

온도조건에 따른 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성

유병현, 이동규*, 박종필, 황병일
동남기업(주) 중앙연구소

Fundamental Properties of 3D Printing Mortar According to Temperature Conditions

Byung-Hyun Yoo, Dong-gyu Lee*, Jong-Pil Park, Byoung-Il Hwang
Research & Development Center, Dongnam

요약 3D 프린팅 모르타르는 온도에 따라 굳지 않은 모르타르의 레올로지 특성 및 경화 모르타르의 강도발현 특성이 변화되기 때문에 현장 온도를 고려하여 3D 프린팅 모르타르를 제조해야 작업성 및 압축강도 등을 확보할 수 있다. 기온이 낮은 동절기에는 모르타르의 경화속도가 늦어져 초기강도가 저하되는 문제가 발생되어 모르타르의 초기강도 확보를 위한 모르타르 배합을 조정하거나 초기강도 증진용 화학 혼화제를 적용하여 이를 개선해야 할 것이고, 기온이 높은 하절기에는 모르타르 수화반응 촉진에 기인해 모르타르 제조 후 시간이 경과함에 따라 모르타르 유동성 저하가 빠르게 진행되기 때문에 압송성 및 작업성이 저하되어 3D 프린팅 모르타르의 품질 문제가 발생할 수 있으므로 이를 대비해야 한다. 본 연구에서는 20 ℃ 환경을 기준으로 10 ℃ 저온 및 30 ℃ 고온에서의 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성을 평가하였는데, 저온환경에서 3D 프린팅 모르타르는 초기강도가 크게 저하되어 20 ℃ 환경의 약 17 % 수준의 압축강도를 나타내었다. 이에 초기강도 증진용 첨가제를 적용하여 초기강도 발현특성을 확인한 결과 초기강도 증진용 첨가제를 분체량 대비 2 % 사용 시 20 ℃ 환경과 비슷한 수준의 초기강도를 확보할 수 있었다. 한편, 30 ℃ 고온환경에서는 3D 프린팅 모르타르의 유동성 저하가 20 ℃ 환경보다 2배정도 빠르게 진행되었고, 고유지형 감수제의 사용으로 30 ℃ 환경에서 기존의 20 ℃ 환경 대비 동등 이상의 유지성능을 확보할 수 있었다.

Abstract The rheological properties of a fresh mortar and the strength characteristics of a hardened mortar in 3D printing change a lot with the temperature. In a low-temperature environment, the hardening speed of the mortar is slowed, lowering the early strength. In an environment of high temperature, the hydration reaction of the mortar is accelerated, reducing the workability. In this study, the characteristics of a 3D printing mortar manufactured at both low and high temperatures were evaluated concerning a 20°C environment. The early strength of the mortar in the low-temperature environment was found to be about 17% of that of the 20°C environments. Accordingly, when 2% of the additive was used to improve the early strength, it equated to that of a 20°C environment. On the other hand, in the high-temperature environment of 30°C, the slump loss of mortar progressed twice as fast as that of the 20°C environments. Accordingly, while using a high-retention type water reducing agent, it was possible to achieve in a 30°C environment a maintenance performance that is similar to that of the 20°C environment.

Keywords : 3D Printing Mortar, Temperature, Early Strength, Retention, Workability

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 21AUDP-B121595-06)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

*Corresponding Author : Dong-Gyu, Lee(Dongnam)

email: dglee@dongnamad.co.kr

Received July 7, 2021

Revised August 3, 2021

Accepted September 3, 2021

Published September 30, 2021

1. 서론

3D 프린팅 모르타르의 실용화를 위해서는 현장 환경 조건 반영이 필수적인데, 4계절이 뚜렷한 우리나라의 경우 환경변화에 대한 고려가 반드시 필요하다.[1] 특히, 온도에 따라 굳지 않은 모르타르의 레올로지 특성 및 경화 모르타르의 강도발현 특성이 많이 변화되기 때문에 현장 온도를 고려하여 3D 프린팅 모르타르를 제조해야 적층성, 작업성 및 압축강도 등을 확보할 수 있을 것이다.

기온이 낮은 동절기에는 모르타르의 경화속도가 늦어져 초기강도가 저하되는 문제가 발생되기 때문에 모르타르의 초기강도 확보를 위한 모르타르 배합을 조정하거나 초기강도 증진용 화학 혼화제를 적용하여 이를 개선해야 할 것이고, 기온이 높은 하절기에는 모르타르의 수화반응이 촉진되어 모르타르 제조 후 시간이 경과함에 따라 모르타르의 유동성 저하가 빠르게 진행되기 때문에 압송성 및 작업성이 저하되어 3D 프린팅 모르타르의 품질 문제가 발생할 수 있기 때문에 이를 대비해야 한다. [2-4]

이에 본 연구에서는 상온과 저온 및 고온 환경에서 동일 배합의 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성을 평가하여 저온 및 고온 환경에서 개선이 필요한 사항을 확인하고, 모르타르 배합을 변경하지 않고 온도에 따라 적합한 기능성 화학 혼화제를 각각 적용하여 발생 문제점에 대한 개선 가능 여부를 확인하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

온도조건에 따른 구조용 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성을 평가하기 위해 Table 1과 같이 실험계획 하였다. 동일한 모르타르 배합에서 상온(20 ℃)과 저온(10 ℃) 및 고온(30 ℃)에서 제조한 3D 프린팅 모르타르의 초기 및 경시 변화에 따른 유동성을 측정하였고, 재령일에 따른 압축강도 특성을 확인하였다. 양생은 실험온도와 동일한 온도에서 각각 3일간 기건 양생한 후 20 ℃ 항온항습기에서 기건 양생을 실시하였다. 저온환경 온도를 10 ℃로 설정한 것은 일반적으로 국내에서 동절기에 모르타르의 초기강도를 확보하기 위한 방안으로 양생온도를 한중모르타르의 기준 온도인 4 ℃보다 높은 10~15 ℃ 수준으로 관리하여 모르타르의 초기강도를 확보하고 있기 때문이고, 서중모르타르 기준인 일평균기온 25 ℃ 이상 및 일 최고온도 30 ℃ 초과를 고려하여 고온환경 실험

온도는 30 ℃로 설정하였다.[5-8]

Table 1. Experimental design of 3D printing mortar according to temperature conditions

Experimental factors	Experimental level		
W/B(%)	1	· 28.0	
Unit quantity of water (kg/m ³)	1	· 235	
Replacement ratio of admixture(%/C)	1	· FA(20)+SF(10)	
Water reducing agent type	1	· Basic	
Experimental temperature(℃)	3	· 10	· 20 · 30
Target flow(mm)	1	· 140±10	
Fresh mortar	2	· Flow · Temperature	
Hardened mortar	1	· Compressive strength	

Table 2. Experimental design of 3D printing mortar according to low-temperature condition

Experimental factors	Experimental level		
W/B(%)	1	· 28.0	
Unit quantity of water (kg/m ³)	1	· 235	
Replacement ratio of admixture(%/C)	1	· FA(20)+SF(10)	
Water reducing agent type	1	· Basic	
Additive for low temperature environment	Type	1	· Nitrate
	Amount (%/B)	4	· 0 · 1.0 · 2.0 · 3.0
Experimental temperature(℃)	1	· 10	
Target flow(mm)	1	· 140±10	
Fresh mortar	2	· Flow · Temperature	
Hardened mortar	1	· Compressive strength	

Table 3. Experimental design of 3D printing mortar according to high-temperature condition

Experimental factors	Experimental level		
W/B(%)	1	· 28.0	
Unit quantity of water (kg/m ³)	1	· 235	
Replacement ratio of admixture(%/C)	1	· FA(20)+SF(10)	
Water reducing agent type	4	· Basic(1) · High-retention(3)	
Experimental temperature(℃)	1	· 30	
Target flow(mm)	1	· 140±10	
Fresh mortar	2	· Flow · Temperature	
Hardened mortar	1	· Compressive strength	

선행실험을 통해 저온환경에서 3D 프린팅 모르타르의 초기강도가 저하되는 문제점을 확인하였고, 이를 개선하기 위해 모르타르 초기강도 증진용 첨가제를 적용한 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성을 평가하기 위한 실험을 Table 2와 같이 계획하였다. 모르타르 초기강도 증진용 첨가제는 A사의 Nitrate계 제품을 사용하였고, 분체량 대비 1~3 % 적용하여 사용량에 따른 초기강도 발현 특성을 확인하였다. 실험은 10 ℃ 환경에서 동일하게 진행하였고, 3일간 10 ℃ 양생하며 압축강도를 측정한 후 20 ℃ 기건 양생을 실시하였다.

한편, 30 ℃ 고온환경에서는 3D 프린팅 모르타르의 가사시간은 20 ℃ 환경의 절반 수준으로 단축된 것을 선행실험을 통해 확인할 수 있었는데, 이는 온도가 높아짐에 따라 모르타르의 수화반응이 촉진되어 모르타르 유동성 저하가 빠르게 진행된 것으로 판단되었다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 A사의 고유지형 감수제 3종을 적용하여 고온환경에서 가사시간 확보를 위한 실험을 Table 3과 같이 계획하였다. 실험은 모두 30 ℃ 환경에서 진행하였고, 이전 실험과 마찬가지로 동일 온도에서 3일간 양생 후 20 ℃ 기건 양생하였다.

Table 4~6은 모르타르 배합사항으로 Table 4는 20

℃ 환경을 기준으로 10 ℃ 및 30 ℃ 환경에서 각각 제조한 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성을 평가하기 위한 모르타르 배합사항이고, Table 5는 저온환경에서 3D 프린팅 모르타르의 초기강도 증진을 목적으로 초기강도 증진용 첨가제를 적용하여 그 성능 평가하기 위한 모르타르 배합사항이다. Table 6은 고온환경에서 기존 3D 프린팅 모르타르의 유지성능 저하를 개선하기 위해 고유지형 감수제 3종의 성능을 기존의 감수제와 비교평가하기 위한 모르타르 배합사항이다. 본 연구의 모든 배합의 목표 유동성을 140±10 mm로 설정하였고, 감수제 사용량을 조절하여 초기 목표 유동성을 확보하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료의 특성은 Table 7과 같다. 시멘트는 국내 B사의 분말도 3 350 cm²/g의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애시는 분말도 3 850 cm²/g의 국내 C사의 보령산 제품을, 실리카폼은 D사의 분말도 200 000 cm²/g의 제품을 사용하였다. 골재는 국내 E사의 밀도 2.61 kg/m³의 규사(7호사)를 사용하였다. 증점제는 A사의 증점제를 분체량 대비 0.1 %

Table 4. Mix design of 3D printing mortar according to temperature conditions

Experimental factors	W/B (%)	Unit weight (kg/m ³)						TK (%/B)	ACC (%/B)	AD (%/B)
		W	B	C	FA	SF	S			
20 ℃	28.0	235	840	588	168	84	936	0.1	-	2.00
10 ℃										2.00
30 ℃										2.00

Table 5. Mix design of 3D printing mortar according to low-temperature condition

Experimental factors	W/B (%)	Unit weight (kg/m ³)						TK (%/B)	ACC (%/B)	AD (%/B)
		W	B	C	FA	SF	S			
Plain	28.0	235	840	588	168	84	936	0.1	-	2.00
CW_1.0										1.0
CW_2.0										2.0
CW_3.0										3.0

Table 6. Mix design of 3D printing mortar according to high-temperature condition

Experimental factors	W/B (%)	Unit weight (kg/m ³)						TK (%/B)	ACC (%/B)	AD (%/B)
		W	B	C	FA	SF	S			
Plain	28.0	235	840	588	168	84	936	0.1	-	2.00
HW-1										2.00
HW-2										2.10
HW-3										2.05

사용하였고, 조기강도 증진용 첨가제는 A사의 Nitrate계 제품을 사용하였다. 감수제는 A사의 일반 감수제 1종과 고유지형 감수제 3종을 사용하였다.

Table 7. Properties of materials

Material		Properties
C	Ordinary portland cement	Density : 3.15 kg/m ³ Blaine : 3 350 cm ² /g
FA	Fly ash	Density : 2.20 kg/m ³ Blaine : 3 850 cm ² /g
SF	Silica fume	Density : 2.10 kg/m ³ Blaine : 200 000 cm ² /g
S	Silica sand	Density : 2.60 kg/m ³ Size : 0.22 mm
TK	Thickener	Cellulose based Density : 0.75 kg/m ³
AD	Superplasticizer	Polycarboxylic acid based Specific gravity : 1.10±0.05

2.3 실험방법

굳지 않은 모르타르에서 자체 유동성이 없는 3D 프린팅 모르타르의 작업성 평가를 위해 KS L 5111 규격의 시멘트 시험용 플로 테이블을 이용하여 25회 낙하 후 3D 프린팅 모르타르의 Flow를 측정하였고, 적외선 온도계를 이용하여 초기 및 경시 후 모르타르 온도를 측정하였다. 경화 모르타르에서는 단면 40 mm×40 mm, 길이 160 mm의 각주형 몰드를 이용한 시험체를 제작하여 1, 3, 7 및 28일 재령에서 각 수준별 시험체 3개의 압축강도를 측정하여 평균을 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도조건에 따른 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성 평가

온도조건에 따른 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성을 평가한 실험의 굳지 않은 모르타르 실험결과는 Table 8 및 Fig. 1과 같다.

Table 8은 각 수준별 온도조건에 맞추어 3D 프린팅 모르타르 제조 후 항온항습기에 정치하면서 경과시간에 따라 모르타르 온도를 측정한 것인데, 20 °C 환경에서는 180분까지 온도가 거의 동일하게 측정되었고, 저온에서는 시간이 경과함에 따라 항온항습기 설정온도인 10 °C에 수렴하였으며, 고온 환경에서는 모르타르 온도가 소폭 상승되는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 모르타

르 온도가 높을수록 수화반응이 촉진되어 동일한 경과시간에 더 많은 수화열이 발생되기 때문인 것으로 판단된다.

경과시간 따른 유동성 변화를 확인한 결과 Fig. 1과 같이 모르타르 온도가 높을수록 유동성 저하가 빠르게 진행되었다. 20 °C 환경에서는 120분 경시 후에도 목표 유동성을 충족하였는데, 30 °C 환경에서는 가사시간이 60분 정도 단축되었고, 10 °C에서는 180분까지 작업성을 확보할 수 있었다. 이는 온도가 높을수록 수화반응이 빠르게 진행되어 유동성 저하가 빠르게 일어난 것으로 고온환경에서는 작업시간 확보를 위해 3D 프린팅 모르타르의 유지성능을 높여줘야 할 것으로 사료된다.

Table 8. Temperature of 3D printing mortar by temperature conditions

Experimental factors	Temperature(°C)			
	0 min	60 min	120 min	180 min
20 °C	20.5	20.5	20.4	20.5
10 °C	10.5	10.3	10.2	10.1
30 °C	30.5	30.5	30.6	30.7

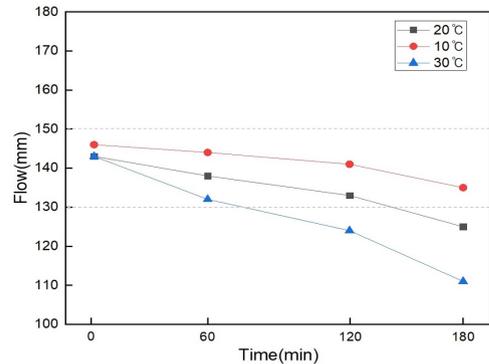


Fig. 1. Flow of 3D printing mortar by temperature conditions

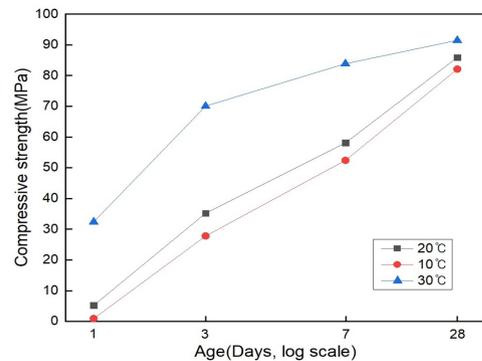


Fig. 2. Compressive strength of 3D printing mortar by temperature conditions

온도조건에 따른 각 수준별 압축강도 측정결과는 상기 Fig. 2와 같다. 20 ℃ 환경의 재령 1일 압축강도는 5.2 MPa, 28일 재령에서는 85.9 MPa를 나타내었고, 10 ℃에서는 초기강도가 크게 저하되어 0.9 MPa의 1일 압축강도를 나타내었고, 28일 재령에서는 82.1 MPa이 측정되었다. 수화반응이 빠르게 진행된 30 ℃ 고온환경에서는 재령 1일에 32.4 MPa의 높은 압축강도가 측정되었고, 28일 재령에서도 가장 높은 91.5 MPa를 나타내었다. 본 실험결과 저온환경에서 3D 프린팅 모르타르는 초기 강도발현이 매우 낮아 연속적층 시 선행 적층된 모르타르가 무너질 위험이 있기 때문에 초기강도 증진을 위한 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

3.2 저온환경에서의 3D 프린팅 모르타르 초기강도 증진을 위한 기초적 연구

저온환경에서 3D 프린팅 모르타르의 초기강도 증진을 위해 초기강도 증진용 첨가제를 적용한 굳지 않은 3D 프린팅 모르타르의 실험결과는 Table 9와 Fig. 3에 나타내었다.

Table 9. Temperature of 3D printing mortar by low-temperature condition

Experimental factors	Temperature(℃)			
	0 min	60 min	120 min	180 min
Plain	10.5	10.4	10.2	10.1
CW_1.0	10.4	10.4	10.3	1.01
CW_2.0	10.5	10.4	10.4	10.3
CW_3.0	10.5	10.4	10.5	10.4

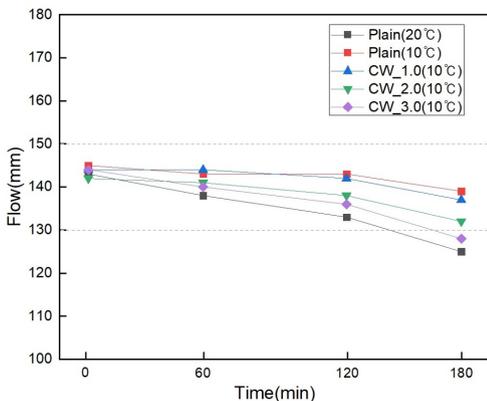


Fig. 3. Flow of 3D printing mortar by low-temperature condition

초기강도 증진용 첨가제의 사용량이 증가함에 따라 경과시간에 따른 모르타르 온도저하가 둔감해지고, 유동성 저하가 빠르게 진행되었지만, 첨가제를 사용하지 않은 20 ℃ 온도조건의 배합보다는 긴 작업시간이 확보 되었다.

Fig. 4는 각 수준별 재령일에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 10 ℃ 환경에서 초기강도 증진용 첨가제를 분체량 대비 2 %이상 사용 시 20 ℃ 환경보다 높은 압축강도를 확보할 수 있었고, 첨가제 사용량을 3 %로 증가시킨 배합은 10 ℃ 환경의 기존 배합보다 165 % 증가된 8.6 MPa의 1일 압축강도를 나타내었다. 이를 미루어 10 ℃보다 낮은 온도의 환경에서는 초기강도 증진용 첨가제 사용량 조절을 통해 3D 프린팅 모르타르의 목표 초기강도를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

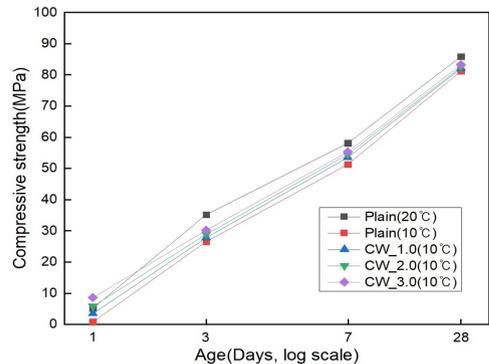


Fig. 4. Compressive strength of 3D printing mortar by low-temperature condition

3.3 고온환경에서의 3D 프린팅 모르타르의 유지성능 개선을 위한 기초적 연구

선행실험을 통해 고온환경에서 3D 프린팅 모르타르의 유동성 저하가 빠르게 진행되어 작업성이 저하되는 문제점을 확인하였고, 이를 개선하기 위해 고유지형 감수제를 적용한 3D 프린팅 모르타르의 실험결과는 Table 8, Fig. 5 및 Fig. 6과 같다.

고유지형 감수제를 적용한 배합들은 기존의 일반 감수제 대비 경과시간에 따른 모르타르 온도 증가가 둔감해졌고, 유지성능이 크게 개선되어 30 ℃ 온도조건에서 20 ℃ 환경보다 높은 유지력을 나타내어 충분한 가사시간을 확보할 수 있었다.

한편, 경화 모르타르 실험결과 30 ℃ 환경에서 고유지형 감수제를 사용한 배합은 기존 배합보다 초기강도가 소폭 저하되었는데, 이는 유지성능이 향상된 만큼 모르타르 응결시간이 지연되어 초기에 강도발현이 늦춰진 것

에 기인한 것으로 판단된다. 하지만, 강도저하 폭이 크지 않고, 기존 20 °C 환경의 3D 프린팅 모르타르보다는 4배 이상의 높은 초기 압축강도를 나타내었고, 28일 재령에서도 압축강도가 증가된 것을 확인할 수 있었다.

본 실험결과를 통해 30 °C 이상의 고온환경에서는 고유지형 감수제의 사용으로 충분한 가사시간 및 20 °C 환경보다 높은 압축강도를 확보할 수 있어 우수한 품질의 3D 프린팅 모르타르 제조가 가능할 것으로 사료된다.

Table 10. Temperature of 3D printing mortar by high-temperature condition

Experimental factors	Temperature(°C)			
	0 min	60 min	120 min	180 min
Plain	30.3	30.4	30.5	30.7
HW-1	30.4	30.4	30.5	30.6
HW-2	30.4	30.4	30.3	30.4
HW-3	30.4	30.3	30.4	30.5

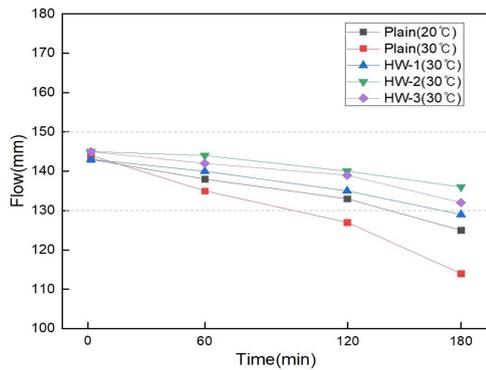


Fig. 5. Flow of 3D printing mortar by high-temperature condition

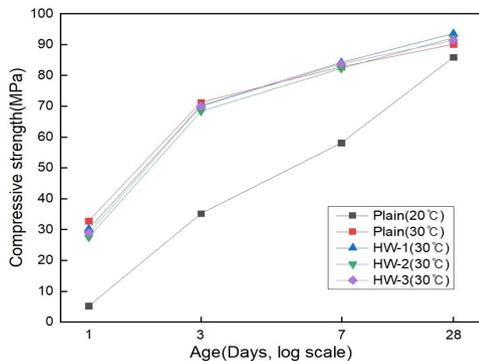


Fig. 6. Compressive strength of 3D printing mortar by high-temperature condition

4. 결론

본 연구에서는 온도조건에 따른 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성을 평가하여 저온 및 고온 환경에서 개선이 필요한 사항을 확인하고 모르타르 배합 변경 없이 적합한 기능성 화학 혼화제를 각기 적용하여 발생 문제점에 대한 개선 가능성을 확인하기 위한 실험을 진행하였고, 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 저온환경에서는 모르타르의 수화반응이 늦어져 초기 압축강도가 크게 저하되었고, 반대로 고온환경에서는 급격한 수화반응으로 인해 유동성 저하가 빠르게 진행되어 작업성이 저하되는 문제를 확인할 수 있었다.
- 2) 10 °C 저온환경에서 초기강도 증진용 첨가제를 분체량 대비 2 % 사용 시 20 °C 환경보다 높은 초기 강도를 확보할 수 있었는데, 기온이 낮은 환경에서 3D 프린팅 모르타르 제조 시 초기강도 증진용 첨가제를 적절히 사용하면 목표초기강도를 확보할 수 있을 것으로 사료된다.
- 3) 고온환경에서는 고유지형 감수제의 적용을 통해 경과시간에 따른 유동성 저하를 둔화시켜 20 °C 환경보다 긴 가사시간 확보가 가능하였고, 고유지형 감수제의 사용으로 모르타르 응결이 지연되어 초기 강도가 소폭 저하되었지만, 기존 20°C 환경의 배합보다 높은 초기 및 장기 압축강도를 발현하였다.
- 4) 본 연구를 통해 저온 및 고온 환경조건에서 3D 프린팅 모르타르 제조 시 발생되는 문제점을 파악하고, 적합한 기능성 화학 혼화제의 사용으로 개선 가능성을 확인하였다. 물론 현장의 환경조건, 사용 재료 및 3D 프린팅 설비에 따라 제조된 3D 프린팅 모르타르의 기초적 특성은 달라지겠지만, 온도변화에 의해 발생된 초기강도 및 유동성 저하 문제는 적절한 기능성 혼화제를 선택하여 사전 실험을 통해 적정 사용량을 확인하고 적용한다면 충분히 개선 가능할 것으로 판단된다.

References

[1] D. G. Lee, J. P. Park, B. I. Hwang, "Compressive Strength Characteristics of 3D Printing Concrete in Low Temperature Environment by Using Early Strength Improvement Type Additive", *Journal of the*

Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.21, No.10, pp.386-392, Oct. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.10.386>

- [2] S. S. Lee, "A Study on the improvement of Strength delay according to Low Temperature of Cold Weather Concrete", *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol.7, No.1, pp.51-59, 2012.
- [3] J. H. Lee, Y. H. Jung, Y. R. Kim, "Development of early strength concrete technology for shortening the construction period", *Dealim Technology Information*, pp.36-45, 2009.
- [4] S. J. Jeon, M. S. Choi, J. K. Yoo, Y. J. Kim, "A Study on Properties of Retarder via Tableting Method", *Journal of Korea Concrete institute*, Vol.25, No.2, pp.201-207, April. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.4334/JKCI.2013.25.2.201>
- [5] J. S. Ryou, N. W. Yang, Y. S. Lee, "Quality Control of Mass and Hot Weather Concrete in the Middle East Countries", *Magazine of the Korea Concrete institute*, Vol.20, No.6, pp.51-57, Nov. 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22636/MKCI.2008.20.6.51>
- [6] S. B. Hong, W. J. Kim, C. H. Lee, "Evaluation on the Hydration Heat and Durability of the Mass Concrete in Rare Isotope Accelerator Complex", *Magazine of the Korea Concrete institute*, Vol.31, No.3, pp.57-61, May. 2019.
- [7] D. Y. Choi, "Hot Weather and Cold Weather Concreting", *Magazine of the Korea Concrete institute*, Vol.7, No.4, pp.14-23, 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22636/MKCI.1997.9.4.14>
- [8] G. Y. Kim, Y. R. Kim, J. H. Park "Investigation of Early-Age Concrete Strength Development Using Hardening Accelerator", *Journal of Korea Concrete institute*, Vol.28, No.3, pp.309-306, June. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2016.28.3.309>

유 병 현(Byung-Hyun Yoo)

[정회원]



- 2010년 2월 : 아주대학교 건설시스템공학과 (학사)
- 2012년 8월 : 아주대학교 토목공학과 (석사수료)
- 2012년 11월 ~ 현재 : 동남기업 (주) 중앙연구소 선임연구원

<관심분야>

건설재료, 콘크리트

이 동 규(Dong-Gyu Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 청주대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2010년 2월 ~ 2014년 8월 : 동남기업 중앙연구소 선임연구원
- 2014년 8월 ~ 2016년 3월 : 충청대학교 공학기술연구원 선임연구원
- 2016년 4월 ~ 현재 : 동남기업(주) 중앙연구소 책임연구원/연구팀장

<관심분야>

콘크리트, 건축재료 및 시공

박 종 필(Jong-Pil Park)

[정회원]



- 2013년 2월 : 국립한밭대학교 건축공학과 졸업 (석사)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 동남기업 (주) 중앙연구소 선임연구원

<관심분야>

건설재료, 콘크리트

황 병 일(Byoung-Il Hwang)

[정회원]



- 2018년 8월 ~ 2019년 9월 : JNT INC 연구원
- 2019년 2월 : 우석대학교 건설공학과 (공학석사)
- 2019년 10월 ~ 현재 : 동남기업 (주) 주임연구원

<관심분야>

건설재료, 콘크리트