

연구단보; 대형 트럭 후미추돌사고에서 에어백 미전개 조건에 대한 연구

정지원 · 박성지^{1*}

충남대학교 평화안보대학원 과학수사학과, ¹대전보건대학교 과학수사학과

Technical Note

A Study on the Undeployment Condition of Airbag in the Rear-end Collision of a Large Truck

Ji Won Jeong and Sung Ji Park^{1*}

Department of Scientific Criminal Investigation, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

¹Department of Forensic Science, Daejeon Health Institute of Technology, Daejeon 34504, Korea

*E-mail: trafficar@naver.com

(Received October 27, 2021; Revised October 29, 2021; Accepted November 29, 2021)

요약: 에어백은 다양한 승용차 사고에서 정상적으로 작동되지만, 승용차가 트럭의 뒷부분을 들이받으면 에어백이 전개되지 않는 경우가 종종 발생한다. 에어백은 전방 충돌에 의해 운전자의 머리가 5인치 앞으로 움직일 때 완전히 팽창되도록 설계된다. 에어백이 너무 일찍 전개되면 운전자를 효과적으로 보호하지 못하고, 너무 늦게 전개되면 운전자의 머리가 이미 전진한 상태에서 폭발해 큰 부상을 입게 된다. 실제 사고에서는 트럭 후면의 EDR 데이터 60 ms에서 높은 가속도가 감지됐지만 운전자의 머리가 이미 5인치 전방으로 이동했기 때문에 이 시점에서는 전개할 수 없다. 에어백 전개 프로세스는 충격 감지 지점에서 약 40 ms 이내에 가속 입력에 대해 수행된 것으로 확인된다. EDR 데이터에서 높은 수준의 가속도 값이 147 ms에 입력되었지만, 에어백이 전개되지 않았고 이 영역은 프리텐셔너를 작동할 수 있는 영역이기 때문에 작동되었다.

Abstract: Airbags are normally operated in various accidents by passenger cars, but when passenger cars strike into the rear end of a truck, airbags often do not deploy. The airbag is designed fully inflation when the driver's head is moved 5 inches forward at a forward collision. If the airbag is deployed too early, it will not effectively protect the driver, and if it is deployed too late, it will explode with the driver's head already moving forward, causing serious injury. In actual accident case, high acceleration was detected at 60 ms of EDR data in the rear of the truck, but this point cannot be deployed as the driver's head has already moved 5 inches forward. It was determined that the deployment process of the airbag was carried out for acceleration input within approximately 40 ms from the point of impact detection. In the EDR data, a high level of acceleration value was entered at 147 ms, but the air bag was not deployed and the pretensioner was operated because this was the area where the pretensioner could be worked.

Key Words: Air-bag, Pretensioner, EDR (Event data record), 5 inches, Forward collision

에어백은 자동차가 충돌사고 시 탑승자의 상해를 보호해주는 효과적인 장치로 1981년 벤츠, BMW, 볼보 등이 본격적으로 장착하기 시작하였고 국내에서는 1994년 뉴그랜저부터 장착되기 시작하였다. 에어백은 안전벨트와 함께 사용하는 경우, 사망률을 50% 이상 낮추는 효과가 있기 때문에 최근에는 에어백이 장착되지 않은 차량을 찾아보기 어렵다.

에어백은 충돌사고 시 인체를 효과적으로 보호해주는 역할을 하기 때문에 만약 에어백이 전개되지 않은 경우에는 차량결합의 논쟁에 휩싸이게 된다. 한국소비자의 자동차 에어백 안전실태 조사에 의하면 2010년부터 2012년까지 소비자상담센터를 통해 접수된 668건의 에어백 관련 불만사례를 분석한 결과, 충돌 시 에어백 미작동의 불만이 78.6% (525건)으로 가장 높았다.¹ 이와 같이, 교통사고에서 에어백이 미전개되는 경우가 발생하면 자동차 제조회사들은 민원에 시달리는 경우가 많고 교통사고 당사자들은 힘들게 소송을 진행하여 사회적 비용이 증가하는 경우가 많은 실정이다.

에어백의 전개과정을 간략히 살펴보면, 차량에 설치된 충돌센서에서 충돌이 감지되면 약 20 ms까지 에어백의 알고리즘이 작동되어 전개여부를 판단하게 되며 충돌감지 후, 55~60 ms까지 에어백이 전개 된다.² 에어백이 전개된 순간 운전자의 머리가 전개된 에어백 쿠션과 접촉하기 시작하여 가슴부 및 머리부를 보호하게 된다.

본 사고의 경우에는 승용차가 주행하던 대형트럭의 후미부분을 추돌하였고 외형상 전면부가 심하게 손상되었으나 에어백이 전개되지 않은 사고에 관한 분석이다. 승용차는 고속도로 휴게소에서 가속하여 본 도로로 진입하였으나 선행하던 트럭을 인지하지 못하여 추돌하였고 트럭 후미부분을 끼어 들어가는 과정에서 차량 전면부가 대부분 손상되었으나 에어백이 전개되지 않았으며 이 차량의 운전자는 에어백의 결함을 주장하였다. 에어백은 트럭의 후미 부분을 추돌하는 경우, 미전개될 수 있다고 승용차 사용자 매뉴얼에 기록되어 있으나 그 이유에 대해서는 명확히 언급되어 있지 않고 사고전문가도 에어백 전개조건을 단순히 고정벽 충돌 상황과 비교하여 판단하는 오류를 범하고 있는 실정이다.

판례에 따르면 소형차량이 대형차량 밑으로 파고드는 경우 등에는 일반적으로 충격력이 정상적으로 감응장치에 전달되지 않기 때문에 충격 시 속도와 관계없이 에어백이 작동되지 않는 것으로 알려져 있다.³

그러므로 본 연구에서는 대형트럭의 추돌과정에서 에어백이 전개되지 않은 이유에 대한 분석결과를 제시하고자 한다.

1. 에어백 전개 과정; 에어백이 작동하는 과정은 자동차가 충돌하면 감지센서에서 충격을 감지하여 ACU에 신호를 보내고 ACU가 탑승자를 보호할 충돌 조건이라고 판단하면 에어백을 전개시키게 된다.⁴ ACU (Air-bag control unit)는 가속도센서에 의해 입력된 충돌 데이터를 기반으로 에어백 전개여부를 결정한다. 일반적으로 승용차에는 양쪽 프레임 전방에 충돌 감지센서가 있고 ACU 내부에 안전센서가 위치하여 최종 ACU에서 에어백 전개를 판단하게 된다. EDR (event data record)는 교통사고에서 충돌 전 5초간, 충돌 후 200 ms까지의 데이터를 기록하는데 ACU와 데이터를 공유한다. EDR은 ACM (airbag control module) 또는 ACU 등에 포함된 에어백 전개 또는 특정 조건에 대하여 사고 당시 정보들을 저장하는 기능이다.⁵ 그러므로 ACU 데이터는 에어백 전개여부, 전개시간, 가속도값, 안전벨트 착용여부, 경고등 점등여부, 탑승자 착석여부, 좌석의 앞뒤방향 위치 등을 기록한다.

정면충돌에서 차량 양쪽 프레임 앞부분과 차체 중앙부에 센서를 두고 두 데이터를 종합하여 에어백을 전개시키는 이유는 전방 센서는 충격에 민감하기 때문에 전방 센서만을 기준으로 에어백 전개를 판단하는 경우, 운전실에서는 충격이 전달되지 않은 경우에도 에어백이 전개되어 운전자의 시야를 방해하여 오히려 큰 사고를 유발하는 경우가 있으므로 두 센서 데이터를 종합하여 프리텐서너와 에어백의 전개를 결정한다. 만약, 전방의 충돌센서에 충격이 감지되었으나 실내의 안전센서에 충격이 거의 없다면 프리텐서너를 먼저 작동시켜 운전자를 보호할 수 있다.

일반적으로 에어백은 충돌 후 30 ms 동안 전개된다.² 제조회사마다 차이는 있으나 충돌에 따라 30 ms에 전개가 시작되어 탑승자의 상체가 전방으로 이동하고 약 60 ms에 전개되어 탑승자의 상체가 에어백에 접촉하기 시작한 다음 에어백이 수축하도록 설계된다. 이는 너무 급속한 인플레이션은 소음, 열, 승객의 되튀김(rebounding) 등을 유발하고, 또한 너무 느린 인플레이션은 앞으로 이동하는 승객과 반대방향으로 매우 큰 가속도의 백과 충돌을 야기하여 심각한 상해를 얻기 때문이다.²

만약 초기에 에어백이 전개된다면 탑승자의 상체가

에어백이 수축되는 과정에 안착하게 되어 보호효과를 보기 어렵다. 또한 뒤늦게 전개되는 경우 탑승자의 상체가 에어백에 가까이 접근한 상태에서 에어백이 팽창하게 되고 이로 인하여 오히려 에어백에 의한 상해가 발생하게 된다. 에어백은 차량의 정면 충돌 시 승객의 상해를 최소화하기 위해서 차량 충돌 후, 승객이 전방으로 일정 기준이상 과도하게 거동하기 전에 완전하게 전개되어야 한다.⁶ 그러므로 에어백이 가장 적당한 시점에 전개되어야 하는데 이를 “5 inches-30 milliseconds”라고 한다.⁷

이는 탑승자의 상체가 5 inch 전진했을 때 경과된 시간으로부터 30 ms를 빼서 센서의 작동시간을 결정한다는 규칙이다.⁸ 다시 말해 탑승자의 상체가 앞으로 5 inch 이동하는 시간과 에어백이 전개되는 시간을 30 ms로 일치시켜 충돌 후, 센서를 적당한 시점에 작동시켜 에어백이 전개되도록 결정하는 것이다. 제조회사마다 설계 기준이 다를 수 있으나 충돌속도, 제동여부, 의자의 위치, 탑승자의 키 등을 고려하여 정확한 에어백의 전개 시간을 설정하여야 한다.

Fig. 1을 보면, 세로축은 머리의 전방 이동량이고 가로축은 시간이며, 그래프 내의 가로선은 머리의 전방 이동량 5인치 선이다. 머리의 전방이동 그래프를 보면 50 ms에서 약 60 mm이며 70 ms에서 140 mm가 되며 이후, 계속 전방으로 이동하여 90 ms에서는 약 240 mm까지 앞으로 이동하였다. 전방 이동량 5인치에서 에어백이 전개되어야 하므로 원형의 점이 최후의 한계점이 되고, 에어백이 전개하는 시간이 약 30 ms이므로 그래프에서 삼각형의 점이 에어백 전개의 시작점이 된다. 그러므로 에어백의 전개는 충돌신호

에 대해 ACU에서 전개여부를 판단하여 약 40 ms에서 에어백 전개를 시작하고 약 70 ms까지 에어백을 만개시키는 과정을 거친다.

2. 사고차량 검사; 사고는 고속도로 휴게소에서 승용차가 본 도로로 진입하는 상황이었고 전방의 주행 중이던 트럭의 후미부분을 충돌하였다. 승용차의 전면 부에서 좌측 메인프레임은 후방으로 압착되지 않은 상태이고 우측 메인프레임은 다소 변형되었다. 전면부의 손상은 큰 것처럼 보였으나 엔진후드가 올려진 상태이고 앞범퍼가 이탈되어 다소 손상이 크게 보인 것으로 판단되었다. 손상은 라디에이터 그릴이 변형되고 우측 휠더와 우측 메인프레임이 변형된 상태이다.

좌측면은 후방으로 밀리지 않은 상태이며 실내의 조향휠도 후방으로 밀리지 않아 운전실 공간이 충분히 확보되어 차체 중심에서는 강한 충격력이 전달되었다고 보기 어려운 모습이다. 차량의 외관 평가에서 에어백의 전개에 필요한 충격력이 어느 정도 가해졌는지에 대해서는 겉으로 보이는 외관 구조물 보다는 메인프레임 구조물이 어느 정도 변형되었는지가 중요하다. 정면충돌에서 에어백 성능에 대한 실험은 고정벽을 이용하여 시험 및 평가하므로 자동차 제조회사에서는 고정벽에 충돌한 경우, 메인프레임을 어떻게 접고 변형시켜 충격을 흡수할 것인가에 초점을 맞추어 설계를 하고 있다. 그러므로 앞범퍼, 엔진후드, 휠더, 필라, 지붕구조물 등이 파손 또는 이탈되어 손상 정도가 심각해보이더라도 에어백 전개 조건과는 직접적인 관련이 없다. 즉, 차량의 좌측 전면부는 메인프레임에서 변형 등의 손상이 관찰되지 않으며 우측 메인프레임은 일부 접히면서 충격을 흡수한 부분이 관찰되나 전체적으로 후방으로 밀린 정도가 크지 않으며 운전실 공간이 침범되지 않은 점으로 보아 본 충돌 사고로 인하여 작용된 충격력이 에어백의 전개 조건을 초과하였다고 단정할 수 없다.

3. EDR 데이터에 의한 가속도 산출; 충돌이 발생하면 EDR에 충돌 5초 전부터 충돌 후 200 ms까지의 데이터가 기록된다. EDR에 저장된 기록은 사고 판단을 할 수 있는 중요한 증거가 된다. Fig. 2를 보면 충돌에 의한 속도변화 ΔV 는 52.4 km/h이다. 일반적으로 고정벽 충돌 시험에서 25 km/h에서 에어백은 작동되므로 52.7 km/h에서는 작동되어야 한다고 일견 주장할 수 있으나, 고정벽과 트럭의 후미 충돌은 같은 조건이 아니다. 프리텐서너는 147 ms에서 작동되었고

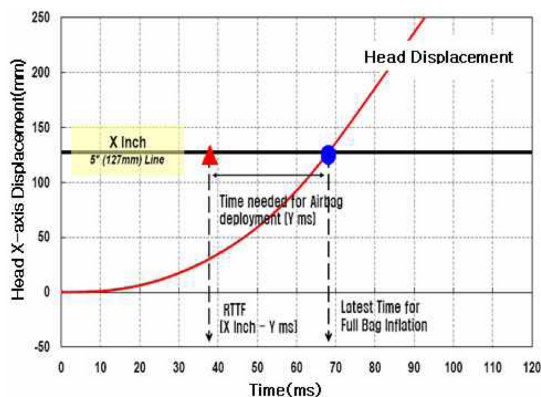


Fig. 1. Determination of Airbag inflation and triggering time⁷ (▲; Latest sensor triggering time, ●; Latest time for full bag inflation).

Frontal Crash Page. 1	
Max delta Vx	: 52.7(km/h)
Writing Flag for Gx	: FinishedWriting
TRG Counter	: 2(times)
Previous Event	: NoEvent
Linked Precrashed Data Page No.	: Page.1
Time from PreCrash TRG	: 0(ms)
Frontal AB Deployment Time	: NotFired
Pretensioner Deployment Time	: 147(ms) △
Deployment Stage Driver	: NotFired
Deployment Stage Passenger	: NotFired
Writing Flag for Frontal Crash	: FinishedWriting

Fig. 2. Airbag-EDR operating data.

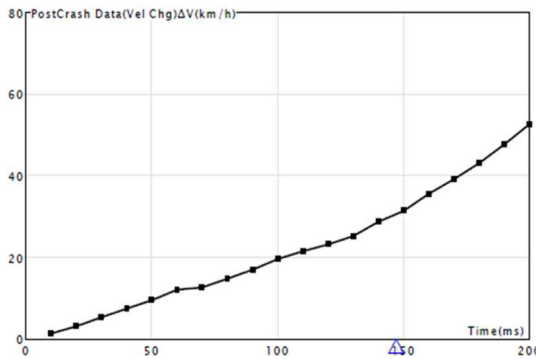


Fig. 3. Post EDR crash data.

운전석 에어백은 작동되지 않은 것으로 기록되었다.

Fig. 3은 충돌 직후의 속도변화를 기록한 데이터로서 시간간격이 0.01초이므로 속도변화를 다시 시간간격으로 나누면 가속도값을 구할 수 있다. Table 1에서 충돌 후 속도 V 는 누적 속도변화이므로 시간 간격 10 ms에 대한 속도변화를 ΔV 으로 하였고 단위를 m/s로 바꾼 후 시간 간격으로 나누어 순간가속도를 구한 다음 중력가속도 9.8을 나누어 중력가속도 G 값으로 표현할 수 있다. 가속도 값의 피크는 60 ms에서 7.37 G , 100 ms에서 7.37 G 및 140 ms에서 9.92 G 와 같이 나타났다.

4. 에어백 및 프리텐서너 전개 조건; 에어백은 앞쪽 프레임에 장착된 센서와 실내에 장착된 센서에서 전달되는 신호를 계산하여 전개된다. 에어백의 전개 결정방식은 제조회사마다 다르나 일반적인 개념은 Fig. 4와 같다. 실선은 에어백과 프리텐서너의 상한값(high map)을 나타내고 점선은 하한값(low map)을 나타내는데 에어백의 하한값은 초기에는 수평선이지만 어느

Table 1. Calculation of acceleration according to cumulative speed changes after a collision

Time ^{a)}	V ^{b)}	ΔV ^{c)}	ΔV ^{d)}	α ^{e)}	G
0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
10	1.4	1.4	0.39	38.89	3.97
20	3.2	1.8	0.50	50.00	5.10
30	5.4	2.2	0.61	61.11	6.24
40	7.4	2.0	0.56	55.56	5.67
50	9.5	2.1	0.58	58.33	5.95
60	12.1	2.6	0.72	72.22	7.37
70	12.7	0.6	0.17	16.67	1.70
80	14.8	2.1	0.58	58.33	5.95
90	17.0	2.2	0.61	61.11	6.24
100	19.6	2.6	0.72	72.22	7.37
110	21.5	1.9	0.53	52.78	5.39
120	23.2	1.7	0.47	47.22	4.82
130	25.2	2.0	0.56	55.56	5.67
140	28.7	3.5	0.97	97.22	9.92
150	31.4	2.7	0.75	75.00	7.65
160	35.6	4.2	1.17	116.67	11.90
170	39.2	3.6	1.00	100.00	10.20
180	43.0	3.8	1.06	105.56	10.77
190	47.7	4.7	1.31	130.56	13.32
200	52.7	5.0	1.39	138.89	14.17

Notes; ^{a)}Time after collision (ms), ^{b)}Velocity after collision(km/h), ^{c)}Velocity change (km/h), ^{d)}Velocity change (m/s), ^{e)}Acceleration (m/s²), G; Gravitational acceleration ($G=9.8 \text{ m/s}^2$).

정도 지난 시점에서는 수직으로 올라가 상한값과 일치하게 된다. 프리텐서너의 하한값은 수평선 그대로이다. 상한값을 보면 초기에는 일정한 값을 유지하다가 에어백이 전개된 시점에서 상한값이 크게 상승하는 것을 볼 수 있다. 또한 하한값도 수직으로 상승시켜 이 시점 이후로는 에어백이 전개되기 어렵도록 되어 있다. 그러나 프리텐서너는 이와 관계없이 언제든 하한값을 초과하는 경우 작동될 수 있도록 되어 있다.

Fig. 1에서 설명한 바와 같이, 에어백은 전방 충돌 시 운전자를 보호하기 위한 목적으로 설치되나 충돌이 감지된 후, 40 ms까지는 에어백을 전개할지를 결정하여야 하고 70 ms까지는 완전 전개를 하여야만 에어백으로 다가오는 운전자를 보호할 수 있으며 뒤늦게 에어백을 전개시키는 경우에는 오히려 운전자에게 심각한 상해를 입힐 수 있기 때문에 전개될 수 없다. 그러므로 EDR 데이터에서 60 ms에서 높은 가속도값

이 나타났으나 만약 에어백 전개결정의 하한값 이상이었던고 한다면 에어백의 전개여부 판단시간과 전개 시간을 더하면 130 ms가 되고 이는 최초 충돌로 인하여 운전자가 핸들에 접근한 상태이므로 전개될 수 없는 시간이다. 즉, 에어백은 충돌 알고리즘이 작동한 시점부터 약 40 ms까지 전개를 결정하므로 그 이후에 전달되는 충돌에 대해서는 어차피 운전자를 보호할 수 없으므로 전개되지 않는다. 그러나 프리텐서너의 역할은 안전벨트를 잡아매는 기능이므로 어떤 한계값 이상으로 입력되는 경우 항상 작동될 수 있다.

한 건의 교통사고에서 사고차량은 여러 번 충돌이 발생하게 된다. 예를 들면, 앞차와 충돌 후 중앙분리대를 충돌하고 다른 차량과 충돌하는 등 여러 번의 충격력이 작용되므로 에어백의 전개는 함부로 전개할 수 없는 조건인 반면, 프리텐서너는 충돌 과정과 관계없이 안전벨트를 단단히 매는 기능이므로 에어백 전개 조건보다 충격력이 작용하여도 작동될 수 있고 에어백의 한계 전개시점과 관계없이 언제나 작동될 수 있다. 또한 본 사고와 같이 트럭 하부에 끼어 들어가면서 충돌 시간이 길어지는 사고유형에서는 상체와 머리가 전방으로 쏠리는 조건이므로 에어백이 전개되면 오히려 위험할 수 있으므로 에어백은 충돌 후 적절한 전개시간이 지나게 되면 전개의 조건이 매우 높아지게 된다.

에어백이 만개되는 시점에 대해 검토하면 일반적으로 충돌 후, 운전자의 머리가 전방으로 5 inch (127 mm)에 도달했을 때로 설계가 이루어지면 이때는 충돌 후 70 ms가 되며, 그 이후로 갈수록 머리가 전방으로 계속 이동되어 에어백 전개가 오히려 운전자에게 심각한 상해를 일으킬 수 있는 상태가 되므로 에어백 전개가 제한된다. 그러므로 EDR의 147 ms에서 가속도 값은 프리텐서너의 작동조건은 될 수 있으나 에어백의 한계 전개시점은 이미 지난 시점이므로 에어백은 전개되지 않는다.

참고문헌

1. 소비자안전국 생활안전팀 (2012), 자동차 에어백 안전실태 조사, 한국소비자원.
2. 김현영, 이상근, 신윤재 (1996), 운전석 및 조수석 에어백 단품의 유한요소 모델링과 전개과정 해석, 한국자동차공학회는문집 4(6): 236-246.
3. 판례, 서울지법, 96가합32282, 1998.

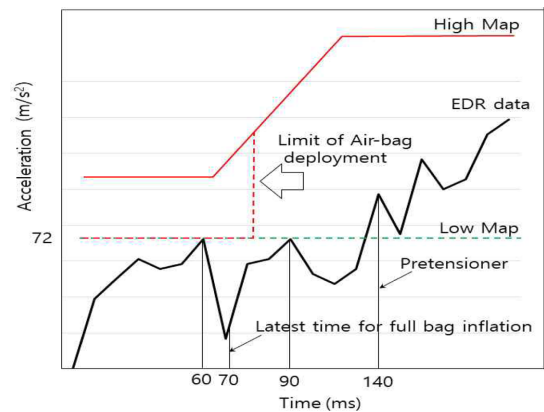


Fig. 4. Air-bag and Pretensioner deployment condition.

이상과 같은 대형 트럭 후미추돌사고에서 에어백 미전개 조건에 대한 본 연구는 승용차가 움직이는 트럭과 충돌 후, 차량 내부까지 충격이 전해졌음에도 불구하고 에어백이 전개되지 않은 이유가 에어백의 결함인지, 혹은 에어백이 정상 작동하였지만 에어백 전개 조건에 미치지 못한 것인지를 알아보고자 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. EDR 데이터의 60 ms에서 높은 가속도가 발생하였으나 이 시점을 기준으로 에어백이 전개되는 경우, 전방으로 이동된 운전자에게 심각한 상해를 입힐 수 있기 때문에 에어백이 전개되기 어려운 시점으로 분석된다. 즉, 에어백은 충돌감지 시점으로부터 약 40 ms 이내에 입력되는 가속도에 대해서만 전개될 수 있다.
2. EDR 데이터에서 147 ms에 높은 수준의 가속도 값이 입력되었으나 에어백이 전개되기 이미 늦은 시점이므로 전개되지 않았으나, 프리텐서너는 작동될 수 있는 영역에 있으므로 에어백은 전개되지 않고 프리텐서너는 작동된 것으로 판단되었다.

4. 유장석, 장명순 (2003), 에어백과 안전벨트가 운전자 안전에 미치는 영향에 관한 연구, 대한교통학회지 21(2): 7-16.
5. 박종찬, 김종혁, 오원택, 최지훈, 박종진 (2017), Vbox와 PC-Crash를 활용한 EDR 기록정보의 신뢰성 평가, 한국자동차공학회는문집 25(3): 317-325.
6. 김현영, 이상근 (1998), 신윤재, 에어백 단품설계를 위한 전개과정과 승객거동해석, 한국자동차공학회는문집 4(6): 236-246.

- 논문집 6(2): 118-128.
7. 서주형, 최규흠, 유재민, 오주환 (2006), 에어백 전개시간에 따른 승객 보호 성능 연구, 한국자동차공학회 2006년도 춘계학술대회논문집: 1199-1205.
 8. Ching-Yao Chan (2000), Fundamentals of Crash

Sensing in Automotive Air Bag Systems, *Society of Automotive Engineers*. 39-41.

<저자정보>

정지원(대학원생), 박성지(교수)