การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงมากโดยใช้ซีเมนต์

นาย พุทธิพงศ์ หะลีห์รัตนวัฒนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6381-6

DEVELOPMENT OF CEMENT-BASED ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE

Mr. Putthipong Haleerattanawattana

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6381-6

Thesis Title	Development of Cement-Based Ultra-High Strength Concrete
By	Mr. Putthipong Haleerattanawattana
Field of Study	Civil Engineering
Thesis Advisor	Professor Ekasit Limsuwan, Ph.D.

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

..... Dean of the Faculty of Engineering

(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

..... Chairman

(Professor Thaksin Thepchatri, Ph.D.)

..... Thesis Advisor

(Professor Ekasit Limsuwan, Ph.D.)

..... Member

(Professor Somnuk Tangtermsirikul, D.Eng.)

..... Member

(Associate Professor Boonchai Stitmannaithum, D.Eng)

..... Member

(Associate Professor Teerapong Senjuntichat, Ph.D.)

4171808721 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORDS : ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE / MIX PROPORTIONING / COMPRESSIVE STRENGTH / MICRO-STRUCTURAL MODEL / CEMENT-BASED

PUTTHIPONG HALEERATTANAWATTANA : DEVELOPMENT OF CEMENT-BASED ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE, THESIS ADVISOR : PROF. EKASIT LIMSUWAN, Ph.D., 171 pp., ISBN 974-17-6381-6.

The utilization of high strength concrete in the modern construction has lead to the remarkable benefits in duration and economics. Toward the workability to assure its strength and performance, the production of concrete with compressive strength greater than 150 MPa is still challenging. The primary objective of this research is to produce such an ultra-high strength concrete by using the commonly-used concrete making materials with the conventional practice.

The compressive behavior of concrete is firstly simulated by finite element analysis of triangular basic element. Aggregate particles are randomly generated in bulk matrix with interface. The constitutive relations of each phase are described by using smeared crack concept, on the basis of fictitious crack model. The principal properties of each material component significantly govern the concrete properties and performance. The internal structure of each concrete ingredient, i.e., cement, pozzolanic materials, as well as fine and coarse aggregate, would then be investigated physically, chemically and/or mechanically. The appropriate mix proportion for ultra-high strength concrete is determined by minimizing porosity to obtain the highest strength of proper flow for workable. To obtain this, the optimum water/cement ratio, the suitable addition of pozzolanic materials, and the selection of well-distributed high-strength aggregate are found as the keys. Strength-based gradation, which is also developed in this research, is considered as an influential indicator to qualify the potential coarse aggregate on packing intensity and load-carrying capacity.

The eight-step mix design procedure for ultra-high strength concrete is presented. The compressive strength of concrete is calculated by multiplying cement paste compressive strength, which is a function of water/cement ratio, by the coefficients associated with the existence of aggregate and pozzolans. Flowability of the mix is facilitated by using free water concept. With this procedure, a concrete with compressive strength up to 188.30 MPa at 28 days and 203.48 MPa at 91 days can be produced.

Department Civil Engineering Student's signature

Field of study Civil Engineering Advisor's signature

Academic year 2004

พุทธิพงศ์ หะลีห์รัตนวัฒนา : การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงมากโดยใช้ซีเมนต์. (DEVELOPMENT OF CEMENT-BASED ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 171 หน้า. ISBN 974-17-6381-6.

การใช้คอนกรีตกำลังสูงก่อให้เกิดผลดีอย่างมากในการก่อสร้างสมัยใหม่ ทั้งในเรื่องของระยะเวลาการก่อสร้างและค่าใช้จ่าย การผลิตคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงเกินกว่า 150 เมกะปาสคาลที่มีความสามารถในการทำงานได้ดี และสามารถประกันคุณภาพได้ยังคงเป็นเรื่องที่ท้าทาย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์หลักในการออกแบบส่วนผสมสำหรับคอนกรีตกำลังสูงมาก โดยใช้วัสดุผสมคอนกรีตที่หาได้ทั่วไปและวิธีการทำงานที่ใช้อยู่ตามปรกติ

ความเป็นไปได้ของการผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากนี้ได้ทำการศึกษาโดยการจำลองพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้างภายในคอนกรีตด้วยวิธีวิเคราะห์แบบไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Analysis) โดยกำหนดชิ้นส่วนพื้นฐานเป็นรูปสามเหลี่ยม อนุภาคของมวลรวมถูกวางแบบสุ่มในวัสดุประสานโดยมีผิวสัมผัส ภายใต้หลักการของรอยร้าวจำลอง (Fictitious Crack) และการกระจายรอยร้าวทั้งชิ้นส่วน (Smeared Crack) ในการอธิบายพฤติกรรมการรับแรงของชิ้นส่วนวัสดุ ซึ่งสามารถระบุคุณสมบัติพื้นฐานของส่วนประกอบของคอนกรีตเพื่อให้ได้สมรรถนะตามต้องการ จากนั้น ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ ของคอนกรีต อันได้แก่ ซีเมนต์ วัสดุปอซโซลาน มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ ทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และ/หรือ ทางกล ส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงมากจะพิจารณาจากหลักการปริมาณช่องว่างน้อยที่สุด เพื่อที่จะก่อให้เกิดกำลังรับแรงที่สูงที่สุด โดยมีการไหลอย่างเพียงพอ ซึ่งการใช้วัสดุปอซโซลานในปริมาณที่เหมาะสม และการคัดเลือกมวลรวมที่มีขนาดคละและความสามารถในการรับแรงที่ดีจะเป็นกุญแจสำคัญ ดัชนีขนาดคละเชิงกำลัง (Strength-Based Gradation Index) ซึ่งได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยชิ้นนี้ สามารถบ่งบอกศักยภาพของมวลรวมหยาบในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงมากได้อย่างดีทั้งในเรื่องของความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวและกำลังรับแรง

งานวิจัยนี้ยังได้เสนอ 8 ขั้นตอนการออกแบบคอนกรีตกำลังสูงมาก โดยกำลังรับแรงคอนกรีตสามารถคำนวณได้จากการคูณกำลังรับแรงของซีเมนต์เพสต์กับสัมประสิทธิ์เนื่องจากมวลรวมและวัสดุปอซโซลาน โดยที่กำลังรับแรงของซีเมนต์เพสต์นี้เป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หลักการน้ำอิสระได้นำมาใช้ในการปรับแก้การไหลของคอนกรีต จากวิธีการออกแบบที่นำเสนอนี้สามารถผลิตคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงได้ถึง 188.30 เมกะปาลคาลที่อายุ 28 วัน และ 203.48 เมกะปาสคาลที่อายุ 91 วัน

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2547

ACKNOWLEDGEMENTS

No written words can express the continuous support, enduring patience and tremendous sacrifice of his mother and family. The author would like to dedicate this dissertation to them.

To Prof. Dr. Ekasit Limsuwan, his advisor, the author wishes to express his profound gratitude for the valuable guidance and understanding throughout the study at Chulalongkorn University. The special gratitude of continuous advise and support from the dissertation committee members, i.e., Prof. Dr. Thaksin Thepchatri, Assoc. Prof. Dr Boonchai Stitmannaithum, Assoc. Prof. Dr. Teerapong enjuntichat, and especially Prof. Dr. Somnuk Tangtermsirikul from Sirindhorn International Institute of Technology (SIIT), is also recognized.

The author extends his deep appreciation to Dr. Kridayuth Chompooming from Thammasat University for accessibility and useful instruction of finite element analysis program of ANSYS. Further, the cordial hospitality and worthwhile counseling of Prof. Dr. Walter Lukas and Dr. Adreas Saxer during six-month visit in the Institute of Building Materials and Building Physics, Innsbruck University, Austria, is admired.

The author also extends his deep appreciation to all teachers who have shed light on the different angles of his studies. The author is extremely grateful to the laboratory supervisors and staffs of the Concrete and Materials Testing Laboratory, the Metallurgy and Materials Science Research, and the Scientific and Technology Research Equipment Centre, Chulalongkorn University, as well as the Laboratory of Geological Engineering, Department of Highway, for their unfailing cooperation and kind assistance throughout the experiments. Appraisals are also addressed to Siam Cement Group, W.R. Grace (Thailand) Ltd., Sika (Thailand) Ltd., and those quarries for providing useful materials.

To his friends, the author would like to give thanks for their support and help throughout the study period. Finally, this study would have never been possible without financial support from the Royal Golden Jubilee Ph.D. Program, Thailand Research Fund (TRF).

The last word would be expressed to Miss On-anong Larpparisudthi, his ambition.

TABLE OF CONTENTS

Page

LIST OF TABLES

Table Page

Table Page

LIST OF FIGURES

Figure Page

Figure Page

Figure Page