

단계적 충돌 유형 구분에 따른 강인한 충돌 알고리즘 설계

조광현*¹⁾ · 최세범¹⁾ · 강석창, 신경재³⁾
KAIST 기계공학과¹⁾ · 현대자동차³⁾

Design of a Crash Algorithm Using Dual Discrimination for Crash Type

Kwanghyun Cho ^{*1)} · Seibum Choi¹⁾ · Sukchang Kang · Kyungjae Shin ²⁾

^{*1)} Department of Mechanical Engineering, KAIST, 335 Gwahak-ro(373-1 Guseong-dong), Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea

²⁾ Hyundai Motor Company, 772-1 Jangduk-dong, Hwaseong-Si 445-706, Korea

Abstract : An airbag system has been a standard safety system for saving a driver's and passengers' life after a crash is occurred. But it has several problems that airbags are not deployed though they must be deployed or deployed though they must not be deployed. It can make unpredicted injuries of a driver or passengers. Therefore the role of the crash algorithm to deploy airbags is very important. In this paper, a robust crash algorithm is developed to deploy airbags in a proper time when a crash is occurred. The algorithm discriminates crash types using FIS(Front Impact Sensors) first and revises it using ACU-Y sensor(acceleration sensor of Y-direction in Airbag Control Unit). After then, airbags are deployed along the discriminated crash type. In this algorithm, using the combination of both sensors, the reliability of discriminated crash type information becomes higher than when each sensor is used separately.

Key words : Airbag(에어백), Crash Algorithm(충돌 알고리즘), Crash type discrimination(충돌 유형 구분), Crash severity(충돌 강도), Front impact sensor(전방충돌센서), NCAP (New Car Assessment Program; 신차 평가제도), RTTF (Required Time To Fire; 요구 에어백 전개 시간)

Nomenclature

RTTF : required time to fire
FRT : front crash
ODB : offset deformable barrier
OBLQ : oblique crash
ACU : airbag control unit
FIS : front impact sensor

1. 서론

오늘날 차량 사고 발생시 운전자나 승객에게 가해지는 충격량을 경감시키고, 생명의 안전을 보장하는 에어백 시스템은 대부분의 차량에 장착되어 상당히 보편화된 추세이다. 에어백은 운전자와 승객의 생명과 직결되는 시스템이므로 충돌 발생 시 에어백이 전개되어야 함에도 불구하고 전개되지 않거나 충돌이 발생하지 않아 에어백이 전개되지 않아야 함에도 불구하고 센서에 가해지는 다른 충격에 의해 오전개 되는 일이 발생할 경우 운전자나 승객에게 예기치 못한 상해를 입힐 수 있다. 따라서 에어백 전개를 위한 충돌 유무 및 충돌 상황에 대한 정확한 구분, 상황 판단에 따른 요구시간 내

* 조광현, E-mail: khcho08@kaist.ac.kr.

의 에어백 전개를 위한 충돌 알고리즘의 중요성은 매우 크며, 충돌 상황 및 기타 상황에 대해 강한 알고리즘의 설계가 요구된다.

현재 개발된 많은 충돌 알고리즘은 크게 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 즉, 충돌 유형의 구분 없이 신호의 특성에 따라 동일한 에어백 전개 임계값을 적용하여 에어백을 전개시키는 형태¹⁾와 충돌 유형을 구분하여 그 유형에 따라 다른 에어백 전개 임계값을 적용하여 에어백을 전개시키는 형태²⁾³⁾⁴⁾로 구분된다.

전자의 경우, 충돌 유형에 대한 구분이 없으므로 충돌 유형에 따라 다른 RTTF를 가지는 에어백 전개 조건을 완전히 만족시킬 수는 없지만 알고리즘의 설계를 위해 사용된 충돌 데이터들의 충돌 유형을 벗어난 차량 충돌에 있어 성능이 비교적 우수하게 나타날 수 있다. 후자의 경우, 구분된 충돌 유형에 따라 다른 임계값을 적용하여 에어백을 전개시키기 때문에 충돌 시험 데이터에 고려된 충돌 유형 외의 충돌이 발생할 경우 에어백 전개 시간이 RTTF를 만족시키지 못할 수도 있다. 하지만 대부분의 차량 사고가 충돌 시험 유형 범위 내에서 발생된다는 것을 고려하면 각 기 다른 충돌 상황에서 다른 RTTF를 가지는 에어백 전개 조건을 만족시킴으로써 전자의 알고리즘보다 우수한 성능을 보일 수 있다.

본 논문에서는 앞서 언급한 충돌 알고리즘 형태 중 후자의 경우에 있어 충돌 발생 시 보다 신뢰도 높은 충돌 유형의 구분을 통해 RTTF를 만족시키기 위한 알고리즘을 설계하였다. 논문의 구성은 2장에서 충돌 유형을 구분하는 방법 및 에어백 전개를 위한 임계값 설정에 대한 설명을 통해 개발된 알고리즘에 대한 설명이 이루어진다. 3장에는 충돌 시험 데이터를 이용한 제안된 충돌 알고리즘의 검증작업이 이루어지고, 4장에서 본 논문에 대한 결론으로 마무리된다.

2. 알고리즘 개발

충돌 알고리즘 개발을 위해 사용된 센서는 Fig.1 과 같다. 차량의 전방 좌우측에 장착되어 전방 충돌 센서는 충돌 발생 시 최초 입력이 들어오는 센서로 충돌 유무 및 충돌 유형을 조기에 판단하기 위해 설치되었으며, ACU(Airbag Control

Unit; 에어백 제어기)의 X-축 가속도 센서는 주로 충돌 강도를 판단하기 위해 사용⁵⁾되며, 차체의 구조에 따른 충돌 특성이 반영된다. ACU(Airbag Control Unit; 에어백 제어기)의 Y-축 가속도 센서 또한 전방 충돌 센서와 같이 충돌 유형을 판단하는데 주로 사용되며, 본 논문에서는 FIS와 ACU-Y축 센서를 이용하여 충돌 유형을 판단하였으며, 두 센서로 판단되지 않는 충돌 유형의 경우 ACU-X축 센서 신호의 차체 특성 신호를 추출하여 충돌 유형을 구분하였다. 그리고 구분된 충돌 유형에 따라 ACU-X축 센서 신호를 통해 각기 다른 에어백 전개 임계값을 적용하여 에어백을 전개시키도록 설계하였다.

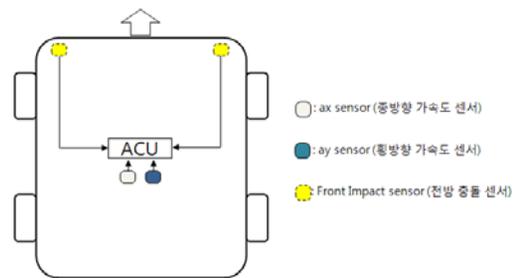


Fig. 1 Used sensors in design of algorithm

2.1 충돌 유형 구분

충돌 발생 시 충돌 유형 구분은 FIS를 이용하여 1차적인 충돌 유형 정보를 유지시킨 후, ACU-Y축 센서를 이용하여 이를 보정하는 형태로 설계되었다.

2.1.1 FIS 를 이용한 충돌 유형 구분

FIS의 경우 차량 최전방에 장착되어 충돌 발생 시 가장 빠르게 충돌 신호가 전달되기 때문에 충돌 유형 판단을 조기할 수 있는 장점이 있다. 하지만 충돌에 의한 충격이 센서에 직접적으로 전달되기 때문에 충돌에 의한 센서 손상이나 센서 위치의 변경 등으로 인하여 잘못된 신호를 발생시킴으로써 충돌 유형을 판단함에 있어 충돌 알고리즘이 오류를 범할 수 있다.⁶⁾

본 논문에서는 FIS의 좌우측 신호의 차이를 이용한 식(1)을 통해 일정 임계값을 기준으로 충돌 유형을 충돌 방향성에 따라 정면, 오프셋, 경사 충돌로 구분하였다.

$$\left(\sum |a_{FIS-LH}(t)| - \sum |a_{FIS-RH}(t)| \right)^2 \quad (1)$$

정면 충돌의 경우 좌우측 FIS 신호가 거의 동일하게 나타남에 따라 위의 식의 값이 거의 0에 가깝게 발생된다. 경사 충돌의 경우는 충돌이 발생하는 쪽 센서에 신호입력이 우선적으로 발생되고 일정 시간이 지난 후 다른 쪽 센서 입력이 들어오기 때문에 초기에 센서 신호의 차가 크게 나타난다. 오프셋 충돌의 경우 정면 충돌과 경사 충돌의 중간 단계의 특징을 보이는데, FIS 좌우측 신호가 초기에는 거의 동일하게 들어오지만 시간이 지남에 따라 충돌이 발생하지 않는 쪽의 FIS 신호는 ACU-X축 센서 신호와 거의 유사하게 입력된다. 식(1)을 이용하여 각 충돌 시험 데이터를 Fig.2에 나타내었다.

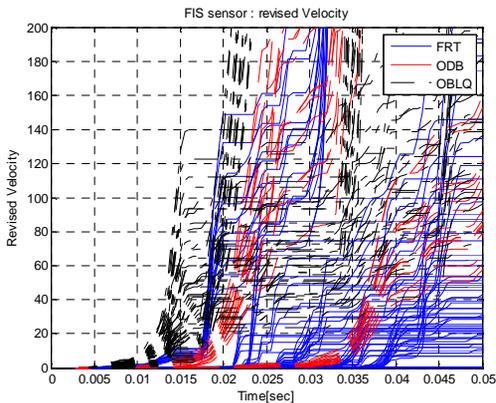


Fig. 2 Velocity Signal using FIS

일정 임계값을 이용하여 충돌 유형을 구분한 결과 중 정면 충돌에 대해 충돌 유형이 결정된 결과와 RTTF를 Fig.3와 Table.1에 나타내었다.

Fig.3의 정면 충돌 유형 중 FRT#3의 경우 RTTF가 T3이지만 그 전에 오프셋 또는 경사 충돌로 판정되었으며, FRT#6 경우 또한 RTTF가 T6-1임에도 불구하고 그 전에 경사충돌로 판정되어버리므로 FIS 센서를 단독으로 사용하는 경우에 있어 문제점이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이런 경우에 있어 FIS와 ACU-Y축 센서를 병행하여 충돌 유형 판정하는 작업이 필요하다.

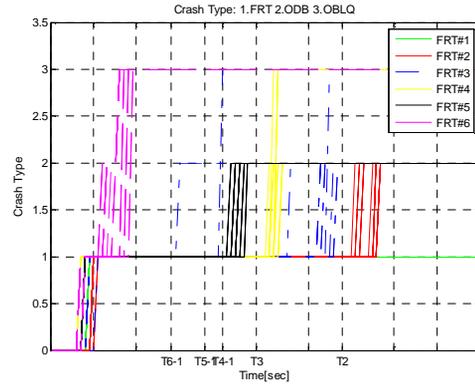


Fig. 3 Crash Type Decision using FIS

Table 1 Front Crash RTTF (Required Time To Fire)

| FRT | RTTF [ms] | |
|-------|----------------------|----------------------|
| | 1 st Fire | 2 nd Fire |
| FRT#1 | NF | NF |
| FRT#2 | T2 | NF |
| FRT#3 | T3 | NF |
| FRT#4 | T4-1 | T4-2 |
| FRT#5 | T5-1 | T5-2 |
| FRT#6 | T6-1 | T6-2 |

2.1.2 ACU-Y축 센서를 이용한 충돌 유형 구분

ACU-Y축 센서의 경우 차량 충돌 발생 직후 충돌 유형에 대한 구분성이 나타나는 것이 아니기 때문에 일정 시간의 지연 후 충돌 유형의 구분이 가능하다. 하지만 충돌로 인한 충격이 직접적으로 전달되는 전방충돌센서와 달리 차체 설계에 따라 간접적으로 충격이 전달되기 때문에 전방충돌센서에 비해 신호의 신뢰도가 높은 것이 장점이다.

본 논문에서는 ACU-Y축 가속도 센서 신호를 200Hz LPF로 필터링한 후 절대값을 취한 식(2)를 이용하여 일정 임계값을 기준으로 충돌 유형을 정면, 오프셋, 경사 충돌로 구분하였다.

$$\sum |a_{ACU-Y}(t)| \quad (2)$$

ACU-Y축 센서는 충돌 방향에 따라 신호의 특징이 나타나기 때문에 정면 충돌의 경우 일정 범위 내에 신호가 존재하며, 오프셋 충돌과 경사 충돌의 경우

충돌이 발생한 방향에 대하여 시간이 지남에 따라 신호의 크기가 한 쪽으로 편중되어 나타난다. 식 (2)를 이용하여 각 충돌 유형에 대해 나타낸 신호와 일정 임계값을 이용하여 충돌 유형을 구분한 경우 중 정면 충돌에 대해 Fig.4 와 Fig.5 에 나타내었다.

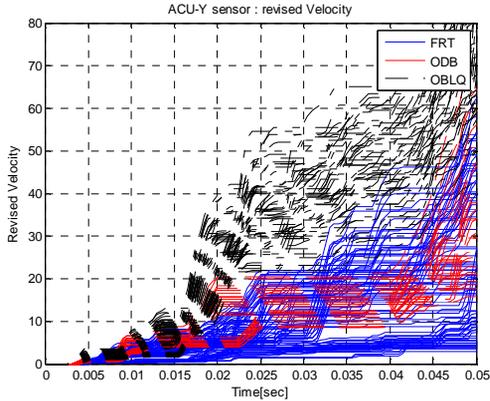


Fig. 4 Velocity Signal using ACU-Y Sensor

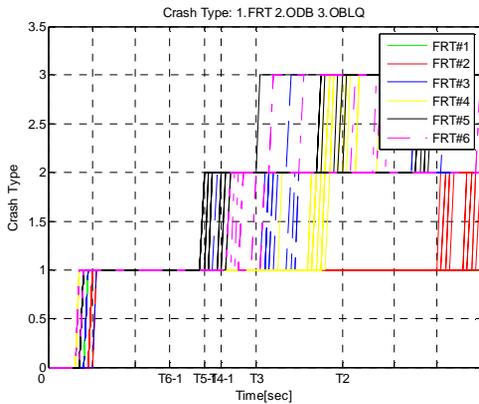


Fig. 5 Crash Type Decision using ACU-Y Sensor

ACU-Y축 센서를 이용하여 충돌 유형을 구분한 경우 FIS를 이용하여 충돌 유형을 구분한 경우보다 시간적인 지연이 있음을 Fig.3 과 Fig.5 를 통해 알 수 있다. 그러나 Fig.3 에서 FRT#6 의 경우에 발생되었던 충돌 유형 판단 오류가 발생하지 않았으므로 FIS를 이용한 결과를 ACU-Y축 센서로 보정 가능하다. 본 연구에서 ACU-Y축 센서를 이용한 충돌 유형 구분에 있어 정면 충돌의 모든 시험 데이

터들이 RTTF를 만족시킬 수 있지만 정면 충돌보다 오프셋 충돌 구분성에 비중을 두어 충돌 유형을 구분하였기 때문에 FRT#3의 경우는 RTTF-T3 이전에 충돌 유형이 오프셋으로 친이되었다. 이는 시험 데이터로 사용되는 모든 신호를 고려하여 재조정되어, 다음 절에 소개되는 방법으로 FIS 를 통해 오프셋 조건을 보정하였다.

2.1.3 FIS와 ACU-Y축 센서 조합의 충돌 유형 구분

앞 절에서 얻어진 결과를 통해 FIS를 이용한 충돌 유형 판단의 경우 초기에 충돌 유형을 판정할 수 있지만 센서 신호가 충격에 민감하여 충돌 유형을 잘못 판단할 수 있다는 결론을 얻었다. 그리고 ACU-Y축 센서를 이용할 경우 대체적으로 신호의 신뢰도가 높지만 충돌 유형 판정을 위한 시간 지연이 발생하여 잘못된 상황 판단에 따른 에어백 오작동의 가능성이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 FIS 를 통한 충돌 유형 판정이 초기에 이루어지는 장점과 ACU-Y의 충돌 유형 판정의 신뢰도가 높다는 장점이 각 센서의 단점들을 보완할 수 있다는 점에 근거하여, 두 센서 간의 관계를 이용한 두 단계의 새로운 충돌 유형 구분 방법을 제안하였다.

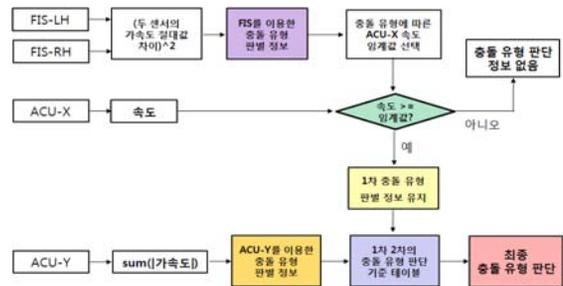


Fig. 6 Block Diagram for dual discrimination of crash types

1차적 충돌 유형 판단을 위해서는 2.1.1절에 제시한 FIS를 이용한 충돌 유형 판단 정보를 사용한다. FIS를 이용한 충돌 유형 정보는 시간에 따라 빠르게 정면에서 오프셋, 오프셋에서 경사 충돌로 변화되기 때문에 적정 시점에서 충돌 유형 정보를 유지시키는 작업이 필요하다. 이 때 적정 시점은 충돌 상황에 알맞은 충돌 유형 정보를 가지는 순간이 되며, 대부분의 경우 RTTF 보다 상당히 빠른 시점에

서 충돌 상황과 일치하는 충돌 유형 정보를 가지기 때문에 ACU-X축 센서의 속도 신호와 각 충돌 유형별 임계값을 설정하여 임계값을 넘는 경우 더 이상의 충돌 유형 정보의 변화를 없도록 하여 현재의 충돌 유형 정보를 유지시킨다. 이를 통해 1차적인 충돌 유형 정보가 생성된다. 그리고 2차적인 충돌 유형 정보를 결정하기 위해 2.1.2절에 언급한 ACU-Y축 센서를 이용한 충돌 유형 구분정보와 1차적으로 구분된 충돌 유형 정보 간의 비교작업이 수행된다. 1차 구분과 2차 구분으로 인한 충돌 유형 구분에서 최종 충돌 유형 정보를 추출하기 위해 충돌 데이터 분석 작업을 통해 Table.2의 단계적 충돌 유형 구분 기준표가 작성되었다.

Table 2 Crash Type Decision

| 1차 구분 \ 2차 구분 | 정면 | 오프셋 | 경사 |
|---------------|----|-----|--------|
| 정면 | 정면 | 오프셋 | 경사 |
| 오프셋 | 정면 | 오프셋 | 오프셋/경사 |
| 경사 | 정면 | 오프셋 | 경사 |

이는 1차적으로 판정된 정면 및 오프셋 충돌은 충돌 유형 정보가 발생한 충돌 유형과 일치하지만 경사 충돌로 판정된 경우는 실제 발생한 충돌이 오프셋 또는 경사 충돌인 경우가 존재한다는 점에 근거를 둔 것이다. 위의 조건들을 FRT#3과 ODB의 경우에 대해 적용한 결과를 Fig.7과 Fig.8에 나타내었다.

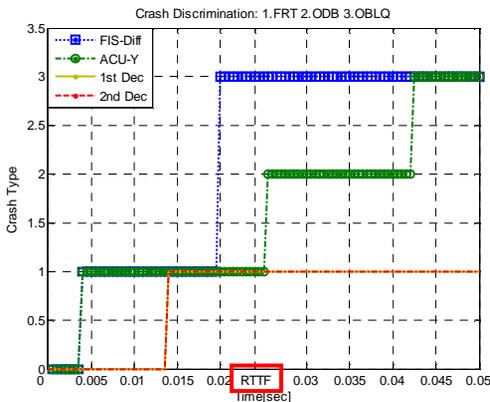


Fig. 7 Result : FRT#3

Fig.7은 정면충돌의 FRT#3 경우를 나타낸 것인데,

RTTF 이전에 FIS 를 이용한 충돌 유형 구분이 경사 충돌로 발생되었지만 1차적 충돌 유형 유지 작업을 통해 정면 충돌로 인식되면서 최종적으로 Table 2의 조건이 적용되어 RTTF 시점에서 정면 충돌로 유지됨을 알 수 있다. 또한 오프셋 충돌, 즉 ODB 경우를 나타내는 Fig.8 에서는 FIS를 이용한 충돌 유형이 경사 충돌로 판정되어 1차적 충돌이 경사 충돌로 판정되었지만 Table 2의 조건이 적용됨에 따라서 RTTF 이전에 오프셋 충돌로 최종 판정되어 올바른 결과를 보임을 알 수 있다.

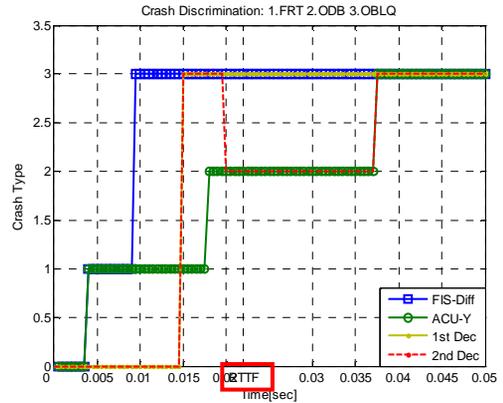


Fig. 8 Result : ODB

2.2 에어백 전개

2.1절에 제시된 충돌 유형 구분 방법을 통해 구분된 충돌 유형의 에어백 전개를 위해서는 각 충돌 유형에 따라 다른 RTTF를 만족시키기 위해 다른 에어백 전개 임계값이 설정되어야 한다. 많은 에어백 전개 알고리즘들에 있어 에어백 전개를 위한 임계값의 기준으로 속도, 거리, 에너지 등의 형태의 신호가 사용되는데⁷⁾, 단순한 가속도의 적분 형태의 신호들을 이용하여 에어백을 전개시킬 경우 설계를 위해 사용된 신호의 작은 변화에 따라 에어백 전개 시간이 상당히 큰 차이를 보이게 된다. 따라서 신호의 작은 변화에 둔감해지고, 충돌 특성을 나타낼 수 있는 인자를 통한 에어백 전개 임계값이 설정되어야 한다.

본 연구에서는 차량이 충격을 흡수하게 되면 차량 내부의 구조, 범퍼나 crash box 등으로 인해 Fig.9 와 같이 충돌 속도가 일정 또는 감소되는 현상이 발생하여 충돌 속도에 따른 기울기가 0 또는

양의 값을 가지는 지점이 발생하는 점을 이용하여 에어백을 전개시키는 방법을 제안하였다. 이 지점을 탐지하기 위해 속도 신호의 4 샘플마다 속도의 기울기를 미분한 지점, 즉 속도 신호의 변곡점이 0이 되는 지점 또는 최대값을 가지는 지점을 탐지하였으며, 이는 속도에 대한 단순 미분을 이용하는 경우보다 쉽게 충격이 흡수되는 부분을 나타내었다. 그리고 이를 이용하여 충돌 유형에 따라 다른 임계값을 설정하여 에어백이 전개되도록 알고리즘을 설계하였다.

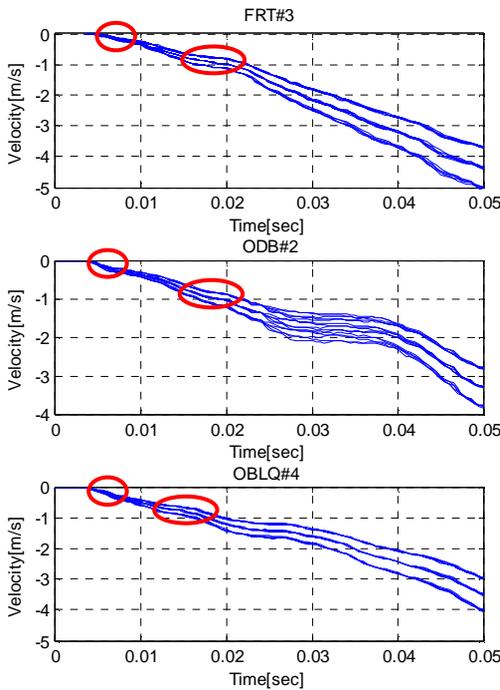


Fig. 9 Velocity Data for airbag deployment

3. 시뮬레이션

알고리즘 검증을 위한 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 충돌 시험을 통해 수집된 총 12종의 충돌 데이터와 추가적으로 Misuse 데이터 5종이 사용되었다. 실제 수집된 데이터와 알고리즘의 수행 주기가 일치하지 않기 때문에 각 신호를 알고리즘 수행 주기에 맞게 downsampling 하여 5종의 신호로 나누었다. 또한 충돌 알고리즘의 강건성을 위

해 신호의 변화를 고려하여 충돌 신호의 $\pm 15\%$ 변화 및 Misuse 신호의 200% 변화된 신호를 반영시켰으며, 하드웨어 필터의 차단 주파수 변경 가능성을 고려하여 3종의 필터를 사용하였다. 다음은 사용된 충돌 데이터에 따른 충돌 알고리즘의 에어백 전개 시간을 나타낸 것이다.

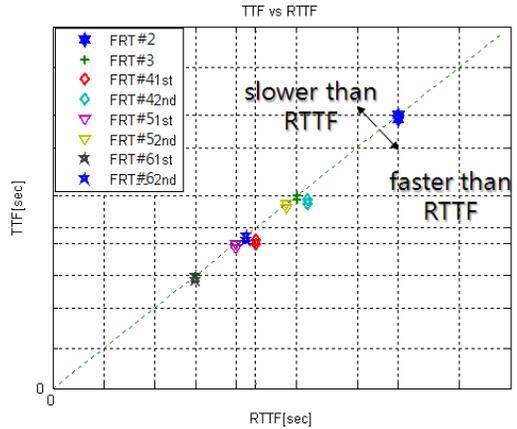


Fig. 10 RTTF vs TTF : FRT

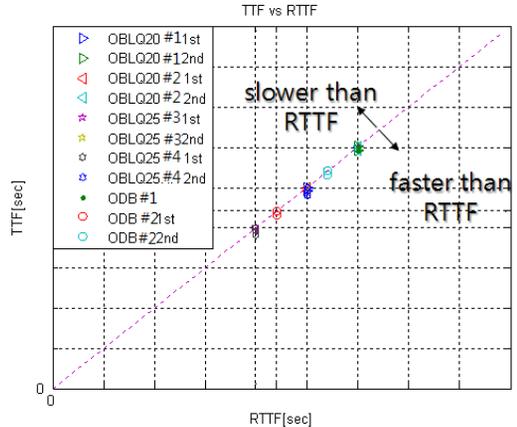


Fig. 11 RTTF vs TTF : OBLQ and ODB

Fig.10 과 Fig.11 에서 나타난 바와 같이 모든 충돌 시험 항목이 RTTF를 만족하거나 혹은 최대 2ms 빠르게 에어백이 전개됨을 알 수 있다. 에어백이 RTTF보다 늦게 전개되는 경우는 운전자가 충돌로 인해 충격을 직접 받거나 충격에 의해 머리 부분이 깊이 숙여 졌을 때 늦은 에어백 전개로 인해 오히려 상해를 입게 되는 경우를 고려해보면 RTTF

보다 조금 빠른 경우는 큰 문제가 되지 않는다고 결론 지을 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 두 단계에 걸친 충돌 유형 구분을 통해 충돌 유형 구분에 강건한 에어백 전개 알고리즘이 설계되었다. 충돌 유형 구분에 있어 FIS와 ACU-Y축 센서를 각 기 이용하지 않고 두 센서의 장점을 조합함으로써 충돌 발생 시 충돌 유형 구분에 있어 보다 강인한 충돌 유형 판별 방법을 제안하였으며, 구분된 충돌 유형에 따라 다른 에어백 전개 임계값을 적용하여 에어백이 전개되도록 설계하였다. 이 때 에어백 전개를 위해 단순 속도, 거리, 에너지 등의 신호를 이용하지 않고, 충돌 특성을 나타내는 인자를 고려함으로써 알고리즘 설계에 사용되는 신호의 크기 변화에 강인한 알고리즘이 설계되었다. 그리고 다양한 충돌 유형의 데이터를 이용하여 알고리즘이 모든 충돌 유형의 RTTF를 만족시킴으로써 알고리즘의 강건성을 보였다.

References

- 1) B.R. Ham, S.G. Hong, and H.Y. Jeong, "A Study on Crash Severity Algorithm for Advanced Airbag System", Autumn Conference Proceedings of the Korean Society of Automotive Engineers, pp.1041-1046, 2000
- 2) S.W. Park, J.H. Lee, and M.C. Jeon, "Crash Discrimination Algorithm Using Electronic Dual-Axis Accelerometer", Autumn Conference Proceedings of the Korean Society of Automotive Engineers, pp.1249-1254, 2001
- 3) S.W. Park, M.C. Jeon, "A Study on Improvement of Crash Discrimination Performance for Offset and Angular Crash Events Using Electronic X-Y 2-Axis Accelerometer", Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.11, No.1, pp.128-136, 2003
- 4) H.Y. Jeong, Y.H. Kim, "New Crash

Discrimination Algorithm and Accelerometer Locations", Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.8, No.6, pp.182-193, 2000

- 5) S.W. Park, M.C. Jeon, "Crash Discrimination Algorithm for Airbag Electronic Single-point Sensor", Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.7, No.3, pp.301-309, 1999
- 6) T. Gioutsos, D. Tabar, "Determination of Crush Zone Severity Using a Ball-In Tube and Accelerometer Sensing System(BASS)", SAE 1999-01-326, 1999
- 7) K.A. Sung, C.S. Lee, "A Study on the Airbag Crash Recognition Algorithm for Vehicle Impact Modes and Speeds", Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.8, No.6, pp.259-266, 2000