

# 내진 보강용 철근 사용 시 비용 절감 효과 분석을 위한 실증적 연구

이종식<sup>1\*</sup>

## An Empirical Study for Cost Saving Effect Analysis When Using Seismic Reinforcing Bar

Jong-Sik Lee<sup>1\*</sup>

**Abstract:** Due to the enlargement and high-rise of reinforced concrete structure, the application of high functional material is required. However, high-strength bar is recently introduced to the country and the material is insufficient to measure the variation of quantity of rebar quantitatively when using high-strength bar. For these reasons, this study is to provide useful data in cost decision making when applying high-strength bar at a stage of architectural project planning. For residence-commerce complex buildings, we set up six types of conditions such as in case of using only rebar, in case of using only high-strength bar, in case of using rebar mixed with high-strength bar and so on. With the standard of study model 1 that applies only SD400 regardless of rebar diameter, the analyzed result of rebar variation and the cost change of construction in other study model is as follows. When the rebar amount and cost in study model I was 100%, each ratio was 88.3% and 90.5% in study model II, 80.2% and 83.4% in study model III, 91.9% and 93.5% in study model IV, 88.9% and 87.7% in study model V and 82.4% and 85.5% in study model VI. Therefore, in case of rebar amount and construction cost, study model III was evaluated as the best that was applied only SD600.

**Keywords:** Building construction, Seismic reinforcing bar, Cost analysis, Cost optimization

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 철근콘크리트 구조물의 대형화, 고층화로 인해 고품질·고기능·고강도 구조 재료의 적용이 요구되고 있다. 이에 따라 철근콘크리트 구조물의 뼈대 역할을 하는 초고장력 철근의 수요가 증가하고 있다. 콘크리트의 경우 설계기준강도가 100 MPa 이상인 고강도 재료가 사용되고 있고, 철근의 경우에는 종래에는 항복강도 400 MPa 이하인 것을 주로 사용하였으나, 최근에는 유럽의 설계기준을 비롯하여 우리나라, 미국의 ACI 등에서는 항복강도가 550~600 MPa인 고장력 철근을 사용할 수 있게 하는 추세이다(Lee, 2013). 국내의 경우 초고층 아파트가 대도시 주거 건축의 대표적 유형으로 등장하면서 초고층 건축물의 시공을 위해 500 MPa 및 600 MPa급 철근의 사용이 증가하고 있다. 2012년 ‘콘크리트구조기준’의 중

요한 개정사항 중 하나는 철근 강도의 상향이었으며, 주요 내용은 개정 전 550 MPa를 상한선으로 하였으나, 개정을 통해 600 MPa로 상향한 것이다. 그전까지는 토목분야의 경우 주로 SD400 철근을 사용하였으며, 건축분야에서는 실험적으로 SD500을 사용하였다. 그러나 개정 이후에는 항복강도가 600 MPa인 SD600 철근의 사용이 증가하였다(Moon, 2013). 설계기준 및 현장 상황에 따라 차이가 있지만, SD400에 비해 SD600이 강도는 50% 향상되고, 평당 철근 사용량도 SD600을 사용할 경우 SD400보다 20% 가량 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다. 이는 공동 주택을 대상으로 할 때, 1호당 84만원을 줄일 수 있어서 6만호 기준으로 연간 126억 원을 절감할 수 있는 것으로 예상된다. 나아가, 철근 1톤 생산 시 발생하는 CO<sub>2</sub>는 0.4톤으로, 기존 SD400을 SD500 또는 SD600으로 변경하면 연간 40만호 건설 시 32,000톤의 CO<sub>2</sub> 저감 효과를 기대할 수 있다. 이러한 고장력 철근의 사용을 극대화하기 위해서는 관련 기술의 개발과 연구가 뒷받침 되어야 하지만, 고장력 철근은 국내에도 입된 지 얼마 되지 않았고, SD500 및 SD600 철근의 사용 시 철근의 감소량을 예측하기 위한 자료도 부족하다. 이에 본 연구에서는 SD400, SD500, SD600 철근을 주상복합 건축물에 적용하여 각 부재별로 철근의 강도에 따른 철근량 및 공사비 증감에 대한 비교·분석을 통해, 고장력 철근 적용 시 경제성

<sup>1</sup>정희원, 송원대학교 건축공학과 교수, 교신저자

\*Corresponding author: jslee@nate.com

Professor, Dept. of Architectural Engineering, Songwon University, Gwangju, 61759, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2016년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

측면의 의사결정에서 활용할 수 있는 데이터를 제공하는 것을 목적으로 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 주상복합 건축물을 대상으로 하였으며, 연구 범위는 SD400, SD500 및 SD600의 재료비, 가공비, 노무비로 구성된 철근 공사비 분석으로 국한하였다. 또한 철근량 산출 시에는 정착 및 이음 길이를 포함하였으며, 고장력 철근 적용 시 철근의 설계기준 항복강도가 처짐량에 직접 영향을 주지 않기 때문에 철근량 산정 시 처짐에 대한 고려는 제외하였다. 또한 철근의 강도 변화에 따른 공사비 변화 추이를 분석하는 것이 목적이므로 철근의 할증은 고려하지 않았다. 본 연구는 다음의 방법과 절차에 따라 수행하였다.

- 1) 고장력 철근의 개념과 국내외 적용 현황을 살펴보았다.
- 2) 고장력 철근과 관련된 선행 연구를 고찰하고, 본 연구의 차별성을 제시하였다.
- 3) 분석 대상 건축물의 개요 및 분석 조건을 제시하였다.
- 4) 분석을 위한 기초 자료인 철근 가격을 조사하고 소요 비용을 분석하였다.
- 5) 분석 조건별 철근량과 공사비를 산출하고 비교하였다.
- 6) 연구 결과를 정리하고 향후 과제를 제시하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 고장력 철근 적용 현황

미국의 경우 1994년 노스리지(Northridge) 지진의 경험으로 구조물의 내진성능을 강화하기 위하여 ASTM A992 형강과 ASTM A706M 철근을 적용하도록 하였다. 다수의 철강회사에서 내진성능을 강화한 강재를 생산하고 있으며, 내진용 철근으로서, 소성 변형 능력 향상을 위한 항복강도 상한 및 하한 규정, 항복비 상한 규정, 용접성능 향상을 위한 탄소당량 상한 규정, 충격 흡수 능력 향상을 위한 샤르피 흡수에너지 하한 규정과 같은 요구조건이 충족되는 철근을 생산하고 있다. 일본은 신일본제철에서 개발한 SD685급을 시범적으로 신축 공사 현장에 적용한 바 있으며, 1995년 고베 지진을 겪으면서 각종 설계기준에 구조물의 내진성능을 강화하면서 내진성능이 우수한 강종을 도입하였다. JIS G 3136 등 내진성능강화강종(SN강종) 표준을 제정하여 사용하고 있다. 신일본제철에서는 내진성능을 강화한 570MPa 수준의 SN570강재를 개발하여 H형강 및 후판에 적용하여 상용화하였다. 스웨덴은 SD600과 SD700의 봉강개발에 성공하였고, 프랑스와 독일도, 압연

형강재 생산을 통하여 고속 전철의 경량화를 이룰 수 있는 첨단 기술을 확보함으로써, 에너지 절감 및 성능 향상, 가공의 용이성, 재활용성 등 다양한 이점을 얻고 있다. 우리나라는 관련 제도의 개정 이전에는 주로 토목분야에서는 SD400 철근을 많이 사용하였으며, 건축분야에서는 SD500의 사용이 빈번하였다(Lee, 2010). 그러나 2012년 콘크리트구조설계기준 개정 이후에는 항복강도가 600 MPa인 SD600 철근의 사용이 늘어났으며, 현대제철 등에서 SD600 이상의 철근을 생산하여 공급하고 있다.

### 2.2 고장력 철근의 특징

철근에 관한 한국산업규격은 KS D 3504 철근콘크리트용 봉강에 정리되어 있다. KS D 3504는 2011년 ISO 6935-2 Steel Bars for Concrete Reinforcement를 기초로 하여 열간 압연으로 만든 이형 봉강에 대해 규정한 것으로, 이형 봉강의 종류를 다음 Table 1과 같이 일반 철근인 SD300~SD700과 용접용 철근인 SD400W, SD500W로 구분하고 있으며, 각 종류별 철근의 화학 성분과 기계적 성질은 Table 2, 3과 같다. 또한 이형 봉강의 분석 시험은 KS D 1652, KS D 1655, KS D 1658, KS D 1802, KS D 1803, KS D 1804, KS D 1805, KS D 1806의 표준에 따르며, 철근콘크리트용 봉강의 탄소당량은 다음 Eq. (1)에 따라 산출한다(Korea Agency for Technology and Stand, 2011).

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + V + Mo)}{5} + \frac{(Cu + Ni)}{15} \quad (1)$$

여기서,  $C_{eq}$ 는 탄소당량을 말하며,  $C$ 는 탄소,  $Mn$ 은 망간,  $Cr$ 은 크롬,  $V$ 는 바나듐,  $Mo$ 는 몰리브덴,  $Cu$ 는 구리,  $Ni$ 는 니켈이며, 각 성분의 무게 비율이다.

### 2.3 선행 연구 고찰

고장력 철근의 적용과 관련된 연구는 1990년대 중반부터 수행되었다. Lee(1994)은 28 MPa, 35 MPa, 42 MPa의 콘크리트 압축강도 및 300 MPa, 400 MPa, 500 MPa의 철근 항복강도

Table 1 Symbol & Use of Deformed Bar

Type	Symbol	Use
Deformed Bar	SD300	General
	SD350	
	SD400	
	SD500	
	SD600	
	SD700	
	SD400W	
SD500W		

**Table 2** Chemical Composition

Category	C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)	N <sup>tr</sup> (%)	C <sub>eq</sub> <sup>a</sup> (%)
SD300	-	-	-	below 0.05	below 0.05	-	-
SD350	-	-	-	below 0.05	below 0.05	-	-
SD400	-	-	-	below 0.05	below 0.05	-	-
SD500	-	-	-	below 0.05	below 0.05	-	-
SD600	-	-	-	below 0.05	below 0.05	-	-
SD700	-	-	-	below 0.05	below 0.05	-	below 0.63
SD400W	below 0.22	below 0.60	below 1.60	below 0.05	below 0.05	below 0.12	below 0.50
SD500W	below 0.22	below 0.60	below 1.60	below 0.05	below 0.05	below 0.12	below 0.50

※ SD400W and SD500W that is over D32 apply below 0.25% of carbon content and 0.55% of carbon equivalent.

**Table 3** Mechanical Property

Category	Buckling Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	elongation percentage (%)	Yield Ratio(%)
SD300	More than 300	More than 420	More than 16, 18	68.2
SD350	More than 350	More than 490	More than 18, 20	71.4
SD400	More than 400	More than 560	More than 16, 18	71.4
SD500	More than 500	More than 620	More than 12, 14	80.7
SD600	More than 600	More than 710	More than 10	84.5
SD700	More than 700	More than 800	More than 10	87.5
SD400W	More than 400	More than 560	More than 16, 18	71.4
SD500W	More than 500	More than 620	More than 12, 14	80.7

로 설계된 보에 철근량을 변수로 설정하고, 휨연성 지수를 이용하여 계산한 값과 비교 하였다. Kwon and Yoon(2002)은 콘크리트 압축강도와 철근의 인장강도를 변수로 하여 보의 최적 강도 조합을 제시하였다. Megget(2003)은 고장력 철근 사용 시 지진으로 인하여 보와 기둥 접합부의 조기 파괴가 발생할 수 있다는 것을 실험을 통해 증명하였다. Oh et al.(2005)은 실험을 통해 고장력 철근을 적용할 경우 변위 연성도는 감소

하지만, 극한 변위가 동일하기 때문에 철근 사용량이 감소하더라도 필요 내진성능의 확보가 가능하다는 것을 증명하였다. Kim and Kim(2008)은 SD500 철근의 경제성 평가 모델을 구축하고 현장에서 가장 많이 사용되는 조건을 입력하는 방법으로 사례연구를 실시하여 연구모델의 유효성을 검증하고 이음 방법별 경제성을 분석하였다. Jang et al.(2008)은 압축강도가 40 MPa, 60 MPa, 70 MPa인 콘크리트 보를 대상으로 압축강도, 인장 철근비, 복부철근량, 전단지간비(a/d) 등이 보의 연성에 미치는 영향을 분석하였다. Arslan and Cihanli(2010)는 콘크리트 압축강도 50~110 MPa, 철근의 항복강도 220 MPa, 420 MPa, 530 MPa인 단철근 보에 대한 연성지수를 분석하여 콘크리트의 압축강도, 철근의 항복강도 및 인장 철근비에 따른 연성지수 예측식을 제시하였다. Bai and Au(2011)는 콘크리트 압축강도가 30~90 MPa인 철근콘크리트 보에 대한 해석적 연구를 통해 콘크리트 압축강도, 인장 철근비, 압축철근비 등이 연성 지수에 영향을 분석하였다. 이와 같이 고장력 철근의 물리적 성질을 중심으로 다양한 연구와 진행되었으며, 고장력 철근 적용 시 철근 사용량 저감에 따른 비용 절감과 CO<sub>2</sub> 저감 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 실증적 연구를 통한 정량적인 비용 절감 효과에 대한 제시는 부족하다. 본 연구는 고장력 철근의 비용 절감 효과에 대한 실증적 분석이라는 점에서 의미가 있다.

### 3. 비용 분석

#### 3.1 분석 대상 개요 및 기초 조사

분석 대상 건축물은 지하 4층, 지상 39층 규모의 철근콘크리트주상복합 건축물이며, 용도별 구성비는 오피스텔 41.1%, 아파트 49.2%, 근린생활시설 9.7%이다. 콘크리트 강도( $f_{ck}$ )는 수직재는 30~40 MPa, 수평재는 27~30 MPa로 설계되었다. 고장력 철근의 비용 분석을 위한 SD400, SD500, SD600의 직경별 단가는 2016년 1월 조달청 계약 가격을 조사하였다. SD400은 D10 553,290원, D13 542,680원, D16 이상은 537,370원으로 조사되었으며, SD500은 D10 576,330원, D13 565,710원, D16 이상은 모두 560,410원으로 동일한 것으로 조사되었다. SD600은 D10 606,370원, D13 595,750원, D16 이상은 590,430원으로, SD400, SD500, SD600 모두, 직경이 가장 작은 D10이 가장 고가인 것으로 조사되었다. 철근가공 및 조립비의 경우 2016년 상반기 건설공사 표준시장단가는 351,243원/톤으로 조사되었다.

#### 3.2 연구모델의 구성

Table 4와 같이 직경별 동일한 강도의 철근을 적용하였을 때(연구모델 I, 연구모델 II, 연구모델 III)와 D10, D13은 SD400을 적용하고 D16 이상은 각각 SD500, SD600을 적용하

**Table 4** Study Model

Bar size	Study Model					
	I	II	II	IV	V	VI
D10	A	B	C	A	A	B
D13	A	B	C	A	A	B
D16	A	B	C	B	C	C
D19	A	B	C	B	C	C
D22	A	B	C	B	C	C
D25	A	B	C	B	C	C
D29	A	B	C	B	C	C
D32	A	B	C	B	C	C

\* A : SD400, B : SD500, C : SD600

였을 때(연구모델 IV 및 연구모델 V), 그리고 D10, D13은 SD500을 적용하고, D16 이상은 SD600을 적용하였을 때(연구모델 VI)의 6가지 조건에 대한 철근량 및 비용 분석을 수행하였다. 재료비는 철근 비용과 정착 및 이음 비용으로 구성하였으며, 재료비는 소요 철근량에 단가를 곱하여 산출하고, 노무비는 소요 철근량에 가공비와 노무비를 더한 값을 곱하여 산출하였다. 정착길이와 이음길이는 콘크리트구조 설계기준(2012)을 기준으로 산정하였으며, 사례 건축물은 콘크리트 설계기준 압축강도가 27 MPa 이상이므로 21 MPa 미만인 구조물에서 압축철근의 겹침이음길이를 1/3 증가하도록 한 규정은 적용하지 않았다.

**3.3 경제성 분석**

**3.3.1 연구모델 I**

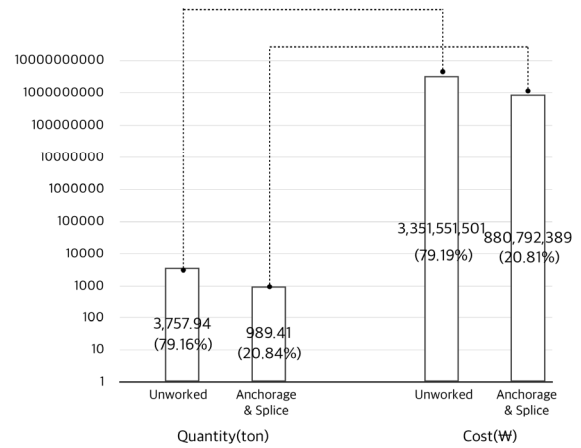
SD400을 적용한 연구모델 I의 부위별 철근량을 분석한 결과, 부위별 철근량은 기둥 1,239.1톤, 기초 184.9톤 벽체 784.1톤, 보 452.0톤, 슬래브 2,087.0톤이었다. 직경별 철근량은 D10 : 349.7톤, D13 : 1,382.4톤, D16 : 980.0톤, D19 : 205.7톤, D22 : 51.1톤 D25 : 261.2톤, D29 : 1,220.4톤 D32 : 296.9톤으로, 총 철근량은 4,747.3톤, 산출된 공사비는 4,232백만원이었다 (Table 5, Fig. 1).

**3.3.2 연구모델 II**

SD500을 적용하였을 때, 기둥 1076.6톤, 기초 150.3톤 벽체 747.4톤, 보 444.6톤, 슬래브 1772.3톤으로 총 4191.1톤이 소요 되는 것으로 분석되었다. 직경별 철근량은 D10 : 358.4톤, D13 : 1222.5톤, D16 : 852.0톤, D19 : 190.7톤, D22 : 103.0톤 D25 : 1176.6톤, D29 : 275.7톤 D32 : 13.2톤이었다. 연구모델 I의 SD400의 철근량을 100%로 하였을 때, 연구모델 II의 부위별 철근량은 슬래브 : 84.9% 보 : 98.4, 기둥 : 86.9%, 벽체 : 95.3%, 기초 81.3%의 소요량을 나타내어, 기초에서 가장 큰 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. SD400 소요량 대비 평균 절감을

**Table 5** Quantity & Cost of Study Model I

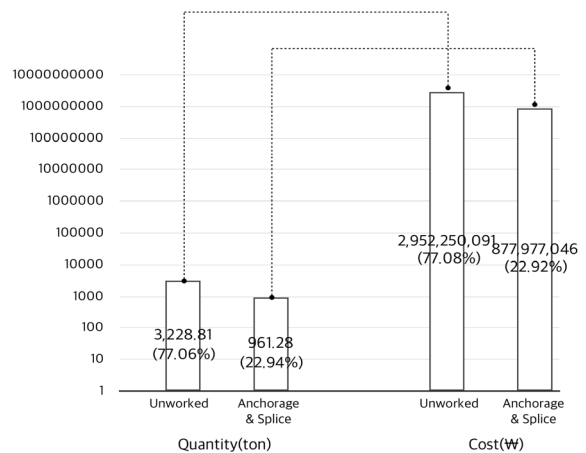
Category		Calculation
Quantity (ton)	Unworked	3758
	Anchorage and Splice	989
	Total	4747
Cost (₩, million)	Unworked	3,351
	Anchorage and Splice	880
	Total	4,232



**Fig. 1** Calculation Result of Study Model I

**Table 6** Quantity & Cost of Study Model II

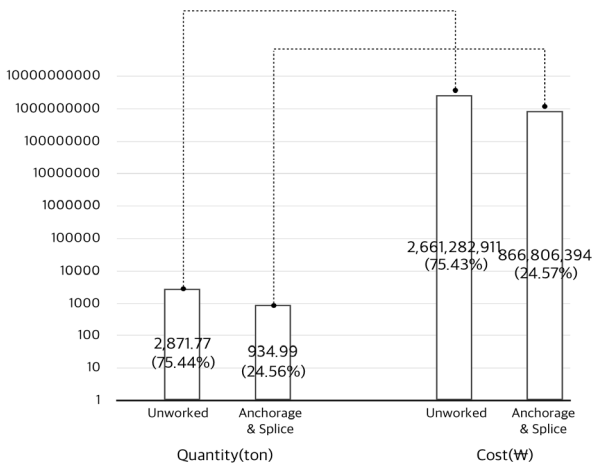
Category		Calculation
Quantity (ton)	Unworked	3229.8
	Anchorage and Splice	961.3
	Total	4191.1
Cost (₩, million)	Unworked	2,952
	Anchorage and Splice	877
	Total	3,830



**Fig. 2** Calculation Result of Study Model II

**Table 7** Quantity & Cost of Study Model III

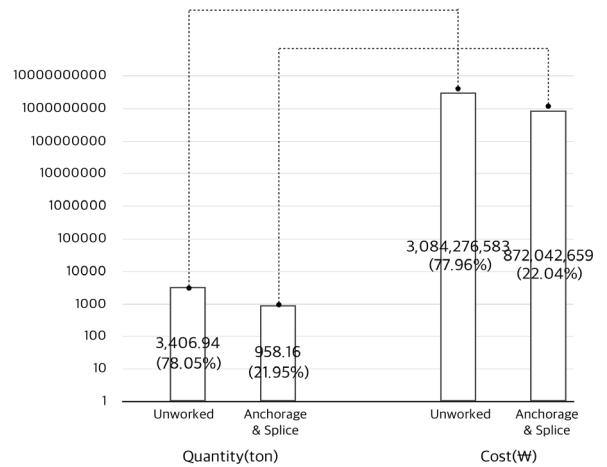
Category		Calculation
Quantity (ton)	Unworked	2871.8
	Anchorage and Splice	935.0
	Total	3806.8
Cost (₩, million)	Unworked	2,661
	Anchorage and Splice	866
	Total	3,528



**Fig. 3** Calculation Result of Study Model III

**Table 8** Quantity & Cost of Study Model IV

Category		Calculation
Quantity (ton)	Unworked	3406.9
	Anchorage and Splice	958.2
	Total	4,365.1
Cost (₩, million)	Unworked	3,084
	Anchorage and Splice	872
	Total	3,956



**Fig. 4** Calculation Result of Study Model IV

은 11.7%이고, 3,830백만원이 소요되는 것으로 분석되었다 (Table 6, Fig. 2).

**3.3.3 연구모델 III**

SD600을 적용한 경우, 기둥 : 945.7톤, 기초 : 133.4톤 벽체 : 743.8톤, 보 : 427.4톤, 슬래브 : 1556.48톤으로 총 3806.8톤이 소요되는 것으로 분석되었다. 직경별 철근량은 D10 : 360.0톤, D13 : 1124.7톤, D16 : 766.5톤, D19 : 158.5톤, D22 : 913.0톤 D25 : 405.6톤, D29 : 64.5톤 D32 : 14.6톤이었다. 연구모델 I의 SD400의 철근량과 공사비를 100%로 하였을 때, SD600을 적용한 연구모델 III의 부위별 철근량은 슬래브 74.6%, 보 94.6%, 기둥 76.3%, 벽체 94.9%, 기초 72.1%로 평균 80.2%가 소요되는 것으로 분석되었다. 철근 감소율은 SD400 대비 19.8%, SD500 대비 9.2%이고, 공사비는 3,528백만원이 소요되는 것으로 나타났다(Table 7, Fig. 3).

**3.3.4 연구모델 IV**

D10과 D13은 SD400을 적용하고 D16 이상은 SD500을 적용한 연구모델 IV의 부위별 철근량을 분석한 결과, 기둥 : 1068.1톤, 기초 : 150.3톤, 벽체 : 764.4톤, 보 : 449.8톤, 슬래브 : 1932.0톤으로, 총 4365.1톤이 소요되었다. 부위별 철근 공사

비는 기둥 972백만원, 기초 137백만원, 벽체 697백만원, 보 409백만원, 슬래브 1,739백만원으로, 총 공사비는 3,956백만원이었다. 따라서 연구모델 I의 철근량과 공사비를 기준으로 하였을 때, 8.1%의 철근 감소율과 6.5%의 비용 절감율을 보였다 (Table 8, Fig. 4).

**3.3.5 연구모델 V**

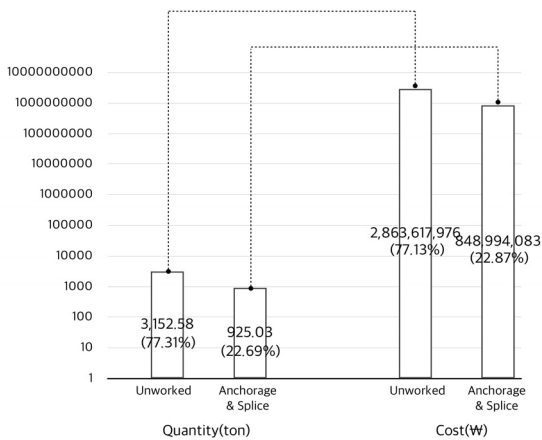
D10과 D13은 SD400을 적용하고 D16 이상은 SD600을 적용한 연구모델 V의 부위별 철근량은 기둥 : 937.3톤, 기초 : 133.4톤, 벽체 : 755.3톤, 보 : 432.6톤, 슬래브 : 1819.1톤으로, 총 4077.6톤이 소요되었다. 부위별 철근 공사비는 기둥 865백만원, 기초 123백만원, 벽체 677백만원, 보 339백만원, 슬래브 1,646백만원으로, 총 공사비는 3,712백만원이었다. 따라서 연구모델 I의 주상 복합과 공사비를 100%로 하였을 때, 14.1%의 철근 감소율과 12.3%의 비용 절감율을 보였다(Table 9, Fig. 5).

**3.3.6 연구모델 VI**

D10과 D13은 SD500을 적용하고 D16 이상은 SD600을 적용한 연구모델 VI의 부위별 철근량은 기둥 : 945.7톤, 기초 : 133.4톤, 벽체 : 745.8톤, 보 : 427.4톤, 슬래브 : 1659.4톤으로, 총 3911.6톤이 소요되었다. 부위별 철근 공사비는 기둥 : 875

**Table 9** Quantity & Cost of Study Model V

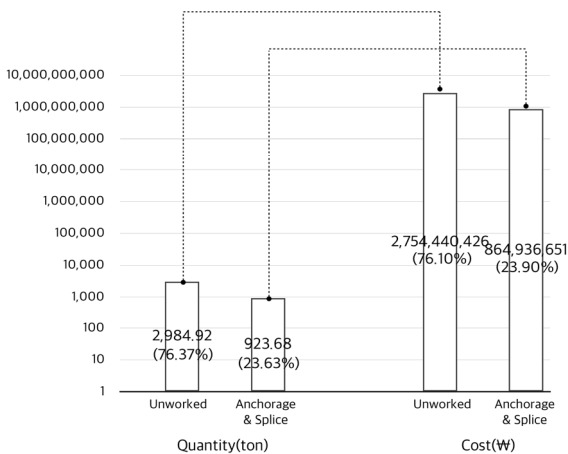
Category		Calculation
SD400	Quantity (ton)	Unworked 3152.6
		Anchorage and Splice 925.0
		Total 4077.6
+ SD600	Cost (₩, million)	Unworked 2,863
		Anchorage and Splice 848
		Total 3,712



**Fig. 5** Calculation Result of Study Model V

**Table 10** Quantity & Cost of Study Model VI

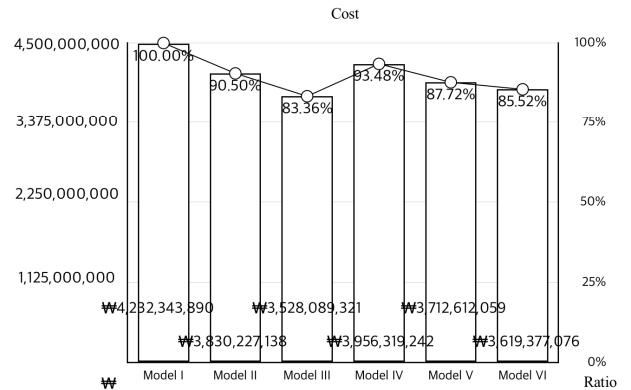
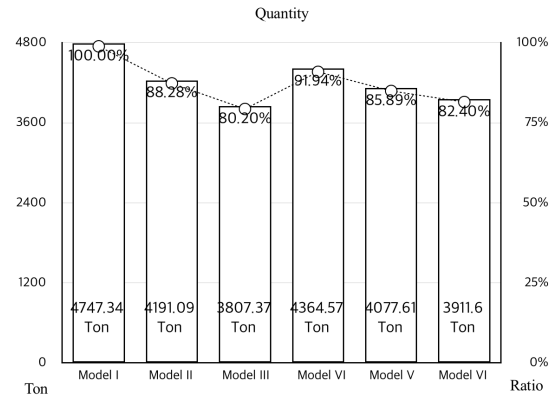
Category		Calculation
SD500	Quantity (ton)	Unworked 2,984.9
		Anchorage and Splice 923.7
		Total 3911.6
+ SD600	Cost (₩, million)	Unworked 2,754
		Anchorage and Splice 864
		Total 3,619



**Fig. 6** Calculation Result of Study Model VI

**Table 11** Calculation Result

Model	Quantity		Cost	
	Quantity (ton)	Ratio (%)	Cost (₩, million)	Ratio (%)
I	4747.3	100	4,232	100
II	4191.1	88.3	3,830	90.5
III	3807.4	80.2	3,528	83.4
IV	4364.6	91.9	3,956	93.5
V	4077.6	85.9	3,712	87.7
VI	3911.6	82.4	3,619	85.5



**Fig. 7** Analysis Result

백만원, 기초 : 123백만원, 벽체 : 687백만원, 보 : 396백만원, 슬래브 : 1,536백만원으로, 총 공사비는 3,619백만원이었다. 따라서 연구모델 I의 주상 복합과 공사비를 100%로 보았을 때, 17.6%의 철근 감소율과 14.5%의 비용 절감율을 보였다 (Table 10, Fig. 6).

### 3.4 종합분석

Table 11 및 Fig. 7과 같이 연구모델 I의 철근량과 공사비를 기준으로 하였을 때, 연구모델 II는 각각 88.3%와 90.5%, 연구모델 III는 각각 80.2%와 83.4%, 연구모델 IV는 각각 91.9%와

93.5%, 연구모델 V는 각각 88.9%와 87.7%, 연구모델 VI는 각각 82.4%와 85.5%의 비율을 보였다. 따라서 철근 감소율 및 비용 절감율은 III, VI, V, II, IV 순으로 크게 나타났다. 연구모델 I 대비 각 모델의 철근 감소율과 비용 절감율을 살펴보면, 연구모델 II는 11.7%와 9.5%, 연구모델 III는 19.8%와 16.6%, 연구모델 IV는 8.1%와 6.5%, 연구모델 V는 14.1%와 12.3%, 연구모델 VI는 17.6%와 14.5%로 분석되었다.

#### 4. 결론

본 연구는 실증적 분석을 통해 고장력 철근 적용 시 비용 절감 효과를 알아보기 위한 목적으로 수행하였으며, 본 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

본 연구는 실증적 분석을 통해 고장력 철근 적용 시 비용 절감 효과를 알아보기 위한 목적으로 수행하였으며, 본 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 모든 직경에 SD400을 적용한 연구모델 I를 기준(100%)으로, 강도와 직경을 다르게 조합한 5개 모델의 철근량 및 공사비 변화를 분석한 결과, 모든 직경의 철근을 SD600으로 설계한 연구모델 III가 철근량 80.2%, 비용 83.4%로 가장 큰 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 연구모델 I과 비교하여 철근은 19.8%, 비용은 16.7% 감소한 것을 확인할 수 있었으며, 비용 절감율이 철근 감소율보다 3.1% 낮게 나타났다.
- 3) 본 연구를 통해 고장력 철근 사용 시 철근 감소율은 철근의 강도에 따라 달라지고, 철근 감소율과 비용 절감율의 커질수록 철근량 감소율과 비용 절감율의 차이도 커지는 것을 알 수 있었다.
- 4) 본 연구는 강도가 다른 3가지 철근을 이용하여 6가지 조합을 구성하였지만, 향후 SD700 등 초고강도 철근을 포함한 다양한 구성에 대한 연구와 데이터 축적이 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2016년 송원대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

#### References

- ACI Committee 318 (2008), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08), American Concrete Institute, Farmington Hills, Detroit, 2008. pp. 473-474.
- Arslan, G., and Cihanli, E. (2010), Curvature Ductility Prediction of Reinforced High-Strength Concrete Beam Sections, *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(4), 462-470.
- Bai, Z. Z., and Au, F. T. K. (2011), Flexural Ductility Design of High-Strength Concrete Beams, *The Structural Design of Tall Special Buildings*, 521-542.
- European Committee for Standardization Euro code 2 (2004), Design of Concrete Structures, Part 1-1, General Rules and Rules for Buildings (EN 1992-1-1:2004), European Committee for Standardization, Brussels, 227-228.
- Jang, I. Y., Park, H. G., Kim, S. S., Kim, J. H., and Kim, Y. G. (2008), On the Ductility of High-Strength Concrete Beams, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2(2), 115-122.
- Kim, J. Y., and Kim, G. H. (2008), A Study on Economic Evaluation Method of Coupler Splice for High Strength(SD500) Reinforcement, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 8(2), 136-145.
- Korea Agency for Technology and Stand (2011), Steel bars for concrete reinforcement, KS D 3504, 1-3.
- Korea Concrete Institute (2012), Concrete Design Code and Commentary, Kimoondang Publishing Company, Seoul, Korea, 598-599.
- Kwon, S. B., and Yoon, Y. S. (2002), Flexural Behavior of RC Beams using High-Strength Reinforcement for Ductility Assessment, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 2(1), 119-126.
- Lee, J. H. (1994), Analytical Study on Ductility Index of Reinforced Concrete Flexural Members, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 14(3), 391-402.
- Lee, J. L. (2013), Evaluation on Moment-Curvature Relations and Curvature Ductility Factor of Reinforced Concrete Beams with High Strength Materials, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 25(3), 283-294.
- Lee, S. Y., Lee, H. C., Park, C. S., Woo, K. M., and Suh, Y. T. (2010), Development of high-strength in 600, 700, 800 MPa class of yield strength and seismic resistant steel deformed bar, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 22(5), 28-36.
- Megge, L. M., Fenwick, R. C., and Amso, N. (2003), Seismic Performance of Internal Beam-Column Joints with 500 Grade Reinforcement, *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Paper no. 100, 1-10.
- Moon, D. Y. (2013), Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with High-Strength Steel Bars, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 13(6), 107-113.
- Oh, B. H., Cho, K. H., and Park, D. K. (2005), An Experimental Study on the Seismic Behavior of Solid RC Piers Using High Strength Concrete and High Strength Rebars, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 17(1), 27-34.

Received : 03/23/2016

Revised : 04/25/2016

Accepted : 05/04/2016

---

**요 지** : 철근콘크리트 구조물의 대형화, 고층화로 인해 고기능 재료의 적용이 요구되고 있다. 하지만 고장력 철근은 국내에 도입된 지 얼마 되지 않고, 고장력 철근의 사용 시 철근 물량의 주상 복합 정량적으로 판단하기 위한 자료가 부족하다. 이에 본 연구는 건축 프로젝트 계획 과정에서 고장력 철근 적용 시 비용 측면의 의사 결정에서 활용할 수 있는 데이터를 제공하기 위하여, 주상 복합 건축물을 대상으로 일반 철근만 사용한 경우, 고장력 철근만을 사용한 경우, 일반 철근과 고장력 철근을 혼용한 경우 등 6가지 조건을 설정하고, 철근의 직경에 관계없이 SD400 철근만을 적용한 연구모델 I을 기준으로, 다른 연구모델의 주상 복합 주상 복합 및 공사비 변화를 분석한 결과, 연구모델 I의 주상 복합과 공사비 100%로 하였을 때, 연구모델 II는 각각 88.3%와 90.5%, 연구모델 III는 각각 80.2%와 83.4%, 연구모델 IV는 각각 91.9%와 93.5%, 연구모델 V는 각각 88.9%와 87.7%, 연구모델 VI는 각각 82.4%와 85.5%의 값을 보였다. 따라서 주상 복합과 공사비의 모두 SD600을 적용한 연구모델 III가 가장 우수한 것으로 평가되었다.

**핵심용어** : 건축시공, 내진 보강 철근, 비용 분석, 비용 최적화

---