

연속주입식 강관보강장치를 이용한 지반보강공법 (철도신기술 2010-0036호)



민 경 남 |
(주)세종이엔씨
대표이사



이 재 원 |
(주)세종이엔씨
이사



이 중 관 |
(주)세종이엔씨
부장

1. 서론

보강재로 이형철근 및 강봉을 사용하는 기존의 비탈면보강 공법들은 보강재의 전단강도만을 주요 설계인자로 하여 보강이 수행되기 때문에 그림 1과 같이 보강재와 그라우트재 사이의 부착저항력 부족으로 붕괴사고가 발생하는 사례가 빈번히 발생되고 있다. 특히 비탈면에서 중력식 쓰일네일링 공법을 개선하기 위해 가압그라우팅을 적용한 방법들도 주입의 효율성을 높이기 위해 천공홀 내부를 별도로 채워서 주입(실링)하거나, 기계식 패커를 이용하여 천공홀을 구간별로 밀착시키고 주입구를 밀봉(코킹)하는 등 별도의 처리방법을 적용하고 있다. 또한 보강심도가 깊은 지반의 경우는 구간별 그라우트재의 주입량 조절이 매우 중요하지만 종래의 주입장치와 방법으로는 정밀시공이 어려워 그라우트재가 일부분에 집중되거나 지표로 유출되는 등의 문제점이 있다.

이러한 문제점 해결을 위해서 본 신기술은 천공 후 패커가 설치된 강관을 삽입하고 이동식 패커를 이용해 그라우트재를 연속주입함으로써 강관에 의한 전단저항력 증대와 그라우트를 통한 원지반의 전단강도를 향상시킬 수 있도록 고안된 공법이다. 또한 공정이 단순하고 시공방법이 간단하므로 비탈면 및 터널의 보강, 기존철도 노반하부 원지반 강

화, 도심 흠막이 구조물 등의 지반보강 그라우팅공법으로써의 활용범위가 넓다.

2. 신기술 특징

2.1 재료 및 구조적 특징

기존에 적용되어왔던 이형철근(SD35)을 배제하고, 역학적으로 성능이 우수한 구조용 탄소강관(KS D 3566)을 적용하였다. 강관제원은 $\Phi 48.6$, $\Phi 60.5$, $\Phi 114.0\text{mm}$ 등 다양하게 활용할 수 있으며, 부식에 대한 저항성이 뛰어나고, 일체화된 고강도강관 적용으로 구조적 안정성을 향상하였다.

천공홀 입구는 패커시스템을 이용한 기계식 주입방식을 적용하여, 그라우트재 주입시 주입재가



그림 1. 쓰일네일링 보강 후 사면붕괴 형태

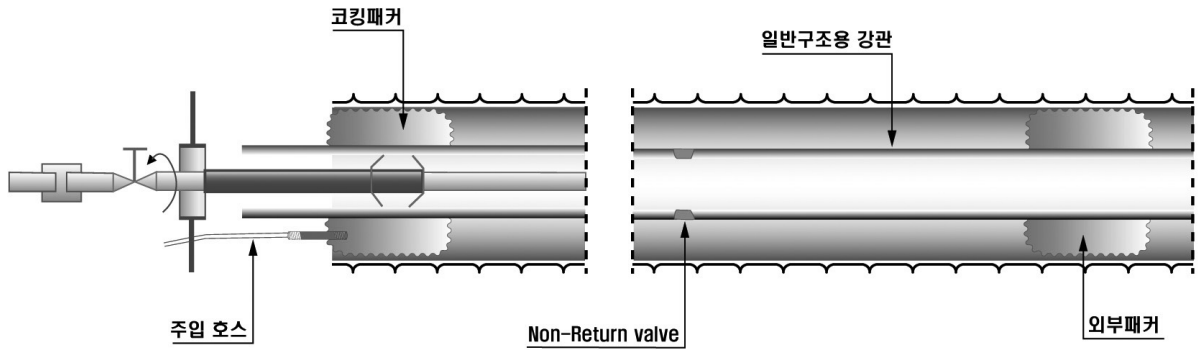


그림 2. 신기술 구조

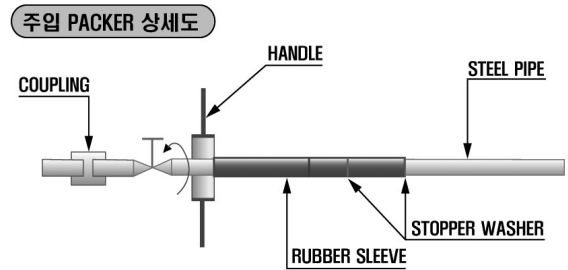
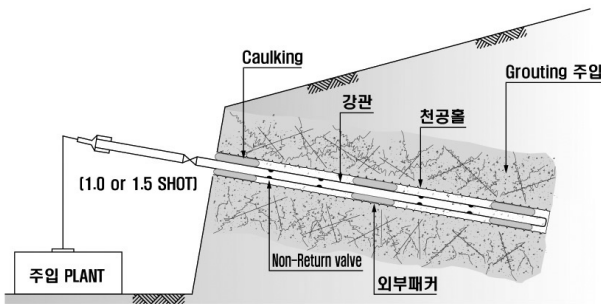


그림 3. 주입방법 및 상세구조

천공홀에서 지표로 유출되는 것을 방지하고, 주입부의 밀실한 코킹을 가능토록 하였다. 뿐만아니라 인력작업으로 수행되던 코킹작업을 기계화하여 시공성을 대폭 개선하였고, 이로인한 공기단축으로 경제성을 증대하였다.

강관 외부에는 3~5m 간격으로 고정식 패커를 설치하여 그라우팅과 실링작업을 동시에 수행할 수 있고, 그라우트 주입시 주입제의 역류를 최대한 방지할 수 있어, 불필요한 공정을 사전에 제거하여 시공편의성을 향상하였다.

2.2 주입방법

중력식 쓰일네일링은 무압으로 시멘트를 3~5회 반복적으로 주입하는 방식이므로 그라우트재가 주변지반으로 확산되기가 불가능하여 실질적인 유효경 증대효과가 없었다.

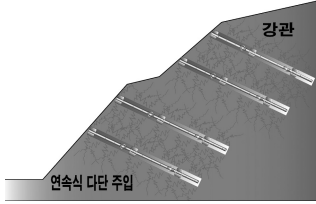
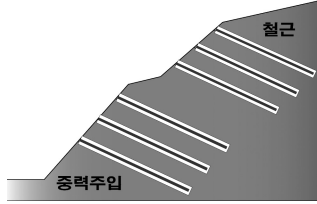
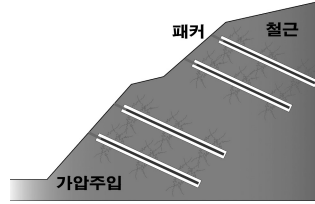
하지만, 본 신기술은 강관외부에 설치된 패커시스템으로 정밀한 가압(10~20kg/cm²) 그라우팅을 수행할 수 있어 보강에 따른 유효경 확대를 통한 주변지반 강도를 한층 더 증진시킬 수 있다. 또한, 3~5m 간격으로 연속식 다단주입

방식을 채택하여 실링과 주입을 동시에 수행할 수 있어, 실링을 위한 별도의 공정이 필요 없도록 단순화하였다. 더불어 그라우트재의 역류방지를 위해 수행하던 코킹작업을 기존의 인력주입방법에서 기계주입방식으로 개량하여 주입부에서의 밀실한 코킹이 가능토록 하였다. 그리고 일반적인 토사지반에서는 1.0shot 방식을 적용하고, 지하수 유출이 많고, 느슨한 지반 등 불량한 지반에서는 1.5shot 방식을 적용해 시공시 발생하는 불확실성에 대처가 용이하도록 하였다.

3. 기존공법과의 비교

다양한 지반보강 공법중에서 가장 활용도가 높은 비탈면 분야를 대상으로 공법비교를 수행하였으며, 비교대상 공법은 일반적으로 가장 많이 적용되고 있는 중력식 쓰일네일링 공법과 신기술과 유사한 압력주입식 쓰일네일링

표 1. 기존공법과의 비교검토

구 분	연속주입식 강관네일링	중력식 쏘일네일링	압력주입식 쏘일네일링
개요도			
장단점	<ul style="list-style-type: none"> 고강도강관 사용으로 비탈면 활동 저항력 우수 가압그라우팅(10~20kg/cm²)으로 주변 지반보강효과 증대 연속식 다단 주입으로 충전 효과 극대화 지반조건에 맞는 주입방식 적용 가능 (1.0, 1.5shot) 신선한 암반층 등 저투수성 지반에서 주입효과 저하 	<ul style="list-style-type: none"> 시공이 간단하며, 재료구입 용이 특허 등의 제한 사항이 없어 시공시 선택 폭 넓음 불량지반, 지하수유출구간 적용 곤란 충전식 주입방식으로 강도증대효과 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> 압력식 그라우팅으로 지반보강효과 양호 그라우팅 유효경 확대에 따른 인발저항력 증가 설치된 패커 회수 불가 가압범위 좁음(10kg/cm²이하) (그라우팅 효과 부족) 1.0 Shot 주입방식 (주입재 이탈시 대처 곤란)
경제성	0.1	1.2	1.1

공법을 선정하여 표 1과 같이 검토하였다. 기존 중력식 공법의 불량지반 적용성 문제점 해결을 위해 도입된 압력주입식 방법은 가압범위가 좁아 주변지반 강도 증대효과가 다소 미흡하였다. 이에 본 신기술은 가압범위를 키우고, 다단주입방식을 도입하여 확실한 보강효과를 얻을 수 있도록 하였으며, 네일 설치간격 확대를 통해 타공법보다 우수한 경제성을 확보할 수 있도록 하였다.

4. 재료 및 현장시험

4.1 재료시험

일반구조용 탄소강관(KS D 3566, Ø48.6×4T)을 이용하여 한국화학시험연구원에서 KS 규정에 따라 항복강도, 설

표 2. 기존공법과의 비교검토

항복강도(f_y)	4,171kgf/cm ²
단면적(A)	5.605cm ²
설계 인장강도(T_R)	$0.5f_y \cdot A = 117\text{kN}$
단면계수(Z)	$\pi/32 \cdot \{D_4 - (D-t)4\}/D = 5.781\text{cm}^2$
탄성계수(E_s)	200,000MPa
단면2차 모멘트(I_s)	$\pi/64 \cdot \{D_4 - (D-t)4\} = 14.048\text{cm}^4$
휨강성률(EI)	28kN · m ²
결과분석	설계인장강도는 117kN

계인장강도 등을 산정하였고, 결과는 표 2와 같다.

신기술의 보강효과 및 현장 적용성 검증을 위해 굴착에 따른 주입범위 확인을 위한 지시약 반응시험과 인발시험을 실시하였다.

4.2.1 지시약반응시험

지시약은 주입재의 확산경로 및 주입범위 확인이 용이한 페놀프탈레인을 사용하였다. 시험시공 완료후 6일이 경과했을때 포크레인으로 시공된 지반을 굴착하여 주입효과를 검증하였으며, 주입범위는 천공홀로부터 최대 2.9m, 평균 1.8~2.0m까지 확산된 것으로 확인되었고, 105mm의 천공경으로 굴착한 후 가압그라우팅을 실시하였을때 지반에 형성된 구근의 둘레는 139mm로 측정되었다. 본 시험을 통해 확인된 가압그라우팅에 의한 평균 주입범위는 1.9m, 확고효과는 132%임을 확인할 수 있었다.

4.2.2 인발시험

설계단계에서 제시한 설계인발력 117kN에 대한 적정성 검증을 위해 공주시 00건설현장에서 현장시험을 수행하였다.



그림 4. 현장시험

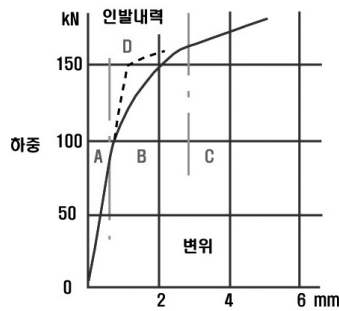


그림 5. 인발내력 평가 개요도

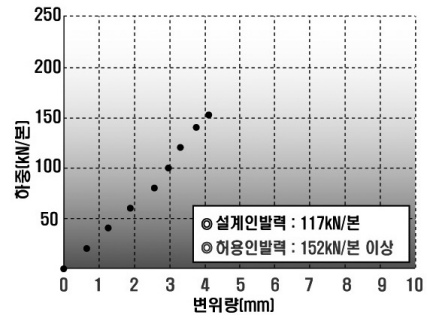


그림 6. 인발시험 결과(6m)

(1) 시험방법

먼저, 지반조건을 고려하여 변위가 발생하지 않도록 현장타설 반력판을 설치한 후, 하부 지압판 거치후 잭 실린더를 강관에 삽입하고, 지압판 안쪽에 공간이 생기지 않도록 시멘트로 완전히 채워서 거동이 발생되지 않도록 하였다. 그리고 강관후미에 측정판을 고정시킨 다음, 인발되는 절대변위를 측정하였다. 유압 펌프와 잭 실린더를 연결하고, 단계별 인발을 실시하였다. 이때 인발하중은 단계별로 10~20kN씩 증가시키면서 변형량을 기록하였고, 인발하중의 재하속도는 10kN/min으로 충분한 정착효과가 확인된 후에 곧바로 반복해서 인발을 수행하였다.

(2) 평가방법

인발시험을 통해 측정된 하중에 따른 변위 자료를 활용하여 하중-변위 곡선을 도시하여 인발내력을 산정하였다. 인발내력은 그림 5의 A영역 직선부 접선과 C영역 접선의 교점 D에 해당한다. 여기에서 정착효과를 기대할 수 있는 영역은 D이고, B, C영역은 강관의 정착효과를 기대할 수 없는 영역이다. 지반강도가 낮아 인발저항이 일어나지 않을 것에 대비하여 강관 길이를 6m, 8m로 설정하여 2가지 경우에 대해서 시험하고 인발내력을 평가하였다.

(3) 시험결과

인발내력의 적정성 확인을 위해 설계인발력의 130%에 해당하는 152kN까지 인발시험을 실시하였으며, 그림 6에서와 같이 인발내력의 한계구간은 확인할 수 없었다.(6m, 8m 동일) 현장 인발시험시 변위량은 4.1~4.5mm로 측정되었으며, 항복하중 및 허용인발력의 최대값은 측정하지

못하였다. 허용인발력은 152kN 이상인 것으로 확인되었으며, 설계인발력 117kN의 130%에 해당하는 수치로써, 연속주입식 강관보강장치를 이용한 지반보강공법 설계시 적용하고 있는 설계인발력은 허용인발력 이하로 적정하였으며, 130%의 과인발시에도 항복하지 않은 것을 고려하면 신기술의 지반강도 증진효과가 상당히 큰 것으로 검증되었다.

5. 시공순서

시공은 그림 7과 같이 6단계로 수행되며, 주요공정의 시공전경은 그림 8에 잘 표현되어 있다.

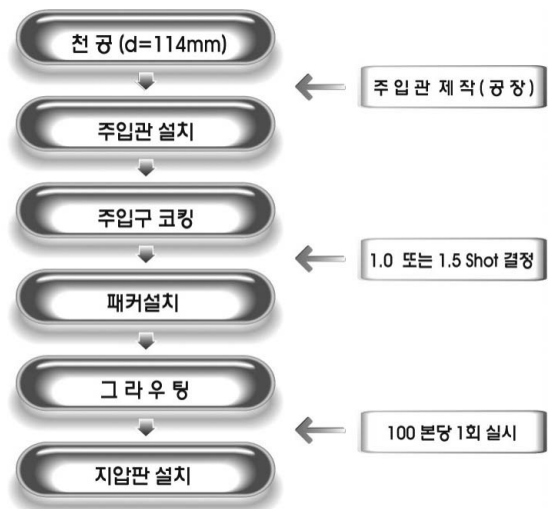


그림 7. 시공순서도



a. 패커부착 강관삽입

b. 패커 설치

그림 8. 시공사진

6. 신기술 개선내용

6.1 시공성

기존 공법은 천공홀 내부를 별도로 채워서 주입하거나, 기계식패커를 이용하여 천공홀을 구간별로 밀착시키고, 패커 주변부를 별도 처리해야하는 번거로움이 발생한다. 그리고 천공홀 채움시 구간별 그라우트재의 주입조절이 어려워 그라우트재가 일부분에 집중되는 등 고르게 주입되지 않거나, 수작업을 통한 코킹은 수행 심도가 얇고, 밀실하게 채워지지도 않아 그라우트 주입시 지표면으로 유출되는 현상이 자주 발생하는 문제점이 있다. 따라서 신기술은 강관의 외부에 고정식 패커를 설치하여 기존 공법의 문제점을 해결하고자 하였다. 강관외부 고정식 패커에 그라우트재를 충전시키고 역류방지 밸브가 장착된 강관을 이용해 천공홀을 채운 후 지반내로 그라우트재를 침투주입함으로써 밀실한 채움이 이뤄지도록 하였고, 1.0 또는 1.5 Shot 주입방식을 적용할 수 있도록 고안하여 일반적인 토사와 파쇄대 및 암반절리가 많은 연약대 등에 차등 적용할 수 있도록 하였다. 이러한 장치와 시공방법 개선으로 그라우트재의 이탈방지과 지반조건에 따른 주입량 및 압력 조절이 용이하게 하여 시공성을 크게 향상하였다.

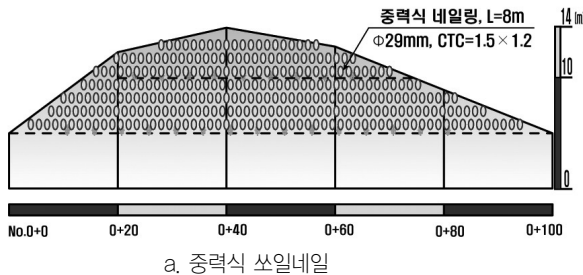
6.2 안전성

지반에 변위가 발생하게 되면 토압이 강관의 휨모멘트와 전단력을 유발시키는 파괴메카니즘으로 작용하게 된다. 활동력 작용시 지반은 흙과 강관사이의 상호작용으로 발생하는 강관내력과 주변마찰력 등의 저항력으로 파괴에 저항하게 된다. 따라서 본 신기술은 휨강도의 개선을 위해 이형철근 대신 고강도 강관을 사용하였으며, 주변마찰력 증대를 위해 압력주입 효과를 극대화 할 수 있는 연속주입식 다단그라우팅 방식을 도입하였다. 이러한 재료 및 장치, 주입방식 개선을 통해 재료의활동저항력을 높이고, 주변지반의 전단강도 증진으로 확실한 지반 안전성을 확보하였다.

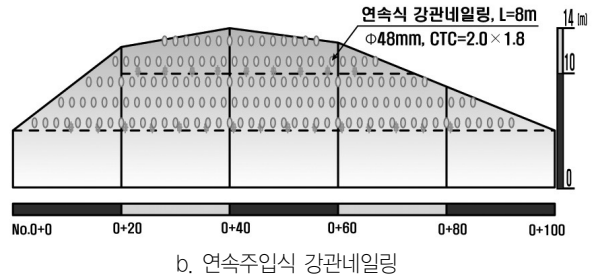
6.3 유지관리

열차운행 속도의 향상으로 철도구조물, 궤도, 인근 비탈면이 받는 스트레스가 증가하게 되었다. 그 중에서도 철도 노반 및 비탈면은 지진동 뿐만 아니라, 열차운행에 따른 진동의 영향도 증가해 유지관리의 중요성은 더욱 커지고 있는 현실이다. 따라서 네일 설치개소 감소, 내구성 증대를 통해 유지관리 최소화 계획을 수립하였다.

우선, 네일 설치개소 감소를 통한 유지관리를 최소화 하도록 가압그라우팅방식을 통해 주변지반의 강도를 증대시켜 동일한 지반조건에서 일반 중력식 쓰일네일에 비해 약 40%정도 네일설치개소를 감소할 수 있게 되었다. 그리고 내구성 증대를 통한 장기적 안정성 확보를 위해 보강재를 이형철근에서 강관으로 개선하여 비탈면의 휨저항력을 증대시켰고, 다단주입으로 그라우트 품질향상으로 설계인발력이 향상되어 불필요한 유지보수를 사전에 예방할 수 있도록 개선하였다.



a. 중력식 쓰일네일



b. 연속주입식 강관네일링

그림 9. 보강전개도

6.4 경제성

전술한 기술적 개선사항을 실질적으로 현장에 적용하기 위해서는 경제적인 경쟁성을 확보하는 것이 매우 중요한 요소이다. 따라서 기존 중력식 쓰일네일링 공법과 신기술의 공사비를 비교검토 하였다.

검토는 실제 시공된 현장을 기준으로 수행되었으며 비탈면의 규모는 연장 100m, 높이 14m이고, 비탈면 형상 및 공법별 보강재 설치간격은 그림 9와 같다. 보강재 설치간격은 범용해석프로그램인 Talren 97로 해석을 수행하여 동일한 안전율(우기시 1.23)인 경우로 선정하였다. 상기 조건들을 고려하여 산정된 공사비는 표 3과 같이 신기술 적용시 일반 중력식 쓰일네일에 비해 23%의 절감효과가 있음을 알 수 있다.

표 3. 공사비 검토

구 분	연속주입식 강관네일링	중력식 쓰일네일
지층조건	토사층	토사층
보강재 설치간격(m)	2.0 × 1.8	1.5 × 1.2
보강면적(m ²)	421	421
직접공사비(억원)	1.4억	1.8억
경제성 평가	1.0	1.2

7. 활용전망

연속주입식 강관보강장치를 이용한 지반보강공법은 공정이 단순하여 시공방법이 간단하므로 깎기비탈면, 터널, 기존 철도노반 하부 원지반 강화, 흙막이 구조물(가시설) 등의 지반구조물 보강그라우팅 공법으로써의 활용가치가 높다.

7.1 비탈면 분야

국내에서 비탈면 보강시 적용되는 쓰일네일공법은 Top-Down 방식 또는 파괴면의 보수, 보강용으로 적용된다. 특히 비탈면의 보강공법중 기울기완화공법은 과도한 자연훼손 및 용지보상으로 인해 적용이 제한적이고, 옹벽 등 구조물을 이용한 보강은 시공성 및 경제성이 불리한 경우가 많아 시공장비가 소형이고 경제성이 양호한 네일링 공법이 최적 대안으로 제시되는 경우가 많다. 이러한 상황에서 동일한 소형장비로 시공이 가능하고 보강효과가 탁월한 연속주입식 강관보강 장치를 이용한 지반보강공법은 안정성 및 경제성에서 우위에 있으므로 그 활용성이 높다고 할 수 있다.

7.2 터널 분야

일반적인 강관다단 주입방식은 인력식 코킹 작업과 천공후 강관을 삽입하고 천공경을 채우는 형태로 시공이 이

뤄지고 있다. 하지만 신기술은 코킹부에 패커를 설치하여 기계식 주입방식으로 그라우트를 주입함으로써, 시공편의성 및 주입부 역류방지 효과를 향상시킬수 있다. 또한 강관외부에 고정식 외부패커를 설치하여 그라우트 주입과 실링을 동시에 수행하고, 천공경 내부를 밀실하게 그라우팅 할 수 있어 원지반의 강도 증대와 터널에 가해지는 상재하중, 토압 분산효과를 최대화할 수 있는 장점이 있다.

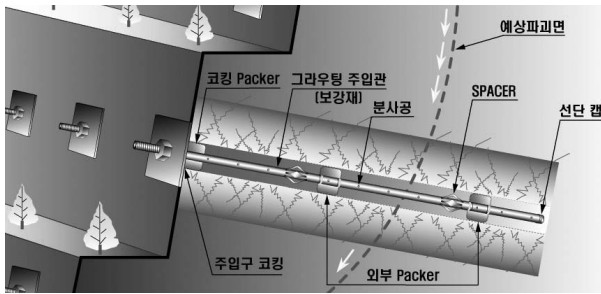
7.3 철도노반 분야

국내에서 고속철도의 침하량 기준이 강화되었고, 신설 구간에서 콘크리트궤도 채택에 따른 과도한 시공 및 유지관리비용이 급증하고 있다. 호남고속철도 건설과 같이 노반 하부 연약지반의 장기 침하로 인해 발생하는 궤도 손상 시 유지보수 측면에서 연속주입식 강관보강공법은 시공성과 안정성에서 유리하다. 소형장비를 이용하여 노반하부 원지반을 신속하게 보강할 수 있으며 강관의 강성으로 말뚝효과와 다단그라우팅으로 지반개량까지 가능하여 침하가 발생한 노반의 원지반 강화와 안정성 증대를 위해 활용성이 클 것으로 기대된다.

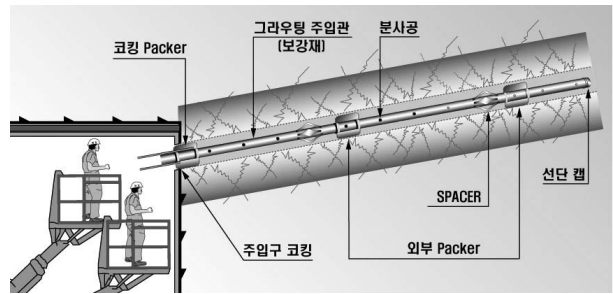
7.4 흙막이 구조물 분야

도심지 지반굴착에 있어 인접한 곳에 지중매설물, 지하철 관련 구조물 또는 건물기초 등이

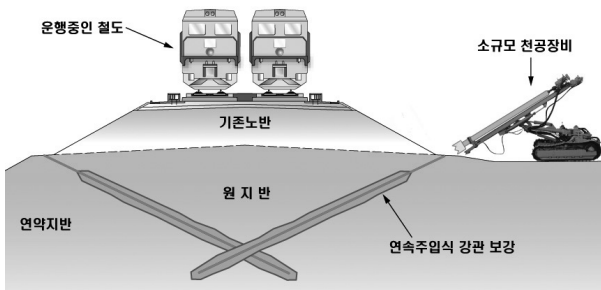
존재하는 경우를 자주 접하게 된다. 이와 같은 경우에는 인접구조물과의 이격거리 제한으로 인해 앵커시공이 불가능한 경우가 자주 발생하므로, 연속주입식 강관보강장치를 이용한 지반보강공법은 구조물 안정성 확보를 위한 가시설 설치시 본당 지지력이 증가되어 안정성 및 경제성 향상 뿐만 아니라 변위제어차원에서도 적용성이 탁월할 것으로 전망된다.



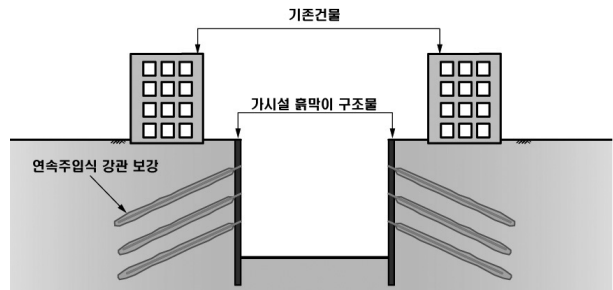
a. 비탈면 분야



b. 터널 분야



c. 철도노반 분야



d. 흙막이 구조물 분야

그림 10. 활용 분야

8. 결론

신기술은 고강도 강관을 사용하고, 다단식 가압그라우팅을 수행함에 따라 보강재의 강도증대뿐만 아니라 주변지반의 개량효과로 시공현장의 안정성을 극대화할 수 있다.

그리고 주입부에 코킹을 위한 패커를 설치하여 기계식 주입방식을 채택함으로써 인해공기단축 및 시공성을 향상하

였으며, 가압그라우팅으로 설치간격을 넓힐 수 있어 기존 공법들에 비해 20~30%의 공사비 절감을 달성하여 경제성에서도 우수한 것으로 사료된다. 또한 공정이 단순하고, 시공이 용이해 다양한 분야에서 응용이 가능해 연속주입식 강관보강장치를 이용한 지반보강공법의 활용가치는 상당히 클 것으로 기대된다. ☺