

Annual Technical Report(Part 2)

**“Pipe Umbrella Support 의 연결부”  
에 대한 해외 최신기술 동향**

2022

터 널 지 하 공 간 학 회  
굴 착 및 지 보 기 술 위 원 회

## ■ 목 차 ■

<b>1. 서론</b>	
1.1 개요	3
1.2 개발 동기	3
<b>2. Pipe Umbrella Support (Canopy Tube)</b>	4
2.1 State-of-the-Art connection type	5
2.2 Mode of Action	6
2.3 설계시 고려사항	7
<b>3. 파이프 연결방법 및 특징</b>	8
3.1 표준 나사산 연결 및 니플 연결(기존방법)	8
3.2 압착연결(최신기술)	9
<b>4. 압착연결의 장점</b>	10
4.1 안전의 최적화	10
4.2 재료의 최적화	12
4.3 시공시간의 최적화	13
<b>5. 시공사례(KORALM 터널 LOT3)</b>	14
<b>6. 결론</b>	16

## ■ 그림 목 차 ■

[그림 2.1] Pipe Umbrella Support 개요도	6
[그림 2.2] Proposed static model for an analytical design	8
[그림 3.1] 표준나사산 연결과 니플 연결	9
[그림 3.2] 압착 연결	9

[그림 4.1] AT squeezing unit.....	11
[그림 5.1] AT squeezing unit 을 장착한 천공기.....	15

## ■ 표 목 차 ■

<표 4.1> 튜브 연장에 관한 수동과 자동시공 비교.....	11
<표 4.2> 파이프 재료 비교.....	12
<표 4.3> 연결유형에 따른 기계적 특성 비교.....	12
<표 4.4> 파이프에 따른 시간에 대한 비교.....	14
<표 4.5> 시공시간에 대한 연결 유형의 영향.....	14

# 1. 서 론

## 1.1 개요

국내에서 많이 사용되는 강관보강(Canopy tube system, Pipe umbrella support system) 공법은 1970년대 이후 취약한 지반 조건에서의 터널굴착전 사전 보강공법으로 성공적으로 사용되어 왔다. 초기에는 보강공법 적용시 드릴링 장비의 한계로 Pipe umbrella 설치가 제한되었으나, 지난 수십 년간 기술 발전으로 Pipe umbrella support systems 사용이 증가했다. 굴착 전 전방을 사전 보강하는 지보 개념은 종래의 spiling(short forepoling)과 지반동결 또는 제트 그라우팅 공법과 같은 고비용의 사전보강시스템과의 간극을 확실히 채워주었다. 이 공법은 막장 전방과 작업현장의 잠재적인 불안정성을 보강해주고 공사중 안전성을 높이면서 조우한 지반 조건에 쉽게 적응할 수 있는 높은 유연성을 제공하였다.

최근에 강관보강 공법 적용 중 파이프 연결방식에 대해 두 가지 새로운 대체 연결방법이 설계 및 개발되었다. 첫 번째는 니플 커플링으로 표준 강관의 끝에 압착되어 용접되는 나사산(Threaded) 연결부로 구성된다. 두 번째는 나사산이 없는 강관 끝단을 기계적으로 연결하는 압착 연결로, 드릴 붐에서 압착하여 구현된다. 두 커플링 유형 모두 지보 시스템에서 가장 취약한 부분인 일반적인 나사산 연결에 비해 기술적 이점 뿐만 아니라 작동상의 이점도 있다. 또한, 새롭게 개발된 연결방법의 설계 및 운용상의 이점과 중요한 기술적 차이를 설명하기 위한 현장의 예를 설명하였다.

## 1.2 개발 동기

최초 Pipe umbrella support system은 특별한 지보 대책으로 간주되었고 시공은 지보파이프 한 개로 시공되었기 때문에 롱피드를 가진 특수장비로 시공되었다. 기존 드릴링 장비의 기술 개발로 기본 장비에 대구경 파이프를 시공할 수 있게 되었다. 시공장비 피드길이의 제한으로 인해 파이프의 연결이 필요할 경우 일반적인 나사산(THREAD) 결합에 의해 시공이 이루어졌다.

그러나, 나사산 연결로 이루어진 파이프는 연결부위의 단면계수가 크게 감소하는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 설계시 안전 계수는 2 이상으로 증가시키거나 파이프와 나사산의 부정확성을 포함한 적절한 기하학적 구조에 대해 철저한 구

조계산을 통해 적용되어야 한다.

이런 이유로 일반적인 나사산 연결은 지보의 효율성이 제한된다. 그 결과 일반강 단면의 50% 이상이 시공 중에 미사용 상태로 유지되기 때문에 비용적인 효율성도 매우 낮다.

예를 들어 이러한 문제는 지보파이프에 추가적인 스틸리바를 중심에 위치시켜 문제를 해결했지만 이런 방법은 스틸바의 상대적으로 작은 외경 때문에 매우 효율적이지 않고 따라서 단면계수의 증가는 거의 무시될 수준이다.

이러한 단점을 보완하기 위해 니플 연결의 추가적인 개발로 힘 상태에서 일반적인 파이프 보다 더 강하고 stiff하며, 현장조건에 따라 니플연결이 불필요하므로 설계 시 공시 안전율 조건을 낮추지 않고 보다 단순한 연결 유형인 압착연결 방식이 가능하게 되었다.

## 2. Pipe Umbrella Support (Canopy Tube)

외경이 200mm 미만인 파이프는 특수 장비 또는 기존 지하 굴착 장비를 사용하여 막장면 전방으로 시공된다. Umbrella 파이프는 케이싱 홀 안에 시공되거나 매몰되는 비트 뒤에 따라오는 지보 파이프를 사용하는 자천공 공법으로 시공된다. 파이프는 나중에 굴착된 터널의 상단 주위에 정렬되어 "Umbrella" 또는 "Canopy"를 만든다(그림 2.1). 시공 방법으로 인해 단면의 확장으로 인한 톱니모양의 단면이 만들어진다. 삽입된 파이프길이는 다양하지만 일반적으로 두께가 5.0~12.5mm의 12m, 15m 또는 18m 길이의 파이프가 사용된다. 파이프 내부와 외부 공간에 그라우팅한 후, 파이프 하단부를 굴착한다. 기 설정된 길이로 굴착후 톱니모양 단면에 의해 생긴 공간을 활용하여 동일 공정을 반복적으로 시행한다. 이 공법의 경우 전 세계적으로 예시와 같이 몇 가지 이름이 사용된다. (예: Steel pipe umbrella system, Umbrella arch method, Pipe forepole umbrella, Long-span steel pipe fore-piling method, Steel pipe canopy.)

이 공법은 굴착 전 추가적인 보강 조치로 지표면 침하, 터널 안전성 증가, 예측되는 지반의 불확실성에 대응하기 위해 적용한다.

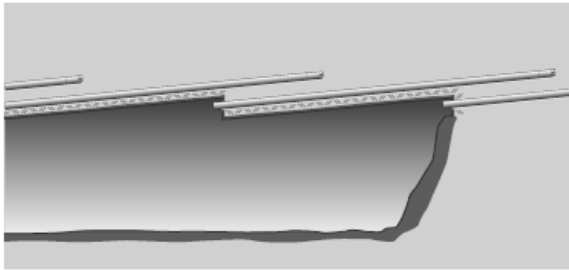
설계시 Pipe umbrella support system이 선택되는 경우 파이프 모양은 일반적으로 해석법 또는 복잡한 3차원 수치 계산을 사용한다. 해석법으로는 Oreste와 Peila, Volkmann과 Schubert 등이 제시하였으며, 전체 모델에 대한 매개변수는 후공정을 생각해서 합리적인 결과를 얻기 위해 매우 신중하게 선택해야 한다. 이 설계 과정의 결과는 적어도

Pipe umbrella support system의 각 부분에 의해 거동될 수 있는 최소 탄성 모멘트를 가져야 한다. 이것은 파이프 치수, 강재 등급 및 커플링, 주입구 등과 같은 공법 특성으로부터 독립성을 유발한다.

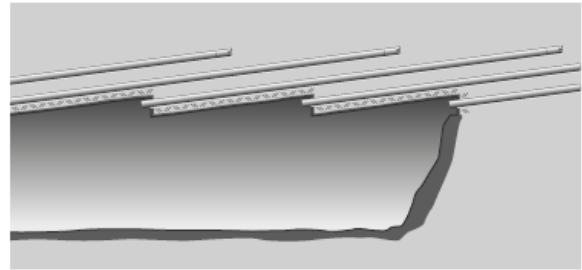
## 2.1 State-of-the-Art connection type

초기 'Tunnelling with Steel Support'(Proctor and White, 1964)에 의하면 연약하고 복잡한 지반에 대한 포폴링 방법으로 나무말뚝을 사용하는 것을 논의했다. 그 후, 현장의 불안정성과 붕괴를 억제하기 위해 터널 막장 전방에 추가적인 보강을 제공할 목적으로 약간 다른 몇 개의 개념이 발전해 왔다. 동시에 기술적인 적용을 위해서 전문용어들 또한 발달했다. 일부 사전보강공법은 명확한 정의에 의해 구분되지 않았고 같은 시스템에 다른 이름이 사용되어 왔다. 예를 들어 Pipe umbrella support system 또한 전 세계 문헌에서 Steel pipe umbrella (Oreste and Peila, 1998), Umbrella arch method (Kim, Koo and Bae, 1996), Pipe fore-pole umbrella(Hock, 2003), Long-span steel pipe fore-piling(Miura, 2003), Steel pipe canopy (Gibs et al, 2002)로 표현되었다. 모든 용어는 굴착 전에 실제 막장면에서 지반까지 시공되는 파이프로 구성된 지보 시스템을 나타내며 일반적으로 Umbrella 파이프의 길이는 12.0m에서 18.0m이며 터널의 외주를 따라 배치된다. 파이프의 외경 범위는 70mm에서 200mm이다.

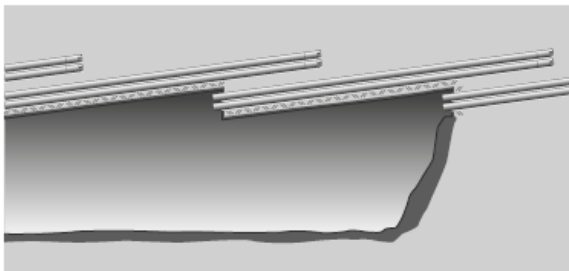
Single AT – Pipe Umbrella



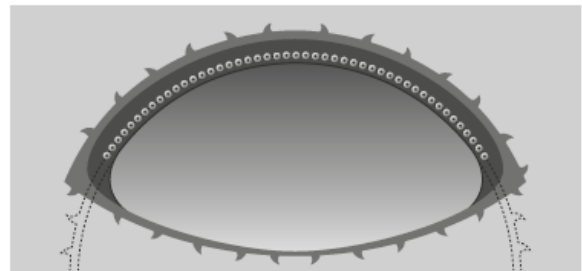
Single AT – Pipe Umbrella with Double Overlap



Double AT – Pipe Umbrella



Cross Section when Excavating under an AT – Pipe Umbrella



[그림 2.1] Pipe Umbrella Support 개요도

## 2.2 Mode of action

파이프 내부의 힘은 시공 후 거의 존재하지 않으며, 이는 록볼트 또는 강지보재 같은 다른 수동 지보방식과 유사하다. 새로 시공된 파이프는 이전의 거동에 영향을 받지 않지만, 시공 후 모든 시공과정은 하중 분배의 원인이 되고 파이프의 지보효과를 발휘하기 위해 변형이 시작된다. 변형은 주로 터널굴착에 의해 발생되며 3차원 변위 특성은 각각의 Pipe umbrella 시공후 지보 효과의 활성화에 영향을 받는다.

각 파이프는 종방향 및 방사형으로 막장 전방에 시공된다. Pipe umbrella 지보재의 내구력과 강성은 지반의 물성과 1차 지보(숏크리트, 스틸빔)의 내구력과 강성에 의존하는 시간에 따라 결정된다. Pipe umbrella의 지보 특성은 서로다른 3가지 효과로 구분된다. (Volkman and Schubert,2007):

- 작업 구역의 open span안에서 무지보 부분
- 방사형 지보 효과
- 종방향 지보 효과

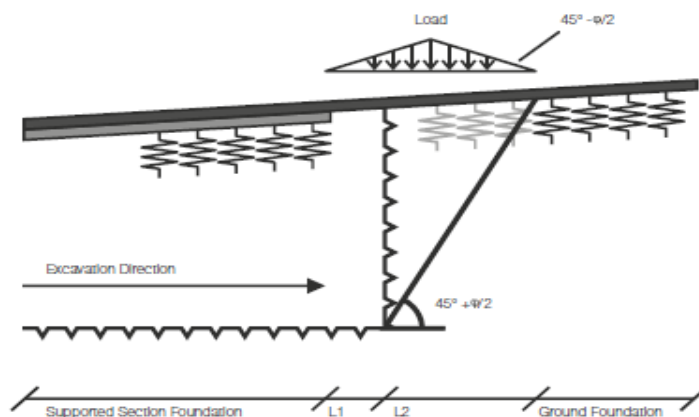
이러한 효과의 상호작용으로 막장면의 지보효과를 가져온다. 이 부분에서 발생된 하중은 각각의 단일 파이프에 의해 종방향으로 막장 전방 및 1차 지보에 전달된다. 하중 전달로 인해 막장 부근은 효과적으로 지지되며 안정된 구조를 확보할 수 있다.

### 2.3 설계시 고려사항

Pipe umbrella support system의 설계는 지질학적 특성, 지반 거동 및 하중조건의 평가를 따른다. 상세한 현장 데이터와 3차원 수치계산을 이용하여 일반적인 시공 조건에 대한 전체적인 시스템 반응을 평가할 수 있다.

3차원 수치계산은 현실적인 결과를 얻기 위해 상세하게 작성되어야 한다. 이러한 계산은 모델링의 복잡성과 지반 특성 변화 때문에 시간이 많이 걸린다. 따라서 3차원 수치계산의 대안으로 분석적 접근법을 이용할 수 있다. 분석적 접근법은 각 Umbrella 파이프를 기본적으로 빔(기둥)으로 설정하며 예상되는 지반 하중에 의해 하중을 받고 한쪽 끝에는 1차 지보의 내구성 및 강성을 나타내는 스프링 위에 위치한다(그림 2.2). 원지반 측정의 역계산을 기초로한 현실적인 하중 조건은 Volkman and Schubert(2010)에 설명되어 있다. 허용하중의 사용은 터널 상단의 아칭효과를 고려한 3차원 응력으로 적용된다. 따라서 저토피의 경우 아칭효과의 소실로 인해 적용되는 하중은 보다 보수적이어야 한다.

Umbrella 파이프는 주로 힘에 의해 하중을 받기 때문에 설계는 탄성적으로 구현되는 것이 중요하다. 소성범위에서 곡률(최종 하중)이 극적으로 증가하므로 최종 하중의 지지를 위해 필요한 변형은 비현실적인 붕괴 시나리오와 유사한 변형 값을 초래할 수 있다.



[그림 2.2] Proposed static model for an analytical design



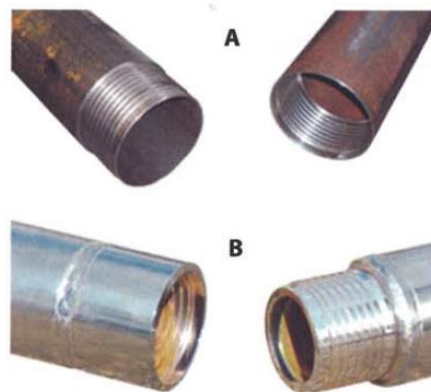
### 3. 파이프 연결 방법 및 특징

#### 3.1 표준 나사산 연결 및 니플연결(기존방법)

앞에서 설명한 바와 같이 표준 나사산 연결은 일반적으로 Pipe umbrella 연결에 적합하지 않다. 나사산을 위해 강관 일부분을 기계적으로 제거하는 것은 유효단면을 감소시키며 연결부위의 내하력 및 강성을 크게 감소시킨다. 따라서 Pipe umbrella의 안전성 확보를 위해 설계 적용시 파이프 연결단면의 치수 축소는 이런 한계를 극복하는 적절한 방법이다. 따라서, 표준 나사산 연결은 전방 보강목적이 아닌 지반개량 주입작업에만 권장된다.

이러한 표준 나사산의 연결 한계를 극복하기 위해 개발 된 것이 니플 연결방식이다. 니플 연결부는 표준 파이프 끝단에 압착 및 용접되는 나사산 연결부위를 추가로 구성한다. 이 연결부위는 파이프와 동일한 강성 특성으로 니플 연결 사용시 Pipe umbrella의 전체 강성이 일정하므로 좋은 품질의 시공이 가능하다.

따라서, 고정적인 지지용량은 시공중 안정적인 조건을 나타내므로 침하제어, 강성 확보 등의 목적으로 설계 및 시공이 필요한 경우 니플 연결방법이 추천된다. 아래 그림 3.1은 표준나사산 연결과 니플 연결을 보여준다.



[그림 3.1] 표준나사산 연결(A)과 니플 연결(B)

#### 3.2 압착 연결(최신 기술)

파이프 연결 분야에서 가장 최근에 개발된 것은 압착형 연결이며, 이 연결 유형은 기존 나사산 연결에 비해 견고하고 쉽게 연결할 수 있는 대체 장치를 목적으로 개발

되었다, 압착연결을 통해 나사산이 없는 파이프 끝단은 붐에 장착된 프레스를 사용하여 (그림 3.2)압착하여 기계적으로 연결한다. 이 연결 타입은 표준 파이프에 비해 연결 부위의 탄성 설계 하중이 높고 강성이 약간 감소하는 것이 특징이다. 단순한 설계와 취급 편리성 외에도 파이프 연결에 필요한 시간 간격의 감소로 시공성을 개선할 수 있다. 니플 연결과 마찬가지로 압착 연결도 Pipe umbrella 내부 단면을 감소시키므로 매몰되는 드릴 비트와 함께 설치해야 한다.



[그림 3.2] 압착 연결

## 4. 압착 연결의 장점

### 4.1 안전의 최적화

착암자재의 수동 분리는 강철 렌치가 자재에 고정된 후 레버가 드릴 붐에 의해 차단 될 때까지 드리프터가 회전하기 때문에 위험이 있는 작업 단계이다. 이 위치에서만 드리프터가 이미 설치된 자재에서 분리된다. 안전과 관련된 중요한 점은 렌치가 드릴 붐이나 착암자재에 고정되어 있지 않기 때문에 급격한 움직임이 있거나 드리프터가 회전할 때 렌치가 제대로 고정되지 않은 경우 렌치가 미끄러지거나 분리되어 튀어나올 수 있어 잠재적으로 장비를 손상시키거나 부상을 유발할 수 있다. 이러한 위험과정은 상크 어댑터 또는 다른 착암자재에서 제어된 방식으로 자재를 풀기 위해 원격 제어할 수 있는 개방형 렌치가 포함된 Threading unit을 사용하여 제거할 수 있다. 그림 4.1에서 볼 수 있듯이 동일한 시스템이 AT-Squeezing Unit에도 통합되어 있다. 렌치는 원격 제어에서 간단히 활성화되고 유압 실린더를 통해 위쪽으로 이동하며 이미 설치된 착암자재를 해당 위치에 고정한다. 드리프터가 역회전을 시작하자마자 분리가 시작된다. 이 경우 기계 부품

이 회전하는 영역에 사람이 가까이 있을 필요가 없어 이 과정에서 부상의 위험이 없다.

표준 나사산 연결을 사용하는 과정중에 작업대에 있는 작업자가 새 강관의 앞쪽 끝을 이미 설치된 파이프의 뒤쪽 끝으로 이동한다. 바깥쪽 나사산이 있는 파이프가 안쪽 나사산으로 약간 움직일 때 두 개의 나사산이 깨끗해야 한다. 파이프를 수동으로 회전시킨 다음 체인 파이프 렌치를 사용하여 끝을 서로 연결한다. 전체 시공 과정에서 나사산의 먼지나 드릴 붐의 움직임은 연결 중에 문제를 일으킬 수 있다. 왜냐하면 나사산이 끼어 수동으로 풀고, 청소하고, 전체 과정을 반복할 수 있기 때문이다. AT - Automation 장치 없이 압착 연결을 사용하는 경우 작업대에 있는 작업자가 줄어든 파이프 끝단을 이미 시공된 파이프 끝단으로 이동한다. 압착 장치에서 떨어진 후 압착 신호를 보내면 유압식 냉각 성형(Hydraulic cold forming) 공정이 원격 제어로 활성화된다. 연결 과정에서 회전하는 부분이 노출되지 않아 작업자가 다칠 위험이 적고 연결 과정은 약 2초면 충분하다. 공차는 드릴 붐과 시공된 파이프 사이의 먼지나 작은 편차가 연결작업을 방해하지 않을 만큼 충분히 커서 더 이상의 개입이 필요하지 않다.



[그림 4.1] AT squeezing unit

Installation step	Manual installation	Automated installation
Pipe is loaded onto the basket (mostly tube deposits)	Manually, workers on the ground	
Drill steel is loaded on the basket into the pipe	Manually, workers on the ground	
Disconnection of drill steel	Manually with wrench	Remote controlled with hydraulically controlled wrench
Pipe is fed to loading device	n.a.	By moving the basket plus remote control
Pipe is fed to drill arm	Manually lifted from basket to drill arm	Remote controlled from hydraulically controlled arms to drill arm
Re-connection of drill steel	Manually	Remote controlled
Connection of steel pipes	Manually with aid of chain pipe wrench	Remote controlled with threading unit or squeezing unit
Drilling	Mechanized by drilling machine	

<표 4.1> 튜브 연장에 관한 수동과 자동시공 비교

Pipe umbrella system의 작업은 지면, 작업대, 두개의 드릴 붐으로 수행된다. 작업자는 숙련되고 충분한 연습이 필요하며 정면에 있는 작업인원을 신중하게 선택해야 한다. 그렇지 않으면 시공 시간과 비용이 엄청나게 증가한다. 예를 들어 치수가 139.7x8.0인 3m 길이의 파이프 우산망의 파이프 무게는 80kg이고 필요한 착암자재는 35kg이다. 따라서 작업자가 작업대에서 드릴 붐으로 두 자재를 공급할 때 6-8m 높이의 제한된 헤드룸 사이에서 약 115kg을 수동으로 처리하고 배치한다.

연장시공을 위한 절차 분석은 시공중 수동으로 무거운 부품을 비정상적인 위치에서 이동해야 함을 명확하게 보여준다(표4.1). 작업을 교대로 수행하면 분명히 피로와 탈진으로 이어져 비효율성과 부상 위험이 높아진다. 자동화 시공은 파이프와 착암자재를 작업대로 이동한 후 모든 공정을 기계화하고 원격 제어할 수 있음을 보여준다. 육체적, 정신적 피로도가 낮아 후속 작업은 물론 시공 중 시간과 안전 모두에서 상당한 이점이 있다.

## 4.2 재료의 최적화

오늘날 드릴링 기계의 기술 개발, 시공 방법론 및 붐(드릴 암) 정렬의 정확도 향상으로 최대 18m 길이의 파이프를 큰 편차 없이 시공할 수 있다. 일반적인 지반 조건에서 30m 까지 파이프를 시공할 수 있고 예외적인 경우 그 이상도 가능하다. 붐 길이로 인해 파이프의 최대 길이는 3m이며 일반적인 파이프시공 길이는 12m, 15m 또는 18m이다.

시공된 파이프 길이의 증가로 인해 중첩길이, 파이프소모량은 줄어들 수 있다(표 4.2). 12m에서 15m로 파이프를 변경하면 필요한 파이프의 수량은 거의 10% 감소하고 18m로 변경하면 거의 15%를 절약할 수 있다. 139.7x6.3 파이프를 사용할 때, 15% 감소에 의해 굴착미터당 180kg의 파이프를 줄일 수 있고 더불어 약간의 굴착버력량이 감소되어 버력 처리 또는 슛크리트로 되채움할 필요가 없다.

Pipe umbrella length	Excavation length	Axial pipe distance	Maximum axial distance	Pipes installed	Pipe per m tunnel	Over-excavation	Over-excavation per m tunnel
12 m	8 m	400 mm	456 mm	480 m	60.0	70.4 m <sup>3</sup>	8.8 m <sup>3</sup>
15 m	11 m			600 m	54.5	95.3 m <sup>3</sup>	8.7 m <sup>3</sup>
18 m	14 m			720 m	51.4	120.1 m <sup>3</sup>	8.6 m <sup>3</sup>

<표 4.2> 파이프 재료 비교

Pipe type	Coupling type	W [cm <sup>3</sup> ]	W [%]	I [cm <sup>4</sup> ]	I [%]	M <sub>el</sub> * [kNm]	M <sub>el</sub> [%]	M <sub>pl</sub> * [kNm]	Weight [kg/m]
139.7x6.3	squeezed	58.4	100	344.0	100	20.7	100	>40.0	20.7
	none (tube)	84.3	144	588.6	171	29.9	144	n/a	
139.7x10.0	cut thread	53.6	92	345.3	100	19.0	92	n/a	32.0
	none (tube)	123.4	211	861.9	250	43.8	212	n/a	
139.7x4.0	nipple	56.2	96	392.8	114	20.0	97	n/a	13.4
	none (tube)							n/a	

\* Values must be proven by the manufacturer with certificates.

M<sub>el</sub> ... maximum bending moment [kNm] in the elastic material range

M<sub>pl</sub> ... Maximum bending moment [kNm] when using plastic reserves of the steel material

<표 4.3> 연결유형에 따른 기계적 특성 비교

현재 전 세계적으로 힘에 대한 저항 특성이 다른 표준나사산, 니플, 압착 연결의 세 가지 연결 유형이 있다.

표준 나사산 연결은 일반적으로 Pipe umbrella 연결에 적합하지 않다. 파이프의 일정 부분을 기계적으로 제거하는 것은 유효 단면적을 감소시키고 이것은 연결 부위의 하중 지지력과 강성을 크게 감소시킨다. 시공 중 표준 나사산 연결을 사용할 때 발생하는 위험성 때문에 니플 연결이 개발되었다. 니플 연결은 나사산을 연결한 피팅으로 구성되며 표준 파이프의 끝 부분에 눌러 용접된다. 이 연결 유형은 취약화 되지 않은 파이프와 동일한 강성 특성과 탄성 설계 하중을 제공한다. 파이프 연결 분야의 최신 개발은 압착 연결이며, 이 연결 유형은 기존의 나사산 시스템 보다 견고하고 연결하기 쉬운 대안을 제공하려는 시도의 결과이다. 압착 연결을 통해 나사산이 없는 파이프 끝단은 봄에 장착된 프레스를 사용하여 강제 압착 방식으로 기계적으로 연결된다.

장착된 커플링 유형의 영향은 표 4.3의 기술적인 수치로 볼 수 있다. 이 표에서 압착 커플링은 가장 최신이고 취급 관점에서 가장 안전하기 때문에 기준(100%)으로 간주된다. 이 커플링 유형의 경우 일반적으로 사용되는 파이프 치수(139.7x6.3)를 기준으로 한다. 표준 나사산 두께를 가지고 비교할만한 탄성 모멘트에 도달하기 위해 파이프 두께를 6.3mm에서 10.0mm로 늘려야 한다. 이러한 변화는 미터당 파이프의 무게를 50% 이상 증가시킨다. 니플 커플링을 사용함으로써 커플링은 더 이상 가장 약한 고리가 아니므로 지지 강도를 잃지 않고 강관의 35%를 절약할 수 있다. 이 값은 Pipe umbrella에 대한 올바른 기술 정의로 파이프 활용의 최적화에 대한 엄청난 잠재력을 보여준다. 따라서 터널링의 모든 표준 상황에서 압착 연결은 효율성과 경제적 이유로 권장될 수 있으며 니플 연결은 지표면의 피해 방지가 가장 중요한 모든 터널 구간에서 사용되어야 한다.

### 4.3 시공시간의 최적화

위에서 언급했듯이 Pipe umbrella는 특수 또는 기존 드릴링 기계와 함께 시공할 수 있다. 일반적으로 특수 드릴링 머신에는 붐이 하나만 있는 반면 기존 터널 드릴링 머신에는 일반적으로 붐 2개와 작업대 1개가 장착되어 있다. 이로 인해 일반적인 드릴링 기계를 사용할 때 대부분의 경우 시공 시간이 단축된다.

시공 길이의 증가는 시간 요건에도 영향을 미친다. 표 4.4에서 볼 수 있듯이 터널의 굴착 미터당 설치된 파이프 미터는 설치 길이가 증가함에 따라 감소한다. 이로 인해 시공 시간은 12m 에서 150분, 15m 에서 136분, 18m 에서 128분으로 달라진다. 따라서 시공 길이를 15m로 변경하면 10%, 18m로 변경하면 시공 시간이 15% 단축된다. 터널 미터당 커플링 과정도 약간 감소하지만 다음 단락에서 설명할 커플링과 관련하여 더 중요한 사항이 있다.

Type	Excavation length	Pipes installed	Pipes per m tunnel	Installation time per m *	No of couplings	Coupling per m tunnel
	[m]	[m]	[m]	[min]	[-]	[-]
12 m	8	480	60.0	150	120	15.0
15 m	11	600	54.5	136	160	14.5
18 m	14	720	51.4	128	200	14.3

<표 4.4> 파이프에 따른 시간에 대한 비교

표 4.5는 나사산 연결에 대해 알려진 지연 시간을 포함하여 두 연결에 대한 서로 다른 연결 시간에 대해 분석했다. 분석된 데이터는 설치 시 현장에서 압착 연결을 사용하는 경우 연결 시간이 절반 미만으로 나타났다.

Type	No. of connections per tunnel meter	Single connecting time	Connecting time	Single delay time *	No. of difficult connections	Delay time	Total connection time
	[-]	[min]	[min]	[min]	[%]	[min]	[min]
Standard thread	15	3.5	52.5	10	5	7.5	60
Squeezed coupling		1.5	22.5	-	0	0	22.5
<b>Time savings</b>			<b>30</b>			<b>7.5</b>	<b>37.5</b>

\* Experience: 5% difficult connections (outliers) which require additional handling time

<표 4.5> 시공시간에 대한 연결 유형의 영향

## 5. 시공사례(KORALM 터널 LOT3)

오스트리아 철도망의 일부인 Koralm 터널 (KAT) (오스트리아)은 Trans European Railway Network(TEN)의 중요한 연결선이다. 완공되면 32.9km 길이의 이 쌍굴 터널은 세계에서 가장 긴 철도 터널 중 하나가 될 것이다. 이 프로젝트는 세 개의 주요 부분으로 나뉜다. 동쪽 끝의 Lot 1은 New Austrian Tunnelling Method(NATM)의 원리를 사용하여 건설되었으며, 최대 1,000m의 상재하중이 있는 Koralpe 아래 중앙부의 Lot 2는 TBM 2대 구동된다. Exploratory Tunnel Paierdorf로 인해 이미 부분 굴착된 Lot 3(KAT3)는 터널 구간에 따라 TBM과 NATM으로 건설되었다.

Carinthia(오스트리아)의 서쪽 관문에는 15m 길이의 강관보강 설치 후 굴착하였다. 이 구간의 지질특성은 점토와 사암이며 상부에 상재하중이 작용하고 있다. 적용된 강관보강 공법은 강관두께가 6.3mm이고 강관 외경 114.3mm인 AT-114 Pipe umbrella support(그림 5.1)이다. 강관이 날개로 설치되며 강관을 연결하기 위해 압착 연결이 선택되었다. 이 새로운 연결 방식인 압착연결을 선택한 주된 이유는 단면적 및 중량과 관련하여 Pipe umbrella 강관의 최적화와 시공하는 동안 공기단축과 안전성 확보 때문이다.

15m 길이의 파이프가 하나의 드릴 붐과 함께 시공되었고 또 다른 드릴 붐으로 파이프가 설치되었다. 이러한 시공 과정은 착암자재 제거 후 각각 40분, 41분 후에 완료되었다. 그런 다음 두 개의 드릴 붐을 병렬로 사용하고 중앙의 작업대를 사용하여 양쪽 드릴 붐위의 착암자재를 사용하여 연장 강관을 삽입하였다. 약 24시간 후, 15m 길이의 파이프 34개를 시공했다.

더 많은 경험으로 18~20시간안에 15m 파이프 34개의 시공이 가능해졌다. 따라서 Pipe umbrella support를 사용한 빠르고 안전한 시공은 KAT3 프로젝트로 입증되었고 나사산연결을 사용하는 전형적인 시공과 비교하여 강관연결 작업은 50% 이상의 시간 단축으로 시공성을 개선하였다.



[그림 5.1] AT squeezing unit을 장착한 천공기

## 6. 결론

현재 국내에는 지하공간 개발 및 도심 터널공사가 많은 상황에서 안정적인 지보를 위해 1차 지보 외에 추가적인 사전 보강 조치가 필요하다. 국내에서 흔히 말하는 강관보강 공법은 해외에서는 Pipe umbrella 또는 Canopy tube라고 불리우며 연약한 지반에서 굴착 전 전방 보강목적으로 주로 사용된다. 이 공법은 적용 영역이 비교적 단단한 지반 조건에서 시작되고 연약한 지반 조건에 의해서 제한되기 때문에 점점 더 많이 사용되는 사전 지보 방법 중 하나이다. 이 공법은 매우 유연하고 변화하는 상황에 적응할 수 있으며 또한, 일반적으로 사용되는 드릴링 기계로 시공할 수 있다.

지난 수십 년 동안 Pipe umbrella support system을 적용한 후 최근 R&D의 초점은 파이프 연결의 최적화였다. 새로운 연결 타입인 압착연결을 도입함으로써 Pipe umbrella 설계는 특정지반과 적용 조건을 확장할 수 있다. 압착 연결 방식과 보조 장비는 Pipe umbrella support system의 시공 성능을 개선할 수 있으며 특히 급속시공, 작업자의 높은 안전성 및 합리적인 공사비(실행개선)를 보장할 수 있는 것으로 나타났다.

12m 길이의 파이프 우산망 대신 18m와 같은 파이프 우산망 시스템을 설치하는 방식이나 커플링 유형을 대체하면 파이프 소모량 축소 및 시공시간 단축에 큰 장점을 나타



낼 수 있다. 또한, 안전성도 향상된다. 아래에 예시적으로 100m 길이의 강관보강(파이프 치수 139.7x6.3) 적용시 장점을 나열하였다.

- 12m 길이의 파이프 강관 대신 18m 를 설치하면 파이프가 17.8 톤 절약된다.
- 나사산 연결 대신 압착연결을 사용할 경우 58 톤의 파이프를 절약할 수 있다.
- 12m 길이의 파이프 강관 대신 18m 를 설치하면 시공 시간은 36.7 시간이다.
- 나사산 연결 대신 압착연결을 사용할 때 시공 시간은 62.5 시간이다.
- AT Squeezed 장치를 사용하여 착암자재를 분리하거나 파이프를 연장할 때 부상이나 손상의 위험이 크게 줄어든다.
- 피로와 탈진이 적고 효율성이 높으며 적절한 기계화 또는 자동화 장비의 사용으로 부상 위험이 줄어든다.

따라서, 국내에서도 획일적인 강관보강 12m를 지양하고, 공사의 규모, 지질조건, 공사의 조건 및 시공성 등을 고려하여 AT Squeezed 장치 사용 등을 적용한다면 강관길이를 유연하게 확대 할 수 있으며 급속시공, 원가절감, 시공성 개선 및 안정성 향상 등을 도모 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 1 Gibbs, P W, Lowrie, J, Keiffer, S and McQueen, L, 2002. M5 east-design of a shallow soft ground shotcrete motorway tunnel, in Proceedings 28 th ITA-AITES World Tunnelling Congress.
- 2 Kim, C Y, Koo, H B and Bae, G J, 1996. A study on the three dimensional finite element analysis and field measurements of the tunnel reinforcement by umbrella arch method, in Proceedings Korea-Japan Joint Symposium on Rock Engineering, PP 395-402.
- 3 Miura, K, 2003. Design and construction of mountain tunnels in Japan, Tunnelling and Underground Space Technology, 18:115-126.

- 4 Oreste, P P and Peila, D, 1998. A new theory for steel pipe umbrella design in tunnelling, in Proceedings World Tunnel Congress 1998.
- 5 Proctor, R V and White, T L, 1964. Rock Tunnelling with Steel Supports
- 6 Volkmann, G M, 2004. A contribution to the effect and behavior of pipe roof supports, in Proceedings EUROCK 2004 and 53rd Geomechanics Colloquium.
- 7 Volkmann, G M, Button, E A and Schubert, W, 2006. A contribution to the design of tunnels supported by a pipe roof, in Proceedings Golden Rocks 2006 (American Rock Mechanics Association).
- 8 Volkmann, G M and Schubert, W, 2006. Optimization of excavation and support in pipe roof supported tunnel sections, in Proceedings 32<sup>nd</sup> ITA-AITES World Tunnelling Congress, pp 755-760(Taylor and Francis Group)
- 9 Volkmann, G M and Schubert, W, 2010. A load and load transfer model for pipe umbrella support, in Proceedings EUROCK 2010.