

# 부재속성에 따른 균열 형상 분석에 관한 연구 - 공동주택 외벽 균열을 중심으로 -

김만장\*

\*한국건설안전기술사회교육원

## A Study of Crack Shape Analysis based on Properties of Member in Apartment Exterior Wall

Kim, Man-Jang\*

\*KSPEA Education Center

**Abstract :** The Crack, occurred in the concrete structure, is a major cause of function deterioration such as strength, durability and waterproof. Therefore the need for crack reduction will continue as long as there is concrete structure. But, it is not easy to reduce or prevent crack cause of impact factor of it. There are so many factors of crack such as material, construction and maintenance environment, and structure, and these are acting in combination. So, this study derives a correlation between the cracks and members through reviewing member crack occurred. And member's attribute, related crack, is analyzed by it. It consider that the basic attribute of member is similar when its requirements are similar. Through this study, therefore, foundation of countermeasure of crack will be provided by prediction of crack shape through member's attribute.

**Keywords :** Apartment, Exterior Wall, Crack, Concrete, Defect, Case Analysis

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

#### 1.1.1 연구의 배경

콘크리트 구조물은 “시공중 및 공용중에 사용하는 하중에 대해 적당한 안전성을 가지며”, “통상 사용시에 충분한 기능을 발휘하며”, “공용기간 중 충분한 내구성을 갖는”, 동시에 “환경에 의해 적합한 점”이 요구된다. 이는 내력, 사용성, 내구성, 외관의 4가지로 정의할 수 있으며 이 중 어느 하나라도 부족한 경우 그 구조물은 결함이 있는 것이라 할 수 있다.

각각의 항목이 본연의 목적에 부합되지 못함에는 다양한 요인이 작용할 수 있으나 가장 대표적인 사항은 균열이라 할 수 있다<sup>1)</sup>. 특히 균열은 누수 및 백화 현상과 더불어 건축물 3대 하자 요인으로 꼽히고 있으며, 누수와 백화 현상에도 직

접적인 영향을 미치고 있기에 균열에 대한 관리의 필요가 매우 절실함을 알 수 있다.

콘크리트는 다양한 재료가 혼합되고 이들 간의 화학적 결합을 통해 하나의 구체를 형성하는 과정에서 필연적으로 균열이 발생할 수밖에 없다. 물론, 발생하는 모든 균열이 문제 되는 것이 아니지만 일정 규모 이상의 균열은 건축물 자체뿐만 아니라 해당 건축물의 사용자와 시공사 모두에게 부정적인 영향을 미치는 문제를 수반하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 각 건설사는 품질관리 전담부서를 두어 이에 따른 원인 규명과 대책 수립에 많은 관심을 두고 있으며, 이와 관련된 연구에서도 다양한 형태로써 연구를 진행하고 있다. 하지만 이러한 노력은 대부분 균열이 발생한 이후의 관리 방안이나 제한적인 환경에서의 균열 발생 분석으로 한정하고 있어 이를 사전에 최소화하고자 하는 방안이 미흡한 실정이다.

\* Corresponding author: Kim, Manjang, KSPEA Education Center, Seoul 110-808, Korea  
E-mail: kkmj3590@hanmail.net  
Received February 16, 2015; revised April 27, 2015  
accepted May 8, 2015

1) 하자 발생으로 인한 주요 피해는 건설사의 이미지 손상(31.67%), 건설생산성의 저하(30.00%) 민원 제기(21.67%), 건설재해의 발생(16.67%)으로 구분할 수 있으며 이는 주로 콘크리트 균열로부터 기인하고 있다. 이로 인해 전체 공사비의 약 3% 내외로 직접적인 경제적 손실이 발생하는 것으로 나타났다(남금석 2007).

이는 균열의 발생과 관련되어 있는 요인이 매우 다양하다는 것에 그 이유를 찾을 수 있다. 대체적으로 균열은 설계적 측면, 시공적 측면, 재료적 측면, 유지관리적 측면에 기초하여 발생하며, 각각의 측면에서도 세부적인 항목이 존재하고 있다. 또한 각 항목이 독립적으로 영향을 미치는 것이라 아니라 상호 연관성이 일정 부분 있기에 이에 대한 분석이 용이하지 않다.

따라서 본 연구에서는 실제 건축물을 대상으로 동일한 환경에서 부재의 속성에 따라 균열이 어떠한 양상으로 발생하는지를 분석하여, 부재의 특징을 분석하여 균열을 사전에 예측할 수 있는 기반을 조성하고자 한다.

이는 균열이 발생한 환경을 역으로 분석하여 요인을 추론하는 것이기에 각 요인을 개별적으로 분석하는 것에 비해 다소 정확성이 떨어질 수 있으나 현실적으로 불가능한 직접적인 산출 방식의 한계를 극복하고 경험과 실제 사례를 활용하여 이를 정량화하여 관련 연구의 기틀을 마련할 수 있을 것이라 기대된다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 균열 사례 분석을 통해 공동주택 외벽에서의 균열을 분석하여 부재의 속성이 균열의 발생과 어떠한 영향이 있는지를 정량화하고자 한다. 이에 대한 연구 방법은 다음 Fig. 1과 같다.

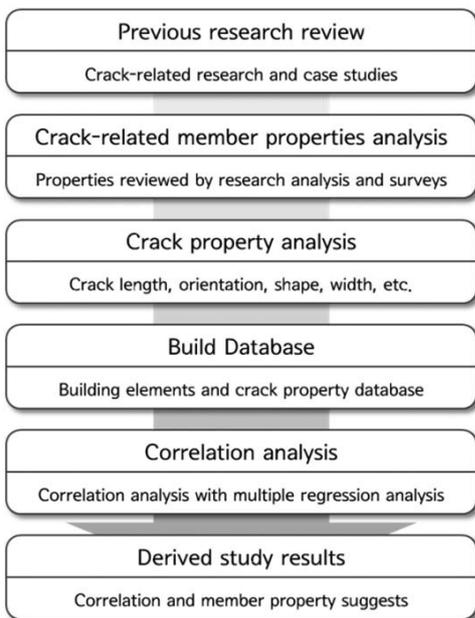


Fig. 1. Study process

위와 같은 연구의 진행을 위해 본 연구에서는 경기도의 아파트 1개 단지, 14개 동의 결합현황 및 현장 조사 기록을 자료로 하여 연구를 진행하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 선행 연구 고찰

균열은 오랜 세월 건축물 및 토목 구조물에서 주요 관리 대상으로 인식하고 있었기에 다양한 방향에서 이에 대한 연구가 진행되었다. 이는 크게 균열 자체를 주된 분야로 하는 연구와 하자의 측면에서 이를 해석하는 연구로 나눌 수 있다.

균열과 관련하여 오상작(2007)은 병영시설의 외벽균열에 대해 회귀분석을 통하여 균열발생의 주요 영향인자를 산출하였으며, 박찬욱(2009)은 균열폭 산정식(MC-90)에 콘크리트 강도를 고려한 수정 균열폭 산정식을 제안하였다. 문준모(2010)는 보의 전단균열을 예측하면서 사용 환경에 따라 기준식의 적용을 달리 하여야 함을 증명하였고, 김원식(2011)은 콘크리트 균열 발생 유형을 체계화하였다. Goitseone(2010)은 균열 패턴에 의한 RC보의 균열 확대 영향을 분석하였고, Alessandro(2012)는 황금비를 균열 발생 패턴에 적용하여 이를 예측하고자 했으며, Alireza(2012)는 음향 측정을 통해 철근콘크리트 전단벽의 균열 형상을 모니터링 하는 방법을 제안하였다. 균열과 관련된 연구의 경우 특성상 균열의 유형 및 영향인자를 도출하거나 특수한 상황에서의 균열 발생에 대해 구조적으로 접근하는 형태를 취하고 있다.

하자와 관련하여 서장우(2009)는 초고층 주상복합 건축물의 하자 발생 분포 및 특성에 대해 검토하였다. 김효진(2011)은 공동주택의 하자 예방을 위해 BIM을 활용하였을 때의 일반적인 효과에 대해 기술하였으며, 장효성(2011)은 기존 웹상의 하자정보관리시스템에 대한 개선방안을 제시하였고, 홍석일(2011)은 공동주택 마감공사에서의 하자 사례를 분석하여 중점 관리 대상을 도출하였다. 하자와 관련된 연구는 그 발생 원인에 대한 분석을 토대로 이를 방지하거나 대응하기 위한 방안이 제시되는 형태가 일반적이다.

앞서 언급한 바와 같이 균열에 대해서는 다양한 형태와 측면에서 연구가 이루어졌다. 하지만 대부분의 연구가 제한적인 조건과 환경에서 균열을 분석하고 있어 이를 복합적으로 접근하는 것은 다소 제한적이라 할 수 있다. 또한 균열의 유형과 원인을 분석함에 있어서도 정성적 측면에서 이를 추정·제시하여 연구 결과에 대한 신뢰성이 아쉬운 실정이다.

### 2.2 균열 발생 원인 분석

균열 발생의 원인은 연구의 관점에 따라 다양한 형태로 이를 분류할 수 있다. 이를 균열은 재료적 요인, 환경적 요인, 구조적 요인, 시공적 요인에 따라 구분하면 다음 Table 1과 같다.



Table 4. ID of crack-related member properties

Classification	Contents	ID
Type	Influence by the member type	A
Shape	Influence by the member size	B
	Influence by the member form	C
Position	Influence by the vertical position of member	D
	Influence by the horizontal position of member	E
Relation	Influenced by the relationship with the other member	F
	Influence by the number of the joining members	G
ETC.	Influence by opening	H
	Influence by construction joint	I

추출된 변수를 토대로 이루어진 설문은 시공 및 안전진단, 유지관리 등 균열과 관련이 있는 업체 종사자 42인을 대상으로 실시하였으며, 이중 31인으로부터 결과를 도출하였다. 이에 대한 예시는 다음 Table 5와 같다.

Table 5. Weight of crack-related member properties

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	1	1/6	1/5	1/3	2	1/8	2	2	2
B	-	1	2	4	4	2	4	3	9
C	-	-	1	4	3	2	5	9	9
D	-	-	-	1	1/2	1/5	1/6	1/6	3
E	-	-	-	-	1	1/4	1/6	2	3
F	-	-	-	-	-	1	3	3	9
G	-	-	-	-	-	-	1	2	8
H	-	-	-	-	-	-	-	1	9
I	-	-	-	-	-	-	-	-	1

이때 각각의 평가자들의 평가의견을 단일화해야 하는데, 이를 위한 방법에는 그룹의 토론을 통한 그룹평가방법과 각 평가자들의 평가치를 종합하는 수치통합방법이 있다(Satty, 1980). 본 연구에서는 수치통합방법을 적용하였다<sup>5)</sup>. 이를 위해 각 요인별 평가치를 기하평균을 통해 종합하여 그에 따른 분석 결과 각각의 항목에 대한 중요도 평가 결과는 다음 Table 6과 같다.

Table 6. Weight of crack-related member properties

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	합계
Weight	0.108	0.158	0.152	0.118	0.086	0.081	0.074	0.102	0.121	1.000

분석 결과 대체적으로 유사한 영향도를 나타내고 있으나 부재종류, 부재치수<sup>6)</sup>, 개구부, 이음부가 상대적으로 중요한

5) 그룹평가법은 전문가 그룹간의 토론을 통해 의사의 합치를 바탕으로 이루어지는 것으로서 현실적으로 이를 적용하는 것은 한계가 있어 통상적인 연구에서는 개별 설문조사를 토대로 이를 종합하는 수치통합방법을 활용한다.

영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 기존 문헌에서 정성적인 형태로서 중요성을 강조했던 바와 일정 부분 합치하는 것으로 나타났다. 단, 부재의 정형성 또한 상당히 높은 영향을 주는 것으로 나타났으나, 연구 대상의 부재에서는 비정형성이 없어 이를 배제하였다. 또한 이외의 변수와는 다소 영향도에 차이가 있는 것을 토대로 이를 균열 상관 변수로 설정하여 DB를 구축하였다.

### 3.1.2 균열 분석 정보 설정

전문 시방서<sup>7)</sup>에 따르면 균열조사는 균열의 발생 원인추정, 균열평가에 따른 보수·보강 여부의 판정, 그리고 보수·보강 방법의 선정에 위한 자료 수집 목적으로 표준조사와 상세조사로 구분되어 이루어진다. 이때 균열 현상을 조사하기 위해 다음의 내용을 포함한다(Table 7).

Table 7. Crack Analysis Items

Item	Contents
direction	Vertical, horizontal, diagonal, radial, etc.
Width	measured through the crack gauge, crack scale
Length	Remuneration scale analysis, crack pattern analysis
Penetration	boring test, ultrasound analysis

이밖에도 균열 부위 주변의 조사, 균열 경과의 조사, 장해 현상 및 경과의 조사, 설계도서류의 조사, 시공기록의 조사, 구조물의 사용·환경상태의 조사가 실시된다.

본 연구에서는 균열 발생 형태와 부재 형상과의 상관성을 분석하는 것에 목적을 두고 있어 균열의 형태와 균열폭, 균열의 길이를 균열 분석 정보로 설정하였다. 균열 관통 여부는 빈도수가 작아 배제하였다. 또한 균열의 건식, 습식 및 기타로 구분하여 항목을 설정하였다.

## 4. 균열 분석 DB 구축

### 4.1 부재 속성 및 균열 변수 CODE 부여

본 연구에서는 연구의 효율성과 연구 결과의 신뢰도를 높이기 위해 부재 속성 변수와 균열 변수에 대해 일정 범위<sup>8)</sup>를 설정하여 이에 대한 CODE를 부여하였다. 이는 다음 Table 8, 9와 같으며, 이 CODE를 근거로 균열 분석 DB를 구축하였다.

6) 본 연구에서는 부재치수에 대해 너비와 높이로 구분하여 변수를 설정하였다.  
7) 건설교통부(1999), 콘크리트 구조물의 균열, 누수, 보수·보강 전문 시방서, 시설안전기술공단  
8) 각각의 변수에 대한 범위는 대상 현장에서의 균열 및 부재에 대해 최소값과 최대값 및 빈도를 검토하고 이에 대한 분포를 고려하여 산정하였다.



### 5.2 상관관계 분석 결과

본 연구에서는 균열 길이와 균열 방향을 종속변수로 하고 부재종류, 부재높이, 부재너비, 개구부, 이음부를 독립변수로 하였다. 이때 각각의 변수에 대해 단순회귀분석을 적용할 수 있으나 각 변수를 독립적으로 분석하는 것은 균열의 발생 특성상 적합하지 않다 판단하여 다중회귀분석을 활용하였다.

#### 5.2.1 균열 길이와 부재 간의 관계 분석

균열길이와 부재 속성간의 관계 분석을 위해 회귀분석을 하였으며 이에 따른 결과는 다음 Table 11과 같다.

Table 11. Correlation of crack length and member

Parameter	B	Std. Error	t stat	p-value	limit
(Constant)	4.872	.122	39.951	0.000	
Type	-.377	.040	-9.547	.000	.438
Height	.331	.012	27.355	.000	.407
Width	.276	.009	32.390	.000	.818
Opening	-.028	.012	-2.309	.021	.814
Joint	-1.720	.050	-34.222	.000	.918

R=0.502 R<sup>2</sup>=0.252, adjusted R<sup>2</sup>=0.252, F=659.562, p=0.000

분석 결과 균열의 길이에 대해 각 독립변수의 t값이 ±1.96 이상이고, 유의확률(p값)이 .000(p<.05)이므로 회귀모형이 적합하다 할 수 있다. 이때 부재 높이와 너비는 정(+)의 영향을 미치고, 부재 종류 및 개구부와 이음부는 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 회귀모형은 F값이 659.562의 수치를 보이며, 회귀식에 대한 R<sup>2</sup>=0.252으로 25.2%의 설명력을 보이고 있다.

이를 토대로 각각의 관계에 대한 식을 추정한 결과는 다음 식 (1)과 같다.

$$\text{균열길이} = 4.872 - 0.377a + 0.331b + 0.276c - 0.028d - 1.720e \quad (1)$$

a : Type                      c : Width                      e : Joint  
b : Height                    d : Opening

#### 5.2.2 균열 방향과 부재 간의 관계 분석

균열방향과 부재 속성간의 관계 분석을 위해 회귀분석을 하였으며 이에 따른 결과는 다음 Table 12와 같다.

Table 12. Correlation of crack direction and member(1)

Parameter	B	Std. Error	t stat	p-value	limit
(Constant)	2.017	.078	25.980	.000	
Type	-.205	.025	-8.152	.000	.438
Height	.288	.008	37.398	.000	.407
Width	-.244	.005	-44.944	0.000	.818
Opening	.006	.008	.736	.462	.814
Joint	.079	.032	2.469	.014	.918

R=0.629 R<sup>2</sup>=0.396, adjusted R<sup>2</sup>=0.396, F=1283.235, p=0.000

분석 결과 p값이 .000(p<0.05)이나 균열의 방향에 대해 개구부의 t값이 ±1.96이하이기에 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 따라서 개구부를 제외하여 다중회귀분석을 하였으며 이는 다음 Table 13과 같다.

Table 13. Correlation of crack direction and member(2)

Parameter	B	Std. Error	t stat	p-value	limit
(Constant)	2.036	.073	27.712	.000	
Type	-.205	.025	-8.137	.000	.438
Height	.290	.008	38.161	.000	.421
Width	-.245	.005	-46.578	0.000	.872
Joint	.079	.032	2.468	.014	.918

R=0.629 R<sup>2</sup>=0.396, adjusted R<sup>2</sup>=0.396, F=1603.984, p=0.000

분석 결과 균열의 방향에 대해 각 독립변수의 t값이 ±1.96 이상이고, 유의확률(p값)이 .000(p<.05)으로 회귀모형이 적합하다 할 수 있다. 이때 부재높이와 이음부는 정(+)의 영향을 미치고, 부재종류와 부재너비는 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 회귀모형은 F값이 1603.984의 수치를 보이며, 회귀식에 대한 R<sup>2</sup>=0.396으로 39.6%의 설명력을 보이고 있다.

이를 토대로 각각의 관계에 대한 식을 추정한 결과는 다음 식 (2)와 같다.

$$\text{균열방향} = 2.036 - 0.205a + 0.290b - 0.245c + 0.079e \quad (2)$$

a : Type                      c : Width                      e : Joint  
b : Height                    d : Opening

#### 5.2.3 분석 결과에 대한 검증

본 연구에서 추정된 균열 길이 및 방향에 대한 관계식의 신뢰성을 검토하기 위해 실제 사례에 이를 적용하였다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 14개 동 중 DB만을 구축한 1개 동 752건의 균열을 대상으로 하였다.

신뢰성에 대한 분석 방법은 구축되어 있는 DB에서의 균열 방향과 길이와 본 연구에서 제시한 식을 통해 산출된 결과를 비교하는 형태로 이루어졌다. 이에 대한 예시는 다음 Table 14와 같다.

Table 14. sample of Reliability Analysis

Parameter					crack length		crack direction	
a	b	c	d	e	act.	pre.	act.	pre.
1	1	1	4	2	1	1.549	1	2.034
2	2	1	4	2	2	1.503	1	2.119
2	4	1	4	2	2	2.166	3	2.698
2	2	2	4	2	1	1.779	3	1.874
2	3	3	4	2	2	2.387	3	1.919
2	3	5	2	2	2	2.995	2	1.429

\*a : Type                      c : Width                      e : Joint  
b : Height                    d : Opening

이후 산출된 값을 다음의 식 (3)에 대입하여 평균 제곱근 편차(Root Mean Square Deviation; RMSD)<sup>10)</sup>를 구하였다.

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2} \quad (3)$$

$x_1$  : actual value  
 $x_2$  : predicted value  
 $n$  : number of groups

이에 따른 결과값은 Table 15과 같다.

Table 15. Root Mean Square Deviation

category	n	$\sum \delta$	RMSD
crack length	752	919.554	1.105
crack direction	752	365.779	0.697

산출된 RMSD를 검토한 결과 균열 길이와 방향에 대해 각각 1.105과 0.697의 낮은 수치를 나타냈다. RMSD가 작을수록 결과값을 신뢰할 수 있음을 의미한다. 또한 DB에서의 실제 값과 추정 값에서의 결과만을 비교해볼 때 전체 752개의 항목에서 균열의 길이는 315개의, 균열의 방향은 537개의 항목이 조건에 부합한 것으로 나타났다. 이는 비율적으로 보면 각각 41.9%와 71.4%의 정확성을 가지고 있어 결과값 예측에 대한 본 연구에서의 추정식이 신뢰할 수 있음을 나타낸다. 즉, 해당 식을 적용하였을 경우 균열의 길이에 대해서는 41.9%의 확률로, 균열의 방향에 대해서는 71.4%의 확률로 실제 발생할 균열을 예측할 수 있음을 의미한다. 균열의 길이에 대한 결과값이 다소 낮게 나타났으나, 실질적으로 균열의 방향이 균열의 사전 대응에 더 중요한 요인임을 고려해볼 때 본 연구의 결과물에 대한 적용 가능성은 충분하다 판단된다.

앞서 각 변수간의 상관관계 분석에서 균열 길이의 경우 25.2%의 설명력을 가지고 있고, 균열 방향의 경우 균열의 길이보다 높은 39.6%의 설명력을 가지고 있는 것을 고려해볼 때, 본 연구의 신뢰도 평가에서 위와 같은 결과가 도출된 것은 충분한 당위성이 있다고 판단된다. 또한 설명력 대비 실제 결과값의 정확도가 증가한 점은 상당히 고무적이라 볼 수 있다.

### 5.3 균열과 부재 관계 분석

본 연구에서 산출된 식에 대한 분석은 다음과 같다. 먼저 균열의 길이는 수직부재보다 수평부재에서의 균열이

상대적으로 더 길게 발생하는 것으로 분석되었으며, 부재의 높이가 높고, 너비가 넓을수록 즉, 부재가 클수록 균열의 길이가 증가할 수 있는 것으로 나타났다. 개구부와 이음부 모두 부(-)의 영향이기는 하나 각각이 명목변수이기에 개구부와 이음부에 인접한 것이 그렇지 않는 것보다 균열의 길이가 길게 발생할 수 있음으로 나타났다.

균열의 방향은 비율변수가 아닌 명목변수인 관계로 비율변수인 균열의 길이에서와 같은 분석은 상대적으로 어렵다. 단, 균열의 방향에 대한 각 변수의 평균값을 비교함으로써 대체적으로 어떠한 영향을 미치고 있는가를 검토할 수 있다 (Table 16).

Table 16. parameter 's average by crack direction

direction	type	height	width	opening	joint	
1 (n=3682)	avg.	1.58	2.30	3.65	3.11	1.98
	s.d	.493	1.264	1.221	1.138	.137
2 (n=2029)	avg.	1.79	2.98	2.93	3.41	1.96
	s.d	.409	1.317	1.308	1.025	.204
3 (n=4068)	avg.	1.94	3.94	2.02	3.73	1.91
	s.d	.246	1.121	1.190	.712	.291
4 (n=5)	avg.	1.20	2.00	4.40	3.20	2.00
	s.d	.447	0.000	1.342	1.304	0.000

각 변수에 대한 평균값을 분석해보면 수직 균열일 경우 부재의 높이가 낮고 너비가 넓어지는 경향을 나타내며, 수평 균열의 경우 그와 반대로 부재의 높이는 높아지고 너비는 줄어드는 경향을 보이고 있다.

이상의 내용은 선행 연구 및 관련 문헌에서의 이론과 상당 부분 합치하고 있다. 통상적인 구조물에서의 경우 하중이 작용함에 따라 다음 그림에서와 같이 수직부재인 기둥에서는 수평균열이, 수평부재인 보에서는 수직균열이 발생하게 된다 (Fig. 4).

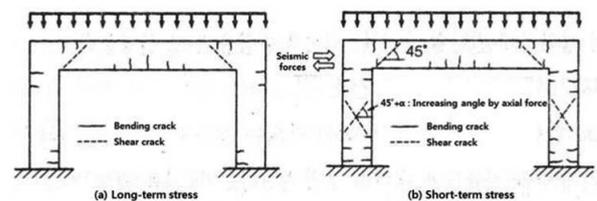


Fig. 4. Crack appearance by design load(Editorial department, 2000)

또한 구조물 벽체의 수직과 수평 균열 발생에 영향을 끼치는 요인에 대해서도 대체적으로 다음 Table 17과 같이 정리하고 있다.

10) 평균 제곱근 편차는 추정 값 또는 모델이 예측한 값과 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이를 다룰 때 사용하는 척도로서, 정밀도를 표현할 때 활용한다.

Table 17. Factors of vertical and horizontal cracks

Vertical crack			
Factor	easy	←-----→	difficult
span	great	Shrinkage strain (great↔small)	small
wall(left&right)	exist	Shrinkage restraint (great↔small)	none
Column depth	great	great ↑, small ↓	small
floor height	small	buckling (difficult↔easy)	great
horizontal crack			
Factor	easy	←-----→	difficult
span	small	bending (difficult↔easy)	great
wall(top&bottom)	exist	-	none
Column depth	great	-	small
floor height	great	Shrinkage strain (great↔small)	small

개구부의 경우 통상적으로 사인장 균열 형태로 균열이 많이 발생하여 이에 대한 철근 보강 및 유도 줄눈 설치 등의 대응을 하도록 명시<sup>11)</sup>되어 있다. 이는 개구부의 형상과 위치 등에 따라 다소 상이할 수 있으나 대체적으로 구조적 공동부로부터 인하여 발생할 수 있음을 알 수 있다(Fig. 5).

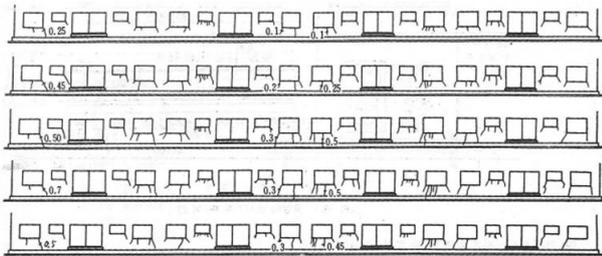


Fig. 5. Crack example in exterior wall

이음부에 대해서는 대체적으로 시공 이음부에 대한 처리가 다소 미흡할 경우 발생할 가능성이 높다. 즉, 먼저 타설된 콘크리트의 블리딩, 레이턴스 등을 제거하고 상층부의 타설이 이루어져야 하나 그렇지 못한 경우가 상당 부분 존재한다. 특히, 아파트와 같은 건축물의 경우 시공효율성을 위해 갱폼의 설치를 완료하고 이후에 박리제를 도포하는 경우가 잦아 박리제가 이음부에 떨어지고 이로 인해 상층부와 하층부가 일체화되지 못할 수 있다.

5.4 소결

이상의 내용을 검토해볼 때 본 연구에서의 산출식은 충분한 당위성이 있는 것으로 나타났다. 물론 본 연구에서의 결과물에서도 균열과 관련된 모든 요인을 종합적으로 검토하지 못한 한계가 있다. 즉, 건축물의 특성을 토대로 균열과의 관계를 추론하는 과정에서 단지 부재의 종류, 크기, 개구부 및 이음부 유무 등으로 이를 한정하여 해당 건축물의 완공시점과, 방향, 지역의 날씨에 대한 고려가 이루어지지 못한 것이

11) 건축기술지침(대한건축학회 2010)에 의하면 개구부는 부재가 부분적으로 없는 상태이므로 기존 부재의 효과적인 보강이 필수적이라고 하였으며, 개구부 모서리는 수축, 변형 등에 의해 인장응력이 집중되어 균열의 발생이 쉬우므로 유도줄눈을 설치하도록 명시하고 있다.

다. 물론, 연구의 대상을 동일 단지 내로 제한하여 완공 시점과 날씨에 대한 변수는 큰 변별력이 없을 수 있으나 건축물의 방향에 따라 온도차가 다소 존재<sup>12)</sup>하고 온도의 변화가 균열 발생 원인이 될 수 있다는 관점도 있는 바 이에 대한 고려가 보완될 필요가 있다.

또한 1개 단지를 대상으로 연구가 이루어져 연구의 적용 범위가 다소 제한적으로 보이는 한계가 있다. 하지만 균열에 대한 새로운 접근 방법을 제시한다는 점과 기존 이론과의 비교를 토대로 검토한 결과에서 유사한 결론을 도출하고 있는 점을 고려할 필요가 있다. 즉, 실제 변수에서는 일정 범위 내에서 다소 차이가 있을 수 있으나 추가적인 연구의 진행에서 나오는 결과에는 큰 차이가 없을 것이라 판단하는 바이다.

추가적으로 본 연구에서의 경우 균열의 형상은 예측하나 빈도는 그렇지 못하는 한계가 있다. 즉, 특정 부위에서 균열이 어떤 방향으로 어느 정도의 길이로서 발생하는지는 추론할 수 있으나 얼마나 많이 발생할 수 있는지를 분석하는 것은 불가능하다는 것이다. 이 또한 빈도 분석 등의 추가 연구를 통해 보완해야 할 것이다.

하지만, 위와 같은 한계에도 불구하고 균열과 부재의 관계를 정량적으로 분석하였고, 이에 따른 산출식을 도출한 바, 균열 분석에 대한 새로운 접근 방식을 제시하는 것이라 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 공동주택 외벽의 균열 형태를 분석하여 균열과 부재 속성간의 관계를 분석하고 이에 따른 산출식을 도출하였다.

연구 결과 부재의 종류, 높이, 너비, 개구부 및 이음부의 유무가 균열의 길이에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이 중 부재의 높이, 너비는 정(+)의 영향을, 부재 종류, 개구부 및 이음부는 부(-)의 영향을 주는 것으로 분석되었다.

균열의 방향에 대해서는 부재의 종류와 높이, 너비, 이음부가 영향을 주고, 이 중 부재 높이와 이음부는 정(+)의 영향을, 부재 종류와 너비는 부(-)의 영향을 주는 것으로 분석되었다.

앞서 언급한 바와 같이 균열은 다양한 요인에 따라 발생하기에 동일한 부재에서도 각기 다른 형태의 균열이 나타날 수 있다<sup>13)</sup>. 때문에 이에 대한 연구와 분석이 용이하지 않음은 자

12) 건축물이 남쪽면의 경우 대체적으로 연간 온도차가 23.4℃인 반면, 북쪽면의 경우 25.75℃로 일정부분 차이가 있다. 또한, 외벽과 실내 부위와의 연간 온도차는 15~20℃에 다다른 것을 고려할 때 열용량 등에 의해 균열의 발생이 상이할 가능성이 일정 부분 존재한다(전조연 1996).

13) 본 연구에서의 분석에서도 동일한 부재 내에서 각기 다른 형태의 균열이 나타나고 있다. 즉, 유사한 형태의 균열이 주를 이루는 가운데 유사성이 떨어지는 형태의 균열이 어느 정도 발생하였다.

명하나, 외관상의 결함을 비롯하여 사용성을 잃거나 내력이 부족하여 내구성을 상실하는 등의 문제가 발생할 수 있음을 고려해볼 때 지속적인 연구는 필연적 과제라 할 수 있다. 또한, 균열이 발생한 후의 대처는 이에 대한 균열조사와 유지·보수 등에 비용적, 시간적 피해를 야기할 수 밖에 없고, 잠정적으로 건축물의 가치가 하락되기에 이를 사전에 대처하여 최소화하는 것이 가장 이상적이라 할 수 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 부재의 속성에 기초하여 균열의 형태를 추정할 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 토대로 특정 부위에서 발생할 수 있는 균열을 예측하고 이에 적합한 대응 방법을 적용하여 이를 최소화할 수 있을 것이라 판단되며, 앞으로 지속적인 연구를 통해 이를 보완해야 할 것이다.

## References

- Merril, W. S. (1943). "Prevention and Control of Cracking in Reinforced Concrete Building," Engineering News-Record, 131(23), pp. 91-93.
- Rothkopf, M. H. (1975). On Measuring Risk, Working Paper, Xerox Palo Alto Research Center.
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York.
- Flanagan, R. and Stevens, S. (1990). Risk Analysis, Quantity Surveying Techniques: New Directions, BSP Professional Books.
- Bazant, Z. P. and Kim, J. K. (1991). "Improved Prediction Model for Time-Dependent Deformations of Concrete : Part 1-Shrinkage," Materials and Structures, 24, pp. 327-345.
- Witt, R. C. (1993). The Optimal Allocation of Insurance Related Risks and Costs in Construction Project, CII, Editorial department (2000). Concrete's Crack and Points of Prevention, GSDS.
- Bazant Z. P. (2001). "Prediction of Concrete Creep and Shrinkage: Past, Present and Future," Nuclear Engineering and Design, 203, pp. 27-38.
- Jung, S. O. (2002). A Study on the Flaw Prevention Countermeasure of Crack in Apartment House Underground Parking Area, *Korean journal of construction engineering and management*, KICEM, 3(1), pp. 115-123.
- Nam, G. S. (2007). Fault Tree Analysis-based Risk Management of Defects in Construction, Master degree, Hanyang University.
- Oh, S. J. (2007). Factors Influencing the Outer Wall Crack of the Barracks Facilities, Master degree, Pukyung University.
- Kim, M. J. and Lee, J. S. (2008). Methods for Decision making model in Apartment development projects, *Korean journal of construction engineering and management*, KICEM, 9(5), pp. 95-103.
- Tarr, S. M. and Farny, J. A. (2008). Concrete Floors on Ground, Portland Cement Association, 4th Edition, pp. 91-109.
- Kim, W. R. (2009). A Risk Visualizing Method by Object-oriented Model for Reinforced Concrete Construction, Architectural Institute of Korea, 25.
- Lee, S. J. et. al. (2011). Quantitative Estimation of Joint Spacing for Concrete Slab to Prevent Cracking of Drying Shrinkage, Journal of the Korea Concrete Institute, 23(3), pp. 289-294.

**요약** : 콘크리트 구조물에 발생하는 균열은 구조물의 내력, 내구성, 방수성 등 모든 기능을 저하시키는 주요한 원인으로, 그 대책의 필요성은 구조물이 존재하는 한 계속될 것이다. 하지만 콘크리트 구조물에서의 균열은 재료와 시공 및 사용환경, 구조적 요인 등 다양한 변수가 복합적으로 작용하고 있어 이에 대한 대책 마련과 사전 예방이 쉽지 않은 것이 현실이다. 이에 본 연구에서는 공동주택 외벽에서 균열이 발생한 사례를 분석하여 이에 대한 데이터베이스를 구축하고, 발생한 균열과 부재의 속성간의 관계를 상관관계를 도출하고자 한다. 이는 각 부재가 가지는 기본적 속성이 유사함을 고려하여 균열과 부재의 관계를 분석하고 부재의 속성을 검토하여 균열에 대한 대책 마련에 일조하고자 함이다.

**키워드** : 공동주택, 외벽, 균열, 콘크리트, 하자, 예측, 사례 분석