

저압 배선용 차단기용 섬유강화 복합재료 개발 (I)

이창용^o, 송태현, 김진수, 김덕중*, 이두희*, 이관희*
 현대중공업(주) 기계전기연구소, *중저압차단기부

Development on the fiber-reinforced materials for low-voltage circuit breakers (I)

Chang R. Lee, Tae H. Song, Jin S. Kim, Duck J. Kim, Doo H. Lee*, and Kwan H. Lee*
 Hyundai Heavy Industries Co., Ltd, HEMRL, *L/V Circuit Breaker Dept.

Abstract - A new type of fiber-reinforced polymeric materials for the main body and the arc chamber of the low-voltage circuit breakers was developed. The tensile and the flexional strength of the three kinds of thermoplastic resins for the cover of MCCBs (Molded case circuit breakers) increase much higher than those made of BMC that has been used. In a high current-breaking test, an experimental MCCB with the new insulating material showed no-cracks on the bodies.

1. 서 론

현대사회의 정보사회의 발전으로 인해 사무자동화 및 공장자동화 시스템이 널리 보급되어감에 따라 전기에 너지에 대한 의존도는 더욱 증가하고 있는 추세이다. 이와 같은 흐름에 병행하여 전기 에너지를 안정적으로 공급해야 하는 필요성도 점차로 증대되고 있다. 전기에너지의 정전없이 연속적으로 공급하기 위해서는 계통상에서 고장지점을 즉시 제거하는 것이 필수적이다. 그러므로, 저압 배전시스템에서 한류성능을 가지고 있는 배선용 차단기 (Molded case circuit breaker: MCCB)는 상위 차단기의 트립동작을 선택할 수 있는 하위 차단기로서 널리 사용되고 있다 [1].

MCCB에 있어서 차단 성능, 안전성 등 MCCB 본연의 기본 성능이 만족되는 것은 물론, 차단후의 절연 안정성도 중요하게 평가되고 있다. 특히 대전류를 차단하기 위한 대용량 제품의 소형화 경향에 따라 대전류 차단시 발생 압력은 기존의 차단기와는 비교할 수 없을 만큼 크게 발생한다. 또한, 고조파를 발생하는 인버터와 같은 부하가 증가하여 전류파형의 왜곡이 더 심해졌기 때문에 예상치 못한 트립을 방지하기 위해서는 MCCB에 매우 정확한 감지장치 등과 같은 여러 가지 부가 기능의 장착이 요구되고 있다. 이와 같은 배경에 의해서 증가된 압력에 견딜 수 있으면서 새로운 공간을 만들 수 있게 해주는 커버, 베이스 등의 몸체 설계 및 새로운 재료의 개발은 그 중요성이 점차 강화되고 있다.

지금까지 MCCB의 몰드 재료로서는 열경화성의 SMC (Sheet molding compound) 또는 BMC (Bulk molding compound)가 적용되어 왔으나, 산업 폐기물의 증가로 인한 환경부담을 경감시키기 위하여 재활용이 가능한 열가소성 절연물로 교체되어 가고 있다. 열가소성 절연물로 교체될 때, 전술한 바와 같은 소형화 및 부가기능 확충을 위한 기계적 물성과 절연성능의 극한설계 등이 요구되어 기존 재료보다 강화된 인장강도, 내충격성, 절연성 등을 발휘할 수 있는 신규 재료의 개발이 필요하다고 여겨진다. 당사에서는 이와 같은 시장의 흐름에 대응하기 위하여 지속적으로 신포델의 MCCB 개발을 진행하고 있으며, 본 고에서는 그 일환으로 이루어진 MCCB의 커버 및 소호실용 부품으로 적용가능한 복합재료의 개발결과를 보고하고자 한다.

2. 커버용 복합재료

2.1 시료

본 연구에서는 베이스 수지로 polyamide (PA)를 선정하였고, 강화제로서 유리섬유, 무기질 충전제, 산화방지제 등을 혼합하여 세 종류의 시료를 제조하였다. 베이스 수지로 polyamide를 선택한 것은 엔지니어링 플라스틱 중에서 MCCB에 요구되는 물성을 만족할 수 있는 것은 poly(ethylene terephthalate) (PET)와 PA인 것으로 알려져 있다. 그러나, PET는 성형시 수분관리가 어렵고 장기신뢰성에서 방향족 성분으로 인한 가수분해가 문제가 될 가능성이 크며, 내열성에서 PA보다 열악하다는 검토결과 [2]로 인해서 PA로 결정되었다. 다음 표 1에 본 연구에서 제조한 세 종류의 시료의 특징을 간단히 정리하였다.

표 1. 시료의 종류

시료	Base resin	Characteristics
Reference	BMC	
HR-1	Polyamide	Inorganic filler, UL94-V0
HR-2		modifier, UL94-V0
HR-3		UL94-V0

2.2 물성측정

2.2.1 기계적 특성

그림 1에 본 연구에서 제조한 기준 시료 및 세 종류의 수지로 dumbbell형의 시료를 제작하여 ASTM D638에 의해 측정된 인장강도의 변화를 나타내었다.

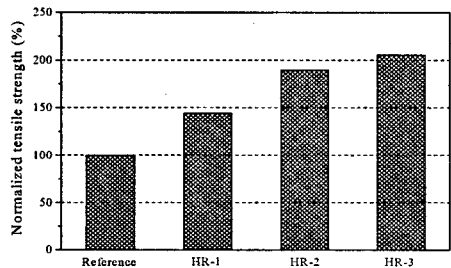


그림 1. 인장강도의 변화

측정에 있어서 각 시료를 모두 건조 오븐에서 100시간이상 충분히 건조시킨 후, 측정 직전에 꺼내어 사용하였다. 그림에서 기준 시료의 인장강도를 100으로 하여 나머지 세 종류의 시료의 인장강도를 규격화해서 나타낸

것이다. 측정결과, HR-1은 기준시료보다 약간 증가된 인장강도를 나타내지만, HR-2와 HR-3는 2배 이상 증가된 크기의 인장강도를 보여주었다. 이것은 HR-1의 경우 무기질 충전제에 의해 인장강도가 저하하였지만, HR-2와 HR-3는 인장강도에 크게 영향을 미치는 첨가제가 혼합되지 않았기 때문에 여겨진다.

그리고, 각 시료들의 굴곡강도를 ASTM D790에 의해서 측정한 결과를 그림 2에 나타내었다. 본 경우에서도 인장강도와 마찬가지로 건조 직후의 시료에 대해 측정한 결과이며, 기준시료의 굴곡강도에 대해 규격화하여 나타내었다. 굴곡강도의 경우도 HR-1은 기준시료와 유사한 크기를 나타내지만, HR-2와 HR-3는 200%이상 증가된 굴곡강도를 나타내는 결과를 얻었다.

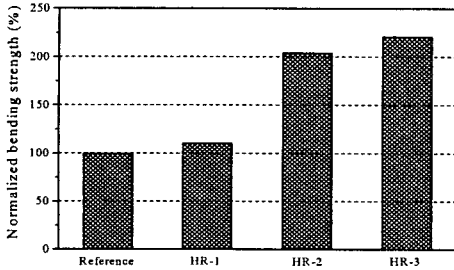


그림 2. 굴곡강도의 변화

표 2에 기준시료와 세 종류 수지의 기타물성을 측정 한 결과를 비교하여 나타내었다.

표 2. 기타 물성 비교

시료	비중	경도	성형수축율 (%)
	ASTM D792	ASTM D785	ASTM D955
Reference	1.80	85	0.2
HR-1	1.39	101	0.15
HR-2	1.30	109	0.07
HR-3	1.32	112	0.04

이상의 결과로부터, 본 연구에서 제조한 세 종류의 시료들중에서 HR-3의 기계적 물성이 가장 좋은 것으로 얻어졌다. 전술한 바와 같이 HR-3는 기준 시료보다 인장강도나 굴곡강도 모두 두 배 이상의 물성을 갖고 있는 것으로 나타나서 MCCB의 커버에 적용하기에 가능하리라 여겨진다.

2.2.2 열적 특성

그림 3은 ASTM D648에 의거하여 두께 0.25 inch의 시료에 18.6kg/cm²의 압력을 인가하였을 때의 열변형 온도를 측정한 결과이다. 그림에서 기준시료의 열변형 온도는 약 180°C이지만 HR-3의 경우 최대 210°C로 개발된 시료들이 기준시료보다 내열성이 강화되었다는 결과를 얻었다.

2.3 단락시험

기준 시료 및 세 종류의 수지를 사출장치를 이용하여 실 모델의 커버 및 도어를 사출성형하여 대전류 단락시험을 통해서 대전류 차단시에 커버의 파손 유무를 검사하였다. 시험에 있어서 시험용 MCCB는 기존의 BMC로 제조된 베이스에 도체부 및 사출 성형품을 조립하여 제작하였으며 각 시료당 3개의 MCCB로 단락시험을 실시하였다.

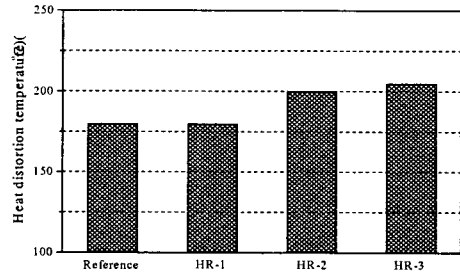


그림 3. 열변형온도의 변화

본 연구에서 이용한 저전압 대전류 발생회로를 그림 4에 나타내었다. 단락시험은 저압측에서 주파수 60Hz, 단자전압 460V, 회로고유 단락전류 30kA를 공급가능한 상태에서 실시하였다.

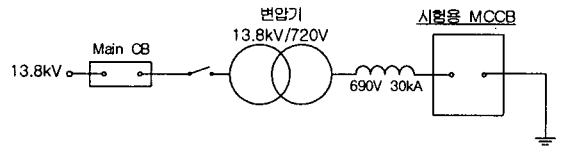


그림 4. 저전압 대전류 발생회로

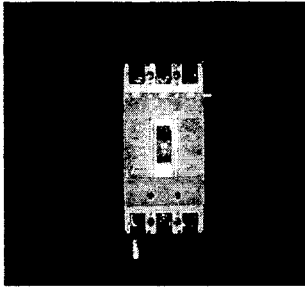
HR-3수지를 이용하여 사출성형된 커버 및 도어를 장착한 MCCB에 있어서 단락시험을 실시하기 이전의 모습을 그림 5(a)에, 30kA 단락전류를 차단하고 난 후의 트립된 모습을 그림 5(b)에 각각 나타내었다.

본 연구에서 실시한 세 종류의 수지로 제조한 MCCB의 단락시험에서 HR-2와 HR-3에서는 파괴가 보이지 않았지만 HR-1에서는 일부 균열이 발생하는 문제가 있었다. 따라서, MCCB 커버에는 HR-2와 HR-3가 적합한 결과를 얻었다.

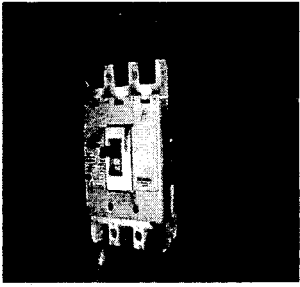
3. 소호실용 복합재료

소호실에 적용되는 절연물에 있어서는 아크전압을 급격히 상승시켜 전류를 빨리 차단하는 역할이 요구되고 있다. 소호실용 절연물로서는 예전에는 내열성이 뛰어난 무기재료를 사용해 왔지만, 아크의 높은 열에 의해 유기물 표면이 분해하여 발생된 가스의 압력이 점점 사이에 발생된 아크를 압박하여 직경을 감소시켜서 아크 저항을 높이는 역할을 하기 때문에 최근에는 유기재료를 많이 사용하고 있다. 그리고, 유기물의 적용은 유기물의 열분해시 아크 에너지를 흡수하고 냉각시켜서 아크 저항을 높이는 역할도 하는 것으로 알려져 있다 [3].

지금까지 소호실에 적용된 유기 절연물로는 소호실 내부의 온도상승에 대처할 수 있는 내열성을 가지고 있는 멜라민 수지 등의 열경화성 수지, 또는 내열성과 기계강도가 우수한 유리섬유강화 폴리에스테르나 poly(butylene terephthalate)와 유리섬유강화 액정고분자 등의 엔지니어링 플라스틱을 사용하였다. 그러나, 최근 MCCB의 소형화에 병행한 아크와 소호실내 절연물과의 이격거리의 감소에 의해 기존 재료를 사용할 시, 연면전류가 흘러 차단 성능이 저하하는 문제가 제기된 바가 있다. 그리고, 소호실이 차지하는 부피 감소에 의해 단락 차단시 내충격성이 떨어지는 열경화성 수지에서는 파괴 및 균열발생이 문제가 되고 있다 [2, 3]. 따라서 본 연구에서는 아크 발생시 소호성능을 향상시킬 수 있는 절연물을 개발하여 당사 MCCB에 적용하고자 하였다.



(a)



(b)

그림 5. 단락시험 전과 후의 MCCB:
(a) 시험전, (b) 시험후 트립된 모습

3.1 시료

MCCB의 소형화·차단용량의 증가에 따른 몸체 내부 압력의 증가에 따라서 절연성능의 저하경향이 현저해지는 것으로 보고된 바가 있다. 이것은 유기물의 열분해에 의해 생성되는 소화성 가스가 증가하여 내부압력의 증가를 유발하여 결국 몸체 내부에 유리 탄소를 중심으로 하는 도전성 물질의 부착량 및 부착면적의 증가로 인해 절연성능의 저하를 일으키기 때문이라고 알려져 왔다. 단락차단후 절연성능 저하의 원인인 부착물은 유기물이 증발한 원소와 접점 등의 도체에서 ablation된 금속원소로 구성되며 수 μm 의 층을 형성하는 것으로 보고되었다. 특히 접점과 도체에서 증발/비산한 은이나 구리의 영향이 큰 것으로 알려져 있다 [1-3]. 그러므로, 절연성능의 저하를 막는 방법으로는 탄소가 많은 방향족 고리를 포함하지 않으며 수소를 많이 포함한 유기물을 사용하여 유리탄소가 발생하는 것을 감소시키는 방법이나, 무기 충전제인 aluminium trihydrate에서 해리된 결정수와 유기기를 반응시켜 일산화탄소나 휘발성의 탄화수소를 형성하여 도전성 부착물의 형성을 방지하는 방법이 고안되고 있다.

본 연구에서는 소화실에 적용할 절연물의 검토를 거쳐서 시험적으로 유리섬유로 강화된 polyamide에 무기질 충전제를 적당량 첨가한 수지를 제조하였다. 이 수지를 이용하여 그림 6과 같은 모양으로 소화실에 적용이 가능한 성형물을 제작하여 단락시 절연성능의 저하 유무를 평가하고자 하였다. 그림에는 이해를 돕기 위하여 성형물 위에 소화 그리드를 올려 놓은 모습을 나타내었다.



그림 6. 소화 그리드를 올려놓은 소화실에 적용된 복합절연물의 모습

3.2 표면부착물의 분석

본 연구에서는 실물 기기 (은-WC계 접점, 동 도체, 철 arc chute)의 단락시험후, 몸체 내부의 소화실 주변에 부착된 금속성분이 포함된 탄화물의 부착물 (그림 7 참조)에 대하여 X-선 회절장치 (X-ray diffractometry: XRD), 주사전자현미경 (Scanning electron microscopy: SEM) 관찰, Energy dispersive X-ray (EDX)에 의한 성분분석을 실시하고 있으며, 상세한 내용은 발표회장에서 발표할 예정이다.

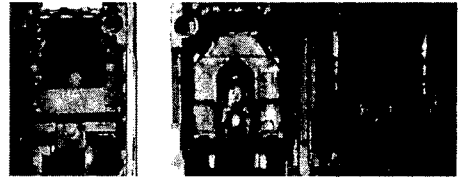


그림 7. 단락후 탄화물의 생성

4. 요약

저압 배선용 차단기에 적용이 가능한 열가소성 수지의 개발을 위한 연구의 일환으로 당사 MCCB 커버 및 소화실에 사용할 섬유강화 복합재료를 개발하였다. 커버용 신규재료는 기존의 열경화성 재료보다 인장강도 및 굽곡강도가 200% 이상, 그리고 내열성도 증가된 결과를 얻었으며 단락시험시 균열이 발생하지 않았다. 또한 소화시 절연성능을 저하시키지 않고 소화능력을 향상시킬 수 있는 재료를 개발하였다.

이와 같은 신규 재료의 적용으로 인해 대전류 차단시 당사 배선용 차단기의 안정성을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구에 있어서 분석에 도움을 주신 (주)한화석유화학 중앙연구소 이송형 박사님께 감사드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] A. Tsiaf, IEEE Trans. on Plasma Sci., Vol. PS-8, No. 4, pp. 455-460, 1980.
- [2] M. Yamaguchi, et al., 三菱電氣技報, Vol. 69, No. 4, pp. 40-43, 1995.
- [3] M. Kato, et al., 三菱電氣技報, Vol. 69, No. 4, pp. 44-48, 1995.