

600MPa급(SM 570 TMC) 강재의 소재 및 용접특성에 관한 연구

A Study on the Material Characteristics and the Welding Properties of 600MPa Grade Steel (SM 570 TMC)

김 종 락¹⁾ · 김 상 섭²⁾ · 이 철 호³⁾ · 이 은 택⁴⁾ · 백 기 열⁵⁾
Kim, Jong Rak Kim, Sang Seup Lee, Chul Ho Lee, Eun Taik Beak, Ki Youl

요 약 : 건축물이 초고층화, 장스팬화가 되어갈수록 고강도, 신뢰성이 우수한 강재의 사용요구가 증대되고 있다. 그러나 강재가 고강도화가 되어갈수록 일반강재와는 다른 기계적 특성을 갖게 된다. 본 연구에서는 600MPa급 고강도 강재에 대한 건축구조용 강재로서의 적합성, 용접성 및 기계적 특성을 파악하기 위하여 소재특성 및 용접부 특성을 평가하였다. 화학시험결과, 대상강재는 낮은 탄소당량(C_{eq}) 및 용접갈라짐 감수성조(P_{cm})성을 가진 것으로 나타났으며, 인장시험결과로부터 모든 시험체의 항복강도는 설계기준강도를 만족하는 것과 인장강도가 600MPa이상인 것을 확인하였다. 충격시험결과, 모든 시험체는 KS 규격 값인 47J 이상을 나타내었다. 또한 용접부 최고경도시험에서도 상온과 예열시의 경화정도가 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 용착금속 경우 강재의 성능에 미치지 못하여 고성능 고강도 강재용 용착금속의 개발 및 용접조건을 세밀히 파악할 필요가 있는 것으로 판단된다.

ABSTRACT : As buildings are becoming taller and longer-spanned, the requirements of high-strength and reliable steels are becoming increasingly stringent. Structural steels, however, acquire significantly different mechanical properties when their strength becomes higher. In this study, the mechanical properties, welding characteristics, and conformities of the 600MPa-grade high-strength steel were tested. The 600MPa-grade steel plates exhibited stable criterion strength values and showed low carbon equivalents (C_{eq}) and composition (P_{cm}) as well as excellent welding hardness. In the tensile strength test, all the specimens were found to have strengths of over 600MPa. In the Sharpness impact test, the impact-absorbed energy of the V-notch specimens was shown to be 47J at the KS limit. Moreover, the maximum hardness of the specimens in the weld-heat-affected zone at a normal temperature was the same as that before welding. Their weld metal properties, however, were found not to be as good as those of high-strength steel. As such, the details of high-strength steel must be determined.

핵심용어 : 고강도, 탄소당량, 용접갈라짐 감수성조성, 충격흡수 에너지, 항복강도

KEYWORD : High Strength, Carbon Equivalent, Composition Parameter, Impact Absorbed Energy, Yield Strength

1. 서론

미국, 유럽 및 일본 등 선진국에서는 건축 구조물의 기능성, 사용성 및 경제성의 개선이라는 사회적 요구에 발맞추어 고성능 강재 개발이 활발히 진행되고 있다. 주로 구조물의 최적 성능을 저렴한 비용으로 구현하기 위해 강재의 강도, 인성, 연성, 용접성, 내후성, 가공성 등을 최적으로 조합한 통합 성능개선형 고성능 강재의 개발과 이를 활용한 구조물의 고층화, 대형화 및 장스

팬을 활용하여 전 세계적으로 초고층 및 대공간 건축 구조물이 활발하게 계획되거나 시공되어지고 있다. 이와 같은 랜드마크적 구조물들은 과거의 구조와는 다른 다양한 형태의 복잡한 형상적 건축물이 구현되고 있다. 이러한 구조물에는 수평력에 대한 저항 능력이 매우 중요하여 구조물을 구성하고 있는 강재의 요구 성능이 점차 증가되고 실용화를 뒷받침할 수 있는 설계 및 제작기준 제정 등을 중심으로 기술개발이 진행되고 있다.

특히 미국의 경우, 1992년부터 FHWA/NAVY/AISI(American Iron & Steel Institute)가 중심이 되어 강도, 내후성, 인성,

1) 교신저자. 숭실대학교 건축공학과 교수, 공학박사
(TEL. 02-820-0702, FAX. 02-816-3354, E-mail. jrkim@ssu.ac.kr)
2) 한국기술교육대학교 건축공학부 교수, 공학박사(kimss@kut.ac.kr)
3) 서울대학교 건축공학과 교수, 공학박사(ceholee@snu.ac.kr)
4) 중앙대학교 건축공학과 교수, 공학박사(etlee@cau.ac.kr)
5) CS구조 엔지니어링 연구원, 공학박사(cutty9@csse.kr)

본 논문에 대한 토의를 2009년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

용접성 등을 최적으로 조합한 고성능 강재인 HPS(HPS50W/HPS70W/HPS100W)를 개발하고 이를 구조물에 활용하는 기술을 실용화하는데 주력하고 있다. HPS를 구조물에 적용한 실적을 분석해 본 결과, 일반 강재를 사용할 때와 비교해서 약 25%의 소요 강재 중량 감소 및 최대 18%의 건설비 절감이 가능하였다고 하고 이를 토대로 최종적으로 약 35%의 LCC(Life Cycle Cost)절감을 목표로 삼아 HPS 강재의 최적 용접법, 설계·제작기준의 개정, 신설계법 검토 등을 중심으로 연구가 진행되고 있다(이종관 등, 2005). 또한 일본의 경우에도 2002년부터 미국의 HPS와 유사한 고성능 강재인 BHS(BHS500(W)/BHS700(W))를 개발하기 시작하여 이를 구조물에 활용하는 기술을 실용화하는데 주력하고 있다. 우리나라는 2005년부터 건설교통부에서 차세대 시설물용 신재료 활용기술 연구에 의해 개발하게 되었으며 현재 많은 구조물에 적용하기 위하여 활발히 연구가 진행되고 있다.

이에 본 연구에서는 건축 구조물에 적용되는 고강도 신강재인 600MPa급 강재의 소재특성을 평가하기 위하여 화학성분, 내력 및 기계적 특성, 사용성 및 인성 등에 대하여 분석하였고 2007년 8월에 지정된 KS D 3868 「교량구조용 압연강재」에 공시된 규격 값에 상응하는지 확인하였다. 그리고 용접부 특성을 평가하기 위하여 인성 및 용접 후 경화정도, 충격특성 등을 분석하여 건축구조용 강재로서의 적합성과 특성을 밝힌다.

2. 시험계획

시험강재의 기계적 특성 및 용접부 특성을 파악하기 위해 판두께 16mm, 20mm, 25mm, 40mm의 강판을 사용하여, 화학성분 분석시험, 굽힘시험, 인장시험 및 충격 시험을 계획하였다. 소재의 특성을 파악하기 위하여 인장시험, 충격시험에서는 강판의 압연방향에 따른 기계적 성질을 알아보기 위하여 압연방향, 압연직각방향으로 구분하였고, 용접부의 강도 및 열영향부의 경도, 온도에 따른 취성과괴정도의 용접특성을 파악하기 위하여 평판인장시험, 용착금속인장시험, 용접부 최고경도시험 및 충격시험을 표 1과 같이 계획하였다.

2.1 소재특성 시험계획

2.1.1 화학성분 분석 시험계획

시험대상 강재의 기계적 성질, 소재특성 및 용접성을 파악하기 위하여 KS D 0001 강재의 검사통칙에 따라 화학성분 분석시험을 한다. 강재의 화학성분 분석시험은 KS D 3515의 규격에 따라 관리하여 시험한다. 시험편은 판 두께별로 각 1/4지점을 시험 면으로 제작한다.

표 1. 시험항목 및 시험편 수량

구분	시험항목	시험조건	판두께				비고	
			16mm	20mm	25mm	40mm		
소재특성	화학성분	레들분석	2	2	2	2	1/4	
	굽힘시험	U형	2	2	2	2		
	인장시험	압연방향	3	3	3	3	압연방향 구분	
		압연직각방향	3	3	3	3		
	충격시험	압연방향	·	3	3	3		
		압연직각방향	·	3	3	3		
용접특성	평판인장	압연방향	3	3	3	3		
	용착인장	용접모재	·	·	·	·	3	
	경도시험	상온용접	2	2	2	2	예열 여부	
		예열용접(90℃)	2	2	2	2		
	충격시험	열영향부	3	3	3	3	노치 위치	
		본드부	3	3	3	3		
용착금속부		3	3	3	3			

2.1.2 매크로시험 계획

600MPa급 강재의 단면의 조직을 육안으로 관찰하여 불순물의 개입여부, 조직균질의 정도 및 라미네이션 발생여부를 확인하는 시험으로, KS D 0210 「강의 매크로조직 시험방법」에 따라 시험한다.

2.1.3 굽힘시험 계획

시험대상 강재의 연성을 육안으로 확인하기 위하여 KS B 0804 「금속재료 굽힘시험」 방법에 따라 실시한다. 본 실험은 KS B 0803 「금속재료 굽힘시험편」에 규정되어진 시험편을 안쪽 반지름으로 굽힌 각도가 규정의 수치로 될 때까지 구부러, 굽힘 시 표면의 균열이나 기타 결점의 유무를 확인한다.

2.1.4 인장시험 계획

시험은 KS B 0802 「금속재료 인장시험 방법」에 따라 강재의 기계적 성질 및 소재특성을 파악하기 위해 두께 1/4 지점에서 압연방향(L) 및 압연직각방향(C)에서 두께에 따른 4호 및 5호 시험편 크기의 시험편을 채취하여 시험을 실시한다.

2.1.5 충격시험 계획

강재의 인성등을 파악하기 위하여 샤르피 충격시험을 실시한다. 시험편은 KS B 0809 「금속재료 충격시험편」에 따라 압연방향(L) 및 압연직각방향(C)으로부터 4호 시험편을 제작하여 -60℃, -40℃, -20℃, 0℃, 상온에서 강재의 각 방향별, 온도별 충격특성을 분석한다.

2.2 용접방법 및 조건

용접조건은 표 2와 같다. 용접재료는 화학성분 및 강도성능을 고려하여 Supercored 81-K2을 선정하였다. 용접봉은 지름을 1.4mm로 사용하였고, 전류는 300~350A, 전압은 38~42V, 용접 속도는 30~35cm/min, 입열량은 22.8~25.2KJ/cm로 조절하도록 하였다. 용착금속의 기계적 성질은 표 3과 같다. 용접봉은 플렉스 코어드 와이어로서, 전자세 용접용으로 설계되었다. 특히 화학 성분 중 미량원소를 함유하여 -40℃의 저온에서도 충격값이 확보되었고, KS YFL-C506R, AWS E81T1-K2 및 JIS YFL-C506R에 부합한다. 용착금속의 기계적 성질은 항복점이 540N/mm², 인장강도가 620N/mm², 연신율은 28(%)이며, 충격흡수 에너지는 -30℃에서 110J, -60℃에서 60J로서, AISC에서 요구하는 -29℃(-20°F)에서 27J(20ft-lb)를 만족한다. 용착금속의 화학성분은 표 4와 같다.

표 2. 용접조건

용접봉	전류(A)	전압(V)	용접속도(v) (cm/min)	입열량 (KJ/cm)
Φ1.4	300~350	38~42	30~35	22.8~25.2

표 3. 용착금속의 기계적 성질

호칭	항복점 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	연신율(%)	충격흡수에너지	
				-30℃	-60℃
E81T1-K2	540	620	28	110	60

표 4. 용착금속의 화학성분(%)

C	Si	Mn	P	S	Ni
0.04	0.35	1.35	0.012	0.011	1.50

2.3 용접부특성 시험계획

2.3.1 용접부 평판 인장시험 계획

용접부 평판 인장시험은 20mm, 25mm, 40mm 두께별 용접부시험편을 그림 1과 같이 채취하였으며, 용접부의 강성 및 파괴양상을 파악하기 위하여 KS B 0802 「금속재료 인장시험편」에 따라 50ton UTM만능시험기기를 이용하여 인장시험을 하였다.

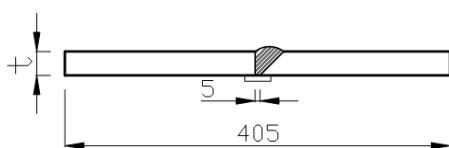


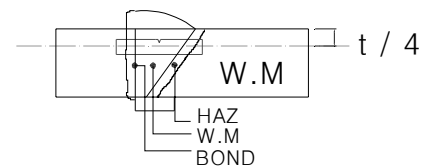
그림 3. 용접부 평판인장시험편

2.3.2 열영향부 최고경도시험 계획

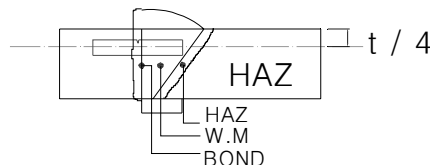
KS B 0893 「용접 열 영향부의 최고 경도 시험 방법」에 따라 시험편을 시험대상 강재에 1회 용접 후, 채취하였다. 용접조건은 상온과 건설교통부 제정 도로교표준시방서(2005)에서 권고하는 판두께별, 용접갈라짐감수성 조성(P_{cm})에 따른 예열온도 산정과 건축구조용 TMC 강재의 이용 기술지침(2001)에서 공시하는 온도인 50℃로, 구분하여 계획하였다.

2.3.3 용접부 샤르피 충격시험 계획

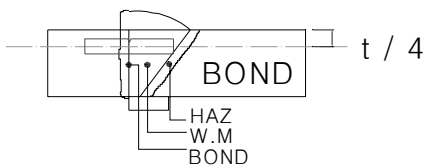
강재의 성질이 급격하게 바뀌는 천이온도를 파악하여 강재의 사용성을 파악하기 위해 샤르피 충격시험을 다음과 같이 계획하였다. 용접부의 충격시험편은 그림 2와 같이 용접부 각 부위(본드부, 열영향부, 용착금속부)에 따라서 성질이 다르게 나타나므로 이 논문에서는 시험편의 노치위치에 따른 채취부위에 따라 충격흡수에너지의 값을 측정하여 각 부위별 충격특성을 파악하도록 한다. 온도별 충격흡수에너지 값과 파면율을 파악하기 위하여 -60℃, -40℃, -20℃, ±0℃, +20℃의 온도에 대해 각각 시험을 실시하였다. 시험편은 KS B 0809 「금속재료 충격시험편」에 따라 시험편을 채취하였다.



용착금속부 (W.M)



열영향부 (HAZ)



본드부 (BOND)

그림 2 용접부 샤르피 충격시험편

표 5. 화학성분 분석결과

구분	화학성분(%)												
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	C_{eq} (%)	P_{cm} (%)
최소규격	0.10	0.55	1.80	0.020	0.006	-	-	-	-	-	-	0.42	0.20
16mm(1/4)	0.06	0.22	1.51	0.015	0.001	0.092	0.208	0.248	0.045	0.001	0.003	0.39	0.18
20mm(1/4)	0.02	0.16	1.50	0.013	0.001	0.108	0.249	0.280	0.055	0.001	0.003	0.35	0.14
25mm(1/4)	0.02	0.17	1.56	0.014	0.002	0.115	0.261	0.315	0.065	0.001	0.003	0.37	0.15
40mm(1/4)	0.02	0.16	1.50	0.012	0.001	0.108	0.249	0.282	0.056	0.001	0.003	0.35	0.14

·탄소당량 : $C_{eq}(\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{6} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$ (1)

·용접갈라짐감수성 조성 : $P_{cm}(\%) = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$ (2)

3. 시험결과 및 분석

표 6. 인장시험결과 (평균값)

3.1 소재특성 시험결과 및 분석

3.1.1 화학성분 분석시험결과 및 분석

강재의 화학성분은 미세조직과 부재 제작 시 발생하는 용접균열과 밀접한 관계가 있다. 화학성분을 분석한 결과는 표 5와 같다. 여기서 최소규격은 KS D 3868 HSB600 강재의 최소규격 값을 의미하며, 이는 기존의 SM570 TMC 강재의 규격 값을 상회하는 값이다. 실험결과 판두께에 따른 화학성분의 차이는 거의 없으며, 규격 값에 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 표 5의 화학성분 분석시험의 결과에 따라 식 (1), (2)를 이용하여 탄소당량(C_{eq})과 용접갈라짐 감수성조성(P_{cm})을 나타내었다. 탄소당량과 용접갈라짐 감수성조성은 소재의 특성 값으로 저온균열의 발생을 예측할 수 있으며 P_{cm} 값을 평가한 결과, $P_{cm} = 0.15$ 로 용접예열작업이 특별히 필요 없는 0.23이하로 평가되었다. 따라서 600MPa급 강재에서 저온균열이 발생할 가능성이 매우 적음을 알 수 있다.

구분	항복강도* σ_y (MPa)	인장강도 σ_u (MPa)	항복비 σ_y/σ_u	연신율 Elo(%)	
16mm	L방향	426.2	641.4	0.66	26.11
	C방향	448.8	666.7	0.67	23.43
20mm	L방향	412.1	621.0	0.66	27.92
	C방향	445.6	641.7	0.69	27.43
25mm	L방향	478.6	661.0	0.72	26.25
	C방향	512.5	679.4	0.76	25.43
40mm	L방향	494.9	664.9	0.74	25.54
	C방향	452.7	639.5	0.71	26.24

* 항복강도는 KS B 0802에 규정된 0.2% 오프셋법에 의한 값이다.

3.1.2 인장시험 결과 및 분석

강재의 압연방향별 시험편으로 인장시험을 실시하여 강재의 이방성 및 단면의 특성을 평가하였다. 시험결과는 표 6과 그림 5~8과 같다. 25mm강재는 항복강도가 477.4~517.3MPa, 인장강도가 655.8~682.8MPa의 범위고, 항복비는 72~76%로 강구조 한계상태설계법에서 건축구조용 강재의 항복비 80%에 만족하였다. 또한 40mm강재에서는 항복강도가 448.4~526MPa, 인장강도가 627.2~668.5MPa로 나타났고, 항복비는 70~79%로 만족하는 값을 나타내었다. 방향별 이방성은 압연 직각방향이 압연방향에 비하여 항복강도와 인장강도가 다소 높게 나타났으나, 판 두께별, 방향별 연신율이 대등한 값을 보여 신율차이가 적게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

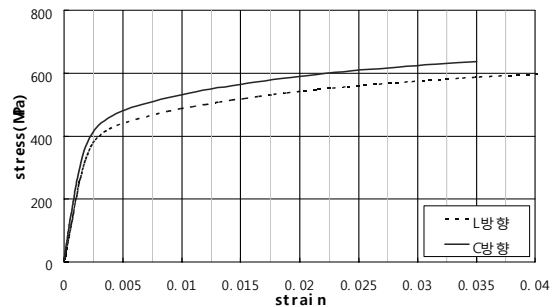


그림 3. 16mm 압연방향별 인장시험 그래프

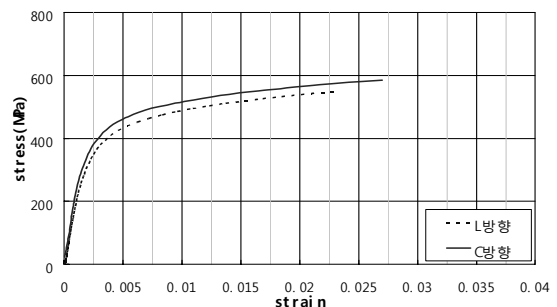


그림 4. 20mm 압연방향별 인장시험 그래프

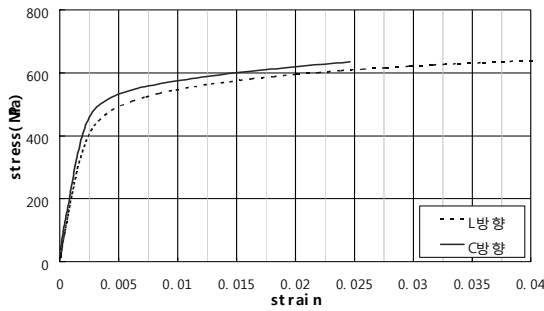


그림 5. 25mm 압연방향별 인장시험 그래프

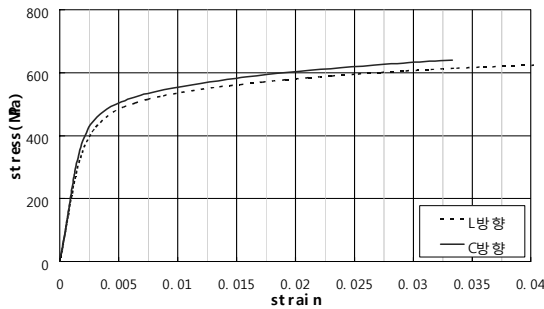
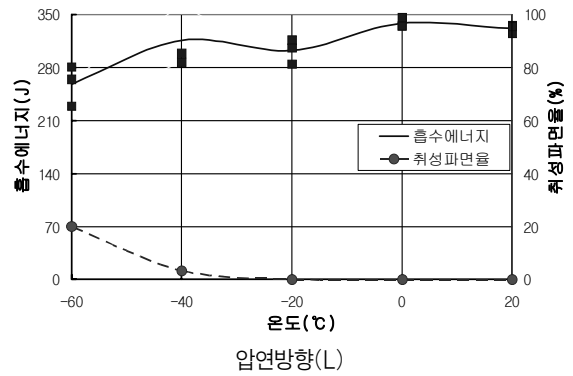
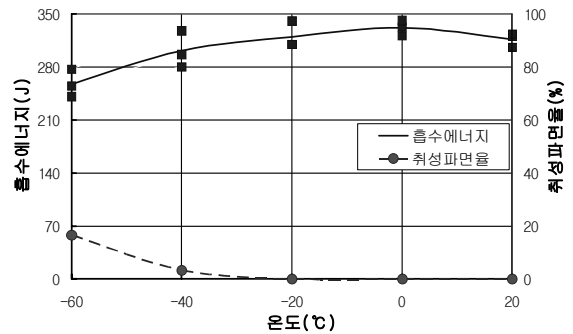


그림 6. 40mm 압연방향별 인장시험 그래프



압연방향(L)



압연직각방향(C)

그림 7. 20mm 충격시험 결과

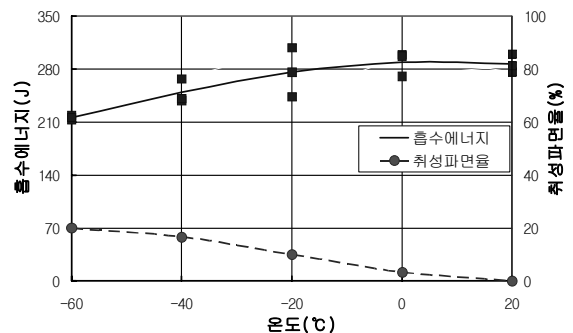
3.1.3 충격시험 결과 및 분석

충격시험결과에 대하여 두께별 및 방향별로 구분하여 표 7은 충격흡수에너지와 취성파면율을 나타내었다. 충격흡수에너지 값 과 파면율 값을 이용하여 천이곡선을 나타낸 것이 그림 7~그림 9와 같다. 실험결과, KS D 3868 에서 제한하고 있는 -0°C에서 47J이상을 상회하였고, -40°C에서도 샤르피 충격시험편이 연성파면을 일으켰으며 모든 두께의 시험편이 파면율에 의한 천이온도가 -50°C이하로 나타나 극저온에서도 양호한 인성을 나타내는 것으로 판명되었다. 또한 압연방향에 따른 이방성은 충격시험에서 나타나지 않아 방향성에 대해서 매우 우수한 것으로 사료된다.

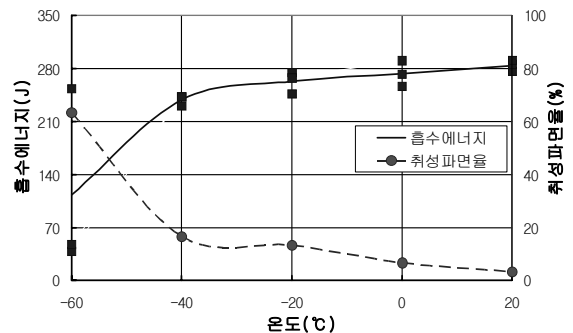
표 7. 충격흡수에너지 및 파면율 (평균값, J)

구분	시험온도(°C)	시험온도(°C)					천이온도(°C)
		-60	-40	-20	0	20	
20mm	L방향 1/4t	258.2 (20)	316.2 (3.3)	302.6 (0)	338.8 (0)	331.8 (0)	-60°C 이하
	C방향 1/4t	257.6 (16.7)	301.6 (3.3)	320.1 (0)	332.0 (0)	316.8 (0)	-60°C 이하
25mm	L방향 1/4t	216.2 (20)	249.1 (16.7)	276.0 (10)	289.0 (3.3)	287.1 (0)	-60°C 이하
	C방향 1/4t	113.2 (63.3)	238.8 (16.7)	263.1 (13.3)	273.2 (6.7)	284.4 (3.3)	-55°C
40mm	L방향 1/4t	95.10 (70)	269.4 (10)	278.9 (10)	301.0 (6.7)	313.5 (0)	-55°C
	C방향 1/4t	132.9 (56.7)	259.5 (13.3)	303.9 (3.3)	323.9 (0)	327.6 (0)	-55°C

* ()속은 파면율



압연방향(L)



압연직각방향(C)

그림 8. 25mm 충격시험 결과

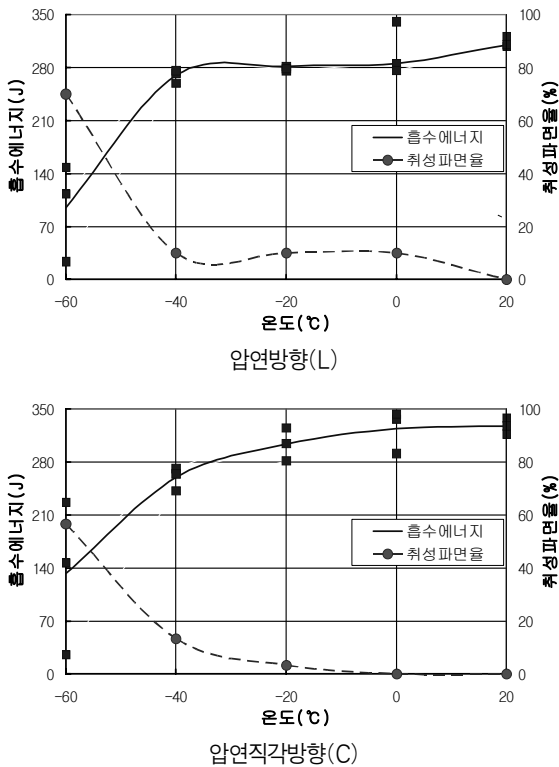


그림 9. 40mm 충격시험 결과

3.1.4 굽힘시험 결과 및 분석

사진 2는 굽힘시험 결과로, 모든 시험체가 굽힘부에서 터짐이 없는 양호한 양상을 나타냈다. 이로부터 대상강재는 소성 변형 후에도 충분한 인성을 발휘할 것으로 예상되어진다.

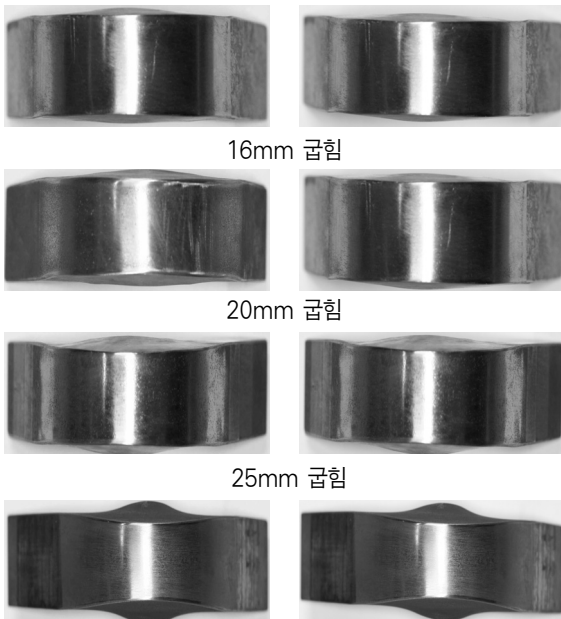


사진 2. 굽힘 시험결과

3.2 용접부특성 시험결과 및 분석

3.2.1 용착금속 인장시험 결과 및 분석

용착금속 인장시험 결과 용착금속의 인장 강도가 규격의 값에 미달되는 것으로 나타났다. 시험 결과는 표 8에 나타내었다. 용착금속의 인장강도는 모재가 되는 강재의 인장강도 이상의 강도가 되어야 하지만 본 실험에서의 용착금속 인장강도가 강재의 인장강도의 85%부근에서 파단이 났음을 알 수 있다. 이로부터 고강도, 고성능 강재의 용접에 있어 용착금속의 기계적 성질 및 종류의 선정을 고려할 필요성이 있는 것으로 사료된다.

표 8. 용착금속 인장시험 결과

구분	항복강도 σ_y (MPa)	인장강도 σ_u (MPa)	항복비 σ_y/σ_u	연신율 ELo (%)
WMT-1	460.9	522.5	0.88	34.30%
WMT-2	458.3	529.1	0.86	36.33%
WMT-3	461.4	527.5	0.87	37.53%

3.2.2 용접부 평판 인장시험 결과 및 분석

표 9는 용접부 평판 인장시험의 결과 값이다. 용접부 평판 인장시험의 결과를 보면 16mm의 강재의 경우 이상적인 파단형태인 모재부에서의 파단이 일어났으나, 20mm의 강재의 경우는 모재부 파단과 용접부 파단이 일어났다. 25mm의 경우 열영향부 파단과 용접부 파단이 일어났으며, 40mm는 시험편 전체가 용접부에서 파단 되었다. 이로부터 용착금속의 선택 및 용접 조건을 세밀히 파악할 필요가 있는 것으로 판단되어진다.

표 9. 용접부 평판 인장시험 결과

구분	단면적 (cm ²)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	파괴형태
16mm	4.00	634.0	25.08%	모재파괴
20mm	5.00	614.6	35.97%	모재파괴
25mm	6.25	647.3	27.67%	용접부파괴
40mm	10.00	592.3	29.94%	용접부파괴

3.2.3 열영향부 최고경도시험 결과 및 분석

열영향부 최고 경도시험은 상온 용접과 예열용접으로 분류하여 시험을 하였고, 결과는 표 10과 그림 10~그림 13에 나타내었다. 도로교 표준시방서(2005)에 따르면, 용접부 최고경도가 370Hv를 초과하지 않는 경우에는 예열 없이 용접한다고 명시되어있다. 분석결과 본 연구에 사용된 강재의 경우 모든 시험체에서 도로교통시방서에서 제한하고 있는 370Hv 이하의

값을 나타내었다. 또한 예열에 따른 경도 값 변화를 파악하고 TMC 강재의 성능을 평가하기 위하여 예열용접부의 경도를 확인한 결과, 예열 용접 시 열영향부의 경도 상승률이 적어지는 것을 확인할 수 있었다. 예열용접과 상온용접의 최고경도 값은 13%~16%의 차이를 나타내어 예열용접시의 강재경화 정도가 적은 것으로 판명되었으며, 상온시의 최고경도 값은 370Hv의 75%수준인 253Hv~275Hv로 나타났다. 따라서 본 연구에 사용된 강재는 예열 없이 용접하더라도 열영향부의 경도 상승 수준이 일반 강재에 비해 현저히 낮은 것을 확인할 수 있었다.

표 10. 열영향부 최고경도시험 결과

구분	최고경도값(Hv)		평균경도값(Hv)	
	상온 (0℃)	예열 (50℃)	상온 (0℃)	예열 (50℃)
16mm	275	238	232	210
20mm	260	228	224	203
25mm	253	231	224	205
40mm	259	216	215	197

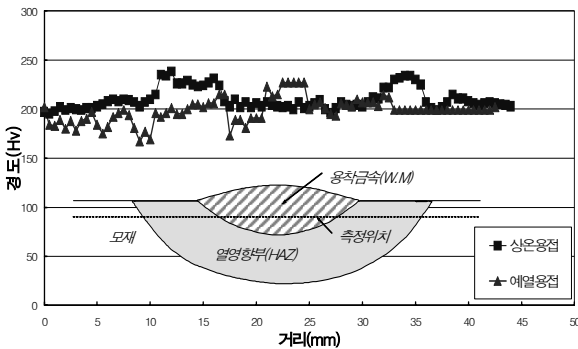


그림 10. 용접부 최고경도시험 그래프 (16mm)

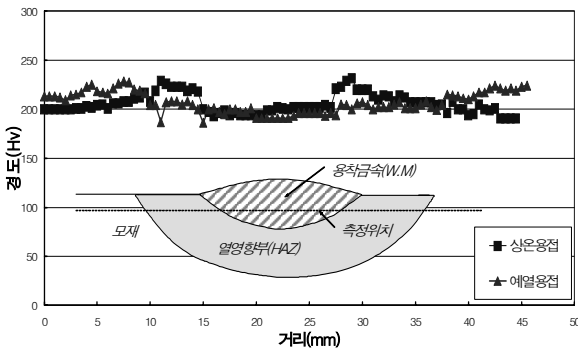


그림 11. 용접부 최고경도시험 그래프 (20mm)

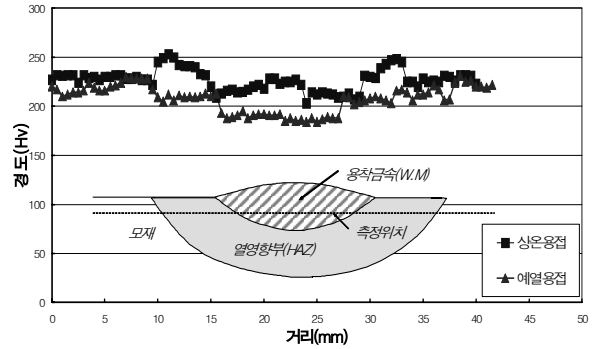


그림 12. 용접부 최고경도시험 그래프 (25mm)

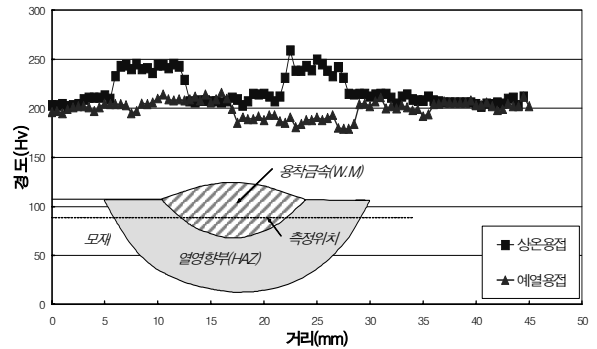


그림 13. 용접부 최고경도시험 그래프 (40mm)

3.2.4 용접부 샤르피 충격시험 결과 및 분석

용접부 샤르피 충격시험의 결과는 표 11과 그림 14~그림 22와 같다. 충격시험결과 천이온도에 대하여 분석하였을 때 용착금속부와 본드부에서의 흡수에너지(J)와 취성파면을 곡선의 교차점인 천이온도가 상온에서 나타나는 것으로 보아 용착금속에 대한 연성 및 강도가 부족한 것으로 판단된다. 열영향부의 천이온도는 -20℃부근인 것으로 나타나, 600MPa급 강재의 열영향에 의한 경화정도 및 흡수에너지에 대한 안전성을 확인할 수 있다. 용착금속부와 본드부의 충격흡수에너지는 열영향부에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났으며, 소재시험 결과의 값과 비교했을 때, 모재부에 비해 취성적인 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

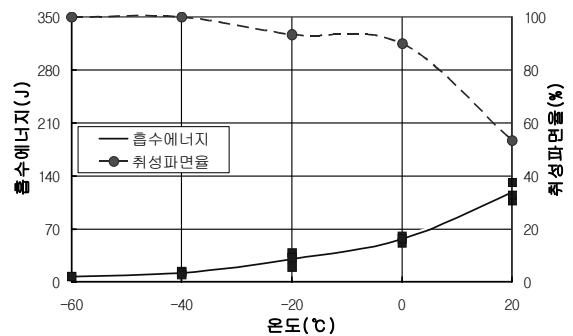


그림 14. 20mm 용착금속부 충격시험 결과

표 11. 충격흡수에너지 및 파면율

구분		시험온도(°C)				
		-60	-40	-20	0	20
20mm	W	7.1 (100)	12.127 (100)	30.06 (93.3)	56.307 (90)	118.05 (53)
	H	12.493 (100)	29.21 (100)	181.87 (50)	381.72 (0)	252.23 (23)
	B	10.443 (100)	34.19 (96.7)	90.453 (80)	97.097 (77)	184.45 (37)
25mm	W	4.2867 (100)	10.207 (100)	18.523 (100)	156.02 (57)	149.94 (70)
	H	9.2567 (100)	174.74 (46.7)	220.57 (26.7)	262.96 (10)	238.57 (70)
	B	12.42 (100)	25.71 (96.7)	100.54 (73.3)	108.22 (70)	162.28 (57)
40mm	W	12.03 (100)	54.393 (86.7)	70.757 (86.7)	183.15 (50)	209.2 (27)
	H	14.193 (100)	120.64 (66.7)	233.23 (26.7)	181.2 (43)	221.24 (20)
	B	11.037 (100)	17.763 (100)	61.433 (90)	77.067 (87)	152.27 (57)

※ ()속은 파면율

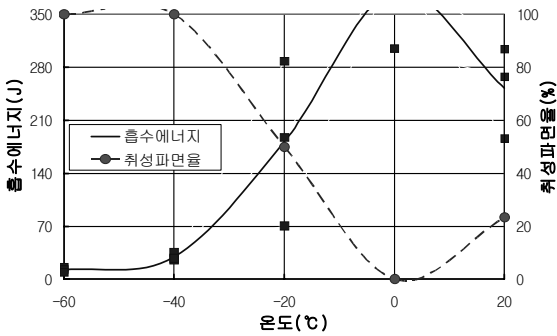


그림 15. 20mm 열영향부 충격시험 결과

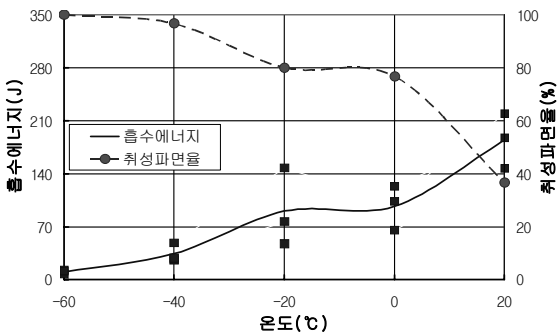


그림 16. 20mm 본드부 충격시험 결과

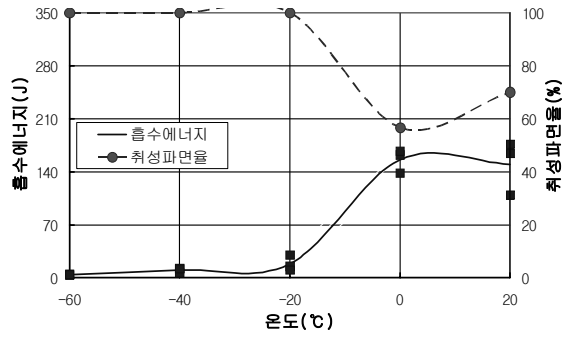


그림 17. 25mm 용착금속부 충격시험 결과

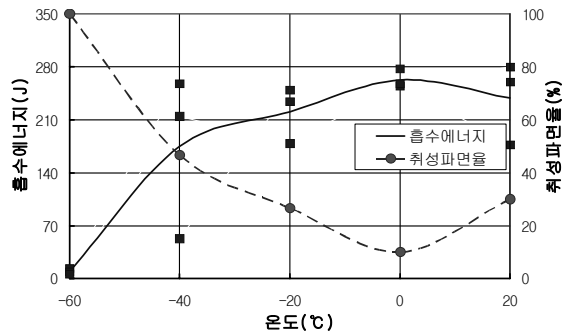


그림 18. 25mm 열영향부 충격시험 결과

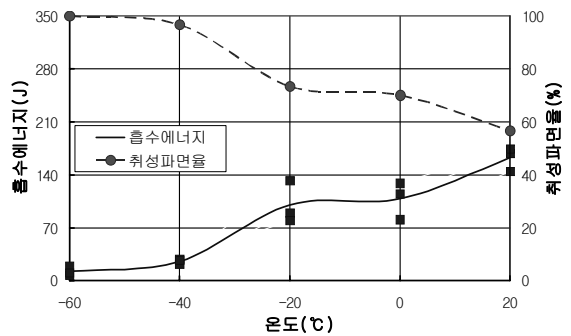


그림 19. 25mm 본드부 충격시험 결과

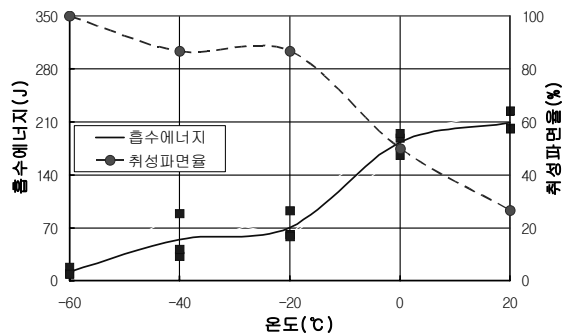


그림 20. 40mm 용착금속부 충격시험 결과

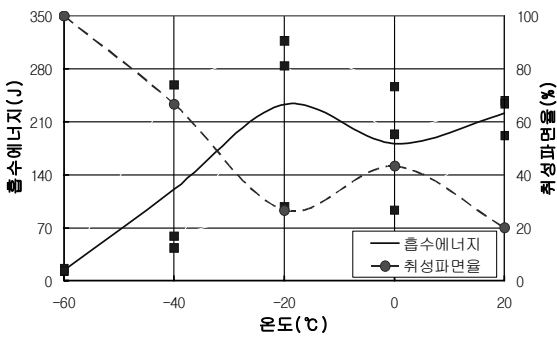


그림 21 40mm 열영향부 충격시험 결과

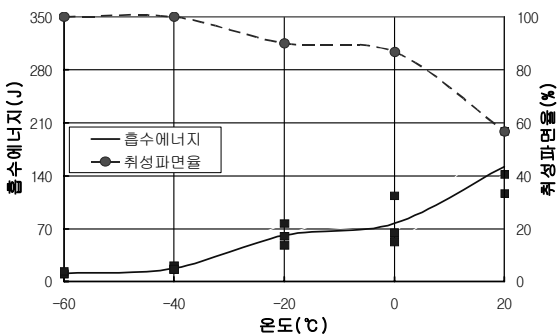


그림 22 40mm 본드부 충격시험 결과

4. 결론

최근 건축구조용 강재로 개발된 600MPa급 강재의 적합성 및 특성을 파악하기 위하여 기계적 성질의 재료특성 및 용접특성을 평가하여 다음과 같은 결과로 요약할 수 있다.

- (1) 대상강재의 화학성분 분석 결과 5원소와 탄소당량 (Ceq), 용접갈라짐감수성 조성(Pcm) 등은 모두 규격을 만족하는 것으로 나타났으며, SM570 TMC강재를 상회하는 것으로 나타났다. 이로부터 대상강재의 화학성분 조성은 충분히 균질하며 양호한 것으로 사료된다.
- (2) 인장시험 결과, 방향별 두께별 모두 인장강도 600MPa 이상의 안정적인 값을 나타내었다. 강재의 압연방향에 따른 인장강도는 압연직각방향이 압연방향보다 약 5% 정도 상회하는 값을 나타내었으나 전체적인 강재의 기계적 성질은 방향별에 따른 특이점은 나타나지 않았다.
- (3) 대상강재는 굽힘시험 결과로부터 소성변형에 따른 인성이 충분히 확보되는 것으로 나타났다. 소재의 충격시험 결과, 600MPa급 강재는 KS규격에서 제한하고 있는

충격흡수에너지 제한 값인 -0°C 에서 47J 이상을 월등히 상회하는 것으로 나타났으며, 천이온도 또한 -50°C 이하로 나타나 온도별 충격특성 및 연성은 매우 우수하며 압연방향별 이방성도 나타나지 않아 충분한 인성을 확보한 강재인 것으로 판단된다.

- (4) 용착금속 인장시험 결과, 용착금속의 인장강도가 530MPa로 나타나 모재의 인장강도보다 낮은 값을 나타내었다. 또한 용접부 평판인장시험 결과, 25mm, 40mm 시험체의 경우 용접부에서 파단이 일어나, 고성능, 고강도 강재에 대한 용착금속의 개발이 시급히 필요한 것으로 사료된다.
- (5) 600MPa급 강재의 용접부 최고경도 값이 상온에서 253Hv~275Hv 미만, 90°C 예열시 216Hv~238Hv를 나타내어 도로교통표준시방서(2005)에서 권고하고 있는 370Hv 이하의 값에 충분히 만족하는 것으로 나타났으며, 예열 없이 용접한 경우에도 열영향부 경도상승수준이 일반강재에 비하여 현저히 낮은 것으로 나타나 대상강재의 용접에 대한 우수성이 확인되었다.
- (6) 용접부 충격특성시험 결과 KS규격 제한 값인 0°C 에서 47J 이상은 확보하였으나, 용착금속부와 본드부의 온도에 따른 흡수에너지는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이로부터 대상강재에 대한 용착금속의 개발과 용접조건 및 용접상세 등에 대한 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

김종락, 박양희 (2003. 06) SM490 TMC 강재의 소재 및 용접부 특성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, Vol.15, No.3, pp. 331~339.

임성우, 김요숙, 장인화 (2005. 06) SM570 TMC 강재의 재료특성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, Vol.17, No.3, pp. 365~373.

임성우, 김요숙, 장인화 (2006. 10) SM570 TMC 강재의 용접부 특성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, Vol.18, No.5, pp. 365~373.

(사)한국공업표준협회 (2008), 한국산업규격.

한국강구조학회 (1995), 강구조편람 제 1권, 한국강구조학회.

대한용접학회 (1995), 용접 집합 편람, 대한용접학회.

한국도로교통협회 (2005), 건설교통부 제정 도로교통표준시방서, 한국도로교통협회

(접수일자 : 2008. 10. 15 / 심사일 2008. 10. 20 / 게재확정일 2008. 11. 4)