400MPa급 건축구조용 열간압연 H형강(SHN400)의 용접특성

Welding Characteristics of 400MPa Grade Hot Rolled H-beam(SHN400) for Building Structure

김 희 동¹⁾ · 양 재 근²⁾ · 이 은 택³⁾ · 김 우 범⁴⁾ · 오 영 석⁵⁾

Kim, Hee Dong · Yang, Jae Geun · Lee, Eun Taik · Kim, Woo Bum · Oh, Young Suk

요약: 본 연구의 목적은 시험적 방법을 통해 SHN400 강재의 용접특성이 KS에서 규정한 건축구조용 강재로 적합한지를 평가하는 것이다. 이를 위해 국내에서 생산되는 열간 압연 H형강 중 최대 춤 및 최대 플랜지 두께의 H형강과 SHN400 강재의 주요 사용처가 될 보부재로 수요가 많은 H형강 규격을 대상으로 경사 y형 용접균열시험, 용접이음부에 대한 경도시험, 평판인장시험, 굽힘시험, 십자형 인장 시험 및 충격시험 등을 실시하였다. 각 시험은 관련 KS에서 요구하는 시험 조건하에서 수행되었으며, 시험결과 SHN400 강재는 용접특성 관련 모든 시험에서 KS의 요구조건과 구조물의 적절한 비탄성변형능력 발현을 위해 요구되는 용접성능들을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 SHN400 강재는 건축구조용 강재로 사용에 무리가 없을 것으로 판단된다.

ABSTRACT: This study seeks to evaluate the welding characteristics of SHN400 steel, which is suitable for the steel material used in building structures in KS. For this purpose, the Y-groove weld crack test and hardness, tensile, bending, cross tensile, and charpy V notch tests at the welding point were conducted with specimens taken from the highest, the thickest and the commonly used H-beams for girder or beam members. Each test was conducted under the KS test conditions. All tests results satisfied the requirements of KS and the welding requirements for the proper inelastic behavior of structure, indicating that SHN400 can be used for the building structure as a structural material.

핵심 용어: SHN400, 건축구조용 H형강, 용접특성시험, 용접 이음부

KEYWORDS: SHN400, H beam for building structures, tests of welding characteristics, welding point

1. 서론

2009년 개정된 건축구조기준(KBC2009, 2009)에 의하면 강구조물의 내진설계시 중간 및 특수모멘트골조 등과 같이 우수한 비탄성변형(inelastic behavior)능력이 요구되는 지진력 저항시스템에서는 SHN, SN 및 TMC와 같은 건축구조용 강재의 적용을 의무화하고 있다.

이는 지진력 저항시스템 별로 요구되는 적절한 비탄성 변형 능력 확보를 위해서는 구조시스템, 기둥-보 접합부 및 부재단면 등과 더불어 재료적인 측면에서도 충분한 비탄성변형능력을 확보할 수 있는 우수한 재료를 사용해야 한다는 의미로 해석할 수 있다(FEMA, 2007).

이러한 구조 시스템의 비탄성변형능력 확보에 중요한 요인 중 하나인 접합부의 비탄성변형능력 확보를 위해서는 접합부 상세 및 제작 방법 등과 더불어 접합부를 구성하는 강재의 용접성능이 중요한 요인이 될 수 있다(AISC, 2005).

더욱이 대부분의 기둥-보 강접합에 용접이 사용되는 국내의 구조설계 현실을 감안한다면 내진설계에 적용되는 강재의 우수한 용접성능은 강구조물의 비탄성변형능력 확보에 매우 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 국내 KS에서 건축구조용으로 규정하고 있으며 KBC2009에서 내진설계 시 적용을 명시하고 있는 SHN 강재 중 최근 개발된 400MPa 급 강재(SHN400)의 용접성능을 시험적으로 평가하고 KS에서 규정하고 있는 건

1) 교신저자, 현대제철 차장, 공학박사, 건축구조기술사
(Tel: 02-3464-4083, Fax: 02-3464-4087, E-mail: drkimhd@naver.com)

2) 인하대학교 건축공학과 교수, 공학박사(jyang@inha.ac.kr)

3) 중앙대학교 건축학부 교수, 공학박사(etlee@cau.ac.kr)

4) 공주대학교 건축공학과 교수, 공학박사(wbk@kongju.ac.kr)

5) 대전대학교 건축공학과 교수, 공학박사(ohys@du.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2012년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

건축조용 강재로 적용 타당성을 검증하여 추후 현장적용을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 SHN400 강재를 건축구조용 강재로 사용하는데 있어 요구되는 용접성능을 평가하기 위해 KS의 용접특성 평가시험을 수행하였다. 각 시험결과에 따른 용접성능은 KS 기준값의 만족 여부와 함께 구조학적인 측면에서 건축구조용 강재에 요구되는 용접성능을 고려하여 평가하였다. 본 연구에서 수행된 용접특성 평가시험은 표 1에 나타내었다.

각 시험에 사용될 용접 시험편의 제작을 위하여 시험편 제작 단면을 선정하였다. 용접특성에 미치는 단면의 외형 치수 및 판 두께에 영향을 파악하기 위해 현재 상업생산이 가능한 KS의 열간압연 H형강 규격(KS D 3502) 중 춤(H)이 가장 큰 H-918×303×19×37 규격과 플랜지 두께(tf)가 가장 두꺼운 H-458×417×30×50 규격, 그리고 보 부재로 많이 적용되는 H-700×300×13×24 규격을 제작단면으로 선정하였다.

KS의 표준단면 규격 중 플랜지 두께가 70mm로 가장 두꺼운 H-498×432×45×70은 아직 국내에서 SHN으로는 생산되지 않는 제품이므로 금번 연구대상에서는 제외하였다. 본 연구에 적용된 단면 규격 및 그 특징을 표 2에 정리하였다.

본 연구의 용접시험편 제작을 위해 CO₂ 가스를 사용한 플럭스 코어 아크 용접(FCAW+CO₂)이 적용되었다. 그리고, 용접재료로는 국내 철구조물 제작업체에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 직경 1.4mm의 AWS E71T-1(항복강도 548MPa, 인장강도 582MPa, 연신율 28%, 충격치 0℃ 86J)급 재료를 적용하였다.

표 1. SHN400 강재 용접특성 시험

시험 항목	관련 KS
경사 y형 용접균열시험	KS B 0870
용접이음부 경도시험	KS B 0893
용접이음부 평판인장시험	KS B 0801, 0802
용접이음부 굽힘시험	KS B 0804
용접이음부 십자형 인장시험	KS B 0841
용접이음부 충격시험	KS B 0809, 0810

표 2. 시험편 제작 단면

분류	단면치수	관폭두께비	
		B/tf	H/tw
A type	H-458×417×30×50	4.17	10.5
B type	H-918×303×19×37	4.09	42.5
C type	H-700×300×13×24	6.25	45.8

그림 1. 경사 y형 용접균열 시험편

용접 예열온도는 판두께 38mm 이하의 경우 10℃, 38mm 초과인 경우 66℃를 적용하였다. 용접속도는 23~35 cm/min으로 하였다.

3. 용접특성 시험

3.1 경사 y형 용접균열시험

3.1.1 시험 개요

경사 y형 용접균열시험은 강재의 저온 균열 특성을 평가하기 위한 자기구속형 시험방법으로 루트부에 응력집중이 커 용접부의 저온 균열 감수성을 평가할 수 있다. 본 시험은 그림 1과 같이 KS B 0870, y형 용접균열 시험방법에 따라 시험편(용접방법 : FCAW+CO₂)을 제작하여, 용접 48시간 경과 후 시험편을 절단, 균열유무를 육안 및 확대경을 사용하여 관찰, 용접성능을 평가하였다.

시험에 사용된 시험편은 시편체취를 위하여 선택된 형강의 플랜지를 대상으로 하여 각 두께별로 2개씩 제작하여 시험하였다. 시험에 사용된 시험편 명 및 수량은 표 3에 나타내었다.

3.1.2 시험결과 분석

그림 2에 y형 용접균열시험 시험체의 용접 48시간 경과 후 용접단면 결과를 나타내었다. 그림에서도 확인 할 수 있듯이 경사 y형 용접균열 시험결과 시험편의 두께와 관계없이 모든 시험편에서 용접 후 균열이 발생하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 실험 결과에서 SHN400 강재는 용접에 적절한 저온균열특성을 나타내었다.

표 3. 경사 y형 용접균열 시험편

시험체명		채취부위	판두께	개수
A type	YFA	플랜지	50mm	2
B type	YFB	플랜지	37mm	2
C type	YFC	플랜지	24mm	2

그림 2. 경사 y형 용접균열 시험결과

3.2 용접이음부 경도시험

3.2.1 시험목적

열영향부를 포함한 용접부는 급격한 온도의 변화를 겪게 될 우려가 크고, 이로 인하여 금속조직의 변화가 발생할 수 있다. 이러한 조직 변화 중 경화조직의 발생은 용접부의 저온균열을 유발할 가능성이 크므로 적절한 용접성의 확보를 위해서는 강재의 용접 이후 경화조직 발생이 방지되어야 한다. 도로교 표준시방서(2005)에 따르면, 용접부 최고경도가 370Hv를 초과하지 않을 경우 예열 없이도 용접이 가능한 것으로 언급되어 있다.

이음부 경도시험은 용접에 의한 경화조직 발생 여부를 조사하여 용접성에 미치는 영향을 평가하기 위한 시험으로 그림 3과 같이 FCAW+CO₂ 용접이 된 보 플랜지 용접 이음부 두께

그림 3. 용접이음부 경도 시험편 상세

표 4. 용접이음부 경도 시험편

시험체 명		채취부위	판두께	개수
A type	HVFAF	플랜지	50mm	1
B type	HVFBF	플랜지	37mm	1
C type	HVFCF	플랜지	24mm	1

(a) HVFAF 시험편

(b) HVFBF 시험편

(c) HVFCF 시험편

그림 4. 용접이음부 경도 시험 결과

1/4 위치에서 모재부는 1mm, 열영향부는 0.5mm, 용착금속부는 1mm간격으로 KS B 0893 용접 열영향부의 최고경도 시험방법에 따라 비커스 경도기를 사용 경도 시험을 실시하였다. 시험에 적용된 시험편의 판두께 및 수량은 표 4와 같다.

그림 5. 용접이음부 평판인장시험편 상세

3.2.2 시험결과 분석

그림 4는 이음부 경도시험결과를 나타낸 것으로 용접부 전 반에 걸쳐 150Hv에서 240Hv 사이의 경도값이 나타났다. 시험결과 모재부(base metal)나 열영향부(heat affected zone) 보다 용착금속부(welding metal)에서 경도값이 가장 크게 나타났다. 이는 용접에 사용된 용접봉의 특성에 의해 나타난 결과라 판단된다. 그리고 모재부와 열영향부는 유사한 경도값 결과를 나타냈으나, 열영향부가 모재부보다 조금 큰 결과를 나타냈다. 하지만 전 용접부 모두 도로교 시방에서 예열이 필요한 용접조건(370Hv) 이하의 결과를 나타내어 용접 성능 측면에서 시방서의 요구조건을 만족하는 결과를 나타내었다.

3.3 용접이음부 평판인장시험

3.3.1 시험목적

SHN400 용접 접합부가 하중을 받을 경우 구조물의 연성 파괴를 유도하기 위해 비탄성 변형능력이 우수한 모재부가 최대내력 도달 이후 연성파괴 할 때까지 접합부에서는 파단이 발생하지 않고 적절한 하중 전달 기구를 유지해야 한다. 현재 KBC2009에서도 기둥-보 접합면에서의 파괴가 선행되지 않게 설계방법을 제안하고 있다.

따라서 SHN400강의 용접이음부 평판인장시험을 실시하여 용접이음부에서 모재에 기대되는 최대 강도 이상의 하중을

표 5. 용접이음부 평판인장 시험편

분류	시험편명	채취 부위	판두께 (mm)	시험 편수
A type	WT-F-50	플랜지	50	3
	WT-W-50	웹	30	3
B type	WT-F-37	플랜지	37	3
	WT-W-37	웹	19	3
C type	WT-F-24	플랜지	24	3
	WT-W-24	웹	13	3

그림 6. 용접이음부 평판인장시험 결과

발현할 수 있는지와 부재의 파단이 모재에서 발생하는지를 확인하였다.

SHN400강의 용접이음부 평판인장시험은 KS B 0801 규정에 따라 시험편이 제작 되었으며(그림 5 참조), 표 5에 사용된 시험편의 일람을 나타내었다. 인장시험은 KS B 0802 규정에 따라 2,000kN 성능의 만능재료시험기(UTM)를 사용하여 수행하였으며, 가력속도는 10kN/min으로 하였다.

3.3.2 시험결과 분석

KS D 3866에서 플랜지의 인장강도를 400~510 N/mm²의 범위로 제한하고 있다. 시험편 중 플랜지에서 채취한 시험편의 최대강도는 모두 제한 범위 내에 있는 것으로 나타났으며, 모든 시험체에서 파단은 모재부위에서 발생하였다(표 6, 그림 6 참조).

표 6. 용접이음부 평판인장시험 결과

분류	시험편명	채취 부위	최대강도(N/mm ²)			파단위치		
			1	2	3	1	2	3
A type	WT-F-50	플랜지	496	493	502	모재 부위		
	WT-W-50	웹	492	499	503	모재 부위		
B type	WT-F-37	플랜지	482	479	483	모재 부위		
	WT-W-37	웹	494	494	492	모재 부위		
C type	WT-F-24	플랜지	502	501	503	모재 부위		
	WT-W-24	웹	521	518	521	모재 부위

그림 7. 용접이음부 굽힘시험편 상세

표 7. 용접이음부 굽힘 시험편

분류	시험편명	채취 부위	판두께 (mm)	개수
A type	WB-F-50	플랜지	50	1
B type	WB-F-37	플랜지	37	1
C type	WB-F-24	플랜지	24	1

따라서 본 시험 결과에서는 모재 파단시까지 용접이음부의 하중 전달 성능에는 무리가 없을 것으로 나타났다.

그림 8. 굽힘시험 가력 종료 상황

WB-F-50

WB-F-37

WB-F-24

그림 9. 용접이음부 굽힘시험 결과

표 8. 용접이음부 십자형 인장시험편

시험체명	시험편명	채취 부위	판두께 (mm)	개수
A type	WO-F-50	플랜지	50	3
B type	WO-F-37	플랜지	37	3
C type	WO-F-24	플랜지	24	3

3.4 용접이음부 굽힘시험

3.4.1 시험목적

용접이음부 굽힘시험은 용접 이음부의 소성변형능력을 육안으로 확인하기 위한 시험으로, 제작된 시험편을 KS B 0804 금속재료 굽힘 시험방법에 따라 시험편을 구부려, 굽힘 시 표면의 터짐이나 기타 결점의 유무를 확인하는 시험이다. 본 시험을 통해 용접 접합부가 소성변형 후에도 취성파괴나 균열의 발생 없이 충분한 연성을 발현할 수 있는지를 확인 할 수 있다.

시험편은 각 단면의 플랜지를 이용하여 제작하였으며, 시험편의 형상은 그림 7에 나타내었다. 또한 시험편의 종류 및 수량은 표 7에 나타내었다. 굽힘시험은 1,000kN 성능의 만능재료시험기(UTM)를 사용하여 가력 하였다(그림 8 참조).

3.4.2 시험결과 분석

KS B 0804 굽힘시험 방법에 따라 시험편을 구부려, 굽힘 시 표면의 터짐이나 기타 결점의 유무를 확인한 결과 시험편을 180도로 굽힌 이후에도 용접부에 터짐이나 갈라짐 현상이 나타나지 않았다 (그림 9 참조). 따라서 본 시험 결과에서 SHN400 강재는 용접이음부에서 충분한 소성변형 능력을 발휘하는데 무리가 없는 것으로 나타났다.

그림 10. 용접이음부 십자형 인장시험편 상세

그림 11. 용접이음부 십자형 인장시험 가력

3.5 용접이음부 십자형 인장시험

3.5.1 시험목적

일반적으로 강구조물에서 가장 중요한 용접부위 중에 하나로 기둥-보 접합부를 들 수 있다. 이 경우 보 부재의 플랜지와 기둥 부재의 플랜지, 그리고 기둥 웹 부분의 연결판(continuous plate)이 용접되어 잔류응력에 따른 구속 등 불리한 조건이 발생할 우려가 크다. 따라서 이를 모사하여 용접

그림 13. 용접이음부 사르피 충격시험편 상세

성능 시험을 수행하는 것이 용접이음부 십자형 인장시험이다.

본 시험은 시험편의 최종 파단 발생 위치를 통하여 용접 건전성을 평가하게 된다. 시험은 KS B 0841에 준하여 진행되었다. 시험에 사용된 십자형 인장시험편을 표 8에 나타내었으며, 그림 10에 시험편의 개형을 나타내었다. 시험편의 제작시 용접은 FCAW+CO₂ 용접을 사용하였다.

가력은 보 부재의 플랜지 및 연결판에 해당하는 부재를 만능재료시험기를 통하여 인장 가력하여 최종 파단 위치를 평가하였다.

3.5.2 시험결과 분석

십자형 인장 시험 결과 시험편은 모두 모재부위에서 파단이 발생하였다(그림 12 참조). 따라서 본 시험 결과에서 SHN400 강재는 구조물의 주요 용접부위인 기둥-보 용접부에서 충분한 소성변형이 발생 할 때까지 이음부의 인장하중 전달성능에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

3.6 용접이음부 충격시험

3.6.1 시험목적

SHN400 관련 KS규격 및 건축구조기준에서는 모재의 사르피 충격 에너지(이하 CVN 인성) 관련 규정 사항은 있으나, 용접 이음부의 충격 에너지에 대한 별도의 규정은 없다. 하지만 용접부의 건전성과 모재에서 확보된 CVN 인성 유지를 위해서는 용접 이음부에서도 모재와 동등한 CVN 인성의

WO-F-50

WO-F-37

WO-F-24

그림 12. 용접이음부 십자형 인장시험 결과

표 9. 용접이음부 충격시험편

시험체명		채취부위	판두께	개수
A type	SFAF-WM	용착금속부	50mm	15
	SFAF-BD	본드부		15
	SFAF-HAZ	열영향부		15
B type	SFBF-WM	용착금속부	37mm	3
	SFBF-BD	본드부		3
	SFBF-HAZ	열영향부		3
C type	SFCF-WM	용착금속부	24mm	3
	SFCF-BD	본드부		3
	SFCF-HAZ	열영향부		3

확보가 요구된다. 따라서, SHN400 강재의 플랜지 부분을 FCAW+CO₂ 방법으로 용접하고, KS B 0809에 따라 충격 시험편을 채취하였다. 시험편은 용접부 중 용착금속부(W.M.), 본드부(Bond), 및 열영향부(HAZ)의 판두께 1/4 지점에서 각각 채취하였다(그림 13 참조).

시험방법은 모재의 충격시험과 동일한 방법(KS B 0810)에 따라 실시하였다.

충격 시험 온도는 시험편 제작 대상 단면 중 플랜지 두께가 가장 두꺼운 A type(H-458×417×30×50)은 온도별 충격 에너지 흡수치를 파악하기 위하여 -60℃, -40℃, -20℃, 0℃, +20℃의 온도별 시험을 실시하였으며, 나머지 단면에 대해서는 KS 규격에서 모재에 규정하고 있는 충격 에너지 평가 온도인 0℃에 대해서만 시험을 실시하였다.

표 10. 용접이음부 충격시험 결과

시험체 명		채취부위	시험온도(℃) [충격에너지 평균 : J(N·m)]				
			-60	-40	-20	0	+20
A type	SFAF-WM	용착금속부	12.6	16.4	27.4	47.1	63.3
	SFAF-BD	본드부	26.2	119.9	78.3	83.1	124.2
	SFAF-HAZ	열영향부	36.4	124.5	167.0	96.1	149.2
B type	SFBF-WM	용착금속부	-	-	-	40.1	-
	SFBF-BD	본드부	-	-	-	150.7	-
	SFBF-HAZ	열영향부	-	-	-	177.3	-
C type	SFCF-WM	용착금속부	-	-	-	24.6	-
	SFCF-BD	본드부	-	-	-	159.4	-
	SFCF-HAZ	열영향부	-	-	-	175.6	-

(a) 용착금속부(WM)

(b) 본드부(BD)

(c) 열영향부(HAZ)

그림 14. SFAF 시험편의 용접이음부 충격시험 결과

3.6.2 시험결과 분석

용접이음부의 충격시험 결과를 표 10에 나타내었으며, SFAF 시험편들의 온도별 결과 및 측정 부위별 평균값을 그림 14에 나타내었다.

KS 규격에서 모재에 제안하고 있는 0℃일 때 충격치 시험 결과를 살펴보면, 일부 용착금속부를 제외하고는 모두 KS 규

격에서 제한하고 있는 27J을 상회하는 결과를 나타내고 있다. 충격 에너지가 27J 이하의 결과를 나타낸 용착금속 부분(SFCF-WM)의 경우, 용접시 사용된 용접봉의 충격 특성에 영향을 받는 부분이다. 따라서 모재의 충격 및 용접 성능과는 관계없다. 이러한 문제는 타 시험편에서도 용착금속부의 충격 에너지가 본드부나 열영향부 결과에 비해 낮게 나타난 것으로 확인 할 수 있다.

그리고 시험편 제작 판두께가 증가할수록 용접이음부의 충격 에너지가 감소하는 것으로 나타났다. 용접시 주의가 필요한 열영향부(HAZ)를 기준으로 보았을 때 약 1.8배 정도 충격 에너지 차이를 보이고 있다. 따라서 판 두께가 두꺼운 부재의 경우 적절한 충격치 확보를 위한 노력이 필요할 것으로 판단되며, 건축구조기준에서 내진설계시 판두께 40mm 이상 일 경우 0℃ 27J 이상의 충격 에너지를 요구하고 있는데 이를 위한 적절한 강종 선택이 중요할 것으로 판단된다.

SFAF 시험편에서 수행된 온도별 충격 에너지 특성을 살펴보면 용접봉 금속의 특성이 반영된 용착금속부를 제외하고, 모재의 특성이 반영된 나머지 부분에서는 -40℃ 수준에서도 KS에서 요구하는 27J 이상의 충격 에너지를 나타내고 있다. 따라서 SHN400 강재는 용접 이후에도 모재에서 요구되는 수준 이상의 충격 에너지를 확보 할 수 있는 것으로 판단된다. 다만, 적절한 수준의 용접 이음부 충격 에너지 확보를 위해서는 용접봉의 선택시 충격 에너지에 대한 각별한 고려가 필요 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

KS의 건축구조용 강재인 SHN400의 용접특성을 평가하기 위해 수행한 금번의 시험적 연구를 통해 파악된 결과를 간단히 요약하면 다음과 같다.

- (1) 경사 y형 용접 균열 시험 결과 모든 시험편에서 용접후 균열이 발생하지 않았다.
- (2) 모재부, 열영향부, 용착금속부에 경도 시험을 실시한 결과 경도값 150Hv에서 240Hv로 용접에 적절한 결과값을 나타냈다.
- (3) 용접이음부 평판인장시험결과 모든 시험편에서 파단은 소성변형 능력이 우수한 모재부위에서 발생하였다.
- (4) 이음부 굽힘시험 결과, 모든 시험편에서 충분한 소성 변형 이후에도 용접부 터짐현상이 나타나지 않았다.
- (5) 기둥플랜지와 보플랜지의 용접 이음부를 모사한 용접이음부 십자형인장시험결과 모든 시험편에서 파단은 소성

변형능력이 우수한 모재부에서 발생하였다.

- (6) 용접이음부 충격시험결과 용접봉의 특성에 영향을 받는 용착금속부를 제외한 모든 시험편의 본드부, 열영향부에서 KS 규격치인 0℃ 27J을 상회하는 충격 에너지 결과를 나타내었다.
- (7) 이상의 용접 시험 결과 SHN400 강재는 KS에서 규정된 건축구조용 강재에 요구되는 용접 성능을 적절히 만족하고 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 김종락, 김상섭, 이철호, 이은택, 백기열(2008) 600MPa 급(SM570TMC) 강재의 소재 및 용접특성에 관한 연구, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제6호, pp. 773-781.
- 대한건축학회(2009) 국토해양부 고시 건축구조기준, 대한건축학회.
- 한국강구조학회(2009) 하중저항계수설계법에 따른 강구조설계 기준, 한국강구조학회, 구미서관.
- 한국도로교통협회(2005) 건설교통부 제정 도로교표준시방서, 한국도로교통협회.
- 한국표준협회(2007) 금속 재료 인장 시험편 (KS B 0801), 한국표준협회.
- 한국표준협회(2003) 금속 재료 인장 시험 방법 (KS B 0802), 한국표준협회.
- 한국표준협회(2001) 금속 재료 충격 시험편 (KS B 0809), 한국표준협회.
- 한국표준협회(2003) 금속 재료 충격 시험 방법 (KS B 0810), 한국표준협회.
- 한국표준협회(2001) 금속 재료 굽힘 시험 (KS B 0804), 한국표준협회.
- 한국표준협회(2006) Y형 용접 균열 시험 방법 (KS B 0870), 한국표준협회.
- 한국표준협회(2006) 용접 열영향부의 최고 경도 시험 방법 (KS B 0893), 한국표준협회.
- 한국표준협회(2006) 금속 재료 용접부의 파괴 시험-십자 및 겹치기 이음 인장 시험 (KS B 0841), 한국표준협회.
- AISC (2005) *Seismic Provisions for structural steel buildings*, American Institute of Steel Construction.
- FEMA (2007) NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures: Training and Instructional Materials, FEMA, USA.
- (접수일자 : 2011. 9. 15 / 심사일 2011. 9. 18 / 심사완료일 2012. 2. 2)