<기술논문>

철도차량 접촉사고자 보호 에어백 개발연구

유 완 동* · 함 정 식 · 조 규 상

오토리브 시스템개발팀

Development and Feasible Study of Train to Pedestrian Protection Airbag

Wandong Yoo* · JounSik Ham · Kyuesang Cho

System Engineering Team, AUTOLIV KOREA, 436-1 Song-ri, Dongtan-myeon, Hwasung-si, Gyeonggi 445-810, Korea
(Received 7 September 2011 / Revised 13 October 2011 / Accepted 13 December 2011)

Abstract : This paper deals with the development and feasible study of the train to pedestrian protection airbag. The concept of the airbag system is to protect the pedestrian like as workers on railroad. The airbag system includes cushions, gas generators, a housing, sliding fixture, anti-bouncing airbag, and a leg protection bumper. Those things were designed and fabricated. The performance of the airbag system was evaluated in the sense of the static deployment test, drop test, dynamic motion test and field(train level) test. The deployment logic, TTF(Time to fire), and the inner pressure of the cushion were also investigated for the airbag.

Key words : Train to pedestrian airbag(철도차량 접촉 사고자 에어백), Railroad pedestrian(철도 보행자), Pedestrian airbag(보행자 에어백), Pedestrian injury(보행자 상해), Pedestrian accident(보행자 사고)

1. 서론

철도차량은 고속 주행 및 큰 자체 중량을 가지고 있어, 주행 중 선로 위 보행자를 발견해도, 비상제동 거리의 한계로 대인 접촉사고를 회피하기 어렵다. 국내에서는 매년 200건 이상의 열차 대인 접촉사고가 발생하고 있고, 대부분 사망 또는 중상 등 그 피해가 심각하다. 특히 전체 열차 대상의 대인접촉사고 피해 유형별 조사에 따르면, 사망 비율이 전체의 74%로 매우 심각한 실정에 있다.¹⁾ 이런 현실에서 철도차량 접촉사고자 에어백 개발로 대인 사고 시, 사망 사고를 중상으로, 중상을 경상으로 완화할 수 있다면, 경제적 효과 및 사회적 효과는 매우 크다고 기대된다. 국립과학수사연구소 부검사례에 따르면, 사망 원인이 두부손상 및 늑골 쇄골 심 폐 간 등 장기 손상에 의한 것이 대부분인 것으로 밝혀져 있다.²⁾

철도차량 접촉사고자 에어백은 사고자 신체전체의 보호를 목적으로 하기 때문에 에어백의 용량이 매우 크고, 몇 개의 에어백이 조합을 이루어야 한다. 또한, 압력도 목적에 따라 다양하며 내압이 높은 에어백도 필요로 한다. 통상 자동차에 사용되는 차량 내 승객 보호를 위한 에어백과 완전히 다른 개념의 에어백이다. 본 연구에서는 철도차량 접촉사고자 보호를 위한 에어백과 철도차량 하부에 장착되어 보행자 감지시 앞으로 돌출되어 보행자를 포집하는 에어백 장착 구조물을 개발하였다. 개발된 에어백 시제품을 전개시험 및 유사현장시험(실차수준)을 통해 그 성능을 확인하였다.

2. 접촉사고자 보호에어백 시스템 설계

Table 1과 2는 접촉사고자 에어백 개발연구를 위해 계산된 설계기준이며, 이 설계기준을 바탕으로 Fig. 1과 같이 전체적인 에어백 시스템을 구성하였다.

*Corresponding author, E-mail: Wan-Dong.Yoo@autoliv.com

Table 1 The specification of the airbag

Cushion	Gas generator		Vent hole	Volume (liter)		TTF (ms)
	Qty.	Bag internal pressure		Before	After	
Upper airbag	1	60kPa	None	145	237	$T_{1-3}=1020$
Lower airbag	4	25kPa	6 EA	570	836	$T_{2-1}=50$
Anti bouncing airbag	1	60kPa	None	145	237	$T_{2-2}=450$
Leg bumper	Distance : 2.4m, 4t steel / both side accordion design					

Table 2 The calculation result for the sliding fixture movement

Sliding fixture	Gas generator		Stop energy (Honeycomb)	Firing velocity	TTF (ms)
	Qty.	Energy			
Sliding airbag housing	1	4000 J	360psi 145*120*60	5m/s	$T_{1-1}=0$
PLP (Pryotechnic lap pretensioner)	2	N/A	N/A	N/A	$T_{1-2}=1000$

Fig. 1 The concept design of the train to pedestrian protection airbag system

2.1 개념설계

Fig. 1의 접촉사고자 보호 에어백 시스템의 콘셉트(concept)디자인은 MADYMO를 이용하여 Fig. 2와 같이 모델링 되었다. 접촉사고자 에어백은 Fig. 2와 같이 접촉사고자를 보호할 수 있는 에어백 쿠션, 에어백 쿠션을 부풀리기 위한 가스발생장치, 에어백 쿠션 및 가스발생장치를 장착시키기 위한 하우징, 그리고 에어백 시스템이 접촉사고자 포집을 하

Fig. 2 The concept modeling of the train to pedestrian protection airbag system

기 위하여 설계된 에어백 구조물 시스템으로 구성되어 있다. 이 가상의 콘셉트 디자인을 현실화 하는 것이 본 개발연구의 주된 내용이다.

2.2 에어백 시스템 설계

Fig. 3은 접촉사고자 포집을 위한 에어백 시스템 구조의 상세 설계이다. 에어백은 V-형태의 하부에어백(Lower Airbag)과 상부에어백(Upper Airbag), 이탈방지펜스 에어백(Fence Airbag)으로 구성되어 있고 에어백에 가스공급을 위한 가스공급장치(Inflator)가 각각 별도의 시스템 구조를 가지고 있다. 상부에어백 구조물은 수평에서 70도 각도로 기울어져 있어, 접촉사고자를 에어백 안으로 포집할 수 있게 했다. 또한, 다리걸림장치(bumper)가 에어백 시스템 앞에 가로놓여 있다.

사고자 포집을 위한 에어백시스템의 작동원리는 Fig. 4와 같다. 접촉사고자 감지장치에서 보행자를 감지하면, 철도차량 하부에 장착되어 있는 에어백

Fig. 3 The detail drawing of the airbag system

Fig. 4 Operation of the train to pedestrian protection airbag system

시스템이 사고자 포집을 위해 철도차량 앞으로 돌출되며, 보행자가 근접거리로 접근되면 에어백이 작동되면서 안전하게 포집한다.

2.3 에어백 설계

2.3.1 하부에어백 설계

하부에어백은 사고자의 머리 및 흉부의 충격을 완화하여 보호하는 것을 목적으로 한다. Fig. 5와 같이 V-형상의 에어백은 직경 300mm 원통형 챔버(chamber)로 설계된다. 각각의 원통형 챔버는 독립되어있고, 서로 연결되어 4개의 챔버가 하나의 하부에어백을 구성한다. 가스공급장치 모두 4개로 독립적으로 각각의 챔버에 가스를 공급한다. 하부에어백은 6개의 가스배출구멍(Vent hole)을 가지고 있으며, 하부에어백 중간 지점에 위치하여 접촉사고자의 머리가 하부에어백 닿을 시 효과적으로 에어백 내부 가스를 배출할 수 있다.

4개의 원통형 챔버의 개수를 증가시키면 보호영역을 쉽게 확장시킬 수 있는 것이 하부 에어백 설계의 특징이다. 이번 설계에는 가스 공급에 의한 쿠션손상을 최소화하는 Fig. 6의 인너튜브(Inner tube) 기술이 적용되었다. 이는 가스공급장치의 점화시, 최초의 강한 폭발력으로부터 하부에어백 내부손상을 최소화 한다. 또한, 가스의 공급을 유도하여 빠른 시간내에 에어백이 팽창되도록 한다. 인너튜브는 단위면적당($1m^2$) 120그램(gram)의 실리콘으로 특별히 코팅(coating)된 두겹의 에어백 원단을 겹쳐 봉제

Fig. 5 Lower airbag

Fig. 6 Inner tube and assembly

Fig. 7 Lower airbag housing and protection cover

(sewing)하여 제작하였다.

Fig. 7은 하부에어백에 가스를 공급하는 하우징(Housing)장치와 하우징 보호커버(Cover)를 보여주고 있다. 하우징 장치는 4개의 가스발생장치를 장착할 수 있는 구조이고, 각각 독립적으로 원통형 챔버에 가스를 공급한다. 하우징 보호커버는 접촉사고자 포집 과정에서 접촉사고자가 에어백과 접촉 후 앞으로 리바운드(Rebound)되어 나오는데, 하우징 장치 구조물과의 직접충돌로부터 접촉사고자를 보호하기 위해 커버를 설계하였다.

2.3.2 상부에어백 설계

직경 300mm 단일 원통형 모양인 상부에어백은 Fig. 8과 같이 설계되었고, 전개 초기에 70도 구조물을 들어올리며 그 후 전도되는 접촉사고자의 하지를 보호한다. 또한, 접촉사고자가 계속 회전하는 것을 방지하여, 최종적으로 접촉사고자를 안전하게 포집하게 하는 역할을 한다.

상부에어백은 설계 목적상 장시간 내부압력을 유지해야 하기 때문에 가스배출 또는 누출이 없어야 한다. 상부에어백은 1개의 가스발생장치를 이용하

Fig. 8 Upper airbag

Fig. 9 Upper airbag housing

여 에어백에 가스를 공급한다. Fig. 9 하우징의 가스 발생장치로부터 발생한 가스는 분기된 파이프(Pipe) 양쪽을 통해 상부에어백 쿠션을 팽창시킨다. 이 설계는 가스가 균일하게 양쪽으로 균일하게 공급되고 빠른 인포지션(In-position)을 목적으로 한다.

2.3.3 이탈방지펜스에어백 설계

철도차량 접촉사고자의 충돌시 거동(Kinematics)을 MADYMO를 통해 분석한 결과, 사고자는 하부 및 상부 에어백에 의해 완충되어 보호되었다가 Fig. 10과 같이 밖으로 이탈되는 거동을 보여준다. 이를 방지하기 위하여 이탈방지펜스 에어백을 Fig. 11과 같이 설계하였다.

Fig. 10 Anti-bouncing airbag and kinematics

Fig. 11에서 보이는 펜스(Fence)는 에어백의 이탈 방지기능을 보강하고, 이는 이탈방지펜스 에어백에 의해 90도 위치로 작동된다.

Fig. 11 Anti-bouncing airbag support fence

2.3.4 다리걸림장치(범퍼) 설계

접촉사고자 포집을 위한 1단계로 Fig. 12와 같은 접촉사고자 다리걸림장치가 필요하다. 이 다리걸림

Fig. 12 Leg bumper

장치는 접촉사고자를 안정적으로 포집하기 위해 가장 중요한 역할을 하게 된다. Fig. 12의 설계는 MADYMO 해석결과물로, 개념설계 원안에 충실하게 설계 및 제작하였다. 이 장치는 양쪽을 아코디언(Accordion)모양으로 굽혀서 접촉사고자다리가 다리걸림장치와 충돌할 때 아코디언 부분이 일정양의 충격을 완화하면서 접촉사고자를 회전시켜 하부에어백 안으로 전도시키는 역할을 하게 된다.

2.3.5 공기배출구멍(Vent hole) 설계

하부에어백은 사고자 머리 및 흉부 보호를 목적으로 하기 때문에, 상해(Injury)감소를 위해 공기배출구멍(Vent Hole)이 필수적이다. MADYMO 해석결과에 따르면, 공기배출구멍면적은 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 사각구멍 20개 즉, $12,500\text{mm}^2$ 와 같은 유효면적이 필요하다. 따라서, OPW(One Piece Woven)쿠션의 특성을 감안하여 Fig. 13과 같은 형상의 공기배출구멍 6개를 설계하였다. 이 구멍들의 유효직경은 50mm 이다. 따라서 6개 공기배출구멍의 공기배출면적 합은 $11,775\text{mm}^2$ 으로, 해석결과와 유사하게 설계되었다.

Fig. 13 Vent hole

2.3.6 에어백 보호성능 예측(simulation)

Fig. 14는 철도차량 접촉 사고자 보호 에어백의 유무에 따른 접촉 사고자의 거동을 나타내고 있다. 에어백이 없는 경우 사고자는 Fig. 14의 왼쪽과 같이 열차의 앞부분에 의해 직접 타격이 되고 그 타격위치가 머리와 가슴 쪽에 집중되는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 충돌에 의해 접촉사고자가 심각한 상해를 입을 수 있다는 것을 쉽게 예측할 수 있다. 반면, 에어백이 있는 경우에는 Fig. 14의 오른쪽과 같이 사고자가 에어백 안으로 포집되어 충격 에너지가 흡수되는 형태의 거동을 볼 수 있다.

Fig. 14의 각각 상황에 따른 접촉사고자의 상해는 분석 소프트웨어(Software)인 DIADEM을 통해 Fig. 15와 같이 정리되었다. 사고자가 열차의 앞부분과 충돌 시에 머리 쪽에 발생하는 HIC(Head Injury Criterion)는 3,230,442로서 이 수치는 사고자를 바로 사망에 이르게 할 수 있는 수치이다. 반면, 에어백이 있는 경우에는 최대 HIC가 391로 나타났으며, 이는 자동차 충돌 시에 기준 상해를 규정한 법규(Regulation)에서 승객이 사망하지 않는 안전한 상태라는 기준 값 1000 이하로서 접촉사고자 에어백이 있는 경우 안전하게 접촉사고자를 보호할 수 있음을 의미한다.

Fig. 14 Pedestrian kinematics in crash

Fig. 15 Pedestrian injury with or without airbag

2.4 슬라이딩 에어백 구조물 설계

2.4.1 구조물 설계

에어백 구조물은 철도차량 앞부분의 아래쪽에 장착되어 있다가 감지 시스템이 보행자를 감지하면, 사고자를 보호할 수 있는 위치로 이동할 수 있도록 설계되었다. 이 시스템을 발사시키기 위하여 Fig. 16과 같은 피스톤(Piston)시스템을 설계하였으며, 이 피스톤시스템에 의해 에어백 구조물은 접촉사고자와 충돌 전에 철도차량 앞으로 돌출되어진다.

Fig. 16 Piston system for sliding structure motion

피스톤 시스템의 발사 에너지(Energy)는 Fig. 17의 가스발생장치이며, 그 개수를 한 개 또는 두 개로 하여 발사속도를 변화시킬 수 있도록 설계하였다.

Fig. 17 AUTOLIV APH-3 HYBRID inflator

2.4.2 구조물 해석

슬라이딩(Sliding) 에어백 구조물(Structure)은 철도차량 하부에 장착되어 있다가, 감지 시스템이 보행자를 감지하면 가스발생장치의 폭발력에 의해 빠른 속도로 돌출되어 사고자를 포집할 수 있는 위치로 자리한다. 이 돌출을 위한 강한 폭발력은 슬라이딩 에어백 구조물에 변형을 야기하고, 또한 빠른 속도로 돌출된 슬라이딩 에어백 구조물이 멈추는 그 순간에 운동에너지가 멈춤장치(Stopper)에 집중되며 변형이 발생한다. 이러한 변형은 슬라이딩 에어백 구조물의 접촉사고자 포집을 위한 동작을 불가능하게 할 수 있기 때문에, Fig. 18과 같이 LS-DYNA를 통해 해석 후 최적화하였다. 최종해석결과는 Fig. 19

Fig. 18 The prediction of structure stability

Fig. 19 The result of prediction of structure stability

와 같이 나타났으며, 강한 폭발력에 의한 추진에도 피스톤 부분의 변형이 극히 적어 슬라이딩 구조물의 선형적인 발사는 문제가 없을 것으로 예측되었고, 슬라이딩 구조물에 대한 설계는 타당한 것으로 검증되었다.

Fig. 20의 왼쪽의 원안의 장치들은 슬라이딩 구조물의 멈춤을 위해 설계된 것들이다. 이 부분의 설계 타당성을 검증하기 위하여 Fig. 20의 오른쪽과 같이 초기속도 5m/s의 조건으로 해석을 실시하였다.

Fig. 20 The prediction of stopper stability

Fig. 21 The result of prediction of stopper stability

해석결과와 Fig. 21과 같이 나타났으며, 이 결과를 통해 설계가 충분한 강성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 이 해석결과들을 바탕으로 슬라이딩 에어백 구조물을 제작하였다.

3. 접촉사고자 보호 에어백시스템 평가시험

에어백 정전개시험(Static deployment test)의 목적은 전개가 안정적인지, 혹은 찢어짐(Rupture)등 이상 현상이 발생하는지를 확인하는 것이다. 그 외 추가로 에어백 내부압력 및 만개(Full deployment)까지 소요되는 시간 등도 확인한다. 에어백 구조물 시스템(Airbag structural system)의 시험목적은 시스템이 실제로 발사가 되어 포집위치로 돌출되는지 확인하며, LS-DYNA의 해석결과로 나타난 취약부의 보강 설계가 효과적이었는지 확인한다. 또한, 발사체에 의한 최종속도가 충돌 시나리오(Scenario)에 대응 가능한 속도인지 확인한다.

3.1 에어백 평가시험

3.1.1 접촉사고자 보호 하부에어백

하부에어백은 OPW 쿠션(Cushion) 위에 에어백 원단이 더 덮여 있지만, 본 시험에서는 하부에어백의 이상 유무를 육안으로 점검하기 위하여 Fig. 22와 같이 원단을 제거하여 평가시험을 실시하였다. 하부에어백 평가 시험 후 육안검사결과 OPW 쿠션의 찢어짐이나 하우징에서의 이탈현상은 발생하지 않았다. 이는 지속적인 개선을 통하여 제품의 완성도를 높였기 때문에 나온 결과라고 볼 수 있다.

Fig. 22 Evaluation test of lower airbag

3.1.2 접촉사고자 보호 상부에어백

상부에어백은 장착된 70도 구조물을 들어 올리는 역할을 한 후, 그대로 전개 위치를 유지하며 접촉사

Fig. 23 Evaluation test of upper airbag

고자의 하지(Tibia)를 보호할 수 있는 상태여야만 한다. 에어백 시스템은 철도차량 앞에서 계속 주행하기 때문에 바람의 영향을 받을 수 있다. 본 시험에서는 Fig. 23과 같이 실제 시험조건인 55km/h로 움직이는 대차(Carriage) 조건을 만들어 평가를 실시하였고, 평가결과 55km/h의 속도로 움직이는 상태에서도 하지를 보호할 수 있는 위치에 이상 없이 전개되었다. 또한, 육안검사결과 찢어짐이나 하우징에서의 이탈현상은 발생하지 않았다.

3.1.3 에어백 내부압력분석

Fig. 24의 압력(Pressure) 선도(Graph)는 에어백 전개시의 내압측정 결과이다. MADYMO 해석결과에 따르면, 하부에어백의 최대내부압력은 17kPa이고, 상부에어백의 최대내부압력은 65kPa이다. 에어백 전개시험에서 측정된 하부에어백의 최대내부압력은 20kPa이었고, 상부에어백의 최대내부압력은 70kPa이었다. 이것은 해석결과와 거의 유사하며, 실제 적용시 접촉사고자 포집에 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

Fig. 24 Airbag inner pressure

3.1.4 에어백 TTF(Time to fire)

접촉사고자 에어백 MADYMO 해석결과와 시제품에 대한 정적 전개시험 결과를 분석하여, Fig. 25와 같이 충돌 시나리오를 예측하였고, 이를 통해 각 에어백에 대한 TTF(Time to Fire)를 결정하였다.

Fig. 25 Crash scenario and TTF

3.1.5 에어백 낙하(Drop)시험

이 시험은 충격기(Impactor)를 지구중력(Gravity)을 이용, 전개된 에어백에 충돌시켜 반발력을 평가하는 시험으로 간단하지만 에어백의 성능을 평가하는 매우 효과적인 방법이다. 사고자 하지와 상부에어백 접촉시의 조건은 Table 3으로 정의되었고, Fig. 26과 같이 보행자 하지형태를 고려한 지그를 설계 및 제작하여 시험을 실시하였다. 이 시험지그에 하중계(Loadcell)를 부착하여 접촉시 하지에 가해지는 힘도 측정할 수 있도록 하였다.

Fig. 26 Pedestrian lower leg drop testing jig

Table 3 Drop test condition

Impact between upper leg and airbag	Dynamic drop testing condition
- Impact Velocity = 90% of Train velocity (55km/h)	- Drop Mass = 50kg
- 90% of 55km/h = 49.5 km/h (14.8m/s)	- Velocity = 6.64m/s
- Mass of one leg = 11.7kg	- Drop Height 2.25m
- Kinetic Energy(K.E) = 1102 (J)	- K.E = 1102 (J)

시험은 2회에 걸쳐 실시가 되었다. Fig. 27 위쪽은 공기배출구멍이 없는 사양의 에어백이고, 아래쪽은 양쪽 측면에 15mm×20mm 크기의 공기배출구멍을 한개씩 가지고 있는 에어백이다.

Fig. 27에서 공기배출구멍이 있는 경우 지그(Jig)가 좀 더 에어백을 누르는 현상을 볼 수 있으며 이는

Fig. 27 Airbag drop testing - front view

지그가 에어백에 접촉하는 순간 공기배출구멍에 의해 에어백 내부의 가스가 배출되어 에어백이 좀 더 부드러워지기 때문이다. 이는 자동차용 에어백에서 상해를 저감하기 위해 많이 사용하는 기술이다. Fig. 28은 시험 데이터(Data)중 반발력(Retardation) 성분만을 정리한 것이다. 공기배출구멍이 없는 경우 최대 값은 충격가속도의 25.1배, 공기배출구멍이 있는 경우 18.8배의 결과를 얻었으며, 공기배출구멍이 있는 경우 충격량을 25% 감소시키는 결과를 알 수 있었다. Fig. 29는 시험데이터중 하지(Tibia)의 하중을 겹쳐서 그린 선도로서 여기서도 마찬가지로 하지에 가해지는 하중이 공기배출구멍의 적용에 따라 28% 감소되는 것을 알 수 있다. 이 시험결과들을 반영하여, 공기배출구멍을 적용하는 것을 검토하였다.

Fig. 28 Drop testing acceleration and FD curve

Fig. 29 Drop testing tibia force result

3.2 에어백 슬라이딩 구조물 평가시험

3.2.1 인하우스(in-house) 동작평가

실제 상황과 유사한 수준으로 에어백 구조물을 평가하기 위하여, Fig. 30과 같이 레일시스템(Rail System) 시뮬레이터를 설계 및 제작하여 설치하였고 이를 이용하여 에어백구조물의 동작평가 시험을 실시하였다.

Fig. 30 Rail system testing simulator

시험은 Fig. 31과 같이 모든 에어백을 설치된 상태로 진행하였고, 정해진 TTF(Time to fire)를 입력하였다. Fig. 32는 슬라이딩 에어백 구조물이 철도차량 앞으로 발사되어 보행자 포집 전 정지를 하도록 하는 멈춤 장치로서, 단위면적당 360PSI를 견딜 수 있는 알루미늄 재질의 허니콤(Honeycomb)이다. 실제 에어백 구조물의 발사속도는 약 4.34m/s로서 3582J의 에너지를 가지게 된다. 허니콤은 양쪽에 각각 1개씩 장착되며 안전을 위해 발사에너지보다 30% 많은 총 4825J의 에너지를 흡수할 수 있도록 145mm(폭)×125mm(높이)×60mm(두께)의 크기로 결정하였다.

Fig. 31 Airbag assembly before testing

Fig. 32 Sliding airbag structure stopper

Fig. 33 Airbag assembly final testing result

Fig. 34 Field test setup

Fig. 33은 에어백 구조물 평가시험의 결과이다. 모든 에어백은 정상적으로 전개되었으나 70도 구조물이 완전하게 고정되지 못하는 현상이 발생하였다. 이런 현상이 발생한다면, 접촉사고자를 완전하게 포집하지 못할 확률이 높아지게 된다. 원인 분석을 한 후 70도 구조물 뒤쪽으로 보조 장치를 추가함으로써 구조물의 동작에 오류가 없도록 하였다.

충돌시나리오는 55km/h였지만, 시험환경을 고려

Fig. 35 Field test result : successful catching

하였을 때 안전하다고 판단된 30km/h로 시험을 진행하였다. Fig. 34의 사각형안의 구조물(Structure) 아래 부분이 접촉사고자 보호 에어백 시스템이다.

철도차량 접촉사고자 보호 에어백 시스템의 평가를 위하여, Hybrid III 50th 남성보행자 인체모형을 사용하였으며 시험결과는 Fig. 35와 같다. 감지시스템에 의해 인체모형이 감지되고, 감지시스템은 계측장비(DAS)에 트리거(trigger)를 인가하였다. 입력된 TTF(Time to fire)에 따라 순차적으로 슬라이딩 구조물이 발사되고, 그 후 70도 구조물 고정 장치가 풀려 상부 에어백이 동작할 수 있는 환경을 만들어 준다. 상부 에어백의 전개에 따라 70도 구조물이 위쪽으로 들려서 접촉사고자를 보호할 수 있는 상태로 된 후 하부 에어백이 전개되었다. 하부 에어백 전개 후 보행자는 전도되어 접촉사고자 보호 에어백 안으로 들어오게 되었고, 보행자 루프볼트(roof vault) 거동 후 리바운드 되어 나가는 보행자는 이탈방지펜스에 에어백 및 사이드보조펜스가 적절한 순간 동작되어 이탈을 방지하였다. 그 결과 에어백은 안전하게 인체모형을 포집하였다. 70도 구조물 지지 장치 및 추가 고정 장치, 사고자하지 보호범퍼 등도 이상 현상 없이 동작하였다.

4. 결론

- 1) 접촉사고자 보호 에어백 시제품을 설계 및 제작하였고 결과물은 설계기준을 만족하였다.
- 2) 접촉사고자 에어백 전개시험 결과 정상적으로 전개되었고, 찢어지는 등 이상 현상은 없었다.
- 3) 에어백에 대한 낙하시험결과 가속도는 최대 25G의 결과를 얻었고, 쿠션의 찢어짐도 없었다.
- 4) 충돌속도 30km/h에서 Hybrid III 50th 성인남성 보행자 더미를 이용한 실차수준의 최종확인 시험결과 성공적으로 보행자더미를 포집하였다. 시험동영상 분석결과 MADYMO 해석 결과와 매우 유사한 더미 거동을 확인할 수 있었다.
- 5) 개발된 에어백은 성능확인시험을 염두에 둔 설계이기 때문에 다수의 안전장치들이 추가되어 있고, 따라서 실용화를 위해서는 차량용 에어백 개발과 마찬가지로 단순화 및 경량화와 같은 별도의 연구가 추가적으로 필요하다.

후 기

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 “미래철도 기술개발사업”을 통해 수행된 것으로, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- 1) J. S. Koo, H. J. Cho, S. I. Lee and T. S. Kwon, “Statistical Study of Train-to-human Collision Accidents,” Proceedings of the KSR Conference, pp.33-44, 2006.
- 2) Y. S. Choi, Accidental Railway-related Fatalities, Annual Report of NISI, Vol.34, 2005.
- 3) R. Fredriksson, E. Flink and O. B. K. Backman, “Injury Mitigation in SUV-to-pedestrian Impacts,” Proceedings of the ESV Conference, Paper No.07-0380, 2007.
- 4) Y. Matsui, A. Wittek and M. Tanahashi, “Pedestrian Kinematics Due to Impacts by Various Passenger Cars Using Full-scale Dummy,” Int. J. Vehicle Safety, Vol.1, Nos1/2/3, 2005.
- 5) W. D. Yoo, J. S. Ham, K. S. Cho, T. S. Gwon and H. S. Jung, “Development and Feasible Study of Train to Pedestrian Protection Airbag,” Annual Conference Proceedings, KSAE, pp.3259-3268, 2010.