

한국인 체형을 가진 보행자와 차량의 충돌 해석

신동한*, 김광훈*, 손 권#

Analysis of Car-Pedestrian Collisions Using Scaled Korean Dummy Models

Dong Han Shin*, Kwang Hoon Kim* and Kwon Son#

ABSTRACT

According to the pedestrian protection regulations of Europe and Japan, the head injury must not exceed a limitation in the defined test condition for the protection of pedestrians from a vehicle crash. However, it is difficult to evaluate the performance of protection because each regulation has different test conditions such as dummy, impact speed and so on. This circumstance needs the development of a model that describes the anthropometry of the crash victim with a sufficient accuracy. We constructed scaled pedestrian dummies using MADYSCALE. Simulations were performed for various crash speeds and pedestrian postures. The scaled Korean dummies and HybridIII dummies were used to compare the pedestrian dynamic behaviors and head injury criteria during the collision. The HIC values of scaled Korean dummies were found to be higher than those of Hybrid III dummies. The impact for gait posture was less than that for standing.

Key Words : Pedestrian (보행자), Head injury (머리 상해), Anthropometric data (인체측정 자료), MADYMO (MAtheMatical Dynamic MOdel), Korean dummy (한국인 인체모델)

1. 서론

최근 차량에 대한 법규의 강화 및 차량 상품성에 큰 영향을 미치는 NCAP(New Car Assessment Program, 신차평가프로그램)의 실시로 인하여 탑승객의 상해는 점차 줄어드는 추세이다. 하지만 차체 변형 감소를 강조하는 OFFCAP(Offset NCAP)의 영향으로 강화된 차체 때문에 오히려 보행자 상해는 늘어나고 있다. 한국의 경우는 보행자 사망률이

40%이르러 일본의 30%와 미국의 13% 보다 매우 높다. 부상자의 부상 부위를 보면 다리가 약 60%로 머리의 약 20%보다 많다. 그러나 사망자의 상해부위는 머리가 약 70%를 차지하여 다리보다는 머리의 부상이 치사율을 높인다.¹

1998년 EEVC(European Enhanced Vehicle Safety Committee)는 W/G 17에서 차량의 앞면에 의한 보행자 보호 시험을 제시하였다.² EURO-NCAP에서는 이미 보행자 보호 시험을 실시하여 그 결과를

접수일: 2007년 1월 4일; 게재승인일: 2007년 2월 27일

* 부산대학교 대학원 기계설계공학과

교신저자: 부산대학교 기계기술연구소

E-mail: kson@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-2308

소비자에게 알리고 있다. 북미에서도 안전에 대한 관심이 고조되고 있어 보행자 보호는 충돌 안전 측면에서 중요한 부분으로 대두되고 있다.

기존의 보행자 충돌에 관련된 연구는 크게 차와 보행자의 충돌 시 보행자의 거동형태에 관한 연구가 수행되었다.^{3,4} 또한 상해 정도를 감소시키기 위한 차체의 개발, 보행자 기준 도입에 따른 차량의 평가시스템 개발 등 다양한 형태로 진행되고 있다.^{5,7}

EURO-NCAP에서는 보행자 상해를 판정하기 위하여 임팩터(impactor)를 사용하고 있다. 이러한 임팩터는 보행자가 정면으로 차량을 보고 서있는 자세만을 고려하고 있어, 실제 차대 보행자 사고의 다양한 유형이 배제되어 있다.⁸ 실제 더미를 이용한 상해치 평가에서도 더미 모델은 모두 서구인의 표준 체형을 기준으로 하고 있어서 한국인 체형을 고려하고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 한국인의 체형을 고려하고 보행자의 자세에 따른 상해 정도를 알아보았다.

보행자 충돌 모델은 최근 가장 많이 사용되고 있는 스케일링 기법을 이용하였다.⁹ 한국인 표준 체형 조사 자료를 사용하여 평균 남성, 여성 모델을 구성하였다. MADYMO를 이용하여 차량을 단순하게 모델링 하고, 실제 보행 자세를 가진 모델이 차량과 30, 35, 40 km/h의 속도로 충돌할 경우에 보행자의 거동과 머리상해 정도를 알아보았다.

2. 보행자 안전 법규

2.1 단품시험법

1991년 EEVC W/G10에서 보행자 보호에 대한 연구를 진행하여 보행자 보호실험법을 제시하였다. EEVC에서 제시한 시험법은 탑승자의 보호를 위해 HybridIII 등의 인체모형을 이용하여 보행자 모형을 제작하여 시험하는 법이다. 전체 차량을 대상으로 하는 충돌시험법에서 시험의 신뢰성, 재현성의 문제가 있어 단품시험법을 제시하고 있으며 전 세계적으로 통용되고 있다. 국내도 자동차공업협회가 EEVC 법규 안에 동의하여 유럽용 수출차량에는 2005년 7월 1일부터는 보행자에게 친화적인 차량을 수출하기로 서약한 상태이다.

Fig. 1은 임팩터를 이용한 단품시험법을 나타낸 것이다.^{2,8} 전체차량을 정지 상태에 두고 보행자를 대표하는 레그폼, 윗 레그폼 및 헤드폼을 기구적으

로 제작하여 차량의 전면부에 충격을 주어 그 성능을 평가한다.

레그폼 임팩트 시험법은 레그폼 충격시험을 위하여 차량 전면부에 대한 정의 및 충격위치를 구체적으로 지정하여 시험하는 방법이다. 윗 레그폼 시험법은 차량의 보닛의 가장자리 부위에 충격하여 임팩터에 가해지는 충격량과 굽힘 모멘트의 크기를 기준으로 평가하는 방법이다. 헤드폼 임팩트시험법은 성인 헤드폼과 어린이 헤드폼을 이용하여 보닛 위에 충격하여 얻어지는 가속도값으로 보행자 안전을 평가하는 방법이다.

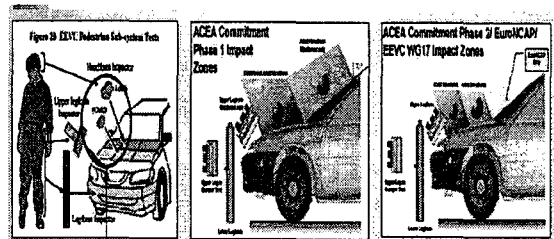


Fig. 1 Pedestrian protection test method

2.2 머리상해값

머리상해 정도를 나타내는 척도로 HIC(Head Injury Criterion)값이 사용된다. HIC값은 충돌 시 승객의 거동에 의해 머리 부분의 가속도의 크기를 일정한 시간 적분하여 계산되며, 실제 머리에 가해질 충격량을 의미한다.¹⁰

$$HIC = \frac{\max}{T_0 \leq t_1 \leq t_2 \leq T_E} \left(\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} R(t) dt \right)^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

여기서 R(t)는 머리 부분의 무게중심에서의 선형가속도, T0는 시뮬레이션 시작시간(초), TE는 시뮬레이션 종료시간(초), t1는 초기시간(초), t2는 종료시간(초)이다.

식 (1)에 최대 시간 간격을 36 ms로 설정하여 HIC값의 계산한다. 보행자 충돌 시 HIC값의 허용 기준치는 뇌진탕이 발생할 때의 값인 1000이다. HIC값이 1000이상이 되면 유아와 성인은 상당한 상해가 유발된다. 이는 사망과 직결되는 상해값이므로 상해평가에서 중요한 수치로 다루어진다.

3. 보행자 모델 구성 및 충돌 해석

3.1 인체자료

본 논문에서 한국인 보행자 충돌 더미를 구성하기 위한 기초 자료로 산업자원부 기술표준원의 국민 표준체위조사 자료를 사용하였다.¹¹ 측정대상은 0세 이상 모든 연령층이며, 남자 7,725명과 여자 7,581명으로 구성되어 있다. 도출되어진 한국인 인체치수는 성별·연령별·항목별로 분류하였고, 통계값은 평균과 백분위수(5, 10, 25, 50, 75, 90, 95%ile)로 나타내었다.

국민 표준체위조사에서는 전체 122개 항목으로 조사되었으나 MADYSCALE 모듈에 적용하기 위해 35개의 인체치수 항목만을 추출하였다. 스케일링을 하기 위해 필요한 35개의 인체치수 항목은 Table 1에 나타내었다.¹⁰

Table 1 Anthropometric data used in MADYSCALE

1	Weight	19	Forearm-hand length
2	Standing height	20	Biceps circumference
3	Shoulder height	21	Elbow circumference
4	Armpit height	22	Forearm circumference
5	Waist height	23	Wrist circumference
6	Seated height	24	Knee height, seated
7	Head length	25	Thigh circumference
8	Head breadth	26	Upper leg circumference
9	Head to chin height	27	Knee circumference
10	Neck circumference	28	Calf circumference
11	Shoulder breadth	29	Ankle circumference
12	Chest depth	30	Ankle height, outside
13	Chest breadth	31	Foot breadth
14	Waist depth	32	Foot length
15	Waist breadth	33	Hand breadth
16	Buttock depth	34	Hand length
17	Hip breadth, standing	35	Hand depth
18	Shoulder to elbow length		

3.2 스케일링 기법

스케일링 과정은 승객거동해석에서 종종 사용되는 기법으로 HybridIII 5%ile 여성 더미와 95%ile 남성 더미의 제작에도 부분적으로 사용되었다. 어린이용 더미 평가에도 이러한 스케일링 기법이 주로 사용되고 있는데, TNO의 P1.5 더미, Q3 더미, 어린이용 HybridIII 더미, 그리고 CARBI 더미 등에 쓰였다.¹² 스케일링은 MADYMO에 포함되어 있는 MADYSCALE 모듈을 사용하여 그 과정은 Fig. 2와 같다.

스케일링은 모든 길이 단위에 똑같은 인자를 사용하는 단순 기법과 x, y, z 방향에 각각의 다른 스케일링 인자를 적용하는 고등기법이 있다. 본 논문

에서 사용한 MADYMO의 스케일링 기법은 서로 다른 인체부분에 서로 다른 스케일링 인자를 적용한 고등기법이다.⁹

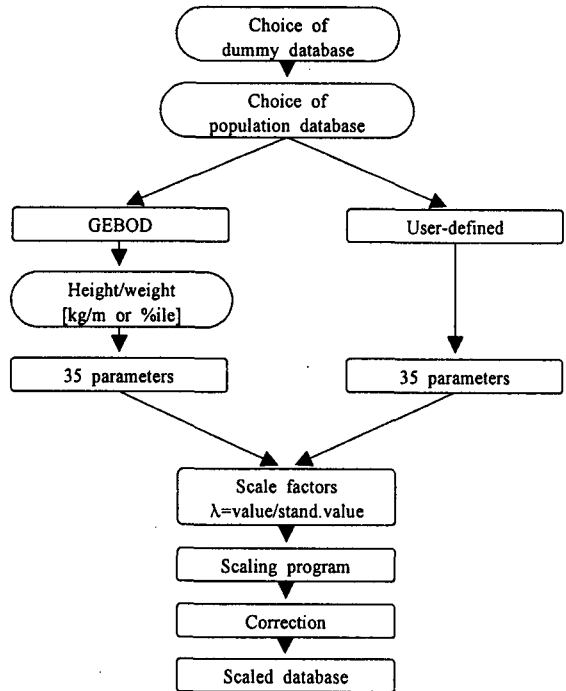


Fig. 2 Flowchart of MADYSCALE

3.3 보행자의 모델링

스케일링 기법을 이용한 한국인 보행자 충돌 모델은 승객거동해석 프로그램인 MADYMO 6.21버전의 MADYSCALE 모듈을 사용하여 구성하였다.¹¹ 이 모듈은 질량 또는 신장을 입력하여 스케일링에 필요한 35개의 인체측정학적 자료를 얻거나 사용자가 35개의 자료를 입력함으로써 일련의 스케일링 과정이 이루어진다. 본 논문에서는 남, 여성인 모델에 대한 텍스트 파일과 사용자에 의한 35개 항목 정의 방식을 사용하였다.

표준 더미인 HybridIII 50%ile, 5%ile을 스케일링하여 한국인 성인 20대, 30대, 40대 남성과 여성 더미를 구성하였다. 구성되어진 한국인 보행자 모델은 Fig. 3과 같다. 비교 대상이 되는 서양인의 체형을 가진 모델의 신체 자료는 인체자료 생성 프로그램 GEBOD를 이용하였다.¹³ HybridIII 더미의 남자 50%ile과 여자 50%ile의 35개 항목의 자료를 GEBOD를 이용하여 추출하였다. 추출한 인체 치수

를 스케일링하여 모델을 구성하였다. 스케일링 되어진 서양인 체형의 보행자 더미를 각각 남자 모델은 P_m -HybridIII, 여자 모델은 P_f -HybridIII이라 명하였다.

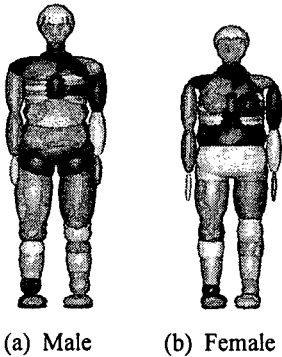


Fig. 3 Korean pedestrian models

3.4 차량의 모델링

충돌 후 보행자의 상해에 영향을 미치는 차량의 특성은 충돌속도, 차량의 질량, 범퍼 높이, 후드 길이 등이다. 이중 직접적인 영향을 미치는 부분은 차량의 전면부이다. 자동차의 차체전면 형상은 보행자의 거동에 서로 상이함을 보이는 머리상해의 중요한 인자이다. 그러나 실제 차량의 형상 자료를 얻기에는 힘들므로 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 MADYMO에서 제공되는 소형 차량 모델을 사용하였다.

차량 모델은 범퍼, 후드, 후드 가장자리, 윈드 스크린, 바퀴 등의 8개의 타원체로 구성되어 있다. 차량의 형상과 수치는 전체 중량이 880 kg인 실제 소형 차량에 해당하는 것이다. 차량과 지면과의 마찰계수는 0.8이며, 보행자와 지면과의 마찰계수는 0.67이다.¹⁴ 차량의 전체 모델을 사용하여 해석하는 것보다 보행자와 충돌이 예상되는 보닛 부분과 범퍼 부분만을 고려하는 것이 효과적이기 때문에 차량 모델을 다물체로 단순화 하고 다른 부분은 제거하였다.¹⁴

3.5 충돌 해석 조건

차량과 보행자 사이의 충돌 거동 해석은 TNO의 MADYMO를 사용하였다. Fig. 5는 보행자 충돌 시물레이션의 모습이다. 이 결과를 근거로 서양인의 체형의 더미가 한국인을 대신하여 충돌과 시물

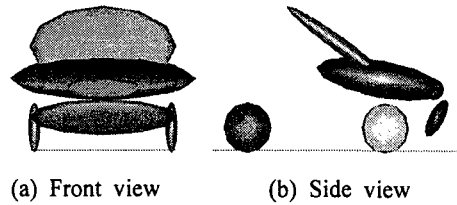


Fig. 4 Vehicle model of compact car

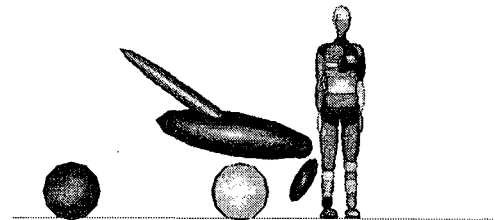


Fig. 5 Situation of car-pedestrian collision

레이션에 사용할 수 있는지를 비교 검토하였다.

첫째, 서양인 체형의 P -HybridIII 더미와 스케일링된 한국인 체형의 보행자 더미를 이용하여 충돌속도에 따른 보행자의 상해 정도를 해석하였다. 이때 충돌속도를 30, 35, 40 km/h로 변화시켰다. 그리고 보행자의 자세는 실제 보행하는 자세를 취하였다. 이를 통해 HIC값, 충격속도 등을 알아보았다. 해석을 위한 모델은 성인 남녀에 해당되는 것을 사용하였다.

둘째, 보행자 충돌 자세에 따른 해석을 수행하였다. 차량의 충돌속도는 35 km/h이며, 보행자의 충돌 조건은 단순 측면 충돌 자세와 실제 보행 자세이다. 해석에 고려한 보행 자세는 오른쪽 다리가 앞에 있고 왼쪽 다리는 한 발자국 뒤에 있는 경우이며, 충돌 시 보행자가 정지된 상태에서 충돌한 것으로 해석하였다. 고려사항은 HIC값과 충격 시간이다. 해석을 위한 모델은 스케일 기법으로 구성된 모델 중 한국인 남자 20~24세에 해당되는 더미를 사용하였다.

4. 결과

4.1 성인 남자의 머리가속도와 상해값

Table 2~4는 충돌속도 변화에 따른 한국인 더미와 P_m -HybridIII 더미의 머리 부분의 최대가속도와 HIC 값을 나타낸 도표이다. 30 km/h 와 40 km/h

Table 2 Collision results at 30 km/h

Model	Time (ms)	Maximum acceleration (G)	HIC
20-24 yr	153.0	122.2	975
25-29 yr	152.2	126.0	884
30-34 yr	153.4	125.9	820
35-39 yr	149.1	127.2	929
40-49 yr	153.1	126.8	769
P_m _HybridIII	156.3	110.8	890

Table 3 Collision results at 35 km/h

Model	Time (ms)	Maximum acceleration (G)	HIC
20-24 yr	139.4	162.8	1775
25-29 yr	138.7	148.8	1541
30-34 yr	139.4	133.3	1330
35-39 yr	131.8	156.3	1581
40-49 yr	127.2	139.2	1185
P_m _HybridIII	143.1	161.0	1702

Table 4 Collision results at 40 km/h

Model	Time (ms)	Maximum acceleration (G)	HIC
20-24 yr	122.5	197.8	2738
25-29 yr	124.6	187.7	2528
30-34 yr	125.1	179.4	2192
35-39 yr	118.4	187.0	2176
40-49 yr	110.8	153.2	1933
P_m _HybridIII	126.0	205.8	2757

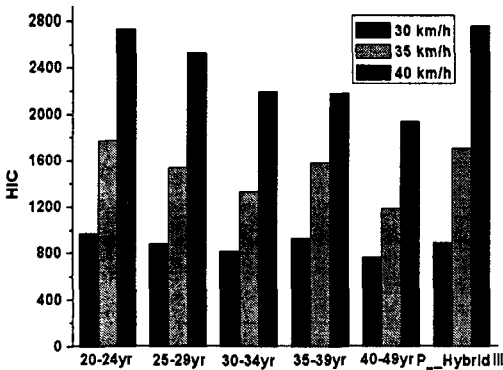


Fig. 6 Comparison of HIC values for male

인 경우 각각 보닛의 상부와 전면유리에 머리와의 충돌이 발생했으며, 35 km/h 인 경우는 전면 보닛 상부 혹은 전면유리에 충돌이 발생하였다.

30 km/h에서는 전체 모델들 간의 최대가속도 값과 최대가속도가 발생하는 시간이 P_m _HybridIII 더미와 비슷한 값을 보임을 Table 2에서 확인하였다. 한국인의 최대가속도 값이 약 15G정도 높았으며, HIC값 역시 40~49세 모델을 제외하고 85정도 높게 나타났다. Table 3에서 알 수 있듯이 35 km/h의 속도에서는 P_m _HybridIII 더미와 20~24세의 한국인 남자 모델이 가장 유사한 값을 보였다. 40 km/h에서는 40~49세 더미에서 가장 낮은 가속도 값을 보였다(Table 4). 그 차이는 20~24세 더미보다 10G, P_m _HybridIII 더미보다 20G 정도의 차이가 나타났다.

한국인 성인 남자의 경우 머리에서 발생하는 최대가속도 값과 그 발생시간이 충돌속도에 따라 서양인과 유사한 경향을 보임을 확인하였다. 이는 머리의 충격위치가 서로 동일하며 신체적인 차이가 크지 않기 때문이다. 또한 20~24세의 한국인 남자 모델이 P_m _HybridIII 더미와 가장 유사한 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 성인 남자 모델의 충돌속도의 변화에 따른 HIC값을 비교한 그림이다. 그림에서 보면 성인 남자는 30 km/h의 충돌에서 HIC값 1000 이하를 보이고 있어 대체적으로 모두 안전함을 나타내었다. 그러나 35, 40 km/h의 충돌에서는 HIC값이 1000 초과하였고, 상당한 상해가 예상된다. 또한 한국인과 P_m _HybridIII 더미 모두 기준 법규를 통과하기가 어려움을 알 수 있다.

이를 통해 남자의 경우는 P_m _HybridIII 더미와 한국인 20~24세 더미의 전체적인 HIC값이 유사함을 보였다. 성인 남자 모델의 경우 충돌속도의 증가에 HIC값이 급격하게 증가함을 알 수 있었다.

4.2 성인 여자의 머리가속도와 상해값

Tables 5~7은 충돌속도 변화에 따른 한국인 더미와 P_f _HybridIII 더미의 머리 부분의 최대가속도와 HIC값을 나타낸 도표이다. Table 5에서와 같이 30 km/h의 경우 서양인이 한국인 여성보다 머리 최대가속도 값이 30G정도 높게 나타났으며, 발생시간 역시 한국인 여성이 빠르게 나타났다. 이는 충돌해석에 사용된 차량이 소형차량이기 때문에 체형의

차이로 인하여 한국 여성의 경우 머리의 충격위치가 차량의 보닛과 전면유리 경계 부분인 반면 P_f _HybridIII더미는 차량의 전면 유리부에 머리가 충격되어지기 때문이다. Tables 6~7을 통해 35, 40 km/h인 경우에는 30 km/h와는 다르게 서양인과 머리 최대가속도 값이 각각 6G와 4G 정도의 차이를 보임을 알 수 있었다. 이는 충돌 속도가 증가하면서 머리의 충격 위치가 동일해졌기 때문이다. 모든 충돌속도에 대해 P_f _HybridIII더미의 가속도값이 한국인 여자 모델보다 큰 것을 보였다.

Fig. 7은 성인 여자 모델의 충돌속도의 변화에 따른 HIC값을 비교한 그림이다. 그림에서 보면 성인 여자는 30, 35 km/h의 충돌에서는 한국인이 HIC 값 1000이하인 반면 P_f _HybridIII더미는 1000을 초과함을 알 수 있다. 이는 P_f _HybridIII더미만이 차량의 전면 유리부에 충돌하였기 때문이다. 40 km/h의 경우에는 성인 여자 모델 전체에서 HIC값이 1000이상을 보여, 상당한 상해가 예상된다. 이를 통해 여성의 경우는 성인 남자 모델과는 달리 대체적으로 35 km/h인 경우도 비교적 안전함을 알 수 있었다. 그러나 충돌 속도에 따라 한국인과 P_f _HybridIII더미에서 HIC값이 다르므로 동일한 기준을 적용하기에는 무리가 있음을 알 수 있었다.

Table 5 Collision results at 30 km/h

Model	Time (ms)	Maximum acceleration (G)	HIC
20-24 yr	151.0	119.4	561
25-29 yr	150.3	122.8	598
30-34 yr	149.5	118.2	553
35-39 yr	149.7	114.5	509
40-49 yr	150.2	99.6	379
P_f _HybridIII	157.6	147.3	1012

Table 6 Collision results at 35 km/h

Model	Time (ms)	Maximum acceleration (G)	HIC
20-24 yr	129.3	143.3	974
25-29 yr	128.9	144.6	978
30-34 yr	127.8	142.1	967
35-39 yr	127.6	144.2	936
40-49 yr	127.2	139.2	871
P_f _HybridIII	135.6	148.6	1212

Table 7 Collision results at 40 km/h

Model	Time (ms)	Maximum acceleration (G)	HIC
20-24 yr	113.3	151.1	1275
25-29 yr	112.9	152.3	1303
30-34 yr	111.8	152.4	1267
35-39 yr	111.4	154.0	1248
40-49 yr	110.8	153.2	1180
P_f _HybridIII	118.5	157.0	1502

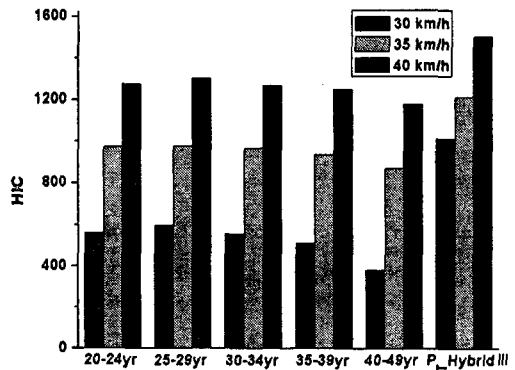


Fig. 7 Comparison of HIC values for female



Fig. 8 Comparison of impact velocities

4.3 모델별 머리 충격속도

Fig. 8은 차량의 모델별 머리의 충돌속도에 따른 충격속도를 나타낸 그림이다. 성인 여자 모델의 경우가 충격속도가 가장 낮음을 알 수 있었다. 성인 남, 여 모델의 경우는 충돌속도보다 낮은 머리의 충격속도를 보였다. 또한 충격속도는 40 km/h 이하이지만 HIC값이 1000을 넘는 위험한 경우가 다수 발생하였으므로, 일본의 규정(32 km/h에서 1000이하의 값을 요구)이 보다 안전하고 한국인에 적용하기에는 타당함을 알 수 있었다.

4.4 보행자 자세의 차이

동일한 차량에 대해 보행자의 자세가 머리상해에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 충돌속도는 35 km/h이며, 보행자의 자세는 두 가지로 실제 보행중인 자세와 단순 측면 충돌 자세이다. 고려 사항은 머리 HIC값과 최대가속도이며, 해석모델은 한국인 20~24세 남자 모델을 사용하였다.

Fig. 9는 충돌 자세에 따른 머리의 최대가속도의 시간에 대한 변화를 나타내는 그래프이다. 동일한 충돌속도와 모델을 사용하였지만, 보행자 자세 측면 자세보다 약 60G 정도 크다는 것을 알 수 있다. 이를 통해 확실적인 단품시험 절차의 적용은 현실적인 보행자 사고경향을 반영하지 않으므로 단순히 충격속도와 충격각도만을 고려하는 것은 무리가 있다고 판단된다.

Table 8은 충돌자세에 따른 최대가속도값과 HIC값을 나타낸 도표이다. HIC값은 보행자세인 경가 1000정도 높았으며, 최대가속도가 발생하는 충격시간은 보행자세가 더 작음을 확인하였다. 그러나 자세가 다른 경우는 HIC값은 충격시간과 무관하였다. 이는 초기자세의 영향으로 보행자세의 경우 충돌할 때 몸이 회전하기 때문이다. 또한 보행자세보다 측면 자세가 머리 상해면에서는 더 안전

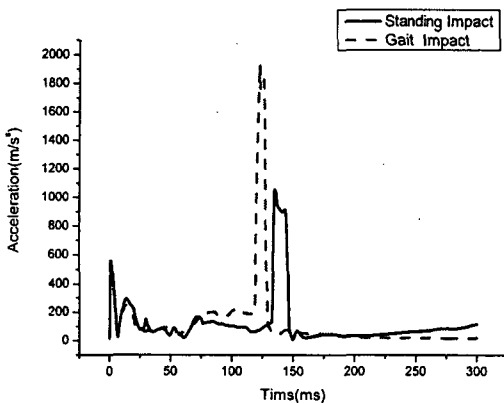


Fig. 9 Time histories of head acceleration

Table 8 Collision results for two postures

Collision posture	Time (ms)	Maximum acceleration (G)	HIC
Standing impact	153.5	106.3	750
Gait impact	139.4	162.8	1775

함을 알 수 있었다. 충돌 후 거동을 살펴보면 어깨 부분이 먼저 접촉되고 그 후에 머리가 충돌하기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서는 표준 HybridIII 더미를 스케일링 하여 한국인 인체 치수를 고려한 보행자 충돌 더미를 구성하였다. 서양인 체형을 가진 P_HybridIII 더미와 한국인 체형의 보행자 더미를 이용하여 충돌속도를 변화하였다. 충돌 후 보행자 거동의 차이를 분석하고, 머리의 HIC값과 최대가속도값을 비교하여 보았다. 또한 보행자 자세의 차이가 머리상해 정도에 미치는 영향을 알아보았다. 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 충돌속도 30, 35 km/h일 때 더미의 머리 충격속도는 24~32 km/h로 법규 기준치인 35 km/h보다 낮지만, 실제 HIC값은 1000을 넘는 경우가 발생하였다. 40 km/h의 법규 충돌속도에서 충격속도는 27~38 km/h로 계산되었고, 모든 더미에서 HIC값 1000을 초과하여 상당한 상해가 예상되었다. 단순히 충격속도와 각도만을 고려하는 것은 무리가 있는 것으로 판단된다.

2) 소형차의 경우 충돌속도, 자세 등의 차이에 따른 모델들 사이의 HIC값이 달랐다. 이를 통해 임팩터를 이용한 시험만으로는 현실적인 보행자 사고경향을 충분히 반영하지 못함을 확인하였다. 소형차의 경우 일본의 안전기준인 32 km/h에서 HIC값을 1000이하로 규정하는 것이 가장 현실적임을 알 수 있다.

3) 충돌 자세의 차이에 따른 HIC값은 보행자세인 경우에 더 높게 나타났다. 따라서 보행자세보다는 정자세로 측면 충돌 하는 것이 머리상해를 줄이는데 효과적이라고 판단된다.

참고문헌

1. KRTSA Report, "Comparison of Traffic Accidents in OECD Countries," Korea Road Traffic Safety Authority, 2005.
2. EEVC Working Group 17 Report, "Improved Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Affected by Passenger Cars," European Enhanced Vehicle-Safety Committee, 1998.

3. Oh, C., Kim, B. I., Kang, Y. S. and Yoon, Y. H., "Methodology for Optimizing Parameters of Vehicle Safety Regulation on Pedestrian Protection," Transaction of KSAE, Vol. 14, No. 5, pp. 186-194, 2006.
4. Maki, T. and Asai, T., "Development of Pedestrian Protection Technologies for ASV," JSAE Review 23, pp. 353-356, 2002.
5. Krenn, M., Wilfling, C. and Deutscher, E., "Passive Pedestrian Protection-Evaluation of Simulation Versus Test Results According to EEVC WG 17 Specifications," SAE paper 0168, 2002.
6. Nagatomi, K., "Development and Full-Scale Dummy Test of a Pop-Up Hood System for Pedestrian Protection," 19th International Technical Conference, Enhanced Safety of Vehicle, pp. 212-216, 2005.
7. Kerkeling, K., "Structural Hood and Hinge Concepts for Pedestrian Protection," 19th International Technical Conference, Enhanced Safety of Vehicle, pp. 379-389, 2005.
8. Matsui, Y., Wittek, A. and Konosu, A., "Comparison of Pedestrian Subsystem Safety Test Using Impactors and Full-Scale Dummy Test," SAE Paper 1021, 2002.
9. Kim, S. J., Son, K. and Choi, K. H., "Construction and Evaluation of Scaled Korean Side Impact Dummies," KSME International Journal, Vol. 17, No. 10, pp. 1894-1903, 2003.
10. TNO Automotive, "MADYMO Theory Manual 3D Version 6.2," TNO Automotive, 2004.
11. Korea Research Institute Standards and Science, "Korean Anthropometric Survey," 2005.
12. TNO Automotive, "MADYMO Utilities Manual 3D Version 6.2," TNO Automotive, 2004.
13. Cheng, H., Rizer, A. and Obergefell, L., "Generator of Body Data Manual, Springfield," NTIS, 1994.
14. TNO Automotive, "MADYMO Human Model Manual Version 6.2," TNO Automotive, 2004.