

## 배선용 차단기 개폐기구의 동특성 향상방안 및 해석

박진영<sup>1</sup> · 조해용<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2012년 1월 13일, 원고수정일 : 2012년 2월 28일, 심사완료일 : 2012년 3월 20일)

### Study on the Dynamic Modeling of MCCB

Jin-Young Park<sup>1</sup> · Hea-Yong Cho<sup>†</sup>

**요 약 :** 일반적으로 저압 회로 보호용 장치로는 ICCB(Insulated case circuit breakers), PCB(Power circuit breakers) 그리고 MCCB(Molded case circuit breakers)를 들 수 있다. 이들 중 가장 보편적으로 사용되는 배선용 차단기(MCCB)는 휴즈 또는 개폐기의 단점인 안전성, 제어성, 협조성 등을 보완한 것이다. 차단기의 성능은 사고전류 발생 시 트립 동작이 순간적이고, 절연능력이 뛰어나야 하므로 매우 중요하다. 따라서 차단기의 개폐 성능은 매우 중요하므로 개폐 기구부의 접촉자 구조 및 접점 그리고 링크구조 등에 대한 기구학적 연구가 필요하다. 본 논문에서는 저압차단기의 기구적 동역학 모델링과 해석을 수행하여 가동자의 개리속도가 빠를수록 차단특성에 유리하다는 결론을 얻었으며, 실제 실험을 통하여 이를 검증하였다.

**주제어 :** 배선용 차단기, 개폐 성능, 동역학 모델링

**Abstract:** Generally circuit devices of low voltage are as follows, ICCB, PCB and MCCB. Among them, MCCB is typically used because it has superior characteristics which fuses do not possess, such as safety, controllability and ability to collaborate with other devices. The MCCB plays vital role, it has to trip instantaneously when the fault is occurred as well as it must have high insulation capacity. Therefore in order to enhance the breaking capacity, the study of contact construction, contact tip and link are necessary. This paper shows dynamic modeling of mechanism part of MCCB using an exclusive analysis program, and embodies the research of improvement of mechanism performance.

**Key words:** MCCB, Mechanical operation, Dynamic modeling

### 1. 서 론

일반적으로 차단기란 정상 회로 상태와 특정 시간에 대하여 전류의 투입, 통전 하며 단락과 같은 비정상 회로 상태의 전류 차단을 가능케 하는 기계적 전환 장치(Mechanical switching device)를 의미한다. 과부하 및 단락(사고) 등의 상태일 때 자동적으로 전로(電路)를 차단하여 부하기기를 보호하는 기구를 칭한다[1].

이러한 차단기의 기계적인 메커니즘(Mechanism)의 기구부 투입 및 해제는 개폐성능, 단시간 차단

및 내구성을 좌우하는 중요한 요소로써, 최적화된 메인스프링(Main spring)은 핸들조작력, 개리속도, 투입에 의한 접촉 압력 유지등과 같은 차단능력을 크게 좌우한다. 메인스프링과 연동을 하여 투입 및 해제기능을 담당하는 각각의 링크비율은 투입성능에 영향을 미치며, 링크를 적정한 위치에서 멈추게 하는 각각의 멈춤 부위는 메인스프링의 외력에 의한 충격력에 충분한 내구성을 보유하여야 한다.

위와 같이 저압 차단기의 성능은 기계적 특성, 그 중에서도 기구 동역학적인 특성에 크게 좌우된

<sup>†</sup> 교신저자(충북대학교 기계공학부 E-mail:hycho@cbnu.ac.kr, Tel: 043-261-2464)

1 LS산전

다. 이러한 특성을 파악하기 위한 실험적 방법은 시간 및 비용을 고려한다면 비효율적이다. 그러한 단점들을 보완할 수 있는 전문 해석틀은 사용자가 원하는 변수들을 다양하게 적용해 볼 수 있고, 그 결과를 다양하게 도출할 수 있기 때문에 실제 실험에 앞서 해석을 통해 최적의 조건을 찾고 그것을 바탕으로 실험이 수행되어 진다.

본 논문은 ADAMS(Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System)를 사용하여 저압 차단기를 구성하는 메커니즘 부위의 기구 동역학적 모델링과 해석을 수행하였다. 본 연구에서는 최적의 기구부 모델링을 위해 기존 상용 제품 분석 및 실험을 수행하였으며, 실제 실험에 적용하여 그 결과를 비교해 보았다.

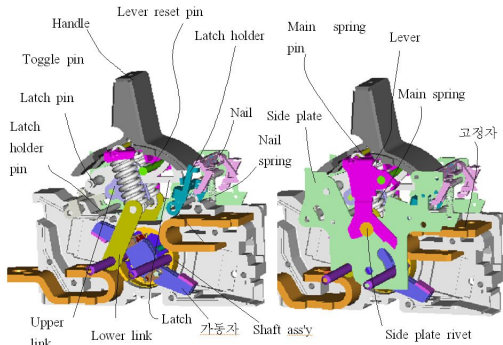


Figure 1: Configuration of MCCB mechanism



(a) Trip position (b) Open position (c) On Position  
Figure 2: Status of MCCB mechanism

## 2. 개폐기구부의 동작 원리

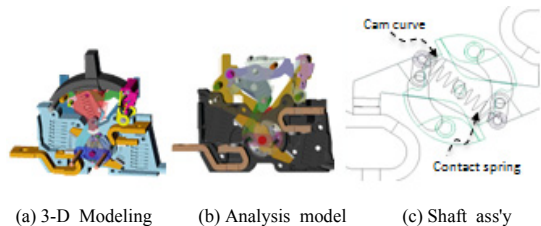
Figure 1은 일반적인 배선용 차단기 메커니즘의 구조와 각 부품의 명칭을 나타내고 있다. 배선용 차단기 메커니즘부의 동작원리는 Figure 2와 같이 최초에 트립(Trip) 상태에서부터 핸들(Handle)을 우측으로 수동 조작하면 래치(Latch)는 래치홀더(Latch holder)에 고정되어 되고, 다시 핸들을 좌측으로 돌리

면 핸들에 연결된 스프링이 인장되면서 어퍼링크(Upper link)와 토글링크(Toggle link)를 토글시키게 된다. 이 토글력은 샤프트(Shaft)를 회전시켜 가동자(Moving contact)와 고정자(Fixing contact)를 접촉시켜 전류가 흐르는 상태가 되고, 이 상태에서 과전류가 감지되면 래치홀더로부터 래치를 해제하게 된다. 래치는 스프링의 인장력에 의해 반시계 방향으로 회전하고, 이 때 래치에 연결된 어퍼링크와 토글링크가 위로 움직여 샤프트를 회전시켜 결국 가동자를 고정자로 부터 분리시키게 된다.

## 3. 동역학 해석을 위한 유한요소 모델링

### 3.1 3차원 해석모델 구성

동역학 해석을 위한 모델을 만들기 위해 먼저 메커니즘을 구성하는 강체 부품들의 질량, 질량 중심의 좌표, 관성모멘트 및 관성력을 구하였다. 배선용 차단기 메커니즘의 각 링크를 연결하는 조인트(Joint)는 Figure 3과 같이 회전조인트(Revolute joint)와 한 개의 병진 조인트(Translational joint)로 구성되어있다.



(a) 3-D Modeling (b) Analysis model (c) Shaft ass'y  
Figure 3: Analysis model of new MCCB mechanism

### 3.2 스프링 모델링

차단 시 배선용 차단기의 가동접촉자를 회전시키는 구동력인 인장스프링의 질량은 링크들의 질량과 비교할 때 무시할 수 없을 정도로 큰 비중을 차지한다. 따라서 차단시 인장스프링은 질량에 의해 종방향 운동 뿐만 아니라, 횡방향 운동도 일어날 수 있다. 스프링의 동적효과를 모델에 반영하기 위하여 두 개의 집중질량, 세 개의 스프링과 비례 점성감쇠를 가진 4자유도 시스템으로 등가 모델링 하였다[2].

스프링에 연결된 양끝의 경계조건을 고정된 것으로 가정할 경우 스프링의 고유진동수가 스프링의 기본고유진동수의 정수배가 된다는 조건으로 등가모델링의 매개변수를 얻을 수 있다. 감쇠계수는 스프링 상수에 비례하는 비례점성감쇠로 가정하고 감쇠비를 0.02로 가정하여 감쇠값을 구하였다.

인장스프링의 경우 스프링의 평균코일 지름에 비하여 스프링의 길이가 아주 크므로, 스프링을 4 자유도를 가진 등가 모델로 구성할 때 스프링의 횡방향에 대한 강성은 고려하지 않았다[3].

3.3 접촉부 모델링

접촉력의 정확한 해석을 위해서는 FEM(Finite Element Method)을 이용한 충격해석을 수행하는 것이 바람직하지만, 본 연구에서는 부품사이의 접촉력은 기하학적으로 운동을 제한하는 역할만하고, 강체로 구성된 매커니즘의 동적인 특성에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 가정하여 접촉력을 비선형 스프링과 감쇠기로 구성된 시스템으로 모델링하였다. 부품 사이의 순간적인 접촉에 의한 충격력들은 정확히 예측하기가 어렵고, 모델링시 복잡한 가정들을 많이 수반하게 된다. 본 연구에서는 부품사이의 접촉을 비선형 스프링과 비선형 감쇠기로 가정하여, 접촉면에서 변형량에 따른 접촉력을 나타내었다[4].

접촉면의 탄성계수는 Hertz[5] 접촉이론을 통하여 구하였고, 감쇠계수는 감쇠비를 0.02로 가정하였다.

4. 해석결과

배선용 차단기 매커니즘부의 동역학 모델링을 위해 기존 상용 제품을 토대로 하여 Reverse eng.를 통하여 특성을 파악 하였다. 역설계 된 3D모델을 바탕으로 하여 매커니즘의 특성을 분석하기 위해 ADAMS로 해석을 하여 결과값을 도출 하였다. 스프링의 기본 특성은 Table 1과 같다.

해석 결과 위치별 메인스프링 하중값은 Figure 4와 같은 결과를 얻었으며, Figure 5는 위치별 접촉스프링의 하중값 나타낸다. 최종적으로 차단기가 투입 후 각 Product별 접촉하중은 1.8kg± 0.2 결과를 얻었다.

Table 1: Value of spring

구분	Spring	선경 (mm)	평균경 (mm)	유효권수	스프링상수 (kgf/mm)
A product	Main	2.2	8.2	9	4.72
	Cont.	0.9	3.6	11.5	1.07
B product	Main	1.95	7.85	8.5	3.89
	Cont.	0.9	3.5	16	0.92

구분	Spring	L1 (mm)	L2 (mm)	f1 (kgf)	f2 (kgf)
A product	Main	32.8	37.3	7.1	28.5
	Cont.	20.4	21.7	3.4	4.8
B product	Main	31.15	34.9	13.2	27.8
	Cont.	23.75	30	3.2	8.96

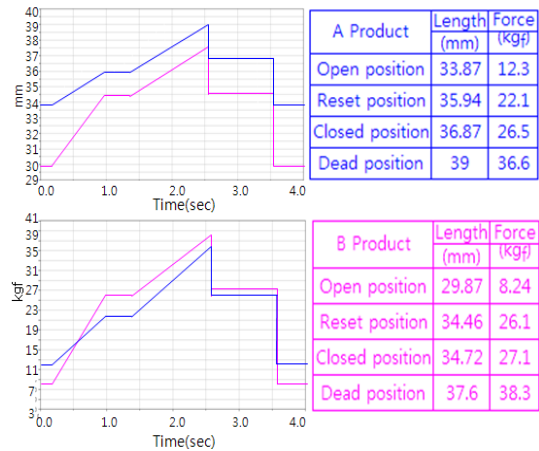


Figure 4: Main spring force

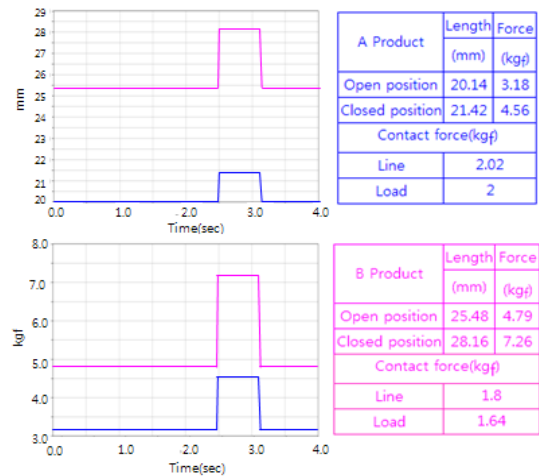


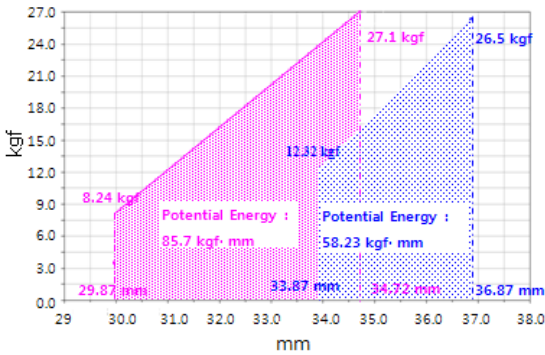
Figure 5: Contact spring force and contact force

투입 후 트립신호에 의한 기구부 트립시 가동자의 변위는 **Table 2**와 같이 A product는 가동자 개리 거리 13.1mm이며 개리시간은 1.9msec를 나타내었으며, B product는 가동자 개리 거리 13.06mm이며 차단시간은 1.7msec를 나타내었다.

**Table 2: Result of simulation**

구분	A product	B product
Total shaft angle(°)	46	45
O.T angle(°)	13.5	15.4
O.T distance(mm)	4.98	6.2
개리시간(msec)	1.9	1.7
개리거리(mm)	13.1	13.06

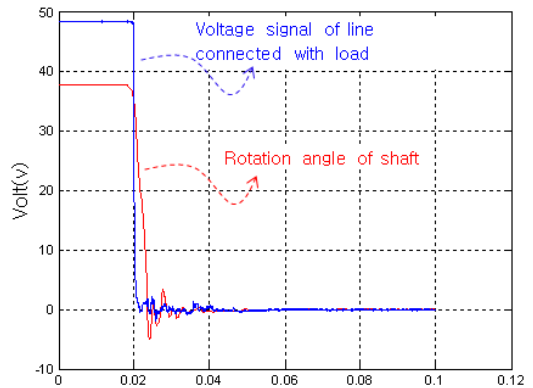
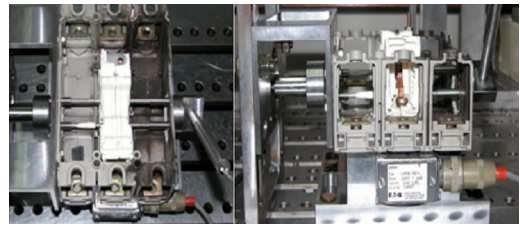
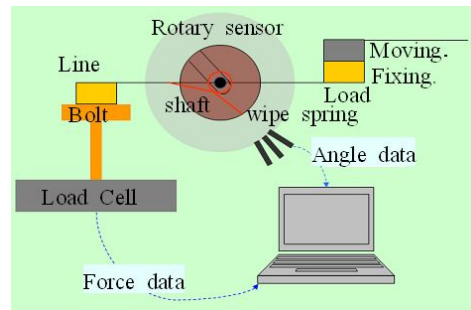
가동자 개리시 메인스프링의 차단 에너지 비교는 **Figure 6**과 같이 A product의 포텐셜 에너지는 58.23kgf·mm이며 B product의 포텐셜 에너지는(Potential energy) 85.7kgf·mm의 값을 얻었다. 즉 메인스프링의 차단에너지가 클수록 차단시간이 짧은 결과를 얻을 수 있었다.



**Figure 6: Potential energy of main spring**

상기와 같이 신뢰성 검증을 위해 회전 변위에 따른 접촉압력 해석을 통하여 이론값을 추정하였고 해석 결과를 토대로 하여 차단시 영향을 미치는 인자에 대하여 실제 시험을 진행 하였다. 시험 장비 구성은 **Figure 7**과 같이 새프트 어셈블리에 회전센서(Rotary sensor)를 부착 하여 전원 및 부하측의 전압신호에 의해 새프트 어셈블리의 회전 각

도 및 초기 개극 시간을 측정하였으며, 새프트 어셈블리가 일정한 방향으로 회전을 함에 따라 최종적으로 가동자와 고정자는 접촉을 하게 되며, 접촉 시점부터 회전방향으로 일정한 각도만큼 회전하여 접촉압력을 유지하게 된다.이때 접촉 시점부터 최대 회전 할 수 있는 각도를 O.T구간 이라고 한다. 시험 결과값은 가동자 개리시간의 경우 **Figure 8**과 같이 해석값과 근사한 결과를 얻었으며, 접촉 하중의 경우도 **Figure 9**와 같이 해석값과 근사한 결과를 얻었다.



**Figure 7: Experimental equipment**

상기 결과에서 알 수 있듯이 기구부에서 고차단 용량에 요구되는 인자로는 메인스프링 하중을 증

가시케 개리속도를 증가시켜야 한다는 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 또 다른 인자로 차단시 가동자의 개리속도가 빠를 수록 유리하다는 결론을 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 급속한 개극을 유도 하기 위해 새로운 구조의

가동접촉자를 제작하여 해석 및 실험을 병행 하였다. 새로운 가동자 접촉자는 가동자와 고정자가 접촉을 하기 시작하는 시점 부터는 접점부에 작용하는 접촉하중은 증가를 하지 않는 구조를 가진다. 이러한 구조는 접점의 피로특성을 감소 시키는데 매우 유리하게 작용을 하며, 사고전류인가에 의한 전자반발력으로 접점이 순간 개극 하여 개리거리 까지 동작을 완료 하고 재접호가 발생하지 않게 하는 중요한 인자이다. 본 연구에서는 이러한 특성을 만족 하기 위해 샤프트 어셈블리 커브를 생성 하여 회전 변위에 따른 접촉하중을 일정하게 유지 하는 구조를 만들었으며, 개극이 시작되어 O.T구간

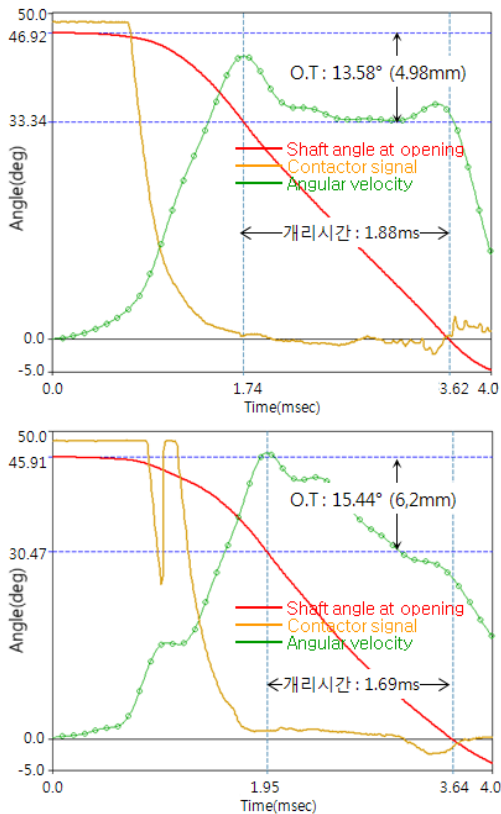


Figure 8: Experimental value

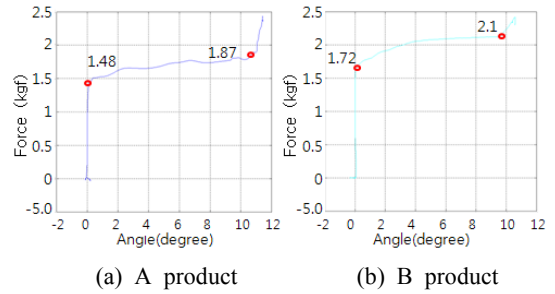


Figure 9: Experimental value of contact force

변위를 넘어서는 구간에서는 전자반발력이 작용하는 방향으로 개리속도를 증가하는 커브를 구성하였고, 이를 바탕으로 시제품을 만들어 실측값을 도출 하였다. 시험 모델에 요구 되는 접촉압력은  $1.4\text{kgf} \pm 0.2$  이며, 총 O.T각은  $12^\circ \pm 0.5$  이다.

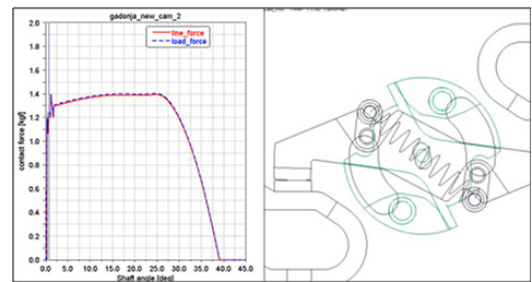


Figure 10: Contact force with shaft angle by CAE

상기 조건을 만족하기 위한 형상 모델링 및 해석결과 Figure 10과 같이 전체 샤프트 어셈블리 회전각은 약 45°를 나타내며, 샤프트 O.T각 12°내에서 접촉압력  $1.4\text{kgf}$ 를 유지하는 결과를 얻었다.

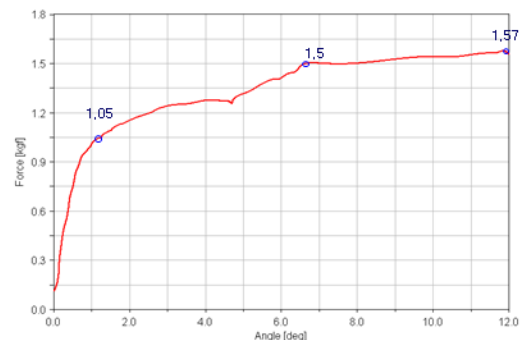


Figure 11: Result of actual contact force of prototype

해석결과를 바탕으로 하여 시작품을 만들어 시험한 결과 **Figure 11**과 같이 최초 가동자가 고정자와 접촉을 하면서 약 1.0 kg<sub>f</sub>의 하중이 작용을 하며 O.T구간에서는 약 1.5kg<sub>f</sub>를 유지함을 볼수 있다

## 5. 결 론

본 논문에서는 동역학 모델링과 해석 전용 프로그램을 통해 저압 차단기의 기구적 동역학 모델링과 해석을 수행하였다. 해석 모델링을 통해 차단기의 온, 오프 과정에서 발생하는 힘과 변위를 측정할 수 있었다. 본 연구를 통하여 가동자의 개리시 메인스프링의 차단에너지가 증가 할수록 차단 시간이 짧은 결과를 얻을 수 있었다. 실제 실험을 통하여 이를 검증하였고, 해석값과 결과값의 근소한 차이를 나타냄을 비교함으로써 그 신뢰성을 확인하였다. 또한 차단기의 성능을 향상시키는 또 다른 인자로는 차단시 가동자의 개리속도는 빠를수록 유리하다는 결론을 얻을 수 있었다. 이는 새프트 어셈블리 커브를 생성하여 개리속도를 측정하였으며 실제 실험을 통하여 이를 검증하였다. 본 논문에서 제시한 모델링 방법은 기구적 설계 변수 사이의 특성 및 각각의 연관성을 설명 할 수 있도록 제안하였다. 따라서 최적설계를 가능하게 하여 고성능의 차단기를 설계 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 산업원천기술개발사업 “Eco/Bio 산업의 기능성 부품 생산용 차세대 융복합 가공시스템 개발, No. 10039982”과제의 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] IEC 60947-2, “Low-Voltage Switchgear and Control gear Part 2 : Circuit Breakers”, 2006.
- [2] 권병희, 이충섭, 안길영, 서정민, 최중용, “MCCB 동특성 해석 모델링 및 래치 고정위치의 설계 민감도 연구”, 한국자동제어 학술대회, 제2권, pp. 1771-1773, 1998.
- [3] A. M. Wahl, “Mechanical Spring”, McGraw-

Hill, 1963.

- [4] B. H. Kwon, C. S. Lee and J. M. Seo, “Dynamic Modeling and analysis of the tolerance sensitivity for a mechanism of Low Voltage Circuit Breaker”, Asia-Pacific Vibration Conference 1999, pp. 365-366, 1999.
- [5] K. L. Johnson, “Contact Mechanics”, Cambridge University Press, 1985.

## 저 자 소 개



### 박진영

1996년 충북대학교 기계공학과 (공학사), 2001년 충북대학교 기계공학과(공학석사), 1996년 - 2011년 (주)LS산전(차장), 관심분야: 배선용 차단기(MCCB), PLM



### 조해용

1957년생, 1983년 부산대학교 기계공학과 졸업(공학사), 1985년 부산대학교 기계공학과 졸업(공학석사), 1991년 부산대학교 기계공학과 졸업(공학박사), 1993~현재 충북대학교 기계공학부 교수