

<논문> SAE NO. 2000-03-0131

차량의 충돌 유형 및 속도에 따른 에어백 충돌인식 알고리즘에 관한 연구

A Study on the Airbag Crash Recognition Algorithm for Vehicle Impact Modes and Speeds

성기안*, 이창식**
Kian Sung, Changsik Lee

ABSTRACT

Crash test data from different impact modes and threshold speeds were used to assess the effects of impact conditions on air bag electronic single point sensing (ESPS) activation requirements. The requirements are expressed in terms of the desired sensor activation time based on unbelted driver dummy kinematics. A crash discriminator pre-displacement is introduced to crash recognition algorithm to the ESPS. The new crash recognition algorithm named Velocity Energy Pre-displacement (VEPD) method is developed and the ESPS algorithm based on the VEPD technique is used to assess the ESPS system performance. It is shown that VEPD method correlates very well with desired sensor activation time and meets the activation requirement.

주요기술용어 : ESPS(전자식 일점 감지 시스템), TTF(에어백 동작시간), Impact test(충돌 시험), Rough road test (험로 주행 시험), Threshold margin(작동여유)

1. 서론

차량 충돌 사고시 승객을 보호하는 에어백 시스템은 경 자동차를 포함한 전 부분의 승용차와 승합차에 정착된 승객보호장구이다. 최근 승객안전에 관한 각국의 법적 규제 (1997년 9월 이후 미국내 판매되는 모든 승용차에는 에어백 시스템

이 의무적으로 탑재)의 강화와 자동차의 안전에 대한 소비자의 욕구 증가로 에어백 시스템은 필수적인 장치로 인식되며, 아울러 에어백 시스템의 성능이 자동차의 상품성 및 기술적 우위성을 대변하는 기준자료가 되기도 한다. 1960년대 후반부터 연구되어온 에어백 시스템의 충돌감지 방식은 다수의 기계식 감지 센서 (mechanical multi-point sensing, MMS)이었으나, 1990년대부터는 전자식 일점 감지 시스템 (electronic single point sensing, ESPS)으로 대체되고 있

* 회원, 강원전문대학 기계과

** 회원, 한양대학교 기계공학과

다.^{1,2)} 이러한 전자식 일점 감지 시스템은 미세 가공 기술을 이용한 극소형 반도체 가속도 센서와 정확한 충돌인식 알고리즘 기술에 바탕을 두고 있다. 극소형 반도체 가속도 센서는 차체 충격 파를 전기적 신호로 변환시키며 에어백 시스템을 구성하는 중요한 기능 부품이다. 또한, 충돌인식 알고리즘은 충돌시 충돌의 특성에 따라 에어백의 전개 여부를 결정하고 가스발생기의 뇌관을 점화시키는 기능을 한다. 에어백용 극소형 반도체 가속도 센서는 선진국에서도 비교적 최근에 개발된 제품으로 현재도 계속적으로 새로운 모델이 발표되고 있으며 기술발전에 따른 제품 이행의 속도가 매우 빠른 품목이다.³⁾ 에어백용 극소형 반도체 가속도 센서와 충돌인식 알고리즘은 에어백 시스템의 성능을 좌우하는 핵심 분야이며, 선진국에서 기술이전을 기피하고 있으므로 기술 도입이 불가능한 분야이다. 에어백용 극소형 반도체 가속도 센서는 동일한 부품을 여러 차종에 적용할 수 있으나 충돌인식 알고리즘은 차량 모델마다 차체의 특성에 맞게 구성되어야 한다. 따라서 충돌인식 알고리즘의 개발은 차량 모델의 개발 초기, 즉 차체의 설계 단계에서 시작되어야 하며 충돌인식 알고리즘의 특성상 이의 개발은 완성차 업체 (또는 에어백 시스템 공급 업체)의 고유 업무 영역에 속한다. 현재처럼 충돌인식 알고리즘 개발을 해외의 기술에 의존하는 경우 차량의 설계 일정을 국내에서 독자적으로 관리할 수 없는 문제가 발생한다.

현재까지 다양한 충돌인식 알고리즘들이 연구되어 왔으며, 대체로 가속도 센서 신호로부터 속도, 에너지를 추출하여 충돌 판정 인자로 사용하고 있다.³⁾ 이러한 방법은 전개조건 중의 18mph 중앙 기둥(centered pole) 충돌 및 16mph 경사(frontal angular) 충돌과 비전개조건 중의 8.9mph 정면(full frontal) 충돌을 명확하고 반복적으로 구분하는데 어려움이 있었다. 본 연구는 이러한 문제점을 개선하기 위한 새로운 충돌 판정 인자를 도입하여 새로운 충돌인식 알고리즘을 개발하였고 시뮬레이션을 통하여 충돌 판정의

정확성 과 신뢰성을 검증하였다.

2. 알고리즘 개발

2.1 에어백 개발 시험 유형 및 조건

충돌인식 알고리즘은 전개조건 (must-active, 에어백 쿠션이 반드시 전개하는 조건) 시험과 비전개조건 (must-not-active, 에어백 쿠션이 절대로 전개되지 않는 조건) 시험에서 정확한 동작이 요구되며, 전개조건에 포함된 여러 유형의 충돌 시험에서도 유형별로 정해진 동작시간을 만족하여야 한다.

차량의 특정한 충돌 속도에서 에어백 시스템의 동작 유무를 결정하는 것은 승객 상해치의 목표, 차량의 내장 부품들의 특성, 에어백 시스템의 성능, 및 안전 벨트 신을 등에 의해 좌우된다. 전개조건과 비전개조건은 경계는 12mph 정면 충돌 이상과 8.9mph 정면 충돌 이하이고, 에어백 개발 및 성능 판정에 사용되는 주요 시험 종류는 Table 1 및 2와 같다.

Table 1 Vehicle impact test conditions











No.	Condition	Result	Configuration
1	8.9mph Full Frontal (14.3 kph)	Must-Not-Active	
2	12mph Full Frontal (19.3 kph)	Must-Active	
3	18mph Centered Pole (29.0 kph)	Must-Active	
4	30mph Frontal Angular Left (48.3 kph)	Must-Active	
5	30mph Frontal Angular Right (48.3 kph)	Must-Active	
6	30mph Full Frontal (48.3 kph)	Must-Active	

Table 2 Vehicle rough road test conditions

No	Condition	Result	Configuration
7	Curb Stone (40 kph)	Must-Not-Active	
8	Dip Track (30 kph)	Must-Not-Active	
9	Hop Road (40 kph)	Must-Not-Active	
10	Pothole Track (35 kph)	Must-Not-Active	

2.2 차체 충격 특성

독자적인 충돌인식 알고리즘의 고안을 위하여는 기존 전자식 충돌 감지 방식들에 대한 충분한 분석과 평가가 선행되어야 한다. 차체의 최 선단에 여러 개의 충돌감지기를 설치하는 전기-기계식 센서의 경우와는 달리 전자식 일점 감지 시스템의 경우는 차체 충격파의 전달이 매우 좋은 위치에서 충돌을 감지하여야 한다. 차체의 적절한 위치에 설치된 감지 센서는 전방에서 발생한 차체의 충격량을 감지 및 신호처리하며, 속도 및 진동에너지 등의 물리량을 계산하여 이를 근거로 충돌인식 알고리즘은 충돌 유형 및 충돌 속도를 판단한다.

충돌 직후부터 가스발생기의 점화회로를 동작시키는 에어백 동작시간 (Time-To-Fire, TTF)은 승객 상해치에 큰 영향을 미치는 인자로 충돌 유형별 및 속도별로 적절한 요구되는 에어백 동작시간 (Required TTF)을 갖는다. 기본적인 에어백 동작시간 결정은 안전 벨트를 착용하지 않은 인체모형 (dummy)의 머리 중심(C.G)이 전방으로 5인치 (127mm) 이동하는데 걸린 시간에서 에어백 쿠션이 완전 전개하는데 소요된 시간을 뺀 시간으로 정한다. 일반적으로 차량 충

돌시 감지 센서가 충돌을 감지한 이후 약 30msec 내외에서 에어백 쿠션은 완전 전개가 이루어진다. 또한 에어백 쿠션이 완전 전개를 완료했을 경우, 승객의 머리 중심의 위치가 정상적인 위치로부터 약 5인치 이내에 있어야 한다. 즉, 머리 중심의 위치가 전방으로 5인치 쏠리는 시간을 T 라고 하면 에어백 쿠션의 전개 결정이 내려져야 하는 시간은 T-30 msec 가 된다. 따라서 충돌 판단 시점에서, 충돌인식 알고리즘은 30msec 이후의 승객거동 상황을 예측하여야 한다.

차량 충돌시 일점 감지 센서의 설치 위치에서 측정되는 가속도는 차체의 구조와 밀접한 관계가 있다. 범퍼, 사이드 멤버, 엔진 지지대, 엔진 블록 등이 변형하고 이동하는 양상에 따라 가속도 파형이 결정된다. 변형이 거의 없는 엔진블록의 경우를 제외하고는 주로 좌굴(buckling) 형식의 변형이 일어나므로 충돌 파형의 저주파 성분은 여러 개의 굴곡을 갖게 된다. 또한 상기 부품들의 좌굴은 비교적 고주파 영역의 구조 진동을 수반하게 된다. 차체의 구조에 따라 충돌시 발생한 고주파 진동이 후방의 일점 감지 센서 까지 전달되는 양상이 달라진다. 수백 Hz 영역의 진동이 카울 (cowl) 이나 터널 (tunnel) 까지 잘 전달되는 차체의 구조가 전자식 일점 감지 시스템에 유리하다. 일반적으로 차체 강성이 높은 차량에 전자식 일점 감지 센서가 적합하며 차체가 강인하지 못한 차종에서는 전자식 일점 감지 센서가 적합하지 않다는 것이 통념이었으나, 최근에는 충돌인식 알고리즘이 발달함에 따라 점차 소형차까지도 전자식 일점 감지 센서가 적용되는 추세에 있다.⁴⁾

Fig 1은 승객실내에 설치된 전자식 일점 감지 센서의 위치를 보여준다. 본 연구에서 차체 구조의 대칭성, 강성, 및 내부식성이 우수한 터널대시 (Tunnel-at-dash) 위치가 전자식 일점 감지 시스템 (ESPS)에 적절한 위치로 판정되어 선정되었다. 이상적인 전자식 일점 감지 시스템은 다양한 충돌 상황들을 효과적으로 판별할 수 있어야 하며, 에어백 쿠션 전개가 요구되는 상황에서는

승객 상해치를 감소시킬 수 있도록 적절한 시간 안에 가스발생기 점화 신호를 발생 시켜야 한다. 그림 2는 전자식 일점 감지 시스템의 신호 처리 방식을 보여 주고 있다.

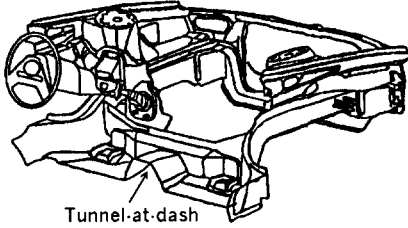


Fig. 1 Location of vehicle crash sensor

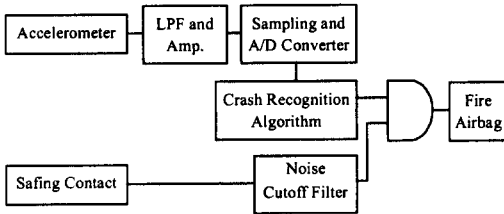


Fig. 2 Block diagram of signal processing in ESPS

2.3 충격 파형 분석

필터 처리된 충격 가속도 파형으로부터 차체 속도 및 진동에너지의 변화를 계산하여 가속도, 감속량, 승객 변위 등의 변수와 함께 알고리즘에 반영시키는 방법은 전개 및 비전개 충돌 조건의 경우에서 에어백 전개 여부 및 정확한 전개 시간을 결정하기 위한 방법이다. 이를 위 하여는 적절한 디지털 필터를 채용하여 주어진 충돌 가속도 파형으로부터 저주파 성분의 가속도와 고주파 성분의 진동에너지를 추출하여야 한다. 추출된 가속도와 진동에너지를 어떻게 알고리즘 상에 반영할 것인가는 대상 차종의 차체 충돌 특성을 고려하여 결정될 문제이며, 모든 차종과 모든 충돌 상황에 적용할 수 있는 보편적인 알고리즘을 결정하는 것은 어렵다.

신호처리 로직에 적용된 저역 통과 필터 (Low pass filter, LPF)는 전자식 일점 감지 시스템 유

니트의 자체 공진 영향과 차체 노이즈에 의한 영향을 최대한 줄이기 위해 약 210 Hz의 차단 주파수 (cutoff frequency)를 가지는 버터워스 (butterworth) 특성의 3차 능동 필터 (active filter)가 적용되었다. 신호처리 로직에 적용된 전달함수는 다음과 같다.⁵⁾

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{-2.315 \times 10^{12}}{s^3 + 95615 s^2 + (6.852 \times 10^8)s + 8.915 \times 10^{11}}$$

$$\text{Pole} = -87938, -5982, -1695$$

터널대시 위치에서 충돌 유형 및 속도별로 측정된 가속도 파형을 210Hz 차단 주파수를 가지는 디지털 필터로 처리한 결과들이 Fig 3 및 Fig 4에 도시되었고, 동일한 위치 조건 및 신호처리를 바탕으로 험로 주행 시험 (rough road test) 결과들은 Fig 5에 보여준다. Fig 3 및 Fig 4는 차량 충돌 시험인 8.9mph 정면 (full frontal) 충돌, 12mph 정면 충돌, 18mph 중앙 기둥 (centered pole) 충돌, 30mph 왼쪽 경사 (frontal angular left) 충돌, 30mph 오른쪽 경사 (frontal angular right) 충돌, 및 30mph 정면 충돌 등의 시험 결과를 보여주고, Fig 5는 차량 험로 주행 시험인 40kph 커브 스톤 (curb stone), 30kph 딥 트랙 (dip Track), 40kph 홉로드 (hop road), 및 35kph 포트홀 트랙 (pothole track) 등의 시험결과를 보여준다. Fig 3 및 Fig 4에서 보는 바와 같이, 30mph 정면 충돌의 경우 충돌 파형이 강해서 전개조건과 비전개조건 구별이 분명하나, 전개조건중의 중앙 기둥 충돌 및 경사 충돌들의 경우 충돌 초기 파형이 비전개조건 8.9mph 정면 충돌의 파형과 유사하여 정확한 충돌 유형 및 충돌 속도 판별에 어려움이 있음을 알 수 있다.

2.4 충돌 판정 인자 도입

대부분의 차종에 있어서 정면 충돌의 경우, 충돌 속도에 따른 충돌 파형의 변화는 작고 상대적인 크기만 다를 뿐이다. 따라서 이러한 경우에는

에어백 시스템의 작동 여부를 결정하기가 비교적 수월하다. 그러나 비정상 충돌인 중앙 기동 충돌, 오프셋(offset) 충돌, 경사 충돌, 언더라이드(under-ride), 및 오버라이드(over-ride) 등의 경우에는 파형이 정면 충돌의 경우와 매우 다르며, 고속 충돌의 경우에도 충돌 초기의 파형이 저속 정면 충돌의 경우와 매우 유사하다. 전자식 일점 감지 시스템에 내장된 가속도 계를 통하여 측정된 가속도와 이로부터 계산된 감속량, 승객 변위 등의 변수들로 에어백 시스템의 작동 여부를 결정하는 것이 종래의 방법^{6,7)}인데, 상기의 비정상 충돌의 경우에도 만족할만한 성능을 얻기 위하여 알고리즘을 수정하기가 쉽지 않다는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에는 차체 진동 에너지의 크기를 감안하여 에어백 시스템의 작동 여부를 결정하는 방법이 제안되었다.

Fig 6 및 Fig 7은 6종의 충돌 유형 및 속도별 충돌 시험의 차체 가속도 결과로부터 속도 및 진동 에너지를 추출하여 도시하였다. 30mph 정면 충돌과 8.9mph 정면 충돌의 경우, 뚜렷한 속도 변화 특성을 가지므로 속도-에너지 영역 기법(velocity-energy thresholding and zoning) 만으로도 전개조건과 비전개조건을 쉽게 구분할 수 있다. 그러나 저속 정면 충돌, 중앙 기동 충돌, 또는 경사 충돌의 경우, 비전개조건과의 구분을 위한 작동 여유(threshold margin)가 작아서 전개조건하에서 에어백 시스템이 작동되지 않거나 비전개조건하에서 에어백 시스템이 작동될 가능성이 존재한다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 새로운 충돌 판정 인자의 필요성을 고려하게 되었다.

저속 정면 충돌, 중앙 기동 충돌, 경사 충돌, 고속 정면 충돌 등 전개조건 및 비전개조건인 충돌 상황에서 에어백 동작의 신뢰성을 확보하기 위하여, 예상변위(pre-displacement)라는 충돌 판정 인자를 추가한 새로운 알고리즘 속도-에너지-예상변위 영역 기법(VEPD method)을 개발하였다. 예상변위 충돌 판정 인자는 임의시간(t)에

서 인체모형의 머리 중심이 t+30 [msec] 후에 이동된 변위를 예상한 물리량이다.

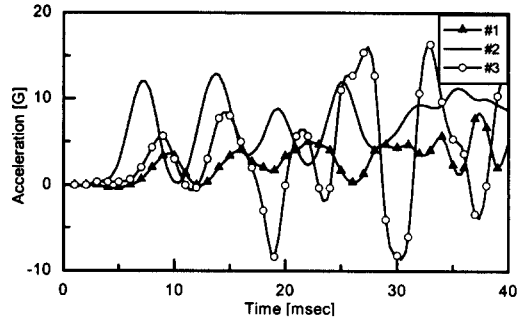


Fig. 3 Filtered accelerometer signals of impact test No. 1, 2, and 3

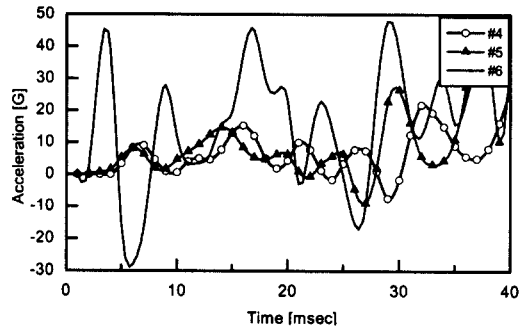


Fig. 4 Filtered accelerometer signals of impact test No. 4, 5, and 6

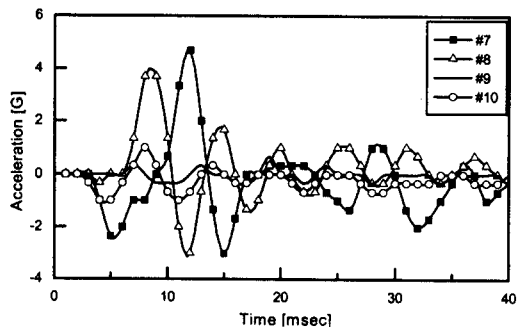


Fig. 5 Filtered accelerometer signals of rough road test No. 7, 8, 9, and 10

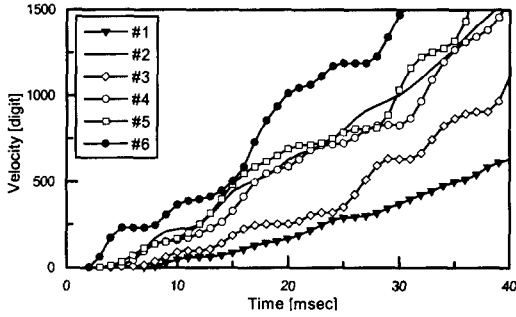


Fig. 6 Velocity changes vs. time of six impact tests

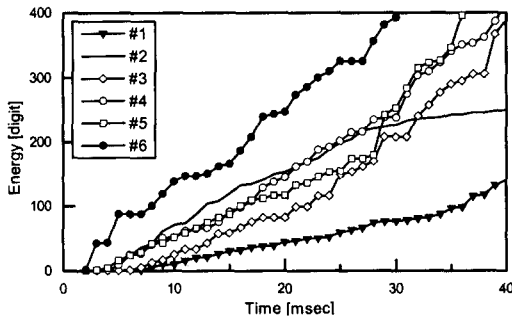


Fig. 7 Energy changes vs. time of six impact tests

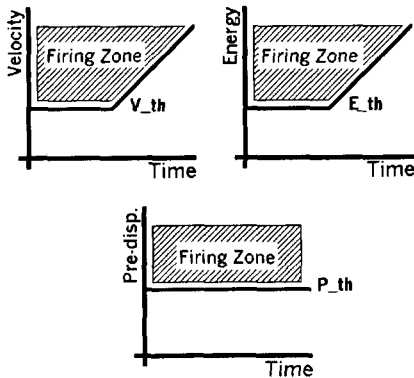


Fig. 8 VEPD thresholding and zoning method for airbag deploy

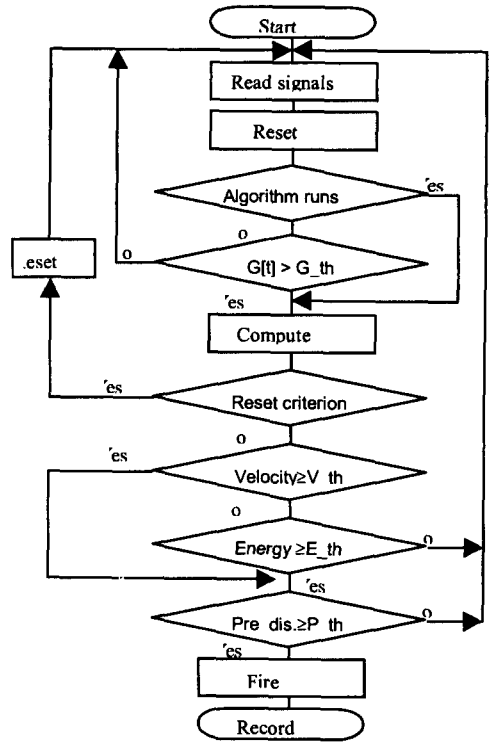


Fig. 9 Algorithm flow chart of VEPD method

Fig 8에서 보는 바와 같이 속도-에너지-예상 변위 영역 기법으로 충돌 유형 및 속도를 판단하였으며, 작동경계선 (threshold line)이 전개조건과 비전개조건을 명확하게 구분할 수 있도록 구성되어 있음을 알 수 있다. 이러한 새로운 기법으로 해당 연구 차량 (X-car)에 대해 작동경계선 값을 조절하여, 전개조건에 따라 요구되는 에어백 동작시간 (required TTF)을 만족시킬 수 있다. Fig 9는 속도-에너지-예상 변위 영역 기법에 관한 에어백 알고리즘의 흐름도를 보여준다.⁵⁾

3. 시뮬레이션 결과

속도-에너지-예상 변위 영역 기법을 사용한 에어백 충돌인식 알고리즘을 적용하여, 6종의 충돌 유형 및 속도별 충돌 시험 경우와 4종의 험로 주

행 시험에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig 10은 요구되는 에어백 동작시간 (required TTF)에 대한 실제 에어백 동작시간 (actual TTF)의 관계를 보여주며, 일대일 대응곡선의 오른쪽 영역은 빠른 영역 (Fast zone)으로 요구되는 에어백 동작시간보다 빠른 실제 에어백 동작 시간을 의미하며, 왼쪽 영역은 느린 영역 (Slow zone)으로 요구되는 에어백 동작시간보다 늦은 실제 에어백 동작시간을 의미한다. 6종의 충돌 유형 중 전개조건에 해당하는 5종의 경우는 대응 곡선 상에 있거나 오른쪽 영역에 위치하여 알고리즘의 동작 신뢰성을 보여준다. 또한, 실제 에어백 동작시간이 전자식 일점 감지 시스템의 자체 편차 및 차체 조립 편차를 고려한 종합 편차 10%를 만족함을 보여준다.

Table 3은 시뮬레이션 결과를 요약하여 나타냈으며, 실제 에어백 동작시간이 요구되는 에어백 동작시간 보다 같거나 적어서 승객 상해치 경감에 유리함을 알 수 있다.⁸⁾

4. 결론

차량 충돌 속도 및 차체 진동 에너지를 이용한 기존의 충돌인식 알고리즘은 저속 충돌의 경우 (8.9mph 정면 충돌, 12mph 정면 충돌, 18mph 중심 기둥 충돌), 좁은 작동여유 (threshold margin)로 인하여 명확한 충돌 판정에 어려움이 있었다. 전개조건 충돌 및 비전개조건 충돌의 정확한 구별을 위하여 새로운 충돌 판정 인자 예상변위를 추가한 충돌인식 알고리즘 속도-에너지-예상변위 영역 기법 (VEPD method)을 개발하였으며, 본 기법은 6종의 충돌 유형 및 속도별 충돌 시험 경우와 4종의 험로 주행 시험에 대하여 적용한 결과 요구되는 에어백 동작시간의 실현이 구현되었다.

연구 차량의 충돌 시험 및 모형로 험로 주행 시험에서 얻어진 차체 가속도 신호를 이용하여 개선된 알고리즘 시뮬레이션을 수행한 결과 비전개조건 시험 (저속 충돌, 험로 주행 등) 및 전개

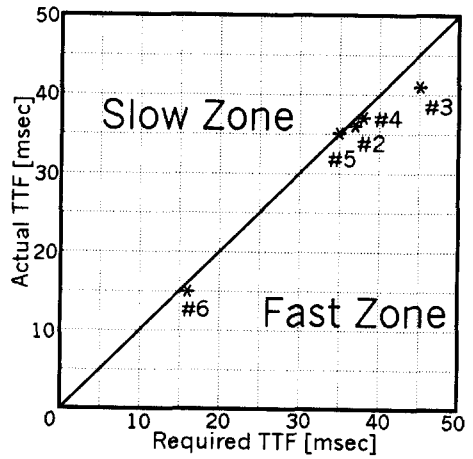


Fig. 10 Comparison of required TTF with actual TTF

Table 3 Comparison of algorithm performance with the desired test performance

Test No. & Condition	Required TTF	Actual TTF	Result	
Impact Test	#1	Must-Not -Active	Must-Not -Active	Satisfy
	#2	37	36	Satisfy
	#3	45	41	Satisfy
	#4	38	37	Satisfy
	#5	35	35	Satisfy
	#6	16	15	Satisfy
Rough Road Test	#7	Must-Not -Active	Must-Not -Active	Satisfy
	#8	Must-Not -Active	Must-Not -Active	Satisfy
	#9	Must-Not -Active	Must-Not -Active	Satisfy
	#10	Must-Not -Active	Must-Not -Active	Satisfy

조건 시험 (중속 중앙 기둥 충돌, 고속 경사 충돌, 고속 정면 충돌 등)에서 요구한 에어백 시스템 작동 유무 및 에어백 동작시간을 만족시켰다.

터널대시 위치에서 발생된 차체 가속도를 이용한 전자식 일점 감지 시스템 (ESPS)의 동작 결과가 요구한 성능을 만족함으로써 신호처리 모듈인 3차 저역 통과 능동 필터 설계 및 차단 주파

수의 설정이 적절함이 확인되었다.

끝으로 전자식 일점 감지 시스템의 장점을 최대한 활용하기 위해서는 차체 설계 단계에서 충돌 특성에 대한 충분한 검토가 있어야 하고, 필요한 경우에는 차체 일부를 설계 변경하여 여러 유형의 충돌에 대비한 정확한 에어백 동작 시간을 구현하여야 한다.

참 고 문 헌

- 1) James J. Riling, "Sensing and Diagnostic Module for Airbags," SAE 952682.
- 2) Jon P. Kelley, "Sensing Considerations and Tradeoffs for Single Point Sensing," SAE 932916.
- 3) Junji Kanamoto, Masahiro Miyamori, Kazunori Jinno, Manabu Hirao, "Electronic Crash Sensing Unit for Airbag," SAE 940624.
- 4) Geoffrey L. Mahon, Ralph L. Hensler, "Tradeoffs Encountered in Evaluating Crash Sensing Systems," SAE 930648.
- 5) Kian Sung, "The Development of an Impact Simulator and the Study of a Side Airbag Algorithm," IPC-10 Proceeding, pp. 255-260, 1999.
- 6) D. E. Bergfried, B. Mattes, M. Rutz, "Electronic Crash Sensors for Restraint Systems," SAE 901136.
- 7) Matthew Huang, Mark A. Cuddihy, J. B. Drummond, Jr., "Effects of Vehicle Impact Mode and Speed on Air Bag Single Point Sensing Requirements," ASME Vol. 168, pp. 235-241, 1993.
- 8) T. G. Adams, M. Husng, R. W. Hultman, "The Development of an Advanced Air Bag Crash Sensing System," SAE 905140.