

실내평가기법에 의한 새로운 격자지보재의 하중지지력 평가

Load Bearing Capacity Evaluation of New Lattice Girder by Laboratory Test Techniques

최영남¹⁾, Young-Nam Choi, 김동규²⁾, Dong-Gyou Kim, 배규진³⁾, Gyu-Jin Bae, 장연수⁴⁾, Yeon-Soo Jang

- ¹⁾ 동국대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dongguk University-Seoul
²⁾ 한국건설기술연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Institute of Construction Technology
³⁾ 한국건설기술연구원 연구위원, Senior Researcher Fellow, Korea Institute of Construction Technology
⁴⁾ 동국대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Environment Engineering, Dongguk University-Seoul

SYNOPSIS : Load bearing capacity of new lattice girder has been evaluated with optimized spider for lattice girder utilized in the construction of tunnels. This newly developed lattice girder is different from existing lattice girder as its design is associated with existing spider with newly developed 2 types of form. The spacing of lattice girder's spider is linked with the weight and it decides the unit cost and construction therefore, different spacing of the developed spider has been produced to evaluate the measurement of load bearing capacity. As the result of the tests by producing the spacing of spider as 0cm and 4cm for developed lattice girder-2, the load bearing capacity of 0cm with spacing of 21%, and 4cm with 25% of increase when they are compared with the existing lattice girder, and the weight of specimen was decreased. As the result of the tests by producing the spacing of 1cm and 6cm for developed lattice girder-3, the spacing of 1cm with 42%, and the spacing of 6cm with 11% of increase which presented higher load bearing capacity in all newly developed forms, and there was a certain degree of increase in weight in case of 1cm of spacing. The result of evaluation regarding on the displacement by applying the evaluation method suggested by the German Railroad administration, the entire specimens were found to satisfy all the evaluation standard suggested by the administration.

Keywords : Tunnel, Lattice girder, Load bearing capacity,

1. 서론

국내에서 주로 시공되는 발파-굴착공법인 NATM은 지하철 3,4호선의 시공부터 사용되었으며 현재도 많은 현장에서 사용되고 있다. 최근 철도 터널의 복선화/고속화, 국가 균형발전을 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. 터널 기술개발의 하나로 한국건설기술연구원에서 터널의 강지보재로 사용되는 격자지보재를 이용하여 스파이더 형상을 최적화하였다. 개발된 스파이더는 U자형 스파이더와 보강재 스파이더이다. 개발된 격자지보재의 하중지지력을 평가하고 경제성과 시공성과 관련된 스파이더의 무게를 고려하기 위해 개발된 스파이더의 간격을 다르게 제작하여 실험하였다. 독일철도국에서 제시한 변위에 대한 조건을 만족하는지 여부도 확인하였다.

2. 실험에 사용된 시편

2.1 실험 시편의 형상






표 1은 실험에 사용된 격자지보재를 정리한 것으로 기존의 격자지보재를 LG1(Lattice Girder 1)으로, U자형 스파이더와 삼각형스�파이더를 사용한 것을 LG2(Lattice Girder 2)로, U자형과 보강형 스파이더를 사용한 것을 LG3(Lattice Girder 3)로 하였다. 표 2는 스파이더의 간격을 나타낸 것으로 실제 실험에 사용된 시편의 형상이다. U자형 스파이더가 사용된 스파이더는 표 2와 같이 0cm, 4cm이고, U자형 스파이더와 보강형 스파이더의 간격을 사용한 것의 간격을 1cm, 6cm로 하여 제작하였다.

표 1. 사용된 격자지보재의 형상과 종류

| 종류 (시편 높이(mm)) | 스파이더 형상 | 시편의 이름 | 스파이더 간격 | 사용된 시편의 갯수 |
|------------------------|-----------------------|------------------------|---------|------------|
| 현재 격자지보재 (95 type*) | 삼각형 스파이더 | LG1 Lattice Girder1 | 2cm | 3 |
| 개발된 격자지보재 (95 type) | U자형 스파이더와 삼각형 스파이더 | LG2 Lattice Girder1 | 4cm | 3 |
| | | | 0cm | 3 |
| 새로운 격자지보재 (95 type) | U자형 스파이더와 보강재 스파이더 | LG3 Lattice Girder1 | 1cm | 3 |
| | | | 6cm | 3 |

*격자지보재의 형태는 시편의 높이로 종류를 나눈다.

표 2. 스파이더 간격별 시편의 형상

| 종류 | 스파이더 간격 | 시편 형상 |
|-----|---------|--|
| LG1 | 2cm |  |
| | 0cm |  |
| LG2 | 4cm |  |
| | 1cm |  |
| LG3 | 6cm |  |

2.2 평가 방법 및 실험방법

2.2.1 평가방법

평가방법은 독일 철도국에서 제시한 식 (1)과 같다. 이 식은 실제변위와 이론적변위의 차이가 5배 이하이면 변위기준을 만족한다고 제시하였다. 이론식에서 구한 변위는 최대처짐으로 단순보에 하중이 가

해질 때 허용할 수 있는 최대처짐을 나타낸다. 실제실험에서 발생하는 처짐을 식(2)의 이론식에 의해 구해진 최대처짐의 5배까지만 허용한다고 볼 수 있다.

그림 1과 같은 방법으로 독일철도국에서 제시한 시편 길이 1.5m에, 하중재하점의 간격을 0.5m로하여 실험하였다. 독일철도국에서 제시한 3 point 실험의 하중재하점에 따른 하중지지력의 차이가 크게 발생하지만 그림 1과 같은 4point 실험의 경우 시편의 하중 재하점에 관계없이 일정한 거동특성을 보여 하중 재하점에 따른 영향을 고려하지 않아도 되는 장점이 있다(김동규 외 1인, 2008). 4 point 실험의 경우 식 (2)와 같은 이론처짐식을 사용하고, 식 (2)에 $L=150\text{cm}$, 하중재하점간격($a=50\text{cm}$)을 대입하면 식 (3)과 같은 형태가 된다.



그림 1. 4 point 실험 조건

$$\frac{\text{실제변위}(f_i)}{\text{이론변위}(f_r)} \leq 5 \text{ 이면 적합} \quad (1)$$

여기서, f_i = 실제변위 ($0.8P_{\max}$ 의 하중이 가해질 때 변위 (mm))

f_r = 이론변위 (mm)이다.

$$\frac{P_{\max} \times L}{24 \times E \times I} \times (3L^2 - 4a^2) \quad (2)$$

$$\frac{P_{\max} \times L}{24 \times E \times I} \times 57500 \quad (3)$$

여기서, P_{\max} = 최대하중지지력(kgf)

L =지간 거리=150(cm)

E =탄성계수(kg/cm^2)

I =단면 2차모멘트= $589(\text{cm}^4)$ 이다.

탄성계수는 격자지보재를 구성하는 고강도 저탄소강의 $2360000\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 사용하였다.

2.2.1 실험방법

그림 1은 격자지보재에 적용된 4 point 휨강도 하중재하방식을 보여주고 있다. 하중전달바를 설치하고 하중을 나누어 재하하고 있다. 두개의 하중간격은 0.5m이다. 실험 전에 각 시편에 대하여 무게를 측정하여 각 격자지보재에 대한 강재 사용량을 비교하였다. 각각의 격자지보재에 대하여 3개의 시편을 제작하여 실내성능평가실험을 수행하였다.

그림 2는 한국건설기술연구원에서 보유하고 있는 유압서브 다목적 인장압축장비로 본 연구의 휨강도 실험 모습이다. 휨강도 실험은 변위제어방식을 사용하였으며 변위제어속도는 $2.0\text{mm}/\text{min}$ 를 적용하였다(김동규 외, 2007).

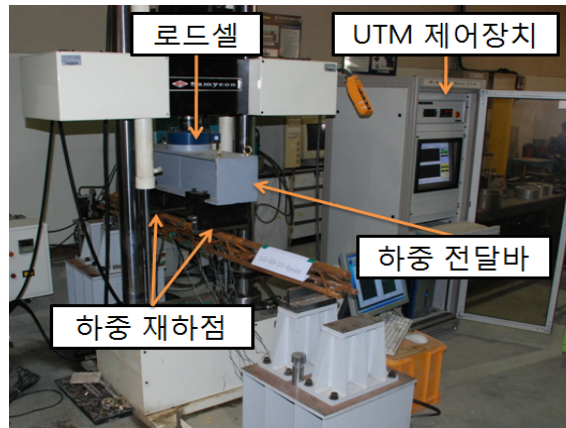


그림 2. 다목적인장압축시험기(4 point 실험)

표 3은 각 시편별 실험 조건을 나타낸다. 그림 2의 UTM장비에 시편을 표3과 같은 형태로 놓고 실험하였다. 각각 하중을 재하하는 위치와 지지점이 서로 다른 문제점이 있을 것으로 판단되어 하중재하점에 따른 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료된다.

표 3. 각 시편별 실험 조건

| 종류 | 스파이더 간격 | 하중 재하점과 지지점 |
|-----|------------|-------------|
| LG1 | 2cm | |
| LG2 | 0cm | |
| | 4cm | |
| LG3 | 1cm | |
| | 6cm | |

3. 실험 결과

3.1 경제성과 시공성 비교

시편에 사용된 강재의 무게를 통해 시편의 경제성과 시공성을 비교해 보았다. 실제 현장에서는 실험에 사용된 시편 길이 208cm보다 더 많은 강재가 사용된다고 보면 사용된 강재의 차이는 실제 공사비에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 수작업으로 설치되는 격자지보재의 특성상 무게가 가벼워지면 시공성도 향상될 것으로 사료된다.

표 4는 실험 전 시편의 무게를 재어 작성한 것으로 기존의 격자지보재의 경우 평균 30.66kg이고 LG2의 경우 30.41kg, 29.68kg으로 나타났다. LG3의 경우 31.17kg, 30.29kg으로 나타나 LG3 1cm간격을 제외

한 모든 시편의 무게가 적게 나타났다. LG2 4cm간격의 경우 3.3%로 적게 사용되는 것으로 나타나 시공비에 영향을 가장 크게 줄어드는 것으로 판단된다.

표 4. 시편길이 208cm에 대한 무게 비교

| 시편 형태 | 스파이더 간격 | 시편 무게 | | | | |
|-------|---------|----------|-------|-------|--------|-------|
| | | 각 시편(kg) | | | 평균(kg) | 증가률* |
| LG1 | 2cm | 30.69 | 30.60 | 30.65 | 30.66 | - |
| LG2 | 0cm | 30.60 | 30.23 | 30.35 | 30.41 | -0.8% |
| | 4cm | 29.84 | 29.63 | 29.46 | 29.68 | -3.3% |
| LG3 | 1cm | 31.17 | 30.97 | 31.27 | 31.17 | +1.6% |
| | 6cm | 30.30 | 30.26 | 30.33 | 30.29 | -1.2% |

3.2 하중지지력 비교

3.2.1 LG1과 LG2

그림 3과 4는 LG1과 개발된 LG2의 하중-변위관계를 나타낸 것이다. 개발된 LG2는 기존의 LG1보다 최대하중지지력이 우수한 것으로 나타났다. LG2-0cm간격의 그래프의 기울기는 LG1에 비하여 초기 강도 발현(탄성계수감소)이 늦어졌지만 LG1-2cm간격이 항복한 후에도 하중이 더 증가하였다. LG1-2cm간격 초기강도가 좋은 이유는 표 3과 같이 삼각형 스파이더가 하중을 직접적으로 지지하여 초기의 하중지지력이 더 높게 나타난 것으로 판단된다. LG2-4cm간격과 LG2-0cm간격을 비교하면(그림 3,4의 검정곡선) LG2-4cm간격의 시편중량이 가벼운 반면 하중지지력은 더 큰 것으로 나타났다.

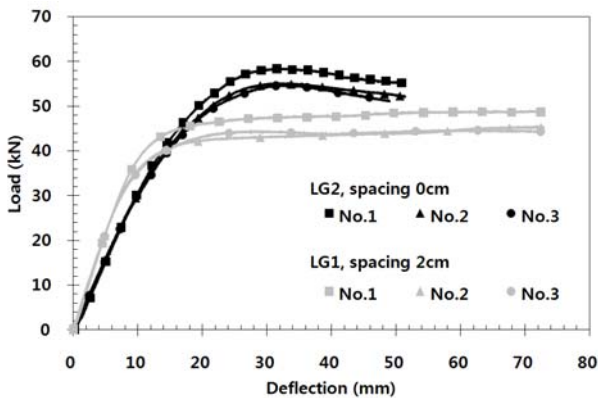


그림 3. LG1과 LG2-0cm

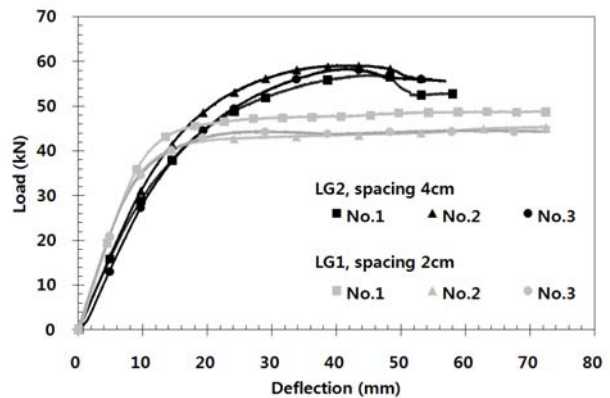


그림 4. LG1과 LG2-4cm

3.2.2 LG1과 LG3

LG3-1cm의 하중지지력은 기존의 형태보다 크게 우수한 것으로 나타났고 다른 형태의 시편들 보다도 높은 하중지지력이 나타났다.

LG3 1cm 간격의 No. 1시편의 경우 시편과 지지점이 맞닿지 않은 상태로 실험을 시작해 초기의 지지력이 다른 시편들과 다르게 나타났고 시편이 평행 상태가 된 후에 No.2, No.3와 비슷하게 거동하였다. 실험전 불안정한 요소를 가지고 실험하여 실험중간 하중에 변화가 생긴 것으로 판단된다. 보강재스파이더가 항복한 후에는 하중이 떨어지는 것으로 나타났다.

LG3-6cm의 경우 기존의 LG1과 하중지지력의 차이가 크지 않았다. 스파이더 간격이 너무 커서 스파이더가 그 역할을 제대로 수행하지 못해 발생하는 결과로 보여진다. 또한 LG3-1cm 시편과 다르게 전형적

인 탄소성 거동을 보인다.

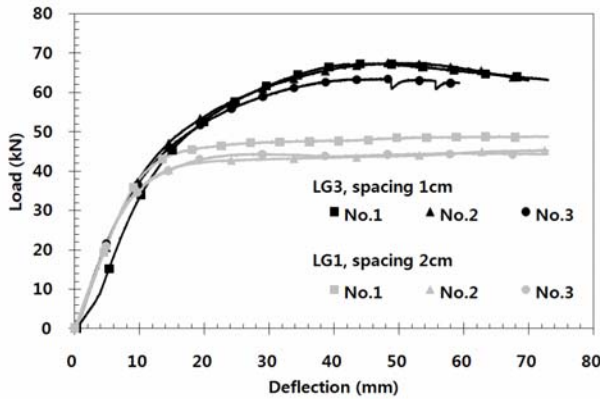


그림 5. LG1과 LG3-1cm

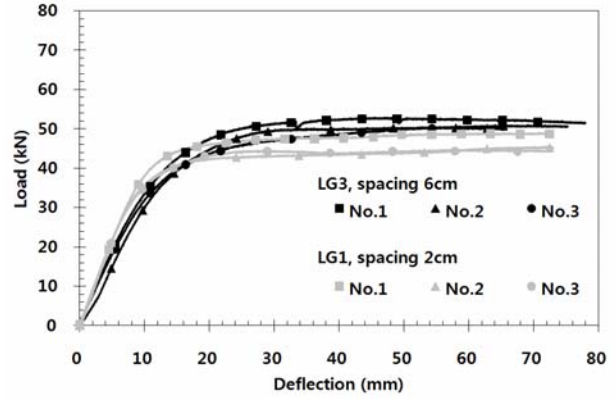


그림 6. LG1과 LG3-6cm

표 3은 최대하중지지력과 독일 철도국에서 제시한 변위조건에 대한 만족여부를 나타낸 것이다. 표 3처럼 새로 개발된 격자지보재는 독일 철도국에서 제시한 변위에 대한 조건도 만족하는 것으로 나타났다. 새로 개발된 격자지보재는 기존 격자지보재의 하중지지력이 가장 크게 나타난 시편보다도 최대하중지지력이 높게 나타나 새로 개발된 격자지보재가 기존 격자지보재보다 구조적으로 우수한 것으로 판단된다.

표 3. 최대하중지지력과 평가식*에 의한 평가

| 시편형태 | 스파이더 간격 | 최대 하중지지력(kgf) | | | | | 변위 (mm) | | 평가식 2)/1) | 평가 |
|------|---------|---------------|-------|-------|-------|--------|------------------|------------------|-----------|----|
| | | 각 시편 | 평균 | 최소 | 최대 | 증가률* | 이론 ¹⁾ | 실제 ²⁾ | | |
| LG1 | 2cm | 5,022 | 4,745 | 4,564 | 5,022 | - | 4.33 | 10.73 | 2.48 | 적합 |
| | | 4,649 | | | | | 4.01 | 10.57 | 2.64 | |
| | | 4,564 | | | | | 3.93 | 10.31 | 2.62 | |
| LG2 | 0cm | 5,974 | 5,734 | 5,591 | 5,974 | 21% 증가 | 5.15 | 17.23 | 3.35 | |
| | | 5,638 | | | | | 4.86 | 16.88 | 3.47 | |
| | | 5,591 | | | | | 4.82 | 17.03 | 3.53 | |
| | 4cm | 5,815 | 5,946 | 5,815 | 6,053 | 25% 증가 | 5.01 | 20.42 | 4.08 | |
| | | 6,053 | | | | | 5.22 | 18.36 | 3.52 | |
| | | 5,971 | | | | | 5.15 | 21.42 | 4.16 | |
| LG3 | 1cm | 6,882 | 6,757 | 6,487 | 6,902 | 42% 증가 | 5.93 | 20.94 | 3.53 | |
| | | 6,902 | | | | | 5.95 | 20.32 | 3.42 | |
| | | 6,487 | | | | | 5.59 | 18.77 | 3.36 | |
| | 6cm | 5,388 | 5,246 | 5,156 | 5,388 | 11% 증가 | 4.64 | 14.97 | 3.23 | |
| | | 5,156 | | | | | 4.44 | 15.76 | 3.55 | |
| | | 5,193 | | | | | 4.47 | 15.99 | 3.58 | |

*LG1의 최대하중지지력에 대한 증가률

4. 결론

본 연구에서는 기존 격자지보재보다 중량은 가볍고 또는 같은 중량에서 더 큰 하중지지력을 가지는 새로운 형태의 격자지보재의 하중지지력을 평가하였다. 실험 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) U자형 스파이더와 보강재스파이더의 간격을 1cm로 한 경우를 제외한 새로 개발된 격자지보재 모두

시편의 중량이 감소하여 시공성과 원가절감이 이루어질 것으로 판단된다. 특히 LG2-4cm의 경우 무게를 최소화하고 우수한 지지성능을 가진 것으로 나타났다.

(2) 삼각형 스파이더와 개발된 U자형스파이더를 사용한 격자지보재(LG2)의 경우 기존의 삼각형 격자지보재 보다 하중지지력이 21~25%정도 증가한 것으로 나타났으며, 개발된 U자형과 보강재스파이더를 사용한 경우(LG3) 11~44%정도 하중지지력이 증가하는 것으로 나타나 기존 격자지보재에 비하여 우수한 구조를 가진 것으로 판단된다.

(3) 새로 개발된 시편 모두 독일 철도국에서 제시한 변위에 대한 조건을 만족하는 것으로 나타났지만 기존 격자지보재에 비하여 실제 변위가 이론식에 의한 실제변위보다 더 많이 발생하는 것으로 나타났다. 새로 개발된 격자지보재의 경우 스파이더가 직접하중을 지지하지 않아 초기 강도의 발현이 늦는 때문으로 사료된다.

(4) U자형 스파이더의 경우 삼각형 스파이더보다 지지력이 우수하며 항복한 후에는 응력연화(strain softening) 거동을 보였다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Baumann, T., and Betzle, M.(1984), "Investigation of the Performance of Lattice Girders in Tunnelling", Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 17/2, pp. 67 ~ 81.
2. 김동규, 최윤희, 김동률(2007), "레티스거더 성능평가를 위한 실내시험기법의 평가", 2007 한국지반 공학회 가을학술발표회 논문집, pp. 1113~1120
3. 문홍득(1997), 격자지보의 터널지보재의 특성 및 현장 적용성 평가, 경희대학교 박사학위 논문
4. 한국건설기술연구원(1996), 터널지보용 레티스거더의 현장적용성 연구, 천원공업(주)