

터널지보재로서 H형강 Steel Rib와 삼각지보재의 비교 연구

COMPARISONS BETWEEN H-BEAM STEEL RIB AND LATTICE GIRDERS FOR TUNNEL SUPPORT

문홍득, HONG-DEUG MOON^{*1}, 이성원, SEONG-WON LEE^{*2}, 배규진, GYU-JIN BAE^{*3}, 우제운, JE-YOON WOO^{*3},
박정환, JEONG-HWAN PARK^{*4}, 조길훈, KIL-HWOON CHO^{*5}, 이희용, HEE-YONG LEE^{*5}

- *1: 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geot. Eng. Div., Korea Institute of Construction Technology, Seoul
- *2: 한국건설기술연구원 지반연구실 연구원, Researcher, Geot. Eng. Div., Korea Institute of Construction Technology, Seoul
- *3: 한국건설기술연구원 지반연구실 수석연구원, Research Fellow, Geot. Eng. Div., Korea Institute of Construction Technology, Seoul
- *4: 삼보지질주식회사 상무이사 Executive Director, Sambo Total Service Foundation Constructor Co., LTD.
- *5: 삼보지질주식회사 연구원 Researcher, Sambo Total Service Foundation Constructor Co., LTD.

SYNOPSIS

In tunnelling lattice girders have basically the same function as steel arch supports. They serve as elements of the temporary lining and in some cases also as part of the permanent lining. Also lattice girders are closely connected with that of the shotcrete lining technique.

This paper presents the results of modelling test for analysing shotcrete rebound, shotcreting time and finding void spaces using the artificial tunnel wall which is consist of the wood to evaluate the site applicability of lattice girders for tunnel support. Test results indicate that in case of using lattice girders as a tunnel support material, shotcrete rebound, shotcreting time and occurrence of void spaces are relatively reduced comparing to H-beam steel rib. And we can get some informations that lattice girder has various advantages when we use it as one of tunnel support materials.

1. 서론

국내 터널현장에서 강지보재로 많이 사용되고 있는 H형강 steel rib는 비교적 무겁고 다루기가 어려워 지보재의 설치를 지연시키는 경우가 많아 터널막장의 안정을 유지시키는데 문제점으로 지적되고 있다. 또한 H형강 steel rib 설치 후 슛크리트 타설시에는 H형강 steel rib의 프렌지로 인한 지보재 배면의 공동발생으로 인하여 굴착지반과 지보재가 완전히 밀착이 되지 않는 경우도 종종 발생하고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 서구 유럽이나 일본 등지에서는 다양한 종류의 터널지보재를 개발하여 터널시공에 적용하고 있는 실정이다. 특히 유럽에서는 강봉을 삼각형태로 엮어 만들어 기존의 steel rib를 대체할 수 있도록 lattice girder라 불리는 삼각지보재를 개발하여 오래전부터 여러 현장에 적용하고 있다. 그러나 국내의 경우에는 이에 대한 체계적인 연구나 시공경험이 전무한 상태이며 기존의 H형강 steel rib를 이용한 지보방법만을 일률적으로 적용하고 있는 실정이다. 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 터널기술의 자립화 측면에서도 절실히 요청되고 있다 하겠다.

따라서 본 연구에서는 삼각지보재의 효율성을 분석, 평가하기 위하여 H형강 steel rib와 삼각지보재, 그리고 굴착지반을 모형화한 모형벽체등을 제작하고 H형강 steel rib와 삼각지보재를 모형벽체에 각각 설치한 후 슛크리트의 리바운드량 및 타설시간, 배면공동 등을 측정·분석하였고, 또한 이를 실제 터널현장에 시험시공한 경우의 슛크리트 리바운드량을 정량적으로 비교·분석하였다.

2. 삼각지보재(Lattice Girder)

2.1 삼각지보재의 일반적인 형태

세계 각국에서는 최근까지 터널공사에 사용되는 여러가지 지보재를 개발하여 왔는데, 이러한 지보재들 중 강지보재의 일종인 삼각지보재는 기존의 H형강 지보재의 단점을 보완하기 위해 만들어진 것으로서, 서구유럽이나 북미지역에서는 이미 10여년 전부터 보편적으로 사용되고 있고, 특히 유럽 등지의 경우 많은 터널현장에서 삼각지보재를 터널지보재로 사용하고 있다. 터널지보용 삼각지보재는 기본적으로 기존의 강지보재와 동일한 역할을 수행

하도록 되어 있으나, 삼각지보재의 구조적 특성상, H형강 강지보재에 비해 지보효과 및 시공성, 경제성이 우수한 것으로 알려져 있다.

그림 1은 삼각지보재의 일반적인 형태의 설계도면을 나타내는 그림으로, 주된 하중지지 역할을 담당하게 되는 지지강봉(choard)과 이들을 연결해주는 강봉연결용 부재(diagonal bar) 및 연결이음부로 이루어져 있다. 이와같은 삼각형태가 일반적으로 사용되고 있으나, 경우에 따라서는 4개의 강봉을 사용하여 제작한 사각형태의 lattice girder도 사용된다.

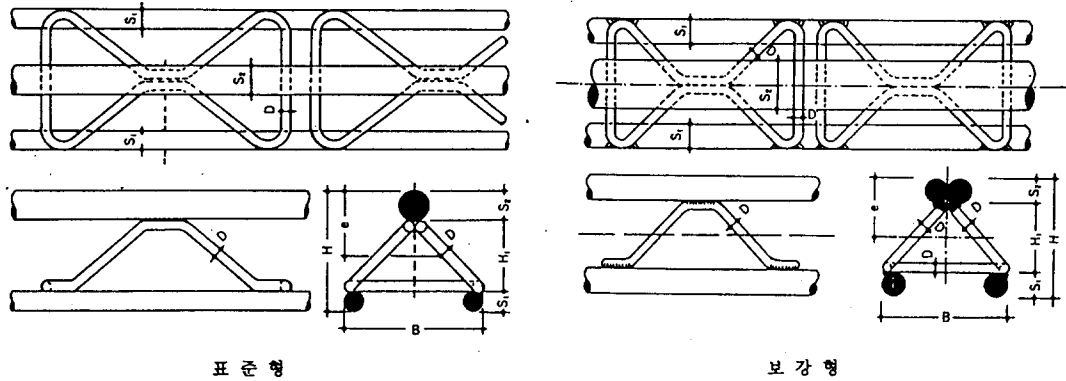


그림 1. 삼각지보재의 일반적인 형태

연결이음부는 크게 angle connector를 이용하는 방법과 강화 screw collar를 이용하는 방법이 있으며, 이러한 연결이음부는 연결방법에 관계없이 터널단면에 작용하는 휨모멘트, 축력, 전단력 등에 견딜 수 있어야만 한다. 이러한 연결방법에 분할굴착이나 2 혹은 3 아치 터널의 경우, 기존의 H형강 지보재를 사용하여 용접이나 기타의 방법으로 절단하던 것에 반해 삼각지보재를 사용하게 되면 절단작업을 하지 않고도 플레이트(plate), 보울트(bolt), 너트(nut) 등으로 용이하게 이음부 작업을 수행할 수 있다.

2.2 삼각지보재의 특징

국내의 관련문헌 및 터널시공 사례들을 종합적으로 조사, 분석한 결과 터널지보용 삼각지보재의 주요 장점은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- ① forepoling이나 spiling시 보강재를 삼각지보재 사이를 통과하도록 설치할 수 있으므로 보강재 설치각도를 최대한 줄여서 시공할 수 있다.
- ② lattice girder는 연결작업이 쉬우므로 분할굴착 및 2 arch 또는 3 arch 터널에 있어 이음부 작업이 용이하다.
- ③ H형강 지보재의 경우 형태가 일률적으로 되어 있으나 lattice girder는 여러가지 모형으로 제작이 가능하므로 지반조건 및 시공여건에 따라 융통성 있게 사용할 수 있다.
- ④ 삼각지보재는 비교적 가벼우므로 작업자들에 의한 운반이 간편하고 신속하여 작업능률이 향상되며, 설치도 쉬워 공기단축의 효과가 있다(기존의 H형강 지보재 무게의 약 40~60% 정도).
- ⑤ lattice girder를 사용할 경우, 슛크리트(shotcrete)와의 부착력이 우수하므로 rebound량이 감소한다.
- ⑥ lattice girder의 구조적 특성상 슛크리트의 연속 타설이 가능하므로 방수성이 우수하다.
- ⑦ 삼각지보재는 H형강 지보재에 비해 강성은 떨어지나 슛크리트와의 뛰어난 부착성때문에 일체거동에 가까워지며, 적당한 연성을 가지고 있으므로 굴착면에 밀착되도록 설치가 가능하고 배면공극을 최소한으로 억제할 수 있다.

위에서 열거한 바와 같이 lattice girder는 기존의 강지보재에 비해 많은 장점을 가지고 있으나, 제작에 있어 지지강봉(choard)을 강봉연결용 부재(diagonal bar)로 용접하여 연결해야 하는 번거로움이 수반되고, 대량생산체제를 갖추기 전까지는 시설투자비가 많이 소요되는 문제점을 가지고 있다. 또한 유럽 등지에서는 lattice girder에 대한 시공사례와 이에 대한 연구결과들이 많이 나와 있으나, 국내의 경우에는 실제 터널현장에서의 기술성 및 경제성 등이 확인되지 않은 상태이므로 실제현장에서의 시험시공이나 강도시험 등을 통한 체계적인 터널거동 분석이 이루어져야 하며, 이러한 결과물 토대로 향후 lattice girder의 국내현장 적용성을 적극 검토해 나감에 필요하다.

2.3 감섬유 보강 슛크리트

터널지보재에 있어서 H형강 steel rib의 대체형으로 개발된 lattice girder 뿐만 아니라 NATM 시공법의 주지보재 중 하나인 슛크리트도 지금까지 여러가지 종류가 개발되어 왔다. 특히 lattice girder는 H형강과 비교해 강성이 부족하므로 상당부분의 지압을 슛크리트가 일정시간 분담해야 하므로 양질의 슛크리트 사용이 성공적인 터널시공을 좌우하게 되는 것은 물론이고 lattice girder와의 효율적인 합성체 형성도 중요한 문제가 되고 있다. 실

제로 lattice girder가 많이 사용되는 서구유럽 등지의 터널현장에서는 일반적으로 사용되어 오던 슛크리트 보다 SFRS(Steel Fibre Reinforced Shotcrete)나 각종 첨가제가 사용된 슛크리트 등이 더 많이 사용되고 있는 추세이다. SFRS는 강도증가를 포함한 지보능력의 향상을 위해 기존의 일반적인 슛크리트에 steel fibre로 불리는 작은 금속섬유조각들이 첨가된 슛크리트를 지칭하며 현재 터널건설에 있어 선진국이라 할 수 있는 유럽 등지에서는 lattice girder와 steel fibre reinforced shotcrete 를 터널공사시 주된 지보제로서 병용해 사용하고 있다.

일반적으로 무보강 슛크리트는 무근 콘크리트와 같이 인장용력이나 변형에 대해 취약한 측면을 보이며 취성거동(brittle behavior)을 나타내게 된다. steel fibre는 이러한 단점을 보완하기 위해 첨가되는 것으로서, 슛크리트의 균열에 대한 저항력이나 연성, 에너지 흡수성, 충격에 대한 저항력 등을 향상시키며, 무보강 슛크리트와 비교하여 볼 때 steel fibre가 첨가된 슛크리트는 균열발생율이 현저하게 낮아진다. 무보강 슛크리트는 wire mesh와 함께 사용되는데 이와 관련하여 1979년에 Morgan과 Mowat는 wire mesh가 사용된 슛크리트와 SFRS의 거동에 대한 비교연구를 수행한 바 있다. 그림 2는 일반 무보강 슛크리트, wire mesh가 사용된 슛크리트 및 steel fibre가 사용된 슛크리트에 있어서의 강도비교를 나타내고 있는 그림으로서 그림에서 보는 바와 같이 압축강도에 있어서는 각각의 경우 별다른 차이가 발생하고 있지 않으나, 항복하중을 넘어선 이후나 최초 균열발생 이후에는 많은 차이가 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 일반 무보강 슛크리트는 항복하중이후 급작스런 강도저하 및 파괴형상을 보이고 있으나 wire mesh나 steel fibre가 사용된 슛크리트는 항복하중을 넘어선 이후에도 어느정도의 하중지지력 및 잔류강도를 발휘하고 있는 것으로 나타나고 있으며 steel fibre가 사용된 슛크리트의 경우가 보다 더 탁월한 효과를 보이고 있다.

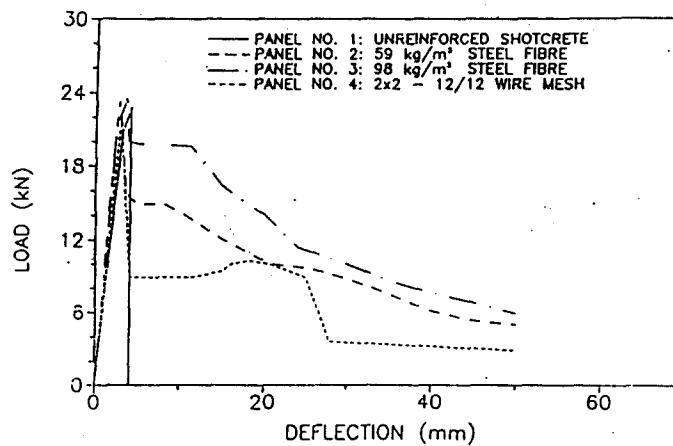


그림 2 wire mesh를 사용한 경우와 steel fibre를 사용한 경우의 비교 (1979, Morgan & Mowat)

3 모형벽체를 이용한 슛크리트 리바운드 및 배면공극 측정

3.1 개요

본 연구에서는 기존의 H형강 steel rib와 삼각지보재를 각각 설치했을 경우 슛크리트 타설로 인한 리바운드량과 감지보재 배면의 슛크리트 미타설 부분인 배면공극을 정량적으로 비교·검토 하기 위해 터널벽면을 모형화한 모형벽체를 제작, 관련 시험을 실시하였다. 즉, 발파로 굴착된 터널 벽면을 일정한 형태의 요철로 인위적으로 만들어 모형화하고 여기에 H형강 steel rib와 삼각지보재를 일정길이로 설치한 후 슛크리트를 타설하였을 경우 각각에 대한 리바운드량 및 지보재 배면의 공극을 파악하였다. 여기서 터널내 벽면은 측벽부와 천정부로 각각 나누어 리바운드 시험을 하였고 육안판찰이 불가능한 지보재의 배면공극의 조사는 슈미트해머(schmidt's hammer) 시험을 실시, 슛크리트 압축강도의 변화특성을 분석하는 방법으로 수행하였다.

3.2 모형벽체 제작 및 감지보재 설치

모형벽체는 가로 1.5m, 세로 1m의 크기로서 슛크리트 타설강도, 타설거리, 타설후 벽체의 증량 등을 고려하여 특수합판으로 제작하였다. 인위적인 여골은 현장에서의 허용 여골량을 참조하여 깊이를 15 cm로 하였고, 여골만의 총체적은 0.1125 m³이며 증방향으로 단위 길이당 여골의 체적은 0.075 m³로 세 모양에 있어서는 실제 현장에서 발생하는 여골 형태와는 다르지만 H형강 steel rib와 삼각 지보재에 대한 단순 비교를 위해 사다리꼴의 여골형태로 만들었다.

이와같은 방법으로 벽체를 제작한 후 모형벽체 앞면에 1m 길이로 절단한 H형강 steel rib와 삼각지보재를 각각 설치하였다. 이때 각각의 지보재 크기와 형태는 실제 현장에서 사용하고 있는 것으로 H형강 steel rib의 경우는 H100×100이며, 삼각지보재는 동일한 높이를 갖는 삼각지보재 Type 60(H110×B100 그림 1 참조)으로 가장 작은 크기를 사용하였다.

그림 3과 그림 4는 H형강 지보재와 삼각지보재 설치시 모형벽체의 설계도면을 나타내고 있다. 벽체마다 각각 2개의 H형강 지보재와 삼각지보재를 벽체의 양쪽에서 40cm를 띄우고 설치하여 총 4개의 모형벽체를 제작하였다. 삼각지보재의 경우는 벽체에 두가지 형태로 설치하였는데 하나는 직경이 큰 강봉 부분을 벽체에 밀착시키고(이하 삼각지보재 A형) 나머지 하나는 밀면 즉 직경이 작은 두개의 강봉이 있는 부분을 벽체에 밀착시켰다(이하 삼각지보재 B형).

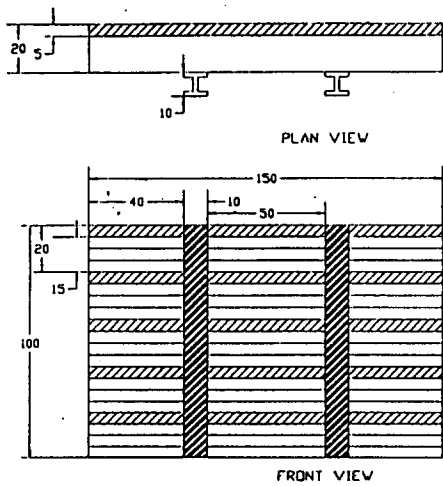


그림 3 H형강 steel rib 설치시 모형벽체 설계도면

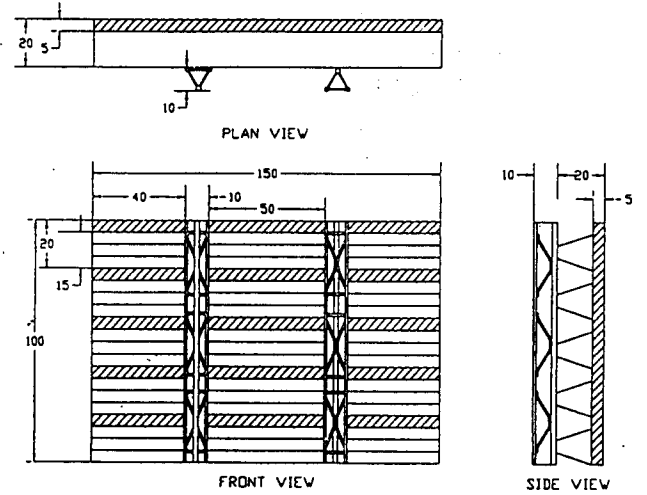


그림 4 삼각지보재 설치시 모형벽체 설계도면

터널 내부에서는 측벽부와 천정부에서 발생하는 슛크리트 리바운드량과 타설 후 배면공극의 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).

3.3 실험결과

모형벽체를 이용한 시험을 통하여 슛크리트 타설이 완료된 4가지 종류의 모형벽체, 즉 수직부와 경사부로 구분되는 H형강 steel rib와 삼각지보재가 설치된 벽체들에 대하여 슛크리트 리바운드량과 슛크리트 타설 소요시간을 측정하였고, 지보재 배면에 대해서는 슈미트헤머 시험을 통하여 일정 부위의 양생시간에 따른 반발경도(Rebound value)를 측정하여 배면공극의 발생유무를 확인하였다.

3.3.1 슛크리트 리바운드량 및 타설 소요시간

표 1은 모형 벽체시험을 통한 지보재별 슛크리트 리바운드량 및 타설시간을 나타내고 있다.

표 1 모형벽체 시험에 의한 슛크리트 리바운드량 및 타설 소요시간

		H형강 steel rib	삼각 지보재
수직 벽 부	타 설 시 간	5' 58"	5' 22"
	리 바 운 드 량	84.5 (kg)	128 (kg)
	벽 체 중 량	768.8 (kg)	918.8 (kg)
	리 바 운 드 율 (%)	10 %	12 %
경천 사경 부	타 설 시 간	8' 15"	5' 30"
	리 바 운 드 량	419 (kg)	235 (kg)
	벽 체 중 량	708.8 (kg)	706.9 (kg)
	리 바 운 드 율 (%)	37 %	24 %

표 1로부터 알 수 있는 바와 같이 수직부 벽체의 리바운드량은 H형강 steel rib 설치 벽체에서 적게 측정되는데 이는 슛크리트 타설시 리바운드된 양의 일부가 손실되는 등의 실험오차가 전혀 고려되지 않은 측정치이다. 이 경우 리바운드율(손실률)은 2% 정도 차이가 나며 타설소요시간은 삼각지보재 쪽의 벽체가 약간 적게 걸린 것을 알 수 있다. 그리고 경사부에서 리바운드량과 리바운드를 모두가 상당한 차이를 보이고 있는데 삼각지보재가 설치된 모형벽체가 H형강 steel rib에 비하여 적게 나타나고 있다. 또한 리바운드량 차이가 많이 발생한 만큼 타설시간도 많은 차이를 보이고 있다.

따라서 실험오차를 고려한다면 수직부 리바운드율은 거의 같게 나타나고 있는 반면 경사부의 경우는 실험오차를 고려한다해도 차이가 크게 나므로 삼각지보재를 설치한 경우가 H형강 steel rib에 비해 양호한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 각 모형벽체에 슛크리트를 타설하는데 소요되는 시간도 리바운드의 경우와 비슷한 결과를 나타내었는데 수직부의 경우는 비슷하나 경사부의 경우는 삼각지보재를 설치한 벽체의 경우가 보다 적은 타설시간이 소요된 것으로 나타났다. 즉 본 연구에서 수행한 모형벽체실험 결과로만 판단한다면 리바운드의 경우 삼각지보재가 H형강 steel rib에 비하여 수직부는 거의 비슷하나 경사부는 적게 측정되었고, 타설시간도 전반적으로 H형강 지보재의 경우가 더 걸리는 것으로 측정되었다.

3.3.2 슈미트해머에 의한 강지보재 배면공극 측정

슈미트해머에 의한 반발 정도 측정시험은 타설된 모형벽체의 배면, 즉 슛크리트 벽체와 합판을 분리하고 각 지보재 배면의 제작된 여굴부분만큼 생긴 돌기부분에서 실시하여 배면공극 발생으로 인한 콘크리트 압축강도 변화를 알고자 하는데 그 목적을 두고 있다.

그림 5는 슈미트해머 타격부위를 도식적으로 나타낸 것이다. 슈미트해머에 의한 반발정도 측정은 슛크리트 타설후 18일째, 23일째, 28일째, 31일째, 4회 측정을 하였으며 분석은 수직부와 경사부 벽체로 나누어 삼각지보재와 H형강 steel rib 각각의 배면공극 발생 여부를 비교·분석하였다.

슈미트해머의 반발경도는 최소 11 이상의 반발도가 측정되어야 하나, 본 시험에서는 반발정도 측정시 공극이 발생된 곳과 그 주변의 반발경도가 10 이하로 측정되는 곳이 많이 있었기 때문에 압축강도로 환산하지 않고 반발경도와 그 보정값만을 이용하여 양성일수와의 관계를 비교·분석하였다. 공극 발생 부분과 그로 인하여 측정이 불가능한 부분은 반발도 7로 간주하여 도식화하였다.

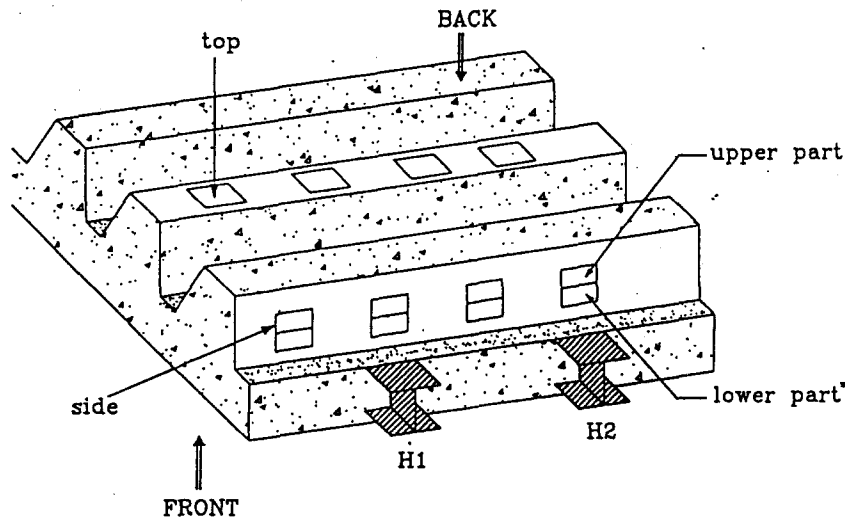


그림 5 슈미트해머 타격 위치 상세도

1) 수직부 모형벽체의 슈미트해머 시험 결과(배면돌기 측면)

그림 6은 수직으로 세워두고 슛크리트를 타설한 벽체들의 반발정도 측정값을 비교한 것으로 벽체의 배면돌기 옆부분 중에서도 지보재 바로 윗부분, 즉 그림 5에서 lower part를 타격하여 측정한 것이다. 전술한 바와 같이 삼각지보재는 두가지 방법으로 설치하였는데 그림 6에서 속이 채워진 원 표식은 지보재가 없는 부분을 나타내고, 속이 채워진 정삼각형 표식은 삼각지보재 A형을 나타내며, 속이 채워진 역삼각형 표식은 삼각지보재 B형을 나타낸다. 그리고 나머지 속이 안채워진 표식은 H형강 steel rib 배면부분을 나타낸다.

수직부 벽체의 경우에는 타설된 슛크리트의 품질이 전반적으로 좋지 않았기 때문에 측정부위에서 측정된 슈미트해머의 반발정도 값을 압축강도로 환산한 비교는 불가능하였다. 특히, H형강 steel rib가 설치되어 있는 벽체중 한 부위에서는 육안으로 확인된 공극이 발생하여 측정이 불가능한 곳도 있었으며 나머지 다른 H형강 부위도 반발경도는 측정되었으나 이 부위도 역시 압축강도로 환산하기 어려울 정도로 낮은 값이 측정되었다. 반면, 삼각지보재 A형은 이 부위에서 공극 발생이 육안으로 확인되지 않으며 삼각지보재 B형은 슛크리트만 있는 부분과 거의 동일한 반발경도를 보이므로 내부에도 공극이 존재하지 않고 제대로 타설되었다고 판단된다.

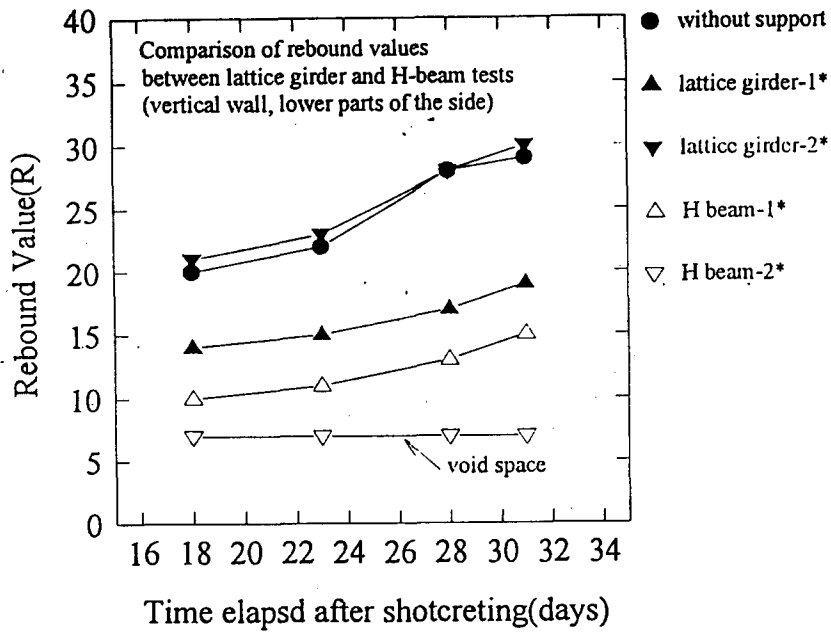


그림 6 H형강 steel rib와 삼각지보재 배면의 반발경도 비교 (수직벽체, 돌기측면의 하단부)

2) 경사부 모형벽체의 슈미트해머 시험 결과(배면돌기 측면)

벽체를 각도 20° 정도로 설치한 후 슛크리트를 타설한 경사부 벽체에 대한 슈미트해머 타격시험 결과는 그림 7에 나타내었다. 그림의 각 기호는 그림 6에 나타낸 바와 같다. 측정결과는 경사부 벽체 배면의 돌기 옆면 중에서도 지보재 인접부분(Lower part)의 반발경도 측정결과이다.

본 시험결과도 수직으로 세워 시험한 결과와 비슷한 결과를 나타냈는데 H형강 steel rib 배면에는 배면공극이 발생한 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 그러나, 삼각지보재를 설치한 지보재 배면에는 지보재 형태 A, B 모두 지보재가 없는 부분의 슈미트해머 측정 결과와 비슷한 유형을 나타내었다. 또한, 지보재 형태 A, B 중 A형이 B형보다 전반적으로 낮은 값을 나타내고 있으므로 향후 삼각지보재를 현장에 적용함에 있어서 이를 충분히 고려할 필요가 있음을 알 수 있었다.

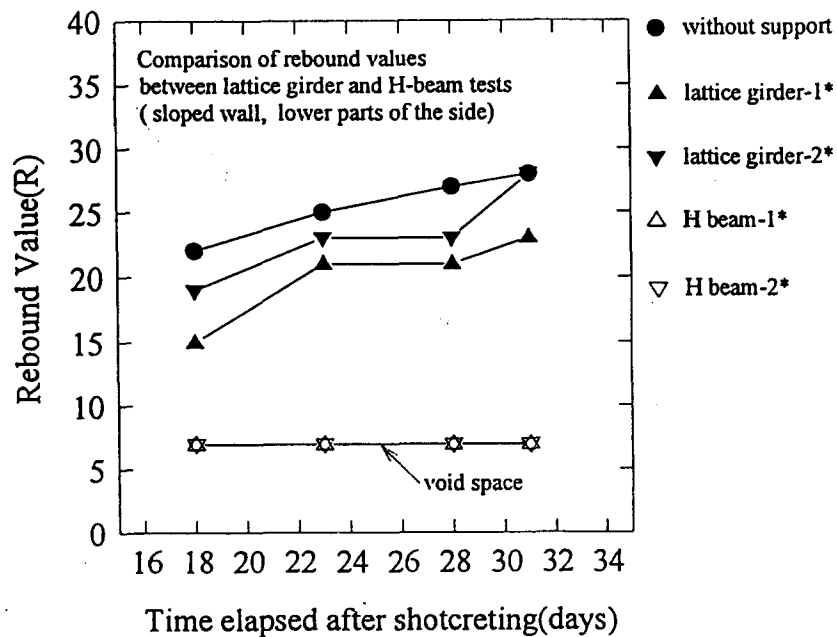


그림 7 H형강 steel rib와 삼각지보재 배면의 반발경도 비교

본 모형벽체를 이용하여 측정된 결과를 종합해 보면 첫째, 슛크리트 리바운드율은 예측한 바와 같이 수직부보다 경사부 리바운드율이 더 높게 측정되었으며 수직부에서 삼각지보재와 H형강 steel rib에 각각 타설된 슛크리트의 리바운드는 거의 비슷한 것으로 분석되었다. 그러나 경사부에서는 삼각지보재의 리바운드율이 24%로 H형강 steel rib에 비해 13% 작게 측정되었다. 타설시간 소요시간 또한 삼각지보재쪽이 더 적게 걸린것으로 측정되었다.

둘째 슈미트해머에 의한 반발경도 측정결과로 공극발생 및 강도추정을 해본 결과 H형강 steel rib가 설치된 벽체에서는 수직부, 경사부 모두 매우 낮은 반발경도를 나타내거나 측정이 불가능한 부분도 있어 공극발생을 추장 또는 확인 할 수 있었다. 그리고 삼각지보 A형의 경우는 대체적으로 H형강 steel rib보다는 좋은 결과를 보였으나 삼각지보재 B형보다는 훨씬 낮은 측정치를 보여 내부에 미량의 공극이 발생되었을 것으로 추정된다.

4. 시험시공을 통한 슛크리트 리바운드 측정

4.1 현장.개요

본 현장시험의 대상지역은 서울지하철 공사구간인 강동구 암사동~망이동을 연결하는 지하철 8호선의 11공구(STA.0^k480~STA.5^k000) 중에서 삼보지질이 시공하는 현장(STA.3^k400~4^k405)으로 8-11공구 중 유일한 터널 구간이자 단선 터널시공 현장이다. 시험시공 구간은 본 터널현장 중에서도 하행선의 STA.4K126.5~4K144.9(시공구간 18.4 m) 구간과 상행선의 STA.4K316.5~4K297.5(시공구간 19m) 구간이다.

본 공구의 전체적인 지질은 선캠브리아기에 속하는 경기 편마암 COMPLEX, 유라기로 믿어지는 대보화강암과 시대미상의 반상화강암, 제 4기에 속하는 홍적층과 충적층 등으로 구성된다. 그리고, 경기 편마암 COMPLEX를 이루는 변성암류는 변성작용의 정도와 결구변화 및 상변화에 의해 크게 편암류와 편암류가 주류를 이루고 있으나 그 사이의 경계는 매우 모호하여 편암이 편암 중에 잔류물로 존재하는 경우가 많다.

시험시공 구간의 암석시험 결과는 표 2와 같다.

표 2. 시험시공 구간의 암석시험 결과

항목		공변(심도)	
		BA-20 (36.6~37.5 m)	BA-21 (35.5~36.6 m)
비중(g/cm ³)		2,720	2,714
탄성과 속도	P파	4,472	4,947
	S파	2,318	2,859
흡수율(%)		0.105	0.103
일축압축강도(kgf/cm ²)		387	1,021
Young's modulus ($\times 10^{-5}$ kg/cm ²)		2.545	5,000
포아손비		0.182	0.164
점착력(kgf/cm ²)		80	170
내부마찰각(°)		40	54
인장강도(kg/cm ²)		38	72

4.2 현장 슛크리트 리바운드량 측정

터널 지보재로서 H형강 steel rib와 삼각지보재를 실제 현장에 적용한 경우의 슛크리트 리바운드량의 변화를 파악하기 위해 시험구간으로 정한 지하철 현장에서 시험을 실시하였다. 현장시험은 먼저 터널 굴착후 발생한 여굴의 깊이를 일반적인 측정자를 이용하여 한단면에서 20여곳 이상을 측정한 후 평균적인 여굴깊이를 구하여 타설된 슛크리트량을 개략적으로 계산하였고 이를 이용하여 리바운드율을 산정하였다. 슛크리트 타설은 터널단면에 대해 측벽부와 천단부로 나누어 타설하였고 또한 각각의 경우에 대해 슛크리트 리바운드량을 측정하였다.

시험결과는 표 3에 나타내었는데 표에서 보는 바와 같이 전반적으로 삼각지보재를 사용한 경우의 리바운드량은 H형강 steel rib에 비해 측벽부와 천단부 모두에서 더 작게 측정되었다. 그리고 측벽부는 삼각지보재의 경우 8~11%, H형강 steel rib의 경우 11~15% 정도의 리바운드량이 발생되었고 천단부는 삼각지보재의 경우 10~16%, H형강 steel rib의 경우 18~21%의 리바운드량이 발생되어 삼각지보재를 설치한 벽체에서 더 작은 리바운드량이 발생되었음을 알 수 있었다.

표 3 현장시험에 의한 슛크리트 리바운드량 측정결과

지보재 종류		H형강 steel rib			삼각지보재		
측정부위	측정항목	평균여굴깊이 (cm)	리바운드량 (kg)	리바운드률 (%)	평균여굴깊이 (cm)	리바운드량 (kg)	리바운드률 (%)
	측정횟수						
측 벽 부	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
천 단 부	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

5. 결론

본 연구에서는 삼각지보재의 효율성을 검토하기 위해 발파 후의 터널 벽체를 인위적으로 모형화한 모형벽체를 이용하여 H형강 steel rib와 삼각지보재를 설치한 경우의 슛크리트 리바운드량, 배면공극 및 타설시간, 그리고 실제 터널현장에 적용한 경우의 슛크리트 리바운드량등을 측정하여 결과를 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 국외에서 터널지보재로서 삼각지보재를 사용한 사례들을 수집하여 분석한 결과, 시공측면에서 H형강 steel rib에 비해 유리함을 알 수 있었다.
2. 모형벽체를 이용한 슛크리트 리바운드량 및 타설시간 측정결과, 삼각지보재를 사용한 경우는 H형강 steel rib를 사용한 경우에 비하여 수직부 벽체 보다는 경사부 벽체에서 유리한 측면이 있음을 알 수 있었다. 또한 삼각지보재 배면은 비교적 조밀하게 슛크리트가 타설되어 지보재가 없는 부분과 거의 비슷한 압축강도를 나타내었지만 H형강 steel rib의 배면에는 여러 지점에서 배면공극이 발생함을 알 수 있었다. 그리고 실제 현장에 적용한 경우에도 최소한 슛크리트 리바운드량 측면에서는 삼각지보재를 사용한 경우가 우수함을 파악하였다.
3. 본 연구에서는 단지 슛크리트 타설에 관련된 사항만을 검토하였으므로 향후 삼각지보재를 터널 강지보재로 사용한 경우의 강성시험, 하중지지능력 파악, 현장적용시의 터널 거동분석 등을 통한 종합적인 평가가 다양하게 이루어져야 한다.

6. 참고문헌

B. Maidl and R. Koenning(1990), "New development in tunnel Lining by help of steel fibre reinforced concrete", Shotcrete for Underground Support V, ASCE, pp. 265~284.

Braun, W.M.(1983), "Lattice Girders offer Economy and Performance for Tunnel Support," Tunnels & Tunneling, 15/5, pp. 19~22.

H. Klapperich K.E. and von Eckardstein(1990), "Application of the wet shotcretes system top shot in tunneling experiences, evaluation and comparison", shotcrete for underground support V, ASCE, pp. 134~153.

J.W. Mahar, H.W. Parker and W.W. Wuellner(1975), "Shotcrete practice in underground construction", Department of Transportation, U.S.A.

M. Betzle(1987), "Lattice girders giving arches a dig in the rids", Tunnels & Tunnelings, 16/11, pp. 53~54.

P.M. Donde and Harold Wagner(1992), "NATM Subway station in softground", Toward New Worlds in Tunneling, Balkema, pp. 523~531.

P.R. Morgan(1990), "Advances in shotcrete technology for support of underground openings in Canada", shotcrete for Underground Support V, ASCE, pp. 358~382.

Th. Bauman and M. Betzle(1984), "Investigation of the Performance of Lattice girders in Tunneling", Rock Mechanics and Rock Engineering 17, 삼보산업(1995), 터널 지보용 삼각철근 Steel Rib의 개발, pp. 50~83.

서울특별시 지하철 건설본부(1993), 지하철 8호선 건설사업 (8-11공구) 설계 보고서, pp. 307~326.

정명근, 김승렬, 박광준, 이인근(1993), "서울지하철 건설에서 조명된 NATM 터널의 설계 및 시공상의 문제점," '93년도 불학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 15~ 20.