

와인딩 장력이 composite 부싱용 FRP tube의 굽힘변형에 미치는 영향

조한구, 유대훈, 강형경
한국전기연구원

Effect of The Bending Strain of FRP Tube for Composite Bushing with Winding Tension

Han-Goo Cho, Dae-Hoon Yoo, Hyung-kyung Kang
KERI

Abstract : This paper describes effect of the bending strain of FRP tube for composite bushing with winding tension. The composite bushing can be formed, by adding silicone rubber sheds to a tube of composite materials. The FRP tube is internal insulating part of a composite bushing and is designed to ensure the mechanical characteristics. Generally the properties of FRP tube can be influenced by the winding angle, wall thickness and winding tension. As winding tension is increased glass contents was increased in the range of 70.4~76.6%. In the bending test, winding tension is increased residual displacement was decreased in the range of 14.0~12.2 mm.

Key Words : Polymer bushing, FRP tube, Bending strength, Glass content, Deflection

1. 서론

오늘날 전력산업의 고압화는 필연적인 절연내력 저하 및 신뢰성 측면에서 그 문제가 대두되고 있으며 그 중에서도 전력기기와 고압선로를 연결하는 초고압 부싱의 신뢰성 확보는 매우 중요하다 할 수 있다. 특히 최근에는 기존의 자기형(porcelain) 부싱에서 절연성능 및 내오손 특성이 우수한 신소재 composite 부싱에 대한 관심이 높아져 가고 있으며 해외 선진 국가의 경우 대부분 실리콘(silicone) 재질의 부싱을 채택하여 전 세계적으로 수요가 증가하고 있는 추세이다[1]. 한편, composite 부싱의 내부는 높은 기계적 강도 및 높은 내압을 견딜 수 있는 구조로 설계되어야 하며 따라서 이를 충족시킬 수 있는 FRP tube의 제작은 매우 중요하다. 일반적으로 FRP tube의 특성은 와인딩 각도(angle)와 벽 두께(wall thickness)에 의해 물성이 결정되어 지지만 부싱의 사용 목적에 맞는 FRP tube의 물성을 얻기 위해서는 적절한 와인딩 장력의 변화가 있어야 한다. 이는 FRP tube의 유리섬유 함량에 따라 FRP tube의 강도가 크게 변하기 때문이다[2].

따라서 본 연구에서는 와인딩 장력에 따른 유리 섬유량을 측정하고, composite 부싱의 굽힘 강도 특성을 비교하여 최적의 부싱 설계안에 대해 검토하였다.

2. 실험

본 논문에서는 설계된 부싱의 굽힘 하중인가에 따른 와인딩 장력별로 기계적 특성을 평가하기 위해 IEC 61462 규격에 의거하여 시험을 실시하였다[3]. 먼저 굽힘하중 시험을 위해 각각 필라멘트 와인딩(filament winding)공법으로 와인딩 장력에 따라 FRP tube를 제작하였으며 동일한 방법으로 압착하였다. 한편, 시험시료는 모두 동일한 와인딩 각도와 두께를 가지도록 제작하여 동일한 조건에서의 시험이 가능하도록 하였다. 시험시료의 설치는 그림 1과 같이 부싱의 한쪽 금구를 견고하게 고정된 후 다른 한쪽

의 금구축으로부터 90°를 견고하게 고정된 후 다른 한쪽의 금구축으로부터 90° 방향으로 하중을 인가하게 된다. 특히 시료의 굽힘 변형을 확인하기 위한 strain gauge는 굽힘인가 하중에 따른 최대 스트레스 발생이 예상되는 지점인 고정축으로부터 30 mm 지점에 설치하였다. 본 시료의 시험과정은 총 2단계로 진행하였으며 stage 1의 경우 부싱의 기본적인 굽힘 특성을 확인하기 위한 것으로 시료의 MML까지 하중을 인가시킨 후 30초간 유지 후 하중 해제 후 부싱의 변위량 및 굽힘 변형량을 측정하였다. Stage 2의 경우 시료의 1.5MML까지 하중을 증가시켜 인가한 후 60초간 유지하였으며 이 후 3~5분 내에 잔류변형을 측정하여 변위량 및 굽힘 변형량을 기록하였다. 한편 본 시험에 의한 튜브의 빠짐이나 균열, 금구의 육안 손상이 없어야 하며 잔류 변형량이 5% 이내이어야 한다.



그림 1. 굽힘시험에 따른 시료설치.

3. 결과 및 검토

표 1은 굽힘하중 시험 결과를 나타낸 것으로 와인딩 장력이 증가함에 따라 1.4~0.3%의 범위로 3.0 kgf의 경우 가장 높은 잔류 변위량을 나타낸 반면 strain gauge를 통한 굽힘 변형량을 확인한 결과 2.1~0.5%의 범위로 4.5 kgf, 5.0 kgf, 3.5 kgf 순으로 나타났다. 따라서 기 결과로 볼 때 와인딩 장력이 적을 경우 유연성은 우수하나 지속적인 응력이 발생할 경우 FRP tube의 미세한 변형을 야기시키며 반면 과도한 와인딩 장력의 증가는 오히려 굽힘 변형량을 증가시켜 FRP tube의 균열이나 금구의 손상의 원인이 되는 것을 알 수 있다. 결과적으로 composite 부싱의 사용 목적에 맞는 FRP tube의 물성을 얻기 위해서는 적절한 와인딩 장력변화가 필요하며 본 시험 결과 4.5 kgf의 와인딩 장력을 가질 때 효과적인 기계적 특성을 가지는 것으로 확인되었다.

표 1. 굽힘하중 시험 결과.

No	Stage	변위량		굽힘 변형량
		최대	잔류	
	kgf	mm	mm	%
시료 1	1.0MML	9.53	1.04	1.7
	1.5MML	14.0	1.35	2.1
시료 2	1.0MML	9.32	0.83	0.9
	1.5MML	13.0	0.94	0.5
시료 3	1.0MML	8.9	0.21	1.3
	1.5MML	12.2	0.28	1.4

4. 결론

본 논문에서는 와인딩 장력에 따른 composite 부싱용 FRP tube의 굽힘강도 시험을 실시하여 다음과 같은 결과를 확인할 수 있었다.

1. 와인딩 장력에 따른 유리섬유함량은 3.5 kgf의 경우 70.4%, 장력 4.5 kgf의 경우 75.0%의 값으로 확인되었으며 5.0 kg의 장력에서는 76.6%의 값으로 큰 폭의 증가를 나타내지 않았다.
2. 굽힘시험에 따른 composite 부싱의 변위량을 확인한 결과 와인딩 장력이 증가할수록 14.0~12.2 mm의 범위로 감소하였으며 유리섬유 함량의 증가는 FRP tube의 기계적 강도를 증가시키는 것을 알 수 있었다.
3. 와인딩 장력별 굽힘시험 결과 와인딩 장력이 증가함에 따라 1.4~0.3%의 범위로 3.0 kgf의 경우 가장 높은 잔류변위를 나타낸 반면 strain gauge를 통한 굽힘변형량을 확인한 결과 2.1~0.5%의 범위로 4.5 kgf, 5.0 kgf, 3.5 kgf 순으로 나타났다.

참고 문헌

[1] D. Dumora, D. Feldman and M. Gaudry, "Mechanical

behavior of flexurally stressed composite insulators", IEEE Trans Power Delivery, Vol. 5, No. 2, pp. 1066~1073, April, 1990.

[2] R. Toshiaki, K. Tatsuro, H. Makoto and I. Tetsu, "Development of insulation technology in compact SF₆ gas-filled bushings", JEET Extended summary, Vol. 128-B, No. 3, pp. 586-592, 2008.

[3] "Composite insulators-Hollow insulators for use in outdoor and indoor electrical equipment-Definitions, test methods, acceptance criteria and design recommendation", Technical Report IEC 61462, 1998.