

그라우팅 기술동향과 MSG공법의 특징

김진춘*, 최영철*, 정종주*, 신상재*, 윤남식*

1. 기술발전 변천사

1802년 프랑스의 기술자 Charles Berigny가 지반 침하로 손상된 수문 기초의 공동부를 채우고 기초 밑에 석회와 점토의 불안정한 주입재를 주입하여 퇴적된 충적층을 안정화시키기 위해서 약액주입을 적용한 이래 약액주입에 의한 지반개량의 역사는 약 200년이 경과 되었다. 당시, Charles Berigny는 'procedure of grouting'을 최초로 제안함으로써 약액주입의 개념을 기술적으로 정립하는 데 기여하였으며, 1926년 독일의 Dutchman H. Joosten이 순수 용액형 화학약액 주입재를 이용한 Joosten공법을 개발한 이후 약액주입의 비약적인 발전이 시작되었다.

1980년대 이후 환경과 지하수 보호에 대한 요구가 증가하면서 유럽에서는 화학약액 주입이 거의 사라지고, 용액형에 필적하는 침투성을 발휘하는 초미립자시멘트에 대한 연구가 이때부터 시작되었다. 초미립자시멘트에 관한 기초적 특성평가 연구는 1980년대에 들어오면서 본격적으로 시작된 것 같고, Clarke 등(1984)은 초미립자시멘트의 기초물성을 평가하여 시멘트계 주입재의 고침투성을 확인하였다. 국내에서도 최근 천 등(1997)에 의해서 지반보강을 위한 초미립자시멘트의 실용화 연구가 수행된 바 있다.

초미립자시멘트에 관한 현장적용성 평가는 터널 및 댐 등 암반지대에서 차수 및 보강을 위한 주입특성에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 大貫富夫 등(1982)은 산악터널 지반주입에 적용될 초미립자시멘트의 품질기준을 제시하였으며, 久保田辰治 등(1992)은 암반기초의 투수성이 5Lu이하에서 초미립자시멘트를 적용할 경우 추가적인 천공주입을 하지 않고도 설계목표 차수성을 달성할 수 있기 때문에 초미립자시멘트를 사용하는 것이 유리하다고 제안하고 있다. 한편, 市川公彦 등(1996)은 사질지반의 액상화를 방지하기 위한 그라우팅에서도 초미립자시멘트가 효과적이라고 보고하고 있다.

초미립자시멘트는 건식과 습식으로 제조되는 두가지 방법이 있다. 건식의 초미립자시멘트는 생산설비가 완비된 제조과정을 거치기 때문에 품질의 균일성을 확보할 수 있으며, 대량으로 공급할 수 있는 장점 등이 있으나 가격이 비싸기 때문에 현장 적용시 경제성에 어려움이 있다. 따라서, 보통시멘트를 현장에서 초미립화 할 수 있는 공법이 국내에서도 SGR(Space Grouting Rocket System)공법의 초미립화 공정(Ground Flex)에 적용된 예가 있지만 균질한 품질의 확인과 시공속도에 대응할 수 없는 문제점이 있었기 때문에 현재는 거의 적용되고 있지 않는 실정이다. 이상과 같이 초미립자시멘트의 연구동향은 약액주입에 관한 기술혁신의 변천과정에서 가장 최근의 연구과제라고 할 수 있다. 1980년대 이후 분쇄·분급기술이 급속히 발전하면서 초미립자시멘트의 생산이 가능하게 되었고, 일본 등 분쇄산업이 발달된

*1 정희원, (주)한국지오텍 대표이사 E-mail. kig-2000@hanmail.net
 *2 홍지기술산업(주) 상무 E-mail. headoffice@hongji.co.kr
 *3 정희원, (주)대보기술단 대표이사 E-mail. daeboeng@chollian.net
 *4 (주)동진기초 대표이사 E-mail. engtop@chollian.net
 *5 정희원, 중앙개발(주) 이사 E-mail. joonggae@unitel.co.kr

국가에서 평균입경 10 μ m, 최대입경 40 μ m, 비표면적 6,000cm²/g 이상의 콜로이드시멘트와 평균입경 4 μ m, 최대입경 10 μ m, 비표면적 8,000cm²/g 이상의 초미립자시멘트가 실용화 되었으며(김진춘, 1999), 초미립자시멘트는 용액형에 필적하는 침투성을 발휘하는 것으로 보고되고 있다(米田俊一, 1993).

국내에서도 천 등(1995, 1996, 1997a~c, 1998a~c)에 의해서 초미립자시멘트에 대한 연구사례가 증가하고 있지만 새로운 재료의 사용효과 향상을 위한 이론적 검토와 실무적 기술축적이 미약하며, 특히 초미립자시멘트를 주입재료로 사용할 경우 고점도로 인한 침투성 저하가 발생할 수 있기 때문에 설계·시공 표준화가 시급한 실정이다.

2. 국내 업계 현황

국내의 약액주입공법은 1970년대 서울지하철 건설과 함께 본격적으로 도입되었으며, 진 등(1984), 천(1986, 1990)에 의해서 국내 약액주입의 체계적인 연구가 시작되었다고 볼 수 있다. 최근에는 천 등(1998c)이 검토한 기존 교량의 성능향상을 위한 기초보강, 이용재 등(1996)이 검토한 장대 하저터널 시공에서와 같이 지반보강 및 차수공사의 필수공법으로 정립되고 있지만 약액주입공법의 적용효과 증대와 새로운 기술개발을 위한 연구개발은 선진외국에 비해서 상대적으로 열악한 실정이다. 이와 같은 원인은 보링그라우팅이 기술적인 전문성이 크게 요구되지 않을 뿐더러 회사 설립에 필요한 자본의 규모도 작기 때문에 큰 부담없이 회사를 설립할 수 있다는 잘못된 인식에서 비롯된 것으로 연간 도급가능 기준 2조원 정도의 크지 않은 시장규모에 2000년말 현재 전국적으로 1300개 이상의 보링그라우팅공사 등록업체가 있는 실정이다. 그림 1~2는 보링그라우팅공사업의 지역별 업체현황과 업체당 평균도급 가능액을 나타낸 것이다.

그림 1에서 국내의 보링그라우팅 공사업체수는 서

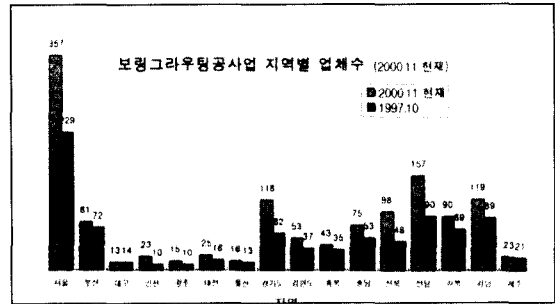


그림 1. 지역별 업체수

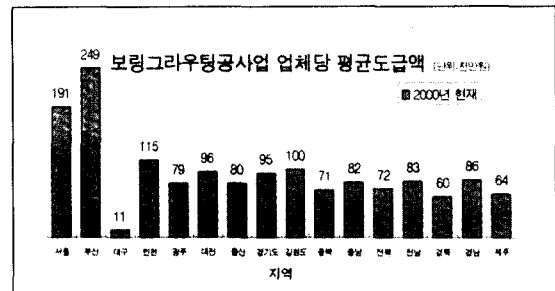


그림 2. 보링그라우팅공사업 평균도급액

울, 전남, 경남, 부산 순으로 많으며 IMF이전의 정상적인 경제활동이 진행되고 있던 1997년의 전국적인 업체수가 857개에서 IMF이후 극심한 건설불황 시기를 거치는 과정에서 업체수가 1306개로 급격히 증가하였다. 따라서 그림 2에서 볼 수 있듯이 부산, 서울 지역을 제외하면 대부분지역에서 1개업체당 연간 평균도급 가능금액이 10억원 이하로 매우 영세한 실정이다. 심지어 대구지역 업체의 경우 1개 업체당 평균 수주가능 금액이 연간 1억원 수준으로 정상적인 회사운영이 거의 불가능할 것으로 판단된다. 그러나 이와 같은 비전문성과 영세성을 면치 못하는 업체들이 토목공사의 가장 기본적인 차수 및 지반보강공사를 담당하고 있다면 이는 곧 부실공사의 가장 원초적인 원인을 제공하고 있다고 할 수 있다.

이와 같이 그라우팅업체의 비전문성이나 영세성보다 더 안타까운 현실은 그라우팅공사에서 상당한 이윤을 남겨서 타 공정에서 생긴 손실을 보충할 수 있는 중요한 대안이라고 생각하는 경향이 많다. 즉, 설

계가격보다 터무니 없이 낮은 공사비로 수주를 해도 이윤을 남길 수 있다고 간주하는 것은 무엇을 의미하는가? 이는 설계내용대로 성실시공을 하지 않고도 감독기관의 확인과정을 쉽게 넘어갈수 있는 관리상의 소홀함이 있기 때문이다. 이와 같이 그라우팅에 대한 잘못된 인식과 과당경쟁으로 인해서 기술개발 환경이 거의 조성되어 있지 않은 안타까운 실정이다.

3. MSG공법의 특징

3.1 개요

최근 우리나라는 고속철도, 고속도로, 지하철, 댐, 항만 등 대형건설공사가 진행되면서 약액주입공법의 적용사례가 급증하고 있다. 지반개량공법의 신기술이라 할 수 있는 약액주입공법은 LW, SGR, JSP, JET공법 등 여러 가지 주입공법이 도입되어 다양하게 쓰여지고 있으나 내구성 저하, 공해 발생, 주입효과 저하, 인접구조물 손상 등 해결해야할 주입공법의 본질적인 문제점이 많이 노출되고 있다. 따라서 앞서 기술발전 변천사에서 알 수 있듯이 최근의 세계적인 기술발전 동향은 무공해성의 무기계 입자를 마이크로화 하여 주입효과와 내구성을 증진시키기 위한 고성능 재료개발, 저압으로 복합주입하여 인접구조물에 대한 손상을 억제시키기 위한 주입장치개발, 주입관리 및 효과판정을 컴퓨터화 하여 주입공법에 대한 신뢰성을 향상시키고자 노력하고 있다.

MSG공법은 Micro Silica Grouting의 약자를 대표하는 공법으로서 대부분의 공법이 알파벳의 머릿글자를 이용하고 있는 것과 같은 맥락이다. 영문의 뜻에서 의미하듯이 MSG공법은 무기계 초미립자 분체를 현탁형 주입재로 이용하고 주입재의 주성분이 실리카질임을 설명하고 있다. 또한 본 공법은 초미립자계 현탁액을 기본으로 사용하기 때문에 순결~완결의 복합주입에 적합하도록 주입선단장치를 개량하였으며 지반개량재 전문연구기관인 (주)한국지오텍

과 지반개량 전문시공사인 홍지기술산업(주), (주)대보기술단, (주)동진기초, 중앙개발(주) 등이 공동으로 순수하게 국내기술진에 의해서 개발된 첨단 주입공법이다.

본 공법에 적용되는 주입재는 평균입경 3~7 μ m의 초미립자 실리카를 주성분으로 하기 때문에 고침투성, 고강도성, 고내구성 및 환경친화성을 특징으로 한다. 또한 실리카질 함량과 겔타임 조절제를 이용해서 겔타임을 3~5초의 초급결, 9~12초의 급결, 60~90초의 완결 및 5~7분의 지결성에 이르기까지 폭넓게 조절할 수 있다. 한편 주입장치는 더블팩커형 슬리브주입방식 또는 2중관형 룯드주입방식의 특수 선단장치를 선택적으로 사용할 수 있기 때문에 복잡한 출수(出水)상황과 호층(互層)지반에서도 지반개량 목적에 따라서 효과적으로 그라우팅이 가능한 맞춤형 공법이다. 이와같이 순결에서 비교적 긴 완결까지 복합주입이 가능한 첨단 주입재료와 선단장치를 선택적으로 사용할 수 있기 때문에 주입공사의 효율을 향상시킬 수 있는 공법기술이라고 판단되어 그라우팅에 대한 현장의 요구사항을 상당히 충족시킬 수 있을 것으로 기대된다. 다음은 MSG공법에 대한 각 분야별 특성을 세부적으로 기술한다.

3.2 재료 특성

(1) 개요

그라우팅용 주입재료를 일반적으로 약액이라고 명칭하며 광의의 약액은 시멘트계, 점토계 및 아스팔트계 등 비약액계를 포함하고 협의의 약액은 물유리계와 고분자계를 뜻한다.

비약액계 중에서 가장 대표적인 시멘트는 강도나 경제적인 측면에서 가장 일반적이긴 하지만 조립토 이외에는 주입되지 않으며 경화하기까지엔 많은 시간이 요구되므로 긴급을 요하는 용수, 누수 등의 지하수처리나 유수 중에서의 주입효과가 급격히 떨어지고 더욱이 입자로 되어 있어서 암반의 균열이 협소하거나 연장거리가 멀 경우는 그 주입효과는 기대할

수 없었다(천병식, 1995). 그러나 최근 분체공학분야에서 분쇄·분급기술이 급속히 발전하여 용액형에 가까운 침투력을 발휘하는 초미립자 주입재의 제조 및 사용기술이 발전됨에 따라 주입공법의 적용범위가 확대되고 신뢰성이 크게 향상되고 있다.

마이크로실리카는 기본적으로 초미립자계 복합실리카로 구성된 무기계 현탁형 그라우트로 분류되고 수초대의 순결에서 수분대의 완결까지 광범위하게 겔타임의 조절이 가능하다. 또한 칼슘실리케이트계 광물(C₃S 또는 C₂S)과 포졸란물질이 주성분이므로 지하수에 의한 용탈현상이 억제되고 장기내구성이 우수하다. 마이크로실리카는 평균입경 3~7 μ m로 초미립자화된 현탁형으로 주입되므로 어떠한 사질층에도 완벽하게 침투되고 실트질이 상당량 함유된 사질층까지도 침투주입이 가능하다. 혼합수는 청수를 사용하는 것이 원칙이지만 칼슘알루미네이트계 광물(C₃A)이 상대적으로 감량되어 있으므로 해수를 사용해도 내해수성이 우수하고 사용재료가 모두 무기물이기 때문에 환경적 안전성도 높은 주입재다.

(2) 종류

MSG공법의 주재는 규산소다를 사용하며, 경화재는 겔타임 조정범위에 따라서 SE-type, E-type, N-type 및 R-type으로 구분하고 각각의 포장단위는 20kg 포대를 표준으로 한다.

(3) 표준배합과 물성

주입공사 대상지역의 出水상황과 지층상태가 복잡한 경우 겔타임에 의해서 차수와 침투범위를 조절할 수 있으며 MSG공법에서는 동일한 배합을 적용하고 사용하는 재료만 변경해서 겔타임 조정이 가능하다. MSG공법의 표준배합과 기초물성인 겔타임 및 호도 겔강도 수준은 표 1과 같다.

(4) 겔타임 조정법

표 1에서 MSG-SE는 유출구에서 다량의 출수가 흘러넘치는 정도를 차단할수 있는 3~5초의 초급결, MSG-E는 출수가 벽을타고 흐르는 정도를 차단할수 있는 9~12초의 급결, MSG-N은 k=10³cm/sec 이상의 투수성지역에 적합한 60~90초의 완결, MSG-R은 k=10⁵cm/sec 이상의 불투수성지역에 적합한 300~420초의 지결성 겔타임을 특징으로 한다. MSG공법의 주입재는 이와같이 겔타임이 적절한 제품을 선택해서 차수효과를 향상시킬 수 있지만 경화재의 종류, 물결합재비, 혼합된 slurry의 온도에 따라서 겔타임이 민감하게 변하므로 사전에 반드시 확인하여야 한다. MSG공법은 W/C가 200%인 표준배합을 중심으로 현장에서 범용적으로 사용되는 W/C범위와 MSG 주입재의 slurry 온도 10~30℃ 사이에서 겔타임조정의 표준범위는 그림 3~4와 같다.

표 1. MSG공법의 표준배합

구분	배합비	MSG-SE			
		초급결	급결	완결	지결
수소화물 함량 (%)	30(4포)	60	60	60	60
	50	140	140	140	140
수소화물 함량 (%)	80(4포)	80(4포)	80(4포)	80(4포)	80(4포)
	175	175	175	175	175
수소화물 함량 (%)		3~5	9~12	60~90	300~420
호도 겔강도 (수소화물 함량 100%)		40~50	30~40	20~30	5~10

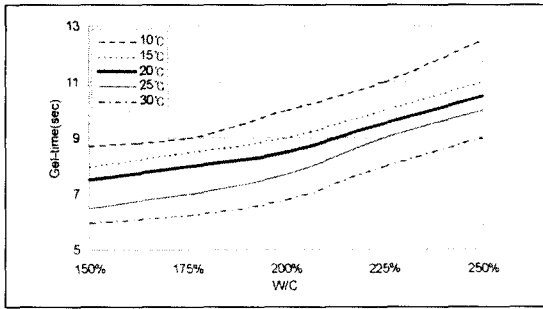


그림 3. MSG-E의 겔타임 조정범위

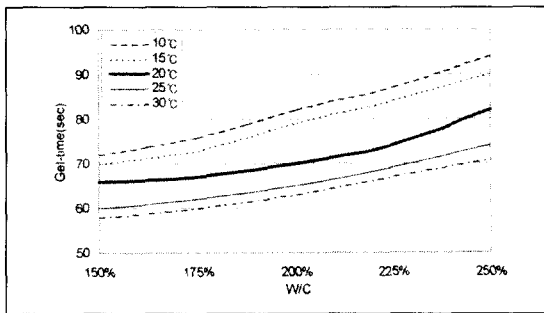


그림 4. MSE-N의 겔타임 조정범위

(5) 침투성 비교

침투성을 실험실적으로 평가할 수 있는 방법을 문헌적으로 조사하여 그림 5와 같이 주입높이 190cm, 시료직경 7cm, 시료높이 15.5cm로 표준화한 샌드컬럼시험장치를 제작하고 시료는 주문진표준사를 사용하였다.

샌드컬럼시험장치를 이용한 시험결과는 그림 6과 같다. 왼쪽 샌드컬럼에서와 같이 보통시멘트 현탁액을 주입하는 경우 시멘트입자가 굵기 때문에 지반내의 유출구 주변에 뭉침현상(caking)이 발생하여 침투유로를 차단한다. 따라서 사질지반에서 조차 완전한 침투주입이 불가능하다. 한편 오른쪽 샌드컬럼에서와 같이 MSG공법의 주입재인 마이크로실리카 현탁액은 입자가 미세하기 때문에 어떠한 사질지반에서도 균질하고 완전한 저압 침투주입이 가능하다.

(6) 호모겔 강도발현성 비교

주입재의 강도비교는 호모겔고결체로 측정하는 것이 가장 일반적이다. 표 3의 표준배합과 LW 표준배

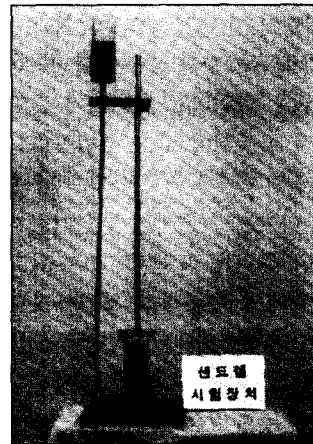


그림 5. 샌드컬럼시험장치



그림 6. 침투성 시험결과

합에 대한 호모겔고결체를 제작하여 강도발현성을 비교한 결과는 그림 7과 같고, 시험조건은 5cm×5cm×5cm 큐빅시편을 충분한 담수에 침적시킨 후 pH를 7.5±1이 유지되도록 양생수를 관리하였다.

그림 7에서 보통시멘트를 사용한 호모겔고결체의 강도는 재령 90일정도부터 강도가 급격히 떨어지는 것으로 나타났지만 MSG 고결체의 경우 약 1년정도에서도 강도하락이 나타나지 않았다. 따라서 MSG 공법의 주입 고결체는 LW공법의 주입 고결체에 비해서 내구성이 좋은 것으로 판단된다.

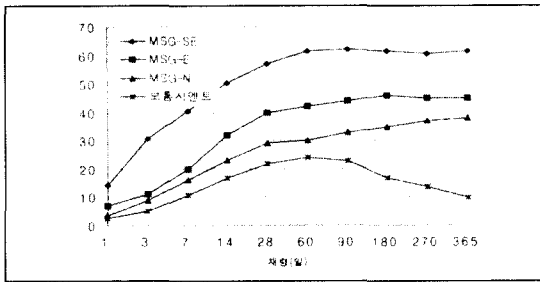


그림 7. MSG공법 주입재 종류 및 재령별 강도발현성

3.3 주입장치

약액주입공법은 주입목적, 현장조건, 토질조건, 환경조건 등을 종합적으로 고려하여 선정하고 주입방식과 주입재의 조합에 의해서 주입효과에 상당한 차이가 발생한다. 최근에 사용되고 있는 일반적인 주입방식은 표 2와 같은 특징을 갖고 있다(堂堂功, 1995).

한편 표 2의 ①, ②, ③에 대한 주입선단부의 구조

적 특징은 그림 8과 같다(堂堂功, 1995).

MSG공법은 주입재와 더불어 주입장치에 관해서도 개선된 공법으로 주입장치의 메커니즘은 가스식 또는 유압식의 2중관형 롯데주입방식 또는 더블팩커형 슬리브 주입방식을 채택하고 있다.

2중관형 롯데주입방식은 순결성 1차 그라우트와 침투성 2차 그라우트를 반복과 복합비율을 자유롭게 선정할 수 있는 복합시스템 공법으로 표 2의 2중관 스트레이너의 복상식 주입공법에 해당된다. 더블팩커형 슬리브주입방식은 고탄성 슬리브를 통해서 원판상(圓板狀) 인공유선이 형성되므로 주입재를 균질하게 분사침투주입 시킬 수 있는 동적주입공법으로 표2의 2중관 더블팩커식 주입공법에 해당된다. 또한 MSG공법은 국내에서 사용되고 있는 대부분의 주입공법에서 채용하고 있는 주입시스템을 50cm에서 33cm로 단축시킴으로서 침투의 중복도를 높였기 때문에 실트질 점성토나 조밀한 지반에서도 주입효과가 우수하다.

표 2. 주입방식의 분류와 특징

분류	적용지반	특징
① 2중관 스트레이너 (단상식)	대부분의 지반에 적용가능하지만, 특히 이완된 사질층 및 점성토에 적합하다.	소정의 주입범위 밖으로 확산을 방지하고, 한정된 부분에만 약액을 주입하는 것을 목표로 겔타입이 짧은 주입방식이다. 이 방식은 연약하고 복잡한 층지반에서 약액의 확산을 방지하여 밀실하게 주입함으로써 주입효과를 상승시킬 수 있기 때문에 다짐상태가 약한 지역이나 토피가 얇은 지역에서 적합하지만 밀실한 사질층 등에서는 침투성에 한계가 있다. 혼합방식은 1.5shot공정을 사용한다.
② 2중관 스트레이너 (복상식)	대부분의 지반에 적용가능하고, 특히 잘 다져진 사질층과 비교적 점성토를 많이 함유된 사질층에 적용한다.	이 방식은 짧은 겔타입으로 약액의 확산을 방지하는 한편 긴 겔타입의 약액으로 지반의 미세한 간극을 침투시키는 공법이다. 비교적 잘 다져진 지반과 점성토가 많이 함유된 사질지반에서는 짧은 겔타입의 주입재를 사용할 경우 주입효과를 얻기 힘들 경우도 있지만 완결~지결형의 주입재와 조합하여 사용할 경우 주입효과를 크게 향상시킬 수 있다. 혼합방식은 1.0, 1.5, 2.0shot방식 중 어느 것이든 사용할 수 있지만 일반적으로 짧은 겔타입은 2.0shot공정을, 긴 겔타입은 1.0shot 또는 1.5shot공정을 사용한다.
③ 2중관 더블팩커식	사질계 지반에 대부분 적용 가능하다.	이 방식은 긴 겔타입의 약액을 느린 주입속도로 천천히 주입하는 방식으로 보다 균질한 개량을 가능하게 한다. 상기 ①, ②의 방식에 비해서 주입공사비가 높고, 공기가 긴 문제점이 있지만 낮은 압력으로 주입이 가능하기 때문에 중요한 구조물의 바로 아래서 거의 영향을 주지 않고 시공할 수 있다. 혼합방식은 1.0shot가 일반적이다.

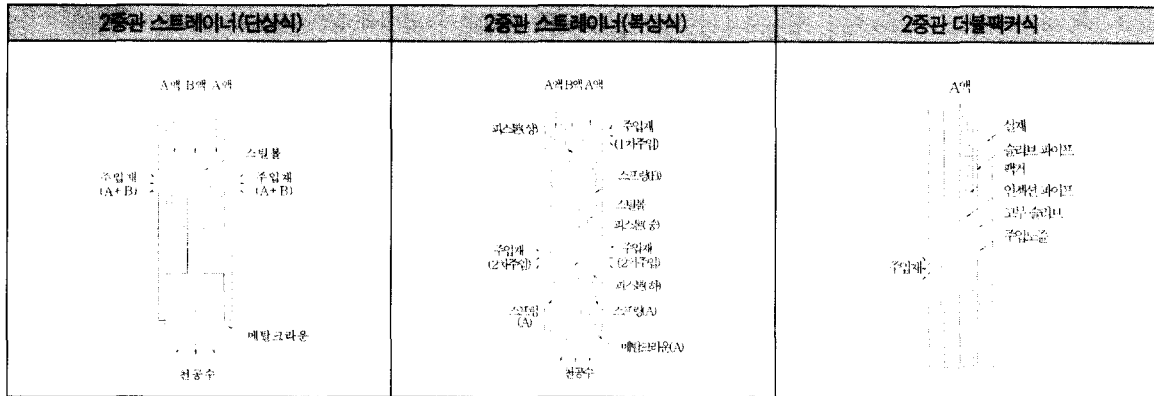


그림 8. 각 공법별 주입선단장치의 구조형식

3.4 시공순서

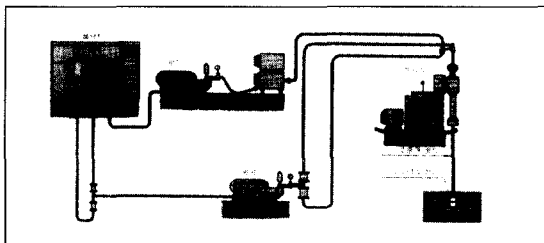
MSG공법은 주입공법의 적용목적, 현장조건, 토질조건 및 환경조건 등을 종합적으로 고려하여 2중관형 로트주입방식 또는 더블팩커형 슬리브주입방식을 선정하고, 주입방식에 적합한 주입재를 선정한다. 각 공법별 시공순서는 다음과 같다(MSG공법협회, 2001).

(1) 2중관형 로트주입공법

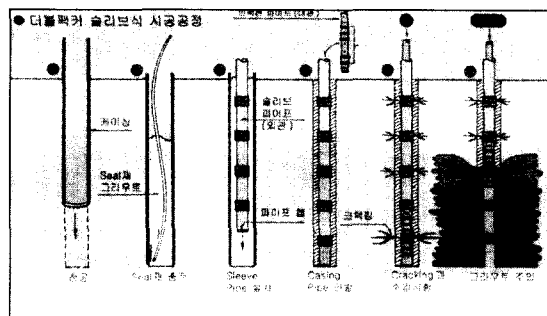
① 순서도



② 시스템도



(2) 더블팩커형 슬리브주입공법



3.5 현장적용 사례

MSG공법은 주입목적에 따라서 차수·지반보강형 MSG공법과 강관보강형 MSG공법으로 구분한다.

그림 9는 ○○터널의 라이닝 타설전 상당량의 누수대가 돌출된 구간에서 차수·보강형 MSG공법을 적용한 사례로서 그라우팅이 완료된후 슛크리트 표면이 건조되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 터널 굴착중 지하수위의 강하로 인해서 고갈되었던 인접지역의 샘물이 다시 흘러넘치는 부수적인 효과도 얻을 수 있었다.

강관보강형 MSG공법은 산악터널, 쉘터터널, 언더피닝 및 사면보강 그라우팅을 시공할 경우 누수량이 많고 질리가 많은 연약한 지역에서 차수와 지반보

강효과가 동시에 필요한 구간에 최적의 공법으로 성능을 발휘한다. 그림 10은 광주 지하철 ○○공구에서 Sunken 톨로굴착 공사시 상부구조물의 침하거동을 방지하기 위한 언더피닝 목적으로 강관보강형 MSG공법을 적용한 사례로서 그라우팅이 완료된 후 지하수의 출수가 차단되고 상부구조물의 균열 및 침하거동을 막을 수 있었다.

한편, 현장적용후 주입효과를 확인하는 방법중에서 굴착에 의한 주입상태 관측이 가장 확실한 방법으로 다음과 같은 사례를 들 수 있다.

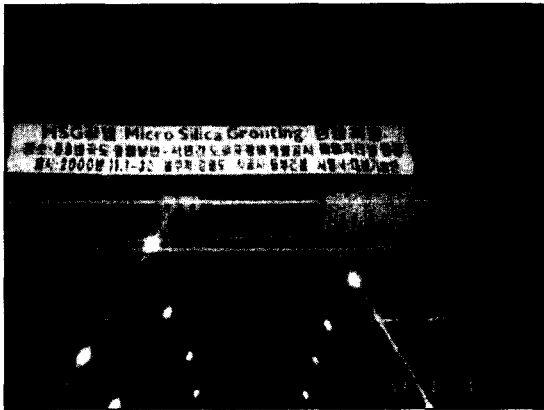


그림 9. 국도88번 ○○터널공구 : 차수 지반보강형MSG공법 적용사례

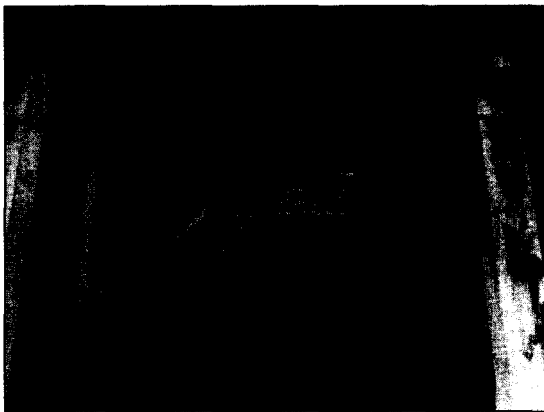


그림 10. 광주 지하철 ○○공구 언더피닝 : 강관보강형MSG공법 적용사례

4. 맺음말

건설업이 위기에 처해 있다고 한다. IMF 체제를 맞아 위축되었던 건설 부문의 투자가 아직도 살아나지 않고 있다. 1990년대 중반까지 건설 투자는 국내 총생산의 23%를 차지하여 왔으나 1999년에는 19% 정도에 지나지 않고, 사회간접자본(SOC)의 투자도 크게 위축되고 있는 것으로 보고되고 있다(한국건설산업연구원, 2001.1). 이제 건설업은 사회적인 흐름에 의해서 사양산업화의 우려마저 피할 수 없는 상황에 이르렀다. 이런 긴박한 상황에서 업체들은 저마다 보다 효과적이고, 경제적이고, 시공성이 우수한 신기술 개발에 심혈을 기울이고 있다. 본 기술자료에서 소개된 MSG공법을 개발하게된 동기도 이러한 국내의 건설업 상황과 무관하지 않다.

본 기술자료에서 소개된 MSG공법의 장점들을 항목별로 요약하면 다음과 같다.

1) 초미립자 주입재를 사용하기 때문에 침투성이 향상되었다.

종래의 LW공법이나 SGR공법에서는 조립질 사질토 정도까지만 침투주입이 가능했지만 MSG공법에서는 세립질 사질토는 물론이고 실트성분이 소량 함유된 실트성 사질지반에서도 완벽한 침투주입이 가능하다.

2) 초미립자 주입재를 사용하기 때문에 고강도가 발현된다.

그라우팅의 목적이 차수인 경우가 많지만 국내의 경우 차수는 물론이고 지반보강을 요구하는 경우가 대부분이다. 따라서 강도발현성이 우수한 주입재를 사용하는 것이 당연히 유리하다. MSG주입재의 경우 보통시멘트를 사용한 LW공법이나 SGR공법에 비해서 최소 2배이상 고강도가 발현된다.

3) 실리카질 함량을 조절하기 때문에 겔타임 조정범위가 넓다.

互層복합지반에서 그라우팅의 목적을 효과적으로 달성하기 위해서는 겔타임과 주입속도를 조정하면서 주입해야 한다. 그러나 LW공법의 경우 겔타임 조절범위가 60~90초 정도로 좁고, SGR공법의 경우 급결이 9~12초, 완결이 60~90초를 표준으로 하고 있다. 따라서 SGR공법이 LW공법보다 차수목적 달성에 효과적이다. SGR공법의 경우도 다량으로 흘러넘치는 出水에는 대응이 어렵고 풍화암대와 같이 상당한 공극이 있지만 투수계수가 매우 작아서 수분대의 충분한 겔타임을 요구하는 경우 적용하기 어렵다.

MSG공법의 경우 3~5초대의 초급결형과 5~7분대의 지결형 겔타임을 주입재만 바꾸어서 조절할 수 있기 때문에 겔타임과 주입속도를 적절히 조정해서 복잡한 互層지반에서도 주입효과를 충분히 발휘할 수 있다.

4) 물유리사용량을 줄이고 실리카질을 사용하기 때문에 내구성이 향상된다.

그라우팅에서 제기되고 있는 문제점 중의 하나가 내구성이다. 내구성 저하의 가장 큰 원인은 급결을 유발하는 물유리이며 물유리 사용량이 많을수록 내구성 열화속도가 빨라진다.

MSG공법에서는 물유리 사용량을 대폭 줄이고, 실리카질이 다량 함유된 경화재를 사용함으로써 결합조직을 치밀화 시켰다. 따라서 LW공법이나 SGR공법에 비해서 내구성이 대폭 향상되었다.

5) 주입선단장치를 개량하여 복합주입 효과를 향상시켰다.

그라우팅에서 주입선단장치는 주입재료의 특성에 의해서 좌우된다. 즉, 주입재료가 복합주입용으로 구성되었다면 주입선단장치도 이에 맞게 구성되어야 한다. 그러나 국내에 도입된 공

법의 경우 주입재료는 바뀌어도 선단장치는 거의 변화가 없이 단관형 롯데주입과 맨젯튜브형 슬리브주입 등 단순한 선단장치가 대부분이었다. 대표적인 예로서 일본에서 도입된 SGR공법의 경우 선단의 로켓시스템이 용액형 급결주입과 완결주입으로 복합주입이 되도록 설계되었지만 국내에 도입되어서는 2중관 롯데주입으로 변형되어 버렸다. 시멘트현탁액을 사용하기 때문에 원래의 로켓시스템을 사용할 수 없었기 때문이다.

MSG공법의 경우 4가지 겔타임의 마이크로실리카 경화재를 사용하여 복합주입을 효과적으로 시행하기 위해서 선단장치를 선택적으로 사용할 수 있도록 2중관형 롯데주입 선단장치와 더블팩커형 슬리브주입 선단장치를 제공하고 있다. 겔타임 3~5초의 MSG-SE형, 9~12초의 MSG-E형 및 60~90초의 MSG-N형 주입재를 사용해야 할 경우 2중관형 롯데주입 선단장치를 사용하는 것이 유리하고, 60~90초의 MSG-N형 및 5~7초의 MSG-R형 주입재를 사용해야 할 경우 더블팩커형 슬리브주입 선단장치를 사용하는 것이 유리하다.

현재 국내 그라우팅산업의 문제점은 ① 기술수준의 낙후, ② 중소기업체의 난립, ③ 터무니없는 저가 낙찰, ④ 관리감독기준 미흡 등이 복합적으로 작용하여 결국 부실시공의 반복과 건설안전사고의 원초적 원인제공을 막을 수 없는 실정이다. 따라서 MSG공법의 공동개발에 참여한 (주)한국지오택, 홍지기술산업(주), (주)대보기술단, (주)동진기초 및 중앙개발(주) 등은 그동안 국내 그라우팅분야에서 수십년간 현업에 종사하면서 경험한 문제점들을 해결하고자 선진기술개발에 노력하였으며, 아직은 완벽하다고는 할 수 없지만 적어도 국내에서 현재 일반적으로 적용되고 있는 LW공법, SGR공법 및 일반형 강관보강공법에 비해서 한단계 발전된 공법을 개발함으로써 동종업계에서 기술적 우위를 확보했다고 판단되며, 향후 지속적인 노력에 의해서 선진국 수준의 기술개발이 기대된다.

참고문헌

1. W. J. Clarke(1984), "Performance Characteristics of Microfine Cement", Geotechnical Conference, Atlanta, GA, ASCE Preprint 84-023
2. 김진춘, 최광일, 박재용(1994), "지반보강용 초미립자시멘트의 기초적 특성", 한국콘크리트학회, 1994년도 가을 학술발표회논문집, pp.217~222
3. 大貫富夫, 北川修三(1982), "地上360mからの薬液注入工事-上越新幹線中山トンネル高山工區", トンネルと地下, 第13巻, 2號, pp.109~115
4. 久保田辰治(1992), "城川ダムの施工について", タム日本, No.606, pp.71~83
5. 市川公彦, 松尾修, 古關潤一(1996), "液状化対策を目的とした超微粒子セメント懸濁液注入による浸透性について(その5)", 第31回地盤工學研究發表會論文集, pp.119~120
6. 김진춘(1999), "지반개량용 초미립자시멘트의 주입특성에 관한 연구", 한양대학교대학원 박사학위논문, pp.1~3
7. 米田俊一, 中川浩二(1993), "粒子徑を變えた各種セメントグラウトの基礎的性質と浸透性比較", 土木學會論文集, No.462, pp.101~110
8. 천병식, 김진춘(1995), "Micro-cement 그라우팅에 의한 연약지반 보강사례(Ⅰ)", 1995년도 가을 학술발표회논문집, pp.IV~34~39
9. 천병식, 김진춘, 이현, 조규완(1996), "시멘트계 약액의 토질별 침투성 비교평가", 대한토목학회, 1996년도 학술발표회논문집(Ⅲ), pp.383~386
10. 천병식, 김진춘 외(1997a), "지반보강용 마이크로시멘트 및 실리카졸의 실용화 연구", 건설교통부, R&D/95-0084
11. 천병식, 김진춘, 노갑수, 한기석(1997b), "석탄회계 초미립자 주입재의 기초물성", 대한토목학회, 1997년도 학술발표회논문집(Ⅲ), pp.497~500
12. 천병식, 김진춘, 이영근(1997c), "국산 무기계 초미립자 주입재의 침투성 시험결과", 한국지반공학회, 1997년도 가을 학술발표회논문집, pp.185~188
13. 천병식, 김진춘(1998a), "초미립자 지반주입재로서 플라이애쉬의 적용성에 관한 연구", 한국지반공학회, 한국지반공학회지, 제14권, 제6호, pp. 113~125
14. 천병식, 김진춘(1998b), "어독성시험에 의한 지반주입재의 공해성 평가", 대한토목학회논문집, 제18권, 제Ⅲ~4호, pp.531~538
15. 천병식, 임성택, 고갑수, 이영근(1998c), "초미립 시멘트 주입재에 의한 우물통기초 언더피닝에 관한 연구", 한국지반공학회, 1998년도 봄 학술발표회논문집, pp.247~254
16. 진병익, 천병식(1984), "물유리계 주입재를 주입한 지반강도 증대", 대한토목학회논문집, 제4권, 제2호, pp.89~99
17. 천병식(1986), "불투수성 지반에서의 종합렬주입에 관한 기초적 연구", 대한토목학회논문집, 제6권, 제3호, pp.43~51
18. 천병식(1990), "약액으로 고결된 모래지반의 수압파쇄에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제10권, 제4호, pp.133~140
19. 이용재, 서강천, 우종태(1996), "서울지하철 5호선 5-18공구 건설공사 한강 하저터널 지반 분석 및 보강공법", 삼부토건(주)
20. 대한전문건설협회 보링·그라우팅협의회(2000), "회원 명부"
21. 천병식(1995), "건설기술자를 위한 지반주입공법", 원기술, pp.23~29
22. 堂堂功(1995), "疑問に答える薬液注入工法の設計・施工ノウハウ", 近代圖書, pp.19~20
23. MSG공법협회, 쌍용양회(2001), "MSG공법 카타로그"
24. 한국건설산업연구원(2001.1), "건설광장:인프라는 국부이다", p.1