

# 약액주입공법의 국내·외 기술 동향

- Current Technical Tendency of Chemical Grouting -



김진춘\*

## 1. 서 언

근래 지구촌의 산업화가 가속됨에 따라 대지의 활용도가 급속하게 증가하고 있으며 아울러 인구의 증가 및 개개인 삶의 공간적 범주가 점점 확대되면서 지구상에 광범위하게 분포되어 있는 연약지반으로의 관심이 집중되고 있는 실정이다. 최근 국내에서도 고속철도, 인천국제공항, 도심지 지하철 및 서·남해안 항만공사 등 대규모 국가건설공사가 진행 중에 있으며 더더욱 임해시설의 확충이라든지 인공섬 등의 건설이 활발해지면서 연약지반에 대한 관심이 고조되고 있다. 하지만 연약지반의 특성을 경시한 나머지 터널의 붕락, 주변지반 및 인접건물의 부등침하, 축방유동에 의한 구조물변위 등 대형 안전사고가 빈발하게 발생되어 왔다. 이러한 안전사고의 대책으로서 지반보강을 위한 여러 가지 신공법이 개발되었고, 새로운 터널보조공법이 국내 지하철건설현장에서 널리 쓰여지고 있으며 이러한 공법 등을 통한 성과도 적지 않게 보고되고 있다.

한편 연약지반 처리공법으로서 최근 활

발하게 적용되고 있는 것이 약액주입공법이며 이 공법은 건설현장의 약조건과 갈수록 까다로워지고 있는 설계 및 시공여건 등 즉, 도시 내에서의 교통혼잡, 협소한 도로 및 지하시설물 등의 약조건을 극복하고, 안전하고 신뢰할 수 있는 시공을 위해 없어서는 안될 공법으로 평가되고 있으며, 아울러 다른 공법으로는 할 수 없는 본 공법만의 독특한 장점을 보유하고 있으므로 그 필요성 및 활용실적이 세계적으로 급증하고 있는 추세이다.

이러한 연유로 본고에서는 연약지반의 처리공법의 일환으로서 현재 국·내외적으로 널리 사용되고 있는 약액주입공법에 대해 소개하고 아울러 최근 국내의 기술동향을 소개하고자 한다.

## 2. 약액주입공법의 역사

연약지반에 약액을 주입하여 처리한다는 개념은 1802년 불란서의 C. Berigny가 점토와 석회수용액을 충격식 펌프(percussion pump)에 의해 주입한 것이 시초로서 1856년에는 영국, 1896년에는 이집트에까지 소개되어 많이 쓰여졌다고

전해지고 있다. 한편 현재 폭넓게 사용되고 있는 시멘트를 주입용으로 사용하게 된 것은 1876년 영국의 T. Hawksley가 Tunstall 댐의 기초암반에 자연 유하식으로 주입한 것을 시작으로하여 1880~1905년 불란서 Reumanx 등이 탄광에서 용수처리를 위하여 고압분사 펌프에 의해 시멘트 주입을 한 예가 있다. 이러한 선례를 모태로 하여 주입재의 혼합방식이나 주입시공에 관해 많은 개량이 시도되었으며 아울러 현재의 암반 주입공법의 기초가 되었다. 그 후 1933년 피사의 사탑 기초보수공사가 이 공법에 의해 이루어졌으며 이것은 대표적인 시멘트 주입의 응용 예라 할 수 있다.

화학약액에 의한 주입은 1886년 독일 Jeriorsky가 물유리와 염화칼슘을 사용한 최초의 규화법(矽化法)을 고안해 냈고, 그 후 계속해서 개량이 시도되어 1907년 벨기에의 L. Dumont이 1 Shot system을 개발하기에 이르렀고 그 후 벨기에의 A. Francois와 독일의 Joosten 등이 이를 발전시켰다. 드디어 1925년 약액주입의 할아버지라고 불리는 Joosten이 처음으로 2 Shot system에 의해 속도가 빠른 유수

\* 정회원, (주)한국지오택 대표이사

표 1. 주입공법 도입시기 및 최초 적용공사명

공법명	최초로 적용된 공사명	비고
LW	- 1981. 11 ~ 1981. 12 서울지하철 2호선 6-3공구 을지로 6가(시공 : 특수건설공업주식회사) - 1980. 6 ~ 1980. 10 서울지하철 2호선 2-3공구 경부고속도로 육교하부통과구간	도입: 1980년
SGR	- 1983. 1 서울지하철 3호선 동대문운동장역 시험시공(시공:삼보지질(주)SRG-1, 2호) - 1983. 2. 4 ~ 3. 19 서울지하철 3호선 320공구 안국동 4거리 국내 최초 터널구간 적용(시공 : 삼보지질(주) SRG 3, 4호) - 1983. 2. 22 ~ 1983. 6. 30 정자지구공사(시공 : 농업진흥공사) - 1983. 8. 22 ~ 1983. 11. 24 이안지하매공사(시공 : 농업진흥공사)	도입: 1982년
MSG	- 2000. 10. 28 ~ 11. 20 강원도 영월군 88국도 서면-남면간 배일치터널(시공 : 대보기술단) - 2001. 3. 6 ~ 4. 10 현대산업개발 뽕피스-II 신축현장(시공 : 중앙개발) - 2001. 6. 28 ~ 7. 27. 산담 빛물 펌프장 신설공사(시공 : 대보기술단) - 2001. 11. 1 ~ 2001. 11. 20 명동 8, 10구역 배전부지 지반보강공사(시공 : 홍지기술산업)	도입: 2000년
우레탄	- 1992. 서울지하철 3호선 연장구간(3-1,2,3)(시공 : 신한케미칼트레이닝(주) 일본 TOKAI 고무 Co. 제품) - 1993. 국산화 : 서울지하철 5호선 5-15공구(시공 : (주)신한케미텍) - 1994. 부산지하철 2호선 211공구(시공 : (주)신한케미텍)	도입: 1991년
Micro Cement(습식)	- 1983. 9.3 ~ 1984. 10. 30 서울지하철 3호선 320공구(중앙청앞 지하차도통과터널구간에서 SGR-3M(11, 12호) GF-62 사용(시공 : 삼보지질(주)) - 1983. 11. 1 ~ 12. 30 부산지하철 2-9공구 부산진역, SGR_3M(11, 12호), (시공 : 대교공영(주))	
Micro Cement(건식)	- 1994. 8 대구지하철 1-5공구(시공 : 대구 우방건설) - 1995. 6 한국전력 전력구공사(성남-신양지)(시공 : 홍지지질) - 1995. 8 서울지하철 6-7공구(시공 : 신화건설)	도입: 1994년
CGS	- 1994. 8 포항 정안 플든빌라 APT 5층(시공 : Denver Korea Grouting Co.)	도입: 1993년
Silicasol(Clean Firm, Silicalizer)	- 1983. 9. 20 ~ 1984. 5. 12 서울지하철 3호선 330-3공구(반포고속터미널~강남성모병원구간 수직구(시공 : 특수건설공업(주))	도입: 1983년

중에서 희석, 유실되어 버리는 시멘트 주입의 문제점을 해결하게 되었다. 이 Joosten 공법을 계기로 구미 각국에서 주입약액의 개발연구가 활발히 시작되었으며 드디어는 점성이 낮고 겔 타임(gel-time) 조절이 용이한 약액으로서 아크릴아미드계, 크롭리그닌계, 요소계 약액 등이 개발되어 실용화하기까지 이르렀다.

특히 미국의 American Cyanamide Company가 1953년에 특허를 얻은 아크릴아미드를 주재료로 한 AM-9은 점성이 매우 낮고 겔 타임도 우수하여 전 세계적으로 약액주입공법을 확대시킨 기폭제 역할을 하게 되었고 일본에서도 이것을 계기로 약액의 개발에 박차를 가하기 시작했다.

1954년경 松尾 교수 등을 중심으로 리그닌계 주입재료에 대한 연구가 시작되었고, 물유리계 약액인 MI 공법에 의해 터널공사, 영단 지하철 건설(지바~오차노미즈) 공사 등에 쓰인 기록이 있다. 이때의 성공으로 지하굴착에서의 용수나 누수를 막기 위한 수단으로 시멘트와 물유리를 동

시 주입한다는 획기적인 방법이 실용화된 후 주입공법은 급속한 발전을 하게 되어, 동경올림픽이 개최된 1964년경부터 건설공사의 급격한 성장과 함께 약액주입공법의 필요성이 비약적으로 증가하여 우수한 약액들이 무수히 개발되었고 그 효과를 인정받아 세계에서도 그 예를 찾아볼 수 없을 정도로 광범위하게 사용되었다. 그러나 10년 후인 1974년 약액주입에 의한 것으로 보이는 공해문제가 발생되면서 약액주입공법은 일대 전환기를 맞게 되었다.

### 3. 약액주입공법의 국내도입 및 적용

주입공법이 국내 건설현장에 쓰이게 된 것은 일부 산악터널이나 댐의 커튼 그라우팅(curtain grouting)에 극히 일부만이 적용되었을 뿐 그 실적은 미미하였다. 그러나 1970년대 지하철 건설과 맞물려 급진전하기 시작했다. 즉, 서울지하철 1호선(1971 ~ 1974)·2호선(1978 ~ 1984) 및 부산지하철 1호선(1981 ~ 1994) 등

의 건설공사와 함께 주입공법이 국내 건설현장에 본격적으로 활용되기 시작하였으며, 현재는 대구, 인천, 광주, 대전 등 전국 5대 광역시 지하철 건설공사에 확대 적용되고 있으며 지하철 공사뿐만 아니라 대규모 건물건축, 고속도로 및 비행장, 고속철도, 항만건설공사 등 대부분의 건설공사에 적용되고 있으며 이러한 현상은 앞으로 더욱 증대될 전망이다.

국내 주입공법의 활용에 있어서 시멘트 그라우팅 공법은 1960년대 산악터널 및 댐 기초 그라우팅에 쓰여왔으며 서울지하철 1호선에도 적용된 바 있다. 주입공법의 대명사격인 LW 공법은 1980년 일본에서 도입되어 서울지하철 2호선(예, 2-3공구 경부고속도로 육교하부통과, 6-3공구 을지로 6가)에 처음 적용된 바 있고, 그 후 1982년에 SGR 공법이 일본(新日本 Techno株)에서 도입되어 1983년 1월 서울지하철 4호선(동대문운동장역)에 시험시공(SGR 1, 2호), 이후 1983년에 지하철 3호선 320공구(안국동 사거리)에서 최초 터널구간 적용

(SGR 3, 4호)되었으며, 한편 동일한 공구(중앙청앞 지하차도통과 터널구간)에서 GF-62에 의한 Micro Cement가 최초로 적용되었다.(SGR-3M, 11, 12호)

한편, 고분자계 약액 중의 하나인 우레탄공법이 1991년 일본 TOKAI 고무 Co.에서 도입되어 최초로 지하철 3호선 연장구간(3-1, 2, 3공구)에 적용된 바 있고, 이후 1993년부터는 국산화되어(예, (주)신한케미텍, 태백공영(주) 등) 전국 지하철건설현장을 중심으로 쓰여지고 있다. 1993년 모르타르를 주입재로 한 CGS (Compaction Grouting Denver System)공법이 미국 Denver Grouting Services, INC.로부터 국내에 도입되었다.

시멘트 밀크 그라우팅은 1960년대 이후 경제발전정책에 따라 수자원개발의 필요성에 의한 다목적 댐 건설공사 시 기초처리공법으로 주로 적용되었으며, 서울지하철 1호선 8공구에도 적용되었다.

주입공법은 초창기엔 그 주입효과는 크게 기대하기 어려웠으나 그 후 많은 기술진전과 신공법의 도입으로 이제 건설공사에 보조공법 또는 영구적 공법(예, LW, SGR, MSG, 우레탄공법, CGS)으로서 공사의 공기·안정성·경제성 등을 크게 좌우하게 되었다고 하여도 과언이 아니다.

이와 같이 각국에서 시행되어 온 약액 주입공법의 개발초기에는 약액의 개발에만 중점을 두어 강도가 크고 값싸고 사용이 간편한 약액의 개발이 성행하였다. 그러나 이후 주입방법개발에 중점을 두어 원시적인 로드(rod) 주입법에서 스트레이너(strainer) 주입관, 각종 이중관 주입법으로, 전기침투나 웰 포인터(well point)를 이용한 강제침투공법 및 발포제로 침투성을 향상시키고 주입압을 경감케 하는 에어 그라우트(air grout) 공법 등 합리적인 주입공법을 개발하여 실용화되어가고 있다. 더욱 초고압 분류수를 이용하여 토층중에 약액혼합 고결토주(藥液混合 固結土柱)를 연속적으로 형성케 하는 공법(예, 젯(jet) 그라우트 공법, CCP 공법, JSP

공법, LAG 공법, OBW 공법 등)이 개발되었으며 이들 공법은 종래의 압력주입공법과는 달리 균등침투에 의한 고결화가 불가능한 세립토층에 대해서도 교반혼합방법 등의 여러 가지 형태로서 응용할 수 있는 특징을 가지고 있다. 한편, 그 다음 단계로서 주입범위의 조사법이나 주입효과의 판정법 등이 실내와 현장에서 연구되고 있으며 최근에는 특히 환경공해의 발생방지에 관한 연구에 역점을 두고 있는 실정이다.

#### 4. 국내·외 개발 연구동향

건설현장의 악조건과 갈수록 까다로워진 설계, 시공여건 때문에 주입공법의 필요성 및 활용실적이 급증하고 있는 것이 세계적 추세이다. 그러므로 본 장에서는 선진국의 개발동향을 각 기관별로 정리하였으며 아울러 국내동향에 대해서도 소개하고자 한다.

##### 4.1 일본

· 複合注入工法研究會(복합주입공법연구회) : 현재 많이 쓰이고 있는 주입공법은 이중관 로드법으로서 침투그라우팅의 일종인 UNIPACK 공법은 1차로 순결의 그라우팅으로 맥상주입을 실시하고, 뒤이어 완결의 그라우팅을 실시할 때 기 실시된 순결의 그라우팅에서 조성된 맥상주입상태가 일종의 팩커와 같은 작용을 하게 하는 원리이다. 이와 같이 두 가지 공정의 조합으로 인해 매우 간편하고 경제적이며 이들은 최근 실리카졸 또는 물유리계와 함께 사용되어 여러 건설현장에서 좋은 성과를 나타내고 있다.

· 炭酸水GROUT協會(탄산수그라우트협회) : 액화탄산가스과 물이 혼합되어 생성된 탄산수를 경화제로 이용하고, 주입재로는 특수 물유리를 이용하는 공법이다. 이 두 가지 물질이 주입관의 끝에서 결합하면 겔상태로 되어 규산과 탄산나트륨이 되는 원리이다. 경화제로 이용하는 탄산수의 경우는 환경적인 측면에서도 안전하다.

· 三信建設工業(株)(삼신건설공업(주)) : SILICA LIZER는 실리카졸계 약액이며 무기용액형 지반주입재로서 실리카졸제조법의 간접법으로 제조한다. 즉, 산성액(10% 이하의 유산)과 물유리를 원료로 하며 pH 3~4 부근의 약산성으로 조절한다. Silicalizer로 겔화후에도 계속하여 구조내부에 있어서 중화반응이 진행되어 Silicalizer로 고결된 지층의 지하수는 중성영역을 나타내며 지하수의 수질보전은 물론 용탈·수축·열화가 없어서 안정성면에서 양호하다.

· CLEAN ROCK ASSOCIATION (CHEMICAL GROUT CO.) : CLEAN ROCK 무기의 용액형 물유리를 중성영역으로 고결시킬 수 있는 매우 안정성이 높은 실리카졸계 중성 그라우트로서 겔 타임에 의해 통상의 CR-1(로드공법)과 순결형 CR-2(이중관 로드공법)로 나뉜다. 저점성의 용액형이므로 침투성이 월등하며 물에 의한 희석이 극히 작고 중성영역에서 겔화하므로 고결물로부터의 알칼리용탈이 없어서 내구성이 월등하다.

· SILICASOL GROUT ASSOCIATION : CLEAN-FIRM(CF 공법) 물유리에서 알칼리를 완전제거한 실리카졸에 시멘트 현탁액을 조합해서 고결시킨 것으로서 일반적인 Clean-Firm(CF-1호)과 순결형의 Clean-Firm(CF-2호)가 있는바 전자는 로드공법, 후자는 이중관로드공법에 적합하다.

· SILICASOL GROUT ASSOCIATION : HARD LIZER는 물유리와 산성중화제를 혼합하여 물유리의 알칼리를 제거하여 얻어진 실리카졸을 중성영역에서 겔화시킨 안정성이 높은 약액이며, 짧은 겔 타임 타입과 긴 겔 타임 타입이 있는데 종래의 무기계 용액형 물유리약액에서는 얻을 수 없는 고결특성과 침투성을 갖고 있다.

· 永久 GROUT 研究會(旭電化) : PE-RMA ROCK은 초미립자 실리카(SiO<sub>2</sub>)를 주재료로 한 내구성·안정성이 우월한 용액형 중성 그라우트이다. 실리카의 용

타이 장기적으로 0에 가까울 정도로 우수하고 겔화 직전까지 10 cps 이하의 저점도이므로 우월한 침투성을 갖고 있고 차수효과가 양호함은 물론 일단 강도가 증가되면 저하하지 않는다. 더욱 주입액은 중성이며, 구성성분은 무기질이므로 안전성에서 월등하다.

· G&S協會 : DCC(Double Control Consolidation) 공법은 이중관과 특수한 선단장치를 사용하여 겔 타임과 주입액의 호모겔(homogel) 강도를 동시에 조절가 능케 한 복합주입공법이다. 순결성 주입재는 3초 ~ 20초, 완결성 주입재는 1분 ~ 15분까지 임의로 조정한다. DCC-M은 용액형 무기계 물유리이고(호모겔 강도 : 0.5 kgf/cm<sup>2</sup>), DCC-1 ~ 4는 용액형유기계 물유리인데 DCC-1, 2는 고강도(1 ~ 2 kgf/cm<sup>2</sup>) DCC-3, 4는 초고강도(4 ~ 6 kgf/cm<sup>2</sup>)용이다.

· LAG協會 : LAG(Limited Area Grouting)공법은 초순결성 그라우트를 이중관과 특수한 선단장치를 이용하여 주입하는데 따라 대상지반에 한정된 범위를 확실하게 개량하는 공법이다.

· MT協會 : MT 공법은 이중관 로드와 특수선단장치의 임의조합에 의하여 현탁형, 용액형 어느 것이든 순결성 약액과 완결성 약액을 단독 혹은 병용하여 주입하는데 따라 한정적이고 균질한 개량을 할 수 있는 특수 주입공법이다. 이것은 2 Shot System으로 한정 주입하는 MT순결공법과, 순결성 약액에 의한 1차 주입과 완결성 약액에 의한 2차 주입으로 균질한 침투를 행하는 MT-PGD 공법 등 두 가지로 구분된다.

· RATIO KOGYO CO : MULTI-LIZER 공법은 순결성 및 침투성 주입재를 동일 공정으로 주입하고 사질토에서 점성토까지 모든 지반에 대해서 개량한다. 전자 지반에서는 흙의 골격구조를 파괴하지 않고 약액을 공극에 침투시켜 간극수와 치환하여 고결시키고, 후자에서는 호모겔 강도가 큰 순결성 약액을 지중에 맥상으로 주입하여 지반의 압밀강화를 모색한다. 이

중관 로드와 천공과 주입을 동시에 함으로 시공이 간편하고 로드 주변의 약액의 일출은 순결성 약액으로 방지된다. 이중관 로드와 특수선단장치의 사용으로 순결 이중관 공법 기능을 갖는 동시에 동일 공정으로 침투성 약액주입이 가능하며 복합주입이 실시된다.

· (株)大林組 : OH-GROUT 공법은 물과 중합 반응하여 고결되는 폴리우레탄계 친수성 수지를 주성분으로 하는 약액을 원액 또는 아스팔트유제 등 수분을 포함한 유동체에 첨가하여 지중이나 구조물의 공극에 충전하는 데에 따라 지반의 강화, 차수 목적의 공극 충전으로서 지반의 견고한 고무상 탄성체가 된다.

· 三信建設工業(株) : DDS 공법(Double Tube Drilling & Seepage)은 이중관을 이용하여 구멍을 뚫고 주입하는 공법으로서 이중관 선단에 설치한 주입재 모니터 속에서 A, B 두 액을 완전히 혼합하므로 짧은 겔 타임으로부터 긴 겔 타임까지 자유로이 조절하며, 복합주입이 가능하다. 혼합된 약액은 압력을 가하면 수평방향으로 방향성을 주어 분출된다. 주입중에는 이중관 로드는 회전하지 않고, 따라서 지상으로의 분출은 전혀 없이 흡입자 공극에 침투되며, 주입재는 물유리 및 중성 실리카졸계 어느 것에도 적용될 수 없다.

· 日本藥液注入協會 : BIMODE 공법은 이중관 로드의 선단부에는 겔 타임을 자유로이 선정할 수 있는 상단(Short time)과 하단(Middle ~ Long time), 2단의 스트레이너가 부착된 그라우트 모니터가 장착되어 있다. 모니터 중단 피스톤을 올려 천공용으로 사용하고 이중관 로드 내외관을 써서 물을 이용, 소정의 심도까지 천공한다. 천공이 종료되면 이중관 로드 내외관을 써서 2.0 Shot 방식으로 바꿔 Short 겔 타임으로 1차 주입을 하고, 다음에 내관에 압을 가해 모니터 상부 피스톤을 올려 1.0 Shot 또는 1.5 Shot방식으로 바꿔 Middle~Long 겔 타임으로 2차 수평분사주입하는 등, 1, 2차 순차 반복주입을 한다.

· 三信建設工業(株) : ADOX 공법은 침

투성이 큰 완전반응타입의 에폭시수지를 사용하여 V컷트 없이 기압주입하는 균열 보수용 공법이다. 암반·강재·목재 등의 폭 0.05 mm의 균열에도 가능하며 습윤면이나 수중에서도 구조접착이 가능하다.

한편 AQUA LOCK 지수공법은 특수한 폴리에텔을 기본으로 하고 우레탄 폴리머를 주재료 하여 에폭시변성 아크릴 에멀전(비발포무수축 우레탄계 주입액)을 경화재로 하는 지수재로서 콘크리트 구조물의 누수를 차단하는 공법이다.

· 日本TACSS協會 : TACSS 공법은 균열부에 소수성 이소시아네이트 화합물을 주입, 균열 공극 중의 물과의 반응에 의해 침투 고결되는 것으로서 물에 불용성의 폴리소겔을 만들고, 이때 기수 반응 시 CO<sub>2</sub>를 발생하여 미세한 기포로서 약액 중에 분산하기 때문에 약액의 침투속진과 함께 주입량에 비해 수배의 차수효과가 있다. 유수지반 중에서 회석되지 않고 겔 타임 변화가 없으며 강도저하, 팽윤, 연화하지 않는다.

## 4.2 유 럽

· SOLETANCHE CO : T.A.M(Tube A Manchette)그라우팅 공법은 천공 후 공내에 주입 Sleeve(Manjette tube)를 삽입·설치하고 Double Packer를 이용하여 원하는 부분에 Cement, Bentonite 등의 다양한 주입재를 분사·고결시키는 공법으로서 천공 후 주입위치의 지반에 대하여 수압시험을 실시하여 그라우팅재의 종류와 주입압력, 배합비를 결정한다. Double Packer의 주입구간을 설정한 후 주입량이 줄어들 때까지 배합비를 조정하여 압력주입을 실시하는데 시공순서는 천공 → 공내청소 → 주입으로 이루어진다. 단계별로 약 3 m를 기준으로 실시하며 주입압력의 변화로 주입량을 결정한다.

ACTOSOL은 주재가 시멘트, 벤토나이트 및 광물성 혼화제 등이며 지반의 강도 증진, 지내력 보강, 커튼 그라우팅용으로 쓰인다. 무공해 주입재로서 폭넓게 쓰이

며, 설계강도는 최대 90 kgf/cm<sup>2</sup>이다.

SILACSOL은 칼슘성분의 실리카계 용액으로서 투수계수가 높은 지층의 개량에 적합하다. 무공해 주입재로서 콘크리트, 사암, 세시층 등 고도의 침투성이 필요한 지층에 효과적이다.

MICROSOL은 주재가 1 ~ 12 μm의 초미립질 시멘트계 분말로서 차수 및 보강용, 세립질 모래층, 미세 균열이 발달한 암반의 충전용 무공해 주입재이며, 물리·화학적 내구성이 우수하다.

ECOSOL-PETRISOL은 실리카, 점토, 혼화제 및 일반 시멘트 차단벽체 형성으로 공해방지용, 물리·화학적 안정성이 요하는 쓰레기 매립장에서는 ECOSOL, 방사능 폐기물의 안정적인 저장을 위한 PETRISOL, 각종 위해물질의 격리를 위한 그라우팅이나 시멘트 몰탈 및 콘크리트 등과의 혼용재로 사용 가능하다.

· RAITO KOGYO CO : SOLETANCHE 공법은 흙의 골격구조를 파괴하지 않고 약액을 공극에 침투시켜 간극수와 치환, 고결시키는 침투주입을 하여, 흙의 균질개량, 연속성, 지반의 변상방지 등이 가능하다. 이러한 침투주입을 위해서는 겔 타입이 긴 주입재이어야 하나 이 경우 주입관 주위에서 약액이 용탈되므로, 방지를 위해 CB액으로 셀링을하고 반복주입을 하기 위하여 주입관(manjetete tube)과 더블팩커를 장치한 약액수송용의 내관(Injection pipe)으로 된 이중관 방식을 채용한 공법이다.

#### 4.3 한국

1980년대의 우리나라 약액주입공법은 서울, 부산 지하철 공사와 고층건물건축 등 도심건설공사에서 주로 차수목적으로 많이 쓰여 왔으며 주입양만으로 주입효과를 판정하려는 잘못된 생각으로 정량주입 개념의 주입시공이 이루어졌으나 맥상주입 또는 활렬주입으로 인해 주입효과를 주입양으로만 기대할 수 없게 되자 새로운 정압주입개념으로 바뀌게 되었다.(千,

1995.3)

1990년대에 들어서는 주입공법의 가장 큰 문제점인 공해, 내구성, 침투성 문제해결을 위한 개발연구가 시작되었다. 즉, 약액의 공해문제는 세계적으로 이슈화가 되어 1974년 이후 사용에 제약을 받아 공해가 없는 물유리계 약액 이외에는 사용할 수 없게 되었으며 그 이후, 고분자계 약액중 우레탄계 약액만이 유일하게 공해성 문제가 해결되어 근래에 다시 쓰이게 되었다. 우리나라에는 1991년 지하철 3호선 연장구간인 3-1, 2, 3호선 터널공사에서 1991 ~ 1992년 일본 TOKAI 고무 Co. 제품의 우레탄(TBU)이 첫선을 보여 성황리에 쓰였고, 이후로는 국산화되어(예, 1993년부터 신한케미텍, 태백공영, 세모, 명신화성 등) 2기 서울지하철 뿐만 아니라 부산, 대구, 인천, 광주 등 5대 광역시에서도 폭넓게 쓰이고 있으며, 지하철 외에도 악조건의 일반 건설공사현장에서도 적용되고 있다.(B. S. Chun et al., 1996, 1997)

한편, 약액의 내구성 및 침투성에 관한 연구로서 1996 ~ 1998 건설교통부의 연구비 지원(건설교통부, 1997.10)에 의해 한양대학교와 쌍용양회가 공동으로 "건설공사의 안전시공을 위한 지반보강공법의 개발 및 실용화 연구"의 일환으로 실리카졸 및 초미립자 시멘트(micro cement) 개발에 대한 연구가 있었다. 동 연구는 내구성이 우수한 실리카졸 약액 및 침투성이 우수한 무기계 초미립 시멘트의 개발연구로서 큰 성과를 얻어, 현재 마이크로 시멘트는 터널 및 구조물 기초보강 등에 없어서는 안될 주입재료로 되었고, 실리카졸 또한 주입재료의 제조에 성공하여 실용화를 위한 대량생산직전의 단계에 와 있다.

### 5. 당면과제 및 향후 전망

#### 5.1 약액주입의 지반환경 오염문제

최근 들어 약액주입에 사용되는 시멘트의 지반오염에 대한 환경문제가 대두되기 시작하였다. 건설현장에서 세계적으로 폭

넓게 사용되어 오던 지반주입공법은 1974년을 전후하여 건설공사에서의 사용하는 주입약액에 대한 규제가 있었으나 시멘트는 규제대상이 아니었다. 그동안 시멘트의 공해에 대해 논의가 없었던 것은 아니지만 고분자계 약액에 비해 상대적으로 직접적 공해 피해가 많지 않은 것으로 인식되고 있고, 또 워낙 방대한 양이 쓰여지고 있어서 이에 대한 대책을 경미하게 취급해온 것이 사실이다.

그러나 최근 시멘트 그라우팅 현장에서 발암물질인 Cr<sup>6+</sup>이 용출되고(木暮, 2000), 이에 대한 공해문제가 대두됨에 따라 외국에서는 관련기관(예 : 일본건설성)에서 이에 대한 규정이 발효되고, 곧바로 본격적인 법적 조치가 들어가는 등 엄격히 규제가 되고 있다. 주입재료에 따라서 주입지반에 산성물질, 알칼리성물질, 유기물질 등이 함유되어 있어서 이것에 따라 주입재의 성질이 변화되고, 목적을 달성하지 못할 경우가 있으므로 채취시료에 대하여 증발잔사, 강열감량 등을 측정하는 등 흙과 물의 화학적 시험을 행하여 주입재의 적용성을 확인하도록 명시되고 있다(日本材料學會, 1974). 또한, 주입 시공 후 주변의 수질기준인 pH를 8.60 이하로 제한하고 있기 때문에 오염성이 낮은 물유리계 약액조차 항상 안전하다고 할 수는 없다. 또한, 건설현장에서의 페 콘크리트(松尾, 1999), 슬라임(slime) 등은 지반오염을 유발시킬 수 있으므로 슬라임 발생량이 적은 장비를 사용함이 바람직하다.(예, J&C 공법, SRC 공법, Clean Jet 공법)

최근, 국내에서도 지반개량재료로서의 시멘트 사용 시 발생하는 오염물질의 농도를 파악하기 위하여 Cr<sup>6+</sup> 용출 등 환경적 유해성 여부가 평가되고 더욱 우레탄, 시멘트 등을 대상으로 어독성을 측정함으로써 주입약액에 의한 환경영향성이 평가되고 있다.(천병식·박주양, 2001)

#### 5.2 국내 약액주입공법의 전망

종래에 설계 및 시공사들이 가장 선호

했던 약액주입공법은 LW 공법과 SGR 공법이였다. LW 공법은 1926년 독일의 Joosten이 고농도의 물유리와 염화칼슘을 혼합하여 순수한 용액형으로 개발한 것이 시초이며, 1952년 이후 독일의 H. Jahde와 일본의 樋口博士에 의해서 시멘트를 혼합한 LW 공법으로 발전하여 현재 까지도 가장 기본적으로 사용되고 있는 약액주입공법의 모델이다. LW 공법은 겔화 시간을 조절할 수 없는 문제점을 갖고 있었기 때문에 출수가 많거나 지반이 복잡한 지질조건에서 주입효율이 떨어지기 때문에 SGR 공법과 같이 겔 타임 조절이 자유로운 복합주입공법이 발전된 것이다. 따라서, 국내 지하철건설 초기부터 지금까지도 가시철공법으로 가장 많이 적용된 것이 LW 공법과 SGR 공법이라고 할 수 있다. 이 공법 외에도 여러 형태의 이름으로 소개되고 있는 대부분의 공법들이 LW 공법 또는 SGR 공법과 근본적으로 다른 것이 없다. 최근, 국내에 소개되어 가장 선호도가 높은 MSG 공법도 LW 공법 또는 SGR 공법과 공법의 적용 개념은 다르지 않지만 세계적으로 약액주입공법의 첨단 기술동향을 도입했다는 점에서 공법 적용의 효율을 높였다는 장점이 있다. 즉, 약

액주입공법의 핵심적인 기술사상인 침투성, 내구성 및 시공·품질관리 편의성을 향상시켰고, 최근에는 지하수 오염문제가 사회적으로 이슈화되고 있으므로 이와 같은 사회적 요구에 잘 부합되는 환경친화적인 재료로 평가되고 있다. 이와 같은 성능을 얻기 위해서는 기존의 시멘트 대신 초미립자 시멘트를 사용함으로써 가능하다고 할 수 있다.

1980년대 이후 환경과 지하수 보호에 대한 요구가 증가하면서 유럽에서는 화학 약액 주입이 거의 사라지고, 용액형 약액에 필적하는 침투성을 발휘하는 초미립자 시멘트에 대한 연구가 시작되었다.

Clarke 등(1984)은 초미립자 시멘트의 기초물성을 평가하여 시멘트계 주입재의 고침투성을 확인하였으며 久保 등(1992)은 암반기초의 투수성이 5Lu 이하에서 초미립자 시멘트를 적용할 경우 추가적인 천공주입을 하지 않고도 설계목표 차수성을 달성할 수 있다고 하고 市川公彦 등(1996)은 사질지반의 액상화를 방지하기 위한 그라우팅에서도 초미립자 시멘트가 효과적임을 보고하고 있다.

이러한 맥락에서 MSG 공법은 평균입경 3~7 $\mu$ m의 실리카 복합형 초미립자 시

멘트를 주입재로 사용하기 때문에 종래의 LW 공법이나 SGR 공법에 비해서 침투성, 강도발현성, 내구성, 환경친화성 및 시공관리성이 대폭 향상된 첨단 약액주입 공법으로서 비정형 실리카질, 유기분산제, 겔 타임 조절제 등이 최적으로 조합되어 복잡한 지반상태에서도 복합주입의 효과가 우수하다. 종래의 LW 공법이나 SGR 공법은 투수계수  $a \times 10^{-2}$  cm/sec 이상의 토사 지역이나 암반균열폭 300 $\mu$ m 이상의 암반 기초 등에서 침투주입이 가능한 반면 MSG 공법은 투수계수  $a \times 10^{-4}$  cm/sec 정도의 토사지역과 암반균열폭 30 $\mu$ m 정도의 미세한 균열이 발달된 암반기초에서도 침투주입이 가능한 고침투성 주입공법이다.

한편 MSG 공법은 종래의 LW나 SGR 공법에 비해서 100배 이상 침투성이 우수하기 때문에 LW나 SGR 공법이 7~15 kgf/cm<sup>2</sup>의 고압형 주입공법인 반면 MSG 공법은 3~5 kgf/cm<sup>2</sup>의 저압으로도 충분한 주입이 가능하므로 인접구조물에 대한 측방유동의 피해를 대폭 줄일 수 있으며 초미립자계 경화재가 지반내에 균질하게 침투되고 실리카질의 포졸란반응에 의해서 고강도가 확보되기 때문에 종래의 공법에 비해서 내구성의 월등히 우수하여 3년 이상 내구성이 유지되는 약액주입공법이라 할 수 있다. 현재 국내에서도 지하철 9호 선을 중심으로 MSG 공법이 본격적으로 적용되고 있는 실정이며 향후 이와 같이 고기능 및 환경친화적인 첨단 주입공법의 사용이 점차 증대될 것으로 전망된다.

## 6. 결 언

우리나라는 1970년대 초 선진국으로부터 약액주입공법이 도입되었으나 연구개발 부분의 무관심으로 지금까지 거의 개선, 발전 없이 그대로 쓰여지고 어떤 부분은 과다경쟁과 덤핑수주로 인해 오히려 기술이 퇴보 또는 공법이 변질되어 쓰이고 있는 등 우리의 주입기술수준은 선진외국에 비해 낙후되어 있다. 또한 주입공법의 종류도 다양하지 못하고 매우 단순하며 이러

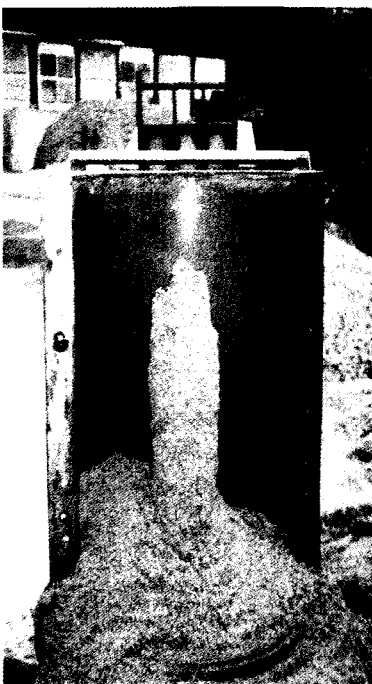


그림 1. 보통 시멘트

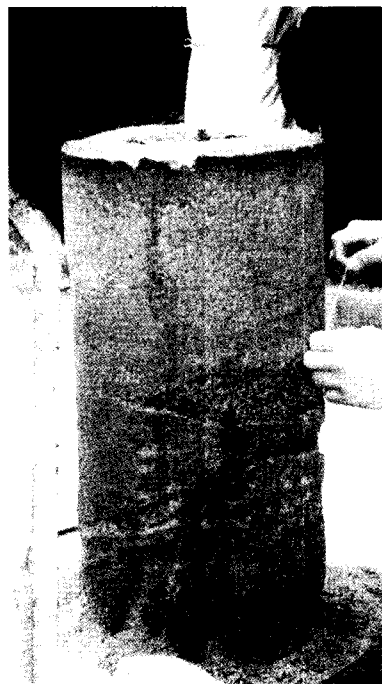


그림 2. 초미립자 시멘트

한 점들은 앞으로 많이 개선되어야 한다고 본다. 또한 시공관리면에서 보면 공사의 기준이 되어야 하는 관련법규 조차 제대로 마련되어 있지 않아 지반주입에 있어 가장 중요한 시험주입이 거의 시행되지 않고 있다. 또한 장비면에서 선진외국에서는 주입 방법이나 목적에 따라 다양한 장비가 사용되어 주입 효과를 극대화하고 있으나 우리의 실정은 그렇지 못하다. 이는 지반주입 기술을 단순한 시공기술로 보는 잘못된 인식 때문이다. 이러한 현실에서 지반주입 기술의 발전은 기대하기 어려우며 선진 기술 수준과의 격차를 줄이고 수준 높은 주입시공을 위해서는 설계, 시공업체는 물론 관련 부처에 종사하는 건설인들의 의식변화 및 지속적인 연구개발이 이루어져야 한다고 생각된다. □

**참고문헌**

1. 김진춘 외, "건설공사의 안전시공을 위한 지반보강 신기술 개발 및 실용화 연구", 건설교통부, 1996, pp.83~89.
2. (주)표준 콘크리트, "소형설계실 및 시작공장 진동조사보고서", 1986.
3. 천병식 외, "Compaction Grouting에 의한 지반보강 시공사례", 대한토목학회 기술 학술발표회 논문집, 1997, pp.493~496.
4. 천병식, "최신지반주입 -이론과 실제-", 원 기술, 1998, pp.21.
5. 천병식, "지반개량재료로서의 시멘트사용에 의한 지반오염문제 및 대책", 한국지반공학 회, Vol.17, No.8, 2001, pp.19~22.

6. 천병식, 이병하, 오재용, "지반개량토의 진동특성", 한국과학재단, KOSEF 880607, 1990.
7. 천병식, 정형식, 고용일, 이형수, "약액처리된 석탄회의 동적감쇠특성", 대한토목학회 논문집, Vol.11, No.1, 1991, pp.93~99.
8. 천병식, 조영구, "화력발전소에서 부산되는 석탄회의 공학적 특성", 대한토목학회 논문집 8(2), 1988, pp.59~66.
9. 천병식 외, "물유리계 약액의 내구성에 관한 사례 연구", 대한토목학회 학술대회논문집, 1993, pp.519~522.
10. 천병식, 박주양, "시멘트 그라우팅으로 인한 지반환경문제 및 대책", 한국지반환경 공학회, 약액주입 및 고화처리 기술위원회 학술발표회 논문집, 2001, pp.33~50.
11. B. S. Chun, D. S. Ryu, C. B. Shin, G. S. Im, J. K. Choi, H. S. Lim, J. Y. Son, "The performance of polyurethan injection method with soil nailing", Proceedings of the third International Conference on Ground Improvement Geosystems, London, 1997.
12. 建設部 國立建設研究所, "藥液에 의한 固化處理工法", 建設研究資料, No.328, 1977.
13. 建設部 國立建設研究所, "藥液注入試驗施工", 建設研究資料, No.317, 1976.
14. 建設部 國立建設研究所, "藥液注入試驗施工", 建設研究資料, No.385, 1979.
15. 島田俊介, "最新の地盤注入工法, 理工叢書", 1977, pp.2~5.
16. 木暮敬二, "地盤環境の汚染と浄化修復システム", 技報堂出版, 2000, p.44.

17. 森 麟, 千柄植, "砂地盤藥液注入における割裂發生のメカニズ", 日本土木學會 第41回 年次學術講演會概要集, 1986, pp.191~192.
18. 森 麟, 千柄植, "砂質土地盤における割裂發生機構", 日本土木學會論文集, 第338号, III-7, 1987, pp.61~70.
19. 森 麟, 千柄植, "藥液注入における割裂注入壓について", 日本土木學會 第40回 年次學術講演會概要集, 1985, pp.627~628.
20. 所 武彦 外, "水ガラス系グラウトの耐久性について", 第24回 土質工學研究發表會, 1989.
21. 日本材料學會 土質安定材料委員會, "藥液注入工法", 鹿島出版會, 1974, p.16.
22. 秦柄益, 千柄植, "化學藥液에 의한 軟弱地盤 固結工法 및 開發研究", 1979年度 文教部 政策課題 研究論文, 1980.
23. 千柄植, "不透水性 地盤에서의 縱割裂注入壓에 관한 基礎的 研究", 大韓土木學會論文集, Vol.6, No.3, 1986.
24. 千柄植, "地盤注入工法", 圓技術, 1995.
25. 草野一人, "藥液注入工法ハンドブック", 吉井書店, 1984, pp.191~193.
26. 檜垣 外, "藥液注入材の長期耐久性について", 第18回 土質工學研究所發表會, 1983. 6.
27. 木暮敬二, "地盤環境の汚染と浄化修復システム", 技報堂出版, 2000, pp.44.
28. 日本材料學會 土質安定材料委員會, "藥液注入工法", 鹿島出版會, 1974, pp.16.
29. 松尾 稔・本城勇介, "地盤環境工學の新しい視點 : 建設發生土類の有効活用", 技報堂出版, 1999, pp.51~171.

**정보통신 용어 해설**

**● 표제어 : 슈퍼피어(Super Peer)**

: 슈퍼피어(Super Peer) 방식은 소리바다 개발자인 양일환·양정환 형제가 들고 나온 새로운 음악 내려 받기 방식이다. 음반협회가 제기한 저작권 소송으로 문제를 일으키며 한때 서비스가 중단됐던 소리바다는 서버를 거치지 않고 사용자간 파일을 교환할 수 있는 슈퍼피어 방식을 도입해 소리바다 2.0 베타 서비스를 시작했다. 이는 소리바다 중앙 서버가 직접 검색기능을 제공하지 않고 서비스 사용자가 개인용 PC를 이용해 음악파일 목록을 검색할 수 있는 방식이다. 이런 슈퍼피어 방식은 지난 1999년 미국의 누텔라, 프리넷 등 음악 공유 사이트에서 서비스를 시작해 음악 저작권 시비를 피해갔다. 전문가들은 소리바다가 슈퍼피어 방식으로 제2라운드에 들어감에 따라 저작권 논란의 경계가 사실상 애매해진 것으로 보고 있다.

출 처 : 정보통신용어