

보행자 더미모형을 이용한 EURO-NCAP 상부다리모형 평가시험 방법에 대한 분석

박상옥* · 최욱한* · 손대근* · 박경진* · 이은덕** · 권해봉**

Upper Legform Impact Test of the EURO-NCAP Protocol using a Pedestrian Dummy Model

Sang-ok Park*, Wook-han Choi*, Dae-Geun Son*, Gyung-Jin Park*,
EunDok Lee**, Hae Boung Kwon**

Key Words : Car-pedestrian accident(차대보행자사고), Pedestrian protection(보행자 보호), Upper legform(상부다리모형)

ABSTRACT

The mortality rate of car-pedestrian accidents is quite high compared to the frequency of accident. Recently, governments and insurance companies tend to establish and implement new safety standards for pedestrian protection such as EURO-NCAP and K-NCAP. The performance for the pedestrian protection has been gradually improved, but it is still insufficient. Therefore, various studies for the pedestrian protection are being carried out. The car-pedestrian accident is simulated in order to study to the upper legform test of the EURO-NCAP protocol. A pedestrian dummy model is employed and the results are discussed.

1. 서론

1977년 국제 자동차 안전기술회의(International Conference of Enhanced Safety of Vehicles, ESV)는 자동차의 보행자 보호성능을 향상시키기 위하여 보행자 보호 성능 향상을 위한 연구를 시작하였으며, 1994년 유럽자동차안전도개선위원회(European Enhanced Vehicle Safety Committee, EEVC)는 최초의 보행자 보호 평가방법을 개발하였다.⁽¹⁾ 또한 1996년 유럽신차안전도평가(European New Car Assessment Program, EURO-NCAP)는 EEVC에서 개발된 평가방법을 바탕으로 최초의 자동차의 보호 성능을 평가하기 시작하였으며⁽²⁾ 대한민국은 2007년 한국 신차 안전도평가(Korea

New Car Assessment Program, K-NCAP)를 도입하여 자동차의 보행자 보호 성능 평가를 시작하였다.⁽³⁾ 또한 자동차의 보행자 보호 성능을 향상시키기 위한 설계에 대한 연구도 꾸준히 진행되었다.⁽⁴⁻¹⁰⁾

그럼에도 불구하고 2010년도부터 2014년도의 국내 교통사고의 사망자를 보면, 차 대 보행자 교통사고의 전체 사망자 수는 감소하는 추세이지만 전체 교통사고 사망자 중 보행자의 비율은 약 40%의 꾸준히 높은 비율을 보이고 있다.⁽¹¹⁾ 이러한 차 대 보행자 교통사고는 발생빈도에 비하여 사망률이 높은 특징을 가지고 있다. 따라서 보행자 사망자의 수를 줄이기 위해서는 보행자 보호의 평가방법 강화가 필요한 실정이다. 이에 따라 현재 EURO-NCAP에서는 보행자 안전도 평가부분으로 다리부분에서 상부다리 시험을 시행하고 있으며, 2015년도부터 Pedestrian Testing Protocol version 8.0으로 상부다리모형 평가방법이 새로운 방법으로 개

* 한양대학교

** 교통안전공단 자동차안전연구원

E-mail : sangok@hanyang.ac.kr

정되어 시행되고 있다.⁽¹²⁾ 또한 K-NCAP에서는 현재 보행자 안전도 평가부분에서 상부다리 평가를 시행하고 있지 않은 실정이다. 또한 기존의 상부다리평가 방법에 대한 연구는 다수 존재하지만,⁽¹³⁻¹⁵⁾ 2015년도부터 개정된 평가방법에 대한 연구는 존재하지 않는다.

본 연구에서는 보행자 더미모형을 이용하여 차 대 보행자 비선형 동적 충돌시물레이션과 EURO-NCAP의 시험방법을 기반으로 하여 차 대 상부다리모형 충돌 시물레이션을 수행하고 더미모형의 상부다리 거동과 상부다리모형 거동 분석을 통하여 EURO-NCAP Pedestrian Testing Protocol version 8.0⁽¹²⁾의 상부다리모형 시험방법에 대하여 고찰하였다.

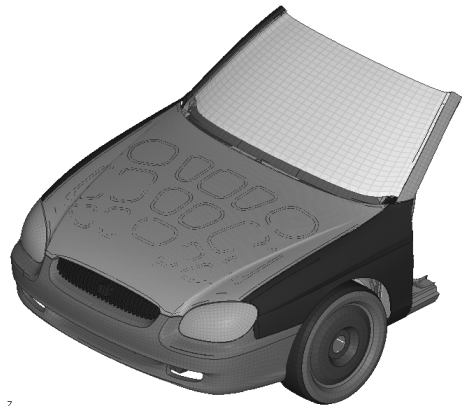


Fig. 1 Finite element model of a sedan

2. 본론

2.1. 유한요소 모델

본 연구에서는 비선형 동적 유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA를 이용하여 차 대 보행자 더미모형의 충돌 시물레이션을 수행하기 위한 해석모델을 구성하였다. 차량은 두 가지 차량 형상에 대하여 승용 차량 및 SUV 차량을 이용하여 연구를 진행하였다.

승용차량 모델의 유한요소 모델은 Fig. 1과 같으며, 총 108,213개의 절점과 108,231개의 요소로 이루어져 있다. 또한 해석에 필요한 소요시간을 줄이기 위하여 차량의 전면구조물로만 구성된 유한요소 모델을 사용하였으며, 전체 차량의 질량을 맞추기 위하여 모델 후방에 질량요소를 추가하였다.



Fig 2 Finite element model of a SUV

SUV 차량 모델의 유한요소 모델은 Fig. 2와 같으며, 총 226,697개의 절점과 221,824개의 요소로 구성되어 있으며, 승용모델과 동일하게 해석 소요시간을 줄이기 위하여 전면 구조물로 이루어진 유한요소 모델을 사용하였으며, 승용 모델과 마찬가지로 차량 후방에 질량요소를 추가하였다.

보행자 더미모형의 유한요소모델은 LSTC사의LSTC 50th% Rigid-FE H-III Standing Dummy로Fig. 3과 같으며, 총 7470개의 절점과 4400개의 요소로 이루어져 있다. 또한 더미모형의 충돌 자세는 독일의 교통사고 심층조사기관인 GIDAS의 데이터를 토대로 더미모형의 왼발이 앞으로 향하게 하였으며, 차량 중앙선에 수직방향으로 오른쪽 다리가 차량과 접촉하도록 설정하였다.



Fig. 3 Finite element model of a pedestrian dummy

상부다리모형의 유한요소 모델은 LSTC사의 LSTC. PEDESTRIAN_UPPER_LEGFORM.100624_V2.3.2를

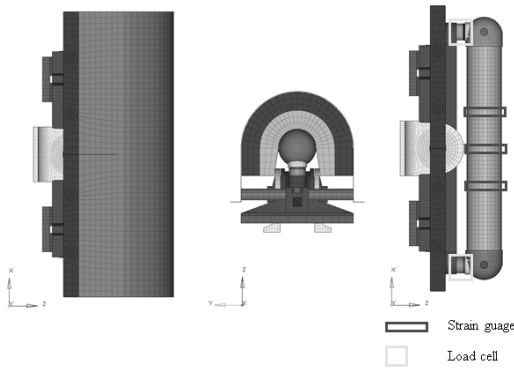


Fig. 4 Finite element model of an upper legform impactor

사용하였으며, 총 20,151개의 절점과 34,038개의 요소로 구성되어있다. 상부다리모형은 Fig. 4와 같이 대퇴골을 대변하는 맴버 1개와 피부 및 조직을 대변하는 2개의 폼(Foam)재와 점탄성 재질의 평면요소로 이루어져있으며, 맴버(Member)에는 상부와 하부에 걸리는 하중을 측정하기 위한 2개의 로드셀(Load cell)과 맴버의 중간지점 및 상하로 50mm에 위치한 지점의 굽힘모멘트 측정을 위한 3개의 스트레인 게이지(Strain gauge)가 정의되어 있다. 또한 상부다리모형의 무게는 EURO-NCAP 시험방법 규정에 따라 모델 후면에 위치한 무게판의 질량을 변경하여 10.5 kg이 되도록 설정하였다.⁽¹²⁾

2.2. 해석 조건

차 대 상부다리모형의 충돌 시물레이션의 조건은 Fig. 5와 같이 EURO-NCAP Pedestrian Testing Protocol version 8.0에 명시되어있는 것과 동일하게 시험 조건을 설정하였다.⁽¹²⁾ 충격 지점은 차량의 횡단경계선(Wrap Around Distance, WAD) 775 mm으로 설정하였으며 충격 각도는 내부범퍼기준선(Internal Bumper Reference Line, IBRL)과 횡단경계선 930 mm를 연결하는 선과 수직하도록 설정하였으며 상부다리모형 모델 후면의 경계조건을 충격각도 방향으로만 움직일 수 있도록 설정 하였다.

차 대 보행자 더미모델의 충돌 시물레이션의 경우, EURO-NCAP및 국내 K-NCAP의 보행자 안전도 평가 규정에 따라 40 km/h(11.11 m/s)의 속도로 차 대 보행자 더미모델 충돌 시물레이션을 수행하였다.

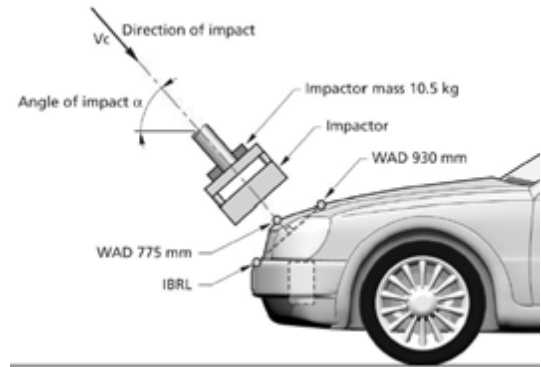


Fig. 5 Car to upper legform impact test

3. 해석 결과

3.1. 상부다리 궤적에 따른 고찰

본 연구에서는 비선형 동적 유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA를 이용하여 차 대 보행자 충돌 해석 시물레이션을 수행하였으며, 승용 및 SUV 모델 각각의 경우 보행자 더미모델의 상부다리 궤적 및 각도를 관찰하였으며 상부다리와 차량의 전면부가 접촉하며 발생하는 상부다리가 받는 하중을 측정하였다.

Fig. 6와 Fig. 7은 각각 승용 모델과 SUV 모델의 차 대 보행자 더미모델의 충돌과정을 시간대별로 나타낸 것이다. 승용 및 SUV 모델 모두 차 대 보행자 더미모델의 충돌 해석 결과 상부다리는 충돌과 동시에 차량 전면부의 윤곽을 따라서 내측방향으로 포물선형태의 비선형의 궤적을 그리며 침입한다.

Fig. 8 및 Fig. 9는 각각 승용 및 SUV 모델의 차량 중앙 지점에서 충돌 직후 침입량에 대한 보행자 더미모델의 상부다리 궤적을 나타낸 것이다. 이와 같이 실제 차 대 보행자의 사고에서는 상부다리의 거동이 시간에 따라 비선형의 궤적을 그리며 변하게 되며 상부다리의 각도 또한 시간에 따라서 꾸준히 변한다.

반면, 차 대 상부다리모형 충돌시물레이션의 경우 실차시험의 가이드의 역할로서 상부다리모형 후방의 경계조건을 설정해두었기 때문에 상부다리모형의 거동이 선형의 궤적을 보이며 상부다리의 각도 또한 내부범퍼 기준선과 횡단경계선(WAD) 775 mm를 연결하는 직선과 수직인 각도로 일정하다.

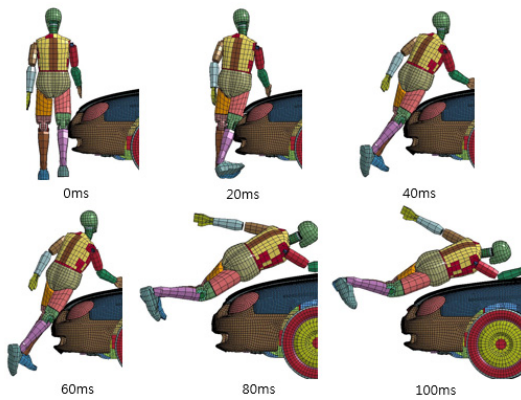


Fig. 6 Car (Sedan) to pedestrian dummy model accident simulation

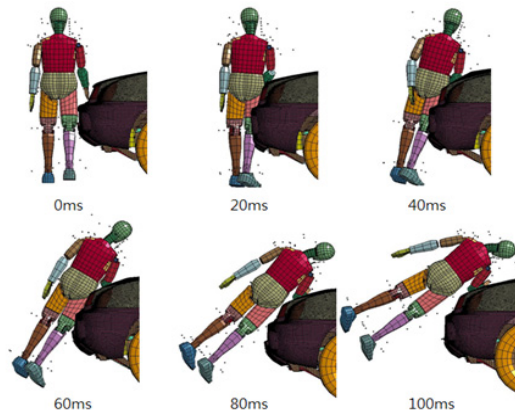


Fig. 7 Car (SUV) to pedestrian dummy model accident simulation

3.2 최대 하중에 따른 상부다리 각도에 대한 고찰

차 대 보행자 더미모델의 충돌 시뮬레이션 결과 상부다리의 거동이 시간에 따라 비선형의 궤적을 그리며 변함에 따라 상부다리의 각도 또한 비선형 포물선 형태로 변한다. 본 연구에서는 시간에 따라 변하는 상부다리의 각도를 측정하였으며, 상부다리가 차량과 충돌하며 받는 하중을 측정하였다. 위 두 결과를 이용하여 보행자 더미모델의 상부다리가 차량과 충돌하며 받는 하중이 최대일 때 상부다리의 각도를 관찰하였다. Fig. 10은 승용 및 SUV 모델의 차 대 보행자 더미모델의 시뮬레이션에서 시간에 따른 보행자 더미모델의 상부다리의 각도를 나타내었으며 상부다리가 받는 하중이 최대일 때를 화살표로 나타내었다.

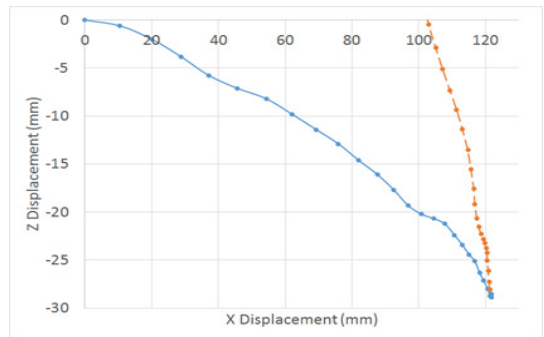


Fig. 8 Trajectory of the upper leg of the pedestrian dummy model (Sedan)

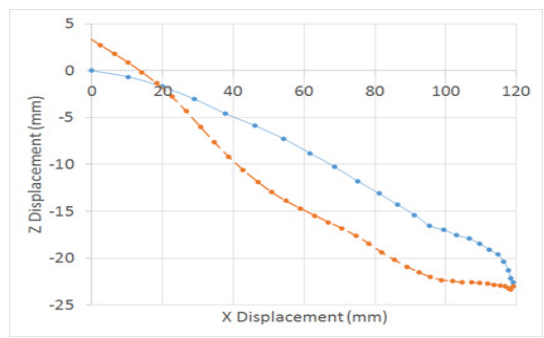


Fig. 9 Trajectory of the upper leg of the pedestrian dummy model (SUV)

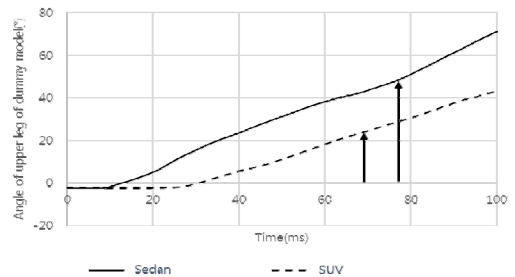


Fig. 10 Angle of the upper leg of the pedestrian model

승용 모델의 경우 보행자 더미 모델의 상부다리가 받는 하중이 77 ms에서 최대이며, 이때 보행자 더미 모델의 상부다리의 각도는 48.25 °이며, SUV 모델의 경우 하중이 69 ms 에서 최대이며, 이때 상부다리의 각도는 24.25 °이다. EURO-NCAP의 상부다리 시험에서 상부다리모형의 충격각도는 내부범퍼기준선과 횡단경계선(WAD) 775 mm를 연결한 직선과 수직인 각도이며, 승용 모델의 경우 47.8° 이며, SUV 모델의 경

우 24.4 °의 충격 각도를 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 EURO-NCAP의 상부다리모형 시험과 동일한 조건으로 차 대 상부다리모형 충돌 시뮬레이션을 승용 및 SUV 두 차종에 대하여 수행하였으며, K-NCAP 및 EURO-NCAP의 보행자 안전도 평가규정에 따라 차 대 보행자 더미모형 충돌 시뮬레이션을 수행하였으며, 두 충돌 시뮬레이션의 결과로부터 보행자 더미모형의 상부다리의 궤적과 상부다리모형의 궤적을 비교하였다. 또한 시간에 따른 보행자 더미모형의 상부다리가 받는 하중과 시간에 따른 상부다리의 각도를 측정하여 평가규정의 각도와 비교하였다.

상부다리가 받는 하중이 최대일 때, 상부다리 각도를 보면 상부다리모형 시험의 설정각도와 수치적으로 근접한 결과를 보이며, 이는 현재 EURO-NCAP의 상부다리모형 평가시험의 각도 설정이 가장 큰 상해를 유발하는 각도라는 측면에서 타당한 것으로 보여진다. 그러나 가이드를 따라 초기에 설정한 충격각도로만 움직이는 상부다리모형의 시험방법은 한계가 있을 것으로 보여진다.

또한 본 연구에서 사용한 승용 및 SUV 모델이 모든 차종을 대표할 수 없기 때문에 다양한 차량 전면부 형상에 대한 연구 또한 진행이 필요하다.

또한 본 연구에서는 휴먼모델이 아닌 더미모형을 사용하였기 때문에 대퇴골(Femur)이 받는 하중 등 상해치를 측정하는데 한계가 존재하며, 실제 차 대 보행자 사고 시 보행자의 거동을 완벽히 관찰하기 힘들다는 한계가 존재한다. 따라서 향후 THUMS(Total Human Model for Safety)등의 휴먼모델을 활용한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(16PTSI-C054118-08)으로 수행된 연구임.

참고문헌

(1) Construction and Transportation Research Report, 2008, "Development of Advanced Vehicle for Pedestrian Safety", R&D/03-Safety-11, Ministry of Land Transport and Maritime Affairs.

(2) European New Car Assessment Program, 2015, <http://www.euroncap.com/home.aspx>, European Commission.

(3) Korea New Car Assessment Program, 2015, <http://www.car.co.kr/jsp/kncap/introduction>, Ministry of Land Transport and Maritime Affairs.

(4) Ashton, S. J., Pedder, J.B. and Mackay, G M., 1977, "Pedestrian Injuries and the Car Exterior", SAE, 770092.

(5) Krenn, M., Mlekusch, B., Wilfling, C., Dobida, F. and Deutscher, E., 2003, "Development and Evaluation of a Kinematic Hood for Pedestrian Protection", World Congress & Exhibition, 2003-01-0897, Detroit, MI, SA.

(6) K. Nagatomi, K. Hanayama, T. Ishizaki, S. Sasaki and K. Matsuda, 2005, "Development and Full-scale Dummy Tests of a Pop-up Hood System for Pedestrian Protection", 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, pp. 6~9.

(7) M. K. Shin, K. T. Park, K. B. Lee, H. I. Bae and G. J. Park, 2006, "Design of the Active Hood Lift System Using Orthogonal Arrays," Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 4, pp. 123~131.

(8) W. D. Yoo, J. S. Ham and K. S. Cho, 2012, "Development and Feasible Study of Train to Pedestrian Protection Airbag," Transactions of KSAE, Vol. 20, No. 4, pp. 82~91.

(9) J. S. Park, S. B. Jeong, Y. W. Yun and G. J. Park, 2013, "Performance Analysis of an Active System for Pedestrian Protection Using Impact Analysis," Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 6, pp. 100~107.

(10) Jeong, Y. W. Yun, G. J. Park and T. K. Kim, 2014, "Effectiveness of Active Hood and Pedestrian Protection Airbag Based on Real Vehicle Impact Test," Transactions of KSAE, Vol. 22, No. 1, pp. 36~45.

(11) Road Traffic Authority, 2015, Traffic Accident Statistical Analysis.

(12) EURO NCAP Protocol, <http://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/>, European Commission,

- 2015.
- (13) OKAMOTO, Yutaka, et al., 2001, "A study of the upper leg component tests compared with pedestrian dummy tests," Proc. of the 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV).
- (14) KONOSU, Atsuhiko; ISHIKAWA, Hirotohi; SASAKI, Akira, 1998, "A study on pedestrian impact test procedure by computer simulation—the upper legform to bonnet leading edge test," Proceedings: International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. National Highway Traffic Safety Administration, pp. 2349~2356.
- (15) LUBBE, Nils, et al. 2011, "Review of the Euro NCAP upper leg test," 22nd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Washington, DC, Gaylord National Conference Convention Centre, June 13~16.