

차단용량 향상을 위한 신소호 구조

박진영¹ · 조해용[†]

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

New Arc Chamber to Improve Breaking Capacity

Jin-Young Park¹ · Hea-Yong Cho[†]

요 약 : 배선용 차단기(MCCB)를 구성하는 개폐기구부, 아크(Arc)소호부, 트립(Trip)부는 차단기의 성능을 결정짓는 중요한 요소들이다. 그 중 아크소호부는 차단시 발생한 아크를 소호실 안쪽으로 유도하여 여러개의 짧은 아크로 분할시키며 아크를 냉각, 소멸시켜 차단을 빠르게 하는 구조이다. 본 연구에서는 새로운 소호구조를 제안하였고, 차단 성능이 우수한 변수에 대한 최적화 실험을 하였으며, 이를 토대로 실제 실험제품에 적용하여 성능 향상에 대한 연구를 수행하였다.

주제어 : 배선용 차단기, 개폐 성능, 접점 재질, 아크소호부, 소호구조

Abstract: The mechanism unit, arc chamber and trip unit are imperative components of MCCB which will decide the level of performance of MCCB. Among them, Arc chamber unit is used for extinguishing arc rapidly of fault current and induce the arc inside of grid. At that time inducing arc will split into parts and cooled rapidly so the arc would disappear. This paper suggests new arc chamber unit to improve arc extinguishing performance with optimum design and are applied to actual products based on the results.

Key words: MCCB, Mechanical operation, Tip material, Arc quenching unit, Quenching structure

1. 서 론

배선용 차단기(MCCB)란 휴즈 또는 개폐기의 단점인 안전성, 제어성, 협조성 등을 보완한 것으로 교류 600V, 직류 500V이하의 전로의 보호에 사용되는 회로 차단기로 가장 보편적으로 사용되고 있다[1,2].

배선용 차단기의 구성은 개폐기구부, 아크(Arc)소호부, 트립(Trip)부로 구성되어있고, 각부는 절연물내에 일체로 조립된 것으로써, 통상 사용 상태의 전로를 수동 또는 절연물 용기 외부의 전기 조작장치등에 의하여 개폐할 수 있고, 저압회로의 이상전류를 감지,자동적으로 회로를 차단하여 배선 및 부하를 보호하는 것을 목적으로 하며, 단락 회로에서 전류차단 진행과정은 다음과 같다. 회로에서 이상

전류 발생시(여기서 이상 전류라 함은 과전류, 순시전류, 단락전류를 칭함) 바이메탈(Bi-metal) 만곡, 아마추어(Armature) 동작등 기타 장치에 의해 기구부가 해제 되며, 이에 따라 접점이 개리되며 아크가 발생, 신장, 냉각되어 전류의 영점 도달시 절연이 회복된 후 회로를 최종적으로 차단하게 된다. 이 중 아크소호부는 금속판을 이용한 냉음극형(De-ion) 소호실로서 공기 중에 노출된 금속 그리드가 일정한 간격을 두고 적층되어 있는 모양을 하고 있다. 이소호실의 주기능은 아크를 소호실 안쪽으로 유도하여 여러 개의 짧은 아크로 분할시키며 아크를 냉각, 소멸시켜 차단을 빠르게 하는 것을 의미한다[3]. 이러한 아크 소호 성능에 영향을 미치는 주요 인자는 접점 재질, 아크 구동력, 동작

[†] 교신저자(충북대학교 기계공학부 E-mail:hycho@cbnu.ac.kr, Tel: 043-261-2464)

¹ LS산전

메커니즘의 속도 및 소호 가스 등이 있으며 이에 대한 연구가 진행되고 있다[4,5]. Shea, J.J.는 차단기의 사용되는 다른 종류의 점접을 이용하여, 차단시 점접의 표면에서 발생하는 온도를 측정하여 차단 후 점접표면의 온도가 높으면 차단 과정에서 음극(Cathode)에 의한 열전자 방출이 많기 때문에 점접의 표면 온도가 낮은 것이 차단성능에 우수하다는 것을 제안하였다[6]. 또한, 차단기에 사용되는 절연재료가 아크 소호특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 다양한 절연재료에 대하여 아크전압을 실험하였다. 밀폐형 챔버 내에 차단기의 아크 소호부에 적합한 Nylon66, PC등의 재료를 점접 주위에 배치한 후 차단실험을 통해 점접간 절연이 충분히 회복되지 않았을 때 발생하는 재점호 전압은 사용된 절연재료의 재질에 따라 변화된다는 것을 확인하였다[7]. 위와 같이 소호재료 및 아크에 의한 압력과 아크전압은 소호구조와 밀접한 관계를 가지고 있다. 압력이 상승되면 아크 전압이 상승된다. 그리고 압력은 아크 거동에도 영향을 미치고 차단시 절연파괴에 의한 재점호를 유발시키기도 한다. 이러한 상관관계에서 아크전압을 급격하게 상승시키는 소호부 내부의 소호재질을 적절하게 사용하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 아크 소호시 발생한 핫 개스(Hot gas) 및 잔여물들을 배기구 방향으로 급속히 배출시키는 신소호구조를 제안 및 구현하였으며, 이런 구조에 적합한 다양한 소호재료를 적용함으로써 차단시 아크 소호부 성능 향상을 위한 연구를 진행하였다.

2. 퍼퍼원리에 의한 아크전압상승 및 소호구조

소호부에서 발생하는 아크에 의해 온도 상승 및 소호재료의 용체에 의해 압력이 발생한다. 이때 발생한 압력을 이용하여 아크를 신장시킴으로써 아크 전압을 상승시켜 한류효과를 극대화할 수 있는 것을 소호부 내부에서의 퍼퍼(Purffer) 원리를 이용한 방법이라 할 수 있다.

아크전압은 차단기의 차단성능을 결정하는 한류 효과에 결정적인 영향을 미치는 인자이며, 아크전압을 상승하기 위해서는 소호실 내부의 압력이 매

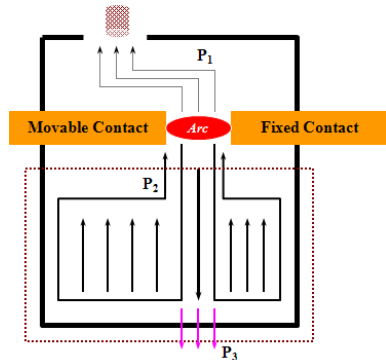


Figure 1: The pressure due to arc in chamber of circuit breaker

우 중요하다. Figure 1은 기중 차단기에 있어 차단시 발생하는 압력의 유동을 예측한 것으로 압력의 발생지점 P_1 , P_2 , P_3 은 소호구조에 따라 그 영향도가 다르게 나타나며, 이로 인해 차단기의 차단성능이 영향을 받는 것으로 판단된다. 기중 차단기에서 가동점접이 분리되면, 순간적으로 기중 차단기의 소호부에서는 P_1 과 P_2 의 압력이 발생한다. 그리고 P_2 는 다시 소호구조에 따라 P_3 형태의 압력을 발생시키게 된다. 이때 발생하는 P_3 의 압력이 기중 차단기의 아크소호에 중요한 요소이며, 이는 소호구조에 의해 압력의 발생이 좌우된다.

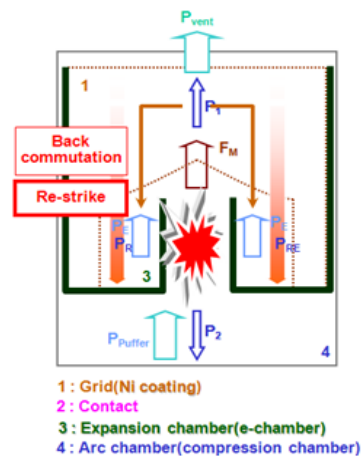
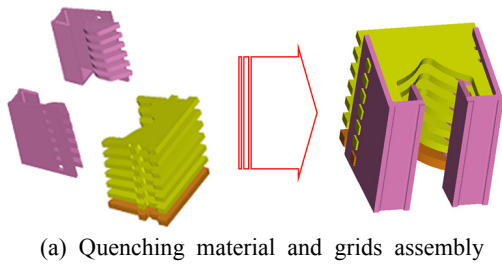
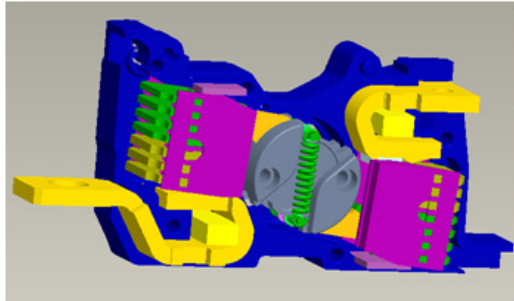


Figure 2: Concept of new arc quenching structure

Figure 2는 상기의 개념을 활용하여 도출된 신소호부의 개략도를 나타낸 것이다. 도출된 소호부는

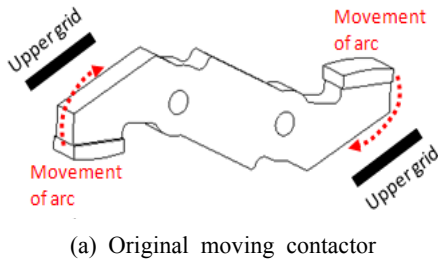


(a) Quenching material and grids assembly

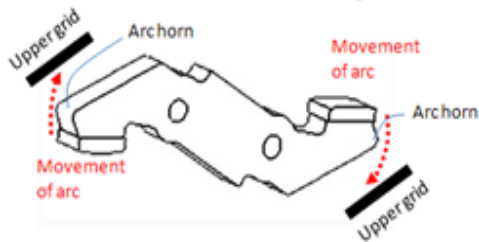


(b) Arc quenching structure

Figure 3: Proposed arc quenching structure(160AF)



(a) Original moving contactor



(b) Modified moving contactor

Figure 4: A proposed arc horn structure of the moving contactor

접점에서 발생한 압력을 퍼퍼 공간을 활용하여 응축한 뒤 순간적으로 압력을 배기구로 보내는 구조

로서 일반적인 퍼퍼 원리를 응용한 것으로 신소호 구조인 밀폐형 아크챔버(NAQS) 구조를 구현하였다. Figure 3은 본 연구에서 신소호구조를 구체화한 3차원 모델링으로 최적의 그리드 매수 및 형상 그리고 소호재료를 적용하여 압력을 상승시켜 아크전압을 급격하게 상승시킬 수 있도록 한 구조이며, 소호재료는 나일론(Nylon)이 사용되었으며, 아크를 신장할 수 있는 구조를 채용하였다. 또한 Figure 4의 (b)같이 가동자의 아크 혼(horn) 형상을 제안하였다. 가동자의 아크 혼 구조는 아크이동을 상부그리드 방향으로 보다 쉽게 유도하고, 가동접점으로부터 아크를 보다 빠르게 이동시키므로 접점의 침식 및 재발호 특성에도 유리한 점이 있다고 판단된다.

3. 신소호구조의 최적화를 위한 설계인자

본 연구에서는 퍼퍼 원리, 엔빌, 수정된 그리드, 상부 그리드를 이용한 신소호구조를 제안하였다. 따라서 제안된 신소호구조에 대하여 각각의 요소가 차단성능에 미치는 영향을 평가하여 신소호구조를 최적화하고자 한다. Table 1은 신소호구조를 최적화하기 위한 시험변수를 나타낸 것으로 백벤트(Back vent) 구조, 그리드형상, 상부그리드형상, 그리드의 조립각도로 선택하였다. 백벤트 구조의 경우 Case 1은 소호에 의한 가스가 소호구동축으로 역류하는 구조를 취하고 있으며, Case 2는 역류를 원천적으로 차단하는 구조를 갖는다.

그리드 형상은 아크의 냉각과 아크전압과 관련된 차단평가 변수이다. 그리고 상부 그리드는 가동자가 완전히 개극되었을 때 아크를 가동자 끝단까지 유도할 수 있는지 평가하기 위하여 선택한 변수이며, 그리드 조립각도는 아크에 의한 가스가 배기될 때 소호압력 유지시간에 대한 변수를 의미한다. Table 2는 각 변수에 따른 차단성능 평가를 위한 시험계획을 나타낸다. 차단성능시험은 최적화 변수에 따라 총 9종의 차단기를 준비하여, 각각 3회의 차단시험을 수행하였고, 차단성능이 가장 우수한 변수를 선정하여 신소호구조를 최적화하였다.

Table 1: Test parameters for optimizing NAQS (160AF)

	Back Vent	Grid Shape	Upper Grid	Grid Ass'y angle
Case 1				
Case 2				

Table 2: Experimental plan for optimizing NAQS (160AF)

Sample	Grid feature		Back Vent feature		Grid ass'y		Upper grid feature	
					8° Based on line	12° Based on line		
A1		○	○		○			○
A2		○		○	○			○
B1		○	○			○		○
B2		○	○			○		○
C1	○			○	○			○
C2	○		○		○			○
Ref.1	○				○		○	
Ref.2		○				○		○
Ref.3	○				○		○	

4. 실험 장치 및 방법

Figure 5는 차단기의 차단성능 평가를 위하여 사용된 실험회로를 나타내고 있다. 본 실험회로는 LC공진회로를 이용한 것으로, 6,000[uF] 커패시터와 리액터를 이용하여 전류를 조정하였으며, 최대 실험용량은 415[V], 35[kArms]로 차단기의 차단성능을 검증함에 있어 실 제품에서 발생할 수 있는 현상을 모의할 수 있도록 설계하였다. 차단기의 차단 성능에 영향을 미치는 인자를 변경하면서 아크 전압 및 소호시간은 디지털 오실로스코프(Lecroy LT354)로 측정하였다.

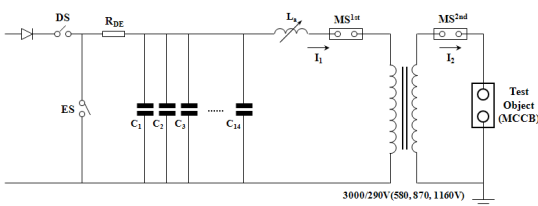


Figure 5: Experimental circuit diagram

Figure 6은 차단기의 형상 및 동작을 모의하기

위한 실험 장치로 소호부는 차단성능에 영향을 미치는 인자의 변경이 용이하도록 배선용 차단기를 이용하여 소호부를 구성하였으며, 실험 시퀀스에 따라 속도 및 접압력을 가변할 수 있는 구조로 공압식 액추에이터를 이용하여 실험 장치를 구성하였다.

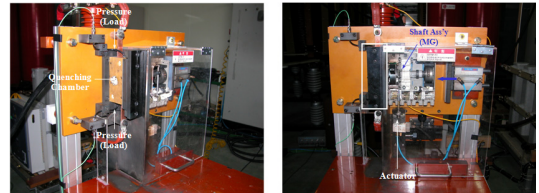


Figure 6: Experimental equipment for measuring arcing time

또한, 점점의 개방속도를 측정하기 위해 크로스바의 상단에 Keyence 레이저 변위 센서(LT9010M)를 부착하여 크로스바의 운동 거리를 측정하고 증폭기(LT9501M)를 통하여 신호를 오실로스코프(YOKOGAWA, DL7100)에 전달한다. 레이저 센서의 노이즈에 의한 오동작을 막기 위하여 대전류 부하 없이 점점 양단에 9V 건전지와 1[kΩ] 저항을 접속하여 점점이 폐로 상태면 전압은 0[V], 점점이 분리되면 9[V] 되는 신호로 점점 분리 시간을 측정한다. 크로스바의 이동거리는 점점의 안정성을 위한 점압 거리와 점점의 개극 거리의 합으로 구성된다.

5. 신소호구조의 설계인자에 대한 차단성능시험 결과

Figure 7은 앞서 기술한 각 실험계획에 따른 차단기의 차단성능 시험결과를 보여준다. Figure 8은 각 실험인자에 대한 신소호구조의 아크에너지를 나타내며, Figure 9는 각 실험인자에 대한 신소호구조의 아크 전압 시간변화율(β)을 보여준다. 차단 시험 시편 A2와 B1에서 아크에너지가 가장 적게 발생하였다. 반면 Figure 8의 Ref.3의 경우 가장 큰 아크에너지가 발생하였다. 아크 전압 시간변화율도 아크에너지와 마찬가지로 차단시험 시편 A2와 B1에서 아크에너지가 가장 크게 발생하였고, Ref.3의 경우 가장 적게 발생하였다.

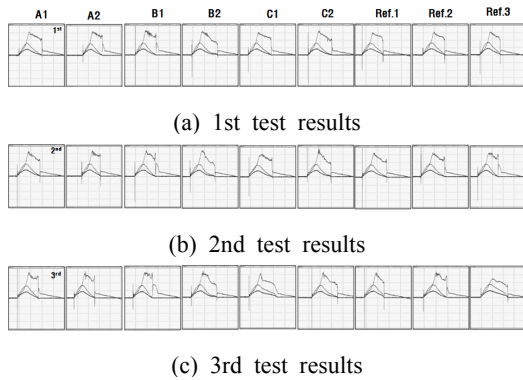


Figure 7: Comparisons of the arc voltage and current in the single phase short circuit test(415V, 35kArms)

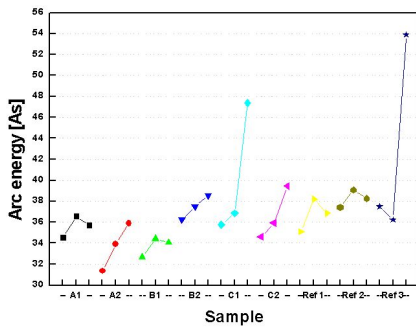


Figure 8: Comparisons of the arc energy

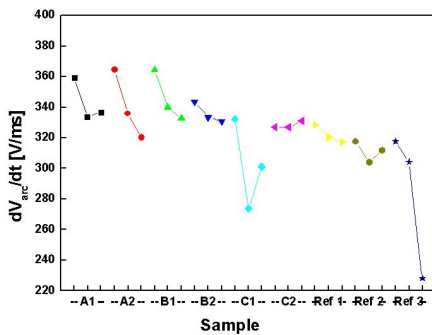


Figure 9: Comparisons of the slopes of the arc voltage

이 실험결과로부터 시험시편 A2와 B1이 정상적으로 가장 최적화 되어 있는 것으로 판단할 수 있다. 본 연구에서는 위와 같은 차단시험결과로부터 Figure 10과 같은 최적화된 신소호구조(160AF)를 제안하였다.

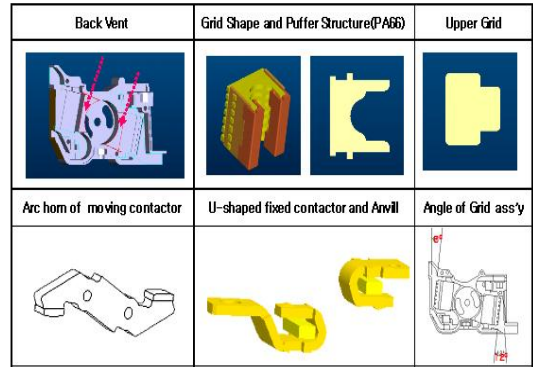


Figure 10: Optimized shape of the respective components for 160AF NAQS

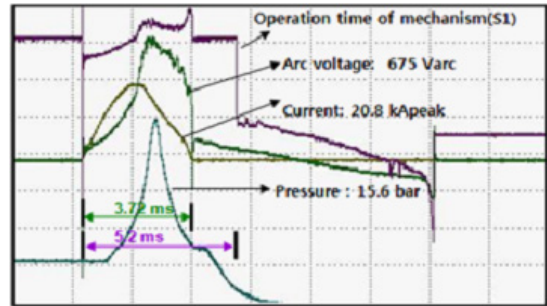


Figure 11: Test results of 1 pole with NAQS

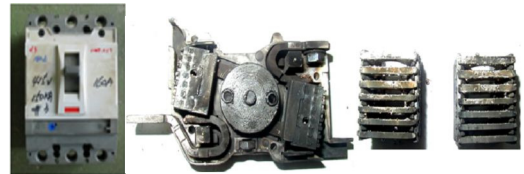


Figure 12: Pilot sample of 160A with NAQS

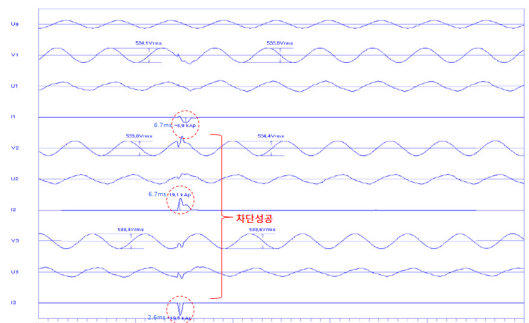


Figure 13: Test results of NAQS with reverse connection at 500V

Figure 11은 상기와 같이 제안된 구조를 시제품에 적용한 단극 단락 시험결과를 보여준다. 시험은 415V에 30kA를 인가하여 결과를 도출하였다. 전차단 시간의 경우 약5.2ms 이내로 양호한 결과를 보여주고 있다.

상기 단극 단락 시험 결과를 토대로 하여 Figure 12와 같이 본 연구에서 제안한 신소호구조가 적용된 배선용 차단기를 제작하여 국제 공인기관인 LS산전의 PT&T에서 3상 단락시험을 수행하였고, 차단시험조건 500V, 150kArms이며 시험절차는 역접속 O-CO-CO 시험을 하였다. 역접속 시험은 전원, 부하측 방향에 상관없이 사용가능한 것을 의미한다.

Figure 13은 위의 조건으로 수행한 O sequence 차단 결과 파형으로, NAQS 소호구조를 갖는 배선용 차단기의 3상에서 모두 차단 성공한 것을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 퍼퍼 원리를 이용하여 신소호구조를 제안하였다. 이를 바탕으로 차단성능시험을 통해 최적화된 변수를 찾아 9종의 차단기에 대한 실험을 수행하여, 가장 우수한 변수를 선정할 수 있었다. 이러한 변수를 바탕으로 실제 실험을 위하여 시작품에 적용하여 실제 시험제품을 IEC규격에 의해 415[V] 150[kArms]의 차단성능을 검증하였으며, 이와 더불어 차단기에서 고전압 사용에 필수적인 500[V] 65[kArms] 역접속의 차단용량을 검증하였다. 전 차단 시간의 경우 415[V] 150[kArms]에서는 약 1.5[ms] 이내의 결과를 얻을 수 있었으며, 500[V] 65[kArms] 역접속의 경우 약 2.6~6.7[ms]이내의 결과를 보였다. 이는 시험 전압 상승시 소호 능력이 다소 저하되는 결과를 보여줌을 알 수 있다. 본 논문의 결과를 토대로 향후 사용전압의 상승에 요구되는 약 690[V]에서 고 차단 용량을 실현하는 초석이 될 것이며, 또한 Category b 제품개발을 통한 선택차단 시스템 구현에 많이 기여할 것으로 판단된다.

후 기

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

며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] IEEE Recommended practice for applying low-voltage circuit breakers used in industrial and commercial power systems, IEEE Std.
- [2] 국립기술품질원, KS C 8321, 한국표준협회, 2002.
- [3] LG산전 기술센터, Arc 소호, pp. 3-46, 1993.
- [4] 김길수, 배선용 차단기의 차단용량 증대방법, 충북대학교 석사학위논문, 2000.
- [5] 조현길, 영구자석 보완에 의한 DC 접촉기의 성능향상, 충남대학교 박사학위논문, 2006.
- [6] J.J. Shea and X. Zhou, “Contact material and arc current effect on post-current zero contact surface temperature”, IEEE Tr. on Components and Packaging Technologies, vol. 29, no. 2, pp. 286-293, 2006.
- [7] J.J. Shea, “Gassing arc chamber wall material effect on post current-zero recovery voltage breakdown”, IEEE Tr. on Components and Packaging Technologies, vol. 27 no. 1, pp. 42-50, 2004.

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