

변압기 권선 지지용 BMI 수지 복합재 제조 공정 개발

염문광* · 김종훈* · 우재희** · 김세창**

Fabration of BMI Resin Composite for High Speed Train Transformer

Moon-Kwang Um, Jong-Hoon Kim, Jae-Hee Woo, Se-Chang Kim

Key Words: Bismaleimide Resin, 수지충전공정(RTM), 변압기 권선 지지판, 고속 전철

Abstract

The composite composed of glass fabric and BMI resin was fabricated using resin transfer molding(RTM) process. it will be used as a supporting plate of transformer coil for high speed train. To develop a RTM process, permeability of preform was measured and resin properties like a viscosity and gellation time were checked. A resin pre-heating system and a mold system were also designed and developed. Using a vacuum-assisted RTM process, the composite supporting plate was successfully fabricated.

1. 서 론

고속전철용 변압기의 내부 권선을 지지하는데 사용되는 구조물은 경량화는 물론이고 사용 온도(약 200℃) 또한 통상적인 고분자 복합재의 측면에서 보면 매우 높다. 따라서 위의 조건을 만족하기 위해서는 고온용 수지의 선택이 필수적이므로, 본 연구에서는 상용 온도에서도 요구 강도를 일정 수준으로 유지하는 Bismaleimide (BMI) 수지를 선택하였다. 권선 지지용 복합재 판재의 설계 치수는 660x655x47mm로 일반적인 고성능 복합재 구조물로는 상당히 큰 후판에 속한다. Autoclave 성형법이나 수지 필름 함침법은 치수가 큰 제품도 큰 무리없이 성형할 수 있는 장점이 있는 반면에, Autoclave 성형법은 유리섬유/BMI 수지 프리프레그와 autoclave 장비가 필요하고, 수지 필름 함침법도 BMI 수지 필

름이 필요하다. 그러나 중간 소재의 가격이 수지 충전 공정에서 사용되는 수지의 가격에 비해 20배 이상으로 본 연구에서 채택하기에는 부적당하여 수지 충전 공정으로 제품 개발을 수행하였다.

2. 수지 충전 공정 개발 예비 연구

2.1 보강재의 물성정량화

주지하다시피, RTM공정의 중요단계는 크게 프리폼 제조(Preforming) 단계, 수지 충전(Resin Filling) 단계 및 경화(Cure) 단계로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 형상이 평판이므로 특별히 프리폼을 제조할 필요는 없으며 전기적 절연성을 고려하여 유리 섬유 직물을 사용하였다. 개발품은 권선 지지 및 변압기의 파괴 폭압도 견뎌야 하므로 고성능이 요구된다. 하지만 범용 수지 충전 공정의 섬유 체적율 약 20% 정도로는 요구 강도를 충족시키기엔 불충분하며 부피비 섬유 체적율을 가능한 한 최대(40% 이상)로 하는 것이 유리하다. 그러나 섬유 체적율이 증가하면 섬유들 사이의 공간이 점점 줄어들므로

* 한국기계연구원 복합재료그룹

** 현대중공업 중전기사업부

유동 저항이 급격히 증가하여 보강재 내부로 수지를 함침시키는 수지 충전이 매우 어렵게 된다. 따라서 수지 충전 단계가 제조 공정 개발의 핵심 단계라고 할 수 있다.

RTM 성형에서는 수지가 보강재 사이로 침투하게 되므로 보강재의 유동 저항인 투과성 계수의 정량화가 필요하다. 이 값을 알면 수지 사출압을 결정하거나 수지의 경화 특성과 연계하여 수지의 금형내 완전 충전여부를 판단할 수 있기 때문이다. 보강재의 투과성 계수 측정은 Um & Lee[1]가 제시한 방법에 준해서 수행하였다. 실험은 Fig.1에서와 같이 반경 방향 유동을 형성 시켜서 시간에 따른 수지 전진량을 측정하여 정량화하였다. 시간에 따른 점도변화의 영향을 없애기 위해 본 실험에서는 실리콘 오일을 사용하였으며, 유리섬유 직물은 GF432(한국화이바)로, 섬유 체적을 별로 측정한 투과성 계수를 Fig.2에 도시하였다. GF432는 거의 원형으로 유체가 빠져나가므로 등방성으로 가정해도 수지 유동 형태를 예측하는 데 큰 무리가 없는 것으로 판단된다. 따라서 투과성 계수가 등방성일 경우에 대하여 Adams et. al.[2]이 제시한 유동 선단 계산식을 이용하여 BMI 수지(matrimid 5292)가 보강재 사이로 완전히 침투시킬 수 있는지 검토해 본 결과 수지 사출압이 3기압 정도면 완전 함침이 가능한 것으로 계산되었다.

2.2 수지 자료 검토

Ciba-Geigy사의 Matrimid 5292 수지는 분말의 5292A와 액상의 5292B의 형태이며, 고온용 복합재료와 접착제에 다양하게 응용되고 있다[3]. Matrimid 5292 수지는 고온에서 뛰어난 기계적 특성과 좋은 인성 및 우수한 수분 저항성, 취급 용이 등의 장점이 있다. 혼합비율에 따라 기계적 강도에 약간의 변화가 가능하나 본 연구에서는 5292A와 5292B의 무게비 혼합 비율을 113:85로 하였다[4]. Fig.3은 Matrimid 5292의 온도에 따른 점도 변화인데, 이 값은 수지 사출 온도와 완전 함침에 필요한 사출압을 계산하는 데 사용되었다. Fig.4는 온도에 따른 수지의 경화 시간 변화로 이는 특정 온도에서 수지 충전이 완료되어야 하는 시간을 의미하므로 수지 온도 및 충전압을 결정하는 데 이용되었다.

3. 권선 지지판 제조 공정

3.1 금형 제작 및 보강재 적층

후판 복합재 평판을 제작하기 위해 본 연구에서 제작한 금형은 1회 성형으로 2개의 제품을 동시에 제작할 수 있도록 880mm × 1575mm × 47mm로 제작하였고 성형품의 표면 조도를 높이기 위해 sus판을 부착한 상, 하판과 두께 조절용 간극자의 세 부분으로 구성되어 있다. 상부 금형은 좌우 대칭형으로, 2개의 수지 주입구와 4개의 수지 배출구 겸 벤트로 구성되어 있다. 수지 주입은 변압기 권선이 감기게 되는 철심, 즉 철심이 들어감으로써 생기는 안쪽 Hole 주위에 형성시킨 Line Gate를 통하여 이루어지게 된다.

RTM 성형을 하기 위한 전처리 단계로 성형 후 제품의 탈형을 용이하게 하기 위하여 금형 표면에 이형 처리(Frekote NC-44)를 하였다. 보강재는 제품 형상과 유사한 template를 이용하여 섬유 부피 비가 약 45% 정도 되도록 144장을 재단하여 금형의 하판과 간극자를 조립한 후에 적층하였다(Fig.5). 적층이 완료된 후 금형을 체결하였는데 기밀을 유지하기 위하여 실리콘 O-ring과 진공용 grease를 사용하였다.

3.2 금형 충전

수지의 주입구와 배출구는 동판으로 연결 및 분해가 용이하도록 설치하였는데, 특히 수지 주입관은 주입시 수지의 열 손실로 인한 점도의 급격한 증가를 방지하기 위하여 단열재를 이용본은 처리하였다. 그리고 진공 게이지를 이용하여 금형 내부의 기밀 여부를 관찰하여, 금형 내부의 기밀성을 확인하였다. 기밀성은 수지 주입시, 수지 배출구가 아닌 곳에서의 수지 누출 방지 및 수지 충전의 불균일성으로 인한 기포의 생성을 최대한 억제하는 데 매우 중요하다.

또한 불균일한 수지 온도의 상승으로 인한 국부적 불균일 경화를 방지하기 위하여 기름 증탕조를 이용하여 수지를 혼합 및 예열하였는데, 이 때 증탕유는 점도가 20cs인 실리콘 오일을 사용하였다(Fig.6). 온도 조절 및 기계적 교반이 가능하도록 제작된 증탕조에서 Matrimid 5292 A와 B를 120℃ 정도로 가열 및 교반을 병행하여 두 혼합물이 완전히 섞인(A가 완전 용해) 암갈색 용액을 얻었다. 실제 초기 혼합액은 분말 5292 A가 완전히 녹지 않아 밝은 노란색을

면다(Fig.7). 예열 온도 120℃는 수지 충전용이하게 하기 위하여 수지의 온도별 점도 및 겔화 시간을 고려하여 결정하였다. 두 혼합물이 균일하게 혼합된 것을 확인 한 후 수지 사출시 제품의 기포를 없애기 위해 120℃, 26 inch의 진공에서 5-10분 동안 유지하여 합성된 물질에서 생성되는 가스를 제거하였다.

수지 주입을 위하여 성형에 필요한 장치들이 Fig.8에 도식적으로 주어져 있으며 각종 주입/배출관 들이 연결되어 금형에 장착된 사진이 Fig.9에 주어져 있다. 금형 내부로의 수지 주입은 충전 압력을 단계적으로 증가시키며 최종적으로 3기압의 질소 압력으로 주입하는데, 경화 과정에 있어 경화도의 저하와 겔화 진행의 촉진을 방지하기 위해 질소를 사용하였다. 또한 유동 저항을 줄이기 위하여 금형은 130℃ 정도로 예열하였으며, 중탕조 내부의 수지가 완전히 용융 혼합된 것을 확인한 후 금형 내부로 수지를 주입하였다. 최종적으로 수지 배출구로 수지가 배출되면 주입을 중단하고 주입구 및 배출구를 밀봉한 후 경화 공정을 수행하였다.

3.3 경화 및 탈형

수지 주입이 완료된 금형을 수지 공급사가 제시한 경화 사이클(Fig.10)에 준하여 경화하였다. 경화를 위해 사용되어진 오븐은 열풍 순환 방식으로 내부 용적은 폭 1700mm, 깊이 1100mm, 높이 1000mm의 것을 사용하였다.

경화가 끝난 금형은 실온에서 서냉시킨 후 금형을 해체하고, 성형품을 탈형하였다. Fig.11은 경화와 탈형이 완료된 성형품 및 최종 가공이 끝난 제품으로 수지의 함침은 매우 좋은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구를 통하여 고온용 수지 복합재 수지 충전 공정을 성공적으로 개발하였다. 추후 공정 최적화에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

4. 결론

보강재 및 수지의 물성 검토, 수지 예열 시스템, 금형 설계 기술과 수지 충전 공정을 이용하여 고온용 수지 복합재 대형 구조물 제조 방안을 제시하였으며 이를 이용하여 복합재를 성공적으로 성형하였다.

참고문헌

1. M.-K. Um and S.-K. Lee, "A Study on the Determination of In-Plane Permeability of Fiber Preforms," Polymer Composites, Vol.20, No.6, pp.771-779, 1999
2. Adams, K. L., W. B. Russel and L. Rebenfeld, "Radial Penetration of a Viscous Liquid into a Planar Anisotropic Porous Medium", Int. J. Multiphase Flow, Vol.14, pp.203-215, 1988.
3. Engineering Material Handbook Volume 1 Composite, ASM International, 1987
4. Product Data of Matrimid 5292 System, CIBA-GEIGY

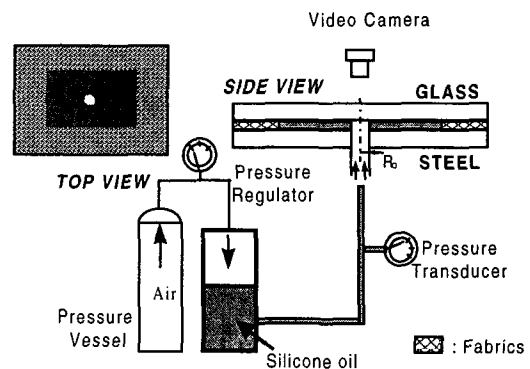


Fig.1 투과성 계수 측정 장치 개략도

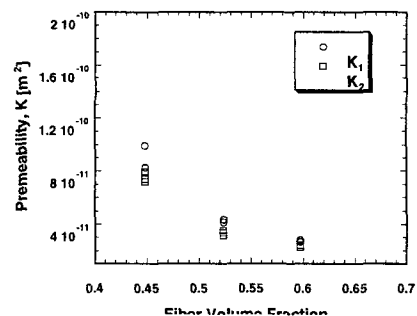


Fig.2 GF432의 투과성계수 측정결과

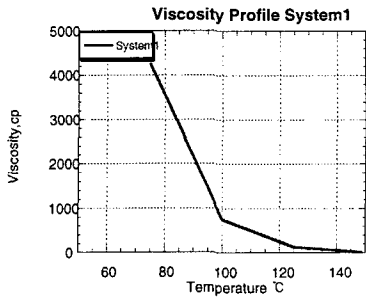


Fig.3 수지의 온도에 따른 점도 변화

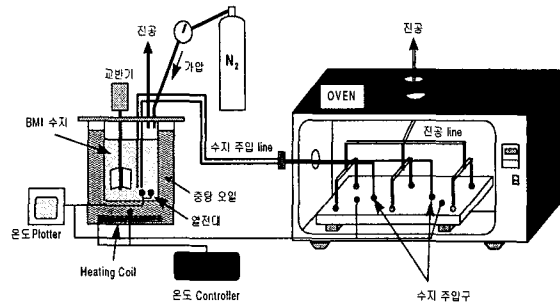


Fig.8 성형 공정 개략도

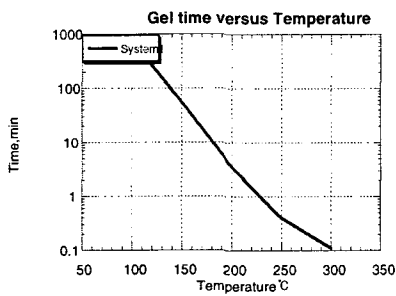


Fig.4 BMI 수지의 온도에 따른 겔화 시간

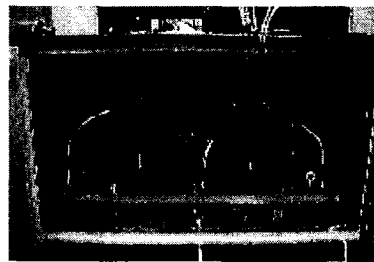


Fig.9 오븐 내 금형 장착 모습

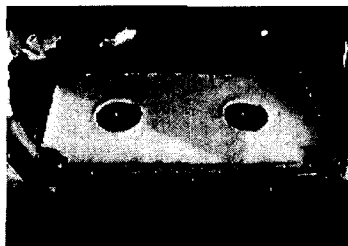


Fig.5 보강재 적층

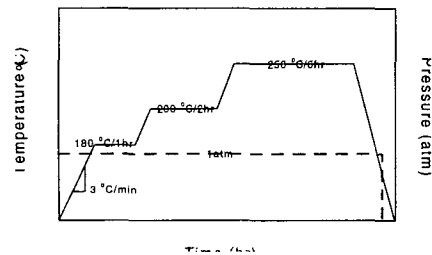


Fig.10 Glass/BMI의 경화 사이클



Fig.6 중탕조 외형 및 내부 교반기

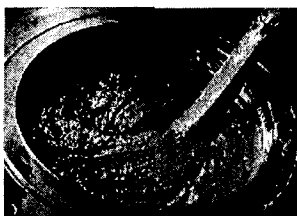
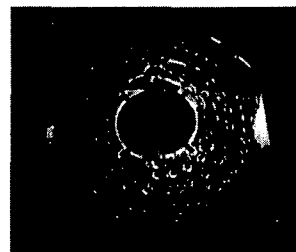


Fig.7 완전 용해전의 혼합 수지



(탈형 후)



(가공 후)

Fig.11 최종 성형품의 모습