creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000239158

2010 년 2 월
석사학위 논문

GMT-Sheet 성형품의 표면거칠기에 관한 연구

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

김 형 석

GMT-Sheet 성형품의 표면거칠기에 관한 연구

A Study on the Surface Roughness of GMT-Sheet Moldings

2010년 2월 25일

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

김 형 석

GMT-Sheet 성형품의 표면거칠기에 관한 연구

지도교수 이 동 기

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2009년 10월

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

김 형 석

김형석의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 심 재 기 인

위 원 조선대학교 교수 황 석 승 인

위 원 조선대학교 교수 이 동 기 인

2009 년 11 월

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF FIGURES I
LIST OF TABLES III
LIST OF PHOTOGRAPHS IV
NOMENCLATURES V
ABSTRACT VI

제 1 장 서 론
제 1 절 연구 배경 1
제 2 절 연구 목적 5

제 2 장 실 험
제 1 절 실험장치 7
제 2 절 실험방법 11

제 3 장 표면요철의 관찰
제 1 절 표면요철의 종류 19
제 2 절 표면요철의 관찰 결과 29
제 3 절 표면요철의 관찰 결론 30

제 4 장 표면요철의 생성과정
제 1 절 결정성수지의 비체적-온도 곡선 31
제 2 절 섬유돌출의 모델 33
제 3 절 PVT 곡선 및 섬유돌출 높이의 계산 35
제 4 절 표면요철의 생성과정 결론 41

제 5 장 표면형상의 측정
제1절 표면형상의 측정 방법 42
제2절 표면형상의 측정 결과 46
제3절 표면형상의 측정 결론 57

제 6 장 피복층에 의한 표면상태의 개선
제1절 피복층의 성형 방법 58
제2절 표면상태의 개선 결과 60
제3절 표면상태의 개선 결론 66

제 7 장 결 론 67

참 고 문 헌 68

LIST OF FIGURES

Fig. 1-1 Method of laminate ····· 3
Fig. 1-2 Schematic of molding process for GMT-Sheet ····· 3
Fig. 2-1 Moldings shape ····· 9
Fig. 2-2 Schematic of experimental apparatus ····· 9
Fig. 2-3 Measurement position of temperature and pressure ····· 10
Fig. 2-4 Temperature and pressure sequence of annealing experiment ··· 12
Fig. 2-5 Measurement result of temperature and pressure in annealing experiment ····· 13
Fig. 2-6 Temperature and pressure sequence of rapid-chilled experiment ····· 16
Fig. 2-7 Measurement result of temperature and pressure in rapid-chilled experiment ····· 17
Fig. 4-1 Specific volume-temperature curve of crystalline resin ····· 32
Fig. 4-2 Fiber of GMT-Sheet surface ····· 34
Fig. 4-3 Model of fiber projection ····· 34
Fig. 4-4 PVT curve of polypropylene resin ····· 38
Fig. 4-5 Relationship between fiber projection height and pressure ··· 39
Fig. 4-6 Process of fiber projection ····· 40
Fig. 5-1 Profile curve, waviness profile and roughness curve ····· 44
Fig. 5-2 Center-line-average-height ····· 44
Fig. 5-3 Measurement position of center-line-average-height ····· 45
Fig. 5-4 Relationship between holding pressure load and center-line-average-height of annealing experiment moldings (Demolding temperature 80℃) ····· 48
Fig. 5-5 Relationship between holding pressure load and waviness profile of annealing experiment moldings (Demolding temperature 80℃) ····· 49

Fig. 5-6 Relationship between demolding temperature and center-line-average-height of annealing experiment moldings (Holding pressure load 10 ton) ····· 50
Fig. 5-7 Relationship between demolding temperature and waviness profile of annealing experiment moldings (Holding pressure load 10 ton) ····· 51
Fig. 5-8 Relationship between holding pressure load and center-line-average-height of rapid-chilled experiment moldings (Mold temperature 80℃) ····· 53
Fig. 5-9 Relationship between holding pressure load and waviness profile of rapid-chilled experiment moldings (Mold temperature 80℃) ····· 54
Fig. 5-10 Relationship between mold temperature and center-line-average-height of rapid-chilled experiment moldings (Holding pressure load 10 ton) ····· 55
Fig. 5-11 Relationship between mold temperature and waviness profile of rapid-chilled experiment moldings (Holding pressure load 10 ton) ····· 56
Fig. 6-1 Structure of moldings having coating layer ····· 58
Fig. 6-2 Relationship between coating layer thickness and center-line-average-height (Demolding temperature 80℃) ····· 63
Fig. 6-3 Relationship between coating layer thickness and waviness profile (Demolding temperature 80℃) ····· 64
Fig. 6-4 Relationship between demolding temperature and waviness profile (Coating layer 1.0 mm) ····· 65

LIST OF TABLES

Table. 1-1 Classification of FRP molding methods ····· 4
Table. 2-1 Molding conditions of annealing experiment ····· 14
Table. 2-2 Molding conditions of rapid-chilled experiment ····· 18
Table. 6-1 Molding conditions of moldings having coating layer ····· 59

LIST OF PHOTOGRAPHS

Photo. 3-1 Spherulite ····· 20
Photo. 3-2 Fiber projection ····· 22
Photo. 3-3 Crack ····· 24
Photo. 3-4 Section of crack ····· 25
Photo. 3-5 Surface of rapid-chilled moldings ····· 26
Photo. 3-6 Pinhole ····· 28
Photo. 6-1 Surface of moldings having coating layer
(Coating layer 1.0 mm) ····· 61
Photo. 6-2 Section of moldings having coating layer
(Coating layer 1.0 mm) ····· 62

NOMENCLATURES

d	:	Fiber diameter
h	:	Fiber projection height
L	:	Moldings length
p	:	Pressure
R_a	:	Center-line-average-height
t	:	Thickness of moldings
t_p	:	Thickness of polypropylene
t_x	:	Thickness of GMT-Sheet
v	:	Specific volume
v_r	:	Specific volume before solidification
W	:	Moldings width
W_{ca}	:	Waviness profile
$wt\%$	:	Fiber content

ABSTRACT

A Study on the Surface Roughness of GMT-Sheet Moldings

By Kim Hyoung-Seok
Advisor : Prof. Lee Dong-Gi Ph.D.
Dept. of Advanced Parts and Materials Engineering,
Graduate School of Chosun University

Observing of GMT(Glass Mat Reinforced Thermoplastic)-Sheet in molding conditions, we have investigated unexpected phenomenons of moldings surface. In microscope investigation, we observe that there exist deficiencies on the surface of GMT-Sheet moldings, such as the spherulite, fiber projection, crack, exposure of fiber, micro-weldline, pinhole and winding. They are caused to arise unevenness and phenomenons influence polish on surface. Especially, the major cause of the unevenness, effected to surface roughness, is a shrinking of matrix in the process of holding pressure and cooling temperature. The higher holding pressure load in a molding process and the lower demolding temperature in an annealing experiment, the better GMT-Sheet moldings improved its appearance.

In order to determine the fiber projection height from the shrinking of matrix, we have calculated it by modelling a short fiber of the moldings surface. In addition, considering holding pressure and demolding temperature, we find out the process of the unevenness in moldings surface and the variation of the fiber projection height. Coating layer of GMT-Sheet surface effectively improve surface roughness to the level of the polypropylene which is a single material.

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 배경

복합재료(Composite Materials)는 형태와 화학조성이 다르고 서로 용해되지 않은 2개 혹은 그 이상의 소재를 복합하여 얻어진 재료로써 본래의 재료보다는 우수한 특성을 가지고 있는 재료이다. 소재를 복합화하는 목적은 일반적으로 (1) 비강성(Specific stiffness : E/ρ), 비강도(Specific strength : S/ρ) 등 기계적 강도가 크다. (2) 원하는 방향으로 강성과 강도를 조절할 수 있다. (3) 성형가공성, 성형정도, 치수 안정성 등을 향상시킨다. (4) 금형을 사용한 정형가공(Net shape manufacturing)을 할 수 있다[1].

최근에는 항공·우주기기, 자동차, 선박 등의 주요 부품구조부재에 섬유강화 플라스틱 복합재료의 적용화가 진행되어감에 따라서 설계요구도 고도화되었다. 이를 개선한 재료로써 내충격성, 파괴인성, 피로강도 특성이 뛰어난 열가소성 고분자 복합재료가 등장하였다. 국내·외에서는 재료의 개발·개선 및 가공기술의 개발이 활발히 진행되고 있다.

현재 실용화되어 폭넓게 이용되고 있는 복합판재는 모재를 플라스틱, 강화재를 유리섬유로 한 유리섬유강화 플라스틱 복합재료(Glass Mat Reinforced Thermoplastic : 이하 GMT-Sheet라 한다)가 있다. 이 GMT-Sheet는 종래의 FRP나 SMC(Sheet Molding Compound) 대신 프레스 성형재료로써 열가소성수지를 매트릭스로 하여 유리섬유로 강화한 하이브리드 성형재료이다.

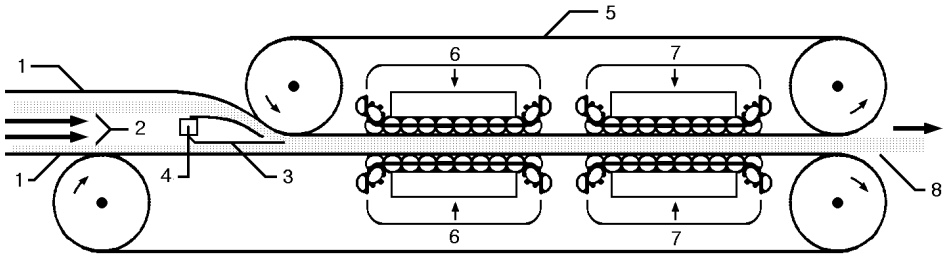
GMT-Sheet의 장점은 폴리프로필렌 및 유리섬유가 범용소재이기 때문에 가격이 비교적 저렴하면서도 강성 및 인성이 우수하다는 점이다. 특히, 무기물과 유기물을 잘 결합시켜 제작된 GMT-Sheet는 가열냉각의 물리변화를 이용한 열가소성 플라스틱 복합재료(Fiber Reinforced Thermoplastic resin : FRTP)로써 내충격성이 높은 점과 성형성이 우수한 점 또한 회수 후 재사용이 가능한 점 등 많은 면에서 우수한 특성을 가지고 있어, 여러 분야에서 실용화가 진행되어지고 있다[2-3].

자동차 등의 구조부재에 요구되는 특성으로서는 어느 특정한 방향으로 강도가 필요한 경우가 많다. 이와 같은 요구에 대응하기 위해서 강도에 방향성을 부여한 GMT-Sheet는 유리 장섬유가 랜덤하게 배향되어 있는 랜덤매트와 한방향으로만 배향되어 있는 유리 장섬유를 조합시킴으로써 강도의 방향성을 부여한 것이다. 프레스 가공용의 유리섬유강화 열가소성 플라스틱 복합판재인 GMT-Sheet는 모재시트와 유리섬유매트의 라미네트이며 시트 형상의 2차제품으로써 시판되고 있다. Fig. 1-1은 더블벨트프레스를 이용하여 장섬유 유리매트에 폴리프로필렌(PP)을 가열 함침한 후 냉각시켜 연속적으로 GMT-Sheet를 생산하는 방법으로서 대표적인 제조업체로는 GE Plastic (AZDEL)[4-5], BASF (Elastogram)[6] 등이 있다.

GMT-Sheet를 필요한 크기로 절단한 블랭크를 가열하여 프레스로 고온유동성형하는 예를 Fig. 1-2에 나타냈다. 이 장치는 가열 오븐과 프레스로 구성되어 있으며, 성형공정은 시트의 절단, 가열, 프레스 성형, 후가공의 순으로 진행된다.

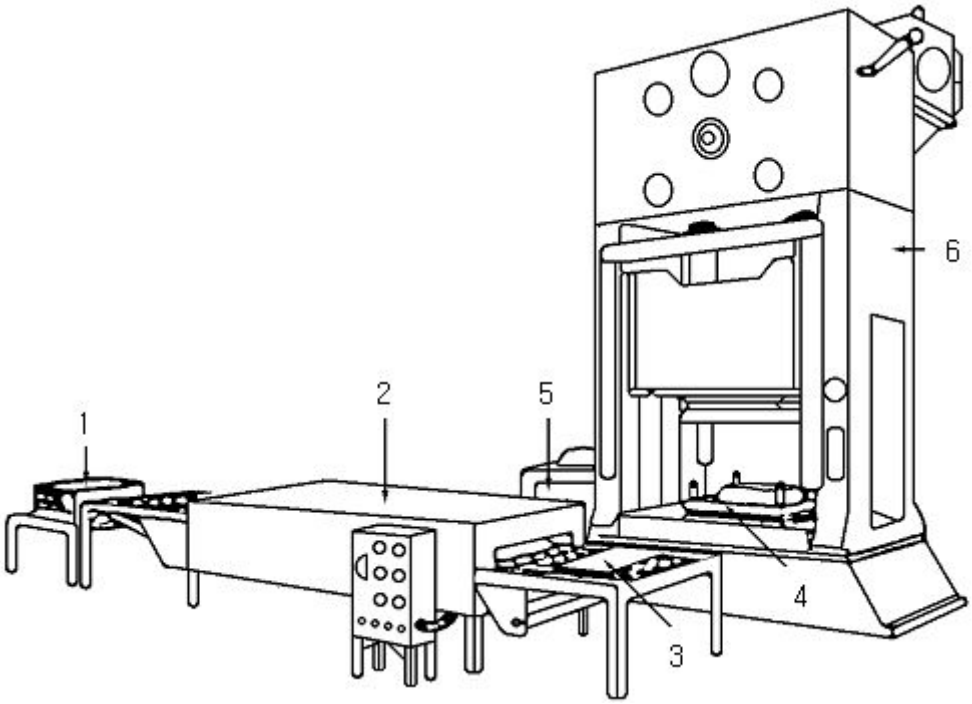
섬유강화 플라스틱 복합재료를 이용하여 각종 부품을 성형하기 위한 성형법을 Table. 1-1에 나타내고 있다. 고온유동성형은 열가소성 플라스틱 복합재료와 GMT-Sheet에 적용되고, 함침성형은 열경화성 플라스틱 복합재료에 적용된다. 고온유동성형은 금형 내에서 재료가 유동하므로 성형품의 두께에 상당한 변화를 줄 수 있으므로 성형의 자유도가 크고 복잡한 형상의 부품성형이 가능하므로 생산비도 낮아 고온유동성형에 대한 활용도가 더 크다. 또한, 함침성형은 고온유동성형과 비교하면 섬유길이와 섬유함유량을 크게 할 수 있으므로 강도와 강성이 비교적 높은 편이지만 생산성, 작업환경, 부품의 치수 정밀도, 성형부품의 균질성 등의 면에서 보면 고온유동성형이 훨씬 우수하다.

강화재의 구조를 갖는 복합판재를 고온유동성형하는 경우의 유동특성을 파악하기 위해서는 여러 가지 성형공정 인자들의 변화에 대한 금형 내에서의 충전상태, 모재의 수축, 강화재인 섬유돌출과 섬유배향 및 섬유함유율 분포 등의 예측 및 제어가 필요하다. 또한 보다 실제적인 유동상태를 알기 위해서는 복합판재의 섬유배향 측정이 불가결하며, 각종 성형조건과 표면거칠기의 관계를 명확히 확립하는 것은 최적 성형조건의 결정이나 뛰어난 성형품을 얻기 위해서 매우 중요하다.



1. Thermoplastics resin sheet 2. Glass fiber mat 3. Melting resin 4. Extruder
5. Double belt press 6. Part of heating 7. Part of cooling 8. GMT-Sheet

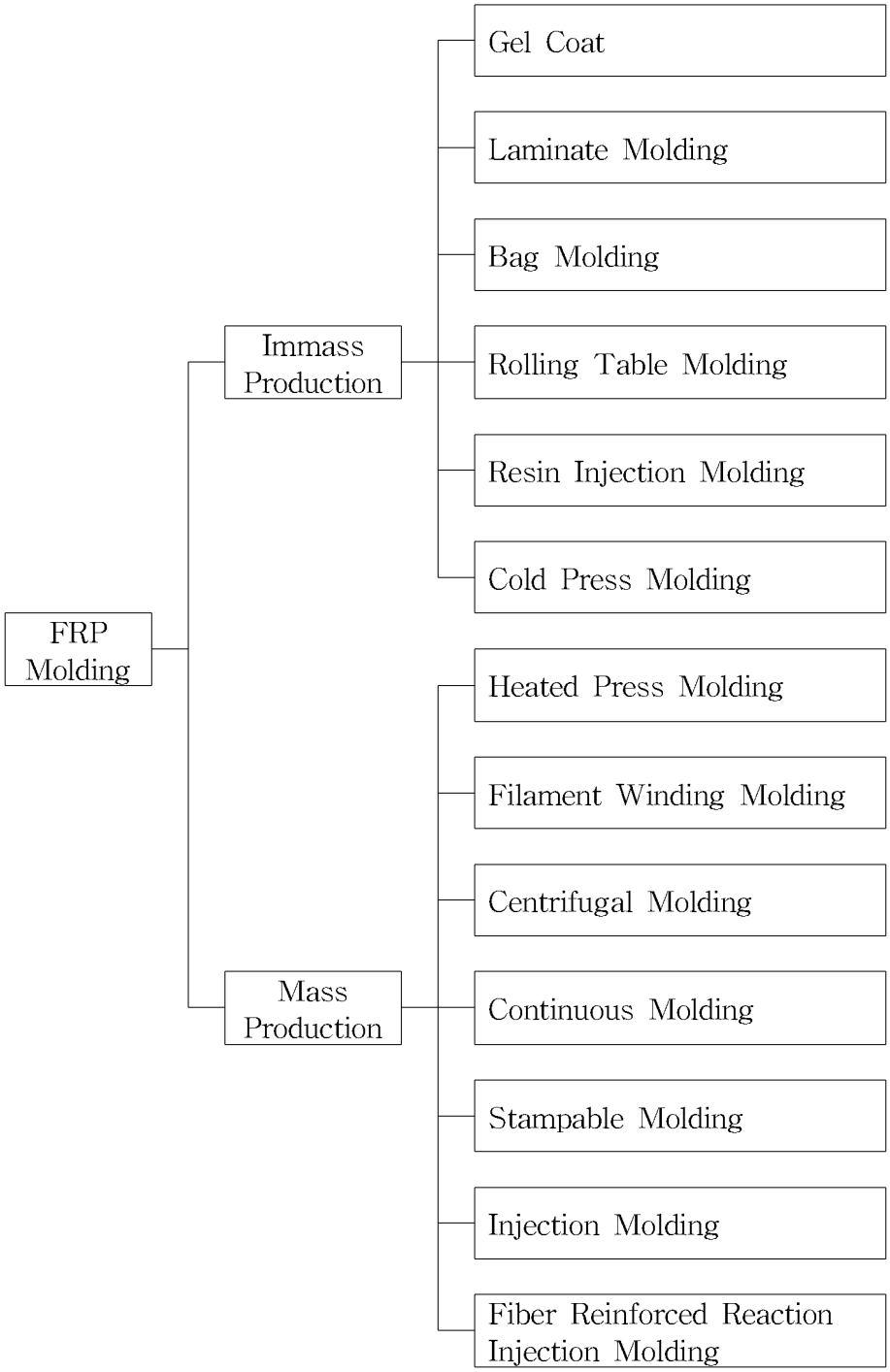
Fig. 1-1 Method of laminate



1 : Blank 2 : Heating device 3 : Hot blank
4 : Dies 5 : Dies cooling system 6 : Press

Fig. 1-2 Schematic of molding process for GMT-Sheet

Table. 1-1 Classification of FRP molding methods



제 2 절 연구 목적

섬유강화 플라스틱 복합재료는 모재인 수지의 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 열가소성 복합재료에 대한 관심이 고조되고 있으며 새로운 제조공법들이 활발히 연구개발되고 있다.

GMT-Sheet는 용융상태로 가열하여 고온유동성형하면 재료가 금형 내로 유동하여 복잡한 형상의 성형이 가능하다. 또한, 성형 사이클이 짧은 시간에 완료되기 때문에 생산성이 우수한 재료이다. 이러한 특징으로부터 GMT-Sheet 성형품은 판금 프레스 성형품을 대신해 여러 산업분야에서 사용되고 있으며, 장래 그 이용범위는 더욱 넓어질 거라고 생각된다.

최근, GMT-Sheet는 방향성이 없는 랜덤 유리섬유 매트와 한 방향으로 배향된 직선 섬유를 조합시킨 UD(Unidirection) 그레이드가 개발되어 자동차의 범퍼빔용으로 사용되고 있다. 이와 같이 GMT-Sheet 자체가 가지고 있는 특성을 이용해 자동차용 부품으로 그 활용도가 커지고 있고, 비자동차용으로도 그 활용범위가 넓어지고 있다.

그러나 보다 광범위한 적용확대를 위해서는 GMT-Sheet 성형품 표면상태의 문제점을 해결해야 한다. 성형품의 표면을 보면, 여러 형태의 요철(凹凸)이 발생하고 있으며, 단일재료인 모재수지와 비교하여 표면거칠기와 윈딩이 크다. 이러한 이유 때문에 표면이 문제시 되어 GMT-Sheet의 사용범위를 좁게 하고 있다. 이와 같은 문제점 등이 있으나, GMT-Sheet 성형품의 표면요철 생성과정의 원인규명이나 표면상태의 개선에 관한 연구는 극히 적다[7-9].

본 연구에서는 GMT-Sheet를 여러 성형조건에서 성형한 후 성형품 표면을 관찰하여, 표면에 나타나는 여러 형태의 요철이 생성하는 과정을 규명하여 표면상태와 성형조건의 관계를 명확하게 하고자 한다. 또한 얻어진 결과를 바탕으로 성형품의 표면상태를 개선하는 방법을 제안하였다.

본 연구에서 수행할 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

2장에서는 GMT-Sheet의 성형에 있어서, 성형품의 표면상태에 영향을 미치는 불량요인을 고찰하기 위해서 예열, 충진, 보압·냉각, 탈형의 4개 과정으로 성형한다. 본 실험에서는 재료의 예열과 냉각의 방법을 변화시켜, 서냉과 급냉의 2종류로 실험한다. 서냉실험은 재료를 금형 캐비티 안에 넣은 후에 금형 자체를 성형온도까지 가열하여 압축성형한 후, 금형과 재료를 냉각시키는 방법이다. 급냉실험은 재료의 재결정온도보다 낮은 온도의 금형에 가열된 재료를 넣고 압축성형한 후, 재료를 냉각시키는 방법이다.

3장에서는 GMT-Sheet 성형품의 표면에는, 여러 형태의 요철(凹凸)이 발생한다. 표면의 평활성을 깨트리는 요철을 표면불량이라 한다. 서냉 및 급냉 성형조건에서 실험한 GMT-Sheet 성형품의 표면을 관찰하고, 어떠한 불량 현상이 발생하고 있는지를 보고한다.

4장에서는 모재의 PVT 특성을 고려하여, 성형품 표면요철의 생성과정을 고찰한다. 또한, 냉각과정의 모재 수축에 의하여 발생하는 불량 현상 중의 하나인 섬유돌출에 대하여 모델화하여 섬유돌출 높이를 계산한다. 보압하중과 탈형온도를 고려하여, 성형품의 표면요철 생성과정과 섬유돌출 높이 변화를 규명한다.

5장에서는 GMT-Sheet 성형품의 표면에 발생하는 여러 형태의 요철(凹凸)을 촉침식 표면형상측정기로 표면거칠기, 여파굴곡곡선 값을 측정한다. 보압하중·탈형온도·금형온도 등의 성형조건 변화에 따른, 측정값 변화를 보고한다.

6장에서는 성형품 표면에 존재하는 강화재인 유리섬유와 모재인 폴리프로필렌과의 수축차에 의해 섬유돌출이나 윈딩과 같은 표면불량 현상이 발생한다. 그리고 크랙은 표면의 유리섬유와 모재의 계면에서 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 폴리프로필렌 시트의 피복층에 의해서 성형품 표면불량 현상이 어느 정도 개선되는지를 보고한다.

7장에서는 GMT-Sheet의 중요한 결점은 성형품 표면에 발생하는 불량 현상이다. 이 불량 원인 및 생성과정을 명확히 하고, 표면상태를 개선하기 위하여 성형조건의 영향에 대하여 고찰하여, 결론의 내용을 보고한다.

제 2 장 실 험

제 1 절 실험장치

GMT-Sheet의 성형에 있어서, 성형품의 표면상태에 영향을 미치는 요인으로서 다음과 같은 점을 들 수가 있다[10-13].

1) 재료특성에 의한 것
   - 수축성 (PVT 특성, 결정성 등)
   - 불균질성 (복합재료의 강화재 분포상태 등)
2) 성형조건에 의한 것
   - 온도상태 (금형온도, 블랭크온도, 냉각방법)
   - 압력상태 (보압하중)
   - 시간적 요소 (냉각속도, 보압시간)
   - 성형장치 (금형표면의 거칠기 정도나 변형 등)

본 연구에서는 주로 성형조건이 표면상태에 미치는 영향에 대해 조사하기 위해서 성형조건을 변화시켜 실험을 행하였다. 시험재료로는 폴리프로필렌수지를 유리장섬유로 강화한 섬유함유율이 40 wt%인 GMT-Sheet (제품명 X-시트 : 일본 出光NSG(주))를 이용하였다. 이 Sheet의 섬유 및 수지의 비중량은 각각 2.55 g/mm^3, 0.9 g/mm^3 이고, 시험편은 60 mm(W) × 80 mm(L) × 3.8 mm(t) 형상으로 절취하여 실험하였다.

GMT-Sheet 성형품에 발생하는 성형 불량에는 표면상태, 휘거나 뒤틀림 등의 성형품 형상에 관한 것 등이 있다. 이것들은 리브(Rib) 구조를 가지는 성형품의 리브 배면 등 박판에 큰 변화가 있는 부분에 발생하기 쉬운 현상이다. 표면상태를 상세히 조사하기 위해서는 성형품에 발생하는 휘거나 뒤틀림을 가능한 배제할 필요가 있다. 본 실험에서는 성형품의 형상을 단순화시키기 위해서 두께가 일정한 직육면체의 단형판으로 하였으며, 성형품의 형상을 Fig. 2-1에 나타냈다.

GMT-Sheet의 고온유동성형 시 재료의 유동은 모재와 섬유의 분리 및 섬유의 배향을 발생시킨다. 이 분리·배향의 영향을 없애기 위해서 블랭크 및 성형품의 크기를 동일하게 하였다. 즉, 블랭크의 크기는 금형 캐비티와 같은 크기로 하고, 재료가 흐르지 않은 상태로 성형하였다. 실험조건에 따른 블랭크 예열은 적외선가열기(오븐)를 사용하였다.

압축성형에 사용한 가압장치는 하중제어가 가능한 80 ton 유압 열프레스를 이용했고, 하중제어가 가능하다. 본 연구에 사용한 실험장치의 금형 형상을 Fig. 2-2에 나타냈다. 금형은 펀치와 다이의 두 부분으로 이루어져 있고, 열전대가 부착되어 있다. 가열은 봉히터를 사용했고, 냉각을 위한 냉각수의 순환구멍이 뚫어져 있다.

금형 내압은 선단직경 4 mm의 핀을 끼워서 저항선열형게이지식 압력센서로 측정했다. 또한, 금형온도는 열전대(∅1.0 mm)를 사용하여 캐비티 표면으로부터 1 mm 단위로 측정했다. Fig. 2-3에 압력 및 온도의 계측 위치를 나타냈다. 압력센서는 증폭기를 끼우고, 열전대는 데이터 디지털 측정기에 접속하고 컴퓨터를 사용하여 제어·기록을 행하였다.

성형품의 표면거칠기, 휜딩은 촉침식 표면형상측정기((株)東京情密 : Surfcom 570A)를 이용하여 측정하였다.

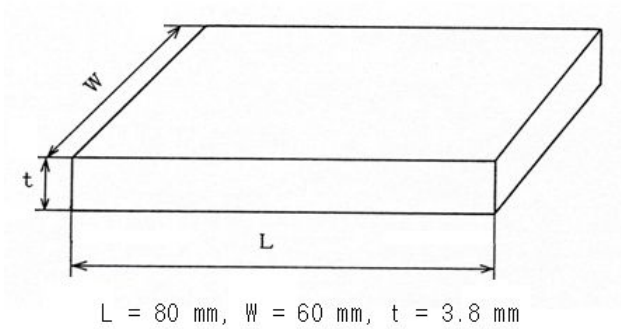


Fig. 2-1 Moldings shape

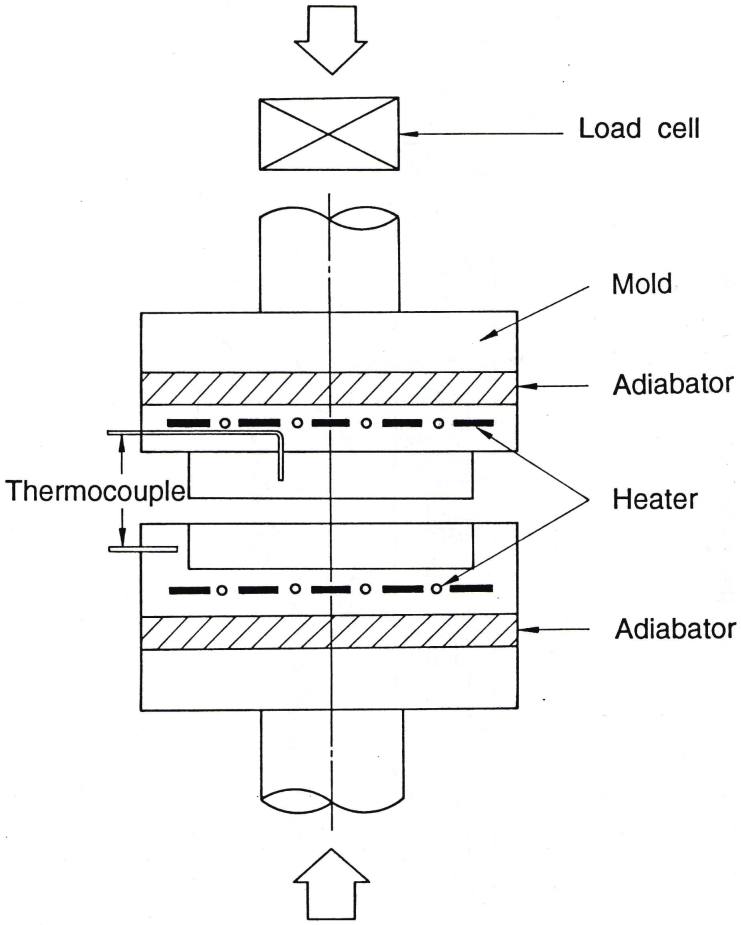


Fig. 2-2 Schematic of experimental apparatus

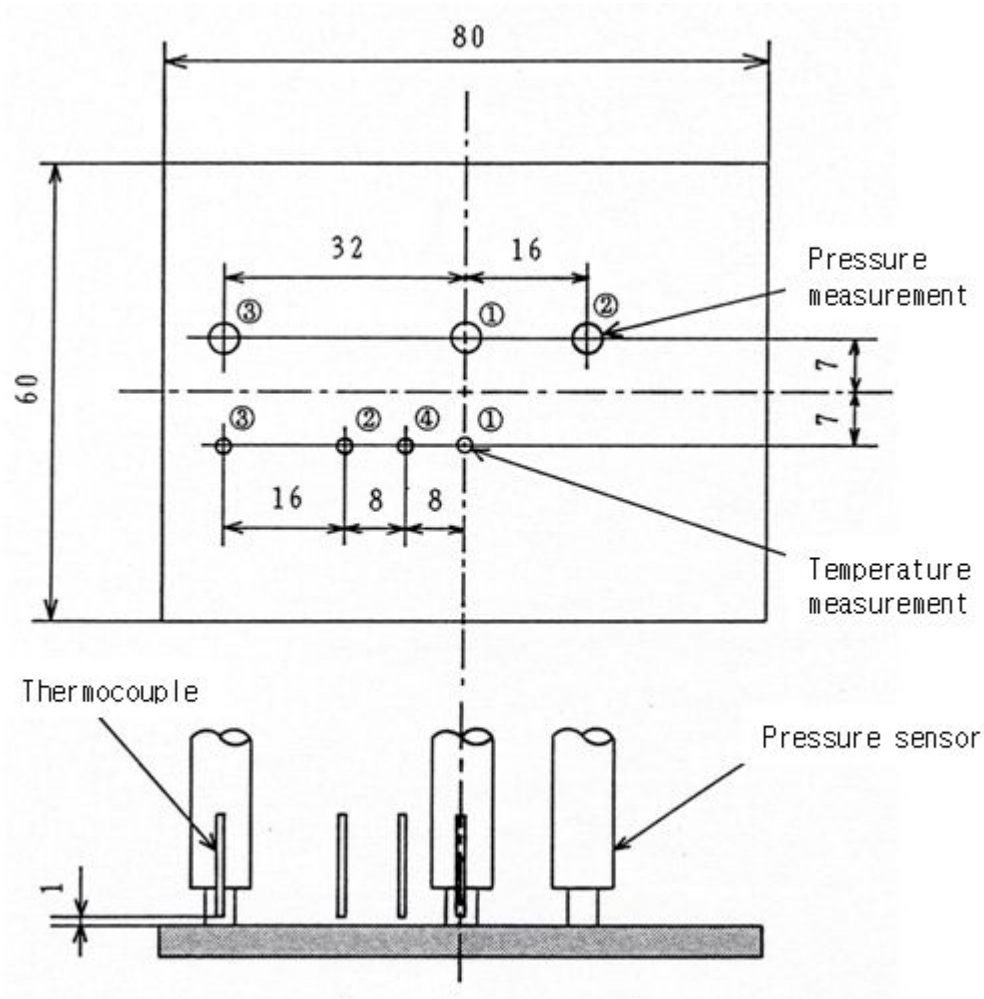


Fig. 2-3 Measurement position of temperature and pressure

제 2 절 실험방법

GMT-Sheet의 고온유동성형법은 크게 나누어서 예열, 충진, 보압·냉각, 탈형의 4개 과정으로 되어 있다. 본 실험에서는 재료의 예열과 냉각의 방법을 변화시켜, 서냉과 급냉의 2종류로 실험하였다.

1. 서냉실험

서냉실험인 경우에는 재료를 금형 캐비티 안에 넣은 후에 금형 자체를 성형온도까지 가열하여 압축성형한 후, 금형과 재료를 냉각시키는 방법이다. 이 방법은 각 성형과정에 있어서의 재료와 금형의 온도는 동등하다. 즉, 실험재료(블랭크)와 금형이 같이 냉각하기 때문에 냉각속도가 늦어지게 된다.

서냉실험은 다음과 같은 순서로 행한다.

A. 예열 과정

1) 실온의 블랭크를 80 ℃의 금형 내에 삽입하고, 봉히터에 의해 금형을 가열한다.

2) 블랭크의 온도가 80 ℃에 도달한 후, 10분간 일정하게 유지한다.

B. 충진 과정

3) 펀치를 강하시켜서 블랭크를 가압하고, 재료를 금형에 충진한다.

C. 보압·냉각 과정

4) 금형은 1분간 일정하중(보압하중)을 유지하면서 냉각한다.

5) 성형품 표면온도가 소정의 온도(탈형온도)가 될 때 탈형한다.

D. 탈형 과정

6) 성형품은 자연냉각(자연방냉)에 의해 실온까지 냉각한다.

서냉실험의 온도·압력 시퀀스를 Fig. 2-4에 나타냈다. 탈형 시에 Fig. 2-3의 열전대 '④'로 검출된 온도를 탈형온도로 한다. Fig. 2-5에는 보압·냉각 과정에 있어서 온도·압력 측정 결과의 한 예를 나타냈다. 본 실험에서 성형한 서냉실험 성형품의 성형조건을 Table. 2-1에 나타냈다. 서냉실험에서는 성형온도, 성형속도를 일정하게 하고, 탈형온도와 보압하중을 변화시켰다.

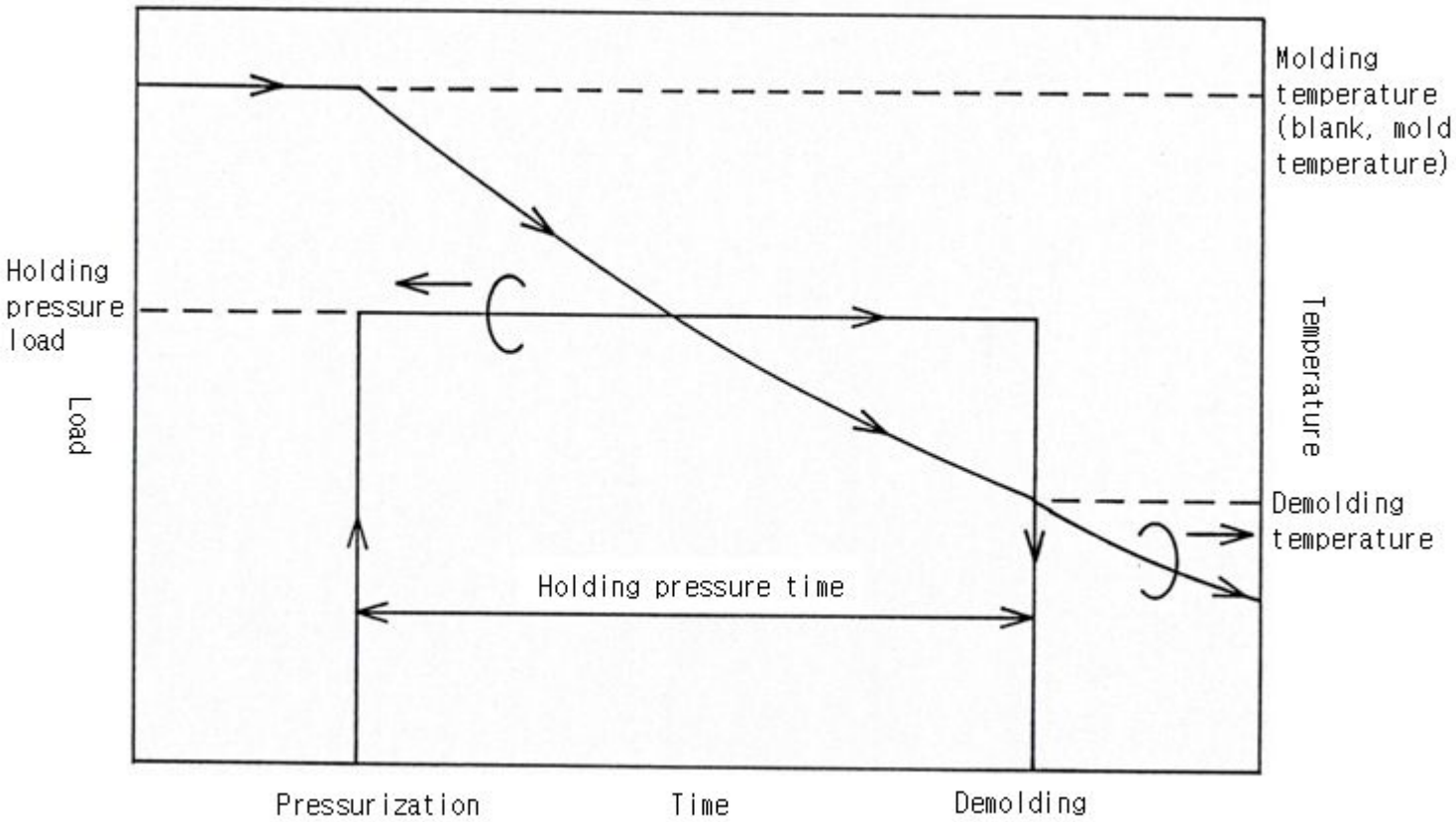


Fig. 2-4 Temperature and pressure sequence of annealing experiment

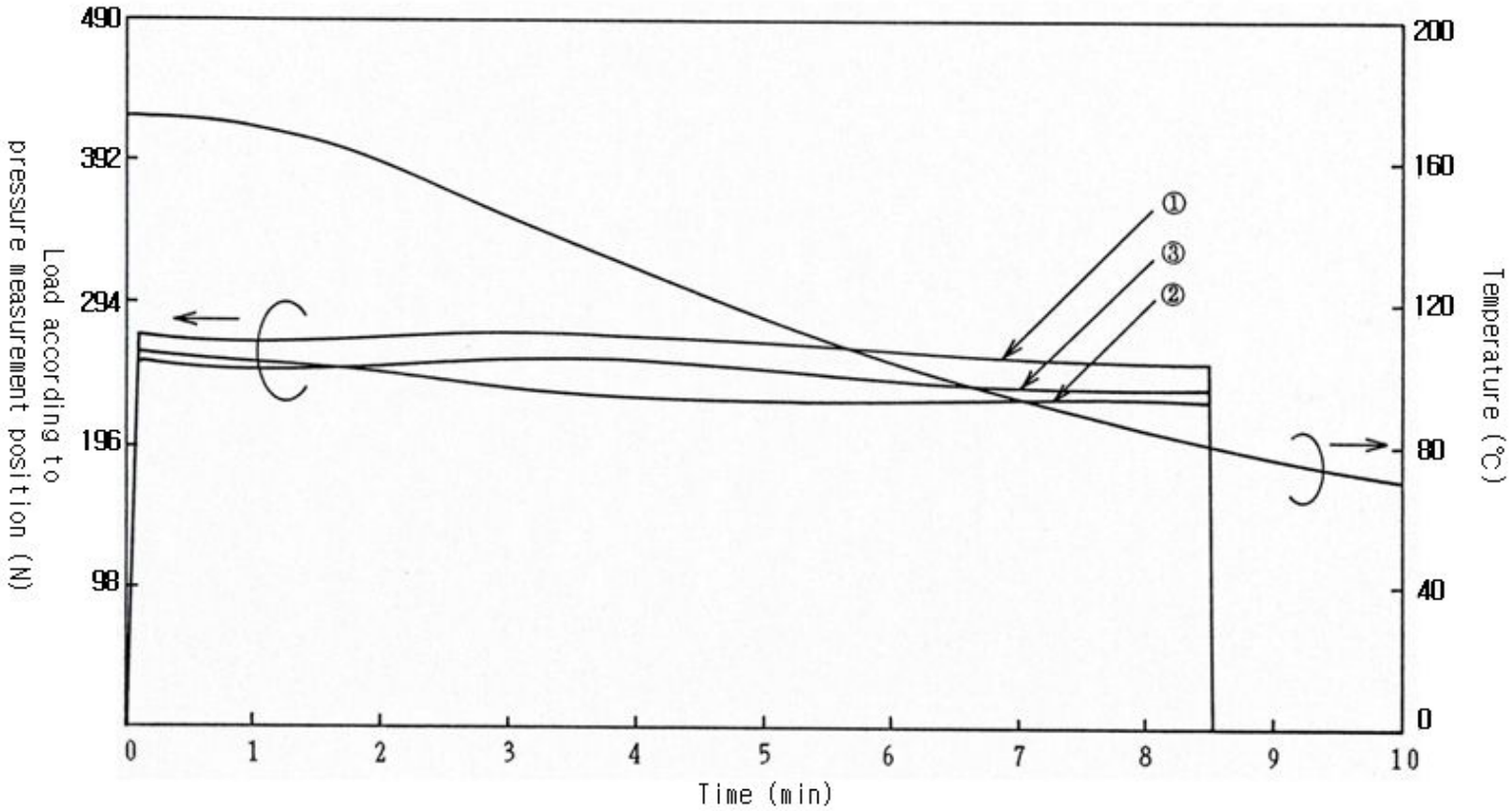


Fig. 2-5 Measurement result of temperature and pressure in annealing experiment

Table. 2-1 Molding conditions of annealing experiment

Molding temperature (℃)	Molding velocity (mm/sec)	Holding pre-ssure load (ton)	Demolding temperature (℃)	Holding pressure time
173	13	5	80	8′10″
		10	40	20′30″
			60	12′10″
			80	8′15″
			100	5′40″
		15	80	8′12″
		20		8′08″
		25		8′13″
		30		8′14″

2. 급냉실험

급냉실험인 경우에는 재료의 재결정온도보다 낮은 온도의 금형에 가열된 재료를 넣고 압축성형한 후, 재료를 냉각한다. 이는 실제의 산업 생산현장에서 행하고 있는 것과 동일한 방법이다. 이 방법은 재료를 금형 벽면에서 급격하게 냉각시키는 것이다.

급냉실험은 다음과 같은 순서로 행한다.

A. 예열 과정

1) 금형온도는 봉히터로 일정하게 유지한다.

2) 적외선가열기(오븐)에 의해 블랭크를 200 ℃로 예열한다.

B. 충진 과정

3) 금형 내에 블랭크를 넣고 펀치를 강하시켜, 금형 내에 재료를 충진시킨다.

C. 보압 · 냉각 과정

4) 금형은 1분간 일정하중(보압하중)을 유지하면서 냉각한다.

5) 탈형한다.

D. 탈형 과정

6) 성형품은 자연냉각(자연방냉)에 의해 실온까지 냉각한다.

이 경우의 온도 · 냉각 시퀀스를 Fig. 2-6에 나타냈다. 이 급냉실험법은 성형사이클이 매우 짧은 특징을 가진다. Fig. 2-7에 보압 · 냉각 과정에 있어서 온도 · 압력 측정 결과의 한 예를 나타냈다. 본 실험에서 성형한 급냉실험 성형품의 성형조건을 Table. 2-2에 나타냈다. 급냉실험에서는 블랭크 온도, 성형속도, 유압시간을 일정하게 하고, 보압하중과 금형온도를 변화시켰다.

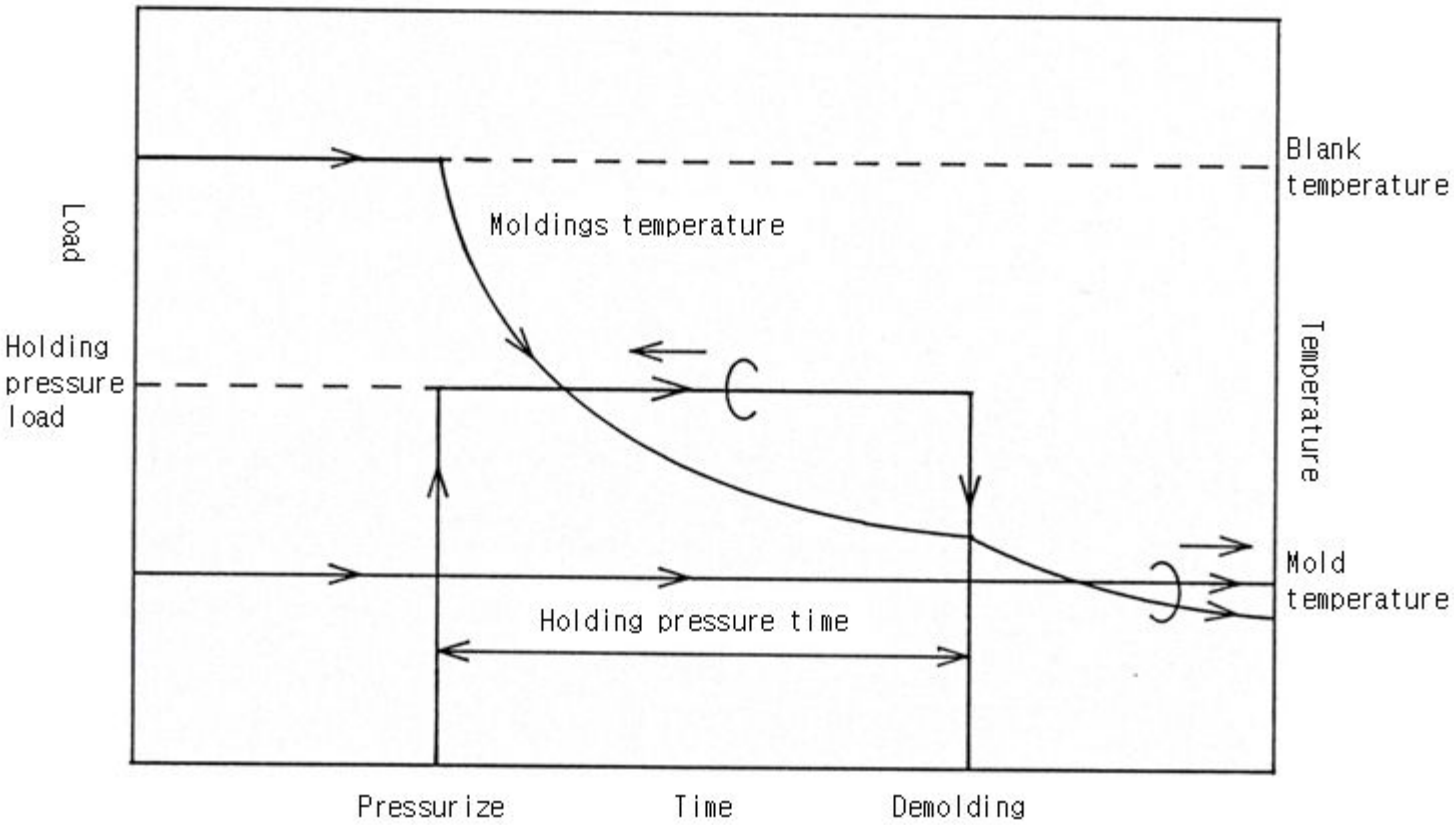


Fig. 2-6 Temperature and pressure sequence of rapid-chilled experiment

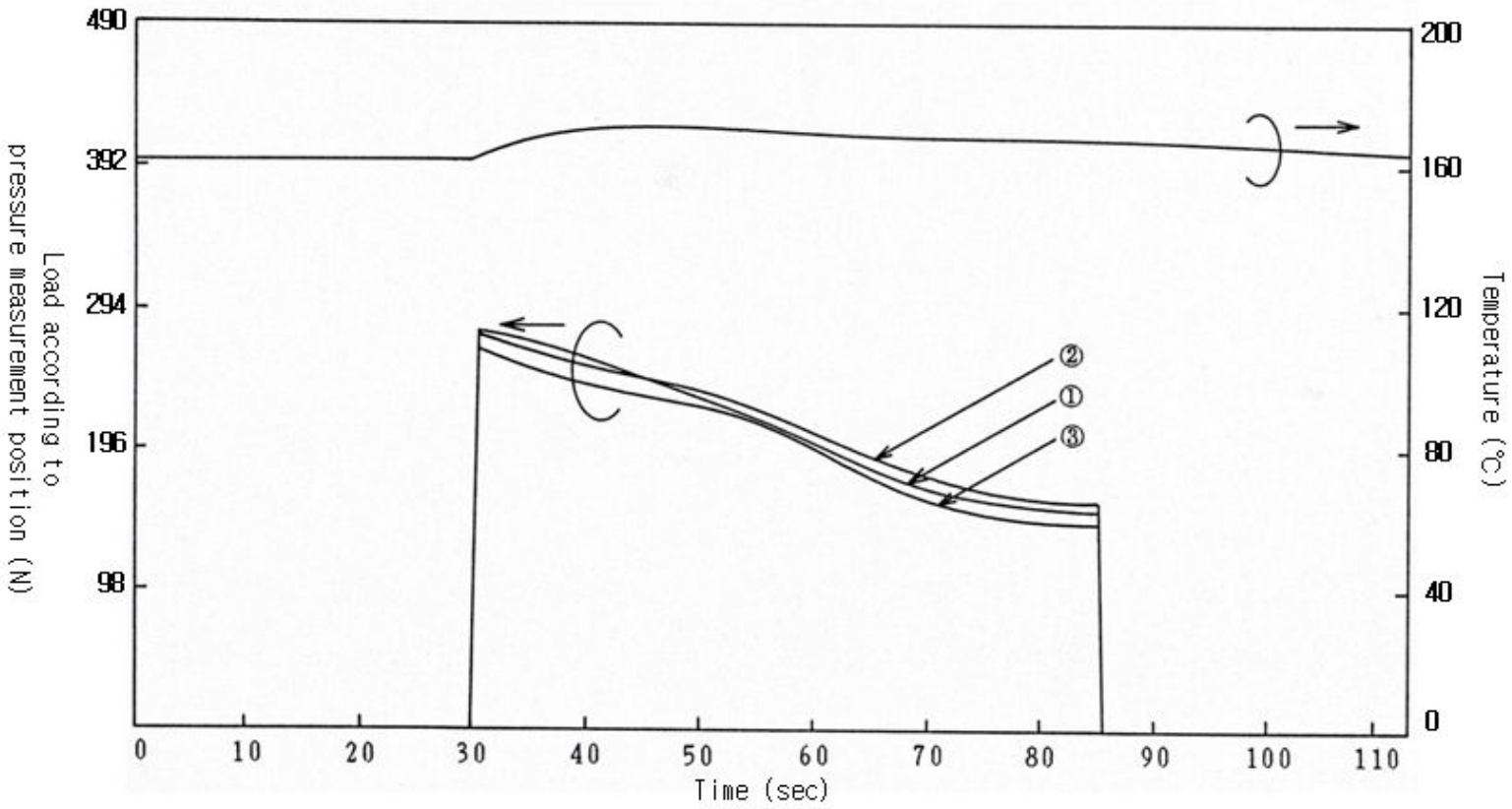


Fig. 2-7 Measurement result of temperature and pressure in rapid-chilled experiment

Table. 2-2 Molding conditions of rapid-chilled experiment

Blank temperature (℃)	Molding velocity (mm/sec)	Holding pre-ssure time (min)	Holding pre-ssure load (ton)	Mold temperature (℃)
200	13	1	5	80
			10	40
				60
				80
				100
			15	80
			20	
			25	
			30	

제 3 장 표면요철의 관찰

제 1 절 표면요철의 종류

GMT-Sheet 성형품의 표면에는, 여러 형태의 요철(凹凸)이 발생하고 있다. 표면의 평활성을 깨트리는 이 요철을 표면불량 현상으로 부르기로 한다. 성형품의 표면상태는 발생한 불량 현상의 종류나 크기, 개수 등에 의해 정해진다. 표면불량 현상의 발생원인은 재료, 성형조건 등 여러 가지 것을 생각할 수 있다. 서냉 및 급냉 성형조건에서 실험한 GMT-Sheet 성형품의 표면을 관찰한 결과, 다음과 같은 표면불량 현상이 나타났다. 표면불량 현상은 그 크기가 작아 현미경을 이용해 관찰하였다.

1. 구정 (Spherulite)

모재가 결정성의 수지인 경우, 성형품이 냉각된 과정에서 결정이 성장하기 때문에 성형품 표면의 상태는 결정성장의 정도에 의해 변화한다. 폴리프로필렌은 냉각의 과정에서 결정이 구상으로 성장하고, 구정이라 불리는 것을 만든다. Photo. 3-1은 냉각속도가 다른 3종류의 성형품 표면을 현미경으로 관찰한 것이다. (a)는 서냉실험으로 얻어진 탈형온도 80℃ 보압하중 10 ton의 성형품의 표면으로 표면이 30 μm 정도의 크기의 입자로 덮여 있다. 이것이 구정이다. (b)는 급냉실험에서의 성형품이다. 모재부분의 표면은 매끄럽고 입상의 것은 보이지 않는다. (c)는 자연냉각에 의해서 냉각시간을 1시간 정도로 한 성형품이다. 표면의 입자의 직경은 (a)와 비교해서 더욱 크게 성장하고 있다. 이렇게 냉각속도가 늦을수록 구정이 크게 성장하고 있다. 따라서 구정의 크기는 성형품의 냉각속도에 의해서 결정되어지는 것을 알 수 있다.

(a) Surface of annealing experiment moldings

(b) Surface of rapid-chilled experiment moldings

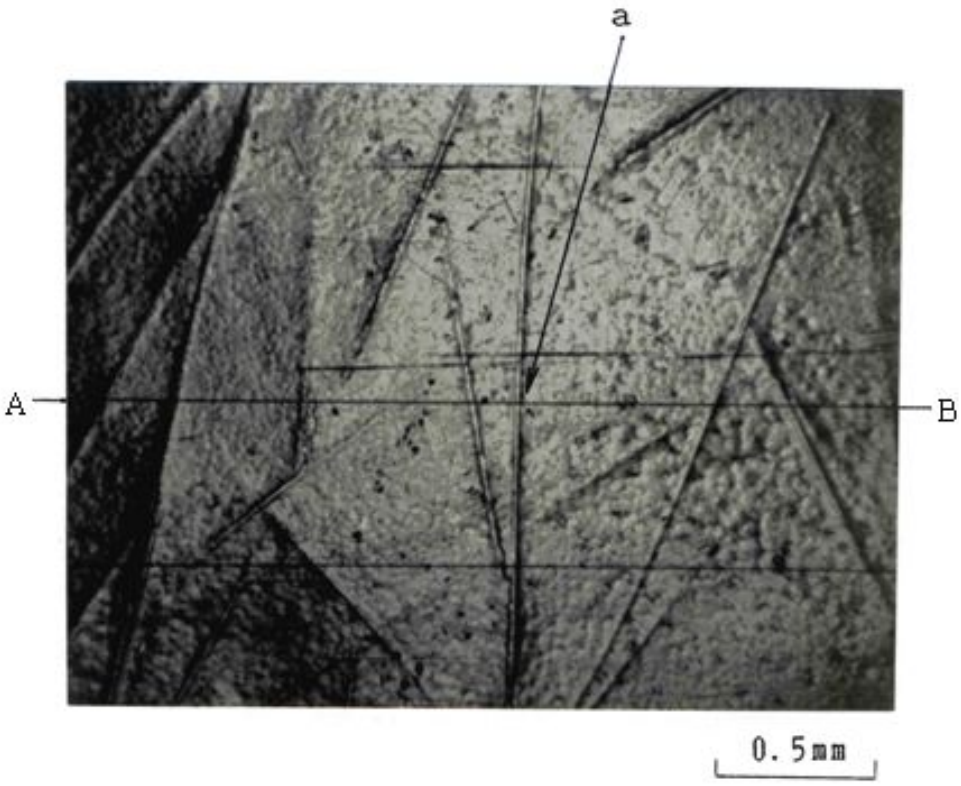
(c) Surface of air-cooled moldings

Photo. 3-1 Spherulite

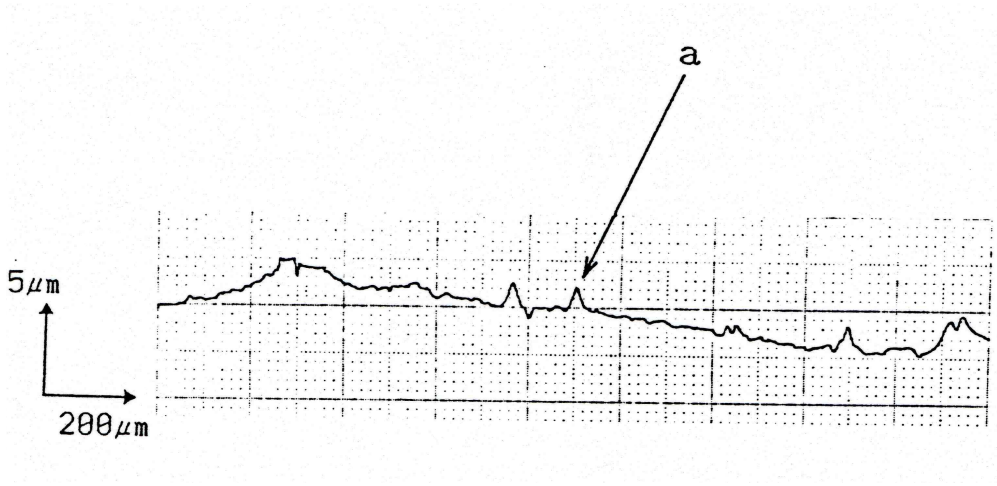
2. 섬유돌출 (Fiber projection)

성형품 표면에는 유리섬유의 존재하는 부분이 들뜬 것 같은 형태의 섬유돌출이 생긴다. Photo. 3-2에 서냉실험 성형품의 섬유돌출 현미경 사진과 표면거칠기 값을 나타냈다. 급냉실험의 성형품에도 동일한 섬유돌출이 생기고 있다. 섬유돌출은 성형품 표면에 다수 관측되었고, 표면에 작은 요철을 만들고 있음을 알 수 있다.

성형품의 단면을 관찰하면, 섬유돌출은 표면으로부터 수 μm 이내의 깊이에 있는 유리섬유에 의해서 발생하고 있으며, 깊은 곳에 있는 섬유일수록 섬유돌출의 높이가 작아지고 있다.



(a) Micrograph



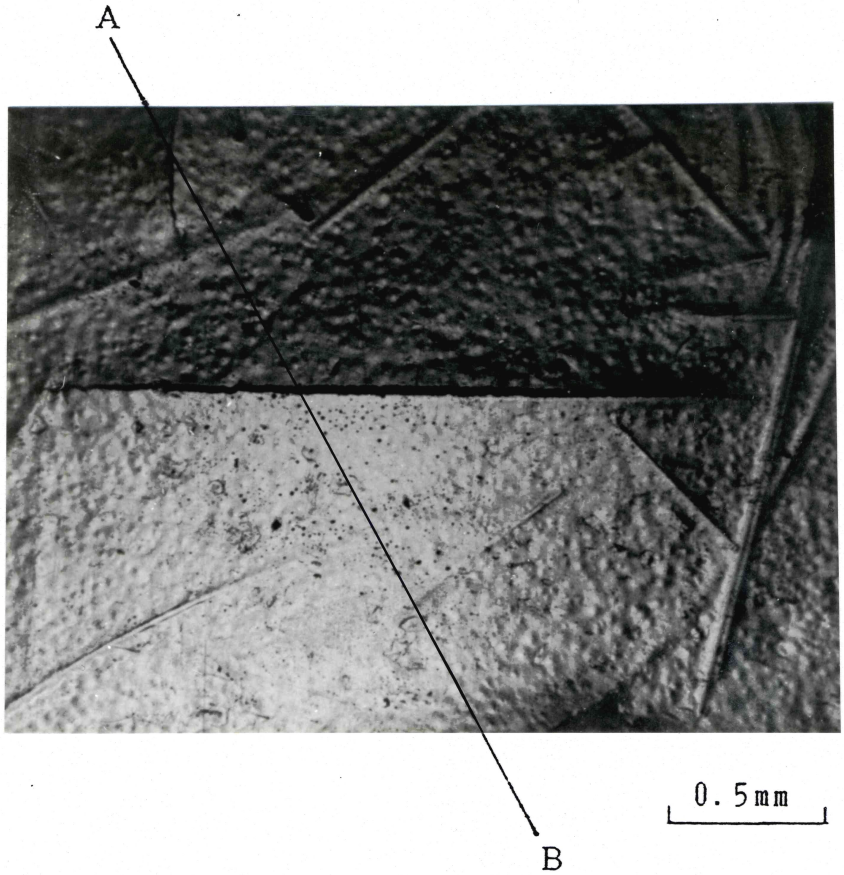
(b) Section AB

Photo. 3-2 Fiber projection

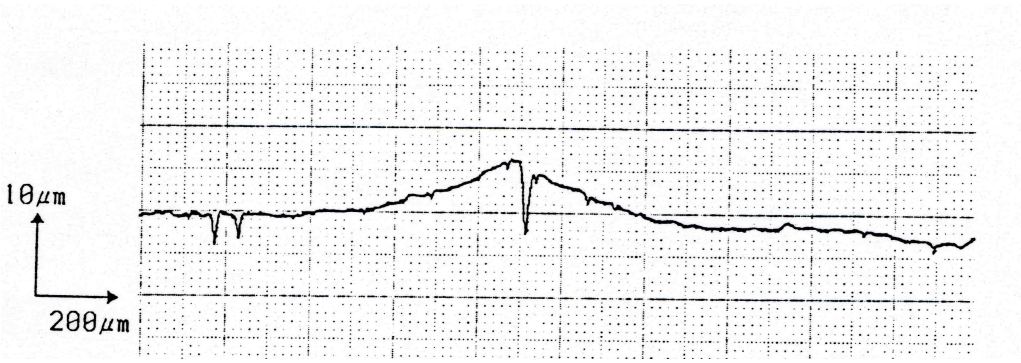
3. 크랙 (crack)

서냉실험의 성형품에 많이 보이는 표면의 균열이 크랙이다. 크랙의 현미경 사진과 표면거칠기 값을 Photo. 3-3에 나타냈다. 이 표면거칠기 그래프로부터 크랙은 표면이 부풀어 올랐던 윗부분에 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

다음으로 크랙의 부분에서 성형품을 절단한 표면의 현미경 사진을 Photo. 3-4에 나타냈다. 이 Photo. 3-4로부터 크랙은 표면 근처의 섬유와 모재의 계면에서 발생하고, 내부 섬유에서도 모재와의 계면박리가 보였다. 크랙은 모재와 유리섬유의 수축차에 의해서 성형품 표면에 장력이 걸려, 섬유와 모재의 계면이 갈라진 것으로 생각된다. 크랙은 보압하중이 작고 탈형온도가 높은 조건에서 성형한 성형품의 표면에 많이 관찰되었다.



(a) Micrograph



(b) Section AB

Photo. 3-3 Crack

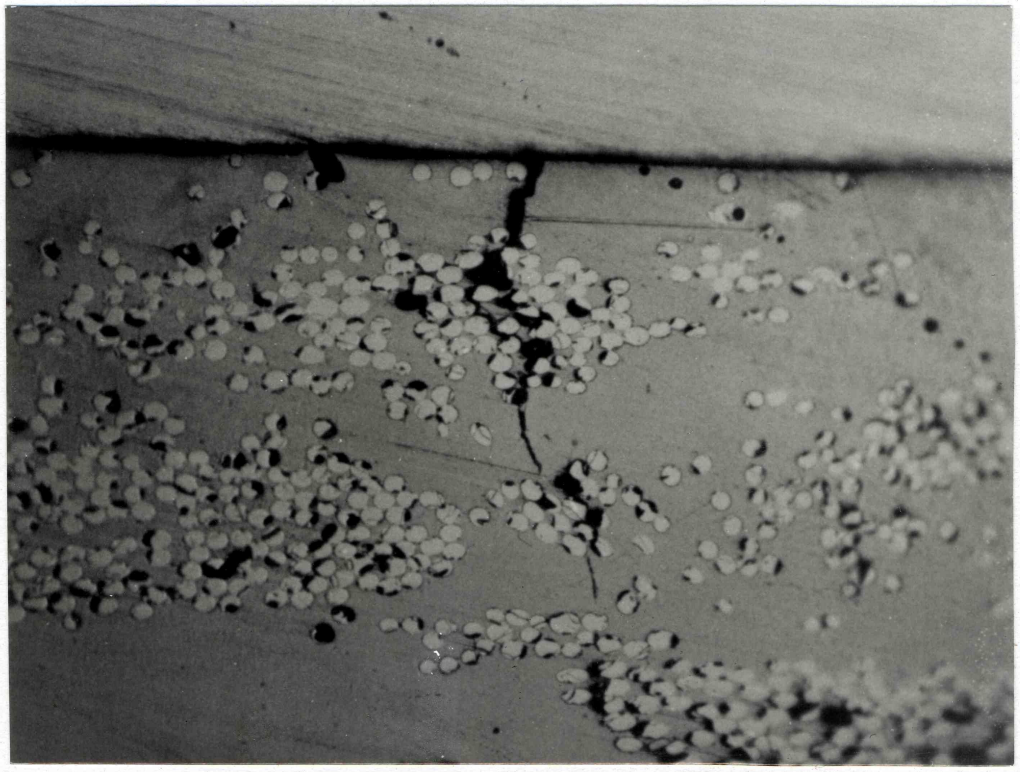


Photo. 3-4 Section of crack

4. 섬유노출 (Exposure of fiber)

급냉실험에서 성형품의 표면을 Photo. 3-5에 나타냈다. Photo. 3-5의 중앙 근처에 표면이 모재로 덮여 있지 않은 부분이 섬유노출이다. 급냉실험 성형품의 표면에는 이러한 유리섬유 노출상태가 많이 관찰되었다. 이 섬유노출의 불량 현상은 금형 벽면에서 재료가 급냉되어 굳어지기 때문에, 모재의 유동성이 나빠져 유리섬유가 모재에 덮여 있지 않는 상태에서 표면이 굳어지는 것에 의해 발생한다고 생각된다.

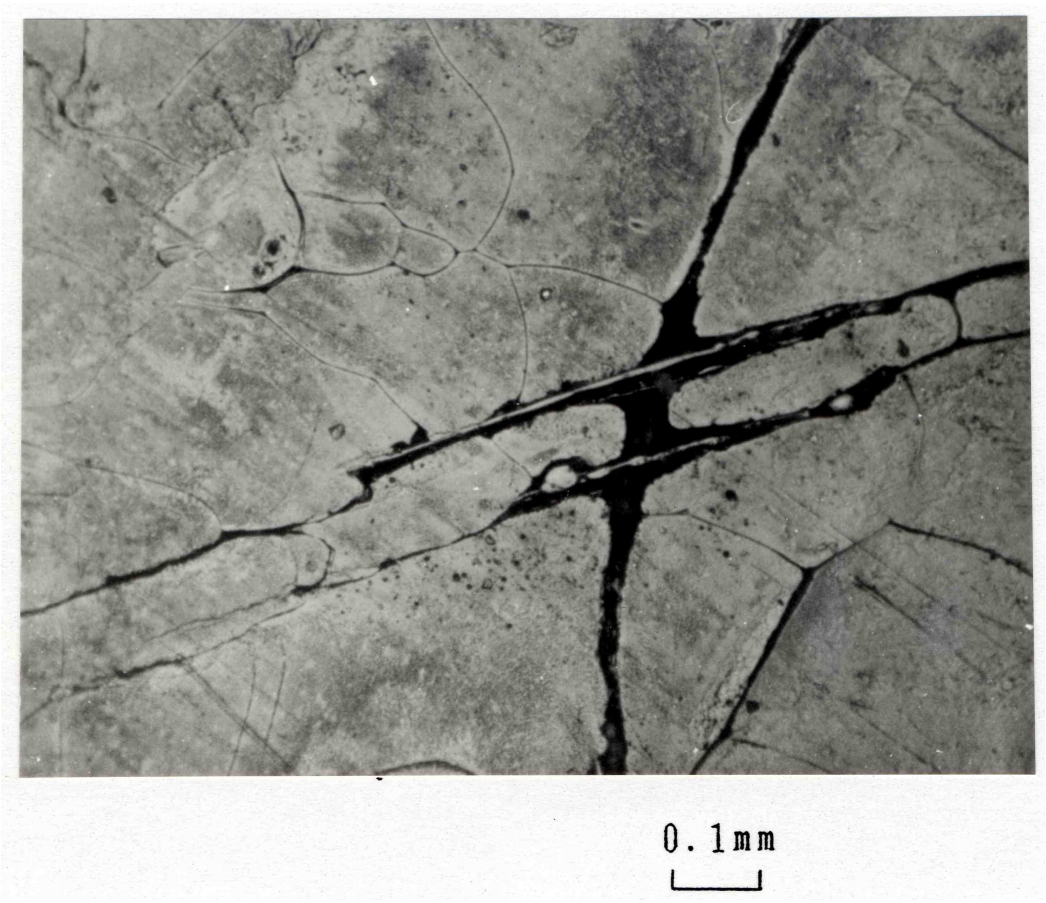


Photo. 3-5 Surface of rapid-chilled moldings

5. 마이크로 웰드라인 (Micro weldline)

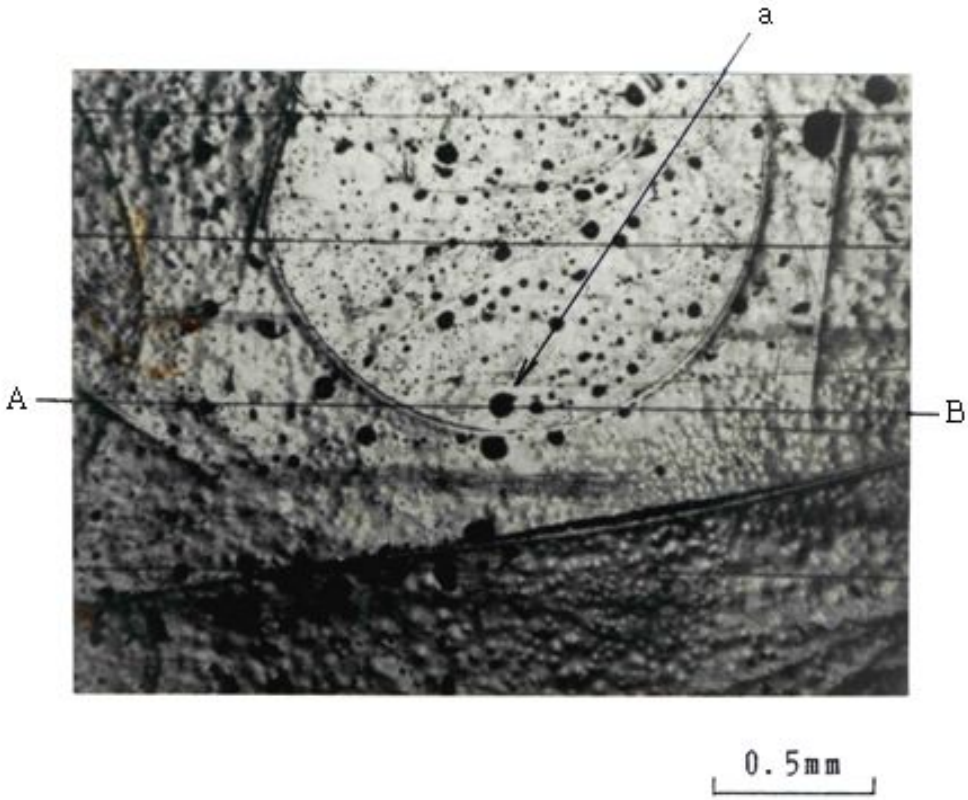
급냉실험의 성형품 표면에는 모재의 흐름이 부딪혀서 생긴 것처럼 선이 다수 관측되었다. Photo. 3-5에 급냉실험의 성형품 표면에 호를 그린 것처럼 보이고 있는 가는 선이 마이크로 웰드라인이다. 예열된 블랭크는 표면 근처의 유리섬유가 일어난 다수의 돌기가 생기고 있다. 압축성형 시 급냉으로 재료의 거동이 원활하지 않아 섬유와 모재의 사이에 마이크로 웰드라인이 생성되었다.

6. 핀홀 (Pinhole)

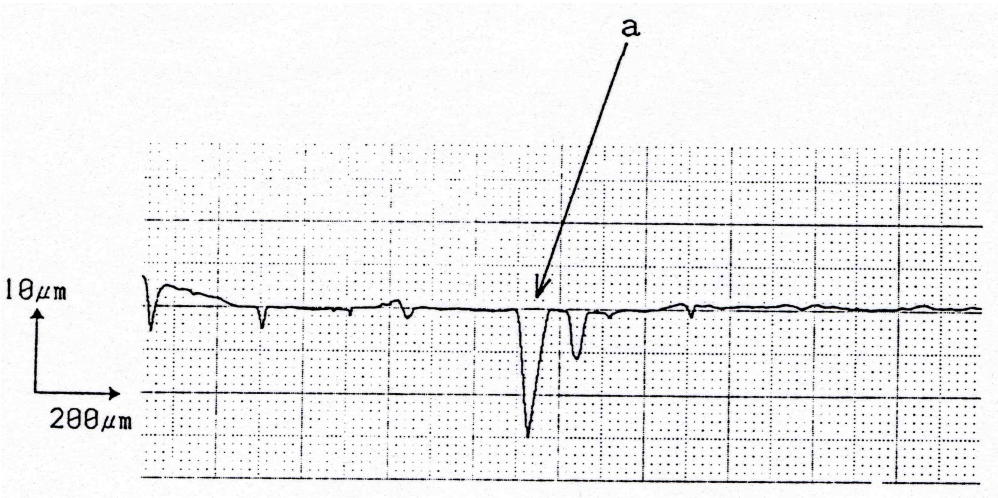
GMT-Sheet 성형품의 표면에 보이는 작은 구멍이 핀홀이며, 현미경 사진을 Photo. 3-6에 나타냈다. 재료의 제작과정이나 성형 시에 혼입한 공기가 빠지지 않고 기포가 남아서 생긴 것이다. 보압하중이 커지면 핀홀의 직경이 작아지는 경향이 있다.

7. 윈딩 (Winding)

서냉 및 급냉 실험에서 성형품의 표면에는 파장이 수 μm 정도의 크기의 섬유돌출이 다수 존재하고 있고, 외관을 악화시키는 중요한 원인이 되고 있다. Photo. 3-2의 성형품의 표면 A-B 단면에 나타난 모든 거칠기를 윈딩이라 한다. 즉, 성형품의 외관을 관찰한 경우에 보이는 표면의 요철이 이것에 해당한다. 윈딩은 탈형온도가 높을수록 커지고, 또한 보압하중이 작을수록 커진다. 윈딩은 그 크기가 그의 표면불량 현상에 비해 크기 때문에, 외관에 큰 영향을 준다.



(a) Micrograph



(b) Section AB

Photo. 3-6 Pinhole

제 2 절 표면요철의 관찰 결과

성형품 표면의 현미경 관찰에 의해, 다수의 표면불량 현상이 존재하는 것을 알 수 있었다. 표면상태에 큰 영향을 미치는 원인을 조사하기 위해 불량 현상을 성형조건별로 분류하였다.

1. 냉각과정의 수축에 의한 불량 현상

섬유돌출, 윈딩, 크랙은 냉각과정에 의한 모재와 유리섬유의 수축 차에 의해서 발생하는 표면불량 현상이다. 성형온도에서 상온까지 성형품이 냉각될 때, 모재수지의 수축이 일어난다. 모재 중의 유리섬유함유율은 단위면적당 차이가 커 모재가 많은 부분에서는 수축량이 크기 때문에 성형품 단면 두께가 얇고, 유리섬유가 많은 부분은 반대로 성형품 단면 두께가 두껍다. 표면 근처에 섬유가 많은 부분에서는 모재가 적기 때문에 섬유돌출이 발생한다. 또한 성형품 내부에 유리섬유가 많게 포함되어 있는 부분과 모재가 많은 부분과의 수축량에 차가 있기 때문에 표면에 윈딩이 발생한다.

크랙은 유리섬유와 모재의 수축차에 의해 성형품의 표면에 발생한 장력이 원인이 된다고 생각된다. 표면의 장력이 유리섬유와 모재의 계면의 접착강도보다 큰 경우에 크랙이 발생한다. 따라서 크랙도 성형품 냉각 시 수축에 의해서 발생하는 불량 현상이라고 할 수 있다.

즉, 표면상태에 가하는 영향 중 냉각과정의 수축이 가장 크다고 생각된다.

2. 충진과정의 유동에 의한 불량 현상

급냉 성형품의 표면에 보이는 섬유노출과 마이크로 웰드라인은 충진과정에서 재료가 유동할 때에 발생한다고 생각된다.

적외선가열기에 의해 블랭크를 가열하면 모재인 폴리프로필렌만 용융상태로 된다. 이 블랭크는 금형 내에 삽입되어, 펀치를 하강시킬 때에 유동하고 금형에 충진된다. 급냉실험에서는 금형은 재결정온도보다 낮은 온도로 되어 있어, 재료가 급속히 굳기 때문에 성형품의 표면에는 재료가 흘렀던 흔적이 남는다. 또한

급냉에 의해 금형 벽면 근처에서는 모재수지의 유동성이 나빠지기 때문에 섬유의 상면까지 재료가 흘러들지 않아 섬유노출이 일어난다.

3. 기타 불량 현상

모재가 결정성수지인 경우는 성형품의 표면에 구정이 발생하여 미세한 요철을 만들어 평활도를 해친다. 이 현상은 모재가 냉각 시에 결정화하는 성질에 의한 것이다. 구정의 크기는 냉각속도에 의해 결정되어 서서히 냉각될 때 구정의 직경이 커진다.

성형 시 공기의 기포가 빠져나가지 않고 표면에 남을 경우 성형품 표면에 작은 핀홀이 발생한다. 이 불량 원인은 적외선가열기에서 예열 시, 실험재료인 GMT-Sheet 블랭크가 부풀어 올랐을 때 블랭크 내에 혼입된 공기가 원인이라 생각된다. 기포는 압력에 의해 빠져나가기 때문에 보압하중이 큰 경우에는 불량 현상이 발생하지 않음을 알 수 있다.

제 3 절 표면요철의 관찰 결론

서냉 및 급냉 성형조건에서 실험한 GMT-Sheet 성형품의 표면을 관찰하고, 어떠한 불량 현상이 발생하고 있는지를 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 현미경 관찰 결과, GMT-Sheet 성형품 표면에서 구정, 섬유돌출, 크랙, 섬유노출, 마이크로 웰드라인, 핀홀, 윈딩 등의 불량 현상을 발견했다.
2. GMT-Sheet 성형품 표면이나 단면의 관찰로부터, 표면상태에 가장 큰 영향을 주는 것은 보압·냉각 과정에서 발생하는 모재의 수축임을 알 수 있었다.
3. GMT-Sheet 성형품 표면은 성형 시의 보압하중이 높을수록 양호하고, 서냉 실험에서 탈형온도가 낮을수록 성형품의 표면이 양호하였다.

제 4 장 표면요철의 생성과정

제 1 절 결정성수지의 비체적-온도 곡선

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 된다고 생각된다.

모재수지의 냉각과정에 있어서의 체적변화에 대하여 고찰하고자 한다. 열가소성 플라스틱에는 비정성수지와 결정성수지가 있고, 양자의 온도와 비체적과의 관계 곡선은 다른 형태가 된다.

비정성수지는 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[14].

폴리프로필렌 등의 결정성수지는 결정화에 의해 큰 체적변화가 일어난다. Fig. 4-1은 폴리프로필렌의 비체적-온도 곡선을 나타낸다. 수지를 가열할 경우에는 그림의 점 (D)부터 용해점 (B)까지 체적이 증가한다. 이에 비해 용해상태(A)부터 점차 온도를 내릴 경우에는 용해점 T_m (B)를 통과하여 조금 낮은 온도가 될 때 까지는 비체적이 직선적으로 감소한다(A-C). 응고점 (C)에서 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, 고체화 할 경우의 비체적도 냉각속도에 의해서 변화한다.

냉각과정에 있어서 모재의 수축량을 구하기 위해서는 이상과 같은 특성을 고려할 필요가 있다.

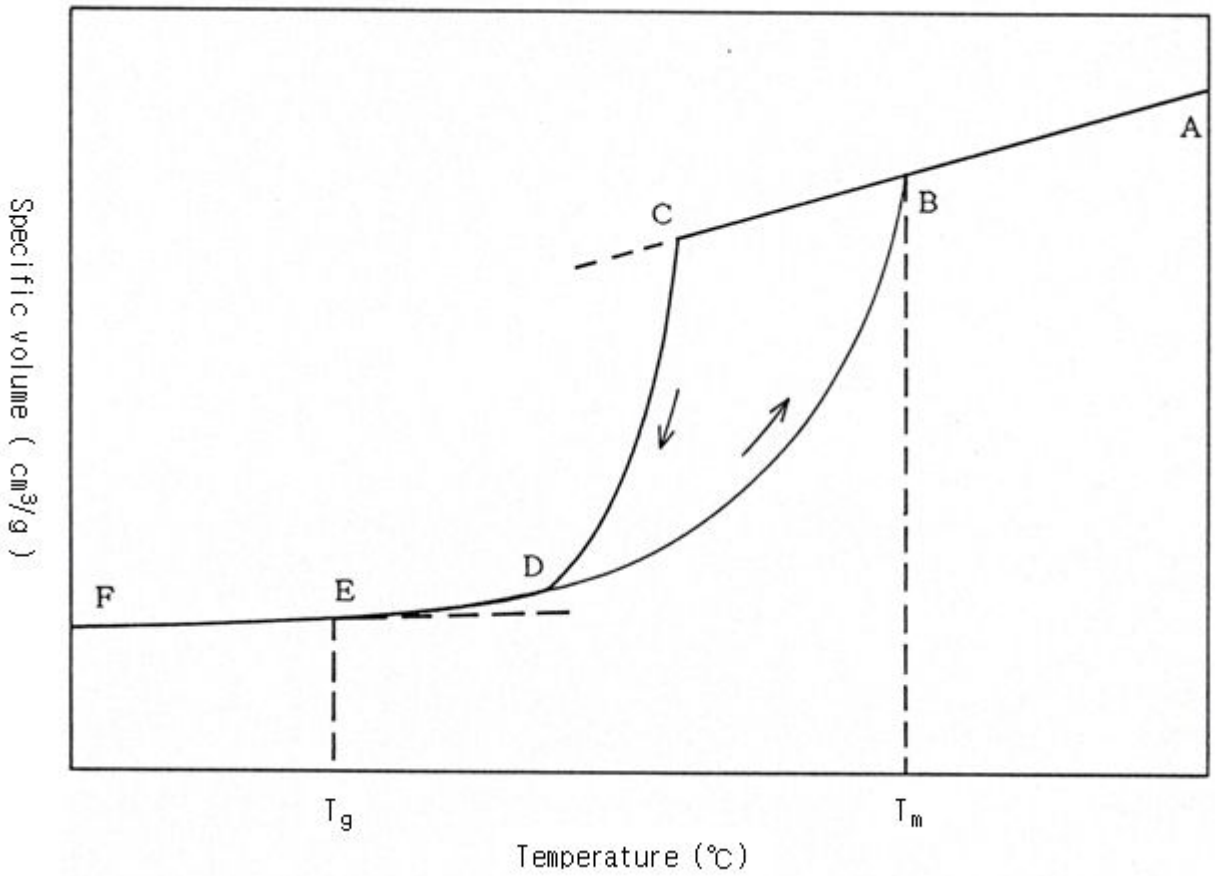


Fig. 4-1 Specific volume-temperature curve of crystalline resin

제 2 절 섬유돌출의 모델

냉각과정의 수축에 의하여 발생하는 불량 현상은 섬유돌출, 크랙, 윈딩의 3종류가 있다. 이 불량 현상은 성형품 내에 있는 강화재인 유리섬유가 단섬유, 얀, 스트랜드 등의 섬유 종류에 의해 크기나 형태가 달라지지만, 표면요철의 생성과정은 같다고 생각된다. 여기서 가장 단순한 섬유돌출에 대하여 모델화하여 섬유돌출 높이를 계산하고자 한다. Fig. 4-2는 GMT-Sheet의 표면 부근의 섬유를 나타낸 그림이다. 이 그림에 나타낸 것과 같이 모재 중에 한개의 섬유가 있는 상태로 가정한다. 여기서 성형품 표면으로부터 유리섬유직경보다 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, 표면의 수지가 수축한 경우에는 폭, 길이 방향과 비교해서 구속이 작은 두께방향으로 변위가 발생하여 표면에 움푹 팸이 생긴다. 이와 같은 가정으로부터 Fig. 4-2의 GMT-Sheet 표면은 Fig. 4-3과 같이 모델화 하는 것이 가능하다.

이 모델에서는 냉각에 의해서 발생하는 체적의 감소는 모두 성형품의 두께방향으로 나타나, 수지 부분의 높이가 감소하는 것에 의해 표면불량의 원인인 섬유돌출이 생긴다.

성형품 성형 시 수지가 응고하기 전의 비체적은 v, 실온에서의 비체적은 v_r, 섬유직경은 d라 할 때, 섬유돌출 높이 h는 (4-1) 식으로 구할 수 있다. 이 식으로부터 섬유직경과 실온에서의 모재의 비체적이 일정하다면 섬유돌출 높이 h는 비체적 v에 의해서 구할 수 있다.

$$h = \frac{v - v_r}{v} \times d \qquad (4\text{-}1)$$

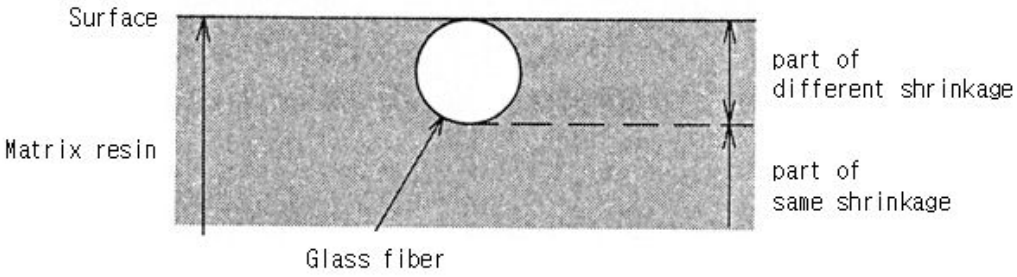


Fig. 4-2 Fiber of GMT-Sheet surface

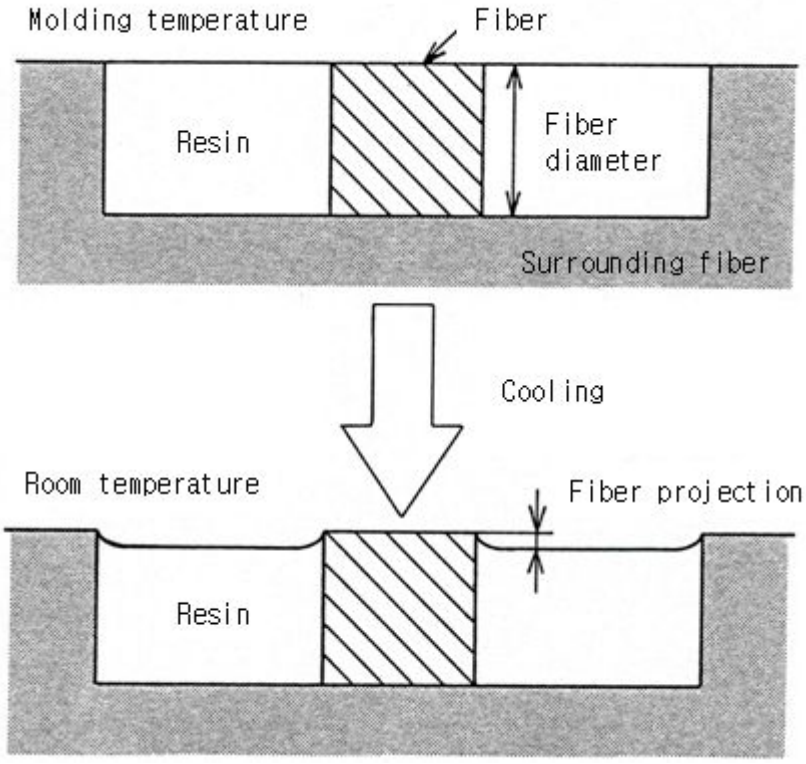


Fig. 4-3 Model of fiber projection

제 3 절 PVT 곡선 및 섬유돌출 높이의 계산

실험재료인 GMT-Sheet 블랭크를 적외선가열기에 의해 가열하면 모재인 폴리프로필렌은 용융상태이고, 강화재인 유리섬유는 고체상태이다. 이 블랭크는 금형 내에 삽입되어, 펀치를 하강시킬 때에 유동하고 금형에 충진된다.

폴리프로필렌의 PVT 곡선을 Fig. 4-4에 나타냈다. 그림에서 직선 AB는 각 압력에서의 응고점을 연결한 것이고, 직선 CD는 비체적의 급격한 감소가 끝난 점을 연결한 것이다. 폴리프로필렌의 응고점은 압력이 높아지면, 고온측으로 이동하는 성질이 있다. 따라서 직선 AB는 수직이 아니라 우측 아래 방향의 직선이 되고 있다.

실온에서의 폴리프로필렌의 비체적(v_r)은 약 1.1 cm^3/g이다. 또한 실험에서 이용한 GMT-Sheet의 섬유 직경은 23 μm이다. Fig. 4-4로부터 각 압력 응고점의 비체적을 읽으면 식 (4-1)로부터 섬유돌출 높이 h를 계산할 수 있다. 이와 같은 방법으로 성형품이 완전하게 고체화 될 때, 직선 CD 상의 각 압력에 대한 비체적 v로부터 h를 계산할 수 있다. Fig. 4-5는 식 (4-1)을 이용한 계산으로부터 구한 h와 성형품 표면의 섬유돌출 높이 측정값을 나타냈다.

GMT-Sheet 성형품 표면의 섬유돌출 높이 측정값은 촉침식 표면형상측정기((株)東京情密 : Surfcom 570A)으로 측정한 단면곡선으로부터 섬유돌출 부분의 높이를 읽어, 10개소의 섬유돌출 높이의 평균값이다. 탈형온도 80℃의 서냉실험 시 성형품의 섬유돌출 높이는 보압하중의 영향이 지배적임을 알 수 있다.

그림으로부터 성형품의 섬유돌출 높이 측정값은 압력이 높아질수록 작게 되고, 계산값과 같은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. PVT곡선으로부터 재료가 용해상태일 때에 압력을 크게 하면, 모재가 압축되어 비체적은 작아지는 것을 알 수 있다. 섬유돌출 높이는 모재의 응고 시와 실온에서의 비체적 차에 의해서 결정된다고 생각된다. 따라서 압력을 높게 하여 모재의 비체적을 감소시켜 섬유돌출 높이를 작게 하는 것이 가능하다.

이와 같은 실험으로부터 보압하중을 크게 하여 성형하는 것은 고온유동성형할 때 모재의 비체적을 작게 하여, 냉각 시 모재의 수축량을 감소시키는 효과

가 있다. 즉 모재의 많은 부분에서 움푹패임이 적게 되어, 표면이 평활한 성형품을 얻을 수 있다.

그리고 탈형온도가 표면상태에 미치는 영향에 대하여 고찰하고자 한다. 모재가 응고하여 자유롭게 유동할 수 없게 되면, 모재는 유리섬유보다 크게 수축하기 때문에 표면에 요철이 생긴다. 탈형한 후의 표면은 자유롭게 변형할 수 있기 때문에 표면에 요철이 생기고, 두께 방향으로 수축이 많기 때문에 섬유돌출 부분이 많아진다.

이에 반해 보압 중에는 성형품 표면이 금형으로 눌러져, 섬유돌출 부분은 큰 하중을 받는다. 이 때 섬유돌출 부분은 금형으로 눌러져 성형품 표면은 평평한 상태로 유지된다. 그리고 탈형온도를 낮게 하는 것은 성형품 표면을 오랫동안 눌러 평활한 상태로 유지하기 때문에, 탈형온도가 낮을수록 성형품 표면상태가 양호해진다.

Fig. 4-5의 성형품 섬유돌출 높이 측정값은 모재 응고 시 비체적을 이용한 계산 결과보다 작은 값으로 나타났다. 본 실험의 성형품은 탈형온도가 80℃이고, 모재의 응고 후 수 초 동안 보압을 지속한 것이다. 따라서 탈형온도의 영향에 의해서 측정값이 작아지고 있는 것으로 생각된다.

또한, 모재는 응고점에서 결정화를 시작하지만, 모재의 유동성이 없어지는 것은 온도가 더 내려가 결정화가 진행될 때라고 생각된다. 따라서 식 (4-1)에 이용한 비체적 v의 값은 응고점보다 약간 작은 값이다. 탈형온도 등의 영향을 고려하면, 식 (4-1)로 계산한 섬유돌출 높이는 실제의 성형품 표면에 생기는 섬유돌출의 높이와 일치하고 있음을 알 수 있다.

성형품 표면의 섬유돌출이 생성하는 과정을 Fig. 4-6에 정리했다. 고온유동성형 시에는 모재가 용해상태에서 유동하기 때문에, 압력은 표면에 균일하게 걸려있다. 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 압력 때문에 탈형될 때까지 표면은 평활하다. 탈형하면 표면에 걸리는 압력이 없어지기 때문에 섬유함유량이 많은 부분은 눌러져 있어, 회복 시 약간 부풀어 오른

다. 그 후 실온까지 성형품이 냉각됨에 따라, 모재는 더 수축하기 때문에 섬유돌출 높이가 더 증가한다.

냉각과정에서 보압하중이 크면, 모재의 수축량이 적기 때문에 성형품 표면의 섬유돌출 높이는 작게 된다. 또한 탈형온도를 낮게 하면 표면요철 높이는 작게 된다. Fig. 4-6에서 원의 부분이 단섬유라면 냉각과정에서 모재의 수축으로 성형품 표면에 섬유돌출이 발생하고, 섬유함유량의 차이에 의해 윈딩이 발생한다. 그리고 성형품 표면의 섬유와 모재의 계면에는 장력으로 인해 크랙이 발생할 가능성이 있다.

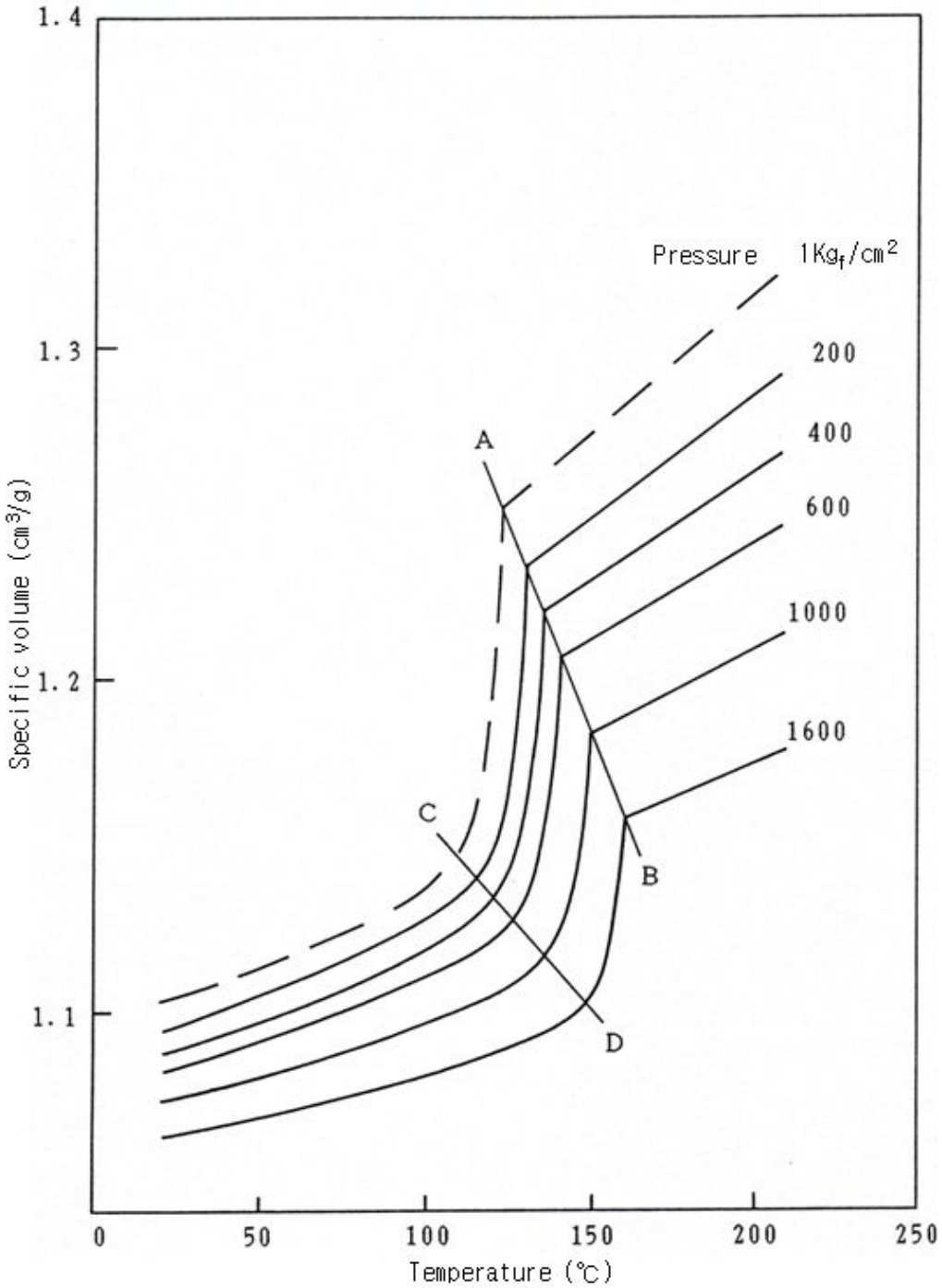


Fig. 4-4 PVT curve of polypropylene resin

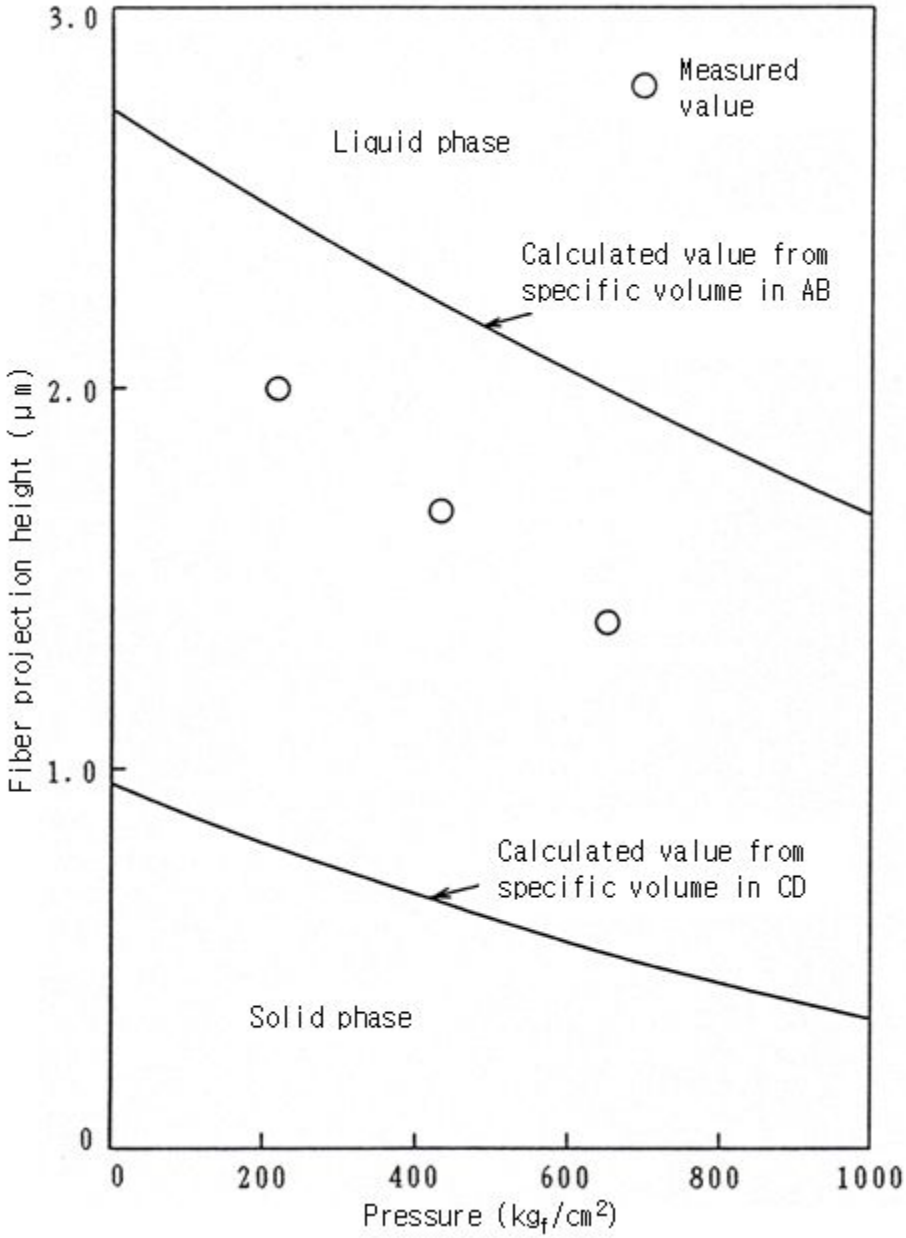


Fig. 4-5 Relationship between fiber projection height and pressure

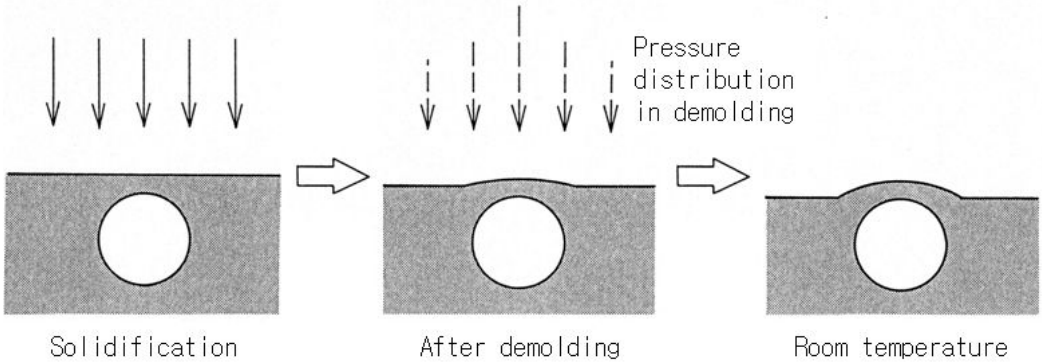


Fig. 4-6 Process of fiber projection

제 4 절 표면요철의 생성과정 결론

모재의 PVT 특성을 고려하여, 성형품 표면요철의 생성과정에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 모재의 수축량으로부터 섬유돌출 높이를 구하기 위해, 성형품 표면 부근의 단섬유를 모델화하여 섬유돌출 높이를 계산하였다. 섬유돌출 높이는 보압하중이 클수록 작게 나타났으며, 실제의 성형품 표면의 섬유돌출 높이와 동일한 경향을 나타냈다. 탈형온도의 영향을 고려하면, 섬유돌출 높이의 계산값과 측정값은 잘 일치함을 알 수 있었다.
2. 보압하중과 탈형온도를 고려하여, 성형품의 표면요철 생성과정과 섬유돌출 높이 변화를 규명하였다.

제 5 장 표면형상의 측정

제 1 절 표면형상의 측정 방법

앞 장에서는 GMT-Sheet 성형품의 표면에 발생한 불량 현상의 형태나 발생 원인, 생성과정 등에 대해서 고찰해 보았다. 이 불량 현상을 표면요철처럼 표면의 형상으로 보면, 불규칙한 표면거칠기나 윈딩(이하 여파굴곡곡선(Waviness profile)이라 한다)으로 보는 것이 가능하다. 성형조건에 의해서 성형품의 표면에 변화가 일어나는 것은 불량 현상의 크기나 형태가 변화하는 것을 나타낸다.

본 장에서는 촉침식 표면형상측정기((株)東京情密 : Surfcom 570A)를 이용하여 성형품의 표면거칠기, 여파굴곡곡선을 측정하고 성형조건에 의해서 측정값이 어떻게 변화하는가를 고찰하고자 한다.

성형품 표면요철의 단면 형상은 형태의 이상을 나타낸 진직도 등의 형상공차, 여파굴곡곡선 및 표면거칠기의 세 개 성분으로 나누어 생각할 수 있다. 불규칙한 요철의 거칠기곡선(Roughness curve)을 Fig. 5-1과 같이 나타냈다.

세 성분 중에서 형상공차는 휘어짐 등에 의해서 성형품의 형상이 허용치를 벗어날 경우에 문제가 되지만, 본 연구에서는 성형품 자체 치수 정밀도에 대해서는 취급하지 않기 때문에 형상공차에 대해서는 생각하지 않는다. 성형품 표면 외관에 관계하는 것은 표면거칠기와 여파굴곡곡선이다.

성형품의 표면거칠기와 여파굴곡곡선의 측정은 촉침식 표면형상측정기를 이용하였다. 이 측정기는 자동경사 보정기능에 의해 간단하게 표면 측정이 가능하다.

표면거칠기의 측청값은 Fig. 5-2와 같이 중심선평균거칠기 R_a를 이용했다. R_a는 거칠기 곡선으로부터 그 평균선의 방향에 기준 길이 l만큼 뽑아내어, 그 표본 부분의 평균선 방향에 X축을 세로 배율 방향에 Y축을 잡고, 거칠기곡선을 y=f(x)로 나타냈을 때, 식 (5-1)에 의해 구해지는 값을 μm로 나타낸 것이다.

$$R_a = \frac{1}{l}\int |f(x)|\,dx \qquad (5\text{-}1)$$

R_a의 측정에 이용한 컷오프값은 0.8 mm, 측정길이는 3 mm이다. 성형품의 표면거칠기 측정위치를 Fig. 5-3(a)에 나타냈다. GMT-Sheet는 폴리프로필렌과 니들펀칭된 유리섬유매트를 조합시킨 복합판재이므로 실험값의 편차가 심하다. 이 편차 때문에, 측정은 성형품의 길이 방향으로 10회, 폭 방향으로 10회 총 20회를 측정하였다. 얻어진 20개의 측정값을 평균으로 하여 성형품의 R_a 값으로 하였다. 표면거칠기의 파장의 범위에서는 현미경으로 관찰된 섬유돌출이나 크랙과 같은 작은 표면불량 현상이 있어, 이것들의 크기를 측정할 수 있다.

윈딩의 측정값은 단면곡선(Profile curve)에서 소정의 파장보다 짧은 표면거칠기의 성분을 위상보상형저역필터로 제거한 곡선인 여파굴곡곡선을 사용했다. 여파굴곡곡선은 단면곡선으로부터 파장의 짧은 성분과 긴 성분을 제거하여 얻을 수 있으며, 여파굴곡곡선을 추출곡선으로 한다. 이 추출곡선은 성형품이 휘어짐 등의 형상공차 영향이 제거된 측정값이다. 그 구하는 방법은 여파굴곡곡선을 y=f(x)로 나타냈을 때, 식 (5-2)에 의해 구해지는 값을 μm로 나타낸 것이다. 즉, 여파굴곡곡선 W_{ca}의 계산식은 중심선평균거칠기 R_a와 같다.

$$W_{ca} = \frac{1}{l}\int |f(x)|\,dx \qquad (5\text{-}2)$$

W_{ca}의 측정에 이용한 컷오프값은 0.8~8 mm, 측정길이는 30 mm이다. 성형품의 윈딩 측정위치를 Fig. 5-3(b)에 나타냈다. GMT-Sheet는 폴리프로필렌과 니들펀칭된 유리섬유매트를 조합시킨 복합판재이므로 실험값의 편차가 심하다. 이 편차 때문에, 측정은 성형품의 길이방향으로 10회 행하여 그 평균값을 성형품의 측정값으로 하였다.

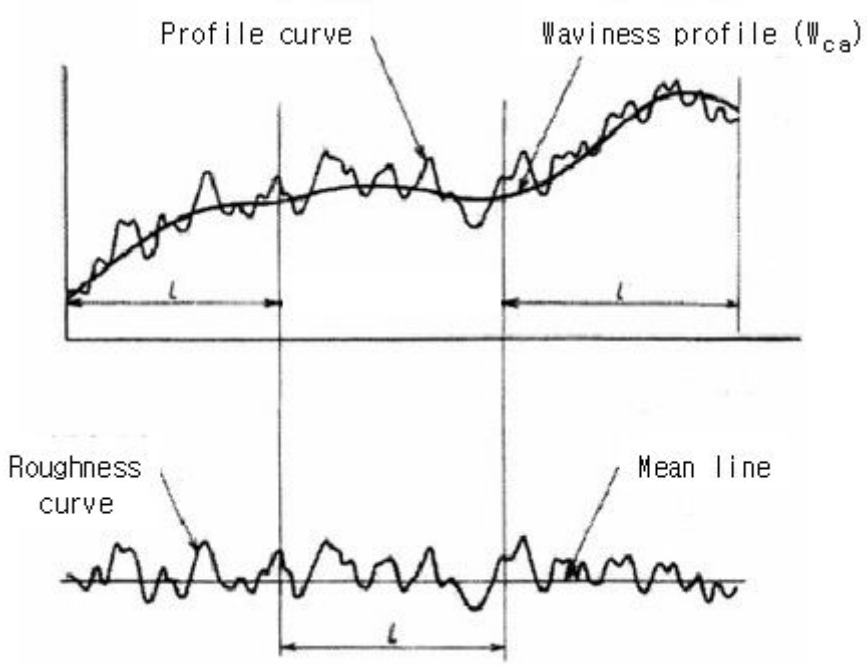


Fig. 5-1 Profile curve, waviness profile and roughness curve

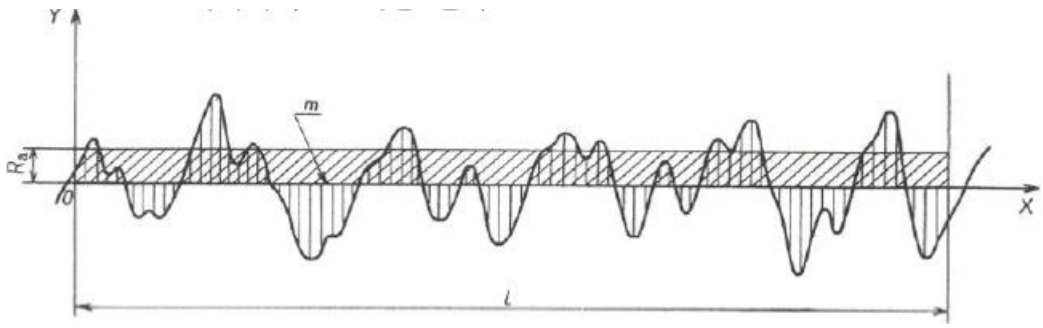
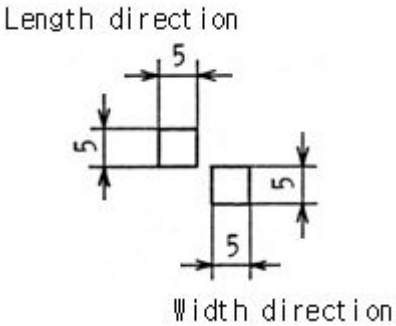
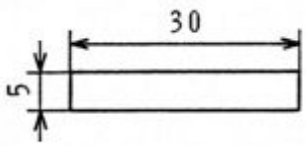


Fig. 5-2 Center-line-average-height (R_a)



(a) Surface roughness



(b) Winding

Fig. 5-3 Measurement position of center-line-average-height

제 2 절 표면형상의 측정 결과

실험에 이용한 금형의 표면상태를 알기 위하여, 금형의 표면거칠기와 여파굴곡곡선을 측정했다. 그 결과 중심선평균거칠기 R_a의 값은 0.06 μm, 여파굴곡곡선 W_{ca}의 값은 0.2 μm로 측정되었다.

또한 성형 시에 금형의 표면상태가 성형품의 표면에 어느 정도 전사되었는가를 조사하기 위해 보압하중 10 ton, 탈형온도 80 ℃에서 성형한 폴리프로필렌 단일재료만의 성형품 표면을 측정했다. 그 결과 중심선평균거칠기 R_a의 값은 0.08 μm, 여파굴곡곡선 W_{ca}의 값은 0.21 μm였다.

폴리프로필렌 단일재료만의 성형품은 금형과 비슷한 정도의 값으로 측정된 것으로부터, 이 실험의 성형법으로 금형표면의 상태가 성형품에 잘 전사된 것을 알 수 있다.

1. 서냉실험 성형품의 표면 측정

서냉실험에서는 보압하중과 탈형온도를 변화시켜서 성형하였다. 보압하중과 중심선평균거칠기의 관계를 Fig. 5-4에 나타냈다. 보압하중이 증가함에 따라 중심선평균거칠기 R_a의 값이 직선적으로 감소함을 알 수 있다. 그리고 Fig. 5-5에 보압하중과 여파굴곡곡선의 관계를 나타냈다. 중심선평균거칠기 R_a와 같이 보압하중이 커지면 여파굴곡곡선 W_{ca}의 값이 작아지고 있다. 즉 성형품의 표면거칠기와 여파굴곡곡선을 측정한 결과, 보압하중을 크게 하면 표면상태가 양호해지는 것을 알 수 있다.

서냉실험 성형품의 표면거칠기 측정 파장에서 불량 현상 중 하나는 섬유돌출이다. Fig. 4-5의 계산값을 보면 0~600 kg_f/cm^2의 사이에서는 압력이 커지면 섬유돌출 높이가 직선적으로 감소하고 있다. 식 (4-1)로부터 구한 섬유돌출 높이는 압력이 증가하면 감소한다. 이는 보압하중이 증가할수록 중심선평균거칠기 R_a의 값이 감소하는 경향과 유사하다.

그리고 탈형온도에 의한 R_a와 W_{ca}에 대한 측정값의 변화에 대해서 고찰하고자 한다. Fig. 5-6에는 탈형온도와 중심선평균거칠기 R_a의 관계를 나타냈다. 탈

형온도가 낮을수록 중심선평균거칠기 R_a의 값이 작아졌다. 또한, Fig. 5-7에 탈형온도와 여파굴곡곡선 W_{ca}의 관계를 나타냈다. R_a와 같은 경향으로, 탈형온도가 낮을수록 W_{ca}의 값이 작아짐을 알 수 있다. 즉 중심선표면거칠기 · 여파굴곡곡선의 측정값으로부터, 성형품의 표면은 탈형온도가 낮아질수록 양호함을 알 수 있다.

이 서냉실험의 결과로부터, 성형품 표면은 보압하중이 클수록 요철이 작아졌다. 또한, 탈형온도가 낮은 성형품일수록 표면의 평활성이 양호하였다. 그 결과 보압하중이 크고, 탈형온도가 낮은 성형품일수록 표면상태가 양호함을 알 수 있었다.

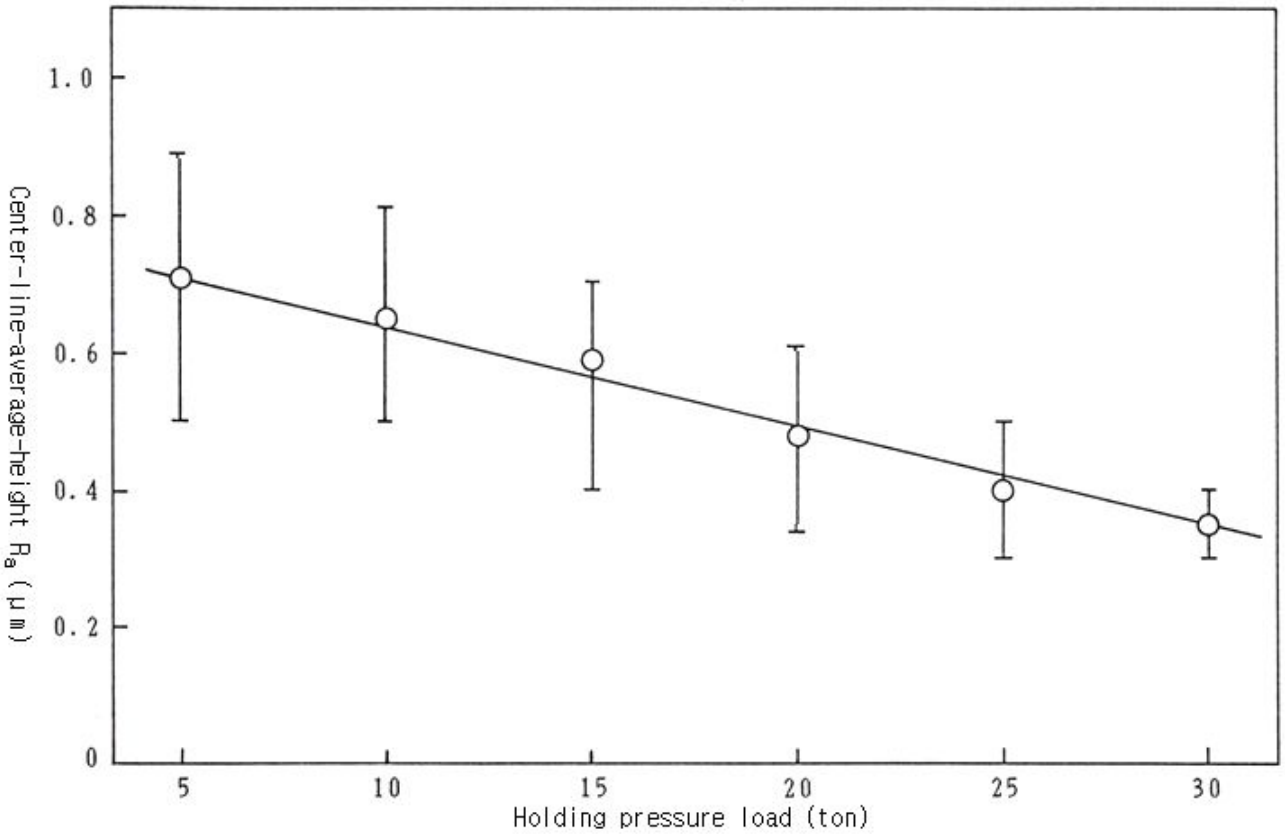


Fig. 5-4 Relationship between holding pressure load and center-line-average-height of annealing experiment moldings (Demolding temperature 80℃)

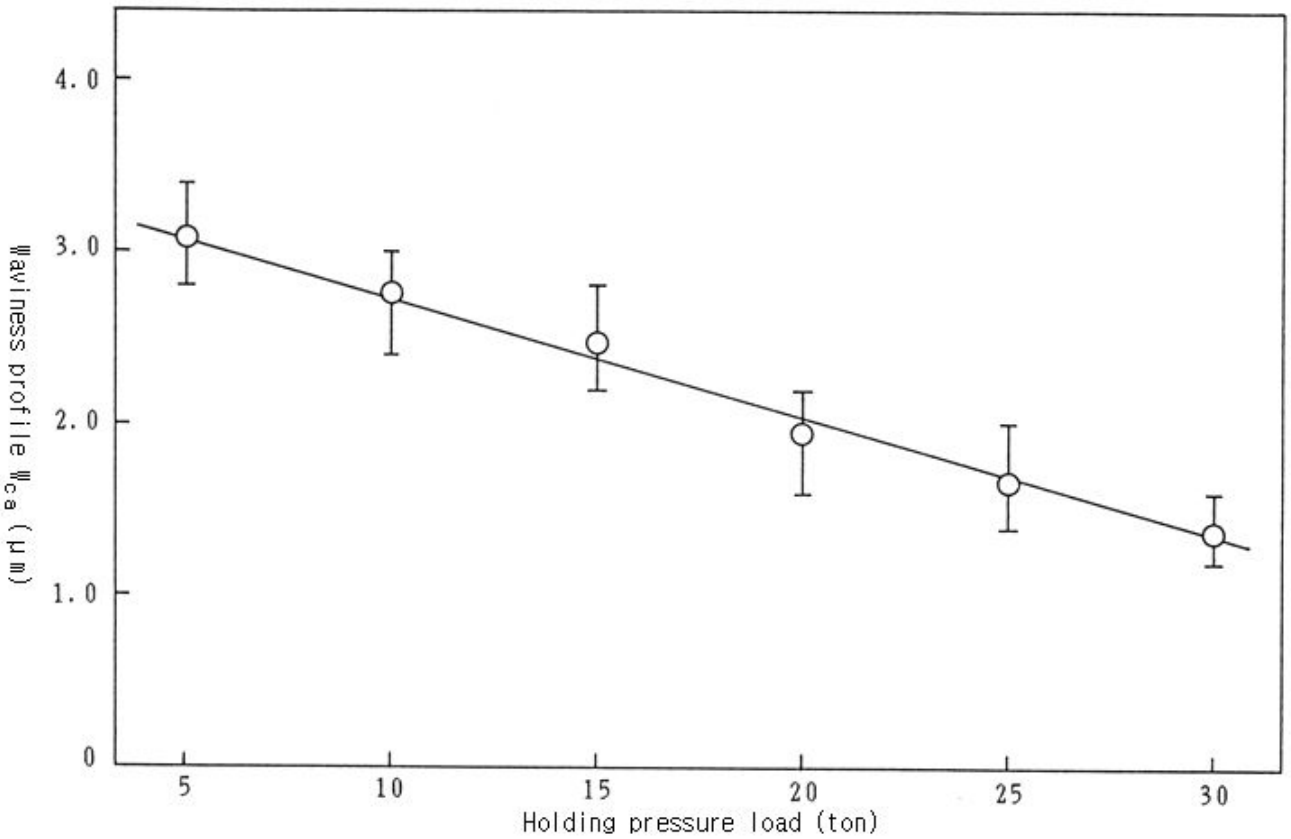


Fig. 5-5 Relationship between holding pressure load and waviness profile of annealing experiment moldings (Demolding temperature 80℃)

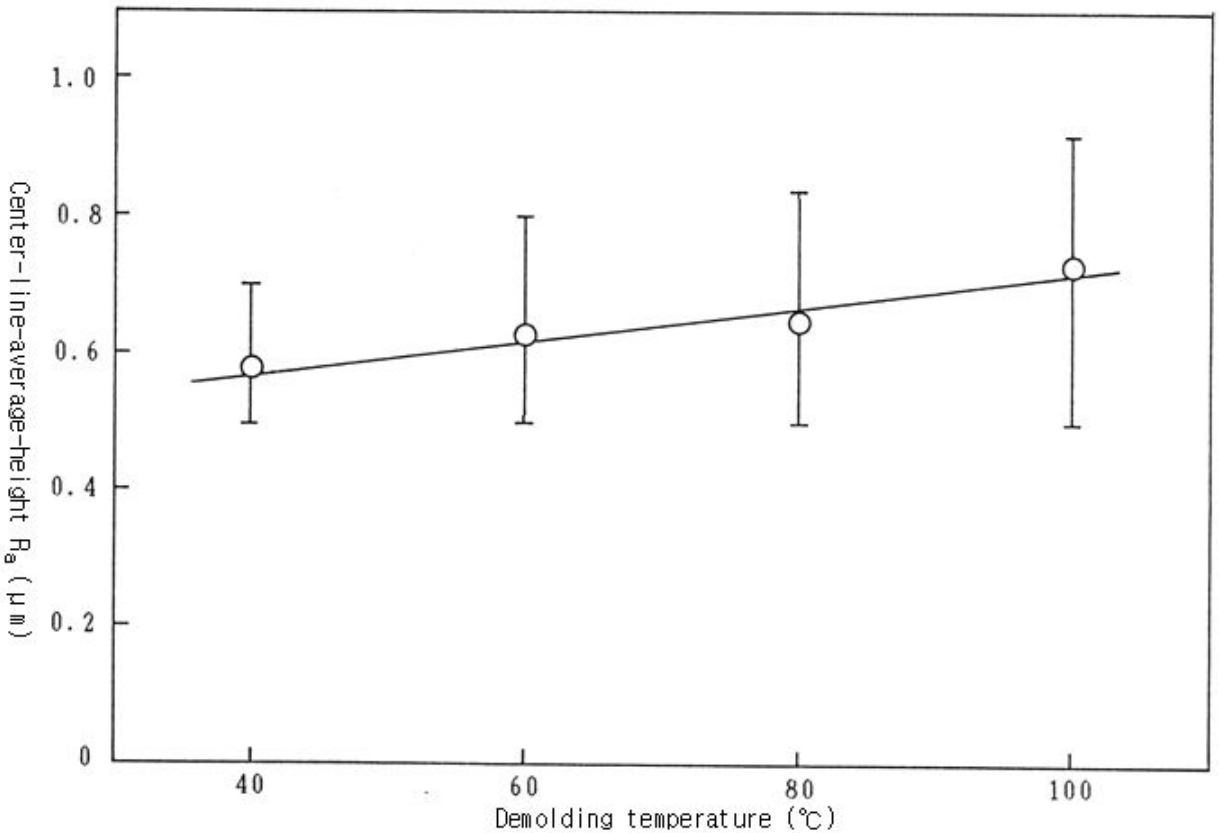


Fig. 5-6 Relationship between demolding temperature and center-line-average-height of annealing experiment moldings (Holding pressure load 10 ton)

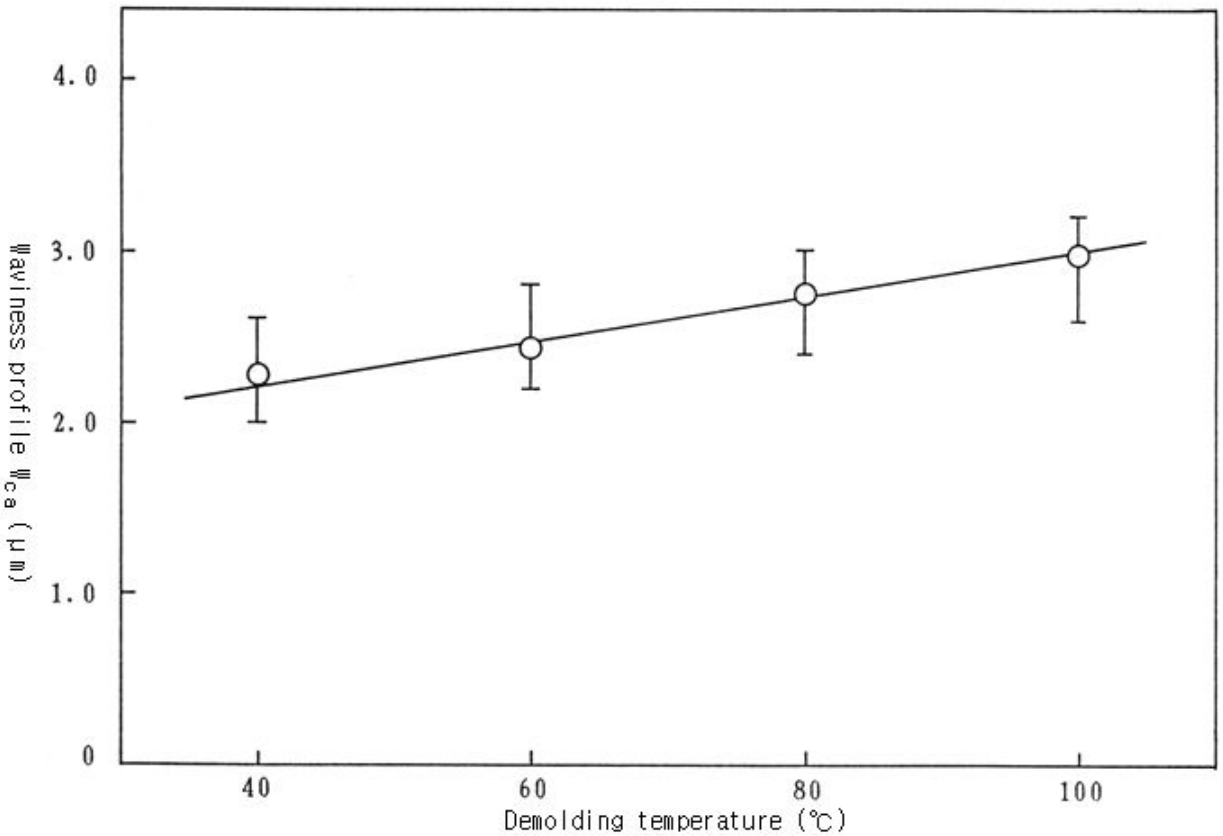


Fig. 5-7 Relationship between demolding temperature and waviness profile of annealing experiment moldings (Holding pressure load 10 ton)

2. 급냉실험 성형품의 표면 측정

급냉실험에서는 보압하중과 금형온도를 변화시켜서 성형하였다.

Fig. 5-8에 보압하중과 중심선평균거칠기 R_a의 관계를 나타냈다. 서냉실험에서의 결과와 같이 보압하중이 증가함에 따라 중심선평균거칠기의 값이 감소함을 알 수 있다. 보압하중이 클수록 요철이 작게 되기 때문에, 성형품의 표면이 양호함을 알 수 있었다.

Fig. 5-9에 보압하중과 여파굴곡곡선 W_{ca}의 관계를 나타냈다. Fig. 5-8과 같이, 보압하중이 클수록 여파굴곡곡선 값이 작게 나타남을 알 수 있다. 즉 보압하중에 대해서, 급냉실험과 서냉실험의 결과는 같은 경향으로 나타났다.

금형온도가 표면거칠기와 여파굴곡곡선에 미친 영향을 실험하여, Fig. 5-10에 금형온도와 중심선평균거칠기의 관계를 나타냈다. 금형온도가 낮을수록 중심선평균거칠기의 값은 작아졌다. Fig. 5-8과 Fig. 5-10으로부터, 성형품의 표면에서 표면거칠기는 금형온도보다 보압하중에 더 지배적임을 알 수 있다.

금형온도가 낮으면, 서냉실험의 탈형온도와 같이 표면을 평활하게 유지하는 효과가 있지만, 그 외도 성형품의 냉각속도에 관계가 있다. 금형온도가 낮으면, 200℃에 예열된 블랭크가 보다 빨리 냉각된다. 서냉 속도가 빠르면 빠를수록, 모재의 폴리프로필렌은 결정화가 진행되지 않은 채 고체가 되어 수축량이 적게 된다. 이렇기 때문에 섬유돌출 높이는 낮아져 평활한 표면이 생긴다. 단, 급냉에 의해서 웰드라인이 발생되기도 하기 때문에 표면이 반드시 좋아지는 것은 아니다.

Fig. 5-11에 금형온도와 여파굴곡곡선의 관계를 나타냈다. 여파굴곡곡선은 금형온도가 낮을수록 낮게 나타났다. 즉 성형품의 표면은 보압하중이 증가할수록, 금형온도는 낮을수록 양호하게 나타났다.

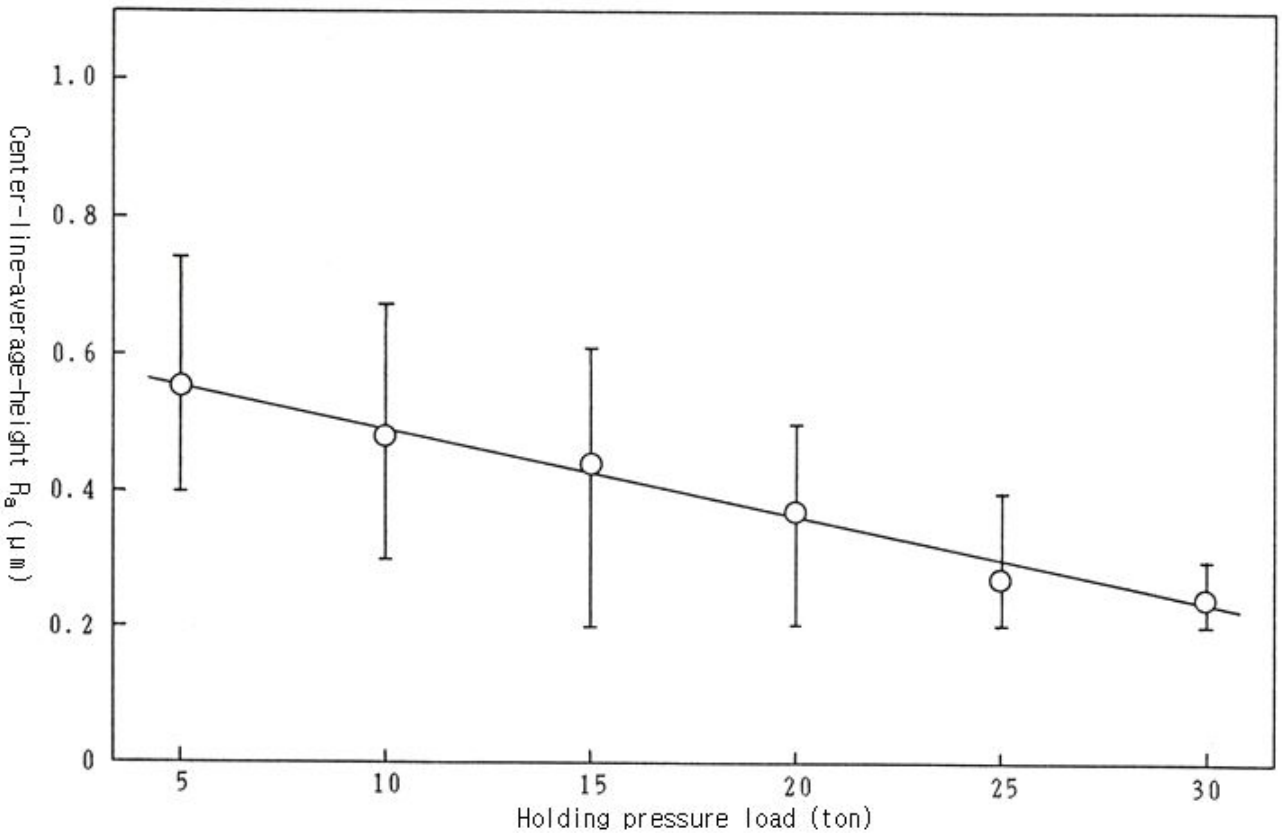


Fig. 5-8 Relationship between holding pressure load and center-line-average-height of rapid-chilled experiment moldings (Mold temperature 80℃)

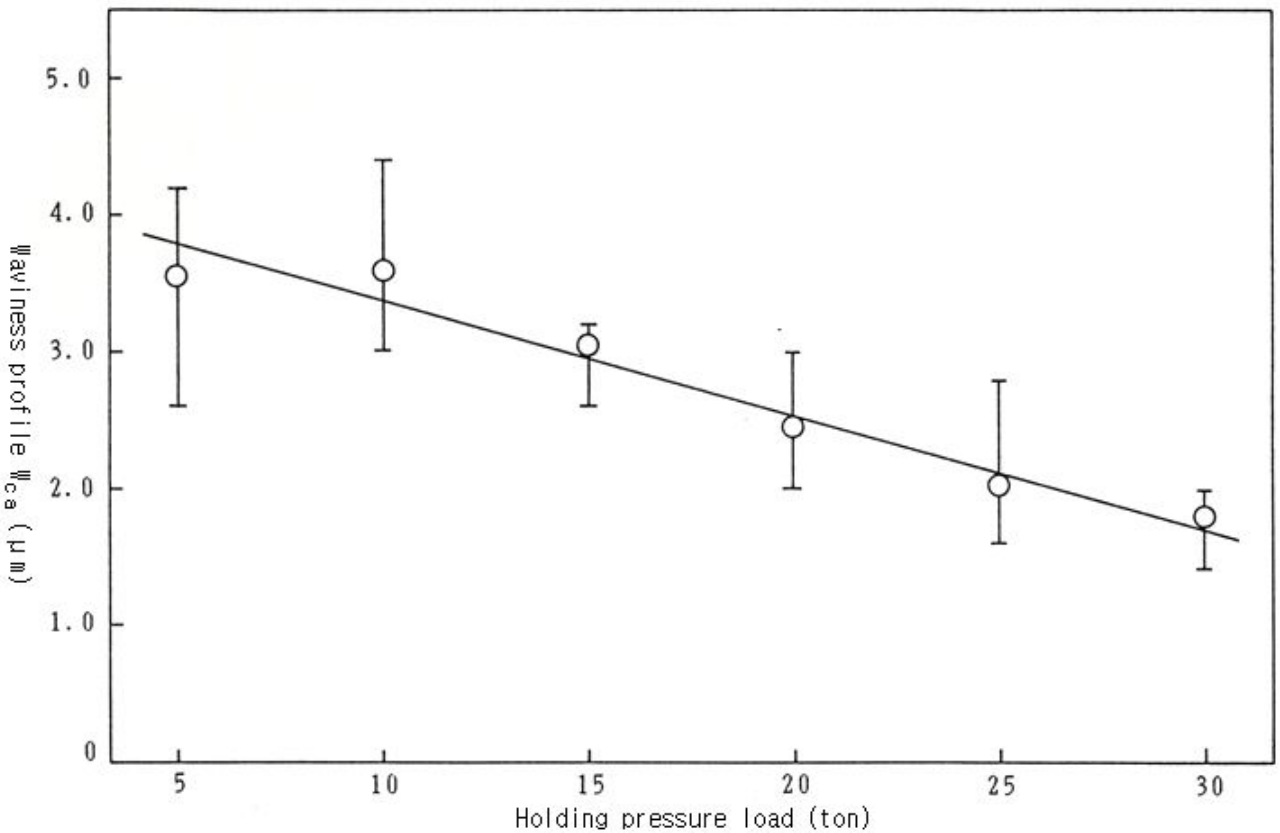


Fig. 5-9 Relationship between holding pressure load and waviness profile of rapid-chilled experiment moldings (Mold temperature 80℃)

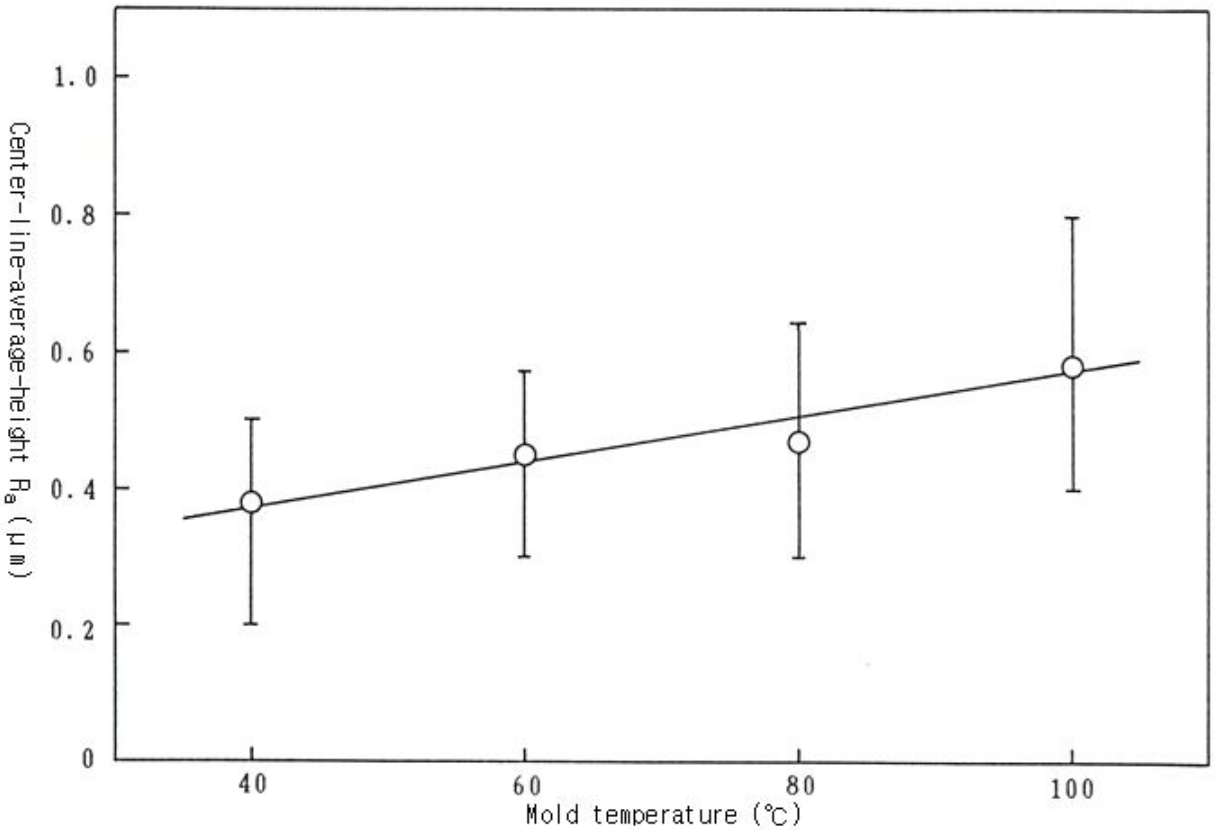


Fig. 5-10 Relationship between mold temperature and center-line-average-height of rapid-chilled experiment moldings (Holding pressure load 10 ton)

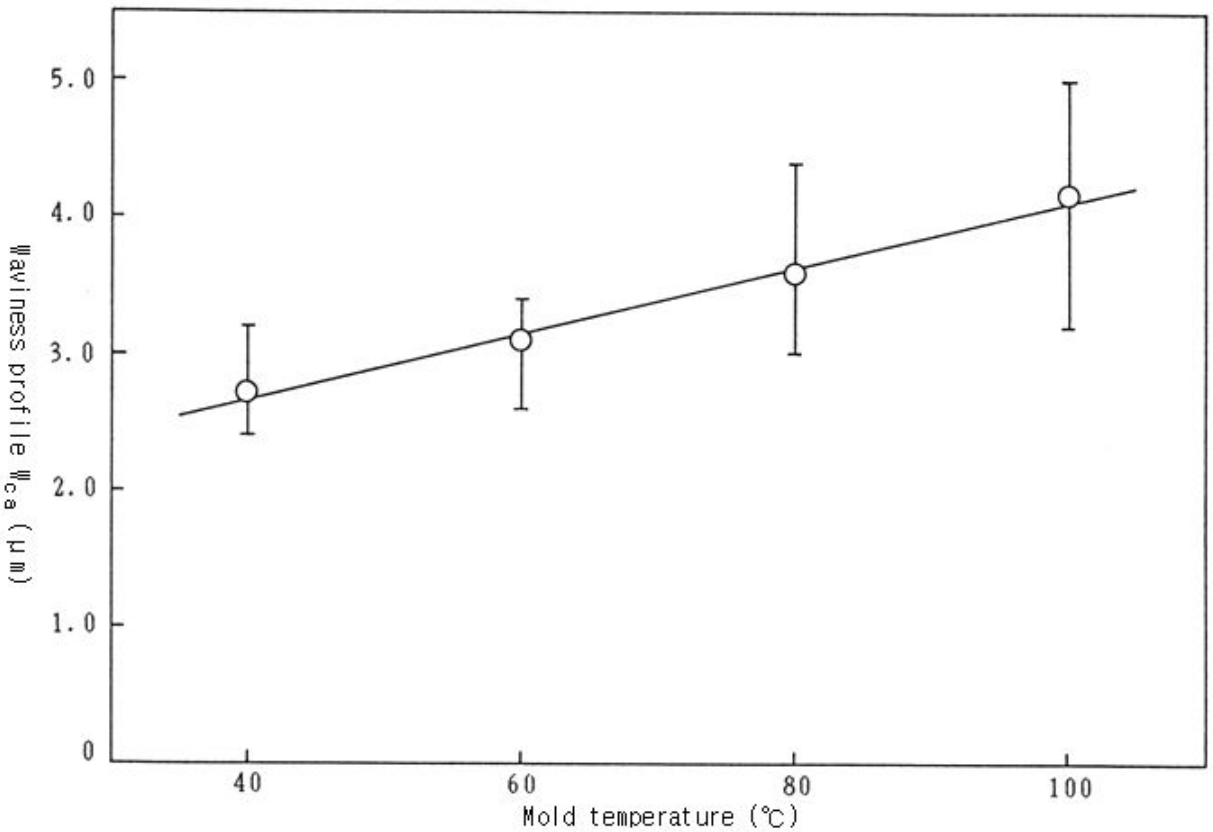


Fig. 5-11 Relationship between mold temperature and waviness profile of rapid-chilled experiment moldings (Holding pressure load 10 ton)

제 3 절 표면형상의 측정 결론

촉침식 표면형상측정기를 이용해서 성형품 표면의 표면거칠기 · 여파굴곡곡선의 측정하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 성형품 표면의 중심선평균거칠기와 여파굴곡곡선의 측정값은 보압하중이 클수록 작게 나타났다. 이것은 모재의 수축량으로부터 구한 섬유돌출 높이의 계산값과 같은 경향을 나타냈다.
2. 서냉실험 성형품 표면에서는 중심선표면거칠기 · 여파굴곡곡선의 측정값이 탈형온도가 낮을수록 작게 나타났다. 또한 급냉실험에서는 금형온도가 낮을수록 표면거칠기 · 여파굴곡곡선 측정값이 작게 나타났다.

제 6 장 피복층에 의한 표면상태의 개선

제 1 절 피복층의 성형 방법

성형품 표면에 존재하는 강화재인 유리섬유와 모재인 폴리프로필렌과의 수축차에 의해 섬유돌출이나 윈딩과 같은 표면불량 현상이 발생한다. 그리고 크랙은 표면의 유리섬유와 모재의 계면에서 발생한다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 폴리프로필렌 시트의 피복층에 의해서 성형품 표면불량 현상이 어느 정도 개선되는지를 고찰하고자 한다.

Fig. 6-1에 피복한 성형품의 형상을 나타냈다. GMT-Sheet 블랭크의 크기 60 mm(W) × 80 mm(L)와 같은 크기인 폴리프로필렌 시트를 피복하여 성형실험하였다. 이 피복층의 두께는 0.3, 0.5, 1.0, 1.5 mm의 4종류이다.

GMT-Sheet의 피복 실험은 서냉실험과 같은 방법으로 하였다. 보압하중은 10 ton으로 일정하게 하고, 피복층의 두께와 탈형온도를 변화시켰다. 이 실험에서의 성형조건을 Table. 6-1에 나타냈다.

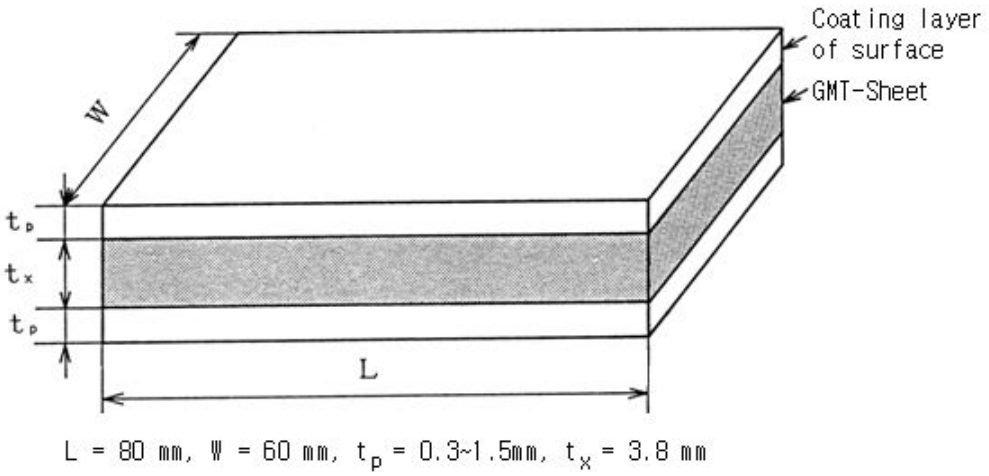


Fig. 6-1 Structure of moldings having coating layer

Table. 6-1 Molding conditions of moldings having coating layer

Molding temperature (℃)	Molding velocity (mm/sec)	Holding pre-ssure load (ton)	Coating layer thickness (mm)	Demolding temperature (℃)
173	13	10	0.3	80
			0.5	80
			1.0	40
				60
				80
				100
			1.5	80

제 2 절 표면상태의 개선 결과

측정에 앞서 성형품의 표면 및 단면을 현미경으로 관찰했다.

Photo. 6-1은 피복층을 가지는 성형품 표면의 현미경 사진이다. 성형품의 표면은 폴리프로필렌으로 피복되어 있어서, 섬유돌출 및 크랙과 같은 표면불량 현상의 원인이 되는 유리섬유가 관찰되지 않았다. 피복층이 표면불량 현상을 제거하는 효과가 있는 것을 알 수 있다.

Photo. 6-2은 피복층을 가지는 성형품 단면의 현미경 사진이다. 성형품 표면에 피복한 폴리프로필렌 시트는 GMT-Sheet와 융합되어 있다. 또한, 피복이 되어있어 유리섬유가 표면으로부터 떨어져 있음을 알 수 있다.

Fig. 6-2는 성형품 피복층의 두께에 따른 중심선평균거칠기(R_a)의 측정 결과를 나타낸 그림이다. 피복층의 두께가 증가함에 따라, 측정값이 급격히 감소하고 있음을 알 수 있다. 그림과 같이, 피복층 두께가 0.5 mm부터의 성형품 중심선평균거칠기 값은 단일재료인 폴리프로필렌의 측정값에 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 0.5 mm임을 알 수 있다.

Fig. 6-3은 성형품 피복층의 두께에 따른 여파굴곡곡선(W_{ca})의 측정 결과를 나타낸 그림이다. 여파굴곡곡선의 값은 피복층의 두께가 증가함에 따라 완만히 감소하고 있다. 여파굴곡곡선(윈딩)은 그 파장이나 높이가 표면거칠기에 비해 크기 때문에 개선되기 어려운 것이라고 생각된다. 피복층 두께 1.5 mm의 성형품에서는 피복층이 없는 성형품 표면 여파굴곡곡선 값의 절반 정도까지 개선되고 있다. 그러나 폴리프로필렌 단일재료만의 성형품 표면 여파굴곡곡선 값은 0.21 μm이기 때문에, 피복층의 두께를 1.5 mm까지 증가시켜도 폴리프로필렌 단일재료만의 성형품 표면 여파굴곡곡선 값과 큰 격차가 있다. 즉, 피복층이 윈딩을 개선하는 효과는 충분하다고 할 수 없다.

Fig. 6-4는 피복층의 두께가 1.0 mm인 경우, 여파굴곡곡선과 탈형온도와의 관계를 나타낸 그림이다. 이 측정 결과로부터 피복층이 없는 GMT-Sheet의 경

우와 같이, 탈형온도가 낮을수록 여파굴곡곡선 측정값이 작게 나타났다. 또한 보압하중의 변화에 대해서도, 윈딩의 측정값은 피복층이 없는 GMT-Sheet와 같은 경향이 있다고 생각된다. 따라서 탈형온도를 낮게, 보압하중을 크게 하는 것에 의해 보다 평활한 표면을 만드는 것이 가능하다고 생각된다.

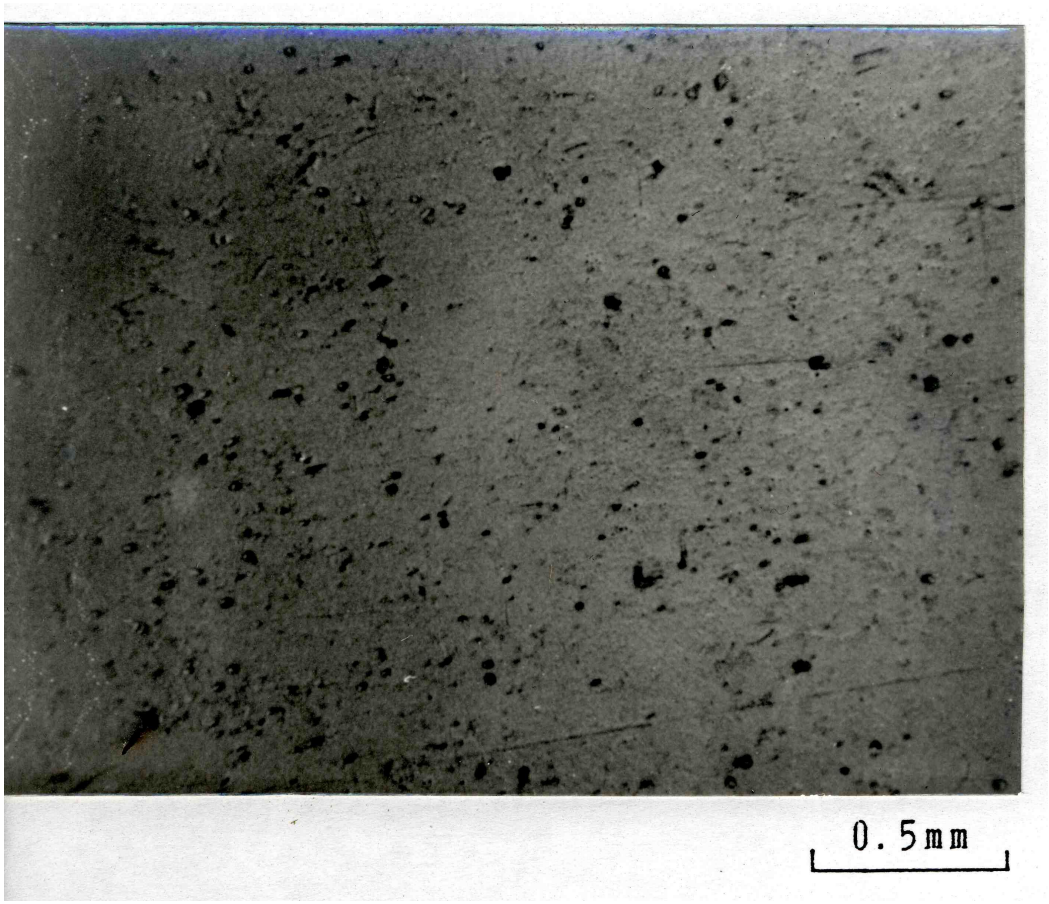


Photo. 6-1 피복층을 가진 성형품의 표면

Surface of moldings having coating layer (Coating layer 1.0 mm)

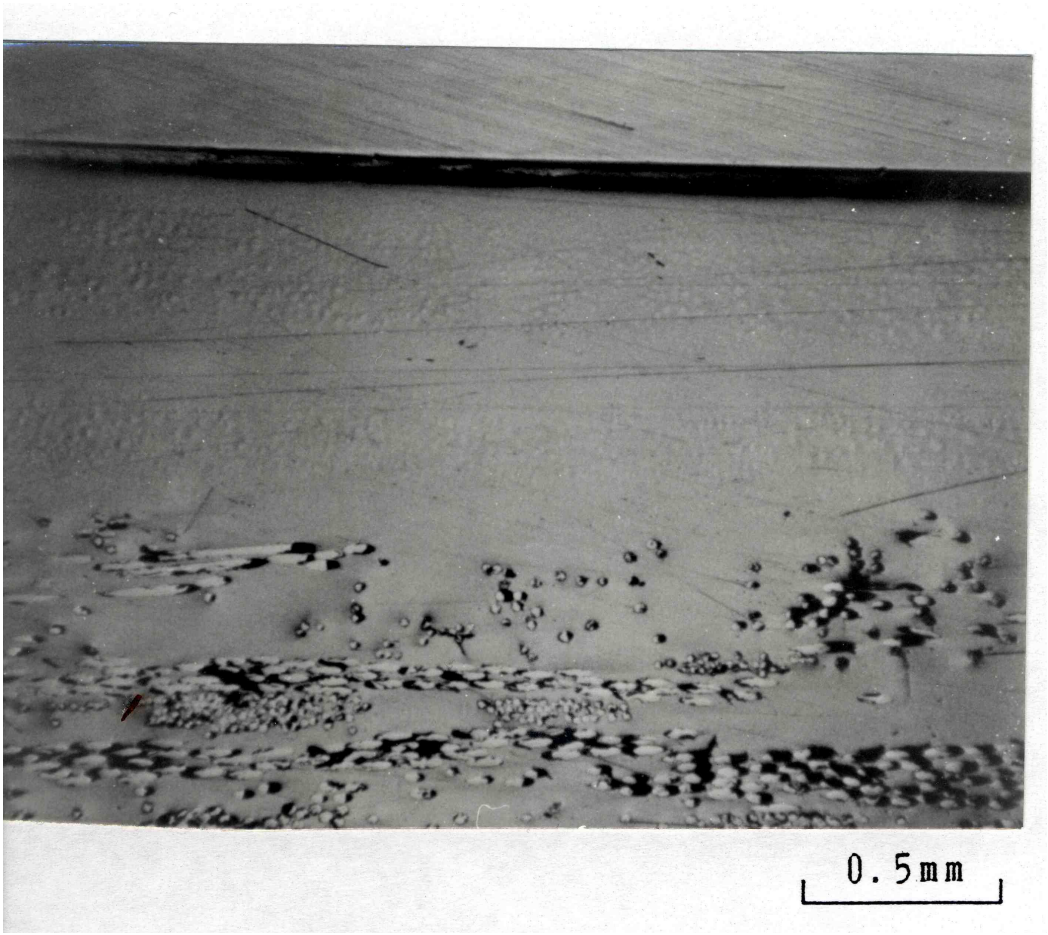


Photo. 6-2 피복층을 가진 성형품의 단면

Section of moldings having coating layer (Coating layer 1.0 mm)

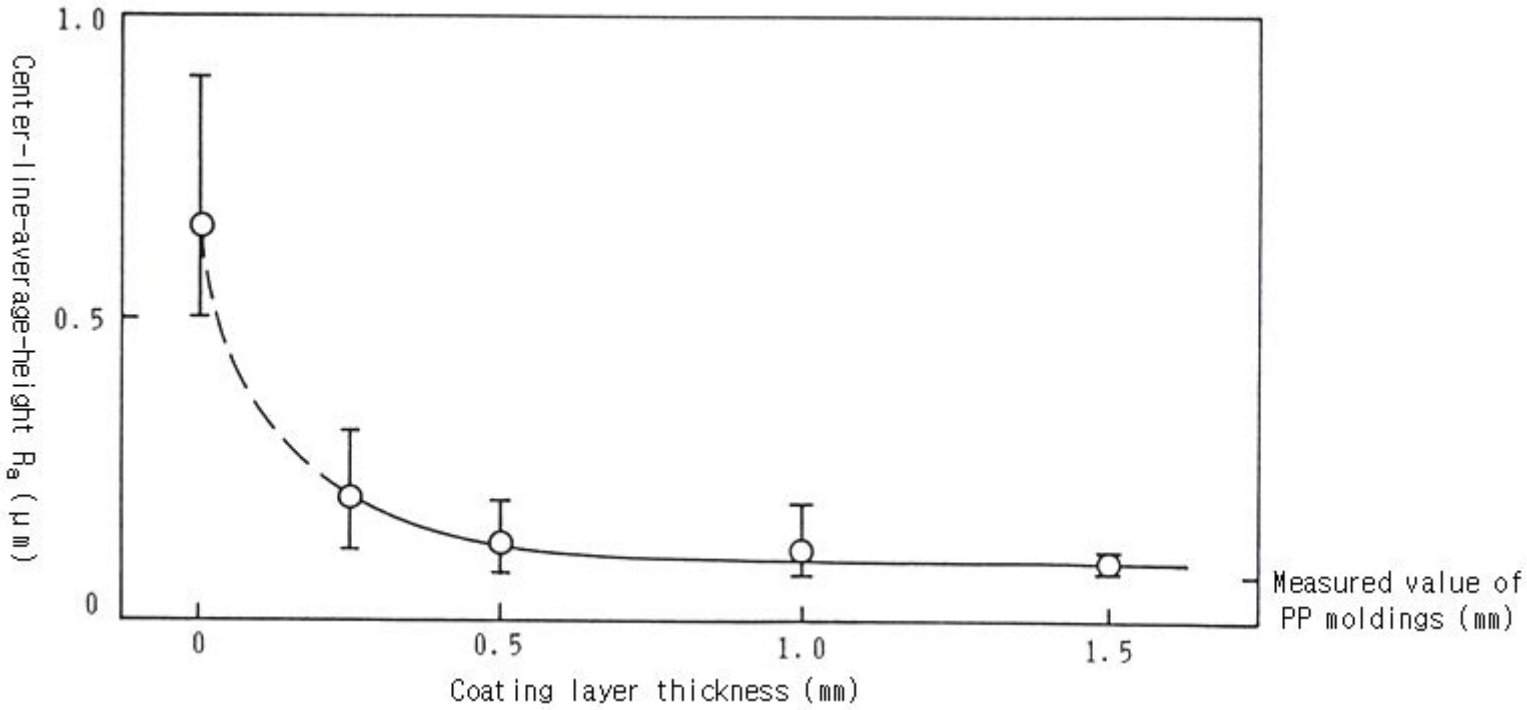


Fig. 6-2 Relationship between coating layer thickness and center-line-average-height
(Demolding temperature 80℃)

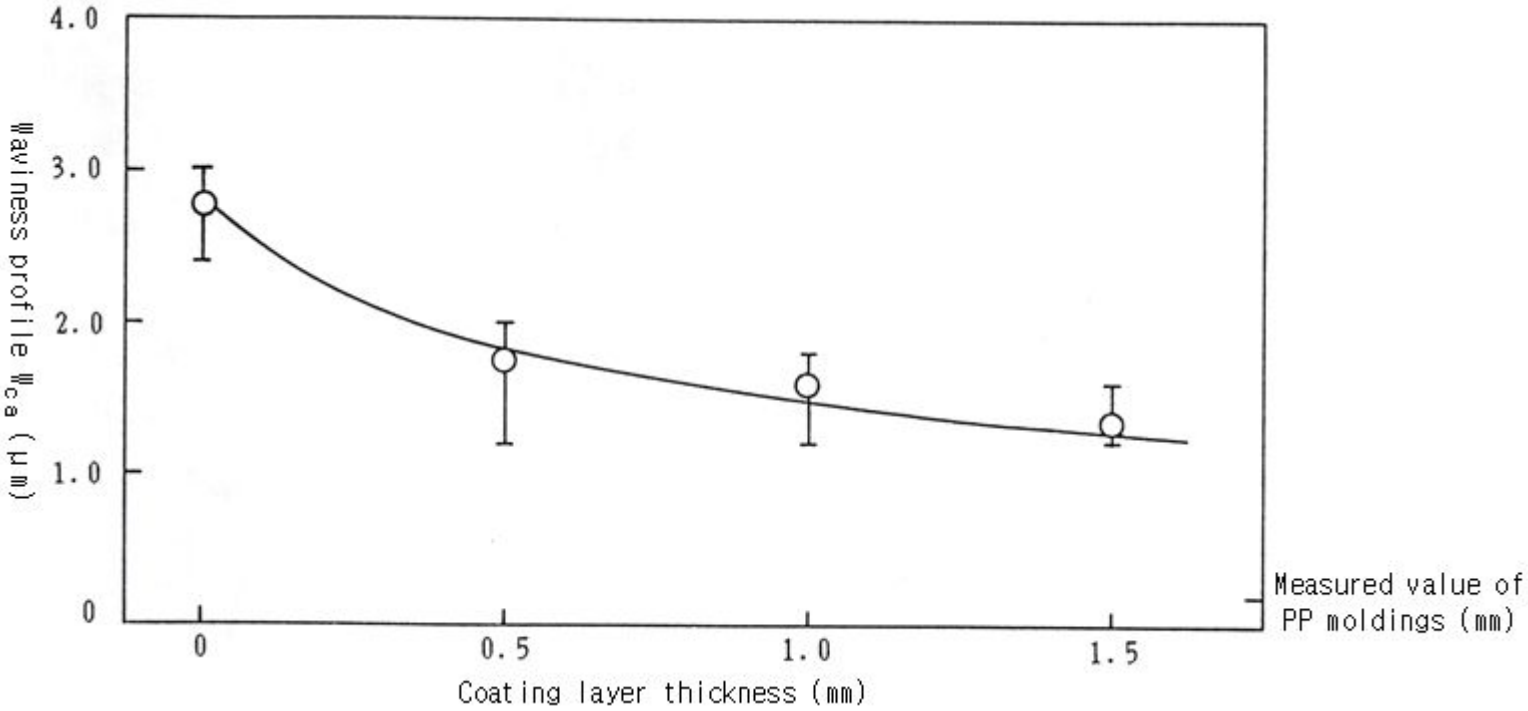


Fig. 6-3 Relationship between coating layer thickness and waviness profile (Demolding temperature 80℃)

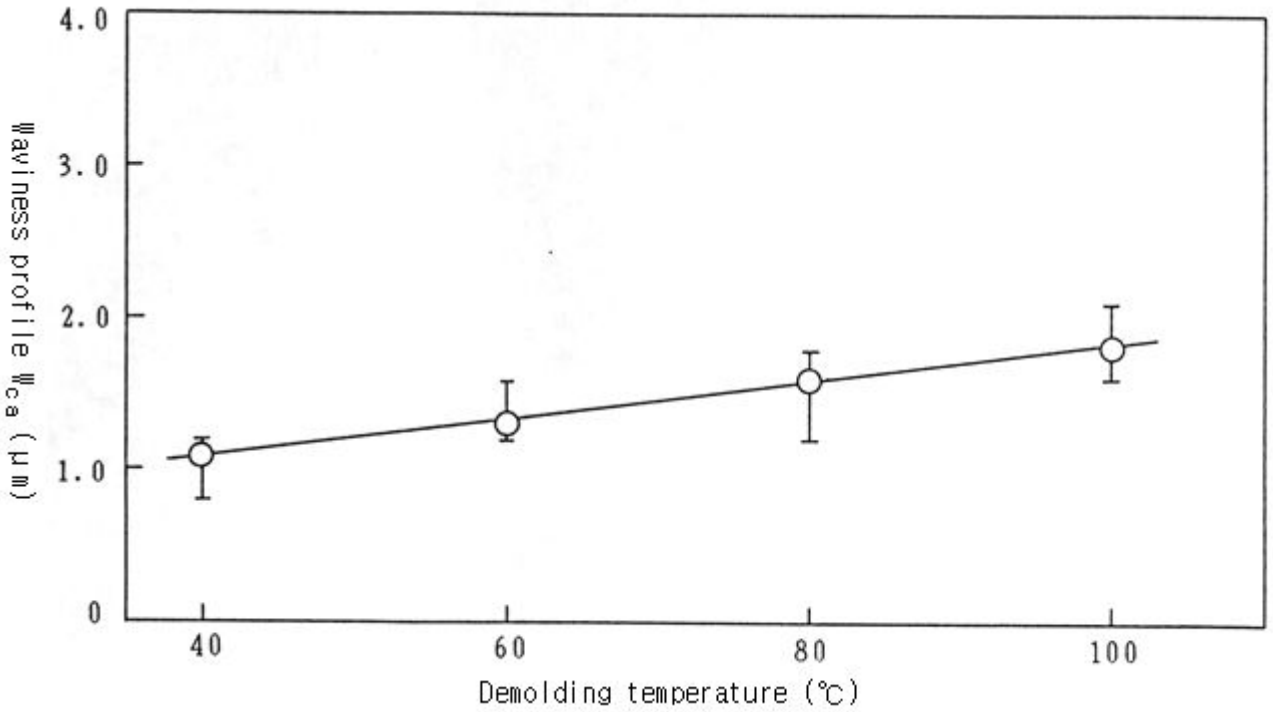


Fig. 6-4 Relationship between demolding temperature and waviness profile (Coating layer 1.0 mm)

제 3 절 표면상태의 개선 결론

폴리프로필렌 시트의 피복층에 의해서 GMT-Sheet 표면불량 현상인 표면거칠기 · 윈딩이 어느 정도 개선되는지를 고찰하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 피복층은 표면불량 현상을 억제하는 효과가 있고, 표면으로부터 섬유돌출이나 크랙이 보이지 않았다.
2. 피복층은 표면거칠기를 단일재료인 폴리프로필렌 정도까지 효과적으로 개선했다.
3. 윈딩은 피복층만으로는 효과가 불충분함으로, 윈딩이 작아지는 조건으로 성형할 필요가 있다.

제 7 장 결 론

GMT-Sheet의 중요한 결점은 성형품 표면에 발생하는 불량 현상이다. 이 불량 원인 및 생성과정을 명확히 하고, 표면상태를 개선하기 위하여 성형조건의 영향에 대하여 고찰하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 성형품 표면의 불량 현상으로서 구정, 섬유돌출, 크랙, 섬유노출, 마이크로 웰드라인, 핀홀, 윈딩 등이 관측됐다. 성형품 표면의 평활도를 해치는 불량 현상의 발생원인을 고찰한 결과, 표면상태에 가장 큰 영향을 주는 원인은 보압·냉각 과정에서 발생하는 모재의 수축이다. GMT-Sheet 성형품 표면은 성형 시의 보압하중이 높을수록 양호하고, 서냉실험에서는 탈형온도가 낮을수록 성형품의 표면이 양호했다.
2. 모재의 수축량으로부터 섬유돌출 높이를 구하기 위해, 성형품 표면 부근의 단섬유를 모델화하여 섬유돌출 높이를 계산했다. 섬유돌출 높이는 보압하중이 클수록 작게 나타났으며, 실제의 성형품 표면의 섬유돌출 높이와 동일한 경향을 나타냈다. 탈형온도의 영향을 고려하면, 섬유돌출 높이의 계산값과 측정값은 잘 일치함을 알 수 있다. 보압하중과 탈형온도를 고려하여, 성형품의 표면요철 생성과정과 섬유돌출 높이 변화를 규명했다.
3. 성형품 표면의 중심선평균거칠기와 여파굴곡곡선의 측정값은 보압하중이 클수록 작게 나타났다. 이것은 모재의 수축량으로부터 구한 섬유돌출 높이의 계산값과 같은 경향을 나타냈다. 서냉실험 성형품 표면에서는 중심선표면거칠기·여파굴곡곡선의 측정값이 탈형온도가 낮을수록 작게 나타났다. 또한 급냉실험에서는 금형온도가 낮을수록 표면거칠기·여파굴곡곡선 측정값이 작게 나타났다.
4. GMT-Sheet 표면의 피복층은 표면거칠기의 개선에 효과가 있고, 표면으로부터 섬유돌출이나 크랙이 보이지 않는다. 피복층은 표면거칠기의 개선에 매우 효과가 있고, 단일재료인 폴리프로필렌 정도까지 표면거칠기를 감소시켰다. 윈딩은 피복층만으로는 효과가 불충분함으로, 윈딩이 작아지는 조건으로 성형할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1) K.K.Chawla, “Composite Materials,″ Springer-Verlag New York Inc, 1987, pp. 3-5.

2) 이대길, “복합재료 역학 및 가공론,″ 성안당, 1993, pp. 3-6, 301-330.

3) 이대길, 정광섭, 최진호, “복합재료 역학 및 제조 기술,” 시그마프레스, 1998, pp. 1-16, 407-439.

4) E. K. Staempfli, 1st EURETEC, SPE, 10/0, 1979.

5) “Technopolymer Structures,″ GE Plastics.

6) N. E. Jung, “Glass Mat Thermoplastics(GMT)″, BASF, 1989.

7) 이상협, 최영근, 김상태, “SiC 강화 알루미늄기 복합재료의 표면미소 피로균열 발생 및 진전 거동,″ 한국복합재료학회지, 제22권 제3호, 2009, pp. 74-81.

8) 이상협, 최영근, 김상태, 이문환, “SiC 입자 강화 알루미늄기 복합재료의 표면미소 피로균열 발생 및 초기진전거동,″ 한국복합재료학회지, 제21권 제62호, 2008, pp. 15-22.

9) 허성일, 오경석, 장준호, 양유창, 한경섭, “PEMFC용 복합소재 분리판을 위한 2단계 제조공법의 예비성형 조건에 대한 연구,″ 한국복합재료학회지, 제20권 제2호, 2007, pp. 10-16.

10) Tim A. Osswald, Georg Menges, “Materials Science of Polymers for Engineers,″ HANSER Publishers, 1995, pp. 211-248.

11) 홍명웅, “플라스틱편람,” 기전연구사, 1989, pp. 384-390.

12) 大阪市立工業硏究所, 日本플라스틱技術協會, “플라스틱기술,” 성안당, 1994, pp. 9-52, 155-160.

13) The Korean Academy of Science and Technology, “English-Korean · Korean-English Scientific and Technological Terminology,” KAST, 1998.

14) 정기현, “플라스틱,” 보진재, 1993, pp. 76-79.

감 사 의 글

누군가가 내게 무엇인가를 물어오기 전에는 그것을 잘 알았지만, 누군가 내게 어떤 것을 물어오는 순간에 나는 그것을 잘 모른다는 것을 알게 되곤 합니다. 이런 식으로 저는 항상 누군가로부터 배우기만 한 것 같습니다. 무언가 열심히 하지 않은 것은 아닌 것 같은 데도 세상에 내놓을 게 별로 없습니다. 이 석사학위논문마저 주변의 도움이 없었다면 불가능했을 것입니다. 많은 사람이 떠오릅니다. 누구의 이름을 여기에 적으면 기뻐하는 사람보다는 서운해할 사람이 많을 것 같아 감히 적지 못합니다. 그저 사랑한다고 말하고 싶을 뿐입니다.

2009. 겨울. 광주 실험실에서 김형석 씀

저작물 이용 허락서

학 과	첨단부품소재 공학과	학 번	20087487	과 정	석사
성 명	한글 : 김형석 한문 : 金炯碩 영문 : Kim Hyoung-Seok				
주 소	서울특별시 구로구 구로본동 440 보광아파트 5동 207호				
연락처	E-MAIL : khs_inverse@hanmail.net				
논문제목	한글 : GMT-Sheet 성형품의 표면거칠기에 관한 연구 영어 : A Study on the surface Roughness of GMT-Sheet Moldings				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(O) 반대( )

2010 년 2 월 일

저작자 : 김 형 석 (인)

조선대학교 총장 귀하