

# 인휠 전기 구동 기반의 능동안전지원 알고리즘 개발

황윤형<sup>1</sup>, 양인범<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>자동차부품연구원 스마트운전제어연구센터, <sup>2</sup>순천향대학교 스마트자동차학과

## Development of Algorithm for Advanced Driver Assist based on In-Wheel Hybrid Driveline

Yun-Hyoung Hwang<sup>1</sup>, In-Beom Yang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Smart Driving Control Center, KATECH

<sup>2</sup>Department of Smart Automobile, Soonchunhyang University

**요약** 본 연구에서는 인휠 전기구동 시스템의 장점을 바탕으로 첨단능동안전지원 기술의 일종인 적응순항제어(Adaptive Cruise Control, ACC) 알고리즘의 고도화 방안을 제시한다. 본 연구에서 대상 차량은 전륜은 엔진에 의해, 후륜은 인휠모터에 의해 구동되는 4륜 하이브리드 구동계를 갖는 것을 특징으로 하는데, 이러한 구성은 기존 내연기관 차량을 개선하여 차량의 출력을 증가시키거나 4륜 하이브리드 형태로의 변화를 용이하게 하는 장점이 있다. 본 연구에서는 이러한 차량의 구성을 바탕으로 기본 상태에서는 엔진만을 이용하여 차간거리 제어를 수행하되, 젖은 노면 등 주행 환경에서 제어오차가 커지게 되면 후륜의 인휠모터를 구동하여 제어성능을 확보할 수 있는 ACC 알고리즘을 제안한다. 제안된 ACC 알고리즘은 상기와 같은 방법으로 ACC 제어성능을 최적화함과 동시에 기존 4륜 자동차가 갖는 장점을 그대로 유지하도록 한다. 또한 본 연구에서는 고정밀 동역학 SW를 기반으로 대상 인휠모터 및 인휠 하이브리드 구동계, 해당 구동계 기반의 ACC 제어시스템을 모델링하였으며, 이를 통해 시뮬레이션 환경을 기반으로 제안된 알고리즘의 검증 결과를 제시한다.

**Abstract** This paper presents the development of an adaptive cruise control (ACC) system, which is one of the typical advanced driver assist systems, for 4-wheel drive hybrid in-wheel electric vehicles. The front wheels of the vehicle are driven by a combustion engine, while its rear wheels are driven by in-wheel motors. This paper proposes an adaptive cruise control system which takes advantage of the unique driveline configuration presented herein, while the proposed power distribution algorithm guarantees its tracking performance and fuel efficiency at the same time. With the proposed algorithm, the vehicle is driven only by the engine in normal situations, while the in-wheel motors are used to distribute the power to the rear wheels if the tracking performance decreases. This paper also presents the modeling of the in-wheel motors, hybrid in-wheel driveline, and integrated ACC control system based on a commercial high-precision vehicle dynamics model. The simulation results obtained with the model are presented to confirm the performance of the proposed algorithm.

**Keywords** : ACC, ADAS, HEV, Hybrid, In-wheel

### 1. 서론

인휠 구동 전기자동차는 인휠 모터를 통해 각 휠의 구동력을 독립적으로 제어할 수 있는 장점이 있어 차세대 전기자동차 구동기술로서 주목 받고 있다. 특히 빠른 응

답, 독립 구동 등 인휠 구동계가 갖는 특성들을 활용하여 차량 안전도 향상을 도모하기 위한 다양한 기법들이 개발되고 있다. 주로 각 차륜의 독립제어를 통한 토크 벡터링, 모션 제어 등이 주된 주제이며 [1]-[3], 1990년대 후반 이후 현재까지 관련 연구가 지속되고 있다. 또한 인휠

\*Corresponding Author : In-Beom Yang (Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-41-530-1528 email: ibyang@sch.ac.kr

Received September 4, 2017

Revised October 26, 2017

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

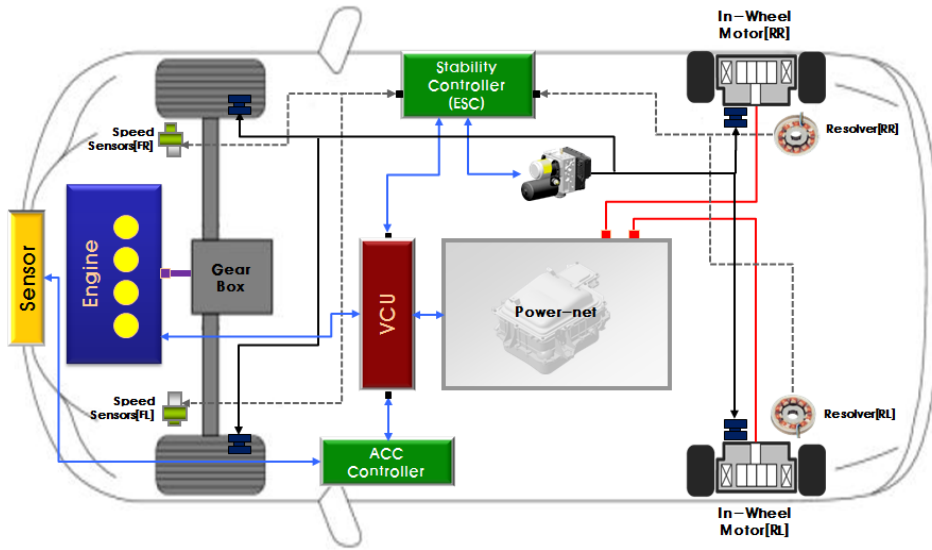


Fig. 1. The ADAS vehicle structure with in-wheel hybrid driveline

구동계의 장점을 첨단운전자지원시스템(Advanced Driver Assist System, ADAS)에 활용하기 위한 시도들도 있는데, 그 중 하나는 인휠 모터의 빠른 응답성을 이용하여 충돌 예방 시스템에 활용하는 것으로 [4], 충돌이 예상될 때 회피 동작을 안정적으로 수행하는 것을 목표로 한다. 하지만 이 역시 앞서의 차량 안전도 향상의 사례와 본질적인 활용법은 크게 다르지 않다고 할 수 있다.

본 연구에서는 이와 같이 횡 방향 제어에 한정되어 있는 기존의 인휠 구동계 활용 영역을 확장하여, 인휠 구동계를 기반으로 고속 응답형 적응순항제어(Adaptive Cruise Control, ACC) [5]-[7]시스템의 종 방향 제어 성능 확보를 위한 알고리즘을 제시하는 것을 목적으로 한다. ACC는 첨단운전자지원시스템 중 자율주행을 위한 가장 기본적인 기능으로서, 센서로부터 측정된 거리, 상대속도 등을 이용하여 전방 목표물 차량과의 거리를 사용자가 지정한 일정한 수준으로 자동으로 유지시키는 것을 목적으로 한다. ACC 시스템에 있어 중요한 성능지표는 다양한 노면조건, 차량 끼어들기 등 다양한 주행 환경에서 신속하면서도 안정적으로 차간거리를 목표 값으로 유지하는 것으로서, 인휠 구동시스템을 활용할 경우 특유의 빠른 응답성을 바탕으로 ACC 시스템의 성능 개선에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서 대상 차량은 Fig. 1과 같이 전륜은 엔진으로, 후륜은 인휠 모터로 구동되는 4륜 인휠 하이브리드 구동계를 기반으로 하는데, 기본적인 상태에서는 전

륜의 엔진을 통해 주행하고 순항제어 중 낮은 노면 접지력 등에 의해 제어오차가 크게 발생할 경우 후륜 인휠 모터로 구동력을 분산하여 4륜 접지를 통해 제어오차를 최소화한다. 이를 통해 ACC 제어성능을 확보함과 동시에 4륜구동이 갖는 장점을 유지할 수 있도록 한다.

아울러, 본 연구에서는 고 정밀 상용 동역학 SW인 veDyna를 기반으로 4륜 인휠 하이브리드 구동계 및 ACC 제어시스템을 구현하여 제안된 알고리즘에 대한 시뮬레이션 기반의 검증이 가능하도록 하였다. 아직은 인휠 구동계가 프로토타입 제작 수준에 있고, 인휠 구동 전기자동차를 구성하기 위한 주요 부품들이 양산되지 않아 실제 차량을 제작하여 제어기술 등을 검증하는 데는 많은 시간과 비용이 소요되기 때문이다.

시뮬레이션 모델 개발은 이러한 실차 기반의 시험평가에 수반되는 어려움들을 해결하는데 목적이 있다. 시뮬레이션 환경에서 제어 알고리즘이나 시스템의 사양 등에 대한 검증을 제품개발 초기단계부터 적은 비용으로 수행할 수 있도록 한다.

## 2. 본론

### 2.1 ACC 제어 알고리즘

ACC 제어는 전방 목표물 추종 상황에 따라 거리 제어와 속도 제어 두 가지 제어 모드로 구분되며, 참고문헌

[7]을 참조하여 슬라이딩 모드 제어 기법을 기반으로 설계하였다.

### 2.1.1 Distance Controller

운전자에 의해 설정된 Time-gap을 추종하도록 하는 제어기이다. 미리 설정된 Time-gap 및 차량의 속도를 통해 다음과 같이 목표 추종거리를 계산한다.

$$c_d = v_s t_d + c_0 \quad (1)$$

여기서  $c_d$ 는 목표 추종거리,  $v_s$ 는 차량속도,  $t_d$ 는 운전자에 의해 설정된 Time-gap,  $c_0$ 는 정지 시 차간거리를 나타낸다. 따라서 거리 제어오차  $e_d$  및 그 미분 값은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} e_d &= (v_s t_d + c_0) - c \\ \dot{e}_d &= u_{acc} t_d - \dot{c} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $c$ 는 센서에서 검지된 차간거리를 나타내며,  $u_{acc}$ 는 차량의 가속도에 해당하는 상위제어 입력을 나타낸다. 즉, (1)의 관계식을 통해 목표 차간거리  $c_d$  추종을 위한 제어입력  $u_{acc}$ 를 도출할 수 있다.시스템의 상대차수가 2 이므로 Sliding 변수를 다음과 같이 선언한다.

$$s = e_d + K_1 \int e_d dt \quad (3)$$

그리고 이를 미분하여 control law를 적용하면,

$$\begin{aligned} \dot{s} &= -K_2 s \\ \dot{s} &= \dot{e}_d + K_1 e_d = -K_2 s \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $K_1, K_2$ 는 각각 positive gain을 나타낸다. 마지막으로, 위의 수식을 정리하면 다음과 같은 레퍼런스 가/감 가속도를 얻을 수 있다.

$$u_{acc} = \frac{1}{t_d} (v_r - K_1 e_d - K_2 s) \quad (5)$$

### 2.1.2 Speed Controller

운전자에 의해 설정된 설정속도를 추종하기 위한 제어기이다. 속도 제어오차  $e_s$  및 그 미분 값은 다음과 같이 정의된다.

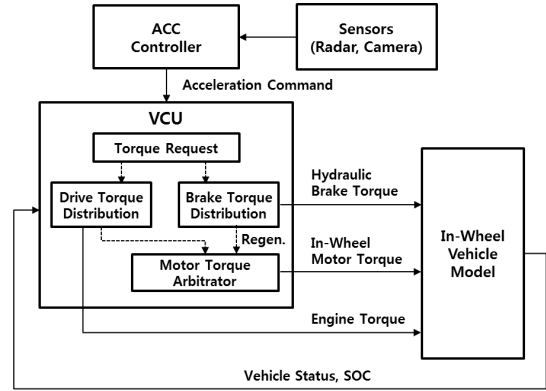


Fig. 2. ACC control system structure

$$\begin{aligned} e_s &= v_{set} - v_s \\ \dot{e}_s &= -u_{acc} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $v_{set}$ 은 운전자에 의해 설정된 설정속도를 나타낸다. 속도 제어를 위한 Sliding 변수는 다음과 같이 정의한다. (상대차수: 2)

$$s = e_s + K_3 \int e_s dt \quad (7)$$

위의 Sliding 변수를 미분하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{s} &= -K_4 s \\ \dot{s} &= \dot{e}_s + K_3 e_s = -K_4 s \end{aligned} \quad (8)$$

여기서  $K_3, K_4$ 는 각각 positive gain을 나타낸다. 마지막으로, 위 수식을 정리하면 다음과 같은 레퍼런스 가/감 가속도를 얻을 수 있다.

$$u_{acc} = K_3 e_s + K_4 s \quad (9)$$

## 2.2 ACC 제어 시스템 구성

전체 ACC 제어 시스템은 Fig. 2와 같이 레퍼런스 가/감속도를 결정하는 상위제어기와, 이를 실제 차량의 액추에이터 입력으로 변환하기 위한 하위제어기로 구성된다. 하위 제어기는 VCU(Vehicle Control Unit) 내에 탑재가 되며, 상위 제어기의 출력을 구동력과 제동력으로 분배하는 부분, 구동력을 다시 전륜의 엔진 구동력과 후

륜의 인휠 모터 구동력으로 분배하는 부분 등으로 구성된다. 제동 시에는 상황에 따라 유압 또는 회생 제동력을 발생시킨다. 하위 제어기의 출력은 전/후륜 구동계에 전달되어 차량을 구동한다.

### 2.2.1 Torque Request

ACC 상위 제어기의 가속도 입력대로 차량을 주행하기 위한 wheel 레벨에서의 요구 토크량을 계산한다. ACC가 inactive 상태일 때는 운전자의 페달 입력으로부터 요구 토크량을 계산한다.

$$T_{wreq-acc} = r_w (M_v u_{acc} + F_{road}) \quad (10)$$

위 수식에서  $T_{wreq-acc}$ 는 wheel 레벨에서의 총 요구 토크량,  $r_w$ 는 wheel radius,  $M_v$ 는 차량의 mass,  $u_{acc}$ 는 ACC 상위 제어기의 출력,  $F_{road}$ 는 도로부하를 나타낸다. 그리고 아래 수식과 같이  $T_{wreq-acc}$ 의 값에 따라 현재 ACC 출력이 구동에 해당하는지 제동에 해당하는지를 판별한다.  $T_{wreq-acc}$ 가 engine의 drag 토크보다 클 경우 구동 모드로 간주한다.

$$\begin{aligned} T_{wreq-acc} &\geq R_{PT} T_{drag-eng} \\ R_{PT} &= R_T (R_w) R_{gr} R_f \end{aligned} \quad (11)$$

여기서  $R_{PT}$ 는 엔진부터 휠에 이르는 총 기어비,  $R_T$ 는 토크 컨버터 입출력 토크 비율,  $R_w$ 는 토크 컨버터 입출력 회전수 비율,  $R_{gr}$ 는 현재 기어비,  $R_f$ 는 디퍼런셜에 의한 기어비를 나타낸다.

### 2.2.2 Drive Torque Distribution

ACC 시스템에 의한 출력이 구동에 해당할 경우 구동 토크를 전륜의 엔진과 후륜의 인휠 모터로 분배한다. 먼저 다음과 같이 wheel 레벨에서의 전·후륜 토크로 분배한다. 여기서  $T_{wreq-f}$ 는 전륜에 의한 구동 토크량,  $T_{wreq-r}$ 은 후륜에 의한 구동 토크량을 나타낸다.

$$\begin{aligned} T_{wreq-f} &= (1 - \lambda) T_{wreq-acc} \quad (0 \leq \lambda \leq 1) \\ T_{wreq-r} &= \lambda T_{wreq-acc} \end{aligned} \quad (12)$$

여기에서  $\lambda$ 는 배분율을 나타낸다. 전·후륜에 배분된 wheel 레벨의 토크량은 다음과 같이 엔진의 구동토크,

인휠 모터의 구동토크로 환산된다.

$$\begin{aligned} T_{req-eng} &= (1/R_{PT}) T_{wreq-f} \\ T_{req-em} &= (1/R_{em}) T_{wreq-r} \end{aligned} \quad (13)$$

위 수식에서  $T_{req-eng}$ 는 엔진 구동 토크,  $T_{req-em}$ 은 인휠 모터 구동 토크를 나타낸다.

### 2.2.3 Brake Torque Distribution

ACC 시스템에 의한 출력이 제동에 해당할 경우 제동 토크를 계산한다. 기본적으로 인휠 모터의 회생 제동으로 처리하며, 회생 제동으로 부족한 만큼을 유압 제동력으로 처리한다.

$$\begin{aligned} T_{req-em} &= \max((1/R_{em}) T_{wreq-acc}, \\ &\quad T_{em-rg-avail}(w_{em})) \\ T_{req-hbrk} &= T_{wreq-acc} - R_{em} T_{em} \end{aligned} \quad (14)$$

위 수식에서  $T_{req-em}$ 은 인휠 모터에 의한 총 회생 제동량,  $T_{em-rg-avail}$ 은 현재 가용한 총 회생 제동량,  $w_{em}$ 은 현재 모터 회전 속도,  $T_{req-hbrk}$ 는 총 유압 제동량,  $R_{em}$ 은 인휠 모터의 기어비,  $T_{em}$ 은 현재 인휠 모터에 의해 후륜에서 출력되는 토크량을 나타낸다.

## 2.3 구동력 분배 알고리즘

계산된 구동력  $T_{wreq-acc}$ 의 전·후륜 분배를 위한 알고리즘을 제시한다. 구동력 배분에 있어서 주요점은 ACC의 제어 성능을 확보하면서 기존의 4륜구동 시스템이 갖는 장점을 유지하는 것이다. 일반적으로 4륜구동 제어 시 가속 상황에서는 4륜에 균등하게 구동력을 배분하여 주행성능을 향상시키며, 정속 상황에서는 전륜 혹은 후륜에 구동력을 집중하여 연비를 향상시킨다. 본 연구에서 제안하는 방식은 ACC의 제어오차를 기준으로 전·후 구동력을 배분하는 것이다.

$$\lambda = \lambda_{max} \text{sat}(|K_5 e_{acc} + K_6 \dot{e}_{acc}|) \quad (15)$$

여기에서  $e_{acc}$ 는 ACC 제어 오차를 나타내며, 본 연구에서 이 값은 상위 제어입력과 실제 가속도 간의 차이로 정의되나 이에 국한하지 않고 다양한 형태로 정의될 수 있다.  $K_5$ ,  $K_6$ 은 각각 positive gain을 나타낸다. 위 수식

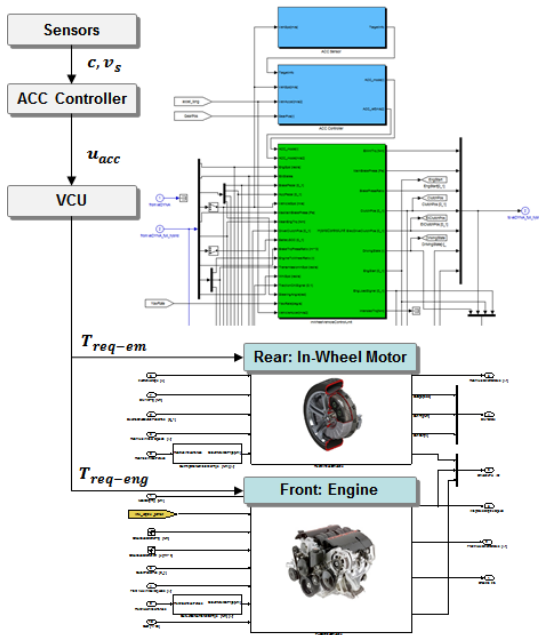


Fig. 3. Model of ACC system and in-wheel hybrid driveline  
 은 전·후륜 구동력 분배율을 간단히 ACC 제어 레퍼런스에 대한 오차를 바탕으로 결정하는 것을 나타낸다. 여기에서 제어오차가 클 때는 분배율이  $\lambda_{max}$ 에 수렴하며, 제어오차가 매우 작을 때는 아래와 같이 분배율은 0에 수렴한다.

$$e \rightarrow 0, \text{ then } \lambda \rightarrow 0 \quad (16)$$

제어 오차가 클 경우 후륜에 구동력을 배분하여 인휠 모터의 제어 성능을 활용하여 전체적인 차량의 제어 정확도를 향상시키도록 하며, 제어 오차가 작을 경우에는 후륜의 구동력을 감소시켜 차량의 연비를 향상시킬 수 있도록 한다.

분배율은 제어 오차 이외에도 다음 수식과 같이 차량의 선회 안정성을 확보하기 위한 선회 시의 yaw rate 오차, 현재의 SOC, 구동 시의 Slip Ratio 등이 함께 고려될 수 있다.

$$\lambda = \lambda_{max} g_1(e_{acc}) g_2(SOC) g_3(e_{yr}) g_4(SR) \quad (17)$$

여기에서  $e_{yr}$ 는 yaw rate 오차, SR은 Slip Ratio를 나타낸다.

Table 1. Parameters of in-wheel driveline model

Parameters	Value
Motor Power	16.4kW (each wheel)
Motor Max. Torque	125Nm
Motor Max. Speed	5,000rpm
Gear ratio	4:1 (each wheel)
Max. Regenerative Power	15kW
Battery Capacitance	15Ah

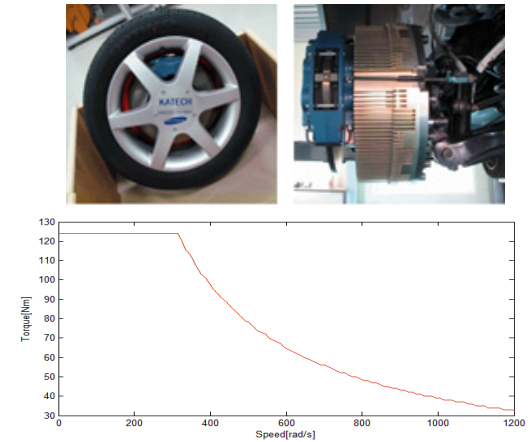


Fig. 4. Prototype of in-wheel motor(above), T-N map (below)

### 2.4 시뮬레이션 모델 및 결과 분석

Fig. 3은 MATLAB/Simulink 상에서 구현된 ACC 제어시스템 및 인휠 하이브리드 구동계를 나타낸다. TESIS사의 고 정밀 동역학 SW인 veDyna 플랫폼을 기반으로 구현된 대상 인휠 하이브리드 차량 모델을 ACC 제어시스템에 연계하여 시뮬레이션 기반 통합 검증이 가능하도록 구성하였다.

구동계의 후륜에는 각 휠에 인휠 모터가 장착되며, 구동계에 대한 주요 사양은 Table. 1과 같다. Fig. 4는 대상 인휠모터의 시제품을 나타내며, 시뮬레이션 결과의 정확성을 위해 대상 인휠 모터의 주요 사양을 Table. 1과 같이 모델에 반영하였다. 각 인휠 모터의 출력은 16.4kW 급으로, 총 후륜에서 32.8kW의 동력을 생성한다.

Fig. 5는 veDYNA 플랫폼을 기반으로 구현한 후륜 인휠 구동계 모델을 나타낸다. 제어기 모델에서 출력된 레퍼런스 토크가 구동계 모델에 입력되면, 구동계 모델은 최종적으로 후륜 각 휠에 대한 구동토크를 출력한다. Fig. 5에서 ①은 좌·우륜에 장착되는 인휠 모터를 나타

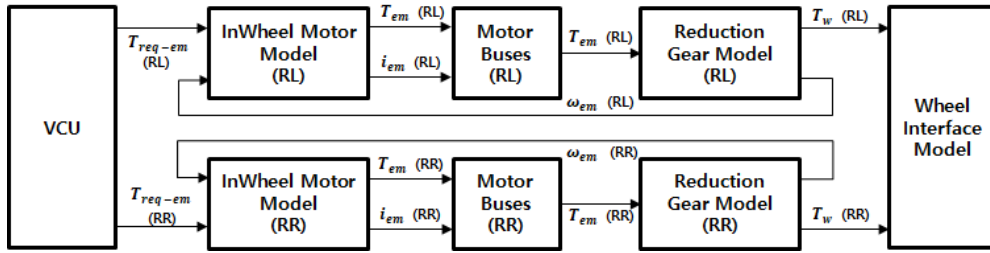


Fig. 5. Detailed model of rear in-wheel driveline.  $T_w$ : wheel drive torque,  $i_{em}$ : motor current

내며, 모터 모델은 제어계 모델에서 입력된 레퍼런스 토크를 추종한다. Fig. 5에서 ②는 감속기어 부분이며, ③은 감속기어를 통해 전달되는 모터 구동토크를 각각의 후륜 휠에 전달하기 위한 인터페이스 부분을 나타낸다.

제안된 인휠 하이브리드 ACC 제어 시스템 및 구동력 분배 알고리즘 성능 검증을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 고정밀 인휠 하이브리드 차량 모델과 연계함으로써 시뮬레이션 결과의 높은 실차 정합성을 확보할 수 있도록 하였다.

Fig. 6은 시뮬레이션 상에서의 전방차량 속도 프로파일을 나타낸다. 그림과 같이 약 0.1Hz의 주기로 가다 서다를 반복하며, 이를 가·감속도로 환산하면 약 0.2G 정도에 해당한다. ACC를 탑재한 시험차량은 이와 같은 전방차량의 움직임 추종하며, 차간 초기 거리는 3m로 설정하였다.

Fig. 7은 ACC 시스템에 의한 추종 시 ACC 제어 입력에 대한 차량 제어의 정확도를 나타낸다. Fig. 6에서 상단 그림은 구동력 분배 알고리즘이 적용되지 않은 경우이며, 하단 그림은 알고리즘이 적용된 경우이다. 각 그림에서 점선은 ACC 제어 입력, 즉 레퍼런스 가속도를 나타내며, 실선은 실제 차량의 가속도를 나타낸다. Fig. 7의 결과와 같이 제안된 알고리즘이 적용된 경우 추종 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다. 제어 오차를 RMSE(Root Mean Square Error)로 환산할 경우 알고리즘 미적용 시는 약 0.69, 적용 시는 약 0.47로서 약 31%의 개선 효과가 있음을 확인하였다.

Fig. 8은 제안된 구동력 분배 알고리즘 적용 시 전체 구동력 대비 후륜에 분배된 구동력의 비율을 나타낸다. 후륜에 분배되는 비율은 최대 0.5로 설정되었으며, 그림과 같이 추종 제어 오차가 커짐에 따라 후륜으로 분배되는 구동력의 양이 증가함을 확인할 수 있다.

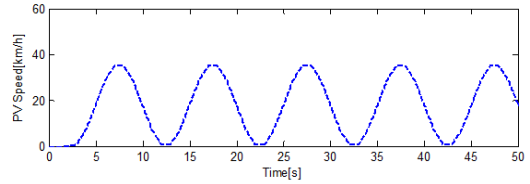


Fig. 6. Speed profile of target vehicle

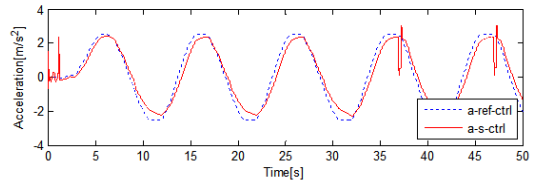
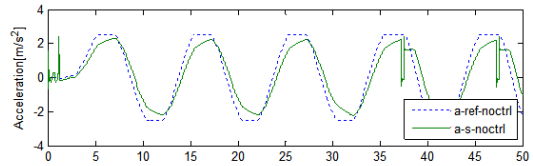


Fig. 7. Tracking results with ACC control algorithm ( $\mu=1.0$ )

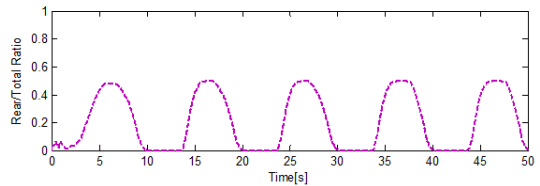


Fig. 8. Distribution ratio of power to the rear wheels ( $\mu=1.0$ )

Fig. 9는 동일한 전방차량 프로파일에 대해 노면의 마찰계수를 0.3으로 설정했을 때의 시뮬레이션 결과를 나타내며, 전륜의 엔진으로만 구동할 시에는 Slip에 의해 RMSE 기준 약 1.07 정도의 큰 제어 오차가 발생함을 확인하였다.

반면에 알고리즘을 적용하여 후륜으로 구동력을 분배할 시 제어 오차는 RMSE 기준 약 0.51 정도로서, 노면 마찰계수가 1.0인 경우와 유사 수준 내의 추종 성능을 나타내었다. (약 52%의 성능 개선) 이는 Wheel Slip에 의해 ACC 제어 오차가 커짐에 따라, 후륜으로 구동력이 배분되면서 전륜의 Wheel Slip이 감소하였기 때문이다. 참고로, 가속 혹은 제동 시의 Wheel Slip Ratio는 다음과 같이 정의된다.

$$SR = \frac{r_{eff}\omega_w - V_x}{V_x} (braking) \quad (18)$$

$$= \frac{r_{eff}\omega_w - V_x}{r_{eff}\omega_w} (accelerating)$$

Fig. 10은 노면 마찰계수가 0.3일 때 전륜의 Wheel Slip Ratio를 나타낸다. 결과와 같이 구동력 배분 알고리즘이 적용되었을 시 전륜의 Slip이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

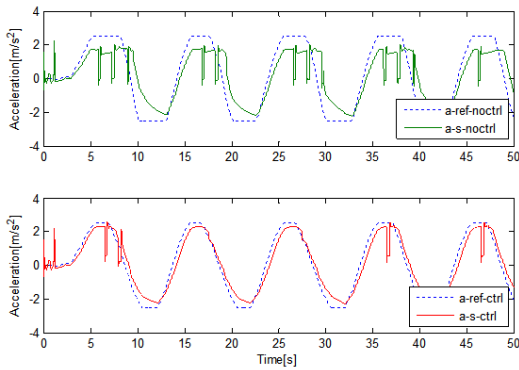


Fig. 9. Tracking results with ACC control algorithm ( $\mu=0.3$ )

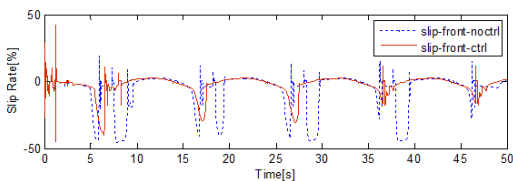


Fig. 10. Front wheel slip ratio during tracking ( $\mu=0.3$ )

### 3. 결론

본 연구에서는 인휠 하이브리드 구동계를 바탕으로 적응적인 전·후륜 구동력 배분을 통한 ACC 시스템의 종방향 제어성능 향상의 가능성을 제시하였다.

- 1) 슬라이딩 모드 제어 기법을 통해 ACC 시스템의 두 가지 기본 기능인 차간거리 제어와 속도 제어 알고리즘을 제시하였다. 목표 차간거리 및 목표 차량속도를 바탕으로 상위제어기의 출력 및 하위제어기의 입력에 해당하는 목표 가속도를 도출하였다.
- 2) ACC 제어 시스템의 구성을 제시함과 동시에 ACC 상위제어기로부터의 목표 가속도 입력을 바탕으로 전·후륜 각 구동계를 구동하기 위한 목표 구동/제동 토크를 도출하였다.
- 3) ACC의 제어상황에 따라 적응적으로 구동력의 전·후 배분을 조정하도록 하는 아이디어를 제시하였으며, 젖은 노면 등에서 제어오차가 커질 경우 후륜의 인휠 구동계에 대한 구동력의 배분비율을 증가시킴으로써 노면 접지력을 향상시킴과 동시에 인휠 구동계의 빠른 응답성을 이용하여 제어오차를 극복할 수 있도록 하였다.
- 4) 고정밀 동역학 차량모델을 기반으로 실제 대상 인휠모터의 사양을 반영하여 인휠 하이브리드 구동계 모델을 개발하였으며, 이를 바탕으로 시뮬레이션 시험을 수행한 결과 본 연구에서 제시한 알고리즘을 적용하였을 때 젖은 노면 등 노면 접지력이 낮은 상태에서도 우수한 ACC 제어성능을 확보할 수 있음을 확인하였다.

추가적으로, 본 연구에서 제시한 기법의 적용을 통해 거리제어, 속도제어 등 기본적인 ACC 제어 성능의 향상뿐만 아니라, 인휠 모터의 빠른 응답성을 통해 String Stability 문제의 원인이 되는 Phase Lag를 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### References

- [1] Sakai, S., Sado, H. and Hori, Y, "Motion Control in an Electric Vehicle with Four Independently Driven In-Wheel Motors", IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 4, no. 1, pp. 9-16. 1999.

DOI: <https://doi.org/10.1109/3516.752079>

- [2] Y. Hori, "Future Vehicle Driven by Electricity and Control - Research on Four-Wheel-Motored "UOT Electric March II"", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 51, no. 5, pp 954 - 962, Oct. 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2004.834944>
- [3] J. Y. Kang, K. Yi and H. D. Heo, "Control Allocation based Optimal Torque Vectoring for 4WD Electric Vehicle", SAE Technical Paper, 2012-01-0246, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.4271/2012-01-0246>
- [4] B. K. Song and G. U. Kim, "Preventing intersection collision accidents by intelligent motion control of in-wheel-motor electric vehicles", SAE Technical Paper, 2011-39-7203, 2011.
- [5] S. W. Moon, I. K. Moon, and K. Yi, "Design, tuning, and evaluation of a full-range adaptive cruise control system with collision avoidance", Control Engineering Practice, vol. 17, no. 4, pp. 442 - 455, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2008.09.006>
- [6] K. Yi, J. Hong, and Y. D. Kwon, "A Vehicle Control Algorithm for Stop-and-Go Cruise Control", in Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, vol. 215, no. 10, pp. 1099 - 1115, 2001.
- [7] T. Fujioka, M. Aso, and J. Baba, "Comparison of Sliding and PID Control for Longitudinal Automated Platooning.", SAE Technical Paper, 951898, 1995.  
DOI: <https://doi.org/10.4271/951898>

---

## 양 인 범(In-Beom Yang)

[정회원]



- 1996년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : GIST 기전공학과 (공학석사)
- 2012년 8월 : 고려대학교 제어계측공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 2016년 8월 : 자동차부품연구원 선임연구원
- 2016년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 스마트자동차학과 교수

<관심분야>

ADAS, Smart Agent, Human-X

---

## 황 윤 형(Yun-Hyoung Hwang)

[정회원]



- 2006년 2월 : 한양대학교 전자전기 컴퓨터공학부 (공학사)
- 2008년 2월 : 한국과학기술원 자동차기술대학원 (공학석사)
- 2008년 7월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 선임연구원

<관심분야>

자율주행 위험도판단 및 상위제어