

# 공리적 설계에서 FRs의 상호 독립성을 정량적으로 측정하기 위한 도구의 개발

강영주\*, 황윤동\*, 차성운\*\*, 정대진\*, 문용락\*

## The Development of Tool for Evaluating Quantitative Independency between FRs in Axiomatic Design

Young-Ju Kang\*, Yun-Dong Hwang\*, Sung-Woon Cha\*\*, Dae-Jin Jung\*, Yong-Rak Moon\*

### ABSTRACT

Axiomatic Design is the useful tool for making a good design. In Axiomatic Design, the independency is an important property to determine whether the design is good. Until now many designers decide the independency between FRs by their own decision. The way depending on inspiration is simple and fast, but it can not be considered as precise conclusion. Also there are not exact rule that evaluate the quantitative independency between FRs.

This thesis will show the way to evaluate the quantitative independency of FRs from the comparison between FRs of more lower levels, and develop more efficient and objective tool in Axiomatic Design.

**Key Words** : Axiomatic Approach(공리적 접근), Functional Requirement(기능적 요구), Design Parameter(설계 요소), Diagonal Matrix(대각행렬), Coupling Matrix(복합행렬), Triangular Matrix(삼각행렬), Lower Level(하위 계층), Influence Component(영향인자)

### 1. 서론

설계자는 제품을 설계함에 있어서 수많은 의사 결정 과정을 거치게 된다. 이러한 의사 결정 과정에는 여러 가지 선택이 존재할 수 있으며 이들 가운데 최선의 설계를 제시하기 위한 도구로 1980년대 MIT의 Suh에 의해서 공리적 설계가 제시되어졌다. 공리적 설계는 개발 기간이나 불량률, 제품의 최종 성능에 미치는 초기 설계의 영향이 큰 점에 착안하여, 공리를 통한 설계 요소간의 연결로서 최

종 제품의 상태를 획기적으로 개선하는 방법을 제시한다. 설계의 평가는 크게, 두 개의 공리를 통해 이루어지는데 그 하나가 설계 요소간의 상호 영향을 평가하는 독립의 공리이고, 다른 하나가 설계 요소의 복잡성(Complexity)을 평가하는 정보의 공리이다. 공리적 접근에서는 이 두 가지의 공리 외에도 여러 설계들에서 공통적으로 좋다고 여겨지는 추론(Corollary)이나 정리(Theorem)를 제공한다.

독립의 공리의 도식화를 위한 도구로는 보편적

\* 연세대학교 대학원 기계공학과

\*\* 연세대학교 기계전자공학부

으로 행렬(Matrix)을 사용하며, 설계요소 간의 상호 영향을 미치는지 아닌지를 이를 이용해서 설계자가 인식할 수 있다. 그러나 설계 요소간에 상호 얼마나 영향을 미치는가에 대해서는 아직까지 정해진 방법이나 도구가 없으며, 독립성의 여부 또한 아직까지는 설계자의 직관에 의존하고 있다. 직관에 의존한 판단은, 설계자에게 불필요한 사항까지 일일이 고려하게 함으로서 전체 설계에 있어서는 시간적, 물질적인 낭비를 유발할 수 있다.

따라서 본 논문에서 제시하려고 하는 바는 상위 단계의 독립성의 하위단계간의 관계를 통한 객관적인 판정과 설계 요소간에 어느 것이 더 설계에 미치는 영향이 더 큰지를 판단할 수 있는 방법을 제안하는 것이다. 이러한 도구를 실제로 검증해보기 위해서 초미세 발포 공법(Microcellular Foaming Process)의 설계 변수 간의 상호 비교를 통한 영향력의 비교를 예로서 제시할 것이다.

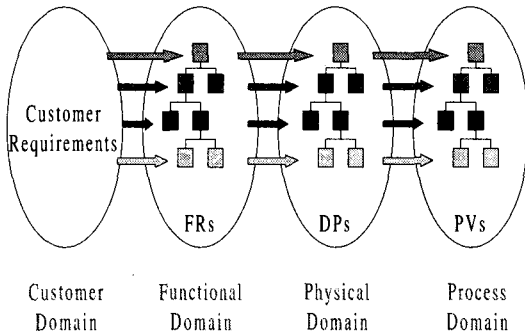


Fig. 1 Design Process

## 2. 공리적 설계

### 2.1 설계 프로세스 (Design Process)

공리적 설계에서 설계는 Fig. 1에서 보듯이, 4개의 설계 영역에서 요구되는 사항을 서로 연결 시켜주는 사상과정 ( Mapping Process )라고 정의되어진다. 4가지 설계 영역은 소비자의 요구 ( Customer Requirements : CRs )와 그것을 구체적으로 구현하는 기능적인 요구 ( Functional Requirements : FRs ) 그리고 기능적 요구와 관련된 변수 ( Design Parameter : DPs )가 있다. 또 실제 공정에 필요한 변수인 공정변수 ( Process Variable : PVs )로 나타

내어진다.

기존의 설계 과정에서 중요 요소는 크게 3가지, 즉 요구자의 목적에 부합하는 기능적인 요구와 그 기능적인 요구를 실현시키는 방법, 그리고 마지막으로 이 방법을 적용한 상세한 설계로 이루어진다. 종래의 설계에 대해서 공리적인 설계는 기능적 요구 (FD)와 물리적 영역(PD)로 나눈 다음에 계층구조를 도입하고, 공리를 적용하여 최선의 설계를 선택하는 평가의 기준을 제시할 수 있다.

기능적 요구를 제한하는 제약조건은 크게 입력 제한조건과 시스템 제약조건으로 나뉘며, 입력제한 조건은 인위적인 제약, 시스템 제약 조건은 자연적이고 과학적인 제약조건으로 나눌 수 있다. 제약조건이 늘어날수록 필요한 기능적 요구는 크게 줄어들며, 더 단순한 설계가 된다.

### 2.2 계층 구조 (Hierarchical Structure)

공리적 설계의 규칙에 따르면, 설계과정의 본질은 계층구조에 있다. 설계자는 기능적 요구나 종합적 요구에서부터 설계를 시작하며, 기능적 요구는 그 중요도에 따라 분류되어질 수 있다. 이러한 기능적 요구의 분리는 계층적 구조를 통해 나타내어진다. 포괄적이고 개념적인 기능적 요구사항은 상위단계에 위치하며, 세부적이고 상세한 기능적 요구사항은 하위단계에 위치하게 되어진다.

이러한 것은 설계자의 노력을 효율적으로 정리할 수 있으므로 유용하다. 상위수준에 있는 기능적 요구가 상위의 설계 요소에 의해 만족되어야만 하위 수준의 기능적 요구를 만족시킬 하위의 설계 요소를 선택할 수 있다. 이러한 과정을 통해서 부가적인 창조성이 성취되어지며, 가장 기본적인 최상위단계의 기능적 요구로부터 시작된 설계과정은 새로운 설계가 제안되어지고 넓은 범위의 설계 요소가 고려되어지므로 정확한 평가가 이루어지게 된다. 하위 기능적 요구선택의 첫 단계는 상위의 설계요소의 선택으로부터 시작된다. 적절한 상위 설계요소가 선택되어지면 하위단계의 기능적 요구가 결정되어질 수 있다. 이러한 기능적 요구와 설계 요소간의 교차적 선택이 필요한 이유는 각 단계의 두 가지 영역이 서로 연관이 되어있고 서로 의존적이기 때문이다. 계층구조는 트리 구조로 표현되어지며, FRs와 DPs는 대칭적인 구조를 갖는다.

계층 구조는 Fig. 2와 같이 표현된다.

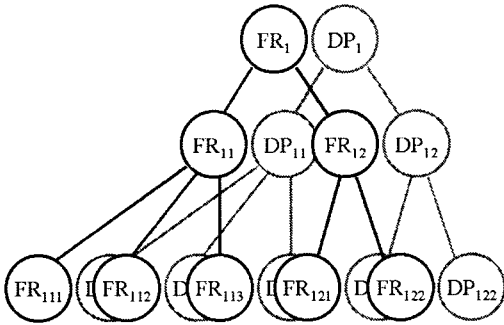


Fig. 2 Hierarchical Structure

### 2.3 독립의 공리와 독립성

공리적 설계는 '좋은' 설계를 선택하기 위한 도구로서 개발되었다. Suh(1990)에 의하면, 두 가지 설계의 공리는 새로운 설계의 창조에 도움이 되는 도구로서 두 가지의 공리가 존재한다. 첫 번째 공리는 기능적 요구의 선택에 대한 독립의 공리이고, 두 번째 공리는 어느 설계가 더 좋은지 판단하는 기준을 제시하는 정보의 공리이다.

공리 1 : 독립의 공리  
(기능적 요구의 독립성 유지)

공리 2 : 정보의 공리  
(정보량의 최소화)

위의 두 가지 공리 중 독립의 공리는 구상단계의 설계 평가 시에 가장 효율적인 도구이다. 제안하는 설계의 기능적 요구의 독립성이 유지되는가의 여부를 일찍 아는 것이 많은 바람직하지 않은 설계를 초기단계에서 제거할 수 있다. 반면에, 정보의 공리의 이용은 더욱 세밀하고 이미 독립성을 만족시킨 설계를 비교할 수 있는 효과적인 수단이다.

기능적 요구와 설계 요소사이의 관계를 가장 명확하게 나타내는 방법은 설계행렬을 이용하는 방법이다. 독립의 공리는 우선적으로 독립성이 필요하다는 전제하에서 고려된다. 독립의 공리는 기능적 요구와 물리적 영역이 1:1로 대응하며 물리적 요구의 변화는 반드시 그에 대응하는 기능적 요구의 변화만을 수반하는 것을 의미한다. 기능적 요구는 계층적 구조를 가지며 이를 만족하는 설계 변수 또한 동일한 모양의 계층적 구조를 이룬다. 여기서

알 수 있듯이 하나의 FRs는 단지 하나의 DP를 갖는다.

이것이 의미하는 바는 만약 하나의 기능적 요구의 변경에 필요한 하나의 설계 변수를 바꿀 경우 다른 기능적 요구에 아무런 변화가 일어나지 않는다는 것이다.

그러나 실제 상황에서 하나의 기능적 요구가 단 하나의 설계 변수의 영향을 받는 경우는 드물다. 이 경우 해석이 어려워지며, 가능한 하나의 기능적 요구가 하나의 설계변수를 갖게끔 요소의 선정이 필요하다.

다음에서 설계 변수와 기능적 요구를 행렬로서 수식화 하여 나타내 보면 3가지 형태로 나타낼 수 있다.

### 2.4 설계 행렬

기능적 요구와 설계 요소간의 관계는 설계행렬 [A]를 이용하는 방법으로 나타낼 수 있다. 비슷한 방법으로 설계 행렬들을 이용하여 서로 다른 영역 사이의 관계를 가시적으로 표현할 수 있다.

$$\{CRs\} = [A]\{FRs\} \quad (1)$$

$$\{FRs\} = [B]\{DPs\} \quad (2)$$

$$\{DPs\} = [C]\{PVs\} \quad (3)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & \dots & B_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ B_{m1} & B_{m2} & \dots & B_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

각 행렬성분  $B_{ij}$ 는 FR<sub>i</sub>와 DP<sub>j</sub>사이의 관계를 나타낸다. 설계행렬은 관계가 깊은 요소끼리는 X로 표시하고 관계가 없거나 약한 요소는 O로 표시한다. 이러한 설계 행렬은 설계요소간의 독립성을 확인할 수 있는 보편적인 방법이다. 만일 기능적 독립을 자세한 수치로 표현하려면 적절하고 명백한 방법론의 제시가 필요하다.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & X \\ X & X & 0 \\ X & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

위와 같은 행렬(5)은 중복 행렬(Coupled Matrix)

라 불리며, 독립성이 유지되지 않은 설계이다. 기능적 요구의 독립성이 유지되지 않으면 이러한 설계는 설계 요소의 어떠한 조정시도도 다른 기능적 요구의 바람직하지 않은 변경을 수반하여, 전체적인 설계 프로세스에 나쁜 결과를 야기 시킨다.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

독립의 공리가 만족된다면 설계 행렬은 대각행렬(6)이나 삼각행렬(7)로 표현된다. 대각행렬은 완전하게 기능적 독립의 공리가 만족되는 비 중복화 설계(Uncoupled Design)를 의미하고, 가장 바람직하다. 이 경우에는 각각의 기능적 요구가 하나의 설계요소에만 영향을 받기 때문에, 설계요소의 임의 대로의 조정이 가능하게 된다. 삼각행렬은 탈 중복화 설계(Decoupled Design)를 나타내며, 특별한 순서로 설계요소가 조정될 경우, 설계 요소의 변화에 따른 영향을 고려하지 않을 수 있다.

### 3. 독립성 판단과 정량화

#### 3.1 독립성의 판정

공리적 설계에서 독립성의 판정은 설계 평가에 있어서 중요한 과정이며, 2.4절에서 언급한 바와 같이 보편적으로 그 판정에 행렬이 사용되어진다. 지금까지의 설계에서는 행렬식을 통해서 단순히 독립인가 아닌가 여부에 초점이 맞추어져 있으며 행렬을 구성하는 인자(Element)들을 설계자의 임의로 결정하는 경우가 일반적이다.

그러나 독립성의 객관적인 판정 기준이 없이 수행된 설계 평가는 그 결과에 있어서 객관성이 검증되지 않았기 때문에, 옳은 설계인지, 아닌지에 대해서도 확신할 수 없게 된다. 이에, 공리적 설계에서의 객관적인 독립성의 판정은 중요한 문제로 고려되어야 한다.

설계의 계층구조에서 하위단계에 존재하는 기능적 요구와 설계 변수사이의 관계는 Fig. 3에서 보

이는 바와 같이 하위단계의 독립성을 판정하는 것이 가능하다.

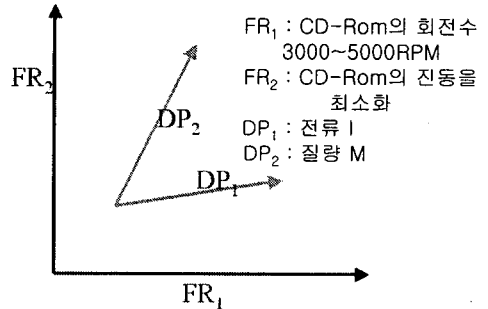


Fig. 3 Influence among the FRs of different branches

DPs와 FRs간에 수학적 함수관계가 있는 경우, 영향을 미치는지 평가가 가능하다. 예를 들면, Fig. 3과 같이 FR과 DP가 설정되었을 경우 FR<sub>1</sub>은 M과 I에 대한 수학적 식으로 표현이 가능하다. 마찬가지로 FR<sub>2</sub>도 I에 의해 나타나는 회전수에 관한 수학적 식으로 나타낼 수 있다. 이 경우, 설계 요소간에 상호 연관이 있다고 판정한다.

그러나 계층구조의 상위 단계의 FRs, DPs는 추상적이고 포괄적인 개념으로, 상호 독립성의 평가에 하위단계 간의 독립성 평가처럼, 함수관계를 찾기가 어려운 경우, 독립성 판정에 어려움을 겪게 된다.

#### 3.2 하위단계의 FR간의 상관관계를 통한 상위단계의 독립여부 판정

공리적 설계며 설계자의 주관에 따르는 경우가 대부분이다. 대개의 경우 설계 과정은 상위단계에서의 하위단계로의 순서로 설계 요소의 선정이 이루어지므로 자연히 행렬에서의 X, O의 결정도 상위단계에서부터 결정하게 되어진다. 포괄적인 상위단계는 인자의 의미가 추상적인 경우가 많다.

- FR<sub>1</sub> : 정보 용량의 증가
- FR<sub>2</sub> : 데이터의 안정성
- FR<sub>3</sub> : 운반가능

- DP<sub>1</sub> : 총bit수의 증가
- DP<sub>2</sub> : 기록면의 노출 방지
- DP<sub>3</sub> : 미디어의 충격강도

위의 FRs는 새로운 정보저장기기의 개발에 대한 FRs의 상위 설정 중 일부이다. 상위단계는 하위 단계로 내려가면서 구체화되지만, 상위단계에서는 대개 위와 같이 인자가 설정되어서 영향을 주는지의 여부에 대해 확신하기 어려운 경우가 많다. 상위 기능적 요구간의 독립성 평가를 위해서는 하위 단계부터의 독립성 검증을 우선해야한다.

Fig. 4는 커다란 기능적 요구의 하위 개념간에 일부가 서로 영향을 맺는 것을 보여준다. 상위단계는 포괄적이고 불확실하나 하위단계에서는 좀 더 명확한 연관관계를 생각해 볼 수 있다. 상위단계에서의 추상적인 설계 요소들은 그 하위단계, 나아가 최 하위단계의 FR, DP간의 관계를 파악함으로써 상위 설계 요소의 독립성을 평가하는 것이 가능해진다.

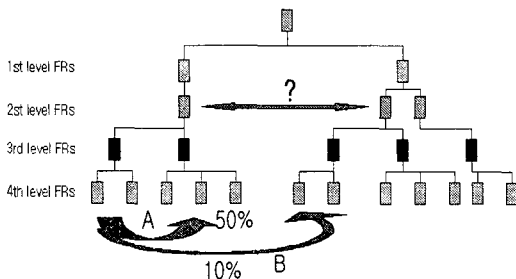


Fig. 4 Verification from interaction between lowest component

지금까지의 독립성 판단은 같은 level에서의 검증과 인접해있는 설계요소만이 독립성 검증을 위해 논의되어져 왔지만, 보다 객관적인 설계 요소간의 독립성 판정을 위해서는 하위단계로부터의 독립성 검증이 필요한 것으로 이는 다음과 같은 정리로 표현할 수 있다.

정리 : 상위 설계요소간에 어떠한 영향을 주고 받는다면, 그 구체화된 하위 설계요소간에도 상호 영향을 찾아볼 수 있다.

### 3.3 독립성의 정량화

독립성의 정량화란, FRs와 DPs간의 관계에서 보자면, 기존의 행렬에서 단순히 영향의 유무를 X와 O로 나타내는 것에서 벗어나 독립의 정도를 수치화해서 표현하는 것을 의미한다. 좀 더 나아가 독립성의 수치화란 공리 2를 설명하기 위해 주어지는 정보량의 개념과는 차이가 있으며, 인자간에 중요성을 파악하기 위해 사용되는 인자라고 말할 수 있다.

이를 통해서 FR에 영향을 주는 외부 설계 요소가 얼마나 영향을 미치는가를 판정할 수 있으며, 어떠한 FRs에 다른 FRs가 영향을 주는 경우, 우리는 독립성의 확보를 위해 어떠한 설계 요소를 우선적으로 고려해야 하는지도 판정할 수 있다. 독립성의 정량화를 위해서는 다음의 2가지 측면에서의 고찰이 가능하다.

#### 3.3.1 인자간의 관계를 통한 독립성 평가

External Influence는 Fig 4에서와 같이 최하위 단계의 설계요소들간의 영향이 있는가 없는가를 비교함으로써 생각해볼 수 있다. 최하위 단계에서는 세부설계가 나타나므로 우리는 관심있는 FR의 하위 단계에 존재하는 모든 FR이 관심있는 DP의 하위 DP로부터 얼마나 영향을 받는가를 고려함으로써 그 영향력을 평가할 수 있다.

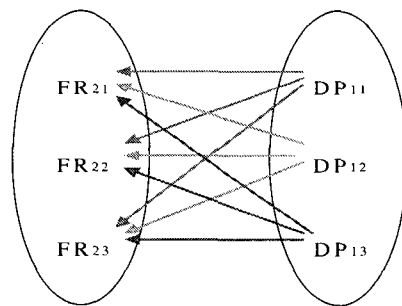


Fig. 5 Effect on FR2 by DP1

Fig. 5에서와 같이 영향받는 기능적 요구 FR<sub>2</sub> 측에 영향을 주는 하위단계의 DP<sub>1</sub>의 개수를 검증할 수 있다. 이 경우 영향을 주는 최하위단계의 DP<sub>15</sub>의 수가 많을수록 FR<sub>25</sub>에 미치는 영향은 더 커진다고 판단할 수 있다.

### 3.3.2 인자간의 독립성 비교

앞의 방법이 단순히 인자의 수를 통해 독립성을 평가한다면, 이는 인자가 실제로 얼마나 영향을 주는가에 따른 가중치를 부여하게 된다. 이 방법은 FR에 대응하는 DP의 하위인자의 변화가 FR의 변화에 미치는 영향을 1로 하고, 이를 기준으로 다른 DP가 미치는 영향과의 비교를 통해 영향력을 비교하는 방법으로서, Fig. 3에서 나타나는 화살표의 기울기가 클수록 영향력은 크며, 수치 비교는 설계 영역 내에서 설계 범위 변화를 동일하게 놓고 비교한다.

DP<sub>1</sub>의 x만큼 변화하는 동안 FR<sub>1</sub>의 최대값과 최소값의 차이 : 1

DP<sub>2</sub>의 y만큼 변화하는 동안 FR<sub>1</sub>의 최대값과 최소값의 변화량 : S%

x, y는 설계 범위에 따라 변할 수 있으므로 설계자의 먼저 주어주는 값으로 예를 들면 가공속도는 100~200RPM 사이라고 정할 경우 식으로 주어진다. 임의 설정이 가능하다. S는 DP<sub>1</sub>이 FR<sub>1</sub>에 비해 미치는 영향으로 판정되어질 수 있으며 100%보다 클 경우 DP<sub>1</sub>보다도 막대한 영향력을 FR<sub>1</sub>에 줄 수 있고, 경우에 따라서는 영향을 주기는 주더라도 1% 미만의 미미한 영향을 주어 사실상 무시해도 좋은 결과가 나올 수도 있다.

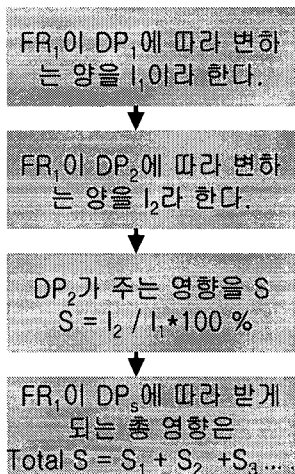


Fig. 6 Flowchart of calculating total influence

## 4. 초미세 발포 공정에서 인자간의 영향성 평가

### 4.1 초미세 발포 플라스틱

Fig. 7는 초미세 발포 플라스틱의 단면을 확대한 사진이다. 플라스틱은 현대의 많은 제품의 재료로서 사용되어지는 물질로, 제품 제작에 있어서 재료비의 비중이 상당부분을 차지하기 때문에 재료 절감을 위한 노력이 절실히 요구되고 있다.

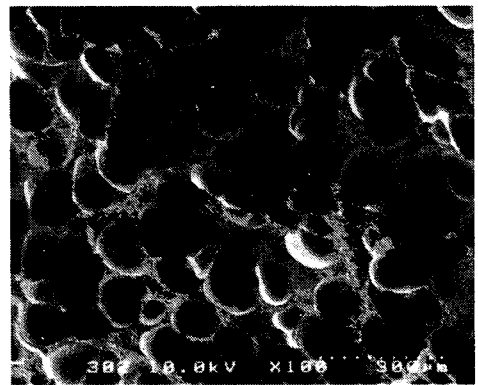


Fig. 7 Microcellular Plastics

초미세 발포공법이란 위의 재료 절감과 기계적 성질의 개선을 위해 개발된 공법으로, 이산화탄소나 질소 헬륨 같은 불활성 기체를 고분자 플라스틱 내부로 용해시켜 하나의 상(phase)을 만든 후에 열역학적 불안정을 유발하여 재료 내에서 기포를 생성 시켜서 미세한 공간(hole)을 형성한 플라스틱 재료를 말한다. 이 때 내부에 생기는 기포의 크기는 마이크로미터( $\mu m$ ) 단위이며 일반 발포플라스틱과 구분하여 초미세(Microcellular)라고 불린다.

초미세 발포 플라스틱은 재료가 절감되는 효과와 동시에 기존 발포플라스틱과는 달리 불균일한 발포로 인한 기계적 성질의 저하를 방지한다는 장점이 있다. 또한 충격흡수력에 있어서는 내부에 들어있는 미세 기포가 외부 에너지를 흡수하는 역할을 하기 때문에 충격강도에 있어서 비약적인 개선 효과를 가져온다.

이러한 초미세 발포 공정을 통한 플라스틱의 생산에 영향을 주는 인자에는 여러 가지가 존재한다. 앞에서 제시한 인자간의 영향력을 평가 및 비교하는 도구를 통하여 우리는 인자간의 독립성을 정량적으로 평가 및 비교할 수 있다.

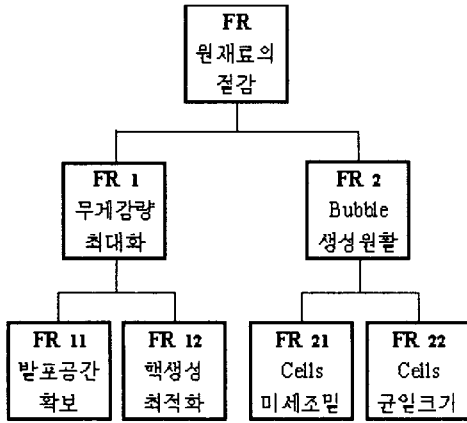


Fig. 8 Schematic of Functional Requirements

FR<sub>11</sub> : 발포가 일어날 만한 공간의 확보  
 FR<sub>12</sub> : 핵생성 장치의 최적화  
 DP<sub>11</sub> : 금형 시스템의 R/t를 조절  
 DP<sub>12</sub> : 노즐의 반경 R과 길이 L을 조절

$$\begin{Bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & \circ \\ \circ & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

FR<sub>11</sub>과 FR<sub>12</sub>의 대표변수로서는 모두, 체적 (volume)를 선택할 수 있고, DP<sub>11</sub>, DP<sub>12</sub>는 R/t와 R, L을 대표변수로 나타내어질 수 있다. 각각의 DP의 변화는 대응하는 FRs에만 영향을 주므로 식(5)와 같은 비중복 행렬로 나타내어진다.

FR<sub>21</sub> : 미세하고 조밀한 Cells의 획득  
 FR<sub>22</sub> : 크기가 균일한 Cells의 획득  
 DP<sub>21</sub> : 높은 압력 강하율  
 DP<sub>22</sub> : 가스 주입 압력의 최적화

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & \circ \\ \circ & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

FR<sub>21</sub>과 FR<sub>22</sub>의 대표변수로서는 셀 크기와 셀 크기의 편차를 사용할 수 있고, DP<sub>21</sub>, DP<sub>22</sub>의 대표변수로는 압력 강하율과 가스주입압력을 사용한다. 각각의 DP의 변화는 대응하는 FRs에만 영향을 주므로 식(6)과 같은 비중복 행렬로서 바람직한 설계로 평가할 수 있다.

최종적으로 상위 FRs간의 영향력은 하위단계끼리의 영향력 분석을 통해 이루어진다. DP<sub>11</sub>인 R/t는 FR<sub>11</sub>인 발포공간 확보 외에도 FR<sub>21</sub>인 Cells의 미세함과 조밀함에 영향을 미친다. 하위단계에서의 영향관계는 상위단계에 반영되어 행렬로서 표현되어진다.

FR<sub>1</sub> : 무게 감량의 최대화  
 FR<sub>2</sub> : Bubble 생성의 원활화  
 DP<sub>1</sub> : 금형 시스템의 최적화 설계  
 DP<sub>2</sub> : 폴리머와 가스의 충분한 교반

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & \circ \\ \times & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

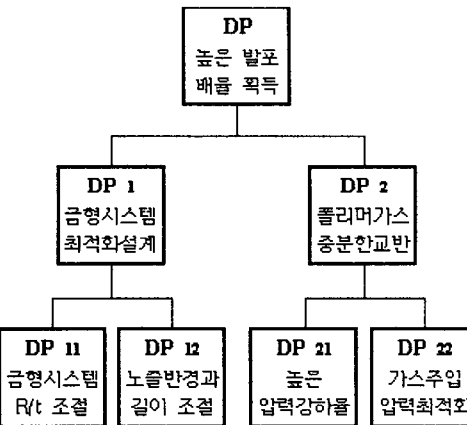


Fig. 9 Schematic of Functional Requirements

R/t = radius over thickness of cavity  
 R = radius of cavity  
 t = thickness of cavity

#### 4.2 설계 행렬에서 X,O의 결정

초미세 발포 플라스틱의 원하는 기능적 요구사항을 Fig. 8에서와 같이 도시하였다. 앞에서 X, O의 결정은 하위단계부터 하는 것이 바람직하다고 하였으므로, 하위단계의 행렬부터 설정해보면,

행렬(7)은 탈중복 행렬로서 DP<sub>1</sub>에 해당하는 인자의 우선적인 결정을 통해 설계요소간의 상호 영향을 피할 수 있다.

### 4.3 정량적 측정법의 적용

Table 1 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

3.3.2절의 방법을 통해서 본 논문에서는 R/t가 1% 변할 때 부피 변화에 미치는 영향을 평가해보도록 하겠다. 다른 물성치도 같은 방법으로 영향력을 평가할 수 있으며 이 경우 객관적인 비교가 가능해진다. Table 1에서 R/t는 13.8 ~ 82.5의 값을 갖는다. 이 경우 Foaming magnitude는 31.7% 변한다. 이것을 1로 가정하고 다른 인자들의 디자인 레인지의 변화에 따르는 Foaming magnitude의 변화량을 비교하여 R/t가 아닌 다른 설계 인자가 Foaming magnitude에 미치는 영향을 비교할 수 있다.

Foaming Magnitude에 영향을 미치는 또다른 인자로는 가스의 종류가 있다. 가스의 종류가 미치는 영향은 다음 테이블과 같다.

Table 2 Foaming magnitude as gas change

	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
ABS(200°C)	25.2%	23.6%
PMMA(210°C)	34%	37.1%

Table. 2에서 가스의 종류의 변화에 따르는 발포율의 변화는 동일 조건에서 1.8%~3.1%의 변화를

보인다. R/t에 따른 변화량 31.7%와 비교하여 이는 약10% 미만에 이르는 양으로 Fig. 10에 도시되어 있다. 이를 통해 우리는 가스 종류를 바꾸는 것보다 R/t의 변화가 발포 체적에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 대체적으로 설계 범위를 좁게 작을수록 인자에 미치는 영향력은 줄어들게 된다.

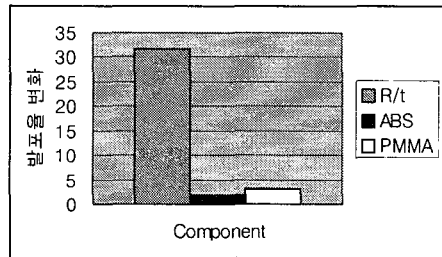


Fig. 10 Influence comparison among the components

### 5. 결론

독립성의 평가는 설계평가에 있어서 중요한 과정이며, 이는 직관적인 과정이 아닌 수학적으로나 실험적으로 규명되는 논리적인 과정이다. 공리적 설계로서 설계나 공정은 거대한 계층구조로 표현이 가능하다. 계층구조에서 요소간의 독립성의 정량적인 평가는 직접적으로는 설계의 좋고 나쁨을 판단하는 기준으로 사용될 수 있고, 정량적인 수치화를 통한 설계 요소의 상호 독립성의 검증 및 정량적인 독립성의 비교는 어떤 설계 요소를 우선적으로 설계자가 고려해야 하고 어떤 인자를 덜 고려해도 좋은지를 제시해준다. 본 논문에서는 하위계층구조의 상호 연관성 여부의 판단으로 전체 설계 프로세스의 상호 영향력을 평가하는 방법을 제시하였고, 정량적인 인자간의 독립성비교를 통한 우월성의 검증 방안을 수치적으로 제시하였다. 이는 하나의 제품을 제작하는 과정에서 최적의 설계요소를 선택하게 해 줄 것이며 완성된 설계 간에도 객관적인 비교를 가능하게 해준다.

초미세 발포 플라스틱 공정에 독립성의 평가와 비교 기준 제시 방안에 적용해본 결과로서 설계 프로세스에서 R/t가 가스의 선택에 비해 Foaming Magnitude에 더 영향을 미침을 알아볼 수 있었으며, 설계 인자간에 독립성을 상호 비교해 보았다. 이는



컴퓨터를 이용하여 전체적인 설계 프로세스간의 영향력을 비교하는 도구 개발에 적용되어질 수 있다.

## 후기

본 연구는 (주) LG 생산기술원과 한국과학재단 지정 정보저장기기 연구센터의 지원(과제번호 : 2000G0100)으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다. 도움 주신 CISD 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Nam P. Suh, "The Principle of design, The Oxford University Press. pp. 25~154, 1990.
2. William W. Tice, "The Application of Axiomatic Design Rules to an Engine Lathe Case Study," M.I.T., pp. 45~76, 1976.
3. 문용락, 공리적 접근을 통한 설계평가도구의 개발, 석사논문, 연세 대학교 기계 공학과 제조 공정 연구실, pp. 21~ 55, 1999.
4. 문용락 외 2명, 대한기계학회 춘계학술대회 발표 논문, 공리적 접근을 이용한 아이디어 제품개발, 1999.
5. Sung Woon Cha, "A Microcellular Foaming / Forming Process Performed at Ambient Temperature and a Super Microcellular Foaming Process," M.I.T., pp. 20~96, 1994.
6. M. G. Moon, "Axiomatic Approach to Engineering Design," M.I.T., pp. 62~68, 1980.
7. Dominick V. Rosato and Donald V. Rosato, "Injection molding handbook : the complete molding operation : technology, performance, economics," New York : Van Nostrand Reinhold, pp. 34~105, 1986.
8. MIT Axiomatic Design Team, "Applications of Axiomatic Design," Course Notes, MIT, pp. 12-14, 1996.