

건축공사 옥상 도막방수 공법의 LCC 분석 - 품질확보를 위한 사전대책을 중심으로 -

A Study for Analyzing Life Cycle Cost of Membrane Water-proofing of Roof - Focused on precaution for securing quality -

배재욱* 신승문* 김상갑** 구충완*** 홍태훈**** 구교진***** 현창택*****
Bae, Jae-Wook Shin, Seung-Moon Kim, Sang-Gap Koo, Choong-Wan Hong, Tae-Hoon Koo, Kyo-Jin Hyun, Chang-Taek

요 약

사회가 발전함에 따라 삶의 질에 대한 욕구는 나날이 증가하고 있다. 방수공사는 이러한 삶의 질과 직결되는 공종임에도 불구하고, 미연에 하자발생을 방지하기 위한 사전대책보다는 사후관리에 중점을 두고 있어 하자발생률이 높게 나타나고 있다. 이에 본 연구에서는 사전대책을 고려한 LCC 분석모델을 개발하고, 각 대안별 생애주기비용을 비교·분석함으로써 사전대책의 필요성을 살펴보고자 하였다. 선행연구 및 전문가 면담을 통해 하자의 발생을 줄일 수 있는 사전대책을 제시하였고, 이에 따른 각 대안별 비용항목의 민감도 분석을 통해 가장 경제성이 있는 최적안을 도출하였다. 사전대책을 실시하는 경우 초기투자비용이 추가 발생하지만 하자발생 후 전면 보수 시 발생하는 재투자비는 절감되므로, 궁극적으로 생애주기비용 측면에서 절감되는 것으로 분석되었다.

키워드: 방수공사, 생애주기비용, 하자, 사전대책

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축물의 목적은 외부환경, 즉 비 또는 눈, 바람과 같은 요소들로부터 대피하여 안전하고 편안한 생활을 영위할 수 있도록 하는 것이다. 사회가 발전하고 삶의 질에 대한 욕구가 증대됨에 따라, 그 중요성이 더욱 더 강조되고 있는 실정이다.

이러한 목적을 효과적으로 달성하기 위해서는 외부환경과 직접적으로 맞닿아 있는 외벽이나 옥상부 등의 성능을 확보하는

것이 중요하다. 특히, 방수공사는 우수, 급·배수 등에 대한 누수방지의 역할을 수행하는, 주거공간의 질을 좌우할 수 있는 중요한 요소이기 때문에, 설계, 시공, 그리고 유지보수에 있어 세심한 관리가 요구된다.

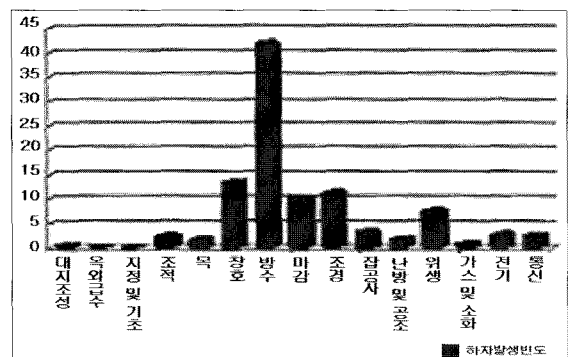


그림 1. 공종별 하자발생 빈도

그런데 그림 1과 같이, 대한주택보증의 보증사고 통계에 기초한 공종별 하자발생빈도에 관한 연구에 따르면, 지붕 및 방수공사의 하자발생빈도가 가장 높은 것으로 나타나고 있다(배순석 외 2인 2005, 주택산업연구원 1999). 이러한 결과는 대부분의 방수공사가 초기투자비용 절감에만 초점을 맞추어 시공을 하고 있으며 그로 인해 건축물이 요구하는 적절한 품질을 확보하고

* 학생회원, 서울시립대학교 건축학부 건축공학전공 학사과정 bae0936@hanmail.net
 ** 일반회원, 서울시립대학교 건축공학전공 박사과정 수료 kimsk007@hanmail.net
 *** 일반회원, 한미파슨스 건설전략연구소 연구원 cwkoo@hanmiparsons.com
 **** 종신회원, 서울시립대학교 건축학부 조교수, 공학박사(교신저자) hong7@uos.ac.kr
 ***** 종신회원, 서울시립대학교 건축학부 부교수, 공학박사 kook@uos.ac.kr
 ***** 종신회원, 서울시립대학교 건축학부 정교수, 공학박사 cthyun@uos.ac.kr

있지 못한다는 사실을 반영하고 있다.

옥상부 방수공법 관련 기존문헌 조사에 따르면, 일반적인 하자유형 분석 또는 하자발생에 따른 보수방법 등에 대해서는 많이 다루어 졌으나, 사전조치를 통해 하자를 미연에 방지하고자 하는 연구는 미진한 실정이다.

본 연구에서는 시공현장에서 발생하는 문제점을 파악하고, 방수공사의 품질확보를 위한 사전대책을 제시하고자 한다. 또한 사전대책여부에 따른 각 대안들의 생애주기비용을 비교·분석하여 옥상 도막방수의 비용절감효과에 도움을 주고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

그림2는 이 연구의 흐름을 나타내고 있다. 우선, 옥상부 방수공사 중 하자가 빈번하게 발생하는 노출방수에 대하여 분석하였다. 방수관련 전문가 및 시공현장을 대상으로 한 설문조사 결과를 바탕으로 하여, 문제점을 파악하고 사전대책을 제시하였다.

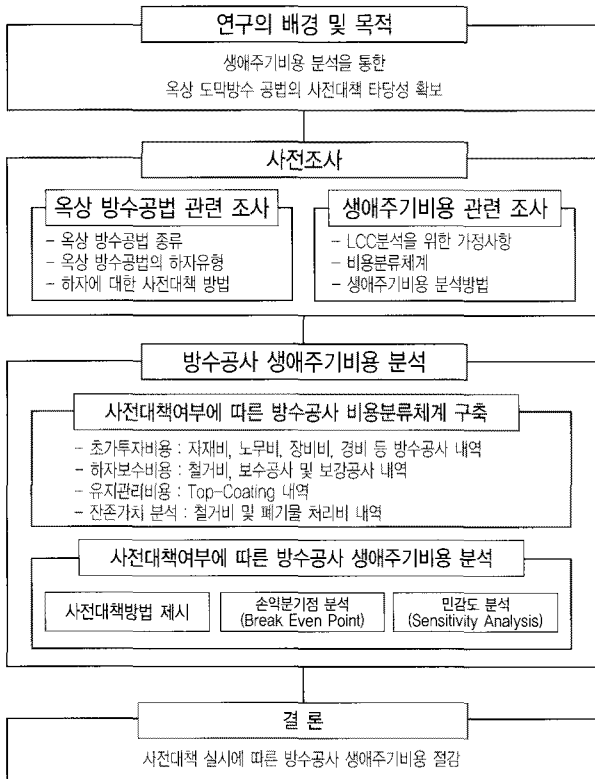


그림 2. 연구의 흐름도

한편, 사전대책 미시행(대안 1), 사전대책 부분 실시(대안 2), 사전대책 전부 실시(대안 3) 등으로 구분하여, 각각의 대안에 따른 생애주기비용 분석을 실시하였다.

대안별 수선주기는, 주택법 시행 규칙(2007. 3)에 기초한 전문가 면담을 통해 결정하였다. 생애주기비용 분석을 위한 기초

자료는, 실적자료 확보에 어려움이 있는 경우 한국물가정보(2006.12)를 기준으로, 각 비용항목들에 대한 금액을 산정하였다.

위에서 언급한 내용을 토대로, Crystal Ball 7.22를 활용하여 생애주기비용 분석을 위한 확률모델을 구축하였다. 이러한 모델의 결과를 분석하여, 사전대책에 따른 손익분기점(Break Even Point)을 찾고자 하였다. 또한, 민감도분석(Sensitivity Analysis)을 통해, 각각의 비용요소가 생애주기비용에 미치는 영향도를 파악하였다.

2. 예비적 고찰

2.1 옥상부 방수공법

옥상부 방수공법은 크게 노출 방수와 비노출 방수로 나눌 수 있다. 노출방수의 경우, 방수층이 외부로 노출되어 있기 때문에 외부환경변화에 대하여 취약할 수 있다. 반면, 방수층의 하자 발생 시 육안으로 확인할 수 있기 때문에, 하자부위에 대한 명확한 파악이 가능하며, 그에 대한 부분보수가 가능하다. 또한, 비노출 방수에 비해 초기투자비가 저렴하고 시공이 용이하다는 장점이 있다 (김승규 2005).

한편, 비노출 방수의 경우, 방수층 위에 별도의 마감이 행해지기 때문에 외부환경변화에 대해 노출 방수보다 양호한 품질확보가 가능하고, 미관상의 이점을 얻을 수 있다. 반면, 초기투자비가 높고 누수가 발생하게 되면 물이 유입되는 경로를 육안으로 확인할 수 없기 때문에, 아무리 작은 하자라고 할지라도 부분보수는 불가능하여 전면보수를 실시해야 한다는 단점이 있다.

본 연구에서는 초기투자 및 관련 비용, 하자보수 및 유지관리의 문제로 인하여, 대부분의 현장에서 적용하고 있는 노출 방수를 다루고자 한다.

2.2 선행연구 고찰

방수공사는 건축물의 쾌적성에 직접적으로 영향을 미치는 공종이기 때문에, 이와 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다.

권병헌 외 4인(2004)의 연구에서는 기존 습식공법과 반습식공법, 그리고 신공법인 스카이패널 공법을 대상으로 하여 각 공법을 비교·분석하였다. 안광욱과 이재용(2005)의 연구에서는 품질관리를 고려하여 방수공사 하자 원인을 공법별, 부위별, 주체별로 분석하였다. 김상갑 외 3인(2005)의 연구에서는 설계단계를 중심으로 한 옥상방수의 세부 디테일을 제시하여 사전대책

을 마련하였다. 또한 김상갑 외 5인(2007)의 연구에서는 지하구조물에 대한 방수공법별 생애주기 비용을 분석하여 최적의 대안을 결정하기 위한 연구를 수행하였다.

그러나 옥상부에서 빈번하게 발생하는 방수하자를 파악하고, 그것을 방지하기 위한 사전대책을 제시함과 동시에, 사전대책 여부에 따른 각 대안별 생애주기비용을 분석한 연구는 아직 미진한 실정이다.

3. 시공현황 분석

3.1 현장방문 및 설문조사

김종필 (2002)의 연구에 의하면 방수공법에 따라 다양한 하자가 발생하고 있는 것으로 나타났다. 옥상방수공사 시, 주로 적용하고 있는 방수공법과 공법별 하자발생 유형 및 빈도를 파악하기 위하여 현장조사를 실시하였고, 전문방수시공업체 및 시공현장의 숙련된 기술자와의 면담조사 및 설문조사를 실시하였다. 표 1은 설문조사 현황을 정리한 것이며, 총 39부의 설문자료를 수집하였다.

표 1. 설문대상자 현황

설문대상자	데이터 활용자료	설문대상현장	설문지수	제외
방수업체	3	4	45	6
현장지원팀 및 소장	11			
숙련기술자	25			
합 계	39			

표 1에 제시된 바와 같이 3개의 방수업체를 방문하여 설문 및 면담조사를 실시하였고, 전자우편을 통해 현장지원팀 및 소장급 전문가에게 설문조사를 실시하였다. 또한 방수공사가 진행 중인 2건의 백화점 공사, 2건의 주상복합 공사 등 총 4건의 현장의 숙련된 기술자들을 대상으로 설문 및 면담조사를 실시하여 총 45부의 설문자료를 수집하였다.

45부의 설문조사 중, 신뢰성이 결여되는 6부를 제외하고 39부의 설문자료를 채택하여 기본데이터로 활용하였다.

3.2 옥상부 방수공법 및 하자발생 현황 분석

그림 3은 방수업체, 시공현장, 현장지원팀 등을 대상으로 하여, 옥상부에 적용하는 방수공법 및 하자발생 현황에 대한 설문조사를 실시한 결과를 나타낸 것이다. 그림 3에 제시된 바와 같이, 옥상부 방수공법은 우레탄(도막)방수 49%, 아스팔트 시트방수 26%, 시멘트 액체방수 20%, 무기질 탄성방수 3%, 아스팔트 3겹8차방수 2% 순으로, 대부분의 현장에서 도막방수가 적용되

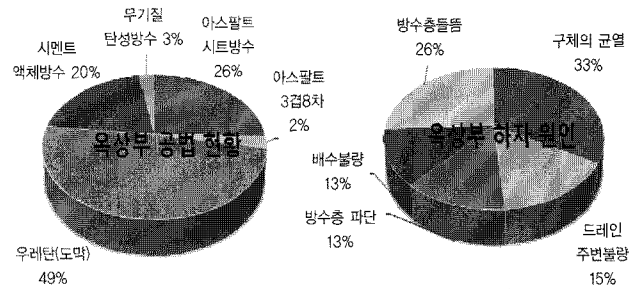


그림 3. 옥상부 방수공법 및 하자발생 현황

고 있는 것으로 나타났다. 옥상 방수공사 시 발생하는 하자의 유형은 바탕균열 33%, 방수층 들뜸 26%, 드레인 주변불량 15%, 방수층 파단과 배수불량이 각각 13%로 나타났다.

3.3 현행 방수공법의 하자 분석

본 연구에서는 대부분의 건축물에서 빈번하게 발생하는 옥상방수와 관련된 문제점을 파악하기 위하여, 특정사례에서 발생하는 하자에 대한 조사보다는 경력 10년 이상인 2인의 전문방수업체 경영자와 방수공사 실무자 3명과의 면담조사를 통해 현행 방수공법의 하자 및 발생 원인을 분석하였다. 현행 방수공법의 하자 및 발생 원인을 분석하였다.

(1) 바탕균열

노출 도막 방수의 바탕이 되는 누름층은 재료의 물성으로 인하여 기온에 따라 수축과 팽창을 반복한다. 따라서 시공하는 시점에서 균열이 발생하지 않는다고 할지라도, 시간이 지남에 따라 옥탑부 모서리 부위, 보 상부의 최대 휨모멘트가 작용하는 부분, 또는 파라펫 이어치기 부위 등과 같은 거동점을 중심으로 균열이 진행된다. 또한 높은 기온에 의해 누름층의 부피가 팽창하여 파라펫을 밀어냄으로써, 파라펫과 슬라브 이어치기 부위에 심각한 균열을 초래하기도 한다.

현재 대기업 주관으로 수행되는 일부 대규모 현장을 제외한 대부분의 현장에서는, 이러한 문제에 대한 뚜렷한 대책을 취하지 않고 있는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 작업자의 인식 부족 및 시공자의 단기적인 이익추구에서 기인한 것으로 파악되었다.

(2) 방수층 들뜸

방수층은 완벽한 바탕정리 후 시공이 이루어져야 하지만, 우리나라의 기후 조건이 다습지역이고, 대부분의 공사현장에서 습기 및 레이턴스 제거가 미흡한 상태에서 공사를 진행하기 때문에 방수층이 바탕과 밀착되지 못하고 탈락하는 하자가 발생하

다. 이러한 부분을 중심으로 바탕층이 함유하고 있던 습기가 적층되어 콘크리트의 부식을 유발하고, 동결융해 현상으로 인한 방수층 들뜸 속도를 더욱 가속시킨다.

현재 일부 대규모 현장에서는 습도계를 이용하여 시공 최적의 습도에서만 시공을 허용하고 있지만, 이러한 현장을 제외한 대부분의 현장에서는 공기의 단축을 목적으로 누름층에 대한 단순 육안검사 확인 후 시공하고 있다.

(3) 드레인

드레인과 콘크리트는 완벽하게 접착하는 것이 불가능하다. 왜냐하면 첫째, 화학적 성분 요소가 서로 다른 이질재로 구성되어 있고, 둘째, 두 가지 부재의 접착에 대하여 세심한 주의를 기울인다고 할지라도, 콘크리트가 온도에 따른 수축팽창을 반복하기 때문이다.

설계도서 및 건축표준시방서에서는 접착부위의 간극으로 인한 누수를 방지하기 위하여 보강포 부착 후 방수층 시공을 원칙으로 하고 있다. 그러나 일부 중·소규모 현장에서는 작업의 편의성 및 작업자의 인식부족으로 인하여 시정이 미흡한 실정이다.

(4) 배수불량

설계불량으로 인해 적절한 구배를 확보하지 못하게 되면 자연 배수 불가로 원활하게 배수가 이뤄지지 못하며, 기온 하강 시 고여 있던 물의 동결로 방수층의 파단을 유발한다. 또한 옥탑부나 출입구 문턱을 옥상부 레벨과 동일하게 시공하여 집중호우 시 물이 내부로 범람되는 사고가 발생하는 현장도 있는 것으로 파악되었다.

이는 설계자가 방수공사 시공에 대한 이해 부족으로 시공성을 고려하지 않은 채 설계함으로써 잘못된 설계 도서를 만들어 내는 데서 기인하는 것으로 조사되었다.

3.4 하자발생 원인 분석

전문가와의 면담 결과 현재 시공현장에서는 특정 하자가 반복적으로 발생하고 있음에도 불구하고 이를 방지하기 위한 사전대책이 제대로 이뤄지지 않고 있는 것으로 파악되었다. 일반 영세한 전문방수업체의 경우에는 사전대책을 아예 실시하지 않는 곳이 대부분이며, 실시하더라도 바탕균열정도에 한해서만 그 대책을 취하고 있는 것으로 나타났다. 대기업을 제외한 그 밖의 중소업체들의 경우 모든 사전대책을 실시하는 곳은 극히 일부에 지나지 않고 있다.

그 이유는 크게 시공자의 방수 품질에 대한 인식 부족, 촉박한 공기, 작업의 편의성, 초기 투자비만을 고려한 단기적인 이익 추구 때문 등으로 조사되었다.

4. 사전대책여부에 따른 LCC분석

4.1 사전대책

본 연구에서는 현행 방수공법의 문제점과 관련하여 건설교통부 표준시방서, 대한주택공사 표준시방서, 기존 문헌조사, 전문가 면담 등을 통해, 하자 발생을 최소화시킴으로써, 방수층의 성능을 달성할 수 있는 방법을 하자유형별로 제시하였다.

(1) 바탕균열 사전대책

그림 4는 바탕균열 하자에 대한 사전대책을 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 제시된 바와 같이, 콘크리트의 수축팽창계수를 감안하여 누름층에 적절한 간격으로 신축줄눈을 설치하고, 이를 통해 균열을 미리 유도한다. 또한 파라펫의 모서리부분은 쿠션매트를 설치하여 콘크리트 팽창에 대비하도록 함으로써 누름층의 부피팽창으로 인한 파라펫과 슬라브 이어치기 부위 균열발생을 방지한다.

그림 4(b)에서 제시된 바와 같이, 신축줄눈에는 PE FILM을 부착하여 방수층이 바탕의 거동에 대해 융통성을 가지고 움직일 수 있도록 한다.

이러한 사전대책을 통해 하자발생 부분, 즉 파라펫 및 이어치기 부위 또는 바닥 슬라브의 균열 거동점 등을 사전에 제거시킬 수 있다.

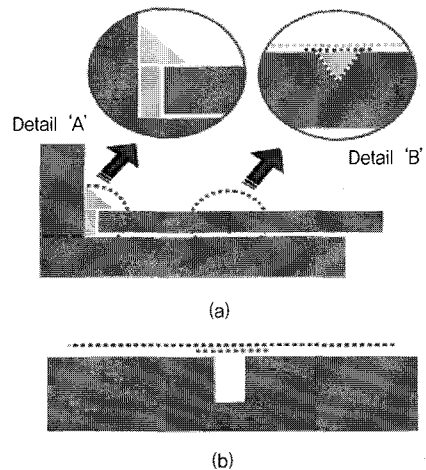


그림 4. 바탕균열 사전대책



(2) 방수층 들뜸 사전대책

바탕면 정리 불량으로 인한 방수층의 들뜸 현상을 해결하기 위해서는 바탕면을 갈아냄으로써 습기 및 레이턴스를 제거하여 부착성능을 향상시키도록 한다.

그림 5는 공기 및 습기에 의한 들뜸 방지를 위한 사전대책을 나타낸 것이다. 전체 면적을 일정 넓이로 분할하고 탈기관을 설치하여 바탕층이 함유하고 있는 공기 및 습기를 배출시키거나, 방수 시공 전 약 1m²에 24시간 동안 비닐을 씌워 육안으로 습기의 유무를 확인한 후 방수층을 도포한다.

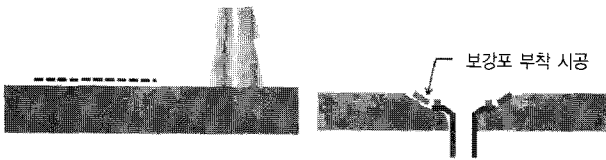


그림 5. 방수층 들뜸 사전대책

그림 6. 드레인 주변부 디테일

(3) 드레인 사전대책

바탕재와 드레인은 화학적 성분이 서로 다른 이질재이기 때문에 두 부재간 접착에 의한 완전한 일체화는 사실상 불가능하다. 그렇기 때문에 접착부위 간극에 대한 누수 위험성이 매우 높으므로 그림 6과 같이 보강포를 부착해 방수층을 시공함으로써 두 이질부재의 접착불량으로 인한 누수를 방지한다.

(4) 배수불량 사전대책

구배 불량으로 물의 소통이 원활하지 못한 현상을 막기 위해 드레인을 구체보다 낮은 높이에 시공하여 자연배수를 유도할 수 있도록 하며, 게릴라성 호우로 인해 드레인의 용량부족이나 손상에 의해 사용될 수 없게 될 경우, 그림 7에서 제시된 바와 같이 해당지점에서 약 10cm정도 수직 이격한 곳에 오버플로우관을 설치하여 배수가 가능하도록 시공한다.

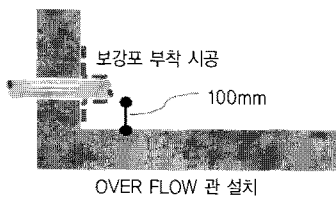


그림 7. 드레인 주변부 디테일

4.2 생애주기비용 분석절차

생애주기비용 분석을 위해 할인율과 내용연한, 기준단가 선정, 수선주기에 대한 가정 사항을 설정하고, 비용분류체계에 따

라 항목을 선정하여, 생애주기비용 모델을 구축한다 (최민수와 이의섭 1999). 초기투자비용, 하자보수비용, 유지비용, 해체비용 등 각 항목별 비용에 대한 자료를 수집한 후 생애주기비용 분석을 실시한다.

4.2.1 기본 가정사항

(1) 할인율

실질 할인율은 비용의 시간적 가치를 나타내는 개념으로써 특정시점으로 화폐의 가치를 환산하는데 이용된다. 실질 할인율의 산정은 이승훈 외 (2006)의 연구에서 예측정확도가 가장 우수한 것으로 분석된 로그계열방법으로 추정된 회귀식을 적용하였다. 실질 할인율 산정에 활용된 자료는 기업대출금리가 비정상적으로 변동한 3년(1998년~2000년)을 제외하고, 2006년도를 기준으로 한 최근 10년간의 자료를 바탕으로 명목이자율과 물가상승률의 각각 기업 대출 금리와 월간 물가 상승률을 적용한 자료를 참고하여 계산하였다.

이러한 과정을 통해, 명목이자율 및 물가상승률을 예측한 결과는 다음의 표 2 및 표 3와 같다.

표 2. 명목이자율 예측

연도	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	평균
(%)	5.48	5.37	5.28	5.20	5.13	5.06	5.00	4.95	4.90	5.21

표 3. 물가상승률 예측

연도	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	평균
(%)	2.88	2.80	2.73	2.67	2.61	2.55	2.50	2.46	2.41	2.66

실질할인율은 다음의 수식(1)에 의해 계산되며, 명목이자율(i) 0.0521, 물가상승률(j) 0.0266을 적용하여, 0.0248로 도출되었다.

$$I = \frac{(1+i)}{(1+j)} - 1 \tag{1}$$

I: 실질할인율 i: 명목이자율 j: 물가상승률

(2) 분석기간

분석기간 내 손익분기점의 위치는 의사결정에 있어서 중요한 요인으로 작용한다. 방수층은 건물이 사용되고 있는 한 기능 및 성능을 계속적으로 발휘해야 하기 때문에 방수공사의 생애주기는 구조물의 내용연수와 동일한 것으로 고려한다.

기존 콘크리트 구조물 내용연수와 관련한 연구는 많이 진행되었지만, 그 중 김상갑 외 3인 (2005)의 연구에서는 공동주택 구조물의 물리적인 내용연수 분석뿐만 아니라, 사회적·기능적 수

명, 그리고 사용자 체감 수명까지 고려하여 그 수명을 40년으로 설정하였다. 김상갑 외 3인 (2005)의 연구에서 설정한 내용연수는, 기존연구 중 본 연구의 주제와 가장 부합한다고 판단되므로, 본 연구에서는 공동주택 구조물의 내용연수를 40년으로 설정하였다.

(3) 기준 단가의 산정

생애주기비용은 과거의 실적자료를 바탕으로 기획, 설계, 시공, 유지관리, 해체에 이르기까지 전 과정에 걸친 모든 비용요소에 대한 금액을 하나의 시점에 대한 가치로 환산하여 시설물 또는 그 구성요소에 대한 경제적 평가를 실시한 결과를 의미한다.

그런데 옥상부 방수 하자에 대한 사전대책을 실시한 사례 및 관련 자료의 수집이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 사전대책여부에 따른 대안별 비용자료에 대하여, 한국물가정보(2006.12)를 바탕으로 KSF3211~KSF3216의 기준에 의거하여 일위대가와 단가를 산정하였다. 이러한 방법으로 대안별 비용항목들에 대한 산정기준을 통일하였다.

(4) 기타

본 연구에서는 확률적 비용요소를 분석하기 위하여, 몬테카를로 시뮬레이션(MCS)을 적용하였다.

MCS는 각 요인에 대한 무작위 변수값을 선정하여 수많은 횟수에 걸쳐 반복적 분석을 실시하는 방법이다. 이것은 각 요소와 관계된 불확실성을 정량화함으로써 미래의 불확실성 정보를 활용할 수 있으며, 불확실성에 가장 불리하게 영향을 주는 요소를 파악함으로써 불확실성을 일정수준까지 줄일 수 있다 (이동준 외 3인 2003).

실적자료가 충분히 확보된 항목에 대해서는, 그림 8에서 제시된 바와 같이, Best-fit 방법에 의해 가장 적합한 확률분포곡선으로 정의하였다. 반면 실적자료의 확보가 충분치 못한 비용항목에 대해서는 그림 9와 같이 최대값, 최소값, 최빈값을 설정하여 삼각형 분포로 정의하였다.

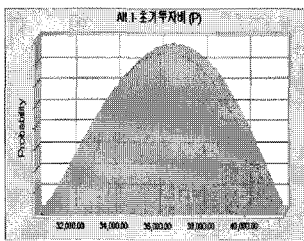


그림 8. Best-fit에 의한 확률분포곡선 정의

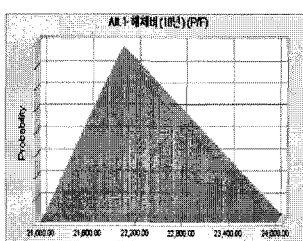


그림 9. 삼각형 분포 정의

4.2.2 비용항목 선정

표 4는 사전대책여부에 따른 옥상 도막방수공사의 LCC분석을 위한 비용분류체계를 나타낸 것이다.

표 4. 사전대책여부에 따른 옥상 도막방수공사의 비용분류체계

비용항목 사전 대책여부	초기투자 비용	하차보수비용		유지비용	해체비용
		부분보수	전면보수		
대안1 (미실시)	방수공사내역	부분철거비 및 보수공사 내역	철거비 및 방수공사 내역	-	철거비 및 폐기물 처리비
대안2 (일부실시)	방수공사 내역 및 일부사전대책 공사내역	부분철거비 및 보수공사 내역	철거비, 방수공사 내역 및 일부 사전대책 공사내역	Top-Coating 내역	철거비 및 폐기물 처리비
대안3 (전부실시)	방수공사 내역 및 사전대책공사 내역	-	철거비, 방수공사 내역 및 사전대책 공사내역	Top-Coating 내역	철거비 및 폐기물 처리비

초기투자비용은 사전대책을 실시하지 않은 경우 투입되는 도막방수 공사비용과 사전대책을 실시할 경우 추가로 발생하는 사전대책비용 합계로 산정하였다.

하차보수비용 중 부분보수는 사전대책 여부에 따라 3가지로 구분하였으며, 이는 전문가들의 의견을 수렴하여 각 재료의 성능을 최대한 발휘한다는 가정하에 진행하였다. 첫째, 사전대책을 실시하지 않을 경우, 2년마다 부분하차보수비용이 발생하게 된다. 둘째, 사전대책을 일부 실시할 경우, 3년마다 부분보수비용이 발생하게 되며 10년 동안 그 성능을 발휘하는 것으로 가정하였다. 셋째, 사전대책을 전부 실시한 경우, 부분보수비용은 발생하지 않으며 방수층의 최대 수명인 15년 동안 그 성능을 발휘하는 것으로 가정하였다.

하차보수비용 중 전면보수는 기존의 방수층이 그 수명을 다하여 새로운 방수층을 시공하는 것으로서 기존 방수층을 해체한 후 다시 초기공사와 같이 재시공하는 것이기에 때문에 철거비와 초기투자비용의 합으로 구성하였다.

유지비용은 방수층의 노화 및 마모를 방지하기 위해 전면 재보수 시기를 제외하고 방수공사 완공 후 4년마다 주기적으로 투입되는 Top-Coating 비용이다.

해체비용은 방수층을 철거하는 철거비용과 발생된 폐기물에 대한 폐기물 처리비로 구성되며 해체 후의 경제적 가치는 발생하지 않기 때문에 잔존가치는 비용항목에서 제외하였다.

4.2.3 수선주기

현재 주택법 시행 규칙(2007.3)에서는 지붕의 고분자 도막방수의 부분수선주기는 5년(수선율 10%), 전면수선주기는 15년(수선율 100%)으로 제안하고 있다. 그러나, 하자에 대한 사전대책



의 여부에 따라 방수층의 수선주기가 달라지기 때문에 방수공사 공정을 고려한 세밀한 수선주기의 산정이 요구된다.

본 연구에서는 주택법 시행 규칙을 바탕으로 방수공사 전문가들의 의견을 수렴하여 수선주기를 산정하였다. 각 대안별 수선 주기는 표 5와 같다.

표 5. 사전대책여부에 따른 대안별 수선주기

구분 \ 사전대책여부	미실시	일부 실시	전부 실시
부분수선	2년	3년	-
전면수선	3년	10년	15년

전면 재보수 및 부분보수비용의 산정 시 사용되는 수선율의 경우는 모든 비용항목에 대한 일위대가를 산정하여 소요비용을 산출하였으므로 따로 고려하지 않았다.

4.3 생애주기비용 분석

4.3.1 손익분기점

표 6은 기본적인 가정사항 및 비용항목, 수선주기를 통해 내 용연수로 가정한 40년 동안 사전대책여부에 따른 대안별 생애 주기비용을 분석한 결과를 나타낸 것이다.

표 6. 사전대책여부에 따른 대안별 생애주기비용(단위 : 원/m²)

년	생애주기비용분석						
	대안 1	대안 2	대안 3	년	대안 1	대안 2	대안 3
1	36,316	44,480	46,430	21	379,439	213,138	144,676
2	42,298	44,480	46,430	22	383,101	213,138	144,676
3	96,725	50,317	46,430	23	383,101	213,138	144,676
4	102,421	62,539	58,651	24	415,613	224,107	152,158
5	102,421	62,539	58,651	25	415,613	224,107	152,158
6	152,985	67,962	58,651	26	418,933	224,107	152,158
7	152,985	67,962	58,651	27	449,138	227,347	152,158
8	158,149	79,041	69,730	28	452,299	234,129	158,940
9	205,124	84,079	69,730	29	452,299	234,129	158,940
10	210,041	136,305	69,730	30	480,360	269,110	191,846
11	210,041	136,305	69,730	31	480,360	269,110	191,846
12	253,683	151,029	79,773	32	483,226	275,259	197,994
13	253,683	151,029	79,773	33	509,296	278,055	197,994
14	258,140	151,029	79,773	34	512,024	278,055	197,994
15	298,685	155,378	127,318	35	512,024	278,055	197,994
16	302,929	164,482	136,423	36	536,244	286,226	203,568
17	302,929	164,482	136,423	37	536,244	286,226	203,568
18	340,597	168,522	136,423	38	538,717	286,226	203,568
19	340,597	168,522	136,423	39	561,219	288,640	203,568
20	344,444	209,384	144,676	40	569,564	296,985	211,914

* 대안 1 : 사전대책 미실시, 대안 2 : 사전대책 일부실시, 대안 3 : 사전대책 전부실시

표 6의 1년(음영부분)에 해당하는 부분을 참고하면, 대안 3(사전대책 전부실시)은 대안 1(사전대책 미실시) 및 대안 2(사전대책 일부실시)와 비교하여, 초기투자비용이 각각 10,114원/m², 1950원/m² 더 소요되는 것으로 나타났다. 그러나 3년(음영부분) 이후에서는 대안 1 및 대안 2와 비교하여 대안 3의 생애주기비

용이 낮은 것으로 나타났다.

초기투자비용 측면에서 대안 3은 대안 1 및 대안 2와 비교하여, 각각 1.28배, 1.04배 높게 나타났다. 그러나 40년의 생애주기비용 측면에서, 대안 1은 대안 3의 2.69배, 대안 2는 대안 3의 1.4배 높게 나타났다. 한편 초기투자비용이 가장 낮은 대안 1의 경우, 생애주기비용이 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다.

한편 부분적으로 동일한 금액이 나타나는 이유는 해당년도에는 보수공사 또는 사전대책이 실시되지 않아 공사비의 변동이 생기지 않기 때문이다.

그림 10은 표 6을 바탕으로 작성된 것으로서, 연차별 생애주기비용의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림 10에서 확인할 수 있듯이 대안 3의 생애주기비용은 2년~3년 경과시점에 원으로 표시된 부분 이후로 가장 낮게 나타나고 있다.

한편 그래프가 유선형이 아닌 계단형을 나타내는 것은 노출형 도막방수의 특성상 유지관리를 위해 매년 지속적으로 투입되는 비용이 없기 때문으로 분석된다.

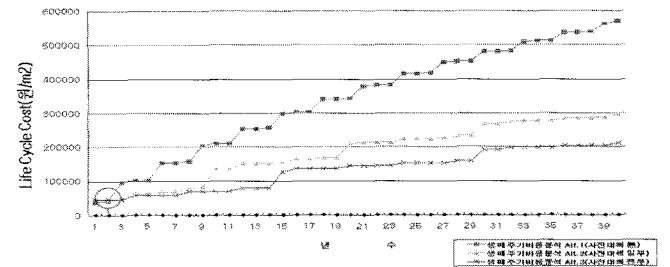


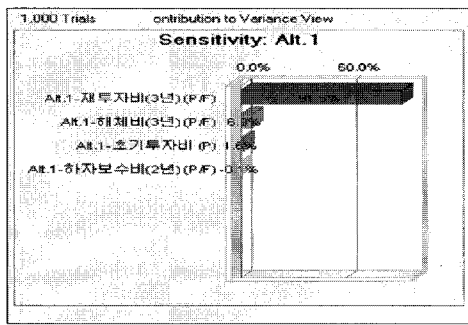
그림 10. 사전대책여부에 따른 손익분기점

4.3.2 비용항목별 민감도

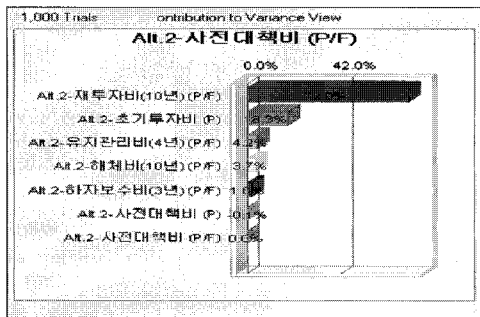
그림 11은 사전대책여부에 따른 대안별 민감도 분석 결과이다. 생애주기비용 분석에 활용된 비용항목들이 생애주기비용에 미치는 영향력을 평가하기 위한 것이다. 막대의 길이는 비용항목들이 생애주기비용에 미치는 영향도를 의미한다.

세 가지 대안 모두 전면 보수 시 투입되는 재투자비의 영향도가 각각 91.5%, 72%, 54%로서, 가장 높게 나타났으며, 다른 비용항목에 비해 월등하게 높은 영향도를 갖는 것으로 나타났다.

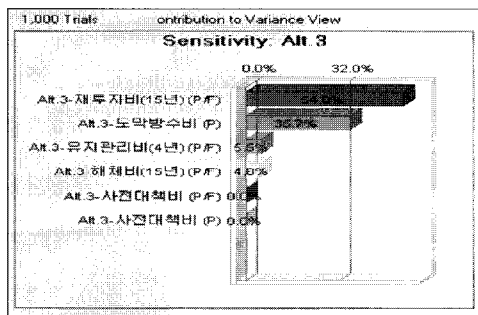
대안 1(사전대책을 미실시)의 경우, 총 13회의 전면보수가 실



(a) 대안 1 : 사전대책 미실시



(a) 대안 2 : 사전대책 일부 실시



(c) 대안 3 : 사전대책 전부 실시

그림 11. 대안별 민감도 분석 결과

시되고, 이는 대안 2(사전대책 일부 실시)보다 4배 이상, 대안 3(사전대책 전부 실시)보다 6배 이상 많은 재투자비용 횡수를 갖는 것으로 나타났다. 사전대책을 실시하는 경우(대안 2 또는 대안 3), 초기에는 사전대책공사로 인한 추가비용이 발생하기 때문에, 사전대책을 실시하지 않는 경우(대안 1)와 비교하여 많은 초기투자비용이 투입된다. 그러나, 대안 2 또는 대안 3의 경우, 내용연수(40년)에서 발생하는 생애주기비용 증가에 있어서는 그림 10에서 제시하는 바와 같이 상대적으로 완만한 증가곡선을 이루고 있는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 이러한 방수하자를 미연에 방지하기 위해 하자가 반복적으로 발생하는 부분에 대한 기존의 사후관리 중심이

아닌, 보다 한발 더 나아가 적극적인 사전 대책 방법을 제시함으로써 방수의 성능 및 품질을 향상시키고자 하였다.

본 연구의 주요 연구 과정 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 현재 방수공사는 하자 발생 시 보수나 재시공 등이 어려운 공종임에도 불구하고 사전대책보다는 사후관리에 중점을 두고 있는 실정이다.

(2) 방수업체, 시공현장, 전문가와의 면담·설문조사를 통해 옥상부 사용 방수공법 및 발생빈도가 높은 하자의 유형을 파악하였다.

(3) 현재 시공현장에서 발생빈도가 높은 하자들을 중심으로 전문가와의 면담을 통해 어떠한 원인에 의해 발생되고 있는지를 조사하였다.

(4) 자료를 바탕으로 발생빈도가 높은 하자를 중심으로 사전 대책을 제시하고 사전대책 여부에 따른 생애주기비용모델을 구축하여 비교·분석한 결과, 사전대책을 실시하는 경우 생애주기 비용이 절감되는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 설문조사를 통하여 하자발생 요인을 파악하고 그에 대한 사전대책을 제시하였다. 그리고 그에 대한 생애주기 비용을 산정하여 비교·분석해 봄으로써 사전대책의 필요성을 나타내었다. 하지만 방수공사의 공사비가 전체 공사비 대비 구성 비율이 낮다는 것과 전문방수업체가 영세하다는 특성 등의 해 실적자료의 확보에 어려움이 있었다.

본 연구의 경우에는 옥상부 노출 도막방수에 한정하여 연구를 진행하였지만, 현재 방수공사의 하자발생을 줄이기 위해 절연공법 등을 활용한 복합방수공법과 관련한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그렇기 때문에 사전대책을 고려한 일반 도막방수와 현재 개발되고 있는 복합방수의 경제성 분석에 대한 향후 연구가 진행된다면 커다란 비용절감 효과와 함께 하자 발생률을 크게 낮출 수 있을 것이라 예상된다.

참고문헌

- 권병헌, 허재훈, 이성일, 한정훈, 김창덕 (2004), "옥상방수 개선방안에 대한 연구", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 제5회, pp.535~538
- 김승규 (2005), "방수공사의 시공부위별 적용방법", SK건축 기술정보, 2, pp.67~78
- 김상갑, 김양택, 구교진, 현장택 (2005), "옥상방수 성능의 향상을 위한 설계 개선안 제시", 25(1), 대한건축학회 학술발표대회 논문집, pp.3~6

4. 김상갑, 조규만, 김청용, 홍태훈, 구교진, 현창택 (2007), “공동주택 지하구조물의 방수공법별 생애주기비용 분석에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집(구조계), 23(1), pp.95~103
5. 김종필 (2002), “방수 하자 원인 및 대책”, 쌍용건설 기술연구소, 겨울호 제25권, pp.72~77
6. 배순석, 천현숙, 김승중 (2005), “주택소비자를 위한 주택품질보증체계 구축방안”, 국토연구원
7. 안광욱, 이재용 (2005), “공사현장의 품질관리를 위한 방수공사의 하자분석”, 대한건축학회 논문집(구조계), 21(2), pp.123~130
8. 이동준, 손보식, 김우영, 이현수 (2003), “확률개념의 시뮬레이션을 이용한 최종 공사비 추정 방법”, 대한건축학회 논문집(구조계), 19(9), pp.137~146
9. 이승훈, 우유미, 이성락, 홍태훈, 구교진, 현창택 (2006), “LCC분석에 의한 슬러지수집기 선정 모델”, 한국건설관리학회 논문집, 7(6), pp.175~184
10. 주택산업연구원 (1999) “공동주택 하자보수보증사고의 사업주체별 특성연구”
11. 최민수, 이의섭 (1999), “건설사업의 LCC분석 기법 및 적용방안”, 한국건설산업연구원

논문제출일: 2007.07.27

심사완료일: 2007.12.26

Abstract

As the society is being developed, the desire about life quality is also growing. Even though the process of waterproof work has very close relation with these life quality, we always focus on management after problem than the precaution of problem. So this process has the highest rate of mengel. We develop LCC analysis model considering the precaution and try to show the necessity of the precaution by comparing and analyzing every alternative proposal during LCC. By studying of the previous work and the result of questionnaire, we deduce the problem of waterproof work in construction area. By discussion with an expert in this process and research, we make solutions about precaution and set the cost items in every alternative proposal about these solutions. We understand the effect of each elements through sensitive ananalysis of the cost items, and find the economically best suited solution.

Keywords : Water Proofing work, Life Cycle Cost, Defect, Precaution