

저수축제 및 이형제가 벌크몰드컴파운드의 표면형태 및 물성에 미치는 영향

김성룡^{1†} · 권기준^{1,2}

¹충주대학교 나노고분자공학과, ²석원주식회사
(2011년 11월 29일 접수, 2011년 12월 18일 수정, 2011년 12월 19일 채택)

Effect of the Low Profile Agent and Release Agent on the Surface Morphology and Property of Bulk Mold Compound

Sung-Ryong Kim^{1†} and Ki-Joon Kwon^{1,2}

¹Department of Polymer Science and Engineering, Chungju National University, Chungju 380-702, Korea

²Seokwon Corporation, Ansung 456-893, Korea

(Received November 29, 2011; Revised December 18, 2011; Accepted December 19, 2011)

요약: 폴리스티렌을 저수축제로 사용하고 Zn-stearate를 이형제로 사용하여 함량변화에 따라 벌크몰드컴파운드의 표면형태 및 기계적 물성에 미치는 영향을 고찰하였다. XPS, 접촉각 측정기 등을 이용하여 표면과 깊이 방향에 대한 원소함량과 접촉각을 측정하였고, 표면형태는 FESEM을 이용하여 관찰하였으며, 표면조도 측정은 AFM을 이용하였다. 저수축제를 첨가하지 않은 경우에 비교하여 저수축제를 9.0 wt% 첨가하였을 경우에는 체적수축률은 0.35%에서 0.05%로 감소하였으며, 표면조도는 0.27 μm 에서 0.12 μm 로 감소하였다. 이형제의 함량을 1.8 wt%에서 3.6 wt%로 증가시켰을 경우에는 이형제가 주로 표면에 존재하고 표면조도를 증가시키는 것을 확인하였다. 저수축제의 함량을 5.0 wt%에서 9.0 wt%로 증가시키기에 따라 굴곡탄성율과 충격강도가 약 30% 감소하였다.

Abstract: The effect of low profile agent and release agent on the surface and mechanical properties of bulk mold compound were investigated. Atomic content and contact angle of surface were characterized using X-ray photoelectron spectroscopy and contact anglemeter. Surface morphology and surface roughness were obtained using field emission scanning electron microscope and atomic force microscope, respectively. As increasing the low profile agent from 0 to 9.2 wt%, the volume shrinkage and surface roughness decreased from 0.35% to 0.05%, and from 0.27 μm to 0.12 μm , respectively. The increase of release agent from 1.8 wt% to 3.6 wt% resulted in the migration of release agent to sample surface and it increased the surface roughness. The flexural strength and impact strength were decreased approximately 30% as the low profile agent increasing from 5.0 wt% to 9.0 wt%.

Keywords: bulk mold compound, low profile agent, release agent, mechanical properties, unsaturated polyester

1. 서 론

벌크몰드컴파운드는 주로 열경화성 수지를 베이스 수지로 사용하며 무기필러와 유리섬유 등을 batch mixer를 이용하여 혼합한 것을 말하여 이를 압축성형을 포함한 여러 가지 방식으로 성형하는 것이 가능하다. 미국 Ford사에서 헤드램프 vessel을 벌크몰드컴파운드를 이용해 transfer molding하는데 성공하면서 비약적인 발전을

이루었다. 벌크몰드컴파운드의 일반적인 제조공정은 불포화폴리에스테르 수지(unsaturated polyester resin), 저수축제(low profile agent), 경화제(curing agent), 충전제(filler), 이형제(release agent) 등을 니더로 균일하게 혼합 후 보강재로서 주로 유리섬유를 빠른 시간 내에 함침시킨 벌크상의 열경화성 강화플라스틱 성형재료이며, 압축성형, 사출성형, 이송성형 방법으로 가공하며, 가공품들은 치수안정성, 기계적 강도, 전기적 성능, 내열성, 내수성이 우수한 특성을 갖게 된다.

벌크몰드컴파운드는 초기에는 자동차분야를 중심으

[†]Corresponding author: Sung-Ryong Kim (srkim@cjnu.ac.kr)

로 용도개발이 진행되다가 사무자동화기기 등의 정밀 부품 분야에 응용이 활성화되고 있다. 국내에서는 2000년대 이후 벌크몰드컴파운드의 특성을 살려 규격화된 천장재, 욕조, 건축판넬, 인조대리석 등 새로운 품목으로서 인테리어 용도 및 고부가가치 건축 자재 중심의 영역으로 확대되고 있는 실정이다. 건축자재 용도에 사용되기 위해서는 주성분이 무기질로 이루어진 다른 건축자재와 비교하여 내후성 및 내열성이 우수하여야 하고, 벌크몰드컴파운드의 고유특성이 장기간 유지되어야 한다.

벌크몰드컴파운드 표면은 약 10 μm 의 유기층으로 형성되어 있는데 그 안쪽으로는 유기물과 무기물이 혼재되어 있는 구조이며, 외부 조건에 따라 속도 차이는 있으나 시간 경과에 따라 표면은 광택을 잃고 노란색으로 변하면서, 물리적, 화학적 성질이 저하되는 특징이 있다. 이에 영향을 미치는 인자로는 온도, 습도, 화학물질의 오염 등 외부적인 요건과 고분자 구조, 안료의 종류, 배합비 등의 내부적인 조건, 그리고 제조상의 온도, 시간, 압력 등과 가공조건이 주요한 인자이다.

일반적으로 경화된 불포화폴리에스테르의 물성저하는 표면에 습기가 흡수되면서 시작되는 것으로 알려져 있다. 유리섬유를 외부에 노출시켜 습기를 흡수하게 하거나 먼지나 오염물을 부착시키는 것은 수지의 표면을 산화시킴으로써 관입(craze)을 형성시키고 부식시키게 되며 유리섬유와 바인더 수지 혹은 무기충전제와 바인더 수지간에 계면결합력을 저하시킨다[1,2]. 불포화폴리에스테르를 바인더 수지로 사용하여 벌크몰드컴파운드 제품을 만들어 사용할 경우 이러한 현상은 단기간 내에 진행될 수 있으며 이와 같은 복합적인 현상에 대한 1차적인 판정기준은 변색 및 광택의 저하이다. 색상이 노란색으로 변함에 따라 광택의 급격한 저하로 표면에서 분해가 일어남을 알 수 있으며, 표면에서의 응력에 의한 관입의 형성이 깊어질수록 색상은 진한 색으로 변한다. 특히, 400 nm 이하의 자외선은 산소에 의해 광산화 작용을 일으키며 열화 및 변색에 영향을 준다. 이런 현상을 방지하기 위하여 원자간 결합에너지가 큰 타입의 수지를 사용하거나, 내후성이 우수한 acrylate계의 수지를 사용하거나, 자외선 흡수제를 사용하거나, 산화에 의한 유리라디칼의 제거제로 작용하는 광안정제를 사용하고 있다[3].

지금까지 벌크몰드컴파운드의 각 구성 성분들이 기계적 물성에 미치는 영향에 대한 연구들이 진행되어 왔지만, 폴리스티렌 저수축제 및 Zn-stearate (Zn-St) 이형제가 표면형태 및 물성에 미치는 영향을 고찰한 연구는 거의 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 폴리스티렌 저수축제와 Zn-St 이형제가 벌크몰드컴파운드의 표면 및 기계적 물성에 미치는 영향을 고찰하였다.

Table 1. Formulation of bulk molding compounds

	Control	EXP-1	EXP-2	EXP-3	EXP-4
불포화폴리에스테르 수지 (unsaturated polyester resin)	23	18.0	16.0	14.0	16.8
저수축제 (LPA, low profile agent)	0	5.0	7.0	9.0	4.4
이형제(release agent)			1.8		3.6
경화제(curing agent)			0.2		
Al(OH) ₃			60		
유리섬유			15		
Total			100		

2. 실험

2.1. 실험 재료

불포화폴리에스테르수지는 styrene 모노머와 terephthalic acid가 희석되어 있는 불포화알키드 제품(제품명 : MP-014)을 세원화성(주)으로부터 공급받아 경화시켜 사용하였다. 저수축제(low profile agent)는 세원화성의 폴리스티렌(제품명 : L-01)을 사용하였으며, 경화제(curing agent)는 tert-butylperbenzoate (Dakusa Co.), 충전제(filler)는 평균입경 10 μm 인 aluminium trihydroxide (Al(OH)₃, Showa Denko Co.), 이형제(release agent)는 (주)신원화학의 Zinc stearate (Zn-St, 제품명: HI-FLOW), 강화제인 유리섬유는 (주)한국오엔스코닝의 1/4" chopped strand 섬유(제품명 : CS06-101C)를 각각 사용하였다.

본 실험에 사용된 원료의 구성성분은 Table 1과 같이 중량%로 나타내었다. 불포화폴리에스테르와 저수축제 함량을 23 wt%로 고정시키고, 불포화폴리에스테르와 저수축제인 폴리스티렌의 상대적인 비율을 Table 1과 같이 변화시키면서 수행하였다. 충전제와 강화제로 사용된 Al(OH)₃와 유리섬유는 각각 60 wt%, 15 wt% 함침하여 제조하였다. 또한, 불포화폴리에스테르에 대한 저수축제의 비율을 고정시키고(EXP-1, EXP-4) 이형제로 사용한 Zn-St를 전체중량에 대하여 1.8 wt%에서 3.6 wt%로 증가시켜 이형제의 함량이 표면에 미치는 영향을 관찰하였다.

2.2. 벌크몰드컴파운드 및 시편 제조

불포화폴리에스테르, 저수축제, 경화제 그리고 이형제를 2 Liter 교반기에 넣고 500 rpm으로 혼합한 후에 이 혼합물과 충전제(Al(OH)₃)를 5 Liter kneader에 넣고 상온에서 30 min간 45 rpm으로 혼합한 후 보강제인 1/4" chopped 유리섬유를 5 min간 함침하여 벌크몰드컴파운드를 제조하였다.

벌크몰드컴파운드 성형의 최적조건을 선정하기 위하여 생산현장에서 사용하는 불포화폴리에스테르계 벌크

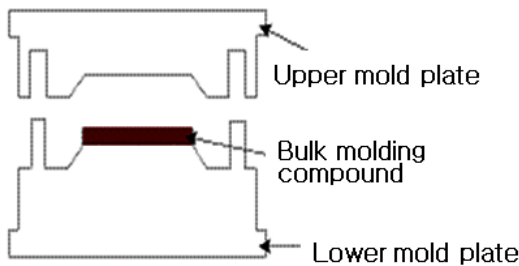


Figure 1. Schematic drawing of compress molding process using bulk mold compound.

몰드컴파운드 공정 조건을 기본으로 하였으며, 주요 조건인 금형온도, 경화시간, 프레스의 가압속도 및 유지시간을 최적화하였다. 본 실험에서는 Figure 1과 같이 상부금형의 온도는 150°C 하부금형은 145°C를 유지한 후 150 s간 100 kg/cm²의 압력을 가해서 250 mm × 250 mm × 3 mm의 시험편을 제조하였다. 벌크몰드컴파운드의 혼합과정 및 성형과정에 대한 자세한 사항은 이전의 문헌에서 찾을 수 있다[4].

2.3. 표면분석 실험

구성성분의 함량변화에 따른 시료의 형상변화를 관찰하기 위하여 Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM, JEOL Co., Model : JSM 6007-F)을 사용하였다. 벌크몰드컴파운드의 전하대전 현상을 방지하기 위하여 표면에 스퍼터링 장비(Cressington sputter coater)를 이용하여 수십 nm의 Pt 코팅을 하였다.

벌크몰드컴파운드 시편의 표면 및 두께(깊이) 방향에 대한 정량적인 원소분석을 하기 위하여 X-ray photoelectron spectroscopy (XPS, VG Scientific Co., Model: ESCALAB210)를 사용하였다. 또한, 표면의 미세구조분석을 위하여 원자현미경(Park Systems Co., Model : XE-100)을 비접촉모드로 사용하였으며, 이형제 함량변화에 따른 시편의 표면성질을 관찰하기 위해 증류수를 벌크몰드컴파운드 표면에 주사기로 일정량 떨어뜨린 후 접촉각 측정기(Surface Electro Optics Co., Model : Phoenix-300)로 물에 대한 접촉각을 측정하여 분석하였다. 샘플의 표면층에서부터 깊이 0.2 mm 내부까지의 표면성질을 관찰하기 위하여 샘플을 표면층을 사포로 갈아내면서 접촉각을 측정하였다.

2.4. 체적수축률 및 표면조도 측정

벌크몰드컴파운드의 체적수축률을 측정하기 위하여 약 5 g의 불포화폴리에스터 수지 조성물을 70 mm × 60 mm × 1 mm의 플라스틱 파우치에 담은 후 파우치 모서리에 있는 구멍을 통하여 진공을 걸어 파우치 내의 공기를 제거하고 오븐에서 등은 경화시켰으며, 경화된

샘플의 밀도는 대기상태와 물에 담근 상태에서 질량을 측정하여 구하였다. 경화된 샘플의 밀도(ρ_s)와 체적수축률은 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\rho_{s_0} = 1 / \sum_{i=1}^n (W_i / \rho_i) \quad (1)$$

$$\rho_s = \rho_{H_2O} \times W_s / (W_s - W_w) \quad (2)$$

$$\text{Volume Shrinkage}(\%) = (1 - \rho_{s_0} / \rho_s) \times 100 \quad (3)$$

여기서 ρ_{s_0} 는 경화반응 이전의 각 구성성분의 질량(W_i)과 밀도(ρ_i)를 합산하여 구한 이론적인 밀도이며, n은 총 구성성분의 수이다. ρ_{H_2O} 는 물의 밀도이며, W_s 와 W_w 는 대기상태와 물속에서 측정된 샘플의 질량이다.

평균 표면조도(R_a , surface roughness)는 중심선으로부터 거칠기 곡선의 각 점들이 벗어난 정도를 의미하며, 다음과 같이 정의된다.

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (4)$$

여기서 N은 거칠기 곡선에서의 점들의 수를 의미하며, y_i 는 거칠기 곡선에서 각 점의 값을 의미한다. 작은 R_a 값은 매끄럽고 평평한 표면 성질을 의미한다. 본 실험에서는 원자현미경을 이용하여 샘플의 표면을 스캔한 후 원자표현미경에 내장된 표면조도 계산 프로그램을 통하여 얻은 값을 사용하였다.

2.5. 기계적 물성 측정

벌크몰드컴파운드로부터 제조된 시편의 굴곡강도 및 굴곡탄성률은 Universal Testing Instrument (Instron Co.)를 사용하여 ASTM D790 규격에 따라 측정하였다. 충격강도는 인장시험이나 굴곡시험에 비하여 빠른 속도로 시편에 힘을 가하면서 시편을 파괴시키는데 필요한 강도를 말한다. 충격거동으로 조사되는 두 가지의 요소는 크랙을 만들기 위해 필요한 에너지와 크랙을 전파시키기 위해 필요한 에너지이다. 일반적으로 충격강도 시험편에서 notch 유무는 brittle한 샘플보다 ductile한 샘플에서 충격강도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 충격강도를 측정하는 가장 보편적인 방법인 NII (Notched Izod Impact) 테스트를 실시하였다. 아이조드 충격시험기(대양사, Model : DOID-1Q3C)를 사용하여 충격강도를 측정하였다.

압입 경도시험으로 Vicker's 경도계(TEMACH Co., China)를 사용하였으며 5군데를 압입하여 값을 얻고 평균값을 측정하였다.

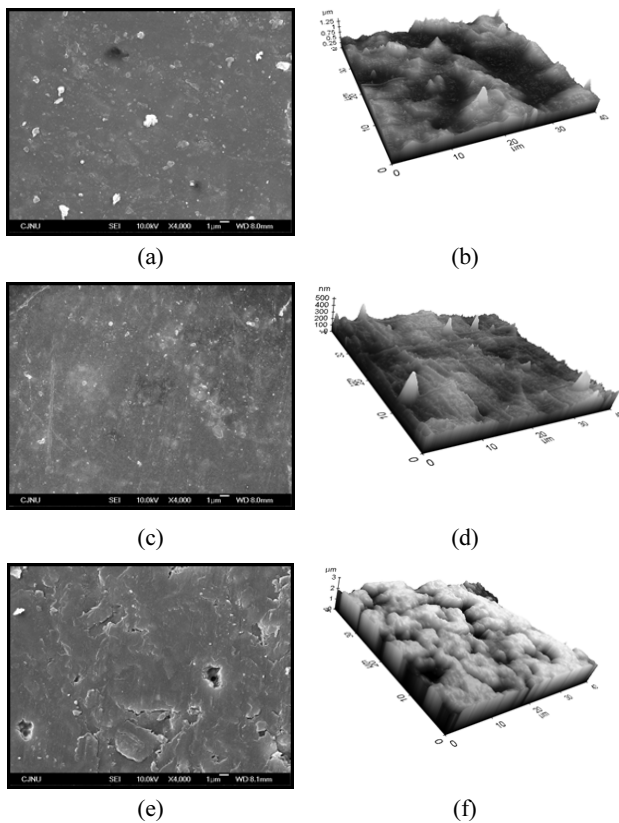


Figure 2. SEM and AFM images of bulk mold surfaces of (a), (b) Zn-St 1.8 wt% without low profile agent, (c), (d) Zn-St 1.8 wt% with 5.0 wt% of low profile agent and (e), (f) Zn-St 3.6 wt% with 4.4 wt% of low profile agent.

3. 결과 및 고찰

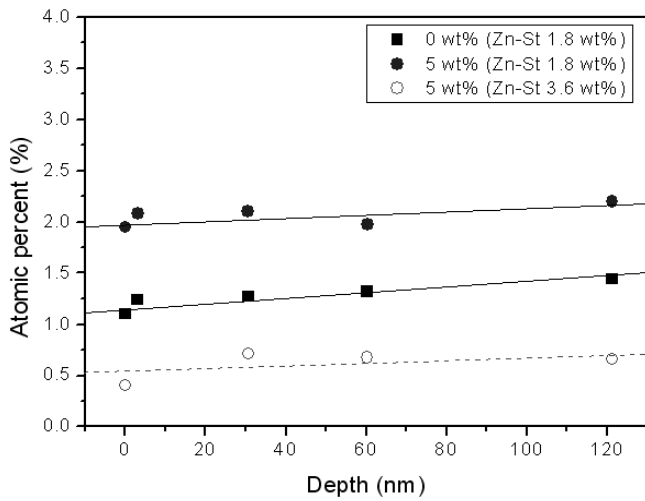
3.1. 표면 관찰

경화 전의 불포화폴리에스테르 액상혼합물은 서로 용해되어 있다가 구형의 마이크로젤이 생기고 젤들이 서로 반응하면서 겔화현상이 발생하고 경화반응이 일어나면서 마이크로기공이 생겨 불균일한 표면을 야기시키는 것으로 알려져 있다. 경화반응이 일어나면서 거칠고 불균일한 표면이 발생하는 현상은 Li 등에 의해 제안되었던 바와 같이 경화반응시에 심한 수축현상이 발생하기 때문으로 추정된다. 이러한 수축현상이 생기면서 벌크몰드컴파운드가 반응시 마이크로기공을 형성하게 되는데[5,6], 저수축제는 경화현상시 발생하는 수축을 완화하고 동시에 마이크로기공 생성을 억제하여 표면조도(surface roughness)를 낮추는 역할을 한다[7]. Figure 2(a)는 이형제인 Zn-St를 1.8 wt% 포함하고 저수축제를 사용하지 않은 경우이며(control), Figure 2(c)는 Zn-St를 1.8 wt% 포함하고 5.0 wt%의 폴리스티렌 저수축제를 첨가한 경우(EXP-1)의 주사전자현미경 이미지이다. Figure 2(b)의 3차원 원자현미경(atomic force micro-

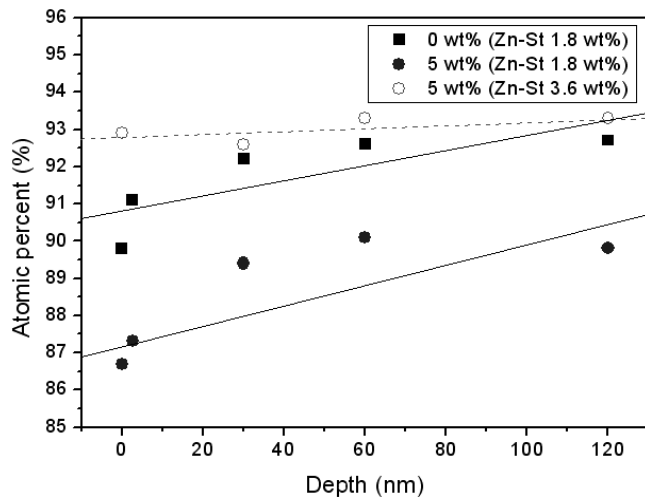
scope) 사진에서 볼 수 있듯이 저수축제가 첨가되지 않은 경우에 상대적으로 거친 표면을 갖는 것을 보여주고 있다. 저수축제가 첨가되지 않은 경우의 표면조도는 99.15 nm이었으나, 저수축제를 5.0 wt% 첨가한 경우에는 표면조도가 27.45 nm로 급격히 낮아짐을 확인할 수 있었다. 저수축제의 첨가에 의하여 뚜렷하게 마이크로기공 형성을 억제되어 표면조도가 낮아진 것으로 보인다. Figure 2(e),(f)는 Figure 2(c),(d)와 비교하여 불포화폴리에스테르 수지에 대하여 동일한 비율의 저수축제를 포함하지만, 이형제인 Zn-St함량을 1.8 wt%에서 3.6 wt%로 2배 증가시킨 경우의 주사전자현미경과 원자현미경 이미지로 유기층이 표면에 생성되면서 표면이 매우 거칠게 되어 표면조도가 186.55 nm로 크게 증가된 것을 보여주고 있다. 일반적으로 과량의 이형제는 고온의 성형과정에서 표면층으로 이동한 후 압축성형 몰드 표면에 흡착되어 성형품의 표면조도가 높아질 수 있다[8-10].

3.2. XPS 결과

XPS의 wide scan 결과로부터 깊이 변화에 따른 C, Al, Zn의 상대적인 함량을 측정하였다. Figure 3(a),(b)는 Zn-St 함량을 1.8 wt%로 고정하고 저수축제 함량을 0 wt%에서 5.0 wt% 증가시킬 때, 시편 표면층에서부터 120 nm의 깊이까지 0.1 nm/sec의 속도로 아르곤 에칭시키면서 알루미늄과 탄소의 원소함량을 각각 측정된 결과를 보여주고 있다. Zn-St 함량이 1.8 wt%일 때 저수축제가 5.0 wt%로 증가한 경우에는 Al 원자함량이 깊이에 따라 변화를 보이지 않고 약 2 at%를 유지하였다. 하지만 저수축제와 Zn-St를 각각 5.0 wt%, 3.8 wt% 포함한 경우에는 알루미늄의 함량이 깊이 방향에 대하여 0.5 at%로 감소하였는데 이는 몰드 이형제가 샘플의 표면뿐만 아니라 내부에도 많이 존재하고 있는 것으로 추정된다. Figure 3(b)에 나타났듯이 탄소의 원자함량은 시편의 깊이 방향으로 에칭처리하면서 들어갈수록 저수축제나 Zn-St의 양에 관계없이 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이는 상대적으로 샘플표면에 탄소를 제외한 다른 원소가 많이 존재함을 보여주고 있다. 그림에는 나타나지 않았지만 Zn-St를 1.8 wt% 포함하고, 저수축제를 전혀 포함하지 않는 경우에 에칭방향에 대한 Zn의 원소함량을 보면 표면에서는 약 0.2 at%의 Zn가 존재하지만 에칭깊이가 깊어질수록 Zn 함량이 0.1 at%로 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 저수축제와 Zn-St가 각각 5.0 wt%, 1.8 wt% 존재할 때는 저수축제가 Zn-St의 표면층으로 이동하는 것을 충분히 방해하여 Zn의 함량이 표면은 물론 모든 측정 깊이에서 0.1 at% 이하로 미미하게 검출되었다.



(a)



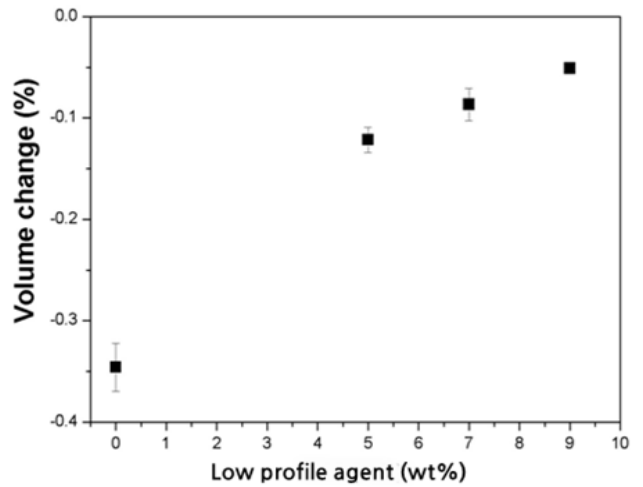
(b)

Figure 3. XPS results as function of etching depth from the surface (a) Aluminium and (b) Carbon.

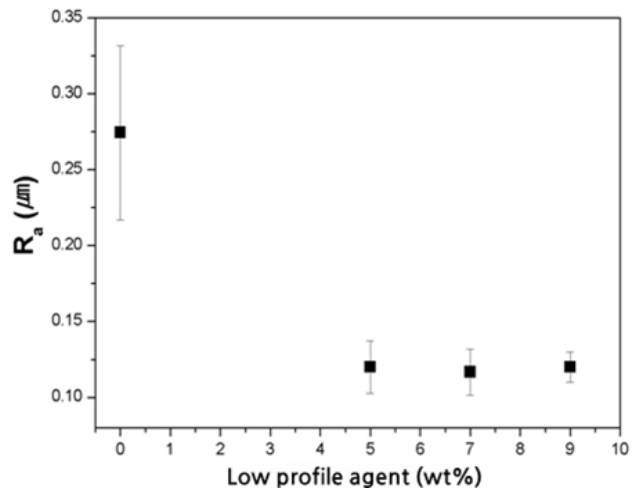
3.3. 수축률 및 표면조도

저수축제인 폴리스티렌의 함량을 증가시키면서 체적 수축률과 표면조도를 관찰하였다. Figure 4(a)에서 보는 바와 같이 저수축제 폴리스티렌을 첨가하지 않았을 경우에는 체적수축률이 0.35%였으나 저수축제를 9.0 wt% 첨가함에 따라 체적수축률이 0.05%로 감소하였다. 수축성이 없는 열가소성의 폴리스티렌이 첨가되면 경화 반응에 참여하는 스티렌과의 화학적 유사성에 존재하여 안정한 구조를 형성할 수 있고, 불포화폴리에스테르의 경화반응시 발생하는 수축이 효과적으로 감소됨을 확인할 수 있었다.

저수축제를 사용하지 않았을 경우의 표면의 조도가 0.27 μm 로 매우 높는데 비하여 저수축제를 5.0 wt% 이상 첨가하면 표면조도가 0.12 μm 정도로 매우 낮아졌



(a)



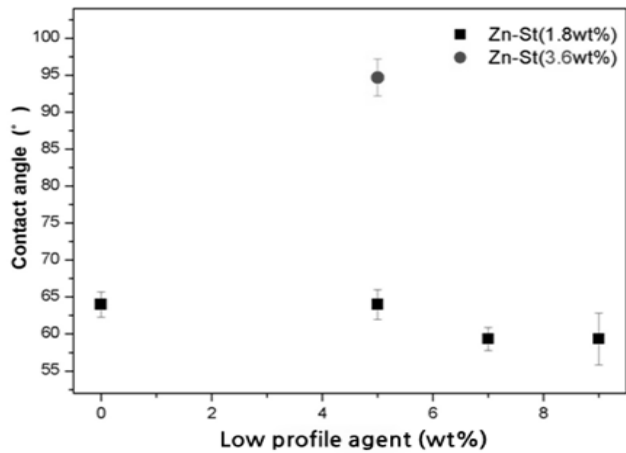
(b)

Figure 4. (a) Volume and (b) Surface roughness as a function of low profile agent.

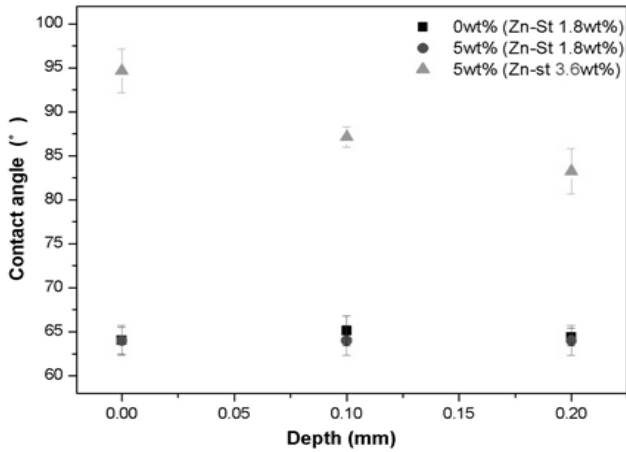
으며 표면조도의 편차도 역시 감소하였다(Figure 4(b)). 저수축제의 함량이 0~5.0 wt% 포함하는 경우에 비하여 5.0 wt% 이상 포함하는 경우에는 체적수축률, 표면조도, 표면조도 편차 등의 변화가 미미한 것을 확인할 수 있었다.

3.4. 접촉각

Figure 5에서와 같이 1.8 wt%의 Zn-St 이형제를 사용한 경우에 있어서 저수축제의 증가에 따라 접촉각은 65°에서 약간 감소하는 경향을 보여주었다. 하지만 이형제로 사용된 Zn-St의 양이 1.8 wt%에서 3.6 wt%로 증가하는 경우 접촉각의 뚜렷한 증가를 볼 수 있는데 이는 hydrophobic 성질을 갖는 저분자량의 Zn-St가 표면에 많이 존재함을 의미한다. Zn-St가 1.8 wt%일 때



(a)



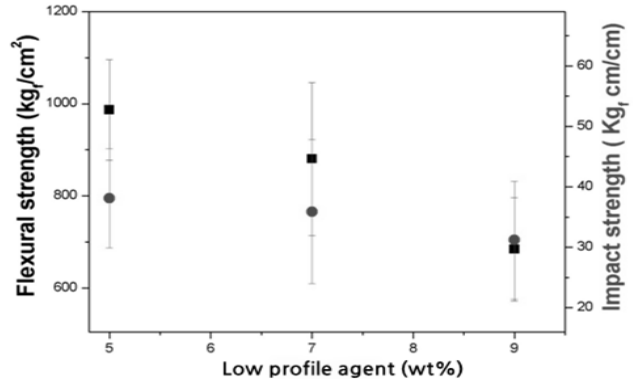
(b)

Figure 5. (a) Contact angle as a function of amount of low profile agent and (b) Contact angle as a function of depth from the surface.

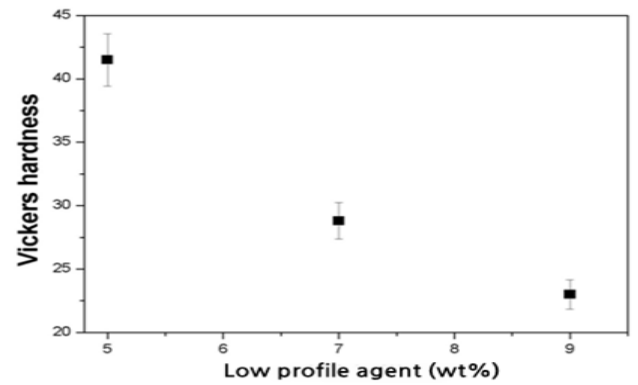
저수축제의 함량이 0 wt% 또는 5.0 wt%인 경우에는 표면층에서 0.2 mm까지 내부로 이동함에 따라 접촉각의 차이는 거의 존재하지 않았으나, 저수축제가 5.0 wt% 이고, Zn-St가 3.6 wt%인 경우에는 내부로 들어감에 따라 접촉각이 감소하는 것은 관찰할 수 있었는데 이는 Zn-St가 표면에 집중적으로 존재함을 암시하고 있다.

3.5. 기계적 성질

Figure 6은 저수축제 함량에 따라 기계적 성질의 변화를 보여주고 있다. 저수축제를 5.0 wt%에서 9 wt%로 증가함에 따라 굴곡강도는 1,000에서 700 kg/cm²로 감소하였는데, 이는 취성을 가지는 열가소성의 저수축제인 폴리스티렌 함량이 증가함에 따라 굴곡강도와 충격강도가 감소하는 것으로 보이며, 경도의 경우에는 경화된 불포화폴리에스테르에 비하여 폴리스티렌이 상대적



(a)



(b)

Figure 6. (a) Flexural and impact strength as a function of amount of low profile agent and (b) Vicker's hardness as a function of amount of low profile agent.

으로 작은 경도를 가지고 있어 저수축제가 증가함에 따라 Vicker 경도가 43에서 24로 감소하는 것으로 보인다.

4. 결 론

저수축제와 이형제의 함량변화에 따라 벌크몰드컴파운드의 표면과 기계적 성질에 미치는 영향을 연구하였다. 열가소성인 폴리스티렌 저수축제는 함량을 9.0 wt%까지 증가시키기에 따라 부피수축을 감소시켜 경화반응에서 일어나는 체적수축율이 0.05%까지 감소하였으며, 평균 조도도 저수축제가 포함되지 않은 샘플의 경우에는 0.27 μm였으나 9.0 wt%의 저수축제를 포함하는 경우에는 0.12 μm로 낮아졌다. 수축성이 적은 열가소성의 폴리스티렌이 첨가되면 경화반응에 참여하는 스티렌과의 화학적 유사성에 존재하여 안정한 구조를 형성할 수 있고, 불포화폴리에스테르의 경화반응시 발생하는 수축이 효과적으로 감소됨을 확인할 수 있었다. 이형제인 Zn-St함량을 1.8 wt%에서 3.6 wt%로 증가시켰을

경우 접촉각이 65°에서 95°로 증가하였으며, 표면으로부터 깊이가 증가함에 따라 접촉각이 점차 감소하였다. 또한 이형제를 1.8 wt%에서 3.6 wt%로 증가시켰을 경우 표면조도가 27.45 nm에서 186.55 nm로 증가하였다. 즉, 이형제가 3.6 wt% 첨가되었을 경우 주로 표면에 존재하는 것을 의미한다. 저수축제인 열가소성 폴리스티렌을 5.0 wt%에서 9.0 wt%로 증가함에 따라 굴곡강도와 충격강도는 약 30% 감소하였다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업과 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행된 연구결과입니다.

참고 문헌

1. 허영수, “폴리에스테르수지”, 플라스틱강좌, 대광서림 (1994).
2. 유기문, 이성구, 김성룡, *접착 및 계면*, **11**, 174 (2010).
3. K. S. Yeon, K. S. Kim, K. W. Lee, and J. H. Hwang, *J. Advanced Aggregate Composites*, **6**, 259 (2001).
4. 권기준, 불포화폴리에스테르계 BMC의 내후성 연구, 충주대학교 석사학위논문 (2007)
5. W. Li and L. J. Lee, *Polymer*, **39**, 23 (1999).
6. C. Cao and L. J. Lee, *Polymer*, **44**, 6 (2003).
7. B. Mary and C. Park, *J. Frederick, Polymer Composites*, **17**, 4 (1996).
8. LG Polymer Journal, 41, 7, Summer (2005).
9. LG Polymer Journal, 56, 32, Spring (2009).
10. A. J. Shields, D. M. Hepburn, I. J. Kemp, and J. M. Cooper, *Polymer Degradation and Stability*, **70**, 253 (2000).