การพัฒนามาตรฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตในประเทศอินโดนีเซีย บนพื้นฐานของสมรรถภาพทางโครงสร้าง

นายอัชฉาร์ ซาปูตรา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF PERFORMANCE-BASED DESIGN CODE FOR CONCRETE STRUCTURES IN INDONESIA

Mr. Ashar Saputra

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2007
Copyright of Chulalongkorn University

501327

Thesis Title	DEVELOPMENT OF PERFORMANCE-BASED DESIGN CODE FOR CONCRETE STRUCTURES IN INDONESIA
By	Mr. Ashar Saputra
Field of Study	Civil Engineering
Thesis Advisor	Professor Ekasit Limsuwan, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Professor Tamon Ueda, D.Eng.

Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctoral Degree

.....Acting on behalf of Dean of Faculty of Engineering
(Associate Professor Yingyos Khemayodhin, M.S.)

THESIS COMMITTEE

.....Chairman
(Professor Thaksin Thepchatri, Ph.D.)

.....Thesis Advisor
(Professor Ekasit Limsuwan, Ph.D.)

.....Co-Advisor
(Professor Tamon Ueda, D.Eng)

.....Member
(Associate Professor Boonchai Stitmannaithum, D.Eng)

.....Member
(Watanachai Smittakorn, Ph.D.)

อัชฉาร์ ซาปูตรา :การพัฒนาการปฏิบัติงานบนพื้นฐานข้อบังคับการออกแบบสำหรับโครงสร้างคอนกรีตในประเทศอินโดนีเซีย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ :ศ.ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 179 หน้า

ในปัจจุบันนี้กระแสโลกว่าด้วยมาตรฐานการออกแบบมีแนวโน้มไปสู่มาตรฐาน การออกแบบบนพื้นฐานของสมรรถภาพทางโครงสร้าง ซึ่งหมายถึงวิธีการบนพื้นฐานของสภาพแวดล้อมที่เป็นจริง และรูปแบบวัสดุที่สามารถคาดการณ์สมรรถภาพทางโครงสร้างคอนกรีตได้อย่างน่าพอใจในอนาคต งานวิจัยนี้ มีเป้าหมายเพื่อกำหนดดรรชนีชี้วัดสมรรถภาพทางโครงสร้างคอนกรีตในประเทศอินโดนีเซีย โดยงานวิจัยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ขั้นตอนการก่อสร้าง และระดับฝีมือการก่อสร้าง การวิเคราะห์ทางสถิติจากข้อมูลดังกล่าว จะนำมาร่วมกับ การสร้างแบบจำลองตามวิธีการของมอนติคาโล แล้วใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่คล้าย คลึงกันกับของประเทศญี่ปุ่นและข้อมูลอื่นๆที่สามารถหาได้ งานวิจัยนี้วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือจากลักษณะเฉพาะของวัสดุ การทำชิ้นส่วนโครงสร้างกำลังของโครงสร้าง และลักษณะของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง และนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาดรรชนีสมรรถภาพทางโครงสร้างว่าด้วยกำลังดรรชนีสมรรถภาพ ว่าด้วยการใช้งาน และดรรชนีสมรรถภาพว่าด้วยความทนทาน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตวัสดุ และชิ้นส่วนโครงสร้างในอาคารทั่วไปในประเทศอินโดนีเซียไม่ล้าหลังจากประเทศพัฒนาแล้วมากนัก แต่ยังจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงพัฒนาให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง การวิเคราะห์ข้อมูล จากประเทศอินโดนีเซียแสดงให้เห็นว่า สถานะฝีมือแรงงานสามารถเทียบเคียงกับของประเทศญี่ปุ่นได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับฝีมือแรงงานในยุโรป และสหรัฐอเมริกา อาจถือว่ามีมาตรฐานที่ต่ำกว่าเล็กน้อย ยิ่งไปกว่านั้นค่าดรรชนีสมรรถภาพทางโครงสร้างของประเทศอินโดนีเซียจะสูงกว่าของ ประเทศกลุ่มยุโรป เนื่องจากความแปรปรวนในการผลิตวัสดุ โดยค่าดรรชนี สมรรถภาพทางโครงสร้างการรับแรงอัดอยู่ในช่วง 1.5-1.7 และมีค่าดรรชนีสมรรถภาพทางโครงสร้าง ว่าด้วยการรับแรงดึงของเหล็กมีค่าอยู่ในช่วง 1.1-1.5 ค่าตัวคูณสำหรับการคำนวณหาความกว้างของการแตกหัก การบิดตัวและการสั่นสะเทือนคือ 1.05 1.10 และ 0.95 ตามลำดับ ค่าดรรชนีสมรรถภาพทางโครงสร้าง ว่าด้วยความทนทานสำหรับคอนกรีตมาตรฐานคือ 1.20 สำหรับค่า Fc น้อยกว่า 25 MPa 1.00 สำหรับค่า Fc ในช่วง 25-40 MPa และ 0.80 สำหรับค่า Fc มากกว่า 40 MPa ตามลำดับ ค่าดรรชนีเหล่านี้สอดคล้องกับมาตรฐาน การออกแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และค่าดรรชนีนี้อาจจะเป็นก้าวแรกของการพัฒนามาตรฐานการออกแบบในประเทศอินโดนีโซีย

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต: .....

สาขาวิชา: วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา: .....

ปีการศึกษา: 2550

##4771874621: MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORDS: RELIABILITY ANALYSIS/REINFORCED CONCRETE/DESIGN CODE/PERFORMANCE

ASHAR SAPUTRA: DEVELOPMENT OF PERFORMANCE-BASED DESIGN CODE FOR CONCRETE STRUCTURES IN INDONESIA.
THESIS ADVISOR: PROF. EKASIT LIMSUWAN, Ph.D., 179 pp.

Nowadays, global trend on code of practices tends to be performance-based code. Performance-based design means the methodology, which is based on sufficiently realistic environmental and material models so it is possible to make satisfactory prediction of the future behavior of a concrete structure under its service conditions. This research was aimed to determine the partial safety factors used on verification of performances for concrete structures in Indonesia. The research starts with data collection of material of reinforced concrete structures, fabrication level, and some parameters to reflect workmanship in construction. Statistical analyses on those data in conjunction with Monte Carlo Simulation are required to study the statistical characteristics, then compared with similar information from Japan, and some others available. Using those characteristic values of material, fabrication, member strengths, and characteristic of actions from the literature, reliability analysis then carried out. The result of reliability analysis became input on determining the partial safety factors for performance indices as for strength, serviceability, and durability. This research showed the material production and fabrications of structural members for typical buildings in Indonesia are not far behind developed countries; even though always need to be improved. The data of fabrication show that the condition of workmanship in Indonesia could be similar trends of those for Japan, however it may be slightly poorer than those for Europe and the United States. Furthermore, partial safety factor for structural member for Indonesia would rather be bigger than those from Europe due to high variability in material production and fabrication. Global partial safety factor for strength for Indonesia are γ_M = 1.5 to 1.7 for concrete compressive strength and 1.1 to 1.15 for steel in tension. Partial safety factor as multiplier of calculation result for cracks width, deformations and vibrations (natural frequency) are 1.05, 1.10, and 0.95 respectively. The partial safety factor for durability has been introduced by α as an indicator and magnifier for standard concrete cover to be 1.20, 1.00, and 0.80 for f_c' less than 25 MPa, 25 – 40 MPa, and more than 40 MPa respectively. These performance indices have shown its conformance to the existing the Limit State Design Code and they become the firs step in developing the performance-based design code in Indonesia.

Department: Civil Engineering
Field of Study: Civil Engineering
Academic Year: 2007

Student's signature: .....
Advisor's signature: .....

ACKNOWLEDGEMENTS

In the Name of Allah, Most Gracious, Most Merciful. All praise and thanks are due to Allah, and peace and blessings be upon His Messenger. My grateful expressed thanks to Allah SWT for blessing an abundance of mercy.

This thesis is the result of three and half years of work whereby I have been accompanied and supported by many people. This PhD thesis certainly would not have been possible without their assistance and consideration. It is a pleasant aspect that I have now the opportunity to express my gratitude for all of them.

I would like to start by express my sincere gratitude to my direct advisor, Professor Ekasit Limsuwan, for his continuous advices, guidances and sustained enthusiasm for my work. My deep gratitude also to Professor Tamon Ueda, for his invaluable insightful criticisms of the final draft helped to correct several shortcomings. I would also like to thank the other members of my PhD committee who monitored my work and took effort in reading and providing me with valuable comments on earlier versions of this thesis: Professor Thaksin Thepchatri, Associate Professor Boonchai Stitmannaithum, and Ajarn Watanachai Smittakorn, Ph.D.

I am also very grateful to AUN/SED-Net and JICA for their generous support which enabled me to pursue higher studies in Chulalongkorn, Thailand, especially Mr. Sakae Yamada and Khun Kalayaporn. To all faculty members in Civil Engineering Chulalongkorn University, my deepest appreciation for their time and knowledge has been shared to me. My gratitude is also due to Ms. Kanasom and Khun Wanna Changkerd who were always available to assist me in the administrative and academic procedures at International School Engineering, Chulalongkorn University.

Many thanks to my colleagues at Civil Department Universitas Gadjah Mada Yogyakarta for their support and encouragement in undertaking a Doctoral program. Special appreciation is also extended to Mr. Budi Suanda in Jakarta and Mr. Gupit Robbicahya in Yogyakarta who have put much effort providing the data sources and invaluable discussion during this work. My warmest gratitude to all friends in CE 2005 class and Ngaji-chul, whose friendship and openness made my stay at Thailand an enriching and unforgettable experience.

My heartfelt gratitude to my family in Tinggarjaya and Mataram; Bapak Tohari, Ibu Syam, all sisters and brothers who has offered their constant support and help.

Most important, to my wife, Baiq Zurkurniyanti, who put up with a string of trips abroad, lost weekends, and odd working hours. I am grateful for her endless patience, love and support. To her, I dedicate this thesis.

TABLE OF CONTENTS

Page

Abstract (in Thai) iv

Abstract (in English) v

Acknowledgements vi

Table of Contents vii

List of Tables ix

List of Figures xi

Chapter I Introduction 1

1.1 Background 1

1.2 Hypothesis 5

1.3 Research Objective, Scope and Methodology 6

1.4 Expected Outcome 10

Chapter II Performance-based Design and Reliability of Structure 11

2.1 Performance-based Design Concept 11

2.2 Concept of Structural Reliability 29

2.3 Limit State Design and Partial Safety Factors 39

2.4 Variables on Reliability Analysis of Reinforced Concrete Structures 52

Chapter III Characteristics of Material Production and Fabrication for Structural Reliability Analysis 68

3.1 Concrete Compression Strength 68

3.2 Reinforcing Steel Bar 75

3.3 Fabrication of Structural Member 77

3.4 Comparison of Material Production and Fabrication between Indonesia and Japan 78

3.5 Conclusion of the Chapter 83

Chapter IV Partial Safety Factors for Structural Concrete Members in Indonesia 85

4.1 Concept of Global Partial Safety Factor 85

4.2 Calculation of Global Partial Safety Factor γ_M for Case of Indonesia 86

TABLE OF CONTENTS

Page

Abstract (in Thai) iv
Abstract (in English) v
Acknowledgements vi
Table of Contents vii
List of Tables ix
List of Figures xi

Chapter I Introduction 1
1.1 Background 1
1.2 Hypothesis 5
1.3 Research Objective, Scope and Methodology 6
1.4 Expected Outcome 10
Chapter II Performance-based Design and Reliability of Structure 11
2.1 Performance-based Design Concept 11
2.2 Concept of Structural Reliability 29
2.3 Limit State Design and Partial Safety Factors 39
2.4 Variables on Reliability Analysis of Reinforced Concrete Structures 52
Chapter III Characteristics of Material Production and Fabrication for Structural Reliability Analysis 68
3.1 Concrete Compression Strength 68
3.2 Reinforcing Steel Bar 75
3.3 Fabrication of Structural Member 77
3.4 Comparison of Material Production and Fabrication between Indonesia and Japan 78
3.5 Conclusion of the Chapter 83
Chapter IV Partial Safety Factors for Structural Concrete Members in Indonesia 85
4.1 Concept of Global Partial Safety Factor 85
4.2 Calculation of Global Partial Safety Factor γ_M for Case of Indonesia 86

4.3 Global Partial Safety Factor γ_M for Performance of Strength 91
4.4 Global Partial Safety Factor γ_M for Performance of Serviceability... 92
4.5 Observation on the Aspect of Durability 94
4.6 Global Partial Safety Factor for Concrete Structural Member in Indonesia 96
4.7 Conclusions of the Chapter 98
Chapter V Conclusions 100
5.1 Material and Fabrication 100
5.2 Performance Index for Strength 102
5.3 Performance Index for Serviceability 104
5.4 Some Aspects on Durability 105
5.5 Steps for Development of Performance-based Design Code for Concrete Structures in Indonesia 106
Chapter VI Recommendations 107
References 108
Appendices 112
Appendix A Concrete Compressive Strength of Indonesia 113
Appendix B Data of Steel Reinforcement in Indonesia 128
Appendix C Concrete Compressive Strength of Japan 130
Appendix D Data of Fabrication from Indonesia 156
Appendix E Data of Fabrication from Japan 160
Appendix F Calculation of Global Partial Safety Factor for Material from Indonesia 168
Appendix G Simulation for Strength Member (Sample) 175
Appendix H Description of the Method of Calculation for γ- values (Based on FIB Bulletin No. 202 Reliability of concrete structures) 177
Biography 179

LIST OF TABLES

Table		Page
Table 2.1	Limit states, limit events and performance goals [11]	15
Table 2.2	Examples of performance indices for comfortable use [13]	22
Table 2.3	Examples of performance indices for functionability [13]	22
Table 2.4	Statistical parameter of material properties and dimension [4]	53
Table 2.5	Statistical parameter of concrete beams and columns [4]	53
Table 2.6	Statistical parameters for ordinary ready-mix concrete [16]	54
Table 2.7	Statistical parameters for reinforcing steel, Grade 420 Mpa (60 ksi) [16]	54
Table 2.8	Statistical parameters of fabrication factor for dimension of concrete in USA [17]	55
Table 2.9	Statistical parameters of resistance for ordinary concrete [16]	56
Table 2.10	Statistical parameter for resistance of reinforced concrete members [18]	57
Table 2.11	Statistical parameters for load combinations [8] [17]	58
Table 2.12	Minimum floor uniformly distributed load for buildings in Indonesia [35]	59
Table 2.13	Selection of resistance factors [20]	61
Table 2.14	Resistance factors in CSA Standard A23.3 [21]	62
Table 2.15	Strength reduction factors in the ACI Code [21]	62
Table 2.16	Material subentry factors in the GBJ10-89[1] [21]	63
Table 2.17	Selected target reliability indexes [17]	64
Table 2.18	Recommended resistance factors [17]	64
Table 2.19	Standard values for safety factors in Japan [15]	66
Table 2.20	Standard values for safety factors in Europe [12]	66
Table 2.21	Relationship between reliability index and probability of failure [10]	67
Table 3.1	Statistical parameter for f_c' from several sites and companies in Indonesia	69
Table 3.2	Statistical parameter for f_c' from two different companies in Indonesia	70
Table 3.3	Representation of statistical parameter for f_c' from several sites in Indonesia	71

Table		Page
Table 3.4	Calculation of required average compressive strength in Indonesia	73
Table 3.5	Classification of quality control production for $f_c^{'}$ in Indonesia	74
Table 3.6	Recommendation on calculating the average requirement compressive strength $f_{cr}^{'}$ for Indonesia	75
Table 3.7	Statistical parameters of reinforcing steel diameter in Indonesia	75
Table 3.8	Statistical parameters of f_y of reinforcing steel in Indonesia	76
Table 3.9	Statistical parameters for concrete cover and member dimension in Indonesia	77
Table 3.10	Tolerances for concrete sectional dimension [12]	78
Table 3.11	Tolerances for the position of reinforcement [12]	78
Table 3.12	Statistical parameter for compressive strength of ready-mixed concrete from companies in Hokkaido and Fukuoka	80
Table 3.13	Comparison of statistical parameters for concrete cover	82
Table 3.14	Comparison of statistical parameters for member dimension	82
Table 4.1	Value of V_{fcc} and $\lambda_{fcc}^{'}$	87
Table 4.2	Variability representing the η value	87
Table 4.3	Values of μ_{fct}, V_{fct} and $\lambda_{fct}^{'}$	88
Table 4.4	Value of V_a for case of Indonesia	89
Table 4.5	Global partial safety factor γ_M for strength for case of Indonesia	91
Table 4.6	Reduction factor for member strength	92
Table 4.7	Global partial factor γ_M for serviceability for case of Indonesia	93
Table 4.8	Application of partial safety factor for the aspect of serviceability	94
Table 4.9	Basic concrete cover (c_o) [15]	95
Table 4.10	Cover factor α for case of Indonesia	96
Table 4.11	Determined partial safety factor for case of Indonesia	97

LIST OF FIGURES

Figure		Page
Figure 2.1	Performance-based design and evaluation [11]	16
Figure 2.2	Checking for ultimate limit state for failure of cross-section [15]	18
Figure 2.3	Design for durability concept [14].	26
Figure 2.4	Deterioration steps [32].	28
Figure 2.5	Density functions of resistance R and load Q, and the probability of failure [36].	31
Figure 2.6	Illustration of reliability in two-dimensional space [8].	33
Figure 2.7	Reliability index defined as the shortest distance in the space of reduced variables [4].	34
Figure 2.8	Graphical illustration of Rackwitz-Fiessler procedure.	39
Figure 2.9	Definition of failure [21].	42
Figure 3.1	CDFs of ordinary ready-mixed concrete from several construction projects in Indonesia.	69
Figure 3.2	CDFs of ordinary ready-mix concrete from two different concrete companies in Indonesia	70
Figure 3.3	Recommended bias factor for compressive strength of concrete f_c'.	71
Figure 3.4	Frequency curves and average strength for various degree of control [39]	72
Figure 3.5	CDF of ordinary ready-mixed concrete for classes 21 Mpa and 24 Mpa in 1992 in Japan.	79
Figure 3.6	CDF of ordinary ready-mix concrete for class 21 Mpa in 1992 to 1994 in Japan.	79
Figure 3.7	CDF of compressive strength of ordinary ready-mixed concrete from two companies in Japan.	80
Figure 4.1	Value of γ_M for concrete compressive strength with $\nu = 2$ and $\beta = 4.0$	97