

철근콘크리트 건축물의 평가항목간 상관관계 분석을 통한 상태평가방법 개선에 관한 연구

우혜성¹, 이원호^{2*}, 황경란³, 이관형⁴

A Study on the Improvement of Condition Evaluation Method through Correlation Analysis between Evaluation Items of Reinforced Concrete Buildings

Hye-Sung Woo¹, Waon-Ho Yi^{2*}, Kyung-Ran Hwang³, Kwan-Hyeong Lee⁴

Abstract: In the case of precise safety inspection and precise safety diagnosis of a building, a condition evaluation must be conducted to determine the safety grade. Since 2004, an evaluation method using fuzzy theory has been introduced for quantitative condition evaluation, and the relationship and importance of reinforced concrete members using fuzzy theory have been applied. Generally, fuzzy theory is a method used to deal with ambiguous expressions with unclear correlations, but at the time of development, it seems that it was developed by applying fuzzy theory as an alternative in a situation where inspection and diagnosis result data were insufficient. Therefore, it is necessary to verify the relationship and importance of evaluation items derived based on the current fuzzy theory using actual inspection and diagnosis result data. In this study, the correlation between the evaluation items was derived by using the results of 19 precision safety inspections and 9 precision safety inspections and the performance score function formula, and using this, a reasonable durability score calculation formula of the member was presented.

Keywords: Condition evaluation, Correlation, Evaluation method, Precision safety inspection, Precision safety diagnosis, Fuzzy theory

1. 서 론

시설물통합정보관리시스템에 등록되어 있는 건축물 가운데 제1종시설물과 2종시설물은 2020년 12월말 기준으로 71,535개소이며, 이중 제1종시설물은 2,896개소, 제2종시설물은 68,639개소이다. 제1종시설물과 제2종시설물은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에 따라 정밀안전점검 및 정밀안전진단을 정기적으로 실시하여야 하며, 실시 시기는 해당 건축물의 안전등급에 따라 결정된다. 건축물의 안전등급은 건축물의 상태(내구성)평가, 기울기 및 침하, 안전성 평가 세가지를 종합하여 결정되며, 상태평가와 기울기 및 침하는 육안조사와 현장시험 결과를 종합하여 실시하며, 안전등급은 A~D까지 5단계 등급으로 구분한다. 점검 및 진단주기는 A등급, B·C등급, D·E등급 3구간으로 구분되어 결정

되며, 이에 따라 소요되는 비용이 변화될 수 있기 때문에 안전등급의 결정은 객관적이고 명확하여야 한다.

국토안전관리원은 건축물의 상태평가를 객관적이고 정량화하기 위해 퍼지이론을 기반으로 평가기법을 개발하여 2004년부터 보급하였다.(KISTEC, 1999; KISTEC, 2002a; KISTEC, 2002b) 일반적으로 퍼지이론은 상관관계가 명확하지 않고, 모호한 표현을 처리할 때 사용되는데 이 평가기법을 개발할 당시에는 축적된 점검 및 진단 결과자료들이 부족한 상황에서 평가항목 간의 상관관계와 중요도 등을 정하기 위해 대안으로 퍼지이론을 적용한 것으로 사료된다.

따라서 정밀안전점검 및 정밀안전진단 결과자료를 이용하여 현재 퍼지이론을 이용하여 정의된 평가항목 간의 상관관계 및 중요도에 대한 검증이 필요하다.

본 연구는 71,535개소 건축물 중 61,296개소로 약 85.7%를 차지하고 있는 철근콘크리트 구조 건축물을 중심으로 현행 퍼지이론이 적용된 건축물의 상태평가 방법, 항목 간의 상관관계 및 중요도를 고찰하고, 실제로 실시한 정밀안전점검 및 정밀안전진단 결과를 이용하여 상태평가 항목별 상관관계를 분석하여 문제점을 도출하고, 현재 상태평가를 개선하기 위한 방법에 대해 연구를 진행하였다.

¹정회원, 광운대학교 건축공학과 박사과정

²정회원, 광운대학교 건축공학과 교수, 교신저자

³정회원, 국토안전관리원 시설성능연구소 기술개발실 책임연구원

⁴정회원, 시설안전미디(주) 기술부 팀장

*Corresponding author: whyi@kw.ac.kr

Department of Architecture Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2021년 7월 31일까지 학회로 보내주시면 2021년 8월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 상태평가 방법 고찰

2.1 현행 건축물의 상태평가 방법 및 항목 고찰

건축물의 점검 및 진단의 목적은 건축물에 내재된 결함의 정도를 조사·평가하여 보수 및 보강을 통해 결함을 제거함으로써 건축물의 기능 및 안전을 확보하는 것이며, 건축물의 종합평가는 건축물의 상태(내구성), 기울기 및 침하, 안전성을 종합하여 평가하며, 상태평가와 기울기/침하 평가는 육안 조사와 장비조사를 통해 이루어진다. 이 중 상태평가의 결과 판정 절차는 부재단위 평가, 층단위 평가, 건축물 전체단위 평가 등의 3단계로 이루어져 있으며, 평가를 실시할 때 평가항

Table 1 Conditions evaluation grade

Grade	Condition by grade
A	Best condition without problems
B	A minor defect has occurred in the auxiliary member, but there is no problem in functioning, and some repairs are required to improve durability
C	Minor defects in the main member or extensive defects in the auxiliary member, but there is no problem with the overall safety of the facility, the main member needs maintenance to prevent the durability and functionality deterioration, or the auxiliary member needs simple reinforcement
D	A defect has occurred in a major member and urgent repair or reinforcement is required, and it is decided whether or not to restrict use
E	A condition in which immediate use is prohibited and reinforcement or renovation is required because there is a risk to the safety of the facility due to serious defects in major members

Table 2 Judgment procedure for condition evaluation

Evaluation stage	Evaluation Method
Member unit	<ul style="list-style-type: none"> ○ Evaluation points are given for members according to the degree of defects ○ Reflects the importance of evaluation items for individual members ○ The result is determined after synthesizing the evaluation scores for each evaluation item by member unit (wall, column, beam, slab, etc.)
Floor unit	<ul style="list-style-type: none"> ○ Considering the importance of each evaluation item and member, the result is judged by synthesizing the evaluation scores for each floor
Building Condition Evaluation	<ul style="list-style-type: none"> ○ Considering the above steps 1 and 2 and the importance of each floor, the result is determined by synthesizing the evaluation scores of the entire building

목 간, 부재 간, 층별로 각각의 중요도를 고려하게 되어있다.

현행 건축물의 상태 등급은 Table 1과 같이 5단계로 구분하여 판정하며, 3단계로 이루어진 판정절차는 Table 2와 같다 (KISTEC, 2019).

철근콘크리트구조 건축물의 첫 번째 단계인 부재단위 평가시 부재상태 및 내구성 평가항목은 콘크리트 강도(DS), 균열(CR), 콘크리트 탄산화(CA), 염화물 함유량(CL), 철근부식(CO), 표면노후(SD) 항목으로 구성되며, 이중 표면노후는 4가지 평가항목(콘크리트 박리, 박락 및 층분리, 누수 및 백태, 철근노출)로 세분화되고, 항목별로 육안조사 및 현장시험을 실시한다.

건축물의 정밀안전진단시 상태평가를 하는 경우에는 콘크리트 강도, 균열 등 6가지 평가항목 모두가 적용되며, 정밀안전점검을 하는 경우에는 염화물 함유량과 철근부식은 제외한 나머지 4가지 평가항목만 적용되며, 각 항목별 평가기준은 세부지침을 따른다.

이와 같이 세부지침에 따른 콘크리트구조 건축물의 평가항목과 절차, 등급기준은 합리적인 것으로 판단된다.

2.2 현행 상태평가 방법에 적용된 퍼지이론 분석

현재 상태평가 방법은 상태평가항목 6가지(강도, 균열, 탄산화, 염화물, 철근부식, 표면노후)에 대해 각각을 5단계(A~E)의 평가등급으로 구분하고, 이를 정량화하기 위해 퍼지이론을 이용하여 다시 10단계의 등급수준으로 확장한 후 여기에 0~10의 실수 값을 평가 수치로 부여하여 실시한다. 이를 상술하면 5단계(A~E)의 평가등급은 최상(very well), 양호(good), 보통(well), 불량(poor), 매우 불량(very poor)과 같이 언어변수를 취하고, 또다시 각 등급마다 퍼지 가능성 분포(소속함수)를 항상(always), 자주(often), 일반적인(unspecified), 드물게(seldom), 전혀 없다(never) 등의 언어변수 값으로 각각 1.0, 0.75, 0.5, 0.25, 0의 실수를 갖는 퍼지집합으로 정의하고 Fig. 1과 같이 삼각형 퍼지숫자로 표현하였으며, 이들 퍼지숫자 중에서 소속함수 값이 0.75이상 되는 α -수준집합을 각 등급수준을 나타내는 실수 값 0~10을 평가수치로 부여하였다. Table 3은 이를 표로 표현한 내용이며, 현재 철근콘크리트구조의 상태평가는 이를 이용하여 상태평가지 발생하는 불확정성과 불확실성을 해결하였다(KISTEC, 1999; KISTEC, 2002a; KISTEC, 2002b; KISTEC, 2017).

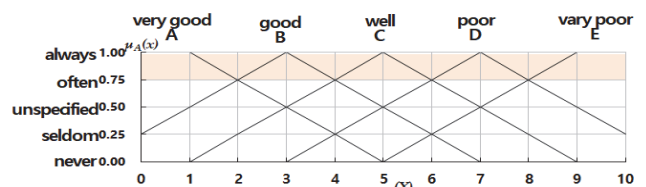


Fig. 1 Membership function of the condition evaluation grade fuzzy set

Table 3 Indicators related to the condition evaluation grade. And defining linguistic variable and membership functions

Grade	Linguistic variable	Indicators	Membership function definition by linguistic variable value				
			1.0	0.75	0.5	0.25	0
a	very good	$0 \leq X < 2$					
b	good	$2 \leq X < 4$					
c	well	$4 \leq X < 6$	always	often	unspecified	seldom	never
d	poor	$6 \leq X < 8$					
e	very poor	$8 \leq X \leq 10$					

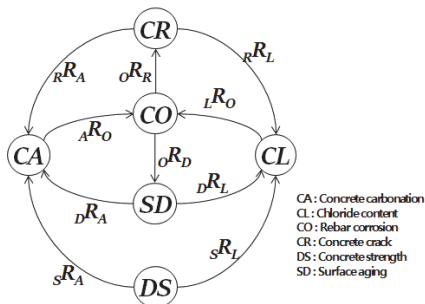


Fig. 2 Relationship between condition status evaluation items

또한 철근콘크리트구조 건축물의 상태평가를 위해 각각의 평가항목 간 상호관계는 Fig. 2와 같이 철근콘크리트 부재의 내구성과 노후과정의 인과관계를 적용하고, 이를 이용하여 평가항목 사이의 퍼지관계를 정의하였다.

그리고 평가항목 사이의 퍼지관계를 이용하여 평가항목 간의 중요도를 도출하였는데, 이 때 철근콘크리트 구조에서 부재의 내구성이 저하되는 귀착점을 철근부식으로 보았다. 이는 균열, 표면노후, 강도저하는 콘크리트 중성화와 염해를 진행시켜 철근부식에 영향을 미치고, 철근부식은 다시 콘크리트 중성화, 염해에 영향을 미쳐 철근 부식을 발생하는 순환구조를 이룬다고 본 것으로 철근부식의 정도에 따라 내력이 감소되고, 내력의 감소는 구조 안전성에 영향을 직접적으로 미치게 되므로 철근부식 이외의 항목은 직접적인 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다. 현재 상태평가의 평가항목 간의 중요도는 내구성의 귀착점이 철근부식이라는 기준 및 평가항목 간의 퍼지관계(xRy)를 이용하여 Table 4와 같이 5×5의 행렬형태로 표현하여 콘크리트 부재의 내구성에 미치는 개구성계수표라 하였고, 철근콘크리트구조 내구성을 평가할 때 이를 적용하게 하였다.

이와 같은 방법은 철근콘크리트구조 부재에 대한 상태평가를 위해 자료가 부족한 상황에서 평가항목 간 퍼지관계를 이용하여 분석한 결과와 퍼지이론의 연산 및 합성에 의한 추론

Table 4 Durability factor table

$A R_M =$						$L R_M =$							
DM	CA	a	b	c	d	e	DM	CL	a	b	c	d	e
a _A		1.0	0	0	0	0	a _L		1.0	0	0	0	0
b _A		1.0	0	0	0	0	b _L		1.0	0	0	0	0
c _A		1.0	0	0	0	0	c _L		0.75	1.0	0.25	0	0
d _A		0.75	1.0	0.5	0.25	0	d _L		0.25	0.75	1.0	0.75	0
e _A		0.5	0.75	1.0	0.5	0	e _L		0	0.25	0.75	1.0	0.75

$S R_M =$						$R_n R_M =$							
DM	DS	a	b	c	d	e	DM	CR _n	a	b	c	d	e
a _S		1.0	0.06	0.06	0	0	a _{R_n}		0.5	0.06	0	0	0
b _S		1.0	0.06	0.06	0	0	b _{R_n}		0.5	0.06	0	0	0
c _S		0.75	0.25	0.25	0.25	0.25	c _{R_n}		0.5	0.25	0.25	0.25	0.06
d _S		0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	d _{R_n}		0.5	0.5	0.25	0.25	0.06
e _S		0.75	0.5	0.5	0.5	0.5	e _{R_n}		0.5	0.5	0.5	0.5	0.06

$R_s R_M =$						$D R_M =$							
DM	CR _s	a	b	c	d	e	DM	SD	a	b	c	d	e
a _{R_s}		1.0	0	0	0	0	a _D		0.5	0.06	0.06	0	0
b _{R_s}		0	1.0	0	0	0	b _D		0.5	0.06	0.06	0	0
c _{R_s}		0	0	1.0	0	0	c _D		0.5	0.25	0.25	0.25	0.06
d _{R_s}		0	0	0	1.0	0	d _D		0.5	0.5	0.25	0.25	0.06
e _{R_s}		0	0	0	0	1.0	e _D		0.5	0.5	0.5	0.5	0.06

$O R_M =$						
DM	CO	a	b	c	d	e
a _O		1.0	0	0	0	0
b _O		0	1.0	0	0	0
c _O		0	0	1.0	0	0
d _O		0	0	0	1.0	0
e _O		0	0	0	0	1.0

DM : Fuzzy Set
 CA : Concrete carbonation
 CL : Chloride content
 CO : Rebar corrosion
 CR : Concrete crack
 DS : Concrete strength
 SD : Surface aging

으로 도출한 중요도를 설정한 것으로 설정된 퍼지관계와 추론의 결과가 실제와 적합하지에 대한 의문을 제기할 수 있다. 따라서 실제적으로 실시한 점검 및 진단 결과 자료를 바탕으로 각 항목 간의 평가결과를 비교하여 설정된 관계와 추론 결과의 적정성을 확인할 필요가 있다.

3. 점검 및 진단 상태평가 자료를 이용한 상관관계 분석

3.1 정밀안전점검 및 정밀안전진단 결과자료 평가항목별 성능점수 변환

철근콘크리트구조 건축물의 정밀안전진단은 육안조사 6개

Table 5 Analysis data of precision safety inspection and precision safety diagnosis results

Precision safety inspection		19 cases
Precision safety diagnosis		9 cases
Total data number		11,871
Field test	Concrete strength	910
	Concrete carbonation	374
	Chloride content	11
	Concrete crack	5,823
	Rebar corrosion	156
Visual inspection	Scaling depth	462
	Spalling/Delamination	618
	leakage and efflorescence	2,612
	Rebar exposure	905

Table 6 Condition evaluation function for concrete strength and cracks

E.C	Performance score	Concrete strength (DS)	Concrete crack (CR)
a	$0 \leq P_n < 2$	$100\% \leq ac \leq 150\%$ $p_n = -0.04m_{ac} + 6$	$0 \leq cw < 0.1$ $p_n = 20m_{cw}$
b	$2 \leq P_n < 4$	$92.5\% \leq ac < 100\%$ $p_n = -0.2667m_{ac} + 28.667$	$0.1 \leq cw < 0.2$ $p_n = 20m_{cw}$
c	$4 \leq P_n < 6$	$85\% \leq ac < 92.5\%$ $p_n = -0.2667m_{ac} + 28.667$	$0.2 \leq cw < 0.3$ $p_n = 20m_{cw}$
d	$6 \leq P_n < 8$	$70\% \leq ac < 85\%$ $p_n = -0.1333m_{ac} + 17.333$	$0.3 \leq cw < 0.5$ $p_n = 10m_{cw} + 3$
e	$8 \leq P_n \leq 10$	$0\% \leq ac < 70\%$ $p_n = -0.0286m_{ac} + 10$	$0.5 \leq cw \leq 1.0$ $p_n = 4m_{cw} + 6$

Table 7 Condition evaluation function for concrete carbonation and chloride content

E.C	Performance score	Concrete carbonation (CA)	Chloride content (CL)
a	$0 \leq P_n < 2$	$0D \leq Ct \leq 0.25D$ $p_n = 8m_{ct}$	$0 \leq cL \leq 0.15$ $p_n = 13.333m_{cl}$
b	$2 \leq P_n < 4$	$0.25D < Ct \leq 0.5D$ $p_n = 8m_{ct}$	$0.15 < cL \leq 0.3$ $p_n = 13.333m_{cl}$
c	$4 \leq P_n < 6$	$0.5D < Ct \leq 0.75D$ $p_n = 8m_{ct}$	$0.3 < cL \leq 0.6$ $p_n = 6.6667m_{cl} + 2$
d	$6 \leq P_n < 8$	$0.75D < Ct \leq 1.0D$ $p_n = 8m_{ct}$	$0.6 < cL \leq 1.2$ $p_n = 3.3333m_{cl} + 4$
e	$8 \leq P_n \leq 10$	$1.0D < Ct \leq 1.25D$ $p_n = 8m_{ct}$	$1.2 < cL \leq 2.4$ $p_n = 1.6667m_{cl} + 6$

항목과 재료시험 3개 항목을 조사하여야 하며(염화물 함유량은 필요시 조사), 정밀안전점검은 육안조사 항목 중 철근부식을 제외한 5개 항목과 재료시험 항목 가운데 2개 항목(콘크리트 강도, 탄산화)을 조사한다.

철근콘크리트구조 건축물의 상태평가 항목 간의 상관관계를 분석하기 위해 19건의 정밀안전점검과 9건의 정밀안전진단의 상태평가 결과자료를 조사하였고 분석한 자료의 수는 Table 5와 같다.

조사된 자료는 평가항목 간의 상관관계 분석을 위해 평가항목별 점수를 현장시험 및 육안조사 결과의 대푯값이 아닌 실제 성능점수로 변환하여 표본층(S.L) 별로 구분하였다. 성능점수 변환을 위한 항목별 성능점수 함수식과 범위는 Table 6~Table 10과 같고 함수식 (1)을 이용하여 성능점수로 환산한 결과는 Table 11과 같다(KALIS, 2020).

$$p_n(m_n) = a_n m_n + b_n (m_n : \text{측정결과}, a_n, b_n : \text{상수}) \quad (1)$$

Table 8 Condition evaluation function for concrete rebar corrosion and scaling depth

E.C	Performance score	Rebar corrosion (CO)	Scaling depth (sc)
a	$0 \leq P_n < 2$	$0 < E \leq 200$ $p_n = -0.01m_e + 2$	$0 \leq sc < 0.25$ $p_n = 8m_{sc}$
b	$2 \leq P_n < 4$	$-200 < E \leq 0$ $p_n = -0.01m_e + 2$	$0.25 \leq sc < 0.5$ $p_n = 8m_{sc}$
c	$4 \leq P_n < 6$	$-350 < E \leq -200$ $p_n = -0.0133m_e + 1.3333$	$0.5 \leq sc < 1.0$ $p_n = 4m_{sc} + 2$
d	$6 \leq P_n < 8$	$-500 < E \leq -350$ $p_n = -0.0133m_e + 1.3333$	$1.0 \leq sc < 2.5$ $p_n = 0.0833m_{sc} + 5.9167$
e	$8 \leq P_n \leq 10$	$-650 \leq E \leq -500$ $p_n = -0.0133m_e + 1.3333$	$2.5 \leq sc \leq 3.0$ $p_n = 0.4m_{sc} - 2$

Table 9 Condition evaluation function for concrete spalling / delamination and rebar exposure

E.C	Performance score	Spalling/ Delamination(sd)	Rebar exposure (ra)
a	$0 \leq P_n < 2$	$0 \leq sd < 7$ $p_n = 0.2857m_{sd}$	$0 \leq ra < 0.5\%$ $p_n = 4m_{ra}$
b	$2 \leq P_n < 4$	$7 \leq sd < 15$ $p_n = 0.25m_{sd} + 0.25$	$0.5 \leq ra < 1.0\%$ $p_n = 4m_{ra}$
c	$4 \leq P_n < 6$	$15 \leq sd < 20$ $p_n = 0.4m_{sd} - 2$	$1.0 \leq ra < 3.0\%$ $p_n = m_{ra} + 3$
d	$6 \leq P_n < 8$	$20 \leq sd < 25$ $p_n = 0.4m_{sd} - 2$	$3.0 \leq ra < 5.0\%$ $p_n = m_{ra} + 3$
e	$8 \leq P_n \leq 10$	$25 \leq sd \leq 30$ $p_n = 0.4m_{sd} - 2$	$5.0 \leq ra \leq 10\%$ $p_n = 0.4m_{ra} + 6$

Table 10 Condition evaluation function for concrete leakage and efflorescence

E.C	Performance score	Leakage and efflorescence (lw)	
a	$0 \leq P_n < 2$	$0 \leq lw < 2.5\%$	$p_n = 0.8m_{lw}$
b	$2 \leq P_n < 4$	$2.5 \leq lw < 5\%$	$p_n = 0.8m_{lw}$
c	$4 \leq P_n < 6$	$5 \leq lw < 10\%$	$p_n = 0.4m_{lw} + 2$
d	$6 \leq P_n < 8$	$10 \leq lw < 20\%$	$p_n = 0.2m_{lw} + 4$
e	$8 \leq P_n \leq 10$	$20 \leq lw \leq 40\%$	$p_n = 0.1m_{lw} + 6$

Table 11 Calculate the result of precision safety inspection and precision safety diagnosis as a performance score

S.L No	DS	CA	CL	CO	CR	SD				
						sc	sd	lw	ra	
D1	1	1.5417	1.3818	-	1.0000	1.3018	1.0000	1.0020	1.0489	1.0083
	2	1.2159	3.1932	-	1.7982	1.6623	1.0000	1.0050	1.1635	1.0223
	3	2.3524	0.9630	-	1.0000	1.2393	1.0000	1.0027	1.0916	1.0009
	4	1.2810	0.9105	-	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	5	1.5429	3.4605	-	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	6	2.0286	1.5547	-	1.0000	1.1487	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D2	1	1.4853	0.7675	5.5267	1.0000	1.1922	1.0000	1.0000	1.2044	1.0000
	2	1.5415	0.5922	5.8400	1.0000	1.1849	1.0000	1.0000	1.0876	1.0000
	3	1.8144	0.5517	4.9133	-	1.2676	1.0000	1.0024	1.0803	1.0000
	4	1.9473	2.1282	4.5633	1.0000	1.0521	1.0000	1.0032	1.0626	1.0033
	5	1.9655	3.2104	4.7600	1.0000	1.0706	1.0000	1.0068	1.0285	1.0034
D3	1	1.2114	3.0030	-	1.0382	1.2470	1.0000	1.0214	1.0893	1.0393
	2	0.9143	2.0824	-	1.0195	1.1526	1.0000	1.0162	1.1169	1.0162
	3	1.3601	1.3714	-	1.0714	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	4	0.9619	1.9856	-	1.2140	1.0000	1.0000	1.0000	1.0172	1.1089
	5	1.3257	1.3733	-	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0173
D4	1	1.7556	0.0000	-	-	1.1449	1.0000	1.0046	1.0457	1.0000
	2	2.2321	0.0000	-	3.0000	1.1971	1.0012	1.0035	1.1135	1.0012
	3	2.7222	0.0000	-	3.0000	1.1943	1.0000	1.0000	1.1509	1.0000
	4	1.8474	0.0000	-	2.3333	1.1766	1.0000	1.0046	1.0737	1.0023
	5	2.3802	0.0000	-	-	1.1415	1.0000	1.0000	1.3958	1.0082
	6	2.7938	0.0000	-	-	1.1041	1.0000	1.0047	1.0751	1.0036
D5	1	1.6883	1.7631	-	1.0000	1.6484	1.0000	1.0000	1.0217	1.0087
	2	1.1838	2.3556	-	1.0000	1.8319	1.0000	1.0000	1.0545	1.0210
	3	1.5032	1.8625	-	1.0000	1.6530	1.0000	1.0000	1.0177	1.0000
	4	1.7048	4.9550	-	1.0000	1.3111	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	5	1.6524	3.3158	-	1.0000	1.5500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D6	1	1.1132	0.4206	-	1.0000	1.3411	1.0000	1.0000	1.0000	1.0014
	2	1.0762	0.0000	-	1.0000	1.5809	1.0000	1.0000	1.0103	1.0015
	3	1.8016	5.6000	-	1.0000	1.1004	1.0000	1.0000	1.0024	1.0024
	4	1.0095	3.7160	-	1.0000	1.2257	1.0000	1.0000	1.0000	1.0129

Table 11 Continue

S.L No	DS	CA	CL	CO	CR	SD				
						sc	sd	lw	ra	
D6	5	0.6333	3.2771	-	1.0000	1.3514	1.0000	1.0000	1.0143	1.0229
	6	0.2810	2.2000	-	1.0000	1.3129	1.0000	1.0000	1.0000	1.0102
	7	0.8762	2.5600	-	1.0000	1.1463	1.0000	1.0000	1.0000	1.0068
	8	0.6667	2.0000	-	1.0000	1.1980	1.0000	1.0000	1.0000	1.0068
D7	1	1.4383	0.6634	-	1.0000	1.8043	1.0000	1.0072	1.5072	1.0290
	2	1.6429	1.9461	-	1.0000	1.0364	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	3	2.2956	1.2980	-	1.0000	1.0755	1.0000	1.0000	1.0686	1.0000
D8	1	4.6769	1.2484	3.4833	1.0000	1.1070	1.0000	1.0000	1.1270	1.0071
	2	0.4714	1.0462	-	1.5882	1.1759	1.0000	1.0000	1.0000	1.0550
	3	0.4871	1.2523	3.3866	1.0000	1.3042	1.0000	1.0000	1.0000	1.0654
	4	0.3524	1.3669	3.0933	1.0000	1.2110	1.0000	1.0237	1.0000	1.0557
D9	1	1.2214	1.7440	4.6333	3.6654	2.5833	1.0000	1.0000	1.1667	1.0417
	2	0.7333	2.5091	-	-	3.4545	1.1096	1.1369	2.2973	1.0811
I1	1	1.1024	2.1948	-	-	1.3966	1.0000	1.3275	1.6034	1.6034
I2	1	-	1.1234	-	-	1.0801	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	2	1.5476	1.7154	-	-	1.0453	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	3	2.5000	2.0259	-	-	1.0093	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
I3	1	1.6889	1.1938	-	-	1.2348	1.0000	1.0000	1.0740	1.0049
	2	2.2767	1.6691	-	-	1.0746	1.0000	1.0000	1.0461	1.0132
	3	1.3083	0.6426	-	-	1.0087	1.0000	1.0000	1.0252	1.0319
I4	1	1.6542	0.6513	-	-	1.6307	1.0000	1.0000	1.0555	1.0000
	2	0.9048	2.4637	-	-	1.5872	1.0020	1.0020	1.1263	1.0080
	3	0.8190	0.8108	-	-	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	4	1.0984	3.6727	-	-	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
I5	1	1.9389	1.2187	-	-	1.1974	1.0000	1.0263	1.1579	1.0000
	2	1.9867	1.0718	-	-	1.2853	1.0000	1.0000	1.1239	1.0207
	3	1.9111	1.6927	-	-	1.0876	1.0000	1.0050	1.1146	1.0034
I6	1	2.1048	2.8803	-	-	1.0508	1.0000	1.0000	1.0061	1.0000
	2	2.2417	1.5667	-	-	1.0679	1.0000	1.0000	1.0062	1.0021
I7	1	1.9319	2.0954	-	-	1.1626	1.0000	1.0000	1.1313	1.0000
	2	3.6333	3.7714	-	-	1.0511	1.0000	1.0000	1.0032	1.0065
I8	1	0.9646	1.8076	-	-	3.3500	-	-	-	2.4500
	2	0.8724	-	-	-	1.3500	-	-	-	1.9500
	3	1.2000	1.3849	-	-	2.5000	-	-	-	1.3333
I9	1	1.7256	1.9254	-	-	1.1215	1.0000	1.0031	1.2367	1.0111
	2	1.6038	2.8989	-	-	1.1698	1.0000	1.0000	1.0706	1.0331
	3	1.5519	2.5329	-	-	1.1388	1.0000	1.0000	1.0032	1.0866
	4	1.6250	3.1411	-	-	1.3218	1.0000	1.0000	1.0172	1.1089
I10	1	0.0489	0.0000	-	-	2.2632	1.4068	4.0169	1.8136	4.1525
	2	1.1722	7.0098	-	-	1.8041	1.2617	2.5420	1.7477	2.0935
I11	1	0.3600	2.9605	-	-	1.5819	1.0000	1.6555	3.1739	1.6555
	2	1.3000	9.4941	-	-	1.0397	1.1060	1.3178	1.2384	1.5695
	3	0.2417	0.0000	-	-	1.3478	2.2173	2.7391	3.1739	3.2609

Table 11 Continue

S.L No	DS	CA	CL	CO	CR	SD				
						sc	sd	lw	ra	
I12	1	0.3695	0.9530	-	-	1.7106	1.0067	1.0000	1.0611	1.0067
	2	0.5214	1.6320	-	-	1.7860	1.0000	1.0000	1.1131	1.0083
	3	0.6571	1.1303	-	-	1.2540	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
I13	1	0.7254	0.3848	-	-	1.4860	1.0117	1.0058	1.2991	1.0293
	2	0.8302	1.2118	-	-	1.1287	1.0202	1.0303	1.0303	1.0707
	3	1.6349	1.1708	-	-	1.0787	1.0315	1.0314	1.0000	1.1575
	4	1.1905	0.9528	-	-	1.1130	1.0226	1.0225	1.0339	1.1243
I14	1	0.4381	0.8971	-	-	3.4670	1.0000	1.0000	1.0471	1.0126
	2	0.7476	1.1547	-	-	3.4595	1.0000	1.0000	1.0217	1.0109
	3	-	-	-	-	3.8333	1.0000	1.0000	1.0507	1.0145
	4	1.6571	3.5769	-	-	3.2778	1.0000	1.0000	1.0430	1.1053
I15	1	0.7190	3.9514	-	-	2.4569	-	-	1.4407	1.0183
	2	1.2990	1.6617	-	-	1.8298	1.0000	-	1.0000	1.0000
	3	-	-	-	-	1.1235	-	-	1.0494	1.0000
I16	1	0.9486	3.7664	-	-	1.0155	1.0000	1.0000	1.0337	1.0024
	2	0.8063	2.8397	-	-	1.1141	1.0000	1.0000	1.0302	1.0000
	3	0.9333	2.3938	-	-	1.1969	1.0000	1.0000	1.1275	1.0201
	4	-	-	-	-	1.0305	1.0000	1.0000	1.0334	1.0020
I17	1	1.3731	1.2004	-	-	1.0138	1.0000	1.0284	1.0000	1.5225
	2	1.3756	0.6425	-	-	1.1164	1.0000	1.0153	1.1854	1.1179
I18	1	1.1417	0.2316	-	-	1.0625	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	2	1.7556	1.0680	-	-	1.2857	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	3	1.7444	2.7112	-	-	1.1043	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
I19	1	2.4494	-	-	-	1.5714	1.0000	1.0333	1.0000	1.0000
	2	2.0596	-	-	-	1.3577	1.0000	1.0000	1.0388	1.0388

Table 12 Correlation analysis of inspection and diagnosis results (Field test items)

	DS	CA	CL
CO			
Coefficient of determination(R^2)	0.0248	0.0928	0.0079
Correlation coefficient(R)	0.1575	0.3046	0.0889

Table 13 Correlation analysis of inspection and diagnosis results (Visual inspection items)

CO	CR	SD				
		sc	sd	lw	ra	
Coefficient of determination(R^2)	-	0.1646	0.2030	0.0018	0.0818	0.0076
Correlation coefficient(R)	-	0.4057	0.4506	0.0424	0.2860	0.0872

3.2 점검 및 진단 결과자료를 이용한 상관관계 분석

철근콘크리트구조 건축물 부재의 상태평가지 현재 퍼지이론으로 적용하고 있는 평가항목별 상관관계를 확인하기 위해 Table 11의 성능점수로 변환한 값을 이용하여 평가항목 간의 상관관계를 분석하였다. 상관관계 분석 시 기준항목은 현재 퍼지이론에서 가정하고 있는 내구성 저하의 귀착점인 철근부식으로 하였으며 기준항목에 각각의 평가항목을 대응하여 상관계수를 도출한 결과는 Table 12 및 Table 13과 같고 Fig. 3~Fig. 10은 철근부식을 기준항목으로 각각의 상태평가 항목 간의 상관관계를 나타낸 것이다[7].

Table 12 및 Table 13과 같이 철근부식을 기준항목으로 하였을 때 평가항목 간의 상관관계 분석결과 상관계수(R)가 0.0424~0.4506으로 항목 간 관계가 전혀 없거나 낮은 것으로

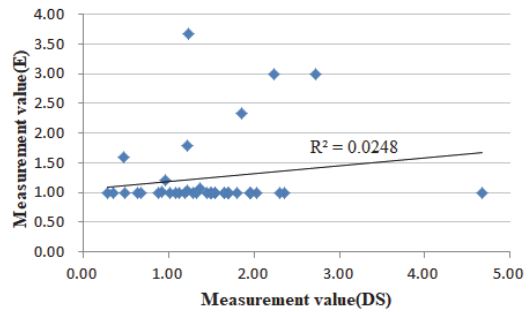


Fig. 3 Correlation between Rebar corrosion and Concrete strength

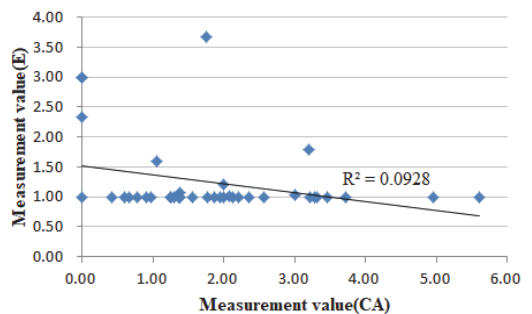


Fig. 4 Correlation between Rebar corrosion and Concrete carbonation

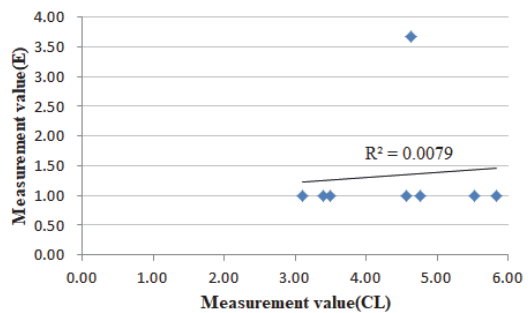


Fig. 5 Correlation between Rebar corrosion and Chloride content

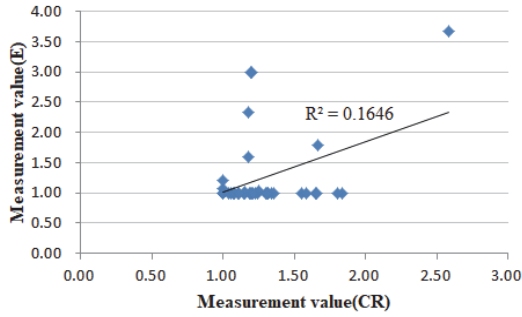


Fig. 6 Correlation between Rebar corrosion and Concrete crack

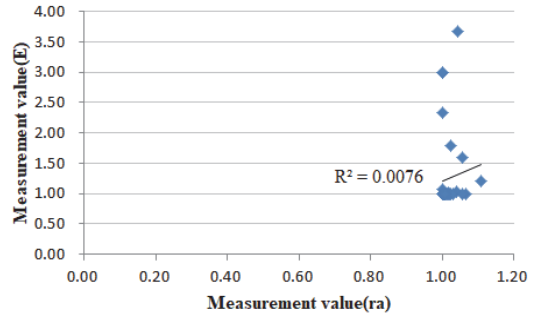


Fig. 10 Correlation between Rebar corrosion and Rebar exposure

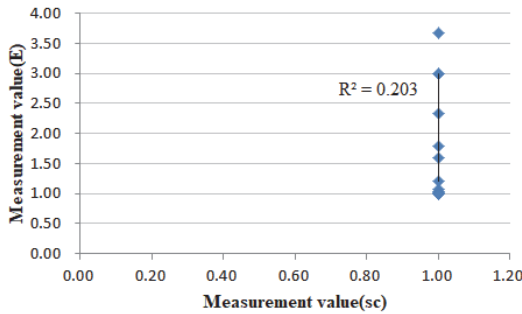


Fig. 7 Correlation between Rebar corrosion and Scaling depth

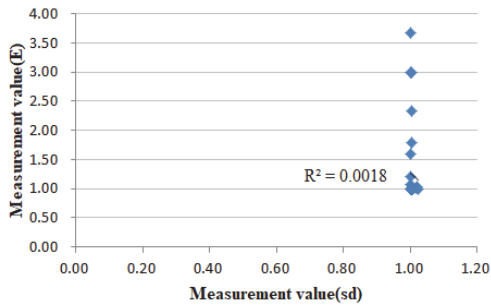


Fig. 8 Correlation between Rebar corrosion and Spalling/Delamination

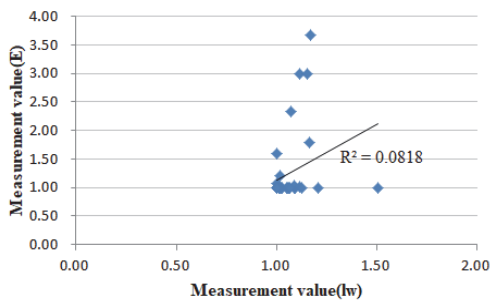


Fig. 9 Correlation between Rebar corrosion and leakage/efflorescence

나타났다. 이는 철근부식을 귀착점으로 퍼지이론을 이용하여 적용한 평가항목 간 중요도가 점검결과를 이용하여 도출한

상관관계와 일치하지 않는다는 것을 보여준다.

위와 같이 철근콘크리트구조 건축물의 상태평가 시 퍼지이론을 이용한 상관관계 및 현재의 평가항목 간 중요도인 내구성계수표를 적용하기 어려우므로, 내구성 점수(P_{CE})를 도출하기 위한 다른 방법이 필요하다. 이에 따라 철근콘크리트구조 평가항목별 중요도는 동등한 것으로 가정한 후 기하적도법을 사용하여 식 (2)를 도출하였다(MISS and Kwangwoon University, 2020).

$$P_{CE} = \sqrt{\frac{P_{DS}^2 + P_{CA}^2 + P_{CL}^2 + P_{CO}^2 + P_{CR}^2 + P_{SD}^2}{6}} \quad (2)$$

여기서 P_{SD} 는 표면노후의 성능점수로 세부지침에 따라 박리(sc), 박락·층분리(sd), 누수 및 백태(lw), 철근노출(ra)의 성능점수 가운데 작은 값으로 한다.

4. 결론

본 연구에서는 철근콘크리트구조 건축물의 상태평가방법을 개선하기 위해 정밀안전점검 및 정밀안전진단 상태평가 결과를 이용하여 철근콘크리트구조 상태평가 항목 간의 상관관계를 분석하였으며, 이를 통해 상태평가 항목 간의 상관관계를 반영한 상태평가식을 도출하였다. 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

현행 건축물의 상태평가 시 부재 단위 평가 후 층 단위 평가를 진행하고 건축물 전체단위로 평가하는 3단계 절차와 부재 평가를 위한 평가항목, 5단계의 평가등급은 적정한 것으로 판단된다.

현재 철근콘크리트구조 건축물의 상태평가를 위해 적용되고 있는 상태평가 항목 간의 관계설정과 중요도는 퍼지관계 및 퍼지이론을 이용한 추론으로 도출된 것으로 실제 점검 및 진단을 통해 도출된 결과를 이용한 적정성 확인을 통해 항목 간의 관계설정과 중요도 산정이 필요하다.

19건의 정밀안전점검과 9건의 정밀안전진단의 상태평가 항목별 성능점수를 이용하여 항목 간의 상관관계를 분석한 결과 상관계수(R)가 0.0424~0.4506으로 이는 항목 간의 상관관계가 전혀 없거나 낮은 것으로 철근부식을 귀착점으로 퍼지이론을 이용하여 적용한 평가항목 간 상관관계와 중요도 인 내구성계수표를 적용하기 그대로 적용하기 어렵다.

따라서 이를 개선하기 위한 방법으로 기하척도법을 이용하여 상태평가 개선식을 도출하였으며, 이 식을 통해 산정된 상태평가 점수는 철근콘크리트구조 건축물의 현재 상태를 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 제시한 기하척도법을 이용한 상태평가식은 항목 간의 중요도는 동등하다는 것을 가정하여 도출한 것으로 철근콘크리트구조의 평가항목 간 중요도에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토안전관리원 기본연구사업(건축물의 구조특성을 반영한 기존 종합평가기법 개선)의 지원 및 2021년도 광운대학교 우수연구자 지원으로 수행되었습니다.

References

1. KISTE (2019), Guidelines for Safety and Maintenance of Facilities, Jinju, South Koea, 60-75
2. KISTEC (1999), Development of Aging Type Classification and Evaluation Method of Building Structural Materials, Jinju, South Koea, 387-407
3. KISTEC (2002a), A Study on the Establishment of the Condition Evaluation Criteria for the Building, Jinju, South Koea, 57-67
4. KISTEC (2002b), Development of a Comprehensive Performance Evaluation model for Existing Buildings, Jinju, South Koea, 115-120
5. KISTEC (2007), Improvement of Condition Evaluation Program for Building Precision Safety Diagnosis, Jinju, South Koea.
6. MISS and Kwangwoon University (2015), A Study on the Improvement of Disaster Safety Management System by Risk assessment by Facility, Seoul, South Koea, 147-165
7. KALIS (2020), Improvement of the Existing Comprehensive Evaluation Technique Reflecting the Structural Characteristics of the Building(annual report), Jinju, South Koea, 19-73

Received : 03/30/2021

Revised : 04/19/2021

Accepted : 04/29/2021

요 지 : 건축물의 정밀안전점검 및 정밀안전진단시에는 안전등급 판정을 위해 상태평가를 실시하여야 한다. 2004년부터 정량적인 상태평가를 위해 퍼지이론을 이용한 평가방법을 도입하였고, 퍼지이론을 이용한 철근콘크리트 부재의 평가항목 간의 관계와 중요도를 도출하였다. 일반적으로 퍼지이론은 상관관계가 명확하지 않고, 모호한 표현을 처리할 때 사용되는 방법으로, 개발 당시에는 점검 및 진단 결과자료들이 부족한 상황에서 대안으로 퍼지이론을 적용하여 개발한 것으로 보인다. 따라서 실제 점검 및 진단 결과자료를 이용하여 퍼지이론을 바탕으로 도출된 평가항목 간의 관계와 중요도에 대한 검증이 필요하다. 본 연구에서는 정밀안전점검 19건과 정밀안전진단 9건의 결과와 성능점수 함수식을 이용하여 평가항목간의 상관관계를 도출하였으며, 이를 이용하여 부재의 합리적인 내구성 점수 산정식을 제시하였다.

핵심용어 : 상태평가, 상관관계, 평가기준, 정밀안전점검, 정밀안전진단, 퍼지이론
