

고강도철근(SD500)의 실용화에 대한 연구

- A Study on the Practical Use of High-strength Bar -



김종수*

Kim, Jong Soo



김대영**

Kim, Dae Young



은성운***

Eun, Sung Hun



김용남****

Kim, Yong Nam

1. 개요

현재 국내에서 일반적으로 사용되는 철근인 SD400급의 철근보다 고강도의 특성을 가지는 SD500급의 철근이 얼마 전 개발되었다. 골조 공사에서 SD500 철근을 사용할 경우 철근의 물량이 감소하고 부재에서 배근 간격을 여유 있게 만들 수 있어 골조 품질 또한 높아진다는 것은 주지의 사실이다. 특히, 요즘 많이 건설되고 있는 고층의 주상복합 건물 등의 사례에서 철근 콘크리트 부재의 품질이 저하될 정도로 과다한 배근이 적용되고 있다는 점은 이미 현장과 학계에서 여러 차례 문제점으로 지적된 바 있으며, 이에 따라서 고강도 철근의 실질적인 적용이 시급하다는데 여러 건설 관계자들의 의견이 모아지고 있다.

이러한 시대적 요구에 부응하기 위해서 "INI STEEL(주)", "(주)CS구조엔지니어링", "(주)대우건설 기술연구소"가 공동으로 SD500 철근의 실용화에 대한 연구를 2002년 1월 ~ 2002년 4월까지 수행하였고, 본 기사는 그 연구 결과를 요약한 것이다.

2. SD500 철근의 재료특성 및 기계적 이음성능 평가

직경이 각각 D25, D29, D32인 SD500 철근으로 인장 실험을 수행한 결과 <표 2.1>에서와 같이 모두 우수한 성능을 나타내었다.

KS규격에 따른 SD500 철근의 굽힘 시험에서도 굽힘부 바깥쪽의 터짐 및 기타

표 2.1 SD500 철근의 특성

	항복점 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	항복비	연신율
D25	517	698	0.74	22%
D29	516	688	0.75	24%
D32	565	711	0.79	23%

* [KS D 3504] 항복점 : 500 N/mm² 이상, 인장강도 : 620 N/mm² 이상, 연신율 : 12% (D25 이하), 14% 이상 (D25 초과)

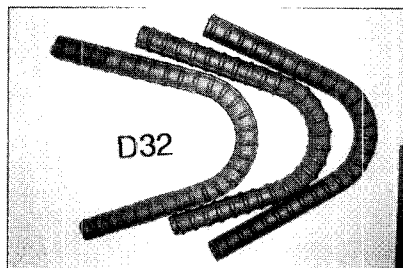


그림 2.1 D32 굽힘시험 결과

결점이 관찰되지 않아 모두 우수한 가공 성능을 보이는 것으로 나타났다. <그림 2.1>에 D32 철근에 대한 굽힘 실험 결과를 나타내었다.

고강도 철근의 실용화를 위해서는 철근의 기계적 이음 등을 사용하여 철근 이음길이의 증가를 억제하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 SD500 철근용 기계적 이음장치를 생산하는 국내의 3개 업체 제품에 대해서 일본 건축센터 규준에 따라서 인장실험 및 정부 반복실험을 수행하여 SD500 철근용 이음장치의 성능을 검증 하였다. 실험 결과, 제품마다 미소한 차이는 있었지만 3개사 제품 모두 규준이 정하는 제한을 만족하여 우수한 성능을 나타내는 것으로 확인되었다. <그림 2.2>에 기계적 이음장치에 대한 실험 장면을 나타내었다.



그림 2.2 이음장치시험

* 정희원, (주)CS구조엔지니어링, 대표이사
 ** 정희원, (주)대우건설 기술연구소, 책임연구원
 *** INI STEEL(주), 부장
 **** (주)CS구조엔지니어링, 대리

3. SD500 철근 관련 규준 분석

여기서는 1999년에 제정된 “콘크리트구조설계기준”에 따른 SD500 철근 관련 사항에 대해서 살펴보기로 한다.

세부적인 사항에 들어가기에 앞서 SD500 철근과 관련된 일반적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

① 콘크리트구조설계기준, 3.3.4항에서는 “철근의 설계기준항복강도 f_y 는 5,500 kgf/cm²를 초과하지 않아야 한다”고 규정하고 있다.

☞ 일부 용도를 제외하면 SD500 철근을 구조설계용으로 사용할 수 있다.

② 콘크리트구조설계기준, 2.2.3항의 (4)에서는 “철근, 철선 및 용접철망의 설계기준항복강도 f_y 가 4,000 kgf/cm²를 초과하는 것은 f_y 값을 변형률 0.0035에 상응하는 응력의 값으로 사용할 수 있다”고 규정하고 있다.

☞ SD500 철근의 실험에 의하면 변형률 0.0025 정도에서 이미 f_y 값이 5,000 kgf/cm² 이상이 되므로 SD500 철근의 설계에 f_y 값으로 5,000 kgf/cm²를 적용할 수 있다.

③ 콘크리트구조설계기준, 7.3.4항의 (2)에서는 “전단철근의 설계기준 항복강도는 4,000 kgf/cm²를 초과하여 취할 수 없다. 다만, 용접 이형철망을 사용하는 경우는 전단철근의 설계기준항복강도는 5,500 kgf/cm²를 초과하여 취할 수 없다”고 규정하고 있다.

☞ SD500급의 일반 이형철근은 전단 보강용으로 사용할 수 없다.

휨재의 휨강도는 다음의 식에 의해서 결정되며, 철근 강도의 변화에 따라 철근 비도 같이 조정되기 때문에 두 번째 항의 ρf_y 는 상수가 되어 결국 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체하면 20%의 철근 단면적을 감소시킬 수 있다.

$$M_n = \rho f_y b d^2 (1 - 0.59 \frac{\rho f_y}{f_{ck}})$$

휨재의 경우 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 최소철근비는 20%가 감소한다. 휨재의 최대철근비는 SD500 철근으로 대체시 약 27% 정도 감소하여 휨재의 최대 내력은 약 7% 정도 감소하게 된다. 그러나 휨재의 실제 설계시 최대철근비까지 배근되는 부재는 거의 없으므로 최대철근비의 감소는 설계에 큰 영향을 미치지 않는다.

압축재의 경우에도 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체할 경우 20%의 철근단면적을 감소시킬 수 있다. 그러나 압축 부재는 전체 압축강도가 콘크리트와 철근의 선형 조합으로 결정되고, 철근보다는 콘크리트에 의한 압축내력 분담비가 크기 때문에 철근비를 고정하고 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체하여도 부재의 압축강도는 25%가 증가하지 않는다. 따라서 압축부재에서는 철근비가 클수록 고강도 철근을 사용하는 효과가 증대된다.

균열폭은 국내 기준상 다음의 식에 의해서 결정되는데, 고강도 철근을 사용할수록 식의 f_s 값이 증가하므로 철근의 직경을 바꾸지 않는다면 w 를 유지하려면 A 값이 커져야하기 때문에 SD500 철근을 사용하였을 때 다소 불리하게 계산된다.

$$w = 1.08 \beta_c f_s \sqrt{d_c A}^{\frac{1}{3}} \times 10^{-5} (mm)$$

SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 1방향 구조의 최소두께는 식에 의해서 약 14%가 증가하고 2방향 구조에서는 테두리 보의 강성비와 경간 등에 따라서 다소 다르지만 최소두께는 약 6~7% 정도 증가한다. 탄성 해석에 의해서 처짐량을 직접 계산할 때에는 f_y 가 처짐량에 직접 영향을 주는 변수는 없지만 균열단면이 발생하면 균열단면 2차모멘트의 계산시 인장철근비와 압축철근비가 영향을 미친다. 따라서 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체하였을 때는 휨철근비가 감소하여 균

열단면 2차모멘트는 다소 증가한다. 그러나 처짐량 검토에서 문제가 되는 장기처짐의 경우 SD500 철근으로 대체시 증가율은 6%~7% 정도로 설계에 큰 영향을 주지 않는다.

압축철근 이음길이를 제외하면 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 이음길이 및 정착길이는 5,000/4,000의 비율인 25% 만큼 증가한다. 압축철근 이음길이의 경우 SD400 철근과 SD500 철근을 사용할 때 산정식이 다르며 철근의 직경별로 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 37~42% 정도 이음길이가 증가한다.

수축 및 온도철근에 대한 최소철근비는 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 20% 감소한다.

4. 부재별 설계 적용

보의 경우는 3장에서 언급했듯이 전단철근으로는 SD500 철근을 사용할 수 없고 주근의 경우 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 보 단면에서 20%의 철근 단면적을 감소시킬 수 있다. 그러나 실제 배근시 철근수는 올림을 하여 정수로 결정되므로 실제 철근 단면적 감소율은 이보다 조금 낮은 18%~19% 정도가 된다.

설계시 일반적인 폭/깊이 비를 가지는 보에서는 균열폭 제어에 의한 주철근의 배근량 증가가 거의 없지만 폭/깊이 비가 큰 납작보에서는 SD400 철근을 사용할 때에도 균열폭 제어에 의해서 다소의 철근량이 증가한다. 이러한 경향은 3장에서 언급했던 이유 때문에 SD500 철근을 사용할 때는 다소 두드러지며, 납작보 시스템을 적용한 몇 개의 실제 프로젝트에 균열폭 제어를 포함하여 SD500 철근 대체시의 배근량 감소율을 조사해본 결과 약 11~12%로 SD400 철근과 SD500 철근의 가격 차이와 이음길이의 차이를 고려하면 납작보에서는 SD500 철근의 효율이 많이 저하됨을 알 수 있었다.

일반적인 폭/깊이 비를 가지는 연속보에서 SD400 철근을 SD500 철근으로 대

체할 때, 이음길이까지 고려한 철근 감소량을 검토한 결과를 다음의 <표 4.1>에 나타내었다. 표의 값은 보 단면에서 철근 단면적 감소량을 19%로, f_{ck} 를 240 kgf/cm^2 로 가정하였을 때의 값이다.

기초판에서도 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 보에서와 마찬가지로 20%의 철근 단면적이 감소한다. 기초판의 경우는 이음길이 증가에 의한 SD500 철근의 효율 감소가 기초 종류에 따라서 다르다. 가령 면적이 작은 독립 기초판에서는 이음길이 증가에 의한 효율 감소가 전혀 없을 것이며, 면적이 큰 전면 기초판에서는 기초판 중간에서 몇 개소의 이음이 발생하여 그 효율이 다소 감소할 것이다.

기둥 역시 3장에서 언급한대로 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체할 경우 20%의 철근 단면적이 감소하지만 정수 올림 등에 의해서 실제로는 18% ~ 19%가 감소한다. 그러나 기둥의 경우 이음길이에 의한 SD500 철근의 효율 감소가 크다. <표 4.2>에 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 이음길이를 고려한 실제 철근 감소율을 나타냈다. 표의 값은 f_{ck} 는 210 kgf/cm^2 이상, 층고는 3.1m, 기둥 단면에서 철근 단면적 감소율은 19%로 가정하였을 때의 값이며, 이음길이는 압축겹침이음으로 고려하여 약산하였다. 이음 개소는 매 층에서 발생하는 것으로 가정하였다.

표에서 알 수 있듯이 철근 직경이 커질수록 SD500 철근의 효율은 감소하며, D29 이상의 철근에서는 기계적 이음장치를 이용하여야 SD500 철근의 실질적인 경제적 효과를 볼 수 있을 것이라 판단된다.

벽체의 경우도 SD500 철근을 사용할 경우 철근량은 기둥에서와 같이 감소하였다.

고층 건물에서 기둥과 벽체와 같은 수직부재는 고층부에서는 대부분 최소철근비로 배근되며, 이와 같은 수직부재에서의 최소철근비는 f_y 값에 관계없이 일정하므로 이러한 부분에는 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체할 필요가 없어진다. 따라서 이러한 수직 부재에서는 하부의 필요한 층에서만 SD500 철근으로 배근하여야 하

표 4.1 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체한 경우 보의 주철근량 감소율($f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$)

	D22		D25		D29		D32	
	상부근	하부근	상부근	하부근	상부근	하부근	상부근	하부근
보경간 = 6m	17.3%	16.5%	17.0%	16.2%	16.8%	15.8%	16.6%	15.5%
보경간 = 8m	17.7%	17.1%	17.5%	16.8%	17.3%	16.5%	17.1%	16.3%
보경간 = 10m	17.9%	17.4%	17.9%	17.2%	17.6%	17.0%	17.5%	16.8%

표 4.2 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체할 경우 기둥의 주철근량 감소율($f_{ck} \geq 210 \text{ kgf/cm}^2$)

철근량 감소율	D22	D25	D29	D32
	13.18%	12.51%	11.66%	11.12%

표 5.1 A 주상복합 건물 타워부 1개동의 철근량 비교

부재	철근 직경	철근량(tonf)	
		SD400으로 설계	SD500(일부 SD400)으로 설계
보	D22	805.68	698.76
기둥	기계적이음 + 겹침이음	D22	87.25(SD400)
		D32	53.50(SD400)
	겹침이음	D22	87.25(SD400)
		D32	73.09(SD400)
기초	기계적이음	D25	4.58
		D32	394.19
	겹침이음	D25	4.58
		D32	452.83
코어의 부벽	D16	100.23	81.88
	D19	106.80	88.06
	D22	106.04	97.06
	D25	48.05	42.31
	D32	116.38	104.15
합 계		2254.62	140.75(SD400) 1774.64

며, SD500 철근을 사용하여 콘크리트 부재 자체의 단면적을 감소시킨다면 SD500 철근의 효율을 보다 더 높일 수 있다.

슬래브의 경우는 두께가 얇아 SD500 철근 사용시 처짐이나 균열폭 등의 사용성 문제가 있으므로 SD500 철근의 효율이 좋지 않으며, 추후 보다 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. SD500 철근의 경제성 평가

SD500 철근의 실질적인 경제성을 평가하기 위해서 실제의 프로젝트에 대해서 각각 SD400 철근과 SD500 철근으로 설계하여 철근량을 비교하였다. <표 5.1>에는 34층의 A 주상복합 건물에 대한 철근량을 비교하였다. 이 건물은 건물골조 횡력 저항

방식의 2개동 타워로 이루어져 있으며, 철근량은 1개 동의 지상부에 대해서만 대략적으로 계산한 것이다. 기둥의 경우 전 부재에서 압축이음으로 설계하였으며, 코어벽의 경우 횡력 분담 때문에 인장이음으로 설계하여 비교하였다. 또한, 기둥의 경우 상부층에는 최소철근비만큼만 배근되기 때문에 SD500 철근으로 설계하는 경우에도 일부 SD400 철근을 사용하였다. 표에서의 합계는 기둥과 기초에서 기계적 이음을 적용하였을 때의 값으로 계산한 것이다.

SD500 철근으로 설계할 때에도 SD400 철근이 사용되기 때문에 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체할 경우의 전체 철근 감소량을 정의하기는 곤란하지만 SD500 철근으로 대체된 부분에 대해서만 비교를 하면 전체 철근 감소율은 약

표 5.2 B 마트의 철근량 비교

부재	철근 직경	철근량(tonf)	
		SD400으로 설계	SD500으로 설계
보	D22	229.11	187.14
기초	D22	-	382.96
	D25	431.45	-
합계		660.56	570.10

16%로 상당한 경제적 효과가 있는 것으로 나타났다.

〈표 5.2〉에는 대형 창고형 마트인 B 마트에 대한 철근량을 비교하였다. 이 건물은 지상 5층의 저층 구조물이므로 수평 부재에 대해서만 SD500 철근으로 대체 설계하여 철근량을 비교하였다.

표에서 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 전체 철근 감소율은 13.7%로 계산된다.

6. SD500 철근의 시공성 평가

SD500 철근을 사용하여 얻을 수 있는 중요한 이점 중 하나로 시공성의 향상을 들 수 있다. 시공성의 향상은 두 가지의 측면으로 생각해볼 수 있으며, 하나는 철근량 감소에 따른 작업량 감소이고 두번째는 배근수 감소로 인한 순간적 증가이다.

3장과 4장에서 전술한 바와 같이 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 이음길이 증가 등으로 인하여 그 강도 감소비인 20% 만큼의 철근량이 감소하지는

않으며, 부재에 따라서 20%에 미치지 못하는 량의 철근이 감소한다. 그러나 현장에서 단위시간당 작업하는 철근량에 이음길이의 증가 등이 미치는 영향은 매우 작으므로 SD500 철근 사용시 현장에서의 단위 시간당 철근 작업량은 SD400 철근 사용시에 비해 그 강도 증가비인 25%에 가깝게 증가할 것이다.

SD500 철근의 사용으로 인한 중요한 효과 중 하나는 배근이 밀집된 부재에서 이를 완화시킨다는 점인데 실제 기둥에서 배근을 비교한 결과 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체시 약 20% 이상의 철근 순간적이 증가하였다. 이는 작업성 향상뿐만 아니라 골조의 품질 확보 등에도 큰 기여를 할 것이다.

7. 결 언

본 기사에서는 SD500 철근에 대해서 재료적 성능을 검증하고, 부재 설계시의 고려 사항에 대해서 검토하였으며, 경제성과 시공성 등을 평가하였다. 특히 실제의 프로

젝트에 적용하기 위하여 가장 문제가 되는 경제성을 평가한 결과 SD400 철근을 SD500 철근으로 대체할 경우 대부분의 부재에서 철근 가격 차이 이상의 철근량이 감소하여 SD500 철근이 충분히 경제적인 것으로 나타났다. 여기에 시공상의 이점을 더한다면 건설 공사에서 SD500 철근의 경제성은 충분한 것으로 판단된다. 또한, SD500 철근을 사용하면 배근 순간적을 충분히 확보할 수 있기 때문에 골조 품질 또한 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 층이 얇은 수평 부재의 경우 사용성 문제 때문에 SD500 철근의 효율은 다소 저하되며, 수직 부재에서 SD500 철근의 효율을 더욱 높이기 위해서는 기계적 이음 등이 사용되어야 할 것으로 판단된다. □

참고문헌

1. 콘크리트구조설계기준, 한국콘크리트학회, 1999.
2. ACI 318-99, ACI, 1999.
3. 건축공사표준시방서, 대한건축학회, 1999.
4. 콘크리트표준시방서, 한국콘크리트학회, 1999
6. 콘크리트구조설계기준 건축구조물 설계예제집, 대한건축학회, 2000.
7. 김근덕외 4인, "철근콘크리트 강도설계 및 허용응력설계", 기문당, 1998.