韓國精密工學會 2005 年度 春季學術大會論文集

MCPs 압출 공법을 이용한 PP 수지의 고배율 압출 발포 연구

현창훈*(연세대), 차성운(연세대), 김학빈(연세대)

A study for PP resin High magnification MCPs Extrusion foaming

C. H. Hyun*, S. W. Cha#, H.B. Kim*

ABSTRACT

Micro Cellular Plastics create a sensation at polymer industrial for lowering product cost & overcoming a lowering of mechanical intensity. There is much development from injection molding parts but Extrusion parts is slow. This research is MCPs Extrusion parts, It is basis experiment for Process to make beads that is basis raw material of Package used most by shock mitigative of industry.

Key Words : MCPs (Micro Cellular Plastics), 압출(Extrusion), 고배율 발포(High magnification foaming), 비드(Bead), 압력강하율(Pressure drop rate), 핵생성다이(Nucleation die)

1. 서론

Polymer 재료는 현대 사회에 널리 이용되고 있는 재료이며, 그 발전 속도는 금속이나 세라믹 재료와 비교하여 기하급수적으로 늘어나고 있는 추세이다. 그 중 건축 자제나 포장제의 완충재의 경우 플라스틱의 사용은 매우 중요시 되고 있다. 최근, 재료의 원가절감 및 제품의 경량화와 무공해 발포 공정개발의 요구에 따라, 제품의 내외장재로써 이용되는 Polymer 의 발포기술이 개발되게 되었다. 그 결과, Polymer 의 발포기술로 인하여, 재료의 원가절감 및 제품의 경량화를 비롯하여 부수적으로 기포 형성에 따른 단열효과와 같은 장점을 얻게 되었다. 그러나, 일반적인 발포기술은 기포가 Polymer 재료 내에 균일하게 분포하지 않으며, 기포의 크기도 미세하게 형성되지 않았기 때문에, 부분적으로 취약한 부분을 만들어 내었다. 그 때문에, 충격강도, 인성과 같은 기계적 강도 저하와 같은 단점도 발생하였다. 이와 같은 단점을 극복하기 위해 개발된 초미세발포기술은 기포의 직경을 Micro 단위로 끌어내리면서, Polymer 재료내에 이러한 셀들이 고르게 분포되도록 하여, 기존의 발포재료보다 나은 기계적 특성을 유지하도록 하였다. 또한 발포재로 Co2 나 N2 와 같은 비활성 기체를 사용하므로 기존 발포공정에서 사용되는 화학 발포제를 대체한 환경오염이 없는 공법으로 그 사용처가 날로 증가하고 있는 실정이다.

현재 건축 단열재나 포장재의 충격 흡수제로 사용되고 있는 것은 대부분이 재활용이 어려운 PS 수지를 사용하고 있다. 하지만 이 수지들은 재활용이 힘들고 발포시 화학발포재의 사용으로 그 활용 범위가 점차 축소되고 있으며 더 나가 사용이 금지 되고 있는 실정이다 이러한 문제를 개선하기 위하여 재활용이 가능한 PP 를 이용하여 위의 제품을 만들고 있으나 그 제조공정이 고압용기를 이용한 불연속 공정을 통하여 생산됨으로 그 제조가격이 높아 사용처의 한계를 들어 내고 있다. 이러한 PP 고배율 발포품의 문제를 해결하기 위하여 압출을 이용하여 제품을 연속으로 생산하며 발포제 또한 환경에 아무런 영향이 없는 CO2 를 사용하기 때문에 기존에 문제가 되었던 고배율 발포 플라스틱의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 이 론

2.1 초미세발포 공법

초미세 발포의 원리는 플라스틱 재료 내부에 고압. 저온의 가스를 용해시킨 후 압력을 높이거나 온도를 높여 열역학적 불안정 상태를 유발

시킴으로써 용해도 차이에 의해서 플라스틱 내부에 기포가 생성되도록 하는 것이다.

기존의 발포 성형에 비해 많은 장점을 갖는 초미세 발포 공법을 산업 현장에 적용하기 위해서는 압출성형과 사출성형과 같은 양산 기술에 접목이 되어야만 한다.

Fig1 은 초미세 발포 공정을 압출성형에 접목한 개념도 이다. 일반 압출기를 계량하면서 배럴의 일정 위치에 가스를 주입하면 특수하게 설계된 스크류로 인해 배럴 내부에서 플라스틱과 가스가 하나의 용액으로 혼합된다

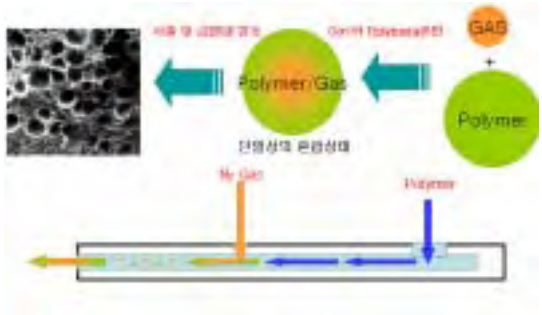

Fig. 1 Micro Cellular Plastics Extruding Process

그 후 이 고분자/가스 용액을 핵생성율을 고려한 일정 형상의 다이를 통과한 후 원하는 발포배율과 형상을 갖는 발포 플라스틱이 압출된다.

2.2 고배율 발포

압출성형을 통해 20 배이상의 고배율 발포를 하기 위해서는 압출기의 실린더 온도 조건의 조절과 다이부분의 온도 조건 그리고 가스 투입량등이 매우 중요하다. 이중에서도 압출다이에 장착이 되는 핵생성 다이의 디자인은 매우중요한 변수이다. 사출기와 달리 압출기는 제품의 발포 배율과 형상을 다이의 형상을 통하여 조절 함으로 이 다이의 형상이 매우 중요한 것이다. 본 연구에서는 PP 의 발포 배율을 최대한 끌어 올리기 위하여 핵생성 장치의 압력강하률을 최대로 하는 다이를 설계하였다. 핵생성 다이의 제작에 있어 압력 강하률을 최대로 하기 위해서는 핵생성 다이의 길이를 최소로 하며 직경변화를 최대로 해야 하는 것이 기본이다.

형상에 따른 압력 강하는 다음의 식(1)에 따라 결정 된다.

$$\Delta p = \frac{2mL}{r}\left[\frac{q\left(1/n+3\right)}{\pi r^3}\right]^n [Pa]$$

(1) Pressure drop

여기서 압력변화는 다이의 직경에 반비례하며 길이에 비례하는 것을 볼 수 있다 여기서 구한 식을 이용하여 식(2) 를 이용하여 다이안에서 수지가 흐르는 시간을 구한다.

$$\Delta t = \frac{L}{Vavg} = \frac{L}{\frac{q}{\pi r_0^2}} = \frac{\pi r_0^2 L}{q}[\sec]$$

(2) Average residence time

식 (1)과 (2)에서 구한 값을 이용하여 압력 강하율을 식(3)에 의하여 도출한다.

$$\frac{-dp}{dt} = \frac{-\Delta p}{\Delta t}[Gpa/s]$$

(3) pressure drop rate

위의 각각의 식에서 보는 바와 같이 압력강하율을 높게하기 위해서는 작은 직경고 짧은 길이의 핵생성 다이가 MCPs 성형에 좋은 것을 알 수 있다.

또한 빠른 압력강하에 의하여 제품내의 셀의 크기가 작으며 밀도또한 높아지게 된다.

3. 실험

3.1 실험 목적

본 연구는 기존 고배율 발포 품을 제작하기 위한 기본 재료인 비드를 제작하기 위한 실험이다. 기존의 비드는 압출과 같은 연속공정으로 생산하는 것이 아닌 화학발포제와 수지를 혼합하여 후발포 공정을 통하여 생산하는 방식과 고압용기에서 수지와 고압의 발포용 Gas 를 함께 집어 넣어 수지내로 발포 Gas 를 침투시킨 후 후공정을 통하여 비드를 생산한다. 하지만 본 연구에서는 압출이라는 연속공정을 이용하여 비드를 생산하기 위한 고배율 발포를 위한 연구이다. 연구진행에 사용된 압출기는 35Ø 의 압출기이며 발포제는 수지에 가장 많은 양을 넣을 수 있는 CO2 를 사용하였다. 사용 수지는 일반적인 압출용 PP 수지를 사용하였다.

3.2 실험 장비

실험에 사용된 압출기는 일반적인 35Ø 의 스크류를 가지는 것을 사용하였으며 MCPs 공정을 위하여 특별히 제작된 L/D 28 의 스크류가 장착되어 있으며 가스를 실린더 내로 투입하기 위한 가스주입구가 가공되어 있는 MCPs 전용 압출기를 사용하였다. 작동 원리는 실린지 펌프를 이용하여 CO2 가스를 고압(250bar)으로 압축하고 일정량의 가스를 압출 중 투입한다.

Fig. 2 Micro Cellular Plastics Extruder

Fig. 2 에서 보는 바와 같이 MCPs 전용 압출기는 가스를 집어넣기 위한 가스 주입구와 초임계유체를 만들기 위한 가스 압축기 그리고 일정량의 가스 주입을 위한 MFC 로 구성되어있다. 발포 제품의 발포율 측정은 밀도계를 사용하여 측정하였다.

3.3 실험 조건

대상 플라스틱 원료는 일반적인 압출공정에 사용되는 순수 PP 를 사용하였으며 수지의 선별 기준은 고배율 발포에 유리한 Melt Strength 가 강한 수지를 기준으로 선별하였다. 실험에 사용한 수지는 대한 유화의 BP2000 수지를 사용하였다.

고배율 압출성형을 하기 위여 1 차로 압출공정에서의 CO2 의 대상 PP 에 대한 최대 용해량을 측정하는 시험을 진행하였다. 실험 조건은 다음의 Table 과 같이 진행하였다. 압출 조건은 Table.1 와 같은 일반적인 압출 조건을 사용하였으며 CO2 의 투입량을 Table. 2 와 같이 변경하며 진행 하였다.

위치	1	2	3	4	5	6
온도(℃)	150	175	230	220	180	170

Table. 1 Temp. Condition of Extruder cylinder

	MFC(ml/min)	부피	Gas 투입량(wt%)
A	0.4	16.19	9.2
B	0.8	10.02	14.9
C	1.6	4.23	35.4

Table. 2 Condition of Gas Solubility Measurement

가스 용해도 측정은 압출기 토출량은 4.32g/min 으로 고정하였으며 스크류의 회전 RPM 은 100 이다.

고배율 압출을 위하여 최적 온도조건을 Table. 3 과 같이 조절하며 실험하였으며 최대의 압력강하를 얻기 위하여 Fig. 3 과 같은 다이를 제작하여 실험을 진행하였다.

위치	1(Die)			2 (Mixing)	3 (Gas)	4	5
	1	2	3				
온도 (℃)	145	160	200	190	230	210	180
	145	150	170				
	145	150	160				

Table.3 Temp. Condition of Extruder cylinder

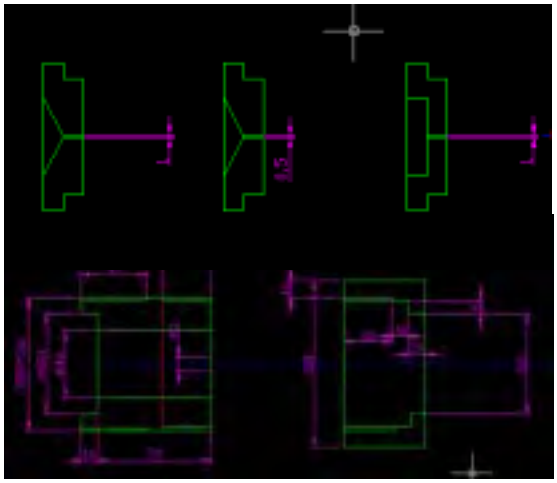

Fig. 3 High pressure drop rate foaming die

실험시 사용한 다이의 직격은 1Ø 의 다이를 사용하였으며 냉각부위 쪽의 다이 조건은 3Ø 다이를 사용하였다. 다이 구성은 Fig. 4 와 같다.

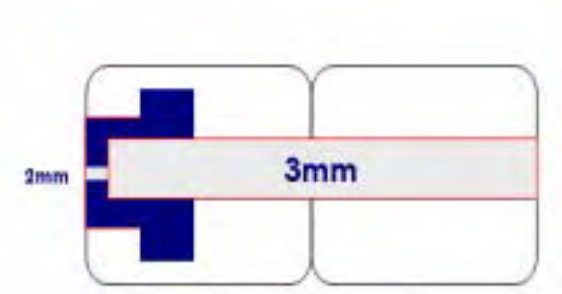

Fig. 4 Extruder die composition

4. 실험 결과 및 고찰

고배율의 발포 압출 성형을 위하여 가스 투입량은 최고 투입량을 결정하였다. 투입량은 0.8ml/min 이며 %wt 로 환산하였을 때 14.9%wt 이다.

1Ø 다이를 이용하여 압출을 하였을 때 압력강하율은 1.27Gpa/s 이며 발포 배율은 30 배로 밀도 변화는 0.9 에서 0.03 으로 변화하였다. 압출을 통해 나온 시편은 1Ø 의 다이에서 나와 5Ø 의 직경을 갖는 시

편이 제작되었다. 다음 Fig. 5 와 6 은 일반 압출 시편과 고배율 발포압출 실험의 결과물을 보여 주고 있다.

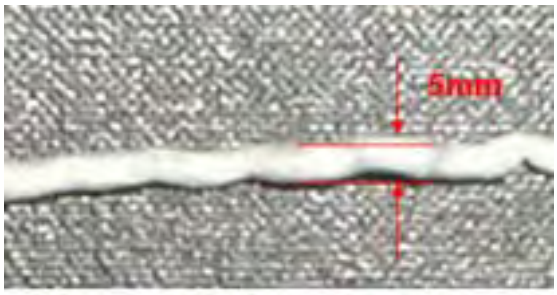

Fig. 5 Extruder Foaming Sample

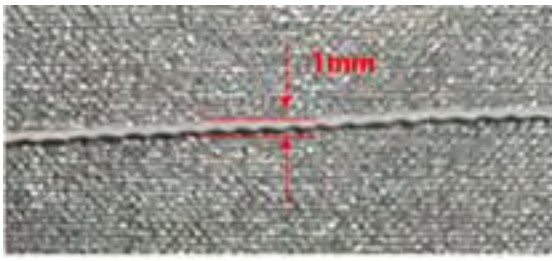

Fig. 6 Extruder Sample (Not foamed)

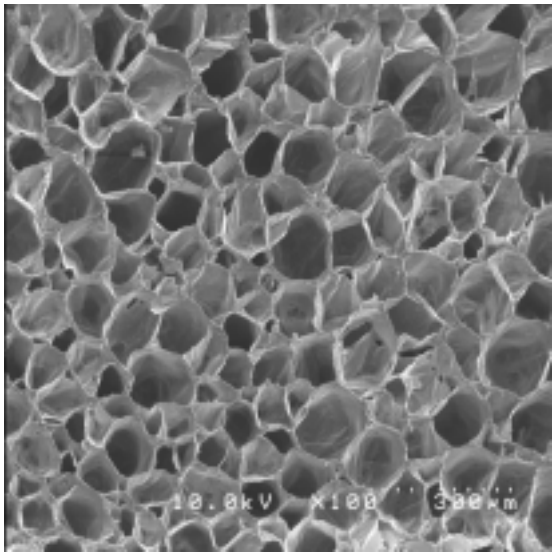

Fig. 7 SEM of Extruder Foaming Sample

위의 Fig. 7 은 30 배 발포 시편의 단면에 대한 SEM 사진이다. 셀의 크기는 약 100 ㎛로 거의 일정하게 나왔으며 셀의 분포 또한 조밀하고 균일하게 분포된 것을 알 수 있다. 앞에서 이야기한 압력 강하율 관련 식을 이용하여 압출 발포 성형시 다이에서 이루어지는 압력 강하율을 계산하며 1.27Gpa/s 의 값이 도출되었다.

5. 결 론

본 연구는 현대 산업사회에서 많이 사용되는 포장재의 완충제로 사용되는 고배율 발포제품의 원료인 비드를 많들기 위한 기포연구이다. 보는 바와 같이 20 배 이상의 고배율 발포 시편을 제작하기 위해서는 많은 공정 요소들의 적절하게 조절되어야 한다. 발포제로 사용되는 CO2 초임계유체의 투입량이나 다이와 실린더의 온도 조절 조건 그리고 압력강하율을 결정하는 핵생성 다이이 디자인이 그 중요한 요소이다. 이 요소들은 모두 고재율 발포 성형을 위한 필요 요소로 가스 투입량의 경우 사용 수지에 용해될 수 있는 최대량의 가스를 투입하여야 하며 핵생성 다이의 경우 또한 장비에 무리가 가지 않은 범위에서 최대의 압력강하율을 얻을 수 있는 디자인의 다이가 필요 하다. 마지막으로 다이의 온도 조건으로 수지가 압출기로부터 압출되어 발포가 일어나며 가발포압을 그대로 유지하며 부피를 팽찰시킬수 있는 적당한 강도를 유지하기 위한 온도조건을 사용하여야 한다. 핵생성다이의 경우 수지의 결정화도가 낮아졌을 때 현제의 압력강하율 보다 적은 값을 갖는 디자인으로도 사용이 가능할 것으로 보여진다. 이유는 최초 실린더 내에서 생성되 핵들이 수지가 고화하며 생성되는 결정에 의해 서로 병합되어 원하는 셀의 크기나 발포배율이 나오지 않는 현상을 해결하기 위한 중요 요소로 사용 되기 때문이다. 다이의 온도 또한 수지의 개질을 통하여 조절할 수 있는 온도의 여유가 증가하는 방으로 진행 되었을 때 그 자유도가 증가 하여 실제 산업에서 생산이 가능해질 수 있을 것이다. 이러한 제반의 요소들이 모두 최적화 되었을 때 30 배 이상의 발포율을 갖는 제품이 제작 될수 있을 것이다 .차후 연구에서는 이러한 요소들을 모두 참고하여 30 배이상의 발포율을 갖는 제품의 제작 실험이 이루져야 할것이다.

참고문헌

1. Sung W. Cha, “New Process for forming a Three dimensional polymer product and foaming microcells at ambient temperature. “S.M Thesis in Mechanical Enginieering, M.I.T. 1994.
2. Sung-Woon Cha, Sang-jo Lee, Jae-Dong Yoon, „General Trend of Microcellular foaming Process“, 2nd Korea-Australia Workshop on Manufacturing Technology PP.131-136, 1999
3. Kelvin T. Okamoto, "Microcellular Processing," Hanser Gardner Publications, Inc. Cincinnati .
4. Chul B. Park, Daniel F. Baldwin and Nam P. Suh,

Polymer Engineering and Scien

5. Donald V. Rosato “Injection molding handbook” second edition CHAPMAN & HALL

6. Chul Bum Park, The Role of Polymer/gas solution in continuous processing og icrocellular polymers Ph. D. Thesis in Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, May 1993