건축구조용 강재의 종류 및 신강재의 특성

한덕희 | 기술개발부차장| 02)3433-7726 | dhhan515@dreamwiz.com

1. 구조용 강재의 종류

강구조물에 사용되는 구조용 강재는 인장강도에 의하여 보통강과 고장력강으로 용접성에 따라 일반구조용강과 용접구조용강으로 구분된다. 그리고 강도의개선방법에따라비조질강과조질강, 내기후성에 대하여 내후성강과 저온강으로 구분된다. 철골구조용강재로사용되는강재는<표 1>에 명시된 KS규격품으로한다.

<표1> 구조용강재의 KS규격품

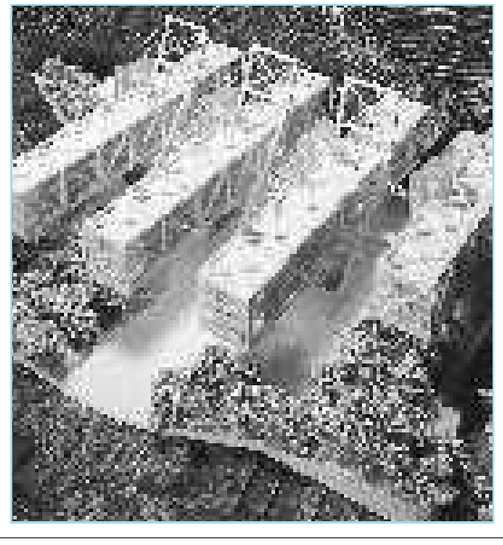
규격	명칭및종류
KSD3503	일반구조용 압연강재 SS 400(SS 41), SS 490(SS 50), SS 540(SS 55), SS 330(SS 34)
KSD3515	용접구조용 압연강재 SM 400 A(SM 41A), SM 400 B(SM 41B), SM 400 C(SM 41C) SM 490 A(SM 50A), SM 490 B(SM 50B), SM 490 C(SM 50C) SM 520 B(SM 53B), SM 520 C(SM 53C), SM 570 (SM 58) SM 490 YA(SM 50YA), SM 490 YB(SM 50YB) ※ 부속서 1, 2의규정에따른 열가공 제어(TMC)도 병기할 수있다.
KSD3529	용접구조용 내후성열간 압연강재 SMA 400 AW(SM 41AW), SMA 400 BW(SM 41BW), SMA 400 CW(SM 41CW) SMA 490 AW(SM 50AW), SMA 490 BW(SM 50BW), SMA 490 CW(SM 50CW) SMA 400 AP(SM 41AP), SMA 400 BP(SM 41BP), SMA 400 CP(SM 41CP) SMA 490 AP(SM 50APW), SMA 490 BP(SM 50BP), SMA 490 CP(SM 50CP) SMA 570 W(SM 58 W), SMA 570 P(SM 58 P)

1-1 보통강(Mild Steel)과 고장력강(High Strength Steel)

구조용강은인장강도에따라보통강과고장력강으로구별된다.

보통강은 일반적으로 탄소함유량이 0.12 ~ 0.25% 정도의강으로서, 연강또는저탄소강이라하며인장강도는40kg/㎟미만이다.

고장력강은합금강과탄소강이있으며최소인장강도가 50kg/㎟이상이고, 50kg/㎟급은 비조질강으로 만들어지고 58kg/㎟급(SM570)은 조질강으로만들어진다.



1-2 일반구조용강과용접구조용강

강구조에사용되는강재는볼트, 용접등접합재료를제외하고크게2가지로일반구조용강과용접구조용강으로분류한다.

일반구조용강은 SS재로 불리며 KSD3503(일반구조용 압연강재)에 규정된 SS330, SS400, SS490, SS540의 4종류가 있다. 대부분 림드강으로 제조되기 때문에 용접성이 떨어지나 SS400의 중간정도 두께(2.3mm ~ 2.5mm)의강판에서는 비교적 용접성이 양호하기 때문에 용접구조용에 준해서 사용되고 있다.

용접구조용강은 SM재로 불려져 KSD3515(용접구조용 압연강재)에 SM400, 490, 490Y, 520, 570의 5종류가 있다. 용접성이 우수하여 용접이 주가되는 구조물에는 반드시 사용되고 있다. 이 재료는 킬드강으로 만들어지고 또 SM490 이상은 용접성을 좋게 하기 위하여 탄소량을 일정량 이하로 제한하고 있다.

1-3 조질강과비조질강(성분조정강)

강재의 강도를 높이는데 화학적 성분을 조정하는 방법과 화학성분의 개량과 담금질(Quenching) 및 어닐링(Annealing)열처리 방법에 의하는데 전자를 비조질강, 후자를 조질강이라 한다. 비조질강은 용접성에 유해한 탄소량을 일정한 한도 내로 제한하고 그 대신에 다른 합금원소(Mn, Si, Ni, Cr, Mo, Ti, V 등)을 소량첨가해서 성분조정을 하여 연성이나용접성을손상하지않도록강도를높인강재를말한다.

조질강은 비조질강의 한계를 넘는 높은 고장력강을 얻기 위하여 개발된 제조의 최종공정으로 열처리를실시한강재이다.

그러나 이 강재는 입열량이 많아 용접방법으로 가공시에는 조질 효과를 잃어버릴 염려가 있기 때문에 주의가필요하다.

2. 건축구조용 TMCP강재(Thermo Mechanical Control Process Steels)

2-1 개요

최근건축물의고층화, 거대화에따라강재는고강도화, 극후판화 되어가는 경향을 나타내고 있다. 초고층건축물의 주부재는 주로 490N/㎟강재가 사용되고 있으며, 40mm를 초과하여 100mm 정도 까지의극후판강재가사용되는경우도많아지고있다. 또한 내진설계에 있어서는 강재의 소성변형 능력이 중요한 설계인자이므로 중요시되고 있다. 지금까지 건축구조에사용되고있는강재는 KS에규정된허용응력도의 기준강도에 준하고 있다. 그러나 초고층건축물에 사용되고 있는 490N/㎟및 520N/㎟강재의 판두께에 대해서는 다음과 같은 문제점이 지적되고있다.

①판두께가 40mm를초과하는경우기준강도가약10% 낮기때문에설계상필요한판두께가증가한다.

② 판두께가 두꺼우면 강도를 확보하기 위하여 합금원소의 첨가량이 증가하여용접성이저하된다. 따라서용접시공관리가어렵게된다.

③종래의강재에서도용접성을개선할수있지만항복비가높아진다. 또, 이러한 방법의 경우는 압연온도가 낮기 때문에 초음파탐상시 음향이방성이생긴다.

④ 항복비의상한규정이없고소성후의에너지흡수성능이불명확하다.

이러한 문제점은 새로운 강재제조법(TMCP)에 의해 해결되며, 기준강도의 상승, 저항복비, 용접성, 및 인성에 대한 성능향상이 가능하다. 이와 같이 새로운 강재제조법에 의한 강판의 경우는 판두께 40mm를 초과하여도기준강도의저감이필요없다. 우리나라의 경우 POSCO에서 건축구조용 TMCP강재를 생산하고있으며, 한국강구조학회를중심으로TMCP강재에 대한성능평가가실시되었고, 인천국제공항을비롯하여많은건축구조물에TMCP강재가사용되고있다.

2-2 TMCP강재의특징

일본철강제조업체에서는항복내력이 325N/㎟ 및 355N/㎟급 2종류의 건축구조용 TMCP강재에대한공통규격을설정하여인정을취득하였다. 건축구조용 TMCP강재는 극후판 부재까지 고용접성을 전제로 하고 있으며, 이러한 TMCP강재의 제조방법은 제어냉각에 의한 합금원소 첨가량, 즉 Ceq, Pcm을저감시킨것이다.

일반강의탄소당량은 Ceq≤0.44%인것에비하여 상당히 낮은 값이다. 또한 일반강에 대해 KS에서는 판두께가 두꺼울수록 항복점의 하한치가 낮게 되는 반면에 TMCP강재는 판두께에 관계없이 일률적으로 항복점의 하한치를 정하고 있다. 이러한 값은 동일 판두께의 일반강에 비해 약 10% 정도 높게 규정되어있다.

따라서 일반강에 비해 허용응력도의 기준강도를 높게 설정할 수 있으며, 구조설계시 유리하게 된다. 한편 골조의 변형능력을 확보하기 위해 일반강의 KS규준에는 없는 항복비를 새롭게 규정하고 있다. 일반강에서는 대체로 항복비가 높아지는 경향이 있지만, TMCP로제조하는경우에는강재의미크로조직 제어에 의해 항복비를 80% 이하로 제어하는 기술이 확보되었다고 할 수 있다. 위에서 서술한 바와 같이 건축구조용 TMCP강재는 다음과 같은 특징을 가지고있다.

① 기준강도가40mm 이하의 SM재와동일하며, 설계상필요한 판두께에 연속성을 얻을 수 있어 일반강에 비해 박판화할 수 있다.

② 탄소당량(Ceq), 용접균열감수성조성(Pcm)이 같은 급의 일반강보다낮게규정되어있으며, 용접성이향상된다.

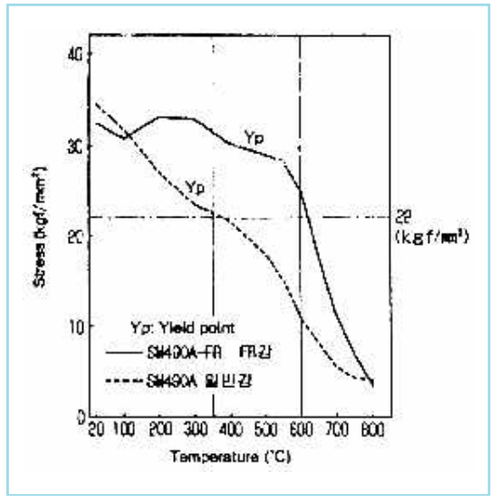
③항복비가80% 이하로규정되어있어부재로서의소성변형에너지의흡수능력이높다.

④용접성이향상되어예열조건을대폭적으로완화할수있으며, 가열교정후재질변화가적다.

3. 건축구조용 내화강재(FR강)의 특징

강구조는 화재시 발생되는 화열에 의하여 강재의 온도가 고온에 빨리 도달되고, 또한강재는 열에의하여 강도 저하 및 열응력의 발생 등 내화 성능상의 단점을 가지고 있다. 따라서 강구조는 내화에 대한 결점을 보완하기 위하여 각종 내화피복구법 및 공법을 이용하여 내화 구조로 설계되어야 한다. 현재, 강구조의 내화성능을 향상시키기 위해 사용하는 방법은 강재에 내화피복을 사용하는 방법과 강재의 고온성능이 우수한 건축구조용 내화강(FR강)을 이용하는 방법이 있다. 내화강을 이용하는 방법은 강재의 조성에 변화를 주어 고온에서 강재의 기계적성질을 개선시켜내력저하가기존강재보다적게일어나도록 개발한신강재를이용하는방법으로서요구내화성능에 따라 내화피복공사가 필요하지 않거나 피복의 정도를절감하는방법이다.

보통의 경우 강재의 온도가 100℃를 초과하면 응력-변형도 곡선이 비선형이 되면서 항복점이 분명히 나타나지 않으며 온도상승에 따라 강재의 탄성계수, 항복강도, 인장강도가 감소하고, 400~500℃ 범위에서감소율이최대가된다. 시공적인측면에서화재시의강재의허용온도를평균 350℃ 이하가되면내화피복을 의무적으로 실시함으로써, 열에 의한 강도의 저하를 방지하고 있다. 350℃ 이하로 규정한 것은 [그림 1]에서 보여 주듯이 일반강이 이온도 부근에서 상온의 2/3(장기허용응력도 기준)까지 저하하여, 화재시 건축물에 요구하는 항복점보다 저하하기 때문이다. 고층빌딩에서 요구되는 3시간 내화를 예로들면화재시 1000℃ 정도의온도에서3시간동안 가열되는 경우에도 철골온도가 350℃ 이하로 유지하도록하기위해서는약 5cm 정도의피복이필요하다. FR강은고온시항복점이장기허용응력도를기준으로 600℃까지 유지하는 것을 보증하고 있다(Mill Sheet에기재).



[그림1] FR강과일반강의고온내력비교

화재시의 온도는일반적으로 약 1000℃이므로 일반강에서는 350℃까지 단열할 수 있는 내화피복이 필요하지만, FR강에서는 이를 600℃까지 단열해도 되므로 내화피복을 큰 폭으로 경감시킬 수 있다. 또한건축물의화재조건, 설계조건에따라화재시의강재의 온도가 600℃를 넘지 않는 경우는 무피복으로 사용할수도있다.

FR강의특징을요약하면아래와같다.

①고온내력이일반강과비교해서현저히높다(600℃에서의항복점 이상온내력의2/3 이상을보증한다).

② 상온시 성능은 용접구조용 압연강재의 규격(SMS400, SMS490)에합치한다(상온에서의설계는종래대로한다).

③일반강과동등의시공성을갖는다(일반강과같은방법이나모양의 절단용접이가능하다).

④ 700℃까지의열이력에서는냉각후상온시기계적성질에서재현성이있고 화재 후에도재사용이가능하다. 또한 고온에서의크리프변형이작으므로화재시건축물의변형을적게할수가있다.

⑤ FR강사용시유의사항

FR강을 건축물의 골조에 사용하는 경우에는 이러한 강재 부재의 내화성능이외에 골조전체의내화성능을 확인할필요가 있다. 이것은 FR강의강재온도(최대 600℃)가일반강(최대 350℃)과 비교해서높고종래의내화가구인건축물과비교해서골조의열변형이크게되기때문이다. 특히화재시보의열팽창에의해주로외측기둥에 크게 열변형이 생기며, 국부좌굴의발생등에의해기둥의 하중지지능력이 저하될 우려가 있기 때문이다. 이러한 큰 변형을 받는 FR강 기둥의 하중지지능력은 고온 휨좌굴시험에 의해 확인할수있다.

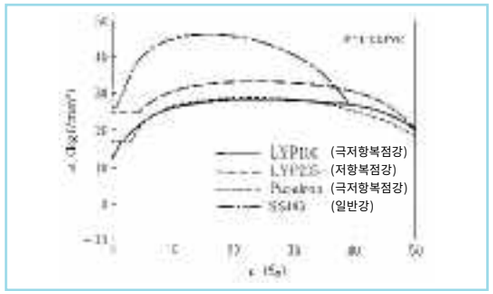
한편 접합부에는 강재와 동등 이상의 내화성능을 가지는 FR강용 용접재료, 고력볼트를 사용해야 하며, 현재 내화강은 종래의 용접구조용강재인 SMS400, SMS490을 중심으로 한 후판 및 H형강 등이실용화단계에있다.

4. 저항복점강 및 극저항복점강

내진설계기술의 진보에 따라 면진구법 또는 제진구법이 적극적으로 채용되어 왔다. 여기서 소개하는 저항복점강및극저항복점강도제진구법에사용되는 새로운강재이다.

제진구법에 사용되는 디바이스(댐퍼)등에서 에너지감쇄형 댐퍼에는 점성댐퍼, 탄소성댐퍼, 마찰댐퍼 등이있는데, 저항복점강및극저항복점강은이중탄소성댐퍼에사용되고있다. 그원리는보통주가구의 강재보다훨씬항복점이낮은이강재를지진시조기에 항복시킨 것으로 지진에너지를 강재의 소성에너지로 변환하여 제진효과를 발휘시킨 것이다. 저항복점강 및 극저항복점강을 사용한 제진 디바이스는 다른 디바이스에 비해 염가이면서 신뢰성이나 내구성도 높으므로 실용화에 적합한 연구개발이 급속히 진전되고있다.

여기서 항복내력이 JIS G3136의 SN400에 해당하는 235N/㎟인 것을 저항복점강, 100N/㎟인 것을극저항복점강이라고한다.

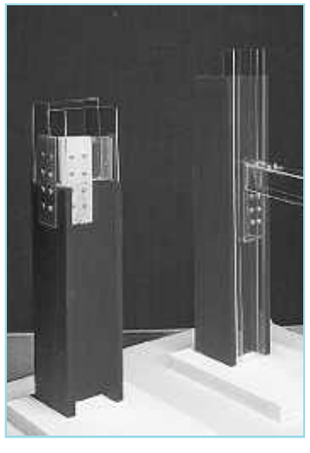


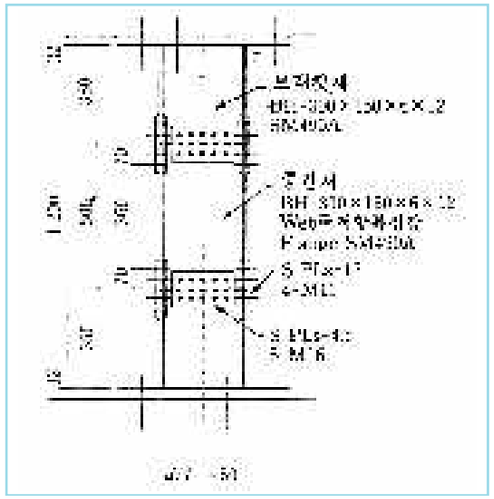
[그림2] 강재의응력-변형곡선의비교

[그림 2]에 저항복점강 및 극저항복점강의 응력-변형곡선의예를SS400과비교하여나타내고있다.

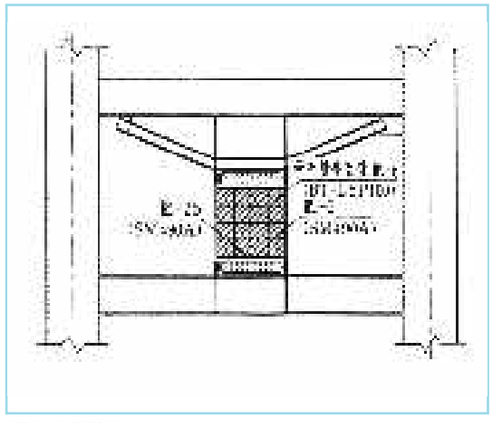
이력감쇠형의 댐퍼용 강재는 지진시에 다른 기둥보 등의 구조부재에 선행하면서 설계에서 목표로 한 응력수준으로 소성화하는 것이 필요하다. 다른 부재에 선행하여 소성화시키는 데는 형상이나 사용방법에 의해서도 가능하지만 항복내력이 낮은 특성을 가진 강재를 사용하는 것으로 목적이 쉽게 달성된다. 이 때문에 우선 댐퍼용 강재에서는 항복강도가 낮은 것과항복점의편차가가능한좁은범위에있는 것이 요구된다. 또 지진시의 댐퍼는 큰 소성역에 대한 반복을 받게 된다. 이런 이유로 우수한 신장성능과 저사이클 피로특성도 중요하다. 현시점에 있어서는 탄소성댐퍼용의 강재로서 명확한 성능 요구값이 정해져 있지 않다.

강재에 대해서는 여러 제조사(일본)가 제조하고있으나, 통일된 규격화에는 아직 이르지 않고 각사 독자적으로 상기 성능요구에 대응한 재료를 제공하고있다.





[그림3] 제진샛기둥



[그림4] 제진패널

5. 건축구조용 강재에 관한 일본의 신JIS규격의 소개

5-1 규격제정의취지와경위

건축구조용으로 SS400 및 SM490A가 주로 사용되어 왔다. 다만, 이것들은 건축 이외의 일반적인 용도에도사용되므로, 화학성분과기계적성분등에관한 규정항목이 비교적 적은 강재이다. 한편, 1981년 6월에신내진설계법이 시행되어, 철골조건축물에서는강재의소성변형능력을활용해서지진입력에너지를 흡수하게 하여 건축물의 내진안전성을 확보하도록 하였다. 이러한 상황에서 JIS규정을 만족하고 있는 SS400과SM490A 등의강재를사용하면, 신내진설계법의 취지와 건물 고유의 사용상황에 대하여 불합리한 점이 생길 가능성이 내재되어 있다. 실제로 1989년경에 JIS규격치를 모두만족하는용접구조용압연강재(SM재)로 철골건축물을 일반적인 용접공법으로조립했을때, 강판이개열하는사고가각지의 철골가공공장에서 발생하여 사회문제가 된 것도 그 일례이다.

이 문제를 중시한 일본정부에서는 공업기술원으로 하여금 SM재의 규격인 JIS G 3106의 개정작업을 하도록 지시하였다. 또한 일본건축학회에서도 공업기술원에대해건축구조에쓰이는강재의 JIS규격 개정에 대한 요망이라는 요망서를 제출하였는데, 그중에서 현행 JIS 규격의 개정 또는 건축구조용강재로서의 규격제정을 제언하는 내용을 담았다. 이러한 일련의 사회적 동향에 대응하여 공업기술원은 단기적대응으로서 JIS G 3160의개정, 그리고 장기적인 대응으로서 신규격의 제정을 착수했다. 이렇게 해서 제정된 규격이 건축구조용압연강재, 통칭 SN 규격이다.

5-2 규격내용및해설

새로운건축구조용강재에는신내진설계법의취지에 따라 건축 고유의 사용상황에서의 신뢰성을 높이기 위하여 구체적으로 다음과 같은 요구사항들이 열거되었다.

- ●소성변형능력의확보
- ●용접성의확보
- ●판두께방향성능의확보
- ●공칭단면치수의확보
- ●사용부위를고려한최적의강종선택

이러한요구에대해서, 적정한코스트범위에서과잉품질의규격이되지않도록심의가진행되었는데, 그 결과 SN재는 다음과 같은 점을 중심으로 규정되었다.

1) 강재의 강도 수준은 건축분야의 현상을 고려하여 400N급과 490N급의2종류로한다.
2) 건축물에서사용범위를고려하여 400N급에서는종류를A, B, C의3가지종류로, 490N급에서는B, C의2가지종류로구분한다.
   여기서 A종은 2차부재나 트러스와 같이 탄성범위에서 사용하고 용접을하지않는경우를주된용도로하는강종이다.
   B종은소성변형성능과용접성의확보를 의도한것으로 내진상주요한구조부재를주된용도로한다.
   C종은B종의성능에 판두께 방향의단면 수축률과 UT검사를 규정한 것으로 용접조립상형단면기둥(4면 박스 기둥)의 스킨플레이트와같이판두께방향의성능을중시하는것을주된용도로한다.
3) 강종의구분에따라다음과같이기계적성질의규정을정한다.
   ●항복점의상한치규정
   ●항복비의상한치규정
   ●두께방향단면수축률의하한치규정
   ●샤르피치의하한치규정
4) 용접성의 확보를 위해 탄소당량(Ceq) 또는 용접균열감수성조성(Pcm)의 상한치 규정을 정하고, Ceq의 계산에 이용되는 미량원소도밀시트에표시한다.
5) 공칭단면치수의확보를위해마이너스측의판두께허용오차를엄격히한다.
   이러한 요구와 규정을 만족하는 건축구조물에 이용되는 강판, 강대, 형강및평강등의열간압연강재를대상으로한것으로냉간성형된강관등은이규격의대상이아니다.

참고문헌

강구조기술총람(건축편), (사) 일본강구조협회