

AFS/ITD 통합 차시 제어기에 대한 EILS의 구현

이종범<sup>1)</sup>, 박병률<sup>1)</sup>, 이재천<sup>2)</sup>, 박기홍<sup>2)</sup>, 문찬우<sup>1)</sup>, 정구민<sup>1)</sup>, 안현식<sup>1)</sup>, 김도현<sup>1)</sup>  
 국민대학교 전자공학부<sup>1)</sup>, 국민대학교 자동차 전문대학원<sup>2)</sup>

Implementation of an EILS for the AFS/ITD Integrated Chassis Controller

Jong-Bum Lee<sup>1)</sup>, Byeong-Ryul Park<sup>1)</sup>, Jaechon Lee<sup>2)</sup>, Kihong Park<sup>2)</sup>, Chan-Woo Moon<sup>1)</sup>, Gu-Min Jeong<sup>1)</sup>, Hyun-Sik Ahn<sup>1)</sup>,  
 Do-Hyun Kim<sup>1)</sup>

School of Electrical Engineering, Kookmin University<sup>1)</sup>  
 Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University<sup>2)</sup>

**Abstract** - 본 논문에서는 통합 차시 제어 시스템에 대한 EILS를 구성하고 통합제어기의 특성을 네트워크 환경에서 검토한다. 조향 시스템의 성능 개선을 위한 통합 제어시스템을 구현하기 위하여, 개별 차시 제어 시스템으로서 AFS 제어 알고리즘과 ITD 제어 알고리즘을 구현한 후, AFS와 ITD의 동작 시점 및 동작 모드를 결정하는 상위 제어 알고리즘을 설계한다. 구현된 제어기는 4개의 마이크로 컨트롤러와 CAN 네트워크를 이용하여 구성된다. 각각의 마이크로 컨트롤러는 7자유도 차량 모델, AFS 제어 알고리즘, ITD 제어 알고리즘 및 통합제어기로 구성된다. 구현된 통합제어기를 이용하여 개별시스템의 성능과 통합제어 시스템의 성능을 비교 분석한다.

1. 서 론

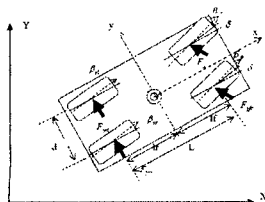
최근 차량의 안정도 향상 및 차량의 무게를 줄이기 위하여 전자 제어 시스템(Electronic Control System)의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 전자 제어 시스템을 개발하고 실제 차량에 적용시키는 것은 많은 비용과 시간이 소모된다. 이런 개발 비용 및 시간을 줄이기 위하여 EILS(ECU-In the-Loop-Simulation)를 사용하면 효과적이다. SILS(Software-In the-Loop-Simulation)만을 이용해서는 각 제어기의 알고리즘 수행 시간의 차이 및 차량 내 통신 네트워크상에서 일어날 수 있는 입출력 지연 등에 관한 문제점 등을 파악하기가 어렵다. 이러한 문제점을 파악하기 위해서는 실제 차량 내 네트워크 프로토콜과 동일한 프로토콜을 사용하는 EILS를 구성하고 각각의 제어 알고리즘을 포팅하여 수행시킴으로써 실제 차량에서 일어날 수 있는 문제점들을 파악 할 수가 있다.

본 논문에서 고려하는 차량용 개별 차시 제어 시스템은 AFS(Active Front Steering), ESP(Electrical Stability Program) 및 ITD(Intelligent Torque Distribution)이다. AFS는 조향장치 제어 시스템으로 차량의 주행 상태와 노면 조건에 따라 조향 기어 비를 변화시켜 주행 안정성을 확보해 준다. ESP는 차량이 미끄러지는 것을 방지하는 수단으로 운전자가 주행하고자 하는 방향과 실제 차량의 진행 방향을 비교하여 차량의 브레이크 압력이나 엔진 토크를 이용하여 차량의 진행 상태를 수정해주는 장치이다. ITD는 차량의 구동장치 제어 시스템으로서 차량의 좌·우 구동력을 분배하여 구동시켜 주행 안정성을 확보해 주는 시스템이다. 이러한 개별 제어 시스템만을 이용해서 원하는 제어 성능을 확보하는 것에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 각각의 제어 시스템을 통합하여 시너지 효과를 낼 수 있도록 통합 제어 시스템(Integrated Chassis Control System)을 제안하였다.<sup>[1][7][2]</sup>

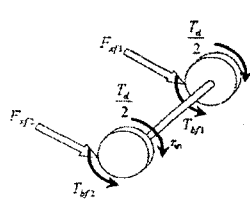
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 차량 모델 및 차시 제어 시스템에서는 각각의 마이크로 컨트롤러에 포팅할 7자유도 차량 모델, AFS, ITD 및 통합제어기에 대해서 설명하고, 3장 네트워크 시뮬레이터의 구현 및 실험 결과에서는 EILS의 하드웨어 구성 및 소프트웨어 구성에 대해서 알아보고 실험 결과를 확인한다. 4장 결론에서는 실험을 통하여 얻은 결과에 대해서 토의한다.

2. 차량 모델 및 차시 제어 시스템

본 장에서는 제어 알고리즘의 설계 및 평가를 위한 7자유도 차량 모델 알고리즘 및 각각의 차량 제어 시스템에 대해서 소개한다. 차량 모델은 차체에서 종·횡 방향 운동과 요 운동의 3자유도와 각 바퀴



<그림 1> 7자유도 차량모델



<그림 2> 차량 바퀴 운동

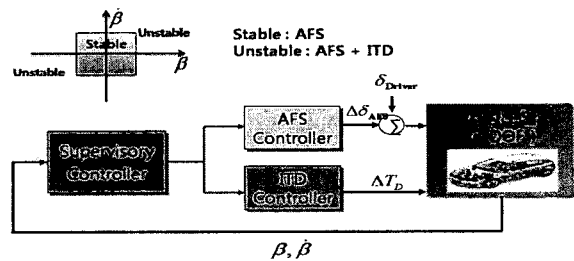
의 회전 운동을 고려한 모델로 그림1과 그림2와 같이 나타낼 수 있다.<sup>[3][4]</sup> 본 논문에서는 사용한 타이어 모델은 Dugoff 타이어 모델이다. Dugoff 타이어 모델은 단순하면서도 차량 거동 특성을 비교적 정확하게 나타낼 수 있는 장점이 있다.<sup>[5]</sup>

ESP 시스템은 각 바퀴의 제동력을 독립적으로 적용시키거나 엔진 토크를 조절함으로써 차량의 안정도를 향상시키는 것이 목적이다. 본 논문에서는 ESP를 구현하기 위하여 2자유도 기준 차량 모델을 이용하여 기준 요레이트를 계산하였다. ESP의 동작원리는 차량이 스키 할 경우 선회 외측 바퀴에 제동력을 가해주고, 반대로 드리프트 상황일 경우 선회 내측 바퀴에 제동력을 가해줌으로써 차량의 안정도를 높여주는 시스템이다.<sup>[6]</sup>

AFS 시스템은 조향기어 변환장치로서 고속에서 기어비를 높여 안정성을 높이고 저속에서 기어비를 낮추어 차량의 조향 편의성을 높이는 장치이다. 또한 차량의 불안정성을 판단하여 차량 안정성을 향상시킬 수 있도록 조향각을 제어하는 보상 요 모멘트 제어 기능이 있다. 본 연구에서는 AFS의 여러 가지 기능중 보상 요 모멘트 제어 기능만을 이용하여 AFS 시스템을 설계하였다.<sup>[7]</sup>

ITD 시스템은 차량이 위급상황일 때 동작하는 차량의 구동력 분배 제어 장치이다. 중간 변속기를 통해 전후 구동력을 분배하고, 클러치를 통해 좌우의 구동력을 분배 할 수 있다. 차량이 오버스티어의 상황일 경우 선회 내측 바퀴에 더 많은 구동력을 분배해 줌으로써 차량을 안정한 상태로 이끌고 언더스티어의 경우 차량의 내측 바퀴에 더 많은 구동력을 분배함으로써 차량의 안정성을 향상시킨다.<sup>[8][9]</sup>

SVC(Supervisory Control System)는 구현된 개별 차시 제어 시스템을 통합하여 개선된 성능 효과를 이끌어낸다. 차량의 복원 모멘트가 적게 필요한 구간에서는 AFS만을 동작시켜 차량의 안정성을 보장하고 복원 모멘트가 크게 필요한 구간에서는 AFS와 ITD 두 제어기를 동시에 작동시킴으로써 차량의 안정성을 향상 시킨다. <그림 3>은 통합 차시 제어 시스템의 구성도를 보여준다. 옆 미끄러짐 각의 미분 값과 현재 값을 통하여 차량의 안정한 상태를 따진 후 통합 차시 제어시스템은 AFS와 ITD의 동작 모드를 결정한다.<sup>[8][9]</sup>

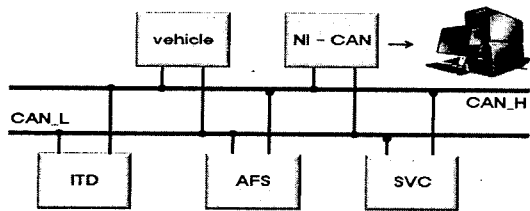


<그림 3> ITD와 AFS의 통합제어 시스템

3. EILS의 구현 및 실험 결과

EILS의 하드웨어 구성은 <그림 4>에서 같이 CAN(Controller Area Network) 버스에 전송되는 데이터를 PC로 다시 전송하는 NIS사의 PCI-CAN/XS2 보드<sup>[10]</sup>, 인피언사의 XC167CI 마이크로 컨트롤러 스타터 키트 4개 구성되어 있다.<sup>[10]</sup> XC167CI 마이크로 컨트롤러는 고성능의 16비트 마이크로 컨트롤러로서 5단 파이프 라인 구조를 가지고 있으며, MAC(Multiply and Accumulate), GPT(General Purpose Timer Unit), ASC(Asynchronous/Synchronous Serial Interface), ADC(Analog/Digital Converter), CCU(Capture/Compare Unit) 및 TwinCAN 모듈을 포함하고 있다. 제공되는 TwinCAN 모듈을 이용하여 차량 네트워크를 <그림 4>와 같이 구성하였다.

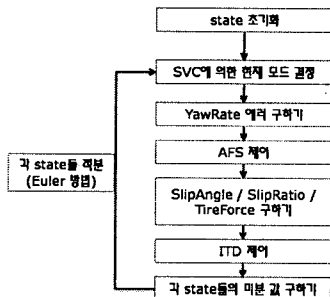
각각의 마이크로 컨트롤러에는 7자유도 차량모델, AFS 제어 알고리즘, ITD 제어 알고리즘 및 통합제어 알고리즘이 포팅 되었다. 7자유도 차량모델에는 기준 조향 입력을 생성하여 인가하였다.



〈그림 4〉 네트워크 EILS를 이용한 실험 시스템 구성

EILS의 네트워크 구성에 사용된 CAN은 신뢰성이 높아 차량 및 산업에서 많이 사용되는 통신 프로토콜이다. CAN 프로토콜은 데이터 프레임, 에러 프레임, 오버로드 프레임과 리모트 프레임 등의 4가지 프레임 형태를 제공한다. CAN 데이터 프레임은 데이터 필드, 식별자 필드, CRC 필드 등으로 구성된다.

시뮬레이터의 소프트웨어의 구성은 〈그림 5〉와 같이 7자유도 차량 모델이 차량의 state를 초기화 시키고 통합제어기에서 AFS 및 ITD의 동작 모드를 설정한다. 설정된 동작 모드에 따라서 AFS 및 ITD는 동작을 하게 된다. AFS와 ITD에 의해서 수정된 스티어링 입력과 구동력은 차량에 적용된다. 적용된 값을 이용하여 7자유도 차량모델은 각 state들의 미분 값을 구한 후 각 state를 적분함으로써 동작을 마친다.



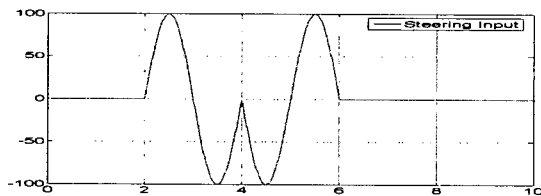
〈그림 5〉 제어 소프트웨어 흐름도

본 논문에서 구현된 EILS의 중요 데이터와 차량의 진행 방향등을 확인할 수 있는 모니터링 프로그램을 개발하였다. 모니터링 프로그램은 NI-CAN 보드를 통하여 CAN 버스에 전송된 데이터를 이용해 속도, 구동력 분배량, 차량의 진행 방향 및 거리를 디스플레이 해준다.

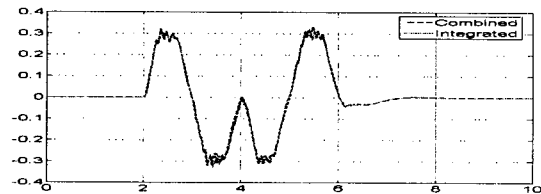
구현한 통합 사시 제어 시스템의 성능을 검증하기 위하여 <표 1>과 같은 조건을 가지고 실험 결과를 측정하였다. 실험에서 정의된 Combined는 통합 사시 제어가 장착되지 않고 AFS와 ITD가 계속 동작하는 모드이다. 그리고 Integrated는 통합 사시 제어가 장착되어 AFS 또는 ITD중 필요한 제어기만을 동작시키는 모드를 뜻한다.

〈표 1〉 실험 조건

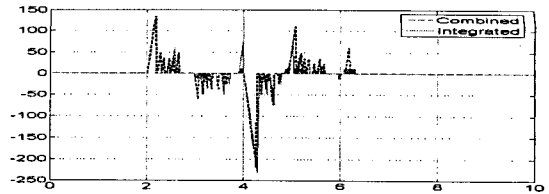
• Vehicle Speed : 100[km/h]
• Road Friction Coefficient : 0.9
• Steering Wheel Angle : 100[deg], 0.5[Hz]
• Sampling Time : 15[ms]



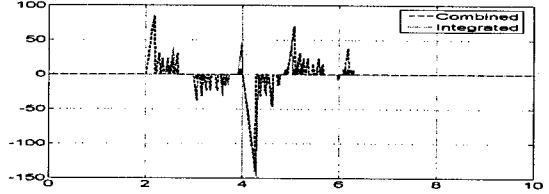
〈그림 6〉 시준 스티어링 입력



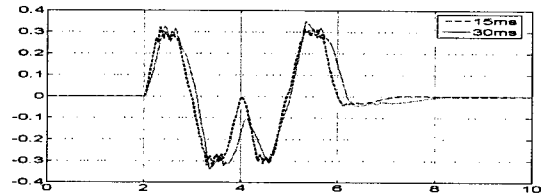
〈그림 7〉 사시제어 시스템에서의 요 응답



〈그림 8〉 앞 바퀴에 대한 토크 분배



〈그림 9〉 뒷 바퀴에 대한 토크 분배



〈그림 10〉 샘플링 시간 변화에 따른 요 응답 특성

〈그림 6〉은 본 논문에서 제안한 통합 사시 제어 시스템을 평가하기 위하여 스티어링 입력 파형이다. 〈그림 7〉은 동일한 실험 조건에서 Combined 모드와 Integrated 모드에 따른 요 속도[rad/sec]를 구한 파형이다. 요 속도의 파형은 유사하지만, 〈그림 8〉과 〈그림 9〉에서 보는 바와 같이 구동력 분배량[Nm]이 Combined 모드에 비교하여 Integrated 모드가 더 작은 값을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 〈그림 10〉은 샘플링 변화에 따른 제어성능의 변화를 측정할 것이다. 30ms보다 15ms의 차량 샘플링 시간을 가졌을 때 요 속도 응답성능이 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 통합 사시 제어 시스템을 평가하기 위하여 CAN 프로토콜 네트워크 기반의 AFS 알고리즘과 ITD 알고리즘을 구현하고 EILS 실험을 통하여 검증하였다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 SILS에서는 확인하기 어려운 제어 알고리즘의 샘플링 변화에 따른 제어성능의 변화를 확인할 수 있었다. 또한 승차감을 떨어뜨리는 구동력 분배량이 상황에 따라 구동하는 Integrated 모드에서 적은 값을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Koehn, P., et al., "Integrated Chassis Management: Introduction into BMW's Approach to ICM," SAE, 2006-01-1219, 2006.
- [2] He, J., et al., "Integrated Chassis Control through Coordination of Active Front Steering and Intelligent Torque Distribution," Proc. of AVEC, pp. 333-339, 2004.
- [3] Park, K., et al., "Controller Design for Improving Lateral Vehicle Dynamic Stability," JSAE Review, Vol. 22, pp. 481-486, 2001.
- [4] Rajesh Rajamani, "Vehicle Dynamics and Control," Springer, pp. 221-256, 2006.
- [5] H. Dugoff, P. Fancher, and L. Segel, "An analysis of tire traction properties and their influence on vehicle dynamic performance," SAE, no. 700377, 1970.
- [6] Takahiro Kojo, et al., "Development of Active Front Steering Control System," SAE, 2005-01-0404, 2005.
- [7] Dongshin Kim, et al., "Development of Mando ESP" SAE, 2003-01-0101, 2003.
- [8] Junjie he., et al., "Integrated Active Steering and Variable Torque Distribution Control for Improving Vehicle Handling and Stability," SAE, 2004-01-1071, 2004.
- [9] NI-CAN Manual, National Instruments, 2005.
- [10] XC167 User's Manual v1.1, Infineon Technologies AG, 2005.