

보행자보호 머리거동 분석방법 개발

전해영* · 백창인* · 장현권**

Development of Analysis Method for Pedestrian Headform Movement

Jeon Hae Young*, Peak Chang In*, Jang Hyun Kwon**

Key Words : Pedestrian Protection, Headform Impact, Head Rotation, Hood, Euler Parameter

ABSTRACT

Motion Analysis of pedestrian headform was first applied in this paper for the purpose of determining the relationship between stiffness of hood and HIC. Since the analysis of headform movement involves rotation, it has been problematic if analysis of the headform movement is made in local coordinate system only. Correlation of test and simulation is expected to be enhanced through the development of New type of Head Movement Analysis Method.

1. 서론

NCAP은 차량의 충돌안전성 성능을 평가하는 프로그램으로 고속충돌, 목상해, 보행자보호, 안전장비 평가로 구성된다. 종래에는 충돌과 보행자보호 성능을 개별 평가하여 주로 충돌평가 결과가 등급을 결정하였다. 그러나, 유럽을 시작으로 국내, 호주에서 개별등급제를 종합등급제로 바꾸는 추세이며, 항목별 과락기준도 매년 강화되고 있다.

이에 따라, 보행자보호 성능 개선이 강하게 요구되고 있으나, 보행자보호 성능은 디자인의 제약을 크게 받으며, 구조 최적화에 많은 노력이 필요하기 때문에 이전의 개발 대비 분석능력의 향상이 절실히 요구된다.

이 필요성에 따라, 헤드폼의 계측결과로 헤드폼 거동을 분석하여 상해치를 저감시키는 분석방법을 개발하였다.

본 연구에서 상기의 필요성에 대응하기 위해서 거동분석방법을 개발하였으며 결과로 아래의 두 가지를 얻을 수 있다.

첫째, 헤드폼에 가해지는 감속도를 부품의 하중-변위 관계와 연관시키기 위해서 이동하는 헤드폼 좌표계 대신 고정된 좌표계 상의 값으로 변환을 하였다.

둘째, 글로벌 좌표계 변환을 통한 분석방법을 이용하여 헤드폼 위치를 차량 좌표계로 파악할 수 있게 되었다.

2. 본론

2.1 머리상해지수(HIC)

보행자보호 어린이 머리 영역과 성인 머리 영역에서의 득점기준이 되는 머리상해지수(HIC)는 아래 식과 같이 헤드폼의 합성 감속도 a_R 를 적분구간 $t_1 \sim t_2$ 내에서 적분한 그 결과치가 최대가 될 때의 수치이다. 식 [1]에서 보는 바와 같이 합성 감속도 a_R 과 펄스 폭 ($t_1 \sim t_2$)이 머리상해치에 영향을 주는 요소이다.

* 현대자동차 안전시스템개발팀

** 현대자동차 익스테리어설계팀

E-mail : noej@hyundai.com

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

Fig. 1는 동일 HIC를 나타내는 3가지 펄스를 나타내었다. 각 펄스는 최대감속도가 높고 폭이 좁은 경우와 최대 감속도는 낮고 폭이 넓은 경우, 중간인 경우를 나타내었고, 각 펄스는 동일한 HIC 1000을 나타내도록 선택되었다.

감속도와 헤드폼 중량의 곱이 충격하중이므로 감속도의 최고치는 충격하중의 최고치를 나타내며 후드 및 부품의 최고하중을 낮추어 감속도와 HIC를 낮출 수 있다고 생각할 수 있으나 실제로 HIC 결과치를 보면 감속도 최고치 뿐만 아니라 펄스의 폭에도 크게 지배됨을 알 수 있다.

따라서 충격감속도 그래프를 최소화 시키기 위해서는 펄스의 폭을 좁게 유지하도록 후드 및 부품하중을 낮추어야 한다고 결론 지을 수 있다.

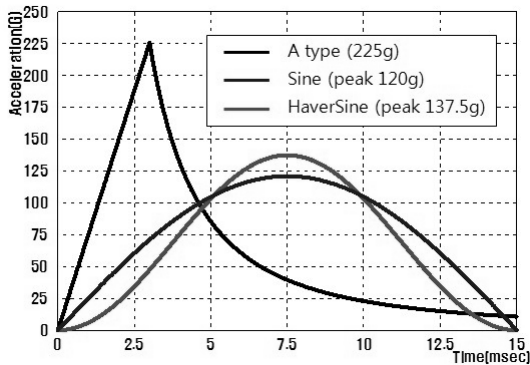


Fig1. Peak G와 HIC 상관관계

Sine wave

$$a(t) = A \sin \left(\frac{\pi}{\Delta T} t \right) \quad [2]$$

Haversine wave

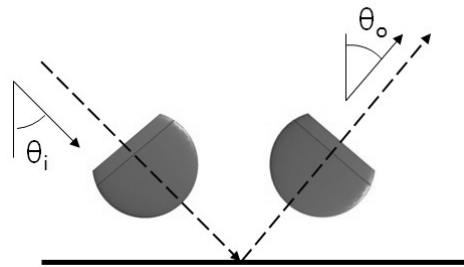
$$a(t) = \frac{A}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi}{\Delta T} t \right) \quad [3]$$

본 연구에서는 감속도 펄스의 형상을 헤드폼의 거동과 연관시키기 위해서 차량 좌표계 기준으로 한 거동분석 방법을 개발하게 되었다.

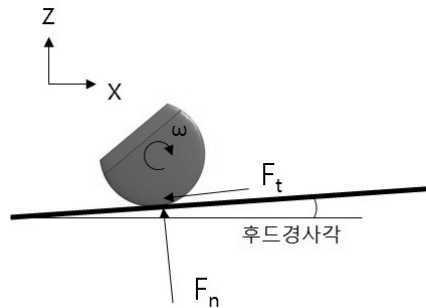
2.2 헤드폼 거동

보행자 헤드폼은 발사 후 후드와 접촉하면서 발사 방향으로 직선운동하며 반발하중이 증가한다. 반발하중에 비례하게 마찰력이 발생하며 임계치를 넘어서면 회전이 발생된다. 회전 중 후드 판넬변형이 복원되면서 헤드폼은 리바운드가 된다.

후드의 변형 최대치에서 헤드폼 진행방향에 방해물이 위치하면 감속도 펄스의 폭이 넓게 유지되어 HIC가 높게 나오며 헤드폼의 이동궤적도 입사각 대비 반사각이 작게 나타난다. 그러므로 이동궤적을 비교하면 헤드폼 거동상 차이점과 그 원인을 정량적으로 분석할 수 있다.



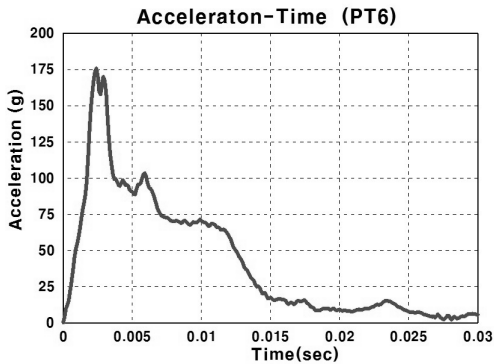
(a) 헤드폼 입사각과 반사각



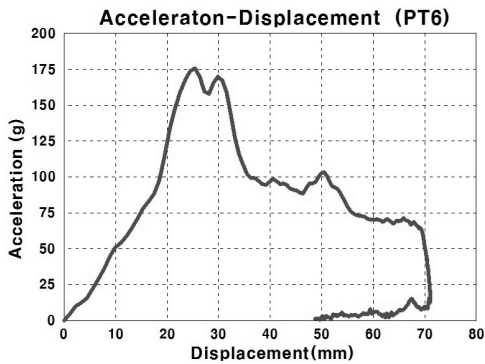
(b) 헤드폼-후드 작용하중

Fig.2 헤드폼 거동 및 작용하중

2.3 헤드폼 거동 분석방법



(a)감속도-시간 그래프



(b)감속도-변위 그래프

Fig. 3 기존분석 방법(감속도와 이중적분결과)

기존에는 헤드폼 거동을 분석하기 위해서 Fig.3(b)와 같이 구한 가속도 이중적분 값을 변위로 간주하고 변형공간 요구치를 설정하였다. 그러나, 보행자 헤드폼은 병진과 회전을 하기 때문에 각 시점에 어떤 과정이 일어나는지 파악하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 기존의 방법을 보완하기 위해서 헤드폼에 각속도계를 추가하였다. 가속도와 각속도 측정치를 가지고 헤드폼의 고정된 좌표계 상의 위치, 매 시간별 각속도 및 각도 정보, 고정 좌표계 상의 가속도, 고정 좌표계 상의 변위 등의 정보를 얻을 수 있다.

고정좌표계인 글로벌 좌표계를 이용하면 머리모형의 중심이동을 추적할 수 있고, 머리모형에 주어지는 감속도와 변위 등을 x, z방향 성분으로 구할 수 있기 때문에 차량관점으로 하중과 변위를 나누어 분석할 수 있다.

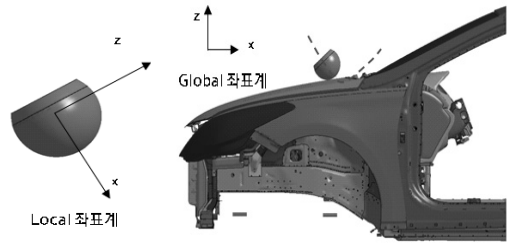


Fig. 4 글로벌/로컬 좌표계

다음은 감속도와 각속도 결과를 가지고 좌표변환을 하는 과정에 대해서 기술한다.

초기 헤드폼에 설정된 로컬 좌표계 x, y, z와 글로벌 좌표계간의 방향 여현으로 부터 u, v, w를 구하여 글로벌 대 로컬 좌표변환 행렬 T를 구성하면 식 [4]와 같다.

$$[T] = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad [4]$$

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} a_u \\ a_v \\ a_w \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \omega_u \\ \omega_v \\ \omega_w \end{bmatrix} \quad [5]$$

헤드폼 발사 후 회전하면서 로컬/글로벌 좌표계 간의 관계 행렬 [T]는 연속적으로 계산되어야 하며, 좌표축 3개축간의 이루는 각도에 의한 변환은 오일러 정리를 이용한다. 오일러 정리에서 정의한 각도 ϕ 와 오일러 파라미터와의 관계는 아래 식과 같다.

$$e_0 = \cos \frac{\phi}{2}, \quad e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = u \sin \frac{\phi}{2} \quad [6]$$

$$p = \begin{bmatrix} e_0 \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_0 \\ e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}, \quad e_0^2 + e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 = 1 \quad [7]$$

매시간 오일러 파라미터 e_0, e_1, e_2, e_3 는 아래와 같다.

$$e_{0,i} = \cos\left(\frac{\phi_i}{2}\right), j=1,2,3 \quad [8]$$

$$e_{j,i} = n_{j,i} \sin\left(\frac{\phi_i}{2}\right), j=1,2,3 \quad [9]$$

시험계측데이터 ω 로 부터 매시간 ϕ_i 를 아래 식과 같이 구한다.

$$\bar{\omega}_{j,i} = 0.5 (\omega_{j,i} + \omega_{j,i-1}), j=1,2,3 \quad [10]$$

$$n_{j,i} = \frac{\bar{\omega}_{j,i}}{\sqrt{\bar{\omega}_{1,i}^2 + \bar{\omega}_{2,i}^2 + \bar{\omega}_{3,i}^2}}, j=1,2,3 \quad [11]$$

$$\phi_i = \Delta t \sqrt{\bar{\omega}_{1,i}^2 + \bar{\omega}_{2,i}^2 + \bar{\omega}_{3,i}^2} \quad [12]$$

각 시간 i 에 대해서 좌표변환 행렬은 아래와 같다.

$$[T]_i = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}_i \quad [13]$$

$$a_{11} = e_0^2 + e_1^2 - e_2^2 - e_3^2 \quad [13-1]$$

$$a_{12} = 2(e_1 e_2 + e_0 e_3) \quad [13-2]$$

$$a_{13} = 2(e_1 e_3 + e_0 e_2) \quad [13-3]$$

$$a_{21} = 2(e_1 e_2 + e_0 e_3) \quad [13-4]$$

$$a_{22} = e_0^2 - e_1^2 + e_2^2 - e_3^2 \quad [13-5]$$

$$a_{23} = 2(e_2 e_3 + e_0 e_1) \quad [13-6]$$

$$a_{31} = 2(e_1 e_3 + e_0 e_2) \quad [13-7]$$

$$a_{32} = 2(e_2 e_3 + e_0 e_1) \quad [13-8]$$

$$a_{33} = e_0^2 - e_1^2 - e_2^2 + e_3^2 \quad [13-9]$$

위와 같이 구한 좌표변환 행렬을 이용하여 계측데이터를 매시간 변환시켜서 local 좌표계상의 데이터를 글로벌 좌표계 상의 값으로 변환한다.

2.4 좌표변환결과

Fig. 6은 PT6, PT24, PT30 위치에서 시험한 결과를 로컬 좌표계와 글로벌 좌표계로 표현한 결과이며

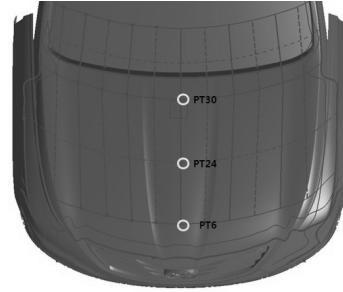


Fig. 5 A차종 헤드폼 시험위치

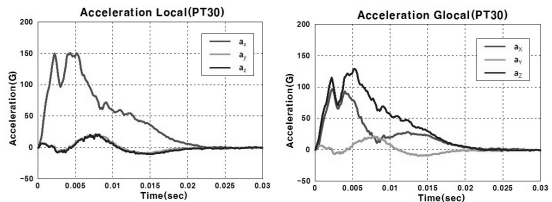
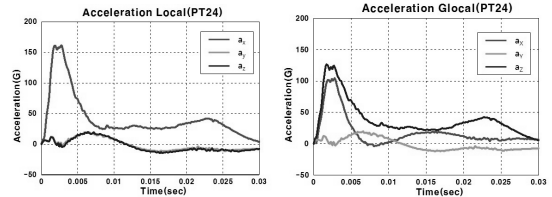
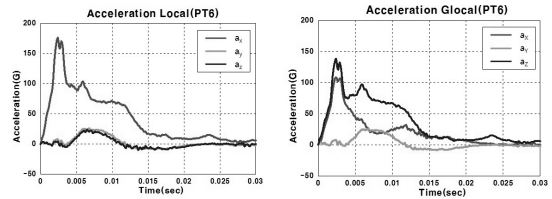
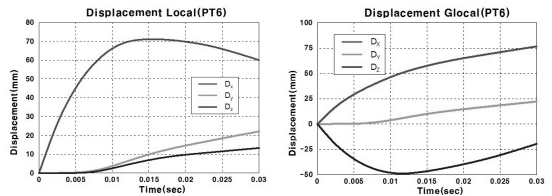


Fig. 6 Local/Global 가속도 비교



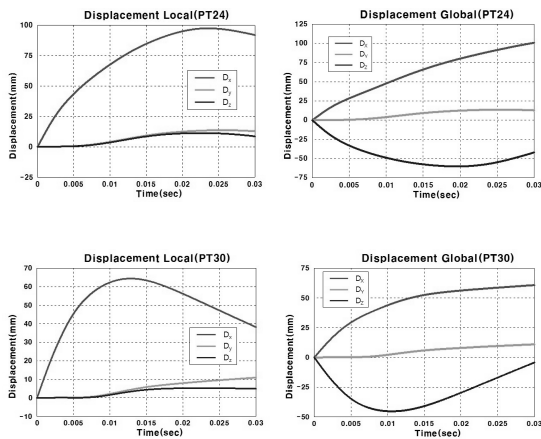


Fig. 7 Local/Global 변위 비교

Fig.7은 PT6, PT24, PT30위치에서 좌표변환 전후의 변위를 나타낸다.

Fig.6을 통해서 차량 좌표계 상으로 후드의 하중을 구할 수 있는데 회전성분을 고려하지 않은 예전 그래프를 통해서 회전은 발생되는 4~5 ms 이후 가속도 값의 축 방향은 의미가 없었던 것에 비교해 보면 큰 소득이다.

Fig.7은 변위를 이전방식과 현 방식으로 구한 결과이다. 가속도 성분의 설명과 마찬가지로 변위도 회전에 발생되면서 두 방식간의 차이가 증가한다.

이상과 같이 좌표변환을 통해 변위를 분석하면 차량좌표계 관점으로 헤드폼의 변위량을 알 수 있게 되어 실제 후드의 변위량을 시간대별로 분석할 수 있게 되어 매 시험부위별 후드 갭 필요공간과 HIC간의 상관관계를 알 수 있고, 헤드폼의 x방향이동 양상을 정량적으로 표현할 수 있다.

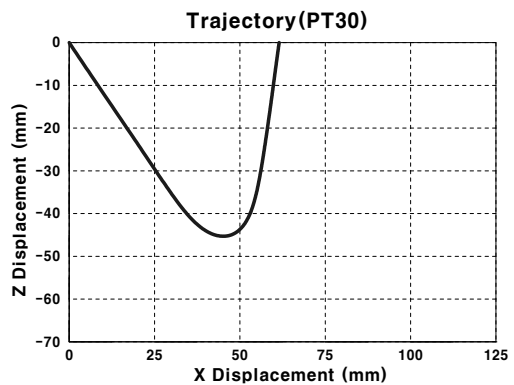
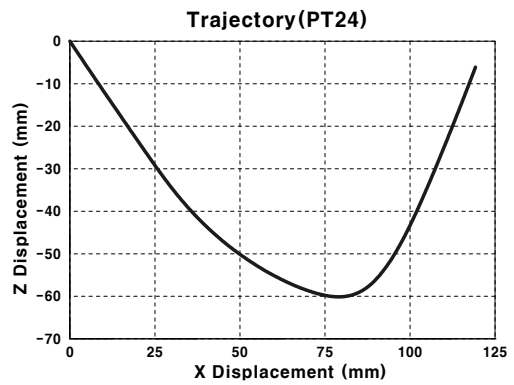
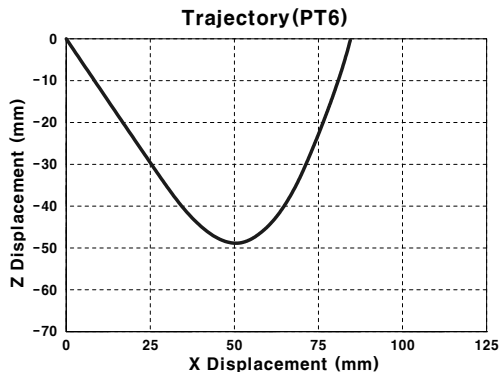


Fig.8헤드폼 C.G 이동궤적

Fig.8은 각 충격위치별 헤드폼 무게중심의 이동궤적의 그래프이다. 이 그래프를 통해 아래와 같이 세가지 사항을 관찰할 수 있다.

첫째, x방향 변위량 25 mm까지는 PT6, PT24, PT30 모두 기울기가 동일하고 25 mm이상에서는 기울기가 점점 완만해짐을 PT24궤적 그래프를 통해 알 수 있다. 이는 헤드폼의 회전각도가 커짐에 따라 기울기가 낮아지는 것으로 판단된다.

둘째, HIC와 z방향 최대변위량의 관계를 살펴보면 PT6은 변위량 50 mm, PT24는 변위량 60 mm, PT30은 변위량 45 mm이다. 각 포인트의 HIC와 상기 변위량을 연계시키면 목표를 만족하는 최소공간을 구할 수 있다.

셋째, 헤드폼 궤적상의 최저점에 이르는 시기는 PT6 12 ms, PT24 23 ms, PT30 10 ms이고 이후는 가속도가 하강된 상태이기 때문에 HIC계산에 고려될 필요는 없는 구간이다. 그렇지만 리바운드시의 궤적의 형태를 보면 x방향으로 헤드폼에게 간섭이 있었는지의 여부를 볼 수 있다. Fig.8의 PT30 궤적을 보면 리바운

드 될 때 z방향으로 상승하는 기울기가 가파름을 볼 수 있다. 이 궤적을 통해 x방향으로 진행을 유도할 수 있도록 개선이 필요함을 알 수 있다.

3. 결론

가속도, 각속도 측정 데이터에 오일러 파라미터를 이용한 좌표변환 방법을 통해 가속도, 속도, 변위를 글로벌 좌표계로 표현 하였고, 이를 통해 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

- (1) 후드에 충격하는 헤드폼의 Intrusion값을 구하여 후드하부 필요공간을 확인 할 수 있다.
- (2) 헤드폼 이동궤적을 구하고 입사각과 반사각을 비교하면 시점별 상관부품과의 영향유무를 확인할 수 있다.
- (3) 시험결과를 통해 구한 헤드폼 무게중심점의 이동 궤적과 해석결과를 통해 구한 이동궤적을 비교하여 상관성을 비교할 수 있다.

참고문헌

- (1) Jianping Wu and Brian Beaudet, "Optimization of Head Impact Waveform to Minimize HIC", SAE 2007-01-0759, 2007
- (2) Jianping Wu, Yibing Shi, Jian Kang and Guy S. Nusholtz, "Using Triaxial Angular Rate Sensor and Accelerometer to Determine Spatial Orientation and Position in Impact Tests", SAE 2009-01-0055, 2009
- (3) Rodney Rudd, Jason Kerrigan, Jeff Crandall, "Kinematic Analysis of Head/Neck Motion in Pedestrian-Vehicle Collisions Using 6-Degree-of-Freedom Instrumentation Cubes", SAE 2006-01-0681, 2006
- (4) S.I. Farooq, P.J. Schuster, "Body Concept Design for Pedestrian Head Impact", SAE 2003-01-1300, 2003
- (5) Liu Qi, Xia Yong, Zhou Qing, "Friction Effects in Pedestrian Headform Impacts with Engine Hoods", Tsinghua Science and Technology Vol. 14, No 5, October 2009