Ain Shams University
Faculty of Science
Chemistry Department

"STUDIES ON SOME CONCRETE INGREDIENTS APPROPRIATE FOR UTILIZATION IN THE CONSTRUCTION OF ELECTRO-NUCLEAR POWER PLANTS"

A Thesis Presented By

Ahmed Sayed Kamel Ouda

M.Sc. (Inorganic Chemistry)

For

The fulfillment of the Degree of Ph.D. in Chemistry

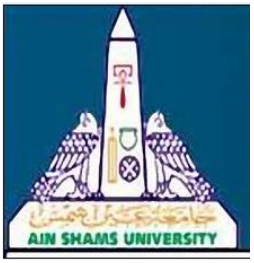
Submitted to

Chemistry Department

Faculty of Science

Ain Shams University

2013



Ain Shams University
Faculty of Science
Chemistry Department

"STUDIES ON SOME CONCRETE INGREDIENTS APPROPRIATE FOR UTILIZATION IN THE CONSTRUCTION OF ELECTRO-NUCLEAR POWER PLANTS"

A Thesis

"Submitted For the Degree of Ph.D of Science As a Partial Fulfillment for Requirements of the Ph.D of Science"

Presented By

Ahmed Sayed Kamel Ouda

Under Supervision of

Prof. Dr. Salah Abdel- Ghani Abo- El-Enein (D.Sc.).....
Professor of Physical Chemistry and Building Materials, Faculty of Science- Ain Shams University.

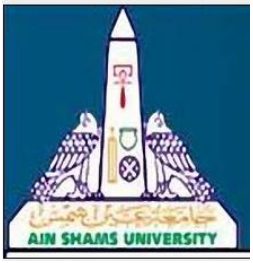
Prof. Dr. Hamdy Abdel- Aziz El- Sayed .....
Professor of Concrete Chemistry and Building Materials- Housing and Building National Research Center (HBNRC).

Prof. Dr. Ali Hassan Ali Ahmed .....
Professor of Concrete Chemistry and Building Materials- Housing and Building National Research Center (HBNRC).

Dr. Yasser Tawfik Mohammed .....
Assoc. Professor of Radioactive Waste Processing - Hot Laboratories Center, Atomic Energy Authority.

Dr. Hisham Mostafa Khater .....
Researcher of Cement Chemistry and Building Materials- Housing and Building National Research Center (HBNRC).

2013



جامعة عين شمس
كلية العلوم
قسم الكيمياء

"دراسات على بعض مكونات الخرسانة الملائمة للإستخدام في إقامة محطات الطاقة الكهرونووية"

رسالة مقدمه من

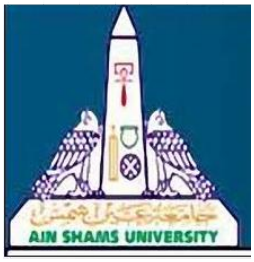
أحمد سيد كامل عوده
ماجيستير العلوم (كيمياء غيرعضويه)

للحصول على درجة دكتوراه الفلسفة في العلوم (كيمياء)

مقدمه إلى

قسم الكيمياء
كلية العلوم
جامعة عين شمس

2013



جامعة عين شمس
كلية العلوم
قسم الكيمياء

"دراسات على بعض مكونات الخرسانة الملائمة للإستخدام في إقامة محطات الطاقة الكهرونووية"

"رسالة مقدمة للحصول على درجة دكتوراه الفلسفة في العلوم كجزء مكمل لمتطلبات رسالة الدكتوراه بكلية العلوم"

"كيمياء"

رسالة مقدمه من

أحمد سيد كامل عوده

تحت إشراف

أ.د./ صلاح عبد الغني أبو العينين
أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء - كلية العلوم - قسم الكيمياء - جامعة عين شمس.
أ.د./ حمدي عبد العزيز السيد
أستاذ كيمياء الخرسانة ومواد البناء - المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء.
أ.د./ علي حسن علي أحمد
أستاذ كيمياء الخرسانة ومواد البناء - المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء.
أ.م.د./ ياسر توفيق محمد
أستاذ مساعد معالجة النفايات المشعة - مركز المعامل الحارة - هيئة الطاقة الذريه.
د./ هشام مصطفى خاطر
باحث كيمياء الأسمنت ومواد البناء - المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء.

2013

كلية العلوم / قسم الكيمياء

إسم الطالب : أحمد سيد كامل عوده

الدرجة العلمية : دكتوراه في الفلسفة في الكيمياء الغيرعضويه

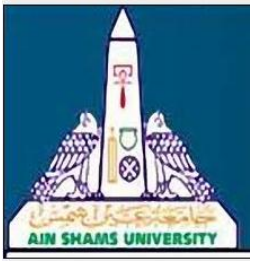
القسم التابع له : قسم الكيمياء

إسم الكلية : كلية العلوم

الجامعة : جامعة عين شمس

سنة التخرج : 2004

سنة المنح : 2013



كلية العلوم

قسم الدراسات العليا والبحوث

رسالة دكتوراه في الكيمياء الغيرعضويه

إسم الطالب : أحمد سيد كامل عوده

عنوان الرسالة : "دراسات على بعض مكونات الخرسانة الملائمة للإستخدام في إقامة محطات الطاقة الكهرنووية"

الدرجة العلمية : دكتوراه الفلسفة في الكيمياء الغيرعضويه

لجنة الإشراف :

1- أ.د. **صلاح عبد الغني أبو العينين**	كلية العلوم – جامعة عين شمس.
2- أ.د. **حمدي عبد العزيز السيد**	المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء.
3- أ.د. **علي حسن علي أحمد**	المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء.
4- أ.م.د. **ياسر توفيق محمد**	مركز المعامل الحارة – هيئة الطاقة الذريه.
5- د.هشام مصطفى خاطر	المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء.

لجنة الحكم :

أ.د. محمود أحمد محمد موسى	كلية العلوم – جامعة بنها.
أ.د. إسماعيل عبد الرحمن عبد الرحيم عياد	معهد بحوث البترول.
أ.د. صلاح عبد الغني أبو العينين	كلية العلوم – جامعة عين شمس.
أ.د. حمدي عبد العزيز السيد	المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء.

الدراسات العليا

أجيزت الرسالة بتاريخ	/ / 2013
موافقة مجلس الكلية	/ / 2013
موافقة مجلس الجامعة	/ / 2013

APPROVAL SHEET

"Studies on Some Concrete Ingredients Appropriate for Utilization in the Construction of Electro-nuclear Power Plants"

By

Ahmed Sayed Kamel Ouda

Thesis Advisors Approval

Prof. Dr. Salah Abdel Ghani Abo El- Enein

Prof. Dr. Hamdy Abdel- Aziz El- Sayed

Prof. Dr. Ali Hassan Ali Ahmed

Assoc. Prof. Dr. Yasser Tawfik Mohammed

Dr. Hisham Mostafa Khater

Head of the Chemistry Department

Prof. Dr. Hesham Ahmed Madian

كلمة شكر

يود الباحث أن يعرب عن عميق إمتنانه وتقديره لسيادة الأستاذ الدكتور/ **صلاح عبد الغني أبو العينين** – أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء – كلية العلوم – جامعة عين شمس على مابذله من جهد وعطاء خلال فترة الإشراف على الرسالة من التوجيهات المستمرة والدعم للباحث وكذلك إسهامه الكبير في تفسير وكتابة ومراجعة النتائج.

يود الباحث أن يعرب عن أطيب تمنياته القلبية وخالص تقديره لسيادة الأستاذ الدكتور/ **حمدي عبد العزيز السيد** – أستاذ كيمياء الخرسانة ومواد البناء – المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء ، الذي ضحى بوقته وجهده من أجل إنجاز هذا العمل خلال فترة الإشراف على الرسالة. أيضا لإقتراح سيادته لموضوع البحث وتوجيهاته المستمرة وإسهامه بشكل كبير في تفسير وكتابة ومراجعة النتائج.

كما يود الباحث أن يعرب عن تقديره العميق والصادق لسيادة الأستاذ الدكتور/ **على حسن على أحمد** – أستاذ كيمياء الخرسانة ومواد البناء – المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء لمساعدته القيمة وتوجيهاته المستمرة ودعمه للباحث خلال فترة الإشراف على الرسالة.

يتقدم الباحث بخالص الشكر والتقدير للدكتور/ **ياسر توفيق محمد** – أستاذ مساعد معالجة النفايات المشعة – مركز المعامل الحارة – هيئة الطاقة الذرية لتشجيعه ودعمه المستمر للباحث خلال فترة الإشراف على الرسالة.

كمـا يتقـدم الباحـث أيضـا بجزيـل الشـكر والتقـدير للـدكتور/ **هشـام مصـطفى خـاطر** – باحـث كيميـاء الأسـمنت ومـواد البنـاء - المركـز القـومي لبحـوث الإسـكان والبنـاء علـى إسـهامه الكبيـر فـي مراجعـة النتـائج وتوجيهاته المستمرة ودعمه للباحث خلال فترة الإشراف على الرسالة.

أخيـرا ، يتقـدم الباحـث بخـالص الشـكر العميـق والتقـدير لكـل أعضـاء هيئـة البحـوث بمعهـد بحـوث الخامـات وتكنولوجيـا صـناعة مـواد البنـاء - المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء.

CONTENTS

CHAPTER I Page

1.1. INTRODUCTION 1

1.2. LITERATURE REVIEW..... 6

1.2.1. Application of High Performance Concrete in the Construction of Nuclear Power Plants 6

1.2.1.1. Cement 8

1.2.1.2. Types of Supplementary Cementing Materials 8

- Silica fume (SF) 9
- Fly ash (FA) 9
- Granulated ground blast furnace slag (GGBFS) 9

1.2.2. Heavy Weight Concrete as a Radiation Shield in Nuclear Power Plants 14

1.2.3. Degradation Factors Affecting the Durability of Concrete in Power Plants 19

1.2.3.1. Radiation exposure effects 19

1.2.3.1.1. Effect of neutron-radiation doses on the properties of concrete ... 25

1.2.3.1.2. Effect of gamma-radiation doses on the properties of concrete ... 27

1.2.3.2. Heat exposure effects 30

1.2.3.2.1. Damage mechanisms of concrete under high temperatures 30

1.2.3.2.1.1. Phase transformations in cement pastes 31

1.2.3.2.1.2. Phase transformations in aggregates 32
1.2.3.2.1.3. Thermal incompatibility between cement paste and aggregate 32
1.2.3.3. Aggressive effect of sea water 37
1.2.3.4. Corrosion of steel reinforcement in concrete 44
1.2.3.4.1. Corrosion mechanism of steel reinforcement in concrete 45
1.2.3.4.1.1. Principles of the corrosion process 45
1.2.3.4.1.2. Passivity and corrosion prevention of steel reinforcement 47
1.3. Object of Investigation 49

CHAPTER II

MATERIALS AND METHODS OF INVESIGATION 50
2.1. Preparation of Blended Cement Pastes 50
2.1.1. Materials 50
2.1.2. Preparation of mixes 52
2.2. Preparation of Concrete Mixes 54
2.2.1. Materials 54
2.2.2. Preparation of mixes 62
2.2.3. Mix proportions 65
2.3. Methods of Investigation 66
2.3.1. Stopping of hydration 66
2.3.2. Compressive strength measurements 67
2.3.3. Density of concrete 68
2.3.4. X-Ray fluorescence technique (XRF) 68
2.3.5. X-Ray diffraction technique (XRD) 69

2.3.6. Scanning electron microscopy (SEM) 69
2.4. Testing the Factors Affecting the Durability of Concrete 70
2.4.1. Radiation exposure effects 70
2.4.2. Heat exposure effects 74
2.4.2.1. Mass loss measurements 75
2.4.2.2. Total porosity 75
2.4.3. Sea water exposure effects 76
2.4.4. Testing the corrosion of reinforcing steel in concrete 77
2.4.4.1. Preparation of reinforcing steel before casting 77
2.4.4.2. Preparation of steel in concrete electrodes 77
2.4.4.3. Electrochemical measurements 78
2.4.4.3.1. Open circuit potential measurements (OCP) 78
2.4.4.3.2. Galvanostatic anodic polarization measurements (GAP) 79

CHAPTER III

RESULTS AND DISCUSSION 82
3.1. Designing Heavy High Performance Concrete for Electro-Nuclear Power Plant Construction 89
3.1.1. Determination of the optimum ratios of pozzolanic materials to be used with the ordinary Portland cement 90
3.1.1.1. Compressive strength of hardened cement pastes 90
3.1.1.2. Utilization of pozzolanic materials as additives to the cement pastes 104
3.2. Concrete Mix Design for Utilization in Nuclear Power Plants 110
3.3. Properties of Hardened Concrete Mixes 111

3.3.1. Physical properties …….. 111
3.3.2. Mechanical properties ……. 113
3.3.3. Substitution of sand in the concrete mix by the aggregate's fine portions …….. 124
3.4. Environmental Factors Affecting the Durability of Nuclear Power Plant Concrete …….. 127
3.4.1. Radiation exposure effect on concrete …… 128
3.4.1.1. Effectiveness of boron compounds on radiation shielding …….. 128
3.4.1.1.1. Setting time …… 130
3.4.1.1.2. Compressive strength ……… 131
3.4.1.2. Effect of high performance heavy concrete on the attenuation of gamma rays …… 135
3.4.1.3. Effect of high performance heavy concrete on the attenuation of neutrons …….. 142
3.4.2. Effect of temperature on the aging of concrete …….. 146
3.4.2.1. Mass loss measurements …….. 146
3.4.2.2. Visual inspection ……. 148
3.4.2.3. Total porosity ……... 152
3.4.2.4. Residual compressive strength …….. 154
3.4.2.5. XRD studies …… 158
3.4.2.6. SEM investigation …… 166
3.4.3. Effect of sea water on the aging of concrete …… 176
3.4.3.1. Effect of sea water on the compressive strength of HPC …… 178

3.4.3.2. XRD studies 184
3.4.3.3. SEM investigation 191
3.4.4. Corrosion of reinforcing steel in concrete 203

CHAPTER IV

SUMMARY AND CONCLUSIONS 219
4.1. Summary 219
4.2. Conclusions 224
REFERENCES 228
ARABIC SUMMARY

LIST OF TABLES

Page

Table (1.1): Composition and relative density (specific gravity) of aggregates used for radiation shielding concrete …… 16

Table (1.2): Deterioration of concrete by sea water …… 43

Table (2.1): Chemical composition of starting materials, (wt., %) …….. 51

Table (2.2): Mix proportions of blended cements, (%) …… 54

Table (2.3): Physical and mechanical properties of coarse aggregates and its fine portions ……. 61

Table (2.4): Chemical composition of coarse and fine aggregates ……..… 62

Table (2.5): Mix composition of concrete, (wt., %) …… 66

Table (2.6): Chemical analysis of reinforcing steel, (%) ……. 80

Table (2.7): Chemical analysis of sea water, (ppm) …… 80

Table (3.1): Chemical analyses of sea water, ground water and domestic water at Dabaa area relative to domestic water at Cairo ……. 87

Table (3.2): Chemical analysis of soil samples at Dabaa area ……. 87

Table (3.3): Compressive strength of the blended cement pastes containing various proportions of blast- furnace slag cured in tap water up to 90 days ……. 93

Table (3.4): Compressive strength of the blended cement pastes containing various proportions of fly ash cured in tap water up to 90 days 97

Table (3.5): Compressive strength of the blended cement pastes containing 101