

전동화차량 구동모터 기반 차량 긴급 핸들링 보조 제어

박재일^{*1)} · 김승기¹⁾ · 황성욱¹⁾ · 이상호¹⁾ · 김상준²⁾ · 유성훈²⁾ · 김영은²⁾ · 김우균³⁾

현대자동차 사시제어리서치랩¹⁾ · 현대자동차 전동화제어개발3팀²⁾ · 현대자동차 R&H시험2팀³⁾

Development of E-EHA(Electrification - Evasive Handling Assist) Based on xEV

Jae-il Park^{*1)} · Seungki Kim¹⁾ · Sungwook Hwang¹⁾ · Sangho Lee¹⁾ ·

Sangjoon Kim²⁾ · Sunghoon Yu²⁾ · Youngeun Kim²⁾ · Wookyun Kim³⁾

¹⁾Chassis System Control Research Lab, Hyundai Motors Company, 150 Hyundaiyeonguso-ro, Namyang-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi 18280, Korea

²⁾Electrification Control Development Team 3, Hyundai Motors Company, 150 Hyundaiyeonguso-ro, Namyang-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi 18280, Korea

³⁾Ride & Handling Test Team 2, Hyundai Motors Company, 150 Hyundaiyeonguso-ro, Namyang-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi 18280, Korea

(Received 24 March 2022 / Revised 28 April 2022 / Accepted 29 April 2022)

Abstract : The purpose of the study is to develop the Electrification - Evasive Handling Assist(E-EHA) control that helps avoid forward collision. The E-EHA control operates in situations when collision risk is detected through the environmental sensors of the vehicle. It detects the driver's intention through information from the vehicle's motion sensors such as steering wheel angle and steering wheel angle speed. It improves the agility and stability of the vehicle using xEV Motor driving and braking force so that it can maximize evasive handling performance in case of emergency. The deliberate control is designed on Matlab/Simulink. In an emergency collision scenario, the E-EHA is confirmed to have lateral avoidance effect in both simulation environment and actual vehicle test.

Key words : Evasive handling assist(긴급 핸들링 보조), xEV motor control(전동화 차량 모터 제어), Evasive steering(긴급 조향), Forward collision avoidance assist(전방충돌보조), Vehicle agility control(차량 민첩성 제어), Vehicle stability control(차량 안정성 제어)

1. 서론

현재 자동차 시장의 가장 큰 화두 중 하나는 자동차 동력원의 전동화이다. 세계 각국의 정부들은 환경규제를 강화하는 동시에 전동화차량 구입시 보조금을 지급하는 정책으로 전동화차량의 보급을 장려하고 있는 중이다. 실제로 국내 하이브리드 차량의 보급대수는 2015년 17.4만대 수준에서 2019년 50.6만대 수준이 될 정도로 급격히 증가하고 있다.¹⁾ 순수 전동화차량의 경우 그 증가율이 더욱 폭발적인데 세계 전기차/수소차의 보급 추이는 2016년 120만대에서 2018년 330만대 수준으로 약 3배 증가하였고 2030년까지 약 2억 200만대가 보급될 것으로

예상된다.²⁾ 이런 가운데 고객의 니즈를 만족시키기 위한 전동화차량 대상 다양한 연구가 진행되고 있다.

또한 이와 더불어 교통사고 감소 및 사고 피해 경감을 위한 능동안전 시스템에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 교통사고를 줄이는 능동안전시스템 중 대표적인 것이 충돌 위험 순간 운전자에게 경고 하거나 시스템이 자동으로 긴급제동을 작동시키는 FCA(Forward Collision avoidance Assist) 이다.³⁾ 현재 FCA 시스템은 모든 승용/상용 차량에 장착 의무화가 추진되고 있으며, 최근에는 조향시스템을 제어하여 전방 충돌회피를 보조하는 ESA(Evasive Steering Assist)시스템 또한 활발히 연구되

*Corresponding author, E-mail: park32k@hyundai.com

¹⁾This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

고 있는 중이다.^{4,5)}

본 연구에서는 전동화 차량의 동력원인 구동모터를 활용하여 차량의 핸들링성을 극대화할 수 있는 차량 회피거동 보조 로직을 제안한다. 전동화 차량에 장착되어 있는 환경센서를 참조하여 충돌위험을 감지한 후, 조향각속도나 브레이크, 엑셀 등 운전자의 입력값을 센서를 통해 감지하여 운전자 긴급조타 시 회피성을 극대화할 수 있도록 차량의 선회응답성 및 안정성을 향상시키도록 로직을 설계하였고, 해석 검증하였으며 당사 중형 SUV 개발차량에 적용하여 그 성능을 확인하였다.

2. 로직 구성

2.1 로직 컨셉

E-EHA는 전방 장애물로 인해 충돌위험이 발생한 상황에서 운전자가 회피조타 수행 시, 구동 모터를 활용하여 타이어 횡방향 힘을 증대시켜 회피성을 극대화하는 차량 거동제어이다. 중량, 재료비 추가 없이 기능 구현이 가능하며, 차량에 기본장착 되어 있는 구동모터를 이용하여 전방 충돌위험 시 요모멘트를 회피방향으로 증가시켜 차량 상품성을 개선시킬 수 있다.

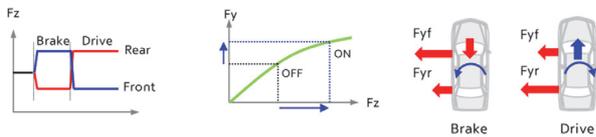


Fig. 1 Changing the vehicle performance depends on vertical tire force

E-EHA는 구동모터에 제/구동력을 인가하여 차량 전/후륜 하중이동 제어를 수행할 수 있다. 구동모터를 제동 제어하게 되면 전륜으로 하중이 이동하여 전륜 타이어 수직력이 증가하고 후륜 타이어 수직력이 감소한다. 또한 구동모터를 구동제어하게 되면 반대로 전륜 타이어 수직력이 감소하고 후륜 타이어 수직력이 증가하게 된다. 이와 같이 타이어 수직력 변화시 횡력의 변화가 생기는데 타이어의 수직력이 커질시 타이어의 횡력이 증가하게 된다. 이 원리로 인하여 차량 거동 변화가 발생하게 되는데 제동제어 시 전륜의 횡력이 후륜의 횡력에 비해 커져 회피성을 향상시킬 수 있고, 구동 제어 시 후륜의 횡력이 전륜의 횡력에 비해 커져 차량안정성을 향상시킬 수 있다.

2.2 로직 설계

2.1절에서 설명한 개념을 적용하기 위해 제어 로직을

설계하였다. 제어로직은 회피구간과 안정구간으로 나누어 진다. 회피구간의 경우, 직진주행중 전방장애물을 환경센서를 통해 감지한 상황에서 운전자가 조향을 했을 때 시작된다. 그 상황에서 전륜과 후륜의 횡슬립각을 추정한 후 전륜의 횡슬립각이 후륜 횡슬립각보다 큰 경우, 제동제어를 통해 전륜의 하중을 증가시켜 회피성을 향상시킬수 있도록 하였다. 이후 환경센서를 통해 전방 충돌 위험이 감지되지 않으며, 후륜의 횡슬립각이 전륜의 횡슬립각보다 큰 경우에는 안정구간으로 진입하게 된다. 전방 충돌 위험 상황은 종료되었고, 운전자가 회피 이후 반대방향으로 조향을 하고 있으며, 전륜보다 큰 후륜의 횡슬립각으로 인해 차량이 안정성을 잃고 2차충돌 등의 상황이 발생할 수 있으므로 차량의 안정성을 증가시키기 위해 구동제어를 하여 후륜에 수직력을 증가시킨다. 제어로직을 설계하기 위해 추정된 전/후륜 타이어 횡슬립각은 다음과 같다.

$$\alpha_f = \delta_f - \left(\beta + \frac{l_f}{v_x} \gamma\right) \quad (1)$$

$$\alpha_r = \frac{l_r}{v_x} \gamma - \beta \quad (2)$$

식 (1)에서 α_f 는 전륜 횡슬립각, δ_f 는 전륜 조향각, β 는 바디 횡슬립각, l_f 는 전륜과 CG점과의 거리, γ 는 차량의 요레이트를 나타낸다. 또한 식 (2)에서 α_r 는 후륜 횡슬립각, δ_r 는 후륜 조향각, l_r 는 후륜과 CG점과의 거리를 나타낸다. 위 식 (1), (2)를 통해 제어로직 설계에 사용할 전/후륜 횡슬립각을 추정할 수 있다. 추정을 위해서는 차량운동센서 및 차량 파라미터를 제외하고 β 를 연산해야 한다. 그 연산식은 아래 식 (3), (4)를 활용한다.⁶⁾

$$\dot{v}_x = A_x + \gamma \cdot v_y \quad (3)$$

$$\dot{v}_y = A_y - \gamma \cdot v_x$$

이 때, v_x 와 v_y 는 각각 차량의 종/횡방향 속도를 의미하며, A_x 와 A_y 는 각각 차량의 종/횡방향 가속도를 나타낸다. γ 는 요레이트를 의미한다.

한편, 차량의 횡슬립 β 는 다음과 같은 수식으로 표현될 수 있다.

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{v_y}{v_x} \right) \quad (4)$$

$$|\alpha_f| > |\alpha_r| \& |\alpha_f| \geq \varepsilon_f \quad (5)$$

$$Tq = -k_1 |\alpha_f|, k_1 > 0 \tag{6}$$

추정된 전륜 횡슬립각과 후륜 횡슬립각을 비교하여 전륜 횡슬립각의 크기가 후륜 횡슬립각보다 일정값 이상으로 클 경우 제동제어를 수행하며, 그 크기는 전륜 횡슬립각 크기에 비례한다.

$$|\alpha_r| > |\alpha_f| \& |\alpha_r| \geq \varepsilon, \tag{7}$$

$$Tq = k_2 |\alpha_r|, k_2 > 0 \tag{8}$$

마찬가지로 추정된 후륜 횡슬립각이 전륜 횡슬립각보다 일정값 이상으로 클 경우 구동제어를 수행하며, 그 크기는 후륜 횡슬립각 크기와 비례한다. 제어량을 전-후륜 슬립각의 차이가 아닌, 전륜 또는 후륜의 횡슬립각 크기에 비례하게 분배한 이유는 조향이 반대부호로 넘어가는 부분등 제어로직 실차튜닝시 전반적인 부분에서 직관성에 더 유리한 부분이 있다고 판단했기 때문이다.

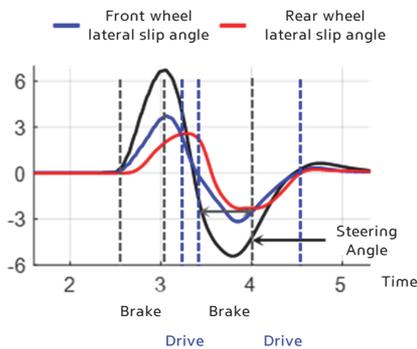


Fig. 2 Front-rear wheel lateral slip angle estimation and control decision

위와 같이 제어로직 설계를 하게되면 위 그림에서 검은색 실선처럼 조향하였을 경우 전-후륜 횡슬립각이 파란 실선과 빨간 실선으로 추정되며 그것을 활용하여 구동모터의 제/구동력을 결정한다.

2.3 로직 아키텍처

E-EHA의 로직 아키텍처는 크게 4개의 모듈로 구성된다. 운전자 입력 및 차량 환경센서 입력 신호를 신호 처리 및 필터링 하는 신호처리부, 신호처리 된 신호를 바탕으로 충돌 위험 상황 및 차량 상태를 인지하는 인지부, 운전자 조향 여부와 함께 차량 안정성 여부를 판단하는 판단부, 구동모터 제/구동제어를 통해 차량의 하중 이동

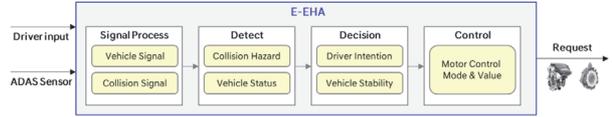


Fig. 3 E-EHA logic architecture

량을 결정하고 그 하중 이동량을 통해 차량의 전후 횡력을 제어하는 제어부로 구성된다.

3. 성능 해석

3.1 해석 시나리오

Matlab/Simulink를 이용하여 로직 설계 후 차량 동역학 해석프로그램인 CarSim 8.02로 성능해석을 수행하였다. 차량모델은 당사 중형 SUV플랫폼 HEV차량을 기반으로 하여 설계하였다. 해석 시나리오는 아래 표로 정리하였다.

Table 1 E-EHA simulation configuration

	Simulation configuration	Note
Vehicle model	Middle size SUV (HEV)	Comparison control ON/OFF
Vehicle speed	80 kph	CarSim internal driver model
Procedure	Evasive steering (3.5 m move Y-Direction)	

3.2 해석 결과

E-EHA 로직 해석 결과는 Fig. 4에서 볼 수 있다. Fig. 4에서 파란선은 E-EHA 제어 ON 데이터이며, 빨간선은 제어 OFF 데이터이다. 또한 검은선은 모터토크의 양이다, 해석한 시나리오에서 모터토크 제어에 의해 요레이트가 3% 증가하고, 바디 횡슬립각 21% 감소한 것을 확인할 수 있다. 요레이트의 증가로 인해 회피궤적 그래프에서 회피시의 회피 횡거리가 OFF대비 수cm 증가한 것을 확인할 수 있었고 바디 횡슬립각 감소로 인하여 회피 후 차선 복귀가 우세한 것을 확인할 수 있었다. 해석을 통하여 E-EHA 제어 적용시 고속 급조타회피 조건에서 차량응답성 향상과 차량 안정성 향상을 동시에 만족시킨다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2 E-EHA simulation result

80 kph 3.5 m SLC (Y-direction)	Yaw-rate	Body side slip angle
Comparison control ON/OFF	Increase 3 %	Decrease 21.8 %

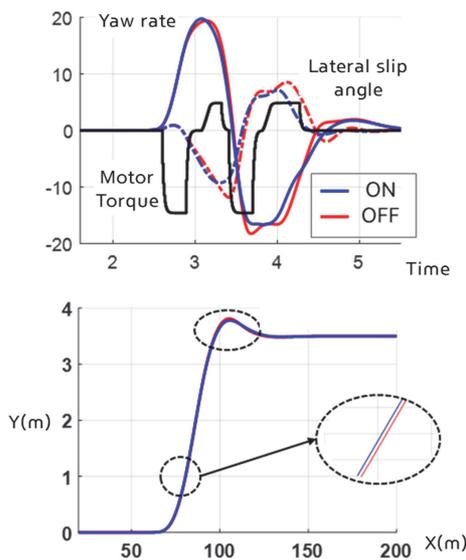


Fig. 4 E-EHA simulation result

4. 실차 시험

4.1 시험 시나리오

로직 성능을 확인하기 위하여 당사 중형 플랫폼 SUV P1 HEV 차종에서 실차 시험을 진행하였다. 로직은 HCU 내에 구현하였으며, 시험 시나리오는 해석과 동일하게 80 kph 3.5 m 급차선변경 이다. 시험은 남양연구소 PG에서 진행되었다.

4.2 시험 결과

시험은 PG내에 있는 정지용 차량 더미를 사용하여 차량 환경센서를 통해 충돌위험을 감지하게 했다. 운전자는 충돌 위험이 수신되는 것을 인지하고 장애물을 회피하기 위한 긴급 조향을 시작한다. 운전자는 자신의 의지에 따라 장애물을 회피하고 E-EHA는 구동모터 제어를 통해 운전자를 지원한다. 로직의 성능을 계측하기 위해 차량에서 로직 ON/OFF하며 시험하였다.

Table 3 E-EHA vehicle test result

80 kph 3.5 m SLC (Y-direction)	Yaw-rate	Lateral G
Comparison control ON/OFF	Increase 4.7 %	Increase 5 %

Fig. 5는 실차시험 결과이다. 파란선은 E-EHA ON데이터이고 빨간선은 E-EHA OFF데이터이다. 검은선은 구동모터 제어량이다. E-EHA 양산 적용을 위하여 실차 튜닝

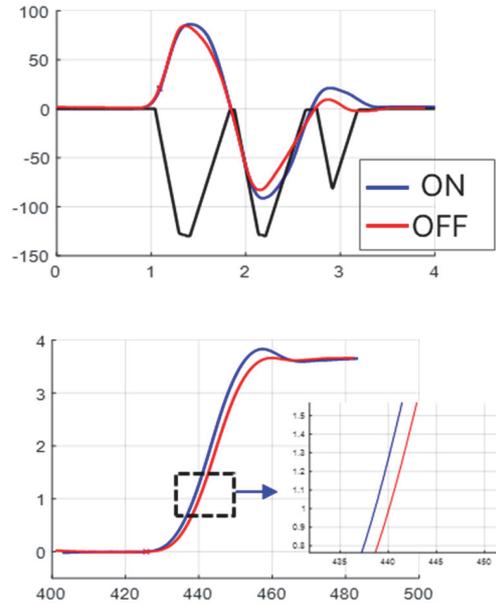


Fig. 5 E-EHA vehicle test result

을 진행하는 과정에서 구동제어 부분은 삭제되었고 제동제어 부분만 적용되었다. E-EHA제어에 의해 회피구간에서 요레이트가 4.7 % 증가, 횡가속도가 5 % 증가하였고, 그 결과 회피거리가 OFF대비 수 십cm 증가한 것을 확인할 수 있었다. 또한 정성적인 평가에서도 로직 ON/OFF에 따른 성능차이를 확인할 수 있었다. 이에 따라 긴급회피 조건에서 E-EHA로직에 의한 차량 회피 성능 개선을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 전동화차량의 동력원인 구동모터를 활용하여 차량의 핸들링 성능을 극대화할 수 있는 차량 회피제동 보조 로직을 제안하였다. 차량에 장착되어 있는 환경센서 및 운동센서를 통해 충돌 위험 상황 및 운전자의 의도를 감지하여 운전자 긴급조타 시 회피성능을 극대화할 수 있도록 차량의 선회응답성 및 안정성을 향상시

키는 로직이다. 상용 소프트웨어를 활용한 해석 환경 및 실차 시험 환경에서 제안하는 로직의 성능을 검증하였으며, 검증결과는 다음과 같다.

- 1) 운전자 회피상황에서 횡 이동거리를 향상시켜 보다 효율적으로 운전자의 회피를 보조할 수 있다.
- 2) 횡슬립을 감소시켜 회피 후 자세 안정화에 도움을 줄 수 있다.

후 기

제안한 로직을 투싼 HEV/스포티지 HEV/쏘렌토 HEV 차량에 적용하였고 세계 최초 신기술로 양산하였다.

References

- 1) B. H. Lee, "Hybrid, Plug-in Hybrid and Electric Vehicle Development Trends," KIPE Spring Conference Proceedings, pp.59-67, 2019.
- 2) C. G. Kang and S. Y. Jun, Reducing Fine Dust, How far are Electric Hydrogen Cars?, GRI Issue & Diagnosis, pp.1-25, 2020.
- 3) S. K. Kim, S. W. Hwang, S. H. Lee, N. H. Kim, J. M. Ryu and S. H. Jung, "The Development of Active Evasive Steering Assist Control," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.416-421, 2018.
- 4) J. Choi, H. Her, S. Min, J. Kim and K. Yi, "Development of Emergency Driving Support Algorithm for Rear-end Collision Avoidance," KSME 11DC082, 2011.
- 5) J. I. Park, S. W. Hwang, S. H. Lee, Y. M. Go, J. Y. Seo and Y. S. Yoon, "The Development of the Vehicle Emergency Avoidance Driving Assist Logic," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.320-325, 2016.
- 6) S. K. Kim, J. I. Park and S. H. Lee "A Development of Evasive Steering Assist Control System Based on Vehicle Side-slip Angle Estimation," Transactions of KSAE, Vol.28, No.9, pp.653-658, 2020.