

자동차 보강재 경량화를 위한 충격 실험장치 개발

김익태¹, 강형선^{2*}

¹조선이공대학교 메카트로닉스과

²조선이공대학교 기계설계과

Development of an impact test device for Light-weight Automotive Reinforcements

Ick-Tae Kim¹, Hyung-Sun Kang^{2*}

¹Department of Mechatronics, Chosun College of Science & Technology

²Department of Mechanical Design, Chosun College of Science & Technology

요약 본 자동차 충돌사고는 인간이 자동차 문명을 발전시킨 이래 누려온 편의성의 대가이기 때문에 많은 사람들이 충돌 사고 시 승객의 사망과 상해를 기술적으로 감소시키기 위해 여러 가지 노력을 기울여 왔다. 도로교통공단 통계자료에 따르면 승용차 충돌사고로 인한 사망자 총 측면충돌사고에 의한 사망자가 정면충돌사고의 사망자보다 많다. 자동차 설계자들은 이에 대응하기 위해 도어 내부에 임팩트 빔(Impact Beam)과 임팩트 프레임(Impact Frame)이라는 보강재를 추가시켜 왔다. 이러한 보강재 개발을 위해 충돌실험은 필수적이다. 충돌실험의 경우 많은 비용과 시간이 소모되게 된다. 본 연구는 임팩터를 떨어뜨려 충격량과 변형량을 얻을 수 있는 실험장치 개발이 목적이다. 경제적 비용을 줄일 수 있는 이상적인 실험장치 구성을 제시하고, 수치해석 값과 실험결과 값을 비교 분석한 결과 충돌 시작 후 3.5E-3sec에서 각각 3.49E-3, 3.99E-3의 변형량을 나타냈다.

Abstract Reducing the impact of collisions of cars is a major issue for reducing the injury and death of passengers. According to the statistical data of the Road Traffic Authority, the deaths from side collision accidents caused by the collision of passenger cars is greater than the deaths from head-on collision accidents. To accommodate this, vehicle designers have added a reinforcing material called the impact frame and impact beam on the inside of the door. Many experiments are needed to develop the door impact beam. These reinforcements to develop a collision experiment is essential. Collision experiments are costly and time consuming. This study used a drop Impactor to obtain the impulse and a strain experimental device was developed for this purpose. The economic costs were reduced and the ideal experiment device configuration was determined. A comparison of the experimental results with numerical value analysis revealed 3.5×10^{-3} sec strain ranging from 3.49×10^{-3} to 3.99×10^{-3}

Key Words : Impact Beam, reinforcements, Light-weight, Numerical, Strain gage

1. 서론

자동차 충돌사고는 인간이 자동차 문명을 발전시킨 이래 누려온 편의성의 대가이기 때문에 많은 사람들이 충돌 사고 시 승객의 사망과 상해를 기술적으로 감소시키기 위해 여러 가지 노력을 기울여 왔다. 하지만 지금까지

지 개발·적용된 충돌안전대책의 내용을 살펴보면, 주로 승용차의 정면 충돌시의 승객상해를 감소시키는데 치중되어 왔다는 것을 알 수 있다. 충돌사고 가운데 가장 빈번히 발생하고 승객에게 치명적인 상해를 가장 많이 입혔던 사고가 정면충돌사고였기 때문이다. 물론 측면충돌 안전을 위해서도 다소의 노력을 해오기는 했지만, 정면

*Corresponding Author : Hyung-sun Kang(CST Univ.)

Tel: +82-62-230-8253 email: mjsj5181@hanmail.net

Received July 31, 2014

Revised (1st September 4, 2014, 2nd September 16, 2014)

Accepted October 10, 2014

충돌안전대책에 비하면 그 성과가 미미하여, 도로교통공단 통계자료에 따르면 승용차 충돌사고로 인한 사망자 중 측면충돌사고에 의한 사망자가 정면충돌사고의 사망자보다 많다.

자동차 설계자들은 이에 대응하기 위해 도어 내부에 임팩트 빔(Impact Beam)과 임팩트 프레임(Impact Frame)이라는 보강재를 추가시켜 왔다. 이러한 임팩트 빔과 임팩트 프레임의 경우 중량을 줄이면서 차량의 측면 충돌 시 운전자 및 승객의 상해치값을 최소화하기 위한 연구 또한 계속 되고 있다.

자동차의 측면 충돌안전성 평가는 크게 2가지로 구분되어 있다. 일반적인 충돌 실험과 기동측면충돌 실험으로 이루어지게 되어 있다.

측면 충돌 안전성평가시험은 평가시험의 한 방법으로로서 운전자석에 측면충돌용 인체모형을 탑재한 시험차를 법규상의 시험 속도인 시속 50km보다 5km빠른 시속 55km의 속도로 일반승용차의 전면 부 형상 및 특성을 갖춘 이동벽이 멈춰있는 자동차의 측면을 수직으로 충돌하는 상황을 재현하여 실험을 한다. 실제 자동차 안전기준 제 102에 따르면 시속 50km의 속도로 측면 이동 벽을 승용자동차 옆면과 수직이 되도록 충돌시킬 때에 충돌 측 앞좌석에 착석시킨 인체모형의 머리, 흉부, 복부,, 치골 등이 받는 충격이 아래의 값을 초과하지 못하게 되어 있다.

- 머리상해 기준값(HIC) : 1000
- 흉부 압박량 : 42mm
- 흉부 압박 속도 : 1m/sec
- 복부하중 : 2.5kN
- 치골하중 : 6kN

따라서 해외 자동차 메이커에서 현 개발 양산중인 경량화 프레임의 기술개발의 목표를 선점 할 수 있도록 중량을 줄이면서 차량의 측면 충돌 시 운전자 및 승객의 상해치 값을 최소화하기 위한 도어 임팩트 빔 개발이 시급하다. 하지만, 이러한 도어 임팩트 빔 개발을 위해서는 많은 실험이 필요하게 된다. 위에 제시한 충돌실험의 경우 많은 비용과 시간이 소모되게 된다.

본 연구는 많은 비용과 시간이 소모되는 기존의 실험보다 경제적 비용을 절감시킬 수 있는 실험장치 개발이 목적이다.

따라서 이상적인 실험장치 구성을 제시하고, 수치해석값과 실험결과 값을 비교 분석하였다.

2. 본론

2.1 이론적 배경

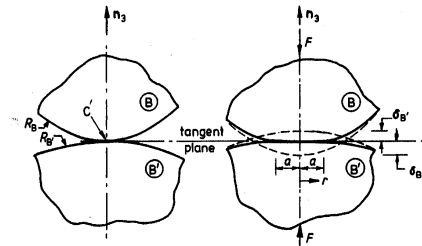
본 시스템은 낙하충격을 이용한 충돌시스템이다. 충돌시스템의 신뢰성 확보를 위해 아래와 같은 이론적 배경을 바탕으로 한 수치해석과 실험결과를 비교분석하였다.

Karas' example의 이론적 배경은 Hertz's theory를 참고하였다. 탄성체 B와 B'가 Fig. 1에서처럼 부딪치게 되는 상황을 이론적으로 적절하였다.

이론식을 정리하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다 [1,2].

$$t_c = \int_0^{\delta_c} (v_0^2 - \frac{4k_s}{5m} \delta^{5/2})^{-1/2} d\delta = 1.47 \frac{\delta_c}{v_0}$$

$$= 1.43 \left(\frac{m^2}{E_* R_* v_0} \right)^{1/5}$$



[Fig. 1] The compression and deformation in the contact surfaces

2.2 시스템구성

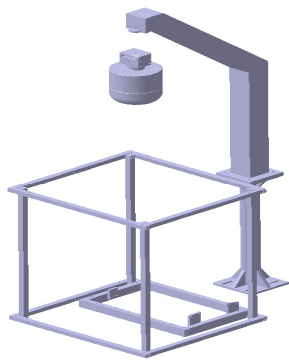
본 시스템은 크게 수직 배치된 Pole을 중심으로 LM 가이드 시스템을 장착하고 Impact Beam이 장착된 실차 Door를 Loading 할 수 있는 Door Supporter와 충돌 직전까지 구동 및 이송의 기능을 하는 서보 시스템으로 구성하고자 하였으나, Scale down 한 예비 테스트 제작 결과 이송부 및 서보 시스템에 극한의 충돌하중 발생과 기구부의 다소 복잡한 메카니즘 설계가 이루어져야 하므로, 본 시스템의 자유낙하 방식의 수직충돌 타입으로 하였다.

본 충돌시스템의 구성은 다음과 같다.

- 1) Impactor : 질량 80kg±10 이내로 설계하였으며, SM45C 재질로 제작하였다. 임팩터 내부에 디스크형 로드셀이 장착되어 최대하중 20,000kgf 까지 측정 할 수 있도록 제작하였다.
- 2) Impactor Clamp : 임팩터를 수직 자유 낙하 시키기 위한 고정부로 클램프 지그와 결합된 양단에 박형

공압실린더가 장착되어 로드의 전/후진에 따라 임팩터를 Release 한다.

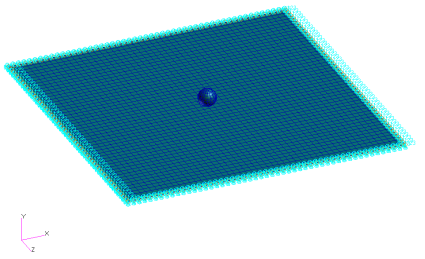
- 3) Door Jig : 임팩터의 수직 자유 낙하 시, 도어를 구속시키는 지그부로 도어 양단의 현저부 고정 및 도어 필러의 곡면을 점접촉 방식으로 구속하는 기능을 한다.
- 4) Door Jig Frame : 충돌실험 시, 임팩터의 2차 충격을 대비하여 임팩터 경로 이탈을 방지 하도록 임팩터 4-Point에 와이어 케이블을 장착하여 실험의 안전을 고려하기 위한 기능을 한다.
- 5) Winch Crane : 임팩터와 임팩터 클램프를 수직방향으로 이송하기 위한 장치로, 낙하 지점에서는 임팩터만 분리되어 자유낙하 될 수 있도록 설계하였다. 실험장치 구성을 Fig. 2에 나타내었다.



[Fig. 2] Impact system configuration

2.3 Karas' Example 및 시스템 FEM 모델링

낙하 충격에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 Karas' example의 이론식과 Ansys WB를 통한 시뮬레이션 결과를 비교하고자 한다. 궁극적으로 신뢰도 높은 해석기법을 제시하여 낙하 충격에 대한 시뮬레이션을 수행하는데 그 목적이 있다.



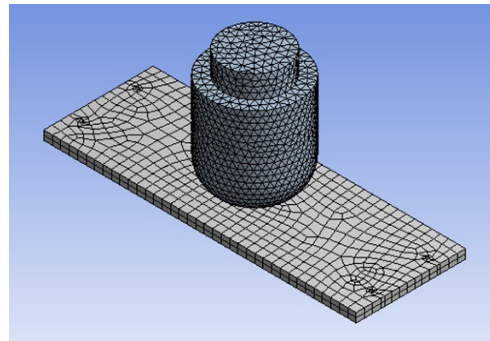
[Fig. 3] Karas' example FEM model for the interpretation

Fig. 3에서처럼 200mm×200mm×8mm 크기의 steel plate에 직경 10mm의 Ball을 150mm 높이에서 자유낙하시키는 Karas' example(Rigid Ball & Plate)을 해석하여, 이론식 결과와 비교하였다[3].

[Table 1] Karas' example of the material properties

	Ball	plate
Young's modulus(Pa)		2.08×10^{11}
Poisson' ratio		0.3
Mass density(kg/m ³)		7850
Ultimate tensile...(MPa)		4×10^8
Radius(mm)	10	
velocity(m/s)	1.7146	

수치해석용 모델의 구성은 Fig. 4처럼 Impactor, Plate로 구성되어 있다. 해석에 사용된 Plate의 경우 재질은 스텔과 스테인레스 스텔을 사용하였다. Impactor의 최대 지름은 200mm이며, Plate는 750mm×400mm×20mm이다. Impactor 또한 이론식과 마찬가지로 150mm 높이에서 자유 낙하시켰다.



[Fig. 4] FEM model of a Impact system

[Table 2] Impact System of the material properties

	Impactor	Plate
Young's modulus(Pa)	2.08×10^{11}	2.08×10^{11}
Poisson' ratio	0.3	0.3
Mass density(kg/m ³)	7850	7850
Ultimate tensile...(MPa)	4×10^8	4×10^8
velocity(m/s)	1.7146	

2.4 실험장치 구성

지면 고정 작업, 윈치 크레인과 충돌 실험 제어용 PC를 설치하였다.

LabView를 이용한 제어 프로그램은 로드셀로부터 임팩트의 충격력을 측정하며, 동시에 도어 임팩트 빔에 부착한 스트레인게이지의 변형량을 실시간 모니터링 및 저장할 수 있도록 설계하였다.

본 연구에서는 로드셀에 의한 충격력 측정에 오류가 있어 스트레인게이지를 이용한 변형량 측정만 실시하였다.

Plate 아래 중심부에 스트레인게이지를 부착하여 변형량을 측정하였다. 형상은 FEM 모델링 형상과 같다. 실험장치 구성은 Fig. 5에 나타내었다.



[Fig. 5] Experimental configuration

3. 결과

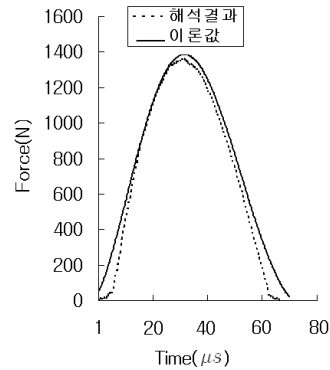
3.1 Karas' example 수치해석 결과

이론식에 따른 계산결과와 해석결과를 비교하였다. Max. contact force(f_c)의 경우 이론식 값은 1386.1N, 해석결과는 1361.4N이다. Impact duration(t_c)의 경우 이론식 결과는 69 μ s, 해석결과는 약 66 μ s이다.

이론식 결과와 해석결과에 따르면 f_c 는 1.8%, t_c 는 4.5%의 차이를 보이고 있다. 이론식과 해석의 결과 차이는 이론적 구속조건과 실제 해석조건과의 차이로 인해 발생하는 것으로 생각할 수 있다. f_c 와 t_c 결과를 Fig. 6과 Table 3에 나타내었다.

[Table 3] Karas' Example analysis results

Time(μ s)	Force (N)
0	0
10	451.83
20	1117.9
32.613	1361.4
50	751.53
0	0

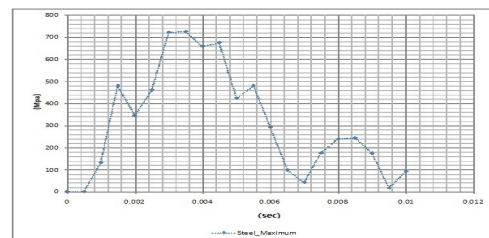


[Fig. 6] Analysis of results and Theoretical comparison

수치해석 결과 값과 이론값 차이가 크지 않으므로 해석방법에 무리가 없는 것으로 판단하여 본 시스템에 대하여 수치해석을 수행하고, 실험 결과값과 비교하였다.

3.2 시스템 수치해석 및 실험 결과

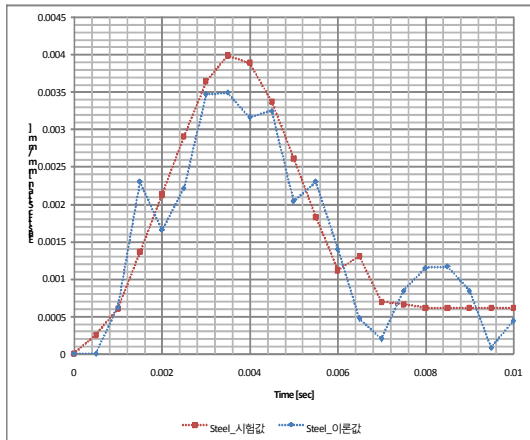
응력해석결과 3.5E-3sec에서 Max. Stress는 725.73MPa이고, Impact duration(t_c)의 경우 약 7.0E-3sec로 나타났다. 7.0E-3sec 이후에 나타난 결과는 2차 충돌로 예측할 수 있다. Fig. 7에 나타내었다.



[Fig. 7] Numerical results

변형량 해석 결과 값과 실험 결과 값은 Fig. 8에 나타내었다. 변형량 형상은 응력형상과 일치하며, 최대 변형량도 3.5E-3sec에서 3.49E-3으로 나타났다.

실험값도 $3.5E-3\text{sec}$ 에서 $3.99E-3$ 으로 나타났다. 해석 결과 형상과 실험 결과 형상이 시간에 따른 값이 다르지만 전체적인 형상은 비슷하게 나타나고 있다. 2차 충돌이 나타나는 수치해석과 달리 2차 충돌이 나타나지 않는 실험의 경우 $6.0E-3\text{sec}$ 에서 스트레인게이지가 파괴된 것으로 추측해 볼 수 있다. 실제 스트레인게이지 파손을 확인할 수 있었다.



[Fig. 8] Analysis of results and Experiment comparison

3. 결론

자동차 구조의 안정성을 확보하기 위한 통상적인 충격실험은 그 비용이 과다하므로 간소한 장치로 문제점을 개선 할 수 있는 방법을 개발하고자 하였다.

수치해석을 통해 변형률 및 응력 등을 확인하였으며, 스트레인게이지를 이용한 Impactor의 낙하충격 실험을 통해 변형률을 측정 하였다.

변형률에 대한 해석결과와 실험결과를 비교한 결과 상호 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 향후 본 실험장치에 대한 추가적인 연구를 계속 수행하여도 될 것으로 판단하였다.

향후과제로는 측면 충돌 안정성평가시험법에 따른 결과값과 본 실험장치를 이용한 결과값 비교가 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] W. J. Stronge, "Impact Mechanics" Cambridge Univ. Press, Illinois, pp.128~130, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511626432>
- [2] Serge Abrate, "Impact on Composite Structures" Cambridge Univ. Press, Illinois, pp.101~132, 1998.
- [3] D. H. Jung, J. J. Baek, "Study of Drop/impact test and Shock/impact survivability test for ELT(Emergency Locator Transmitter) Operations" KSAS, pp.204~208, December, 2008.

김 익 태(Ick-Tae Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 조선대학교 일반대학원 항공우주공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : 조선대학교 일반대학원 항공우주공학과 (공학박사 수료)
- 2000년 1월 ~ 2009년 8월 : 조선대학교 산학협력단 전임연구원
- 2010년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학교 메카트로닉스과 조교수 (강의 전담)

<관심분야>

항공우주, 공기역학, 전산유체, 헬리콥터, 발사체(로켓)

강 형 선(Hyung-sun Kang)

[정회원]



- 1995년 2월 : 조선대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 전남대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1991년 10월 ~ 2000년 7월 : 화천기공주식회사 책임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학교 기계설계과 교수

<관심분야>

기계시스템설계, FEM(기계구조, 충돌)