

승용차 능동후드리프트 시스템의 전개 방식에 따른 성능 평가

Performance Evaluation of Active Hood Lift System of Passenger Vehicles with Different Operating Method

이 태 훈* · 윤 근 하* · 박 춘 용* · 강 제 원* · 최 승 복†

Tae-Hoon Lee, Gun-Ha Yoon, Chun-Yong Park, Je-Won Kang and Seung-Bok Choi

(Received December 21, 2015 ; Revised May 17, 2016 ; Accepted May 17, 2016)

Key Words : Active Hood Lift System(액티브 후드 리프트 시스템), Deployment Time(전개시간), Pedestrian Injury(보행자 상해치), Spring Actuator(스프링식 액추에이터), Gunpowder Actuator(화약식 액추에이터), Pedestrian Safety(보행자 안전)

ABSTRACT

This work investigates the performances of active hood lift system(AHLS) activated by two different operating methods through the experimental test. In the AHLS, the deployment time of the system and decrement of pedestrian injury are the most important factors for the pedestrian safety during the pedestrian-vehicle impact. After introducing the working principle of AHLS using spring actuator and gunpowder actuator, the deployment time of AHLS and decrement of pedestrian injury are evaluated by the experimental test. It has been identified that the gunpowder actuator can provide a faster deploying time of AHLS.

1. 서 론

보행자 안전에 대한 인식 증가와 그에 대한 규제 강화로 인해 보행자를 보호하기 위한 시스템 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다⁽¹⁻³⁾. 특히 보행자 사망의 65%를 차지하는 머리 상해로 인한 치명상으로부터 보행자를 보호할 수 있는 시스템으로 active hood lift system(AHLS)이 소개되어 연구되고 있다^(4,5). AHLS은 보행자와의 충돌 시 후드를 들어 올려, 후드 아래의 강성 구조물로부터 보행자를 보호하는 시스템이다. 이 시스템을 적용한다면 최대 90%의 충격을 흡수할 수 있다고 연구되고 있으며⁽⁴⁾, 이를 통해 통계적으로 보행자 사망자의 80%를 살릴

수 있다고 보고되고 있다⁽⁶⁾.

AHLS에서 가장 중요한 요소는 시스템의 전개시간과 시스템을 통한 보행자 상해치 감소량이다. 전개속도가 차량의 충돌 속도에 비해 충분히 빠르지 못하여 전개가 완료되기 전에 보행자의 머리와 후드간의 충돌이 일어난다면, 보행자는 후드의 운동에너지에 의해 더 큰 충격을 받게 되어 문제가 될 수 있다. 또한 시스템을 적용하더라도 보행자의 충격량을 충분히 흡수하지 못하여 보행자에게 치명상에 가까운 상해치를 준다면 이 역시 문제가 될 수 있다. 유럽의 신차 안전도 평가 기관인 EuroNcap에서는 차량 속도 40 km/h에서 작동할 수 있는 충분한 전개속도를 요구하고 있으며, 보행자 상해치 평가를 위해 HIC_{15} (head injury criteria)을 통해 상해치의

† Corresponding Author; Member, Mechanical Engineering, Inha University
E-mail: seungbok@inha.ac.kr
* Mechanical Engineering, Inha University

‡ Recommended by Editor Il Kwon Oh

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

정량적 기준을 제시 하고 있다⁽⁷⁾.

현재까지 시스템의 전개시간과 보행자 상해치 감소량을 향상시키기 위해 시스템의 작동 방식에 대한 연구가 진행되고 있으며, 대표적으로 스프링 액추에이터와 화약 액추에이터를 사용하는 시스템이 개발이 진행되고 있다. 이 논문에서는 정량적 기준을 통해 작동 방식에 따른 시스템의 성능을 분석하고 AHLS의 개발 방향을 제시하기 위해, 두 가지 액추에이터를 사용하는 각 시스템의 전개 시간과 보행자 상해치를 평가하기 위한 실험을 진행한다.

2. 작동원리 및 전개시간 비교

Fig. 1과 같이 보행자의 다리가 차량의 범퍼와 충돌할 때, AHLS는 범퍼 속에 내장된 멤브레인 센서의 신호를 통해 작동된다. 힌지 부에 설치된 AHLS는 Fig. 1(b)와 같이 후드를 들어올려, 후드 아래의 강성 구조물로 보행자의 머리를 보호할 수 있는 공간을 확보할 수 있다. 앞서 언급하였듯이 후드의 운동 에너지가 보행자의 머리로 전달되는 것을 방지하기

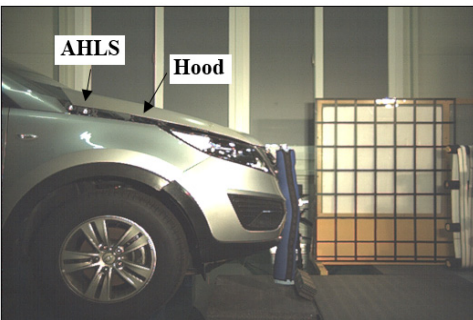
위해서는, 후드와 보행자의 머리가 충돌하기 전까지 시스템의 전개가 완료되어야만 한다. 15 kg ~ 20 kg의 무게를 가지는 후드를 수 ms 내에 일정한 높이까지 들어올려야 하기 때문에 짧은 시간에 강한 힘을 낼 수 있는 액추에이터가 사용되어야 한다.

Fig. 2는 AHLS에 사용되는 스프링 방식의 액추에이터의 작동 전후를 나타낸다. 보행자와 충돌하였다는 신호를 받으면 스프링을 압축하고 있던 잠금 장치가 슬레노이드 작동기에 의해 해제되어, 스프링의 예하중을 통해 후드와 직접적으로 연결된 힌지 모듈을 상승시킨다. 시스템에 사용되는 스프링의 스프링 상수는 22.5 kN/m이며, 63 mm 정도가 압축되어 1.421 kN의 예하중을 갖는다. 여기서 스프링의 초기 예하중이 클수록 액추에이터의 전개시간은 줄어들 수 있지만 스프링 성능저하나 하우징의 강도 등에서 많은 문제가 발생할 수 있기 때문에 스프링의 예하중을 증가시키는 데에 한계가 있고 정의할 수 있다.

Fig. 3은 AHLS에 사용되는 화약 방식의 액추에이터의 작동 전후를 나타낸다. 차량 범퍼의 멤브레인 센서로부터 보행자와 충돌하였다는 신호를 받으면 화약 액추에이터가 폭발하여 액추에이터의 피스톤이 전개된다. 스프링을 통해 힌지 모듈 전체를 상승시키는 스프링 방식의 액추에이터와 다르게, 화약 방식의 시스템에서는 요소 락 레버가 추가되어 화약의 폭발력을 후드로 전달하며, 각 요소의 회전을 통해 후드를 상승시킨다. 화약 폭발은 짧은 시간에 다량의

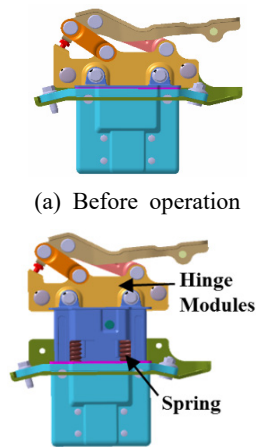


(a) Before operation



(b) After operation

Fig. 1 Operation photographs of AHLS



(a) Before operation

Hinge Modules

Spring

(b) After operation

Fig. 2 Working principle of AHLS using spring actuator

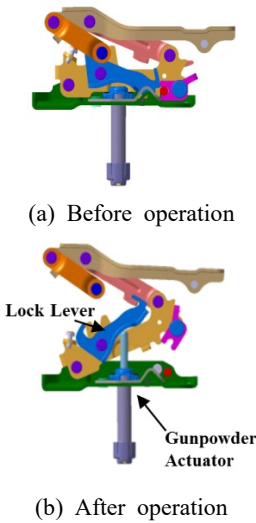


Fig. 3 Working principle of AHLS using gunpowder actuator

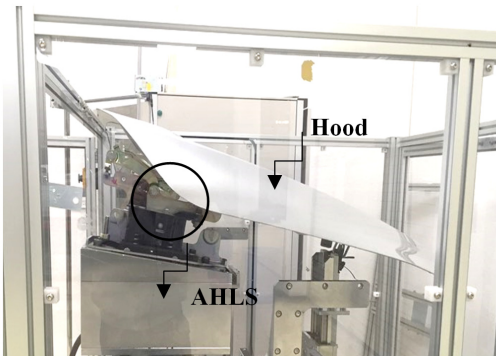


Fig. 4 Experiment apparatus for deployment time measurement

가스를 생성시키는 micro gas generator(MGG)에 의해 이루어지는데, 이 시스템에서는 10 cc의 공간 내부에서 65 Mpa의 압력을 생성시키는 65 Mpa-MGG가 사용되어 10 ms 내에 12 kN 정도의 힘을 방출한다.

스프링 액추에이터와 화약 액추에이터가 각각 사용되었을 때, 시스템의 전개시간을 측정하기 위한 장비는 Fig. 4와 같이 구성된다. 보행자 감지와 신호 처리 시간을 제외하고 오직 시스템의 전개 시간만을 측정하는 실험으로, 실제 차량에 장착된 시스템과 동일하게 설정되었다. 여기서 설정된 후드의 목표 전개 높이는 60 mm이며, 시스템의 전개 시간은 후드가 목표 전개 높이에 도달 할 때까지의 시간으로 정의된다. 이를 측정하기 위해 초당 1000 프레임의

Table 1 Test result on deployment time of AHLS

Operating method	Test number	Deployment time
Spring actuator	#1	12 ms
	#2	12 ms
	#3	10 ms
Gunpowder actuator	#1	30 ms
	#2	31 ms
	#3	31 ms



(a) Before operation



(b) After operation

Fig. 5 Photographs of experimental test on deployment time of AHLS using spring actuator



(a) Before operation



(b) After operation

Fig. 6 Photographs of experimental test on deployment time of AHLS using gunpowder actuator

촬영할 수 있는 초고속 카메라가 사용되었으며, 신뢰성을 위해 총 3번의 실험이 반복적으로 진행되었다. Fig. 5는 초고속 카메라에 의해 촬영된 스프링 액추에이터를 사용하는 AHLS의 작동 전후 사진을 보여주며, Fig. 6은 화약 액추에이터를 사용하는 AHLS의 작동 전후 사진을 보여준다. 측정된 전개시간은 Table 1과 같다. 스프링 액추에이터를 사용하였을 때는 30 ms ~ 31 ms(평균 30.67 ms)의 전개시간을 가지는 반면, 화약식 액추에이터를 사용하였을 때는 10 ms ~ 12 ms(평균 11.3 ms)의 전개시간을 가진다. 따라서 화약식 액추에이터가 사용되었을 때, 시스템은 더 빠른 전개시간을 가지는 것을 확인할 수 있다. 즉 화약식 액추에이터를 사용하였을 경우, 보행자가 전개되고 있는 후드에 의해 더 큰 충격을 받는 것을 방지하여, 보행자를 보다 안전하게 보호할 수 있다고 평가할 수 있다.

EuroNcap의 기준에 따라 평가할 때, AHLS의 필요 전개 시간은 가장 충돌 시간이 짧은 어린이 보행자를 기준으로 제한된다. 충돌 차량의 속도가 40 km/h일 경우, 보행자 다리와 차량의 범퍼와의 충돌로부터 보행자 머리와 후드의 충돌까지 걸리는 시간은 60 ms 이하⁽⁸⁾, 차량의 높이가 높은 경우 40 ms 이하까지 줄어 들 수 있다⁽⁹⁾. 보통 보행자 감지와 electronic control unit(ECU)의 신호 처리 시간으로 25 ms ~ 30 ms가 소요되기 때문에⁽¹⁰⁾, 여기서 요구되는 AHLS의 필요 전개시간은 10 ms ~ 15 ms 이하가 되어야 한다. 이와 같은 기준으로 각 시스템의 전개 방식을 평가할 경우, 10 ms ~ 12 ms의 전개시간을 가지는 화약 액추에이터를 사용하는 AHLS은 보행자를 보호하는 데 적합하다고 정의할 수 있는 반면 30 ms ~ 31 ms의 전개시간을 가지는 스프링 액추에이터를 사용하는 AHLS은 모든 보행자를 안전하게 보호하는데 한계가 있다고 평가할 수 있다.

3. 보행자 상해치 감소량 비교

EuroNcap의 기준에 의한 보행자 상해치 평가 방법은 Fig. 7과 같다⁽⁷⁾. 실제 보행자 충돌 사고를 재현하기 위해 성인 머리 모형과 어린이 머리 모형의 충격 각도는 각각 65°, 50°로 설정되었으며, 40 km/h의 차량 충돌 속도를 구현하기 위해 머리 모형의 충격 속도는 모두 11 m/s로 설정되었다. 또한 성인 머리 모형의 무

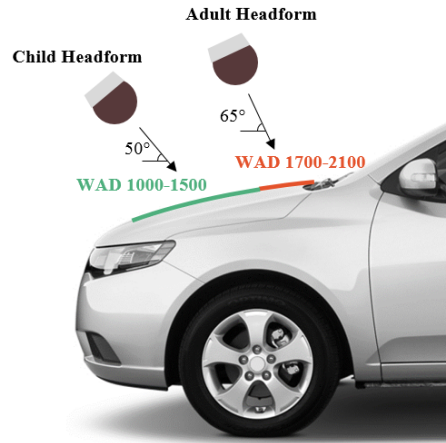


Fig. 7 Experiment method for pedestrian injury measurement

게는 4.5 kg, 어린이 머리 모형의 무게는 3.5 kg이다. 이에 따른 실험 장비 구성은 Fig. 8과 같다. 속도발생기를 통해 보행자 머리 모형을 후드로 발사하며, 머리 모형 내부의 가속도 센서를 통해 후드와 머리 모형이 충돌할 때의 보행자 머리가 받는 가속도를 측정할 수 있다. Fig. 9의 A와 B는 각각 성인 머리 모형과 어린이 머리 모형의 충격위치를 보여준다. A는 EuroNcap에서 제시한 성인 머리 충돌 범위인 WAD(wrap around distance) 1700 mm ~ 2100 mm 안에서 액추에이터의 작동에 의해 가장 치명적인 충격에 가해질 수 있는 힌지 모듈의 위치이다. B는 EuroNcap에서 제시한 어린이 머리의 충돌 범위인 WAD 1000 mm ~ 1500 mm 안에서, 차체 프레임에 의해 가장 치명적인 충격이 가해질 수 있는 지점이다. 머리 모형 내부의 센서를 통해 측정된 가속도를 바탕으로 보행자 머리의 상해치를 정량적 나타내기 위해 HIC_{15} 를 사용하며, 그 공식은 다음과 같다.

$$HIC_{15} = \left\{ \left[\frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_1 - t_2) \right\}_{max} \quad (1)$$

여기서 a 는 측정된 머리 모형의 가속도를 나타낸다. t_1 과 t_2 는 차이는 15 ms로 정의되며, HIC_{15} 가 15 ms 내에서 최댓값을 가질 때의 시간 간격이다. 정량적 평가 기준으로써, EuroNcap에서는 AHLS를 적용하였을 때 HIC_{15} 값이 1000 이하가 되도록 요구하고 있다.

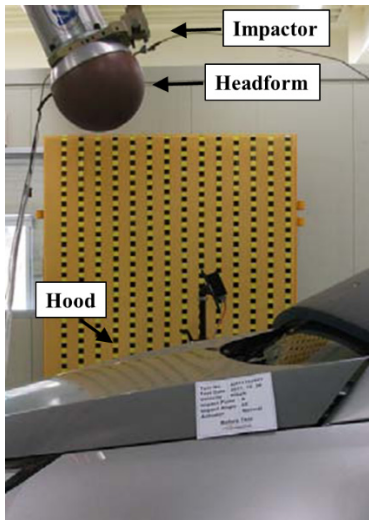


Fig. 8 Experiment apparatus for pedestrian injury measurement



Fig. 9 Impact location of headform

Table 2 Test result on pedestrian injury value

	HIC ₁₅	
	Adult(A)	Child(B)
Non-AHLS	1365.6	750.8
Spring type	575.7	593.3
Gunpowder type	1007.1	470.3

Table 2는 AHLS이 적용되지 않았을 때와 각각의 액추에이터가 사용되었을 때, 측정된 가속도를 바탕으로 계산된 HIC₁₅값을 나타낸다. 측정 결과, 성인 보행자 머리 상해치 값은 AHLS이 적용되지 않았을 때, 1365.6을 가지며 스프링 액추에이터를 사용하는 AHLS이 적용되었을 때, 575.5값을 가진다. 또한 화약 액추에이터를 사용하는 AHLS이 적용되었을 때

1007.1를 가진다. 즉, AHLS를 적용하였을 때 성인 보행자 머리의 상해치가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 하지만 화약 방식의 AHLS의 경우, 성인 머리의 상해치는 1000 HIC₁₅ 이상으로 여전히 보행자에게 치명상을 줄 수 있다고 평가된다. 그 이유는 화약 액추에이터 내부의 압력이 전개 완료 후에도 유지되어 필요 이상으로 단단해지기 때문이다.

반면, 어린이 보행자 머리 상해치 값은 AHLS이 적용되지 않았을 때, 750.8을 가지며 스프링 및 화약 액추에이터를 사용하는 AHLS이 적용되었을 때 각각 593.3, 470.3값을 가진다. 마찬가지로 AHLS를 적용하였을 때 어린이 보행자 머리의 상해치가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 성인 보행자 머리 상해치 평가와는 다르게 어린이 보행자 머리 상해치 평가에서는 화약 액추에이터를 사용하였을 때 가장 적은 충격량을 받게 되는데, 그 이유는 액추에이터가 후드를 단단히 붙잡고 있어 B 지점에서는 후드 아래의 구조물과 2차 충격이 일어나지 않기 때문이다.

결과적으로 스프링 방식의 AHLS은 성인과 어린이 보행자 모두 안전하게 보호할 수 있을 것이라고 평가할 수 있으나, 화약 방식의 AHLS는 어린이 보행자의 경우 가장 안전하게 보호할 수 있으나 성인 보행자를 보호하기에 무리가 있다고 평가할 수 있다.

4. 결 론

이 논문에서는 AHLS의 작동 방식에 따른 시스템의 전개시간과 보행자 상해치를 실험적으로 분석하였다. 스프링 방식의 AHLS의 경우, 보행자 상해치 감소량은 국제 기준을 만족하였으나 전개시간이 느리기 때문에 높은 차량 속도에서 작동하기에 무리가 있다. 뿐만 아니라 전개속도를 빠르게 하기 위해 스프링의 예하중률 증가시킬 경우 스프링 성능저하나 하우징의 강도 등에서 많은 문제가 발생할 수 있기 때문에 성능 향상에 한계가 있다.

화약 방식의 AHLS의 경우, 전개시간이 매우 빠르기 때문에 차량의 충돌 속도 40 km/h 이상에서 충분히 보행자를 보호할 수 있지만 액추에이터 내부의 압력이 전개 완료 후에도 일정하게 유지되어, 경우에 따라 성인 보행자가 치명상을 받을 수 있다. 이를 해결하기 위해 전개가 완료된 후의 액추에이터 내부의 압력을 줄이기 위한 추가 설계가 필요할 것

으로 판단된다.

결론적으로 이 논문은 AHLS의 작동 방식에 따른 시스템의 성능을 실험적으로 평가하여, 각각의 장단점을 분석하였으며, 이를 통해 AHLS의 성능 향상을 위한 추후 연구 방향을 제시하였다.

References

- (1) Crandall, J. R., Bhalla, K. S. and Madeley, N. J., 2002, Designing Road Vehicles for Pedestrian Protection, *BMJ: British Medical Journal*, Vol. 324, No. 7346, p. 1145.
- (2) Maki, T., Asai, T. and Kajzer, J., 2003, Development of Future Pedestrian Protection Technologies, In 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV), pp. 03-0165.
- (3) Song, H. J., Woo, D. and Choi, S. B., 2006, Dynamic Characteristic Analysis of MR Impact Damper for Vehicle System, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 16, No. 7, pp. 754-761.
- (4) Fredriksson, R., Håland, Y. and Yang, J., 2001, Evaluation of a New Pedestrian Head Injury Protection System with a Sensor in the Bumper and Lifting of the Bonnet's Rear Part, *SAE Technical Paper Series*, Society of Automotive Engineers, 131.
- (5) Fredriksson, R., Boström, O., Zhang, L. and Yang, K., 2006, Influence of Pop-up Hood Systems on Brain Injuries for Vulnerable Road Users, 2006 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, pp. 253-264.
- (6) Oh, C., Kang, Y. and Kim, W., 2008, Assessing the Safety Benefits of an Advanced Vehicular Technology for Protecting Pedestrians, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 40, No. 3, pp. 935-942.
- (7) Euro NCAP, 2015, Pedestrian Testing Protocol-Testing-Protocol Version 8.2, European New Car Assessment Programme.
- (8) Liu, X. J. and Yang, J. K., 2002, Development of Child Pedestrian Mathematical Models and Evaluation with Accident Reconstruction, *Traffic Injury Prevention*, Vol. 3, No. 4, pp. 321-329.
- (9) Lee, D., Kim, J., Kim, H., Chung, S., Kwon, S. and Lee, B., 2012, A Study on the Multidisciplinary CAE Analysis of the Active Hood Lift System for Pedestrian Protection, *Proceedings of the KSAE Annual Autumn*, pp. 1983-1988.
- (10) Nagatomi, K., Hanayama, K., Ishizaki, T., Sasaki, S. and Matsuda, K., 2005, Development and Full-scale Dummy Tests of a Pop-up Hood System for Pedestrian Protection, *Proceeding of the 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*, 05-0113.



Seung-Bok Choi received the B.S. degree in Mechanical Engineering from Inha University in 1979, M.S. degree and Ph.D. degrees from Michigan State University in 1986 and 1990, respectively. He is currently Dean of the Graduate School and fellow professor in Inha University. He is a fellow of NAEK(National Academy Engineering of Korea), KAST(The Korean Academy of Science and Technology). His research interests are robust controller design and control of various systems using smart actuators.