기술자료 I

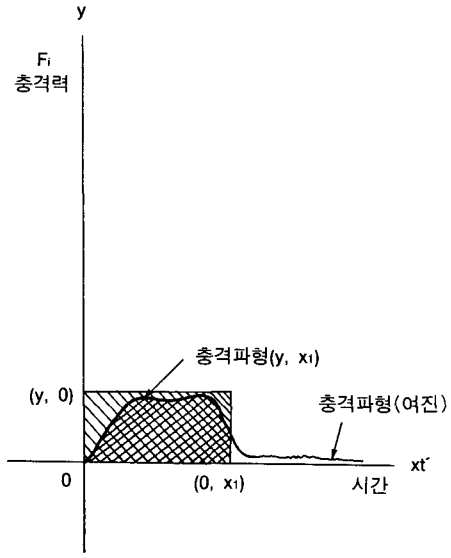
산업용 안전모의 충격흡수 이론

최 용 근*

1. 서론

산업용 안전모는 그 기능상 耐貫通性과 衝擊吸收性이 중요하다. 이중내관통성은 별로 어려움이 없으나 충격흡수성은 무게 및 크기가 제한되고 극히 간단한 안전모의 구조에 충격을 충분히 흡수하는 Bumper작용까지 하여야 하므로 기준에 합격할수 있는 안전모를 제작하기 위하여는 여간 어려운게 아니다. 이에 論者는 일정한 무게의 추가 일정한 높이에서 자유낙하하여 안전모에 충격을 加하고서 반발할때까지의 안전모의 수직운동(변형)이 어느정도 이루어져야 하는지에 대하여 관심을 갖었다. 즉 모체든 착장체든 또는 모체와 착장체의 연결장소에서든 일정한 충격량을 받았을때 모체의정점(낙하물과 최초로 접한부분)이 수직으로 S'의 거리 만큼 움직여 주고 운동이 정지된다고 보았을때 S'과 m(추의중량), S(추가 떨어지는 높이) Fi(충격이 흡수되고 남은 충격력)와의 관계식을 뉴톤의 운동법칙으로 부터 수학적 방법으로 유도 함으로서 시험조건 및 검정기준에 주어진 수치인 m, S, Fi, 을 대입하므로서 S'을 알 수 있는바 이것을 기초로 안전모의설계및 제조된 안전모의 충격흡수 정도를 용이하게 판단 할 수있다.

조건 : 본인은 여기에서 우선 충격 흡수시험장치를 이용해서 약 30여개의 안전모의 충격흡수성 시험을 하여 본바 STORAGE OSCILLOSCOPE에 나타난 충격 파형이 그림 ①과같이 직사각형의 모델에 가까움을 발견하고 S'안에서의 가속도는 상수로 보았다. 따라서 성능이 제대로 유지되는 안전모는 그림 ①과 같은 파형을 유지하며 본론에 전개되는 이론도 안전모를 사람머리 모형



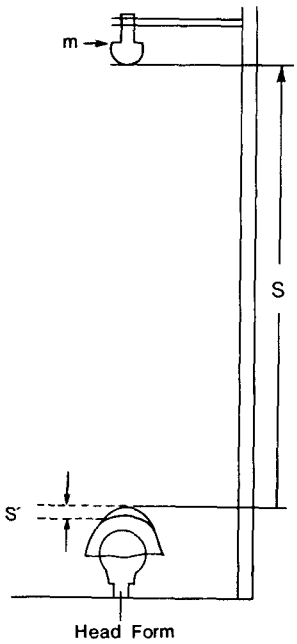
그림①

*正會員 : 한성안전산업사

(HEAD FORM)에 씌우고 m(3.6kg)이 S(1,524m) 높이에서 자유낙하할때 우리나라 노동부 기준인 4450N 이하의 Fi가 이루어 지는 것을 모델로 삼았다.

2. 본론

그림 ②와같은 시험기의 머리모형에 안전모를 씌



그림②

우고 중량m인 추를 S높이에서 자유낙하 하여 안전모에 처음 추가 접할때 부터 추의 속도가 0일 때 까지의 안전모의 수직거리를 S'이라하여 다음과같이 유도한다.

1) 추가 모체에 떨어질때의 속도 :

*여기에서 추는 순수한 自由落下한다고 생각하므로 뉴톤의 운동법칙에서 유도한다.

$v=at \qquad \ell=\frac{1}{2}at^2$ 에서

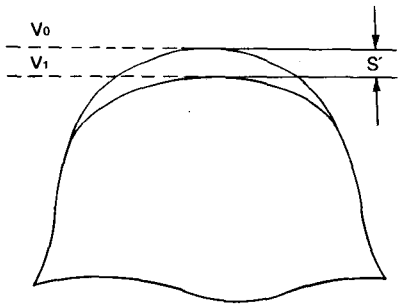
$a=g \qquad \ell=s$

$v=gt \qquad s=\frac{1}{2}gt^2 \rightarrow t=\sqrt{\frac{2s}{g}}$

$v=gt=g\sqrt{\frac{2s}{g}}=\sqrt{2gs}$

∴추의속도 $v=\sqrt{2gs}$ 이후 V는V_0로 표기한다.

2) 추가 모체에 부디친후 정지하는 가속도(S'거리안에서 추가 정지할 때까지) : 그림③에서와 같이 최초의 추가 접하는 순간의 속도를 V_0라 하고 정지하여 다시 올라가는 순간의 속도를 V_1이라 하면 V_0에서 V_1까지의 가속도는 실제로 변하겠지만 앞서 시험 조건에서 언급한 대로 그때 그때의 가속도는 생각하지 않고 추가 S' 안에서 정지하는 가속도 만을 생각 하므로 상수로 생각해



그림③

도 큰 오차는 없다고 본다. 또한 이경우에 S'은 S에 비하여 극히 작고 또 충돌 시간도 극히 짧으므로 추의 속도 역시 상수로 취급한다.

S'안에서 등가속도로 보기 때문에

$a=\frac{V_1^2-V_0^2}{2\ell}$ 거리 ℓ 은 이경우S'

$V_0=\sqrt{2gs}$……추가 처음 충돌 할때의 속도

$V_1=0$……S'에서 추가 정지 하므로

$$\therefore\ a=\frac{-(\sqrt{2gs})^2}{2S'}=\frac{-2gs}{2S'}=\frac{-gs}{S'}$$

즉 S'안에서 추가 정지하는 가속도 $a=\frac{-gs}{S'}$로서 추가 충돌후의 정지 하기까지는 당연히 속도가 줄어들기 때문에 이때의 가속도 역시 당연히 음수여야한다.

3) 추가 정지할때까지의 S'안에서 시간 :

S'안에서의 운동은 자유락하가 아니므로 공식 $\ell=vt+\frac{1}{2}at^2$에서 $v=v_0$ $\ell=S'$ $t=t'$

$V=v_0=\sqrt{2gs}$, $a=-\frac{gs}{S'}$이므로

$$at'^2+2v_0t'-2S'=0$$

$$t'=\frac{-2v_0\pm\sqrt{4V_0^2+8S'a}}{2a}$$

$$=\frac{-2\sqrt{2gs}\pm\sqrt{4(2gs)+8S'\frac{gs}{S'}}}{2a}$$

$$=\frac{-2\sqrt{2gs}\pm\sqrt{8gs+8gS}}{2a}$$

$$=\frac{-2\sqrt{2gs}\pm4\sqrt{gs}}{-2\frac{gs}{S'}}$$

$$=\frac{S'(2+\sqrt{2})}{\sqrt{gs}}$$

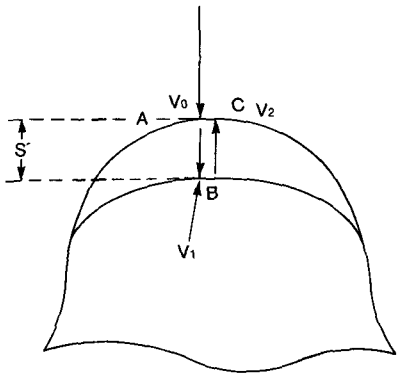
∴ S'안에서 추가 정지 하기 까지의 시간

$t'=\frac{S'(2+\sqrt{2})}{\sqrt{gs}}$임

4) 추가 그림 ④에서와 같이 모체 정수리 A점에 맞고 B점($V_1=0$)까지 내려갔다가 C점(추가 모체를 떠나는 점)으로 반발할때 까지의 시간(추가 모체에 접한 시간)을 계산하여 보자 :

$\Delta t=t'+t''$ $t'=A\rightarrow B$ $t''=B\rightarrow C$

이때에 추가 반발 하는 속도는 모체의 재질이나 상황에 따라 다르기 때문에 일반적으로 V_0의 K배로 떠오른다고 보면 이때 K는 $0\leq K<1$ 이고 K는 또다른 실험에 의하여 찾거나 일반 물성(탄성)에 따라 추정할 수있다.



그림④

$V_2=at''=KV_0$

$$t''=\frac{KV_0}{a}$$

$\Delta t=t'+t''$

$$=\frac{S'(2+\sqrt{2})}{\sqrt{gs}}+\frac{K\sqrt{2gs}}{\left|\frac{gs}{S'}\right|}$$

5) 추가 모자에 접하는 기간의 운동량(ΔP)을 계산하여본다 :

이때 그림④에서 A점의 운동량은 mv_0, B점을 통과하여 C점에 도달하는 운동량은 mv_2가 된다. 나중 운동량에서 처음운동량을 감하면

$\Delta P=mv_2-mv_0$ (벡타계산)

여기에서 추는 떨어지는 속도의 K배로 반발하기 때문에 $v_0=\sqrt{2gs}$, $v_1=K\sqrt{2gs}$ 이다.

추가 튀어 오르는 방향을 ⊕로 보면 내려가는 방향은 ⊖가 된다.

$$\Delta P=mv_2-mv_0$$
$$=mv_2-(-mv_0)$$
$$=m(v_2+v_0)$$
$$=m(Kv_0+K_0)$$

$$=mv_0(K+1)$$
$$=m\sqrt{2gs}(1+K)$$

즉 $\triangle P=m\sqrt{2gs}(1+K)$

6) 이제 추가 충돌할때의 $\triangle t$와 $\triangle P$가 계산 되었으므로 그때의 충격력(IMPULSIVE FORCE)을 계산한다 :

$$Fi=\frac{\triangle P}{\triangle t}$$

$$\triangle t=\frac{S'(2+\sqrt{2})}{\sqrt{gs}}+\frac{K\sqrt{2gs}}{\frac{gs}{S'}}$$ 이고

$\triangle P=m\sqrt{2gs}(1+K)$이므로

양측을 대입하면

$$Fi=\frac{m\sqrt{2}\cdot g\cdot s(1+K)}{S'\{2+\sqrt{2}(1+K)\}}$$

$$\therefore S'=\frac{m\sqrt{2}\cdot g\cdot s(1+K)}{Fi\{2+\sqrt{2}(1+K)\}}$$

3.결론

위의 관계식으로 S'을 쉽게 계산하여 낼수 있고 우리는 S'의 거리만큼 안전모의 유격(상하운동)을 유지 하는 제품을 설계하면 되므로 안전모 개발에 편리하게 이용할 수 있다.

끝으로 본 연구에 협조하여 준 산업안전공단 산업안전보건연구원의 신운철씨와 하바드 대학 물리학과 에서 수업중인 신중훈군에게 감사드린다.