

ลักษณะเฉพาะของพลอยคอร์ันดัมบางชนิดจากแหล่งชองเกีย ประเทศแทนซาเนีย



นางสาวบัณฑิตีย์ ล้อมทอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาโลกศาสตร์ ภาควิชาธรณีวิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN: 974-53-1796-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHARACTERISTICS OF SOME CORUNDUM  
FROM SONGEA DEPOSIT, TANZANIA



Miss Pantaree Lomthong

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Earth Sciences

Department of Geology

Faculty of Science

Chulalongkorn University


Academic Year 2004

ISBN: 974-53-1796-9

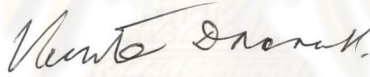
Thesis Title                      Characteristics of some Corundum from Songea, Tanzania  
By                                      Miss Pantaree Lomthong  
Field of study                      Earth Sciences  
Thesis Advisor                      Assistant Professor Chakkaphan Sutthirat, Ph.D.  
Thesis Co-advisor                      Associate Professor Visut Pisutha-Armond, Ph.D.

---


Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial  
Fulfillment of the Requirements for the Master Degree

  
..... Dean of the Faculty of Science  
(Professor Piamsak Menasveta, Ph.D.)


THESIS COMMITTEE

  
..... Chairman  
(Assistant Professor Veerote Daorerk, M.Sc.)

  
..... Thesis Advisor  
(Assistant Professor Chakkaphan Sutthirat, Ph.D.)

  
..... Thesis Co-advisor  
(Associate Professor Visut Pisutha-Armond, Ph.D.)

  
..... Member  
(Assistant Professor Somchai Nakapadungrat, Ph.D.)

  
..... Member  
(Mrs. Wilawan Atichat, M.Sc)

บัณฑิตยย์ ล้อมทอง: ลักษณะเฉพาะของพลอยคอร์นดัมบางชนิดจากแหล่งของเกีย ประเทศ  
แทนซาเนีย อ. ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์, อ. ที่ปรึกษาร่วม:  
รองศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ์ พิสุทธิอานนท์ จำนวน 93 หน้า. ISBN 974-53-1796-9

ในปัจจุบันพลอยคอร์นดัมจำนวนมากถูกนำเข้ามาจากทั่วโลก โดยแหล่งที่สำคัญได้แก่  
ประเทศพม่า มาดากัสการ์ และศรีลังกา ซึ่งเป็นแหล่งที่มีชื่อเสียงของพลอยทับทิมและไพลินที่สวยงาม  
อย่างไรก็ตามปริมาณผลผลิตคอร์นดัมจำนวนมากนั้นส่วนใหญ่มาจากอาฟริกาตะวันออก ลักษณะทาง  
ธรณีวิทยาของอัฟริกาตะวันออกมีความสัมพันธ์กับการกำเนิดอัญมณี มีผลมาจากเหตุการณ์ แพนแอฟริกัน  
ก่อให้เกิดแนวเทือกเขาโมแซมบิก ซึ่งประกอบด้วยหินแปรแกรนูโลอิตเป็นส่วนใหญ่ แหล่งศักยภาพอัญมณีใน  
ประเทศแทนซาเนียวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับแนว  
เทือกเขาโมแซมบิก แหล่งพลอยคอร์นดัมขนาดใหญ่ที่ถูกค้นพบล่าสุด ตั้งอยู่ทางทิศใต้ของประเทศได้แก่  
แหล่งของเกีย พลอยคอร์นดัมจากของเกียอาจมีกำเนิดมาจากกระบวนการแปรสภาพไปข้างหน้าและถอย  
กลับ ระหว่างการแปรสภาพแกรนูโลอิตและแอมฟิโบไลต์ พลอยคอร์นดัมจากแหล่งนี้มีความหลากหลายของ  
สีมาก เช่น สีแดง สีส้มอมแดง สีส้ม สีม่วง สีฟ้าอมม่วง สีฟ้า สีม่วงแดง สีเหลือง สีเขียวอมเหลือง สีเขียวและ  
ไร้สี นอกจากนี้ยังพบลักษณะหย่อมสีหรือเจดสี สำหรับตัวอย่างพลอยที่ศึกษาในครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้  
เป็น 5 กลุ่มสีด้วยกัน ได้แก่ กลุ่มสีแดง สีม่วงแดง สีฟ้า สีเหลืองและไร้สี ปรากฏการณ์การเปลี่ยนสีจากสีฟ้า/  
ม่วง-ฟ้าในแสงธรรมชาติ เป็นสีม่วงแดง/แดงอมม่วงแดง-แดงภายใต้แสงจากหลอดทั้งสแตน สามารถพบได้  
ในบางกลุ่มสีเท่านั้น พลอยคอร์นดัมจากของเกียแสดงการเรืองแสงอ่อนถึงปานกลางหรือไม่เรืองแสงภายใต้  
รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นยาวและมักจะไม่มีเรืองแสงภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้น และแสดงการเรือง  
แสงสีแดงอ่อนในกลุ่มสีแดงภายใต้รังสีแคโทด มลทินแร่ที่พบได้แก่ อะพาไทต์ เอพิโดต แพลจิโอเคลส การ์  
เน็ต ฮีมาไทต์ ไมกา พาราโกไนต์ และรูไทล์ ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุร่องรอยพบว่าปริมาณ  
ของธาตุเหล็กสูงในช่วง 1.01-4.39 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แม้ว่าตัวอย่างที่นำมาศึกษา จะไม่สามารถ  
จำแนกได้อย่างชัดเจนจากพลอยที่เกิดจากการแปรสภาพหรือเกิดในหินบะซอลต์บริเวณอื่น แต่พลอยแหล่ง  
นี้มีลักษณะเฉพาะบางประการเช่นมลทินแร่และองค์ประกอบธาตุร่องรอย ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์กับทาง  
ห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณี พลอยคอร์นดัมจากของเกียมีศักยภาพค่อนข้างต่ำสำหรับการปรับปรุง  
คุณภาพสีโดยการเผา นอกจากนี้พลอยกลุ่มสีแดงและม่วงแดงที่มีแนวโน้มที่จะให้เจดสีแดงเด่นชัดขึ้นโดยการ  
เผาที่อุณหภูมิ 1,200<sup>o</sup>ซ หรือต่ำกว่าภายใต้สภาวะบรรยากาศแบบออกซิไดซิง

ภาควิชา .....ธรณีวิทยา..... ลายมือชื่อนิสิต ..... ปัทมาธิ์ย์ ล้อมทอง  
สาขาวิชา .....โลกศาสตร์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ปีการศึกษา .....2547..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



## 4472326023: MAJOR Earth Science5

KEY WORD: Songea / corundum / deposit / Tanzania

PANTAREE LOMTHONG: CHARACTERISTICS OF SOME CORUNDUM FROM SONGEA DEPOSIT, TANZANIA THESIS ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR CHAKKAPHAN SUTTHIRAT, PH.D., THESIS CO-ADVISOR: ASSOCIATE PROFESSOR VISUT PISUTHA-ARNOND, PH.D., 93 PP., ISBN: 974-53-1796-9

Recently, many gem corundums have been imported from around the world. The most important localities are Myanmar, Madagascar and Sri Lanka where are well known sources of beautiful ruby and blue sapphire. However the large mass productions of gem corundums are mostly from East Africa. Geological setting of East Africa, appears to have been effected by Pan-African event, generating Mozambique Orogenic Belt. Rocks in this belt consist of metamorphic rocks, mainly grouped as granulite facies. The potential gem deposits in Tanzania are related to Mozambique belt. New large corundums deposits have been discovered in the southern part of the country, so called Songea areas. Songea corundums appear to have formed during prograde and retrograde metamorphism between granulite and amphibolite facies. Corundum samples from Songea have wide range of colors (e.g. red, red orange, orange, violet, violet blue, blue, purple, yellow, yellow green, green and colorless); many of them show color patch or zoning. Corundum samples available for this study can be divided into 5 main color varieties including red, purple, blue, yellow and colorless. Color-change effects from blue/purple blue in daylight to purple/purple red in incandescent light can be observed in purple and blue color samples. Luminescence under ultraviolet lamp is weak to moderate or inert under long wave and mostly inert under short wave; in addition the red variety shows weak red under cathodoluminoscope. Mineral inclusions are characterized by apatite, epidote, plagioclase, garnet, hematite, mica, paragonite and rutile. Trace element analyses reveal rather high iron content (1.01-4.39 %wt). Although Songea corundum samples could not be distinctively separated from metamorphic and basaltic corundums from elsewhere; they have some specific features (e.g. mineral inclusions and trace compositions) that would be useful for gemological laboratory. These corundums have low potential for heat treatment, except for red and purple stones that can be purified their red shades by heating at 1,200°C or lower temperature in oxidizing atmosphere.

Department .....Geology..... Student's signature ..... *ปัทมากริช ต้อมทอง* .....  
 Field of study .....Earth Science..... Advisor's signature ..... *C. S. Lomthong* .....  
 Academic year .....2004..... Co-advisor's signature ..... *Visut Pisutha-arnond* .....

## ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to acknowledge my thesis advisors, Assistant Professor Dr.Chakkaphan Sutthirat and Associate Professor Dr. Visut Pisutha-Armond, for their general help and scientific knowledge that leads me to reach the goal and deserve to graduation. Their critical reviews on this thesis are extremely helpful and are greatly appreciated.

Next, I would like to thank the members of committee, Assistant Professor Dr. Pornsawat Wathanakul and Mrs. Wilawan Atichat for their advices and offers throughout the duration of my study. Without their kindness, this project would not be possible. Thank you very much for everything you have done for me and hospitality like warm family. Sincerely thanks are also given to The Gem and Jewelry Institute of Thailand (GIT) for allowing me to use some advanced gem equipment and providing some financial supports through a research project for this study.

Spacial thanks are sincerely expressed to member staffs of the GIT, Kasetsart University, Chulalongkorn University, Macquarie University, Australia for their helps and assistances for all analytical equipments used in this project.

Lastly, I would like to thank my family and many wonderful friends at Kasetsart University and the GIT for their support. I am really appreciated.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## TABLE OF CONTENTS

	Page
Abstract in Thai.....	iv
Abstract in English.....	v
Acknowledgements.....	vi
Table of content.....	vii
List of tables.....	ix
List of figures.....	x
CHAPTER I INTRODUCTION.....	1
General statement.....	1
Purposes.....	2
Methodology.....	2
CHAPTER II GENERAL GEOLOGY AND GEM DEPOSIT IN TANZANIA.....	5
Location.....	5
General geology.....	6
Gem Deposits and mining.....	14
CHAPTER III CHARACTERISTICS OF SOME SONGEA CORUNDUM.....	19
Introduction.....	19
Color.....	19
Physical and Gemological Properties.....	21
Internal Features.....	24
Chemistry of mineral inclusion.....	35
CHAPTER IV SPECTROMETRY.....	38
Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry.....	38
Result.....	38
Introduction to UV-VIS-NIR Spectrometry.....	42
Result.....	43



CHAPTER V	CHEMICAL COMPOSITION.....	52
	Introduction.....	52
	Energy Dispersive X-ray Fluorescence.....	53
	Result.....	54
	Laser Ablasion-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer.....	56
	Result.....	60
CHAPTER VI	HEAT TREATMENT EXPERIMENT.....	62
	Introduction.....	62
	Procedure.....	62
	Results of the experiment.....	63
CHAPTER VII	DISCUSSION AND CONCLUSION.....	69
	Introduction.....	69
	Trace element composition.....	69
	Luminescence.....	74
	Mineral inclusions.....	76
	Petrogenesis.....	79
	Conclusions.....	80
REFERENCES.....		82
APPENDICES.....		86
	Appendix A Physical properties of Songea corundums.....	87
	Appendix B Trace composition of some Songea corundums by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (wt.%).....	89
	Appendix C Trace element contents of the Songea corundum, obtained by LA-ICP-MS.....	91
BIOGRAPHY.....		93



## LIST OF TABLES

Table	Page
1.1 Value of gems imported from Tanzania in 2001-2005. (Improved by <a href="http://www.customs.go.th">www.customs.go.th</a> ).....	2
3.1 Summary of physical properties of representative corundums from Songea under this study.....	23
3.2 Internal features in Songea corundums discovered in this study.....	34
3.3 EPMA Analyses of some mineral inclusions found in Songea corundums.....	36
4.1 Absorption features of chromophores in Songea corundum (modified from Themelis, 1992).....	51
5.1 Ranges, averages and standard deviations of EDXRF analyses yielded from 37 samples representing all five color varieties.....	53
5.2 Atomic mole ppm of trace compositions of Songea corundum calculated from raw analyses obtained by LA-ICP-MS, shown in Appendix C.....	58
7.1 Comparison of trace element oxides in the red and purple varieties of Songea corundum with those of basaltic and metamorphic rubies and pink sapphires.....	70
7.2 Comparison of trace element oxides in the blue variety of Songea corundum with those of some basaltic and metamorphic blue sapphires.....	72
7.3 Luminescence under ultraviolet of corundum from other localities compared with Songea corundums (modified from Hughes, 1997).....	75
7.4 Mineral inclusions found in corundums from Songea and Umba deposits.....	77
7.5 Mineral comparison between Songea corundum and basaltic corundums from South East Asia and Australia.....	78

## LIST OF FIGURES

Figure	Page
1.1 Flow-chart diagram showing methods of this study.....	4
2.1 Map of Tanzania showing locations of capital city Dar Es Salaam and Songea gem deposits located in the south of the country ( <a href="http://www.surgeonsforafrica.org">www.surgeonsforafrica.org</a> ).....	5
2.2 Model of the initial Mozambique Orogenic belt before spreading; it included whole parts of Madagascar and Sri Lanka, and some parts of East Africa, India and East Antarctica (Kinnaird and Jackson 2000).....	6
2.3a Geologic map of Tanzania ( <a href="http://tanzania.sgu.se">http://tanzania.sgu.se</a> ).....	7
2.3b Stratigraphic column ( <a href="http://tanzania.sgu.se">http://tanzania.sgu.se</a> ).....	8
2.4 Map showing distribution of gem deposits and general geology of Africa (Taupitz, 1995).....	14
2.5 Geologic map displays discontinuous granulite-gneiss structure in Mozambique Belt in the Eastern part of Tanzania; they are grouped as parts of Usagaran System and potential area of gem deposits, including 1) Loliondo; 2) Longido; 3) Loibor Serrit; 4) Pare Mountains; 5) Usambara Mountains; 6) Handeni; 7) Magubike; 8) Nguru Mountains; 9) Wami River; 10) Uluguru Mountains; 11) Ifakara; 12) Furuu; 13) Nachingwea; 14) Tunduru; 15) Songea (Muhongo et al., 1999).....	15
2.6 Map of mineral mining in Africa (modified from Taupitz, 1995).....	17
2.7 WILLIAMSON diamond mine, Mwadui area is the biggest kimberlite pipe, 1,000 meters in diameters, with age of about 2.04 billion years (Keller, 1992; <a href="http://www.lapinliitto.fi/fem2003/foster.pdf">http://www.lapinliitto.fi/fem2003/foster.pdf</a> ).....	18
2.8 (Left) Miners use shovel to collect gravels from river bed, sieve and watch for corundum along Umba River. (Right) Machinery is used to support mining at Umba River Valley (Dirfam et al. 1992).....	18
3.1 Corundum samples from Songea were separated into 5 color varieties.....	20
3.2 Color patch and zoning in Songea corundums obtained from GIA Gem Set.....	21
3.3 Purple variety showing purple/reddish purple in fluorescence light (left) and strong purplish pink in incandescence light (right).....	22
3.4 Blue variety appearing blue rim and light yellow core in fluorescence light	

(left) and weak purple color in incandescence light (right).....	22
3.5 Cathodoluminoscope; model CLmk3A, Cambridge Image Technology Limited, based at Kasetsart University.....	23
3.6 Cathodoluminescence of sample from Songea is rather weak.....	23
3.7 Microscope attached with digital camera at the Department of General Science, Kasetsart University, were used for investigation of internal features.....	24
3.8 Iron-stained fractures and short rutile needles (sample sgb23 of red variety).....	25
3.9 Long rutile needles set in 60/120° directions with dust particles (sample sgb42 of purple variety).....	25
3.10 Short brown needles gathering in hexagonal form (sample sga14 of purple variety).....	25
3.11 Fingerprints features found in Songea corundums (sample sgb40 of purple variety).....	25
3.12 Hexagonal growths zoning (sample sgf143 of yellow variety).....	25
3.13 Negative crystals (sample sgb46 of purple variety).....	25
3.14 Laser Raman Spectroscope belonging to the GIT used for identification of mineral inclusion.....	26
3.15 Large black opaque rutile inclusion closely associated with fluid inclusion in sample sgd92 of purple variety (top) and Raman spectrum (bottom) of rutile crystal as pointed by white arrow.....	27
3.16 Single and aggregate crystals of epidote inclusion in sample sgd90 of purple variety (top) and Raman spectrum (bottom) of epidote crystal as pointed by white arrow.....	28
3.17 Large pinkish orange garnet found in sample sgd94 of purple variety (top) and Raman spectrum (bottom) of garnet crystal.....	29
3.18 Transparent feldspar in sample sgd88 of blue variety (top) and Raman spectrum (bottom) of feldspar crystal as pointed by white arrow.....	30
3.19 Small transparent apatite inclusion in sample sgd124 of yellow variety (top) and Raman spectrum (bottom) of apatite crystal.....	31
3.20 Small transparent mica inclusion in sample sgd91 of purple variety and its Raman spectrum.....	32
3.21 Small transparent hematite inclusion in sample sgd114 of red variety and its Raman spectrum (bottom).....	33
3.22 Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) at Macquarie University, Australia (left) and sample preparation (right).....	35



3.23 Feldspar nomenclature: orthoclase-albite-anorthite ternary plotting composition of feldspar inclusions in Songea corundum (modified from Klein and Hurlbut, 1977).....	37
4.1 Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometer (NEXUS 470 FT-IR ESP) belonging to Department of General Science, Kasetsart University.....	38
4.2 FTIR Spectra of red color variety.....	39
4.3 FTIR Spectra of purple color variety.....	40
4.4 FTIR Spectra of blue color variety.....	40
4.5 FTIR Spectra of yellow color variety.....	41
4.6 FTIR Spectra of colorless variety.....	41
4.7 UV-VIS-NIR spectrophotometer belonging to the Gem and Jewelry Institute of Thailand (GIT) was engaged for this research.....	42
4.8 UV-VIS-NIR spectra of sample sgb29 in red variety; it shows red rim (R5/1) around orange core (O2/2).....	45
4.9 UV-VIS-NIR spectra obtained from red orange sample (sgb21) in red variety; its color code is RO/OR6/3.....	45
4.10 UV-VIS-NIR spectra obtained from orange sample (sgb22) in red variety; its color is code O6/3.....	46
4.11 UV-VIS-NIR spectra of sample sgb37 in purple variety (color code d.rP5/3).....	46
4.12 UV-VIS-NIR spectra of sample sgb42 in purple variety (color code P3/1).....	47
4.13 UV-VIS-NIR spectra of sample sgb43 in purple variety (color code bP6/3).....	47
4.14 UV-VIS-NIR spectra result from sample sgb31 of blue variety; it has yellow core (YG/GY2/1) surrounded by violet blue rim (l.vB7/3).....	48
4.15 UV-VIS-NIR spectra of sample sgb36 in blue variety (color code B3/1).....	48
4.16 UV-VIS-NIR spectra of greenish yellow (sample sgb48) in yellow variety (color code gY2/3).....	49
4.17 UV-VIS-NIR spectra of sample sgb49 in yellow variety (color code styG2/3).....	49
4.18 UV-VIS-NIR spectra of sample sgb47 in colorless variety (color code C(W)).....	50
4.19 UV-VIS-NIR spectra with weak absorption peaks observed from colorless sample (sgb51).....	50
5.1 Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF) at GIT was used to analyze trace composition in Songea corundums.....	53



5.2	Average of trace elements revealed as bars obtained by EDXRF and their standard deviations in form of lines.....	55
5.3	Laser Abrasion-Inductively Couple Plasma Mass Spectrometer (LA-ICPMS) at Macquarie University, Australia was assumed to their major and minor trace compositions.....	56
5.4	Laser drill holes in 7 samples of Songea corundum analyzed using LA-ICP-MS.....	57
5.5	Cr-Ti-Mg ternary diagram of Songea corundums; that are plotted based on trace analyses in different colors.....	61
6.1	The furnace used in this experiment is Linn electrical furnace model HT 1800 Plus VAC Bottom Loader (Chulalongkorn University).....	63
6.2	Songea corundums before and after heating at 1200 <sup>o</sup> C in oxidizing condition.	64
6.3	All sample varieties of Songea corundum showing initial colors and colors after heating experiment at 1,400 <sup>o</sup> C under reducing environment.....	65
6.4	Model of sapphires heat treated at 1850 <sup>o</sup> C in oxidizing atmospheres (Haeger, 2001)....	67
6.5	Model of sapphires heat treated at 1750 <sup>o</sup> C in reducing atmospheres (Haeger, 2001)....	67
6.6	Model of corundums heat treated at 1850 <sup>o</sup> C in oxidizing atmospheres (Haeger, 2001)..	68
6.7	Model of corundums heat treated at 1750 <sup>o</sup> C in reducing atmospheres (Haeger, 2001)..	68
7.1	Trace compositions plotting between Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and TiO <sub>2</sub> /Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> of all Songea corundum samples and some with basaltic and metamorphic rubies.....	71
7.2	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> versus Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> plots of all Songea corundum samples and some basaltic and metamorphic rubies.....	71
7.3	Plots of TiO <sub>2</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> of all Songea corundum samples and blue sapphires from some basaltic and metamorphic origins.....	72
7.4	Plots of Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> versus Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> in wt.% of all Songea corundum and blue sapphires from some basaltic and metamorphic sources.....	73
7.5	Cathodo-luminescence of red Songea corundum appears rather weak red in contrast to strong red of an Umba metamorphic ruby.....	74