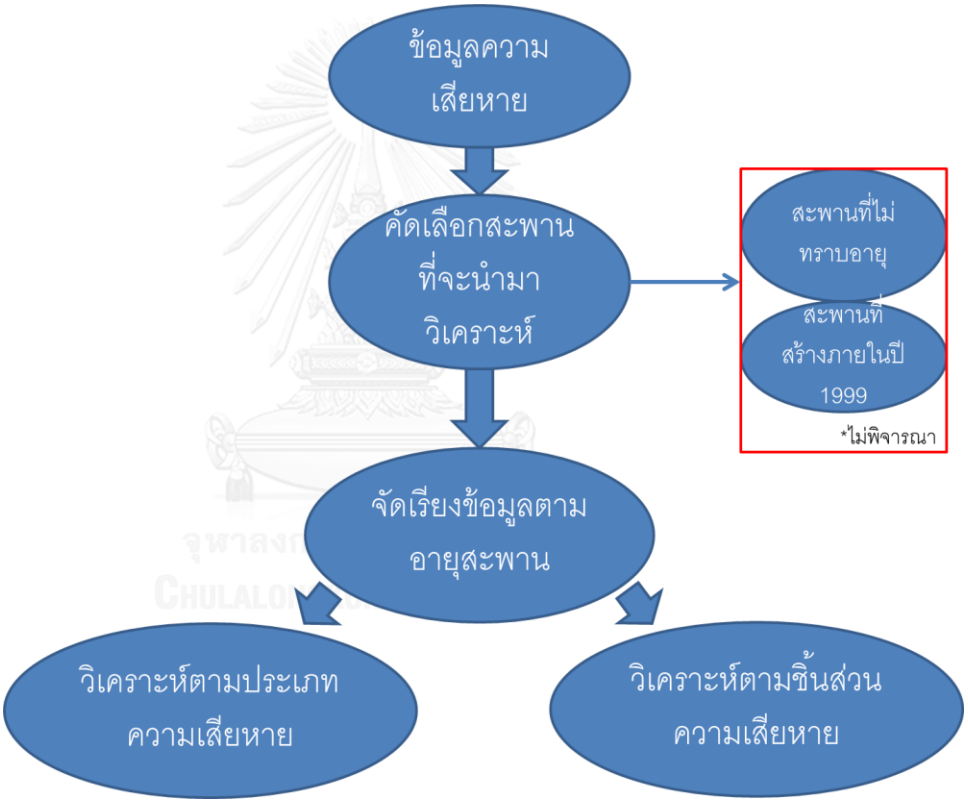
ทฤษฎีบาเยเซียน(Bayesian) จะมีการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาให้มีการแยกพิจารณา โดยที่สะพาน U และ T ที่อายุ 30 ปีนั้นมีความสมบูรณ์ของตัวสะพานที่ต่างกัน ดังนั้นสะพาน U ที่มีความสมบูรณ์ที่มากกว่า ควรจะมีแนวโน้มอัตราการเสื่อมสภาพที่น้อยกว่าสะพาน T ที่มีความสมบูรณ์ที่น้อยกว่าจึงไม่สมควรใช้อัตราการเสื่อมสภาพในลักษณะเดียวกัน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนภาพแสดง Bridge Health Index ต่ออายุสะพานตามทฤษฎี Bayersian (Seto และ คณะ, 2012)

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

กระบวนการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการนำข้อมูลความเสียหายมาคัดเลือกสะพานที่จะนำมาวิเคราะห์ ส่วนที่สองเป็นการนำข้อมูลของสะพานทั้งหมดที่ผ่านการคัดเลือกแล้วมาเรียงลำดับตามอายุ ชิ้นส่วน และความเสียหายเพื่อนำไปทำเป็นความน่าจะเป็นของปีนั้นๆ และส่วนสุดท้ายคือการนำข้อมูลที่มีการเรียงลำดับและค่าความน่าจะเป็นของปีนั้นๆเพื่อไปวิเคราะห์ตามประเภทความเสียหายและชิ้นส่วน



รูปที่ 10 แผนผังการดำเนินงาน

3.1 การคัดเลือกสะพาน

3.1.1 สะพานที่พิจารณา

ในการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพของโครงสร้างสะพานและพิจารณาการเสื่อมสภาพของสะพานที่จะเป็นไปได้ในอนาคต โดยสะพานที่พิจารณาเป็นสะพานสังกัดกรมทางหลวงชนบทแห่งประเทศไทย

3.1.2 คุณสมบัติของสะพานที่พิจารณา

การคัดเลือกสะพานที่จะพิจารณาถึงคุณสมบัติ

- เป็นสะพานที่ทราบถึงอายุของตัวสะพาน
- เป็นสะพานที่ไม่ได้สร้างภายในปีค.ส. 1999

3.2 การจัดเรียงข้อมูล

ในการจัดเรียงข้อมูลนี้เพื่อทำการรวมกลุ่มของข้อมูลของโครงสร้างสะพานตามประเภทความเสียหายและชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพานและคำนวณหาความน่าจะเป็นของแต่ละปีและแต่ละระดับความเสียหายตามตารางที่ 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 21 ตารางตัวอย่างความน่าจะเป็นของสำนักที่1 ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม

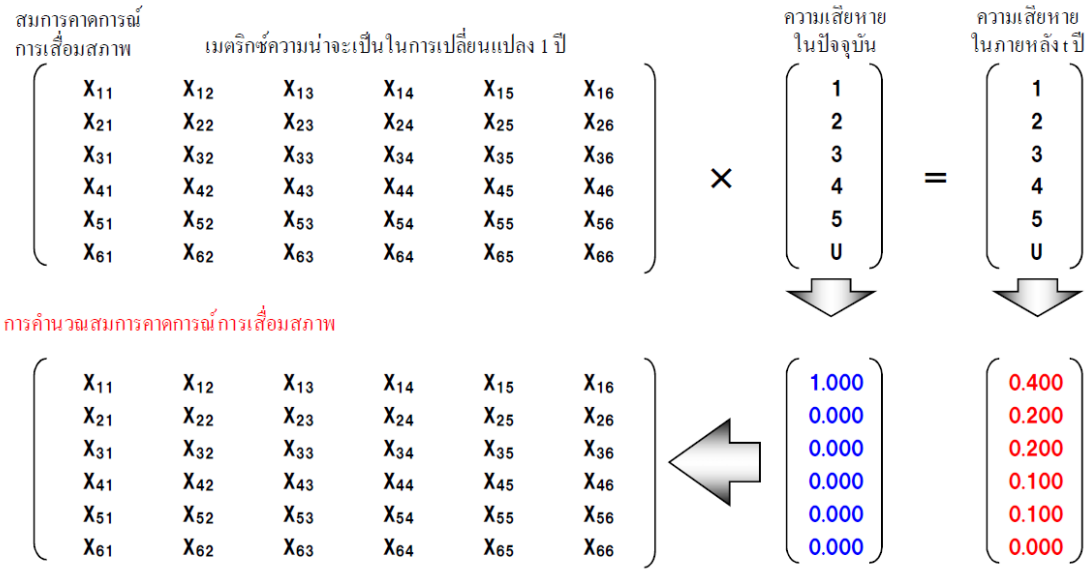
ปี	District 1 ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
	ระดับความเสียหาย				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0.956522	0	0	0	0.043478
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0.857143	0	0	0	0.142857
10	0	0	0	0	0
11	0.975	0	0.025	0	0
12	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0
14	1	0	0	0	0
15	1	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0
24	1	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0

3.3 การวิเคราะห์ตามประเภทความเสียหาย

สำหรับการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพตามประเภทความเสียหายนั้นจะมีความแตกต่างของแต่ละประเภทความเสียหาย เนื่องมาจากความเสียหายแต่ละประเภทนั้นมีการแบ่งระดับที่ไม่เหมือนกันตามตารางที่ 1 จึงทำให้เวลาคำนวณเราไม่สามารถพิจารณาทั้ง 5 ระดับได้ และตามฐานข้อมูลนั้นจะมีมีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่ในระดับความเสียหายที่ 1 และ3 เป็นส่วนมาก จึงให้ความสำคัญในการพิจารณาระดับความเสียหายที่ 1 และ3 เป็นพิเศษ

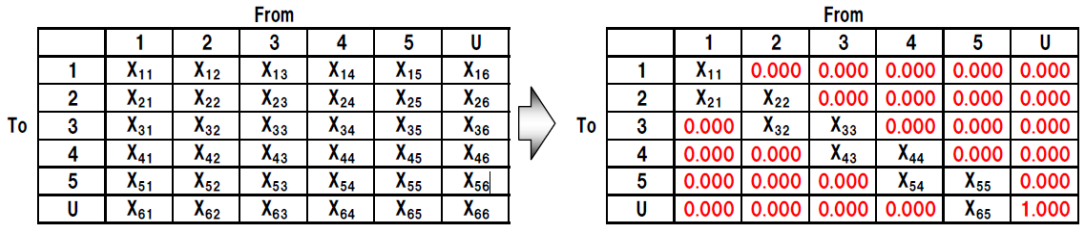
3.4 แนวทางการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพาน

การวิเคราะห์และประเมินอัตราการเสื่อมสภาพด้วยวิธี Markov Chain มีแนวทางคำนวณสมการคาดการณ์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 11 แผนภาพแสดงวิธีการคำนวณสมการคาดการณ์การเสื่อมสภาพ (JICA, 2013)

- ความเปลี่ยนแปลงของการเสื่อมสภาพในแต่ละประเภทการประเมินความเสียหายให้ถือว่าจะลดลง 1 ระดับหรือหยุดอยู่ในสภาพเดิม การลดลง 2 ระดับและการฟื้นระดับของความเสียหายไม่ต้องนำมาพิจารณา จะได้ข้อกำหนดดังรูปที่ 12

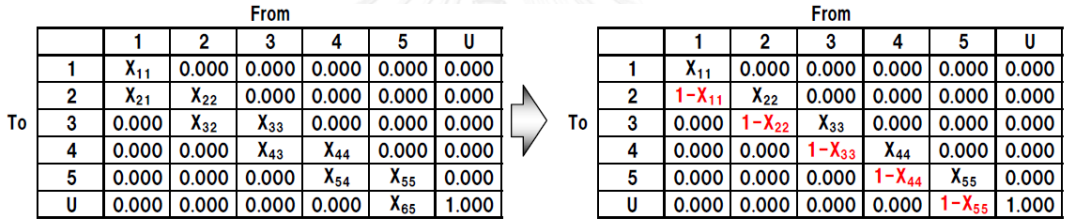


To \ From	1	2	3	4	5	U
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}
4	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}	X_{46}
5	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}	X_{55}	X_{56}
U	X_{61}	X_{62}	X_{63}	X_{64}	X_{65}	X_{66}

To \ From	1	2	3	4	5	U
1	X_{11}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	X_{21}	X_{22}	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	X_{32}	X_{33}	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	X_{43}	X_{44}	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	X_{54}	X_{55}	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000	X_{65}	1.000

รูปที่ 12 การลดลงเกิน 2 ระดับ และการฟื้นระดับของความเสียหายไม่ต้องนำมาพิจารณาจะได้ทรานซิชั่น (JICA, 2013)

- ค่ารวมของแถวในแนวตั้งของเมทริกซ์ กำหนดให้ต้องเป็น 1.0 เสมอ
- ดังนั้นความเสียหายระดับต่ำลงไปหนึ่งระดับจะสามารถคำนวณได้ดังรูปที่ 13



To \ From	1	2	3	4	5	U
1	X_{11}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	X_{21}	X_{22}	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	X_{32}	X_{33}	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	X_{43}	X_{44}	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	X_{54}	X_{55}	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000	X_{65}	1.000

To \ From	1	2	3	4	5	U
1	X_{11}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	$1-X_{11}$	X_{22}	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	$1-X_{22}$	X_{33}	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	$1-X_{33}$	X_{44}	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	$1-X_{44}$	X_{55}	0.000
U	0.000	0.000	0.000	0.000	$1-X_{55}$	1.000

รูปที่ 13 ค่ารวมในแนวตั้งของเมทริกซ์ ต้องเป็น 1 เสมอ (JICA, 2013)

3.5 การวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพาน

การวิเคราะห์หาอัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานโดยใช้โปรแกรม MATLAB (Mathwork, 2008) และใช้คำสั่ง fminsearch โดยที่ในชุดคำสั่ง fminsearch นั้นใช้ฟังก์ชัน least square of error โดยกำหนดวิธีหาค่า error จากค่าที่ทำนายโดยมาร์คอฟเชนนำไปลบกับค่าที่ได้จากการตรวจสอบสะพานภาคสะนาม และต้องกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อนำไปสู่การการสุ่มของชุดข้อมูล และวิเคราะห์หาค่าเริ่มต้นที่ทำให้ผลลัพธ์นั้นมีค่า error ที่น้อยที่สุด จึงมีความจำเป็นจะต้องมีการทดลองสุ่มค่าเริ่มต้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม

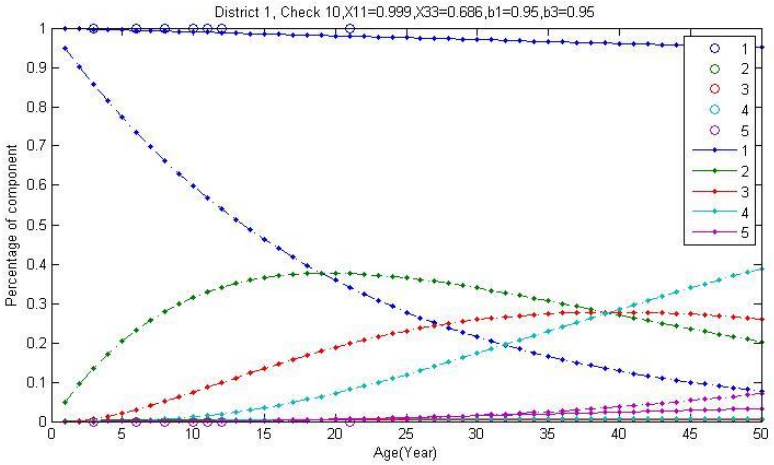
บทที่ 4
การวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพาน

4.1 การวิเคราะห์ตามประเภทของความเสียหาย

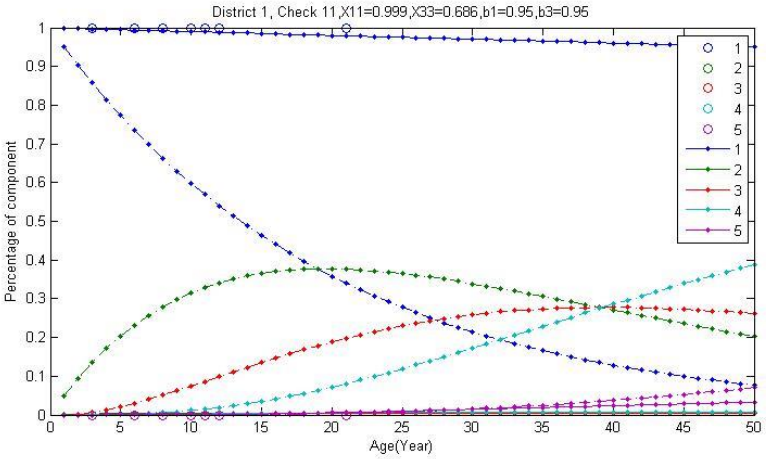
สำหรับการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพตามประเภทความเสียหายนั้นจะมีความแตกต่างของแต่ละประเภทความเสียหาย เนื่องมาจากความเสียหายแต่ละประเภทนั้นมีการแบ่งระดับที่ไม่เหมือนกันดังตารางที่ 22 จึงทำให้เวลาคำนวณเราไม่สามารถพิจารณาทั้ง 5 ระดับได้ และในความเสียหายระดับที่ 5 นั้นมีการรวมถึงการพังทลายหรือเป็นความเสียหายที่ไม่อาจซ่อมแซมเข้าไปด้วยจึงทำให้เวลาวิเคราะห์ จะต้องไม่นำข้อมูลของข้อมูลในส่วนของระดับความเสียหายเข้าไปคำนวณ

ตารางที่ 22 ระดับความเสียหายที่มีการแบ่งระดับในความเสียหายประเภทต่างๆที่พิจารณา

ประเภทความเสียหาย	ระดับ
ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม	1, 3, 5
การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน	1, 3, 5
ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง	1, 5
รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)	1, 2, 3, 4, 5
การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน	1, 3, 5
รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน	1, 2, 3, 4, 5
เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)	1, 2, 3, 5
ความเสียหายในที่รองรับสะพาน	1, 3, 5



รูปที่ 14 การเสื่อมสภาพของการกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพานที่อาจจะเกิดขึ้นใน 50 ปี สำนักที่ 1



รูปที่ 15 การเสื่อมสภาพของความเสียหายในที่ยืดลวดอัดแรงที่อาจจะเกิดขึ้นใน 50 ปี สำนักที่1

จากการใช้ MATLAB ในการประมวลผลเพื่อหาอัตราการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะได้ค่า X11 และ X33 ซึ่งค่า X11 คือความน่าจะเป็นที่ความเสียหายระดับที่ 1 นั้น ในปีต่อไปยังอยู่ในระดับความเสียหายที่ 1 เหมือนเดิม และค่า X11 คือความน่าจะเป็นที่ความเสียหายระดับที่ 3 นั้น ในปีต่อไปยังอยู่ในระดับความเสียหายที่ 3 เหมือนเดิม เพื่อนำมาคาดคะเนหาการเสื่อมสภาพที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต 50ปีข้างหน้า และมีการเปรียบเทียบกับค่าการเสื่อมสภาพที่ JICA ได้เสนอมาเบื้องต้น ซึ่งค่าการเสื่อมสภาพของ JICA นั้นมีลักษณะเป็นเส้นประ ดังรูปที่ 14 และรูปที่ 15 ซึ่งจะพบได้ว่าค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงนั้นมีแนวโน้มที่น้อยกว่า ค่าการเสื่อมสภาพที่ JICA ได้เสนอมาเบื้องต้น เพราะว่าในฐานข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้นไม่สามารถนำส่วนการซ่อมบำรุงรักษามาคำนวณได้ เนื่องมาจากข้อมูลการซ่อมบำรุงรักษาไม่สามารถระบุได้ และแสดงถึงข้อมูลของสะพานในลักษณะจุดวงกลม ซึ่งค่าอัตราการเสื่อมสภาพที่น้อยนั้นทำให้ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นมีค่าที่น้อยลงไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 1

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.998938	0	0	0	0
2	0.001062	0.828965	0	0	0
3	0	0.171035	0.763046	0	0
4	0	0	0.236954	0.836513	0
5	0	0	0	0.163487	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.816907	0	0	0
3	0	0.183093	0.686257	0	0
4	0	0	0.313743	0.871285	0
5	0	0	0	0.128715	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.816907	0	0	0
3	0	0.183093	0.686257	0	0
4	0	0	0.313743	0.871285	0
5	0	0	0	0.128715	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.837321	0	0	0
3	0	0.162679	0.924012	0	0
4	0	0	0.075988	0.961093	0
5	0	0	0	0.038907	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.816907	0	0	0
3	0	0.183093	0.686257	0	0
4	0	0	0.313743	0.871285	0
5	0	0	0	0.128715	1

ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.816907	0	0	0
3	0	0.183093	0.686257	0	0
4	0	0	0.313743	0.871285	0
5	0	0	0	0.128715	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.989104	0	0	0	0
2	0.010896	0.590245	0	0	0
3	0	0.409755	0.998994	0	0
4	0	0	0.001006	4.17E-05	0
5	0	0	0	0.999958	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.816907	0	0	0
3	0	0.183093	0.686257	0	0
4	0	0	0.313743	0.871285	0
5	0	0	0	0.128715	1

ตารางที่ 24 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 2

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.998585	0	0	0	0
2	0.001415	0.776686	0	0	0
3	0	0.223314	1.92E-08	0	0
4	0	0	1	0.376971	0
5	0	0	0	0.623029	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.997968	0	0	0	0
2	0.002032	0.845294	0	0	0
3	0	0.154706	0.998998	0	0
4	0	0	0.001002	0.998922	0
5	0	0	0	0.001078	1

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.831827	0	0	0
3	0	0.168173	0.816569	0	0
4	0	0	0.183431	0.873883	0
5	0	0	0	0.126117	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.837397	0	0	0
3	0	0.162603	0.846176	0	0
4	0	0	0.153824	0.847249	0
5	0	0	0	0.152751	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.836271	0	0	0
3	0	0.163729	0.856882	0	0
4	0	0	0.143118	0.876833	0
5	0	0	0	0.123167	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.831827	0	0	0
3	0	0.168173	0.816569	0	0
4	0	0	0.183431	0.873883	0
5	0	0	0	0.126117	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.841993	0	0	0
3	0	0.158007	0.920053	0	0
4	0	0	0.079947	0.896969	0
5	0	0	0	0.103031	1

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.831827	0	0	0
3	0	0.168173	0.816569	0	0
4	0	0	0.183431	0.873883	0
5	0	0	0	0.126117	1

ตารางที่ 25 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 3

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.994148	0	0	0	0
2	0.005852	0.720977	0	0	0
3	0	0.279023	5.07E-08	0	0
4	0	0	1	0.324121	0
5	0	0	0	0.675879	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829898	0	0	0
3	0	0.170102	0.799575	0	0
4	0	0	0.200425	0.873341	0
5	0	0	0	0.126659	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830464	0	0	0
3	0	0.169536	0.803365	0	0
4	0	0	0.196635	0.87176	0
5	0	0	0	0.12824	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830939	0	0	0
3	0	0.169061	0.872614	0	0
4	0	0	0.127386	0.96631	0
5	0	0	0	0.03369	1

ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830464	0	0	0
3	0	0.169536	0.803365	0	0
4	0	0	0.196635	0.87176	0
5	0	0	0	0.12824	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830464	0	0	0
3	0	0.169536	0.803365	0	0
4	0	0	0.196635	0.87176	0
5	0	0	0	0.12824	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833047	0	0	0
3	0	0.166953	0.825317	0	0
4	0	0	0.174683	0.871335	0
5	0	0	0	0.128665	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833982	0	0	0
3	0	0.166018	0.833402	0	0
4	0	0	0.166598	0.871377	0
5	0	0	0	0.128623	1

ตารางที่ 26 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 4

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.998411	0	0	0	0
2	0.001589	0.752577	0	0	0
3	0	0.247423	0.866857	0	0
4	0	0	0.133143	6.65E-07	0
5	0	0	0	0.999999	1

ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.845638	0	0	0
3	0	0.154362	0.938748	0	0
4	0	0	0.061252	0.883053	0
5	0	0	0	0.116947	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.834472	0	0	0
3	0	0.165528	0.86756	0	0
4	0	0	0.13244	0.9292	0
5	0	0	0	0.0708	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.85498	0	0	0
3	0	0.14502	0.965422	0	0
4	0	0	0.034578	0.925061	0
5	0	0	0	0.074939	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83913	0	0	0
3	0	0.16087	0.890246	0	0
4	0	0	0.109754	0.92714	0
5	0	0	0	0.07286	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.997185	0	0	0	0
2	0.002815	0.868662	0	0	0
3	0	0.131338	0.998998	0	0
4	0	0	0.001002	0.994894	0
5	0	0	0	0.005106	1

ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.853385	0	0	0
3	0	0.146615	0.971215	0	0
4	0	0	0.028785	0.892538	0
5	0	0	0	0.107462	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.842464	0	0	0
3	0	0.157536	0.911866	0	0
4	0	0	0.088134	0.912463	0
5	0	0	0	0.087537	1

ตารางที่ 27 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 5

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.998251	0	0	0	0
2	0.001749	0.771394	0	0	0
3	0	0.228606	2.2E-09	0	0
4	0	0	1	0.286179	0
5	0	0	0	0.713821	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.99658	0	0	0	0
2	0.00342	0.833717	0	0	0
3	0	0.166283	0.988739	0	0
4	0	0	0.011261	0.998996	0
5	0	0	0	0.001004	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.824853	0	0	0
3	0	0.175147	0.750679	0	0
4	0	0	0.249321	0.86545	0
5	0	0	0	0.13455	1

ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.998583	0	0	0	0
2	0.001417	0.828862	0	0	0
3	0	0.171138	0.977858	0	0
4	0	0	0.022142	0.828663	0
5	0	0	0	0.171337	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.836987	0	0	0
3	0	0.163013	0.864124	0	0
4	0	0	0.135876	0.878391	0
5	0	0	0	0.121609	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830671	0	0	0
3	0	0.169329	0.790148	0	0
4	0	0	0.209852	0.850012	0
5	0	0	0	0.149988	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.998286	0	0	0	0
2	0.001714	0.84535	0	0	0
3	0	0.15465	0.998909	0	0
4	0	0	0.001091	0.998967	0
5	0	0	0	0.001033	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.824853	0	0	0
3	0	0.175147	0.750679	0	0
4	0	0	0.249321	0.86545	0
5	0	0	0	0.13455	1

ตารางที่ 28 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 6

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.998798	0	0	0	0
2	0.001202	0.841914	0	0	0
3	0	0.158086	0.988454	0	0
4	0	0	0.011546	0.998989	0
5	0	0	0	0.001011	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.998841	0	0	0	0
2	0.001159	0.841005	0	0	0
3	0	0.158995	0.981964	0	0
4	0	0	0.018036	0.998958	0
5	0	0	0	0.001042	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83014	0	0	0
3	0	0.16986	0.816927	0	0
4	0	0	0.183073	0.895482	0
5	0	0	0	0.104518	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83652	0	0	0
3	0	0.16348	0.870622	0	0
4	0	0	0.129378	0.893653	0
5	0	0	0	0.106347	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83014	0	0	0
3	0	0.16986	0.816927	0	0
4	0	0	0.183073	0.895482	0
5	0	0	0	0.104518	1

ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.839992	0	0	0
3	0	0.160008	0.903922	0	0
4	0	0	0.096078	0.898554	0
5	0	0	0	0.101446	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.841337	0	0	0
3	0	0.158663	0.924013	0	0
4	0	0	0.075987	0.910903	0
5	0	0	0	0.089097	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.840293	0	0	0
3	0	0.159707	0.898998	0	0
4	0	0	0.101002	0.887654	0
5	0	0	0	0.112346	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 29 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 7

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.600665	0	0	0
3	0	0.399335	0.150299	0	0
4	0	0	0.849701	1.29E-05	0
5	0	0	0	0.999987	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.998857	0	0	0	0
2	0.001143	0.773474	0	0	0
3	0	0.226526	0.961547	0	0
4	0	0	0.038453	4.68E-06	0

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.838139	0	0	0
3	0	0.161861	0.880602	0	0
4	0	0	0.119398	0.939379	0
5	0	0	0	0.060621	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.838139	0	0	0
3	0	0.161861	0.880602	0	0
4	0	0	0.119398	0.939379	0
5	0	0	0	0.060621	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.838139	0	0	0
3	0	0.161861	0.880602	0	0
4	0	0	0.119398	0.939379	0
5	0	0	0	0.060621	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.838139	0	0	0
3	0	0.161861	0.880602	0	0
4	0	0	0.119398	0.939379	0
5	0	0	0	0.060621	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.839765	0	0	0
3	0	0.160235	0.888719	0	0
4	0	0	0.111281	0.938172	0
5	0	0	0	0.061828	1

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.843249	0	0	0
3	0	0.156751	0.913185	0	0
4	0	0	0.086815	0.918249	0
5	0	0	0	0.081751	1

ตารางที่ 30 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 8

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1

ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1

ตารางที่ 31 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 9

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.996945	0	0	0	0
2	0.003055	0.773308	0	0	0
3	0	0.226692	5.96E-09	0	0
4	0	0	1	0.289716	0
5	0	0	0	0.710284	1

ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.84103	0	0	0
3	0	0.15897	0.981515	0	0
4	0	0	0.018485	0.998135	0
5	0	0	0	0.001865	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829104	0	0	0
3	0	0.170896	0.78819	0	0
4	0	0	0.21181	0.86674	0
5	0	0	0	0.13326	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829104	0	0	0
3	0	0.170896	0.78819	0	0
4	0	0	0.21181	0.86674	0
5	0	0	0	0.13326	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829104	0	0	0
3	0	0.170896	0.78819	0	0
4	0	0	0.21181	0.86674	0
5	0	0	0	0.13326	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829104	0	0	0
3	0	0.170896	0.78819	0	0
4	0	0	0.21181	0.86674	0
5	0	0	0	0.13326	1

ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.840083	0	0	0
3	0	0.159917	0.894172	0	0
4	0	0	0.105828	0.883273	0
5	0	0	0	0.116727	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829104	0	0	0
3	0	0.170896	0.78819	0	0
4	0	0	0.21181	0.86674	0
5	0	0	0	0.13326	1

ตารางที่ 32 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 10

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.842251	0	0	0
3	0	0.157749	0.91092	0	0
4	0	0	0.08908	0.880497	0
5	0	0	0	0.119503	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.846683	0	0	0
3	0	0.153317	0.92266	0	0
4	0	0	0.07734	0.842162	0
5	0	0	0	0.157838	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830408	0	0	0
3	0	0.169592	0.823685	0	0
4	0	0	0.176315	0.901937	0
5	0	0	0	0.098063	1

ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.832425	0	0	0
3	0	0.167575	0.841186	0	0
4	0	0	0.158814	0.902112	0
5	0	0	0	0.097888	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.836323	0	0	0
3	0	0.163677	0.876126	0	0
4	0	0	0.123874	0.904071	0
5	0	0	0	0.095929	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830408	0	0	0
3	0	0.169592	0.823685	0	0
4	0	0	0.176315	0.901937	0
5	0	0	0	0.098063	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.842857	0	0	0
3	0	0.157143	0.934486	0	0
4	0	0	0.065514	0.907116	0
5	0	0	0	0.092884	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.99664	0	0	0	0
2	0.00336	0.842233	0	0	0
3	0	0.157767	0.998997	0	0
4	0	0	0.001003	0.99896	0
5	0	0	0	0.00104	1

ตารางที่ 33 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 11

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.998331	0	0	0	0
2	0.001669	0.778717	0	0	0
3	0	0.221283	5.95E-10	0	0
4	0	0	1	0.353517	0
5	0	0	0	0.646483	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.823978	0	0	0
3	0	0.176022	0.739689	0	0
4	0	0	0.260311	0.860432	0
5	0	0	0	0.139568	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.823978	0	0	0
3	0	0.176022	0.739689	0	0
4	0	0	0.260311	0.860432	0
5	0	0	0	0.139568	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.823978	0	0	0
3	0	0.176022	0.739689	0	0
4	0	0	0.260311	0.860432	0
5	0	0	0	0.139568	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.823978	0	0	0
3	0	0.176022	0.739689	0	0
4	0	0	0.260311	0.860432	0
5	0	0	0	0.139568	1

ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827195	0	0	0
3	0	0.172805	0.767902	0	0
4	0	0	0.232098	0.861168	0
5	0	0	0	0.138832	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.834689	0	0	0
3	0	0.165311	0.836467	0	0
4	0	0	0.163533	0.86699	0
5	0	0	0	0.13301	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.99637	0	0	0	0
2	0.00363	0.859678	0	0	0
3	0	0.140322	0.998998	0	0
4	0	0	0.001002	0.795789	0
5	0	0	0	0.204211	1

ตารางที่ 34 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 12

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.985815	0	0	0	0
2	0.014185	3.09E-05	0	0	0
3	0	0.999969	0.880278	0	0
4	0	0	0.119722	0.0784	0
5	0	0	0	0.9216	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.993036	0	0	0	0
2	0.006964	0.848446	0	0	0
3	0	0.151554	0.996918	0	0
4	0	0	0.003082	0.998987	0
5	0	0	0	0.001013	1

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.820088	0	0	0
3	0	0.179912	0.694727	0	0
4	0	0	0.305273	0.843827	0
5	0	0	0	0.156173	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.820088	0	0	0
3	0	0.179912	0.694727	0	0
4	0	0	0.305273	0.843827	0
5	0	0	0	0.156173	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.820088	0	0	0
3	0	0.179912	0.694727	0	0
4	0	0	0.305273	0.843827	0
5	0	0	0	0.156173	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.820088	0	0	0
3	0	0.179912	0.694727	0	0
4	0	0	0.305273	0.843827	0
5	0	0	0	0.156173	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.981416	0	0	0	0
2	0.018584	0.501667	0	0	0
3	0	0.498333	0.998995	0	0
4	0	0	0.001005	0.000144	0
5	0	0	0	0.999856	1

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.820088	0	0	0
3	0	0.179912	0.694727	0	0
4	0	0	0.305273	0.843827	0
5	0	0	0	0.156173	1

ตารางที่ 35 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 13

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.994579	0	0	0	0
2	0.005421	5.37E-06	0	0	0
3	0	0.999995	0.859049	0	0
4	0	0	0.140951	0.017456	0
5	0	0	0	0.982544	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.840773	0	0	0
3	0	0.159227	0.947419	0	0
4	0	0	0.052581	0.951901	0
5	0	0	0	0.048099	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.821088	0	0	0
3	0	0.178912	0.71494	0	0
4	0	0	0.28506	0.860649	0
5	0	0	0	0.139351	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.849939	0	0	0
3	0	0.150061	0.958985	0	0
4	0	0	0.041015	0.854171	0
5	0	0	0	0.145829	1

ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.825321	0	0	0
3	0	0.174679	0.753714	0	0
4	0	0	0.246286	0.864	0
5	0	0	0	0.136	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.82494	0	0	0
3	0	0.17506	0.745196	0	0
4	0	0	0.254804	0.856407	0
5	0	0	0	0.143593	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.997017	0	0	0	0
2	0.002983	0.842608	0	0	0
3	0	0.157392	0.998261	0	0
4	0	0	0.001739	0.998996	0
5	0	0	0	0.001004	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.821088	0	0	0
3	0	0.178912	0.71494	0	0
4	0	0	0.28506	0.860649	0
5	0	0	0	0.139351	1

ตารางที่ 36 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 14

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1

ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1

ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1

ตารางที่ 37 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 15

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.834959	0	0	0
3	0	0.165041	0.870272	0	0
4	0	0	0.129728	0.912645	0
5	0	0	0	0.087355	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833659	0	0	0
3	0	0.166341	0.859919	0	0
4	0	0	0.140081	0.913872	0
5	0	0	0	0.086128	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.832685	0	0	0
3	0	0.167315	0.85122	0	0
4	0	0	0.14878	0.913414	0
5	0	0	0	0.086586	1

ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833173	0	0	0
3	0	0.166827	0.855274	0	0
4	0	0	0.144726	0.913204	0
5	0	0	0	0.086796	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.832685	0	0	0
3	0	0.167315	0.85122	0	0
4	0	0	0.14878	0.913414	0
5	0	0	0	0.086586	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.832685	0	0	0
3	0	0.167315	0.85122	0	0
4	0	0	0.14878	0.913414	0
5	0	0	0	0.086586	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.841444	0	0	0
3	0	0.158556	0.933265	0	0
4	0	0	0.066735	0.922991	0
5	0	0	0	0.077009	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.832685	0	0	0
3	0	0.167315	0.85122	0	0
4	0	0	0.14878	0.913414	0
5	0	0	0	0.086586	1

ตารางที่ 38 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 16

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.835048	0	0	0
3	0	0.164952	0.836529	0	0
4	0	0	0.163471	0.862593	0
5	0	0	0	0.137407	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.995702	0	0	0	0
2	0.004298	0.527959	0	0	0
3	0	0.472041	0.936159	0	0
4	0	0	0.063841	1.7E-07	0
5	0	0	0	1	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827334	0	0	0
3	0	0.172666	0.786622	0	0
4	0	0	0.213378	0.886584	0
5	0	0	0	0.113416	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.840209	0	0	0
3	0	0.159791	0.934091	0	0
4	0	0	0.065909	0.939615	0
5	0	0	0	0.060385	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827334	0	0	0
3	0	0.172666	0.786622	0	0
4	0	0	0.213378	0.886584	0
5	0	0	0	0.113416	1

ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827334	0	0	0
3	0	0.172666	0.786622	0	0
4	0	0	0.213378	0.886584	0
5	0	0	0	0.113416	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.998769	0	0	0	0
2	0.001231	9.55E-07	0	0	0
3	0	0.999999	0.967255	0	0
4	0	0	0.032745	0.376336	0
5	0	0	0	0.623664	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.834955	0	0	0
3	0	0.165045	0.856844	0	0
4	0	0	0.143156	0.893213	0
5	0	0	0	0.106787	1

ตารางที่ 39 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 17

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83449	0	0	0
3	0	0.16551	0.848324	0	0
4	0	0	0.151676	0.886666	0
5	0	0	0	0.113334	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833259	0	0	0
3	0	0.166741	0.840519	0	0
4	0	0	0.159481	0.890733	0
5	0	0	0	0.109267	1

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833259	0	0	0
3	0	0.166741	0.840519	0	0
4	0	0	0.159481	0.890733	0
5	0	0	0	0.109267	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83625	0	0	0
3	0	0.16375	0.866386	0	0
4	0	0	0.133614	0.890885	0
5	0	0	0	0.109115	1
ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833259	0	0	0
3	0	0.166741	0.840519	0	0
4	0	0	0.159481	0.890733	0
5	0	0	0	0.109267	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833259	0	0	0
3	0	0.166741	0.840519	0	0
4	0	0	0.159481	0.890733	0
5	0	0	0	0.109267	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.844025	0	0	0
3	0	0.155975	0.932794	0	0
4	0	0	0.067206	0.890063	0
5	0	0	0	0.109937	1

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833259	0	0	0
3	0	0.166741	0.840519	0	0
4	0	0	0.159481	0.890733	0
5	0	0	0	0.109267	1

ตารางที่ 40 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทความเสียหาย สำนักที่ 18

ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม				
1	0.99813	0	0	0	0
2	0.00187	0.775294	0	0	0
3	0	0.224706	6.07E-09	0	0
4	0	0	1	0.373742	0
5	0	0	0	0.626258	1
ระดับความเสียหาย	การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833281	0	0	0
3	0	0.166719	0.822526	0	0
4	0	0	0.177474	0.864305	0
5	0	0	0	0.135695	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.818542	0	0	0
3	0	0.181458	0.688191	0	0
4	0	0	0.311809	0.853659	0
5	0	0	0	0.146341	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.826836	0	0	0
3	0	0.173164	0.797881	0	0
4	0	0	0.202119	0.909137	0
5	0	0	0	0.090863	1

ระดับความเสียหาย	การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.818542	0	0	0
3	0	0.181458	0.688191	0	0
4	0	0	0.311809	0.853659	0
5	0	0	0	0.146341	1
ระดับความเสียหาย	รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.818542	0	0	0
3	0	0.181458	0.688191	0	0
4	0	0	0.311809	0.853659	0
5	0	0	0	0.146341	1
ระดับความเสียหาย	เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.849672	0	0	0
3	0	0.150328	0.806858	0	0
4	0	0	0.193142	0.636869	0
5	0	0	0	0.363131	1
ระดับความเสียหาย	ความเสียหายในที่รองรับสะพาน				
1	0.985214	0	0	0	0
2	0.014786	0.446503	0	0	0
3	0	0.553497	0.999	0	0
4	0	0	0.001	0.464719	0
5	0	0	0	0.535281	1

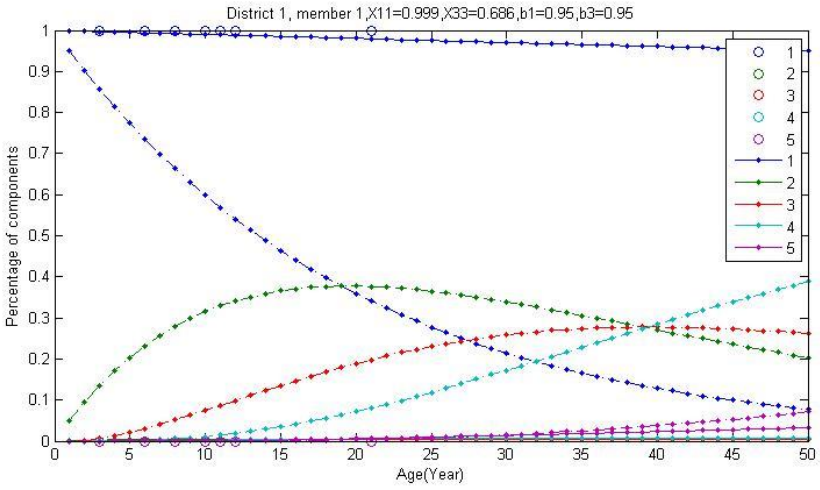
4.2 การวิเคราะห์ตามชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพาน

สำหรับการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพตามชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพาน นั้นมีบางชิ้นส่วนที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องมาจากชิ้นส่วนคานขวางและผิวถนนนั้นไม่มีข้อมูลหรืออาจมีข้อมูลที่น้อยมาก ทำให้ไม่สามารถคำนวณหาค่าอัตราการเสื่อมสภาพจึงยังต้องใช้ค่าของ JICA ไปก่อน และในตารางที่ 41 ได้แสดงว่าในประเภทความเสียหายนั้นมีชิ้นส่วนใดบ้างที่เกี่ยวข้อง

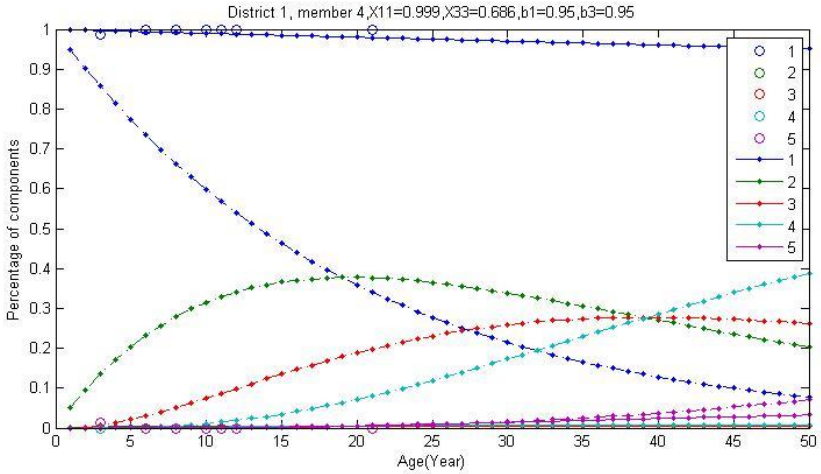
ตารางที่ 41 ชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพานที่มีผลจากประเภทความเสียหาย

ชิ้นส่วน	ประเภทความเสียหาย							
	9	10	11	12	13	14	15	16
คานหลัก			■	■			■	
คานขวาง								
แผ่นพื้น			■	■	■	■	■	
ตอม่อตับริม(เสา)	■	■		■			■	
ตอม่อตับริม(คาน)	■	■		■			■	
ตอม่อตับกลาง(เสา)	■	■		■			■	
ตอม่อตับกลาง(คาน)	■	■		■			■	
ที่รองรับสะพาน								■
ผิวถนน		■		■				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 16 อัตราการเสื่อมสภาพของคานหลัก



รูปที่ 17 อัตราการเสื่อมสภาพของตอม่อตับริม(เสา)

จากการใช้ MATLAB ในการวิเคราะห์หาอัตราการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะได้ค่า X11 และ X33 ซึ่งค่า X11 คือความน่าจะเป็นที่ความเสียหายระดับที่ 1 นั้น ในปีต่อไปยังอยู่ในระดับความเสียหายที่ 1 เหมือนเดิม และค่า X11 คือความน่าจะเป็นที่ความเสียหายระดับที่ 3 นั้น ในปีต่อไปยังอยู่ในระดับความเสียหายที่ 3 เหมือนเดิม เพื่อนำมาคาดคะเนหาการเสื่อมสภาพที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต 50ปีข้างหน้า และยังมีการเปรียบเทียบกับค่าการเสื่อมสภาพที่ JICA ได้เสนอมาเบื้องต้น ซึ่งค่าการเสื่อมสภาพของ JICA นั้นมีลักษณะเป็นเส้นประ ดังรูปที่ 16 17 และ 18 ซึ่งจะพบได้ว่าค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงนั้นมีแนวโน้มที่น้อยกว่า ค่าการเสื่อมสภาพที่ JICA ได้เสนอมาเบื้องต้น เพราะว่าในฐานข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้นไม่สามารถนำส่วนการซ่อมบำรุงรักษามาคำนวณได้ เนื่องมาจากข้อมูลการซ่อมบำรุงรักษาไม่สามารถระบุได้ และแสดงถึงข้อมูลของสะพานในลักษณะจุดวงกลม

ตารางที่ 42 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 1

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.816907	0	0	0
3	0	0.183093	0.686257	0	0
4	0	0	0.313743	0.871285	0
5	0	0	0	0.128715	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.816907	0	0	0
3	0	0.183093	0.686257	0	0
4	0	0	0.313743	0.871285	0
5	0	0	0	0.128715	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.816889	0	0	0
3	0	0.183111	0.686104	0	0
4	0	0	0.313896	0.871287	0
5	0	0	0	0.128713	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.994138	0	0	0	0
2	0.005862	1.37E-05	0	0	0
3	0	0.999986	0.947198	0	0
4	0	0	0.052802	0.098208	0
5	0	0	0	0.901792	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.99261	0	0	0	0
2	0.00739	0.84349	0	0	0
3	0	0.15651	0.998942	0	0
4	0	0	0.001058	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.994062	0	0	0	0
2	0.005938	0.853747	0	0	0
3	0	0.146253	0.998609	0	0
4	0	0	0.001391	0.998998	0
5	0	0	0	0.001002	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.998487	0	0	0	0
2	0.001513	0.558539	0	0	0
3	0	0.441461	0.938941	0	0
4	0	0	0.061059	2.76E-07	0
5	0	0	0	1	1

ตารางที่ 43 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 2

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.831827	0	0	0
3	0	0.168173	0.816569	0	0
4	0	0	0.183431	0.873883	0
5	0	0	0	0.126117	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.836261	0	0	0
3	0	0.163739	0.846796	0	0
4	0	0	0.153204	0.86233	0
5	0	0	0	0.13767	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.84319	0	0	0
3	0	0.15681	0.769389	0	0
4	0	0	0.230611	0.663525	0
5	0	0	0	0.336475	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.831827	0	0	0
3	0	0.168173	0.816569	0	0
4	0	0	0.183431	0.873883	0
5	0	0	0	0.126117	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.998305	0	0	0	0
2	0.001695	0.845906	0	0	0
3	0	0.154094	0.998912	0	0
4	0	0	0.001088	0.998964	0
5	0	0	0	0.001036	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.997948	0	0	0	0
2	0.002052	0.916269	0	0	0
3	0	0.083731	0.955767	0	0
4	0	0	0.044233	3.26E-07	0
5	0	0	0	1	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.831827	0	0	0
3	0	0.168173	0.816569	0	0
4	0	0	0.183431	0.873883	0
5	0	0	0	0.126117	1

ตารางที่ 44 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 3

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830464	0	0	0
3	0	0.169536	0.803365	0	0
4	0	0	0.196635	0.87176	0
5	0	0	0	0.12824	1

ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830464	0	0	0
3	0	0.169536	0.803365	0	0
4	0	0	0.196635	0.87176	0
5	0	0	0	0.12824	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.997967	0	0	0	0
2	0.002033	0.758679	0	0	0
3	0	0.241321	1.66E-08	0	0
4	0	0	1	0.463043	0
5	0	0	0	0.536957	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830464	0	0	0
3	0	0.169536	0.803365	0	0
4	0	0	0.196635	0.87176	0
5	0	0	0	0.12824	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.99819	0	0	0	0
2	0.00181	0.81384	0	0	0
3	0	0.18616	0.764117	0	0
4	0	0	0.235883	0.999	0
5	0	0	0	0.001	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.823302	0	0	0
3	0	0.176698	0.716298	0	0
4	0	0	0.283702	0.834968	0
5	0	0	0	0.165032	1

ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833982	0	0	0
3	0	0.166018	0.833402	0	0
4	0	0	0.166598	0.871377	0
5	0	0	0	0.128623	1

ตารางที่ 45 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 4

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.839326	0	0	0
3	0	0.160674	0.888897	0	0
4	0	0	0.111103	0.93269	0
5	0	0	0	0.06731	1
ระดับความเสียหาย	คานขวาง				
1	0.9	0	0	0	0
2	0.1	0.9	0	0	0
3	0	0.1	0.9	0	0
4	0	0	0.1	0.9	0
5	0	0	0	0.1	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.998846	0	0	0	0
2	0.001154	0.787662	0	0	0
3	0	0.212338	0.999	0	0
4	0	0	0.001	0.065292	0
5	0	0	0	0.934708	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.76572	0	0	0
3	0	0.23428	0.924005	0	0
4	0	0	0.075995	0.000827	0
5	0	0	0	0.999173	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.84327	0	0	0
3	0	0.15673	0.911575	0	0
4	0	0	0.088425	0.922439	0
5	0	0	0	0.077561	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.99897	0	0	0	0
2	0.00103	0.78099	0	0	0
3	0	0.21901	0.996112	0	0
4	0	0	0.003888	5.26E-05	0
5	0	0	0	0.999947	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.774198	0	0	0
3	0	0.225802	0.964095	0	0
4	0	0	0.035905	1.31E-06	0
5	0	0	0	0.999999	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.842464	0	0	0
3	0	0.157536	0.911866	0	0
4	0	0	0.088134	0.912463	0
5	0	0	0	0.087537	1

ตารางที่ 46 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 5

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.824853	0	0	0
3	0	0.175147	0.750679	0	0
4	0	0	0.249321	0.86545	0
5	0	0	0	0.13455	1

ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.834811	0	0	0
3	0	0.165189	0.826273	0	0
4	0	0	0.173727	0.850683	0
5	0	0	0	0.149317	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.77204	0	0	0
3	0	0.22796	8.55E-07	0	0
4	0	0	0.999999	0.436542	0
5	0	0	0	0.563458	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83205	0	0	0
3	0	0.16795	0.803655	0	0
4	0	0	0.196345	0.852378	0
5	0	0	0	0.147622	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.995839	0	0	0	0
2	0.004161	0.851646	0	0	0
3	0	0.148354	0.995525	0	0
4	0	0	0.004475	0.998997	0
5	0	0	0	0.001003	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.997481	0	0	0	0
2	0.002519	0.849367	0	0	0
3	0	0.150633	0.998992	0	0
4	0	0	0.001008	0.998905	0
5	0	0	0	0.001095	1

ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.824853	0	0	0
3	0	0.175147	0.750679	0	0
4	0	0	0.249321	0.86545	0
5	0	0	0	0.13455	1

ตารางที่ 47 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 6

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83014	0	0	0
3	0	0.16986	0.816927	0	0
4	0	0	0.183073	0.895482	0
5	0	0	0	0.104518	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.838599	0	0	0
3	0	0.161401	0.894023	0	0
4	0	0	0.105977	0.901599	0
5	0	0	0	0.098401	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.846541	0	0	0
3	0	0.153459	0.953651	0	0
4	0	0	0.046349	0.888879	0
5	0	0	0	0.111121	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.836213	0	0	0
3	0	0.163787	0.884466	0	0
4	0	0	0.115534	0.917566	0
5	0	0	0	0.082434	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.998501	0	0	0	0
2	0.001499	0.843192	0	0	0
3	0	0.156808	0.991364	0	0
4	0	0	0.008636	0.998999	0
5	0	0	0	0.001001	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.998964	0	0	0	0
2	0.001036	0.841961	0	0	0
3	0	0.158039	0.990172	0	0
4	0	0	0.009828	0.998998	0
5	0	0	0	0.001002	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.840293	0	0	0
3	0	0.159707	0.898998	0	0
4	0	0	0.101002	0.887654	0
5	0	0	0	0.112346	1

ตารางที่ 48 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 7

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.838139	0	0	0
3	0	0.161861	0.880602	0	0
4	0	0	0.119398	0.939379	0
5	0	0	0	0.060621	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.838139	0	0	0
3	0	0.161861	0.880602	0	0
4	0	0	0.119398	0.939379	0
5	0	0	0	0.060621	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.838139	0	0	0
3	0	0.161861	0.880602	0	0
4	0	0	0.119398	0.939379	0
5	0	0	0	0.060621	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.591475	0	0	0
3	0	0.408525	3.98E-05	0	0
4	0	0	0.99996	0.262347	0
5	0	0	0	0.737653	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.998879	0	0	0	0
2	0.001121	0.774402	0	0	0
3	0	0.225598	0.965959	0	0
4	0	0	0.034041	1.02E-05	0
5	0	0	0	0.99999	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.840119	0	0	0
3	0	0.159881	0.890093	0	0
4	0	0	0.109907	0.938883	0
5	0	0	0	0.061117	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.843249	0	0	0
3	0	0.156751	0.913185	0	0
4	0	0	0.086815	0.918249	0
5	0	0	0	0.081751	1

ตารางที่ 49 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 8

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829844	0	0	0
3	0	0.170156	0.807522	0	0
4	0	0	0.192478	0.88553	0
5	0	0	0	0.11447	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829844	0	0	0
3	0	0.170156	0.807522	0	0
4	0	0	0.192478	0.88553	0
5	0	0	0	0.11447	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.828674	0	0	0
3	0	0.171326	0.791706	0	0
4	0	0	0.208294	0.877217	0
5	0	0	0	0.122783	1

ตารางที่ 50 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 9

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.837915	0	0	0
3	0	0.162085	0.870508	0	0
4	0	0	0.129492	0.876052	0
5	0	0	0	0.123948	1
ระดับความเสียหาย	คานขวาง				
1	0.9	0	0	0	0
2	0.1	0.9	0	0	0
3	0	0.1	0.9	0	0
4	0	0	0.1	0.9	0
5	0	0	0	0.1	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.837836	0	0	0
3	0	0.162164	0.869734	0	0
4	0	0	0.130266	0.875921	0
5	0	0	0	0.124079	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.840444	0	0	0
3	0	0.159556	0.89246	0	0
4	0	0	0.10754	0.876287	0
5	0	0	0	0.123713	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.996881	0	0	0	0
2	0.003119	0.749468	0	0	0
3	0	0.250532	2.28E-07	0	0
4	0	0	1	0.282585	0
5	0	0	0	0.717415	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83993	0	0	0
3	0	0.16007	0.885899	0	0
4	0	0	0.114101	0.873186	0
5	0	0	0	0.126814	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829104	0	0	0
3	0	0.170896	0.78819	0	0
4	0	0	0.21181	0.86674	0
5	0	0	0	0.13326	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.829104	0	0	0
3	0	0.170896	0.78819	0	0
4	0	0	0.21181	0.86674	0
5	0	0	0	0.13326	1

ตารางที่ 51 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 10

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830408	0	0	0
3	0	0.169592	0.823685	0	0
4	0	0	0.176315	0.901937	0
5	0	0	0	0.098063	1
ระดับความเสียหาย	คานขวาง				
1	0.9	0	0	0	0
2	0.1	0.9	0	0	0
3	0	0.1	0.9	0	0
4	0	0	0.1	0.9	0
5	0	0	0	0.1	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83356	0	0	0
3	0	0.16644	0.849692	0	0
4	0	0	0.150308	0.900266	0
5	0	0	0	0.099734	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.844592	0	0	0
3	0	0.155408	0.924529	0	0
4	0	0	0.075471	0.870994	0
5	0	0	0	0.129006	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.839346	0	0	0
3	0	0.160654	0.897671	0	0
4	0	0	0.102329	0.897564	0
5	0	0	0	0.102436	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.843606	0	0	0
3	0	0.156394	0.948675	0	0
4	0	0	0.051325	0.918333	0
5	0	0	0	0.081667	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.843838	0	0	0
3	0	0.156162	0.951746	0	0
4	0	0	0.048254	0.919887	0
5	0	0	0	0.080113	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.99664	0	0	0	0
2	0.00336	0.842233	0	0	0
3	0	0.157767	0.998997	0	0
4	0	0	0.001003	0.99896	0
5	0	0	0	0.00104	1

ตารางที่ 52 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 11

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.823978	0	0	0
3	0	0.176022	0.739689	0	0
4	0	0	0.260311	0.860432	0
5	0	0	0	0.139568	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.825129	0	0	0
3	0	0.174871	0.749754	0	0
4	0	0	0.250246	0.860664	0
5	0	0	0	0.139336	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.761068	0	0	0
3	0	0.238932	5.97E-05	0	0
4	0	0	0.99994	0.573691	0
5	0	0	0	0.426309	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.758651	0	0	0
3	0	0.241349	0.093054	0	0
4	0	0	0.906946	0.738736	0
5	0	0	0	0.261264	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.83761	0	0	0
3	0	0.16239	0.866201	0	0
4	0	0	0.133799	0.873595	0
5	0	0	0	0.126405	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.837211	0	0	0
3	0	0.162789	0.862631	0	0
4	0	0	0.137369	0.873401	0
5	0	0	0	0.126599	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.99637	0	0	0	0
2	0.00363	0.859678	0	0	0
3	0	0.140322	0.998998	0	0
4	0	0	0.001002	0.795789	0
5	0	0	0	0.204211	1

ตารางที่ 53 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 12

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.990244	0	0	0	0
2	0.009756	0.83143	0	0	0
3	0	0.16857	0.996023	0	0
4	0	0	0.003977	0.998981	0
5	0	0	0	0.001019	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.820088	0	0	0
3	0	0.179912	0.694727	0	0
4	0	0	0.305273	0.843827	0
5	0	0	0	0.156173	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.990727	0	0	0	0
2	0.009273	0.848408	0	0	0
3	0	0.151592	0.999	0	0
4	0	0	0.001	0.998945	0
5	0	0	0	0.001055	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.993029	0	0	0	0
2	0.006971	0.459143	0	0	0
3	0	0.540857	0.998543	0	0
4	0	0	0.001457	4.75E-06	0
5	0	0	0	0.999995	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.987622	0	0	0	0
2	0.012378	0.730668	0	0	0
3	0	0.269332	0.994981	0	0
4	0	0	0.005019	1.23E-05	0
5	0	0	0	0.999988	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.820109	0	0	0
3	0	0.179891	0.69774	0	0
4	0	0	0.30226	0.847943	0
5	0	0	0	0.152057	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.820088	0	0	0
3	0	0.179912	0.694727	0	0
4	0	0	0.305273	0.843827	0
5	0	0	0	0.156173	1

ตารางที่ 54 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 13

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.821088	0	0	0
3	0	0.178912	0.71494	0	0
4	0	0	0.28506	0.860649	0
5	0	0	0	0.139351	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833232	0	0	0
3	0	0.166768	0.806014	0	0
4	0	0	0.193986	0.841034	0
5	0	0	0	0.158966	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.996364	0	0	0	0
2	0.003636	0.004173	0	0	0
3	0	0.995827	0.940853	0	0
4	0	0	0.059147	3.41E-05	0
5	0	0	0	0.999966	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.998431	0	0	0	0
2	0.001569	0.836297	0	0	0
3	0	0.163703	0.995716	0	0
4	0	0	0.004284	0.998993	0
5	0	0	0	0.001007	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.997588	0	0	0	0
2	0.002412	0.847228	0	0	0
3	0	0.152772	0.998997	0	0
4	0	0	0.001003	0.998958	0
5	0	0	0	0.001042	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.995645	0	0	0	0
2	0.004355	0.850852	0	0	0
3	0	0.149148	0.998725	0	0
4	0	0	0.001275	0.99899	0
5	0	0	0	0.00101	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.821088	0	0	0
3	0	0.178912	0.71494	0	0
4	0	0	0.28506	0.860649	0
5	0	0	0	0.139351	1

ตารางที่ 55 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 14

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1

ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830756	0	0	0
3	0	0.169244	0.889601	0	0
4	0	0	0.110399	0.993155	0
5	0	0	0	0.006845	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.830756	0	0	0
3	0	0.169244	0.889601	0	0
4	0	0	0.110399	0.993155	0
5	0	0	0	0.006845	1

ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827313	0	0	0
3	0	0.172687	0.863977	0	0
4	0	0	0.136023	0.998991	0
5	0	0	0	0.001009	1

ตารางที่ 56 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 15

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833696	0	0	0
3	0	0.166304	0.858982	0	0
4	0	0	0.141018	0.912045	0
5	0	0	0	0.087955	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.844489	0	0	0
3	0	0.155511	0.940215	0	0
4	0	0	0.059785	0.895032	0
5	0	0	0	0.104968	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833668	0	0	0
3	0	0.166332	0.859346	0	0
4	0	0	0.140654	0.912923	0
5	0	0	0	0.087077	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.834065	0	0	0
3	0	0.165935	0.863902	0	0
4	0	0	0.136098	0.914569	0
5	0	0	0	0.085431	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.997916	0	0	0	0
2	0.002084	0.01762	0	0	0
3	0	0.98238	0.935313	0	0
4	0	0	0.064687	0.863327	0
5	0	0	0	0.136673	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.817047	0	0	0
3	0	0.182953	0.67025	0	0
4	0	0	0.32975	0.84619	0
5	0	0	0	0.15381	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.832685	0	0	0
3	0	0.167315	0.85122	0	0
4	0	0	0.14878	0.913414	0
5	0	0	0	0.086586	1

ตารางที่ 57 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 16

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827334	0	0	0
3	0	0.172666	0.786622	0	0
4	0	0	0.213378	0.886584	0
5	0	0	0	0.113416	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.827334	0	0	0
3	0	0.172666	0.786622	0	0
4	0	0	0.213378	0.886584	0
5	0	0	0	0.113416	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.831047	0	0	0
3	0	0.168953	0.818602	0	0
4	0	0	0.181398	0.886579	0
5	0	0	0	0.113421	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.998909	0	0	0	0
2	0.001091	0.840534	0	0	0
3	0	0.159466	0.953834	0	0
4	0	0	0.046166	0.964213	0
5	0	0	0	0.035787	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.996641	0	0	0	0
2	0.003359	9.94E-06	0	0	0
3	0	0.99999	0.956548	0	0
4	0	0	0.043452	3.63E-06	0
5	0	0	0	0.999996	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.996359	0	0	0	0
2	0.003641	4.35E-08	0	0	0
3	0	1	0.958558	0	0
4	0	0	0.041442	0.172531	0
5	0	0	0	0.827469	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.834955	0	0	0
3	0	0.165045	0.856844	0	0
4	0	0	0.143156	0.893213	0
5	0	0	0	0.106787	1

ตารางที่ 58 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 17

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833259	0	0	0
3	0	0.166741	0.840519	0	0
4	0	0	0.159481	0.890733	0
5	0	0	0	0.109267	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833259	0	0	0
3	0	0.166741	0.840519	0	0
4	0	0	0.159481	0.890733	0
5	0	0	0	0.109267	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833706	0	0	0
3	0	0.166294	0.843381	0	0
4	0	0	0.156619	0.889297	0
5	0	0	0	0.110703	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833259	0	0	0
3	0	0.166741	0.840519	0	0
4	0	0	0.159481	0.890733	0
5	0	0	0	0.109267	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.844327	0	0	0
3	0	0.155673	0.942329	0	0
4	0	0	0.057671	0.900124	0
5	0	0	0	0.099876	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.834535	0	0	0
3	0	0.165465	0.851293	0	0
4	0	0	0.148707	0.890413	0
5	0	0	0	0.109587	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.833259	0	0	0
3	0	0.166741	0.840519	0	0
4	0	0	0.159481	0.890733	0
5	0	0	0	0.109267	1

ตารางที่ 59 อัตราการเสื่อมสภาพโครงสร้างสะพานแบ่งตามประเภทชิ้นส่วน สำนักที่ 18

ระดับความเสียหาย	คานหลัก				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.818542	0	0	0
3	0	0.181458	0.688191	0	0
4	0	0	0.311809	0.853659	0
5	0	0	0	0.146341	1
ระดับความเสียหาย	แผ่นพื้น				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.82745	0	0	0
3	0	0.17255	0.75321	0	0
4	0	0	0.24679	0.836677	0
5	0	0	0	0.163323	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.773614	0	0	0
3	0	0.226386	0.238734	0	0
4	0	0	0.761266	0.763094	0
5	0	0	0	0.236906	1

ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับริม(คาน)				
1	0.998596	0	0	0	0
2	0.001404	0.771848	0	0	0
3	0	0.228152	4.12E-08	0	0
4	0	0	1	0.450307	0
5	0	0	0	0.549693	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(เสา)				
1	0.999	0	0	0	0
2	0.001	0.848726	0	0	0
3	0	0.151274	0.888514	0	0
4	0	0	0.111486	0.767101	0
5	0	0	0	0.232899	1
ระดับความเสียหาย	ตอม่อตับกลาง(คาน)				
1	0.998962	0	0	0	0
2	0.001038	0.84041	0	0	0
3	0	0.15959	0.976904	0	0
4	0	0	0.023096	0.998999	0
5	0	0	0	0.001001	1
ระดับความเสียหาย	ที่รองรับสะพาน				
1	0.985214	0	0	0	0
2	0.014786	0.446503	0	0	0
3	0	0.553497	0.999	0	0
4	0	0	0.001	0.464719	0
5	0	0	0	0.535281	1

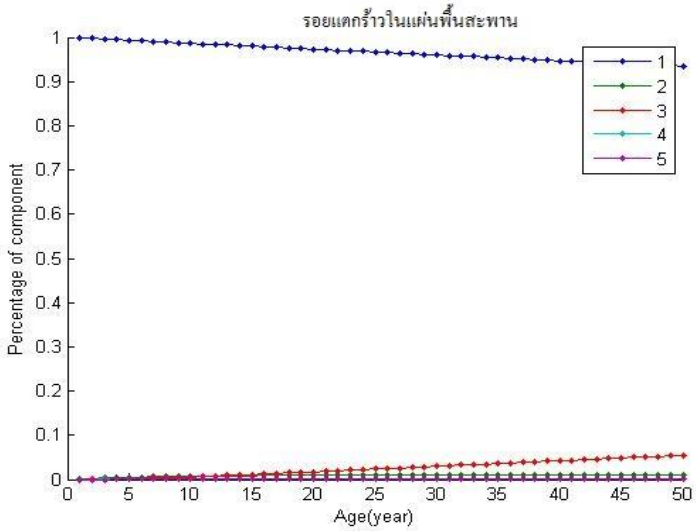
4.3 บทวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพ

สำหรับการวิเคราะห์อัตราการเสื่อมสภาพตามประเภทความเสียหายนั้นจะมีความแตกต่างของแต่ละประเภทความเสียหาย เนื่องมาจากความเสียหายแต่ละประเภทนั้นมีการแบ่งระดับที่ไม่เหมือนกันดังตารางที่ 2 จึงทำให้เวลาคำนวณเราไม่สามารถพิจารณาทั้ง 5 ระดับได้ และในความเสียหายระดับที่ 5 นั้นมีการรวมถึงการพังทลายหรือเป็นความเสียหายที่ไม่อาจซ่อมแซมเข้าไปด้วยจึงทำให้เวลาวิเคราะห์ จะต้องไม่นำข้อมูลของข้อมูลในส่วนของระดับความเสียหายเข้าไปคำนวณ ซึ่งในบทวิเคราะห์นี้ รวมข้อมูลความเสียหายจากทั้งหมด 18 สำนักเข้าด้วยกัน มาวิเคราห์หาค่าพารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชน ได้ตามตารางที่ 61 และตารางที่ 62 จากทั้ง 2 ตารางจะทราบว่าประเภทรอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพานมีการเสื่อมสภาพที่เร็วที่สุดในประเภทความเสียหายทั้งหมดดังรูปที่ 19 และตอม่อตับกลาง(เสา)มีการเสื่อมสภาพที่เร็วที่สุดในชิ้นส่วนทั้งหมดดังรูปที่ 20 โดยพิจารณาจากความเสียหายระดับที่ 5 ที่อาจจะเกิดขึ้นในปีที่ 50

ตารางที่ 60 พารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชนของ 18 สำนัก ตามประเภทความเสียหาย

ประเภทความเสียหาย	พารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชน*				
	ระดับความเสียหาย				
	1	2	3	4	5
ความเสียหายในโครงสร้างป้องกันตลิ่งรอบตอม่อตับริม	0.999	0.738	0.588	0.508	1.000
การกัดเซาะโดยรอบตอม่อตับริมและเสาตอม่อสะพาน	0.999	0.846	0.929	0.913	1.000
ความเสียหายในที่ยึดลวดอัดแรง	0.999	0.837	0.879	0.928	1.000
รอยแตก น้ำรั่วซึม คราบเกลือ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)	0.999	0.847	0.927	0.926	1.000
การหลุดร่อนในแผ่นพื้นสะพาน	0.999	0.838	0.885	0.927	1.000
รอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน	0.999	0.864	0.999	0.950	1.000
เหล็กเสริมโผล่ (โครงสร้างส่วนบนและล่าง)	0.999	0.849	0.964	0.862	1.000
ความเสียหายในที่รองรับสะพาน	0.999	0.847	0.932	0.917	1.000

*หมายเหตุ พารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชน คือความน่าจะเป็นที่สะพานจะไม่เสื่อมสภาพไปสู่ระดับถัดไปในระยะเวลา 1ปี ถ้าค่าพารามิเตอร์มีค่ามากแปลว่า การเสื่อมสภาพมีโอกาสน้อยที่จะเลื่อนระดับความเสียหายไปสู่ระดับถัดไป



รูปที่ 18 การเสื่อมสภาพของความเสียหายประเภทรอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพานที่อาจจะเกิดขึ้นใน 50 ปี

ระดับความเสียหายที่มีโอกาสที่จะเลื่อนระดับความเสียหายนั้น สามารถคำนวณได้จากพารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชนที่ได้จากการวิเคราะ ดังตารางที่ 60 มาเข้าสมการดังต่อไปนี้

$$A^t * x_i = x_t$$

โดย

A = พารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชน

x_i = ระดับความเสียหายเมื่อเวลาตั้งต้น

x_t = ระดับความเสียหายเมื่อเวลาผ่านไป t ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 61 ตารางความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตของความเสียหายประเภทรอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพาน

ระยะเวลา	ระดับความเสียหาย				
	1	2	3	4	5
5	0.9950	0.0038	0.0012	0.0000	0.0000
10	0.9900	0.0056	0.0043	0.0000	0.0000
15	0.9851	0.0065	0.0084	0.0000	0.0000
20	0.9802	0.0069	0.0129	0.0001	0.0000
25	0.9753	0.0070	0.0175	0.0001	0.0000
30	0.9704	0.0071	0.0222	0.0002	0.0001
35	0.9656	0.0071	0.0269	0.0003	0.0001
40	0.9608	0.0071	0.0316	0.0003	0.0002
45	0.9560	0.0071	0.0363	0.0004	0.0003
50	0.9512	0.0070	0.0409	0.0005	0.0004

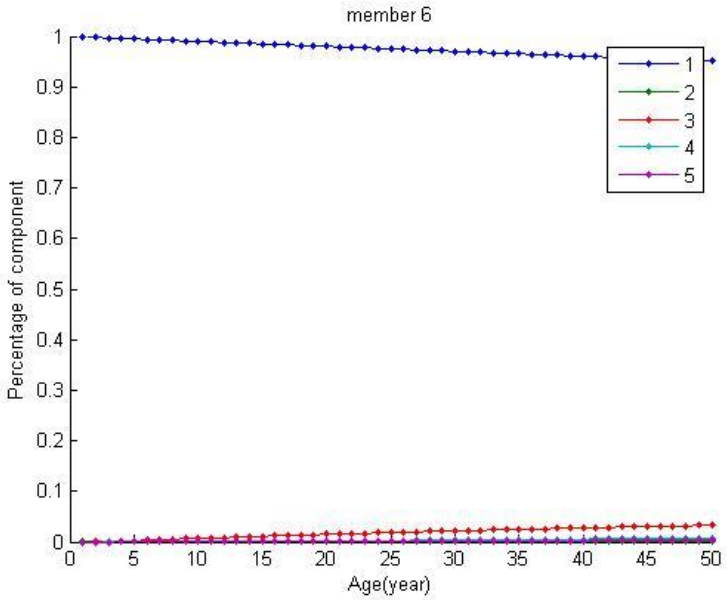
อัตราการเสื่อมสภาพตามประเภทความเสียหายนั้น ความเสียหายประเภทรอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพานมีค่าการเสื่อมสภาพที่สูงที่สุด พิจารณาจากความเสียหายระดับที่ 5 ที่อาจจะเกิดขึ้นในปีที่ 50 โดยที่ถ้าเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลา 50 ปี และสภาพความเสียหายของสะพานปัจจุบันนั้นไม่มีความเสียหายที่เกิดขึ้นหรือความเสียหายทั้งหมดอยู่ในระดับที่ 1 ทั้งหมดหรือ 100 เปอร์เซ็นต์ สภาพความเสียหายของสะพานที่ผ่านไปเป็นระยะเวลา 50 ปี จะมีค่าความเสียหายในระดับที่ 1 เป็น 95.12 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายในระดับที่ 2 เป็น 0.7 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายระดับที่ 3 เป็น 4.09 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายระดับที่ 4 เป็น 0.05 เปอร์เซ็นต์ และความเสียหายระดับที่ 5 เป็น 0.04 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 62 พารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชนของ 18 สำนัก ตามชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน

ชิ้นส่วนสะพาน	พารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชน*				
	ระดับความเสียหาย				
	1	2	3	4	5
คานหลัก	0.999	0.837	0.881	0.928	1.000
คานขวาง	0.900	0.900	0.900	0.900	1.000
แผ่นพื้น	0.999	0.865	0.993	0.979	1.000
ตอม่อตับริม(เสา)	0.999	0.838	0.899	0.893	1.000
ตอม่อตับริม(คาน)	0.999	0.841	0.906	0.905	1.000
ตอม่อตับกลาง(เสา)	0.999	0.636	0.986	0.5689	1.000
ตอม่อตับกลาง(คาน)	0.999	0.850	0.950	0.901	1.000
ที่รองรับสะพาน	0.999	0.847	0.932	0.918	1.000
ผิวถนน	0.900	0.900	0.900	0.900	1.000

*หมายเหตุ พารามิเตอร์ของมาร์คอฟเชน คือความน่าจะเป็นที่สะพานจะไม่เสื่อมสภาพไปสู่ระดับถัดไปในระยะเวลา 1ปี ถ้าค่าพารามิเตอร์มีค่ามากแปลว่า การเสื่อมสภาพมีโอกาสน้อยที่จะเลื่อนระดับความเสียหายไปสู่ระดับถัดไป



รูปที่ 19 การเสื่อมสภาพของตอม่อตับกลาง(เสา)ที่อาจจะเกิดขึ้นใน 50 ปี

ตารางที่ 63 ตารางความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตของชิ้นส่วนตอม่อตับกลาง(เสา)

ระยะเวลา	ระดับความเสียหาย				
	1	2	3	4	5
5	0.9950	0.0025	0.0025	0.0000	0.0000
10	0.9900	0.0027	0.0069	0.0002	0.0002
15	0.9851	0.0027	0.0112	0.0003	0.0006
20	0.9802	0.0027	0.0153	0.0004	0.0014
25	0.9753	0.0027	0.0190	0.0006	0.0025
30	0.9704	0.0027	0.0224	0.0007	0.0038
35	0.9656	0.0027	0.0256	0.0008	0.0053
40	0.9608	0.0026	0.0286	0.0009	0.0071
45	0.9560	0.0026	0.0313	0.0010	0.0091
50	0.9512	0.0026	0.0338	0.0011	0.0113

อัตราการเสื่อมสภาพตามประเภทความเสียหายนั้น ความเสียหายประเภทชิ้นส่วนตอม่อตับกลาง(เสา)มีค่าการเสื่อมสภาพที่สูงที่สุด พิจารณาจากความเสียหายระดับที่ 5 ที่อาจจะเกิดขึ้นในปีที่ 50 โดยที่ถ้าเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลา 50 ปี และสภาพความเสียหายของสะพานปัจจุบันนั้นไม่มีความเสียหายที่เกิดขึ้นหรือความเสียหายทั้งหมดอยู่ในระดับที่ 1 ทั้งหมดหรือ 100 เปอร์เซ็นต์ สภาพความเสียหายของสะพานที่ผ่านไปเป็นระยะเวลา 50 ปี จะมีค่าความเสียหายในระดับที่ 1 เป็น 95.12 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายในระดับที่ 2 เป็น 0.26 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายระดับที่ 3 เป็น 3.38 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายระดับที่ 4 เป็น 0.11 เปอร์เซ็นต์ และความเสียหายระดับที่ 5 เป็น 1.13 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประเมินอัตราการเสื่อมสภาพของโครงสร้างสะพานของกรมทางหลวงชนบทประกอบกับใช้หลักการของมาร์คอฟเพื่อพยากรณ์การเสื่อมสภาพของสะพาน เนื่องด้วยฐานข้อมูลไม่มีผลการตรวจสอบสะพานครั้งก่อนหน้านี้ จึงพิจารณาโดยใช้ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากผลการตรวจสอบครั้งล่าสุดปีค.ศ. 2012 กับอายุของสะพานในการคำนวณหาความน่าจะเป็น และนำสถิติของผลการตรวจสอบสะพานไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของมาร์คอฟด้วยวิธี least square เพื่อเพื่อพยากรณ์อัตราการเสื่อมสภาพของสะพาน ซึ่งจากผลการศึกษาตามประเภทความเสียหายทุกประเภทพบว่ามีค่าอัตราการเสื่อมสภาพที่น้อยกว่าค่าอัตราการเสื่อมสภาพที่ JICA ได้เสนอมาเบื้องต้น เนื่องมาจากไม่มีข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงรักษา และในบางชิ้นส่วนนั้นมีข้อมูลผลการตรวจสอบที่น้อยมากหรืออาจไม่มีเลย ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาอัตราการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนคานขวางและผิวถนน

จากการศึกษาอัตราการเสื่อมสภาพตามประเภทความเสียหายพบว่า ความเสียหายประเภทรอยแตกร้าวในแผ่นพื้นสะพานมีค่าการเสื่อมสภาพที่สูงที่สุด โดยที่ถ้าเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลา 50 ปี จะมีค่าความเสียหายในระดับที่ 1 เป็น 95.12 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายในระดับที่ 2 เป็น 0.7 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายระดับที่ 3 เป็น 4.09 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายระดับที่ 4 เป็น 0.05 เปอร์เซ็นต์ และความเสียหายระดับที่ 5 เป็น 0.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในระยะเวลาปีที่เริ่มต้นนั้นมีความเสียหายทั้งหมดอยู่ที่ระดับที่ 1 ทั้งหมดหรือ 100 เปอร์เซ็นต์

และจากการศึกษาอัตราการเสื่อมสภาพตามประเภทชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานพบว่า ตอม่อตับกลาง(เสา)ของสะพานมีค่าการเสื่อมสภาพที่สูงที่สุด โดยที่ถ้าเวลาผ่านไปเป็นระยะเวลา 50 ปี จะมีค่าความเสียหายในระดับที่ 1 เป็น 95.12 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายในระดับที่ 2 เป็น 0.26 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายระดับที่ 3 เป็น 3.38 เปอร์เซ็นต์ ความเสียหายระดับที่ 4 เป็น 0.11 เปอร์เซ็นต์ และความเสียหายระดับที่ 5 เป็น 1.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในระยะเวลาปีที่เริ่มต้นนั้นมีความเสียหายทั้งหมดอยู่ที่ระดับที่ 1 ทั้งหมดหรือ 100 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านการหาข้อมูลอายุของสะพานและข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงรักษาที่ไม่สามารถทราบโดยละเอียดได้ จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาอัตราการเสื่อมสภาพที่ถูกต้องและแม่นยำ รวมไปถึงยังไม่มีข้อมูลผลการตรวจสอบความเสียหายในรอบถัดไปซึ่งหากมีข้อมูลการตรวจสอบความเสียหายแล้วจะสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบความเสียหายในรอบก่อนหน้านี้ ทำให้สามารถตรวจวิเคราะห์แนวโน้มอัตราการเสื่อมสภาพได้อย่างน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการนำชุดคำสั่งที่ได้มีการพัฒนาแล้วนำไปวิเคราะห์หาอัตราการเสื่อมสภาพ หลังจากได้มีการตรวจสอบในรอบต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Bocchini, P., Saydam, D., and Frangopol, D. Efficient, accurate, and simple Markov chain model for the life-cycle analysis of bridge groups. Structural Safety 31, 40(2013): 51-64.

Kobayashi, K., Kaito, K., and Lethanh, N. A Statistical Deterioration Forecasting Mothod Using Hidden Markov Model for Infrastructure. Transportation Research Part B, 46(2012): 544-561.

MATLAB® 7 Getting Started Guide MathWorks, Inc., 2008.

Seto, D., Ohga, M., and Chun, P. Deterioration Prediction of Bridge by Markov Chain Model and Bayesian Theory. Journal of Japan Society of Civil Engineers, 68(2012): 771-781.

Setunge, S., and Hasan, S. Concrete Bridge Deterioration Prediction using Markov Chain Approach. International Conference On Structural Engineering Construction & Management, Paper no. 95. Kandy, Sri Lanka, 2011.

Sharabah, A., Setunge, S., and Zeephongsekul, P. Use of Markov Chain for Deterioration Modeling and Risk Management of Infrastructure Assets. In Colombo. 2nd International Conference on Information and Automation, 384-389. Sri Lanka, 2006.

องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น (JICA). โครงการที่พัฒนาแผนแม่บทสะพานและศักยภาพในการงานบำรุงรักษาสะพานชนบท รายงาน 2 คู่มือประเมินและตรวจสอบงานซ่อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร, 2556

องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น (JICA). โครงการที่พัฒนาแผนแม่บทสะพานและศักยภาพในการงานบำรุงรักษาสะพานชนบท รายงาน 3 คู่มือจัดทำแผนการจัดการบำรุงรักษาสะพานระยะยาว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร, 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ชุดคำสั่ง MATLAB

ชุดคำสั่งของ MATLAB R2012a ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราการเสื่อมสภาพ

ชุดข้อมูลที่ต้องเตรียม

เป็นชุดข้อมูลของกรมทางหลวงชนบท ลักษณะข้อมูลที่ต้องเตรียมตามลิ้งด้านล่าง

- https://www.dropbox.com/sh/5x05f7ntssk23xw/AABPUGrlUS3PIWhL7Uv6xJ6Xa?dl=0

ชุดคำสั่งในการดึงข้อมูล

-loadresult3.m

```
for district=1:18
    district
    fname=['G:\THESIS (MARCOV)\bridge data\Dis ' num2str(district)
'\T_BRIDGE_INSPECT_RESULT.csv'];

    fin=fopen(fname);

    row1=fgetl(fin)

    i=0;
    k=0;
    while not(feof(fin))
        i=i+1;


data=textscan(fin,'%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d
%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d%c%d');

        alldata{district}(i,1:23)=[data{1} data{3} data{5} data{7}
data{9} data{11} data{13} data{15} data{17} data{19} data{21}...
            data{23} data{25} data{27} data{29} data{31} data{33}
data{35} data{37} data{39} data{41} data{43} data{45}];

ln=fgetl(fin);
    end

    fclose(fin);
end

save brdgresult alldata
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

-loaddata.m

```
for district=1:18

    fname=['G:\THESIS (MARCOV)\bridge data\Dis ' num2str(district)
'\T_BRIDGE_BASE.csv'];

    fin=fopen(fname);

    row1=fgetl(fin)

    i=0;
    k=0;
    while not(feof(fin))
        i=i+1;
        id{district}(i)=fscanf(fin,'%i',1);
        for j=1:22
            k=k+1;
            c(k)=fscanf(fin,'%c',1);
            while not(c(k)==',')
                k=k+1;
                c(k)=fscanf(fin,'%c',1);
            end
        end
        constyear{district}(i)=fscanf(fin,'%i',1);
        ln=fgetl(fin);
    end

    idcons{district}=[id{district}' (2012-constyear{district})']

    fclose(fin);
end

save id constyear
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชุดคำสั่งในการคัดเลือกสะพาน

-sndata.m

```
for district=1:18

    idx{district} =
ismember(alldata{district}(:,1),idcons{district}(:,1));

    yesmember=find(idx{district}==1);

    ndata{district}=alldata{district}(yesmember,:);

    [srted isort]=sort(idcons{district}(:,1));

    idcons{district}=idcons{district}(isort,:);


Age{district}=interp1(idcons{district}(:,1),idcons{district}(:,2),dou
ble(ndata{district}(:,1)));

    sdata{district}=[ndata{district} Age{district}]

end
```

-Del13.m

```
for district=1:18

    del13{district}=ismember(sdata{district}(:,24),13);

    Notyear13=find(del13{district}==0);

    ssdata{district}=sdata{district}(Notyear13,:);

end
```

Chulalongkorn University

ชุดคำสั่งในการทำเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย

-Count.m

```
for district=1:18

    for year=1:50

        for check=9:16

            for level=1:5

              if check>12


n{district,year,check,level}=size(find((ssdata{district}(:,check+7)==
level).*(ssdata{district}(:,24)==year)==1),1);

              else


n{district,year,check,level}=size(find((ssdata{district}(:,check+6)==
level).*(ssdata{district}(:,24)==year)==1),1);

              end

            end

            sumrow=sum([n{district,year,check,1:5}]');
            if sumrow==0
                sumrow=1;
            end


percentbridge{district,check}(year,:)=[n{district,year,check,1:5}]/su
mrow;

        end

    end

end
save newactual percentbridge
```

ชุดคำสั่งในการคำนวณหาอัตราการเสื่อมสภาพ

-main3ml.m

```
global actual district check

load newactual percentbridge
actual=percentbridge;

nyear=50;

for district=1:18
    for check=9:16
        OPTIONS = optimset('MaxFunEvals',10000);
        a=fminsearch('error2',[0.9 0.9 0.9 0.9 ],OPTIONS);
        error2(a);

        A=[a(1) 0 0 0 0 ; 1-a(1) a(2) 0 0 0 ; 0 1-a(2) a(3) 0 0 ; 0 0
1-a(3) a(4) 0 ; 0 0 0 1-a(4) 1]

            predict(:,iyear)=A^iyear*[1;0;0;0;0];

        end

        yrhvdata=find(sum(actual{district,check}'~=0));
        havedata{district,check}=actual{district,check}(yrhvdata,:);

        figure;
        plot(yrhvdata,havedata{district,check},'o')
        ca=gca;
        set(ca,'nextplot','add')
        plot([1:nyear],predict','.-')
        axis([0 nyear 0 1])
        xlabel('Age(year)')
        ylabel('Percentage of component')
        legend('1','2','3','4','5','1','2','3','4','5')
        title(['District ' num2str(district) ', Check '
num2str(check) ',X11=' num2str(a(1),'%5.3f') ',X33='
num2str(a(3),'%5.3f')])
        eval(['print -djpeg C:\Users\orune\Desktop\a\Dis'
num2str(district) 'Chk' num2str(check)])
        G=['dis' num2str(district) 'chk' num2str(check)]
        xlswrite(num2str(G) ,A)
    end

end
```

-error2.m

```
function error2 = error2(a)

global actual district check

A11=a(1);
A22=a(2);
A33=a(3);
A44=a(4);

A=[A11 0 0 0 0 ; 1-A11 A22 0 0 0 ; 0 1-A22 A33 0 0 ; 0 0 1-A33 A44 0;
0 0 0 1-A44 1];

error2=0;

nyear=50;

for iyear=1:nyear

    if not( sum(actual{district,check}(iyear,:)) == 0 )

        error = actual{district,check}(iyear,:)' -
A^iyear*[1;0;0;0;0];

        error2=error2 + error'*diag([1 1 1 1 1])*error;

    end
end

if sum(a<=0)>0.6
    error2=1e9;
end
    if sum(a>=0.999)>0
    error2=1e9;
end
```

link Download Data+Program : https

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้าชื่อ นายณัฐพงศ์ สุทธิยุทธ์ เกิดเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ.2533 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมตอนต้นและมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนเซนต์คาร์เบรียล ต่อมาได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปี พ.ศ.2554 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิตหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University