

실내시험에 의한 새로운 격자지보재의 하중지지력 평가

Load Bearing Capacity Evaluation of New Lattice Girder by Laboratory Test

최영남¹ · 장연수² · 김동규³ · 배규진⁴

Young-Nam Choi¹, Yeon-Soo, Jang², Dong-Gyu Kim³ and Gyu-Jin Bae⁴

(Received March 5, 2011 / Revised April 5, 2011 / Accepted April 20, 2011)

요 약

최근 건설되는 터널의 심도가 깊어져 난공사 구간이 증가되며, 초장대 터널의 증가로 터널 기술 개발이 필요해지고 있다. 터널의 기술개발의 하나로 터널 강지보재로 사용되는 높이 95mm 격자지보재에 사용되는 스파이더를 최적화하여 U자형과 보강재스파이더를 개발하였다. 개발된 격자지보재의 하중지지력을 평가하기 위하여 국내에서 사용되는 4절점 휨강도 실험을 실시하였으며 실내 실험을 위해 기존 격자지보재와 개발된 격자지보재의 시편을 직선으로 제작하여 실시하였다. 실험 결과 새로운 격자지보재는 기존의 격자지보재에 비하여 하중지지력이 높게 나타났다. 지지력 평가에 의한 시편의 응력-변형 거동을 분석한 결과 기존 격자지보재는 탄소성 거동이 나타났고, 새 격자지보재는 응력연화의 거동이 나타났다. 새 격자지보재는 하중이 가해지는 지점의 위치에 따라 지지력 거동이 달라짐을 알 수 있었다.

주제어: 격자지보재, U자형 스파이더, 보강재 스파이더, 4점 휨강도 실험, 하중지지력

ABSTRACT

Recently, the depth of tunnel constructed is getting deeper, which increases difficulty in construction works. Deliberate tunneling techniques are needed as the span and length of tunnels are increased. As one of the technical developments for tunnel, U-shaped and reinforced spider lattice girders are developed by optimizing the spider used in 95mm lattice girder as tunnel steel ribs. In order to evaluate the load bearing capacity of the lattice girder, the 4-point flexural tests are carried out. For the laboratory tests, straight specimens are made for the existing lattice girder and the new lattice girder. The results of the flexural tests showed that the maximum load bearing capacity of the new lattice girders was higher than the traditional one. The load-displacement behavior of the test specimens showed the elasto-plastic behavior in the existing lattice girder and the stress softening behavior in the new lattice girder. It was found that the load bearing capacities are changed depending on the location of the loading points.

Key words: Lattice girder, U-shaped spider, reinforced spider, 4 point flexural test, Load bearing capacity

1. 서 론

국내에서 주로 시공되는 발파-굴착공법인 NATM은 지하철 3,4호선의 시공부터 사용되었으며 현재도 많은 현장에서 사용되고 있다. 최근 철도 터널의 복선화/고속화, 국가 균형 발전을 위한 동서/남북 고속도로 및 고속국도 등의 신설 계획

등이 발표되면서 향후 약 10년 이상 터널건설이 꾸준할 것으로 예상된다. 또한 최근 건설되는 터널의 심도가 깊어져 난공사 구간이 증가되며, 1km이상의 초장대 터널의 증가로 터널 기술 개발이 필요해지고 있다.

연구의 대상인 강지보재는 발파 후 가장 먼저 시공되며 단기적인 측면에서는 초기의 지반응력을 제어하고, 장기적인

본 연구는 첨단도시개발사업인 'IT 및 신소재를 활용한 급속 안정화 터널시공 기술 개발(05 건설핵심 D03)' 연구단 과제에서 '급속안정화 터널시공을 위한 신지보시스템 개발' 연구결과의 일부임.

1) 대한콘설리트 지반공학부 기사(주저자: cynam08@nate.com)

2) 동국대학교-서울 건설환경공학과 교수(교신저자: ysjang@dongguk.edu)

3) 한국건설기술연구원 선임연구원

4) 한국건설기술연구원 연구위원

측면에서는 슛크리트와 복합구조물로서 거동한다. 이러한 강지보재는 주로 H형강이 사용되어지다가 1980년대 초반 유럽에서 H형강의 단점을 보완하여 격자지보재를 새로운 강지보재로 개발하였다(Baumann and Betzle, 1984). 국내에서는 현재 터널갱구부, 저토피구간 및 연약지반을 제외한 대부분의 지반조건에서 격자지보재를 강지보재로 사용하고 있으며 1990년 중반부터 격자지보재의 현장적용성에 관한 연구를 통해 우수성을 입증하고 있다(한국건설기술연구원, 1996; 유충식 등, 1996).

유충식 등(1996)은 터널지보재로서 격자지보재의 적합성에 관한 연구의 일환으로 격자지보재의 재료적 특성 및 역학적 강도특성에 대해 분석하였다. 휨강도 실험을 통해 격자지보재와 H형강의 하중지지력을 비교하였으며 연결부의 포함여부에 따라 하중지지력을 실험하였고, 슛크리트를 타설한 복합구조물로서도 실험하였다. 실험결과 격자지보재가 H형강보다 하중지지력이 우수한 것으로 나타났으며 이는 격자지보재의 스파이더(연결재)가 하중을 효과적으로 분산시키며 하중에 저항하는 중요한 요소이기 때문으로 판단하였다.

격자지보재는 고강의 특수강을 사용하여 단가가 고가인 단점을 가지고 있는데 배규진 등(2009)은 최적위상화및 수치

해석을 이용하여 격자지보재의 중요한 역할을 하는 스파이더의 형상을 최적화하여 현재의 격자지보재보다 하중지지력이 우수하고 같은 단위중량을 사용하여 보다 높은 하중지지력을 가지는 새로운 형태의 스파이더를 개발하였다. 본 연구에서는 단기적인 관점에서 터널 굴착 직후 설치한 격자지보재의 성능평가를 위해 하중지지력을 기존 격자지보재의 것과 비교해 보았다. 그리고 새로 개발된 스파이더의 간격을 다르게 제작하여 경제적인 측면을 비교하여 시편의 하중대비 격자지보재의 하중지지력을 비교하였다. 새로 개발된 스파이더의 파괴형상을 파악하여 거동특성을 분석하였다.

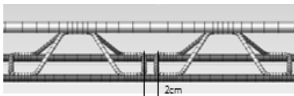

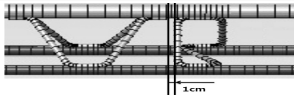
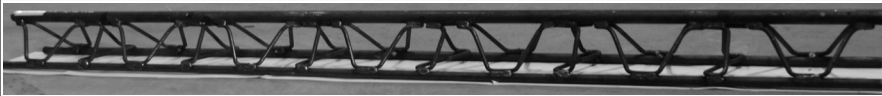
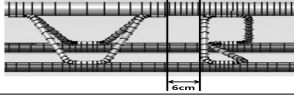
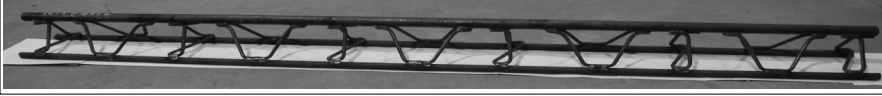
2. 실험의 개요

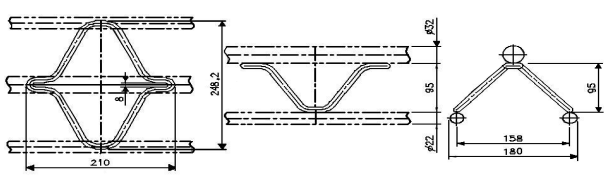
2.1 시편의 형상

표 1은 실험에 사용된 격자지보재를 정리한 것으로 현재 격자지보재와 새로운 격자지보재의 시편 형상이다.

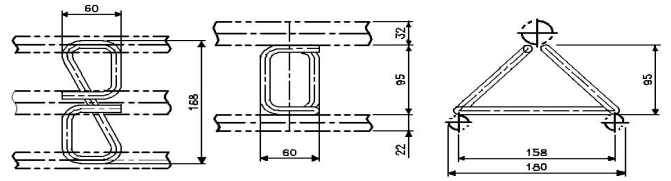
현재 격자지보재에 사용되는 스파이더는 표 1의 기존형태로 세개의 강봉을 스파이더로 연결한 모양이다. 새로 개발된 스파이더는 2가지로 U자형 스파이더와 세 개의 강봉을 잡아주며 하중을 지지하는 보강재 스파이더이다. 그림 1은 개발

표 1. 사용된 시편의 형상

종류	스파이더 간격		시편 형상
기존 형태	2cm		
새로운 형태	1cm		
	6cm		

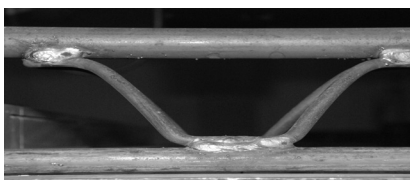


(a) U자형 스파이더

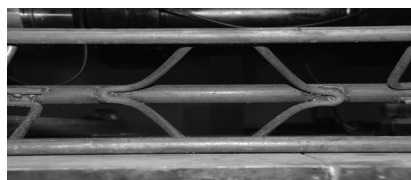


(b) 보강재 스파이더

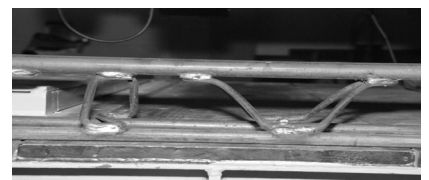
그림 1. 개발된 스파이더의 도면



(a) U자형 스파이더 정면도



(b) U자형 스파이더의 하부구조



(c) U자형스파이더와 보강재스파이더

그림 2. 개발된 스파이더의 실제 형상

된 U자형 스파이더와 보강재 스파이더의 단면치수를 나타낸 것이고, 그림 2는 U자형 스파이더와 보강재 스파이더의 실제 형상이다.

모든 시편의 길이는 지간 거리 1.5 m를 고려하여 최소길이 208cm로 제작하였으며, 각 5개씩 제작하여 실험하였다. 새로운 격자지보재는 U자형 스파이더와 보강형 스파이더의 간격을 1cm, 6cm로 제작하여 실제 무게와 간격에 따른 하중지지력을 비교하였다.

2.2 하중지지력 평가

2.2.1 실험 조건

독일철도국에서 제시한 격자지보재 하중지지력 평가 방법은 격자지보재를 1.5m의 단순보로 보고 시편 중심에 하중을 가하는 3점 재하휨강도 실험방법이다. 그러나 독일철도국에서 제시한 이 방법은 시편 길이 1.5m만 언급되었고, 다른 구체적인 조건은 언급되지 않았다. 독일철도국에서 제시한 3점 재하 휨강도실험은 스파이더와 상부 강봉의 접촉부에 하중을 재하하는 것과 스파이더와 스파이더사이 상부강봉만 있는 부

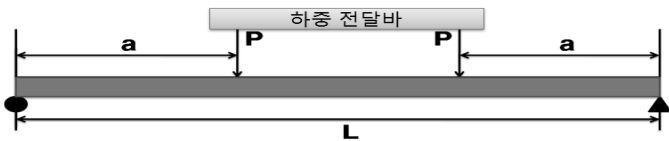


그림 3. 4점 재하 휨강도 실험 조건

분에 하중을 재하하는 것에 따라 하중지지력의 차이가 크게 나타났다(김동규 등, 2008). 따라서 본 연구에서는 최근 콘크리트 휨강도 실험에 사용되는 그림 3과 같은 4점 재하 휨강도 실험으로 실험을 하였다. 4점 재하 휨강도 실험은 하중을 재하하는 위치에 관계없이 일정한 하중지지력이 나타나는 장점이 있다(김동규와 배규진, 2009).

2.2.2 실험방법

그림 4는 유압서브 다목적 인장압축장비로 본 연구의 격자지보재에 적용된 4점 재하 휨강도 하중재하방식을 보여주고 있다. 하중전달바를 설치하여 하중을 재하하였고 변위제어방식으로 분당 2.0mm로 제어하였다. 지간거리가 150cm인 것을 감안하여 시편의 길이는 208cm로 제작하여 실험하였다.

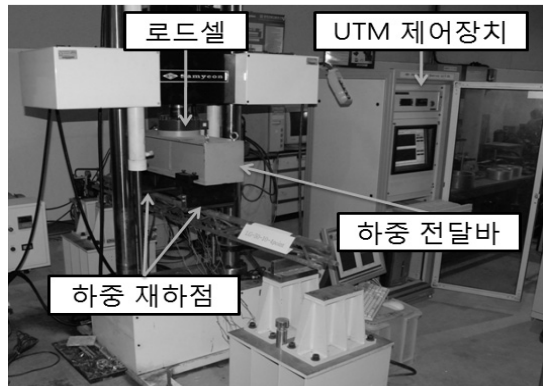


그림 4. 다목적 인장압축실험기(4점 재하 휨강도 실험)

표 2. 각 시편별 실험 조건(시편길이 2.08m)

종류	스파이더		시편번호	하중 재하점과 지지점
	형태	간격		
기존 격자지보재 (LG1), 95mm	삼각형	2cm	No. 1,2,3,4	
			No. 1,2,3,4	
새로운 격자지보재(LG3), 95mm	U자형 보강재	1cm	No. 1,2,3,4	
			No. 5	
		6cm	No. 1,2,3,4	
			No. 5	

로드셀 아래 하중전달바를 설치하고, 모든 실험은 컴퓨터를 이용하여 자동 제어되며 격자지보재에 가해지는 하중과 변위는 컴퓨터 내부에 설치된 데이터 로거를 통해 자동 저장된다.

표 2는 각 시편별 하중 재하점과 지지점을 정리한 것이다. 현재 격자지보재의 경우 4점 재하 횡강도 실험은 하중재하점에 따른 하중지지력의 영향이 없는 것으로 나타났다 (김동규와 배규진, 2009). 그러나 새로운 격자지보재의 경우 하중재하점에 따른 하중지지력에 관한 연구사례가 없고 2종류의 스파이더가 사용되며, 시편의 중심이 U자형 스파이더, 또는 보강재 스파이더 따라 하중재하점과 지지점이 다르게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 새로운 격자지보재(1cm, 6cm)시편 중 1개의 시편(No.5)은 두 하중재하점의 중앙에 놓고 실험하였다(표 2). 그리고 각 시편에 번호를 부여 하중재하점과 지지점에 따른 하중지지력을 비교하였다.

3. 실험 결과

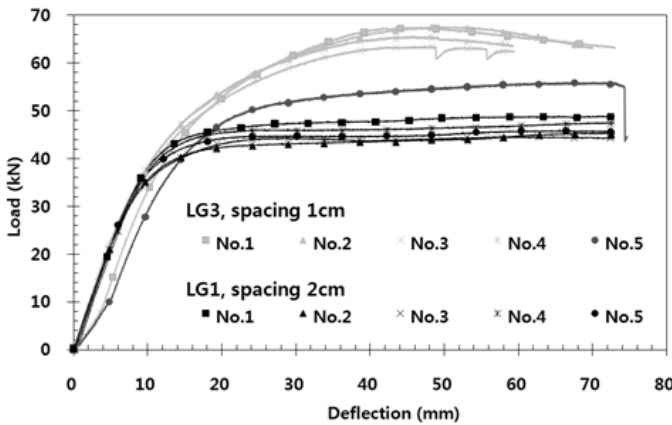
3.1 하중지지력 비교

그림 5는 기존 격자지보재와 새로 개발된 격자지보재의 하중-변위 관계를 나타낸 것이다. 기존 격자지보재에 비하여 스

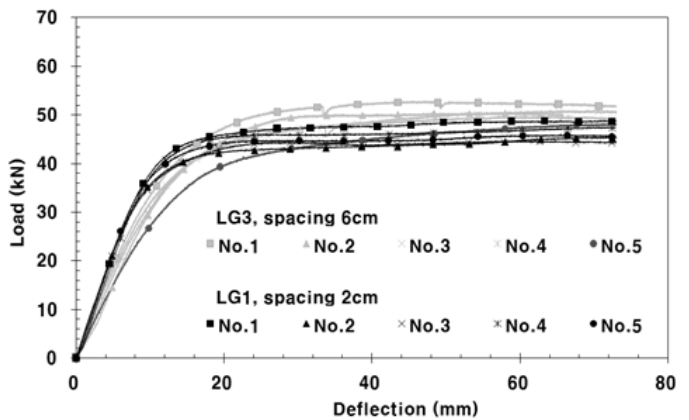
파이더의 간격이 1cm인 새로운 격자지보재의 최대하중지지력은 17.26kN (36%) 증가하였고, 스파이더간격이 6cm인 새로운 격자지보재는 3.64kN (7.8%)정도 증가하는 것으로 나타났다.

그림 5 (a)에 나타난 바와 같이 현재의 격자지보재와 새로운 격자지보재의 탄성 구간이 비슷하게 나타나 강성은 비슷하지만, 현재의 격자지보재는 약 28mm에서 최대하중지지력이 발생하였고, 새로운 격자지보재는 약 42mm에서 최대하중지지력이 나타났다.

기존 격자지보재와 새로운 격자지보재의 거동특성을 비교해 보면 기존격자지보재는 전형적인 탄소성 거동을 보인 반면 현재의 격자지보재는 응력연화의 거동을 나타냈다. 즉 기존 격자지보재는 최대하중지지력에 도달한 후에 일정한 하중을 유지하였고 새로운 격자지보재는 최대하중지지력에 도달한 후에 하중지지력이 감소하였다. 이러한 거동 차이는 그림 6과 같은 스파이더의 파괴형태의 차이로 나타난다. 새로운 격자지보재 중 보강재 스파이더는 하중을 받으면 그림 6(b)와 같이 하중을 더 이상 지지 할 수 없는 상태로 파괴 되지만 U자형과 기존 스파이더는 변형이 생기면서도 하중을 유지할 수 있는 형태로 파괴되기 때문이다.



(a) 스파이더 간격 1cm의 새로운 격자지보재



(b) 스파이더 간격 6cm의 새로운 격자지보재

그림 5. 기존 격자지보재와 새로운 격자지보재의 하중지지력 비교

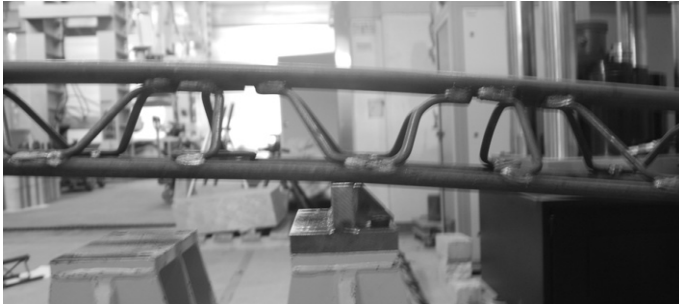


(a) 기존 스파이더



(b) 보강재 스파이더

그림 6. 현재 격자지보재와 새로운 격자지보재의 파괴 형상



(a) 지지점 양쪽 보강재의 영향으로 U자형스파이더의 변형이 적음



(b) 스파이더의 변형 심함 (보강재 스파이더 없음)

그림 7. 새로운 격자지보재 (스파이더 간격 1cm) 실험 중 하중전달바의 중심을 보강재스파이더로 한 양끝단부 비교

표 3. 시편의 중량 및 하중지지력 비교

	스파이더 간격	시편 중량 (kg)	평균증가량 (kg)	증가율 ^{*1}	평균 하중지지력 (kN)	평균 증가량 ^{*2} (kN)	증가율 ^{*2}	무게 대비 ^{*2} 증가량
격자지보재	2cm	30.66	-	-	46.83	-	-	1
새로운 격자지보재	1cm	31.17	0.51	1.6% 증가	64.1	17.27	37% 증가	11.43
	6cm	30.29	0.37	1.2% 감소	50.47	3.64	7.8% 증가	5.7

주) *1 기존 자지보재 중량기준, *2 기존 자지보재 지지력 기준

새로운 격자지보재(스파이더간격 6cm)의 경우 기존격자지보재에 비하여 하중지지력이 다소 증가하는 것으로 나타나면서 기존 격자지보재와 비슷한 탄소성 거동을 보였다(그림 5b). 또한 스파이더가 직접하중을 지지하지 않아 초기 강도의 발현은 약간 늦어지는 것으로 나타났다. 보강재스파이더가 스파이더 간격이 1cm인 것에 비하여 적게 사용되어 상대적으로 보강재 스파이더의 영향을 덜 받게 되어 하중지지력의 차이가 크지 않게 나타난 것으로 판단된다.

하중재하점을 다르게 실시한 실험에서도 비슷한 하중지지력을 보였는데 그 이유도 스파이더 간격이 너무 커서 보강재스파이더가 하중지지력에 영향을 덜 준 결과로 판단된다.

스파이더 간격이 1cm인 새로운 격자지보재의 최대하중지지력은 하중재하점을 표 2와 같이 하중 전달바의 중심을 U자형 스파이더에 놓은 경우와 보강재 스파이더를 중심으로 놓은 경우에 따라 큰 차이를 보인다. 두 실험 조건에서 재하되는 위치는 비슷하지만 지지점이 다르게 나타났다. 그림 7은 No.5 시편의 실험결과로 시편의 하중지지점을 비교한 모습이다. 동일한 시편이라도 지지점이 놓인 끝단의 형태에 따라서도 하중지지력은 다른 결과를 보였다. 즉 그림 7b)처럼 U자형 스파이더가 지지점의 한쪽에만 있는 경우 U자형 스파이더는 하중을 과도하게 받아 더 많은 변형이 발생하였다.

3.2 기존격자지보재와 새로운 격자지보재의 하중 비교

표 3은 기존의 격자지보재와 새로운 격자지보재의 무게와 하중 지지력을 비교한 것이다. 중량의 경우 기존 격자지보재에 비하여 스파이더의 간격이 1cm인 경우 평균 0.51kg 증

가하는 것으로 나타났다. 스파이더의 간격이 6cm인 경우는 기존의 격자지보재에 비하여 평균 0.37kg 감소하는 것으로 나타났다.

기존의 격자지보재의 하중과 하중지지력을 기준으로 무게에 따른 하중지지력의 비율을 비교한 결과 효율성이 1cm로 제작할 경우 11배 6cm로 제작할 경우 5배의 효율성을 가지는 것으로 나타나 기존의 격자지보재에 비하여 1cm, 6cm 모두 기존의 격자지보재 보다 우수한 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 격자지보재보다 중량은 가볍고 또는 같은 중량에서 더 큰 하중지지력을 가지는 새로운 격자지보재를 개발하여 그 하중지지력을 평가하였다. 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. U자형 스파이더와 보강재스파이더의 간격을 6cm로 제작할 경우 하중지지력이 기존의 제품에 비하여 7.8%, 1cm간격의 경우는 36% 높게 나타나 최적의 형상을 가진 것으로 판단되었다.
2. 시편 길이 208cm에 대한 기존격자지보재의 스파이더는 일정한 하중을 유지 시켜주는 형태로 파괴가 일어나 탄소성거동을 보인 반면 새 격자지보재의 보강재스파이더를 장착한 경우는 최대하중지지점에 도달한 후에 그 하중지지력이 줄어드는 응력연화의 거동을 보였다.
3. 보강재 스파이더는 세 개의 강봉을 잡아주는 역할 뿐 아

니라 하중지지력에도 큰 역할을 하였는데 보강재 스파이더의 항복에 따라 하중지지력의 차이가 크게 나타났다. 보강재 스파이더가 사용되지 않은 부분에 하중이 가해질 경우 격자지보재의 하중지지력이 낮게 나타났다.

4. 스파이더 간격이 6cm인 격자지보재의 경우 스파이더가 직접하중을 지지하지 않아 초기 강도의 발현이 늦어지는 것으로 나타났다. 최대하중지지력은 기존 격자지보재 보다 다소 증가하였으나 시편의 중량은 기존 격자지보재에 비하여 가벼운 것으로 나타나 작업성이나 재료비 측면에서 우수한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김동규·최윤호·김동률(2007), “레티스거더 성능평가를 위한 실내시험기법의 평가”, 「한국지반공학회 가을학술발표회 논문집」, 1113~1120.
2. 김동규·배규진 (2009), “격자지보재의 실내성능평가기법 개발”, 「터널기술논문집」, 10(4): 371~382.
3. 배규진·김동규·이성호, 최영남 (2009), “고성능 격자지보재 개발”, 「터널공학회 봄학술발표회논문집」, 111~115.
4. 유충식·김연정·이대영, 한병권(1996), 「격자지보재의 현장적용성에 관한 연구」, 성균관대학교 연구보고서.
5. 최영남(2009), “터널 격자지보재 개발을 위한 하중지지력 평가”, 동국대학교 석사학위논문.
6. 한국건설기술연구원(1996), 「터널지보용 래티스거더의 현장적용성연구」, 천원공업주.
7. Baumann, T. and Betzle, M. (1984), “Investigation of the Performance of Lattice Girders in Tunnelling”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 17(2): 67~81.