

การพัฒนามาตรฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตในประเทศไทย  
อินโนเก้นเชีย บันพื้นฐานของสมรรถภาพทางโครงสร้าง

นายอัช查ร์ ชาปูตรา

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

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.

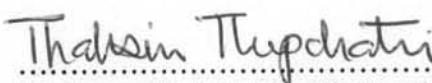
Thesis Co-advisor           Professor Tamon Ueda, D.Eng.

---

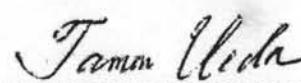
Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial  
Fulfillment of the Requirements for the Doctoral Degree

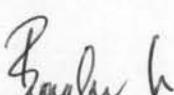
 Acting on behalf of Dean  
of Faculty of Engineering  
(Associate Professor Yingyos Khemayodhin, M.S.)

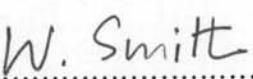
THESIS COMMITTEE

 Chairman  
(Professor Thaksin Thepchatri, Ph.D.)

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

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

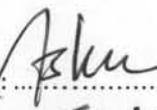
 Member  
(Associate Professor Boonchai Stitmannaithum, D.Eng)

 Member  
(Watanachai Smittakorn, Ph.D.)

อัชรา ชาปุตรา : การพัฒนาการปฏิบัติงานบนพื้นฐานข้อบังคับการออกแบบสำหรับโครงสร้างคอนกรีต  
ในประเทศไทย โคนีเชีย อารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ศ.ดร.เอกสิทธิ์ ลีมสุวรรณ, 179 หน้า

ในปัจจุบันนี้กระแสโลกว่าด้วยมาตรฐานการออกแบบมีแนวโน้มไปสู่มาตรฐาน การออกแบบบนพื้นฐาน  
ของสมรรถภาพทางโครงสร้าง ซึ่งหมายถึงวิธีการบนพื้นฐานของสภาพแวดล้อมที่เป็นจริง และรูปแบบวัสดุที่  
สามารถคาดการณ์สมรรถภาพทางโครงสร้างคอนกรีตได้อย่างน่าพอใจในอนาคต งานวิจัยนี้ มีเป้าหมายเพื่อกำหนด  
ครรชนีชี้วัดสมรรถภาพทางโครงสร้างคอนกรีตในประเทศไทย โคนีเชีย โดยงานวิจัยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูล  
เกี่ยวกับวัสดุ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ขั้นตอนการก่อสร้าง และระดับฟื้นฟื้นของการก่อสร้าง การวิเคราะห์ทางสถิติ  
จากข้อมูลดังกล่าว จะนำมาร่วมกับ การสร้างแบบจำลองตามวิธีการของอนติกา แล้วใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่  
คล้าย คลึงกันกับของประเทศไทยญี่ปุ่นและข้อมูลอื่นๆที่สามารถหาได้ งานวิจัยนี้วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือจากลักษณะ  
เฉพาะของวัสดุ การทำซินส่วนโครงสร้างกำลังของโครงสร้าง และลักษณะของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง และนำ  
ผลลัพธ์ที่ได้มาหารือครรชนีสมรรถภาพทางโครงสร้างว่าด้วยกำลังครรชนีสมรรถภาพ ว่าด้วยการใช้งาน และครรชนี  
สมรรถภาพว่าด้วยความทนทาน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตวัสดุ และชิ้นส่วนโครงสร้างในอาคารทั่วไปใน  
ประเทศไทย โคนีเชียไม่ถูกหลังจากประเทศพัฒนาแล้วมากนัก แต่ยังจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงพัฒนาให้ดีขึ้นอย่าง  
ต่อเนื่อง การวิเคราะห์ข้อมูล จากประเทศไทย โคนีเชียแสดงให้เห็นว่า สถานะฟื้นฟื้นแรงงานสามารถเทียบเคียงกับของ  
ประเทศญี่ปุ่นได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับฟื้นฟื้นแรงงานในญี่ปุ่น และสหราชอาณาจักร อาจถือว่ามีมาตรฐานที่ต่ำกว่า  
เล็กน้อย ซึ่งไปกว่านั้นค่าครรชนีสมรรถภาพทางโครงสร้างของประเทศไทย โคนีเชียจะสูงกว่าของ ประเทศญี่ปุ่น  
เนื่องจากความแปรปรวนในการผลิตวัสดุ โดยค่าครรชนี สมรรถภาพทางโครงสร้างการรับแรงอัดอุ่นในช่วง 1.5-1.7  
และมีค่าครรชนีสมรรถภาพทางโครงสร้าง ว่าด้วยการรับแรงดึงของเหล็กมีค่าอุ่นในช่วง 1.1-1.5 ค่าด้วยสำหรับการ  
คำนวณหาความกว้างของการแตกหัก การบิดด้วยและการต้านสะเทือนคือ 1.05 1.10 และ 0.95 ตามลำดับ ค่าครรชนี  
สมรรถภาพทางโครงสร้าง ว่าด้วยความทนทานสำหรับคอนกรีตมาตรฐานคือ 1.20 สำหรับค่า  $F_c$  น้อยกว่า 25 MPa  
1.00 สำหรับค่า  $F_c$  ในช่วง 25-40 MPa และ 0.80 สำหรับค่า  $F_c$  มากกว่า 40 MPa ตามลำดับ ค่าครรชนีเหล่านี้  
ลดลงกับมาตรฐาน การออกแบบที่ใช้อุ่นในปัจจุบัน และค่าครรชนีอาจจะเป็นก้าวแรกของการพัฒนามาตรฐาน  
การออกแบบในประเทศไทย โคนีเชีย

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  $\gamma_M = 1.5$  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  $\alpha$  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 first step in developing the performance-based design code in Indonesia.

Department: Civil Engineering

Student's signature: .....

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's signature: .....

Academic Year: 2007

## 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 $\gamma_M$ 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 $\gamma_M$ for Case of Indonesia .....	86

4.3	Global Partial Safety Factor $\gamma_M$ for Performance of Strength .....	91
4.4	Global Partial Safety Factor $\gamma_M$ for Performance of Serviceability... <td>92</td>	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 $\gamma$ - 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 <sup>1</sup> [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 $\eta$ value .....	87
Table 4.3	Values of $\mu_{fct}$ , $V_{fct}$ and $\lambda'_{fct}$ .....	88
Table 4.4	Value of $V_a$ for case of Indonesia .....	89
Table 4.5	Global partial safety factor $\gamma_M$ for strength for case of Indonesia.....	91
Table 4.6	Reduction factor for member strength.....	92
Table 4.7	Global partial factor $\gamma_M$ 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 ( $c_0$ ) [15] .....	95
Table 4.10	Cover factor $\alpha$ 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 $\gamma_M$ for concrete compressive strength with $\nu = 2$ and $\beta = 4.0$ ....	97