

가설하중 하에서 초간편 강합성 바닥판 거더패널의 거동에 관한 해석적 연구

한득천¹, 윤기용^{1*}, 김상섭²

An analytical study on behavior of the girder panel in simplified composite deck under construction loadings

Deuk-Cheon Han¹, Ki-Yong Yoon^{1*} and Sang-Seup Kim²

요약 본 논문에서는 기존 I형강 매입형 강합성 바닥판을 기본으로 새로운 형식의 초간편 강합성 바닥판 거더패널을 제시하여 가설중 거동에 대해 연구하였다. 범용해석프로그램인 ABAQUS를 사용하여 바닥판을 구성하는 인자에 대하여 영향을 평가하였다. 하부강판과 I형강의 용접량 변화, I형강의 복부에 유공 유무, 유공의 위치변화에 대해 평가하였다. 또한 모델링의 합리적 검증을 위해 수계산, Shell요소, Solid요소 모델을 사용하여 비교하였다. 그 결과 하부강판과 I형강의 용접량 변화시 전체용접에 비해 부분용접시 지간 중앙부 단면에서 최대 휨 인장응력이 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 유공이 있는 경우 유공이 없는 경우보다 처짐량이 약간 증가함을 확인할 수 있었다.

Abstract In this study, based on a I-roll embedded steel composite deck, it is suggested a new type of simplified composite deck and analyzed under construction loading. Using ABAQUS, it's estimated effects of welding amount of steel plate and I-section, existence of a hole of I-section's flange, and a location of hole. For a reasonable verification of modeling, compare Euler-Beam theory with F.E.M models. In result, it is verified that change of welding amount increase more maximum bending tension stresses at the central part's section of span when elements are partial-welded. Also, verify that deflection is slightly increased when a hole existed compared with no hole.

Key Words : 강합성 바닥판, 유공 I형강, 거더패널, 가설하중

1. 서론

기존 현장타설 콘크리트 바닥판의 가설은 시공현장에서 거더가 하부구조에 거치된 후 거더에 바닥판을 가설하기 위한 동바리를 직접 설치 및 거푸집을 제작하고, 철근을 배근한 후 콘크리트를 타설하기 때문에 여러 가지 제약조건이 따르게 된다.

본 연구에서 제안된 초간편 강합성 바닥판은 공장에서 패널이 제작되어 시공현장으로 운반 후 조립하여 배력철근을 배근하고 콘크리트를 타설하기 때문에 기존의 현장

타설 콘크리트 바닥판보다 시공의 간편성을 확보하고 시공기간을 단축시켜 직접적인 공사비 절감뿐 아니라 교통의 조기 소통으로 인한 사회 간접적 비용절감효과를 기대할 수 있다. 기존에 연구되었던 유공I형강을 통하여 가설시 강판에 단속 필릿용접을 통하여 거더의 횡-비틀 좌굴을 방지하기 위한 강성을 제공하고, 콘크리트 경화 후 강합성 바닥판으로 역할을 수행하기 위한 인장철근의 역할을 수행하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 범용유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 새로 제안한 초간편 강합성 바닥판의 거더패널을 모델링하여, 거더의 강성을 확보하기 위해 I형강과 하부강판의 용접량 변화, I형강 복부에 유공 유무 및 위치변화를 변수로 두었으며, 합리적인 결과비교를 위해 수계산, B31, B33, S4, C3D8요소를 통하여 처짐과 응력을 비교 분석하였다.

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심C17)에 의한 것임.

¹선문대학교 토목공학과

²한국기술교육대학교 건축공학과

*교신저자: 윤기용(kyyoon@sunmoon.ac.kr)

2. 해석 모델

2.1 해석 모델의 개발

해석 모델에 적용된 재료의 물성치는 표 1과 같으며, 거더패널은 그림 1과 같이 두 개의 H형강 거더에 강판이 용접되고, I형강이 하부강판에 용접된다. 따라서 거더패널의 강바닥판 가설시 거동을 분석하기 위해 그림 2와 같이 H형강 복부판 위치에서 단순지지된 거더패널 강바닥판에 대해 I형강과 하부강판이 완전용접된 경우를 가정하여 수계산, 보요소, Shell요소, Solid요소를 사용하여 폭 400mm에 대해 독립하여 해석결과를 비교하였다. 또한 가설시 합성전 단면에 대한 거동을 분석하는 것으로, 하중은 표 2와 같이 강판, I형강, 콘크리트 자중만 고려하였다.

- 하부강판 두께 : 6mm (폭 2.3m)
- 유공I형강(I-100×75×5×8) 배치간격 : 400mm
- H형강(H-800×300×14×26) 배치간격 : 1.5m

표 1. 사용 재료별 물성치

사용 재료	단위 중량 (N/mm ³)	항복 강도 (MPa)	탄성 계수 (GPa)	허용 응력 (MPa)	포아손비	연신율 (%)
강재 (SS400)	0.0000785	240	210	140	0.3	17
콘크리트	0.0000250	-	-	-	-	-

표 2. 해석에서 고려한 하중(자중)

	단위중량 (N/mm ³)	단면적 (mm ²)	단위길이당 자중(N/mm)
I형강	0.0000785	1,620	0.12717
강판		2,400	0.18840
콘크리트	0.0000250	60,000	1.50000

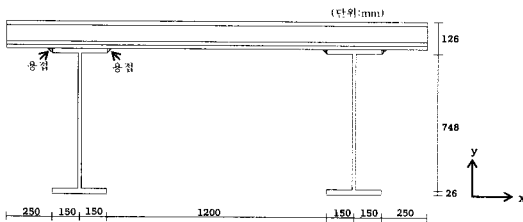


그림 1. 거더패널의 구성

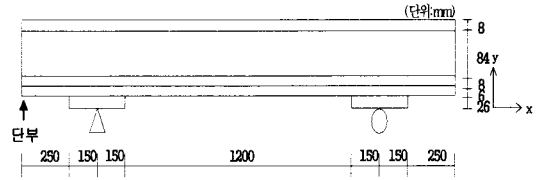


그림 2. 거더패널 강바닥판의 구성

이때 Solid요소 해석모델은 I형강과 하부강판의 합성 정도를 그림 3과 같이 4가지로 나누어 해석하였다.

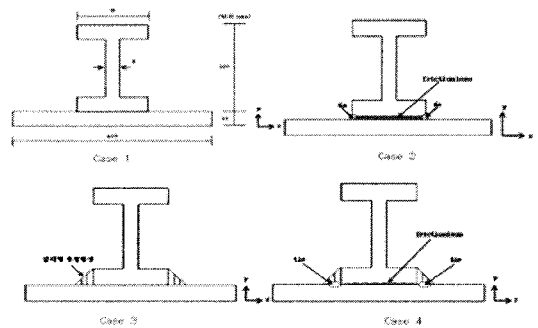


그림 3. I형강과 강판의 합성정도

표 3. 각 해석경우에 대한 처짐량

Modeling	위치	중양부 (mm)	차이 (%)	단부 (mm)	차이 (%)
case1		0.07828	0.2(↓)	0.04712	2.4(↑)
case2		0.07842	0.01(↓)	0.04670	1.5(↑)
case3		0.07805	0.5(↓)	0.04702	2.2(↑)
case4		0.07885	0.5(↑)	0.04676	1.6(↑)
shell		0.07843	-	0.04602	-
B31		0.06929	11.7(↓)	0.04839	5.1(↑)
B33		0.06813	13.1(↓)	0.04865	5.7(↑)
수계산		0.06805	13.2(↓)	0.04552	1.1(↓)

위 표 3은 Shell요소 해석모델을 기준으로 계산한 결과이다. Shell요소 해석과 4가지의 합성정도에 따른 Solid요소 해석은 지간중양부에서 0.5%정도 차이를 보였고, 단부에서 2%정도 차이를 보였다. 하지만 Shell요소 해석과 수계산 및 보요소 해석 비교시 지간중양부에서 11~13%, 단부에서 5~7%정도 차이를 보였다. 이는 수계산 및 보요소 해석모델은 Euler Beam이론에 의해 전단변형과 하중고 효과, 강판의 유효폭에 대해 고려하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 여기서 보요소 해석모델인 B31인 경우 전단변형을 고려하는 Timoshenko Beam이론에 의한 결과임에도 불구하고 하중고 효과와 강판의 유효폭

에 대한 고려를 하지 못하기 때문에 처짐에 대한 차이를 보이지 못했다. 그래서 전단변형의 효과와 중립축에 대한 하중의 작용점과 경계조건의 위치에 대한 하중고 효과, 강판의 유효폭 효과를 정량적으로 분석하기 위해서 강판의 폭을 100mm에서 400mm까지 100mm씩 증가시켜 해석을 수행하였다. 이때 하중은 I형강과 강판, 콘크리트 자중을 I형강 상부플랜지에 압력하중으로 분포시켜 재하시켰다. 해석결과를 정리하면 표 4와 같고 수계산의 처짐량을 기준으로 비교하였고, 그림 4는 각 요소 해석 모델별 강판폭에 따른 처짐량을 비교하였다.

표 4. 강판폭 변화에 따른 처짐량의 비교

강판폭(mm)	위치	중양부 (mm)	차이(%)	단부 (mm)	차이(%)
400	수계산	0.06805	-	0.04552	-
	B33	0.06813	0.1(↑)	0.04865	6.9(↑)
	B31	0.06929	1.8(↑)	0.04839	6.3(↑)
	Solid	0.07828	15.0(↑)	0.04712	3.5(↑)
300	수계산	0.05548	-	0.03712	-
	B33	0.05555	0.1(↓)	0.03969	6.9(↑)
	B31	0.05661	2(↑)	0.03946	6.3(↑)
	Solid	0.06299	13.5(↑)	0.03846	3.6(↑)
200	수계산	0.04244	-	0.02839	-
	B33	0.04249	0.1(↑)	0.03041	7.1(↑)
	B31	0.04341	2.3(↑)	0.03020	6.4(↑)
	Solid	0.04746	11.8(↑)	0.02942	3.6(↑)
100	수계산	0.02822	-	0.01888	-
	B33	0.02826	0.1(↑)	0.02024	7.2(↑)
	B31	0.02895	2.6(↑)	0.02008	6.4(↑)
	Solid	0.03101	9.9(↑)	0.01953	3.4(↑)

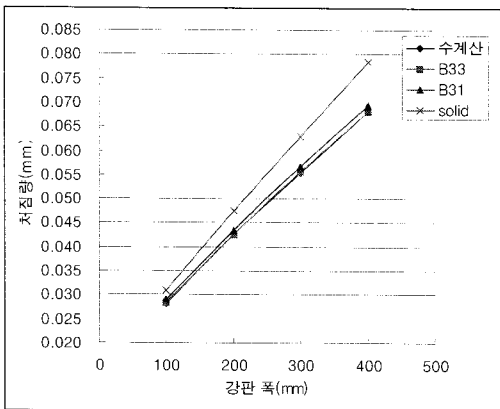


그림 4. 강판폭 변화에 따른 처짐량비교

위 표에서 B31요소의 해석결과 강판폭이 100mm인 경우 지간 중앙부에서 처짐 증가율이 2.6%인데 반해 강판폭 증가에 따라 증가율이 감소하여 강판폭이 400mm인

경우에 처짐 증가율이 1.8%로 나타났다. 따라서 강판폭이 증가함에 따라 전단변형의 효과는 약간 감소하는 것으로 판단된다.

반면에 Solid요소 해석결과 강판폭 100mm인 경우 처짐량이 9.9%에서 강판폭 400mm인 경우 15%로 증가하였다. 따라서 강판폭이 100mm인 경우 처짐의 증가율 9.9%중 전단변형의 효과가 2.6%정도로 파악되며 약 7.3%정도가 하중고 효과와 유효폭 효과인 것으로 사료된다.

앞서 살펴본 사항을 종합하면 수계산, 보요소를 사용하는 해석결과보다 Solid요소나 Shell요소를 사용한 경우가 부재의 전단변형 효과, 하중고 효과 및 유효폭의 효과를 정확히 고려할 수 있었으며, Shell요소와 Solid요소의 해석결과가 동일하므로 I형강과 강판의 합성을 tic와 frictionless로 모사한 Case4의 Solid요소 해석모델을 채택하여 I형강과 하부강판과의 용접량 변화, I형강 복부의 유공 유·무, 유공 위치에 따른 거동특성을 연구하였다.

2.2 용접길이 변화의 영향

I형강과 하부강판과의 용접길이의 변화에 따른 거더패널 강바닥판의 거동특성을 파악하기 위해 I형강과 강판의 합성정도를 Case4로 채택하여, I형강, 강판, 콘크리트의 자중을 I형강 상부플랜지에 작용시킨 이상화 하중으로 재하하였고, I형강 전 길이에 대해 용접을 실시한 경우와 부분용접을 실시한 경우에 대해 해석을 실시하였다. 그 결과 표 5처럼 용접길이가 줄임에 따라 처짐량의 증가가 크지는 않았고, 지간 중앙부에서의 응력은 용접길이가 변하더라도 거의 동일한 응력을 보이고 있지만, 표 6처럼 전체지간에 대한 최대응력은 용접량을 감소시킴에 따라 크게 증가하고 있다. 30%용접을 수행한 경우 최대 휨 인장응력은 전 길이에 대해 용접한 경우보다 127%정도 크게 증가하였다.

해석결과를 종합하면 용접량을 줄임에 따라 처짐량의 증가는 크지 않으나 용접이 시작되는 위치에서 국부적으로 응력이 집중되는 현상이 발생하고 있는 것으로 나타났다. 하지만 설계부분에 있어서 영향을 미치지 않는다고 사료된다.

표 5. 용접길이 변화에 따른 처짐량

Modeling	용접-비용접 (mm)	처짐(mm)			
		중양부	차이 (%)	단부	차이 (%)
W-All	전체 용접	0.07885	-	0.04676	-
W-60	120-80(60%)	0.07948	0.8(↑)	0.04667	0.2(↓)
W-50	100-100(50%)	0.07981	1.2(↑)	0.04657	0.4(↓)
W-40	80-120(40%)	0.08027	1.8(↑)	0.04647	0.6(↓)
W-30	50-150(30%)	0.08137	3.2(↑)	0.04630	1.0(↓)

표 6. 용접길이 변화에 따른 단면내 최대 응력

Modeling	최대응력 (MPa)					
	휨인장 응력	차이 (%)	휨압축 응력	차이 (%)	Von- Mises	차이 (%)
W-All	1.605	-	5.519	-	5.856	-
W-60	2.116	31.8(↑)	5.522	0.1(↑)	5.859	0.1(↑)
W-50	2.409	50.1(↑)	5.485	0.6(↓)	5.823	0.6(↓)
W-40	2.833	76.5(↑)	5.531	0.2(↑)	5.869	0.2(↓)
W-30	3.645	127.1(↑)	5.551	0.6(↑)	6.347	8.4(↓)

2.3 I형강 복부에 유공 유무의 영향

I형강 복부의 유공을 설치하여 구조물 전체의 자중을 경감시킬 수 있으며, 유공을 통해 콘크리트와 다철작용으로 인한 콘크리트와 강재의 합성정도를 향상시킬 수 있다. (한국건설기술연구원, 2002) 따라서 그림 5와 같이 I형강 복부에 길이가 100mm, 높이가 50mm인 유공의 길이 방향으로 200mm간격으로 모델링하였다. 이때, 용접량은 50%인 경우에 대해서 모델링을 실시하였고, 이상화 하중으로 가정했다.

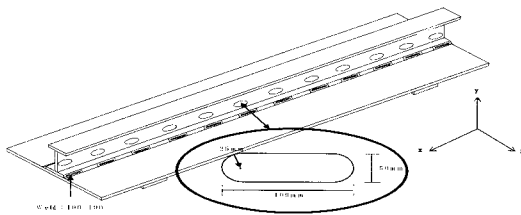


그림 5. I형강 복부에 설치된 구멍의 형상

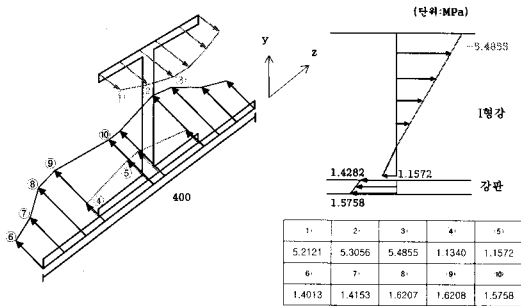


그림 6. I형강 복부에 유공이 없는 경우 중앙부 단면에서의 응력분포

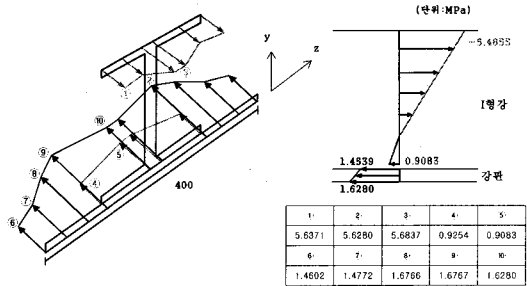


그림 7. I형강 복부에 유공이 있는 경우 중앙부 단면에서의 응력분포

그 결과 그림 6, 7에서 보면 유공 유·무에 대한 지간 중앙부 단면에서의 응력은 중앙부 단면에서의 응력은 약 3.3~3.6%정도 I형강 복부에 유공이 있는 경우가 유공이 없는 경우보다 증가하였다. 또한 처짐량을 비교한 표 7에서는 응력과 달리 지간 중앙부에서의 처짐이 유공이 있는 경우 22%정도 증가하였다. 따라서 I형강 복부에 구멍을 설치하는 경우 단면에서 발생하는 응력의 크기에는 큰 변화가 없으나, 처짐을 일으키는 강성의 변화를 가져와 처짐량의 증가가 발생하는 것을 알 수 있다.

표 7. I형강 복부에 유공 유무에 따른 처짐량

Modeling	처짐(mm)			
	중앙부	차이 (%)	단부	차이 (%)
구멍이 없는 경우	0.07981	-	0.04657	-
구멍이 있는 경우	0.10230	22.0(↓)	0.04759	2.1(↓)

2.4 I형강 복부에 유공 위치 영향

거더패널 강바닥판은 I형강과 강판이 단속용접이 되므로 I형강 복부에 구멍을 설치하는 경우 구멍의 위치에 따른 거더패널 강바닥판의 거동을 분석할 필요가 있다. 따라서 I형강과 하부강판의 용접량이 50%인 경우에 대해 이상화 하중을 재하시켜 유공의 위치를 용접된 위치에 있는 경우와 용접사이에 있는 경우로 나누어 해석을 실시하였다.

그 결과 앞선 그림 7과 그림 8을 비교하면 압축응력과 인장응력은 유공의 위치가 용접위치인 경우에 비해 용접과 용접사이에 위치한 경우가 약간 증가하였다. 또한 처짐량의 경우 표 8에서 용접사이에 유공이 위치한 경우가 2.5%정도 증가하는 것을 알 수 있다.

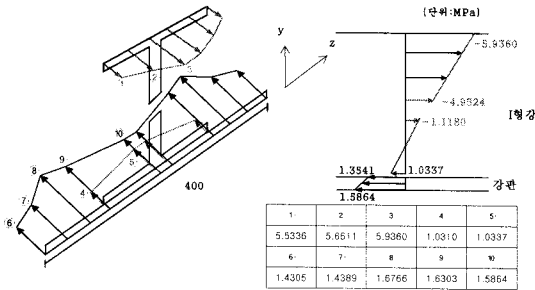
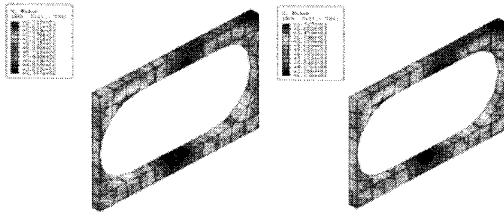


그림 8. 용접사이에 유공이 위치한 경우에 시간 중앙부 단면에서의 응력분포

표 8. 구멍위치에 따른 처짐량 비교

Modeling	처짐(mm)			
	중앙부	차이(%)	단부	차이(%)
용접된 위치	0.10230	-	0.04759	-
용접과 용접사이	0.10487	2.5(↑)	0.04797	0.8(↑)



(a)용접위치 유공 (b) 용접사이 유공

그림 9. 최대응력이 발생하는 유공주변부에서의 Von-Mises 응력

I형강 복부에 유공을 설치하는 경우 유공주변부의 최대응력이 발생하는 위치에서 비교하면 그림 9에서 보는 바와 같이 용접사이에 유공을 위치시킨 경우가 용접위치에 유공을 위치시킨 경우보다 약 1.7% 감소하는 것으로 나타났다. 이상의 해석결과를 종합하여 살펴보면 처짐량의 경우에는 구멍의 위치를 용접과 용접사이에 위치시킨 경우가 2.5% 크게 발생하고 있으나, 구멍주변에서의 응력은 1.7% 적게 발생하고 있다. 따라서 거더패널 강바닥판의 거동은 구멍위치의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

3. 결론

초간편 강합성 바닥판은 공장제작 및 시공의 간편성에 대한 장점을 가지고, I형강 매입형 강합성 바닥판을 기반

으로 연구했다.

- (1) 거더패널 강바닥판 모델을 단순화 하여 수계산과 보요소 해석모델, Shell요소 해석모델, Solid요소 해석모델을 비교하였다. 그 결과 수계산, 보요소는 Shell요소 해석모델, Solid요소 해석모델에 비해 전단변형 및 하중고 효과 그리고 유효폭 효과에 대한 고려를 하지 못하기 때문에 다양한 인수해석을 위해서 Shell, Solid요소 해석모델로 연구하였다.
- (2) 거더패널 강바닥판의 I형강과 하부강판의 용접길이를 변화하였을때 용접길이의 줄임에 따른 처짐량 증가는 보이지 않았지만, 용접이 시작되는 위치에서 국부적으로 응력이 집중되는 현상을 확인하였다. 이는 실제 실험에 앞서 모델링을 통해 용접이 이루어지는 위치에서 응력이 집중되는 부분을 알아냄으로써 파괴를 방지할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) I형강 복부에 유공이 있을시 복부 단면에 강성의 변화가 있기 때문에 유공이 없는 경우보다 처짐이 약 22% 증가하는 것을 알 수 있었다. 하지만, 가설 후 콘크리트와 유공의 다웰작용으로 인해 강재와의 합성정도를 향상시킬 것으로 사료된다. 또한, 유공의 위치를 용접된 위치와 용접과 용접사이에 유공이 위치한 경우를 비교한 결과 용접과 용접사이에 유공이 위치한 경우 처짐량이 2.5%정도 크게 발생하고, 유공주변에서의 응력은 1.7%정도 적게 발생하였다. 이는 거더패널 강바닥판의 거동에 유공의 위치가 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 한국건설기술연구원, “장수명 합리화 교량바닥판 개발(1)”, pp. 239-245, 2002.
- [2] 한국건설기술연구원, “장수명 합리화 교량바닥판 개발-강·콘크리트 합성 바닥판”, pp. 15-21, 2005.
- [3] 정철현, 이홍수, 박종면, 김영호, “합성작용을 위한 새로운 Perfobond 전단연결재”, 대한토목학회논문집, 제24권 제3A호, pp. 525-532, 2004. 5.
- [4] ABAQUS, Manual & Reference Manual Ver. 6.5-1, 2007.

한 득 천(Deuk-Cheon Han)

[준회원]



- 2006년 8월 : 선문대학교 토목공학과 (공학사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 (공학석사)

<관심분야>

강구조, 소수주거터교, 비선형 구조 해석

윤 기 용(Ki-Yong Yoon)

[정회원]



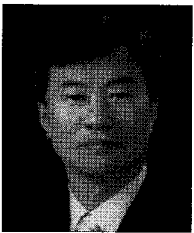
- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과(공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 조교수

<관심분야>

성능기초 내진 평가 및 설계, 비선형 구조 해석, Precast concrete 접합부

김 상 섭(Sang-Seup Kim)

[정회원]



- 1980년 2월 : 동국대학교 건축공학과 (공학사)
- 1984년 9월 : 동국대학교 건축공학과 (공학석사)
- 1989년 4월 : 동경공업대학 대학원 건축학(공학박사)
- 1997년 5월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

강구조, 복합구조, 접합부, 안전진단