

소켓연결 방식을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 구조성능 평가

심원보¹, 민경환^{*}, 최홍식²

¹충청대학교 공학기술연구원, ²충청대학교 토목과

Structural Performance Evaluation of Prestressed Concrete Trapezoidal Girders Using Socket Joint System

Won-Bo Shim¹, Kyung-Hwan Min^{*}, Hong-Sik Choi²

¹Research Institute for Engineering & Technology, Chungcheong University

²Department of Civil Engineering, Chungcheong University

요 약 본 연구는 소켓연결방식을 이용한 PSC 제형 거더를 구성하는 프리캐스트 부재의 소켓연결 성능을 검증하고 복부 부재의 최적화 단면을 산정할 수 있도록 단위부재 실험을 수행하여 거더의 구조성능을 평가하였다. 실험은 연결부의 성능실험과 복부의 휨 및 전단 성능 실험을 수행 하였으며 모두 4점 재하방식으로 수행되었다. 실험결과 소켓연결을 실시한 시험체에서의 초기균열하중은 기준시험체 대비 크게 저하 되었으나 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 철근의 고리 이음부 길이는 최대하중에 큰 영향을 미치지 않았다. 복부 전단 실험 결과 프리스트레싱 강봉으로 전단 보강을 실시한 시험체에서 기준시험체 대비 높은 사인장 균열하중을 나타내었다. 복부 휨 실험 결과 인장측에 프리스트레싱 강봉으로 보강한 시험체에서 가장 큰 최대하중 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract In this study, in order to assess the structural performance of trapezoidal PSC girder using a socket joint system and it is possible to calculate the optimized cross-section of the web element tests were carried out for each specimens. we conducted a socket joint performance test, web bending and shear performance tests and all tests were performed at 4 point loading method. The initial crack load of socket joint specimen was significantly lower than the reference specimen but post peak behavior was no significant differences. And the length of the loop joint of the reinforcing bars had no significant effect on the maximum load. As a web shear tests, to obtain a maximum load of the specimen has a prestressing rod reinforced at tension side. As a web flexural tests, to obtain higher diagonal cracking load in specimen of reinforced using prestressing rod than reference specimen.

Keywords : Accelerated Construction, Precast, Pre-tension, Socket Joint, Trapezoidal Girder

1. 서론

프리스트레스트 콘크리트(prestressed concrete, PSC) 교량은 콘크리트와 거푸집, 강재 등을 가설 지점에서 가공하여 시공하는 노동집약적 형태의 공사로 건설비에서 인건비의 비율이 높다[1]. 따라서 프리캐스트(precast) 부재의 활용, 대형 시공기계의 도입 등이 시행되고 있다

[2,3]. 일반적으로 국내에서 시공되는 PSC 합성 거더(girder)교의 구조는 프리캐스트로 제작된 PSC 거더를 현장 거치 후 전단연결재 등을 이용해 바닥판과 합성해 거더와 바닥판의 일체 거동을 유도한 구조로[4], PSC 거더에는 포스트텐션 방식으로 제작함을 기본으로 하고 있다.

반면 전체 경간을 일괄적으로 제작하지 않고 전용공장에서 운반이 가능한 규격의 프리캐스트 부품 부재로

본 논문은 국토교통기술사업화 지원사업(과제번호 : 14TBIP-C074176-01) 연구비 지원에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Kyung-Hwan Min(Chungcheong University)

Tel: +82-43-230-2692 email: alskh@ok.ac.kr

Received June 10, 2015

Revised (1st October 14, 2015, 2nd November 6, 2015)

Accepted November 6, 2015

Published November 30, 2015

제작한 후 현장에서 이를 조립하는 방법을 사용하면 현장 작업의 공정을 최소화 할 수 있다. 또한 공정의 단순화에 따른 급속시공이 가능하며 숙련공이 의존도가 낮아져 경제성 확보가 가능하다.

소켓 연결 방식은 Fig.1과 같이 제형 박스 거더(Trapezoidal box girder)를 복부(Web)와 반단면 슬래브(Half deck), 연결부(Joint), 단부 블록(End block) 등의 요소 부재로 제작한 후 현장에서 이를 습식 접합[5]을 하고 포스트텐서닝으로 결합을 하는 공법이다. 본 연구에서는 이러한 소켓 연결 방식의 기초 연구 자료로 복부 부재의 연결 성능과 휨 및 전단 성능을 평가하고자 하였다.

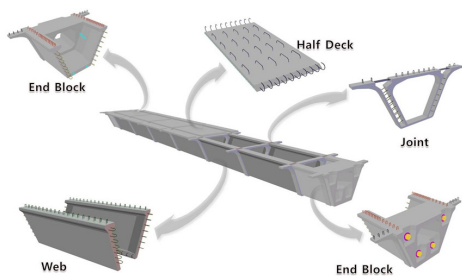


Fig. 1. Composition of PSC trapezoidal girders using socket joint system

2. 실험 계획 및 방법

2.1 접합부 연결 성능 실험

복부 부재의 연결은 Fig. 2와 같이 프리캐스트로 제작된 연결부(Joint)에서 프리텐션이 도입된 복부 부재(web)를 루프(loop) 이음으로 연결 및 보강을 하고, 습식 접합을 하게 된다.

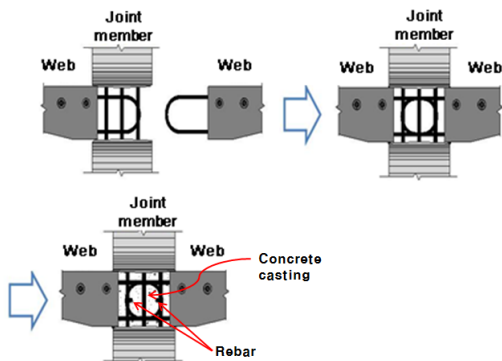


Fig. 2. Step of socket joint system

본 연구에서는 불연속면이 존재하는 연결부의 성능을 평가하기 위해 Table 1과 같이 연결부의 유무, 루프이음의 유무, 루프 이음간의 겹이음 길이를 변수로 하여 실험체를 제작하였다. 실험체의 제원은 Fig.3과 같다.

Table 1. Test variables of joint performance

Specimen	Details
#1-1	No joint (50 MPa concrete were casted entirely)
#1-2	Joint with continuous rebar and 80 MPa concrete at the middle span
#1-3	Joint with 107 mm width loop rebar
#1-4	Joint with 128 mm width loop rebar
#1-5	Joint with 86 mm width loop rebar

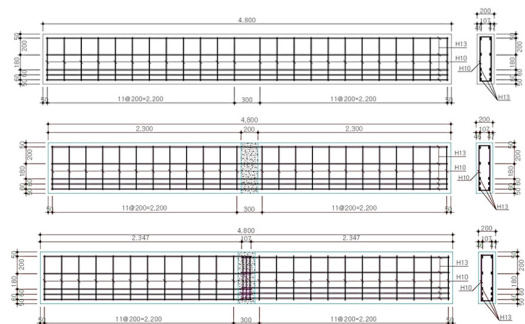


Fig. 3. Details of Joint specimen (Unit: mm)

2.2 복부 부재 전단 실험

소켓 연결방식을 사용한 복부 부재는 종방향의 보강재를 9.2mm 강봉으로 프리텐서닝을 적용하게 된다. 프리스트레싱을 적용할 경우 기존의 철근으로 보강한 부재와 동등한 성능을 발휘하여야 한다. 이에 따라 프리스트레스가 도입된 복부 부재의 전단 성능을 평가하기 위해 전단 보강재의 종류에 따라 Table 2과 같이 2종의 실험체에 대해서 전단실험을 수행하였고, 기본 제원은 Fig. 4와 같다.

Table 2. Test variables of web shear

Specimen	Details
#2-1	Using the 9.2mm Prestressing steel bar as shear reinforcement.
#2-2	Using the D16 rebar as shear reinforcement.

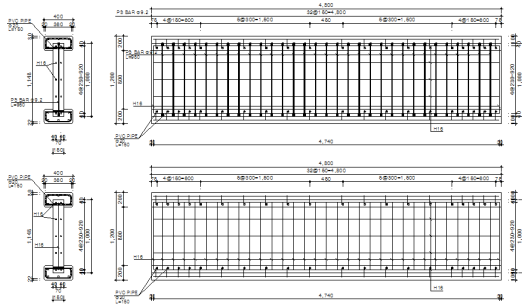


Fig. 4. Details of shear specimen (Unit: mm)

2.3 복부 부재 휨 실험

전술한 바와 같이, 복부 부재에 프리스트레싱을 도입함으로 인해 기존에 철근으로 보강한 부재와의 휨 성능 비교를 위해 복부 부재의 휨 실험을 수행하였다. 실험 변수는 Table 3과 같이 프리스트레싱의 적용 유무이고, 실험체의 제원은 Fig. 5와 같다.

Table 3. Test variables of web flexural specimen

Specimen	Details
#3-1	Reinforcing with prestressing steels in the bottom and rebars in the top
#3-2	Reinforcing by prestressing steels only
#3-3	Reinforcing by rebars only

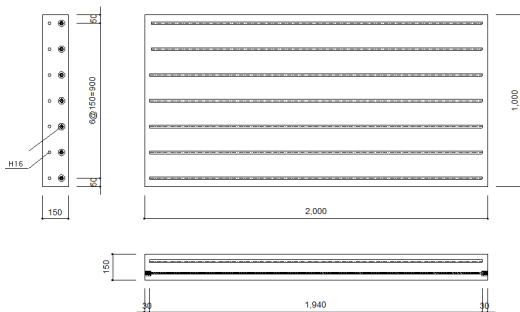


Fig. 5. Details of flexural specimen (Unit: mm)

2.4 실험체 제작 및 실험

전단 실험과 휨 실험을 위한 시험체는 9.2mm의 강봉을 사용하여 긴장력을 도입하였고, 프리캐스트 실험체의 제작은 f_{ck} 50MPa급의 콘크리트를 타설하였다. Fig. 6과 같이 타설 후 3시간의 전치 시간을 거친 뒤 증기양생을 실시하였고, 2시간 동안 50℃로 상승하여 6시간을 유지한 후에 종료하였다. 접합부의 콘크리트는 f_{ck} 80MPa급

의 고강도 콘크리트를 사용하였고, 동일한 증기양생을 적용하였다.

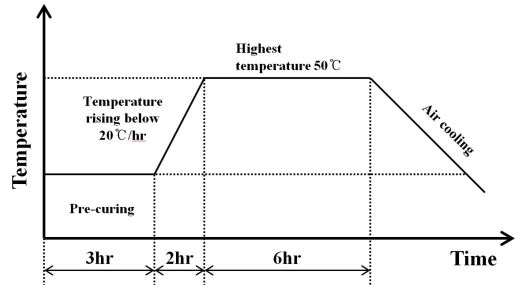


Fig. 6. Time history of steam curing

구조실험은 4점 재하로 실시하였고, 경계 조건은 Fig. 7과 같다. 하중 재하는 2,000kN의 액추에이터(actuator)로 하였고, 하중 속도는 1mm/min로 하여 변위제어로 실시하였다.

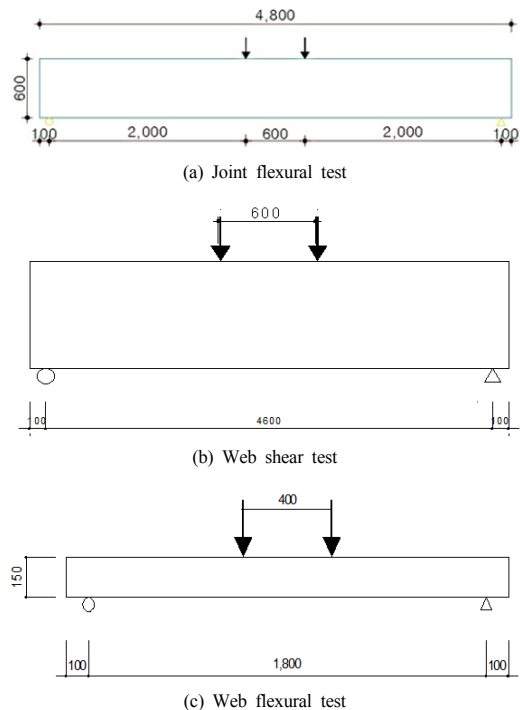


Fig. 7. Schematic draw of test set-up

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 접합부 연결 성능

접합부 실험체의 휨 실험 결과 Fig. 8과 같이 접합부의 초기균열하중은 이음부가 없는 실험체(#1-1)에 비해 작게 나타났으나, 최대하중은 그 차이가 5% 내외로 미비하여 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

또한 철근의 루프이음길이를 달리한 각 변수별 결과의 차이가 1% 이하로 나타나 루프이음길이는 최대하중에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 접합부 휨 실험의 하중-처짐 관계는 Fig. 9와 같고, 각 실험체의 파괴양상은 Fig. 10과 같다. 접합부의 균열 확장 유무를 제외하고 시험체의 파괴 형태는 다수의 균열을 포함한 휨 파괴로 나타났다.

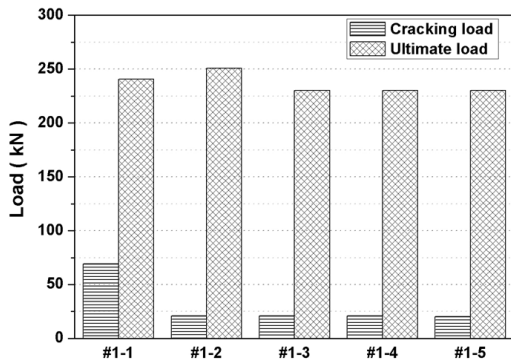


Fig. 8. Characteristic loads of joint flexural tests

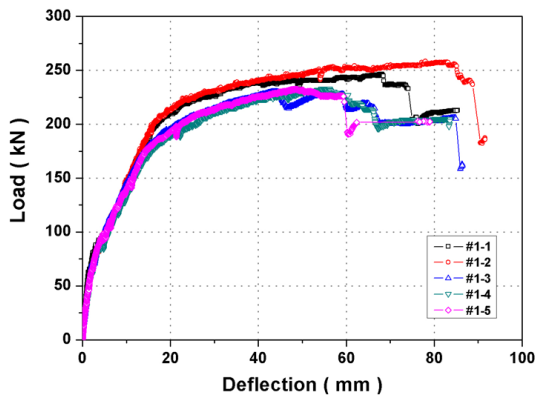


Fig. 9. Load-deflection curves of joint flexural test

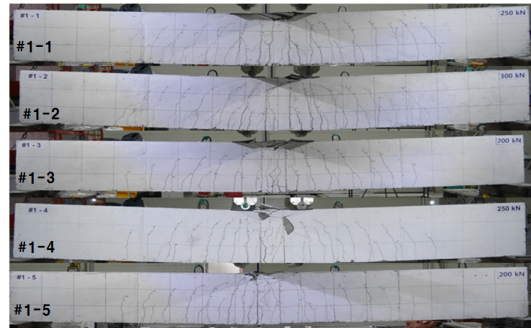


Fig. 10. Failure patterns of joint flexural test

3.2 복부 부재 전단 성능

복부 부재의 전단 성능 실험에서 Fig. 11과 같이 초기의 균열하중은 프리스트레싱을 도입한 #2-2 실험체가 프리스트레싱을 도입하지 않은 #2-1 실험체 보다 약 6% 더 높게 나왔다. 또한 극한하중에서는 두 실험 결과의 차이가 0.5% 미만으로 비슷한 수치로 나타났다.

균열 양상은 휨균열 이후 전단응력의 영향으로 하중점과 지점쪽으로 확장되었으며 하중점으로 확장된 경사 균열에 의해 전단압축파괴가 일어났다. 사인장 균열[6]이 보 깊이의 중앙부를 통과 할 때의 하중을 사인장 균열 하중이라고 하였을 때 #2-1은 520kN, #2-2는 606kN으로 #2-2 실험체에서 보다 큰 사인장균열 하중을 보였으며 이는 수직방향으로 배근한 프리스트레싱 강봉의 전단 보강효과로 판단된다. 전단 실험의 하중-변위 관계는 Fig. 12와 같고, Fig. 13은 실험체의 최종 파괴양상이다.

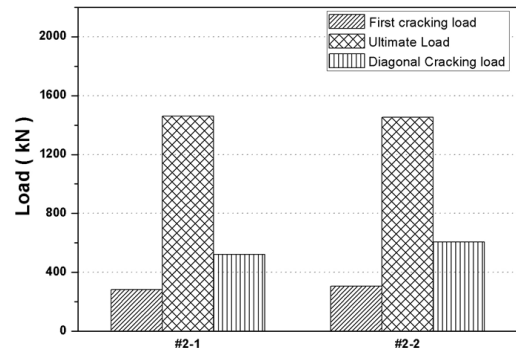


Fig. 11. Characteristic loads of web shear tests

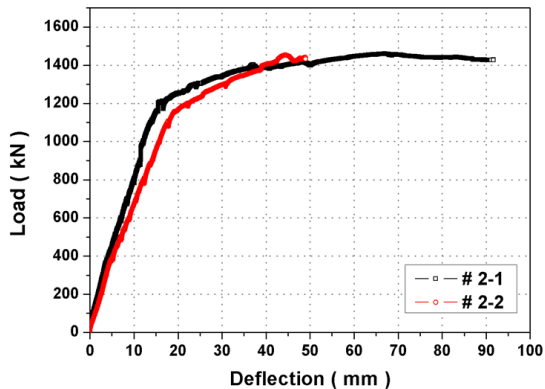


Fig. 12. Load-deflection curves of web shear test

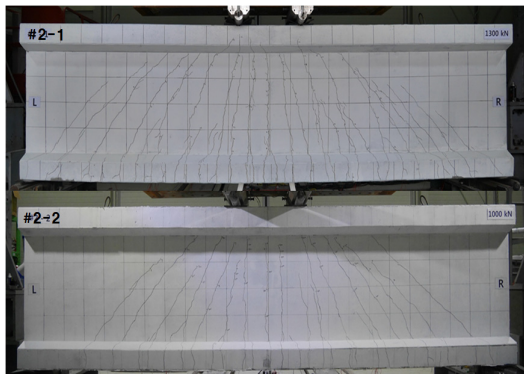


Fig. 13. Failure patterns of web shear test

3.3 복부부재 휨 성능

복부 부재의 휨 성능 실험 결과 Fig. 14와 같이 프리스트레싱 보강을 하지 않은 #3-3 실험체를 기준 실험체로 하였을 때 인장부만을 프리스트레싱 보강한 #3-1 실험체는 기준 실험체 대비 49% 높은 하중에서 첫 균열이 일어났다. 인장부와 압축부 모두 프리스트레싱 보강한 #3-2 실험체는 기준실험체(#3-3) 대비 23% 높은 하중에서 첫 균열이 발생했다. 극한하중에서는 #3-1 실험체는 기준실험체(#3-3) 대비 38%, #3-2 실험체는 24% 높은 하중에서 파괴되었다.

이러한 결과는 #3-1 실험체의 경우 하부 강봉의 프리스트레싱 도입으로 부모멘트를 형성하였고, 인장부와 압축부 모두 프리스트레싱 보강한 #3-2 실험체는 상부 강봉이 압축응력을 분담하지 않아 #3-1 실험체보다 다소 낮은 하중에서 압축부 상단 콘크리트의 압괴로 파괴된 것으로 판단된다. 휨 실험의 하중-변위 관계는 Fig. 15와 같고, Fig. 16은 실험체의 최종 파괴양상이다.

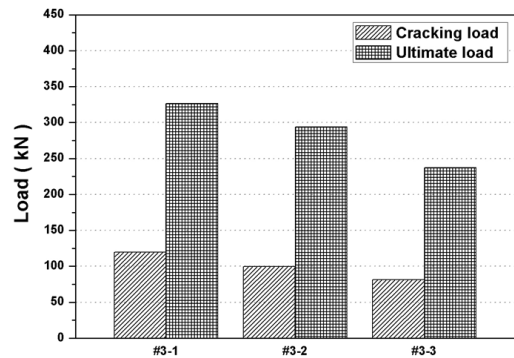


Fig. 14. Characteristic loads of web flexural tests

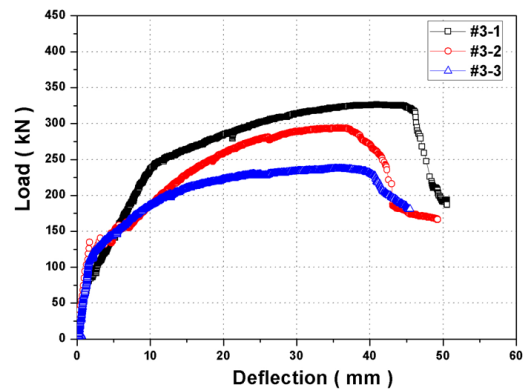


Fig. 15. Load-deflection curves of web flexural test

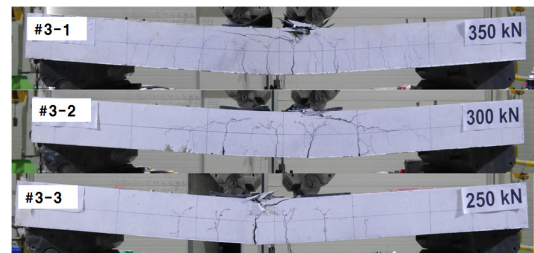


Fig. 16. Failure patterns of web flexural test

4. 결론

본 연구에서는 프리캐스트 요소 부재를 현장에서 접합하여 제형 거더를 제작하는 소켓연결방식의 요소 부재의 성능을 평가하였다. 이를 위해 연결부의 휨 실험과 복부 부재의 전단 및 휨 실험을 수행하였고, 이에 따른 결론은 다음과 같다.

- 1) 소켓연결부의 성능 시험결과 연결부를 갖는 실험체의 초기균열하중은 이음부가 없는 부재보다 작게 나타났으나 최대하중은 그 차이가 5%내외로 미비하여 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 철근의 루프 이음부 길이는 각 변수별 결과의 차이가 1%이하로 나타나 최대하중에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 복부 전단 실험 결과 초기 균열하중은 프리스트레싱을 도입한 실험체에서 약 6%더 높게 나왔으며 극한하중에서는 두 실험 결과의 차이가 0.5%미만으로 거의 비슷한 수치로 나타났다. 또한 사인장 균열하중의 비교결과 프리스트레싱을 도입한 실험체에서 약 16% 높게 나타나 전단보강효과가 있음을 알 수 있었다.
- 3) 복부 휨 실험 결과 인장측만을 프리스트레싱 강봉으로 보강한 #3-1에서 가장 큰 초기균열하중 및 극한하중을 갖는 것으로 나타났다. 이를 통해 복부의 휨 저항성 향상을 위한 보강방법으로는 인장 측에만 프리스트레싱 강봉을 도입하는 것이 가장 적합하다 판단된다.

References

- [1] Collins, M. P., Mitchell, D., Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall, 1999.
- [2] Park, M. G., Park, J. B., Design of New PC Bridge, E&G book, pp. 1-7, 2007.
- [3] Virlogeux, M., "New trends in prestressed concrete bridge", Structural Concrete, Vol. 3. No. 2, pp. 67-97, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/stco.2002.3.2.67>
- [4] Korea Ministry of Land Infrastructure and Transport (2008), Highway Bridge Design Handbook, Vol. 5, pp. 508/8-508/11, Korea Ministry of Land Infrastructure and Transport.
- [5] Hassan, N., Feldman, L.R., "Behavior of lap-spliced plain steel bars", ACI Structural Journal, Vol. 109, No. 2, pp. 235-243, 2012.
- [6] Vecchio, F.J., Collins, M.P., "The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear", ACI Journal Proceeding, Vol. 83 No. 2, pp. 219-231, 1986.

심 원 보(Won-Bo Shim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 충북대학교 일반대학원 토목공학 (공학석사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 충청대학교 공학기술연구원, 주임연구원

<관심분야>
콘크리트, 토목구조

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

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