

# 에어백과 안전벨트가 운전자 안전에 미치는 영향에 관한 연구

(Safety Effect of Air Bag and Seat Belt on Driver)



유 장 석  
(국민고충처리위원회  
교통팀 교통공학박사)

## 1. 서 론

교통사고로 인해 귀중한 생명과 재산상의 손실을 최소화하는 방법에는 교통사고발생 자체를 미연에 예방하는 방법과 사고 후 인명피해를 최소화하는 방법이 있다. 사고 후 인명피해를 최소화하기 위해 차내에 충격완화장치인 에어백 설치를 권장하고 있는가하면 안전벨트착용을 의무화하고 있다. 에어백은 차량소유자의 선택사항이지만 선진외국의 경우 대부분 차량에 에어백을 장착하는 반면, 소득수준이 낮은 국가에서는 아직도 장착율이 매우 저조한 상태이다.

에어백과 안전벨트의 효과에 대해 Zador는 에어백을 장착하였을 경우 안전벨트만을 착용하였을 경우 보다 운전자 치사율이 28% 감소한다고 하고, Otte는 안전벨트를 착용한 상태에서 35Km/h~40Km/h의 속도로 정면충돌하였을 경우 운전자 머리가 핸들과 충돌하는 것을 14.3% 감소시킬 수 있고, 전면유리 5.1%, A 필러 0.9%, 대쉬보드와의 충돌을 0.5% 감소시킬 수 있고, 안전벨트를 착용하고 에어백을 장착하였을 경우는 운전자 머리의 심각한 부상 84.2%, 경상 11% 감소

시키고, 부상을 입지 않을 경우도 10.5% 증가한다. Malliaris는 에어백을 장착하고 안전벨트를 착용하였을 경우 60%~80% 운전자 머리를 부상으로부터 보호할 수 있는 것으로, Donald는 에어백을 장착하고 정면충돌을 하였을 경우 안전벨트를 착용한 운전자는 안전벨트를 착용하지 않은 운전자에 비해 50% 정도 보호효과가 증대되고, Chantal은 미국과 영국의 교통사고 자료를 이용하여 에어백과 안전벨트가 운전자 안전에 미치는 효과를 충돌속도, 운전자 체중, 신장, 운전자 탑승 위치로 구분하여 연구하였다. 이와 같이 에어백과 안전벨트가 운전자 머리 보호에 미치는 영향에 대해서 기존에 많은 연구가 이루어져 왔으나, 기존 연구는 주로 자동차 설계시 안전도 향상을 위해, 신차평가시 안전도의 향상을 위한 일환으로 제한적인 연구가 수행되었을 뿐 다양한 충돌상황이나 충돌속도에 따른 에어백과 안전벨트가 운전자 안전에 미치는 영향 등에 대한 연구는 수행되지 않았다.

따라서, 본 연구는 에어백 장착효과와 안전벨트 착용효과를 명확히 구분할 수 있도록 운전자가 안

전벨트를 착용한 경우와 안전벨트를 착용하지 않은 경우 그리고 차량에 에어백을 장착한 경우와 에어백을 장착하지 않은 경우 등 4가지 상황으로 구분하여 충돌속도별로 에어백과 안전벨트가 운전자 머리보호에 미치는 효과에 대하여 연구하였다.

컴퓨터 모의충돌실험을 통해 에어백과 안전벨트가 운전자 안전에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 에어백 전개특성과 차량 무게중심의 감속도 특성(Crash-Pulse) 등을 알아야 한다. 에어백 전개특성은 실제 에어백 전개 단품실험을 통해, 실험차량의 감속도 특성은 실제 승용차량을 48.3 Km/h의 속도로 고정벽에 정면충돌하는 실험을 수행하여 수집한 차량의 감속도 특성과 자동차 충돌해석 전문프로그램인 LS-DYNA를 이용하여 컴퓨터 모의충돌실험을 수행하여 수집한 실험차량의 감속도 특성이 동일해질 때까지 계속해서 실험차량의 힘-변형량(F-D특성, Force-Deflection) 특성곡선을 보정하며 컴퓨터 모의충돌실험을 수행하여 도출한 후 승객거동해석 전문프로그램인 MADYMO를 이용하여 에어백과 안전벨트가 운전자 안전에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 안전장구의 기능 및 원리

### 2.1. 에어백(Air)

에어백은 충돌사고시 운전자에 작용하는 충격을 완충시킴으로써 운전자의 신체를 부상으로부터 보호할 수 있도록 고안된 장치이다. 따라서, 에어백이 갖추어야할 기본조건은 다음과 같다.

첫째, 운전자의 신체가 차량내부 구조물에 충돌하기 전에 전개되어야 한다.

둘째, 에어백은 팽창과 동시에 수축되어 운전자의 전방시야를 가리지 않아야 한다.

셋째, 자동차가 일정한 속도 이상으로 충돌하고, 일정 이상의 충격력이 작용할 때만 작동되어야 한다.

넷째, 에어백을 전개시키는 기체가 화학적으로 안전하고, 불활성이어야 한다.

다섯째, 설치가 용이해야 한다.

일반적으로 에어백은 자동차가 주행 중 20Km/h 이상의 속도로 약 30° 각도의 범위 내로 충돌하게 되면 센서가 충격력을 감지하여 작동한다. 충돌 후 센서가 점화장치를 동작시키기까지 걸리는 시간은 약 1/100초이다.

에어백은 차종에 따라 3~5개의 센서가 장착되어 있는데, 충격감지센서는 2~3개, 안전감지센서 1~2개 장착되어 있다.

에어백이 작동하는 과정은 자동차가 충돌하면 감지센서에서 충격을 감지하여 ECU에 신호를 보내고 ECU가 탑승객을 보호할 충돌조건이라고 판단하면 인플레이터내(질소발생장치와 에어백을 잘 접어 놓아둔 용기)의 질소가스가 발생하여 에어백을 전개시키게 된다. 점화 후 인플레이터가 완전히 부풀기까지 걸리는 시간은 약 0.05초이다. 에어백을 팽창시키는 질소가스의 양은 45~60리터이고, 강한 압력으로 스티어링 커버를 뚫고 전개되어 탑승객의 신체가 차량내부 구조물과 충돌하는 것을 방지·완충역할을 하여 1차적인 충돌에서 오는 치명적인 부상으로부터 탑승자를 보호해 주는 안전 장구이다.

본 연구는 운전석 핸들 중앙에 장착하는 운전석 에어백방식이 충돌 후 운전자 머리 보호효과에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

### 2.2 안전벨트(Seat Belt)

도로교통안전관리공단에 의하면 안전벨트를 착용한 경우가 안전벨트를 착용하지 않은 경우에 비해 치사율이 평균 17.8% 감소한다. 특히, 운전자는 21.1%, 앞좌석 동승자는 30%감소한다.

안전벨트 착용효과에 대해 미국안전협회는 안전벨트를 착용하지 않은 승객은 안전벨트를 착용한 승객에 비해 병원에 입원할 확률은 3배, 골절상 2.7배, 의식불명 8.4배, 입원기간 2.6배 높다. 이와 같이 안전벨트는 가장 간단하면서도 승객보호에 효과가 높은 안전장비이다. 그러나, 자동차가 30mph(48.3Km/h) 이상의 속도로 정면충돌할 경우 안전벨트는 운전자 머리와 가슴부상을 방

지하는데 있어서는 에어백보다 효과가 저하되게 된다. 따라서, 자동차 충돌사고시 운전자를 부상으로부터 보호하기 위하여 안전벨트 착용을 의무화하고 차량에 에어백 설치를 권장하고 있다.

안전벨트의 또 하나의 기능은 자동차가 곡선부를 주행할 때 발생하는 원심력에 의해 운전자 자세가 흐트러지지 않는 한계는 0.3G이고 운전자의 힘으로 버틸 수 있는 한계는 0.5G이다. 반면, 자동차가 급회전하는 경우 운전자에게 작용하는 횡방향 가속도는 약 1G이다. 따라서, 차량이 급회전하는 경우 횡방향 가속도에 의해 운전자의 자세가 흐트러지는 위험상황을 예방하기 위해서는 안전벨트 착용이 필수적이다.

### 3. 모의충돌실험상황 모델링

#### 3.1 에어백 전개특성

에어백 전개특성은 용량 45ℓ, 직경 630mm, 40mm의 벤트 홀(Vent Hole) 2개가 있는 기계전자식(EMSI, Electro Mechanical Sensor Integrated) 에어백을 전기충격방식으로 전개되도록 하는 에어백 전개단품실험을 통해 분석하였다. 실험결과, 에어백 전개시간 및 전개특성은 다음과 같다.

첫째, 에어백 센서에 전기충격을 가하여 전기충격력이 에어백센서에 전달된 후 에어백이 커버를 뚫고 나오기 시작할 때까지 소요된 시간은 5ms이다.

둘째, 에어백에 전기충격을 가하여 에어백이 커버를 뚫고 나와 전개되기 시작한 후 완전히 전개되기까지 소요된 시간은 33ms이다.

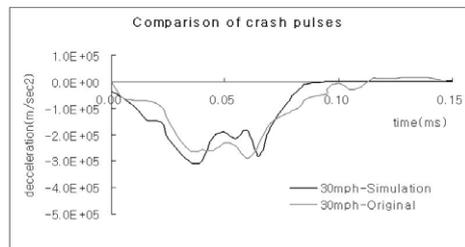
셋째, 에어백이 만개된 후 팽창압력이 벤트 홀을 통해 외부로 분출되기 시작한 시간은 에어백이 만개되는 시간인 33ms이후부터이다. 즉, 에어백이 만개됨과 동시에 벤트 홀을 통해 내부압력이 외부로 분출되어 수축되기 시작한다.

#### 3.2 차량무게중심의 감속도 특성

자동차가 주행 중 고정물체 또는 다른 차량과

정면으로 충돌할 경우 운전자의 거동특성을 컴퓨터 모의충돌실험을 통해 분석하기 위해서는 사고 차량의 무게중심에 대한 차량감속도 특성(Crash Pulses)을 반드시 알아야 한다. 차량감속도 특성은 실험차량을 고정벽에 48.3Km/h(30mph)의 속도로 충돌하는 실험을 통해 수집한 실험차량의 감속도(Crash-Pulses) 특성을 기초로 컴퓨터 모의충돌실험 차량의 감속도 특성을 도출하였다. 즉, 컴퓨터 모의충돌실험차량에 대한 감속도 특성은 모의충돌실험차량을 3차원으로 모델링한 후 자동차충돌해석 전문 시뮬레이션 프로그램인 LS-DYNA를 이용하여 실험 충돌실험속도와 동일한 속도로 고정벽을 충돌하는 실험을 수행한 후 실험 충돌실험을 통해 수집한 차량 감속도 특성과 컴퓨터 모의충돌실험결과 실험차량의 감속도 특성이 유사해질 때까지 모의충돌실험차량의 힘-변형량(F-D특성, Force-Deflection) 특성을 보정하며 계속해서 컴퓨터 모의충돌실험을 수행하여 모의충돌실험차량의 감속도 특성을 도출하였다.

컴퓨터 모의충돌실험 결과, 실험충돌실험 차량의 감속도 특성곡선과 컴퓨터 모의충돌실험 차량의 감속도 특성을 비교·분석하면 <그림 1>에서와 같이 실험충돌실험차량의 감속도 특성곡선과 컴퓨터 모의충돌실험 차량의 감속도 특성곡선의 변화유형이 유사하게 도출되었다. 따라서, 이를 컴퓨터 모의충돌실험차량의 감속도 특성으로 설정한 후 충돌속도별 컴퓨터 모의충돌실험차량의 감속도 특성을 도출하였다.

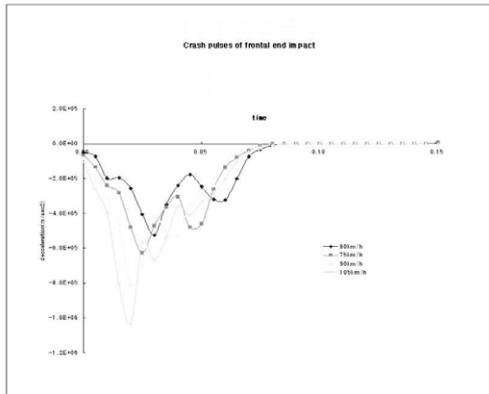


<그림 1> 차량감속도(Crash pulse) 특성

컴퓨터 모의충돌실험을 통해 충돌속도별(60,

75, 90, 105Km/h) 실험차량의 감속도 특성을 분석한 결과 <그림 2>에서와 같이 충돌속도에 관계 없이 충돌 후 0.03초 이내에 최대감속특성을 나타낸 반면, 충돌속도가 높을수록 최대감속시간은 짧아지고 감속도는 높아져 충돌속도 105Km/h일 때 최대  $-1.0E+06 \text{ m/sec}^2$ 으로 나타났다. 또한, 충돌 후 차량이 정지하는 시간은 충돌속도에 관계 없이 약 0.7~0.9초이다.

컴퓨터 모의충돌실험을 통해 도출된 충돌속도별 실험차량 차량감속도 특성을 기본값으로 설정한 후 충돌속도별 에어백과 안전벨트가 운전자 안전에 미치는 영향을 운전자거동해석 전문 프로그램인 MADYMO를 이용하여 연구하였다.



<그림 2> 충돌속도별 차량 감속도 특성

### 3.3 모델링(Modeling)

#### (1) 운전자 Dummy 모델링

충돌 후 에어백과 안전벨트가 운전자 안전에 미치는 영향을 분석하기 위하여 운전자 모델에 대한 모델링은 컴퓨터 시뮬레이션 제작사에서 연구용으로 개발한 운전자 모델 중 우리나라 21세 이상 60세 미만 성인남자 백분위수 75%의 평균인 신장 173.4cm, 앞은키 93.9cm, 체중 72.4Kg의 신체특성과 가장 유사한 신장 175.3cm, 앞은키 88.4cm, 체중 78.052Kg의 성인 남성 HYBRID III 표준 Dummy를 사용하였다.

#### (2) 차량 모델링

컴퓨터 모의충돌실험차량은 충돌 후 운전자가 충돌할 수 있는 차량내부구조 중 운전석을 위주로 운전석 의자, 조향계(Steering Wheel), 에어백, 안전벨트, 윈드실드(Windshield), 운전석 앞 대시보드(Dash Board) 등을 3차원으로 모델링하였다.

### 3.4 충돌조건

자동차가 강성형 고정벽(Barrier)을 정면으로 충돌하는 경우에 대해서 컴퓨터 모의충돌실험을 통해 연구하였다. 차량 충돌속도는 48.3, 60, 75, 90, 105 Km/h로 구분하였으며, 에어백은 충돌당시 정상적으로 전개된 상황에서 운전자가 안전벨트를 착용한 경우(A상황)와 안전벨트를 착용하지 않은 경우(B상황), 에어백을 장착하지 않은 상태에서 운전자가 안전벨트를 착용한 경우(C상황)와 착용하지 않은 경우(D상황)로 구분하여 충돌 후 승객보호장구가 운전자 안전에 미치는 효과에 대하여 연구하였다.

## 4. 모의충돌실험 결과분석

### 4.1 머리 가속도 변화특성

충돌 후 운전자의 가속도 특성이 가장 민감하고 가장 심각한 부상을 입는 신체부위는 머리이다. 따라서, 본 연구는 운전자 머리의 가속도특성을 충돌속도별·충돌상황별로 구분하여 연구하였다.

연구결과, <표 1>에서와 같이 충돌 후 운전자머리의 1차 접촉 가속도가 가장 높은 경우는 에어백을 장착하지 않고 안전벨트도 착용하지 않은 D상황이고, 다음으로 C상황, B상황, A상황 순으로 운전자 머리에 가속도가 높게 작용한다. 즉, 에어백을 장착하고 안전벨트를 착용한 경우 충돌 후 운전자 머리에 작용하는 가속도를 최대로 저감시킬 수 있다. 따라서, 사고후 운전자 머리의 가속도를 최소화하기 위해서는 차량에 에어백을 장착함과 동시에 반드시 안전벨트를 착용하고 운전해야 한다.

〈표 1〉 머리 1차 최대가속도 특성

구분	A		B		C		D	
	가속도	시간	가속도	시간	가속도	시간	가속도	시간
48.3 Km/h	6.53E+02	69.8	1.11E+03	74.6	1.36E+03	71.5	2.09E+03	73.9
60 Km/h	8.35E+02	63.0	1.53E+03	5.6	1.66E+03	3.7	2.59E+03	63.9
75 Km/h	1.16E+03	57.1	1.78E+03	56.6	2.04E+03	5.0	2.89E+03	55.4
90 Km/h	1.40E+03	0.5	1.97E+03	8.1	2.34E+03	9.1	3.23E+03	0.2
105 Km/h	1.63E+03	0.9	2.12E+03	2.7	2.65E+03	4.3	3.51E+03	4.2

주) A : 에어백 장착+안전벨트 착용  
 B : 에어백 장착+안전벨트 미착용  
 C : 에어백 미장착+안전벨트 착용  
 D : 에어백 미장착+안전벨트 미착용

4.2 머리상해(HIC) 특성

운전자 머리에 작용하는 상해치가 가장 높은 경우는 〈표 2〉에서와 같이 D상황으로써 충돌속도가 48.3Km/h일 때 2267.9, 60Km/h일 때 3426.0, 75Km/h일 때 5874.2, 90Km/h일 때 7980.5, 105Km/h일 때 10019.6이다. 반면, 운전자 머리에 작용하는 상해치가 가장 낮은 경우는 A상황으로 충돌속도가 48.3Km/h일 때 668.1, 60Km/h일 때 1122.2, 75Km/h일 때 2969.0, 90Km/h일 때 2937.7, 105Km/h일 때 4724.2이다.

〈표 2〉 머리의 최대 상해치(HIC)

상황 속도	A	B	C	D
48.3Km/h	668.1	760.9	1660.0	2267.9
60Km/h	1122.2	1593.3	2664.0	3426.0
75Km/h	2069.6	2804.1	4227.4	5874.2
90Km/h	2937.7	4350.0	5940.2	7980.5
105Km/h	4724.2	6072.7	8597.2	10019.6

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

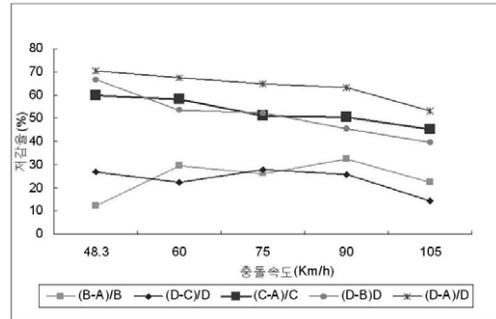
t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>: 충돌 중 36/1000초 이하의 간격을 갖는 임의의 두 순간

a : 중력가속도의 배수로 표시되는 합성가속도

한편, 에어백장착 및 안전벨트 착용여부에 따라 운전자 머리보호에 미치는 효과를 분석한 결과, 〈표 3〉, 〈그림 3〉과 같다.

〈표 3〉 머리상해 및 효과특성

구분		속도(Km/h)	48.3	60	75	90	105
안전벨트	B	상해치 차	92.8	471.1	734.5	1412.3	1348.5
	A	저감율 (B-A/B,%)	12.2	29.6	26.2	32.5	22.2
효과	D	상해치 차	607.0	762.0	1646.8	2040.3	1422.4
	C	저감율 (D-C/D,%)	26.8	22.2	28.0	25.6	14.2
에어백	C	상해치 차	991.8	1541.8	2157.8	3002.5	3879.0
	B	저감율 (C-A/C,%)	59.8	57.9	51.0	50.5	45.0
효과	D	상해치 차	1507.0	1832.7	3070.0	3630.5	3946.7
	B	저감율 (D-B/D,%)	66.5	53.5	52.3	45.5	39.4
안전벨트 착용 및 에어백 장착시		상해차	1599.8	2303.8	3804.6	5042.8	5295.4
		저감율 (D-A/D)	70.5	67.2	64.8	63.2	52.9



〈그림 3〉 에어백과 안전벨트가 운전자 머리상해에 미치는 효과

안전벨트가 운전자 머리 보호에 미치는 영향은 에어백을 장착한 상태에서 안전벨트를 착용한 A 상황과 안전벨트를 착용하지 않은 B상황의 경우 운전자 머리에 작용하는 상해치의 차(B상황-A상황)는 최소 12.2%(92.8, 48.3 Km/h), 최대 32.5% (1412.3, 90Km/h)이다. 즉, 에어백을 장착한 상태에서 안전벨트를 착용한 경우가 안전벨트를 착용하지 않은 경우에 비해 최대 32.5% 운전자 머리 보호에 효과가 있다. 반면, 에어백을 장

착하지 않은 상태에서는 안전벨트를 착용한 C상황이 안전벨트를 착용하지 않은 D상황에 비해 최소 14.2%, 최대 28.0% 운전자 머리보호에 더 효과 높은 것으로 연구결과 분석되었다.

에어백 장착여부가 운전자 머리 보호에 미치는 영향을 분석한 결과, 안전벨트를 착용한 경우 에어백 장착여부에 따라 충돌사고 발생시 운전자 머리에 작용하는 상해치의 차(C상황-A상황)는 최소 45.0%(3879.0, 105Km/h), 최대 59.8%(991.8, 48.3Km/h)이다. 즉, 안전벨트를 착용하고 에어백을 장착한 경우가 에어백을 장착하지 않은 경우에 비해 최대 59.8% 운전자 머리보호 효과가 증대된다.

안전벨트를 착용하지 않은 경우에는 에어백장착여부에 따라 운전자 머리에 작용하는 상해치의 차(D상황-B상황)는 최소 39.4%(3946.7, 105Km/h), 최대 66.5%(1507.0, 48.3Km/h)이다. 즉, 안전벨트를 착용하지 않았더라도 차량에 에어백을 장착하였을 경우가 에어백을 장착하지 않은 경우에 비해 최대 66.5% 운전자 머리보호 효과가 증대된다. 또한, 에어백을 장착하고 안전벨트도 착용한 A상황이 에어백을 장착하지 않고 안전벨트도 착용하지 않은 D상황보다 충돌사고 발생시 최소 52.9%(5295.4, 105Km/h), 최대 70.5%(1599.8, 48.3 Km/h) 운전자 머리를 부상으로부터 보호하는 효과가 증대된다.

이상과 같이 승객보호장구가 운전자 머리 상해에 미치는 영향을 연구한 결과, 안전벨트 착용여부에 따라 최소 12.2%, 최대 32.5%, 에어백 장착여부에 따라 최소 39.4%, 최대 66.5% 운전자 머리보호 효과가 증대된다. 특히, 에어백을 장착하고 안전벨트를 착용한 경우는 에어백을 장착하지 않고 안전벨트를 착용하지 않은 경우에 비해 교통사고 발생시 운전자 머리를 부상으로 최대 70.5%의 보호 효과가 증대된다. 따라서, 충돌 후 운전자 머리의 상해를 최소화하기 위해서는 차량에 반드시 에어백장착과 더불어 안전벨트를 착용하여야 한다.

## 5. 결론

자동차 충돌사고시 승객보호장구인 에어백과 안전벨트가 운전자 안전에 미치는 효과를 컴퓨터 모의충돌실험을 통해 연구하였다. 연구결과, 충돌 후 운전자 머리의 1차 접촉 가속도에 대한 저감효과는 에어백을 장착하고 안전벨트도 착용한 A상황이고 다음으로 B상황, C상황, D상황 순이다.

안전벨트가 운전자 머리 보호에 미치는 효과는 에어백을 장착한 상태에서 안전벨트를 착용한 경우가 안전벨트를 착용하지 않은 경우에 비해 최소 12.2%(92.8, 48.3 Km/h), 최대 32.5% (1412.3, 90Km/h) 운전자 머리 보호에 효과가 증대되고, 에어백을 장착하지 않은 상태에서는 안전벨트를 착용한 경우가 안전벨트를 착용하지 않은 경우에 비해 최소 14.2%, 최대 28.0% 운전자 머리보호에 효과가 증대된다.

에어백이 운전자 머리 보호에 미치는 효과는 안전벨트를 착용한 경우 에어백을 장착한 경우가 에어백을 장착하지 않은 경우에 비해 최소 45.0%, 최대 59.8% 운전자 머리보호 효과가 증대되고, 안전벨트를 착용하지 않은 경우는 에어백을 장착한 경우가 에어백을 장착하지 않은 경우에 비해 최소 39.4%, 최대 66.5% 운전자 머리를 부상으로부터 보호하는 효과가 증대된다. 또한, 에어백을 장착하고 안전벨트도 착용한 A상황이 에어백을 장착하지 않고 안전벨트도 착용하지 않은 D상황보다 최소 52.9%, 최대 70.5% 운전자 머리 보호효과가 증대된다. 따라서, 충돌 후 운전자의 인명피해를 최소화하고 안전을 극대화하기 위해서는 차량에 에어백을 장착함과 동시에 안전벨트를 반드시 착용한 후 운행해야 할 것이다. 그러나, 충돌속도가 60Km/h이상인 경우 에어백을 장착하고 안전벨트를 착용하였더라도 안전장구로서 기능이 저하되어 운전자 머리를 부상으로부터 보호할 수 없다. 따라서, 안전장구가 운전자 안전을 지켜주는 최선의 방법이 아니라 보조 장비라는 점을 반드시 인식하여야 한다. 