발포 배율의 향상을 위한 금형 시스템의 공리적 설계

황 윤 동† · 차 성 운*

(2000년 8월 10일 접수, 2001년 2월 7일 심사완료)

Axiomatic Design of Mold System for Advance of Foaming Magnitude

Yun Dong Hwang and Sung Woon Cha

Key Words: Microcellular Foaming Process(초미세 발포 공정), Foaming Magnitude(발포 배율), Mold System(금형 시스템), Axiomatic Design(공리적 설계), Functional Requirement (기능적 요구사항), Design Parameter(설계 요소)

Abstract

Polymer materials have a lot of merits including the low cost and the easiness of forming. For these reasons they are widely using at many manufacturing industries. Microcellular foaming process appeared at MIT in 1980's to save a quantity of material and increase mechanical properties. There are many process variables in appling microcellular foaming process to the conventional injection molding process. They can be solved by using Axiomatic Design Method which is very useful design method for designing a new product. Its main character is scientific and analytical. The information about the thickness of cavity plays an important role in making an effective foam. The goal of this research is to design mold system for advance of foaming magnitude with axiomatic design method. There is a relation between the change of cavity's thickness and foaming magnitude made after inserting a gas. R/t is a conception that indicate proportion between radius and thickness of cavity in mold system. By means of SEM observation of side surface of cavity sample, foaming magnitude of polymer in microcellular foaming process is decreasing gradually as the value of R/t is increasing. In this paper, an advanced mold system was presented by mapping the relation between functional requirements and design parameters.

기호설명

DM = 설계 행렬
CR = 소비자의 요구 사항
FR = 기능적 요구 사항
DP = 설계 요소
PV = 공정 변수
R/t = 성형품의 두께에 대한 반경의 비

† 책임저자, 회원, 연세대학교 대학원 기계공학과
E-mail : artinus007@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-4811 FAX : (02)364-9364
* 회원, 연세대학교 기계전자공학부

1. 서 론

플라스틱 제품은 저렴한 가격과 성형의 용이성 같은 다양한 장점을 가지고 있기 때문에 일상생활뿐만 아니라 제조 산업에 널리 사용되고 있다. 또한 다양한 물성 만큼이나 여러 가지 가공방법의 개발로 종래 복잡한 가공공정과 많은 인력을 투입하여 제작하던 제품을 단 한번에 생산을 하게 됨으로써 품질향상과 가격경쟁력을 동시에 확보하는 신기술들이 앞 다투어 소개되고 있다.[1]

한편 플라스틱 제품의 경우, 재료비의 비중이 제조 단가의 상당 부분을 차지하고 있기 때문에 재료 절감을 통한 원가 절감이 절실히 요구되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고 아울러 기계적

성질을 더 향상시키기 위하여 초미세 발포 공법이라는 새로운 제조 기법이 그 대안으로 주목받게 되었다. 이 새로운 공정은 가스(이산화탄소)를 폴리머 속에 주입하여 발포시키는 방식인데 여러 가지 이점을 보여주기 때문에 관련 제조업체로부터 많은 관심과 호응을 받고 있는 상황이다.[2]

기존의 사출 성형기에서 초미세 발포 공법을 구현하기 위해서는 고려해야 할 많은 변수와 제약 조건들이 존재한다. 공정 변수의 변화에 따라 전체적인 공정 시간과 최종 제품의 품질이 결정된다. 이러한 새로운 제조 공정 시스템을 구축하기 위해 많은 아이디어와 설계 요소들이 거론되고 있지만 문제 해결을 위한 대안의 부재로 말미암아 빈번한 설계오류를 범하기 십상이다. 그러므로 문제를 해결하는데 있어서 보다 합리적이고 체계적인 방법으로 접근할 수 있다면 목표 달성을 성공적으로 이룰 수 있다.

종래에는 경험이나 직관에 의존하여 문제를 해결하고자 했기 때문에 그만큼 비능률적이고 많은 시행착오를 거듭하였다. 아이디어의 개발이나 문제의 해결은 보다 창의적인 과정과 과학적인 주제로 다루어야만 종합적으로 문제 해결 방안의 옳고 그름을 판단할 수 있다. 따라서 고객의 요구 사항을 바탕으로 새로운 상품을 기획하고 생산 및 판매에 이르기까지 모든 단계를 체계적이고 합리적인 방식으로 해결할 필요가 있다.[3]

이러한 개념을 바탕으로 공리적 설계 기법이라는 새로운 접근 방식이 등장하였다. 아이디어나 문제 해결 방안의 요소들을 과학적인 설계 기법으로 적용한다면 시간적으로나 경제적으로 많은 이점을 거둘 수 있을 것이다. 본 논문은 초미세 발포 공법을 기존의 사출성형 공정에 적용하여 실제 산업 현장에서 양산 시스템으로 구축하기 위한 기반을 잡아 보고자 하는 것이다.

원활한 공정의 실현을 위한 기능적 요구 사항을 최대로 만족시킬 수 있는 설계 요소들을 선택하여 적절히 연관지음으로써 최적의 설계가 이루어지도록 하였다. 공리적 설계 기법을 적용한 금형 시스템의 발포 배율을 실험, 평가하였다. 그 결과를 바탕으로 재료의 절감과 보다 향상된 기계적 성질을 비롯한 높은 발포 배율을 획득하기 위한 새로운 제조 공정을 보다 합리적이고 효율적으로 구축하는데 있어서 공리적 설계 기법의 활용 가능성을 검토해 보기로 하였다.

2. 공리적 설계 기법의 적용

2.1 공리적 설계

설계자는 일반적으로 어떤 제품을 설계할 때, 수많은 의사결정 과정을 거치게 된다. 이러한 의사결정 과정에는 여러 가지 선택이 존재할 수 있으며 이들 가운데 최선의 설계를 제시하기 위한 도구로서 1990년 Nam P. Suh에 의하여 공리적 설계 기법이 제안되었다.[4] 설계과정의 기본 원리는 문제점의 정의와 문제를 풀 수 있는 해결 방안의 두 영역을 서로 관계짓는 과정이라고 말할 수 있다. 문제의 해결 방안은 일반적으로 새로운 아이디어를 통해 얻게 된다. 그러나 이러한 아이디어를 쉽게 구체화하지 못하기 때문에 문제 해결에 실패하는 경우를 주위에서 많이 발견할 수 있다.

초기에 기본 아이디어를 구체화하기 위하여 다음과 같은 공리적 접근 방법을 이용하여 합리적인 설계를 도출하게 된다. 먼저 해결해야 할 어떤 문제가 발생하면 일단 그 문제를 객관적으로 파악하여 문제를 명확하게 정의해야 한다. 기본 아이디어로부터 공리적 설계의 첫 번째 단계인 기능적 요구사항을 선정하고 이것을 구체화시킬 수 있는 설계 요소를 선정한 후에 FRs와 DPs 사이에 설계 행렬을 구성하여 설계 방정식을 완성시킨다. 그 다음에는 설계 방정식으로부터 설계의 평가를 해야 되는데, 설계의 평가는 크게 두 개의 설계의 공리를 통해 이루어진다.

그 하나가 기능적 요구사항들의 독립성 유지를 나타내면서 설계 요소간의 상호 영향을 평가하는 독립의 공리이고, 다른 하나가 정보량의 최소화를 나타내면서 설계 요소의 복잡성을 평가하는 정보의 공리이다. 공리적 설계 기법에서는 이 두 가지의 공리 외에도 여러 가지 설계들에서 공통적으로 좋다고 여겨지는 추론이나 정리를 제공한다. 독립의 공리를 도식화하기 위한 도구로는 보편적으로 행렬을 사용하며, 설계 요소 사이에 상호 영향을 미치는지 아닌지는 이를 사용해서 설계자가 인식할 수 있게 된다.[5,6]

설계의 평가 후에 설계자는 문제 해결의 방안을 모색하게 되고 그 결과에 따라 처음에 선정하였던 기능적 요구사항과 설계 요소의 설정을 수정 및 변경할 수 있다. 이렇게 해서 최적의 설계를 구체화시킬 수 있게 되는 것이다.

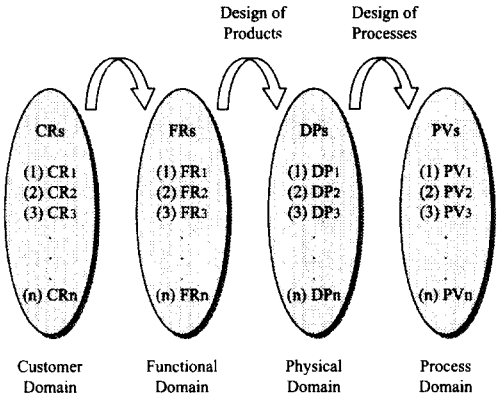

Fig. 1 Schematic of Axiomatic Design Domain

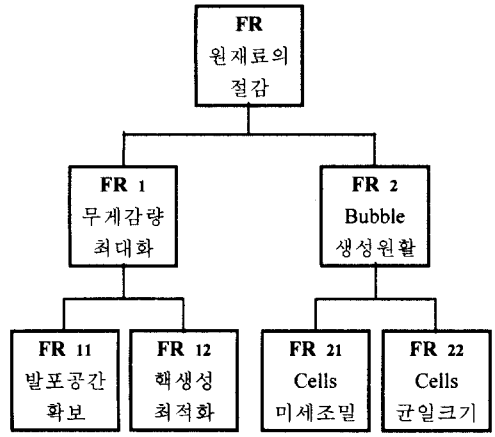

Fig. 2 Schematic of Functional Requirements

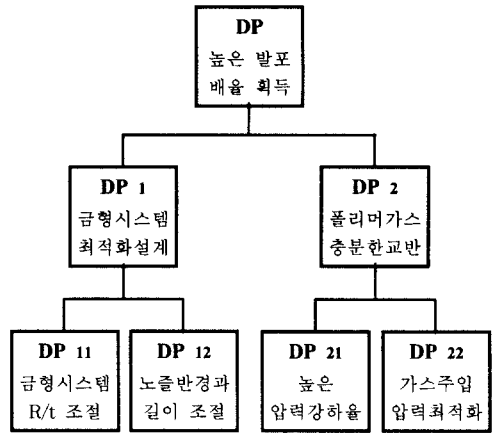

Fig. 3 Schematic of Design Parameters

2.2 공리적 설계의 영역

공리적 설계 기법에서 설계의 영역은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 CR→FR→DP→PV의 4단계를 거치게 된다.[4]

이들 소비자 영역, 기능적 영역, 물리적 영역, 공정 영역은 각각의 사항들을 서로 연결시켜주는 사상과정을 거치게 된다. 이번 연구에서는 FR과 DP만 고려하여 관계를 지음으로써 설계를 최적화 하고자 하였다.

폴리머에 가스(이산화탄소)를 주입하는 초미세 발포 사출성형 공법을 기존의 일반 사출성형 공정에 적용하기 위해서는 여러 가지 측면에 있어서 고려해야 할 사항들이 존재한다. 성형조건과 배럴 내부에 들어 있는 스크류의 형상 등을 비롯해서 많은 변수들이 있다. 그 가운데 사출 금형에 있어서도 상당한 부분 수정 사항이 요구되기 때문에 초미세 발포 공법의 여러 가지 장점 가운데 하나인 재료 절감을 통한 원가의 절감을 최대로 얻기 위한 노력들이 절실히 요구되고 있다.

FR 영역과 DP 영역에서 각 변수를 선정할 때 어느 정도 설계자의 직관에 의존하기는 하겠지만 그 동안 연구를 수행하면서 규명된 사실과 이론적 배경을 바탕으로 일단 원재료의 절감이라는 목표를 상위단계로 설정하고 이것의 하위단계의 목표로서 본 논문에서와 같이 계층구조를 나누어 각 변수들을 설정하였다. 그리고 이러한 목표를 달성하기 위한 구체적인 방법적인 측면에서 가장 밀접한 관계가 있다고 판단되는 설계 요소들을 역시 계층구조로 나누어 각 변수들을 설정하였다. Fig. 2와 Fig. 3에서 도식화한 것과 같이 먼저 기능적 요구사항을 명시하는 FR 영역과 이 항목들을 만족시키는 설계 요소들을 선택한 DP 영역을 다음과 같이 선정하여 세부 계층구조의 단계를 나타내었다.[7,8]

Fig. 2와 Fig. 3의 FR 영역과 DP 영역의 각 계층구조를 살펴보면 포괄적이고 개념적인 변수들은 상위단계에 위치하고 세부적이고 상세한 변수들은 하위단계에 위치하게 된다. 이번 연구에서는 발포 배율의 향상을 위한 금형 시스템의 최적화 설계를 위해 공리적 설계 기법을 적용하였다. 설계의 영역에는 FR 영역과 DP 영역 외에 설계자가 소비자의 요구 사항을 체크하는 소비자 영역으로 정의되는 CR 영역과 공정의 설계를 위하여 설계 요소들을 구성하는 공정 변수들을 선택하는 공정 영역으로 정의되는 PV 영역이 있는데

본 논문에서는 생략하였다.[9]

2.3 공리적 설계의 제약 조건

기능적 요구사항을 제한하는 제약 조건은 크게 나누어 입력 제약 조건과 시스템 제약 조건이 있다. 입력 제약 조건은 인위적인 제한을 말하고 시스템 제약 조건은 자연적이고 과학적인 제한을 말한다. 제약 조건이 많아질수록 필요한 기능적 요구사항은 크게 줄어들게 되며 설계는 더욱 단순해진다. 사출성형시 적절한 금형 시스템의 정보는 보다 개선된 초미세 발포 공정에 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 발포 배율의 향상을 위한 금형 시스템의 공리적 설계에 있어서 고려해야 할 제약 조건은 다음과 같다.[10]

(1) 프로세스의 안정화 (사이클 타임의 절약)
(2) 가스 공급의 안정화 (가스 공급량, 공급 위치)
(3) 완성품의 재현성 보장 (금형 치수 공차 설정)
(4) 스크류의 형상 디자인의 최적화

3. FRs & DPs 사이의 관계 검토

3.1 설계 행렬과 설계 방정식

공리적 설계에서는 기능적 요구사항과 이것을 만족시키는 설계 요소의 적절한 선택이 좋은 설계의 관건이라고 말할 수 있다. 선택된 기능적 요구사항과 설계 요소 사이의 상관 관계를 가장 명확하게 정의하는 구체적인 방법은 설계 행렬을 구성하여 설계 방정식으로 나타내는 것이다.[4]

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \qquad (1)$$

식 (1)의 설계 방정식에서 각 행렬 성분 A_{ij}는 FR_i와 DP_j 사이의 관계를 보여준다. 기능적 요구사항과 설계 요소 사이에 상호 연관성의 정도에 따라 이것이 높을 경우에는 ×로 표시하고, 그렇지 않은 경우에는 ○로 표시한다. 이 때에 이것을 정하는 기준은 무엇보다 설계자의 판단과 직관이 중요하게 작용된다. 그렇지만 보다 객관적인 근거로서 FR과 DP 사이에 어떤 수학적인 함수 관계 혹은 실험적인 함수 관계가 논리적인 과정으로 형성될 때, 그렇지 않은 경우보다 상호 연관성이 훨씬 많다고 판단할 수 있다. 공리적 설계로서 설계나 공정은 거대한 계층구조로 표현이 가능하다. 계층구조에서 각 요소 사이에 독립성의 정량적인 평가는 직접적으로는 설계의 좋고 나쁨을 판단하는 기준으로 사용될 수 있다. 정량적인 수치화를 통한 설계 요소의 상호 독립성의 검증 및 정량적인 독립성의 비교는 설계자가 어떤 설계 요소를 우선적으로 고려해야 하고 어떤 인자를 덜 고려해도 좋은지를 제시해 준다. 결과적으로 DP의 설계 요소를 조절하였을 때 FR의 기능적인 요구사항의 변화 범위가 크게 나타날 때 상호 연관성이 크다고 말할 수 있다.[11]

3.2 설계의 평가

먼저 공리적 설계를 적용한 금형 시스템의 최적화 설계에 있어서 기능적 요구사항으로 '원재료의 절감' 항목을 선정하였고, 이것을 구체화시킬 수 있는 설계 요소로 '높은 발포 배율의 획득' 항목을 선정하였다. 주어진 기능적 요구사항과 이를 만족시키는 설계 요소의 하위단계를 다음과 같이 설정할 수 있다.

FR_1 : 무게 감량의 최대화
FR_2 : Bubble 생성의 원활화
DP_1 : 금형 시스템의 최적화 설계
DP_2 : 폴리머와 가스의 충분한 교반

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & \bigcirc \\ \times & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \qquad (2)$$

식 (2)에서 보여지는 설계 행렬은 삼각 행렬로 나타나는 탈중복화 설계(Decoupled Design)로서 설계 순서를 고려하여 적용하면 좋은 설계를 얻을 수 있다. 즉 두 가지의 항목에 동시에 영향을 주는 'DP_1 : 금형 시스템의 최적화 설계' 항목을 먼저 맞춰주고 나서, 나머지 요소를 맞춰주게 되면 독립의 공리를 만족시키게 된다.

그리고 FR_1과 FR_2는 원재료의 절감이라는 FR의 하위계층으로서 두 개의 기능적인 요구사항은 상호 독립적인 관계에 놓여 있다. 이것은 FR들을 초기에 선정할 때 공리적 설계 기법의 두 가지 공리인 독립의 공리와 정보의 공리 가운데 독립의 공리를 만족시켜야 하기 때문에 FR_1과 FR_2는 서로 종속적인 관계가 성립되지 않도록 선정하였다. 따라서 무게 감량의 최대화는 양적인 측면의

요구사항이고, Bubble 생성의 원활화는 질적인 측면의 요구사항이며 이들 사이의 관계는 상호 독립적이라고 말할 수 있다.

즉, FR_1과 DP_2는 상호 연관성이 적다고 말할 수 있다. 실제의 실험 결과에서도 나타난 바와 같이 폴리머와 가스의 충분한 교반은 Bubble 생성을 원활하게 만드는 데에 중요한 영향을 미치지만 교반이 충분하게 이루어지지 않아서 크기가 불균일한 Cells의 분포로 Bubble 생성이 원활하지 못한 경우에도 무게의 감량은 비슷하게 나타나는 사례를 볼 수 있었다.

따라서 원하는 기능적 요구사항을 달성할 수 있는 적합한 설계라고 볼 수 있다. 좀더 구체적인 문제 해결의 도출을 위하여 위에서 제시된 아이디어의 상세한 구체화가 필요하다. 공리적 설계의 특징 중의 하나인 계층구조를 이용하여 FR_1과 DP_1을 세분화하여 보다 구체적인 문제 해결 방안을 제시할 수 있다.

FR_{11} : 발포가 일어날 만한 공간의 확보
FR_{12} : 핵생성 장치의 최적화
DP_{11} : 금형 시스템의 R/t를 조절
DP_{12} : 노즐의 반경 R과 길이 L을 조절

$$\begin{Bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & \circ \\ \circ & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)의 설계 행렬은 대각 행렬의 형태로 나타나는 비중복화 설계(Uncoupled Design)가 된다. 이것은 각 기능적 요구사항과 각 설계 요소가 상호 독립적인 관계를 맺고 있으므로 가장 바람직한 설계 모델이라고 할 수 있다. 마지막으로 FR_2와 DP_2를 세분화하여 구체적인 문제 해결 방안을 검토해 볼 수 있다.

FR_{21} : 미세하고 조밀한 Cells의 획득
FR_{22} : 크기가 균일한 Cells의 획득
DP_{21} : 높은 압력 강하율
DP_{22} : 가스 주입 압력의 최적화

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & \circ \\ \circ & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

식 (4)에서 보여지는 설계 행렬은 대각 행렬의 형태를 갖는 비중복화 설계(Uncoupled Design)가 된다. 그러므로 설계 순서에 상관없이 하나의 설계 요소를 먼저 맞춰주고 나서, 나머지 설계 요소를 맞춰주게 되면 독립의 공리를 만족시키게 되므로 가장 바람직한 설계가 된다.[5,11]

4. 금형 시스템의 공리적 설계

초미세 발포 공법을 기존의 사출성형 공정에 적용하는 과정에서 재료의 절감을 통한 원가의 절감이 갖는 효과는 무엇보다 중요하다. 따라서 이러한 요구 사항을 충분히 달성시키기 위한 여러 가지 변수들 중에서 금형 시스템의 최적화 설계는 중요한 비중을 차지한다. 공리적 설계 기법을 적용해서 발포 배율의 향상을 위한 금형 시스템의 합리적인 설계를 도출하였다. 그리고 전체적인 과정을 Fig. 4에 도식화한 순서도에 의해 보다 구체화시킬 수 있다.[12]

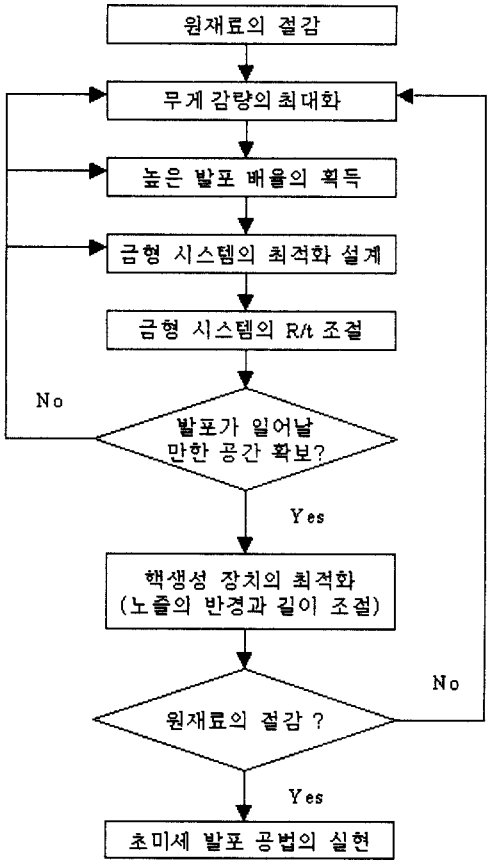

Fig. 4 Block diagram of axiomatic design

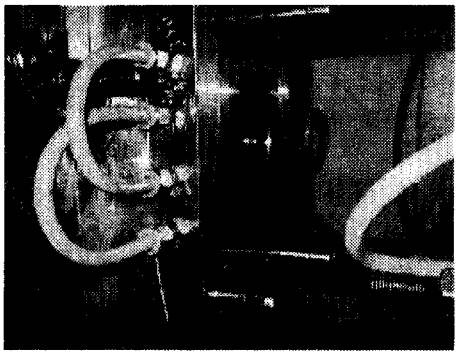

Fig. 5 Photograph of disk mold system

5. 실 험

공리적 설계 기법을 적용한 설계 방정식의 결과를 바탕으로 실제 실험을 통해 발포 배율의 향상을 달성할 수 있는 금형 시스템이 어떻게 구체화되는지를 검토해 보았다. 아울러 금형 시스템의 최적 설계 조건을 비교, 분석하였다.

5.1 성형품의 두께와 발포 배율

성형품의 두께는 사이클 타임에 가장 큰 영향을 미친다. 성형품의 두께가 두 배로 늘어나면 냉각시간은 약 4배로 길어진다. 이것은 사출성형 작업자가 변경할 수 없는 사항이지만 성형품의 견적시 사이클 타임이 길어져서 냉각시간이 길어지므로 신중하게 고려할 필요가 있다.[10]

5.2 R/t에 따른 금형 시스템

일반적으로 금형 시스템이라고 하면 노즐, 게이트, 러너, 캐비티, 냉각 채널, 가스 밴트, 콜드 슬러그 웰, 이젝터 등 금형에 관련된 일체를 말한다. 본 논문에서는 성형품의 두께와 발포 배율 사이의 관계를 검토하면서 캐비티의 깊이를 조절하여 성형품의 두께를 다양하게 얻어질 수 있도록 금형을 구성하였다. 특히 디스크 모양의 형상을 지닌 성형품을 얻을 수 있도록 캐비티가 구성되어 있는데 성형품의 살두께에 대한 반경의 비를 R/t로 정의하고 R/t에 따른 발포 배율의 변화를 실험하였다. 본 논문에서 사용된 금형 시스템은 R/t를 변화시킬 수 있도록 구성된 즉, 두께 조절이 가능한 금형을 의미한다.

본 연구에서 사용한 금형은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 구성하였으며 직경이 98.5 mm인 것이다.

Table 1 Processing parameters for the analysis

Injection Pressure (MPa)	Fill Time (s)	Melt Temp (℃)	Cooling Time (s)	Mold Temp. (℃)
12	10	180	30	50

Table 2 Processing parameters for CO_2 gas

Main Pressure (MPa)	Sub Pressure (MPa)	Working Pressure (MPa)	Gas Temp. (℃)
24.13	17.24	10.34	50

금형의 깊이는 4 mm이고 성형품의 두께를 최소 0.5 mm부터 최대 3.0 mm까지 0.5 mm씩 증가시켜 가면서 사출될 수 있도록 금형 시스템을 준비하였다.

5.3 실험 조건

이번 연구에서 사용한 수지는 고품위 표면을 요구하는 곳에 사용되는 고광택 수지인 ABS수지(Acrylonitrile-Butadien-Styrene Copolymer)이며 사출성형기의 실험 조건을 Table 1에 나타내었다. 그리고 가스 공급 장치로부터 공급되는 이산화탄소의 실험 조건을 Table 2에 나타내었다.

금형 시스템의 R/t를 조절하면서 가스를 주입하지 않은 상태에서 사출된 기준 샘플과 가스를 주입한 후에 사출된 초미세 발포 샘플의 전체 무게를 비교하였다. 실험에 사용한 가스의 양은 가스 공급 장치의 제어기에 의해 일정하게 유지되며, 성형온도, 스크류의 회전수(rpm) 및 배압, 보압 등 모든 사출 성형기의 실험 조건을 일정하게 유지한 후, 실험 샘플을 제작하였다.

6. 실험 결과

각각 다른 R/t를 가지는 금형 시스템의 여섯 가지 타입의 조건에서 기준 샘플과 가스를 주입한 후에 취출된 샘플의 무게를 측정하였다. 무게 변화량을 기준 샘플의 무게로 나누어 발포 배율을 계산하였으며 Table 3에서 금형 시스템의 R/t에 따른 발포 배율을 측정하여 비교해 보았다.

Table 3 Foaming magnitude as R/t of cavity sample

R/t	Standard Sample (g)	Gas Assistant (g)	Foaming Magnitude (%)
82.5	3.5	3.2	9.1
41.3	7.0	5.9	15.5
27.5	10.8	8.8	18.7
20.6	13.9	10.6	23.2
16.5	17.5	11.5	34.4
13.8	20.8	12.3	40.8

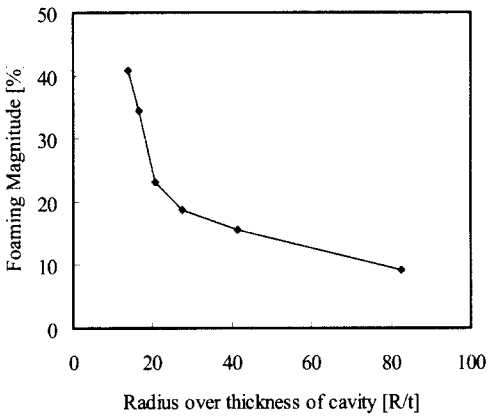

Fig. 6 Graph of foaming magnitude as R/t

그리고 Fig. 6에서 R/t에 따른 발포 배율의 변화를 그래프로 도식화하였다. 디스크 모양의 금형 시스템에서 성형품의 살두께에 대한 반경의 비로 정의되는 R/t의 변화가 발포 배율에 상당한 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다.

이번 실험의 결과 성형품의 살두께에 대한 유동 반경의 길이가 길수록 발포가 잘 일어나지 않았다. 이것은 R/t가 증가할수록 발포가 일어날 수 있는 공간이 상대적으로 줄어들기 때문이다. 따라서 노즐을 통해 사출된 폴리머/가스 용액이 초미세 발포되어 적당한 크기로 성장하기 위해서는 발포가 일어날 만한 어느 정도의 공간이 필요함을 알 수 있다.

Fig. 7에서 초미세 발포용 사출 금형 시스템 가운데 R/t=13.8일 때 40.8%의 발포 배율을 획득한 성형품 샘플 표면의 SEM 사진을 나타내었다.

Fig. 7 SEM observation of side surface of cavity sample (R/t = 13.8)

측정된 SEM 사진에서 보는 것처럼 Cells의 분포가 비교적 균일하고 미세하다는 것을 알 수 있다. 그리고 무게 감량에 따른 재료 절감의 효과 못지 않게 냉각 시간 등의 감축으로 인한 전체 사이클 타임의 감소에 따른 비용의 절감을 기대할 수 있다. 이 뿐만 아니라 보압 과정의 생략, 사출 압력 및 형체력의 감소에 의한 사출성형 가공비의 감소, 그리고 구조적 안정성, 기계적 성질의 우수한 점이 생산성의 향상에 크게 기여를 하고 있다.

7. 결 론

본 연구에서는 초미세 발포 공법을 기존의 사출성형 공정에 적용하여 최적의 프로세스를 도출하고자 하였다. 이에 공리적 설계 기법을 사용하여 금형 시스템의 발포 배율을 설계 평가하였으며 실험한 결과를 바탕으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 초미세 발포 공법이라는 새로운 제조 공정을 보다 합리적이고 효율적으로 구축하는데 있어서 공리적 설계 기법의 활용 가능성을 검증하였다. 공리적 설계 기법은 지금까지의 비과학적이고 경험적이며 주관적인 접근방법을 체계적이고 객관적으로 아이디어를 구체화시킬 수 있는데 큰 도움을 준다. 그리고 이것은 설계자의 아이디어를 구체화하는 과정에서 최적의 설계 요소를 선택하도록 해줄 것이며 완성된 설계 사이에도 객관적인 비교를 가능하게 만들어 준다.

(2) 공리적 설계 기법에 의해 제시된 설계 요소를 분석한 결과 성형품의 두께가 증가할수록, 즉 R/t가 감소할수록 발포 배율은 점점 증가한다. 그리고 Fig. 7의 SEM 사진에서 보는 바와 같이 균일한 셀의 분포를 획득할 수 있었다. 결국 기능적 요구사항으로 제시된 플라스틱 원재료의 절감을 충분히 달성할 수 있었다.

(3) 무게 감량을 비롯한 발포 배율과 사이클 타임에 가장 큰 영향을 미치는 금형 시스템을 공리적 설계에 의하여 최적화 시킬 수 있었다. 초미세 발포 공법의 설계 인자 사이에 독립성을 상호 비교 및 평가해 보았으며 전체적인 설계 프로세스 사이의 영향력을 평가하는 도구의 개발에 적용될 수 있다는 것을 알게 되었다.

(4) 초미세 발포 사출성형 공정에 중요한 영향을 미치는 인자들을 설정하여 장비의 자동화와 최적의 프로세스를 도출하고 대량 생산 시스템으로 구축하게 되면 재료 절감의 효과를 포함한 생산성의 향상에 따른 비용의 절감을 충분히 확보할 수 있게 된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보저장 기기 연구센터(과제번호 : 2000G0100)와 (주) LG 생산기술원의 지원으로 이루어졌습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) 1997, "플라스틱 사이언스," 한국 플라스틱 기술 정보 센타, 통권151호, 제8호, pp. 104～130.

(2) Sung Woon Cha, 1994, "A Microcellular Foaming / Forming Process Performed at Ambient Temperature and a Super Microcellular Foaming Process," M.I.T., pp. 20～96.

(3) M. G. Moon, 1980, "Axiomatic Approach to Engineering Design," M.I.T., pp. 62～68.

(4) Nam P. Suh, 1990, "The Principles of Design," The Oxford University Press, pp. 25～154.

(5) 정필중, 차성운, 황윤동, 1999, "Axiomatic Approach를 이용한 PCS 신모델 개발," 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 A권, pp. 524～529.

(6) 문용락, 차성운, 이정욱, 1999, "공리적 접근을 이용한 아이디어 제품 개발," 대한기계학회 춘계학술대회논문집 A권, pp. 542～547.

(7) 문병기, 차성운, 오세웅, 2000, "초미세 발포 성형 고분자 물질의 열전달 모델링," 대한기계학회 춘계학술대회논문집 B권, pp. 367～372.

(8) 문용락, 차성운, 강영주, 1999, "정보의 공리를 이용한 사출기 정보량 측정," 대한기계학회 추계학술대회논문집 A권, pp. 1134～1138.

(9) William W. Tice, 1976, "The Application of Axiomatic Design Rules to an Engine Lathe Case Study," M.I.T., pp. 45～76.

(10) 조용회, 1999, "다재 사출 성형품 및 금형 설계를 위한 전문가 시스템 개발에 관한 연구," 연세대학교 대학원 기계공학과, pp. 20～54.

(11) 차성운, 문용락, 1998, "고밀도 HDD 개발을 위한 HDD Suspension의 공리적 설계," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집(Ⅱ), pp. 719～723.

(12) Dominick V. Rosato and Donald V. Rosato, 1986, "Injection Molding Handbook : The Complete Molding Operation : Technology, Performance, Economics," New York : Van Nostrand Reinhold, pp. 34～105.