

자동차 에어백 동작시점 결정 알고리즘

An Algorithm for Airbag Triggering Time Decision

이 재 강* 김 일 환**
Lee, Jae-Kang Kim, Il-Hwan

ABSTRACT

The airbag system for automobile is one of the most important passenger protect system. And it is very important whether to inflate or not, and when the airbag will be inflated. This paper focuses on how to find airbag triggering time after the automobile is crashed.

In this paper we present an algorithm for airbag triggering time decision and compare the triggering time with the time by the other algorithm.

키워드 : 에어백, 동작시점, 칼만필터, 예측

Keywords : Airbag, Trigger timing, Kalman Filter, Prediction

1. 서 론

1.1 연구배경

자동차의 충돌 상황에서 승객을 보호하는 장치 중 대표적인 장치로 안전벨트와 에어백이 있다. 주행상태에서도 착용하고 있으면서 충돌 상황에서 승객보호 효과를 나타내는 안전벨트와는 달리 에어백은 충돌 상황에서만 부풀어올라서 승객을 보호하게 된다.

에어백이 최대의 승객보호 효과를 나타내기 위해서는 에어백이 완전히 부풀어 오른 상태에서 승객의 몸이 부딪쳐야 한다. 만일 에어백이 너무 일찍 부풀어오르거나 늦게 부풀어오르게 되면 승객보호 효과는 감소하게 되고, 오히려 승객에게 상해를 입힐 수도 있다. 따라서 에어백의 동작에 있어서는 적절한 동작 시점이 필요하다.

1.2 에어백의 동작 기준 및 일반적 구성

(1) 동작기준

에어백의 최대 승객보호 효과를 위한 동작기준으로 5"-30ms 기준이라는 것이 있다. 이것은 앞에서 말한 적절한 에어백의 동작시점을 설정하기 위한 기준으로 운전자 몸의 움직임과 에어백 동작에 대해 실험과 통계에 의해 설정된 기준이다.

자동차가 정상 주행중일 때에는 완전히 부풀어 오른 에어백의 표면으로부터 운전자의 몸이 5" 떨어진 곳에 위치한다고 통계에 의해 알려져 있고, 에어백은 전개 시작부터 완전히 부풀어오르는 데까지 30ms가 걸린다. 여기에 앞에서 말했던 충돌 상황에서 최대의 승객 보호 효과를 나타내려면 완전히 부풀 상태에서 운전자의 몸이 에어백에 부딪쳐야 한다는 조건이 더해져서, 운전자의 몸이 5"를 움직였을 때 에어백은 전개명령이 내려져서 30ms가 경과한 상태로 완전히 부풀어 있어야 최대 승객보호 효과를 얻을 수 있다는 조건이 성립한다. 5"-30ms 기준이라는 것은 바로 이와 같은 조건을 의미하는 것이다. 그림 1의 세 번째 그림이 바로 운전자가 5" 움직였고 에어백이 전개시작으로부터 30ms가 지나서 완전히 부풀 상태를 보여주고 있다. 그림 1은 에어백의 동작순서를 나타내는 그림이다.

* 강원대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정

** 강원대학교 대학원 제어계측공학과 교수, 공학박사

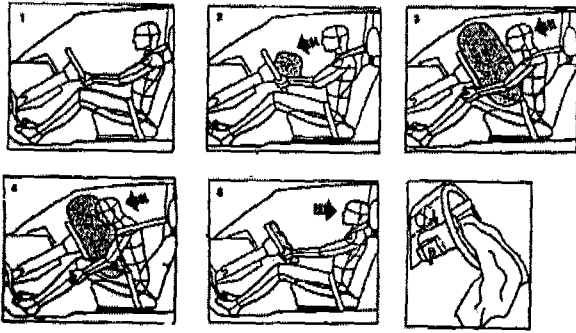


그림 3 에어백의 동작순서

(2) 일반적 구성

다음으로 일반적인 에어백 시스템의 구성을 살펴 보면, 충돌 상황에서 자동차의 가속도를 검출하는 1개 또는 다수의 가속도 센서와 가속도 센서로 검출한 가속도를 이용해 에어백의 작동 여부와 작동 시점을 판단하고 신호를 내보내는 알고리즘을 수행하는 판단장치, 그리고 판단장치로부터 신호를 받아 에어백을 전개시키는 장치로 이루어져 있다. 이 논문에서 다루고자하는 동작시점 결정방법은 두 번째의 판단장치에서 수행된다.

가속도 센서의 장착 위치는 자동차에 따라 달라질 수 있으며 판단장치와는 충돌 상황에서 가속도를 검출해서 전달할 수 있도록 연결되어 있다. 전개 장치 역시 판단장치로부터 전개신호를 받기 위해 연결되어 있다. 그림 2는 에어백 시스템의 장착의 한 예이다.

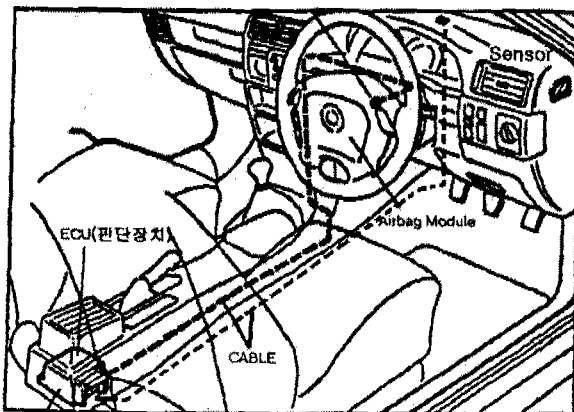


그림 4. 에어백 장착 예

차례의 실제 자동차 충돌 실험을 통해 얻어진 가속도와 승객 움직임의 데이터를 토대로 가속도에 대한 임계값을 설정해서, 실제 충돌 상황에서 검출된 가속도 데이터가 임계값을 넘어섰을 때 에어백이 동작하도록 하는 방법을 사용하고 있다.

이 방법은 여러 가지 상황에서의 충돌을 고려하려면 그만큼 많은 충돌 실험을 해야 하기 때문에 비용과 시간이 많이 든다는 단점이 있다.

이 논문에서는 일반적인 동작시점 결정방법의 단점을 보완하기 위해서 충돌 상황에서 운전자의 몸의 움직임을 이용하는 방법을 제안한다.

먼저 개략적으로 설명해 보면, 우선 검출된 자동차의 가속도 데이터로부터 칼만 필터, 예측을 통해 운전자 몸의 움직임을 예측하고, 이 예측한 움직임에 5"-30ms 기준을 적용하게 된다. 칼만 필터(Kalman filter)는 잡음(Noise)이 섞여 있는 가속도 센서에 의해 검출된 가속도 데이터로부터 가속도만을 추정(Estimation)하기 위해서 사용되며, 칼만 필터를 통해 추정한 가속도 미분값과 가속도 데이터를 근거로 추정한 운전자 몸의 속도, 변위 데이터를 이용해 예측(Prediction)을 통해 충돌 상황에서 운전자의 몸의 움직임의 속도, 변위를 예측하게 된다. 그림 5은 이 논문에서 제안하는 동작시점 결정방법의 기본 흐름도이다.

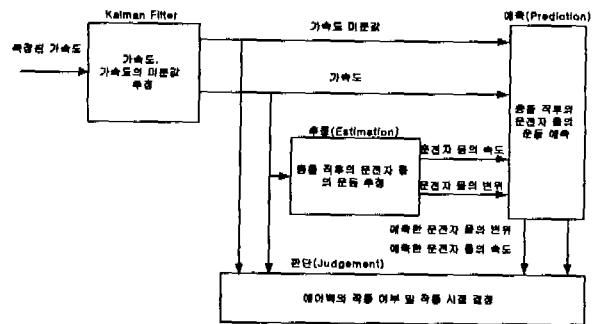


그림 5. 기본 흐름도

실제로 여러 상황에서의 적절한 에어백의 동작시점을 결정하는 데에는 운전자의 몸의 움직임 외에도 다른 여러 가지 조건이 필요하다. 예를 들어 저속 충돌상황, 후방 충돌상황, 실제 충돌은 아니면서 자동차에 충격이 가해진 상황 등 에어백이 동작하지 말아야 하는 상황에 대한 조건 같은 것들이 있다. 그러나 이 논문에서는 여러 가지 조건 중에서 가장 기본이면서 중요한 운전자 몸의 움직임만을 다루고자 한다. 따라서 이 논문에서는 모든 조건과 상황을 고려하는 완전한 동작시점 결정방법까지 이르지 않는 다.

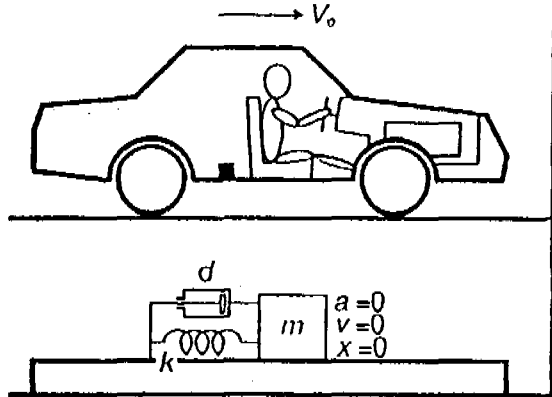
1.3 동작시점 결정방법

일반적인 에어백 동작시점 결정방법에서는 여러

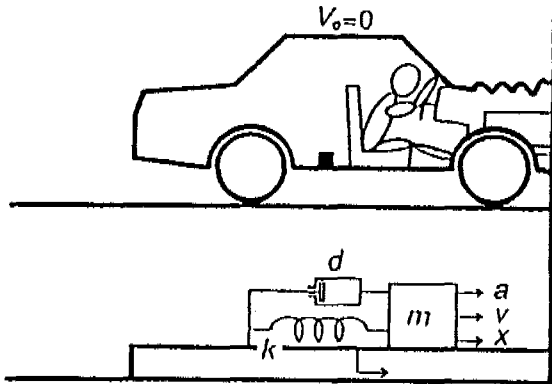
2. 본 론

2.1 모델링

운전자 몸의 움직임을 표현하기 위해서 이 논문에서는 다음과 같이 모델링 하였다.



(a)



(b)

그림 4. 충돌 직전, 직후의 상태

그림 4에서 보는 바와 같이 운전자의 몸을 하나의 질량으로 표현하였고, 충돌상황에서의 운전자의 움직임에 작용하는 요소인 충돌상황에서 운전자의 반응, 그리고 안전벨트의 작용은 스프링과 감쇄기로 표현하였다. 이 모델링을 통해서 운전자 몸의 움직임은 질량의 운동방정식을 통해 표현하게 된다. 그림 4의 (a)는 충돌 직전의 상태를 나타내고, (b)는 충돌 직후의 상태를 나타낸다.

이 논문에서 사용되는 변수와 상수를 다음과 같이 정의한다.

t : 시간

t_f : 에어백이 부푸는데 걸리는 시간

$a(t)$: 운전자 몸의 가속도

$\dot{a}(t)$: $a(t)$ 의 시간에 대한 미분

$a_m(t)$: 검출된 가속도

$v(t)$: 좌석에 대한 운전자 몸의 상대속도

v_0 : 충돌 직전의 자동차의 절대속도

$x(t)$: 좌석에 대한 운전자 몸의 상대변위

$n_a(t)$: 검출된 가속도에 포함된 잡음

$\sigma_a(t)$: $n_a(t)$ 의 분산(variance)

$n_1(t)$: $\dot{a}(t)$ 를 구하는데 포함된 시스템 잡음

$n_2(t)$: $a(t)$ 를 구하는데 포함된 시스템 잡음

σ_1 : $n_1(t)$ 의 분산(variance)

σ_2 : $n_2(t)$ 의 분산(variance)

m : 충돌상황에서 움직이는 몸의 부분

d : 운전자 몸의 움직임을 감쇄 계수 (damping coefficient)

k : 운전자의 몸의 반응 및 안전벨트를 착용했을 때의 강성 상수 (stiffness constant)

또한, 이 논문에서는 다음의 네 가지를 가정한다.

첫 번째로, 가속도 데이터로부터 운전자 몸의 속도와 변위를 얻어내야 하므로, 충돌상황에서 가속도의 변화는 선형이라고 가정한다. 두 번째로, 모델링에서 말한 바와 같이 운전자의 몸을 표현하기 위해서 충돌상황에서 자동차가 진행하던 방향으로 움직이는 운전자의 몸의 부분은 질량-스프링-감쇄기로 표현 가능하다고 가정한다. 세 번째로 여러 개의 가속도 센서를 이용해서 가속도 데이터를 검출한다면 작동 여부 판단 및 동작시점 결정이 좀 더 수월하겠지만 가능하면 적은 비용으로 에어백의 작동 여부 판단 및 동작시점 결정을 하고자 자동차의 진행방향으로의 가속도 데이터를 검출하는 하나의 센서만을 사용한다고 가정한다. 마지막 네 번째로, 가장 일반적인 에어백 시스템에서의 조건으로 에어백은 자동차의 진행 방향으로의 충돌에서만 승객보호 효과가 있다고 가정한다.

2.2 동작시점 결정 단계

동작시점 결정을 위해서 가속도 센서에 의해 검출된 가속도 데이터가 칼만 필터(Kalman Filter), 추정(Estimation), 예측(Precision)의 단계를 거치며, 최종적으로 예측 단계에서 구해진 자료를 토대로 판단을 하게 된다.

(1) 칼만 필터 (Kalman Filter)

충돌상황에서 가속도 센서에 의해 검출된 가속도 데이터는 가속도를 나타내는 신호에 잡음이 포함되어 있다. 따라서 운전자 몸의 움직임을 예측하는데 있어서 사용되는 오직 하나의 정보인 가속도 데이터는 잡음이 없는 데이터이어야 한다. 칼만 필터는 바로 검출된 가속도 데이터로부터 잡음을 제거하여 순수한 가속도 데이터만을 얻기 위해 사용된다.

여기서는 검출된 가속도 데이터로부터 가속도의 미분값과 가속도를 구하게 된다.

행렬과 벡터를 다음과 같이 정의하면,

$$\mathbf{a}(t) = \begin{bmatrix} \dot{a}(t) \\ a(t) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{n}(t) = \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\mathbf{A}_a = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}_a = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{c} = [0 \ 1]$$

가속도 데이터는 선형이라는 가정으로부터, 가속도 방정식은

$$\frac{d\mathbf{a}(t)}{dt} = \mathbf{A}_a\mathbf{a}(t) + \mathbf{B}_a\mathbf{n}(t) \quad (2)$$

$$a_m(t) = \mathbf{c}\mathbf{a}(t) + n_a(t)$$

와 같이 될 수 있다.

여기서 실험 결과로부터 구해지는 검출된 가속도 데이터에 포함된 잡음의 분산 σ_a , 시스템 잡음의 분산 σ_1, σ_2 로부터 칼만 필터(Kalman Filter)의 이득을 다음과 같이 구할 수 있고,

$$k_1 = \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_a}}, \quad k_2 = \sqrt{\frac{\sigma_2 + 2\sqrt{\sigma_a\sigma_1}}{\sigma_a}} \quad (3)$$

이것을 이용해서 다음의 행렬과 벡터를 정의하면,

$$\mathbf{a}_K(t) = \begin{bmatrix} \dot{a}(t) \\ a(t) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{k} = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_K = \begin{bmatrix} 0 & -k_1 \\ 1 & -k_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

와 같이 된다.

따라서 위의 행렬과 벡터를 이용해서 다음과 같이 가속도와 가속도의 시간에 대한 미분값을 구할 수 있는 추정(Estimation) 방정식이 구해진다.

$$\frac{d\mathbf{a}_K(t)}{dt} = \mathbf{A}_K\mathbf{a}_K(t) + \mathbf{k}a_m(t) \quad (5)$$

여기서 구해지는 가속도와 가속도의 시간에 대한 미분값은 뒤에 충돌 상황에서의 운전자 몸의 움직임 예측(Prediction)에서 사용된다.

(2) 충돌 상황의 운전자 몸의 움직임 추정

앞의 그림 4의 모델링과 두번째 가정에 의해 충돌 상황에서의 운전자 몸의 움직임을 질량체의 운동 방정식으로 표현할 수 있다. 여기서 모델링된 시스템의 특성을 나타내는 고유 각주파수(natural angular frequency) w 와 감쇠 계수(damping coefficient) ζ 를 다음과 같이 구하고,

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \zeta = \frac{d}{2\sqrt{mk}} \quad (6)$$

이를 이용해 행렬과 벡터를 다음과 같이 정의하면,

$$\mathbf{X}_x(t) = \begin{bmatrix} v(t) \\ x(t) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_x = \begin{bmatrix} -2\zeta w & -w^2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b}_x = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

운전자 몸의 움직임을 나타내는 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{d\mathbf{X}_x(t)}{dt} = \mathbf{A}_x(t)\mathbf{X}_x(t) + \mathbf{b}_x a(t) \quad (8)$$

여기서 구해지는 운전자 몸의 움직임은 뒤에 충돌 상황에서의 운전자 몸의 움직임 예측(Prediction)에서 사용된다.

(3) 충돌 직후의 운전자 몸의 움직임 예측

앞의 칼만 필터(Kalman Filter), 충돌 상황의 운전자 몸의 움직임 추정(Estimation) 단계에서 정의된 행렬과 벡터들로부터 다음의 확장행렬과 벡터를 정의한다.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_a & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{b}_x & \mathbf{A}_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2\zeta w & -w^2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}(t) \\ \mathbf{X}_x(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{a}(t) \\ a(t) \\ v(t) \\ x(t) \end{bmatrix}$$

여기서 시스템 잡음(System Noise)를 나타내는 벡터 $\mathbf{n}(t)$ 를 0으로 놓으면 식 (2), (8)로부터 다음의 방정식이 성립된다.

$$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) \quad (10)$$

구해진 식 (10)은 동차 방정식(homogeneous equation)이므로, 여기서 상태 전이 행렬(State transition matrix)를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Phi(t, t_0) = \Phi(t - t_0) = e^{\mathbf{A}(t-t_0)} \quad (11)$$

구해진 상태 전이 행렬을 이용하면 상태 $\mathbf{x}(t+t_f)$ 와 상태 $\mathbf{x}(t)$ 의 관계를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{x}(t+t_f) = e^{\mathbf{A}t_f} \mathbf{x}(t) \quad (12)$$

여기서 $\mathbf{x}(t+t_f)$ 는 현재 시점 t 로부터 t_f 이후의 상태를 나타내므로, 이 상태 관계식으로부터 충돌 직후의 운전자 몸의 속도와 변위를 예측할 수 있게 된다. 여기서 예측한 운전자 몸의 속도와 변위는 앞에서 시스템 잡음을 무시해 버렸기 때문에 오차가 있을 수 있지만 무시할 수 있을 정도이다.

여기서 예측된 운전자 몸의 움직임은 에어백의 동작시점을 결정하는데 사용된다.

(4) 동작시점 결정

충돌 상황에서 가속도 센서에 의해 검출된 가속도 데이터로부터 지금까지 앞에서 설명한 (1)칼만 필터(Kalman Filter), (2) 추정(Estimation), (3) 예측(Prediction)의 단계를 거쳐 구해진 데이터들을 이용해서 동작시점을 결정할 수 있게 된다. 앞에서도 말했지만 이 논문에서는 모든 조건을 고려하는 완전한 동작시점 결정 방법까지 다루지는 않기 때문에, 가장 중요한 조건인 5"-30ms라는 운전자 몸의 움직임에 대한 기준에 대한 조건만을 가지고 동작시점 결정을 하고자 한다.

이 논문에서 제안하는 동작시점 결정 방법에서는 충돌 직후, 정확히 말하면 충돌 시점으로부터 t 라는 시간이 흐른 시점까지 검출된 가속도 데이터로부터 에어백이 완전히 부풀어오르는데 걸리는 시간인 t_b 즉 30ms 이후의 운전자 몸의 변위를 예측해서, 예측한 운전자 몸의 변위가 5"에 도달하는 시점을 동작시점으로 결정하게 된다.

제안하는 동작시점 결정방법에 있어서 추정을 통해서 구해진 운전자 몸의 변위와 실제 변위간에 오차가 작고, 예측한 운전자 몸의 변위 데이터를 30ms 지연 시킨 데이터와 추정을 통해서 구해진 변위를 비교했을 때 오차가 작다면, 운전자 몸의 움직임 예측을 통한 이 논문에서 제안하는 방법은 에어백의 동작시점 결정 방법으로 적합하다고 할 수 있다.

2.3 모의 실험(Simulation)

이 논문에서 제안한 동작시점 결정방법에 자동차 충돌상황에서의 가속도 데이터를 적용해서 모의 실험한 결과와 기존의 방법에 적용해서 모의 실험한 결과를 비교해 보았다.

모의 실험에는 중속 충돌 상황인 $V_0=5.55$ % (12 MPH)인 데이터와 고속 충돌 상황인 $V_0=13.88$ % (30 MPH)인 데이터를 사용하였다. 표 1은 모의실험에 사용된 상수와 변수 이다.

표 1. 모의 실험에 사용된 상수

변수 및 상수	값
ω	10.37 [rad/sec]
ζ	0.6
$V_0=5.55$ %데이터의 σ_a	480.9016 [(%) ²]
$V_0=13.88$ %데이터의 σ_a	2237.9534 [(%) ²]
$V_0=5.55$ %데이터의 σ_1	6.2391×10^{10} [(%) ²]
$V_0=13.88$ %데이터의 σ_1	2.9035×10^{11} [(%) ²]
$V_0=5.55$ %데이터의 σ_2	-1.4993×10^2 [(%) ²]
$V_0=13.88$ %데이터의 σ_2	-6.7204×10^2 [(%) ²]

잡음의 분산(variance) 정보는 가속도 데이터로부

터 푸리에 변환을 통해 분석한 주파수 성분과 가속도 센서의 검출 주파수 한계 등을 고려해서 구했다.

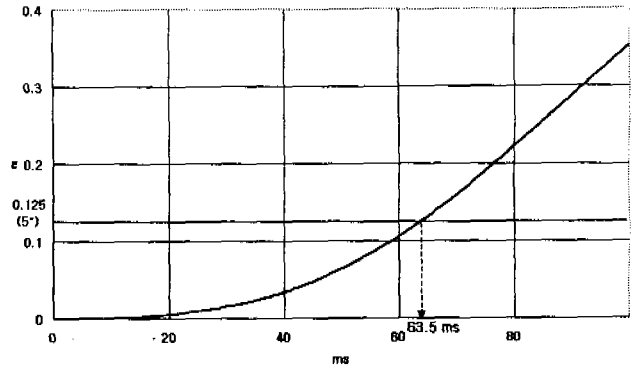


그림 8. $V_0 = 5.55$ % 데이터의 변위 (중속충돌)

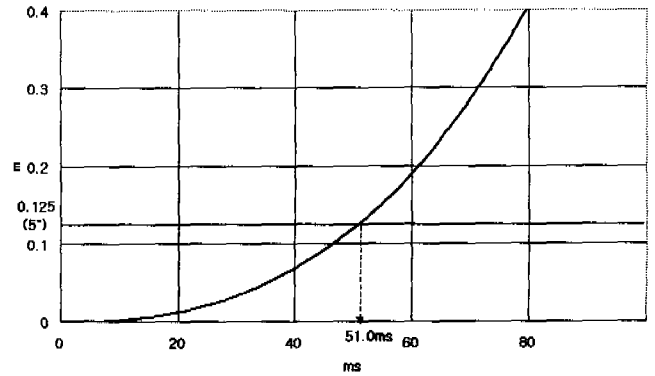


그림 9. $V_0 = 13.88$ % 데이터의 실제 변위 (고속충돌)

그림 5와 그림 6은 각각 중속 충돌과 고속충돌 상황에서 좌석에 대한 운전자 몸의 상대 변위 변화를 나타내는 그래프이다. 그래프에서 보면 중속 충돌 때에는 41.5ms에서 변위가 5"에 도달했고, 고속 충돌 때에는 51.0ms에서 도달했다. 각각의 데이터에 대한 기존의 일반적인 동작시점 결정방법에 의해 결정된 에어백의 동작시점은 중속 충돌 데이터에서는 41.5ms, 고속 충돌 데이터에서는 12.0ms이다.

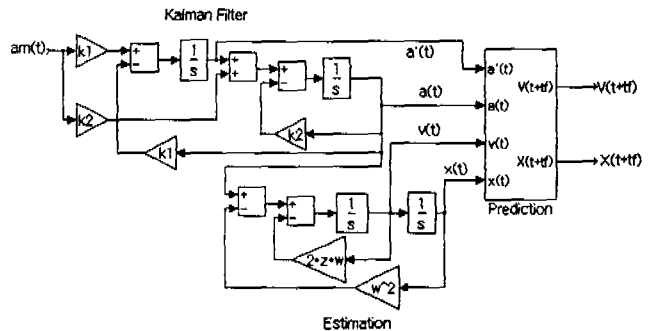


그림 10. 모의실험 블록도

(1) 논문의 제안방법 모의 실험

그림 9에서 12까지는 중속 충돌에 해당하는 $V_0=5.55\%$ 데이터의 모의 실험 결과이고, 그림 13에서 16까지는 고속 충돌에 해당하는 $V_0=13.88\%$ 데이터의 모의 실험 결과이다. 그림 9와 13은 가속도 센서로 검출한 가속도 데이터이고, 그림 10과 14는 칼만 필터를 거친 후 잡음이 제거된 가속도, 그림 11과 15는 추정된 운전자 몸의 속도와 예측한 속도, 그림 12와 16은 추정된 운전자 몸의 변위와 예측한 변위를 나타낸다.

그림 9와 10, 그림 13과 14를 비교해 보면 센서에서 검출된 가속도 데이터가 칼만 필터(Kalman filter)를 거치면서 고주파의 잡음이 거의 제거된 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 11과 15를 보면 추정된 운전자 몸의 속도와 예측한 속도가 30ms의 시간차를 두고 거의 같은 모양임을 알 수 있다. 또한 그림 12와 그림 16을 보면 추정된 변위와 예측한 변위 역시 30ms의 차이를 두고 거의 같은 모양임을 볼 수 있다. 이것은 필터링 단계와 추정단계, 예측 단계가 모두 올바르게 수행 되었다는 것을 알 수 있게 해준다.

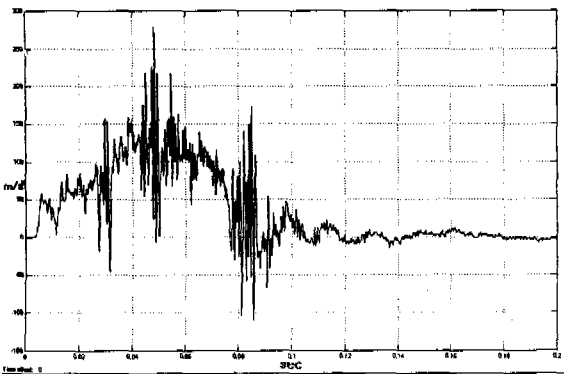


그림 11. $V_0 = 5.55\%$, 검출된 가속도

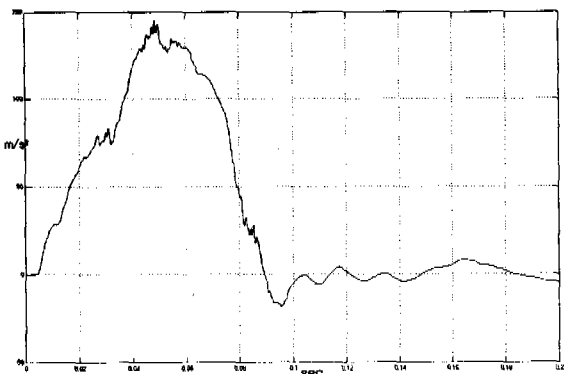


그림 12. $V_0 = 5.55\%$, 필터링 된 가속도

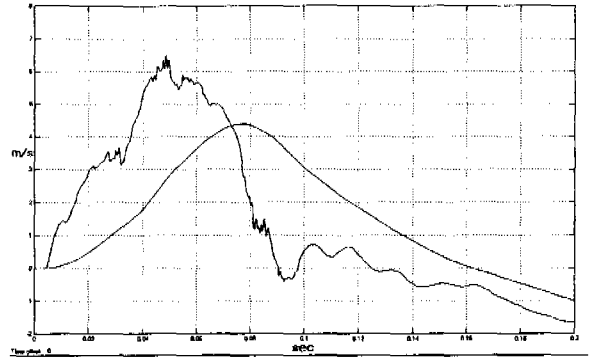


그림 13. $V_0 = 5.55\%$, 추정된 속도와 예측한 속도

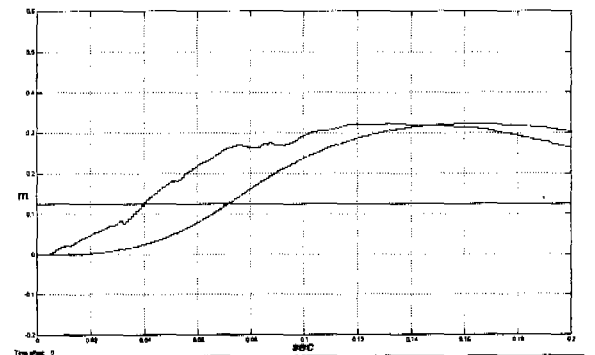


그림 14. $V_0 = 5.55\%$, 추정된 변위와 예측한 변위, 5°

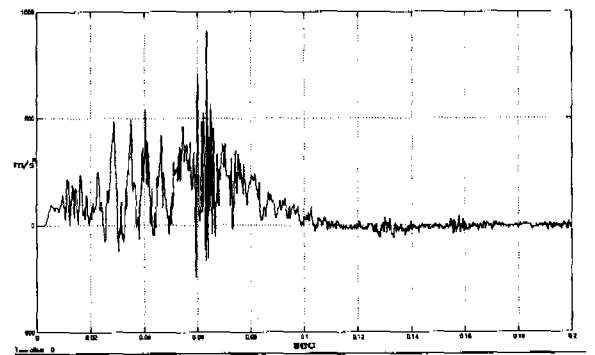


그림 15. $V_0 = 13.88\%$, 검출된 가속도

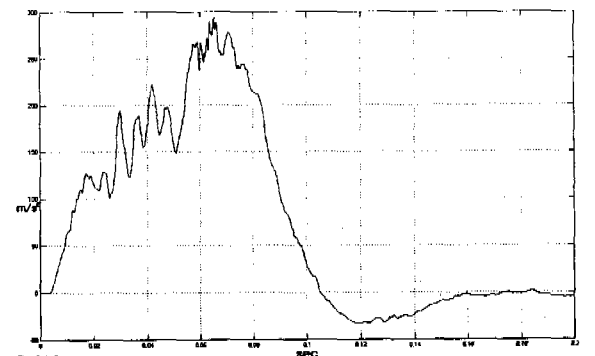


그림 16. $V_0 = 13.88\%$, 필터링 된 가속도

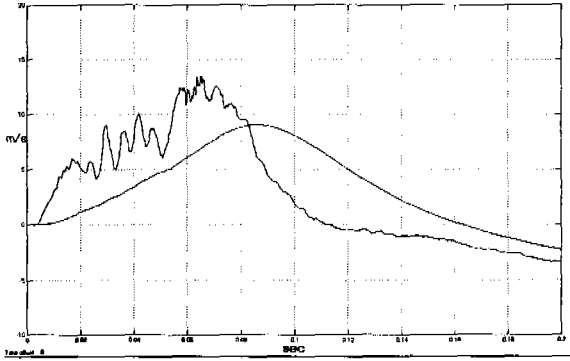


그림 17. $V_0 = 13.88\%$, 추정된 속도와 예측한 속도

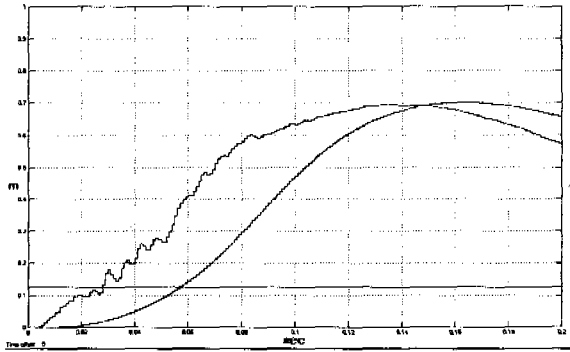


그림 18. $V_0 = 13.88\%$, 추정된 변위와 예측한 변위, $5''$

표 2와 3을 보면, 앞의 그림 설명에서 말했던 추정 변위와 예측 변위가 각각 $5''$ 에 도달하는 시점이 30ms에서 오차가 6% 미만인 것을 볼 수 있다. 따라서 추정 변위에 대해 예측이 올바르다는 것을 보여준다. 또한, 실제 변위와 추정 변위가 각각 $5''$ 에 도달하는 시점을 보면, 오차가 13% 미만인 것을 볼 수 있는데 이것은 변위의 추정이 실제 변위에 대해 크게 벗어나지 않는다는 것을 보여준다.

표 2. 실제 변위와 추정 변위 $5''$ 도달시점 비교

데이터		중속 충돌	고속 충돌
시 점			
실제 변위 $5''$ 도달 시점		63.5 ms	51.0 ms
추정 변위 $5''$ 도달 시점		71.3 ms	56.7 ms
오차	ms	+7.8 ms	+5.7 ms
	%	+12.28 %	+11.18 %

표 3. 추정 변위와 예측 변위의 $5''$ 도달시점 비교

데이터		중속 충돌	고속 충돌
시 점			
추정 변위 $5''$ 도달 시점		71.3 ms	56.7 ms
예측 변위 $5''$ 도달 시점		39.6 ms	27.8 ms
30ms와의 오차	ms	+1.7 ms	-1.1 ms
	%	+5.66 %	-3.66 %

표 4에서는 기존의 일반적 동작시점 결정방법에 의해 결정된 동작시점과 예측한 변위가 $5''$ 에 도달하는 시점을 동작시점으로 결정하는 이 논문의 방법에 의한 동작시점을 실제 변위가 $5''$ 라는 기준에 도달하는 시점에서 30ms를 뺀 시점과 비교해서 보여준다.

표 4. 동작시점의 비교

데이터		중속 충돌	고속 충돌
시 점			
실제 변위 $5''$ 도달시점 - 30ms		33.5 ms	21.0 ms
일반적 방법에 의한 동작시점		41.5 ms	12.0 ms
오차	ms	+8.0 ms	-9.0 ms
	%	+26.66 %	-30.0 %
이 논문의 방법에 의한 동작시점		39.6 ms	27.8 ms
오차	ms	+6.1 ms	+6.8 ms
	%	+20.33 %	+22.66 %

결과를 보면, 일반적 방법에 의해 결정된 동작시점보다 이 논문에서 제안하는 방법에 의해 결정된 동작시점이 상대적으로 $5''$ -30ms라는 기준에 더 근접한 것을 볼 수 있다. 따라서 여기서 제안한 방법이 일반적인 동작시점 결정방법에 비해 비용과 시간면에서도 유리하고, 더불어 $5''$ -30ms라는 기준에 더 근접하기 때문에 승객 보호 효과에 있어서도 유리하다는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

일반적인 에어백 동작시점 결정방법에 있어서 단점인 비용과 시간을 보완하면서 좀더 기준에 근접한 동작시점 결정을 위해 이 논문에서는 충돌 상황에서 운전자 몸의 변위 예측이라는 방법을 사용하였다. 모의 실험 결과를 통해서 보면 이 논문에서 제안한 방법에 의해 결정된 동작 시점이 여러 가지조건을 고려하지 않고 오직 예측한 운전자 몸의 변위만을 고려했음에도 불구하고 더 좋은 결과를 나타냈다.

하지만 여전히 기준에 대해서 오차가 존재하였다. 이 오차를 줄이기 위해서는 우선적으로 운전자 몸의 움직임을 표현하기 위한 모델링에 있어서의 개선과 데이터 처리의 첫 단계인 칼만 필터(Kalman filter)에 있어서의 좀더 정확한 잡음 제거가 필요하다. 더불어 완전한 동작시점 결정방법이 되기 위해서 고려하지 않았던 다른 에어백 작동 조건들에 대해서도 고려하는 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] Kajiro Watanabe, and Yasushi Umezawa, "Optimal

산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제18집, 1998.

Research Report. The Institute of Industrial Technology, Kangwon Nat'l Univ., Korea, No. 18, 1998.

Timing to Trigger an Airbag", *SAE Trans.* 930242, 1993

- [2] Kanto Seiki, Patent Japan-4-146851, 1992
- [3] Technical Staff of The Analytic Sciences Corporation, *Applied Optimal Estimation*, The M.I.T PRESS, 1974
- [4] Brian D. O. Anderson, and John B. Moore, *Optimal Filtering*, Prentice Hall, 1979
- [5] Takahashi Toshinori, and Ito Jun, Patent U.S.-5668720, 1997
- [6] Athanasios Papoulis, *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, McGraw-Hill, 1991
- [7] Chi-Tsong Chen, *Linear System Theory and Design*, Saunders College Publishing, 1984