

Multiple Pipe를 이용한 터널 보강 공법



유용선
(주)케미우스코리아
부사장

1. 개발배경

일반적으로 강도 및 자립성이 낮은 지반에서 터널을 굴착하거나, 지반 이완으로 인하여 주변 건물의 침하가 예상되는 경우 터널 굴착의 안정성을 확보하기 위하여 지반 보강 공법을 사용하게 된다. 이러한 보강 공법 중 가장 널리 사용되고 있는 것 중 하나가 강관 다단 그라우팅 공법이다. 강관 다단 그라우팅 공법은 터널 굴착에 선행하여 막장에 설치된 강관 파이프의 강성과 파이프를 통한 그라우팅 주입재의 침투 효과로 인하여 주변 지반의 차수 및 보강 성능이 향상시키는 공법이다. 그러나 실제로 시공시 코킹과 실링의 분리 시공 및 패커 방식에 의한 다단 주입으로 인하여 시공 기간이 지연되고 공사비가 증가하는 등의 문제점이 발생하는 경우가 많다. 이러한 단점을 보완하고 지반 보강 성능을 향상시키기 위하여 다발 강관 파

이프를 사용하여 강성을 증가시키고, 별도의 패커가 필요 없이 다단 주입이 가능한 Multiple Pipe(MP) 그라우팅 공법을 개발하였다.

2. 기술의 원리

MP 그라우팅 공법은 기존 강관다단 그라우팅 공법과 유사한 터널 보강 공법으로 풍화토, 풍와암, 절리가 심한 암반, 단층대 등에서 지반 강도 증가와 차수 향상을 위한 터널 보조 공법이다. 일반적으로 하나의 강관만을 사용하는 기존의 강관 다단 그라우팅 공법과 달리 강관의 강성을 증가시키기 위하여 소구경의 강관을 다발로 묶은 복합 구조체(MP강관 다발)를 사용하였다. 또한 강관 다발에 방사형으로 분출구를 설치하여 별도의 패커 없이 동시 다

단 주입이 가능하도록 하여 공기를 단축시킬 수 있도록 하였다.

3. Multiple Pipe 그라우팅 공법의 구성 및 원리

Multiple Pipe 공법을 위한 다발 강관은 지름 21.7mm 혹은 48.6mm의 소형 강관을 네 본씩 일체화한 형태로 구성된다(그림 1). 지름 21.7mm 강관을 사용한 다발관은 유효 직경 74mm의 소구경 MP로 직경 105mm의 천공홀에 사용되며, 지름 48.6mm 강관을 사용한 다발관은 유효 직경이 130mm로 직경 150mm의 천공홀에 사용된다(그림 3). 각 다발관에는 일정한 간격으로 그라우트 분출구가 설치된다. 총 길이 12m의 다발관 구조체는 3m 간격(C.T.C 3.0m)(그림 2)으로 간격재가 설치되었으며 이 간격재는 그라우트가 분출되는 다발관을 천공홀의 중앙부로 배치하는 역할을 하여 그라우팅 후 균등한 그라우트체가 형성

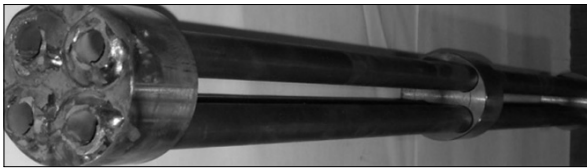


그림 1. MP 다발관 구조체

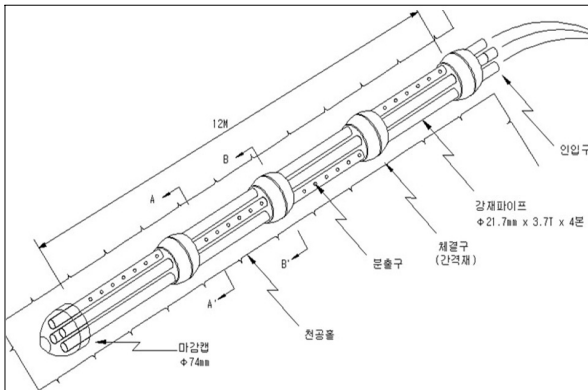


그림 2. MP공법의 기본 구성 시스템

되도록 한다. 일반 강관 다단 그라우팅의 경우 천공홀과 강관의 직경 차이로 인하여 강관 삽입시 강관이 천공홀의 중앙에 놓이지 않아 불균등한 그라우트체가 형성되기 쉽다.

일정한 간격(3m)에 따라 다발관에 설치된 주입홀에서 그라우트체가 분출되므로 패커를 사용하지 않는 다단 순차 주입방식으로 기존 그라우팅 공법에 비하여 공정이 단순하며 공기 감소 및 공사비 절감이 가능하다. 또한 강관 내부에 패커를 주입하지 않고 강관 다발관 외부에 설치한 코킹백을 사용하여 코킹과 실링을 동시에 처리하여 시공 기간을 획기적으로 감소시킬 수 있다.

MP공법의 시공순서는 다음과 같다. 터널 막장면 보강 위치에 직경 105mm 혹은 150mm의 홀을 천공한 후 MP 강관을 삽입한다. 그 후 그림 4에 나타난 방식의 코킹백을 사용하여 코킹과 실링을 시공한 다음 MP 다발관을 통하여 그라우트체를 다단/순차 주입한다. 다단/순차 주입은 네개의 소구경 다발관 순서대로 주입한다(그림 5). 우선 가장 선단에 위치한 1번 강관을 통하여 1차 그라우팅 주입을 한 후 2번 강관을 따라 2차 주입 순서로 그라우트체를 순차적으로 주입한다.

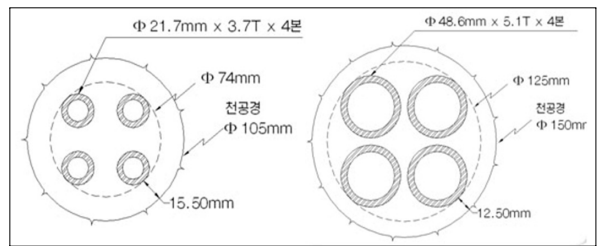


그림 3. 소구경 MP강관 및 대구경 MP강관 단면

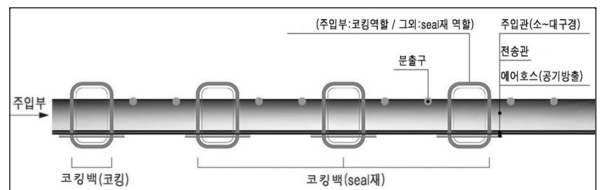


그림 4. 코킹/실링 동시시공

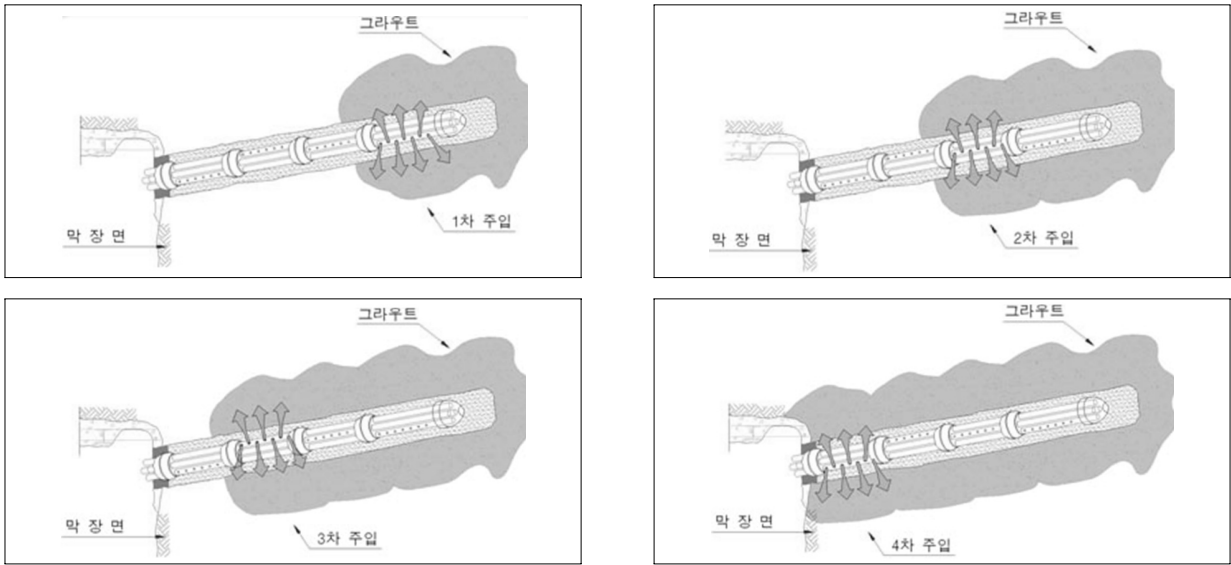


그림 5. 다단순차 주입 상세 순서

4. 기술의 특징 및 효과

천공후 강관 삽입, 코킹, 코킹 양생, Seal재 주입, Seal재 양생, 그라우트 주입의 순서로 시공되는 일반 강관 다단 그라우팅 공법의 경우 코킹부터 Seal재 양생에 15시간 가량이 소요된다. 이에 반하여 MP 보강 공법은 코킹과 실링을 동시 주입(30분 가량 소요)하는 것이 가능하여 강관 다단 시공에 걸리는 시간을 대폭 단축할 수 있다. 이러한

코킹 실링 동시 공정에 의한 시공 시간 단축 이외에 강관 내 패커를 사용하지 않는 다단 순차 주입 방법으로 그라우트 주입 시간을 단축시킬 수 있다. 또한 강관 네개를 다 발관으로 결합하여 복합 구조체를 형성하였기 때문에 일반 강관에 비하여 휨 및 전단 강성이 증가하여 우수한 보강성능을 발휘할 수 있다(표 1).

MP공법의 지반 보강 성능을 검증하기 위하여 수치해석을 통한 해석을 수행하였다. 검토 지반 조건은 풍화토,

표 1. 강관 재료 강성 비교

구분	소구경		대구경	
	기존 강관	MP강관	기존강관	MP강관
규격(mm)	φ60.5 t=4.0 단관	φ21.7 t=3.7 4열 다발	φ114.3 t=6.0 단관	φ48.6 t=5.1 4열 다발
천공경(mm)	105	105	150	150
유효 단면적(mm ²)	710.0	836.9	2041.4	2787.9
단면2차모멘트(x10 ⁵ , mm ⁴)	2.85	3.21	3.00	3.00
강관 휨강성(kN·N)	59.79	67.51	625.64	630.44
단면계수(x10 ⁴ , mm ³)	0.94	1.10	5.25	5.61

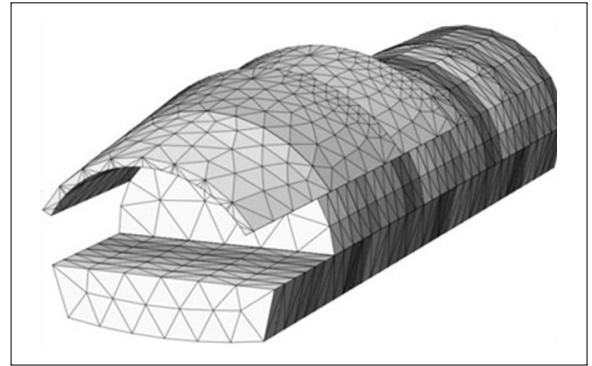
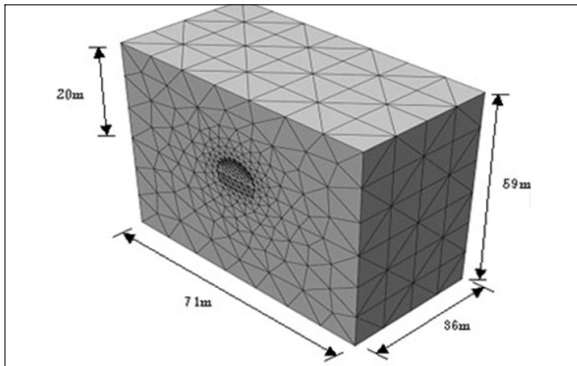


그림 6. 해석단면 및 터널 보조공법 적용 모델링

풍화암, 연암, 경암 등이며 그라우팅 보강 효과를 검증하기 위하여 지보재를 설치하지 않은 경우와 상부 120°에 MP강관 다단 그라우팅을 적용한 경우를 비교하였다(그림 6). 검토 결과 무보강 대비 천단 침하는 28% 감소(42mm → 30.1mm), 내공변위 57% 감소(25.5mm → 10.9mm), 막장면 변위 9% 감소(30.1mm → 27.5mm), 지표면 침하 18%(17.8mm → 14.6mm)의 효과를 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 기술은 강관 다단 그라우팅 보강 공법의 성능을 향상시키고 시공 기간을 단축시키기 위하여 강관의 형태를 개선하고 시공 공정을 단순화하였다. 이를 통하여 우수한 지반 보강 성능은 물론 시공성 및 경제성 측면에서도 우수한 성능을 발현할 수 있을 것으로 예상된다. 특히 터널 단층대 통과 구간이나 상부 연약대에 발생할 수 있는 이완 하중을 보강하거나 굴착시 용수 유출이 예상되는 구간에 본 공법이 적용될 수 있을 것으로 기대된다.