

4변 구속조건을 갖는 초저수축 일반강도 콘크리트의 수축특성 연구

정준영^{1*}, 민경환¹, 이동규¹, 최홍식²
¹충청대학교 공학기술연구원, ²충청대학교 토목과

A Study of Shrinkage Characteristics of Low Shrinkage Normal Strength Concrete With Boundary Restraint Condition

Jun-Young Jeong^{1*}, Kyung-Hwan Min¹, Dong-Gyu Lee¹, Hong-sik Choi²

¹Research Institute for Engineering & Technology, Chungcheong University

²Department of Civil Engineering, Chungcheong University

요약 본 연구는 분말형 수축저감제를 이용하여 일반 강도를 갖는 콘크리트에서 350 $\mu\epsilon$ 이하의 초수축 특성을 얻게 하는데 필요한 결합체의 치환률을 평가하였다. 또한 이를 바탕으로 4변지지 구속된 조건에서 실험형 벽체를 통해 분말형 수축 저감제의 첨가 유무에 따른 수축 특성을 측정하고 균열저감 특성을 평가하였다. 콘크리트의 기초 물성은 슬럼프와 공기량을 측정하였으며, 수축 특성은 길이 변화를 측정하여 평가하였다. 수축 저감을 위해 최대 플라이에시는 20%까지 유효하였으며, 고로슬래그를 사용하거나 3성분계로 치환하는 경우 수축 특성에 불리한 것으로 평가되었다. 플라이에시와 고로슬래그 및 3성분계 바인더 비율에 따른 일반 강도 콘크리트의 건조수축 길이 변화 특성에 영향을 주는 인자의 특성을 분석하고, 도출된 배합에 대해 분말형 수축저감제를 적용하여 그 균열 계측 결과를 통해 그 유효성을 검증 연구를 수행하였다. 또한 도출된 배합에 적용된 수축저감 콘크리트의 특성은 넣지 않은 경우에 비하여 약 60% 수준으로서 350 $\mu\epsilon$ 이하의 수축저감 특성을 보였다. 4변지지 구속 조건을 고려한 수축균열 유도실험을 통해 기존의 배합대비 균열발생 저감 효과를 검증하였다.

Abstract In this study, the replacement effects of cementitious materials (fly ash, blast furnace slag, and blended mixtures) were assessed for normal strength concrete with very low shrinkage properties under 350 $\mu\epsilon$ strain using a powder type shrinkage reducing agent. In addition, through mock-up tests of actual size walls restrained with four sides, the shrinkage characteristics using the power type shrinkage reducing agent were measured and the crack reducing ability was assessed. The slump and air contents were measured as the properties of fresh concrete, and the length changes of the prismatic specimens, 100 \times 100 \times 400 mm in size, were measured for the shrinkage characteristics. To reduce the shrinkage of concrete, the maximum replacing ratio of the fly ash is effective to 20 percent; however, the use of blast furnace slag and ternary mixtures did not reduce the shrinkage.

Keywords : Blast furnace slag, Curing temperature, Fly-ash, Low shrinkage concrete, Ternary Mixtures

1. 서론

콘크리트의 경우 균열 등에 의해 누수 및 열화가 발생하면 유지 보수에 큰 어려움이 발생한다. 따라서 균열 등을 최소화하려는 여러 가지 시도가 있으며, 그 한 분야가

수축저감 콘크리트를 적용하려는 노력이다. 즉 열화의 발생시 유지관리에 어려움을 겪는 지중 구조물 등에서 특히 이러한 필요성이 크게 요구된다. 콘크리트의 건조 수축은 일정한 온도와 구속받지 않는 상태의 불포화된 공기 속의 콘크리트로부터 시간에 따른 부피의 변화로

본 논문은 전력산업융합원천기술개발(과제번호 : 20131010501790) 연구비 지원에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Jun-Young Jeong(Chungcheong Univ.)

Tel: +82-43-230-2675 email: jun02@ok.ac.kr

Received May 9, 2016

Revised (1st May 31, 2016, 2nd June 1, 2016)

Accepted June 2, 2016

Published June 30, 2016

정의된다. 콘크리트 구조물의 시공 후에 수개월간에 걸쳐 장기적으로 발생하는 건조수축으로 내구성 저하와 콘크리트의 성능이 감소되어 유지보수 비용이 증가하고 있다.

저수축 콘크리트에 대한 연구는 초기에는 주로 팽창제와 수축저감제를 혼용하여 이루어졌다. 이는 수축저감 특성이 충분하지 못해 팽창제의 혼용으로 수축보상을 시도한 의미가 있다.[1, 2]

이러한 연구 경향은 최근까지도 고성능 콘크리트의 자기수축을 저감하는 방안으로 다각적으로 연구되고 있다[3, 4]

최근에는 수축저감제의 성능 개선에 따라 일반 강도의 콘크리트에서 팽창제의 도움 없이 수축저감제만으로 시공성을 개선하려는 노력이 수행되고 있는 실정이다. [5, 6]

본 연구에서는 이러한 건조수축을 줄이기 위한 방안으로 콘크리트 제작시 사용되는 광물성 바인더의 종류로 시멘트의 일부를 대체하고, 수축에 유리한 배합을 도출한 후 4변구속 시험체를 제작하여 구속조건에서의 건조수축에 의한 균열 발행 여부를 평가하였다.

수축 저감 목표는 일반적으로 일반강도의 콘크리트에서 Maintenance free 한계로 인식되는 350 μ e 이하의 수축특성을 목표로 하였다. 모든 재료의 배합은 워커빌리티와 공기량을 통일하였으며, 각 시험 배합의 압축강도 및 수축 특성을 평가하였다.

2. 실험 개요 및 방법

2.1 재료 특성 및 배합

본 연구는 통상의 전력구 등 시공 후 지하에 매립되는 일반강도 콘크리트의 배합을 기준으로 수행하였다. 먼저 통상 사용되는 결합제의 양을 변화시켜 수축저감에 영향을 주는 범위를 도출하고 이를 통해 최근에 개발된 분말형 수축저감제를 사용한 초저수축 일반강도 콘크리트의 균열 저감효과를 검증하도록 하였다.

Table 1. Concrete materials properties

Materials	Density (g/cm ³)	Water absorption (%)
Coarse aggregate (13mm)	2.60	0.80
Coarse aggregate (20mm)	2.63	0.70
Coarse aggregate (25mm)	2.60	0.80
Sea Sand (SS)	2.63	1.0
Crushed Sand (CS)	2.60	1.0
Cement	3.15	-
Fly Ash(type 2)	2.20	-

Table 2. Characteristics of shrinkage reduction agent

Type	Density (g/cm ³)	Color	Typical Dosage(%)
Powder	2.43	White Grey	2.0(contrast a binder)

Table 3. Test configuration

Test variables		Test value		
Mix proportion	W/B(%)	49.4		
	Water(kg/m ³)	168		
	Slump(mm)	150±20		
	Air Content(%)	4.5±1.5		
	Binder	OPC : FA = 9 : 1(Typical)		
	Test variables	3	FA replacement ratio (0, 10, 20%)	
Test proportion	Fresh concrete	3	BS replacement ratio (0, 20, 40%)	
		5	Ternary binder (OPC:BS:FA) (10:0:0, 7:2:1, 6:2:2, 5:4:1, 4:4:2)	
		2	Slump, Air content	
Test proportion	Hardened concrete	3	Compressive strength (3, 7, 28, 56 Day)	
			Concrete length change (1,2,3,... Day Until convergence) - embedded gauge	

OPC : Ordinary Portland Cement
 FA : Fly-Ash
 BS : Blast Furnace Slag

분말형 수축저감제는 통상적으로 많이 사용되는 액상형 수축저감제와 팽창제의 조합 방법에 비해 초기팽창균열에 대한 우려와 별도의 투입설비가 불필요한 장점이 있다.

Table 1은 배합에 사용된 콘크리트 재료의 물성을 나타내었으며, Table 2는 사용된 수축저감제의 특성, Table 3에 실험 구성을 나타내었다.

실험은 기존의 플라이에서 10% 치환을 하는 배합을 기본으로 하여 현장에서 주로 적용되는 결합제의 범위에 대해 적용성을 평가하는 것으로 구성하였다. 결합제의 변화 범위는 Fly - ash (FA)의 치환율(0%, 10%, 20%), 고로슬래그(BS)의 치환율(0%, 20%, 40%), 3성분계(시멘트 : 고로슬래그 : 플라이에서= OPC : BS : FA)의 바인더 구성(100:0:0, 70:20:10, 60:20:20, 50:40:10, 40:40:20)등 총 11가지로 구성하였다. 이에 대해 분말형 수축저감제의 유효성을 검증하고, 이를 바탕으로 저수축 조건에 맞는 배합을 도출하였다.

배합에 사용된 OPC는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를

사용하였고, 2종 플라이애시와 3종 고로슬래그를 사용하였다. 굵은골재는 최대치수 25mm의 부순 자갈을 사용하였으며, W/B는 49.4%, 단위수량 168kg을 적용하였으며, 슬럼프는 150±20mm, 공기량은 4.5±1.5%을 목표로 설정하여 실험을 진행하였다.

2.2 실험 방법

경화 콘크리트에서는 3, 7, 28, 56일 재령 압축강도를 측정하였고, 또한 콘크리트의 건조수축 길이변화를 측정하기 위하여 100×100×400mm의 각주몰드 중앙에 매립 게이지를 설치하여 타설한 후, 길이변화 측정 데이터가 수렴 할 때까지 실험을 진행하였다.

각 바인더마다 갖고 있는 수축특성을 통해 수축에 가장 많은 영향을 주는 바인더의 종류와 혼합비를 검토하고, 슬럼프, 공기량 및 강도 비교를 통해 배합의 유효성을 검토하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 Fly-ash 치환율에 따른 배합

일반적으로 Fly-ash(FA)를 바인더로 사용한 콘크리트는 워커빌리티가 좋으며, 초기응결시간이 길어져서 슬럼프 손실이 적어지고 초기 강도발현이 적으며 장기강도가 발현되고 건조수축이 감소하는 것으로 알려져 있다.

실험결과 FA 치환율이 증가할수록 슬럼프가 증가하는 것으로 나타났으며, 공기량은 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 압축강도는 FA 10% 및 20%를 치환한 그룹이 OPC 100%인 그룹 보다 장기강도가 크게 발현되었다.

또한 콘크리트 건조수축 길이변화는 10% 및 20% 치환의 경우가 거의 같은 우수한 수축저감효과를 갖는 것으로 나타났다. 이는 기존의 전력구에 많이 사용하는 FA를 10% 치환한 콘크리트를 현장에서 20%까지 안정적으로 사용이 가능함을 알 수 있다.

FA의 치환율에 따른 슬럼프, 공기량, 압축강도 및 건조수축 길이변화 측정결과는 Fig. 1~4에 나타내었다.

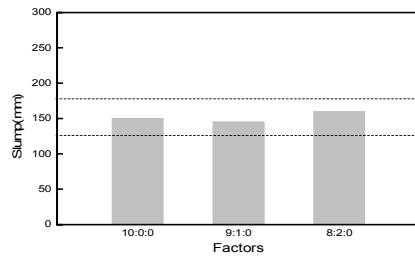


Fig. 1. Slump according to the FA replacement ratio

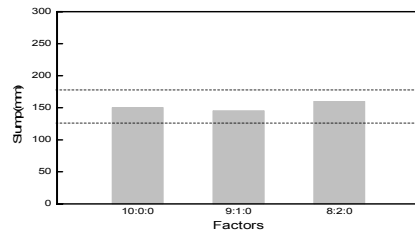


Fig. 2. Air content according to the FA replacement ratio

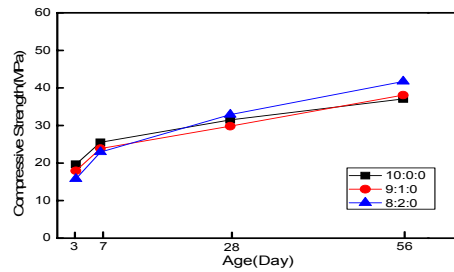


Fig. 3. Compressive strength according to the FA replacement ratio

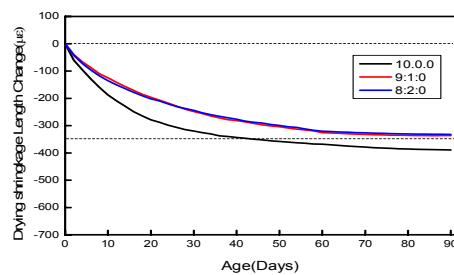


Fig. 4. Shrinkage length change according to the FA replacement ratio

3.2 고로슬래그 치환율에 따른 배합

고로슬래그를 20% 및 40% 치환한 콘크리트와 OPC를 100% 사용한 저수축 배합 콘크리트에 대해 수축저감 특성을 비교하였다.

고로슬래그(BS)의 경우 사용량이 커지면서 초기강도는 OPC에 비해 크게 떨어지나 28일 강도 결과에서는 그

차이가 거의 없다. 그러나 수축량은 BS를 20% 치환한 경우 초기수축량에서는 유리하나 장기 수축에서는 OPC의 경우와 비슷하고, 40%를 치환할 경우 OPC에 비하여 초기부터 수축량이 급격히 증가하며 불리한 것으로 나타났다.

이는 고로슬래그의 사용이 그 양에 상관없이 초기와 장기 수축에 있어 OPC에 비하여 유리하지 않다는 것을 보여주고 있다. 즉 고로슬래그의 사용은 저수축 콘크리트의 제조에 도움을 주지 않는 것으로 판단된다.

BS의 치환율에 따른 슬럼프, 공기량, 압축강도 및 건조수축 길이변화 측정결과는 Fig. 5~8에 나타내었다.

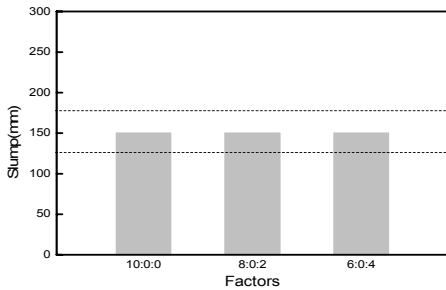


Fig. 5. Slump according to the BS replacement ratio

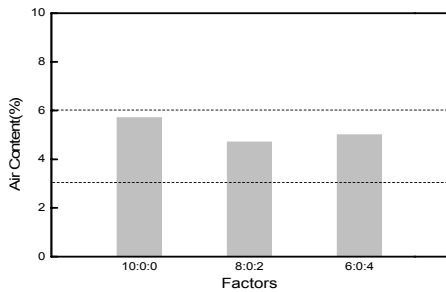


Fig. 6. Air content according to the BS replacement ratio

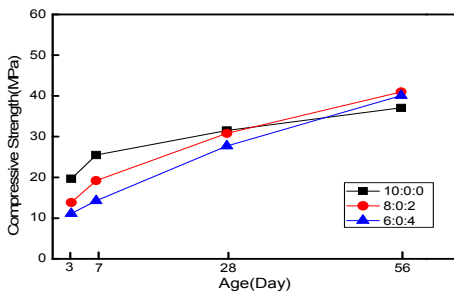


Fig. 7. Compressive strength according to the BS replacement ratio

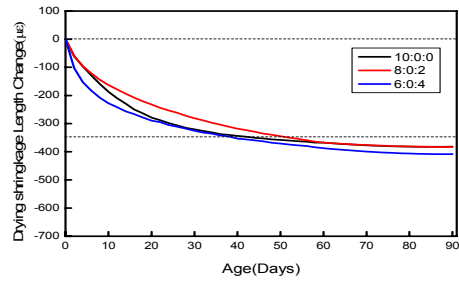


Fig. 8. Shrinkage length change to the BS replacement ratio

3.3 3성분계 바인더의 비율에 따른 배합

수화열과 건조수축에 의한 균열 감소를 위해 널리 사용되는 3성분계 혼화재료를 사용하는 경우에 대해 초저수축 일반강도 콘크리트의 유효성을 검증하였다.

즉, 플라이애시와 고로슬래그의 병용 효과는 나타나지 않았다. 저발열효과가 건조수축에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

실험에 필요한 기준 조건은 Fig. 9와 같이 슬럼프 150±20mm를 기준으로 하였고, 공기량은 Fig. 10과 같이 4.5±1.5%를 기준으로 하여 표준화하였다.

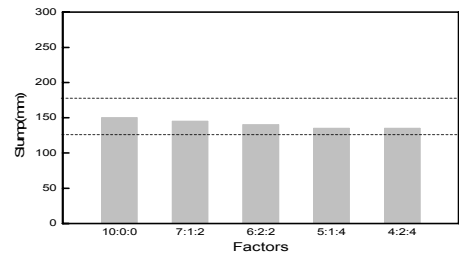


Fig. 9. Slump according to the three-component binder replacement ratio

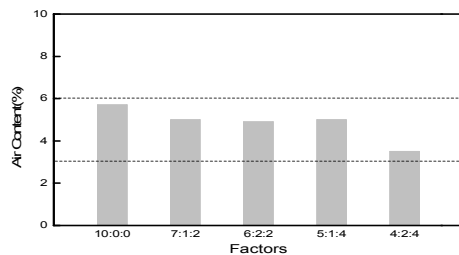


Fig. 10. Air content according to the three-component binder replacement ratio

기존의 지하 매설을 목적으로 제작한 콘크리트에 사용하던 배합에 비해 혼화재가 다량 치환된 모든 경우에 대해 초기 강도 저하 및 수축 저감 특성 감소가 나타났다. 3성분계 바인더의 치환율에 따른 압축강도 및 건조수축 길이변화 측정결과는 Fig. 11~12에 나타내었다.

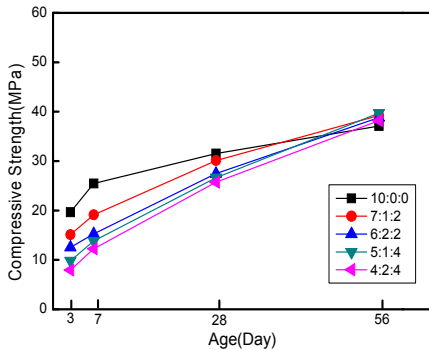


Fig. 11. Compressive strength according to the three-component binder replacement ratio

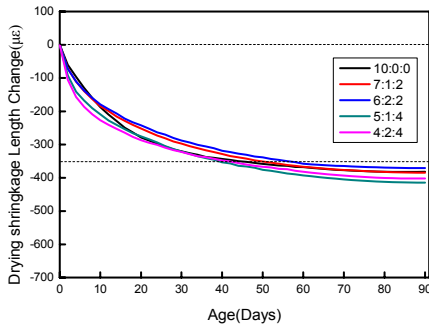


Fig. 12. Shrinkage length change to the three-component binder replacement ratio

3.4 4변지지 시험체의 수축특성

4변지지 구속조건을 고려한 수축균열 유도실험을 통해 기존의 배합대비 균열발생 저감효과를 검증하였다.

Fig. 13과 같이 4변 구속조건 실험대형 벽체를 제작하여 수축균열의 발생 여부를 모니터링하였다. 벽체는 수평으로 타설 후 1주일 후에 수직으로 세워서 관찰을 하였다. 부착형 콘크리트 게이지를 이용하여 균열 발생 여부를 추적 관찰하였다. 분말형 수축저감제를 넣은 경우 (RSP)와 넣지 않은 경우(PLAIN)를 비교한 결과 동일 위치에서 Plain 대비 약 60% 정도의 수축량을 나타냄을 확인하였다.



Fig. 13. Shrinkage restricted concrete wall with and w/o using shrinkage reducing agent

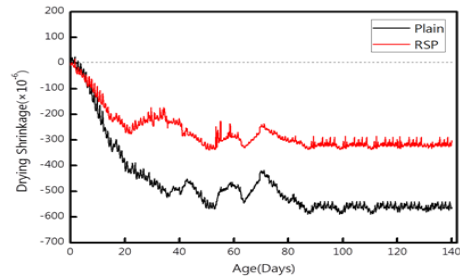


Fig. 14. Comparison between Shrinkage length change of Concrete specimen with and w/o using shrinkage reducing agent

(PLAIN : Concrete wall without using shrinkage reducing agent
RSP : Concrete wall with using shrinkage reducing agent)

수축저감제를 넣지 않은 시험체에서는 약 8주 이후부터 상단에서 미세균열이 발생하기 시작하였으며, 총 21주차 측정 후 건조수축은 수렴하게 되었다.



Fig. 15. Cracks on shrinkage restricted concrete wall without w/o using shrinkage reducing agent

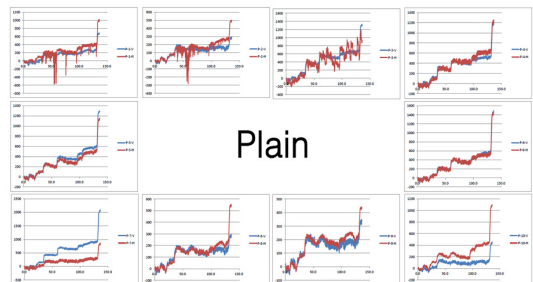


Fig. 16. Shrinkage length change of concrete specimen and without using shrinkage reducing agent



Fig. 17. Shrinkage length change of concrete specimen and with using shrinkage reducing agent

4. 결론

본 연구에서는 플라이애시와 고로슬래그 및 3성분계 바인더 비율에 따른 일반강도 콘크리트의 건조수축 길이 변화 특성에 영향을 주는 인자의 특성을 분석하고, 도출된 배합에 대해 분말형 수축저감제를 적용하여 그 균열계측 결과를 통해 그 유효성을 검증 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 플라이애시는 기존의 10% 사용 배합과 더불어 약 20% 사용 범위 내에서 유효함을 알 수 있다.
- 2) 고로슬래그의 경우 건조수축 저감제의 특성을 나타내는데 불리한 것으로 나타났다.
- 3) 저발열을 유도하기 위해 주로 사용되는 3성분계 바인더를 조합한 배합의 경우에는 수축저감효과가 상대적으로 적게 나타났다.
- 4) 따라서 수축저감 콘크리트의 경우 플라이애시의 10~20% 내의 배합이 가장 유리하며 초기 강도에 다소 불리하여도 장기 강도와 수축저감특성에서 적합한 배합으로 판단된다.
- 5) 도출된 배합에 적용된 수축저감 콘크리트의 특성은 넣지 않은 경우에 비하여 약 60% 수준으로서 350 μ e 이하의 수축저감 특성을 보였다.
- 6) 4변지지 구속조건을 고려한 수축균열 유도실험을 통해 기존의 배합대비 균열발생 저감효과를 검증하였다.

References

- [1] C. G. Han, S. W. Kim, K. T. Koh, M. H. Han, "Fundamental and Shrinkage Properties of Performance Concrete in Combined with Expensive Additive and Shrinkage Reducing Agent," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 16, No. 5, pp. 605-612, 2004.
- [2] C. G. Han, M. C. Han, S. H. Song, S. Yoon, "Drying Shrinkage of Concrete Combining Expensive Additives and Shrinkage Reducing Agent," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 18, No. 3, pp. 394-404, 2006.
- [3] J. J. Park, J. H. Moon, J. H. Park, S. W. Kim, J. W. Lee, "Influence of Expanding Agents and Shrinkage Reducing Agents on the Shrinkage Properties of Ultra High Performance Concrete," *KCI Proc. spring conference*, pp. 883-884, 2014.
- [4] C. J. Park, M. C. Han, "Mechanical Properties and Autogenous Shrinkage of Ultra High Performance Concrete Using Expansive Admixture and Shrinkage Reducing Agent Depending on Curing Conditions," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 16, No. 11, pp. 7910-7916, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7910>
- [5] Y. H. Kwon, B. H. Yoo, J. P. Park, D. G. Lee, H. S. Han, "A Study on Drying Shrinkage Properties of Concrete using Shrinkage Reducing Powder," *KCI Proc. spring conference*, pp. 225-226, 2014.
- [6] J. P. Park, B. H. Yoo, H. S. Han, "Fundamental Properties of Concrete Corresponding to Contents Shrinkage Reducing Agent," *KCI Proc. spring conference*, pp. 225-226, 2015.

정 준 영(Jun-Young Jeong)

[정회원]



- 2014년 2월 : 군산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2016년 2월 : 군산대학교 일반대학원 콘크리트구조 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 충청대학교 공학기술연구원, 주임연구원

<관심분야>

콘크리트, 구조공학, 건설재료

민 경 환(Kyung-Hwan Min)

[정회원]



- 2007년 2월 : 고려대학교 일반대학원 구조공학 (공학석사)
- 2012년 8월 : 고려대학교 일반대학원 구조공학 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 6월 : 고려대학교부설 공학기술연구소
- 2013년 7월 ~ 현재 : 충청대학교 공학기술연구원, 선임연구원

<관심분야>

콘크리트, 구조공학

이 동 규(Dong-Gyu Lee)

[정회원]



- 2009년 2월 : 청주대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 청주대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2010년 2월 ~ 2014년 8월 : 동남기업 중앙연구소, 선임연구원
- 2014년 9월 ~ 현재 : 충청대학교 공학기술연구원, 선임연구원

<관심분야>

콘크리트, 건설재료

최 흥 식(Hong-sik Choi)

[정회원]



- 1983년 2월 : 연세대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : 연세대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1990년 3월 ~ 현재 : 충청대학교 토목과 교수

<관심분야>

토목구조, 구조공학