

## 최근 건설용 강재개발 동향 및 용접성

정 홍 철 · 이 진 우

### Recent Development of Structural Steel and Its Weldability for Construction

Hong-Chul Jeong and Jin-Woo Lee

#### 1. 서 론

최근 건축부문의 초고층빌딩 및 장대교량과 같은 사회기반시설의 건설에서 인프라구조물에 대한 국가 재원의 효율적인 사용을 위해 보다 높은 경제성이 요구되고 있다. 이러한 추세에 맞추어 강구조물 건설에서도 설계, 제작, 가설 및 유지관리에서의 효율성 및 경제성을 추구하는 합리적인 강구조물이 다양하게 제안되어 인프라 구조물로서 건설되고 있다. 이러한 사회간접자본의 합리적인 건설을 위해서는 기존 강재보다 다양한 성능을 보유하는 고성능 강재개발이 요구되고 있다.

최근 10여년간 건설용 구조용 강재는 크게 발전하였으며, 구조용 강재에 대한 요구성능은 다음과 같이 크게 세가지로 요약할 수 있다. 첫째는 구조용강재의 고강도화이다. 전술한 바와 같이 최근 건설분야 강구조물은 점점 고층화, 대형화 및 장스팬화가 되어가고 있는 추세이다. 특히 건축물의 고층화 경쟁은 점점 치열해가고 있으며, 초고층 빌딩의 경우 나라마다 경쟁적으로 초고층 빌딩의 건설계획을 발표하고 있는 현실이다. 이러한 건축물의 초고층화에 따라 사용되는 구조부재가 점점 대형화됨에 따라 구조부재의 경량화가 요구되고 있으며, 고강도 구조용 강재를 이용하면 구조물의 크기가 축소되어 강재물량이 절감되어 용접물량의 감소 및 운반 등의 비용이 크게 절감되는 장점이 있다. 국내의 경우 현재 인장강도 500MPa급이 많이 적용되고 있으며, 인장강도 600MPa급 강재의 적용이 증가하는 추세이다. 최근에는 인장강도 800MPa급 강재도 개발되어 초고층 빌딩 및 장대교량 등에 적용될 예정이다. 둘째는 구조용강재의 고성능화이다. 구조부재에 사용되는 건설용 강재는 사용목적에 따라 다양한 성능을 보유하여야 한다. 강재의 고성능화는 예를 들면 대기환경하에서 강재표면에 치밀하게 형성되는 녹층으로 인하여 무도장에서도 부식이 억제되는 내후성강, 화재와 같은 고온에서도 어느 일정시간 이상 고온강도를 유지하여 내

화피복을 생략하거나 절감할 수 있는 내화강, 용접생산성 향상을 목적으로 대입열 용접에도 용접부 성능을 확보할 수 있는 대입열 용접용강재 등이 있다. 셋째는 구조용강재의 극후물화이다. 최근 건축구조물이 대형화되면서 사용되는 구조부재의 단면도 증가하게 된다. 따라서 두꺼운 후물 강재가 요구되며, 내부에 결함이 없는 강재가 필요하다. 또한 판두께 방향에 대한 물성보증이 엄격히 요구되기도 한다.

이러한 고성능 강재를 제조하기 위해서는 불순물의 저감, 합금성분의 미세조정, 및 압연공정에 있어서 TMCP 적용 등 고도의 강재 제조기술이 요구되고 있으며, 고객의 다양한 품질요구에 대응하기 위하여 철강사는 신기술을 적용하여 건축 및 교량분야에 적합한 각종 고성능 강재를 지속적으로 개발하고 있다.

본 기고에서는 고성능 강재 제조공정에 사용되고 있는 TMCP제조기술과 또한 합리적인 건설용 용접 구조물제작의 요구에 대응하기 위하여 최근 개발되었거나 이미 실용화된 고성능 강재 및 용접성에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

#### 2. TMCP제조공정

종래의 후판강 압연 공정은 스라브를 소정의 치수(두께, 폭, 길이)로 형상을 제작하는 것에 국한되어 있었으며 이 경우에는 강재의 물성은 합금성분에 의해서 결정되었다. TMCP(Thermo-Mechanical Controlled Process, 열가공제어)란 후판 제조 공정에 있어서 가열온도와 열간압연의 온도를 제어하고 열간압연 완료 후에 냉각을 제어함으로써 강의 미세조직과 물성을 제어하는 기술이다. Fig. 1에 후판의 제조공정을 비교한 개략도를 나타내었다. As-rolled 방법은 스라브를 재가열한 후 압연 중 온도를 제어하지 않고 고온에서 소정의 치수로 열간압연을 완료하는 종래의 열간압연 방법이다. 일반적으로 이렇게 제조된 강재는 인성이 나쁘기 때문에 인성을

높이기 위해서는 normalizing이라는 추가적인 열처리를 행하게 된다. 한편, as-rolled와 normalizing 방법에서 강도를 증가시키기 위해서는 합금성분을 증가시키는 것이 필요하다. 그러나 TMCP 공정은 제조과정 중에 압연과 냉각 공정을 제어하여 미세조직을 제어함으로써 추가적인 합금 첨가나 열처리없이 고강도와 고인성의 물성을 얻게 된다. 즉, TMCP 공정은 normalizing 열처리 공정과 비교해서 단순히 공정을 생략하는 것이 아니고 제조공정을 적극적으로 제어함으로써 원하는 물성을 얻는 방법을 제공한다. 따라서 TMCP로 제조한 강재는 합금원소 첨가량을 줄이면서도 모재의 강도와 인성의 향상은 물론 우수한 용접성을 확보할 수 있다. 건설용 TMCP강의 주요 특징은 다음과 같다<sup>1)</sup>.

- 1) 저Ceq로서 용접성이 우수하다.
- 2) 저Ceq에도 불구하고 고강도이다.
- 3) 항복비가 낮아 내진성이 우수하다.
- 4) 초음파 음향 이방성이 작다.
- 5) 대입열 용접부의 연화에도 불구하고 강도 확보가 가능하다.

### 3. 주요 건설용 강재특성 및 용접성

#### 3.1 건축구조용 고강도 내화강 (Fire-Resistance Steel)<sup>2)</sup>

일반적으로 강재는 고온으로 가열되면 강도가 저하하는데 기존의 일반강재를 예로 들면 고온(600℃)에서의 항복강도는 상온 항복강도에 비하여 거의 2/3 수준으로 떨어진다. Fig. 2에 내화강과 일반강의 항복강도의 온도 의존성을 나타내고 있다. 이에 따라 화재시 고온으로부터 강 프레임 보호를 위하여 규모에 맞게 건물의 방화 시설을 갖추어야만 한다. 그러나, 건설 비용의 절감, 작업 조건의 향상, 구조적 미관의 관점에서 내화시설을 생략하거나 감소하는 것은 상당히 바람직하

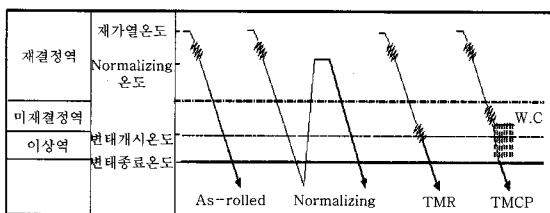


Fig. 1 Schematic diagram of rolling process

사항이다. 이 문제를 완화시키기 위해서 개발된 것이 내화강이다. 내화강은 내열성을 증가시키는 합금 성분 (Mo, Cr 등)을 첨가함으로써 고온 강도를 일반강재에 비하여 큰 폭으로 향상시켜 다층 주차시설, 스포츠 시설, 아트리움, 역사건물 등 건물의 다양한 분야에 사용되고 있다. 또한 건축물이 초고층화 및 대형화에 따라 건축 구조용강재의 고강도화가 적극적으로 추진되는 가운데 고성능강의 하나인 내화강에 대해서도 고강도화에 대한 요구가 증가하고 있다. Table 1에 고강도 내화강의 화학성분을 나타내었다. 고강도강에서 저항복비가 되게 하려면 베이나이트 및 페라이트 혼합조직을 만드는 것이 효과적이고 페라이트 체적 분율을 20% 이상이 되게 함으로써 80%이하의 저 YR을 달성하였다. Table 2에 모재의 기계적 성질을 나타내었다. 상온강도는 SA440강 규격값을 충분히 만족하고 내진성의 척도인 YR도 80%수준으로 낮다. 또한 0℃에 있어서의 Charpy충격인성도 100J이상으로서 양호한 수준이다. Fig. 3에 590MPa급 내화강의 경사 y-groove구속시험 결과를 나타내었다. 상온에서도 용접균열이 발생하지 않았음을 알 수 있다. 또한 용접열영향부 최고경도에 있어서도 300 Hv 수준으로 용접성은 양호한 수준이었다. 이것은 내화강에 Nb 및 Mo가 다량 복합 첨가되어 있지만 C, Mn 함량을 감소시켜 Pcm값을 낮게 유지할 수 있기 때문이다. Table 3에서는 건축구조물에 채용되고 있는 각종 용접이음부의 특성을 나타내었다. 모든 용접부에 있어서 상온과 600℃에 대하여 충분한 강도를 가지고 있다. 또한 용접열영향부 및 용접금속부의

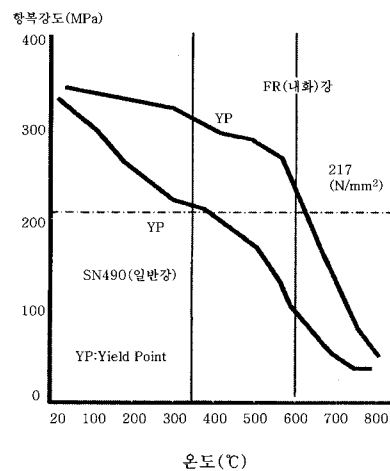


Fig. 2 Temperature dependence of yield strength in SN490 and FR steels

Table 1 Chemical compositions of 590MPa fire resistant steel(mass%)

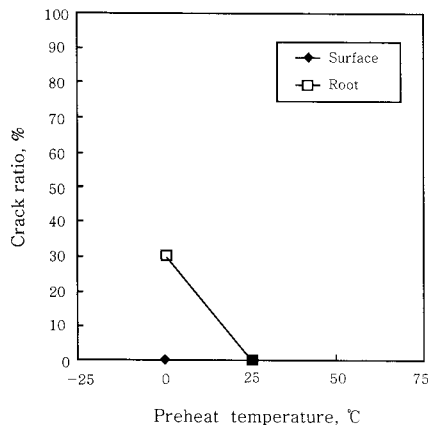
Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Nb	Pcm	Ceq
BT-HT440C-FR	0.09	0.28	1.24	0.006	0.0015	0.18	0.78	0.02	0.22	0.53

**Table 2** Mechanical properties of tested steels

Thickness (mm)	Direction L: Longitudinal T: transverse	Tensile Test at RT(1/4t)				Tensile test at 600°C			Charpy Test	
		YP (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	YR (%)	YP (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	vE <sub>0</sub> Min/Av (J)	vTrs (°C)
Target		440/540	590/740	≥20	≤80	≥295	-	-	Av. ≥47	-
36	L	508	673	29	75	-	-	-	279/287	<S40
	T	520	687	29	76	323	417	33	268/279	<S40
60	L	472	652	30	72	-	-	-	266/279	<S40
	T	480	653	30	74	391	391	32	291/293	<S40
85	L	464	635	31	73	-	-	-	254/282	<S29
	T	461	645	31	73	312	396	31	154/246	<S29

**Table 3** Properties of welded joint

Welding method	Welding Material	Heat Input (kJ/mm)	Tensile test					Charpy test	
			Temperature	Test piece	YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	Notch position	vE <sub>0</sub> (J)
SMAW	L-62 4.0mm	1.74~1.99	RT	Joint	596	658	23	WM	173
			600°C	Joint	341	417	20	FL	211
				WM	312	398	33	HAZ	230
SAW	YODM 4.8mm YF-15B	BP1:3.2 BP2-LP: 4.5	RT	Joint	571	692	19	WM	82
			600°C	Joint	364	431	22	FL	101
				WM	367	436	29	HAZ	83
	Y-DL · FR 6.4mm NB-52FRM	10.3~15.7	RT	Joint	510	620	19	WM	39
			600°C	Joint	303	376	23	FL	53
				WM	309	341	35	HAZ	52
	Y-DL · FR 6.4mm NSH60FRS	44.0	RT	Joint	515	651	20	WM	53
			600°C	Joint	390	448	19	FL	42
				WM	376	404	16	HAZ	49
SESNET	Y-CM · FR 2.4mm YF-15I	105.8	RT	Joint	502	650	14	WM	171
			600°C	Joint	347	437	12	FL	39
				WM	399	471	17	HAZ	30



**Fig. 3** y-slit restraint cracking test

충격인성은 SAW용접의 경우 약 440kJ/cm 입열범위까지 충분한 수준을 나타내고 있다.

### 3.3 고성능 590MPa급강(SA440강)<sup>3)</sup>

일부 대형 초고층 건물은 490MPa급 강재를 사용할 경우 100mm 가량의 두께가 되고 가공 및 용접시공상의 문제가 생기는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 590MPa급의 강도를 확보한 고성능(고내진성, 고인성 및 고용접성) 강재가 일본에서 개발되었다. 이 강재는 19~100mm 두께를 열처리해 따라

제조하고 항복점의 상 하한의 범위를 440~540MPa로 100MPa이내로 하고 항복비를 80%이하로 제어하고 있다. 이와 같이 강구조물 중량의 저감에 따른 설계비용의 저감과 함께 과도한 두께의 강재를 피할 수 있는 용접이음부의 신뢰성 향상에 크게 기여하고 있다. Table 4에 고성능 SA440강의 화학성분을 나타내고 있다. 강종에 따라 성분은 약간 다르지만 B를 첨가하지 않고 저 C를 기본으로 Cu 등의 석출경화를 이용하는 특징을 가지고 있다. Table 5에 개발강의 기계적 성질을

나타내었다. 강도와 인성을 포함한 기본특성은 SA440 강으로서 충분한 특성을 보유하고 있다. 일반적으로 석출경화형 강에서는 항복비가 높아지는 경향이 있지만 모든 시험체에서 SA440강의 규격인 80%이하를 만족하고 있다. JIS Z 3101로 규정되는 “용접열영향부 최고경도시험” 결과, C양과 P<sub>cm</sub>을 낮게 억제한 개발강은 가장 경화한 경우에도 최고경도가 300Hv를 약간 상회하는 결과를 보였으며, 경사 y-groove구속시험 결과 상온에서 저온균열은 발생되지 않아서 용접균열감수성

**Table 4** Chemical composition of developed steels

Steel	Thickness (mm)	C	Si	Mn	P	S	Others	C <sub>eq</sub>	P <sub>cm</sub>
A	50	0.06	0.25	1.40	0.006	0.003	Cu, Ni, Cr, Mo, Nb, V, Ti	0.40	0.21
B	100								
C	19	0.08	0.23	1.45	0.006	0.002	Cu, Ni, Cr, Nb, V, Ti	0.37	0.21
D	28								
E	45								
F	50	0.06	0.36	1.47	0.010	0.001	Cu, Ni, Cr, Mo, Nb, V, Ti	0.41	0.22
G	80								

$$C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/60 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

$$P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

**Table 5** Mechanical properties of developed steels

Steel	Thickness (mm)	Direction	Position	Tensile properties			
				YS(MPa)	TS(MPa)	EL(%)	YR(%)
A	50	Transverse	1/4 thickness	471	610	30	77
B	100			470	604	33	78
C	19			453	611	43	74
D	28			476	643	30	74
E	45			492	647	29	76
F	50			497	638	30	78
G	80			485	644	31	75

Steel	Thickness (mm)	Direction	Position	Charpy impact properties	
				Absorbed energy vE <sub>0</sub> (min./av.)(J)	Fracture appearance transition temperature(°C)
A	50	Longitudinal	1/4 thickness	195 / 227	-24
B	100			247 / 250	-40
C	19			278 / 285	-85
D	28			287 / 297	-73
E	45			256 / 260	-58
F	50			266 / 292	-33
G	80			329 / 336	-50

Table 6 Results of y-groove weld cracking test

Steel	Thickness (mm)	Welding Method	Welding consumable	Welding condition				Cracking ratio(%)			
				Current (A)	Voltage (V)	Speed (cpm)	Heat input (kJ/mm)	Preheat Temp.(°C)	Surface	Root	Section
A	50	SMAW	L-62 4mm	170	25	15	1.7	0	96*	100*	98*
								25	0	0	0
								50	0	0	0
E	45	GMAW	YM-60C 1.4mm	320	35	36	1.9	0	0	0	0
								25	0	0	0
								50	0	0	0
F	50	SMAW	L-62 4mm	170	25	15	1.7	0	100*	100*	100*
								25	0	0	0
								50	0	0	0

\* Cracking in weld metal

Table 7 Tensile properties of welded joints

Steel	Welding method	Heat input(kJ/mm)	TS(N/mm <sup>2</sup> )	Fracture position
A	GMAW	2.5	643, 644	Base material
A	SAW	4.5	647, 648	Base material
A/B	SESNET	71.9	609, 611	Base material
F	SAW	4.5	673, 675	Base material
F/G	SESNET	71.3	638, 635	Base material

은 낮다고 할 수 있다. Table 6에 경사 y-groove구속 시험 결과를 나타내었다. 또한 Table 7에서는 용접부 인장시험 결과를 나타내었고 Fig. 4에 각종 용접부 충격시험 결과를 나타내었다. 대입열 용접의 경우에서도 용접부 연화현상은 관찰되지 않으며 파단위치도 모두 모재에서 파단을 보여 양호한 용접부 강도를 보이고 있다. 용접부 충격인성 평가결과 대입열 용접부를 제외하고 모두 양호한 충격인성을 보이고 있다.

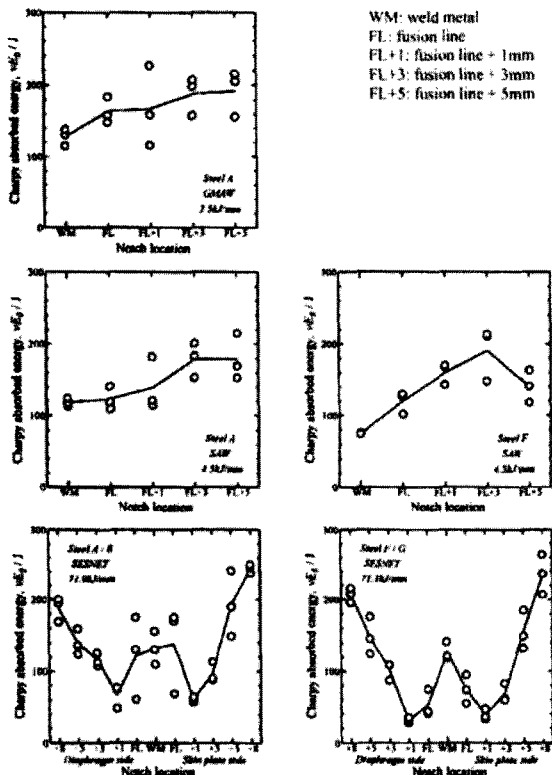


Fig. 4 Charpy impact properties of welded joints

### 3.6 대입열 용접용강

최근 일본의 경우 한신대지진으로부터 건축 구조물에 있어서 파괴성능에 관한 연구가 활발히 진행되어 건축 철골의 용접부는 기존보다 높은 파괴성능이 요구되고 있다. 일본 "기둥-보 용접 접합부의 취성파단 방지 가이드라인"에 따르면 기둥-보 용접부의 용접부 필요인성은 0°C에서 70J의 높은 충격인성을 제시하고 있다<sup>4)</sup>. 일반적으로 건축구조물의 초고층화 및 장스팬화에 따라 철골용 강재는 고강도화 후물화 및 고효율 용접시공성이 요구되고 있다. 고효율 용접의 예는 Box 기둥의 경우 ESW 및 다전극 SAW가 적용되고 있으며 용접입열량도 약 500~1000kJ/cm의 초대입열 용접이 적용되기

도 한다. 그러나 이러한 초대입열 용접열영향부는 고온으로 가열되고 유지되는 시간이 길어지고 인성이 취약한 미세조직이 형성된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고온에서 안정한 미세 산화물을 균일분산시켜 용접열영향부내의 조대화된 오스테나이트 결정립 성장을 억제하고 결정립내에서 인성이 우수한 IFP(Intragranular Ferrite Plate, 입내침상페라이트)변태를 촉진시키는 HTUFF(Super High HAZ Toughness Technology with Fine Microstructure imparted by Fine Particles)강이 개발되었다<sup>5)</sup>. Fig. 5에서는 일반 TiN강과 HTUFF강의 용접열영향부 조직을 나타낸 것으로 HTUFF강의 오스테나이트 결정립은 약 100 $\mu$ m 수준으로 일반 TiN강의 400 $\mu$ m에 비하여 매우 미세함을 알 수 있다. Table 8에서는 개발강의 화학성분을 나타낸 것이다. 강도와 항복비를 안정적으로 확보하기 위하여 C함량과 탄소당량을 적절히 확보하고 있

다. 기존 강재보다 C함량을 저감하고 강도보상을 위하여 Mn, Cu, Ni등을 첨가하였다. BT-HT440CHF의 경우 MA(Martensite Austenite Constituent)의 생성을 억제하기 위하여 성분조정을 하고 Mg 및 Ca을 강중에 적절히 함유하여 산화물 및 황화물을 미세분산시켰다. Table 9에 강재의 기계적 성질을 나타내고 있다. 강재는 강도, 연신율, 인성은 모두 양호한 특성을 보이고 있다. Table 10는 Box columns부의 용접조건을 나타낸 것이다. Fig. 6는 Box columns부의 대입열 용접부의 충격인성을 나타낸 것이다. 입열범위 약 20~1000kJ/cm의 초대입열 범위에서도 양호한 충격인성을 보이고 있다. Fig. 7은 개발된 대입열 용접용강의 대입열 ESW용접부의 조직 사진을 나타낸 것이다.

### 3.7 BHS(Bridge High-performance Steel)강<sup>6)</sup>

최근 사회간접자본의 건설과 관련하여 건설비의 감축, 내구성의 향상 및 유지관리의 경감이 강하게 요구되고 있다. 교량분야에서도 기존의 강재에 대비하여 보다 우수한 성능을 보유하는 강재의 개발이 요구되고 있다. 이와 같은 Needs에 대응하여 일본철강연맹에는 강도, 인성, 용접성, 곡가공, 내후성이 우수한 강재의 개발과 적용기술이 연구되고 있다. 교량용 고성능 강재로 항복강도가 일정한 500MPa급 및 700MPa급 강재가 BHS강이다. BHS강은 고향복점 및 항복강도가 일정하고 일반강 및 내후성강의 종류가 있으며, 또한 BHS500

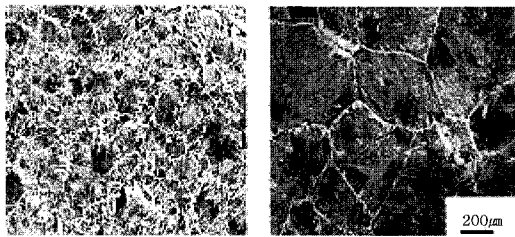


Fig. 5 Simulated HAZ microstructure of HTUFF steel and TiN steel (a) HTUFF steel (b) TiN steel

Table 8 Chemical compositions of developed steel plates(mass%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	others	C <sub>eq</sub>	P <sub>cm</sub>
BT-HT355C-HF	0.12	0.26	1.50	0.008	0.002	Nb, Ti	0.39	0.21
BT-HT440C-HF	0.10	0.16	1.56	0.006	0.002	Cu, Ni, Nb, V, Ti	0.39	0.23

$$C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/60 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

$$P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

Table 9 Mechanical properties of developed steel plates

Steel	Thickness (mm)	Direction	Tensile properties 1/4 thickness position				Charpy properties 1/4 thickness position	Through-thickness properties	
			YP (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	YR (%)		vE0 min / av. (J)	TS (MPa)
BT-HT355C-HF	50	L	450	574	32	78	298 / 302	564, 564, 562	77, 77, 76
		T	451	579	26	78	220 / 252		
BT-HT440C-HF	60	L	468	610	31	77	251 / 254	607, 615, 610	69, 74, 75
		T	466	603	32	77	234 / 236		

Table 10 Welding condition of box columns

Steel for column	Welding portion	Welding method	Welding conditions				
			Current (A)	Voltage (V)	Spd (cm/min)	Heat input (kJ/mm)	Welding material
BT-HT355C-HF	Column diaphragm	ESW/single pass	380	51	14.3	81.4	YM-55HF
BT-HT440C-HF	Column diaphragm	ESW/single pass	380	51	11.6	100.4	YM-55HF
BT-HT355C-HF	Column corner	SAW/single pass	L 2100	36	230	41.0	Y-DLHF NSH-53HF
			T 1700	48			
BT-HT440C-HF	Column corner	SAW/single pass	L 2200	37	200	50.3	Y-DLHF NSH-53HF
			T 1800	48			
BT-HT355C-HF	Column-beam	GMAW/multi passes	380	40	220/450	2.0/4.0	YGW18/21HF
BT-HT440C-HF	Column-beam	GMAW/multi passes	360	41	220/450	2.0/4.0	YGW18/21HF

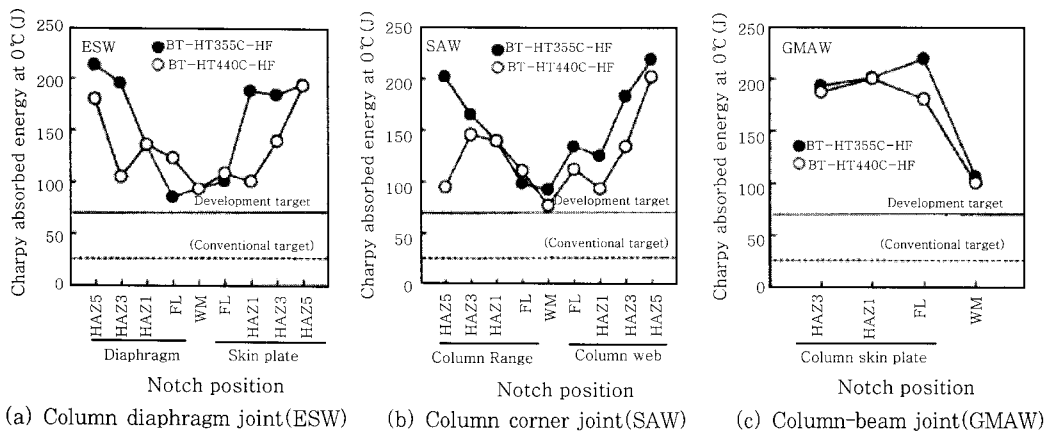


Fig. 6 Welded joint toughness of box columns

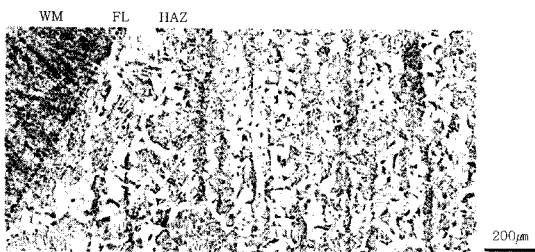


Fig. 7 ESW microstructure of BT-HT440C-HF column (skin plate side HAZ of diaphragm joint)

및 BHS500W은 용접시 예열이 불필요하고 BHS700은 예열온도를 50°C이하로 억제할 수 있다. 또한 BHS500(W)는 입열량 100kJ/cm의 대입열 용접도 가능한 특징을 가지고 있다. Table 11 및 Table 12은 각각 BHS강의 화학성분 및 강재 기계적 성질 규격을 나타낸 것이다. Fig. 8는 경사 y-groove구속시험 결과를 나타내고 있다. BHS500(W)강의 경우 50mm이하에서는 용접예열이 필요하지 않으며, HSB700W강의

경우는 60mm두께이하에서 50°C의 예열이 필요함을 알 수 있다. Fig. 9에서는 BHS500강의 용접부 충격 인성을 나타낸 것이다. 여러 용접프로세스 및 입열범위에서도 -5°C 용접부 충격인성은 47J이상을 만족하고 있음을 알 수 있다. 한편 BHS700W강의 경우는 약 50kJ/cm 이하의 용접 입열범위에서 -15°C 충격인성 이 47J이상을 확보함을 알 수 있다.

### 3.8 HSB(High-performance Steel for Bridge and Building)강

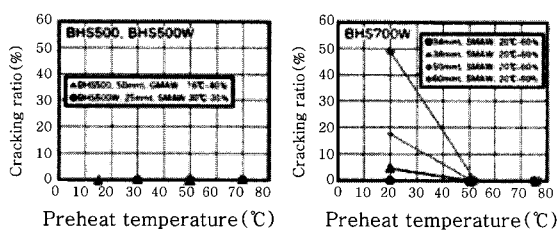
최근 국내에서 교량 구조용 강재로 개발된 강재가 HSB500/600강재이다. 여기서 600의 숫자가 의미하는 것은 상온 인장강도를 나타내고 있다. Table 13에서 HSB 500/600의 화학성분 규격<sup>7)</sup>을 나타내고 있다. HSB600W 및 HSB600L강에서 W와 L이 의미하는 것은 각각 내후성강과 저온용을 의미한다. Fig. 10 및 Fig. 11에서 HSB600L강의 용접부 최고경도 및 경사

**Table 11** Specification of chemical composition of BHS

Steel	T (mm)	Chemical composition(%)												
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Mo	B	N	Pcm
BHS500	6~100	≤ 0.11	≤ 0.55	≤ 2.00	≤ 0.02	≤ 0.006	-	-	-	-	-	-	≤ 0.006	≤ 0.20
BHS500W	6~100	≤ 0.11	≤ 0.50	≤ 2.00	≤ 0.02	≤ 0.006	0.3 ~ 0.5	≤ 0.75	0.05 ~ 0.30	-	-	-	≤ 0.006	≤ 0.20
BHS700W	6~50	≤ 0.14	≤ 0.50	≤ 2.00	≤ 0.015	≤ 0.006	≥ 0.3	≤ 0.80	0.30 ~ 2.00	≤ 0.05	≤ 0.6	≤ 0.005	-	≤ 0.30
	50~100	≤ 0.14	≤ 0.50	≤ 2.00	≤ 0.015	≤ 0.006	≥ 0.3	≤ 0.80	0.30 ~ 2.00	≤ 0.05	≤ 0.6	≤ 0.005	-	≤ 0.32

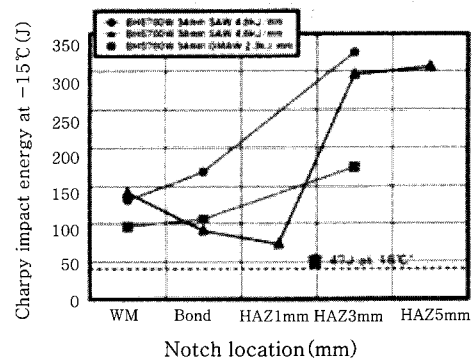
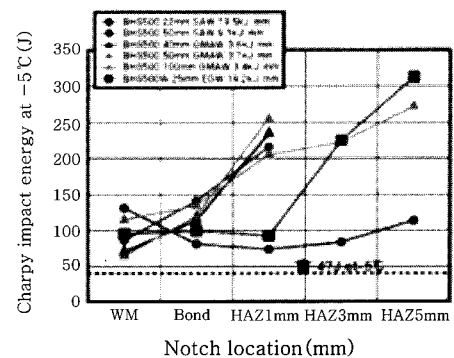
**Table 12** Specification of mechanical properties of BHS

Steel	YS (MPa)	TS (MPa)	Elongation		Charpy impact energy		
			Thickness	%	Temperature(°C)	vE(J)	Direction
BHS500	≥500	570~720	t≤16	≥19	-5	≥100	V-notch Normal to rolling direction
			t>16	≥26			
			t>20	≥20			
BHS500W	≥500	570~720	t≤16	≥19	-5	≥100	
			t>16	≥26			
			t>20	≥20			
BHS700W	≥700	780~930	t≤16	≥19	-40	≥100	V-notch Rolling direction
			t>16	≥26			
			t>20	≥20			



**Fig. 8** y-slit restraint cracking test of BHS500, BHS500W and BHS700W

y-groove구속시험 결과를 나타내고 있다<sup>8)</sup>. HSB600L강의 경우 용접부 최고경도는 약 281Hv수준으로 도로교 표준시방서에서 요구하는 기준을 충분히 만족하고 있다. 또한 경사 경사 y-groove구속시험결과 40mm 두께의 경우 약 50°C, 80mm 두께의 시험재의 경우 약 75°C의 예열이 필요하여 용접 저온균열감수성은 양호한 수준이라 할 수 있다. HSB600L강의 용접부 기계적 특성은 Table 14에 나타내었다. FCAW 및 SAW 용접부 강도는 모두 600MPa급 이상을 확보하였다. 또한 Fig. 12에 HSB600L강의 FCAW 및 SAW 용접부 충격인성을 나타낸 것이다. -20°C 용접부

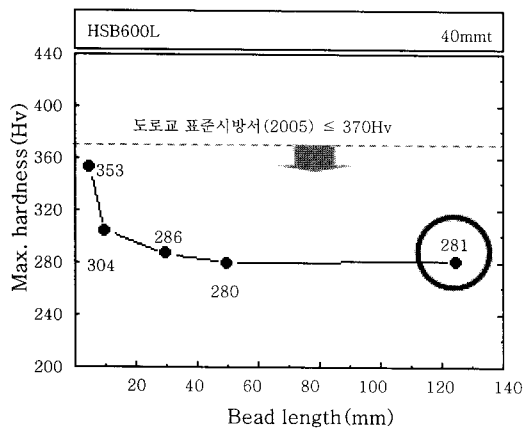


**Fig. 9** Charpy impact energy of welded joints in BHS500, BHS500W and BHS700W

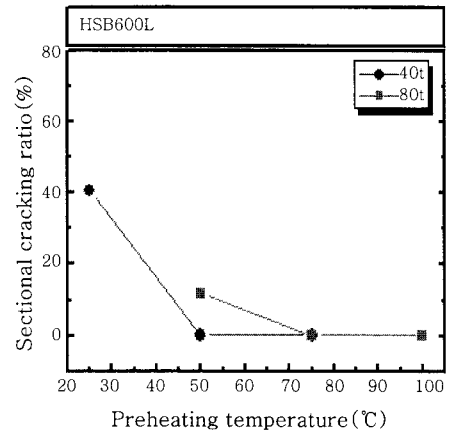


**Table 13** Specification of mechanical properties of HSB(wt%)

종류의 기호	적용두께	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
HSB500	≤ 100mm	≤0.18	≤0.55	≤1.80	≤0.020	≤0.006	-	-	-
HSB500L									
HSB500W		≤0.18	≤0.65	≤1.80	≤0.020	≤0.006	0.10~0.50	0.45~0.75	0.05~0.80
HSB600	≤ 100mm	≤0.10	≤0.55	≤1.80	≤0.020	≤0.006	-	-	-
HSB600L									
HSB600W									



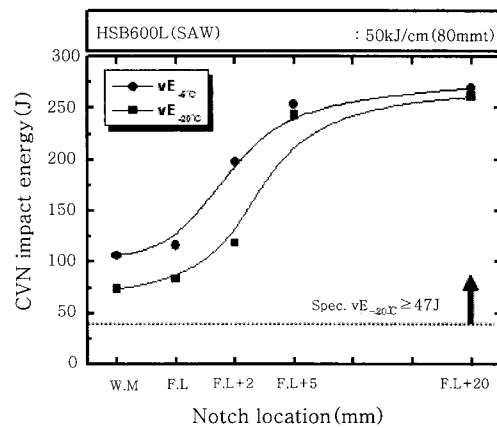
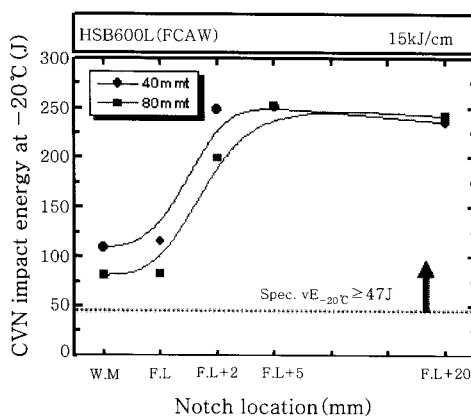
**Fig. 10** Maximum hardness of HAZ in HSB600L



**Fig. 11** y-slit restraint cracking test of HSB600L

**Table 14** The mechanical properties of welded joint in HSB600L

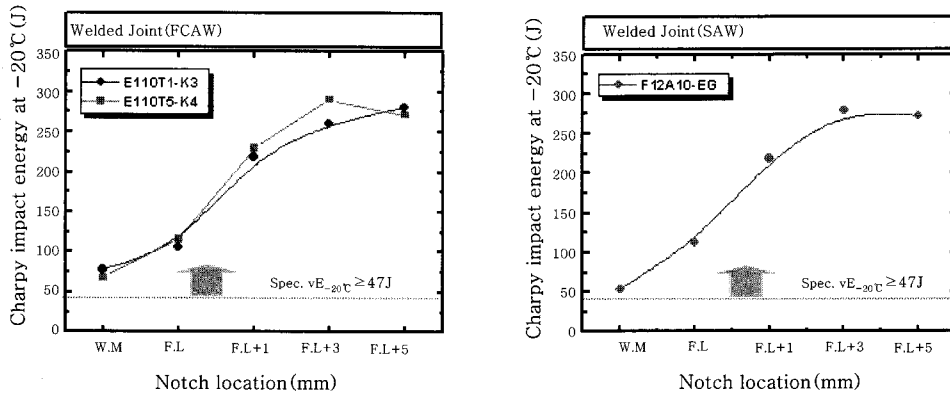
Thickness	FCAW		SAW	
	YS(MPa) (≥ 450MPa)	TS(MPa) (≥ 600MPa)	YS(MPa) (≥ 450MPa)	TS(MPa) (≥ 600MPa)
40mmt	524	638	525	617
80mmt	595	658	596	673



**Fig. 12** CVN energy of FCA and SA welded joint in HSB600L

**Table 15** The mechanical properties of welded joint in HSB800

Steel	Welding Process (Heat Input)	Welding Consumable	YS (MPa)	TS(MPa)	El. (%)
				Target $\geq 800$	
HSB800	FCAW (23kJ/cm)	AWS 5.29 E110T5-K4	733	859	15.6
			730	862	14.5
			741	855	16.4
	SAW (50kJ/cm)	AWS 5.23 F12A10-EG	682	813	15.6
			688	814	15.7
			692	816	15.3



**Fig. 13** CVN energy of FCA and SA welded joint in HSB800

충격인성은 모두 규격 요구인성인 47J이상의 양호한 충격인성을 보이고 있다. 한편 최근 인장강도 800MPa 급 강재인 HSB800강도 개발되어 초장대교량에 적용을 앞두고 있다. Table 15에 HSB800강의 기계적 성질을 나타내고 있다. 또한 Fig. 13는 HSB800강의 FCAW 및 SAW 용접부 충격인성을 나타내었다<sup>9)</sup>. -20°C에서 47J이상의 양호한 용접부 충격인성을 보여 향후 초고층 빌딩 및 장대교량 건설에 적용이 기대된다.

**4. 맺음말**

건설분야에서 다양화되고 있는 요구품질에 대응하기 위하여 지금까지 개발된 건설용 고성능 강재 및 용접성에 대하여 소개하였다. 효율적인 사회간접자본 건설을 위해서는 고성능 강재 및 용접시공기술이 적극적으로 채용되어야 하며, 앞으로도 Total cost를 저감하기 위한 새로운 고성능 강재 개발이 요구된다.

**참고문헌**

1. 이종봉, 안영호, 안상곤: 대한용접학회지, **12-3**(1994)
2. Yasushi MIZUTANI et al. : 590MPa class of fire-resistant steel for building structure Use, **新日鐵技報 No. 380**(2004), 38
3. Yoshiyuki WATANABE et al. : Development of 590N/mm<sup>2</sup> class steel with good weldability for building structures, **新日鐵技報 No. 380**(2004), 45
4. (社) 日本鐵鋼連盟講習會資料, 柱梁銲接接合部の脆性的建破斷防止ガイドラインの概要(2003)
5. Akihiko KOJIMA et al. : Development of high HAZ toughness steel plate for box columns with high heat input welding, **新日鐵技報 No. 380**(2004), 33
6. 日本鐵鋼連盟 : 橋梁用 高性能 鋼材 Catalogue 第 2版(2007)
7. 한국산업규격 : KS D3868 :2007
8. 정홍철 등 : 대한용접접합학회 추계학술발표대회 개요집(2007), 118
9. 정홍철 등 : 대한용접접합학회 추계학술발표대회 개요집(2008), 74



- 정홍철(鄭弘喆)
- 1964년생
- POSCO기술연구소 강재솔루션연구그룹
- 용접야금
- e-mail : jeonghc@posco.com



- 이진우(李珍羽)
- 1975년생
- POSCO기술연구소 강재솔루션연구그룹
- 용접야금
- e-mail : jwlee36@posco.com