กำเนิดของแหล่งแร่เกลือระเหยในหินชุดมหาสารคาม

บริเวณบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ

นายสมชัย อยู่เมือง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๖

ISBN 974-562-021-1

007667

i 1770016A

ON THE ORIGIN OF EVAPORITE DEPOSITS IN THE MAHA SARAKHAM FORMATION IN BAMNET NARONG AREA, CHANGWAT CHAIYAPHUM

Mr. Sombat Yumuang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degrees of Master of Science

Department of Geology

Graduate School

Chulalongkorn University

1983

Thesis Title	On the Origin of Evaporite Deposits in the Maha Sarakham Formation in Bamnet Narong Area, Changwat Chaiyaphum.
By	Mr. Sombat Yumuang
Department	Geology
Thesis Advisor	Assistant Professor Chaiyudh Khantaprab, Ph.D.
	Mrs. Malatee Taiyaqupt, M.Sc.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in partial fullfillment of the requirements for the Master's degree.

..... Dean of Graduate School

(Associate Professor Supradit Bunnag, Ph.D.)

Thesis Committee

..... Chairman

(Nopadon Muangnoicharoen, Ph.D.)

..... Member

(Thawat Japakasetr, M.A.)

..... Member

(Assistant Professor Charn Tantisukrit, M.Sc.)

..... Member

(Assistant Professor Chaiyudh Khantaprab, Ph.D.)

..... Member

(Malatee Taiyaqupt, M.Sc.)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ กำเนิดของแหล่งแร่เกลือระเหยในหินชุดมหาสารคาม บริเวณบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ

ชื่อนิสิต นายสมบัติ อยู่เมือง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ ชันทปราบ

อาจารย์ มาละตี ทัยคุปต์

ภาควิชา ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา ๒๕๒๕

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การศึกษาและวิจัยมีเป้าหมายที่จะใช้ข้อมูลจากหลุมเจาะจำนวน ๖๕ หลุม ประกอบกับรายละเอียดที่ได้จากการศึกษาและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อประมวลสรุปสภาพธรณีวิทยาใต้พื้นดินนับจากผิวดินลงไปถึงระดับความลึก ๖๐-๔๖๕ เมตร ของหินชุดมหาสารคามในบริเวณบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ จากรายละเอียดดังกล่าว ทำให้สามารถสร้างรูปแบบจำลองของการตกตะกอนของแหล่งแร่เกลือระเหยและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังการสะสมตัวของแร่เกลือระเหยเหล่านี้ได้

การเรียงลำดับชั้นหินใต้พื้นดินของหินชุดมหาสารคามของหมู่หินโคราชที่มีความสมบูรณ์ต่อเนื่องในพื้นที่ที่ทำการศึกษานี้ สามารถจำแนกออกเป็นหน่วยหินย่อยได้ ๕ หน่วยหิน คือ เกลือชั้นฐาน ตะกอนตกจมเนื้อเดิมชั้นล่าง เกลือชั้นกลาง ตะกอนตกจมเนื้อเดิมชั้นกลาง และเกลือชั้นบน เป็นที่น่าสังเกตว่าลำดับชั้นของแร่เกลือระเหยชนิดต่าง ๆ ที่เกือบจะครบถ้วนสมบูรณ์ปรากฏเฉพาะในหน่วยหินของเกลือชั้นฐานเท่านั้น สำหรับการเรียงลำดับชั้นหินใต้พื้นดินที่ไม่สมบูรณ์ครบถ้วนของหินชุดมหาสารคามในบริเวณที่มีโครงสร้างของชั้นเกลือเป็นชั้นหินโค้งรูปประทุน ประกอบไปด้วยหน่วยหินดังนี้คือ หน่วยหินเกลือชั้นฐานที่มีการเรียงตัวไม่สมบูรณ์ และหน่วยหินตะกอนตกจมเนื้อเดิมชั้นบนสุด นอกจากนี้ชั้นหินที่มีความสมบูรณ์ต่อเนื่องมีการเปลี่ยนแปลงหลังการสะสมตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้นจึงสามารถจะนำไปชี้บ่งลำดับการตกตะกอนสะสมตัวได้ ในทางกลับกันชั้นหินที่ไม่สมบูรณ์ครบถ้วนจะชี้บ่งว่าได้ผ่านขบวนการเปลี่ยนแปลงหลังการสะสมตัวแล้ว ดังนั้น เฟซีส์ของตะกอนของหินชุดมหาสารคามซึ่งมีแร่เกลือระเหยเกิดร่วมสามารถจำแนกออกได้เป็น ๒ ประเภท คือ เฟซีส์ของตะกอนดั้งเดิมและเฟซีส์ที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงหลังการสะสมตัวตามลำดับ

สำหรับเฟซีส์ของการตกตะกอนตั้งเดิมของหินชุดมหาสารคามซึ่งมีแร่เกลือระเหยเกิดร่วมนั้นประกอบขึ้นด้วยวัฏจักรของตะกอน ๓ วัฏจักร ซึ่งสามารถจะให้นิยามได้ในรูปแบบของเฟซีส์แร่เกลือระเหย จากประจักษ์พยานที่ปรากฏคือ เฟซีส์ของแร่เกลือระเหยของวัฏจักรตะกอนทั้งสามชี้บ่งว่าเป็นตะกอนปฐมภูมิของแหล่งแร่เกลือระเหยจากน้ำทะเลโดยตลอด ดังนั้นการตีความเพื่อสร้างรูปแบบจำลองของสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวและสภาพความเค็มของน้ำทะเลในอดีตสามารถกระทำได้บนพื้นฐานของเฟซีส์ย่อยของแร่เกลือระเหยที่ปรากฏเรียงตัวเป็นชุดอย่างต่อเนื่อง สภาพของแอ่งสะสมตัวในระยะเริ่มแรกมีลักษณะเป็นทะเลตื้นที่มีค่าความลาดชันของพื้นผิวของการตกตะกอนค่อนข้างต่ำ ตะกอนใต้ทะเลตื้นในช่วงเวลาที่ทะเลรุกตัวเข้ามามีลักษณะเป็นตะกอนที่กำเนิดจากพื้นทวีป ภายหลังจากนั้นสภาพแวดล้อมของการตกตะกอนได้ค่อย ๆ เปลี่ยนจากทะเลเปิดเป็นทะเลที่ถูกปิดล้อมภายใต้อิทธิพลของสันดอนขอบแอ่งนอกพื้นที่ที่ทำการศึกษา ผลที่ตามมาก็คือค่าความเค็มของน้ำทะเลในบริเวณแอ่งสะสมตัวจะสูงขึ้น ทั้งนี้พิจารณาได้จากการเรียงลำดับชั้นของเฟซีส์ย่อยของแร่เกลือระเหยชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ได้มีการพิจารณาถึงอิทธิพลของการรุกตัวเข้ามาของน้ำทะเล และการถอยตัวของทะเลที่เกิดขึ้นในบริเวณแอ่งสะสมตัวเป็นการเพิ่มเติมอีกด้วย

การเปลี่ยนแปลงหลังการสะสมตัวสามารถจำแนกออกได้เป็น ๒ ประเภท คือ การเสียรูปร่างทางด้านโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี เฟซีส์แร่เกลือระเหยบางส่วนได้แสดงการเสียรูปทางด้านโครงสร้างไว้ ซึ่งขบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้อาจจะเป็นผลมาจากน้ำหนักที่กดทับของตะกอนชั้นที่วางตัวทับอยู่ข้างบนแตกต่างกันและคุณสมบัติของการเป็นสารพลาสติกที่สูงของลำดับชั้นเกลือแร่ระเหย หรือผลกระทบจากขบวนการเทคโทนิคส์ในภูมิภาคนี้หรืออาจจะเป็นผลจากทั้งสองประการดังกล่าวรวมกัน และเมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังจากการสะสมตัวนั้นน้ำบาดาลมีผลอย่างมากต่อขบวนการเปลี่ยนแปลงของแร่คาร์เดส์ไนท์เป็นแร่ซิลไวท์โดยวิธีการเปลี่ยนแปลงอินคอนกรูเอนท์ นอกจากนั้นการเกิดของแร่แอนไฮไดรท์ที่ปิดทับอยู่ในบริเวณชั้นหินโค้งรูปประทุนเป็นผลจากส่วนที่เหลือตกค้างมาสะสมรวมตัวกันหลังจากชั้นของแร่เกลือหินและแร่แอนไฮไดรท์ได้ถูกละลายออกไปโดยน้ำบาดาล

ในที่สุดการตีความเพื่อสร้างรูปแบบจำลองของการตกตะกอนภายใต้สภาวะที่เปลี่ยนแปลงและการเปลี่ยนแปลงหลังการสะสมตัวก็ได้รับการสังเคราะห์ขึ้น และนำเสนอเพื่ออธิบายแหล่งแร่เกลือระเหยจากน้ำทะเลในหินชุดมหาสารคามในบริเวณบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ.

Thesis Title On the Origin of Evaporite Deposits in the Maha Sarakham Formation in Bamnet Narong Area, Changwat Chaiyaphum.

Name Mr. Sombat Yumuang

Thesis Advisor Assistant Professor Chaiyudh Khantaprab, Ph.D.

Mrs. Malatee Taiyaqupt, M.Sc.

Department Geology

Academic Year 1982

ABSTRACT

The present investigation aims at utilizing the existing 65 drill-hole information coupled with detailed laboratory data to synthesize the sub-surface geology of the Maha Sarakham Formation in Bamnet Narong Area, Changwat Chaiyaphum from the ground surface down to the depth range of 60-465 meters. Consequently, the depositional model of evaporite formation as well as the post-depositional changes have been reconstructed and presented.

The sub-surface lithostratigraphy of the complete sequences of the Maha Sarakham Formation of the Khorat Group in the study area can be subdivided into five members, namely, Basal Salt, Lower Clastics, Middle Salt, Middle Clastics, and Upper Salt. It is noted that almost complete evaporitic sequences are present only in the Basal Salt Member. With regard to the sub-surface lithostratigraphy of the incomplete sequences of the Maha Sarakham Formation in the salt anticline areas, it consists mainly of Basal Salt Member with incomplete evaporitic sequences, and the uppermost Clastics Members. Besides, the complete sequences represent the depositional sequences with only slightly recognizable post-depositional changes.

In contrast, the incomplete sequences have undergone post-depositional changes up to a certain degree. Therefore, the sedimentary facies of the evaporite-bearing Maha Sarakham Formation can be categorized into two types : depositional facies and disturbed facies, respectively.

For the depositional facies of the evaporite-bearing Maha Sarakham Formation, three sedimentary cycles have been recognized and defined in terms of evaporitic facies. Due to the fact that the evaporitic facies of the three sedimentary cycles are essentially the primary precipitates of marine evaporites in almost all parts, the reconstruction of depositional environment and paleosalinity can, therefore, be made on the basis of successions of evaporitic sub-facies present. The nature and characteristics of the depositional basin is a shallow epeiric sea with gentle sloping depositional surface. Originally, the sediment substrate of the shallow epeiric sea during the initial marine transgression period was mainly terrigenous clastic type. Then the condition of the depositional environment had changed from the open marine to the restricted marine under the influences of threshold depths of the basin elsewhere outside the study area. Subsequently, the brine concentration mechanism as well as the paleosalinity have been essentially reconstructed from the successive evaporitic sub-facies concerned. Besides, the influences of marine transgression and regression in the depositional basin have been accordingly proposed.

Two aspects of post-depositional changes, notably, structural deformation, and chemical alterations have been recognized. Some parts of the evaporitic facies had been structurally deformed. The mechanism which caused this deformation of salts might be either the differential loading of the overlying sediments and the high plasticity

of the evaporitic sequences or regional tectonic disturbances or the combination of both. Considering the post-depositional chemical alterations, the groundwater has been mainly responsible for the mechanism of transforming of carnallite to sylvite through the process of incongruent alteration. Besides, the formation of the cap anhydrite in the anticline areas was resulted of a residual accumulation after leaching of halite/anhydrite layers by the groundwater.

Finally, the reconstruction of the dynamic depositional models and the post-depositional changes has been synthesized and proposed to explain the marine evaporite deposits in the Maha Sarakham Formation of Bamnet Narong Area, Changwat Chaiyaphum.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his deep sincere gratitude and appreciation to his thesis advisors, Assistant Professor Dr. Chaiyudh Khantaprab and Archan Malatee Taiyaqupt for their valuable advise, critical suggestion and encouragement during the course of this study.

Special recognition and thanks are due to Mr. Thawat Japakasetr, the Director of the Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, for his kind assistance and collaboration particularly regarding the supply of material and information as well as valuable counsel and guidance. Thanks are also due to Mr. Pakorn Suwanich and Mr. Phitaks Ratanajaruraks for their assistance and valuable suggestion during the field investigation programme.

Sincere thanks are extended to Mr. Robert J. Hite of the U.S. Geological Survey for the fruitful discussion and suggestion. Thanks are also due to Archan Somchai Sriisraporn for his assistance in developing the package programme of profile and matrix correlation using the HP-85 microcomputer. The author is greatful to Dr. Nopadon Muangnoicharoen, the Head of the Department of Geology, Chulalongkorn University, and Assistant Professor Pongsak Phongprayoon for their available discussion and suggestion, as well as some references in this study. It is not possible to acknowledge adequately the cooperation and assistance of those persons who have contributed to this thesis. The author wishes to express personally to each of them his deep gratitude.

Acknowledgement is also extended to Mrs. Samrong Pisaiphan who helpfully provided the final touch to this work for typing of the thesis.

Finally, the author wishes to express his sincere gratitude to the Department of Geology, the Graduate School of Chulalongkorn University and the Chulalongkorn University Amoco Fund for facilitating and the financing the investigation programme and the thesis preparation.

CONTENTS

page

ABSTRACT IN THAI iv

ABSTRACT IN ENGLISH vi

ACKNOWLEDGEMENTS ix

LIST OF TABLES xiv

LIST OF FIGURES AND PLATES xv

CHAPTER I : INTRODUCTION 1

1.1 General 1

1.2 Study area 3

1.2.1 Geographic location 3

1.2.2 Distribution of drilling wells 3

1.3 Objectives 6

1.4 Approach to the study and methodology 6

1.4.1 Literature survey 6

1.4.2 Field investigation 7

1.4.3 Date acquisition, compilation, and analysis 7

1.4.4 Evaluation and interpretation 9

1.5 Background theories of the evaporite deposits 10

1.5.1 Environmental classification of evaporites 11

1.5.2 Deposition of evaporites 12

1.6 Previous investigations 19

CHAPTER II : GEOLOGY AND LITHOSTRATIGRAPHY 26

2.1 Geology of the study area 26

2.1.1 Regional geology and stratigraphy of Khorat Plateau 26

page

2.1.2 Geology of the study area 30

2.2 Lithostratigraphy 32

2.2.1 Basal Salt Member 40

2.2.2 Lower Clastics Member 52

2.2.3 Middle Salt Member 52

2.2.4 Middle Clastics Member 58

2.2.5 Upper Salt Member 59

2.2.6 Upper Clastics Member 60

2.2.7 Alluvium Member 60

CHAPTER III : MINERALOGY AND PETROGRAPHY 62

3.1 General 62

3.2 Basal Salt Member 63

3.2.1 Ferrugenous Sandstone Bed 63

3.2.2 Calcareous Sandstone Bed 70

3.2.3 Basal Anhydrite Bed 77

3.2.4 Basal Halite Bed 89

3.2.5 Potash Bed 99

3.2.6 Coloured Halite Bed 108

3.2.7 Basal Cap Anhydrite Bed 108

3.3 Lower Clastics Member 113

3.4 Middle Salt Member 115

3.4.1 Lower Middle Halite Bed 115

3.4.2 Middle Anhydrite Bed 116

3.4.3 Upper Middle Halite Bed 122

3.4.4 Middle Cap Anhydrite Bed 125

3.5 Middle Clastics Member 127

page

3.6 Upper Salt Member 128

3.6.1 Lower Upper Halite Bed 128

3.6.2 Upper Anhydrite Bed 129

3.6.3 Upper Upper Halite Bed 129

3.6.4 Upper Cap Anhydrite Bed 130

3.7 Upper Clastics Member 132

3.8 Alluvium Member 133

CHAPTER IV : DEPOSITIONAL MODELS AND POST-DEPOSITIONAL CHANGES. 134

4.1 Depositional basin 134

4.2 Lithostratigraphy and sedimentary facies 135

4.3 Evaporitic facies 137

4.3.1 The first sedimentary cycle 137

4.3.2 The second sedimentary cycle 141

4.3.3 The third sedimentary cycle 143

4.4 Depositional models 144

4.5 Post-depositional changes 152

4.5.1 Structural deformation 155

4.5.2 Chemical alterations 158

CHAPTER V : CONCLUSION 173

REFERENCES 184

APPENDICES 194

BIOGRAPHY 273

LIST OF TABLES

page

Table 1.5.2.1 Analyses of Mediteranean water and bitterns (Weight percentages of total solids) 15

Table 1.5.2.2 Salts laid down during concentration of seawater 16

Table 1.5.2.3 Minerals of marine evaporites 18

Table 2.1.1 Stratigraphic subdivision of the Khorat Group .. 29

LIST OF FIGURES AND PLATES

		page
Figure 1.2.1.1	Index map of the study area	4
Figure 1.2.1.2	Well location map of the study area	5
Figure 1.5.1	Diagrammatic representation of a major evaporitic cycle	13
Figure 1.5.2.1	Basic principles for basin evaporite deposits	20
Figure 1.5.2.2	Theoretical bromine profile of rock-salt deposition by evaporation of sea water	21
Figure 2.1.1.1	Generalized geological map of northeast Thailand	27
Figure 2.1.1.2	Diagrammatic columnar section through Maha Sarakham Formation	31
Figure 2.1.2.1	Geological map of the study area	33
Figure 2.1.2.2	Bouguer gravity map of the study area	35
Figure 2.2.1	Lithostratigraphy of the study area	36
Figure 2.2.2	Incomplete lithostratigraphic sequences in the study area	38
Figure 2.2.3	Location of cross-sections of the study area .	39
Figure 2.2.1.b	Structural contour map on top of Calcareous Sandstone Bed of Basal Salt Member	42
Figure 2.2.1.c.1	Structural contour map on top of Basal Anhydrite Bed of Basal Salt Member	43
Figure 2.2.1.c.2	Isopach map of Basal Anhydrite Bed of Basal Salt Member	44
Figure 2.2.1.d.1	Structural conour map on top Basal Halite Bed of Basal Salt Member	46

page

Figure 2.2.1.d.2 Isopach map of Basal Halite Bed of Basal Salt Member 47

Figure 2.2.1.e.1 Structural contour map on top of Potash Bed of Basal Salt Member 48

Figure 2.2.1.e.2 Isopach map of Potash Bed of Basal Salt Member 50

Figure 2.2.1.f Structural contour map on top of Coloured Halite Bed of Basal Salt Member 51

Figure 2.2.2.1 Structural contour map on top of Lower Clastics Member 53

Figure 2.2.2.2 Isopach map of Lower Clastics Member 54

Figure 2.2.3.1 Structural contour map on top of Middle Salt Member 56

Figure 2.2.3.2 Isopach map of Middle Salt Member 57

Figure 3.1.1 Typical gamma-ray log patterns and bromine profiles of the complete lithostratigraphic sequences 64

Figure 3.1.2 Typical gamma-ray log patterns and bromine profiles of the incomplete lithostratigraphic sequences 65

Figure 3.2.1.1 Photograph of the polished core-slab of Ferrugenous Sandstone Bed showing its general appearance 66

Figure 3.2.1.2 Photomicrographs of Ferrugenous Sandstone Bed showing

(a) ferrugenous cement coating well packed detrital grains,

(b) well packed quartz-chert-feldspar framework in ferrugenous cement 68

page

Figure 3.2.1.3 Photograph of the polished core-slab of the gradational contact between Ferrugenous Sandstone and the overlying Calcareous Sandstone Beds 69

Figure 3.2.2.1 Photograph of the polished core-slab of the upper part of Calcareous Sandstone Bed contact with the overlying Basal Anhydrite Bed 71

Figure 3.2.2.2 Photomicrograph of the lower part of Calcareous Sandstone Bed showing quartz-chert-feldspar framework in calcareous cement 72

Figure 3.2.2.3 Photomicrographs of the upper part of Calcareous Sandstone Bed showing the detrital grains floated in calcareous cement 73

Figure 3.2.2.4 Relationship between pH and the solubilities of calcite, quartz, and amorphous silica 75

Figure 3.2.2.5 Photograph of the polished core-slab of the contact between Calcareous Sandstone and the overlying Basal Anhydrite Beds 76

Figure 3.2.3.1 Photograph of the polished core-slab of the lower part of Basal Anhydrite Bed showing nodular anhydrite with abundant calcareous algal networks 78

Figure 3.2.3.2 Photogrph of the polished core-slab of the middle part of Basal Anhydrite Bed showing nodular anhydrite with some calcareous algal networks 79

page

Figure 3.2.3.3 Photograph of the polished core-slab of the upper part of Basal Anhydrite Bed showing wavy-laminated anhydrite associated with calcareous algal and carbonaceous thin layers . 80

Figure 3.2.3.4 Photograph of the polished core-slab of the contact between Basal Anhydrite Bed (wavy-laminated anhydrite) and the overlying incomplete sequences of Basal Halite Bed 81

Figure 3.2.3.5 Photomicrographs of the lowest part of Basal Anhydrite Bed contact with the underlying Calcareous Sandstone Bed 83

Figure 3.2.3.6 Photomicrograph of the lower part of Basal Anhydrite Bed showing anhydrite nodules composed of fine-grained anhydrite and surrounded by calcareous algal networks or layers 84

Figure 3.2.3.7 Photomicrographs of the middle part of Basal Anhydrite Bed showing fine-grained anhydrite with some aggregates of acicular anhydrite and a few calcite mosaic patches 85

Figure 3.2.3.8 Photomicrographs of the upper part of Basal Anhydrite Bed showing wavy-laminations of acicular and fine-grained anhydrite, and calcareous algal layers 86

Figure 3.2.3.9 Photomicrograph of the upper part of Basal Anhydrite Bed showing replaced subeuhedral dolomite in wavy-laminated fine-grained anhydrite 87

page

Figure 3.2.4.1 Photograph of the core-slab of the lowest part of Basal Halite Bed showing clear fine- to medium-grained halite with interlocked crystalline mosaic texture 91

Figure 3.2.4.2 Photograph of the core-slab of the lowest part of Basal Halite Bed showing clear fine-to medium-grained halite interbedded with smoky dark halite band 92

Figure 3.2.4.3 Photogrph of the core-slab of the second part of Basal Halite Bed showing clear and milky white medium-to coarse-grained halite inter-bedded with smoky dark halite bands and anhydrite layers 93

Figure 3.2.4.4 Photograph of the core-slab of the third part of Basal Halite Bed showing clear and milky white fine-to medium-grained halite interbedded with anhydrite layers 94

Figure 3.2.4.5 Photomicrograph of the core-slab of the uppermost part of Basal Halite Bed showing clear fine-grained halite with interlocked crystalline mosaic texture 95

Figure 3.2.4.6 Photograph of the core-slab of the gradational contact zone between Basal Halite and Potash Beds 96

Figure 3.2.4.7 Photograph of the core-sample of Basal Halite Bed of the incomplete sequences showing very high-dipping angle of the anhydrite layers and smoky dark halite band 98

page

Figure 3.2.5.1 Photograph of the core-sample of Sylvinite Sub-Bed showing amoeboidal (or graphic) intergrowths of halite and sylvite 101

Figure 3.2.5.2 Photograph of the core-slab of the lower part of Carnallite-Halite-Tachyhydrite Sub-Bed 102

Figure 3.2.5.3 Photograph of the core-slab of the lower part of Carnallite-Halite-Tachyhydrite Sub-Bed with some disseminated white-grey coarse grains of halite, carnallite, sylvite, anhydrite (?). 103

Figure 3.2.5.4 Photograph of the core-sample of the middle part of Carnallite-Halite-Tachyhydrite Sub-Bed 105

Figure 3.2.5.5 Photograph of the core-slab of the upper part of Carnallite-Halite-Tachyhydrite Sub-Bed 106

Figure 3.2.6 Photograph of the core-slab of Coloured Halite Bed showing interbeds of several coloured bands of halite (Hs), carnallite and/or sylvite (C/S), and clay layers (Cl) ... 109

Figure 3.2.7.1 Photographs of the core-slab of Basal Cap Anhydrite Bed showing gneissoid texture of anhydrite nodules and black carbonaceous layers 110

Figure 3.2.7.2 Photomicrographs of Basal Cap Anhydrite Bed showing fine-grained anhydrite and acicular anhydrite textures 112

page

Figure 3.4.1.1 Photograph of the core-slab of the lower part of Lower Middle Halite Bed showing its general appearances 117

Figure 3.4.1.2 Photograph of the core-slab of the upper part of Lower Middle Halite Bed showing its general appearances 118

Figure 3.4.2.1 Photograph of the core-slab of the lower part of Middle Anhydrite Bed (contact with the underlying Lower Middle Halite Bed) showing laminated and massive nodular textures 120

Figure 3.4.2.2 Photograph of core-slab of Middle Anhydrite Bed showing laminated anhydrite and swallow-tail texture of halite associated with anhydrite 121

Figure 3.4.3.1 Photograph of the core-slab of the lower part of Upper Middle Halite Bed showing halite interbedded with anhydrite layers 123

Figure 3.4.3.2 Photograph of the core-slab of the upper part of Upper Middle Halite Bed showing the general appearances of halite and anhydrite layers interbedded 124

Figure 3.4.4 Photomicrograph of Middle Cap Anhydrite Bed showing fine-grained anhydrite and some acicular anhydrite associated 126

Figure 3.6.4 Photomicrograph of Upper Cap Anhydrite Bed showing acicular and fine-grained anhydrite textures 131

page

Figure 4.2 Stages in the three-dimensional reconstruction of basinal deposits 138

Figure 4.3.1 Evaporitic facies of the first sedimentary cycle 140

Figure 4.3.2 Evaporitic facies of the second sedimentary cycle 142

Figure 4.3.3 Evaporitic facies of the third sedimentary cycle 145

Figure 4.4.1 Models of a barred evaporite basin during (A) the transgressive phase (high sea level) and (B) the regressive phase (low sea level) ... 149

Figure 4.4.2 Proposed depositional environment model and depositional cycle of evaporite-bearing sequences of the Maha Sarakham Formation in the study area 153

Figure 4.4.3 The lithostratigraphy and environmental reconstruction of the evaporite-bearing Maha Sarakham Formation 154

Figure 4.5.1.1 Average bromine profile in the incomplete lithostratigraphic sequences after secondary changes 157

Figure 4.5.1.2 Sequences of sedimentation and their post-depositional structural deformation 159

Figure 4.5.2.1 Distribution of different evaporitic zones of Basal Salt Member after secondary changes 160

Figure 4.5.2.2 Secondary sylvite from incongruent carnallite alteration 163

page

Figure 4.5.2.3 Proposed model of secondary changes of evaporitic facies 165

Figure 4.5.2.4 Solubility of anhydrite, gypsum, and hemihydrate in water at different temperatures 168

Plate 1 Cross-section along line hole RS-2.11 through hole KB-2 (A-C) 275

Plate 2 Cross-section along line hole KB-2 through hole RS-2.17 (C-C') 275

Plate 3 Cross-section alone line hole RS-2.11 through hole KB-21 (A-A') 276

Plate 4 Cross-section along line hole RS-2.10 through hole KB-19 (B-B') 276

Plate 5 Cross-section along line hole PQ-3 through hole KB-7 (D-D') 277

Plate 6 Cross-section along line hole KB-20 through hole KB-18 (E-E') 277