

# 백열전구 스위칭용 트라이액의 신뢰성 향상 방안

(A Method of Reliability Improvement of TRIAC for Incandescent Lamp switching)

김순기\*

(Soon-Gi Kim)

## 요 약

백열전구 시스템의 설계에서 스너버 회로의 설계는 백열전구의 특성을 고려하는 것이 대단히 중요하다. 특히 서지전압 유입시 백열전구의 과도특성은 설계시 보다 많은 설계사양들을 제공하게 된다.

본 논문에서는 서지전압 유입시 과도특성에 근거한 백열전구의 동작모델을 등가회로로 나타냈다. 이 모델은 제조사가 다른 백열전구에도 광범위한 적용이 가능하다.

본 논문에서 제시한 모델이 실질적으로 효율성이 있음을 나타냈으며, 스너버 회로와 리액턴스( $L_s$ ) 설계시 백열전구의 서지전압 및 과도특성에 의한 최적설계를 더욱 명확히 할 수 있다.

## Abstract

In designing an incandescent lamp system a snubber circuit design heavily relies on the characteristics of a incandescent lamp under consideration. Especially, at surge voltage, the transient characteristics of an incadescent lamp puts much higher specifications of a design.

In this paper, based on the transient characteristics at the surge voltage, a transient behaviral model of a lamp is presented with an equivalent circuit. The model is applicable to the wide range of incandescent lamp provided by different manufacturers.

The result shows the model is effective in practice. As a result, we could identify more accurate surge voltage constraints to decide the design of either a snubber circuit or a reactance  $L_s$ .

## 1. 서 론

반도체의 발달로 센서 스위치(sensor switch),

원격제어 스위치(remote control switch) 등에 사용되는 트라이액 소자가 백열전구의 필라멘트가 수명을 다하여 단선시에만 극소수의 TRIAC이 열화 또는 파괴되는데, 이러한 현상의 원인을 규명하여, 트라이액의 물성과 설계기술 및 부하의 단락에 따른 과도현상 문제를 면밀히 분석하여 회로의 최적설계

\*정회원 : 신성전문대학 전기과 전임강사

접수일자 : 1997. 10. 18

및 신뢰성 향상 방안을 제시하고 원격제어 및 모니터링 등 신제품 개발과 현재의 생산품에 대한 신뢰성을 향상시키고 고품질의 제품을 생산하기 위한 방안에 중점을 두고 과도특성 등을 분석하였다.

트라이액(TRIAC)의 용도는 교류부하인 램프, 유도전동기의 기동과 속도제어, 히터 등을 on, off하는 것 뿐만 아니라 위상을 제어함으로써 램프의 광량, 히터의 온도, 모터의 회전속도 등을 제어할 수 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 트라이액의 정격전류 선정방법

반도체 스위칭 소자가 동작할 때 일정한 스위칭 시간, 즉 턴온 시간(turn on time)  $t_{on}$ 과 턴오프 시간(turn off time)  $t_{off}$ 가 존재하며, 이때 전압 및 전류가 중첩(crossover)되며 전력손실은 스위칭 시간에 비례하게 된다.

TRIAC 정격전류 선정기준은 실제로 흐르는 실효 전류( $I_{rms}$ )의 2배 이상의 정격 전류를 갖는 트라이액 용량을 선정해야 한다. 예를들어 정격전류가 3[A]<sub>rms</sub> 흐른다고 하면, 정격용량이 6[A]~8[A]인 TRIAC을 사용하는 것이 좋을 것이다.

사용할 제품의 기준이 정해지면, 열계산에 의해 접합부의 온도(T)<sub>j</sub>를 측정하고, 방열핀의 크기나 최종적인 사용가부를 검토한다.

여기서 주의해야할 것이 "돌입전류"의 유무이다. 트라이액에는 서지전류(surge current)  $I_{TSM}$ 의 규정이 있다. 통상 이것은 '비반복'에 관한 규정이며, 이 '비반복'이란 소자의 전사용시간에 있어서 누적횟수의 총합이 100회정도 이하의 이상시 전류(예를들면 부하단락 전류  $I_s$  등)를 대상으로 한 것이다. 전원 투입시 돌입전류 등에는 적용할 수 없다.

이와같은 경우는 돌입시의 접합부 온도를 산출하여, 최대정격의  $T_{MAX}$ 를 넘는 경우는 전류정격 규격을 높이든가 위상제어 등에 의해 돌입전류를 억제할 필요가 있다. 또한 최근에는 반복 돌입전류 내량이 강한 트라이액도 상품화되고 있기 때문에 이것을 이용한 것도 하나의 방법일 것이다.

TRIAC의 정격전압은 서지전압등을 고려하여 교

류 전원전압에 의해 선정하는데, 120[V] 이하의 전원전압에는 400[V] 또는 그 이상의 정격품을, 240[V] 이하의 전원전압에는 트라이액 용량이 600[V] 이상의 정격품을 선정하여야만 소자와 회로를 보호할 수 있다.

그러나 예외로서 단상 모터의 정회전 및 역회전 제어 등은 기동용 콘덴서의 충전전압에 의해 전원전압의 약 2배인 전압이 트라이액에 인가되기 때문에 전원 전압이 100[V]인 경우 600[V] 정격의 트라이액을 사용하는 것이 좋다. 또한 인덕턴스  $L_s$  성분의 영향 등으로 트라이액의 정격전압을 넘는 서지전압이 인가되는 경우도 1랭크 상위의 전압 정격품을 사용하는 것이 좋다.

### 2.2 CR 스너버 회로 : $\frac{dv}{dt}$ 보호

스너버 회로(smubber circuit)는 전력용 반도체 디바이스의 스위칭시 디바이스에 인가되는 고전압과 스위칭 손실을 감소시키거나 전력용 스위칭 소자의 2차 항복 파괴를 방지할 목적으로 설계하는 보호회로이다. 일반적으로 트라이액은 스너버 회로라 부르는 콘덴서와 저항으로 구성되는 노이즈 방지회로를 사용한다. 그 이유는 주로 오동작 방지와 과전압으로부터 디바이스 열화와 파괴를 보호할 수 있기 때문이다.

$\frac{dv}{dt}$ 와  $C(\frac{dv}{dt})$ 를 억제하거나 임펄스 노이즈 등을 흡수함으로써 트라이액이 오동작하는 것을 방지하는 것과  $L_s$  성분 등의 영향이나 외부 서지등에서 트라이액에 인가되는 서지 전압을 흡수하여 트라이액이 파괴하는 것을 방지하는데 효과가 있다.

### 2.3 스너버 회로의 정수 결정법

#### 2.3.1 스너버 회로 콘덴서( $C_s$ ) 용량 계산

먼저 요구되는 노이즈 레벨을 제거하는 콘덴서(C)를 선정하고, 콘덴서로부터의 방전전류 등을 확인하고 트라이액에 손상을 주지 않는 저항값을 선정한다.

콘덴서의 용량은 식 (1)로부터 구할 수 있지만, 배

치(배선길이)나 패턴에 의해서도 변하기 때문에 최종적으로는 노이즈 시험을 실시하고, 상수를 선정할 필요가 있다.

$$C_s = \frac{0.634 E_p}{\left(\frac{dv}{dt}\right) \cdot R_L + R_s} \quad (1)$$

여기서,  $E_p$  : 인가 피크(peak) 전압  
 $R_L$  : 부하저항  
 $R_s$  : 스너버(snubber) 저항

이다. 일반적으로 위식에서 계산한 스너버회로의 콘덴서 용량은

$$C_s = 0.022 \sim 0.2 [\mu F]$$

$$R_s = 10(47) \sim 120 [\Omega]$$

정도이고 이 범위에서 선택하면 문제가 거의 없다.

$C_s$ 는  $0.022 \sim 0.2 [\mu F]$  범위내 용량을 선정해야 하며,  $(dv/dt)$ 는 수  $[V/\mu s]$ 에서  $50 \sim 60 [V/\mu s]$  사이에서 결정된다.  $C_s$ 는 메탈라이즈드 페이퍼 콘덴서(MP : Metalized paper capacitor) 또는 메탈라이즈드 폴리에스테르 콘덴서(Metalized polyester capacitor)를 사용한다. 또한  $100 [V]$  라인에는  $250 \sim 400 [V]$ 의  $C_s$ 를 사용하고,  $200 [V]$  라인에는  $400 \sim 600 [V]$ 의  $C_s = 0.022 \sim 0.2 [\mu F]$ 를 선정하여 설계한다.

### 2.3.2 스너버 저항( $R_s$ )용량 계산

스너버 저항  $R_s$ 의 값은 디바이스가 턴오프(turn-off)후에  $C_s$ 의 순시 방전전류를 제한한다.  $R_s = 0$ 일 때는 높은 침투 방전전류와 높은  $(di/dt)$ 값이 소자에 인가된다. 일반적으로  $100 [V]$  라인에서는  $R_s$ 는  $1/2 [W]$   $10 \sim 20 [\Omega]$  정도로 선정하고,  $200 [V]$  라인에서는  $2 [W]$   $20 \sim 30 [\Omega]$  정도를 선정함이 좋다.

$$P_{rs} = \frac{C_s V_a^2 f}{2} [W] \quad (2)$$

여기서  $V_a$  : 단자전압,  $f$  : 전원 주파수이다.

## 2.4 게이트 외부의 노이즈 보호 대책

### 2.4.1 트라이앵의 게이트와 콘덴서 $C_{GK}$ 의 병렬접속

콘덴서  $C_{GK}$ 를 게이트와의 병렬접속하여 고주파 게이트 노이즈의 클리핑 역할과 디바이스의  $dv/dt$  용량을 개선한다.  $C_{GK}$ 의 용량은  $0.01 \sim 0.1 [\mu F]$  이내로 선정하는 것이 좋다.

게이트 신호의 배선이 길어지면 노이즈가 발생하기 쉬워진다. 이러한 경우에는 게이트-T<sub>1</sub>간에 콘덴서  $C_{GK}$ 를 삽입하면 효과적이다.  $C_{GK}$ 는  $\frac{dv}{dt}$  등의 노이즈에도 효과가 있다.

$R_{GK}$ 는 반드시 삽입해야 하는 것은 아니지만, 노이즈로부터의 보호에는 효과가 있다. 단,  $R_{GK}$ 에 게이트 전류의 일부가 바이패스 하므로 외관상  $I_{GT}$ 가 커진다. 게이트 감도와 노이즈 내량에서 어느 쪽을 우선적으로 사용할 것인지의 여부를 결정한다.

### 2.4.2 게이트와 저항 $R_{GK}$ 의 병렬 접속

$R_{GK}$ 의 정수는  $1 [A]$ 급의 경우  $500 \sim 1 [k\Omega]$ 정도,  $3 [A]$ 급의 경우  $100 \sim 200 [\Omega]$ 정도,  $6 \sim 25 [A]$ 급에서는  $50 \sim 150 [\Omega]$ 정도의 값을 선정해 두면 거의 확실하다.

$R_{GK}$ 에 바이패스하는 전류는  $V_{GT}/R_{GK}$ 로 된다. 게이트 전류가 부족하지 않도록 주의가 필요하다.

### 2.4.3 애노드( $T_2$ )에 $L_s$ 의 접속

직렬 인덕턴스  $L_s$ 를 연결함으로써  $di/dt$ 를 억제시키는 역할을 하며,  $L_s$ 용량의 최소값은 다음식에 의하여 계산한다.

$$L_s = \frac{\text{과도 애노드 } T_2 \text{ 침투전압}(V_p)}{(\text{소자 } di/dt \text{ 내량}) \times \text{여유}} \quad (3)$$

예를들면  $di/dt = 50 [\mu s]$ 일때,  $V_p = 1,250 [V]$ 라면  $80 [\%]$ 의 여유를 주면,  $L_s = 1,250/50 \times 0.8 = 30 [\mu F]$ 이다. 또한  $L_s$ 의 인덕턴스는 보통  $1 [m\Omega]$ 정도 이므로 시정수  $\tau = L/R$ 은 수  $10 [ms]$  정도로 된다.

트라이앵의 애노드에 직렬로  $L_s$ 를 연결하면 턴온시 시정수를 제어할 수 있는데,  $L_s$ 가 값이 커지게 될수록 시정수는 크게되어 과도현상은 오랫동안 지속되어 디바이스 열화에 영향을 주게되며, 백열전구 단선시에 유입되는 과전전류로 인하여  $L_s$ 에서 에너지가 축적되므로 선정에 주의해야 한다.

2.5 부하 단락에 따른 과도현상 해석

2.5.1 과도전류 발생원리

온도복사를 이용한 백열전구 내부에 30[W] 이상의 전구는 가스(gas)를 봉입하는데, 100[V] 전구에서는 아르곤(Ar) 85%, 질소(N) 15%를 봉입하고 200[V] 전구에서는 아르곤 50[%]이다. 이와 같이 아르곤에 질소를 봉입하는 이유는 순아르곤의 아크(arc) 전압이 낮아서 아크가 발생하기 쉬우므로 이것에 질소를 봉입하여 아크를 억제한다. 또한 백열된 텅스텐에 화합하지 않고 열전도율이 적으며 전리전압이 높은 가스를 봉입하면, 가스압력으로 필라멘트(텅스텐)의 증발을 억제하여 수명이 연장되고 고온으로 유지되므로 발광효율을 개선시킨다. 일반적으로 2중코일 필라멘트가 효율이 높는데, 가스압은 보통 600[mmHg] 정도로 봉입하고 점등시 1기압 정도로 한다.

그러나 사용 시간이 증가함에 따라 필라멘트는 서서히 증발하여 결국에는 필라멘트가 단선되어 수명이 다하게 된다. 이때 단선직전의 상태를 생각해 보자. 필라멘트가 단선직전에 떨어지면서 아주 작은 공극(air gap)이 생겨 두 전극 사이에 아크의 소멸에 의해  $L \cdot dt/di$ 의 induction kick이 발생하여 매우 큰 과도전류가 발생하여 전기에너지가 램프의 필라멘트에서 빛에너지로 소비되지 않고, 열적불평형을 거치면서 정상상태보다 훨씬 큰 과도전류가 회로 내부로 유입되어 반도체 소자인 TRIAC을 열화 또는 파괴시키게 된다.

일반적으로 대기중에서 우주선이나 방사선에 의하여 공기의 일부가 항상 전리(ionization)되어 정부(正負)의 이온이 발생하고 있으나, 한편에서는 이온의 확산(diffusion)이나 재결합(recombination)으로 소멸되고 있다. 불꽃전압  $V_s=f(p \times d)$ [V]가 된다. 여기서 f는 함수이고 p는 기체압력이고 d는 전극간격이다.

본 논문에서는 정격전압 110[V] 100[W] 백열전구에 220[V] 전압을 인가하여 외부에서 강제적으로 열화조건을 만들어, 트라이액의 애노드 T<sub>2</sub>에 직렬연결 인덕턴스 L<sub>s</sub>에 따른 과도전류 파형으로부터 측정값을 구하였다. 그림에서 아래부분에 화살표로 표시

된 굵은실선 왼쪽부분은 정상전류를 나타내고 화살표 지점의 굵은 실선이 과도전류 파형이며, 그림의 오른쪽 부분 우측 중앙부분에 표시된 1의 파형은 정상 상태에서 과도전류 진행과정을 나타낸 것이고 A 파형은 과도전류를 확대한 파형을 나타낸다. 본 시험에서 인덕턴스 L<sub>s</sub>값이 0~150[μH]일 때 과도전류 I<sub>p-p</sub>는 31.5~97.87[A]이고 과도현상 지속시간은 120~275[ms]이다. 또한 L<sub>s</sub>가 0[H]일때 I<sub>p-p</sub>는 96.1[A], 과도현상 지속시간은 219.8~251.5[ms]이다. 따라서 L<sub>s</sub>가 클수록 반도체 소자인 트라이액을 열화 또는 파괴로부터 방지할 수 있다. 그러므로 식 (3)에 의하여 계산한 L<sub>s</sub>를 선정하는 것이 바람직하다. 따라서 L<sub>s</sub>가 클수록 과도전류는 약간 감소하며, 과도전류 지속시간은 감소하는 현상이 나타나고 있다. 그러므로 L<sub>s</sub> 값에 따라 과도전류를 제한하는 것도 효과가 있다. 트라이액 내압이나 정격용량을 한단계 상위의 값을 선정하는 것이 효과적이다.

표 1. 과도전류 및 시정수

Table 1. Transient current and time constant

인덕턴스 용량 L <sub>s</sub>	I <sub>p-p</sub> [A]	τ[ms]
0[H]	96.1	219.8~251.5
100[μH]	95.25	228
125[μH]	95.94	234
130[μH]	31.5~97.87	180
50[mH]	90~92	120~135
70[mH]	93.2	132~145
100[mH]	95.5	172~185

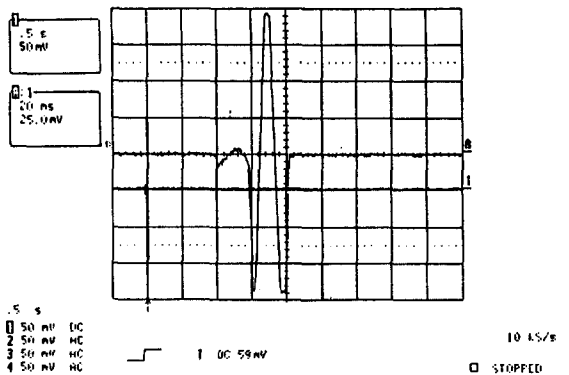


그림 5. 과도전류 특성 실험파형 : 0[H]  
Fig. 5. Transient current characteristic : 0[H]

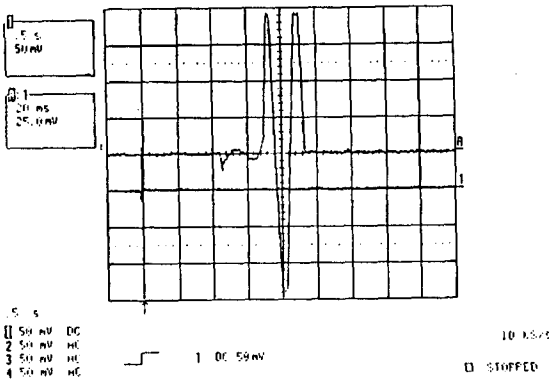


그림 6. 과도전류 특성 실측파형 : 100[H]  
Fig. 6. Transient current characteristic : 100[H]

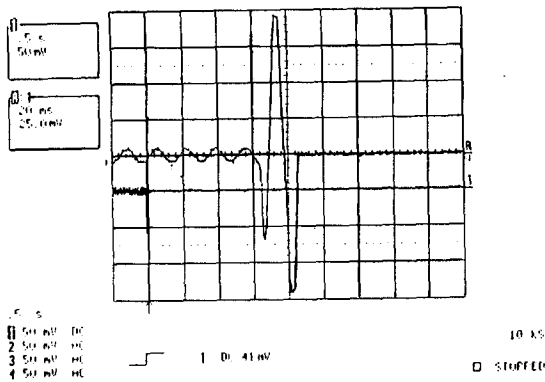


그림 7. 과도전류 특성 실측파형 : 50[H]  
Fig. 7. Transient current characteristic : 50[H]

그리고 표 1은 트라이액의 애노드  $T_2$ 에 직렬 연결된 인덕턴스  $L_s$ 값에 따른 과도전류 측정결과를 나타낸다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 100[V], 100[W] 정격의 백열전구 스위칭용 트라이액(TRIAC)의 신뢰성 향상을 위하여 스너버회로를 구성하였고, 리액턴스  $L_s$ 값에 따라 과도전류를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었으며, 과도특성 개선 및 향후 신제품 개발에 효과가 기대된다.

- 1) 정격전류 선정 : 실효전류의 2배 이상의 정격을 선정한다.
- 2) 정격전압 선정 : 교류전압에 의해 선정하는데

120[V]이하 라인에서는 400[V] 정격품을, 240[V]이하 라인에서는 600[V]이상의 정격품을 사용한다.

3) 과도전류 및 서어지전압에 대한 CR 스너버 회로 채택

(1) 스너버 회로 콘덴서  $C_s$  용량계산 : (1)식에 의하여  $0.022 \sim 0.2[\mu F]$ 사이의 값을 선정할 때 내압을 고려 100[V] 라인에서는 250~400[V], 200[V] 라인에서는 400~600[V]를 선정한다.

(2) 스너버 저항  $R_s$  용량계산 : (1)식과 (2)식에 의하여 계산하여  $10 \sim 120[\Omega]$  사이에 있는 값을 선정하되 100[V] 라인에서는  $1/2[W]$   $10 \sim 20[\Omega]$ , 200[V]라인에서는  $1 \sim 2[W]$   $20 \sim 30[\Omega]$ 을 선정한다.

(3) 트라이액의 게이트와  $T_1$ 사이의 콘덴서  $C_{GK}$ 를 연결하여  $dv/dt$ 등의 노이즈를 억제한다. 또한 게이트와  $T_1$ 사이에  $R_{GK}$ 를 연결하여 노이즈로부터 보호한다. 게이트 신호의 배선이 길어지면 노이즈가 발생하기 쉬워지므로 배선길이를 짧게한다.

$C_{GK}$ 용량 :  $0.01 \sim 0.1[\mu F]$

$R_{GK}$ 용량 : 1[A]급은  $500 \sim 1[k\Omega]$ , 3[A]급은  $100 \sim 200[\Omega]$ , 6~25[A]급은  $50 \sim 150[\Omega]$ 을 선정하면 된다.

4) 트라이액의  $T_2$ 와 직렬 인덕턴스  $L_s$  연결 : 식(3)에서 계산하여 선정한다.

인덕턴스  $L_s$ 값이  $0 \sim 100[mH]$ 일 때 과도전류  $I_{P-P}$ 는  $31.5 \sim 97.87[A]$ 이고 과도현상 지속시간은  $120 \sim 275[ms]$ 이다. 또한  $L_s$ 가  $0[H]$ 일 때  $I_{P-P}$ 는  $96.1[A]$ , 과도현상 지속시간은  $219.8 \sim 251.5[ms]$ 이다. 본 논문에서는 표 1에서 보는 바와같이 트라이액 용량을 결정할 때 과도특성이 최소인  $50[mH]$ 를 적용하는 것이 스위칭 소자로서 신뢰성을 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다. 그러므로 식(3)에 의하여 계산한  $L_s$ 를 선정하는 것이 바람직하다. 따라서  $L_s$ 가 클수록 과도전류는 약간 감소하며, 과도전류 지속시간은 감소하는 현상이 나타나고 있다. 따라서  $L_s$ 값에 따라 과도전류를 제한하는 것도 효과는 있으나 트라이액 내압이나 정격용량을 한단계 상위의 값을 선정하여 트라이액 소자의 열화와 파괴를 방지하

는 것이 효과적이다.

반도체 부품을 사용하여 각종 기기 및 제품을 제어하려면 전력변환회로와 전자회로 및 제어회로가 필수적으로 반하게 되는데, 신뢰성 있는 응답을 얻기 위해서는 각종 소자의 구조와 특성을 정확히 이해한 후 부분적 해석과 종합적 해석을 병행하여야만 스위칭용 트라이액의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

[1] V.J. Francis, "Fundamentals of Discharge Tube Circuit", Metherul and Co. L.T.D., London, 1948.

[2] J.K.Ham, S.Y.Lee, S.H.Baek, K.Y.Lee, "A Transient Modeling of a Fluorescent Lamp at Start-Up Time", ICPE '95. pp. 586~590, October 10~14, 1995.

[3] Yiyong Sun, "PSPICE modeling of electronically ballasted compact fluorescent lamp system", IEEE- IAS Annual Meeting, pp. 2311~2316, 1993.

[4] C.R.Sullivan and A.C. Drescher, "Influence of on-time and use frequency on cost effectiveness of compact fluorescent lamps", IEEE- IAS Annual Meeting, pp. 2283~2290, 1993.

[5] Lowke, J.J., Zollweg, R.J., "Theoretical prediction of accharacteristics of mercury arc lamps", Journal of IES, pp. 253~259, July 1975.

[6] W.S.N Trimmer and K.J.Garbnel, "Design Consideranions for a Practical Electrostatic Micronotor", Sensorn and Actuators, 11, pp. 189~206, 1987.

[7] E. E. Hammer, "Fluorescent Lamp Starting Voltage Relanioships at 60[Hz] and High Frequency", Journal of IES, pp. 36~46, October 1983.

[8] E. E. Hammer, "Fluorescent System Interactions with Electuronic Ballast", Journal of IES, pp. 56~63, winter 1991.

◇ 著 者 紹 介 ◇



김 순 기(金順基)

1962년 3월5일생. 1985년 호서대 공대 전기공학과 졸(학사). 1988년 광운대 대학원 전기공학과 졸(석사). 1997년 호서대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 현재 신성전문대학 전임강사.