

격자지보와 슛크리트 복합구조체의 특성 실험 연구

An Experimental Study on the Characteristics of a
Composite Structure of Lattice Girder and Shotcrete

문 홍 득*¹
Moon, Hong - Deug
백 영 식*²
Paik, Young - Shik
배 규 진*³
Bae, Gyu - Jin

Abstract

Lattice girder is a new steel support developed in Europe for the replacement of an existing H-shaped steel set, which is installed after tunnel excavation. Lattice girder has the following several advantages: 1. Lattice girder minimizes the amount of shotcrete shadow which happens to occur behind a steel support. 2. A triangular shape of lattice girder makes shotcrete placed efficiently. 3. Lattice girder provides a good bond strength for shotcrete, which makes the composite structure of lattice girder and shotcrete behave monolithic, and therefore, the rock load can be supported effectively by the lattice girder system.

This paper presents the results from a model wall test, a strength test for shotcrete shot on the model wall and a strength test for the bond between lattice girder and shotcrete. These tests proved that lattice-girder system is superior to H-shaped steel-set system concerning the shotcrete rebound rate, the developed shotcrete strength and the adhesion characteristics.

요 지

격자지보는 NATM에서 터널굴착 후 곧바로 설치되는 강지보재의 한 종류로서 기존의 H형강 지보재를 대체하고자 유럽에서 개발된 새로운 종류의 지보재이다. 격자지보는 강봉을 삼각형태로 엮어 만들었기 때문에 슛크리트 타설이 용이하고 지보재 배면에 생기는 공동을 최소화 할

*¹ 정희원, 한국건설기술연구원, 지반연구실 선임연구원

*² 정희원, 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수

*³ 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구실장

수 있는 장점이 있다. 또한 격자지보와 슛크리트 복합구조체는 결합력이 우수하여 일체화된 구조체로서 거동하기 때문에 지압을 효과적으로 지지할 수 있다.

본 연구에서는 격자지보와 슛크리트 복합구조체의 특성파악을 위해 실시한 모형벽체 시험, 모형벽체에 타설된 슛크리트의 강도특성시험, 격자지보와 슛크리트의 부착강도시험 결과를 제시하였다. 실험결과 슛크리트가 타설된 격자지보는 슛크리트가 타설된 H형강 지보재에 비해 슛크리트 리바운드, 타설된 슛크리트의 강도, 부착특성 등이 우수한 것으로 판명되었고, 이로써 격자지보는 적절한 터널지보재로서의 역할을 할 것으로 판단되었다.

Keywords : NATM, Lattice girder, H-shaped steel set, Model wall test, Rebound rate, Bond strength, Pull down test

1. 서 론

국내 터널 시공시 가장 일반적으로 적용하는 NATM에서는 발파 또는 기계굴착에 의해 지반을 굴착한 후 곧바로 강지보재 설치와 함께 뿔어붙임 콘크리트(이하 슛크리트(shotcrete))를 타설함으로써 지반의 강도를 최대한 유지하도록 한다. 이 때 사용되는 강지보재는 슛크리트 또는 록볼트의 지보기능이 발휘되기 까지 굴착된 막장면의 초기지압 지지와 터널 선형을 맞추기 위해 설치되는데, 국내의 경우 H형강 지보재(H 100×100~H 150×150 정도)가 주류를 이루고 있다.

강지보재의 종류로는 H형강 지보재 외에 U형강, 격자지보(lattice girder) 등이 있으며, 일반적으로 H형강 지보재가 대부분 사용되고 있다. 그러나 H형강 지보재는 비교적 무겁고 다루기가 힘들어 지보재 설치를 지연시켜 연약한 지반인 경우 터널막장의 조기안정을 유지시키는데 문제점으로 지적되고 있다. 또한 H형강 지보재 설치후 슛크리트 타설시에는 H형강 지보재의 플렌지(flange)로 인해 지보재 배면에 슛크리트가 조밀하게 타설되지 않고 느슨하게 타설되거나 심지어는 슛크리트가 타설되지 않는 주머니 형태(pocket)의 작은 공동이 발생하여 지압을 효과적으로 지지하지 못하는 등의 문제가 자주 발생하고 있다(Penny et al., 1991; 한국건설기술연구원, 1995, 1996).

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(Bauman & Betzle, 1984). 그러나 국내의 경우에는 이에 대한 연구나 시공경험이 미흡한 상태이며 기존의 H형강 지보재를 이용한 지보 방법만을 일률적으로 적용하고 있다. 다만 최근에 국내 터널시공 현장에서도 시험시공한 사례가 있고, 또한 일부 도로터널 현장에서 실제로 사용한 경험이 있으며, 터널 설계단계에서 적극적으로 검토되고 있는 실정이다(대구광역시 지하철건설본부, 1996).

격자지보는 강봉을 이용한 삼각형태로 제작되어 슛크리트와의 부착력이 강하여 일체화된 구조물을 만들 수 있으므로 복합부재로서의 기능을 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 격자지보와 슛크리트의 부착특성을 평가해 보기 위해 모형벽체를 이용한 슛크리트 타설시간 및 리바운드(rebound)량 측정, 타설된 슛크리트의 단위중량, 일축압축강도, 인장강도를 측정 분석하였고, 또한 격자지보와 슛크리트 사이의 부착정도를 확인하기 위해 본 연구에서 고안한 압출시험(pull-down test)을 실시하였다. 이러한 모든 실험결과는 H형강 지보재를 사용한 경우와 상호 비교 분석하였으며 이를 통해 격자지보의 국내 터널현장 적용성을 평가하였다.

2. 격자지보의 특성

2.1 격자지보의 형태

격자지보의 일반적인 형태는 그림 1과 같이 주된 하중지지 역할을 담당하게 되는 원형강봉(bar)과 이들을 연결해 주는 연결용 부재(spider) 및 연결 이음부(joint)로 이루어져 있다. 여기서 상부의 직경이 큰 강봉은 터널의 내벽쪽을 향하게 시공하며, 어떠한 형태의 터널에도 적용 가능 하도록 제작할 수 있다. 또한 강봉 연결용 부재(spider)는 상·하 강봉의 뒤

틀림을 방지하고, 지압저항, 휨모멘트 저항 및 축력전달 등의 구조적 기능을 가지고 있다. 격자지보는 그림과 같이 3개 또는 4개의 강봉을 사용한 삼각형태가 일반적이나, 경우에 따라서는 4개의 강봉을 사용하여 제작한 사각형태의 격자지보도 사용되고 있다.

강봉과 연결용 부재는 서로 용접으로 연결되며, 일정길이의 격자지보를 서로 연결시키는 연결 이음부는 볼트와 너트로 연결한다. 이음부는 연결방법에 관계없이 터널에 작용하는 휨모멘트, 축력, 전단력 등에 충분히 전달 수 있어야만 한다(Bauman & Betzle, 1984).

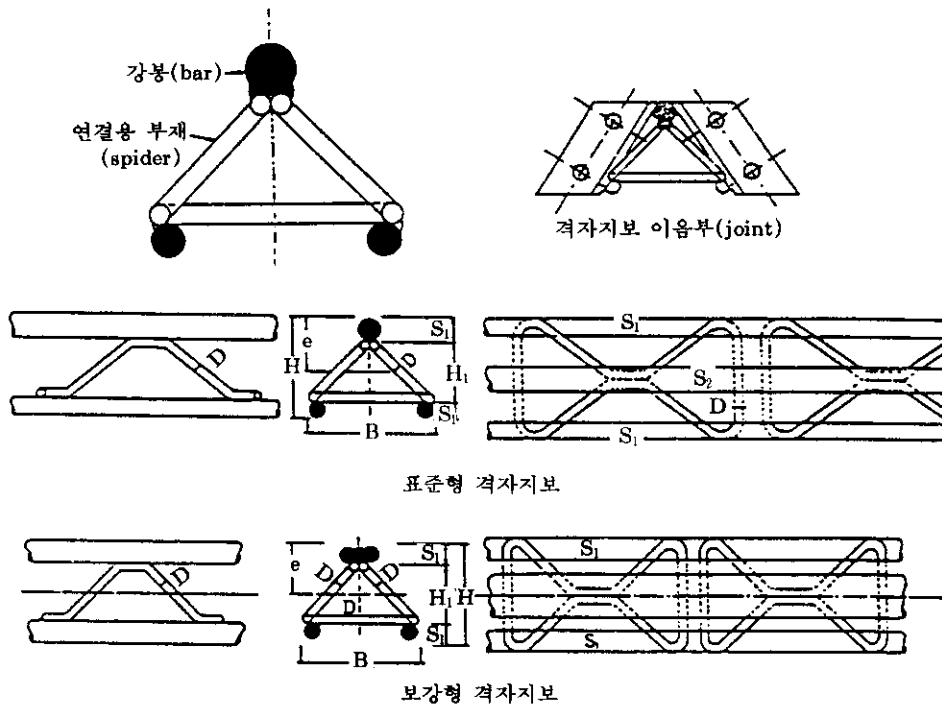


그림 1. 격자지보 각부분의 명칭과 일반적인 형태

2.2 격자지보의 시공상 특징

격자지보는 기본적으로 기존의 H형강 지보재나 U형강 지보재와 같은 강지보재와 동일한 역할을 수행하도록 제작되었는데, 격자지보의

구조적 특성상 H형강 지보재에 비해 시공성이 우수한 것으로 보고되고 있다(Bauman & Betzle, 1984; Braun, 1983). 터널 지보용으로써 격자지보의 시공상의 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다(한국건설기술연구원, 1995: 문

홍득 등, 1996).

1) 격자지보는 H형강 지보재에 비해 40~60%정도 가볍기 때문에 작업인부들에 의한 운반이 쉽고, 또한 설치가 용이하여 막장의 조기 안정이 요구되는 연약한 지반에서는 H형강 지보재보다 시공성이 우수하다.

2) 격자지보의 배면에까지 슛크리트 타설이 가능하므로 지보재 배면의 슛크리트 미타설 공동의 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 굴착 전에 지반보강을 한 후 시공하게 되는데, 이때 불량한 막장면의 상부 천단부의 안정을 확보하고 여굴을 줄이기 위해 설치되는 포아폴링(forespiling)이나 스파일(spile)을 격자지보 사이로 시공할 수 있기 때문에 설치각도를 최대한 줄여 시공할 수 있다. 또한 록볼트를 격자지보 사이로 설치해야 하는 경우에도 시공이 가능하다.

6) 분할굴착으로 터널을 시공하는 2 아치(arch) 또는 3 아치(arch) 터널의 지보재 이음부 연결작업을 손쉽게 할 수 있다.

3. 격자지보와 슛크리트 복합구조체의 특성 실험 및 분석

격자지보는 기존의 H형강 지보재에 비해 강성이 작아 자체의 하중지지 능력은 H형강 지보재에 비해 떨어지나 슛크리트 속에 완전히 묻혔을 때는 격자지보와 슛크리트가 일체화된 복합구조체로서의 기능을 한다. 그러나 이러한 격자지보와 슛크리트 복합구조체에 대한 어떠한

역학적 특성규명도 없이 경험적으로 격자지보를 터널현장에 적용해 오고 있다.

본 연구에서는 격자지보와 슛크리트 복합구조체의 특성 분석을 위해 굴착된 터널벽면을 모형벽체로 모사(simulation)한 벽체에 대한 시공성 분석과 양생된 모형벽체에서 채취한 슛크리트 코아시편의 단위중량, 일축압축강도, 인장강도를 각각 측정 분석하였다. 또한 격자지보와 슛크리트 사이의 부착특성 평가를 위해 본 연구에서 제안한 압출시험 방법으로 특성 실험을 실시하였다(한국건설기술연구원, 1996).

3.1 모형벽체에 의한 슛크리트 타설시간 및 리바운드 측정시험 및 분석

3.1.1 모형벽체 제작

모형벽체는 굴착된 터널벽면을 모사하기 위해 현장에서 발생될 수 있는 여러 가지 여굴의 크기를 고려하여 깊이(폭)이 각각 5(5), 15(10), 25(15), 30(20)cm가 되도록 하였고, 전체 모형벽체의 크기는 가로 세로 각각 1.2m의 특수합판위에 사다리꼴 형태의 여굴모양이 되도록

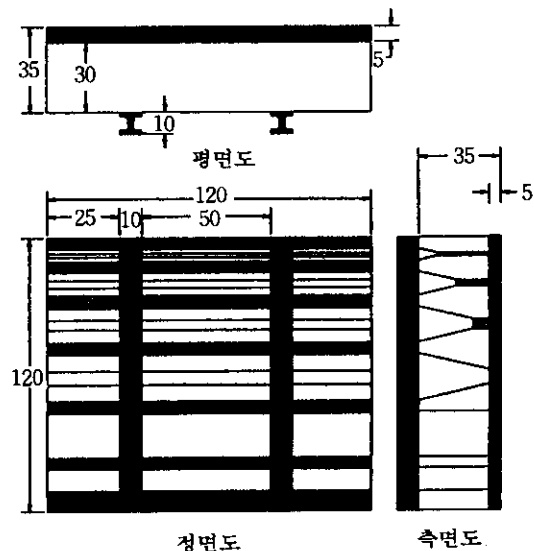


그림 2. H형강 지보재 모형벽체의 설계도

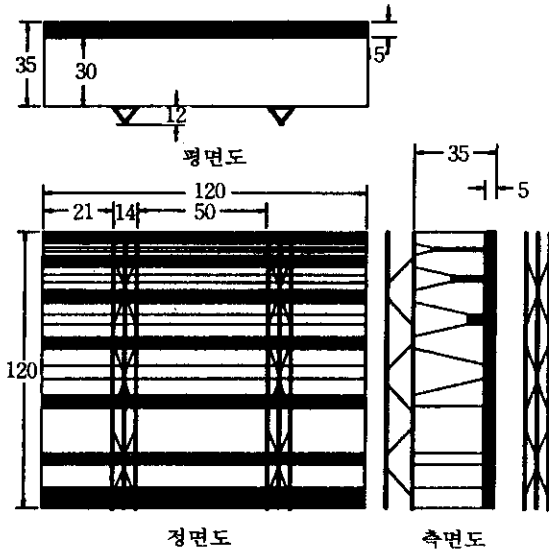


그림 3. 격자지보 모형벽체의 설계도

표 1. 모형벽체시험에 사용된 습식 슛크리트의 배합비

시멘트(kg)	모래(kg)	자갈(kg)	물(kg)	W/C(%)	모래/ (자갈+모래)(%)	급결재(kg)
420	890	730	195	46	55	29.4 (시멘트량의 7%)

3.1.2 슛크리트 타설시간 및 리바운드량 측정 결과 분석

결과분석에서는 모형벽체에 타설된 측정 가능한 슛크리트 중량과 리바운드량 만을 리바운드율을 계산하는데 사용하였고, 슛크리트 타설시 후방으로 또는 측방으로 손실되는 슛크리트량은 분석대상에서 제외시켰다. 이는 슛크리트 타설시에 벽체 외부로 유실된 슛크리트량은 각 벽체마다 동일한 조건이고 4개의 벽체를 연속해서 타설했기 때문에 그 양은 각 벽체별로 거의 같고 또한 많지 않았으므로 계산에 포함시키지 않았다. 결국 본 실험에서는 다음과 같은 식으로 리바운드율을 계산하였다.

$$\text{리바운드율}(\%) = \frac{W_r}{W_c + W_r} \times 100$$

여기서, W_r : 벽체의 중량(kg)

를 제작하였다.

그림 2와 3은 제작한 모형벽체의 설계도를 보여주고 있는데, 그림에서와 같이 모형벽체에 H형강 지보재와 격자지보를 각각 2개씩 설치하여 실험하였다. 실험은 모형벽체를 각각 수직으로 세운 것(수직모형벽체)과 20°정도 경사지게 설치하여(20°경사모형벽체) 실제 굴착 터널의 측벽부와 천정부를 모사하도록 하여 실시하였다.

모형벽체에 사용한 강지보재는 H형강(H 100×100)과 격자지보 Type 70(폭 14cm, 높이 12cm PANTEX 규격제품)이다. 또한 타설된 습식 슛크리트의 표준 배합비는 표 1과 같다.

W_r : 리바운드량(kg)

Wood(1990)의 연구결과에 의하면 리바운드율은 습식 슛크리트 타설방법에서는 측벽부의 경우 약 6% 전후의 리바운드율을 보였고, 천정부는 약 10~15% 정도의 리바운드율을 보였다. 이에 반해 전식 슛크리트 타설방법에서는 습식방법에 의한 리바운드율의 약 2배 정도, 즉 측벽부의 경우 약 12% 내외, 천정부는 20~30% 정도로 나타나는 것으로 보고하고 있다.

표 2는 본 실험결과 측정된 슛크리트 타설시간과 리바운드량을 각각 수직모형벽체와 20°경사모형벽체로 나누어 측정된 결과이다. 표 2에서 알 수 있는 바와 같이 슛크리트 타설시간은 수직모형벽체의 경우 각각 2분으로 동일하게 나타났으나 20°경사모형벽체의 경우는 격자지보의 경우가 약 55초 정도 타설시간이 감소된

것으로 나타났다. 또한 리바운드율은 수직모형벽체의 경우 격자지보가 4.6%로 H형강 지보재 6.4%보다 1.8% 적게 발생되었고, 20°경사모형벽체의 경우도 격자지보가 9.7%로 H형강 지보재의 11.2%에 비해 1.5% 정도의 감소를 보였다. 이상의 결과는 Wood(1990)의 연구결과와 유사한 리바운드율 범위내에 속하며 수직모형벽체에 비하여 20°경사모형벽체의 타설시

간 및 리바운드율이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 격자지보를 설치한 모형벽체가 H형강 지보재를 설치한 경우보다 타설시간 및 리바운드율 측정면에서 유리한 결과를 나타내었다. 이로부터 격자지보는 강봉으로 엮은 삼각형의 격자로 구성되어 있으므로 H형강 지보재에 비해 슛크리트와의 부착성이 조금 더 우수하다는 것을 알 수 있다.

표 2. 습식 슛크리트의 타설시간 및 리바운드 측정결과

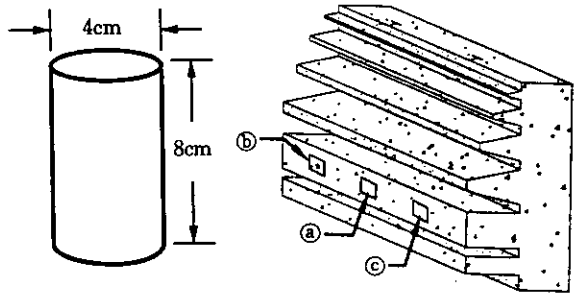
모형벽체	측정항목	H형강 지보재	격자지보
수직모형벽체	타설시간	2분	2분
	리바운드량	82.3(kg)	58.8(kg)
	벽체중량+리바운드량	1293.3(kg)	1269.5(kg)
	리바운드율(%)	6.4%	4.6%
20° 경사 모형벽체	타설시간	4분45초	3분50초
	리바운드량	152.8(kg)	129.3(kg)
	벽체중량+리바운드량	1363.8(kg)	1340.3(kg)
	리바운드율(%)	11.2%	9.7%

3.2. 모형벽체에 타설된 슛크리트의 특성 실험

본 실험에서는 H형강 지보재와 격자지보가 설치된 모형벽체 배면의 슛크리트 타설 정도를 정량적으로 평가하기 위해 배면부분의 슛크리트 코아시료를 채취하여 슛크리트 타설 정도와 직접적인 역학적 관계가 있는 단위중량 및 압축강도를 측정하여 지보재 배면의 공동발생에 대한 정량적인 분석을 실시 하였다.

이를 위해서 수직모형벽체와 20°경사모형벽체에서 여굴깊이가 30cm인 부위를 NX크기의 코아채취기를 이용하여 시험시편을 제작하였다. 비교를 위해 H형강 지보재 설치 모형벽체와 격자지보 설치 모형벽체 각각에 대해 시료를 채취하였고, 채취된 시료 각각에 대한 단위중량과 일축압축강도 실험을 실시하였다.

그림 4(a)는 채취된 시료의 직경과 높이이며, 그림 4(b)는 모형벽체 배면의 시료채취 부위를 나타낸 것이다.



(a) 시료의 직경, 높이 (b) 시료채취 부위

그림 4. 시험시료의 직경, 높이 및 시료채취 부위

3.2.1 단위중량 측정

단위중량 측정을 위해 채취한 시편의 체적과 무게를 측정하였으며, 무게는 48시간 상온에서 건조시킨 후 측정하였다.

본 실험에서 얻은 단위중량 측정결과는 표 3과 같다.

표 3에서 알 수 있듯이 수직모형벽체 및 20°

표 3. 채취된 코아시편의 단위중량 측정결과

모형벽체	지보재 종류	시료채취 부위	단위중량 $\gamma(\text{ton}/\text{m}^3)$		
			시험 1	시험 2	평균치
수직 모형벽체	H형강 지보재	㉠	1.9	2.09	2.00
		㉡	1.97	-	1.97
		㉢	-	-	-
모형벽체	격자지보	㉠	2.13	2.13	2.13
		㉡	2.16	2.12	2.14
		㉢	2.07	2.20	2.14
20° 경사 모형벽체	H형강 지보재	㉠	1.92	-	1.92
		㉡	1.89	-	1.89
		㉢	-	-	-
	격자지보	㉠	2.15	-	2.15
		㉡	2.13	-	2.13
		㉢	-	-	-

경사모형벽체 모두 단위중량은 격자지보가 H형강 지보재에 비해 크게 나타났고, 수직모형벽체의 경우는 최대 약 8%, 20°경사모형벽체의 경우는 최대 약 13% 정도로 20°경사모형벽체의 경우가 H형강 지보재와 격자지보의 단위중량의 차이가 커다는 것을 알 수 있다. 지보재 배면 부분과 지보재가 없는 부분의 단위중량은 지보재가 없는 부분의 단위중량이 약간 크게 나타났고, 일반적인 슛크리트의 단위중량 2.5t/m³에 비해 공시체의 단위중량 값들이 적게 나타났다. 수직모형벽체와 20°경사모형벽체의 지보재 배면의 슛크리트 단위중량은 서로

큰 차이는 없었으며 다만 격자지보와 H형강 지보재 사이의 차이만이 관찰되었다.

이러한 단위중량 측정결과로부터 격자지보 배면에의 슛크리트 타설은 H형강 지보재 배면에 비해 보다 견실하게 되어 격자지보와의 일체성 있는 복합구조물을 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

3.2.2 일축압축강도 실험(uniaxial compressive strength test)

본 실험에 사용된 일축압축강도 시험기는 압석의 일축압축강도를 측정할 수 있는 160톤 용량의 만능시험기(MTS 315)를 사용하였고, 실험방법은 KSF 2405 “콘크리트 일축압축강도 시험법”에 준하였다. 시험시 처음에는 조금 빠른 속도로 50%까지 압축을 증가시켜 가고 그 이후로는 매초 2~3kg/cm² 정도의 압축력을 가하여 공시체가 파괴될 때까지 측정하였으며 게이지에 나타나는 최대하중을 측정하였다.

본 실험에서 측정된 일축압축강도 실험결과를 표 4와 같다.

표 4의 수직모형벽체에 대한 슛크리트의 일축압축강도 실험결과를 분석해 보면, 지보재 배면부위(㉡)의 일축압축강도는 지보재가 없는 부위(㉠)의 일축압축강도와 비교할 때 H형강지보재의 경우 약 47%, 격자지보의 경우 약 22% 정도 압축강도가 감소하는 경향을 나타낸다. 또한 H형강 지보재와 격자지보 설치벽체를 상호 비교할 때 지보재 배면 부위(㉡)의 경우 격자지보가 H형강 지보재 설치의 경우보다

표 4. 일축압축강도 실험결과(재령 20일 강도)

모형벽체	지보재 종류	시료채취 부위	일축압축강도(uniaxial compressive strength) (kg/cm ²)		
			시험 1	시험 2	평균치
수직 모형벽체	H형강 지보재	㉠	190	-	190
		㉡	100	-	100
		㉢	-	-	-
	격자 지보	㉠	240	220	230
		㉡	190	170	180
		㉢	-	-	-

약 44%, 지보재가 없는 부위 (a)의 경우 27% 정도 큰 결과를 보여 주었다. 이러한 결과들은 비록 다양한 조건에 대한 실험결과는 아니다 할지라도 전반적으로 격자지보를 설치한 경우가 H형강 지보재를 설치한 경우보다 슛크리트와의 결합 정도가 우수하다고 판단된다.

3.2.3 강섬유보강슛크리트에 의한 인장강도 증대 효과확인 실험

유럽의 경우 격자지보는 기존의 와이어 메쉬(wire mesh)와 슛크리트를 타설하는 방법보다는 와이어 메쉬를 사용하지 않고 강섬유(steel fiber)만을 슛크리트에 섞은 강섬유보강 슛크리트(Steel Fiber Reinforcement Shotcrete, SFRS)와 함께 많이 사용되고 있다(Haack, 1989). 따라서 본 연구에서는 강섬유

보강슛크리트를 와이어 메쉬를 설치하지 않은 기존 슛크리트만의 경우와 인장강도 값의 변화를 비교해 보기 위해 또다른 모형벽체에 대해 실험을 수행하여 SFRS의 인장강도 증진 효과를 조사 하였다.

모형벽체는 격자지보를 설치한 경우에 대해서만 2개를 제작하였고, 슛크리트 배합비는 표 1과 동일하게 하였다. 또한 1m³당 40kg의 강섬유를 배합하였으며 전체용적의 약 2% 정도로 일반적인 기준치 1~2% 정도내에 포함되도록 배합하였다.

1) 실험에 사용된 SFRS

본 실험에 사용된 SFRS는 ISO 9001에 인증을 받은 두제품에 대해서 실험을 하였다. 두제품의 특징은 표 5와 같다.

표 5. 본 실험에 사용된 SFRS의 특징(청조화성(주), 1996)

제품	사양	길이(cm)	직경(mm)	¹⁾ Aspect ratio	형태	1m ³ 당 배합비
A(Dramix®)	ZP 30/50	30	0.5	60	²⁾ Hooked ends type	40
B(Fibercon)	CAR25CDM	25	⁴⁾ 0.55	45	³⁾ Wavy type	40

주 1) Aspect ratio : 강섬유의 길이 대 직경의 비로 정의하며 적절한 값은 60 이상임.

2) Hooked ends type : 슛크리트의 응력이 작용할 때 뽑히지 않도록 양끝단이 구부러진 형태.

3) Wavy type : 슛크리트내 응력이 작용할 때 뽑히지 않도록 규칙적인 물결모양의 형태.

4) B제품은 단면이 사각형으로 폭이 0.32mm, 높이가 0.76mm으로 등가직경이 0.55mm임.

2) 인장강도 실험

실제로 슛크리트 지보재의 지압에 대한 지지 효과 확인 실험을 수행하기 위해서는 휨강도 시험을 수행하는 것이 적절하나, 휨강도 시험시의 파괴 메카니즘은 인장파괴로서 벽체에 타설된 슛크리트로부터 휨강도 실험을 위한 공시체를 얻기가 힘들기 때문에 본 실험에서는 코아채취기로 일정길이의 시료를 채취하여 압열인장시험(Brazilian tensile test)을 수행하였다. 모형벽체에서 공시체 채취부위는 그림 4(b)와 같고, 공시체의 크기는 직경 4.3cm, 길이

2.5cm로 하였으며, 각 시료채취 부위별로 3개의 공시체를 실험하여 평균치를 구하였다. 또한 모형벽체는 수직모형벽체만을 실험대상으로 하였다. 본 실험에서는 일축압축강도 시험에 사용하였던 MTS 압축시험기를 이용하여 간접인장 시험방법인 압열인장시험을 실시하였다. 즉, 시험시편의 단면이 압축시험기의 가압판에 수직이 되도록 세우고 일정한 하중속도로 시험시편이 파괴될 때까지의 하중을 측정하였다.

시험시편의 인장강도는 다음식을 이용하여

계산하였다.

$$\sigma_t = 2P / \pi \cdot D \cdot L$$

여기서, σ_t = 인장강도(kg/cm²)

D = 시험시편의 직경(cm)

P = 파괴시 하중(kg)

L = 시험시편의 길이(cm)

본 실험에서 얻어진 인장강도 측정결과는 표 6에 나타내었다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 수직모형벽체의 시험위치별로 볼 때 SFRS가 와이어 메쉬를 설치하지 않은 일반 슛크리트에 비해 2.0~2.5배 정도 큰 인장강도 값을 보여주

고 있다. 본 실험에서는 격자지보만을 설치한 경우를 대상으로 하였는데, 지보재 배면부분(㉠,㉡)에 비해 지보재가 없는 부분(㉢)의 인장강도가 일반 슛크리트는 1.2배, Dramix첨가 슛크리트는 1.5배, Fibercone 첨가 슛크리트는 1.1배 크게 나타났다.

이러한 SFRS사용에 따른 인장강도의 증가는 발파에 의해서 생기는 불규칙한 여굴부위에서 슛크리트 지보재에 국부적으로 발생하는 인장응력 때문에 생기는 슛크리트 균열을 억제하는데 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

표 6. 슛크리트 인장강도 실험결과(재령 20일 강도)

모형벽체	스틁크리트 종류	시료 채취 부위	인장강도 (tensile strength) (kg/cm ²)			
			시료 1	시료 2	시료 3	평균
수직 모형벽체	일반 슛크리트	㉠	20	20	-	20
		㉡	16	18	-	17
		㉢	-	-	-	-
	Dramix 첨가 슛크리트	㉠	50	40	60	50
		㉡	40	40	20	33
		㉢	40	20	30	30
	Fibercone 첨가 슛크리트	㉠	40	30	40	37
		㉡	30	30	40	33
		㉢	-	-	-	-

3.3 격자지보와 슛크리트의 부착성 실험

3.3.1 실험개요

본 실험에서는 모형벽체 실험결과에서 제시된 바 있는 격자지보와 슛크리트의 일체화 거동, H형강 지보재 배면의 공동으로 인해 발생하는 슛크리트와의 분리거동을 비교, 분석해 보고자 하였다. 즉, 현장에서 타설되는 H형강 지보재와 격자지보가 슛크리트와 어떠한 상태로 부착되어 있고, 또 지보재가 축방향 하중을 받았을 때 슛크리트와 지보재가 어떻게 분리되고 파괴되는지, 그리고 부착강도가 서로 어떻게 달라지는지를 판단하고자 하였다. 이를 위

해 본 실험에서 제안한 압출시험(pull-down test) 방법은 기존의 압축시험장비를 이용하고, 부가적인 몇가지의 장치를 추가하여 지보재와 슛크리트와의 결합력을 상대적으로 비교해 볼 수도 있고, 이 때의 결합강도(bonding strength)를 구할 수 있도록 고안한 방법이다.

3.3.2 공시체 제작

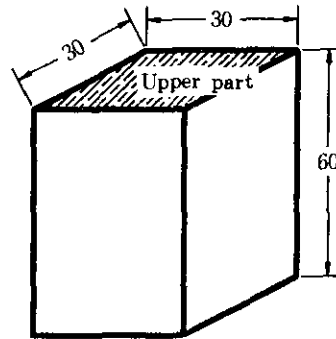
그림 5는 공시체를 제작하기 전에 H형강 지보재와 격자지보를 공시체의 중간부분에 위치시키도록 하기 위해 만든 설제도이다. 그림과 같이 단면이 사각형 형태로 한변이 30cm 정도이며 터널현장에서 타설되는 슛크리트의 평균

두께를 고려하여 결정하였고, 공시체의 높이는 50cm로 사각형 단면길이의 2배가 되도록 하였다. 또한 격자지보와 H형강 지보재를 공시체 중앙에 위치시킬 수 있도록 윗면과 아랫면에 각각 격자지보와 H형강 지보재의 단면형상과 같이 판을 만들어 설치 하였다.

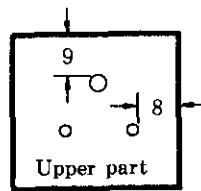
공시체 제작에 사용된 슛크리트는 모형벽체에서 사용한 슛크리트의 배합기준과 같다. 공

시체는 H형강 지보재와 격자지보를 상호 비교하기 위한 것으로 슛크리트 혼합장비로부터 직접 슛크리트를 타설하는 방법으로 공시체를 제작하여 28일 동안 양생시켰다.

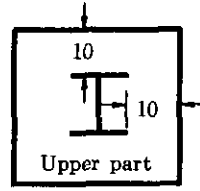
본 실험에 사용된 강지보재는 실험장비의 최대하중을 고려하여 모형벽체 실험에 사용된 H형강 100×100과 Pantex Type 70×26×34를 사용하였다.



(a) 공시체의 크기



(b) 격자지보(Pantex type 70)



(c) H형강 지보재(H100×100)

그림 5. 부착성 시험을 위한 공시체 제작 설계도

3.3.3 실험장치 및 실험방법

본 연구를 위해 고안한 압출시험(pull-down test)은 슛크리트와 지보재의 부착성을 평가하기 위한 방법으로서 토목시험 방법 중 서로 다른 재료의 마찰특성, 인장특성 등을 평가하기 위해 사용되는 인발시험(pull-out test)을 본 실험목적에 맞게 일부장치를 추가, 변형시킨 방법이다. 토사와 같은 재료에서 인발시험시 필요로 하는 하중은 비교적 크기 않은 반면 슛크리트와 같은 강성재료를 실험할 경우 필요로 하는 인발하중은 상당히 크고, 특히 격자지보

와 같이 슛크리트와 일체화된 재료를 인발시험에 의해 실험하기란 현실적으로 많은 어려움이 따르게 된다. 따라서 본 연구에서는 인발시험 대신 압출시험이라는 새로운 방법으로 시험하였다. 그림 6은 압출시험의 모식도를 보여주고 있다.

실험방법은 압출시험기의 가압장치로부터 일정한 속도로 하중을 가하며, 이때 공시체에서 발생하는 변위를 다이알게이지(dial gage)로 측정한다. 하중재하시 두께 10mm 강판으로 만들어진 가압판(plate)을 통해서 하중이 지보

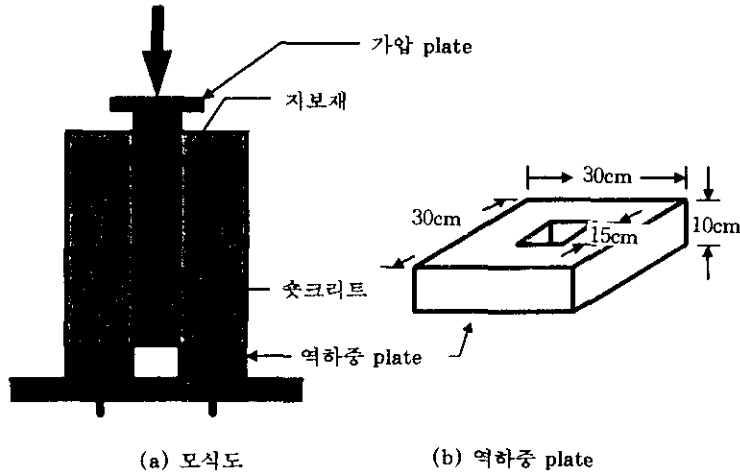


그림 6. 압출시험(pull-down test) 모식도

재로 전달되면 공시체 하단부에 설치된 역하중 plate를 통해서 반발하중이 작용하게 되고, 역하중 plate(그림 6(b))내부에 지보재 부분이 밀려 내려갈 수 있는 공간이 형성되어 있기 때문에 그림 6(a)처럼 인발시험과 유사한 효과를 나타낼 수 있다. 따라서 숏크리트와 지보재가 완전히 분리되기까지의 하중과 변위 관계를 측정함으로써 지보재와 숏크리트와의 부착특성을 파악하였다.

3.3.4 실험결과 분석

숏크리트와 지보재간의 부착강도에 영향을 미칠 수 있는 요인은 1) 지보재의 표면적, 2) 지보재와 숏크리트와의 마찰특성, 3) 숏크리트의 전단파괴특성, 4) 지보재의 형상, 5) 숏크리트와의 일체성, 6) 지보재 배면공동 등이 있다.

그림 7과 그림 8은 각각 H형강 지보재와 격자지보의 하중-변위관계를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 H형강 지보재는 약 50ton 정도의 하중에서 지보재와 숏크리트가 분리되었고, 격자지보는 약 47ton 정도에서 파괴를 일으켰다. 격자지보가 H형강 지보재에 비해 약 6%정도 파괴하중이 작게 나타났지만, 여러 공시체 실험결과를 비교해 보면 격자지보와 H형강 지보재의 파괴하중, 즉 부착성을 잃게 되는 하중치는 거의 비슷한 값들을 보였다.

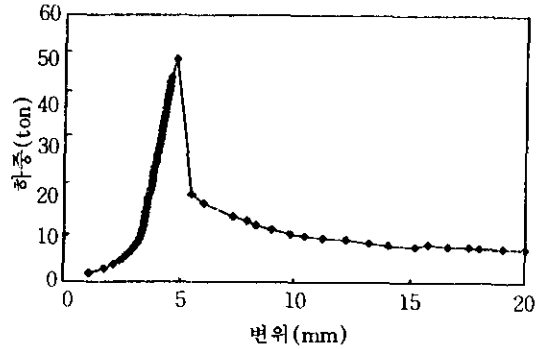


그림 7. H형강 지보재의 하중-변위 관계

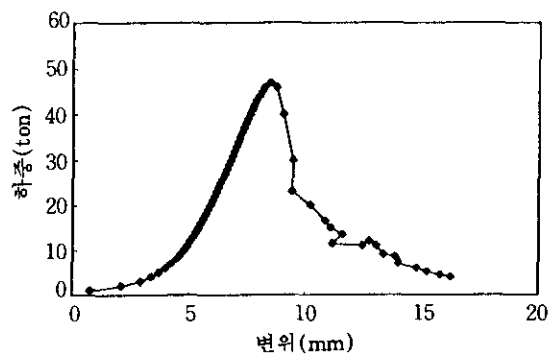


그림 8. 격자지보의 하중-변위 관계

또한 파괴하중에 도달될 때의 변위값을 비교해 보면 H형강 지보재는 4.8mm~6.6mm, 격자지보는 4.7mm~8.8mm 정도로 나타났다. 이

한 결과는 동일한 파괴하중을 갖는 경우에 격자지보의 허용변위가 상당히 큰 것으로 나타나 H형강 지보재에 비해 평균 약 15% 정도 변위를 더 허용할 수 있다는 것을 알 수 있고, 결과적으로 격자지보가 연성 지보재로서의 역할을 하는 것으로 판단되었다.

또한 하중-변위관계에서 파괴하중에 도달된 이후의 하중-변위관계를 보면 H형강 지보재는 파괴 후 급격하게 하중이 경감되는 경향을 알 수 있다. 즉, 파괴하중 50.1ton에서 파괴 후 20 ton으로 떨어지고, 이때 변위는 약 0.7mm 증가하는 결과를 보여준다. 그러나 격자지보의 경우 파괴하중 47 ton에서 파괴 후 46ton으로 떨어지고, 이때 변위는 약 0.27mm 정도 증가하는 결과를 보여서 파괴 후에도 H형강 지보재에 비해 격자지보가 하중지지효과가 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 H형강 지보재의 경우 지보재와 슛크리트와의 결합력은 주로 표면마찰특성에 의해 지배를 받기 때문에 지보재 파괴 후 급작스런 하중경감과 변위증가 경향을 보이는 반면에 격자지보는 마찰특성 보다는 강봉연결재와 슛크리트가 일체화가 된 거동을 보이기 때문에 파괴 후에도 어느정도의 잔류강도를 갖고서 서서히 변형을 일으키는 결과를 보여준 것이다. 즉, H형강 지보재와 격자지보는 슛크리트와의 부착 메카니즘(mechanism)이 서로 다르다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 격자지보와 슛크리트 복합구조체의 특성평가를 위해 터널 모형벽체를 이용한 시험 및 부착성 평가 시험을 실시하였으며, 실험결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 굴착된 터널벽면을 모사한 모형벽체에 대한 슛크리트 타설시간 및 슛크리트 리바운드율 측정결과 격자지보를 설치한 벽체의 경우 H형강 지보재를 설치한 벽체와 비교했을 때, 수직모형벽체의 타설시간은 동일하게 나타났으나 20°경사모형벽체의 타설시간은 약간 적게 측정

되었다. 또한 리바운드율은 수직모형벽체의 경우 격자지보가 4.6%로 H형강 지보재 6.4%보다 1.8% 적게 발생하였고, 20°경사모형벽체의 경우도 격자지보가 9.7%로 H형강 지보재의 11.2%에 비해 1.5% 정도의 감소를 보였다. 이로써 격자지보가 슛크리트와의 결합성이 우수하다는 것을 간접적으로 판단할 수 있었다.

2) 모형벽체에 타설된 슛크리트의 특성실험에서는 타설된 슛크리트로부터 채취한 코어시편의 단위중량, 일축압축강도 값이 격자지보를 설치한 경우가 H형강 지보재 배면에 비해 약간 크게 나타났으므로 슛크리트가 보다 견실하게 타설되어 격자지보와의 일체성 있는 복합구조물을 형성한다는 것을 알 수 있었다.

3) 강섬유보강스�크리트를 격자지보와 함께 타설할 경우에는 기존의 와이어 매쉬와 슛크리트를 사용한 경우와 같이 강섬유에 의한 인장강도의 발현이 우수하여 특히 여굴이 큰 경우에 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 격자지보와 슛크리트의 최대 부착강도는 H형강 지보재를 사용한 경우와 비슷하게 나타났으나 허용변위는 격자지보의 경우가 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 어느정도의 지반 변위를 허용하면서 소정의 지지강도를 필요로 할 때에 격자지보를 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 대구광역시 지하철건설본부(1996), 지하철 2호선 11공구(범어동 구간) 건설공사 실시설계보고서.
2. 문홍득, 이성원, 배규진(1996), "터널지보재로서 격자지보(Lattice Girder)의 현장적용성 평가 연구", 터널과 지하공간, 제6권, 제2호(통권 15호), 한국암반공학회, pp.122~130.
3. 천원공업(주)(1996), 터널용 강지보(Lattice girder), 홍보팸플렛.
4. 청조화성(주)(1996), 드라마믹스(Dramix)-터널공사용 강섬유, 홍보자료.
5. 한국건설기술연구원(1995), 터널 지보용 삼각

- 철근 Steel Rib의 개발, 삼보건설기계산업(주), 서울, pp.1~102.
6. 한국건설기술연구원(1996), 터널지보용 래티스 거어더의 현장적용성 연구, 천원공업(주), 서울, pp.1~99.
 7. Bauman, T. and Betzle M.(1984), "Investigation of the performance of lattice girders in tunnelling", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.17, pp.67~81.
 8. Braun, W.M.(1983), "Lattice girders offer economy and performance for tunnel support", *Tunnels & Tunnelling*, Vol.15, No.5, pp.19~21.
 9. Haack, A.(1989), "Recent research and development in tunnelling : selected examples from Germany and some other European countries", *Proc. of the International Congress on Progress and Innovation in Tunneling*, Vol.I, K.L.Lo, Toronto, pp.927~953.
 10. Penny, C., Stewart, J., Jobling, P.W. and John, M.(1991), "Castle Hill NATM tunnels : design and construction", *Tunnelling '91*, Elsevier, New York, pp.285~297.
 11. Wood, D.F.(1990), "Design and uses of reinforced shotcrete in underground projects in Canada", *Shotcrete for Underground Support V*, ASCE, pp.10~25.

(접수일자 1997. 1. 28)