

저수축제 폴리스틸렌과 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 Sheet Molding Compound 제조 및 특성

배기봉 · 이상구* · 윤홍진** · 이종대***,†

(주) 에스켄
363-942 충북 청원군 부용면 금호리 256
*한국화학연구원 그린화학연구단
305-343 대전광역시 유성구 장동 100
**충북대학교 화학공학과
361-763 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410
(2011년 12월 14일 접수, 2012년 2월 26일 채택)

Preparation and Characteristic of Sheet Molding Compound using Unsaturated Polyester Resin with Low Profile Agent of Polystyrene

Gi Boong Bae, Sang Goo Lee*, Hong Jin Yoon** and Jong Dae Lee***,†

Soft Chemical Co. LTD., 256 Geumho-ri, Buyong-myeon, Cheongwon-gun, Chungbuk 363-942, Korea

*Division of Green Chemistry, Korea Research Institute of Chemical Technology, 100 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

**Department of Chemical Engineering, 410 Sungbong-ro, Heungduk-gu Cheongju-si, Chungbuk 361-763, Korea

(Received 14 December 2011; accepted 26 February 2012)

요 약

불포화 폴리에스터(unsaturated polyester, UP)와 저수축제(low profile agent, LPA), 폴리스틸렌(polystyrene, PS)과의 compatibility가 불포화 폴리에스터와 저수축제의 비율, 혼합시간, 혼합온도 그리고 추가로 투입되는 불포화 폴리에스터 수지량과 같은 다양한 조건하에서 확인되었다. 1단계로 1700 rpm의 교반속도에서 제조된 수지 혼합액의 경우, 불포화 폴리에스터 수지(unsaturated polyester resin, UPR) 투입량 25 g, 약 30 °C의 반응온도에서 상대적으로 작은 입자 크기 및 상분리율을 나타내었다. 2단계 수지 혼합액의 경우, 2차로 투입된 45 g의 불포화 폴리에스터 수지 혼합액에서 향상된 compatibility를 보였다. 이러한 결과는 혼합조건이 불포화 폴리에스터 수지와 저수축제 혼합액의 compatibility에 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다. 또한, 상기조건을 통해 제조된 sheet molding compound (SMC)를 사용해서 만든 샘플은 흡수율, 수축율 및 광택도에서 향상된 결과를 나타내었다.

Abstract – Compatibility of unsaturated polyester (UP) and low profile agent (LPA) of polystyrene (PS) have been investigated under various mixing conditions such as the ratio of UP and LPA, mixing time, mixing temperature, and input amount of 2nd UP. It was possible to obtain mixture with small particle size and low phase separation in condition of 35 g of LPA, 25 g of 1st UP input, 5 min of mixing time, 1700 rpm of mixing speed, and 45 g of 2nd UP input. It was found that compatibility of UP and LPA was very sensitive to mixing conditions. In addition, molded sample using sheet molding compound prepared by stable mixing condition appeared good properties such as low water adsorption, low shrinkage, and high gloss.

Key words: Unsaturated Polyester Resin, Low Profile Agent, Compatibility, Shrinkage

1. 서 론

최근 이종의 재료를 조합시킨 복합재료는 단일소재로는 대응 할 수 없는 특성을 나타내기 때문에 다양한 분야에서 중요한 소재로 이용되고 있다[1,2]. 일반적으로 분산상과 매트리스 상으로 구성되는 복합재료는 강화하는 기지재료(matrix)에 따라 고분자기지 복합재료

(polymer matrix composite, PMC), 금속기지 복합재료(metal matrix composite, MMC), 세라믹기지 복합재료(ceramic matrix composite, CMC)로 구분된다[3]. 특히, 섬유강화의 개념과 고분자 기지재료를 조합한 섬유강화 고분자 복합재료(fiber reinforced plastics, FRP)는 현대 복합재료의 중추적 역할을 하고 있다[4]. FRP는 복합재료의 충전제로 탄소칼슘, 실리카, 카본블랙, 산화티탄 등으로 대표되는 무기 입자나 유리, 탄소, 아라미드 등의 섬유를 일반적으로 사용한다. 이들을 불포화 폴리에스테르와 함께 제조한 것이 일반적인 복합재료의

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: jdlee@chungbuk.ac.kr

제조방법이다. 현재의 섬유강화 플라스틱은 우수한 역학적 특성과 가벼우면서 우수한 내식성으로 인해 항공, 우주산업뿐만 아니라 인간생활의 여러 분야에서 없어서는 안 될 재료로 성장하고 있다.

국내에서는 1970년 초반에 유리섬유의 개발과 함께 범용 FRP 산업이 시작되어, 일부 방위산업 제품과 스포츠 레저용품에 응용되고 있다. 이어 아라미드 섬유인 케블라의 개발, 탄소섬유의 국내 생산이 이루어지고, 1988년에는 복합재료학회가 창립되어 산·학·연의 유기적 협력체계 하에서 연구가 이루어지고 있다. 고분자계 복합재료의 개발 방향을 보면 크게 2개의 방향으로 추진되고 있다. 하나는 범용 엔지니어링 플라스틱과 액성 폴리머를 함유한 슈퍼 엔지니어링 플라스틱이고, 다른 하나는 무기재료와의 복합화를 통한 고성능화이다. 따라서 복합재료는 특히 고도의 구조 특성을 활용하여 고기능성과 고성능을 추구하는 대표적인 대상으로 구조 특성의 응용개발이 매우 중요하다.

섬유강화 고분자 복합재료 중 SMC는 현재의 시장에서 가장 크게 확대되고 있는 소재로서, 활발한 연구가 진행되고 있다[5,6]. SMC의 원재료는 불포화 폴리에스터, 비닐 에스터, 에폭시, 페놀 수지 등과 같은 수지와 스타이렌과 같은 반응성 단량체를 peroxide 계열의 경화제를 사용하여 이중 결합간의 가교반응을 통해 3차원 망상구조를 형성함으로 제조된다.

불포화 폴리에스터 수지는 가장 널리 사용되는 열경화성 수지로서, SMC 열경화성 분야에서 일반적으로 사용되고 있다[7,8]. 그런데, 불포화 폴리에스터 수지는 열경화성 수지 중 경화반응에 의한 성형수축이 큰 편이며, 보통 7~8%의 체적 수축을 반영한다[9,10]. 이 수축으로 인하여 성형품의 치수가 부정확해지며, 크랙이나 수축 등의 성형 불량 발생하게 된다. 이러한 문제를 개선하기 위해 폴리스틸렌, 폴리메틸메타크릴레이트(polymethyl methacrylate, PMMA), 폴리에틸렌(polyethylene, PE), 폴리비닐아세테이트(polyvinyl acetate, PVAC), 폴리우레탄(polyurethane, PU)과 같은 열가소성 수지를 저수축제로 사용하는 다양한 기술이 연구되어 왔다[11-13]. 하지만, 기본수지인 불포화 폴리에스터 수지와 저수축제는 혼합액의 불안정한 compatibility 및 경화하는 동안 상분리가 일어나는 문제점을 가지고 있어 이를 해결하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[14-16].

본 연구에서는 수지 혼합액에 있어서 불포화 폴리에스터와 저수축제의 비율, 혼합시간, 혼합속도 및 2차 불포화 폴리에스터 수지 투입량이 불포화 폴리에스터와 저수축제의 compatibility에 미치는 영향 및 최적의 조건으로 제조된 SMC를 사용한 압축 필름의 물리적 특성 및 표면 특성에 대해 논의 하였다. 수지 혼합액은 30 g의 저수축제에 계산된 불포화 폴리에스터 수지를 각각 넣어 혼합시킨 후 2차 불포화 폴리에스터 수지를 첨가하여 제조하였다. 이 혼합액에 다양한 첨가제를 넣어 SMC 샘플을 최종적으로 제조하였다.

2. 실험

2-1. 시약

기본수지로 불포화 폴리에스터 수지(애경화학, OS-902)를 사용하였다. 저수축제는 폴리스틸렌(금호석유화학, GP-125)과 스티렌(Aldrich)을 사용하여 제조하였다. n-부틸아세테이트(CAS No. 123-86-4) 10%, 1-메톡시-2-프로필 아세테이트(CAS No. 108-65-6) 60%, 블록 공중합체 30%로 구성된 분리 방지제(BYK Chemi., BYK-972)는 분리방지 효과를 상대적으로 측정하기 위한 균형물질로 첨가되었다.

Table 1. Materials for preparation of sheet molding compound

Materials	S-1 ^a	S-2 ^b
UPR ^c	17.52	17.52
LPA (SC530) ^d	7.51	7.51
curing agent (TBPB) ^e	0.23	0.23
retardant (PBQ 2%)	0.30	0.30
additive (BYK-996)	0.25	—
additive (BYK-972)	0.25	—
additive (S-100)	1.25	1.25
release agents (Zn-St powder)	1.25	1.25
filler (S-2000)	47.56	48.00
thickener (CBU-616)	0.75	0.75
colorant (UP-white SP1)	3.13	3.13
glass fiber (G/F 25.4 mm)	20.00	20.00
Total	100.00	100.00

S-1^a: preparation of general sheet molding compound, S-2^b: this work, UPR^c: unsaturated polyester resin, LPA^d: low profile agent, TBPB^e: tertiary butyl peroxybenzoate.

라디칼 개시제는 tertiary butyl peroxybenzoate(N.O.F)를 사용하였다. 충전제와 보강제는 탄산칼슘(평균직경 3 μm) 및 유리섬유(1 inch)를 각각 사용되었다. 이형제로 징크스테아레이트(신원화학, Hi-flow)를 사용하였으며 흐름성을 개선하기 위해 PE-Powder(투에치켄, SD-120)가 첨가되었다.

2-2. 수지 혼합액 및 SMC 제조

불포화 폴리에스터와 저수축제의 비율, 혼합시간, 혼합속도 및 2차 액상 투입량을 달리하여 수지 혼합액을 제조하였다. 수지 혼합액 제조 예로, 200 ml 폴리에틸렌 병에 30 g의 저수축제와 25 g의 불포화 폴리에스터 수지를 각각 넣은 후, 프로펠러 타입의 혼합기를 사용하여 1700 rpm의 임펠러 속도로 5분 동안 혼합시켰다. 그 후, 45 g의 불포화 폴리에스터 수지를 8분 간에 걸쳐 투입하면서 혼합시켰다. 상기에서 제조된 수지 혼합액에 개시제 및 다양한 첨가제 그리고 유리섬유를 각각 투입한 후 열경화시켜, 최종적으로 샘플을 제조하였다. 또한, 기존 방식인 1단계로만 불포화 폴리에스터 수지를 투입하여 만든 혼합액을 사용한 SMC 샘플을 비교 분석을 위해 추가적으로 제조하였다. SMC 제조에 사용된 재료 및 그 양을 Table 1에 정리하였다. 제조된 SMC는 시험용 프레스를 사용하여 상부온도 140 °C 및 하부온도 155 °C에서 압축하여 물성측정용 압축필름을 준비하였다.

2-3. 물성 측정

입자 크기는 광학현미경(Olympus, CX41/31)을 사용하여 측정하였다. 불포화 폴리에스터수지와 저수축제를 혼합한 후의 상분리 측정은 스크류캡바이알병(50 ml, 30×110 mm)을 사용하여 불포화 폴리에스터 수지 35 g, 저수축제 15 g을 넣고 30 °C 항온수조에서 5분간 방치한 후에 상부의 저수축제 부분의 상대적 높이를 통해 확인되었다. 경화수축(cure shrinkage) 측정은 Fig. 1과 같이 특별히 제작된 장치를 통해 확인하였다. 수축율 측정시에는 상온경화제인 methyl ethyl ketone peroxide(MEKPO, Eternal Co., Taiwan)를 사용하였다. 그리고 다이알레이지를 설치 시, 액면에서 약 5 mm정도 함침이 되도록 수지를 넣는다. SMC로 제조된 시편의 표면 광택도는 표면 광택도 측정기(Suga Test Instruments, UGV-4D)를 사용하여 확인하였

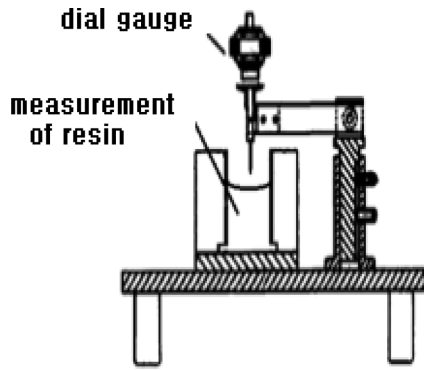


Fig. 1. Schematic of shrinkage measurement apparatus.

다. 굽힘강도(flexural strength, FS), 굴곡 탄성율(flexural modulus, FM), 인장강도(tensile strength, TS) 및 경도(hardness)는 만능재료시험기(JT TOHSI INC, YU-1000S II)와 경도계(QUALITEST, GYZJ934-1)를 통해서 측정했고, 흡수율(water Absorption)은 ASTM D570 표준을 사용하여 확인하였다. 비중 측정은 비중측정기(ANC, GFD-200)를 통해서 확인하였다.

3. 결과 및 검토

3-1. 수지 혼합액의 불포화 폴리에스터와 저수축제 비율

저수축제 내에 불포화 폴리에스터 수지를 작은 입자로 분산시켜 안정화 시키는 기술은 최종 제품의 표면 광택 및 치수 안정성에 큰 영향을 미친다. 특히, 수지와 저수축제의 비율은 입자 크기 결정에 중요한 역할을 하기 때문에 최적의 분산조건이 요구된다. 이에 본 연구에서는 분산 안정성을 향상시키기 위한 최적의 저수축제와 수지의 혼합비율을 살펴보았다.

Fig. 2는 저수축제 30 g과 각기 다른 양의 불포화 폴리에스터 수지가 혼합된 액을 프로펠러 타입의 혼합기를 사용하여 30 °C에서 5 분간 1700 rpm으로 혼합한 후 입자 크기 및 상분리율을 5분 경과 후

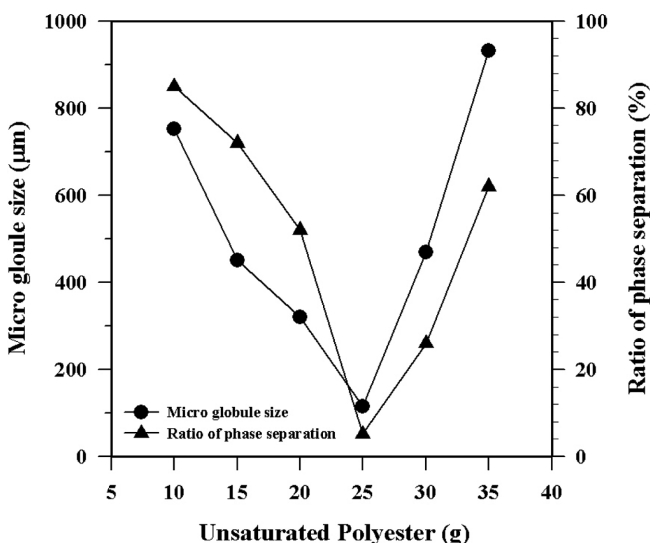


Fig. 2. Micro globule size and phase separation ratio of solution of unsaturated polyester and low profile agent with various UP amount.

에 측정한 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 불포화 폴리에스터 수지를 10 g, 15 g, 20 g, 25 g씩 각각 투입함에 따라 입자 크기가 약 752 μm에서 약 115 μm로 점차적으로 작아지고 있는 것을 확인할 수 있다. 반면, 25 g이 초과된 불포화 폴리에스터 수지에서는 그 양이 증가함에 따라 입자 크기는 증가되었다. 특히, 불포화 폴리에스터 수지 35 g이 투입되었을 때에는 약 932 μm의 상당히 큰 입자 크기를 나타내었다. 상분리율을 살펴보면, 불포화 폴리에스터 수지를 10 g에서 25 g으로 투입함에 따라 85%에서 5%로 크게 감소하였다. 반면 25 g이 초과된 경우는 상분리율이 크게 증가되었고, 35 g에서는 62%의 상당히 높은 상분리율을 나타내었다.

불포화 폴리에스터 수지와 저수축제 혼합의 경우, 저수축제 30 g과 불포화 폴리에스터 수지 25 g을 넣었을 때가 가장 안정적인 분산조건임을 알 수가 있다. 또한 입자 크기가 상분리율에 큰 영향을 주고 있다는 것을 확인할 수 있다.

3-2. 혼합시간 및 혼합온도의 영향

상기 결과로부터 우리는 불포화 폴리에스터 수지와 저수축제의 혼합비율이 입자 크기 및 상분리율에 큰 영향을 준다는 것을 확인하였다. 하지만 이는 혼합비율에 대한 결과로 다양한 혼합시간 및 혼합온도를 적용할 필요성이 있다. 이에 본 연구에서는 혼합시간을 1분, 3분, 5분, 7분, 9분으로 분리하여 실시한 실험 및 혼합온도를 10, 20, 30, 40, 50 °C 그리고 60 °C로 달리하며 혼합액의 입자 크기 및 상분리율을 살펴보았다.

Fig. 3은 불포화 폴리에스터 25 g, 저수축제 30 g 및 30 °C에서 혼합속도 1700 rpm 하에서의 혼합시간이 입자 크기 및 상분리율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 혼합시간이 1분에서 5분으로 증가함에 따라 입자 크기가 325 μm에서 115 μm로 작아지고 있다. 반면 혼합시간 9분에서는 119 μm의 입자 크기를 나타내었다. 비록 입자 크기가 증가되긴 했지만 실험적 오차를 고려해 볼 때 약 5분 이상의 혼합시간에서는 비슷한 입자크기를 나타낸다고 생각된다. 상분리율을 살펴보면, 혼합시간이 1분에서는 10.5%를 나타내었지만 혼합시간이 증가함에 따라 감소하는 경향성을 나타내었

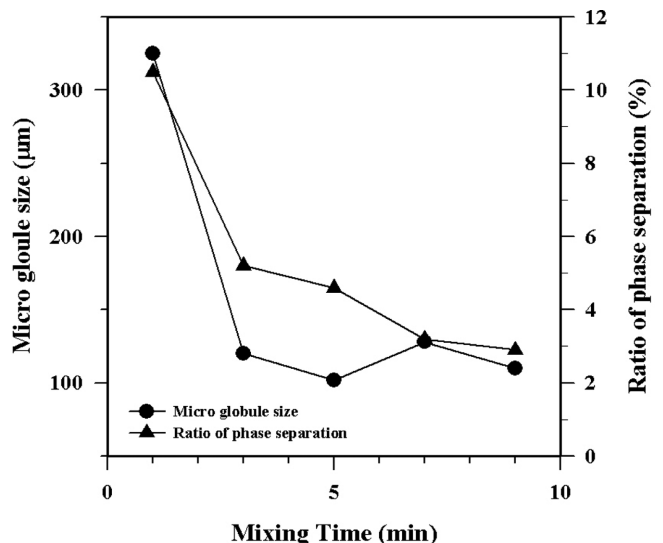


Fig. 3. Micro globule size and phase separation ratio of solution of unsaturated polyester and low profile agent with various mixing time.

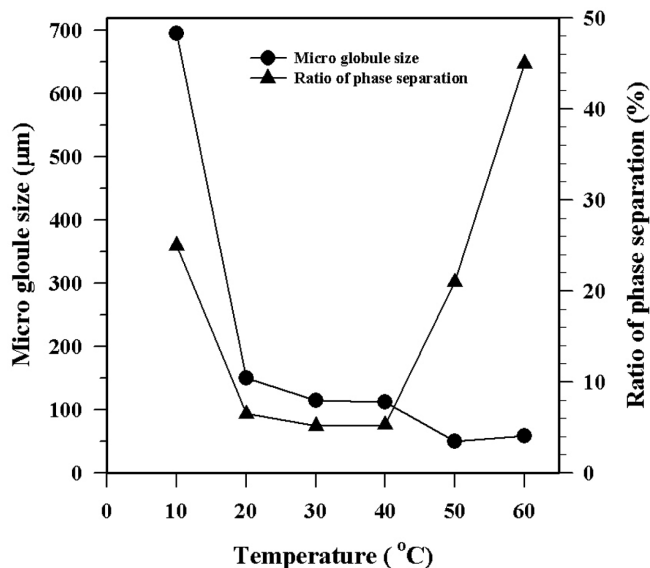


Fig. 4. Micro globule size and phase separation ratio of solution of unsaturated polyester and low profile agent with various mixing temperature.

다. 특히, 혼합시간 9분에서 2.9%의 낮은 상분리율을 나타내었다. 이러한 결과는 입자 크기의 감소 및 분산 안정성의 증가로 나타나는 결과로 판단된다.

Fig. 4는 불포화 폴리에스터 25 g, 저수축제 30 g 및 5분 간 혼합속도 1700 rpm 하에서의 혼합온도가 입자 크기 및 상분리율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 혼합온도 10 °C에서 20 °C로 증가함에 따라 입자 크기는 695 μm에서 150 μm로 급격하게 감소하였다. 혼합온도 20~40 °C에서는 입자 크기가 150 μm에서 102 μm로 서서히 감소하였다. 혼합온도 40 °C를 초과한 경우는 60 μm 이하의 작은 입자 크기를 나타내었다. 상분리율을 살펴보면, 혼합온도 10 °C에서 20 °C로 증가함에 따라 상분리율은 25%에서 6.5%로 크게 감소하였다. 혼합온도 30 °C에서 5.2%의 최소값을 나타내다가 40 °C에서 5.4%로 약간 증가된 값을 보였다. 한편, 50 °C 및 60 °C에서는 상분리율이 크게 증가하였다. 혼합온도에 따른 상분리율은 기존의 입자 크기와 다른 경향성을 나타내었다. 이러한 결과는 적정 혼합온도가 초과된 혼합 상태에서는 열역학적으로 불안정성이 크게 증가되기 때문인 것으로 판단된다.

3-3. 2차 불포화 폴리에스터 투입량에 따른 영향

Fig. 5는 저수축제 30 g에 불포화 폴리에스터 수지 25 g을 넣고 혼합하여 1차 액상을 만든 후, 추가로 불포화 폴리에스터를 투입하여 입자 크기 및 상분리율을 확인 한 것이다. 추가로 25 g의 불포화 폴리에스터 수지가 투입된 샘플의 경우, 1차 혼합액보다 크게 증가된 입자 크기(460 μm)를 나타내었다. 더욱이 Fig. 6(a)에서 볼 수 있듯이, 불균일한 입자 크기를 나타내어 상당히 불안정한 혼합액으로 확인되었다. 하지만, 불포화 폴리에스터 수지의 투입량이 35 g, 45 g으로 증가됨에 따라 입자 크기는 크게 감소되었다. 특히, 45 g이 투입된 샘플은 45 μm의 최대 입자 크기를 나타내었다. 또한, 상당히 균일한 입자 크기를 나타내고 있음을 Fig. 6(c)에서 확인할 수 있다. 반면 65 g이 투입된 경우에는 88 μm로 약간 증가되었다. 상분리율의

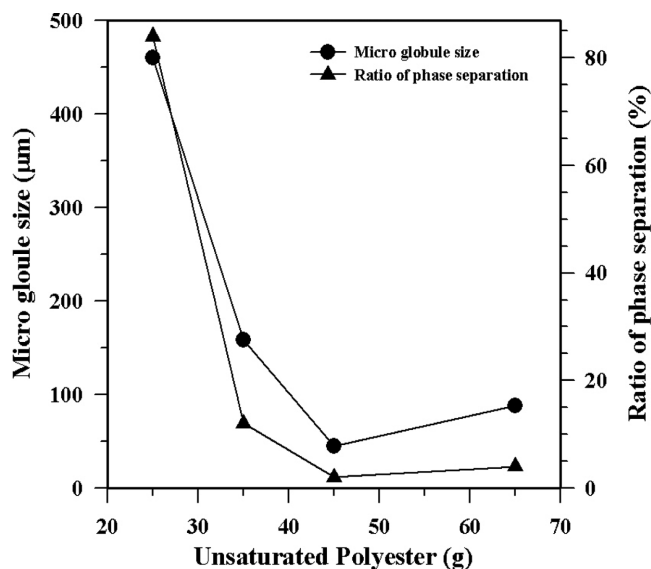


Fig. 5. Micro globule size and phase separation ratio of solution of unsaturated polyester and low profile agent with added UP amount.

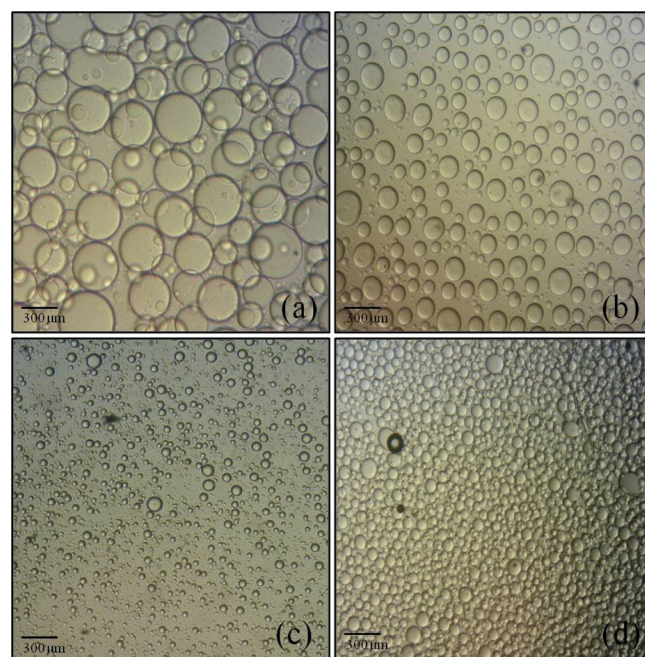


Fig. 6. Optical microscope image of solution of unsaturated polyester and low profile agent with various UP amount. (a) 25 g of UP, (b) 35 g of UP, (c) 45 g of UP, and (d) 65 g of UP.

경우, 25 g이 투입된 혼합액은 84%의 상당히 높은 상분리율을 보였다. 반면, 불포화 폴리에스터 수지량이 45 g이 투입된 샘플은 2%의 상분리율을 나타내어 상당히 안정적인 혼합성을 나타내고 있음을 Fig. 5에서 확인할 수 있다. 반면, 불포화 폴리에스터 수지 45 g이 초과된 샘플은 상대적으로 증가된 상분리율을 나타내었다.

3-4. SMC를 사용한 압축 필름의 물리적 특성 및 표면특성

SMC는 저수축제와 기본수지인 불포화 폴리에스터 수지와와의 혼합 안정성 및 경화 반응시의 가교결합을 통한 3차원 망상구조의 형성결과에 영향을 받는다. 특히, 수지 혼합액의 상 안정성은 SMC의 좋은

Table 2. Physical and surface property of sheet molding compound prepared from unsaturated polyester resin with low profile agent of polystyrene

Physical and surface property	S-1	S-2
flexural strength (FS, Mpa)	150	152
flexural modulus (FM, Mpa)	11000	13000
tensile strength (TS, MPa)	70	72
water absorption (WA, %)	0.25	0.1
specific gravity	1.725	1.721
shrinkage (%)	0.11	0.05
hardness (barcol)	35	38
gloss (%)	81.7	88.2

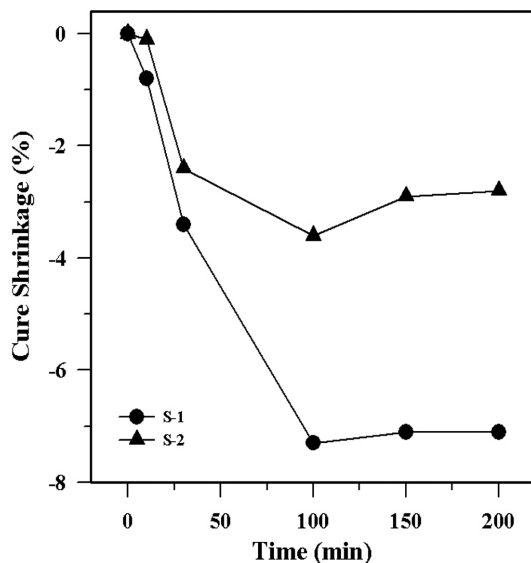


Fig. 7. Cure shrinkage versus cure time for S-1 and S-2.

물리적 특성에 큰 기여를 한다.

Table 2는 기존방법 및 수지 혼합액의 상 안정성을 향상시킨 현 작업을 통해 제조된 SMC를 사용한 압축 필름의 물리적 특성 및 표면 특성을 정리한 것이다. 분산기술을 사용하여 제조된 S-2 경우, 굽힘 강도, 굴곡 탄성률 및 인장강도는 기존의 방법으로 제조된 S-1과 큰 변화가 없었다. 반면, 흡수율은 0.25에서 0.1로 감소되어 향상된 물성을 나타내었다. 특히, 수축률은 Fig. 7에서도 확인할 수 있듯이, 경

화시간 30분까지는 큰 차이는 없었지만 그이후로는 S-1 보다 1.0 배 이상 감소된 결과를 나타내어 상당히 향상된 수축률을 나타내었다. 또한, S-2의 광택도는 81.7%에서 88.2%로 상승된 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 8은 기존의 방법으로 제조된 S-1과 분산기술을 사용하여 제조된 S-2의 모폴로지를 관찰하기 위해 측정된 주사전자 현미경 사진이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, S-2의 표면 기공크기가 S-1보다 작고 균일하게 형성되어 있는 것을 알 수 있다. UP 수지와 저수축제의 비율 및 분산조건 등이 샘플의 경화과정에 영향을 주어 모폴로지의 변화를 야기시킨다는 것을 의미한다. 다시 말해서, 저수축제 내에 불포화 폴리에스터 수지를 최대한 작은 입자로 분산시킬 때 미세구조를 갖는 샘플표면이 형성된다는 것이다. 광택도는 표면 상태에 따라 큰 영향을 받는 광학 특성임을 고려해볼 때, 작고 균일한 미세구조를 갖는 S-2의 광택도 증가는 당연한 결과로 받아들일 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수지 혼합액에 있어서 불포화 폴리에스터와 저수축제의 비율, 혼합시간, 혼합속도 및 2차 불포화 폴리에스터 수지 투입량이 불포화 폴리에스터와 저수축제의 compatibility에 미치는 영향 및 최적의 조건으로 제조된 SMC를 사용한 압축 필름의 물리적 및 표면 특성에 대해 조사하였다. 수지 혼합액은 30 g의 저수축제에 계산된 불포화 폴리에스터 수지를 각각 넣어 혼합시킨 후 2차 불포화 폴리에스터 수지를 첨가하여 제조하였다. 이 혼합액에 다양한 첨가제를 넣어 SMC 샘플을 최종적으로 제조하였다.

제조된 수지 혼합액의 경우, 1차 불포화 폴리에스터 수지 투입량 25 g, 약 30 °C의 반응온도, 1700 rpm의 교반속도에서 상대적으로 작은 입자 크기 및 상분리율을 나타내었다. 또한, 2차로 투입된 45 g의 불포화 폴리에스터 수지 혼합액에서 향상된 compatibility를 보였다. 이러한 결과는 불포화 폴리에스터 수지의 단계적 투입량 및 반응온도, 교반속도가 불포화 폴리에스터 수지와 저수축제 혼합액의 compatibility에 큰 영향을 끼치고 있다는 것을 보여 주는 것이다. 특히, 본 연구를 통해 확인된 최적의 혼합조건을 통해 제조된 SMC를 사용하여 만든 샘플은 기존방법으로 제조된 것보다 흡수율, 수축율 및 광택도에서 향상된 결과를 나타내었다.

감 사

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2010년도 중소기업 기술혁신 개발사업의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

- Cherian, A. B. and Thachil, E. T., "Block Copolymers of Unsaturated Polyesters and Functional Elastomers," *J. Appl. Polym. Sci.*, **94**(5), 1956-1964(2004).
- Atkins, K. E., *Sheet Molding Compound: Science and Technology*, Chapter 4, H. G. Kia, ed., Hanser Publishers, New York (1993).
- Brady, M. and Brady, P., "Automotive Composites: Which Way Are We Going?," *Reinforced Plastics*(2007).

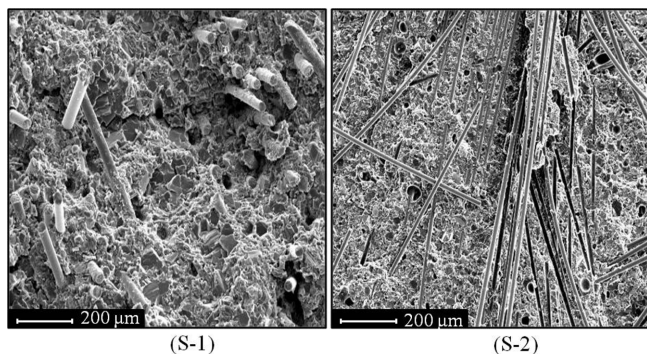


Fig. 8. SEM image of sample using sheet molding compound of S-1 and S-2. S-1: preparation of general sheet molding compound, S-2: this work.

4. Kalny, O., Peterman, R. J. and Ramirez, G., "Performance Evaluation of Repair Technique for Damaged Fiber-reinforced Polymer Honeycomb Bridge Deck Panels," *J. Bridge Eng.*, **9**, 75-86 (2004).
5. Vivek Patel, "Opportunity for Composite Materials in India: Sheet Molding Compound (SMC) Industry," 20(2010).
6. Li, W. and Lee, L. J., "Shrinkage Control of Low-profile Unsaturated Polyester Resins Cured at Low Temperature," *Polym. J.*, **39**, 5677-5687(1998).
7. Lucas, J. C., Borrajo, J. and Williams, R. J., "Cure of Unsaturated Polyester Resins: 2. Influence of Low-profile Additives and Fillers on the Polymerization Reaction, Mechanical Properties and Surface Rugosities," *Polym. J.*, **34**, 1886-1890(1993).
8. Li, W. and Lee, L. J., "Low Temperature Cure of Unsaturated Polyester Resins with Thermoplastic Additives III. Modification of Polyvinyl Acetate for Better Shrinkage Control," *Polym. J.*, **41**, 711-717(2000).
9. Haider, M. *et al.*, "Cure Shrinkage Characterization and Modeling of a Polyester Resin Containing Low Profile Additives," *Compos. Pt. A* **38**, 994-1009(2007).
10. Pegoretti, A., Ashkar, M., Migliaresi, C. and Marom, G., "Relaxation Processes in Polyethylene Fiber-reinforced Polyethylene Composites," *Compos. Sci. Technol.*, **60**, 1181-1189(2000).
11. Huang, Y. J. and J. S. Leu, "Curing of Unsaturated Polyester Resins. Effect of Temperature and Initiator: 1. Low Temperature Reactions," *Polym. J.*, **34**, 295-304(1993).
12. Zhang, Z. and Zhu, S., "Microvoids in Unsaturated Polyester Resins Containing Poly(vinyl acetate) and Composites with Calcium Carbonate and Glass Fibers," *Polym. J.*, **41**, 3861-3870(2000).
13. Huang, Y. J. and Su, C. C., "Effects of Poly(vinyl acetate) and Poly(methyl methacrylate) Low-profile Additives on The Curing of Unsaturated Polyester Resins II. Morphological Changes during Cure," *J. Appl. Polym. Sci.*, **55**, 323-342(1995).
14. Lee, D. S. and Han, C. D., "Effect of The Chemical Structure of Low-profile Additives on The Curing Behavior and Chemorheology of Unsaturated Polyester Resin," *Poly Eng Sci.*, **27**, 964-975(1987).
15. Yang, Y. S. and Suspene, L., "Curing Unsaturated Polyester Resins: Viscosity Studies and Simulations in Pre-gel State," *Poly Eng Sci.*, **31**, 321-332(1991).
16. Cao, X. and Lee, L. J., "Control of Shrinkage and Residual Styrene of Unsaturated Polyester Resins cured at Low Temperatures: I. Effect of Curing Agents," *Polym. J.*, **44**, 1893-1902(2003).