

안전모 충격 흡수 성능에 관한 분석

Analysis of collision absorption test on safety helmet

신 윤 철*

Abstract

안전모는 낙하, 비례물에 대한 두부를 보호하는 보호구로 낙하물의 충격을 일부 흡수하여 완화시켜주는 기능을 하고 있다. 안전모 충격 흡수 성능으로 최고전달충격력이 있으나 낮을수록 성능이 좋은 것으로 나타나지만 안전모 제조과정에서 얼마 만큼의 충격이 흡수되는지는 알 수 없었다. 이로 인하여 성능 향상을 위한 충격력의 명확한 제어 가능한 성능 향상의 기준을 잡는데 어려움이 있었다.

본 연구에서는 충격량과 연관된 반발계수로 충격흡수 성능의 정도를 찾고자 하였다. 연구 대상은 시중에서 주로 착용되고 있는 ABS 재질의 안전인증 합격품을 대상으로 선정 하였다.

연구 방법으로는 운동량과 충격량의 이론으로 안전모 충격흡수성능 시험장치를 활용하여 인두에 전달된 충격량을 활용하여 충격흡수시의 반발계수를 구하고, 충격을 흡수치 않을 때를 가정하여 추정 충격력 곡선을 유도하고 충격흡수 전의 추정 최고 전달충격력과 반발계수를 구하여 충격흡수의 성능을 나타내었다.

연구결과 국내 안전인증 H사의 안전모의 최고전달충격력은 4100 N 이였고, 충격흡수 성능은 400 N 으로 약 9 %를 흡수되는 것으로 나타났다.

Keywords: 반발계수, 추정 최고전달충격력, 안전모, 충격흡수 성능

1. 서 론

안전모는 낙하, 비례물에 대해 두부를 보호하는 보호구로 근로자는 충격흡수성능이 좋은 안전모를 선호하고 있으며, 안전모를 제조하는 업체에서는 안전모의 충격흡수성능을 향상코자 노력을 하고 있다. 충격흡수성능을 향상하는 방법으로 인두에 전달되는 최고 전달 충격력을 감소시키는 것이다.

충격흡수성 시험에서 충격 주는 자유 낙하한 운동량으로 안전모를 충격하고 안전모는 일부 충격량을 감소하고 남은 운동량으로 인두에 충격량으로 변형되어 나타난다. 이로 인하여 자유 낙하한 운동량이 안전모의 충격흡수로 인하여 인두에 동일한 충격량으로 나타나지 않는다.

안전모에서 성능에 직접적인 최고 전달 충격력과 관련된 요인으로는 모체의 재질, 형상, 두께와 착장체의 구조, 재질, 형태, 길이 및 충격흡수재의 재질, 두께 등으로 나타낼 수 있고, 요인 간에 복잡한 상관성이 있어 대표적인 요인을 찾기가 어려운 문제점이 있다.

안전모 성능과 관련된 주된 연구로는 최용근은 충격흡수성능 시험을 이용하여 모체 재질 자체만의 변형에서 내부수직거리를 구하는 복잡한 관계식을 제시하였으나 실용에 어려움이 많고, 재료별 특성이 고려되지 않았다.

또한, 한응교 등은 낙하 높이에 따른 안전모의 안전도를 연구하여 서로 다른 운동량을 주었을 때의 안전모가 받을 수 있는 안전성에 대한 내용 이었다.

김연우는 전달충격력에서 이론적 고찰을 통한 안전모의 등가모형을 제시하고 해법을 찾았으나 하역형 문제나 사용된 계수 사이의 상관성 등이 이론적 접근에 한계점을 갖고 있는 것으로 나타났다.

안전모에서 충격흡수의 성능을 향상키 위한 충격흡수 성능이 얼마인지에 대한 연구는 없었다.

본 연구에서는 운동량과 충격량의 관계식을 통해 안전모의 충격흡수에 따른 성능을 파악하기 위해 최고 전달충격력과 반발계수 사이의 관계로 흡수 성능이 어느 정도 인지를 규명코자 한다.

2. 운동 이론과 시험장치

2.1 운동량과 충격량 이론

안전모 전달충격력 시험 관련의 이론은 충격추의 자유낙하로 모체 정부에 충격을 가하게 되며 정부의 충격 점에서의 속도는 자유 낙하 운동 관계식을 이용하여 다음 (1) 식과 같이 구할 수 있다.

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2, v = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(1)$$

여기서, m : mass(kg), g : gravity acceleration(9.8 m/s²), h : height(m), v : velocity(m/s) 이다.

운동량과 충격량 관계로 충격 전후 물체의 운동량의 변화는 물체가 받은 충격량과 같으므로 (2)식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{충격량} = \text{운동량의 변화 량} \dots\dots\dots(2)$$

또한, 힘은 질량과 가속도의 곱으로 다음의 (3)식과 같이 나타낼 수 있고, 이를 변형하여 (2)식은 충격량과 운동량의 관계식으로 (4)식과 같다.

$$F = ma = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \dots\dots\dots(3)$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v \dots\dots\dots(4)$$

여기서, F : force(N), a : acceleration(m/s²), t : time(s), 충격량 : $F \cdot \Delta t(N.s)$, 운동량 변화 : $m \cdot \Delta v(kg \cdot m/s)$

Fig 1.은 안전모 충격흡수 성능 시험에서 자유낙하로 충격추가 충돌되어 반발될 때까지의 힘과 시간을 나타내고 있다. 곡선 밑의 면적이 충격량이며 운동량의 총 변화량과 같다. 시각 t_i 는 충격추가 안전모를 충격하는 시점으로 시각 t_i 에서 시각 t_p 의 정점까지 곡선 밑의 면적을 변형 충격량이라 하고, 전달충격력 최대 정점까지의 운동량 변화량(ΔP_i)과 같다. 또, 시각 t_p 에서 t_f 까지의 곡선 밑의 면적을 회복충격량이라 하고, 반발 운동량 변화량(ΔP_f)와 같으며, 충격추는 시각 t_f 에서 안전모와 완전히 떨어진다.

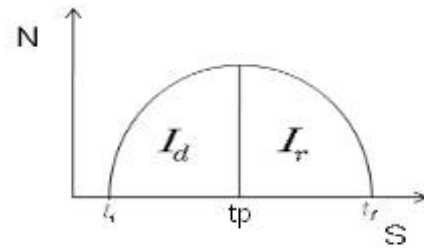


Fig 1. 안전모 전달충격력에서 변형충격량(I_d)과 회복충격량(I_r) 곡선

변형 충격량과 회복 충격량은 다음 (5)식 (6)식과 같이 쓸 수 있다.

$$I_d = \int_{t_i}^{t_p} F \cdot dt = \Delta P_i \dots \dots \dots (5)$$

$$I_r = \int_{t_p}^{t_f} F \cdot dt = \Delta P_f \dots \dots \dots (6)$$

여기서, I_d : 변형충격량, I_r : 회복충격량

이 두 충격량의 비를 반발계수(e, coefficient of restitution)라 하고, (7)식과 같이 나타내어지며, 초속도(vi) 대비 종속도(vf)로 (8)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$e = \frac{I_r}{I_d} = \frac{\Delta P_f}{\Delta P_i} \dots \dots \dots (7)$$

$$e = vf / vi \dots \dots \dots (8)$$

2.2 안전모 시험 규정 및 시험장치

안전모의 충격흡수성 시험 규정은 고용노동부 고시에 따르고, 동 시험 규격으로 성능 시험을 실시하였다

충격량의 계산은 IOTECH 사의 적분 프로그램(Integral area and Curve fitting)을 사용하였다. 전달 충격력에 대한 추정 곡선식은 최소 자승 법을 활용한 회귀 분석으로 추정하였다.

2.3 시료

국내에서 사용 중인 안전모 현황을 보면 ABE가 95%, AB종을 포함한 기타가 5%정도이다.

본 시험에서는 국내에서 주로 사용되는 ABE종을 선택하였으며, 모체 재질은 주로 외산이 PE를 사용하며, 국산은 ABS를 사용하는바 ABS재질인 안전모로 선택하였다. 또한, 시료의 전처리는 고온(50 ± 2) °C 에서 4시간이상 전 처리하여 실시하였다.

시험실의 온도는 25 ± 0.5 °C 였다.

시료 수는 안전모 대표 제조사인 H사의 안전인증 합격품으로 동일 모델 15개를 사용하였다.

3. Results

3.1 전달 충격력

충격흡수성 시험 실시 결과 인두에 전달된 전달 충격력은 Fig. 2과 같이 나타났으며, 최고 전달 충격력은 표준편차 100 N 이내에서 평균 4100 N 으로 나타났다.

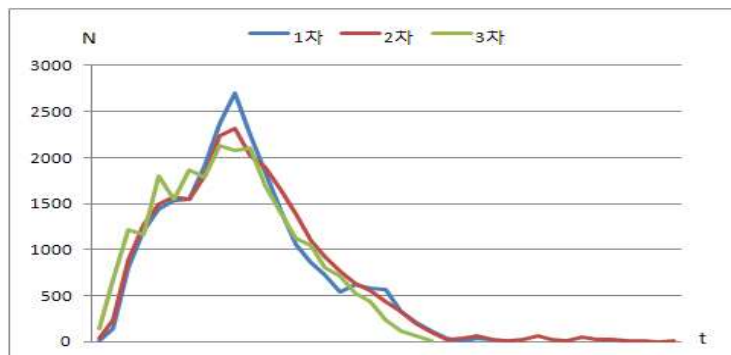


Fig 2. 인두에 전달된 충격력의 모형

3.2 반발계수

전달 충격력에 의한 충격량을 (7)식에 의해 계산된 반발계수는 Fig. 3과 같이 나타났으며, 표준편차 0.11 이내에서 평균 0.51로 나타났다.

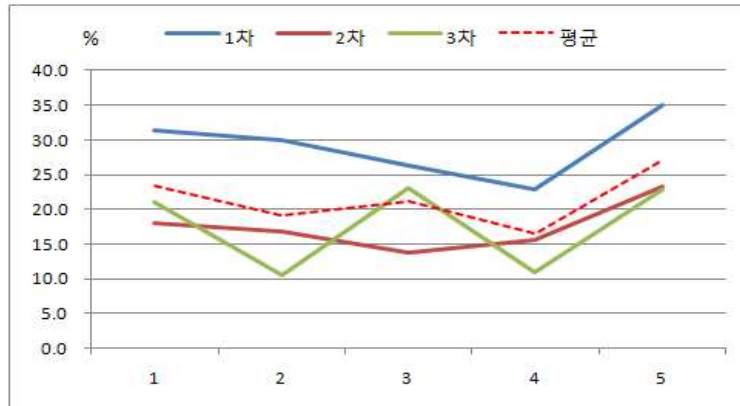


Fig 3. 충격량에 의한 반발계수

4. Discussion

4.1 전달 충격력과 반발계수

Fig 3에서의 안전모 충격흡수능력 시험 결과 반발계수가 0.51이라 함은 (8)식에 따른 완전 탄성체에 비교하여 안전모에서 49 %의 충격량을 흡수한 결과와 같다.

이번 연구에서는 한 개 회사의 모델이지만 전체의 안전모 유통 중에서 가장 많이 사용되는 안전모로 선정하였기 때문에 우리나라의 대표적인 수치로써 그 의미를 들 수 있다.

4.2 변곡점을 갖는 곡선의 추정 곡선에 의한 전달 충격력과 반발계수

Fig 4의 변형충격량의 전달 충격력의 곡선을 보면 최고 정점이 나타나기 까지 증가하다가 감소하는 변곡점이 1개 내지는 3개가 있는 것으로 나타났다

최고 정점(Pr) 아래에서 증가하다가 감소하는 변곡점(b1)이 1개가 있는 경우에는 Fig. 5과 같이 전달충격력이 감소하다가 증가하는 변곡점(b2) 후단 이후의 자료(곡선 c2, Pr, c3)만을 갖고 최소자승법을 활용하여 가장 잘 일치하는 곡선(c2, s2)을 유도하여 전단의 자료로 가정되는 곡선식을 유도하였다. 다음으로 첫 번째 변곡점(b1) 하단의 자료(s1, c1)와 우측 곡선의 자료(c3, s3)를 갖고 새로 추정 곡선(ce)을 만들었다 이 추정 곡선에서 추정 최고전달충격력(Pe)과 반발계수(ee)를 구하였다. 여기서 곡선상의 첫 번째의 점(c1)은 변곡점(b1)과 충격시각(s1) 사이의 95%로 가정하였으며 나머지 곡선상의 점(c2, c3)도 첫 번째와 같은 방법으로 정하였다.

이와 같은 방법으로 증가 감소하는 변곡점이 2개, 3개 있는 경우에도 위와 같은 방식으로 처리하여 추정 최고 전달 충격력과 반발계수를 구하였다.

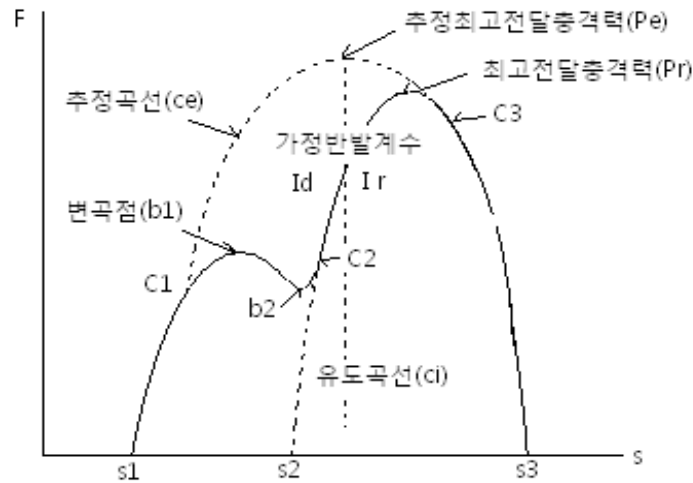


Fig 4. 변곡점을 갖는 곡선의 추정곡선

4.3 추정 전달 충격력과 추정 반발계수

Fig 4의 추정 곡선(s1, Pe, s3)을 이용하여 추정한 전달 충격력은 Fig 5와 같이 나타났으며, 추정 최고 전달 충격력은 표준편차 150 N 이내에서 평균 4500 N 로 나타났다. 시험 결과 원 곡선에 의한 최고 전달 충격력에 비해 추정곡선에 의한 추정 최고 전달충격력의 값의 차이는 400 N 으로 나타나 약 9 % 의 차이가 있는 것으로 나타났다.

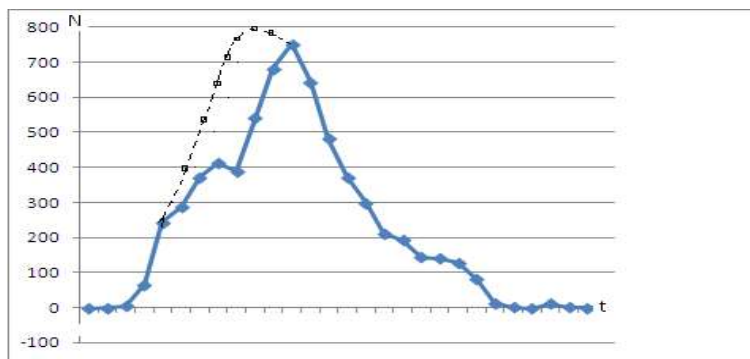


Fig 5. 인두에 전달된 추정 충격력의 모형

Fig 4에서 보여준 것과 같은 변곡점(break point)이 많으면 많을수록 반발계수는 작아지고, 최고전달충격력도 감소되는 것으로 나타났다 이는 안전모 구조상 충격흡수성능 시험 중에 안전모에서의 변형이 갖어오는 효과로 커다란 변형이 있을 때마다 변곡점이 생기는 현상으로 성능을 향상시킬 수 있는 구조로 볼 수 있다.

5. Conclusion

국내 안전인증된 H사의 ABS 재질, ABE 중 안전모를 대상으로 충격량에 의한 반발계수를 이용하여 최고 전달충격력을 추정하여 나타난 결과는 다음과 같다.

첫째, 국내 H사의 안전모의 최고전달충격력은 4100 N 이었으며, 반발계수는 0.51 로 나타났다.

둘째, 최고 전달 충격력에 비해 추정곡선에 의한 추정 최고 전달충격력의 값의 차이는 400 N 으로 나타나 약 9 % 의 차이가 있는 것으로 나타났다.

셋째, 안전모의 성능을 충격흡수량으로 표시될 수 있다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 최용근, “산업용 안전모의 충격흡수 이론”, 한국산업안전학회지, vol. 6, No. 2, pp. 37~40, 1991
- [2] 한응교 외 3명, “소방 안전모의 안전도 평가에 관한 연구” 한국화재소방학회지, vol. 5, No. 3, pp. 5-14, 1991
- [3] 김연우, 박경수, “안전모의 충격전달에 관한 이론적 고찰”, 대한인간공학학회지, vol. 9, No. 1, pp. 29~33, 1990
- [4] 윤대병 외 4명, 대학물리학, pp. 95~101, 1990
- [5] 보호구 의무안전인증고시(노동부 고시 제 2008-77호 : 2008. 12. 3), 제 2장 제4조