

디지털방식 다중제어 충전기 개발

(Development of Digital Type Battery Charger based on Milti-Mode Control)

변영복* · 구태근** · 김은수*** · 조기연* · 김동희** · 변동환****

(Y. B. Byun · T. G. Koo · E. S. Kim · K. Y. Joe · D. H. Kim · D. W. Byun)

요 약

현재 대부분의 전동지게차 충전기는 3상의 일정전류제어와 일정전압제어 방식으로 운전되고 있으며, 이러한 충전방식은 충전기의 이용률을 저하시킬 뿐 아니라 축전지의 수명을 단축시키는 등의 단점을 가지고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위해서, 본 논문에서는 기존의 방식에서 일정전력제어 및 부가적인 제어모드를 첨가한 다중제어 충전방식을 제시하였다. 전체 제어시스템은 저가의 micro-controller를 적용하여 디지털화 시킴으로써 제어정도 및 신뢰성을 향상시켰으며, 제어장치의 소형화와 함께 저 가격화를 실현하였다.

Abstract

Most of the battery charger for electric powered forklift truck are controlled by the method of 3-phased constant current and constant voltage controls. However, these chargers have several disadvantages like a large charger capacity, and a short battery life time.

To eliminate the weak points, a digital type battery charger based on multi-mode control adding a constant power control and several assistant controls in the conventional control is presented. The whole control system is performed by a low cost 8 bits one-chip micro-controller and completely digitize. So, we can get a high precision control and a good reliability.

1. 서 론

최근 산업현장에서는 항상 청결한 상태로 작업장을 유지하려는 노력이 증가하고 있으며, 이에 따른 전동차량의 사용이 급증하고 있다. 특히, 전동지게차

는 소음 및 진동의 저감으로 생산성증대와 엔진차량에 비해 정비비용과 연료절감 등의 장점이 있다.

이러한 전동지게차의 충전기는 교류원전압의 변동이나 축전지의 방전상태와는 관계없이 항상 일정한 설정치로 충전하여, 과충전이나 과방전에 의한 축전지의 손상 없이 축전지를 충전하는 장치로서, 현재 국내에서 사용되고 있는 충전기는 입력 교류전압의 변동에 대응하고, 안정된 상태에서 축전지를 충전하기 위해서 정전류-정전압제어 방식을 채용하고 있다.

그러나 정전류-정전압제어 방식은 정전류 제어에서 정전압 제어로 전환하는 시점에서의 순간 최대

* 정회원 : 한국전기연구원
 ** 정회원 : 영남대학교
 E-mail : tkoo01@hotmail.com
 *** 정회원 : 전주대학교
 **** 정회원 : 대원전기
 접수일자 : 2001년 8월 8일
 최종완료 : 2001년 9월 17일

충전용량에 맞추어 충전기를 설계하여야 하므로 충전기의 이용률이 낮으며, 충전시 발생하는 축전지 셀 간의 황산의 농도가 달라지는 전해액의 성층화를 해소하기 힘든 단점이 있다[1].

본 연구에서는 정전류-정전압제어 방식에 정전력 제어를 추가함으로써 정전력제어 구간의 충전용량에 맞추어 충전기를 최적 설계하여 이용률을 극대화하였으며, 전해액의 성층화를 해소하기 위해 정전류-정전력-정전압제어에 의한 충전 후에 Agitation 및 Equalizing 충전기능을 수행하게 하였다. 또한 충전 완료 후 축전지의 자기방전을 보상하기 위한 Trickle 모드 등을 추가하여, 기존의 정전류와 정전압만의 제어에서 정전력 및 부가적인 제어모드를 첨가한 다중제어를 하였으며, SCR 고장진단, 상용전원 정전감시기능, 3상 삼순결선변경 허용기능, 50/60[Hz]검출 운전 등 산업현장에서 일어날 수 있는 여러 가지 문제점을 보완할 수 있게 하였다.

이러한 모든 제어 및 감시기능을 저가의 8bits One-Chip Micro-controller를 적용하여 디지털화 시킴으로써 제어정도 및 신뢰성을 향상시켰으며, 제어장치의 소형화와 함께 저가격화를 실현함으로써 실용성 있는 충전기 개발을 도모하였다.

2. 다중제어 충전 특성 및 제어방식

본 연구는 기존의 정전류-정전압제어 충전방식과는 달리 다중제어 충전방식을 적용함으로써, 충전기의 용량 및 축전지의 수명을 최적화 할 수 있는 등의 장점을 가지고 있으며, 각 충전 모드에 따른 충전

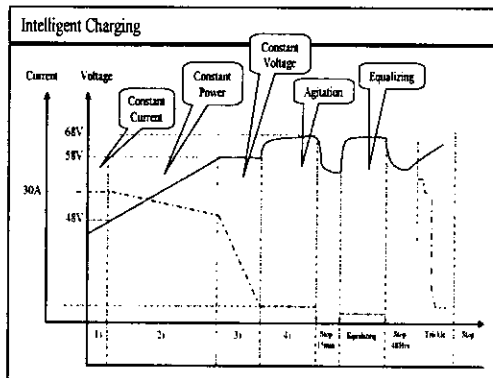


그림 1. 다중제어 충전
Fig. 1. Multi-mode control Charging

전압과 축전지 유입전류는 그림 1과 같이 제어된다.

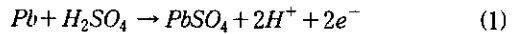
2.1 다중제어 충전 특성

정전류-정전압 제어 충전 방식은 정전류 제어에서 정전압 제어로 전이하는 시점의 충전 상한 전압을 기준으로 하여, 전류가 기준 수치에 도달 할 때까지 충전하는 방식이다. 정전류-정전압 제어 충전 방식을 사용할 경우, 단순한 정전류 제어 충전 방식에 대해서는 IR-drop에 의한 전지의 불균등 충전을 해소 할 수 있는 장점이 있으며, 정전압 제어 충전 방식에 대해서는 대전류의 인가에 따라 대용량의 충전기를 사용해야하는 문제점을 해소 할 수 있다. 따라서 산업현장의 대부분의 충전기는 정전류-정전압 충전 방식을 채택하고 있다.

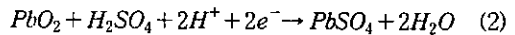
그러나 정전류-정전압제어 방식은 정전류 제어에서 정전압 제어로 전환하는 시점의 축전지 전압을 기준으로 하여 정전류 지령치를 설정하여야 함으로써 순간 최대 충전용량에 맞추어 충전기를 설계하여야 한다. 반면 그림 1과 같이 정전류-정전압제어 구간 사이에 정전력제어를 하게 되면 정전력제어 구간의 충전용량에 맞추어 충전기를 최적설계할 수 있으며 이용률을 극대화 할 수 있다.

축전지의 충전특성 관점에서 살펴보면 연속전지의 경우에는 황산 전해액을 사용하고, 충전과 방전 동안 각각 식 (1), (2), (3)에 나타낸 바와 같이 황산의 농도가 높아졌다가 낮아지는 과정을 반복한다.

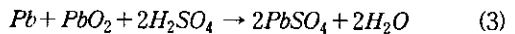
Anode :



Cathode :



Overall :

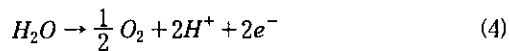


본 과정 동안 전지의 하부는 황산의 농도가 높아지고, 상부는 농도가 낮아지는 전해액의 성층화가 발생하고, 위치별로 전해액의 전도도가 달라지게 되어 전지 내부의 위치별로 특성이 다른 상태로 운전되며, 전지 열화의 원인이 된다.

본 논문에서는 정전류-정전압 충전의 전해액 성층화 문제점을 개선하기 위하여 정전류-정전력-정전압 제어 충전에 이어서 Agitation 및 Equalizing 충전을 추가하였다. 본 과정 동안 축전지 각 셀의 전압이

2.83V 정도가 되도록 저전류 충전을 충전시킴으로써 황산 전해액 중의 물이 식 (4) 및 식 (5)에 따라 전기화학적으로 산소 및 수소로 분해하여 전지의 상부로 유출되는 동안 전해액의 성층화를 해소 할 수 있으며 각 셀들의 균등충전이 가능하다.

Anode :



Cathode :



따라서 전해액 조성의 불균등화에 따른 전지의 열화 과정을 해소하여 전지의 수명을 향상시킬 수 있다.

2.2 각 세이 구간의 동작 설정

2.2.1 정전류 제어모드

이 모드는 축전기의 유입되는 전류를 충전기의 정격전류로 제어하는 구간으로서, 유입전류는 일정하게 제어되며, 축전기 전압은 계속 증가하게 된다. 본 연구에서 충전기의 정격전류를 30[A]로 설정하였으며, 축전지의 전압이 정격전압(2[V/Cell])에 다다르면, 다음 모드인 정전력 제어로 전환한다.

2.2.2 정전력 제어 모드

이 모드는 축전기를 정격전류와 정격전압의 곱으로 계산한 정격전력으로 충전되게 제어하는 구간으로서, 유입전류는 감소하고, 축전기 전압은 증가한다. 이 모드에서의 충전전력은 충전기의 정격용량과 동일하므로 충전기 이용률을 최대화 할 수 있다. 축전지의 전압이 2.4[V/Cell]에 다다를 때까지 이 모드가 계속된다.

2.2.3 정전압 제어 모드

이 모드는 축전기의 전압을 일정전압으로 제어하는 구간으로서, 축전기의 전압은 58V로 일정하게 유지되고, 유입전류는 감소하게 된다. 이 모드동안에 유입되는 전류(AH)가 앞의 두 모드인 정전류와 정전력모드에서 유입된 전류량의 1/18에 되는 시점에서 다음 모드로 전환하게 되며, 이때의 전류값을 다음 Agitation 모드의 기준값으로 사용한다.

2.2.4 Agitation 모드

이 모드는 축전지 전해액의 성층화를 방지하기 위하여 전해물을 Agitate하기 위한 모드로써, 앞의 정전압 모드에서 결정된 기준값으로 정전류 제어를 수행한다. 축전지에 유입되는 전류는 일정하며, 축전지의 전압은 증가한다.

이 모드가 끝나는 시점은 이 모드 동안에만 유입된 전류(AH)가 앞의 3모드인 정전류, 정전력, 정전압 모드 동안에 유입된 전류량의 17[%]가 되는 시점이며, 최종전압은 2.83[V/Cell]로 제한된다. 이 모드의 전류 기준값의 1/2을 다음 Equalizing 모드에서의 기준값으로 사용한다.

2.2.5 Stop 모드

이 모드는 15분 동안 축전지를 충전하지 않는 구간으로서 실제적인 충전은 완료된 상태가 된다.

2.2.6 Equalizing 모드

이 모드는 축전지 셀 간의 전압 불평등을 균등화시키기 위한 것으로 축전지의 전압을 안정화시키기 위한 모드이다. 앞의 Agitation 모드의 기준값의 1/2로 정전류 제어를 하며, 축전기 전압의 변동이 시간당 60[mV] 이하가 될 때, 전압이 안정화된 것으로 간주하여, 이 모드를 종료한다.

2.2.7 Trickle 모드

이 모드는 충전 완료 후 축전지가 충전기에 연결된 상태에서 자기방전을 보상하기 위해 충전이 끝난 후 매 48시간마다 다시 자기방전량을 보충하는 모드이다.

3. 시스템 구성

전체 시스템 구성은 그림 2와 같이 3상 입력전원부, 전력변환부, 제어부로 나눌 수가 있다.

3.1 3상 전원부

3상 전원부에서는 입력 변압기의 1차측을 Y 혹은 Δ로 결선함으로써 220[V]나 380[V]를 검용으로 사용할 수 있게 하였으며, 3상 입력전원과 동기 되는 신호를 제어보드에 인가한다.

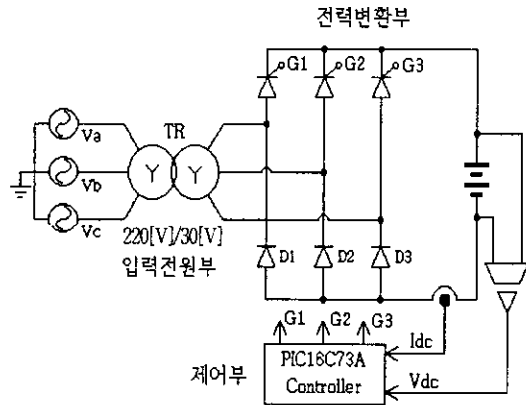


그림 2. 전체 시스템 구성
Fig. 2. System configuration

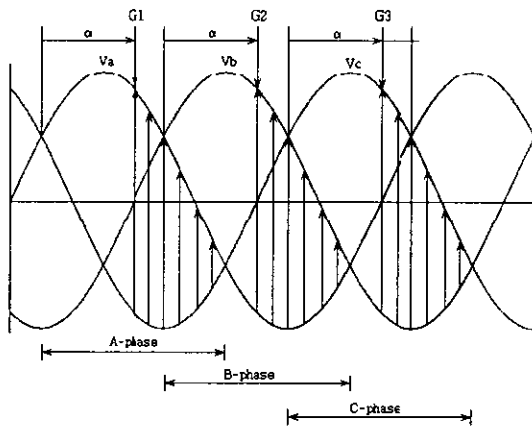


그림 3. Semi-converter trigger 범위
Fig. 3. Ranges of semi-converter trigger

3.2 전력변환부

전력변환부는 Semi-Converter로 구성되어 있으며, 스위칭 소자로 SCR을 사용하여, 3상 AC를 DC로 변환한다.

그림 3은 각 SCR이 Turn-on될 수 있는 범위(A-, B-, C-phase)를 나타낸다. 이 범위의 시작점에서 외부 인터럽트를 하드웨어적으로 발생시켜 3상 게이트 신호의 기준이 되게 하였다[2].

3.3 제어부

제어부에서는 축전지의 전압과 유입전류에 따라 각 제어모드를 결정하며, 3상 입력전원과 동기 되어 발생하는 외부 인터럽트를 기준으로 3상의 점호각

(α)을 계산하여 SCR을 Trigger시킨다.

충전기는 축전지가 연결됨으로서 축전지의 전원으로 제어보드 및 충전기가 구동되어 충전을 시작하게 되며, 축전지를 충전기로부터 분리하면 충전기 및 제어보드의 모든 전원은 Off되게 함으로서 충전하지 않을 경우 충전기의 전원손실을 최소화하였다.

또한 시스템 안전화를 위한 기능으로서 축전지 전압과 유입전류의 크기가 제한 범위를 넘어설 경우엔 하드웨어적으로 모든 게이트 신호를 Off시킴으로서 과전압·과전류로부터 시스템을 보호하는 회로, 3상 동기신호로부터 입력전원의 정전을 감시하는 기능, 축전지 유입전류의 검출로 SCR 고장을 진단하는 기능, 3상 동기신호의 조합으로 3상 상순을 변경하더라도 정상적인 충전기 운전을 가능케 하는 3상 상순변경허용 기능 등을 제어부에서 수행한다.

이러한 제어 및 시스템 안전화 기능을 행하는 제어보드는 저가의 8 bits One-Chip Micro-controller를 적용하여 디지털화 시킴으로써 제어정도 및 신뢰성을 향상시켰다. 이는 저가이면서 A/D Converter, Timer, PWM 등의 Controller의 기본기능을 갖추고 있어, 제어장치의 소형화와 함께 저가격화를 실현할 수 있었다[3].

4. 실험

실험에서 사용한 사양은 아래와 같다.

- 축전지 : 48[V]/210[AH]
- 변압기 : 220,380[V]/30[V]
- 주파수 : 60[Hz]
- SCR : 55[A]/800[V](PD55GF80)
- Controller : PIC16C73

그림 4는 외부인터럽트와 3상 입력전원과 동기 되는 동기신호를 나타낸다. 3상 동기신호들로부터 SCR을 Trigger할 기준이 되는 외부인터럽트를 하드웨어적으로 발생시키며, 소프트웨어적으로는 Turn-on될 상을 결정한다. 또한 외부인터럽트로 내부적인 Timer를 구성하여 충전시간 및 축전지에 유입되는 전류량(AH)를 계산하였다.

그림 5는 각 상의 Gate 신호를 외부인터럽트와 함께 나타낸 것으로 A, B, C상이 120도 간격으로 순차적으로 Trigger됨을 알 수 있다.

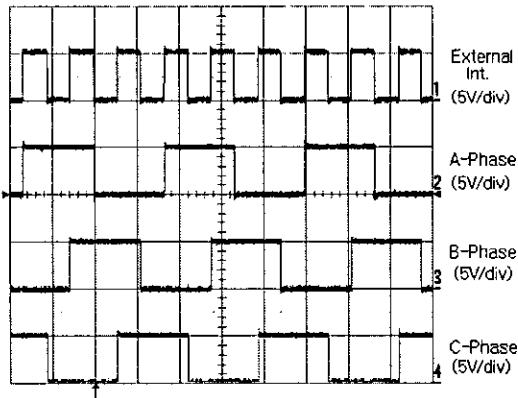


그림 4. 외부 인터럽트와 3상 동기신호
Fig. 4. External interrupt and 3-phase synchronous signals

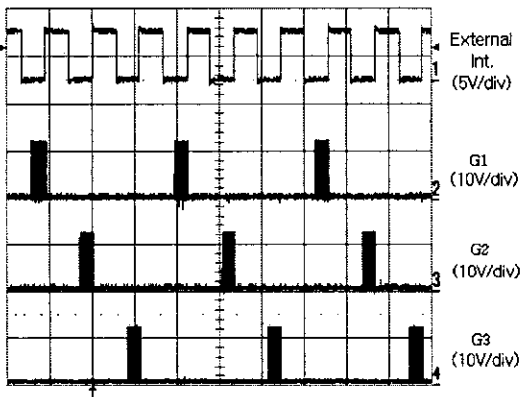


그림 5. 각 상의 Gate 신호
Fig. 5. Gate signals of each phase

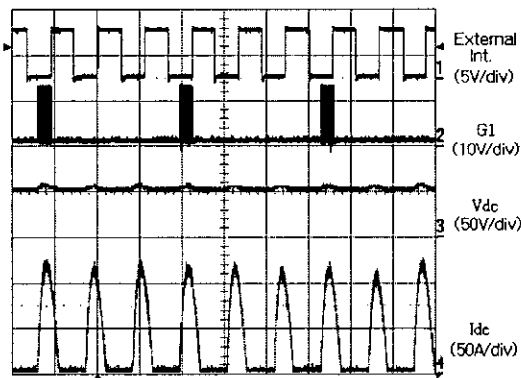
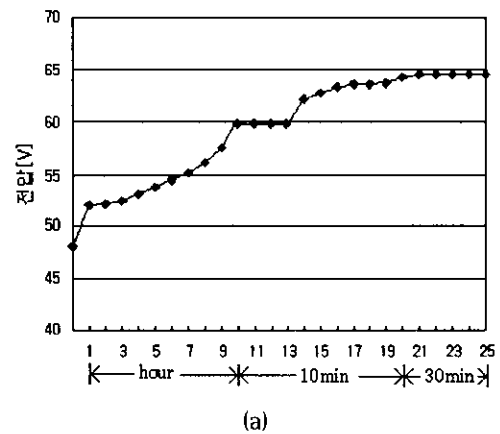


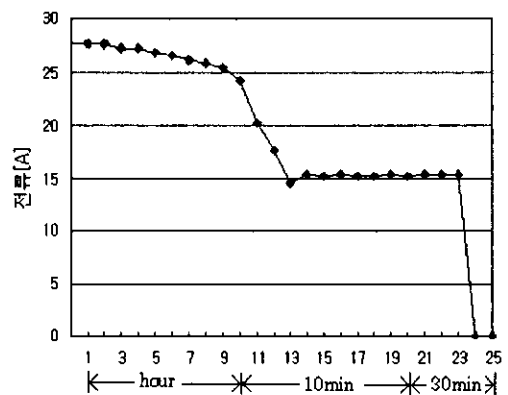
그림 6. 축전지의 전압 및 유입 전류 파형
Fig. 6. Waveforms of battery voltage and current

그림 6은 점호각이 90도에 있을 경우 축전지의 전압과 유입되는 전류 파형을 나타낸 것으로서 유입되는 전류파형의 피크치는 100[A]이상으로 상당히 크지만, 평균값은 정격전류를 넘어서지는 않는다. 그리고 3상 입력전원이 축전지의 전압보다 클 경우에만 전류가 흐르게 된다.

그림 7 (a)와 (b)는 실험에서 측정된 축전지 전압과 유입전류의 데이터를 시간에 대해서 그래프로 나타낸 것이다. 실험에 앞서 축전지는 완전히 방전시켰으며, 측정시간은 정전력모드에서는 1시간 간격, 정전압모드는 10분 간격, 그리고 Agitation모드는 초기 1시간동안은 10분간격으로, 그 이후에는 30분 간격으로 측정하였다.



(a)



(b)

그림 7. 실험에서 측정된 축전지의 전압 (a) 과 유입전류 (b)

Fig. 7. Measured Battery voltage (a) and current (b) in experiment

디지털방식 다중제어 충전기 개발

충전시작 3분 이내에 정전류모드에서 정전력모드로 전환되며, 정전력모드는 약 8시간, 정전압모드는 약 30분, Agitation모드는 약 3시간이 소요되었다. 실제 충전정도는 축전지 전해물의 비중을 측정함으로써 알 수 있으며, Agitation모드에서 1시간정도 지났을 때 충전이 완전히 되었음을 확인할 수 있었다.

그림 7의 전압·전류곡선에서 알 수 있듯이 제안한 다중제어에 의한 충전이 원활히 수행되고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 개발된 충전기 외관 사진이다.

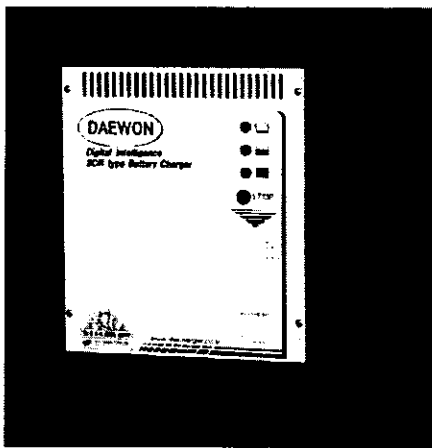


그림 8. 충전기 외관
Fig. 8. Appearance of the battery charger

5. 결 론

본 논문에서는 충전기의 이용률 향상과 축전지 전해액의 성층화 문제 등을 보완하기 위한 다중제어 방식을 제안하고 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다. 충전기의 전력변환부는 SCR을 적용하여 Semi_converter로 구성하였으며, 제어기는 저가의 Micro-controller를 적용하여 디지털화 시킴으로써 제어정도 및 신뢰성을 향상시켰으며, 제어장치의 소형화와 함께 저가가격화를 실현하였다.

또한, SCR 고장진단, 상용전원 정전감시기능, 3상 상순결선변경 허용기능, 50/60[Hz] 겸용 운전 등 산업현장에서 일어날 수 있는 여러 가지 상황에 대처할 수 있게 개발함으로써 충전기의 신뢰성 향상과 이용의 효율성 향상을 도모하였다.

참 고 문 헌

- (1) D. Linden, "Handbook of Batteries", McGraw-Hill Inc., New York, 24.8, 1995.
- (2) P. C. SEN, "Thyristor DC Drives", 1981.
- (3) Microchip Users Manual, PIC16C73A.

◇ 저자소개 ◇

변 영 복(卞永福)

1961년 3월 23일생. 1984년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 전력전자연구그룹 책임연구원.

구 태 근(具泰根)

1970년 1월 27일생. 1995년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

김 은 수(金恩洙)

1964년 3월 26일생. 1986년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1989~2001년 한국전기연구원 전력전자연구그룹 선임연구원. 현재 전주대학교 교수.

조 기 연(趙基衍)

1954년 2월 5일생. 1980년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 전력전자연구그룹 책임연구원.

김 동 희(金東熙)

1950년 11월 20일생. 1973년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 일본 고베대학교 전기공학과 졸업(박사). 현재 영남대학교 전기전자공학부 교수.

변 동 환(邊東煥)

1959년 9월 12일생. 1981년 명지전문대 전자계산학과 졸업. 현재 대원전기 전력전자연구소 연구소장.