Annual Technical Report(Part 1)

터널 강지보재(격자지보)의 품질관리 기술

2016

터 널 지 하 공 간 학 회

굴 착 및 지 보 기 술 위 원 회

목 차

1. 개 요 ····· 1
1.1 강지보재 ····· 1
1.2 강지보재의 종류 ····· 2
2. 격자지보의 특성 및 품질관리 기법 ····· 3
2.1 격자지보재의 현황 및 특성 ····· 3
2.2 격자지보재 품질관리 기법 ····· 6

표 목 차

Fig.

<1.1> 국내 강지보재의 장단점 ····· 3
<2.1> 표준형 3개강봉 격자지보재 치수 및 단면제원 ····· 5
<2.2> 격자지보재 특성 ····· 6

그 림 목 차

Table

[1.1] 여러 가지 형태의 강지보재 ····· 2
[2.1] 독일의 표준형 3개강봉 격자지보재 ····· 5
[2.2] 격자지보재 성능평가 3-point 실내실험기법 ····· 7
[2.3] 3-point 휨강도 실험 결과 ····· 7
[2.4] 격자지보재 성능평가 4-point 실내실험기법 ····· 8
[2.5] 4-point 휨강도 실험 결과 ····· 8
[2.6] Mill Test Certificate(검사증명서) ····· 9
[2.7] 격자지보재에 대한 계장화압입시험 ····· 11

1. 강지보재

1.1 정의 및 개념

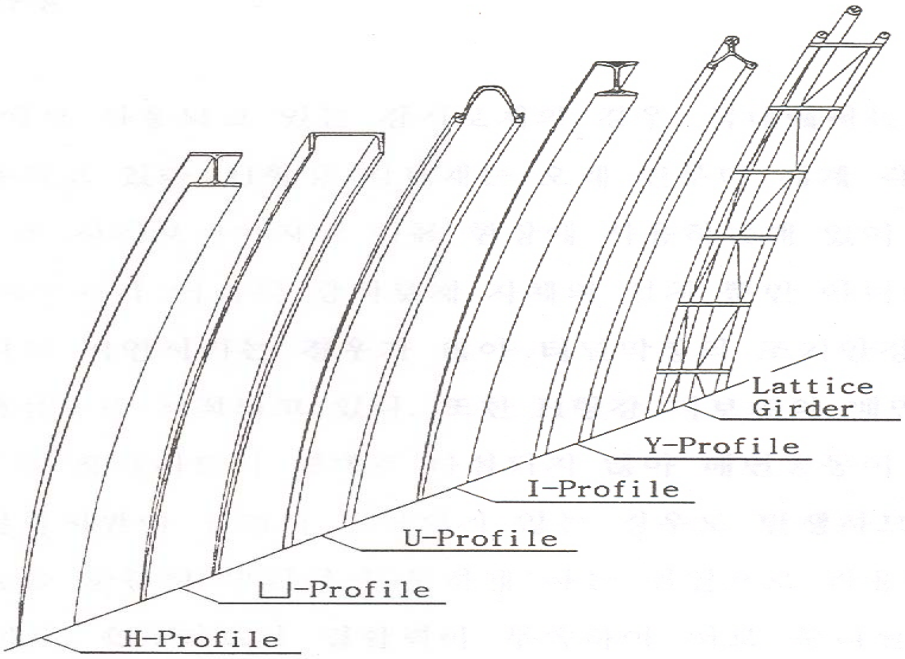
국내의 각 기관에서 터널의 설계와 시공과 관련하여 발간되는 다양한 설계기준, 시방서, 편람 및 지침에서 언급된 강지보재의 개념 및 역할을 정리하면 다음과 같다.

○ 굴착 직 후 터널주변 지반의 이완을 최소화하고 굴착면의 과다한 초기변위를 억제하기 위한 역할
○ 다양한 보조공법의 반력지지재의 역할
○ 타설된 숏크리트가 경화한 후 강지보재와 숏크리트의 일체화로 지보능력 향상

굴착 직 후 숏크리트가 타설되기 전에 강지보재를 설치하여 굴착면의 변위를 최소화하여 지반자체의 지보능력을 최대화할 수 있다. 그러나, 암반지역에서는 발파에 의한 굴착시 여굴이 발생하며 이러한 여굴에 의해 강지보재가 굴착면에 밀착되지 못하는 경우가 발생하는 동시에 강지보재와 굴착면사이의 공간을 쐐기등의 미설치로 초기 지반변위 억제효과가 미진한 경우가 발생한다. 또한, 개념상으로는 강지보재 설치 후 숏크리트를 타설하여 강지보재와 숏크리트가 일체화되어 지보능력을 향상시킬 수 있으나, 실제 터널설계시 강지보재의 지보역활을 고려하지 않고 있다. 숏크리트와 강지보재의 복합구조물로서의 지보능력 향상은 이론과 개념적인 측면에서만 존재하고, 실제 터널 설계 및 시공에서는 반영되지 않고 있는 실정이다. 강지보재의 지보역활을 반영할 경우 숏크리트가 부담하는 하중을 강지보재가 분담할 수 있어, 숏크리트가 경화된 후에도 숏크리트와 함께 하중분담에 대한 역할을 기대할 수 있으며 지보재의 과다 설계를 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 지금까지의 강지보재 설계패턴(강지보재의 제원, 설치 및 간격등등)은 외국기준이나 경험을 바탕으로 획일화되게 제시되어서 다양한 지반조건, 터널형상 및 건설위치(경사터널 등)에 대하여 신속하게 대처할 수 없는 것이 현재 실정이다.

1.2 강지보재의 종류

NATM에서 강지보재를 사용할 때에는 시공목적에 적합한 지보재의 종류, 형태 등을 선택하여야 하는데 강지보재는 작용하중 외에 숏크리트 두께, 터널 단면의 크기, 시공법 등을 고려하여 적당한 강도, 강성을 가진 것을 선정하여야 한다. 강지보재의 단면 형상은 지반과 강지보재사이에 숏크리트 타설이 용이하고 숏크리트와 일체화시키기 쉬운 것으로 하여야 한다. 또한 큰 하중이 작용하는 경우에는 좌굴에 대하여 저항성이 큰 형상이 바람직하다. (그림 1.1)에서 보여주듯이 지금까지 사용되어 온 강지보재로는 H형강, U형강, I형강, Y-형태강관(Pipe)지보재 및 격자지보재등이 있다.

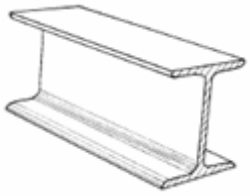
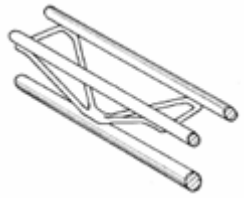


[그림 1.1] 여러 가지 형태의 강지보재

NATM 도입초기부터 국내에서는 H형강 steel-rib를 대부분의 터널현장에서 강지보재로 사용하였다. H형강 지보재는 무게가 무거워 설치시간이 지연되고 후속작업에 지연을 주어 공사기간에 영향을 주는 경우가 발생하였다. 또한 강지보재를 설치한 후에도 터널벽면의 여굴의 대소에 따라 지보재 배면에 숏크리트가 완벽히 타설되지 않아 강지보재 배면에 공동이 국부적으로 형성되어 숏크리트와 일체화된 복합구조체를 형성하지 못하고 분리구조로 거동하기 때문에 효과적인 하중지지 효과를 나타내지 못하는 등의 문제점들이 제기되었다. 그래서 이러한 단점을 보완하기 위하여 1980년대 유럽에서 개발되어

사용되어지던 격자지보재는 90년대 초중반부터 국내에 도입되어 현재에는 국내 강지보재의 표준으로 자리잡고 있다. 격자지보재는 H형강 지보재가 가지고 있는 시공상의 어려움을 쉽게 해결하고 아울러 우수한 부착성으로 인한 숏크리트의 리바운드량을 크게 감소시키고 격자형상으로 강지보재 배면의 공극발생을 방지할 수 있게 되었다. 특히, 단위 길이당 자체중량이 가벼워 H형강 지보재보다 경제적이며 강지보재 설치시간을 단축하여 시공성을 크게 향상시켰다. (표 1.1)은 H형강과 격자지보재의 장단점을 간략하게 비교하여 보여주고 있다.

<표 1.1> 국내 강지보재의 장단점

H 형강		장점	- 하중지지 효과가 큼
		단점	- 과도한 자체중량으로 시공성이 낮아 후속작업에 지장을 줄 수 있음 - 배면공동에 의해 숏크리트와 일체화가 낮음
격자지보재 (Lattice Girder)		장점	- H형강에 비해 가벼워 시공성이 양호 - 숏크리트와 일체화가 양호
		단점	- 고가의 특수강의 사용 - 수작업에 의한 부재간 용접으로 안정적인 품질확보가 어려움

2. 격자지보재의 특성 및 품질관리기법

2.1 격자지보재의 현황 및 특성

유럽에서 개발된 격자지보재는 강봉을 삼각형 또는 사각형으로 엮어 만들어 터널형상에 맞도록 제작한 강지보재의 한 종류로서, 지보재로서의 기능을 수행하기 위해서는 허용지지하중 범위 내에서 어느 정도의 변위를 허용할 수 있어야 하고, 외력을 다소 흡수할 수 있는 시스템으로 구성되어 있다. 이를 위해서는 연결용 부재인 스파이더가 격자지보재의 상·하부 강봉에서 전달되는 힘들을 흡수할 수 있는 접합요소(integral element)로서의 역할을 하여야 한다.

스파이더와 강봉 사이의 용접부는 격자지보재의 지지력 발휘에 매우 중요한 역할을 하므로 용접기술이 격자지보재의 품질 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 일반적으로 용접부의 길이는 전단력에 저항할 수 있도록 3cm 이상으로 하며, 취성파괴가 발생하지 않도록 완전한 접합이 되도록 용접되어야 한다.

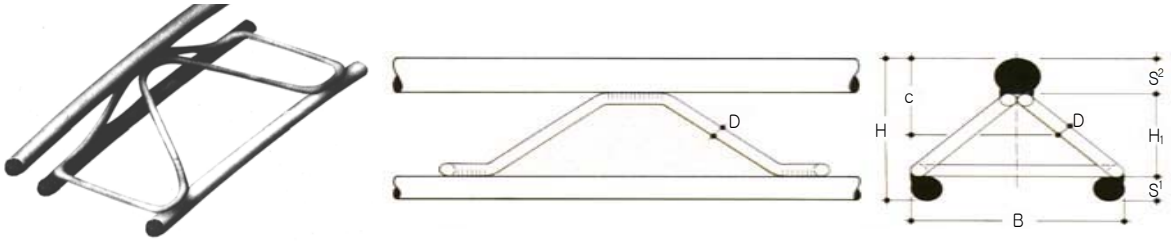
격자지보재는 일반적으로 표준형 3개강봉, 보강형 4개강봉, 침하방지용 4개강봉으로 나뉘어진다. 표준형 3개 강봉은 단면형상이 삼각형 모양으로 3개의 강봉으로 구성되어 있고, 보강형 4개강봉은 표준형과 형태상 동일하나 상부에 강봉 하나를 더 결합한 형태이다. 4개강봉은 단면형상이 사각형 모양으로 4개의 강봉으로 구성되어 있고, 터널하부 지지지반이 연약한 경우 바닥지지재로 주로 사용되고 있다.

(그림 2.1), (표 2.1) 및 (표 2.2)은 전세계적으로 통용되고 있는 독일의 표준형 3개강봉 격자지보재를 나타내고 있다. 격자지보재를 구성하는 강봉과 스파이더는 고강도(high strength)이고 용접이 매우 잘되는(very good welding suitable) 소재이어야 한다. 이것을 다시 말하면 강봉과 스파이더가 용접구조용 저탄소강(탄소함량이 0.3% 이하)이라는 의미와 동일하다. 일부 국가는 강봉의 항복강도를 520MPa 이상, 스파이더의 항복강도를 500MPa 이상으로 규정하고 있지만 국내 강재 현실을 고려하여 국내 터널설계기준(2007)에서 격자지보재의 강봉과 스파이더의 항복강도를 500MPa이상으로 규정하고 있다.

격자보재의 성능은 강봉과 스파이더의 항복강도와 같은 기계적 특성에 좌우되는 한편 앞에서도 언급한 바와 같이 강봉과 스파이더를 연결하는 용접접합요소의 성능에 좌우되기도 한다. 그러므로 강봉과 스파이더의 용접접합요소가 강봉과 스파이더의 항복강도 이상을 가질 수 있도록 강봉과 스파이더는 용접성이 매우 우수한 소재이어야 한다. 또한 격자지보재의 성능과 품질은 격자지보재를 구성하는 각각의 강봉과 스파이더에 대하여 일정기준의 실험(직접파괴실험 또는 비파괴실험 등)들을 통하여 평가할 수 있으며, 강봉과 스파이더로 구성된 격자지보재의 성능도 휨강도 실내실험을 통하여 평가할 수 있다. 격자지보재의 성능은 각각의 강봉과 스피이더가 일정기준을 만족하는 동시에 격자지보재의 전체 성능도 일정기준을 만족하여야 한다.

(표 2.1)에서 보여주듯이 국내에서는 주로 표준형 3개강봉의 격자지보재를 사용하고 있으며, 각 형태(타입)별로 지반조건, 하중조건 및 시공조건등등에 따라 다양한 제원을 가지고 있지만, 국내에서는 (표 2.1)에 네모박스로 표시된 3가지 타입만 주로 사용되어지고 있다.

이것은 앞에서 언급한 바와 같이 지반조건, 하중조건 및 주변여건에 따라 강지보재가 설계되어야 하지만 국내실정에서는 강지보재를 설계에 반영하지 않고 있으며 각각의 국내기관별 강지보재의 설계패턴이 획일화되어 있기 때문이라고 판단된다.



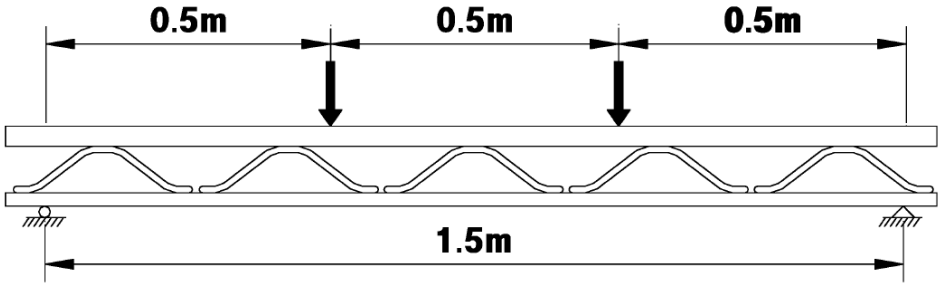
[그림 2.1] 독일의 표준형 3개강봉 격자지보재

<표 2.1> 표준형 3개강봉 격자지보재 치수 및 단면제원

형태	단면치수(mm)					단면적 (cm2)	단위중량 (kg/m)	단면2차모멘트 (cm4)		단면계수 (cm3)	
	S1	S2	H	B	D			Ix	Iy	Zx	ZY
50	18	26	94	100	10	10.4	10.0	138	89	29	18
	20	30	100	100	10	13.6	12.3	193	106	38	21
70	18	26	114	140	10	10.4	10.2	223	192	39	27
	20	30	120	140	10	13.6	12.5	306	232	51	33
	22	32	124	140	10	15.6	14.3	375	272	60	39
	26	34	130	140	10	19.7	17.5	501	356	71	51
95	18	26	139	180	10	10.4	10.7	359	337	51	37
	20	26	141	180	10	11.6	11.7	405	406	53	45
	20	30	145	180	10	13.4	13.1	485	407	66	85
	22	32	149	180	10	15.6	14.9	589	482	78	54
	26	34	155	180	10	19.7	18.2	774	641	92	71
115	18	26	159	220	12	10.4	11.7	491	521	61	47
	20	30	165	220	12	13.6	14.1	658	634	78	58
	22	32	169	220	12	15.6	15.9	795	752	94	68
130	18	34	175	220	12	19.7	19.2	1040	1010	109	92
	20	26	174	220	12	10.4	11.7	603	521	69	47
	22	30	180	220	12	13.6	14.1	806	634	87	58
	26	32	184	220	12	15.6	15.9	971	752	105	68
	26	34	190	220	12	19.7	19.2	1264	1010	122	92

(그림 2.3)는 하중 재하위치에 따라 격자지보재의 성능이 상이하게 나타나는 것으로 보여주고 있다.

<표 2.2> 격자지보재 특성

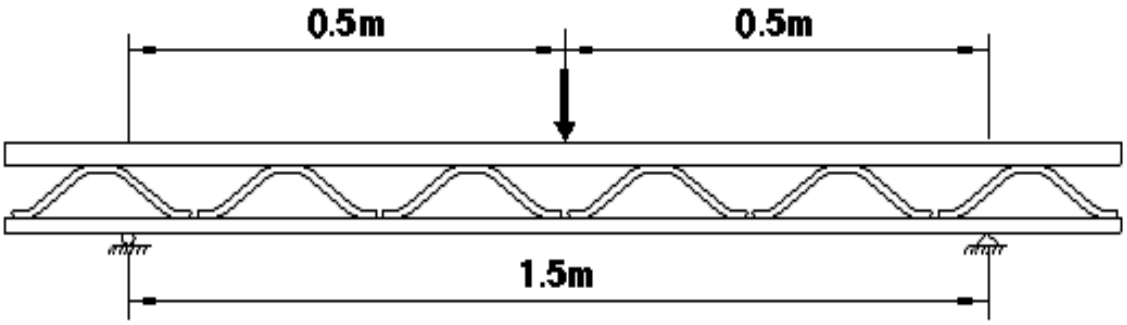


특성	강봉	스파이더
항복강도	≥520MPa	≥500MPa
극한강도	≥항복강도×1.15	≥550MPa
연신율	≥14%	≥10%
탄소당량(Ceq)+	0.48	0.48
C함량	0.16~0.24	0.16~0.24
Mn함량	0.8~1.0	0.65~1.0
Si함량	0.15~0.35	0.15~0.35

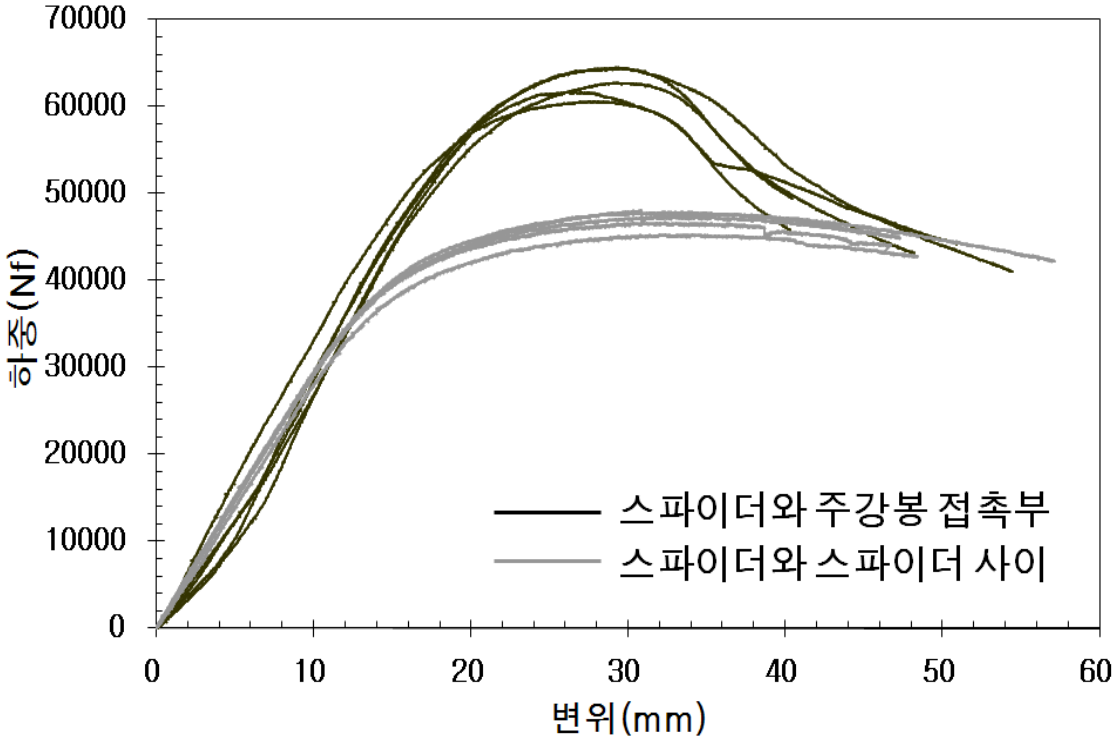
+: Ceq =C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15(국제용접협회(International Institute of Welding))

2.2 격자지보재 품질관리기법

일반적으로 격자지보재는 고강도의 특수강을 사용하여 수작업에 의한 용접으로 제작되므로 격자지보재의 품질이 보증되지 않을 경우 터널 공사중 사고의 원인이 되기도 한다. (그림 2.2)에서 보여주듯이 독일 연방철도국에서 제안한 격자지보재의 품질검사는 재질특성, 용접검사 및 3-point 휨강도 실험으로 구성되어 있지만 이 중 격자지보재의 공학적인 특성을 파악할 수 있는 3-point 휨강도 실험에서는 간격이 1.5m인 지지점에 시편을 놓고 하중을 지지점 중간에 적용한다는 내용만 있을 뿐 구체적인 실험절차나 방법(하중제어방식 또는 변위제어 방식)이 제시되어 있지 않다. 이러한 경우 실험자의 주관에 의해 격자지보재의 공학적인 성능은 매우 상이하게 나타 날 수 있다. (그림 2.3)는 하중 재하위치에 따라 격자지보재의 성능이 상이하게 나타나는 것으로 보여주고 있다.

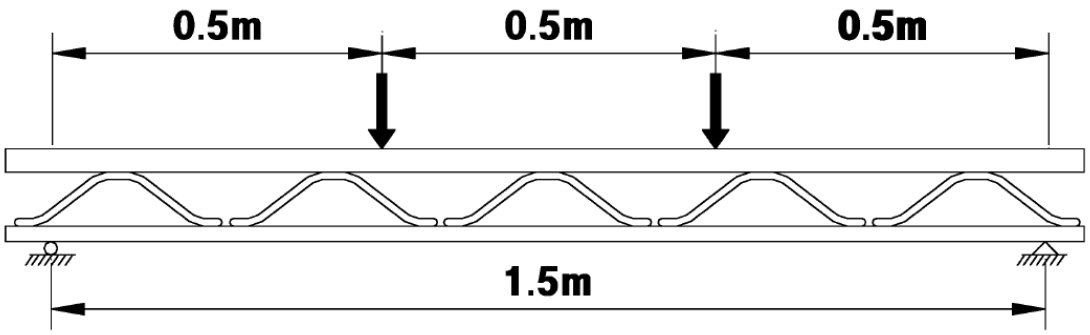


[그림 2.2]격자지보재 성능평가 3-point 실내실험기법

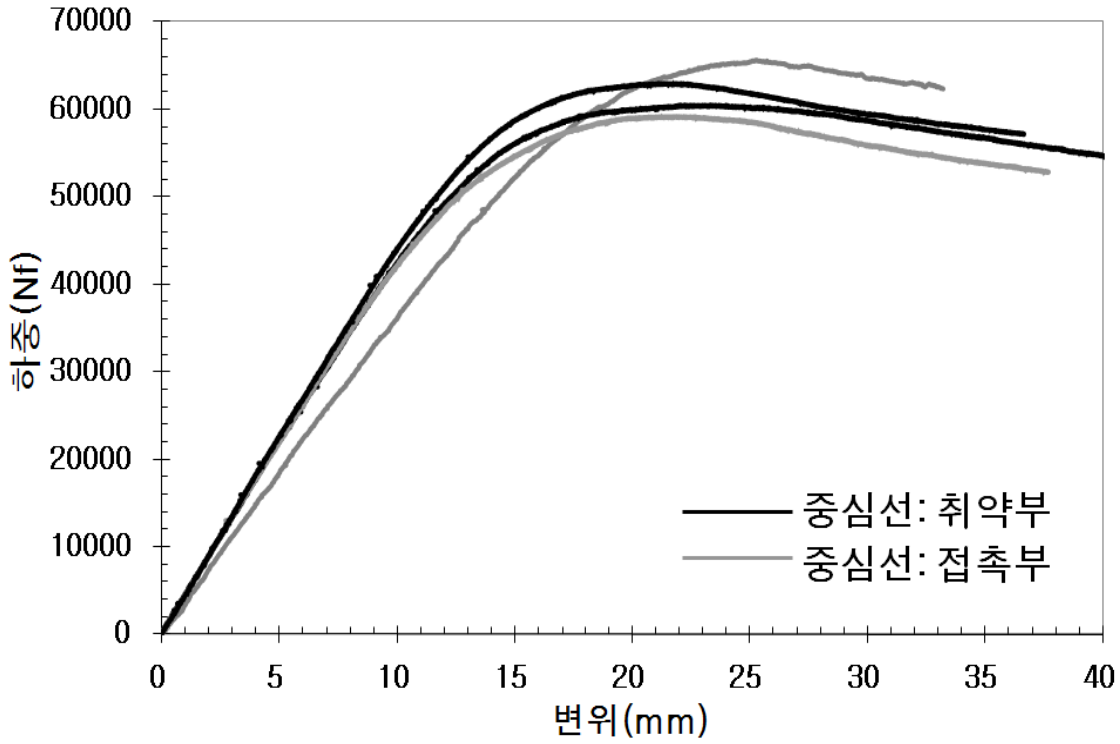


[그림 2.3] 3-point 휨강도 실험 결과

하중재하위치에 따른 상이한 성능평가 결과를 보여주는 3-point 휨강도 실험으 단점을 보완해주는 4-point 휨강도 실험 방법이 제시된 바도 있다(그림 2.4). 4-point 휨강도 실험을 위한 지지점의 간격은 독일 연방철도국에서 제안한 1.5m를 그대로 사용 하였다. (그림 2.5)은 하중 재하위치에 따라 격자지보재의 성능이 거의 동등한 것을 보여주고 있다.



[그림 2.4]격자지보재 성능평가 4-point 실내실험기법

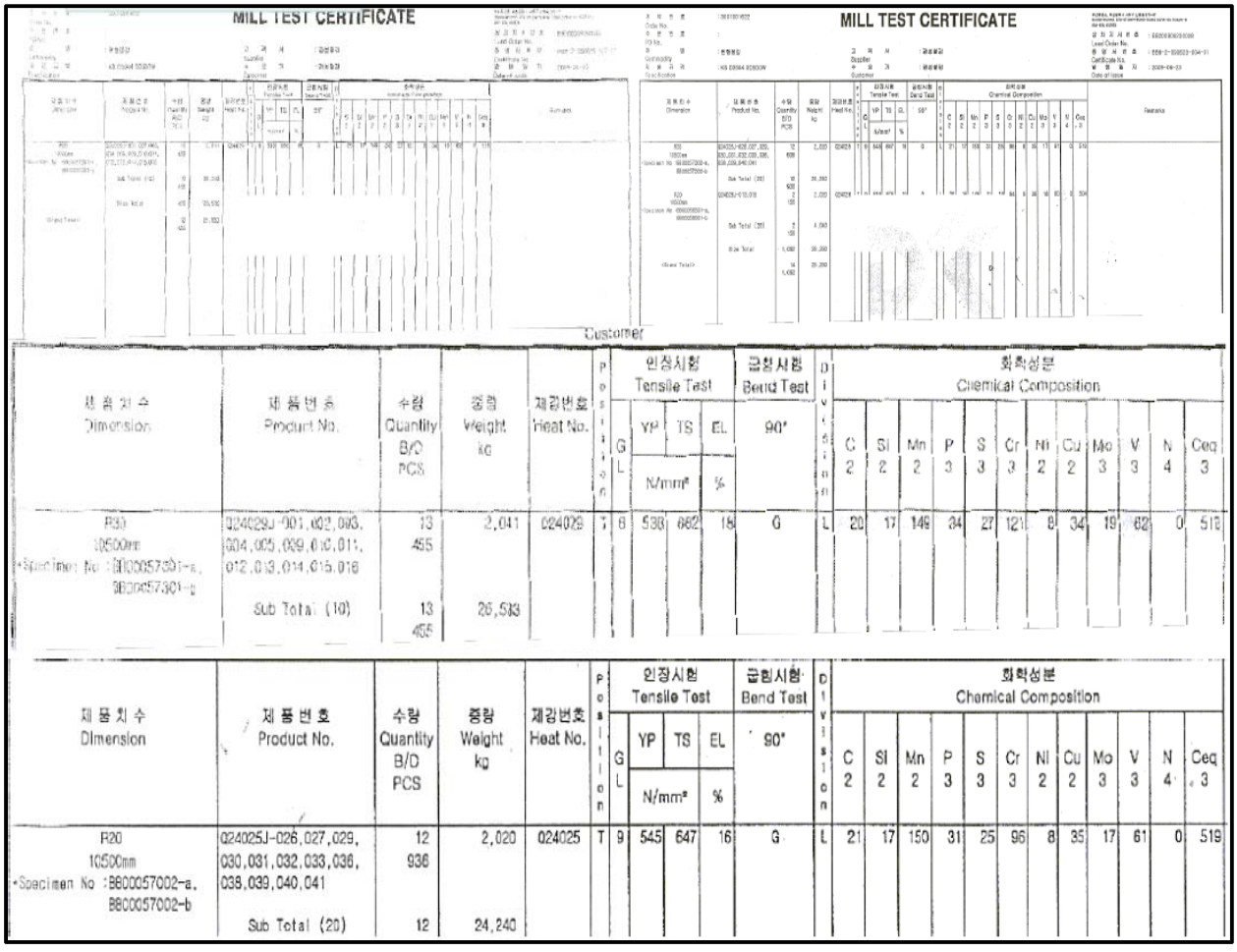


[그림 2.5] 4-point 휨강도 실험 결과

앞에서 수행된 휨강도 실험이외에 터널현장에 납품되는 격자지보재의 품질관리 및 성능평가를 위한 여러가지 방법이 제시되었다.

첫 번째는 Mill Test Certificate(검사증명서)를 확인하는 방법이다. 격자지보재를 구성하는 강봉의 항복강도는 격자지보재의 전체 성능에 많은 영향을 미치므로 기준에

적합한 강재를 사용하여 격자지보재를 제작하여야 한다. 제강업체에서 생산된 강재가 격자지보재를 제작하는 제작업체에 납품되어질 때 강재와 함께 Mill Test Certificate(검사증명서)를 같이 제작업체에 주게 되어있다. (그림 2.6)에 나타난 것 처럼 Mill Test Certificate(검사증명서)에는 강재의 치수, 강재 구입수량, 강재 구입중량등 제작업체가 어떤 강재를 얼마만큼 언제 구입하였다는 내용이 나와 있다. Mill Test Certificate(검사증명서)로 현장에 납품되는 격자지보재가 어떤 강재로 제작되었고 현장에 납품하는 격자지보재를 제작할 만큼 충분히 구입하였는지를 판단할 수 있는 근거 중에 하나이다. Mill Test Certificate(검사증명서)에는 발행 일자가 표시되어있다. 국내에서 격자지보재를 제작하는 업체는 중소기업이므로 강재를 미리 다량으로 비축하기가 불가능하므로 Mill Test Certificate(검사증명서)의 발행 일자와 현장에 격자지보재를 납품하는 일자사이의 기간(3개월에서 6개월 미만)을 규정하는 것도 방법 중에 하나이다.



MILL TEST CERTIFICATE

Customer

제품치수 Dimension	제품번호 Product No.	수량 Quantity B/D PCS	중량 Weight kg	제강번호 Heat No.	Position	인장시험 Tensile Test G/L	YP N/mm²	TS N/mm²	EL %	굽힘시험 Bend Test 90°	Division	화학성분 Chemical Composition C 2	Si 2	Mn 2	P 3	S 3	Cr 3	Ni 2	Cu 2	Mo 3	V 3	N 4	Ceq 3
R20 10500mm *Specimen No : B800057301-a, B800057301-b	024029J-001,002,003, 004,005,009,010,011, 012,013,014,015,016	13 455	2,041	024029	T	G	538	682	18	G	L	20	17	149	34	27	121	8	34	19	62	0	516
	Sub Total (16)	13 455	26,533																				

제품치수 Dimension	제품번호 Product No.	수량 Quantity B/D PCS	중량 Weight kg	제강번호 Heat No.	Position	인장시험 Tensile Test G/L	YP N/mm²	TS N/mm²	EL %	굽힘시험 Bend Test 90°	Division	화학성분 Chemical Composition C 2	Si 2	Mn 2	P 3	S 3	Cr 3	Ni 2	Cu 2	Mo 3	V 3	N 4	Ceq 3
R20 10500mm *Specimen No : B800057002-a, B800057002-b	024025J-026,027,029, 030,031,032,033,036, 038,039,040,041	12 936	2,020	024025	T	G	545	647	16	G	L	21	17	150	31	25	96	8	35	17	61	0	519
	Sub Total (20)	12	24,240																				

[그림 2.6] Mill Test Certificate(검사증명서)

두 번째는 강봉 인장시험 성적표의 제출이다. 격자지보재 제작에 사용된 강봉을 사용하여 공인된 기관에서 수행된 인장실험결과표를 제출하는 것도 격자지보재의 품질관리를 위한 방법중에 하나이다. 강봉 인장시험 성적표는 Mill Test Certificate(검사증명서)에도 표시되는 경우도 있으며 Mill Test Certificate(검사증명서)에 표시되지 않을 경우 별도로 제출하는 것도 하나의 방법이다. 강봉 인장시험 성적표에서 검토해야할 사항은 항복강도, 인장강도 및 연성파괴를 판단할 수 있는 응력-변위 그래프나 연신율등등 강재의 기계적 성질을 파악할 수 있는 내용이 포함되어야 한다. 강봉 인장시험 성적표는 Mill Test Certificate(검사증명서) 제출시 같이 제출되어야 할 것이다. 또한 용접에 의한 강봉의 거동을 파악하기 위하여 스파이더로 사용되는 강봉을 주강봉과 보조강봉에 용접한 후 수행한 인장실험결과표를 제출하여야 할 것이다.

세번째는 현장에 제공되는 격자지보재 제품에서 시편을 채취하여 강봉 인장시험을 수행하는 것이다. 현장에 반입되는 격자지보재를 대상으로 앞에서 언급한 바와 같이 인장실험을 위한 시편을 채취하여 인장실험을 수행하면 격자지보재를 구성하는 강봉의 기계적 성질을 파악할 수 있다. 현장에 반입되는 동일 종류의 격자지보재에서 최소한 주강봉 시편 3개와 보조강봉 시편 3개를 채취하여 인장실험을 수행할 필요가 있다.

마지막으로는 현장에 제공되는 격자지보재에 대한 비파괴 실험을 통한 항복강도를 측정하는 것이다. (그림 2.7)은 비파괴 실험의 일종인 계장화압입시험을 격자지보재에서 수행하는 것으로 보여주고 있다. 계장화압입시험을 통행 현장에 납품되는 격자지보재를 손상시키고 않고 강재의 항복강도를 측정할 수 있다.

[그림 2.7] 격자지보재에 대한 계장화압입시험