

## 직교배열표를 이용한 액티브 후드 리프트 시스템의 설계

신 문 균<sup>\*1)</sup> · 박 경 택<sup>2)</sup> · 이 근 배<sup>3)</sup> · 배 한 일<sup>3)</sup> · 박 경 진<sup>4)</sup>

한양대학교 BK21 기계사업단<sup>1)</sup> · 한양대학교 대학원 기계설계학과<sup>2)</sup>  
· 현대자동차 선형해석팀<sup>3)</sup> · 한양대학교 기계정보경영학부<sup>4)</sup>

### Design of the Active Hood Lift System Using Orthogonal Arrays

Moon-Kyun Shin<sup>\*1)</sup> · Kyung-Taek Park<sup>2)</sup> · Keun-Bae Lee<sup>3)</sup> · Han-Il Bae<sup>3)</sup> · Gyung-Jin Park<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>BK21 Division, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Design and Production Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

<sup>3)</sup>Department of Advanced Analysis Engineering, Hyundai Motor Company, 772-1 Jangduk-dong, Hwasung-si, Gyeonggi 445-706, Korea

<sup>4)</sup>Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 425-791, Korea

(Received 12 December 2005 / Accepted 8 February 2006)

**Abstract** : The majority of pedestrian fatalities and injuries are caused by vehicle-pedestrian accidents. Recently, it has been recognized as a serious problem. Injuries of occupants in a vehicle have been decreased considerably. However, efforts for protection of pedestrians are still insufficient. These days, many advanced industries are striving for a better protection of pedestrians by using an active hood lift system, rather than reforming the existing structure. In this research, the active hood lift system is designed to enhance the performance for protection. The active hood lift system is analyzed by using the nonlinear finite element method. An optimization problem is formulated by incorporation of the analysis results. Orthogonal arrays are utilized to solve the formulated problem. An iterative optimization algorithm using orthogonal arrays is utilized for design in the discrete space. It is found that the method can remarkably decrease the number of function evaluations.

**Key words** : Active hood lift system(액티브 후드 리프트 시스템), SOA(순차적 알고리즘), Orthogonal array(직교배열표), Discrete space(이산공간), Hood(후드), Headform(머리모형)

### 1. 서론

차량에 의한 보행자 사고로 인하여 전 세계적으로 보행자 교통사고 사상자 수가 매우 많이 발생하고 있으며 최근에 심각한 문제로 인식되고 있다. 자동차 법규의 강화로 차량 탑승객의 상해는 점차 줄어드는 추세이지만, 보행자 보호를 위한 노력은 상대적으로 부족한 실정이다.<sup>1)</sup>

승용자동차, 스포츠 유틸리티 차량(SUV) 및 경화

물자동차의 경우는 전면 구조물을 보행자 보호를 위하여 설계, 제작함으로써 보행자 상해감소 효과를 얻을 수 있다.<sup>1-4)</sup> 따라서 자동차 제작자들은 보행자 보호 기준을 만족하는 자동차를 개발하기 위한 노력을 하고 있다.<sup>4)</sup> 최근 보행자 상해를 줄이기 위해서 새롭게 제안된 방법중의 하나가 액티브 후드 리프트 시스템(active hood lift system)이다. 이 시스템은 자동차의 다른 구조물 수정하지 않고 보행자의 상해치를 감소시킬 수 있는 장점이 있기 때문에 현재 선진국에서 그에 대한 많은 연구가 진행되고

\*Corresponding author, E-mail: mkshin@hanyang.ac.kr

있다.

보행자 보호를 위한 액티브 후드 리프트 시스템의 구조물을 개발하기 위한 설계를 수행할 때 설계 변수의 특성을 파악하기 위해서는 전조합에 가까운 모든 경우에 대하여 실험을 수행하면 좋다. 그러나 전조합의 경우 비용이 많이 드는 단점이 있다. 일반적으로 비용감소의 효과를 얻기 위하여 실험대신 컴퓨터에 의한 모사(simulation)를 이용하기도 한다. 또한 직교 배열표를 활용하면 전조합에 대한 모사 대신에 한정된 수의 모사만 수행해도 같은 효과를 얻게 되어 비용과 시간을 절약할 수 있다.

본 연구의 목적은 액티브 후드 리프트 시스템을 장착하여서 후드 상단에 어린이와 어른 머리가 부딪히는 것을 모사하여 머리 상해값을 최소화할 수 있는 액티브 후드 리프트 시스템을 설계하는 것이다. 따라서 보행자 사고 시 보행자의 상해를 최소화하기 위한 설계를 하기 위하여 제한조건을 고려할 수 있는 이정육과 박경진이 제안한 직교배열표를 이용한 순차적 알고리즘(Sequential algorithm with Orthogonal Arrays, SOA)을 이용한다.<sup>5-7)</sup> 보행자 보호를 위해 장착한 액티브 후드 리프트 시스템의 구조물 설계를 위하여 상용 유한요소 해석 프로그램인 LS-DYNA3D를 이용하여 머리모형의 충돌해석을 수행하였다.<sup>8)</sup>

## 2. 보행자 보호기준

### 2.1 보행자 머리상해 특성

보행자 사고를 재현하기 위한 방법으로 사체, 인체모형 실험 및 컴퓨터 모사를 이용하기도 한다. 사체실험은 보행자 충돌 운동학을 연구하는데 가장 적합하다.<sup>9,10)</sup> 사체 실험결과 보행자는 매우 유연한 거동을 나타내었다. 보행자 사고 시 보행자의 하체가 범퍼에 충돌하면 허리가 휘면서 자동차 전면부의 윤곽을 신체가 감싸는 형태를 보여주었다.

Fig. 1과 같이 사체 실험을 수행한 결과 머리가 후드에 부딪힐 때 자동차 속도에 대한 머리의 상대속도는 0.7~0.9배 정도이다. 그리고 보행자의 머리가 후드에 부딪힐 때까지 약 1m거리를 이동하는데 걸리는 시간은 약 100~150msec가 걸리는 것으로 나타났다.<sup>10)</sup> 보행자가 차량에 부딪힐 때 치명상의 주요

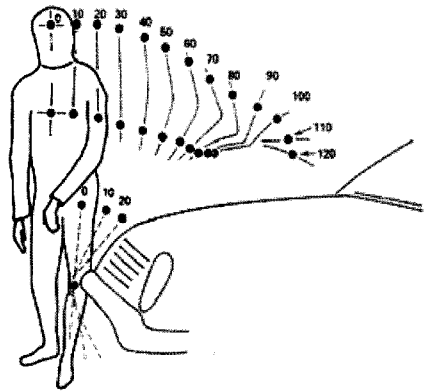


Fig. 1 Pedestrian head trajectory from cadaver tests

원인은 머리상해이다. 예를 들면 보행자가 차량에 부딪혀 치명상을 입을 때 부상자의 부상 부위를 보면 다리부가 약 60%로 머리부 20%보다 많다. 하지만 사망자의 상해 부위를 보면 머리부가 약 70%이다. 보행자의 머리가 차량에 부딪히는 위치는 차량의 크기, 모양, 충돌속도 및 보행자의 키에 따라 다르다. McLean 등은 승용차에 부딪힌 보행자의 머리는 도로나 다른 물체에 부딪힌 증거가 없으며, 충돌의 80%는 머리의 측면이나 후면에 부딪힌다고 발표하였다.<sup>10)</sup> 이는 보행자 사고의 86%가 차량의 진행방향과 측면으로 보행 중 사고가 발생하였음을 의미하고 있다.

### 2.2 보행자 보호기준

유럽위원회에서 1987년부터 EEVC WG10과 WG17을 통하여 실제 사고조건을 반복 재현할 수 있는 보행자 충격실험 절차를 개발하기 시작하였다. 그 이후 유럽연합 및 일본에서는 보행자 보호 관련기준을 제정하였으며, 국제연합 유럽경제위원회/자동차제작실무위원회(United Nations Economic Commission for Europe/Working Party on the Construction of Vehicles, UNECE/WP2<sup>9)</sup>는 세계 각국이 공통으로 적용하기 위한 세계기술기준(Global Technical Regulation, GTR) 제정을 위한 노력을 기울이고 있다.<sup>1)</sup>

유럽위원회에서는 무게 2.5kg의 어린이 머리모형 충격장치로 머리충격부위 전·후경계선 1,000~1,500mm 사이의 후드에 수평면 기준으로 50°로

40km/h의 속도로 충격을 가할 때 머리상해치가 1,000 이하 이어야 한다. 마찬가지로 무게 4.8kg의 어른 머리모형 충격장치로 머리충격부위 전·후경계선 1,500~2,100mm 사이의 후드에 수평면 기준으로 65°로 40km/h의 속도로 충격을 가할 때 머리상해치가 1,000 이하 이어야 한다. 현재 유럽위원회에서 EEC 2단계 기준에 대해 적용가능한지에 대한 연구를 수행하였다. 이 결과에 의하면 현 수준에서는 머리상해값(head injury criteria, HIC)을 만족하기 어렵기 때문에 유럽위원회에서 제안한 머리상해치 기준을 1,250이하로 해야 한다고 제안하였다.<sup>11)</sup>

일본과 국제연합 유럽경제위원회/자동차제작실무위원회의 GTR(Global Technical Regulation)과 IHRA(International Harmonized Research Activities)에서는 무게 3.5kg의 어린이 머리모형 충격장치로 머리충격부위 전·후경계선 1,000~1,700mm 사이의 후드에 수평면을 기준으로 충격각도는 50°, 충격속도는 35km/h로 가한다. 이 때 머리상해치는 시험영역의 1/3이 2,000을 초과해서는 안되고, 시험영역의 2/3가 1,000을 초과해서는 안된다. 마찬가지로 어른 머리 모형은 무게 4.5kg의 어른 머리모형 충격장치로 후드의 머리충격부위 전·후경계선 1,700~2,100mm 사이에 수평면 기준으로 충격각도는 65°, 충격속도는 35km/h로 가한다. 그리고 어린이와 어른 전·후경계선은 1,400~1,700mm를 공유한다. 이 때 머리상해치의 조건은 어린이 모형 기준과 같다.

여기서 머리상해치는 식 (1)과 같은 수식에 의해 계산된다.<sup>12)</sup>

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

여기서  $t_2, t_1$ 는 충격중 15msec 이하의 간격을 갖는 임의의 두 순간을 의미한다.  $a$ 는 머리모형 구의 중심에 설치된  $x, y, z$ 방향의 3축 가속도계로부터 측정된 중력가속도의 합성가속도이다.

### 3. 액티브 후드 리프트 시스템

#### 3.1 시스템의 필요성

1단계 보행자 보호 기준을 만족하기 위해서 기준에는 후드 프레임에 구멍 개수, 힌지 높이 등을 조절

하면서 보행자 보호를 위한 설계를 제안 하였다.<sup>13)</sup> 그러나 이러한 방법으로 2단계 보행자 보호 기준을 만족하기에는 한계가 있다. 따라서 보행자 사고 시 2단계 보행자 보호 기준을 만족하기 위해서는 새로운 안전 시스템 개발이 필요하다. 이에 최근 액티브 후드 리프트 시스템을 장착하는 연구가 진행 중에 있다. 액티브 후드 리프트 시스템은 보행자 사고를 감지하여 후드를 능동적으로 들어 올려 머리가 차량의 딱딱한 부분과 접촉하지 않도록 충분한 변형 공간을 확보하여 보행자를 보호하는 시스템이다. 여기서 공간을 확보한다는 것은 후드 아래의 강성 구조물(엔진, 배터리 등)과의 충돌을 배제하여 보행자의 상해를 줄일 수 있다.

#### 3.2 시스템의 구성 및 작동원리

액티브 후드 리프트 시스템은 Fig. 2와 같이 힌지와 액추에이터로 구성 되어 있다. Fig. 3은 작동전과 작동후의 모습이다.

작동원리는 범퍼에서 센서가 보행자와의 충돌을 감지하면 에어백과 마찬가지로 액추에이터에 화약을 폭발시켜 액추에이터가 후드를 들어 올리도록 하여 보행자를 보호하는 구조물이다. Fig. 4는 어린이 머리모형 충돌해석이다.

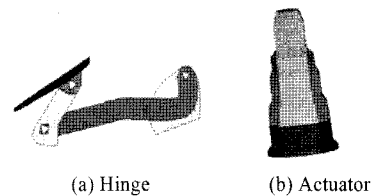


Fig. 2 Active hood lift system

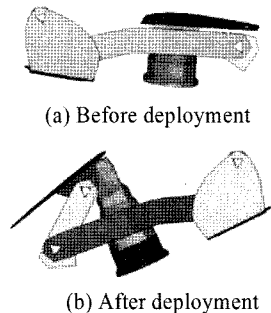


Fig. 3 Deployment of the active hood lift system

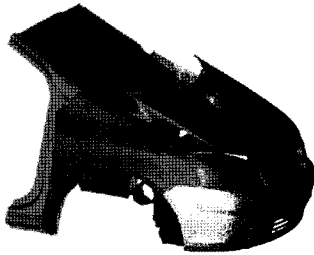


Fig. 4 Child headform impact analysis

#### 4. 직교 배열표를 이용한 액티브 후드 리프트 시스템의 설계

##### 4.1 직교 배열표를 이용한 순차적 알고리즘

직교 배열표의 특성을 이용하여 제한조건이 있는 이산 최적화 문제에 대하여 순차적 알고리즘(sequential algorithm with orthogonal arrays, SOA)의 각 단계의 진행 과정은 다음과 같다.<sup>5-7)</sup>

##### 단계 1 (문제설정)

최적설계를 위한 목적함수와 설계변수를 설정한다. 그리고 설계변수가 가질 수 있는 후보 값을 설정한다. 후보 값은 각 설계변수가 가지는 이산공간(discrete space)에서의 설계 값이다. 특히 이산설계 공간에서 각 인자의 후보 값은 일반적으로 주어진 문제에서 설계변수의 경계를 벗어나지 않는 가능한 영역 내에 있는 이산 값들을 설정해야 한다.

##### 단계 2 (직교 배열표 선택)

행렬실험에서 사용할 직교 배열표를 인자수와 인자의 수준수를 고려하여 적절하게 선택한다. 보통 2 수준과 3 수준이 많이 사용되는데, 2 수준은 선행 효과를 파악하는 경우에 사용된다. 3 수준은 곡률효과와 최대값 및 최소값을 탐색하는데 많이 사용된다. 이 알고리즘에서는 효율성을 고려하여 3 수준으로 고정하여 관련된 직교 배열표만을 사용한다. 다구찌는 표준 직교 배열표라고 부르는 18개의 기본적인 직교 배열표를 작성하였으며, 이를 직교 배열표 선정에 이용할 수 있다. 특히 교호작용을 고려하지 않으므로 수준수와 인자수를 고려하여 인자수를 넘지 않는 직교 배열표를 계산하여 자동으로 선정할 수 있다.

##### 단계 3 (설계변수의 수준 값 결정)

행렬실험을 위해 명시된 수준에 대응하는 각 설계변수의 이산 값을 직교 배열표에 배치한다. 수준 값들은 설계변수의 후보값들 중에서 선택하여야 하며, 초기 설계 값은 1 수준에 배치하고 2와 3 수준에는 초기 설계 값의 전·후에 위치한 후보 값을 배치한다. 이는 다음의 반복과정에서 초기 설계 값보다 크거나 작은 범위로 탐색이 가능하도록 해준다. 한 번의 반복과정이 끝나서 최적해가 선정되면 인자의 최적조건을 1수준에 배치하고 인접한 후보 값들을 2와 3 수준에 배치한다. Fig. 5는 인자의 수준 값 결정에 대한 예를 보여준다.

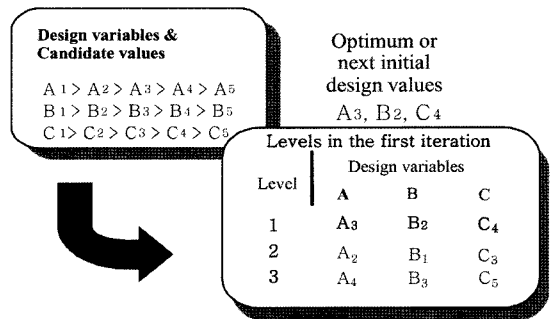


Fig. 5 Example of selection for level values

##### 단계 4 (행렬실험 실시)

정의한 직교 배열표에 대해 각 행마다 목적함수와 제한조건 함수를 계산한다. 설계문제에서는 목적함수를 최소화하기 이전에 제한조건을 우선 만족해야 한다. 이 과정에서 직교배열표의 실험횟수만큼 함수의 계산이 이루어진다.

##### 단계 5 (벌칙함수 적용)

제한조건이 있는 문제의 경우 제한조건을 고려하기 위하여 식 (2)와 같이 특성함수를 정의하고, 식 (3)과 같이 벌칙함수  $P$ 를 정의하여 제한조건의 위배 정도에 따라 벌칙함수값이 부과된 새로운 반응치  $\eta_{new}$ 를 계산한다.

$$\eta_{new} = \eta_{obj} + P \quad (2)$$

여기서  $\eta_{obj}$ 는 목적함수이다. 제한조건이 있는 문제를 해결하기 위해서 목적함수에 벌칙계수를 포함

하는 벌칙함수  $P$ 를 도입하였다. 벌칙함수  $P$ 는 식 (3)에 의하여 구할 수 있다.

$$P = s \times \sum_{i=1}^n \max[0, v_i] \quad (3)$$

여기서  $v_i$ 는  $i$  번째 제한조건의 최대 위배량 (maximum violation)이고,  $s$ 는 조절계수(scale factor)이다. 또한 제한조건 간의 차원(order)의 차이가 벌칙량에 미치는 영향을 줄이기 위해 정규화 (normalization)를 실시한다. 벌칙함수에서 제한조건의 최대 위배량은 제한조건을 위배하는 경우에는 영이 아닌 값을 갖지만 제한조건을 모두 만족하는 경우 영의 값을 갖는다. 조절계수는 알고리즘에 의한 반복과정 중에 구해지는 모든 해의 가용성 (feasibility)을 높이기 위해 벌칙함수 값이 원래의 반응치의 값보다 한 차원 높게 나오도록 결정한다.

### 단계 6 (평균분석 실시)

행렬실험을 통해서 나온 결과를 바탕으로 평균분석 (Analysis of means, ANOM)을 행한다. 각 인자에 대한 수준에 따른 평균치들을 계산하고, 인자의 최적수준을 선정한다. 그러나 최적수준에 대한 추정치는 2개의 인자 및 고차의 교호작용을 무시한 상태에서 나온 결과이므로 확인실험을 실시하여 계산된 실제 특성치와 다를 수 있다. 직교 배열표에 의한 최적수준을 결정하는 것이 항상 좋은 해만을 제공하지는 않는다. 그러므로 직교 배열표 상의 조합에 의한 해와 비교하여 직교 배열표 상의 조합에 의한 특성치가 더 우수하다면 그 결과를 최적의 해로 간주한다.

### 단계 7 (수렴여부 검사)

알고리즘의 종료여부를 검토한다. 이산공간의 특성상 연속공간에서의 종료조건인 수렴 정도로 해를 판단할 수 없다. 따라서 한번의 반복과정에서 최적해를 구하고, 다음 반복과정에서 최적해를 구해서 비교를 통하여 해의 개선여부를 판단한다. 종료조건은 반복과정에서 구한 최적해와 다음 반복과정에서 구한 최적해가 같으면 종료한다.

만일 위의 종료 조건을 만족시키지 못한다면 위의 (3) 단계로 되돌아가 최적수준의 값을 1수준으로

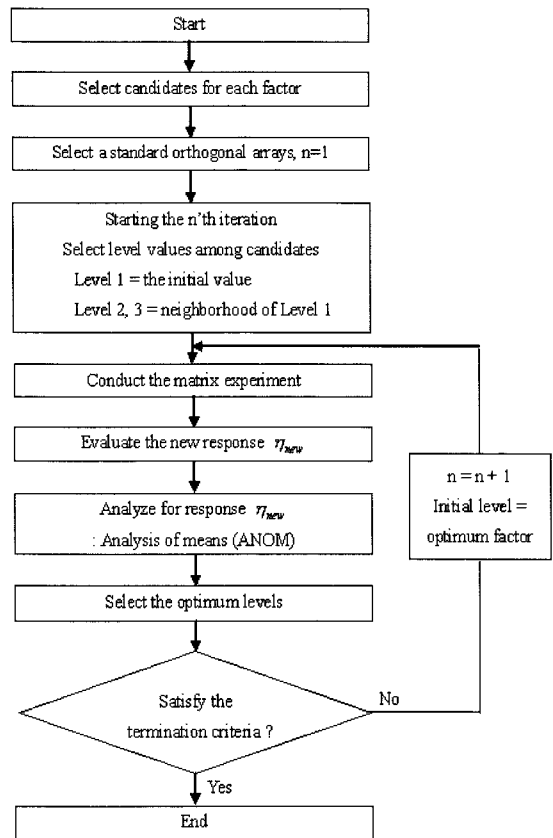


Fig. 6 Flow of discrete for constrained problems

선정하고, 최적수준에 인접한 후보 값들을 2와 3수준으로 선정하여 반복과정을 진행한다. 지금까지 제시된 단계별 과정을 Fig. 6과 같은 순서도로 나타내었다.

최근 직교 배열표를 이용한 순차적 알고리즘은 다른 이산공간에서의 최적화를 수행함에 있어서 훌륭한 성능이 입증되었다. 따라서 본 연구는 이 알고리즘을 이용하여 설계를 수행하였다.

## 4.2 목적함수 및 설계변수의 선정

머리모형 충격실험 요건을 만족하기 위하여 자동차의 구조는 다음의 두 가지 요건을 만족시켜야 한다. 첫째, 머리모형 충격장치가 감속하기 위한 공간을 확보하여야 한다. 둘째, 머리모형 충격장치의 운동 에너지를 흡수하기 위해 변형 가능한 구조이어야 한다. 이와 같은 요건을 고려한 후드 구조물의 설계방안으로 후드와 엔진, 흡배기관, 현가장치 및 배

터리 등의 엔진 룸 내부 구조물과의 충분한 공간을 확보하여야 한다.<sup>14)</sup>

한용하 등은 액티브 후드 미장착 차량의 시험결과 머리상해치가 높은 지점을 Fig. 7과 같이 선정하였다.<sup>14)</sup> Fig. 7과 같이 5개의 충격지점의 머리상해치의 합을 최소화 하는 것으로 목적함수를 선정 한 이유는 어느 한 충격지점을 줄이는 것보다 보행자 보호기준에서는 전반적으로 머리상해치를 다 줄여야 하기 때문에 목적함수를 머리상해치의 합을 최소화 하는 것으로 선정하였다. 머리모형 충격지점은 Table 1과 같이 나타내었다.

설계변수를 선정하기 위해서 힌지 두께, 액추에이터의 재질, 각도, 두께를 변화시켜서 해석을 실시하였다. 액추에이터 재질은 알루미늄을 많이 사용하기 때문에 알루미늄 중에서 몇 가지를 선정하였다.

액추에이터 각도는 Fig. 8에서 초기 설계값을 0°로 선정하였고, 운전자 방향으로 향하는 것을 +방향, 범퍼 방향으로 향하는 것을 -방향으로 하였다. Fig. 9는 각도에 따른 변화를 나타낸 것이고 액추에이터 각도는 충격각도와 일치할 때를 수직인 방향으로 하였다. 액추에이터 두께를 설계변수로 선정 한 이유는 액추에이터에서 화약이 폭발하여 후드를

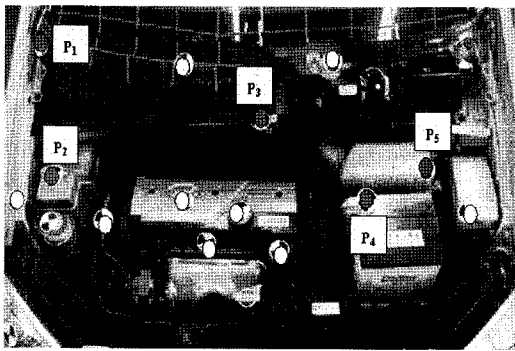


Fig. 7 Impact points for the child and the adult headforms

Table 1 Description of impacts points for the child and the adult headforms

Impact points	Descriptions
P1	Hood hinge
P2	Washer reservoir
P3	Center of cowl under panel
P4	Battery terminal
P5	Air cleaner housing

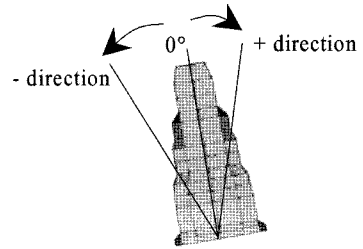


Fig. 8 Direction of the actuator angle

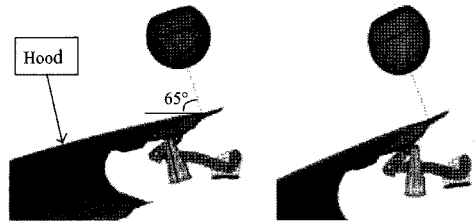


Fig. 9 Change of the actuator angle

올리게 되는데 두께가 얇으면 액추에이터가 터지는 경우가 발생할 수도 있다. 반대로 두께가 두꺼우면 액추에이터가 후드를 올리지 못하는 경우가 발생하기 때문에 두께를 설계변수로 선정하였다. 마지막으로 힌지 두께도 설계변수로 선정하였다.

본 연구의 설계조건은 후드 표면에 어린이와 어른 머리가 부딪히는 것을 모사하는 것으로 제한한다. 설계변수 선정을 위한 해석을 통하여 힌지 두께, 액추에이터의 재질, 각도, 두께를 설계변수로 선정하게 되었다. 이 모사에서 설계변수의 변화에 따른 경향을 분석하기 위하여 어린 머리모형의 충격부위 전·후경계선인 1,000~1,500mm사이의 후드 3곳에 충격을 가하고, 어른 머리모형은 전·후경계선인 1,500~2,100mm 사이의 후드 2곳에 충격을 가하였다.

이상의 목적함수와 설계변수의 선정을 통하여 다음과 같이 문제의 정식화를 하였다. 목적함수인 머리상해치가 최소가 되는 각 설계변수의 수준값을 결정하는 문제이며, 문제의 정식화는 식 (4)와 같다.

Find  $A, B, C, D$

to minimize  $\eta_{res} = \eta_{P_1} + \eta_{P_2} + \eta_{P_3} + \eta_{P_4} + \eta_{P_5}$

subject to

$$\begin{aligned} \eta_{P_1} &\leq 1,000 \\ \eta_{P_2} &\leq 1,000 \\ \eta_{P_3} &\leq 1,000 \\ \eta_{P_4} &\leq 1,000 \\ \eta_{P_5} &\leq 1,000 \end{aligned} \quad (4)$$

candidate values

- A (Hinge thickness, mm) ∈ {2.0, 2.4, 2.8, 3.2, 3.6}
- B (Actuator material : Al) ∈ {A6063-T4, A6260-T4, AA6061-T4, A6063-T6, A6082-T6}
- C (Actuator thickness, mm) ∈ {0.90, 0.95, 1.00, 1.05, 1.1}
- D (Actuator angle, deg) ∈ {-30, -15, 0, 3, 6}

여기서,  $\eta_{res}$ 는 머리모형 충격지점들의 머리상해치의 합에 대한 응답 특성값이고,  $\eta_{P_1}, \eta_{P_2}, \eta_{P_3}, \eta_{P_4}, \eta_{P_5}$ 는 머리모형 충격지점( $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$ )에서의 특성값이다.

### 4.3 결과분석 및 고찰

설계변수가 가질 수 있는 후보값들은 5개의 이산값으로 선정하였다. 설계변수의 수는 4개이고, 수준수가 3인 점을 감안하여  $L_9(3^4)$  직교 배열표를 선택하여 Table 2와 같이 설계변수를 배치하였다. 초기 설계값은 A=2.80mm, B=A6061-T4, C=1.00mm, D=0°로 설정하여 1수준에 배치하고, 후보값 중에서 초기 설계값과 인접한 A=2.40mm, B=A6260-T4, C=0.95mm, D=-15°를 2수준으로, A=3.20mm, B=A6063-T6, C=1.05mm, D=3°를 3수준으로 배치한 후

Table 2 Assignment of design variables to the  $L_9(3^4)$  orthogonal arrays

Experiment No.	Column number and factor assigned			
	1	2	3	4
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

행렬실험을 실시하고 반복과정을 통해 해를 찾는다. 종료조건은 반복과정에서 구한 최적해와 다음 반복과정에서 구한 최적해가 같으면 종료한다.

앞에서 설명한 바와 같이 최적화를 수행한 결과 Table 3과 같이 최종 설계값으로 A=2.0mm, B=A6063-T4, C=1.05mm, D=-15°를 얻게 되었다. Fig. 10은 충격지점별 초기의 머리상해값과 최적화 후 최종 머리상해치의 결과 비교 그래프이며, 특성치가 개선되었음을 알 수 있었다. Fig. 11과 Fig. 12는 설계변수의 변화를 나타내었다.

Table 3 Results of the active hood lift system

Number of iteration	Design variable				Characteristic value $\eta_{res}$
	A	B	C	D	
Initial	2.8mm	A6061-T4	1.0mm	0	3975.7
3 <sup>rd</sup>	2.0mm	A6063-T4	1.05mm	-15	3311.3

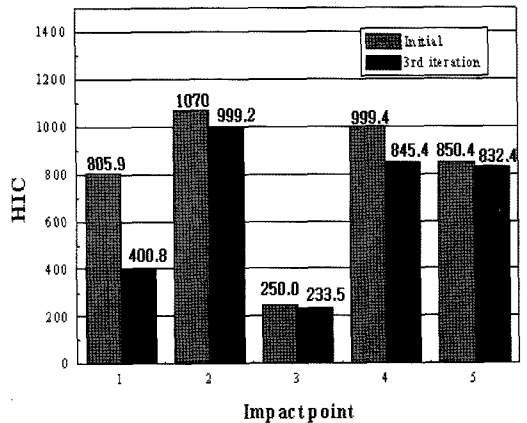


Fig. 10 History of the objective functions

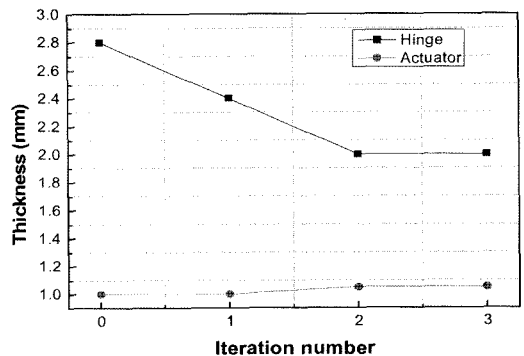


Fig. 11 History of the design variables for the hinge and the actuator thickness

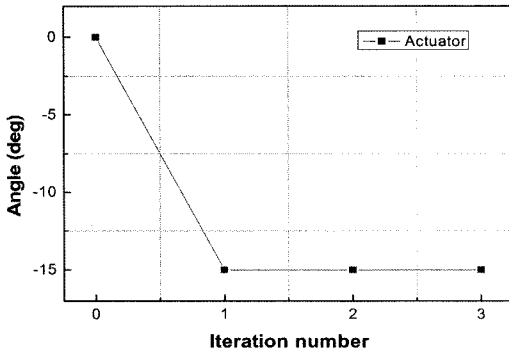


Fig. 12 History of the design variables for the actuator angle

최적화 과정에 따른 설계변수의 변화를 살펴보면 힌지두께는 감소하고 액추에이터 두께는 증가하였으며 액추에이터 각도는 감소하였다. 재질의 경우는 초기설계시의 재질보다는 연성인 방향으로 간다는 것을 알 수 있었다.

## 5. 결론

자동차의 전면 구조물을 개선하는 것도 효과적이지만, 구조물을 개선하지 않고 보행자 보호기준을 만족하는 액티브 후드 리프트 시스템을 장착이 필요하다. 순차적 알고리즘을 이용하여 액티브 후드 리프트 시스템의 최적화를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Directive 70/156/EEC (2003/102/EC)의 2단계 기준을 만족하는 머리모형 해석을 수행하였다.
- 2) 직교 배열표를 이용한 순차적 알고리즘을 이용하여 보행자를 보호하는 액티브 후드 리프트 시스템의 성능을 개선하였다. 초기 설계값에서 머리상해치의 합은 3975.7이었고, 최적화 과정을 수행한 결과 3311.3으로 16.7% 감소하였다. 충격 지점에서의 머리 상해값을 살펴보면, 충격지점 1에서는 50.2% 감소하였다. 충격지점 4에서는 초기 설계값의 머리 상해값 999.4에서 845.4로 15.4% 감소하였다. 충격지점 2, 3, 5는 초기 설계값의 머리 상해값 보다는 감소하였지만 10%미만이었다.
- 3) 제한조건을 만족하면서 목적함수의 머리상해치의 합을 최소화 하였고, 설계변수의 최종적인 수준값을 결정하였다.

- 4) 설계변수가 이산설계공간에서 존재하는 문제에서 직교배열표를 사용하여 순차적으로 최적해를 구하였다. 직교배열표를 사용하므로 비교적 적은 함수 계산만으로도 이산공간에서 우수한 해를 구할 수 있었다.

## 후 기

이 연구는 건설교통부의 국가교통핵심기술개발 사업 중 보행자 보호를 위한 첨단안전차량 개발 연구 및 한국과학재단 지정 최적설계신기술연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- 1) UNECE/TRANS/WP.29/AC.3/7, "Proposal to Develop a Global Technical Regulation Concerning the Protection of Pedestrians and Other Vulnerable Road Users in Collision with ehiccles," <http://www.unece.org/trans/main/welcwp29.htm>, 2004.
- 2) P. J. Schuster, "Evaluation of the Real-world Injury-Reduction potential of the Proposed European Pedestrian Leg-form Impact Test Using a Detailed Finite Element Model of the Lower Limb," Michigan Technological University, 2000.
- 3) A. M. Nahum and J. W. Melrin, Accidental Injury Biomechanics and Prevention, Springer-Verlag, pp.539-566, 1993.
- 4) S. J. Ashton, J. B. Pedder and G. M. Mackay, "Pedestrian Injuries and the Car Exterior," SAE 770092, 1977.
- 5) K. H. Lee, J. W. Yi, J. S. Park and G. J. Park, "An Optimization Algorithm using Orthogonal Arrays in Discrete Design Space for Structures," Finite Elements in Analysis and Design, Vol.40, Issue 1, pp.121-135, 2003.
- 6) J. W. Yi, "A Sequential Algorithm Using Orthogonal Arrays in Discrete Space," Ph. D. Dissertation, Hanyang University, Seoul, Korea, 2004.
- 7) G. J. Park and B. S. Kang, Analytic Methods for Design Practice, Springer-Verlag, London,



2006. (To be published).
- 8) LS-DYNA3D User Manual, Livermore Software Technology, Co, 2003.
  - 9) C. Cavallero, D. Cesari, M. Ramet, P. Billault, J. Farisse, B. Seriat-Gautier and J. Bonnoit, "Improvement of Pedestrian Safety: Influence of Shape of Passenger Car-Front Structures Upon Pedestrian Kinematics and Injuries: Evaluation Based on 50 Cadaver Tests," SAE 830624, 1983.
  - 10) H. B. Pritz, "Comparison of the Dynamic Responses of Anthropometric Test Devices and Human Anatomic Specimens in Experimental Pedestrian Impacts," 21st Stapp Car Crash Conference P-77, SAE780894, 1978.
  - 11) G. J. L. Lawrence, B. J. Hardy, J. A. Carroll, W. M. S. Donaldson, C. Visvikis and D. A. Peel, A Study on the Feasibility of Measures Relating to the Protection of Pedestrians and Other Vulnerable Road Users-Final Report, Transport Research Laboratory, United Kingdom, 2004.
  - 12) EEVC Working Group 17 Report, Improved Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Affected by Passenger Cars, European Enhanced Vehicle-Safety Committee, 1998.
  - 13) J. W. Lee, "Vehicle Hood and Bumper Structure Design to Mitigate Casualties of Pedestrian Accidents," Ph. D. Dissertation, Hanyang University, Seoul, Korea, 2004.
  - 14) Y. H. Han and Y. W. Lee, "Development of a Vehicle Structure with Enhanced Pedestrian Safety," 2003 World Congress & Exhibition, 2003-01-1232, Detroit, MI, USA, 2003.