

터널지보재로서 격자지보(Lattice Girder)의 현장적용성 평가 연구

문홍득¹⁾ · 이성원²⁾ · 배규진³⁾

Evaluation of an applicability of lattice girders for the tunnel support

Hong-Deug Moon, Sung-Won Lee and Gyu-Jin Bae

ABSTRACT Generally the NATM technique uses shotcrete, rock bolts, H-beam steel ribs, and concrete lining for the tunnel support in Korea. Among them, H-beam steel ribs are extremely heavy and difficult for workers to handle. Therefore, especially in Europe, lattice girders are being used instead of H-beam steel ribs for tunnel support. Lattice girders have basically the same function as H-beam steel ribs in tunnelling. The main advantages of using lattice girders compared to H-beam steel rib supports are as follows: 1) lattice girders have relatively a low weight enough to be easily lifted and installed by labors and 2) they create a more effective bond with the shotcrete. The purpose of this study is to evaluate the effectiveness and applicability of lattice girders compared to H-beam steel ribs used in construction tunnel sites and to show that lattice girders can be adequately applied in domestic tunnel construction sites as a new tunnel support system.

1. 서 론

최근 국내에서 시공되는 각종 터널의 굴착공사시에는 NATM(New Austrian Tunnelling Method)공법이 주요 굴착공법으로 채택되어 이용되고 있다. NATM은 터널굴착 후 즉시 슛크리트와 록볼트 지보재를 설치함으로써 지반변위를 어느정도까지는 허용하되 지반의 강도를 크게 상실시키지 않는 상태에서 지반과 지보재가 평형을 이루도록 하는 공법이다. 이러한 NATM공법에서는 주로 슛크리트(shotcrete), 록볼트(rock bolt), H형강 지보재, 콘크리트 라이닝(lining) 등이 지보재로 사용되고 있다. 이 중에서 굴착된 막장면의 초기 지압지지와 터널 선형을 맞추기 위해 설치되는 H형강 지보재는 대부분의 터널현장에서 사용되고 있으나 비교적 무겁고 다루기가 어려워 지보재 설치를 지연시키는 등 터널막장의 초기 안정을 유지시키는데 문제점으로 지적되고 있다. 또한 H형강 지보재 설치 후 슛크리트 타설시에는 H형강 지보재의 프렌지(flange)로 인해 지보재 배면에 슛크리트가 타설되지 않는 공간

이 종종 발생하고 있다^{1,2)}.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 특히 유럽의 스위스와 독일에서는 강봉을 삼각형태로 엮어 기존의 강지보재를 대체할 수 있도록 격자지보(lattice girder)라 불리는 지보재를 개발하여 오래 전부터 터널 현장에 적용하고 있다. 그러나 국내의 경우에는 이에 대한 연구나 시공경험이 미흡한 상태이며 기존의 H형강 지보재를 이용한 지보방법만을 일률적으로 적용하고 있는 실정이다³⁾. 따라서 터널굴착 후 지보재를 조기에 설치함으로써 NATM 공법의 기본적 원리에 입각한 안전시공을 도모하도록 하기 위한 새로운 형태의 지보재 개발에 관한 체계적인 연구는 국내 건설시장의 개방화에 대비한 국내 터널 설계 시공기술의 국제 경쟁력 제고 측면에서도 절실히 요청되고 있다 하겠다.

따라서 본 연구에서는 기존의 무거운 H형강 지보재 대신에 강봉을 삼각구조로 엮어 트러스 부재와 유사한

* 1996년 5월 27일 접수

1) 정회원, 한국건설기술연구원, 선임연구원

2) 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원

3) 정회원, 한국건설기술연구원, 지반연구실장

격자지보를 국내에서 직접 제작하여 이를 터널 굴착지반을 단순하게 모형화한 모형벽체에 H형강 지보재와 함께 각각 설치한 후 슛크리트 리바운드량 및 타설시간, 지보재 뒷면의 슛크리트가 타설되지 않은 배면공간 등을 측정·분석하였고, 또한 이를 실제 터널현장에 시험시공한 경우의 지보재 설치시간 및 슛크리트 리바운드량 측정 등 격자지보의 시공성을 비교·분석하였다.

2. 격자지보의 특성

2.1 격자지보의 형태

격자지보의 일반적인 형태는 Fig. 1과 같이 주된 하중지지 역할을 담당하게 되는 원형강봉(bar)과 이들을 연결해 주는 연결용 부재(spider) 및 연결 이음부(joint)로 이루어져 있다. 터널 현장에는 일반적으로 상부의 직경이 큰 강봉을 터널의 내벽쪽을 향하게 시공한다. 또한 강봉 연결용 부재(spider)는 상·하 강봉의 뒤틀림을 방지하고, 토압저항, 휨모멘트 저항 및 축력전달 등의 구조적 기능을 가지고 있다. 격자지보는 그림과 같이 3개 또는 4개의 강봉을 사용한 삼각형태가 일반적이거나, 경우에 따라서는 4개의 강봉을 사용하여 제작한 사각형태의 격자지보도 사용되고 있다^{4,5)}.

강봉과 연결용 부재는 서로 용접으로 연결되며, 일정 길이의 격자지보를 서로 연결시키는 연결 이음부는 볼트와 너트로 연결한다. 격자지보를 서로 연결시키는 연결 이음부는 angle connector를 이용하는 방법과 강화 screw collar를 이용하는 방법으로 연결한다. 이러한 연결 이음부는 연결방법에 관계없이 터널단면에 작용하는 휨모멘트, 축력, 전단력 등에 견딜 수 있어야만 한

다⁴⁾. 이러한 연결방법 외에 분할굴착이나 2 혹은 3 아치 터널의 경우, 기존의 H형 강지보재를 사용하여 용접이나 기타의 방법으로 절단하던 것에 반해 격자지보를 사용하게 되면 절단작업을 하지 않고도 플레이트, 보울트, 너트 등으로 용이하게 이음부 작업을 수행할 수 있다^{6,7)}.

2.2 격자지보의 시공상의 특징

격자지보는 기본적으로 기존의 H형강 지보재나 U형강 지보재와 같은 강지보재와 동일한 역할을 수행하도록 제작되었는데, 격자지보의 구조적 특성상 H형강 지보재에 비해 시공성이 우수한 것으로 보고^{2,4)}되고 있다. 터널 지보용으로써 격자지보의 시공상의 특징은 다음과 같다³⁾.

- 1) 격자지보는 H형강 지보재에 비해 40~60%정도 가볍기 때문에 작업인부들에 의한 운반이 쉽고 또한 설치가 용이하여 막장의 조기안정이 요구되는 연약한 지반에서는 H형강 지보재보다 시공성이 우수하다.
- 2) 격자지보의 배면에까지 슛크리트 타설이 가능하므로 지보재 배면의 슛크리트 미타설 공간의 발생 가능성을 최소화 시킬 수 있고, 격자지보와 슛크리트 사이에 일체화된 구조물을 만들 수 있으므로 복합부재로서의 지보기능을 할 수 있다.
- 3) 격자지보는 슛크리트와의 부착력이 우수하여 슛크리트 리바운드량을 현저히 감소시키는 장점이 있다.
- 4) 슛크리트와 결합성(밀착성)이 우수하여 방수효과가 뛰어나고, 고품질의 콘크리트 구조체를 만들 수 있다.
- 5) 비교적 연약한 지반을 굴착할 때는 굴착전에 지반

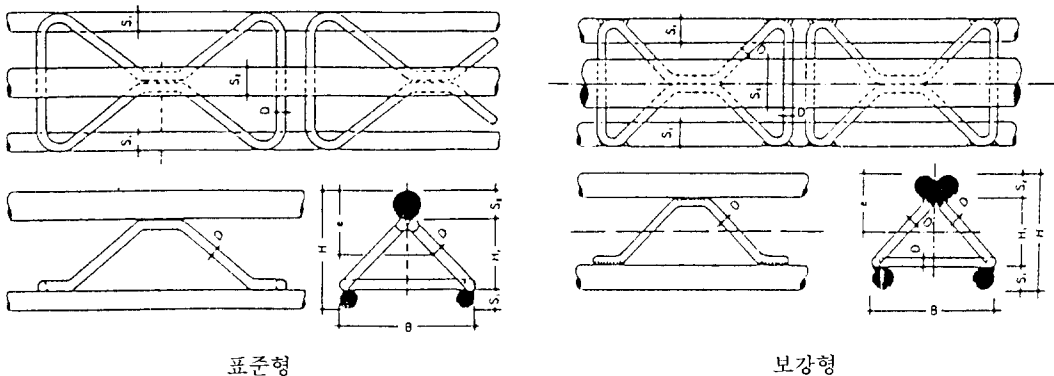


Fig. 1. Typical shape of lattice girders⁵⁾.

보강을 한 후 시공하게 되는데, 이때 불량한 막장면의 상부 천단부의 안정을 확보하고 여굴을 줄이기 위해 설치되는 포아폴링(forepoling)이나 스파일(spile)을 격자 지보 사이로 시공할 수 있기 때문에 설치각도를 최대한 줄여 시공할 수 있다. 또한 록볼트를 격자지보 사이로 설치해야 하는 경우에도 시공이 가능하다.

6) 지반조건이 열악한 경우 분할굴착으로 터널을 시공하는 2 아치(arch) 또는 3 아치(arch) 터널의 지보재의 이음부 연결작업을 손쉽게 할 수 있다.

격자지보는 이상과 같은 여러가지 시공상의 장점이 있으나 모든 측면에서 우수하다고 할 수는 없다. 먼저 격자지보는 강봉을 연결부재(spider)와 용접하여 제작하므로 완벽한 용접을 해야만 양질의 격자지보를 제작할 수 있다. 이와 같이 용접제작을 하기 위해서는 많은 인력이 소요되는 바, 자동화 설비를 갖추고 대량생산을 통해 제작경비를 낮출 수 있을 것이다. 한편 격자지보는 H형강 지보재에 비해 강성이 작기 때문에 고강성이 요구되는 지반에서는 적절한 재료선택에 신중을 기할 필요가 있다.

3. 모형벽체를 이용한 격자지보의 시공성 분석³⁾

본 연구에서는 격자지보의 시공성 검토를 위해 굴착 터널 벽면을 일정한 형태로 모형화한 모형벽체를 제작하여 지보재 설치 및 슛크리트 타설에 따른 리바운드량과 지보재 배면의 슛크리트 미타설 공간 발생여부를 실험적으로 파악하였다. 여기서 격자지보와 H형강 지보재를 설치한 각각의 모형벽체는 수직과 20° 정도 경사 지게 두가지 방법으로 설치되었는데, 이는 실제 굴착 터널의 측벽부와 천정부를 나타내기 위함이었다. 지보재 배면의 공간 발생여부는 슛크리트 타설후 양생된 모형벽체 뒷면의 벽체를 뜯어냄으로써 노출된 슛크리트 벽체에 대해 슈미트 해머(Shmidt's hammer)로 타격하여 각 부위에서의 슈미트 해머의 반발정도를 분석하여 평가 하였다.

3.2 모형벽체 제작 및 강지보재 설치

모형벽체는 가로 1.5 m, 세로 1 m의 크기로써 슛크리트 타설강도, 타설거리, 타설 후 벽체의 중량 등을 고려하여 특수 합판으로 제작하였다. 인위적인 여굴은 현장에서의 허용 여굴량을 고려하여 깊이를 15 cm로 하

였고, 여굴만의 총체적은 0.1125 m^3 이며 종방향으로 단위 길이당 여굴의 체적은 0.075 m^3 로써 모양에 있어서는 실제 현장에서 발생하는 여굴 형태와는 다르지만 H형강 지보재와 격자지보에 대한 단순 비교를 위해 사다리꼴의 여굴형태로 제작하였다.

이와 같은 방법으로 벽체를 제작한 후 모형벽체 앞면에 1 m 길이로 절단한 H형강 지보재와 격자지보를 각각 설치하였다. 이 때 각각의 지보재 크기와 형태는 실제 현장에서 사용하고 있는 것으로 H형강 지보재의 경우는 H 100×100이며, 격자지보는 동일한 높이를 갖는 격자지보 TYPE 60(H110×B100)이다.

Fig. 2와 Fig. 3은 H형강 지보재와 격자지보 설치시 모형벽체의 설계도면을 나타내고 있다. 벽체마다 각각 2개의 H형강 지보재와 격자지보를 벽체의 양쪽에서

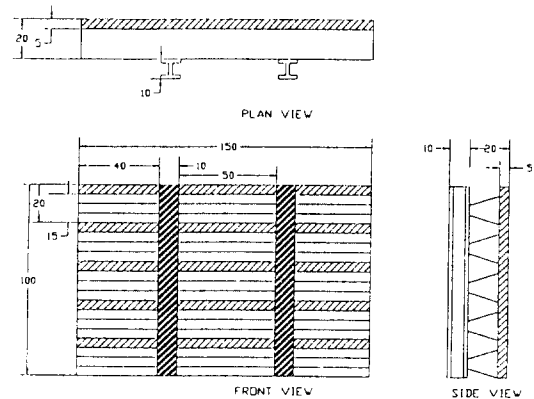


Fig. 2. Drawing of H-beam steel ribs installed on the model wall.

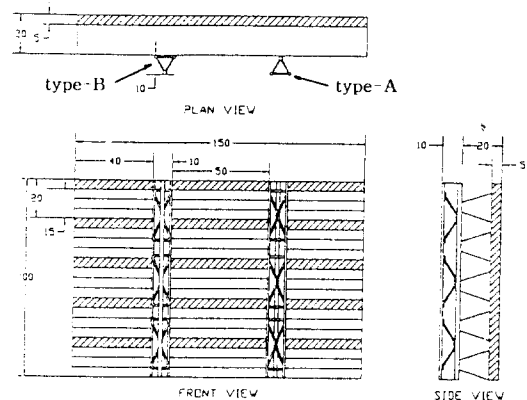


Fig. 3. Drawing of lattice girders installed on the model wall.

Table 1. Shotcrete mixture used in model wall and tunnel field tests

| Cement (kg) | Water (kg) | Sand (kg) | Gravel (kg) | W/C (%) | S/(G+S) (%) | 급결재 (kg) | 최대골재 치수 | 비고 |
|-------------|------------|-----------|-------------|---------|-------------|----------------------|---------|----|
| 400 | 164 | 981 | 768 | 41 | 56 | 26.5(시멘트 량의 6.5%) | 13 mm | |

40 cm를 띄우고 설치하여 총 4개의 모형벽체를 제작하였다. 격자지보는 벽체에 두가지 형태로 설치할 수 있는데 하나는 직경이 큰 강봉 부분을 벽체에 밀착시키는 방법(Type A)이고 다른 하나는 직경이 작은 두 개의 강봉이 있는 부분을 벽체에 밀착시키는 방법이다(Type B). Fig. 3에 두 경우의 설치 형태를 나타내었는데 유럽의 경우 실제 터널 현장에서는 대부분 A형태로 설치하고 있다.

터널 내부에서는 터널 측벽부와 천정부에서 발생하는 슛크리트 리바운드량과 타설 후 배면공간의 크기도 차이가 나므로 벽체를 측벽부와 천정부로 구분하여 설치하였는데, 측벽부는 벽체를 수직으로 세워 설치하였고(이하 수직부 벽체), 천정부는 모형화 하기가 어려워 20° 정도 경사지게 설치하였다(이하 경사부 벽체).

모형벽체 및 현장 시험시공에 사용된 슛크리트는 Table 1과 같이 표준 배합비에 따라 배합된 슛크리트를 사용 하였다.

3.3 모형벽체 실험결과

스�크리트 타설이 완료된 4가지 종류의 모형벽체, 즉 수직부와 경사부로 구분되는 H형강 지보재와 격자지보가 설치된 벽체들에 대하여 슛크리트 타설시의 리바운드량과 슛크리트 타설에 소요되는 시간을 측정하였고, 또한 슈미트헤머로 지보재 배면에 타설된 슛크리트에 대한 반발치를 측정하여 지보재 배면의 슛크리트 타설정도를 평가하였다.

3.3.1 슛크리트 리바운드량 및 타설 소요시간

Table 2는 모형벽체 시험을 통한 지보재별 슛크리트 리바운드량 및 타설시간을 나타내고 있다.

Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 수직으로 세운 벽체의 리바운드량은 H형강 지보재 설치 벽체에서 적게 측정되는데, 이는 슛크리트 타설시 리바운드된 양의 일부가 손실되어 나타난 실험오차 때문이다. 이 경우 리바운드율(손실률)은 2%정도 차이가 나며 타설소요시간은 격자지보쪽의 벽체가 약간 적게 걸린 것을 알 수 있다. 그러나 경사부에서는 리바운드량과 리바운드율 모두가 상당한 차이를 보이고 있는데, 격자지보가 설치된

Table 2. Shotcreting time and shotcrete rebound measured from the model wall tests

| | | H형강 지보재 | 격자지보 |
|--------------|----------|------------|-------------|
| 수직부 (측벽부) | 타설시간 | 5' 58" | 5' 22" |
| | 리바운드량 | 84.5 (kg) | 128 (kg) |
| | 벽체중량 | 768.8 (kg) | 918.8 (kg) |
| | 리바운드율(%) | 10% | 12% |
| 경사부 (천정부) | 타설시간 | 8' 15" | 5' 30" |
| | 리바운드량 | 419 (kg) | 235 (kg) |
| | 벽체중량 | 708.8 (kg) | 706.88 (kg) |
| | 리바운드율(%) | 37% | 24% |



Fig. 4. Shotcrete condition in behind of the H-beam steel rib.

모형벽체가 H형강 지보재 설치 벽체에 비하여 13%정도 적게 나타나고 있다. 따라서 실험오차를 고려한다면 수직부의 리바운드율은 거의 같게 나타나고 있는 반면, 경사부의 경우는 실험오차를 고려한다 해도 차이가 크게 나므로 격자지보를 설치한 경우가 H형강 지보재에 비해 양호한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

각 모형벽체에 슛크리트를 타설하는데 소요되는 시간은 리바운드의 경우와 비슷한 결과를 나타내었는데 수직부의 경우는 비슷하나 경사부의 경우는 격자지보를 설치한 벽체의 경우가 약 30%정도 타설시간이 덜 소요된 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 수행한 모형벽체 실험결과로만 판단한다면 리바운드의 경우 격자지보가 H형강 지보재에 비하여 수직부는 거의 비슷하나 경사부는 적게 측정되었고, 타설시간도 전반적으로 H형

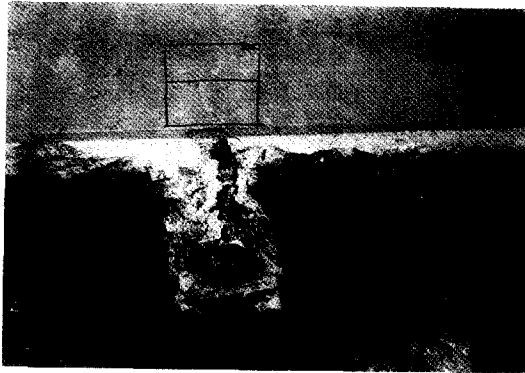


Fig. 5. Shotcrete condition in behind of the lattice girder.

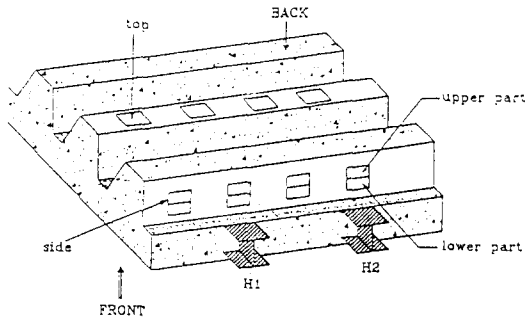


Fig. 6. Test positions for impacting the Schmidt hammer.

강 지보재의 경우가 더 걸리는 것으로 판단된다.

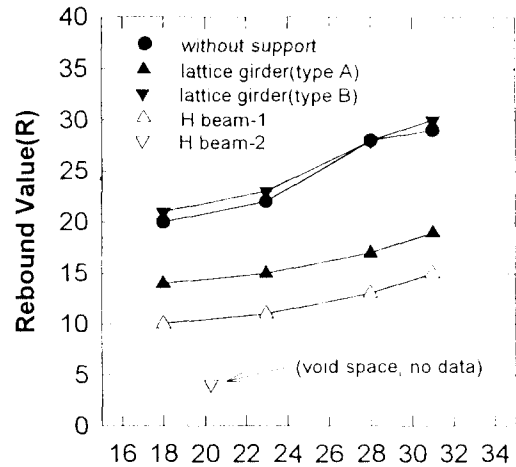
3.3.2 강지보재 배면의 슛크리트 미타설 공간확인 및 측정

1) 육안조사에 의한 배면공간 확인

모형벽체의 슛크리트가 어느정도 경화한 후 벽체판을 뜯어내고 H형강 지보재와 격자지보 배면의 슛크리트 타설정도를 육안조사 하였다. Fig. 4와 5는 각 지보재 배면의 모습을 나타낸 것인데 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 H형강 지보재 배면에서는 약간의 충격으로도 타설된 슛크리트가 쉽게 부서져 배면에 작은 주머니(pocket)형태의 공간이 존재하고 있음을 파악할 수 있는 반면 격자지보의 배면은 매우 양호한 상태로 타설 되었음을 알 수 있었다.

2) 슛크리트의 반발경도 측정에 의한 배면공간 확인

슈미트해머로 각 재보재 배면에 타설된 슛크리트의 반발경도를 측정하여 지보재 배면의 공간발생 여부를 확인하였다. 즉 배면에 공간이 발생하였거나 지보재로



Time elapsed after shotcreting(days)

Fig. 7. Comparisons of rebound values measured on the model wall of H-beam steel rib and the lattice girder (vertical wall, lower part of the side portion).

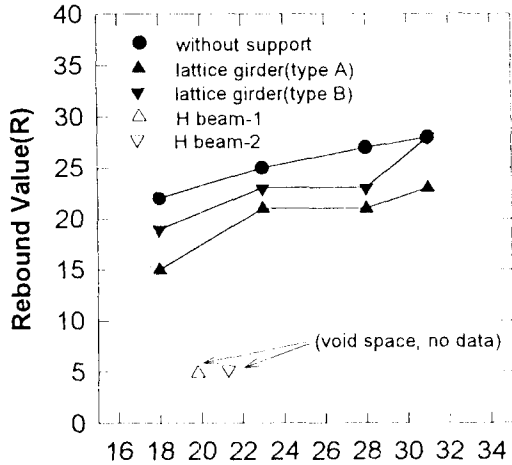
인하여 슛크리트 타설이 견실하게 되지 않았을 때 슛크리트의 압축강도가 저하하여 반발경도가 감소할 것이라는 점을 이용하였다.

Fig. 6은 슈미트해머 타격부위를 도식적으로 나타낸 것이다. 슈미트해머에 의한 반발경도 측정은 슛크리트 타설후 18일째, 23일째, 28일째, 31일째의 4회 측정을 하였으며, 분석은 수직부와 경사부 벽체로 나누어 실시 하였다.

슈미트해머의 반발경도는 최소 11이상의 반발도가 측정되어야 하나, 본 시험에서는 반발경도 측정시 배면공간이 발생된 곳과 그 주변의 반발경도가 10이하로 측정되는 곳이 많이 있었기 때문에 압축강도로 환산하지 않고 반발경도와 그 보정값 만을 이용하여 양생일수와 의 관계를 비교 분석하였다.

① 수직부 모형벽체의 슈미트해머 시험 결과 (배면돌기 측면의 하단부)

Fig. 7은 모형벽체를 수직으로 세워두고 슛크리트를 타설한 벽체들의 반발경도 측정값을 비교한 것으로 벽체의 배면돌기 옆부분 중에서도 지보재 바로 윗부분, 즉 Fig. 6에서 lower part를 타격하여 측정한 것이다. 전술한 바와 같이 격자지보는 두가지 방법으로 설치하였는데 Fig. 7에서 속이 채워진 원 표식은 지보재가 없는 부분을 나타내고, 속이 채워진 정삼각형 표식은 격



Time elapsed after shotcreting(days)

Fig. 8. Comparisons of rebound values measured on the model wall of H-beam steel rib and the lattice girder (inclined wall, lower part of the side portion).

자지보 A형을 나타내며, 속이 채워진 역삼각형 표식은 격자지보 B형을 나타낸다. 그리고 속이 안채워진 나머지 표식은 H형강 지보재 배면부분을 나타낸다.

수직부 벽체의 경우에는 표준 배합비에 따라 배합된 슛크리트를 사용하였음에도 불구하고 불완전한 혼합으로 인해 타설된 슛크리트의 품질이 전반적으로 좋지 않았기 때문에 측정된 슈미트해머의 반발경도 값을 압축강도로 환산한 비교는 불가능하였다. 특히 H형강 지보재가 설치되어 있는 벽체 중 한 부위에서는 육안으로 확인된 공간이 발생하여 측정이 불가능한 곳도 있었으며 나머지 다른 H형강 부위도 반발경도는 측정되었으나 압축강도로 환산하기 어려울 정도로 낮은 값이 측정되었다. 반면 격자지보의 경우는 지보재 배면의 공간이 육안으로 확인되지 않았으며 격자지보 B형은 슛크리트만 있는 부분과 거의 동일한 반발경도를 보이므로 내부에도 공간이 존재하지 않고 제대로 타설되었다고 판단된다.

② 경사부 모형벽체의 슈미트해머 시험 결과 (배면돌기 측면의 하단부)

모형벽체를 20° 정도로 경사지게 설치한 후 슛크리트를 타설한 경사부 벽체에 대한 슈미트해머 타격 시험결과는 Fig. 8에 나타내었다. 그림의 각 기호는 Fig. 7에 나타낸 바와 같다. 측정결과는 경사부 벽체 배면의 돌

Table 3. Comparisons of cycle time for installing of H-beam steel rib and lattice girder⁵⁾

| 공종 지보재 | 굴착 반출 | 발파 설 | 및 강지보재 치타 | 스틉크리트 설 | 록볼트 설 | 합 계 실 |
|---------|-------|------|-----------|---------|-------|-------|
| H형강 지보재 | 60분 | 60분 | 30분 | 60분 | 55분 | 265분 |
| 격자 지보 | 60분 | 60분 | 17분 | 45분 | 55분 | 237분 |
| | 23% | 23% | 11% | 23% | 20% | 100% |
| | 25% | 25% | 7% | 19% | 23% | 100% |

기 옆면 중에서도 지보재 인접부분(Lower part)의 반발경도 측정결과이다.

본 시험결과도 수직으로 세워 시험한 결과와 비슷한 결과를 나타냈는데, H형강 지보재 배면에는 배면공간이 발생한 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 그러나 격자지보를 설치한 지보재 배면에는 지보재 형태 A, B 모두 지보재가 없는 부분의 슈미트해머 측정결과와 약간의 차이를 보이지만 H형강 지보재와 비교하면 양호한 결과를 나타내었다. 또한, 지보재 형태 A, B 중 A형이 B형보다 전반적으로 낮은 값을 나타내고 있으므로 향후 격자지보를 현장에 적용함에 있어서 이를 충분히 고려할 필요가 있음을 알 수 있었다.

4. 현장 시험시공을 통한 격자지보의 시공성 검토

NATM 공법에서 지보재는 터널 굴착후 가능한 한 조기에 설치하여 굴착면을 보호하고, 지반의 변형을 억제하여야 하므로 이를 실제로 현장에 설치하는데 있어 시공성이 우수해야만 소정의 목적을 효과적으로 달성할 수가 있다. 일반적으로 시공성이라 함은 공사수행의 용이함, 작업시간, 작업의 효율성 등을 평가하게 되는 종합적인 의미로 사용된다. 시공성이 향상될 경우 공사수행의 효율성 증대에 따른 공사기간 단축 및 공사비 절감효과와 더불어 공사수행의 안전성 확보도 기대할 수 있어 건설공사에 있어서는 매우 중요한 요소로 간주된다.

본 연구에서는 H형강 지보재를 설치했을 경우와 격자지보를 설치했을 경우의 시공성 비교검토를 위해 실제 시험시공을 통하여 각 지보재별 설치시간 및 각 지보재설치에 따른 슛크리트 리마운드율을 측정, 비교하였다.

본 시험현장의 대상지역은 서울지하철 공사구간인 강동구 암사동~방이동을 연결하는 지하철 8호선의 11공

구(STA. 0^k480~STA. 5^k000) 중에서 S사가 시공하는 현장(STA. 3^k400~STA. 4^k405)으로 8-11공구 중 유일한 터널구간이자 단선터널 현장이다. 시험시공 구간은 본 터널현장 중에서도 하행선의 STA. 4^k126.5~STA. 4^k144.9(시공구간 18.4 m) 구간과 상행선의 STA. 4^k316.5~STA. 4^k297.5(시공구간 19 m) 구간이다.

4.1 강지보재 설치시간 비교

H형강 지보재와 격자지보의 cycle time 비교는 일본에서도 시험시공을 통해 수행된 바 있는데 Table 3은 H형강 지보재를 설치해 시공한 경우와 격자지보를 설치해 시공한 경우의 cycle time 비교표이다.

Table에서 알 수 있는 바와 같이 다른 공정에서의 작업시간은 같게 나타나 있으나 격자지보를 설치한 경우는 H형 지보재에 비해 설치시간을 약 43% 정도 줄일 수 있었으며, 숏크리트 타설 역시 25% 정도의 타설시간이 감소되었다. 즉, H형강 지보재를 한다면 설치하는데 소요되는 시간이 30분정도인데 비해 격자지보는 15~19분 정도 소요되어 30~50% 정도 단축된 것으로 보고되고 있다. 이것은 격자지보의 중량이 H형강 지보재에 비해 57% 정도 가볍기 때문에 좁은 박장 내에서도 작업이 용이하고 또한 안전하게 설치할 수 있기 때문인 것으로 분석되었다.

본 시험시공에서는 H형강 지보재와 격자지보를 시험시공 구간에 설치할 때 작업대 운반에서부터 지보재 설치후 좌표조정까지를 4개의 작업으로 나누어 각각의 소요시간을 측정, 비교하였다. 즉, 작업대 운반 및 설치, 강지보재를 작업대 위까지 운반하는 작업, 상지보재를 설치하는 작업(지보재 사이의 연결부재 포함), 터널 선형을 맞추기 위한 좌표조정의 4개 부분으로 나누어 측정하였다.

Table 4는 H형강 지보재와 격자지보를 설치한 경우 각각에 대한 설치시간 측정 결과를 나타낸 것이다.

Table에서 알 수 있는 바와 같이 전체적으로 격자지

보의 설치시간이 H형강 지보재에 비해 작게 나타나고 있는데, 특히 상지보재의 운반 및 지보재 설치시간의 경우에는 H형강 지보재에 비해 격자지보의 설치시간은 각각 75%, 53% 정도의 경감이 있음을 알 수 있었다. 이것은 전술한 바와 같이 격자지보의 경우 무게가 H형강 지보재에 비해 50% 정도 가벼워 작업인부들이 다루기가 쉽고 운반 및 설치가 편리하기 때문인 것으로 파악된다.

반면 지보재 설치 후 터널선형에 맞도록 지보재의 좌표를 조정하는데 소요되는 시간은 격자지보의 경우가 H형강 지보재에 비해 75% 정도 많이 소요되는 것으로 나타났다. 이것은 순수한 지보재 설치시간과는 다르게 나타났는데, 현장 관측결과 격자지보의 경우는 좌표 조정시에 H형강 지보재에 비해 약간 흔들림이 있는 것으로 나타나 좌표조정에 보다 많은 시간이 소요되는 것으로 판단되었다.

4.2 숏크리트 리바운드를 측정

터널 지보재로서 H형강 지보재와 격자지보를 실제 현장에 적용한 경우의 숏크리트 리바운드량의 변화를 파악하기 위해 시험구간으로 정한 지하철 현장에서 시험을 실시하였다. 현장시험은 먼저 터널 굴착후 발생된 여굴의 깊이를 일반적인 측정자를 이용하여 한다면에서 20여곳 이상을 측정한 후 평균적인 여굴깊이를 구하여 타설된 숏크리트량을 계산하였고, 이를 이용하여 리바운드율을 산정하였다. 숏크리트 타설은 터널 상부 반 단면에 대해 측벽부와 천단부로 나누어 타설하였고 또한 각각의 경우에 대해 숏크리트 리바운드량을 측정하였다.

시험결과를 Table 5에 나타내었는데 표에서 알 수 있는 바와 같이 전반적으로 격자지보를 사용한 경우의 리바운드량은 H형강 지보재에 비해 측벽부와 천단부 모두에서 더 적게 측정되었다. 그리고 측벽부는 격자지보의 경우 8~11%, H형강 지보재의 경우 11~15% 정

Table 4. Installation time of H-beam steel rib and lattice girder

| 작업공정 | 강지보재 | | H형 지보재 (분·초) | | | | 격자지보 (분·초) | | | |
|---------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|------------|-------|--|--|
| | 1회측정 | 2회측정 | 3회측정 | 평균치 | 1회측정 | 2회측정 | 3회측정 | 평균치 | | |
| 작업대 운반 | 2.13 | 2.10 | 2.30 | 2.18 | 2.17 | 1.20 | 1.30 | 1.42 | | |
| 강지보재 운반 | 5.30 | 4.30 | 4.50 | 4.57 | 1.20 | 2.15 | 2.10 | 1.55 | | |
| 지보재 설치 | 17.45 | 17.34 | 15.45 | 17.1 | 8.58 | 7.34 | 7.10 | 7.54 | | |
| 좌표조정 | 5.05 | 9.17 | 7.33 | 7.18 | 20.50 | 13.10 | 9.41 | 12.54 | | |
| Total | 30.33 | 33.31 | 30.38 | 31.34 | 28.25 | 24.19 | 30.31 | 24.25 | | |

Table 5. Shotcrete rebound measured in the field test at tunnel site

| 지보재 종류 | | H형강 지보재 | | | 격자지보 | | |
|--------|--------------|----------------|---------------|--------------|----------------|---------------|--------------|
| 측정 부위 | 측정항목 측정횟수 | 평균여굴 깊이(cm) | 리바운드량 (kg) | 리바운드률 (%) | 평균여굴 깊이(cm) | 리바운드량 (kg) | 리바운드률 (%) |
| 측벽부 | 1회 | 32 | 372.5 | 11.7 | 31 | 320.5 | 10.5 |
| | 2회 | 28 | 433 | 15.1 | 33 | 301.5 | 9.4 |
| | 3회 | 30 | 482 | 14.6 | 32 | 240 | 7.9 |
| 천단부 | 1회 | 26 | 574 | 20.6 | 30 | 489.5 | 15.7 |
| | 2회 | 24 | 498 | 18.8 | 29 | 368.5 | 12.7 |
| | 3회 | 31 | 651 | 18.1 | 31 | 328 | 10.8 |

Table 6. Comparisons of shotcrete rebound between model wall test and field test

| 시험방법 | 측정부위 | 평균 리바운드율(%) | | 격자지보를 기준한 리바 운드율 비교 |
|------------|------|-------------|------|---------------------------|
| | | H형강 지보재 | 격자지보 | |
| 모형벽체 시험 | 측벽부 | 10 | 12 | 0.83 |
| | 경사부 | 37 | 24 | 1.54 |
| 현장 시험 | 측벽부 | 13.8 | 9.3 | 1.48 |
| | 천정부 | 19.2 | 13.1 | 1.47 |

도의 리바운드량이 발생되었고, 천단부는 격자지보의 경우 10~16%, H형강 지보재의 경우 18~21%의 리바운드량이 발생되어 격자지보를 설치한 벽체에서 더 작은 리바운드량이 발생되었음을 알 수 있었다.

Table 6은 전술한 모형벽체를 이용한 슛크리트 리바운드량 측정결과와 Table 5의 현장에서 측정한 슛크리트 리바운드량 측정결과를 종합 정리한 것이다.

표에서 알 수 있는 바와 같이 전체적으로 격자지보를 설치한 경우가 H형강 지보재를 설치한 경우보다 더 적은 리바운드율을 나타내었고, 모형벽체 시험과 현장시험 모두 격자지보를 사용한 벽체의 리바운드율을 기준할 때 약 40~50% 정도의 리바운드율 감소가 있음을 알 수 있다. 다만 모형벽체 시험중 측벽부의 경우는 전술한 바와 같이 시험중 슛크리트 타설기의 압력에 의해 리바운드된 슛크리트의 일부가 소실됨으로써 반대의 현상이 일어났는데 이를 고려하면 측벽부의 경우에는 거의 비슷한 결과를 나타내었다고 판단된다.

그리고 본 시험결과에서 유의할 사항은 특히 모형벽체의 경사부와 현장시험에서의 천정부에서 측정한 슛크리트 리바운드율은 서로 차이가 많이 발생되고 있다는 사실이다. 이것은 모형벽체의 경우에는 사다리꼴 모양의 경사진 여굴모양을 하도록 제작하였고, 또한 이를 20° 정도 경사지게 설치하였으므로 결국 40° 정도의 하

향으로 경사진 상태의 벽체에 슛크리트 타설을 하게 되므로써 현장의 조건보다 많은 리바운드율이 발생된 것이라 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 격자지보의 국내 터널 현장 적용성을 평가하기 위해 굴착터널 벽면을 모형화한 모형벽체와 이를 실제 터널현장에 시험시공한 경우의 H형강 지보재와 비교한 슛크리트 타설시간 및 리바운드량, 지보재 배면의 공간발생 여부 등 실측한 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 모형벽체를 이용한 슛크리트 타설시간 및 리바운드 측정결과는 격자지보를 설치한 경우가 H형강 지보재를 설치한 경우보다 양호한 결과로 나타났는데, 이는 격자지보가 슛크리트의 부착이 용이하도록 보강부재와 같은 역할을 하여 부착성이 증대된 것으로 생각되므로 슛크리트 리바운드량 감소에 유리한 것으로 판단되었다.

2. 슛크리트가 타설된 강지보재 배면의 공간발생 여부를 확인하기 위하여 실시한 육안조사 결과 H형강 지보재 배면의 경우에는 조그만 충격으로도 파괴되어 공간이 확인된 반면 격자지보의 경우는 비교적 조밀하게 슛크리트가 타설되어 있음을 알 수 있었다. 또한 슈미트해머 시험에서도 이와 동일한 결과를 얻었으므로 격자지보를 실제 현장에 적용할 경우 매우 양호한 시공성을 기대할 수 있을 것이다.

3. 격자지보를 터널현장에 시험시공하여 슛크리트 리바운드량을 측정한 결과 측벽부는 격자지보의 경우 8~11%, H형강 지보재의 경우 11~15% 정도의 리바운드량이 발생되었고, 천단부는 격자지보의 경우 10~16%, H형강 지보재의 경우 18~21%의 리바운드량이

발생되어 격자지보 설치구간이 유리한 것으로 나타났는데, 이를 모형벽체 시험결과와 함께 분석했을 때 격자지보를 기준한 리바운드율은 약 40~50% 정도의 리바운드를 감소가 있음을 확인하였다.

4. 본 연구에서는 모형벽체시험과 현장시험 모두에서 슛크리트 타설시간 및 리바운드량, 지보재 배면의 슛크리트 타설 정도 측면에서 격자지보 설치부분의 시공성이 보다 우수한 것으로 나타났지만, 향후 다양한 지반 조건, 여러가지 크기의 터널단면, 다양한 격자지보 크기별 많은 현장시험결과를 축적할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 정명근, 김승렬, 박광준, 이인근, 1993, "서울지하철 건설에서 조명된 NATM 터널의 설계 및 시공상의 문제점", 93년도 봄학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 15-20.
2. Bauman T. and Betzle M., 1984, "Investigation of the Performance of Lattice Girders in Tunneling", *Rock Mechanics and Rock Engineering* Vol. 17, pp. 67-81.
3. 문홍득, 이성원, 배규진, 우제운, 이준환, 1995, 터널 지보용 삼각철근 Steel Rib의 개발, 삼보산업(주), 연구보고서, 196p.
4. Braun, W. M., 1983, "Lattice Girders Offer Economy and Performance for Tunnel Support", *Tunnels & Tunnelling*, Vol. 15, No. 5, pp. 19-22.
5. 日東鐵工(株), 1995, Pentex Lattice-Girder 팜플렛.
6. Penny C., Stewart J., Jobling P. W. and John M., 1991, "Castle Hill NATM Tunnels : Design and Construction", *Tunnelling '91*, Elsevier, New York, USA, pp. 285-297.
7. Donde P. M. and Harold Wagner, 1992, "NATM Subway Station in Softground", *Toward New Worlds in Tunnelling*, Balkema, Rotterdam, the Netherlands, pp. 523-531.
8. 大西三郎 等, 1980, "鐵筋支持工の試驗施工", *トンネルと地下*, 第 20卷 11號, pp.17-21.