

## 어독성 시험에 의한 그라우팅재의 수질오염 평가

### The Evaluation of Toxic Effect of Grouting Materials by Fish Poison Test

천병식 · 김진춘\* · 이영근\*\*

한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

#### ABSTRACT

As grouting materials for ground improvement, silicate materials such as water glass, silica-sol and so forth are used worldwide. However, they may pollute underground water. In this study, fish poison test(Korean standard industrial code KS M 0111) which estimates toxicity for fish is applied to evaluate the toxic effect by grouting materials. From the test result of the sample made of LW, LC50(Median Lethal Concentration) reaches within 24 hours. In case of the silica-sol, it does not even in 96 hours. Therefore, we can conclude that the silica-sol grouting method is more free from the danger of underground water pollution. From the result that the mortality of fish under the condition of pH 8.6 is 0% within 96 hours, the groundwater can be saved by controlling pH below 8.6 for the grouting in the field.

---

**Keywords** : water pollution, fish poison test, water glass, silica-sol, LC50

#### 1. 서론

외국에서는 약액주입공법에 의한 지반개량시 고결체로 부터 약액의 성분이 용탈됨으로써 주변의 토양 및 지하수를 오염시킨 사례가 보고 되고 있으며 환경오염을 고려하면서 불가피하게 주입공사를 수행하여야 할 경우 주변환경에의 영향을 고려하여 적절한 공법과 재료를 선택하도록 법적인 근거를 마련하고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 국내에서는 지금까지 약액주입공법에 의한 피해사례가 보고된 적이 없고 외국의 사례를 통해 추정할 뿐이다.

따라서, 본 연구에서는 그라우팅공법의 본질적인 문제점 중의 하나인 환경오염정도를 평가하기 위하여 국내·외적으로 사용빈도가 높은 LW공법의 규산소다 3호와 실리카졸 그라우팅재로 부터 용탈되는 수소이온에 의한 어독성을 측정함으로써 수질오염에 미치는 영향을 간접적으로 평가하고자 한다.

## II. 실험

### 1. 시험기구 및 장치

KS M 0111 규정<sup>2)</sup>과 선행 연구실적<sup>3)</sup>을 참고하여 시험기구는 다음과 같이 구성하였다. 시험수조는 깨끗한 유리제로서 용량은 약 50 l 이상인 것으로 한다. 항온설비는 12~18℃의 지정온도를 ±2℃로 유지하도록 한다. 순응수조는 공시어의 생존을 위하여 필요한 공간으로서 용량은 약 100 l 정도로 필요에 따라 온도조절 및 공기송풍이 가능한 것으로 준비한다. 공시어는 수은, 먹이, 취급 등 실험실 내의 생존조건에 적합한 것으로서 크기가 고르고 건강하며 한번에 다수 채집 가능한 연어과, 잉어과, 송사리과 등으로 한다. pH meter 및 pH sensor는 경과시간에 따라 pH를 측정하기 위해 pH sensor를 시험수조내에 설치 하고, 충분한 산소를 공급하기 위해 Blower를 설치한다.

### 2. 시험조건 결정

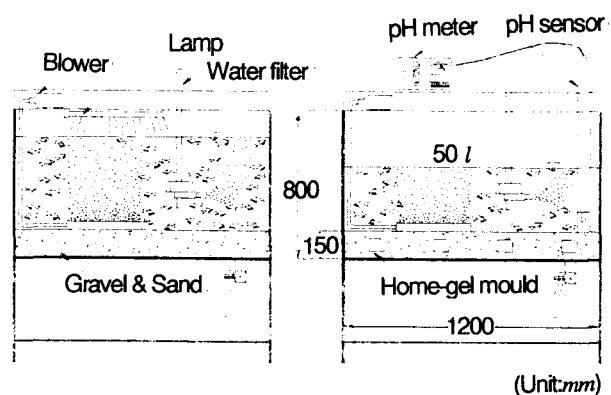
시험조건은 현장에서 주입되는 약액과 토양, 지하수의 양 등을 고려하여 가능하면 유사하게 모델링하는 것이 타당하나, 본 시험의 경우 유기물을 포함하지 않은 물유리계 그라우팅재(규산소다 및 실리카졸)에 의한 LC50을 평가하여 그라우팅재의 수질오염정도를 어독성시험을 통해 간접적으로 비교, 평가해 보고자 하였다.

「약액주입공법에 의한 건설공사시공에 관한 잠정지침」(일본건설성,1974)에 따르면 “약액주입공법에 사용하는 약액은 물유리계의 약액(주재료가 규산나트륨인 약액을 말함)으로서 극물 또는 불소화합물을 포함하지 않은 것에 한한다.”라고 규정하여 약액의 사용을 제한하고 있다.<sup>1)</sup> 물유리계 약액의 경우 수질오염에 가장 큰 영향을 미치는 주인자는 수소이온농도와 과망간산칼슘이며, 특히 유기물을 포함하지 않은 물유리계 그라우팅재의 경우 수질관리 항목으로 수소이온농도(pH)만을 규정하고 있기 때문에 주인자로 알려진 수소이온농도에 대하여만 검토하였다.

오염원으로 사용하는 그라우팅재 고결시편에 대한 제원 및 갯수와 공시어의 생존을 위한 정상적인 물의 양은 여러 차례의 예비시험을 실시하여 시험에 적합한 조건을 정하였다.

첫 번째 예비시험은 체적 5cm×5cm×5cm의 호모겔 고결체 5개를 제작하여 수조에 30 l의 물(호모겔 고결체 체적의 약 48배 수중에서 시험 실시)과 공시어 20마리를 넣고 실험한 결과 24시간 동안에 치사된 공시어가 한마리도 없었으며, 96시간 후 2마리가 치사되었다. 따라서 24시간, 48시간은 물론이고 96시간에도 LC50을 초과하지 않았으며, 호모겔 고결체로부터 알칼리 용탈량이 매우 적었다.

두 번째 예비시험은 체적 10cm×10cm×10cm의 호모겔 고결체 5개를 제작하여 수조에 40 l의 물(호모겔 체적의 약 8배 수중에서 시험 실시)을 넣고 실험한 결과 5시간 이내에 모든 공시어가 치사되었다. 즉, 24시간의 LC50을 구할 수 없을 만큼 호모겔 고결체로부터 알칼리 용탈량이 많아서 어류가



(a) 순응수조

(b) 시험수조

그림 1. 어독성 평가 시험장치

도저히 생존할 수 없는 수질상태였다.

세 번째 예비시험은 체적 7cm×7cm×7cm의 호모겔 고결체 5개를 제작하여 수조에 50 ℓ의 물(호모겔 체적의 약 29배 수중에서 시험 실시)을 넣고 실험한 결과 24시간 후 공시어가 모두 치사되었다.

네 번째 예비시험은 체적 7cm×7cm×7cm의 호모겔 고결체 4개를 제작하여 수조에 50 ℓ의 물(호모겔 체적의 약 36배 수중에서 시험 실시)을 넣고 실험한 결과 24시간 후 공시어가 16마리 치사되어 적당한 시험조건으로 결정하였다.

### 3. 그라우팅재 특성 및 조합별 배합

지반보강공법으로 국내·외에서 활용빈도가 높은 LW공법은 응결속도를 조절하는 A액과 경화재인 B액으로 구성되어 있다. A액은 규산소다 3호 또는 실리카졸과 일반 용수를 1:1 부피비로 혼합한 희석액이며, B액은 시멘트계 경화재와 물을 1:2 중량비로 혼합한 현탁액으로 A액에 사용되는 규산소다 3호

는 국내 D화학에서 생산되는 제품이며, 실리카졸은 본 연구를 위한 시제품을 사용하였다. 시험조건 결정을 위한 예비 시험으로부터 체적 7cm×7cm×7cm의 시편4개를 제작하기 위해 여유분을 고려하여 2000ml의 약액을 제조하였다. 본 실험에 적용된 그라우팅 재의 조합별 배합비는 표 1과 같다.

표 1. 적용된 그라우팅재의 조합별 배합비

조합	그라우팅재 종류				Gel-time (sec)
	A액 (1000ml)		B액 (1000ml)		
1	규산소다 3호(ml)	물(ml)	보통시멘트(g)	물(g)	약 60
	500	500	428	856	
2	실리카졸(ml)	물(ml)	보통시멘트(g)	물(g)	약 5
	500	500	428	856	

### III. 시험결과 및 고찰

수질분야에 물고기가 물의 흐름을 거슬러 올라가는 성질(역류성 ; Rheotaxis)을 이용한 물고기 독성경보장치 등 유사한 실험<sup>6), 7)</sup>이 있으며, 이 경우는 독성물질의 농도를 단계적으로 일정하게(예 5mg/ℓ, 10mg/ℓ...) 조절이 가능하고 그 확산속도가 매우 빠르나 그라우팅재의 경우 고결체로 되어있어 단계적으로 일정한 농도 조절이 어렵고 그 용출속도도 상대적으로 느리다. 즉, KS M 0111 규정의 경우, 폐수의 희석수를 사용하여 실험함으로써 폐수의 농도가 일반적으로 일정하게 유지되는 반면, 호모겔 고결체를 사용할 경우는 pH가 계속 변화하므로 시험방법이나 결과의 분석에서도 상당한 차이점이 발견된다.

호모겔 고결체를 사용한 본 연구에서는 각 실험으로부터 24, 48 및 96시간의 pH와 치사율을 구하고 공시어가 50% 치사하는 pH를 검토하였다. 이 결과는 여러 주입약액의 알칼리 용탈로 인한 pH 변화를 확인하여 환경오염 정도를 확인할 수 있는 지표가 될 수 있다.

#### 1. 규산소다 3호 + 보통포틀랜드시멘트(OPC) 그라우팅재

규산소다 3호와 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 제작한 고결체의 시간에 따른 pH변화 및 치사하는 공시어의 수는 그림 2~3과 같다.

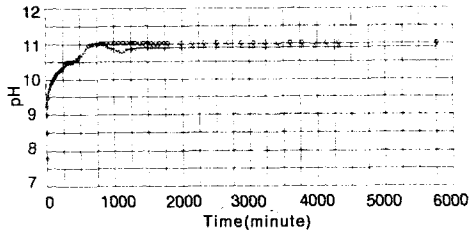


그림 2. 시험 시작 후 96시간까지의 규산소  
다 3호+OPC 조합에 의한 pH 변화

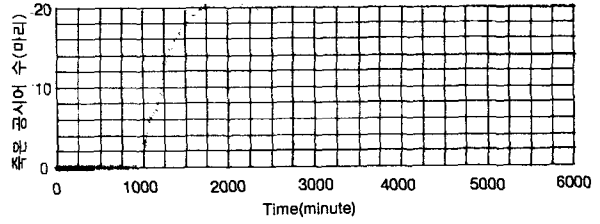


그림 3. 규산소다 3호+OPC 조합에  
의해 치사하는 공시어 수

약 800분(13시간)경과 후 pH=11.1로 최대를 나타내었으며, 이후 약간 감소하여 pH=10.9로 수렴하였다. 약 900분(15시간; pH=11)경과 후부터 공시어가 치사하기 시작하여 약 1700분(28시간; pH=10.9)경과후 공시어가 모두 치사하였다.

## 2. 실리카졸 + 보통포틀랜드시멘트(OPC) 그라우팅재

실리카졸과 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 제작한 호모겔 고결체의 시간에 따른 pH변화 및 치사하는 공시어의 수는 그림 4~5와 같다.

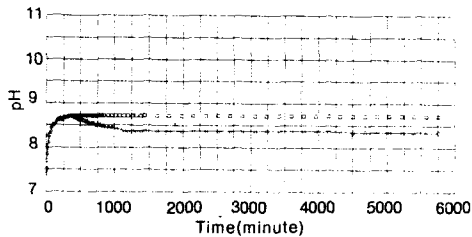


그림 4. 시험 시작 후 96시간까지의 실리카  
졸+OPC 조합에 의한 pH 변화

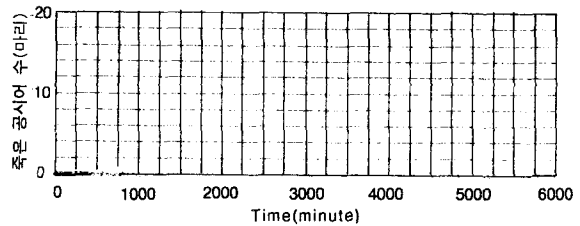


그림 5. 실리카졸+OPC 조합에  
의해 치사하는 공시어 수

약 300분(5시간)경과 후 pH=8.7로 최대를 나타내었으며, 이후 약간 감소하여 pH=8.4로 수렴하였다. 시험대상기간(4일)동안 공시어는 한 마리도 치사하지 않았다.

## 3. 반수치사농도 LC50 고찰

어독성 시험준비가 완료되고 시험이 시작되면 초기에는 pH가 급격히 증가하여 최대점에 다다른다. 이후 시간이 지남에 따라 pH는 약간 감소하여 일정하게 수렴하는 경향을 보여주고 있는 데, 이와 같이 약간 pH가 감소하는 것은 이미 치사된 공시어 및 먹이의 부패 등으로 발생한 유기산의 화학작용이 그 원인으로 추정된다. 24시간, 48시간 및 96시간의 pH에 대한 치사율(%)의 관계는 LC50을 평가하기 위한 각 시험으로부터 표 2와 같다.

표 2. 시간에 따른 그라우팅재 조합별 치사어 수, pH 및 치사율

조합	그라우팅재 종류		pH, 치사어수 치사율	4시간	8시간	24시간	48시간	96시간
	A액	B액						
1	규산소다 3호	보통시멘트	pH	10.3	10.6	10.8	10.8	10.8
			치사어수	0	0	17	20	20
			치사율	0%	0%	85%	100%	100%
2	실리카졸	보통시멘트	pH	8.6	8.6	8.4	8.4	8.4
			치사어수	0	0	0	0	0
			치사율	0%	0%	0%	0%	0%

표 2에서 조합 2의 경우 96시간 경과후에도 치사율이 0이고 pH가 9이하이기 때문에 LC50이 존재하지 않는다. 즉, 실리카졸을 사용하는 그라우팅재는 약알칼리영역에서 pH가 형성되므로 수소이온에 의한 지하수의 오염이 보다 적을 것으로 판단된다. 반면, 조합 1의 경우 24시간 이내에 이미 LC50이 존재한다. 즉, 규산소다 3호가 조합된 LW 그라우팅재의 경우 알칼리 용탈량이 매우 크기 때문에 지하수 흐름이 느리거나 정체된 곳에서는 주변 생태계에 나쁜 영향을 미칠 수도 있다고 판단된다.

조합 2의 실험결과로부터 pH 8.6이하에서 96시간까지 치사율이 0%로서 차후 주입공사후 주변지반의 pH를 8.6이하로 관리할 때 수질오염에 대한 안정성이 있다고 판단된다.

#### IV. 결론

1. LW약액의 응결조절제로 강알칼리성의 규산소다 3호를 사용한 경우, 96시간 후의 최종 알칼리농도는 pH 10.9로서 어류가 생존할 수 없는 환경으로 오염되었으며, 실제로 방류된 공시어 20마리가 모두 치사하였다.
2. 실리카졸약액의 응결조절제로서 중성영역의 실리카졸을 사용한 경우, 96시간 후 최종 알칼리농도는 pH 8.4로서 pH변동이 매우 안정적이었으며, 실제로 방류된 공시어가 한 마리도 치사되지 않고 모두 살아남았다.
3. LW는 LC50이 24시간 이내에 존재하는 것으로 판정되었지만, 실리카졸의 경우는 96시간에서도 LC50에 이르지 않았다. 즉, 규산소다 3호를 응결조절제로 사용하는 LW약액이 실리카졸약액에 비해서 주변의 지하수를 오염시킬 우려가 크다는 것을 실험적으로 알 수 있었다.
4. pH 8.6이하에서 96시간까지 치사율이 0%로서 차후 주입공사시 주변지반의 pH를 8.6이하로 관리할 때 수질오염에 대한 안정성이 있음을 알 수 있었다.
5. 본 연구를 통하여 향후 국내 현장에서도 약액주입에 의한 피해사례가 발생할 수 있다는 사실 알 수 있었는데 바 취수원과 같이 기존의 그라우팅재에 의한 피해가 예상되는 곳에서는 실리카졸과 같은 무공해성 그라우팅재의 적용을 제안한다.

## 참 고 문 헌

- 1) 천병식, “건설기술자를 위한 지반주입공법”, 원기술, pp407~427 (1998)
- 2) 한국표준협회, “KS M 0111-1993”, 공장 폐수 시험방법, pp296~300 (1993)
- 3) 野上明男 外, “藥液注入工法の設計と施工”, 山海堂, pp241~242 (1979)
- 4) 호소수질연구소, “종합수질자동측정시설 시범운영 보고” pp25~83 (1994)
- 5) APHA. AWA. WEF, “Standard Method For the Examination of Water and Waste Water”, pp8-120~8-143 (1995)