

초고강도 철근이음의 경제성 평가모델 개발에 관한 연구

A Study on the Economic Evaluation Model of Splice of Reinforcement Bar(SD500)

김재엽*

Kim, Jae-yeob

김대원**

Kim, Dae-won

Abstract

Recently, the high-rise apartment housings have become a prototype of the urban residential dwelling in Korea and the numbers of one have steadily been increasing. According to this trend, the strength of the construction materials is also fortified to assure the stability and durability of the buildings. Specially, Re-bar of SD500 type is largely used at the construction sites of high-rise building. This study analyzes the current usage of SD500 high-strength re-bar at domestic construction sites. Through the result of this analysis, we develop Economic Evaluation Model that measure economic efficiency of lap splice and coupler splice, which are most commonly used in connection SD500. The evaluation method was applied to construction sites in Seoul in December 2006, and the result revealed that coupler splice is relatively superior in terms of cost efficiency when the re-bar diameter is longer and the concrete strength is lower.

키워드 : 초고강도철근, 커플러이음, 겹침이음, 경제성 평가

Keywords : Super strength re-bar, Coupler splice, Lap splice, Economic evaluation

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라의 초고층 건축물은 초고층아파트가 대도시 주거건축의 대표적인 유형으로 등장하면서 점차 증가하고 있다. 최근 건축되고 있는 초고층 건축물에서는 건물의 안정성과 내구성 등을 감안하여 사용재료의 강도도 점차 증가하고 있다. 콘크리트는 80MPa 이상의 고강도 콘크리트가 사용되고 있으며, 철근 또한 초고강도인 SD500 철근의 사용이 점차 늘어나고 있다.

이러한 고강도 재료의 사용에 따른 효과를 극대화하기 위해서는 관련기술의 개발과 연구가 뒷받침되어야 한다. 그러나 이러한 초고강도 철근이음은 국내에 도입된 지 얼마 되지 않기 때문에 이에 대한 연구가 부족하여 철근이음방법의 선정 등과 같은 의사결정과정에서 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다.

이에 본 연구에서는 국내 건축공사 현장의 SD500 철근의 직경별 사용실태와 이음방법 적용 실태를 분석하고, 초고강도 철근이음에 대한 경제성을 판단할 수 있는 경제성 평가모델을 개발하였다. 그리고 경제성 평가모델을 이용하여 철근이음방법 선정에 대한 기준을 제공하고, 철근공사의 이음방법에 대한 의사결정단계에서 활용될 수 있는 수단을 제공하여 초고층 건축공사의 효율적인 공사수행에 기여하는 것을 본 연구의 목적으로 하였다.

* 충주대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

** 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정

이 논문은 충주대학교 대학구조 개혁지원사업(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구임.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구의 범위는 초고층 건축물에서 사용량이 증가하고 있는 SD500 철근으로 국한 하였으며, 이음방법은 국내 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 겹침이음과 커플러이음을 대상으로 하였다¹⁾. 철근 이음에 대한 경제성 평가는 이음방법에 의해 발생하는 재료비와 노무비의 차이를 정량적으로 평가하여 비교하는 것으로 하였다.

본 연구는 그림 1에 나타난 바와 같은 절차에 의해 진행되었다. 우선 SD500 철근의 사용실태 분석을 위하여 국내에서 SD500 철근을 사용하여 건축되었거나 공사 중인 초고층 건축공사자료를 수집하여 분석하였다²⁾.

철근이음 방법별 경제성을 평가하기 위해 공사비 산출에 기준이 되는 각종지침 등에 대한 이론을 고찰하였다. 또한, 경제성 결정요인 분석과 공사비 결정요인별 공사비 반영방법 등을 결정하기 위해 전문가에 대한 면담조사와 설문조사를 실시하였다.

경제성 평가 모델은 비주얼 베이직(Visual Basic)을 이용하여 구축되었으며, 공사비 변수에 대한 자료를 입력하여 공사비를 산출해 봄으로써 모델을 검증하였다.

1) 김재엽 외, SD500 고강도 철근용 커플러이음의 경제성 평가에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, 2007, pp. 136~145.

2) 국내의 대형건설회사 10개사의 본사와 공사현장을 통하여 52개 현장의 자료를 분석하였다

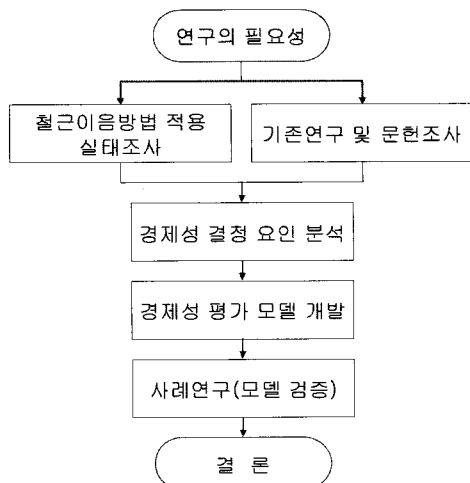


그림 1. 연구방법 및 절차

2. 철근공사 및 철근이음에 대한 고찰

2.1 철근이음의 종류

철근콘크리트 또는 철골철근콘크리트 구조물을 건설하는데 필수적인 재료로 철근이 사용된다. 구조물에 적용하는 철근은 일정한 길이로 생산되어 운반 등의 과정에서 용이하도록 되어 있다. 그러나 건물과 같은 구조물에서 건물의 높이 또는 길이 만큼 철근을 연속적으로 배근하여야 한다. 따라서 생산이나 운반 등의 이유에 의해서 일정한 길이로 절단된 철근을 구조물에 설치할 때는 연속성을 확보하기 위해서 연결을 해야 한다.

철근이 연속적인 형태로 설치되면서 철근의 역학적 성질(인장강도)의 변화가 연결부분에서 발생하지 않도록 하는 각종공법이 적용되는데, 이음방법은 그림 2와 같이 나눌 수 있다. 우리나라의 건축공사 현장에서 일반적으로 적용되는 철근의 이음방법으로는 겹침이음, 가스압접이음, 기계적이음 등이 대표적으로 사용된다.



그림 2. 철근이음의 종류

겹침이음은 시공적인 측면에서는 특별한 기능이나 별도의 가공 없이 가능한 공법이다(그림 3참조). 그러나 굵은 철근(D35 이상)에서는 시방서 등에서 사용을 제한³⁾하고 있을 뿐만 아니라 구조적인 측면에서도 응력 전달과정에서 편심이 발생

3) 대한건축학회(2005), 건설교통부고시 건축구조설계기준, 기문당, p.263.

하고, 철근사용의 응력 이동은 철근과 콘크리트 사이 응력 이동의 2배에 이른다.

수동가스압접의 경우는 일반적으로 기능도와 기후에 따라서 품질의 변화가 크고, 자동가스압접은 시공속도와 시공장비 등이 시공성을 좌우하게 됨으로써 경제성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 또한 SD500과 같은 초고강도 철근에서는 압접을 위해 철근을 가열하는 시간이 매우 길어지는 단점이 있기 때문에 거의 사용되지 않고 있다.

기계적이음은 겹침이음이나 가스압접이음의 단점을 보완하기 때문에 최근에 건설공사에서 적용이 급증하는 추세에 있다. 또한 그림 2에서 보는 바와 같이 여러 가지 방법들이 건축공사 현장에서 활용되고 있다. 그러나 본 연구에서 대상으로 하고 있는 초고강도 철근에서는 그림 3과 같은 커플러 이음이 가장 많이 사용되고 있다.

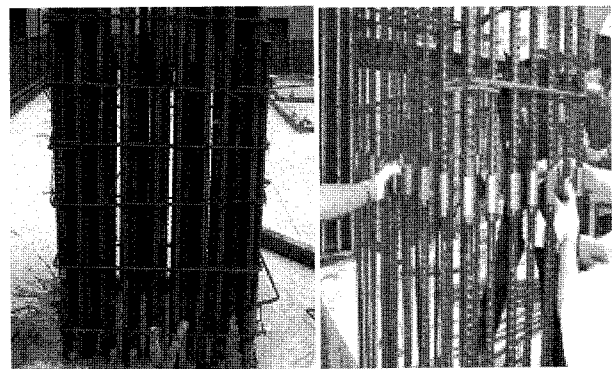


그림 3. 겹침이음과 커플러 이음

표 1. 철근 이음종류별 특성

구분	겹침이음	기계적이음
작업 내용	겹침 이음 후 철선 조임	모재철근 단부에 경사지게 나사가공 후 커플러에 삽입, 결합, 조임
작업 장소	현장	현장, 가공공장
이음 위치	응력분포하중이 적은부위	무관
투입 인원	2인/조(설치)	2인/조(가공), 2인/조(설치)
이음 검사	외관	커플러결합, 외관확인 후 고정렌치로 규정치값 조임 확인
시공성	겹침이음 위치를 계획해야함.	커플러결합, 조임이 용이하고, 불량률이 없음.
장 점	전문 기능공이 필요 없음. 소형부재의 이음에 효과적임. 이음방법중 시공이 가장 간단하며 경제적임.	접합시 이음길이 신축없음. 숙련된 기능공이 필요없음. 콘크리트 타설시 품질관리가 용이함.
단 점	철근이 굵어지면 순 간격의 확보에 어려움이 있음. 굵은 철근은 콘크리트 밀실하게 충전하기 어려움. 이음길이의 철저한 관리필요. 이음부위가 한 곳에 집중 되는 현상 발생 가능성	철근 마디 형태에 영향을 받음. 나사 가공식인 경우 철근단면 손실발생. 시공성에서 겹침이음보다 힘들고 가스압접보다 간편함.

2.2 이음종류별 특성

SD500 철근에서 적용될 수 있는 이음방법은 그림 2의 이음종류 중에서 겹침이음, 가스압접이음, 커플러이음 등을 들 수 있다. 그러나 가스압접이음은 SD500 철근이 고강도이기 때문에 가열시간이 증가하여 공사기간이 지연될 수 있고, 품질관리가 어려워 특수한 경우 이외에는 거의 사용되지 않는다. 따라서 주로 사용되는 방법은 겹침이음과 커플러 이음으로서 특성을 정리하면 다음 표 1과 같다.

3. SD500 철근 이음방법 적용실태

3.1 철근의 직경별 사용실태

SD500 철근의 사용 실태를 분석하기 위해 10개의 국내 대형 건설회사를 대상으로 각 회사에서 SD500 철근을 사용하여 시공한 건축공사에 대한 자료를 수집하였다. 공사자료의 수집하기 위해 우선 예비조사를 통하여 SD500 철근 사용실태 분석을 위한 조사시트를 작성하였다. 작성된 조사시트를 이용하여 건설회사 본사의 근무자를 대상으로 직접방문조사, 전화 및 이메일 조사 등에 의하여 공사자료를 수집하였다. 2000년 이후에 착공하여 최근에 공사를 완료하였거나 현재 공사가 진행 중인 52개 건축현장의 공사자료를 수집하여 분석에 이용하였다.

SD500 철근의 직경별 사용실태를 살펴보면 그림 4와 같이 D22에서 D35까지의 굵은 철근들이 주로 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 52개의 수집자료 전체 현장을 기준으로 D25, 29, 32가 사용된 비율이 전체의 96%로서 거의 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이것은 SD500과 같이 초고강도 철근에서는 많은 수의 가는 철근으로 배근하는 것보다 적은 가닥수의 굵은 철근을 사용하여 철근의 순 간격을 확보하고 부재의 크기도 최소화할 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

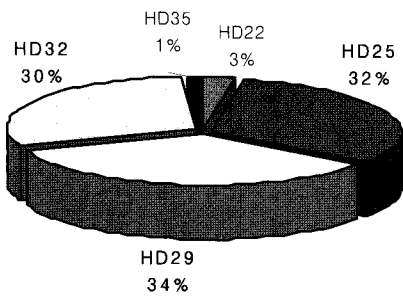


그림 4. 철근직경별 사용 실태

3.2 철근이음방법별 적용비율

SD500 철근을 사용한 현장에서 이음방법의 적용 비율을 살펴보면, 그림 5와 같이 겹침이음이 전체의 75%로서 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 겹침이음이 SD400이하의 철근뿐만 아니라 SD500 철근에서도 가장 일반적인 이음방법으로 자리 잡고 있는 것으로 조사되었다.

커플러이음은 약 16%의 현장에서 사용하고 있는 것으로 나타났다. 이외에 겹침이음과 커플러이음을 함께 사용한 현장

은 3개 현장이었고, 2개의 현장에서는 겹침이음과 커플러 이음을 주로 사용하면서 가스압접이음을 부분적으로 채택한 것으로 나타났다.

이것은 초고강도에서는 특수한 현장조건이 있는 경우를 제외하고는 겹침이음과 커플러이음으로 철근이음을 채택하고 있다는 것으로 분석할 수 있다. 또한 가스압접이음은 고강도화에 따른 가열시간의 증가와 공사관리의 어려움 등에 의해 SD500 철근에서는 적용빈도가 매우 적은 것으로 판단된다.

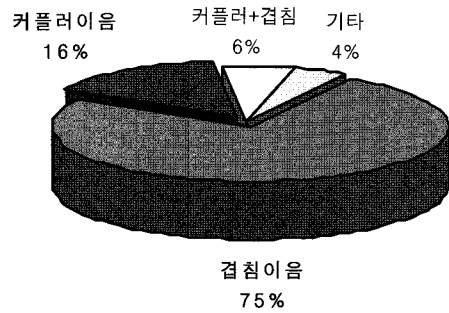


그림 5. 이음방법별 적용 비율

4. SD500 철근 이음의 경제성 평가 모델

4.1 경제성 평가방법

4.1.1 경제성 결정요인

본 연구에서 대상으로 하고 있는 SD500 철근의 겹침이음과 커플러이음의 경제성을 비교하기 위하여 우선 경제성 판단기준을 분석하였다. 이를 위하여 전문가 집단에 대한 면담조사를 실시하고 이를 토대로 설문지를 작성하여 설문을 실시하였다. 설문조사는 SD500 철근을 실무에서 다룬 경험이 있는 10년 이상의 경력자를 대상으로 하였으며, 7개 회사 11명의 설문결과가 분석에 사용되었다.

설문의 주요 내용으로는 이음방법 결정시의 경제성 판단기준, 경제성 결정요인별 공사비 산출방법, 이음방법별 작업방법 및 투입인원, 선조립 적용여부에 따른 공사비 비율, 이음방법별 노무생산성 등으로 하였다. 설문조사결과 철근이음에 대한 경제성 결정요인은 표 2와 같이 조사되었다.

표 2. 철근이음의 경제성 결정요인

결정요인		변수유형
대분류	소분류	
철근공사 개요	이음방법	문자열(겹침이음, 커플러이음)
	선조립 적용	문자열(적용없음, 1개층, 2개층)
	선조립 장소	문자열(현장, 공장)
재료비	철근직경	양의 정수(22, 25, 29, 32)
	콘크리트 강도	양의 정수(27, 30, 35, 40, 50)
노무비	노무생산성	실수
	투입인원수	양의 정수

4.1.2 결정요인별 산출기준

1) 선조립

철근이음에 대한 공사비를 비교하기 위해서는 철근조립과정에서 선조립의 적용여부와 선조립 방법 등에 따라 공사비는 많은 차이가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 1)항에서 설명한 전문가 설문조사를 바탕으로 선조립 적용여부 및 방법에 따라 표 3과 같이 공사비 산출기준을 가정하였다.

표 3. 선조립적용 변수의 가정치 및 산출근거

구분	가정값					산출근거
	적용안함	1개층	2개층	현장	공장	
겹침이음	1	1.175	1.1	1	1.2	설문조사
커플러이음	1	1.2	1.1	1	1.175	평균값

2) 재료비

재료비 측면에서 두 가지의 이음방법 간의 차이를 분석해보면, 겹침이음은 이음길이가 추가로 발생하고, 커플러 이음은 커플러가 추가로 발생하는 것이다. 따라서 이를 공사비 산출에 적용하기 위해 겹침이음 길이는 식(1)을 기준으로 산출하였다. 또한, 겹침이음은 철근 가공과정에서 절단 손실이 발생하기 때문에 이에 대한 할증률을 적산기준에 따라 3%를 적용⁵⁾, 인장·압축의 결정요인은 3층 또는 1천m²이상의 건축물에 내진 설계 적용으로 인해 압축철근의 이음은 제외⁶⁾하였다.

$$l_d = \frac{0.6d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \alpha \beta \lambda \text{ 또는 } \geq 30 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

l_d : 인장철근의 이음길이 (mm)

d_b : 철근의 공칭지름 (mm)

f_y : 철근의 설계기준항복강도(MPa)

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준 강도(MPa)

α : 철근배치 위치계수

β : 에폭시 도막계수

λ : 경량콘크리트계수

표 4. 재료비 변수의 가정치 및 산출근거

변수	가정값	산출근거
이음길이 산출	- 이음길이 산출 기본식	건축구조설계기준2005
할증률	- 3%	적산기준
철근단가	- 578,000원/ton(서울기준)	한국물가정보
커플러단가	- HD25 : 3,900원/개	실행단가의 평균
	- HD29 : 4,200원/개	
	- HD32 : 4,500원/개	

SD500 철근의 단가는 2007년 서울을 기준으로 시중 거래가를 조사하고, 커플러 재료비는 커플러 및 철근가공 기업에서 현장에 공급하는 실행가의 평균값을 조사하여 적용하였으며 그 값은 표 4와 같다.

3) 노무비

노무비를 산출하기 위해서는 노무 생산성과 철근공의 노무 단가에 대한 조사가 필요하다. 그러나 노무생산성은 노무자의 숙련도, 현장조건 등에 따라 변화하는 값이고 노무단가도 시간과 장소를 변수로 변화하는 값이다. 따라서 본 연구에서는 노무생산성을 전문가 설문조사를 기준으로 가정하였다. 또한 노무단가는 2007년 하반기 표준 노임단가의 철근공 노무단가를 기준으로 설정하였으며⁷⁾, 경제성 분석에 적용된 값은 표 5와 같다.

표 5. 노무비 변수의 가정치 및 산출근거

구분	가정값	산출근거
노무생산성	- 겹침이음 : 145.5개소/2인·일 - 커플러이음 : 200개소/2인·일	설문조사
노무단가	- 20만원/2인	2007년 하반기 표준 노임단가

4.2 경제성 평가 모델 구축

4.2.1 모델의 구성

각 이음의 경제적인 측면을 평가하기 위해 겹침이음의 노무 생산성에서 입력받은 개소를 기준으로 커플러이음의 총 개소 공사비를 산출하여 평가하였으며, 경제성 평가모델의 구성 및 흐름은 그림 6과 같다.

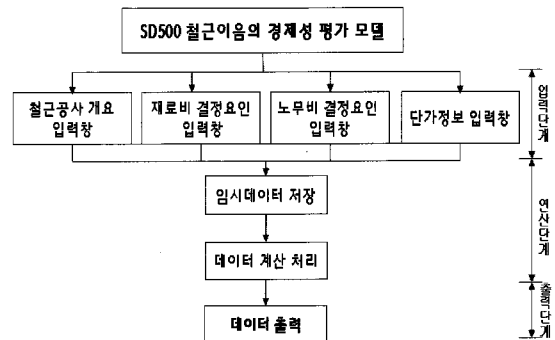


그림 6. 경제성 평가모델의 구성 및 흐름

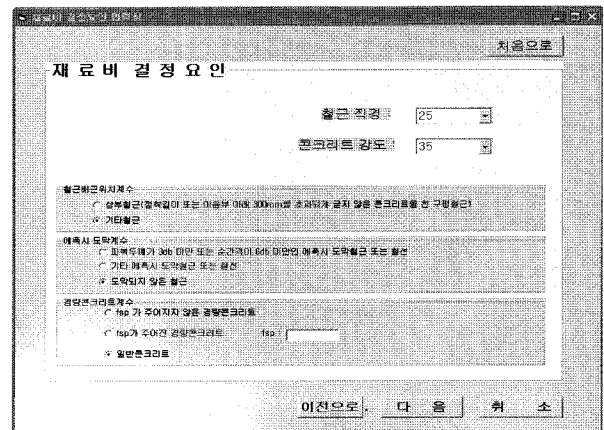


그림 7. 경제성 평가모델 재료비 결정요인 입력창

4.2.2 입출력창 설계

마이크로 소프트웨어의 비주얼베이직을 기반으로 하여 경제성

4) 대한건축학회(2005), 건설교통부고시 건축구조설계기준, 기문당, pp. 254~267.
5) 강경인의(2003), 건축적산 및 응용, 문운당, p. 127.
6) 건축법 38조, 건축법 시행령 32조 2항.

7) 대한건설협회(2007), 건설업 임금실태 조사 보고서(철근공:100,345원/일).

평가 모델의 입력창은 그림 7과 같이 초고강도 철근이음의 공사 개요, 재료비·노무비 결정요인, 단가정보 입력창으로 구성되어 있으며, 콤보박스와 옵션버튼을 이용하여 설정되어 있는 조건을 선택하는 컨트롤 항목과 텍스트 박스로 직접 입력하는 컨트롤 항목을 이용하여 설계 하였다. 출력창은 그림 8과 같이 개소당 공사비와 입력된 총 개소의 공사비를 출력하여 확인할 수 있도록 했다.

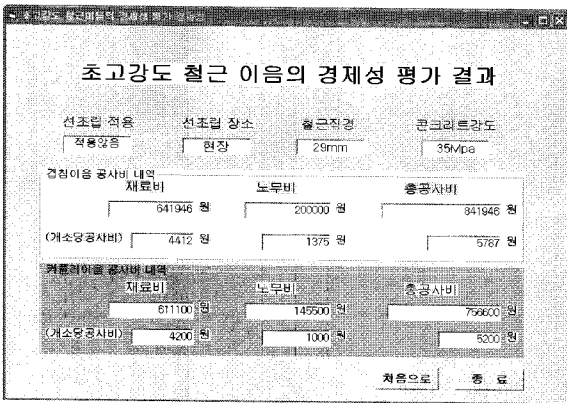


그림 8. 경제성 평가 모델 출력창

4.3 모델에 의한 경제성 분석

4.3.1 선조립적용 여부에 따른 경제성 분석

4.1절의 가정 내용으로 한 결침이음과 커플러이음의 철근직경이 D25, 콘크리트 강도가 27MPa의 선조립적용에 따른 공사비를 산출한 결과는 그림 10과 같이 나타났다. 이 산출 결과를 분석해보면 결침이음과 커플러이음 모두 선조립 공법을 적용하지 않은 공사비용이 유리하고, 1개층, 공장제작한 방법이 유리한 것으로 나타났다.

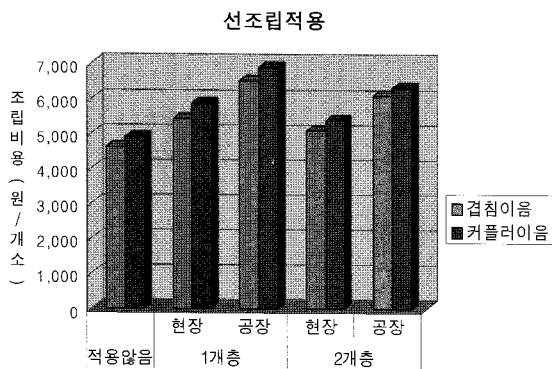


그림 9. 선조립적용 여부에 따른 공사비용 비교

4.3.2 콘크리트강도에 따른 경제성 분석

경제성 평가 모델의 선조립 공법을 적용하지 않은 공사비 산출 결과에서 콘크리트 강도 40~50MPa의 범위로 분석하였다.

1) 40MPa

콘크리트 강도 40MPa의 분석 결과는 그림 11과 같으며, 철근 직경이 D25일 때는 결침이음이 유리하고, D29이상일 때는 커플러이음이 유리한 것으로 분석되었다.

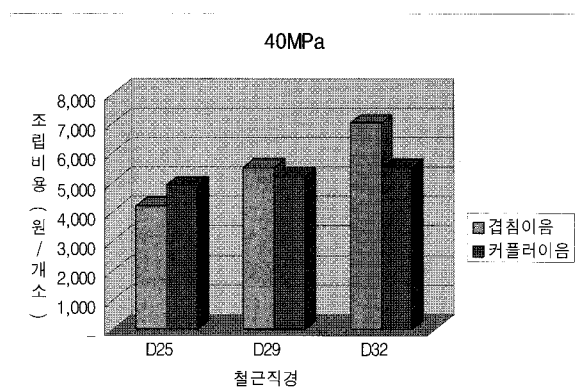


그림 10. 콘크리트 강도에 따른 공사비용 비교(40MPa)

2) 50MPa

콘크리트 강도 50MPa의 분석 결과는 그림 12와 같으며, 철근 직경이 D32일 때 커플러이음이 유리하고, D29의 분석결과 콘크리트 강도 50MPa인 경우에서만 결침이음이 유리한 것으로 분석되었다.

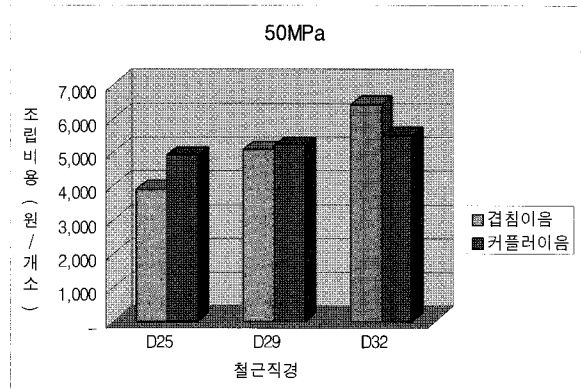


그림 11. 콘크리트 강도에 따른 공사비 비교(50MPa)

4.3.3 철근 직경에 따른 경제성 분석

경제성 평가 모델의 평가 결과를 선조립 공법을 적용하지 않은 공사비 산출 결과에서 철근 직경 D25~32의 범위로 분석하였다.

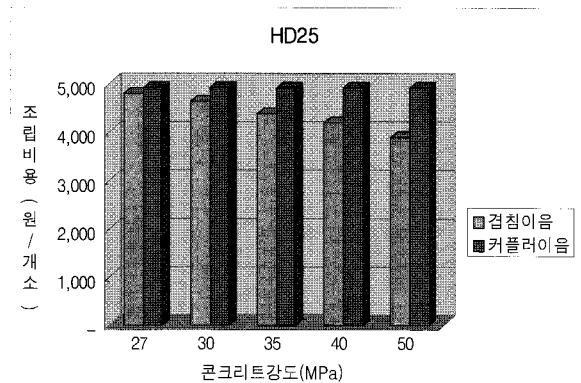


그림 12. 철근직경에 따른 공사비용 비교(HD25)

1) HD25

철근 직경이 D25인 경우의 결과는 그림 13과 같으며, 모든

콘크리트 강도(27~50MPa)에서 겹침이음이 유리한 것으로 분석되었다.

2) HD29

철근 직경이 D29인 경우의 결과는 그림 14와 같으며, 콘크리트 강도가 50MPa이상일 때는 겹침이음이 유리하고, 35MPa 이하에서는 커플러이음이 유리한 것으로 나타났다. 이 결과로 분석해봤을 때 겹침이음은 콘크리트 강도가 작을수록 이음길이 증가하기 때문에 커플러이음보다 불리하며, 이는 겹침이음과 커플러이음의 콘크리트강도(MPa)에 따른 경제적 측면의 평가에서 핵심적인 부분이다.

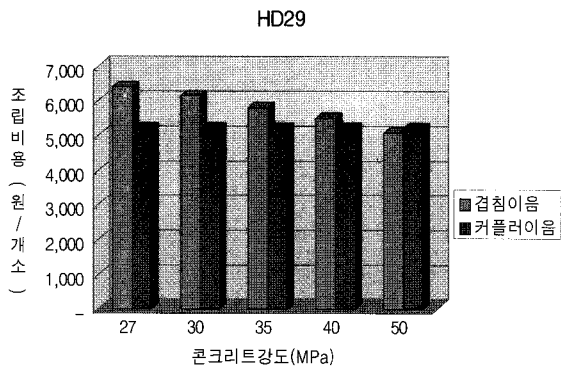


그림 13. 철근직경에 따른 공사비용 비교(HD29)

3) HD32

철근 직경이 D32인 경우의 결과는 그림 15와 같으며, 이 결과를 분석해보면 모든 콘크리트강도(27~50MPa) 분석범위에서 커플러이음이 경제성에서 유리한 것으로 분석되었다. 또한 철근 직경 D32 이상의 철근 이음에서는 겹침이음보다 커플러이음이 유리해지는 것으로 나타났다.

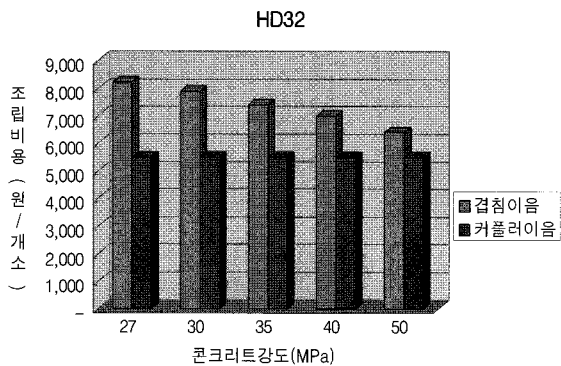


그림 14. 철근직경에 따른 공사비용 비교(HD32)

5. 결론

본 연구에서는 국내 초고층 건축물에 사용되고 있는 SD500 철근의 사용실태를 분석하고, 이음방법별 경제성 평가를 위해 전문가 설문조사 및 현장조사 등을 통하여 경제성 평가 모델을 구축하였다. 또한 현장에서 가장 많이 사용되는 조건을 입

력하는 방법으로 사례연구를 실시하여 모델의 유효성을 검증하고 이음방법별 경제성을 분석하여 제시하였다.

선조립 공법을 적용하여 분석해 본 결과 선조립 공법을 적용하는 경우보다 적용하지 않은 경우가 겹침이음과 커플러이음 모두에서 경제성 측면에서 유리한 것으로 분석되었다. 또한 커플러 이음은 철근직경이 클수록 함께 사용되는 콘크리트의 강도가 낮을수록 겹침이음에 비해 상대적으로 공사비용 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 SD500 고강도 철근의 이음방법별 경제성 평가 모델을 개발하여 현장에서 좀 더 쉽게 철근이음공법을 선정할 수 있는 방법을 제시하였다. 하지만 이는 개략적 평가모델로써 향후 더 많은 데이터를 축적하여 시스템의 세부내용을 보완하고 초고강도 재료 및 공법의 선정에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문의 작성에 많은 도움을 준 충주대학교 건축공학과 4학년 박상선, 이재철 학생에게 감사의 마음을 전합니다.

참고 문헌

1. 강경인 외(2003), 건축적산 및 응용, 문운당, p. 127.
2. 김광희 외(2007), 초고층 건물 공기단축을 위한 기동철근 3개층 선조립공법에 관한 연구, 한국생태환경건축학회논문집.
3. 김석희 외(2007), 초고층 주상복합 골조공사의 공사비 예측모형에 관한 연구, 대한건축학회논문집.
4. 김재엽 외(2007), SD500 고강도 철근용 커플러이음의 경제성 평가에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집.
5. 대한건축학회(2005), 건설교통부고시 건축구조설계기준, 기문당, pp. 254~267.
6. 대한주택공사 주택연구소(1997), 선조립철근을 적용한 철근공사 합리화 방안 공법설명회 발표집, pp. 29~39.
7. 박우열(2003), 유전자 알고리즘을 이용한 철근공사 최적 물량산출 모델 및 관리시스템 개발, 고려대 박사학위논문.
8. 박우열 외(2004), 국내 철근공사 실태분석 및 개선방안에 관한 연구, 한국시공학회논문집.
9. 안병익 외(2001), 고강도 모르타르 충전식 철근이음의 구조성능에 관한 실험연구, 대한토목학회논문집, pp. 516~524.
10. 이리형 외(1997), 강관 슬리브를 이용한 철근이음에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집.
11. 이민우 외(2006), 철근공사에서의 RFID 기술 적용성 기초 연구, 대한건축학회논문집 구조계.
14. 조훈희 외(2007), 철근공사의 공장가공 현황분석과 활성화 방안, 한국건설관리학회논문집.
12. 최희복(2004), TEMPCORE 철근의 마디-리브 나사식 기계적 이음법 개발에 관한 연구, 고려대 석사학위논문.
13. 한국철강협회(2001), 2000 철강기술전문부회연감, p. 112.