

아크릴레이트계 주입약액의 특성 및 적용 Characteristics and Applications of Acrylate Injection Material

천 병 식¹⁾, Byung-Sik Chun, 류 동 성²⁾, Dong-Sung Ryu, 조 산 연³⁾, San-Yeon Cho, 정 성 남⁴⁾,
Sung-Nam Jung, 여 유 현⁵⁾, Yoo-Hyeon Yeoh

¹⁾ 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

²⁾ 서울산업대학교 정밀화학학과 겸임교수, Concurrent Professor, Dept. of Fine Chemistry, Seoul
National Polytechnic University

³⁾ CEC연구소 부소장, Vice-Chief, CEC Institute

⁴⁾ (주)코보개발기술사사무소 대표이사, President/P.E., KOBO Development Co., Ltd.

⁵⁾ 한양대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

SYNOPSIS : In this study, acrylate salt material of new chemical composition for injection grouting was prepared in the state of aqueous solution, and the chemical and physical properties of the material were investigated. The gelation time of the material was freely controllable through the control of added catalysts amount. As the viscosity of the material was very low (2~3cps), its injection efficiency was expected to be very excellent. The variation of its viscosity plotted with the process of gelation revealed that the efficiency of its penetration into the ground soil was very excellent. The LD₅₀ test on white mouse verified the toxicity of the material was very slight and substantially negligible. The grouting effect using the material was examined through field case histories.

Key words : injection grouting, acrylate, redox catalyst, permanent grout, low viscosity, low toxicity

1. 서 론

지반의 차수 및 강도 증진을 위한 약액주입공법(chemical grouting)에 있어서 현재 가장 일반화된 주입약액은 규산소다계 약액으로서 이는 그 주입 목적에 따라 용액형과 시멘트를 공용하는 현탁액형 약액이 있어 최근까지도 국내 건설현장에서 가장 널리 이용되어 오고 있다. 그러나 일반적으로 규산소다계 약액은 지반주입후 시간경과에 따라 지반내의 자유수 및 흡착수 등에 의해 주입고결체로 부터 알칼리성분의 용탈이 진행되어 결국에는 대부분이 유실되는 등 내구성이 약한 문제점을 지니므로 주입효과 상실에 따른 안전문제 발생은 물론 이로 인한 지하수 오염가능성에 대한 문제도 제기되고 있는 실정이며 동시에 규산소다계 약액의 비교적 높은 점도 및 시멘트 입자 포함 등에 따른 주입성능의 한계로 인해 사실상 그 적용범위도 한정된다. 따라서 외국에서는 규산소다를 화학적으로 변형시켜 특성을 향상시킨 실리콘카졸계 주입약액이 개발되어 내구성, 환경오염 등에 있어서 많은 문제점을 개선시킨 것으로 알려져 왔으나 아직까지 국내에서는 기술적, 경제적, 현장작업여건의 문제점 등으로 인해 온전히 시행되고 있지 못하고 있는 실정이다.(Dep. of the Army, 1973)

한편, 규산소다계 약액 이외의 주입약액으로는 크롬리그닌계, 우레아계, 우레탄계 및 아크릴아미드계 등의 고분자계 약액이 알려져 있다. 현재 이 중에서 크롬리그닌계, 우레아계는 성능적으로도 크게 만족스

립지 못할 뿐아니라 공해성면에서도 문제가 있고 우레탄계는 물성은 우수하나 가격이 비싸고 공해성이 있어 널리 사용되지 않고 있으며 아크릴아미드계 주입약액은 점도가 매우 낮고 (1-2 cp), 겔타임 조절이 수초에서 수시간 까지 매우 자유롭고 또 주입고결체의 내구성이 탁월하여 반영구적으로 성능을 발휘할 수 있는 등 그 성능면에서는 매우 우수하다고 할 수 있겠으나 독성면에서 문제가 되어 사용이 제한되고 있다. 따라서, 이상에서 설명한 기존 주입약액에서의 장점은 최대한 살리고 단점은 최소화할 수 있는 새로운 주입약액의 필요성에 따라 많은 연구가 있어 왔던 바 그중의 하나가 아크릴레이트계 주입약액으로서 이는 주입성, 내구성 등에서 매우 우수함과 동시에 독성 또한 규산소다계 약액에 버금할 정도로 매우 낮은 장점을 지니고 있어 이미 외국에서는 이미 실용화를 위한 연구개발 및 실제적용사례가 매우 활발한 것으로 알려져 있다. (R.P. Hopkins, 1955)

이에 따라 본 연구에서는 기술적, 경제성면에서 국내 실정에 부합될 수 있는 새로운 아크릴계 주입재를 개발, 제조하여 이 새로운 아크릴레이트 주입약액(ARC : Acrylic Resin Chemical)의 제반 물리적, 화학적 특성을 규명함과 동시에 그라우팅용 주입재로서의 공학적 성질을 조사하고 시공사례를 통해 그 효과를 규명하였다.

2.1. 아크릴레이트 주입약액의 화학적 조성 및 배합

본 연구에서 제조한 아크릴레이트 주입약액 (ARC)은 아크릴산 및 변성아크릴산의 알칼리금속 또는 알칼리토금속염 (acrylic & modacrylic acid metal salt)과 가교제 (MBA)의 수용성 혼합물(A액) 과 redox 촉매수용액 (B액)으로 구성되었으며 이를 적절한 비율로 혼합주입, 반응시키면 이것이 함수 상태의 불용, 불용성의 hydrogel 로 변화되는 성질을 이용하여 그라우팅 약액으로서 이용하는 것이다. 아래의 표 1. 에 본 연구에서 제조한 아크릴레이트 주입약액의 화학적 조성, 배합 및 특성을 나타내었다.

표 1. 아크릴레이트 주입약액(ARC)의 성분 및 특성

구분	A 액 (주제)	B 액 (경화제)
Chemical Composition	acrylic & modacrylic metal salt + MBA + TEA mixture	APS/SPS
Thinner	water	water
Additives	EG, KFC	
Mixed Viscosity (20°C)	2~3 cp	
pH	7~9	
Mixing Ratio	1 : 1~3	
Gelation Time	several seconds ~ several hours. freely controllable	

표 1. 에 나타난 바와 같이 아크릴레이트 주입약액은 혼합점도가 2~3 cp 정도에 불과해 물(1cp) 과 거의 대등함을 알 수 있었으며 따라서 통상 점도가 수십 cp 이상인 여타 주입약액에 비해 그 주입성이 매우 탁월할 것임을 예상할 수 있었던 바 문헌에 의하면 이러한 점도를 갖는 주입약액은 sandy soil 은 물론 silt 층에도 주입가능한 것으로 알려져 있다. 또한 이 아크릴레이트 주입약액은 겔타임 조절도 빠르게는 몇초에서 부터 느리게는 몇시간에 이르기까지 자유롭게 조절할 수 있었던 바 주입대상 지반

의 토질 및 주입여건에 맞춰 겔타임을 조절함으로써 그 주입효과를 최대한 효율적으로 제어할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 약액의 pH 는 중성 내지는 약알칼리성으로서 주입에 의해 주입대상지반의 토질 또는 주변 콘크리트 구조물 등에 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

2.2. 겔화과정중의 주입약액의 점도변화특성

전술한 바와 같이 그라우팅에 있어서 주입약액의 점도는 주입성능을 좌우하는 가장 큰 요소이다. 따라서 아크릴레이트 주입약액의 주입특성을 검토하기 위하여 gelation time 이 30분 정도인 약액을 대상으로 약액혼합후 겔상태로 변화될 때까지의 점도변화를 관찰하였는 바 이 결과를 비슷한 gelation time 의 용액형 규산소다계 주입약액과 비교한 결과를 그림. 1. 에 나타내었다. 그림. 1. 에 나타난 바와

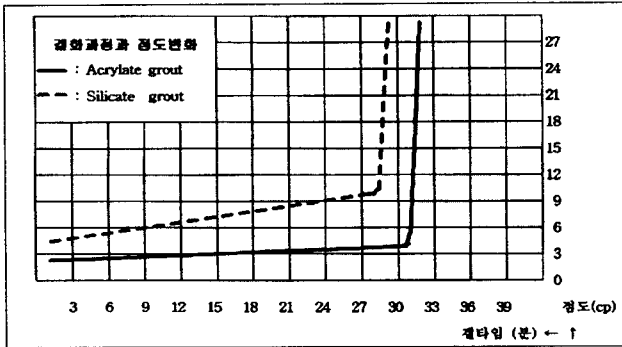


그림 1. 겔타임 진행에 따른 점도의 변화

같이 기존의 용액형 규산소다계 주입약액은 겔타임에 도달할 때까지 약액의 점도가 점진적으로 상승하는 현상을 나타내어 겔화되기 전에도 일정 시간 경과후에는 점도의 상승으로 인해 침투특성이 저하되는 것과는 달리 아크릴레이트계 주입약액은 점도의 상승이 거의 무시할 만큼 작게 나타나므로 아크릴레이트 주입약액의 지반내에서의 장시간 침투성은 점도의 변화없이 안정적으로 발휘될 수 있을 것으로 판단되었다.

2.3. 호모겔 및 샌드겔의 공학적 특성

아크릴레이트 주입약액의 호모겔 및 샌드겔의 공학적 성능을 규명하기 위하여 호모겔 및 샌드겔 각각의 일축압축강도 및 투수계수를 측정하여 표 2. 에 나타내었다.

표 2. 아크릴레이트 호모겔 및 샌드겔의 공학적 특성

구 분	호모겔	샌드겔
겔의 성상	매우 플렉시블한 겔	플렉시블한 겔
일축압축강도(Kg/cm ²)	0.2	1.5
투수계수 (cm/s)	4.2×10 ⁹	8.7×10 ⁹
비 고	15% 변형시 강도	300중량%의 표준사배합

표 2. 에서와 같이 아크릴레이트 주입약액 호모겔 및 샌드겔은 플렉시블하기 때문에 일축압축강도는 각각 0.2 및 1.5 kg/cm² 로서 매우 낮게 나타났다. 그러나 이 주입약액의 겔은 강성이 아니고 플렉시블하기 때문에 지반의 변형이나 충격 등에도 댐핑효과에 의해 파괴가 잘 일어나지 않아 오히려 순수한 차수용 재료로서는 더욱 적합할 것으로 기대되었다. 또한 호모겔 및 샌드겔의 투수계수는 모두 10⁸~10⁹ cm/s 로서 우수한 불투수특성을 지니고 있음을 알 수 있었다.

2.4. 독성시험

아크릴레이트 주입약액의 조성에 대한 독성을 조사하기 위해 white mouse 를 대상으로 독성실험을 실시하였다. 그 결과 LD₅₀ 이 5,000 mg/kg 이상으로 나타나 실질적으로 거의 독성이 없는 것으로 판단되었으며 기존의 아크릴아미드 주입약액은 LD₅₀ 이 200mg/kg 정도로 알려져 있는 바 본 아크릴레이트 주입약액은 매우 안전하게 사용될 수 있는 것으로 사료되었다.

2.5. 시공사례 (지중 T/L 전력구 터널 (154KV OO 지역) 차수공)

(1) 수리지질현황

- ① 분포 기반암 : 화강암/편마암
- ② 지하수압(터널굴착전) : 4.63 kg/cm²
- ③ 지하수압(터널굴착후) : 2.5 kg/cm²
- ④ 지반 투수계수(k) : 4.14 × 10⁻⁵cm/sec

(2) 터널시공현황

터널시공방법 : Shield TBM

Annular Space 뒷채움 방식 : 주입재로 cement + waterglass + bentonite 를 사용하여 1차로 Fish Tail Plate 에 의하여 Packer 후면 채움을 실시하고 2차로 Segment에 설치된 Grout Hole을 통해 주입재를 Injection한 상태임.

(3) 문제점 현황

- ① 터널시공 당시 주입한 시멘트 현탁액중 Waterglass 가 시멘트와 혼합되지 않은 상태로 Segment 접합부를 통해 유출되면서 Ring 표면부에 백화현상을 유발
- ② 파손된 segment 균열부가 확대되면서 Waterglass 및 지하수 유출량이 점차 많아짐.
- ③ 차수공으로 LW를 시공하였으나 지반내 Water Path 가 불규칙하고 조밀하여 주입재가 침투하지 못하여 주입효과가 전혀 없었음.

(4) ARC 시공방법

- ① 시공구간 : 10 segment
- ② 천공수 : 31공(wall부 20공, crown부 11공)
(그림. 2. 참조)
- ③ 천공 깊이 : 40~45cm
- ④ 천공 구경 : 15 mm
- ⑤ 겔타임 : 4~8분
- ⑥ 주입압력(kg/cm²): 정상주입 (5~15), 마감주입 (20)
- ⑦ 주입량 : 공당 8~10 L

(5) 시공결과

- ① 주입완료후 주입공 입구부에 ARC 응고 확인
- ② 누수 segment 표면부 dry 및 대다수 joint 누수 지수
- ③ waterglass 유출로 인한 백화현상 사라짐
- ④ 장기간 (3개월) 경과후에도 안정상태 유지

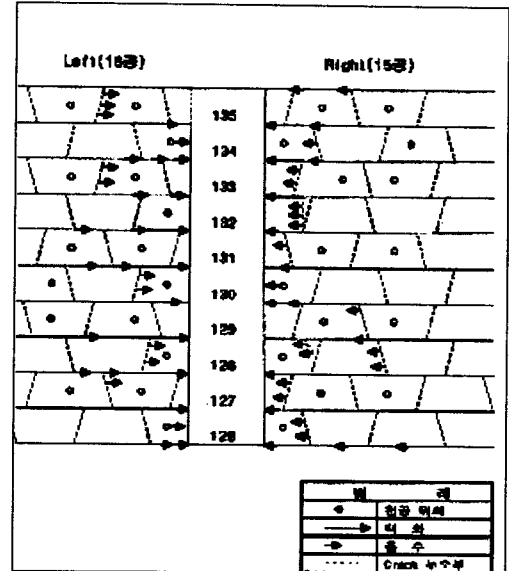


그림 2. 천공 및 시공 위치도

3. 결 론

- (1) 아크릴레이트 주입약액은 매우 저점성 (2-3 cp)의 주입약액임과 더불어 겔화과정중에도 점도의 상승이 거의 발생하지 않아 주입성이 매우 우수한 약액임을 확인하였다.
- (2) 겔의 강도는 비교적 낮으나 탄성을 지님과 동시에 투수계수가 매우 낮아 차수용 재료로서 매우 우수한 것으로 판단되었다.
- (3) 약액 성분은 독성이 매우 낮아 지반주입재로서 안전함을 알 수 있었다.
- (4) 시공사례를 통해 종래의 약액주입공법으로는 차수가 어려운 지반환경에서도 우수한 차수효과를 얻을 수 있는 주입약액임을 확인하였다.

참고 문헌

1. Department of the Army, Office of the Chief of Engineers(1973), Chemical Grouting, EM 1110-2-3504, Washington, D.C.
2. R.P. Hopkins(1955), "Acrylate Salts of Divalent Metals, Ind. Eng. Chem., American Chemical Society, 47(11), pp.2258-2265