

APG(Automatic Pressure Gelation)의 주형방식에 따른 변류기 제조에 대한 기술

소진중, 김평중*

한국전기연구원, 동우전기공업(주)*

Development of Current transformer by APG process

Jin-Joong Soh, Pyung-Joong Kim*

KERI, Dongwoo Electric Co.*

Abstract : 변류기의 제조공법에는 conventional 방식이 있다. Conventional 방식은 부분적으로 불규칙한 경화에 의한 굴곡형태, 단기간에 금형의 손상이 많이 가고, 제한된 생산량으로 금형이 많아야하고 또한 금형의 예열이 필요한 단점을 가지고 있다. 이를 개선한 APG(Automatic Pressure Gelation) 주형방식은 제품의 외관을 매끄럽게 하고, 자동화에 따른 금형수명을 연장하고, 1일 생산량이 conventional 방식보다 8배나 많고 제품의 후경화 설비만 필요한 장점이 있다. 생산성 향상 및 제조원가 절감을 위하여 새로운 제조공법인 APG 방식의 제조공법에 맞는 원재료 및 작업조건을 표준화하고 한국전기연구원이 보유하고 있는 고가장비인 내후성시험기, 성분분석시험기, 충격시험기, 단락시험설비 등을 이용하여 시제품에 대한 평가 시험을 하여 제품의 품질을 향상하고 안정성을 확보함으로써 국내 기업의 기술 경쟁력을 향상하고자 하였다.

Key Words : APG, 주형방식, 변류기

1. 서론

현재 변류기의 제조공법은 예열된 금형에 직접 수지를 주입해야 하기 때문에 다수의 금형을 필요로 하며, 경화 시간이 길어짐으로 생산성이 낮다는 문제점이 있다. 최근에는 60℃ 정도의 비교적 저온상태인 수지혼합물을 약 160℃ 정도로 유지된 고온의 밀폐된 금형 내에 압력을 이용하여 공급하면 큰 온도차에 의하여 수지혼합물속에 포함된 경화촉진제가 빠르게 반응함으로써 단시간 내에 혼합물이 겔(gel)형태로 변화되고 경화 완료시점까지 액상의 혼합물을 계속 가압 상태로 공급함으로써 반응수축을 보상할 수 있는 APG(Automatic Pressure Gelation) 방식의 공정이 개발되었다. APG 방식과 구분하기 위해서 기존의 방식을 conventional 방식이라고 한다.

위에서 언급한바와 같이 주형방식에는 conventional 방식과 APG 방식의 두 가지 형태가 있으며 기본적인 차이점은 conventional 방식은 작업자가 직접주형을 하는 방식이고, APG 방식은 자동 주형방식으로 설명될 수 있다.

Conventional 방식과 APG 방식의 비교를 해보면, conventional 방식은 부분적으로 불규칙한 경화에 의한 굴곡을 발생시켜 제품외관이 매끄럽지 못하며, 금형은 손상의 요인이 많기에 수명이 짧고, 하루에 1개정도 생산을 하며, 금형예열 및 제품 후경화로 다수의 경화설비를 필요로 한다. 반면 APG 방식은 제품의 외관이 양호하며, 금형의 수명이 길고, 하루에 8개정도 생산을 할 수 있으며, 제품 후경화 설비만 필요로 하며, 금형제작비가 비싼

편이다.

따라서 생산성 증대 및 품질안정을 위해서는 APG 방식으로 작업방법을 변경하여야 하며, 작업방법을 변경하기 위해서는 원재료의 선정 및 작업조건이 설정이 선행되어야 한다.

원재료의 선정 및 작업조건이 설정을 위해서는 반복 작업을 실시하면서 최적의 원재료 및 작업조건을 찾아야 하며, 이렇게 찾은 원재료 및 작업조건을 표준화하였다.

1.1 APG 방식

최근 새로이 부각되고 있는 APG 방식에 대해 알아보고 이 공정의 특징 및 공정순서를 알아보도록 하겠다. APG 방식은 위에서도 설명하였지만 자동가압성형방식이며, APG 방식의 도입으로 다음과 같은 이점을 얻을 수 있다. 1) 제품의 가격측면에서 경쟁력을 확보 2) 짧은 시간에 대량생산이 가능 3) 고온에서 급속히 경화하므로 작업시간이 크게 단축 4) 제품에 정확한 치수 안정성을 도모 5) 금형수명의 연장 6) PD값 및 설비의 간소화 등이다. 제품의 신뢰성 향상과 높은 생산성을 갖는 제품을 제조할 수 있게 되어 현재는 각종 전력기기, 절연구조물의 생산에 널리 이용되고 있는 실정이다. 앞으로 국내에서 진공 수지-주형 처리기술을 바탕으로 APG 공정을 이용한 설비의 자동화 및 높은 신뢰성과 생산성을 가지는 제품제조기술에 관한 연구가 활발히 진행되어야 하며 응용범위는 크게 확대될 전망이다.

2. 실험

2.1 재료의 선정

APG 공법에 사용되는 epoxy 원재리는 conventional 방식의 재료와 달리 분말형태가 아닌 액상 epoxy 원재리를 사용하여 진공가압 형태로 금형에 주입되어 주형을 한다. 따라서, APG 공법에 맞는 원재리를 찾고 이에 맞는 공법과 공정을 개발 하였다.

액상 epoxy의 경우에도 그 선택의 폭이 매우 넓어 주제, 경화제에 따라 재료의 특성이 변하고 공정이 다르기 때문에 원재료의 시편을 제작하여 기계적 성능시험 및 전기적 성능 시험을 거쳐 epoxy 재료를 선정하였고 기존 재료와 비교한 data 값은 표 1과 같다.

표 1. 개선전후 값

구분	단위	기존	개선	비고
내전압	kV/mm	17~20	19~21	1) 전기적 및 기계적 특성 향상으로 예측시 신뢰성 확보 (내구성, 내후성) 2) 기존 성형품의 경량화 가능으로 원가 절감
내ARC	sec	180	190이상	
유전율	%	4.2~4.8	4.0~4.1	
인장강도	N/mm ²	60~90	80~95	
압축강도	N/mm ²	150	150 이상	
굴곡강도	N/mm ²	120	130 이상	
Tg	℃	80~90	95~105	내열특성 향상으로 신뢰성 확보
내수성	%	0.2	0.14 이하	80℃ × 2hr, 내수성 향상으로 SF ₆ Gas 저항력 향상

변류기용 epoxy 수지 및 경화제는 A, B 및 C사의 제품을 평가하여 표 2와 같은 결과를 얻었다. 여러 제조업체 제품의 기계적인 특성은 유사 하였으나, 전기적, 화학적 특성 및 시제품을 제작하여 작업성 및 전기적 특성을 검토한 결과 A사 제품이 가장 적합한 것으로 판단되었다.

표 2. Epoxy 수지 특성시험

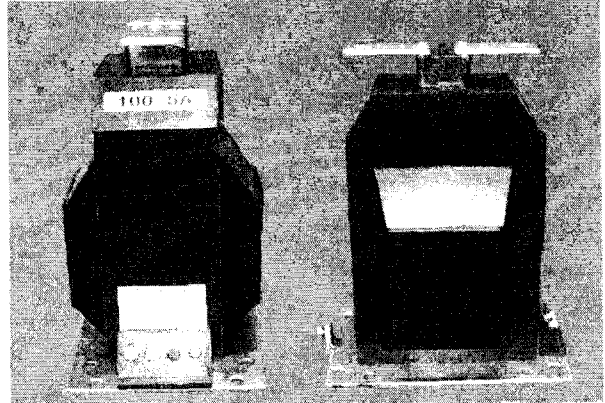
시험항목	단위	시험결과		
		A사	B사	C사
인장강도	N/mm ²	80 - 95	90 - 100	80 - 95
굴곡강도	N/mm ²	150 - 160	130 - 140	130 - 140
압축강도	N/mm ²	150 - 170	140 - 180	140 - 170
충격강도	kJ/m ²	5 - 9	5 - 9	5 - 9
Tg	℃	95 - 105	97 - 110	95 - 105
열팽창계수(10 ⁻⁴)	-50~20℃	31 - 32	32 - 33	34 - 35
경도	shore D	90 - 94	90 - 95	90 - 95
내전압	kV/mm	19 - 21	18 - 20	18 - 20
내 ARC	sec	190 이상	190 이상	180 이상
절연저항(10 ⁻¹⁵)	Ω	5.2 이상	5.1 이상	4.9 이상
체적고유저항(10 ⁻¹⁵)	Ω-cm	3.5 이상	4.5 이상	3.7 이상
표면고유저항(10 ⁻¹⁵)	Ω	5.8 이상	5.5 이상	5.5 이상
유전율	50 Hz	4.12	4.001	4.11
	1 MHz	3.95	3.962	3.97
유전정접	50 Hz	0.00442	0.00401	0.00431
	1 MHz	0.01533	0.01400	0.01530
흡수율	20℃, 100 h, %	0.078	0.066	0.077
	20℃, 15 일, %	0.15	0.16	0.16
	80℃, 5 h, %	0.14	0.14	0.04
	100℃, 1 h, %	0.13	0.12	0.13
내후성	1000 시간	이상 없음	이상 없음	이상 없음

2.2 제조공정

1,2차 코일권선 → 1,2차 코일예열 → 취부인서트부착 → 1,2차 코일고정 → 금형청소 → 금형에 코일고정 → 주형 → 경화 → 이형 → 후경화 → 시험

2.3 제품사진

A사의 제품으로 아래의 변류기를 생산하였다.



3. 결과 및 고찰

본 연구에서 얻어진 성과는 크게 구분하면 원재료의 선정, 제조 공정의 개발, 공정개발에 따른 제조 수율의 향상으로 볼 수 있다. 이 중에서 제품 생산에 들어가는 작업시간으로 환산하여 절감된 인건비의 비중을 보면 표 3과 같으며 이는 단순한 인건비 절감의 문제뿐 아니라, 중소기업 등에서 겪고 있는 구인난 등에 많은 영향을 미쳐 표면에 나타나지 않는 기타 이득도 발생할 것으로 보인다.

표 3. 작업시간 및 절감액

작업시간(h)		절감액	비고
기존	APG		
6	1	대당:73,500원	임률 : 14,700원/h(동우전기기준) 후경화 시간은 동일하여 제외

4. 결론

현재의 제조공법은 예열된 금형에 직접수지를 주입하는 방식으로써 다수의 금형이 필요하고 경화시간이 길어짐으로써 생산성이 저하되어, 인력수급 등의 문제를 발생하고 있었다. 이러한 문제점을 해소하고 공정을 표준화함으로써 제품의 품질을 안정적으로 유지할 수 있도록 하였으며 확보된 기술적 성과는 다음과 같다.

- 공정개선 : Conventional 방식에서 APG 방식으로
- 생산성향상 : 생산에 필요한 시간을 최소 1/6으로 단축
- 품질개선 : 제조공정의 표준화 및 제품시험방법개선

감사의 글

본 과제는 산업지원부에서 시행한 부품·소재종합기술지원사업의 기술지원결과입니다.