

사출성형시 수지선택을 위한 평가함수의 개발

왕용민, 윤종수, 양석환, 최해광
삼성전자 기술총괄 CAD Center

플라스틱(수지)의 활용이 급격하게 증가함에 따라 사출성형의 중요성이 높아지고 있는 가운데, 사출성형시의 원가절감이 큰 관심사가 되어가고 있다. 원가절감의 일환으로 적절한 수지를 선정하는 일이 대두되는데, 사출성형의 재료로서 수지를 선정할 때는 성형후 사용환경에서 일정기능을 유지하도록 수지의 물성을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 여러 물성을 동시에 만족시켜야 하는 수지선택의 특수성을 감안하여 수지선택 문제를 가치함수(Value Function)를 사용한 다목적 의사결정 문제 (Multi - Attribute Decision Problem)로 정형화하였다.

수지는 물성의 어느 범위에서는 수치의 작은 차이가 중요하지만, 어느 범위에서는 크게 중요하지 않으므로 필요한 물성의 수준을 고려하여 선택을 하여야 한다. 본 연구에서는 가치함수를 이용하여 이를 해결하도록 하였다. 가치함수는 Sigmoid함수를 사용하였고, 함수의 상수(parameter)를 조절하여 수지가 갖는 물성과 물성과의 관계를 평가하고 수지가 갖는 특성을 보다 정확하게 고려하여 수지선택이 되도록 하였다.

I. 서론

흔히 플라스틱이라 불리는 고분자 합성 수지(간단히 수지라 한다)는 식품용기등 생활용품에서 전기·전자제품, 건축자재, 자동차, 항공 우주분야 및 의료분야에 까지 폭넓게 사용되고 있는 재료로서 내 부식성, 경량성, 높은 생산성, 낮은 가격 등의 장점때문에 그 활용 범위가 더욱 넓어지고 있다.

사출성형(Injection Molding)이란 이 수지를 가공하여 제품을 만드는 가공방법의 하나로

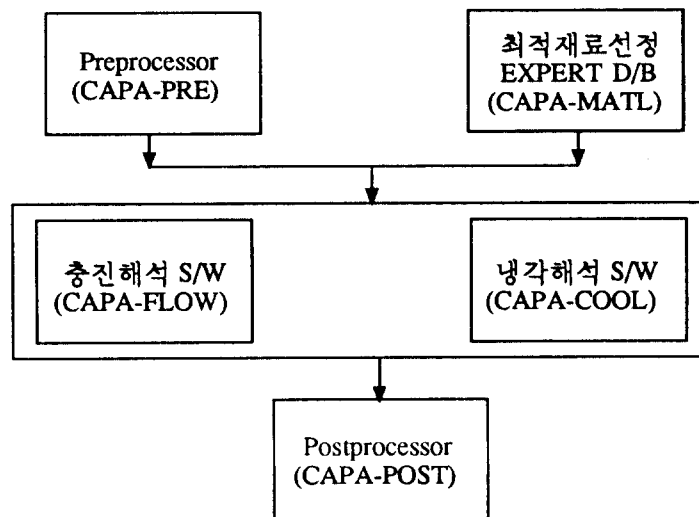
수지 가공의 많은 부분을 감당하고 있다. 사출성형은 재료의 종류에 따라 성형조건이 달라져야 하며, 수지 물성의 작은 변화에도 제품의 품질이 달라지게 되는 예민한 공정이다. 따라서 사출성형의 재료로서 적합한 수지를 선택하는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다. 하지만 고분자 합성기술의 발달과 함께 적용 분야별로 수 많은 수지가 개발되었고, 국내만 해도 30개 이상의 수지 제조회사가 여러종류의 수지를 생산하고 있어 그 중에서 적절한 수지를 선택하는 일은 대단히 어렵다. 더구나 각각의 그레이드가 상대적인 장단점을 가지고 있기 때문에 수지에 대해서는 비전문가인 설계자가 설계 제품의 기능과 사용환경을 고려하면서 재료를 선정하는 일은 거의 불가능한 현실이다.

본 연구에서는 수지 각 물성의 특성을 고려하여 재질을 선택하는 것을 다목적 의사결정 문제(Multi - Attribute Decision Problem)로 정형화하고, 설계자가 충분히 고려하기 어려운 제품의 기능 및 환경에 따른 물성변화를 계산할 수 있도록 가치함수(Value Function)를 개발하여 설계자들의 수지선정 의사결정을 지원하도록 하였다.

II. 본론

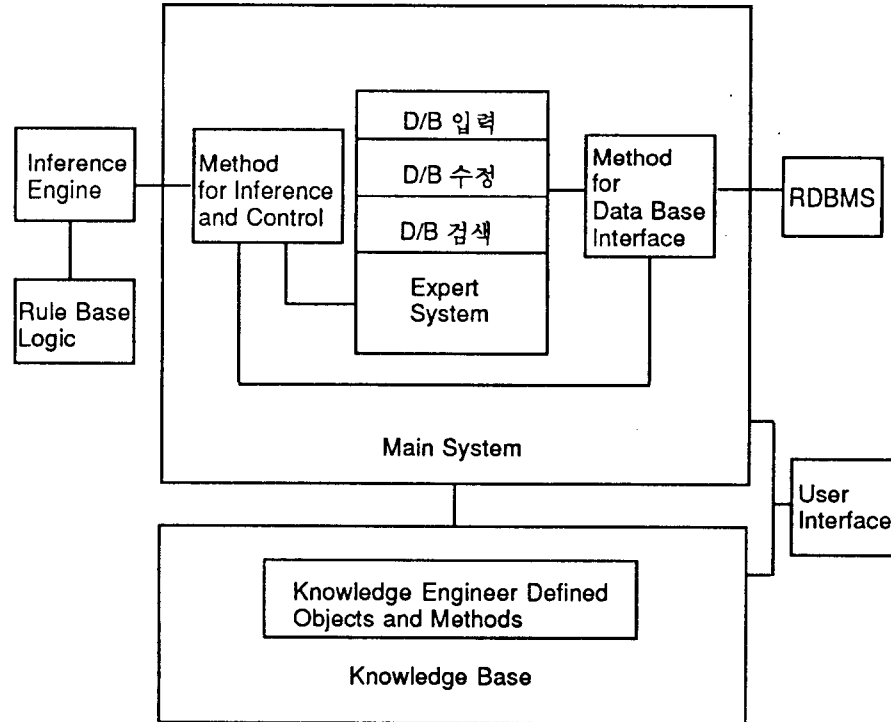
1. 사출성형 전용 시스템

삼성전자에서 개발한 사출 성형 전용시스템(CAPA, Computer Aided Plastics Application)은 <그림 1>과 같다. 구성은 최적 재료 선정을 위한 CAPA-MATL, 응용된 수지가 금형에 충전되는 과정과 냉각, 고화되는 과정을 simulation 할 수 있는 CAE S/W, 해석해야



<그림 1> 사출성형 전용시스템의 구성

할 제품의 modeling과 해석한 결과의 graphic display를 할 수 있는 Pre/Post Processor로 되어 있다. <그림 2>는 최적 재료선정 기능을 갖고 있는 CAPA-MATL의 구조를 보여준다. 가치함수를 이용하여 다목적 의사결정 문제로 정형화한 내용은 Rule Base Logic에 포함되어 있다.



<그림 2> CAPA-MATL의 구조

2. 수지선정

사출성형용 수지는 성형후의 제품이 갖추어야 할 기능과 사용될 환경을 만족하도록 필요한 물성을 고려해서 선택하여야 한다. (수지의 특성을 나타내는 물성의 종류는 <표1>과 같다.) 즉, 제품이 일정환경에서 기능을 유지할 수 있도록 동시에 다수의 물성을 만족시키는 수지가 선택되어야 한다. 이는 속성이 여러개이며 불확실성이 없는 다목적 의사결정 문제[1]의 형태이다.

게임이론의 Min-Max 방법을 이용한 평가법[2]과 리그렛 방법[3]을 이용한 수지의 평가법이 소개되어 있으나, 물성과 물성을 비교하기 위한 절충(trade-off)법인 가치함수[1]는 계단함수(step function)의 형태를 사용하였다. 본 연구에서는 Sigmoid함수를 가치함수로 이용하였다.

<표 1> 수치 물성의 종류 예

금형설계정보	수축율, 캐비티내의 평균압력, Melt Index, ...
물리적 성질	비중, 흡수율(24시간, 포화), ...
기계적 성질	인장 강도, 충격강도, 굴곡강도, 굴곡 탄성율, 전단 강도, 전단 탄성율, 신율, 포아송비, 경도, ...
열적 성질	비열, 열전도율, 열팽창계수, 열변형온도, 연속사용온도, ...
전기적 성질	체적저항, 표면저항, 절연저항, ...
광학적 성질	굴절율, 투과율, 광택도, Haze, ...
Regulations	UL(난연, HAI, HWI, HVAR, HVTR, CTI 등), FDA 승인, ...

3. Modeling

수지선정 문제는 다음과 같이 수식화할 수 있다.

STEP 1 : 물성의 Min Value에 의한 Limiting(주)

STEP 2 : R에 의한 수지의 평가

$$R = (\sum_i V_i(x) \times W_i) / \sum_i W_i,$$

R ; 수지의 최종 평가치

V(x) ; 물성 i에 대한 수지의 평가치

W_i ; 물성 i에 대한 가중치

이때,

$$V_i(x) = \frac{b}{1 + e^{-a(f(x) - 0.5)}} + c, \quad (a, b, c \text{ 는 상수})$$

$$f(x) = \frac{x - \text{MIN}}{\text{MAX} - \text{MIN}},$$

MIN ; 물성 i의 최대값

MAX ; 물성 i의 최소값

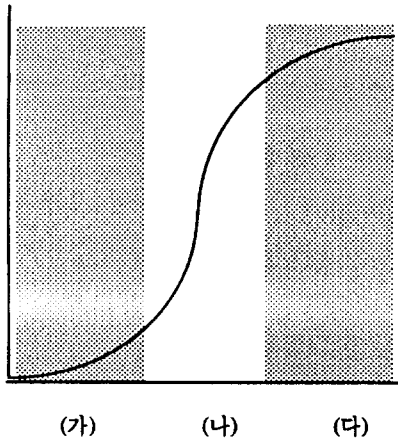
주1) 물성수치가 적을 수록 좋은 경우에는 MaxValue에 의한 Limiting

$V(x)$ 는 가치함수이며, $f(x)$ 는 가치함수에 입력되는 x 의 범위를 $[0,1]$ 로 만들기 위한 보정 함수이다.

제품의 특성상 반드시 만족해야 하는 물성의 하한치를 주어 평가대상의 범위를 줄이고 (STEP 1), 남아 있는 수지에 대해 그레이드별로 물성평가를 한다. (STEP 2) 평가치인 R 의 값이 큰 수지를 선택하면 된다.

4. 함수 및 상수의 의미

함수 $V(x)$ 의 개형은 <그림 3>과 같다. 이 함수의 굴곡 정도는 상수 a 에 의해서 결정 되는데 a 는 Limiting 이후 평가해야 할 물성의 범위가 전체 물성 범위내에서 차지하는 비중 에 따라 조절된다.



<그림 3> $V(x)$ 의 개형

(가)부분의 채증형태는 낮은 수치를 더욱 낮게 평가하고, (다)부분의 채감형태는 높은 수치를 더욱 높게 평가하여 중간 부분인 (나)부분을 중점적으로 평가하게 된다. 실제 물성치가 높은 부분에서는 수치의 작은 차이가 크게 중요한 것은 아니다. 수지의 물성이 원하는 정도만 만족하면 되기 때문이다. 하지만 수치가 낮은 물성의 범위에서는 조금이라도 낮으면 제품의 품질에 치명적인 영향을 미치게 된다. 함수의 형태가 S자형태인 Sigmoid 함수는 이와 같은 특성을 만족시켜 준다.

Limiting한 이후의 수치 물성범위의 폭이 좁다는 것은 Limiting이후의 물성치들이 모두 높다는 것을 의미한다. 폭이 좁은 경우에는 <그림 4>와 같이 완만한 형태의 함수이어야 평가가 분명하며, 폭이 넓은 경우에는 <그림 5>와 같이 급한 형태이어야 평가가 쉽다.

함수형태의 선택은 a에의해서 결정되는데 수식은 다음과 같다. b, c는 f(x)를 [0,1]로 만들어 주는 보정계수이다.

$$a = (AMAX - AMIN) \times f(xmin) + AMIN$$

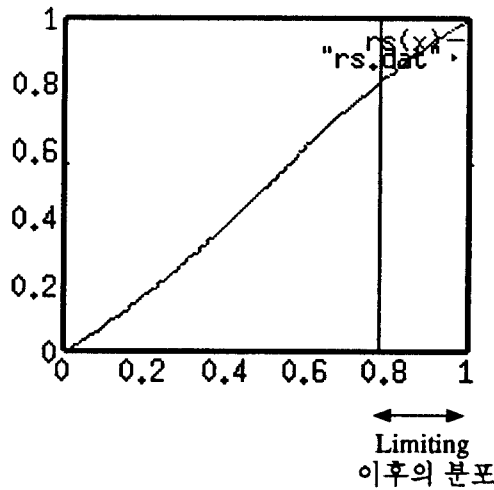
AMAX ; a의 최대값

AMIN ; a의 최소값

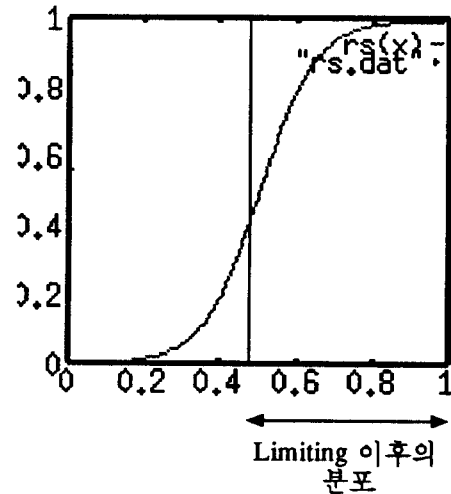
xmin ; Limiting한 이후의 x의 최소값

$$b = \frac{\exp(0.5a) + \exp(-0.5a) + 2}{\exp(0.5a) - \exp(-0.5a)}$$

$$c = \frac{-b}{1 + \exp(0.5a)}$$



<그림 4> 완만한 형태의 V(x)



<그림 5> 급한 굴곡형태의 V(x)

위 함수는 극소, 극대의 물성수치에 의해 중간에 위치한 그레이드의 물성치 차이가 과소, 과대 평가 되는 것을 방지하여 준다. ((그림 5> 참조) 또한 일반적인 사람이 갖게 되는 수지의 물성치가 높은 범위일때의 위험회피형(risk averse) 선호와 낮은 범위일때의 위험추구형(risk seeking) 선호를 잘 반영해 준다.

5. 수치 예제

A부품은 외부의 하중에 잘 견디도록 설계되어야 한다. 뿐만 아니라 외부의 인장응력에 대해서도 튼튼하여야 한다. 수지는 12개 제조회사의 ABS, PS 등 17종류, 397개의 그레이드중에서 중요하다고 판단되는 물성(인장강도, 굽힘강도)으로 Limiting을 해보면 대상 수지의 수가 줄어든다. <표 2>는 Limiting이후의 수지의 종류 및 물성데이터를 나타낸다.

<표 2> 수지의 종류 및 물성 데이터

종류	그레이드	수축율	인장강도	굽힘강도	굽힘탄성율	충격강도	가격
ABS	AS-0160	0.5	390	630	22000	34.0	1.52
ABS	AS-0170	0.5	360	540	19000	36.0	1.52
ABS	AS-6601	0.3	412	650	25000	17.0	1.53
ABS	HF-0680	0.4	410	640	25000	15.0	1.41
ABS	HF-0660I	0.4	420	650	25000	18.0	1.38
ABS	SD-0150	0.3	460	730	25000	23.0	1.38
ABS	SD-0160	0.3	390	630	22000	35.0	1.36
ABS	VH-0800	0.3	440	660	26000	14.0	2.21
ABS	VH-0810	0.3	440	660	26000	14.0	2.20
ABS	VH-0801	0.3	430	640	24000	12.0	2.24
가중치		1	3	3	2	2	3
단 위		%	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	원/cm ³

(여기에서의 가격은 실제 판매되는 무게당 가격이 아닌 환산 가격으로 수지의 재사용 가능성 및 비중 등을 고려하여 사출성형에 유효한 상대적인 의미만을 갖는다.)

이 표에 나타난 물성들에 대하여 가치함수에 의하여 수지를 평가해보면, 평가치가 <표 3> 과 같이 나타나 SD-0150이 적합한 것으로 나타났다. 실제 당사에서 A부품의 재료로 ABS의 SD-0150을 사용하고 있어 적합한 평가를 하게 되었음을 알 수 있다.

굽힘탄성율이 19000이상이면 일반적으로 높은 수치이다. 평가치를 잘 살펴보면 VH계열의 25000이상인 높은 수치에 의해 과소평가되지 않았음을 알 수 있다.

<표 3> 가치함수에 의한 평가결과

그레이드	수축율	인장강도	굽힘강도	굽힘탄성율	충격강도	가격	총평가액
AS-0160	1.0	0.90	0.92	0.91	1.0	0.98	0.94
AS-0170	1.0	0.84	0.81	0.80	1.0	0.98	0.89
AS-6601	0.67	0.93	0.94	0.98	0.43	0.98	0.86
HF-0680	0.91	0.93	0.93	0.98	0.29	0.99	0.85
HF-0660I	0.91	0.95	0.94	0.98	0.50	1.0	0.89
SD-0150	0.67	1.0	1.0	0.98	0.81	1.0	0.95
SD-0160	0.67	0.90	0.92	0.91	1.0	1.0	0.93
VH-0800	0.67	0.97	0.95	1.0	0.24	0.67	0.78
VH-0810	0.67	0.97	0.95	1.0	0.24	0.68	0.78
VH-0801	0.67	0.96	0.93	0.96	0.15	0.65	0.75
가중치	1	3	3	2	2	3	

III. 맺음 말

수지선정문제는 다목적 의사결정 문제로 정형화될 수 있다. 지금까지 계산속도 및 번거로움의 문제로 인해 가치함수에 단순한 형태인 계단함수를 적용시켜 왔으나, Computer의 활용도가 크게 증가함에 따라 다소 복잡한 형태의 함수라 할지라도 문제의 성격에 적합한 함수를 활용해 볼 수 있다.

수지를 선정하는 일은 불확실성이 없는 다목적 의사결정문제로 정형화될 수 있다. 본 연구에서 가치함수에 Sigmoid함수를 적용하여 수지선정문제를 다목적 의사결정문제로 정형화하였다. 함수에 필요한 상수들을 조절함으로써 수지선정 문제의 고유한 특성을 반영시킬 수 있었다. Sigmoid함수의 적용과 상수의 조절을 통해 각 물성의 극소, 극대값에 의하여 중간에 위치한 그레이드의 물성치 차이가 과소, 과대 평가되는 것을 방지할 수 있었다.

현업에서는 의사결정이론을 활용할 수 있는 여지가 많이 있다. 향후 현장의 상황에 적합하도록 가치함수 및 효용함수를 활용하는 연구와 함께 가중치 부여 방법에 대한 연구가 필요하다.

IV. 참고 문헌

1. 강맹규, 불확실성하의 의사결정론, 회중당, 336-344, 1992
2. Charles P. MacDermott, Selecting Thermoplastics for Engineering Applications, MARCEL DECKKER, INC., 111-145, 1984
3. 홍명용, 류제구, 사출성형, 기전연구소, 60-62, 1988