

조적조 내진보강용 섬유보강 모르타르의 분사특성 평가

황병일, 박종필, 유병현, 이동규*
동남기업(주) 중앙연구소

Evaluation of Spraying Characteristics for Masonry Buildings Seismic Retrofit Fiber-Reinforced Mortar

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

요 약 국내 도로, 철도 등 SOC 시설의 내진보강율은 2017년 기준 96%이며 건축물은 2016년 기준 약 7백만동 중 내진성능이 확보된 건축물은 51만동에 불과하다. 조적조 건축물은 전체 건축물의 38.8%를 차지할 만큼 비중이 크지만 내진성능이 확보된 것은 2.0% 내외로 거의 전무한 실정이다. 이러한 문제를 해결 하기 위해국내에서는 정부차원의 내진 대책이 추진되고 있으나 현재까지 미비한 상황이다. 국외의 캐나다 밴쿠버 UBC 연구팀은 조적조 내진성능 보강을 위해 EDCC를 개발하여 사용하고 있다. EDCC는 섬유혼입으로 콘크리트 연성능력 확보 및 가교작용으로 콘크리트의 변형 저항능력을 확보 할 수 있는 건설재료이다. 그러나 내진성능 확보를 위해 EDCC를 분사형으로 사용하지 않기 때문에 다양한 재료의 검토가 필요하다. 이에 본 연구에서는 조적조의 내구성능 향상을 위한 뽁질재료 연구개발의 일환으로 내진보강용 섬유보강 모르타르의 분사특성을 평가하고자 하였으며, 섬유보강 모르타르의 섬유사용량에 따른 분사특성 및 증점제 사용량에 따른 점도변화를 검토하였다. 조적조 내진보강용 섬유보강 모르타르의 부착성능 및 시공성능을 검토한 결과 섬유의 사용량은 1%, 증점제의 사용량은 1%로 최적 사용량을 도출할 수 있었다.

Abstract The seismic reinforcement ratio of SOC facilities, such as domestic roads and railroads, is 96%. Out of approximately 7 million buildings as of 2016, only 0.51 million buildings with seismic performance were secured. Although the proportion of masonry structures is 38.8% of the total buildings, there is almost no seismic resistance, only 2.0%. To solve the problem in Korea, government-level seismic measures are being promoted, but the situation is insufficient. Overseas, the UBC research team in Vancouver, Canada, has developed and used EDCC to reinforce the seismic performance of masonry buildings. EDCC is a construction material that can secure concrete ductility capability by mixing fibers and secure deformation resistance of concrete through bridging action. It is necessary to examine various materials because EDCC is not used as a spray type of secure seismic reinforcement. In this study, as part of the research and development of spraying materials to improve the durability of masonry buildings, this study examined the spraying characteristics of fiber-reinforced mortar according to fiber use and the viscosity change according to the use of thickener. As a result, the working performance of the fiber-reinforced mortar for seismic reinforcement was improved when using 1% fiber and 1% thickener.

Keywords : Seismic reinforcement, Fiber-reinforced mortar, Spraying concrete, Thickener, Fiber

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 20CTAP-C152069-02)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

*Corresponding Author : Dong-Gyu Lee(Dongnam)

email: dglee@dongnamad.co.kr

Received September 15, 2020

Revised October 13, 2020

Accepted November 6, 2020

Published November 30, 2020

1. 서론

최근 들어 일본, 대만, 네팔, 중국, 러시아 등 규모 7.0 이상 강진이 빈번하게 발생하여 많은 피해가 발생하고 있다[1]. 최근 국내의 지진 현황으로 2016년 9월 경주의 5.8 및 2017년 11월 포항의 5.4 규모의 지진은 국내 각종 시설물과 내진안전성에 심각한 위기를 야기 시켰으며, 국가적인 재난이 발생할 수 있다는 사실을 절실하게 보여주었다[2].

지진은 예보가 거의 불가능하고 지반을 통해 에너지가 전달되므로 지진피해의 대부분이 건설 구조물에 집중된다. 철근 콘크리트 구조물에 지진하중과 같은 반복하중이 작용 할 경우 주요 부재인 기둥에 손상이 발생되어 이에 대한 대책마련이 필요하다[3-4].

국내 중·소규모의 조적조 근린생활시설들은 대부분 1970~1990년대 초반에 지어진 건축물로서 6층 미만에 해당되어 내진설계가 적용되지 않은 건축물이 대다수이다. 국토해양부에서 2011년 발표 한 조적조 건축물 현황 통계표에 의하면 국내 건축물 673만동 중 6층 미만에 해당하는 건축물은 전국 평균 97.5 %에 해당하는 656만동 가량 존재한다고 발표 한바 있다[5]. 국내에서는 제도적인 방안으로서 설계기준 강화, 내진보강 계획 추진, 민간 건축물 인센티브 제도 등 정부차원의 내진대책이 추진되고 있으나 현재까지 미비한 상황이다. 구조적인 방안으로 사용되던 보강법은 단면 증설법, 강판 보강법, 섬유시트 보강법 등이 있으나 건축물의 중량이 증대되고 시공성이 용이하지 못하다는 단점이 있어 내진보강의 확대가 어려운 점도 문제이다.

한편 캐나다 벤쿠버의 UBC 연구팀은 조적조의 내진 성능 보강을 위한 용도로 EDCC (Eco-friendly Ductile Cementitious Composite)를 개발하여 사용하고 있다

[6]. EDCC는 섬유혼입으로 콘크리트 연성능력 확보 및 가교작용으로 콘크리트의 변형 저항능력을 확보 할 수 있는 건설재료이다. 그러나, 기존 섬유보강 콘크리트는 내진성능 확보를 위해 분사형으로 사용되지 않기 때문에 섬유 혼입율, 유동성, 점성, 부착성능, 섬유분산성 등 다양한 재료의 향상 및 적절한 사용량 검토가 필요하다.

이에 본 연구에서는 부착성능 및 원활한 분사성을 고려한 조적조 내진보강용 섬유보강 모르타르 개발을 위한 연구의 일환으로 섬유 및 증점제의 사용량에 따른 분사 성능을 검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

Table 1은 조적조 내진보강용 섬유보강 모르타르의 분사특성을 검토하기 위한 실험계획 및 배합사항을 나타 낸 것이다.

Series I에서는 섬유사용량에 따른 모르타르의 분사 특성을 검토하고자 하였다. 문헌검토를 통해 증점제 사용량은 단위수량대비 1.0 % 로 설정하여 실험을 진행하였으며 섬유사용량은 모르타르가 원활하게 분사가 가능한 최적의 사용량을 도출하기 위해 섬유사용량을 단위용적 대비 0, 1, 및 2 % 로 설정하여 실험을 계획하였다.

Series II에서는 증점제 사용량에 따른 분사특성을 검토하고자 섬유의 사용량을 Series I에서 도출된 수준을 적용하였다. 증점제 사용량은 최대의 내진보강 두께를 확보 할 수 있는 증점제의 최적 사용량을 도출하고자 증점제를 단위수량 대비 0, 0.5, 1, 1.5 및 2.0 % 로 설정하여 실험을 계획하였다.

Table 1. Mix design of fiber-reinforced mortar

Experimental factors	W/B (%)	Unit Weight (kg/m ³)					Addictive (kg/m ³)		
		W	C	BS	SF	S	Fiber	TK	AD
Plain	21.1	314	817	532	142	461	0	3.14	26.83
Series I							9.7		29.82
							19.4		32.05
							Series II	0	26.83
1.57								28.32	
3.14								30.56	
4.71								32.80	
							6.28	35.03	

Table 2. Properties of materials

Material		Properties
C	Ordinary portland cement	Specific gravity : 3.15 g/cm ³ Blaine : 3 350 cm ² /g
BS	Blast furnace slag	Specific gravity : 2.90 g/cm ³ Blaine : 4 100 cm ² /g
SF	Silica fume	Specific gravity : 2.10 g/cm ³ Blaine : 200 000 cm ² /g
S	Sand	Specific gravity : 2.62 g/cm ³
AD	Superplasticizer	Polycarboxylic acid based Specific gravity : 1.05±0.1
TK	Thickener	Cellulose based Specific gravity : 0.75 g/cm ³
Fi	Fiber	Length : 18 mm Specific gravity : 0.97 g/cm ³



a. Superplasticizer



b. Fiber



c. Thickener

Fig. 1. Additive



Fig. 2. Evaluation of attachment performance

2.2 사용재료

Table 2는 본 연구에서 사용한 결합재 및 첨가제를 나타낸 것이다. 결합재 중 시멘트는 국내 A사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 슬래그 파우더는 B사의 3종 슬래그 파우더를 사용하였으며 실리카 흙은 C사의 구형 입자크기를 가진 실리카 흙을 사용하였다. 골재

는 국내 D사의 밀도 2.62의 규사(7호사)를 사용하였다. Fig 1은 본 연구에서 사용한 첨가제를 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용한 혼화제는 Fig 1의 a와 같이 당사의 고성능 화학 혼화제를 사용하였다. 섬유는 Fig 1의 b와 같이 섬유 길이 18 mm, 밀도 0.97 인 E사의 UHMPE 섬유를 사용하였다. 증점제는 Fig 1의 c와 같이 F사의 Cellulose계 증점제를 사용하였다.

2.3 실험방법

조적조 내진보강용 섬유보강 모르타르의 점도를 평가하기 위해 BROOKFIELD사의 DV-E VISCOMETER 장비를 사용하여 20RPM (S63 Spindle) 으로 점도 및 작업성을 측정하였다.

Fig 2에 부착성능 평가를 위한 시험방법을 나타내었다. 시험체는 크기가 190x90x57 mm인 시멘트 벽돌을 1x2를 1 set으로 조적하여 시험체를 준비하였다. 슛크리트 분사건과 시험체의 거리는 일반 슛크리트의 타설과 관련한 국내 문헌을 참고하여 20 cm를 두어 분사하였다 [7]. 조적조 섬유보강 모르타르는 섬유 및 증점제 사용량을 증가시켜가며 뽀칠 시공을 하였으며 섬유보강 모르타르가 흘러내리기 직전까지 시공을 하였다. 시공 완료 후의 두께를 측정하기 위해 시공 전 가이드라인을 두께 10, 20 및 30 mm로 설정하였으며 시공 완료 후 Fig 3과 같이 흡손으로 표면을 미장 하였다. 시공 두께는 굳지 않은 상태에서 버니어 캘리퍼스를 이용하여 두께 깊이를 각 모서리 및 중앙의 5 포인트를 확인 후 평균값을 내었다.

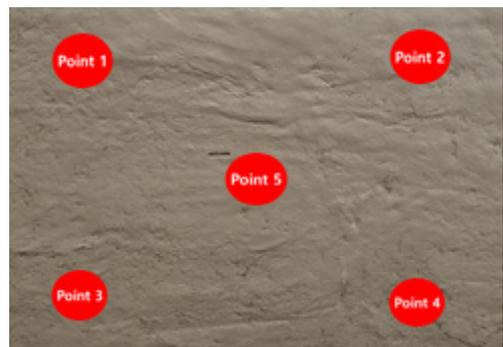


Fig. 3. Plastering

2.4 실험장비

Fig 4~5에 본 연구에서 사용한 조적조 내진보강용 섬유보강 모르타르의 분사장비를 나타내었다. 분사장비는 G사의 슛크리트 전용 분사장비를 사용하였으며 이송배

관의 규격은 길이 5 m, 배관직경 25.4 mm 인 배관을 사용하였다.

Fig 4의 a와 같이 일반 슛크리트 분사 노즐의 경우 에어관이 분사노즐로 바로 이어져 모르타르가 분사되는 반면 Fig 4의 b와 같이 본 연구에의 분사노즐은 섬유보강 모르타르가 수평방향으로 바르게 분사 될 수 있도록 노즐 내부에 120° 로 직경 1.3 mm 크기인 에어관 3개를 만들어주었다.

선행연구에서 분사 노즐의 크기가 8, 10 mm인 슛크리트 건으로 섬유보강 모르타르를 분사 한 결과 분사가 되지 않고 분사기에 부하가 걸려 전원이 차단되는 현상이 발생하였다. 선행 연구를 통해 분사노즐의 크기가 12 mm인 슛크리트건을 사용하여 실험을 진행하였으며 섬유보강 모르타르의 분사 양을 조절 할 수 있도록 벨브가 설치된 노즐을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 슛크리트 전용 분사장비는 Fig 4와 같으며 토출 압력은 25 bar이고 최대 이송거리는 20 m로 최대 RPM을 사용하였을 때 1분에 10L 분사가 가능한 장비이다.

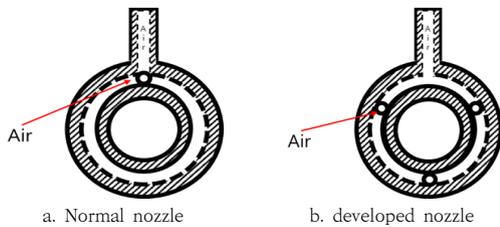


Fig. 4. Section of nozzle



Fig. 5. Spraying equipment



a. fiber content 1%



b. fiber content 2%

Fig. 6. Attachment performance according to fiber content

3. 실험결과 및 고찰

3.1 섬유 사용량에 따른 분사 특성평가(Series 1)

섬유보강 모르타르를 내진 보강용으로 사용하기 위해서는 높은 인장강도가 요구되어 진다. 국내 문헌에 따르면 섬유사용량이 증가 할수록 인장강도는 증가하게 되는 것으로 보고하였다[8-9].

Table 3. Viscosity according to the use of thickener

Use of thickener (*W%)	0	0.5	1.0	1.5	2.0
Viscosity(cP)	2 585	5 210	7 320	11 670	18 220



Fig. 7. Masonry buildings seismic retrofit fiber-reinforced mortar

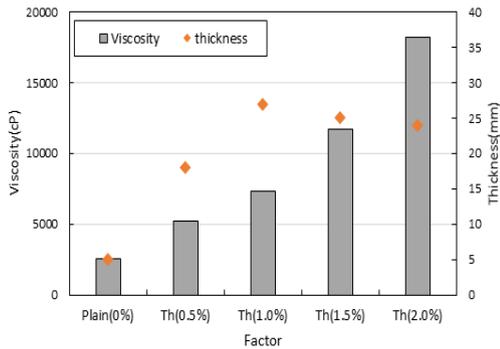


Fig. 8. Relationship between viscosity and thickness

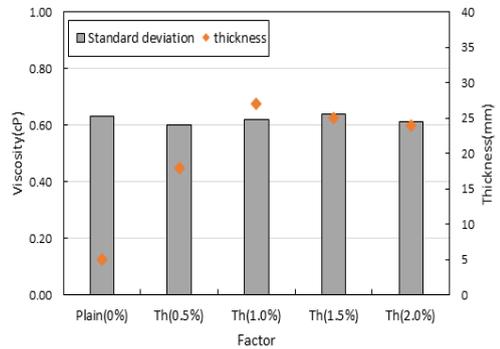


Fig. 9. Relationship between thickness and standard deviation

Fig 6은 조적조 내진보강용 섬유보강 모르타르의 섬유 사용량에 따른 분사 특성 평가 결과이다. 섬유 사용량에 따른 분사특성 평가 결과 Fig 6의 a와 같이 섬유사용량 1 %까지는 원활하게 분사가 되는 반면 Fig 6의 b와 같이 섬유사용량 2 %에서는 섬유보강 모르타르가 다발로 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 섬유사용량 2

%인 모르타르는 시험체에 고르게 부착되지 못하였는데 이는 Fig 7과 같이 섬유보강 모르타르의 무게가 증가하여 자중에 의해 아래로 흘러내렸기 때문에 판단된다. 섬유사용량 2 %에서 섬유보강 모르타르가 일정 분사가 진행되다 노즐 내부에서 뭉침 현상이 발생하였다. 이는 본 연구의 배합을 기준으로 섬유사용량이 2 %일 때 섬유 사용량이 과다하여 분사가 원활하게 되지 않은 것으로 판단된다[10]. 섬유 사용량에 따른 분사특성 평가 결과 섬유보강 모르타르의 적정 섬유사용량은 단위용적 대비 1 %로 도출되었다.

3.2 증점제 사용량에 따른 점도 및 부착성능평가 (Series II)

Table 3은 증점제 사용량에 따른 섬유보강 모르타르의 점도 측정 결과이다. 점도 측정결과 증점제를 사용하지 않은 Plain의 경우 2 585 cP, 사용량 0.5 %의 경우 5 210 cP, 사용량 1 %의 경우 7 320 cP, 사용량 1.5 %의 경우 11 670 cP, 사용량 2.0 %의 경우 18 220 cP로 측정되어 증점제 사용량이 증가 할수록 점도가 증가하는 것으로 나타났다.

Fig 8은 조적조 내진보강용 섬유보강 모르타르의 점도와 부착두께의 상관관계를 나타낸 것이다. 증점제 사용량 1 %인 시험체의 경우 시공두께가 27 mm로 가장 우수한 결과를 나타내었다. 반면 증점제 사용량 1.5 % 및 2.0 %에서는 시공 두께가 각각 25 mm, 24 mm로 나타나 시공 두께가 감소하는 경향으로 나타났다. 이는 증점제 사용량이 증가 할수록 점성이 증가하여 모르타르가 섬유와 뭉침 현상이 나타나 섬유가 고르게 분산되지 못하고, Fig 3과 같이 시공 완료 후 흠손으로 표면을 미장하였을 때 고르게 부착되지 못한 면에 섬유보강 모르타르가 채워져 부착두께가 감소한 것으로 판단된다.

Fig 9는 증점제 사용량에 따른 조적조 내진보강용 섬유보강 모르타르의 시공두께와 표준편차의 상관관계를 나타낸 것이다. 섬유보강 모르타르의 표준 편차는 0.60~0.64 수준으로 큰 차이 없이 유사하게 나타났는데 이는 Fig 3과 같이 뽕칠 시공 완료 후 흠손으로 표면을 미장하였기 때문인 것으로 판단된다.

증점제 사용량에 따른 점도 및 부착성능 평가결과 섬유보강 모르타르의 적정 섬유 사용량은 단위용적대비 1 %, 증점제 사용량은 단위수량대비 1 %로 도출되었다.

본 연구에서 검토한 섬유보강 모르타르의 증점제 사용량 1.5 % 및 2.0 %에서는 부착두께 30 mm를 확보하기

어려웠다. 추후 증점제 사용량뿐만 아니라 부착면의 부착 성능을 위한 부가적인 연구가 진행 되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

조적조 내진보강용 분사형 섬유보강 모르타르의 특성 검토 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 섬유사용량에 따른 분사평가 결과 섬유사용량을 1 % 까지 증가시켰을 때 원활하게 분사가 되었다. 반면 섬유사용량 2 %에서는 섬유사용량이 과다하여 모르타르가 다발로 분사되는 것을 확인 할 수 있었다.
- 2) 섬유보강 모르타르의 증점제 사용량에 따른 점도 평가 결과 증점제 사용량이 증가 할수록 점도는 증가 하는 것으로 나타났다.
- 3) 점도와 부착두께의 상관관계를 검토한 결과 증점제 사용량 1.0 %에서는 시공 두께가 27 mm로 가장 우수한 결과를 나타내었으나 1.5 % 및 2.0 %에서 부터는 시공두께가 각각 25 mm, 24 mm로 나타났다.
- 4) 본 연구의 배합을 기준으로 단위 용적대비 섬유사용량 1 %, 단위수량대비 증점제 사용량이 1 %일 때 부착성능 및 원활한 시공성능을 확보 할 수 있었다.

References

- [1] K. I. Kim, B. G. Lee, J. S. Jung, K. S. Lee, "Seismic Performance Evaluation of Full-size Two-story R/C Frame Strengthened with Concrete Wingwall with Embedded Kagome Truss by Pseudo-dynamic Test", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 32, No. 2, pp. 173~183, April, 2020
DOI: <https://doi.org/10.4334/JKCI.2020.32.2.173>
- [2] Y. Yan, J. H. Ch, Ch. S. Ch, H. H. Lee, H. Y. Jeon, "Manufacture and Engineering Evaluation of Hybrid Grid Fabrics for Seismic Reinforced Carbon Fiber Composite Yarns. I. Manufacture of Carbon Fiber Composite Yarn and Fabric Design ", Journal of the The Korean Fiber Society, Vol. 55, No. 4, pp. 280~285, August, 2018
DOI: <https://doi.org/10.12772/TSE.2018.55.280>
- [3] H. Lee, Y. W. Kwon, H. D. Kim, "The Study of Reinforcement through the Nonlinear Static Analysis and Inelastic Seismic Performance Evaluation in School Building ", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol. 12, No. 2, pp.55~63, Jun, 2012
- [4] J. S. Kim, J. H. Lim, M. H. Kwon, H. S. Seo, "Analytical Study on the Determination of Shape for Connector of Seismic Reinforced Strip", J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc. Vol. 4, No. 3, pp. 1~6, September, 2013
DOI: <http://dx.doi.org/10.11004/kosacs.2013.4.3.001>
- [5] Y. Ch. Lee, Ch. M. Jung, E. J. Lee, M. H. Kim, K. B. Ch, "Seismic Performance Evaluation of Nonseismic Neighborhood Living Facilities Considering Deterioration", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 17, No. 1, pp.055~063, January, 2013,
DOI: <http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2013.17.1.055>
- [6] Lou Corpuz-Bosshart, UBC researchers develop earthquake-resistant concrete, UBC Public Affairs, 2017,
<https://news.ubc.ca/2017/10/10/ubc-researchers-develop-earthquake-resistant-concrete-2/#contact-box> [10]
- [7] J. J. Tai, I. G. Moon, Y. K. Lee, "A Study on the Strength Characteristics and Rebound Ratio with Respect to Injection Pressure of Shotcrete", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 39, No. 1, pp.115~122, February, 2019,
DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2019.39.1.0115>
- [8] D. S. Jung, G. M. Kim, B. W. Kim, W. S. Kim, Y. K. Kwak, "Study of the Mechanical Properties of Fiber Reinforced Concrete According to Inorganic Fiber Combination", J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc. Vol. 11, No. 3, pp. 16~24, June, 2020
DOI: <https://doi.org/10.11004/kosacs.2020.11.3.016>
- [9] B. K. Chun, J. J. Kim, S. H. Kim, D. Y. Yoo, "Correlation between Pullout and Tensile Behaviors of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete, "Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 30, No. 2, pp.661~662, November, 2018.
- [10] J. S. Yoo, D. S. Kim, O. S. K, "Comparative Study on Physical Properties and Characteristics of Fiber Reinforced Shotcrete, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 1, No. 1, pp.3107~3111, November, 2002.

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

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

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