

플라스틱 범퍼 설계를 위한 해석기법

Analysis Techniques for Plastic Bumper Design

심 재 우*
Jai Woo Shim

1. 서 론

1980년대는 자동차 분야에 있어 Engineering Plastics의 적용이 크게 증가한 시기였는데, 이는 경제적인 연료소모율을 달성하기 위한 자동차 경량화 추세에 부합된 Engineering Plastics의 낮은 중량과 Steel에 비하여 기계적, 화학적 성질 등의 우수한 특성 때문이다. 1990년대에도 Engineering Plastics의 사용 추세는 계속 증가되고 있고, 여러 자동차 회사에서 기존의 Steel을 Engineering Plastics으로 대체하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 자동차 내장부품에는 범용 Plastics이 많이 사용되고 있으나, 일정한 기능과 관련 법규를 만족해야 하는 외관 및 외장 부품에는 Engineering Plastics의 사용이 필수적이다. 연비 향상 이외에도 차량 충돌시 탑승자 안전을 위한 Bumper의 성능 규제(5 MPH Pendulum과 Barrier Impact Test)가 Bumper의 성능 향상을 요구하고 있다. 한편 최근에는 차량 충돌후 발생된 차량 손상을 수리하는 비용에 대한 관심이 높아지고 있고, 수리비 감소를 위한 요구가 미국의 IIHS(Insurance Institute for Highway Safety)를 중심으로 계속되고 있으며, 위 기관에서는 기존의 5 MPH Impact Test보다 더욱 강화된 5 MPH Pole Test와 30 Angle Barrier Test를 양산

차에 실시하여 그 결과를 공개하기 때문에 미국내의 자동차 회사 뿐아니라, 미국에 자동차를 수출하는 회사에서도 이에 대하여 고려하려는 움직임이 일고 있다. 따라서 최소의 무게로 최적의 성능을 갖는 Plastic Bumper의 개발이 자동차 판매에 매우 큰 영향을 미치게 될것이고, 이와함께 자동차에 적용되는 Plastic 제품 성능을 최적화하기 위한 방법으로, Computer Aided Engineering(CAE)이 도입되었고, 이와 관련된 여러가지 해석 기법들이 개발되어 사용되고 있다.

여기서는 자동차 분야중 Plastics이 가장 많이 적용되고 있는 Bumper의 초기 설계 가능성 확인(Feasibility Study) 및 최적 설계를 위한 유동해석, 구조해석 그리고 Blow Molding Back-Beam 해석을 위한 PITA(Polymer Inflation and Thinning Analysis) 등의 기법들에 대한 내용 및 적용방법 등에 대하여 서술하였다.^{1,2)}

특히, Energy Absorbing 역할을 하는 Back-Beam은 Blow Molding에 의한 설계방법에 초점을 맞추었다.

2. Plastic Bumper Design

새로운 차종에 적용할 Plastic Bumper를 설계하기 위해서는 일반적으로 다음의 순서를

* 정회원, GE Plastics Korea

따르게 된다.

1) Styling-Bumper Skin Line 및 자체의 선단(Radiator Grille 이나 Side Rail)에 대한 형상을 결정한다.

2) Feasibility Study-위의 Styling 에서 Package Space (Skin 과 자체선단 사이의 공간으로서, 설계되는 Energy Absorber 가 위치함), 차량의 제원과 요구되는 사양(충돌속도, 최대 허용 Intrusion 과 Deflection 등)을 고려하여, Back-Beam 의 구조를 결정한다. 이것은 상세한 해석이 아니고, 초기단계에서 설계의 방향 및 가능성을 알아보기 위한 것으로서, 선형 Beam 해석방법을 이용한다.

이 단계에서는 PREBUMP, C-MOLD, PITA 및 2 차원 구조해석을 수행한다.

3) 상세 구조해석-Feasibility Study에서 얻은 Back-Beam의 최적 형상을 이용해서 3 차원 구조해석을 수행하여, 최대 Intrusion, Deflection 과 응력값을 구하여 설계조건과 비교하여 보완한다.

4) 간이금형 제작 및 충돌시험-위의 해석 등을 통하여 얻은 Fascia와 Back-Beam의 형상으로 간이금형을 제작하고 Sample 을 만들어 충돌시험을 수행하고, 문제점을 보완한다.

5) 상세 구조해석-필요할 경우 4) 항의 시험결과중 보완, 수정된 내용에 대하여 구조해석을 다시 수행

6) 양산금형 제작-최종적으로 양산을 위한 금형을 제작

3. 해석기법

Plastic Bumper 개발시 사용되는 여러가지 해석기법 및 Program 들은 다음과 같다.

3.1 PREBUMP

Automated Preliminary Bumper feasibility analysis 의 약자로서 GE Plastics 에서 개발한 Program이며, Bumper 의 초기설계 단계에서 Bumper 의 단면(관성 Moment)과 Test 조건(충돌 속도, Rail Span, 차 중량, 허용 Intrusion, Test 종류 등)에 대하여 수치계

산으로 짧은 시간내에 Bumper 의 기능을 평가하여 Bumper 의 개략적인 단면형상과 재질 등을 결정한다.

단면의 결정은 설계자의 경험과 기술로서 결정되며, 전체 Program 의 방향을 좌우할 수 있는 중요한 단계이다. 여기서는 설계된 단면을 갖는 Bumper 의 성능 자체만이 문제가 아니고 성형성, 조립성과 작업성 등 제반 여러 가지 사항에 대해서도 고려되어야 한다.

본 Program 은 Energy Management 와 Beam Theory 를 이용하여 개발한 Bumper 의 초기 설계용 도구이며, 다음의 조건아래 사용된다.

1) Energy Management

자동차가 충돌할 때 발생하는 충돌 Energy 는 Bumper 에 의하여 모두 흡수되는 것은 아니고, 일부는 구동계, Suspension 과 차체로 전달되며, Test 종류에 따라 Bumper 가 흡수하는 Energy 비율도 달라진다.

Prepump 에서는 다음의 Energy 흡수비율을 사용하였다.

Barrier 와 Pole Test : 전체의 70%

Pendulum 과 Low Pendulum Test : 전체의 35%

2) Beam Theory

Beam Theory 의 Bending Equation 은 다음의 조건으로 사용되었다.

(1) Beam 의 재질은 인장과 압축에서 같은 특성을 갖는 Homogeneous Material 이다.

(2) Beam 은 끝은 직선 형상이다.

(3) 단면은 Uniform 하다.

(4) Beam 의 길이는 단면의 높이에 비하여 10 배 이상 크다.

3.2 PITA

Polymer Inflation Thinning Analysis 의 약자로서 Blow Molding 을 이용한 Bumper, Instrument Panel, Door 등의 설계시에 사용하는 해석 Program 으로서, 유한 요소법을 이용하여 GE 에서 개발하였다. Blow Molding 은 성형도중 Polymer 의 Inflation 시 발생하는

Large Deformation 때문에 불균일한 두께 분포를 주는데, 이에 대한 자세한 Data 없이는 구조해석을 수행할 수가 없게 된다. 따라서, 두께 분포에 대한 Data를 PITA로 얻어내어 이것을 구조해석용 단면 Data로 사용한다. PITA는 단면형상에 대한 두께 분포를 해석하는 2차원 Program과, Instrument Panel 처럼 전체 형상에 대하여 해석하는 3차원 Program 등 2가지의 Module이 있다. 또한, PITA를 이용하여 여러가지 모양의 금형에 대한 두께 분포 해석을 수행하여 최적의 단면형상을 얻을 수 있으므로 금형 개발기간 및 소요경비를 절약할 수 있다.

충돌시 대부분의 충돌 에너지를 흡수하는 Back Beam이 Blow Molding으로 성형될 경우, PITA를 이용하여 단면의 두께 변화를 예측할 수 있다.

3.3 C-MOLD

미국 Cornell 대학의 CIMP(Cornell Injection Molding Program)를 기본으로 하는 3차원 유동해석 Program으로서 제품의 질과 생산성을 높이고 소요시간을 단축할 수 있는 도구이다.³⁾

이와같은 Program을 사용하기 전에는, 사출성형 공정의 대부분은 과거의 경험을 바탕으로 시행오차법으로 이루어짐으로서 최적의 설계를 얻기 어려워 제품의 질을 저하시키고 생산단가를 상승시켜 경제적, 시간적 낭비를 초래하였다. 그러나, 이와같은 Computer Program을 사용하여 사출 성형시 주어진 조건과 재료에 대한 각 단계별 상황을 예측하므로써 최적의 제품 형상을 얻을 수 있고 금형 설계에서도 이것의 결과를 반영하여 많은 효과를 얻을 수 있다. 이 Program은 자동차, 전자, 전기 등 여러분야에서 폭넓게 사용되고 있다.

사출성형 공정은 원료가 가열되어 용융되는 가소화 과정, 용융된 원료가 Gate를 통하여 금형에 채워지는 충전과정, 충전후 더 높은 압력을 가하여 완전한 형태의 형상을 만드는 압입과정, 그리고 금형내 원료가 냉각, 고체

화되어 최종제품을 얻는 냉각과정으로 이루어지는데, C-MOLD는 각각의 과정을 해석할 수 있는 Module들로 구성된다.

Bumper의 경우 Fascia는 사출성형으로 제작되므로 이에 대한 해석은 C-MOLD를 사용한다. Bumper와 같이 큰 제품은 다른 제품에 비하여 성형이 어렵기 때문에 C-MOLD와 같은 Program의 사용은 필수적이고, 이것을 통하여 제품 성형시의 압력분포, 온도분포, 응력분포 및 Gate의 위치, 크기 등을 해석하여 문제점을 찾아내어 수정하므로써 최적의 성형조건을 얻는다.

3.4 구조해석

Computer를 이용한 해석의 마지막 단계이며, 제품의 성능을 최종적으로 평가한다. 구조해석에 사용되는 Program들은 ANSYS, ADINA, ABAQUS 등이 있으나, Plastic 제품에 대한 구조해석은 ABAQUS를 주로 사용한다.

구조해석 과정은, PITA에서 얻은 Back-Beam의 단면두께 분포와 C-MOLD에서 얻은 Fascia의 형상을 합쳐서 충돌시에 발생하는 Intrusion, Deflection과 응력 등을 계산하여, 설계된 Fascia와 Back-Beam의 성능을 평가한다. 그런데 Bumper가 흡수하는 충돌 Energy의 대부분은 Back-Beam이 흡수하므로 재설계시에는 주로 Back-Beam형상에 대하여 관심을 둔다.

구조해석의 기능도 임의의 단면에 대해서만 수행하는 2차원 해석과 전체 형상에 대해서 수행하는 3차원 해석이 있는데, 초기 단계에서는 2차원 해석을 수행하고, 최종단계에서는 3차원 해석을 수행한다.

Bumper의 설계과정중 가장 많은 시간이 소요되고, 사용자의 해석에 대한 많은 경험과 지식이 요구된다.

4. 결 론

Plastic Bumper 개발시, 개인적인 경험에 의한 설계방법은 거의 소용이 없으며, Com-

BUMPER ANALYSIS FEASIBILITY STUDY

Date and time : 4-JAN-89 09:59:09
 Prebump run by : TIM CRAVEN
 File name : TEST. DAT
 Project name : '85 TAURUS
 Material Used : XENYO

Design Parameters

Vehicle weight	=	3100.00	lbs.
Attachment point span	=	42.00	in.
Package defl. space	=	2.50	in.
EA efficiency	=	0.00	%
Available EA travel	=	0.00	in.
Total EA firing load	=	0.00	lb.
Min. MOI without EAs	=	0.1451E+02	in**4
Input section MOI	=	0.1200E+02	in**4
Tensile Modulus	=	0.3000E+06	psi
Poissons ratio	=	0.39	
Nominal section height	=	6.300	in.
Nom. thick. over height	=	0.190	in.
Nominal section width	=	4.100	in.
Nom. thick. over width	=	0.340	in.
Weighted overall nom. thickness	=	0.211	in.

Classical Solutions of Beam Theory Equations

Required Energy : Pole	=	21765.2	in. lb	5.00	mph
Energy & Defl from system	=	7288.7	in. lb	2.50	in.
Energy & Defl from beam flexure	=	7288.7	in. lb	2.50	in.
Max. Load & Stress on beam	=	5830.9	lb.	10459.22	psi
Required Energy : Pendulum	=	10882.6	in. lb	5.00	mph
Energy & Defl from system	=	8998.9	in. lb	2.50	in.
Energy & Defl from beam flexure	=	8998.9	in. lb	2.50	in.
Max. Load & Stress on beam	=	7199.1	lb.	7993.97	psi
Required Energy : Pendulum C-Low	=	10882.6	in. lb	5.00	mph
Energy & Defl from system	=	6867.6	in. lb	2.51	in.
Energy & Defl from beam flexure	=	6229.2	in. lb	2.08	in.
Energy & Defl from beam twist	=	638.4	in. lb	0.43	in.
Max. Load & Stress on beam	=	5989.6	lb.	7514.65	psi

puter Program을 이용한 해석방법이 필수적이다. 특히, 초기 설계단계에서 충돌 Energy의 대부분을 흡수하는 Back-Beam의 종류와 형상을 어떻게 결정하느냐는 Bumper 개발의 성패를 좌우하므로 매우 중요하다.

특히, 소형 승용차용 Plastic Bumper Back Beam에 많이 이용되고 있는 Blow Molding Bumper의 설계 및 해석기법에 사용되는 PITA Program은 설계자에게 필수적이고 유용한 도구이다.

우리나라의 경우 Plastic Bumper는 오래전부터 사용되어 왔으나, 이것은 경험에 의존한 재래식 방법으로 설계되므로, Overdesign되거나 북미 수출용 규제치에는 미치지 못하는 실정이었다. 수입차에 대한 연료 소모율과 5 MPH 충돌 규제가 더욱 엄격해지는 상황에서 수출 증대를 위해서는 위에서 언급한 해석기법들을 도입하여, 최대한 활용함으로써 최적의 설계를 할 수 있을 것이다.

- Gary McKittrick, Michael Prins and Charles H. Munchy, "Moldfilling Analysis of the CADILLAC FRONT FASCIA," General Electric Plastics Project No. ADC 276, May 22, 1987.

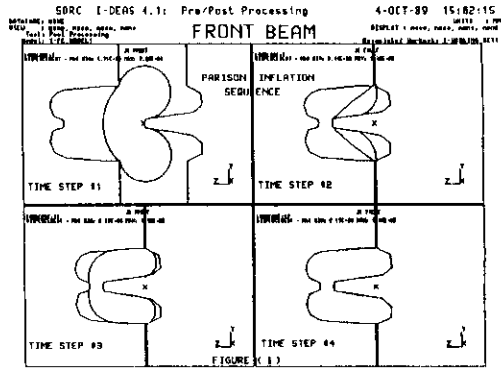


그림 2 PITA를 이용한 Back-Beam 단면의 해석과정

5. 후 기

본 논문을 완성하는데 필요한 자료와 도움을 제공하여 준 GE Plastics, Autopolymer Design Co. 그리고 현대자동차의 담당자에게 감사의 뜻을 전하며, 다음 기회에는 앞에서 언급한 해석기법들에 대하여 더욱 상세한 설명 및 실제 적용에 대하여 언급하고자 한다.

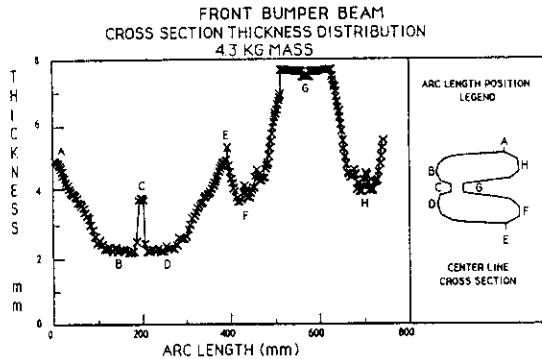


그림 3 PITA로 얻은 Back-Beam 단면의 두께 분포 곡선

참 고 문 헌

- Taylor, C.A., deLorenzi, H.G., & Nied, H.F., "Blow Molding - Process Characterization and Finite Element Modeling," Proceedings of the Society of Plastics Engineers 47th Annual Technical Conference, pp. 931-933, 1989.
- Ronald D. White and Mark C. Timney, "Hyundai Bumper Beams Initial Process and Structural Analysis," Autopolymer Design CADE Project #APD001, October 7th, 1989.

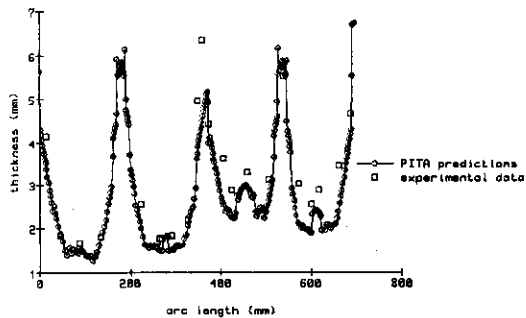


그림 4 PITA로 얻은 것과 실제 성형된 제품의 단면 두께 분포 비교

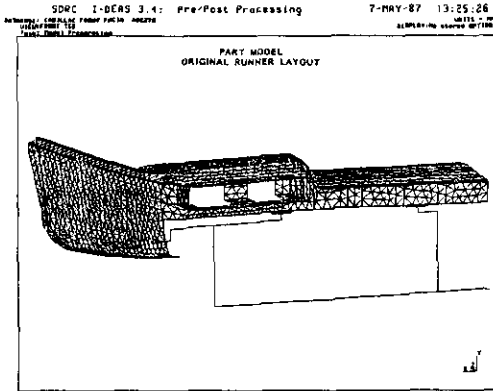


그림 5 Moldfilling 해석을 위한 Fascia Modeling 형상

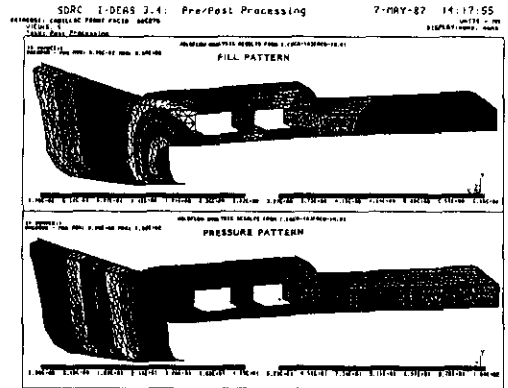


그림 6 C-MOLD로 해석한 결과(충진과정 및 압력분포)

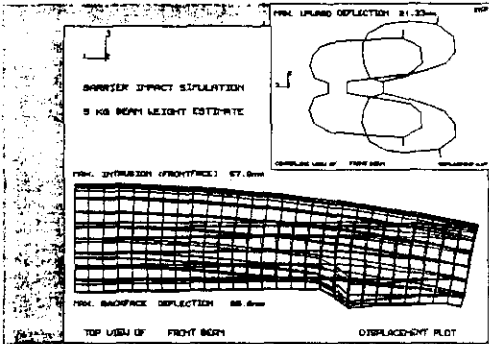


그림 7 구조해석용 Back-Beam의 Model 및 처짐량

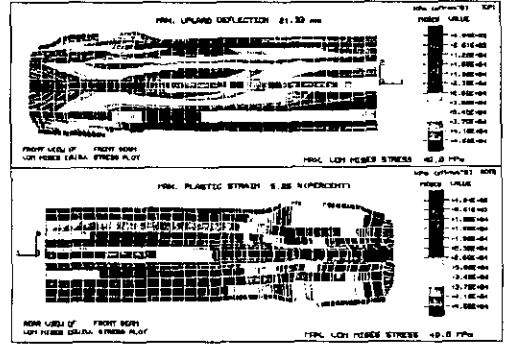


그림 8 구조해석으로 얻은 결과