

노후화된 학교건물의 적정시설투자비 산정모델 적용사례

Estimating Optimum Investment Cost for Obsolete School Buildings

허영기*

Huh, Young-Ki

Abstract

Area Offices of Education in Korea assign and execute government budget based on the evaluation of school buildings' safety rating and degree of their deterioration. However, it is never easy to estimate the most appropriate investment amount for old buildings under consideration of their service lives and residual values together. A model of estimating optimum investment cost for obsolete school building is developed taking its life cycle cost into account. The model is also applied to six old buildings in five different schools and found that some of the facilities hardly needed further investment and were better to be rebuilt. The study results will be a great beneficial for officers to make right decision on maintaining obsolete school buildings and to maximize tax payers' money.

키워드 : 대학 캠퍼스, 대학 주차시설, 복합용도건물, 가로광장

Keywords : University Campus, Parking Facilities, Multi-Functioned Complex Building, Open Square

I. 서론

I-1. 연구의 배경 및 목적

학교 시설물은 미래의 우리나라를 이끌어 갈 인재를 교육하는 환경이므로 그 중요성은 매우 크다. 또한, 부모는 자녀가 더 좋은 시설에서 교육 받기를 원하는 것은 당연하다. 다만, 국가적으로는 전체의 시설 예산운용에 한계가 있으므로 무조건 고급시설을 선호하기 보다는 같은 비용으로도 보다 효율적인 운용을 통하여 교육 서비스를 제공하는 것이 바람직한 일이다. 최근에 각 지역의 교육청에서는 전문기관 등에 의뢰해 건물의 안전성 검토 및 재난위험시설의 심의 결과를 바탕으로 시설물상태에 대한 평가등급을 정하고 개축 및 유지관리를 위한 예산을 배정하여 집행하고 있다. 이 중 평가 등급이 낮고 준공시점이 오래된 학교는 시설비 투자 금액이 높게 산정될 수밖에 없다. 그러나, 특정 학교건물의 잔존 가치와 잔존 내구연한을 동시에 고려하여 가장 적절한

시설 투자 금액을 결정하는 것은 매우 어려운 문제이다.

본 연구는 노후화된 학교건물의 잔존 내구연한, 안전성, 보수보강비용 등을 종합적으로 고려하여, 가장 효율적이고 경제적인 시설투자비용을 산정하여 개축 또는 보수·보강 및 환경개선 여부에 관한 의사결정을 지원할 수 있는 모델을 실제 사례를 통하여 제시하는 것을 목적으로 한다.

I-2. 연구의 범위 및 방법

학교는 경제적으로 부를 창출하는 장소가 아니고 인성 교육을 하는 곳이므로 비용으로 산정할 수 없는 많은 정성적인 요인이 있다. 그러나 적정시설투자규모를 산정하기 위해서는 노후교육시설의 개축 또는 보수·보강 및 환경개선 여부에 관한 의사결정을 지원할 수 있는 객관적인 기준이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 정성적인 항목을 배제하고 생애비용을 최소화하는 관점에서 정량화가 가능한 항목만을 고려한 적정시설투자비를 산출하는 것으로 한정

* 부산대학교 건축공학과 부교수, 공학박사, ykhu@pusan.ac.kr

하였다. 또한 본 연구의 사례 대상 학교는 경과연수가 오래되고 시설물 상태 등급이 C급이나 D급 수준인 P지역의 5개교 6개동으로 하였다. 본 연구의 구체적인 내용과 방법은 아래 및 (그림1)과 같다.

- ① 선행연구들의 내용을 고찰한다.
- ② 건물의 보수보강 방법 및 내구연한 산정에 대한 개념을 고찰한다.
- ③ 적정시설투자비용 산정 모델을 실제 사례 적용을 통하여 제시한다.
 - 건물 안전성에 대한 검토 결과에 따라 사례 건물들의 잔존 내구연한을 산정하고, 이에 따른 적정 보수·보강비를 산출한다.
 - 시설물별 적정 시설 투자 비용을 산출한다.

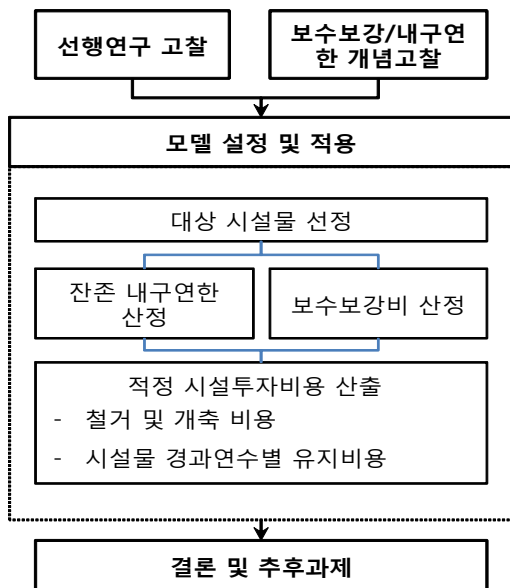


그림1. 연구 방법론

II. 이론적 고찰

II-1. 기존 연구 동향

최근의 학교시설물 관련 기존 연구들을 살펴보면 (표1)과 같다. 강창희(2006)는 학교시설물 유지관리를 위한 수선주기 산정에 관한 연구에서 현재 학교 시설물의 유지관리는 시설물의 관리 책임자의 전문 지식이 부족하여 개·보수의 시기 및 위치에 대한 시간 계획을 세우는데 어려움을 겪고 있으므로, 유지관리비 투자실적을 분석하고 수선주기 및 수선율 제시를 통하여 유지관리의 효율성을 높이하고자 하였다. 이를 위해 충청남도 아산지역의 초·중·고등학교 56개교 및 충남교육청과 아산교육청을 대상으로 2001

년부터 2005년까지 5년간의 유지관리비 투자실적, 학교시설물의 수선주기, 수선율을 분석하였다. 그 결과 시설물 유지관리를 위한 투자실적은 m^2 당 시설물 수선비 45.2%, 개인별업무량에 따른 인건비 44.6%, 청소용품 구입비 1.9%, 시설물 정기점검 및 보안경비비 8.3%인 것으로 분석하였으며, 시설물 수선주기 및 수선율은 알루미늄창호 20년, 5.5%, 콘크리트포장 5년, 10%, 강화유리 7년, 15%, 운동장포설 4년, 2%, 사물함 및 신발장 수리는 3년, 12% 등인 것을 밝혔다.

조창희 외(2008)는 경기도 약 1,000개 학교의 2006년도 학교시설유지관리비를 조사하여 세부항목별로 지출내역을 분석하였다. 또한 학생 1인당 및 면적(m^2)당 유지관리비를 산출하고 BTL 학교 운영비를 미국학교의 시설 유지비와 비교하여 기존 학교들의 유지관리비용의 적정성을 판단하고 향후 개선방안을 제시하였다. 연구 결과에 따르면 2006년도 학생 1인당 평균 학교 운영비는 1,014천원, m^2 당 운영비는 72천원이고 시설비 집행액은 학생 1인당 133천원, m^2 당 9천원인 것으로 분석하였으며, 이는 미국학교의 평균 학교교육비 9,400천원과 비교하면 10.8%에 불과하고 시설비는 678천원에 비해 19.6%에 불과한 것을 밝혔다.

이경구 외(2007)는 경기도 분당 소재의 동일한 시기에 설립·운영 되어온 초등학교를 대상으로 유지관리에 근거한 수선비용을 종합적으로 분석하여 건축 부위별 수선비율을 제시하였다. 그 결과 조사대상 5개교의 m^2 당 평균 수선비는 지붕 1,1126원(2%), 외벽 12,757원(20%), 외부창호 5,205원(8%), 천정 3,635원(6%), 내벽 21,146원(34%), 바닥 7,101원(11%), 내부창호 9,362원(15%), 계단 2,784원(4%), 그리고 평균 총 수선비는 63,116원임을 밝혔다. 이러한 분석 결과는 향후 BTL 사업 학교 건축물의 장기수선충당금 산정 시와 BTL이전의 기존 방식으로 운영되는 학교시설에 대한 운영예산편성에 있어서 과학적·객관적인 데이터를 제공할 수 있을 것으로 주장했다.

정영한 외(2010)는 학교시설의 정책적 수선 주기 및 수선율을 예측할 수 있는 공학적 해법을 찾고자 교육청의 시설이력 자료를 근거로 한 원시데이터를 기본으로 하여 특성치에 관한 기본적인 분석 값을 찾고자 하였다. 그 결과 시뮬레이션을 통해 도출된 수선주기는 모델의 확실성이 91.8%인 경우 1년에서

표1. 학교 시설물 관련 선행연구 요약

논문명	저자(년도)	주요 내용
학교시설물 유지관리를 위한 수선주기 산정에 관한 연구	강창희 (2006)	학교시설물의 유지관리비 투자실적을 분석하고 수선주기 및 수선율 제시
초·중학교 시설유지관리비에 관한 조사연구	조창희 외(2008)	학교시설유지관리비를 조사하여 세부항목별로 지출내역을 분석하고, 학생 1인당 및 면적(m ²)당 유지관리비를 산출
교육시설의 부위별 수선실태에 관한 연구	이경구 외(2007)	초등학교 유지관리비에 근거한 수선비용을 종합적으로 분석하여 건축 부위별 수선비율을 제시
학교시설 수선주기 및 수선율 예측에 관한 기초적 연구	정영한 외(2010)	학교시설의 정책적 수선주기 및 수선율을 예측할 수 있는 공학적 해법 제시
교육시설 BTL사업의 유지관리비용 비교분석을 통한 비용 추정 개선방안에 관한 사례연구	박문선 외(2007)	인건비, 용역비, 안전진단비, 대수선비, 대체비로 구성 항목을 선정하여 총 유지관리비용과 100m ² 당 비용을 분석

13년 사이, 수선율은 모델의 확실성이 90.6%인 경우 0.9%에서 9.9% 수준으로 제시했다. 이는 건축물의 생애주기계획이나 생애주기비용(LCC; Life Cycle Cost, 이하 LCC)분석 시 수선비용 항목에 대한 리스크 분석에도 활용가능하다고 주장했다.

박문선 외(2007)는 BTL사업에 관한 연구들이 제도적인 문제점, 사업자 선정, 그리고 적정한 비용분석에 관한 연구들로 주류를 이루고 있지만 양 사업자간 유지관리비용의 비교분석 수준까지는 진행되지 못하고 있음에 착안하여, BTL사업에 영향을 미치는 유지관리비용들의 문제점들을 밝히기 위하여 수도권 및 비수도권 총 8개 학교를 4개의 사례로 분류하고 각 사례마다 인건비, 용역비, 안전진단비, 대수선비, 대체비로 구성 항목을 선정하여 총 유지관리비용과 100m²당 비용을 분석하였다. 그 결과 각 사례들 중 대수선비용은 주택법시행령 자료 및 기타 자료의 혼용으로 비용의 편차가 많으며 대체비용은 운영서비스의 수준, 교육시설의 질적 수준에 따라 편차가 있는 것을 밝혔다. 그러나, 저자가 기술한 바와 같이 BTL사업제안서의 비용으로만 분석을 실시한 한계점을 가지고 있다.

오진수 외(2004)는 최근에 리모델링이 재건축에 비해 관련 법규 강화 및 환경문제 등의 이유로 많이 부각되고 있는 현실을 이해하고, 공동주택의 건축 마감재들의 수명년한을 고려한 적정 리모델링 시기를 연구하였다. 공동주택의 마감재의 수명년한과 수명주기는 CHS(Century Housing System) 구법을 통하여 분석하고 Paul Lukez이론을 통하여 시간경

과에 따른 수선주기를 설정하여 시간에 따른 비용의 시점을 찾아 리모델링 시기를 설정하는 방법을 적용하였다. 그 결과 수명년한을 바탕으로 도출한 적정 리모델링 시기는 일본의 문헌자료를 통해 도출한 경우는 22년, 공동주택관리규칙에 따라서는 17년, 그리고 국내 3개 공동주택 사례분석을 통해서 16년 인 것으로 결론 내리고, 마감재 수명년한 자료를 기반으로 경제적인 리모델링 시기의 설정이 필요하다고 주장하였다.

이상에서와 같이, 최근의 관련 연구들은 수선비용에 관한 내용과 학교 시설물을 대상으로 하는 BTL사업이 활발히 진행됨에 따라 신축 시설물 사업의 계획을 세우기 위한 내용들로 한정되어 있으며 노후화된 학교시설물에 대한 적정투자규모를 산정하는 연구는 미진한 실정이다.

II-2. 보수·보강의 개념 및 방법

건물의 안전성 확보는 건물의 자중과 사용하면서 발생하는 활하중, 풍하중, 지진하중 등에 구조물이 저항할 수 있는 내력이 더 커지도록 하는 것이다. 그러나 하중에 관한 수치와 구조물이 저항하는 내력을 계산하는 수치 모두 불확정 요인을 갖고 있기 때문에 안전과 불안전의 경계를 확실히 단언하기는 어렵다. 건물이 안전하다는 것은 단지 건물이 안전할 확률이 높다는 것을 의미한다. 그러므로 안전에 대한 일반적인 결정을 하기 위하여 건축구조설계기준 등에서는 적정한 안전율을 확보하여 건물의 구조를 설계토록 하고 있다.

표2. 노후화의 원인 및 분류

노후화의 원인	노후화의 분류
<ul style="list-style-type: none"> - 건물의 경과년수: 건물의 노후화과정은 그 건물의 경과년수와 병행 - 설계 및 시공상의 문제: 설계 오류, 설비 및 시공 등의 부실으로 인한 조기 노후화 - 시설물 관리상의 문제: 사용자의 리모델링 투자에 대한 이해와 경험의 부족 - 경제적 요인: 토지부족으로 인한 토지가격 상승, 건축규제 완화로 인한 개발가능밀도 상향조정 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 물리적 노후화: 건축물의 전체 또는 일부가 당초의 성능 및 기능이 저하되어 발생 - 진부화: 시대적 변화에 의해 요구되는 고성능·고기능을 따라가지 못해 발생 - 기능적 노후화: 고성능·고기능이 부족하여 발생 - 사회적 노후화: 부지와 건축물의 이용형태가 변화에 대응하지 못하여 발생 - 경제적 노후화: 건물의 규모와 위치, 형태 등이 더 이상 그 지역의 경제적 양상과 균형을 이루지 못하여 발생

구조물의 유지관리를 위한 보수·보강은 구조물을 새롭게 구축하는 신축과는 달리 구조물의 열화, 변형, 내력저하 등의 다양한 요인에 대한 고려와 함께 구조물이 처한 환경 및 시공성이나 나아가서는 경제성을 고려한 재료 및 공법의 선정이 매우 중요하다. 여기서 보수공사라 함은 시설물의 내구성능을 회복 또는 향상시키는 것을 목적으로 한 유지관리 대책을 말하며, 보강공사란 부재나 구조물의 내력과 강성 등의 역학적인 성능의 회복, 혹은 향상시키는 것을 목적으로 한 대책을 말한다. 보수를 위해서는 상태평가의 결과 등을, 보강을 위해서는 상태평가 및 안전성평가의 결과 등을 상세히 검토하고, 발생된 결함의 종류 및 정도, 구조물의 중요도, 사용 환경조건 및 경제성 등에 의해서 필요한 보수·보강 방법 및 수준을 정하여야 한다.

보수공사의 종류는 균열보수공법, 철근방청공법, 단면복구공법, 표면피복공법(도장), 도포함침공법, MDF스프레이 공법 등이 있으므로 열화된 부위에 표준시방서에 제시된 다양한 공법 중에서 열화요인에 대응되는 적절한 보수를 하면 된다. 여기서, 균열 보수공법¹⁾에는 표면처리공법과 주입공법, 그리고 충전공법이 있다.

또한, 보강공법의 선정은 구조물의 점검에 의해서 확인된 구조물의 현황, 구조물이 보유하고 있는 성능, 보강후 구조물에 요구되는 성능, 보강공사에 있어서 시공조건, 유지관리의 용이성, 경제성 등을 고려하는 것이 중요하다. 콘크리트 부재의 보강공법들

을 정리하면 다음과 같다.

- ① 연속섬유판(시트)접착공법 : 기존 구조물의 표면에 연속섬유판을 접착하여 내하력의 회복 또는 향상효과를 얻을 수 있는 공법
- ② 프리스트레스 도입공법 : 기존 구조물 부재에 내부케이블을 이용하여 프리스트레스를 부여하여 부재로써의 내하력을 회복 또는 향상시키는 공법
- ③ 단면증설공법 : 콘크리트 부재의 보강을 위하여 구조부재의 단면상으로 보강층을 증설하거나 대체하여 콘크리트 부재의 내하력을 회복, 개선 또는 복구하는 공법으로 이러한 공법에는 보강효과를 높이기 위하여 강성이 높은 보강재(FRP로드, 스텐레스제 강선 등)를 사용

II-3. 잔존 내구연한의 개념 및 산정방법

1) 노후화와 잔존 내구연한의 개념

건축물은 시간이 경과함에 따라 노후화가 진행된다. 이러한 건축물의 노후화는 준공 후 사용년수가 늘어남에 따라 건축물이 갖는 내구성, 안전성, 기능성 등의 기본성능의 저하와 건물을 구성하는 각 구성부위의 결함상태에 의해 건물 전체가 기대하는 성능을 발휘하지 못하는 상태라고 할 수 있다. 일반적으로 노후화는 그 원인에 따라 (표2)와 같이 분류한다.

내용년수(service life)는 건축물 및 부대설비가 건설 후 사용하거나 시간이 경과함에 따른 노후화에 의해, 안전 및 기능 유지가 어려운 상태가 되어 본래의 목적으로 사용할 수 없게 되기까지의 기간을

1) 상영엔지니어링, 건축구조물 보수·보강 가이드북, 태림문화사, 2005.

의미한다. 다음의 (그림2)는 일본 건설성 주관으로 진행된 연구에서 제시한 주택의 경과년수에 따른 노후화에 의한 성능변화와 성능의 유지보전 행위인 보수, 수선과 성능의 개량 행위인 개수의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 경과년수에 따른 노후화 곡선과 초기 성능과의 차이는 물리적 노후화로 볼 수 있고, 사회환경의 변화 등에 의해 향상되고 있는 성능 요구수준과의 차이에 의한 노후화는 사회적, 기능적 노후화로 설명될 수 있다.

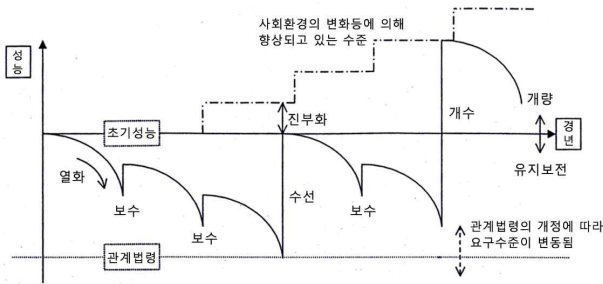


그림2. 시설물 생애주기관점에서 본 성능변화²⁾

보편적으로 철근콘크리트 시설물은 물리적으로 평가한 수명(물리적 내용년수)과 사회적·기능적 요소에 의하여 평가한 수명(사회적 수명)이 거의 동일한 시점에서 한계에 도달하는 것이 바람직하다. 그렇지만 기능의 진부화 및 용도 변경 등에 의해 결정되는 사회적 내용년수보다는 철근콘크리트 구조물의 성능 저하에 의한 물리적 내용년수가 훨씬 빠르게 나타난 사례도 있어 철근콘크리트 구조물을 목표로 하는 내용년수까지 유지하기 위해서는 공학적인 내구설계가 필요하다³⁾.

일반 대기환경에서는 콘크리트의 중성화가 철근의 위치까지 진행하여 철근부식이 시작되고, 이러한 철근부식에 의한 팽창력 때문에 피복콘크리트의 균열 및 박락이 발생한다. 이 후 부식의 속도가 더욱 빨리 진행된다면 철근의 단면적이 감소하여 결국은 구조물의 붕괴로까지 이어지게 된다. 또한, 특수한 열환경에서는 콘크리트 자체가 동결융해작용과 고온폭로 혹은 산·염류에 의한 작용으로 조기에 조직 붕괴를 일으키기는 예도 많다.

콘크리트의 노후화 및 내력을 근거로 하는 콘크리트 구조물의 물리적 수명은 (그림3)에서 보는 바와 같다. 여기서 t_1 은 콘크리트 중성화가 내부철근 표면에 도달하는 시점, t_2 는 중성화한 콘크리트층의 철근부식이 진행하여 녹의 팽창력에 의한 피복콘크리트 균열이 발생하는 시점, t_3 는 철근부식이 진행하여 철근콘크리트 부재가 구조내력의 한계에 도달하는 시점을 나타낸다. 철근콘크리트 구조물의 물리적 내구연한을 고려하는 측면에서 t_1 은 콘크리트의 중성화에 의한 수명(중성화 수명설), t_2 은 균열발생에 의한 수명(부식균열 수명설), t_3 는 구조내력의 저하에 의한 수명(내력한계 수명설)이다.

이와 같은 철근콘크리트 구조물의 수명이론 중에서 중성화 수명설은 안전측이고, 내력한계수명설은 너무 위험측에 속하므로 t_2 의 시점을 수명으로 하는 것이 합리적이라는 의견도 있다. 그러나 부재 혹은 구조물의 수준을 생각하게 되면 철근의 수는 대단히 많고 환경조건에 의해 t_1 으로 부터 t_2 에 달할 때까지 시간이 달라지고 있기 때문에 학교와 같이 안전이 우선시 되는 건물에서는 중성화 수명설을 적용하는 것이 가장 바람직하다.

D_c: 피복두께 W₁: 콘크리트 균열시 철근부식량 W₂: 허용응력 한계시의 철근

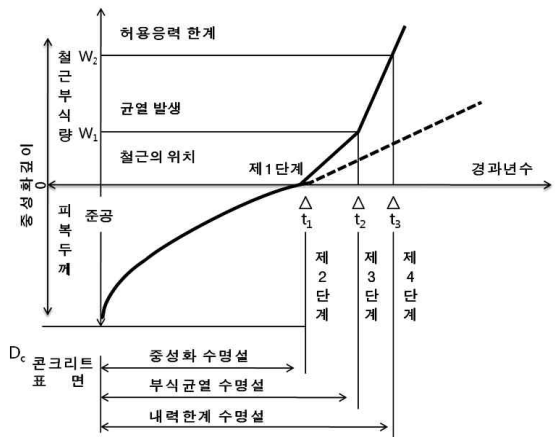


그림3. 콘크리트 구조물의 수명⁴⁾

2) 잔존 내구연한의 산정방법

내구연한의 정확한 산정은 매우 어려우나 보편적으로 아래와 같은 방법으로 내구연한을 산정한다.

(1) 사회적 기대수명에 의한 내구연한

기능의 진부화 및 용도 변경 등으로 결정되는 사

2) 건설성건축연구소, 장기내용도시형집합주택의 건설·재생 기술의 개발 중간보고서, 2000, 동경, pp. 324.

3) 사회적 수명은 여러 이해당사자의 관념에 따라 결정될 수 있으므로 본 논문에서는 논외로 하고, 학교 건물의 수명예측을 물리적인 수명에 근거하였다.

4) 안형준, 내구성 조사를 위한 중성화 시험, 한국구조물진단학회지, 6권, 2호, 2002, pp.5~14.

회적 기대 수명을 건물 용도별로 나타내면 (표3)과 같다.

(2) 콘크리트 표준시방서의 콘크리트 목표내구연한
콘크리트 표준시방서의 「내구성편」에 의하면 콘크리트 구조물의 목표내구수명은 구조물이 특별한 유지관리 없이 일상적인 유지관리 하에서 내구적 한계상태에 도달하기까지의 기간으로 정한다. 시공될 콘크리트 구조물의 내구등급의 결정은 구조물의 설계시에 설정된 콘크리트 구조물의 목표 내구수명에 따라 (표4)와 같이 철근콘크리트 구조물을 목표로 하는 내용년수까지 유지하기 위해서는 공학적인 내구성설계가 필요하다.

표3. 사회적 기대수명(양케이트 조사 결과)⁵⁾

항목	간이한 콘크리트제품	공공건축물	민간건축물
평균수명 추정치	20 년	65 년	50 년
목표내구년수 설정치	30 년	65 년	65 년

표4. 콘크리트 표준시방서의 콘크리트 목표내구수명

구조물 내구등급	구조물의 내용	목표내구수명(년)
1등급	특별히 높은 내구성이 요구되는 건물	100
2등급	높은 내구성이 요구되는 건물	65
3등급	비교적 낮은 내구성이 요구되는 건물	30

(3) 건물의 수명확률 분포함수를 이용한 내구연한
건물의 수명확률 분포함수를 이용한 내구연한 산정에는 아래와 같이 건물의 수명추정에 필요한 준공 건물, 조사시점에 실제로 현존하는 건물, 폐기건물의 자료를 이용하여 이들의 관계에서 건물수명을 추정할 수 있는 세 가지 방법⁶⁾이 있다.

① 시간변화에 철거되는 확률 $q(t)$ 의 산정에 의해 수명을 추정하는 방법: 어떤 기준 연도에 있

어서 준공건물에 관한 자료와 그 건물 이 연차별로 폐기되어 가는 상황에 관한 자료에 의해 시간구간에 있어 철거되어지는 확률을 구함으로써 수명을 추정할 수 있는 방법이다.

② 누적 하사드법: 기준연도별의 준공건물에 관한 자료가 불명확한 경우 현존건물과 철거건물에 관한 자료에 얻어질 수 있는 폐기될 확률의 산정으로부터 수명을 추정하는 방법이다.

③ 현존건물의 경과년도 분포에서 수명을 추정하는 방법: 폐기건물에 관한 자료의 수집이 불가능한 경우 각 연도별의 준공건물에 관한 자료로부터 매년 준공건물이 시간적으로 일정하다는 전제하에 현존 건물의 경과년수분포를 보정하여 수명을 추정하는 방법이다.

(4) 콘크리트의 중성화에 의한 내구연한

콘크리트의 중성화란 공기중의 탄산가스에 의해 콘크리트 내부에서 수화반응시 발생된 수산화칼슘이 탄산칼슘으로 변화하여 고유의 알칼리성을 상실하게 되는 현상이다. 중성화가 진행되어도 콘크리트 자체의 강도, 그 밖의 물리적 성질은 크게 변하지 않지만 중성화가 철근 부위까지 도달하면 철근에 부식이 발생하게 된다. 건축구조물에서는 중성화가 철근의 부위까지 도달하는 기간을 구조물의 내구연한으로 하여 수명산정의 기본으로 사용하며, 이 방법은 실무에서 가장 보편적으로 사용되는 방법이다. 따라서 본 연구에서도 전문가 의견수렴을 통하여 건물의 내구연한 산정에 중성화 수명설에 의한 방법을 적용하였다.

II-4. 생애주기비용 분석

생애주기비용 분석(LCCA; Life Cycle Cost Analysis)기법은 시설물 또는 설비 시스템 등에 대해 경제적 수명 전반에 걸쳐 발생하는 총비용을 일정한 시점으로 등가환산한 가치(PV; Present Value)로 경제성을 평가하는 것으로 설계단계, 시공단계, 유지관리단계 전반에 걸친 시설물 생애기간동안의 비용을 총체적인 관점에서 분석가능하게 한다. 최근 에너지비용, 인건비 등의 상승과 건축물을 구성하는 설비들의 현대화로 유지관리비용이 차지하는 비중이 더욱 커져가고 있는 추세이기 때문에 초기투자비보다는 오히려 유지관리비를 고려한 의사결정의 중요성이 부각되고 있는 것이 사실이다.

5) 전용철, 철근콘크리트조 건축물의 수명에 관한 연구, 공학석사학위논문, 강원대학교, 2001.

6) 최준영, 건물의 수명추정방법에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 7권, 6호, 1991, pp.257~263.

또한, 생애주기비용 분석은 비용에 가장 큰 영향을 주는 프로젝트 초기단계에서부터 최종 생산물의 사용 및 유지단계에 이르기까지의 프로젝트 생애기간을 고려하기 때문에 프로젝트 대안선정에 활용할 수 있는 비용정보를 제공한다. 생애주기비용을 정확하고 합리적으로 분석하기 위해서는 현실성 있는 주요변수의 설정은 필수 조건이며, 여기에는 건물의 내용년수 및 잔존수명, 유지관리비, 그리고 할인율 등이 포함된다. 국내의 법인세법⁷⁾에서는 ‘철골·철근콘크리트, 철근콘크리트조, 석조, 연와석조, 철골조의 모든 건물과 구축물’의 경우에는 40년을 기준내용년수로 정하고 있다.

III. 내구연한을 고려한 적정시설투자비 산정

노후교육시설의 개축 또는 보수·보강 및 환경개선 여부에 관한 의사결정을 지원할 수 있는 적정시설투자규모를 산정하기 위해서는 객관적인 기준이 필요하다. 따라서 생애비용을 최소화하는 관점에서 정량화가 가능한 비용을 기준으로 적정시설투자비를 산출할 수 있는 모델을 개발하였다. 본 장에서 사용되는 일부 용어들을 우선 정의하면 아래와 같다.

- 실질할인율: 화폐의 시간적 가치를 고려해 주기 위해 적용한 비율로 일반적으로 명목이자율과 물가상승률을 복합하여 고려하여 적용
- 현가법: 투자액, 매년의 운전비, 유지비 등 생애주기 동안 발생하는 모든 미래비용을 현재의 가치로 환산하는 방법
- 유지관리: 시설물의 성능평가지 적절한 상태로 유지할 목적으로 실시하는 유지 보전의 모든 활동 및 그 관련업무를 효과적으로 실시하기 위해 실시하는 관리활동
- 잔존가치: 신축비용에서 경과년수만큼의 감가상각한 시설물의 남아있는 현재가치

III-1. 사례대상 학교 개요

본 연구의 대상 사례는 P지역에 위치한 시설물 상태 등급이 C급이나 D급인 학교 건축물 중에서 경과년수가 오래된 5개교 6개동을 선정하였으며 학교명과 연면적 등은 (표5)와 같다.

표5. 사례대상 학교

학 교 명	경과년수	안전등급	연면적(m ²)
A초등학교	44	D	5,809
B초등학교	47	D	5,962
C중학교	본관동	D	6,267
	체육관	D	941
D초등학교	45	C	2,203
E중학교	45	C	6,502
계			65,234

III-2. 적정 보수·보강비 산정

건축물의 보강공사와 건물의 내구연한을 동시에 고려하였을 때, 보강공사를 실시한다고 해서 건물의 수명이 증가한다고 볼 수는 없다. 그 이유는 보강공사는 안전할 확률의 문제이지 부재의 수명과는 직접적인 관련이 없기 때문이다. 다시 말해, 설령 일부 부재의 보강 공사로 인해 해당 부재의 수명이 증가한다고 하더라도, 보강공사를 실시하지 않은 인접한 부재의 수명이 다 하면 이도 역시 건물의 수명이 다한 것으로 생각할 수밖에 없다.

여기서, 보수공사비는 균열보수 공사의 경우에 균열의 길이와 폭, 개수를 조사하여 물가정보에서 제시된 비용으로 산정하면 되나, 보강공사비의 경우에는 어느 부재를 어떤 정도로 보강할 것인지, 재료는 어떤 것을 사용하는 지에 따라서 다소 차이가 날 수 있다. 사례 대상 건축물들을 조사한 결과 건물의 수명이 다 되었다는 것을 전제로 하였을 경우에는 고강도 탄소섬유 NR73를 사용⁸⁾하여 부위에 따라 1겹~3겹으로 보강하는 것이 가장 경제적인 것으로 나타났다.

대상 시설물별 구조적인 안전성을 검토하기 위하여 부재의 응력 및 내력을 측정·분석하였으며, 그 예로 A초등학교의 검토 결과는 (표6)과 같다. 하중에 의해 부재가 필요로 하는 소요강도와 부재의 재료 및 크기로 하중에 저항하는 부재강도, 그리고 이러한 두 강도를 비교하여 내력비를 산출하였다. C1기둥인 경우에는 내력비가 0.97로 1.0이 넘지 않으므로 안전하다고 할 수 있으나, G1보의 경우에는 휨 모멘트에 대한 내력비가 2.39, 전단력에 대한 내력비가 1.12로 나타나 휨 모멘트와 전단력에 대해 모두 보강이 필요함을 알

⁸⁾ 건설자재연구소, 탄소섬유보강제, <http://www.jajae.co.kr>, (검색일: 2009. 11. 17)

⁷⁾ 법인세법시행규칙(2004. 3 개정)

표6. 낙민초등학교의 내력 검토 (단위: 축력/전단력:tf, 휨모멘트: tf·cm)

학교명	부재종류	부재명	내력 검토				비고
			구분	소요강도 (R_n)	부재강도 (ϕR_n)	내력비	
A초등학교	기둥	C1	축력	19.39	19.98	0.97	-
			휨 모멘트	12.80	13.06	0.98	
	보	G1	휨 모멘트	23.03	9.63	2.39	N.G
			전단력	16.81	15.03	1.12	
		G2	휨 모멘트	19.23	7.77	2.48	N.G
			전단력	15.50	12.25	1.27	
G3	휨 모멘트	5.91	5.92	1.00	-		
	전단력	6.07	9.46	0.64			

수 있다. 마찬가지로 G2보인 경우에도 내력비가 1.0 이 초과되므로 N.G.(불안전)로 판정되었다.

이러한 결과를 근거로 시장가격, 물가정보 및 물가 자료를 참고하여 시설물별로 적정한 보수보강공사에 대한 비용을 산정한 결과는 (표7)과 같으며, (별첨1~7)에 A초등학교의 구체적인 산출자료를 제시하였다.

표7. 시설물별 적정 보수·보강 공사비

구분	공사금액 (천원)	보강 방법
A초등학교	554,753	휨 2겹, 전단 1겹
B초등학교	374,795	휨 1겹
C중학교	363,993	휨 1겹
본관동 체육관동		
D초등학교	64,702	보강 없음
E중학교	108,279	보강 없음

가 어느 정도 연관성은 있으나 절대적으로 비례하지는 않는 것을 알 수 있다. 이는 시험방법의 오차나 피복재의 수밀성, 주위의 환경, 시험 위치 설정 등에 따라 크게 변할 수 있기 때문이다. 보다 정확하게 중성화 깊이를 측정하기 위해서는 기둥, 보, 슬래브 등의 부재를 내부 부재와 외부 노출 부재로 분류하여 많은 개소를 측정하여야 하나, 본 연구에서는 여러 가지 제약으로 인하여 건물별로 4~5개소를 측정 한 결과들의 산술 평균 값을 적용하였다.

따라서, 각 시설물별 중성화에 따른 잔존 내구연한은 위 표의 중성화 깊이와 시방서 기준의 피복두께인 4cm(피복두께 3cm+띠근 1cm)를 근거로 하여 산출하였으며, 그 과정은 다음과 같다.

일반적으로 콘크리트의 물시멘트비가 0.6일 때 건물의 경과년수는 (식1)과 같이 표현된다.

$$t = \frac{7.2}{R^2} X^2 \quad \text{<식 1>}$$

III-3. 잔존내구연한 산정

대상 시설물의 잔존 내구연한을 산정하기 위하여 (표7)과 같이 각 건물별 준공 연도와 실측된 중성화 깊이를 사용하였다. 여기서, 경과년수와 중성화 깊이

여기서, t 는 건물의 경과년수, R 은 콘크리트 수정계수, 그리고 X 는 중성화 깊이를 의미한다. 위 식을 콘크리트 수정계수 R 에 대해 정리하면 다음 식

표8. 시설물별 중성화 깊이

학교	부재종류	층구분	경과년수	중성화 깊이 (cm)						비고
				측정값				평균값		
A초등학교	기둥	1층	44년	3.3	4.1	3.5	3.9	2.5	3.46	외부 5개소
B초등학교	기둥	1층	47년	3.1	2.2	3.0	3.4	2.93	2.93	외부 4개소
C중학교	본관동 기둥	1층	44년	2.6	2.6	2.7	2.6	2.63	2.63	외부 4개소
	체육관 기둥	1층	40년	2.6		2.5		2.55	2.55	외부 2개소
D초등학교	기둥	1층	45년	2.1	2.0	2.1	2.2	2.10	2.10	외부 4개소
E중학교	기둥	1층	45년	2.7	3.8	1.4	2.35	2.35	2.35	외부 3개소
		2층		1.4	2.5	2.0				외부 3개소

표9. 시설물별 잔존 내구연한

구 분	경과년수 (년)	균열지수	중성화 깊이(cm)	수정계수 <i>R</i> 값	잔여깊이 (cm)	잔존내구 연한(년)
A초등학교	44	0.7	3.46	1.40	0.54	0.8
B초등학교	47	0.9	2.93	1.15	1.07	5.6
C중학교	본관동	44	0.9	2.63	1.37	10.7
	체육관동	40	0.9	2.55	1.45	11.6
D초등학교	45	1.0	2.1	0.90	1.90	31.9
E중학교	45	1.0	2.35	0.94	1.65	22.2

과 같다.

$$R^2 = \frac{7.2}{t} X^2, \quad R = \sqrt{\frac{7.2}{t}} \cdot X \quad \text{<식 2>}$$

콘크리트 수정계수 *R*은 건물의 주위 환경 요소에 따라 중성화 속도가 달라짐으로 이를 보정하기 위한 계수이다. 본 연구에서는 대상학교인 5개교의 준공 후부터 지금까지의 환경 요인을 조사하는 것은 사실 불가능하므로, 각 학교별 중성화에 따른 잔존 내구연한은 (표8)의 실측된 중성화 깊이 값의 평균값과 각 건물의 경과년수를 적용하여 보정계수 *R*을 구하였다.

여기서 산출된 *R*값이 0.9이하인 경우에는 투기계수와 중성화 속도계수의 상관관계에 의해 콘크리트의 수정계수 *R*은 0.9를 가진다는 이론에 따라 0.9를 적용하였다.

따라서, 총 피복두께 4cm에서 중성화된 깊이를 제외한 잔여 깊이를 구하고, 이 값을 콘크리트 수정계수 *R*값과 같이 (식1)에 대입하면 각 시설물별 잔존 내구연한을 구할 수 있다. 다만, 여기서 산출되는 내

구연한은 단지 중성화 깊이만을 가지고 구한 것으로, 실제로는 구조적 결함 등에 의해 균열이 발생하면 중성화 속도는 더욱 빨리 진행된다. 그러므로 전문가들의 자문결과 앞에서 산출된 보강부재의 내력 검토 결과에 근거하여 내력비가 큰 경우에는 균열 발생이 많을 것으로 가정하여 균열지수 0.7의 값을 곱하였고, 심하지 않은 경우에는 0.9를 곱하였으며, 내력비가 1.0이하인 건물에 대해서는 구조적 결함에 따른 균열과 중성화 확산이 없다고 가정하여 1.0을 곱하였다. 이와 같이 구한 시설물별 잔존 내구연한은 (표9)와 같다.

III-4. 적정시설투자비 산정 모델 및 적용

1) 기초자료 설정

학교시설물의 경우 현재 객관적인 내용년수를 결정할 수 있는 방법은 국방부기준 및 법인세법기준 등이 있다. 그러나, 최근의 BTL사업에서는 교육시설물의 경우 LCC분석기간을 65년으로 하여 분석에 대한 근거자료를 제출하도록 하고 있으므로 본 연구에서는 65년으로 설정하였다. 한편 보수·보강 후의 잔존수명은 앞장에서 설명한 실측된 중성화 깊이

표10. 학교시설 연간평균유지보수비 실적자료

논 문 명	조 사 내 용	연간평균 유지보수비용	비 고
교육시설의 부위별 수선 실태에 관한 연구(이경구 외, 2007)	경기도 성남시의 5개 초등학교의 20년 동안의 수선비 통계분석	약 3,156원/m ²	이자율을 고려하지 않았기 때문에 본 연구에 적용하기는 부적절함
학교시설물유지관리를 위한 수선주기 산정에 관한 연구(강창희, 2006)	아산지역 초·중·고등학교를 대상으로 2001~2005년까지 수선비 통계분석	약 7,510원/m ²	-
학교 BTL사업 적격성(VFM)분석을 위한 AHP활용 및 수선주기 및 수선율 산정에 관한 연구(하호성, 2007)	서울시 초·중·고등학교 126개 학교를 대상으로 2002~2006년까지 유지보수비(수선비)통계분석	약 5,120원/m ²	-

근거하여 도출된 결과를 적용하였다.

실질할인율은 비용의 시간적 가치를 고려하고자 명목이자율과 물가상승률을 적용하여 아래 식에 따라 산정되며, 미래에 발생하게 될 모든 비용들을 현재의 가치로 산정(할인)하는데 적용하였다. 본 연구에서의 실질할인율은 최근 BTL 사업들에 적용되고 있는 명목이자율 6%, 물가상승률 3%를 사용하여 2.91%를 적용하였으며, 모든 비용은 매년 초에 발생하는 것으로 하였다.

$$i = \frac{(1+i_n)}{(1+f)} - 1 \quad \text{<식 3>}$$

(단, i : 실질할인율, f : 물가상승률, i_n : 명목이자율)

유지관리비에 해당되는 항목은 일반관리비, 청소비, 승강기 유지비, 난방비, 급탕비, 유지보수비, 전기 및 수도료, 장기수선비 등을 보통 포함한다. 수선주기 및 수선율을 이용하여 유지보수비를 구체적으로 산정할 수 있지만, 교육시설의 경과년수에 따른 유지관리비에 대한 실적자료는 국내의 경우 아직 제대로 축적된 것이 전혀 없을뿐더러 이에 대한 연구도 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 논문에서 제시하고 있는 (표10)의 실적자료 및 전문가의 의견에 근거하여 경과년수 16~20년일 때의 연간평균유지보수비용을 6,000원/㎡으로 하였다.

또한 이를 (표11)의 ‘국방예산 편성기준’ 시설물 유지비 단가의 교육시설 경과년수에 따른 유지비단가 요율에 이용하여, (표12)의 경과년수에 따라 산출되는 교육시설 연간유지보수비용을 적용하였다. (표13)은 잔존수명에 따른 현가로 할인된 유지보수비의 합계들이다.

표11. 교육시설물(철근콘크리트조) 유지비 단가⁹⁾

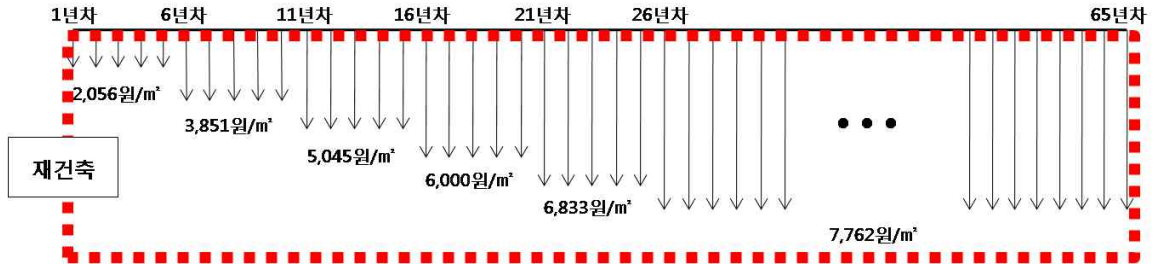
경과년수	철근콘크리트조 (원/㎡)
1~5년	553
6~10년	1,036
11년~15년	1,357
16년~20년	1,614
21년~25년	1,838
26년 이상	2,088

표12. 교육시설 연간유지보수비용 추정치

년 수	연간보수비용 (원/㎡)
1~5년	2,056
6~10년	3,851
11~15년	5,045
16~20년	6,000
21~25년	6,833
26년 이상	7,762

표13. 잔존수명에 따른 현가로 할인된 총유지보수비(실질할인율 2.91% 적용, 원/㎡)

잔존수명 (년)	총유지보수비(현가)	잔존수명 (년)	총유지보수비(현가)	잔존수명 (년)	총유지보수비(현가)	잔존수명 (년)	총유지보수비(현가)
1	7,762	18	110,677	35	173,843	52	195,805
2	15,304	19	115,306	36	176,684	53	195,308
3	22,633	20	119,804	37	179,445	54	194,824
4	29,754	21	124,175	38	182,128	55	194,355
5	36,674	22	128,422	39	184,735	56	192,704
6	43,398	23	132,549	40	187,268	57	191,101
7	49,932	24	136,560	41	188,800	58	189,543
8	56,280	25	140,456	42	190,289	59	188,029
9	62,449	26	144,242	43	191,736	60	186,557
10	68,444	27	147,922	44	193,142	61	183,333
11	74,268	28	151,497	45	194,508	62	180,199
12	79,928	29	154,970	46	195,002	63	177,155
13	85,428	30	158,346	47	195,482	64	174,196
14	90,772	31	161,626	48	195,949	65	171,332
15	95,964	32	164,813	49	196,403	-	-
16	101,010	33	167,910	50	196,844	-	-
17	105,913	34	170,919	51	196,317	-	-



※ 총 유지보수비는 현재가치로 전환된 1년차부터 65년차까지의 유지보수비의 합계임

그림4. 재건축의 연간유지보수비 현금흐름 (내용년수가 65년인 경우)

2) 적정시설투자비 산정

건물의 적정시설투자비를 판단하기 위해서는, ‘재건축(개축)’과 구조체의 잔존수명을 활용할 수 있는 ‘안전·환경개선(보수·보강을 포함)’이라는 두가지 대안을 선정하고 LCC분석 개념을 통하여 생애주기동안 발생하는 모든 비용을 비교하는 것이 타당하다¹⁰⁾. 여기서, 재건축후의 새로 지은 건물의 내용년수와 안전·환경개선 후의 잔존수명은 다르므로 재건축 비용과 안전·환경개선 후 남은 건물수명동안 발생하는 모든 비용(LCC)을 각각의 경우에 따른 수명 내에서 년가(annual equivalent)로 환산하고 두 대안을 비교하는 것이 적합하다. 다시 말해, 재건축 생애비용과 리모델링에 따른 생애비용을 산출한 후 각각을 실질할인율을 적용하여 현재가치로 환산하고, 이를 각 대안의 내용년수(리모델링의 경우는 잔존 내구연한)에 따른 연간 등가로 배분하여 나온 매년의 비용, 즉 년가의 비율에 따라 대안들의 경제성을 비교·평가할 수 있다.

이를 요약하면 아래 식과 같으며 여기서 산출되는 ‘적정안전·환경개선사업비(보수·보강 포함)’를 적정시설투자비용으로 정의할 수 있다.

$$\frac{\text{철거비} + \text{재건축공사비} + \text{총유지보수비}}{65 \times \text{연면적}}$$

$$= \text{적정리모델링공사비(보수보강비포함)} + \text{총유지보수비}$$

<식 4>

앞에서 설명한 모델을 본 연구 대상중의 하나인

9) 국방예산 편성기준, 국방부, 2002.

10) 앞의 (그림2)에서 성능의 개량 행위인 개수에 해당되는 전면적인 리모델링은 국내사례가 없는 실정 등을 고려하여 대안에서 제외하였다.

아래 표의 E중학교에 적용하여 적정시설투자비를 단계별로 적용하면 아래와 같다.

표14. 분석대상 학교 개요 (E중학교 사례)

시설명	E중학교	준공년도	1963년
연면적	6,501.7m ²	경과년수	45년
구조형식	R.C조	추정 잔존수명	22년

(1) 재건축 LCC년가

재건축에 따른 LCC의 년가는, 초기투자비인 재건축 및 철거비용은 현재가치(현가)이므로 실질이자율을 적용하지 않고 유지관리비의 경우는 내용년수동안의 유지관리비에 실질이자율을 적용하여 먼저 현가로 할인하고 합산한 후 년가로 환산한다. 이를 식으로 표현하면 아래식과 같으며 연간유지보수비의 현금흐름(cash flow)은 위의 (그림4)와 같다.

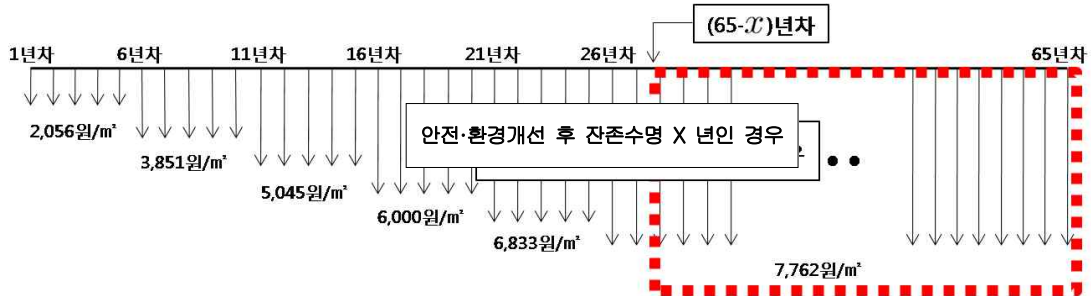
$$\text{재건축년가} = \frac{\text{철거비} + \text{재건축공사비} + \text{총유지보수비}}{\text{내용년수} \times \text{연면적}}$$

<식 5>

여기서, 재건축공사비는 연면적과 표준단가의 곱으로 구할 수 있다. 관련연구 조사결과, 표준단가는 단위면적(m²)당 한국감정원에서는 525,000원, ‘가’ 초등학교¹¹⁾와 ‘나’ 초등학교¹²⁾의 경우에는 각각 913,000원과 1,015,000원으로 제시하고 있다. 여기서,

11) 하호성, 학교 BTL사업 적격성(VFM) 분석을 위한 AHP활용 및 수선주기·수선을 산정에 관한 연구, 공학박사학위논문, 건국대학교, 2007.

12) 박동규, 김선국, BTL사업에 있어서의 VFM 분석에 관한 연구: 사례연구를 중심으로, 한국건설관리학회 논문집, 7권, 3호, 2006, pp.94~101.



※ 총 유지보수비는 현재가치로 전환된 65-x년차부터 65년차까지의 유지보수비의 합계임

그림5. 리모델링의 연간유지보수비 현금흐름 (내용년수가 65년인 경우)

최근 학교건물의 품질수준등을 고려하면 한국감정원의 수치는 비현실적이라고 판단되어 본 연구에서는 두 초등학교의 평균단가(964,000원/m²)를 사용하였다. 따라서 재건축공사비는 아래에서와 같이 약 63 억원으로 추정된다.

$$\begin{aligned} \text{재건축공사비} &= \text{연면적} \times \text{표준단가} \\ &= 6,501.7\text{m}^2 \times 964,000\text{원/m}^2 \\ &= 6,267,638,800\text{원} \quad \text{<식 6>} \end{aligned}$$

철거비는 연면적과 철거단가의 곱으로 구할 수 있으며 철거단가는 4개 철거전문업체의 평균단가¹³⁾인 72,942원/m²를 사용하였다.

$$\begin{aligned} \text{철거비} &= \text{연면적} \times \text{철거단가} \\ &= 6,501.7\text{m}^2 \times 72,942\text{원/m}^2 \\ &= 474,247,001\text{원} \quad \text{<식 7>} \end{aligned}$$

유지보수비는 앞의 (표12)에서 제시하고 있는 내용년수 65년간의 현가로 할인한 유지보수비용의 합계에 연면적을 곱하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{유지보수비} &= \text{연면적} \times 65\text{년간 유지보수비 합계} \\ &= 6,501.7\text{m}^2 \times 171,332\text{원/m}^2 \\ &= 1,113,949,264\text{원} \quad \text{<식 8>} \end{aligned}$$

따라서, 재건축 LCC년가는 LCC비용을 연면적과 내용년수(65년)의 곱으로 나누어진 값으로 아래식에 서와 같이 연면적(m²)당 약 18,600원으로 산출된다.

$$\begin{aligned} \text{재건축 LCC년가} &= \text{LCC비용} \div (\text{연면적} \times \text{내용년수}) \\ &= (6,267,638,800 + 474,247,001 + 1,113,949,264) \div (6,501.7 \times 65) \\ &= 18,589\text{년가/m}^2 \quad \text{<식 9>} \end{aligned}$$

(2) 안전·환경개선 LCC 년가

안전·환경개선에 따른 LCC 년가는 재건축의 경우와 동일하며 이를 요약하면 아래 식과 같다. 여기서, 유지보수비를 결정하는 기준년도는 내용년수에서 안전·환경개선 후의 잔존수명을 뺀 시점을 기준으로 하였다. 여기서 안전·환경개선 행위에 따라 시설물의 일부 성능이 향상됨으로 유지보수비가 기존의 잔존연한에 비해 일부 절감될 수 있다고 판단할 수 있으나, 본 연구에서의 안전·환경개선 행위의 개념은 시설물의 잔존수명동안 사용하기 위한 최소한의 공사이다. 따라서, (앞장에서 설명한 바와 같이) 안전·환경개선 후 시설물의 잔존수명은 연장되지 않는 것으로 보는 것이 타당하며, 더욱이 (그림4)에서와 같이 시설물 수명이 26년차부터 65년차까지의 마지막 40년간의 유지보수비는 동일한 점등을 고려하여 남은 잔존 수명을 기준으로 유지보수비 산정 기준연도를 산정하였다.

따라서, E중학교의 경우에는 리모델링 후 잔존수명이 22년이므로 65년에서 22년을 뺀 43년차를 현재 건물의 유지보수비용 산정기준으로 하였다. 연간유지보수비 현금흐름은 (그림5)와 같다.

리모델링년가

$$= \frac{\text{리모델링공사비(보수보강비포함)} + \text{총유지보수비}}{\text{잔존수명} \times \text{연면적}}$$

<식 10>

13) 이상준, LCC분석을 적용한 노후 군시설 리모델링의 경제성평가 방법 연구, 공학석사학위논문, 목원대학교, 2001.

표15. 대상학교별 적정시설투자비 (단위: 천원)

시설물명	경과 년수	안전 등급	연면적 (㎡)	개축비용 (공사비)	철거비	잔존 수명 (년)	적정리모델링 공사비 (보수보강비포함)	보수보강비	적정 시설투자비 (보수보강비 제외)	
A초등학교	44	D	5,809	5,599,876	423,720	1	62,893	554,753	-491,860	
B초등학교	47	D	5,962	5,747,368	434,880	6	406,221	374,795	31,426	
C중학교	본관	44	D	6,267	6,040,935	457,093	11	1,281,293	363,993	1,052,024
	체육관	40	D	941	907,336	68,654	12	134,724		
D초등학교	45	C	2,203	2,123,885	160,706	32	947,441	64,702	882,739	
E중학교	45	C	6,502	6,267,639	474,247	22	1,823,937	108,279	1,715,658	

(3) 적정시설투자비

앞에서 산출된 수치들을 아래 식에 대입하여 안전·환경개선비(보수보강 포함), 즉 재건축하였을 경우에 연간 소요되는 총비용(원/㎡)을 초과하지 않는 적정시설투자 규모를 아래와 같이 산정할 수 있으며, E중학교의 경우 약 18억 2천만원이 적정시설투자비로 산출된다.

재건축 년가 = 안전·환경개선 년가

18,589년가/㎡

$$= \frac{\text{안전환경개선비(보수보강포함)} + 1,113,949,264}{22 \times 6501.7}$$

적정 안전·환경개선비 = 1,823,936,705원

<식 11>

3) 시설물별 적정시설투자비

앞에서 설명한 모델을 적용하여 연구의 대상 시설물별 적정시설투자비를 계산한 결과는 위의 (표15)와 같다. A초등학교의 경우를 예를 들어 설명하면, 구조적인 내구성을 고려한 잔존수명이 1년으로 보수보강비를 포함한 적정한 시설투자비는 62.9백만원으로 산정되었다. 그러나 실제로 구조물의 안전을 위해 시급하게 투입해야 하는 금액은 554.8백만원으로 적정한 환경개선사업비(62.9백만원 - 554.8백만원)는 마이너스가 된다. 따라서 A초등학교의 경우는 더 이상의 시설비 투자 없이 개축을 하는 것이 경제적으로 타당하다고 할 수 있다.

B초등학교의 경우는 374.8백만원의 보수보강비를 투입하여 6년을 더 사용할 수 있는 것으로 나타났으며, 이 경우에 적정한 환경개선사업비는 31.4백만원

이다. 그러므로 총 406.2백만원(374.8백만원+31.4백만원)의 시설투자비를 투입하여 6년을 더 사용할 것인지, 아니면 시설투자를 중지하고 개축을 할 것인지는 예산집행담당자 및 이해당사자가 여러 가지 현실을 고려하여 판단해야 할 문제이다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

각 지역의 교육청에서는 건물의 안전성 등의 검토 결과를 바탕으로 시설물상태에 대한 평가등급을 정하고 개축 및 유지관리를 위한 예산을 배정하여 집행하고 있다. 그러나 학교 시설물의 잔존 가치와 잔존 내구연한을 고려하여 가장 적정한 시설 투자 금액을 결정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 본 연구에서는 경과년수가 오래되고 시설물 상태 등급이 C급이나 D급 수준인 학교 건물에 대해 건물의 잔존 내구연한, 안전성, 보수보강비용 등 정량화가 가능한 항목들의 생애주기비용을 종합적으로 고려한 적정시설투자비용을 산정하는 모델을 5학교 6개동의 실제 사례에 적용하여 제시하였다. 그 결과 생애비용을 최소화하는 관점에서 학교 시설물별 적정 시설투자비 규모를 산출하였으며, 일부 학교의 경우는 더 이상의 시설비투자 없이 시급하게 개축하는 것이 경제적으로 타당한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는, 노후화된 학교시설물에 투자되는 정부예산을 효율적으로 집행하기 위한 의사결정을 하는데 크게 기여할 것으로 판단되며, 이와 관련된 연구를 활성화하는 데에도 도움이 될 것이다. 다만, 학교는 경제적으로 부를 창출하는 장소가 아니고 인성 교육을 하는 곳이므로 비용으로 산정할 수 없는 많은 정성적인 요인이 있다. 그러므로 본 연구

는 정량적인 수치로 계산할 수 있는 항목만을 선정하여 제시한 내용임을 인지하고 비용으로 계산할 수 없는 가치까지 포함된 모델을 개발할 필요가 있다.

또한, 본 연구에서 기준으로 적용한 연간유지보수 비용 및 철거비용은 국내에 체계적으로 축적된 실적 자료가 미흡하여 기존문헌 연구결과등을 근거로 개략적인 수치를 사용하였다. 이러한 자료들의 체계적인 수집과 분석도 효율적인 정부예산 집행과 관련분야 연구의 활성화에 반드시 필요하다.

참고문헌

1. 강창희, 학교시설물 유지관리를 위한 수선주기 산정에 관한 연구, 공학석사학위논문, 공주대학교, 2006.
2. 박동규, 김선국, BTL사업에 있어서의 VFM 분석에 관한 연구: 사례연구를 중심으로, 한국건설관리학회 논문집, 7권, 3호, 2006, pp.94~101.
3. 박문선, 송창영, 김용수, 교육시설 BTL사업의 유지관리비용 비교분석을 통한 비용추정 개선방안에 관한 사례연구, 한국건설관리학회 논문집, 8권, 6호, 2007, pp.139~149.
4. 상영엔지니어링, 건축구조물 보수·보강 가이드북, 태림문화사, 2005.
5. 안형준, 내구성 조사를 위한 중성화 시험, 한국구조물진단학회지, 6권, 2호, 2002, pp.5~14.
6. 오진수, 이문섭, 공동주택 마감재 수명연한을 고려한 내/외장재 및 설비재의 리모델링시기 설정

에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 20권, 10호, 2004, pp.95~102.

7. 이경구, 김용수, 교육시설의 부위별 수선실태에 관한 연구: 초등학교 시설을 중심으로 한 사례연구, 한국건설관리학회, 전국 대학생 학술발표대회 논문집, 2007, pp.89~92.
8. 이상준, LCC분석을 적용한 노후 군시설 리모델링의 경제성평가 방법 연구, 공학석사학위논문, 목원대학교, 2001.
9. 전용철, 철근콘크리트조 건축물의 수명에 관한 연구, 공학석사학위논문, 강원대학교, 2001.
10. 정영한, 이재승, 조봉호, 학교시설 수선주기 및 수선율 예측에 관한 기초적 연구, 교육환경연구, 9권, 2호, 2010. pp.1~10.
11. 조창희, 이화룡, 초·중학교 시설유지관리비에 관한 조사연구 : 경기도 초·중학교를 중심으로, 대한건축학회, 24권, 4호, 2008, pp.87~96.
12. 최준영, 건물의 수명추정방법에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 7권, 6호, 1991, pp.257~263.
13. 하호성, 학교 BTL사업 적격성(VFM) 분석을 위한 AHP활용 및 수선주기·수선율 산정에 관한 연구, 공학박사학위논문, 건국대학교, 2007.

별첨1. A 초등학교 균열 실태

구분	위치	균열 유형 및 형상	균열 크기(mm)		균열 부위수
			폭	길이	
본관동	1층 교실, 복도	벽체접합부 수직 균열	0.3~1.0	3000	10개소
	1층 복도	벽체접합부 수직 균열	0.3~1.0	1200	15개소
		기둥 마감 균열	0.3~1.0	3000	2개소
		벽체 수직 균열	0.5	3000	1개소
	1층 계단실	벽체 수직 균열	1.0~2.0	1500	1개소
	2층 복도	기둥/벽체 접합부 균열	0.3~0.5	1000~2800	11개소
	2층우측 계단실	벽체 사선 균열	0.3~0.5	700~1200	1개소
	3층 교실	벽체 수직/수평 균열	0.4	3500	1개소
	3층 복도	기둥/벽체 미장 균열	0.3~0.5	1000	12개소
		기둥 미장 균열	1.0	3500	1개소
		기둥/벽체 접합부 균열	0.3~1.0	1500~2800	18개소
		기둥/보/벽체 접합부 이격	1.5	8000	2개소
	3층 우측계단실	기둥/벽체 접합부 균열	0.4	2000	1개소

별첨2. A 초등학교 수직변위 측정 결과

NO	구분	측정위치	수직높이	수평거리	기울기
VT1	본관동	정면 우측	9.9M	0.3cm(→)	1/3300
VT2		배면 중앙		1.4cm(←)	1/707
VT3		배면 우측		3.7cm(→)	1/268
VT4		좌측면 좌측		3.8cm(←)	1/261
VT5	서관동	정면 좌측	6.6M	2.0cm(←)	1/3300
VT6		좌측면 좌측		2.7cm(←)	1/244

별첨3. A 초등학교 누수 및 노후화 상태

구분	위치	상태	개소	비고
본관동	옥상 중앙 계단실	벽체 누수 흔적	2개소	1.5㎡
	1층 자료실		1개소	9.0㎡
서관동	급식실	벽체 타일 균열	2개소	15장
		기둥 타일 균열	1개소	11장

별첨4. A 초등학교 시설물 최종 상태평가

층별	슬래브	보	기둥	벽체	층별 상태등급
1층	C	C	D	D	D
2층	C	C	D	D	D
3층	C	D	D	D	D
종합	D				

별첨5. A 초등학교 노후화 현장조사 결과 및 환경개선사업 소요예산

공사명	점검결과				소요예산(원)	공사명	점검결과				소요예산(원)
	A	B	C	D			A	B	C	D	
화장실증축(소)				O	240,441,000	이중창설치		O			595,980,000
담장(폐쇄형)				O	82,320,000	화장실개량(중)		O			249,885,000
배수로				O	77,700,000	화장실개량(소)		O			199,923,000
옥상물탱크교체				O	62,304,000	화장실개량(대)		O			183,226,000
자연석				O	33,480,000	적벽돌면 외벽보수		O			180,000,000
조례대				O	33,200,000	방송장비교체		O			86,000,000
담장철거				O	5,160,000	정보통신시설개수		O			66,584,000
복도중창교체			O		132,600,000	옥외배관		O			60,550,000
노후전등교체			O		100,100,000	옥내소화전개수		O			40,524,000
이중벽설치			O		98,228,000	아스팔트포장		O			36,000,000
옥상난간설치			O		81,579,000	자동화재탐지시설개수		O			32,700,000
맹암거			O		33,120,000	아스콘덧씌우기		O			24,700,000
마사부설			O		26,000,000	방송실개수		O			20,000,000
소화펌프교체			O		10,758,000	폐기물처리		O			10,000,000

별첨6. A 초등학교 보강공사 원가계산서

구 분		금 액	비율	
순 공사비	재료비	직접재료비	182,477,890	
		간접재료비	-	
		소 계	182,477,890	
	노무비	직접노무비	183,284,208	
		간접노무비	21,994,105	직접노무비의10.2%
		소 계	205,278,313	
	경비	기계경비	8,696,686	
		산업안전보건 관리비	9,914,294	(재료비+직접노무비)*1.81%+3294천원
		산재,고용보험료	9,175,941	노무비*4.47%
		환경보전비	1,123,376	(재료비+직접노무비+기계경비)*0.3%
		건강연금보험료	6,983,128	직접노무비*3.81%
		기타경비	20,482,677	(직접재료비+직접노무비)*5.6%
	소 계	56,376,103		
	일반관리비		18,209,425	(재료비+노무비+경비)*4.1%
이윤		41,979,576	(노무비+경비+일반관리비)*15%	
공급가액		504,321,306		
부가가치세		50,432,131	공급가액*10%	
총 계		554,753,437		

별첨7. A 초등학교 보강공사 직접공사비 및 (기계)경비 내역서

품 명	규격	수 량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계	
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액
1. G1보강		1.00	식		92,472,408		91,521,326		4,439,578		188,433,312
모르타르 까내기		648.00	m ²			6,938	4,495,824		-	6,938	4,495,824
탄소섬유(2PLY)	휨	129.60	m ²	255,350	33,093,360	161,101	20,878,690	12,768	1,654,733	429,219	53,972,050
탄소섬유(1PLY)	전단	414.72	m ²	134,300	55,696,896	129,272	53,611,684	6,715	2,784,845	270,287	109,308,580
천장마감재 철거		864.00	m ²		-	3,183	2,750,112		-	3,183	2,750,112
천장재 설치		864.00	m ²	4,165	3,598,560	7,720	6,670,080		-	11,885	10,268,640
콘크리트면 마무리		648.00	m ²	129	83,592	4,807	3,114,936		-	4,936	3,198,528
2. G2보강		1.00	식		88,943,253		87,271,414		4,245,328		180,459,995
모르타르 까내기		617.80	m ²			6,938	4,286,296		-	6,938	4,286,296
탄소섬유(2PLY)	휨	142.56	m ²	255,350	36,402,696	161,101	22,966,559	12,768	1,820,206	429,219	59,369,255
탄소섬유(1PLY)	전단	361.15	m ²	134,300	48,502,445	129,272	46,686,583	6,715	2,425,122	270,287	95,189,028
천장마감재 철거		950.40	m ²		-	3,183	3,025,123		-	3,183	3,025,123
천장재 설치		950.40	m ²	4,165	3,958,416	7,720	7,337,088		-	11,885	11,295,504
콘크리트면 마무리		617.80	m ²	129	79,696	4,807	2,969,765		-	4,936	3,049,461
3. 균열 및 누수혼적 보수		1.00	식		336,469		3,170,188		11,780		3,518,437
4. 가설공사		1.00	식		725,760		1,321,280				2,047,040
합 계					182,477,890		183,284,208		8,696,686		374,458,784

(논문투고일 : 2011.02.15, 심사완료일 : 2011.04.15,
 게재확정일 : 2011.04.20)