

BSPE99969-
12888-5

2022.02.28.

호상철광상의 자철석 미량원소를 통한
고해양 및 고환경 재구성

www.kiost.ac.kr

Reconstruction of palaeoceanography and paleoenvironment from
trace element composition of magnetite in banded iron formation

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “ 호상철광상의 자철석 미량원소를 통한 고해양 및 고환경 재구성”과제의 (연차,최종)보고서로 제출합니다.

2022. 02. 28

총괄연구책임자 : 문인경

참 여 연 구 원 : 서연지

“ : 정재우

보고서 초록

과제고유 번호	PE99969	해당단계 연구기간	2021.6.14-2021.12.31	단계 구분	단년도 과제
연구사업명	중사업명				
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	호상철광상의 자철석 미량원소를 통한 고해양 및 고환경 재구성			
	세부과제명				
연구책임자	문인경	해당단계 참여연구원수	총 : 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 천원 기업: 천원 계 : 천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 3 명 내부: 3 명 외부: 명	총 연구비	정부: 50,000 천원 기업: 천원 계 : 50,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 심해저광물자원연구센터		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	33
<ul style="list-style-type: none"> ○ 호상철광상의 대표 광석광물인 자철석의 미량원소 <ul style="list-style-type: none"> - 희소성있는 지질 시료를 이용한 연구 수행 - 선캄브리아기 초기부터 후기까지 대기/해양/열수에 대한 정보를 간직 하고 있는 자철석의 미량 원소를 통해 초기환경을 재구성하는 연구 수행 ○ 기반자료 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 초기 지구의 대기 및 해양 환경의 재구성, 지각 진화과정의 이해, 아직 명확하게 규명되지 않은 호상철광상 성인을 이해하는 기반자료로 광범위하게 적용 가능 - 연구가 제한적인 선캄브리아기의 연구에 대한 과학적 증거를 제시함으로써 기초과학의 발전을 도모할 수 있음 - 향후 수행될 해저 열수 기원 광상의 성인연구나 응용연구에 적용 가능함 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	고해양, 고환경, 호상철광상, 자철석, 미량원소			
	영 어	Paleoenvironment, paleoceanography, banded iron formation, magnetite, trace element			

요 약 문

I. 제 목

호상철광상의 자철석 미량원소를 통한 고해양 및 고환경 재구성

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 호상철광상의 대표적인 자철석의 광물학적, 지구화학적 연구를 통한 초기지구 환경 이해
 - 자철석 내 미량원소의 거동 이해
 - 자철석 내 미량원소와 형성 환경의 관계 이해
 - 고해양 및 고환경과 같은 기초연구 수행을 통해 향후 수행될 응용연구나 기술 개발 연구를 통한 광범위한 적용 기대
 - 광상 성인에 대한 이해를 바탕으로 자원개발을 위한 광상 탐사에 기반자료로 사용 기대

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 공동연구자로부터 북중국 우강 호상철광상을 제공받아 EPMA와 LA-ICPMS를 통해 자철석의 주원소와 미량원소 분석 수행
- 참고 문헌 및 이전연구 데이터와의 종합적인 연구 결과 해석을 통해 자철석의 미량원소 함량을 조절하는 요소를 이해하고, 호상철광상의 형성환경 유추
- 우강호상철광상의 형성 환경과 더불어 고해양 및 고환경 이해에 관한 심도깊은 연구 수행

IV. 연구개발결과

- 호상철광상 내 자철석 미량원소 분석
 - 호상철광상 시료 확보 및 분석가능한 자철석의 분류
 - LA-ICPMS를 이용한 자철석의 미량원소 성분 분석
 - 참고 문헌의 연구 데이터와 비교 연구 수행
- 자철석의 지화학적 특성 이해
 - 자철석 미량원소의 거동과 미량원소의 거동에 영향을 주는 요소 이해
 - 호상철광상의 형성 환경과 자철석의 미량원소 함량 연관성 규명
 - 미량원소 거동 조건 이해
- 고해양 및 고환경의 이해
 - 연구 결과를 통해 호상철광상 형성 및 자철석의 침전 조건 연구
 - 선캄브리아기 동안의 대기과 해양의 산소 분압, 온도 변화, 열수 온도 변화 양상 규명 연구
 - 이전 연구 결과와의 종합적인 해석을 통한 고해양 및 고환경의 이해 연구

V. 연구개발결과의 활용계획

- 본 과제의 연구 결과는 초기지구환경을 재구성하고 향후 진행 될 다양한 연구에 기반자료로 사용 될 수 있는 학문적 가치를 창출할 수 있음
- 연구가 제한적인 선캄브리아기의 연구에 대한 과학적 증거를 제시함으로써 기초과학의 발전을 도모할 수 있음

S U M M A R Y

I. Title

Reconstruction of palaeoceanography and paleoenvironment from trace element composition of magnetite in banded iron formation

II. Necessities and Objectives of the Study

- Based on mineralogical and geochemical studies of magnetite from banded iron formation
- Understanding of relationships between trace elements in magnetite and the formation conditions of magnetite
- Application of the applied research and technology through basic research, including paleoceanographic and paleoenvironmental studies
- Future use as baseline study data for mineral exploration for resource development based on an understanding of ore genesis

III. Contents and Scopes of the Study

- Performing analyses of major and trace elements of magnetite through EPMA and LA-ICPMS after receiving ore samples from the Wugang BIF in North China from a collaborator
- Evaluating the factors that control the trace element contents of magnetite through the interpretation of comprehensive research results with reference to previous literature and study data

- Conducting in-depth research toward understanding the paleoceanography and paleoenvironment, as well as the formation environment, of the Wugang BIF

IV. Results

- Understanding of geochemical signatures of magnetite
 - Understandings of the behaviors of trace elements in magnetite and the factors affecting these behaviors
 - Investigation of the relationship between the formation environment of the iron ore deposit and the contents of trace elements in magnetite
 - Understanding trace element behavior conditions
- Understanding of the paleoceanography and paleoenvironment
 - Assessment of the formation of banded iron formation and the precipitation conditions of magnetite through the research results
 - Research on oxygen fugacity and temperature changes of atmosphere and ocean during the Precambrian
 - Assessment of paleoceanography and paleoenvironment according to this study in combination with results from previous studies

V. Implications of the Study

- The research results of this project can facilitate reconstruction of early Earth environmental conditions and create academic values that can be used as a basis for various future studies.
- The development of basic science can be promoted by presenting scientific impetus for research of the Precambrian, which is limited.

(KEYWORDS : 고해양, 고환경, 호상철광상, 자철석, 미량원소/ banded iron formation, magnetite, Paleoenvironment, paleoceanography, trace element)

C O N T E N T S

Chapter I Outline of the study	10
Section 1 Necessities and objectives of the study	10
Section 2 Contents and scopes of the study	11
Chapter II Status of domestic and oversea technology	12
Chapter III Contents and results of the Study	13
Section 1 Geochemical study of BIF	13
Section 2 Understanding of genesis of Wugang BIF, the paleoceanography and paleoenvironment	22
Chapter IV Achievements of objectives and contributions to the related area	27
Section 1 Achievements of objectives	27
Section 2 Contributions to the related area	29
Chapter V Implications of the Study	30
Chapter VI References	31

목 차

제 1 장 연구의 목적 및 필요성	10
제 1 절 연구의 목적 및 필요성	10
제 2 절 연구의 내용 및 범위	11
제 2 장 국내외 기술개발 현황	12
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	13
제 1 절 호상철광상의 지화학적 연구 수행	13
제 2 절 우강호상철광상의 성인과 고해양 및 고환경 이해	22
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	27
제 1 절 연구개발 목표 달성도	27
제 2 절 대외기여도	29
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	30
제 6 장 참고문헌	31

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구목적 및 필요성

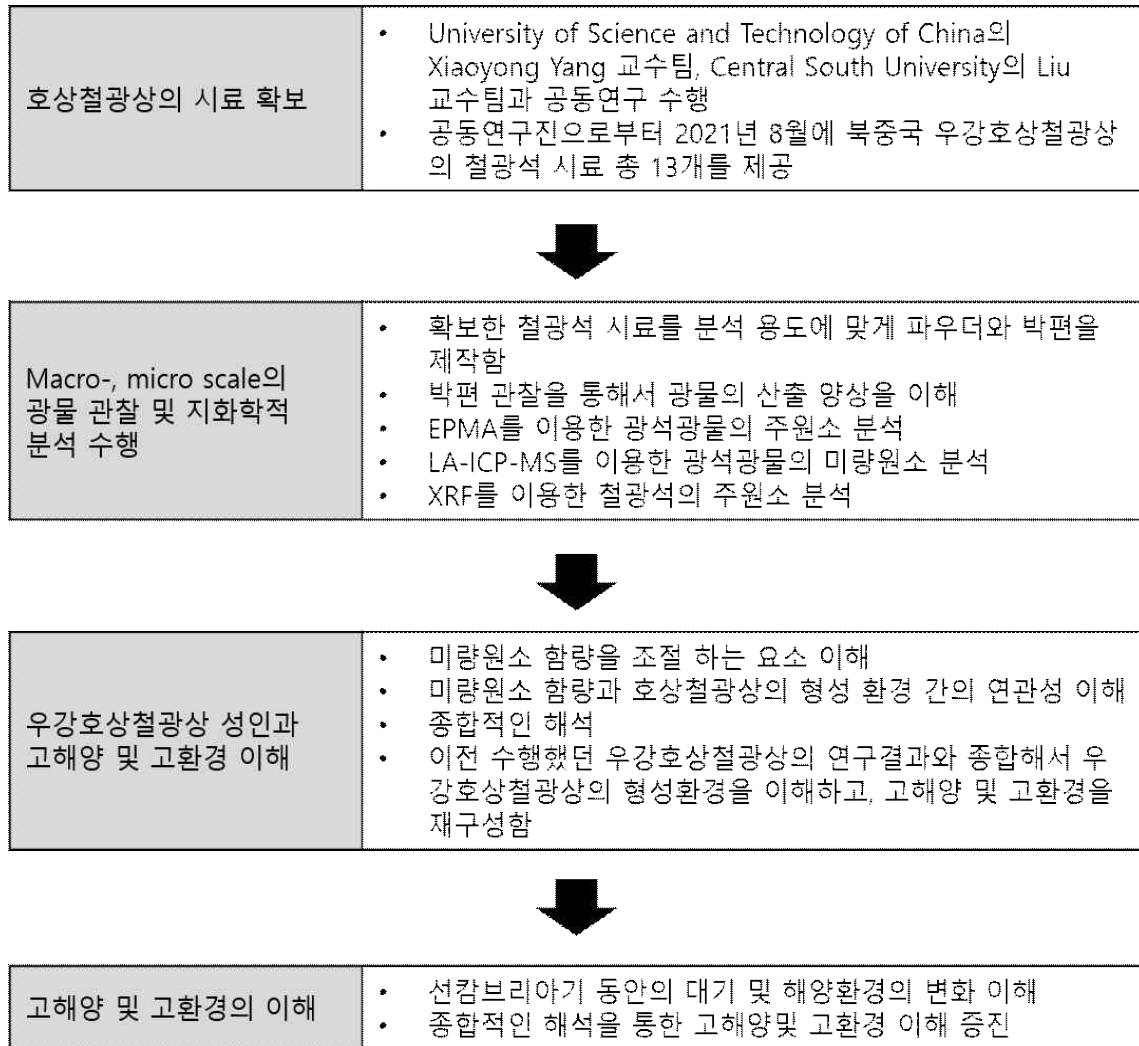
1. 연구의 목적

지구 역사의 87%를 차지하는 선캄브리아기의 해양, 대기, 지질, 생물에 대한 연구는 제한적이다. 선캄브리아기 해양환경에 국한되어 형성되는 호상철광상은 희소성이 있는 지질 시료로 초기 지구 환경에 대한 정보를 간직하고 있는데, 호상철광상에 산출되는 대표적인 광석광물인 자철석의 광물학적, 지화학적 연구를 통해 초기 지구 환경 재구성하고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

고해양 및 고환경을 이해하고자 하는 연구는 다양한 학문에서 여러 연구주체를 통해서 수행되고 있다. 지질학에서는 초기지질시기에 형성된 지질 시료를 이용하여 고해양 및 고환경의 대기, 해양, 지질 환경에 대한 과학적 증거 제시한다. 본 연구를 통해서 선캄브리아기 전반에 걸친 대기 및 해양의 산소 농도 변화 (바나듐 농도), 맨틀의 온도 감소에 따른 열수의 변화 (미량원소 함량의 변화), 자철석 내 미량원소 농도를 컨트롤 하는 요소 (온도, 압력, 산소 분압, 열수의 성분 등)에 대한 이해가 가능하다. 이 뿐 아니라 연구과정에서 사용되는 분석기기인 LA-ICPMS 분석 기술 향상에도 기여 할 수 있을 것이라 기대한다. 본 연구 결과는 기초연구로써 향후 수행될 응용연구나 기술개발 연구를 통해 광범위하게 이용 가능 할 것으로 판단되고, 광상 성인에 대한 이해를 바탕으로, 자원 개발을 위한 광상 탐사에 기반 자료로 사용 가능 할 것이다.

제 2 절 연구의 내용 및 범위



제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내외 연구동향

1. 국내 연구동향

미국, 호주, 캐나다와 같이 풍부한 자원을 보유하고 있는 선진국뿐 아니라, 유럽, 아프리카, 아시아의 여러 나라들도 광물자원의 중요성을 깨닫고 자국의 자원을 엄격하게 관리하고 있다. 우리나라의 경우 광종 및 매장량 모두에서 매우 빈약한 실정이며, 더욱이 지난 90년대 이후 자원 합리화 정책에 의해 광산개발이 거의 중단된 상태이다. 하지만 광상을 연구하는 수준은 과거에 비해 비약적으로 발전하여 국제적인 수준에 도달해 있으며, 분석을 위한 기기 역시 많은 연구소와 학교에 이미 구비되어 있다. 광상의 성인 연구는 광상의 형성 메커니즘에 대한 이해 뿐만 아니라 광화유체 작용, 지구조적인 진화 등 전반적인 지질학 이해와 연관되어 있다. 따라서 국내외 광상 연구를 통한 과학적 가치 창출이 계속적으로 진행되어야 한다.

2. 국외 연구동향

본 연구에서는 중국에 위치하고 있는 호상철광상에 대한 지화학적인 연구를 수행하였다. 중국에는 호상철광상뿐 아니라 경제성이 높은 금속광상이 많이 분포되어 있다. 이들 광상의 연구를 통해서 광상의 유형별 분류, 주변 기반암과의 연관성, 광화 유체 특성 파악 등을 포함한 광상 형성 메커니즘을 이해하고, 이를 통한 탐사 적용 및 수행에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 연구는 광상 탐사의 기반자료로써 광상 탐사에 응용되어 적용될 수 있고, 더 나아가서 국가적인 자원 확보를 통해 국가 경쟁력을 높일 수 있다. 중국 뿐 아니라 미국, 호주, 캐나다 등에서도 자원 연구에 대한 관심이 높고, 활발한 연구가 수행되고 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 호상철광상의 지화학적 연구 수행

1. 호상철광상 시료 확보 및 지화학적 분석

University of Science and Technology of China의 Xiaoyong Yang 교수팀, Central South University의 Liu 교수팀과 공동연구진으로부터 2021년 8월에 북중국 우강호상철광상의 총 13개의 철광석 시료를 제공 받았다 (Fig. 1-1-1). 획득된 철광석은 육안관찰 하에서 약한 밴딩구조를 보이는 것과 보이지 않는 것으로 구별된다. 광석을 분석 용도에 맞게 박편을 제작하였다 (Fig. 1-1-2). 현미경 관찰 결과 주 구성광물은 자철석, 석영이고 방해석, 휘석, 녹니석등이 함께 수반되며, 밴딩 구조가 나타나는 철광석은 자철석이 부화된 층과 석영이 부화된 층이 반복되어 나타난다. 자철석입자의 크기는 50-800 μm 이고, 조립질 형태로 분포되어 있다 (Fig. 1-1-3).



Fig. 1-1-1 공동연구자한테 제공받은 우강철광상의 철광석 시료

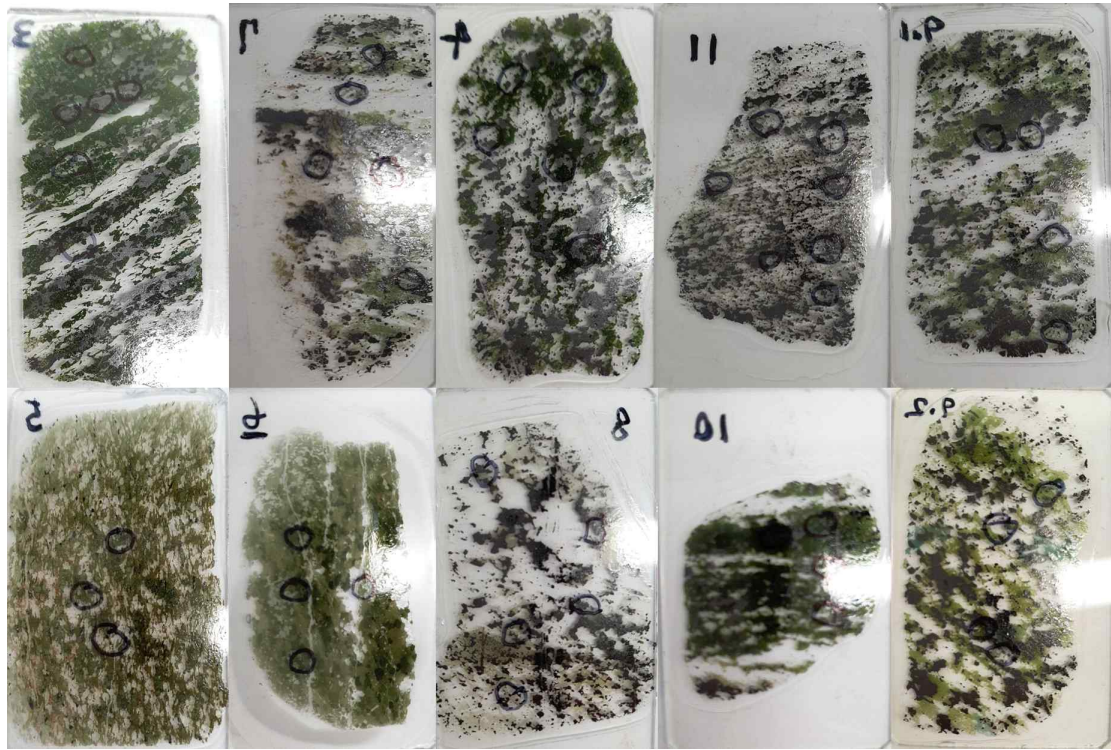


Fig. 1-1-2 광석 광물 관찰 및 분석용으로 제작된 박편

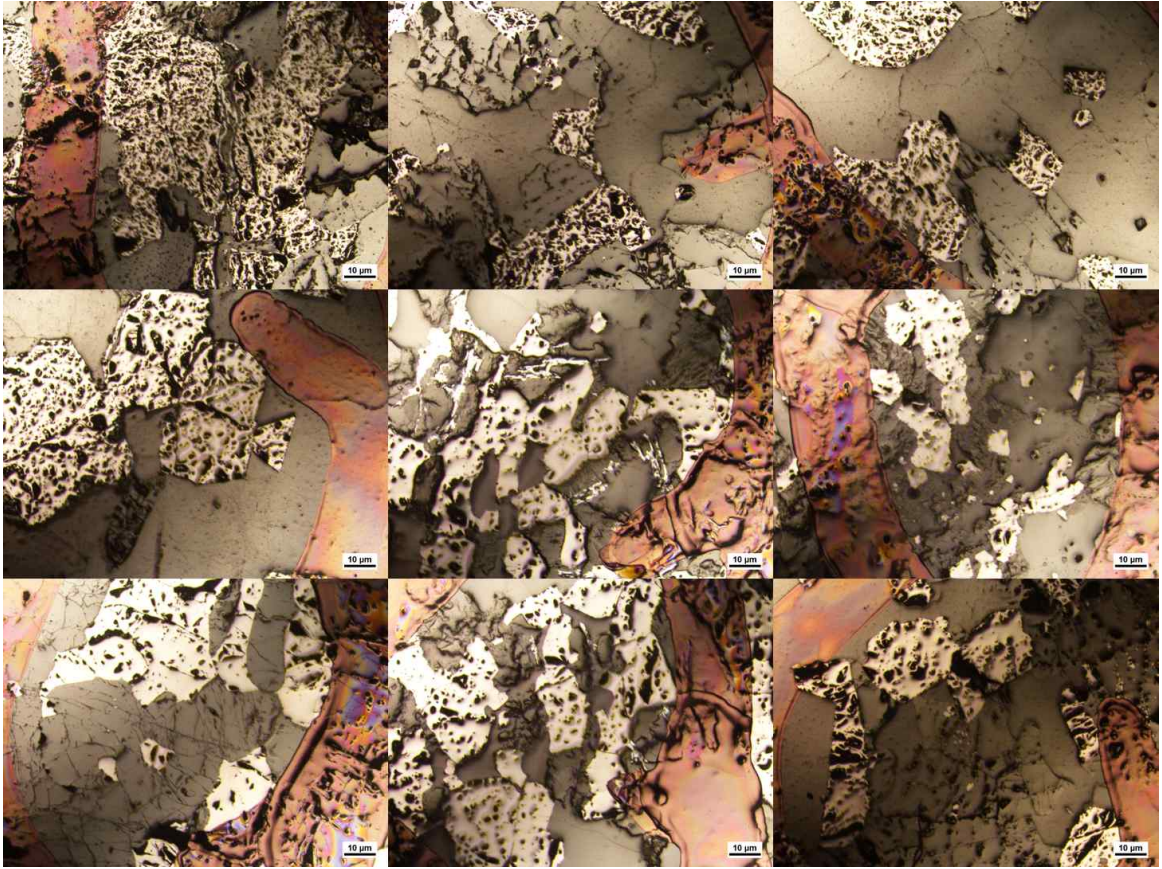


Fig. 1-1-3 반사현미경으로 관찰한 자철석

2. 지화학적 분석 수행

철광석 성분 분석 결과 주로 SiO_2 와 Fe_2O_3 로 구성되고, 소량의 MgO , CaO 를 포함한다. $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2$ 함량의 범위는 67.32-89.70wt.%로 나타나는데 (Table 1-2-1), 이는 주 구성 광물인 석영, 자철석의 영향 때문이다.

구성 광물인 자철석, 석영, 방해석, 감람석, 각섬석등에 대해 EPMA를 이용하여 주원소 분포를 확인하였고 (Table 1-2-2), 주 구성 광석광물인 자철석의 미량원소에 대해 LA-ICPMS 분석을 수행하였다. 우강철광상의 자철석은 Al, Si, Ti, Mn이 100ppm이상의 함량을 보이고, Sc, Cu, Zr, Nb, Mo는 1ppm이하의 함량을 보인다 (Table 1-2-3). 자철석에서 REE는 거의 검출되지 않았고, 자철석 내에 silicate mineral inclusion (Al, Si, Mg 함유)이 분포함을 확인하였다 (Fig. 1-2-1).

Table 1-2-1 우강 호상철광상 철광석의 주원소 함량 (wt.%)

	WG-1	WG-2	WG-3	WG-4	WG-5	WG-6	WG-7
SiO ₂	49.07	49.62	47.89	13.04	13.71	13.45	14.14
Al ₂ O ₃	0.50	0.49	0.51	1.81	1.81	1.93	2.18
TiO ₂	0.04	0.04	0.04	0.86	0.85	0.91	1.87
Fe ₂ O ₃	40.46	40.08	40.00	54.28	54.58	56.92	60.72
MnO	0.19	0.19	0.21	0.19	0.19	0.19	0.13
MgO	2.38	2.35	2.55	7.90	8.55	8.53	9.38
CaO	6.84	6.59	8.19	7.58	7.36	6.15	0.91
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.05	0.04	0.06	4.81	4.74	4.30	0.20
Total	99.09	99.26	99.09	94.14	94.39	94.34	91.32

	WG-8	WG-9	WG-10	WG-11	WG-12	WG-13	Average
SiO ₂	49.23	49.41	48.13	13.26	13.70	17.09	30.13
Al ₂ O ₃	0.50	0.49	0.52	1.82	1.81	1.69	1.23
TiO ₂	0.04	0.04	0.04	0.87	0.86	0.81	0.56
Fe ₂ O ₃	40.19	40.73	39.95	55.24	54.58	55.18	48.69
MnO	0.19	0.19	0.21	0.19	0.19	0.19	0.19
MgO	2.55	2.35	2.53	8.11	8.55	7.53	5.64
CaO	6.87	6.59	8.22	7.70	7.39	6.21	6.66
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.05	0.04	0.06	4.88	4.76	3.73	2.13
Total	99.10	99.57	99.29	94.42	94.39	94.49	96.38

Table 1-2-2 우강 호상철광상 자철석의 주원소 함량 (wt.%)

Mineral ID	Magnetite	Quartz	calcite	Olivine	Amphibole
FeO_{tot}	92.11	0.02	5.17	77.77	15.70
MnO	0.08	0.01	0.86	0.12	0.22
Cr₂O₃	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
MgO	0.02	0.00	0.65	3.09	8.87
SiO₂	0.04	99.81	0.91	5.56	52.25
K₂O	0.01	0.01	0.01	0.04	0.03
CaO	0.00	0.01	49.09	0.38	17.46
TiO₂	0.01	0.00	0.01	0.16	0.01
Na₂O	0.03	0.01	0.03	0.04	3.74
Al₂O₃	0.05	0.02	0.05	1.52	0.66
Total	92.35	99.91	56.78	88.69	98.96

Table 1-2-3 우강 호상철광상
자철석의 미량원소 함량 (ppm)

N=177	
²⁴ Mg	908.96
²⁷ Al	39.55
²⁹ Si	0.31
⁴³ Ca	64.63
⁴⁵ Sc	14.70
⁴⁸ Ti	105.93
⁵¹ V	1009.58
⁵³ Cr	51.80
⁵⁵ Mn	9.10
⁵⁹ Co	24.76
⁶⁰ Ni	42.36
⁶³ Cu	6.22
⁶⁶ Zn	5.98
⁶⁹ Ga	0.31
⁷³ Ge	0.02
⁸⁹ Y	0.11
⁹⁰ Zr	0.18
⁹³ Nb	0.05
⁹⁵ Mo	0.06

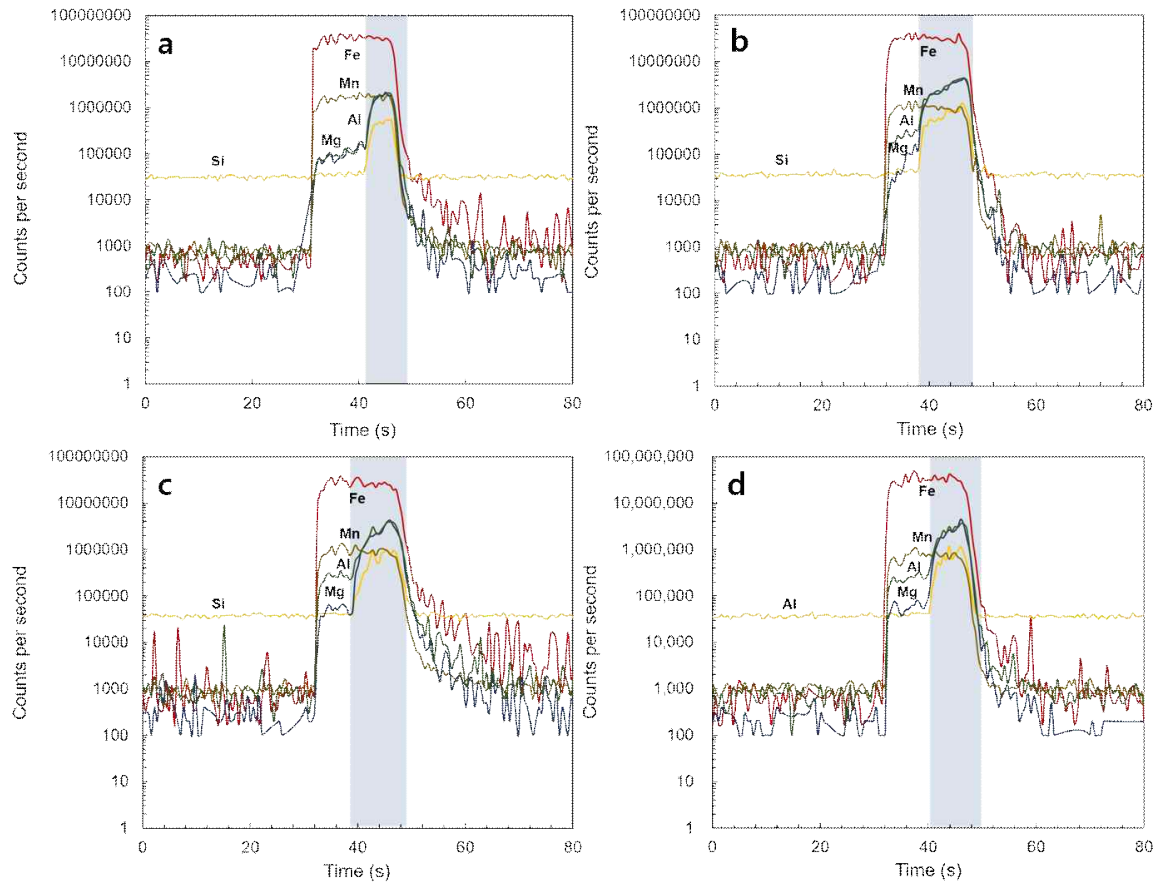


Fig. 1-2-1 자철석내의 mineral inclusion

제 2 절 우강호상철광상의 성인과 고해양 및 고환경 이해

1. 자철석 내 미량원소 분포 양상 및 특성 이해

자철석의 미량원소 성분인 Al, Mn, Ti, V를 이용한 광상 타입의 분류를 나타내는 그래프에서 호상철광상의 영역 내부부터 외부까지 넓은 범위에 걸쳐 도시되었고 (Fig. 2-1-1a), 자철석의 기원을 구분하는 다이어그램에서는 열수기원의 우강호상철광상을 확인하였다 (Fig. 2-1-1b).

우강호상철광상에서 수행된 선행연구 (Li et al., 2014, Lu et al., 2014, Yao et al., 2015, Liu et al., 2018; Moon et al., 2019)와 종합적인 해석 결과, 우강호상철광상은 환원 환경이 우세한 대륙붕 연안이나 후열도 분지환경에서 형성되었고 수피리어 유형에 해당을 확인할 수 있었다.

이와 더불어서 본 연구자가 수행했던 북중국의 이수이 호상철광상, 유안지아쿤 호상철광상, 후키우 호상철광상의 자철석의 성분과 비교해보았을 때, 우강 호상철광상의 자철석 성분은 유안지아쿤과 후키우 호상철광상의 성분과 유사한 Al, Mn, Ti, V 분포 양상을 보였다 (Fig. 2-1-2).

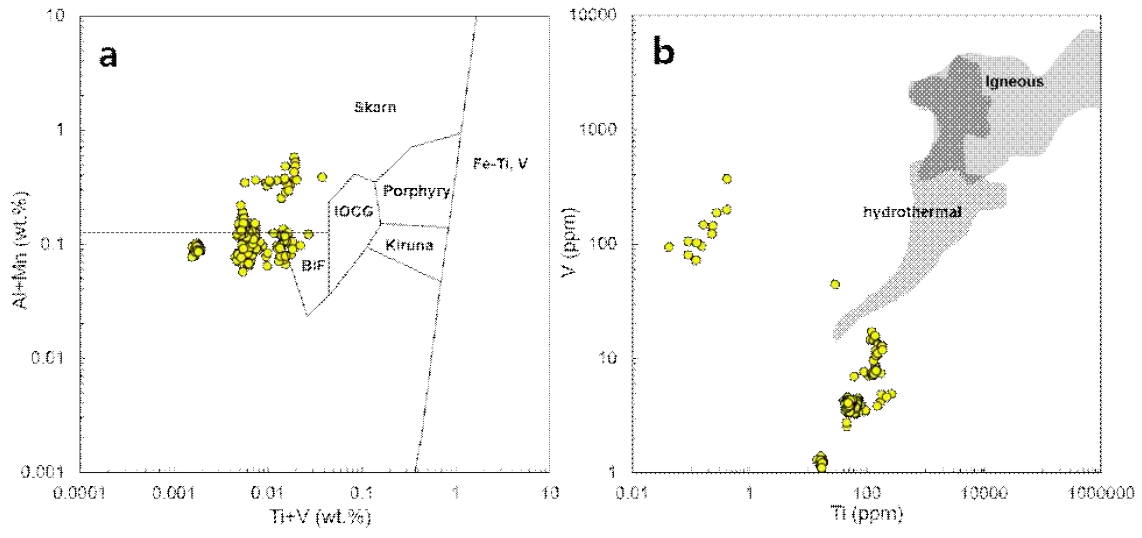


Fig. 2-1-1 우강 호상철광상 자철석의 미량원소를 이용한 다이어그램

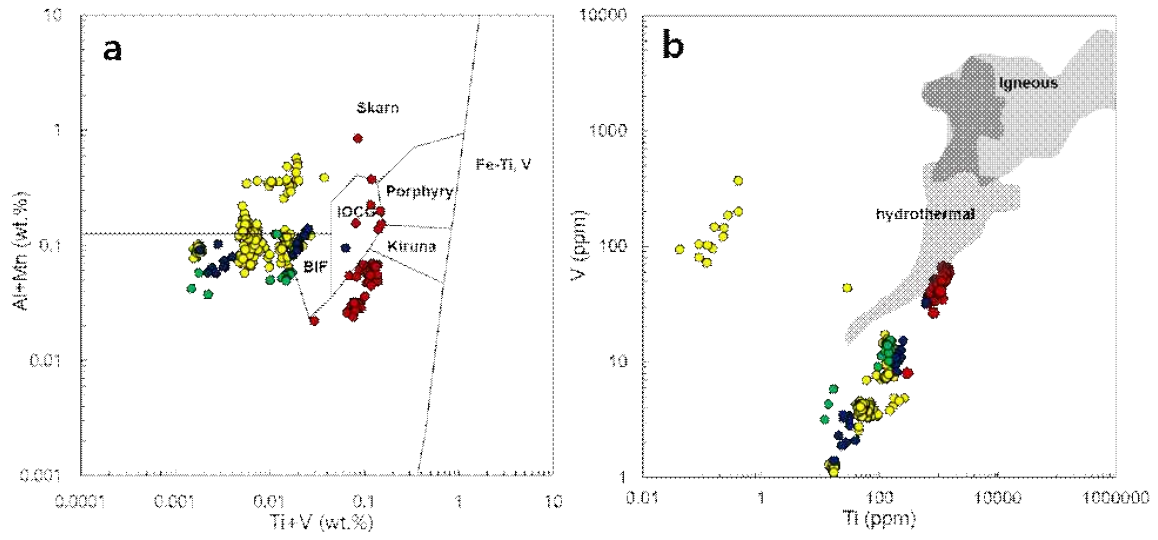


Fig. 2-1-2 우강 호상철광상, 이수이 호상철광상 (빨간 동그라미), 유안지아쿰 호상철광상 (초록 동그라미), 후키우 호상철광상 (파란 동그라미)의 자철석 미량원소를 이용한 다이어그램

2. 호상철광상의 형성 환경 이해

자철석의 미량원소 성분은 온도, 압력, 산소 및 황 플루가시티, 침전 속도 등 여러 물리 화학적 요소에 의해 컨트롤 된다 (Dupuis and Beaudoin, 2011, Nadoll et al., 2014). 바나듐 (V)은 산소분압을 나타내는 원소로 자철석이 침전되는 산화-환원 상태를 보여주는 대표적인 지구화학적 지시자이다. 대부분의 우강호상철광상의 자철석은 낮은 함량의 V 함량을 보이는데 이는 상대적으로 산화환경에서 형성되었음을 지시한다 (Fig. 2-1-1b).

Al, Mn, Ti, V 함량은 온도에 의해 우선적으로 컨트롤 된다 (Dupuis and Beaudoin, 2011, Nadoll et al., 2014). 유안지아쿤 호상철광상, 후키우 호상철광상의 자철석의 성분과 유사한 Al, Mn, Ti, V 분포 양상을 보이는데 이는 비슷한 온도의 열수로부터 성분을 공급받았음을 의미 한다 (Fig. 2-1-2).

3. 고해양 및 고환경 이해

선캄브리아기 초기와 후기에 형성된 호상철광상의 자철석의 미량원소 함량의 비교연구를 통해 두 시기간의 대기 및 해양환경을 차이를 이해할 수 있다. 본 과제의 책임연구자가 이전에 수행했던 알고마 유형과 수피리어 유형의 호상철광상의 자철석의 미량원소의 비교를 통해 선캄브리아기 초기와 후기의 환경 차이를 유추해 볼 수 있다.

선캄브리아기 초기에 형성된 이수이 호상철광상의 자철석 성분이 선캄브리아기 후기에 형성된 유안지아쿤 호상철광상, 후키우 호상철광상, 우강 호상철광상보다 높은 미량원소 함량을 보이는데, 이러한 특성은 선캄브리아기 초기에서 후기로 갈수록 열수의 온도가 감소했음을 의미한다.

이와 더불어서 선캄브리아기 초기와 후기에 형성된 호상철광상의 자철석 성분 중 바나듐 함량이 초기에서 후기로 갈수록 감소하는 것을 알 수 있는데, 이는 감소하는 열수 온도 영향과 더불어 초기에서 후기로 갈수록 산소가 풍부한 산화 환경으로 진화되었음을 나타낸다.

결론적으로 선캄브리아기 호상철광상내 자철석의 미량원소 성분을 통해 선캄브리아기 초기부터 후기까지 호상철광상의 형성에 영향을 준 열수 및 해양, 대기 환경이 점진적으로 변화했음을 확인 할 수 있었다.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제 1 절 연구개발목표 달성도

목표 대비 달성율(%)				
구분	연차별 달성내용			계획대비 연구실적 달성율(B) (%)
	성과목표	연구내용	달성실적	
	1. 호상철광상내 자철석의 미량원소 분석	1-1. 호상 철광상 시료에서 분석가능한 자철석의 분류	1-1. 공동연구자로부터 북중국 우강호상철광상을 제공받아 분석 가능한 자철석을 선별함	100
		1-2. LA-ICPMS를 이용한 자철석의 미량원소 분석	1-2. EPMA와 LA-ICPMS를 이용하여 자철석의 주원소와 미량원소 분석	
		1-3. 참고 문헌의 연구 데이터와 비교 연구 수행	1-3. 참고 문헌 및 이전연구 데이터와 비교 연구 수행	
	2. 자철석의 지화학적 특성 이해	2-1. 자철석의 미량원소의 거동과 미량원소의 거동에 영향을 주는 요소 이해	2-1. 자철석의 미량원소 함량을 컨트롤하는 요소의 이해	100
		2-2. 호상철광상의 형성 환경과 자철석의 미량원소 함량 연관성 규명	2-2. 자철석의 미량원소 함량으로 호상철광상의 형성 환경 유추	
		2-3. 일반적인 자철석의 미량원소 함량 양상에서 벗어나 이상치 값을 가지게 하는 지역적 영향 연구	2-3. 자철석의 미량원소 함량에는 이상치 나타나지 않았고, 자철석 내에 분포하는 인클루전 연구	

	3. 고해양 및 고환경의 이해	3-1. 연구 결과를 통해 호상철광상 형성 및 자철석의 침전 조건 연구	3-1. 우강호상철광상의 형성 환경 및 자철석의 미량원소 성분을 컨트롤하는 요소 이해	100
		3-2. 선캄브리아 초기와 후기에 형성된 호상철광상의 자철석의 미량원소 함량의 비교 연구를 통해 두 시기간의 대기 및 해양 환경의 차이를 이해 할 수 있음	3-2. 참고 문헌 및 이전에 연구자가 연구했던 호상철광상의 연구와 비교연구를 통해서 종합적인 해석을 수행	
	계	3-3. 이전 연구 결과와의 종합적인 해석을 통한 고해양 및 고환경의 이해 연구	3-3. 이전 연구 결과와의 종합적인 해석을 통한 고해양 및 고환경의 이해	100

제 2 절 대외기여도

초기지구 환경을 지질학뿐만 아니라 생물학, 해양학, 운석학 등을 연구하는 많은 연구자들에게 관심을 받고 있지만, 제한적인 접근성으로 인해 연구에 많은 어려움이 있다. 본 연구개발 결과는 초기지구환경에 대한 과학적 증거 제시가 가능하고 향후 진행될 다양한 연구에 기반 자료로 사용될 수 있는 학문적 가치를 창출할 수 있기 때문에 그 가치가 높게 평가 될 수 있다.

선캠브리아기 해양환경에 형성되어 초기 지구의 대기, 지질, 해양의 진화에 대한 정보를 제공해 주는 호상철광상의 연구는 향후 한국해양과학기술원에서 수행되는 다양한 분야의 고해양 및 고환경 연구 결과와 종합하여 초기 지구에 대한 종합적인 해석이 가능하게 할 것이라 기대된다. 또한 본 과제에 사용된 연구 지화학적인 연구법은 수행중인 과제와 향후 진행될 과제에 적용 가능하며, 도출된 연구 결과 중 열수 관련 내용은 현생의 열수 광상 연구 결과와 비교 연구하여 새로운 과학적 지식을 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용 계획

본 연구는 고해양 및 고환경에 대한 이해증진을 통한 초기 지구의 재구성, 지각 진화과정의 이해, 아직 명확하게 규명되지 않은 호상철광상 성인을 이해하는 기반자료로써 광범위하게 적용 가능하다. 인류가 경험해 보지 못한 지질시대의 과학적 지식 축적으로 지질학, 생물학, 운석학, 해양학 등 여러 과학 분야와의 공동 연구 추진과 의미 있는 학문 발전을 도모할 예정이다. 본 연구에서 도출되는 결과는 향후 지화학연구, 광상 성인 연구, 자원개발 및 탐사 분야, 분석 과학 등에 기반자료로 쓰일 수 있고, 더 나아가 국가 경쟁력의 원천이 되는 기초과학분야의 발전에 기여할 것으로 기대된다.

고해양 및 고환경 이해에 관한 연구는 해양과학기술 전 분야에 대한 창의적 원천기초연구, 응용 및 실용화 연구 등을 수행하는 한국해양과학기술원의 주요 기능과 일치한다. 또한 ‘한국해양과학기술원 2018-2022 연구성과계획서’의 해양전략 자원개발 분야의 전략목표인 ‘해양바이오·전략광물자원 개발 및 미개척 대양 신자원 탐사’의 성과 목표인 전략광물자원 개발역량확보 및 ‘100대 국정과제’의 ‘과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명’분야의 ‘청년과학자와 기초연구 지원으로 과학기술 미래역량 확충’과 부합된다. 이는 기초과학의 지원 확대와 연구 환경 개선에 일조할 것으로 사료되며, 향후 해당 분야 과제 수행에도 광범위 하게 적용 될 수 있을 것이다.

제 6 장 참고문헌

- Dupuis, C., & Beaudoin, G. (2011). Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types. *Mineralium Deposita*, 46(4), 319-335.
- Li, H., Zhai, M., Zhang, L., Yang, Z., Kapsiotis, A., Zhou, Y., ... & Liang, J. (2014). Mineralogical and microfabric characteristics of magnetite in the Wuyang Precambrian BIFs, southern North China Craton: Implications for genesis and depositional processes of the associated BIFs. *Journal of Asian Earth Sciences*, 94, 267-281.
- Liu, L., Zhang, H., Yang, X., & Li, Y. (2018). Age, origin and significance of the Wugang BIF in the Taihua complex, Southern North China Craton. *Ore Geology Reviews*, 95, 880-898.
- Lu, J. S., Wang, G. D., Wang, H., Chen, H. X., & Wu, C. M. (2014). Palaeoproterozoic metamorphic evolution and geochronology of the Wugang block, southeastern terminal of the Trans-North China Orogen. *Precambrian Research*, 251, 197-211.
- Moon, I., Lee, I., & Yang, X. (2019). Geochemical Studies of BIF in Wugang, North China Craton: Implication for the Genesis. *Economic and Environmental Geology*, 52(3), 213-221.
- Nadoll, P., Angerer, T., Mauk, J. L., French, D., & Walshe, J. (2014). The chemistry of hydrothermal magnetite: A review. *Ore Geology Reviews*, 61, 1-32.
- Yao, T., Li, H. M., Li, W. J., Li, L. X., & Zhao, C. (2015). Origin of the disseminated magnetite pyroxenite in the Tieshanmiao-type iron deposits in the Wuyang region of Henan Province, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113, 1235-1252

뒷 면

주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.

대양 심해저 및 극저온 환경
에서의 생지화학적 철, 망간
원소순환 메커니즘 연구

The study of biogeochemical Fe and Mn cycling in deep sea and low temperature environments



- 주 의 -

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.