

보행자 충돌안전 경량후드 형상설계에 관한 연구

이 원 배¹⁾ · 강 성 종²⁾

대구가톨릭대학교 대학원 자동차공학과¹⁾ · 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부²⁾

A Study on Light Weight Hood Design for Pedestrian Safety

Wonbae Lee¹⁾ · Sungjong Kang^{*2)}

¹⁾Graduate school of Automotive Engineering, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

²⁾School of Mechanical and Automotive Engineering, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

(Received 11 May 2006 / Accepted 25 July 2006)

Abstract : In this study, first, child headform model was built up, satisfying requirement in the headform validation test. Also, for decreasing both acceleration peak and deformation, a new hood with dome shaped forming in inner panel was investigated. Next, headform impact, complying with draft of EEVC W/G 17, on the central portion of the newly proposed hood were simulated for a steel hood and three aluminum hoods with different thickness for examining the material and thickness effect on HIC value and inner panel deformation. The analysis results explained that aluminum hoods with dome shaped forming in inner panel were highly promising not only for meeting headform safety regulations but also for leading to weight savings. Finally, hood edge design technology in order to reduce pedestrian injury due to the high stiffness of beam type edge and the rigid support, was discussed. Various types of the foam filled edge were designed and their headform safety performance were evaluated. The edge structure with foam filled in upper one third of section exhibited excellent results.

Key words : Hood(후드), Headform(머리모형), HIC(머리상해지수), Dome shaped forming(돔 형상 포밍), Foam filled model(폼 충전 모델)

1. 서 론

차체와 안전장치 설계기술의 비약적 발달로 차량 승객의 상해는 꾸준히 감소된 반면 교통사고 사망자의 높은 비중을 차지하는 보행자 사고 시의 보행자 상해 감소를 위한 안전 설계기술 수준은 아직 미흡한 실정이다.

유럽에서는 1991년부터 행해진 보행자 차량 정면 충돌 관련 연구결과^{1,2)}에 의거 보행자 머리모형의 후드 상부(hood top) 충돌, 다리 하부모형(lower legform)의 범퍼(bumper) 충돌, 다리 상부모형(upper

legform)의 후드 선단부 충돌 등 3개 분야에 대한 법규를 제정하여³⁾ 법규 1단계의 경우 신 모델 2005. 10. 1 부터, 판매차 전체 2012. 12. 31 부터 각각 적용할 예정이며, 강화된 법규 2단계의 경우는 신 모델 2010.9.1 부터, 판매차 전체 2014년 말부터 적용할 예정이다.

보행자 보호 대응 설계가 안 된 차량을 시험한 결과⁴⁾에 의하면 시행예정인 보행자 충돌 법규를 만족하는 비율이 다리 하부모형 4%, 다리 상부모형 0%, 어린이 머리모형 12%, 어른 머리모형 9%로써 매우 저조함을 보이고 있다. 따라서 현재의 차량 구조로는 EEVC에서 제시한 법규를 만족시키기 어려우며,

*Corresponding author, E-mail: sjkang@cu.ac.kr

특히 보행자 사망사고의 대부분이 발생하는 후드 상부에의 머리충돌 법규에 대응하는 새로운 형태의 후드구조 설계기술을 요구한다.

따라서 본 연구에서는 EEVC W/G 17 법규 시험 방법을 기준으로 머리모형의 후드 상부 충돌에 대한 머리 상해치를 감소시킬 수 있는 후드 구조설계 방안을 제시하고자 돔(dome) 형상의 에너지 흡수 구조를 갖는 인너 패널(inner panel) 형상을 설계하고 소재 구성을 변화시켜가며 머리모형 충돌특성에 대해 연구하였다.

아울러 큰 뎀 형상 구조이며 바로 아래 강한 지지 구조물이 있어 보행자 머리 충돌 시 상해치가 높게 나타나는 후드 에지(edge)에 대해 형상 변화와 폼을 추가한 구조설계 기술을 연구하였다.

해석은 비선형 상용 프로그램인 LS-DYNA를 사용하였다.^{5,6)}

2. 머리모형 후드 상부 충돌 법규 및 시험방법

Table 1은 머리모형의 제원을 나타내고 있으며, Fig. 1은 머리모형의 구조 형상을 나타낸다. EEVC W/G 17의 시험방법에 따르면 어린이 머리모형은 지상으로부터 1000mm~1500mm wrap around distance (Fig. 2) 사이의 후드 영역을 세 구역으로 나누어 구역별로 임의 세 군대를 지표면에 대해 50°의 각도를 갖고 40km/h의 충격속도로 타격하고, 어른 머리모형은 지상으로부터 1500mm~2000mm wrap around distance 사이의 후드 영역을 세 구역으로 나누어 구역별로 임의로 세 군대를 지표면에 대해 65°의 각도를 갖고 40km/h의 충격속도로 타격하는 방법을 사용하고 있다. 머리모형 중심부에서 측정된 가속도 시간이력을 이용하여 식 (1)로 정의되는 HIC (Head Injury Criteria)를 계산하여 보행자 충돌안전 성능을 평가한다.

Table 1 EEVC W/G 17 headform

	Adult	Child
Diameter	165mm	130mm
Vinyl skin thickness	13.9mm	11.0mm
Weight	4.8kg	2.5kg

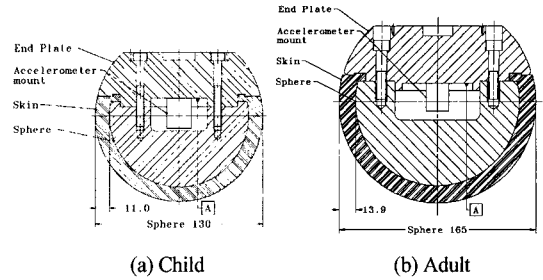


Fig. 1 Headform impactor

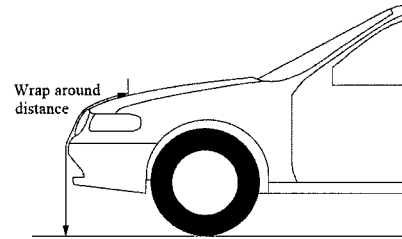


Fig. 2 Wrap around distance

$$HIC = \left[\left(\frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right)^{2.5} (t_2 - t_1) \right]_{\max} \quad (1)$$

where, t_1, t_2 : HIC가 최대가 되는 구간의 시간

a : 머리모형 중심부에서 산출된 가속도 크기의 시간이력

3. 머리모형 모델링 및 검증

연구 대상 후드는 길이가 매우 짧은 형상으로 모든 부분이 어린이 머리모형 타격영역에 해당 되므로 어린이 머리모형을 Fig. 3과 같이 모델링하고(8 절점 솔리드 요소 3200개) 법규에서 정한 시험방법에 따라 머리모형 모델의 타당성을 검증하였다.

머리모형 모델의 표피(vinyl skin)를 제외한 나머지 부분은 강체로 정의 하였으며, 표피의 재료특성은 식 (2)의 고무 변형에너지 밀도 함수(w : rubber strain energy density function)를 정의한 LS-DYNA의 material type-27 (MOONEY - RIVLIN - RUBBER)을 사용하였으며, A 값과 B 값은 각각 0.8과 0.6을 적용하였다.

$$W = A(I - 3) + B(II - 3) + C(III^{-2} - 1) + D(III - 1)^2$$

where, $C = 0.5A + B$

$$D = \frac{A(5\nu - 2) + B(11\nu - 5)}{2(1 - 2\nu)}$$

ν : Poisson's ratio

$2(A + B)$: shear modulus of linear elasticity

I, II, III : invariants of right Cauchy-Green Tensor

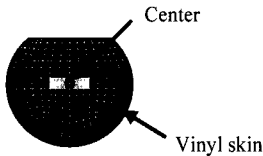


Fig. 3 Child headform model for analysis

법규에 따르면 머리모형에 대한 타당성 검증방법으로 Fig. 4와 같이 2m 길이의 줄에 매달린 머리모형을 1kg의 알루미늄 임팩터로 가격한 후 머리모형 중앙에 설치되어있는 가속도계에서 최대가속도 크기를 측정하는 방법(dynamic test)를 사용하며 최대 가속도 크기가 405G와 495G 사이에 존재함을 요구한다.

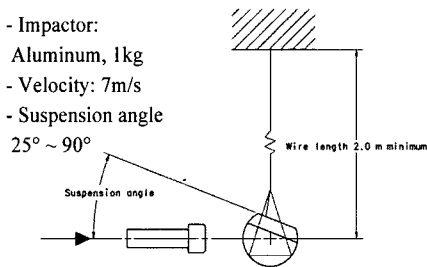


Fig. 4 Dynamic test of child headform

구성된 머리모형 모델을 이용하여 시험에 준한 해석을 수행한 결과, 최대 가속도 크기가 448G로 머리모형 타당성 시험 요구조건을 만족하였다.

4. 인너 패널에 돔 형상 포밍을 갖는 후드 모델링

4.1 기존 강제 빔형 후드

기존 후드는 빔형으로 아우터 패널과 인너 패널

로 구성되어 있으며 두 군데의 힌지와 한 군데의 래치로 구성되어있다(Fig. 5). 소재와 두께 구성은 Table 2와 같다.

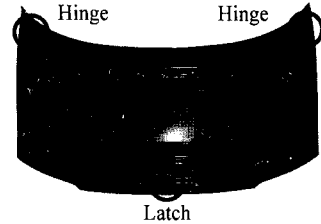


Fig. 5 Original beam type hood

Table 2 Material and thickness of original beam type hood

Part	Material	Thickness (mm)
Hood outer	SPFC 35	0.7
Hood inner	SPCC	0.6
Rail hood outer	SPCC	0.7
Plate-hood striker base	SPCC	1.6
Reinf-hood side hinge,LH	SPCC	1.0
Reinf-hood side hinge,RH	SPCC	1.0

4.2 후드 구조 및 모델 구성

제한된 변형거리 내에서 충돌에너지를 충분히 흡수하여 머리모형에 작용하는 반력의 크기를 감소시키기 위해 인너 패널에 돔 형상의 포밍(Fig. 6)을 추가한 후드 구조에 대해 연구하였다.

후드의 길이가 짧아 대부분이 어린이 머리모형 충돌영역에 해당되므로 앞서의 기본연구⁷⁾에서 어린이 머리모형 충돌 시에 가장 유리한 것으로 평가된 포밍 형상을 적용하였다.

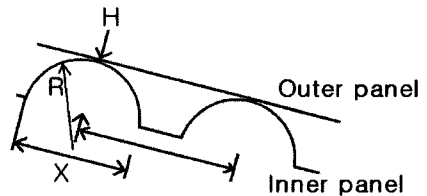


Fig. 6 Dome shaped forming

모든 구성부품은 4절점 쉘 요소(Belytchko-Tsay shell element)를 사용하였으며, 인너 패널은 중앙부(10900개)와 에지부(5900개) 두개 부분으로 나누어

총 16800개의 요소로 구성하였고(Fig. 7) 아우터 패널은 7400개의 요소로 구성하였다.

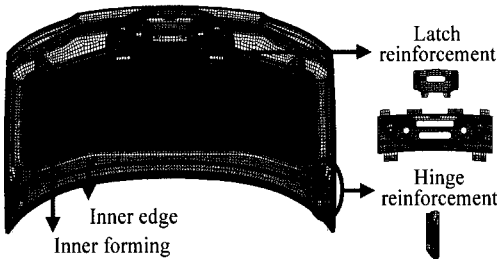


Fig. 7 Inner panel and reinforcements

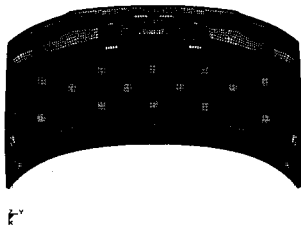


Fig. 8 Adhesive points between inner and outer panel

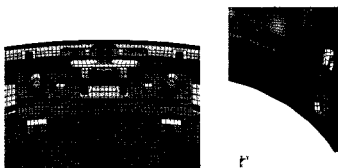


Fig. 9 Welding points between inner panel and reinforcements

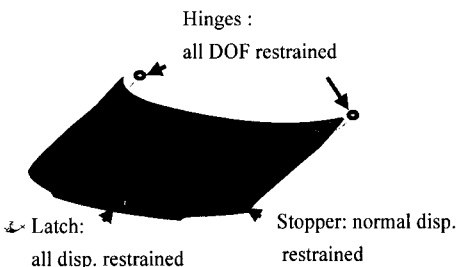


Fig. 10 Boundary condition

아우터 패널과 인너 돔 형상 포밍 사이의 접착제 적용 위치와 인너 패널과 보강재 사이의 점용접 위치들은 각각 Fig. 8, 9와 같으며, 접착부와 점용접부에 해당되는 양쪽 절점들은 강체빔(rigid beam)으로 연결하여 변위를 상호 구속하였다. 가장자리 헤밍

Table 3 Material and thickness unit (mm, kg)

Model name	Outer panel		Inner panel		Total weight
	Material	Thick-ness	Material	Thick-ness	
Original beam type hood	SPFC35	0.7	SPCC	0.6	11.94
Steel 0.65/0.65	SPFC35	0.65	SPCC	0.65	11.99
AL 1.0/1.0	AL-5754	1.0	AL-5754	1.0	6.90
AL 1.0/1.2	AL-5754	1.0	AL-5754	1.2	7.50
AL 1.2/0.8	AL-5754	1.2	AL-5754	0.8	6.88

(hemming)부는 아우터 패널과 인너 패널의 두께를 더해 해당 요소의 두께로 입력하였다.

실차 장착 시를 모사하기 위해 적용된 경계조건은 Fig. 10과 같다. 강체 빔을 추가하여 랫치부는 모든 이동변위를, 그리고 앞쪽 힌지부는 모든 자유도를 구속하였다. 또한, 후드 앞의 좌·우에 위치한 스톱퍼에는 부근 5개 절점의 수직방향 이동변위를 구속하였다.

본 연구에서는 후드 패널의 소재와 두께를 변경하면서(Table 3) 머리모형 충돌에 의한 HIC와 인너 패널의 최대변위를 조사하였다. 강판재 적용 가능성을 검토하기 위해 두께를 최소화한 강재 후드 모델에 대해 해석을 수행하였으며, 저강성 특성에 의한 충격흡수 성능 확보와 경량화를 위해 알루미늄 패널을 적용한 후드 모델에 대해 두께 구성을 3가지로 달리하여 해석을 수행하였다.

4.3 충돌조건 및 충돌위치

전체 영역이 어린이 머리모형 타격영역에 해당되므로 EEVC W/G 17 범규 시험방법에 따라 머리모형을 후드 영역에 지표면에 대해 50°의 각도를 갖고 40km/h의 속도로 후드 중앙부의 대표적 위치들을 각각 타격하였다(Fig. 11).

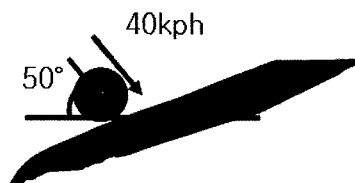


Fig. 11 Impacting condition

충돌위치는 머리모형이 향해서 날아가는 인너 패널 위치를 말하며, 충돌위치의 간격은 전후 135mm, 좌우 185mm로 하였다. 후드의 앞부분을 A-line, 뒷부분을 B-line로 칭하고 중앙을 번호 1, 에지에 가까운 위치를 번호 4로 하여 총 8곳 각각에 대해 머리모형을 충돌시켰다(Fig. 12).

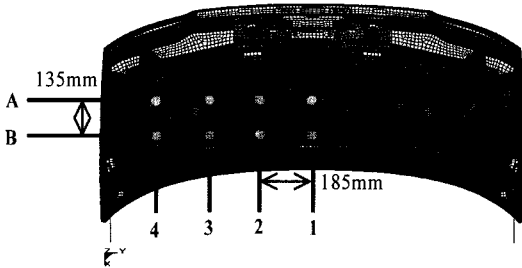


Fig. 12 Impact positions

4.4 설계목표

법규에 준하여 HIC을 1000이하로 하고, 후드 외관 및 엔진룸 패키징 상의 제약을 최소화하기 위해 인너 패널의 최대변위를 60mm 이하(자체기준)로 제한하면서 중량을 최대한 감소시키는 것을 설계 목표로 하였다.

5. 중앙부 충돌해석 결과

5.1 Steel 0.65/0.65

Fig. 13, 15는 Fig. 12의 각 위치에 머리모형을 충돌시켰을 때 시간에 따른 머리모형의 가속도 크기를 나타내고, Fig. 14, 16은 시간에 따른 인너 패널의 최대변위를 나타낸다.

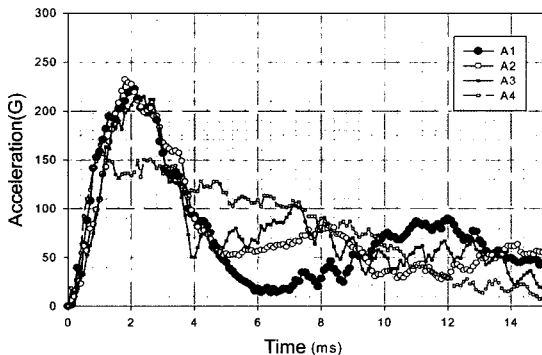


Fig. 13 Headform acceleration : Steel 0.65/0.65, A-line

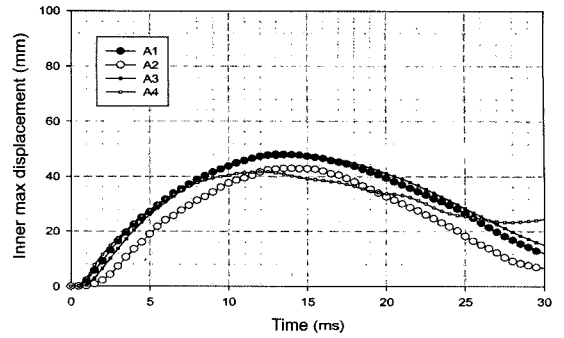


Fig. 14 Inner panel maximum displacement : Steel 0.65/0.65, A-line

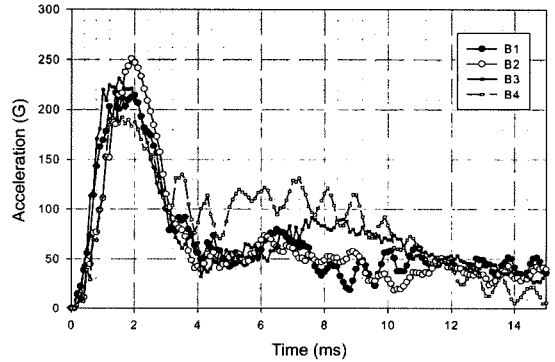


Fig. 15 Headform acceleration : Steel 0.65/0.65, B-line

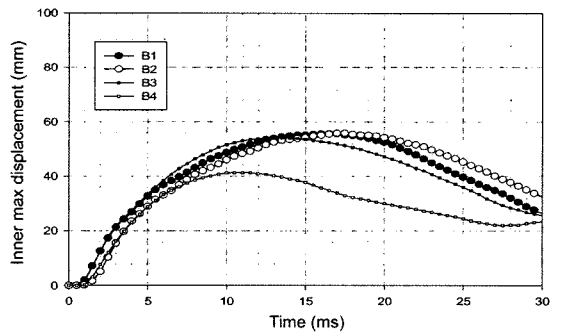


Fig. 16 Inner panel maximum displacement : Steel 0.65/0.65, B-line

높은 강성으로 인해 모든 충돌에 대해 인너 패널의 최대변위가 42~56mm 사이로 산출되어 설계목표를 만족하지만 초기 가속도 피크는 150~230G 사이로 매우 높게 나타나 HIC가 대부분의 충돌에 대해 1000을 훨씬 넘어 설계목표를 만족시키지 못한다.

5.2 AL 1.0/1.0 모델

Fig. 17, 19는 Fig. 12의 각 위치에 머리모형을 충돌시켰을 때 시간에 따른 머리모형의 가속도 크기를 나타내고, Fig. 18, 20은 시간에 따른 인너 패널 최대변위를 나타낸다.

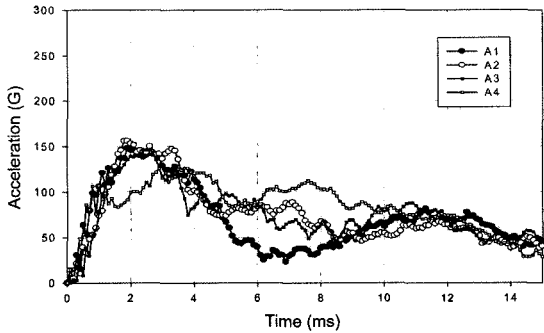


Fig. 17 Headform acceleration : AL 1.0/1.0, A-line

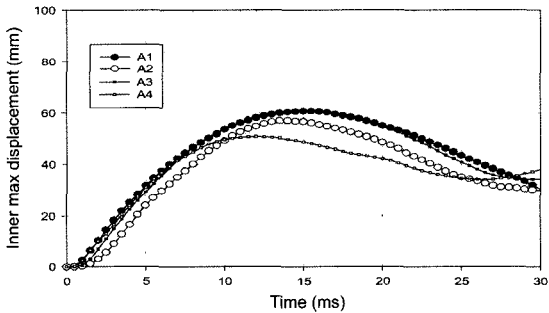


Fig. 18 Inner panel maximum displacement : AL 1.0/1.0, A-line

초기 가속도가 130~170G로 많이 낮아졌고 HIC 또한 450~1060 정도로 계산되어 스톱퍼 지지부에 근접한 A4에의 충돌과 빔형 예지부에 가까운 B4에의 충돌을 제외한 모든 충돌에서 설계목표를 만족시키고 있다. 인너 패널의 최대변위는 A-line (A1~A4) 충돌의 경우 랠치부와 스톱퍼의 지지조건 영향을 받아 50~61mm 정도로 모두 설계목표를 만족시키거나 근접하고 있으나, B-line(B1~B4) 충돌의 경우는 B4에의 충돌(54.5mm)을 제외하고 B1~B3에의 충돌에서 최대변위가 71~84mm로 크게 나타났다. 이는 후드 단품 해석으로 인해 주위에 지지조건이 설정되지 않았기 때문이며, 실차 시험평가 시에는 B1~B3 위치 뒷부분에 낮은 강성의 카울(cowl)

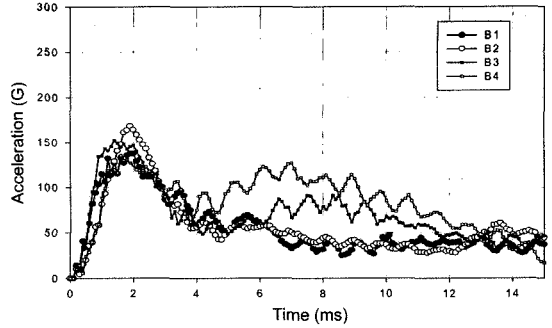


Fig. 19 Headform acceleration : AL 1.0/1.0, B-line

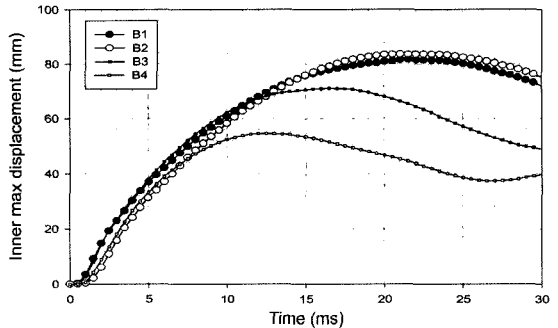


Fig. 20 Inner panel maximum displacement : AL 1.0/1.0, B-line

이 지지하므로 HIC가 약간 증가하고 변위는 다소 감소되리라 예상된다.

5.3 AL 1.0/1.2 모델

AL 1.0/1.0 모델의 B-line 충돌에서 인너 패널 최대변위가 크게 나오는 것을 감소시키기 위해 인너 패널의 두께를 1.2mm로 증가시킨 모델에 대해 해석을 수행하였다.

인너 패널 두께가 증가함에 따라 AL 1.0/1.0 모델에 비해 모든 충돌에서 최대변위가 감소한 대신 HIC가 증가되었다. B-line 충돌에서 최대변위는 6~14mm 정도 감소하였으나 HIC는 90~260 정도 높게 산출되었다.

5.4 AL 1.2/0.8 모델

AL 1.2/0.8 모델은 AL 1.0/1.0 모델과 거의 유사한 HIC와 최대변위를 나타내고 있다. A-line 충돌의 경우 A4에의 충돌(HIC 1035)를 제외하고 HIC가 700 정도의 값을 유지하며, 최대변위는 55~66mm 정도

로 설계목표치를 만족하거나 약간 초과 하고 있다. B-line 충돌의 경우 HIC는 450~900 정도로 설계목표를 만족하지만, 최대변위는 59~87mm 정도로 스톱퍼 지지조건에 영향을 받는 B4에의 충돌을 제외하고는 목표보다 11~27mm 정도 높게 나타났다.

5.5 결과 검토

모델 및 충돌 위치에 따른 해석결과를 종합하여 Table 4에 나타냈다.

Table 4 Results of central impact analysis unit (mm)

Impact position	ST 0.65/0.65		AL 1.0/1.0		AL 1.0/1.2		AL 1.2/0.8	
	HIC	Inner max. disp.	HIC	Inner max. disp.	HIC	Inner max. disp.	HIC	Inner max. disp.
A1	1254	48.1	701	60.6	844	52.3	703	62.3
A2	1257	42.9	766	57.0	935	48.9	719	59.4
A3	1072	47.7	805	61.0	965	53.5	695	65.8
A4	1288	41.8	1038	50.8	1142	45.6	1035	55.8
B1	995	55.7	482	81.7	568	67.6	453	83.0
B2	1103	55.9	446	83.6	561	71.1	471	87.3
B3	1093	54.1	655	71.1	763	65.4	624	72.4
B4	1358	41.4	1062	54.5	1322	48.0	904	58.9

AL 1.0/1.2 모델의 경우 다른 알루미늄 패널 모델보다 최대변위가 상대적으로 작지만 HIC가 1322에 이르고 중량감소 효과도 다소 작게 나타난다. AL 1.2/0.8 모델은 AL 1.0/1.0 모델과 거의 같은 수준(42%)의 경량화가 달성되나(Table 3), 인너 패널 최대변위가 B1~B3에의 충돌은 물론 A3에의 충돌에서도 66mm에 이르고 있어 설계목표를 만족시키지 못하고 있다. AL 1.0/1.0 모델의 경우 AL 1.2/0.8 모델에 비해 HIC가 약간 크게 나타나지만 대부분의 충돌에서 1000을 넘지 않으며, 인너 패널 최대변위가 A-line 충돌을 포함하여 보다 작게 나타나고 있다.

따라서 HIC, 인너 패널 최대변위 그리고 경량화의 모든 면에서 고려할 때 AL 1.0/1.0 모델이 보행자 충돌안전 설계목표에 가장 근접한 후드 구조임을 알 수 있다.

5.6 HIC와 인너 패널 최대변위의 관계

HIC와 인너 패널 최대변위 사이의 관계를 알아보기 위해 Table 4의 해석결과로부터 x축을 아우터와

인너 패널거리에 최대변위를 더한 값으로 y축은 HIC 값으로 하여 Fig. 21과 같이 나타내었다.

최소자승법을 이용한 커브피팅에 의해 두 관계를 다음과 같이 구하였다.

$$Y_{HIC} = 4.942 \times 10^6 X^{-1.988} \tag{3}$$

where, Y_{HIC} : HIC value

X : distance between inner and outer panel + inner panel displacement

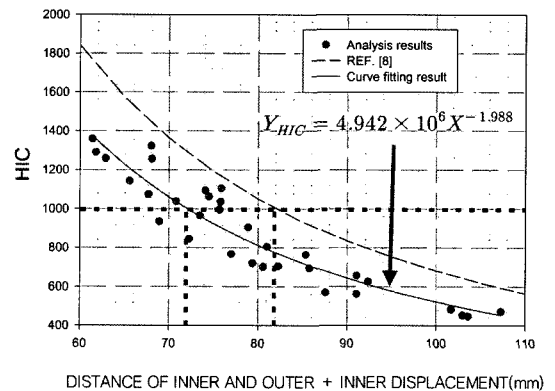


Fig. 21 Underhood space and HIC

기존 빔형 후드에 대한 충돌시험⁸⁾에 따르면 HIC가 1000을 만족하기 위해 아우터 패널과 인너 패널 사이의 거리를 포함하여 후드 아우터 패널 아래로 최소 82.2mm의 거리가 필요하다고 추정되었다. 본 해석결과로부터 도출된 회귀식에서는 72mm 정도의 거리만 확보하면 HIC가 1000을 만족할 수 있는 것으로 나타나 돛 형상 포밍 후드가 구조적으로 보행자 머리 충돌 안전성에 유리함을 알 수 있다.

6. 에지부 충돌해석

실차에서 펜더(fender)와 펜더 에이프런(fender apron) 위에 놓이는 에지부는 변형공간이 없어 HIC가 높게 나오는 부위이다. 에지부의 머리도형 충돌에 대응하기 위해서 새로운 에지부 구조 및 지지구조에 대한 다양한 연구가 필요하다.

중앙부 충돌해석에서 가장 우수한 구조로 선정된 AL 1.0/1.0 모델을 대상으로 실차 에지부 지지상태를 모사한 경계조건을 추가하여 후드 에지부의 충

격흡수 구조에 대한 연구를 수행하였다.

6.1 해석모델 구성 및 충돌조건

실차 충돌시험 조건에 가깝도록 앞서의 중앙부 충돌해석에 적용한 경계조건에 인너 패널의 에지부 아래에 20mm 거리(실제적으로 존재하는 인너 패널과 펜더부 사이의 거리와 머리모형 충돌 시 발생하는 펜더부의 변형을 고려한 가정)를 두고 강체판(rigid plate)을 지지조건을 추가한 해석모델(Fig. 22)에 대해 후드 에지부 충돌해석을 수행하였다.

Fig. 12의 A-line의 에지부 중앙에 50°의 경사각을 갖고 40km/h의 속도로 어린이 머리모형을 충돌시켰다.

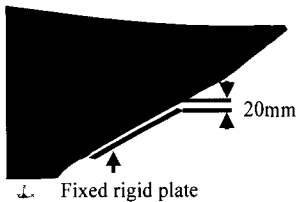


Fig. 22 Rigid boundary condition under hood edge

기존 돔 형상 포밍 후드(기본 모델 : basic model)에 대해 해석을 수행한 결과, 강체지지 조건의 추가에 따라 HIC는 2633에 달하고 변위는 강체판에 의해 제한되었다.

6.2 폼 완전 충전 모델 해석

단면의 찌그러짐을 지연시키면서 아우터 패널과 인너 패널사이에서 충격에너지를 흡수하도록 에지부 양 패널 사이 공간 전체에 폼을 충전한 모델(Fig. 23)을 구성하여 해석을 수행하였다.^{9,10)}

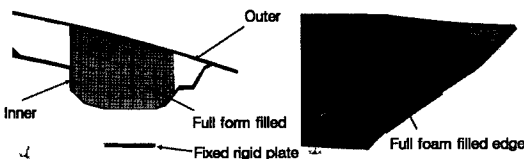


Fig. 23 Full foam filled model

적용된 폼 모델은 에폭시(epoxy) 소재로 압축 시

와 인장 시가 상이하며 재료특성은 Fig. 24와 같다.¹⁰⁾ 폼의 파단을 구현하기 위해, 앞서의 연구¹¹⁾에서 타당성이 검증된, 변형률(인장: 0.005, 압축: 0.2)을 초과하면 응력이 0이 되도록 재료특성 곡선을 직접 정의하여 파단 이후의 영향을 제거하는 방법(drop-off model)을 적용하였다. 폼은 8절점 솔리드 요소로 모델링 하였다.

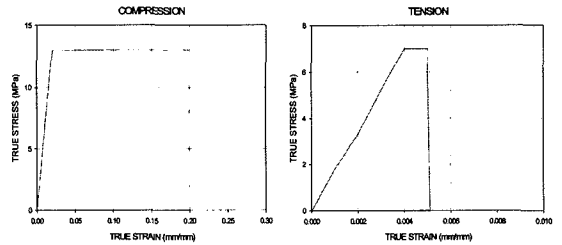


Fig. 24 Mechanical property of foam

기대와는 달리 머리모형 가속도 피크를 낮추기 위해 적용한 폼이 아우터와 인너 패널 사이의 변형을 방해하여 오히려 초기저항을 증가시켜 큰 1차 피크(380G)를 나타내고(Fig. 28) HIC도 3416으로 기본 모델 대비 780 정도 증가되었다(Table 5).

6.3 보강재 추가 모델 및 1/2 H 폼 충전 모델 해석

변형에너지 증대를 위해 에지부 1/2 H (H : 에지 중심에서 인너, 아우터 패널 사이 거리) 위치에 알루미늄 보강재(두께 0.7mm)를 추가하고 윗부분 혹은 아랫부분 공간에 폼을 충전한 모델에 대해 충돌해석을 수행하였다.

먼저 보강재만의 영향을 파악하기 위해 보강재만을 추가한 보강재 추가 모델(Fig. 25)에 대해 해석한

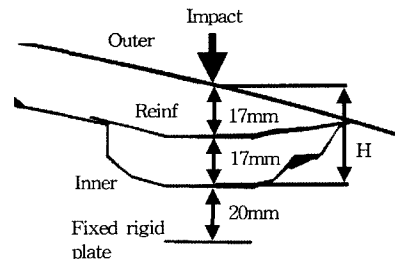


Fig. 25 Reinforcement added model

결과(Fig. 29, Table 5) 1차 가속도 피크는 기본 모델 결과와 유사하였으며 보강재의 에너지 흡수로 HIC가 80정도 미미하게 감소하였다.

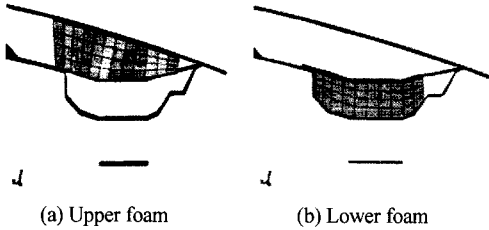


Fig. 26 1/2 H foam filled model

Fig. 25 모델에 상부를 폼을 채운 1/2 H 상부 폼 충전 모델(Fig. 26(a)) 과 하부를 폼으로 채운 1/2 H 하부 폼 충전 모델(Fig. 26(b))에 대해 해석을 수행하였다.

해석결과(Fig. 29, Table 5), 1/2 H 상부 충전 모델의 경우는 아우터 패널과 보강재 사이에 폼이 충전되어있어 완전 충전 모델에서처럼 가속도가 초기에 250G 정도로 크게 산출되고 발생시간 또한 보강재 추가 모델보다 많이 당겨진 것을 확인할 수 있다. 또한, 3.3ms에서 인너 패널과 강체판이 접촉하고 4ms에서 인너 패널과 보강재가 접촉하여 가속도 값이 증가하고 5ms 이후 2차 피크와 3차 피크가 겹쳐진 형태의 가속도 곡선이 나타나고 있다. HIC는 2596으로 보강재만 추가한 모델보다도 40정도 크게 나타나고 있다. 1/2 H 하부 충전 모델의 경우는 1차 피크의 발생시간이 상부충진 모델보다 늦고 크기도 낮지만 인너와 강체판이 만나는 4.7ms이후에 폼이 저항을 시작하여 400G가 넘는 가속도가 산출되고 HIC 값은 4100이상으로 매우 크게 산출되었다.

6.4 1/3 상부 폼 충전 모델 충돌해석

1/2 H 상부 폼 충전 모델에서 초기 가속도를 낮추고 그 이후에 발생하는 낮은 가속도 구간에서 폼이 에너지를 흡수 할 수 있도록 상부의 1/3만 충전한 1/3 H 상부 폼 충전 모델(Fig. 27)에 대해 해석을 수행한 결과(Fig. 29, Table 5) 초기피크는 1/2 H 상부 폼 충전 모델과 비슷하지만 HIC가 1900정도로 나타나 기본모델에 비해 730 정도 낮게 나타나고 있어서 에지 충돌 시에 1/3 H 상부 폼 충전 모델이 매우 유

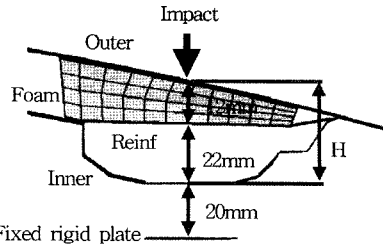


Fig. 27 1/3 H upper foam filled model

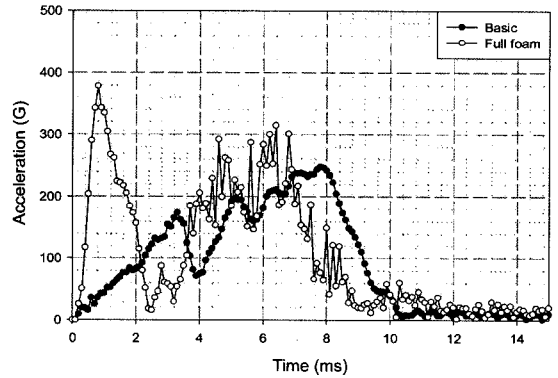


Fig. 28 Edge impact analysis results : basic, full foam filled model

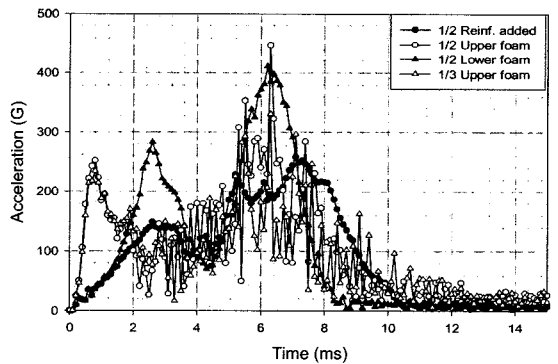


Fig. 29 Edge impact analysis results : reinforced, partially foam filled model

Table 5 Edge impact analysis results

Model	HIC
Basic	2632.5
Full foam filled	3416.0
Reinforcement added	2556.5
1/2H upper foam filled	2596.1
1/2H lower foam filled	4141.1
1/3H upper foam filled	1905.3

리한 에지 보강구조임을 파악하였다.

7. 결론

보행자 머리모형 충돌안전 법규시험에 대응하는 후드 구조형상에 대해 연구한 결과 다음의 결론을 얻었다.

먼저, 소재구성을 변화시키면서 수행한 돔 형상 포밍 후드의 중앙부 충돌해석으로부터

- 1) 인너 패널에 돔 형상 포밍을 적용한 후드는 기존 범형 후드에 비해 HIC 1000을 만족하기 위해 필요한 후드 아래 공간이 10mm 감소된다.
- 2) HIC, 인너 패널 최대변위 그리고 경량화의 모든 면에서 인너, 아우터 모두 두께 1.0mm의 알루미늄 패널을 적용한 후드가 보행자 충돌안전 설계 목표에 가장 적합한 구조이다.

다음, 에지부가 강체 지지된 다양한 에지부 폼 충전 구조 변화 모델들에 대한 충돌해석 결과로부터

- 1) 에지부 공간의 상부 1/3정도를 폼 충전한 구조가 후드 에지부 머리모형 충돌에 대응하는 가장 효과적인 구조이다.

References

- 1) EEVC, EEVC W/G 10 Report, 1994.
- 2) EEVC, EEVC W/G 17 Report, 1998.
- 3) J. Lim, J. Lim and H. Bae, "Development of Pedestrian Protection Analysis Technique," *Spring Conference Proceedings, KSAE*, pp.131-139, 2000.
- 4) Motor Industry Research Association, Study of Research into Pedestrian Protection, 1998.
- 5) LS-DYNA User's Manual, Nonlinear Dynamic Analysis of Structures Version 960, LSTC, 2001.
- 6) LS-DYNA Keyword User's Manual, Nonlinear Dynamic Analysis of Structures, Version 960, LSTC, 2001.
- 7) S. Kang, A Study on Structure Performance and Formability of Sandwich Body Panel, NGV Report, 2004.
- 8) F. Toshio, Hood Panel Structure, Korea Patent No.2003-0074656, 2003.
- 9) B. J. Kim and S. J. Heo, "Collapse Characteristics of Aluminum Extrusions Filled with Structural Foam for Space Frame Vehicles," *Int. J. Automotive Technology*, Vol.4, No.3, pp.141-147, 2003.
- 10) J. Wycech and M. Butler, "Influence of Structural Foam Properties on the Performance of Automotive Body Reinforcements," SP-1765, SAE, pp.27-35, 2003.
- 11) I. Lee and S. Kang, "Bending Collapse Characteristic of Hat Section Beam Filled with Structural Foam," *Transactions of KSAE*, Vol.14, No.2, pp.92-99, 2006.