몬테카를로 시뮬레이션을 활용한 건축물 수선교체주기 신뢰성 분석 모델에 관한 연구

A study on reliability analysis model of the repair and replacement cycle of a building which utilizes Monte Carlo Simulation

김 종 록* Kim, Jong-Rok
정 영 한** Jung, Young-Han
손 재 호*** Son, Jae-Ho

Abstract

This study presented a model that can enable a reliability analysis for the repair and replacement cycle of a building by using background repair and replacement data and expert opinion as foundation data and applying Monte Carlo Simulation. The presented model offers the time of the repair and replacement of building elements for the period of a year, and supports the prediction of repair and replacement and expenses demand in advance while planning the maintenance of a building.

In addition, the model will significantly reduce the risks to the building owner with regard to maintenance decisions. In addition, when a person in charge of the maintenance of large-scale building assets is having difficulties making decisions regarding the repair and replacement of existing building elements due to a lack of background data to support a long-term policy on the repair and replacement requirements, an engineering solution that can ensure the adequacy of this is provided. In summary, it can be largely divided into three study results.

First, a method of estimating the repair and replacement cycle that can deal with the development of a construction system was developed.

Second, a probabilistic methodology that can quantify the risk of the repair and replacement cycle was proposed.

Third, the proposed model can be used as a means of supporting designer and constructor in making decisionsfor the life cycle plan of a building during a construction project.

Keywords : Monte Carlo Simulation, repair and replacement cycle, reliability analysis

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건물의 사용기간 동안 지속적으로 다양한 열화요인에 노출되어 시간이 경과함에 건물시스템 전체 또는 특정부위나 공간이 물리적 성능이나 기능성을 상실해 준공당시의 목적한 건물서비스를 원활히 제공하지 못하고 이로 인해 기회손실비용(penalty cost)이 발생한다.

건물의 기능저하는 다양한 요인에 의해 발생하며 이들 중 설계 및 시공상의 오류나 잘못된 건물의 사용 및 관리가 건물의 노후화를 가속시키는 요인으로 작용하기도 한다. 기능불능이나 건물 시스템의 부분적인 성능의 저하가 2차적인 저하로 연결될 위험이 예측되는 상황에서 사후보전방식의 유지관리 형태는 건물본래의 기능을 경제적으로 유지하는데 한계를 가진다. 따라서 예방보전적 측면에서 계획적인 유지관리 전략을 수립하여 건물의 기능을 유지하고 기능상의 문제를 방지하여야 한다. 이를 실행하기 위해서는 건물시스템의 부위 및 구성부품에 대한 수명을 사전에 예측하고 기능정지에 대해 사전에 대비할 수 있도록 LC(life cycle)설계 단계에서 준공 후 유지관리단계 까지 경제적인 수선교체가 이루어 질 수 있도록 예방보전적 유지관리가 이루어져야 한다.

현재 상기의 필요성을 인식하여 공공기관의 턴키발주나 임대형 민자사업(BTL)에서 유지관리계획서를 의무적으로 제출하도록 하고 있으나 유지관리계획시 건물시스템의 수선교체시기의 결정이나 유지관리비용(LCC)항목 중 수선교체비용 산정에 근간이 되는 수선교체시기는 주택법에서 제시한 수선교체항목에 따른 수선교체시기를 그대로 준용하거나 발주기관이 정책적으로 제시한 값을

* 홍익대학교 건축공학과 대학원, 박사과정
** OURMRO 기술이사, 공학박사
*** 홍익대학교 건축공학과 교수, 공학박사

이 논문은 2008학년도 홍익대학교 학술진흥비에 의하여 지원되었음

근거로 적용하고 있어 유지관리 대상이 되는 건물의 특성을 반영하고 있지 못한 실정으로 많은 불확실성(risk)를 가지고 있다.

본 연구에서는 수선교체이력 자료 및 전문가 의견을 기초데이터로 하고 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 건축물 수선교체주기에 대한 신뢰성 분석을 가능하게 할 수 있는 모델을 개발하여 건축물의 수선교체 시기를 확률적으로 제시하고 신뢰성분석에 근거한 수선교체시기를 도출하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 개발 제안하는 모델은 현행의 수선교체주기 산정방식을 개선하여 불확실성을 저감시킨 모델로서 본 연구에서 제안된 방식을 기초로 수선교체주기 산정에 적용된다면 수선교체 예산집행 또는 유지관리 관련 정책에 새로운 패러다임(paradigm)을 제공할 것이다.

논문의 범위로서 수선교체의 이력데이터는 학교건물로부터 수집하였으며 교육시설의 문서보존 연한이 최근 5년간의 데이터만 보유하고 있어 시뮬레이션 수행전 전체 데이터들에 대한 분포적합(batch fit)은 적용하지 않는다. 즉 데이터의 불확실성을 설명하기 위한 확률적 특성치를 적용한 가정 정의(define assumptions)를 이용하여 예측값(define forecasts)을 도출해 낸다. 또한 여러 종류의 시뮬레이션 소프트웨어가 있으나 엑셀 스프레드시트 모델링을 편리하게 지원하고 리스크 분석에 널리 활용되고 있는 오라클(oracle)사의 크리스탈볼(crystall ball)를 사용하였다.

본 연구는 기존의 건축물 수선교체주기에 대한 불확실성에 대해 확률적으로 분석 가능한 신뢰성 분석모델을 제시하기 위한 연구로서 다음과 같은 방법으로 진행된다. 먼저 수선교체주기의 불확실성에 대한 고찰을 실시하고 수선교체주기의 확률적 분석방법을 모색한다. 이어 선정된 확률적분석방법을 이력자료 및 전문가 의견에 대해 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하고 최종적으로 건축물 수선교체주기의 신뢰성분석 모델을 제시하고자 한다. 아래의 그림 1은 연구의 절차를 도시한 것이다.

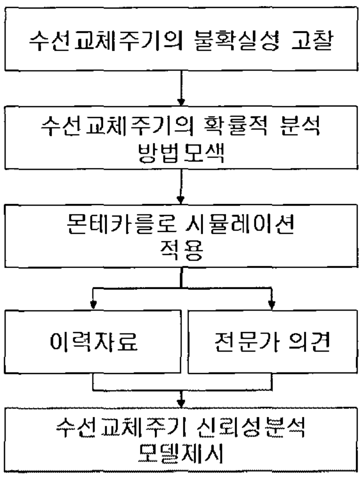


그림 1. 연구의 절차

2. 확정적 수선교체주기와 불확실성

2.1 확정적 수선교체주기

건물의 LCC산출이나 장기수선계획을 위해 이와 관련한 유지관리 항목별 수선교체주기는 해당 건물의 특성을 반영하여 분석하고 제시되어야 하나 기준을 마련하는 것은 건물 전체 부위 및 재료에 대한 라이프사이클 동안의 수선교체 이력 자료를 대상으로 수집과 분석을 실시해야하는 매우 방대한 작업이며, 일반화된 기준정립에는 장기간의 연구투자가 요구된다. 이러한 현실적인 한계로 인해 관계법령이나 발주처에서 제시한 수선·교체 주기를 산정기준으로 적용하고 있는 실정이다. 확정적 수선교체주기란 유지보수주기인 라이프사이클 동안 배경데이터(background data)[1]의 변동성이나 불확실성을 고려하지 않고 특정한 값을 적용하는 방법을 말한다. 확정적 수선교체주기를 경영과학에서는 결정론적 방법이라 하며 불확실성하에서 어떤 하나의 값으로 한정시켜 의사결정을 하는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 즉 통계량의 평균을 적용하여 분석하는 것으로 모집단에서 무작위로 추출된 대응함수에서 모집집단의 어떤 변수(평균, 표준편차, 비율)에 대한 근사값을 구하는 점 추정방식인 것이다.

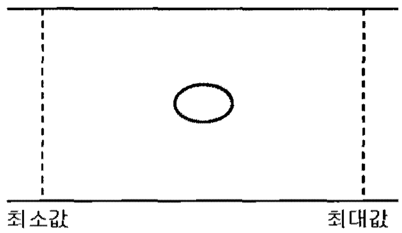


그림 2. 결정론적 방법의 모형

2.2 수선교체주기의 불확실성

2.2.1 불확실성에 대한 개요

확률은 불확실한 현상(現象)을 정량적으로 기술(記述) 하기 위한 합리적 수법으로, 통계로 불확실한 현상을 관측하고 측량하기 위한 기술로 해석할 수 있다.

건축물 LC설계상의 과제는 불확실성 하에서의 의사결정 문제를 얼마나 합리적이고 객관적으로 해결하느냐에 있다. 이를 해결하기 위한 해법의 근간이 되는 확률·통계를 이용하여 불확실성을 전제로한 확률적 이론모델, 매니지먼트에 관한 수법이 있다.

현상을 분류하면 그 성질상, 필연(必然), 개연(蓋然), 우연(偶然)의 3가지로 나누어 질 수 있다. 필연현상은 천체의 운동에 의해 일어나는 일시 및 월식, 조수간만 등, 앞서서 일어나는 것을 알고 있는 현상을 의미한다. 개연적현상은 내일이 맑을지 비가 올

1) 사용되는 데이터가 어떤 범위에서 분석과 적용에 관련하여 이용될 수 있다고 인정된 데이터

지, 주사위의 숫자 등, 사정이나 상태의 발생확률을 기술하는 것으로 확률현상이라 일컬어진다. 한편, 전혀 예측가능하지 않고 확률조차로도 알 수 없는 현상을 우연현상이라 부른다. 이것은 정보도 없고 관측조차도 가능하지 않은 미지의 현상을 의미하고 있다.

1) 표본공간과 사상

일어날 수 있는 전부의 가능한 상태의 집합을 표본공간 S(Sample space)라 부르며 이 중에 일어날 수 있는 가능한 상태를 표본점 (Sample point)라 부른다. 주사위의 예를 들으면, 전체공간에 일어날 수 있는 전부의 수 (1, 2, 3, 4, 5, 6)로 되고 각 눈이 표본점이 된다. 전체공간에 있어 부분집합을 사상 E(event)라 부른다. 예를 들어 주사위의 짝수 혹은 홀수의 눈의 집합을 생각하면 알기 쉽다. 그림 3은 표본공간의 현상을 나타낸 것으로 벤도(Venn diagram)라 불리워지고 있다.

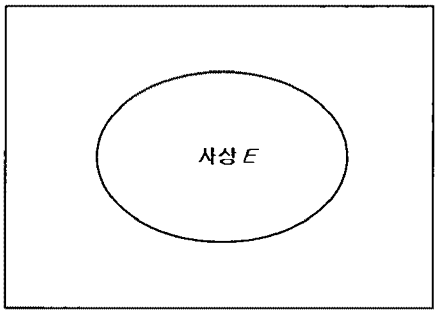
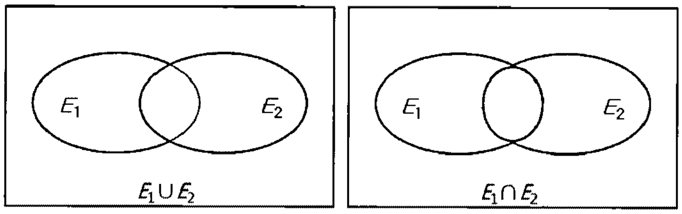


그림 3. 표본공간과 사상

2) 화상의 편성

화상의 조합을 나타내는 표현으로서 화사상(union)과 적사상(intersection)이 된다. 사상을 E_1, E_2로하고 화사상은 E_1, E_2의 적어도 어느 쪽이 생기는 것을 의미하며 적사상은 E_1, E_2,의 양쪽이 동시에 생기는 것을 의미한다. 그림 4.는 벤도로서 화사상, 적사상을 지시하는 것이다. 일반적으로 E_1과E_2의 화사상은 $E_1 \cup E_2$ 적사상은 $E_1 \cap E_2$ (혹은 E_1E_2)로 표현한다.



(a) 사상 E_1과E_2의 화사상 (b) 사상 E_1과E_2의 적사상

그림 4. 화사상과 적사상

3)각각의 사상

표본공간에 속하는 특별한 사상으로 이하 4가지가 있다.

① 전사상Ω (certain event)

표본공간 이런 것을, 모든 표본점을 합친 사상.

② 공사상 ∅ (impossible event)

표본점에 전혀 합쳐지지 않는 사상

③ 배반사상 (mutually exclusive event)

배반사상은 공통표준점을 갖지 않는 2개 이상의 사상으로 이것을 벤도로 표시하면 그림 5와 같이 된다. 또한 표본 공간내의 배반사상의 화사상(사상 전부의 화사상)이 표준공간에 일치하는 경우, 이러한 사상은 전부의 경우를 다한다 라고 한다.

④ 여사상 (complementary event)

여사상은 표본공간에 의한 사상 E에 포함되지 않는 사상을 E의 여상이라 부르며, E_1과 E_2는 서로에 여사상이 된다. 또한 ③에서 기술된 내용의 일부가 E_1과 E_2의 배반사상이 된다.

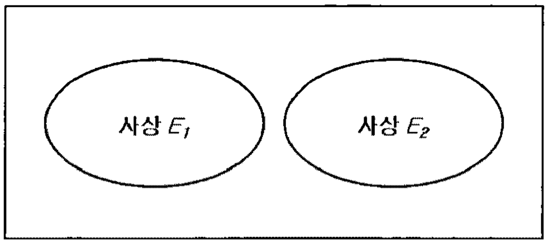


그림 5. 배반사상

2.2.2 건축물 LC상 수선교체주기의 불확실성

종래의 건물의 LC설계시 불확실성에 대해 개선방안이 주로 논의되고 연구되어지는 것이 수선교체주기에 대한 문제이다. 수선교체주기는 준공 후 유지관리비용 발생 중 예산과 기술적인 대처가 많이 소요되며 다음과 같은 불확실성을 갖는다.

첫째, 건축시스템에 채용된 구성품은 생애주기동안 발생하는 수선교체시기에 대한 예측치가 생산방식에 의해 신뢰성에 큰 차이를 보인다.

둘째로, 수선교체 주기의 설정에 있어 건축시스템의 구성품은 최소한의 기능을 상실하지 않고 기회손실비용을 발생시키기 않는 수선교체시기를 갖는다.

셋째로, 수선교체주기가 설정되어 있지만 기술의 발달과 건물의 사용자의 요구에 의해 발생하는 사회적인 노후화에 대응한 조기교체가 경제적인 판단이 될 수 있다.

넷째로, 일반적으로 수선이 교체보다 우위일 것으로 인식할 수 있으나 교체가 비용적인 측면에 유리할 수 있다.

3. 확률론적 분석을 위한 방법

3.1 몬테카를로법(Monte Carlo Method)의 개요

3.1.1 몬테카를로법의 정의

몬테카를로법이란 시뮬레이션 기법의 일종으로 구하고자 하는 수치의 확률 분포를 반복가능한 실험의 통계로부터 구

하는 방법을 의미한다. 명칭의 유래를 살펴보면 프랑스와 이탈리아의 국경 사이에 작은 나라인 모나코 공화국의 수도가 몬테카를로이며 이곳은 도박으로 유명한데, 정확한 계산이 필요할 때 난수를 이용하는 것은 일종의 도박과 유사하여 이런 방법을 몬테카를로법이라 스타니스와프 마르친 울람(Stanisław Marcin Ulam)이 명명하였다. 특히 노벨물리학상 수상자인 엔리코 페르미(Enrico Fermi)가 중성자의 특성을 연구하기 위해 이 방법을 사용한 것으로 유명하다.

최초의 공학적 이용을 위한 적용은 1940경 미국의 LANL(Los Alamos National Laboratory) 물리학자들이 수행한 맨해튼 계획(Manhattan Project)에서 시뮬레이션이나 수소폭탄의 개발에도 핵심적인 역할을 담당하였다. 온라인 백과사전인 영문 위키피디아에서는 몬테카를로법을 다음과 같이 정의하고 있다.

"Monte Carlo methods are a class of computational algorithms that rely on repeated random sampling to compute their results. Monte Carlo methods are often used when simulating physical and mathematical systems. Because of their reliance on repeated computation of random or pseudo-random numbers, Monte Carlo methods are most suited to calculation by a computer. Monte Carlo methods tend to be used when it is unfeasible or impossible to compute an exact result with a deterministic algorithm." .[2)]

요약하면 몬테카를로 방법은 물리적, 수학적 시스템의 행동을 시뮬레이션하기 위한 계산 알고리즘이며 다른 알고리즘과는 달리 통계학적이고, 일반적으로 무작위의 숫자를 사용한 비결정적인 방법이다.

3.1.2 몬테카를로법의 특징

간단하면서도 유명한 예로, 몬테카를로법을 이용한 파이(π)의 계산법이 있다. 먼저 정사각형 안에 하나의 꼭지점을 중심으로 사분원을 한개 그린다. 이때 정사각형의 전체 넓이를 1이라고 하면 원의 넓이는 $\pi/4$ 가 된다. 이제 컴퓨터로 난수를 발생하여 무작위로 정사각형 내부에 점을 찍는다. 그리고 정사각형의 꼭지점과의 거리를 계산하여 점이 사분원의 내부에 있는지 외부에 있는지를 판단한다. 예를 들어 전체 10만 개의 점을 찍었다고 할 때 이 중 n개가 사분원의 내부에 있었다면 두 숫자의 비율, 즉 n/10만의 값은 넓이의 비인 $\pi/4$에 근접하리라고 예측할 수 있다. 이 값은 더 많은 점을 찍어 실험할수록 정밀해진다. 이와 같이 많은 수의 실험을 바탕으로 통계 자료를 얻어 그 자료로부터 역산하여 어떤 특정한 수치나 확률분포를 구하는 방법을 몬테카를로법이라고 한다. 특성상 통계자료가 많을수록, 입력값의 분포가 고를수록 결과의 정밀성이 보장된다는 것을 알 수 있다. 때문에, 대부분 컴퓨터를 이용하여 분석이 행해진다. 몬테카를로법의 특징으로는, 우선 적용하기 쉽다는 점이 있다.

실제로 파이의 값을 정확히 구하기 위해서는 무한급수에 관한 지식과 오차범위에 관한 지식 등 다양한 배경 지식을 바탕으로 알고리즘을 만들어 그 값을 계산해야 하지만, 몬테카를로 방법은 그런 모든 절차와 관계없이 짧은 컴퓨터 프로그램 몇 줄만으로 쉽게 수치를 얻을 수 있다.

이런 장점은 이론적 배경만으로는 계산하기 어려운 수치들로 예를 들면 복잡한 형태를 가진 표면에 빛을 비추었을 때 반사광의 분포, 복잡한 분자계의 화학적 특성 분석, 핵융합로에서 중성자 빔이 반응에 미치는 영향 등을 직접 구할 필요가 있을 때 빛을 발한다. 때문에 컴퓨터를 이용한 분석이 발달한 최근에는 거의 모든 과학과 공학 분야에 걸쳐 몬테카를로법이 광범위하게 사용되고 있다. 아래의 그림은 몬테카를로법을 이용하여 극한의 대규모 시뮬레이션에서 레일리-테일러 불안정성 문제(Rayleigh-Taylor instability problem)를 시각화시스템을 이용하여 이미지화 한 것이다.

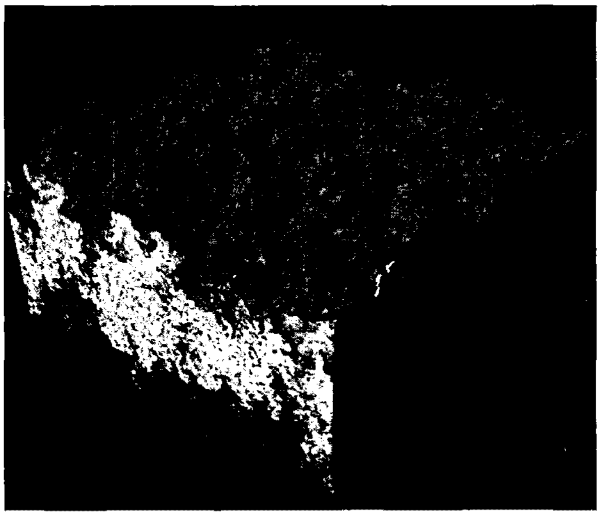


그림 6. 몬테카를로 시뮬레이션의 시각화사례
(출처 : http://www.llnl.gov/visit/gallery_02.html)

3.2 몬테카를로법과 분포

3.2.1 몬테카를로법과 분포

이산분포(Discrete distributions)와 연속분포(Continuous distributions) 그룹 2가지 그룹 타입의 분포로 나누는 것이 가능하며 확률분포들의 기본적인 구분은 분포가 연속적인지 분리되어 있는지 이며 모델에 적용될 분포를 선정할 때 변화에 대한 본질의 파악이 중요한 인자로 작용한다.

수선교체 주기의 신뢰성을 분석하기 위해 두 가지 타입의 분포에 대한 특성과 여러형태의 이산분포들과 그에 따른 적용 예를 정리하면 하기와 같다.

2) http://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method 외 다수의 시소러스데이터를 참조

1) 이산분포의 특징

① 이산분포는 계산 가능한 확률이 있으며 증명 가능한 값을 가질 수 있음

② 이산분포는 건설계획시 요구되는 교량의 수, 고용될 주요인원의 수 또는 한 시간 동안 주유소에 도착할 고객의 수 같이 매개변수를 생성하기 위해 사용

③ 위의 변수들은 오직 특정한 값을 가져온다. (즉, 2.7명의 고용 또는 13.6명의 고객을 대상으로 교량을 반만 건설할 수는 없다)

표 2. 이산분포들과 적용예

Distributions	Example use
Bernoulli	Returns a 1 with probability p and a zero otherwise.
Binomial	Shows the number of successes from n independent trials where there is a probability p of success in each trial.
Beta-binomial	A binomial variable where p is also a Beta-distributed random variable.
Discrete	Describes a variable that can take one of several explicit discrete values with different probabilities.
Discrete uniform	Describes a variable that can take one of several explicit discrete values with equal probabilities.
Geometric	Models the total number of trials that will occur before a success, given that p is the probability of succeeding.
Hypergeometric	Models the number of items of a particular type there will be in a sample of size n where that sample is drawn from a population of size M of which D are also of that particular type.
Integer uniform	Describe a variable that can take one of several sequential discrete values.
Inverse Hypergeometric	Models the total number of trials one would have to do before achieving the s-th success in a hypergeometric sampling.
Logarithmic	A one parameter, positive distribution sometimes used to model frequency of insurance claims. Also used for insect species abundance
Multinomial	An extension of the Binomial distribution where more than two different states of a trial exist.
Multivariate Hypergeometric	An extension of the Hypergeometric distribution where more than two sub-populations of interest exist.
Negative Binomial	Models the total number of trials there will be before s successes are achieved where there is a probability p of success with each trial. Also models a Poisson random variable whose mean is a (Gamma) random variable.
Poisson	Models the number of occurrences of an event in a time t when the time between successive events follows a Poisson process

2) 연속분포의 특징

① 연속분포는 지속적인 변화, 정의한 범위(영역)내의 어떤 값이든지 가져옴. (변화를 대표하기 위해 사용)

② 예를 들어 사람의 키는 근본적으로 무한하게 분할 가능함으로 남성의 키를 무작위적으로 연속한 분포가 있음

③ 분석자는 근사치에 가까운 센티미터, 밀리미터, 밀리미터의 10분의 1등 단위는 점점 가능한 값의 생성이 높은 쪽으로 반복적으로 분할 가능

④ 시간, 질량과 같은 속성을 무한하게 분할하여 연속적인 분포를 생성시킴

⑤ 현실적으로 연속분포를 생성시키기 위해 실제로는 분리되었지만 무의미한 사이값을 허용. 예를 들면 프로젝트 비용(뒤에 따라붙는 1원, 1센트 등), 환율(유효한 자릿수 이외 숫자), 큰 조직에서 있는 직원의 수

표 3. 연속분포들과 적용예

Distribution	Example use
Beta	Models uncertainty or variation of a probability, fraction or prevalence.
Bradford	
Cauchy	Models the points of impact of a fixed straight line of particles emitted from a point source. Ratio of two Normal distributions.
Chi Squared	The sum of unit Normal distributions squared. Used widely in classical statistics where sample measures can be transformed to be approximately a sum of unit Normal distributions squared too.
Cumulative ascending	Used to create an empirically-based distribution. Useful in creating a non-parametric fitted to data.
Cumulative descending	Another form of the cumulative distribution. Uses the probability of being greater than or equal to their corresponding x-values.
Dirichlet	Used to describe uncertainty about the probabilities of a Multinomial distribution: a multi-dimensional version of a Beta distribution.
Error	Another format for the Normal distribution with a zero mean.
Erlang	A special case of the Gamma distribution where the first parameter is discrete.
Exponential	Models the time until an event occurs in a Poisson process.
Extreme value	Models the distribution of the extreme values that a variable can take.
F	Used in statistics to compare the variance between two (assumed Normally distributed) populations.
Frechet	Models the distribution of the extreme values that a variable can take.
Gamma	Models the time until a number of events occurs in a Poisson process.

Distribution	Example use
General	Used to create an empirically-based distribution from relative frequency data.
Histogram	*Useful for replicating the distribution shape of a set of data.*
Inverse Gaussian	Models the time to cover a distance in Brownian motion.
JohnsonB	-
JohnsonU	-
Laplace	A symmetric distribution, useful for having longer tails than a Normal distribution.
LogLaplace	An asymmetric distribution which offers a greater variety of shapes.
Logistic	Popular in demographic and economic modelling, mostly as a growth equation. Similar to a Normal distribution, but more peaked.
LogLogistic	The log of the logistic distribution, so if X is loglogistically distributed, log X is logistically distributed.
Lognormal (format 1)	Useful for modelling naturally occurring variables that are the product of a number of other naturally occurring variables. If log X is Normally distributed, then X is lognormally distributed.
Lognormal (format 2)	An alternative way of defining a Lognormally distributed variable, using the mean and standard deviation of the corresponding Normal.
Normal	Models variations of naturally occurring variables. Also an approximate distribution to many other distributions in certain circumstances.
Pareto (1st kind)	Used to model any variable that has a minimum, and also its most likely, value and for which the probability density decreases geometrically towards zero. Often used because it has a very long right tail.
Pareto (2nd kind)	Is a shifted Pareto distribution.
Pearson V	A member of the Pearson system of distributions, and little used.
Pearson VI	Another member of the Pearson system of distributions.
PERT	A smoothed, triangular-like distribution, based on the Beta distribution.
Revised PERT	A more controllable version of the PERT distribution.
Rayleigh	A special case of the Weibull distribution. Models distance to nearest neighbour where they are Poisson distributed in space.
Student	Used in statistical estimation.
Uniform	Used as a very approximate model where there are very little or no available data.
Triangle (various)	Used as a rough modelling tool where the range and the most likely value within the range can be estimated.
Weibull	Used to model the time until occurrence of an event where the momentary probability of occurrence changes over time.

3.2.2 몬테카를로법과 임의표본추출

불확실한 변수 x의 분포를 고려하고 누적분포함수(cumulative distribution function) F(x)는 변수 X보다 적거나 같은 x일 확률 P를 취한다.

$F(x) = P(X<=x)$ 식(1)

F(x)는 0에서 1까지의 범위를 가지고 F(x)에 주어진 값 x의 값을 알기 위해 취하는 역함수 G(F(x))는 다음과 같다.

$G(F(x)) = x$ 식(2)

역함수 G의 개념은 불확실성 분석 모형에서 각 분포의 랜덤표본 발생에 사용되며 함수 F(x)와 역함수 G(F(x))의 관계를 도시하면 아래의 그림과 같이 나타낼 수 있다.

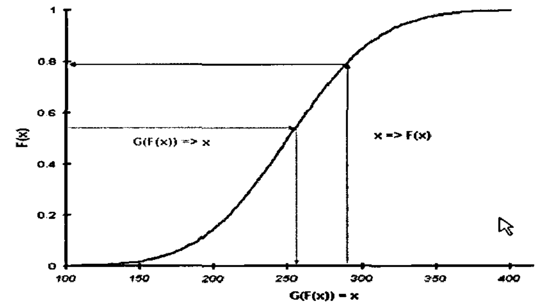


그림 7. F(x)와 G(f(x))의 관계

확률분포의 랜덤표본을 생성하기 위한 난수(r)는 0과 1사이에서 생성되며 이 값은 아래의 방정식을 적용하여 생성될 값을 결정한다.

$G(r) = x$ 식(3)

난수는 표준적인(0,1)의 분포에서 어떠한 백분위수 범위에서 생성되는 x값의 기회균등을 제공하면서 생성된다. 이러한 역함수의 개념은 (Ripley (1987), Evans et al. (1993), Press et al. (1986), Johnson et al. (1993), Johnson et al. (1994), Johnson et al. (1995) and Gentle (1998) 같은 여러 학자들에 의해 연구되었으며 동일한 원리와 세부적인 사항들이 잘 정리되어 있다. 다음의 그림은 표준적인(0,1)의 분포가 일반적인 분포를 생성하기 위하여 직접적으로 어떻게 사용되는가를 설명하고 있다.

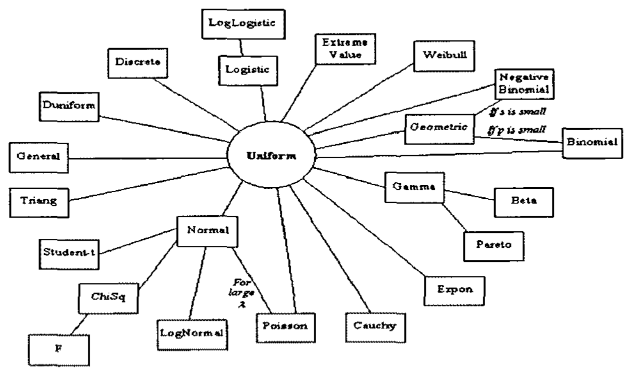


그림 8. 일반적인 분포생성을 위한 표준분포의 이용

4. 수선교체주기 관련 데이터의 분포적용

4.1 수선교체 이력자료

4.1.1 결과값의 정리

수선교체가 일어나는 시점은 건물의 이용상황, 유지관리수준(유지관리비용투입상황), 자연적 환경 등 여러 가지 변화요인에 의해 영향을 받는다. 본 논문에서 실제로 수집한 이력자료의 경우 수선교체가 필요한 시점이 아닌 유지관리비용이 투입된 시점을 기준으로 작성된 것으로 추정가능하다. 즉 예산자료를 기초로 수집된 것이 그 원인이며 그 이면에는 사전진단과 체계적인 계획에 의해 이루어진 작업이력이 아니라 대부분 사후대처에 기인한 수선교체시기가 대부분이라는 현실을 감안할 때 상기와 같은 추정은 더욱 설득력을 갖는다. 현재 국내의 유지관리 관행을 고려해 볼 때 3가지의 경우를 생각해 볼 수 있다.

첫 번째, 응급성은 없으나 2차적인 문제발생의 우려로 수선교체가 필요하나 예산이 즉각적으로 투입되기 어려워 차기회계년도에 예산을 확보한 후 수선교체를 실행한 경우

두 번째, 건물의 안전 또는 라이프라인(전기, 수도, 가스 등)의 유지에 있어 응급성을 가지며 예산이 확보되어 수선교체가 즉각적으로 이루어진 경우

세 번째, 응급성에 관계없이 정해진(법령 및 유지관리계획서) 수선교체주기의 도래로 수선교체가 이루어진 경우이다.

4.1.2 정규분포 적용을 위한 방정식

정규분포는 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)에 의한 연속적인 분포로 구성되며 정규분포의 형태는 아래와 같다.

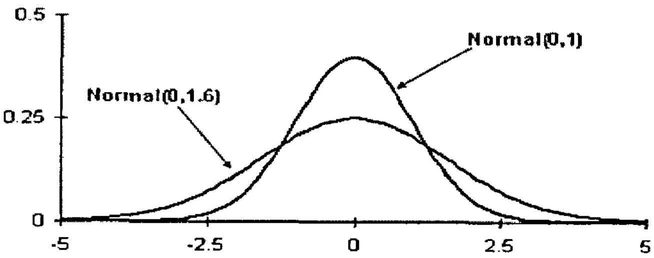


그림 9. 정규분표의 형태

데이터의 배열식(fomat)은 식(4)와 같다.

$Nomal(\mu,\ \sigma)$ 식(4)

확률밀도함수(probability density function)는 식(5)와 같다.

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad \text{식(5)}$$

누적분포함수(cumulative distribution function)는 무연산식(No closed form)이다.

모수제약(parameter restrictions)은 식(6)과 같다.

$\sigma > 0$ 식(6)

변역(domain)은 식(7)과 같다.

$-\infty < x < \infty$ 식(7)

기대치(mean)와 최빈치(mode)는 μ, 분산(variance)은 σ^2이다.

4.2 전문가 의견

4.2.1 결과값의 정리

전문가의 의견을 근거로 하여 확률적 특성을 가정할 때 일반적으로 삼각형분포(triangular distribution)가 널리 이용되고 것을 감안하면 설문의 결과값은 최소값, 최빈값, 최대값 3개의 모수를 가진다. 몬테카를로 시뮬레이션을 수행했을 때 대부분의 값이 최빈값 근처이고 최소값과 최대값에 가까울수록 확률이 적어지도록 난수를 발생하게 된다.

4.2.2 삼각형분포 적용을 위한 방정식

삼각형분포는 세 개의 입력 모수들(parameters)에 의해 삼각형으로 구성되며 삼각형분포의 예는 아래와 같다.

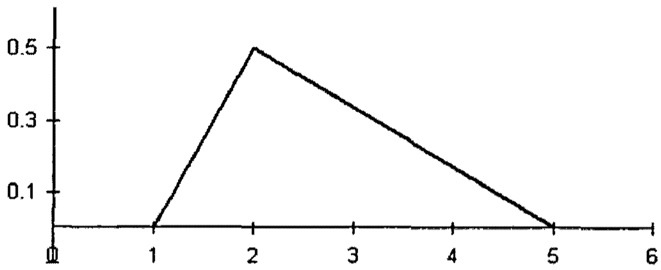


그림 10. 삼각형분포의 형태

데이터의 배열식(fomat)은 식(8)과 같다.

Triangular(min, most_likely, max) orTriangular(a, b, c) 식(8)

확률밀도함수(probability density function)는 식(9)와 같다.

$$\text{if } a \le x \le b \quad f(x)=\frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}$$

$$\text{if } b < x \le c \quad f(x)=\frac{2(c-x)}{(c-a)(c-b)}$$

where a=min, b=most likely, c=max 식(9)

누적분포함수(cumulative distribution function)는 식(10)과 같다.

$$\text{if } x < a \qquad F(x) = 0$$
$$\text{if } a \le x \le b \qquad F(x) = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)}$$
$$\text{if } b < x \le c \qquad F(x) = 1 - \frac{(c-x)^2}{(c-a)(c-b)}$$
$$\text{if } c < x \qquad F(x) = 1 \qquad \text{식(10)}$$

모수제약(parameter restrictions)은 식(11)과 같다.

$$a \le b \le c \ , \ a < c \qquad \text{식(11)}$$

변역(domain)은 식(12)와 같다.

$$a < x < c \qquad \text{식(12)}$$

기대치(mean)는 식(13)과 같다.

$$\frac{a+b+c}{3} \qquad \text{식(13)}$$

최빈치(mode)는 아래와 같다.

b

분산(variance)은 식(5-7)과 같다.

$$\frac{a^2+b^2+c^2-ab-ac-bc}{18} \qquad \text{식(14)}$$

5. 수선교체주기 신뢰성분석 모델과 적용

5.1 신뢰성분석모델

수선교체주기에 대한 관련 이력보유의 유무로 정규분포 또는 삼각형분포에 적합시키고 이를 해당 분포의 데이터로 입력하기 위해 수집한 원시데이터를 배열한다. 시뮬레이션 수행을 위해 각각의 분포에 이용될 확률밀도함수를 도출하고 모수제약과 변역 내에서 시뮬레이션의 분석값을 취한다. 제시하는 신뢰성분석 모델을 그림 11과 같이 도시하였다.

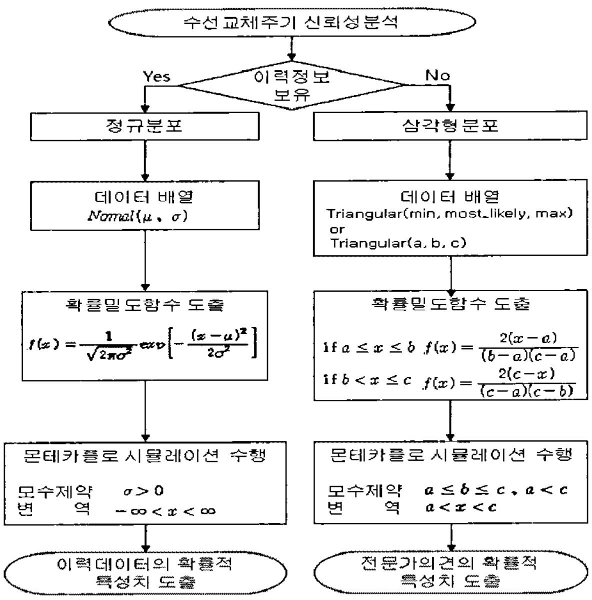


그림 11. 수선교체주기 신뢰성분석 모델

5.2 신뢰성분석모델의 적용예

5.2.1 시뮬레이션 적용 분포의 제어

삼각형분포는 개략적인 모델링 도구로서 이용되어지고 있으며 그 분포범위는(a에서 c)그리고 추측상의 b의 분포범위로 산정되어진다. 이는 기하학으로부터 통계적인 속성으로부터 얻어낸 것이다. 삼각형분포는 직관적인 모수의 정의와 사용속도에 있어 유연성을 제공한다. 삼각형분포에 있어 상세한 최소치와 최대치를 대신해서 아래의 그림과 같이 5%, 최빈치(likeliest) 그리고 95%를 이용할 수 있으며 다른 선택으로 10%, 최빈치, 90%를 허용할 수 있다.

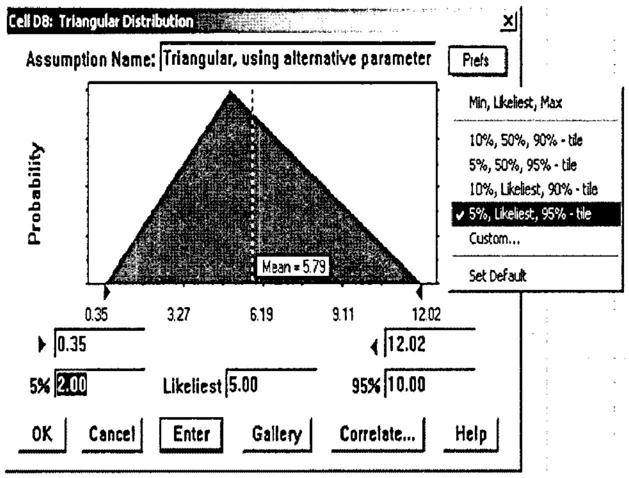
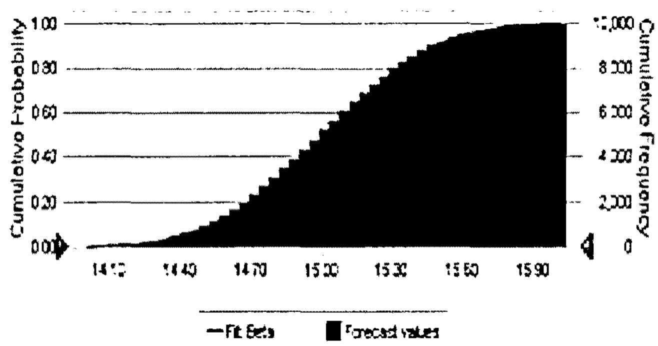


그림 12. 시뮬레이션을 위한 분포선택화면

5.2.2 신뢰성분석의 결과

건축물의 수선교체 항목을 삼각형분포에 적합하여 얻어진 시뮬레이션 결과로서 전문가 의견에서 건물 내외부에 해당하는 부위별 수선교체 항목 중 신뢰성분석 모델에 대한 개념의 적용을 보이기 위해 하나의 항목을 대상으로 기술하기로 한다. 열경화성수지천정재의 수선교체주기에 대한 전문가 의견을 청취하여 최소값은 10년, 최빈치는 15년, 최대값을 20년으로 데이터를 배열하고 확률적으로 전문가의견을 해석하기 위해 10,000번의 시뮬레이션을 수행한 결과 확률적 빈도를 얻을 수 있었다. 그림 13의 상단 그래프는 수선교체 누적확률 확률적 분포를 분석한 것이며 하단의 표는 발생 확률별로 수선교체주기의 예측값을 정리한 것이다. 해석해 볼 때 시뮬레이션을 반복적으로 수행하여 무한대로 수렴할 경우 16.19년의 값을 가지며 13.69년에서 16.19년 사이의 발생확률을 갖는 것으로 신뢰성 분석되었다.



Percentile	Fit Beta	Forecast values
0%	13.11	13.69
10%	14.53	14.53
20%	14.69	14.69
30%	14.81	14.81
40%	14.91	14.91
50%	15.01	15.00
60%	15.10	15.10
70%	15.20	15.20
80%	15.32	15.32
90%	15.48	15.48
100%	16.81	16.19

그림 13. 시뮬레이션의 수행결과 (전문가의견의 경우)

5. 결　　론

본 연구에서는 수선교체이력 자료 및 전문가 의견을 기초데이터로 하고 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 건축물 수선교체주기에 대한 신뢰성 분석을 가능하게 할 수 있는 모델을 제시하였다. 제시된 모델은 건축물의 경년별 수선교체 시기를 확률적으로 제시하고 건물의 유지관리계획시 신뢰성분석에 근거한 수선교체 시기와 비용수요를 사전에 예측하도록 지원한다. 또한 건물의 소유주체나 유지관리 의사결정권자에게 공통적으로 발생하는 계획상의 많은 리스크를 감소시켜주는 역할을 할 것이다. 더불어 기존 건물의 수선교체 이력데이터의 부재로 인해 의사결정에 많은 어려움 겪고 있는 대규모 건물자산의 유지관리책임자가 수선교체소요에 대한 중장기정책 수립시 이에 대한 타당성을 확보할 수 있는 공학적 해법이 제시되었다. 정리하면 크게 다음과 같이 3가지의 연구성과로 나눌 수 있다

첫째, 건축시스템의 발달에 대응할 수 있는 수선교체주기 산정법이 개발되었다.

둘째, 수선교체주기의 리스크를 정량화 시킬 수 있는 확률론적 방법론이 제안되었다.

셋째, 제안된 모델은 건축프로젝트에서 설계자와 시공자가 건물의 생애주기설계에 관한 의사결정을 지원할 수 있는 도구로 활용 가능할 것이다.

참고문헌

1. 이덕찬 외, 공동주택의 LCC검토서 작성 및 평가지침 개발, 주택공사 주택연구소, 2000
2. Alphonse J. Dell'Isola, Stephen J. Kirk, Life Cycle Cost or Facilities, Reed Construction Data, 2003
3. APPA(The Association of Physical Plant Administrators, Custodial Staffing Guidelines for Educational Facilities, APPA, 1998
4. APPA, Maintenance Staffing Guidelines for Educational Facilities, APPA, 2002
5. Halim A. Boussabaine, Richard J. Kirkham, Whole Life-Cycle Costing : Risk and Risk Responses, Blackwell Publishing, 2004
6. Hans Reiche, Maintenance Minimization for Competitive Advantage, Gordon and Breach Science Publishers, 1994
7. Richard F. Gerson, Ph.D. Measuring Customer Satisfaction, Thomson, 1993
8. RSMeans, Facilities Maintenance & Repair Cost Data, RSMeans, 2006
9. William D. Middleton, Facilities Management, APPA, 1997
10. Williams, John Edward, A Model for Predicting Life-Cycle Building Costs, The University of Michigan, 1973
11. FM推進連絡協議會, ファシリティマネジメント, 日本經濟新聞社, 2004

(접수 2009.12.01, 심사 2009.12.09, 게재확정 2009.12.16)

요 약

본 연구에서는 수선교체이력 자료 및 전문가 의견을 기초데이터로 하고 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 건축물 수선교체주기에 대한 신뢰성 분석을 가능하게 할 수 있는 모델을 제시하였다. 제시된 모델은 건축물의 경년별 수선교체 시기를 확률적으로 제시하고 건물의 유지관리 계획시 신뢰성분석에 근거한 수선교체시기와 비용수요를 사전에 예측하도록 지원한다. 또한 건물의 소유주체나 유지관리 의사결정권자에게 공통적으로 발생하는 계획상의 많은 리스크를 감소시켜주는 역할을 할 것이다. 더불어 기존건물의 수선교체 이력데이터의 부재로 인해 의사결정에 많은 어려움 겪고 있는 대규모 건물자산의 유지관리책임자가 수선교체소요에 대한 중장기정책 수립시 이에 대한 타당성을 확보할 수 있는 공학적 해법이 제시되었다. 정리하면 크게 다음과 같이 3가지의 연구성과로 나눌 수 있다 첫째, 건축시스템의 발달에 대응할 수 있는 수선교체주기 산정법이 개발되었다. 둘째, 수선교체주기의 리스크를 정량화 시킬 수 있는 확률론적 방법론이 제안되었다. 셋째, 제안된 모델은 건축프로젝트에서 설계자와 시공자가 건물의 생애주기설계에 관한 의사결정을 지원할 수 있는 도구로 활용 가능할 것이다.

키워드 : 몬테카를로 시뮬레이션, 수선교체주기, 신뢰성분석