

SM490TMC 극후판재 120mm의 소재특성에 관한 연구

김상섭^{1*} · 이철호² · 이은택³ · 한태호⁴ · 최영한⁵ · 김종rak⁶

¹교수, 한국기술교육대학교, 디자인·건축공학부, ²교수, 서울대학교, 건축학과, ³교수, 중앙대학교, 건축학부
⁴석사과정, 숭실대학교, 건축학부, ⁵석사과정, 한국기술교육대학교, 건축공학과, ⁶교수, 숭실대학교, 건축학부

A Study of Material Characteristics of 120mm-Thick SM490TMC Plate

Kim, Sang Seup^{1*}, Lee, Cheol Ho², Lee, Eun Taik³, Han, Tae Ho⁴, Choi, Young Han⁵, Kim, Jong Rak⁶

¹Professor, School of Design & Architectural Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253, Korea

²Professor, Department of Architecture & Architectural Engineering, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea

³Professor, School of Architecture, Chungang University, Seoul, 06974, Korea

⁴Master course, School of Architecture, Soongsil University, Seoul, 06978, Korea

⁵Master course, Department of Architectural Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253, Korea

⁶Professor, School of Architecture, Soongsil University, Seoul, 06978, Korea

Abstract - Seven types of tests were conducted to experimentally evaluate the material properties of ultra-thick (or 120mm-thick) SM490TMC plate. The investigation of through-thickness properties was among the most significant considerations. All chemical and mechanical test results showed the through-thickness homogeneity as required and conformed to the KS(Korean industrial Standards), although the thickness was 1.5 times thicker than the thickness limit (80mm) imposed by Steel Structure Design Code. No reduction in the yield strength of 120mm-thick SM490TMC plate is recommended for design.

Keywords - SM490TMC, TMCP, Quality management, Homogeneity, Chemical Composition test, Tensile test, Impact test, Bending test, Hardness test, Macroscopic test, Microscopic test

1. 서론

강구조 건축물이 고층화, 장스팬화 되고 고장력화, 고성능강 및 극후판 강재의 적용사례가 증가하고 있다. 강재에 극후판 적용을 위해서는 판두께 방향의 균질성, 압연방향과 압연직각방향의 균질성 및 용접성의 확인이 필요하다^{[1],[2]}.

TMCP강재는 탄소당량의 증가, 용접성의 저하 현상 등을 극복하기 위해 제어압연·가속냉각을 이용하여 강도, 인성 및 용접성을 크게 향상시켰다^[3]. 그러나 극후판 강재의 경

우, 290mm 슬래브를 기준으로하면 100, 120mm 압연시의 압하율은 65%, 59%가 된다. 이와 같이 낮은 압하율에서는 등방성 확보 및 가공성의 확보에 유의해야 한다.

고층건축물의 구조설계는 재료의 강도와 사용성 기준을 동시에 만족해야 한다^[4]. 또한 강구조 설계기준에서 항복강도는 강재의 두께가 40mm를 초과할 때 10%정도 저감하여 사용하도록 정하고 있다.

그러나 TMCP강재의 경우 두께가 40mm를 초과하더라도 구조설계의 기준이 되는 항복강도를 저감하지 않기 때문에 매우 유리하며, 그 적용두께를 80mm이하로 규정하고 있다^[5].

국내에서도 극후판 강재를 사용한 구조물에 대한 실험 및 안전성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 열가공 제어공정(TMCP)으로 압연된 두께 80mm를 초과하는 극후판 강재에 대한 실험 연구성과 및 판두께 위치에 따른 물성차이의 연구자료가 부족하며, 적용사례도 거의 없는 실정이다.

Note.-Discussion open until April 29, 2017. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on May 1, 2016; revised July 14, 2016; approved on July 25, 2016. Copyright © 2016 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-41-560-1330 Fax. +82-41-560-1224

E-mail. kimss@koreatech.ac.kr

따라서 본 연구에서는 7종의 시험을 실시하여 SM490 TMC 120mm 극후물재의 소재특성을 파악하고, 두께에 따른 균질성을 검토하여 구조설계의 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 압연시의 품질관리 목표

2014년 개정된 KS D 3515 「용접 구조용 압연 강재」^[6]에서 항복강도는 Table 1과 같이 판두께에 따라 6단계로 구분되어 있다. 그리고 인장강도는 100mm 이하, 100mm초과 200mm 이하, 2단계로 구분되어 있다.

화학성분조성의 관리는 Table 2와 같이 SM490 A와 B에서 두께 50mm 이하와 두께 50mm 초과 200mm 이하까지 탄소에 대하여 차등관리 하고 있다. 그리고 SM520B, SM520C 및 SM570의 두께 100mm를 초과하고 150mm 이하인 강판의 화학성분은 주문자와 제조자 사이의 협정에 따르도록 주기로 명확히 기술되어 있다.

Table 3과 Table 4는 SM490 및 SM520 강재의 탄소당량 및 용접균열 감수성을 나타낸 것이다. 열가공제어공정(TMCP)으로 압연된 강판에서 적용두께가 100mm를 초과하는 경우, 탄소당량 또는 용접균열 감수성은 주문자와 제조자 사이의 협정에 따르도록 주기에 명확히 기술되어 있다.

따라서 강재를 주문할 때, 압연시의 관리규격 적용에 대

하여 엄밀히 검토하여야 한다.

3. 강재의 강도에 대한 균질성의 기준

강재 강도의 균질성에 관해 다음과 같이 연구결과가 제시되었으며^[2], 본 연구에서도 두께에 따른 균질성을 다음의 기준에 의해 압연방향(L), 압연직각방향(C) 및 두께방향(Z)에 대해 검토한다.

- 1) 1/4지점에서의 인장시험결과가 KS를 만족하는지 검토하며, 본 연구에서는 소재가 SM490TMC 120mm이므로 항복강도 및 인장강도가 KS보다 엄격한 기준인 강구조설계기준^[4]을 만족하는지 검토한다.
- 2) 2/4지점에서의 인장시험결과는 1/4지점의 85%이상을 만족하는지 검토한다.
- 3) 전두께에서의 인장시험결과는 KS와 강구조설계기준을 만족하는지 검토한다.

또한, 항복강도 및 인장강도가 Fig. 1과 같이 선형적으로 변화한다고 가정한다면 2)항을 만족하면 3)항도 만족할 것으로 판단되므로 3)항의 경우는 선택적으로 적용할 수 있다^[2]라고 가정하였다. 본 연구에서 전두께에 대한 인장시험을 실시하여 참고문헌 [2]에서 제안한 가정을 증명하고자 한다.

Table 1. Yield point or Yield strength, Tensile strength, Elongation in KS D 3515

Type	Yield point or Yield strength(N/mm ²)						Tensile strength (N/mm ²)		Elongation		
	Thickness(mm)						Thickness(mm)		Thickness (mm)	Specimens	%
	16 and below	16 excess 40 and below	40 excess 75 and below	75 excess 100 and below	100 excess 160 and below	160 excess 200 and below	100 and below	100 excess 200 and below			
SM490A SM490B	325 or more	315 or more	295 or more	295 or more	285 or more	275 or more	490 ~ 610	490 ~ 610	5 and below	NO.5	22 or more
5 excess 16 and below					NO.1A	17 or more					
SM490C					-	-			16 excess 50 and below	NO.1A	21 or more
									50 excess	NO.4	23 or more

Table 2. Chemical composition (%)

Type	Thickness	C	Si	Mn	P	S
SM490A	50mm and below	0.20 and below	0.55 and below	1.60 and below	0.035 and below	0.035 and below
	200mm and below	0.22 and below				
SM490B	50mm and below	0.18 and below	0.55 and below	1.60 and below	0.035 and below	0.035 and below
	200mm and below	0.20 and below				

Table 3. Carbon equivalent (%)

Type		SM490A, SM490YA SM490B, SM490YB SM490C	SM520B, SM520C
Thickness	50mm and below	0.38 and below	0.40 and below
	50mm excess 100mm and below	0.40 and below	0.42 and below

Note The carbon equivalent of the steel pipe that exceeds the thickness of 100mm is subject to agreement between the purchaser and the manufacturer.

Table 4. Welding crack sensitivity (%)

Type		SM490A, SM490YA SM490B, SM490YB SM490C	SM520B, SM520C
Thickness	50mm and below	0.24 and below	0.26 and below
	50mm excess 100mm and below	0.26 and below	0.27 and below

Note The welding crack sensitivity of the steel pipe that exceeds the thickness of 100mm is subject to agreement between the purchaser and the manufacturer.

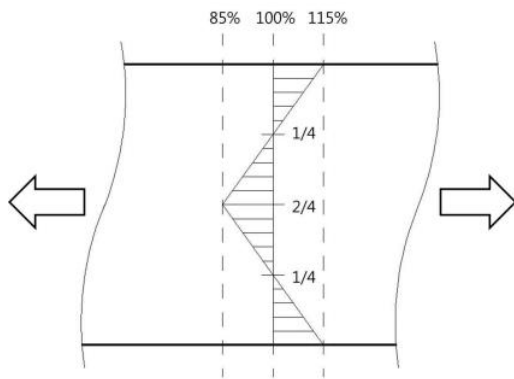


Fig. 1. Linear change in strength according to the position^[2]

4. 시험계획 및 방법

시험강재의 소재특성을 파악하기 위해 판두께 120mm의 극후판재를 사용하여, 화학성분조성 분석시험, 인장시험, 충격시험, 굽힘시험, 경도시험, 매크로시험 및 마이크로조직 시험을 Table 5와 같이 계획하였다. 소재특성 시험은 강재의 화학적, 기계적 성질 및 기타 성능이 한국산업표준(KS)에 만족하는지 여부와 규격 이외에 조직의 건전성 및 경화도 등을 판단하기 위하여 총 7종, 123개의 시험편을 제작하여 각종 시험을 실시하였다.

4.1 화학성분시험 계획 및 방법

극후판 강재를 건축물에 사용하는 경우 이음 및 접합은 주로 용접으로 이루어진다. 그러므로 용접성지표를 파악하기 위해서는 화학성분조성을 시험하고 탄소당량 및 용접균열

Table 5. Test list

Specimens	Test Division	Quantity	Sampling sites
C-1 ~ 3	Chemical Composition Test	3 (Using the same sample)	1/4, 2/4, 3/4
MI-L-1 ~ 3	Microscopic Test		
T-4L-1 ~ 3	Tensile Test	3	L direction 1/4
T-2L-1 ~ 3		3	L direction 2/4
T-4C-1 ~ 3		3	C direction 1/4
T-2C-1 ~ 3		3	C direction 2/4
T-2Z-1 ~ 3		3	Z direction
T-14L-1 ~ 3		3	L direction(120mm)
T-14C-1 ~ 3		3	C direction(120mm)
C-4L-1 ~ 3		Impact Test (-60°C, -40°C, -20°C, 0°C, 20°C)	15
C-2L-1 ~ 3	15		1/4, 2/4
C-4C-1 ~ 3	15		C direction
C-2C-1 ~ 3	15		1/4, 2/4
C-4Z-1 ~ 3	15		Z direction
C-2Z-1 ~ 3	15		1/4, 2/4
B-L-1 ~ 3	Bend Test	3	L direction
B-C-1 ~ 3		3	C direction
H-L-1	Hardness Test	3 (Using the same sample)	L direction
MA-L-1	Macroscopic Test		
Total		123	-

감수성을 검토하여야 한다. Table 2와 같이 한국산업표준 (KS)과의 비교로 화학성분조성이 KS를 만족하는지 확인한다. 또한 Table 3과 Table 4와 같이 탄소당량과 용접균열 감수성이 KS를 만족하는지 확인한다. 화학시험편의 채취는 KS D 0001 「강재의 검사통칙」에 따라 Fig. 2와 같이 판두께 1/4, 2/4, 3/4지점이 시험면이 되도록 각각 1개씩 제작하여 시험을 실시하였다.

4.2 마이크로조직시험 계획 및 방법

마이크로조직시험은 강재의 마이크로조직을 금속 현미경을 활용하여 변태상태를 확인함으로써 금속조직의 건전성을 확인한다. 마이크로조직시험편은 KS D 0204 「강의 비금속 개재물 측정 방법 - 표준 도표를 이용한 현미경 시험방법」에 따라 판두께 1/4, 2/4, 3/4지점의 조직을 관찰할 수 있도록 각 지점에서 1개씩 3개의 시험편을 제작하였으며, 화학시험편과 동일한 시험편을 사용하여 시험을 실시하였다.

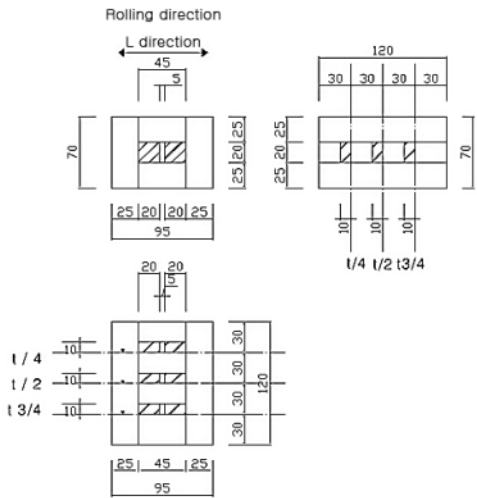


Fig. 2. Chemical composition and Microscopic specimen

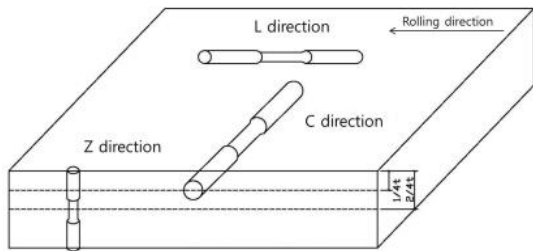


Fig. 3. Tensile specimen (Direction of specimen)

4.3 인장시험 계획 및 방법

인장시험은 강재의 인장강도, 항복강도, 연신율을 확인하여 강재가 소요능력을 발휘하는지 여부와 기계적 성질이 Table 1과 같이 한국산업표준(KS)에서 제시하는 관리기준을 만족하는지 여부를 확인한다.

인장시험편의 채취는 KS D 0801 「금속재료 인장시험편」에 따라 Fig. 3과 같이 압연방향(L), 압연직각방향(C), 두께방향(Z)으로 구분하여 채취하였다.

시험은 KS B 0802 「금속재료 인장시험 방법」에 따라 강재의 기계적 성질 및 소재특성을 파악하기 위해 두께 1/4, 2/4지점, 전두께(120mm)에서 압연방향(L), 압연직각방향(C) 및 두께방향(Z)으로 4호 및 14B호 시험편을 제작하여 시험을 실시한다. 인장시험편의 개수는 시험의 신뢰도를 높이기 위해 1/4지점 3개씩, 2/4지점 3개씩, 전두께 3개씩 총 21개의 시험편을 제작하여 시험을 실시하였다.

4.4 충격시험 계획 및 방법

충격시험은 샤르피 흡수에너지를 확인하고 강재가 가지는 저온에서의 내충격성을 확인하며 5개의 온도영역(-60℃, -40℃, -20℃, 0℃, 20℃)에서 시험을 실시하여 샤르피 흡수에너지의 온도별 변화 및 분포를 확인한다. 시험편은 KS B 0809 「금속재료 충격시험편」에 따라 Fig. 4와 같이 압연방향(L), 압연직각방향(C), 두께방향(Z)으로 제작하여 -60℃, -40℃, -20℃, 0℃, 20℃에서 강재의 각 방향별, 온도별 충격특성을 분석한다. 1/4, 2/4지점에서 각 온도별로 3개씩 총 90개의 시험편을 제작하여 시험을 실시하였다.

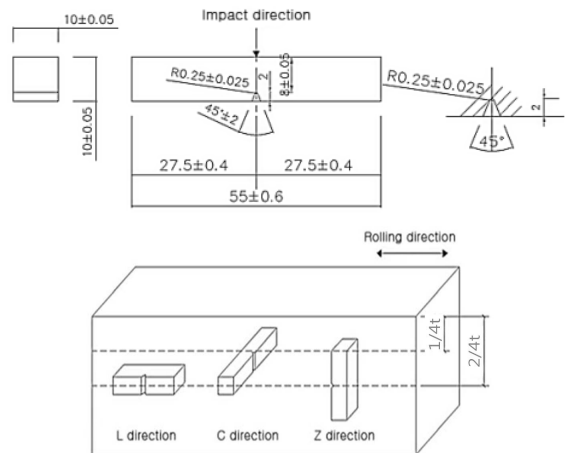


Fig. 4. Impact specimen (Direction of specimen)

4.5 굽힘시험 계획 및 방법

굽힘시험은 굽힘으로 인한 소성변형시 강재의 굽힘부 표면 혹은 근처에서 발생하는 터짐 또는 균열 등의 결함을 육안으로 확인하여 강재의 연성 및 건전성을 확인한다. 시험대상 강재의 연성을 육안으로 확인하기 위하여 KS B 0804 「금속 재료 굽힘시험」에 따라 단면방향으로 굽힘시험편을 채취 및 제작하여 시험을 실시하였다.

4.6 경도시험 계획 및 방법

경도시험은 강재의 경도 분포를 측정함으로써 강재의 경화도를 확인하여 강재의 건전성을 파악한다. 경도시험편은 KS B 0811 「금속재료의 비커스 경도시험방법」에 따라 판두께가 120mm가 되도록 강재의 표면에서 25×80mm 크기로 1개의 시험편을 제작하여 시험을 실시하였다.

4.7 매크로시험 계획 및 방법

매크로시험은 강재 조직을 육안으로 확인하여 조직의 건전성을 확인한다. 매크로시험편은 KS D 0210 「강의 매크로 조직 시험 방법」에 따라 판두께 방향으로 조직을 검사할 수 있는 형상으로 제작하였으며, 경도시험편과 동일한 시험편을 사용하여 시험을 실시하였다.

5. 소재특성시험 결과

5.1 화학성분시험 결과

화학성분시험 결과는 Table 6에 나타내었으며, 이에 따른 탄소당량 및 용접균열 감수성은 Table 7에 나타내었다. 화학성분시험 결과 3개 시험편 모두 KS에 의한 화학성분 기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 본 화학성분시험 결과에 따른 탄소당량(C_{eq})과 용접균열 감수성(P_{cm})은 KS를 만족하고 있는 것으로 나타났다.

5.2 마이크로조직시험 결과

Fig. 5는 마이크로조직시험 결과를 나타낸 것으로, 열가공제어공정(TMCP)의 압연에 의한 미세조직형성이 양호한 것이 확인되었다. 그리고 페라이트는 백색으로 나타나며, 퍼얼라이트는 흑색 및 층상, Grain boundary는 경계선으로

Table 6. Chemical composition test (%)

Specimens	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V	B
C-1	0.16	0.49	1.08	0.006	0.003	0.007	0.01	0.008	0.00	0.001	0.00
C-2	0.16	0.49	1.10	0.007	0.003	0.007	0.01	0.008	0.00	0.00	0.00
C-3	0.16	0.49	1.08	0.007	0.003	0.007	0.01	0.008	0.00	0.001	0.00
KS* (1/4t)	0.20	0.55	1.60	0.035	0.035	-	-	-	-	-	-

※KS D 3515 Rolled steels for welded structures (SM490B)

Table 7. Carbon equivalent and Welding crack sensitivity

Thickness	Sampling parts	Carbon equivalent (C_{eq})	Welding crack sensitivity (P_{cm})
120mm	1/4	0.3627%	0.2314%
	2/4	0.3659%	0.2324%
	3/4	0.3627%	0.2314%
KS* ¹	50~100(mm) ^{※2} and below	0.40 and below	0.26 and below

※1 KS D 3515 Rolled steels for welded structures

※2 The carbon equivalent(and The welding crack sensitivity) of the steel pipe that exceeds the thickness of 100mm is subject to agreement between the purchaser and the manufacturer.

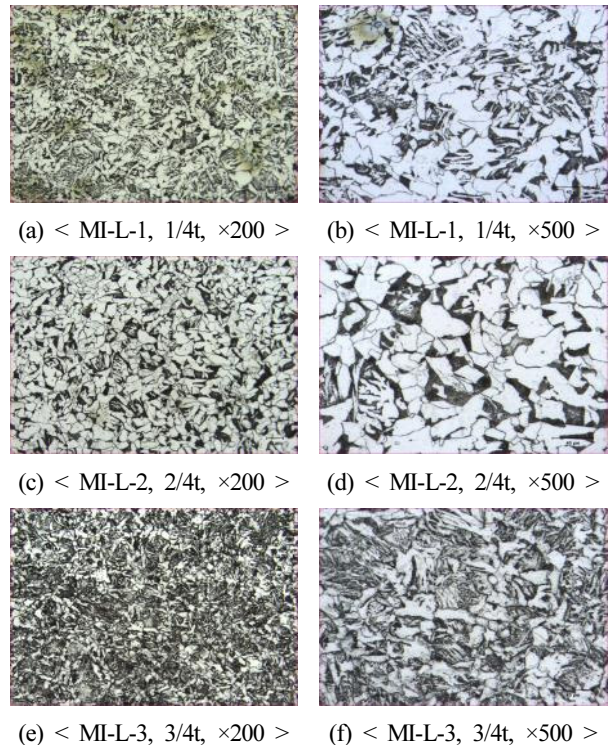


Fig. 5. Microscopic test

나타나고 있다.

5.3 인장시험 결과

인장시험 결과는 Table 8에 나타내었으며, 압연방향 1/4 지점에 대한 응력-변형도 곡선은 Fig. 6과 같다. 압연방향 (1/4)에 대한 기계적 성질은 모두 KS D 3515 「용접구조용 압연강재」 SM490 100mm초과 160mm이하의 항복강도, 인장강도, 연신율을 만족하는 것으로 나타났으며, 강구조설계 기준에서 제시한 항복강도 및 인장강도도 만족하고 있다.

압연방향 2/4지점에 대한 응력-변형도 곡선은 Fig. 7과 같다. 압연방향(2/4)에 대한 항복강도, 연신율은 모두 KS를 만족하고 있지만, 인장강도는 일부 시험편에서 490N/mm² 보다 낮은 것으로 나타났다.

압연방향의 전두께(120mm)에 대한 응력-변형도는 Fig. 8과 같다. 압연방향의 전두께에 대한 기계적 성질은 모두 KS를 만족하는 것으로 나타났으며, 강구조설계기준에서 제시한 항복강도 및 인장강도도 만족하고 있다.

압연직각방향 1/4지점에 대한 응력-변형도 곡선은 Fig. 9와 같다. 압연직각방향(1/4)에 대한 기계적 성질은 모두 KS를 만족하는 것으로 나타났으며, 강구조설계기준에서 제시한 항복강도 및 인장강도도 만족하고 있다.

압연직각방향 2/4지점에 대한 응력-변형도 곡선은 Fig. 10과 같다. 압연직각방향(2/4)에 대한 항복강도, 연신율은 KS를 만족하고 있지만, 인장강도는 일부 시험편에서 490N/mm² 보다 약간 낮은 것으로 나타났다.

압연직각방향의 전두께(120mm)에 대한응력-변형도는 Fig. 11과 같다. 압연직각방향의 전두께에 대한 기계적 성질은 모두 KS를 만족하는 것으로 나타났으며, 강구조설계기준에서 제시한 항복강도 및 인장강도도 만족하고 있다.

두께방향에 대한 응력-변형도 곡선은 Fig. 12와 같다. 두께방향에 대한 항복강도는 모두 KS를 만족하지만, 인장강도, 연신율은 일부 시험편에서 490N/mm², 23%보다 낮은 것으로 나타났다.

인장시험결과를 전체적으로 분석하면 압연방향, 압연직각방향 1/4지점의 결과는 KS를 만족하며, 또한 KS보다 엄격한 기준인 강구조설계기준을 만족하는 것으로 나타났다.

그리고 Table 9와 같이 압연방향, 압연직각방향 2/4지점의 인장시험결과가 1/4지점의 인장시험결과 85% 이상으로 나타나 강재의 강도에 대한 균질성도 만족하고 있는 것으로 나타났다.

두께방향의 경우 강도가 가장 약한 부분인 2/4지점에서 파괴가 일어날 것으로 추정된다. 따라서 두께방향의 인장시험결과도 1/4지점의 85%이상을 만족하여야 한다.

1/4지점의 시험결과와 압연방향의 1/4지점 시험결과와 압연직각방향의 1/4지점 시험결과를 평균하여 구하였으며, 두께방향의 항복강도 및 인장강도는 1/4지점 시험결과 87.3%, 93.5%로 나타나 균질성의 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 8. Tensile test of SM490 TMC

Specimens		Yield strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Yield ratio (%)
L (1/4)	T-4L-1	354	533	39.61	66.4
	T-4L-2	346	526	38.93	65.8
	T-4L-3	338	519	39.89	65.1
	Average	346.0	526.0	39.48	65.8
L (2/4)	T-2L-1	309	503	40.38	61.4
	T-2L-2	306	516	34.59	59.3
	T-2L-3	291	483	40.94	60.3
	Average	302.0	500.7	38.64	60.3
L (120)	T-14L-1	349	546	72.74	63.9
	T-14L-2	351	547	56.20	64.2
	T-14L-3	351	542	58.68	64.8
	Average	350.3	545.0	62.54	64.3
C (1/4)	T-4C-1	360	533	39.37	67.5
	T-4C-2	350	527	39.90	66.4
	T-4C-3	343	526	42.91	65.2
	Average	351.0	528.7	40.73	66.4
C (2/4)	T-2C-1	306	489	40.13	62.6
	T-2C-2	300	490	37.68	61.2
	T-2C-3	311	489	37.50	63.6
	Average	305.7	489.3	38.44	62.5
C (120)	T-14C-1	340	556	51.59	61.2
	T-14C-2	352	543	53.89	64.8
	T-14C-3	341	543	27.89	62.8
	Average	344.3	547.3	44.46	62.9
Z	T-2Z-1	308	507	25.96	60.8
	T-2Z-2	303	482	21.52	62.9
	T-2Z-3	302	491	24.95	61.5
	Average	304.3	493.3	24.14	61.7
KS ^{※1} (100~160(mm) and below)	285 and above	490~610	23 and above	-	
Design Code ^{※2} (80mm and below)	315	490	-	-	

※1 KS D 3515 Rolled steels for welded structures (SM490B)
 ※2 Steel Structure Design Code (2014)

Table 9. Homogeneity of the strength of SM490 TMC

Division	Yield strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Yield ratio (%)
T-4L	346.0	526.0	39.48	65.8
T-2L	302.0	500.7	38.64	60.3
T-2L / T-4L	87.3%	95.2%	97.9%	91.6%
T-4C	351.0	528.7	40.73	66.4
T-2C	305.7	489.3	38.44	62.5
T-2C / T-4C	87.1%	92.6%	94.4%	94.1%

전두께에 대한 인장시험결과는 압연방향과 압연직각방향 모두 KS를 만족하며, KS보다 엄격한 기준인 강구조설계기준도 만족하고 있는 것으로 나타났다.

따라서 항복강도 및 인장강도가 Fig. 1과 같이 선형적으로 변화한다고 가정한다면 2)항을 만족하면 3)항도 만족할 것으로 판단되므로 3)항의 경우는 선택적으로 적용할 수 있다^[2]라는 가정이 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 SM490TMC 120mm 강재는 강도의 균질성 기준을 모두 만족하며, 120mm의 경우에도 강구조설계기준에서

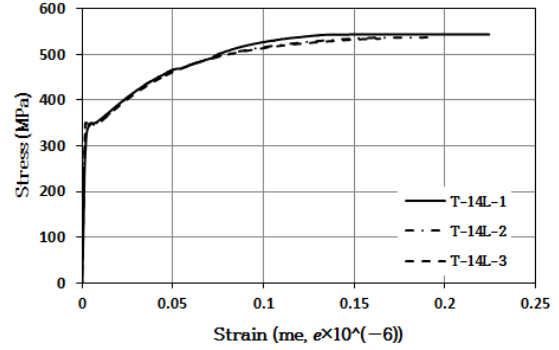


Fig. 8. Stress strain curve of T-14L-1~3

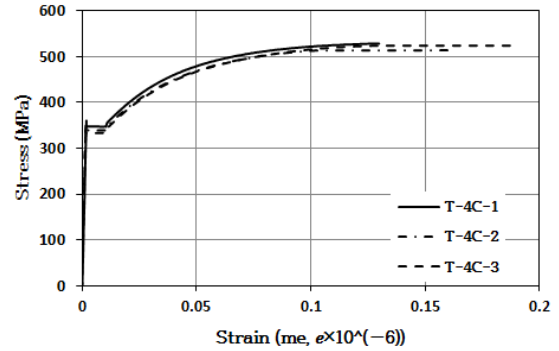


Fig. 9. Stress strain curve of T-4C-1~3

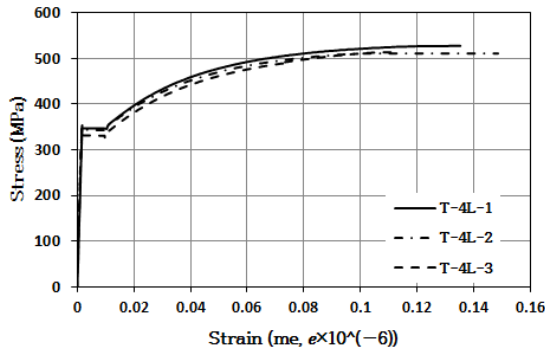


Fig. 6. Stress strain curve of T-4L-1~3

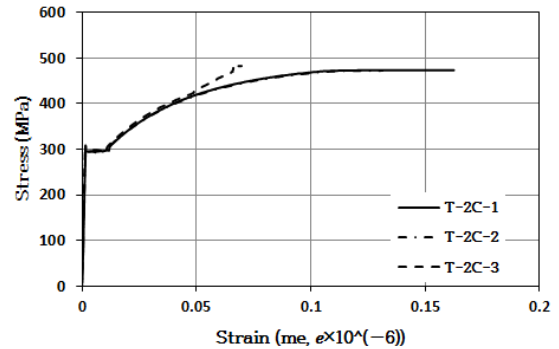


Fig. 10. Stress strain curve of T-2C-1~3

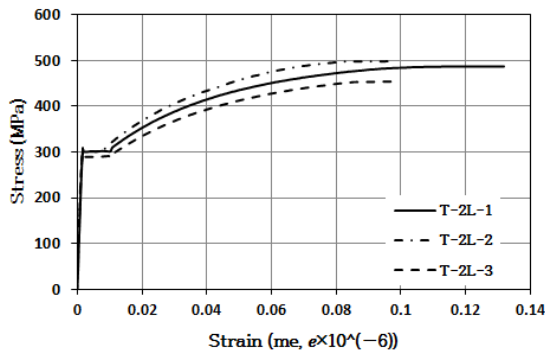


Fig. 7. Stress strain curve of T-2L-1~3

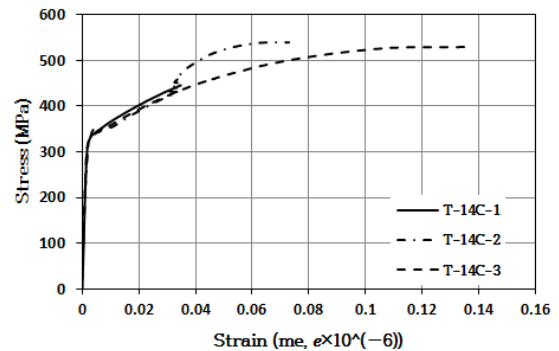


Fig. 11. Stress strain curve of T-14C-1~3

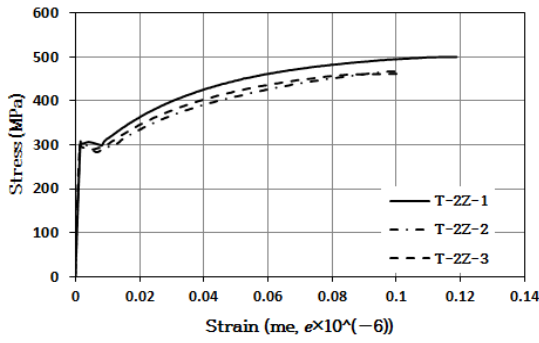


Fig. 12. Stress strain curve of T-2Z-1~3

와 같이 항복강도를 저감하지 않아도 되는 것으로 판단된다.

5.4 충격시험 결과

충격시험은 강재의 인성을 알기 위해 기준이 되는 중요한 요소로 온도별 샤르피 흡수에너지로 강재의 사용성을 추정할 수 있다.

충격시험에 대한 시험 결과는 Table 10과 같으며, Table 11은 천이온도를 나타낸다. Fig. 13~18은 온도별 샤르피 흡수에너지 곡선을 나타낸 것이다.

Table 10, Fig. 13~18에서와 같이, 0℃에서의 샤르피 흡수에너지는 압연방향(1/4)에서 149.0J, 압연방향(2/4)에서 148.3J, 압연직각방향(1/4)에서 181.7J, 압연직각방향(2/4)에서 178.7J로 나타났다.

그리고 두께방향(1/4)에서 183.3J, 두께방향(2/4)에서 184.7J로 나타났다.

따라서, 모든 방향의 샤르피 흡수에너지는 KS를 만족하는 것으로 나타났다.

Table 11과 같이 압연방향(1/4, 2/4), 압연직각방향(1/4), 두께방향(2/4)의 천이온도는 -28℃로 나타났다. 그리고 압연직각방향(2/4)의 천이온도는 -27℃, 두께방향(1/4)의 천이온도는 -24℃로 나타났다. 충격시험결과 시험온도가 천이온도보다 낮아지면 샤르피 흡수에너지가 급격히 낮아지는 것으로 확인되었다.

5.5 굽힘시험 결과

Table 12~13 및 Fig. 19~24는 SM490TMC 강재의 굽힘 시험결과로, 각 시험편 별로 균열 및 터짐과 같은 이상 현상 없이 양호한 양상을 보였다.

Table 10. Charpy absorbed energy of SM490TMC

Sampling parts	No.	Test temperature				
		-60℃	-40℃	-20℃	0℃	+20℃
L direction (1/4)	1	16	33	142	149	179
	2	12	30	135	154	181
	3	7	38	144	144	206
	Average	11.7	33.7	140.3	149.0	188.7
L direction (2/4)	1	7	32	121	153	185
	2	7	27	108	150	190
	3	12	28	111	142	181
	Average	8.7	29.0	113.3	148.3	185.3
C direction (1/4)	1	10	48	115	184	184
	2	7	51	124	181	199
	3	8	44	134	180	178
	Average	8.3	47.7	124.3	181.7	187.0
C direction (2/4)	1	13	34	141	169	209
	2	14	40	164	189	208
	3	10	40	160	178	198
	Average	12.3	38.0	155.0	178.7	205.0
Z direction (1/4)	1	16	84	148	172	248
	2	13	74	142	184	217
	3	20	55	145	194	244
	Average	16.3	71.0	145.0	183.3	236.3
Z direction (2/4)	1	20	98	165	192	217
	2	11	84	158	178	208
	3	14	78	164	184	228
	Average	15.0	86.7	162.3	184.7	217.7

Table 11. Transition temperature of SM490TMC

Sampling parts	L direction		C direction		Z direction	
	1/4	2/4	1/4	2/4	1/4	2/4
Transition temperature	-28℃	-28℃	-28℃	-27℃	-24℃	-28℃

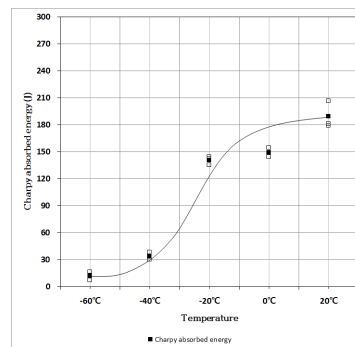


Fig. 13. L direction (1/4)

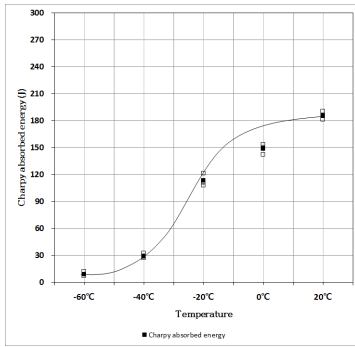


Fig. 14. L direction (2/4)

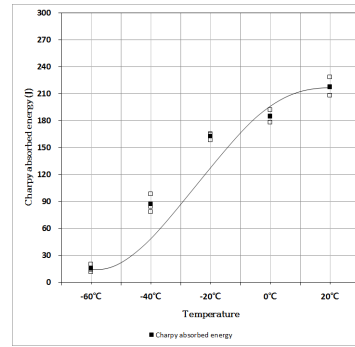


Fig. 18. Z direction (2/4)

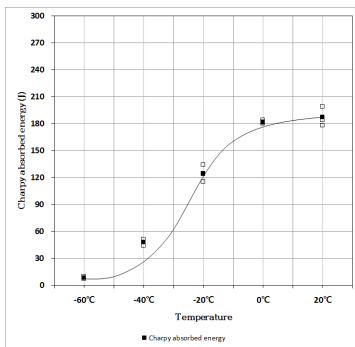


Fig. 15. C direction (1/4)

Table 12. Bend test of SM490TMC (L direction)

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks
B-L-1	Transverse Side Bend Test	Test OK	No crack
B-L-2	Transverse Side Bend Test	Test OK	No crack
B-L-3	Transverse Side Bend Test	Test OK	No crack

Table 13. Bend test of SM490TMC (C direction)

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks
B-C-1	Transverse Side Bend Test	Test OK	No crack
B-C-2	Transverse Side Bend Test	Test OK	No crack
B-C-3	Transverse Side Bend Test	Test OK	Cracked it

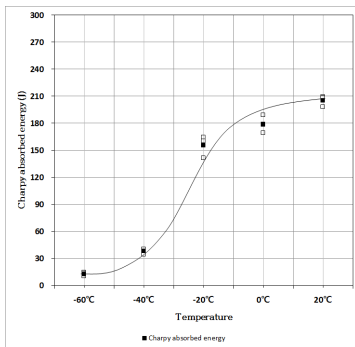


Fig. 16. C direction (2/4)



Fig. 19. B-L-1 Bending



Fig. 20. B-L-2 Bending



Fig. 21. B-L-3 Bending



Fig. 22. B-C-1 Bending



Fig. 23. B-C-2 Bending



Fig. 24. B-C-3 Bending

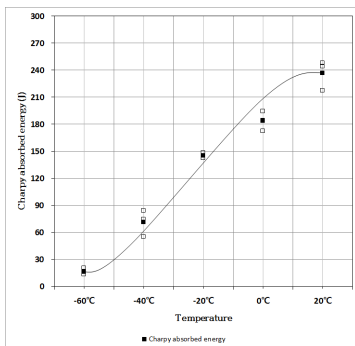


Fig. 17. Z direction (1/4)

5.6 경도시험 결과

Table 14는 SM490TMC 강재의 경도시험 결과를 나타낸 것이다. SM490TMC 강재에 대하여 3번의 경도시험을 실시한 결과 모든 시험편의 경도치가 145~185(Hv10) 정도로

나타났다. 경도시험 분석결과 3개의 시험편 모두 1/4지점은 평균적으로 160(Hv10), 2/4지점은 평균적으로 150(Hv10)로 나타났다. 결과적으로 2/4지점의 경도값이 1/4지점의 경도값의 94%로 나타났다. Fig. 25~27는 각각 H-L-1, H-L-2, H-L-3 시험편의 경도시험 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

Table 14. Hardness test of SM490TMC

Specimen No.	Base Metal		
	H-L-1	H-L-2	H-L-3
1mm	185	180	182
11mm	182	177	176
21mm	170	171	171
31mm	164	157	159
41mm	158	158	153
51mm	147	152	154
61mm	150	153	145
71mm	153	155	161
81mm	149	149	149
91mm	159	158	160
101mm	162	162	164
111mm	177	178	180

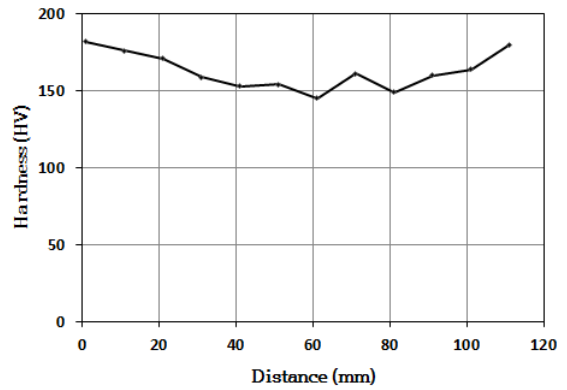


Fig. 27. H-L-3 (Z direction)

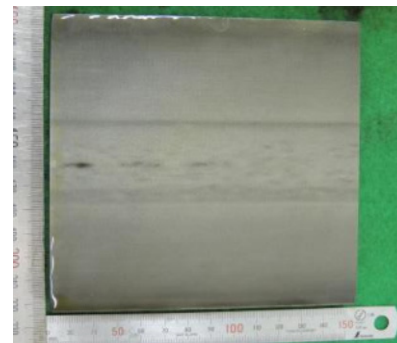


Fig. 28. Macroscopic test of SM490TMC

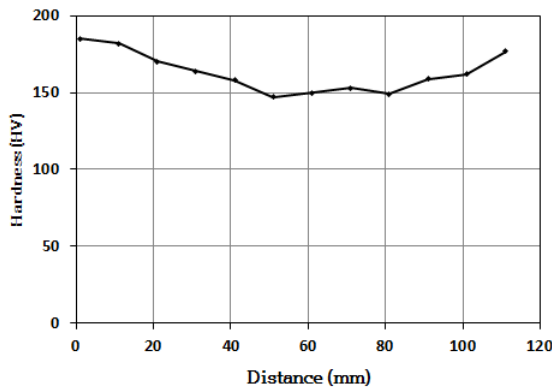


Fig. 25. H-L-1 (Z direction)

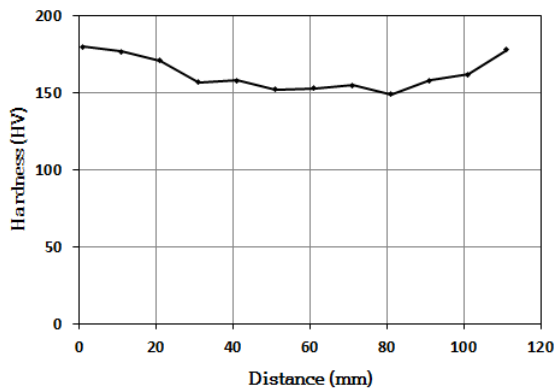


Fig. 26. H-L-2 (Z direction)

5.7 매크로시험 결과

Fig. 28은 매크로시험 결과를 나타낸 것으로, 육안으로 매크로시험을 분석한 결과 기포, 모세균열, 중심부 균열은 발생하지 않았으며, 강재의 편석제거를 위한 압연기술을 적용한 것으로 확인되었다.

6. 결론

SM490TMC 강재의 소재특성을 확인하기 위하여 120mm 극후판 공시체에서 7종의 시험편을 제작하여 각종 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 화학성분시험 결과, SM490TMC 강재의 화학성분은 KS의 화학성분조성의 관리 기준치를 만족하는 것으로 나타났다.
- (2) 마이크로조직시험 결과, 열가공제어공정(TMCP)의 압연에 의한 미세조직형성이 양호한 것으로 확인되었다.

- (3) 인장시험결과, 압연방향 및 압연직각방향 1/4지점의 기계적 성질은 KS 및 강구조설계기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.
그리고 압연방향, 압연직각방향의 2/4지점 및 두께방향에 대한 인장시험결과는 1/4지점의 인장시험결과의 85% 이상으로 나타나 강재의 강도에 대한 균질성도 만족하고 있는 것으로 나타났다.
- (4) 전두께에 대한 인장시험결과는 압연방향과 압연직각방향 모두 KS 및 강구조설계기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 항복강도 및 인장강도가 2)항을 만족하면 3)항도 만족한다는 참고문헌 [2]의 가정을 확인할 수 있었다.
- (5) 따라서 SM490TMC 120mm 강재는 강도의 균질성 기준을 모두 만족하며, SM490TMC 120mm 강재의 경우에도 강구조설계기준에서와 같이 항복강도를 저감하지 않아도 되는 것으로 판단된다.
- (6) 충격시험에 의한 0℃에서의 샤르피 흡수에너지는 KS를 만족하는 것으로 확인되었다. 그리고 시험온도가 천이온도보다 낮아지면 샤르피 흡수에너지가 급격히 낮아지는 것으로 확인되었다.
- (7) 굽힘시험결과, 압연방향 시험편에서는 터짐 또는 균열진전이 발견되지 않아 양호한 것으로 판단된다.
- (8) 경도시험결과, 경도값의 범위는 145~185 (Hv10) 정도로 나타났다. 1/4지점은 평균적으로 160(Hv10), 2/4지점은 평균적으로 150 (Hv10)로 나타났으며, 2/4지점의 경도값이 1/4지점의 경도값의 94%로 나타났다.
- (9) 매크로시험결과, 기포, 모세균열, 중심부 균열이 발생하지 않았으며, 강재의 편석제거를 위한 압연기술을 적용한 것으로 확인되었다.

참고문헌(References)

- [1] 김종락, 박양희(2003) SM490A TMC 후판강재의 소재 및 용접부 특성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제15권, 제3호, pp.331-339.
Kim, J.R. and Park, Y.H. (2003) A Study on Structural Characteristics of SM490A TMC Thick Steel Plates, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.15, No.3, pp.331-339 (in Korean).
- [2] 최영한, 김종락, 이은택, 조성현, 전용한, 김상섭(2016) HSA800 강재의 강도에 대한 균질성 연구, 한국강구조학회 학술발표논문집, 한국강구조학회, pp.41-42.
Choi, Y.H., Kim, J.R., Lee, E.T., Cho, S.H., Jeon, Y.H., and Kim, S.S. (2016) A Study on the Homogeneity of Strength of HSA800 Steel, *Proceeding of the 27th Annual Conference*, KSSC, pp.41-42 (in Korean).
- [3] 주용용, 장래웅(1988) TMCP강의 개발현황 및 발전방향, 상변태 심포지엄, 대한금속재료학회, 제1권, 제1호, pp.14-20.
Choo, W.Y. and Chang, R.W. (1988) Recent Development and Future Prospect in TMCP Steel, *Phase Transformation Symposium*, The Korean Institute of Metals and Materials, Vol.1, No.1, pp.14-20 (in Korean).
- [4] 김종락(2010) 제작하기 쉬운 강구조설계, 기문당.
Kim, J.R. (2010) *Steel detailing for simple fabrication*, Kimoondang (in Korean).
- [5] 한국강구조학회(2014) 강구조설계기준, 국토교통부.
KSSC (2014) *Steel Structure Design Code*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- [6] KS D 3515 (2014) 용접 구조용 압연강재, 기술표준원, 지식경제부.
KS D 3515 (2014) *Rolled steels for welded structures*, Korean Agency for Technology and Standards, Ministry of Knowledge Economy (in Korean).

요 약 : 본 연구에서는 SM490TMC(120mm) 강재를 대상으로 7종의 각종 시험을 실시하여 소재특성을 KS 및 강구조설계기준과 비교하였으며, 강도의 두께에 대한 균질성을 검토하였다. 각종 시험결과, SM490TMC(120mm) 강재는 KS를 만족하는 것으로 나타났다. 특히 인장시험결과, 1/4지점 및 전두께에 대한 기계적 성질은 KS 및 강구조설계기준을 만족하며, 2/4지점 및 두께방향에 대한 기계적 성질은 1/4지점의 85%이상으로 나타났다. 따라서 SM490TMC(120mm) 강재는 강도의 균질성 기준을 만족하며, 120mm의 경우에도 강구조설계기준에서와 같이 항복강도를 점감하지 않아도 되는 것으로 판단된다.

핵심용어 : SM490TMC, TMCP, 품질관리, 균질성, 화학성분시험, 인장시험, 충격시험, 굽힘시험, 경도시험, 매크로시험, 마이크로시험
