

회전성형 제품의 품질 개선을 위한 연구

이정기* · 한희덕* · 김현주**

(2003년 12월 8일 접수, 2004년 4월 7일 심사완료)

A Study on Quality Assurance for Rotational Molding Products

Jung-Ki Lee, Hui-Duck Han and Hyun-Joo Kim

Key Words: Rotational Molding(회전성형), Surface Image Test(표면 이미지 검사), Tensile Test(인장 시험), Ultrasonic Testing Method(초음파 탐상법)

Abstract

Rotational molding is a plastics processing technique that is ideally suited to producing relatively large, hollow, seamless parts which are partially or totally enclosed. Designers of plastic parts turn to rotational molding to produce small or large parts of unusual shape that cannot be produced as one piece by other processes, e.g., blow molding and thermoforming. In this paper, in order to enhance the quality of rotational molding plastic products, 1) surface features for the plastic products are characterized by using an image analysis system, 2) maximum tensile strength for the plastic products that are made of materials that consist of Samsung-Atofina R901U, pigments and two different kinds of calcium carbonate (OMYA CaCO₃) is measured and compared with each other by using an Instron universal testing machine, 3) thickness for the plastic products is non-destructively measured to investigate the quality of the plastic products by using an A-scan ultrasonic tester.

1. 서론

오늘날 주로 사용되는 플라스틱 성형법에는 압축성형(Compression molding), 압출성형(Extrusion molding), 사출성형(Injection molding) 외에 여러 방법이 있다.⁽¹⁾

회전성형(Rotational molding)은 강(steel), FRP, 나무를 대체하는 플라스틱 구조물 성형의 첨단 공법이다.⁽²⁾ 회전성형은 속이 비고 이음매가 없는 일체형 구조를 갖는 성형품을 성형할 수 있는 점이 기존의 플라스틱 성형가공법과의 차이점이다.

성형품은 대부분의 금속제품과 비교하여 경량

이고, 부식이나 변성이 없어 반영구적이다. 성형품의 벽 두께를 조절할 수 있어, 작고 단순한 형상에서부터 크고 복잡한 성형품에 이르기까지 다양한 크기와 복잡한 구조를 갖는 성형품을 성형할 수 있다. 또한, 다양한 표면 마무리와 첨가제를 사용함으로써 다양한 색상을 지정할 수 있고, 소량생산이 가능하고 기획에서 제품화까지의 시간(leadtime)이 짧고 금형에 대한 연구가 간단하고 세공비용이 경제적이다. 가장 널리 쓰이는 원료로는 Polyethylene, Plasticsol, Cellulose Acetate Butyrate, Elastomers, Ionomer, Polyurethane, Eva 그리고 특수하게 조제된 혼합물 등이다.⁽³⁾

Fig. 1의 좌측 그림은 단일 암(arm) 장치에 얇은 두께의 4개의 금형이 조립되어, 서로 직교하는 1차축과 2차축 주위로 회전하면서, 제품을 성형하는 회전성형기를 나타내고, 우측 그림은 단일 금형이 조립되어 있는 경우를 나타낸다. 암은 추축(pivot)되어 있어서 가열로와 냉각실로 이동할 수 있다.(Fig. 2)⁽⁴⁾

* 책임저자, 회원, 홍익대학교 기계정보공학과

E-mail : inq3jkl@wow.hongik.ac.kr

TEL : (041)860-2619 FAX : (041)866-9129

* 홍익대학교 대학원 기계정보공학과

** 로모테크(주) [구 : 즐거운아이들]

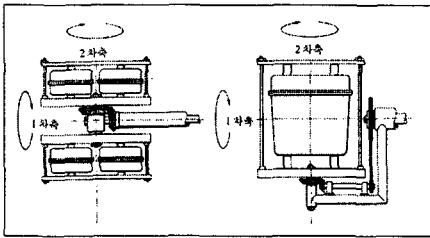


Fig. 1 Diagram for rotational molding machines using two different number of metallic patterns⁽⁴⁾

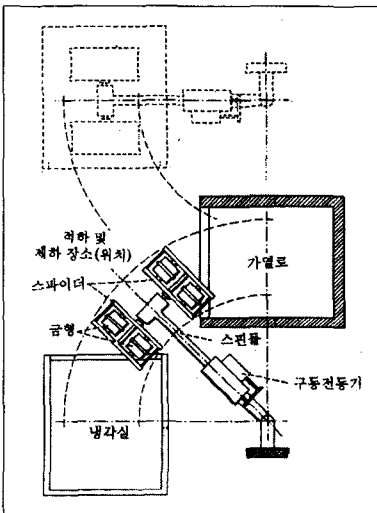


Fig. 2 Diagram for pivot arm motion in rotational molding machine⁽⁴⁾

회전성형의 공정을 살펴보면, 크게 3단계로 나눌 수 있다(Fig. 3); ① 충전(Loading) : 미리 개량된 미세 분말의 플라스틱을 얇은 두께의 금형 내에 넣고, 분말 플라스틱이 적재된 금형을 오븐 내에서 가열하면서 서로 직교하는 2개의 축을 동시에 낮은 속도로 회전시킨다.

② 가열(Heating) : 회전작용으로 분말이 금형 내부에서 이동되며, 열이 계속적으로 가해지는 동안에 분말은 완전히 녹을 때까지 금형 내부 표면에 계속해서 일정한 두께로 증착되어진다.

③ 냉각 및 취출 (Cooling 및 Unloading) : 완전히 용융되어진 후에 공기, 물 또는 공기와 물을 동시에 사용하여 점차적으로 냉각시킨 후 금형을 열고 완성된 제품을 금형으로부터 꺼낸 후 cycle을 위해 분말을 다시 금형 안으로 재적재한 후 금형을 밀봉한다.

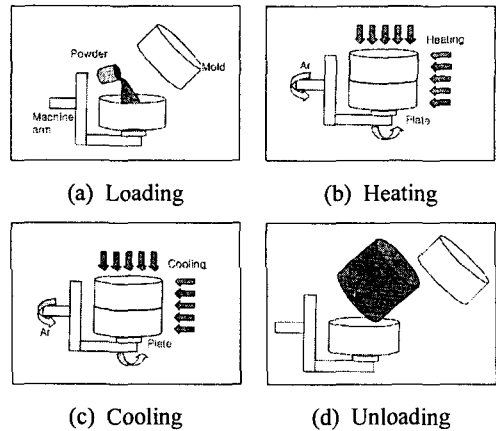


Fig. 3 Manufacturing processes in rotational molding

하지만, 주요 문제점으로 오븐 주기가 길며, 금형에서 수지의 브리지 발생, 성형품의 뒤틀림,⁽⁵⁾ 이형 불량, 성형품 외면에 기포/핀 홀 발생, 성형품 충격 강도 불량, 성형품 표면에 구멍 발생, 파팅 라인(parting line)에 기포 발생, 플래시 과다, 성형품의 변색 등과 같은 문제점이 있으며, 이러한 문제점들은 회전성형 플라스틱 제품의 불량요인이 되고 있다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 회전성형 제품의 효율적인 품질 개선을 도모하기 위하여, 중밀도 폴리에틸렌을 사용한 회전성형 플라스틱 제품에 대하여 이미지 분석 시스템을 이용하여 제품의 표면 상태를 분석함으로써 회전성형의 특징을 고찰하였으며, 회전성형 제품의 강도 측정을 위하여 인장시험을 수행하였다. 또한, 초음파 탐상법을 이용하여, 비파괴적으로 회전성형 제품에서의 두께를 측정하여 실제 두께와 비교해 보았다.

2. 실험 방법

2.1 이미지 표면 검사

회전성형품 생산업체인 로모테크(주)에서는 원료로 중밀도 폴리에틸렌(MDPE : Medium Density Polyethylene)을 사용하고 있다. 이 원료로 만들어진 제품과 품질 상태를 확인함으로써, 관련되는 문제점을 추출하기 위하여, 제품의 표면검사를 수행하였다. Fig. 4는 이미지 분석 시스템⁽⁷⁾을 나타낸다. Fig. 5는 로모테크(주)에서 취출된 회전성형품을 임의의 크기로 자른 시험편을 나타낸다.

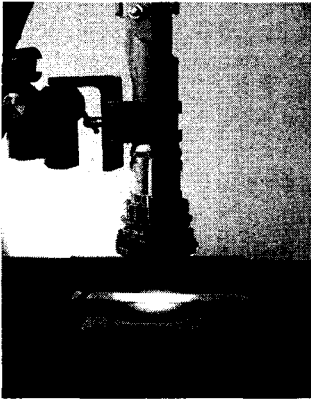


Fig. 4 Image test apparatus (Image-Pro)

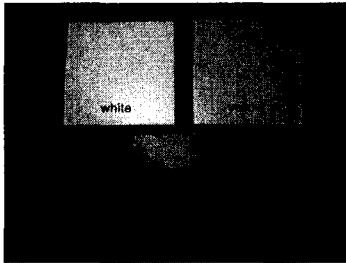
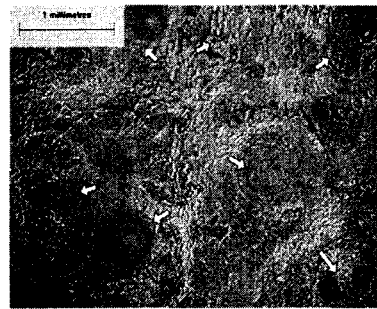


Fig. 5 Specimen for the surface image test

이미지 분석 시스템을 통한 다양한 회전성형 제품의 표면을 검사한 결과, Figs. 6, 7의 형상과 같이 재료가 응집된 형상, 물이 흐르는 듯한 형상 및 검은 점이 조사되었다. Fig. 6의 형상은 제품의 내부면(금형과 맞닿지 않는 면)이고, Fig. 7의 모습은 제품 외부면(금형과 맞닿는 면)에 해당한다. 즉, 전체적으로 고르지 못한 표면을 가지고 있는 것으로 나타났으나, 검사된 표면의 여러 가지 모양은 크기가 1mm도 되지 않을 만큼 작게 나타났다. 재료가 응집된 형상과 물이 흐르는 듯한 형상은 재료를 완전히 녹이지 않은 상태에서 금형을 냉각시켜서 나타난 현상이라 판단할 수 있고, 제품의 내·외부면에 나타난 검은점은, 앞 사이클의 회전성형 제품을 취출하는 과정에서 금형 내부의 물질을 완전히 제거하지 않았을 경우, 금형에 붙어 있는 기존에 사용된 재료와 함께 성형된 결과라 판단된다. 따라서, Figs. 6, 7의 모습은 제품의 결함이 아니라 금형이 회전하면서 생길 수 있는 회전성형 제품의 특징⁽³⁾이라 볼 수 있다. 또한, Fig. 7의 모습도 금형 내면의 거칠기에 따라 달라질 수 있다고 판단된다. 즉, 금형 내부



(a) Green specimen



(b) White specimen

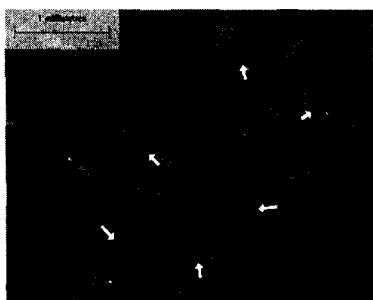


(c) Yellow specimen-1



(d) Yellow specimen-2

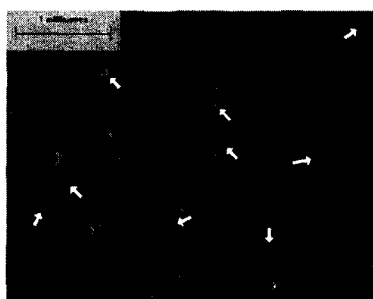
Fig. 6 Interior surface features of rotational molding products using the surface image tester



(a) Green specimen



(b) White specimen



(c) Yellow specimen-1



(d) Yellow specimen-2

Fig. 7 Exterior surface features of rotational molding products using the surface image tester

표면의 거칠기가 고르면 제품의 표면 거칠기는 고르고 매끈해질 것이며, 반대로 금형 내부 표면의 거칠기가 고르지 못하면 제품의 표면 거칠기 또한 고르지 않게 성형될 것이다.

결론적으로, 회전성형 제품의 표면검사를 통하여, 회전성형 제품의 표면에 나타나는 특징 및 결함 또는 문제점을 파악함으로써, 제품의 품질 개선을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

2.2 인장시험

적절하게 기능을 수행하기 위한 기계나 구조물의 설계는 사용될 재료의 기계적 거동에 대한 이해를 필요로 한다. 회전성형 제품에 사용되는 재료 중, 중밀도 폴리에틸렌을 사용한 플라스틱 제품에서 공동(void)이나 stress-cracking이 발생하게 되면 제품의 강도에 커다란 영향을 미치게 된다. 인장시험은 공업용 재료의 기계적 성질을 알기 위한 가장 기본적인 시험이다.⁽⁸⁾ 통상적인 방법으로, 재료의 작은 시편(specimen)을 인장시험기에 장착하고 하중을 가하여 응력과 변형률과의 관계를 조사한다.

2.2.1 시험방법

본 시험에서 사용한 제품들은 중밀도 폴리에틸렌에 부가재료를 물리적으로 혼합하여 만든 재료들로 만들어진 회전성형 제품으로서, 1) 삼성아트피나(주)에서 시판하는 R901U에 안료를 혼합하여 만든 재료로 만들어진 제품, 2) R901U에 안료와 탄산칼슘인 OM-2T를 혼합하여 만든 재료로 만들어진 제품, 그리고 3) R901U에 안료와 탄산칼슘인 OM-2를 혼합하여 만든 재료로 만들어진 제품을 의미한다. 이때 사용된 안료는 티타늄 재질의 지당을, OM-2T와 OM-2는 탄산칼슘을 나타낸다. OM-2T와 OM-2는 물리적 물성치가 동일한 제품이지만, OM-2T는 OM-2보다 코팅공정을 한 단계 더 거친 제품으로, OM-2T의 탄산칼슘 입자크기가 OM-2의 입자크기보다 크다.

제품에 대한 인장시험을 수행하기 위하여 Instron(10 ton)⁽⁹⁾ 장비를 이용하였다. Fig. 8은 인장시험기를 나타내며, 시편을 고정시키는 하단의 그립(grips)은 기계에 고정되어 있고, 상단의 그립(grips)은 이동이 가능하도록 설치되었다.

인장시험은 ASTM D638 규격⁽¹⁰⁾에 의거 변형률 제어모드(strain control mode)에서 실시하였으며,

크로스헤드(cross head) 스피드는 5mm/min으로 정하였다. 대기중의 실온에서 시험하였으며, 연신율 측정기인 100mm짜리 익스텐소미터(extensometer)를 이용하여, 최대인장응력 및 연신율을 측정하였다. 중밀도 폴리에틸렌의 밀도는 930~942kg/m³이고, 시험 시편으로 1호형(Type I)과 4호형(Type IV) 시편을 사용하였다. Fig. 9는 회전성형 제품으로 제작된 규격 시편을 나타내며, 왼쪽의 시편은 1호형 시편을, 오른쪽의 시편은 4호형 시편을 각각 나타낸다.

Table 1은 삼성아토피나(주)에서 시판하는 R901U의 재료 물성치를 나타낸다.⁽¹¹⁾

(1) R901U + 안료

사용된 안료는 지당이라는 첨가제로, 백색의 색료이다. R901U와 안료의 무게비는 각각 99.7%

와 0.3%이다. 1호형 시편의 경우에는 9개의 시편을, 그리고 4호형 시편의 경우에는 8개의 시편을 시험한 후, 시험결과를 평균값으로 정리하였다. 1호형 시편의 평균 폭은 13.250mm이고, 평균 두께는 3.1975mm이다. 4호형 시편의 평균 폭은 6.935mm이고, 평균 두께는 4.002mm이다.

(2) R901U + 안료 + OM-2T

안료의 무게비는 0.3%이며, OM-2T는 강도를 증가시킬 수 있는 탄산칼슘으로, 무게비는 3%이다. 따라서, R901U의 무게비는 96.7%이다. 세 시료는 물리적으로 혼합되었다. 1호형 시편의 경우 9개의 시편을, 그리고 4호형 시편의 경우 8개의 시편을 시험한 후, 시험결과를 평균값으로 정리하였다. 1호형 시편의 평균 폭은 12.985mm이고, 평균 두께는 3.064mm이다. 4호형 시편의 평균 폭은 6.665mm이고, 평균 두께는 3.950mm이다.

(3) R901U + 안료 + OM-2

안료의 무게비는 0.3%이며, OM-2의 무게비는 3%이다. 따라서, R901U의 무게비는 96.7%이다. 세 시료는 물리적으로 혼합되었다. 1호형 시편의 경우 8개의 시편을, 그리고 4호형 시편의 경우 8개의 시편을 시험한 후, 시험결과를 평균값으로 정리하였다. 1호형 시편의 평균 폭은 12.923mm



Fig. 8 Tensile test apparatus (Instron)

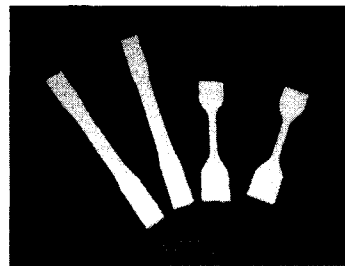


Fig. 9 Standard ASTM D 638 specimen

Table 1 Material Properties of R901U⁽¹¹⁾

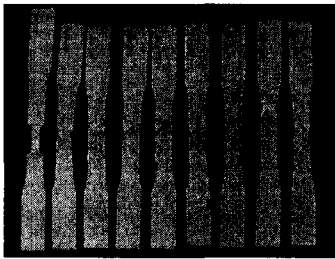
	시험방법	단위	R900U	R901U	R902U	R903U
용융지수	ASTM D1238 190°C/2.16kg	g/10min	4.0	5.0	6.0	3.2
밀도	ASTM D1505	g/cm ³	0.938	0.937	0.933	0.938
인장강도	ASTM D638	kg/cm ²	180	170	160	200
신율(파단점)		%	1400	1200	1050	1400
굴곡강도	ASTM D790	kg/cm ²	7,350	7,100	5,500	7,600
Izod 충격강도	ASTM D256	kg·cm/cm	40	50	55	55
Vicat 연화점	ASTM D1525 1kg	°C	115	113	112	115
저온 취하온도	ASTM D746	°C	<-80	<-80	<-80	<-80
Shore 경도	ASTM D2240	D Scale	63	63	56	63
내스트레스크래킹성	ASTM D1693(F ₅₀)	hrs	1,000	1,000	1,000	1,000

이고, 평균 두께는 3.057mm이다. 4호형 시편의 평균 폭은 6.900mm이고, 평균 두께는 4.109mm이다.

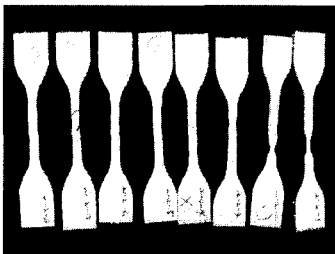
2.2.2 결과 및 분석

Figs. 10~12는 인장시험 후, 각각의 재료로 만들어진 회전성형 제품들에 대한 1호형 및 4호형 시편들의 변형된 모습을 나타낸다. Figs. 13~15는 각각의 재료로 만들어진 회전성형 제품들에 대한 1호형 및 4호형 시편들에서의 평균 응력과 변형률과의 관계를 나타내는 선도이다. 그리고 각 제품들에 대한 1호형(Type I) 시편과 4호형(Type IV) 시편에서의 평균 최대응력 값을 Table 2에 나타냈다.

삼성아토피나(주)에서 시판하는 중밀도 폴리에틸렌 R901U에, 로모테크(주)에서 사용하는 부가 재료를 첨가해서, 성형한 제품에 대한 인장강도를 측정된 결과, R901U의 인장강도 $170\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다, 더 높게 나타났음을 알 수 있다. 우선, 인장강도에 별로 영향을 끼치지 않는 안료만 혼합된 경우, 1호형 시편에서의 인장강도 $170.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 는 $170\text{kg}/\text{cm}^2$ 와 비슷하였으나, 4호형 시편에서의 인장강도 $194.6\text{kg}/\text{cm}^2$ 는 $170\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 훨씬 높게 나타났다. 그러므로 본 시험에는 1호형(Type I)

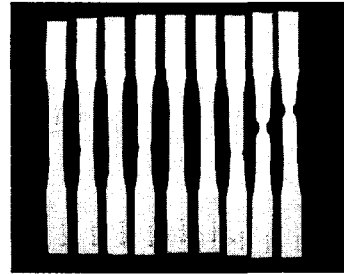


(a) Type I

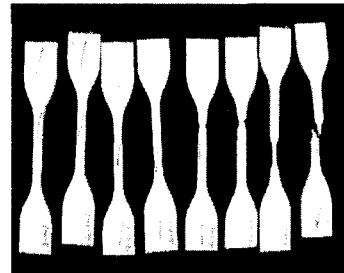


(b) Type IV

Fig. 10 Deformed shape of (R901U + pigments) specimen after tensile test



(a) Type I

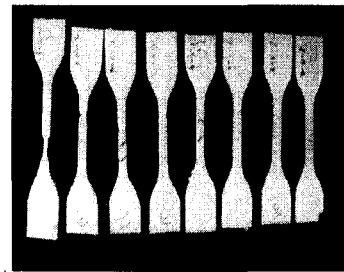


(b) Type IV

Fig. 11 Deformed shape of (R901U + pigments + OM-2T) specimen after tensile test



(a) Type I

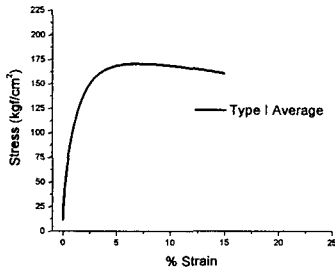


(b) Type IV

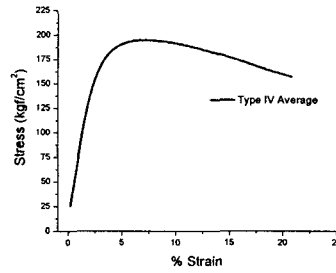
Fig. 12 Deformed shape of (R901U + pigments + OM-2) specimen after tensile test

Table 2 Average maximum tensile strength in the different materials

	Tensile strength (Unit : kgf/cm ²)	
	Type I	Type IV
R901U	170	
R901U + pigments	170.3	194.6
R901U + pigments + OM-2T	179.69	185.69
R901U + pigments + OM-2	175	201

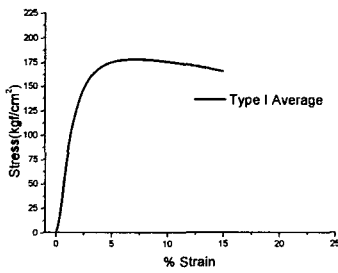


(a) Type I

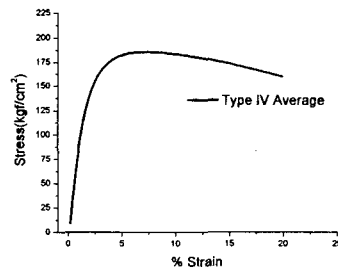


(b) Type IV

Fig. 13 Stress-strain curve for type I and type IV specimen of (R901U + pigments)

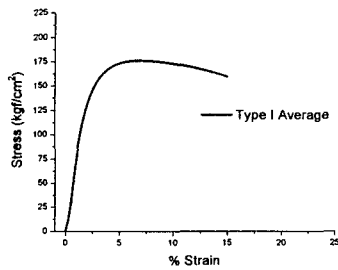


(a) Type I

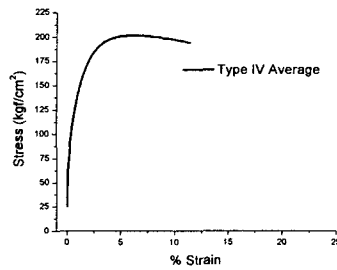


(b) Type IV

Fig. 14 Stress-strain curve for type I and type IV specimen of (R901U + pigments + OM-2T)



(a) Type I



(b) Type IV

Fig. 15 Stress-strain curve for type I and type IV specimen of (R901U + pigments + OM-2)

시편이 4호형(Type IV) 시편보다 더 적합하다는 것을 알 수 있다. R901U에 안료 및 탄산칼슘 OM-2T(3%)를 첨가했을 경우, 1호형 시편에서의 인장강도는 179.69kg/cm^2 로 나타났으며, 참고로 4호형 시편에서의 인장강도는 185.69kg/cm^2 로 나타났다. 또한, R901U에 안료 및 탄산칼슘 OM-2(3%)를 첨가했을 경우, 1호형 시편에서의 인장강도는 R901U에 안료 및 OM-2T를 첨가했을 경우와 비교해서 다소 낮은 175kg/cm^2 로 나타났으며, 참고로 4호형 시편에서의 인장강도는 201kg/cm^2 로 증가하였다.

결론적으로, 본 시험에는 1호형(Type I) 시편이 4호형(Type IV) 시편보다 더 적합하다는 것을 알 수 있었다. 또한, R901U에 탄산칼슘 OM-2T 또는 OM-2를 첨가하였을 때, 인장강도가 증가하는 것을 알 수 있었으며, OM-2를 첨가한 재료를 사용하여 작업할 때 분진이 발생하는 이유 때문에 로모테크(주)에서는 R901U에 안료 및 OM-2T를 첨가한 재료를 사용하여 제품을 생산하고 있다.

2.3 초음파 탐상법을 이용한 두께측정

파괴하지 않고 회전성형 완제품의 두께를 효과적으로 측정하기 위해서 초음파 탐상법을 이용하였다. 플라스틱 제품의 두께는 재료에서의 초음파의 속도와 탐촉자의 진동자와 탐상면까지의 거리에 의해 정해진다. 초음파 탐상으로 플라스틱 제품의 두께를 측정하기 전, 재료마다 달리 진행되는 초음파의 속도를 미리 알아야 한다. 즉, 회전성형 제품에 쓰인 중밀도 폴리에틸렌 재료에서의 초음파의 속도를 찾아야 한다. 따라서, 회전성형 제품에서의 속도를 찾기 위해, 임의의 초음파 속도를 사용하여 회전성형 제품으로 만든 시험편에 대한 두께측정(Method A)과 표준규격시편인 STB-A1에서의 속도를 이용하여 구한 속도를 사용한 시험편에서의 두께측정(Method B)을 비교함으로써, 회전성형 제품에서의 정확한 속도를 구하였으며, 제품을 파괴하지 않고 제품의 두께를 정확히 측정할 수 있었다. 결과적으로, 회전성형 제품에 대한 효과적인 품질 관리가 가능하게 되었다.⁽¹²⁾

2.3.1 시험장치 및 방법

사용된 초음파 탐상장치는 A-Scan 장비인

Krautkramer USN 52R⁽¹³⁾이며, 사용된 탐촉자는 직경 $\phi 10\text{mm}$ 이며, 측정범위는 1.5~700mm의 두께를 측정할 수 있으며, 주파수가 2MHz인 MK2S 수직 탐촉자이다.(Figs. 16, 17) 또한, 초음파용 couplant ZG-F가 접촉매질로서 사용되었다.

초음파 탐상법 A(Method A)에서는, 미리 버니어캘리퍼스로 실제 두께를 측정한 뒤 이 두께에 맞는 회전성형 제품으로 만든 시험편에서의 초음파 속도를 찾아내는 방법을 이용하였다.(Fig. 18) 초음파 탐상법 B(Method B)에서는, 표준규격시편인 STB-A1에서의 초음파 고유 속도를 통해서 얻은 속도를 이용하여 회전성형 제품으로 만든 시험편에서의 두께를 측정하는 방법을 이용하였다.

초음파 탐상은 회전성형 제품인 아동용 책상(Fig. 19)에 대하여 수행되었으며, 아동용 책상은 상판과 하부구조인 다리부분으로 구성되어 있다. 책상의 상판과 다리부분은 서로 다른 재료로 만들어졌기 때문에, 초음파 속도와 탐촉자 내부에 있는 진동자와 탐상면까지의 거리도 각각 따로 측정하였다. 책상의 상판에서 측정된 위치를 1~25로 표시하였으며, 1~13까지는 상판의 윗면을, 14~25는 상판의 측면을 나타낸다. 책상의 다리

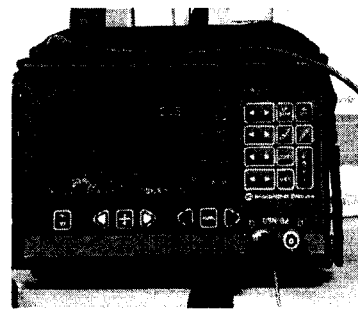


Fig. 16 Krautkramer USN 52R (A-Scan apparatus)

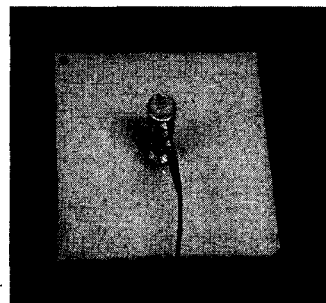


Fig. 17 Probe MK2S

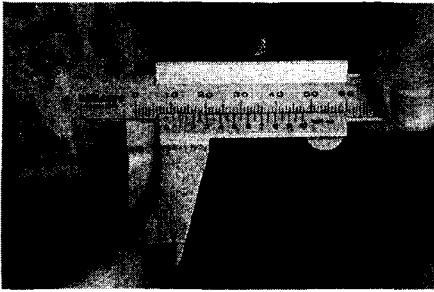
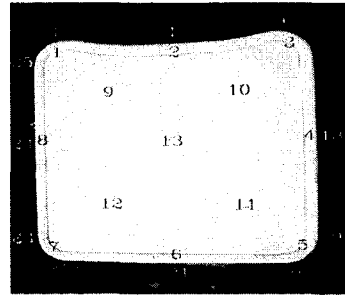


Fig. 18 A typical measurement by Vernier Calipers



(a) The upper part

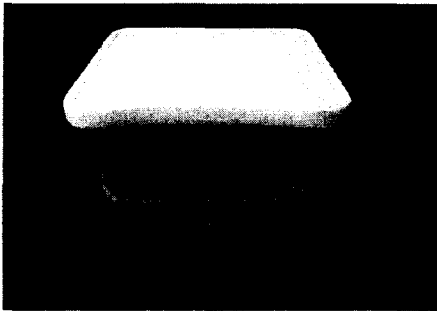


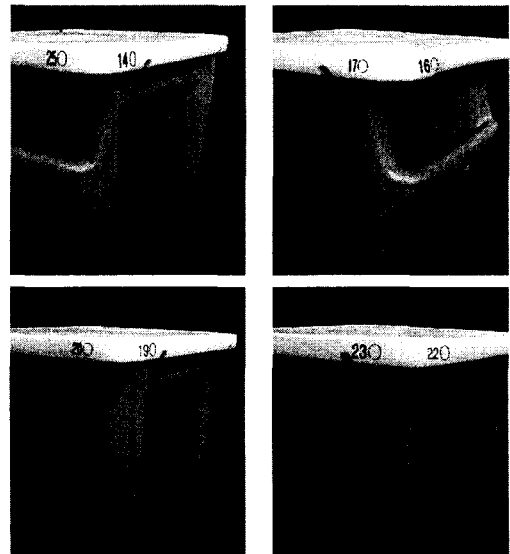
Fig. 19 A rotational molding product for the non-destructive test

부분에서 측정된 위치를 26~45로 표시하였으며, 26~31은 네 다리의 모서리 면을, 32~45는 다리 부분의 윗면 및 옆면을 각각 나타낸다.(Fig. 20)

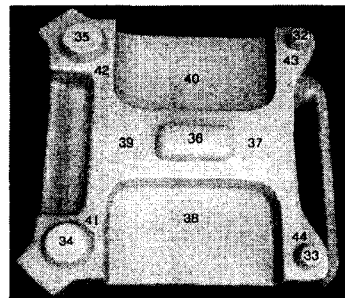
2.3.2 결과 및 분석

책상의 상판을 측정할 경우, 초음파 탐상법 A(Method A)에서는 회전성형 제품의 초음파 속도는 1,725m/s이고, 탐촉자 내부에 있는 진동자와 탐상면까지의 거리는 1.553mm였다. 초음파 탐상법 B(Method B)에서는 회전성형 제품의 초음파속도가 2,150m/s, 진동자와 탐상면까지의 거리는 1.935mm로 측정되었다. 이 두 가지 초음파 탐상 방법을 통해서 회전성형 제품에서의 각 위치별 두께를 측정할 결과는 Table 3에 나와있다.

책상의 다리부분을 측정할 경우, 초음파 탐상법 A(Method A)에서는, 회전성형 제품의 초음파 속도는 2,555m/s이고, 탐촉자 내부에 있는 진동자와 탐상면까지의 거리는 2.2995mm였다. 초음파 탐상법 B(Method B)에서는, 회전성형 제품의 초음파속도는 2,318m/s, 진동자와 탐상면까지의 거리는 1.935mm로 측정되었다. 이 두 가지 초음파 탐상 방법을 통해서 회전성형 제품에서의



(b) The lower part



(c) The top side of the lower part

Fig. 20 Different parts of the rotational molding product for the ultrasonic testing method

각 위치별 두께를 측정할 결과는 Table 4에 나와 있다. Fig. 21은 회전성형 제품에 대한 초음파 탐상을 수행하는 그림이다. Figs. 22(a), (b)는 초음파 탐상 결과를 실제 두께와 비교하기 위하여,

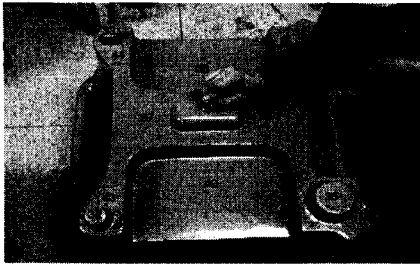
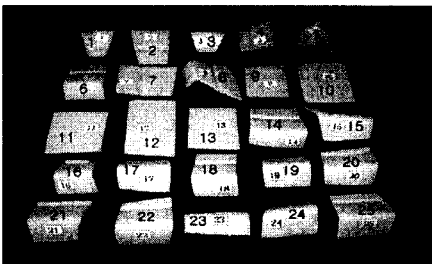
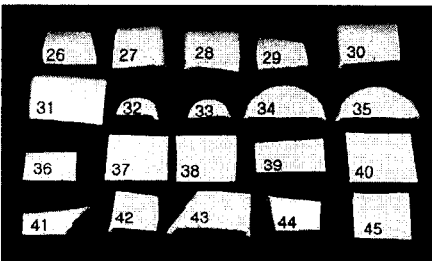


Fig. 21 Ultrasonic test



(a) Parts of the upper part of the rotational molding product



(b) Parts of the lower part of the rotational molding product

Fig. 22 Parts for verification of ultrasonic test results

각 위치별로 절단한 그림으로서, (a)는 책상의 상판을, (b)는 책상의 다리부분을 나타낸다.

Tables 3, 4에 나타난 결과를 분석하면, 표준규격시편 STB-A1을 이용하는 초음파 탐상법 B가 탐상법 A보다 훨씬 정확한 탐상법임을 알 수 있다. 즉, 회전성형 제품에 사용된 재료의 초음파 속도는 책상의 상판에서는 2,150m/s 그리고 다리 부분에서는 2,318m/s가 됨을 알 수 있다. 이것은 회전성형 제품마다 서로 다른 재료(주원료인 중밀도 폴리에틸렌과 혼합된 첨가제)를 사용했기 때문에 서로 다른 초음파속도가 측정되었음을 알 수 있다. 그러나, 초음파 탐상 결과와 버니어

Table 3 Comparison between the non-destructive test results using ultrasonic testing methods (A, B) and measurement by Vernier Calipers for the upper part of the rotational molding product

Location	Thickness by Non-Destructive Test (mm)		Thickness by Vernier Calipers (mm)
	Method A (1,725m/s)	Method B (2,150m/s)	
1	3.9	4.7	4.7
2	3.5	3.6	3.65
3	4.0	4.2	4.25
4	4.0	4.2	4.2
5	5.0	5.8	5.8
6	4.7	5.4	5.4
7	4.9	5.9	5.9
8	4.0	4.2	4.2
9	2.8	3.0	3.0
10	3.0	3.1	3.1
11	3.7	3.9	3.85
12	3.4	3.6	3.6
13	3.1	3.1	3.1
14	3.8	4.2	4.2
15	3.5	3.8	3.8
16	3.9	4.2	4.2
17	4.3	4.8	4.8
18	3.9	4.4	4.4
19	4.5	4.9	4.9
20	5.0	5.6	5.6
21	4.5	5.1	5.1
22	4.7	5.5	5.5
23	4.9	5.2	5.2
24	3.8	4.3	4.25
25	3.4	3.8	3.75

캘리퍼스를 사용하여 구한 실제 두께 사이에 약간의 차이가 나는 이유는, 회전성형 제품의 내면이 고르지 않고, A-Scan 초음파 탐상 장비에서의 공차는 $\pm 0.1\text{mm}$ 이고, 버니어캘리퍼스에서의 공차는 $\pm 0.05\text{mm}$ 이기 때문으로 사료된다. 위치별로 두께의 차이를 살펴보면 책상의 상판의 경우, 형상이 복잡하거나 모서리 부분(1~8, 14~25)이 평평한 부분(9~13)보다 두껍게 성형되었음을 알 수 있다. 또한, 책상의 다리부분의 경우, 형상이 복잡하거나 모서리 부분(26~35, 41~45)이 평평한 부분(36~40)보다 두껍게 성형되었음을 알 수 있다. 이것은 금형의 상하좌우 회전속도에 따라 성형되는 정도가 달라졌기 때문으로 판단된다.

Table 4 Comparison between the non-destructive test results using ultrasonic testing methods (A, B) and measurement by Vernier Calipers for the lower part of the rotational molding product

Location	Thickness by Non-Destructive Test (mm)		Thickness by Vernier Calipers (mm)
	Method A (2,555m/s)	Method B (2,318m/s)	
	26	5.2	
27	5.2	4.8	4.9
28	5.6	5.1	5.0
29	5.2	4.7	4.65
30	4.2	3.8	3.75
31	4.8	4.2	4.2
32	5.7	5.1	5.1
33	6.0	5.3	5.3
34	4.7	4.4	4.3
35	4.5	4.0	3.95
36	3.6	3.2	3.2
37	4.1	3.9	3.7
38	3.2	2.9	3.0
39	3.4	3.1	3.05
40	3.2	2.9	2.9
41	4.1	3.7	3.7
42	4.0	3.6	3.55
43	5.0	4.6	4.6
44	5.7	5.2	5.1
45	3.7	3.4	3.3

3. 결 론

본 연구에서는 회전성형 제품의 효율적인 품질 개선을 도모하기 위하여, 회전성형 플라스틱 제품에 제품의 표면 상태를 분석하여 회전성형의 특징을 고찰하였으며, 회전성형 제품에 대한 인장강도를 측정하는 시험을 수행하였다. 또한, 초음파 탐상법을 이용하여, 비파괴적으로 회전성형 제품에서의 두께를 측정하여 실제 두께와 비교해 보았다.

(1) 회전성형 제품의 표면검사를 통하여, 회전성형 제품의 표면에 나타나는 특징 및 결함 또는 문제점을 파악함으로써, 제품의 품질 개선을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 회전성형에 사용되는 중밀도 폴리에틸렌 (Medium Density Polyethylene) R901U에 안료와 탄산칼슘을 첨가함으로써, 회전성형품의 인장강

도를 증가시킬 수 있었다. 따라서, 큰 하중에 견딜 수 있는 회전성형품의 생산이 가능할 것으로 사료된다.

(3) 제품을 파괴하지 않고 속이 비어있는 제품의 두께를 측정함으로써, 회전성형 제품의 전반적인 품질상태를 확인할 수 있으며, 제품의 품질 개선을 도모할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 부분적으로 제품의 두께에 차이가 나는 것은 금형 외면에서의 고르지 못한 온도분배 때문인 것으로 사료되며, 이를 해소하기 위하여 회전성형기의 오븐 및 흡입구의 구조를 개선하는 별도의 연구를 현재 진행 중에 있다.

후 기

본 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원 (KRF-2002-002-D00006)에 의하여 연구되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Karger-Kocsis, J. (Edt.), 1995, *Polypropylene Structure, Blends and Composites : Composites*, Chapman & Hall, London, pp. 71~280.
- (2) Korea Polytec Co, Ltd., <http://www.kpolytec.com/rotational.htm>.
- (3) Nugent, P., 2001, *Rotational Molding : A Practical Guide*, Glenn Beall Plastics Ltd., pp. 18~708.
- (4) Amstead, B. H., Ostwald, P. F. and Begeman, M. L., 1995, *Manufacturing Processes, 8th Ed.*, Cheong Moon Gak, Seoul, pp. 268~270.
- (5) Liu, S.-J. and Tsai, C.-H., 1999, "Factors Affecting the Warpage of Rotationally Molded Parts," *Advances in Polymer Technology*, Vol. 18, No. 3, pp. 201~207.
- (6) Liu, S.-J. and Tsai, C.-H., 1999, "An Experimental Study of Foamed Polyethylene in Rotational Molding," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 39, No. 39, pp. 1776~1786.
- (7) Image Pro Plus, 1993, *Image Pro Reference Guide*, I&G Plus Inc.
- (8) James, M. G., 2002, *Mechanics of Materials, 5th Ed.*, Kyobobook, Seoul, pp. 13~28.
- (9) Lee, J. G., 1999, *4400 Series Manual*,

INSTRON KOREA Inc.

(10) American Society for Testing and Materials, 1990, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 08.01., ASTM Intl.

(11) [http://www.samsungatofina.com/kr/SilverStream/Pages/hpr825pg.html?gubun=Catalog&product=mdpe&](http://www.samsungatofina.com/kr/SilverStream/Pages/hpr825pg.html?gubun=Catalog&product=mdpe&grade=mdpe)

[grade=mdpe.](http://www.samsungatofina.com/kr/SilverStream/Pages/hpr825pg.html?gubun=Catalog&product=mdpe&grade=mdpe)

(12) Park, I. K. and Lee, U. J., 1994, *Practice of Ultrasonic Testing*, Gold Pubs., Seoul, pp. 52.

(13) Krautkramer, 1998, *Operating Manual for Model USN 52R*, QCS Inc.