[논문] 한국소성가공학회지, 제 16 권 제 5 호, 2007
Transactions of Materials Processing, Vol.16, No.5, 2007

유한요소법을 이용한 오토바이 헬멧의 충돌 안정성 검토

유병모[1]· 송재선[1]· 김도[2]· 이수경[2]· 김용환[#]

Investigation for Impact Stability of the Motorcycle Helmet by Using Finite Element Method

B. M. Yu, J. S. Song, D. Kim, S. K. Lee, Y. H. Kim
(Received May 10, 2007)

Abstract

A motorcycle helmet is very essential to protect the head of driver and it is directly connected to driver's life. Prior to producing the helmet, it has to be passed the process of impact test to evaluate its safety. This test evaluates peak acceleration and head injury criteria (H.I.C.). This paper simulates the impact test with finite element method to find the behavior of helmet during the test. Also, the effect of impact sites on the helmet was evaluated to improve the thickness distribution of the helmet.

Key Words : Head Injury Criteria(H.I.C.), Finite Element Method(F.E.M.), Impact Analysis

1. 서 론

오토바이헬멧은 오토바이 운전자의 머리를 보호하는 가장 일반적인 수단이다. 사고 발생 시 머리에 발생하는 충격을 완화 시켜줌으로써 착용자의 머리를 보호하는 헬멧의 구조는 크게 Shell과 Liner로 나눠진다.

Shell은 외부의 충격하중을 넓은 면적에 분산시켜주며 강한 외부 면을 제공함으로써 관통으로부터 안쪽에 위치하고 있는 Liner와 머리를 보호해 주는 역할을 한다. Liner는 Shell의 내부에 위치해 있으며 대부분의 충격에너지를 흡수하는 역할을 한다. Liner는 변형과 부분적 파괴를 통하여 머리를 보호하므로 Liner의 변형은 머리에 상해를 입히는 수준보다 적게 변형이 되어야 한다[1].

오토바이헬멧은 생산에 앞서 헬멧의 안전성을 평가 하기 위해 규정에 의한 충격 시험 과정을 거치게 된다. 이와 관련된 규정에는 미국의 비영리 단체에서 제정한 SNELL M90, 미연방교통국의 DOT FMVSS No.218, 유럽의 ECE R22.03, R22.04 등이 있다.

이러한 규정들은 보통 최고 가속도에 제한을 두고 있으나 유럽의 ECE R22.04에서는 기준을 개선하는 차원에서 최고 가속도의 제한보다 사망 가능성에 대한 지표를 정한 머리상해기준(Head Injury Criteria, H.I.C.)를 도입하고 있다[2].

본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 미국의 소비자 보호단체에서 제정한 SNELL M90 평가 기준에서 요구하는 충격에너지로 헬멧을 자유 낙하시킬 경우, 시간에 따른 가속도 값과 H.I.C. 값을 구하였으며 이를 토대로 헬멧의 충격 위치에 따른 결과 값을 비교함으로써 Shell의 위치에 따른 두께 성형에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 분석하였다.

이러한 충격 시험의 결과 값에 따라서 Shell의 두께를 부분적으로 다르게 최적 설계를 하면 헬

1. 충남대학교, BK21 메카트로닉스사업단
2. ㈜삼양사 화성연구소
교신저자: 충남대학교, BK21 메카트로닉스사업단,
E-mail: yonghkim@cnu.ac.kr

멧의 어느 위치에서나 충격에 대해 비슷한 가속도 값을 갖게 되어 더욱 안전성이 높아질 수 있으며 부분적으로 두께가 얇아지면 제품의 경량화와 원가 절감에 도움이 될 수 있을 것이다.

2. 유한요소 해석

2.1 유한요소 모델

유한요소 모델은 Fig. 1 과 같으며 Shell(헬멧), Liner, Null, HeadForm 그리고 Anvil로 이루어져 있다. Anvil과 HeadForm은 강체 이고 나머지는 변형체이다. Shell(헬멧), Null, Anvil은 shell요소를 사용하였으며 Liner와 HeadForm은 solid요소를 사용하였다. Shell(헬멧)의 두께는 4mm이고 Null의 두께는 1mm이다. Null은 Shell(헬멧)과 Liner의 접촉조건을 만족시키기 위해 사용하였다.

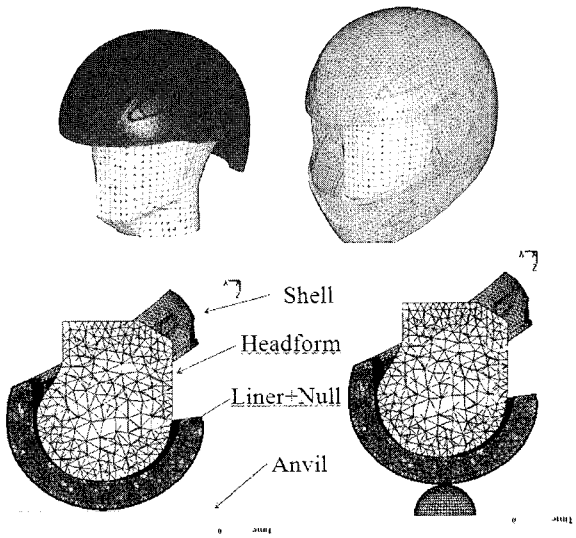

Fig. 1 Finite element model

2.2 해석조건

오토바이헬멧의 충격 시험에 관한 요건들은 정해진 충격 면에 떨어뜨려진 헬멧의 최고가속도가 일정 수준을 초과하지 않도록 규정하고 있다. 우리나라에서는 보통 미국의 규정을 따르기 때문에 본 논문에서는 SNELL M90 규정에 따라 해석을 수행하였다[3].

Shell 은 현재 제품으로 생산되고 있는 물성을 사용하였으며 그 외 헬멧 각 부분의 물성은 Table 1 에 나타내었다.

Anvil은 고정하였고 Anvil에 대하여 Shell, Liner 그리고 HeadForm을 7.746m/s의 초기속력으로 Z방향 충격을 가하였다. Null은 모델간의 접촉 조건을 만족시키기 위해 사용되었으며 Anvil, Shell, Null 그리고 HeadForm사이에는 Single Surface Contact 조건을 사용하여 해석하였다. 실제로 Shell과 Liner는 붙어있는 상태이기 때문에 Shell과 Null 사이에는 Tied 옵션을 적용하여 해석하였다. 각 모델 간의 접촉부에서 마찰은 무시하였다. 해석에는 LS-DYNA 3D를 사용하였다.

Table 1 Material properties

	Shell	Liner	Null	HeadForm (Rigid)
E	2436 MPa	3.9 MPa	950 MPa	950 MPa
Poisson Ratio	0.39	1E-7	0.3	0.3
Yield Stress	52.4 Mpa	-	-	-
Dentity	1.14E-9 ton/㎟	0.03E-9 ton/㎟	0.03E-9 ton/㎟	1.04E-9 ton/㎟

2.3 머리상해 기준(Head injury criteria, H.I.C.)

Gadd는 다양한 머리 충격에 대한 피해 정도를 비교하기 위해 SI(Severity Index)라는 개념을 소개하였다. SI는 웨인주립대의 뇌 충격 허용한도 곡선(WSTC)의 사용을 향상시키기 위해 해석적으로 표현한 것으로 그 곡선에 대한 해석적인 접근을 위하여 개발되었으며 다음 식과 같다[4].

$$SI = \int_{t_1}^{t_2} a^{2.5} dt \qquad (1)$$

여기에서 a는 유효 가속이며, t는 가속도 곡선의 지속 시간이다. SI 발표 후 많은 해석과 실험이 진전되었으며, 연구 결과의 하나로 1971년 Versace는 WSTC와 SI사이의 연관관계에 대한 H.I.C.의 기초가 되는 해석을 제공하였다. 그 후 H.I.C.는 여러 번 수정되었고 현재는 다음과 같이 정의하고 있다[5].

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \qquad (2)$$

여기서 a는 중력가속도의 배수로 표시되는 합성가속도이며, t1과 t2는 H.I.C. 값을 최대로 하는 임의의 두 순간이다.

H.I.C.는 뇌가 점성-탄성 매개물이며 부서지지

않는다는 가정으로 가속도와 지속시간의 상승작용의 영향을 고려한 것이다.

유럽의 ECE R22.04에서는 Helmet의 안전성 기준에 의하여 H.I.C.의 최대값을 2400으로 정하고 있다[6].

3. 결과 및 고찰

3.1 평판 Anvil에 대한 충돌 해석

본 해석은 수직으로 떨어 졌을 때를 기준으로 하여 앞, 뒤 그리고 오른쪽을 각각 45° 의 각도로 충격 위치를 다르게 하여 해석을 수행하였다. 헬멧 모델이 좌우 대칭이기 때문에 좌로 45° 에 대한 해석은 생략하였다.

Fig. 2 에는 시간과 충격 위치에 따른 Shell 과 EPS 의 변형을 그림으로 나타내었다.

Table 2 에서는 Fig. 3 그래프를 통하여서 충격 위치에 따른 최고 가속도 값과 H.I.C.값을 비교하였다. SNELL M90 에서 정한 최고 가속도 값 300G 를 모두 만족하고 있으나 유럽의 ECE R22.04 에서 정한 H.I.C. 값 2400 을 모두 초과하고 있다.

수직으로 충격을 가하였을 경우 가속도 값과 H.I.C. 값이 모두 가장 크게 나왔다. 이는 평판 Anvil 의 경우 수직으로 충격을 받았을 때 머리에 가해지는 상해 정도가 가장 큼을 알 수 있다.

김규현[6]은 유럽의 안전성 평가 기준인 ECE R22.04 에 의한 오토바이 헬멧의 충돌 실험을 수행하였으며 본 논문의 해석 결과와 비교하였을 때 충격 위치와 초기 속력의 값이 다소 차이가 있으나 비슷한 경향을 보이고 있다.

Table 2 Peak acceleration and H.I.C. for impact sites in flat anvils

	Flat anvil			
	90	Back45°	Front45°	Right45°
Peak Acceleration,G	271.48	249.39	248.66	239.06
H.I.C	4849	4389	3543	3773

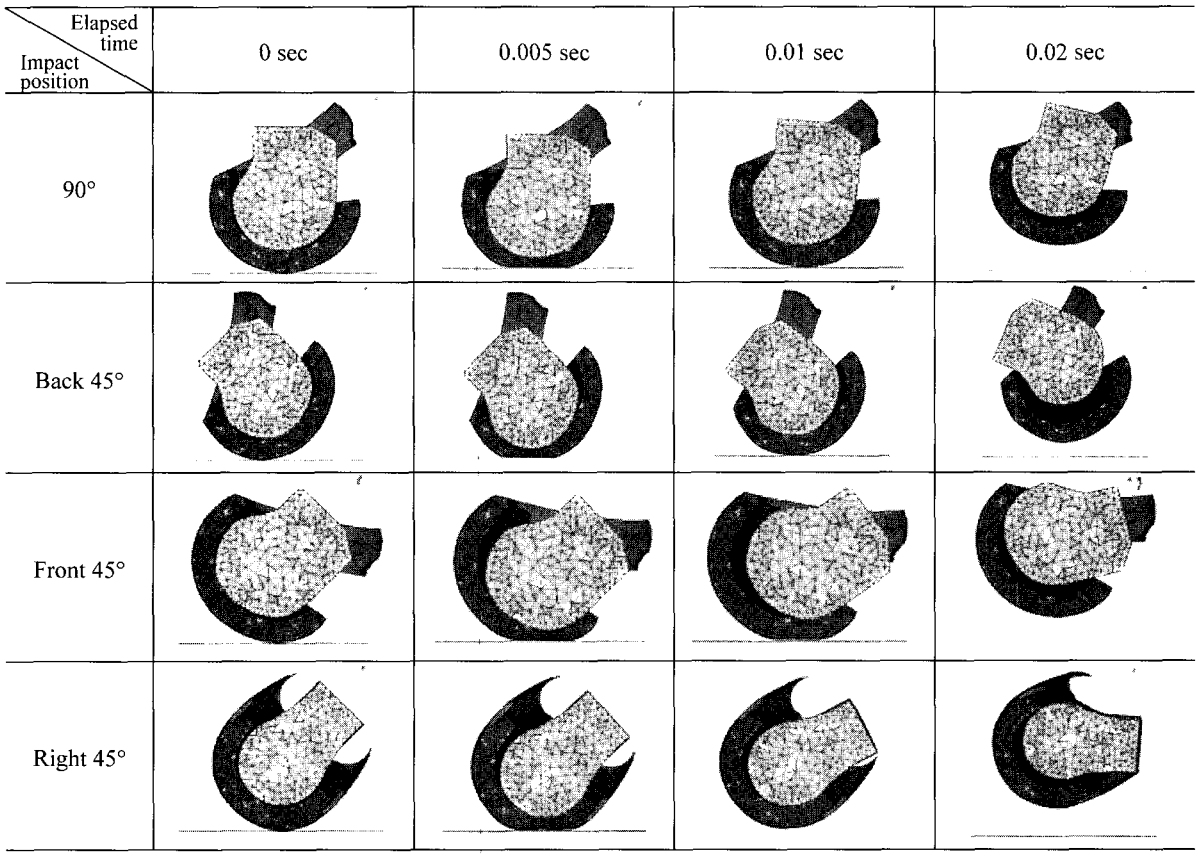

Fig. 2 Variation of deformed shape with time(flat anvil)

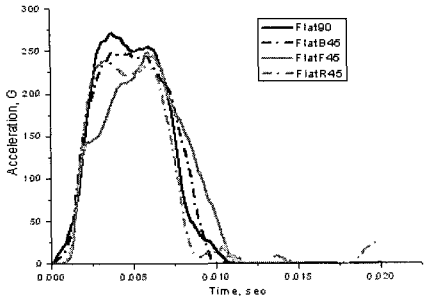

Fig. 3 Variation of acceleration of headform with time for different impact sites(flat anvil)

가속도 값의 경우 실험결과는 90° > Back > Right > Front 순으로 낮아지지만 해석 결과는 90° > Back > Front > Right 순으로 낮아지고, H.I.C 값은 두 경우에서 모두 90° > Back > Right > Front 순으로 낮아지고 있음을 알 수 있다.

따라서 수직으로 충격이 가해지는 부분에 대하여 Shell 의 두께를 더 얇게 하면 변형이 더 크게 일어나 가속도 값과 H.I.C. 값을 줄 일 수 있을 것으로 예상한다.

3.2 반구형 Anvil 에 대한 출동 해석

평판 Anvil 과 같은 방법으로 반구형 Anvil 에 대해 위치에 따른 해석을 수행하였다.

Fig. 4 에는 시간과 충격 위치에 따른 Shell 과 EPS 의 변형을 나타내었다.

Table 3 에서는 Fig. 5 그래프를 통하여서 충격 위치에 따른 최고 가속도 값과 H.I.C. 값을 비교하였다. SNELL M90 에서 정한 최고 가속도 값 300G 과 유럽의 ECE R22.04 에서 정한 H.I.C. 값 2400 을 모두 만족하고 있다.

Fig. 5 는 반구형 Anvil 에 대한 헬멧의 충격 위치에 대한 가속도 값을 비교한 그래프이다. Fig.3 의 평판한 Anvil 에 비해 낮은 가속도 분포를 가지고 있으며 이러한 이유는 반구형 같은 형상에 충격을 가해질 경우 변형이 더 크게 일어나 충격 에너지 흡수가 커지기 때문이다.

반구형 Anvil 에서는 평판 Anvil 과 다르게 앞쪽으로 45° 기울여 충격을 가했을 때의 가속도 값이 가장 크게 나왔고 H.I.C. 값은 뒤쪽으로 45° 기울여 충격을 가했을 때 가장 크게 나왔으나 수직으

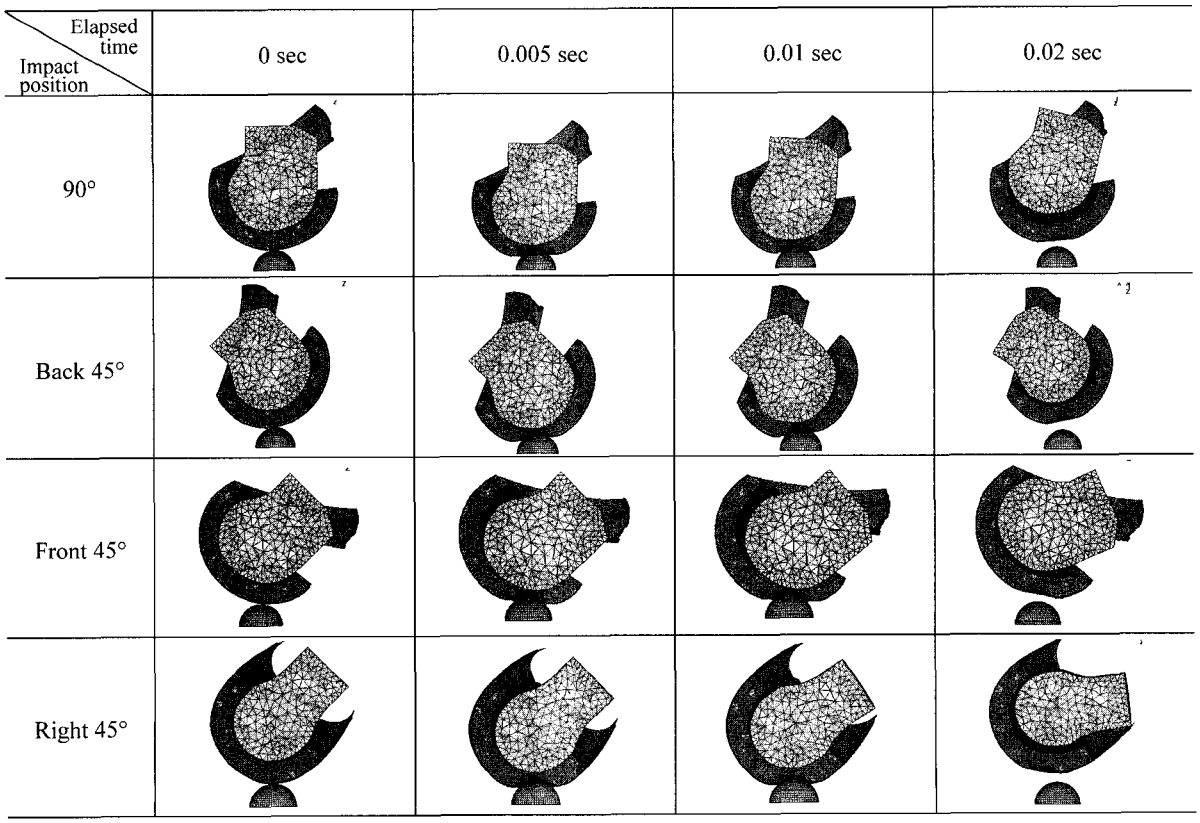

Fig. 4 Variation of deformed shape with time(hemispherical anvil)

Table 3 Peak acceleration and H.I.C. for impact sites in hemispherical anvils

	Hemispherical anvil			
	90	Back45°	Front45°	Right45°
Peak Acceleration,G	178.36	179.97	185.5	176.1
H.I.C	2144	2179	1847	1484

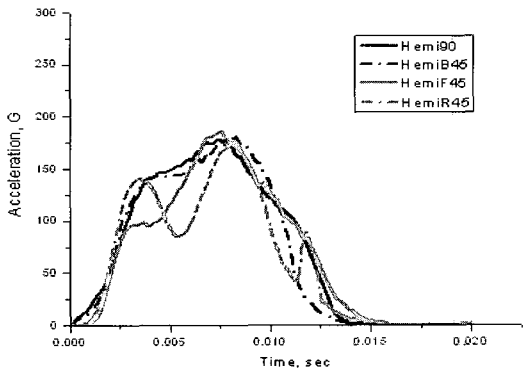

Fig. 5 Variation of acceleration of headform with time for different impact sites (hemispherical anvil)

로 충격을 가했을 때와 뒤쪽으로 45° 충격을 가했을 때의 가속도 값과 H.I.C. 값은 거의 비슷함을 알 수 있다. 반면에 오른쪽으로 45° 충격을 가했을 때 가속도 값은 수직과 뒤쪽으로 45° 충격을 가했을 때와 크게 차이는 없지만 H.I.C. 값은 다소 낮은 값을 보이고 있다.

평판 Anvil 과 반구형 Anvil 에 대한 해석의 결과 값을 비교하여 보았을 때 최고 가속도와 H.I.C. 값의 크기는 충격 위치와 충격을 가한 Anvil 에 따라 차이를 보이고 있지만 수직으로 충격을 가하였을 때 최고가속도와 H.I.C. 값이 비교적 큼을 알 수 있다.

따라서 사람의 안전을 고려하였을 때 수직으로 충격이 가해지는 부분에 대한 Shell 의 두께를 얇게 변화 시키면 충격을 가하였을 때 변형을 크게 하여 가속도 값과 H.I.C. 값을 줄일 수 있을 것으로 예상한다.

Shell 두께를 줄여 변형을 더 크게 하는 방법 외에 가속도 값과 H.I.C. 값에 영향을 줄 수 있는 요인들에 대한 연구가 더 필요하겠다

4. 결 론

본 논문에서는 오토바이 헬멧의 충격시험을 유한요소법을 이용하여 해석하였으며 헬멧의 설계와 성형에 적용할 수 있는 기반을 마련하는데 목적을 두었다. 해석을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 평판 Anvil에 대한 해석보다 반구형 Anvil에 대한 해석의 최고가속도 값이 더 낮게 나옴을 알 수 있다. 이는 반구형 Anvil에 부딪혔을 때 더 많이 변형이 일어나 에너지로 흡수 되었기 때문이다.

(2) 각각의 Anvil에 대해서 수직으로 충격을 가했을 때 가속도 값과 H.I.C. 값이 비교적 크게 나왔다. 수직으로 충격이 가해지는 부분의 Shell의 두께를 더 얇게 하면 변형이 커져 가속도 값과 H.I.C 값이 줄어들 것이다.

(3) 반구형 Anvil에 대한 해석보다 평판 Anvil에 대한 해석 값이 대체로 크게 나왔다. 또한 반구형 Anvil에 대한 해석은 제한 규정을 만족하고 있으므로 평판 Anvil에 대한 해석 결과 값을 토대로 Shell의 최적 두께 분포를 구할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 최명진, 1999, 시뮬레이션에 의한 오토바이 헬멧의 충격응답 분석, 한국시뮬레이션 학회, 제8권, 제4호, pp. 25~31.

[2] Li-Tung Chang, 2003, Finite element analysis of the effect of motorcycle helmet materials against impact velocity, Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 26, No. 6, pp. 835~843.

[3] SNELL, 2005 Standard for protective headgear.

[4] S. H. Backaitis, 1993, Biomechanics of impact injury and injury tolerances of the Head-Neck Complex, SAE PT-43, pp. 309~313.

[5] James A. Newman, 1980, Head injury criteria in automotive crash testing, SAE paper No. 801317, pp. 1~4.

[6] 김규현, 1995, 오토바이 헬멧의 충격흡수 성능에 관한 실험적 연구, 한국자동차공학회, 추계학술대회, pp. 487~494.

[7] V. Kostopoulos, 2002, Finite element analysis of impact damage response of composite motorcycle safety helmets, Composites : Part B, Vol. 33, pp. 99~107.