

중소규모 건축물의 퍼지기반 상태평가 모델

Fuzzy Based Condition Assessment Model of Middle and Small-Size Buildings

조 현 욱* 정 지 성** 정 인 수*** 이 찬 식****
Jo, Hyeonwook Jeong, Jiseong Jung, Insu Lee, Chansik

Abstract

In the current maintenance system of building, safety inspection and precise safety diagnosis have been applied only for Type 1 and 2 buildings. Considering the fact that middle and small-size buildings take up 99.4% of total buildings, it is necessary to implement safety diagnosis for the buildings to make long lasting buildings. This study suggested improvement methods for adjusting the existing evaluation items to middle and small-size buildings by reviewing the current diagnosis system and a survey. Based on the methods, an improved model, which modified the existing diagnosis model, was developed by applying fuzzy theory. If the improved model of this study is applied on site, the buildings except Type 1 and 2 could be maintained constantly. In the future studies, it is necessary to implement the developed model practically, to strengthen the feasibility of the model.

Keywords : Middle and Small-Size Buildings, Safety Diagnosis, Fuzzy, Condition Assessment

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축물의 장수명화를 도모하고, 붕괴 방지를 위하여 안전진단은 매우 중요하다. 정부에서는 안전점검 및 유지관리 업무를 체계화하기 위해 1995년 「시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 '시특법' 이라 한다)」을 제정하였다. 「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침(이하 '지침' 이라 한다)」은 시특법 제13조 및 동법 시행령 제13조에 따라 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단의 실시방법·절차 등에 관한 필요사항을 정하고 있고, 1, 2종 시설물에 대해 안전점검 및 정밀안전진단을 의무적으로 수행하도록 규정하고 있다.

그러나 안전점검 및 정밀안전진단 시행기준이 획일적이고 1, 2종 시설물에만 국한되어 있다는 문제가 있다. 1, 2종 건축물은 전체 건축물의 0.6%에 불과한 반면, 99.4%에 달하는 그 외의 중소규모 건축물은 안전진단의 시기, 방법, 절차 등이 명확하지 않아 안전재해에 취약하다.

이 연구는 1, 2종 시설물에만 국한되어 있는 안전점검 및 정밀안전진단 체계의 문제점을 고찰하고, 중소규모 건축물에 적용할 수 있는 상태평가 모델을 개발하는 것이 목적이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

현행 안전점검 및 정밀안전진단 체계는 기준이 상세하고 평가

* 일반회원, 전인CM건축사사무소, 공학석사, hwjo100@cmproji.com

** 일반회원, 인천대학교 건축공학과, 석사과정, sireke@naver.com

*** 중신회원, 한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사, jis@kict.re.kr

**** 중신회원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), cslee@incheon.ac.kr

항목이 많다. 이러한 체계는 건축물의 정확한 안전진단을 위해서 불가피하지만 1, 2층 이외의 중소규모 건축물에는 적용성이 떨어진다. 이 연구에서는 기존의 평가 항목과 기준을 전면 재검토하여, 중소규모 건축물에 적합하게 재설정하였다. 이 연구는 철근콘크리트 건축물의 상태평가에 한정하여 수행하였으며, 그림 1과 같은 방법으로 진행하였다.

이 연구에서 개발한 상태평가 프로그램 결과의 타당성을 확인하기 위해 기존의 프로그램을 적용한 결과와 이 연구에서 개발한 프로그램을 적용한 결과를 비교·분석하였으며, 그 과정에 안전진단 전문가가 참여하였다.

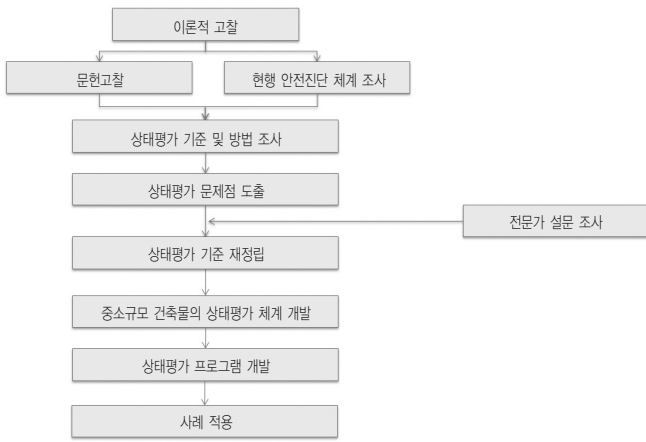


그림 1. 연구 흐름도

2. 이론적 고찰

2.1 국내 시설물 안전진단 현황

2.1.1 안전진단 정의

건축물의 안전진단은 안전점검과 정밀안전진단으로 구분되며 안전점검은 경험과 기술을 갖춘 자가 육안 또는 점검 기구 등에 의하여 검사를 실시함으로써 시설물에 내재되어 있는 위험요인을 조사하는 행위를 말한다. 정밀안전진단이란 시설물의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 그에 대한 신속하고 적절한 조치를 하기 위하여 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 조사·측정·평가하여 보수·보강 등의 방법을 제시하는 행위를 말한다.

안전점검과 정밀안전진단의 안전성평가 및 상태평가 항목은 표 1과 같다.

표 1. 안전성평가 및 상태평가 항목

대분류	중분류	평가항목	비고	
기울기	기울기	건물기울기	안전성 평가	
구조 내력	변위, 변형	처짐		
	내력비	부재별 내력비		
	콘크리트강도	압축강도		
내구성	콘크리트균열	균열 폭, 분포, 진행성	상태 평가	
	콘크리트탄산화	중성화깊이, 피복두께		
	염화물함유량	염화물이온 함유량		
	철근부식	철근부식상태		
	표면노후화	박리		
		박락		
		누수, 녹물, 백대, 백화		
철근노출				

안전성평가는 기울기와 구조내력을 평가하고, 상태평가는 건축물의 콘크리트 강도, 균열, 탄산화, 염해, 철근부식, 표면노후화 등의 항목을 평가한다. 상태평가의 결과는 A~E등급으로 구분되고 각 등급에 따른 건축물의 상태는 표 2와 같다.

표 2. 평가등급 기준

등급	상태
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2.1.2 시설물 안전진단 현황

시설물의 안전진단은 시특법에 의해 표 3과 같은 1, 2층 건축물에 대해 주기적으로 안전점검 및 정밀안전진단을 수행하도록 하고 있다.

표 3. 1, 2층 시설물의 범위(건축물)

구분	1층시설물	2층시설물
· 공동주택 · 공동주택 외의 건축물	· 21층 이상 또는 연면적 5만㎡이상의 대형건축물(철도역 시설 제외) 및 다중이용건축물(관람장 제외) · 연면적 3만㎡이상의 문화 및 집회시설 중 관람장 · 고속철도 역사시설 · 연면적 1만㎡이상의 지하도상가(지하보도면적 포함)	· 16층 이상의 공동주택 · 1층시설물에 해당하지 아니하는 연면적 3만㎡이상의 대형건축물(철도역 시설 제외) · 1층시설물에 해당하지 아니하는 건축물로서 16층 이상 또는 연면적 5천㎡ 이상의 다중이용건축물 및 전시장 · 도시철도 및 광역철도 역사시설 · 1층시설물에 해당하지 아니하는 연면적 5천㎡이상의 지하도상가(지하보도면적 포함)

주) 시특법 시행령 제2조

2010년 국토해양부에서 집계한 건축물은 총 6,676,518개이며 이 중 1, 2종을 제외한 건축물은 6,635,887개로 전체 건물의 약 99.4%를 차지하고 있다. 1, 2종을 제외한 중소규모 건축물이 대부분을 차지하고 있음에도 불구하고 안전진단에 관한 명확한 기준이 없어 안전진단이 거의 이루어지지 않고 있다.

표 4. 1, 2종 건축물 현황(2010년 기준)

건축물	1종	2종	계
공동주택	0	35,046	35,046
다중이용	1,256	1,093	2,349
기타	87	3,149	3,236
합계	1,343	39,288	40,631

자료) 2010 국토해양 통계연보

중소규모 건축물은 안전의 사각지대에 놓여있다고 볼 수 있다. 한국시설안전공단에서 1, 2종 시설물에 대해 상태평가 프로그램을 개발하여 배포하였으나, 대상 시설물에 대한 유지관리 이력자료가 충분해야 평가가 용이하고, 입력항목이 많기 때문에 유지관리가 상대적으로 소홀한 중소규모 시설물에는 적용하기가 어렵다. 유지관리 이력자료가 불충분해서 발생할 수 있는 주관적인 판단을 객관화하고, 꼭 필요한 항목만을 입력하게 하는 새로운 안전점검 및 정밀안전진단 체계가 필요하다.

2.2 퍼지이론

퍼지이론은 현상의 불확실한 상태를 그대로 표현해주는 방법으로서 크게 퍼지집합(fuzzy set) 이론과 퍼지척도(fuzzy measure) 이론으로 분류된다. 퍼지집합 이론은 경계가 애매하고 불분명한 정보를 유용한 정보로 만들기 위하여 소속함수를 도입하여 퍼지집합을 정의하고 퍼지관계, 퍼지관계 합성, 퍼지추론 등을 이용하여 인간의 언어로 표현된 문제를 해결하려는 이론이다.

퍼지이론의 장점을 이용하여 구조물의 상태나 성능을 평가하려는 연구들이 수행되고 있다. 구조물의 성능평가 방법으로는 여러 가지 퍼지이론들이 적용되고 있는데 대표적인 이론들은 최대최소법, 퍼지-베이시언 이론, Sugeno 퍼지적분, Choquet 이론 등이 있다.

3. 현행 상태평가의 문제점 및 개선방향

철근콘크리트 건축물을 대상으로 현재 시행되고 있는 상태평가의 문제점을 파악하고 중소규모 건축물에 적합한 상태평가 프로그램을 개발하기 위하여 설문조사와 면담조사를 실시하였다.

3.1 설문조사

설문조사는 2010년 8월 17일부터 동년 9월 10일까지 실시하였다. 수도권 안전진단기관 198개 업체를 대상으로 594부를 배포하였고, 회수된 72부(회수율 12%)를 분석하였다.

설문조사는 각 평가항목에 대하여 1) 시설물 관련 자료의 확보 상태에 따른 데이터 입력 가능성, 2) 평가항목이 시설물 안전 및 내구성에 미치는 영향, 3) 현장에서의 측정 가능성, 4) 중소규모 건축물의 안전진단에 불필요한 항목 등으로 구분하여 5점 척도로 조사하였다. 그 결과는 표 5와 같다.

표 5. 설문조사 · 분석 결과

평가항목		구분			
		1)	2)	3)	4)
부재별 내력비		2.10	3.99	1.81	3.72
콘크리트강도		3.28	3.64	3.50	3.86
콘크리트균열		3.60	3.78	3.54	4.18
콘크리트탄산화		3.99	3.49	3.46	3.57
염화물함유량		3.79	3.13	2.61	2.74
철근부식		3.78	3.56	3.26	3.75
표면 노후	박리	4.01	3.13	3.74	3.5
	박락 및 층분리	4.04	3.19	3.74	3.64
	누수 및 백태	4.03	3.33	3.65	3.82
	철근노출	3.96	3.40	3.58	3.86
변위, 변형		3.46	3.85	3.32	3.92
기울기		3.46	3.94	3.47	3.97

설문조사 분석결과, 시설물 관련 자료의 확보 상태에 따른 데이터 입력 가능성은 ‘부재별 내력비’ 항목이 가장 낮게 나타났다.

‘부재별 내력비’ 항목은 소요내력과 부재내력을 입력하여 손상의 유무와 함께 내력비를 산정하는 것으로 설계도서가 확보되지 않으면 입력 및 평가가 어렵다. 시설물 안전 및 내구성에 미치는 영향은 ‘염화물함유량’ 과 ‘박리’ 항목이 가장 낮았다. ‘염화물함유량’ 항목은 상태계수가 낮고, 다른 내구성 항목에 미치는 영향이 작다. 현장에서의 측정 가능성은 ‘부재별 내력비’와 ‘염화물함유량’ 항목이 낮게 나타나 현장에서 측정이 힘들다는 것을 암시한다. 중소규모 건축물의 안전진단에 불필요한 항목으로는 ‘염화물함유량’ 이라는 의견이 가장 많았다. 이는 ‘염화물함유량’ 항목이 건물 내구성에 미치는 영향이 작기 때문에 상태평가에서 제외해도 결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3.2 면담조사

철근콘크리트 건축물의 상태평가 업무를 10년 이상 수행하고 있는 8명의 전문가와 면담을 시행한 결과와 전문설문조사 내용을 바탕으로 기존의 안전진단 기준을 중소규모 건축물에 적합하도록 개선할 방향을 다음과 같이 제시한다.

3.2.1 안전성평가 중 내력비

건축물 이력자료를 철저히 관리할 수 있도록 설계도서의 보관을 의무화하여야 한다. 구조부재 변경 시 또는 용도변경 시에만 부재별 내력비에 대해서 평가하고, 기존 용도와 동일하게 사용 중인 경우에는 부재별 내력비 조사를 생략한다.

3.2.2 상태평가

1) 콘크리트 균열

프로그램 상 균열이 없는 개소를 입력하게 되어 있으나 개소 수를 확인하기가 어렵기 때문에 균열이 있는 개소 수만 입력하는 것이 바람직하다. 현재 기준은 균열의 중요도가 너무 커서 균열에 의해 건물의 등급이 결정되는 경우가 많으므로, 균열에 대한 영향이 작게 등급 기준을 재조정할 필요가 있다.

2) 콘크리트탄산화

일반적인 건물에서 특별히 낮은 등급이 도출되지 않기 때문에 건축물의 위치적 특성, 환경적 특성에 따라 기술자의 판단으로 선택적으로 조사를 실시하는 대책이 필요하다. 전문가의 의견을 수렴한 결과 건축물의 준공 후 10년이 경과한 시점부터 탄산화가 진행되는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 10년이 경과한 건물에 한해서만 콘크리트탄산화 시험을 실시하는 방안을 제시하였다.

3) 콘크리트염화물함유량

염화물함유량은 콘크리트탄산화 시험과 마찬가지로 일반적인 건물에서 특별히 낮은 등급이 도출되지 않기 때문에, 조건을 부여해서 조사·측정하는 방안이 필요하다. 해안에서 250m 이상의 거리에 위치할 경우 염해를 고려하지 않아도 좋은 지역에 해당하므로 이를 조건절로 부여하는 방안을 제시하였다.

4) 표면노후화

상태평가 프로그램에 입력 시 표면 노후화 항목에서 각 하위 항목의 “발생 없음” 항목은 개소의 의미가 불분명하기 때문에 삭제시키고 결함이 발생한 개소만 입력할 필요가 있다.

표 6에서 보인바와 같이 기존의 건축물 안전진단 체계는 평가 종류가 안전점검과 정밀안전진단으로 분류된다. 안전점검은 상태평가만 실시하고, 정밀안전진단은 안전성평가와 상태평가를 수행하여 평가하는 방법이다.

이 연구에서 제시한 안전진단 체계는 현장조사를 통해 상태평가 및 변위·변형 항목만 입력하여 종합평가하는 방법이다. 단, 용도변경 및 부재변경 등 이상 현상이 있을 경우에는 부재내력의 안전성평가를 실시하여 종합평가를 한다. 조사대상 표본층은 기존의 정밀점검과 정밀안전진단을 기준으로 중소규모 건축물에 적합하게 중층(5~15층)은 3개층 이상, 기타(5층 미만)는 2개층 이상을 선정하여 측정·조사한다. 조사대상 부재는 기둥, 보, 슬래브 각각 1개소를 기준으로 한다.

표 6. 안전점검과 정밀안전진단의 절차 및 기준 비교

구분	1, 2층 시설물 대상 (기존)	중소규모 건축물 대상 (본 연구)	
공 예 사 항	평가 종류	[안전점검] 상태평가 수행→정보입력→종합평가 [정밀안전진단] 안전성, 상태평가 수행→정보입력 →종합평가	좌동
	조사 대상 표본층 선정	[안전점검] -고층(21~30층):4개층이상 중·고층(11~20층):3개층이상 -중층(6~10층):2개층이상 [정밀안전진단] -고층(21~30층):6개층이상 -중·고층(11~20층):4개층이상 -중층(6~10층):3개층이상	[안전점검] -중층(5~15층):3개층이상 -기타(5층 미만):2개층이상 [정밀안전진단] -중층(5~15층):3개층 이상 -기타(5층 미만):2개층 이상
상 태 평 가	강도	각 층마다 2개 부재 조사 (각 부재마다 3개소)	좌동
	균열	[조사대상 균열폭] A:0.1mm 미만 B:0.1mm 이상 0.2mm 미만 C:0.2mm 이상 0.3mm 미만 D:0.3mm 이상 0.5mm 미만 E:0.5mm 이상	[조사대상 균열폭] A:0.1mm 미만 B:0.1mm 이상 0.3mm 미만 C:0.3mm 이상 0.5mm 미만 D:0.5mm 이상 0.7mm 미만 E:0.7mm 이상
	탄산화	각 층마다 2개 부재 조사 (각 부재마다 3개소)	좌동 다만, 10년이상 된 건축물만 실시
	염화물 함유량	중·고층(11층이상):3개소 이상 중층(10층이하):2개소 이상	좌동 다만, 해안에서 250m이내 거리에 위치하고 있는 건축물만 실시
	철근 부식	각 층마다 2개 부재 이상 육안조사 또는 비파괴검사	좌동
	표면 노후화	건축물 전체에 대한 육안조사를 실시 한 결과 결함·손상이 발생한 부위	하위 항목의 발생없음 항목 삭제
안 전 성 평 가	내력비 평가	부재별 내력비로 평가	조건:용도변경, 부재변경 등 이상 현상이 있을 경우만 실시
	변위· 변형	건물의 수직·수평기울기 평가	좌동

4. 중소규모 건축물의 퍼지기반 상태평가 모델

1) 상태평가 모델의 퍼지이론 적용

이 연구에서는 기존 상태평가 프로그램을 준용하여 주관적이고 정성적인 정보를 객관적이고 정량화된 정보로 변환하는데 효율적인 방법으로서 퍼지이론을 적용하였다. 상태평가 절차는 1) 항목별 평가, 2) 부재별 평가, 3) 층별 평가, 4) 전체 평가 순으로 진행된다. 평가 항목의 중요도 산정 시 상호작용하는 영향을 고려하기 위하여 Sugeno의 퍼지척도 중요도 산정방법을 사용하였다. 층별 평가 및 전체 평가 시 각 조사항목들의 중요도를 반영하여 평가값을 도출하기 위해 퍼지적분 방법을 적용하였다. 퍼지적분은 평가 항목들 사이에 관계를 고려할 경우 평가결과 변동을 예방할 수 있는 Choquet의 퍼지적분을 전체평가 기법으로 사용하였다.

2) 상태평가 모델

(1) 1단계 : 프로젝트 기본정보 입력 단계

건축물의 기본정보, 건축면적, 평가정보 및 표본층 정보 등을 입력할 수 있다. 실제로 진단을 수행한 표본층 및 해당 표본층의 구역, 표본층의 구조형식과 구조재료를 입력한다.

(2) 2단계 : 평가조건 (안전성평가 수행 여부)

부재내력의 안전성평가 수행 여부를 도출하기 위해서 입력하는 평가조건이다. “구조부재 및 용도변경 사항” 이 있다면 부재별 내력비 항목을 평가하게 되고, 그렇지 않을 경우에는 다음 단계로 진행한다. 평가 시에는 부재별 내력비 조사 결과값을 입력하고, 퍼지척도 및 퍼지적분을 적용하여 부재내력의 대푯값을 도출한다. 도출된 대푯값에 층별 중요도 및 부재별 중요도를 적용하여 안전성 등급을 도출한다.

(3) 3단계 : 평가조건 (염화물함유량 측정 여부)

염화물함유량 측정 여부를 도출하기 위해서 입력하는 평가조건이다. “해안에서부터 건축물까지의 거리가 250m 이내” 인 조건에 만족한다면 염화물함유량 항목을 평가하게 되고, 그렇지 않을 경우에는 다음 단계로 진행한다. 평가 시에는 2단계와 동일하게 항목을 평가하게 된다.

(4) 4단계 : 평가조건 (콘크리트탄산화 시험 여부)

콘크리트탄산화 시험 여부를 도출하기 위해서 입력하는 평가조건이다. “건축물 준공 후 10년 이상 경과” 인 조건에 만족한다면 콘크리트탄산화 항목을 평가하게 되고, 그렇지 않을 경우에는 항목을 제외하고 평가하게 된다. 평가 시에는 2단계와 동일하게 항목을 평가하게 된다.

(5) 5단계 : 콘크리트 강도, 균열, 철근부식, 표면노후화 평가 단계

나머지 내구성평가 항목을 평가하는 단계이다.

각 항목의 조사 결과값을 입력하고, 평가 시에는 2단계와 동일하게 항목을 평가하게 된다.

(6) 6단계 : 상태평가 등급 산출 단계

도출된 6가지의 상태평가 항목의 평가값에 층별 중요도 및 부재별 중요도를 적용하여 최종 상태 등급을 산출한다.

(7) 7단계 : 기울기 및 변위, 변형 평가 단계

기울기 및 부등침하 조사 결과값을 입력하고, 퍼지척도 및 퍼지적분을 적용하여 평가한다. 평가 점수는 퍼지이론을 적용하여 등급별 대푯값으로 도출한다.

(8) 8단계 : 종합평가 단계

부재의 안전성평가와 상태평가의 점수를 바탕으로 종합평가하는 단계이다. 퍼지척도 및 퍼지적분을 적용하여 평가한다.

그림 2는 이 연구에서 개발한 모델의 플로우차트(flow chart)를 나타낸 것이다.

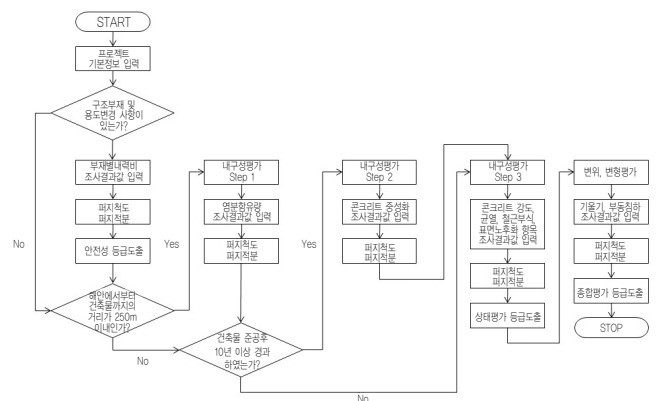


그림 2. 상태평가 플로우차트

3) 평가 프로그램

중소규모 건축물의 종합평가 시스템은 이 연구에서 개발한 중소규모 건축물의 상태평가 모델을 바탕으로 사용자의 편의성을 높이기 위하여 웹기반으로 개발하였다.

그림 3은 중소규모 건축물 종합평가 프로그램의 초기 화면을 나타낸다. 안전진단 종합평가의 이력관리와 보안을 위해 초기 화면에는 로그인을 통해 접속하도록 설정되었다.



그림 3. 평가 프로그램 초기화면

로그인을 한 후, 건축물의 정보를 입력할 수 있다. 그림 4에서 나타난 것과 같이 해안으로부터의 거리와 지하주차장 유무를 선택하는 항목이 나타나게 된다.



그림 4. 건축물 정보 입력 화면

표본층 정보를 입력하고 안전성평가가 자료를 입력한 후, 상태평가 자료를 입력할 수 있다. 그림 5는 상태평가 자료를 입력하는 화면이다.



그림 5. 상태평가 자료 입력 화면

층별 부재를 선택하고 현장조사를 통해 얻어진 데이터를 각 항목에 맞게 선택하여 입력하게 된다. 해안으로부터의 거리가 250m를 초과하거나 지하주차장이 없는 건축물의 경우에는 염화물함유량에 대한 입력 항목이 나타나지 않게 설정하였고, 경과년수가 10년 미만인 건축물에 대해서는 콘크리트탄산화에 대한 입력 항목이 나타나지 않도록 설정하였다.

현장조사 데이터와 변위·변형에 대한 조사값을 입력한 후 평가실행을 클릭하면 결과 화면이 나타나고, 평가에 대한 결과는 항목별 평가, 부재별 평가, 층별 평가, 종합평가로 구분되어 활용이 용이하도록 하였다.

항목별 평가 결과의 구현화면은 그림 6과 같다.



그림 6. 항목별 평가결과 구현 화면

종합평가 결과의 구현화면은 그림 7과 같다.



그림 7. 종합 평가결과 구현 화면

평가 결과값은 기존 상태평가 프로그램과 다르게 웹상에 저장하여 일괄적으로 데이터를 관리할 수 있도록 구성하였다.

4) 기존 모델과 차이점

이 연구에서 제시한 모델과 기존 모델과의 차이점은 4.2절의 표 5와 같이 일부 평가 기준을 중소규모 건축물에 적합하도록 완화하여 적용한 것이다. 또한 상태평가 절차의 용이성을 향상시키고자 일부 기준을 조건절로 하여 입력항목을 간소화하였다.

5. 사례적용

중소규모 건축물을 대상으로 기존 상태평가 프로그램 상의 결과와 이 연구에서 개발한 상태평가 프로그램 상의 결과를 비교·분석하였다.

5.1 사례(1)

5.1.1 기존 프로그램 적용

사례(1)은 인천시의 시설물을 대상으로 적용하였다. 시설은 연면적 5m² 이하이므로 중소규모 건축물로 분류된다. 용도변경이나

표 7. 사례(1) 개요

구분	건축물 기본정보
건물명	인천OO 노유자시설
소재지	인천광역시 연수구 동춘동
준공연도	1989년 1월
주요용도	노유자시설
구조형식	철근콘크리트
건물층수	지상 3층, 지하 1층
건축연면적	999.2m ²
기타특징	용도변경이나 구조부재 변경 사항 없음 해안으로부터 250m 초과 거리에 위치함

구조부재 변경 사항이 없었고, 준공 후 22년이 경과되었으며 건축물은 해안으로부터 250m 초과한 거리에 위치하였다(표 7 참조).

표 8은 기존 프로그램에 적용한 결과이다. 안전성평가 등급과 상태평가 등급, 그리고 종합평가 등급 모두 D로 판정되었다.

표 8. 기존 프로그램에 의한 평가결과 (사례 1)

구분	기둥	내력벽	큰보	작은보	슬래브	종합	기울기 및침하	
-1 층	안전성	3.00	-	7.00	7.00	5.00	6.51(D)	3 (B)
	상태	3.00	7.00	5.00	5.00	7.00	6.84(D)	
	종합	3.00	7.00	6.80	6.80	6.40	6.74(D)	
1 층	안전성	3.00	-	3.00	-	-	3.00(B)	
	상태	3.00	3.00	1.00	3.00	3.00	2.99(B)	
	종합	3.00	3.00	2.80	3.00	3.00	3.00(B)	
3 층	안전성	3.00	-	3.00	3.00	3.00	3.00(B)	
	상태	3.00	5.00	1.00	1.00	1.00	4.78(C)	
	종합	3.00	5.00	2.80	2.80	2.80	4.25(C)	
최종결과	안전성평가 : 6.16(D등급) 상태평가 : 6.52(D등급) 종합평가 : 6.34(D등급)							

5.1.2 중소규모 건축물의 상태평가 프로그램 적용

사례 건물은 지상 3층, 지하 1층으로 구성되어 있으므로, 상태평가 절차에 따라 조사대상 표본층은 2개층 이상이며, 구조부재 변경 및 용도변경 사항이 없었으므로 부재별 내력비 평가를 제외한다. 준공 후 10년 이상 된 건축물이므로 콘크리트탄산화 시험을 실시하며, 건축물이 해안에서 250m 이상의 거리에 위치하고 있기 때문에 염화물함유량 시험은 제외한다. 표 9는 이 연구에서 개발한 상태평가 프로그램 적용 결과이다.

사례(1)의 상태평가 등급과 기울기 및 침하 결과를 포함한 종합평가 등급은 모두 C로 나타났다.

5.1.3 분석결과 비교

이 사례는 구조부재 변경 또는 용도변경 사항이 없었기 때문에 이 연구에 개발한 상태평가 모델 적용과정에서 안전성평가는 제외하였으며, 표본층은 2개층으로 축소하여 기둥, 큰보, 슬래브만 조사하였다. 해안에서 건축물까지의 거리가 250m를 초과하였으므로 염화물함유량 시험은 제외하였다.

기존 프로그램의 경우, 기둥, 내력벽, 큰보, 작은보, 슬래브에 대해 평가하였고, 이 연구에서 개발한 프로그램은 내력벽과 작은보를 제외하였기 때문에 그 결과가 다르게 나타났다. 면담조사에 참여했던 전문가들이 평가결과를 확인하기 위하여 현장을 면밀히 조사하였다. 그 결과 주요 부재에 일부 결함이 발생하였으나, 사용을 제한할 필요없이 간단한 보수·보강만이 요구되므로, 이 모델의 결과(C 등급)가 실제 건축물의 등급을 더 잘 반영하고 있다고 지적하였다.

표 9. 개발 프로그램에 의한 평가결과 (사례 1)

구분	기둥	큰보	슬래브	종합	기울기및침하	
-1층	상태	5	5	5	5.00(C)	5.00(C)
2층	상태	3	3	3	3.00(B)	
최종결과					상태평가 : 4.80(C등급) 종합평가 : 4.26(C등급)	

5.2 사례(2)

5.2.1 기존 프로그램 적용

사례(2)는 인천시 시립 수영장을 대상으로 적용하였다. 사례(2)는 연면적 5천㎡ 이하이므로 중소규모 건축물로 분류된다. 용도변경 사항이 없었고, 준공 후 33년이 경과되었으며, 건축물은 해안으로부터 250m를 초과한 거리에 위치하였다(표 10 참조).

표 10. 사례(2) 개요

구분	건축물 기본정보
건물명	인천 시립 ○○수영장
소재지	인천광역시 중구 도원동
준공년도	1978년 9월
주용도	체육시설
구조형식	철근콘크리트
건물층수	지상 4층, 지하 1층
건축연면적	4,668.9㎡
기타특징	용도변경이나 구조부재 변경 사항 없음 해안으로부터 250m 초과 거리에 위치함

표 11은 기존 프로그램에 적용한 결과이다. 그 결과 안전성평가 등급과 상태평가 등급, 그리고 종합평가 등급도 모두 C로 판정되었다.

표 11. 기존 프로그램에 의한 평가결과 (사례 2)

구분	기둥	내력벽	큰보	작은보	슬래브	종합	기울기 및침하	
-1 층	안전성	1.00	-	7.00	5.00	1.00	5.82(C)	3 (B)
	상태	3.00	5.00	3.00	3.00	-	4.80(C)	
	종합	2.40	5.00	6.60	4.80	2.40	5.72(C)	
2 층	안전성	1.00	-	1.00	-	-	1.00(A)	
	상태	1.00	5.00	1.00	3.00	3.00	4.73(C)	
	종합	1.00	5.00	1.00	3.00	3.00	3.61(B)	
최종결과	안전성평가 : 5.34(C등급) 상태평가 : 4.79(C등급) 종합평가 : 5.24(C등급)							

5.2.2 중소규모 건축물의 상태평가 프로그램 적용

사례 건물은 지상 4층, 지하 1층으로 구성되어 있으므로, 이 연구에서 개발한 모델 기준에 따라 조사대상 표본층은 2개층 이상 조사하였으며 구조부재 변경 및 용도변경 사항이 없으므로

부재별 내력비 평가는 제외하였다. 준공 후 33년이 경과된 건축물이므로 콘크리트탄산화 시험을 실시하며, 건축물이 해안으로부터 250m를 초과한 거리에 위치하고 있기 때문에 염화물함유량 시험은 제외하였다. 표 12는 이 연구에서 개발한 상태평가 프로그램에 적용한 결과이다.

이 건축물의 상태평가 등급과 기울기 및 침하 결과를 포함한 종합평가 등급은 모두 C로 나타났다.

표 12. 개발 프로그램에 의한 평가결과(사례 2)

구분		기둥	큰보	슬래브	종합	기울기및침하
-1층	상태	3	5	5	4.59(C)	3.00(B)
2층	상태	3	3	5	3.60(B)	
최종결과					상태평가 : 4.49(C등급) 종합평가 : 4.04(C등급)	

5.2.3 분석결과 비교

이 연구에서 개발한 상태평가 모델 적용과정에서는 2개의 표본층과 기둥, 큰보, 슬래브를 조사·평가하였으며 용도변경 및 구조부재 변경 사항이 없었으므로 부재별 내력비는 평가에서 제외하였다. 해안에서 건축물까지의 거리가 250m를 초과하므로 염화물함유량 시험도 제외하였다. 기존 프로그램과 이 연구에서 개발한 프로그램에 의한 결과와 등급이 동일하게 나타났으며, 결과값도 유사하게 도출되었다. 완화된 균열폭 기준으로 인해 지하 1층의 기둥과 지상 2층의 모든 부재에 대한 결과값이 다소 달랐지만, 전체 상태평가 결과에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

5.3 사례 (3)

5.3.1 기존 프로그램 적용

사례(3)은 서울시 마포구 소재 아파트를 대상으로 적용하였다. 사례(3)은 16층 미만이므로 중소규모 건축물로 분류된다. 용도변경이나 구조부재 변경 사항이 없고, 준공 후 40년이 경과되었으며, 건축물은 해안으로부터 250m를 초과한 거리에 위치하였다(표 13 참조).

표 13. 사례(3) 개요

구분	건축물 기본정보
건물명	서울 ○○○아파트
소재지	서울시 마포구 일원
준공년도	1971년 2월
주용도	주거시설
구조형식	철근콘크리트
건물층수	지상 5층, 지하 1층
건축연면적	15947.0㎡
기타특징	용도변경이나 구조부재 변경 사항 없음 해안으로부터 250m 초과 거리에 위치함

표 14는 기존 프로그램의 결과이다. 기존 프로그램에 적용한 결과 안전성평가 등급과 상태평가 등급, 그리고 종합평가 등급은 모두 D로 판정되었다.

표 14. 기존 프로그램에 의한 평가결과 (사례 3)

구분		기둥	내력벽	큰보	작은보	슬래브	종합	기울기 및침하
-1층	안전성	1.00	1.00	1.00	-	1.00	1.00(A)	3 (B)
	상태	5.00	5.00	7.00	-	7.00	6.58(D)	
	종합	3.80	3.80	5.20	-	5.20	4.91(C)	
1층	안전성	1.00	-	9.00	-	9.00	7.37(D)	
	상태	5.00	5.00	5.00	-	5.00	5.00(C)	
	종합	3.80	5.00	8.60	-	8.60	7.13(B)	
3층	안전성	1.00	-	5.00	-	1.00	3.80(B)	
	상태	5.00	-	3.00	-	3.00	4.80(C)	
	종합	3.80	-	4.80	-	2.40	4.50(C)	
최종결과							안전성평가 : 6.88(D등급) 상태평가 : 6.42(D등급) 종합평가 : 6.75(D등급)	

5.3.2 중소규모 건축물의 상태평가 프로그램 적용

사례 건물은 지상 5층, 지하 1층으로 구성되어 있으므로, 개발된 모델 기준에 따라 조사대상 표본층은 3개층 이상이고 구조부재 변경 및 용도변경 사항이 없었으므로 부재별 내력비 평가는 제외하였다. 준공 후 10년이 경과된 건축물이므로 콘크리트탄산화 시험을 실시하였으며 해안으로부터 250m를 초과한 거리에 위치하고 있으므로 염화물함유량 시험은 제외하였다. 표 15는 이 연구에서 개발한 상태평가 프로그램에 적용한 결과이다.

이 건축물의 상태평가 등급과 종합평가 등급은 C로 판정되었다.

표 15. 개발 프로그램에 의한 평가결과 (사례 3)

구분		기둥	큰보	슬래브	종합	기울기및침하
-1층	상태	5	5	5	5.00(C)	3.00(B)
1층	상태	3	3	5	3.60(B)	
3층	상태	3	3	3	3.00(B)	
최종결과					상태평가 : 4.86(C등급) 종합평가 : 4.30(C등급)	

5.3.3 분석결과 비교

구조부재 변경 또는 용도변경 사항이 없기 때문에 이 연구에서 개발한 상태평가 모델에서는 안전성평가가 제외되었으며, 표본층은 기존 평가체계와 동일하게 3개층을 조사하였다. 건축물이 해안으로부터 250m를 초과하여 위치하였으므로 염화물함유량 시험은 제외하였다.

이 연구에서 개발한 상태평가 모델에 의한 경우 완화된 균열폭 기준을 적용하고 염화물함유량 시험 제외로 인해 기존 프로그램보다 등급이 더 좋게 나타났다. 면담에 참여했던 전문가들이 현장을 면밀히 재조사한 결과 항목별로 진단자의 주관에 따라 발생할 수 있는 차이로 두 결과 모두 타당한 것으로 지적되었다.

6. 논의

건축물의 안전관리 측면에서 볼 때 1, 2종 건축물과 중소규모 건축물은 중요도에서 차이는 없다. 중소규모 건축물은 안전진단의 시기, 방법 및 절차 등이 명확하지 않고 안전진단도 의무화되어 있지 않으나 중소규모 건축물의 효율적인 안전관리와 유지관리를 위하여 안전진단은 필수적이다. 기존 안전진단 절차 및 방법을 중소규모 건축물에 적용하기에는 시간과 비용이 많이 소요되므로 중소규모 건축물에 맞게 안전진단 절차 및 방법을 개선하기 위해 이 연구를 수행하였다. 사례적용 결과 기존 프로그램의 결과와 다소 차이가 발생하였으나, 실제 건축물의 상태를 더 잘 반영한다는 전문가의 의견에 따라 중소규모 건축물에는 이 연구에서 개발·제시한 프로그램을 적용해도 무방할 것으로 사료된다.

7. 결론

안전점검 및 정밀안전진단이 1, 2종 시설물에만 국한되어 99.4%에 달하는 중소규모 건축물에 적용할 수 있는 안전점검 및 진단체계의 개발이 필요하다.

이론적 고찰을 통해서 기존 안전진단 체계를 분석하고, 문제점을 도출하였다. 전문가 설문조사 및 면담조사를 통해 중소규모 건축물에 적합하도록 상태평가 기준을 재조정하여 상태평가 모델을 제시하였다.

중소규모 건축물의 상태평가 절차는 건축물의 기본정보를 입력한 후 3가지 평가 조건에 따라서 평가 항목이 결정된다. 평가 조건은 1) 구조부재 및 용도 변경 사항 유무, 2) 해안으로부터 건축물까지의 거리가 250m 이내 또는 지하주차장 존재 유무, 3) 건축물 준공 후 10년 이상 경과 여부이다. 평가 항목을 퍼지척도 및 퍼지적분을 적용하여 평가하고, 상태평가와 안전성평가 등급이 산출된다. 마지막으로 부재내력의 안전성평가와 상태평가, 기울기 및 변위·변형의 점수를 바탕으로 퍼지척도 및 퍼지적분을 적용하여 종합평가를 한다.

사례적용 결과, 기존 프로그램의 결과와 이 연구에서 개발한 프로그램의 결과는 다소 차이를 보이지만, 전문가의 현장 재검토를 통해 건축물의 실제 등급을 나타내기에는 큰 무리가 없는 것으로 나타났다.

이 연구의 결과를 실무에 적용한다면 1, 2종 이외의 중소규모 건축물도 안전점검 및 정밀안전진단을 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 2010년도 중소기업청 산학연 공동기술개발사업 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- 국립방재교육연구원 방재연구소 (2007). 시설물 안전등급 평가 기준 개발.
- 국토해양부 (2010). 국토해양 통계연보.
- 한국시설안전공단 (2002). 시설물의 상태평가 기준정립 연구보고서(건축).
- 한국시설안전공단 (2009). 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침.
- 김동희 (2006). “철근콘크리트 건축물의 구조안전성능평가기법에 관한 연구”, 서울산업대학교 석사학위논문.
- 김영민 (2002). “철근콘크리트 건축구조물의 퍼지기반 상태평가”, 서울대학교 박사학위논문.
- 신은영 (2009). “시설물의 안전관리에 관한 특별법 대상 시설물의 조정방안”, 한국건설관리학회지 v.10 n.6.
- 조현욱 외 2인 (2011). “중소규모 건축물의 안전진단을 위한 상태평가 개선방향”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.229~230.
- 진상윤, 김현남 (2002). “건축물의 안전진단에서 외관조사 및 이력관리를 위한 정보관리 모델 및 시스템 개발”, 대한건축학회논문집, v.162, pp. 139~146.
- 홍갑표 (1998). “콘크리트 건축물의 안전진단시스템 개발”, 대한건축학회지, v.162, pp.3~10.
- Chao, Ching-Ju, and Cheng, Fu-Ping. (1998). “Fuzzy Pattern Recognition Model for Diagnosing Crack in RC Structures”, Journal of Computing in Civil Engineering, v.12 n.2, pp.111~119.

논문제출일: 2012.05.10

논문심사일: 2012.05.11

심사완료일: 2012.07.31

요 약

건축물 유지관리 단계에서의 안전점검 및 정밀안전진단은 1, 2종 시설물에만 국한되어 있으나 중소규모 건축물이 전체 건축물의 99.4%를 차지할 정도로 많다는 점을 고려할 때, 중소규모 건축물의 안전진단은 반드시 필요하다. 이 연구에서는 현행 안전점검 및 정밀안전진단 체계의 문제점을 고찰하고, 중소규모 건축물에 적용할 수 있는 안전진단 모델을 개발하였다. 현행 평가방식을 고찰하고 설문조사를 통해 기존 상태평가 항목을 중소규모 건축물에 적합하게 조정하였다. 안전진단 모델 개발에 퍼지이론이 적용되었으며, 평가를 용이하게 하기 위해 웹기반 프로그램을 개발하였다. 이 연구의 결과를 실무에 적용한다면 1, 2종 이외의 중소규모 건축물도 안전점검 및 정밀안전진단을 효율적으로 수행할 수 있을 것이다.

키워드 : 중소규모 건축물, 안전진단, 퍼지, 상태평가
