

공동주택의 리모델링 전략을 위한 안전진단의 경제성분석 모델

A Models of Economic Analysis in Safety Diagnosis for Remodeling Strategies of Apartment Housing

서 광 준* · 최 미 라** · 신 남 수**¹⁾

Seo, Kwang-Jun · Choi, Mi-Ra · Shin, Nam-Soo

요 약

최근 생애주기비용 분석의 중요성이 대두됨에 따라 공동주택 리모델링사업에서의 생애주기비용 분석을 위한 이론적 모델, 표준지침 및 소프트웨어 등이 개발되어지고 있다. 그러나 현재까지도 실질적인 안전진단에 대한 과거 보수이력데이터의 부재로 인한 LCC분석 결과에 대한 신뢰수준이 여전히 미흡하다. 본 연구에서는 사례 공동주택의 신뢰성에 기초한 LCC분석을 통해 리모델링 전략을 평가하고, 장래 요구되는 리모델링 조치수준의 비교·분석을 통해 적정 경제성지수를 제시함과 동시에 최근 연구가 활발히 진행 중인 공동주택 리모델링에 대한 실적 LCC 기초자료를 얻고자 하였다. 본 연구에서 제안된 퍼지로직에 기초한 안전성평가와 LCC분석모델은 공동주택 리모델링사업에서의 가치 지향적 설계대안 선정, 경제성평가 및 합리적인 예산의 분배 등에 크게 기여할 것으로 기대된다.

키워드 : 생애주기비용분석, 경제성지수, 리모델링 전략 및 조치, 가치-지향적 설계, 퍼지논리, 안전성평가

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 국내의 건설동향은 재건축보다는 리모델링을 권장하는 정부의 시책에 따라 리모델링에 대한 관심이 높아지고 있다.

이는 무분별한 재건축으로 인한 국가적 손실을 최소화하고, 건물의 장수명화를 유도함으로써 신축 공동주택의 고품질화를 이루고자 함이다. 또한 최근에는 내진설계요건(6층 이상 건물에서 3층 이상 건물로 강화)이 강화되고, 리모델링 시 내진설계를 할 경우, 용적률을 완화시켜 줌으로서 공동주택의 구조성능 개선을 적극적으로 유도할 수 있기 때문에 보수·보강공사는 더욱 증가될 것으로 예상된다. 따라서 이같은 노후 공동주택의 유지관리조치를 위한 안전진단이 필요하다고 본다.

현행 법규에서는 노후 공동주택의 리모델링 및 재건축 판정의 전제 조건인 안전진단의 경제성 평가방법은 초기 투자비용만을 고려하고 있다. 이는 정량화되지 못한 평가기준으로 인해 객관성이 결여되고, 수명연장이 가능한 공동주택의 경제적 가치를

간과하고 있는 문제점을 가지고 있어 이에 대한 개선이 요구된다. 그리고 건설교통부에서 마련한 공동주택의 구조적 노후도, 구조 안전성을 위한 평가는 원형적 모델만을 제시하고 있으므로 실제 리모델링 및 재건축 안전진단에서 이 모델을 적용하기 위해서는 보다 객관적이고 정량적인 평가기준이 필요할 것이다.

따라서 본 연구에서는 먼저 공동주택의 리모델링 및 재건축 결정을 위한 기존 안전진단의 경제성 평가방법의 문제점을 고찰한다. 다음으로 노후 공동주택의 내용연수를 80년으로 설정하여, 재건축가능시한인 20년차에 재건축과 리모델링을 하는 것으로 가정한다. 그리하여 LCC분석모델을 개발한 후 리모델링 전략을 위한 예방유지관리와 사후유지관리의 경제성지수를 비교·분석하여 적정 리모델링수준을 제시함과 동시에 퍼지추론에 의한 정량적이고 객관성이 확보되는 새로운 경제성 평가방법을 제시하고자 하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구 범위 및 방법

공동주택의 리모델링 및 재건축의 안전진단은 구조체의 안전성, 기능성 및 노후도, 경제성 등을 종합적으로 고려하여 실시하게 된다. 본 연구는 형식적으로 실시되고 있는 현행 리모델링 및 재건축의 안전진단 내용과 과정 등을 재검토하여 바람직한 리모델링 판정기준을 제공하기 위하여 수행되었다.

* 일반회원, 전남대학교 건축공학부 박사과정

** 일반회원, 순천제일대학 명예교수, 공학박사

*** 일반회원, 전남대학교 건축공학부 교수, 공학박사

리모델링 판정을 위한 경제성평가는 크게 두 부분으로 나누어져 수행된다. 첫 번째 경제성평가는 구조 안전성평가에서 도출된 구조체 보수보강의 경제성을 평가하는 것이고, 두 번째 평가는 성능향상을 포함한 개보수의 경제성을 평가하는 것으로서 종합판정을 위한 등급판정을 수행한다. 따라서 본 연구는 공동주택의 리모델링 판정을 위한 안전진단 시에 적용 가능한 경제성 평가방법을 제시하는 것을 연구범위로 하며 연구의 진행방법은 다음과 같다.

- (1) 공동주택의 열화 및 노후화 그리고 현행 안전진단의 경제성 평가방법에 대한 선행 연구를 분석 한다.
- (2) 현행 건설교통부의 상태 및 안전성 평가방법과 본 연구의 평가방법을 비교·검토하여 외관상태 등급에 따른 경제성 지수를 제시한다.
- (3) 경제성지수의 산정에 필요한 LCC분석은 BuildingLCC프로그램을 사용한다.
- (4) 퍼지로직에 의한 구조안전성 종합평가는 Matlab Fuzzy Toolbox을 사용한다.
- (5) LCC분석에 필요한 파괴확률산정은 Kanda의 신뢰성해석 방법에 따른다.
- (6) 앞서 조사된 자료들을 이용하여 공동주택의 LCC 추정 모델을 개발하고, 개발된 모델의 실제 적용성 및 타당성을 검토한다.

2. 구조체의 안전성 평가모델

2.1 평가항목 선정 및 평가등급

현행 건설교통부와 시설안전기술공단의 「안전점검 및 안전진단 세부지침」 기준에 따라 안전진단에서의 평가항목을 선정하였다.

평가항목은 공동주택의 구조적 상태를 파악하는데 반드시 필요한 항목인 기울기 및 처짐(건물기울기, 침하), 내하력(콘크리트강도, 철근배근상태, 부재단면치수, 하중, 처짐), 내구성(콘크리트 중성화, 염분함유량, 철근부식, 균열, 표면노후화)의 12항목을 선정하고, 이를 퍼지화하여 외관상태 등급을 산정한다.

리트 중성화, 염분함유량, 철근부식, 균열, 표면노후화)의 12항목을 선정하고, 이를 퍼지화하여 외관상태 등급을 산정한다.

2.2 구조 안전성 종합평가 모델

구조 안전성의 종합평가는 전절 2.1의 기울기 및 침하, 내구성, 내하성 부문을 각각의 퍼지집합과 평가대상이 지니는 소속함수만으로 간단한 연산을 통해 결과를 얻고, 연산과정을 직관적으로 이해할 수 있는 퍼지로직(Fuzzy Logic)을 이용하여 구조 안전성 등급을 판정한다.

퍼지로직에 의한 구조안전성 평가 흐름은 그림 1과 같다.

본 연구 방법의 공동주택 리모델링 판정을 위한 외관상태 및 구조안전성 평가 기준은 표 1과 같다.

표 1의 평가등급 기준은 A등급을 양호한 상태, B등급은 단순한 보수가 필요한 상태, E등급은 사용금지 및 재건축, C와 D등급은 B와 E등급의 중간상태, 즉 리모델링상태로서 보수·보강

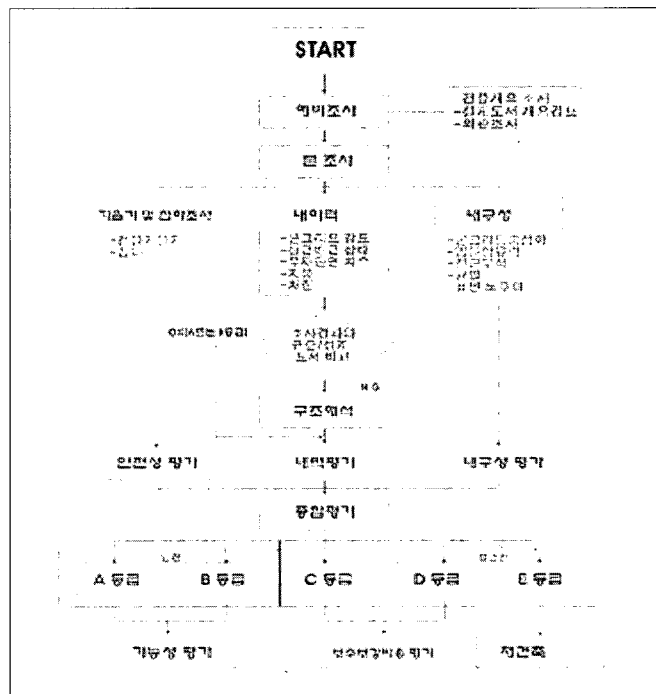


그림 1. 구조 안전성 평가 흐름도

표 1. 공동주택의 외관상태 및 안전성평가 등급 판정 기준

판정등급	유지관리조치	현행 건설교통부 방법		본 연구 방법	
		상태평가	안전성평가	상태평가	안전성평가
A	정상상태	0CA(2)	SR100%	0CA(0.125)	SR3.0
B	단순수리	2CA(4)	SR100%-S	0.125CA(0.375)	3.0SR(2.5)
C	보수(리모델링)	4CA(6)	90%SR(100%)	0.375CA(0.625)	2.5SR(2.0)
D	보강(리모델링)	6CA(8)	75%SR(90%)	0.625CA(0.875)	2.0SR(1.5)
E	재건축	8CA(10)	SR(75%)	0.875CA(1.0)	SR(1.5)

· 현행방법 : 퍼지적분기법이용, 본 연구방법 : 퍼지로직기법이용, S=경미한 손상
 · CA=상태지수, SR=부재내력지수, FCA=퍼지상태지수, βSR=신뢰성지수

이 필요한 상태로 설정하였다.

3. 리모델링 판정을 위한 경제성 평가방법

3.1 생애주기비용(LCC)의 산정 방법

본 연구에서 공동주택에 대한 안전진단의 경제성평가를 위한 생애주기비용(LCC)분석 및 절차는 초기투자비용, 직접손실비용(유지관리비용, 해체폐기비용, 개보수비용 및 재건축비용, 구조체 보수·보강비용의 총화), 간접손실비용(인적·물적 손실비용, 사회·경제적손실비용의 총화)으로 구성하여 유지관리조치 횟수에 따라 LCC를 정식화한다.

그 결과 경제성분석 모델은 시간가치를 고려한 외관상태 평가 등급에 따라 다음과 같이 된다.

$$LCC_{t=0} = C_I + C_{INS} + C_{REP} + C_{OPP} + C_{RISK}$$

$$= C_I + \left(\sum_{t=a_1}^A \eta \cdot C_{ins} + \sum_{t=b_1}^B \eta \cdot C_{rep} + \sum_{t=b_1}^B \eta \cdot C_{opp} + \sum_{t=b_1}^B \eta \cdot C_{risk} \right) \quad (1a)$$

$$\eta = \frac{1}{(1+k)^t} \quad (1b)$$

$$C_M = C_{INS} + C_{REP} + C_{OPP} \quad (1c)$$

$$C_F = C_{RISK} = C_f \cdot P_f \quad (1d)$$

$$P_f = \Phi(-\beta_o) \quad (1e)$$

여기서, C_I =초기투자비용, C_M =유지관리비용, C_W =산업폐기물처리비용, C_F =파괴손실비용, C_{INS} =점점에 관한 비용, C_{REP} =직접손실비용, C_{OPP} =간접손실비용, C_{RISK} =위험도비용, C_F =파괴에 의해 생기는 최대손실비용, P_f =파괴확률, C_{ins} =점점비용의 단가, C_{rep} =직접손실비용의 단가, C_{opp} =간접손실비용의 단가, C_{risk} =위험도비용의 단가, t =공용년수 a_1, \dots, A =안전점검년수, b_1, \dots, B =유지관리조치의 연수, k =실제이자율, β_o =Kanda의 최적신뢰성지수

식(1)에서 직접손실비용과 간접손실비용을 점검시점의 상태평가등급 실측값과 설계시점의 상태평가등급 최대치와의 비로 나타내면, 직접손실비용의 단가(C_{rep})와 간접손실비용의 단가(C_{opp})는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_{rep} = \sum_{i=1}^n \lambda \cdot \cos tc(1 + \alpha_o \Delta t) \quad (2a)$$

$$C_{opp} = \sum_{i=1}^n \lambda \cdot \cos tu(1 + \alpha_o \Delta t) \quad (2b)$$

여기서, $\lambda = C_d/C_{max}$, C_d = 점검시점의 상태등급 측정치, C_{max} =설계시점의 상태등급 최대치, $\cos tc$ =단위면적당 직접손실비용, $\cos tu$ =단위면적당 간접손실비용, Δt =유지관리 조치시기 간격, $i=1, 2, \dots, n$ 유지관리조치 횟수, α_o =점검시점의 열화율

3.2 경제성 평가방법

1) 평가방법

LCC산정방법에는 현가법과 연가법이 주로 이용된다. 현가법은 모든 비용을 현재의 가치로 바꾸어 비교하며, 연가법은 현재의 비용을 일정한 기간 동안 동일한 비용으로 배분할 경우의 매년 비용, 즉 연간등가비용으로 나타내어 비교하는 방법이다.

본 연구에서는 내용연수가 서로 다른 대안의 비교에 적절한 현가법을 사용하여 리모델링(개보수)과 재건축시 발생하는 모든 LCC를 산정하고, 이를 비교·평가하고자 한다.

따라서 식(1)에 의해 산정된 구조체의 물리적 구조안전성판정 등급을 고려한 경제성 평가의 등급판정 식은 다음과 같이 경제성지수(EI)로 나타낼 수 있다.

$$\text{경제성지수(EI)} = \frac{\text{개보수시의 공동주택의 LCC}}{\text{재건축시의 공동주택의 LCC}} \quad (3)$$

2) 평가기준 및 절차

건축물의 안전성 등급 판정은 주로 5단계를 따르고 있고, 재건축 판정을 위한 기존의 안전진단보고서의 종합판정과 구조안전성 판정 등도 5단계로 시행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 안전진단에 의한 경제성 평가는 있고, 없음의 2단계로 판정보다는 통일성과 확보하고 정량화를 위해 표 2와 같이 건설교통부의 재건축판정을 위한 평가기준을 적용하였다.

그리고 이러한 경제성 평가의 절차를 도시해보면 그림 2와 같다. 종합판정은 구조안전성, 방재안전성, 성능 및 기능성 등의

표 2. 경제성 평가 등급판정 기준

등급	경제성지수(EI)	경제성 판단	
		리모델링의 경제성	재건축의 경제성
A	0.69이하	최 고	없 음
B	0.70~0.79	양 호	부 족
C	0.80~0.89	보 통	보 통
D	0.90~0.99	부 족	양 호
E	1.00이상	없 음	최 고

판정 결과를 종합하여 평가하는 단계를 의미한다. 개보수의 LCC가 재건축과 같거나 커지는 경제성지수 값 1이상인 E등급은 다른 고려 없이 재건축이 가능한 것으로 한다.

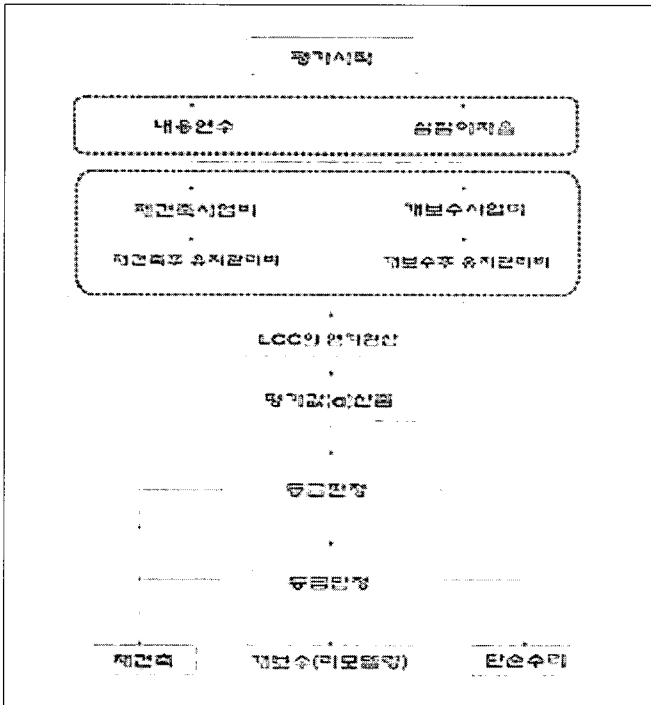


그림 2. 경제성평가 흐름도

4. 적용 예 및 고찰

4.1 평가방법의 사례 적용

본 연구의 사례 공동주택은 주공 APT 20개단지 초기투자비용 및 유지관리비용의 평균치를 표준단가로 적용하였고, 리모델링과 재건축의 LCC비용분석에 필요한 각각의 비용요소는 표 3과 같다.

그리고 Matlab Fuzzy Toolbox에 의해 산정된 외관손상상태

에 따른 구조안전성 판정 등급의 추정 값은 B등급(단순수리)인 경우는 0.25, C등급(리모델링 : 보수)인 경우는 0.50, D등급(리모델링 : 보강)인 경우는 0.75, E등급(재건축)인 경우는 1.0을 적용하였다.

4.2 리모델링 판정을 위한 외관상태 및 안전성평가 비교 분석

현행 건설교통부의 공동주택의 상태 및 안전성평가 방법은 퍼지척도와 퍼지적분을 이용하여 정량적인 평가기준을 설정하고 있으나, 평가항목에 내재되어 있는 많은 직·간접인 불확실량을 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이를 극복하기 위해 퍼지모작을 기초로 신뢰성 해석에 의한 신뢰성지수프로파일(Reliability Index Profile : RIP 이하 신뢰성프로파일이라 한다)을 이용한 상태 및 안전성평가에 대한 종합평가를 비교 분석한 결과 다음과 같다.

1) 외관상태등급에 따른 공동주택의 신뢰성해석 결과 분석

현행 건설교통부의 건축시설물의 점검평가항목을 이용하여 외관상태 등급에 따른 공동주택의 신뢰성지수의 감소 및 손상부재의 신뢰성지수 결과를 BuildingLCC프로그램의 2차식 신뢰성 프로파일로 산정한 결과를 나타내면 표 4와 같다.

그리고 준공한지 20년 시점의 외관상태 등급에 따라 신뢰성지수 값을 검증(calibration)한 결과(표 6참조) 2.92(단순수리),

표 4. 외관상태 등급에 따른 공동주택의 신뢰성해석 결과 비교

구 분	외관상태 등급에 따른 신뢰성해석			
	단순수리:B	리모델링 (보수):C	리모델링 (보강):D	재건축:E
신뢰성지수의 감소($\Delta\beta$)	0.41133	0.830797	1.30734	1.85831
파괴확률의 감소(Δ)	0.340416	0.203044	0.0955494	0.0315623
손상부재의 신뢰성지수($\beta(t)$)	2.92295	2.50349	2.02695	1.47597
손상부재의 파괴확률($t(t)$)	0.0017337	0.00614883	0.0213333	0.0699757

표 3. 리모델링과 재건축APT의 LCC분석표

(단위 : 원/m)

리모델링 LCC	불변비용	할인비용	재건축 LCC	불변비용	할인비용
최초초기비용	648,306	604,641	최초초기비용	648,306	604,641
리모델링시 초기투자비용	411,620	125,935	재건축시 초기투자비용	773,231	215,238
소 계	1,059,926	730,576	소계	1,421,537	819,879
최초유지관리비용	432,998	232,405	최초유지관리비용	432,998	232,405
리모델링시 유지관리비용	475,449	80,748	재건축시 유지관리비용	432,986	9,260
소 계	908,447	313,153	소계	865,996	301,665
최초해체폐기비용	35,000	10,430	최초해체폐기비용	32,240	9,608
리모델링시 해체폐기비용	32,240	1,563	재건축시 해체폐기비용	32,240	1,663
소 계	67,240	11,993	소계	64,480	11,171
합 계	2,019,613	1,088,958	합계	2,352,014	1,176,381

2.50(리모델링 :보수), 2.03(리모델링 :보강), 1.48(재건축)이고, 파괴확률은 0.0017(단순수리), 0.0061(리모델링 :보수), 0.0213(리모델링 :보강), 0.0699(재건축)로 검증되었다.

표 6에서와 같이 본 연구에서 개발한 외관상태 등급에 따른 손상부재에 대한 신뢰성지수($\beta(t)$)의 추정 값으로 공동주택 구조 신뢰성에 의한 안전성평가등급기준과 리모델링 및 재건축에 대한 유지관리 조치(표 1 참조)를 수립할 수 있다.

따라서 본 연구에서 개발한 퍼지로직에 의한 상태등급 평가와 신뢰성이론에 의한 신뢰성프로파일 평가 분석은 외관상태 등급에 따른 재료상의 손상요인, 설계상의 손상요인 그리고 시공 제작상의 손상요인 등의 영향인자에 대한 불확실량을 복합적으로 고려한 보다 정량화된 정밀점검 및 정밀안전진단의 종합평가 방법으로써 현행 건축시설물의 정량적인 평가방법 보다 신뢰할 수 있는 방법이라 판단된다.

2) 외관상태 등급에 따른 유지관리 조치시기 결과 분석

건설교통부에서 시행하고 있는 안전점검·진단은 공동주택에 대한 유지관리조치 시기에 대한 평가기준이 정립되지 않은 상태로 합리적인 유지관리에 의한 건축물의 장수명화를 유도하기 어려운 맹점을 지니고 있다.

그러나 본 연구의 신뢰성프로파일을 이용하면 생애주기 동안의 유지관리 조치시기를 정확히 파악할 수 있기 때문에 유지관리를 수행하는 결정권자가 합리적으로 소요예산을 책정할 수 있고, 또한 사전에 예방유지관리를 할 시기를 알 수 있으므로 건축물의 재해를 방지 및 유지관리에 필요한 예산을 절감할 수 있다.

이러한 장점을 지닌 본 연구의 프로그램(Building LCC)으로 외관등급에 따른 대상공동주택의 리모델링 조치시기를 신뢰성평가 2차 곡선식에 따라 분석·비교한 결과 표 5와 같다. 이때 1, 2, 3, 4차 유지관리조치의 초기신뢰성지수는 저항 및 하중에 대한 불확실량을 사용하여 =3.3342로 산정되었다.

표 5. 외관상태 등급에 따른 유지관리조치시기 비교 분석

구 분	외관상태 등급에 따른 신뢰성해석			
	단순수리:B	리모델링 (보수):C	리모델링 (보강):D	재건축:E
1차유지관리조치	29.65	22.01	18.67	16.85
2차유지관리조치	44.08	37.87	35.16	33.68
3차유지관리조치	58.51	53.74	51.66	50.52
4차유지관리조치	72.94	69.61	68.15	67.35

최초신뢰성지수=3.3342(Kanda의 신뢰성해석에 의한 추정치 임)

표 5와 그림 3에서와 같이 재건축의 1차 유지관리조치 시기 16.85년은 예방 및 사후유지관리 등을 취하지 않고 생애주기(life-cycle)동안 유지관리를 방치한 상태로 단순수리의 1차 유

지관리 조치시기 보다 약 13년의 수명을 단축시키고 있다. 따라서 현행 공동주택의 유지관리가 장기수선비용의 충당금이나 예산이 확립되지 못한 관계로 구조체의 사후유지관리 조치가 행하여 지지 못하고 있는 실정지만 공동주택의 물리적 수명을 연장하기 위해서는 표 5 및 그림 3에서와 같이 공동주택의 적정 리모델링 시기는 22.01~18.67년 사이의 값으로 대규모 보수 등이 필요한 시점의 주기는 본 연구에서 제시한 최적 리모델링 시기인 20년이 적절하다.

이러한 유지관리조치 시기는 정부에서 추진하고 있는 리모델링을 고려한 신축건축물 설계기준이나 기존 공동주택에 대한 리모델링 방향 및 공법에 대한 지침제정에 활용될 수 있다.

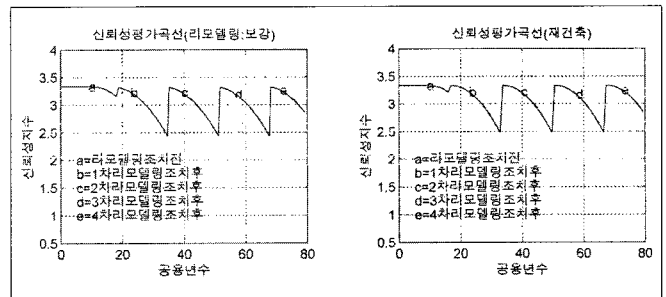


그림 3. 리모델링 전략에 따른 신뢰성 프로파일(4회시)

또한, 본 연구에서 제시한 1차 재건축 시기 16.85년은 표 2의 외관상태 E등급 CA=1.0과 안전성평가 E등급 SR=1.5 값을 사용하여 추정된 값으로 이 경우 현재 공동주택의 재건축허용 최저연수인 20년 이전에 1차 재건축 사업이 조기에 실시하는 것이 유리한 것으로 분석되었다.

4.3 리모델링 판정을 위한 공동주택의 경제성분석(LCC) 결과 비교

1) 외관상태 등급에 따른 경제성지수 평가

건설교통부와 시설안전공단에서 제시하고 있는 개보수비 비율에 따른 25%, 50%, 75%, 100%의 경제성지수는 각각 0.67, 0.82, 0.92, 1.06으로 개보수비가 재건축비의 45%이하에서는 개보수의 경제성이 양호하고, 65%이상에서는 재건축의 경제성이 양호한 것으로 분석하고 있다.

퍼지로직에 의한 Building LCC프로그램을 이용하면 표 6과 그림 4에서와 같이 구조 안전성 평가등급의 추정치 0.25, 0.50, 0.75, 1.0로 나타난 경제성지수는 예방유지관리인 경우, 각각 0.65, 0.83, 0.90, 1.20이고, 사후유지관리인 경우, 각각 0.72, 0.85, 0.92, 1.23으로 분석되었다.

이는 본 연구에서 개발한 안전진단의 종합평가등급에 따른 경제성지수와 기존의 건설교통부에서 제시한 개보수 비율에 따른

표 6. 외관상태 등급에 따른 경제성지수 평가

구 분		외관상태 등급에 따른 신뢰성해석			
		단순수리:B	리모델링(보수):C	리모델링(보강):D	재건축:E
예방 유지 관리	1차조치	0.298219	0.313142	0.327437	0.337646
	2차조치	0.394910	0.442756	0.471345	0.591764
	3차조치	0.500601	0.572370	0.615253	0.795882
	4차조치	0.606291	0.701984	0.759161	1.00
	5차조치	0.647241	0.831598	0.903070	1.20412
사후 유지 관리	1차조치	0.183528	0.183528	0.183528	0.833528
	2차조치	0.318474	0.349020	0.367270	0.444146
	3차조치	0.453420	0.514511	0.551012	0.704764
	4차조치	0.588366	0.680002	0.734755	0.965382
	5차조치	0.723312	0.845493	0.918497	1.226000

표 7. 외관상태 등급 및 유지관리 수준에 따른 생애주기비용 비교분석

구 분		외관상태 등급에 따른 신뢰성해석			
		단순수리:B	리모델링(보수):C	리모델링(보강):D	재건축:E
예방 유지 관리	1차조치	1929.56	2319.36	2767.78	10528.1
	2차조치	2745.58	3525.18	4422.02	19942.6
	3차조치	3212.10	4730.99	6076.25	29357.2
	4차조치	4377.61	5936.81	7730.49	38771.7
	5차조치	5193.63	7142.62	9384.73	48186.3
사후 유지 관리	1차조치	1113.54	1113.54	1113.54	1113.54
	2차조치	2155.43	2653.13	3217.36	13134.0
	3차조치	3197.33	4192.72	5321.18	25154.5
	4차조치	4239.22	5732.30	7425.00	37175.0
	5차조치	5281.11	7271.89	9528.82	49195.5

경제성지수와 거의 일치함을 보여 주고 있다.

따라서 본 연구에서 개발한 Building LCC 프로그램의 경제성 평가 등급 판정 기준을 이용하면, 퍼지로지식에 의하여 진단기술자의 공학지식과 경험을 체계적으로 반영하여 정량화함으로서 기존의 판정방법 보다 리모델링 판정을 위한 객관적이고 실용적인 점검 및 진단평가 기법을 확립할 수 있다.

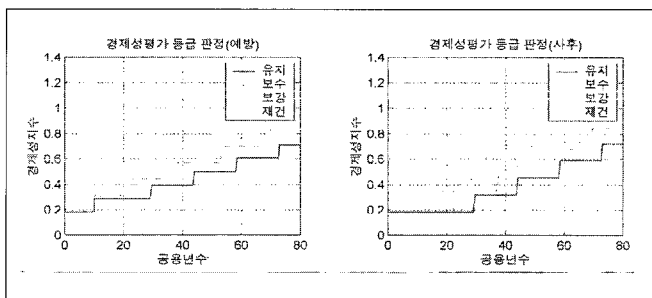


그림 4. 리모델링 전략에 따른 경제성평가 등급 판정

2) 외관상태 등급에 따른 경제성분석(LCC) 평가

표 7과 그림 5, 6은 생애주기 동안에 소요되는 외관상태 등급에 따른 총생애주기비용(TLCC) 결과를 보여주고 있다. 재건축 시에 대한 TLCC를 비교하면, 예방리모델링수준의 TLCC는 48,186.3천원/(재건축)으로서 사후리모델링의 TLCC인 491,955.5천원/(재건축)보다 전체적인 총비용에서 443.77천원/더 저렴함으로서 9.21%의 총생애주기비용에 대한 절감효과를 갖는다.

표 7과 그림 5, 6에서 같이 초기투자비용 대비 80년까지의 예방유지관리에 대한 단순수리의 누적LCC(5차 조치)는 5,193.63/111,3.54=4.66배, 리모델링(보수)LCC은 7,142.62/1,113.54=6.41배, 리모델링(보강)LCC은 9,384.73/1,113.54=8.42배, 재건축LCC은 48,186.3/1,113.54=43.27배가 된다는

것을 알 수 있다.

또한 초기투자비용 대비 사후유지관리에 대한 단순수리의 누적LCC(5차 조치)는 5,281.11/1,113.54=4.74배, 리모델링(보수)LCC은 7,271.89/1,113.54=6.53배, 리모델링(보강)LCC은 9,528.82/1,113.54=8.56배, 재건축LCC은 49,195.5/1,113.54=44.18배가 된다는 것을 알 수 있다.

리모델링 전략상 철근콘크리트조 공동주택의 50년까지의 총유지관리비용은 초기투자비용의 약 4.69 ~ 5.12배로 가정하여 유지관리전략을 수립하고 있는데, 이는 본 연구에서 추정한 예방적 또는 사후적 유지관리 수준에 대한 단순수리의 누적LCC/초기투자비용의 값인 4.66~4.74배와 거의 같음을 알 수 있다.

따라서 리모델링을 시행할 때는 외관상태 및 안전성 평가 등

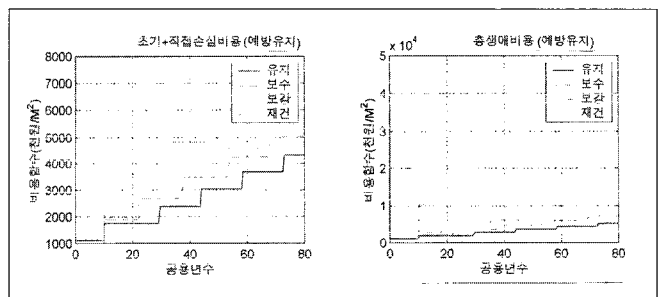


그림 5. 예방유지관리 전략에 따른 생애주기비용분석

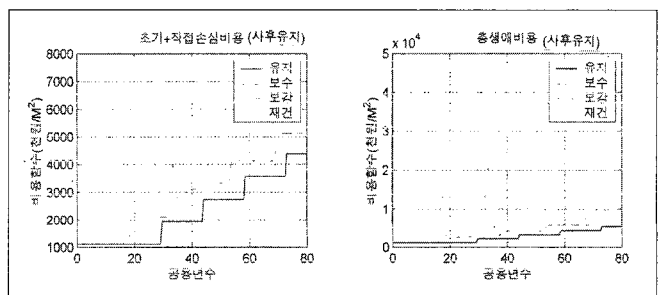


그림 6. 사후유지관리 전략에 따른 생애주기비용분석

급이 B 등급인 단순수리상태에서 시행함이 가장 경제적임을 입증하고 있다.

기존 건축물에 대한 실적치를 근거로 LCC를 계산한 미국의 연구발표에 의하면 건축물 사용기간 동안의 운용, 관리비용은 초기투자비용의 4~7배가 되는데 반하여 본 연구에서 추정한 운용, 관리비용은 초기비용의 4.66~8.42배로 약간 높게 추정되었다. 이는 외관상태 등급에 따른 누적LCC 중에서 유지관리비용이 대부분을 차지하고 있는데, 본 연구에서는 구조체의 보수·보강비용까지 고려하였기 때문에 총유지관리비용/초기투자비용의 비, 즉 약 4.69 ~ 5.12배 보다 다소 높은 약 4.66 ~ 8.42배로 추정되었다.

그리고 80년 생애동안 재건축의 LCC가 단순수리, 리모델링(보수), 리모델링(보강)의 LCC보다 각각 9.47배, 6.89배, 5.24배로 재건축의 LCC가 비경제적임을 증명하고 있다. 따라서 생애주기 동안에 외관상태 등급에 따라 적절한 예방적 유지관리조치를 취하여 리모델링함으로써 공동주택의 수명을 최대한 연장시킬 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구는 공동주택의 리모델링 판정을 위한 안전진단시스템의 경제성 분석 모델을 개발하고자 하였는데 결과는 다음과 같다.

- (1) 현행 리모델링을 위한 안전진단시스템은 물리적 외관손상 및 안전성등급 자체만으로 정량화함으로써 객관성이 매우 부족한 반면, 본 연구의 안전진단시스템은 총생애주기비용을 고려한 경제성지수까지 정량화함으로써 보다 합리적이고 과학적인 평가방법이다.
- (2) 내용연수 80년을 기준으로 산정한 외관상태 등급에 따른 공동주택의 리모델링에 대한 총생애주기비용은 초기투자비용의 약 4.66~ 8.42배이고, 재건축비에 대한 초기투자비용은 약 44.18배로 나타나고 있다. 따라서 대규모 보수등이 필요한 시점의 주기는 본 연구에서 제시한 최적 리모델링 시기인 20년이 적절하다.
- (3) 물리적 수명을 고려한 공동주택의 최적 경제적 수명은 본 연구에서 개발한 경제성지수를 사용하여 리모델링과 재건축 판정을 평가함으로써 보다 신뢰할 수 있는 객관성을 확보할 수 있었다. 따라서 Building LCC프로그램으로 산정한 유지관리조치 시기는 정부에서 추진하고 있는 리모델링을 고려한 신축건축물 설계기준이나 기존 공동주택에 대한 리모델링 방향 및 공법에 대한 지침제정에 활용될 수

있다.

- (4) 미래의 비용을 예측하여 적용하는 LCC분석은 불확실성을 내포하고 있으므로 이의 보안을 위해서는 비용산정의 신뢰도를 높일 수 있는 방법과 실적자료의 축적, 전산화(DB) 등에 대한 병행 연구가 필요하다.
- (5) 본 연구 결과는 공동주택의 리모델링 및 재건축 시기와 생애주기비용을 예측할 수 있으며, 보수 및 대수선의 적절한 시기 및 소요비용을 예측하여 공동주택의 수명을 최대한 연장시킬 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 손보식 외 3인, 노후공동주택 재건축 판정을 위한 안전진단의 경제성 평가방법, 한국구조물진단학회, Vol.2000, No.2
2. 건설교통부., “재건축판정을 위한 평가방안,” 2000. 12.
3. 황종현 외 7인, “노후 공동주택의 구조안전성 평가방안에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제17권 제9호, 2001, 9. pp 191-198.
4. 서재용 외 9인, “노후 공동주택의 기능성 평가방안에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제17권 제12호, 2001, 12. pp 167-178.
5. 정광섭, 박홍신, 신은우, “건축물의 진단평가 기법에 관한 연구”, 한국구조물진단학회 가을학술발표논문집, 제6권 제2호, 2002, 11. pp 395-400.
6. 김의식, “공동주택 리모델링을 통한 수익모델 개발”, 원광대학교 대학원, 박사학위논문, 2002.
7. 이증빈, 김종길, 손용우, 주필성, 안영기, “사회기반시설물의 유지관리를 위한 신뢰성해석 모델”, 한국구조물진단학회 가을학술발표논문집, 제7권 제2호, 2003, 11. pp 57-64.
8. 건설교통부, “공동주택의 장수명화를 위한 유지관리 시스템 개발 연구보고서”, 2004. 2.
9. 손창백, 오치돈, “경년별 총비용을 고려한 공동주택의 리모델링 시기 추정에 관한 연구”, 한국건설관리학회논문집, 제6권 제2호, 2005. 4. pp.111-119.
10. Hines, J., “Fuzzy and Neural Approaches in Engineering,” WILEY INTERSCIENCE, 1997
11. 서치호(2002. 12) 고층공동주택 재건축과 리모델링의 경제성 비교를 위한 LCC분석 연구, 대한건축학회논문집, 18권12호
12. Frangopol, D.M., Kong, J.S., “Prediction of Reliability and Cost Profiles of Deteriorating Bridges under

Time- and Performance-Controlled Maintenance,”
Journal of Structural Engineering, Vol. 130, No.12,
December, 2004, pp. 1865~1874.

논문제출일: 2005.07.13

심사완료일: 2005.08.23

Abstract

The importance of the life cycle cost analysis(LCCA) for apartment housing remodeling projects has been fully recognized over the last decade. Accordingly theoretical models, guidelines, and supporting software systems were developed for the life cycle cost analysis of apartment housing remodeling systems. However, the level of consensus on LCCA results is still low due to the lack of reliable data on remodeling activities for safety diagnosis. In order to predict the reliability based LCCA of the given case, suggested the remodeling strategies level after reviewing other related materials. Apply the real information of the economic index. And based on such analytical measures, remodeling and operation cost and LCC in remodeling strategies level have been predicted; suggests the basic information about remodeling interventions level for the apartment housing. The LCC analysis models and the fuzzy logic based safety assessment presented in this study can greatly contribute to the value-oriented design alternative selection, estimation of the economic analysis, and the allocation of budget for apartm

keywords : Life Cycle Cost Analysis, Economic Index, Remodeling Strategy and Intervention, Value-Oriented Design, Fuzzy Logic, Safety Assessment