

교육시설의 옥상방수 열화도 진행 모델에 관한 연구

A Study on the Establishment of the Deterioration Process Model of Roof Waterproofing in the Education facilities

이 강 희* 채 창 우** 류 수 훈***
Lee, Kang-Hee Chae, Chang-U Ryu, Soo-Hoon

Abstract

Education facilities have much affect to make a good condition for the learning environment. Therefore, various approaches have been conducted to improve the physical, social and educational achievement. Especially, the physical aspect is very important to get rid of the building defect and improve the student their learning environment. For these, it needs to explain the performance and function of components and materials, which is linked with the deterioration degree. The deterioration degree is a imperative factor to make a decision whether the component would be repaired or not and to provide the repair scope of its component.

In this paper, it aimed at making the deterioration degree model of roof proof under the hypothesis of which deterioration degree would be equal the repair cost at this time. Results of the study are shown that first, the 3rd function is most proper to explain the deterioration degree model among 11 functions in view of resulted statistics. Second, the inflection of deterioration is shown at 15yr of the elementary school and 13yr of the middle and high school. This study has a limit of disclassification of the component or materials and it is, therefore, favorable to include the classification of waterproof material and work. These results would make a change from the breakdown maintenance to preventive maintenance and give a decent the learning environment for student.

키워드 : 교육시설, 옥상방수, 열화, 모델

Keywords : educational facilities, roof proof, deterioration, model

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

모든 재화는 시간이 경과함에 따라 그것이 갖는 기능이나 성능이 저하되는 특징을 지니고 있다. 이것은 열화 혹

은 노후라는 의미로 해석할 수 있다. 부품이나 부재 혹은 완성제품 등은 각각의 열화가 제품전체의 성능과 기능 등에 영향을 미치게 된다. 따라서 시간의 흐름에 따라 부품, 부재를 교체하거나 수선하여 성능을 회복하는 것이 필요하다.

건축물은 다종다양(多種多樣)한 부재, 부품으로 구성되어 하나의 완성품을 형성하는 특징을 지니고 있다. 또한, 현장시공, 준공에 이르기까지 일정시간이 요구되며, 일반 재화가 갖는 수명보다는 긴 수명을 지니는 특징이 있다. 따라서 건축물 수명기간 동안 성능 혹은 기능 저하를 예측하고 이에 대응하여 저하된 부분의 교환이나 수선을 통해 일정 수준의 거주성 및 안전성 등을 확보하는 것이 필요하다.

교육시설은 학생의 학습공간을 제공하는 것으로 학업성

* Professor, Ph.D., Dept. of Architectural Eng., Andong Nat'l Univ., Korea, Main author

** Senior Research Fellow, Ph.D., Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology, Korea
Tel: 82-31-910-0367, e-mail: cuchae@kict.re.kr

*** Professor, Ph.D., Dept. of Architectural Design., Kongju Nat'l Univ., Korea, Corresponding Author,
Tel: 82-41-521-9345, e-mail: willow@kongju.ac.kr

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업인 그린리모델링 핵심 기술 및 지원정책개발 4차년도 연구성과의 일부를 수정하여 재구성함.

취 등 다양한 방면에 많은 영향을 미치게 된다. 쾌적한 학습환경 확보를 위해서는 교육시설을 구성하는 다양한 부재, 부품 및 공간에 대한 체계적인 유지관리가 요구된다. 반면, 현장에서 수행되는 유지관리는 부재, 부품의 경과년수, 열화진행 정도를 고려하기 보다는 경험적인 수준에서 대응하는 것이 일반화 되어 있다. 교육시설의 쾌적하고 편안한 학습환경을 확보하기 위한 유지관리는 여러 가지 방안이 추진되고 있으나, 시설 유지관리계획 수립과 실행을 위한 기초자료가 부족한 실정이다. 이것은 건물 준공 이후, 진행되는 열화도를 감안하여 적절한 수선시기나 수선 범위를 설정하는 것이 요구되어지나 부재, 부품, 공간부위 등의 열화도를 설명할 수 있는 방법 혹은 대안이 아직까지 제시되고 있지 못하다.

이에 대하여 본 연구에서는 교육시설을 대상으로 준공 이후 경과년수와의 관계에서 나타나는 열화 정도를 설명하는 도구로 활용하고자 경과년수에 따른 열화도 수준을 설명할 수 있는 평가모형을 구축하는 것이다. 이를 위하여 열화도 모델의 적용성의 검토는 교육시설의 옥상방수를 대상으로 적용하였다. 이와 같은 연구결과는 다른 부재, 부위 등의 열화도 모델 설정에 활용할 수 있을 뿐만 아니라 경과년수에 따른 열화도 수준을 예측하는 모델로 이용할 수 있을 것이다.

1.2 연구의 방법 및 내용

교육시설을 구성하는 부재, 부품 등의 열화도 진행을 설명하는 모델을 구축하기 위해서는 준공 이후의 시간과의 관계 속에서 찾아야 한다. 부재, 부품의 열화(deterioration)는 물리적, 사회적, 환경적 요인 등을 요인을 경과년수로 독립변인으로 설정하여 설명한다. 이와 같은 관계를 통해 작성된 열화도 진행 평가모형을 다음과 같은 세부적인 연구방법과 내용으로 진행하였다.

첫째, 열화도 진행수준은 경과년수 진행에 대응하는 개·보수, 교체 등의 수선비용으로 설명할 수 있다. 즉, 열화가 진행된 수준에 대응하는 수선비용이 투입되는 것을 전제로 하고 있다. 따라서 준공 이후 초기년도에는 열화는 거의 없어 수선비용이 거의 없지만, 점차적으로 경과년수가 내용년수에 이르면서 열화는 점차적으로 진행됨으로 수선비용은 계속적으로 증가하게 된다. 결국, 내용년수에 도달할 즈음의 열화도는 100%수준에 이르는 것을 전제로 한다.

둘째, 내용년한은 준공 이후부터 최종적으로 기능, 성능이 저하되어 더 이상 사용한계에 이르는 시기까지로 설정

할 수 있다. 옥상방수의 내용년한은 초등학교는 32년, 중학교는 35년, 고등학교는 37년으로 설정하였다¹⁾.

셋째, 열화도 평가모델은 내용년한 도달 시점의 열화도 진행을 100%로 전제하고 준공 이후 경과년수에 따라 열화도 진행수준을 설명하였다. 이것은 내용년한 시점에서의 열화도 수준과의 상대적인 개념으로 설정하는 것이다.

1.3 연구의 범위

본 연구에서는 교육시설 가운데, 옥상방수를 연구범위로 설정하였다. 여기에는 초등학교, 중학교, 고등학교 등으로 구분하여 열화도 평가모델을 작성하였다. 이를 위한 연구 범위는 다음과 같다.

첫째, 옥상방수 수선이력 자료 수집 학교는 크게 초등학교, 중학교, 고등학교로 조사대상 학교 숫자는 Table 1과 같다. 이때 옥상방수에 대한 수선시기, 수선방법, 수선범위, 수선비용 등의 수선이력 자료는 준공 이후의 시간 흐름에 따라 시계열적으로 정리하였다. 다만, 문서보존 기한이 5년으로 설정되어 이전 수선기록 자료확보에는 한계가 있다. 이것은 보존기한 이전 수선이력은 학교시설담당자 면담과 추론을 통해 수집하였다.

Table 1. Frequency of schools in the collected data

	roof proof
elementary school	15
middle school	48
high school	13

둘째, 수선 이력자료를 시간적인 측면에서 시계열적으로 정리할 때, 시간적인 차이에 따른 화폐가치 차이가 발생한다. 이것을 고려하여 수선비용의 할인율은 2.6%로 설정하였다.

2. 열화원인과 열화도 곡선

2.1 열화원인

교육시설은 준공 후 시간의 경과에 따라 열화되는 특징을 지니고 있다. 열화 원인은 자연적·인위적 사고나 사회적 측면의 변화에 의해서 발생할 수 있으며, 설계시의 제약이나 사용과정에서 용도변화 등을 들 수 있다. 열화 원인은 크게 물리적·기능적·사회적 및 2차적인 물리적 열화의 4가지로 분류하여 설명할 수 있다.

1) 한국건설기술연구원(2012), 통계적 방법을 이용한 교육용 건축물 마감자재 수선주기 분석 용역연구, pp.23~27.

물리적 측면의 열화는 시간의 경과에 따라 자연조건, 자연환경에 의해 발생하는 것이다. 파손·오염 등의 자연스런 열화와 반복적인 사용으로 발생하는 마모, 파손, 오염 등의 인위적인 열화를 들 수 있다. 그리고 지진, 화재, 풍수해, 낙뢰 등의 자연현상에 의한 손상, 열화촉진 등도 포함된다. 특히, 부실 설계에 의한 건물손실로써 시간의 흐름에 따른 콘크리트 중성화와 동해(凍害)에 의한 박리균열, 보행에 대한 바닥의 마모 및 파손, 설비기기 등의 운전에 따라 발생하는 파손 등 인위적인 손실이 주요 요인으로 들 수 있다.

기능적 측면의 열화는 다양한 사용, 거주 등의 요구기능에 부적합하여 발생하는 효용저하를 의미한다. 이와 같은 측면은 사회·경제·환경 등의 변화흐름에 적합하도록 건물 혹은 건물 구성요소의 유연성이 부족할 때 발생하는 것이 주요한 원인이다. 또한, 신축건물에 비해 설비 부실, 생활양식 변화로 인한 사용공간의 유연성 부족 등으로 나타나는 열화를 의미한다.

사회적 측면의 열화는 새로운 설비, 부품 등의 출현에 따라 발생하는 상대적 열화이다. 이것은 사회적인 유행과의 관계속에서 판단하는 것으로 사회적·경제적 부적합에 의한 효용저하를 말한다. 예를 들어, 생활수준 변화에 따른 기존형태 생활이 불편해지거나, 지가상승에 따른 기존의 토지이용효율의 상대적 저하로 인해 발생하는 것을 포함한다.

2차적인 물리적 측면의 열화는 건물이 사회·경제환경 변화에 적합하지 못하고 기능적, 사회적으로 열화되는 것을 회복하기 위해 수행된 개·보수, 교환·수선공사로는 더 이상 지속할 수 없을 때에 2차적으로 발생하는 열화를 의미한다²⁾.

그러나 위와 같은 5가지의 열화원인은 독립적으로 작용하기 보다는 여러 원인이 동시적이면서 복합적으로 작용하게 된다. 따라서 복합적인 원인에 의해 작용된 열화진행 과정을 형태적으로 도식하면 직선형, 가속형, 완만형, 일시형 등 4가지로 구분하며 Figure 1과 형태로 나타난다.

직선형은 준공 후 시간의 경과에 따라 열화의 진행이 비례적으로 발생하는 현상이다. 가속형은 시간 경과에 따라 기하급수적인 진행으로 열화가 발생하는 것이다. 이것은 열화 진행속도가 다른 유형에 비해 상대적으로 높은

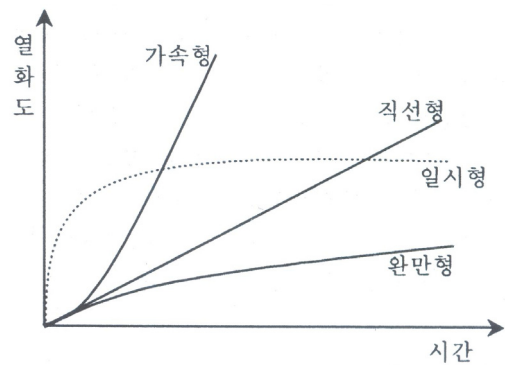


Figure 1. Deterioration Patterns

것이 특징이다. 일시형은 준공 후 일정 시기까지 열화의 진행이 급격하게 발생하다가 일정시기가 경과하면서 열화의 진행이 매우 느리거나 거의 정지한 수준으로 발생하는 형태이다.

2.2 열화도 모델

옥상방수 열화도는 내용년한 기간 동안 물리적, 기능적, 사회적 측면 등이 복합적으로 작용하여 발생하게 된다. 다양한 원인이 복합적으로 작용하여 발생한 열화는 내용년한에 이르는 시기까지 계속적으로 진행된다. 따라서 열화도 모델을 설명하기 위해서는 옥상방수의 내용년한이 설정이 전제되어야 한다.

내용년한에 이르기까지 열화도 진행수준은 준공 후 시간 경과에 따른 성능수준 혹은 기능수준 등으로 설명할 수 있다.³⁾ 이때 저하된 성능 수준을 회복하기 위해서는 준공당시의 성능회복에 상응하는 수선비용이 요구된다. 따라서 열화된 성능을 회복하기 위한 수선비용은 열화도 회복수준 정도로 대비할 수 있다.

이러한 관계를 이용하여 열화도 형태는 다음과 같은 과정으로 작성할 수 있다. 첫째, 옥상방수 열화도 진행은 Figure 2와 같은 형태로 표현할 수 있다. 옥상방수는 준공 이후 시간의 경과에 따라 열화가 진행되지만 한계성능도 달성시점에서는 교체 혹은 보수 등의 수선행위가 이루어진다. 한계성능은 성능회복을 위한 수선이 이루어지는 시점에서 성능이 완전히 상실되기 보다는 일정의 최소 수준의 성능은 지닌다는 것이다.

Figure 2와 같은 열화도 진행과정을 통해 중국적으로는 한계성능에 도달한 시점에서 열화도는 100% 진행되는 것으로 간주할 수 있다⁴⁾. 내용년한 도달 시점에서는 한계성

2) 예를 들면 거실 사용면적을 확장하기 위한 발코니공사를 함으로써 구조체가 손상되거나 아래층의 누수가 발생하는 것 등이 2차적 물리적 노후에 해당된다. 이는 물리적 수명에 영향을 미치는 중요한 노후이다.

3) 성능저하 수준에 따른 열화도를 설명하기 위해서는 일반화된 성능 측정기준이 작성되어야 한다. 또한, 성능은 하나의 객관적인 형태로 설명하기란 한계가 있다.

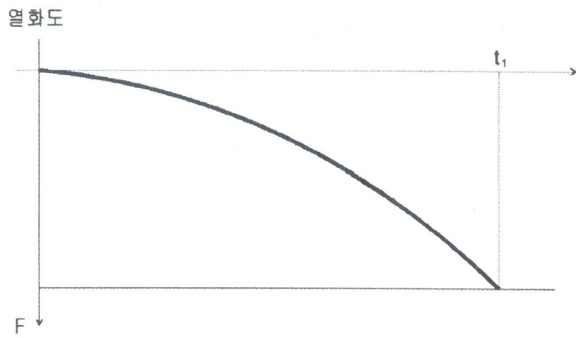


Figure 2. Relation between the deterioration process and Repair

능에 이르게 되며, 수선비용은 최대가 되는 것으로 설정할 수 있다. 따라서 열화도와 수선비용의 관계는 (식1)과 같이 표현된다. 이것은 (식1)에서 알 수 있듯이 경과시간에 대한 비선형의 형태로 나타난다.

$$Y = aT^b \tag{식1}^5$$

여기서 Y : 누적수선비용
 T : 경과시간
 a, b : 모수

(식1)에서 나타난 경과시간과 누적수선비용과의 관계에서 열화도 곡선형태에 주요한 역할은 모수 a, b이다. 모수를 추정하기 위해 (식1)은 일반선형형태의 함수로 변환하였다. 이것은 양변에 자연대수(natural logarithm)를 형성함으로써 선형형태로 변환할 수 있다. 이것은 (식2)와 같이 나타난다. (식2)를 이용하여 (식1)에서의 모수 a, b를 계산할 수 있다. 이때 모수 a, b는 열화도 곡선의 기울기를 결정하는 주요한 역할을 한다.

$$\ln Y = \ln(aT^b)$$

$$\ln Y = \ln a + b \ln T$$

$$y = A + b \ln T \tag{식2}$$

열화도의 진행정도에 따라 성능회복을 위한 수선비용이 요구된다. 옥상방수의 수선비용이 최대가 되는 시점은 내용년한에 도달하는 시점으로 상정할 수 있다. 따라서 내용년한에 도달한 시점의 열화도 진행수준은 최대(F_k)로 설정할 수 있다. 준공 후 시간적 경과에 따른 열화도 진행수

- 4) 한계성능에 도달한다는 것은 성능이 완전히 제거되기 보다는 최소한의 성능수준은 유지한다는 것을 의미한다.
- 5) 일부 문헌에서는 시간과 열화의 관계를 비선형함수로 설명하고 있다. 따라서 비선형의 일반적인 형태를 이용하여 모델링을 하였다.

준(F_n)은 내용년한 도달 시점의 최대 열화수준에 대비하여 나타낼 수 있다. 이것은 (식3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = F_n / F_k \tag{식3}$$

여기서 F_n : 내용년한 도달시의 열화도 수준
 F_k : 경과시간에 대응하는 열화도 수준

(식3)은 내용년한 도달시 옥상방수에 잔여된 한계성능에 대한 정보가 없이 수선비용을 이용하여 열화도를 산정할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이것은 내용년한 시점에서의 최대 열화도 진행수준에 대비하여 경과시간의 열화를 설명하는 것으로 Figure3과 같은 우하향의 열화도 진행형태로 나타낼 수 있다.

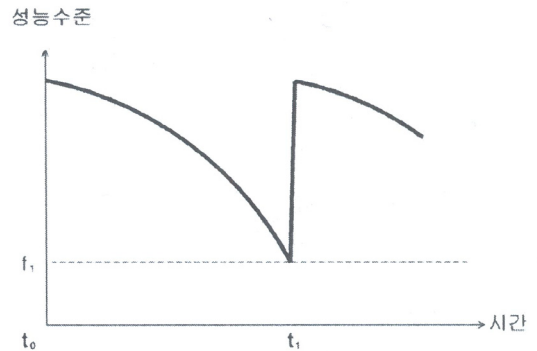


Figure 3. Deterioration Process to Service Life Time

3. 열화도 진행 패턴 모델

3.1 함수유형

준공 이후, 옥상방수 수선공사는 물리적, 사회적, 경제적 측면 등의 열화요인에 대응하기 위한 것이다. 수선비용은 건물규모, 사용재료 등에 의해 영향을 받는다. 이러한 요인을 포괄적으로 설명할 수 있는 변인은 경과년수이다. 따라서 경과년수를 단일 변수로 하는 곡선회귀추정을 하였다. 분석모델유형은 크게 11개로서 선형모형, 대수모형, 역모형, 복합모형 등을 들 수 있다⁶⁾. 함수유형은 Table 2와 같다.

Table 2에서와 같이 11개의 산정모형을 활용하여 옥상방수의 수선비용함수를 설정하였다. 도출된 11개 수선비용함수 가운데 통계량이 비교적 양호한 모형을 선정하여 조사표본과 산정함수의 형태를 도식화하였다.

6) 산정함수식에서 상수항은 포함하지 않았다.

Table 2. Estimation Model Types

type	form	contents
1 st linear	$y = b_0 + b_1x$	
logarithm	$y = b_0 + b_1\ln(x)$	
inverse	$y = b_0 + \frac{b_1}{x}$	
2 nd linear	$y = b_0 + b_1x + b_2x^2$	
3 rd linear	$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$	
composite	$y = b_0b_1^x$	$\ln(y) = \ln(b_0) + [\ln(b_1)]x$
power	$y = b_0x^{b_1}$	$\ln(y) = \ln(b_0) + b_1\ln(x)$
S-type	$y = \exp(b_0 + \frac{b_1}{x})$	$\ln(y) = b_0 + \frac{b_1}{x}$
growth	$y = \exp(b_0 + b_1x)$	$\ln(y) = b_0 + b_1x$
exponential	$y = b_0\exp(b_1x)$	$\ln(y) = \ln(b_0) + b_1x$
logistic	$y = \frac{1}{\frac{1}{u}b_0b_1^x}$	$\ln(\frac{1}{y} - \frac{1}{u}) = \ln(b_0) + [\ln(b_1)]x$

Table 2에서 제시하고 있는 11개의 추정모델은 단일 변인을 이용하는 것이다. 이것은 크게 선형함수 형태와 지수, 로그함수 형태로 구분할 수 있다. 그리고 이들의 통계적인 유의성은 결정계수, F-값 등으로 판단할 수 있다.

3.2 모수추정

열화도 진행곡선은 부재, 부품, 건물 부위 등에 따라 Figure 1과 같은 다양한 유형을 나타낸다. 옥상방수의 열화도 곡선은 내용년한에 도달하기까지 점차적으로 진행되는 패턴을 보인다. 이와 같은 열화도 곡선 형태는 경과년수를 독립변인으로 설정하여 앞서 Table 2에서와 같은 11개의 함수모델로 추정할 수 있다. Figure 4는 열화도 진행곡선의 사례를 보여주는 것이다. 이것은 준공 이후 경과년수와 관계하여 점차적으로 열화가 진행된다.

Table 2에서 제시된 11개의 함수모델을 이용하여 초등

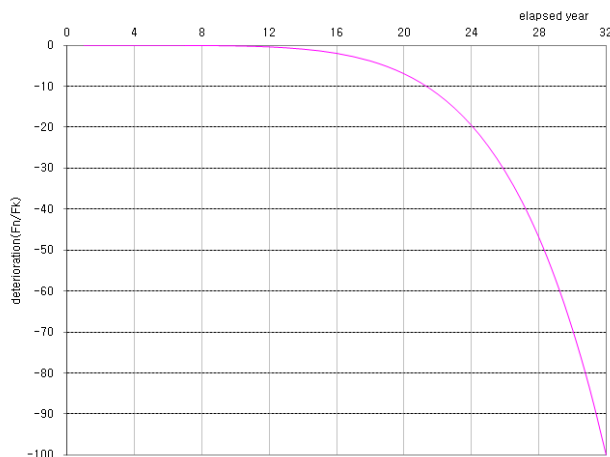


Figure 4. Example of the deterioration curve

학교 옥상방수 열화도 함수모델을 추정한 결과, 3차 함수의 형태가 가장 적합한 것으로 나타났다. 이것은 다른 함수모형으로 추정된 결과보다 상대적으로 양호한 통계량 ($R^2=0.993$)을 갖는 것으로 나타났다. 전체적으로 우하향의 곡선의 패턴을 보이는 것으로 준공 이후 일정 기간 동안의 열화는 비교적 낮은 수준으로 진행되는 특징을 지니고 있다. 그러나 준공 이후, 20년 내외의 경과하면서 열화진행은 급격하게 진행되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 초등학교 옥상방수의 열화진행을 방지하기 위한 수선시기를 15년 전후 시점에서 1차적인 예방보전의 계획을 수립하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

Table 3에서 나타난 3차 함수 모델의 모수를 이용하여 초등학교 15개교의 열화도 곡선을 도식화한 것은 Figure 5와 같다. 파란색은 준공이후 경과년수에 따른 15개 초등학교의 열화도 수치를 작성한 것이다. 빨간색은 이들 15개교의 열화도 진행을 통합적으로 작성한 3차 함수를 적용한 것이다. 전체적으로 초등학교 옥상방수는 준공 후 15년이 경과하기까지는 양호한 열화진행상태를 보이고 있으나, 그 이후부터는 내용년한에 이르기까지 급격한 열화도 진행을 보이는 것으로 분석된다.

Table 3. the Parameter Estimation of the Roof proof in the Elementary School

parameter	coefficient	statistics
constant	5.901	$R^2=0.993$ F-value=22,208 (d.f.=3,476)
b_1	-2.881	
b_2	0.322	
b_3	-0.010	

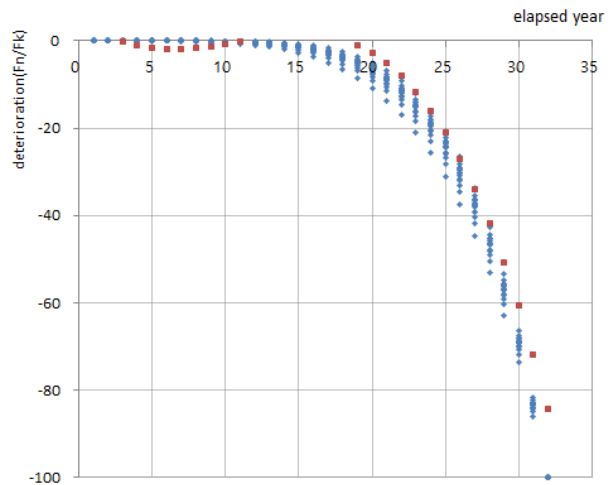


Figure 5. Deterioration pattern of the roof-proof in Elementary school

이와 같이 진행시기를 분석하기 위해 열화진행 곡선모델에서 변곡점을 분석한 결과, 초등학교 열화도 곡선의 변곡점은 준공 이후 15.1년에서 발생하는 것으로 나타나고

있다. 열화진행 곡선을 설명하는 3차 함수의 변곡점은 2개가 발생한다. 초등학교 열화진행 곡선의 변곡점은 6.4년, 15.1년의 두 개가 발생한다. 이 가운데 초등학교 열화진행 곡선은 Figure 5에서 알 수 있듯이 전체적으로 준공 이후 15년 정도의 기간 내에서는 열화진행이 낮은 수준으로 판단된다. 따라서 열화진행은 변곡점은 15.1년으로 설정하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

Table 4. the Parameter Estimation of the Roof-proof in the Middle School

parameter	coefficient	statistics
constant	6.262	$R^2=0.992$ $F\text{-value}=57,777$ (d.f.=3,1453)
b_1	-3.127	
b_2	0.357	
b_3	-0.012	

Table 4는 중학교 옥상방수의 열화 진행곡선 모델의 모수를 추정한 결과이다. Table 2에서 제시한 11개 함수를 적용한 결과, 3차 함수의 형태가 가장 적절한 것으로 분석되었다. 결정계수(R^2)는 0.992는 비교적 다른 함수의 모수 추정결과보다 상대적으로 양호한 것으로 나타났다. 중학교 옥상방수 열화진행 곡선은 초등학교와 마찬가지로 우하향의 패턴을 보이고 있다. 그리고 준공 이후 일정 기간 동안의 열화진행은 비교적 낮은 수준으로 형성되고 있으나, 15년 이후는 열화진행이 시작되는 특징을 보이고 있다. 그리고 20년이 경과하면서 부터는 열화진행이 본격적으로 진행되는 것으로 나타나고 있다.

Table 4에서 분석된 3차 함수 모델과 중학교 48개교의 열화도 곡선을 도식화한 것은 Figure 6과 같다. 파란색은 준공이후 경과년수에 따른 48개 초등학교의 열화도 수치를 작성한 것이다. 빨간색은 Table 4에서 제시한 3차 함수모델을 적용한 것이다. 전체적으로 중학교 옥상방수는 준공 후 13년을 경과하면서 열화진행 속도의 변화가 발생하고 있다. 이것은 이 시기 이후는 중학교 옥상방수의 열화가 이전보다는 급격한 진행을 보이는 것을 암시하고 있다.

열화도 진행정도의 변화시점은 변곡점을 통해 직접적으로 확인할 수 있다. Figure 6에서 나타나고 있는 중학교 옥상방수 열화진행 곡선의 변곡점은 준공 이후 13.3년에서 발생하는 것으로 추정할 수 있다. 3차 함수에 의한 변곡점은 6.5년, 13.3년의 두 개가 발생한다. 이 가운데 초등학교의 열화진행 곡선에서와 마찬가지로 Figure 6에서 알 수 있듯이 전체적으로 준공 이후 13년 정도 기간까지는 열화진행 속도가 이후보다는 상대적으로 낮은 것으로 분석할 수 있다. 따라서 중학교 열화진행은 변곡점은 13.3년으로 이 시기 이전에서 예방보전계획을 수립하는 것이 적절하다.

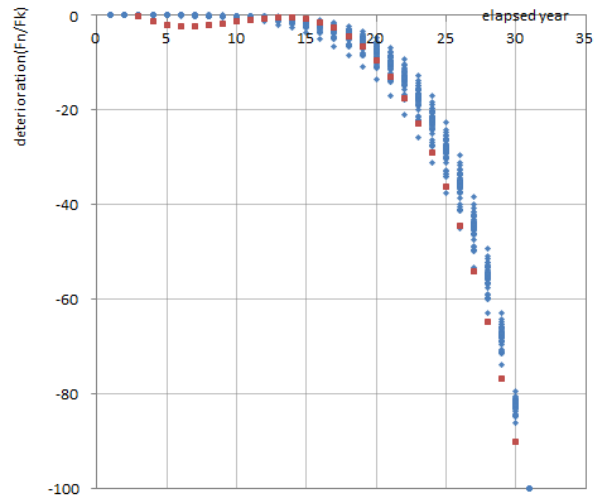


Figure 6. Deterioration pattern of the roof-proof in Middle school

Table 5. the Parameter Estimation of the Roof proof In the High School

parameter	coefficient	statistics
constant	6.139	$R^2=0.990$ $F\text{-value}=13,486$ (d.f.=3,412)
b_1	-2.983	
b_2	0.331	
b_3	-0.011	

Table 5는 고등학교 옥상방수 열화진행을 설명하는 모델의 모수를 추정한 결과이다. 1차 함수, 2차 함수, 로그함수, 지수함수 등의 11개의 함수가운데 통계량이 비교적 양호한 것은 3차 함수이다. 경과년수와 열화도와의 관계를 설명하는 통계량 가운데 결정계수(R^2)는 0.990으로 비교적 양호한 것으로 나타나고 있다. 추정된 모수는 열화진행을 설명하는 형태는 앞서의 초등학교, 중학교의 진행패턴과 같이 우하향의 형태로 도식화하고 있다. 준공 이후의 열화도 진행패턴은 15년 정도의 경과하는 시점부터 급격한 열화진행을 보이고 있다.

Table 5에서 제시된 3차 함수 모델의 추정된 모수와 고등학교 13개교의 열화도 곡선을 도식화한 것은 Figure 7과 같다. 파란색은 13개 고등학교의 준공 이후 경과년수에 따른 열화도 수치를 나타낸 것이다. 빨간색은 Table 5에서 제시한 열화도 진행을 설명하는 3차 함수모델을 적용한 것이다. 전체적으로 고등학교 옥상방수는 준공 후 13년을 경과하면서 열화진행 속도의 변화가 발생하고 있다. 이것은 이 시기 이후는 중학교 옥상방수의 열화가 이전보다는 급격한 진행을 보이는 것을 암시하고 있다.

이와 같은 열화도의 급격한 변화시점은 변곡점을 통해 추정할 수 있다. Figure 7에서 나타나고 있는 고등학교 옥상방수 열화도 진행의 변곡점은 약 13.2년 정도로 분석할 수 있다. Table 5의 3차 함수를 결정하는 모수는 6.5년,

13.2년의 두 개의 변곡점을 지니고 있다. 이 가운데 Figure 7에서 알 수 있듯이 전체적으로 준공 이후 13년 정도를 기준으로 하여 이전과 이후의 열화진행 속도가 상대적으로 비교가 되고 있다. 13년이 경과하기까지는 고등학교 옥상방수 열화진행 속도가 이후보다는 상대적으로 낮게 형성되고 있다. 따라서 고등학교 옥상방수 열화도 진행의 변곡점인 13.3년을 기준으로 하여 이 시기에 도래하기 이전에 옥상방수 보수 등의 예방보전계획을 수립하는 것이 적절하다.

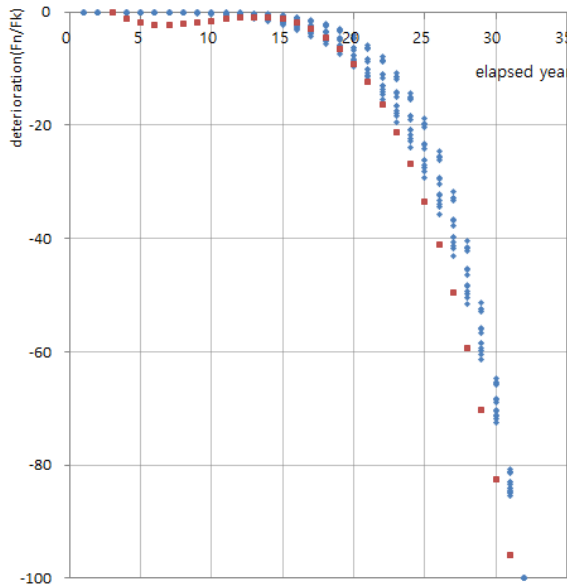


Figure 7. Deterioration pattern of the roof-proof in High school

4. 결론

건물은 준공 이후 다양한 요인에 의거하여 열화된다. 열화(deterioration)는 거주성과 기능의 저하를 야기하고 재실자의 편리한 생활을 방해하는 요소로 작용한다. 따라서 준공 이후 성능과 기능을 일정 수준이상으로 계속적으로 유지하기 위해서는 다양한 유지관리 활동이 수반되어야 한다. 그러나 여기에는 건물을 구성하는 부재, 부품, 부위 등의 열화정도에 대응하는 것이 중요하다. 열화도는 성능, 기능의 저하정도를 설명하는 것으로 기능, 성능 저하 정도에 대응하는 유지관리비용이 요구된다. 본 연구에서는 서울시에 위치하고 있는 초등학교, 중학교, 고등학교 교육시설의 옥상방수 수선비용을 활용하여 열화도 진행모델을 설명하는 것이다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 열화도를 설명하는 함수는 1차 함수, 2차 함수, 로그함수, 지수함수, 성장함수 등 11개를 들 수 있다. 이 가운데 초·중·고등학교의 옥상방수 열화진행을 설명하는 함수로는 3차 함수가 가장 양호한 것으로 분석되었다.

둘째, 옥상방수 열화도 진행은 준공 이후 일정 기간까지 진행수준은 매우 낮으나, 일정 기간을 경과하면서 급격한 열화진행을 보이는 특징이다. 열화도 진행속도의 변화를 살펴볼 수 있는 변곡점은 초등학교는 15년, 중학교와 고등학교는 13년으로 나타나고 있다. 중학교와 고등학교 옥상방수 열화진행 변곡점은 비교적 유사한 시기로 분석되었다. 이와 같은 열화도 진행속도의 변곡점은 열화도 진행정도를 예측할 수 있으므로 예방보전계획을 수립하는데 적절하게 활용할 수 있을 것이다.

상기와 같은 연구결과는 옥상방수의 방수공법, 방수유형, 재료 등은 고려하지 않고 있다. 다만, 옥상방수에 소요된 비용이 성능과 기능저하를 극복하는데 요구되는 열화진행수준이라는 전제하에서 분석되었다. 다만, 본 연구에서는 사용자의 연령, 사용시간 등의 사용패턴, 방수 공·구법, 재료 등을 반영한 열화도 진행 패턴 모델을 개발이 필요할 것이다. 그리고 열화도 진행 패턴을 설명함으로써 예상되는 개·보수 시기, 수선범위 등을 분석할 수 있게 된다. 따라서 지금까지의 사후보전방식의 유지관리방식(breakdown maintenance)에서 사전예방적 유지관리(preventive maintenance)방식로의 전환이 용이할 것으로 예상된다.

References

1. Oh, S.J., Kim,S.S, Jun, J.Y, and others(1998), "A Study on the Running Cost model of the Office Buildings in Korea", Proceedings of AIK, Vol. 18, No1, pp,1153~1158,
2. Lee, K.H.(2001), " A Study on the Factor Analysis of Maintenance Cost of Domestic Apartment Housing" J. of AIK in Planning area, Vol. 17, No 9, pp,321~328.
3. Lee, K.H.(2002), "A Study on the Space Size Analysis in aspect of Maintenance Cost in the Multifamily Housing-Focused on the Central Heating System using the Gas-", J. of AIK in Planning area, Vol. 18, No 7, pp.51~58.
4. Lee, K.H.(2006), "A Study on Forecasting the Repair Time Range of the Building Components in the Apartment Housing", J. of Korea Housing Association, Vol. 17, No. 2, pp.19~26.
5. Lee, K., Jang, J. and Chae, C.(2005), "A Study on the Service life of the Building Components in the Apartment Housing", J. of Korea Housing Association, Vol. 16, No. 5, pp.67~74.
6. Korea Institute of Construction Technology(1994), Optimal Maintenance Model of Building(II).

7. Jung, C.Y.(1985), Introduction of Economics, pp75-84., Sejin ed.
8. Cho, C.H., Lee, W.R.(2008)), “A Survey Study on the Maintenance & Operations Costs of Elementary, Middle and High School Facilities ”, J. of AIK in Planning area, Vol. 24, No. 4, pp.87~96.
9. Cha, K.H., Choi, Y.J., Lee, M.H., Jung, Y.H, Park, T.G.(2009), “A Study on Methods to Estimate Maintenance Costs Applying Building Area Coefficients”, Proceedings of AIK in Structural area, Vol 29, No.1, pp.665~668.
10. Architectural Institute of Japan(1988), Consideration on the Building Service Plan.
11. Japanese Center of Development Technology(1986), Economic Assessment Method for Conservation and Improvement of Building, Kibodang.
12. Japanese Housing Research Center(1988), Survey and Investigation on the Guideline for Repair Plan of Mansion.
13. Japanese Construction Traing Center(1984), “ trend of the Durability Improvement Research. p.21.
14. Woochiwoomi(1991), “A Study on the Long Term Repair Plan based on the LCC”-Example of the Office Building-“, Proceedings of AIJ.
15. Mansion Maintenance Center(2003), Scheduled Repair Plan.
16. Mansion Maintenance Center(2003), Manual on the Repair Cost Cumulation.
17. Architectural Institute of Japan(1988), Repair Standard of Building Service Life Plan.

접수 2017. 8. 31
1차심사완료 2017. 10. 30
계재확정 2017. 11. 22