

論文

유리섬유직물에 대한 수지의 젖음성 평가

한승욱*, 최낙삼**+, 이민수***, 안홍근***

Wettability Evaluation of Resin on the Glass Fabric

Seung-Wook Han*, Nak-Sam Choi**+, Min-Soo Lee***, Hung-Kun Ahn***

ABSTRACT

Analysis of wettability between epoxy resin and glass fabric was studied. The mixing ratios of epoxy resin and anhydride hardener were varied as 1:0.5, 1:1 and 1:1.2. Catalyst content was fixed as 0.1wt% of the mixed resin. A curing analysis by differential scanning calorimeter(DSC) showed a possible impregnation of the mixed resin at the room temperature. An effective contact angle of the mixed epoxy resin drop onto the glass fabric being preset on a flat glass plate was measured as a function of time. The wet area of the epoxy resin drop was also measured. Behaviors of the contact angle, the droplet height, the neat wet area and the coefficient of wettability were used to evaluate the wettability of the epoxy resin onto the glass fabric. It was concluded that the equivalent ratio of 1:1.2 was the most suitable for the wettability.

초 록

에폭시 수지와 유리섬유직물 간의 젖음성을 분석하였다. 에폭시 수지와 산무수물 경화제의 혼합비는 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2로 하였고, 촉매는 혼합된 수지의 0.1wt%로 첨가하였다. DSC 경화거동분석 결과 이 혼합 수지는 상온에서 함침이 가능하였다. 혼합 수지에 대해 유리평판에 놓여진 유리섬유직물 위에 수지 한 액적(방울)을 투하 후 시간에 따른 접촉각 변화를 측정하였다. 또한, 일정량의 에폭시 수지 액적을 투하시켜 시간에 따른 젖음면적 변화를 측정하였다. 접촉각, 액적높이, 순수 젖음면적, 젖음계수를 측정함으로써 유리섬유직물에 대한 에폭시 수지의 젖음성을 비교 평가하였다. 그 결과 당량비 1:1.2에서 유리섬유직물에 대한 젖음성이 가장 우수하였다.

Key Words : 유리섬유직물(glass fabric), 에폭시 수지(epoxy resin), 접촉각(contact angle), 순수젖음면적(neat wet area), 젖음계수(coefficient of wettability)

1. 서론

복합재료 제품의 제조 공정조건에서 고려해야 할 공통적인 사항으로는 수지와 경화제의 선택, 각종 첨가제의 종류와 양, 모재의 경화도, 수지유동, 균일성, 공정온도와 압력 등이 있다. 이러한 공정조건들이 잘 조절될 때 결합이 없는 균일한 복합재료 제품을 얻을 수 있다. 어떠한 복합재료 공정이든 반드시 고려해야 할 사항은 결합의 최소화이다. 복합재료

의 결합은 강도와 내구성을 크게 저하시킬 수 있으며, 이러한 결합의 가장 큰 원인 중의 하나는 공정 중에 발생하는 기공이다.[1] 기공 결합은 복합재료의 층간 전단강도, 탄성계수, 인장강도, 압축강도, 굽힘강도, 충격강도를 떨어뜨리며 내습성, 내후성 등의 내환경성에 나쁜 영향을 주고 피로강도를 현저히 떨어뜨리는 원인으로 작용한다.[2]

복합재료 제조공정 중 수지이동 성형공정은 미리 특정한 형태의 직조상 섬유를 금형 내에 채우고 수지를 충전 또는

접수: 2011년 1월 14일, 수정: 2011년 4월 8일, 게재승인: 2011년 4월 11일

* 한양대학교 기계공학과 대학원

**+ 한양대학교 기계공학과, 교신저자(E-mail:nschoi@hanyang.ac.kr)

*** (주)두산전자

함침시킨 후 금형 외부에서 적절한 열을 가하여 경화시키는 공정이다. 그러나 이 공정은 건조한 섬유직조 내부를 수지가 공기를 밀어내며 채워져 들어가므로 수지가 채워지지 않고 섬유에 충분히 젖어있지 않은 부분이 기공으로 형성되기도 한다. 수지이동 성형공정의 기공 생성 원인분석으로 직조상 섬유와 수지의 젖음성 평가방법이 제안되기도 한다.[3, 4]

젖음성을 분석하기 위한 기초적 방법인 접촉각 측정 방법은 수동식과 자동식 측정법으로 나눌 수가 있다. 수동식 측정법은 일정량의 액체를 평면기판 상에 투하한 후 액적의 형상을 CCD(Charge-Coupled Device) 카메라로 촬영하여 액적윤곽이 기판과 만나는 끝점에서 접선을 그었을 때 형성되는 각을 측정하는 정적 측정 방식(static method)이고, 자동식 측정법은 CCD 카메라로 입력된 액적의 형상을 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 자동으로 접촉각을 측정하는 자동 측정 방식이다. 자동 측정 방식은 접촉각 측정기의 개발업체에 따라 다소 상이한 측정 원리를 적용하고 있다. 예를 들면 어떤 접촉각 측정 시스템은 액적의 영상이 기판 표면에서 액적모양과 동일하게 반사되어 거꾸로 보이는 액적허상과의 대칭선 양단 끝점에서, 액적의 실상과 허상의 윤곽선의 접선 사잇각을 반분하여 접촉각으로 측정하지만, 만약 액적 영상이 반사되지 않으면 접촉각 측정이 불가능한 단점을 지니고 있다. 이와 같은 현상은 섬유와 같은 흡습성 재료에서 쉽게 나타날 것으로 예측할 수 있다. 특히 섬유직물 표면은 불규칙하기 때문에 액적의 좌우 끝 접점에서 형성되는 두 접촉각을 모두 측정해야만 섬유직물 시험편이 갖는 젖음성(wettability)의 정도를 다소나마 평가할 수 있다.[5] 현재 출시되고 있는 접촉각 측정기는 금속, 플라스틱, 유리와 같은 평활한 면을 갖는 재료의 접촉각을 측정하도록 설계되어 있기 때문에 섬유와 같이 불규칙한 표면을 가지면서 레진흡수성을 띠는 재료는 정확한 측정이 어렵다.

한편, 수지의 표면장력은 복합재료 공정에서 섬유직조에 대한 수지의 젖음성을 결정하는데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다.[6]

따라서 본 연구에서는 수지와 경화제의 경화거동[7-9]을 알아보고, 기존의 접촉각 측정방법을 보완하여 굴곡 표면을 가지는 섬유직물에 대한 레진의 접촉각 측정 방법을 제안하고 수지의 액적높이, 순수젖음면적, 젖음계수를 측정해 젖음성의 관계를 해석하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 유리섬유직물 및 수지

본 연구에서는 유리섬유직물(#1080, Asahi)을 사용하였고, Fig. 1에서 보는 바와 같이 평직형태이며 경사와 위사가 동일한 양축균등(balanced biaxial)구조를 가지고 있다. 유리섬유직물의 섬유직경을 SEM촬영으로 측정한 결과 지름이 약 5.2 μ m였다(Fig. 2). 유리섬유직물의 물성은 Table 1에 나타나 있다.

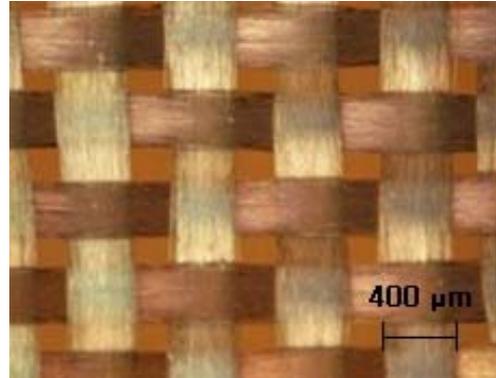


Fig. 1 A photograph of the structure of the plain woven glass fiber fabric used in this study.

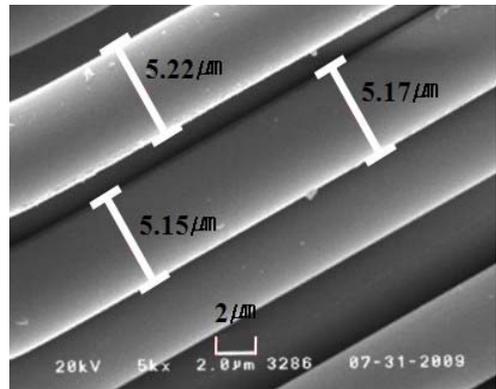


Fig. 2 Measurement of a diameter for a glass fiber.

Table 1 Structure of the fiber fabric

Material	Weaving type	Density of warp / weft	Weight (g/m ²)	Fiber diameter(μ m)
Glass	Plain	60 / 47	48	5.2

Table 2 Properties of the epoxy resin and hardener

	Equivalent Weight (g/eq)	Viscosity (cps at 25°C)	Specific Gravity (20°C)
Epoxy (YD-127)	180-190	8,000-11,000	1.17
Hardener (MH-700G)	161-166	50-70	1.17

수지로는 에폭시 수지(YD-127, diglycidly ether of bisphenol-A, 국도화학)를 사용하였다. 경화제로는 anhydride(MH-700G, 신일본이화학주식회사(NJC))를 사용하였다. 이 수지와 경화제의 특성은 Table 2에 나타나 있다. 촉매로는 이미다졸류(2-ethyl-4-methylimidazole)를 사용 하였다.

에폭시 수지와 경화제의 혼합비는 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2로 혼합하였으며, 촉매는 혼합된 수지의 0.1wt%만큼 첨가하였다. 젖음성 시험은 혼합 후 30분 이내에 시행하였다.

2.2 시험편 제작

시험편은 Fig. 3과 같은 단순 유리판(Soda-lime glass plate) 위에 본 실험대상인 유리섬유직물을 움직이지 않도록 4개의 모서리 부를 접착테이프(Cat 810D, 3M)로 고정하였다.

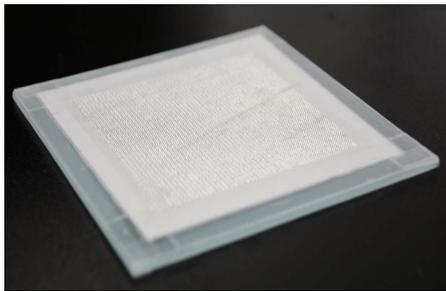


Fig. 3 A glass fabric put on the glass plate.

2.3 시차주사열량계(DSC) 분석

시차주사열량계 DSC(Differential Scanning Calorimeter)장비를 사용하여 에폭시 수지와 경화제의 혼합물에 대해 경화 특성을 측정하였다. DSC 측정시 실험조건은 상온(25℃)에서 부터 10℃/min로 250℃까지 승온하였다.

2.4 접촉각 및 젖음면적 측정

본 연구에서는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 카메라 촬영으로 상온에서 접촉모양을 측정하였다. 유리섬유직물 시험편 위에 일정량의 에폭시 수지 한 방울을 투하시킨 후, 고 해상도 이미지 카메라를 통해 정해진 시간 0sec, 20sec, 40sec, 60sec, 2min, 3min, 5min, 10min, 30min, 60min에서 액적레진영상을 촬영하였다. 투하 직후 0sec의 기준 시점은, 에폭시

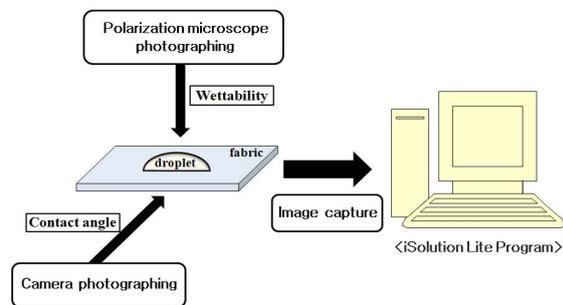


Fig. 4 Measurement method of contact angle and wettability.

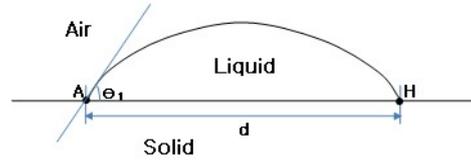


Fig. 5 Measurement of a diameter(d) for an epoxy resin drop.

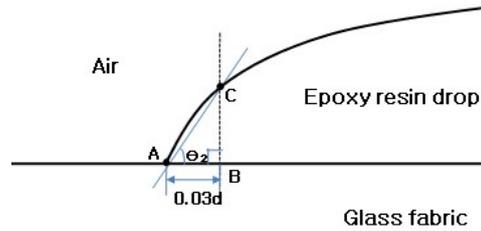


Fig. 6 Measurement of the contact angle(θ_2) between the glass fabric and the epoxy resin drop.

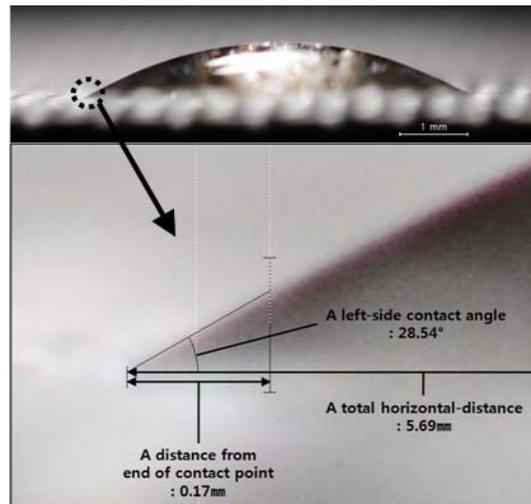


Fig. 7 Actual measurement of the contact angle between the glass fabric and the epoxy resin drop.

수지 한 방울을 투하 직후 유리섬유직물 시험편 위에 온전한 액적의 형성 시점을 육안으로 확인한 순간이다.

이렇게 촬영한 영상을 iSolution Lite 프로그램[10]을 이용해 유리섬유직물 위의 수지 액적의 폭(수평거리, d)을 Fig. 5와 같이 공기, 액체와 고체 3상의 좌우 끝 접점(A, H)으로부터 측정하였다. 유리섬유직물과 수지액적과의 접촉각을 측정하기 위해서는 Fig. 5와 같이 좌우 끝 접점(A, H)에서의 접선을 작성하여 접선각 θ_1 을 측정해야 하나, 유리섬유직물 표면형상의 요철에 따라 접선각 θ_1 의 측정값이 크게 분산되었다.[11]

이에 본 실험에서는 Fig. 6과 같이 액적의 폭(수평거리,

d)의 양 끝점으로부터 액적의 내부로 약 3%(0.03d)를 이동시킨 점(B)에서 수직선을 그어 공기와 액체의 경계면과 만나는 점(C)과 공기, 액체와 고체 3상이 만나는 점(A)에 직선을 그어 액적의 수평선과 이루는 접촉각(θ_2)을 측정하였다.

Fig. 7은 Fig. 6에서 설명한 새로운 측정방법을 iSolution Lite 프로그램으로 유리섬유직물과 에폭시 수지의 접촉각을 측정하는 모습을 나타낸다.

또한 편광현미경(SZX12, OLYMPUS) 촬영을 통하여 유리섬유직물 시험편 위에 일정량의 에폭시 수지 한 방울을 상온에서 투하시킨 후, 유리섬유직물의 젖음면적을 시간에 따라 측정하였다. 이렇게 촬영한 영상을 iSolution Lite 프로그램을 이용해 에폭시 수지 중량당 순수젖음면적(ΔAw)을 측정하였다.

2.5 모세관압 측정

유리섬유직물 시험편에 에폭시 수지가 젖어들에 있어 가장 중요한 외적인자로는 압력과 온도이다. 전체 압력 ΔP_t 는 중력에 의한 압력 ΔP_g 와 모세관압력 ΔP_c 가 합하여 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta P_t = \Delta P_c + \Delta P_g \tag{1}$$

본 연구에서 중력에 의한 압력을 미소하게 생각하여 배제할 경우, 전체 압력은 거의 모세관압에 해당 된다.[12]

모세관압은 섬유직조 내의 섬유정렬에 대한 데이터로부터 계산할 수 있으며, Young-Laplace 식을 이용하여 다음 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.[13]

$$\Delta P_c = \frac{4\sigma \cos \theta}{D_c} \tag{2}$$

여기서, σ 는 수지의 표면장력, θ 는 수지와 섬유사이의 접촉각, D_c 는 섬유직조 내 기공의 대응지름이다. 대응지름은 섬유직조 내 기공의 크기를 섬유지름에 상등하게 계산하여 구한 값이다.

수지의 표면장력, 수지와 섬유사이의 접촉각은 Contact angle and surface tension measurement tester(Phoenix 300, Surface Electro Optics)로 측정하였다. 수지와 섬유사이의 접촉각 θ 는 상온(25°C)에서 유리섬유직물과 물성이 같은 유리평판 위에서 측정하였다. 식 (2)에서 섬유직조 내 기공의 대응지름 D_c 는 다음 식으로 구하였다.

$$\frac{\pi D_c^2}{4} = A_0 - \sum_{i=1}^n \frac{\pi d_i^2}{4} \tag{3}$$

A_0 는 섬유직조 내 섬유분포의 전체 면적, d_i 는 유리섬유직물의 섬유직경이다. 유리섬유직물 단면의 SEM촬영 영상을 iSolution Lite 프로그램을 사용하여 A_0 를 측정하였다.

2.6 젖음계수 측정

본 연구에서는 모세관압 ΔP_c 와 점도 μ 를 측정하여 젖음계수 α 를 식 (4)와 같이 측정하였다.

$$\alpha = \frac{\Delta P_c}{\mu} \tag{4}$$

이 식은 수지의 섬유직물에 대한 젖음성이 모세관압에 비례하고 점도에 반비례한다고 가정한 것이며 시간에 따른 수지 이동속도를 의미하지는 않는다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 에폭시 수지 경화거동

Fig. 8은 에폭시 수지와 anhydride 경화제를 혼합 당량비 1:0.5로 한 경우 DSC의 열유동을 통해 약 124°C에서 에폭시 수지의 경화가 시작되는 것을 나타낸다. 여기서는 경화시작온도만을 측정하였으며, 경화완료정도를 나타내는 총발열량은 검토하지 않았다. 혼합 당량비 1:1에서는 에폭시 수지의 경화가 약 134°C에서 시작되었으며, 혼합 당량비 1:1.2에서는 경화가 약 145°C에서 시작하는 것으로 측정되었다. 당량비가 클수록 에폭시 수지의 경화 시작온도가 약 10°C 커졌음을 알 수 있다. 이러한 원인으로서는 각각의 혼합 수지에 0.1wt%로 첨가한 촉매의 종류가 세 가지 당량비의 경화제 중량당 첨가된

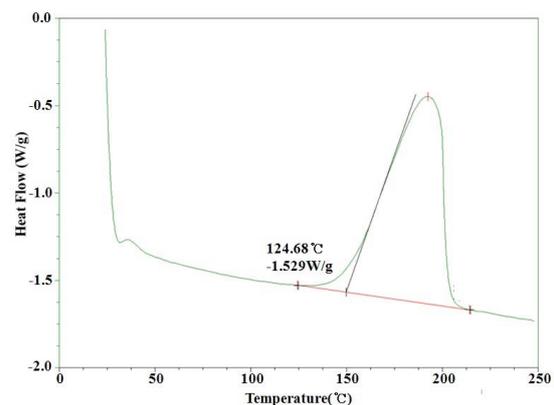


Fig. 8 DSC analysis curve during resin curing at equivalent ratio 1:0.5 of epoxy and hardener.

비율이 달랐기 때문이다. 경화제가 가장 적게 들어간 당량비 1:0.5의 경우 경화제 증량당 촉매의 비율이 높아 상대적으로 낮은 온도에서 경화가 시작되었다. 세 가지의 혼합 당량비 모두, 상온에서는 경화가 거의 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

3.2 접촉각 및 액적높이 거동

Fig. 9는 에폭시 수지와 경화제 혼합 당량비 1:0.5의 수지 액적이 유리섬유직물과 접촉한 직후 0sec, 10min, 60min에서 액적의 좌측 접촉각 및 액적높이 변화 거동을 나타낸다.

즉, 시간이 지남에 따라 에폭시 수지 액적의 높이가 낮아졌고, 에폭시 수지의 액적은 좌측 옆으로 점차 퍼져나갔다. 또, 시간에 따른 에폭시 수지의 액적 좌/우측 접촉각 역시 변해갔다.

Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12는 에폭시 수지와 경화제의 혼합 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2의 좌/우측 접촉각과 에폭시 수지의 액적높이를 초기액적높이로 정규화 시켜 시간에 따라 측정할 결과이다.

Fig. 10은 에폭시 수지의 초기 접촉액적지름이 약 5.69 mm(경사/위사 단위유닛의 5개 내외에 해당)인 상태에서 시간이 지남에 따라 좌측 접촉각은 60sec에서, 우측 접촉각은 2min, 3min에서 일시적으로 증가하고 이후 감소하는 거동을 보였다. Fig. 11의 에폭시 수지의 초기 액적의 지름은 약 4.50mm(경사/위사 단위유닛의 4개 내외에 해당)이었고, 좌측

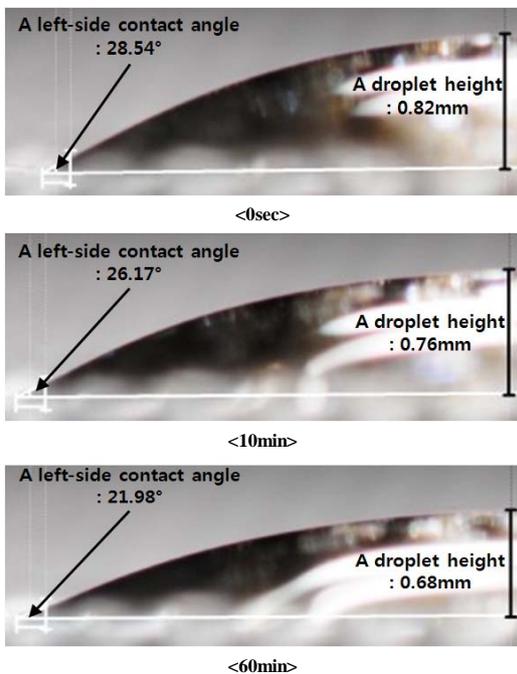


Fig. 9 An enlarged photo of left-side contact angle and droplet height measurement at equivalent ratio 1:0.5 of epoxy and hardener.

접촉각은 40sec에서 일시적으로 증가하고 이후 감소거동을 보였다. Fig. 12의 에폭시 수지의 초기 액적의 지름은 약 6.70mm(경사/위사 단위유닛의 6개 내외에 해당)이었고, 좌측 접촉각은 2min, 우측 접촉각은 60sec에서 일시적으로 증가하고 이후 감소거동을 보였다.

이러한 좌/우측 접촉각의 변화원인은 유리섬유직물 표면형상의 요철과 에폭시 수지의 액적이 시간이 지남에 따라

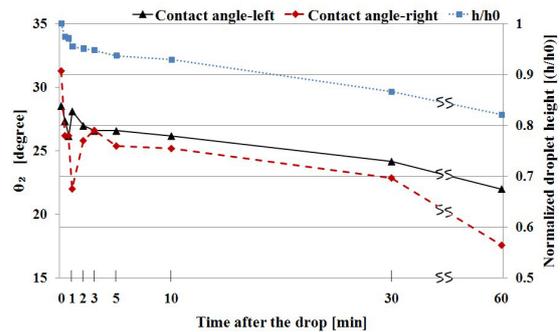


Fig. 10 Measurement data for left/right-side contact angle and normalized droplet height with time at equivalent ratio 1:0.5 of epoxy and hardener.

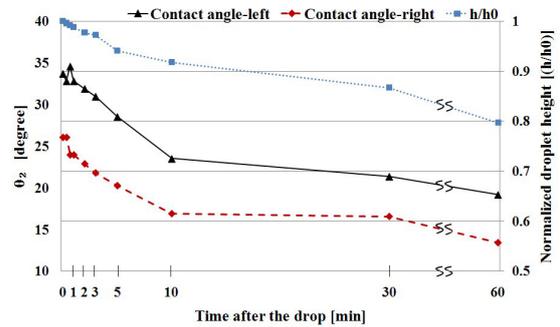


Fig. 11 Measurement data for left/right-side contact angle and normalized droplet height with time at equivalent ratio 1:1 of epoxy and hardener.

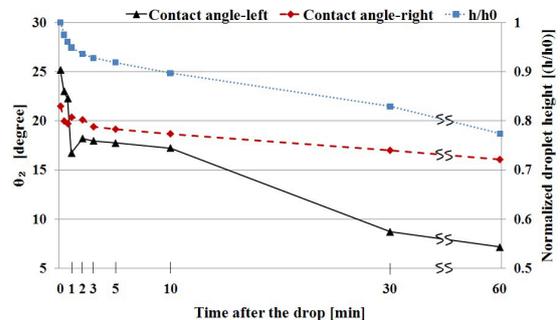


Fig. 12 Measurement data for left/right-side contact angle and normalized droplet height with time at equivalent ratio 1:1.2 of epoxy and hardener.

점점 퍼져나가는데 있어 수지의 이동방향과 유리섬유직물의 경사(warp) 또는 위사(weft) 방향이 같을 경우에는 유리섬유 사이의 모세관압[14, 15]에 의해 수지 침투 속도가 빨라져 접촉각이 작아지고, 반대로 유리섬유직물의 경사 또는 위사 방향이 수지의 이동방향과 수직할 경우 유리섬유 사이의 수지 침투 속도가 장애를 받아 늦추어져 접촉각이 크게 된 것이다. 즉, 경사 혹은 위사만을 가지고 실험을 했을 경우에는 섬유방향으로 수지 액적의 이동속도가 빨라져 젖어들이기 섬유방향으로 길게 나타날 것이다.

또, 에폭시 수지 액적을 유리섬유직물 위에 투하 후 수지 액적이 유리섬유직물에 젖어감에 있어 액적높이가 감소하였다. 초기 높이에 비해 10min 후의 액적높이의 변화량을 관찰한 결과 액적높이 감소량이 상당히 컸음을 알 수 있었다. 액적높이의 감소량은 에폭시 수지와 경화제의 혼합 당량비 1:1.2가 가장 컸으며, 1:0.5가 가장 작았다. 이는 경화제의 혼합량이 많을수록 유리섬유직물에서 에폭시 수지 침투속도가 빨라졌음을 의미한다.

3.3 순수젖음면적 거동

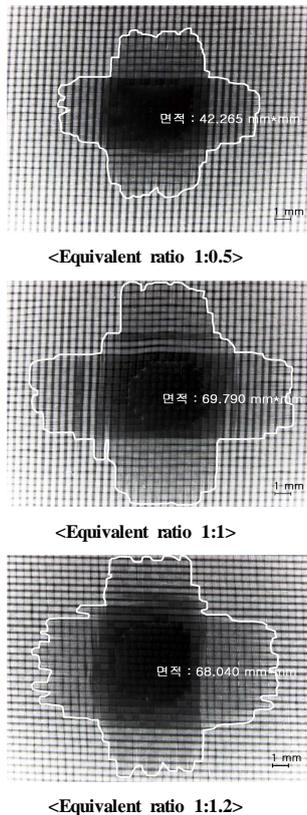


Fig. 13 Droplet impregnation area into the fabric after 10min.

Fig. 13은 유리섬유직물 시험편 위에 각 당량비 별로 일정량의 에폭시 수지 한 방울을 투하시킨 후, 유리섬유직물 평면의 젖음면적을 10min 경과 직후에 측정된 사진이다. 이렇게 촬영한 영상을 iSolution Lite 프로그램을 이용해 젖음면적을 측정 하였다.

에폭시 수지 한 방울의 중량은 세 가지 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2에서 각각 10회 측정된 중량의 평균으로 하였다. 세 가지 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2의 에폭시 수지 한 방울의 평균 중량은 약 12.12mg, 11.26mg, 6.98mg이었다.

이 이미지를 iSolution Lite 프로그램의 음각과 균일화 필터링을 통하여 젖음면적을 측정하여 Fig. 13에 기입했다. 또, iSolution Lite 프로그램의 음각 필터링을 통하여 액적 자체의 면적을 측정하여 Fig. 14에 나타냈다. Fig. 13과 Fig. 14의 면적의 차이로 유리섬유직물 시험편의 모세관압에 의한 순수젖음면적을 구할 수 있다. 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2의 순수젖음면적은 약 24.07mm², 약 49.55mm², 약 44.37mm²이었다. 또한, 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2의 에폭시 수지 1mg당 순수젖음면적(ΔAw)은 약 1.99mm²/mg, 약 4.4mm²/mg, 약 6.36mm²/mg으로 당량비 1:1.2의 에폭시 수지가 가장 좋은 젖음성을 나타냈다.

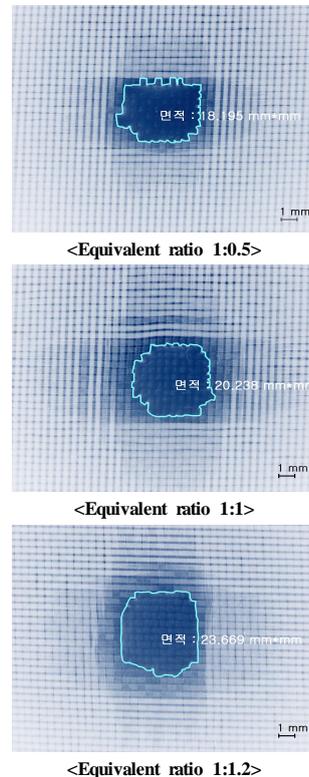


Fig. 14 Droplet area into the fabric after 10min.

3.4 모세관압 거동

표면장력 σ 를 측정한 결과, 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2의 에폭시 수지에 대해 각각 σ 는 9.69mN/m, 7.36mN/m, 6.61mN/m였다.

접촉각 θ 는 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2의 에폭시 수지에 대해 유리평판 위에서 각각 41.90°, 38.88°, 37.76°이었다.

섬유직조 내 기공의 대응지름 D_c 는 본 실험에서 사용한 유리섬유직물의 SEM촬영 사진인 Fig. 15로부터 iSolution Lite 프로그램을 사용하여 일정한 직사각형 면적 안에 유리섬유 10가닥의 단면적을 제외한 면적으로부터 식 (3)을 통하여 구하였다. 이렇게 측정한 섬유직조 내 기공의 대응지름 D_c 는 약 5.88 μ m였다.

측정된 표면장력 σ , 접촉각 θ , 섬유직조 내 기공의 대응지름 D_c 의 측정값으로 식 (2)를 통하여 모세관압 ΔP_c 를 구하였는데, 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2 에폭시 수지의 모세관압은 약 4.91kPa, 약 3.89kPa, 약 3.55kPa이었다.

모세관압 측정을 통해 에폭시 수지 당량비 1:0.5에서 모세관압이 가장 높아 순수젖음면적이 가장 넓고, 당량비 1:1.2 에폭시 수지의 모세관압이 가장 낮아 순수젖음면적이 가장 작아질 것으로 추정 되었지만, 앞의 순수젖음면적 실험결과와 반대의 결과를 얻었다. 이러한 원인은 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2 에폭시 수지 물질인 점도의 영향에 기인한 것으로 생각되었다. 점도측정 결과, 각각의 당량비 별로 2008cp, 882cp, 750cp로 측정되었으며 당량비 1:0.5의 경우 점도가 다른 당량비보다 2배 이상 높았다. 당량비 1:1과 1:1.2의 경우에도 점도의 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 즉, 고분자용액의 점도는 유리섬유직물의 표면 전개시 전개저항으로 작용하여 모세관압의 효과에 역행하는 영향을 미치기 때문이다.[16]

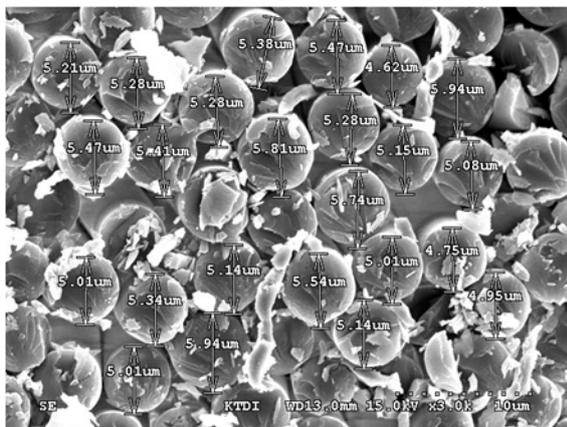


Fig. 15 Measurement of equivalent diameter of voids in the glass fabric.

3.5 젖음계수 거동

당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2에서 측정된 모세관압 ΔP_c 와 점도 μ 를 2.6절의 식 (4)를 이용해 젖음계수 α 를 구하였다. 각각의 당량비 별로 젖음계수는 약 2.45Pa/cp, 약 4.41Pa/cp, 약 4.73Pa/cp였다.

Fig. 16은 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2의 젖음계수와 유리섬유직물 시험편 위에 에폭시 수지 액적 한 방울을 투하한 후, 10min이 경과된 직후에 측정된 에폭시 수지 1mg당 순수젖음면적(ΔA_w)과 액적높이의 정규화된 감소량 ($\Delta h/h_0$)을 젖음계수의 함수로 도식화 한 것이다. 젖음계수가 커질수록 순수젖음면적은 급격하게 커졌음을 알 수 있었고, 액적높이의 감소분이 커졌음을 확인할 수 있었다. 본 실험의 범위에선 당량비 1:1.2(젖음계수(α) \approx 4.73Pa/cp)의 에폭시 수지가 유리섬유직물에 대한 젖음성이 가장 우수함을 알 수 있다.

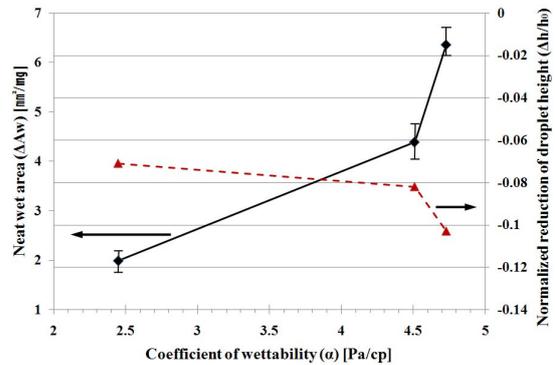


Fig. 16 Neat wet area (ΔA_w) and normalized reduction of droplet height ($\Delta h/h_0$) as a function of wettability coefficient(α).

4. 결론

본 연구에서는 유리섬유직물에 대한 에폭시 수지 액적의 접촉각 측정방법을 제안하였고, 액적높이, 에폭시 수지 1mg당 순수젖음면적을 측정하여 젖음계수의 함수로 평가하였다.

- 1) 기존의 접촉각 측정방법으로는 유리섬유직물의 표면 특성상 공기, 액체와 고체의 3상이 만나는 끝점의 접촉각 측정값이 크게 분산되어 신뢰할만한 결과를 얻지 못하기 때문에 새로운 접촉각 측정방법을 제안하였다. 이 방법을 적용한 결과, 시간에 따른 액적의 접촉각은 유리섬유직물 표면형상의 요철과 유리섬유직물의 경사/위사 방향이 수지 액적 선단부의 이동방향에 따라 변동하였고, 모세관현상에 따른 수지 침투속도가 달라져서 접촉각이 변동하여, 유리섬유직물에 대한 수지 액적의 젖음특성을 잘 나타냈다.

- 2) 유리섬유직물 위에 에폭시 수지와 경화제의 혼합 당량비 1:0.5, 1:1, 1:1.2의 에폭시 수지 액적 투하 후 수지 액적의 높이를 시간에 따라 측정한 경우, 액적높이의 감소량은 혼합 당량비 1:1.2가 가장 컸으며 1:0.5가 가장 작았다.
- 3) 각각의 혼합 당량비에 대해 모세관압 ΔP_c 를 구한 결과, 모세관압이 높은 당량비의 에폭시 수지의 순수젖음면적이 오히려 가장 작았다. 수지의 순수젖음면적은 개방형의 양측균등 유리섬유직물을 대상으로 할 때 점도가 낮을수록 커졌던 것이다.
- 4) 모세관압과 점도를 변수로 하여, 이를 통해 젖음계수를 제안하고 각 당량비의 순수젖음면적과 정규화 된 액적높이의 감소량의 관계를 구한 결과, 젖음계수가 커질수록 순수젖음면적과 액적높이의 감소량이 커져 좋은 젖음성을 보였다. 즉, 본 실험의 범위에선 세 가지의 혼합 당량비 중 당량비 1:1.2(젖음계수(α) \approx 4.73Pa/cp)에서 가장 우수한 젖음성을 나타냈다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부 산업원천기술개발사업의 “유리섬유강화 투명 나노복합체 및 디스플레이 기판 개발”의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) N. C. W. Judd and W. W. Wright, 1978, “Voids and their effects on the mechanical properties of composites-appraisal,” *SAMPLE Journal*, January/February 10-4.
- 2) S. F. M. Almeida, Z. S. N. Neto, 1994, “Effect of void content on the strength of composite laminates,” *Composite Structures*, Vol. 28, No. 2, pp. 139-148.
- 3) J. D. Nam, S. J. Lee, K. J. Lee, 1995, “Resin Transfer molding for High Performance Composite Materials,” *Rheology [Korea]*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-9.
- 4) Neil Pearce, Felicity Guildb and John Summerscales, 1997, “A study of the effects of convergent flow fronts on the properties of fibre reinforced composites produced by RTM,” *Composites part A*, 29A, pp. 141-152.
- 5) C. Y. Lee, C. H. Kim, K. M. Choi, C. Y. Park and O. C. Kweon, 2003, “Development of a Novel System for Measuring Sizing Degree Based on Contact Angle(I),” *Journal of Korea TAPPI*, Vol. 35(3), pp. 43-52.
- 6) John P. Coulter and Selçuk I. Gucer, 1988, “Resin Impregnation During the Manufacturing of Composite Materials Subject to Prescribed Injection Rate,” *Journal of Reinforced Plastics*

- and Composites, Vol. 7, No. 3, pp. 200-219.
- 7) 박수진, 석수자, 이재락, 김영근, 2004, “열잠재성 촉매 개시제를 이용한 에폭시 수지의 경화거동 및 열안정성,” *韓國複合材料學會誌*, Vol. 17, No. 5, pp. 47-53.
- 8) D. S. Lee, T. S. Kim, B. S. Kim and J. H. Kim, 1996, “Cure Behavior of High Performance Epoxy/Polysulfone Blends (I),” *Polymer*, Vol. 20, No. 3, pp. 403-411.
- 9) D. S. Lee, T. S. Kim, B. S. Kim and J. H. Kim, 1996, “Cure Behavior of High Performance Epoxy/Polysulfone Blends (II),” *Polymer*, Vol. 20, No. 3, pp. 412-418.
- 10) iMTechnology (Image & Microscope Technnology), 2001, *Measuring and Analyzing with ease (iSolution Lite)*.
- 11) C. S. Wang and Stanley A. Iobst, 2009, “Reducing Fiber Readout of Structural Composite Panels,” *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 28, No. 19, pp. 2377-2386.
- 12) K. J. Ahn, J. C. Seferis and J. C. Berg, 1991, “Simultaneous measurements of permeability and capillary pressure of thermosetting matrices in woven fabric reinforcements,” *Polymer Composites*, Vol. 12(3), pp. 146-152.
- 13) J. G. Williams, C. E. M. Morris and B. C. Ennis, 1974, “Liquid flow through aligned fiber beds,” *Polymer Engineering & Science*, Vol. 14(6), pp. 413-319.
- 14) C. H. Lee, S. H. Kim, S. W. Kim and K. J. Lee, 1998, “An Experimental Study on the Effect of Capillary Pressure on the Void Formation in Resin Transfer Molding Process,” *The Korean Journal of Rheology*, Vol. 10, No. 4, pp. 185-194.
- 15) G. W. Lee, M. H. Lee, S. W. Kim and K. J. Lee, 1995, “Experimental and Numerical Studies on the Flow Characteristics in Resin Transfer Molding Process,” *The Korean Journal of Rheology*, Vol. 7, No. 4, pp. 139-149.
- 16) S. T. Nam, M. J. Han, H. S. Choi and Y. T. Park, 1998, “Effect of Physical Properties of Polymer Solution on the Thickness of Ultrathin Membrane Prepared by Water Casting Method,” *J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry*, Vol. 9, No. 2, pp. 200-206.