

도로 조명용 프로그램과 노면 특성 측정 장치의 개발

(Development of the Program Road Lighting and Road Surface Property Measuring Apparatus)

김기훈* · 심상만** · 김 훈***

(Gi-Hoon Kim · Sang-Man Sim · Hoon Kim)

요 약

평균 조도 및 휘도의 계산은 어느 정도 그래픽(graphical)적인 방법 등에 의해서 이루어질 수 있으나, 매우 광범위한 장소에 대한 계산에는 적절한 소프트웨어가 필요하다. 이러한 소프트웨어는 해외에서는 이미 개발되어 있으나, 국내에서 설계하기에 적합한 다기능의 프로그램은 없었다. 이에 따라 한글 윈도우에서 실행될 수 있는 형태가 되도록 하는 것을 목표로 하여 프로그램을 개발하였으며, 도로면의 휘도 및 조도 분포뿐만 아니라, 평균 휘도, 평균 조도, 전반 균제도와 차선축 균제도, 임계 휘도 증분, 광막 휘도, 눈부심 등의 계산을 수행하는 프로그램(Lighting Analysing Program for Road, LAPRoad)을 개발하였다. 또한 휘도 계산에 있어서 노면의 반사 특성은 매우 중요하기 때문에 그 특성을 측정할 수 있는 기구를 개발하고, 콘크리트 도로 반사 특성을 측정하였다.

Abstract

Average illuminance and luminance can be calculated by graphical methods to a certain extent, but to calculate for a wide place, a suitable software is needed. Softwares suitable for this purpose have been already developed in foreign nations, but the appropriate softwares for domestic use have not been developed. Therefore a program is developed which is executable in Hangul Windows. The softwares LAPRoad, is developed to calculate luminance and illuminance distribution of road surface, as well as average luminance and illuminance, overall uniformity, longitudinal uniformity, threshold increment, veiling luminance, and glare. And an apparatus that measures road surface reflection properties is developed. Because the road surface reflection properties is very important in luminance calculation, then concrete road surface reflection properties were measured.

1. 서 론

도로 조명 설비의 질적인 평가 기준으로서 휘도 및 조도 분포를 사용하고자 한다면, 먼저 설계 할 때

휘도 및 조도 계산을 필요로 하며, 설비가 완성된 직후에 도로 표면의 휘도 및 조도를 측정하는 것이 당연하다[1]. 하지만 매우 광범위한 장소의 조도나 휘도 분포를 계산하기 위해서는 적절한 소프트웨어가 필요하다. 그러나 이러한 소프트웨어는 해외에서는 이미 개발되어 있으나, 국내에서 설계하기에 적합한 다기능의 프로그램은 없었다. 이에 따라 국내에서 사용하기 적합하고, 한글 윈도우에서 실행될 수 있는

*정 회 원 : 강원대 공대 전기공학과 석사과정
 **정 회 원 : 춘천 기능대학 전기기술과 전임강사
 ***정 회 원 : 강원대 공대 전기전자공학부 교수
 접수일자 : 1998년 12월 31일

형태가 되도록 하는 것을 목표로 하여 LAPRoad (Lighting Analysing Program for Road)의 개발을 시작하였으며, 도로면의 휘도 분포 및 조도 분포 뿐만 아니라, 평균 휘도 및 평균 조도, 전반 균제도와 차선축 균제도, 임계 휘도 증분, 광막 휘도, 눈부심 등의 계산을 수행하도록 하였다. 또한 입력 데이터 중 조명 기구의 배광 데이터를 이용하여 배광 곡선이 나타나도록 하였고 휘도 및 조도 분포를 그림으로 나타나게 하여 사용자가 쉽게 알아 볼 수 있도록 하였다. 그리고 도로 및 조명 기구의 기하학적 배치와 함께 노면의 반사 특성 및 조명 기구의 배광 특성은 사용자의 선택에 의해 입력되도록 하였으며, 계산의 정확도와 LAPRoad의 유용성을 검증하기 위해 실제 조도를 측정하고 이를 계산 결과와 비교하여 만족할 만한 결과를 얻었다. 또한 도로 표면의 반사 특성은 휘도 계산에 있어서 매우 중요하기 때문에 도로 면의 반사 특성을 측정할 수 있는 장치를 개발하고, 이를 이용하여 콘크리트 시료의 반사 특성을 측정된 다음 측정 결과를 이용하여 LAPRoad에 의한 휘도 분포를 계산한 결과 측정값에 가까운 결과를 얻었다.

II. LAPRoad의 개발

1. LAPRoad의 구성

LAPRoad 는 크게 여섯 부분으로 나눌 수 있다.

첫째는 사용자가 여러 입력 데이터를 선택하는 부분으로 입력 파일명과 그 경로를 입력한다.

둘째는 입력 파일이 정확하게 입력되었는지를 확인하고 오류가 있으면 그 원인을 설명하여 사용자가 쉽게 오류의 원인을 수정할 수 있도록 하였다.

셋째는 조명 기구의 배광 곡선을 출력하는 부분으로, 이것은 사용자로 하여금 조명 기구의 배광 특성을 쉽게 확인할 수 있도록 하기 위함이다.

넷째는 휘도 및 조도 분포를 비롯한 여러 인자들을 계산하고 출력하는 부분이다.

다섯째는 계산된 휘도 분포와 조도 분포를 사용자가 쉽게 비교 분석할 수 있도록 그래픽 처리하여 출력하는 부분이다.

여섯째는 사용자가 입출력 파일 전체를 확인하고 점검할 수 있도록 하는 부분이다. 이것은 LAPRoad

실행 중 오류가 발생하여 입력 파일을 확인하여야 하거나 휘도 및 조도 분포 이외에 다른 계산인자들을 확인하기 위해 출력 파일을 열어야 할 경우 프로그램을 빠져나가지 않고도 확인할 수 있도록 한 것이다.

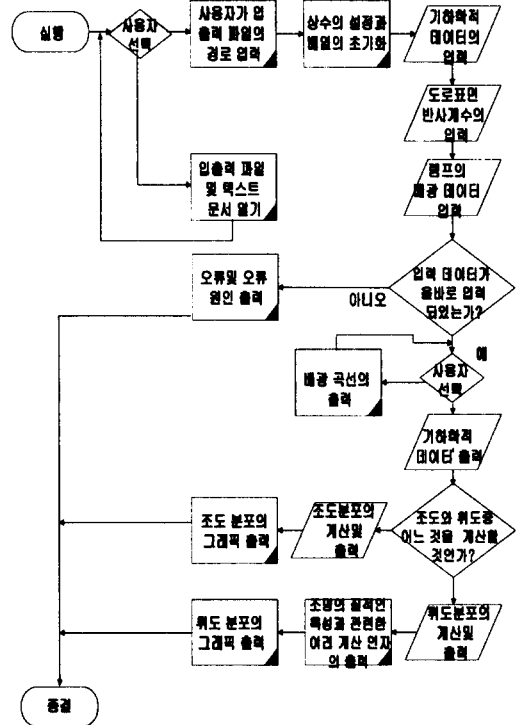


그림 1. LAPRoad의 순서도
Fig. 1. Flowchart of LAPRoad

(1) 입력 데이터의 구성

입력 데이터는 도로 조명 설비의 기하학적 구조 데이터와 노면의 반사 특성 데이터, 그리고 조명 기구의 배광 특성 데이터로 구성되어 있다.

(2) 출력 내용

출력은 설비의 기하학적 구조 데이터와 휘도 및 조도 분포, 그리고 휘도 및 조도 분포 그래프와 조명 기구의 배광 곡선, 그리고 평균 노면 휘도 및 평균 조도, 전반균제도(Overall Uniformity), 차선축균제도(Longitudinal Uniformity), 임계휘도증분(Threshold Increment, TI), 광막휘도(Veiling Luminance ,VL), 글레어 조절 마크(Glare control mark, G) 등 이다.

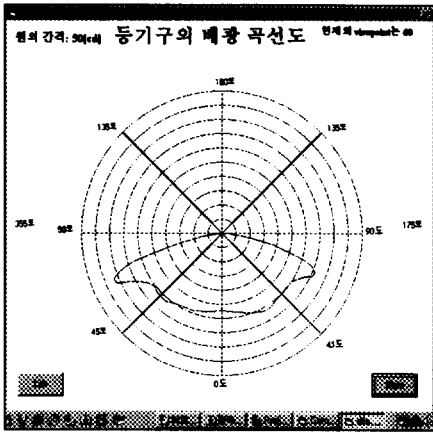


그림 2. 조명 기구의 배광 곡선도
Fig. 2. Intensity distribution diagram of luminaires

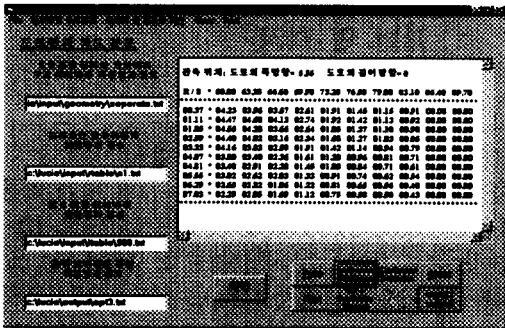


그림 3. 휘도 분포가 계산되었을 때의 활성창
Fig. 3. Active window when luminanc distribution is calculated

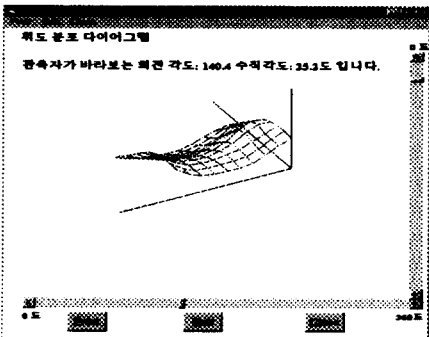


그림 4. 휘도 분포의 그래픽 출력
Fig. 4. An active window when luminance distribution is output with graph

2. 실제 도로에서의 측정값과 계산값의 비교 분석

(1) 측정 도로의 기하학적 구조

작성된 LAPRoad의 정확도를 검증하기 위해 실제 측정할 수 있는 도로 상황을 구성하고, 이에 대해 측정과 계산을 수행하였다. 구성한 도로 상황은 그림 5에서 보는 바와 같이 한 개의 가로등이 설치되었고 램프는 메탈할라이드 램프 400 [W]를 사용하였으며, 가로등의 높이는 10 [m]이다. 측정 범위는 도로 길이 방향으로 26.4 [m]로서 3.3 [m] 간격으로 8곳을 측정하였고, 도로 폭 방향으로 7.4로서 0.74 [m] 간격으로 10 곳을 측정하였다. 관측자는 가로등을 기준으로 60 [m] 전방에 위치하며, 도로 폭 방향으로 길 이상의 균제도를 위한 관측 위치는 각 차선의 중앙 선상에 위치하도록 1.65 [m]와 5.35 [m] 두 곳에, 평균 휘도와 글레어를 계산하기 위한 위치는 전체 도로 폭의 1/4에 해당하는 5.55 [m]에 위치시켰으며, 그 높이는 도로면으로부터 1.5 [m] 위치이다.

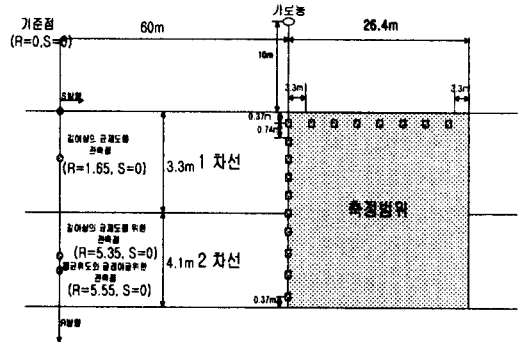


그림 5. 측정 도로의 기하학적 구조
Fig. 5. Measurement road of geometry structure

(2) 조도 분포의 측정값과 계산값의 비교

아래의 표를 보면 측정값이 다소 높게는 나왔지만 측정 도로에 있어서 외광과 함께 램프의 배광 데이터 측정 시 고압 메탈 할라이드 램프를 사용했으므로 램프를 회전시킬 때 특정 각도에서의 아이크의 변형으로 생긴 오차를 감안한다면 그리 큰 오차가 아님을 알 수 있다. (측정값/ 계산값)을 보면 높게는 1.5 까지 나오지만 1.0에서 1.3 정도가 대부분임을 알

도로 조명용 프로그램과 노면 특성 측정 장치의 개발

수 있다. 그러므로 LAPRoad 상에서의 계산값과 현장에서 측정 한 값이 대체적으로 일치함을 보여주고 있다.

표 1. 조도 분포 값의 측정값/계산값
Table 1. Measured value/Calculated value of illuminance

길이 폭	60	63.3	66.6	69.9	73.2	76.5	79.8	83.1
0.37	1.3	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.4
1.11	1.3	1.3	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
1.85	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	1.6	1.5	1.2
2.59	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.1
3.33	1.2	1.2	1.4	1.2	1.3	1.3	1.2	1.0
4.07	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	0.9
4.81	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	1.0	0.8
5.55	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	0.9	0.9
6.29	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.0	1.0
7.03	1.0	0.9	1.0	1.2	1.1	1.1	1.2	1.1

(3) 휘도 분포의 측정값과 계산값의 비교 분석

휘도 분포의 측정값과 계산값은 조도 분포에서 사용한 도로와 같은 상황에서 비교하였지만, 휘도 계산 시에는 노면의 반사 특성에 대한 고려가 있어야 한다. 즉 휘도는 도로 표면의 반사 특성에 따라 크게 변하기 때문에 도포 표면 반사 특성을 달리하면서 분석을 행하였다. 표 2 에서 알 수 있듯이 오차의 평균은 N1이 작고 다음으로 R1이 작지만 편차는 R1이 작고 다음으로 N1이 작은 것으로 나타났다. N1 과 R1 의 도로 표면 반사 특성은 같은 부류의 표면으로 간주되므로, 이 차이는 그리 중요하지 않으며 R1 과 N1의 반사 특성을 갖는 도로는 ① 적어도 15%의 인공 첨가제를 갖는 아스팔트 도로 표면이거나 ② 도로 표면의 80%이상 부스러기로 입혀진 표면이며 그 부스러기는 많은 인공첨가제나 100%의 매우 밝은 아노사이트로 존재하는 표면. ③ 콘크리트 도로 표면이다[2].

여기서 실험 샘플의 종류는 콘크리트 도로 표면이므로 N1 과 R1 의 도로 표면 반사 특성에 포함한다고 할 수 있다. 하지만 보다 정확한 휘도값의 계산을 위해서라면 정확한 도로 표면 반사 특성 값이 필요하며, 계산하고자 하는 대상의 도로에서 직접 도로 표면 반사 특성을 측정하여 LAPRoad에 입력하는 것이 바람직할 것이다.

표 2. 콘크리트 시료의 계산된 휘도값의 분석
Table 2. Analysis of calculated luminance value for concrete

반사 특성 등급	휘도 분포의 (측정값/계산값)의 평균	편 차
N1	1.37	0.15
N2	2.56	0.12
N3	3.78	0.13
N4	4.9	0.14
R1	1.68	0.15
R2	3.03	0.15
R3	4.54	0.14
R4	4.97	0.17

III. 노면 반사특성 측정 장치의 개발 및 측정

1. 노면 반사 특성의 측정

(1) 도로 표면 반사 특성의 측정 범위

감쇠 휘도 계수 r 의 측정 범위를 보면, 수평 회전 각 β 는 0-2-5-10-25-30-40-45-60-75-90-105-120-135-150-165-180도 순서로 측정되고, 수직각 γ 는 $\tan \gamma$ 값이 0-0.25-0.5-0.75-1-1.25-1.5-1.75-2-2.5-3-3.5-4-4.5-5-5.5-6-6.5-7-7.5-8-8.5-9-9.5-10-10.5-11-11.5-12가 되는 각도의 순서로 측정된다[3].

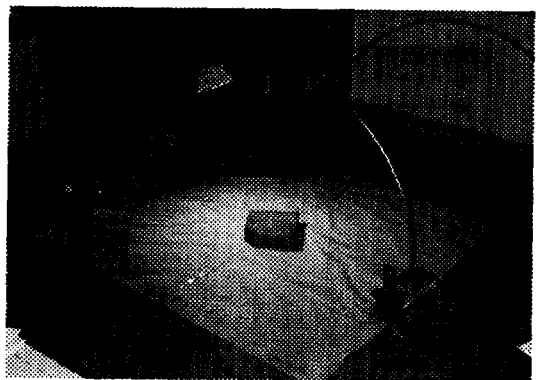


그림 6. 개발한 r-table 측정장치
Fig. 6. Developed measuring apparatus for r-table

램프는 양구금형 100W 할로젠 램프를 사용하였으며 휘도계의 시준 영역에서 조도값이 균일하도록 하는 조명 기구를 선택하였다. 도로의 샘플은 콘크리트 면을 사용하였고 측정 범위는 위에서 설명한 바와 같은 β 각과 γ 각의 범위에 맞추도록 하였으며, γ 각에 대하여 그 간격이 너무 세밀한 부분은 주변 각도에서 측정된 값들의 보정을 취하여 구하였다.

2. 노면 반사 특성의 측정 결과

(1) 측정된 r 값

표 3 은 실제로 측정된 감쇠 휘도 계수값을 β 와 γ 에 대해서 표시한 값이다.

표 3. 측정된 r 값
Table 3. measured r values

γ β	0	45	63.4	76	80.5	83.3	84.6	85.9
0	804	524	270	101	65	43	30	18
5	798	503	251	92	58	39	27	16
10	792	483	231	83	52	34	24	15
20	780	441	192	65	39	26	18	11
30	765	385	136	38	18	13	9	6
40	772	415	183	63	39	26	18	11
60	748	327	104	27	13	8	6	3
75	739	306	96	25	12	8	6	4
90	731	285	89	23	11	8	6	4
105	757	295	94	25	13	9	7	5
135	797	400	141	44	22	17	13	10
150	792	426	157	51	27	21	16	12
180	805	389	134	44	22	17	14	11

(2) CIE 분류법에 의한 측정 결과의 분석

그림 7 과 그림 8[4] 은 S1, S2, Q0 값에 의해 도로의 표면이 어느 부류에 속하는지를 보여주고 있다. 여기서 S1, S2 는 정반사 인자이며, Q0는 평균 휘도 계수이다. 또한 S1, S2, Q0 는 CIE에서 추천하는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$Q0 = \frac{\int_{\Omega} q \cdot d\Omega}{\int_{\Omega} d\Omega}$$

$$S1 = \frac{r(0,2)}{r(0,0)}, S2 = \frac{Q0}{r(0,0)}$$

단, $r(0,0)$ 는 등기구의 직하점, $r(0,2)$ 는 $\beta=0, \tan \gamma=2$ 인 경우를 나타낸다[5].

S1, S2, Q0 값을 위의 식에 의해 구하면, Q0는 0.1678, S1=0.34, S2=2 이다. 이 값을 가지고 그림 7 과 8 에서 보면 측정된 반사 특성의 값이 어느 정도의 위치에 있는지를 알 수 있다. X 표시한 곳이 그 위치이다. CIE 추천에 의하면 N1, R1 등급의 도로 표면과 같은 콘크리트 도로 표면임에도 불구하고 측정값은 N1, R1 등급과 거리가 멀다. 이것은 측정된 콘크리트 도로 샘플의 표면이 백화현상 상태에서 그 표면을 측정하였기 때문에 발생한 오차이었다.

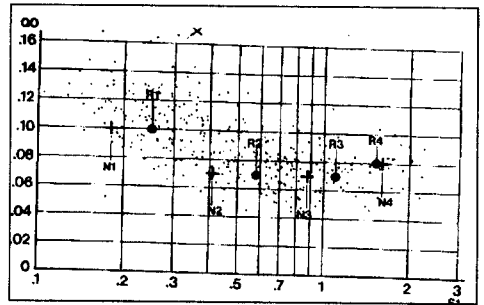


그림 7. S1과 Q0에 의한 도로 표면의 분류
Fig. 7. Classification of road surface with Q0 and S1

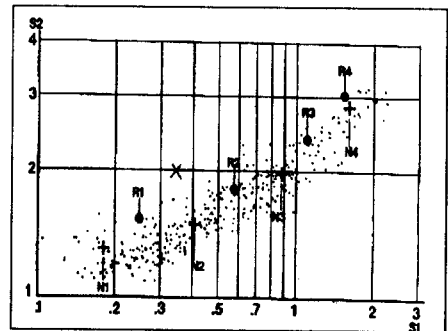


그림 8. S1 과 S2 에 의한 도로 표면의 분류
Fig. 8. Classification of road surface with S2 and S1

(3) LAPRoad를 통한 계산치와 측정치의 비교

LAPRoad를 통한 계산치와 측정치의 분석을 위해서는 먼저 CIE에서 추천한 콘크리트 표면인 R1, N1 등급의 r-table을 입력하여 계산된 휘도값과 실제 도로에서 측정된 휘도값을 비교하였고, 그 다음 실제

측정한 r-table를 입력으로 한 계산값과 실제 도로에서 측정한 휘도값을 비교하였다. R1의 계산값과 N1의 계산값 그리고 실제 도로의 측정값의 비교는 표 4에 나타나 있다. 표 4를 보면, 평균 오차는 R1과 N1일 때보다는 1.21로 작아 졌지만, 편차는 0.277로 오히려 커졌다. 오차가 작아 졌다는 면에서 볼 때, 정확한 휘도값의 계산을 위해서는 r-table을 계산하고자 하는 노면의 반사 특성을 직접 측정하여야 한다는 사실을 증명하는 것이며, 편차가 커졌다는 사실은 (2)의 CIE 분류법[6~7]에 의한 측정 결과의 분석에서 살펴본 바와 같이 측정 과정에 있어서 휘도계의 시준 영역에서 균일한 조도를 갖도록 하는 광원의 선택에 있어서의 문제, 휘도계의 측정 범위의 문제로 인한 것이다.

표 4. 측정된 휘도값/R1, N1, 측정된 r-table이 입력되었을 때의 계산값
Table 4. Measured luminance/calculated value when R1, N1, measured r-table is input

입력된 r-table	평균 오차	편차
R1	1.68	0.15
N1	1.37	0.15
측정된 r-table	1.21	0.28

N. 결 론

앞으로 계산한 결과를 보다 쉽게 파악할 수 있는 등조도, 등휘도 곡선 그리기 기능을 첨가하고, 원하는 조도 및 휘도값을 달성할 수 있도록 기하학적인 변수를 자동적으로 설정해주는 기능을 갖도록, LAPRoad를 수정해 나갈 예정이다.

또한 노면 반사 특성의 측정 장치를 개발하여 시료의 반사 특성을 측정하였으며 이를 휘도 계산에 적용하였다. 이 과정에서 발생한 측정장치에서 채택한 광원의 문제, 휘도계의 측정 범위의 문제 등을 개선할 수 있는 측정 방법을 앞으로 연구해 나갈 것이다.

참 고 문 헌

- (1) IESNA LM-69, IESNA Approved Guide for the Interpretation of Roadway Luminaire Photometric Report, 1995
- (2) OE, "Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting", Technical Report, Pub 30-2, 1982, 2/e
- (3) J.R Coaton et al, Lamps and Lighting, 4/e, Arnold, 1997
- (4) ANSI/IES RP-8-1983, American National Standard Practice for Roadway Lighting, 1983
- (5) OE Technical Report, Pub. No. 115-1995, Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, 1995
- (6) JIS 道路照明 基準, JIS Z 9111-1988 (1993 確認).
- (7) OE Technical Report, Pub. No. 34-1997, Road Lighting Lantern and Installation Data-Photometrics, Classification and Performance, 1977

◇ 저자 소개 ◇

김기훈 (金紀勳)

1970년 4월 24일생. 1997년 강원대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 2월 강원대 공대 전기공학과 대학원 석사 졸업 예정.

심상만 (沈相萬)

1995년 8월 20일생. 1993년 서울 산업대학교 전기공학과 졸업. 1995년 강원대 산업대학원 전기공학과 (석사). 1998년 강원대 대학원 전기공학과 박사 과정. 현재 춘천 기능대학 전기기술학과 전임 강사

김 훈 (金 燾)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 서울대 대학원 전기공학과 (석사). 1988년 서울대 대학원 전기공학과(박사). 1993년 호주 국립대학 방문 교수. 현재 강원대 공대 전기전자공학부 교수. 당학회 편수 이사.