

자동화 그라우팅 관리기술을 이용한 그라우팅 시공 · 품질관리 기술 I



김진춘
(주)한국지오텍
대표이사
(kig-2000@hanmail.net)



김상균
(주)한국지오텍
기술연구소 연구소장
(kimsg65@hotmail.com)



유병선
(주)한국지오텍
기술연구소 책임연구원
(bsyoosil@naver.com)



강희진
(주)한국지오텍
기술연구소 책임연구원
(kanghj95@empal.com)

1. 그라우팅 기술의 세계적인 동향

1.1 재료개발 기술동향

1802년 프랑스의 기술자 Charles Berigny가 지반 침하로 손상된 수문 기초의 공동부를 채우고 기초밑에 석회와 점토의 불안정한 주입재를 주입하여 퇴적된 층적층을 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 정립하는데 기여하였다(Kutzner, 1996).

1926년 독일의 Dutchman H. Joosten이 순수 용액형 화학약액 주입재를 이용한 Joosten공법을 개발한 이후 약액주입의 비약적인 발전이 시작되었다. Joosten공법의 특징은 고농도 물유리와 염화칼슘이 동시에 주입되어 혼합되면 순간적으로 실리카겔을 형

성하면서 20~80kgf/cm² 정도의 높은 압축강도 경화체를 만들고 화학작용에 대한 변화도 극히 작았다. 그러나 매우 고가이고, 점도가 높았기 때문에 세사층에는 침투될 수 없는 문제점이 있었다(草野一人, 1983).

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

초미립자시멘트를 단독으로 사용할 경우 점도가 높아지기 때문에 오히려 침투성을 악화시킬 가능성이 높다. Karol(1990)은 $k=a \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 의 실트질 사질지반에서 침투주입의 한계점도를 5cps 이하, $k=a \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 의 사질지반에서 침투주입의 한계점도를 10cps 이하로 제시하고 있다. Hakansson 등(1992), 田原則雄 등(1995)은 물시멘트비별, 유동화제 종류 및 첨가량별로 유동성 변화와 시간경과에 따른 전단응력을 검토한 결과 유동화제의 종류는 폴리카본산 카르복

표 1. 재료개발의 기술혁신 변천사

| 연 대 | 재료개발 | 공법/시스템 개발 | 사회정세 |
|-----------------|--|---|---|
| 1802년 | • 점토+석회 | | • 광산개발기 |
| 1824년 | • 포틀랜드시멘트 | | |
| 1887년 | • 물유리+염화칼슘 | • 단관스트레이너공법 | • 산업발전의 여명기 |
| 1900~ 1940년대 | • 물유리+염류반응제 • 점토+시멘트 | • 고결시간 조절 가능 • Lugeon Test 확립 • Joosten공법 | • 댐건설 융성기 |
| 1950년대 | • 무기물유리(MI) • 물유리+시멘트(LW) • 고분자(AM-9) | • 룯드주입공법 • LW공법 | • 산업의 고도성장 |
| 1960년대 | • 아크릴아미드 • 아크릴산염류 • 수지 등 유기물계 | • 복합그라우팅 • 멘젯투브공법 | • 석유화학의 발달로 신재료 활용 증대 |
| 1970년대 | • 유기·무기계 순결 물유리 • 중성 물유리 • 실리카졸 | • 2중관더블팩커공법 • 2중관순결공법 • 2중관식 고압분사 그라우팅 | • 신기술 시대 (복합/한정/강제주입) • 생물 오염사고 발생 |
| 1980년대 | • 순결·완결 복합 물유리그라우트 • 현탁·용액복합 실리카졸그라우트 • CO2를 이용한 기·액반응그라우트 • 초미립자시멘트 그라우트 | • 주입시스템 자동화 - 조사 - 주입관리 - 주입효과 평가 • 3중관식 고압분사그라우팅 | • 무공해성 공법과 재료개발 • 그라우팅 합리화 • 경제성 다양화 및 자동화 추구 • 약액의 내구성 향상 |
| 1990년대 | • 초미립자시멘트(6 μm) - 경제적 초미립화 • 실리카졸 - 내구성 향상 - 무공해성 향상 | • Water Milling Cement공법(일본) • Cemill공법(Italy) • 항구그라우팅 | • 약액주입공법 - 신뢰성 향상 - 주공법으로 정착 |
| 2000년대 ~ 현재 | • 극초미립자 시멘트(1.5 μm) • 하이브리드형 그라우트 • 고침도, 고강도, 고내구성 및 환경친화성 그라우트 | • 자동화 관리 시스템 • m-ROG/ROG 최적화 시공 관리기법 • 침투 다짐형 그라우팅 | • ICT와 융합된 4세대 기술 지배 • 그라우팅 환경규제 엄격 |

실계가 가장 적합하고, 최적 첨가량은 초미립자시멘트량의 중량비로 2~3% 사용할 것을 제시하고 있다.

2000년대부터 일본에서는 고침투 및 고강도가 발현되는 극 초미립자 시멘트(1.5 μ m)를 개발하고 있고 국내에서는 김진춘 등(2014)은 마이크로시멘트계열의 하이브리드형 그라우트재료를 개발하고 있으며 이는 이상적인 침투주입을 가능하게 하는 그라우트 재료개발로써 고분말 및 저점도의 특징을 가지며 실트질샌드층까지 침투주입을 확장시키고 어떠한 복합조건의 지반에서도 다양하게 적용할 수 있으며 고침투성, 고강도성, 고내구성 및 환경친화성을 특징으로 하는 그라우트이다. 이와 같이 그라우트재료개발은 지속적으로 연구개발 진행 중이며 재료개발의 기술혁신 변천과정은 표 1과 같이 정리할 수 있다.

1.2 장비개발 기술동향

그라우팅 장비개발의 동향을 파악하기 위해 해외국가별 혹은 프로젝트별 시방서를 우선 검토하였으며 시방서의 주요내용으로는 앞 절에서 언급한 재료의 요구스펙 그리고 믹서, 펌프, 교반기 혹은 팩커에 대한 요구스펙까지 상세하게 기술되어있어 해외프로젝트 수주를 위해서는 각 국에서 제시한 시방서의 기준을 만족하여야 한다.

세계적으로 그라우팅 장비는 통합형으로 그라우팅 장비가 개발되는 추세인데 장비의 구성항목으로는 Cement silo, Agitator, Grout pump, mixer 및 controll unit and logger로 구성되어 있다.

일반적으로 시멘트와 물 그리고 첨가제가 믹서에서 혼합되며 고 품질의 그라우팅을 기대하는 그라우팅에는 Turbo(colloidal) mixer가 아주 적합하다. Turbo형 믹서기는 원심분리형 펌프가 아주 높은 속도로 그라우트를 순환시켜주는데 그 속도는 약 1300~1400rpm 이고 최고 속도는 약 1435rpm이다. Turbo(colloidal) mixer는 격렬한 와류와 고전단(high shearing) 작용을 하여 신속하게 완전한 혼합이 되도록 할 뿐 아니라

혼합이 다 된 주입재를 교반기로 보내는데 사용된다.

그라우트 재료는 저점도 유지와 침전을 막기 위해 항상 교반기에서 교반시켜줘야 한다. 교반기는 그라우팅 준비를 위해 교반 통에 넣어서 작동시킨다. 교반기는 느린 속도로 회전하게 되는데 이는 현탁액형 그라우트재가 균질한 상태를 유지시켜주고 발생된 거품들을 제거시켜준다. 교반기의 크기는 일반적으로 믹서의 2배 정도이며 약 60rpm의 속도로 교반된다.

국내외 시장에서 판매되는 펌프의 타입은 2가지로 압축된다. 밸브가 없는 펌프타입인 the progressive cavity 펌프와 밸브가 있는 펌프타입인 피스톤식 펌프가 있으며 펌프의 토출량과 압력은 고품질의 그라우팅 주입을 위해 적합한 성능을 확보해야 한다. 토출량과 압력은 주입작업동안 충분히 조절이 가능해야 하며 실제 터널 그라우팅 현장에서는 약 100bar까지 주입압력을 줄 수 있는 제품이 사용되고 있으며 그라우트 주입시 필요한 압력은 그라우트재의 분리를 방지하기 위하여 일반적으로 충분히 높아야 한다.

팩커는 그라우팅의 분류 즉 본시공, 시험용 및 차사용 등에 따라 천공홀 전체 혹은 부분적으로 밀폐시켜 주는데 사용된다. 천공홀을 막음으로써 압력은 구속이 되고 그라우트가 절리와 틈새를 침투하게 한다. 천공된 홀 속에 팩커의 팽창장치를 이용해 단단히 막아주는 기능을 하게한다. 팩커의 내부에 그라우트 주입 튜브가 있으며 리턴 밸브형 혹은 리턴 밸브가 없는 형식이 있다. 일반적으로 팩커의 팽창부는 천공홀에서 팩커를 단단히 일체화 시키기 위해서 잡아주는 역할을 하는 것이다. 팽창 셀 앵커를 일체화시킨 특수팩커도 유용하게 사용될 수 있다.

압축형팩커는 외부튜브에 부착된 핸들을 돌려서 내부튜브에 부착된 rubber sleeve(고무재질 슬리브)가 기계적으로 팽창되는 원리에 의해 단단히 공벽과 밀착되게 된다. 압축형 팩커는 두가지 타입으로 구분할 수 있는데 재사용 팩커와 일회용 팩커로 나눌 수 있다. 팩커의 팽창압은 펌프 혹은 압축공기를 통해 주입할 수 있다. 현재 팩커는 작업 중 손상을 입을 수 있는 여러

표 2. 해외국가/프로젝트별 그라우팅 시방서 비교표(1)

| 발주처/ 프로젝트/ 발행년도 |  JTC CORPORATION JRC 프로젝트/2008 |  Ministry of Water Resources the People's Republic of China Technical specification/2008 |  U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE UFC/2004 | |
|-----------------------|--|---|--|--------------------------|
| 국가 | 싱가포르 | 중국 | 미국 | |
| 주요 목적 | 주용섬 해저 저장시설 구축 | | | |
| 재료 | 일반 시멘트 | 일반 시멘트 • 분말도: > 380m ² /kg • D95 : < 60µm | Type I 일반적용 목적에 사용 | |
| | ultra fine | Fine • 분말도: > 1500m ² /kg • D99 : ≤ 10µm | Type II 황산염에 강함/수화열이 적음 | |
| | 시멘트 | micro | Stable • 분말도: > 1500m ² /kg • D99 : ≤ 20µm | Type III 조기강도 용 |
| | | | Mixed • 첨가제 사용 | Type IV 그라우팅에 거의 사용안함 |
| | 실리카 흙 | Pasty • 소성항복강도 > 20Pa • 물유리계수 : 2.4~3 • 보메도 : 30~45 | | Type V 그라우팅에 사용안함 |
| 벤토나이트 | 물유리 • D99 : < 1µm • 액성한계 > 400 • 입자크기 > 80µm | 벤토나이트 • 소성지수 < 14 • 모래/플라이애쉬/기타 첨가제 등 | 점토 그라우트 점토, 벤토나이트, 시멘트, 화학첨가제 등 | |
| 기타재료 | 기타재료 • 물/석회석/플라이애쉬, 모래/기타 첨가제 등 | 기타재료 | 화확적 그라우트 • 지하수의 과다출현시 등 | |
| 그라우트 믹서/교반기 | colloidal type (rpm : 1200~1500) | high speed mixer (rpm: 1200이상) • 교반기 사용 없음 | High-speed colloidal-type mixers • 교반기 : 30rpm | |
| 그라우트 펌프 | 최대압: 50bar 이상 • 토출량: 250 l/min | 펌프압 : 최대압력의 1.5µm 이상 • 변동범위 : 그라우팅 압력의 20%이하 | 목적에 적합한 펌프사용 • Screw-Type Pumps : 40bar 이상 | |
| 팩커 | 싱글 팩커 • 더블 팩커 | 그라우팅 압력에 적합 • 지질학적 조건에 적합 | AX/BX/EX/NX 홀크기에 적합한 팩커 사용 | |
| 특이사항 | • 재료에 대한 시험자료 엄격 | • 압력계 : 그라우팅압력의 2~2.5배 측정가능 | • 믹서/펌프/교반기/팩커에 대한 표준도면 제시 하고 있음. | |

표 3. 해외국가/프로젝트별 그라우팅 시방서 비교표(2)

| 발주처/ 프로젝트/ 발행년도 |  핀란드 북유럽국가의 터널그라우팅 연구/2008 |  호주 Grouting for tunnel/2012 |  Grouting of Rock and Soil/1996 | |
|-----------------------|---|---|---|---|
| 국가 | 핀란드 | | | |
| 주요 목적 | 터널그라우팅을 위한 지침 | | | |
| 재료 | 시멘트 | OPC Rapidly setting Micro Ultra fine | OPC B.F.C Fine ultra fine | |
| | 슬리카 흙 벤토나이트 기타 | • d ₄₅ <128µm • d ₆₅ <64µm • d ₈₅ <20µm • d ₈₅ <15µm • 규산액 • 블리딩 감소 등 • 플라이애쉬 등 | 블레인 : > 3,000cm ² /g 최대입자직경 : 100µm d ₈₅ : <60µm 블레인 : > 8,000cm ² /g 최대입자직경 : 20µm d ₈₀ : <15µm | |
| 통합형 장비 | • 각요소기술 및 자동기록장치를 트럭에 탑재 • 티보 믹서 • 1300~1400rpm • 저점도 및 침전방지 • 60rpm • 100bar • 피스톤 펌프 • 슬리브형 펌프 • 유압식 펌프 | | | 현탁액 형 충전 대공동 충전 규산소다, 기타재료, hary사의 차양탐재 모델 제시 • 이동식 그라우팅 컨테이너 |
| 그라우트 믹서 | • 콜로이달 믹서 | | | • 콜로이달 믹서 |
| 교반기 | • 저점도 및 침전방지 • 60rpm | | | • 거품이나 공기를 제거하는 기능 포함 |
| 그라우트 펌프 | • 100bar • 피스톤 펌프 | | | • 100bar 이상 • 전기유압식 펌프 • double-acting pumps |
| 팩커 | • 슬리브형 팩커 • 유압식 팩커 | | | • 싱글팩커 • 더블팩커 |
| 특이사항 | • altiscopco/hary사 장비 언급함 | | | • 차양탐재 형식이지만 단순 차트 기록방식 |

표 4. 일본/프로젝트별 그라우팅 주요시방내용 비교표

| 발주처/ 프로젝트/ 발행년도 | Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency | JR 日本 駅・鉄道 / 旅行・観光 |  Hokuriku Electric Power Company |
|-----------------------|--|---|--|
| 국가 | SEIKAN UNDERSEA TUNNEL/1988 일본 | OGURAYAMA TUNNEL 일본 | Under sea tunnel for discharge of cooling water 일본 |
| 주요 목적 | 세이칸 터널 그라우팅 시공요약 | 오구라야마 터널 그라우팅 시공요약 | 해저터널 그라우팅 시공요약 |
| 그라우트 재료 | Fine 시멘트 + 규산소다용액 | Fine 시멘트 + 규산소다용액 | Fine 시멘트 + 규산소다용액 |
| 그라우팅 공법 | 1.5-shot 방식 | 1.5-shot 방식 | 1.5-shot 방식 |
| 배합실계 | A : NC 시멘트 NC: 물=1:1.2:1.3 | A : NC 시멘트 NC: 물=1:1.1:1.5, 1.2, 1:2.5, 1:3 | A : NC 시멘트 NC: 물=1:1.2, 1:3 |
| | B : 75% 규산소다 용액 (물비=2:2) | B : 75% 규산소다 용액 (물비=2:2) | B : 75% 규산소다 용액 (물비=2:2) |
| 배합실계 | 부피비 : A : B = 1 : 1 | 부피비 : A : B=1:1 | 부피비 : A : B = 1 : 1 |
| | 겔타입 : 1~5분 (20℃) | 겔타입 : 1~5분 (20℃) | 겔타입 : 3~7분 (20℃) |
| 주입압 | 호모겔 강도 = 13~95kgf/cm ² | 호모겔 강도 = 13~95kgf/cm ² | |
| | P max = 90kgf/cm ² | P = 지하수의 압력×4 | P = 15 ~ 30 kgf/cm ² |
| 그라우팅 전후 시공효과확인 | 그라우팅 전 : K = 1~77×10 ⁻⁵ cm/sec. | 누수 완전차단 | 그라우팅 전 : K=0~3~10 ⁻⁴ |
| | 그라우팅 후 : K = 0~24×10 ⁻⁶ cm/sec. | | 그라우팅 후 : K=5×10 ⁻⁵ |
| 시멘트량 | NC 시멘트 - 230,000 ton | NC 시멘트 - 140 ton | NC 시멘트 - 1,800 ton |
| 지질상태 | 응회암, 응회질 각력암, 안산암, 실트암, 시암, 회암 | 시암, 점판암, 각암 | 안산암, 응회질 각력암 |
| 시공목적 | 터널의 차수 및 보강 그라우팅 | 터널의 차수 및 보강 그라우팅 | 터널의 차수 및 보강 그라우팅 |

표 5. 국가별 통합형 그라우팅 장비 조사 및 분석

| | | | | |
|---------|--|---|--|--|
| 회사명 |  Atlas Copco 스웨덴 |  Henry 스위스 |  Tecnowell 이탈리아 |  KOKEN 사 일본 |
| 국가 |  |  |  |  |
| 장비사진 |  |  |  |  |
| 장비 설계도면 |  |  |  |  |
| 특이사항 | <ul style="list-style-type: none"> 고수압 조건외 통합형 그라우팅 장비 구축 경험 다수 있음 믹서, 펌프, 교반기, 펌커에 대한 개발협 의가 가능함 단순 자동제어 방식 채택 | <ul style="list-style-type: none"> 고수압 조건에 적합한 요소장비들로 구성됨 믹서, 펌프, 교반기등에 대한 스펙 자료 파악가능 단순 자동제어 방식 | <ul style="list-style-type: none"> 고수압 조건에 사용 할 수 있는 장비들로 구성됨 펌프와 믹스에 대한 간단한 스펙만 알 수 있음 단순 자동제어(P~Q) 채택 | <ul style="list-style-type: none"> 고수압 조건에 사용할 수 있는 장비들로 구성 펌프 및 믹서의 스펙을 대략 알수 있음 단순 자동제어(P~Q) 채택 |

표 6. 국가별 그라우팅 펌프 조사 및 분석

| 회사명 |  Atlas Copco |  Hany |  tecniwell |  ChemGrout |
|-------|---|--|--|---|
| 국가 | 스웨덴 | 스위스 | 이탈리아 | 미국 |
| 장비사진 |  |  |  |  |
| 주요기능 | Double acting | Double acting | Double effect piston | Double acting |
| 작동방식 | 유압식 | 유압식/전기식 | 유압식/전기식 | 유압식 |
| 토출량 | 200 l/min | 200 l/min | 150 l/min | 121 l/min |
| 최대펌포압 | 215kg/cm ² | 200kg/cm ² | 90kg/cm ² | 138kg/cm ² |
| 특이사항 | <ul style="list-style-type: none"> • 유압으로 작동하며 Double acting 기능이 구비되어 압력의 끊어짐 현상이 발생하지 않음 • 고수압 조건 사용가능 | <ul style="list-style-type: none"> • 자동압력 조절 시스템이 구비되어 있음 • 저압 혹은 고압 주입조건에 사용가능함 | <ul style="list-style-type: none"> • Double effect piston 기능 탑재 • 고수압 조건 사용가능 • 믹스+펌프+교반기 일체형 | <ul style="list-style-type: none"> • 유압으로 작동하며 Double acting 기능이 구비되어 압력의 끊어짐 현상이 발생하지 않음 • 고수압 조건 사용가능 |

표 7. 국기별 그라우팅 Colloidal 믹서 조사 및 분석

| 회사명 |  Atlas Copco 스웨덴 |  Hany 스위스 |  Tecniwell 이탈리아 |  ChemGROUT 사 미국 |
|---------------|---|---|--|--|
| 장비사진 |  |  |  |  |
| 주요 사양 특이사항 | 콜로이드믹서 1435 rpm • 콜로이드믹서로서 최고 rpm은 14350이며 고수압 타일조건에 적합함 | 콜로이드믹서 1400 rpm • 고속전단믹서형태의 콜로이드믹서로서 rpm은 약 1400 이상 가능하며 고수압 타일조건에 적합함 | 콜로이드믹서 1400 rpm • 개방 임펠러 펌프타입으로써 고수압 조건에 적합하며 rpm은 1400이상임 | 콜로이드믹서(타보) 1400 rpm • 자체 구동 기능을 가진 타보형 콜로이드믹서로서 rpm은 대략 1400이상이며 고수압 타일조건에 적합함 |

표 8. 국가별 그라우팅 Agitator(교반기) 조사 및 분석

| 회시명 | | Atlas Copco | | HANY | | tecniwell | | ChemGrout® | |
|-------|-------|--|--|---|---|-----------|------|-------------|----|
| | | Atlas Copco | 스웨덴 | Hany | 스위스 | Tecniwell | 이탈리아 | ChemGrout 사 | 미국 |
| 장비사진 | |  |  |  |  | | | | |
| 주요 사양 | 구동 방식 | 전기식, 유압식 or 공압식 모터 | 전기식, 유압식 모터 | 전기식 모터 | 전기식, 유압식 or 공압식 모터 | | | | |
| | rpm | 60 rpm | 60 rpm | 60 rpm | 60 rpm | | | | |
| 특이사항 | | <ul style="list-style-type: none"> 공기 및 거품을 제거하고 침전을 방지하여 균일한 한탁액 상태 유지 | <ul style="list-style-type: none"> 한탁액의 거품을 제거하며 균일한 한탁액 상태 유지 | <ul style="list-style-type: none"> 회전식 날개로 온도 저감 0.75 kW 전기식 모터 | <ul style="list-style-type: none"> 한탁액을 천천히 저어주며 재료분리를 방지 | | | | |

표 9. 국기별 그라우팅 팩커 조사 및 분석

| | | | | |
|-------|---|---|---|--|
| 회사명 |  Atlas Copco |  GMA |  Hany |  ChemGROUT 사 |
| 국가 | 스웨덴 | 스웨덴 | 스위스 | 미국 |
| 장비사진 |  |  |  |  |
| 주요 사양 | <ul style="list-style-type: none"> • 압축식 팩커 <ul style="list-style-type: none"> - 기계식 - 유압식 • 슬라이브형 팩커 <ul style="list-style-type: none"> - 공압식 - 유압식 • 최대작용압력: 130kgf/cm² | <ul style="list-style-type: none"> • 오픈 팩커 • 저압용 팩커 • 고압용 팩커 • 일회용 팩커 • 재사용형 팩커 • 최대작용압력: 100kgf/cm² | <ul style="list-style-type: none"> • 슬라이브형 팩커 • 싱클팩커 • 더블팩커 • 핸드팩커 • 최대작용압력: 100kgf/cm² | <ul style="list-style-type: none"> • 드라이브 팩커 • 기계적 팩커 • 슬라이브형 팩커 • 최대작용압력: 100kgf/cm² |
| 특이사항 | <ul style="list-style-type: none"> • 팩커에 대한 다양한 분석자료 보유 • 세계적인 유통망 보유 | <ul style="list-style-type: none"> • 노르웨이에 강력한 영업 유통망을 보유한 터널공사에 위한 그라우팅 팩커 공급 회사 | <ul style="list-style-type: none"> • 팩커에 대한 상세 분석자료가 부족함 | <ul style="list-style-type: none"> • 팩커에 대한 상세 분석자료가 부족함 |

가지 문제점이 있으며 고 수압 조건에서 사용되어야 할 팩커는 국내에서는 제작 할 수 있는 업체가 거의 없는 상태이다.

표 2 ~ 표 4는 해외국가 및 프로젝트별 그라우팅 시방서를 비교한 내용이며 표 5는 국가별 통합형 그라우팅 장비를 조사 및 분석한 내용이며 표 6은 국가별 그라우팅 펌프에 대한 조사 및 분석한 내용이며 표 7은 국가별 그라우팅 Colloidal 믹서에 대한 조사 및 분석한 내용이며 표 8은 국가별 그라우팅 Agitator(교반기)에 대한 조사 및 분석한 내용이며 표 9는 국가별 그라우팅 팩커에 대한 조사 및 분석에 대한 내용이다.

1.3 시공관리 기술동향

그라우팅 시공관리기술은 크게 1~4세대 기술까지 발전하고 있는데 최근에는 ICT와 그라우팅 기술을 융합하는 4세대 연구가 북유럽국가(스웨덴, 노르웨이 및 핀란드), 일본 및 한국 등에서 활발하게 진행되고 있다. 그라우팅 주입을 암반층 혹은 토사층에 적합한 이론모델을 개발하여 컴퓨터를 이용하여 실시간으로 주입량을 예측하여 실측주입량을 동조화 시켜 결국에는 그라우팅 성능과 비용면에서 최적화 시킬 수 있다 라고 주장하고 있다(J.Y.Rafi 2010). 다소 낮은 감이 있지만 다행히 국내에서도 토사층 등 다차원(多次元)토질에 주입이 가능한 예측 모델을 개발하여 국내실정

에 적합하게 적용하기 위해 노력하고 있다(J.C.Kim & I.M.Lee 2014). 아래 그림 1은 국내외 시공관리기법을 1세대~4세대 기술로 분류한 내용이다.

Kobayashi and Stille(2008) 및 J.Y.Rafi(2010)가 개발한 ROG method는 1~2차원 즉 암반층에만 적용 가능하였으나 J.C.KIM & I.M.Lee(2014)가 개발한 m-ROG method는 (주)한국지오텍과 고려대학교가 공동으로 연구 개발하는 기술로써 3차원의 복잡한 지반 혹은 암반층의 파쇄대가 심한 지층 등에서도 적용이 가능하다. 이 기법은 그라우팅 주입중단 결정을 현장의 데이터를 역해석하여 최적의 주입량을 실시간으로 예측하면서 주입중단을 자동으로 결정 할 수 있는 4세대 주입관리기법이다.

1.3.1 제1세대 기술

각 정지 기준들은 대상지층에서 그라우트의 량을 제한하기 위하여 설정한다. 정지기준을 위한 일반적인 사용 방법은 허용된 최대 압력(p_{max})으로 설정하는 것이다. 간단히 적용하는 방법은 그라우팅은 그라우팅 압력이 한계 압력에 도달했을 때 그 시간 이후 5~10분 후에 정지 할 수 있으며 그 시간동안 압력은 거의 최대 압력에 근접해야 한다. 최대체적(V_{max})은 정지기준으로 고려한 높은 압력이 있거나 혹은 없든지 그라우팅을 정지하기위한 한 가지 수단이 될 수 있다. 그라우트 배합의 물-시멘트비는 만약 기대했던 것보다 흩에 그라우트 주입량이 많이 필요할 경우 일반적으로 낮게 조절 한다.

최소주입량(V_{min})은 역시 최대압력 및 최대 체적과 함께 정지기준으로 사용된다. 예를들면, 그라우트 주입량이 2분 지속할 동안 거의 0.0이 되었을 때, 그라우팅은 정지 할 수 있다. 최소 유입량 기준은 일반적으로 토사 층보다는 조인트가 단단한 암반층에서 아주 낮게 설정된다.

정지기준들, 즉, 높은압력(p_{max}), 최대체적(V_{max}) 및 최소 주입량(V_{min})에 근거한 기준은 일반적으로 그라우팅 시공시 대부분의 현장에서 사용되고 있다.

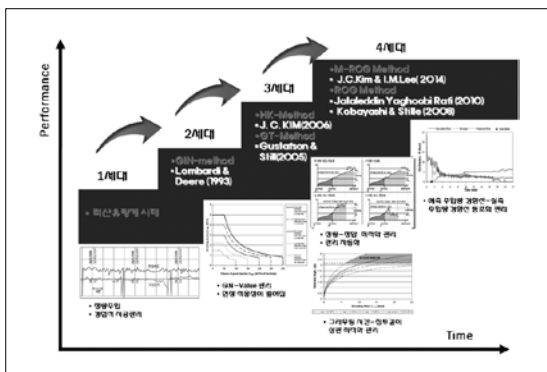


그림 1. 국내외 그라우팅 시공관리 기술 동향 분석(김진춘, 2014)

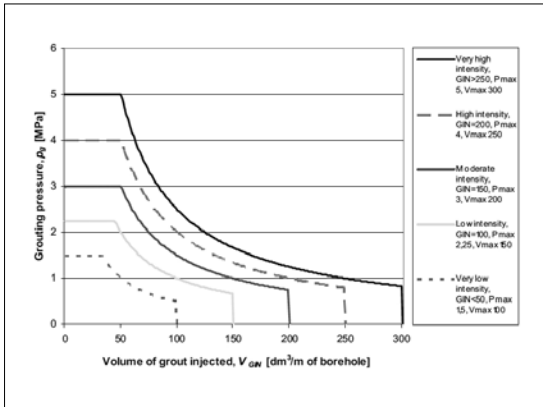


그림 2. GIN-method(Lombardi & Deere 1993)

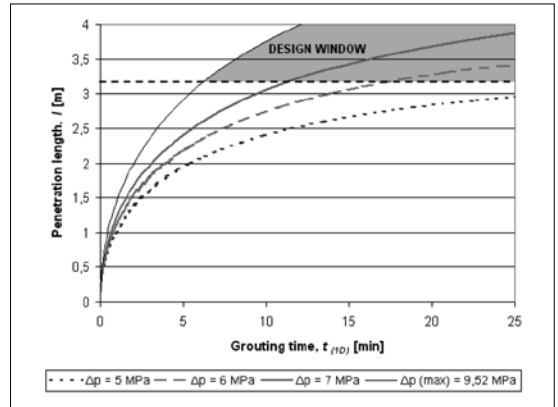


그림 3. GT-method (Kalle Hollmen, 2008)

1.3.2 제2세대 기술

Lombard and Deere(1993)가 제안한 그라우팅 시공관리 방법이며 2세대로 분류된 기술인 GIN-method의 원리는 어떤 주어진 그라우팅 간격(혹은 범위)에서 그라우팅을 위해 소요된 에너지(the energy expended)는 대략 최종 그라우팅 압력과 주입된 그라우트 체적과의 곱한 데이터에 비례 한다고 정의하고 있다. 하지만, GIN-method는 현장 적용성이 떨어진다고 보고되고 있다(그림 2).

1.3.3 제3세대 기술

스웨덴의 Chalmers 공과대학교(Chalmers University of Technology)와 Royal 공과대학교(Royal University of Technology)에서 공동개발한 그라우팅 방법이며 예상 침투범위를 가정한 후 적합한 주입압과 주입시간을 예측 할 수 있는 주입관리 프로그램이라고 할 수 있다(그림 3). 이 방법의 주요 쟁점은 주입동안 걸리는 시간이다. 이론상으로, 최대 침투 거리에 이르기 위해서는 무한한 시간이 걸리며 침투길

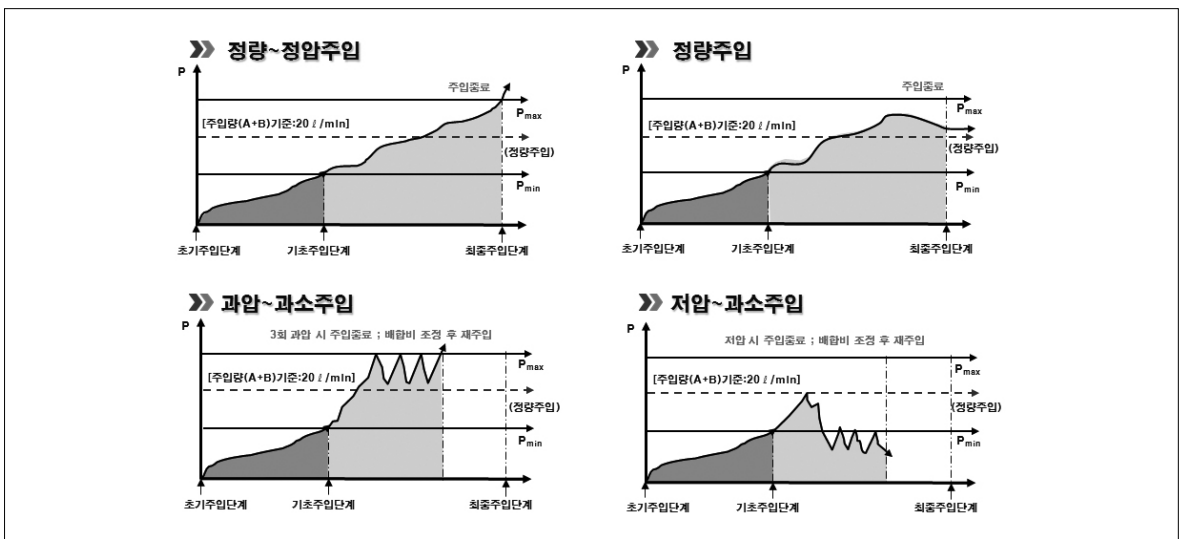


그림 4. HK method(김진춘, 2012)

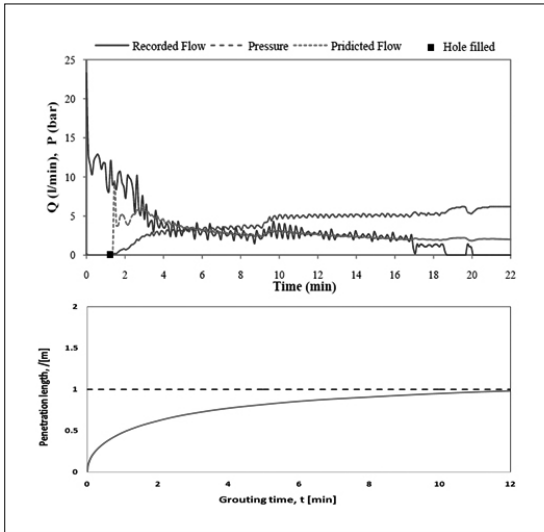


그림 5. ROG-method
(Kobayashi & Stille, 2008 ; J.Y.Rafi ,2010)

이와 그라우팅 시간 간의 기본적 관계는 상대적 침투 길이는 천공홀 작업에 의해 잘려있는 모든 절리들에서 동일하다는 것을 의미하며 고유시간은 1차원 가능침투길이의 약 88%에 도달하기 위해 필요한 시간이며 2차원 가능침투길이의 약 59%에 도달하기 위해 필요한 시간이다(Gustafson and Stille 2005).

HK-method(김진춘, 2012)는 주입압의 최대치와 최소치를 시험주입으로 결정한 후 최대치와 최소치 범위안에서 주입되도록 제어하면서 시공할 수 있는 AGS(automatic grouting system)를 이용하여 주입 중단에 대한 시공관리를 다음과 같이 4가지 모드로 정립하여 현장에서 실시간으로 적용함으로써 주입 중단 기준을 자동으로 적용할 수 있게 해주는 주입시공관리 기법이다(그림 4).

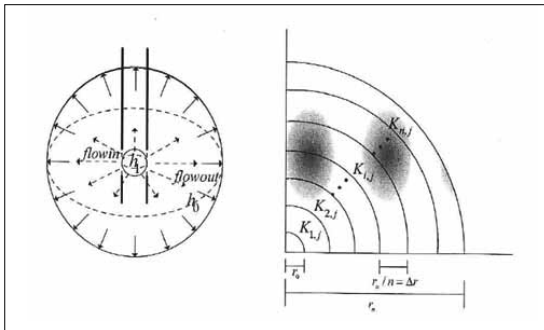


그림 6. 구면 침투 모델 (김중선, 2005)

1.3.4 제4세대 기술

Kobayashi & Stille(2008) 및 J.Y.Rafi(2010)가 개발한 ROG-method는 1차~2차원 지반 즉 암반에만 적용할 수 있는 주입량 예측 시스템이며 ROG-method의 장점이라면 그라우팅 시공관리기술의 최신의 기법이며 예측된 주입량곡선과 실측된 주입량곡선을 실시간으로 동조화 시키며 그라우팅 비용과 성능면에 최적의 시공품질을 구현 할 수 있는 것이라고 할 수 있다(그림 5).

최초의 시도로는 M. Brantberger et al(2001)가 그라우트 침투영역의 예측을 위한 수치적 계산방법을 구성하기 위하여 시도한 것이었으며 그들은 만일 절리간격과 침투된 그라우트재의 마찰각을 알 수 있다면 그라우트 영향범위 및 과다파쇄를 제어 할 수 있다고 하였다.

Kim&Lee(2014)가 개발한 m-ROG method는 (주)한국지오택과 고려대학교가 공동으로 연구개발한 4세대 시공관리기술로서 토사층 혹은 파쇄가 심한 암반층 등에 적용하기 위해 다차원 주입모형을 개발하여 침투범위와 그라우팅 주입중단 결정을 할 수 있는 그라우팅 시공관리 방법이며 그 동안 다차원 지반에 예

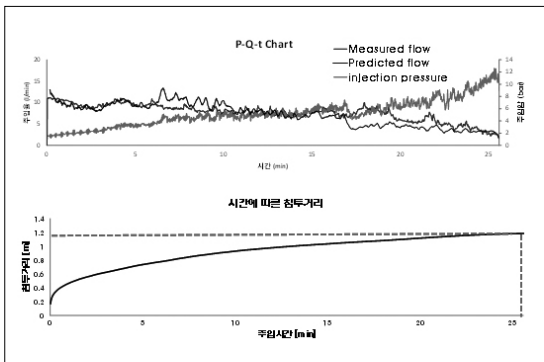


그림 7. m-ROG method (Kim&Lee 2014)

측하기 어려웠던 침투범위와 그라우팅 주입중단 결정을 위해 그림 6과 같이 구면침투모델(김종선, 2005)을 이용하여 점도변화와 동수경사변화에 의한 폐색효과를 이용한 m-ROG 알고리즘 기반 관리기법을 개발하

게 되었으며 이는 현장의 data를 feedback하고 역해석하여 최적의 주입량(Q)을 실시간으로 예측하면서 주입중단을 자동으로 결정 할 수 있는 실시간 최적화 그라우팅 주입관리기술이다(그림 7).

