

충격자의 형상 및 재질변화에 따른 펄스형성에 관한 연구

이영신* · 김동진** · 강근희*** · 오종수***

(1997년 2월 3일 접수)

A Study on the Impact Pulse Analysis with Various Shapes and Materials of Impactor

Young-Shin Lee, Dong-Jin Kim, Kun-Hee Kang and Jong-Soo Oh

Key Words: Impact Energy(충격에너지), Drop Type Impact Tester(자유낙하 충격시험기), Peak Acceleration(최대가속도), Time Duration(충격지속시간)

Abstract

The impact programmer for impact test was designed and the impact analysis was conducted. The effects of the material and geometric parameters on the impact force and pulse shape were investigated. The impact characteristics were examined by experimental and finite element method. The impact test was conducted with free drop impact tester. The ABAQUS/Explicit 5.5 version was used for finite element analysis. The geometric parameters of the conical and dome type impact programmer were analyzed. The polyurethane impact programmers were fabricated and tested. The effects of the hardness and thickness of the impact programmer were studied. The peak acceleration and time duration of impact programmer have close correlation with the hardness, impact energy and thickness of the impactor. The experiment was good agreement with analytical predictions. The impact pulse shape generated with polyurethane impact programmer was half sine shape. The maximum impact force was proportional to impact energy. The impact acceleration was decreased with thickness of impact programmer. The maximum impact time duration level was about 2 msec.

1. 서 론

산업의 발달에 따라 공업분야에서 다양한 재료의 사용이 증가 되어왔다. 실제로 기계분야에서 금속 이외에 복합재료, 고분자재료, 무기물재료 및 지능재료 등의 사용이 증가되어가고 있으며, 각 재질의 특성을 이용한 적용이 많이 이루어지고 있다. 그러므로 이러한 재료의 물리적, 화학적 성질들을 정확

히 분석하고, 측정하는 것이 중요하다. 이러한 요구사항에 적합한 제품을 생산하는데는 고성능 생산장비 및 측정장비가 필수적으로 필요하다. 실험장비의 성능은 상품의 기능을 좌우하는 기준이 되므로 매우 중요시 다루어지고 있으며, 그 측정규정도 또한 매우 엄밀한 범위에서 이루어지고 있다. 충격시험기에서는 시편(기계구조물, 전자장비 등)에 작용하는 충격력을 다양한 시험조건마다 일정하게 부여하는 것이 중요하다. 충격을 받는 기계구조물은 재질 및 형상의 특성에 따라 충격시 발생하는 최대 충격가속도와 충격지속시간, 충격파의 형상 등이 다르다. 이에 대한 변수들을 적절히 조절하여 원하

*회원, 충남대학교 기계설계공학과

**충남대학교 대학원 기계설계공학과

***국방과학연구소

는 충격량을 조정하는 충격파를 만드는 것이 중요하다.

자유낙하 충격시험기의 성능은 매 시험마다 정확한 충격량을 재현해야 된다. 또한 여러가지 실험요구조건하에서 일정한 충격에너지(충격높이 및 충격자의 질량)에 의한 반복적인 응답특성이 구현되어야 한다. 따라서, 반복적인 충격하중에 의한 소성변형이나 재질변형이 발생되지 않으며, 균일한 실험환경이 필수적으로 요구된다. 이러한 조건을 구현하기 위해 고분자재료인 폴리우레탄으로 제작된 다양한 경도와 형상을 갖는 충격프로그램의 충격특성에 대한 연구가 필요하다.

초탄성체에 대한 충격거동으로 Gaul 등⁽¹⁾은 초탄성체 고정구의 동적특성 계산 및 측정에 대해 연구하였다. Sfaoui 등⁽²⁾은 폴리우레탄 폼의 점탄성특성을 연구하였다. Danielson 등⁽³⁾은 타이어 모델링과 해석을 위한 전산기법을 연구하였다. Shim⁽⁴⁾은 폴리우레탄폼과 강관이 접합된 충격프로그램의 다양한 형상변화에 따른 연구로서 충격실험 및 이론식을 이용하여 충격거동을 분석하였다. 연구결과로서 시간에 따른 변형형상과 반력선도를 제시하였다. Adams⁽⁵⁾는 컴퓨터 자판 고무패드의 충격특성을 연구하였다. 실험과 이론식을 이용하여 고무재질로 만들어진 자판의 댐핑특성을 분석하였다. 김현영 등⁽⁶⁾은 자동차 고무부품에 대한 연구로서 브르셀의 회전에 따른 접촉특성 및 응력, 변위에 대한 해석과 대변형이 발생하는 엔진 마운팅장치의 변형 및 응력분석을 ABAQUS⁽⁷⁾를 이용하여 연구하였다. 김원택⁽⁸⁾등은 저밀도 폴리우레탄 폼소재의 유한요소 모델을 연구하였다.

본 연구에서는 자유낙하 충격시험과 유한요소해석을 수행하였다. 충격파에서 충격파형과 최대충격가속도, 충격지속시간을 이용한 충격특성을 분석하였다. 연구의 목적은 충격프로그램의 재질 및 형상에 따른 충격력과 충격펄스형상 특성을 분석하는 것이다. 충격실험은 자유낙하시험기로 수행하였으며, 유한요소해석은 ABAQUS/Explicit 5.5를 이용하였다. 충격시편은 원추형, 도움형과 길이 다양한 충격프로그램의 기하형상에 따른 충격특성을 고찰하였으며, 다양한 경도와 원추형형상으로 제작된 폴리우레탄 충격프로그램을 제작하여 실험하였다. 충격특성해석에는 충격력, 최대가속도 및 충격지속시간 등을 고찰하였다.

2. 유한요소해석

2.1 해석과정

본 연구에서 유한요소해석은 실제 실험조건과 동일한 조건으로 모델링하였다. AutoCAD를 이용하여 형상 모델링을 하였으며, ANSYS 5.0를 이용하여 유한요소 모델링을 하였다. 폴리우레탄의 물성은 환봉시편의 일축인장실험을 통해 얻은 응력과 변형률선도를 적용하였다. 실험을 통해 얻어진 폴리우레탄의 초탄성 재질특성은 ABAQUS/Explicit 5.5 입력프로그램의 기본 물성으로 사용되었다. 결과로서 최대가속도, 충격지속시간, 응력파의 파장진행현상, 충격응력분포와 시편 변형형상 등을 분석하였다. 이러한 과정을 반복적으로 각각의 형상변화와 재질변화에 따른 충격해석을 수행하였으며 해석과정은 Fig. 1과 같다.

2.2 유한요소 모델링

본 연구에서는 ABAQUS에서 지원되는 각 절점당 6자유도가 허용되는 축대칭 솔리드요소인 CAX4R을 사용하였으며, CAX4R요소는 한개의 요소에 4개의 절점으로 구성된다. Fig. 2는 해석에 사용된 모델링 형상을 나타낸다. 해석상에 많은 계산량을 감소시키기 위해 축대칭 솔리드 모델을 하였으며, 두개의 충격프로그램을 충격직진의 모습으로 모델링하였다.

경계조건으로 하부 충격프로그램 지지대는 지지태이블상에 완전 고정된 것으로 가정하여 6자유도를 구속하였다. 또한 낙하충격프로그램과 낙하

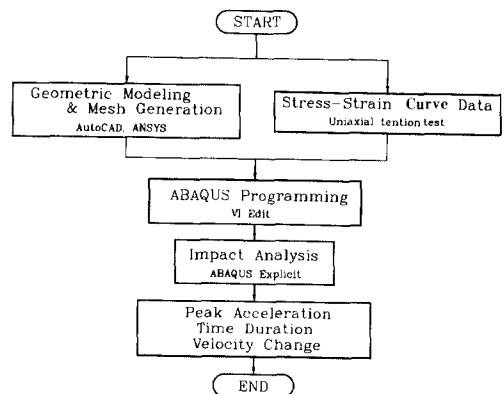
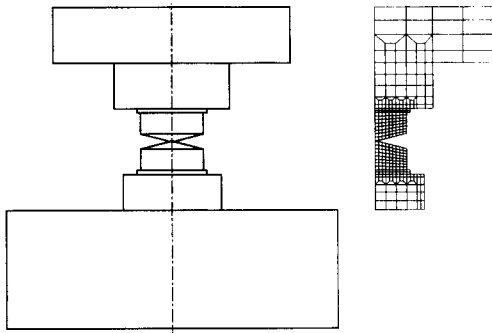
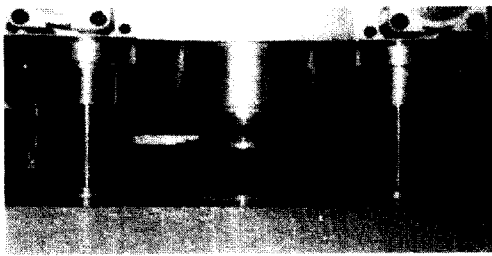


Fig. 1 Finite element analysis procedure of the polyurethane.



(a) F. E. M. modeling



(b) Actual shape

Fig. 2 Modeling for F. E. M. and actual shape of impact tester.

테이블은 지시된 자유낙하속도를 부여하여 실제 조건과 같은 충격을 모사할 수 있게 하였다. 본 연구에 사용된 충격에너지는 50J, 100J, 150J 그리고 200J로 고려하였다. 이러한 충격에너지값은 각각 0.214 m, 0.429 m, 0.643 m 그리고 0.857 m의 낙하높이로 자유낙하될때 발생하는 충격에너지이며, 충격속도는 2.05 m/s~4.05 m/s범위이다. 이때 낙하테이블과 충격프로그래머의 전체무게는 23.8 Kg이 작용한다.

2.3 재료실험 및 초탄성체 물성분석

우레탄 및 고무와 같은 초탄성재료는 비선형 응력-변형률관계와 기하학적 비선형성 및 대변형률을 갖는다. 그러므로 초탄성재료의 기계적 특성을 결정하기 위해서는 변형률에너지함수(U)를 정의해야 된다. 비압축성재료에 대한 변형률에너지함수(U)는 신장률(λ)로 정의되는 계수 I_1 , I_2 와 C_{ij} 로 구성되며, 재료의 특성은 계수 C_{ij} 를 결정함으로써 알 수 있다. 이러한 계수를 구하기 위해서는 일축인장시험, 이축인장시험, 전단시험 등을 통해서 결정한다. 이러한 시험들 중 어느 한가지 시험을 통해서 계수를 결정할 수 있으나 실제 적용시 관심있는 변

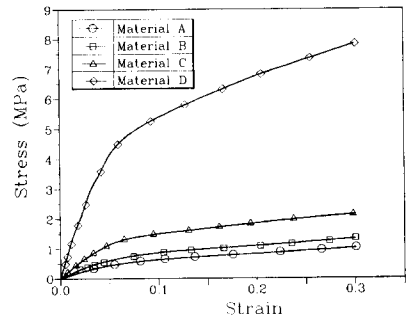


Fig. 3 Stress strain curve for polyurethane specimen.

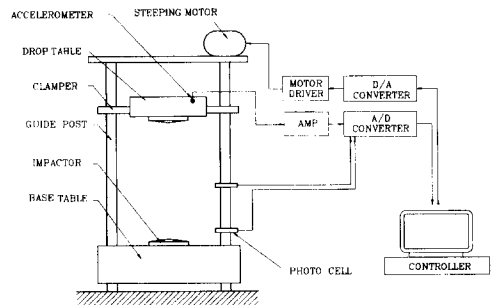


Fig. 4 Configuration of the drop type impact tester.

형률 범위에 대하여 여러가지 변형양상을 포함할 수 있도록 2가지 이상의 시험으로부터 데이터를 얻는 것이 이상적이다. 본 연구에서는 4가지의 다양한 경도를 갖는 재료의 일축인장시험을 통해 하중과 변위곡선, 응력과 변형률곡선을 구하였으며 Fig. 3은 실험에 사용된 재료의 응력과 변형률선도를 나타낸다. 인장시험에 사용된 시험기는 UTM(universal testing machine)을 사용하였으며, 인장시험은 실제 충격프로그래머와 동일한 재료를 환봉형 시험편을 제작하여 시험하였다. 시험편의 경도를 35, 40, 45와 75의 쇼어경도로 나타내며, 각각 A, B, C와 D의 기호로 분류하였다. 실험에 사용된 인장시험편은 길이 30 mm와 직경 15 mm의 환봉을 사용하였으며, 표점거리는 50 mm을 취하였다. 또한 인장시험의 인장속도는 2 mm/min이다.

3. 실험

3.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 4에 보여주는 자유낙하형 충격시험장치로서 전자제품, 휴대용 측정장비와 군수장비를 비롯하여 충격영향을 받는 장

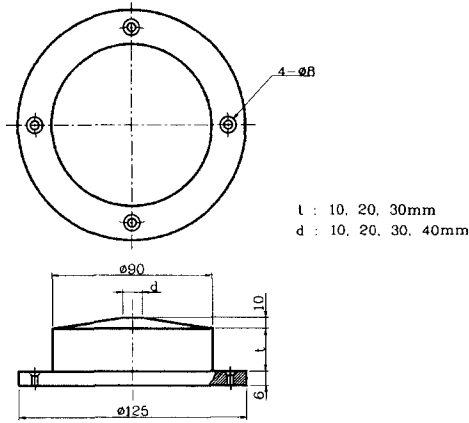


Fig. 5 Impact programmer specimen of impact test.

비의 충격강성을 측정하는 저속 충격시험장치이다. 충격시험장비의 규격은 최저 200 mm 높이에서 최고 1000 mm의 낙하높이 범위와 23.8 Kg의 낙하테이블중량을 갖는다. 또한 충격자가 장착되는 부위는 충격프로그래머의 알루미늄 지지패드와 볼트 체결이 가능하도록 4개의 볼트구멍이 설치되어 있다. 정확한 수직충격을 안내하기 위해 지지테이블과 낙하테이블의 양측에 2개의 안내기둥이 설치되었다. 지시된 낙하높이로 낙하테이블을 상승시키기 위한 구동장치로서 정확한 위치로 낙하테이블을 작동할 수 있는 stepping 모터와 볼스크류로 구성되었다. 낙하테이블의 낙하속도를 측정하기 위해 광센서를 안내기둥 측면에 동일한 부위에 일정한 간격으로 설치하였다. 이는 자유낙하시 낙하테이블의 측면을 감지하여 두센서의 거리차에 의한 낙하테이블의 자유낙하속도를 감지한다. 충격후 2차충격이 발생되므로 이를 방지하기 위해 안내기둥 양단에 공압용 디스크브레이크를 설치하여 되튀김현상을 방지한다. 본 실험장치에서 구성되는 가속도계, 광센서, stepping 모터와 브레이크 등은 각각의 Amplifier와 A/D converter, D/A converter에 의해 신호가 변환되며 컴퓨터의 프로그램에 의해 계산되도록 설계되었다.

3.2 실험시편

자유낙하형 충격시험기에서 원하는 충격력을 조정하기 위해 다양한 종류의 충격프로그래머가 사용된다. 탄성충격에서 발생하는 충격펄스를 얻기 위해 Polymer 재질의 충격프로그래머가 사용되며 소성 충격펄스를 얻기 위해 순납의 콘형 충격프로그

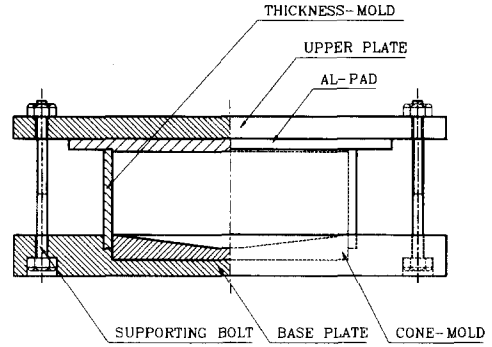


Fig. 6 Forming mold of the polyurethane impact programmer.

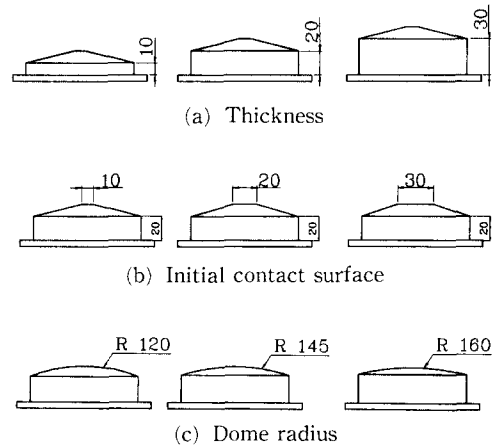


Fig. 7 The shape of impact programmer for various shapes.

래머가 사용되기도 한다. 그 외에도 조정이 가능한 충격파형과 충격력을 얻기 위해 소바형태의 충격프로그래머가 사용된다. 본 연구에서는 탄성충격력을 부여하기 위해 Polymer 재질을 이용한 탄성충격프로그래머를 사용하였으며, Fig. 5는 시험에 사용된 시편형상을 보여준다. 액화상태의 우레탄 합성액체 원료는 Fig. 6에 제시된 금형에서 성형된다. 금형은 충격프로그래머의 다양한 두께변화 및 접촉부의 면적변화를 가능하게 하기 위해 조립 가능하도록 제작하였다. 충격프로그래머는 폴리우레탄 부위가 테이블상에 볼트로 고정되도록 알루미늄재질의 원판이 부착되어 있다. 폴리우레탄 부위는 원통부와 원추부의 형상으로 구성된다. Fig. 7은 충격프로그래머의 형상변수로서 원통부의 두께는 10 mm, 20 mm 그리고 30 mm이며, 원추부의 초기 충격면적은 10 mm, 20 mm 그리고 30 mm이다. 그리고 접촉부

의 반경은 120 mm, 145 mm 그리고 160 mm이다.

Polymer 재질로 만들어진 충격프로그래머는 합성원료의 배합비율, 성형온도 및 숙성온도 등에 따라 재질의 강성이 변화된다. 이러한 Polymer는 초탄성(hyperelasticity) 성질을 가지고 있으므로 성형된 우레탄 프로그래머의 기계적 성질을 강도만으로 분석하기는 어렵다. 본 연구에서는 외부와 내부가 균일한 재질로 구성되었다고 가정하였으며, 경도에 따라 재질특성을 분류하였다. 브리넬경도계와 비커스경도계 같은 압입경도시험법은 경도시험시편의 금속흡입으로 경도값을 측정하나 폴리우레탄과 같은 재질은 탄성력이 매우 우수하므로 브리넬경도계와 비커스경도계 등을 이용한 경도시험은 수행할 수 없다. 그나마 반발 경도시험법인 쇼어경도의 경우 충격력을 부여하여 반발력을 측정하는 장치이므로 Polymer 경도측정에 적합하다. 본 연구에 사용된 쇼어경도계는 D형 쇼어경도계를 사용하였다. 본 연구에서 고려된 폴리우레탄 시편의 쇼어경도는 35, 40, 45와 75이다. 각 재질의 경도에 따라 호칭상 A, B, C 그리고 D-type으로 구분하였다.

3.3 충격실험 순서 및 방법

본 연구에 사용된 충격시험의 과정은 첫째로 원

하는 충격실험을 위해 시험기의 정확한 사양분석과 그에 따른 시험의 가능여부를 분석해야 된다. 둘째로 충격하중을 가하고자 하는 시편을 낙하테이블 상단에 완전하게 볼트체결하며 완전히 접촉된 상태로 체결한다. 셋째로 설치된 시편에 작용하는 충격력을 낙하높이와 충격프로그래머를 선정하여 결정한다. 넷째로 낙하테이블과 지지테이블의 접촉면에 선정된 충격프로그래머를 수직으로 작용하게 고정된 후 각각의 볼트에 일정한 토크로서 균일하게 체결한다. 다섯째로 충격에너지를 결정하는 낙하높이만큼 컴퓨터에 의해 지시된 높이로 낙하테이블을 이동한다. 컴퓨터에서 지시된 신호는 D/A converter와 moter driver를 통해 stepping 모터를 구동하여 지시된 높이만큼 낙하테이블을 상승시킨다. 여섯째로 상승된 테이블은 설정된 높이에서 자유낙하를 실행한다. 일곱번째 낙하되는 테이블의 속도를 측정하기 위해 안내기둥 측면에 부착된 광센서를 이용하여 낙하속도를 측정한다. 측정된 센서의 신호는 Amplifier와 A/D Converter를 통해 컴퓨터에 입력되며, 컴퓨터에서 낙하속도를 측정한다. 여덟번째 테이블의 2차충격을 방지하기 위해 낙하테이블 측면에 부착된 브레이크가 작동되어 2차충격을 방지한다. 아홉번째 충격시 발생하는 충격과는 낙

Table 1 Peak acceleration and time duration of the various material for experimental analysis.

Impact energy (J)	Thickness of impactor (mm)	Peak acceleration and time duration							
		Material A		Material B		Material C		Material D	
		P.A. (g)	T.D. (ms)	P.A. (g)	T.D. (ms)	P.A. (g)	T.D. (ms)	P.A. (g)	T.D. (ms)
50	10	64.0	7.5	56.2	8.7	58.5	8.4	64.8	8.0
	20	40.6	12.2	45.3	11.8	47.6	11.4	56.2	9.9
	30	39.8	12.7	34.3	15.9	42.0	32.9	45.3	12.4
100	10	113.0	7.2	97.0	7.9	97.0	7.0	113.0	7.0
	20	62.0	11.8	67.9	10.2	67.1	10.8	85.0	8.5
	30	59.3	10.3	51.5	13.4	60.1	12.2	74.0	11.3
150	10	144.0	6.2	128.0	6.2	140.0	6.5	152.0	6.8
	20	85.0	9.8	85.9	9.6	84.3	10.4	121.0	8.1
	30	57.8	11.3	66.4	12.6	72.6	11.5	97.0	9.6
200	10	175.0	5.5	148.0	6.1	160.0	5.8	179.0	6.1
	20	97.0	9.5	101.0	9.6	97.0	10.4	136.0	7.3
	30	97.6	11.6	74.2	12.1	83.5	10.9	113.0	9.5

Table 2 Peak acceleration and time duration of the various material for finite element analysis.

Impact energy (J)	Thickness of impactor (mm)	Peak acceleration and time duration							
		Material A		Material B		Material C		Material D	
		P.A. (g)	T.D. (ms)	P.A. (g)	T.D. (ms)	P.A. (g)	T.D. (ms)	P.A. (g)	T.D. (ms)
50	5	208.4	5.7	183.4	6.5	148.5	6.7	276.9	3.0
	10	92.4	12.0	105.6	9.5	78.3	14.9	147.9	7.2
	20	71.1	13.0	85.3	10.3	60.1	16.8	111.0	10.0
	30	60.1	16.0	76.2	13.4	48.7	20.0	89.4	11.5
100	5	286.4	4.3	338.4	4.2	231.7	5.5	553.3	2.8
	10	172.6	9.7	177.8	7.2	141.1	10.5	247.5	5.5
	20	103.7	12.5	152.9	9.5	109.3	13.2	183.9	7.5
	30	102.7	13.0	130.0	10.5	85.0	17.0	170.4	7.8
150	5	410.5	2.3	516.0	3.5	370.0	4.8	648.8	2.5
	10	242.2	8.0	253.6	6.8	192.4	9.0	311.6	5.0
	20	147.7	11.0	200.0	8.0	150.3	11.3	281.6	5.0
	30	124.1	11.9	181.3	9.3	117.0	15.5	215.3	7.0
200	5	620.2	2.3	663.0	3.0	406.2	4.7	748.7	1.8
	10	294.9	7.8	332.6	6.0	259.7	7.8	382.2	3.0
	20	229.9	9.0	226.8	7.0	185.2	10.0	313.4	5.0
	30	191.7	9.7	233.4	8.0	150.8	13.2	269.2	6.5

하테이블의 상단에 부착된 가속도계에 의해서 측정되며, 이는 Amplifier와 A/D converter를 통해 PC에 입력된다. 입력된 신호는 설정된 프로그램에 의해 계산되어 최대가속도값을 구할 수 있다. 마지막으로 측정된 신호는 필터링을 거쳐 모니터와 프린터에 출력된다. 이러한 실험은 신뢰성을 얻기 위해 5회 이상 실험되며, 평균값을 취하여 충격에너지값을 결정한다.

4. 결과 및 고찰

4.1 충격력 변화에 대한 분석

충격시험기에 작용하는 충격력(충격가속도)은 낙하테이블과 측정대상장치의 질량과 낙하가속도의 수치로서 나타낼 수 있다. 이는 충격프로그램에 충격하중이 작용하는 것으로 고려할 수 있다. 다양한 자유낙하 높이변화(0.214 m, 0.429 m, 0.643

m, 0.857 m)에 따른 충격펄스를 분석하였으며, 이들 충격력은 각각 충격에너지 50J~200J에 상당한다. 다양한 충격에너지의 변화에 따른 실험과 유한요소해석을 통해서 Tables 1, 2 같은 충격가속도값과 충격지속시간에 대한 결과를 얻었다.

A 재질로 제작된 충격프로그램의 경우, 충격에너지와 충격프로그램의 두께 등을 해석변수로서 사용하였다. 폴리우레탄 충격프로그램에 50J에서 200J까지 충격에너지가 증가되었다. 충격프로그램의 두께가 10 mm일 때, 64 g, 113 g, 144 g, 175 g로 비교적 완만한 증가를 보였다. 이와 마찬가지로 20 mm의 두께인 충격프로그램에 대해서도 충격가속도는 40.6 g에서 97 g까지 증가되며, 30 mm의 두께일 때는 39.8 g에서 79.6 g까지 증가되었다. 충격가속도의 위치는 낙하테이블의 중앙상단점에서 측정하였다.

B재질로 제작된 충격프로그램의 결과에서 실

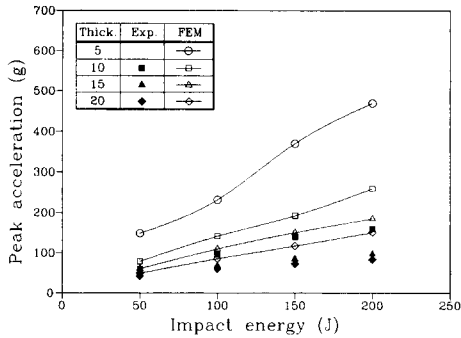


Fig. 8 Peak acceleration of material C under various impact energy by experimental method and finite element analysis.

험은 충격프로그램머 두께 10 mm, 20 mm와 30 mm 세가지 종류에 대해 수행하였다. 유한요소해석은 두께 5 mm, 10 mm, 20 mm와 30 mm 네가지 충격프로그램머에 대해 수행하여 비교하였다. 두께가 10 mm인 충격프로그램머에서 충격에너지가 50J에서 200J까지 증가될수록 최대가속도는 56.2 g에서 148.0 g까지 증가된다. 그와 반대로 충격지속시간은 8.72 ms에서 6.10 ms까지 감소된다. 두께가 20 mm인 충격프로그램머는 최대가속도가 최저 45.3 g에서 최고 101.0 g까지 증가되며, 충격지속시간은 11.85 ms에서 9.65 ms로 감소된다. 또한 두께가 30 mm인 충격프로그램머는 최대가속도가 최저 34.3 g에서 74.2 g까지 증가되며, 충격지속시간은 15.96 ms에서 12.14 ms까지 감소된다.

C재질로 제작된 충격프로그램머의 결과에서, 두께가 10 mm인 충격프로그램머에서 충격에너지가 50J에서 200J까지 증가될수록 최대가속도값은 58.5 g에서 160.0 g까지 증가된다. 그와 반대로 충격지속시간은 8.44 ms에서 5.81 ms로 감소된다. 두께가 20 mm인 충격프로그램머는 최대가속도값이 최저 47.6 g에서 최고 97.0 g범위에 분포되며, 충격지속시간은 11.39 ms에서 10.38 ms로 감소된다. 한편 두께가 30 mm인 충격프로그램머는 최대가속도가 최저 42.0 g에서 83.5 g까지 증가되며, 충격지속시간은 32.86 ms에서 10.87ms로 감소된다. Fig. 8은 C재질로 제작된 충격프로그램머의 최대가속도 선도를 나타내며, Fig. 9는 충격지속시간을 나타낸다.

D재질로 제작된 충격프로그램머의 결과에서, 두께가 10 mm인 충격프로그램머에서 충격에너지가 50J에서 200J까지 증가될수록 최대가속도는 64.8 g

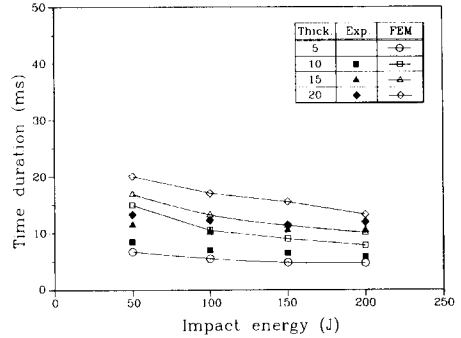


Fig. 9 Time duration of material C under various impact energy by experimental method and finite element analysis.

에서 179.0g까지 증가된다. 그와 반대로 충격지속시간은 8.04 ms에서 6.06 ms로 감소된다. 한편 두께가 20 mm인 충격프로그램머는 최대가속도가 최저 56.2 g에서 최고 136.0 g 사이에 분포되며, 충격지속시간은 9.92 ms에서 7.25 ms로 감소된다. 또한 두께가 30 mm인 충격프로그램머는 최대가속도가 최저 45.3 g에서 113.0 g까지 증가되며, 충격지속시간은 12.41 ms에서 9.55 ms로 감소된다.

4.2 형상변화에 대한 분석

충격프로그램머의 형상은 균일단면봉과 절두된 원추부로 구분되며, 본 연구에서 고려된 변수로서 원통부의 다양한 두께변화, 즉 10 mm, 20 mm와 30 mm에 따른 충격해석을 수행하였다. 균일단면봉의 면적비에 따른 절두된 원추부의 초기 접촉면적비 증가에 대한 충격해석을 수행하였다. 또한 초기 충격하중을 받는 부분의 형상이 구형형상일 경우구의 반경이 120 mm, 145 mm 그리고 160 mm에 대한 충격분석을 하였다.

4.2.1 원통부 두께변화에 대한 충격분석

본 연구에서 고려된 원통부의 치수는 10 mm, 20 mm와 30 mm에 대해 충격실험을 수행하였다. 또한 유한요소해석에서는 5 mm 두께의 충격프로그램머를 첨가하여 해석하였다.

A재질로 제작된 충격프로그램머에서 충격에너지가 50J이 작용할 때, 두께가 10 mm에서 20 mm 및 30 mm로 증가할수록 최대충격력은 64.0 g에서 39.8 g로 감소된다. 이와는 반대로 충격지속시간은 7.54 ms에서 12.67 ms까지 증가된다. 충격에너지가 100J인 경우, 최대가속도는 최고 113.0 g에서 59.3 g로 감소되며, 충격지속시간은 7.2 ms에서

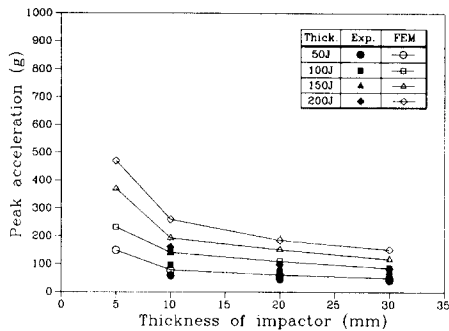


Fig. 10 Peak acceleration of material C for various thickness by experimental method and finite element analysis.

10.29까지 증가된다. 충격에너지가 150J인 경우, 최대가속도는 최고 144g에서 57.8g로 감소되며, 충격지속시간은 6.18ms에서 11.95ms까지 증가된다. 그리고 충격에너지가 200J인 경우 최대가속도는 최고 175.0g에서 79.6g로 감소되며, 충격지속시간은 5.54ms에서 11.63ms까지 증가된다.

B재질로 제작된 충격프로그램에서 충격에너지가 50J이 작용할 때, 두께가 10mm, 20mm 및 30mm로 증가할수록 최대충격력은 56.2g, 45.3g 및 34.3g로 감소된다. 이와는 반대로 충격지속시간은 8.72ms, 11.85ms 및 15.96ms로 증가된다. 충격에너지가 100J인 경우, 최대가속도는 최고 97.0g에서 51.5g로 감소되며, 충격지속시간은 7.95ms에서 13.37ms까지 증가된다. 충격에너지가 150J인 경우, 최대가속도는 최고 128.0g에서 66.4g로 감소되며, 충격지속시간은 6.21ms에서 12.6ms까지 증가된다. 그리고 충격에너지가 200J인 경우 최대가속도는 최고 148.0g에서 74.2g로 감소되며, 충격지속시간은 6.1ms에서 12.14ms까지 증가된다.

C재질로 제작된 충격프로그램에서, 충격에너지가 50J이 작용할 때, 두께가 10mm, 20mm와 30mm로 증가할수록, 최대충격력은 58.5g에서 47.6g 및 42.0g로 감소된다. 즉, 두께는 20mm에서 30mm까지 증가하나 충격가속도값의 변화는 작았다. 이와는 반대로 충격지속시간은 8.44ms에서 11.39ms 및 32.86ms로 증가된다. 그러나 충격지속시간은 크게 증가하였다.

충격에너지가 100J인 경우, 최대가속도는 최고 97.0g에서 60.1g로 감소되었다. 그러나 충격지속시간은 7.01ms에서 12.23ms까지 증가된다. 충격에너지가 150J인 경우, 최대가속도는 최고 140.0g

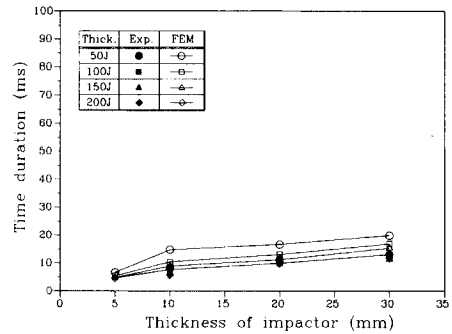


Fig. 11 Time duration of material C for various thickness by experimental method and finite element analysis.

에서 72.6g로 감소되었다. 그러나 충격지속시간은 6.5ms에서 11.47ms까지 증가된다. 그리고 충격에너지가 200J인 경우, 최대가속도는 최고 160.0g에서 83.5g까지 감소되며, 충격지속시간은 5.81ms에서 10.87ms까지 증가된다.

D재질로 제작된 충격프로그램에서 충격에너지가 50J이 작용할 때, 두께가 10mm에서 20mm 및 30mm로 증가할수록 최대충격력은 64.8g에서 56.2g 및 45.3g로 감소된다. 그러나 충격지속시간은 8.04ms에서 9.92ms 및 12.41ms로 증가된다. 충격에너지가 100J인 경우, 최대가속도값은 최고 113.0g에서 74.0g로 감소되었다. 그러나 충격지속시간은 6.96ms에서 11.31ms까지 증가된다. 충격에너지가 150J인 경우, 최대가속도값은 최고 152.0g에서 97.0g까지 감소되었다. 그러나 충격지속시간은 6.76ms에서 9.64ms까지 증가된다. 그리고 충격에너지가 200J인 경우, 최대가속도값은 최고 179.0g에서 113.0g로 감소되었다. 그러나 충격지속시간은 6.06ms에서 9.55ms까지 증가된다.

Fig. 10은 C재질로 제작된 충격프로그램의 두께변화에 따른 충격가속도 선도이며, Fig. 11은 충격지속시간 선도이다.

4.2.2 초기 충격면적의 단면비 변화에 대한 충격 분석

충격프로그램의 초기 접촉면적은 Fig. 7(b)에서 명시된 바와 같이 10mm, 20mm와 30mm로 구성되어 있다. 이러한 초기 접촉단면의 직경변화, 즉 균일단면부의 단면의 초기 접촉면적변화에 대해 분석하였다. 여기서 d1은 접촉부의 직경이며, d2는 원통부의 직경이다. 이때, 원통부의 두께는 20mm이다. Fig. 12에 나타낸 것과 같이 50J의 충격

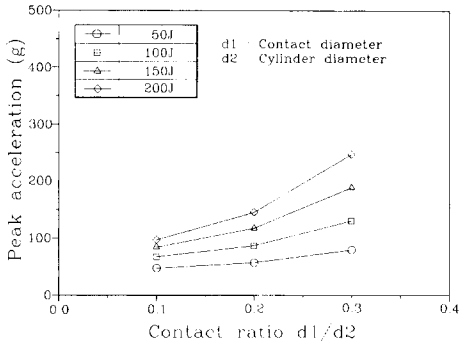


Fig. 12 Analytical peak acceleration of material C various initial contact ratio.

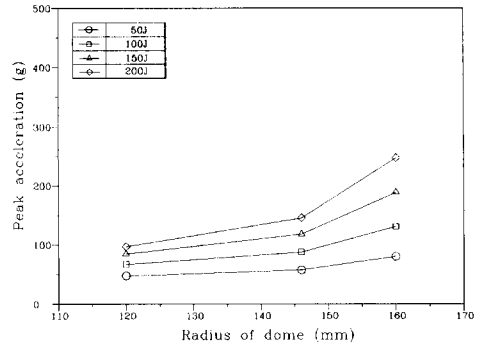


Fig. 13 Analytical peak acceleration of material C various initial contact radius.

Table 3 Peak acceleration and time duration of material C impact programmer for initial contact ratio and contact radius.

Impact energy (J)	Initial contact ratio		Initial contact radius	
	Contact surface diameter (mm)	Peak acceleration (g)	Radius (mm)	Peak acceleration (g)
50	10	47.6	120	83.2
	20	57.1	145	86.4
	30	79.9	160	92.3
100	10	67.1	120	99.9
	20	87.2	145	112.4
	30	130.8	160	129.2
150	10	84.3	120	129.8
	20	118.0	145	157.3
	30	188.8	160	193.9
200	10	97.0	120	181.2
	20	145.5	145	220.3
	30	247.3	160	310.2

에너지가 작용하는 경우, 초기 접촉 단면적비($d1/d2$)가 0.1에서 0.3까지 증가될수록 최대가속도 값은 47.6 g에서 79.96 g까지 증가하며, 충격에너지가 200J일 때는 97 g에서 247.35 g까지 크게 증가됨을 알 수 있다. 즉, 충격에너지가 클수록 충격프로그램머의 두께증가에 따라 증가됨을 알 수 있다.

Table 3은 초기 접촉면적변화 및 초기 접촉반경변화에 따른 최대가속도값을 나타낸다.

4.2.3 도움형 충격프로그램머 형상변화에 대한 충격분석

구형 프로그램머의 형상변화에 따른 연구로서, Fig. 7(c)에서 제시된 것과 같이 C재질로 제작된 도움형 충격프로그램머에 대한 충격분석을 수행하였다. Fig. 13은 초기 접촉반경변화에 따른 최대 충격가속도값을 나타낸다. 충격프로그램머의 도움반경이 120 mm, 145 mm와 160 mm으로 도움의 반경이 커질수록, 즉 접촉면적이 충격시간에 따라 크게 증가될 때 충격에너지에 따른 최대가속도값을 분석하였다. 해석결과 충격에너지 50J이 작용할 때 충격프로그램머의 최대가속도값은 83.24 g에서 86.45 g 및 92.32 g로 증가되었으며, 200J에서는 181.18 g에서 220.27 g 및 310.19 g로 증가됨을 알 수 있었다. 이는 접촉단면적비에 대한 결과와 유사하였다. 작은 충격에너지가 작용하는 경우, 단면적비에 따른 최대가속도값의 차이는 작으나, 충격력이 증가될수록 최대가속도값이 크게 증가한다.

4.3 재질변화에 대한 분석

충격프로그램머의 쇼어경도가 35, 40, 45와 75로 증가에 대한 결과는 다음과 같다. 충격프로그램머에 50J이 작용할때, 두께가 10 mm인 충격프로그램머는 쇼어경도가 35, 40, 45와 75로 증가할수록 최대가속도 값은 64.0 g, 56.2 g, 58.5 g와 64.8 g이다. 또한 충격지속시간은 각각 7.54 ms, 8.72 ms, 8.44 ms와 8.04 ms이다. 충격프로그램머의 두께가 20 mm일때, 경도증가에 따라 최대가속도값은 40.6 g에서 56.2 g까지 증가되며, 충격지속시간은 12.15 ms

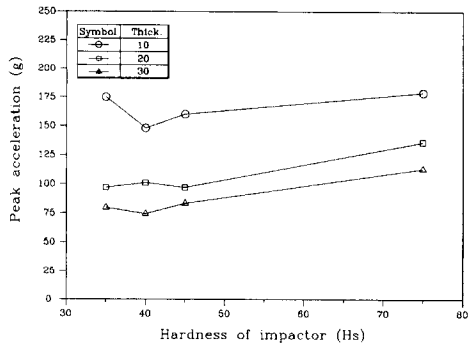


Fig. 14 Experimental peak acceleration for various impact programmer hardness under impact energy 200J.

에서 9.92 ms로 감소한다. 또한 30 mm 두께일 때, 최대가속도값은 39.8 g에서 45.3 g 사이에 분포하며 충격지속시간은 12.67 ms에서 12.41 ms 사이에 분포된다. 충격프로그램에 100J이 작용할 때, 두께가 10 mm인 충격프로그램머는 쇼어경도가 35, 40, 45와 75로 증가할수록 최대가속도값은 113.0 g, 97.0 g, 97.0 g와 113.0 g이다. 또한 충격지속시간은 7.20ms, 7.95ms, 7.10 ms와 6.96 ms이다. 충격프로그램머의 두께가 20 mm일 때 경도증가에 따라 62.0 g에서 85.0 g까지 증가되며, 충격지속시간은 11.83 ms에서 8.07 ms로 감소되었다. 또한 30 mm의 두께일 때, 충격가속도 크기는 59.3 g에서 74.0 g까지 증가하며, 충격지속시간은 10.29 ms에서 11.31 ms 값을 나타낸다.

충격프로그램머에 150J이 작용할 때, 두께가 10 mm인 충격프로그램머의 쇼어경도가 35, 40, 45와 75로 증가할수록 최대가속도 값은 144.0 g, 128.0 g, 140.0 g와 152.0 g이다. 또한 충격지속시간은 6.18 ms, 6.21 ms, 6.05 ms와 6.76 ms이다. 충격프로그램머의 두께가 20 mm일 때, 경도증가에 따라 85.0 g에서 121.0 g까지 증가되며, 충격지속시간은 9.80 ms에서 8.07 ms사이값이다. 또한 두께가 30mm일 때, 최대가속도는 57.8 g에서 97.0 g사이 값을 나타내며, 충격지속시간은 9.64 ms~11.95 ms 사이값을 갖는다.

Fig. 14는 200J이 작용할 때, 재질변화에 따른 충격프로그램머의 최대가속도 선도를 나타내며, Fig. 15는 충격지속시간 선도를 나타낸다. 충격프로그램머의 두께가 10 mm에서, 충격프로그램머의 쇼어경도가 35, 40, 45와 75로 증가할수록 최대가속도값은 175.0 g, 148.0 g, 160.0 g와 179.0 g이다. 또한

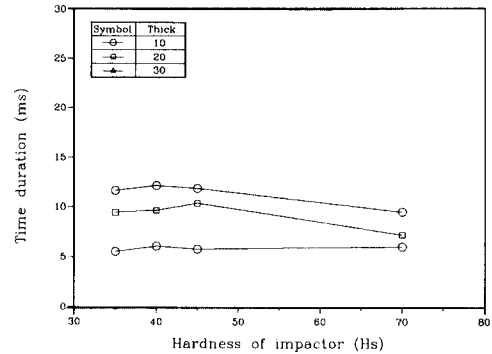


Fig. 15 Experimental time duration for various impact programmer hardness under impact energy 200J.

Table 4 Maximum stress of material C impact programmer with thickness 20mm under impact energy 100J.

Time(msec)	Maximum stress(MPa)
0.1	0.25
1.2	2.22
3.2	4.70
5.2	7.6
5.6	10.2
6.2	10.4
8.1	6.35
11.2	3.71
12.8	1.52
13.0	0.82

충격지속시간은 5.54 ms, 6.10 ms, 5.81 ms와 6.06 ms이다. 충격프로그램머의 두께가 20 mm일 때, 경도증가에 따라 최대가속도값은 97.0 g에서 136.0 g까지 증가되며, 충격지속시간은 9.45 ms에서 7.25 ms까지 감소된다. 또한 30 mm의 두께 일 때, 최대가속도값은 79.6 g에서 113.0 g까지 증가되며, 충격지속시간은 11.63 ms에서 9.55 ms까지 감소된다.

4.4 충격접촉응력 해석

충격하중에 따른 충격접촉응력을 분석하였다. Table 4는 C재질로 제작된 두께 20 mm의 충격프로그램머에서 충격에너지 200J을 받는 경우 해석에 의한

시간에 따른 최대응력 이력값을 나타낸다. Fig. 16에 시간에 따른 최대응력 이력선도를 나타내었다. 충격지속시간이 6 ms에서 7 ms사이 일때 최대응력이 10.4 MPa 발생되며, 시간에 따른 응력응답은 최대 가속도응답과 같은 형태의 정현파를 나타낸다. 가속도값이 최대가 될때 최대응력이 발생된다. Fig. 17에 충격프로그램머의 시간에 따른 응력분포와 변형형상을 나타내었다. 충격프로그램머 상단부분은 약 6~8 mm정도의 변형이 일어나며, 충격후 탄성 회복됨을 볼 수 있다. 또한 응력파장은 충격부위에서 방사형태로 발생하는 것을 볼 수 있다. 그러나 최대응력은 충격지속시간이 끝나는 시간까지도 충격프로그램머의 내부에 남아 있다. 한편 충격프로그램머에 최대응력이 작용할때(6.5 ms) 알루미늄판의 응력은 6 MPa이고, 상하 충격프로그램머 고정구는 2 MPa 이하의 수준이었다.

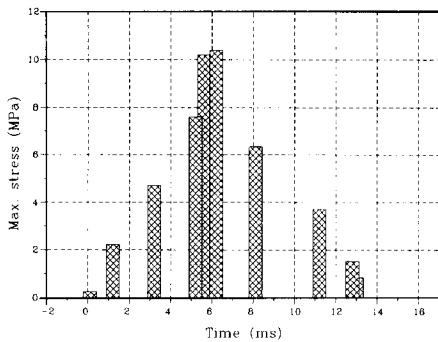


Fig. 16 Maximum stress history of material C impact programmer with thickness 20 mm under impact energy 100J.

5. 결 론

초탄성특성을 갖는 우레탄 충격프로그램머의 다양한 형상 및 재질변화에 따른 충격을 분석하였으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 충격프로그램머의 충격에너지가 증가될수록 충격력(충격가속도)은 큰 폭으로 증가되며, 충격펄스의 형상이 날카로운 형상으로 변화된다.

(2) 충격프로그램머의 실린더부분의 두께가 증가할수록 파장전파 길이가 길어지므로 최대가속도는 감소되며, 두께가 2배로 증가되면 최대가속도는 1/2정도로 감소된다.

(3) 충격프로그램머의 초기접촉면적이 증가될수록 최대가속도가 증가한다. 이러한 가속도값의 증가는 충격에너지의 크기에 비례된다. 즉, 충격에너지가 커질수록 접촉면적의 증가에 따라 최대가속도가 증가한다.

(4) 충격프로그램머의 접촉면이 구형일 때 구형반경이 커질수록, 즉 접촉면적이 크게 증가될수록 가속도값은 증가한다. 한편 작용하는 충격에너지의 크기에 비례하여 변화량이 크게 발생된다.

(5) 동일한 두께에 동일한 충격에너지가 작용할 때, 재질변화에 따른 최대가속도와 충격지속시간의 변화는 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

(6) 제작, 실험된 충격프로그램머의 최대가속도는 두께가 10 mm일 때 200 g 수준이 일어졌으며, 충격지속시간은 6 msec정도이다. 한편, 충격프로그램머와 두께가 5 mm일 때, 해석에서 얻어진 최대가속도는 700 g 정도이며, 충격지속시간은 2 msec 범위이다.

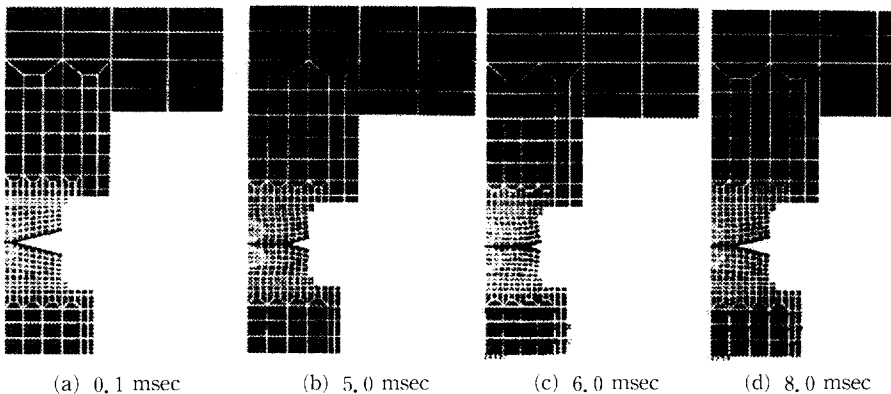


Fig. 17 Stress contour of material C with thickness 20 mm under impact energy 100J.

참고문헌

- (1) Gaul, L., 1991, "Calculated and Measured Dynamics of Elastomer Support Mounts," *The International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis*, Vol. 6, No. 1, pp. 45~54.
- (2) Sfaoui, A., 1995, "On the Viscoelasticity of the Polyurethane Foam," *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 97, No. 2, pp. 1046~1052.
- (3) Danielson, K. T., Noor, A. K. and Green, J. S., 1996, "Computational Strategies for Tire Modeling and Analysis," *Computers & Structures*, Vol. 61, No. 4, pp. 673~693.
- (4) Shim, V. P. W. and Yap, K. Y., 1997, "Static and Impact Crushing of Layered Foam-Plate System," *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 39, No. 1, pp. 69~86.
- (5) Adams, M. B., Miyagawa, O., Daugela, A. and Fujii, H., 1997, "Force Dispersion and Shock Damping Mediated by Close-Packed Arrays of Distally Connected Cells," *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 39, No. 2, pp. 137~146.
- (6) 김현영, 최 천, 방원준, 김재수, 1993, "자동차용 고무부품에 대한 대변형 유한요소해석," 자동차공학회지, 제15권, 제1호, pp. 107~119.
- (7) Hibbit Karlsson and Sorensen, 1994, *ABAQUS Theory Manual, Version 5.4*, Hibbit, Karlsson & Sorensen Inc.
- (8) 김원택, 최형연, 1996, "저밀도 폴리우레탄포움재료의 유한요소 모델링," 한국자동차공학회 논문집, 제4권, 제2호, pp. 183~188.