

변성에폭시 모르타르 내진보강한 5층 철근콘크리트 보통모멘트골조의 경제성 분석

Economic Analysis of a 5-Story RC OMRF Retrofitted with Modified Epoxy Mortar for Improving Seismic Performance

강 석 봉

곽 종 만

신 동 우

손 기 영*

Kang, Suk-Bong

Kwak, Jongman

Shin, Dongwoo

Son, Kiyoung*

School of Architecture, University of Ulsan, Nam-Gu, Ulsan, 680-749, Korea

Abstract

As a reinforcement material for RC members, the modified epoxy mortar has been reported one of the superior materials since the material can improve the load capacity and the seismic performance of the RC members. However, there were few experimental studies and analytical research for improving seismic performance with the material. This study is to propose an effective reinforcement plan for RC Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF) with the evaluation of seismic performance and economic analysis. For the objective, first, the load-deflection curve of a simple beam specimen was compared with the analytical results. Second, a 5-story RC OMRF structure was designed only for gravity load and the alternatives for seismic reinforcement were suggested. Third, pushover analysis was executed for evaluation of design coefficients and seismic performance of the structures. Finally, an effective reinforcement plan was suggested based on the results of quantity take-off and economic analysis. The findings of this study can be utilized as the basic data when the modified epoxy mortar is applied to practice for improving the seismic performance of RC members.

Keywords : modified epoxy mortar, seismic performance, quantity take-off, reinforced concrete, moment resisting frame

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 쓰촨성, 동일본 대지진 등을 계기로 구조물의 내진설계에 대한 중요성이 대두되고 있으며 성수대교, 삼풍백화점 등의 붕괴사고들을 계기로 시설물 유지관리 분야의 중요성이 대두되면서 정부는 1997년 “시설물유지관리에 관한 특별법”을 제정하여 본격적인 유지관리체제를 시

작했다[1]. 최근 들어서는 건물이 대형화, 고층화됨에 따라 붕괴사고의 규모 또한 대형화 추세에 있다. 특히, 건축 및 토목 구조물의 대부분을 차지하고 있는 철근콘크리트 구조물은 콘크리트가 인장에 약하고 취성적인 성질이 있어 시간이 지남에 따라 성능 저하가 발생할 여지가 있으므로 내진성능 개선을 위한 보수 및 보강 공사가 필수적이다.

이러한 구조물의 보수 및 보강을 실시할 때 단순히 경제적 측면만을 고려하여 공법을 선택하면 오히려 구조물 붕괴 위험을 야기시키는 악영향을 줄 수 있으므로 위험도 등 여러 측면을 고려하여 보수 및 보강공법을 선택하여야 한다.

현재 철근콘크리트 구조물의 보수 및 보강 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 현상유지, 실용상 지장이 없는

Received : December 19, 2013

Revision received : February 4, 2014

Accepted : February 5, 2014

* Corresponding author : Son, Kiyoung

[Tel: 82-52-259-2788, E-mail: sky9852111@ulsan.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

성능까지 회복, 초기수준 이상으로의 개선, 개축 등으로 나누어 보수 및 보강 수준을 결정하게 된다. 초기수준 이상으로의 개선방법 중 일반적으로 쓰이는 시공법에는 강판보강, 탄소섬유보강, 탄소판보강, 시멘트계 재료보강(폴리머시멘트충전제, 무수축시멘트계, 팽창시멘트주입제등), 수지계 재료보강(아크릴계수지, 에폭시계수지) 등이 있다 [2]. 이 중 변성에폭시 모르터 보강은 콘크리트 단면 내력 보강방법으로 구조적, 재료적 안정성이 우수하여 철근콘크리트 구조물의 보, 기둥 그리고 슬라브 보강용으로 쓰이는 재료이다[3]. 이 변성에폭시 모르터는 약 1992년부터 국내에 알려지기 시작하여 여러 현장에 사용되고 있으나 다른 재료에 비하여 고가의 재료여서 실질적으로 현장에서 널리 사용되지는 못하고 있는 실정이다[4].

변성에폭시 모르터로 기둥과 보를 보강할 경우 단면내력이 다른 재료에 비해 증대됨은 물론 구조물 내진성능도 향상되는 것으로 일부 연구[5,6]에서 보고되고 있으나 고가의 재료비로 인해 변성에폭시 모르터를 내진보강 자재로서 실험 및 분석을 하거나 보강한 사례는 거의 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 철근콘크리트 골조의 내진성능 보강을 위하여 변성에폭시 모르터를 활용하여 보강한 사례 별로 내진성능과 경제성을 분석하여 적절한 내진성능 보강 방안을 제시하고자 한다. 본 연구의 결과는 향후 여러 건설현장에서 변성에폭시 모르터 보강공법으로 내진보강을 실시할 경우 기초자료로서 활용될 것이라 기대된다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구의 방법은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 변성에폭시 모르터로 보강한 부재의 재료 수직응력-변형률 관계를 활용하여 단면 힘모멘트-곡률관계를 확인하고 단

면의 유연도가 부재에 선형으로 변화한다고 가정하여 실험체 하중-처짐곡선에 대하여 검증한다. 둘째, 수직하중만을 고려하여 철근콘크리트 구조물을 설계하고 보강부위에 따른 보강대안을 제시한다. 셋째, 울산대학교 구조공학 연구실에서 자체개발한 비탄성 정적 및 동적 구조해석 프로그램을 활용하여 푸시오버해석을 실시한 후 보강위치에 따라 향상되는 설계 계수와 구조물 거동을 파악하여 내진 성능을 확인한다. 넷째, 보강위치에 따른 각 대안 별 물량을 산출하여 공사원가를 비교 및 분석한 후 요구되는 내진성능을 만족하면서 경제성이 우수한 보강방안을 제시한다. 본 연구에서는 내진성능의 판단을 KBC2009 설계계수인 반응수정계수, 시스템초과강도계수, 변위증폭계수를 확인하는 것으로 한정한다.

2. 변성에폭시 모르터 재료특성

변성에폭시 모르터는 구조보강 자재로 콘크리트 부재와 변성에폭시의 탄성계수와 변형율이 유사하므로 구조적으로 일체화되어 안전성능을 발휘할 수 있으며 휨 보강 이외에 전단보강이나 압축보강 경우에도 안정적 성능을 발휘한다고 보고되고 있다[3]. 이에 대한 검증으로 본 연구에서는 변성에폭시 모르터의 재료특성을 확인하기 위해 실험체에 대한 압축강도, 탄성계수, 인장강도 등을 분석하였다. 실험결과를 Table 1과 같다.

실험결과에 따르면 변성에폭시 모르터 실험체는 기준실험체 대비 압축강도의 경우, 약 5배로 나타났다. 탄성계수의 경우, 각 공시체에 3개의 Strain Gage (60mm)를 부착하여 값들을 계측하였으며 결과는 1.6배에 해당되었다.

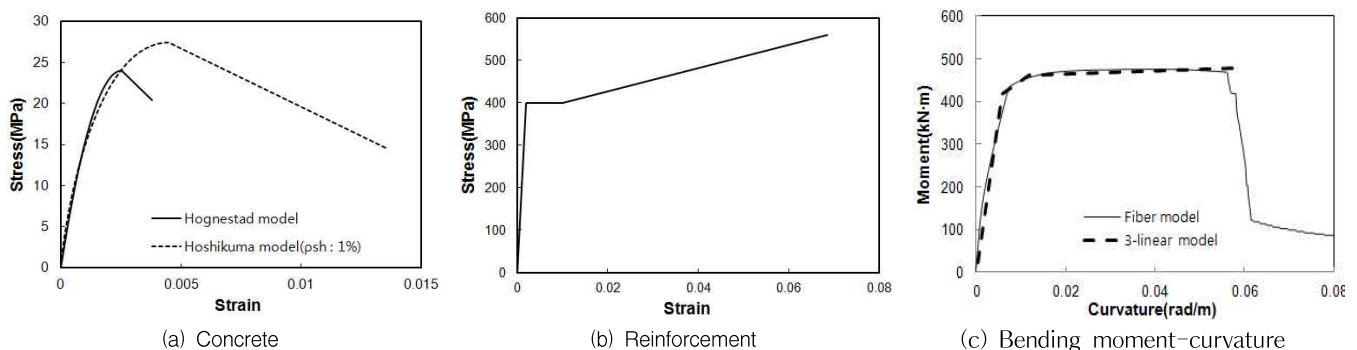


Figure 1. Stress-strain and moment-curvature curve

Table 1. Comparison between a control specimen and the specimen with modified epoxy mortar

Test conducted	Without Modified epoxy mortar	With modified epoxy mortar specimen
Compressive strength (MPa) / Age(Day)	238 / 27	1,253 / 3 1,191 / 7
Elastic modulus (10^3 MPa)	144.112	240.243
Strain	0.005	0.014
Flexural strength(MPa)	30	273.13
Tensile strength(MPa)	20	115.51

또한, 변성에폭시 모르타의 변형율에서는 항복변형율은 거의 일관되게 0.01정도의 값을 보였으며 콘크리트와는 달리 최대변형율이 항복변형율 보다 매우 긴 소성변형구간이 있는 파괴양상을 보였다.

휨강도 시험은 KS F 2408에 의한 콘크리트의 휨강도 시험(단순보의 중앙점 하중법)에 의하여 수행하였다. 단면 치수 15cm×15cm, 길이 50cm의 변성에폭시 실험체를 사용한 결과, 273.13MPa으로 기준실험체 보다 약 9배 우수한 것으로 나타났다. 인장강도의 경우, KS F 2423의 콘크리트의 인장강도 시험방법에 의하여 수행하였다. 공 시체의 재령은 3일이며, 크기는 10cm(R), 20cm(H)의 시험체를 사용한 결과, 인장강도는 기준실험체의 약 6배 강도를 나타냈다.

3. 비탄성 해석모델

3.1 Fiber Model

Fiber model은 단면을 다수의 Fiber 요소로 나누고 각

Fiber에 재료 수직응력-변형률 관계를 적용함으로써 단면 휨모멘트-곡률 관계를 유도할 수 있다[7]. 외부콘크리트에 Modified Hognestad model과 내부콘크리트에 Hoshikuma model을 적용하여 횡방향 철근 구속효과를 고려하였으며 콘크리트 수직응력-변형률 관계는 Figure. 1(a)에 나타내었다. 변성에폭시 모르타의 재료성질은 실험결과를 활용하여 확인하였으며 이선형 해석모델로 나타내었다[6]. 철근은 탄성계수 1%의 소성경화를 고려하여 Figure. 1(b)와 같이 단순화하였다. 또한, 비선형 휨모멘트-곡률 관계를 적용할 경우 오버슈팅 문제가 발생할 수 있으므로 본 연구에서는 삼선형해석모델로 단순화하여 Figure 1(c)에 나타내었다.

3.2 유연도 선형분포 모델

하나의 부재를 다수의 요소로 나타내었으며 한 요소의 양단과 변곡점 사이에서 유연도가 선형으로 분포한다고 가정하는 유연도 선형분포 모델을 적용하여 부재 비탄성 강성도행렬을 유도하였다. 부재를 이루는 요소 개수에 따라 오차 및 해석시간이 변하므로 선행연구[8]를 통해 산정한 적정 요소개수를 구조해석에 적용하였다.

3.3 해석모델 검증

변성에폭시 모르타로 보강된 철근콘크리트 단순보 실험체의 실험결과와 구조해석결과를 비교하였다. Figure 2(b)은 실험체 단면에 대해 해석한 휨모멘트-곡률관계이다. 보강단면은 비보강단면에 비해 항복까지의 거동은 비슷하지만 항복 이후 강도는 약 30% 증가하고 연성도는 약 2.5배 정도 증가하였다.

Figure 2(a) 단순보의 P- δ 관계에 대한 실험결과와

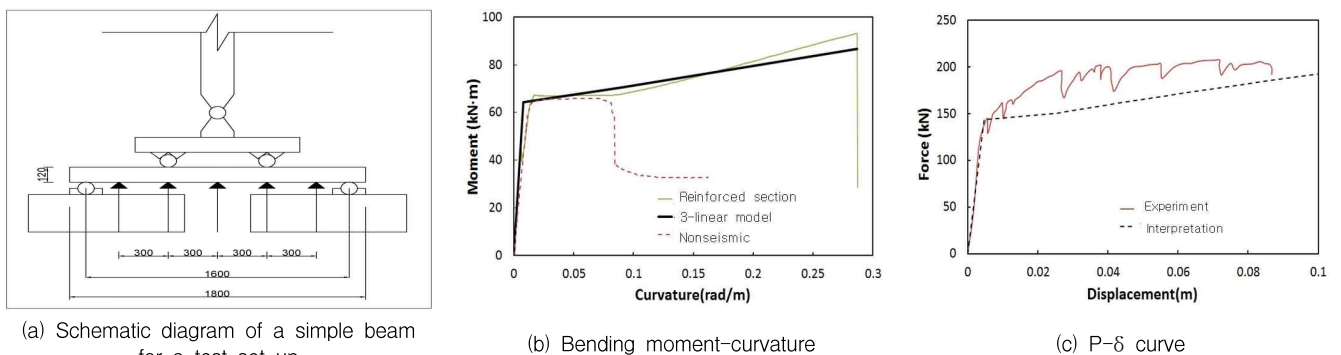


Figure 2. Experiment

삼선형해석모델과 유연도선형분포를 이용한 해석결과를 Figure. 2(c)에 나타내었다. 항복까지는 비슷한 거동을 보이고 구조물 최대강도 및 연성도에서 큰 차이는 없었다.

4. 구조물 설계

4.1 설계 개요

철근콘크리트 보통모멘트골조를 적용하여 설계된 예제 구조물에 대해 비탄성 구조해석 프로그램[8]을 이용하여 푸쉬오버해석을 수행하였다. 초기하중은 FEMA 273을 참고하여 고정하중 100%, 적재하중 25%의 중력하중을 고려하였으며 2차원 해석에서 내, 외부골조를 모두 고려하기 위해 슬래브 강체 다이어그램을 고려하여 강체트러스를 이용한 연결골조를 적용하였다.

Table 2. Test parameters

Design details	Content
Seismic zone	1(Site coefficient A=0.22)
Soil profile type	S _b
Seismic use group	I Rating (Importance factor I _e =1.2)
Response modification coefficient	R = 3
System over-strength factors	$\Omega_o = 3$
Displacement amplification Factors	C _d = 2.5
Fundamental vibration period	$T_u = C_T h_n^{3/4}$; $RCMRF(C_T = 0.073)$
Building height, width	5 Floor : 20m, Width : 6m×19.8m

Table 2는 본 연구에 적용된 설계사항을 나타낸다. 중력방향 하중은 고정하중 4.5kN/m², 적재하중 2.5kN/m²을 고려하였다. 또한, 풍하중산정을 위해서 기본풍속 35m/sec, 노풍도 B, 중요도 계수1.0을 활용하였다.

4.2 구조물 개요

본 연구의 예제구조물은 Table 3과 같이 KBC2009와 콘크리트구조설계기준(한국콘크리트학회, KCI2007)을 참고하여 5층 업무시설 용도로 수직하중만을 고려하여 구조설계를 실시하였다.

건물 구조계획은 다음 Figure 3과 같이, 기본경간은 장변 7.2m 5경간, 단변 6.6m 3경간으로 직사각형 형태로 계획하였으며 구조물 층고는 동일하게 4m로 계획하였다. 예제구조물 구조해석 및 부재설계는 MIDAS GEN을 이용하였으며 주요 구조부재에 대한 구조설계 결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Building outline

Design guideline	Korean Building Code-Structural (2009) Korea Concrete Institute (2007)	
No. of stories	5-Story	
Height of each floor	4m	
Type	Office building	
Construction material	Reinforced concrete	
Strength	Concrete	F _{ck} =24MPa
	Reinforcement	F _y =400MPa

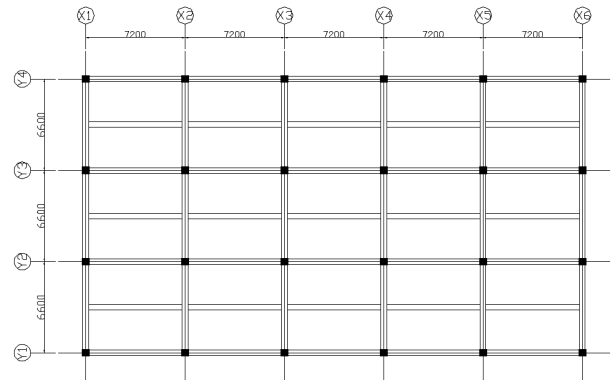


Figure 3. Simulated floor plan

Table 4. Results of structural design

Type	Story	Location	Dimensions(mm)	Reinforcement
Beam (end)	1-5F	G1	300×600	top 6-D19
				bot 2-D19
		G2		top 3-D19
				bot 2-D19
		G3		top 4-D19
				bot 2-D19
		G4		top 2-D19
				bot 2-D19
Column	1F	C1	500×500	16-D19
	2-5F			10-D19
	1-4F	C2	400×400	6-D19
	5F			8-D19
	1-5F	C2a	400×400	6-D19
	1-5F	C3	400×400	6-D19

4.3 보강방법

본 연구에서는 변성에폭시 모르타르로 보강된 철근콘크리트 구조물의 내진성능을 확인하고 경제성을 분석하기 위해 보강위치를 달리한 대안별 구조물에 대하여 구조해석을 수행하였다. 대안 별 가정사항은 다음과 같다(Figure 4 참조).

- 1) 대안 1의 경우 외부 기둥만을 보강한다.
- 2) 대안 2는 외부골조의 기둥 및 보를 보강한다.
- 3) 대안 3의 경우 외부기둥과 모든 보를 보강한다.
- 4) 대안 4는 모든 부재를 보강한다.
- 5) 대안 5는 기둥은 전 층을, 보를 3층까지만 보강한다.

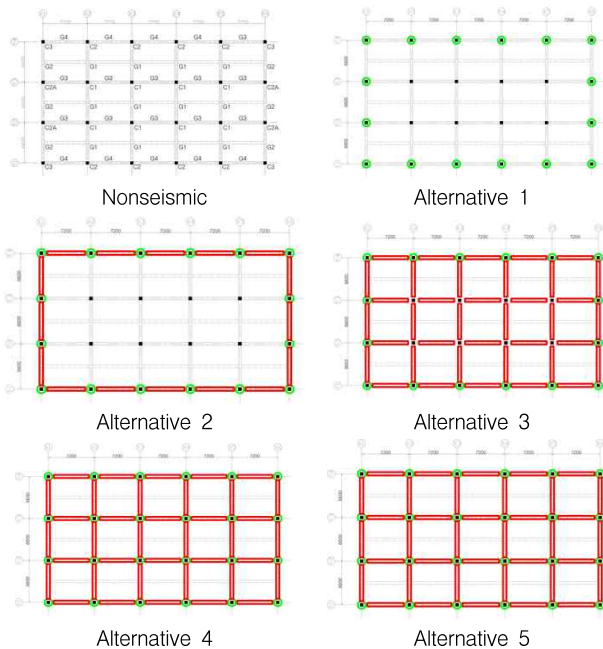


Figure 4. Alternative plans for floor

보 상부는 슬라브를 감안하여 보강하지 않았고 보 옆면과 하부 면은 변성예폭시 모르타르 50mm를 보강하였으며 보 중앙부 하단의 주근 개수는 동일한 수의 철근을 추가로 배근하여 보강하였다.

기둥의 경우, 4면을 50mm로 보강하였으며 기둥 주근 개수와 동일한 수의 철근을 추가로 배근하여 보강하였다. 보조근은 일괄적으로 200mm 간격으로 시공하며 주근 설치 시 정착 깊이는 120mm 이상으로 하며 주입제는 통일하여 시공하였다. 보 및 기둥의 보강 전 콘크리트면 균열이나 파손부위 등은 표준 시방에 의거하여 보수완료한 후 보강작업을 하였다.

5. 대안별 구조해석 결과

KBC2009에서는 총 55개의 지진력저항시스템으로 분류하고 있으며 시스템별로 다양한 설계계수들이 제시되어

있다. 설계계수는 반응수정계수, 시스템초과강도계수, 변위증폭계수로 구성되어 있으며 내진설계에서 사용하는 설계계수는 구조물 내진성능에 매우 큰 영향을 미친다.

반응수정계수는 구조물 탄성내진설계의 비경제성을 극복하기 위해서 구조물 비탄성거동에 따른 에너지 흡수능력을 고려하여 설계하중을 산정하는데 활용하는 계수이다. 시스템초과강도계수의 경우 항력저항에 참여하는 여러 요소를 설계자가 최적화시키는 정도와 구조물에 담겨진 여유도의 양을 확인하는 계수이다. 또한, 변위증폭계수는 항력 발생 후 설계지진동에 대한 가능성이 있는 예상변위를 산정하기 위해 변위를 증폭시키는 계수이다. 본 연구에서는 상기의 설계계수를 활용하여 내진성능을 평가하였다[9]. Table 5는 KBC2009에서 제시한 철근콘크리트 모멘트-저항골조시스템의 설계계수를 나타낸다.

Table 5. Design coefficients for RC MRF

Seismic Load Resisting System	Design factor		
	Response modification factors (R)	System over-strength factors (Ω_0)	Displacement amplification factors (C_d)
RC Special Moment Frame	8	3	5.5
RC Intermediate Moment Frame	5	3	4.5
RC Ordinary Moment Frame	3	3	2.5

반응수정계수는 일반적으로 설계강도(V_D)와 보유강도(V_Y)의 비인 시스템초과강도계수(Ω_0), 항복변위(ΔY)와 최대변위(ΔU)의 비인 변위증폭계수(C_d)의 곱으로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 Figure 5과 같이 국부적인 한계 상태까지의 밀면전단력-지붕층변위 관계를 등가에너지개념을 적용해 Bi-linear로 이상화하여 시스템초과강도계수(Ω_0)와 변위증폭계수(C_d)를 산정하였다.

Table 6은 대안 별 보강방법에 따라 산정한 반응수정계수, 시스템초과강도계수, 변위증폭계수이다. 비보강 구조물 경우 내진설계가 되지 않아 시스템초과강도계수가 0.832로 설계강도 보다 낮게 나타나고 있으며 대안 4의 경우 반응수정계수가 3.81로 철근콘크리트 보통모멘트골조 보다 높은 내진성능으로 가장 높은 성능과 설계계수를

나타냈다. 즉, 변성에폭시 모르터를 활용한 보강이 내진성능 향상에도 효과가 있음을 알 수 있다.

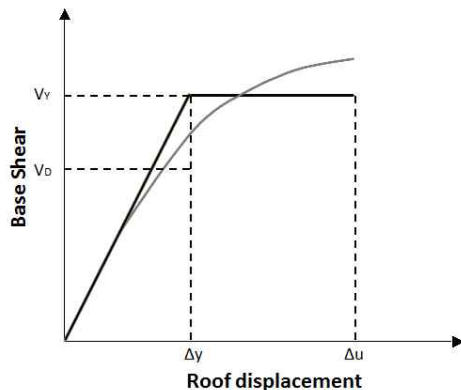


Figure 5. Conceptual diagram for response modification factors(R)

Table 6 Design coefficients for alternatives

Load Type	Response modification factors (R)	System over-strength factors (Ω_0)	Displacement amplification factors (C_d)
Nonseismic	1.29	0.832	1.553
Alternative 1	1.41	0.917	1.533
Alternative 2	1.93	1.060	1.819
Alternative 3	3.27	1.352	2.415
Alternative 4	3.81	1.506	2.528
Alternative 5	3.38	1.453	2.325

대안 1의 경우도 비보강 건축물과 마찬가지로 시스템초과강도계수가 0.917로 설계강도 보다 낮게 나타났다. 대안 2의 경우 반응수정계수가 1.93으로 적절한 내진성능을 갖지 못하였다. 대안 3의 경우 반응수정계수가 3.27로 철근콘크리트 보통모멘트골조와 유사한 성능을 보였지만 기둥 하부에 한계상태가 발생하여 구조물 한계상태에 도달하였다. 대안 5의 경우 반응수정계수가 3.38로 대안 3과 유사한 성능을 보였다.

6. 경제성 분석

6.1 대안별 물량산출 및 비교

6.1.1 물량산출 절차

본 연구에서 제시하는 보 및 기둥 보강방법은 일반적으

로 가장 널리 사용하는 시공방법인 “거푸집을 이용한 단면증설”방법이며 여기에서는 현장 여건에 따라 시공하는 가설공사, 보양공사, 보온공사, 먹메김, 마감공사 등의 공정은 제외한 순수 보강공정만을 제시한다. 즉, 보강 전 공적인 균열 보수, 단면복구 등의 보수작업등은 물량에서 제외한다[10].

작업방법은 시공범위선정, 바탕면만들기, 철근제작 및 설치공사, 거푸집제작 및 설치공사, 변성에폭시 모르터 타설의 순으로 진행된다. 또한, 표준시방서에 따른 보수·보강 시공방법에 준하며, 별도의 보온공사, 가설공사, 보양공사 등은 물량에서 제외한다.

각 부재별 작업 공정순서를 토대로 작업물량을 산출한다. 여기서 할증은 실제 작업 시 현장에서 적용시키는 표준요율을 적용하여 작업량을 산정한다. 공사원가는 다음 Figure 6와 같이, 각 대안에서 보 및 기둥 보강공사 별로 바탕면 만들기, 철근케미칼 앵커 설치, 철근제작 및 설치, 거푸집 제작 및 설치, 변성에폭시 모르터 타설로 나누어 산정된다.

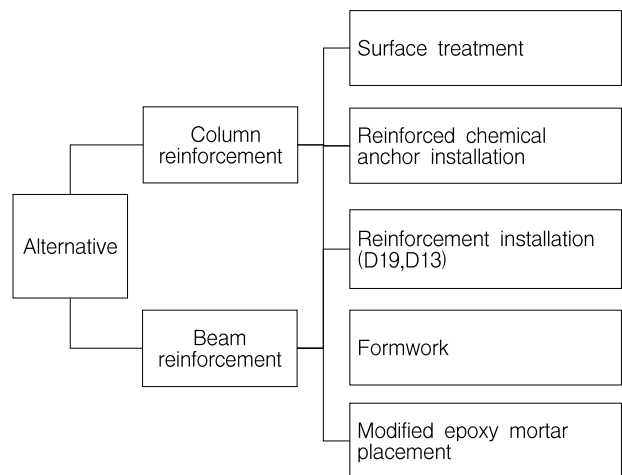


Figure 6. Detailed plan for calculating construction cost

6.1.2 보강부위 물량산출

본 연구에서는 Table 7과 같이, 보강부위 별 물량을 산출하였다. 기둥 보강의 경우는 설계된 $500 \times 500\text{mm}$ 기준으로 산출되었으며 보 보강의 경우, 장변인 7.2m와 단변인 6.6m 기준으로 각각 산출되었다.

Table 7. Results of quantity take-off

Reinforcement part	Work	Quantity take-off	Total quantity
Column (500×500 mm)	Surface treatment	0.5m×4side×4m	8m ²
	Reinforced chemical anchor (HD19×100mm)	1spot 10ea×(upper, lower)	20 spot
	Reinforcement installation	HD19 (Main) 4.2m×2.25kg=9.45kg×10spot =94.5kg×Loss20%	196.14kg
		HD13 (Sub) 1.65m×2ea×21spot=69.3m×0.995kg=68.95kg×Loss20%	
	Formwork (One time use)	0.5m×4side×4m=8m ² ×Loss20%	9.6m ²
	Modified epoxy mortar placement (50mm Reinforced)	(0.6×0.05×4m)×2side=0.24m ³ (0.5×0.05×4m)×2Point=0.2m ² =0.44m ³ ×Loss20%	0.528m ³
Beam (7,200 mm)	Surface treatment	(0.6+0.3+0.6)×7.2m	10.8m ²
	Reinforced chemical anchor (HD19×100mm)	1spot 6ea×2(both sides)	12 spot
	Reinforcement installation	HD19 (Main) 7.4m×2.25kg=16.65kg×6spot =99.9kg×loss20%	197.24kg
		HD13 (Sub) 1.8m×36Spot=64.8m×0.995kg =64.47kg×loss20%	
	Formwork (One time use)	(0.6+0.3+0.6)×7.2m =10.8m ² ×loss20%	12.96m ²
	Modified epoxy mortar placement (50mm Reinforced)	(0.65×0.05×7.2m)×2side =0.468m ³ , (0.3×0.05×7.2m) =0.108m ³ ×loss20%	0.69m ³
Beam (6,600 mm)	Surface treatment	(0.6+0.3+0.6)×6.6m	9.9m ²
	Reinforced chemical anchor (HD19×100mm)	1spot 6ea×2(Both sides)	12 spot
	Reinforcement installation	HD19 (Main) 6.6m×2.25kg=14.85kg×6spot =89.1kg×Loss20%	177.84kg
		HD13 (Sub) 1.8m×33spot=59.4m×0.995kg =59.103kg×Loss20%	
	Formwork (One time use)	(0.6+0.3+0.6)×6.6m=9.9m ² ×Loss20%	11.88m ²
	Modified epoxy mortar placement (50mm Reinforced)	(0.65×0.05×6.6M)×2side =0.429m ³ (0.3×0.05×6.6M) =0.099m ³ ×Loss20%	0.63m ³

Table 8에서와 같이 각 대안 별로 보강되는 부재 숫자를 확인하고 보강범위(개소)를 파악하였다. 또한, Table 9는 각 공정 별 보강부위 물량산출을 토대로 대안 별 보강 부재 수량에 대한 총 물량을 나타낸다. 대안 4는 모든 부재에 보강을 실시하므로 가장 많은 물량이 산출되었다.

Table 8. Reinforcement range

Content	Alternative (spot)				
	1	2	3	4	5
Column (500×500)	80	80	80	120	120
Beam (600×300×7,200)	-	50	100	100	60
Beam (600×300×6,600)	-	30	90	90	54

Table 9. Total quantity take-off

Reinforcement quantity	Alternative				
	1	2	3	4	5
Surface treatment (m ²)	640	1,477	2,611	2,931	2,142
Reinforcement installation (ton)	15.69	30.88	51.42	59.26	44.97
Reinforced chemical anchor (spot)	1,600	2,560	3,880	4,680	3,768
Formwork (m ²)	768	1,772.4	3,133.2	3,517.2	2,571.1
Modified epoxy mortar placement (m ³)	42.24	95,808	168.38	189.5	139.04

6.2 공사비 분석

본 연구에서는 2013년 정부품셈단가를 기준으로 공사비를 산정하였다. 원가구조는 다음 Figure 7과 같이 구성되며 각 공정 별로 공사비를 산정하였다.

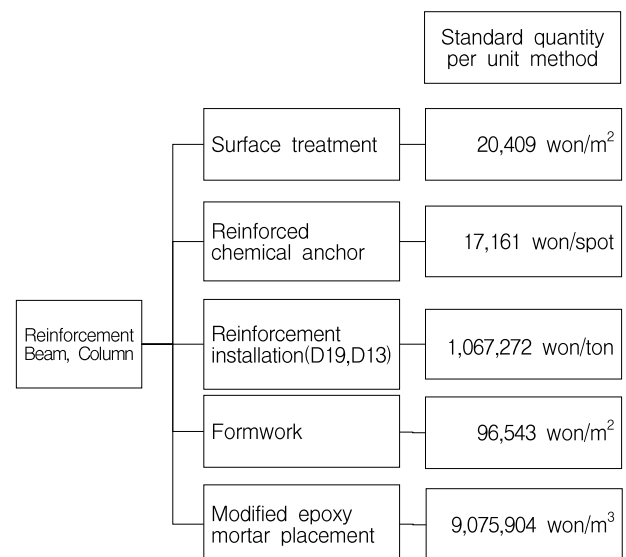


Figure 7. Construction costs of work

Table 10은 대안 별로 산정된 공사원가를 나타낸다. 분석결과, 모든 부재를 보강한 대안 4의 경우를 기준율(100%)로 정한 후 비교한 결과, 보강범위가 기둥 보강에 국한된 대안 1의 경우 대안 4 대비 22.75%로 가장 낮은 것으로 나타났으며 대안 2, 5, 3 순으로 각각 대안 4 대비 50.52%, 73.64%, 88.62% 순으로 공사원가가 증가되었다.

Table 10. Construction costs of alternatives

Work		Alternative				
		1	2	3	4	5
Surface treatment	Total quantity (m ²)	640	1,477	2,611	2,931	2,142
	Unit cost (1,000won)	20.41	20.41	20.41	20.41	20.41
	Total cost (1,000won)	13,061	30,144	53,289	59,818	43,728
Reinforced chemical anchor	Total quantity (spot)	1,600	2,560	3,880	4,680	3,768
	Unit cost (1000won)	17.16	17.16	17.16	17.16	17.16
	Total cost (1000won)	27,457	43,932	66,584	80,313	64,662
Reinforcement work	Total quantity (ton)	15.69	30.89	51.42	59.27	44.97
	Unit cost (1000won)	1,067	1,067	1,067	1,067	1,067
	Total cost (1000won)	16,745	32,965	54,880	63,252	47,999
Form work	Total quantity (m ²)	768	1,772	3,133	3,517	2,571
	Unit cost (1000won)	96.54	96.54	96.54	96.54	96.54
	Total cost (1000won)	74,145	171,112	302,488	339,561	248,223
Modified epoxy mortar placement	Total Quantity (m ³)	42	95	168	189	139
	Unit cost (1000won)	9,075	9,075	9,075	9,075	9,075
	Total cost (1000won)	383,369	869,550	1,528,212	1,719,897	1,261,923
Total	Reinforcement (1000won)	514,778	1,147,705	2,005,455	2,262,843	1,666,537
	Cost ratio	22.75%	50.52%	88.62%	100%	73.64%

7. 결 론

본 연구에서는 수직하중에 대하여 구조설계된 철근콘크리트 골조구조물의 내진성능 향상을 위하여 변성에폭시 모르터를 활용한 5가지 종류의 보강 구조물에 대하여 비탄성 정적해석인 푸쉬오버해석을 실시하였다. 이후 구조 해석 결과를 활용하여 설계계수인 시스템초과강도계수, 변위증폭계수 및 반응수정계수를 확인하여 내진성능을 파악하고 각 보강방법에 대한 경제성을 비교분석하였다. 그에 따른 결론은 다음과 같다.

- 1) 비보강 및 대안 1, 2 구조물의 시스템초과강도계수는 0.83 - 1.06이고 대안 3, 4, 5 구조물의 경우 1.35, 1.51, 1.45로 확인되었다. KBC2009에서는 재현주기 2400년의 지진위험도로 정의한 최대예상 지진에 대한 2/3로 설계한다. 그러므로 대안 4, 5 구조물에서는 2400년 재현주기의 지진에 대하여 붕괴방지를 위한 구조물 강도를 확보할 수 있을 것으

로 예상된다.

- 2) 비보강 및 대안 1, 2의 변위증폭계수는 1.5 - 1.82이고 대안 3, 4, 5 구조물의 경우 2.42, 2.53, 2.33으로 확인되었다. KBC2009에서는 2.5의 변위증폭계수가 제시되어 비보강 및 대안 1, 2 구조물에서는 취성파괴 거동이 예상된다.
- 3) 대안 3, 4, 5 구조물의 경우 KBC2009 보통모멘트 골조 반응수정계수인 3 보다 큰 값인 3.27, 3.81, 3.38을 나타내었다. 대안 4의 경우 설계계수인 시스템초과강도계수, 변위증폭계수, 반응수정계수에서 가장 높은 결과를 나타내었다.
- 4) 대안 4 구조물 보강공사비 대비 대안 3, 5 구조물 보강공사비 비율은 0.88, 0.73으로 확인되었다. 그러므로 보강구조물의 내진성능 및 보강공사비를 고려하는 경우 대안 5 보강방법이 가장 효율적인 보강 방법으로 판단된다.

본 연구의 결과는 향후 여러 건설현장에서 변성에폭시 모르터 보강공법으로 내진보강을 실시할 경우 기초자료로서 활용될 것이라 판단된다. 하지만 다른 보강방안들과 같이 활용되는 경우 경제성 및 내진성능에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

요 약

변성에폭시 모르터 보강은 철근콘크리트 단면내력 보강 방법으로 구조적, 재료적 안정성이 우수하여 단면내력 중 대뿐만 아니라 구조물 내진성능도 향상되는 것으로 보고되고 있으나 고가의 재료비로 내진보강 자재로서 실험 및 분석을 한 사례는 거의 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 철근콘크리트 골조의 내진성능 보강을 위하여 변성에폭시 모르터를 활용하여 보강한 대안 별로 내진성능과 경제성을 분석하여 적절한 내진성능 보강방안을 제시하고자 한다. 이를 위해, 첫째, 본 연구에서는 변성에폭시 모르터로 보강한 부재의 재료 수직응력-변형률관계를 활용하여 단면 휨모멘트-곡률관계를 확인하고 단면의 유연도가 부재에 선형으로 변화한다고 가정하여 실험체 하중-처짐곡선에 대하여 검증한다. 둘째, 수직하중만을 고려하여 철근콘크리트 구조물을 설계하고 보강대안을 제시한다. 셋째, 부재 비탄성 거동을 고려한 구조해석을 실시한 후

보강대안 별 설계계수와 구조물 거동을 파악하여 내진성능을 확인한다. 넷째, 보강대안 별 물량을 산출하여 공사 원가를 비교 및 분석한 후 요구되는 내진성능을 만족하면서 경제성이 우수한 보강방안을 제시한다. 본 연구의 결과는 향후 여러 건설현장에서 변성에폭시 모르터 보강공법으로 내진보강을 실시할 경우 기초자료로서 활용될 것이라 기대된다.

키워드 : 변성에폭시 모르터, 내진성능, 철근콘크리트, 물량산출, 모멘트저항 골조

Acknowledgement

This work was supported by the 2013 Research Fund of University of Ulsan. This work was supported by the Super Computing Center/Korea Institute of Science and Technology Information with super-computing resources including technical support.

References

1. Han MY, Lee TS, The Strengthening Design Method Considering Damages of Structure, Journal of Korea Concrete Institute 1999 Jun;11(3):35-45.
2. Kim SW, A Study on the Problem and Improvement of Safety and Maintenance Management, Journal of Korea Institute Structural Maintenance and Inspection 2009 Jul;13(4):101-6.
3. Ryu HH, Structural Behavior of Enlarged RC Beams with Modified Epoxy Mortar Systems[master's thesis]. [Seoul(Korea)]: Ewha Womans University; 2001. 101 p.
4. Ryu HH, Shin YS, Jung HG, Strengthening Effects of Epoxy Mortar Systems on Reinforced Concrete Beams by Flexural Tensile Strength, Journal of Korea Concrete Institute 2000 May; 12(1):787-91.
5. Jeong HG, Song JG, Jeong YB, Kim SJ, Gu ES, Lee SB, Lee Sh, Yuclid Korea MEM- 6000 Euco Bond Mortar Enhance Performance Experiment Report, Yongin(Korea): Hyundai Engineering&Construction(Seoul) ; 1999. Dec. 59p.
6. Jeong HG, Song JG, Jeong YB, Kim SJ, Gu ES, Lee SB, Lee Sh, Chemical Petition ME M-6000, Modified Epoxy Mortar Enhance Performance Experiment Report, Yongin(Korea): Hyundai Engineering&Construction(Seoul) ; 1999. Dec. 42 p.
7. Kang SB, Lim BJ, Inelastic Time History Analysis of a 5-Story Reinforced Concrete IMRF, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 2012 Dec;16(6):13-20.
8. Kang SB, Kim TY, Pushover Analysis of a 5-Story RC OMRF Considering Inelastic Shear Behavior of Beam-Coultumn Joint, Journal of Korea Concrete Institute 2012 Oct;24(5):517-24.
9. Architectural Institute of Korea, KBC2009, Korea: Ministry of Land; 2009. 769 p.
10. Kim YY, Jo BH, Hong SH, An Experiment on Anchorage and Usefulness of Expanded Steel-Plate Nets of RC Beams Strengthened by Increasing Section, Journal of Architectural Institute of Korea, 2008 Aug;24(8):65-75.