◎ 논 문

동승석 최고 충돌성능 달성을 위한 액티브 벤트 에어백 기술 개발

유재행* · 신효섭** · 김태인** · 배한일** · 이성우***

A Development of Active Vent Airbag for the Passenger New NCAP

Yoo Jaehaeng*, Shin Hyoseup**, Kim Taein**, Bae Hanil**, Lee Seungwoo***

Key Words : NCAP(상품성 시험, New Car Assessment Program), Passenger Airbag(동승석 에어백), Active Vent(액티브벤트), Tether(테더), Tether Cutter(테더 커터), Dummy(더미), HIC(머리상해치), Neck Injury(목상해치), NHTSA(미국도로교통부, National Highway Traffic Safety Administration)

ABSTRACT

For the robust passenger NCAP 5star and the stable neck injury performance, a new concept of passenger airbag has been required strongly. Especially, the deployment stability and the vent hole control technology of the passenger airbag should be improved. According to these requirements, the deployment stability technique has been studied and the 'Active Vent' technology has been developed. As a result, these technologies have led to achieve the robust NCAP rating and are applied to the production vehicles.

1. 서 론

NHTSA(미국도로교통부)는 차량의 충돌 상품성을 평가하기 위해 11MY이후 양산 차량부터 강화된 NCAP 시험 방법을 적용하고 있다. 강화 NCAP이 도입된 지 약 2년이 지난 현 시점에 많은 차종이 종합 5★를 달성하고 있다. 하지만 종합 5★를 달성하였더라도 상해 결과 상세를 면밀히 분석해 보면 문제점이 많이 있는 게 사실이다. 우선 NCAP 충돌 성능 마진이 부족하고 시험 간의 성능 편차가 크게 발생하고 있다. 또한 개별 상해 성능이 골고루 우수하지 않다. 예를 들어, 정면 충돌 성능은 부족하지만 측면 충돌 성능이 우수하여5★를 달성한 차종들도 있다.

특히, 충돌 시험 더미가 50%ile에서 5%ile로 변경되고, 목상해 및 가슴 변위 상해를 추가로 측정하는 동승석 정면 NCAP성능의 경우 동승석 개별 충돌 성능이 부족하고 성능 마진이 부족한 차종이 많다.

본 연구에서는 정면 동승석 NCAP 성능의 강건한 머리 및 목 상해 성능을 확보하기 위해 연구하였다. 이를 위해 동승석 에어백의 요구 사항을 정의하고 요소 기술을 개발하였다. 이 기술 개발을 통해 마진있는 동승석 5★를 달성했고 양산 차종에 적용하였다.

* 현대자동차
** 현대자동차
*** 오토리브 코리아
E-mail : jaehaeng@hyundai.com

2. 본 론

2.1 동승석 에어백 요구 사항

충돌 사고 등으로 에어백이 전개될 경우, 에어백은 시트벨트와 더불어 승객의 머리, 목 및 가슴부를 지지하며, 승객의 거동을 제어하게 된다. 에어백은 에어백 내부 압력으로 승객을 지지하면서 승객의 운동 에너지를 줄여 주며 주로 벤트홀을 통해 배출되는 가스량에 의해 승객 거동 제어 정도가 결정된다. 시트벨트는 로드리미터 하중에 의해 승객의 운동에너지를 줄여 주며, 시트벨트 웨빙이 가슴부를 지지하므로 주로 가슴 거동을 제어하게 된다. 따라서 NCAP시험시 더미의 가슴

변위 상해 성능은 시트벨트에 의해 영향을 받는다고 할 수 있고 머리와 목 상해 성능은 에어백에 의해 영향을 받는다고 할 수 있다.

에어백을 적용하지 않으면 에어백 내압에 의해서 머리에 가해지는 반발력이 없으므로 이상적인 머리 상해를 도출할 수도 있지만, 이는 과도한 더미 거동을 유도하여 크래쉬패드와 머리의 하드 컨택이 발생하기 때문에 현실적으로는 불가능한 방안이다. 에어백을 적용하면서 머리 상해를 최소화 하는 일반적인 방법으로는 에어백 벤트홀을 크게 하여 에어백에 의한 반발력을 최소화 하는 것이다. 하지만 벤트홀이 클 경우는 에어백에 머리가 많이 묻히면서 목꺽임이 과다하게 발생한다. 이상적인 방안은 에어백을 빠르게 전개하여 머리를 조기에 구속한다면 머리 가속도가 증대되기 전에 머리 가속도를 구속하게 됨으로써 머리 운동에너지가 최소화되어 상해 레벨을 줄일 수 있게 된다.(Fig 1)

목상해는 목이 늘어나는 Tension, 목이 수축되는 Compression, 목이 뒤로 젖혀지는 Extension, 목이 앞으로 숙여지는 Flexion으로 인해 발생한다. 목상해가 가장 크고 민감하게 발생하는 조건은 목이 뒤로 젖혀지는 현상인 Neck Extension에 의해 상해이다. 그러므로 에어백은 목이 젖혀지는 현상을 잘 제어해야 한다. 목이 젖혀지는 이유로는 다음과 같은 이유가 있다.

1) 충돌 초기 : 시트벨트 프리텐셔너에 의해 가슴이 구속되는 반면 머리는 구속되지 않아 발생하는 머리와 목의 상대 운동에 의한 목 젖힘 발생
2) 충돌 중반 : (1)에어백 전개가 늦어 머리 구속 시간이 지연되면서 목 젖힘 발생, (2)에어백이 전개되는 과정에서 에어백의 흔들림에 의해서 머리가 들어 올려져 목 젖힘 발생
3) 충돌 후반 : 에어백에 상체가 완전히 로딩된 상태에서 에어백에 머리가 많이 묻히면서 목 젖힘 발생

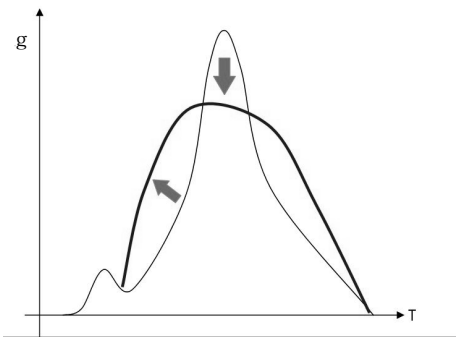

Fig 1. Head injury graph

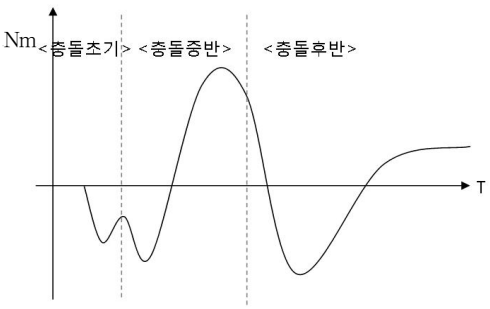

Fig 2. Neck injury graph

즉, Fig.2 그래프에서 보는 바와 같이, Neck Extension은 1차로 시트벨트 프리텐셔너 작동에 의해 발생하고, 2차로는 에어백 전개 지연 또는 에어백

전개 흔들림에 따라 발생한다. 마지막으로는 에어백에 머리가 많이 묻힘으로써 발생한다.

이러한 머리와 목상해 발생 원인을 고려했을 때에 강건한 성능을 확보하기 위해서 동승석 에어백은 빨리 전개되면서 흔들리지 말아야 하고 내압 유지 성능이 우수해야 한다. 이를 통해 동승석 에어백 요구사항들을 정의하였다.

우선 에어백 전개 순서를 규정하였다.(Fig 3) 머리와 목상해 개선을 위해서 에어백은 머리 보호부가 먼저 전개되고 나서 가슴 보호부가 전개되어야 한다. 이러한 순서로 전개되면 에어백이 머리를 빨리 구속할 수 있고, 머리부 에어백이 만개된 후에 가슴부가 전개됨으로 인해 에어백이 전개되는 과정에 머리를 들어 올리는 문제가 개선된다.

두번째로 에어백 전개 속도를 규정하였다. 더미의 운동에너지를 최소화 하기 위해서는 에어백이 빨리 전개되어 승객을 조기에 구속해야 한다. 이를 위해 경쟁

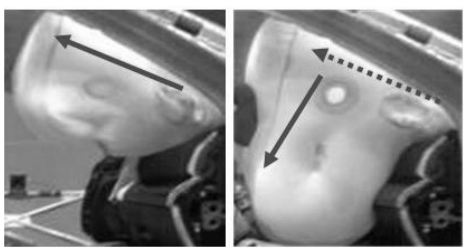

Fig 3. Airbag deployment sequence

차 분석 결과를 통해 에어백 머리부 만개 시간과 에어백 만개 시간을 규정하고 에어백을 전개 성능을 개선하였다.

마지막으로 에어백 변동량(흔들림량)을 규정하였다. 에어백이 전개되는 과정에 에어백이 더미 머리와 접촉한 상태에서 전후 또는 상하로 흔들릴 경우, 목상해가 과다하게 발생한다. 이를 방지하기 위해 전후 변동량과 상하 변동량을 규정하고 에어백을 개선하였다.(Fig 4)

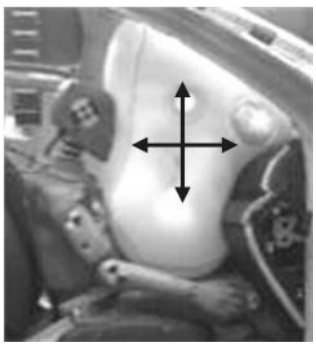

Fig 4. Airbag fluctucation example

2.2 동승석 에어백 개선 사항

정의된 동승석 에어백 요구 성능을 만족시키기 위해 에어백 요소 기술을 개선하고 신기술을 적용하였다.

2.2.1 전개안정성 개선

에어백 전개안정성 확보를 위해 전개 순서 및 전후/상하 변동량을 개선하였다. 에어백 전개시 머리부가 먼저 전개될 수 있도록 하기 위해 폴딩 방법을 개선하였다. 에어백을 폴딩할 때에 쿠션을 턱인(Tuck In)하고 턱인된 부분룰 가접하면, 에어백이 전개될 때에 그 턱인된 부분이 가장 늦게 펼쳐진다는 것을 확인하였다. 그에 따라 에어백 하부를 턱인하고 가접하면 에어백의 상부인 머리부 보호 영역이 먼저 전개되고 나서 에어백 하부인 가슴 보호 영역이 늦게 전개된다. 또한 에어백 하부가 턱인으로 접힌 상태에서 에어백 상부가 전개되므로 적은 볼륨을 고압의 인플레이터가 가압을 하게 되어 에어백이 상대적으로 빠르게 전개됨을 확인하였다. 결론적으로 에어백 하부 턱인은 에어백 머리부가 먼저 전개되는 효과 뿐만이 아니라 에어백이 빨리 전개되는 효과도 있다.(Fig 5)

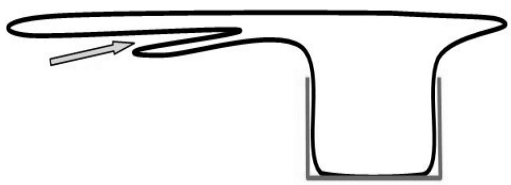

Fig 5. Tuck-in folding

에어백 전개안정성에서 무엇보다도 중요한 것은 에어백 만개 시점의 전후/상하 변동량이라고 할 수 있다. 에어백 쿠션은 Nylon66 재질의 Flexible한 천을 이용해 폐구조로 제작되며, 고압의 화약 가스로 약 50ms라는 짧은 시간에 빠르게 전개 시키는 기술이다. 따라서 에어백이 완전히 펼쳐지는 시점에는 에어백이 출렁거릴 수 밖에 없고, 그에 따라 전후/상하/좌우로 흔들릴 수 있다. 특히, 에어백이 승객쪽으로 펼쳐져 나왔다가 윈드쉴드와 크래쉬패드 사이에 자리 잡는 과정에서 에어백이 좌우로 퍼지게 되며, 이 때에 승객과 접촉하고 있던 에어백 면이 윈드쉴드 방향으로 이동하는 Move-Back 현상이 일어난다. 이 현상은 승객의 머리/목을 뒤로 젖히게 되므로 반드시 개선되어야 한다.

우선 NCAP 우수 경쟁차를 분석하여 에어백 전후/상하 변동량을 측정하고 이 수치를 기술의 한계치로 규정하고 협력사와 에어백 기술을 개선하였다.

이를 위해 우선 쿠션 단품 설계 기술을 개선하였다. 기존의 쿠션 설계 방법이 윈드쉴드면 및 크래쉬패드면과 매칭하는 단순 설계 방법이었다면, 개선한 쿠션 설계 방법은 윈드쉴드 및 크래쉬패드와 일정 부분 간섭되도록 설계하여 윈드쉴드면과 크래쉬패드면 사이에 끼임 현상을 구현하여 최대한 흔들림을 억제하였다.

하지만 이 기술로는 한계가 있어 에어백 쿠션 내부에 '특정 테더' 기술을 적용하였다. 이를 통해 에어백이 승객쪽으로 과도한 속도로 전개되는 것을 억제하고 만개 후 자리 잡는 과정에서 에어백이 좌우로 과도하게 퍼지는 현상을 억제하게 되어 전개안정성 향상을 도모하게 된다.

마지막으로 전개안정성 신뢰도를 확보하기 위해서 ' 쿠션 형상 구현 해석 기법'을 개발했다. 동승석 에어백은 윈드쉴드 및 크래쉬패드와 접촉하면서 전개 형상이 구현되는 3D형상으로 기존에는 시행 착오를 통해 원하는 형상을 구현하였다. 즉, 경험에 의존하여 쿠션을 1차 설계한 후에 부품 제작 및 전개 시험을 통해 원하는 형상이 구현되었는지 확인해야 한다. 보통 1차 설

계 결과로 원하는 형상을 구현하지 못하고 수차례의 설계 변경 및 전개 시험 등의 시행착오를 통해 원하는 쿠션 형상을 도출한다. 이는 시간적으로나 비용적으로 비합리적인 방법이었다. 그에 따라 쿠션을 설계하면 쿠션 전개도를 이용해 에어백 만개 형상을 예측하는 쿠션 형상 구현 해석 기법'을 개발하였다. 실제로 해석 결과와 전개 시험 결과를 비교함으로써 해석 신뢰도를 확보하였다.(Fig 6)

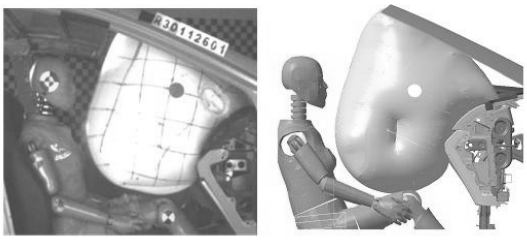

Fig 6. Deployment simulation

2.2.2 LRD 기술 개선

동승석 에어백 전개 속도 및 에어백 내압 유지성을 결정하는 요소 기술 중의 하나는 LRD(Low Risk Deployment) 법규 대응을 위해 에어백 쿠션에 적용한 LRD 기술이라 할 수 있다. LRD법규는 어린이 승객이 에어백 전개력에 의해 사망하거나 상해 당하는 사고를 방지하기 위해서 미국에서 규정하고 있는 충돌 법규로써, 법규 내에 에어백과 근접하게 탑승한 특정 어린이 자세를 규정하고 에어백을 전개시킴으로써 상해 기준을 만족해야 하는 어린이 상해 규정이다. LRD 법규 대응을 위한 LRD 기술 중의 하나는 쿠션에 특정 기술을 적용하여 근접한 어린이 승객이라고 판단될 경우 인플레이터 가스를 최대한 밖으로 배출하는 기술이라 할 수 있다.

일부 LRD 기술은 쿠션 외부에 별도의 테더를 적용하여 에어백 전개초기에 에어백이 승객 쪽으로 전개되는 것을 억제하여 에어백 전개 속도 및 내압 유지 성능 측면에 있어서 상당히 불리한 기술임을 확인하고 개선하였다.

이 기술은 에어백이 저압 전개되었을 경우는 테더가 끊어지지 않기도 하여 에어백이 Split 형상을 유지할 수 있게 유도하여 LRD 법규 보호 성능에는 유리하다. 반면에 정상 착좌한 성인 승객을 보호하기 위해 에어백이 고압 전개되었을 때에는 인플레이터 압력이 테더를 끊기 위해 사용되므로 에어백 전개 속도가 느려지고 에어백 전개 압력 유지 성능이 불리하게 된다.

이러한 기술의 장단점을 비교하고 우수 기술을 벤치마킹하여 LRD 법규 성능도 우수하면서 NCAP 시험 시 압력 손실이 없는 기술을 개발하고 적용하였다.

2.2.3 액티브 벤트 기술 개발

동승석 NCAP 충돌 성능 달성 관련 에어백 내압 유지 요구 사항과 벤트홀과의 관계에 대해서 검토 하였다. 에어백 내압 관점에서의 요구 사항은 전개 초기와 승객 로딩 초기에는 최대한의 에어백 내압으로 거동을 제어해야 하고, 더미 로딩 후반에는 최소한의 에어백 내압으로 머리 하중 증대를 억제해야 한다. 이를 위해 액티브 벤트라는 기술을 도입하였다.

액티브 벤트란 벤트가 열리는 시간을 에어백 ECU에 의해 전기적으로 제어하는 기술로써 전개 초기에는 벤트홀이 닫혀 있고, 에어백 ECU에 의해 전기적 신호가 전달되면 큰 벤트홀이 열리는 기술을 말한다. 전개 초기에 벤트홀이 닫혀 있음으로 인해 에어백 내압 손실이 최소화되어 에어백 전개 속도가 증대되고 에어백에 의한 더미 로딩까지의 시간이 단축되게 된다. 이로 인해 안정적인 목상해도 확보할 수 있다. 왜냐하면 목상해의 주요 인자인 Neck Extension이 진행되기 이전에 에어백이 더미 머리를 지지함으로써 Neck Extension 발생을 미연에 방지 할 수 있기 때문이다. 만개된 이후에 전기적 신호에 의해 기존 에어백의 벤트홀 대비 큰 벤트홀이 열림으로 인해 에어백 내부 가스가 급격이 배출되면서 더미 머리에 가해지는 반발력을 최소함으로써 머리 상해를 개선할 수 있다.(Fig 7)

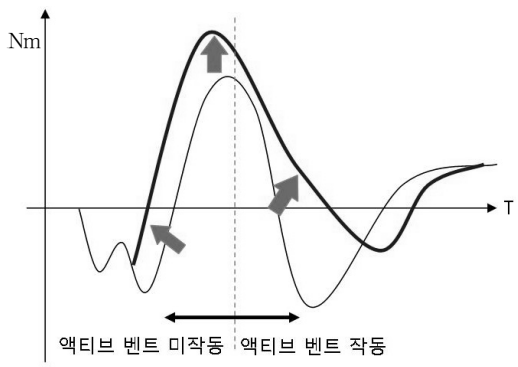

Fig 7. Neck injury with active vent

액티브 벤트의 요소 기술 및 기술의 상세는 다음과 같다. 기존의 벤트 홀 위치에 Trunk 형상의 벤트 홀을 구성한다. Trunk 벤트의 끝은 테더로 연결되어 있고 테더의 끝은 테더 커터에 구속되어 있다. 테더 커터의 다른 한쪽 끝은 에어백 ECU와 연결된 커넥터가 체결되어 있다. 에어백 전개 초기에 테더 커터가 작동하지 않아 테더가 Trunk 벤트와 연결되어 있을 경우에는 테더에 장력이 발생하면서 Trunk 벤트가 벤트 홀을 막는 역할을 한다.(Fig 8)

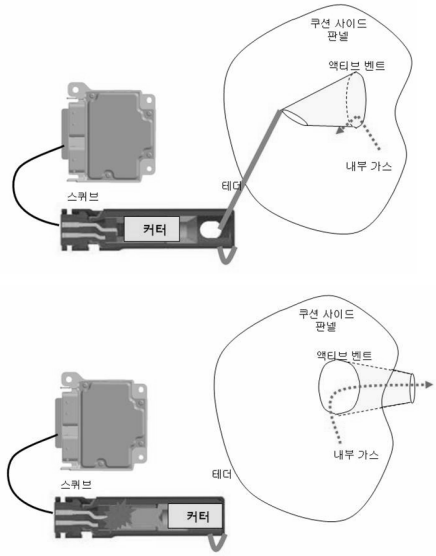

Fig 8. Before and after the active vent is operated

이는 에어백 벤트홀 크기가 '0'임을 의미한다. 반면에 에어백 ECU의 전기적 신호에 의해 테더 커터가 작동하면 테더 커터는 테더를 끊게 되고 이로 인해 Trunk 벤트는 지지점이 없어짐에 따라 벤트홀을 통해 에어백 밖으로 빠지게 된다. 이는 큰 벤트 홀이 열리게 되어 많은 가스가 에어백 외부로 유출된다는 것을 의미한다.

액티브 벤트홀은 기존 에어백 벤트홀 대비 크기가 크기때문에 모든 충돌 조건에서 작동해도 되는지 검토가 필요했다. 따라서 작동 로직을 검토하였다. 승객이 시트벨트를 착용한 상태일 경우, 시트벨트에 의해 승객 거동이 제어되므로 에어백 만개 이후 액티브 벤트를 작동하여 에어백 내압을 줄여주는 것이 유리하다. 반면에 승객이 시트벨트를 착용하지 않은 상태일 경우, 에어백 외에는 승객을 구속하는 장치가 없기 때문에 액티브 벤트를 작동하지 않고 충분한 내압을 유지하면서 승객을 구속해야 한다. 따라서 시트벨트 버클 센서의 신호에 따라 액티브 벤트를 작동하는 로직을 에어백 ECU에 적용하였다.

2.3 성능 평가 결과

선행 개발을 통해 액티브 벤트 단품 신뢰성, 액티브 벤트를 적용한 에어백의 전개 성능(Fig 9), NCAP 충돌 상품성 시험 슬레드 등을 검증하였고, 양산 개발 차량에 적용하여 실차 시험으로 충돌 성능을 검증하였다.

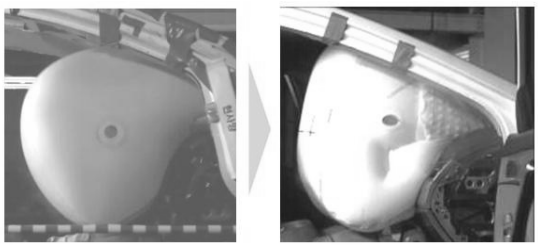

Fig 9. Comparision of deployment

액티브 벤트 기술 부품이 신규 적용 부품임을 감안하여 FMEA 기법을 활용하여 부품 신뢰성을 검증하였다. 특히 에어백 ECU 신호가 발생시 테더 커터가 테더를 반드시 끊어주어야 하기 때문에 그와 관련 부품 신뢰성을 검증하였고, 에어백 하우징에 테더 커터를 장착하므로 내구 환경에서 이탈하는 문제점을 사전 검증하기 위해 내구신뢰성 시험을 실시하였다.

액티브 벤트 적용에 따른 에어백 전개 성능 향상 정도도 평가하였다. 우선 테더 커터가 테더를 분리하였을 때 Trunk 벤트가 열리는 시간의 편차를 평가하였고 편차가 목표를 만족함을 확인 하였다. 전개 성능으로 전개 속도 향상 정도, 전개 안정성 향상 정도 등을 평가했다. 액티브 벤트가 적용됨에 따라 외부 벤트 크기가 작게 설계되었고 그에 따라 에어백 전개 초기에 가스 유출량이 적어 전개 속도가 개선됨을 확인하였다. 전개 안정성은 액티브 벤트와 무관하고 쿠션 설계 정도 및 특정 테더에 의해 개선됨을 확인하였다.

무엇보다도 액티브 벤트 적용의 기본 목적이라고 할 수 있는 충돌 성능 개선 정도 확인이 필요하다. 그에 따라 슬레드 시험을 통해 개선을 확인(Table 1)하고 실차 시험으로 성능을 검증하였다. 시험 실시 결과, 액티브 벤트 적용 사양의 머리 상해는 액티브 벤트 미

적용 사양 머리 상해의 약 34% 수준으로 낮아짐을 확인하였고, 목 상해는 약 67% 수준으로 낮아짐을 확인하였다. 이를 통해 동승석 NCAP 5★ 성능 마진을 확보하였다.

Table 1. Sled test result

	Overall	Head	Neck
Without Active vent	4.4★	404	0.3
With Active vent	5.2★	138	0.2

또한 실차 반복 시험을 통해 성능 강건성도 확인하였다. 동승석 에어백 동일 사양으로 7회의 실차 시험을 실시하였으며, 7회의 시험에서 차체 펄스의 편차도 상당히 발생하였으며, 시트벨트 서브마린 등도 발생하였다. 하지만 동승석 머리 상해는 ±45 이내의 편차를 보이며 상당히 강건한 성능을 확인하였다. 동승석 목 상해도 ±0.04 이내의 편차를 보이며 이 또한 상당히 강건한 성능을 확인하였다.(Table 2)

Table 2. Barrier test result

	Test No	Max	Min	Ave.	Dev.
Head injury	7	253	174	208	+45 -34
Neck injury	7	0.30	0.24	0.28	+0.02 -0.04

3. 결 론

동승석 NCAP 5★ 달성 관련 충돌 성능 마진 및 성능 강건성 확보를 위해 동승석 에어백 전개 성능을 개선하였고 액티브 벤트 기술을 개발하였다.

동승석 에어백 전개 성능 개선을 위해 에어백 전개 순서, 전개 속도 및 전개 안정성을 개선하였다. 우선 폴딩 방법을 개선함으로써 에어백 머리부 선 전개, 가슴부 후 전개되도록 전개 순서를 개선하였다. 다음으로 전개 안정성을 개선하기 위해 우선 우수 경쟁차 분석을 통해 목표 성능을 정의하고 스펙화 하였으며, 쿠션 설계 기술을 보완 및 특정 테더 기술을 접목하여 전개 안정성을 개선하였다. 또한 추가로 LRD 기술을 개선하여 전개 속도와 에어백 압력 유지력을 개선하였다.

에어백 전개 속도를 향상시키고 에어백 내부 압력의 효율적 사용을 위해 전개 초기에는 에어백 가스가 유출되는 벤트홀이 막혀 있고 전개 중기 이후 필요 시점에 에어백 ECU의 전기적 신호에 의해 벤트홀이 열리는 액티브 벤트 신기술을 개발하고 양산 차량에 적용하였다.

에어백 전개 성능을 개선하고 액티브 벤트 신기술을 적용함으로써 목표로 했던 동승석 NCAP 5★ 성능 마진을 확보하였고, 실차 반복 시험을 통해 충돌 성능 강건성도 확인하였다. 또한 액티브 벤트 신기술을 수평 확대 적용키 위해 향후 개발 차종 적용 계획을 수립하고 개발을 진행하고 있다.

참고문헌

(1) NHTSA-NCAP-Frontal Impact Test Procedure-August 2008[NHTSA-2008-0140]

(2) NHTSA [Docket No. NHTSA-2006-26555] Consumer Information; New Car Assessment Program

(3) NHTSA, “FMVSS 208 - Advanced A/Bag Final Rule,” 2005.10.

(4) NHTSA, “Test Procedures TP208-13

(5) 김경철. “A Development of the Passenger Side Airbag for Improving Neck Injury for New NCAP.” 2009 사내 논문집.

(6) William T. Hollowell, “Performance evaluation of dual stage passenger air bag systems”, National Highway Traffic Safety Administration, 2001.

(7) J. Kindelberger, A. Chidester, A. Prasad and M. Maltese “Air Bag and Belt Restraint Performance in Frontal Crashes Real World and Test Experience”, NHTSA, SAE Government Industry Meeting, Washington, DC, 2003.