

터널 지보재로서 Lattice Girder의 하중지지력에 관한 연구

A Study on Load Bearing Capacity of Lattice Girder as a Steel Support in Tunnelling

유충식¹⁾, Chung-Sik Yoo, 배규진²⁾, Gyu-Jin Bae, 김연정³⁾, Yeon-Jung Kim, 이대영⁴⁾, Dae-Young Lee, 한병권⁴⁾,
Byung-Kwon Han

- ¹⁾ 성균관대학교 토목공학과 조교수, Asst. Professor, Dept. of Civil Eng., Sung Kyun Kwan Univ.
²⁾ 한국건설기술연구원 지반연구실장, Director of Geotechnical Eng. Div., KICT
³⁾ 성균관대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Sung Kyun Kwan Univ.
⁴⁾ 성균관대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Sung Kyun Kwan Univ.

개요(SYNOPSIS) : It has long been recognized that the H-beam steel rib has many shortcomings when used as a steel support in tunneling. One of the major shortcomings is shotcrete shadows created behind the H-beam flange which eventually reduces the load bearing capacity of shotcrete shell. In many European countries, the H-beam steel rib has been replaced by lattice girder which have many advantages over the H-beam steel rib. Successful application of the lattice girder as a steel support requires a thorough investigation on the load bearing capacity of the lattice girder. Therefore, laboratory bending and compression tests were conducted on lattice girder with the aim of investigating the load bearing capacity of the lattice girder. This paper presents the results of such investigation.

주요어(Key words) : NATM tunnel, steel support, lattice girder, shotcrete shadow

1. 서 론

터널의 굴착 직후 암석의 붕락 및 이완영역을 최소화하기 위하여 최초의 지보재로서 강지보를 이용하는 데, 현재 국내의 NATM 터널에서는 강지보재로 H-형강을 이용하는 것이 일반화 되어 있다. 그러나 H-형강 steel rib는 현장에서 취급이 어려워 시공시간이 지연되면서 이완 영역이 확대되는 문제가 있으며, 특히 슛크리트 타설시 H-형강 flange 배면에 형성되는 공동(shotcrete shadow)으로 인해 주변지반과 지보재의 일체적 거동을 저해하는 경우가 발생하는 등 NATM 공법의 기본개념과 대치되는 많은 문제점이 지적되어 왔다.

이와같은 문제점을 보완하기 위하여 독일, 오스트리아 등 서부 유럽에서는 lattice girder라는 터널지보재를 개발하여 사용하고 있다(Bauman et al., 1884). Lattice girder는 1965년경 독일에서 처음 시공되었으며, 일본에서는 이와 유사한 지보재인 철근 지보공을 神戸市 벨트콘베어 터널에서 처음 시험시공한 이래 많은 터널현장에 적용되고 있다.(花田基樹 等, 1989)

현재까지 외국의 적용 사례들로부터 시공성 측면에서 lattice girder는 H-형강 steel rib에 비하여 우수한 것으로 평가되고 있으며(Betzel, 1987), 국내에서도 문 等(1995)의 연구에서 슛크리트 리바운드량, 배면공극 및 타설시간 등 여러 가지 측면에서 lattice girder의 우수성이 입증된 바 있으며, 특히 슛크리트 타설시 굴착면과 girder 사이의 공극을 최소화 할 수 있으므로 슛크리트와 lattice girder는 일체화된 합성재료로 간주될 수 있다는 결론에 도달하였다. 본 연구에서는 터널지보재로서 lattice girder의 적용성에 관한 연구의 일환으로 굴곡시험과 압축시험을 통해 lattice girder의 하중지지력을 정성·정량적으로 평가하여 터널지보재로서의 활용성에 대하여 알아보았다.

2. Lattice Girder의 특성

2.1 Lattice Girder의 일반적 특성

Lattice Girder는 그림 1에서 보이는 바와 같이 하중을 지지하는 3개 또는 4개의 지지강봉(tubar)과 이를 연결하는 연결부재(spider)로 이루어져 있으며, 다양한 형태로 제작이 가능하다(Braum, 1983). Spider는 주 부재인 tubar를 연결하여 상·하부 tubar의 뒤틀림을 방지하고 휨모멘트나 전단력을 분산하는 구조적인 기능을 가지도록 되어 있다. 이와 같이 lattice girder는 3차원 뼈대구조로 설계되어 있어서 경량·강하게 설치 및 숏크리트 타설이 용이하며, 다음 단계 굴착을 위한 보조공법의 template로 사용될 수 있다. 또한 불규칙한 터널 형상에 대해 대처가 용이하며, 숏크리트 타설시 리바운드량을 경감시키고 긴밀한 합성구조체로 방수성이 양호할 뿐만아니라 rock bolt, forepoling 등 보조공법과의 접합이 용이하며, prestressing이 가능하여 배면의 공극을 경감시켜 암반의 이완영역을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 그림 2에서는 주로 사용되고 있는 lattice girder Type 75, 90 및 H-형강 100×100, 125×125의 제원을 보여주고 있다.

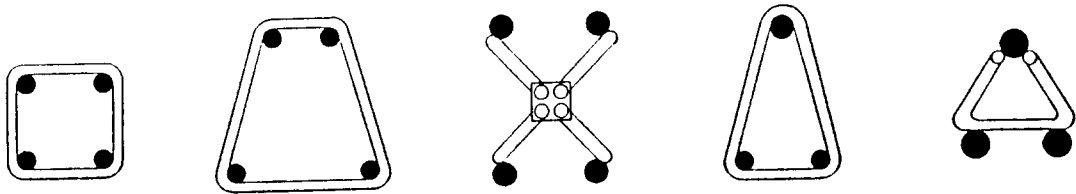
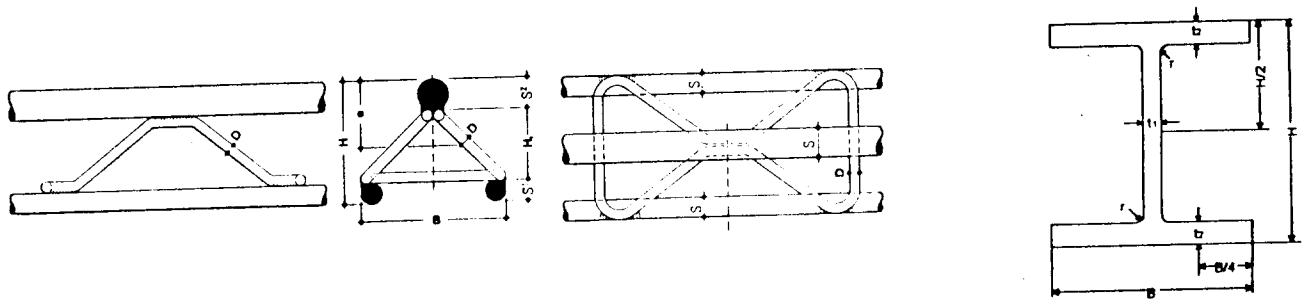


그림 1. 각종 Lattice Girder의 형상



재료구분		H (mm)	B (mm)	t or ϕ (mm)	A (cm^2)	W (N/m)
Lattice Girder	Type 70	124	140	$s_1=22, s_2=32$	15.64	143
	Type 95	155	180	$s_1=26, s_2=34$	19.70	182
H-형강 Steel Rib	H-100	100	100	$t_1=6.0, t_2=8.0$	21.90	172
	H-125	125	125	$t_1=6.5, t_2=9.0$	30.31	238

(Lattice Girder의 Spider 직경은 $\phi 10\text{mm}$)

그림 2. Lattice Girder 및 H-형강의 제원

2.2 재료적 특성

Lattice girder는 단면의 구조적인 설계뿐만 아니라 강재의 재료적인 측면에서 독특한 know-how로 제작되는데 독일에서는 tubar 및 spider의 강도 및 신율에 대해 표 1과 같이 규정하고 있다.

표 1. Lattice Girder의 재료규정(천원공업주식회사)

구 분	Tubar	Spider
극한강도(U.S.)	560N/mm ² (57kg/mm ²)	550N/mm ² (56kg/mm ²)
항복강도(Y.S.)	510N/mm ² (52kg/mm ²)	500N/mm ² (51kg/mm ²)
극한신율(U.E.)	14% 이상	10% 이상
항복신율(Y.S.)	6% 이상	

현재 국내에서 적용되고 있는 H-형강이나 각종 구조용 강재는 SS41을 이용하나 lattice girder는 일반적으로 국내에서 이용되지 않는 특수강으로 제작된다. 표 2는 lattice girder에 적용되는 강재와 SS41 강재의 특성을 비교하고 있는데 보이는 바와 같이 lattice girder의 화학적 조성은 H-형강(SS41)과 대동소이하나 특수한 공정으로 제작되어 항복 및 인장강도 규격이 SS41에 비하여 우수한 특성을 가지고 있는데 소재분석 결과 lattice girder의 단면은 일정한 금속성분이 아닌 경화층, 경계층 및 내부 등 3부분으로 구성되며, 각 층을 적절히 조화시켜 강도와 인성이 증가된 것으로 보고되어 있다.

표 2. Lattice Girder 및 H-형강의 재료적 특성(기아특수강, 1996)

시 료		C (wt.%)	Si (wt.%)	Mn (wt.%)	P (wt.%)	S (wt.%)	U.S N/mm ²	Y.S N/mm ²	EL (%)
Lattice Girder	φ 18	0.20	0.16	0.84	0.022	0.031	674.0	554.0	39.50
	φ 22	0.22	0.17	0.83	0.016	0.038	678.0	565.0	25.30
H-형강 Steel Rib (SS41)	H-100	0.13	0.18	0.62	0.023	0.034	475.6	339.3	25.00
	H-125	0.12	0.18	0.62	0.030	0.036	469.5	351.0	26.83

3. 시험방법 및 내용

본 연구에서는 lattice girder와 H-형강의 하중지지력을 비교·분석하기 위하여 본교에서 보유하고 있는 하중재하 장치인 Universal Testing Machine (UTM)을 이용하여 굴곡 및 압축시험을 수행 하였다. UTM의 최대 재하능력은 1000 kN이며, 변위조절 방식으로 변위속도를 시험조건에 맞게 자동으로 조절할 수 있다. 또한 하중과 변위의 측정은 load cell 및 LVDT를 이용하였으며, 측정된 하중 및 변위는 TDS-301을 이용하여 수치화 하였다.

3.1 시험방법

가) 굴곡시험방법

Lattice girder와 H-형강의 지보능력을 상대 비교하기 위하여 단순 지지 girder에 집중하중을 작용시키는 방법으로 굴곡 강도시험을 수행하였다. 굴곡시험 방법은 lattice girder의 품질시험 규정(그림 3)에 따라 단순지지보(지간=1.5m)의 중앙에 집중하중을 적용시키는 삼점재하 굴곡시험을 적용하였으며, 하중 재하속도는 1.0(mm/min)로 하였다.

시험결과는 하중-변위곡선으로 부터 결정된 최대하중(P)을 이용하여 아래의 식 (1)로부터 계산된 굴곡모멘트(M)를 이용하여 분석하였다. 식 에서 F 는 최대하중 이며, L 및 l 은 각각 지간 및 재하판의

폭으로 1.5m 및 7.5cm 이다.

$$M = \frac{P}{8} (2L - l) \quad (1)$$

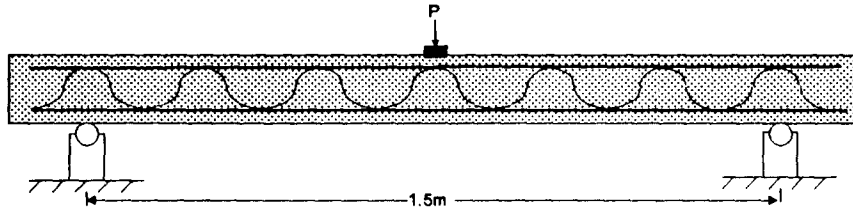


그림 3. 굴곡강도 시험(삼점재하시험) 방법

나) 압축시험방법

압축시험은 단순압축시험을 수행하였으며, 하중의 재하 속도는 굴곡시험과 같이 1.0(mm/min)으로 하였다. 시험결과는 하중-변위곡선에서의 최대하중(P)과 강재의 단면적(A)으로부터 아래 식 (2)으로부터 계산된 축 응력(σ)의 비교를 통해 분석하였다.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

3.2 시편의 준비

굴곡시험용 시편은 lattice girder의 품질시험 규정에 따라 그림 3과 같이 7개의 spider가 포함되도록 하였는데 이 경우에 있어서 시편의 길이는 Type-70 및 95의 경우 각각 200 및 210cm이며, H-형강 100×100 및 125×125 역시 같은 길이로 제작하였다. 또 슛크리트가 타설된 경우의 하중지지력을 평가하기 위하여 현장의 슛크리트 두께(약 20cm)를 감안하여 가로·세로 20cm의 합성보를 제작·시험하였다. 또한 lattice girder와 H-형강의 압축시험을 위한 시편은 lattice girder에서 3개의 spider가 포함된 길이 (Type 70의 경우 87cm, Type 95의 경우 90cm)로 하였으며, H-형강 또한 lattice girder와 같은 길이로 제작하였다.

한편 강지보는 굴착단계 또는 단면형상을 고려하여 터널 내부에서 조립되므로 연결부가 발생하는 데 연결부는 굴곡모멘트, 축방향력, 전단력에 대해 충분한 강성을 보유하여야 하므로 연결부가 포함된 시편 또한 제작·시험하였다. Lattice girder의 연결은 bolt 연결법, bolt 및 wedge 연결법을 이용할 수 있으나 본 연구에서는 H-형강과 같은 bolt 연결법으로 하였다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 휨 지지력

4.1.1 슛크리트 타설 전의 휨 지지력

가) 연결부가 포함되지 않은 부재

그림 4는 연결부가 없는 lattice girder와 H-형강 steel rib에 대한 굴곡시험 결과에서 얻어진 하중 (P)-변위(δ)의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 최대하중은 lattice girder Type 70 및

Type 95 에서 모두 약 85 kN 정도이며 H-형강 100×100 및 125×125는 각각 71 kN 및 118 kN으로 나타나고 있다. 한편 최대하중에 도달한 변위는 lattice girder Type 70의 경우는 16~30mm, Type 95는 8~9 mm이며, 변위가 증가하면서 하중의 감소와 회복이 반복되는 경향을 보이는데 이는 하중이 증가하면서 용접부 및 spider의 파괴에 기인한 것으로 판단된다. 한편, H-형강은 약 7 mm의 변위에서 항복상태에 도달한 후 소성변형이 지속되는 경향을 보여 주고 있다.

굴곡시험에서 얻어진 최대하중과 변위, 그리고 식 (1)로 계산된 최대 굴곡모멘트가 아래의 표 3에 나타나 있다. 보이는 바와 같이 lattice girder Type 70 과 Type 95의 최대 굴곡모멘트는 각각 25(kN-m) 및 23.7(kN-m)로서 유사한 단면을 갖는 H-형강 100×100에 비해 우수한 하중지지력을 보유하고 있음을 알 수 있다. 한편 H-형강 125×125의 최대굴곡모멘트(33.8 kN-m)가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 부재 자체의 단면적이나 단면계수가 가장 크기 때문이라고 할 수 있으며, 단면이 큰 lattice girder에 대한 시험을 수행한다면 이에 상응하거나 우월한 결과를 보일 것으로 사료된다.

표 3. 굴곡강도 시험 결과 (연결부가 없는 경우)

구 분		최대하중 (P_{ult} , kN)	파괴시변위 (δ , mm)	지간(l , m)	최대굴곡모멘트 (M_{ult} , kN-m)
Lattice Girder	Type 70	87.3	31.33	1.5	25.0
	Type 95	82.5	16.50	1.5	23.7
H-형강 Steel Rib	100×100	71.2	8.33	1.5	20.4
	125×125	118.0	8.50	1.5	33.8

또한 시험과정에서 보여준 변형 양상에서 H-형강은 재하지점의 과도한 굴곡으로 파괴가 발생하는데 반해 lattice girder는 재하지점과 지점 사이에서 용접부 또는 spider의 파괴가 발생한 것을 관찰할 수 있었는데 이는 spider가 lattice girder의 상·하부 tubar 사이에서 적절히 하중을 분산시켜 하중지지력을 향상시키는 매우 중요한 요소임을 알 수 있다. 결국 lattice girder는 H-형강에 비하여 유연성이 매우 크며, 실제 문제에 있어서는 터널굴착시 불연속면에서의 응력집중을 효과적으로 분산시키는 과정을 통해 전체적인 지보능력을 향상시키고 나아가서는 이완영역을 감소시키므로써 터널 지보재에 작용하는 토압을 경감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

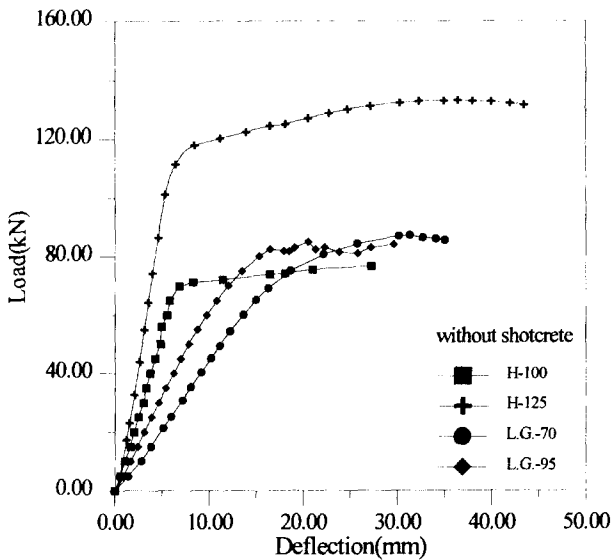


그림 4. Lattice Girder와 H-형강의 굴곡시험 결과 (연결부가 포함되지 않은 경우)

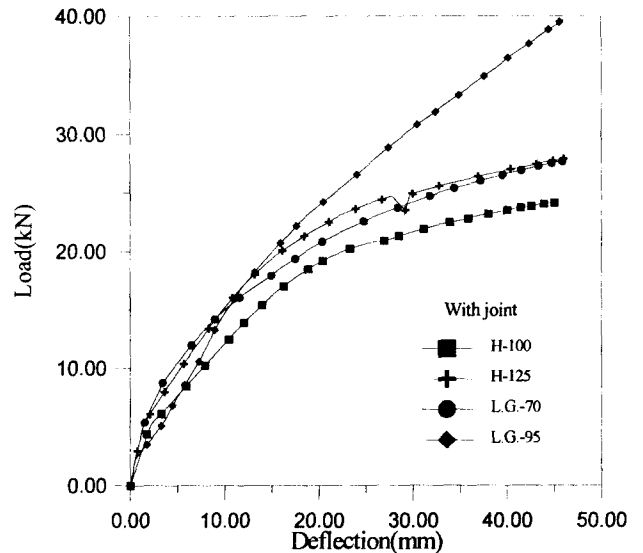


그림 5. Lattice Girder와 H-형강의 굴곡시험 결과 (연결부가 포함된 경우)

나) 연결부가 포함된 부재

연결부가 포함된 시편의 하중-변위의 곡선은 그림 5에서 보이는 바와 같이 연결부가 포함되지 않는 경우와 큰 차이를 보이고 있다. 즉, 연결부가 포함되지 않은 경우는 30 mm 정도에서 최대하중이 발생하나 연결부가 포함된 경우는 하중이 증가함에 따라 변위가 지속되는 경향을 보이고 있다. 한편 시험 결과 연결부를 포함한 경우에 있어서도 역시 lattice girder가 H-형강에 비해 우수한 하중지지력을 보유한다고 할 수 있으나 하중지지력은 표 4에 나타난 바와 같이 lattice girder와 H-형강 모두 연결부가 없는 경우에 비하여 약 22~42%에 불과한 경향을 관찰할 수 있다. 이러한 경향은 지반의 국부적 파괴로 인해 강지보재의 연결부에 과도한 지압이 걸릴 경우 연결부에서 파괴가 일어날 수 있음을 나타내며, 따라서 연결부의 강성을 높일 수 있는 연결부 제작방법에 관한 연구가 요구된다.

표 4. 굴곡강도 시험 결과 (연결부를 포함한 경우)

구 분		최대 하중 (P_{ult} , kN)			최대 굴곡모멘트 (M_{ult} , kN-m)
		without Joint	with Joint	하 중 비	
Lattice Girder	Type 70	87.3	26.6, 24.0	27 %	6.9
	Type 95	85.0	36.3, 36.4	42 %	10.4
H-형강 Steel Rib	100×100	76.7	23.4, 22.3	29 %	6.4
	125×125	118.5	26.8, 26.4	23 %	7.6

4.1.2 슛크리트 타설 후의 휨 지지력

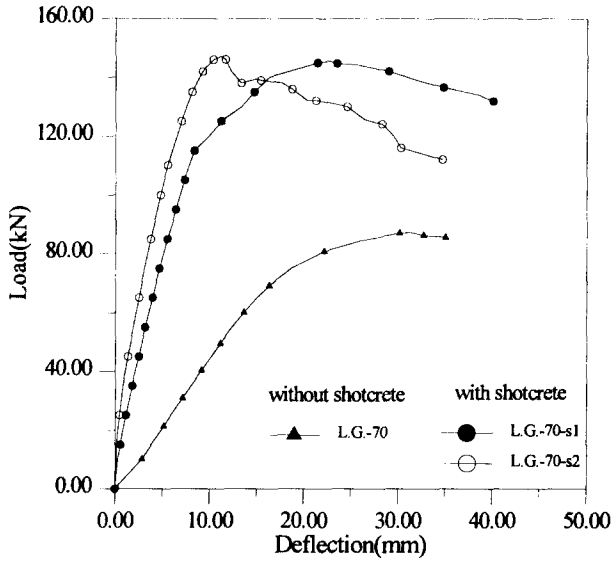
스�크리트 타설 후의 휨 지지력을 고찰하기 위하여 터널시공 현장에서 제작된 슛크리트 합성보를 7일간 양생시킨 후 굴곡시험을 수행하였으며, 그림 6은 그 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 lattice girder 및 H-형강의 하중-변위곡선은 슛크리트 타설로 인해 강성이 증가한 경향을 관찰할 수 있으며, 굴곡시험에서 얻어진 최대하중과 변위, 최대굴곡모멘트가 표 5에 나타나 있다.

표 5에 제시되어 있는 최대굴곡모멘트를 이용하여 각 부재의 슛크리트 타설 후의 하중지지력 증가 경향을 상대적으로 비교해 보면 lattice girder가 H-형강 steel rib에 비하여 우수한 지보효과를 나타내는 경향을 관찰할 수 있다. 특히 lattice girder의 경우 슛크리트 타설 후 하중지지력 증가율은 약 70~110%의 증가를 보이는 반면 H-형강의 경우 20~70%가량의 증가율만을 보이고 있다. 이와같은 경향은 lattice girder의 경우 슛크리트와 합성구조체를 형성하여 일체의 거동을 하는 반면 H-형강은 flange 배면에 발생하는 공동이나 부착력이 부족하기 때문인 것으로 그 원인을 찾을 수 있다

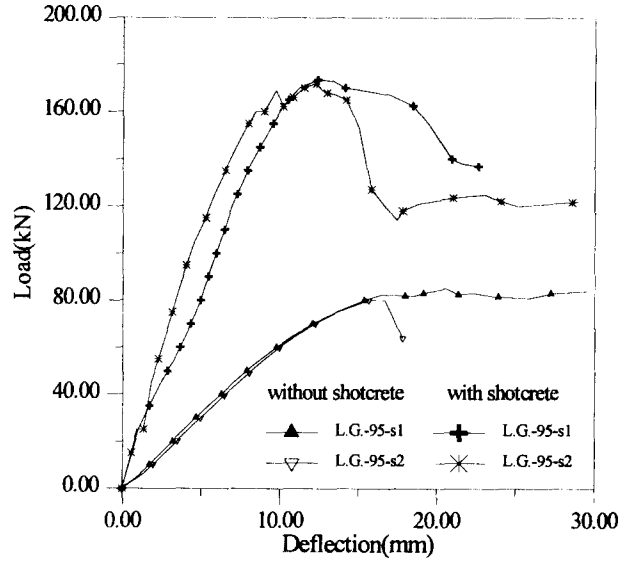
이상의 결과로부터 슛크리트 타설 후 pantex lattice girder는 슛크리트와 합성구조체를 형성하여 하중을 지지하므로 H-형강 steel rib에 비해 매우 우수한 휨 지지력을 보유한다고 할 수 있다.

표 5. 슛크리트 타설 후 굴곡시험 결과

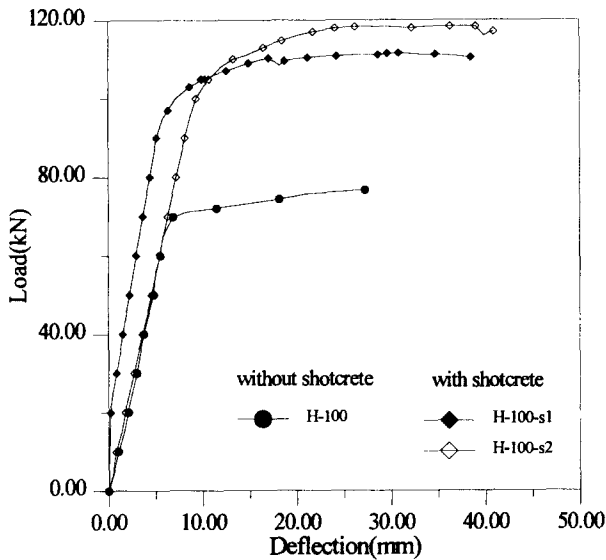
구 분		항복하중 (P_{ult} kN)	항복변위 (δ , mm)	최대 굴곡모멘트 (M_{ult} , kN-m)		
				스�크리트 전	스�크리트 후	증가율(%)
Pantex Lattice Girder	Type 70	147.0	11.11	25.0 (1.00)	42.2 (1.00)	69
	Type 95	173.5	12.34	23.7 (0.95)	49.8 (1.18)	110
H-형강 Steel Rib	100×100	113.0	16.47	20.4 (0.82)	32.4 (0.77)	20
	125×125	205.0	16.48	33.8 (1.35)	58.8 (1.39)	74



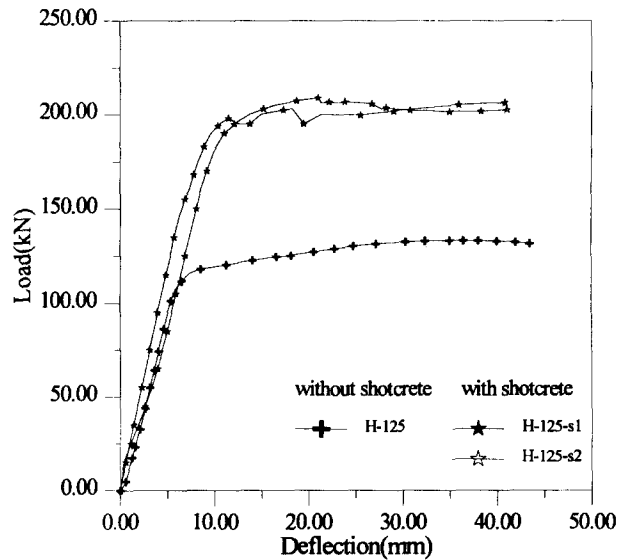
(a) Lattice Girder Type 70의 하중-변위곡선



(b) Lattice Girder Type 95의 하중-변위곡선



(c) H-형강 100×100의 하중-변위곡선



(d) H-형강 125×125의 하중-변위곡선

그림 6. 슛크리트가 타설된 Lattice Girder와 H-형강의 하중-변위곡선

4.2 압축 지지력

4.2.1 슛크리트 타설 전의 압축 지지력

가) 연결부가 포함되지 않은 부재

그림 7은 lattice girder와 H-형강 steel rib의 압축시험으로부터 얻어진 하중-변위의 관계를 보여주고 있다. 이러한 하중-변위 곡선으로부터 계산된 최대 압축력과 이때의 변위가 표 6에 나타나 있는데 보이는 바와 같이 lattice girder Type 70의 최대압축력은 770kN, H-형강 100×100은 660kN 정도를 보

여주고 있으며, 이때의 변위는 각각 4mm 및 5mm 정도이다. 한편 lattice girder Type 95 및 H-형강 125×125의 경우는 UTM의 재하능력을 감안하여 800 kN 정도에서 시험을 중단하였으나 전체적으로 lattice girder는 H-형강에 비하여 단면적이 작음에도 불구하고 강성이 큰 것으로 나타나고 있다.

강재의 단면적을 고려하여 식 (2)로 계산된 최대압축응력이 표 6에 나타나있는데 보이는 바와 같이 lattice girder Type 70의 최대압축응력은 약 49(kN/cm²)으로 H-형강 100×100의 30(kN/cm²)에 비하여 약 1.6배 정도 큰 지지능력을 발휘하는 것으로 나타나고 있다. 또한 최대 지지력에 도달하는 과정에서의 임의 변위에서의 압축응력을 고려하여 볼때도 역시 lattice girder가 H-형강에 비하여 전반적으로 매우 우수한 압축지지력을 발휘하는 것으로 나타나고 있다.

표 6. 압축강도 시험 결과 (연결부가 없는 경우)

구분	변위 (δ, mm)	단면적 (A, cm ²)	최대하중 (P _{ult.} , kN)	최대 압축응력 (σ _{max.} , kN/cm ²)
Pantex Lattice Girder	Type 70	4.09	770	49.23
	Type 95	2.96	810(중단)	41.12
H-형강 Steel Rib	100×100	7.41	658	30.05
	125×125	5.35	820(중단)	27.06

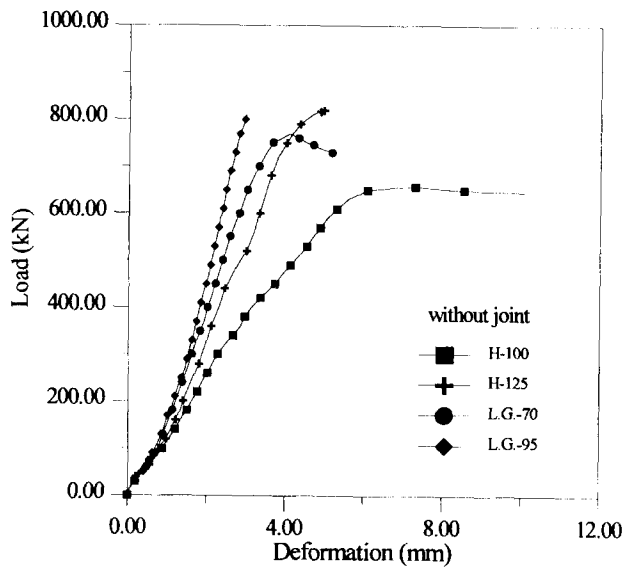


그림 7. Lattice Girder와 H-형강의 압축시험 결과 (연결부가 포함되지 않은 경우)

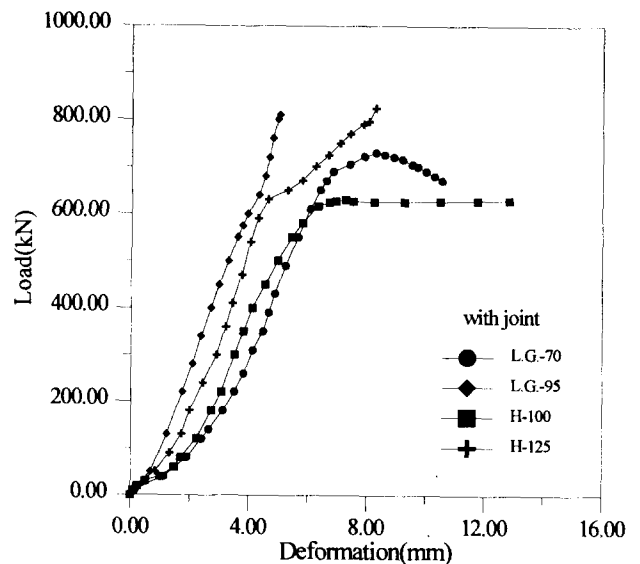


그림 8. Lattice Girder와 H-형강의 압축시험 결과 (연결부가 포함된 경우)

나) 연결부가 포함된 부재

연결부가 포함된 경우의 압축력에 대한 하중-변위의 관계가 그림 8에 나타나 있는데 일반적으로 연결부가 포함되지 않는 경우와 비교할때 큰 차이는 보이지 않고 있으나 전반적으로 연결부가 포함되지 않은 경우에 비하여 약 5% 정도 압축지지력이 저하된 것으로 나타나고 있다. 이와같은 결과는 굴곡시험과 달리 연결부 존재 여부가 축방향 압축지지능력에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 보여주고 있다.

시험결과로부터 얻어진 최대하중과 변위 및 최대압축응력이 표 7에 나타나 있는데, 최대하중은 lattice girder Type 70의 경우 730 kN으로 H-형강 100×100의 630 kN에 비하여 역시 우수한 하중지지능력을 보여주고 있다. 또한 lattice girder Type 70의 최대압축응력은 46.68(kN/cm²)이며, H-형강 100×100은 28.77(kN/cm²)으로 연결부가 있는 경우에도 역시 lattice girder가 약 1.6배의 지지능력을 발휘하는 것으로 나타나고 있다.

한편 lattice girder Type 95 및 H-형강 125×125의 경우에는 앞서 언급한 바와 같이 역시 80 ton 정도에서 시험을 종료하였으나 하중-변위곡선의 경향으로부터 유추해 볼 때 연결부가 있는 경우에도 pantex lattice girder가 H-형강에 비하여 보다 우수한 압축하중 지지능력을 보유하고 있다는 것을 알 수 있다.

표 7. 압축강도 시험 결과 (연결부를 포함한 경우)

구 분		변 위 (δ , mm)	단면적 (A, cm ²)	최대하중 (P _{ult} , kN)	최대압축응력 (σ_{max} , kN/cm ²)
Pantex Lattice Girder	Type 70	8.64	15.64	730	46.68
	Type 95	5.03	19.70	810(중단)	41.12
H-형강 Steel Rib	100×100	7.25	21.90	630	28.77
	125×125	8.50	30.31	825(중단)	27.22

5. 결 론

본 연구에서는 터널 지보재로서 lattice girder의 활용성에 관한 연구의 일환으로 lattice girder의 하중지지력을 평가하기 위해 굴곡시험 및 압축시험을 수행 하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) Lattice girder는 H-형강에 비해 우수한 하중지지력을 보유하고 있는 것으로 나타나는데 이는 사용 강재의 특성 및 전체적인 구조적 특성에 기인한 것으로 사료된다.
- 2) 굴곡시험 결과 연결부를 포함한 경우나 포함하지 않은 경우 모두 lattice girder Type 70 및 95가 H-형강 100×100 보다 다소 우수한 휨 지지력을 보유하는 것으로 나타났다.
- 3) Lattice girder와 H-형강 모두 연결부가 포함되어 있는 경우에는 현저히 낮은 휨 지지력을 보유하므로 효율적인 연결부 제작 방법에 관한 연구가 요구된다.
- 4) 슛크리트가 타설된 경우 lattice girder는 H-형강에 비하여 월등히 우수한 휨 지지력을 보이는데 이는 lattice girder와 슛크리트가 합성구조체를 형성하여 하중에 대응하는데 따른 것으로 사료된다.
- 5) 압축시험 결과 또한 lattice girder가 H-형강에 비하여 다소 우수한 압축 지지력을 보유한 것으로 나타났으며, 특히 lattice girder는 항복에 이르기까지 tubar의 독립적인 좌굴은 발생하지 않았는데 이는 spider의 하중분산효과 때문인 것으로 판단된다.
- 6) 이상의 시험결과를 종합해 볼 때 lattice girder는 현재 국내에서 사용되는 H-형강에 비하여 우수한 하중지지력을 보유하고 있으며 터널지보재로 슛크리트와 함께 사용되었을 경우 기존의 H-형강보다 월등한 하중지지력을 발휘할 수 있을 것으로 사료된다.
- 7) 터널 지보재로서 lattice girder의 적용성에 대한 심도있는 연구를 위해 실제의 하중조건과 유사한 하중조건에서의 실내시험을 추가적으로 수행하여야 하며, 지속적이고 체계적인 현장계측을 통해 lattice girder의 역할에 대한 개념 정립을 위한 시도가 뒤따라야 할 것이다.

☐ 참고문헌

- 1) 기아특수강, “Tubar 소재 Sample 분석결과 보고서”, 기아특수강 금속기술 연구소, 1996.4.17
- 2) 문홍득, 배규진(1995), “터널지보재로서 H형강 steel rib와 삼각지보재의 비교연구”, 한국지반공학회 '95 가을 학술 발표회, pp II-17 ~ II-24.
- 3) 천원공업주식회사(1996), “PANTEX LATTICE GIRDER 카다로그”
- 4) 花田基樹, 井春輔, 下村, 大西三郎(1989), “鐵筋支保工の試験施工- 神戸市へ“ルトコンへ”ヤトンネル“, トンネルと地下, 第20巻 11號, pp17~21
- 5) Bauman Th. and Betzle M.(1984), “Investgation of the Performance of Lattice Girders in Tunne lling”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol 17, pp67~81
- 6) Betzle M.(1987), “Lattice Girders Giving Arches a Dig in the Ribs”, *Tunnel & Tunnelling*, Nov
- 7) Braum W. M.(1983), “Lattice girders offer economy and performance for tunnel support”, *Tunnel & Tunnelling*, May, pp19~22
- 8) Donde P.M., Wagner H.(1992), “NATM subway station in soft ground”, *Towards New Worlds in Tunnelling, Balkema*, pp523~531 .
- 9) Haack A.(1989), “Recent research and development in tunnelling : select example from Germany and some other European countries”, *Progress and Innovation in Tunnelling*, Vol 2, Toronto Canada, Sep., pp927~953