

KAERI/TR-1309/99



KR9900254

처분장 완충재용 국산 벤토나이트의  
공극수 화학특성 : 실험데이터 분석

Pore Water Chemistry of Domestic Bentonite for the  
Buffer of a Repository : Analysis of Experimental Data

1999. 4.

한국원자력연구소

31-02 7

# 제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 “처분장 완충재용 국산 벤토나이트의 공극수화학특성 : 실험데이터 분석”에 관한 기술보고서로 제출합니다.

1999 년 4 월

과제명 : 공학적방벽개발과제

주 저 자 : 이 재 완

공 저 자 : 조 원 진

전 관 식

강 철 형

# 요 약 문

## I. 제목

처분장 완충재용 국산 벤토나이트의 공극수화학특성 : 실험  
데이터 분석

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

처분장에서 완충재는 핵종유출에 매우 중요한 방벽 역할을 하며, 그 성능은 공극수화학특성에 크게 좌우된다. 본 연구에서는 벤토나이트-지하수 시스템에 대한 실험을 통하여 완충재의 밀봉기능과 화학적 완충효과(chemical buffering effect) 및 핵종이동 평가에 필요한 공극수화학특성 자료를 제공하는데 그 목적을 두었다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 완충재 후보물질로 고려되고 있는 국산 벤토나이트와 화강암계 모의지하수를 사용하여 공극수화학특성실험을 수행하였다. 반응시간에 따른 이온농도, pH, Eh (산화-환원전위)의 변이를 측정하였으며, 반응온도와 지하수-대-벤토나이트의 비가 이러한 특성인자에 미치는 영향도 규명하였다.

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

국산 벤토나이트-지하수 시스템에 대한 공극수화학특성실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

벤토나이트와 모의지하수가 반응했을 때 용존이온의 농도, pH, Eh는 대부분 수 일 이내에 정상상태에 도달하였다. 벤토나이트와 모의지하수의 상호반응에서 공극수의 화학특성은 벤토나이트의 구성광물에 의해 크게 좌우되었다. 공극수 중에는 sodium, sulfate, carbonate 가 주성분이었으며, 그 농도는 반응 전에 비해 약 4-5 배 정도 증가하였다. pH는 8.1에서 8.9로 증가하였으며, Eh는 약 365 - 375 mV의 값을 나타내었다.

용존이온의 농도는 대부분 벤토나이트-대-지하수의 비가 증가할수록 증가하였다. 반면에, pH와 Eh는 벤토나이트-대-지하수의 비에 거의 영향을 받지 않았다.

용존이온 농도의 온도의존성은 이온에 따라 서로 다른 경향을 보였다. pH는 80 °C까지는 거의 변화가 없었으나, 그 이상의 온도에서 감소하였다. 그러나, Eh는 pH와는 달리 80 °C 이상에서 오히려 증가하였다.

본 연구에서 얻어진 실험결과는 향후 고준위폐기물처분장 완충재의 개념설정 및 성능평가에 기초자료로서 유용하게 사용될 것이다.

# SUMMARY

## I. Project Title

Pore Water Chemistry of Domestic Bentonite for the Buffer of a Repository : Analysis of Experimental Data

## II. Objectives and Importance of the Project

In a repository, the buffer plays an important role of barrier against radionuclide release, and its performance is dependent mainly upon pore water chemistry. The objective of this study is to provide information on pore water chemistry which is essential to evaluating the chemical buffering effect of buffer and the migration of radionuclide..

## III. Scope and Contents of the Project

Experiments were conducted using synthetic ground water and domestic bentonite which is considered as a buffer material for a repository in Korea. The evolution of ionic concentration, pH, and redox potential were measured, and the effect of temperature and water-to-bentonite ratio on the pore water chemistry were also investigated.

#### IV. Results and Proposal for Application

The following results were obtained by conducting tests for domestic bentonite - synthetic ground water interaction.

Upon reaction of the bentonite and ground water, ionic concentration, pH, and Eh nearly reached a steady-state within a few days. The pore water chemistry was dominated mainly by the mineralogical composition of bentonite. Analytic results showed that sodium, sulfate, and carbonate were major ions, and their concentrations increased to about 4 - 5 times those of original ground water. The pH increased from 8.1 to 8.9, and the Eh were between 365 mV and 375 mV.

The concentration of most dissolved ions increased with increasing bentonite-to-ground water ratio. On the contrary, the pH and Eh were little affected by bentonite-to-ground water ratio.

The dependence of ionic concentration upon temperature had different trends with different ions. Little change in the pH occurred up to 80 °C, and decreased beyond the value of temperature. The Eh rather increased beyond 80 °C on the contrary to pH.

The experimental results obtained will be useful to establishing the concept and evaluating the performance for the buffer of a high-level waste repository.

## 목 차

제 1 장 서 론 .....	9
제 2 장 벤토나이트-지하수 상호작용 .....	13
제 3 장 실험 .....	18
1. 벤토나이트 .....	18
2. 지하수 .....	18
3. 실험디자인 및 방법 .....	20
제 4 장 결과 및 토의 .....	25
1. 시간에 따른 공극수화학특성 변이 .....	25
2. 지하수-대-벤토나이트 비에 따른 공극수화학특성 변화 .....	36
3. 온도에 따른 공극수화학특성 변화 .....	43
제 5 장 결 론 .....	50
참고문헌 .....	51

## 표 목 차

표 1	벤토나이트의 화학조성비 .....	21
표 2	벤토나이트의 양이온 교환능과 추출 가능한 양이온의 구성비 .....	22
표 3	우리 나라 화강암 지역 심부지하수의 물리. 화학적 특성치 .....	23
표 4	공극수화학특성 규명을 위해 디자인된 실험계획표 .....	24

## 그 립 목 차

그림 1	몬모릴로나이트(montmorillonite)의 결정구조 ..	16
그림 2	벤토나이트 입자와 용액 경계면에서의 전기이중층 .....	17
그림 3	시간에 따른 주요 이온들의 농도 변이 .....	27
그림 4	시간에 따른 minor ions의 농도 변이 .....	28
그림 5	시간에 따른 극미량 이온들의 농도 변이 .....	29
그림 6	시간에 따른 공극수의 pH 변이 .....	32
그림 7	시간에 따른 공극수의 산화-환원전위 변이 .....	35
그림 8	“지하수-대-벤토나이트의 비”에 따른 주요	



	이온들의 농도 변화 .....	37
그림 9	“지하수-대-벤토나이트의 비”에 따른 주요 염소(chloride)의 농도 변화 .....	38
그림 10	“지하수-대-벤토나이트의 비”에 따른 minor ions의 농도 변화 .....	39
그림 11	“지하수-대-벤토나이트의 비”에 따른 극미량 이온들의 농도 변화 .....	40
그림 12	공극수의 pH에 대한 “지하수-대-벤토나이트의 비”의 영향 .....	41
그림 13	공극수의 산화-환원전위에 대한 “지하수-대-벤토나이트의 비”의 영향 .....	42
그림 14	온도에 따른 주요 이온들의 농도 변화 .....	45
그림 15	온도에 따른 minor ions의 농도 변화 .....	46
그림 16	온도에 따른 극미량 이온들의 농도 변화 .....	47
그림 17	공극수의 pH에 대한 온도의 영향 .....	48
그림 18	공극수의 산화-환원전위에 대한 온도의 영향 .....	49

## 제 1 장 서 론

일반적으로 처분장은 공학적방벽과 자연적방벽으로 구성된다. 공학적방벽에서 완충재는 처분장으로부터의 핵종유출에 매우 중요한 방벽 역할을 하며, 완충재의 공극수화학특성은 공학적방벽의 장기거동 예측과 공학적방벽을 통한 핵종이동평가에 필수적인 자료이다.

완충재 물질로는 벤토나이트를 기본재로 하는 물질이 유력하다[1]. 처분장으로 유입된 지하수는 벤토나이트와 접촉하여 화학적 특성이 변화하게 되는데, 이 때 벤토나이트의 공극수화학특성은 pH, 산화-환원전위 (redox potential) 및 용존이온 농도에 의해 특징 지워진다. 압축 벤토나이트의 밀봉기능과 화학적 완충효과 (chemical buffering effect) 및 핵종이동에 영향을 주는 착화반응 (complexation), 용해/침전, 산화/환원반응, 수착/확산 등은 이러한 공극수화학특성인자에 크게 좌우된다.

벤토나이트-지하수 시스템에 대한 공극수화학특성실험은 벤토나이트가 처분장의 완충재물질로 고려되면서 본격적으로 시작되었다. 지금까지 수행된 연구는 여러 가지 실험조건에서의 화학특성치 변화 및 상호작용 시 반응기구 규명에 초점을 두고 수행되어 왔다.

Wanner[2]는 40g 의 Na-벤토나이트와 1500 cm<sup>3</sup> 의 합성지하수를 혐기성 조건 (anaerobic condition)에서 90일간 반응시켜 공극수화학특성을 조사하였다. 이 실험에서 나트륨의 농도는 증가하였고, 칼슘, 마그네슘, 칼륨의 농도는 감소하였다. 그는 이것을 몬모릴로나이트에서의 이온교환반응 때문이라 했다. 반면에, 규산 (silicic acid)의 농도는 거의 변화가 없었다. pH는 초기 7일간은 증가하다가 그 후로는 약간 감소하면서 일정한 값에 도달하였으며, 산화-환원전위는 환원분위기의 값을 나타내었다.

Sasaki등[3]은 Kunigel-VI 또는 Kunigel F 벤토나이트와 두 종류의 모의지하수를 실온에서 반응시켰다. 지하수-대-벤토나이트

의 비는 0.3 - 10 cm<sup>3</sup>/g, 반응시간은 최대 180일로 하였다. 반응 후 용액 중에는 sodium, sulfate, carbonate의 농도가 높았고, pH는 염기성으로 8.5 - 10의 값을 나타내었다. 반응시간에 따른 주요이온의 농도와 pH는 벤토나이트의 광물조성에 의존적이었다. 지하수-대-벤토나이트의 비가 감소할수록 sodium의 농도는 크게 증가하였다. 반면에 carbonate의 농도는 약간 감소하였고, pH는 거의 변화가 없었다. 이 실험에서 공극수화학특성은 몬모릴로나이트의 이온교환반응, 방해석(calcite)의 용해반응 및 황화철 (pyrite)의 산화반응에 의해 지배되는 것으로 밝혀졌다.

Wanner 등[4]은 벤토나이트-대-지하수의 비를 1.4 g/cm<sup>3</sup>로 해서 Wyoming 벤토나이트와 지하수를 대상으로 실험을 하였다. 이 실험에서 sodium 농도, sulfate 농도, 염기도 (alkalinity) 및 pH는 초기값에 비해 크게 증가하였다. sodium의 농도는 몬모릴로나이트 층간에 존재하는 sodium이 지하수 중의 다른 양이온들과 이온교환 되면서 결정되는데, 이 반응은 초기 지하수의 조성 보다 벤토나이트의 부 구성광물들의 용해에 의해 더 영향을 받았다. sulfate의 농도는 부 구성광물로 존재하는 황산염 광물의 용해에 의해, 염기도는 방해석과 같은 탄산염 광물의 용해에 의해 증가하였다. 화학종 계산결과, 방해석과 석영은 과포화상태로 존재하였으며, 벤토나이트-대-지하수의 비를 증가시켰을 때 sodium, carbonate, pH는 아주 크게 증가한 반면, sulfate, magnesium, calcium 의 농도는 거의 변화가 없었다.

Snellman 등[5]은 25°C, 혐기성조건에서 MX-80 벤토나이트와 지하수를 40 g 대 1500 cm<sup>3</sup>의 비로 540일 동안 반응시켜 공극수화학특성을 조사하였다. 이 실험에서 sodium의 농도는 증가하였으며, 이것은 칼슘 및 수소이온과의 이온교환 때문이라 했다. 그 밖에, carbonate의 농도가 상당히 높았고, pH는 염기성으로 9 - 10의 값을 나타내었다. 벤토나이트의 pH 완충작용은 지하수의 조성에 의존하였는데, 높은 염도 (salinity)에서는 약간 작게 나타났다. 벤토나이트는 용액의 산화-환원전위에 대해서도 완충작용을 하였으며, -300 ~ -200 mV의 낮은 산화-환원전위를 나타내었다. 용액

에 대한 화학종 계산결과, 방해석과 석영은 과포화상태로 존재하였고, gibbsite와 microcline는 거의 포화상태로 존재하였다.

Oscarson등[6]은 Avonlea 벤토나이트와 증류수 시스템에 대해 공극수화학특성을 조사하였다. 이 실험은  $1.5 - 3 \text{ cm}^3/\text{g}$ 의 증류수-대-벤토나이트의 비에서 수행되었다. 실험결과, 용존이온의 농도는 sulfate, sodium, chloride, calcium 순이었다. 증류수-대-벤토나이트의 비가 감소할수록 이 이온들의 농도는 증가하였으나, pH는 7.5-7.6 으로 거의 변화가 없었다. 공극수의 이온강도는 0.105 - 0.219 M 사이에서 다음과 같은 관계식으로 표현되었다.  $I = -0.073 (S/C) + 0.319$ . 여기서, I는 이온강도, S/C는 증류수-대-벤토나이트의 비를 나타낸다.

Fritz등[7]은  $25 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 온도가 공극수화학특성에 미치는 영향을 조사하였다. 그의 실험에서 온도가 증가할수록 나트륨의 농도는 증가하였고, 반면에 칼슘, 칼륨, 나트륨의 농도는 감소하였다. pH는 7.40 - 8.57 로서  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  이상에서 증가 추세를 나타내었으며, 실리콘과 알루미늄의 농도도 증가하였다.

Wood[8]와 Allen등[9]은  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 와  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , 30 MPa 가압하에서 벤토나이트와 물을 반응시켰다.  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 60 일간의 실험에서는 몬모릴로나이트내의 나트륨이 칼슘과 철로 제한적으로 치환되고, 몬모릴로나이트의 용해물이 소량 있었다. 장석과 소금 (halite)은 2차 생성물로 생성되었다. 벤토나이트-대-지하수의 비가 10인  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , 217일 간의 실험결과에서는 칼슘과 철 및 몬모릴로나이트의 용해물이  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  보다 증가하였다. Yau등[10]의 실험에서도 비슷한 실험결과가 보고되었다. 이 실험은  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 91일간 1회,  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서는 71일-537일 동안 3회 실시되었다. 벤토나이트를 구성하고 있는 몬모릴로나이트의 용해는 없었고, 방해석의 용해가 관찰되었다. 이 때 용출된 칼슘은 몬모릴로나이트 내 칼륨과 치환되어 들어갔다.

상기 문헌검토에서, 벤토나이트와 접촉하는 지하수의 화학특성은 벤토나이트의 광물조성, 초기 지하수조성, 반응온도 및 지하수-대-벤토나이트의 비에 따라 서로 달랐으며, 그 때의 상호작용

도 다르게 나타났다.

본 연구에서는 완충재 후보물질로 고려되고 있는 국산 벤토나이트와 화강암계 모의지하수를 사용하여 공극수화학특성실험을 수행하였다. 반응시간에 따른 이온농도, pH, Eh (산화-환원전위)의 변이를 측정하였으며, 반응온도와 지하수-대-벤토나이트의 비가 이러한 특성인자에 미치는 영향도 규명하였다.

## 제 2 장 벤토나이트-지하수 상호작용

벤토나이트는 화산재가 변화하여 만들어진, 높은 콜로이드성의 가소성 점토로서 2  $\mu\text{m}$  이하의 극히 미세한 입자로 되어 있다. 대부분 몬모릴로나이트로 구성되고, 그밖에 여러 가지 부구성광물들을 소량으로 함유한다. 따라서 벤토나이트의 광물특성은 몬모릴로나이트에 의해 결정된다.

몬모릴로나이트는 스멕타이트(smectite)를 그룹명으로 하는 점토광물로서, 두개의  $\text{SiO}_4$  사면체 망면 사이에 알루미늄, 철, 마그네슘을 갖는  $\text{Al}(\text{OH})_6$  팔면체 망면이 끼임으로 하나의 입자를 형성한다. 몬모릴로나이트는 이러한 판상형의 입자들이 집적된 점토광물로서, 층간수나 층간에 존재하는 양이온에 따라 약 12.5 - 20  $\text{\AA}$  의 기본층간 거리를 가지며, 약한 반데르발스 힘으로 결합되어 있다. Hoffman [11]에 의해 제안된 몬모릴로나이트의 구조는 그림 1과 같다.

몬모릴로나이트는 사면체내  $\text{Si}^{+4}$  가  $\text{Al}^{+3}$ 로 바뀌거나 팔면체내  $\text{Al}^{+3}$  이  $\text{Fe}^{+2}$  나  $\text{Mg}^{+2}$  로 바뀜으로써 층간에 부전하를 띠게 되는데, 이 부전하는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  등의 양이온들이 층간에서 동형치환(Isomorphous Substitution) 되거나 결정구조의 깨어진 본드(broken bond)에 달라붙게 됨으로써 전기적 불균형을 보상하게 된다. 몬모릴로나이트의 전체 양이온교환자리의 80% 정도가 동형치환에 의한 것이고, 깨어진 본드에 의한 것은 약 20% 내외인 것으로 알려져 있다[12]. 벤토나이트 표면에 달라 붙은 양이온들의 결합력은 이온마다 다르다. 즉, 양이온의 원자기가 높을수록 결합력이 크다. 동일한 원자기의 이온들은 이온크기가 증가할수록 결합력이 커진다. 문헌에 의하면, 주요 양이온들의 결합력은 다음과 같은 순서로 갖는다.

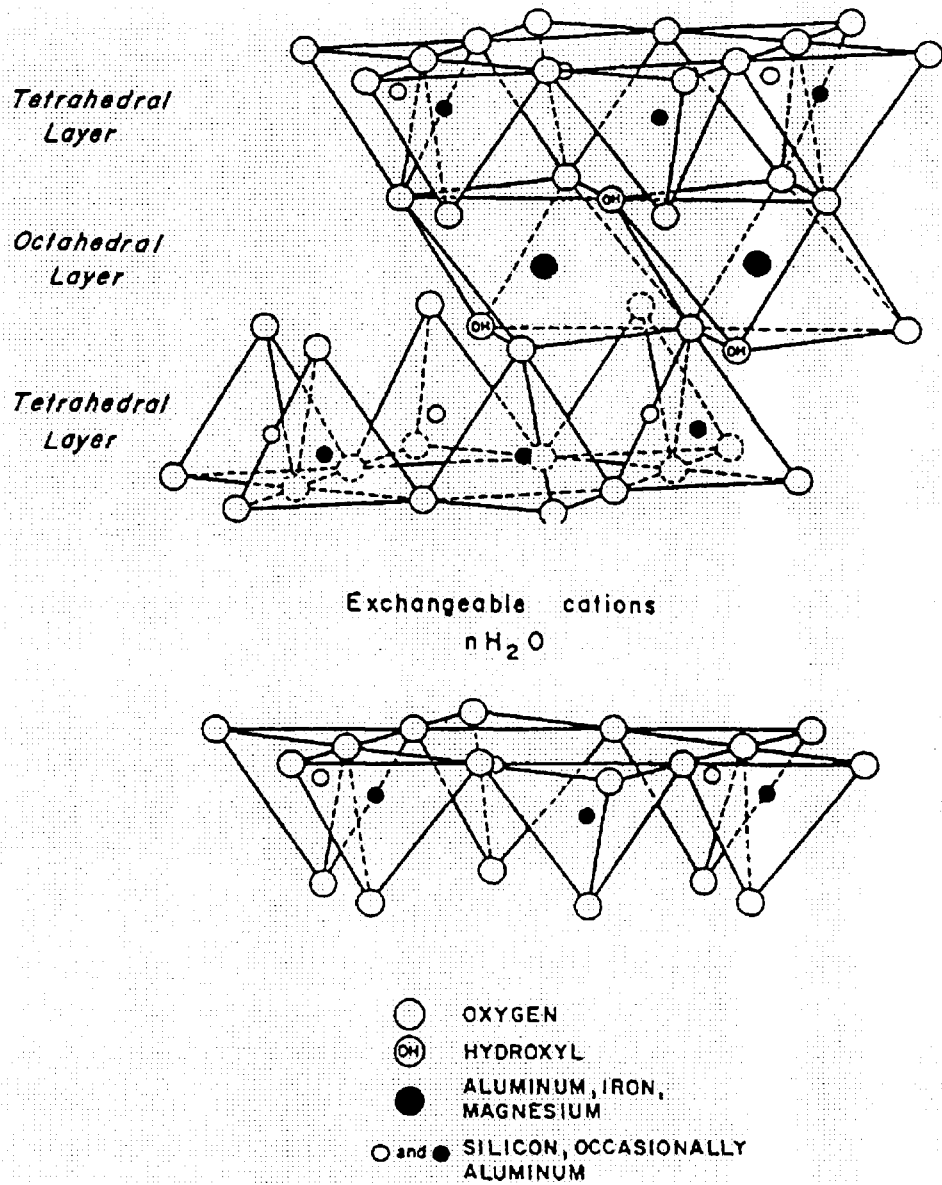


벤토나이트가 물과 접촉하게 되면 수화반응이 먼저 일어난다. 즉, water layer 로 둘러싸여진다. 이것은 물의 수소이온이 점토 표면의 산소원자와 수소결합을 하거나, 점토표면의 전하가 양극성 분자 (dipolar molecule)인 물을 끌어당김으로써 생기게 된다. 대부분의 수화반응은 전자에 의해서 일어나고 후자는 점토표면의 음전하 밀도가 매우 작기 때문에 크게 기여하지 못한다. 그 다음, 벤토나이트 결정내 전기적 불균형을 보상하기 위해 치환되어간 이온 교환성 양이온들이 물에 의해 용출되어 나오고 그 이온들의 주변을 water layer 가 둘러싸게 된다. 이 때 용출되어 나온 양이온들은 모두 벤토나이트 표면에 바로 달라 붙는 것이 아니라 일정한 거리에 따라 분포를 가지며 존재한다. 이 때 양이온은 원자와 이온강도가 작을수록 점토표면으로 부터 멀리 떨어져 존재한다 (그림 2 참조). 양이온과 음전하의 점토표면 사이에 존재하는 정전기력 (electrical force)은 양이온을 점토표면으로 끌어 당기지만, 이들 양이온이 갖는 열 에너지 (thermal energy) 때문에 높은 양이온 농도로부터 낮은 농도로 확산된다. 그 결과, 양이온은 쿨롱의 전기적 인력 (Coulomb electric attraction)과 열 확산 (thermal diffusion)의 균형으로 양이온은 전기이중층(electrical double layer)을 형성한다. 전기적 이중층에서 양이온의 농도는 벤토나이트 표면 가까이에서는 높고 표면으로 부터 멀어질수록 점차 감소한다. 수화층 (water layer)과 양이온의 전기이중층을 갖는 벤토나이트의 표면은 그림 3과 같이 도식화 할 수 있다.

공극수의 화학특성은 물과 접촉하는 벤토나이트의 구성광물, 지하수 조성 및 상호작용 시 반응형태에 따라 다양하게 나타난다. 벤토나이트의 주 구성광물인 몬모릴로나이트에서는 입자층과 가장 자리에서의 이온교환반응, 몬모릴로나이트 입자의 용해, 그리고 입자 가장자리에 붙은 수산기의 양성자 이전(protolysis) 후 착화반응 등이 공극수화학특성을 변화시킨다. 또, 벤토나이트의 부 구성광물

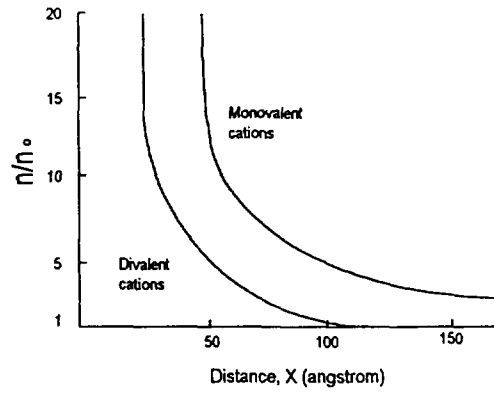
들의 용해/침전반응, 산화/환원반응, 이차광물 생성반응 또는 이 과정에서 생성된 용존이온들의 몬모릴로나이트와의 상호반응 등이 공극수의 pH, Eh, 이온농도에 영향을 미친다. 그 밖에, 공극수 화학특성은 벤토나이트-물 반응이 열린계에서 일어날 경우 이산화탄소의 양에 의해 영향을 받는다. 문헌 [3]에 의하면, 염기성 용액은 이산화탄소를 강하게 흡수·용해 시키는 것으로 보고되고 있다.



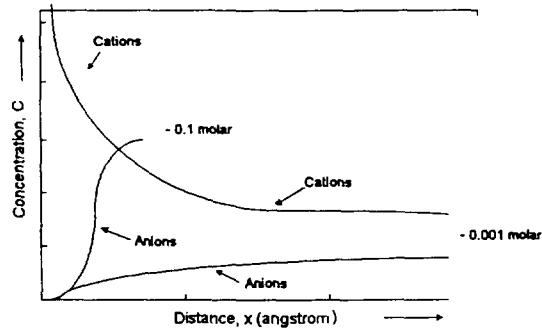


REFERENCE: GRIM, 1968

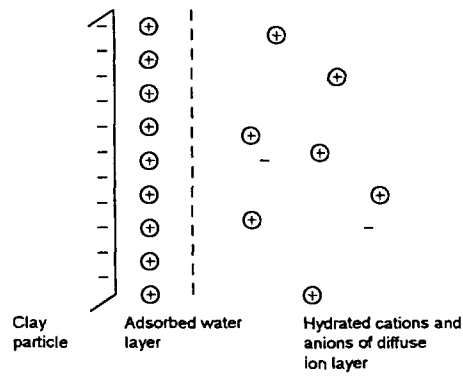
그림 1 몬모릴로나이트(montmorillonite)의 결정구조



(a) valence effect



(b) salt concentration effect



(c) electrical double layer

그림 2 벤토나이트 입자와 용액 경계면에서의 전기이중층

## 제 3 장 실험

### 1. 벤토나이트

본 실험에 사용된 벤토나이트는 경북 경주시 양남면 소재 제 29 호 진명광산에서 채취한 것이다. 채취 원광은 건조시킨 후 200 메쉬(mesh) 체를 90% 이상 통과하도록 분쇄하여 사용하였다.

벤토나이트의 광물학적 특성은 X-ray 회절분석, 현미경 감정, SEM 분석 및 EDX 분석을 통하여 조사되었다 [13]. 분석결과, 이 벤토나이트는 주 구성광물로서 몬모릴로나이트, 장석, 석영 등을 포함하였으며, 부 구성광물로는 pyroxene, biotite, amphibole, muscovite, calcite, ilmenite 등을 포함하였다. 중량비로 표시한 각 광물의 구성비는 몬모릴로나이트 64.7%, 장석 34.3%, 석영 1.00%, 기타 불순물 광물들이 9.9% 이었다.

벤토나이트의 화학조성은 습식 및 ICP-AES 방법으로 결정되었으며, 그 결과는 표 1에 수록하였다. 이 시료의 양이온교환능(Cation exchange capacity)과 추출가능한 양이온(Exchangeable cations)은 표 2와 같다. 그 밖에 벤토나이트의 pH는 9.5, 비중은  $2.51 \text{ g/cm}^3$ , 표면적은  $347.6 \text{ m}^2/\text{g}$  이었다.

### 2. 지하수

공극수화학특성 실험에 사용된 물은 우리 나라 화강암 지역의 심부지하수 특성을 모사한 모의지하수를 제조하여 사용하였다. 표 3에 심부지하수의 특성치를 수록하였다. 이 지하수는 약염기성으로서 carbonate, sodium, sulphate, silicon 이온들을 주로 포함하였다.

본 실험에서는 다음의 절차에 따라 모의지하수를 제조하여 사용하였다.

1. 지하수 제조에 필요한 시약들을 미리 계산된 무게만큼 준비한다.

chemicals	mol. wt.(g)	wt.(mg)	wt.(g)
KCl	74.55	14.3	0.0143
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	203.33	48.49	0.04849
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	172.18	451	0.451
SrCO <sub>3</sub>	147.63	3.2	0.0032
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	73.892	4.79	0.00479
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	287.58	3.52	0.00352
FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	270.317	1.94	0.00194
MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	169.018	0.31	0.00031
NaF	41.99	169.949	0.169949
NaCl	58.44	154.46	0.15446
NaHCO <sub>3</sub>	84.01	1031.29	1.03129
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	105.99	165.7	0.1657
SiO <sub>2</sub>	60.0855	243	0.243
HCl(32%)(ml)	36.46	0.192 (ml)	0.192 (ml)

2. 2 리터 비이커에 준비된 시약을 넣고 증류수 2 L를 부은 다음, 완전히 녹을 때까지 충분히 교반한다.
3. 10 리터의 폴리에틸렌 용기에 “용액 2”와 8 L의 증류수를 더 부어 10 L가 되게 하고, 이렇게 준비된 용액은 충분히 교반한 후 하룻밤 동안 둔다.
4. “용액 3”을 0.45  $\mu$ m 필터로 여과한 후 pH를 측정하고 따로 보관한다.

제조된 모의지하수의 pH는 8.0 - 8.2, Eh는 400 - 405 mV의 범위에 있었으며, 용존이온들의 농도는 심부지하수와 거의 같은 값을 가졌다.

### 3. 실험방법 및 디자인

공극수화학특성 실험방법으로는 정적인 시험법 (static test method)과 동적인 시험법 (dynamic test method)이 있는데, 본 연구에서는 다음의 절차에 따라 전자의 방법으로 수행되었다.

- 1) 지퍼가 달린 폴리에틸렌 비닐 봉지 (polyethylene zip-lock bag)를 준비한다.
- 2) 모의지하수와 벤토나이트를 주어진 지하수-대-벤토나이트의 비로 반죽한다.
- 3) 반죽된 모의지하수와 벤토나이트를 폴리에틸렌 비닐봉지에 넣고 데시케이터 (desiccator)에서 일정기간 동안 반응시킨다.
- 4) 고속원심분리 (ultracentrifugation) 후, 상등액을 0.45  $\mu\text{m}$  필터로 여과하여 용액을 추출한다.
- 5) 추출 용액으로부터 pH, Eh 및 용존이온의 농도를 분석한다.

이 실험은 표 4의 실험계획표에 따라 수행되었다. 즉, 기준조건으로 온도를 20  $^{\circ}\text{C}$ , 지하수-대-벤토나이트의 비를 10  $\text{cm}^3/\text{g}$ 으로 하여 지하수의 화학특성 변이를 조사하였고, 온도와 지하수-대-벤토나이트의 비가 용액의 화학특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 실험변수의 범위를 각각 20 - 80  $^{\circ}\text{C}$ , 2 - 10  $\text{cm}^3/\text{g}$ 로 하여 수행되었다.

표 2 벤토나이트의 화학조성비

Oxides	wt.%	Remarks
SiO <sub>2</sub>	56.80	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.96	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.03	
FeO	0.15	
CaO	2.59	
MgO	0.77	
K <sub>2</sub> O	0.93	
Na <sub>2</sub> O	1.25	
MnO	0.04	
TiO <sub>2</sub>	0.83	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	
CO <sub>2</sub>	0.27	
H <sub>2</sub> O(+)	7.62	105 °C 이상에서 방출된 수분 양
Total	97.35	Ig-loss(2.65 wt.%)

표 3 벤토나이트의 양이온교환능 및 추출가능한 양이온의 구성비

Cation-exchange capacity :	65.2 meq/100g		
Exchangeable cations :	Na	12.82 meq/100g	(20.1 %)
	K	2.04 meq/100g	( 3.2 %)
	Ca	17.60 meq/100g	(27.6 %)
	Mg	31.31 meq/100g	(49.1 %)
	-----		
	Sum	63.76 meq/100g	(100.0 %)

표 3 우리 나라 화강암 지역 심부지하수의 물리화학적 특성치

	Average	Std. Dev.	Numvers	Min.	Max.
Depth	638	119	64	370	860
Temp.(°C)	31.9	5.3	64	24.7	48.0
pH	8.98	0.7	64	5.8	10.6
TDS(mg/l)	182	105	64	56	596.0
Na <sup>+</sup> (mg/l)	50.8	35.4	61	6.0	193.7
K <sup>+</sup> (mg/l)	0.75	0.59	62	0.1	3.8
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	10.5	13.2	64	1.1	70.2
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	0.58	1.13	62	0.0	6.4
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	24.3	11.4	64	7.2	63.9
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	18.9	26.8	62	3.4	139.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	74.9	57	62	0.0	265.0
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	9.90	9.34	64	0.0	42.3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	24.9	51.62	63	0.1	356.3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0	0	64	0	0
F <sup>-</sup> (mg/l)	7.69	6.70	64	0.0	40.8
Fe(mg/l)	0.04	0.06	63	0.0	0.4
Mn(mg/l)	0.01	0.02	63	0.0	0.1
Li(mg/l)	0.09	0.14	64	0.0	1.0
Sr(mg/l)	0.19	0.57	64	0.0	4.0
Zn(mg/l)	0.08	0.09	64	0.0	0.6



표 4 공극수화학특성 규명을 위해 디자인된 실험계획표

Item	Experimental conditions		
	Reaction time (day)	Gw-to-bentonite ratio (cm <sup>3</sup> /g)	Temperature (°C)
반응시간에 따른 변이	3 - 120	10	20
Gw-to-bent onite ratio 의 영향	120	2 - 10	20
온도의 영향	120	10	20 - 80

## 제 4 장 실험결과 및 토의

### 1. 시간에 따른 공극수화학특성 변이

#### 가. 용존이온 농도

용존이온의 농도변이는 벤토나이트와 지하수를 기준 실험조건에서 120일 동안 반응시키면서 조사하였다. 그림 3 - 그림 5에 실험결과를 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 공극수중에는 sodium, sulfate, carbonate 등이 대부분 이었고, chloride, silicon, calcium, potassium, fluorine, nitrate, phosphate 등이 소량 존재하였다. 그밖의 이온들은 극미량 존재하였다.

sodium, sulfate, carbonate의 농도는 약 30일 경과했을 때부터 거의 일정한 값에 도달하였는데, 이 때의 농도는 반응전에 비해 약 4 - 5배 정도 증가하였다. sodium의 농도는 몬모릴로나이트의 층간에 존재하는, 결합력이 가장 약한 sodium이온이 지하수내의 다른 양이온, 즉, calcium, magnesium, potassium 등과 이온교환되거나[14] 벤토나이트에 불순물로 존재하는 나트륨염이 지하수에 용해되어 증가된 것으로 보인다. carbonate의 농도는 방해석(calcite)이나 그 밖의 탄산염광물(carbonate mineral)의 용해 및 공기 중의 이산화탄소가 지하수와 반응하여 증가된 것으로 보이며, sulfate의 농도는 황화광물(sulfide mineral)이나 황산염광물(sulfate mineral)의 용해에 의해 증가된 것으로 보인다. Sasaki 등[3]의 연구에서는 sulfate의 농도가 황화철의 산화반응에 의해 증가되었다.

minor ion들의 농도는 약 8-30일 이내에 일정한 값에 도달하였다. 초기 지하수의 농도와 비교했을 때 calcium의 농도는 감소하였고, fluorine의 농도는 거의 변화가 없었다. calcium의 농도 감소는 몬모릴로나이트의 층간에 존재하는 다른 양이온과의 이온교환반응 때문에 일어나는 것으로 보인다. 비록 방해석과 같은 탄산염광물의 용해로 농도의 증가가 있을 수 있으나 그 양이 이온교환

반응에 비해 커지 않은 것으로 생각된다. Grambow 등에 의하면, 벤토나이트와 지하수의 화학적 상호작용은 벤토나이트의 주 구성 광물인 몬모릴로나이트에서의 이온교환반응에 의해 지배되었다 [15]. 반면에, chloride, silicon, potassium, nitrate, phosphate의 농도는 초기 지하수의 것보다 증가하였다. chloride의 농도는 불순물로 존재하는 소금의 용해에 의해, silicon의 농도는 석영과 amorphous silica의 용해에 의해, potassium의 농도는 몬모릴로나이트의 층간에 존재하는 potassium이 지하수중의 calcium이나 magnesium에 의해 치환되어, nitrate와 phosphate의 농도는 각각 불순물로 존재하는 질산염광물과 인산염광물의 용해에 의해 증가된 것으로 보인다.

극미량으로 존재하는 이온들중에는 magnesium, iron, aluminum의 농도가 초기 지하수의 것과 다른 값을 가졌다. magnesium은 몬모릴로나이트의 층간에 존재하는 sodium이나 potassium과 치환되어 감소한 것으로 보이며, iron과 aluminum의 농도는 초기에 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있지만 현재로서는 그 원인을 알 수가 없었다.

실험데이터 분석 결과, 지하수중의 이온농도는 주 구성광물로 존재하는 몬모릴로나이트에서의 이온교환반응, 미량으로 존재하는 석영, 방해석 뿐만 아니라 불순물로 존재하는 나트륨염광물, 탄산염광물, 황화광물, 황산염광물, 질산염광물, 인산염광물 등의 용해에 의해서도 변화할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나, 불순물로 미량 존재하는 벤토나이트의 구성광물들이 어떤 화학반응을 통해서 공극수화학특성에 영향을 미치는 지를 정확히 조사하기 위해서는 보다 깊이 있는 광물분석이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

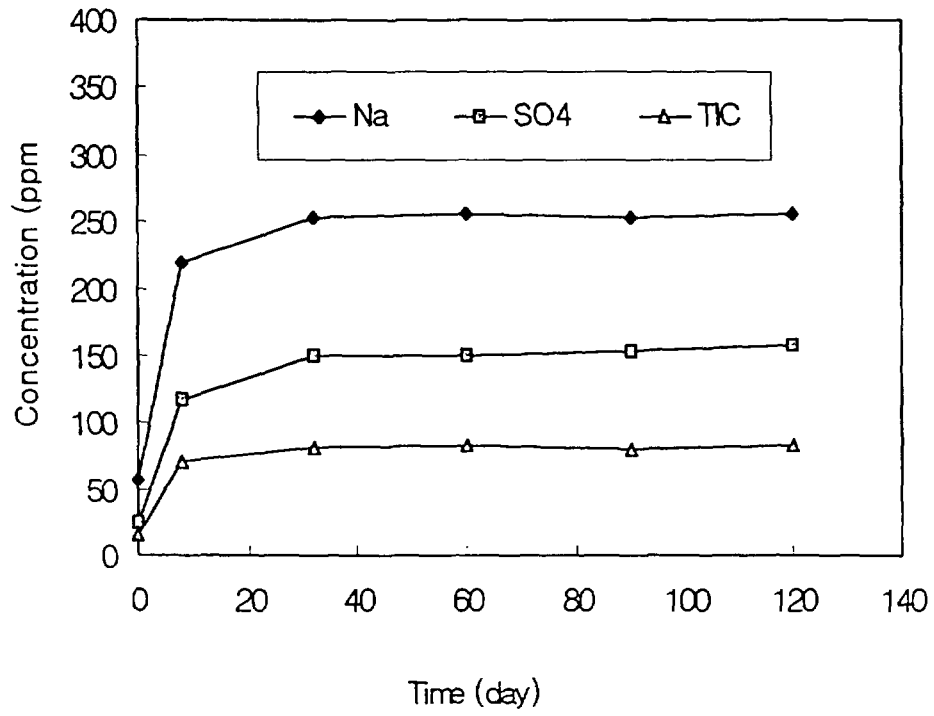


그림 3 시간에 따른 주요 이온들의 농도 변이

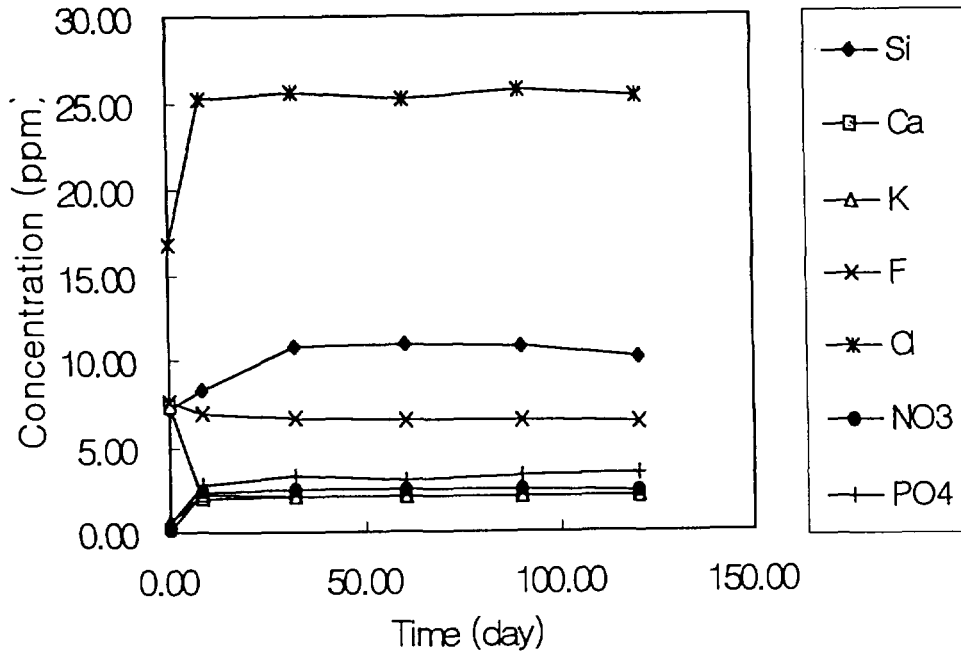


그림 4 시간에 따른 minor ions의 농도 변이

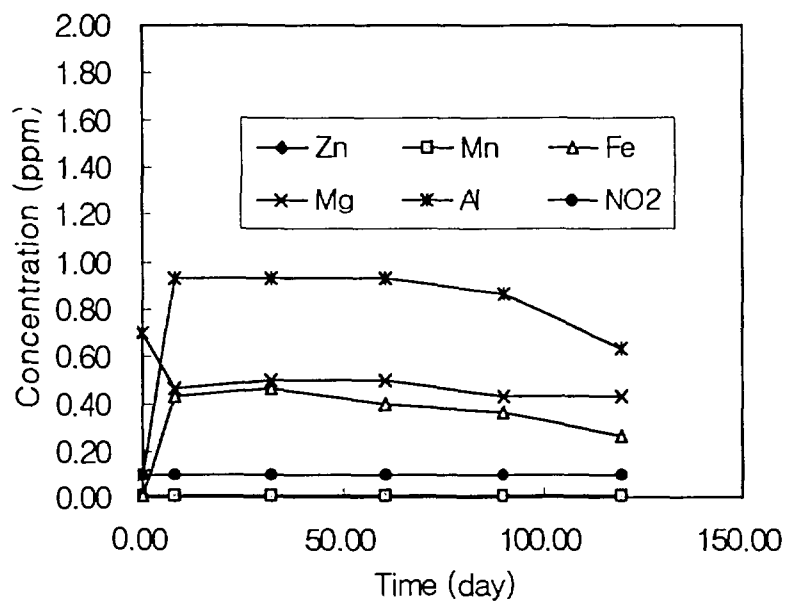
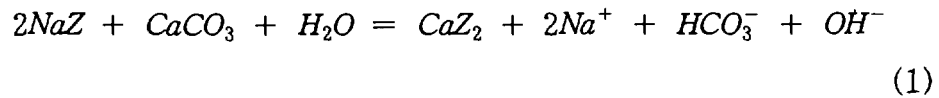


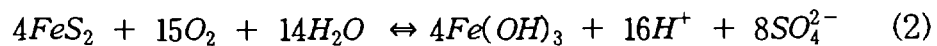
그림 5 시간에 따른 극미량 이온들의 농도 변이

#### 나. pH

벤토나이트와 지하수를 서로 반응시켰을 때, 시간에 따른 용액의 pH 변화는 그림 6과 같다. 초기 지하수의 pH는 8.1 이었으며, 반응후 용액의 pH는 증가하다가 8일 정도 경과했을 때부터는 약 8.9로서 거의 일정한 값에 도달하였다. 벤토나이트와 지하수의 상호반응에서 pH의 변화는 다음의 몇 가지 반응으로 설명할 수 있다.

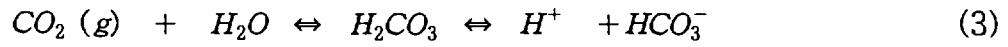


즉, 벤토나이트를 구성하고 있는 몬모릴로나이트의 이온교환반응과 방해석의 용해반응 결과로서 pH가 증가한다고 할 수 있다. Sasaki 등 [3]은 순수 몬모릴로나이트와 방해석 (Calcite)이 첨가된 시스템에서의 실험을 통해 각 광물의 pH에 미치는 영향을 보여 주었다. 이 실험에서 몬모릴로나이트는 pH에 거의 영향을 주지 않았지만, 방해석은 물과 반응 직후 pH가 7.8에서 9.5로 증가하였다고 보고하였다. Jeong[16]은 벤토나이트 중에 황화철과 같은 황화광물이 들어있을 경우 용액의 pH는 오히려 감소한다고 했다. 이것은 황화철 (pyrite)이 산화되면서 수소이온을 내어놓기 때문이다.



또, 염기성 용액은 이산화탄소를 강하게 흡수하기 때문에 공기 중의 이산화탄소와 지하수의 반응에 의한 pH의 변화도 생각할 수 있다.

다.



즉, 호기성 조건(aerobic condition)에서는 이산화탄소가 지하수와 반응하여 용액의 pH를 감소시킬 수 있다.

본 실험의 경우, pH는 위의 세 반응이 복합적으로 작용하여 변화한 것으로 보이지만, 전체적으로는 식(1)의 반응이 지배적이며 그 결과 pH가 증가한 것으로 판단된다.



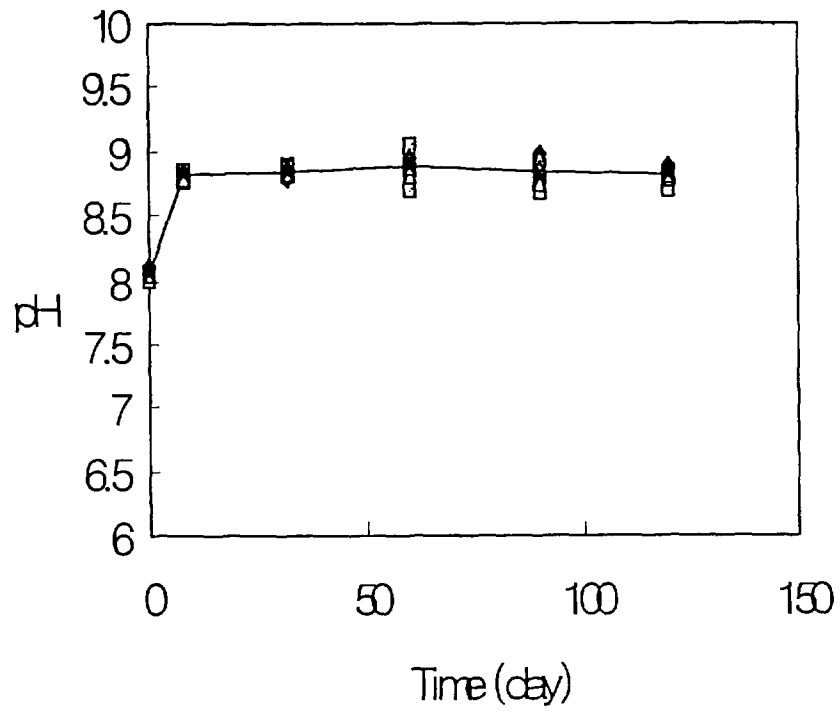


그림 6 시간에 따른 공극수의 pH 변이

#### 다. 산화-환원전위(Eh)

산화-환원전위는 이온농도나 pH와 함께 용액의 화학적 특성을 규정하는데 중요한 인자이다. 벤토나이트-지하수 시스템에서 이 전위는 철, 황, 망간, 질소 및 탄소 원소가 산화 또는 환원반응을 할 때 변화한다 [16]. 산화-환원전위를 Nernst 관계식으로부터 나타내면 다음과 같이 주어진다.

$$Eh = Eh^{\circ}_{OX(aq)/RED(aq)} + \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{a_{OX(aq)}}{a_{RED(aq)}}$$

$Eh^{\circ}$  는  $a_{OX(aq)} = 1$ ,  $a_{RED(aq)} = 1$  일 때의 산화-환원전위 값이며,  $R = 8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ,  $T$ 는 절대온도,  $n$  =산화환원반응에 포함된 전자의 수,  $F = 96485 \text{ C/eq}$ , 그리고  $a_{OX(aq)}$ 와  $a_{RED(aq)}$ 는 반응에 포함된 산화물과 환원물의 활동도이다.

그림 7은 Orion사의 Platinum Redox Electrodes #96-78을 사용하여 시간에 따른 Eh의 변화를 측정한 결과이다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 모의 지하수가 벤토나이트와 반응했을 때 용액의 Eh는 반응 얼마 후 일정한 값에 도달하였으며, 그 값은 약 365 - 375 mV의 범위 내에 있었다. 즉, 초기 지하수와 반응 후 모의 지하수는 모두 산화분위기에 있음을 알 수 있다. 이것은 본 실험이 호기성 조건(aerobic condition)에서 이루어졌기 때문으로 보인다. Na-벤토나이트/물 시스템을 대상으로 혐기성 조건(anaerobic condition)에서 실험을 한 Snellman [5] 등에 의하면, 반응 후 용액의 Eh는 -200 - -300 mV 로서 환원분위기를 나타내었다. 그림 7에서 모의 지하수의 산화-환원전위는 벤토나이트와의 반응 후 약간 감소하였는데, 이것은 pH의 증가와 관련이 있다. 벤토나이트에 포함된 철성분이 혐기성 조건 (즉, pH=약 8.9)에서 지하수내 용존 산소와 반응하면, 용액내 산소는 감소하고 철성분은  $\text{Fe(OH)}_2$  나  $\text{Fe(OH)}_3$ 의 침전물로 되기 때문에 용액의 산화-환원전위가 감소한

다. Allard 등 [17]과 Rydberg [18]는 실험을 통해 Eh와 pH의 관계식을 제안하였으며, 이 식에 따르면 Eh는 pH가 증가할수록 감소하였다.

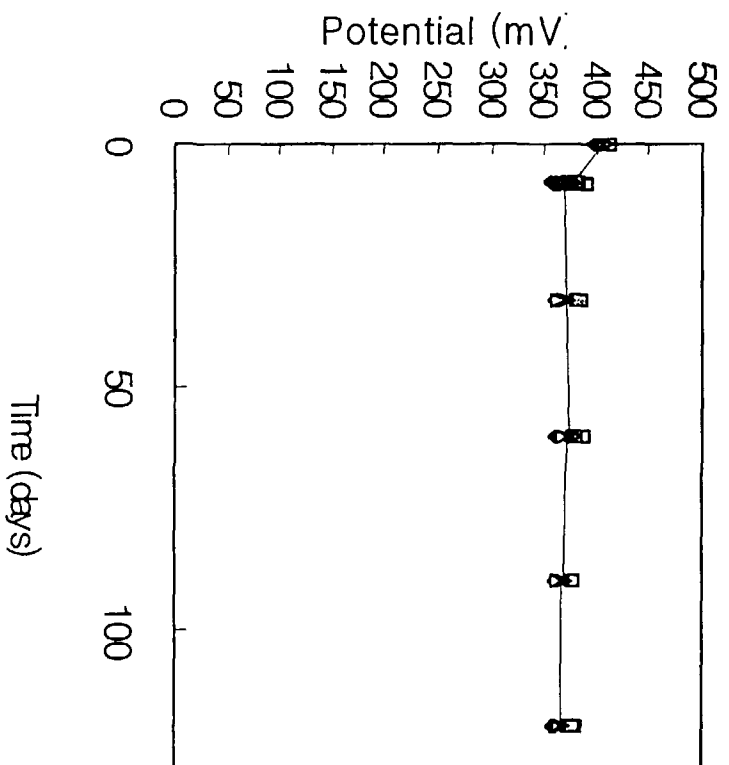


그림 7 시간에 따른 공극수의 산화-환원전위 변이

## 2. 물-대-벤토나이트 비에 따른 공극수화학특성 변화

용존이온 중 major ion의 경우, sodium과 sulphate의 농도는 벤토나이트의 양이 증가할수록, 즉, 물-대-벤토나이트의 비가 감소할수록 증가하였으며, 그 증가율은 sodium보다 sulphate가 더 큰 값을 가졌다 (그림 8 참조). 그러나, carbonate의 농도는 물-대-벤토나이트의 비에 거의 영향을 받지 않고 일정한 값을 가졌다. 이것은 용액 중에 과포화로 존재하는 carbonate가 침전물을 형성하며 벤토나이트의 구성광물인 방해석과 평형을 이루기 때문으로 보인다 [3].

minor ion의 경우, 벤토나이트의 양이 증가할수록 chloride, calcium, potassium의 농도는 증가했지만, silicon, fluoride, phosphate의 농도는 감소하였다. 반면에, nitrate 농도는 그 경향을 알 수 없을 정도로 오르내렸다 (그림 9, 그림 10 참조).

극소량으로 존재하는 이온의 경우, nitride와 magnesium의 농도는 벤토나이트의 양이 증가할수록 증가하였는데, nitride의 증가율이 magnesium보다 큰 값을 나타내었다. 반면에, aluminum의 농도는 감소하였다. zinc와 manganese의 농도는 거의 변화가 없었다 (그림 11 참조).

공극수의 pH는 그림12에서 보는 바와 같이 물-대-벤토나이트의 비에 의해 거의 영향을 받지 않았다. 벤토나이트의 양이 증가할수록 pH가 약간 증가하지만, 어떤 경향을 보여주지는 못하고 있다. 실험에서 얻어진 pH의 값은 8.8 - 9.0 사이에 있었다.

그림 13은 산화-환원전위를 물-대-벤토나이트의 비의 함수로 나타낸 것이다. 공극수의 산화-환원전위는 물-대-벤토나이트의 비에 상관없이 352 - 378 mV 사이에서 거의 일정한 값을 가졌다.

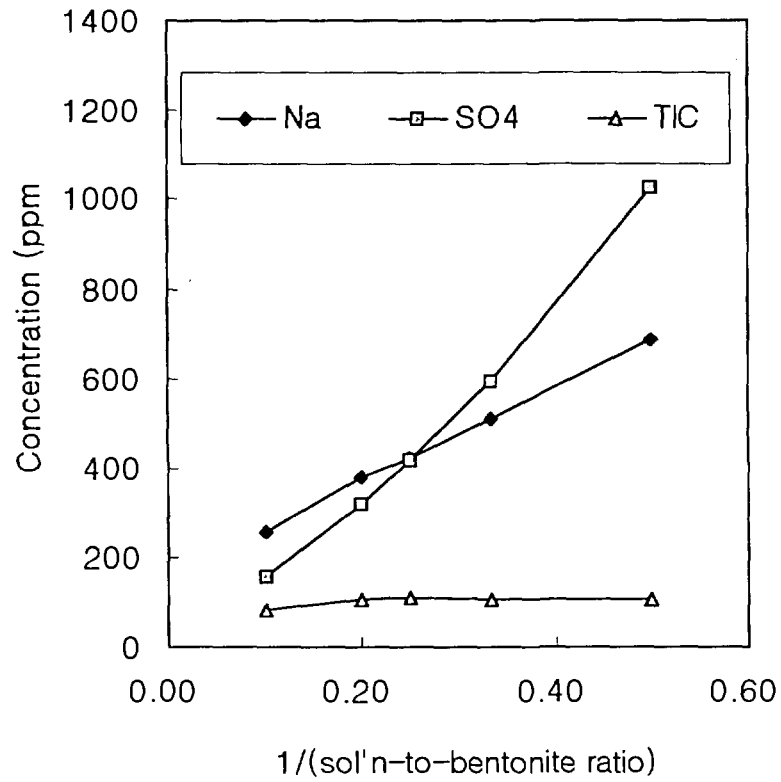


그림 8 “지하수-대-벤토나이트의 비”에 따른 주요 이온들의 농도 변화

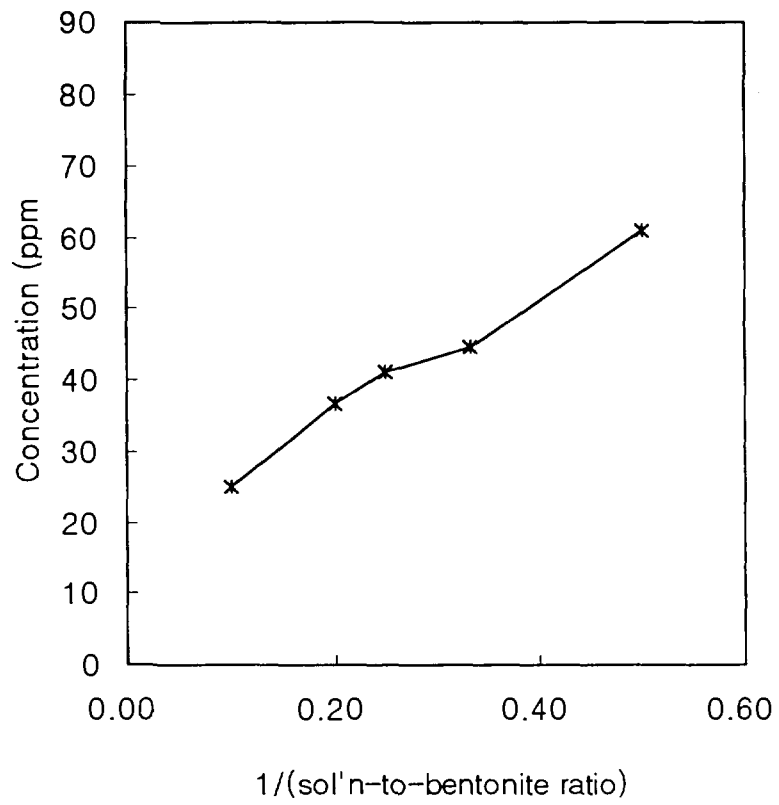


그림 9 “지하수-대-벤토나이트의 비”에 따른 염소(chloride)의 농도 변화

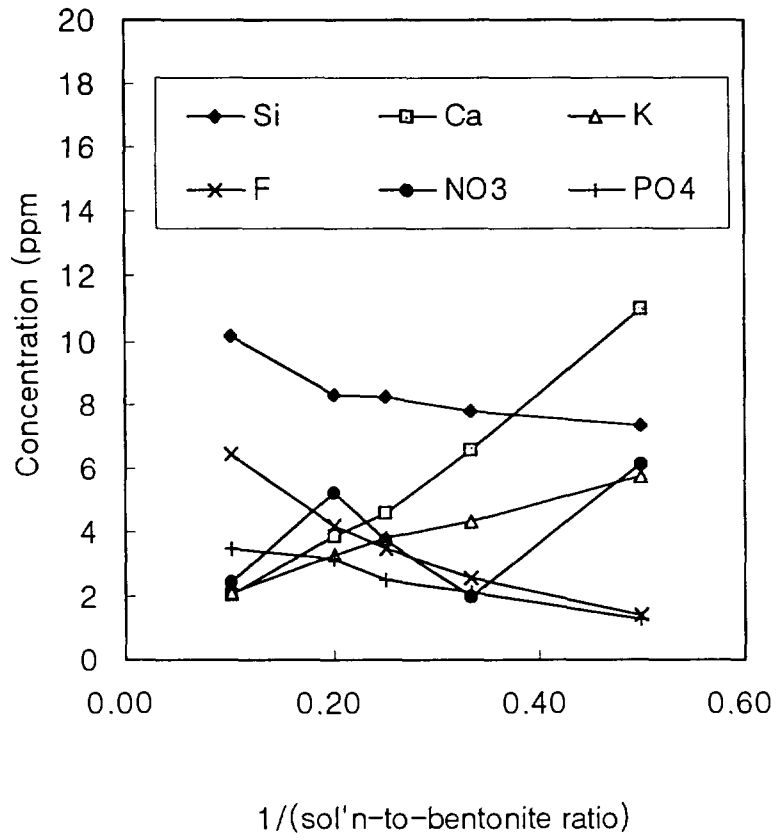


그림 10 “지하수-대-벤토나이트의 비”에 따른 minor ions의 농도 변화



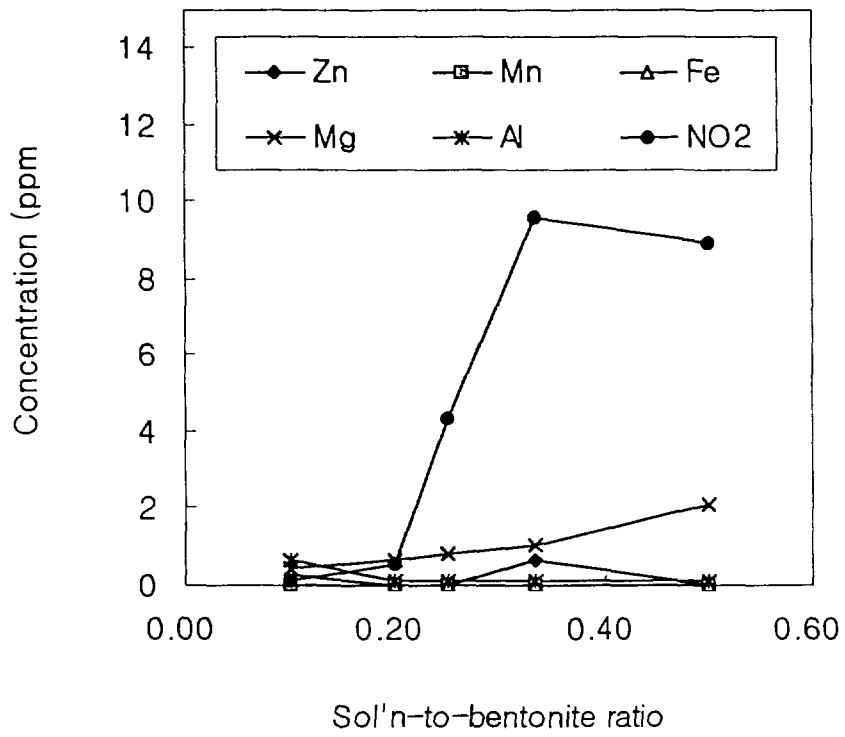


그림 11 “지하수-대-벤토나이트의 비”에 따른 극미량 이온들의 농도 변화

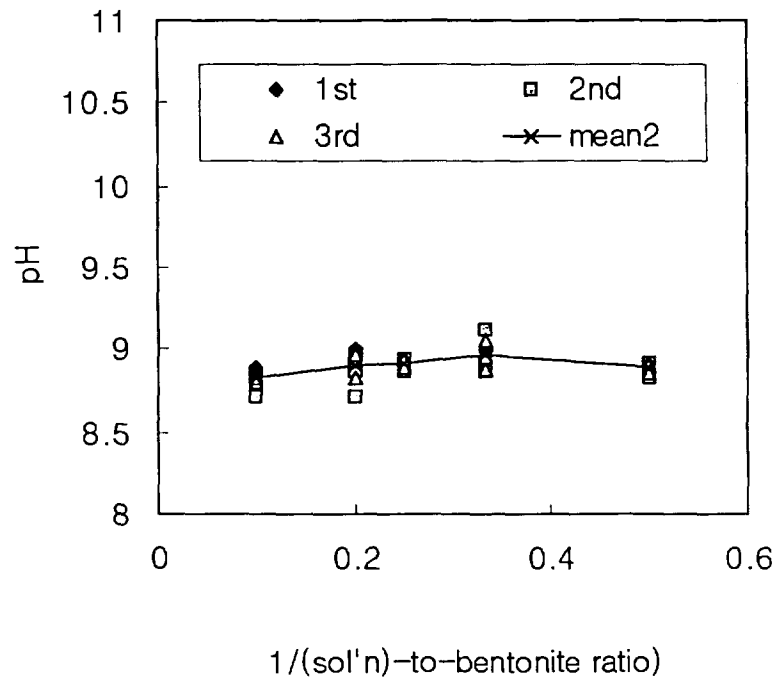


그림 12 공극수의 pH에 대한 “지하수-대-벤토나이트의 비”의 영향

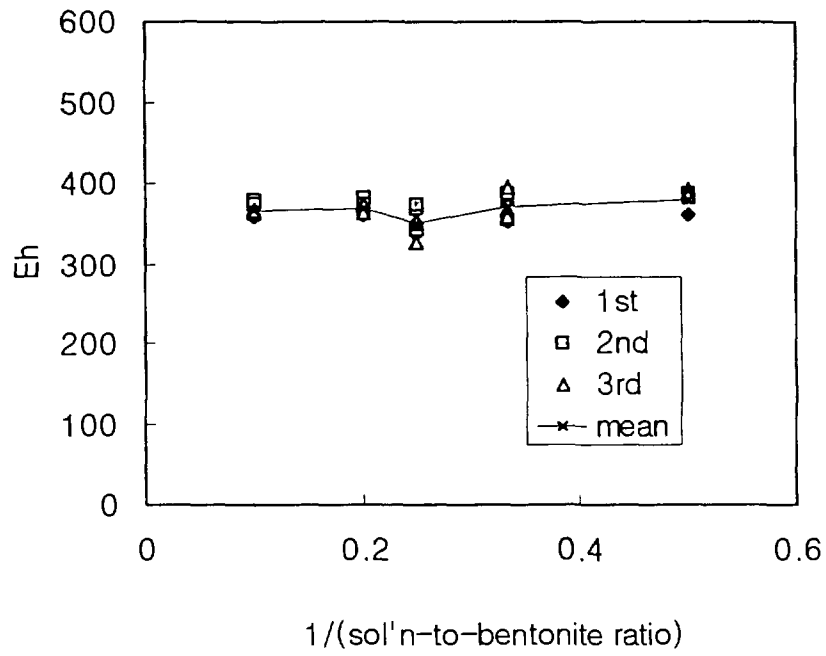


그림 13 공극수의 산화-환원전위에 대한  
“지하수-대-벤토나이트의 비”의 영향

### 3. 온도에 따른 공극수화학특성 변화

그림 14에서 major ion의 농도변화는 온도증가에 따라 약간씩 다른 패턴을 갖지만, 이 이온들의 농도는 온도에 의해 거의 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 온도에 따른 minor ion의 농도변화는 그림 15에 도시하였다. silicon의 농도는 온도가 높아짐에 따라 증가하였고, 반면에 fluoride의 농도는 감소하였다. 그 밖에 chloride, calcium, potassium, phosphate의 농도는 온도에 따라 거의 변화가 없었다. 극소량으로 존재하는 이온의 경우는 magnesium을 제외하고 모두 뚜렷한 경향을 보여주지 않았다. magnesium의 농도는 온도가 증가할수록 감소하였다 (그림 16 참조). 용액 중의 이온 농도에 대한 온도의 영향은 몬모릴로나이트에서의 CEC 변화 및 이온교환반응이나 그 밖의 구성광물의 용해반응에서 평형상수의 변화로 설명된다. 위의 실험의 결과는 벤토나이트의 구성광물들이 온도에 따라 서로 다른 반응특성을 가지기 때문으로 보인다. Morel [19] 등은 여러 화합물을 대상으로 온도에 따른 평형상수를 측정하였는데, 평형상수의 온도의존성은 대상 화합물에 따라 다양한 패턴을 보였다.

pH의 온도의존성은 그림 17에 도시하였다. 이 그림에서 공극수의 pH는 80 °C까지는 거의 변화가 없었으나, 그 이상의 온도에서는 감소하였다. 온도 증가에 따른 pH의 감소는 Johnston과 Miller의 실험에서도 나타났다. 그들에 의하면, Na-벤토나이트 현탁액의 pH는 25 °C에서 9.5, 150 °C - 300 °C에서 3 - 6 이었다. 이것은 몬모릴로나이트 입자표면이 수소이온-과잉 표면 (proton-rich surface)로 변환되는 광물 전이반응 (mineral transformation)이 150 °C 이상의 온도에서 가속화되기 때문이다 [20]. 또, Grauer는 이러한 현상이 몬모릴로나이트 층간의 전하 증가에 의해서도 일어난다고 보고하였다 [21].

온도에 따른 산화-환원전위의 변화는 그림 18에 나타내었다.

공극수의 산화-환원전위는 80 °C까지는 pH처럼 거의 일정한 값을 보였으나, 그 이상의 온도에서는 오히려 증가하였다. 80 °C이상에서 Eh의 증가는 제4장-1-나에서 Allard 등과 Rydberg가 지적했듯이 pH의 변화와 밀접한 관계가 있다. 즉, 80 °C이상에서 pH의 감소결과로 공극수의 산화-환원전위가 증가된 것으로 보인다.

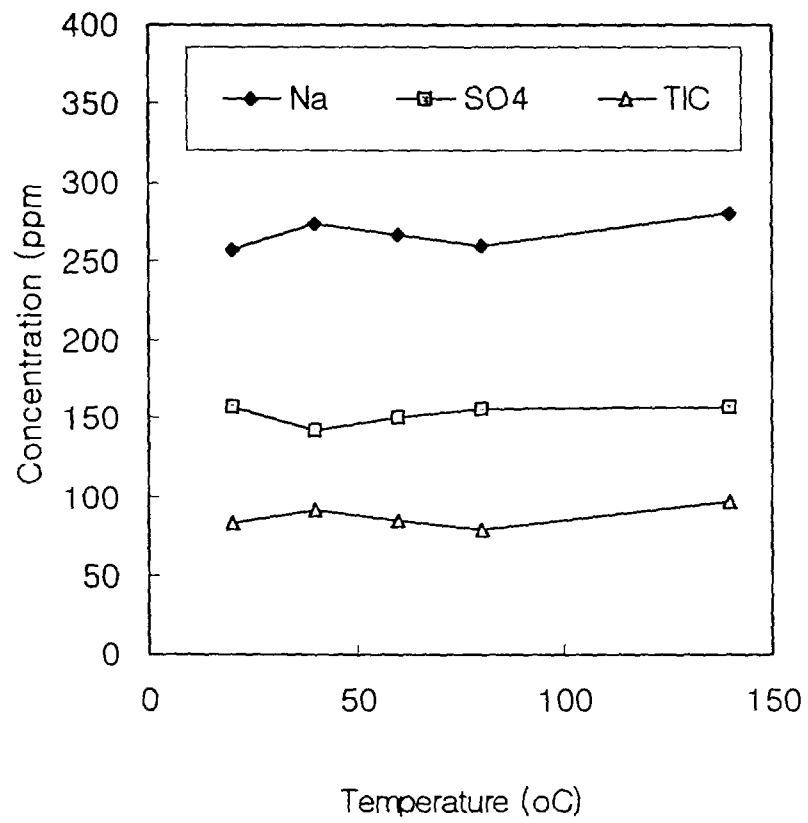


그림 14 온도에 따른 주요 이온들의 농도 변화

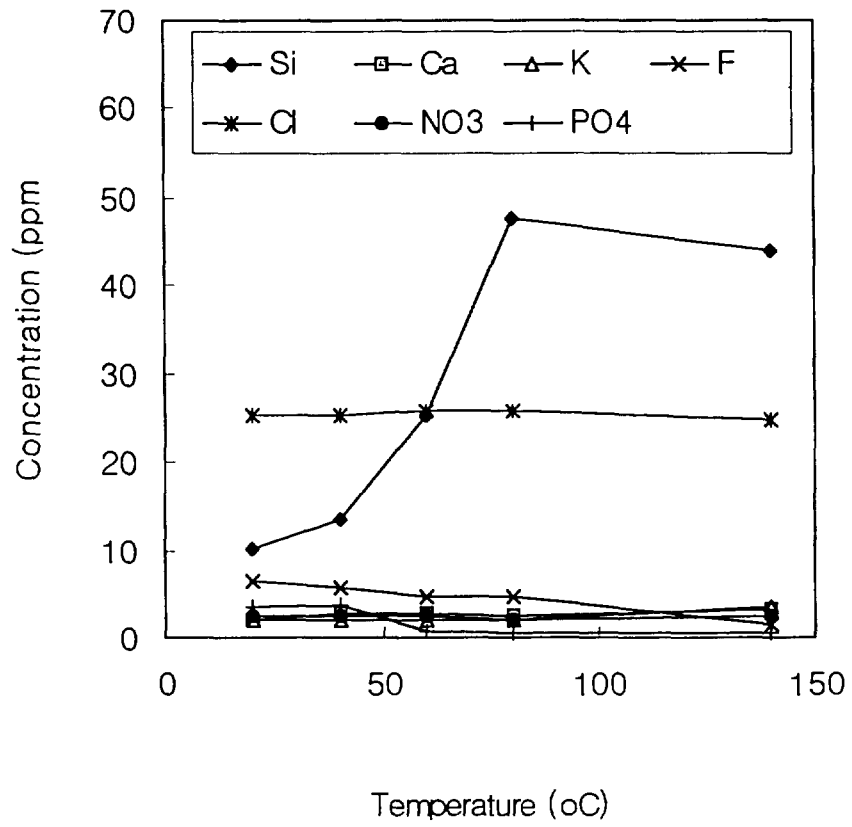


그림 15 온도에 따른 minor ions의 농도 변화

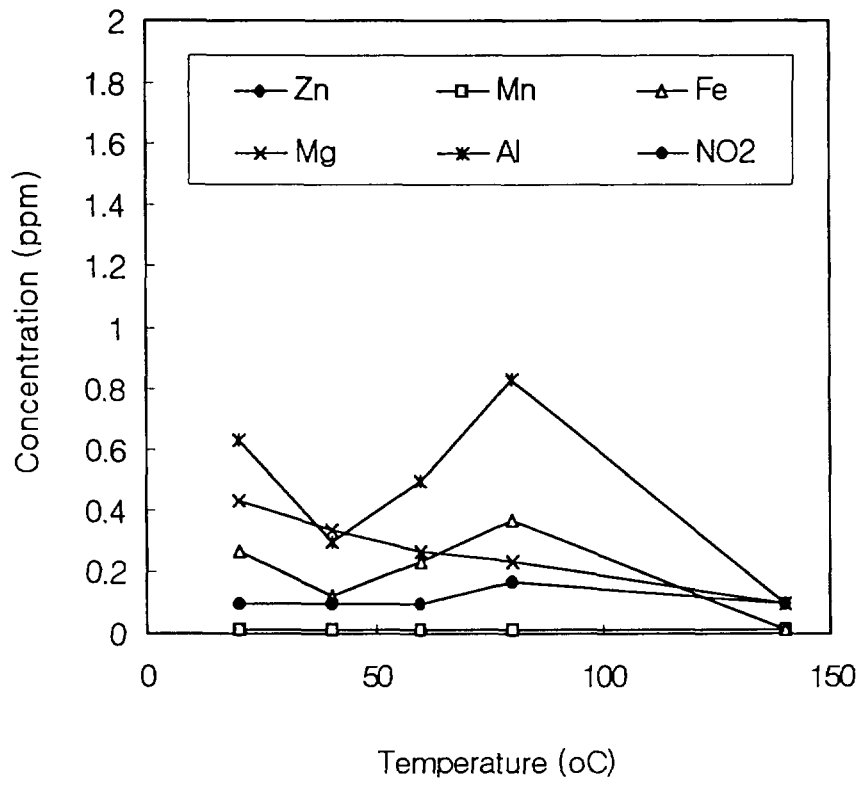


그림 16 온도에 따른 극미량 이온들의 농도 변화



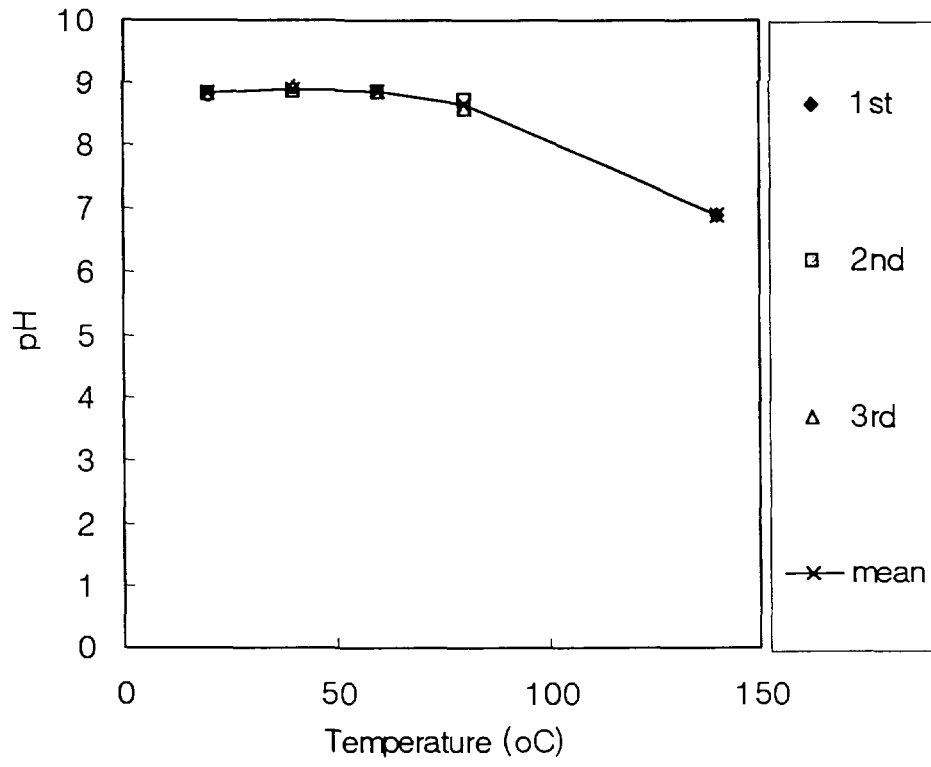


그림 17 공극수의 pH에 대한 온도의 영향

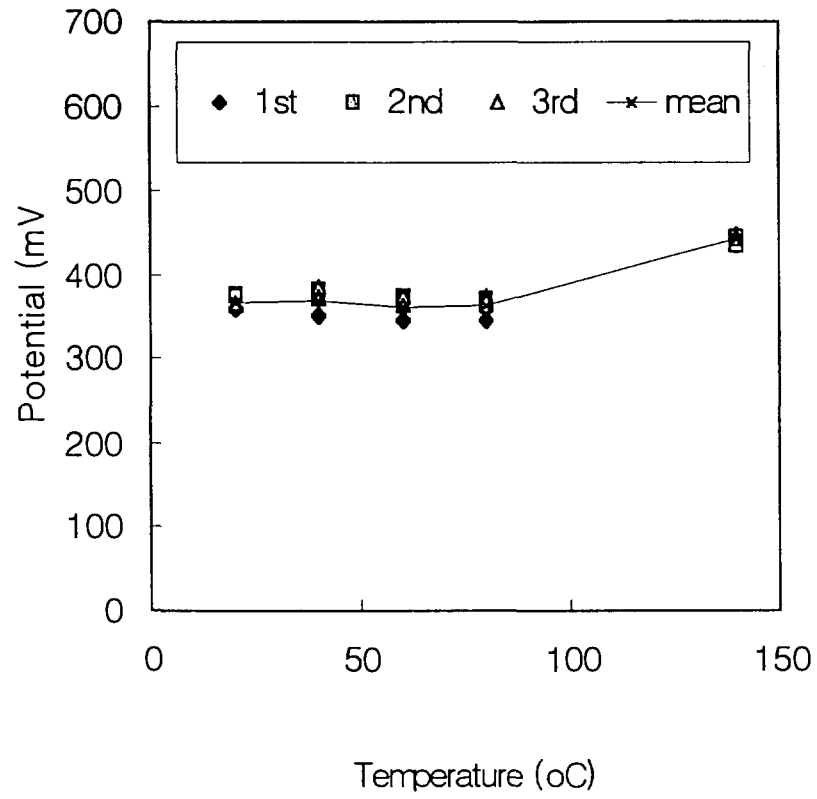


그림 18 공극수의 산화-환원전위에 대한 온도의 영향

## 제 5 장 결 론

본 연구에서는 국산 완충재 대상물질의 공극수화학특성 규명과 관련하여 실험을 통해 시간에 따른 pH, Eh, 용존이온 농도의 변이를 측정하고, 지하수-대-벤토나이트의 비와 온도가 공극수화학특성에 미치는 영향을 조사하였다. 실험결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 벤토나이트와 모의지하수가 반응했을 때 용존이온의 농도, pH, Eh는 대부분 수 일 이내에 정상상태에 도달하였다.

2. 벤토나이트와 모의지하수의 상호반응에서 공극수의 화학특성은 벤토나이트의 구성광물에 의해 크게 좌우되었다.

3. 공극수 중에는 sodium, sulfate, carbonate 가 주성분이었으며, 그 농도는 반응 전에 비해 약 4-5 배 정도 증가하였다. pH는 8.1에서 8.9로 증가하였으며, Eh는 약 365 - 375 mV의 값을 나타내었다.

4. 용존이온의 농도는 대부분 벤토나이트-대-지하수의 비가 증가할수록 증가하였다. 반면에, pH와 Eh는 벤토나이트-대-지하수의 비에 거의 영향을 받지 않았다.

5. 용존이온 농도의 온도의존성은 이온에 따라 서로 다른 경향을 보였다. pH는 80 °C까지는 거의 변화가 없었으나, 그 이상의 온도에서 감소하였다. 그러나, Eh는 pH와는 달리 80 °C 이상에서 오히려 증가하였다.

## 참 고 문 헌

1. 전관식 등, "고준위 폐기물 처분기술 개발 : 처분시스템평가 기술 개발 연구," KAERI-NEMAC/RR-170/96, 한국원자력연구소 (1996).
2. H. Wanner, "Modelling Interaction of Deep Groundwaters with Bentonite and Radionuclide Speciation," EIR-Bericht Nr. 589 (1986).
3. Y. Sasaki, M. Shibata, M. Yui and H. Ishikawa, "Experimental Studies on the Interaction of Groundwater with Bentonite," MRS Conference (1995).
4. H. Wanner, P. Wersin, and N. Sierro, "Thermodynamic Modelling of Bentonite-Groundwater Interaction and Implications for Near Field Chemistry in a Repository for Spent Fuel," SKB TR 92-16 (1992).
5. M. Snellman, H. Uotila and J. Rantanen, "Laboratory and Modelling Studies of Sodium Bentonite Groundwater Interaction," Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 84, MRS (1987).
6. D. W. Oscarson and D. A. Dixon, "Elemental, mineralogical, and pore-solution compositions of selected Canadian clays," AECL-9891 (1989).
7. B. Fritz and M. Kam, "Chemical Interactions between the Bentonite and the Natural Solutions from the Granite near a Repository for Spent Nuclear Fuel," KBS TR 85-18 (1985).
8. M. L. Wood, "Experimental Investigation of Sodium Bentonite Stability in Hanford Basalt," The Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Material Research Society, pp. 727-743 (1983).
9. C. C. Allen, D. L. Lane, R. A. Palmer, and R. C. Jonston,

- "Experimental Studies of Packing Material Stability," The Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Material Research Society, pp. 105-112 (1984).
10. Y. C. Yau, D. R. Peacor, E. J. Essene, J. H. Lee, L. C. Kuo, and M. A. Cosca, "Hydrothermal Treatment of Smectite, Illite, and Basalt to 460 °C : Comparison of Natural with Hydrothermally Formed Clay Minerals," *Clays and Clay Minerals*, 35, 241-250 (1987).
  11. U. Hoffmann et al., "Struktur U. Quelling von Montmorillonite," *Z. Kristallog*, 86, pp. 340-348 (1933).
  12. D. Meyer and J. J. Howard, "Evaluation of Clays and Clay Geologists, and Soil Scientists," 2nd edition, pp.72-73, New York (1977).
  13. 한 대석, 김경수, "완충재 대상물질의 역학적 특성 및 열적 안전성 규명," KAERI/CM-240/98, KAERI (1998).
  14. Y. Sasaki, M. Shibata, M. Yui and H. Ishikawa, "Experimental Studies on the Interaction of Groundwater with Bentonite," MRS Conference (1995).
  15. B. Grambow, H. P. Hermansson, I. K. Bjoerner, L. Werme, "Glass/Water Reaction with and without Bentonite Present - Experiment and Model," Materials Research Society, Proc. Sci. Basis Nucl. Waste Man. IX (1986).
  16. V. L. Snoeyink and D. Jenkins, "Water Chemistry," Wiley, New York (1980).
  17. I. B. Allard, "Solubilities of Actinide in Neutral or Basic Solutions," Actinides 1981 Conference Proceeding, p.553 (1982).
  18. J. Rydberg, "Groundwater Chemistry of Nuclear Waste Repository in Granite Bedrock," Report UCRL-53155 (1981).
  19. F. M. M. Morel et al., "Principles and Applications of aquatic chemistry," Wiley, New York (1993).

20. R. M. Johnston, H. G. Miller, "Effect of pH on Smectite Stability," KBS TR 84-11 (1984).
21. R. Grauer, "Bentonit 및 Verfuellmaterial im Endlager fuer hochradioaktiven Abfall : Chemische Aspekte," EIR-Bericht Nr. 576 (1986).

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/TR-1309/99					
제목 / 부제	처분장 완충재용 국산 벤토나이트의 공극수화학특성 : 실험데이터 분석				
연구책임자 및 부서명 (AR,TR 등의 경우 주저자)	이 재 완 (심지층처분시스템개발)				
연구자 및 부서명	조원진, 전 관 식, 강철형 (심지층처분시스템개발)				
출 판 지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	1999
페 이 지	p.53	도 표	있음( o ), 없음( )	크 기	Cm.
참고사항					
비밀여부	공개( o ), 대외비( ), -- 급비밀	보고서종류	기술보고서		
연구위탁기관	계약번호				
초록 (15-20줄내외)	<p>본 연구에서는 국산 벤토나이트와 모의지하수를 사용하여 공극수화학특성실험을 수행하였다. 벤토나이트와 모의지하수가 반응했을 때 용존이온의 농도, pH, Eh는 대부분 수 일 이내에 정상상태에 도달하였다. 벤토나이트와 모의지하수의 상호반응에서 공극수의 화학특성은 벤토나이트의 구성광물에 의해 크게 좌우되었다. 공극수 중에는 sodium, sulfate, carbonate 가 주성분이었으며, 그 농도는 반응 전에 비해 약 4-5 배 정도 증가하였다. pH는 8.1에서 8.9로 증가하였으며, Eh는 약 365 - 375 mV의 값을 나타내었다. 용존이온의 농도는 대부분 벤토나이트-대-지하수의 비가 증가할수록 증가하였다. 반면에, pH와 Eh는 벤토나이트-대-지하수의 비에 거의 영향을 받지 않았다. 용존이온 농도의 온도의존성은 이온에 따라 서로 다른 경향을 보였다. pH는 80 ℃까지는 거의 변화가 없었으나, 그 이상의 온도에서 감소하였다. 그러나, Eh는 pH와는 달리 80 ℃ 이상에서 오히려 증가하였다.</p>				
주제명키워드 (10단어내외)	벤토나이트, 모의지하수, 공극수화학, 지하수-대-벤토나이트의 비 영향, 온도 영향				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET							
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/TR-1309/99							
Title / Subtitle		Pore Water Chemistry of Domestic Bentonite for the Buffer of a Repository : Analysis of Experimental Data					
Project Manager and Department (or Main Author)		Lee, Jae-Owan Engineered Barrier Development					
Researcher and Department		Cho, Won-Jin, Chun, Kwan Sik, Kang, Chul-Hyung (Engineered Barrier Development)					
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI		Publication Date	1999	
Page	p. 53	Ill. & Tab.	Yes( o ), No ( )		Size	Cm.	
Note							
Classified	Open( o ), Restricted( ), ___ Class Document		Report Type		Technical Report		
Sponsoring Org.				Contract No.			
Abstract (15-20 Lines)		<p>Experiments were conducted using synthetic ground water and domestic bentonite. Upon reaction of the bentonite and ground water, ionic concentration, pH, and Eh nearly reached a steady-state within a few days. The pore water chemistry was dominated mainly by the mineralogical composition of bentonite. Analytic results showed that sodium, sulfate, and carbonate were major ions, and their concentrations increased to about 4 - 5 times those of original ground water. The pH increased from 8.1 to 8.9, and the Eh were between 365 mV and 375 mV. The concentration of most dissolved ions increased with increasing bentonite-to-ground water ratio. On the contrary, the pH and Eh were little affected by bentonite-to-ground water ratio. The dependence of ionic concentration upon temperature had different trends with different ions. Little change in the pH occurred up to 80 °C, and decreased beyond the value of temperature. The Eh rather increased beyond 80 °C on the contrary to pH.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)		bentonite, synthetic ground water, pore water chemistry, effect of ground water-to-bentonite ratio, temperature effect					