

Global Report

통합 차량 제어시스템을 이용한 충돌완화 및 교통안전

1. 서론
2. 방법론
3. 수학적 시뮬레이션
4. 결론

1. 서론

자동차의 주행안전성을 향상시키기 위해 다음과 같은 다양한 VDCS(Vehicle Dynamics Control Systems : 차량 동적거동 통제시스템)가 개발되어 차량의 안정성면에서 매우 중요한 역할을 수행하고 있다.

- ABS(Anti-lock Brake System)는 강한 제동이 적용되는 동안 차량이 원하는 스티어링 각도를 유지하는 데 적용되고 있다. (2001년 Bang 외, 2002년 Yu 외)
- ABS는 종래의 제동시스템에 비해 차량의 정지거리를 줄이는 데 도움이 된다. (2003년 Celentano 외, 2006년 Pasillas-Lepine 외)
- ASCS(Active Suspension Control System)는 차량의 승차감 향상 및 수직 가속도를 감소시키는 데 적용되고 있다. (1988년 Yue 외, 1995년 Alleyne & Hedrick)

이러한 차량의 주행안전 측면에서 보면, 승차인원의 안전은 가장 중요한 연구로 자리매김 되고 있으며 자동차산업은 자동차의 안전성 향상을 위해 심혈을 기울이고 있다. 특히 좌석벨트 및 에어백 등과 같은 ADAS(Advanced Driver Assistant Systems)는 주행 중 차량 간 충돌사고 발생 시 피해를 최소화할 수 있는 매우 중요한 장치들이다. ADAS의 목표는 차량의 정면충돌 사고를 예방하고, 사고발생 시 피해를 최소화하고자 하는 것이다. 이러한 목표를 위해 그간 연구되어 온 주요 R&D 사례를 시계열적으로 요약하면 다음과 같다.

- ADAS(Advanced Driver Assistant Systems)의 주 아이디어 제안 : 1998년 Seiler 외, 2006년 Gietelink 외
- BAS(Brake Assistant Systems) 개발연구 : 2001년 Tamura 와
- 급박한 차량 충돌시스템에 적용 연구 : 2002년 Jansson 외
- CMBS(Collision Mitigation Brake Systems) 개발연구 : 2005년 Sugimoto, Sauer

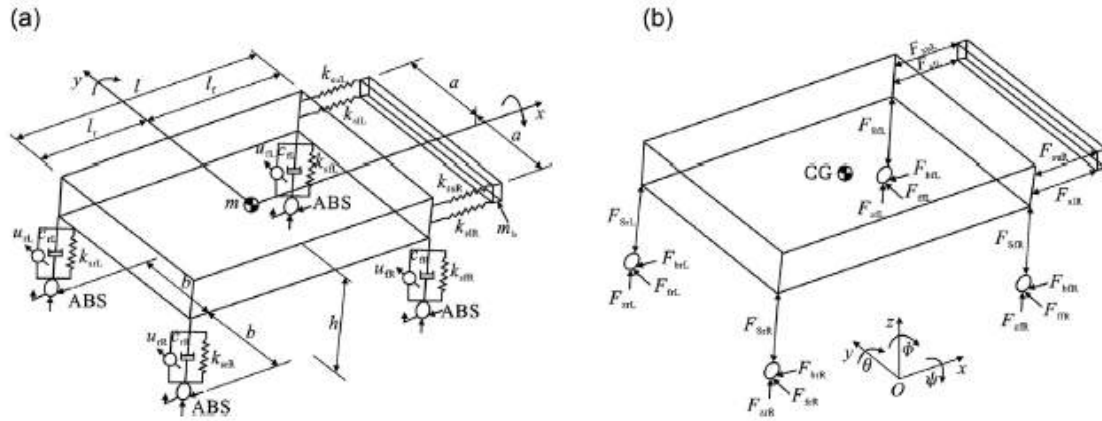
이러한 R&D 사례들은 순간적인 위험상황 발생 시 충돌물체의 상대위치에 따라 즉시 제동을 활성화하는 데 필수적인 운전자의 행동특성에 대한 연구에 반영되어 커다란 파급효과를 일으킨 것으로 평가받고 있다. 특히 차량역학 제어시스템(active vehicle dynamics control systems)의 경우 고속주행 시 발생한 충돌사고에서 차량의 안전성과 탑승자의 부상을 예방할 수 있는 요인을 결정한다. (2012년 Elkady & Elmarakbi) 이러한 안전성에 대한 연구를 수행하기 위해 6-DOF(6-Degree-of-Freedom) 수치해석 모델이 개발되었다. 이 모델을 통해 차량충돌 구조역학과 충돌구조를 검증하는 데 가장 효과적인 예측기법으로 이용되고 있다.

2. 방법론

2.1. 차량 역학/충돌 모델

충돌 시뮬레이션(crash simulation)에서 수치해석 모델은 차량충돌사고 발생 예측에 대한 신속한 분석이 요구되는 첫 번째 설계단계에서 매우 유용하다. 이러한 수학적 모델링은 그간 잘 알려진 FE모델과 비교하여 매우 신속한 시뮬레이션 분석을 제공하는 것으로 평가받고 있다. 이 연구에서 제안한 6-DOF 차량 역동성/충돌 수치해석 시뮬레이션 프로세스를 [그림 1]에 나타낸다. (a)는 6-DOF 차량의 역동성/충돌 수치해석 모델이며, (b)는 이를 구현하기 위한 수치해석 모델의 다이어그램이다. 이는 VDCS를 최적화하기

위해 개발된 것이다. ABS와 ASC 기능은 차량충돌 사고발생 시 충격완화를 위한 측면 충돌 테스트 시나리오 기반으로 차량의 동적 모델과 공동 시뮬레이션을 수행하여 차량의 전면부 구조와 통합되어 설치된다. 이는 정면충돌 시 역학적 영향을 받는 차량의 구성요소들은 집중질량(lumped mass)과 비선형 스프링(Non-linear Springs)에 의해 모델링 된다.



※ (b)에서 f_s 는 프런트 엔드 비선형 스프링 힘, f_s 는 서스펜션 힘, f_b 는 차량 제동력, f_z 는 수직방향의 힘, f_f 는 타이어와 도로 간 마찰력을 나타낸다.

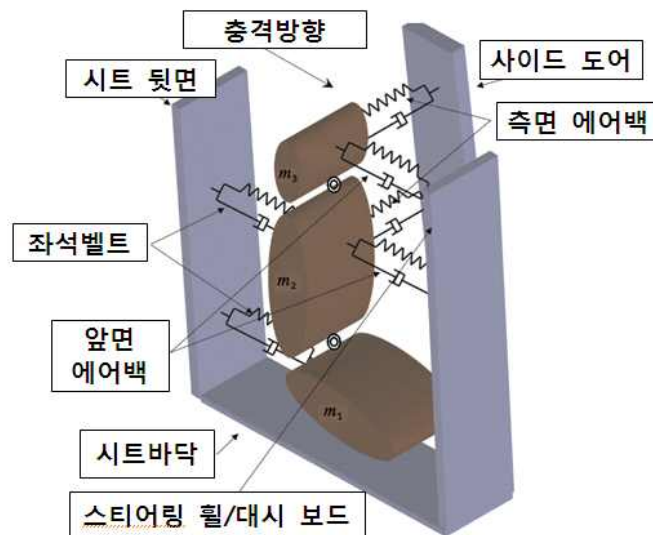
* 자료 : Mustafa Elkady et al., "Collision mitigation and vehicle transportation safety using integrated vehicle dynamics control systems", journal of traffic and transportation engineering 2017;4(1):41-60, p.43.

(a) 6-DOF 차량 역동성/충돌 수치해석 모델 (b) 수치해석 모델의 다이어그램

[그림 1] 6-DOF 차량 역동성/충돌 수치해석 시뮬레이션 프로세스

2.2. 멀티 바디 모델

차량 탑승자 생체동적모델(biodynamic model)은 그림 (2)에 나타난 것과 같이 차량의 전면/측면 충돌 시나리오시 탑승자의 동적 거동을 평가하기 위해 개발되었다.



* 자료 : Mustafa Elkady et al., "Collision mitigation and vehicle transportation safety using integrated vehicle dynamics

control systems", journal of traffic and transportation engineering 2017;4(1):41-60, p.44.

[그림 2] 멀티 바디 모델

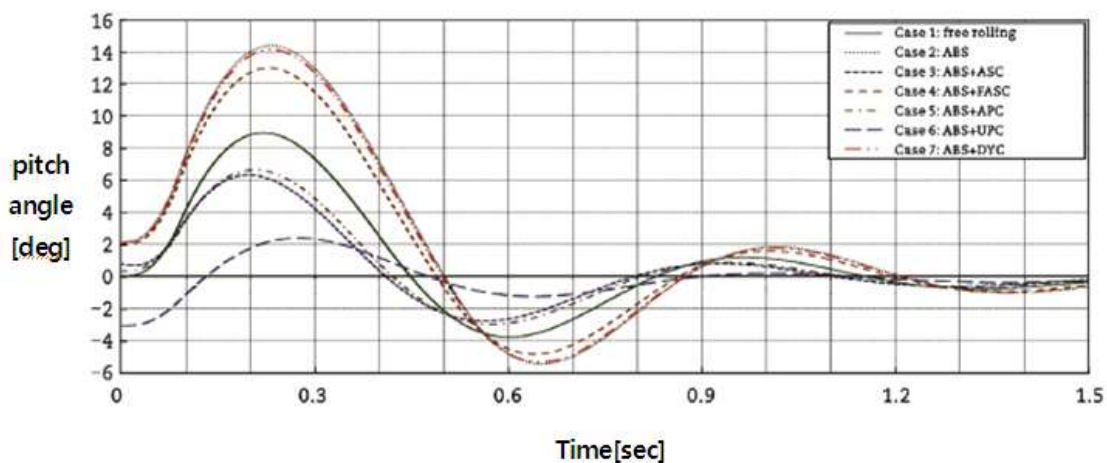
차량탑승자 모형은 질량 m_1 , m_2 및 m_3 를 가진 3개의 몸으로 나타낸다. 질량 m_1 을 가지는 첫 번째 몸(하반신, 골반)은 탑승자의 다리와 골반 부분을 나타낸 것으로 차량 진행방향 기준 횡방향 변위와 전후 및 좌우 회전동작(피칭, 롤링 등)이 차량과 함께 발생하도록 한다. 질량 m_2 을 가지는 두 번째 몸(중간 몸/가슴)은 탑승자의 복부 부분(흉부, 팔)으로 차량진행방향 기준 횡방향 변위와 하반신 몸체와 중간몸체간의 회전변위가 발생 가능하도록 한다. 질량 m_3 을 갖는 세 번째 몸(상체, 머리)은 탑승자의 목 부분으로 차량진행방향의 변위와 가슴부분에 대한 회전변위(피칭, 롤링 등)가 차량과 함께 발생하도록 한다.

3. 수학적 시뮬레이션

VDCS(Vehicle Dynamics Control Systems)의 성능을 검증하기 위해 수학적 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 다음과 같은 7가지 사례에 대한 조사결과를 첫 번째 사례와 비교한다.

- 사례 1 : 차량의 모든 제어기능을 적용하지 않고 충돌실험을 실행한 사례
- 사례 2 : 차량의 충돌 전후에 ABS기능을 적용하여 충돌실험을 실행한 사례
- 사례 3 : ABS기능과 ABS 시스템에 도로에 대한 수직하중을 증대시키는 ASC 기능을 통합 적용하여 충돌실험을 실행한 사례
- 사례 4 : ABS기능과 ABS 기능에 전륜 능동 서스펜션 조절기능(FASC)을 적용하여 충돌실험을 실행한 사례
- 사례 5 : 충돌 시 주행차량 전/후 바퀴의 상향 및 하향 하중을 작용시켜 충돌차량의 수평방향의 자세를 유지시켜주는 기능인 피치제어기술(APC) 기능을 ABS 기능과 같이 적용하여 충돌실험을 실행한 사례
- 사례 6 : ABS와 UPC 기능을 주행차량에 동시에 적용하여 충돌실험을 실행한 사례로서 충돌 전에 ASC 기능을 이용하여 역방향의 피치 변위를 차량에 추가하는 사례
- 사례 7 : ABS DYC 기능을 주행차량에 적용하여 충돌실험을 실행한 사례로서 제동력을 차량 바퀴에 개별적으로 적용하여 충돌 시 차량의 회전을 예방하는 기능을 적용한 사례

그림 3은 모든 차량 충돌사례에 대한 피치각도-시간 특성을 나타낸 것이다. 이때 VDCS는 충돌하기 직전 1.5초 전에 적용한 것이다. 따라서 그림3에 도시한 바와 같이 차량몸체는 각 사례에 따라 다른 피치각도를 가지고 장애물에 충돌하게 된다. 그 이후에, 차량의 피치각은 각각의 사례에 따라 각기 다른 최대값에 도달하게 된다. 그 다음에는 피치각도가 음수값(-)에 도달했다가 다시 평시 상태의 피치 각도로 돌아가게 된다. 이러한 측면 충돌 사례 1의 경우에서 차량의 피치각도는 충돌부분의 차량 전면부 상하부 부재간의 충돌하중 차이로 인하여 발생하게 된다. 그 다음 추가적인 피칭 모멘트는 첫 번째 사례를 제외한 나머지 VDCS를 적용한 사례에서 제동력으로 인해 발생된다. 최대 피칭각도는 사례 2번에서 발생되며, 7/4/1/5/3/6 순서대로 큰 피치각이 발생하였다. 사례 6번의 피치각은 사례 1번에 비해 6.5도, 사례 2번에 비해 12도나 작은 수치를 나타내었다.



* 자료 : Mustafa Elkady et al., "Collision mitigation and vehicle transportation safety using integrated vehicle dynamics control systems", journal of traffic and transportation engineering 2017;4(1):41-60, p.51.

[그림 3] 차량 간 정면충돌 시 차량 바디의 피치각 측정 시뮬레이션 결과

4. 결론

이 연구에서는 차량의 측방향 정면충돌 시 VDCS(Vehicle Dynamics Control Systems)의 효과에 따른 영향을 분석하기 위해 차량 탑승자의 3차원 동적 수치모델과 6자유도의 차량 동적 수치모델을 개발하였다. 이 모델들은 차량 설계의 초기단계에서 차량의 충돌시 성능평가 및 적절한 차량관련 모수들을 선택할 때 대단히 유용하게 사용될 수 있다. 이러한 수치적 시뮬레이션을 통해서 차량의 VDCS 기능은 차량 충돌상황 및 탑승인원의 안전에 도움이 되는 것으로 나타났다. 본 보고서에서 제시한 여러 사례분석 결과 각 사례별로 차량과 탑승객들에게 서로 다른 영향을 주었다. 차량(b)의 경우 감속수치, 피치각도 및 가속도 등이 높이 발생되어 충돌상황이 악화되는 것으로 나타났다. 하지만 이러한 수치들은 대단히 미소하거나, 크게 의미있는 수치는 아니다.