

얼음 매질 내에서의 중금속 물질의 산화·환원 변환

Redox transformation of heavy metal substances in ice phase



포항공과대학교

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 서남극 빙붕 변화 모니터링 관측 시스템 구축 및 제 4기 해빙사 복원 기술 개발 ” 과제의 위탁연구 “ 얼음 매질 내에서의 중금속 물질의 산화·환원 변환 ” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



(본과제) 총괄연구책임자	:	윤 호 일
위탁연구기관명	:	포항공과대학교
위탁연구책임자	:	최 원 용
위탁참여연구원	:	민 대 위
“	:	Sunil Paul Mathew Menacherry
“	:	김 기 태

보고서 초록

위탁연구과제명	얼음 매질 내에서의 중금속 물질의 산화·환원 변환				
위탁연구책임자	최 원 용	해당단계 참여연구원수	3	해당단계 연구비	30,000,000₩
연구기관명 및 소속부서명	포항공과대학교 산학협력단		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	17 page
<p>얼음 내부가 가지는 특수한 화학적 환경으로 인해 얼음 내부에 존재하는 산화 중금속 물질의 산화수 값 변화와 이러한 변화가 환경에 미치는 영향 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> - 용액이 빙결될 때 얼음 결정으로부터 용질이 방출되어 얼음 내부의 준-액체층에 농축됨 - 이러한 농축 현상으로 인해 얼음 내 화학 물질 농도 증가하고 액상과는 다른 화학 반응 현상이 나타남 - 얼음 내부에서의 상용 중금속 물질의 화학적 특성 변화를 연구 - 상용 중금속 물질이 극지역에 분포 될 경우 가지는 잠재적인 영향 규명 - 용해되면 독성이 크게 달라져 환경에 잠재적으로 미칠 영향이 큰 산화납(lead oxide)을 대표 물질로 사용 - pH에 따라 산화 납의 용해도가 달라짐을 확인하고 이를 통한 용해 메커니즘 연구 - 해양에 다량 존재하는 할로겐 이온에 따라 얼음 내부에서의 용해도 변화 연구 - 납 이온(Pb²⁺)은 높은 독성을 가지며 산화 납의 용해는 주변 환경에 미치는 영향이 큼 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	얼음화학, 중금속 입자, 극지환경, 환경화학반응, 동결농축효과			
	영 어	ice chemistry, heavy metal particle, polar environment, environmental chemical reaction, freeze concentration effect			

보고서 초록

요 약 문

I. 제 목

얼음 매질 내에서의 중금속 물질의 산화·환원 변환

II. 연구개발의 목적 및 필요성

극지에 존재하는 얼음 내부의 환경 유·무기물질들과 중금속 물질들의 화학 반응들을 규명하고 이로 인해 생성된 물질이 극지 환경에 유출되면서 궁극적으로 극지 환경과 생태계에 미치는 영향을 규명한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

남극은 99%가 빙하로 덮혀져 있기 때문에 남극의 얼음은 남극 기후의 중요한 역할을 담당하고 있고 얼음 상에서 진행되는 화학반응은 남극 환경에 다양한 영향을 미친다. 최근 연구에 따르면 얼음 내부의 화학반응으로 인해 생성되는 많은 양의 화학물질들이 방출되어 극지의 대기환경과 기후에 영향을 미친다는 것이 밝혀졌다. 이외에도 얼음 내부에서는 다양한 화학 반응이 일어날 수 있으며 요즘 산업에서 상당량 생산되고 있는 상용 나노 입자가 남극지역에 존재 할 경우 얼음 내부에서 일어나는 화학 반응이 큰 요인이 될 것이다. 상용 나노 입자가 남극에 잠정적으로 미치는 영향을 이해하기 위해 얼음 내부에서 일어나는 화학적 특성 변환을 연구하고자 한다.

IV. 연구개발결과

산업적으로 널리 활용되는 나노 입자 물질 중 하나인 산화 납(lead oxide; PbO₂)의 용해도가 얼음 상에서 pH 및 무기물질 존재에 따라 달라지는 것을 확인하였다. 이를 통해 남극 빙하에서 산화 납 나노 입자의 화학적 특성 변화 일어나며 이로 인해 나노 물질의 독성 변화가 나타난다.

V. 연구개발결과의 활용계획

실제 남극 환경에서 나타날 화학 현상을 예측하기 위해 남극 환경과 유사한 실험 환경과 실제 남극 샘플을 이용한 연구를 진행한다.

S U M M A R Y

(영 문 요 약 문)

I. Title

Redox transformation of heavy metal substance in ice phase

II. Purpose and Necessity of R&D

By understanding chemical reactions between nature organic inorganic matters and commercial heavy metal products in ice at polar area, figure out the potential impacts of those reactions into polar and global ecosystem.

III. Contents and Extent of R&D

As 99% of the antarctica is covered by glacier, the ice in the antarctica is in important role for polar environment. Various chemical reactions in ice phase have critical impacts on global climate. For example, according to recent reports, there are lots of chemical substance produced in antarctic glaciers and emitted into the atmosphere affecting global environment. If commercial nano particles produced in huge amount in the industry exist in polar area, subsequent reactions of those substances in ice phase would effect polar environment. To understand the potential impact of commercial nano particles in the antarctica, the research about the reactions in ice phase is essential.

IV. R&D Results

We tested chemical transformation of lead oxide(PbO_2) nano particle in ice phase in various condition of pH and in the existence of inorganic substances. Through these experiments, we figure out the solubility of lead oxide is changed in ice phase according to existence of halogen ions. This would change toxicity of lead oxide nanoparticles in the antarctica.

V. Future Plans of R&D Results

For the precise expectation of chemical reaction at the antarctica, the experiments whose condition is much similar to real nature of polar area are necessary. Therefore, we would make the experiments mimicking the antarctica condition.

목 차

제 1 장 서론

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도



제 5 장 연구개발결과의 향후계획

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7 장 참고문헌

제 1 장 서론

1 절. 연구개발의 목표

극지에 존재하는 얼음 내부의 환경 유·무기물질들과 중금속 물질들의 화학 반응들을 규명하고 이로 인해 생성된 물질이 극지 환경에 유출되면서 궁극적으로 극지 환경과 생태계에 미치는 영향을 규명한다.

2 절. 연구개발의 필요성 및 본 과제와의 연관성

남극에는 지구상에 존재하는 전체 빙하 면적의 86%, 체적의 90%에 해당하는 빙하가 존재하고 그 면적은 약 1,400만km²에 달한다. 빙봉은 남극 대륙의 가장자리에 존재하는 해양에 떠 있는 얼음으로 남극 전체 빙하 면적에 10%에 해당한다. 대륙빙으로부터 얼음을 공급 받아 생성되는 빙봉은 내륙으로부터 빙하가 흘러오는 동시에 해양과의 경계면에서 얼음이 녹아져 나가면서 전체적인 부피는 일정하게 유지되어 왔다. 하지만 최근 지구 온난화로 인한 해수의 온도의 증가로 인해 빙봉의 바닥부분의 용해가 급격히 진행되고 있고 이는 빙봉의 두께를 감소시켜 빙봉의 붕괴를 촉진시키고 있다.⁽¹⁾ 때문에 미래 빙봉의 변화 추이를 예측하기 위해서는 남극 기후와 지구 온난화에 대한 연구가 필수적이다.

남극 기후는 남극에 존재하는 얼음에 큰 영향을 받는다. 이는 남극은 99%가 빙하로 덮혀져 있기 때문에 남극 존재하는 대륙빙 및 빙봉과 눈에 의한 화학적 물리적 현상은 남극 기후의 중요한 역할을 담당하고 있다. 이전까지는 태양열 및 빛 반사 해수 염도 조절 등 남극 빙하의 물리적 현상에만 초점이 맞춰져 있었다. 하지만 최근 연구에 의해 몇몇 환경의 주요한 화학적 반응들은 동결로 인해서 반응속도가 향상된다는 사실이 밝혀졌고 이러한 화학 반응들은 극지 기후에 다양한 영향을 미치는 것으로 알려졌다. 그 중 하나로 극지의 얼음으로부터 생성되는 활성 할로젠 화합물은 성층권 오존층 파괴에 관여할 수 있으며 이는 지구온난화에도 영향을 가질 수 있다. 또한, 여름철 남극의 빙하 주변에서는 해양 미세조류의 대량 증식이 나타나는데 이는 해빙이 녹으면서 미세조류의 일차 생산량은 다른 계절의 3~4배 다른 지역의 9~10배가 된다고 보고 되었다.⁽²⁾ 이러한 일차 생산량 변화는 남극 환경 및 지구 환경에 큰 영향을 미치게 되고 궁극적으로 지구 온난화에 영향을 미치게 된다.

산업에서 방출되는 중금속 오염 물질은 지구 생태계에 다양한 영향들을 가진다는 것으로 알려져 있다. 특히, 소수의 중금속으로도 해양 미세조류의 일차 생산량을 크게 저해 할 수 있다는 사실이 밝혀졌다. 예를 들어 0.1ppm의 크롬 이온은 미세조류의 광합성 능력을 최대 95%까지 낮출 수 있으며, 10ppm의 납 이온의 경우 광합성 능력을 완전히 억제하는 것으로 나타났다.^(3,4) 오랜 기간 남극지역은 이러한 중금속 오염 물질로부터 자유롭다고 여겨져 왔다. 하지만 최근 연구에 의하면 최근 몇 년간 남극에 몇몇 중금속 오염 물질의 농도가 몇 십배에서 몇 백배까지 증가했다고 한다.⁽⁵⁾ 때문에 남극에서의 중금속의 거동에 대한 연구는 남극의 기후와 밀접한 관계를 가지는 일차 생산량에 대한 기초연구로서 필요한 연구 분야라고 할 수 있다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1 절. 관련 분야 연구 현황 및 문제점

현재 얼음 내부에서 일어나는 화학 반응의 특이성과 이러한 현상이 환경에 미치는 영향에 대한 연구는 국내외적으로 크게 연구가 진행되고 있지 않고 있다. 얼음이 지구 환경에서 차지하는 역할에 대해 크게 관심을 받고 있지 않기 때문이다. 하지만 지구상에서 가장 많이 존재하는 고체상인 얼음은 전 지구환경 시스템과 밀접한 상호 작용을 하며 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 이러한 얼음은 남·북극의 고위도 지역 뿐 아니라, 대류권 및 성층권, 영구동토층, 중위도 지방의 겨울철 등의 환경에서 주된 매질로서 다양한 화학 반응에 중요한 영향을 미친다.

그 동안 진행된 다양한 연구에 의하면 극지방 해양 경계면에서 생성되는 해수의 에어로졸이나 얼음 입자는 대기 중에 활성 할로겐 화합물들을 방출하는 원인으로 지목받고 있다. 성층권에서 지난 수십 년 동안 확산되고 있는 극지 성층권 오존층 파괴과정에는 얼음 입자가 활성 할로겐 화합물을 생성시키는 비 균질 촉매로 작용한다는 사실도 밝혀졌다. 최근에는 극지방 눈이나 얼음에 존재하는 유·무기물질의 화학반응으로 인해 많은 양의 질소화합물, 알데하이드, 할로겐 화합물이 대기 중으로 방출되어 주위의 대기조성에 영향을 미친다는 것 또한 밝혀졌다. 이는 얼음 내 독특한 화학 반응이 대기 중의 광화학 과정과 결합하여 지구환경에 중요한 영향을 미친 대표적 사례라고 할 수 있다. 또한, 얼음 내 유기물의 광화학 반응으로 인해서도 CO 및 CO₂가 생성 될 수 있다는 사실이 밝혀졌는데 이는 ice core 내 공기를 분석하여 고대환경을 유추하려는 시도들의 오류가능성을 제시해준다. 최근에는 저위도 지방에서 생성 및 방출된 환경오염 물질들이 대기 순환과정을 통해 극지방으로 이동하여 축적될 수 있다는 보고가 있다.

이처럼, 얼음이 지구환경에 미치는 영향을 체계적으로 이해하고 거시적인 환경 모델링 수행을 하기 위해서는 분자수준에서 일어나는 얼음 물리·화학현상을 이해하는 것이 매우 중요하다. 그럼에도 불구하고 얼음 내에서 일어나는 기초적인 물리·화학 반응에 대한 연구는 국내 뿐 아니라 전 세계적으로 매우 드물게 행해지고 있다.

2 절. 관련 분야 연구가 학계에서 차지하는 위치

얼음 내부에서의 화학 반응의 특이성과 관련한 연구는 국내 및 국외에서 활발히 일어나지는 않고 있다. 하지만 이와 관련된 몇몇 논문들은 세계적으로 저명한 학술지에 게재되면서 관련 연구가 학계에서 큰 관심사이며 그 연구가치를 인정받고 있다는 사실을 알 수 있다. 처음으로 얼음 내부에서 Nitrite(NO₂⁻)의 Nitrate(NO₃⁻)로의 산화 반응이 몇 천배 가량 증가하여 환경에 지대한 영향을 미칠 수 있다는 사실을 밝힌 Takenaka의 논문은 *Nature*에 기재되면서 관련 연구의 영향력을 보였다.⁽⁶⁾ 그 외에도 *Environmental Science and Technology*, *Atmospheric Chemistry and Physics*, *Journal of Physical Chemistry* 등 여러 저명한 학술지에 관련 연구 논문이 게재되고 있으며 본 연구실 또한 여러 관련 논문을 *Environmental Science and Technology*, *Atmospheric chemistry and Physics*에 게재하여 그 가치를 인정받았다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

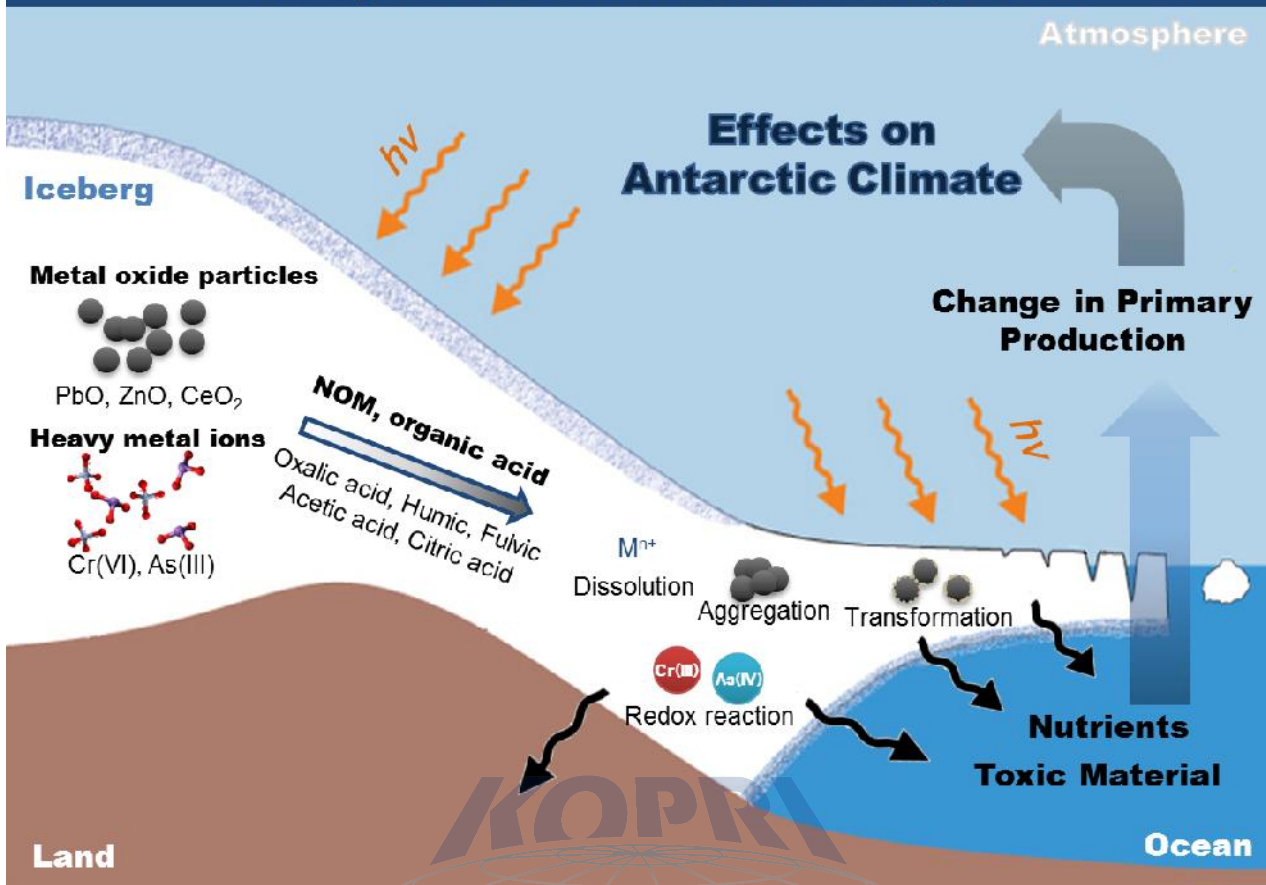
1 절. 연구의 내용

남극에는 지구상에 존재하는 전체 빙하 면적의 86%, 체적의 90%에 해당하는 빙하가 존재하고 그 면적은 약 1,400만km²에 달한다. 빙봉은 남극 대륙의 가장자리에 존재하는 해안에 떠 있는 얼음으로 남극 전체 빙하 면적에 10%에 해당한다. 대륙빙으로부터 얼음을 공급 받아 생성되는 빙봉은 내륙으로부터 빙하가 흘러오는 동시에 해양과의 경계면에서 얼음이 녹아져 나가면서 전체적인 부피는 일정하게 유지되어 왔다. 하지만 최근 지구 온난화로 인한 해수의 온도의 증가로 인해 빙봉의 바닥부분의 용해가 급격히 진행되고 있고 이는 빙봉의 두께를 감소시켜 빙봉의 붕괴를 촉진시키고 있다.⁽¹⁾ 때문에 미래 빙봉의 변화 추이를 예측하기 위해서는 남극 기후와 지구 온난화에 대한 연구가 필수적이다.

남극은 99%가 빙하로 덮혀져 있기 때문에 남극의 얼음은 남극 기후의 중요한 역할을 담당하고 있다. 이전까지는 얼음 상에서 화학반응이 일어나지 않는 것으로 인식되어 왔다. 하지만 최근의 연구에 의해 몇몇 화학적 반응들은 동결로 인해서 반응속도가 향상된다는 사실이 밝혀졌고 이러한 화학 반응들은 극지 기후에 다양한 영향을 미치는 것으로 알려졌다. 최근 연구에 따르면 얼음 내부의 화학반응으로 인해 생성되는 많은 양의 질소화합물, 할로겐 화합물, 알데하이드, 아세톤 등의 화합물들이 대기 중으로 방출되어 극지의 대기환경과 기후에 영향을 미친다는 것이 밝혀졌다.⁽²⁾ 특히, 극지의 얼음으로부터 생성되는 활성 할로겐 화합물은 성층권 오존층 파괴에 관여할 수 있으며 이는 지구온난화에도 영향을 가질 수 있다. 또한, 얼음 내 유기물질들의 광화학 반응들로 인해 CO 및 CO₂가 생성 된다는 사실이 밝혀졌는데 이는 극지 대기 CO₂ 조성에 영향을 줄 수 있다. 본 연구실에서는 밝혀낸 바로는 얼음 내 산화철 입자(Fe₂O₃)로부터 태양광 반응에 의해 남극의 미세조류가 사용 가능한 철분(Fe²⁺)이 다량 생산될 수 있다.⁽⁸⁾ 이는 여름에 남극에서 발생하는 미세조류 대량증식(Algal Bloom)의 원인이 될 수 있고 남극 환경에 큰 영향을 미칠 수 있다. 실제로 여름 한달 동안 남극 해양의 일차생산량은 전체의 일차생산량의 20%에 해당하는데 이는 여름철 미세조류의 대량 증식으로 인한 것으로 나타났다.

이러한 여름의 대량 증식 현상은 주로 해빙주변이나 연근해에 일어나고 그 외의 계절이나 지역에서는 열대지방과 같은 낮은 일차 생산량을 보이는 것으로 밝혀졌다. 특히 여름 해빙주변의 경우 해빙이 녹으면서 미세조류의 일차 생산량은 다른 계절의 3~4배 다른 지역의 9~10배가 된다고 보고되었다.⁽²⁾ 이러한 생물학적 측면에서 볼 때 오염물질의 존재는 남극의 일차 생산량에 영향을 줄 수 있으며, 극지 환경에도 영향을 미칠 수 있다. 특히, 소수의 오염 물질으로도 해양 미세조류의 광합성 양을 크게 저해 할 수 있다는 사실이 밝혀졌다. 예를 들어 0.1ppm의 크롬 이온은 미세조류의 광합성 능력을 최대 95%까지 낮출 수 있으며, 10ppm의 납 이온의 경우 광합성 능력을 완전히 억제하는 것으로 나타났다.^(3,4) 때문에 남극에서의 중금속의 거동에 대한 연구는 남극의 기후와 밀접한 관계를 가지는 일차 생산량에 대한 기초연구로서 필요한 연구 분야라고 할 수 있다. 더 나아가 극지의 빙하에서 일어나는 특수한 화학반응이 극지 환경과 갖는 연관 관계를 이해하기 위한 전반적인 지식을 얻는 데에 필수적인 연구이다.

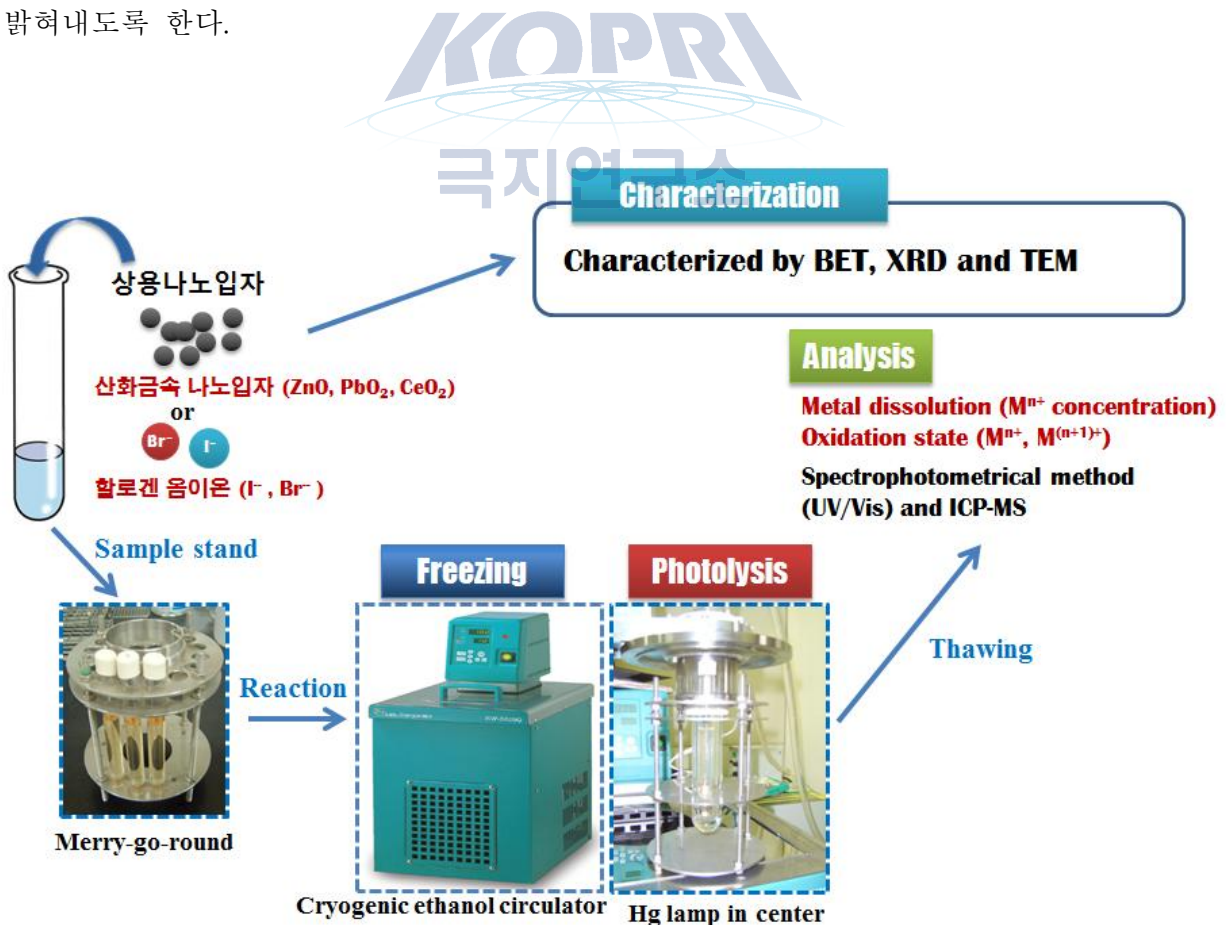
Environmental Effect of Heavy Metal Materials in Polar Region



<연구 내용의 요약 그림>

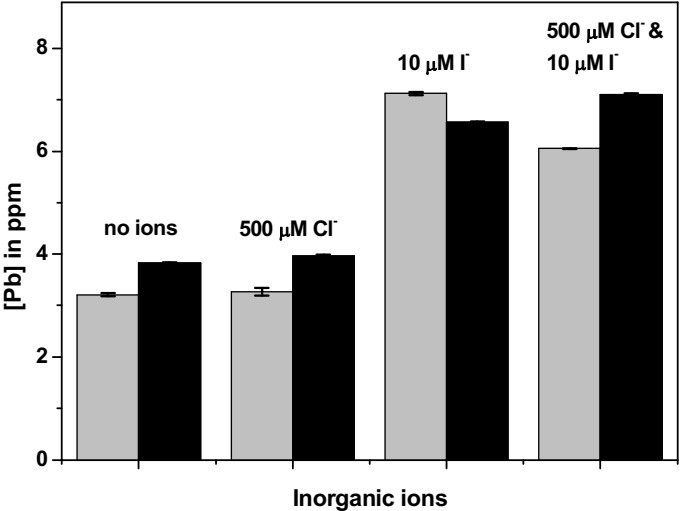
2 절. 실험적 접근 방법

일반 수용액에서 일어나는 환경적으로 중요한 다양한 산화·환원 반응을 얼음 내에서 연구할 것이다. 본 연구진으로부터 독창적으로 고안된 얼음 (광)화학 반응기 (ice model system)를 바탕으로 균질 및 비균질 반응에 적합한 형태로 시스템을 수정하여 실험을 수행하고자 한다. 얼음 (광)화학 실험 시스템을 간략히 설명하면 다음과 같다. 얼음 내 비 균질 반응에 적합한 다양한 종류의 나노 상용 입자(commercial nanoparticle)를 합성 및 성상을 분석하여 실험에 사용하고자한다. 적정 농도의 콜로이드 형태의 나노 입자들과 전자주개(electron donor) 물질을 첨가한 수용액이 담긴 석영시험관 (12×120 mm)을 에탄올을 냉매로 사용하는 순환형 저온 냉각조(-20oC)에 담구어 일정 시간 동안 얼린 후 실험을 수행한다. 얼음 광화학 반응인 경우에는 동일하게 준비한 후 반응기 중간에 램프를 삽입함으로써 광화학 반응을 수행한다. 태양광과 비슷한 광조사 환경을 만들어 주기위해 300 nm 파장 이하의 빛을 pyrex jacket 으로 차단하도록 한다. 액상에서의 실험은 순환형 저온냉각조의 온도를 상온(25°C)에 고정시킨 후, 동일한 방법으로 실험을 수행한다. 일정한 시간 동안 화학 반응 혹은 광화학 반응 후 얼음을 상온에서 녹여 얻은 액상 시료를 가지고 분석을 하도록 한다. 반응 후 생성물 들은 HPLC, GC/ECD, GC/MS, LC/MS, NMR, IC, UV/vis spectrophotometer 등의 분석 장비를 이용하여 규명하고 정량화한다. 이후 액상에서의 실험의 결과와 얼음 상에서의 실험의 결과를 비교하여 상용 나노 입자가 얼음 내부에서 가지는 화학적 특성을 규명하고 남극 및 지구 환경에 미치는 영향에 대해 밝혀내도록 한다.

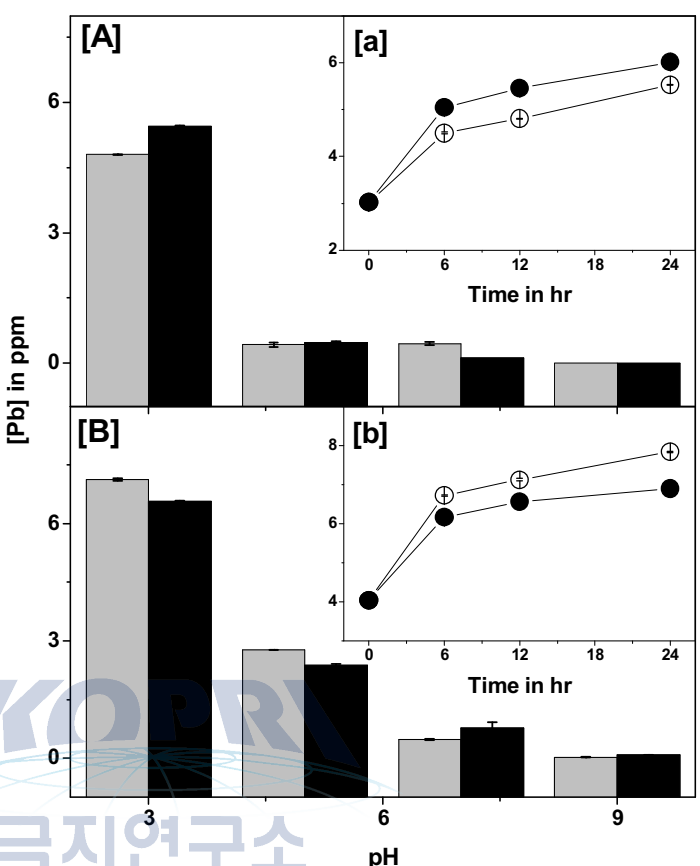


3 절. 연구 결과

1.얼음 내에서 할로겐 물질 존재 하에 산화금속(PbO₂) 입자의 화학적 특성 변화 분석

연구 내용	연구 결과
<p>얼음 내에서 할로겐 존재하에 중금속물질(Pb(IV)O₂)의 화학 반응</p>	 <p>Figure. Pb(IV)O₂ dissolution (A) and halide reduction (B) in water (grey) and ice (dark). [PbO₂]₀:0.5 g/L; [Halides]₀: 100 mM pH: 3.</p> <p>극지연구소</p> <p>산화납(Pb(IV)O₂)은 산업에서 사용되는 공업 오염 물질 중 하나로 납이온이 용해될 시 독성을 가지게 된다. 본 연구에서는 할로겐 존재 하에 산화납의 용해도가 달라지는 것을 발견하였다.</p>

2.얼음 내에 존재하는 무기산이 중금속 물질의 용해에 미치는 영향 분석

연구 내용	연구 결과
<p>얼음 내에서 무기산 존재하에 중금속물질(Pb(IV)O₂)의 화학 반응</p>	 <p>Figure. pH dependent dissolution of Pb(IV)O₂ in aqueous (grey) and ice (dark) phase by bromide (A) and iodide (B). [PbO₂]₀ : 0.5 g/L; [Bromide] : 10 mM Time : 12 hr. (Inset) Time dependent dissolution profile of Pb(IV)O₂ in aqueous (●) and ice (○) phase at pH 3 in presence of 10 mM (a) bromide and (b) iodide.</p> <p>얼음 내에서 무기산 농도에 따라 산화납이 용해되는 양이 다르게 나타났다. 무기산 농도가 높을수록 많은 양의 산화납이 용해되는 것을 확인하였다. 이는 산화납이 용해되는데에 수소 이온(H⁺)이 필요하기 때문이라고 예상된다.</p>

3.얼음 내에서 천연 무기물질과 오염물질의 화학반응 분석

연구 내용	연구 결과
<p>얼음 내에서 환경 무기물질이 중금속물질(Pb(IV)O₂)의 용해에 미치는 영향</p>	<p>Figure. Pb(IV)O₂ dissolution (A) and halide reduction (B) in water (grey) and ice (dark). [PbO₂]₀:0.5 g/L; [Halides]₀: 100 mM pH: 3.</p> <p>용액과 얼음 상에서의 산화납의 용해 정도가 크게 다르게 나타나는 것이 확인 되었다. 또한, 산화납의 용해와 동시에 할로젠 물질의 환원이 나타났다. 이는 할로젠 물질의 환원이 산화납의 용해의 원인이라 예상된다. 다양한 조건 하에서, 동결 상태에서 산화납의 용해도가 증가, 혹은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 얼음 이 가지는 특수한 화학 환경 때문이라 예상된다.</p>

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

1 절. 연구 기간별 주요 달성도

수행 내용	수행월												진도율 (%)	
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
인공 오염 물질의 산화·환원 반응 후의 중금속이온 농도 및 산화수 분석 방법 확립	■	■												100%
얼음과 수용액 상의 반응 특이성 비교			■	■	■									100%
천연유·무기물질의 존재 하에 인공 오염 물질의 산화·환원 반응 분석						■	■	■	■	■				100%
연구 결과를 바탕으로 남극 환경에 미치는 영향 분석										■	■	■		100%
합 계														

■ 당초계획

■ 실적

2 절. 세부목표 별 주요 달성도

성과목표	세부목표	달성 주요내용	달성도(%)
1. 얼음 내 환경 무기물질에 의한 산화금속 물질의 화학적 특성 변환에 대한 이해	1-1	얼음 내에서 할로겐 물질 존재 하에 산화금속(PbO ₂) 입자의 화학적 특성 변화 분석 - 반응 전후의 중금속 이온 농도를 측정 - 빙결 반응 전후의 중금속 입자의 용해 정도를 비교, 분석 - 다른 할로겐 물질(chloride, bromide, iodide)에 따른 반응의 경향성 분석	100%
	1-2	얼음 내에 존재하는 무기산이 중금속 물질의 용해에 미치는 영향 분석 - 반응 전후의 중금속 이온 농도 측정 - 무기산 농도에 따른 중금속 이온 농도 변화의 경향성 분석	100%
2. 얼음 내에서 환경 물질이 오염물질에 미치는 영향에 대한 이해	2-1	얼음 내에서 천연무기물질과 오염물질의 화학반응 분석 - 반응 전후의 중금속 이온 농도 및 할로겐의 변화 측정	100%
	2-2	수용액 상에서의 반응을 기존의 동결 반응과 비교, 분석 - 동일한 조건 내의 실험을 수용액 상에서 수행, 그 결과를 얼음 상의 실험과 비교, 분석	100%

3 절. 대외 기여도

상용 나노 입자의 얼음 내부에서의 화학적 거동이라는 연구를 통해 얼음 내 물리·화학 반응을 분자수준에서 이해하여 지구상의 극지 및 고지대에 존재하는 자연 얼음이 지구 환경에 미치는 영향을 이해하도록 한다. 이를 통해 극지방 및 전 지구적 환경변화를 보다 정확히 예측할 수 있고 나아가 극지 환경 모델링을 위한 정확한 변수를 제공할 수 있게 된다. 또한, 현재 얼음 내에서 일어나는 물리·화학 반응은 기초 연구 단계로 아직 많은 연구가 진행되지 않은 상태이다. 이러한 연구 분야를 기초적인 수준부터 체계적으로 이해할 수 있고 이로 인해 국내 극지 기초연구분야를 선진국 수준까지 끌어올리고 국제 공동연구에서 우위를 선점할 수 있다. 그리고 저명한 국제학술지에 연구결과를 발표함으로써 극지연구에 대한 우리나라의 역량을 국제 학계에 알리는데 공헌한다.

제 5 장 연구개발결과의 향후계획

1 절. 추가연구의 필요성 및 타연구에의 응용

본 연구를 통해 상용 나노 입자가 극지역에 존재하는 빙하 안에 갇혔을 때 가지는 화학적 특성 변환을 이해하는 데에 기초적인 정보를 획득할 수 있었다. 또한, 해양에 많이 존재하는 동시에 남극의 빙하에도 많이 존재하는 할로젠 이온 물질이 이러한 상용 나노 입자의 화학적 특성 변환에 미치는 영향을 분자 수준으로 이해 할 수 있었다. 이러한 기본적인 화학 현상에 대한 원리를 연구실 단위의 연구로 이해하고 이후 실제 환경에 적용하여 상용 나노 입자 물질이 환경에 미치는 잠정적인 영향을 이해하기 위해서는 좀 더 실제 자연 환경과 유사한 실험 환경을 조성할 필요가 있다. 남극 지역에 존재하는 할로젠 이온 물질 이외에 존재하는 다양한 유기 물질에 대한 조사가 필요하며 이러한 물질의 존재하에서의 상용 나노 입자 물질의 특성 변환에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 또한, 실제 남극에 존재하는 빙하 및 눈 샘플을 채취하여서 상용 나노 주입한 이후 빙결된 상태에서 남극에 존재하게 됐을 때 나타나는 현상 관찰도 필수적이다. 이러한 기초적인 연구는 지구 환경 변화 모델링에 대한 기초적인 정보와 변수값을 제공하며 더 정밀한 지구 환경 변화 예측 모델을 개발하는 데에 활용될 수 있다.



제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음



제 7 장 참고문헌

- (1) Eric Rignot, Stanley S. Jacobs. *Science*. Vol 296. 14 June 2002
- (2) Kevin R. Arrigo, Denise Worthen, Anthony Schnell and Michael P. Lizotte, *Journal of Geophysical Research*, Vol 103, 15 July 1998
- (3) Martil. Woolery, Ralph A. Lewin, *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol 6, 23 February 1976
- (4) D.G.Wallen, *Aquatic Botany*, Vol 38, 9 May 1990
- (5) Frederic A. M. Planchon, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol 200, 14 March 2002
- (6) Takenaka, *Nature*, Vol 358, 6389, 1992
- (7) Florent Domine, Paul B. Shepson. *Science*. Vol 297. 30 August 2002
- (8) Kitae Kim, Wonyong Choi, Michael R. Hoffmann, Ho-il Yoon, Byong-Kwon Park. *Environmental Science & Technology*. Vol 44. 11 November 2010



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