

不飽和 폴리에스테르 樹脂의 硬化方法에 따른 物性特性, 誘電特性 및 機械的 特性에 關한 研究

嚴 茂 樹

전 기 과

〈요 약〉

본 논문은 불포화 폴리에스테르 수지의 고온 경화과정과 전기적 및 기계적 특성의 상관관계를 연구하였다.

본 연구의 실험결과에서, 첫째 불포화 폴리에스테르 수지의 경화시에 물성특성, 전기적 및 기계적 특성에 커다란 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 두번째로, 전기적 특성 및 기계적 특성의 관점에서 최적의 경화조건은 120℃에서 2시간 1차 경화를 행한 후, 200℃에서 10시간 2차 경화를 행한 시료에서 얻어졌다.

A Study on the physical, Dielectric and mechanical Properties due to the Curing of unsaturated Polyester Resin

Eom, Moo Soo

Dept. of Electrical Engineering

〈Abstract〉

Relationships between cure history and dielectric and mechanical properties of a high temperature curing unsaturated polyester resin are investigated.

According to the results in this paper, first, it is found that the physical properties, electrical and mechanical and mechanical characteristics of the unsaturated polyester resin are largely affected by the curing. Second, From the view point of dielectric strength and mechanical properties in this work, optimum conditions for fabrication of Glass-cloth/unsaturated polyester composit materials were obtained for the sample post-cured at 200°C for 10 hours after curing at 120°C for 2 hours.

I. 序 論

최근 회전기를 중심으로 전기기기의 사용환경이나 운전책무의 다양화, 가혹화 및 소형 경량화의 극단적인 요구가 주어지고 있으며, 200°C를 넘는 고온하에서 운전할 수 있는 전기기기가 필요한 경우가 많아지고 있다. 즉, 전기공학, 우주공학, 원자력공학, 화학산업 및 철강산업에 이르는 여러분야에 걸쳐 극단적인 소형 경량화가 필요한 경우나, 고온분위기 내에서도 혹은 고온체와 접촉되어 설치되어야 하는 경우가 늘어나서 물리적, 환경적 및 경제적 측면에서 냉각기능을 충분히 설치할 수 없는 경우가 많다.[1] 이와같은 경우에 가장 큰 문제로 제기되고, 또한 개발 및 개선되어야 할 기능의 하나가 절연재료 분야이다.

한편, 절연기술은 재료기술, 설계기술, 평가기술, 가공기술 및 신뢰성 기술로 구성되며[1], 최근 수년간에 걸쳐 많은 우수한 고분자 절연재료가 출현하여 이와 관련 기술의 착실한 축적으로 이 분야에 커다란 진보를 가져왔다. 그러나 이와 같은 유기 고분자 절연재료는 200°C를 넘어 연속적인 운전을 할 수 없어 재료기술에 크게 의존하고 있으며, 특히, 절연기술의 발전은 200°C 이상의 온도영역에 대한 기술로서는 거의 신소재로 등장한 복합재료의 제작과 설계에 의존하고 있는 실정이다.[2-8]

본 연구에서는 고온 분위기에서 제반특성이 우수하게 나타날 것으로 생각되어지는 Glass-cloth/unsaturated Polyester 복합재료의 제작에 선행하여 불포화 폴리에스테르 수지의 경화방법 및 경화조건(1차 및 2차 경화)등을 명확하게 밝혀, 전기적 및 기계적 측면에서 최적의 경화조건을 규명하고자 한다. 그리고 이 연구에서 규명되어진 불포화 폴리에스테르 수지의 최적 경화조건을 복합재료의 제작시에 적용시키고자 한다.

II. 試料製作 및 實驗方法

2.1 시료제작, 1차 및 2차 경화조건

본 연구에 사용되어진 매트릭스로서는 내열성, 전기적 및 기계적 특성이 우수한 불포화 폴리에스테르 수지(unsaturated polyester resin : DAHAN INK Co. DVB-2152)를 사용하였다. 본 연구의 시료제작은 다음 두가지로 나누어 제작되어진다.

첫번째로 불포화 폴리에스테르 수지의 1차 경화온도에 따른 수지의 물성 특성의 측정용 시료제작

두번째로 첫번째의 시료중 가장 우수한 물성특성을 나타내는 시료를 2차 경화조건에 따른 물성특성, 유전특성, 전기적 및 기계적 인장특성 등의 측정용 시료제작

첫번째의 시료 제작에 있어, 먼저 불포화 폴리에스테르 수지를 주위 온도가 80℃로 유지된 전기로 내에서 약 10분간 예열시킨 후, 진공장치에 옮겨서 수지 자체가 함유하고 있는 수분 및 보이드를 제거한다. 다음 주제와 경화제의 비를 100 : 1로 혼합시키고, 다시 진공장치내에서(주위온도 : 80℃, 진공도 : 10^{-3} torr)에서 약 30분간 보이드를 완전히 제거시킨다. 그리고 그림 1과 같은 방법으로 만든 후, 그림 2의 시료제작 장치에 옮긴 다음 주위온도가 120℃, 140℃, 160℃, 200℃로 유지된 전기로에서 가압 꺾화법에 따라 각각 2시간씩 1차 경화를 하여 시료를 제작한다. 이때, 시료의 두께는 $3\text{mm} \pm 5\mu\text{m}$ (밀도변화특성 및 절연강도특성 측정용 시료)인 2종류씩을 제작하였다.

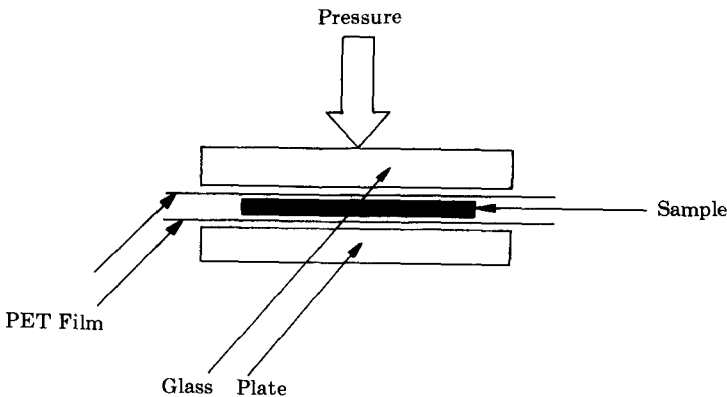


Fig. 1. Fabrication method of sample.

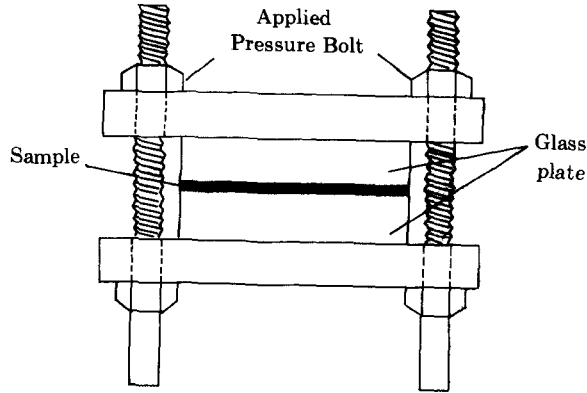


Fig. 2. Apparatus for sample fabrication.

여기서 불포화 폴리에스테르 수지의 겔화 시작점은 일반적으로 점도의 변화 및 강성의 변화는 전도전자 및 이온의 이동과 밀접한 관계가 있으므로[12] 본 연구에서는 그림 3과 같은 장치를 제작하여 시간 변화에 따른 체적저항 변화특성을 측정하여 그림 4의 결과를 얻었다. 즉, 그림 4의 곡선은 액상시료를 80°C로 일정하게 유지된 그림 3의 장치에 옮긴 후, 시간 경과에 따른 체적저항의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 겔화 시작점은 시간의 경과에 따라 체적저항의 변화가 거의 일정하게 유지되다가 이탈을 시작하는 점이며, 겔화 끝점은 시간의 경과에 따라 체적저항의 변화가 급격하게 변하는 기울기와 처음 일정하게 유지되는 값의 접선과 만나는

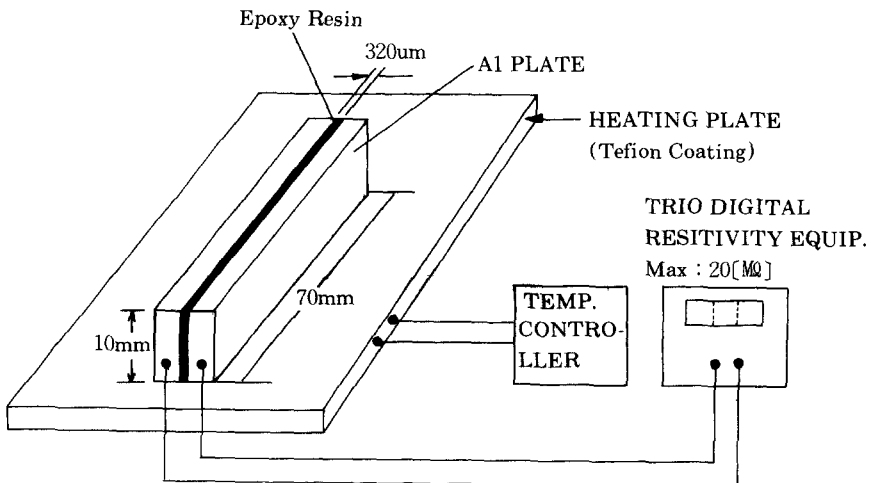


Fig. 3. Schematic of volume resistivity equipment.

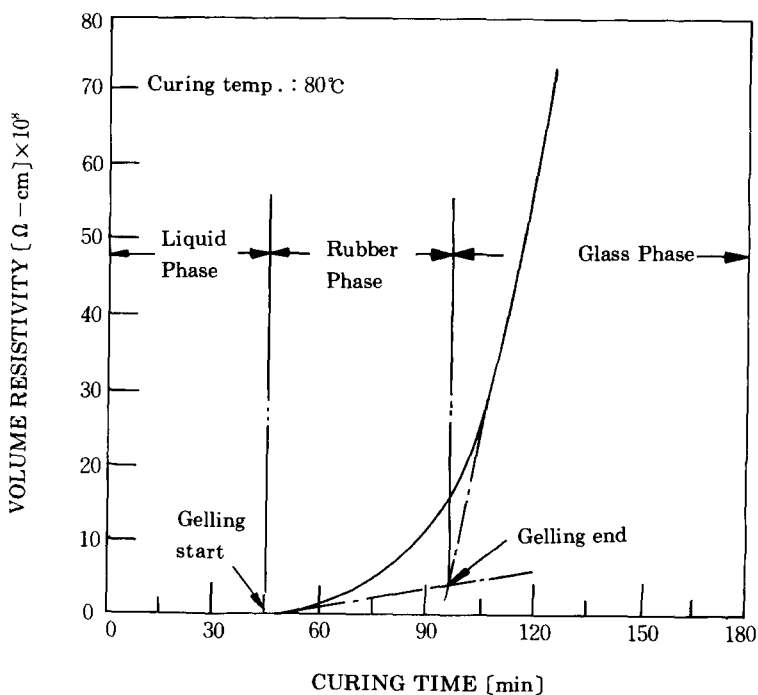


Fig. 4. Pre-cured time - volume resistivity characteristics of unsaturated polyester resin.

점이다. 경화가 진행됨에 따라 겔화 시작점 가지는 액상이며, 겔화 시작점에서 겔화 끝점을 경과하면서 부티는 글라스상으로 나눌 수 있다.[10] 그림 4에서 80°C에서 겔화 시작점은 약 45분 후가 됨을 알 수 있다.

그림 5는 불포화 폴리에스테르 수지의 주위온도 변화에 따른 겔화 시작점의 특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 겔화 시작점은 주위온도가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소함을 알 수 있고, 80°C에서는 약 45분이며, 100°C에서는 17분, 120°C에서는 약 6분 그리고 140°C에서는 약 4분으로 나타남을 알 수 있다.

두번째 시료의 제작에 있어서는 불포화 폴리에스테르 수지의 1차 경화를 80°C, 100°C, 120°C, 140°C에서 경화시간을 달리하여 제작한 시료중 물성특성이 가장 우수하게 나타나는 시료의 1차 경화온도를 채택하여 시료를 제작한 후 2차 경화조건을 그림 6에서와 같은 반복 경화법[12]으로 2차 경화 시간에 따라 시료를 제작한다. 이때, 전기로 내의 온도상승은 5°C/min이고, 온도하강은 2°C/min이다. 그리고 2차 경화온도는 150°C, 180°C, 200°C, 220°C, 240°C로 5종류로 하였다. 제작되어진 시료의 두께는 첫번째 시료의 두께와 동일하게 하였다.

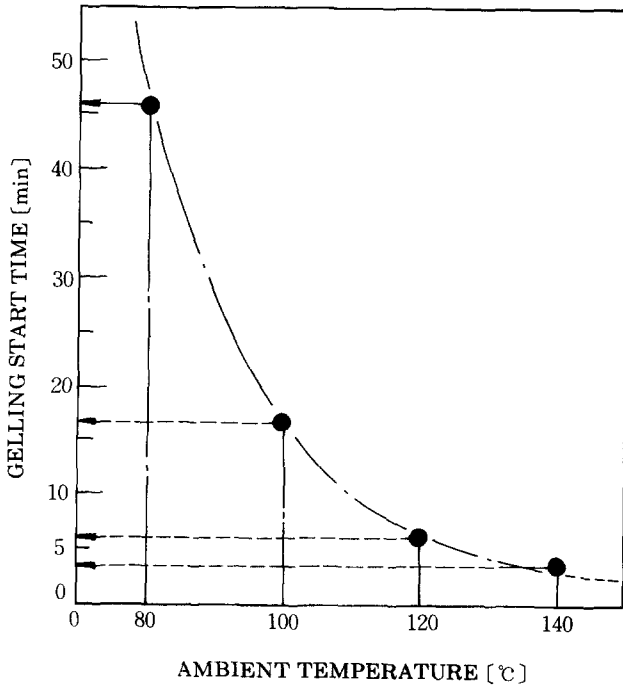


Fig. 5. Ambient temperature - gelling start time characteristics of unsaturated polyester resin.

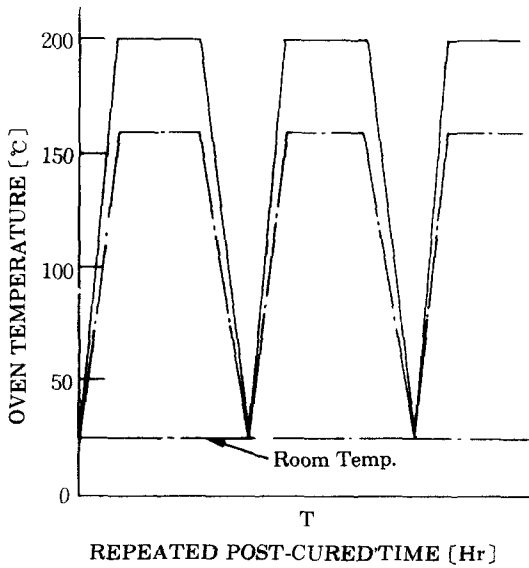
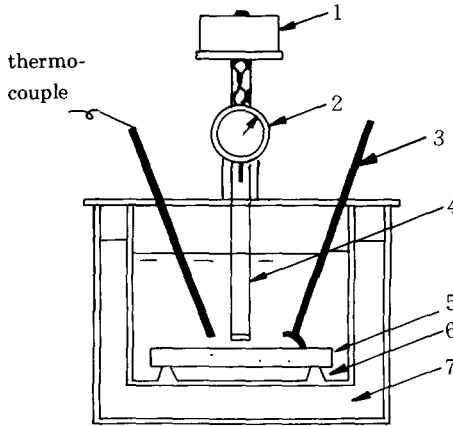


Fig. 6. Repeated post-cured method.

2.2 실험장치 및 실험방법

1차 및 2차 경화가 끝난 시료로서 다음과 같은 실험을 행하였다.

- 1) 매트릭스의 2차경화시간-밀도측정
- 2) 매트릭스의 2차경화시간-체적저항 변화특성
- 3) 매트릭스의 2차경화시간-열 변형온도 변화특성
- 4) 주위온도에 따른 매트릭스의 $\tan\delta$ 및 ϵ_r 변화특성
- 5) 2차 경화시간에 따른 매트릭스의 절연파괴강도특성
- 6) 매트릭스의 기계적 인장-응력특성



1. weight 2. dial gauge 3. stirrer
4. weight bar 5. sample-
supporter 7. heater bath

Fig. 7. Experimental set-up for measuring HDT.

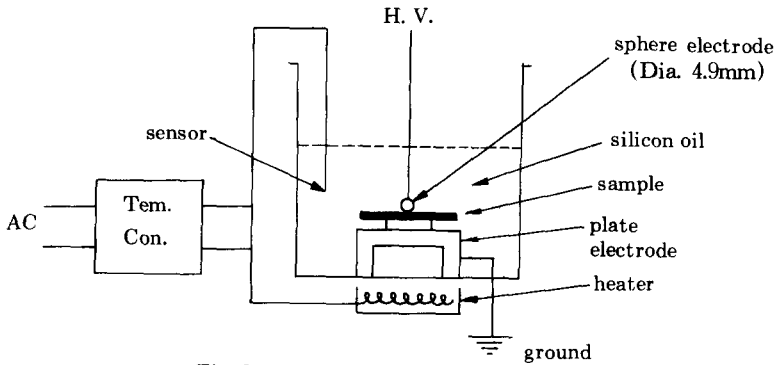


Fig. 8. Experimental apparatus for insulation materials

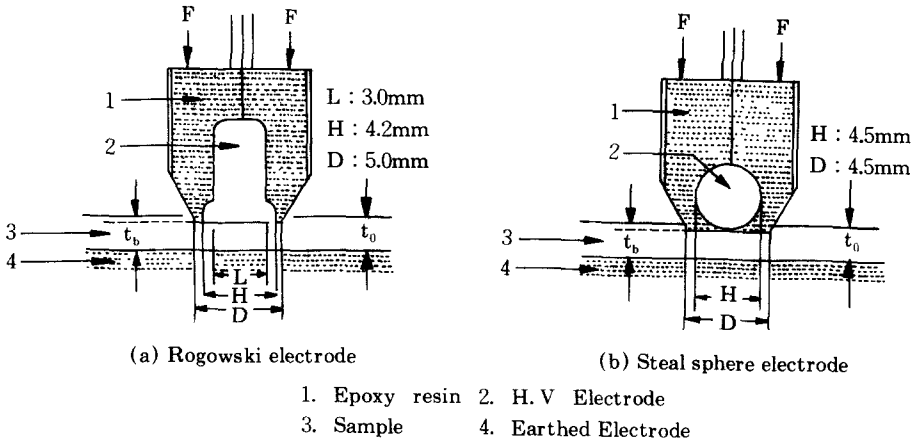


Fig. 9. Schematic diagram of electrode system.

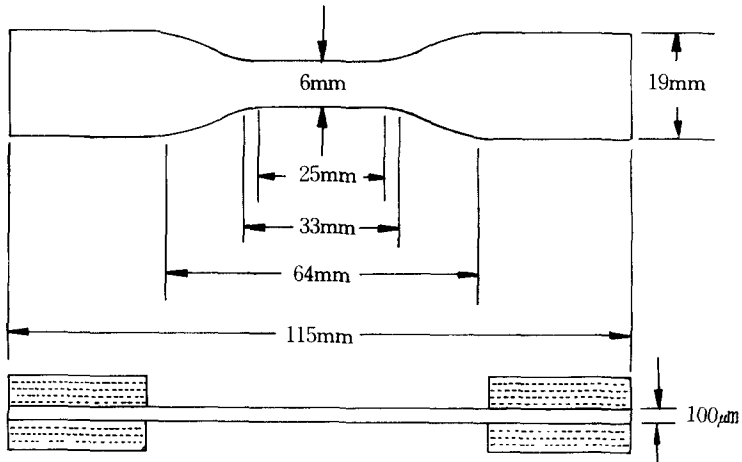


Fig. 10. Tensile test specimen.

여기서 밀도특성, 체적저항 변화특성 및 열 변형온도 특성은 시료의 내부가교도 및 경화조건 결정에 중요한 인자로 알려져 있어, [13, 14] 매트릭스의 물성특성에 커다란 영향을 미치고 있다.[15] 여기서 밀도측정은 본 연구실에서 제작한 밀도구배장치를 이용하였고, 체적저항 변화특성은 고저항 측정장치(High Resistance Meter, 4329A : HEWETT PACKARD)을 이용하여 인가전압 500[V]로 일정하게 한 후, 모든 시료를 측정하였다. 그리고 열 변형온도특성의 측정은 본 연구실에서 제작한 그림 7과 같은 장치로서 측정하였다. 열 변형온도특성 측정에 사용된 시편

의 크기는 3.2mm×12.7mm×110mm로서 그림 7에서와 같이 실리콘중에 설치한 후, 규정의 굽힘응력[16]을 가한 다음 5분 후 다이알 게이지의 눈금을 0으로 하고 실리콘유의 온도를 2± 0.2℃/min의 속도로 높여 가면서 다이알 게이지 눈금이 260μm에 달했을 경우 실리콘유의 온도가 시료의 열 변형온도로 된다. 그리고 시료의 유전특성은 Precision Tanδ and C Bridge Meter(Tettex AG Instrument, Type 2821HB)을 이용하여 측정하였다.

시료의 절연강도는 본 연구실에서 설계 및 제작된 장치로서 행하였으며, 그림 8에 나타내었다. 이때 측정방법은 그림 8에 시편을 장치하고, 교류전압을 3[kV/sec]의 속도로 상승시키면서 측정하였다. 이 경우 전극은 평판 구전극으로 구성하였으며, 고전압측 구전극은 직경 4.5[mm]인 베어링 강구를 이용하였으며, 시료와 전극이 한점에 접촉하고, 불규칙 파괴를 방지하기 위하여 그림 9와 같이 예폭시 수지로 몰드한 전극을 사용하였다. 그림상의 측정값은 시료 10개에 대한 평균값 및 분산으로 나타내었다.

그리고 기계적 인장 및 스트레스트특성의 시험은 Instron(Model : 6022, Japan)을 이용하였고, 이때, 인장 시편의 형상은 그림 10과 같으며, 시편의 표준거리는 25 [mm], 중심폭은 6[mm]로서 크로스-헤드(cross-head)의 속도는 1.0[mm/min]으로 하였다. 이 경우 5개 시편의 결과치를 평균하여 인장 강도값으로 나타내었다.

Ⅲ. 實驗結果 및 考察

3.1 경화방법에 따른 불포화 폴리에스테르 수지의 물성특성

그림 11은 120℃에서 2시간 동안 1차 경화를 행한 시료를 2차 경화온도를 달리 했을 때, 2차 경화시간에 따른 밀도변화특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 2차 경화온도가 200℃ 일때 2차 경화시간이 약 5시간 이후부터 시료의 밀도가 가장 안전하게 나타나고 있다. 이러한 결과는 시료내부 분자구조가 저밀하고, 최적의 3차원적 망목상 구조로 형성되므로서 나타나는 결과인 것으로 생각된다. 그러나 2차 경화온도가 150℃ 및 180℃일때는 2차 경화시간이 각각 15시간 및 20시간 이후부터 밀도가 안전한 상태로 도달함을 알 수 있고, 그 이전의 경화시간에서는 3차원적 망상구조가 형성되어지는 과정인 것으로 생각된다. 여기서 시료내부의 망목상 구조적 측면에서 가장 경제적인 2차 경화온도 및 시간은 200℃에서 약 5시간 임을 알 수 있다.

한편, 2차 경화온도가 220℃ 및 240℃일때는 2차 경화시간이 각각 10시간 및

15시간 이후부터는 오히려 서서히 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 이러한 결과는 초기부터 고온에서 너무 급속히 경화가 진행되어 시료내부의 발열량이 너무 많아 경화시에 시료내부에 마이크로 크랙 및 3차원적 망목상 구조내에서의 결합등이 발생하고, [2, 13] 또한, 장시간 경화를 행함으로서 시료내부에 서서히 열 열화가 진행되어 시료의 질량에 비하여 체적의 감소율이 커지므로서 밀도가 서서히 증가하는 것으로 생각된다.[12]

그림 12는 불포화 폴리에스테르 수지의 2차 경화온도를 달리 했을 때, 2차 경화 시간에 따른 체적저항을 변화특성을 나타내고 있다. 이때 측정전압은 500[V]로 일정하게 하였다. 이 그림에서 체적저항율은 2차 경화온도에 상관없이 2차 경화시간과 더불어 서서히 증가하는 경향을 보이고 있다. 그리고 2차 경화온도가 150℃, 180℃ 및 200℃ 일때는 2차 경화시간이 약 15시간 이후 부터는 거의 이 온도에서 최대 체적저항값이 도달하거나, 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 초기의 고온에서 경화가 진행됨으로서 시료 내부에 발생한 마이크로 크랙, 분자 결합발생 등의 영향인 것으로 생각되어진다.

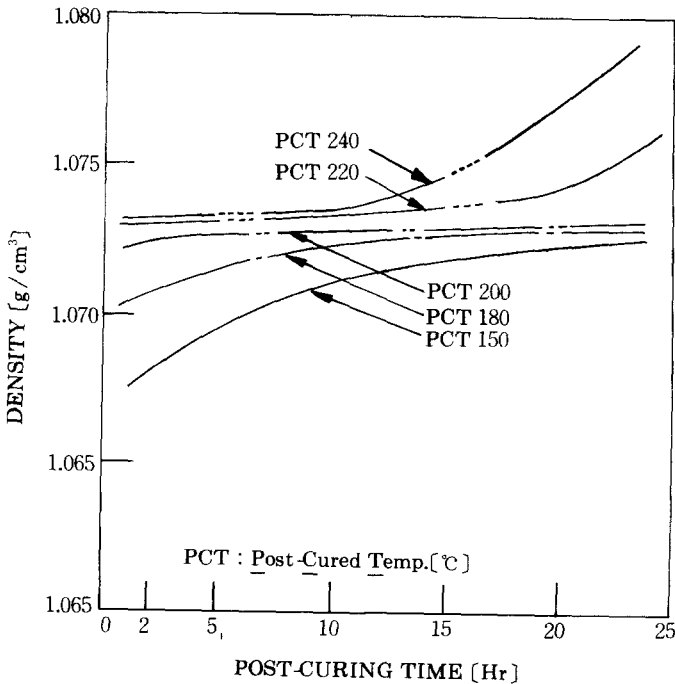


Fig. 11. Post-cured time - density characteristics of unsaturated polyester resin.

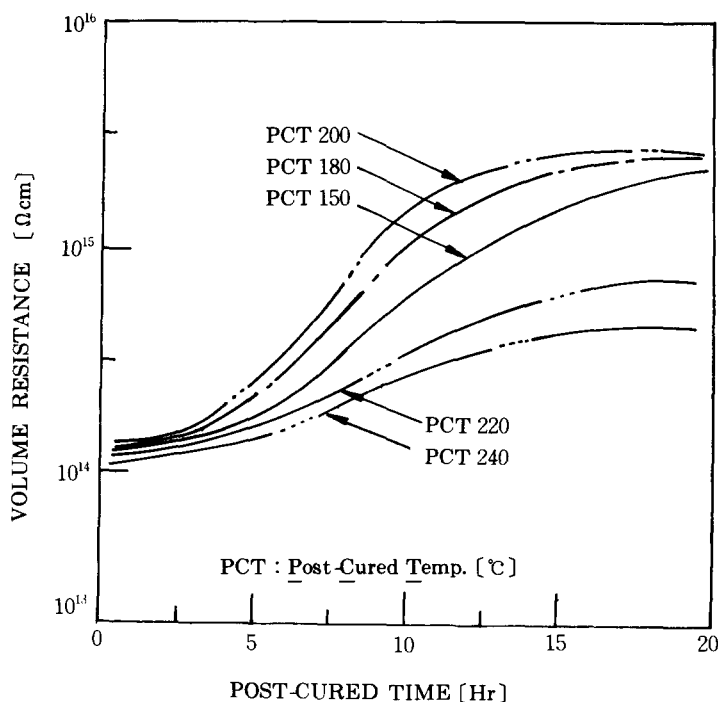


Fig. 12. Post-cured time - volume resistance characteristics of unsaturated polyester resin.

그림 13은 120°C에서 2시간 1차 경화를 행한 시료를 주어진 온도와 시간에서 2차 경화를 행한후, 본 연구실에서 제작한 열 변형온도 측정장치로서 열 변형온도를 측정된 결과를 나타내고 있다. 이 그림에서도 열 변형온도는 2차 경화온도에 상관없이 경화시간과 더불어 점차적으로 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉, 내부분자 구조가 조밀한 3차원적 망목상 구조가 형성되어 가교도가 증가하면 밀도, 체적저항 및 열변형온도가 높아지고, 반대로 가교도가 낮거나, 고온에서의 장시간 경화에 의한 3차원적 망목상 구조가 붕괴되어 가교도가 감소하게 되면 밀도, 체적 저항 및 열 변형온도가 낮게 나타나거나, 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

3.2 경화방법에 따른 매트릭스의 유전특성, 전기적 절연특성 및 기계적 인장특성

그림 14는 120°C에서 2시간 1차 경화를 행한 시료를 주어진 온도 및 시간에서 2차 경화를 행한 후, 주위온도에 따른 Tanδ 및 ε_r특성을 측정된 결과를 나타내고 있다. 이때 2차 경화시간은 13시간으로 일정하게 하였고 측정 주파수 및 전압은

각각 60[Hz] 및 1.0[kV]로 하였다. 이 그림에서 180℃ 및 200℃의 $\text{Tan}\delta$ 특성이 가장 우수한 특성을 나타내고 있다. 그러나 150℃ 및 220℃의 $\text{Tan}\delta$ 특성은 80℃까지는 거의 일정한 값으로 나타난 후, 이 시간 이후부터는 점차적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 결과는 불포화 폴리에스테르 수지내부의 분자구조 및 분자운동과 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 즉 경화시에 형성되는 분자구조가 조밀한 3차원적 망목상 구조로서 형성되면 외부의 열에 의한 분자쇄의 세그먼트운동 및 쌍극자 운동이 억제되어 전도전자의 이동이 일정하게 나타나므로 $\text{Tan}\delta$ 특성이 일정하게 나타나는 것으로 생각된다. 그리고 수지 내부의 미반응기가 남아 있거나, 분자 결합상의 결함이 있으면 분자의 세그먼트 운동 및 쌍극자운동이 활발해지므로서 전도전자의 이동이 서서히 커지므로서 이와 더불어 $\text{Tan}\delta$ 값도 서서히 커지는 것으로 생각된다.

한편 주위온도에 따른 ϵ_r 특성은 주위온도에 상관없이 거의 일정한 값으로 나타나고, 있음을 알 수 있고, 그 범위는 대략 3.6-4.3정도이다.

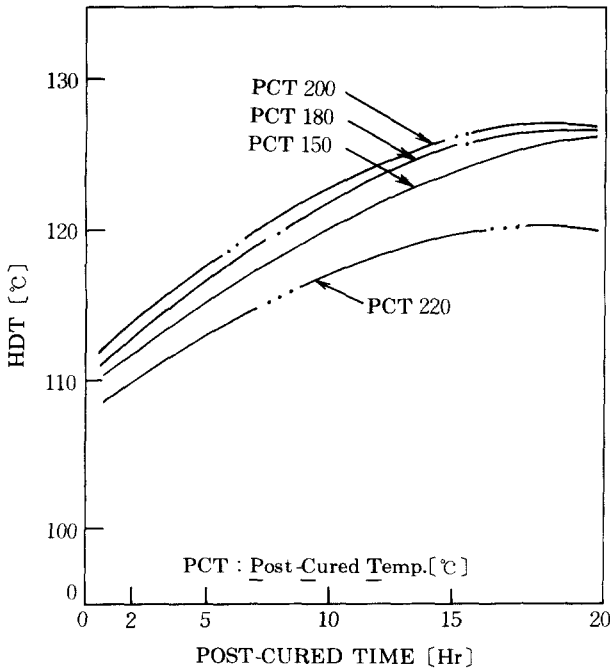


Fig. 13. Post-cured time - HDT characteristics of unsaturated polyester resin.

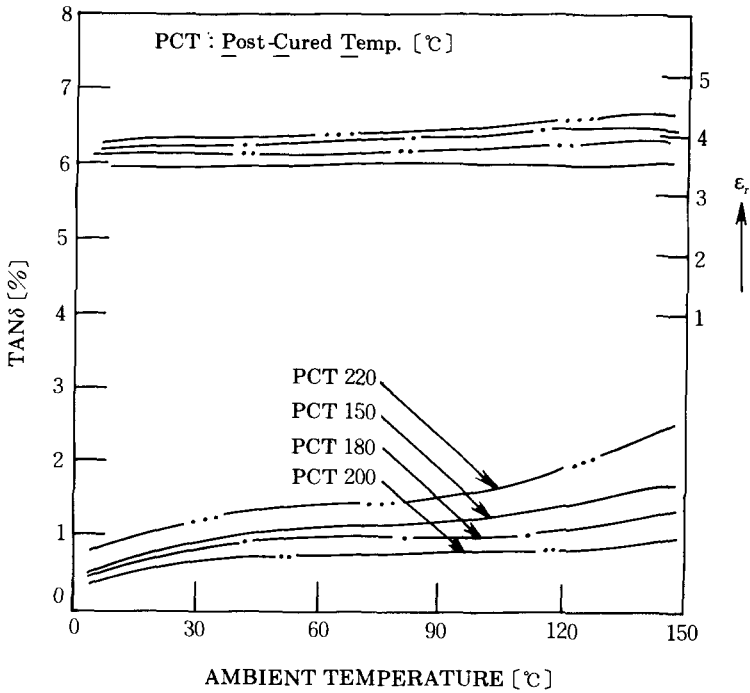


Fig. 14. Ambient temperature - Tanδ and ϵ_r characteristics of unsaturated polyester resin.

그림 15는 120℃에서 2시간 1차 경화후, 160℃, 180℃, 및 200℃에서 각각 주어진 시간동안 2차 경화를 행한 시료를 상온으로 냉각시킨 다음 2차 경화시간에 대한 교류 절연강도 시험을 행한 결과를 나타내고 있다. 그리고 2차 경화온도가 높을 수록 최대 절연강도를 나타내는 2차 경화시간이 단축되는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 2차 경화온도에 따라 시료 내부분자의 결합구조의 형성이 달라지므로 나타나는 현상인 것으로 생각된다. 이 그림에서 최대 절연강도를 나타내는 2차 경화 시간과 온도의 관계는 표 1과 같다.

표 1. 최대 절연강도에 대한 온도 및 시간 실험치

회수 i	2차경화온도 Ti(°C)	2차경화시간 ti(hour)	Titi	(Ti) ²
1	160	25	4,000	25,600
2	180	17	3,060	32,400
3	200	10	2,000	40,000
Σ	540	52	9,060	98,000

최대 절연강도를 나타내는 2차 경화시간과 온도의 관계는 표 1에서 보면 거의 직선적인 함수관계를 가지므로 최소자승법[17]에 의해 직선의 방정식을 구하면 다음과 같이 된다.

$$nK_0 + K_1 \sum_{i=1}^n T_i = \sum_{i=1}^n t_i$$

$$K_0 \sum_{i=1}^n T_i + K_1 \sum_{i=1}^n T_i^2 = \sum_{i=1}^n T_i t_i \tag{1}$$

$$t_i = K_0 + K_1 T_i \tag{2}$$

식(1)에 표 1의 실험치를 대입하여 계산하면

$$3K_0 + 540K_1 = 52$$

$$540K_0 + 9800K_1 = 9060$$

여기서 K_0 , K_1 을 구하여 (2)식에 대입하면 다음과 같은 방정식을 얻을 수 있다.

$$t_i = 92.9 - 0.42T_i$$

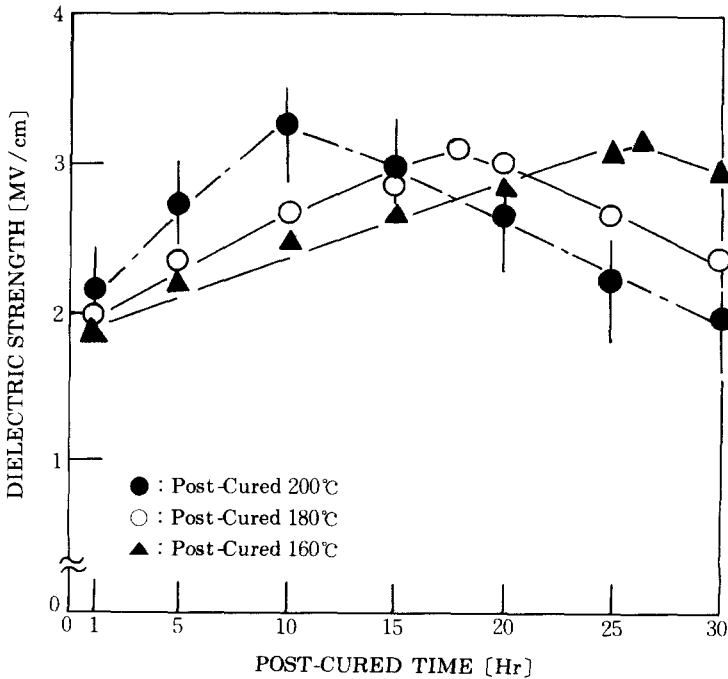


Fig. 15. Post-cured time - ac dielectric strength characteristics of unsaturated polyester resin.

윗식을 이용함으로써 2차 경화온도에 따른 최적의 절연강도를 나타내는 2차 경화 시간을 개략적으로 산출할 수 있다.

그림 16은 120°C에서 2시간 1차 경화를 행한 시료로서 주어진 온도 및 시간에서 2차 경화를 행한 시료에 대한 교류 절연강도의 실험결과를 나타내고 있다. 이 그림에서 PC 200/10 및 PC 180/17 시료의 절연강도는 불포화 폴리에스테르 수지의 연화점 온도인 120°C 이후에서 서서히 감소하는 경향을 나타내고, PC 240/2 시료는 60°C 이후에서 급격하게 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 시료의 경화과정에서 일어나는 내부 분자 결합상태에 커다란 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 즉, 그림 11과 그림 13에서 알 수 있던 바와 같이 2차 경화온도가 200°C에서 조밀한 3차원적 망목상 구조로 형성되므로 주위온도에 따라 분자쇄의 세그먼트운동 및 쌍극자운동이 주어진 주위온도에 대하여 억제되어 나타나므로 절연강도특성이 고온에서도 우수한 특성을 나타내는 것으로 생각된다. 반면, PC 240/2 시료는 경화과정에서 발생한 마이크로 크랙 및 분자 결합상의 결합등이 주위온도가 높아짐에 따라 커지고, 또한 이 결합 내부에서 내부부분방전이 선행하여 나타나므로서 절연강도가 급격히 하락하는 것으로 생각된다.

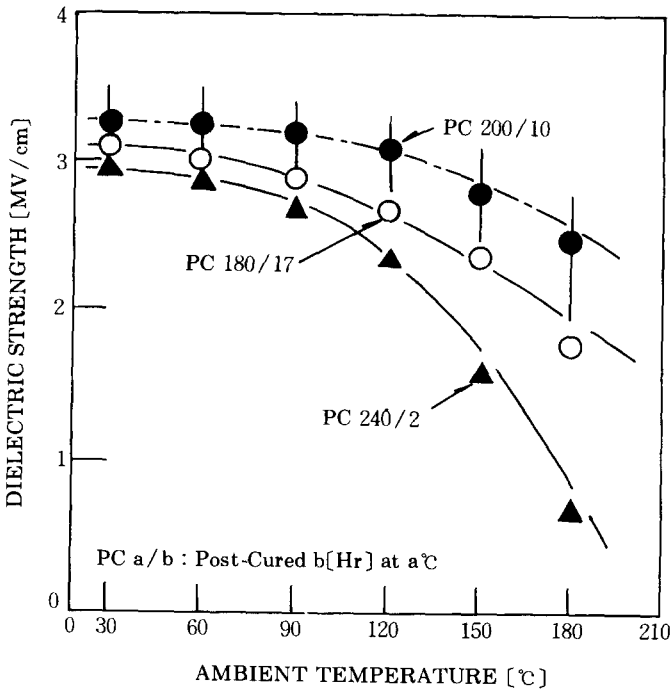


Fig. 16. Ambient temperature - ac dielectric strength characteristics of unsaturated polyester resin.

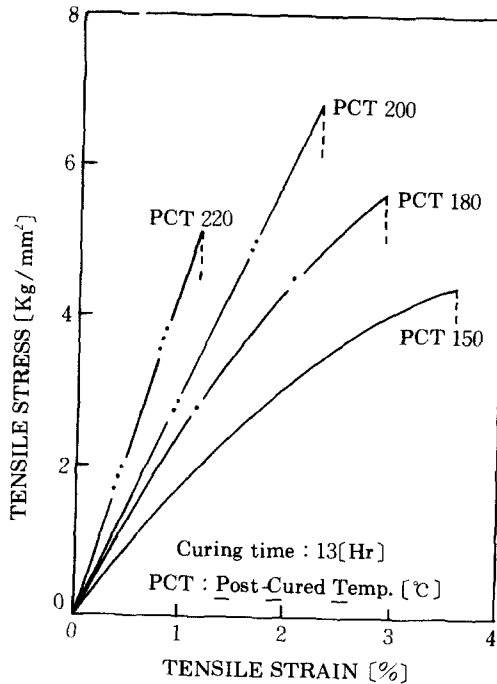


Fig. 17. Tensile strain - tensile stress characteristics of unsaturated polyester resin as a parameter of post-cured temperature.

그림 17은 120℃에서 2시간 1차 경화를 행한 시료를 주어진 온도에서 13시간 2차 경화를 행한 후, 기계적 스트레스-스트레인 특성 시험을 행한 결과를 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 2차 경화온도가 낮은 즉, 150℃ 및 180℃의 시료는 경화시에 미반응기가 남아 있으므로 인장응력이 크게 나타나고 인장강도가 낮게 나타남을 알 수 있다. 그러나 2차 경화온도가 200℃인 경우의 시료는 내부분자 결합 즉, 3차원적 망목상 구조가 최적의 상태로 경화되었으므로 가장 높은 인장강도를 나타내고 있다. 반면, 2차 경화온도가 220℃인 시료는 너무 높은 온도에서 경화가 진행되었으므로 시료내부에 발생한 결합에 의하여 인장강도가 떨어지는 것으로 생각된다.

IV. 結 論

1) 불포화 폴리에스테르 수지의 물성특성은 경화과정에 따라 커다란 변화를 가져올 수 있고, 최적의 경화조건은 120℃에서 1차 경화한 시료를 200℃에서 2차 경화를 행한 경우이다.

2) 불포화 폴리에스테르 수지의 $\tan\delta$ 및 ϵ_r 특성은 경화과정에서 수지 내부의 분자구조 및 분자운동과 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있고, 200°C에서 2차 경화한 시료의 $\tan\delta$ 특성이 가장 우수하게 나타났으며, 반면, ϵ_r 특성은 주위온도에 상관없이 거의 일정한 값으로 나타났으며, 그 범위는 대략 3.6-4.3이었다.

3) 불포화 폴리에스테르 수지의 최적 절연강도 특성은 각각 PC 200/10, PC 180/17 및 PC 160/25에서 나타났으며, 이 결과를 수치해석에 있어 최소자승법에 도입함으로서 실험에 의하지 않고 수식적으로 2차 경화온도 및 시간을 구할 수 있는 방정식을 얻을 수 있다. 즉 그 방정식은 다음과 같다.

$$t_i = 92.9 - 0.42T_i$$

4) 불포화 폴리에스테르 수지의 기계적 인장특성도 수지의 경화과정의 분자구조와 밀접한 관계를 갖이고 있음을 알 수 있고, 이 특성 역시 200°C에서 2차 경화를 행한 시료에서 최대 인장특성이 나타났다.

참 고 문 헌

1. 三田達, “最新. 耐熱性 高分子” 統合技術セソ, 1989
2. P. Plueddemann “Composite materials” Vol. 6, Interface in Polymer Matrix Composite-, Academic Press, 1974
3. P. D. Ewins and R. T. Potter, “Some Observation on the Nature of Fiber Reinforced Plastics and the Implication for Structural Design” Phil. Trans. R. Soc., Lond, A294, pp. 507~517, 1980
4. R. B. Seymour, “The Role of Reinforcement in Plastics Technology” Poly. Plast. Technol. Eng., 7(1), pp. 49~79, 1976
5. D. G. Fesko, “Flexural Fatigue of Unidirectional Fible-glass-Reinforced Polyester” Poly. Eng. and Sci., Vol. 17, No. 1, pp. 242~245, 1977
6. M. Xanthos and Okuno, “Mica Reinforced Plastic” Plastic. Vol. 31, No. 3, pp. 16~23, 1985
7. H. Mitusi, Y. Inoue and H. Yoshida, “Influence of Mica-Tape Application on Insulating Characteristics of HV Rotating Machinery Coils” IEEE, Vol. EI-20, No. 3, pp. 619~624, 1985
8. K. Matsundbu, F. Aki, K. Kadotani and H. Kawashima, “A New High

- Strength Mica Insulating for Large Rotating Machinery” IEEE, Vol. CH-1717-8/81, pp.72~76, 1981
9. 高久明, “纖維と工業” Vol. 40, No. 4, 1984
 10. J. Hognat, “Dynamic Thermomchanical Analysis of a Prepreg-Application to Industrial Curing” Fib. Sci. and Technol., Vol. 18, pp.109~118, 1983
 11. M. Lbrobery, D. R. Day and K. P. Snable, “Measuring and Application of Dielectric Properties” IEEE, EI Magazinem Vol. 2, No. 3, 1986
 12. J. S. Cho, S. W. Choi, J. K. Kim, K. C. Lee and J. H. Lee, “A study on the Development and Dielectric Properties of Insulating Materials for Super-Conductor (I)- For Matrix of Composite Materials-” KIEE, Vol. 38, No. 7, pp. 511~523, 1989
 13. 許永壽, “Polyester resin” 大光書林, Chap. 3, 1985
 14. Herman V. Boenig, “Unsaturated Polyesters Structure and Properties” Elsevier, New York, 1964
 15. J. H. Lee, “A study on the Dielectric Properties of Mica/Epoxy Composite Insulating Materials” Ph. D, Thesis, PNU, 1987
 16. JIS Handbook, “Plastic(K6911)” 日本規格協會, 1987
 17. 孫炳鎮, “Fortean斗 數値解析” 成文社, Chap. 14, 1980