

# 트라이액을 이용한 단상 유도전동기의 Soft Starting Switch에 관한 연구

(A Study on the Soft Starting Switch  
of Single Phase Condenser Induction Motor Using TRIAC)

강용석\* · 신대철 · 최종문

(Eung-Seok Kang · Dae-Chul Shin · Choung-Moon Choi)

## 요 약

단상 유도전동기의 기동전류는 정격전류의 3~6배로 전등의 명멸, TV 화면의 산란, 전동기의 절연 열화, 옥내배선의 순간적인 열화 등을 발생시켜 전력손실, 가전제품의 효율저하 및 수명을 단축시키고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서는 트라이액과 교류변류기를 사용하여 기동전류를 3.7[%] 감소시키는 방법을 제안하였으며, 또한 반도체 소자를 사용함으로써 수명은 반영구적임을 확인하였다.

## Abstract

In general the starting current of single phase induction motor is 3 to 6 times of the rated current. It make flickering an electric lamp, dispersion a TV screen, insulation destructing an electric motor and momentary blazing of house wiring. Thus it happens losing an electric power loss and reducing an efficiency and a life of home electrical apparatus. In this paper, we proposed the method of reducing starting current with 3.7[%] using TRIAC and ACCT(alternated current current transformer) in order to improve the above problem. And also we verified semipermanent system with using semiconductor element.

Key Words : Single Phase Induction Motor, Soft Starting Switch

## 1. 서 론

산업기술의 급속한 발전으로 단상 유도전동기는 가정용을 비롯하여 농업용, 산업용에 이르기까지 다양하게 사용되고 있다. 따라서 그 사용 조건에 따라 기동과 정지를 빈번히 할 경우 전동기의 고효율, 견고성 및 안정성이 요구되고 있다. 일반적으로 단상

유도전동기는 기동 토크가 크며, 공급주파수의 2배가 되는 순시적인 맥동 토크로 다상 유도전동기에 비해서 소음이 크다. 그러나 전동기를 빈번히 전전압 기동시킬 때 기동전류는 정격전류의 3~6배에 가까운 전류가 짧은 시간이지만, 기동 초기에 흐르게 되어 단상 유도전동기의 원심력스위치는 권선절연, 베어링 등에 큰 영향을 미치어 전동기의 수명이 짧게 되고 기동전류로 인하여 실수요자측에 전기요금을 가중시키는가 하면, 각종 개폐기류, 옥내배선 등에도 극히 짧은 시간에 흐르는 기동전류로 인하여 절연에 악영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 또한,

\* 주저자 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부  
Tel : 041-560-1160, Fax : 041-564-3261

E-mail : kes@kut.ac.kr  
접수일자 : 2004년 3월 5일  
1차심사 : 2004년 3월 9일, 2차심사 : 2004년 4월 8일  
심사완료 : 2004년 4월 20일

전동기에 인접한 전동의 명멸, TV화면의 산란등의 원인으로 효율의 저하와 수명을 단축시키고 있다[1].

단상 유도전동기는 기동시킨 후 기동권선을 개방시켜야 한다. 만약, 기동권선을 그대로 주권선과 같이 사용하면 운전시 기동권선에는 속도전압이 유기되어 전원전압의 위상과 크기가 다르므로 이 전압차에 의하여 순환전류가 전동기의 주권선과 기동권선에 흘러 권선을 가열하게 된다. 이러한 현상 때문에 현재 단상 유도전동기의 축에 원심력스위치를 사용하여 기동권선을 전원으로부터 분리하는 방법을 사용하고 있으며, 기동과 정지가 빈번할 경우 기계적인 접점의 손상과 접점에서 발생하는 불꽃으로 인하여 주위의 폭발성 가스가 있는 장소에서는 사용이 불가능하며, 방폭형의 구조가 요구되고 있다[2-6].

이러한 문제점을 개선하기 위하여 신뢰성 있는 기동장치로 고효율 및 거의 반영구적인 운전을 하기 위하여 Soft starting switch를 개발하였다.

본 연구에서 개발한 Soft starting switch로 대체하면 취급이 간단하고, 속용성이 뛰어나다. 그리고 무접점화한 전자적 기동장치를 기존의 단상 유도전동기에 설치하여 운전특성을 비교 분석하여 실용화하는데 있다.

## 2. 단상유도전동기의 구조 및 특성

### 2.1 기동장치의 구조 및 동작특성

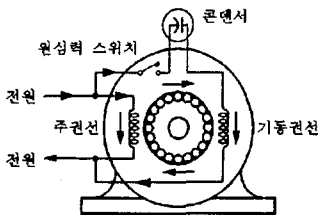


그림 1. 콘덴서 기동형 유도전동기의 내부구조  
Fig. 1. Internal structure of condenser starting type induction motor

단상 유도전동기의 기동방식에는 여러 가지가 있으나 그림 1과 같이 콘덴서 기동형 유도전동기의 기동특성에 대하여 알아보면 주권선의 코일은 굵은 코일로 감겨져서 리액턴스 회로이고, 기동권선의 코일

은 지름이 적은 코일로 감겨져서 저항회로로 가정할 수 있다.

콘덴서 기동형 전동기는 주권선과 극축에  $\pi/2$ 의 위상차가 되도록 기동권선을 설치할 수 있는 고정자 슬롯과 원심력스위치, 콘덴서 등으로 구성되어 있으며, 필수적으로 기동장치를 가져야 한다. 기존의 원심력스위치 구조는 그림 2와 같이 고정부(a)와 회전부(b)로 나누어진다.

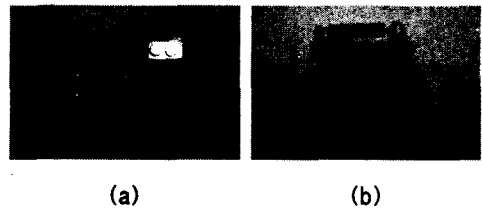


그림 2. 원심력스위치  
Fig. 2. Centrifugal switch

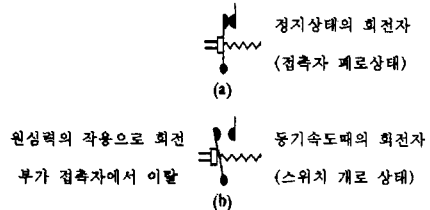


그림 3. 원심력스위치의 동작 순서  
Fig. 3. Operation order of centrifugal switch

그림 3은 기존의 원심력스위치 동작원리는 전동기가 정지하고 있을 때는 그림 3(a)와 같고, 고정부의 두 개의 접촉자는 회전자가 밀어주고 있는 압력 때문에 폐로상태로 되고, 정격속도의 70~80[%] 부근에서 그림 3(b)와 같이 회전부는 원심력으로 인하여 접촉자에 대한 압력을 상실하므로 접촉자는 개방상태로 된다. 기동권선의 개로상태와 폐로상태를 결정하는 시점은 회전부에 있는 스프링의 장력에 의해 결정된다. 단상 유도전동기에서 원심력스위치로 인한 부피의 비율은 전동기 전체 부피 중 약 30[%]를 차지하며, 결국 원심력스위치로 인해서 불필요하게 전동기의 전체 부피가 증가하고, 전동기의 생산 및 공정 면에서도 구조가 복잡한 원심력스위치를 전

동기에 장착으로 인해 생산원가의 상승도 크다[7].

### 2.2 기동특성

단상 유도전동기의 전압 전류 벡터도는 그림 4와 같다.

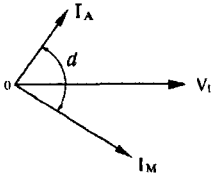


그림 4. 전압 전류의 벡터도  
Fig. 4. Voltage and current vector diagram

기동권선의 전류  $I_A$ 는 단자전압  $V_t$ 보다 위상이 앞서고 주권선의 전류  $I_M$ 은  $V_t$ 보다 위상이 뒤지고  $I_A$ 와  $I_M$ 사이에서 위상차  $a$ 가 생긴다. 이 위상차  $a$ 는 콘덴서의 선정에 따라 거의  $\pi/2$ 에 가깝게 할 수 있으며, 회전자계도 더욱 원형에 가깝게 되어 기동특성이 현저하게 개선되어 200~300[%]의 기동 토크가 얻어진다. 기동시 회전자의 속도가 가속되어 정격속도의 70~80[%]에서 신속하게 전원이 개방되지 않으면 기동권선이 소손되거나 또는 콘덴서가 소손된다. 그러므로 기동 불량으로 전동기의 코일이 손상될 뿐만 아니라 부하측에 치명적인 영향을 줄 수도 있다. 따라서 원심력스위치는 전동기의 수명을 좌우하게 된다.

### 3. 단상 콘덴서 기동형 유도전동기의 Soft Starting Switch 설계

반도체 스위칭 소자로 사용되는 트라이액은 양방향 3단자 사이리스터로 (+)또는 (-)게이트 신호로 전원의 정·부 어떠한 방향으로든 턴-온이 가능하며 상용주파수에서 교류전력제어를 한개의 소자로 제어할 수 있는 특성을 가지고 있다. 트라이액은 I·III 상한에서 전류를 흘릴 수 있는 온 상태와 전류를 흘리지 못하는 오프상태의 두가지 안정상태를 가지며, 상용주파수의 교류전력제어에 널리 쓰이고 있다.

현재 사용되고 있는 단상 콘덴서 기동형 유도전동기에 부착된 원심력스위치 대신 반도체 소자를 사용하여 설계 한다.

그림 5와 같이 Soft starting switch의 회로 구성은 주권선(main)과 기동권선(aux) 및 기동용 커패시터(C)와 교류변류기(ACCT), 트라이액(Q1), 스너버 저항(SR), 스너버 커패시터(SC)로 구성하였다.

교류변류기는 기동시 입력에 흐르는 전류를 검출하여 전압으로 변환한 다음 이 신호를 제로 크로스 스위칭하기 위한 제어신호로 사용하였다. 스너버 저항과 스너버 커패시터는 스너버 회로이며, 스위칭 서지 전압은 전력용 반도체 소자가 턴-오프할 때 주회로 전류의 급격한 변화로 인해 주회로의 인덕턴스에 높은 전압이 유기되는 것에 의해 발생한다. 스너버 회로는 과대한 스위칭 서지 전압을 억제하고, 과전압에 의한 소자파괴를 방지할 목적으로 사용하였다.

트라이액에 의한 교류전력제어방식 중에서 제로 크로스 스위칭을 이용하여 설계하였으며, 제로 크로스 스위칭은 영전압에서 턴-온, 턴-오프되는 동작을 제로 크로스 스위칭(Zero-cross switching)이라 한다.

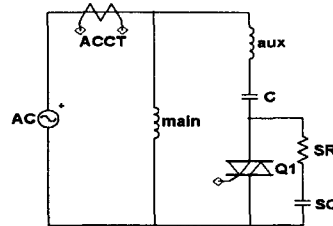


그림 5. Soft starting switch의 주회로  
Fig. 5. Main circuit of Soft starting switch

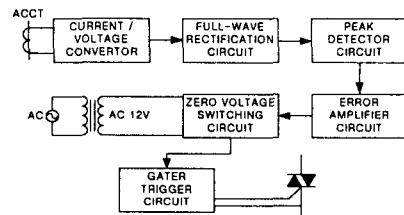


그림 6. 시스템의 블록도  
Fig. 6. block diagram of system

그림 6은 본 연구에서 제로 크로스 스위칭을 이용한 Soft starting switch의 시스템 블록도이다.

제로 크로스 스위칭은 전압 혹은 전류파형이 보통 정현파 형태로 되며, 그 값은 영(Zero)점을 통과하므로 제로 크로스 스위칭을 Soft starting 조건에 만족시켜 줌으로써 기동전류 및 반도체 소자의 스위칭 손실, 전기적 노이즈를 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 7에서 제로 크로스 스위칭은 위상제어 IC를 이용하여 제로 크로스 스위칭을 만족시킬 수 있도록 하였으며, 포토커플러를 사용하여 전기적으로 절연을 하였다.

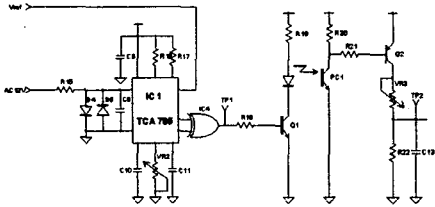


그림 7. 제로 크로스 스위칭회로  
Fig. 7. Zero-cross switching circuit

전원전압을 12[V]로 강압하여 위상제어 IC 1의 입력으로 사용하였으며, C10을 사용하여 펄스폭을 520[us]을 설정하였고, VR2를 조정하여 삼각파를 설정하였다. IC 내부에 있는 비교기에 의해 삼각파와 제어전압을 이용하여 제로 크로스 스위칭할 수 있도록 하였다.

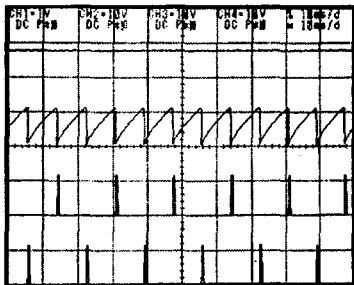


그림 8. TCA 785의 출력파형  
Fig. 8. Output waveforms of TCA 785

그림 7에서 IC1은 2개의 출력값을 발생하며, 첫

번째 Q<sup>+</sup>의 출력은 양의 전압 0[°]~180[°]에 대한 출력값을 입력전압의 위상관계에서 살펴보면 0[°]에서 펄스신호가 발생하며, 그림 8의 3ch의 출력파형과 같다. 두 번째 Q<sup>-</sup>의 출력은 음의 전압 180[°]~360[°]에 대한 출력값은 180[°]에서 펄스신호가 발생하며, 그림 8의 4ch의 출력파형과 같다. 두개의 신호를 EX-OR 게이트를 사용하여 0[°], 180[°]에서 제로 크로스 스위칭한 펄스신호를 출력하게 된다.

그림 8의 파형에서 1ch는 제어전압파형, 2ch는 삼각파형, 3ch는 출력파형(Q<sup>+</sup>), 4ch는 출력파형(Q<sup>-</sup>)을 나타내었다.

그림 9 트리거회로에서 Vin으로 제로 크로스 스위칭 펄스신호가 입력하게 되면 이때부터 IC2에 의해 단상 유도전동기 정격속도까지 설정하였으며, IC2의 설정값과 그림 7의 제로 크로스 스위칭 출력값을 AND 게이트를 사용하여 IC2의 설정값에서만 제로 크로스 스위칭 신호가 트라이액을 턴온 한다. 따라서 IC2의 설정값이 끝나면 게이트 신호는 턴오프하게 한다.

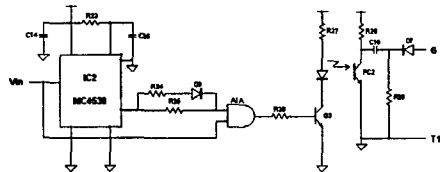


그림 9. 트리거회로  
Fig. 9. Trigger circuit

그림 9의 트리거회로는 C-MOS 단안정 멀티바이브레이터를 이용하여 트라이액의 턴-온 시간을 설정하였다. 출력 펄스폭은 식 (1)과 같다.

$$T_w = 1.1 \cdot R_{23} \cdot C_{15} \quad (1)$$

T<sub>w</sub>는 출력펄스의 폭, R<sub>23</sub>과 C<sub>15</sub>는 시정수

기존 단상 유도전동기의 원심력 스위치는 정격속도의 78[%] 부근에서 기동권선을 전원으로부터 개방되었으며, 소요되는 시간은 132[ms]이다.

위 실험을 통하여 트라이액의 게이트 단자에 부(-)의 신호가 인가되는 것은 그림 10과 같다.

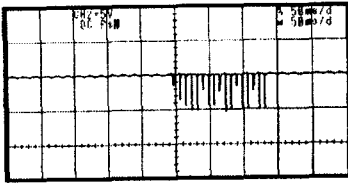


그림 10. 부(-)의 파형  
Fig. 10. Negative waveform

#### 4. Soft Starting Switch 실험 결과

제로 크로스 스위칭에 의한 Soft starting switch의 동작을 확인하기 위하여 그림 5와 그림 6의 회로를 제작하였으며, 실험 대상의 단상 유도전동기에 무부하 상태에서 장착하였다.

단상 유도전동기의 정격은 표 1과 같다.

표 1. 단상 유도전동기 정격  
Table 1. Single phase induction motor rating

규격	정격	규격	정격
정격출력	0.4[kW]	주파수	60[Hz]
정격전압	110/220[V]	회전수	1710[r.p.m]
정격전류	9/4.5[A]	콘덴서	200[μF]
극 수	4극		

단상 유도전동기의 전원은 AC 110[V]를 사용하였으며, 또한 ACCT를 이용하여 전동기에 흐르는 전류를 전압으로 변환한 다음 제로 크로스 스위칭을 하기 위한 제어전원으로 사용하였다.

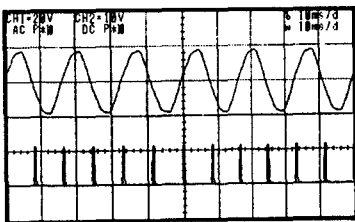


그림 11. 제로 크로스 스위칭 파형  
Fig. 11. Zero-cross switching waveforms

그림 11은 IC 1에 의하여 제로 크로스 스위칭 파

형을 얻은 결과를 실제의 전압파형에서 제로 크로스 일 때 스위칭 함을 확인하였다.

기존 단상 유도전동기의 원심력스위치를 장착하여 실험한 결과 그림 12의 ch1은 전류 프로브 증폭기(AM 503B)로 검출한 기동시 기동전류 파형이며, ch2는 기동권선에 흐르는 전류파형을 나타낸 것이다.

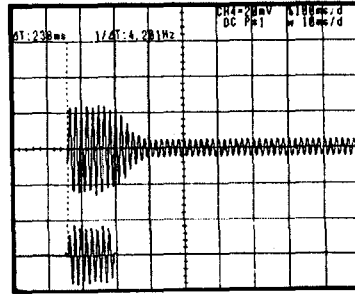


그림 12. 기동전류(40A/div) 및 기동권선전류(10A/div)형  
Fig. 12. Starting current(40A/div) and start winding current(10A/div) waveforms

원심력스위치의 경우, 기동 초기시 입력전압의 한 주기 위상관계를 살펴보면 0[°]~360[°] 사이에서 동작한다고 가정할 수 있다. 그 위치부터 단순히 정격 속도 부근까지 온한 다음 오프한다. 그러므로 한 주기를 고려할 경우, 원심력스위치 시작구간은 입력전압이 0[°]~360[°] 구간에서 인가되므로 기동초기에 전류가 증가한다.

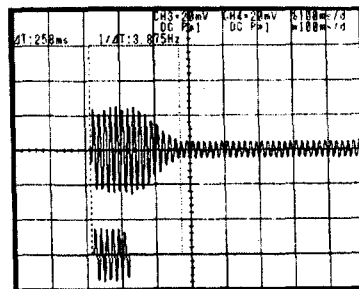


그림 13. 기동전류(40A/div) 및 기동권선전류(10A/div)파형  
Fig. 13. Starting current(40A/div) and start winding current(10A/div) waveforms

트라이액을 이용한 단상 유도전동기의 Soft Starting Switch에 관한 연구

그림 13은 Soft starting switch를 단상 유도전동기의 원심력스위치 대신 장착하여 실험한 결과이며, ch1은 기동시의 기동전류 파형이며, ch2는 기동권선에 흐르는 전류파형을 나타낸 것이다.

전자적 기동장치의 경우, 입력전압을 제로 크로스 스위칭한 경우이며 기동초기 전류는 0[A], 180[°] 중 트리거 전압이 제로 크로스인 지점에서 Turn-on되므로 기동전류는 서서히 흐르기 시작한다. 입력전압이 제로 크로스인 지점에서 Turn-on되므로 전동기의 기동초기 전류를 저하시킬 수 있다.

본 논문의 실험에서는 트라이액에 의한 교류전력 제어에서 온-오프 제어방식 중 제로 크로스 스위칭 방식을 이용한 턴-온, 턴-오프시 Soft starting 조건을 만족함으로써 기동전류 및 반도체 소자의 스위칭 손실과 전기적 노이즈를 최소화하는데 초점을 두었다.

기존의 단상 유도전동기는 기동시 27[A]의 기동전류가 흐르고, 전자적 기동장치는 26[A]로 약 3.7[%] 저하되었다. 원심력 스위치의 경우, 정격속도 말기부분에서 오프될 때 기계적인 접점이 2~3회 반복되며 아아크가 발생한 다음까지의 시간이다. 전력용반도체 소자를 사용하여 정격속도의 말기부분에서 무접점에 의해 오프가 한번에 이루어지므로 원심력 스위치를 사용할 때 보다 시간이 약간 짧아진다

표 2. 현재 단상 유도전동기와 전자적 단상 유도전동기의 비교

Table 2. Comparison of existing single phase induction motor and electrical single phase induction motor

종 류 / 특 성	기존방식 I·M	제안된방식 I·M	비 고
기동전류	27[A]	26[A]	-1[A]
정상상태 시간	238[ms]	258[ms]	+20[ms]
정격전류	4.8[A]	4.8[A]	0
기동권선전류	8.8[A]	7.8[A]	-1[A]
기동권선 분리 시간	132[ms]	132[ms]	0
스위치 소음	있음	없음	없음
정격속도	약78[%]	약78[%]	0

실험을 통하여 정상상태까지의 시간은 기존 전동기 보다 약 20[ms]정도 길어지는 것을 알 수 있으며, 시간이 길어지는 이유는 제어회로에서 반도체 특성 때문에 지연이 생기며, 20[ms]정도의 짧은 시간은 전동기 수명에는 큰 지장이 없다고 생각한다.

5. 결 론

본 연구에서는 단상 유도전동기에 장착되어 있는 기존 원심력스위치의 기동장치는 전기적인 점점 손상으로 고장과 보수의 빈도가 높으며, 특히 전동기가 설치된 장소에 폭발성 가스가 유입될 경우 폭발의 위험이 따르게 된다. 따라서 기동장치를 제로 크로스 스위칭을 이용한 반도체 소자를 사용하여 Soft starting한 전자적 기동장치를 제작한 후 실험을 통한 전기적 특성은 다음과 같다.

- 1) Triac에 의해 분리시간을 정확하게 제어할 수 있는 특징을 갖고 있다.
- 2) 기계적 접점이 전자적 무접점으로 가능하였으며, 접점으로 인한 고장이 없으므로 수명이 거의 반영구적임을 알 수 있었다.
- 3) 전기적인 아아크의 발생이 없으므로 폭발성 가스가 있는 곳에서 안전한 운전이 가능하였다.
- 4) 전동기의 정격속도 70~80[%]에서 전자적 기동장치의 개폐가 가능하였으며, 기동과 정지의 반복이 빈번한 전동기에 적합함을 알 수 있었고, 기동시의 전류를 3.7[%] 저하시킬 수 있었다.
- 5) 전동기의 용량에 맞는 전자적 기동장치가 가능하고 기동시점을 조절할 수 있으며, 안정된 운전을 할 수 있다.

향후에는 트라이액을 개방할 때 기동권선이나 콘덴서에 충전된 에너지 처리 문제는 효율적인 소호장치로 대응하여 실용화될 수 있는 지속적인 연구검토가 필요하겠다.

References

(1) 신대철외 1인, "SCR을 이용한 단상유도전동기의 Soft Starting에 관한 연구", 문교부 학술연구 논문집, pp235-249, 1982.  
 (2) Alternating Current Machines, Mueller McGraw-Hill Book Co. pp. 403-405, 1952.

- [3] Electrical Machines, Second Edition Skiskind Copyright, pp. 417-425, 1952.
- [4] Electric Machinery, McGraw-Hill Book Co. Fitzgerald, Kingsley, Second Edition, pp. 525-532, 1971.
- [5] Alternation Current Machinery; The Magmillan Co. New York, pp. 210-211, 1949.
- [6] 김보열, "Thyistor를 이용한 분상 전동기의 기동에 관한 연구" 석사학위 청구논문, 1977.
- [7] 김성결외 5인, "마이크로 컨트롤러를 이용한 콘덴서 기동형 단상 유도전동기의 기동기 설계", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp225, 2003.

## ◇ 저자소개 ◇

### 강응석 (姜應錫)

1964년 9월 30일생. 1990년 2월 호서대학교 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 3월 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1992년 4월~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 전기전공 기술연구원.

### 신대철 (申大澈)

1952년 3월 2일생. 1973년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(박사). 1989년~1990년 나카사키대학교 visiting scholar. 1979년~현재 호서대학교 전기정보통신공학부 교수.

### 최종문 (崔種汶)

1950년 2월 2일생. 1974년 연세대학교 이공대 전기공학과 졸업. 1974년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1983년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 호서대학교 전기정보통신공학부 교수.