

중요 설계변수에 따른 승용차 능동후드리프트 시스템의 전개시간 연구

A Study on Deploying Time of Active Hood Lift System of Passenger Vehicles with Principal Design Parameters

이 태 훈* · 윤 근 하* · 최 승 복†

Tae-Hoon Lee, Gun-Ha Yoon and Seung-Bok Choi

(Received November 6, 2015 ; Revised January 18, 2016 ; Accepted January 18, 2016)

Key Words : Active Hood Lift System(액티브 후드 리프트 시스템), Gunpowder Actuator(화약식 액추에이터), Deployment Time(전개시간), Parameter Study(설계변수 연구), Pedestrian Safety(보행자 안전)

ABSTRACT

This research investigates the deployment time of an active hood lift system(AHLS) activated a gunpowder actuator for the passenger vehicle. The deployment time of the system is investigated by changing the principal design parameters of the system. In order to achieve this goal, after introducing the geometric structure and operating principle of the AHLS, the dynamic equations of the system are formulated for deploying motion. Subsequently, using the dynamic equations, the deployment time of the system is determined by changing several geometric design parameters such as location of actuator. It is then identified which design parameters are main factors to affect the deployment time of AHLS.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 보행자 안전에 대한 인식이 증가하고 그에 대한 규제의 강화로 인해, 보행자 안전 시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중이다⁽¹⁻⁴⁾. 특히 보행자 사망자의 65% 이상을 차지하는 머리 상해로부터 보행자를 보호하기 위해, active hood lift system(AHLS)이 소개되어 집중적으로 연구되고 있다^(5,6). 이 시스템은 보행자와의 충돌 시 차량의 후드를 들어올려, 후드 아래 엔진과 같은 강성 구조물로부터 보행자의 머리를 보호하는 시스템으로 보행자의 상해치를 최대 80%정도 줄일 수 있다⁽⁷⁾. 일

반적으로 기존의 AHLS은 차량속도 40 km/h 이하에서 작동 가능하나, 최근 짧은 시간에 많은 힘을 낼 수 있는 화약방식의 액추에이터를 통해 그 이상의 속도에서도 작동 가능한 새로운 AHLS의 개발이 진행되고 있다.

AHLS에서 가장 중요한 요소는 시스템의 전개시간이다. 전개속도가 충분하지 못해 보행자가 후드와 부딪히기 전까지 작동을 완료하지 못한다면, 보행자는 후드의 관성 모멘트에 의해 더 큰 충격을 받을 수 있다. 반면 전개속도가 빠르다면, 그 이상의 운행 속도에서 작동하더라도 보행자를 충분히 보호할 수 있다. 또한, 이를 통해 후드를 더 높이 들어올린다면 보행자의 충격 흡수에 더 용이할 것이다. 때문

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

‡ Recommended by Editor Il Kwon Oh
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

에 전개시간은 시스템의 안정성과 성능에 직결된다. 화약 방식의 액추에이터를 사용하는 AHLS은 기존 시스템에 비해 전개속도가 빠르기 때문에 40 km/h 이상의 차량 속도에서도 작동 가능하다. 하지만 화약 폭발이 가지는 잠재적 변수로 인한 안전성 문제와 보행자의 충격을 완벽히 흡수하기 위해 요구되는 후드의 높이에 대한 문제로 전개시간에 대한 최적화가 요구되는 실정이다.

이 논문에서는 새로 개발되는 화약 방식의 AHLS을 소개하고 시스템의 안정성 및 성능 향상을 위해 시스템의 구조적 설계변수의 영향을 분석하여 전개시간을 줄이기 위한 설계 방향을 제안한다. 이를 위해 각 시스템의 수학적 모델을 설립하고 정의된 전개시간을 통해 주요 설계변수의 변화에 대한 전개시간의 경향성을 파악한다.

2. 화약식 Active Hood Lift System 구조

최근 개발되고 있는 AHLS은 Fig. 1과 같이 후드의 앞부분을 들어 올리는 래치 파트와 후드의 뒷부분을 들어 올리는 힌지 파트로 구성된다. 보행자와의 충돌이 감지되면 후드는 하나의 래치 시스템과 두개의 힌지 시스템에 의해 상승하여 그 아래 강성 구조물로부터 보행자의 머리를 보호하는 역할을 한다.

Fig. 2(a)는 화약식 AHLS의 래치 파트의 구조를 나타내고 Fig. 2(b)는 래치 파트의 작동 후 구조를 나타낸다. 시스템은 L₁과 L₂을 통해 액추에이터 힘을 후드의 래치로 전달하는 메커니즘을 갖는데, 후드

아래의 공간적 문제를 해결하고 액추에이터 힘을 효과적으로 전달하기 위함이다. L₃는 시스템의 잠금 장치로 시스템을 예상치 못한 충격이나 진동으로부터 고정한다. L₄는 시스템의 정지 장치를 나타내며 이를 통해 액추에이터 힘이 보행자에게 전달되는 것을 방지한다. Fig. 2(c)는 AHLS의 힌지파트의 구조를 나타내고 Fig. 2(d)는 작동 후 힌지파트의 구조를 나타낸다. H₂와 H₃로 이루어진 기존 힌지 구조에 H₁이 추가되어 액추에이터 힘을 Point A로 전달하는 메커니즘을 갖는다. 여기서 Point A는 H₃과 후드를 연결하는 회전 조인트이다. 그리고 Point B는 차체에 고정되어 있는 H₂의 회전 조인트이다. H₁, H₃의

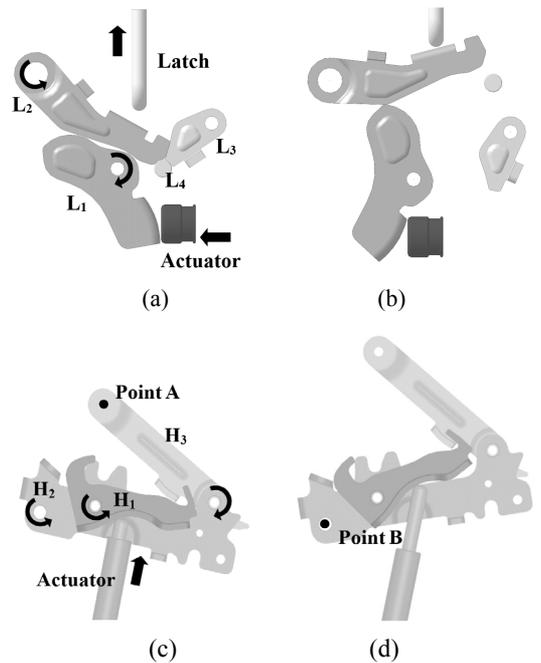


Fig. 2 Schematic configuration of AHLS

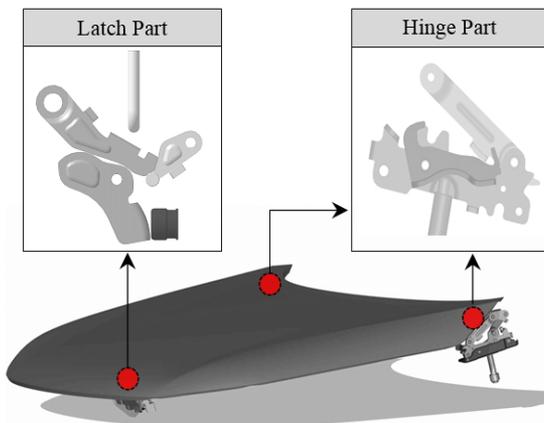


Fig. 1 Mechanism of AHLS

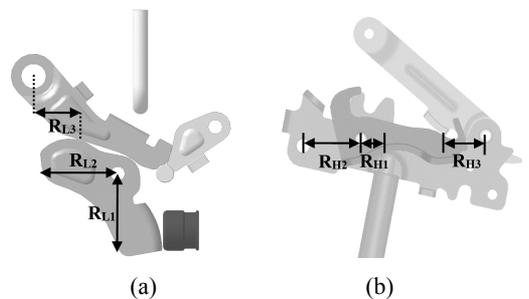


Fig. 3 Principal design parameter

회전 조인트는 H₂에 연결되어 있다. 앞서 언급하였듯이, AHLS의 안정성 및 성능 향상에 있어 가장 중요한 변수는 시스템의 전개 시간이다. 전개 시간이 빠르다면 시스템의 안정성을 확보할 수 있고 나아가 시스템의 작동 가능한 속도를 올려 더 넓은 범위의 보행자를 보호할 수 있다. 이 논문에서는 AHLS의 성능 향상을 위해 전개시간을 빠르게 하기 위한 시스템의 구조적 연구를 진행하였다.

각 시스템의 전개시간을 줄이기 위한 설계변수는 Fig. 3과 같이 설정할 수 있다. 래치 파트에서 R_{L1}, R_{L2}, R_{L3}은 각각 L₁의 회전 중심점에서 액추에이터까지의 수직거리, L₁의 회전 중심점에서 L₁의 끝점까지의 수평거리, L₁과 L₂의 접촉점으로부터 L₂의 회전 중심점까지의 수평거리를 의미한다. 힌지파트에서 R_{H1}, R_{H2}, R_{H3}은 각각 H₁의 위치, 액추에이터의 위치 그리고 H₁의 회전 중심점으로부터 H₁과 H₃의 접촉점까지의 수평거리를 의미한다. 시스템의 동역학 방정식을 통해 각각의 설계변수가 전개 시간에 미치는 영향을 구할 수 있다.

3. 설계변수로서의 래치파트의 영향

AHLS의 래치파트의 전개시간에 대한 설계변수의 영향을 분석하기 위해 래치파트의 동역학 방정식을 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$I_{L1} \ddot{\theta}_{L1}(t) = r_{L11}F_{L1}(t) - r_{L12}F_{L2}(t) - r_{L1n}\mu F_{L2}(t) \quad (1)$$

$$I_{L2} \ddot{\theta}_{L2}(t) = r_{L21}F_{L2}(t) - r_{L22}F_{L3}(t) + r_{L2n}\mu F_{L2}(t) \quad (2)$$

$$m_L \ddot{x}_L(t) = \cos(20^\circ - \theta_{L2}(t)) F_{L3}(t) \quad (3)$$

$$\dot{\theta}_{L2}(t) = \frac{r_{L12}}{r_{L21}} \dot{\theta}_{L1}(t) \quad (4)$$

$$\dot{x}_L(t) = \cos(20^\circ - \theta_{L2}(t)) r_{L22} \dot{\theta}_{L2}(t) \quad (5)$$

식 (1), (2), (3), (4), (5)는 각각 L₁의 모멘트 방정식, L₂의 모멘트 방정식, 래치의 동적 평형 방정식, L₁의 회전 각도와 L₂의 회전 각도의 관계식, L₂의 회전 각도와 래치의 상승값의 관계식을 나타내며, 각각의 식에서 사용된 시스템의 물성치는 Table 1에 나타나 있으며, 방정식의 변수는 Table 2에 나타나 있다. 액추에이터 힘인 F_{L1}은 실제 측정값을 통

해 주어지며, 각각의 모멘트를 구하기 위한 거리인 r_{L11}, r_{L12}, r_{L1n}, r_{L21}, r_{L22}, r_{L2n}는 요소의 회전 각도에 따라 그 변화 값을 정의할 수 있다. 운동방정식을 설정하는데 있어 L₃와 L₄가 생략된 이유는 L₃와 L₄의 무게가 후드의 무게가 비해 상당히 작아, 시스템의 전개 시간에 미치는 영향이 매우 작기 때문이다. 래치 시스템의 전개 시간은 액추에이터가 폭발한 시간부터 래치의 상승 값인 x_L이 30 mm에 도달했을 때까지의 시간을 의미하며, 설정된 방정식을 통해 그 해를 구할 수 있다. 래치파트의 설계변수 R_{L1},

Table 1 Material properties of latch system

Symbol	Value	Specification
I _{L1}	4.4 × 10 ⁻⁵ m ⁴	Inertia moment of L ₁
I _{L2}	8.3 × 10 ⁻⁵ m ⁴	Inertia moment of L ₂
m _L	6.67 kg	Mass of hood loaded to Latch System
μ	0.3	Friction coefficient

Table 2 Variables in dynamic equation of latch system

Symbol	Specification
θ _{L1}	Rotated angle of L ₁
θ _{L2}	Rotated angle of L ₂
x _L	Lifted height of latch system
F _{L1}	Force transmitted by actuator to L ₁
F _{L2}	Force transmitted by L ₁ to L ₂
F _{L3}	Force transmitted by L ₂ to Latch

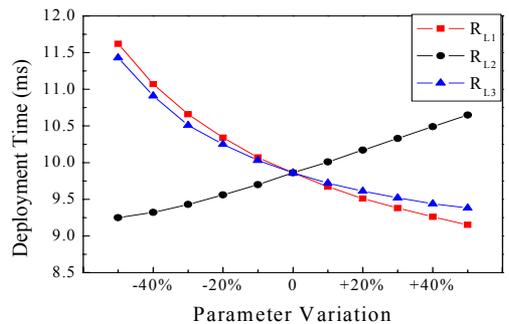


Fig. 4 Deployment time due to changes in parameters

R_{L2} , R_{L3} 는 각각 운동방정식의 r_{L11} , r_{L12} , r_{L21} 과 비례하는 관계를 갖기 때문에, 이를 통해 설계변수가 전개시간에 미치는 영향을 구할 수 있다. Fig. 4는 설계변수의 변화가 전개시간에 미치는 영향을 보여준다. 전개시간은 R_{L1} 과 R_{L3} 가 감소하고 R_{L2} 가 감소할수록 향상되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 향후, 전개시간을 줄이기 위한 시스템의 최적화 설계에 있어 이와 같은 경향성이 반영되어야 할 것이다.

4. 설계변수로서의 힌지파트의 영향

마찬가지로 AHLS의 힌지 파트의 전개시간에 대한 설계변수의 영향을 분석하기 위해 힌지 파트의 동역학 방정식을 다음과 같이 설립할 수 있다.

$$I_{H1}\ddot{\theta}_{H1}(t) = r_{H11}F_{H1} - r_{H12}F_{H3} + r_{H11}\mu F_{H1} - r_{H12}\mu F_{H3} \quad (6)$$

$$I_{H2}\ddot{\theta}_{H2}(t) = r_{H21}F_{H2} + r_{H22}F_{H4} \quad (7)$$

$$I_{H3}\ddot{\theta}_{H3}(t) = r_{H31}F_{H3} - r_{H32}F_{H5} + r_{H31}\mu F_{H3} \quad (8)$$

$$\dot{\theta}_{H1}(t) = \frac{r_{H31}}{r_{H12}}\dot{\theta}_{H3}(t) \quad (9)$$

식 (6), (7), (8), (9)는 각각 H_1 의 모멘트 방정식, H_2 의 모멘트 방정식, H_3 의 모멘트 방정식, H_1 의 회전 각도와 H_3 의 회전 각도의 관계식 나타내며, 각각의 식에서 사용된 시스템의 물성치는 Table 3에 있으며, 방정식의 변수는 Table 4에 나타나 있다. 액추에이터 힘인 F_{H1} 은 실제 측정값을 통해 주어지며, 각각의 모멘트를 구하기 위한 거리인 r_{H11} , r_{H12} , r_{H11} , r_{H12} , r_{H21} , r_{H22} , r_{H31} , r_{H32} , r_{H31} , r_{H31} 는 요소의 회전 각도에 따라 그 변화 값을 정의할 수 있다. 힌지 시스템은 래치 시스템과 다르게 모든 회전 중심점이 고정되어 있지 않는데 이는 모멘트 방정식만으로는 각 요소의 접촉 힘과 회전 조인트를 통해 전달되는 힘을 구할 수 없다는 것을 의미하며, 이에 추가로 설립할 수 있는 H_1 과 H_3 의 동적 평형 방정식은 다음과 같다.

H_1 :

$$\begin{aligned} & -R_{m1}(\dot{\theta}_{H1}(t))^2 m_1 \\ & = (-F_{H1x}(t) + F_{H2x}(t) - F_{H3x}(t)) \cos(\theta_{m1}(t)) \\ & + (F_{H1y}(t) - F_{H2y}(t) - F_{H3y}(t)) \sin(\theta_{m1}(t)) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} R_{m1}\ddot{\theta}_{H1}(t)m_1 & = (-F_{H1x}(t) + F_{H2x}(t) - F_{H3x}(t)) \sin(\theta_{m1}(t)) \\ & + (F_{H1y}(t) - F_{H2y}(t) - F_{H3y}(t)) \cos(\theta_{m1}(t)) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\theta_{m1}(t) = 2^\circ + \theta_{H1}(t) + \theta_{H2}(t) \quad (12)$$

H_2 :

$$\begin{aligned} R_{m3}(\dot{\theta}_3(t))^2 m_3 & = -(F_{H3x}(t) - F_{H4x}(t) - F_{H5x}(t)) \cos(\theta_{m3}(t)) \\ & + (F_{H3y}(t) - F_{H4y}(t) - F_{H5y}(t)) \sin(\theta_{m3}(t)) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} R_{m3}\ddot{\theta}_3(t)m_3 & = (F_{H3x}(t) - F_{H4x}(t) - F_{H5x}(t)) \cos(\theta_{m3}(t)) \\ & + (F_{H3y}(t) - F_{H4y}(t) - F_{H5y}(t)) \sin(\theta_{m3}(t)) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\theta_{m3}(t) = 40^\circ - \theta_{H2}(t) + \theta_{H3}(t) \quad (15)$$

여기서 H_2 의 동적 평형 방정식이 의미가 없는 이유는 전개 시간을 구하는 데 있어 H_2 의 회전 중심점 Point B에 걸리는 힘을 구할 필요가 없기 때문이다. F_{H1} 의 수평과 수직 방향의 힘을 나타내는 F_{H1x} , F_{H1y} 는 액추에이터와 H_1 의 접촉 힘을 통해 정의할 수 있으며 F_{H3x} , F_{H3y} 는 H_1 과 H_3 의 접촉면을 통해 정의할 수 있다. 그리고 F_{H2x} , F_{H2y} 와 F_{H2} 의 관계, F_{H4x} , F_{H4y} 와 F_{H4} 의 관계는 H_2 의 회전 방향을 통해 정의할 수 있으며 F_{H5x} , F_{H5y} 와 F_{H5} 의 관계는 H_3 의 회전 방향을 통해 정의할 수 있다. R_{m1} , R_{m3} 는 각각 H_1 과 H_3 의 회전 중심점부터 무게중심까지 거리를 의미한다. 또한, F_{H5x} 와 F_{H5y} 는 Point A에 가해지는 가속도를 통해 식 (16), (17)과 같이 정의된다. 여기서 R_{P1} , R_{P2} 는 각각 H_3 와 H_2 의 회전조인트에서 Point A까지의 거리를 의미하며, θ_p 는 H_2 의 회전조인트를 기준으로 Point A가 회전한 각도를 의미한다.

$$\begin{aligned} F_{SHx}(t)/m_x & = R_{P1}\ddot{\theta}_{H3}(t) \sin(40^\circ - \theta_{H2}(t) + \theta_{H3}(t)) \\ & - R_{P2}\ddot{\theta}_{H2}(t) \sin(\theta_p(t)) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} F_{SHy}(t)/m_y & = R_{P1}\ddot{\theta}_{H3}(t) \cos(40^\circ - \theta_{H2}(t) + \theta_{H3}(t)) \\ & + R_{P2}\ddot{\theta}_{H2}(t) \cos(\theta_p(t)) \end{aligned} \quad (17)$$

힌지 시스템의 전개시간은 액추에이터가 폭발한 후, 식 (18)을 통해 정의된 Point A의 상승 값, x_H 가

Table 3 Material properties of hinge system

Symbol	Value	Specification
I_{H1}	$1.6 \times 10^{-4} \text{ m}^4$	Inertia moment of H_1
I_{H2}	$3.9 \times 10^{-3} \text{ m}^4$	Inertia moment of H_2
I_{H3}	$3.7 \times 10^{-4} \text{ m}^4$	Inertia moment of H_3
m_1	0.1 kg	Mass of H_1
m_3	0.12 kg	Mass of H_2
m_x	8.25 kg	Mass of hood loaded to vertical direction
m_y	4.12 kg	Mass of hood loaded to horizontal direction
μ	0.3	Friction coefficient

Table 4 Variables in dynamic equation of hinge system

Symbol	Specification
θ_{H1}	Rotated angle of H_1
θ_{H2}	Rotated angle of H_2
θ_{H3}	Rotated angle of H_3
θ_{m1}	Rotated angle of center of mass of H_1
θ_{m3}	Rotated angle of center of mass of H_3
x_H	Lifted height of hinge system
F_{H1}	Contact force transmitted by actuator to H_1
F_{H2}	Force transmitted by H_1 to H_2 through the rotational joint
F_{H3}	Contact force transmitted by H_1 to H_3
F_{H4}	Force transmitted by H_2 to H_3 through the rotational joint
F_{H5}	Force transmitted by H_3 to hood through the rotational joint

50 mm에 도달했을 때까지의 시간을 의미하며 설정된 방정식을 통해 그 해를 구할 수 있다.

$$x_H = R_{P1}(\sin(40^\circ - \theta_{H2}(t) + \theta_{H3}(t)) - \sin(40^\circ)) + R_{P3}(\sin(5^\circ + \theta_{H2}(t)) - \sin(5^\circ)) \quad (18)$$

여기서 R_{P3} 는 Point B에서 H_3 의 회전조인트까지의 거리를 의미한다. 래치파트와 마찬가지로 힌지파트의 설계변수 R_{H1} , R_{H2} , R_{H3} 은 각각 운동방정식에 영향을 주어 설계변수가 전개시간에 미치는 영향을 구할 수 있다.

Fig. 5는 힌지 시스템에서 설계변수의 변화가 전개시간에 미치는 영향을 보여준다. 시스템의 전개시간은 모든 변수가 증가할수록 향상되는 것을 보여주며, R_{H1} 가 40% 이상 감소하거나 R_{H3} 가 30% 이상 감소하였을 때 전개가 완료되지 않는 것을 보여준다.

5. 결 론

이 논문에서는 새로 개발되는 화약 방식의 AHLS을 소개하고 AHLS의 전개시간 향상을 위해, 시스템의 구조적 설계변수에 대한 연구를 진행하였다. 이를 위해 전개시간을 구하기 위한 시스템의 운동방정식을 설정하였으며, 설계변수에 따른 전개시간의 경향성 분석을 통해 설계 방향을 제시하였다.

향후 심화된 연구를 위해, 후드 아래의 공간적 제약이나 후드의 상승량과 같은 시스템의 제한조건들을 고려하여 설계변수들의 기하학적 조건을 수립해야 할 것으로 판단되며, 이를 바탕으로 최적의 구조를 구하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

최종적으로 이와 같은 연구는 그 동안 EuroNcap과 같은 국제 규정에 맞춰, 차량속도 40 km/h 이하에서 충돌하는 보행자를 보호하기 위한 기존 연구와 다르게, 이상의 악조건에서도 보행자를 보호하기 위한 연구로써 그 목적을 갖는다.

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,

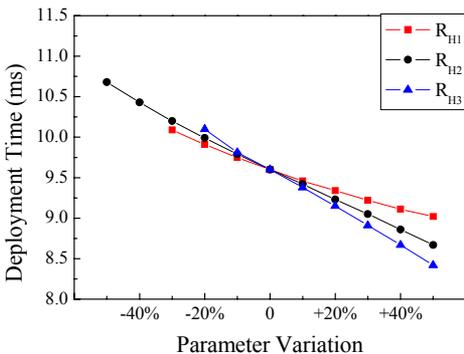


Fig. 5 Deployment time due to changes in parameters

Development of Future Pedestrian Protection Technologies, In 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV), pp. 03-0165.

(3) UNECE/TRANS/WP.29/AC.3/7, 2004, Proposal to Develop a Global Technical Regulation Concerning the Protection of Pedestrian and Other Vulnerable Roads Users in Collision with Vehicles, www.unece.org/trans/main/welcwp29.htm

(4) 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.

(5) 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. Society of Automotive Engineers.

(6) Inomata, Y., Iwai, N., Maeda, Y., Kobayashi, S., Okuyama, H. and Takahashi, N., 2009, Development of the Pop-up Engine Hood for Pedestrian Head Protection, In 21st International Technical Conference on the

Enhanced Safety of Vehicles.

(7) Lee, K. B., Jung, H. J. and Bae, H. I., 2007, The Study on Developing Active Hood Lift System for Decreasing Pedestrian Head Injury, Innovations for Safety: Opportunities and Challenges.



Seung-Bok Choi received the B.S. degree in Mechanical Engineering from Inha University in 1979, MS 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.