

# 가스성형시 가스압력이 성형품의 강성에 미치는 영향

박균명\*, 박봉현\*\*, 이성희\*\*\*, 김청균\*\*\*\*

## The Effect of Gas Pressure on the Stiffness of Products Manufactured with Gas-Assisted Injection

Gyun Myoung Park\*, Bong Hyun Park\*\*, Sung Hee Lee\*\*\*, Chung Kyun Kim\*\*\*\*

### ABSTRACT

In the present study, gas-assisted molding and structural vibration analysis of hollow long cylinder with the variation of gas injection pressure are performed. Though there are so many parameters such as delay time, injection pressure, and gas pressure on gas-assisted molding, the latter has the most dominant effect on this process. Therefore, the present paper deals with the effects of gas pressure on the dynamic stiffness of the model by means of vibration analysis and then suggests the fundamental materials which can be directly adapted to manufacturing lines.

**Key Words** : Gas assisted molding (가스사출), Structural vibration analysis (구조진동해석), Hollow cylinder (중공실린더) Gas injection pressure (가스사출압력), Delay time (지연시간)

### 1. 서론

고분자 화합물의 일종인 플라스틱은 세탁기, 전화기 외장, 청소기 부품 등의 가전제품, 복사기 부품, 팩시밀리 부품, 컴퓨터 프린터기 부품 등의 사무기기 및 완구류 또는 문구, CD 케이스, 반도체 칩 케이스, 미용기구 등의 여러 용도에서 널리 사용되고 있다. 또한 소재가 발전에 따라 비강도, 비강성, 내구성, 내부식성 및 내화학적성질 등이 향상된 플라스틱 제품이 소개되고 있다. 하지만 생산자 측면에서는 어떻게든 생산단가를 낮추면서 동일한 기계적 및 구조적 특성을 얻을 수 있는 제품을 생

산하고자 한다. 이러한 기대에 부응할 수 있는 사출성형기법이 바로 가스 사출 성형법이다. 즉, 성형품의 내부를 일정압력의 가스로 채움으로써 재료의 절감, 내충격 및 강도의 구조적 성능 향상 그리고 제품 표면의 미려함을 얻을 수 있게 되었다<sup>[1]</sup>. 가스 사출성형에 대한 연구는 이미 1971년에 정확한 지점에서 가스를 분사하여 내부에 빈 공간을 형성시키는 방법으로 큰 치수의 두께를 갖는 모형을 만드는 노력으로 시작되었고 사출성형에 관련된 산업체와 대학의 공동연구로 많은 실험적 및 수치적 연구가 진행되어 왔다. 이들 연구를 살펴보면, Zheng 등<sup>[2]</sup>은 가스사출성형에 대한 최근의 기술에 대해 면밀히 조사하였으며, Poslinski 등<sup>[3]</sup>은 등온조건하

\* 한국생산기술연구원, 금형기술개발팀  
\*\* 한국생산기술연구원, 금형기술개발팀  
\*\*\* 한국생산기술연구원, 금형기술개발팀  
\*\*\*\* 홍익대학교 기계공학과

에서의 가스 및 수지의 관내유동에 대하여 실험적 접근을 수행하였다. Yang 등<sup>[4]</sup>은 리브(Rib) 형상에서 가스의 거동에 대해 연구하였다. 또한 Chung 등<sup>[5,6]</sup>은 가스사출성형의 설계변수들이 가스의 유동방향에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 한편, 현상 자체의 물리적 복잡성으로 인해, 이를 해석할 수 있는 몇 가지 CAE 소프트웨어가 개발되기도 하였다<sup>[7-12]</sup>. 그러나 실제 해석 및 성형에서는 금형의 온도, 수지압력, 가스압력, 지연시간 등의 다양한 공정변수로 인해 아직도 많은 어려움을 겪고 있으며, 이에 대한 연구는 아직도 듀퐁<sup>[13]</sup> 등을 제외하고는 초보적인 수준에 머물러 있으며, 더욱이 이러한 성형법에 의해 제작된 구조물의 구조 해석에 관한 연구는 생산적 측면의 중요성 때문에 아직도 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기초 연구단계로써 단순한 원형파이프 모델의 가스 사출 성형 해석시 가스압력의 변화에 따른 모델의 질량 및 구조변화 결과를 진동해석을 이용하여 압력의 변화에 따른 모델의 강성변화를 고찰하였다. 즉, 가스 사출 성형시 가스압력과 구조물의 강성과의 관계를 조사함으로써 설계자나 생산자가 현장에서 성형품의 품질을 간접적으로 판단할 수 있는 기준을 제시하였다.

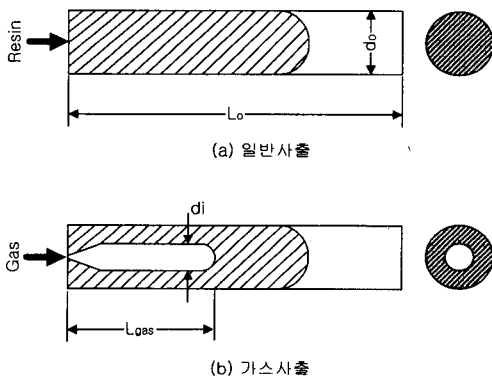


Fig. 1 Geometrical shape of model for gas assisted injection molding process( $L_o=500$  mm,  $d_o=10$  mm)

## 2. 해석 모델 및 수치해석 방법

가스사출압력 변화에 따른 구조물의 강성변화

를 고찰하기 위해 사출유동해석 패키지인 Moldflow를 이용하여 가스 사출 압력 변화에 따른 질량 변화를 구하였으며, 이 결과들을 이용하여 진동해석을 수행하였다. 사용된 단순 파이프 모델의 기하학적 형상 및 물성치는 각 해석의 경우에 동일하게 하였으며, 모델 형상에 대한 그림을 Fig. 1에 제시하였다. 본 해석에서는 전체 실린더의 길이가 직경에 비해 상당히 큰( $L/d_o=50$ )경우에 대해 고찰하였다. 한편 사용된 수지는 내충격성, 내화학약품성, 가공성 등이 우수한 ABS로 하였으며, 물성치는 Table 1에 제시하였다.

Table 1 Material properties of ABS(AF-303)

	구분	물성치	단위
기계적 성질	인장강도	440	$\text{kgf/cm}^2$
	신률	20	%
	굴곡강도	730	$\text{kgf/cm}^2$
	굴곡탄성률	24,000	$\text{kgf/cm}^2$
	Izod 충격강도	18	$\text{kgf} \cdot \text{cm/cm}$
열적 성질	Rockwell경도	100	-
	열변형온도	80	$^{\circ}\text{C}$
물리적 성질	Vicat 연화점	87	$^{\circ}\text{C}$
	비중	1.20	-
	성형수축률	0.003~0.006	mm/mm

## 3. 가스 사출 유동해석

본 연구에서는 Moldflow를 이용하여 일정단면의 실린더의 가스 사출 압력 변화에 따른 체적의 변화를 조사하였다. 해석에 사용된 플라스틱 수지는 LG화학의 ABS수지로서 상품명은 AF303이고, 성형재료의 물성치는 LG화학으로부터 측정된 결과를 이용하였고(Table 1), 주입되는 가스는 질소( $\text{N}_2$ )이다. 성형조건으로서 수지의 온도는  $200^{\circ}\text{C}$ , 금형의 온도는  $60^{\circ}\text{C}$ 이며, 지연시간은 1초로 하였다. Fig. 2는 수지의 충전과정에 있어서 압력의 증가에 대한 가스의 체적을 나타내고 있으며, 무차원화하여 표시하였다.  $P_{\text{imax}}$ 는 일반적인 사출성형에 있어서의 충전과정중 소요되는 압력을 나타내고,  $P_g$ 는 가스의 충전시 소요되는 압력이다. Fig. 2에서 보듯이, 압력비가 0.25이상일 때 가스체적은 전체 성형품에 있어서 약 62%를 나타내며, 반대로 수지의 충전량

은 약 38%로 일반적인 사출성형에 비하여 상당히 줄어들게 된다. 이것은 가스를 충전하는데 필요한 최소압력비를 표시하며, 일반적인 사출성형에 있어서 필요한 압력의 약 1/4정도이다. 그러나, 압력비가 0.25이상으로 증가하여도 가스의 체적은 더 이상 증가하지 않는 현상을 볼 수 있는데 이것은 수지의 유동선단의 고화 현상으로 인하여 더 이상 가스가 진행되지 않기 때문이다. 즉, 가스사출성형에 있어서 과도한 압력의 증가는 충전과정이 완료된 후 수지의 온도를 증가시키게 되어 냉각시간의 증가를 초래하게 된다.

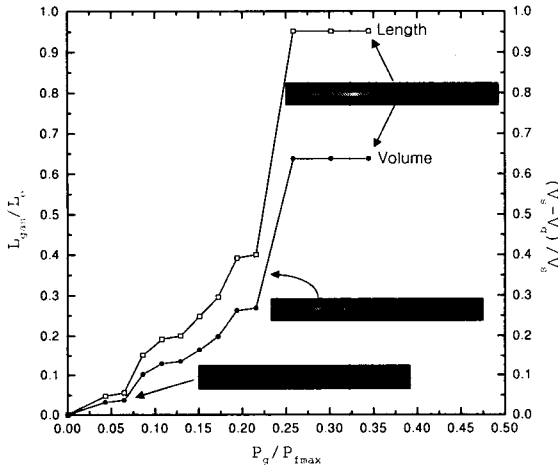


Fig. 2 The changes of length and volume for gas channel with the variation of gas injection pressure

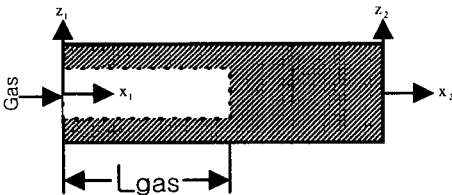


Fig. 3 Idealized geometrical model for gas assisted injection

#### 4. 진동해석

가스 사출 성형품의 가스 사출 압력 변화가 성형품의 구조적 강성에 미치는 영향을 살피기 위해

자유진동해석을 수행하였으며, 고유진동수 파라미터 변화결과를 통해 역으로 강성의 변화를 고찰하였다. 즉, 사출 유동 해석에서 얻어지는 질량변화의 결과와 형상변화결과(Fig. 2)를 사용하여 진동해석을 수행하면 각 진동모드에 상응하는 강성의 변화를 살필 수 있다. 우선 가스압력의 부족으로 인해(Fig. 2의 0~0.25구간) 실린더가 완전히 채워지지 않았을 경우에 가스채널길이 변화에 따른 고유진동수 파라미터의 변화를 살펴보기로 한다. 해석 모델은 Fig. 3에서 보듯이 단순화 시켰다. 즉, 모델은 중공 원형 단면 보와 중실 원형 단면 보의 조합으로 간주할 수 있다. 각각의 보의 길이로 무차원화된 보의 횡방향 진동에 대한 운동방정식은 다음과 같다<sup>[14~16]</sup>.

$$\frac{\partial^4 w_i(\xi_i)}{\partial \xi_i^4} - \left( \frac{\rho A}{EI_b} L^4 \omega^2 \right) w_i(\xi_i) = 0 \quad (1)$$

여기서 하첨자  $i (i = 1, 2)$ 는  $i$  번째 보를 의미하며,  $\xi_i = x_i / L_i$ ,  $w_i$ 는  $i$  번째 보의 길이로 무차원화된 보의 횡방향 변위,  $\omega$ 는 라디안 진동수,  $\rho$ 는 밀도,  $A$ 는 단면적,  $I_b$ 는 단면의 극관성모멘트를 의미한다. 식 (1)의 일반해는 다음과 같다.

$$w_i(\xi_i) = \Gamma_{1i} f_{1i}(\xi_i) + \Gamma_{2i} f_{2i}(\xi_i) + \Gamma_{3i} f_{3i}(\xi_i) + \Gamma_{4i} f_{4i}(\xi_i) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} f_{1i}(\xi_i) &= \sin \alpha_i \xi_i, \\ f_{2i}(\xi_i) &= \cos \alpha_i \xi_i, \\ f_{3i}(\xi_i) &= \sinh \alpha_i \xi_i, \\ f_{4i}(\xi_i) &= \cosh \alpha_i \xi_i \end{aligned}$$

$$\alpha_i^2 = \sqrt{\frac{\rho A_i}{EI_b}} L_i^2 \omega_i$$

여기서  $\Gamma_{ki} (k=1, 2, 3, 4)$ 는 경계조건에 의해 결정되는 미지의 상수이다. 보의 경우 경계조건은 자유(free), 슬라이딩(sliding), 고정(clamped), 핀지지(pinned)등이 있으며, 본 연구에서는 자유, 단순지지, 고정의 경계조건이 조합된 경우에 대해서만 고려하였다. 이때 각각의 경계조건은 Table 2에 제시하였다. 따라서 Table 2의 조건을 식 (2)에 적용하여 정리하면 각 경계조건에 대한 일반해는 다음과 같

이 표현된다.

$$w_i(\xi_i) = B_{1i}[f_{1i}(\xi_i) + f_{3i}(\xi_i)] + B_{2i}[f_{2i}(\xi_i) + f_{4i}(\xi_i)] : \text{자유} \quad (3)$$

$$w_i(\xi_i) = B_{1i}[f_{1i}(\xi_i) - f_{3i}(\xi_i)] + B_{2i}[f_{2i}(\xi_i) - f_{4i}(\xi_i)] : \text{고정}$$

$$w_i(\xi_i) = B_{1i}[f_{1i}(\xi_i) + f_{3i}(\xi_i)] + B_{2i}[f_{1i}(\xi_i) - f_{3i}(\xi_i)] : \text{단순지지}$$

한편 가스사출에 의한 원형 단면 보의 진동수 방정식을 구하기 위해서는 해석모델의 중공축과 중심축의 경계에서 다음과 같은 기하학적, 역학적 연속조건을 만족시켜야 한다.

$$\begin{pmatrix} w_j L_j \\ w_{j,\xi} \\ M_j \\ V_j \end{pmatrix}_{\xi=1} = \begin{pmatrix} w_{j+1} L_{j+1} \\ w_{j+1,\xi} \\ M_{j+1} \\ V_{j+1} \end{pmatrix}_{\xi=-1} \quad (4)$$

여기서  $M_j$  과  $V_j$  는 각각 굽힘 모멘트와 전단력 성분을 나타내며, 층간분리가 존재하는 영역에서의 굽힘 모멘트와 전단력 성분은 다음의 관계를 가진다.

$$M_j = \left\{ \frac{EI_p}{L} \right\}_j w_j, \xi_j, \xi_j, V_j = \left\{ \frac{EI_p}{L^2} \right\}_j w_j, \xi_j, \xi_j, \xi_j \quad (5)$$

여기서  $( )_{\xi_j}$  는  $\xi_j$  에 대한 미분을 의미한다. 따라서 식 (3)과 (5)를 식 (4)에 대입하고 정리하면 다음과 같은 4개의 재차 연립방정식을 구할 수 있게 된다.

$$\begin{bmatrix} C_{11}^l & C_{12}^l & C_{11}^r & C_{12}^r \\ C_{21}^l & C_{22}^l & C_{21}^r & C_{22}^r \\ C_{31}^l & C_{32}^l & C_{31}^r & C_{32}^r \\ C_{41}^l & C_{42}^l & C_{41}^r & C_{42}^r \end{bmatrix} \begin{pmatrix} B_{1l} \\ B_{2l} \\ B_{1r} \\ B_{2r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (l=1, r=2) \quad (6)$$

여기서 양단 자유인 경우의 식 (6)의 성분들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{11}^l &= L_1(\sin \alpha_1 + \sinh \alpha_1) \\ C_{21}^l &= \alpha_1(\cos \alpha_1 + \cosh \alpha_1) \\ C_{31}^l &= (EI\alpha_1^2/L)_1(-\sin \alpha_1 + \sinh \alpha_1) \\ C_{41}^l &= (EI\alpha_1^3/L)_1(-\cos \alpha_1 + \cosh \alpha_1) \\ C_{12}^l &= L_1(\cos \alpha_1 + \cosh \alpha_1) \\ C_{22}^l &= \alpha_1(-\sin \alpha_1 + \sinh \alpha_1) \\ C_{32}^l &= (EI\alpha_1^2/L)_1(-\cos \alpha_1 + \cosh \alpha_1) \\ C_{42}^l &= (EI\alpha_1^3/L)_1(\sin \alpha_1 + \sinh \alpha_1) \\ C_{11}^r &= L_2(\sin \alpha_2 + \sinh \alpha_2) \\ C_{21}^r &= -\alpha_2(\cos \alpha_2 + \cosh \alpha_2) \\ C_{31}^r &= (EI\alpha_2^2/L)_2(-\sin \alpha_2 + \sinh \alpha_2) \\ C_{41}^r &= -(EI\alpha_2^3/L)_2(-\cos \alpha_2 + \cosh \alpha_2) \\ C_{12}^r &= -L_2(\cos \alpha_2 + \cosh \alpha_2) \\ C_{22}^r &= \alpha_2(-\sin \alpha_2 + \sinh \alpha_2) \\ C_{32}^r &= -(EI\alpha_2^2/L)_2(-\cos \alpha_2 + \cosh \alpha_2) \\ C_{42}^r &= (EI\alpha_2^3/L)_2(\sin \alpha_2 + \sinh \alpha_2) \end{aligned}$$

한편 양단 자유 이외의 경계조건에 대한 행렬의 성분들에 대한 자세한 설명은 생략하기로 한다. 따라서 가스 성형에 의한 중공부를 갖는 보의 진동수 방정식은 식 (6)의 행렬식(4x4)을 영으로 함으로써 구할 수 있다.

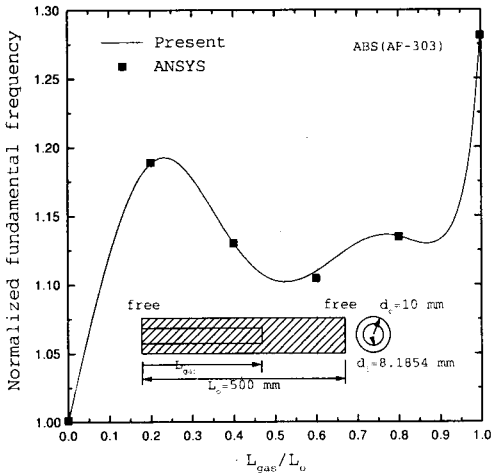
Table 2 Boundary conditions for beams

경계조건	at $\xi = 0$	
자유	$w_{,\xi\xi} = 0$	$w_{,\xi\xi\xi} = 0$
고정	$w = 0$	$w_{,\xi} = 0$
단순지지	$w = 0$	$w_{,\xi\xi} = 0$

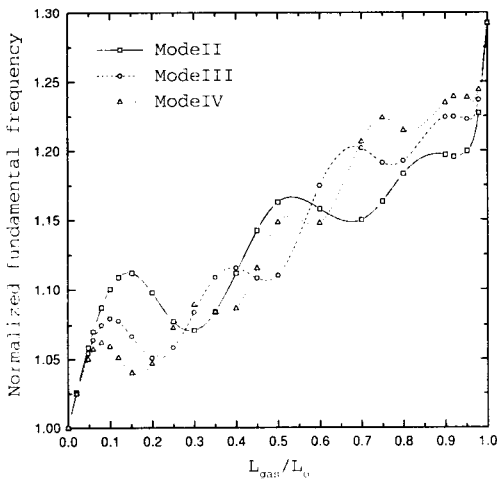
### 5. 진동해석 결과 및 고찰

가스채널의 길이변화에 따른 식 (6)에 의한 양단 자유경계조건을 갖는 보의 고유진동수 파라미터 변화 결과를 Fig. 4에서 제시하였다. 해석 결과의

신뢰성을 검증하기 위해 유한요소해석 패키지인 ANSYS의 결과와 비교하였다. 이때 사용된 요소는 각 노드에서 3 자유도를 갖는 8 노드 SOLID45이며, 요소의 분할은 길이방향으로 25, 원주방향으로 24 개를 취해 일차 굽힘 진동모드가 표현될 수 있도록 하였다.



(a) 1st mode



(b) 2nd, 3rd, and 4th modes

Fig. 4 Frequency parameter vs. length of gas channel(FF)

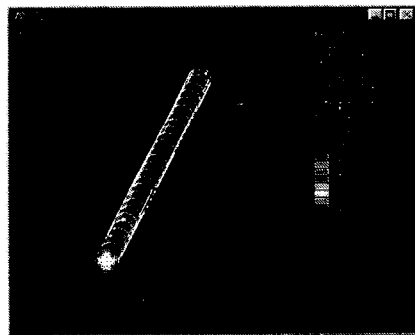
Fig. 4에서의 고유진동수 파라미터 변화 결과는 가스채널이 없을 때의 일차 고유 진동수(굽힘 모드 진동수 파라미터( $\Omega$ ), Table 3)로 무차원화 되었으며, 가스 사출 해석결과 (Fig. 2, 3)에서도 보았듯이

가스압력변화에 따른 가스채널의 길이변화는 구조물의 고유진동수 파라미터에도 영향을 미치게 된다. 즉, Fig. 4(a)에서  $L_{gas}/L_0$ 의 값이 0.25부근일 때 고유진동수 파라미터 변화의 극점을 보이며,  $L_{gas}/L_0$ 의 값이 0.5를 넘으면 고유진동수 파라미터가 다시 증가됨을 볼 수 있는데 이는 가스채널의 위치가 진동모드 형상에 영향을 미치기 때문이며, 이때의 대표적인 모드형상 비교를 Fig. 5에 제시하였다.

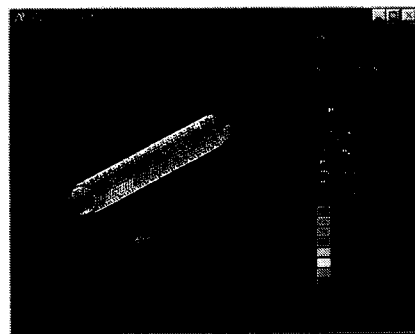
Table 3 Frequency parameters of solid beam with circular cross section for various b.c.

$$(\Omega = \sqrt{\rho A / E I L^2} \omega, L_0 = 500 \text{ mm}, d_0 = 10 \text{ mm})$$

B.C.	Mode 1	Mode II	Mode III	Mode IV
CC	4.730	7.853	10.995	14.137
CF	1.875	4.694	7.855	10.996
FC	1.875	4.694	7.855	10.996
FF	4.730	7.853	10.995	14.137
SS	3.142	6.283	9.425	12.566



(a)  $L_{gas}/L_0 = 0$



(b)  $L_{gas}/L_0 = 0.6$

Fig. 5 Mode shape changes with the variations of gas channel length(FF)

또한  $L_{gas}/L_0$ 의 값이 0.1을 넘으면 본 경계조건의

경우는 고유진동수 파라미터가 10%이상 향상됨을 알 수 있다. 이러한 이유는 강성만의 증가로 보기 보다는 질량대비 강성의 증가로 보아야 할 것이다. 이를 좀 더 구체적으로 설명하기 위해 가스가 전체적으로 다 찬 실린더의 가스 채널 직경 변화에 따른 질량, 관성모멘트 그리고 무차원 고유진동수 변화 결과를 Fig. 6에 제시하였다.

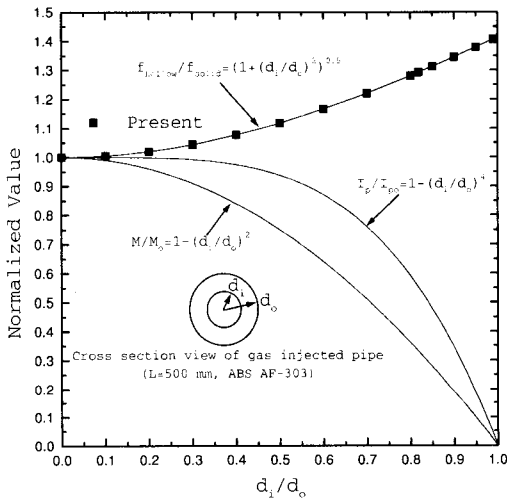


Fig. 6 The changes of mass, stiffness, and normalized natural frequency with the diameter variations of gas channel(FF)

가스 채널 직경의 변화는 실린더의 전체 질량을 감소시키지만 결과에서 보듯이 단면이차모멘트의 감소율보다 더 급격히 변화하게 되므로 상대적으로 무차원 고유진동수는 증가하게 된다. 따라서 질량대비 강성은 증가하였다고 볼 수 있다. 그러므로 이러한 자료를 정량화 하면 역으로 성형품 내부의 가스채적의 분포 및 양을 간접적으로 평가 할 수 있음을 알 수 있다.

한편 본 연구에서는 양단자유인 경계조건 이외의 경계조건에 대해서도 가스채널의 길이변화가 고유진동수 파라미터에 미치는 영향을 고려하였다. Fig. 7에서는 가스에 의해 형성된 중공의 길이변화(좌측으로부터)에 따른 각 경계조건에서의 무차원화된 일차 고유진동수 파라미터의 변화를 보여주고 있다. 이때 무차원화는 중공이 없을 때의 각각의 경계조건에 대한 고유진동수 파라미터로 하였다. 고려된 경계조건에서 해석결과를 비교해볼 때 고정 경계조건이 다른 경계조건보다는 중공의 길이변화

에 보다 민감함을 알 수 있다. 즉, 양단이 동일한 경계조건(CC, FF, SS)인 경우에서도 양단경계조건이 고정일 때 중공의 길이변화에 따른 무차원화된 고유진동수 파라미터 변화폭이 상대적으로 큼을 알 수 있다. 그리고 고정 경계조건이 자유 경계조건과 조합된 경우는 중공시작위치의 경계조건에 따라 고유진동수 파라미터가 오히려 증가(FC)하기도 하며, 감소(CF)하기도 함을 볼 수 있다. 이때의 고유진동수 파라미터의 변화 폭은 양단고정일 때보다 상대적으로 큼을 볼 수 있다. 따라서 이러한 결과는 가스성형에 의해 형성된 중공이 보의 전체적인 비강성을 증가시키지만 경계조건이 고정인 부위에서의 중공은 오히려 보의 강성을 저하시킴을 알 수 있게 한다.

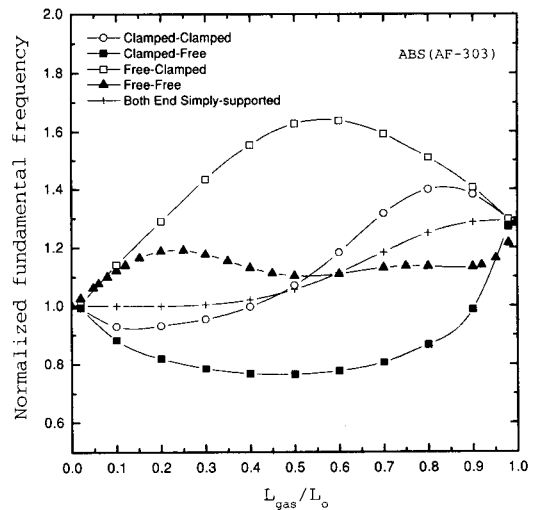


Fig. 7 Frequency parameter vs. length of gas channel for various b.c.

또한 각 경계조건에 대한 4차 모드까지의 고유진동수 파라미터 변화를 Fig. 8 ~ Fig. 11에 제시하였다. 결과에서 보듯이 양단의 경계조건이 동일한 경우보다는 고정과 자유 경계조건이 같이 존재하는 경우가 일차 고유진동수에서의 변화가 급격함을 알 수 있다.

한편 본 해석에서는 모델의 길이가 단면에 비해 상대적으로 큰 모델을 설정하였기에 보 이론을 적용할 수 있었으나, 이 값이 작은 경우는 보 이론을 적용하기보다는 쉘의 이론을 적용해야 할 것이다. 그리고 실제 가스 사출시의 단면 형상을 원형으로

가정한 것은 다소 무리가 있었으나, 이에 대해서는 실험적 검증을 통한 추후의 연구과제로 하겠다.

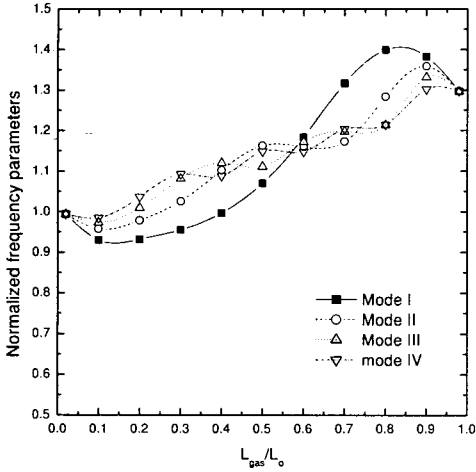


Fig. 8 Frequency parameter vs. length of gas channel(CC)

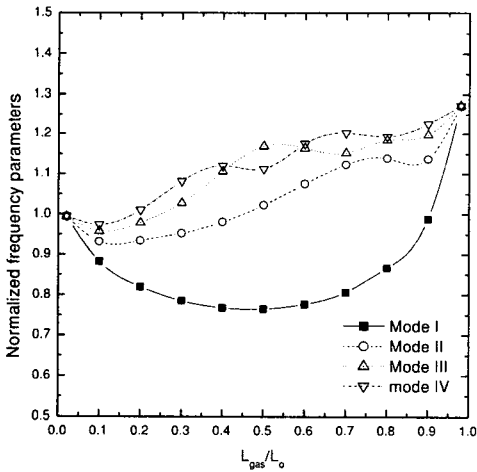


Fig. 9 Frequency parameter vs. length of gas channel(CF)

## 6. 결론

가스사출성형품 제작시 중요한 공정 변수인 가스압력 변화가 제품의 강성에 미치는 영향을 살피기 위해 가스사출해석과 진동해석을 수행하였다. 기초 연구단계로 해석 모델은 단면의 치수에 비해 길이가 큰 중공부의 형상을 선형화하였으며 다음과

같은 결론을 얻었다.

1. 본 해석 모델에 대해 압력비(가스압력/최대사출압력)가 0.25이상일 때 가스체적은 전체 성형품에 있어서 약 62%를 나타내며, 반대로 수지의 충전량은 약 38%로 나타났다. 즉, 일반적인 사출성형에 있어서 필요한 압력의 약 1/4정도임을 알 수 있었다.

2. 최대 가스체적이 발생되기 전의 가스 압력 증가에 따른 사출 성형품의 일차 고유진동수 파라미터는 모드형상과 관계하여 변하게 되며, 양단 자유의 경우  $L_{gas}/L_0$ 의 값이 0.1이상이 되면 10%이상의 고유진동수 파라미터 변화를 볼 수 있는데, 이러한 결과는 질량대비 강성의 증가를 의미한다.

3. 한편 경계조건이 고정-자유인 경우는 다른 경계조건과는 달리 고정부위로부터의 중공부 길이 증가에 따라 무차원 고유진동수 파라미터가 감소함을 볼 수 있는데, 이는 고정 경계조건에서 중공부로 인한 강성저하가 전체적인 질량대비 강성의 증가보다 크기 때문이다. 따라서 가스성형시 발생하는 중공으로 인한 질량대비 강성의 변화는 고유진동수 파라미터 및 모드형상과 관계함을 볼 수 있으므로, 이러한 결과를 정량화 시키면 본 연구의 내용이 비파괴 검사 방법으로도 활용될 수 있음을 알 수 있다.

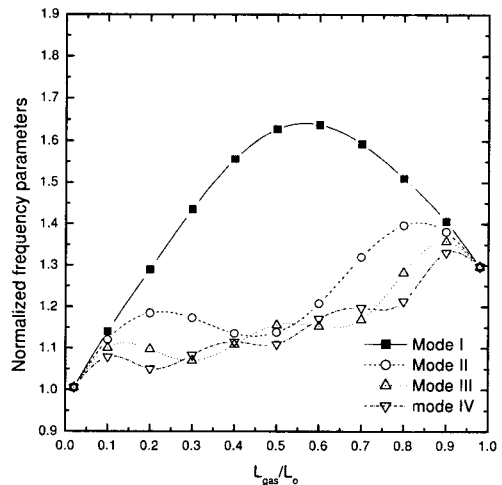


Fig. 10 Frequency parameter vs. length of gas channel(FC)

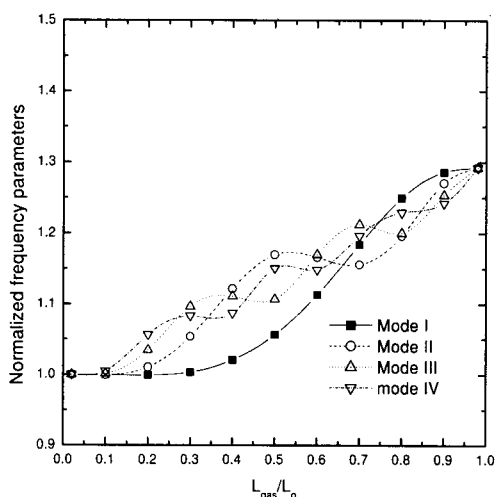


Fig. 11 Frequency parameter vs. length of gas channel(SS)

### 참고문헌

1. G. Steinbichler, "가스용융방식의 공정처리, 설비 개념 그리고 활용 예," Engel Maschinenbau GmbH, 사출주조기술교육. pp. 16~35, 1990.
2. T. Zheng, G. Glozer and T. Altan, "Gas Assisted Injection Molding (Progress Report: A State of the Art Review)," Report No. ERC/NSM-P-92-11, The Ohio State Univ., Columbus, OH, 1992.
3. A. J. Poslinski, P. R. Oehler and V. K. Stokes, *Polymer Engineering and Science*, 35, 877, 1995.
4. S. Y. Yang, F. Z. Huang and W. N. Liao, *Polymer Engineering and Science*, 36, 2824, 1996.
5. Y. S. Soch and C. H. Chung, *SPE ANTEC Tech. Papers*, 43, 603, 1997.
6. Y. S. Soch and C. H. Chung, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 17, 935, 1998.
7. A. Lanvers and W. Michaeli, *ANTEC Proceedings*, 1796, 1992.
8. G. Sherbelis, *ANTEC Proceedings*, 411, 1994.
9. L. S. Turng, *Advances in Polymer Technology*, Vol. 14, No. 1, 1, 1995.
10. S. C. Chen, N. T. Chen and K. S. Hsu, *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 38, No. 3, 335, 1996.
11. D. M. Gao, A. Garcia-Rejon, G. Salloum and D.

- Baylis, *ANTEC Proceedings*, 625, 1997.
12. R. Y. Chang, M. H. Tsai and C. H. Hsu, *ANTEC Proceedings*, 598, 1997.
13. Karl-W. Kirberg, "가스내압-사출주조에 있어서 여러 재료의 거동," Du Pont De Nemours, 사출주조기술교육. pp. 59~74, 1990.
14. Meirovitch, L. *Analytical Methods in Vibrations*, MACMILLAN, 1967.
15. 이성희, "層間分離가 있는 複合材 보-기등의 動的特性," 박사학위논문, 1998.
16. B. K. Han, J. W. Lee, S. H. Lee, "Vibration Characteristics of Laminated Composite Beams with Delaminated Zone," *ICCE (America)*, Vol. 1, pp. 829~830, 1994.