



## 교육시설 바닥마감재의 사전예방 수선시기 설정

### *Establishment of the Preventive Maintenance Repair Time for the floor finishings in the Education facilities*

이강희\* · 채창우\*\*

Lee, Kang-Hee\* · Chae, Chang-U\*\*

\* Main Author, Professor, Ph.D., Dept. of Architectural Engineering, Andong Nat'l Univ., South Korea (leekh@anu.ac.kr)

\*\* Corresponding author, Senior Researcher, Ph.D., Korea Institute of Construction and Transportation, South Korea (cuchae@kict.re.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** Education environment has a great role to get the higher personality and study for students. Unlike consumer goods, the building has a long service life and is indispensable to maintain the decent living condition for the better learning environment. For these, it needs the deterioration pattern over the elapsed year and provides the systematic maintenance plan before breaking the component function. The preventive maintenance has a comparative advantages in providing the repair time after building constructed. **Method:** This study aimed at providing the optimal repair time using the deterioration curve in the building floor finishings of the elementary school. For achieving the research goal, it made a deterioration curve model among the 11 estimation models. Second, it assumes that the recovery rate of performance is given to 10% and 20%. Under the assumption of recovery, it proposed the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> repair time and affordable duration before the service lifetime arrived. **Result:** The deterioration curve model provided that the 3<sup>rd</sup> curve model has a better statistics than other estimation curves. And 3<sup>rd</sup> curve type is concave to origin which is proper to set forth the deterioration pattern after constructed. Second, 1<sup>st</sup> repair time is provided with 27 yr elapsed year in aspect of the preventive maintenance plan. This duration is 11 years before the service lifetime is arrived.

© 2019 KIEAE Journal

#### KEYWORD

교육시설  
바닥마감  
사전예방  
사후보전  
유리관리 계획Educational facilities  
Floor finishings  
Preventive Maintenance  
Breakdown maintenance  
Maintenance plan

#### ACCEPTANCE INFO

Received Jan 12, 2019  
Final revision received Feb 11, 2019  
Accepted Feb 15, 2019

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

건축물은 다양한 유형의 재료와 자재, 공구법 등이 결합된 제품이다. 그리고 세탁기, 문구 등과 같은 일반 소비재와는 달리, 건축물은 긴 수명을 가지고 있으므로 성능, 기능을 계속적으로 일정수준 이상 유지하는 것이 중요하다. 따라서 성능과 기능을 유지보전하기 위해서는 다양한 보수, 수선 등의 유지관리가 필요하다.

교육시설은 다른 유형의 건축물과는 달리, 사용자가 학생과 교사로 제한되어 있으며, 교사·학습·상담·연구 등의 교육 활동기능이 주로 이루어지는 공간이다. 뿐만 아니라 사용기간이 1년 연중이기 보다는 하계-동계방학기간을 제외한 기간에 집중적으로 사용하는 특징을 지니고 있다.

교육공간은 시설, 학습환경의 양호함 정도에 따라 학습태도, 학습능력, 학습결과 등에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 준공 이후에 학습 환경을 일정한 수준이상으로 계속적으로 유지시켜주어야 한다. 이를 위해서는 공중, 부재·부품 등의 수선방법, 수선범위, 수선공사 공구법, 수선시기 등의 유지보전관리 계획과 활동이 계속적으로 진행되어야 한다.

해당 공종의 성능저하를 확인 후에 즉각적으로 대응하는 것은 이미 성능저하로 인해 교육공간시설의 학습환경이 저하되었음을 의미하는 것이다. 따라서 유지관리는 수선시기를 예상하여 선제적으로 대응하는 것이 중요하다.

이러한 대응방법을 감안할 때, 수선시기와 수선방법 등의 유지관리 계획은 크게 사후보전(breakdown maintenance)과 사전예방(preventive maintenance)으로 구분할 수 있다. 사전예방은 성능저하 현상이 발생하기 전에 사전에 대응하는 차원으로 성능, 기능을 계속적으로 일정 수준 이상 유지할 수 있다는 장점이 있다. 뿐만 아니라 해당 공종의 부위 혹은 부재에 대해 수선방법, 수선기술, 범위 등을 성능저하가 발생하기 이전에 사전에 고려, 검토할 수 있을 뿐만 아니라 소요되는 예산을 계획하는 등에 대비할 수 있는 시간과 비용 마련 등의 체계적인 유지관리를 준비할 수 있다. 반면, 사후보전은 성능저하 현상이 발생한 이후에 대응하는 유지관리 방안으로 성능, 기능이 저하된 교육환경에서 학습을 하게 된다. 따라서 계획적인 유지보전이기 보다는 일대일 대응방식의 유지관리임으로 체계적이고 선제적인 대응이 될 수 없다.

교육시설의 유지관리는 선제적인 차원에서 대응하는 것이 일정 수준의 학습환경을 유지할 수 있는 방법이다. 이를 위해 해당 공종의 성능저하에 현상에 따라 수선시기를 예상하여 이에 따른 수선방법, 수선비용 등의 의사결정을 하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 사전

예방적인 차원에서 교육시설의 수선시기를 예상하여 수선시기를 설정하는 방법을 구축하는 것이다. 그리고 구축된 이론적인 방법론의 실증적인 적용을 위해 교육시설의 마감재를 대상으로 하여 적용하였다. 이것은 수선시기 도래 이전에 해당 공종 수선 공·구법을 검토하고, 소요되는 예산을 준비할 수 있는 시간적인 장점을 얻을 수 있을 것이다. 이와 같은 연구결과는 교육시설의 수선 계획과 수선시기를 예측하고 대안을 마련하는데 효과적으로 활용할 수 있을 것이다.

### 1.2. 연구의 방법 및 내용

교육시설을 구성하고 있는 재료, 자재 등의 다양한 공종은 준공 이후부터 점차적으로 열화 되는 특징을 지니고 있다. 열화는 해당 공종의 성능, 기능 저하를 의미하는 것으로 일정 수준이하로 저하될 경우, 학습 혹은 생활환경에 영향을 줄 수 있다. 따라서 준공 이후 일정 수준의 성능을 계속적으로 유지하기 위해서는 열화 정도에 따라 수선시기를 예측하는 것이 요구된다. 본 연구에서는 사전예방적인 측면에서 수선시기 설정 모델을 정립하는 것이다. 그리고 구축된 수선시기 설정방법을 실증적으로 적용하였다. 이를 위한 연구방법 및 내용은 다음과 같다.

첫째, 수선시기 설정하는 방법으로써 사후보전방법과 사전예방법의 특징을 고찰하였다. 이것을 통해 사후보전 유지관리와 사전예방 유지관리 방식을 비교할 수 있다.

둘째, 사전예방적인 유지관리측면에서 준공 이후 수선시기를 산정하는 모델을 정립하였다. 예상 수선시기 설정 모델은 시간 경과에 따라 한계성능에 도달하여 수선을 하고 다시 열화되고 수선하는 반복적인 패턴으로 설명할 수 있다. 이와 같은 반복적인 준공 이후 공종의 열화도에 대응하여 상태등급 수준을 고려한 공종의 성능 허용도달시기 이전의 수선시기를 제시할 수 있다.

셋째, 공종의 열화도 곡선은 원점을 중심으로 볼록형태(concave to origin)로 전개하였다. 이것은 일반적으로 시간흐름에 따라 초기 열화진행은 낮으나, 시간경과에 따라 점차적으로 빠르게 진행되는 것을 설명하는데 적합하다. 그리고 열화도 곡선을 작성하는 과정, 방법, 투입자료 등에 대한 부분을 부가적으로 기술하였다.

넷째, 수선시기에 도달하기까지의 열화도 곡선의 패턴은 경과년수와 열화도와의 관계를 이용하여 통계적인 방법으로 모형화하였다. 이것은 개별 학교 각각의 열화도 곡선을 경과년수와 대비하여 설명하는 형태이다.

### 1.3. 연구의 범위

본 연구는 사전예방적인 차원에서 유지관리를 위한 예상수선시기를 제시하는 방법을 제시하는 것이다. 그리고 예상수선시기 설정방법을 공중에 적용함으로써 수선시기에 대한 의사결정을 할 수 있을 것이다. 이를 위한 연구범위는 다음과 같다.

첫째, 구축된 예상수선시기 설정방법을 실증적으로 분석하기 위해 초등학교 바닥마감재 공종을 대상으로 적용하였다. 이를 위해 공종의 수선기록 자료를 시계열적인 측면에서 조사하였다. 수집된 자료는 수선부위에 따라 수선시기, 수선방법, 수선범위, 수선비용 등으로 구분하여 준공 이후 시간 흐름에 따라 시계열적으로 정리하였

다. 시계열적인 누적수선비용은 준공 이후 각각의 수선비용으로 할 인율은 2.6%로 설정하였다.

둘째, 분석대상 초등학교 바닥마감재의 열화도 곡선과 예상수선시기 설정을 위한 표본은 28개 학교에서 수행된 수선기록을 활용하였다. 수선이력자료는 준공 이후에 모든 개·보수 등의 자료가 포함되어 있지 않다. 그러나 서울시 교육위원회에서 수집된 자료는 준공 이후에 연속적인 시간흐름을 갖는 것을 전제로 하여 분석을 수행하였다<sup>1)</sup>.

셋째, 열화도 곡선을 작성하기 위해서는 바닥마감재의 내용년한이 전제되어야 한다<sup>2)</sup>. 이를 위해 기존의 연구결과에서 제시하고 있는 38년을 이용하였다. 내용년한에 이르는 시점에서는 바닥마감재의 한계성능은 없는 것으로 가정하였다.

## 2. 수선시기 설정 모델유형

교육시설을 구성하고 있는 재료, 자재 등의 다양한 구성재는 준공 이후 시간의 흐름에 따라 계속적으로 열화가 진행되는 것은 일반적이다. 따라서 일정 수준 이상의 학습환경을 형성하기 위해서는 시간적인 흐름에 따라 열화가 진행되는 것을 방지 혹은 지연하는 유지관리활동이 요구된다. 이때 재료, 자재, 부품 혹은 부재 기능·성능의 열화흐름을 예상하여 사전적으로 대비하는 방법과 기능·성능이 학습환경 형성에 역할을 못하거나 현시적으로 정지되었을 때 대응하는 방법으로 구분할 수 있다. 전자는 사전예방적 차원의 유지관리 방법이며, 후자는 사후보전 차원으로 대비할 수 있다.

이러한 교육시설의 재료, 자재, 부품 등의 열화진행에 대응하는 과정에서는 기능·성능을 유지보전하기 위해 열화된 수준만큼의 수선비용이 투입된다고 볼 수 있다. 즉, 수선공사시의 투입된 비용은 해당 공종이 열화된 수준만큼 투입된 것으로 예상할 수 있다. 따라서 투입된 수선비용을 시계열적으로 나열하면 재료, 자재 등의 해당 공종의 열화수준을 분석할 수 있다. 이것을 통해 준공 이후 시간적인 경과에 따라 열화도 곡선(deterioration curve)을 정량적으로 제시할 수 있다.

이와 같이 사전예방과 사후보전 측면에서 교육시설 해당공종의 수선시기를 설정할 수 있다. 사전예방측면에서 수선시기는 사전에 성능, 기능수준을 예측하여 보전, 유지하는 시기를 설정하게 된다. 반면, 사후보전적 측면에서는 기능정지 등의 현상이 발생한 시점을 수선시기로 설정하는 방식이다. 따라서 각각의 유지보전 방식에 따라 수선시기를 설정하는 방식은 상이하게 나타난다.

### 2.1. 사후보전 측면의 수선시기

준공 이후 시간의 경과에 따라 재료, 자재 등의 물성이 약해짐에 따라 해당공종의 성능이 정지되거나 충분한 학습환경제공에 역할을 못하는 경우는 교체, 보수 등의 수선행위가 이루어진다. 사후보전적 측면에서는 재료, 자재 등으로 구성된 공종이 기능 혹은 성능수준이 현저하게 저하되는 현시적인 현상이 나타났을 시점을 수선시기로 설정하는 것이 일반적이다.

사후보전적인 측면에서 수선시기는 준공 이후 교육시설의 재료,

자재 등의 공종이 성능저하 현상을 현시적으로 확인하는 시점으로 설정할 수 있다. 즉, 성능 저하로 인해 일정 수준 이상의 학습환경을 확보할 수 없는 것이 나타나는 시점을 사후보전적인 수선시기로 설정하는 것이다. 다만, 재료, 자재 등의 해당 공종에서 성능이 저하된다 하더라도 그 자체가 갖고 있는 최소한의 일정수준 성능을 지닌다. 이때의 최소한 성능수준은 한계성능(marginal performance) 개념으로 설명할 수 있다.

사후보전적인 측면에서 수선시기를 Fig. 1과 같이 표현할 수 있다. Fig. 1.에서와 같이  $t_1$ 을 1차 수선시기로 설정할 수 있다. 이것은 준공 이후 시간의 흐름에 따라 성능이 점차적으로 저하되다가 한계 성능까지 현시적으로 처음 도달하는 시점이다. 1차 수선( $t_1$ ) 후 성능이 일정수준 회복되고  $t_1$  시점이후에는 마찬가지로 시간 경과에 따라 성능이 점차 저하된다. 즉,  $t_1$ 시점의 1차 수선 이후 성능저하가 계속적으로 발생하면서 2차( $t_2$ )로 한계성능에 도달하면서 이 시기( $t_2$ )를 2차 수선시기로 설정할 수 있다. 같은 유형으로 2차 수선이후에 3차( $t_3$ ), 4차( $t_4$ ), 5차( $t_5$ )... $n$ 차( $t_n$ ) 등의 수선시기를 연속적으로 설정할 수 있다.

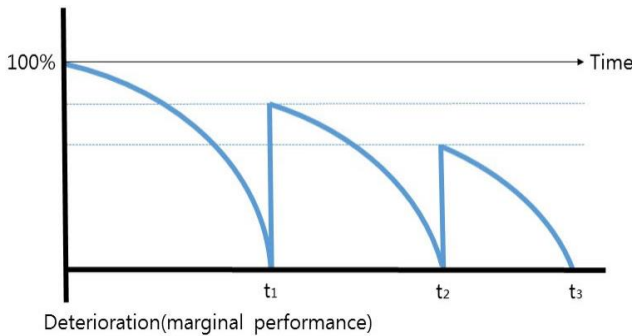


Fig. 1. 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup>... Repair time of breakdown maintenance

이와 같은 사후보전 방식의 수선시기 설정은 기능정지, 고장 등이 발생함으로써 대응하게 된다. 따라서 기능정지, 고장발생과 보수기간 동안 등에서 학습환경의 불편함을 감수하여야 하는 단점을 지니고 있다. 그리고 수선방법, 수선비용 등에 대한 계획이 없으므로 일시적으로 비용을 마련하여야 하고 수선방법 등을 즉각적으로 결정하여야 하는 한계가 있다. 이와 같은 즉각적인 대응은 개보수, 수선 등의 방법, 적용기술, 비용 등을 계획을 수립하는 시간적인 여유를 충분히 갖기는 어렵다.

## 2.2. 예방보전 측면의 수선시기

건축물은 준공 이후 시간의 경과에 따라 자연스럽게 열화된다. 이러한 과정에서 예방보전 방식은 성능 혹은 기능이 한계성능까지 도달하거나 정지되는 시점에 이르러 대응하기 보다는 수선시기를 사전에 예측하여 준비하는 유지관리방식이다. 따라서 부재, 부품 등의 기능정지 현상이 발생하기 이전에 사전에 열화진행 수준을 고려하여 수선시기를 설정하고 수선방법, 수선비용 등을 준비하는 기간을 갖을 수 있다.

앞서의 사후보전과는 달리, 예방보전의 유지관리는 부품, 부재 등의 해당 공종 성능수준이 더 이상 발휘하지 못할 정도 수준에 이르러서 수선을 하는 사후보전방식보다는 수선시기에 도달하기 이전에

성능을 유지 보전함으로써 계속적으로 일정수준 이상의 교육 및 학습환경을 형성할 수 있다. 그러나 이와 같은 사전예방 유지보전체계는 사후보전 방식보다는 많은 비용 뿐만 아니라 공종의 열화진행 정도를 사전에 예측하는 등 다양한 자료가 요구된다.

예방보전적인 유지관리를 위한 수선시기 설정은 개보수 등의 수선행위에 의해 이루어진 수선이후의 성능회복수준을 설정하는 것이 필요하다. 다만, 성능은 완전히 보수 및 교환, 교체를 할지라도 이전 단계 수준을 완전히 회복하기란 한계가 있음을 고려하여야 한다. 따라서 성능 회복율( $\alpha$ )은 이전단계에서 이루어진 보수 및 수선으로 확보된 성능수준에 대비하여 일정 수준의 성능회복 정도를 설명하는 요소이다. 이것은 Fig. 2.와 같이 표현할 수 있다<sup>3)</sup>.

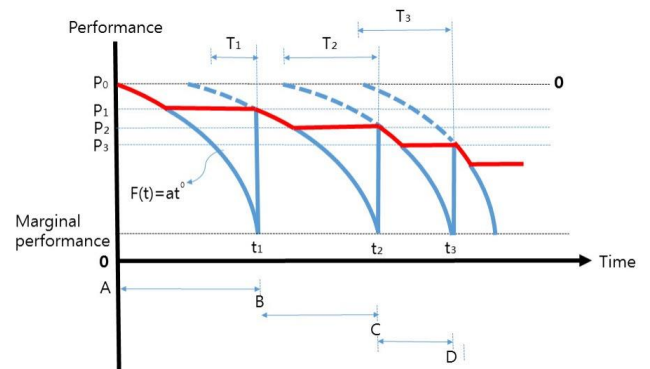


Fig. 2. Provision of the repair time under preventive maintenance

Fig. 2.에서와 같이 교육시설을 구성하고 있는 부품, 부재를 준공 이후 시간경과에 따라 A, B, C, D 등으로 등급을 구분할 수 있다. 이것은 준공이후 부재, 부품의 열화진행정도를 감안하여 시간적으로 열화되는 수준에 따라 구분한 것이다.

Fig. 2.에서와 같이 준공 이후 열화진행 흐름에서 보면,  $t_1$  시점에서는 B등급수준에 이르는 수선시기가 도달하기까지  $T_1$ 의 여유 기간을 갖게 된다. 이때 B등급수준 유지를 위해 수선시기에 이르기까지 사전예방적인 수선범위를 제시하고 있는 시간적인 여유는  $T_1$ 이다. B등급시점에 도달하기 전에  $T_1$ 이 시작되는 시점부터 사전적으로 수선시기로 설정할 수 있는 것이다. 마찬가지로 C등급의 상태등급으로 평가된 부품, 부재는  $T_2$ 에 해당하는 기간 동안 수선에 대비할 수 있는 여유시간으로 설명할 수 있다. D등급의 상태등급으로 평가된 부재, 부품은  $T_3$ 에 해당하는 기간을 사전적인 예비기간으로 설정할 수 있는 것이다.

이와 같은 내용을 감안할 때, 사전예방적인 측면에서 수선시기는 학습, 교육환경의 질적인 측면이 부각되는 교육시설에서는 가능한  $n$ 차 수선시기에 도달하기 이전  $n$ 차 수선시기( $t_n - T_n$ )에서 예비적으로 대비하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

## 3. 사전예방 수선시기 설정

### 3.1. 열화도 곡선

사전 예방적인 차원의 유지관리는 부재, 부품의 열화진행이 한계 성능에 도달하기 전에 사전에 예산, 수선방법 등을 준비하는 것을 전제한다. 이를 위해 열화 진행상태를 설명하는 열화도 곡선은 1차, 2

차, ..., n차 수선이 이루어지더라도 열화도 진행패턴은 일정한 것으로 전제한다. 이것은  $t_{n+1}$  시점에서의 상태수준은  $t_n$  시점에서의 상태수준과 같은 형태로 진행된다는 것을 전제로 하여 유추할 수 있음을 나타내는 것이다. 이것은 Fig. 3.과 같이 설명할 수 있다.

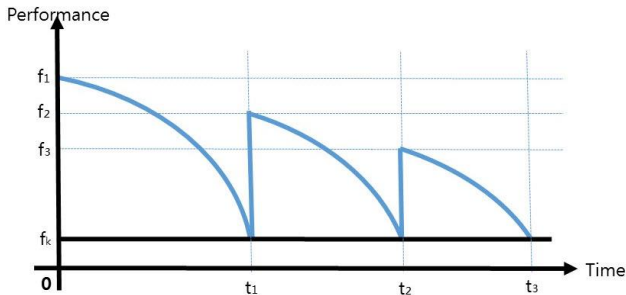


Fig. 3. Deterioration pattern over elapsed year

Fig. 2., Fig. 3.과 같은 사전예방 보전적 측면에서의 열화진행 모델을 이용하여 예상수선시기를 산정하기 위해서는 다음과 같은 것을 전제로 한다. 첫째는 열화는 단계적으로 시간축에 따라 우하향으로 진행하게 된다. 따라서 준공 이후 1차 적인 열화 진행 가운데 허용 성능수준( $f_k$ ) 도달시점은  $t_1$ 이다. 이때 시간 경과에 따른 열화도 진행 정도는 최대 열화도 진행수준( $F_{max}$ )에 대비하여 상대적인 비율개념( $F$ )으로  $F_t/F_{max}$ 와 같이 표현할 수 있다. 열화도는 종국적인 열화도 수준에 대비하여  $t_1, t_2, t_3$  시점 등에서와 같이 열화도 수준을 상대적인 개념으로 표현할 수 있다.

둘째로 진행된 열화도를 일정 수준의 성능으로 회복하기 위해서는 일정 수준의 수선비용이 요구된다. 이것은 열화도 수준회복과 소용되는 수선비용이 비례적인 관계를 형성한다는 것을 전제한다. 셋째로 열화수준 상태별 열화도에 대응한 누적수선비용은 내용년한 도달시점( $t_1, t_2, t_3...$ )에서 최대를 형성한다. 누적수선비용은 내용년한에 도달한 시점에서 최대를 형성한다.

이와 같은 전제 조건을 활용하여 사전예방적인 측면의 예상수선 시기 산정요소는 크게 2가지로 구성된다. 첫째, 시간경과에 따른 열화도 곡선 모델을 작성하는 것이다. 이것은 건축물 준공 후 시간 흐름에 따라 성능저하 정도를 설명하는 수단이다. 이때 저하된 성능을 회복하기 위해서는 열화진행 정도의 수선비용이 투입되어야 한다. 따라서 열화도 곡선은 경과년수와 누적수선비용을 매개변수로 하여 산정할 수 있다. 이것은 (식1)과 같은 형태로 표현한다.

$$F = aT^b \dots\dots\dots (식1)^4$$

여기서 F는 누적수선비용  
T는 시간  
a, b는 모수(parameter)

(식1)에서 나타난 경과시간과 누적수선비용과의 관계에서 열화도 곡선형태에 주요한 역할은 모수 a, b이다. 이때 누적수선비용은 열화도에 대응하기 위해 수선을 하기 위한 비용개념으로 설정하였다. 즉, 열화된 만큼의 성능회복을 위해 수선비용이 투입

되어야 한다는 것이다.

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.

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

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

$$y = A + b \ln T \dots\dots\dots (식2)$$

(식2)는 내용년한 도달시 바닥마감재에 잔여된 한계성능에 대한 정보가 없이 시간의 경과에 따라 열화도를 산정할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이것은 내용년한 시점에서의 최대 열화도 진행수준에 대비하여 경과시간의 열화를 설명하는 것으로 Fig. 4.와 같은 우하향의 열화도 진행형태로 나타낼 수 있다.

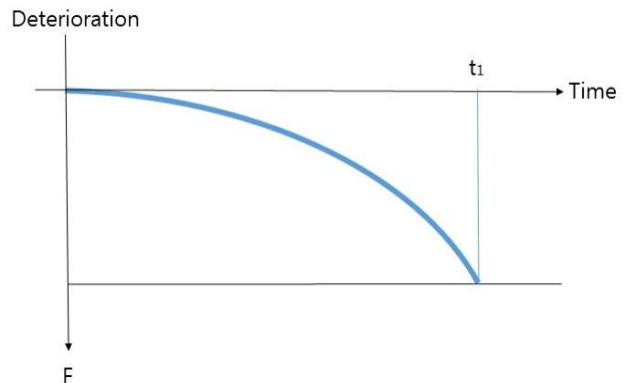


Fig. 4. Relation between the deterioration process and Repair

준공 이후 진행되는 열화도 진행형태는 수선 이후에도 같은 형태로 진행한다는 것을 전제로 한다. 이것을 이용하여 수선에 따른 성능회복율( $\alpha$ )을 감안하여 열화도 곡선을 경과시간에 대응하여 계속적으로 연장할 수 있다.

건축물을 구성하는 다양한 공종은 시간의 경과에 따라 자연스럽게 열화가 진행된다. 이때 열화진행은 시간과의 함수로 표현할 수 있다. 그리고 수선이후의 성능회복 정도를 설명하는 성능회복률( $\alpha$ ) 개념이 포함되어야 한다<sup>5)</sup>. 즉, 공종의 성능은 완전한 보수 및 교환, 교체를 할지라도 이전단계 수준을 완전히 회복하기란 한계가 있다. 따라서 성능 회복은 이전단계에서 이루어진 보수, 수선으로 확보된 성능수준에 대비하여 일정 수준의 성능회복 정도를 설명하는 요소이다.

열화도의 진행 정도에 따른 성능회복을 위해 수선비용이 요구된다. 바닥마감재의 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 진행수준( $F_n$ )은 내용년한 도달 시점의 최대 열화수준에 대비한 성능회복율로 나타낼 수 있다. 이것은 (식3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = F_n / F_k \dots\dots\dots (식3)$$

여기서  $F_n$  : 내용년한 도달시의 열화도 수준  
 $F_k$  : 경과시간에 대응하는 열화도 수준  
 $\alpha$  : 성능회복율

### 3.2. 열화도 진행곡선과 수선시기

교육시설을 구성하고 있는 부재, 부품 등의 사전예방적인 측면에서 수선시기를 설정하기 위해서는 크게 준공 이후의 열화도 진행과 성능수준을 결정하는 것이 선행되어야 한다. 준공 이후의 열화도 진행에 따라 발생하는 성능수준을 열화도 진행곡선과 대비함으로써 예상되는 수선시기를 설정할 수 있는 것이다.

이것은 Fig. 5와 같이 설명할 수 있다. A시점에서부터  $t_1$ 에 이르기 전까지의 개보수 등의 수선을 위한 비용, 방법, 수선범위 등의 계획을 수립할 수 있는 시간적인 여유를 갖게 된다. 즉,  $T_1$ 에 이르는 시간적인 여유를 갖게 되는 것이다.

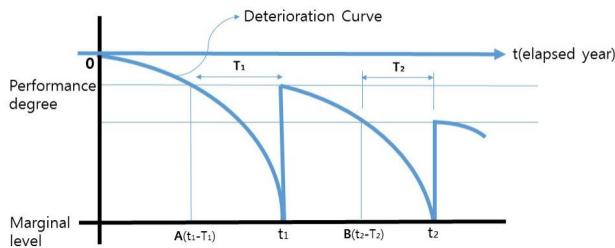


Fig. 5. Deterioration curve and performance degree

### 4. 사전예방 수선시기설정 사례

건축물의 준공 이후, 공종의 수선공사는 물리적, 사회적, 경제적 측면 등의 열화요인에 대응하기 위한 것이다. 이때, 수선비용은 건물규모, 사용재료, 공구법 등에 의해 영향을 받는다. 이러한 요인을 포괄적으로 설명할 수 있는 변인은 경과년수이다. 따라서 열화도 곡선은 경과년수를 단일 변수로 하여 추정할 수 있다. 본 연구에서는 열화도 곡선은 3차함수를 이용하여 추정하였다(Table 1, 참조)<sup>6)</sup>. 그리고 이들의 통계적인 유의성은 결정계수, F-값 등으로 판단할 수 있다.

Table 1. parameter of 3rd Estimation Model

type	form	contents
3rd linear	$y = b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$	no constant

본 연구에서는 교육 시설을 구성하고 있는 공중 가운데 초등학교의 바닥마감재를 대상으로 사전예방보전 측면에서 수선시기를 제시하였다. 서울지역에 위치하고 있는 28개 학교를 대상으로 하여 수선시기, 수선방법, 수선범위, 수선비용 등의 수선이력자료를 시계열적으로 정리하였다.

바닥마감재는 재료 혹은 공구법 등으로 세부적인 구분은 없다. 다만, 바닥마감재를 공중으로 하는 것으로 열화도 곡선을 설정하기

위해서는 부재, 부품의 한계성능으로써의 내용년한이 설정되어야 한다. 이때 내용년한은 준공 이후부터 최종적으로 기능, 성능이 저하되어 더 이상 사용한계에 이르는 시기까지로 설정할 수 있다. 바닥마감재의 내용년한은 기존 연구결과를 활용하여 38년으로 설정하였다<sup>7)</sup>.

그리고 열화도 곡선 모델은 내용년한 도달 시점의 열화도 진행 정도를 100%로 전제하고 준공 이후 경과년수에 따라 열화도 진행수준으로 설명할 수 있다. 이것은 경과년수에 따라 내용년한 시점에서의 열화도 수준과의 상대적인 개념으로 설정하는 방식이다.

3차함수를 이용하여 추정한 초등학교 바닥마감재 열화도 곡선은 상대적으로 양호한 통계량( $R^2 = 0.991$ )을 갖는 것으로 나타났다. 우하향 곡선의 패턴을 보이는 것으로 준공 이후 일정 기간 동안의 열화 진행은 비교적 낮은 수준으로 진행되는 특징을 지니고 있다.

Table 2. parameter Estimation of the Floor finishings in the Elementary School

parameter	coefficient	statistics
$b_1$	-1.297	$R^2=0.991$ F-value=40.599 (d.f.=3.1061)
$b_2$	0.171	
$b_3$	-0.005	

Table 2.에서 나타난 3차 함수 모델의 모수를 이용하여 초등학교 28개교의 열화도 곡선을 도식화한 것은 Fig. 6.과 같다. 파란색은 준공이후 경과년수에 따른 28개 초등학교 바닥마감재의 열화도 수치를 작성한 것이다. 빨간색은 이들 28개교의 열화도 진행을 통합적으로 작성한 3차 함수를 적용한 것이다. 전체적으로 초등학교 바닥마감재는 준공 후 24년이 경과하기까지는 양호한 열화진행 상태를 보이고 있으나, 그 이후부터는 내용년한에 이르기까지 급격한 열화도 진행을 보이는 것으로 분석된다.

Table 2.에서 제시한 열화도 곡선모델에서 성능저하수준(=  $\alpha$ )를 대비하여 경과년수를 계산할 수 있다. 이것은 3차 함수에서 성능저하수준을 각각 10%, 20%를 설정하면 이에 대응하는 경과년수가 산정된다.

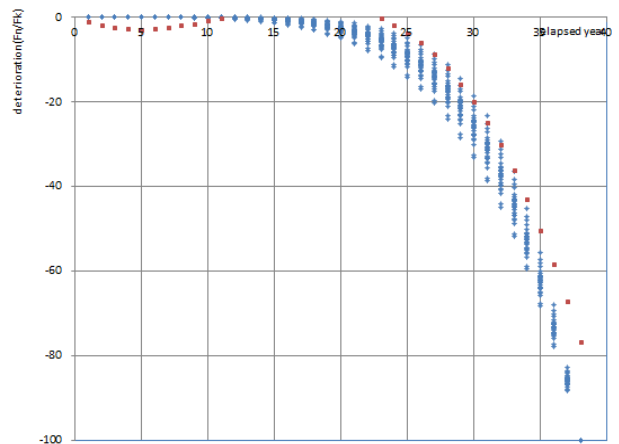


Fig. 6. Deterioration pattern of the floor finishing in Elementary school

Fig. 6.과 같은 초등학교 바닥마감재 열화도 곡선에서 성능저하수준(성능회복율)을 설정하여 수선시기를 설정할 수 있다. 성능저하수준을 준공 당시를 대비하여 10%, 20% 수준으로 설정하여 열화도 진행정도를 정리한 것은 Table 3.과 같다. 준공당시 대비하여 성능저하수준을 10%를 가정할 때, 경과년수는 27년임을 알 수 있다. 성능저하수준을 준공 당시 대비하여 20%로 전제할 때는 30년의 경과년수를 설정할 수 있다. 이와 같은 성능저하수준과 경과년수를 고려할 때, 내용년한 38년에 이르기 전에 성능수준 10%수준을 설정하면, 1차 수선시기( $t_1$ ) 이전에 27년이 경과하면서 사전예방을 위한 유지관리계획을 수립하여야 한다는 것을 알 수 있다. 다만, 초등학교 바닥마감재의 열화도 곡선은 23년 이후에 급격한 열화 진행을 하는 것으로 나타남으로 성능저하수준 20%수준을 고려하여 사전예방 유지관리계획을 수립하기 보다는 10%수준으로 설정하여 유지관리계획을 수립하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

Table 3. Deterioration degree by elapsed year

elapsed year	deterioration(%)
27	-8.8
28	-12.0
30	-20.01
31	-30.24

주) 준공당시의 성능수준을 100%로 고려할 때 경과년수에 따라 저하된 수준을 표현함.

Fig. 3.에서와 같이 2차 수선 시기( $t_2$ )에서는 1차 수선 시기( $t_1$ )에서 나타난 성능회복수준을 감안하여 사전예방을 위한 수선시기를 설정할 수 있다. 이것은 1차 수선시기의 사전예방 수선시기를 설정하되, 1차 수선시기( $t_1$ )를 합한 시점으로 나타낼 수 있다. 위와 같은 연구결과를 정리하면 Fig. 3.에서와 같이 1차 수선시기와 2차 수선시기에 대응할 수 있는 시간적 여유는 Table 4.와 같이 정리할 수 있다.

Table 4. Affordable duration before the n-times repair in Fig. 5.

	1 <sup>st</sup> repair	2 <sup>nd</sup> repair
service life	38 years	72 years
A(= $t_1$ -T <sub>1</sub> )	27 years(=11 years)	
B(= $t_2$ -T <sub>2</sub> )		65 years(=7 years)

## 5. 결론

교육시설은 준공 후 다양한 요인에 의해 열화가 진행된다. 물리적·경제적·환경적·사회적·기능적 측면 등에서 동시에 작용함으로써 열화요인과 결과를 직접적으로 대응하기에는 한계가 있다. 따라서 이와 같은 열화요인은 경과년수라는 것으로 정리하여 열화도 진행정도를 비교할 수 있다.

본 연구에서는 사전예방적 측면에서 수선시기를 설정하는 의사결정 모델을 수립하는 것이다. 그리고 이와 같은 의사결정모델을 초등학교 옥상방수에 사례적용함으로써 사전예방 측면의 수선시기 설정을 제시하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 초등학교 바닥마감재의 열화도 곡선을 추정한 결과, 3차 함수의 형태가 양호한 통계량을 갖는 것으로 분석되었다. 열화도 진행은 준공 후 24년 내외까지는 낮은 수준을 보이고 있으나, 그 이후부터는 급격한 열화도 진행 패턴을 형성하는 것으로 나타났다.

둘째, 1차 수선시기를 예상할 때, 준공 당시를 기준으로 열화도 진행이 10%정도 진행된 시기는 약 27년이다. 이것은 준공 이후 27년이 경과되면서 수선을 위한 공·구법, 비용 마련 등의 계획 수립이 요구되는 시점임을 알 수 있다. 1차 수선이후 2차 수선시기에 대한 경과년수는 약 65년이다. 이것은 2차 수선을 위해 이 시기부터는 본격적인 수선계획이 수립되어야 함을 의미한다.

이와 같은 연구결과는 초등학교 바닥마감재의 내용년한에 이르기 전에 사전적인 예방차원에서 예상수선시기를 설정한 것이다. 따라서 사전예방보전의 유지관리를 위해 옥상방수, 창호 등의 다양한 부재, 부품등에 적용이 가능할 것이다. 그러나 본 연구에서는 열화도 진행수준에 대한 개념적인 설정과 물리적인 노후정도를 연결하지 못하는 한계를 지니고 있다. 즉, 열화도 진행정도에 따라 현시적으로 나타나는 물리적인 열화현상, 열화정도에 대한 설명이 용이하지 않다는 것이다. 이를 위해 열화도 수준을 정량적으로 예측하고 이것을 부재, 부품을 현상학적으로 확인할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

사전예방보전 측면의 유지관리방식은 사후보전방식보다는 다양한 자료가 요구되지만, 학습환경을 일정수준 지속적으로 유지할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 반면, 사후보전방식은 고장, 기능정지 등의 현상이 발생할 때, 사후적으로 대응하는 방식으로 계획적인 개보수 등의 유지관리를 하기에는 한계가 있다. 그러므로 학교를 포함한 대부분의 건물은 사전예방방식의 유지관리전략과 계획을 수립하는 것이 바람직하다. 이를 위해 성능예측, 수선이력자료의 축적 등의 다양한 유지관리 활동이 선행되어야 할 것이다.

## Reference

- [1] 이강희(2006), “공동주택 구성재의 예상수선시기 범위설정연구”, 한국 주거학회논문집 제17권 2호, pp.19~26 // Lee, K.(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
- [2] 이강희, 장정희, 채창우(2005), “공동주택 구성재의 내용년수 산정방법에 관한 연구”, 한국주거학회논문집 제 16권 5호, pp.67~74 // 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 Hosung Association vol. 16, No. 5, pp.67~74
- [3] 한국건설기술연구원(2012), 통계적 방법을 이용한 교육용 건축물 마감 자재 수선주기 분석 용역연구, pp.23~27 // Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(2012), “Study on the Repair Cycle for the Building finishings using the Statistical Approach”, pp.23-27
- [4] 한국건설기술연구원(1994), 건축물의 최적유지관리모형개발(II) // Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(1994), Optimal Building Maintenance Model
- [5] 이강희, 채창우(2017), “교육시설 내용년한 산정 연구- 옥상방수와 바닥마감재를 대상으로 -”, 한국교육시설학회 논문집 제24권 6호, pp.27~37 // Lee, K and Chae, C.(2017), “ Establishment of the Service Life of the Education Facilities - Focused on the Roof water-proof and Floor finishings - ”, J. of Korean Institute of Education Vol.24 No.6, pp.27~37
- [6] 이강희, 채창우, 류수훈(2017), “교육시설의 옥상방수 열화도 진행 모델에 관한 연구”, 한국교육시설학회 논문집 24권 6호, pp.11~19 //

- LEE, K., Chae, C. and Ryu, S.(2017), “A Study on the Establishment of the Deterioration Process Model of Roof Waterproofing in the Education facilities”, J. of Korean Institute of Education Vol.24 No.6, pp.11~19
- [7] 조창희외 1인(2008), “초·중등학교 시설유지관리비에 관한 조사연구-경기도 초·중등학교를 중심으로-”, 대한건축학회논문집 계획계 제24권 제4호, pp.87~96 // Cho, C.,(2008), “A Survey Study on the Maintenance & Operations Costs of Elementary, Middle and High School Facilities”, J. of Architectural Institute of Korea vol. 24, No. 4, pp.87~96
- [8] 이태경, 이강희(2012), “공공 임대주택 마감자재 경제적 수선주기 추정”, 한국생태환경건축학회 학술발표대회논문집 통권23호, pp. 75~81 // Lee, T. and Lee, K.(2012), “A Study on the Establishment of Economic Repair Cycle of the Public Rental Housing”, Proceedings of the Korea Institute of the Ecological Architecture and Environment 23, pp.75~81
- [9] 日本建築學會(1988), 建築物の耐久計劃に關する考慮方案 // Japan Architectural Institute(1988), Considerations on the Building Durability of Building
- [10] (社)全國建設研修センター(1984), 耐久性向上技術の動向, p.21 // Japnaese Construction Traing Center(1984), Trend of the Improvement of Durability, p.21
- [11] BELCA(2012), Handbook of Building Service Life, Central Economics
- 
- 1) <http://sfm.sen.go.kr/equip/main.do>. 각 학교별 준공 이후에서 2015년 까지의 자료를 수집함.
- 2) 한국건설기술연구원(2012), 통계적 방법을 이용한 교육용 건축물 마감자재 수선주기 분석 용역연구, pp.23~27
- 3) 이강희(2006), “공동주택 구성재의 예상수선시기 범위설정연구”, 한국주거학회논문집 제17권 2호, pp.19~26
- 4) 飯塚裕, 建物の維持管理, 鹿島出版社, pp.127~132, 1982
- 5) 본 연구에서 수선이후의 성능회복률은 이전 차수 성능의 90%에 이르는 것으로 전제하였다.
- 6) 열화도 곡선 모델유형은 크게 선형모형, 대수모형, 역모형, 복합모형 등 다양한 방법으로 추정할 수 있다. 이 가운데, 통계량이 우수한 3차함수를 이용하였다.
- 7) 한국건설기술연구원(2012), 통계적 방법을 이용한 교육용 건축물 마감자재 수선주기 분석 용역연구, pp.23~27 // Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(2012), “Study on the Repair Cycle for the Building finishings using the Statistical Approach”, pp.23~27