

การประมาณอายุการใช้งานของ โครงสร้างคอนกรีตในทะเล



นาย เหยียน เมา ทซ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2148-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ESTIMATE OF SERVICE LIFE OF CONCRETE STRUCTURES
IN MARINE ENVIRONMENT

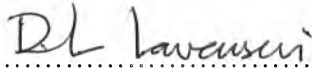
Mr. Nguyen Bao THACH

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 2005
ISBN: 974-14-2148-6

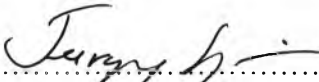
481722


Thesis Title Estimate of Service Life of Concrete Structures In Marine Environment
By Nguyen Bao THACH
Field of study Civil Engineering
Thesis Advisor Associate Professor Phoonsak Pheinsusom, D.Eng.
Thesis Co-Advisor Associate Professor Boonchai Stitmannaitum, D.Eng.

Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in
Partial Fulfillment of Requirements for the Master's Degree



..... Dean of the Faculty of Engineering
(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE


..... Chairman
(Associate Professor Teerapong Senjuntichai, Ph.D.)


..... Thesis Advisor
(Associate Professor Phoonsak Pheinsusom, D.Eng.)


..... Thesis Co-Advisor
(Associate Professor Boonchai Stitmannaitum, D.Eng.)


..... Member
(Chatpan Chintanapakdee, Ph.D.)

เหิงยีน เบา ทซ์ : การประมาณอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตในทะเล. (ESTIMATE OF SERVICE LIFE OF CONCRETE STRUCTURES IN MARINE ENVIRONMENT) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.พลศักดิ์ เพ็ชรสุสม, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: รศ.ดร.บุญไชย สถิตมั่นในธรรม, 110 หน้า. ISBN 974-53-2148-6

การเสื่อมสภาพและทำลายโครงสร้างคอนกรีตในช่วงอายุใช้งานเป็นผลมาจากหลายๆกระบวนการอันได้แก่ การทำลายจากกรดหรือด่าง สภาวะเปือกสลับแห้ง สภาวะเป็นน้ำแข็ง ปฏิกริยาระหว่างด่างกับมวลรวม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการเสื่อมสภาพนั้นมีสาเหตุหลักมาจากกระบวนการซึมผ่านของคลอไรด์ซึ่งมีผลทำให้เกิดการสึกกร่อนของเหล็กเสริมใน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเฉพาะ โครงสร้างที่อยู่ใกล้สภาวะแวดล้อมที่เป็นทะเล

ถึงปัจจุบันนี้ การประมาณอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างแม่นยำได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก แบบจำลองเกี่ยวกับความคงทนของคอนกรีตที่ได้รับการพัฒนาส่วนใหญ่ใช้หลักการกักคร่อนจากการซึมของคลอไรด์และ ใช้ข้อมูลของสภาวะแวดล้อมทางทะเลของยุโรป อเมริกา และส่วนน้อยจากเอเชีย โดยไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับประเทศไทยและเวียดนาม. ด้วยเหตุผลนี้ ความจำเป็นที่ต้องมีแบบจำลองที่เหมาะสมและแม่นยำกับสภาวะแวดล้อมทางทะเลของทั้งประเทศไทยและเวียดนามจึง เป็นสิ่งที่เลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากประเทศไทยและเวียดนามมีสภาวะแวดล้อมทางทะเลที่ต่างกัน แต่มีลักษณะชายฝั่งที่ยาวเหมือนกันซึ่ง ส่งผลต่อความคงทนของโครงสร้างคอนกรีต วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแบบจำลองสำหรับประมาณอายุใช้งานที่ เหมาะสมที่สุดกับสภาพแวดล้อมทางชายฝั่งของประเทศไทยและเวียดนามจากแบบจำลองที่มีอยู่

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้โดยคำนึงถึงระยะเวลาที่จำกัด จึงได้นำวิธีการทดสอบที่เร็วหรือใช้ระยะเวลา ทดสอบสั้นอย่างวิธี นอร์ด เทสต์ เอนที บิลด์ 492 : สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์จากการทดสอบการซึมผ่านแบบไม่คงที่ โดยใช้ตัวแปรจาก อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและเถ้าแกลบ มาประยุกต์ใช้ จากผลที่ได้จะ นำไปสู่การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ หลังจากนั้นจะทำการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ระยะ หลังตามสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณเถ้าลอยและเถ้าแกลบ ซึ่งการคำนวณในส่วนนี้จะนำไปสู่การคำนวณหาแบบจำลองสำหรับ ประมาณอายุใช้งานของโครงสร้างคอนกรีต นอกจากนี้จะทำการประเมินผลของวัสดุปอซโซลาน (เถ้าลอยและเถ้าแกลบที่ใช้) ต่อ การต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์อีกด้วย

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผลจากปฏิกิริยาปอซโซลานทั้งจากเถ้าลอยและเถ้าแกลบซึ่งเป็นสารปอซโซ ลานมีผลในการลดค่าสัมประสิทธิ์ในการซึมผ่านคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตซึ่งใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวโดยปราศจากสารปอซโซ ลาน โดยการใส่เถ้าแกลบจะสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์ในการซึมผ่านคลอไรด์ในคอนกรีตที่อายุ 28 วันได้ดีกว่าการใช้เถ้าลอย แต่ อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุประสานที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอย และเถ้าแกลบรวมกัน จะให้ผลในการลดค่า สัมประสิทธิ์ในการซึมผ่านคลอไรด์ได้ดีที่สุด จากการทดสอบคอนกรีตที่อายุ 28 วันนั้น พบว่ามีเพียงเฉพาะเถ้าแกลบเท่านั้นที่มีผล ในการลดค่าสัมประสิทธิ์ในการซึมผ่านคลอไรด์ ซึ่งในทางกลับกันเถ้าลอยนั้นไม่ได้มีผลในการลดค่าสัมประสิทธิ์ในการซึมผ่านคลอ ไรด์ของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน. สุดท้ายนี้ จะนำแบบจำลองสำหรับประมาณอายุใช้งานของโครงสร้างคอนกรีต ที่ใช้ในทางปฏิบัติ 2 แบบมาพิจารณา โดยนำมาใช้พิจารณากับโครงสร้างคอนกรีตที่มีในประเทศไทยและเวียดนามและประเมินผลสุดท้าย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต
 สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4770561021 MAJOR CIVIL ENGINEERING
 KEYWORDS: CHLORIDE / DIFFUSION COEFFICIENT / CONCRETE / REINFORCED
 STEEL CORROSION / MARINE ENVIRONMENT
 NGUYEN BAO THACH: ESTIMATE OF SERVICE LIFE OF CONCRETE
 STRUCTURES IN MARINE ENVIRONMENT. THESIS ADVISOR: ASSOC.
 PROF. PHOONSAK PHEINSUSOM, D.ENG. THESIS CO-ADVISOR: ASSOC.
 PROF. BOONCHAI STITMANNAITHUM, D.ENG.
 ISBN: 974-53-2148-6

Deterioration and distress of concrete structures in service is a result of a variety of physicochemical processes. These processes include attack by acids or alkalis, cycles of wetting and drying, freezing and thawing, alkalis – aggregate reaction, etc. However, the most serious deterioration process is caused by chloride diffusion mechanism which then leads to corrosion of reinforcing steel.

Moreover, up to date, the accurate service-life prediction of reinforced concrete structures is getting more and more attention. Needless to say, the most advanced models on durability of concrete are found in the field of chloride-induced corrosion. However, most of them are built and developed based on the marine environment of Europe, America and a few countries from Asia, excluding Thailand and Vietnam. For this reason, the requirement of an accurate and suitable model for the local marine environment conditions of Thailand and Vietnam is very imperative. Because Thailand and Vietnam not only have the same environment conditions, but also have a long coast which mostly affect the durability of concrete structures. The aim of this current paper is computing a service life model, which is the most suitable for the local environment of Thailand, and Vietnam based on the available models of previous researches.

In order to fulfill this objective and satisfy the time restraint, a rapid or short term experiment named Nord test NT build 492: “Chloride migration coefficient from non-steady state migration experiments” with the input parameters including water binder ratio, partial replacement of Portland cement by fly ash and rice husk ash will be conducted. After that, based on these results obtained from the experiment, the chloride diffusion coefficients are got. Moreover, using the data, the expressions for predicting the value of chloride diffusion coefficient are proposed in term of water binder ratio, percent of fly ash and rice husk ash. These expressions are the key for computing the service life model of a certain concrete structure. Furthermore, the influences of pozzolana (fly ash and rice husk ash for the current case) on chloride resistance are investigated as well.

Results of the experiment reveal the significance of pozzolanic effect of both fly ash and rice husk ash on decrease of the chloride diffusion coefficient, in compared with the ordinary Portland cement case. However, rice husk ash has more influence on chloride resistance than fly ash at the early age 28 days. In addition, ternary blend incorporating Portland cement with both fly ash and rice husk ash also shows the remarkable impact. However, in ternary blend at the early age 28 days (the current work), the decrease of chloride diffusion coefficient is only due to the effect of rice husk ash and fly ash on the other hand has no significant influence on chloride diffusion coefficient. Finally, two main approaches used in practice for civil engineers to compute service life of concrete structures in marine environment are proposed. In addition, in order to illustrate these both approaches, case studies of certain concrete structures in Thailand and Vietnam are also investigated.

Department: CIVIL ENGINEERING.....
 Field of study: CIVIL ENGINEERING.....
 Academic year: 2005.....

Student's signature:
 Advisor's signature:
 Co-advisor's signature:

ACKNOWLEDEMENTS

I would like first and foremost to express my honest gratitude to Assoc. Prof. Dr. Phoonsak Pheinsusom for his guidance, encouragement and support during my research and my studies from the first time I came to Chulalongkorn University.

I also deeply appreciate the assistance as well as worthy recommendations from Assoc. Prof. Dr. Boonchai Stitmannathum.

Special thanks are extended to the other committee members: Prof. Dr. Toyoharu Nawa, Assoc. Prof. Dr. Teerapong Senjuntichai and Dr. Chatpan Chintanapakdee for their valuable comments and suggestions on my research and thesis.

Thanks are also due to whom for their assistances with laboratory works.

I am grateful to my friends and colleagues for their help and friendliness, especially to Mr. Sompong Teeranop.

Many thanks are owned to Siam city concrete Co. LTD for their valuable supporting of materials.

Sincere gratitude goes to my parents and my brother for their love and encouragement. Their pride in my accomplishments guided me throughout the best and the worst moments of my works.

Finally, I would like to express my sincere gratitude for the financial support of AUN/SEED-Net and JICA, without which this research would not have been possible.

TABLE OF CONTENTS

	Page
Abstract (Thai).....	iv
Abstract (English).....	v
Acknowledgements.....	vi
Table of contents.....	vii
List of Tables.....	ix
List of Figures.....	xi
CHAPTER I INTRODUCTION.....	1
1.1 Overview.....	1
1.2 Scope Of This Work.....	2
1.3 Research Objectives.....	2
CHAPTER II THEORETICAL BACKGROUND.....	3
2.1 Mechanism of Corrosion in Concrete.....	3
2.2 Corrosion Deterioration Model.....	4
2.3 Chloride Diffusion in Concrete.....	5
2.4 Performance Assessment Methods.....	6
2.5 Pozzolans.....	12
2.6 Chloride Diffusion Coefficient.....	14
2.7 The Propagation Phase.....	18
2.8 Summary.....	21
CHAPTER III MATERIAL AND EXPERIMENT.....	23
3.1 Selection of Potential Influence Factors.....	23
3.2 Materials.....	24
3.3 Experimental Method.....	27
3.4 Experimental Procedures.....	29
CHAPTER IV RESULTS AND DISCUSSION.....	32
4.1 Chloride Diffusion Coefficient.....	32
4.2 Experiments With Real Sea Water.....	53
4.2 Empirical expressions.....	55

	Page
CHAPTER V APPLICATION	57
5.1 The Initial Phase.....	57
5.2 The Propagation Phase.....	59
5.3 Procedure of Application.....	60
5.4 Examples of Application.....	62
CHAPTER VI CONCLUSIONS	74
6.1 Summary.....	74
6.2 Conclusions.....	75
6.3 Limitations.....	76
6.4 Recommendations.....	77
REFERENCES	79
APPENDIX	83
VITA	110

LIST OF TABLES

Table 2.1 ASTM C1202 ratings.....	8
Table 2.2 Summary of chloride penetration test method (Stanish et al).....	12
Table 3.1 Chemical properties of ordinary Portland cement type 1.....	24
Table 3.2 Physical properties of fly ash and rice husk ash.....	25
Table 3.3 Chemical composition of fly ash and rice husk ash.....	25
Table 3.4 Mixture proportions of concrete specimens.....	26
Table 4.1 Chloride diffusion coefficient for ordinary Portland cement case.....	32
Table 4.2 Chloride diffusion coefficient for case of fly ash.....	35
Table 4.3 Chloride diffusion coefficient for case of rice husk ash.....	40
Table 4.4 Chloride diffusion coefficient for case of triple blend.....	45
Table 4.8 Chloride diffusion coefficient for the experiments with real sea water taken from Cha-Am, Gulf of Thailand.....	54
Table 4.9 Chloride diffusion coefficient for the experiments with real sea water taken from Ca Na, Vietnam.....	54
Table 4.10 Composition of sea water taken from Cha-Am, Gulf of Thailand and Ca Na, Vietnam.....	55
Table 5.1 Threshold chloride from standards.....	58
Table 5.2 Threshold chloride from literature.....	59
Table 5.3 Properties of concrete for pier (submerged zone).....	62
Table 5.4 Initial chloride concentration.....	63
Table 5.5 Chloride diffusion coefficient.....	63
Table 5.6 Input values of design water binder ratio.....	67

Table 5.7 Input values of design cover thickness.....	68
Table 5.8 Input values of design rebar dimension.....	69
Table 5.9 Properties of concrete for abutment wall (submerged one).....	70
Table 5.10 Initial chloride concentration.....	70
Table 5.11 Chloride diffusion coefficient.....	70
Table 5.12 Input values of design water binder ratio.....	72
Table 5.13 Input values of design cover thickness.....	72
Table 5.14 Input values of design rebar dimension.....	73

LIST OF FIGURES

Figure 2.1 Service life model relative to corrosion deterioration.....	4
Figure 2.2 AASHTO T259 test setup (Stanish el al).....	6
Figure 2.3 Nordtest NTbuild 443 test setup (Stanish el al).....	7
Figure 2.4 AASHTO T277 or ASTM C1202 test setup (Stanish el al).....	8
Figure 2.5 Typical chloride migration cells (Stanish el al).....	9
Figure 2.6 Rapid migration cells (Stanish el al).....	10
Figure 2.7 Pressure penetration test procedure (Stanish el al).....	11
Figure 2.8 The particle shape of fly ash.....	13
Figure 2.9 The particle shape of rice husk ash.....	14
Figure 2.10 Corrosion to cracking diagram.....	19
Figure 3.1 Nordtest NT Build 492 test set-up.....	27
Figure 3.2 Typical test set up of Nordtest NT Build 492.....	28
Figure 3.3 Leaking occurs.....	28
Figure 3.4 Test set up of the modified Nordtest NT Build 492.....	29
Figure 3.5 The modified Nordtest NT Build 492 diagram.....	30
Figure 4.1 Experiment data for ordinary Portland cement case.....	33
Figure 4.2 Relationship between water binder ratio and the total porosity.....	34
Figure 4.3 Chloride diffusion coefficients in term of water binder ratio for fly ash case.....	37
Figure 4.4 Chloride diffusion coefficients in term of percent of fly ash for fly ash case.....	37
Figure 4.5 The influence of fly ash on chloride diffusion coefficient by factor k_{FA}	38

Figure 4.6 General equation and particular equations of diffusion coefficient for different series of water binder ratio.....	39
Figure 4.7 Chloride diffusion coefficients in term of water binder ratio for rice husk ash case.....	41
Figure 4.8 Chloride diffusion coefficients in term of percent of rice husk ash for rice husk ash case.....	42
Figure 4.9 The influence of rice husk ash on chloride diffusion coefficient by factor k_{RHA}	43
Figure 4.10 General equation and particular equations of diffusion coefficient for different series of water binder ratio	44
Figure 4.11 Chloride diffusion coefficients in term of water binder ratio for ternary blend case	46
Figure 4.12 Chloride diffusion coefficients in term of percent of rice husk ash for ternary blend case (with 15% FA).....	47
Figure 4.13 Chloride diffusion coefficients in term of percent of rice husk ash for ternary blend case (with 25% FA).....	47
Figure 4.14 The influence of both of fly ash and rice husk ash on chloride diffusion coefficient by factor $k_{FA \& RHA}$	48
Figure 4.15 General equation and particular equations of diffusion coefficient for different series of water binder ratio (with 15% Fly ash).....	49
Figure 4.16 General equation and particular equations of diffusion coefficient for different series of water binder ratio (with 25% Fly ash).....	49
Figure 4.17 Particular equations of diffusion coefficient for different series of water binder ratio (with 15% Fly ash).....	45
Figure 4.18 Contour of chloride diffusion coefficient with water binder ratio 0.4.....	51
Figure 4.19 Contour of chloride diffusion coefficient with water binder ratio 0.5.....	51
Figure 4.20 Contour of chloride diffusion coefficient with water binder ratio 0.6.....	52

Figure 5.1 Diagram for estimate service life of concrete structures in marine environment.....	61
Figure 5.2 Diagram for estimate mix proportion or cover thickness or dimension of rebar based on desirable service life.....	62
Figure 5.3 Initial time versus cover thickness.....	64
Figure 5.4 ACI committee 29 report and current case study.....	65
Figure 5.5 The impact of fly ash on initial time.....	66
Figure 5.6 The section of concrete structure.....	66
Figure 5.7 Work sheet for computing approach to estimate service life of the sea bridge in Laem Phak Bia project.....	67
Figure 5.8 The design of Can Tho Bridge.....	69
Figure 5.9 Initial time versus cover thickness.....	71
Figure 5.10 The section of concrete structure.....	71
Figure 5.11 Work sheet for computing approach to estimate service life of the Can Tho bridge.....	72