

천연 제올라이트 활용을 통한 댐 및 호소의 오염수 처리 Polluted Water Treatment of Dam and Reservoir using Natural Korean Zeolite

박기호*, 서진국**
Ki-Ho Park*, Jin-Kook Suh**

<Abstract>

Due to the Typhoon MAEMI on Sep. of 12 in 2003, the turbidity value of DOAM Dam was recorded more than 300NTU until now. The natural zeolite located in the east coast of Korean peninsula was applied to reduce turbidity with cation exchange process. The result of this technique, the value of turbidity was reduced less than 1NTU. Also the value of pH showed stable state compare to before and after.

Key words : *Water Treatment, Zeolite, Ion Exchange, Adsorption, Turbidity*

1. 서 론

우리나라는 서구 선진국에 비해 갑작스런 산업화로 인하여 하천 주변을 따라 형성된 공장 등의 오염수 유출이 심화되었으며, 기존의 농작물 및 축산폐수가 생활하수와 더불어 좁은 국토에 심각한 수질오염의 결과를 초래하고 있다. 더불어 2003년 9월 12일 우리나라를 강타한 태풍 매미에 의하여 전 국토의 호소 및 댐들은 심각한 타수가 발생하여 1년 반 이상이 지난 현재에도 이 타수가 가라앉지 않고 호전될 기미가 보이질 않고 있다. 특히 수온의 증가시기에 발생하는 부영양화와 녹조 등이 호소 및 댐에 도래하고, 매미와 유사한 규모의 태풍이 재차 발생하게 된다면 결국 난분해성 유기물, 인 및 부유토사를 포함한 탁도(turbidity) 등과 같은 비점오염원으로 인한 수

질오염 실태는 견잡을 수 없게 될 것이다.

국가 1급 하천유역에 건설된 대규모 댐들을 이러한 상황에 방치해둘 때, 그렇지 않아도 자연자원이 부족한 나라가 막대한 경제적 손실까지 감당해야 하는 것은 자명한 사실이라고 할 수 있다.

최근까지 남한강 수계의 도암댐은 낙동강 수계의 임하댐과 더불어 지역의 주민, 시민단체는 물론이고 자치단체에서조차 댐 폐쇄를 요구하는 등 1,256억원을 들인 국내 최초의 동해안 수력발전시설이라는 명성을 무색하게 하는 것은 물론이고 지난 2001년 3월 29일부터 발전방류를 중지함에 따른 전력생산 중단으로 인해 연간 100억원 이상의 손실이 발생하고 있으며 장기 발전 중지에 따른 문제점으로 막대한 국가적 에너지 손실 증대를 가져오고 있는 심각한 경우라고 할 수 있다.

* 정회원, 경동정보대학 하천환경종합기술연구소장,
토목과 교수, 工博, E-mail: paku@kdtc.ac.kr

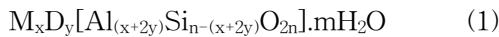
** 정회원, 경동정보대학 건설기술연구소장,
토목과 교수, 工博, E-mail: jksuh@kdtc.ac.kr

이에 따라, 본 연구에서는 오염수 처리에서 2차 응집물이 생태계 오염을 발생시키지 않는 천연광물인 제올라이트를 이용한 수처리 방법을 간단한 실내실험을 통하여 그 효율성 및 활용성을 나타냄으로써 이를 잠재성 있는 환경친화적인 대안으로 제시하고자 한다.

2. 연구의 배경

2.1 제올라이트의 특성

다양한 잠재적 가치를 가진 산업광물인 제올라이트는 견고한 삼차원 구조로 된 결정성 수산화 알루미늄노규산염(crystalline hydrated aluminosilicate)으로 정의된다. 순수한 의미의 제올라이트는 2.0~2.3 정도의 비중과 1.44~1.52 정도의 굴절률을 가지며 3~20Å 정도 크기의 균일한 세공을 지니고 있는데, 50여종의 천연 제올라이트와 산업용 촉매나 합성세제 증진물 등과 같은 특수한 산업응용을 위한 150여종의 합성 제올라이트까지 합쳐 현재 약 200 여종의 다양한 세공구조를 지닌 제올라이트가 알려져 있다. 제올라이트의 일반적인 화학식은 다음과 같고, 골격/framework의 일반적인 화학적 조성은 Fig.1과 같이 나타낼 수 있다.



여기서, M은 1가 양이온, D은 2가 양이온

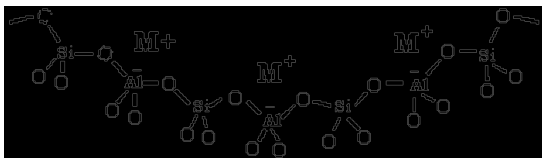
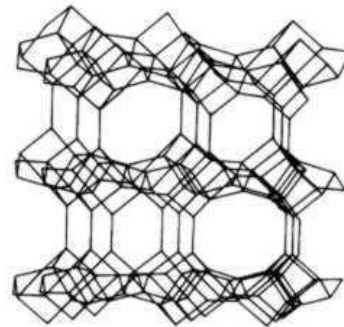
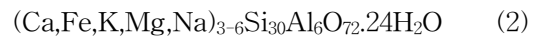


Fig.1 Framework Structure of Zeolites

모든 제올라이트의 기본적인 구조는 각각의 산소를 두개의 사면체(tetrahedra)가 공유하고, 상대적으로 큰 양이온과 물분자들로 점유되며 서로 연결된 공동(cavity; surface pore)으로 둘러싸인 (Si, Al)O₄ 골격구조를 가진다. AlO₄ 단위의 음이온 충전은 교환성을 가진 양이온들의 존재에 의해 균형을 이룬다. 이러한 이온들은 쉽게 다른 물질들, 예를 들어 중금속이나 암모늄 이온들로 치환될 수 있다. 이 현상을 양이온치환(cation exchange)이라고 하며, 주로 나트륨, 칼륨, 칼슘 등의 양이온 및 마그네슘, 바륨, 스트론튬, 철 등의 일부 부수적인 양

이온과 물이 구조 내에서 자유로운 활동 상태를 보임으로써 제올라이트에 양이온 치환성과 가역 탈수성(reversible-dehydration property) 등의 특성을 가질 수 있도록 해준다. 즉, 제올라이트의 다공성 골격구조는 분자화합물의 크기와 형상에 따른 분자 혼합물 분리를 위한 분자체(molecular sieve) 반응을 가능하게 해준다. 상대적으로 매우 높은 양이온 치환능력을 가지는 제올라이트의 일종인 클리놉틸로라이트(clinoptilolite)는 이러한 특성을 활용한 황화수소(H₂S)나 이산화황(SO₂)과 같은 유독성 가스의 강력한 흡착제로도 잘 알려져 있다. 특히 본 연구에 사용된 시료는 신생대 3기층에서 산출되는 경북 영일 및 감포 지역의 클리놉틸로라이트를 주된 광종으로 하는 국내산 천연 제올라이트를 사용하였다. 클리놉틸로라이트는 국내의 부존규모나 품위의 안정성 면에서도 우수하며, 개발 가능한 광종 중에서 산업적으로 가장 적절한 범용성을 가진다고 볼 수 있다.

클리놉틸로라이트의 근사 실험식은 다음과 같으며, Fig.2는 전형적인 골격구조와 광물상의 주사전자현미경 사진을 보여준다.



Clinoptilolite Structure

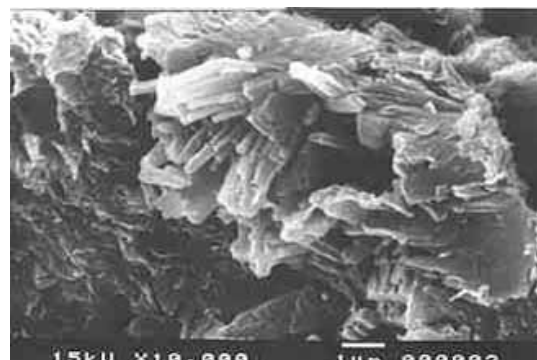


Fig2. Scanning Electron Micrograph of Clinoptilolite

2.2 연구동향 및 적용사례

1756년 스웨덴의 광물학자 Cronstedt가 최초로 제올라이트를 발견하였지만 Bramlette and Posnjak¹⁾의 획기적인 연구에 의하여 1940~50년대 미국과 일본 등지의 퇴적기원 응회암층에서 경제성 있는 제올라이트 광상에 대한 본격적인 탐사가 이루어지기까지, 거의 200년 동안 이 광물은 단지 광물기재학적인 측면에서만 취급되어 왔다. 제올라이트가 백악기 이후의 응회질 퇴적암에 대규모로 부존된다는 사실이 알려짐에 따라, 이 광물의 부존자원으로서의 잠재성이 제고되고 관련 산업으로서의 활용방안이 활발히 모색되는 계기가 마련되었다.

이에 따라 1950년대부터 환경 개선 및 오염방지를 위한 용도로 제올라이트를 활용하려는 방안이 활발히 연구되고 있다.²⁾

제올라이트의 독특한 선택적 이온교환 및 흡착 특성을 응용하여 실용화할 수 있는 주요 응용분야로는 현재 축산 및 농업 폐수 처리, 생활하수의 처리, 공업 폐수의 처리, 음용수의 수질 개선, 방사성 폐기물 처리 및 방사성 물질의 오염 방지, 폐기물 매립 및 소각처리 과정에서 토양오염 성분의 제거 등을 들 수 있다.

환경오염물질과의 반응에 대한 연구들 중 폐수처리와 관련된 내용은 주로 자유이온, 무기 또는 유기 복합체, 침전물, 광물의 입자, 그리고 유기체내에 존재하는 중금속 제거에 관한 것으로, 아주 적은 양으로 황화물, 황산염, 규산염, 탄산염 광물들의 형태로 산출되는 지각에서와는 다르다. 중금속에 오염된 폐수를 처리하기 위하여 현재 침전, 활성탄소에 의한 흡착, 이온교환, 역삼투, 시멘트화 등과 같은 물리화학적 방법들이 사용되고 있는데, 천연 제올라이트 경우는 자연 상에서 많은 양으로 산출되기 때문에 이온교환 반응을 통하여 이러한 중금속을 포함한 오염된 폐수를 특정한 선택성을 이용하여 현장(in-situ) 정화하는데 사용되어 왔다. Loizidou와 Townsend는 수용액으로부터 중금속의 제거를 위한 천연 제올라이트의 선택적 이온교환 성질만이 중요한 것이 아니며 제올라이트가 재생되어 사용될 수 있는가의 여부도 중요하다고 언급하였고, 천연 페리어라이트(ferrierite)와 모데나이트(mordenite)가 클리놉틸로라이트 보다 납에 대

하여는 더 낮은 교환능을 보여주지만 폐수에서 납의 제거에 유용함을 제시하였다.³⁾

Semmens와 Seyfarth,의 연구에서는 천연 클리놉틸로라이트(특히 농축된 NaCl로 사전에 처리되었을 경우)는 폐수에서 중금속을 제거에 아주 높은 선택성을 가지고 있음을 보여 준다. 특히, 다종의 금속으로 오염된 폐수의 처리 연구에 의하면 2N의 NaCl로 처리한 클리놉틸로라이트를 이용하여 15분의 접촉 시간 안에 90%의 중금속이 제거됨을 보고하였다. 이들의 연구에 의하면 클리놉틸로라이트의 선택성은 $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Cr^{3+} > Co^{2+} > Ni^{2+}$ 의 순을 보인다.⁴⁾ Blachard et. al.은 클리놉틸로라이트로 이루어진 층(bed)을 만들어 암모늄 이온과 중금속을 제거하여 음용수를 순수하게 하는 처리공정에 대하여 연구하였다. 그들은 Na-클리놉틸로라이트층은 $Pb^{2+} > NH_4^+ > Cd^{2+}, Cu^{2+}, Sr^{2+} > Zn^{2+} > Co^{2+}$ 의 순서로 중금속을 포함한 오염물질에 선택성을 보인다고 하였다.⁵⁾

일반적으로 정화작용의 최대 효과는 화학적 침전, 활성화된 탄소 컬럼, 음이온 교환물질 등과 클리놉틸로라이트를 혼합하여 적용하면 쉽게 얻을 수 있다.⁶⁾ 이런 방법을 통한 오염물질의 제거 효율은 암모늄 90%, 인 90~99%, suspended solid 99%, 유기물질 94% 등이다.

Kayabla와 Kezer는 매립지에서 전형적인 점토 대신 천연 제올라이트를 사용함으로써 요구되어지는 라이너의 두께를 줄이고 지하수에 있어 침출수에 의한 피해를 줄인다고 보고하였다.⁷⁾

높은 가소성과 함께 방사성 핵종들을 잘 흡착하며 높은 열전도도와 화학적 안정도, 그리고 우수한 기계적 성질들 때문에 클리놉틸로라이트와 모데나이트와 같은 천연 제올라이트들은 방사능 오염에 대한 완충물질로서 사용되어져 왔다.⁸⁾ 예로서 영국에서는 한 핵발전소는 저준위의 방사성 폐수에서 137Cs 및 90Sr과 같은 방사성 핵종을 제거하기 위하여 클리놉틸로라이트를 사용하고 있고, 미국의 네바다주의 유카산은 현재 미국의 미래 핵폐기물 저장장소로 아주 활발히 연구되고 있는 등 핵폐기물 저장장소의 선정에서도 고려되고 있다.

이온교환반응을 이용하여 여러 가지 금속들(납, 은, 카드뮴, 코발트, 아연, 구리, 수은, 마그네슘, 철, 알루미늄)들을 효과적으로 제거하

는 기타의 예로서 클리놉틸로라이트의 경우 광산 뿐 아니라 전자산업 등에 이용되기도 한다. IBM에서는 이러한 시스템을 실제 이용하고 있다.

전 세계적으로 날로 환경오염이 심각해짐에 따라 이 분야로의 응용은 앞으로 크게 확대될 것으로 전망된다. 주로 클리놉틸로라이트와 같은 소구경 천연 제올라이트를 대상으로 모색되고 있는 이 분야로의 응용은 경제성 및 안정성 면에 있어서 합성종 보다 천연 제올라이트가 유리한 여건에 있는 것으로 평가된다.

국내에서는 1960년대부터 경북 영일 및 갑포 지역의 제3기의 응회질 퇴적층의 제올라이트 광상이 관련학과 업체에 의해서 연구 및 개발된 결과 국내에 제올라이트가 비교적 풍부하게 매장되어 있고, 적절한 용도개발이 이루어지면 부존자원으로서의 잠재성도 매우 클 것으로 평가되기에 이르렀다. 그러나 천연 제올라이트에 대한 기본적인 인식 및 지식의 부족과 용도개발상의 문제로 인하여 높은 잠재성에도 불구하고 그 활용에 있어서 주로 농업용 토질개량제나 공업용 충전제 등의 용도로만 사용되는 등 현재까지 활성화되지 못하고 있는 실정이다. 이와 같이 아직 국내에서는 초보적인 단계에 머물고 있으며, 특히 심각한 탁도를 비롯한 수질오염으로 막대한 손실을 보고 있는 각종 댐 및 호소에 우선적으로 적용하여 그 활용 폭을 넓혀야 할 것이다.

2.3 대상유역의 특징 및 실태

도암댐은 국내에 부족한 수자원 활용과 동해안 최초의 수력발전소 건설이라는 목표로 지난 84년 1월 건설사업이 확정돼 3년뒤인 87년 5월 평창군 도암면 수하리에서 착공, 90년 5월 완공한 뒤 담수를 시작했다. 또한 국내 최초로 설계, 시공된 경사 코아형 록필(rock fill) 댐으로 댐 시설용량은 82,000kW이며, 총 저수량 5,100만톤(유효저수량 4,000만톤)규모에 초당 2,294톤을 한번에 방류할 수 있다. 도암댐은 대관령 등 횡계 지역을 발원지로 송천~정선~영월~충주댐~팔당댐~서해로 이어지는 수로를 송천~도암댐~강릉수력~남대천~동해로 바꾸는 유역변경 댐 수로식 발전 전용댐으로 만들어 졌다.

도암댐은 유역면적이 114.9km², 간선유로연장

375km인 남한강 수계에 속하는데, 준공 이듬해인 91년 24만4,786MWh의 전력을 생산한데 이어 지난 2001년 3월 29일까지 연평균 1.8억 kWh의 전력을 생산하였다. 그러나 강릉시 남대천 수질관련 민원발생이 계속됨에 따라 한국수력원자력(주)는 현안해결원칙 합의 시까지 강릉수력의 발전방류를 잠정 중지 중에 있다. 그런데 가장 큰 심각성은 댐의 수질 문제에 있다. 정선군이 조사한 도암댐의 수질은 하천수질기준 2등급으로 호소수질은 2~4등급을 오르내리고 있다고 보고 되고 있다.

부영양화의 원인 물질인 질소와 인의 농도가 높아 송천을 비롯한 조양강·동강 수계 오염원인 중 도암댐의 방류수가 큰 비중을 차지하고 있다는 지적을 받아왔는데, 도암댐의 수질이 개선되지 않는 이유는 도암댐 상류지역에 위치한 고랭지 채소단지의 비료와 농약성분이 섞인 토사가 집중호우 시 대거 유입되고 있으나 댐 상류지역의 환경기초시설이 갖춰지지 못했기 때문으로 분석되고 있다. 자정능력을 상실한 도암댐이 2급수 이상의 물을 방류하고 있으나 이를 최소화하기 위해 댐 자체정화 시설로 마련한 침전조도 초당 3톤에 불과해 지역활을 하지 못하는 등 수질을 악화시키는 원인이 되고 있다. 특히 갈수기 때는 송천 수계가 고갈돼 생태계를 파괴시키는 요인이 되고 있다는 지적이다.

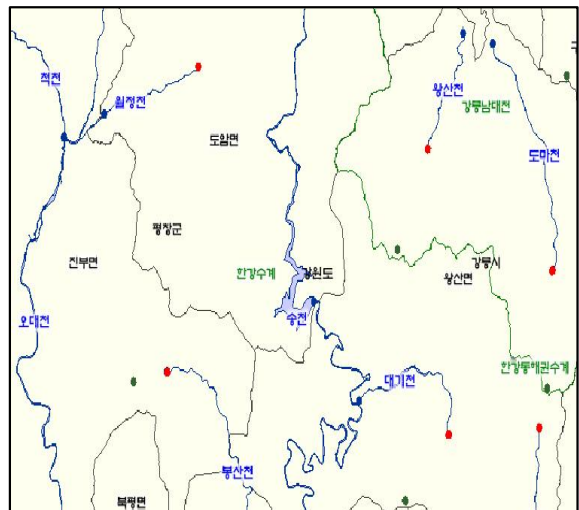


Fig.3 River System and Basin of DOAM Dam

국내의 거의 모든 댐 및 호소가 거의 비슷한 양상을 보이고 있으나, 특히 2003년 9월 태

풍 매미 이후 도암댐의 탁도는 상당 기간 동안 높게 유지되었다.

한번 오염된 호소 및 댐 등은 정체수계의 특성상 스스로 정화되기 어려운 현상을 나타낸다. 호소 및 댐 등의 생태계 및 수질 유지와 더불어 댐 방류수의 수질을 유지하기 위하여 영양염류, 탁도 등의 제거가 요구된다. 호소 댐 내 대상물질의 경우 생물학적인 공정은 미생물의 호소 댐 적용에 필요한 소요시간 등의 제약조건으로 인하여 고효율의 정화에 많은 공정이 뒤따른다. 본 연구에 소개하는 천연 제올라이트 활용 방법은 기존의 응집·침전 공법 중 빠른 반응성과 고효율을 나타내는 방법으로써 뿐 아니라, 우리나라에 널리 분포된 값싼 지하지원을 이용함으로써 어느 처리법보다도 값싸고 2차 응집물의 생태계 오염이 없는 기법으로 제안해 보고자 한다.

3. 실내실험 및 결과

3.1 시료의 특성

클리놉틸로라이트는 천연 제올라이트 중에서 가장 대표적인 광종으로서, 결정 화학적으로나 교환성 양이온의 조성에 있어서 아주 다양한 광물상을 이룬다. 영일 및 감포 지역에서 개발되고 있는 클리놉틸로라이트들은 교환성 양이온의 성격과 Si/Al의 함량비에 따라 Ca-형 클리놉틸로라이트, Na-형 클리놉틸로라이트, 그리고 K-형 클리놉틸로라이트로 구분된다. 일반적으로 Ca-형 클리놉틸로라이트가 우세하다. 제올라이트는 광물질 중에서 가장 뛰어난 양이온 교환 능력을 갖는 것 이외에, 양이온들을 선택적으로 교환하고 또한 광종에 따라 그 선호도가 각기 다른 선택적 교환특성(adsorption selectivity)을 나타낸다. 수환경개선용 소재로 활용하는 데에는 주로 소구경 제올라이트들이 사용되고 CEC(양이온치환능; Cation Exchange Capacity) 값과 교환성 양이온의 종류와 함유도 등이 중요한 품질기준이 된다.

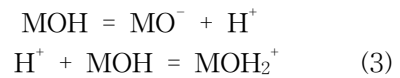
Table 1. Chemical Composition of Natural Zeolites

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | lg-Loss | CEC |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|---------|----------------------|
| 65.4 | 13.2 | 1.62 | 0.92 | 3.57 | 2.03 | 1.77 | 11.2 | 70~150 (meq/100g) |

시료로 사용되는 천연 제올라이트의 화학적 성분을 살펴보면 아래 Table 1과 같이 규산, 산화알루미늄, 산화철, 산화마그네슘, 산화나트륨, 산화칼륨으로 주로 이루어져 있다.

3.2 반응 메카니즘

양이온 및 음이온을 흡착하거나 이온교환하는 작용은 광물의 표면 전하가 주요 역할을 한다. 동형치환에 의하여 발생하는 영구전하는 일반적으로 격자 내에서 전하수가 작은 원자가 전하수가 큰 원자를 치환했을 경우 발생하며(예, Al³⁺ → Si⁴⁺, Mg²⁺ → Al³⁺) 음의 값을 갖는다. 이러한 전하는 구조내의 알칼리 금속 이온이나 알칼리 토금속 이온에 의하여 전기적으로 중화된다. 물과 접하고 있는 산화물(MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂ 등)은 수산화된 표면을 갖고 있다. 깨어진 표면과 물이 반응하면 광물 표면은 다음과 같은 반응을 통하여 음의 전하 또는 양의 전하를 갖게 된다. 이러한 전하는 표면의 수산화기의 수소화 반응 또는 탈수소화 반응에 의하여 결정되며 따라서 pH에 민감하다.



광물의 표면의 총전하 값이 0이 되는 pH인 영전하점(PZC: Point of Zero Charge)보다 pH가 낮은 경우에는 양의 전하를 띠어 음이온을 흡착시킬 수 있고 이보다 pH가 높은 경우는 음의 전하를 띠어 양이온을 흡착시킬 수 있다.

제올라이트의 영구 전하를 중화시키기 위하여 격자 안에 존재하는 있는 양이온들은 수용액 속에서 CEC에 의해 다른 이온들과 교환될 수 있다. 일반적으로 CEC는 제올라이트 내에서의 흡착 양상과 부피, 이온 교환되는 양이온의 종류, 이온의 반경과 용액 내에서의 이온의 전하 등에 관련 있고, 양이온 교환의 선택성은 각 제올라이트마다 Si/Al비 및 기공의 크기 및 형태 등에 따라 달라진다.⁹⁾

3.3 실험과정 및 결과

도암댐 탁수 입자의 성질은 Fig.4에서 나타난 바와 같이 토양 콜로이드 입자를 구성하는 여러 가지 성분의 분자로 음이온 성질을 나타내고 있다.

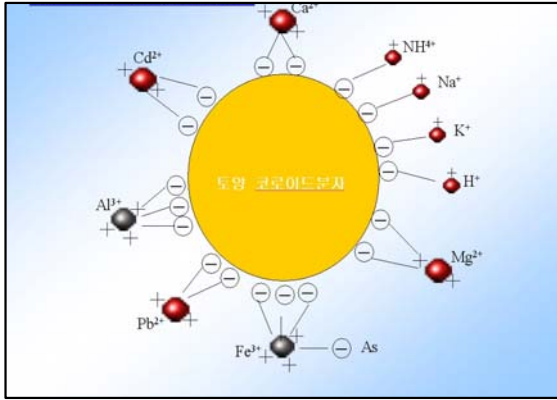


Fig.4 Property of Suspended-Particle

도암댐 탁수 처리를 위한 천연 제올라이트를 이용한 수처리 반응기구를 살펴보면 Fig.5와 같이 토양 콜로이드가 음이온 반발력을 가진 것을 알 수 있다.

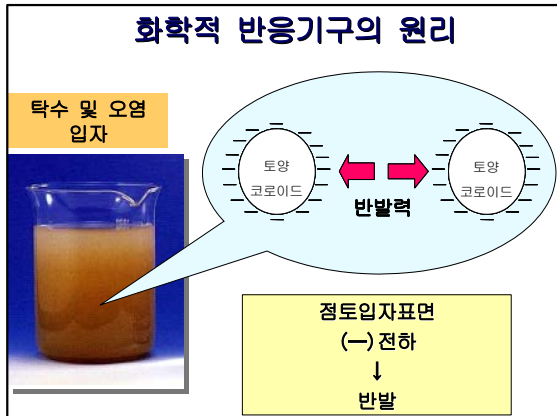


Fig.5 Reaction Mechanism of Turbid Water Treatment using Natural Zeolites

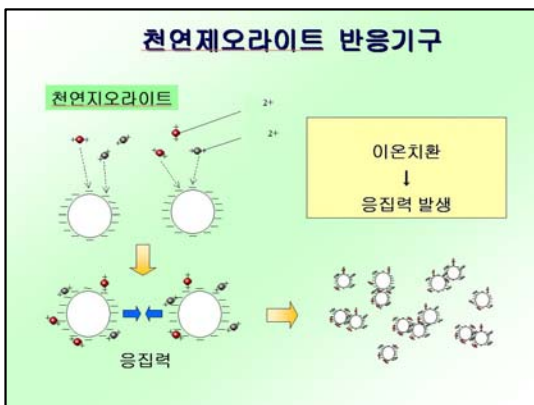


Fig.6 Adsorption Reaction Structure of Colloidal Soil

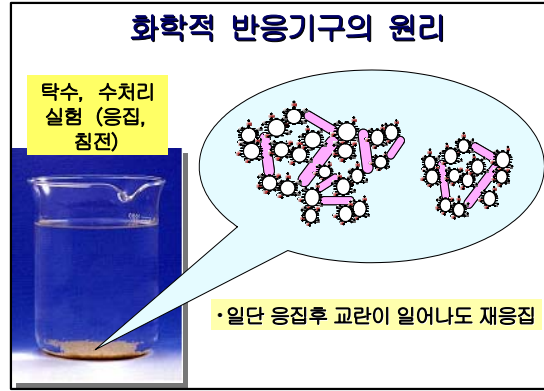


Fig.7 Adsorbed Bridge Structure of Colloidal Soil

양이온 치환한 천연 제올라이트는 -전하를 띤 표면에 +이온을 이용하여 토양 콜로이드 입자를 응집시키는 반응 구조를 가지고 있으며, Fig.6과 같이 나타낼 수 있다.

아래 Fig.7에 나타나듯이, 탁도(SS) 371NTU의 도암댐 탁수가 1NTU 이하의 수치를 나타내며 맑아진 현상을 나타내고 있다.

한편 Fig.8에 나타난 바와 같이, 천연 제올라이트를 이용한 도암댐 탁수처리 과정을 살펴보면 우선 천연 제올라이트 TYPE 1을 10ppm 주입하고 15분간 교반한 다음 천연 제올라이트 TYPE 2를 10ppm 주입하고 다시 5분간 교반한다. 이때 브리지를 잘 생성시켜주고 응집시간을 짧게 하기 위하여, 일반 수처리용으로 값싸고 널리 쓰이는 PAC 12ppm을 주입하여 2분간 교반하였다.

이때 탁수 원수의 pH는 7.3이 있고 천연 제올라이트 TYPE 1을 10PPM 주입 시 pH8.07, 천연 제올라이트 TYPE 2을 10PPM 주입 시 pH는 8.19를 나타내었고 PAC 12PPM을 첨가 시 pH는 7.27로 안정 상태를 나타내었다.

중금속 잔류량에 대한 실험 중, Al, Cd, Pb, Cu, Fe와 Mn 등 무기양이온 함량은 원자흡광분광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS))를 사용하였고, CN은 VEGA 측정기를 실시하였으며 NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N에 대한 실험은 전자동화학(수질)성분분석기(Full Automatic Wet(Water) Chemical Analyzer(AA3))를 사용하여 실험하였다.

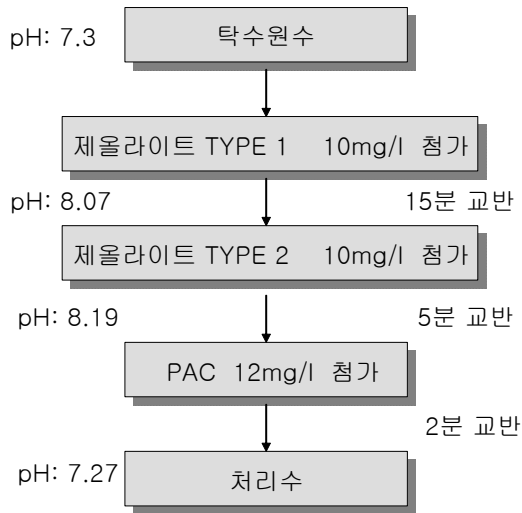


Fig.8 Water Treatment Process using Natural Zeolites

위의 과정을 이용하여, 우리나라 동해안 지역에서 흔히 생산되는 값싼 천연 제올라이트를 합성 처리하여 임하댐 탁수처리 방법을 적용 해 본 결과 Fig.9, 10 및 Table 2와 같이 20분 경과 후부터 371NTU의 탁도가 1NTU 이하 수치로 처리되는 사실을 발견하였다.



Fig.9 Treatment Result for Turbid Water of DOAM Dam

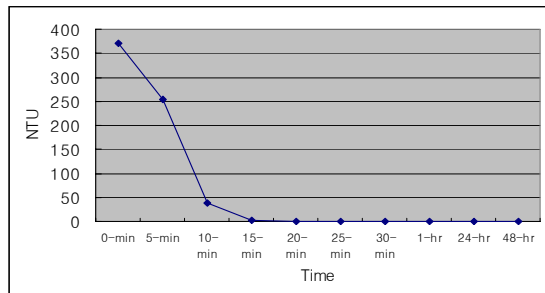


Fig.10 Variation of NTU due to Time

Table 2. Analysis Results of Polluted Water after Water Treatment using Natural Zeolites

| 시료명 금속명 | 제올라이트 처리 | 원수 | 비교(단위: ppm) |
|--------------------|-------------|-------|--|
| Al | 0 | 0 | Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) 측정결과 |
| Cd | 0 | 0 | |
| Pb | 0 | 0 | |
| Cu | 0 | 0 | |
| Fe | 0 | 0.002 | |
| Mn | 0 | 0 | VEGA 측정결과 |
| CN | 0 | 0.004 | |
| NO ₂ -N | 0.002 | 0.013 | Full Automatic Wet(Water) Chemical Analyzer (AA3) 측정결과 |
| NO ₃ -N | 0.019 | 0.356 | |
| NH ₄ -N | 0.008 | 0.086 | |
| PO ₄ -P | 0.009 | 0.413 | |

4. 결론

본 연구에서는 좁은 국토에 비해 상대적으로 매장량이 많고 저가인 제올라이트를 이용하여 도암댐 탁수 처리를 위한 간편하고 손쉬운 방법을 제시하여 현장의 적용 가능성을 제시할 수 있었다. 특히, 2차 침전물이 자연 하천이나 호소에 생태적인 균형을 깨지 않는 초저가형 재료를 이용하여 하천, 호소 등의 탁수를 정화시킬 수 있는 기술을 개발하였다.

(1) 동해안에 비교적 혼한 지질성분인 천연 제올라이트를 탁수가 심한 물에 교반한 결과 20분 경과 후 탁수 콜로이드 입자를 바닥으로 가라 앉혀 371NTU의 원수를 1NTU 이하의 처리수로 만들어 호소 수질을 1급수 수준으로 개선할 수 있었다.

(2) 천연 제올라이트 TYPE 1을 10ppm 주입하고 15분간 교반한 다음 천연 제올라이트 TYPE 2를 10ppm 주입하고 다시 5분간 교반한 후, PAC 12ppm 주입하여 2분간 교반하여 탁도를 측정 한 결과 1급수 탁도를 회복했다. pH에 관하여 분석한 결과, 탁수 원수의 pH는 7.3이 있고 천연 제올라이트 TYPE 1을 10PPM 주입 시 pH8.07, 천연 제올라이트

TYPE 2을 10ppm 주입 시 pH는 8.19을 나타내었고 PAC 12ppm을 첨가 시 pH는 7.27로 안정 상태를 나타내었다.

(3) 천연 제올라이트를 활용한 본 기법이 탁도 제거에 우수한 효과를 보여줄 뿐 아니라, 질소 및 인의 양을 충분히 감소시키는 결과를 나타내었다. 이 결과를 볼 때, 다목적댐 상류지역 경작지에서 화학적인 비료가 다량 포함된 댐 유입수가 흐르더라도 탁수저감뿐 아니라 인 및 질소 등의 성분 제거에 유용함을 알 수 있다.

참고문헌

- 1) Bramlette, M.N. and Posnjak, E. : Zeolitic alteration of pyroclastics. *Amer. miner.*, 18, pp.167-171, (1933)
- 2) Al-Rashdan, Z.A.F. : Investigation of Natural Zeolitic Tuffs on Their Ability for Sewage Cleaning Purpose. Ph.D. Thesis, Oldenburg University, (2000)
- 3) Loizidou, M. and Townsend, R.P. : Ion exchange properties of natural clinoptilolite, ferrierite and mordenite: Part 2. Lead-sodium and lead-ammonium equilibria. *Zeolites*, 7, pp.153-159, (1987)
- 4) Semmens, M.J. and Seyfarth, M. : The selectivity of clinoptilolite for certain heavy metals. In Sand, L.B. and Mumpton, F.A. (Ed.) *Natural Zeolite: Occurrence, Properties, Use*. Pergamon Press, pp.517-526, (1978)
- 5) Blanchard, G., Maunaye, M. and Martin, G. : Removal of heavy metals from waters by means of natural zeolites. *Water Res.*, 18, pp.1501-1507, (1984)
- 6) Jorgensen, S.E. and Barkacs, K. : Ammonia removal by use of clinoptilolite. *Water Res.*, 10, pp.213-224, (1976)
- 7) Kayabali, K. and Kezer, H. : Testing the ability of bentonite-amended natural zeolite (clinoptilolite) to remove heavy metals from liquid waste. *Environ. Geol.*, 34, pp.95-102, (1998)
- 8) Pansini, M. : Natural zeolites as cation exchangers for environment protection. *Mineral. Deposita.*, 31, pp.563-575, (1996)
- 9) Dyer, A. : An Introduction to Zeolite Molecular Sieves, Jon Wiley & Sons, p.149, (1988)

(2005년 1월 19일 접수, 2005년 5월 20일 채택)