

## 論文

## GMT-Sheet 성형품의 표면요철에 미치는 섬유돌출의 영향

김형석\*, 김진우\*\*, 김용재\*\*\*, 이동기\*\*\*\*+

## Impact of Fiber Projection from GMT-Sheet Moldings on Surface Unevenness

Hyoung-Seok Kim\*, Jin-Woo Kim\*\*, Yong-Jae Kim\*\*\*, and Dong-Gi Lee\*\*\*\*+

## ABSTRACT

According to the evaluation on GMT-sheet by molding conditions, fiber projection on the moldings surface was investigated. Fiber projection is one of the major defects on moldings surface due to matrix shrinkage. That is, fiber projection happens from different shrinkage of matrix and glass fiber. Height of fiber projection from moldings surface becomes smaller when molding pressure is higher during holding pressure and cooling process. Height of fiber projection is dominantly affected by molding pressure. With consideration of molding pressure, the formation of surface unevenness and change in fiber projection height was elucidated. In addition, coating layer is effective to suppress surface defects, and there is no fiber projection or crack in case that coating is applied. Coating layer improves surface roughness up to the level of the polypropylene which is a single material.

## 초 록

성형조건에 따른 GMT-Sheet를 관찰하여, 성형품 표면의 섬유돌출을 조사했다. 섬유돌출은 모재의 수축에 의해서 성형품 표면에 생성되는 불량현상의 하나이다. 즉, 섬유돌출은 성형온도에서 상온까지 성형품이 냉각될 때 모재와 유리섬유의 수축차에 의해 발생하는 표면불량 현상이다. 성형품 표면의 섬유돌출 높이는 보압·냉각과정에서 성형압력이 클수록 작게 나타남을 알 수 있다. 성형품 표면의 섬유돌출 높이는 성형압력의 영향이 지배적임을 알 수 있다. 성형압력을 고려하여, 성형품의 표면요철 생성과정과 섬유돌출 높이 변화를 규명했다. 그리고 피복층은 표면불량 현상을 억제하는 효과가 있고, 표면으로부터 섬유돌출이나 크랙이 보이지 않았다. 피복층은 표면거칠기를 단일재료인 폴리프로필렌 정도까지 개선하였다.

**Key Words :** GMT-Sheet 성형품(GMT-Sheet moldings), 표면거칠기(Surface roughness), 표면요철(Surface unevenness), 섬유돌출(Fiber projection), 피복층(Coating layer)

## 1. 서 론

섬유강화 플라스틱 복합재료는 모재수지의 특성에 따라 크게 열경화성 복합재료와 열가소성 복합재료로 대별될 수 있는데, 대부분의 플라스틱 복합재료의 추구 목적이 고강성

및 고내열성 소재 개발에 있기 때문에 열가소성 보다는 열경화성 복합재료 개발에 상대적으로 많은 관심과 연구가 진행되어 왔다. 그러나 최근 플라스틱의 재활용 문제가 크게 대두되면서 폴리프로필렌(PP) 수지에 매트형의 유리섬유를 보강한 시트 형상으로 강도 보강 효과를 극대화하려는 새로운

접수: 2011년 7월 27일, 수정: 2011년 11월 4일, 게재승인: 2011년 11월 7일

\* 조선대학교 대학원 첨단부품소재공학과

\*\* 광주테크노파크 차세대자동차전장부품생산지원센터

\*\*\* 조선대학교 전기공학과

\*\*\*\*+ 조선대학교 메카트로닉스공학과, 교신저자(E-mail: dglee@chosun.ac.kr)

형태의 열가소성 복합재료가 등장하였다. 즉 GMT(Glass Mat reinforced Thermoplastics)라 불리는 시트 형태의 열가소성 복합재료는 자동차의 경량화 및 각종 기능 부품의 요구 성능을 만족시킬 수 있을 뿐만 아니라 열경화성 복합재료의 취약점으로 지적되고 있는 생산성, 리사이클성, 내충격성 등이 우수하기 때문에 대부분 자동차 내·외장의 주요 부품으로 사용되고 있다[1].

유리섬유강화 열가소성 플라스틱 복합판재인 GMT-Sheet는 모재시트와 유리섬유매트의 라미네이트이며 시트 형태의 2차제품으로서 프레스 가공용으로 시판되고 있다. GMT-Sheet의 프레스 성형은 시트 재료를 제품 형상에 필요한 크기로 절단한 블랭크를 200℃ 내·외로 가열한 후 금형 내에 투입하여 고압, 저온 금형에서 성형된다. GMT-Sheet의 프레스 성형은 통상 1분 내외의 성형 사이클이 짧은 시간에 완료하기 때문에 생산성이 우수한 재료이다. 이러한 특징 때문에 GMT-Sheet 성형품은 판금 프레스 성형품에 대신해 여러 산업분야에서 사용되고 있다[2].

그러나 GMT-Sheet 성형품의 표면상태에서 가장 큰 불량 원인은 보압·냉각 과정에서 발생하는 모재와 유리섬유의 수축차이다. 모재인 폴리프로필렌 등의 결정성수지는 용해상태로부터 응고할 시 체적 감소가 일어나고, 강화재인 유리섬유는 돌출되어 성형품 표면상태의 큰 불량 원인이 된다. 이러한 이유 때문에 외관이 문제시 되어 GMT-Sheet의 사용범위를 좁게 하고 있다. 이와 같은 문제점 등이 있으나, GMT-Sheet 성형품의 표면성형과정의 규명이나 표면상태의 개선에 관한 연구는 극히 적다[3-4].

본 연구에서는 GMT-Sheet를 여러 성형조건에서 성형한 후, 모재의 수축에 따른 섬유돌출 높이를 계산하여 표면에 나타나는 섬유돌출의 생성과정을 규명하여 표면상태와 성형조건의 관계를 명확하게 하고자 한다. 또한, 얻어진 결과를 바탕으로, GMT-Sheet 성형 시 표면에 폴리프로필렌 시트를 피복하여, 성형품의 표면상태를 개선하는 방법을 제안하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

본 연구에서는 표면요철에 미치는 섬유돌출의 영향에 대해서 조사하기 위해서, 시험재료는 1종류로 폴리프로필렌(PP) 수지를 유리섬유(Glass fiber)로 강화한 두께 3.8mm인 GMT-Sheet(P 4038-B Sheet:일본 出光NSG(주))를 이용하였다. 또한 섬유함유율은 모두 40wt%의 것을 사용하였다. Table 1에는 본 실험에 사용된 GMT-Sheet 재료의 기본 물성치를 나타냈다. 섬유 및 수지의 비중량은 각각 2.55g/cm<sup>3</sup>, 0.9g/cm<sup>3</sup>이다. 시험편은 GMT-Sheet를 60mm(폭)×80mm(길이)×3.8mm(두께) 형상으로 절취하였다.

Table 1 Material properties of GMT-Sheet(P4038-B Sheet)

Property	Unit	P4038-B Sheet
Specific gravity	-	1.19
Void content	%	3~5
Filament diameter	μm	23
Fiber length	mm	55
Number of filament	ea	60
Weight of sheet	N/mm <sup>2</sup>	44±2
Sheet thickness	mm	3.8

### 2.2 실험장치

압축성형에 사용한 가압장치는 하중제어가 가능한 유압 열프레스를 이용했다. 실험조건에 의한 블랭크를 예열할 필요가 있는 경우에는, 적외선 가열기를 사용했다. 금형 캐비티의 치수는 60mm(폭)×80mm(길이)×3.8mm(두께)이고, 금형은 펀치와 다이의 두 부분으로 이루어져 있으며 열전대가 부착되어 있다. 가열은 봉히터를 사용하고, 냉각을 위해 냉각수의 순환구멍이 뚫어져 있다.

금형 내압은 선단직경 4mm의 핀을 끼워서 저항선열형게 이지식 압력센서에 의해 검출했다. 또한 금형온도는 열전대(Ø1.0mm)를 사용하여 캐비티 표면으로부터 1mm 위에서 측정했다. 압력센서는 증폭기를 끼우고, 열전대는 데이터 디지털 측정기에 접속하고 컴퓨터를 사용하여 제어·기록을 행하였다.

### 2.3 실험방법

현재 GMT-Sheet를 이용한 각종 부품 생산현장에서는 약 200℃의 블랭크를 약 40~80℃의 금형에 넣고, 약 15~20MPa의 압력으로 압축성형한 후 급냉하여 탈형한다. 본 연구에서는 생산현장과 같은 성형조건을 충족시켜 서냉과 급냉 실험하였다.

GMT-Sheet의 성형법은 크게 나누어 예열, 충전, 보압·냉각, 탈형의 4개 과정으로 되어 있다. 본 실험에서는 압축속도 13mm/s, 금형온도 80℃로 일정하게 하고, 보압하중과 재료의 예열·냉각 방법을 변화시켜 실험을 행하였다. 보압하중 50, 100, 150, 200, 250, 300kN의 5종류로 실험하였다. 이 때, 보압하중을 블랭크의 단면적으로 나누어 압력으로 나타냈다.

섬유돌출과 같은 표면불량 현상을 해결하기 위하여, 폴리프로필렌 시트의 피복층에 의해서 성형품 표면불량 현상이 어느 정도 개선되는지 실험하였다. 이 때, GMT-Sheet 블랭크의 크기 60mm(폭)×80mm(길이)와 같은 폴리프로필렌 시트를 피복하여 성형실험 하였다. 이 피복층의 두께는 0.3, 0.5, 1.0, 1.5mm의 4종류로 실험하였다. GMT-Sheet의 피복 실험에서, 생산현장과 동일조건으로 실험하기 위하여, 보압하중은 100kN, 탈형온도는 80℃로 일정하게 하고, 피복층의 두께를 변화시켜 실험하였다.

그리고 재료의 예열과 냉각의 방법을 변화시켜, 서냉과 급냉의 2종류로 실험하였다.

첫째, 서냉실험인 경우에는 재료를 금형 캐비티 안에 넣은 후에 금형 자체를 성형온도까지 가열하여 압축성형한 후, 금형과 재료를 냉각시키는 방법이다. 이 방법은 탈형과정에 있어서의 재료와 금형의 온도는 동등하다. 재료뿐만 아니라 금형도 냉각하기 위해 냉각속도가 늦어지게 되고, 재료는 천천히 냉각시키는 것이 된다.

둘째, 급냉실험인 경우에는 재료의 재결정온도보다 낮은 온도의 금형에 가열된 재료를 넣고 압축성형한 후, 재료를 냉각한다. 이는 실제의 생산현장에서 행하고 있는 것과 동일한 방법이다. 이 방법은 재료를 금형 벽면에 급격하게 냉각시키는 것이다. 이 급냉실험법은 성형 사이클이 매우 짧은 특징을 가진다.

본 실험에서 성형한 성형품의 서냉·급냉 실험 시, 성형조건을 Table 2에 나타냈다. 서냉실험에서는 성형온도, 압축속도, 탈형온도를 일정하게 하고 보압하중을 변화시켰다. 급냉실험에서는 블랭크 온도, 압축속도, 보압시간, 금형온도를 일정하게 하고 보압하중을 변화시켰다.

그리고 GMT-Sheet의 열압축 유동성형 시, 모재와 섬유의 분리 및 섬유배향이 발생한다[5-8]. 본 실험에서는 분리·배향의 영향을 없애기 위해서 블랭크 및 성형품의 크기를 동일하게 하였다. 즉, 블랭크의 크기는 금형 캐비티와 같은 크기로 하고, 재료가 흐르지 않은 상태로 성형하였다.

Table 2 Molding condition of annealing and quenching experiment

Annealing experiment		Quenching experiment	
Molding temperature	Holding pressure time	Blank temperature	Holding pressure time
173℃	492sec	200℃	55sec

## 2.2 표면거칠기 측정

GMT-Sheet 성형품 표면요철의 표면거칠기는 중심선평균거칠기를 이용하였다[4]. 금형 및 성형품 표면의 표면거칠기의 측정은 축침식 표면형상측정기((株)東京精密:Surfcom 570A)를 사용하였다.

본 실험에서 GMT-Sheet 재료의 특성상 실험값의 편차가 심하기 때문에 표면거칠기의 측정값은 성형품의 길이방향으로 10회 측정하여 그 평균값을 성형품의 측정값으로 하였다. 표면거칠기의 측정길이는 5mm이다. 실험에 이용한 금형 표면거칠기 값은 0.06 $\mu$ m로 측정되었다.

또한 성형 시에 금형의 표면상태가 성형품의 표면에 어느 정도 전사되었는가를 조사하기 위해 보압하중 100kN, 탈형 시 금형온도 80℃에서 성형한 폴리프로필렌 단일재료만의 성형품 표면을 측정한 결과 표면거칠기 값은 0.08 $\mu$ m로 측정되었다. 폴리프로필렌 단일재료만의 성형품은 금형과 비슷한 값으로 측정되어, 이 실험의 성형법으로 금형표면의 상태가 성형품에 잘 전사된 것을 알 수 있다.

## 3. 수지의 비체적-온도 관계 및 섬유돌출 모델

### 3.1 폴리프로필렌 수지의 비체적-온도 곡선

모재수지의 냉각과정에 있어서의 체적변화에 대하여 규명이 필요하다. 열가소성 플라스틱에는 무정형 및 결정 영역이 있고, 양자의 온도와 비체적과의 관계 곡선은 다른 형태가 된다[9]. 무정형수지는 분자운동의 상위(서로 어긋남) 등에 기인하여 발생하는 유리전이점의 영향으로 비체적-온도곡선에 절점(꺾이는 점)을 발생한다. 그러나 절점의 위와 아랫 부분은 거의 직선적으로 변화하고 있어 급변한 체적변화는 보이지 않는다.

폴리프로필렌 등의 결정성수지는 결정화에 의해 큰 체적변화가 일어난다. Fig. 1에 폴리프로필렌의 비체적-온도 곡선을 나타냈다. 수지를 가열할 경우에는 그림의 점 D부터 용해점 B까지 체적이 증가한다. 이에 비해 용해상태 A부터 점차 온도를 내릴 경우에는 용해점 ( $T_m$ ) B를 통과하여 조금 낮은 온도가 될 때까지는 비체적이 직선적으로 감소한다(A-C). 응고점 C에서 결정화가 일어나 체적이 크게 감소한다(C-D). 온도가 더 내려가면 또 천천히 비체적이 감소하게 된다(D-E-F). 이러한 결정성수지는 냉각 시 복잡한 체적변화가 일어난다. 또한, 결정성수지는 냉각속도에 의해서 결정화의 정도가 변하기 때문에, 고체화할 경우의 비체적도 냉각속도에 의해서 변화한다. 냉각과정에 있어서 모재의 수축량을 구하기 위해서는 비체적과 온도와의 특성을 고려할 필요가 있다.

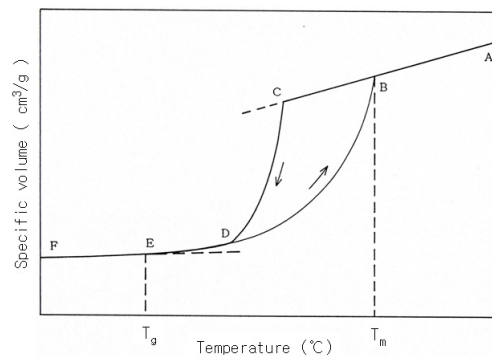


Fig. 1 Specific volume-temperature curve of crystalline resin.

### 3.2 섬유돌출의 모델

실험재료인 GMT-Sheet 블랭크를 적외선 가열기에 의해 가열하면 모재인 폴리프로필렌은 용융상태이고, 강화재인 유리섬유는 고체상태이다. 이 블랭크는 금형 내에 삽입되어, 펀치를 하강시킬 때에 유동하고 금형에 충전된다. 이 때 냉각과정의 수축에 의하여 발생하는 표면불량 현상은 섬유돌출, 윈딩 및 표면의 유리섬유와 모재의 계면에서 발생하는 크랙의 3종류가 있다[3]. 이 불량 현상 중 섬유돌출은 성형품 내에 있는 강화재인 유리섬유가 단일섬유, 얇, 스트랜드 등의 섬유 종류에 의해

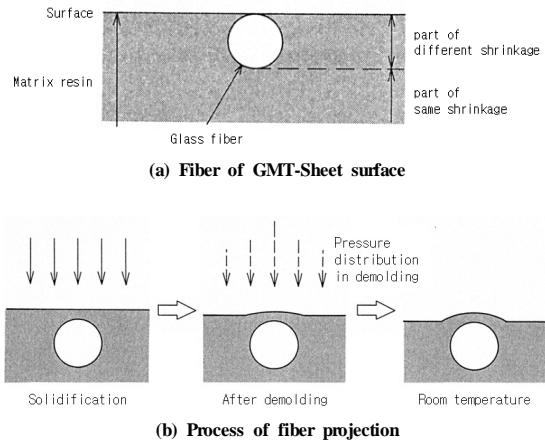


Fig. 2 Model of fiber projection.

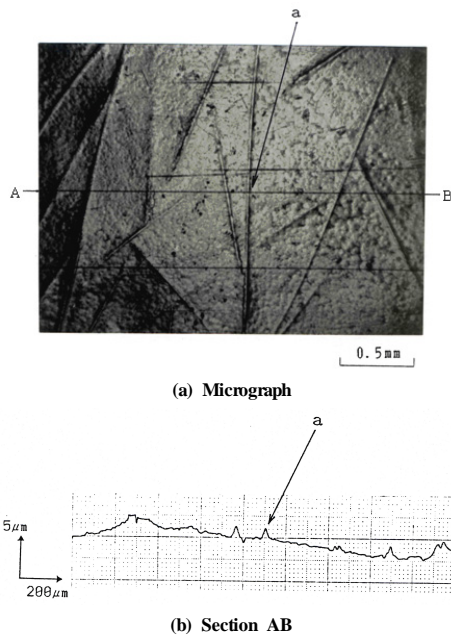


Fig. 3 Projection of fiber.

크기나 형태가 달라진다. 여기서 가장 단순한 섬유돌출에 대하여 모델화하여 섬유돌출 높이를 계산하고자 한다.

Fig. 2(a)는 GMT-Sheet의 표면 부근의 섬유를 나타낸 그림이다. 이 그림에 나타난 것과 같이 모재 중에 한 개의 섬유가 있는 상태로 가정한다. 여기서 성형품 표면으로부터 유리섬유 직경보다 더 아랫부분(섬유의 하단 부분)에서는 섬유함유량이 균일하고, 냉각 시의 수축량이 같다고 가정한다. 이 경우 섬유돌출은 섬유직경 깊이까지의 수지수축에 의해서 발생된 것이다.

GMT-Sheet의 두께는 폭, 길이와 비교하여 매우 얇기 때문에,

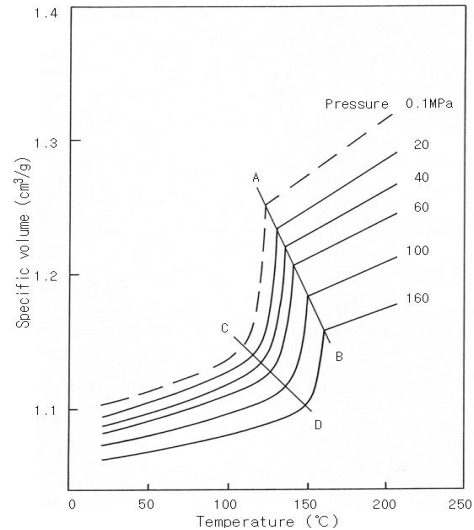


Fig. 4 PVT curve of polypropylene resin.

표면의 수지가 수축한 경우에는 폭, 길이 방향과 비교해서 구속이 작은 두께방향으로 변위가 발생하여 표면에 움푹 팬이 생긴다. 이와 같은 가정으로부터 GMT-Sheet 표면은 Fig. 2(b)와 같이 모델화 하는 것이 가능하다. 이 모델에서는 냉각에 의해서 발생하는 체적의 감소는 모두 성형품의 두께 방향으로 나타나, 수지 부분의 높이가 감소하는 것에 의해 표면볼량의 원인인 섬유돌출이 생긴다. 서냉실험한 후, GMT-Sheet 성형품의 표면거칠기와 섬유돌출의 한 예를 Fig. 3에 나타냈다[3].

### 3.3 PVT 곡선 및 섬유돌출 높이의 계산

폴리프로필렌의 PVT 곡선을 Fig. 4에 나타냈다. 그림에서 직선 AB는 각 압력에서의 응고점을 연결한 것이고, 직선 CD는 비체적의 급격한 감소가 끝난 점을 연결한 것이다. 폴리프로필렌의 응고점은 압력이 높아지면, 고온 측으로 이동하는 성질이 있다[10]. 따라서 직선 AB는 수직이 아니라 우측 아래 방향으로 경사진 직선이 되고 있다.

GMT-Sheet 성형품 성형 시 수지가 응고하기 전의 비체적은  $v$ , 실온에서의 비체적은  $v_r$ , 섬유직경은  $d$ 라 할 때, 섬유돌출 높이  $h$ 는 식 (1)로 구할 수 있다. 이 식으로부터 섬유직경과 실온에서의 모재의 비체적이 일정하다면 섬유돌출 높이  $h$ 는 비체적  $v$ 에 의해서 구할 수 있다.

$$h = \frac{v - v_r}{v} \times d \quad (1)$$

여기서, 실온에서의 폴리프로필렌의 비체적( $v_r$ )은 약  $1.1 \text{ cm}^3/\text{g}$ 이다. 또한 실험에서 이용한 GMT-Sheet의 강화재인 유리섬유 직경은  $23 \mu\text{m}$ 이다. Fig. 4로부터 각 압력 응고점의

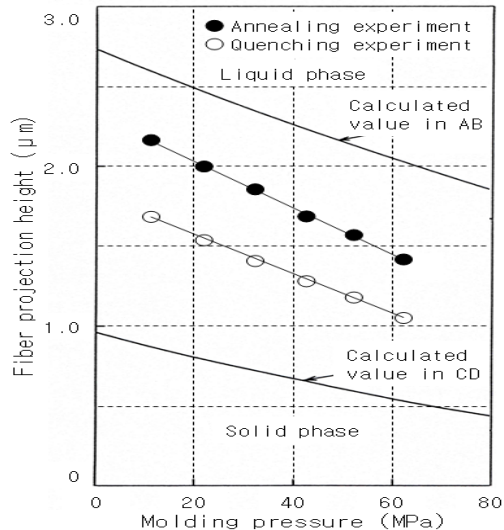


Fig. 5 Relationship between fiber projection height and molding pressure.

비체적을 읽으면 식 (1)로부터 섬유돌출 높이  $h$ 를 계산할 수 있다. 이와 같은 방법으로 성형품이 완전하게 고체화 될 때, 직선 CD 상의 각 압력에 대한 비체적  $v$ 로부터  $h$ 를 계산할 수 있다.

#### 4. 결과 및 고찰

GMT-Sheet의 프레스 열압축 유동성형 시, 보압 중에는 성형품 표면이 금형으로 눌러져 섬유돌출 부분은 큰 압력을 받는다. 이 때 섬유돌출 부분은 금형으로 눌러져 성형품 표면은 평평한 상태로 유지된다. 그러나 모재가 응고하여 자유롭게 유동할 수 없게 되면, 모재는 유리섬유보다 크게 수축하기 때문에 성형품 표면부분의 섬유돌출로 인하여, 표면에 요철이 생긴다. 탈형 후의 표면은 자유롭게 변형할 수 있기 때문에 표면에 요철이 생기고, 두께 방향으로 수축이 많기 때문에 섬유돌출 부분이 많아진다.

Fig. 5는 식 (1)을 이용한 계산으로부터 구한 섬유돌출 높이  $h$ 와 성형품 표면의 섬유돌출 높이 측정값을 나타냈다. 보압하중을 블랭크의 단면적으로 나누어 성형압력으로 나타냈다. GMT-Sheet 성형품 표면의 섬유돌출 높이 측정값은 축침식 표면형상측정기((株)東京精密:Surfcom 570A)로 측정한 단면곡선으로부터 섬유돌출 부분의 높이를 읽어, 10개소의 섬유돌출 높이의 평균값으로 하였다. 서냉·급냉 실험 시 성형품의 섬유돌출 높이는 성형압력의 영향이 지배적임을 알 수 있다.

Fig. 5로부터 성형품의 섬유돌출 높이 측정값은 압력이 높아질수록 작게 되고, 계산값과 같은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. PVT 곡선으로부터 GMT-Sheet의 모재수지가 용해상태에서 응고될 때에 성형압력을 크게 하면, 모재가 압축

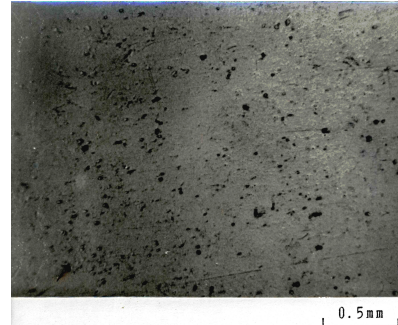


Fig. 6 Surface of moldings having coating layer.

되어 비체적은 작아지는 것을 알 수 있다. 섬유돌출 높이는 모재의 응고 시와 실온에서의 비체적 차에 의해서 결정된다고 생각된다. 따라서 성형압력을 높게 하여 모재의 비체적을 감소시켜 섬유돌출 높이를 작게 하는 것이 가능하다. 이와 같이 프레스 열압축 유동성형 할 때 성형압력을 크게 하여 성형하면 모재수지의 냉각 시, 비체적을 작게 하여 모재의 수축량을 감소시키는 효과가 있다.

또한, 모재는 응고점에서 결정화를 시작하지만, 모재의 유동성이 없어지는 것은 온도가 더 내려가 결정화가 진행될 때라고 생각된다. 따라서 식 (1)에 이용한 비체적  $v$ 의 값은 응고점보다 약간 작은 값이다. 서냉실험에서 탈형온도 80℃의 영향을 고려하면, 식 (1)로 계산한 섬유돌출 높이는 실제의 성형품 표면에 생기는 섬유돌출의 높이에 근접하고 있음을 알 수 있다.

본 연구의 실험결과로부터 프레스 열압축 유동성형 시, 모재가 용해상태에서 유동하기 때문에 성형압력은 표면에 균일하게 작용한다. 이러한 상태는 모재가 응고하여 유동성이 없어질 때까지 계속 된다. 모재가 응고한 후에는 수축함에 따라, 압력은 유리섬유가 많은 부분이 적은 부분보다 더 높다.

그러나 성형품 표면은 섬유함유량의 많고 적음에 관계없이, 금형의 성형압력 때문에 탈형될 때까지 표면은 평활하다. 탈형하면 표면에 걸리는 성형압력이 없어지기 때문에 섬유함유량이 많은 부분은 눌러져 있어, 회복 시 약간 부풀어 오른다. 그 후 실온까지 성형품이 냉각됨에 따라, 모재는 더 수축하기 때문에 섬유돌출 높이가 더 증가한다. 냉각과정에서 성형압력이 크면, 모재의 수축량이 적기 때문에 성형품 표면의 섬유돌출 높이는 작게 된다.

폴리프로필렌 시트의 피복층에 의해서 GMT-Sheet 표면불량 현상인 표면거칠기가 어느 정도 개선되는지를 고찰하였다. Fig. 6은 피복층을 가지는 성형품 표면의 현미경 사진이다. 성형품의 표면은 폴리프로필렌 시트로 피복되어 있어서, 섬유돌출 및 크랙[3]과 같은 표면불량 현상의 원인이 되는 유리섬유가 관찰되지 않았다. 피복층이 표면불량 현상을 제거하는 효과가 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 성형품 피복층의 두께에 따른 중심선평균거칠기

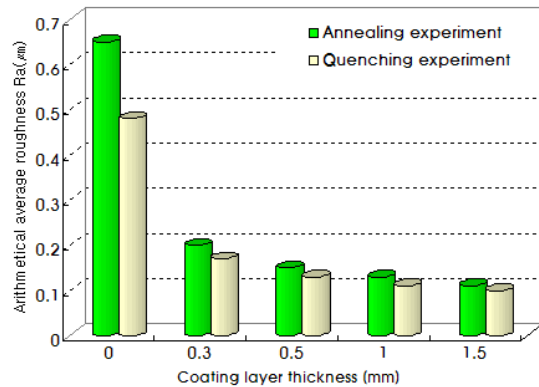


Fig. 7 Section of moldings having coating layer.

(Ra)의 측정 결과를 나타낸 그림이다. 피복층의 두께가 증가함에 따라, 측정값이 급격히 감소하고 있음을 알 수 있다. 그림과 같이, 피복층 두께가 0.5mm부터의 성형품 중심선평균거칠기 값은 단일재료인 폴리프로필렌의 측정값 0.08μm에 근접함을 알 수 있다. 또한, 이 이상 피복층의 두께가 증가하더라도 중심선평균거칠기 값은 거의 일정함을 알 수 있다. 따라서 표면요철을 제거하는 데에 필요한 최소한의 피복층 두께는 약 0.5mm임을 알 수 있다.

## 5. 결론

모재의 PVT 특성을 고려하여, 성형품의 표면요철 생성과정과 섬유돌출 높이 변화를 규명하고, 폴리프로필렌 시트의 피복층에 의해서 GMT-Sheet 표면불량 현상인 표면거칠기가 어느 정도 개선되는지를 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 모재의 수축량으로부터 섬유돌출 높이를 구하기 위해, 성형품 표면 부근의 섬유를 모델화하여 섬유돌출 높이를 계산하였다. 섬유돌출 높이는 성형압력이 클수록 작게 나타났으며, 실제의 성형품 표면의 섬유돌출 높이와 동일한 경향을 나타냈다. PVT 곡선을 고려하면, 섬유돌출 높이의 계산값과 측정값은 잘 일치함을 알 수 있었다.
- 2) 성형압력을 높게 하여 모재의 비체적을 감소시켜 섬유돌출 높이를 작게 하는 것이 가능하다. 그리고 GMT-Sheet 성형품 표면에서 섬유돌출은 급냉실험에서 서냉실험보다 약 22% 낮게 나타났다.
- 3) GMT-Sheet 표면의 피복층은 표면거칠기의 개선에 효과가 있고, 표면으로부터 섬유돌출이 보이지 않았다. 피복층은 표면거칠기의 개선에 매우 효과가 있고, 단일재료인 폴리프로필렌 정도까지 표면거칠기를 개선하였다.

## 후 기

본 과제는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

## 참고문헌

- 1) Lee, S.S., Kwak, T.H., and Min T.I., "Characteristic and Use of GMT-Sheet," *Proceedings of The Korean Society for Composite Materials*, 1996, pp. 1-8.
- 2) Shahzad, A., Farzana, H., Muhammad, I., Waqas, I., and Khuram, K., "Effect of Orientation of Glass Fiber on Mechanical Properties of GRP Composites," *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, Vol. 32, No. 3, 2010, pp. 265-269.
- 3) Kim, H.S., Kim, J.W., Kim, Y.J., and Lee, D.G., "Effects of Molding Condition on Surface Unevenness of GMT-Sheet Moldings," *Journal of The Korean Society for Composite Materials*, Vol. 23, No. 5, 2010, pp. 30-38.
- 4) Kim, H.S., Kim, J.W., Kim, Y.J., and Lee, D.G., "Effects of Molding Condition on Surface Unevenness of GFRP Composites in Compression Molding," *Transactions of the KSME(A)*, Vol. 34, No. 11, 2010, pp. 1649-1657.
- 5) Lee D.G., Yoo J.H., and Kim E.G., "A Study of Correlation between Separation and Orientation of Fibers during Compression Molding of Long Fiber-Reinforced Polymeric Composites," *Transactions of the KSME(A)*, Vol. 17, No. 1, 1993, pp. 62-68.
- 6) Lee, D.G., Kim, J.L., Kim, S.P., Lee, W.I., and Kim, E.G., "A Study on the Processing of Long Fiber-Reinforced Composite Materials for Thermoforming," *Transactions of the KSME(A)*, Vol. 17, No. 5, 1993, pp. 1106-1114.
- 7) Kang, K., Jo, S.H., Lee, D.G., and Kim, E.G., "A Study on Mean Coefficient of Separation during Compression Molding of Fiber-Reinforced Thermoplastics," *Transactions of the KSME(A)*, Vol. 20, No. 4, 1996, pp. 1146-1153.
- 8) Lee, D.G., and Cho, K.H., "A Study on Structure and Separation-Orientation of Fiber-Reinforced Thermoplastic Sheet," *Journal of The Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 10, No. 2, 1993, pp. 104-113.
- 9) Serope Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Technology*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992, pp. 211-218.
- 10) Tim, A.Osswald., and Georg, Menges., *Materials Science of Polymers for Engineers*, HANSER, 1998, pp. 211-215.