

퍼지 집합을 활용한 건물 사전 보수작업 대상 선정 지원모델

고태우¹ · 박문서* · 이현수¹ · 김현수¹ · 김수영¹

¹서울대학교 건축학과

Fuzzy-based Decision Support Model for Determining Preventive Maintenance Works Order

Ko, Taewoo¹, Park, Moonseo*, Lee, Hyun-Soo¹, Kim, Hyunsoo¹, Kim, Sooyoung¹,

¹Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University

Abstract: Preventive maintenance of buildings has increased the importance of interest in that it is able to maintain the performance building has and to prevent a problem occurred in future. For improved preventive maintenance work, it should be performed to select works order clearly and preceded the accurate measurement for the state of works order. when measuring the conditions, measurement of the state of work order considering the various criteria is more effective than to measure by only criterion. But, there are something hard to evaluate exactly between the criteria because of decision-maker's subjective judgments. To solve these problems, this research proposes decision making support model to determine preventive maintenance works order using Fuzzy-sets. By using Fuzzy-sets when measuring state of work objects, it can be reduced vagueness of judgments by decision-makers. This model can be used as a tool for objective evaluation of preventive maintenance work orders and offer the guideline to perform decision-making.

Keyword : Preventive maintenance, Decision-making support model, fuzzy-Sets, AHP, VIKOR

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건물 보수작업은 관리자가 요구하는 성능을 지속적으로 발휘하여 사용자들에게 만족감을 제공할 수 있다(Pitt 1997). 보수작업은 작업 수행 시점에 따라 결함이 발생한 이후에 작업을 실시하는 사후 보수작업과 주기적인 점검을 통해서 상태를 파악하여 향후에 일어나는 결함을 미리 예방하는 사전 보수작업으로 나눌 수 있다(Lind and Muyingo 2012). 이 중에서 사전 보수작업은 건물의 결함을 보수하는데 소요되는 비용을 감소시키고 보수작업 수행에 의한 시간상의 공백 없이 건물이 가지고 있는 기능을 지속적으로 발휘할 수 있게 한다. 이러한 사전 보수작업을 원활하게 수행하기 위해 건물 관리자는 사전 보수 작업에 대한 명확한 계획을 수립해야 한다.

사전 보수작업은 기본적으로 평가 대상 조사, 성능 측정, 측정 결과를 반영한 보수작업 대상 선정의 순서로 진행된다(Hao et al. 2010). 효과적인 사전 보수작업을 수행하려면

보수작업 대상을 적절하게 선택하는 과정이 필요하며 이는 관리자가 가지고 있는 예산이 수요에 비해 부족한 경우 더욱 중요하다(Lavy and Bildo 2009).

작업 대상을 결정하기 위해 먼저 평가 대상이 발휘하고 있는 성능을 정확하게 측정해야 한다. 건물의 성능이란 사용자가 원하는 작업을 수행할 수 있도록 건물이 가져야 하는 역할이나 능력을 의미한다(Williams 1993). 건물의 성능은 일반적으로 건물의 품질, 다시 말해 물리적인 상태를 점검하여 성능을 판단한다(Duglas 1996). 하지만 사전 보수작업의 대상을 선정하는 경우에는 물리적 상태에 대한 측정뿐만 아니라 건물이 지니고 있는 기능적인 측면, 보수 작업의 경제적인 측면을 동시에 고려하여 평가해야 한다(Amaratunga et al. 2000).

건물의 성능 측정을 위한 평가 기준은 정확한 수치로 표현하여 객관적인 정보를 제공할 수 있는 정량적 기준과, 전문가나 관리자의 주관적인 판단에 의존하는 정성적 기준으로 나눌 수 있다. 이 중에서 사전 보수작업 대상을 결정하는데 사용하는 정성적 평가 기준은 기준의 정의를 명확하게 수립하기 어려우며 이것을 객관적으로 측정할 수 있는 관련 정보의 수집이 어려워 일반적으로 정성적 기준은 전문가들의 주관적인 판단에 의해서 측정이 이루어진다(Kant and Bhattacharjee 2012). 만약, 다수의 전문가들이 측정을 수행할 경우, 각각의 측정 결과는 전문가들의 주관적인 판

* Corresponding author: Park, Moonseo, Department of Architectural Engineering, Seoul National University, Seoul 151-019, Korea
E-mail: mspark@snu.ac.kr
Received July 8, 2013; revised August 20, 2013
accepted October 14, 2013

단을 포함하고 있어 결과값이 객관적이지 않으며, 측정 결과를 분석에 적합한 형태로 변환하는 과정에서 전문가들의 의도를 정확히 반영하지 못하는 단점이 발생한다(Hipel et al. 1993).

본 연구에서는 전문가의 판단을 이용하여 성능을 측정할 때, 개인의 주관적인 판단으로 발생하는 측정의 불확실함을 개선하고자 퍼지 집합 이론을 사용한다. 이를 가지고 사전 보수 작업을 위한 대상 선정 시, 효과적인 의사결정을 위한 사전 작업 대상 선정 지원 모델을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 건물에 발생한 결함을 조사하여 얻은 진단 결과를 가지고 사전 보수 작업을 위한 평가 대상을 결정한다. 그리고 건물 성능을 측정하기 위해 사용하는 평가 기준은 건물 보수와 관련한 문헌조사를 통해 선정하고 이를 바탕으로 건물 유지관리 전문가와 건물 관리자를 대상으로 설문 조사를 실시하여 사전 보수 작업 대상을 선정하기 위해 필요한 평가 기준을 도출한다.

본 연구에서는 각각의 평가 기준이 어느 정도 영향을 미치는지를 측정하기 위해 계층적 분석방법(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP)을 사용하여 평가 기준의 중요도를 계산한다(Bashiri et al. 2011). AHP방법은 설문조사를 통해 수집한 평가 기준 간의 상대적인 중요도를 가지고 각 평가 기준의 가중치를 구하고자 할 때 사용하는 방법론으로 평가의 일관성을 추론할 수 있는 장점이 있다(Lee and Kim 2003). 본 연구에서는 사전 보수 작업에 필요한 평가 기준의 중요도를 구하기 위해 AHP방법을 사용한다.

평가 기준의 가중치와 평가 대상의 측정 결과를 도출하여 사전 보수 작업 대상을 결정한다. 분석 방법은 다양한 평가 기준을 반영하여 종합적인 결과를 얻을 수 있는 다기준 의사결정 분석 방법(Multi-Criteria Decision-Making, 이하 MCDM)을 사용한다. 이것은 여러 가지의 평가 기준을 종합하여 의사결정을 할 때 흔히 사용되는 방법으로 분석이 용이하고 종류가 다양하다는 장점이 있다.

한편, 본 연구에서는 평가 기준에 대한 상대적인 중요도를 조사하고 평가 대상의 성능을 측정할 때, 언어 변수를 사용한 정성적인 척도를 사용하여 전문가들이 쉽게 측정할 수 있도록 한다. 이때, 결과 분석 단계에서 정성적 척도를 효과적으로 사용하기 위해 정량화하는 과정이 필요한데, 본 연구에서는 퍼지 집합(Fuzzy-Set)을 사용하여 정량화를 실시한다. 판단의 경계가 애매하고 불분명한 정보들을 퍼지 집합(Fuzzy-Set)을 통해 정량화한다면, 보통 집합(Crisp-Set)을 사용하는 것보다 판단의 불확실성을 반영할 수 있기 때문이다(Jo et al. 2012).

2. 보수작업 대상 선정을 위한 예비적 고찰

2.1 건물의 성능 측정

건물의 성능은 건물의 정확한 사전 보수작업 대상 선정을 위해 정확하게 측정되어야 한다. 성능 측정을 통해, 건물 관리자는 건물의 현재 상태를 점검할 수 있고, 향후에 발생하는 유지 및 수리, 대체 가능 여부 등의 계획을 수립할 수 있다.

Table 1. Literature review to Building performance

Author	Description
Caccavelli and Genre (2000)	- To make a decision to proceed with any project of building refurbishment, this paper is devoted to the methodology used for elaborating database
	Evaluation factors The current state of the building Cost estimation
Lee (2009)	- To propose computer based implementation model for Building Performance Evaluation
	Evaluation factors Building performance itself Performance of exterior effect on building
Oyedele et al. (2011)	- To demonstrate the use of total building performance(TBP) evaluation and diagnostic to assess the performance of an existing office building
	Evaluation factors Spatial, Thermal, IAQ, Visual, Acoustic
Jain and Bhattacharjee (2012)	- To develop CI(Condition Index) of concrete structure using fuzzy concepts
	Evaluation factors Data obtained using visual inspection

Table 1에서 보듯이 기존의 성능 측정에 관한 연구들은 관리자나 사용자처럼 건물의 성능을 측정하고자 하는 주체에 따라 평가 대상과 방법이 다양하게 이루어졌다. 또한 건물의 물리적 측면 이외에도 건물의 기능, 건물을 사용하는 사용자의 만족도, 건물 주변의 환경과 같은 건물 외적인 요인 또한 건물의 성능을 측정하는데 반영되었다. 이처럼 건물의 성능 측정이란 측정하고자 하는 주체에 따라 측정하는 대상이 달라지며, 측정 대상에 따라 방법 또한 다양해지는 것을 알 수 있다(Eweda et al. 2010).

2.2 기존 보수작업 대상 선정에 관한 연구

보수 작업 대상 결정은 건물의 성능 측정 단계와 마찬가지로 평가 주체에 따라 평가 요소와 분석 방법이 다양하다. 예를 들어, 건물 관리자는 보수 작업을 수행하면서 소요되는 비용을 최소화 할 수 있는 방향으로 작업 대상을 선정하고자 하며 건물 사용자는 건물을 사용하면서 느끼는 불편함을 최소화 할 수 있는 방향으로 보수 작업이 이루어질길 바란다. 보수작업의 대상 선정과 관련한 연구들은 평가 주체를 명확히 설정하고 이에 맞는 적절한 평가 요소를 도출하였다. Table 2는 그동안 진행되었던 보수 작업 대상 선정을 위한 기존 연구들에 대한 내용을 보여준다.

Table 2. Literature review to maintenance policy

Author	Purpose	Evaluation factors	Quantization	Score type
Reddy et al. (1993)	Offer a frame based decision support model for building refurbishment	- Physical parameters - Safety - system compatibility - Facility location	○	Crisp set
Shen and Speding (1998)	Introduce the multi-attribute model for priority setting in planned maintenance	- indispensability of the building - Physical condition - Importance of the facility's use - Resultant effect on the users - Effects on service provision	○	Crisp set
Percy and Kobbacy. (2002)	Consider preventive maintenance intervals based on the renewal process and hazards	- Time since last maintenance - Total number of maintenance - Average maintenance interval duration - severity measures of failures - condition measurements	○	Crisp set
Shohet I. M. et al. (2003)	Provide a Key Performance Indicator	- Reinstatement index - Maintenance index - Life cycle cost index	○	Crisp set

Table 2를 통해 기존의 보수 작업 대상 선정을 위한 연구들은 물리적인 상태와 건물의 기능 등의 건물이 가지는 성능과 더불어 작업의 크기, 작업 소요 비용 등 보수 작업 과정 단계에서 발생하는 요소들을 평가 기준으로 활용하였다. 그리고 이에 대한 측정 결과를 수치화하여 작업 대상 선정을 위한 정량적인 분석을 수행하였다.

그러나 사용자 만족도, 건물 기능의 중요도와 같이, 객관적인 수치로 나타내기 어려운 평가 기준들은 평가자의 판단에 근거하여 측정이 이루어지고 측정값은 보통 집합(Crisp-Set)을 이용하여 수치화하여 정량적인 분석을 하는데 사용된다. 하지만 이러한 방법은 평가자의 주관적인 판단으로 인해 나타나는 결과의 불확실성을 반영하지 못하는 단점이 있다. 또한 측정하는 사람의 주관적인 판단이 반영되기 때문에 정확한 결과를 도출 할 수 없다. 이러한 측정의 부정확함은 분석 과정에서 부정확한 결과를 초래하기 때문에 측정의 불확실성을 개선하기 위한 방안을 모색해야한다.

3. 성능 측정 방법

3.1 평가 기준의 정성적 측정

다기준 의사결정 분석 방법(MCDM)에 사용하는 평가 기준들은 수치화된 정확한 정보를 이용하는 정량적인 기준과 평가자가 자신의 경험적 판단을 가지고 평가하는 정성적인 기준으로 분류할 수 있다(Hipel et al. 1993). 작업에 소요되는 비용 또는 작업 시간 등의 정량적 기준들은 정확한 정보를 바탕으로 객관적인 측정을 할 수 있지만 건물의 중요도, 사용자가 만족하는 정도 등과 같은 정성적 평가 기준들은 객관적인 측정이 힘들다. 왜냐하면 성능을 측정하는 평가자의 주관적인 판단이 결과에 반영되고 동일한 평가 대상에 대해서도 평가자들마다 상이한 결과를 일으키기 때문이다(Singh and Tiong 2005).

이러한 정성적 평가 기준은 일반적으로 전문가들이 자신의 경험을 바탕으로 대상을 평가하고 측정하기 때문에 이들의 의도를 보다 정확하게 반영할 수 있는 평가 척도를 사용해야 한다. 일반적으로 “좋다.”, “보통이다.”, “나쁘다.” 등의 언어 변수는 측정값을 점수화하여 평가하는 방법보다 더 정확하게 의도를 반영할 수 있다(Lin and Chen 2004). 또한 판단이 애매모호한 평가 기준에 대해 언어 변수로 나타낸 척도를 사용하여 측정의 불확실성을 반영할 수 있다(Karwowski and Mital 1986).

사전 보수 작업 대상을 결정하기 위해 다기준 의사결정 분석 방법(MCDM)을 이용하고자 할 때, 정성적 평가 기준은 결과를 얻기 위한 객관적인 정보를 얻기 어려워 어떠한 특정한 값으로 결과를 표현하기 힘들다. 결국, 건물 사용자 또는 건물 관리자의 경험적인 판단에 따라 성능을 측정하며 언어 변수를 사용한 정성적 척도를 사용하여 결과를 나타낸다.

3.2 퍼지 집합 이론(Fuzzy-Set Theory)

정성적인 척도를 사용하여 도출한 측정 결과는 작업을 선정하기 위한 분석 과정에서 입력값(Input)으로 사용된다. 측정 결과는 대상 선정을 위한 분석과정에 사용하기 위해 정성적인 정보들을 다른 형태를 변화시켜야 한다. 구체적으로, 언어로 표현되어 있는 측정값은 특정한 수치에 대응시켜서 전문가의 판단을 정량화한다. 이 과정에서 정성적인 값이 가지는 의미가 수학적 형태로 바뀌어도 제대로 반영되도록 변환시키는 것이 중요하다(Klir and Yuan 1995)

언어 변수를 정량적으로 변환하는 방법 중에서, 언어 척도를 특정 값과 대응시키는 보통 집합 이론(Crisp-Set Theory)은 변환과정이 간단하고 분석이 용이하지만 척도 사이의 경계가 분명하여 논의 대상의 차이를 정확히 표현할 수 없어 결국, 평가하는 사람의 의도를 정확히 반영할 수 없다는 단점이 있다.

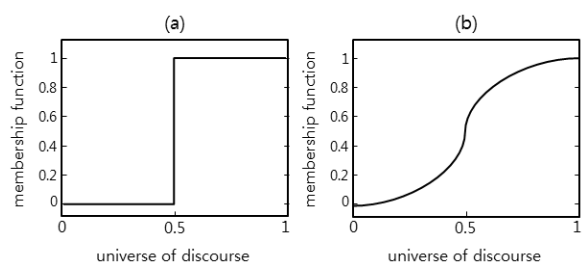


Fig. 1. Membership function with Crisp-set(a) and Fuzzy-set(b) (Walczak and Massart 1999)

Fig. 1을 통해 보통 집합 이론은 논의 대상(universe of discourse)의 값이 0.5를 기준으로 그 이상의 값은 소속 함수가 1이고, 그 이하의 값을 0으로 나타내 논의 대상 사이의 차이를 소속 함수가 제대로 표현하지 못한다(Fig. 1.(a)).

만약, 보통 집합 이론을 사용하여 정성적인 척도를 정량화 할 경우, 보통 집합의 소속 함수는 평가자의 주관적 판단의 차이를 정확하게 표현할 수 없다(Lin and Chen 2004).

반면, 퍼지 집합 이론(Fuzzy-Set Theory)은 인간의 판단을 수치화하고자 할 때, 판단의 불확실성을 포함하기 위해 고안된 방법으로(Zadeh 1965), 경계가 불분명한 소속 함수를 사용하여 인간 판단의 불확실성을 표현한다. 퍼지 집합이론의 소속 함수는 논의 대상 값의 변화에 따라 결과가 달라져 논의 대상 간의 차이를 소속 함수가 분명히 표현할 수 있다(Fig. 1.(b)). 이러한 퍼지 집합 이론은 정성적인 척도를 정량화 하는데 적용하여 평가 기준에 대한 평가자의 의도를 좀 더 정확하게 반영할 수 있다(Baloi and Price 2003).

3.3 퍼지 집합 수를 이용한 정량화

평가 기준 별로 작업 대상을 측정할 때 사용한 정성적인 척도는 각 구간마다 퍼지 집합 수와 이에 대응하는 소속 함수를 설정한다. 퍼지 집합은 보통 \tilde{A} 로 표시하며 전체 집합 X의 각 원소 x가 특정한 구간 내의 어떤 실수로 구성된 하나의 소속 함수 $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 로서 나타난다. 퍼지 집합의 여러 가지의 소속 함수 형태 중에 본 연구에서는 측정이 간단하며, 분석이 용이한 삼각 퍼지 수를 사용하여 정량화한다(Wang et al. 2006). 삼각 퍼지 수 \tilde{n} 은 (l, m, u) 형태로 표시하며 퍼지 수 \tilde{n} 의 소속 함수 $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 정의는 식 1과 같다.

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0 & (x < l) \\ (x-l)/(m-l) & (l < x < m) \\ (u-x)/(u-m) & (m < x < u) \\ 0 & (x > u) \end{cases} \quad (1)$$

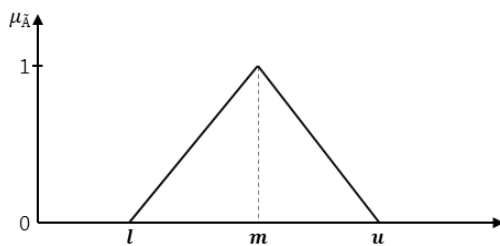


Fig. 2. Fuzzy membership function

본 연구에서는 사전 보수 작업 대상을 결정하기 위한 평가 기준의 중요도 계산과 평가 대상에 대해 성능 측정 단계에서 퍼지 집합 수를 사용하여 측정 결과를 정량화한다.

4. 사전 보수작업 대상 선정 모델 프로세스

본 연구는 사전 보수 작업 계획 수립 시, 작업 대상을 선정하는 과정에서 활용 가능한 지원 모델을 제시한다. 본 연

구에서 제시하는 모델은 총 4가지 단계로 구성되어 있다. 작업 대상 선정모델의 프로세스는 Fig. 3과 같다.

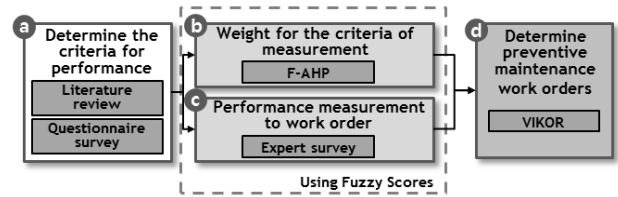


Fig. 3. Decision support model process

우선, 문헌조사와 전문가 설문조사를 통해 사전 보수작업 대상 선정 시, 고려해야하는 건물의 평가 기준을 도출한다. 다음, F-AHP를 사용하여 평가 기준에 대한 가중치를 산정하고, 사전 보수 작업 대상에 대한 성능 측정을 실시한다. 평가 기준의 가중치를 산정하고 작업 대상의 성능 측정하는 단계에서 전문가의 측정은 정성적 척도를 사용하고 다 기준 의사결정 분석을 위해 결과들은 퍼지 집합 수를 사용하여 정량화한다. 마지막으로 평가 기준 별 가중치와 성능 측정 정보를 이용하여 다기준 의사결정 분석 방법(MCDM) 중에 하나인 VIKOR 방법을 사용하여 분석을 수행한다.

4.1 건물 성능 측정을 위한 평가 기준 선정

건물의 보수 작업 대상을 결정하기 위해 필요한 고려 요소들은 다양하다. 작업의 소요 기간이나 자원 투입 비용과 같은 정량적인 평가 측정 항목 이외에도 건물 기능의 중요도, 사용자 만족도와 같이 개인의 주관적인 판단에 의존해야하는 정성적인 평가 기준 또한 주요한 고려 사항이다. 이러한 다양한 평가 기준들을 알아보기 위해 기존의 연구를 분석하여 평가 항목을 도출하였다. 본 연구에서는 건물 보수, 건물 유지관리, 건물 재건 등과 관련한 문헌들을 조사하여 각각의 문헌에서 사전 보수 작업을 선정하는데 제시한 여러 가지의 평가 기준을 종합하였다.

Extracted by literature review		
- Physical condition	- Management expertise	- Safety planning
- Facility location	- Severity of failures	- Visual appealing
- Importance of use	- Return on investment	- System compatibility
- Maintenance cost	- Sufficient manpower	- Maintenance duration
- Availability on equipment and tools	- User satisfaction	- Indispensability of the building
- Cooperation	- Timely submission of required documents	

Determination of criteria	
Physical condition	Importance of Usage
User Satisfaction	Ease of Construction
Progression of Deficiency	Substitutability

Fig. 4. Determination of criteria for preventive maintenance

본 연구에서는 문헌 연구를 통해 획득한 평가 기준을 가지고 사전 보수 작업을 결정하기 위해 필요한 평가 기준을

추출한다. 이를 위해 총 5명의 건축물 유지관리 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문 과정에서 문헌을 통한 평가 기준 도출 외에도 전문가 인터뷰를 통하여 추가적으로 획득한 평가 기준을 함께 고려하였다. 설문을 통해 얻은 결과를 토대로 전문가 모두가 사전 보수 작업 결정을 위해 필요하다고 공통적으로 언급한 6개의 평가 항목을 추출하였으며 이를 재정의 하여 사전 보수 작업을 위한 평가 기준으로 활용한다. Table 3은 사전 보수작업 대상을 결정하기 위한 평가 기준에 대한 설명이다.

Table 3. Criteria for preventive maintenance work order

Criteria	Description
Physical Condition (C ₁)	- Evaluate Physical condition for work objects - Exploit the standard of deflection diagnosis
Importance of Usage (C ₂)	- Evaluate the importance of building functions. - Measured by managers of facility. · Purpose of use, the number of users, frequency of usage
User Satisfaction (C ₃)	- Evaluate the degree of satisfaction by building users - Survey based on people's judgment - Quantization · Comfortability, Safety
Ease of Construction (C ₄)	- Evaluate ease of construction in the course of work - Consider economic side - Input resources per work duration
Progression of Deficiency (C ₅)	- Evaluate the condition of deficiency and predict change - it helps managers to determine the time to repair or replace
Substitutability (C ₆)	- Check possibility that there is other location to replace function during work process

사전 보수작업을 위해 건물의 결함 상태에 대한 평가가 필요하다(Lee 2009). 그리고 건물이 수행하는 역할이 얼마나 중요한지를 평가하는 건물 기능의 중요도와 건물을 사용하는 사용자가 느끼는 만족도에 대해서도 사전 보수작업 대상을 결정하기 위해 고려해야한다(Eweda et al. 2010). 더불어 보수 작업을 진행하는 과정에서도 보수 작업의 용이성(Silva et al. 2004), 작업을 진행하는 동안 건물의 기능을 대체할 수 있는 장소의 유무와 같이 작업 진행하는 동안 고려해야 할 평가 기준들도 사전 보수 작업 대상을 결정하는데 중요한 평가 기준임을 확인하였다. 마지막으로 현재 건물의 결함의 상태를 측정하고 향후에 결함의 진행 정도를 예측하여 보수 작업의 시점을 파악하는 것도 사전 보수 작업 대상을 결정하는데 필요한 평가 기준이다.

4.2 평가 기준 별 가중치 선정

사전 보수작업에서 사용하는 평가 기준의 중요도를 파악하고 향후 분석 단계에서 사용하기 위해 본 연구에서는 퍼지 계층분석법(Fuzzy AHP, 이하 F-AHP)을 이용하여 가중치를 산정한다. F-AHP는 퍼지 집합이론과 AHP분석 방법을

을 결합시킨 방법론으로 전문가들의 주관적인 판단을 이용하는 AHP방법이 가지는 측정의 불확실성을 퍼지 집합을 통해 보완할 수 있는 방법이다. 이를 위해 설문조사를 실시하여 상대적 가중치를 조사하고 정성적인 변수를 이용하여 측정 결과를 퍼지 수로 변환하여 평가 기준의 가중치를 선정한다. 본 연구에서는 Chang(1996)의 연구에서 제안한 방법을 이용하였으며 분석 방법은 Fig. 4과 같다.

우선 관련 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하여 평가 기준 사이의 상대적 중요도를 구하고 평가 기준의 상대적인 가중치를 구하고 산술 평균 방법을 사용하여 결과를 종합한다(Fig. 5(a))(Wang et al. 2006). 이를 이용하여 각 평가 기준마다 퍼지 합성 확장값 \tilde{E}_i (Fuzzy Synthetic Extent Value)를 계산한다. 퍼지 합성 확장값이란 다른 평가 기준 간의 상대적 중요도를 모두 종합하여 해당 기준이 얼마 만큼 중요한지를 나타내는 변수이다(Fig. 5(b)). 어떠한 평가 기준의 퍼지 합성 확장값이 다른 평가 기준의 퍼지 합성 확장값 보다 클 확률을 Fig 5(c)의 계산식을 이용하여 값을 구하고, 모든 평가 기준을 종합하여 가장 크기가 작은 확률 값을 평가 기준의 가중치로 정한다(Fig. 5(d)). 마지막으로, 평가 기준 별로 획득한 확률 값을 정규화 과정을 거쳐 평가 기준별 가중치로 사용한다(Fig. 5(e)).

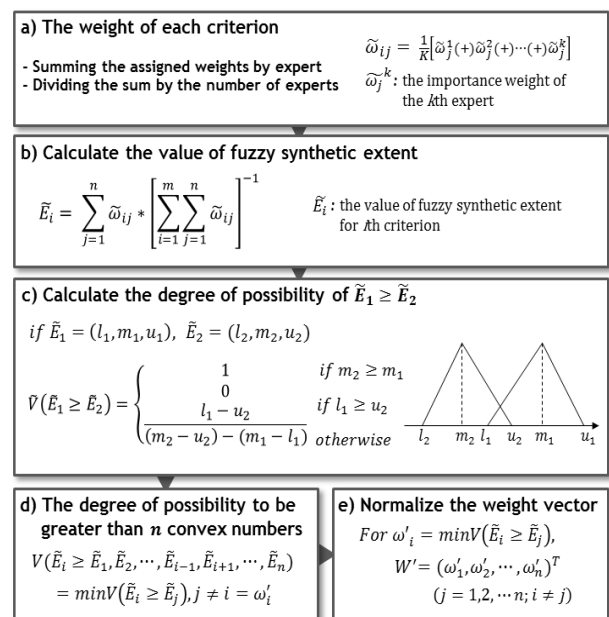


Fig. 5. Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (Chang 1996)

퍼지 계층분석법에서는 언어 변수로 표현한 정성적인 척도의 정량화를 위해 언어 척도를 퍼지 집합 수로 변환하는 과정이 이루어진다. 본 연구에서는 Kaya와 Kahraman(2010)의 연구에서 사용한 검증된 삼각 퍼지 집합 수를 사용하여 측정을 실시한다(Table 4).

Table 4. Fuzzy scores for the weights (Kaya and Kahraman 2010)

Linguistic terms	Fuzzy Score
Absolutely Strong (AS)	(2, 2.5, 3)
Very Strong (VS)	(1.5, 2, 2.5)
Fairly Strong (FS)	(1, 1.5, 2)
Slightly Strong (SS)	(1, 1, 1.5)
Equal (E)	(1, 1, 1)
Slightly Weak (SW)	(0.66, 1, 1)
Fairly Weak (FW)	(0.5, 0.66, 1)
Very Weak (VW)	(0.4, 0.5, 0.66)
Absolutely Weak (AW)	(0.33, 0.4, 0.5)

4.3 평가 대상 성능 측정

이전 단계에서 얻은 6개의 평가 기준을 가지고 보수 수리 작업 평가 대상의 성능을 측정한다. 성능 측정은 건물 보수와 관련한 전문가와 건물을 관리하는 관리자, 그리고 해당 평가 대상 건물을 사용하는 사용자를 대상으로 측정을 실시한다. 평가 대상 건물과 관련된 다양한 주체들을 대상으로 성능을 측정함으로써 각각의 주체들의 판단을 모두 반영할 수 있기 때문이다.

성능 측정 방법은 평가 기준의 가중치를 구하는 과정과 마찬가지로 언어 변수로 표현된 정성적인 척도를 퍼지 집합 수로 변환하기 위해 Kaya와 Kahraman(2010)의 연구에서 사용한 수를 사용한다(Table 5).

Table 5. Fuzzy scores for the work order (Kaya and Kahraman 2010)

Linguistic terms	Fuzzy score
Very Poor (VP)	(0, 0, 1)
Poor (P)	(0, 1, 3)
Medium Poor (MP)	(1, 3, 5)
Fair(F)	(3, 5, 7)
Medium Good (MG)	(5, 7, 9)
Good (G)	(7, 9, 10)
Very Good (VG)	(9, 10, 10)

4.4 작업 대상 선정을 위한 분석

이 단계에서는 이전 단계에서 얻은 평가 기준 별 가중치와 작업 대상의 성능 측정 결과를 가지고 사전 보수작업의 대상을 선정하기 위한 분석을 실시한다. 분석 방법은 여러 가지의 평가 기준을 종합적으로 분석할 수 있는 다기준 의사결정 분석 방법(MCDM)을 적용하였으며, 그 중에서도 1998년 Opricovic이 제안한 VIKOR방법을 이용하여 분석을 실시한다. VIKOR방법은 의사결정 과정에서 평가 기준마다 서로 상충되는 결과가 나타나 의사결정을 하는데 어려움을 주는 경우에 적합한 방법이다(Opricovic 1998). VIKOR방법은 의사결정 과정에서 모든 기준을 만족시키는 대안은 존재하지 않는다는 생각에서 출발한 분석 방법으로 효과적인 의사결정을 위해 절충적 평가값(Compromise Value)을 도출하여 의사결정을 하는데 사용한다. 절충적 평가값이란 평가 기준마다 서로 상충되는 결과가 발생하여 의사결정을

하기 어려운 경우, 평가 기준 사이의 적정 수준을 판단하여 의사결정을 위한 척도로 활용할 수 있는 값이다. 구체적으로 평가 기준 별로 작업 수행을 위한 가장 이상적인 경우를 선정하고 측정 대상과의 상대적 차이를 계산한다. 계산을 통해 얻은 결과는 크기에 따라 분류되고 이는 의사결정을 위한 척도로 사용 가능하다(Opricovic and Tzeng 2004).

본 연구에서는 VIKOR분석 방법에 퍼지 집합 수를 결합하여 분석을 실시한다. 분석 과정은 Opricovic(2011)의 제안한 방법을 사용하였으며 분석 과정은 Fig 6과 같다.

평가 대상의 성능을 측정된 결과는 산술평균을 사용하여 종합하고 이를 평가 기준 별로 분류한다. 이때, 구분이 쉽고 계산이 용이하게 하기 위해 행렬 형태로 바꾸어서 계산을 수행한다(Fig. 6(a)).

다음으로 평가 기준마다 기준이 되는 이상적인 상태를 정하고 이를 이상값(Ideal value)으로 나타낸다(Fig. 6(b)). 이상적 상태 설정은 의사결정자에 따라 달라지며 본 연구에서는 각 평가 기준 별로 보수 작업이 필요한 상태를 이상적인 상태를 정하고 분석을 실시한다. 평가 기준에 대한 이상값은 Table 6과 같다.

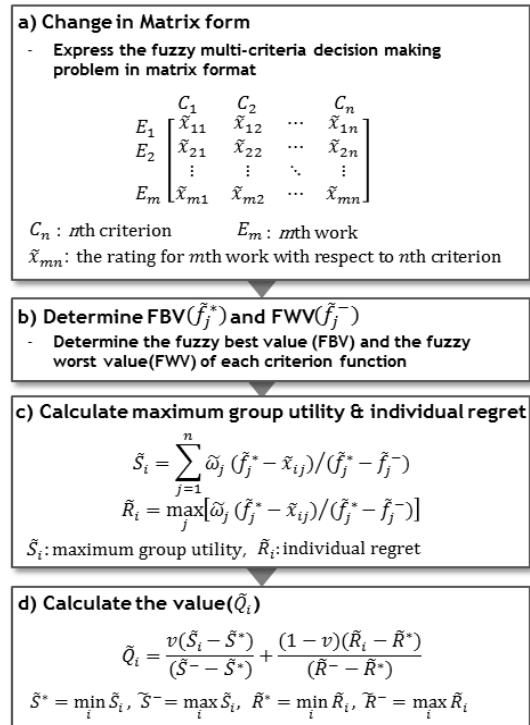


Fig. 6. VIKOR analysis (Opricovic 2011)

Table 6. Ideal value to the criteria

the value	Evaluation Criteria
$\tilde{f}_j^* = \min_i \tilde{x}_{ij}$	Physical Condition, C1
	User Satisfaction, C3
	Substitutability, C6
$\tilde{f}_j^- = \max_i \tilde{x}_{ij}$	Importance of Usage, C2
	Ease of Construction, C4
	Progression of Deficiency, C5

Table 8. The results to pairwise comparison on criteria

	Physical Condition	Importance of Usage	User Satisfaction	Ease of Construction	Progression of Deficiency	Substitutability
Physical Condition	(1 1 1)	(0.45 0.58 0.83)	(1.07 1.36 1.78)	(1.03 1.25 1.58)	(0.86 1.14 1.42)	(1.03 1.25 1.67)
Importance of Usage	(1.25 1.75 2.25)	(1, 1, 1)	(0.83 1.11 1.39)	(1.33 1.58 2)	(0.91 1.25 1.5)	(1 1.33 1.75)
User Satisfaction	(0.79 1.09 1.44)	(0.97 1.26 1.67)	(1, 1, 1)	(1 1.32 1.58)	(0.9 1.11 1.44)	(1.01 1.17 1.44)
Ease of Construction	(0.7 0.86 1.03)	(0.63 0.73 0.89)	(0.93 1.11 1.36)	(1, 1, 1)	(0.94 1.19 1.5)	(0.89 1.03 1.17)
Progression of Deficiency	(0.82 1.03 1.36)	(0.76 0.86 1.19)	(0.84 1.11 1.36)	(0.76 0.94 1.23)	(1, 1, 1)	(0.8 1.03 1.17)
Substitutability	(0.65 0.86 1.03)	(0.61 0.77 1)	(0.86 1.07 1.25)	(0.83 0.89 1.17)	(0.92 1.03 1.33)	(1, 1, 1)

예를 들어, 물리적 상태(C1) 측정은 성능이 가장 낮은 결과를 이상값으로 설정하고, 건물의 중요도(C2)는 가장 중요한 기능을 수행하는 평가 대상이 우선적으로 보수 작업이 이루어 질 수 있도록 가장 높은 결과를 이상값으로 정한다. 부이상값은 이상값과 반대의 개념으로 이상값과 차이가 가장 많이 나는 결과를 부이상값으로 정한다.

각 평가 기준 별 이상값과 부이상값을 이용하여 평가 대상에 대한 최대그룹 효용값(Maximum group utility) \tilde{S}_i 과 기준별 후회도(Regret of individual) \tilde{R}_i 를 계산한다(Fig. 6(c)). 최대그룹 효용값은 평가 기준 별로 성능과 이상값의 차이에 가중치를 곱하여 얻은 결과를 모두 더하여 값을 구하고 이는 모든 평가 기준에 대하여 측정 대상이 이상적인 상태와 얼마나 차이가 발생하는지를 파악할 수 있는 지표로 활용할 수 있다. 반면, 기준별 후회도는 평가 기준마다 가장 이상적인 상태와 거리가 먼 값을 의미하며 이상값과의 차이와 가중치를 곱하여 얻은 결과 중에 가장 큰 값으로 정한다.

측정 대상별로 최대 그룹 효용값과 기준별 후회도를 정하고 이를 이용하여 절충적 평가값을 계산한다(Fig. 6(d)). 절충적 평가값은 최대그룹 효용값과 기준별 후회도 간의 가중치 조정을 통해 결과가 달라지는데 이를 통해 의사결정자는 자신이 정하는 가중치 값에 따라 절충적 평가값을 다르게 할 수 있다.

5. 사례 적용 및 분석

본 연구에서 제시한 지원 모델 실제 사례에 적용해보기 위해 사례 분석을 실시하였다. 적용 대상은 서울에 위치한 20층 높이의 2중 근린 생활 시설 건물이며 해당 건물의 콘크리트 균열 보강을 위한 사전 보수작업을 수행하는데 본 연구에서 제시한 방법을 적용하였다.

콘크리트의 균열은 콘크리트 구조물의 철근 부식과 누수, 알칼리화, 피로도 증가 등의 이차적인 문제점을 발생시킬 수 있다(Kant and Bhattacharjee 2012). 따라서 콘크리트의 균열은 향후에 건물의 결함 발생을 판단할 수 있는 징후로 사용할 수 있다. 그리고 콘크리트 균열 보수 작업은 균열의 크기, 발생 위치, 발생 원인에 따라 보수 방법이 달라진다. 이는 작업 비용이나 기간에 영향을 미치기 때문에 보수작

업을 수행할 경우 작업 대상을 정확히 선택 하는 것이 중요하다(Moodi and Knapton 2003). 본 연구에서는 건물의 균열 진단 결과를 토대로 미국 ACI 224위원회에서 규정한 허용 균열 폭 안에 있는 대상 12개를 선정하였다(Table 7).

Table 7. The conditions to Building crack diagnosis

	Purpose of use	Floor	Location	Crack Size (Width)	Crack area ratio
E ₁	The machine room	B2F	Slab	0.3~0.4mm	Under 20%
E ₂	Office	14F	Slab	0.2~0.3mm	Under 20%
E ₃	Underground Parking	B2F	Slab	0.1~0.2mm	Under 20%
E ₄	Mass Storage	4F	Slab	0.2~0.3mm	Under 20%
E ₅	Outdoor Parking	1F	Slab	0.3~0.4mm	Under 20%
E ₆	Rooftop	18F	Slab	0.2~0.3mm	Under 20%
E ₇	Kitchen	5F	Slab	0.2~0.3mm	Under 20%
E ₈	Lobby	1F	Beam	0.3~0.4mm	Under 20%
E ₉	Office	18F	Beam	0.2~0.3mm	Under 20%
E ₁₀	Underground Parking	B2F	Beam	0.2~0.3mm	Under 20%
E ₁₁	Office	14F	Column	0.1~0.2mm	Under 20%
E ₁₂	Meeting room	6F	Column	0.2~0.3mm	Under 20%

5.1 평가 기준별 가중치 선정

사전 보수작업 대상을 선정하기 위한 평가 기준 가중치를 구하기 위해 관련 분야에서 10년이상 종사한 대학교 시설과 직원, 대학 교수, 기업체 직원 등 총 25명을 대상으로 설문 조사를 실시하였다. 설문 조사를 통해 얻은 결과 중에 일관도 측정(Consistency Index, 이하 CI)값이 0.1보다 큰 7개의 설문지를 제외한 18개의 결과를 이용하여 가중치를 구하였다. Table 8.은 설문조사를 통해 얻은 평가 기준 간의 쌍대 비교 결과이며 Table 9는 평가 기준에 대한 퍼지 합성 확장값과 평가 기준별 가중치이다.

Table 9. The weights of criteria

	Fuzzy Syntentic Extent Value (E_i)	The weight of criteria	
		w'_i	w_i
C ₁	(0.113 0.167 0.255)	0.77	0.17
C ₂	(0.131 0.204 0.305)	1	0.23
C ₃	(0.118 0.177 0.265)	0.832	0.19
C ₄	(0.106 0.154 0.219)	0.637	0.14
C ₅	(0.103 0.152 0.225)	0.643	0.14
C ₆	(0.101 0.143 0.209)	0.561	0.13

Table 10. The results to performance measurement

	Physical Condition		Importance of usage		User satisfaction		Ease of construction		Progression of deficiency		Substitutability	
	Fuzzy score	rank	Fuzzy score	rank	Fuzzy score	rank	Fuzzy score	rank	Fuzzy score	rank	Fuzzy score	rank
E ₁	(0.25 1.25 3.0)	1	(6.50 8.50 9.75)	1	(2.75 4.50 6.50)	12	(1.0 3.0 5.0)	12	(3.5 5.5 7.5)	3	(0.75 2.0 4.0)	5
E ₂	(2.0 4.0 6.0)	9	(3.00 5.00 7.00)	9	(0.75 2.50 4.50)	3	(3.5 5.5 7.5)	2	(1.25 2.75 4.5)	12	(3.0 5.0 7.0)	10
E ₃	(1.0 3.0 5.0)	4	(5.50 7.50 9.25)	4	(1.75 3.50 5.50)	8	(3.0 5.0 7.0)	4	(2.75 4.5 6.5)	6	(1.75 3.5 5.5)	8
E ₄	(0.5 4.0 5.0)	6	(5.50 7.50 9.25)	4	(1.75 3.50 5.50)	8	(2.5 4.5 6.5)	8	(4.5 6.5 8.5)	1	(0 1.0 3.0)	1
E ₅	(0.75 2.50 4.50)	2	(3.00 5.00 7.00)	9	(1.75 3.50 5.50)	8	(4.25 6.0 7.75)	1	(1.5 3.0 5.0)	9	(3.5 5.5 7.5)	12
E ₆	(1.75 3.50 5.50)	8	(6.50 8.50 9.75)	1	(0.25 1.25 3.00)	1	(2.0 4.0 6.0)	11	(3.0 5.0 7.0)	5	(0 1.0 3.0)	1
E ₇	(1.50 3.50 5.50)	7	(4.00 6.00 8.00)	7	(0.75 2.50 4.50)	3	(2.5 4.5 6.5)	8	(4.0 6.0 8.0)	2	(1.5 3.0 5.0)	7
E ₈	(0.75 2.50 4.50)	2	(6.00 8.00 9.25)	3	(0.50 1.75 3.50)	2	(2.5 4.5 6.5)	8	(1.25 3.0 5.0)	10	(0 1.0 3.0)	1
E ₉	(3.00 5.00 7.00)	11	(2.50 4.50 6.50)	12	(1.00 2.50 4.50)	6	(3.0 5.0 7.0)	4	(1.25 3.0 5.0)	10	(3.5 5.5 7.25)	11
E ₁₀	(1.25 3.00 5.00)	5	(4.00 6.00 8.00)	7	(0.75 2.50 4.50)	3	(3.5 5.5 7.5)	2	(3.5 5.5 7.5)	3	(1.25 3.0 5.0)	6
E ₁₁	(4.00 6.00 8.00)	12	(3.00 5.00 7.00)	9	(1.50 3.50 5.50)	7	(3.0 5.0 7.0)	4	(1.75 3.25 5.0)	8	(2.0 4.0 6.0)	9
E ₁₂	(2.50 4.50 6.50)	10	(4.50 6.50 8.50)	6	(2.00 4.00 6.00)	11	(2.75 4.5 6.5)	7	(1.75 3.5 5.5)	7	(0.5 2.0 4.0)	4

가중치 산정 결과 모든 평가 기준이 비슷한 중요도를 가지는 것으로 보였고 이 중에서, 건물이 가지는 기능의 중요도(C₂)가 평가 기준 중에 중요도가 가장 높은 것으로 나타났다.

5.2 작업 대상 성능 측정

성능 측정은 시설물 관리 업체 직원 2명과 건물 관리자, 건물물을 사용하는 사용자 3명 등 총 6명이 실시하였다. 물리적인 상태, 시공의 용이성, 결함의 진행 정도에 대해 시설물 관리 업체 직원이 측정을 실시하였다. 측정은 균열의 폭과 발생 부위, 층수를 이용하여 전문가의 정성적인 판단을 통해 측정하였다. 사용자 만족도 및 기능의 중요도, 대체 가능성은 건물 사용자와 관리자의 주관적인 판단을 정성적인 변수를 사용하여 측정하였다. Table 10은 평가 대상자들의 측정 결과를 종합한 퍼지 집합수를 나타내며 각 평가 기준 마다 결과를 사전 보수 작업이 필요한 순서대로 순위를 선정하였다. 순위는 평가 기준의 이상값과 가장 가까운 순서대로 선정하였으며, 측정 결과의 비교를 용이하게 하기 위해 퍼지 집합 수를 비퍼지수로 바꾸어 순위를 선정하였다. 비퍼지화를 위해 본 연구에서는 최대 평균법을 사용하였고 구하는 방법은 식 2와 같다(Mandani 1977).

$$A_{def} = \frac{l + 2m + u}{4} \quad (2)$$

5.3 VIKOR분석

평가 기준의 가중치와 평가 대상의 측정 결과를 이용하여 VIKOR분석을 수행하였다. Table 11은 VIKOR분석을 통해 도출한 최대 그룹 효용값(\bar{S}_i)과 기준별 후회도(\bar{R}_i), 그리고 이들을 종합한 절충적 평가값(\bar{Q}_i)이다. Table 11의 절충적 평가값은 최대 효용 가중치(v) 0.5를 대입하여 결과를 얻었고 비퍼지화를 위해 성능 측정 결과와 마찬가지로 최대 평균법을 사용하였다. 분석 결과, 절충적 평가값이 작을수록

이상값과 가까우며 이는 작업의 효용을 향상시키기 위해 가장 보수 작업이 먼저 이루어지는 것이 효과적이라도 해석 할 수 있다. 평가 대상 중에서 옥상에 위치한 보의 균열(E₆)이 사전 보수 작업 대상 중에서 가장 먼저 작업이 필요한 것으로 나타났다(Table 11).

Table 11. VIKOR analysis results (v=0.5)

	Maximum group utility (\bar{S}_i)			Regret of individual (\bar{R}_i)			Compromise value (\bar{Q}_i)			Q_i	Rank
E ₁	0.155	0.185	0.198	0.076	0.099	0.106	0.361	0.390	0.403	0.396	7
E ₂	0.220	0.309	0.331	0.087	0.111	0.111	0.521	0.644	0.654	0.615	10
E ₃	0.134	0.207	0.227	0.046	0.068	0.076	0.180	0.282	0.305	0.262	5
E ₄	0.093	0.148	0.167	0.046	0.068	0.076	0.113	0.185	0.207	0.172	3
E ₅	0.214	0.290	0.306	0.087	0.111	0.111	0.511	0.630	0.623	0.598	9
E ₆	0.100	0.123	0.135	0.036	0.049	0.055	0.052	0.052	0.081	0.059	1
E ₇	0.138	0.213	0.232	0.056	0.079	0.079	0.234	0.330	0.345	0.309	6
E ₈	0.128	0.163	0.176	0.067	0.073	0.075	0.215	0.229	0.274	0.236	4
E ₉	0.277	0.351	0.371	0.103	0.127	0.127	0.691	0.787	0.799	0.766	12
E ₁₀	0.121	0.192	0.211	0.022	0.038	0.044	0.047	0.115	0.127	0.107	2
E ₁₁	0.285	0.381	0.403	0.087	0.111	0.111	0.628	0.763	0.773	0.731	11
E ₁₂	0.226	0.314	0.330	0.057	0.084	0.091	0.388	0.532	0.548	0.5	8

옥상 부위에 발생한 균열은 건물 누수에 영향을 미치고 이에 따라 사용자에게 불편함을 줄 수 있기 때문이다. 측정 결과(Table 10)를 통해서 E₆의 기능의 중요도와 사용자 만족도는 가장 높은 순위를 기록하였고 이것은 평가 대상 중에 옥상이 가지는 기능이 가장 중요하고 사용자 만족도 또한 가장 낮아 보수 작업이 가장 먼저 필요한 대상이라고 할 수 있다. 반면, 가장 낮은 순위를 기록한 사무실 보의 균열(E₉)은 물리적 측면에서 결함이 심하지 않고 사무실은 다른 평가 대상에 비해 중요도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 사무실의 기능을 대체할 수 있는 공간이 존재하기 때문에, E₉은 예방 차원에서 가장 늦게 보수 작업을 수행해도 무방하다고 해석할 수 있다.

절충적 평가값을 계산할 때 사용하는 최대 그룹 효용 가중치(v)는 최대그룹 효용과 기준별 후회도 간의 중요도 사이의 상대적인 중요도를 나타내는 변수이다. 의사결정자는 자기가 선정한 최대 그룹 효용 가중치를 적용하여 절충적 평가값을 다르게 얻을 수 있다. Table 12는 가중치 변화에 따른 E_1 와 E_7 의 절충적 평가값이다.

Table 12. The compromise value by the Utility of majority weight's change

	Q_i	
	$v = 0$	$v = 1$
E_1	0.565	0.207
E_7	0.346	0.267

최대 효용 가중치가 0일 경우, E_1 의 절충적 평가값이 높게 나타났지만, 가중치에 1을 대입할 경우, 다소 관계가 달라지는 것으로 나타났다. 이러한 변화는 의사결정자가 의사결정을 하는데 영향을 미칠 수 있으며, 만약 가중치에 따라 상충되는 결과가 발생할 경우, 보수 작업의 최대 효용을 도출하기 위해 적절한 가중치 값을 선정함으로써 의사결정자의 의도에 적합한 의사결정 척도를 얻을 수 있다.

6. 결론

시설물 성능 유지에 대한 필요성이 증가하면서 건물의 예방 점검과 사전 보수작업에 대한 관심과 중요성 또한 늘어나고 있다. 이에 본 연구에서는 효과적인 보수작업의 전략을 수립하기 위해 사전 보수작업 대상을 선정하기 위한 평가 모델을 제시하였다.

본 모델은 건물의 사용 목적에 따라 달라지는 요구 성능을 반영하여 동종의 보수작업에서 작업이 필요한 대상을 선정하였다. 그리고 시공의 용이성, 대체 가능성과 같은 보수작업 과정에서 고려해야 하는 기준들에 대한 평가가 함께 이루어졌다. 이러한 평가 기준들은 전문가 설문조사와 AHP 평가 방법을 통해서 중요도를 도출하고 VIKOR 방법을 이용하여 절충적 평가값을 구하여 작업 대상을 선정하는데 활용할 수 있다. 그리고 본 모델은 설문 과정에서 전문가들의 주관적인 판단과 측정에 대한 불확실성 등을 보완하기 위해 퍼지 집합수를 사용하였다. 평가 과정에서 보통 함수(Crisp set)가 아닌 퍼지 집합수를 이용함으로써 측정의 정확성을 높일 수 있었다. 이를 실제 건물의 안전 진단을 통해 얻은 균열 상태 점검 결과를 이용하여 사전 보수작업 대상 선정을 위한 평가를 실시하였다.

본 연구의 작업 대상 선정 평가 모델은 의사결정자가 사전 보수작업이 필요한 대상에 대한 상태 점검과 작업 수행 여부를 수행해야 하는 상황에서 사용할 수 있다. 특히 물리

적 상태 측정뿐만 아니라 여러 요소들을 동시에 고려했다는 점에서 사용자의 불편을 줄이고 효과적인 작업 대상 선정이 이루어질 수 있다. 그리고 관리자 측면에서의 건물의 성능 측정과 사용자 관점에서의 성능 측정을 모두 반영함으로써 시설물 참여자들을 모두 만족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

본 모델은 전문가들의 주관적인 측정을 기반으로 하는 모델이므로, 향후 모델의 활용도 증가와 신뢰도 향상을 위해서는 몇 가지의 추가적인 연구가 필요하다. 먼저 전문가들의 측정 대상 성능 측정 단계에서 더 정확한 측정을 위해 평가 척도별로 개략적인 가이드라인을 제시한다면 다양한 전문가의 주관적 차이를 줄이고 측정의 정확성을 향상시킬 수 있을 것이다. 그리고 작업에 소요되는 비용 요소를 추가한 주어진 예산 내의 보수작업 수행 여부를 이용하여 효율적인 의사결정 지원 모델로 발전할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업(09첨단도시A01) 결과의 일부이며, 서울대학교 건설환경종합연구소의 연구비 지원으로 수행되었음에 감사의 뜻을 표합니다.

References

- Amaratunga, D., Baldry, D. and Sarshar, M. (2000) "Assessment of facilities management performance-what next?", *Facilities*, 18(1), pp. 66-75.
- Baloi, D. and Price A. D. (2003) "Modelling global risk factors affecting construction cost performance" *International Journal of Project Management* 21(4), pp. 261-269.
- Bashiri, M., Badri, H. and Hejazi, T.H. (2001). "Selecting optimum maintenance strategy by fuzzy interactive linear assignment method." *Applied Mathematical Modelling*, 35(1), pp. 152 - 164.
- Caccavelli, D., and Genre, J. L. (2000). "Diagnosis of the degradation state of building and cost evaluation of induced refurbishment works" *Energy and Buildings*, 31(2), pp. 159-165.
- Chang, D. Y. (1996). "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP." *European Journal of Operations Research*, 95(3), pp. 649-655.
- Douglas, J. (1996) "Building performance and its relevance to facilities management", *Facilities*, 14(3), pp. 23-32.
- Eweda, A., Zayed, T and Alkass, S (2010) "An Integrated Condition Assessment Model for Buildings", *Construction*

- Research Congress 2010* Banff, Alberta, 8~10 May, pp. 1386~1395.
- Moodi, F. and Knapton. J. (2003) "Research into a management system for Diagnosis, Maintenance, and repair of concrete Structures" *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(5) pp. 555-561.
- Hao. Q. et. al., (2010), "A decision support system for integrating corrective maintenance, preventive maintenance and condition-based maintenance.", *Proceedings of Construction Research congress 2010*. pp.8-11.
- Hipel, K. W., Radford k. J. and Fang L. (1993) "Multiple participant-multiple criteria decision making", *System, Man and Cybernetics*, 23(4), pp. 1184-1189.
- Jo, H., Jeong, J., Jung, J., and Lee, C. (2012). "Fuzzy based condition assessment model of middle and small-size buildings", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 13(5), pp. 35-44.
- Kant, J. K. and Battacharjee, B. (2012) "Application of Fuzzy Concepts to the Visual assessment of deteriorating reinforced concrete structures", *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), pp. 399-408.
- Karwowski, W., and Mital, A. (1986) "Applications of fuzzy set theory in human factors" Vol. 6. Elsevier Science Ltd.
- Kaya, T. and Kahraman, C. (2010). "Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: the case of Istanbul." *Energy*, 35(6), pp. 2517~2527.
- Klir, G. J., and Yuan, B. (1995) "Fuzzy sets and fuzzy logic", New jersey Prentice Hall.
- Lavy, S. and Bilbo, D. L. (2009). "Facilities maintenance management practices in large public schools, Texas." *Facilities*, 27(1), pp. 5~20.
- Lee, D. and Kim, Y. (2003). "A study on the Decision Making Model for Construction Projects using Fuzzy-AHP and Fuzzy-Delph", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 4(1), pp. 81-89.
- Lee, M. (2009) "A study on the development of building performance evaluation model", *Journal of Architectural Institute of Korea*, 25(2), pp. 13-20
- Lin, C. T. and Chen. Y. T. (2004) "Bid/no-bid decision making-a fuzzy linguistic approach" *International Journal of Project Management*, 22(7), pp. 585-593.
- Lind, H. and Muyingo, H. (2012). "Building maintenance strategies: planning under uncertainty." *Property Management*, 30(1), pp. 14~28.
- Mandani, E. H. (1977) "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis," *Computers.*, 100(12), pp. 1182-1191.
- Opricovic, S. (1998) "Multicriteria Optimization in Civil Engineering" Faculty of Civil engineering, Belgrade.
- Opricovic, S. (2011). "Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning" *Expert Systems with Applications*, 38(10), pp. 12983~12990.
- Opricovic, S. and Tzeng, G. H. (2004) "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS" *European Journal of Operational Research*, 156(2), pp. 445-455.
- Oyedele, L., Tham, K., Fadeyi, M., and Jaiyeoba, B. (2012). "Total Building Performance Approach in Building Evaluation: Case Study of an Office Building in Singapore." *Journal of Energy Engineering*, 138(1), 25 - 30.
- Percy, D. F., & Kobbacy, K. A. (2000). "Determining economical maintenance intervals". *International Journal of Production Economics*, 67(1), pp. 87-94
- Pitt, T. J. (1997). "Data requirements for the prioritization of predictive building maintenance", *Facilities*, 15(3) pp. 97~104.
- Reddy, P. V., Socur, M. and Ariaratnam, S. T. (1993), "Building renovation decision support model", *In Computing in Civil and Building Engineering*, pp. 1547-1554
- Shohet, I. M., Lavy-Leibovich, S., & Bar-On, D. (2003). "Integrated maintenance monitoring of hospital buildings" *Construction Management and Economics*, 21(2), pp. 219-228.
- Shen, Q., and Spedding, A. (1998). "Priority setting in planned maintenance-practical issues in using the multi-attribute approach". *Building Research and Information*, 26(3), pp. 169-180.
- Silva, N. de., Dulaimi, M. F., Ling, F. Y. and Ofori, G. (2004) "Improving the maintainability of buildings in Singapore" *Building and environment*, 39(10), pp. 1243-1251.
- Singh, D. and Tiong, R. L. K. (2005) "A Fuzzy Decision Framework for Contractor Selection", *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(1), pp. 62-70.
- Walczak, B., and Massart, D. L. (1999) "Rough sets theory", *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 47(1), pp. 1-16.
- Wang, T. C., Liang, L. J. and Ho, C. Y. (2006). "Multi-criteria decision analysis by using fuzzy VIKOR" *Proceedings of International Conference on Service Systems and Service Management*, Troyes, pp.901~906.
- Williams, B. (1993) "'What a performance!'", *Property*

Management, 11(3), pp. 190-91.

Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets", *Information and Control*, 8(3) pp. 338~353.

요약: 건물의 사전 보수작업은 시설물이 제 기능을 발휘할 수 있도록 성능을 유지하고 향후에 발생할 수 있는 결함을 미연에 방지할 수 있다는 점에서 관심과 중요성이 증가하고 있다. 효과적인 사전 보수작업 수행을 위해 보수작업이 필요한 대상을 명확히 선정해야 하며 이를 위해 작업 대상이 가지는 상태에 대한 정확한 분석과 평가가 선행되어야 한다. 작업 대상의 성능 측정은 하나의 평가 기준에 대한 평가 보다는 여러 개의 평가 기준들을 동시에 고려한 평가가 측정의 정확성을 향상시킬 수 있다. 하지만 의사결정자의 주관적인 판단에 의해 측정값이 부정확한 평가 기준들이 존재할 수 있다. 이를 보완하고자 본 연구는 다양한 평가 기준을 이용한 사전 보수작업 대상의 성능 측정과 효과적인 작업 대상 선정을 위한 의사결정 지원 모델을 제시한다. 본 연구는 작업 대상 선정을 위한 평가 기준을 선정하고 기준별로 측정값을 종합하여 의사결정 과정에서 활용할 수 있도록 한다. 또한 건물의 상태 측정 시, 평가자의 주관적인 판단의 애매함으로 인해 발생하는 결과의 불확실성을 보완하고자 퍼지 집합을 사용하여 측정을 실시한다. 본 연구를 통해 의사결정자는 보수작업 대상 선정 과정에서 객관적인 평가를 위한 도구로 활용할 수 있다. 또한 본 모델은 의사결정자의 주관적인 의도에 따른 다양한 절충값을 얻을 수 있어, 의사결정자별 상이한 평가 방식을 반영할 수 있다.

키워드 : 사전보수작업, 의사결정 지원 모델, 퍼지 집합수, AHP, VIKOR
