

강재 품질에 따른 격자지보재의 성능평가

정혁상¹ · 신영완² · 송기일^{3*} · 신종호⁴

¹정회원, 동양대학교

²정회원, ㈜하경엔지니어링

³정회원, 인하대학교

⁴정회원, 건국대학교

Performance evaluation of lattice girder depending on the quality of steel

Hyuk-Sang Jung¹, Young-Wan Shin², Ki-Il Song^{3*}, Jong-Ho Shin⁴

¹Assistant Professor, Department of Railroad Civil Engineering, Dongyang University, Korea

²CEO, Hakyung Engineering CO., Ltd., Korea

³Associate Professor, Department of Civil Engineering, Inha University, Korea

⁴Professor, Department of Civil Engineering, Konkuk University, Korea

ABSTRACT: This paper dealt with contents on the performance evaluation of standardized steel and non-standardized steel of lattice girder. Lattice girder is arch type tunnel supports made of structural steel bar and it is girder used to ensure the stability of tunnel by suppressing any transformation of ground as much as possible during tunnel excavation. The performance evaluation of lattice girder can be conducted through bending strength test, tensile strength test and tunnel standard specification specifies that welding structural steel with over 500MPa yield strength shall be used. However, it is difficult to distinguish visually between standardized steel and non-standardized steel onsite if low-quality structural steel is used. Accordingly, this paper conducted performance evaluation of standardized steel and non-standardized steel of lattice girder to point out the issue of deteriorated yield strength of non-standardized steel, while proposed a method of verifying yield strength onsite.

Keywords: Lattice girder, Non-standardized lattice girder, Yield strength, Performance evaluation

초 록: 본 논문은 격자지보재의 규격자재와 비규격자재의 성능평가에 대한 내용을 다루었다. 격자지보재는 강봉으로 제작된 아치형의 터널지보공을 말하며 터널 굴착시 지반의 변형을 최대로 억제하여 터널의 안정성을 확보하기 위하여 사용되어지는 지보재이다. 이런 격자지보재의 성능평가는 휨강도시험과 인장강도시험을 통해 평가할 수 있으며 터널표준시방서에서는 항복강도 500MPa 이상인 용접용 강재를 사용도록 규정하고 있다. 그러나 저품질의 강재가 사용될 경우 현장에서 규격자재와 비규격자재를 육안으로 구분하기 어렵게 되었다. 따라서 본 논문에서는 격자지보재의 규격자재와 비규격자재에 대한 성능평가를 실시하여 비규격자재의 항복강도 저하의 문제점을 분석하였다.

주요어: 격자지보재, 비규격 격자지보재, 항복강도, 성능평가

1. 서 론

강지보재는 NATM공법에서 슛크리트와 록볼트와 함께 터널 굴착시 막장면의 안정성을 확보하기 위한

필수적인 지보재를 말한다. 터널 시공시 강지보재는 굴착한 직후, 록볼트가 설치되기 전, 슛크리트가 경화 되기 전까지 굴착된 지반의 변형을 최대로 억제하여 터널의 안정성을 확보하기 위하여 사용된다. 구체적으로 강지보재는 터널 굴착 후 지반의 이완을 최소화 하며 굴착면의 초기변형을 억제 할 뿐만 아니라 슛크리트와 강지보재가 일체 거동 할 수 있도록 인터페이스 역할을 한다.

*Corresponding author: Ki-Il Song

E-mail: ksong@inha.ac.kr

Received February 12, 2016; Revised February 26, 2016;

Accepted March 2, 2016

일반적으로 강지보재는 제작된 형상에 따라 H형강, U형강, I형강, Y형 강관, 격자지보재로 구분되는데 특히 H형강의 무거운 중량과 이로 인한 시공시 설치시간 지연 및 후속공정에 미치는 여파로 인한 문제점들이 제기되고 있고 슛크리트 타설 후 매끄럽지 못한 굴착면과 H형강이 일체화 되지 못하는 결합 등의 문제점이 단점으로 지적되고 있다.

이러한 H형강 강지보재의 단점을 보완하기 위해 개발된 것이 격자지보재(Lattice Girder)이다. 격자지보재는 스위스 Pantex Stahl 사에서 H형강 지보재의 대체 지보재로 개발되어 독일 및 프랑스 고속철도와 영불해저터널에서 사용되었고, 유럽에서는 교통터널 뿐만 아니라 상하수도, 발전 양수로 등 NATM공법으로 건설하는 대부분의 터널에서 광범위하게 사용되고 있는 지보재이다. 격자지보재는 상하의 강봉이 삼각형 또는 사각형의 단면 구조를 이루며 강봉은 스파이더와 결합되어 있는 형태를 지닌다. 격자지보재의 경우 H형강 강지보재보다 가벼워 설치가 용이하고 격자지보재의 구조적 특징으로 인해 슛크리트 타설시 슛크리트면에 발생된 공동에 대하여 밀실하게 타설하여 우수한 부착성을 가지고 있으며 슛크리트 리바운드량을 감소시킬 수 있는 부가적인 장점을 지니고 있어 현재 NATM터널에서 많이 사용되고 있는 지보재중 하나이다.

이러한 많은 장점들로 인해 격자지보재의 적용이 확대되면서 품질관리 또한 중요한 요소로 작용하고 있다. 최근 개정된 터널표준시방서(MOLIT, 2015)에 명시된 격자지보재의 품질기준을 살펴보면 격자지보재의 재질은 항복강도가 500 MPa 이상인 용접구조용 강재를 표준으로 하며 이와 동등 이상의 성능을 발휘하고 부재 간 완전한 용접성능을 발휘할 수 있는 재질 및 형상의 구조용 강재를 사용할 수 있는 것으로 기술되어 있다. 또한 강지보재 재질의 품질관리는 공인시험기관의 시험성적을 확인하는 것으로 대신하는 것으로 규정하고 있다(MOLIT, 2015). 그러나, 현장에서 격자지보재의 품질을 직접 확인할 수 있는 제도적

기들은 아직 마련되어 있지 않다. 더욱이 최근 중국산 저품질의 성능 미달 강재가 반입되면서 시험성적서와 육안조사에 의존해 규격 격자지보재를 선별하기에는 많은 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 격자지보재의 효과적이고 간편한 품질관리기준을 마련하기 위한 기초연구로서 격자지보재의 현장 품질관리의 필요성에 대해 연구하였고 격자지보재의 규격자재와 비규격자재의 휨강도, 항복강도시험의 비교·분석을 통해 격자지보재의 지지성능에 대한 연구를 실시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 격자지보재

강지보재의 시공성 저하, 굴착면과의 밀착성, 슛크리트와의 일체성 등의 문제로 유럽에서는 1960년대부터 격자지보재를 개발하여 사용해 왔다(Kim, 2009). 국내에는 1990년대 초에 국내에 소개된 이후 격자지보재의 현장 적용성 연구(Moon, 1999)가 검토되었으며 격자지보재의 설치 방향에 따른 성능을 검토한 연구에서는 순방향의 형상을 가진 격자지보재가 역방향의 격자지보재에 비해 최대하중과 강성이 높게 평가되는 연구 결과를 발표하기도 하였다(Kim et al., 2008). 최근 들어 격자지보재 성능 평가기법과 격자지보재 성능 기준 제시를 위한 연구가 진행되었으며 연구결과로 현행 격자지보재 기준의 기틀이 되었다.

격자지보재에 대한 성능평가 연구에 대한 연구가 이루어졌으며 격자지보재의 성능평가를 위한 하중지지방식에 대한 연구도 수행되어 휨강도시험에서 4-point 방법이 3-point에 비해 격자지보재의 성능을 보다 객관적으로 평가할 수 있다는 연구결과가 발표되기도 하였다(Kim et al., 2008). 또한 최근에는 격자지보재의 스파이더 형태를 변형하여 지지성능을 증대시킨 신격자지보재도 개발되었다(Kim et al., 2011)

격자지보재의 기능적면에서의 장점으로는 H형강

강지보보다 가벼워 시공성이 우수하며 슛크리트 타설 시 지반에 밀실하게 채울 수 있어 일체화 될 수 있으나 고가의 특수강을 사용해야 하고 용접부의 탈락 등은 단점으로 지적되고 있다.

격자지보재의 시공순서는 굴착면의 불안정한 암반과 격자지보재의 설치 라인을 넘는 암반을 제거하고 (under break) 설치 라인에 맞추어 초기 슛크리트를 타설한다. 초기 슛크리트 층에 맞추어 격자지보재를

설치하고 격자지보재를 덮기 위해 슛크리트를 절반 가량 타설한다. 이러한 과정을 반복한 후 이전의 설치한 격자지보재와 새로 설치한 격자지보재를 연결철근으로 고정시키고 격자지보재를 슛크리트로 완전히 타설하는 공정으로 이루어진다. Fig. 1은 격자지보재 시공 순서를 그림으로 보여주고 있다.

2.2 강지보재 적용 현황

2014년도 국내 강지보재 적용 현황을 살펴본 결과 10여개 제작업체에서 총 80개 터널현장에 적용한 것으로 조사되었으며 총 21,613 톤이 적용된 것으로 나타났다. 이중에서 H형강 지보재는 8,649 톤, 격자지보는 12,965 톤이 사용되었으며 터널 강지보재에서 H형강이 차지하는 비율은 40% 내외 인 것으로 파악되었고 격자지보는 약 60%를 점유하고 있는 것으로 나타나 강지보재 시장에서 격자지보재가 H형강지보재보다 많이 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 또한 격자지보재의 적용은 2010년 2만 톤에 불과하였으나 최근에는 사용성이 증대되어 연간 약 2.2만 톤에 이르는 것으로 조사되었다. Fig. 2는 2014년도 강지보재 적용 현황을 보여주고 있다.

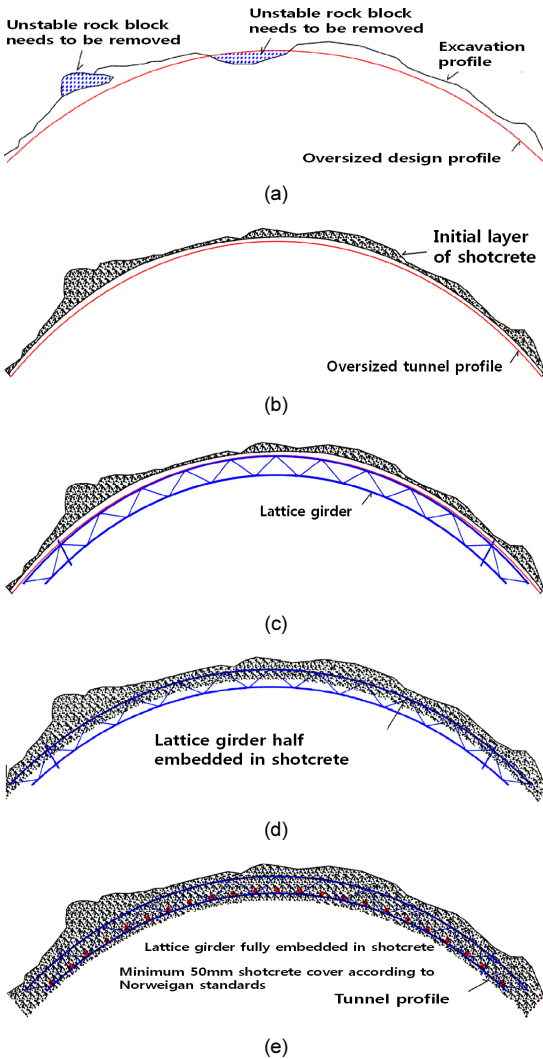


Fig. 1. Construction procedure of lattice girder : (a) Excavation; (b) Placing Initial shotcrete; (c) Installation of Lattice girder; (d) Lattice girder half embedded in shotcrete; (e) Lattice girder fully embedded in shotcrete

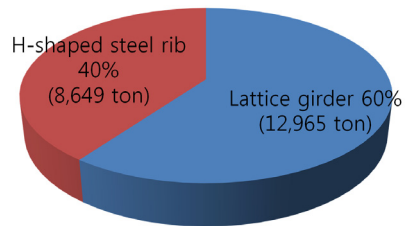


Fig. 2. Uses of steel support members in 2014

2.3 격자지보재 성능평가 기준

2.3.1 국내 기준

서론에서 전술한바와 같이 격자지보재의 품질 기준은 최근 제정된 터널표준시방서(MOLIT, 2015)에 명시되어 있다. 또한 Table 1에 나타난 바와 같이 현장에

Table 1. Quality control manual of lattice girder (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015)

Category	Statement	Test frequency
Shape and size	Check the shape and dimensions of lattice girder as specified	Upon delivery
Deformation and damage	Check the deformation and rust on the surface of lattice girder	Before construction
Construction accuracy	Check the location, verticality, height of lattice girder	After construction
Attachment	Check the attachment of lattice girder onto ground or shotcrete	After construction
Joint and connection	Check the construction quality of connection bolt and spacer	After construction

서 격자지보재의 품질을 관리할 수 있도록 관리항목을 두고 관리하도록 규정하고 있다. 터널설계기준과 터널 표준시방서를 분석해 본 결과 격자지보재의 현장 품질 관리 기준은 설계시 결정된 격자지보재의 종류와 용접 상태에 대한 육안 검사만 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 설계기준 및 표준시방서에서 규정하고 있는 격자지보재의 강봉 항복강도 기준 및 성능을 현장에서 검사할 수 있는 방법이나 기준이 없는 실정이다.

2.3.2 국외 기준

격자지보재가 최초로 개발된 유럽에서는 Table 2와 같이 격자지보재의 품질 및 성분에 대한 기준을 제시하고 있다. 강봉의 항복강도는 520 MPa 이상이어야 하고 스파이더 항복강도는 500 MPa 이상이어야 한다고 규정하고 있으며, 강봉과 스파이더의 기계적 특성 및 성분에 대하여도 규정하고 있다. 또한, 강봉의 용접성능을 평가하기 위하여 두개의 강봉을 일정 길이만큼 중첩하여 용접한 후 전단실험을 수행하여 기준을 만족하여야 한다.

Table 2. Lattice girder quality criteria in EU

Category	Bar	Spider
Yield strength	≥ 520 MPa	≥ 500 MPa
Ultimate strength	\geq Ultimate strength $\times 1.15$	≥ 550 MPa
Elongation	$\geq 14\%$	$\geq 10\%$
Carbon equivalent	0.48	0.48
Carbon content	0.16 ~ 0.24	0.16 ~ 0.24
Manganese content	0.8 ~ 1.0	0.65 ~ 1.0
Silicon content	0.15 ~ 0.35	0.15 ~ 0.35

2.4 격자지보재 품질 평가의 문제점

격자지보재의 변형 및 손상의 주요한 원인은 기반조건에 적합하지 않은 규격을 적용하거나 낮은 품질의 강재로 제작된 격자지보재를 사용함에 있다. 강재가 생산되어 현장에 격자지보재의 형태로 반입되기까지 여러 단계를 거치게 되는데, 각 단계별 명확한 품질관리 기준이나 제도적 체계의 수립이 필요하나 국내에서는 아직 육안검사에 의존하고 있는 실정이다.

우선, Table 1의 격자지보재의 현장 품질관리 현황을 살펴보면, 물품반입시와 시공전 격자지보재의 형상 및 치수, 그리고 변형 및 손상을 확인하는 것으로 현장에서의 격자지보재 품질관리가 이루어지게 된다. 즉, 격자지보재로 사용된 강재나 스파이더에 대한 재료적 측면에서의 적정성 여부가 관리되고 있지 않다는 것을 의미한다. 또한 이렇게 반입된 격자지보재로 시공을 하게 되면 슛크리트에 묻히게 되므로 그 재료의 적정성 여부는 터널 구조물을 손상시키지 않는

Table 3. Category bending test

Type	Standards lattice girder	Type	Non-standard lattice girder
CASE 1	50type-K-1	CASE 10	50type-S-1
CASE 2	50type-K-2	CASE 11	50type-S-2
CASE 3	50type-K-3	CASE 12	50type-S-3
CASE 4	70type-K-1	CASE 13	70type-S-1
CASE 5	70type-K-2	CASE 14	70type-S-2
CASE 6	70type-K-3	CASE 15	70type-S-3
CASE 7	95type-K-1	CASE 16	95type-S-1
CASE 8	95type-K-2	CASE 17	95type-S-2
CASE 9	95type-K-3	CASE 18	95type-S-3

상태에서 평가가 불가능하다.

이러한 제도적 및 기술적 한계로 인해 인증시험평가서나 Mill Sheet 상에 기재된 재료보다 저가의 저강도의 재료를 이용한 제품이 반입되어도 품질관리가 불가능한 현재의 평가 관리 시스템을 개선할 필요가 있다. 또한, 저강도 강재를 적용한 격자지보재의 경우 터널의 안정성에 미칠 수 있는 영향에 대한 학술적 연구와 분석도 미흡한 실정이다.

3. 실내시험

3.1 개요

격자지보재의 규격자재는 항복강도가 500 MPa이 상인 용접구조용 저탄소 강재이며 비규격자재는 규격자재 보다 강도가 현저하게 낮으나 크기 및 색상은 유사하여 육안으로 확인이 불가능한 자재를 의미한다.

본 연구에서는 비규격자재로는 외관상으로는 잘 구별되지 않지만 항복강도가 규격자재보다 현저하게 작은 SS400을 비규격자재의 예로 이용하였다. SS400은 일반 토목용 강재로 사용되는 대표적인 강재재료이다.

격자지보재의 품질성능평가는 휨강도시험과 인장강도시험을 수행하였다. 휨강도시험은 규격 격자보재와 비규격 격자지보재(SS400)의 품질성능을 비교하고자 실시하였으며 특히 강봉과 스파이더로 구성된 격자지보재의 지지성능을 확인하기 위하여 실시하였다. 또한 인장강도 시험은 규격 격자보재와 비규격 격자지보재(SS400)의 인장강도를 비교 분석하여 품질성능을 평가하고 성능기준의 만족 여부를 확인하고자 실시하였다.

휨강도시험에 사용된 시편은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 현장에서 사용하는 격자지보재와 동일한 곡선 시편을 제작하여 사용하였으며 시편의 직선길이는 2.0 m로 제작하였고 주강봉, 보조강봉 및 스파이더로 구성된 삼각형 형태의 격자지보재를 제작하여 시험하였다. 인장강도용 시편은 휨강도시험 후 시편의 일부를 가공하여 인장시험 시편으로 사용하였다.

시편의 종류는 크게 규격 격자지보재와 비규격 격

자지보재(SS400)로 구분하여 제작하였고 규격 격자지보재의 경우 항복강도 500 MPa를 만족시키는 자재를 사용하였고 비규격 격자지보재(SS400)의 경우 항복강도 500 MPa를 만족 시키지 못하는 SS400의 강재를 사용하여 제작하였다. 그러나 규격 격자지보재와 비규격 격자지보재는 주강봉과 보조강봉의 크기와 색상이 동일하므로 육안으로 구분하기 어렵다. 각각의 시편은 다시 크기에 따라 50 type (LG-50×20×30), 70 type (LG-70×20×30), 95 type (LG-95×22×32) 등 3종류 구분하여 제작하였다. Fig. 4는 시험에 사용된 규격 격자지보재 및 비규격 격자지보재를 보여주고 있다.

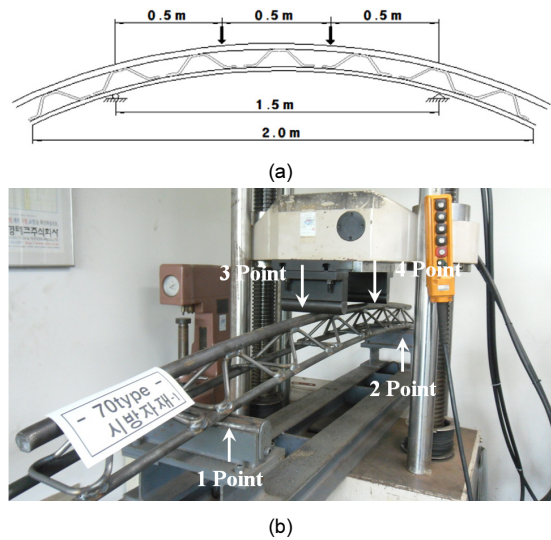


Fig. 3. Bending test sample and loading location : (a) Bending test specimen and loading location; (b) The test for bending

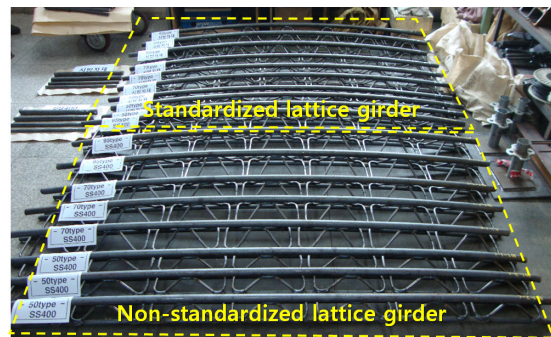


Fig. 4. Specimen for bending test (standard and non-standard)

3.2 휨강도시험

격자지보재의 휨강도시험은 독일 철도국에서 제안한 3-point 휨강도시험법과 콘크리트 재료분야에서 수행되고 있는 4-point 휨강도시험법으로 구분된다. 김동규 등(2008)은 3-point 휨강도시험법과 4-point 휨강도시험법의 비교 분석을 통해 3-point 휨강도시험방법 보다는 시편에 작용하는 두개 하중의 중심선을 스파이더와 주강봉 접촉부에 위치하는 4-point 휨강도시험방법이 격자지보재 시편 전체의 성능을 보다 객관적으로 평가 할 수 있는 시험방법이라고 보고하였다. 따라서, 본 연구에서는 4-point 휨강도시험법을 채택하였다.

4-point 휨강도시험을 통한 격자지보재의 성능 평가를 위해서 현장에서 적용되는 곡률을 가진 시험편을 이용하여 시험을 수행하는 것이 타당하다. 한편, 시공현장에 이러한 시험기가 운용되지 않는 경우 현장에 반입된 시험편에 대한 시험을 수행할 수 없는 한계점을 안고 있다. 휨강도시험은 각 시편에 대하여 3번 반복하여 수행하였다. Table 3에 휨강도시험 종류를 정리하여 나타내었다.

규격 격자지보재와 비규격 격자지보재(SS400)의 휨강도시험 결과, 50 type (LG-50×20×30)의 경우 규격 격자지보재의 평균 최대 휨강도는 74.71 kN으로

나타났으며, 비규격 격자지보재(SS400)의 평균 최대 휨강도는 61.11 kN으로 나타났다. 비규격 격자지보재(SS400)의 평균최대하중과 규격 격자지보재 평균최대하중의 비를 나타내는 평균휨강도비는 0.82로 나타났다.

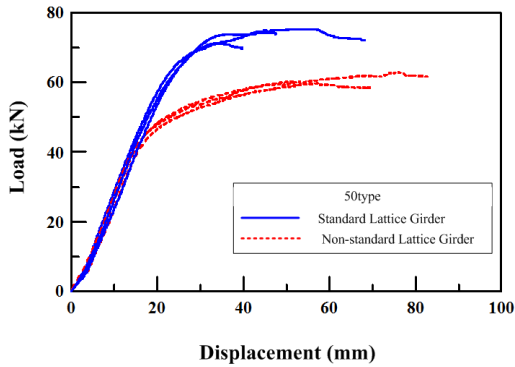
70 type (LG-70×20×30)의 경우 규격 격자지보재의 평균 최대 휨강도는 63.97 kN으로 나타났으며, 비규격 격자지보재(SS400)의 평균 최대 휨강도는 53.85 kN으로 나타났고 평균휨강도비는 0.84로 나타났다. 95 type (LG-95×22×32)의 경우 규격 격자지보재의 평균 최대 휨강도는 62.20 kN으로 나타났으며, 비규격 격자지보재(SS400)의 평균 최대 휨강도는 규격 격자지보재의 평균 최대 휨강도보다 작은 54.69 kN으로 나타났고 평균휨강도비는 0.87로 나타났다. 주강봉의 직경이 증가할수록 격자지보재의 지지 성능이 증가할 것으로 예측하는 것이 일반적일 수 있으나 예측과 다른 결과를 보이는 것은 강재 생산 당시 항복강도 500 MPa 이상의 기준만을 만족하도록 강재를 생산하기 때문에 강재의 직경이 증가하더라도 지지 성능은 증가하지 않는 것으로 분석되었다.

규격 격자지보재와 비규격 격자지보재(SS400)에 대해 각각의 타입별 3번의 휨강도시험을 수행한 결과를 종합해 볼때 비규격 격자지보재(SS400)의 최대 휨강도가 규격 격자지보재의 최대 휨강도보다 13~

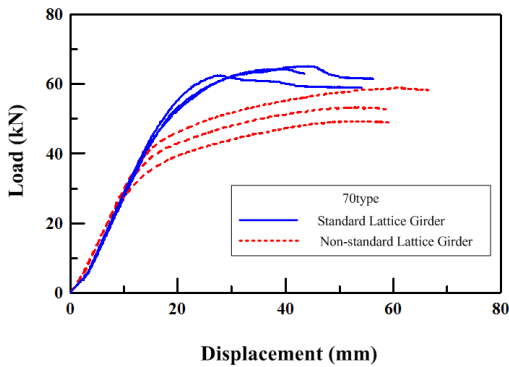
Table 4. Bending test results with displacement

Type	Bending test						Ratio (Avg. load ratio of standard and Non-standard)
	Standard lattice girder			Non-standard lattice girder			
	Type	Max.load (kN)	Avg. load (kN)	Type	Max.load (kN)	Avg. load (kN)	
50 type	50type-K-1	74.38	74.71	50type-S-1	62.98	61.11	0.82
	50type-K-2	74.38		50type-S-2	60.40		
	50type-K-3	75.36		50type-S-3	59.96		
70 type	70type-K-1	65.20	63.97	70type-S-1	53.30	53.85	0.84
	70type-K-2	62.42		70type-S-2	58.92		
	70type-K-3	64.30		70type-S-3	49.32		
95 type	95type-K-1	59.26	62.20	95type-S-1	53.40	54.69	0.87
	95type-K-2	61.80		95type-S-2	53.40		
	95type-K-3	65.54		95type-S-3	54.76		

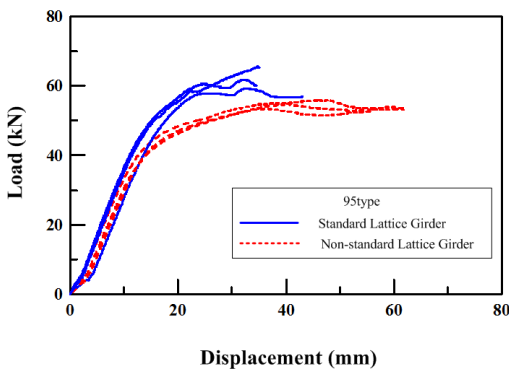
18% 부족한 것으로 나타났다. 이는 비규격 격자지보재의 지지능력이 최대 18% 부족함을 의미한다. Table 4는 휨강도시험 결과를 요약하여 나타내었고 Fig. 5는 휨강도시험 결과를 변위와 하중 관계그래프로 나타내었으며 Fig. 6은 휨강도 시험 후 시편을 보여주고 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Bending test results with displacement : (a) 50 type; (b) 70 type; (c) 95 type



Fig. 6. The specimen after bending test

3.3 인장강도시험

본 연구에서 수행한 인장강도 시험의 목적은 규격 격자지보재와 비규격 격자지보재(SS400)의 품질 성능을 평가하고 성능기준의 만족 여부를 확인하는데 있다. 시험방법은 격자지보재 인장강도 시험에 사용하는 강봉의 시편은 KS B 0801(금속재료인장강도 시험편)에 의거하여 가공하여 KS B 0802(금속재료 인장 시험 방법)에 의거하여 격자지보재 인장강도 시험을 수행하였다. Fig 7은 강제 시편 가공 및 인장강도 시험 전경을 보여주고 있다.



(a)



(b)

Fig. 7. Specimen preparation and Tensile strength test

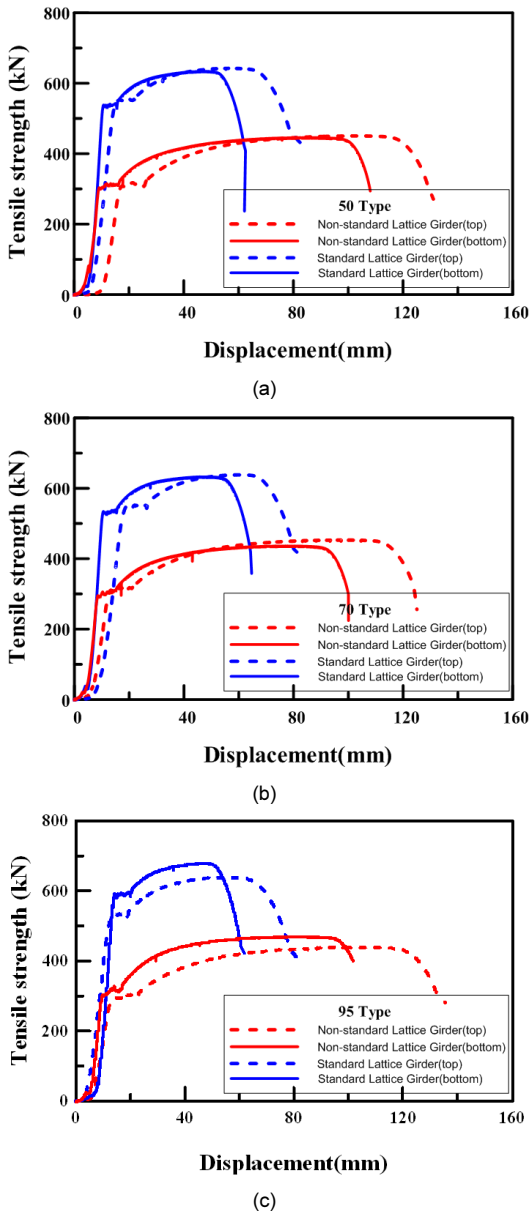


Fig. 8. Tensile strength test results with displacement : (a) 50 type; (b) 70 type; (c) 95 type

규격 격자지보재와 비규격 격자지보재(SS400)의 휨강도시험 결과 50 type의 상단(주강봉)의 경우, 규격 격자지보재와 비규격 격자지보재(SS400)의 항복강도는 각각 553.7 MPa, 317.4 MPa로 나타났고, 이를 규격 격자지보재와 비규격 격자지보재(SS400)의 항



(a)



(b)

Fig. 9. The specimen after tensile strength test : (a) Standard lattice girder (b) Non-standard lattice girder

도비로 분석해 봤을 때 항복강도비는 0.57, 비규격 격자지보재(SS400)의 인장강도가 규격 격자지보재의 인장강도에 비해 현저히 부족함을 알 수 있었다. 50 type의 하단(보조강봉)의 경우 규격 격자지보재와 비규격 격자지보재(SS400)의 항복강도비는 0.58로 분석되어 강도비 부분에 있어서 50 type 상단(주강봉)과 50 type 하단(보조강봉)의 강도비가 거의 유사한 것으로 나타났다. 이러한 강도비의 경향은 70 type 상단 및 하단과 95 type 상단 및 하단에 모두 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 규격 격자지보재의 경우 각각의 타입별 항복강도는 최소 534.3 MPa에서 최대 557.8 MPa로서 기준 항복강도인 500 MPa를 만족하는 것으로 나타났으나 비규격 격자지보재의 경우 최소 304.4 MPa에서 최대 327 MPa로서 기준 항복강도인 500 MPa를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. Fig. 8과 Table 5에 인장강도시험 결과를 그래프와 표로 나타내었으며 Fig. 9는 인장강도 시험 후 시험편의 전경을 보여주고 있다.

Table 5. Tensile strength test results

Type	Standard lattice girder		Type	Non-standard lattice girder		Yield strength ratio (non-standard/standard)	Tensile strength ratio (non-standard/standard)
	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)		Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)		
50type-K-Top	553.7	642.1	50type-S-Top	317.4	450.4	0.57	0.70
70type-K-Top	550.0	638.0	70type-S-Top	320.5	453.1	0.58	0.71
95type-K-Top	534.4	638.1	95type-S-Top	304.4	438.3	0.57	0.69
50type-K-Bottom	542.4	633.6	50type-S-Bottom	315.1	445.9	0.58	0.70
70type-K-Bottom	538.7	632.6	70type-S-Bottom	305.8	436.3	0.57	0.69
95type-K-Bottom	557.8	677.3	95type-S-Bottom	327.0	468.9	0.59	0.69

4. 결론

본 연구에서는 규격자재와 비규격자재로 제작된 격자지보재에 대한 휨강도시험과 인장시험을 통해 품질성능에 대한 비교 분석을 실시하였고, 격자지보재의 현장 품질성능평가 방법의 문제점에 대해 연구하였으며 연구 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

1. 4-point법으로 실시한 휨강도시험에서 비규격 격자지보재는 규격 격자지보재에 비해 지지성능이 최대 18% 부족한 것으로 분석되었다.
2. 인장강도시험에서는 비규격 격자지보재(SS400)의 항복강도와 규격 격자지보재의 항복강도 비를 나타내는 항복강도비가 0.57~0.59로서 비규격 격자지보재의 인장강도가 현격히 부족한 것으로 분석되었으며 기준 항복강도인 500 MPa을 만족시키지 못한 것으로 분석되었다.
3. 격자지보재의 현장 품질관리 기준은 격자지보재의 종류와 용접상태에 대한 육안 검사만 이루어지고 있고 터널표준시방서(2015)에서 규정하고 있는 격자지보재의 강봉의 항복강도 및 성능을 현장에서 검사할 수 있는 기준이 없어 문제점으로 지적되고 있다.
4. 격자지보재의 항복강도 성능을 현장에서 용이하게 검사할 수 있는 비파괴검사나 용접상태를 파악할 수 있는 기법 및 제도 마련이 시급한 것으로 판단된다.

References

1. Kim, D.K., Bae, G.J. (2008), “Developed of a laboratory testing method for evaluating the loading capability of lattice girder”, Korean Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 1-12.
2. Kim, D.K., Bae, G.J. (2011), “BK-Lattice girder”, Korean Tunnelling and Underground Space Technology, pp. 435-440.
3. Kim, D.K., Lee, S.H., Choi, Y.N. (2008), “Evaluation of loading capacity of lattice girder according to laboratory testing method”, 2008 Proceedings of Korean Geo-Environmental Society, Korean Geo-Environmental Society, pp. 399-460.
4. Kim, D.K., Lee, S.H., Kim, N.Y. (2009), “Status and capacity of lattice girder”, 2009 Proceedings of Korean Geo-Environmental Society, pp. 371-380.
5. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2015), “Guidelines for the design of tunnel”, pp. 48-50.
6. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2015), “Tunnel construction guide specification”, pp. 35-39.
7. Moon, H.D. (1999), “Evaluation on the applicability of a lattice girder for a support system in tunnelling”, Korean Society for Rock Mechanics, pp. 204-213.