

# 대단면 터널 지보재로서 Cable Bolt의 적용성에 대한 수치해석적 연구

장선중, 김순민, 홍종완, 소충섭, 이두화 ((주)삼보기술단)

백진욱 (현대건설(주))

박연준 (수원대학교), 이정기 (국토해양부·수원대학교 박사과정)

## 1. 서론

대단면 터널의 경우 대규모 굴착단면으로 인한 암반교란 영향범위 증가, 지보재 설치 지연에 의한 아칭효과 감소 등에 의해 소성영역이 크게 발생되므로 일반적으로 장대 록볼트를 이용한 보강을 실시하고 있다. 철근을 이용한 보강재의 경우 강성으로 인해 시공시 공간적 제약을 받아 시공 가능한 유효길이가 제한적이며, 길이에 따른 휨과 정착효과에 대한 문제가 발생되고 있다. 이러한 문제점을 보완할 수 있는 대안으로 유연하며 길이에 제한을 받지 않는 강선을 이용한 케이בל볼트의 적용과 성능 향상을 위한 연구가 외국의 경우 다양하게 이루어지고 있으나 국내의 경우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 기존 장대 록볼트에 의한 보강효과와 인발저항력이 우수하면서도 시공성이 뛰어난 케이블에 의한 보강효과를 수치해석을 통해 모사 후 비교 분석하여 대단면 터널 지보재로서의 적용성에 대해 평가하였다.

## 2. 대단면 터널현황 및 지반조사 결과

### 2.1 현황

본 연구를 위하여 선정된 대단면 터널은 단면 내에 기능실, 대합실 등의 설치를 통해 개착구간 면적을 최소화하고, 환승의 편리성에 중점을 두어 1-Arch 대단면 복층구조로 그림 2.1과 같이 폭 26.5m, 높이 17.8m, 굴착단면적 410m<sup>2</sup>로 계획된 단면이다.

본 터널은 김포공항 지상주차장 하부(GL.-69.68m)에 위치하고 있으며, 지하철 5호선 및 9호선, 공항철도 등의 지하구조물이 근접하고 연·경암의 양호한 지반조건에 위치하고 있다.

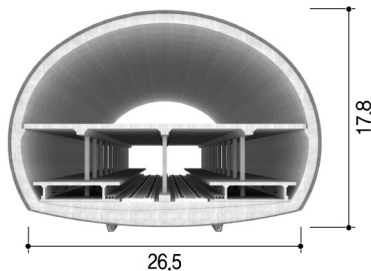


그림 2.1 표준 단면

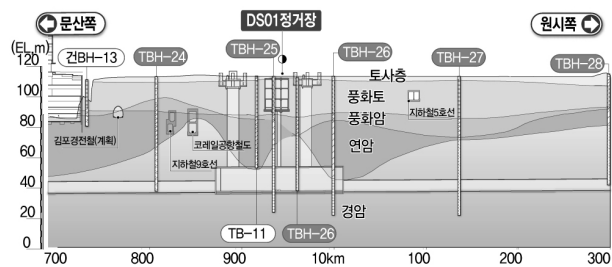


그림 2.2 조사 결과

## 2.2 지반조사 결과

터널 통과 구간의 기반암은 흑운모화강암으로 상부지층(그림 2.2)은 풍화토층이 15~26m로 다소 두껍게 분포하고 있다. 터널천단 상부 및 터널통과 구간은 RMR값이 30~75, Q-값이 0.04~39.52로 우수~불량한 암반등급 구간에 해당한다. 현장 및 실내시험결과 기반암의 변형특성은 6,840MPa 이었으며, AE/DRA 및 수압파쇄시험을 이용한 초기응력은 1.03~1.74의 범위를 나타내었다(표 2.1).

표 2.1 시추조사 및 현장시험 결과

구 분	RMR	Q	변형계수( $E_m$ )	초기응력( $K_0$ )
TBH-24	33~46	0.04~0.21		
TBH-25-1	56~71	3.44~10.18		
TBH-25-2	48~50	1.06~1.41		
TBH-25-3	75~69	8.86~39.52		
TBH-26	30~55	0.15~1.51		

## 3. 케이블볼트의 특성 및 설계

### 3.1 케이블볼트의 특성

케이블볼트는 중간정도의 응력수준에 절리가 발달한 암반에서 중규모 또는 대규모 공동에 이상적으로 적용될 수 있으며, 지반조건이 불량 이상인 범위에서 양호한 적용성을 보이는 한계점을 가지고 있다(Hoek, 1984). 볼트에 의한 지보는 팽창 제어 및 암반보강, 키 블록 낙반 및 이완 방지를 위한 매달기, 키 블록의 봉합과 안정된 암반에 결속(그림 3.1 a) 등의 3가지 기능 중 하나 이상의 기능을 발휘하지만 개별적으로 각각의 기능을 고려하는 것이 편리하다(Kasier et al.1996). 터널에서 이용되는 일반적인 볼트형식은 선단정착 및 전면접착, 마찰 및 인장 형식이 있으며, 지반 내 응력의 전이 특성, 현장 지반조건 및 굴착 단면에 맞는 적절한 형식의 선정이 필요하다(Bieniawski, 1987). 그림 3.1 c)는 스웨덴에서 실시한 인발시험 자료를 정리한 것으로 케이블볼트의 경우 록볼트와 비교하여 강성은 작으나 변위를 일부 허용할 경우 상대적으로 큰 축력을 발휘할 수 있는 보강 특성을 보임을 알 수 있다(Stillborg 1994, Hoek 2007b).

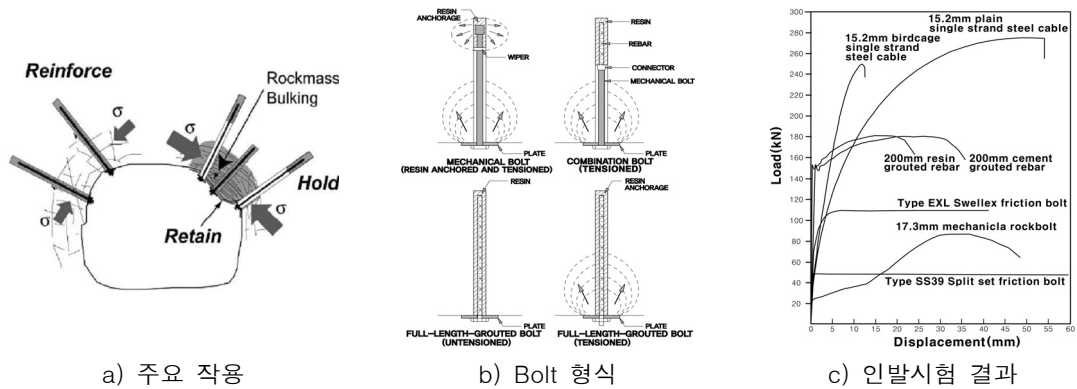


그림 3.1 케이블볼트의 지보원리 및 특성

### 3.2 케이블볼트의 설계

케이블볼트의 길이 및 간격은 Q-System에 의한 경우 약 6m 길이에 2.4m 간격으로 산출되었으며, 미공병단 기준으로 록볼트는 측벽 5.4m, 천단 6.6m, 케이블볼트는 측벽 7.1m, 천단 8.6m의 길이에 간격 0.9~4.3m로 산출되었다. 사례조사에 의한 자료를 분석한 결과 0.25W 적용시 약6.5m의 길이가 필요한 것으로 나타났다. 수치해석에 적용된 케이블볼트는 암반분류와 사례조사자료 분석 결과를 바탕으로 간격 1.2m×1.2m의 정방형 배열에 길이 7.0m를 적용하였다.

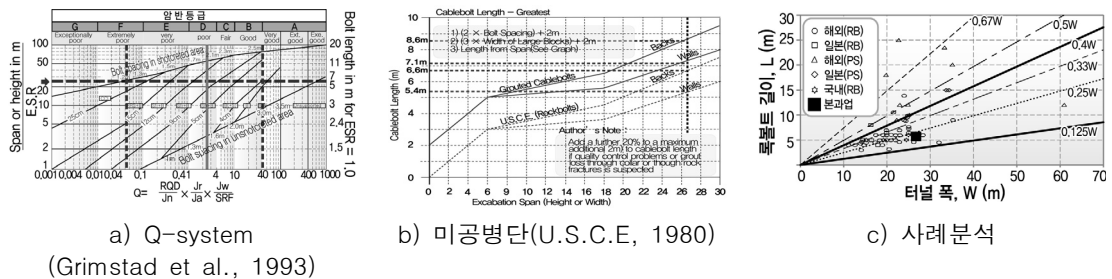


그림 3.2 케이블볼트의 설계

### 4. 수치해석

수치해석은 록볼트 및 케이블볼트의 성능 비교를 위하여 III등급 이상의 양호한 지반에 간격 및 길이가 같은 조건을 적용하였으며, 측압계수는 대심도 및 시험결과를 고려하여 1.0~2.0의 범위에 대하여 해석을 실시하였다. 또한 케이블볼트의 인장에 따른 보강효과를 분석하기 위한 해석을 실시하여 적용성을 검토하였다.

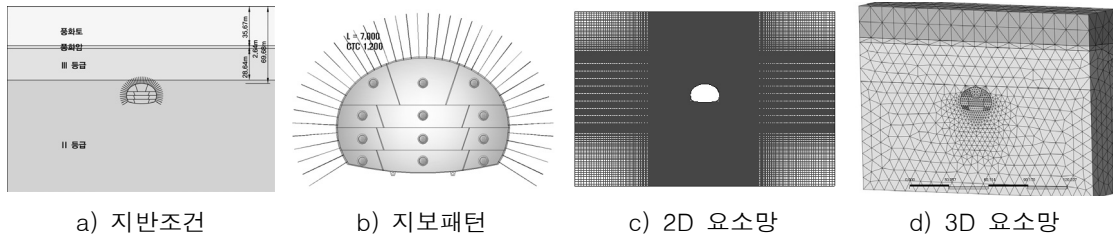


그림 4.1 해석조건

2D 해석결과 록볼트 적용시 천단침하(K0=1.0) 5.663mm, 내공변위(K0=2.0) 6.816mm로 크게 발생하였으며, 숏크리트 휨응력(K0=2.0) 경우 전면접착형 케이블볼트에서 7.382MPa로 크게 발생하였다. 지보재 축력의 경우 록볼트(K0=2.0)에서 27.53kN으로 크게 발생하였다. 프리텐션(150kN)이 적용된 인장형 케이블볼트의 경우 침하, 내공변위, 숏크리트 휨응력이 모두 작게 나타나는 경향을 나타내었다. 또한, 축압계수가 증가함에 따라 터널 측벽의 변위와 지보재 부재력의 증가가 크게 변화하는 결과를 보이며, 인장형 케이블볼트의 적용시 가장 작은 변위와 부재력이 발생하였다.

3D 해석결과 록볼트는 천단침하 3.007mm, 내공변위 1.193mm, 숏크리트 휨 응력 및 볼트 축력은 3.883MPa, 37.788kN이 발생하였으며, 케이블볼트는 천단침하 2.903mm, 내공변위 0.594mm, 숏크리트 휨응력 및 볼트 축력은 4.065MPa, 33.978kN이 발생하였다. 2D 해석 결과와 마찬가지로 천단침하, 내공변위, 볼트 축력은 케이블볼트가 작게 발생하였으나, 숏크리트 휨응력은 크게 발생하는 경향을 나타내었다.

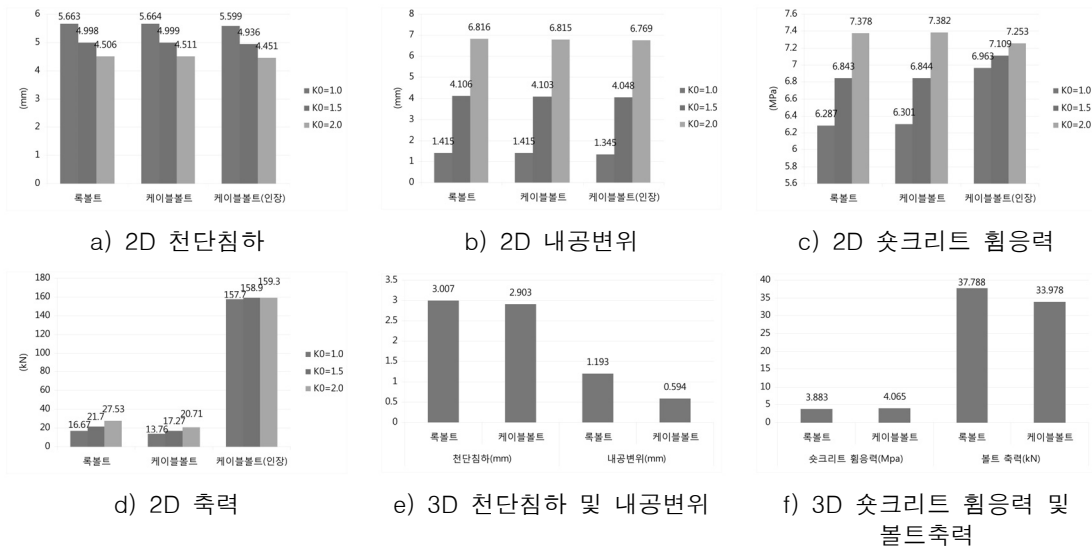


그림 4.2 수치해석 결과

## 5. 결 론

수치해석 방법을 통해 대단면 터널 지보재로서 케이블볼트의 적용성에 대하여 평가를 수행한 결과 전면접착형 케이블볼트의 경우 록볼트와 비교하여 터널 변형 및 지보재에 발생한 부재력이 2D 해석의 경우 미소한 차이를 나타내며, 3D 해석 결과에서는 모든 비교항목이 작은 것으로 평가되어 전면접착형 케이블볼트 적용시 안정성이 향상 되는 것으로 나타났다. 인장형 케이블볼트의 경우 봉압작용 효과에 의해 천단침하, 내공변위, 슛크리트 휨응력이 모두 작게 나타나 록볼트 보다 휨응력 및 추가축력이 각각 약 10%, 65% 저감되는 효과를 기대할 수 있는 것으로 평가되어 대단면 터널에 대한 지보재로서 케이블볼트가 적용성이 있는 것으로 나타났다. 다만, 본 고는 제한된 조건에 대한 수치해석결과로 다양한 현장조건 및 터널형상에 대한 상세 검토 등 보완연구가 계속적으로 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 김영호, 유찬호 등, 2009, 터널 보강재로서의 케이블 볼트의 적용성 평가, International Symposium on Urban Geotechnics, pp. 1530-1535.
2. D, Jean Hutchinson, Mark S. Diederichs, 1996, Cablebolting in Underground Mines, pp. 206-220.
3. E. Hoek, P.K. Kaiser, Bawden, 1993, Support of Underground Excavations in Hard Rock, pp. 177-187.
4. ITASCA Consulting Group, Inc. 2005. FLAC Manual, Version 5.0 pp. 1-73-1-91.