

## 발광체 인입형 콘크리트 경계블록 개발

배현웅<sup>1</sup>, 윤경민<sup>1</sup>, 성익현<sup>2</sup>, 이진옥<sup>1</sup>, 임남형<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>충남대학교 토목공학과, <sup>2</sup>한서대학교 토목공학과

### Development of the Light Emitting System embedded Concrete Curb

Hyun-Ung Bae<sup>1</sup>, Kyung-Min Yun<sup>1</sup>, Ik-Hyun Sung<sup>2</sup>, Chin-Ok Lee<sup>1</sup>  
and Nam-Hyoung Lim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Chungnam National University

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Hanseo University

**요 약** 불충분한 시인성에 기인한 안전사고가 연안지역에 많이 발생되고 있다. 그러므로 이러한 안전사고를 방지하기 위하여 시인성을 겸비한 안전시설이 요구되고 있다. 이와 같은 요구사항을 해결하기 위하여 본 연구에서는 발광체 인입형 콘크리트(LESeCON)의 개념을 정립하고 이를 이용하여 연안지역에 적용하기 위한 콘크리트 경계블록을 개발 및 제작하였다. 개발된 콘크리트 경계블록의 역학적 및 기능적 성능을 검증하기 위하여 휨강도 실험과 시인성 실험을 실시하였다.

**Abstract** The safety accidents due to the insufficient visibility are frequently occurred at the coastal zone. Therefore, safety facilities that provide visibility are certainly required to prevent accidents. In order to solve this demand, the concept of the light emitting system embedded concrete (LESeCON) are established and then concrete curb is produced for application to the coastal zone. To investigate the mechanical and functional performance of concrete curb developed in this study, the bending strength test and the visibility test are conducted.

**Key Words** : Light Emitting System, Visibility, Concrete curb, Optical fiber, Luminance

### 1. 서론

일반적으로 연안 해안가의 산책로, 방파제, 선착장 등에는 야간에 보행자 및 차량의 추락 등의 안전사고를 방지하기 위해 가로등 등의 조명장치와 진행방향 또는 위험표시를 위한 안전표시장치가 설치되어있다. 그러나 가로등의 설치는 많은 비용과 전력을 사용하게 되어 비경제적이며, 안전표시장치는 외부 빛에 의해서 반사하는 반사판 등으로 설치되어 있어 빛을 비추는 동안에만 보이는 단점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 주간

에 태양광을 집광하여 축전한 후, 야간에 시인성 램프 등을 점등시키는 기술이 제안되어 사용되고 있으나 1광원 1지점 발광구조가 대부분이며 많은 초기 설치비용 및 유지관리 비용이 필요하여 비경제적이다.

본 논문에서는 상기와 같은 종래의 문제점을 해소하기 위한 것으로서 발광체 인입형 콘크리트(Light Emitting System embedded Concrete, LESeCON)를 개발하였으며 이에 대한 제작공정을 기술하였다. 또한 실질적으로 적용하기 위한 역학적/기능적 성능을 검증하기 위해 휨강도 실험, 시인성(Visibility) 실험을 수행하였다.

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업(09지역기술혁신 B-01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

\*Corresponding Author : Nam-Hyoung Lim

Tel: +82-11-9402-1417 email: nhrim@cnu.ac.kr

접수일 12년 05월 30일

수정일 12년 06월 19일

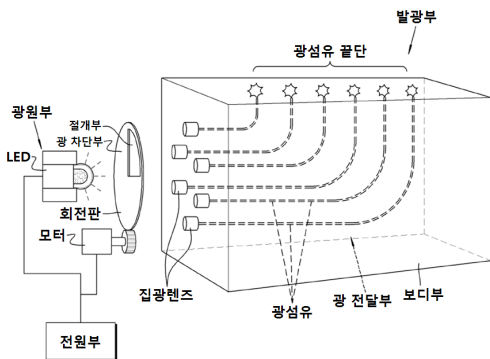
게재확정일 12년 08월 09일

## 2. 발광체 인입형 콘크리트

### 2.1 개념

발광체 인입형 콘크리트는 콘크리트 재료를 양생하여 일정 크기의 블록형태로 제작된 보디부를 구비한다. 이와 같은 콘크리트 보디부는 방파제, 해안가 보도 및 산책로, 해안가 도로의 경계를 표시할 수 있는 콘크리트 포장체, 경계석, 연석 등과 같은 안전시설물에 사용되는 콘크리트 구조물일 수 있다.

발광체 인입형 콘크리트를 이용한 안전표시장치 또는 발광부는 보디부의 외측에 위치되고, 전원에 의해서 발광하는 LED를 포함하여 자체적으로 빛을 발산하는 광원부를 포함한다. 전원 공급에 의해서 발광하는 LED는 전력 소비가 적고 발광효율이 우수한 절전형의 광원으로서 우수한 것이다. 광원부의 LED는 그 전방에 빛을 외부로 확산시키는 확산수단을 추가 포함하여 LED로부터 조사된 빛이 확산수단(오목렌즈 등)을 통과하면서 더욱 외측으로 확산된다. 그리고 LED 전방에 모터 구동에 의해서 회전하는 회전판을 구비하는데 이 회전판은 그 외주면과 모터 회전축에 장착된 고무 풀리 또는 치차에 맞물려서 회전된다. 회전판은 그 중간에 후방측으로 광을 통과시키는 절개부가 있으며, 이를 제외한 나머지 부분은 광을 차단시키는 불투과성 재료로 이루어진다. 이와 같은 회전판이 회전되면 회전하는 절개부를 통해서만 그 후방측으로 배치된 광 전달부에 광을 전달할 수 있으므로, 광의 차단과 통과와 과정을 반복함으로써 광을 단속적으로 통과시키게 된다[1].



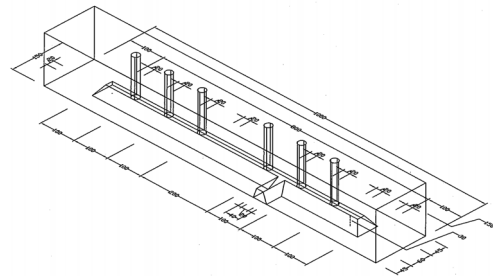
[그림 1] 발광체 인입형 콘크리트 블록의 개념  
[Fig. 1] Concept of the LESeCON

콘크리트 보디부 내부에 매립된 다수의 광섬유들의 입(入)측 단부는 각각 집광렌즈(볼록렌즈 등)들이 일체로 장착되며, 광원부의 회전판 후방에서 절개부가 각각의 집

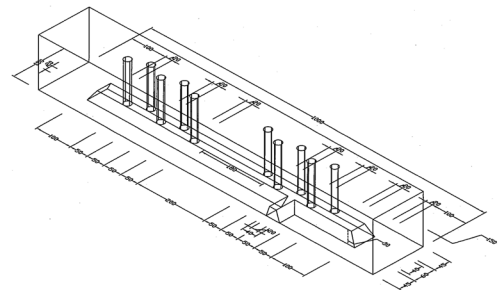
광렌즈를 순차적으로 거치도록 회전판의 회전반경 내에 원형으로 배치된다. 그리고 광섬유의 출(出)측 단부는 콘크리트 보디부의 표면에서 다양한 도안, 문양 또는 표시 형태로 노출되어 발광부를 형성하게 된다. 또한 광섬유 끝단들 외측으로는 광투과성 재료의 투광판이 콘크리트 보디부에 고정되어 외부 이물질로부터 발광부의 광섬유가 오염되는 것을 방지하고 외부 충격으로부터 보호하도록 구성된다. 이와 같이 발광체 인입형 콘크리트를 이용하면 야간의 방파제, 선착장, 해안가 보도 및 산책로 등에서 화살표 표시, 위험지대 표시 등 각종 안전에 관련된 표시, 문양 등을 적용할 수 있으므로 콘크리트 구조물의 시인성을 크게 높일 수 있다[1].

### 2.2 경계블록의 제작

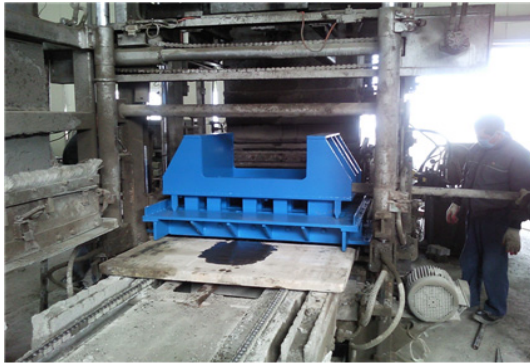
상기의 발광체 인입형 콘크리트의 개념을 이용하여 발광체 인입형 콘크리트 경계블록을 제작하였다. 경계블록의 형상은 직육면체로 150×150×1,000mm이며 경계석 하부에 광 전달을 위한 홈(Chase)과 구멍(Hole)이 존재한다. 제작시 가공위치를 정확하게 하기 위해서 금형(Metal mold)을 제작하였으며, 구멍의 위치는 발광부 모양에 따라 일자 형태(一)와 지그재그 형태(W)로 나누었다. 그 도안은 그림 2, 3과 같다[2].



[그림 2] 일자형 발광부 도안  
[Fig. 2] LESeCON block with straight lighting part



[그림 3] 지그재그형 발광부 도안  
[Fig. 3] LESeCON block with zigzag lighting part



(a) 금형 지그 고정



(b) 경계블록 제작



(c) 일자형 경계블록



(d) 지그재그형 경계블록

[그림 4] 발광체 인입형 콘크리트 경계블록의 제작과정  
[Fig. 4] Manufacturing process of the LESeCON blocks

경계블록의 제작과정은 다음과 같다.

- (1) 경계블록 금형을 지그에 고정
- (2) 적정 배합비의 콘크리트를 투입 후 상부몰드를 진동시켜 경계블록 제작
- (3) 일자형 경계블록 제작 후 하부몰드를 교체
- (4) 같은 방식으로 지그재그형 경계블록 제작

### 2.3 휨강도 실험

상기의 발광체 인입형 콘크리트의 개념을 이용하여 제

작한 경계블록의 역학적 성능을 검증하기 위하여 시험체를 제작하였다. 경계블록 시험체는 직육면체 형태의 150×150×1,000mm이며 발광부 구멍모양에 따라 2가지 형태(일자형, 지그재그형), 배합비에 따라 3가지로 하여 총 6종류의 시험체를 제작하였다. 재료는 일반경계블록과 같은 재료를 사용하였고, 일반경계블록의 배합비(배합비1)에서 시멘트함유량을 증가시켜 강도의 차이를 두었다(표 1).

본 연구진은 경계블록의 시험체 제작과정에서 몰드의

[표 1] 발광체 인입형 콘크리트 경계블록의 배합비 종류  
[Table 1] Mixing proportion of the LESeCON blocks

Test No.	Case	배합비 종류	골재의 최대치수(mm)	단위량 (kg)				
				시멘트	모래	석분	굵은골재	물
1	일자형 경계블록 (그림 2)	배합비1	13	130	200	380	80	32
2		배합비2	13	150	200	380	80	32
3		배합비3	13	160	200	380	80	32
4	지그재그형 경계블록 (그림 3)	배합비1	13	170	280	470	100	38
5		배합비2	13	190	280	470	100	38
6		배합비3	13	210	280	470	100	38

진동다짐시 경계석 하부의 흠으로 인한 불균형에 의해 시험체의 형태가 무너지는 현상을 경험하였으며, 이 현상의 문제로 여러 차례 시행착오를 통해 적절한 다짐 횟수를 결정하여 수동다짐을 실시하였다. 이로 인해 약 3mm 정도의 높이 오차가 발생하였으나, KS규격(KS F 4006)[3]의 허용오차 기준을 만족하는 수준이므로 동일한 방법으로 제작하였다.

KS F 4006[3]의 도로 경계블록 강도기준 및 치수기준에 따라, 제작된 경계블록은 KS규격상의 SC형 블록의 최소파괴하중인 10.0kN이상을 만족시켜야한다. 그러나 경계블록 하부에 높이 30mm의 흠이 있으므로 SB형 블록의 파괴하중 6.0kN과 10.0kN 사이의 강도를 얻을 수 있으면 기준을 만족시키는 것으로 판단 할 수 있다.

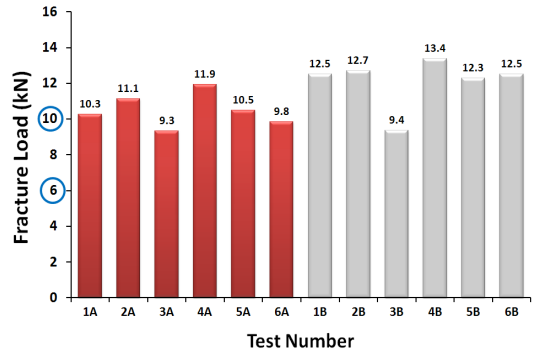
휨강도 실험은 UTM을 사용하여 하중컨트롤은 변위제어(0.5mm/min)로 하였으며 중앙부의 변위를 측정하였다. 시험체의 각 종류를 3번씩 실험하여 그 평균값을 파괴하중으로 보았으며, 발광부가 위를 향하게 한 경우와 측면을 향하게 한 경우에 대해 실험하였다. 여기서, 발광부가 측면을 향하게 하는 경우에는 그림 5와 같이 흠부분이 아래로 향하게 하였다.



[그림 5] 휨강도 실험  
[Fig. 5] Bending strength test

본 연구에서 개발된 경계블록은 일반경계블록에 비해 인성은 다소 감소되지만 강도는 유사한 것으로 판명되었으며, 파괴형태는 중앙부에서 파괴된 경우, 흠이 있는 부분에서 파괴된 경우, 중앙부에서 흠부분까지 사선으로 파괴된 경우 등 크게 3가지로 분류할 수 있다. 그림 6 [2]은 각 시험체 Case별 파괴하중을 비교한 것으로 발광부가 위를 향한 경우는 A, 측면을 향한 경우를 B로 표기하였다. KS F 4006 기준에서 SC형 도로 경계 블록의 최소 파괴하중 10.0kN이상을 만족하였으며, 배합비3의 경우 이에 약간 못 미치는 수준의 파괴하중을 나타내었다. 그러나 앞서 언급했듯이 경계석 하부의 흠을 고려했을 시 높

이 120mm의 SB형 경계블록의 파괴하중 6.0kN이상은 충분히 만족하므로 본 연구진이 개발한 발광경계석의 역학적 성능은 기준에 만족됨을 알 수 있다[2].



[그림 6] 휨강도 실험 결과  
[Fig. 6] Result of the bending strength test

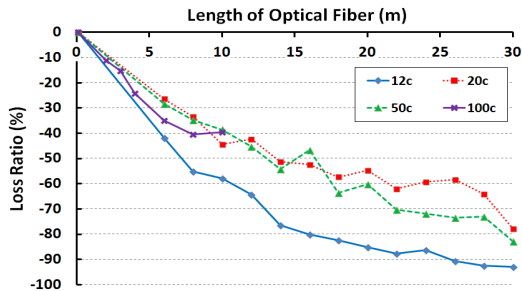
## 2.4 시인성 실험

발광체 인입형 콘크리트 내에 삽입될 광섬유의 발광부에서의 발광성능은 인지 가능한 최소 임계 휘도값을 만족하여야 한다. 이에 따라 본 연구에서 개발된 경계블록의 시인성 확보를 위하여 선택된 발광 전달재료인 광섬유의 길이 증가에 따른 휘도를 측정하였다. 휘도(Luminance)는 광원의 단위 면적당 밝기의 정도로 단위는  $cd/m^2$ 이다. 광원은 할로겐램프를 사용하였으며, 측정기기를 이용하여 광원에서 떨어진 거리에서의 휘도를 측정하였다. 이때 광원의 색상은 일반적인 조명색인 노란색을 사용하였다. 광 전달부인 광섬유는 가닥수로 분류하였다. 가닥 당 지름은 0.75mm로, 12가닥(12c), 20가닥(20c), 50가닥(50c) 100가닥(100c)의 총 4종류를 사용하였다. 3종류(12c, 20c, 50c)의 광섬유는 30m부터 6m까지 2m간격으로 절단하면서 거리에 따른 휘도의 변화를 측정하였으며, 감소율이 비슷한 양상을 보였기 때문에 100c 광섬유는 10m부터 측정하였다.



[그림 7] 시인성 실험  
[Fig. 7] Visibility test

광섬유의 길이에 따른 휘도의 손실비를 그림 8 [2]에 나타내었다. 4종류의 광섬유 가닥별로 광섬유의 길이가 10cm일 때 휘도값을 기준으로 손실비를 계산하였다. 광전달체인 광섬유의 길이가 길어짐에 따라 휘도가 감소하고 있음을 알 수 있으며, 12가닥의 광섬유를 제외하고는 길이에 따른 손실비가 유사한 양상으로 나타났다. 12가닥의 광섬유의 면적은 약 19.63mm<sup>2</sup>로, 측정 기기에서 인식하는 면적(162.86mm<sup>2</sup>)에 비해 면적이 너무 작아 오차가 발생된 것으로 판단된다. 20, 50, 100가닥의 경우에 대한 손실비를 보았을 때 광섬유의 길이가 30m에서 약 80%의 빛 손실이 있는 것을 알 수 있다. 이때의 실측된 휘도값은 20가닥 1,270 cd/m<sup>2</sup>, 50가닥 3,070cd/m<sup>2</sup>로 측정되었다[2].



[그림 8] 광섬유 길이에 따른 빛의 손실비  
[Fig. 8] Loss ratio with respect to the length of optical fiber

1986년 Helmut와 Zwahlen의 연구에 의하면, 0.28493×10<sup>-8</sup>fc(1fc=10.76lx)라는 조도값을 인간의 눈에 들어오는 물체의 시인성에 관한 최소 임계치(실내에서 균일한 배경 조도를 유지하고 하얀색 점광원을 98% 감지하는 조도)로 설정하고, 시선유도표지의 경우는 이 수치에 60을 곱한 값(1.7×10<sup>-7</sup>fc)을 운전자의 시선유도를 위한 적정 조도로 제안하고 있다[4]. 선행 연구에서 제안한 운전자의 시선유도를 위한 적정 조도값을 임계조도 (1.8×10<sup>-6</sup>lx)로 설정하였을 때 본 연구에서 실측한 휘도값과 비교하기 위해 이론적으로 단위를 환산하였다. 조도의 단위인 룩스(lux)는 거리의 제곱당 광도(cd/m<sup>2</sup>)로 나타낼 수 있으므로, 실측한 휘도값에 측정면적(162.86mm<sup>2</sup>)을 곱하여 광도(candela)로 나타내고, 이 광도를 거리의 제곱으로 나누어 광원으로부터 떨어진 거리에 따른 임계조도를 분석하였다.

표 2에서 음영부분은 선행 연구에 의해 설정한 시선유도 임계조도(1.8×10<sup>-6</sup>lx)에 미치지 못하는 값을 나타낸다. 광섬유 12가닥의 경우 100m, 20가닥의 경우 300m, 50가닥의 경우 500m이내의 거리에서 임계조도 이상의 값을

나타내고 있다.

[표 2] 광원으로부터의 거리에 따른 조도  
[Table 2] Illuminance with respect to the distance from a lighting source

광섬유 가닥 수	광섬유 길이 (m)	발광부로부터의 거리에 따른 조도(cd/m <sup>2</sup> )			
		100m	300m	500m	700m
12c	30	6.0E-06	6.7E-07	2.4E-07	1.2E-07
	20	1.3E-05	1.4E-06	5.1E-07	2.6E-07
	10	3.6E-05	4.0E-06	1.4E-06	7.4E-07
	0.1	8.6E-05	9.5E-06	3.4E-06	1.8E-06
20c	30	2.1E-05	2.3E-06	8.3E-07	4.2E-07
	20	4.2E-05	4.7E-06	1.7E-06	8.6E-07
	10	5.2E-05	5.7E-06	2.1E-06	1.1E-06
	0.1	9.3E-05	1.0E-05	3.7E-06	1.9E-06
50c	30	5.0E-05	5.6E-06	2.0E-06	1.0E-06
	20	1.2E-04	1.3E-05	4.7E-06	2.4E-06
	10	1.8E-04	2.0E-05	7.2E-06	3.7E-06
	0.1	2.9E-04	3.3E-05	1.2E-05	6.0E-06
100c	10	2.7E-04	3.0E-05	1.1E-05	5.6E-06
	0.1	4.5E-04	5.0E-05	1.8E-05	9.2E-06

### 3. 결론

본 논문에서는 저에너지 고효율을 도모하기 위한 발광체 인입형 콘크리트(LESeCON)을 개발하였으며, 제작 및 역학적/기능적 성능을 검증하기 위한 실험을 수행하였다.

제작된 발광체 인입형 콘크리트 경계블록은 KS규격(KS F 4006)의 허용오차 기준을 만족하는 수준으로 제작되었으며, 도로 경계블록 강도기준 및 치수기준에 따라 KS규격상의 SC형 블록 파괴하중(10kN)과 SB형 블록의 파괴하중(6.0kN) 사이의 강도를 충분히 만족하여 역학적 성능을 검증하였다.

또한, 발광체 인입형 콘크리트 내에 삽입될 광섬유의 발광부에서의 발광성능을 검증하기 위해 광섬유의 길이 증가에 따른 휘도를 측정하였다. 이에 의해, 선행 연구에서 제안된 운전자의 시선유도를 위한 적정 조도값(1.8×10<sup>-6</sup>lx)을 통하여 광원(광섬유의 발광부)으로부터 떨어진 거리에 따른 임계조도를 분석하였으며, 광섬유 12가닥의 경우 100m, 20가닥의 경우 300m, 50가닥의 경우 500m이내의 거리에서 임계조도 이상의 성능을 가질 수 있음을 검증하였다.

차후 단점보완 및 시공성 향상을 통해 발광체 인입형 콘크리트 블록의 적용이 활성화된다면, 야간의 조명시설이 미흡한 방파제, 선착장, 해안가 보도 및 산책로 등뿐만

아니라 야간 도로시설의 안내표지로서의 활용도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

### References

[1] Nam-Hyoung Lim, Ik-Hyun Sung, "Concrete for Transmitting Light and the Safety Apparatus using It", The Korean Intellectual Property Office, Patent No. 10-1013361, 2011.

[2] Ik-Hyun Sung, Hyun-Ung Bae, Nam-Hyoung Lim, "Development of the Light Emitting System embedded Safety Facility", YUST 2011 International Symposium Proceedings III, Yanbian University of Science & Technology, pp.VII9(1)-VII9(4), 2011.

[3] KS F 4006, "Concrete Curbs", Korean Standards Association, 2004.

[4] Dr. Helmut and T. Zwahlen, "Optimization of Post Delineator Height and Spacing", FHWA/OH-86/015, Ohio Department of Transportation, 1986.

### 배 현 응(Hyun-Ung Bae) [정회원]



- 2009년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학사)
- 2011년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정

<관심분야>  
구조공학, 궤도공학

### 윤 경 민(Kyung-Min Yun) [정회원]



- 2009년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학사)
- 2012년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정

<관심분야>  
구조공학, 궤도공학

### 성 익 현(Ik-Hyun Sung) [정회원]



- 1986년 8월 : 고려대학교 토목환경공학과(공학석사)
- 1995년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학박사)
- 1995년 9월 : 한국도로공사 도로연구소구조연구실 책임연구원
- 1998년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 토목공학과 교수

<관심분야>  
구조공학, 내진공학

### 이 진 옥(Chin-Ok Lee) [정회원]



- 1980년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 1993년 8월 : 고려대학교 대학원 토목공학과(공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>  
구조공학, 내진공학

### 임 남 형(Nam-Hyoung Lim) [정회원]



- 1996년 2월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학석사)
- 2001년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학박사)
- 2003년 7월 ~ 2005년 3월 : 한국철도기술연구원 선임연구원
- 2005년 4월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>  
구조공학, 궤도공학