

야구용 헬멧의 안전성 평가 방법

- Safety Evaluation Methods for design of the baseball helmet -

최 경 임*

Choi Kyung Im

Abstract

In order to protect the head, baseball helmet must to have proper strength and to absorb the kinetic energy. The purposes of this study are to validate whether the helmet have the protecting ability or not. We performed three kinds of experiment to know about the this ability. To find out the limit of displacement at 4 points(front, rear, right side, and left side), the static load by magnetic dial gauges were used, and to validate the ability of absorption, drop tests were performed from 0.5 and 1.0 meter. Futhermore, we calculated natural frequency of the helmets by the principle of Lissajous Diagram and we performed FEM(Finite Element Method) analysis. From the results of these experiments, we found that the displacement of helmet was largest at rear point and it was smallest at left-side point(ear-covered part). The ability of absorption was better at the left-side point than the other points.

1. 서론

운동기술이 고도화되고 전락화됨에 따라 선수들의 스포츠 상해는 점차 늘어나고 있다. 각 종목에서의 상해율의 증가는 선수들의 운동수행을 감소시킬 뿐 아니라 생명까지 위협받기도 한다. 야구경기에서는 상해로 경기 중에 상해로 인하여 생명을 잃는 경우는 거의 없으나, 死求에 의한 상해가 일어날 가능성이 높은 종목이다. 특히 150 km/h가 넘는 속도가 넘는 공이 타자의 어깨위로 날아오는 경우 매우 위험하므로 이 한 행위를 스포츠정신에 어긋나는 것으로 간주하여 경고로 퇴장시키기도 한다.

* 포항공과대학교 기계산업공학부

Owen(1974)에 의하면 야구 경기의 위험요소를 5가지로 분류하였는데, 그 중 배트나 공으로부터의 위험과 강속구나 배트스윙에 의한 위험 요인을 지적하고 있다[6]. 야구 경기에 있어서 머리의 손상은 주로 투수의 투구에 직접 맞거나 선수들간의 충돌, 혹은 타구에 의하여 야기된다. 야구경기에 이어서 머리의 상해율은 다른 신체부위에 비해서 적지만[1], 때로는 치명적인 손상을 입을 수 있다. 수비팀 포수의 경우는 타자의 배트스윙이나 투구로부터의 위험을, 타자의 경우는 투구로부터의 위험을, 주자의 경우는 타구나塁상에서의 수비팀 선수와의 충돌을 방지하기 위하여 반드시 헬멧을 착용하도록 되어있다. 근래에는 인간의 신체를 보호하기 위한 보호용구 제작에 있어 제품의 안전성에 관한 평가가 더욱 중요 시 되고 있다. 특히 신체 중 머리를 보호하는 헬멧에 가해지는 충격과가 인체에 미치는 영향을 고려 때, 현재 사용 중인 야구용 헬멧의 기능적 평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 국내 아마추어 야구에서 사용되는 타자용 헬멧의 충격흡수와 정적부하 하에서의 헬멧의 변위를 검사하였으며, 유한요소법을 이용한 분석을 통해 다양한 재질의 헬멧의 디자인을 시뮬레이션할 수 있는 할 수 가능성을 제시하고자 한다.

2. 기존연구

머리에 상해를 주는 주요측정 measurer는 가속도와 변형, 응력 등을 들 수 있다. Hodgson[4]은 다양한 종류의 헬멧의 충격흡수능력을 알아보기 위하여 정적시험과 낙하시험을 통하여 헬멧의 기능을 평가하였다. Sinvely와 Kovacic[9]과 Kovacic[5]은 11개의 서로 다른 종류의 미식축구 헬멧의 에너지 흡수능력을 알아보기 위하여 금속으로 된 시험인두부에 크리스털 형태의 가속도계를 붙이고 낙하물체에 의해 헬멧이 받는 가속도를 시간의 함수로 나타내었다.

머리의 손상을 방지하기 위하여 머리의 메커니즘에 관한 연구도 활발히 진행되어왔다. Goldsmith(1972)는 수학적인 Head injury model에 Brain dysfunction을 제시하여 Injury mechanism을 설명하였다[3]. Head model은 2-D FEM Finite Element Simulation과 3-D의 복잡한 Skull-Brain 모델까지 발전적인 모델을 제시하고 있다. 그러나 머리는 복잡한 Geometry와 물성치를 갖기 때문에 Closed-form으로 된 Analytical model로 수식화 하기 어렵다. 따라서 대부분의 Analytical model은 단순화하여 사용된다. 최근에는 컴퓨터 기법의 발전으로 Head injury에 대한 Finite Element Model이 많이 사용되고 있다. 3-D Finite injury model에서는 Skull을 Rigid body로 가정하며, 좀더 발전된 모델에서는 Rigid skull내의 Brain response를 시뮬레이션한다. Roan[7,8]

등은 머리를 Skull(outer table, dipole, inner table)과 CSF(cerebral spinal fluid), 그리고 Brain으로 나누어 2-D FEM analysis를 통하여 Impact시 머리에 치명적인 손상을 주는 변형을 구하였다..

3. 연구방법

3.1 제품화된 헬멧

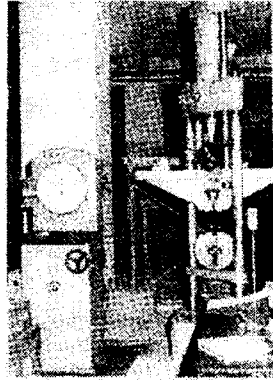
헬멧은 머리를 싸고 있는 헬멧의 본체와 챙, 그리고 귀마개부분으로 나눌 수 있다. 본체부분은 선수들이 경기상황에서 어색하거나 불편함이 없도록 가볍고 머리에 잘 맞아야 하며, 투구와 같은 큰 충격이 주어졌을 때, 머리를 보호할 수 있는 강도를 지녀야 한다. 야구경기에서 사용되는 헬멧의 재질은 F.R.P.(Fibe-refined plastic)과 A.E.S.(Acrylonitril-ethylene styrene), 그리고 A.B.S.(Acrylonitril-butadiene styrene) 등이 있다. 그 중 국내에서 사용되는 F.R.P., A.E.S., 그리고 일본에서 수입한 F.R.P. 소재의 외귀헬멧을 연구대상으로 하였다. 실험에 사용된 헬멧의 재질 및 평균 두께는 <표 1>과 같다.

<표 1> 헬멧의 평균두께 (단위:cm)

부위 \ 제품	F.R.P.(국내 G사제품)	A.E.S.(국내 영세제품)	F.R.P.(일본 Z사제품)
외곽	0.3	0.3	0.3
귀마개	3.0	2.1	1.88
헬멧본체	1.0	0.7	1.0
가장자리	1.7	0.9	1.88

3.2 정적 試驗(Static Tests)

타자용 헬멧d에 대한 정적부하下에서 부하량에 따른 변위를 알아보기 위하여 <그림 1(a)>과 같은 장치를 하였다. 고무공에 모래를 넣어 만든 모형인두부를 인장압축시험기에 고정시키고 헬멧을 착용시켰다. <그림 1(b)>와 같이 헬멧의 좌,우측면과 앞,뒤면에서의 변위를 측정하기 위하여 마그네틱 다이얼 게이지를 헬멧의 가장 볼록한 부위에 닿도록 하였다. 부하량은 20N 단위로 0.7~1.0 cm/min의 속도로 최고 1460N까지 주었다.



(a) 인장압축시험기



(b) 정적부하하의 변위 측정부위

<그림 1> 정적 부하 시험장치

3.3 낙하 試驗(Drop Tests)

충격에 대한 헬멧의 에너지 흡수능력을 알아보기 위하여 <그림 2> 와 같은 낙하 시험기를 사용하였다. <그림 2>에서 보는 바와 같이 낙하물체가 일정한 방향으로 낙하할 수 있도록 두 개의 기준대를 설치하고, 낙하물체가 닿는 부분에 헬멧을 씌울 수 있는 모형인두부를 고정 시켰다. 낙하 물체는 1.4kg의 강체로 하였으며 헬멧의 안쪽에 5G짜리 진동가속도계를 부착시켰다. 0.5m와 1.0m의 높이에서 10회의 반복적인 충격을 가하여, 이때 발생하는 운동에너지에너지는 전기에너지 변환된 값을 얻었다.



<그림 2> 낙하 시험장치

2.4 고유진동수

헬멧 착용 시 증폭화 요소(Amplification factor)는 헬멧의 고유진동수에 따라 다르게 나타난다. 본 연구에서는 헬멧이 갖는 고유진동수를 검사하기 위하여 헬멧을 고정시키고 헬멧 안쪽에 2G의 진동가속도계를 부착시켰다. 헬멧에 임팩트 햄머로 충격을 주어 고유주파수를 구하였다. 이 검사에서는 진동가속도계의 부착부위를 변화시켜가며 반복측정 하였다(그림 3).



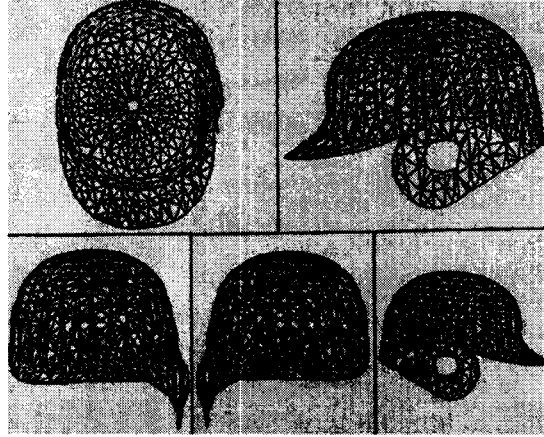
<그림 3> 고유주파수 시험장치

2.5 FEM분석

상용되는 헬멧의 변형과 응력분포를 알아보기 위하여 Sonic Digitizer를 이용하여 얻어진 좌표를 Mash로 구성하였다(그림 4). 또한 FEM 상용 패키지인 NISA를 이용하여 헬멧의 변형과 응력분포를 구하였다. 본 연구에서는 경기 도중 공에 맞는 빈도수가 가장 높은 헬멧의 귀마개부분에 x축방향(법선방향)으로 -10N의 힘이 주어졌다고 가정하였다. 인체의 두부의 물성치는 <표 2>와 같이 가정하였다.

<표 2> 머리의 물성치

Tissue	Bulk Modulus(Pa)	Shear Modulus(Pa)	Dasiy(kg/m ³)	Possion's Ratio
Outer Table	7.3E+09	5.0E+09	3.0E+09	0.22
Dipole	3.4E+09	2.32E+09	1.75E+09	0.22
Inner Table	7.3E+09	5.0E+09	3.3E+09	0.22
CSF	2.19E+07	5.0E+09	1.04E+07	0.49
Brain	2.19+07	1.68+09	1.04+07	0.50



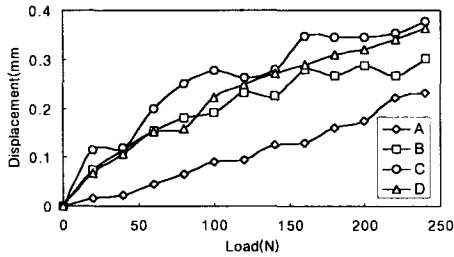
<그림 4> Meshes Generation

3. 제품화된 헬멧의 평가

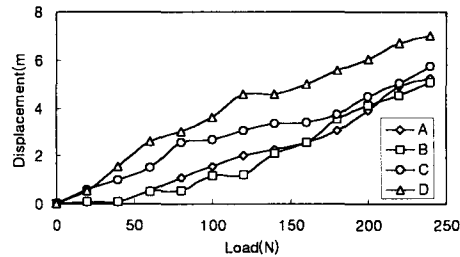
3.1 정적 시험

정적부하시험은 국내에서 생산된 F.R.P. 소재(제품 A)의 헬멧과 A.E.S. 소재의 헬멧(제품 B) 각 3개에 대하여 이루어졌다. 그 결과 제품 B가 제품 A보다 모든 부위에서 변위가 큰 것으로 나타났다(그림 5). 제품 A는 240N에서는 파괴되었으나, 제품 B는 엇가락처럼 늘어지며 변형을 일으켰으며 1460N에서 파괴되었다. 이는 제품의 소재에 따른 특성이 잘 반영된 것으로 보인다. 그러나 커다란 부하에 제품이 파괴되지 않고 늘어지는 경우는 인두부에 커다란 손상을 야기될 수 있다. 제품 A의 경우는 전면이 가장 변형이 적었으며, 귀마개가 없는 오른쪽 측면이 가장 변형이 큰 것으로 나타난 반면, 제품 B는 귀마개가 있는 왼쪽 측면이 가장 변형이 적었으며, 후면이 가장 변형이 큰 것으로 나타났다.

A: 전면, B: 귀마개가 있는 왼쪽 측면, C: 귀마개가 없는 오른쪽 측면, D:후면



(a) 제품 A



(b) 제품 B

<그림 5> 부하량에 따른 헬멧의 부위별 변위(mm)

3.2 낙하 시험

낙하시험은 정적 시험과 같은 종류의 헬멧에 대하여 이루어졌다. <표 3>은 낙하 높이 0.5m와 1.0m에서의 두 종류의 헬멧 안에서 측정된 에너지이다. 제품 A와 제품 B 모두 헬멧의 윗부분 보다 패드가 있는 귀마개가 있는 왼쪽 측면에 대한 충격 흡수 능력이 뛰어난 것으로 나타났다. 0.5m 낙하에서, 헬멧의 윗부분은 제품 A의 에너지가 제품 B보다 8배 정도 높은 에너지를 나타내 나, 귀마개부위는 약 1.7배만 높은 것으로 나타났다. 또한 1.0m의 낙하에서는 6.5배와 4.4.배가 높은 것으로 나타났다. 전체적으로 제품 B가 제품 A에 비해 충격흡수능력이 좋은 것으로 나타났는데 이러한 결과는 제품의 재질에 의한 것으로 A.E.S.가 F.R.P. 보다 무르기 때문이라 본다. 고유진동수는 제품 A가 8Hz, 제품 B가 12Hz로 매우 낮게 나타났다. 이는 방수모의 410Hz나 산업용 안전모 1640Hz에 비해 매우 낮은 값이며[2], Goldsmith(1972)에 충격으로부터 두부를 보호하기 위한 고유주파수는 400Hz이하이다[3].

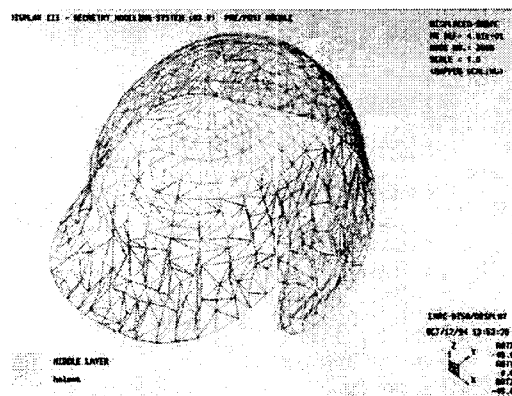
3.3 FEM 해석

<그림 6>와 <그림 7>은 Sonic digitizer로부터 얻은 좌표로 재구성한 헬멧에 대해 귀마개부위에 10N의 Force로 impact를 하였을 때 일어나는 헬멧의 변형과 응력분포를 나타낸 것이다.

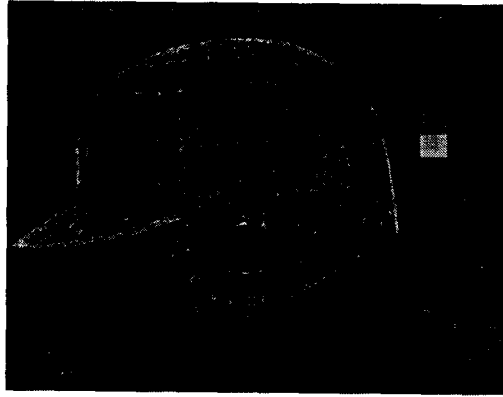
<표 3> 낙하높이에 따른 헬멧의 부위별 에너지(단위:volt)

기준축		낙하높이 (m)	제품 A F.R.P.(국내 G사제품)		제품 B A.E.S.(국내 영세제품)	
			윗부분	귀마개부분	윗부분	귀마개부분
X축	0.5		0.6	0.038	0.175	0.017
	1.0		1.5	0.16	0.75	0.025
Y축	0.5		4.9	0.016	0.45	0.015
	1.0		19.0	0.042	2.8	0.022
Z축	0.5		2.0	0.012	0.25	0.011
	1.0		4.5	0.022	0.92	0.016
Total	0.5		5.3	0.043	0.54	0.025
	1.0		19.6	0.16	3.04	0.037

정확한 타구에 대한 impact를 적용하지 못했으나, 귀마개 부위에 약 2~3cm 정도의 변위를 나타내며, impact가 일어나는 귀마개부위 뿐 아니라 머리와 닿는 헬멧의 윗부분이 크게 힘이 가해지는 것을 볼 수 있다.



<그림 6> 귀마개부위에 10M의 힘으로 충격을 가할 때의 F.R.P. 헬멧의 변위



<그림 7> 귀마개부위에 10M의 힘으로 충격을 가할 때의 F.R.P. 헬멧의 응력분포

5. 결론 및 토의

헬멧의 안전성 평가를 위하여 정적 실험과 낙하실험을 결과, 패드가 부착된 귀마개부위가 충격을 가장 잘 흡수하는 것으로 나타났다. 그러나 FEM 해석결과 공으로부터 충격을 직접 받는 귀마개부위에서의 변형이 큰 것으로 보아 커다란 충격에 의해서 탈모되기 쉬운 것으로 보여진다. 또한 재질면에서는 F.R.P. 소재의 헬멧(제품 A)이 A.E.S. 소재의 헬멧(제품 B)보다 강도가 큰 것으로 나타났다. 그러나 낙하실험 결과 제품 B가 제품 A 보다 충격흡수력이 좋은 것으로 나타났다. 실제 투구를 가정한 시뮬레이션은 이루어지지 않았으나, FEM 해석을 위하여 헬멧을 새로운 Mesh로 재구성하였으며, 임의의 임팩트에 대한 헬멧의 변위와 응력분포를 보여주어, 헬멧 디자인에 도움이 될 수 있는 가능성을 제시하였다.

6. 참고문헌

- [1] 강춘명, 운동선수의 상해에 관한 연구, -스포츠 상해보험 가입자를 중심으로, 이화여자대학교 석사학위논문, 1982.
- [2] 이성우, 안전모의 안전도 평가에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 1986.
- [3] Goldsmith, W., Biomechanics of Health Injuries: Biomechanics-Its foundation and objective(Fung, N.Y.C. and Anliker, M Eds.) , pp. 585-634, Printice-Hall, Enlewood Cliffs., 1972.
- [4] Hodgson, V.R., "Approaches an evaluative techniques for helmets", Internatinal

- Series of Biomechanics, Vol. 10, pp. 119-132, 1977.
- [5] Kovacic, C. R., "Impact-absorbing qualities of football helmets", Research Quarterly., Vol. 36, pp. 420-426, 1966.
- [6] Owen, M., "Play it safe", School safety, 2, pp. 4-6, 1974.
- [7] Roan, J. S., Kahlil, T.B., and King, A. I., " Human head dynamic response to side impact by Finite Element Modelling", ASME J. of Biomechanical Engineering, Vol. 113, pp. 276-283, 1991.
- [8] Roan, J. S., Kahlil, T.B., and King, A. I., " Dynamic response of the human head to impact by three-dimensional Finite Element Analysis ", ASME J. of Biomechanical Engineering, Vol. 116, pp. 244-250, 1994.
- [9] Sinvely, G. G., Kovacic, C., and Chicherer, C. O., "Design of football helmets", Research Quarterly., Vol. 32, pp. 221-228, 1962.

저 자 소 개

최경임 : 이화여자대학교 물리학과 졸업하고, 포항공과대학교에서 기계공학과와 산업공학과에서 석사와 박사학위를 취득하였으며, 현재 포항공과대학교 기계산업공학부에서 박사 후 연구원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 인간공학, Simulation of human motion, 제품디자인 등이다.