

# 비정형 형상구현을 위한 혼합모르타르 패널의 오차율 분석 연구

## A Study on the Analysis of the Error Rate of Mixed Mortar Panel for Implementation Free-form Shape

오 영 근<sup>1</sup>                      정 경 태<sup>2</sup>                      이 동 훈<sup>3\*</sup>  
Oh, Young-Geun<sup>1</sup>    Jeong, Kyeong-Tae<sup>2</sup>    Lee, Dong-Hoon<sup>3\*</sup>

Ungraduate student, Department of Architectural Engineering, Hanbat University, Yuseong-Gu, Daejeon, Korea <sup>1</sup>

Master's Course, Department of Architectural Engineering, Hanbat University, Yuseong-Gu, Daejeon, Korea <sup>2</sup>

Professor, Department of Architectural Engineering, Hanbat University, Yuseong-Gu, Daejeon, Korea <sup>3</sup>

### Abstract

Since the third industrial revolution has been started in the 1980s, the form of buildings has been varied and atypical by the development of building technology. Such free-form building has a curved shape unlike the existing standard buildings, and to realize this, it is necessary to manufacture the free-form panel. The shape of the free-form panel must satisfy a limited error ratio compared with the design shape, and the technology to produce free-form panels is very difficult. However, there are many problems such as enormous cost and construction waste generation when implementing free-form construction. Therefore, the development of free-form panel manufacturing technology should be made to solve the problems caused by the free-form construction. In this study, the error rate analysis of the mixed mortar panel was conducted by selecting the proper mixing ratio of the mixed mortar for the shape of the free-form panel.

Keywords : free-form panel, paraffin, error ratio, PCM, mortar void

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

기존에 정형성을 띤 건축물들은 1980년대 3차 산업혁명 이후 건축 및 컴퓨터 기술의 발전으로 비정형성을 나타내기 시작했다. 이러한 비정형 건축물들은 기존의 정형적인 건축물과 달리 곡선의 형태를 띠며[1] 이를 구현하기 위해서는 비정형 패널을 제작할 수 있는 고난도의 기술력이 요구된다. 비정형 패널은 직선이 아닌 곡면을 표현할 수 있어야 하며 설계형상과 비교하여 정해진 오차율을 만족해야 한다. 하지만 현재 이러한

비정형 건축 구현 기술력은 전 세계적으로 매우 부족한 실정으로 다음과 같은 문제점을 야기한다.

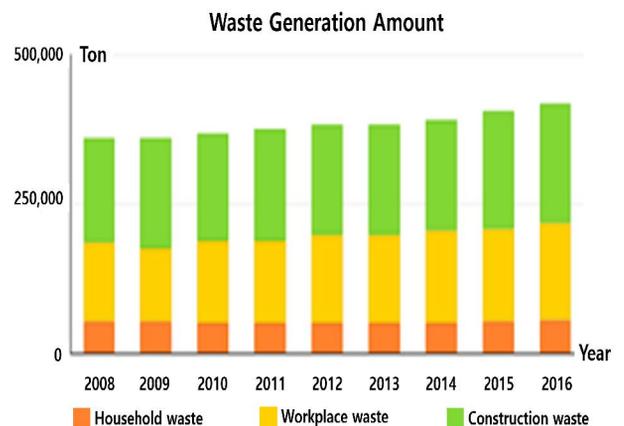


Figure 1. Annual average amount of the generated waste (Ministry of Environment, 2017)

Received : November 19, 2019

Revision received : February 18, 2020

Accepted : March 3, 2020

\* Corresponding author : Lee, Dong-Hoon

[Tel: 82-42-821-1114, E-mail: donghoon@hanbat.ac.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

첫 번째로 현재 기술력으로 비정형 패널을 제작하기 위해서는 각각의 패널마다 매번 다른 형태의 거푸집을 제작해야하며 이는 재사용이 불가능하여 막대한 건설폐기물이 발생한다는 문제점이 있다[2]. 이는 건설폐기물의 발생을 가속화하며 환경적 문제를 야기한다. Figure 1은 환경부에서 발표한 전국 폐기물 발생량에 대한 그래프로 건설폐기물량이 일반 생활폐기물이나 사업장 일반폐기물보다 발생량이 많으며 매년 마다 증가하는 추세를 확인할 수 있다.

두 번째 문제점으로는 비정형 건축물 완공이후 품질문제에 따른 공사비의 증가와 공사비의 정확한 측정이 불가하여 막대한 비용이 소요된다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 비정형 패널을 제작하는 기술개발이 시급하다. 이에 본 연구에서는 비정형 패널 제작 기술력 향상을 위한 기초적인 연구로 비정형 패널의 오차율을 분석하는 연구를 진행하며 연구수행방식은 다음과 같다.

본 연구에서는 비정형 패널 제작시 발생하는 균열 및 공극을 줄이며 매끄러운 형상을 표현하기 위해 콘크리트 대신 혼합 모르타르를 사용하며 적정 배합비를 도출한다. 그 후 도출된 배합비를 적용하여 제작한 패널의 오차율을 분석하는 연구를 진행한다.

### 1.2 연구의 방법

본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행된다. 우선 비정형 패널을 제작하기 위해 상변화 물질(Phase Change Material)인 파라핀을 사용하여 거푸집을 제작한다. 파라핀은 재활용 시 열 에너지를 기하여 액체상태로 변형할 수 있으며 Figure 2와 같은 CNC(Computer Numerical Control)장비를 통해 거푸집을 제작한다[3].



Figure 2. CNC machine(Lee, 2015)[4]

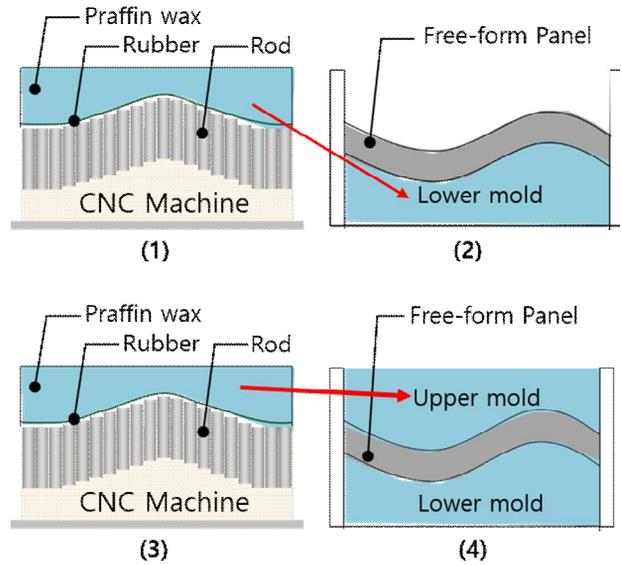


Figure 3. Fabrication of free-form panels[4]

CNC장비는 FCP(Free-form Concrete Panel)를 제작할 수 있는 장비이며 설계된 FCP의 형상데이터 입력을 통해 FCP의 곡률을 구현할 수 있는 장비이다[4]. 본 연구에서는 Figure 2와 같은 CNC 장비를 통해 Figure 3과 같은 방식으로 비정형 패널을 제작한다.

Figure 3의 (1)단계는 패널의 형상데이터 입력을 통해 rod가 작동하여 실리콘 rubber를 통해 구현된 곡면에 파라핀왁스를 타설하는 단계이다. 이때 실리콘 rubber를 통해 구현된 곡면은 (2)단계에서 볼 수 있듯이 파라핀 왁스 몰드를 통해 비정형 패널의 하부곡면을 구현한다. 같은 방식으로 비정형 패널의 상부곡률은 (3)단계와 같이 형상데이터 입력을 통해 구현된 실리콘 rubber에 파라핀 왁스를 타설하여 단계(4)와 같이 구현된다. 본 연구에서는 최종적으로 위와 같은 과정을 거쳐 비정형 혼합모르타르 패널의 거푸집을 제작한다. 혼합모르타르 패널 생산 재료로는 문헌 고찰을 통해 보통포틀랜드 시멘트, 플라이 애쉬, 잔골재, PVA 섬유를 선정했다. 그 이후 기초 실험에는 첫 번째로 시멘트 페이스트, 두 번째로 모르타르를 이용해 휨, 압축강도를 측정한다. 이후 첨가제 실험에서는 첫 번째로 플라이 애쉬를 첨가하여 실험을 진행하며 두 번째로는 혼합 모르타르에 PVA 섬유를 첨가한 실험을 진행한다. 패널 제작 방법으로는 곡면의 매끄러운 형상을 표현하기 위해 손 미장을 하고 이후에 파라핀 거푸집을 추가로 제작하여 패널 위에 덮어놓아 경화시킨다. 이후 생산된 혼합 모르타르 패널의 두께를 측정하여 오차율을 도출한다. 이를 통해 본 연구에서

실시한 혼합 모르타르 패널의 제작방식이 적합한 방법인지에 대해 종합적인 검토를 진행한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 플라이 애쉬(Soe[5])

플라이 애쉬의 구성성분은 사용연료인 석탄의 질과 연소조건에 따라 변동의 폭이 크며 0.5~100 $\mu$ m 정도의 크기로 구형의 glass질 입자와, 미연소 탄소 및 부정형의 입자로 구성되어 있다. 또한 본 실험에서 플라이 애쉬의 구형입자는 단위수량을 감소시키는 동시에 유동성을 증가시키고 분말도를 지배하는 입도의 분포가 평균 20~30 $\mu$ m 로서 부정형이 입자와 미연소 탄소의 함유량이 적어 구형에 가깝기 때문에 모르타르에 혼합할 경우 워커빌리티가 개선된다. 플라이 애쉬 입도 및 형상은 유동성과 밀접한 관계가 있으며, 44 $\mu$ m체 잔류량으로 나타내는 분말도는 포졸란 활성과 관련이 있으며, 플라이 애쉬를 모르타르에 혼합하여 사용할 경우 수화열의 감소 및 화학적 저항성이 증대되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 보통 포트랜드 시멘트와 반응하여 위와 같은 성질을 나타 낼 수 있는 혼합 모르타르를 사용한다.

### 2.2 파라핀(Son et al.[6])

파라핀은 상변화 물질로 알케인 탄화수소를 두루 일컫는 재료이다. 일정 온도에서 고체나 액체 또는 기체로 변하며 용해 및 기화 시 흡수 및 방출되는 열을 저장 또는 소모한다. 파라핀의 비열은 약 2,100 J/(g $\cdot$  K)이며 잠열은 180~230J/g이다. 녹는점은 30°C에서 90°C의 범위를 갖고 밀도는 0.9g/m $^3$ 이며 인화점은 200°C, 열전도도는 0.24W/(m $\cdot$  K)이다. 또한 물에서는 불용성이며 에테르나 벤젠, 에스테르에서는 용해성을 가진다. 본 연구에서는 파라핀을 재활용하여 패널의 거푸집을 제작한다.

### 2.3 혼합모르타르(Won et al.[7])

포트랜드 시멘트로 구성된 모르타르 및 콘크리트는 강도와 내구성이 우수하며 경제성이 뛰어나 건축 구조물의 주요재료로 널리 사용된다. 하지만 이러한 모르타르 및 콘크리트 구조물은 자연적인 환경요인 및 산업발전으로 인한 환경악화로 인해 내구성 저하 문제가 대두되고 있다. 이를 해결하기 위해 현재는 시멘트의 일부분을 다양한 혼화재료로 치환하여 콘크리트 및 모르타르의 내구성을 향상시키는 연구들이 활발히 진행되고

있다. 본 연구에서는 산업부산물인 플라이애쉬를 모르타르에 혼합하여 혼합모르타르의 역학적성질 및 내구성을 검토하며 이를 통해 적정 배합비를 도출한다.

### 2.4 알루미늄 파우더

알루미늄 파우더는 스펀징에 의해 만들어진 박편상의 분말로서 주로 페인트의 안료나 고무 제품에 첨가하는 물질이다. 비중은 2.70이며 용융점은 660°C로 미세한 분말의 경우는 약 400°C에서 연소가 시작된다. 은백색을 띠며 습기나 수분에 노출 시 수소기체가 발생하여 분진폭발의 위험이 있다. 본 연구에서는 패널자체의 수화열에 의하여 파라핀이 용해되지 않도록 알루미늄 파우더를 혼합하여 사용한다.

### 2.5 형상구현(Cho[8])

현재 곡면의 형상구현을 위해 일반적으로 사용하는 방법은 스틸 각 파이프로 이용하여 일정한 곡률로 벤딩하는 방법이나 직선 세그먼트로 연결하여 곡면을 제어하는 방식을 사용한다. 이러한 방식은 내부 마감재의 품질에 영향을 주지만 본 연구에서는 곡면의 형상구현에 초점을 맞추어 매끄러운 곡면 표현을 목표로 두기 때문에 Figure 2와 같은 CNC장비를 이용할 것이다. 기존 CNC장비는 컴퓨터에 의해서 정확한 수치로 작동하게 되어 있지만 본 연구에서는 수동으로 다점 프레스를 조정하여 5~10cm 간격으로 노드별 변위차가 15mm이하가 되도록 각 노드를 0mm, 15mm, 30mm, 45mm, 30mm, 15mm, 0mm로 하여 변위를 주어 패널의 형상구현을 표현할 것이다.

## 3. 기초 실험

기초 실험에서는 패널의 성형성과 곡면의 매끄러움을 표현하는데 중점을 두었다. 이를 위해 기초실험에서는 보통포트랜드 시멘트와 물을 배합한 시멘트페이스트 배합비와 시멘트와 물, 잔골재를 배합한 모르타르 배합비를 선정하여 공시체의 압축강도, 휨강도, 흡수율 실험을 진행했다. 본 기초 실험에서는 패널의 성형성을 위해 슬럼프 값 160mm를 만족하는 배합비를 도출하는데 목표를 두었으며 이를 토대로 실험을 진행했다. 본 기초 실험에서 선정한 시멘트페이스트 배합과 모르타르 배합은 각각 Table 1, Table 2와 같다. 또한 Table 1의 각각 배합별 슬럼프 값 Table 3과 같으며 Table 2의 배합별 슬럼프 값은 Table 4와 같다. 본 기초 실험에서는 Table 3, Table 4와 같은 슬럼프 값을 통해 시멘트 페이스트 배합의 경우 W/B

28%의 배합, 모르타르 배합의 경우 W/B 60%의 배합을 선정 하였다.

Table1. Cement paste mix table

Division	W/B(%)	Unit Mass(kg/m <sup>3</sup> )	
		w	c
portland(20%)	20	160	800
portland(23%)	23	184	
portland(25%)	25	200	
portland(28%)	28	224	

Table 2. Mortar mix table

Division	W/B(%)	Unit Mass(kg/m <sup>3</sup> )		
		w	c	s
portland(50%)	50	90	180	540
portland(55%)	55	99		
portland(60%)	60	108		
portland(65%)	65	117		

Table 3. Paste slump

W/B(%)	Slump(mm)
20	149
23	152
25	157
28	160

Table 4. Mortar slump

W/B(%)	Slump(mm)
50	147
55	155
60	164
65	175

이후 정해진 배합비를 적용하여 공시체를 제작하고 재령 3일, 7일, 28일의 압축강도와 휨강도를 측정하였다. Figure 4는 배합비 W/B 28%의 시멘트페이스트 배합 공시체의 압축강도와 휨강도를 나타낸 그림이다. Figure 5는 배합비 W/B 60%의 모르타르 배합 공시체의 압축강도와 휨강도를 나타낸 그림이다.

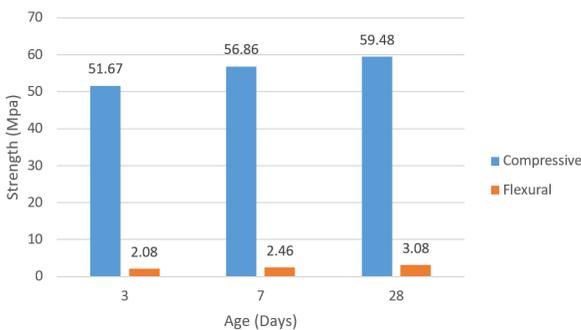


Figure 4. Cement paste W/B 28% result value

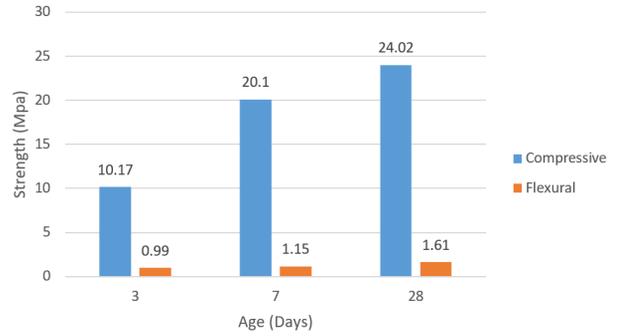


Figure 5. Mortar W/B 60% result value

시멘트페이스트 공시체와 모르타르 공시체 모두 시간이 지 나면서 압축강도는 확연한 차이를 보이면서 증가하지만 휨강도는 미세한 차이를 보이며 서서히 증가하는 경향을 보인다.

본 기초실험에서는 도출된 결과값을 통해 패널의 강도적인 측면에서 적합성 여부를 확인했다.

#### 4. 첨가제 실험

본 첨가제 실험에서는 기초실험과 달리 본 연구의 핵심인 플라이 애쉬를 이용하여 실험을 진행하였으며 오차율실험에서 제작하고자 하는 패널의 적합한 배합을 도출한다. 본 첨가제 실험에서는 혼합시멘트 페이스트배합과 혼합시멘트 모르타르 배합으로 2가지 경우의 배합을 도출하며 플라이 애쉬를 40%로 고정된 후 W/B를 변경하여 배합비를 도출하는 방법으로 실험을 진행하였다. 또한 앞선 기초실험과 마찬가지로 성형성을 위해 슬럼프 값 160mm를 만족하는 배합비 도출과 압축강도, 휨강도를 측정하였다. 본 첨가제 실험을 통해 얻어진 배합 비로는 W/B 30%의 혼합시멘트 페이스트 배합과 유동화제 1%의 혼합모르타르 배합이다. Table 5는 혼합시멘트 페이스트 배합이며 Table 6은 혼합모르타르 배합표이다.

Table 5. Blend cement mix table

Division	W/B(%)	Unit Mass(kg/m <sup>3</sup> )		
		w	c	FA(40%)
portland(20%)	20	160	480	320
portland(23%)	23	184		
portland(26%)	26	208		
portland(30%)	30	240		

Table 6의 혼합모르타르 배합에서 W/B를 변경하지 않으면서 유동화제를 추가하였는데 그 이유로는 기본 모르타르 배합

에서 플라이 애쉬의 초기강도 저하를 보완하기 위하여 PVA 섬유보강재를 추가한 결과로 만족하는 슬럼프 값을 도출해내지 못하여 유동화제를 추가함으로써 W/B를 고정시키고 유동화제의 첨가율을 변화하는 방식으로 진행하였다. Table 7은 혼합시멘트 페이스트 배합에서의 슬럼프 값과 Table 8은 혼합모르타르 배합에서의 슬럼프 값을 실험을 통해 160mm를 만족하는 결과 값을 나타낸 것이다.

Table 6. Blend mortar mix table

Division	W/B(%)	Unit Mass(kg/m <sup>3</sup> )				
		w	c	FA(40%)	s	pva(3%)
superplasticizer (0.5%)						
superplasticizer (0.8%)	60	120	120	80	600	3.6
superplasticizer (1%)						

Table 7. Blend paste slump

W/B(%)	Slump(mm)
20	130
23	148
26	155
30	162

Table 8. Blend mortar slump

W/B(%)	Slump(mm)
0.5	157
0.8	161
1	170

Table 8에서 혼합모르타르 슬럼프가 유동화제 0.8%의 161mm가 있음에도 유동화제 1%를 선택하였다. 그 이유로는 실험초기에는 섬유보강으로 적정 슬럼프값이 나오지 않았기 때문에 유동화제를 첨가 하였으며 유동화제 1%는 재료분리 현상 발생위험이 따르기 때문에 0.8%를 사용하였다. 이후 실험과정에서 다량의 재료가 들어가는 경우 유동화제 0.8%로는 적정 슬럼프 값을 잡기가 어려운 관계로 본 연구에서는 1%의 유동화제를 첨가하였다. 다음으로는 선정된 W/B 30%의 혼합시멘트 페이스트 배합과 유동화제 1%의 혼합모르타르 배합을 적용하여 제작한 공시체를 통해 압축강도와 휨강도를 측정하였다. Figure 6은 혼합시멘트 페이스트 배합의 결과값이며 Figure 7은 혼합모르타르 배합의 결과값이다.

본 첨가제 실험에서는 혼합시멘트 페이스트 배합의 경우 W/B를 변경하면서 배합비를 도출하였으며 혼합모르타르 배합의 경우 슬럼프 값을 만족하기 위하여 유동화제를 변경하면서 배합비를 도출하였다. 두 배합모두 시간이 지나면서 압축강도는 확연한 차이를 보였지만 휨강도는 미세한 차이를 보이면서 서서히 증가하는 경향을 보였다.

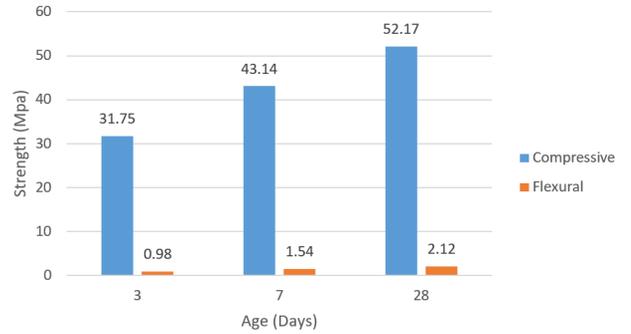


Figure 6. Blend cement W/B 30% result value

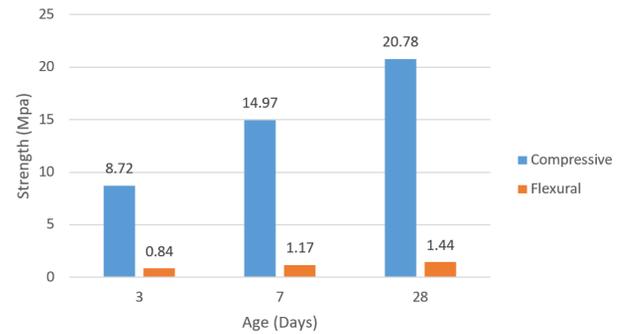


Figure 7. Blend mortar superplasticizer 1% result value

## 5. 거푸집 제작

오차율 실험에서 앞서 본 연구에서는 Figure 2와 같은 CNC 장비를 사용하여 비정형 패널의 거푸집을 제작하였으며 제작 과정은 Figure 8과 같다.

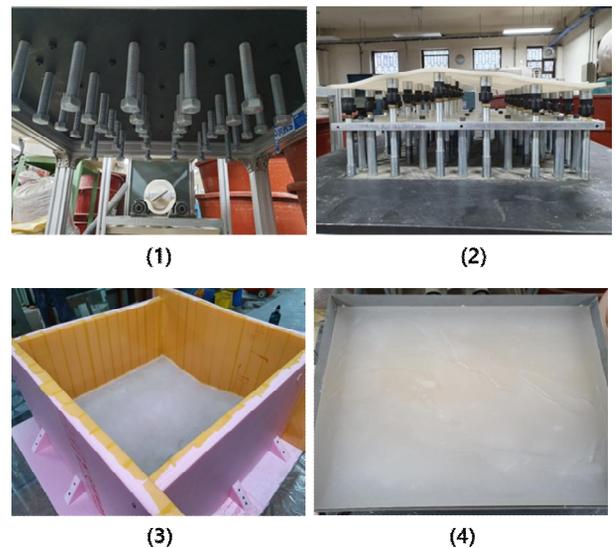


Figure 8. Formwork process

본 연구에서는 거푸집 제작시 Figure 8의 (1)과 같이 각 구간 별로 rod를 통해 변위차를 주었으며 (2)와 같은 실리콘 rubber를 통해 패널의 굴곡을 형성하였다. 또한 재활용이 가능한 파라핀 왁스를 이용하였으며 파라핀 왁스를 용해시킨 후 알루미늄 파우더를 혼입하여 장비에 부은 뒤 1일의 양생과정을 거쳐 거푸집을 제작하였다. 또한 추가적으로 Figure 8의 (3)과 같이 비정형 패널의 측면 거푸집을 아이소 핑크를 사용하여 제작하였다.



Figure 9. Side view of free-form panel

## 6. 오차율 실험

### 6.1 실험계획

본 오차율 실험에서는 앞서 진행한 기초실험과 첨가제 실험을 토대로 혼합시멘트 페이스트 W/B 30%의 배합과 혼합모르타르 유동화제 1%의 배합으로 패널 제작실험을 진행하였다.

비정형 패널을 제작하기 위해 CNC장비를 사용하였으며 패널에 변위차를 나타내기 위해 rod별로 변위차가 15mm이하가 되도록 각 rod를 0mm, 15mm, 30mm, 45mm, 30mm, 15mm, 0mm로 조정하여 기본설정을 하였다. 이후 제작된 거푸집에 타설 후 쇠풀손을 이용하여 손 미장을 실시한다. 본 연구에서는 혼합시멘트 페이스트 실험과 혼합모르타르 실험의 차이를 두기위하여 혼합페이스트 실험은 일반적으로 양생을 시키고 혼합모르타르 실험은 파라핀을 추가적으로 제작해 시험체 위에 얹어서 양생을 한다. 이러한 과정을 거쳐 재료가 자연적으로 흘러내리는 정도를 측정하기 위한 실험으로 양생이 된 뒤 드릴을 이용하여 패널에 각 49개소의 구멍을 뚫어 구간별 두께를 측정한다. 두께 측정 후 구간별 오차율을 구하여 패널 사용의 적합성 여부를 판단하며 실험을 마무리 한다. Table 9는 혼합시멘트 페이스트의 배합표이며 Table 10은 혼합모르타르 배합표로서 결과적으로 비정형 패널을 제작함에 있어 적용되는 배합이다.

Table 9. Blend cement paste panel mix table

Division	W/B(%)	Unit Mass(kg/m <sup>3</sup> )		
		w	c	FA(40%)
Portland(30%)	30	8280	16560	11040

Table 10. Blend mortar panel mix table

Division	W/B(%)	Unit Mass(kg/m <sup>3</sup> )				
		w	c	FA (40%)	s	PVA (3%)
Superpla Sticizer (1%)	60	6480	6480	4320	32400	194

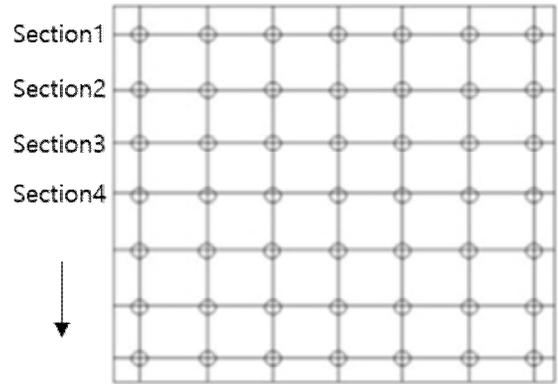


Figure 10. CNC equipment node section

### 6.2 비빔 및 미장방법

비빔방법으로는 대량의 재료를 사용하기 때문에 일반 믹서기를 사용하지 않고 회전식의 마그마 믹서기를 이용한다. 분체가 충분히 섞이도록 1분간 건비빔을 실시하며 이후 혼화제 등의 배합수를 투입하여 2분간 실험한다. 미장방법으로는 패널의 두께를 5cm로 유지하기 위하여 바닥 거푸집으로부터 5cm 높이에 보조선을 그린 후 타설을 진행한다. 또한 패널의 성형성을 위하여 미장시간을 10분~15분 정도 미장을 진행한다.

### 6.3 제작한 비정형 패널 시험체 전경

본 오차율 실험에서 제작한 비정형 패널은 평면상 600mm×600mm의 규격이며 Figure 9를 통해 제작된 비정형 패널의 곡면과 측면의 모습을 볼 수 있다.

### 6.4 두께측정방법

두께측정방법으로는 Figure 10과 같이 제작된 비정형 패널에 위치를 49개소 표시한다. 이후 두께를 측정하기 위하여 패널에 구멍을 내고 레이저레벨기로 두께를 측정한다. 49개소의 위치를 표현하는 방식으로는 세로줄은 구간1에서 구간7까지의 범위를 나타내며 가로줄은 좌측부터 1번에서 7번까지의

위치를 나타낸다. 각 구간마다 측정되는 결과 값을 이용해 구간 별 오차율을 분석한다.

### 6.5 실험 결과 및 분석

첫 번째 실험으로 혼합시멘트 페이스트 패널을 제작하였다. 패널의 두께는 일반적으로 사용되어지고 있는 50mm로 실험을 진행하였으며 오차율은 3%를 목표로 하였다. 1구간에서 7구간까지 패널 두께의 평균값을 측정한 결과 각각 49mm, 54.8mm, 56mm, 55.7mm, 54.8mm, 51.8mm, 48.9mm로 측정되었다. 패널의 두께는 변위가 생기는 3구간과 4구간에서 오차율이 평균 5%로 높게 측정되었으며 그 원인으로는 미장하는 과정에서 작업속련도의 미숙한 점과 경화하는 과정에서 소량의 페이스트가 흘러내리는 것으로 판단된다. Table 11은 패널의 구간별 오차율 측정값을 나타낸 표이며 Table 12는 두 번째 오차율 실험의 결과 값을 나타낸 표이다. 오차율 측정은 아래의 식 (1)을 이용한다.

$$\text{오차율}(\%) = \frac{(A - A')}{B} \times 100 \quad \text{-----} \quad (1)$$

A : 설정한 값    A' : 측정된 값    B : 100

Table 11. Error ratio statistics table for each section(%)

	Section							
	1	2	3	4	5	6	7	All
Min.	0	4	3	5	4	0	0	0
Max.	3	6	8	7	6	5	3	8
Avg.	1.6	4.9	6	5.7	4.9	1.9	1.4	3.8
V.	4.2	0.6	0.1	0.2	0.6	3.7	4.5	1.9
S.D.	2.1	0.8	0.3	0.5	0.8	1.9	2.1	1.2

두 번째 실험으로는 혼합모르타르 패널을 제작하였다. CNC 장비의 구간별 변위 차는 앞선 실험과 동일하게 설정하였으며 측정 방법 또한 앞선 실험과 동일하게 이루어 졌다. 구간별 평균 값을 측정한 결과 1구간에서 7구간까지 각각 48.6mm, 52.6mm, 53.7mm, 53.9mm, 52.6mm, 51.7mm, 49.9mm로 측정되었다. 앞선 실험과의 차이를 두기위하여 혼합시멘트 페이스트 패널은 양생과정에서 일반적으로 양생을 시켰으며 혼합모르타르 패널은 양생과정에서 파라핀을 추가적으로 제작하여 곡면에서 재료의 흘러내림을 방지하기 위해 시험체 위에 얹어서 양생을 진행하였다. 오차율 실험 첫 번째와는 달리 양생

과정에서 차이를 두었으며 결과적으로 오차율이 대체로 3% 이하에 근접하게 줄어서 만족하는 결과 값을 도출해 내었다.

Table 12. Error ratio statistics table for each section(%)

	Section							
	1	2	3	4	5	6	7	All
Min.	1	2	3	4	3	0	0	0
Max.	1	3	4	5	3	0	1	5
Avg.	1.4	2.7	3.7	4	1.4	1.6	0.6	2.2
V.	4.5	2.6	1.6	1.3	4.5	4.2	5.8	3.5
S.D.	2.1	1.6	1.3	1.1	2.1	2.0	2.4	1.8

## 7. 결 론

본 연구에서는 서론에서 밝힌 문제점들을 해결하기 위해 가장 중요한 건설폐기물 발생을 줄이며 패널의 오차율을 줄일 수 있는 방법을 모색했다. 또한 비정형 패널을 제작함에 있어 새로운 재료를 사용하여 적합한 배합비를 도출하였다. 이 과정에서 여러 차례 실험을 진행했으며 본 연구에 쓰일 최종 배합을 2가지를 선정했다. 첫 번째로는 혼합시멘트 페이스트 배합이며 두 번째로는 혼합모르타르 배합이다. 두 배합모두 강도적인 측면이나 흡수율과 같은 품질적인 측면과 곡면의 형상 즉 성형 성면에서는 만족하는 결과 값을 보였다. 하지만 양생하는 수단의 차이를 발생시킴으로서 결과적으로 오차율의 차이가 발생하였다. 이를 통해 비정형 패널 제작시 오차율은 사용재료의 특성과 재료들 간의 화학반응의 문제 보다는 패널을 양생하는 방법이 중요한 것으로 판단되었다. 하지만 본 연구는 비정형 패널제작의 기술력 향상을 위해 진행한 기초적인 연구로 지속적인 후속연구가 필요하다고 판단된다. 지속적인 후속연구가 진행된다면 재료의 흘러내림을 방지하는 방법과 획기적이며 새로운 양생방법을 찾는 것이 가장 중요할 것으로 판단된다. 마지막으로 위와 같은 지속적인 연구수행을 통해 비정형 패널 제작에 대한 연구 및 개발에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구에서는 비정형 패널 제작 기술력 향상을 위한 기초적인 연구로 비정형 패널의 오차율을 분석하였다. 이에 본 연구에서는 우선적으로 비정형 패널 제작시 매끄러운 형상을 표현하

기 위해 콘크리트 대신 혼합모르타르를 사용하여 적정 배합비를 도출하였다. 그 후 도출한 배합비를 적용하여 비정형 패널을 CNC장비를 통해 제작하였으며 패널의 오차율을 분석하였다. 본 연구에서는 두 가지의 배합을 선정하였으며 선정한 첫 번째 배합은 혼합시멘트 페이스트 배합, 두 번째 배합은 혼합모르타르 배합이었다. 실험결과 두 배합모두 품질적 측면에서 만족하는 정량적 수치를 보였다. 하지만 두 배합모두 양생하는 방법에 차이를 두었고 이로 인해 오차가 발생했다. 이를 통해 오차율은 사용재료의 특성과 재료 간 화학반응의 문제보다는 패널을 양생하는 방법에 따라 더 많은 영향을 끼치는 것으로 판단하였다. 본 연구는 현재 기초적인 연구수행으로 추후 본 연구를 토대로 추가적인 연구를 진행한다면 콘크리트 타설시 흘러내림을 방지하는 방안과 오차율을 줄일 수 있는 양생방법을 찾는 연구가 함께 병행되어야 한다. 위와 같은 연구수행을 통해 비정형 패널 제작에 대한 연구 및 개발에 기여할 수 있으며 나아가 비정형 건축시장에서 경쟁력을 확보할 수 있다.

**키워드** : 비정형 패널, 파라핀, 오차율, 모르타르

## Funding

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(Grant 20CTAP-C151959-02).

## ORCID

Young-Geun Oh, <https://orcid/0000-0001-6134-5537>

Kyeong-Tae Jeong, <http://orcid/0000-0001-9318-6737>

Dong-Hoon Lee, <http://orcid/0000-0002-4044-9959>

## References

1. Kim CK, Kim JJ. A study on expressive characteristics of informal form in the contemporary architecture. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*. 2003 Apr;19(4):101-8.
2. Kim MS, Park CW, Kim KH, Do SL, Lee DH. Proper mixing ratio for securing quality of free-form panel. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2019 Oct;19(5):449-56. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2019.19.5.449>

3. Lee DH, Kim SK. Development of PCM-enabled atypical concrete segment production process. *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*. 2015 Feb;17(1):219-24.
4. Lee DH. (A) Study of Construction and Management Technology of Free-form Buildings [doctor's thesis]. [Seoul (Korea)]: Kyung Hee University; 2015. 186 p.
5. Soe GW. Experimental study on the strength of the portland-cement mortar using the fly-ash [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: konkuk University; 1991. 44 p.
6. Son TW, Ko JW, Kim JH. Thermal properties of morphologically stabilized PCM made from laffin wax and polypropylene. *The Polymer Society Of Korea*. 2009 Apr;34(1):88.
7. Won JP, Lee CM, Park CG. Durability characteristics of blended cement mortars. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 2004 May;45(3):41-9.
8. Cho MJ. A study on the implementation of integrated digital design process for representation and construction of the exterior surface in free-form architecture. *Journal of Digital Design*. 2011 Apr;11(2):267-76. <http://dx.doi.org/10.17280/jdd.2011.11.2.026>