

3D 프린팅 콘크리트용 수축저감제 개발

이동규, 유병현*, 손호정
동남기업(주) 중앙연구소

Development of Shrinkage Reducing Agent for 3D Printing Concrete

Dong-gyu Lee, Byung-Hyun Yoo*, Ho-Jung Son
Research & Development Center, Dongnam

요 약 3D 프린팅 콘크리트는 거푸집 없이 시공이 가능하기 때문에 비정형 구조물 건설이 용이하고, 연속시공에 따른 공사시간 단축 및 공사현장 인력 감소로 인한 인건비 절감이 가능하다는 장점이 있지만, 외부에 노출된 상태로 시공을 하기 때문에 콘크리트 내외부의 수분 손실에 의한 수축균열이 발생확률이 크다는 문제점이 있어 3D 프린팅 콘크리트의 내구성 향상을 위해서는 3D 프린팅 콘크리트의 수축저감 방안이 필수적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 글리콜계 및 알콜계 수축저감제 샘플 7종을 제조하여 그 성능을 평가하였고, 우수한 성능을 보인 수축저감제 샘플을 선별하여 이를 적용한 3D 프린팅 콘크리트의 기초적 특성을 확인하였다. 그 결과 수축저감제 사용 시 기존의 3D 프린팅 콘크리트 대비 압축강도가 10% 이상 증진되었고, 수축량은 36% 이상 감소되었다. 3D 프린팅 콘크리트용 수축저감제의 적용으로 압축강도 증진 및 건조수축량 저감이 가능하기 때문에 기존의 3D 프린팅 콘크리트 대비 내구성 향상이 가능하여 고품질의 3D 프린팅 콘크리트의 제조가 가능할 것으로 기대된다.

Abstract Since 3D printed concrete can be constructed without formwork, it is easy to construct an atypical structure, and the construction time and labor cost can be reduced. However, since the construction is exposed to the outside, shrinkage cracking due to moisture loss inside and outside the concrete occurs. Therefore, in order to improve the durability of the 3D printed concrete, a shrinkage reduction plan of the 3D printed concrete is required. In this study, glycol-based and alcohol-based shrinkage reducing agents were fabricated and evaluated for their performance. The shrinkage reducing agent samples showing excellent performance were selected and applied to 3D printed concrete. As a result, the compressive strength was increased by more than 10% and the shrinkage was reduced by more than 36% when using a shrinkage reducing agent. It is expected that the production of high quality 3D printed concrete will be possible because it is possible to increase the compressive strength and reduce the amount of dry shrinkage by applying a shrinkage reducing agent for 3D printed concrete.

Keywords : 3D Printing Concrete, Shrinkage, Shrinkage Reducing Agent, Crack, Durability

1. 서론

최근 국내외에서 3D 프린팅 콘크리트 개발에 관한 연구가 활발히 진행되면서 관련 연구사례가 많이 보고되기 시작했다[1]. 특히, 3D 프린팅 콘크리트 제조 설비 개발

에 관한 연구는 상당히 많이 진척된 것으로 판단된다. 하지만, 3D 프린팅 콘크리트 재료에 관한 연구는 기초적 수준에 머물러 있고, 3D 프린팅 콘크리트의 내구성 향상에 관한 연구는 전무한 상태이다. 3D 프린팅 콘크리트는 거푸집 없이 시공이 가능하기 때문에 비정형 구조물

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 19AUDP-B121832-04)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

*Corresponding Author : Byung-Hyun Yoo(Dongnam)

email: bk49@dongnamad.co.kr

Received October 7, 2019

Revised November 19, 2019

Accepted December 6, 2019

Published December 31, 2019

건설관한 연구는 전무한 상태이다. 3D 프린팅 콘크리트는 거푸집 없이 시공이 가능하기 때문에 비정형 구조물 건설이 용이하고, 연속시공에 따른 공사시간 단축 및 공사현장 인력 감소로 인한 인건비 절감이 가능하다는 장점이 있다. 하지만, 거푸집을 사용하지 않기 때문에 거푸집으로 보양되는 일반 콘크리트에 비해 굳지 않은 콘크리트 상태에서 외부에 그대로 노출되어 콘크리트 표면에서 증발되는 수분량이 증가하게 된다. 그로 인해 콘크리트 내외부의 수분 손실량이 비교적 크게 증가하게 되어 콘크리트 수축에 의한 균열이 발생할 확률이 높아지게 되기 때문에 3D 프린팅 콘크리트의 내구성 향상을 위해서는 3D 프린팅 콘크리트의 수축저감 방안이 필수적으로 요구되어진다. 일반적으로 알려진 콘크리트의 수축저감 방법은 팽창재와 수축저감제를 사용하는 것이다. 팽창재를 활용한 수축저감 방식은 콘크리트의 수축량을 사전에 예측하여 초기에 콘크리트를 팽창시켜 수축량을 보상하는 방식으로 적절한 콘크리트의 팽창은 건조수축을 저감시키는데 효과적이거나 초기 팽창량을 제어하기가 어려울 뿐만 아니라 팽창량 과다로 인한 팽창성 균열을 유발하는 단점을 가지고 있다[2, 3, 4, 5]. 수축저감제를 활용한 수축저감 방법은 콘크리트 내부 수분의 표면장력을 낮추어 콘크리트 내부의 수분이 표면으로 이동하는 것을 감소시켜 콘크리트의 수축을 저감시키는 방법으로 콘크리트 표면이 노출된 상태로 경화하는 3D 프린팅 콘크리트의 특성상 콘크리트의 수분 손실로 인한 수축량이 클 것으로 예상되기 때문에 3D 프린팅 콘크리트의 경우에는 수축저감제를 활용한 수축저감 방식이 적합할 것으로 사료된다. 본연구진은 선행연구를 통해 알콜계 및 글리콜계가 콘크리트의 수축저감에 효과적이라는 것을 확인하였다[6, 7]. 이에 본 연구에서는 글리콜계 및 알콜계 원료를 사용하여 수축저감제 샘플을 제조한 후 일반 콘크리트 배합에 적용하여 콘크리트의 기초적 특성을 평가하고, 우수한 수축저감 성능을 보인 수축저감제 샘플을 선별하여 이를 적용한 3D 프린팅 콘크리트의 수축 및 기초적 특성을 확인하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

3D 프린팅 콘크리트용 수축저감제 선정 실험에서는 콘크리트 내부 수분의 표면장력을 저감시킬 수 있는 글리콜계 및 알콜계 원료를 바탕으로 제조한 수축저감제 샘플

7종을 일반 콘크리트 배합에 적용하여 그 성능을 비교평가하기 위해 Table 1과 같이 실험계획 하였고, 우수한 성능을 보인 수축저감제 샘플 2종을 선별하여 Table 2와 같이 3D 프린팅 콘크리트 배합에 적용하여 그 성능을 평가하기 위한 실험을 계획하였다. Table 3은 7종의 수축저감제 샘플의 성능평가를 위한 콘크리트 배합사항이고, Table 4는 선별된 2종의 수축저감제를 적용한 3D 프린팅 콘크리트의 배합사항이다. 선행연구[8, 9, 10]에서 3D 프린팅 콘크리트의 기본 배합, 레올로지 특성 및 관련 특수재료에 대한 연구를 진행하였고, 본 연구에서는 수축저감제 사용에 따른 수축저감 효과 및 콘크리트의 기초적 특성 변화 여부를 확인하기 위해 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프 및 공기량을, 경화 콘크리트에서 재령별 압축강도 및 건조수축 길이변화량을 측정하였다.

Table 1. Experimental design of concrete, using shrinkage reducing materials

Experimental factors		Experimental level	
W/B(%)		1	· 49.4
S/a(%)		1	· 50.0
Unit quantity of water (kg/m ³)		1	· 168
Replacement Ratio of admixture(%/B)		1	· FA(15)
Slump(mm)		1	· 180±25
Air content(%)		1	· 4.5±1.5
Shrink reducing materials	Type	7	· Glycol (SP-1, SP-2, SP-3, SP-4) · Alcohol (SP-5, SP-6, SP-7)
	Amount (%/B)	1	· 1.0
Fresh concrete		2	· Slump · Air
Hardened concrete		2	· Compressive strength · Drying shrinkage length change

Table 2. Experimental design of 3D printing concrete, using shrinkage reducing materials

Experimental factors		Experimental level	
W/B(%)		1	· 28.0
S/a(%)		1	· 100.0
Unit quantity of water (kg/m ³)		1	· 235
Replacement Ratio of admixture(%/B)		1	· FA(20)+SF(10)
Flow(mm)		1	· 120±10
Air content(%)		1	· 8.0±2.0
Shrink reducing materials	Type	2	· Glycol (SP-4) · Alcohol (SP-7)
	Amount (%/B)	1	· 1.0
Fresh concrete		2	· Flow · Air
Hardened concrete		2	· Compressive strength · Drying shrinkage length change

Table 3. Mix design of concrete, using shrinkage reducing materials

Experimental factors	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						SR (%/B)	AD (%/B)
			W	B	C	FA	CS	G ₂₅		
Plain	49.4	50.0	168	340	289	51	899	895	-	1.10
SP-1									1.00	
SP-2									0.95	
SP-3									1.10	
SP-4									1.10	
SP-5									1.05	
SP-6									1.25	
SP-7									1.10	

Table 4. Mix design of 3D printing concrete, using shrinkage reducing materials

Experimental factors	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						TK (%/B)	SR (%/B)	AD (%/B)
			W	B	C	FA	SF	S			
Plain	28.0	100.0	235	840	588	168	84	936	0.1	-	2.00
SP-4										1.0	2.10
SP-7										2.05	

2.2 사용재료

Table 5는 본 연구에 사용된 재료의 특성을 나타낸 것이다. 시멘트는 국내 A사의 분말도 3 350 cm²/g의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애시는 분말도 3 850 cm²/g의 국내 B사의 보령산 제품을, 실리카 펄은 C사의 분말도 200,000 cm²/g의 말레이아산 제품을 사용하였다. 골재는 일반 콘크리트 배합에서 국내산 밀도 2.62 g/cm³의 부순사를 잔골재로 사용하였고, 굵은 골재는 밀도 2.61 g/cm³ 및 최대치수가 25 mm인 국내산 골재를 사용하였다. 한편 3D 프린팅 콘크리트 배합의 경우에는 굵은 골재는 사용하지 않고 잔골재로 규사를 사용하였고, 규사는 국내 D사의 밀도 2.61 g/cm³의 7호사를 사용하였다. 화학 혼화제는 E사의 증점제와 고성능 감수제를 사용하였는데, 증점제의 경우 3D 프린팅 콘크리트 배합에서 분체량 대비 0.1% 고정 사용하였고, 고성능 감수제의 경우 목표 유동성 확보를 위해 배합마다 사용량을 조절하였다.

수축저감제는 글리콜계 원료를 바탕으로 SP-1, SP-2, SP-3 및 SP-4를 제작하였고, 알콜계 원료를 사용하여 SP-5, SP-6, SP-7을 제작하여 총 7종의 수축저감제를 사용하였고, 제작된 수축저감제 샘플의 특성은 Table 6과 같다. 수축저감제는 분체량 대비 1.0% 사용하였는데, 사용된 수축저감제량 만큼 배합수를 차감시켜 물-결합제비가 변하지 않도록 실험을 진행하였다.

Table 5. 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
CS	Crushed sand	Density : 2.62 kg/m ³ Size : 5 mm
S	Silica sand	Density : 2.60 kg/m ³ Size : 0.22 mm
G ₂₅	Coarse aggregate	Density : 2.61 kg/m ³ Size : 25 mm
TK	Thickener	Cellulose based Density : 0.75 kg/m ³
AD	Admixture	Polycarboxylic acid based Specific gravity : 1.07±0.05

Table 6. Properties of shrinkage reducing agent

Factors	Type	Specific gravity
SR	Glycol based	1.03±0.05
		0.96±0.05
		0.88±0.05
		0.95±0.05
	Alcohol based	0.81±0.05
		0.78±0.05
		0.77±0.05

2.3 실험방법

굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험은 KS F 2421 공기실 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법에 의거하여 측정하였고, 유동성 시험은 수축저감제 선별 실험에서 KS F 2402에 의거하여 Slump를 측정하였고, 자체 유동성이 없는 3D 프린팅 콘크리트 배합의 경우 KS L 5111 규정의 시멘트 시험용 플로 테이블을 이용하여 15회 낙하 후 3D 프린팅 콘크리트의 Flow를 측정하였다.

경화 콘크리트에서는 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법에 따라 1, 7, 28일 재령의 압축강도를 측정하였고, 재령에 따른 건조수축 길이변화를 측정하였다. 건조수축 길이변화의 경우 KS F 2424 모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험 방법에 준하여 100×100×400 mm의 각주형 몰드 중앙에 매립형 스트레인 게이지를 설치하여 콘크리트를 타설한 후 데이터 로거를 사용하여 길이변화량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수축저감제 성능 평가

수축저감제 7종의 샘플을 적용한 콘크리트의 굳지 않은 콘크리트의 실험결과는 Fig. 1, 2와 같고, 경화 콘크리트의 실험결과는 Fig. 3, 4와 같다.

굳지 않은 콘크리트 실험결과 수축저감제 종류에 따라 공기량 차이가 발생하였지만, 모든 배합에서 목표 공기량을 충족하였고, 고성능 감수제 사용량을 조절하여 비슷한 수준의 유동성을 확보할 수 있었다.

경화 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 측정결과 수축저감제 적용 시 압축강도가 소폭 저하되는 경향을 나타내었는데, 수축저감제 샘플 SP-7을 적용한 경우는 Plain보다 높은 압축강도가 발현되었다. 건조수축 길이변화 시험에서는 SP-1을 제외한 수축저감제를 사용한 모든 배합의 수축량이 감소되었고, 특히 SP-4 및 SP-7을 적용한 경우 수축량이 크게 감소되어 28일 재령에서 Plain 대비 수축량이 약 35% 감소되었다.

7종의 수축저감제를 일반 콘크리트 배합에 적용하여 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 기초적 특성을 확인한 결과 수축저감제 샘플 SP-4 및 SP-7을 적용 시 수축저감제가 적용되지 않은 Plain 배합과 비슷한 수준의 콘크리트 물성 확보가 가능하였고, 경화 콘크리트에서 Plain과 동등수준 이상의 압축강도 확보 및 높은 수축저감 효과가 확인되었다.

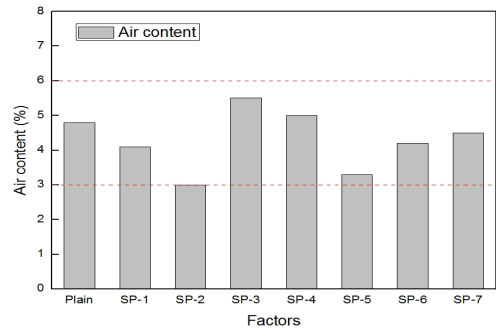


Fig. 1. Air content of concrete using shrinkage reducing agent

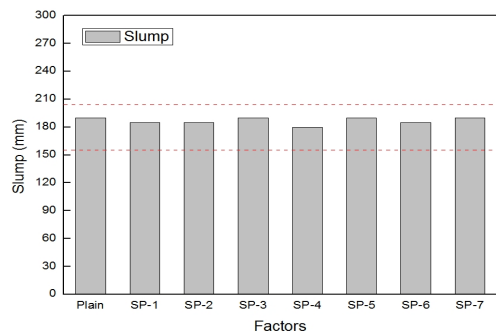


Fig. 2. Slump of concrete, using shrinkage reducing agent.

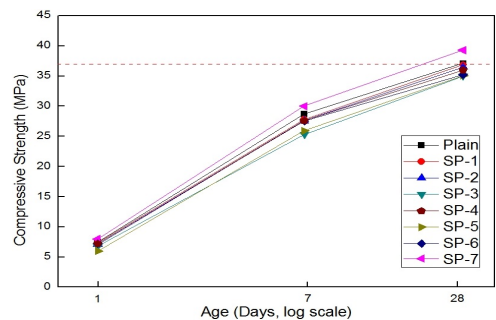


Fig. 3. Compressive strength of concrete, using shrinkage reducing agent

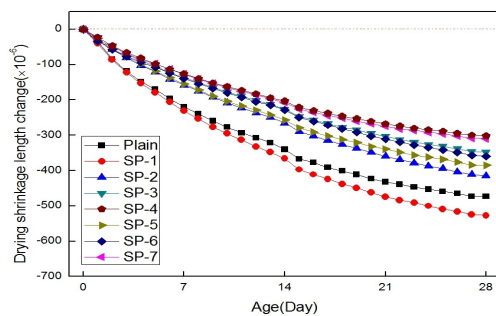


Fig. 4. Drying shrinkage length change of concrete, using shrinkage reducing agent

3.2 수축저감제가 적용된 3D 프린팅 콘크리트의 특성

선행실험을 통해 우수한 수축저감 효과를 보인 수축저감제 샘플 SP-4 및 SP-7을 3D 프린팅 콘크리트 배합에 적용한 실험결과는 Fig. 5~8에 나타내었다.

모든 배합에서 목표 공기량을 만족 하였고, 수축저감제가 적용된 배합의 경우 고성능 감수제 사용량을 증가시켜 목표 유동성을 확보하였다. 압축강도 측정결과 수축저감제가 사용된 배합 모두 기존의 3D 프린팅 콘크리트 배합 대비 압축강도가 크게 증가되었다. 일반 콘크리트 배합의 28일 재령에서 SP-7 적용 시 Plain 대비 5% 정도 압축강도가 증가되었고, SP-4의 경우 Plain과 비슷한 수준의 압축강도를 나타내었는데, 3D 프린팅 콘크리트 배합에서는 수축저감제 SP-4 및 SP-7 사용 시 각각 약 10% 및 15% 압축강도가 증진되었다. 건조수축 길이변화는 56일간 측정하였는데, 수축저감제 사용에 따른 수축저감 효과가 일반 콘크리트 배합에 비해 크게 나타났다. SP-4를 적용한 배합은 56일 재령에서 Plain 대비 수축량이 약 36% 저감되었고, SP-7의 경우에는 28% 정도 수축량이 감소되었다.

본 실험에서는 수축저감제가 사용된 3D 프린팅 콘크리트의 기초적 특성을 확인하였는데, 수축저감제 적용 시 목표 유동성 확보를 위한 혼화제 사용량이 소폭 증가되었지만 우수한 수축저감 효과 및 압축강도 증진을 확인할 수 있었다. 이는 선행연구결과와 같이 수축저감제의 사용으로 콘크리트 내부의 표면장력이 감소되어 콘크리트 표면 건조에 따른 수분의 이동을 감소시켜 콘크리트의 건조수축량이 작아진 것으로 판단된다[11]. 또한 콘크리트 건조수축 저감에 기인한 콘크리트 내부의 미세균열의 감소로 강도증진 효과가 발현된 것으로 사료되는데, 이는 수축저감제 사용에 따른 강도증진에 관한 연구문헌에서도 확인할 수 있었다[12, 13].

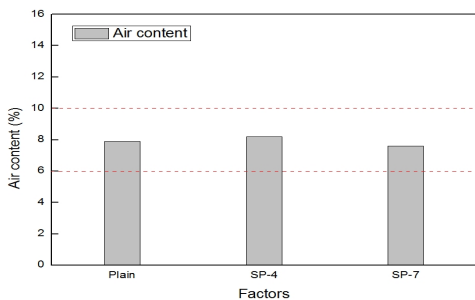


Fig. 5. Air content of 3D printing concrete, using shrinkage reducing agent

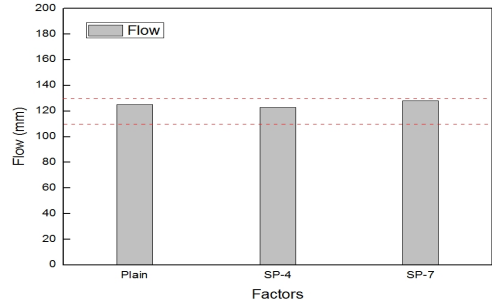


Fig. 6. Flow of 3D printing concrete, using shrinkage reducing agent.

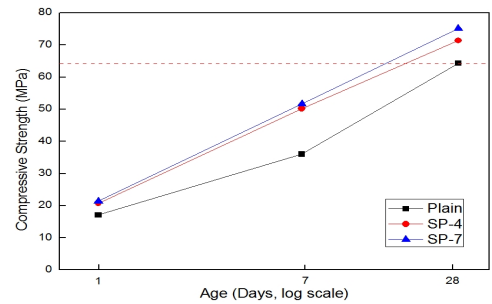


Fig. 7. Compressive strength of 3D printing concrete, using shrinkage reducing agent

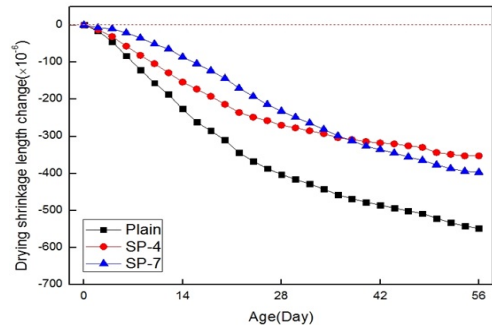


Fig. 8. Drying shrinkage length change of 3D printing concrete, using shrinkage reducing agent

4. 결론

본 연구에서는 3D 프린팅 콘크리트용 수축저감제 개발을 위해 7종의 수축저감제 샘플을 제작하여 일반 콘크리트 배합에서 성능을 비교평가 하였고, 우수한 성능 보인 수축저감제 샘플을 선별하여 3D 프린팅 콘크리트에 적용하여 수축저감제가 사용된 3D 프린팅 콘크리트의 특성 평가 및 성능을 검토한 결론을 요약하며 다음과 같다.

- 1) 수축저감제가 적용된 3D 프린팅 콘크리트 배합의 경우 기존의 배합보다 목표 유동성 확보를 위한 혼화제 사용량이 소폭 증가되었지만, 압축강도가 크게 증진되어 재령 28일에서 약 10% 이상의 높은 압축강도가 확보되었다.
- 2) 3D 프린팅 콘크리트는 수축저감제 사용에 따른 수축저감 효과가 일반 콘크리트에 비해 큰 것으로 확인되었고, 개발된 수축저감제 SP-4 사용 시 재령 56일 기준 수축량이 약 36% 저감되었다.
- 3) 3D 프린팅 콘크리트용 수축저감제의 적용으로 압축강도 증진 및 건조수축량 저감이 가능하기 때문에 기존의 3D 프린팅 콘크리트 대비 내구성 향상이 가능하여 고품질의 3D 프린팅 콘크리트의 제조가 가능할 것으로 기대된다.
- 4) 추후 수축저감제를 적용한 3D 프린팅 콘크리트를 출력하여 시험체와 실제 출력된 콘크리트의 수축량을 비교평가 할 예정이다.

References

- [1] B. H. Yoo, H. S. Han, D. G. Lee, "Investigation of Fundamental Properties for Development of Chemical Admixture of 3D Printing Concrete", *Journal of Korea Concrete institute*, Vol.29, No.2, pp.555-556, Oct. 2017.
- [2] J. P. Park, Y. W. Jung, "Performance Improvement of High Performance Shrinkage Reducing Agent using Early Strength Improving Agent", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.17, No.4, pp.296-302, April. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.4.296>
- [3] M. C. Han, "Estimation of the Autogenous Shrinkage of the High Performance Concrete Containing Expansive Additive and Shrinkage Reducing Agent", *Journal of Korea institute of building construction*, 7(3), pp. 123-130, Sep. 2007.
DOI: <https://doi.org/10.5345/JKIC.2007.7.3.123>
- [4] I. S. Hwang, M. C. Han, C. G. Han, "Properties of Drying Shrinkage of Concrete with Unit Water and Contents of Shrinkage Reducing Admixtures", *Journal of Architectural institute of Korea*, 20(6), pp. 75-82, 2004.
- [5] S. H. Lee, "Properties of Reducing Drying Shrinkage by Using Shrinkage Reducing Agent", *Journal of Korean society of civil engineers*, 16(1-4), pp. 435-443, 1996.
- [6] P. J. Park, B. H. Yoo, Y. H. Kwon, H. S. Han, "Fundamental Properties of Concrete Corresponding to Various Shrinkage Reducing Materials", *Journal of Korea Concrete institute*, Vol.26 No.2, pp.315-316, Oct. 2014.
- [7] P. J. Park, B. H. Yoo, H. J. Son, H. S. Han, "Shrinkage Properties of High strength Concrete Corresponding to Various Shrinkage Reducing Agent", *Journal of Korea Concrete institute*, Vol.28 No.2, pp.265-266, Oct. 2016.
- [8] H. J. Lee, W. W. Kim, J. H. Moon, "Study on Rheological Properties of Mortar for the Application of 3D Printing Method", *Korea Recycled Construction Resources Institute*, Vol.6 No.1, pp.16-24, March. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.14190/JRCR.2018.6.1.16>
- [9] B. H. Yoo, J. H. Shin, H. J. Son, D. G. Lee, H. S. Han, H. W. Choi "Development of Thixotropy Materials for 3D Printing Concrete", *Journal of Korea Concrete institute*, Vol.30 No.1, pp.549-550, May. 2018.
- [10] H. J. Lee, W. W. Kim, E. A. Seo, J. H. Moon "A Study on the Pore Distribution between Layer of 3D Printed Mortar", *Journal of Korea Concrete institute*, Vol.31 No.1, pp.595-560, May. 2019.
- [11] J. P. Park, Y. W. Jung, "Fundamental Properties on the Development of High Performance Shrinkage Reducing Agent for Concrete", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.6, pp.4298-4307, Jun. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.4298>
- [12] M. C. Han, D. G. Lee "Strength and Autogenous Shrinkage of High Strength Mortar Using Water Substituting Liquid", *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol.11 No.6, pp.538-546, Sep. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2011.11.6.538>
- [13] A. Safat, R. Gianluca, V. Zora "Shrinkage effects on the flexural stiffness of composite beams with solid concrete slabs: An experimental study", *Engineering Structures*, Vol.33 No.4, pp.1302-1315, April. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.01.007>

이 동 규(Dong-Gyu Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 청주대학교 건축공학 (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

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

손 호 정(Ho-Jung Son)

[정회원]



- 2013년 8월 : 청주대학교 대학교 건축구조 (공학박사)
- 2012년 9월 ~ 2015년 7월 : 한국콘크리트시험원 선임연구원
- 2015년 7월 ~ 현재 : 동남기업(주) 중앙연구소 선임연구원

<관심분야>

건축 재료 및 시공, 콘크리트