

xEV 핸들링 성능 향상을 위한 구동모터 기반 타이어 힘 최적 제어 개발(E-Handling)

황성욱^{*1)} · 박재일¹⁾ · 김승기¹⁾ · 이상호¹⁾ · 김상준²⁾ · 김우균³⁾

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

Development of Optimal Control of Tire Force Based on Driving Motor for Improvement of xEV Handling Performance(E-Handling)

Sungwook Hwang^{*1)} · Jae-il Park¹⁾ · Seungki Kim¹⁾ · Sangho Lee¹⁾ · Sangjoon Kim²⁾ · Wookyun Kim³⁾

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

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

³⁾R&H Test Team 2, Hyundai Motor Company, 150 Hyundaiyeonguso-ro, Namyang-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi 18280, Korea
(Received 31 March 2022 / Revised 11 May 2022 / Accepted 26 May 2022)

Abstract : A method for improving an electric vehicle's cornering performance using motor braking torque and motor driving torque has been described. When the electric vehicle is on a cornering entry point, applying motor braking torque improves the front grip force and lateral force while the vehicle load transfers to the front wheel. Through this, the yaw rate of the vehicle is increased and subsequently improves the cornering agility. In the same principle, if the motor driving torque is applied immediately before the steering angle is reached at neutral, the lateral force of the rear wheel increases to prevent oversteering and to improve cornering stability. The proposed E-Handling logic is verified through vehicle testing in various road conditions. This E-Handling logic was developed for the first mass production of the NX4 HEV in HMC.

Key words : E-Handling(이-핸들링), Motor brake torque(모터 제동 토크), Motor drive torque(모터 구동 토크), Tire lateral force(타이어 횡력), Tire grip force(타이어 그립력), Handling agility(선회 민첩성), Handling stability(선회 안정성)

1. 서론

미래 모빌리티 시대를 맞이하여 자동차 개발의 핵심 축으로 자주 언급되는 M.E.C.A(M: Mobility, E: Electrification, C: Connectivity, A: Autonomous) 항목 중 전동화 차량 개발 분야에서는 최근 강력한 글로벌 환경 규제와 자동차 OEM 회사들의 전동화 차량 Top-tier 리더쉽 확보라는 전략과 맞물려 다양한 형태의 구동 동력원을 기반으로 하는 xEV(HEV, EV, FCEV) 제품들이 빠르게 시장 점유율을 늘리고 있다. 과거 한때 전동화 차량의 개발 목표는 경쟁차 대비 우수한 전비(연비)를 확보하는 것이었고 이를 중시하던 고객들은 전동화 차량의 특수

성을 고려하여 일부 성능이 부족해도 큰 불만을 제기하지 않았다. 하지만 특수 영역에 머물던 전동화 차량이 메인 시장 무대로 진출함에 따라 고객들의 차량 구매 기준은 전비(연비)뿐만 아니라 주행성능, 편의기능 등 모든 성능 측면에서 세계 최고의 상품성을 갖춘 차량으로 변해가고 있다. 이중에서 Fun-to-Drive 성능을 필두로 한 핸들링 성능은 향후 전동화 차량에서 부족해서는 안 될 가장 중요한 상품성이라고 할 수 있다. 최근 BEV(Battery Electric Vehicle) 시장을 선도하고 있는 테슬라의 Model-3 EV가 BMW 330i M Sport과 견줄 수 있는 핸들링 성능을 보여주었고 이에 대한 고객들의 호평과 폭발적인 판매

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

^{*}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.

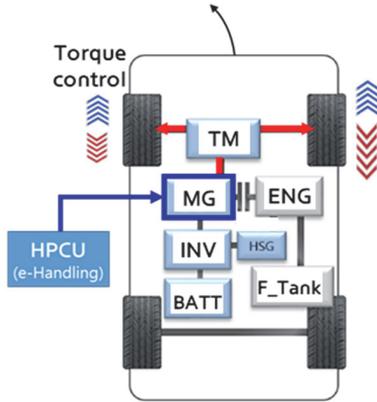


Fig. 1 Configuration diagram of TMED type NX4 HEV

량 증가가 이를 반증하고 있다. 더불어 닛산의 Leaf 전기차 및 도요타의 프리우스 HEV 등도 전동식 구동 모터로 종방향 Traction 제어뿐만 아니라 승차감이나 선회 성능 개선에 적극 활용하고 있는 상황이다. 전동화 차량의 우수한 주행성능 확보를 위해서는 여러 PE(Power Electric) 부품들의 성능과 PE 시스템 전용 플랫폼 등 설계적인 요소도 중요하지만 차량 운동과 관련된 제어 시스템을 차량 거동 특성에 알맞게 주행 상황 적재 적소에 개입시켜 성능 향상을 이끌어내는 것이 핵심이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 현대자동차의 준중형급 SUV 차량인 신형 올뉴투싼 HEV차량에서 40 KW급 구동 모터의 제/구동 토크를 핸들링 주행 상황에 맞게 최적 제어하여 선회 성능을 향상 시킨 E-Handling 기능의 최초 양산 개발 내용에 대하여 기술하고자 한다. E-Handling 제어로직은 1개의 이상의 구동 모터가 탑재된 모든 형태의 전동화 차량에 적용 할 수 있으며 올뉴투싼 HEV 이후 현대기아 자동차 전동화 차량에 수평 전개 되고 있는 상황이다.

2. E-Handling 제어 개발

2.1 제어 컨셉 개발

전동화 차량(HEV, BEV, FCEV)의 구동 모터를 활용하여 핸들링 성능을 향상시키는 E-Handling 기능은 차량의 선회 운동 진행 프로세스 시퀀스에 따라서 적절한 전/후륜 타이어의 힘 변화를 유도하여 핸들링 성능을 향상시키는 개념이다. 3방향의 직선 운동과 3방향의 회전 운동을 가지는 차량의 거동 중에 핸들링 성능과 밀접한 관계를 가지는 운동은 요 방향 운동, 횡 방향 운동, 롤 방향 운동, 피치 방향 운동이다. 이러한 각 운동 방향 별 차량 거동 성능을 결정짓는 성능인자로는 요레이트, 횡가속도, 횡슬립각, 롤각(속도), 피치각(속도) 등이 있으며 이들의 정량적인 수치와 상호 연관성에 의하여 차량 고유의 핸

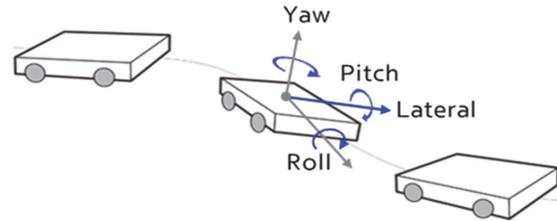


Fig. 2 Performance factors which occur during turning

들링 성능과 감성이 좌우 된다고 할 수 있다. 기존 사시제어시스템에서는 주행상황에 적합한 핸들링 성능인자 최적화를 위하여 단일 운동 방향의 도메인 제어시스템을 활용하여 특정 성능인자를 위한 개별제어를 수행하였고 최근에는 2개 이상의 차량운동 도메인 성능들이 상호 연결된 연성성능 향상을 위한 통합제어를 실시하고 있다. 이러한 대표적인 사시제어시스템으로는 RWS (후륜조향시스템: 횡슬립각 및 요레이트 제어), ESC TV(브레이크 토크벡터링: 요레이트 제어), ECS(전자제어현가장치: 롤, 피치, 수직 가속도, 요레이트 제어)등과 같은 시스템이 있다.

ECS 시스템이 차량의 수직방향 운동(승차감)을 제어하는 동시에 선회시 댐퍼 감쇠력 제어를 통해 핸들링 성능도 개선 할 수 있듯이, 선회 상황에서 종방향 트랙션 운동 성능을 관장하는 구동 모터의 토크 제어를 통해서 Fig. 4와 같이 타이어의 횡력 변화를 유도하여 차량의 핸들링 성능(요운동, 롤운동, 횡방향 운동 등)을 향상 시킬 수 있다. 사시제어시스템 이외에도 핸들링 성능에 큰 영향을 줄 수 있는 구동 모터 시스템은 차량이 직진 중 선회 운동을 시작하게 되면 타이어 종방향 힘(Fx)는 감소하면서, 동시에 타이어 수직력(Fz)에 비례하는 타이어 횡력(Fy)이 발생하게 되며 이 힘들은 타이어 마찰원(Kamm's friction circle) 이론에 기반하는 상관 관계를 가진다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 운전자 조향 입력이 있을 때 파워트레인 시스템을 활용하여 적절한 타이어 종방향 힘(Fx)을 제어할 수 있다면 타이어 수직력(Fz)의 변화를 유도하여 최종적으로 핸들링 성능을 결정하는 타이어 횡방향 힘(Fy)을 제어 할 수 있다. 하지만 기존 내연기관 시스템에서는 선회시 필요한 타이어 횡력 생성을 위해서 요구되는 엔진과 변속기의 제어 응답성과 제어 정밀성을 확보하기 어려워 실질적인 차량 성능 개발로 연결되지 못했다. 그러나 전동화 차량의 경우 기계식 엔진 대비 토크 명령에 대한 응답성이 100배 이상 빠른 전동식 구동 모터가 장착되기 때문에 선회 상황시 필요한 구동 토크의 정밀한 가감 제어가 가능하게 되었다. 그리고 전동화 차량의 경우 추가되는 PE(Power Electric) 부품 탑

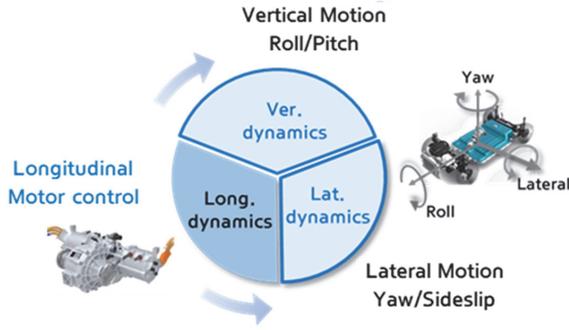


Fig. 3 Cross domain control by using driving motor

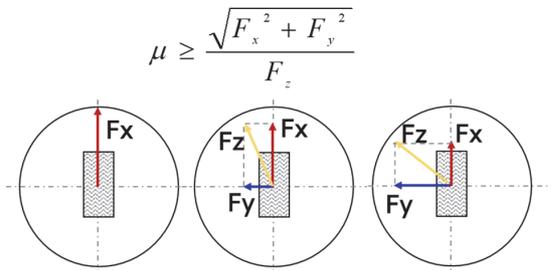


Fig. 4 Correlation of tire forces in turning

재로 인하여 중량과 관성이 증가되었고, 연비(전비)를 고려한 저마찰 타이어 장착으로 인하여 기본차 대비 설계 제원이 많이 상이하게 된다. 이러한 점들이 기본 내연차 대비 전동화 차량의 핸들링 성능 열세를 초래할 수 있는 요인들이다. 또한 1회 충전으로 주행할 수 있는 전비(연비)가 여전히 중요한 상품성 항목이 됨에 따라 주행거리 증대를 위한 배터리 용량 증대로 기존 서스펜션과 조향시스템 지오메트리의 변경이 발생하여 주행성능 열세를 가져올 수도 있다. 이러한 환경 속에서 전동화 차량 주행성능 향상 전용 기술인 E-Handling은 중량/재료비 증가없이 제어로직 개발만으로 전동화 차량의 선회 성능을 개선 및 향상시킬 수 있는 기술이며 차량의 설계 및 관성 제원의 불리함과 무관하게 선회 운동 프로세스에 알맞게 전/후륜 타이어의 수직 항력과 횡력을 증대시켜 선회 민첩성, 선회 선형성, 선회 안정성을 향상시킬 수 있다.

전동화 차량 선회시 핸들링 성능 개선을 위해서 필요한 타이어 그립력의 추가 확보를 위하여 선회 진입시(Turn-in) 구동모터로 Negative(-) 토크를 인가하여 피치 모션에 의한 중방향 차량 하중 이동을 발생시켜 전륜 타이어 그립력을 증가시키고 이를 통한 전륜 타이어 횡력이 향상되도록 구동모터를 제어하였다. 이렇게 모터 제동 제어를 실행하면 전륜에서 발생하는 타이어 횡슬립각을 축소시켜 차량의 U/S(언더스티어) 경향이 완화되

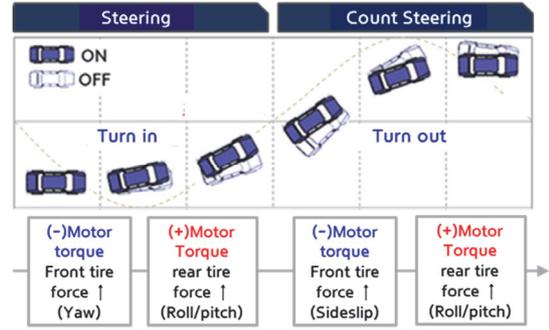


Fig. 5 Control concept of E-Handling for each turning stage

도록 핸들링 성능을 개선할 수 있다. 선회 탈출(Turn-out) 운전 영역에서는 카운터 조향 조작에 의해 차량의 후륜 타이어 그립력이 부족하게 되어 O/S(오버스티어) 특성이 나타나는데 이는 차량의 선회 거동 안정성을 저하시키는 원인이 된다. 이를 E-Handling 적용으로 개선하기 위하여 카운터 조향시 구동 모터에 Positive(+) 토크를 인가하여 차량 후륜 방향으로 차량 하중 이동을 유도하여 후륜 타이어의 수직력 증대를 통한 타이어 횡력 증대로 선회 안정성 향상을 도모하였다. 또한 선회 단계별 모터 제어 명령치의 정밀한 튜닝(제어량, 제어시간, 제어명령 기울기 등)을 통해 유기적으로 연결된 주요 핸들링 성능 인자들(요레이트, 횡슬립각, 롤각, 피치각, 횡가속도 빌드업 기울기 등)을 제어 개선하였다.

2.2 제어 로직 개발

전동화 차량 구동모터를 활용한 핸들링 성능 향상 제어로직(E-Handling)은 차량상태 추정기, 요레이트 제어기, 롤·피치 일체감 구현 제어기로 구성되어 있다. 요레이트 제어기는 차량의 U/S(언더스티어) 특성을 개선하기 위해서 제어 진입 조건에서 전륜 그립력 증가에 필요한 구동모터 제동 토크량(Negative torque)을 연산하고 카운

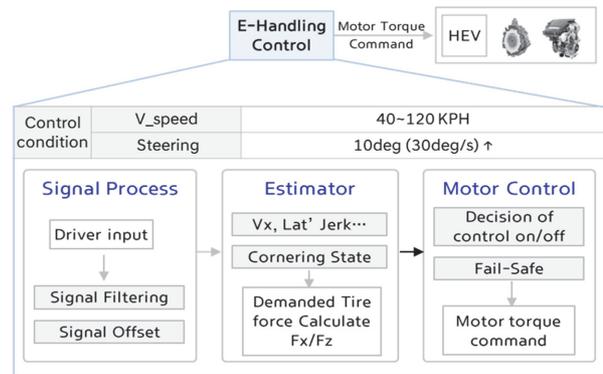


Fig. 6 Overview of E-Handling control logic

터 조향시에는 오버스티어(O/S) 특성을 방지하고 선회 안정성 확보를 위한 구동모터 구동 토크량(Positive torque)을 결정한다. 롤-피치 일체감 향상 제어를 통해 구동모터의 제/구동 토크 인가시 발생하게되는 추가적인 피치 운동과 선회시 발생하는 롤 운동 사이의 선회 일체감을 향상시켰다. 결론적으로 선회 운동시 발생하는 요-롤-피치 운동 상호간 연성 성능과 조화 성능을 고려하여 전동화 차량 구동모터의 토크 제어량을 결정하였으며 이때 필요한 차량 상태 추정을 위해 차속, 타이어 힘, 횡저크, 롤각 등을 추정하였다. 아래 Fig. 6은 올뉴투싼 HEV 차량에 적용된 E-Handling 제어로직의 전체적인 개요도이다.

2.2.1 요 운동 성능 개발

선회 운동시 타이어 횡력 증대를 통한 요운동 개선을 위해 차량동역학 기반 차량 모델을 구축하였다. 타이어 횡력(Fy) 증대를 위해 요구되는 모터 제어량연산을 위해 종/횡방향 가속도를 이용하여 타이어에 걸리는 수직 하중을 추정하고, 휠속 센서값과 Yaw Rate를 이용, 차속을 추정하였다. 요운동 향상에 필요한 요구 요모멘트를 구동모터의 제/구동 토크로 구현하기 위해 타이어 힘 기반으로 요모멘트를 수식 전개하였다. 선회 운동시 발생하는 타이어 수직력(Fz)과 타이어 횡력(Fy)을 차량 모델로부터 추정하였으며 요구 요모멘트를 만족하기 위한 종방향 타이어 힘(Fx)을 연산하여 그 결과를 구동모터의

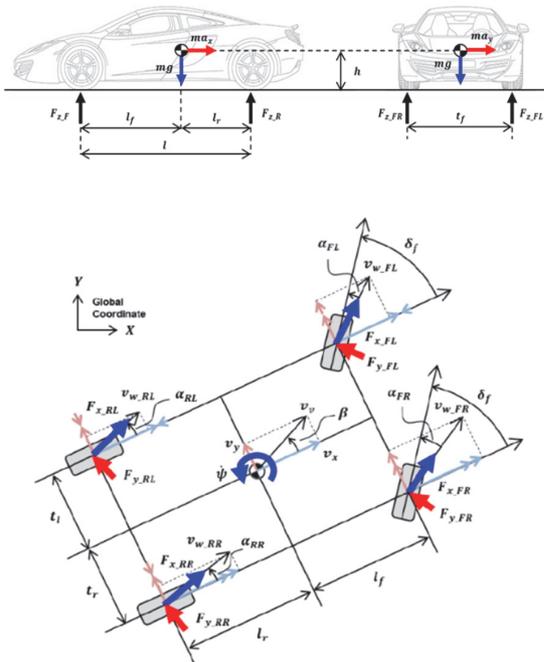


Fig. 7 Vehicle dynamics model

Table 1 Vehicle parameters and symbol

m	Vehicle mass
h	Height of CG
tf	Track width
lf	Distance from CG to the front wheel
lr	Distance from CG to the rear wheel
l	$l=lf+lr$
δ	Steering angle of wheel
γ	Yaw rate
C_{ij}	Cornering stiffness ($ij=FL, FR, RL, RR$)
a_{ij}	Tire slip angle ($ij=FL, FR, RL, RR$)

제어 토크량으로 환산하였다. 차량 제원과 종/횡방향 가속도를 활용하면 식 (1) ~ (4)를 이용하여 각 타이어에 걸리는 수직 하중을 계산할 수 있다.

$$F_{z_FL} = \left(\frac{m}{2}\right)\left(\frac{lr}{l} \cdot g - \frac{h}{l} \cdot a_x\right) - m\left(\frac{lr}{l} \cdot g - \frac{h}{l} \cdot a_x\right) \frac{h}{t_f \cdot g} \cdot a_y \quad (1)$$

$$F_{z_FR} = \left(\frac{m}{2}\right)\left(\frac{lr}{l} \cdot g - \frac{h}{l} \cdot a_x\right) + m\left(\frac{lr}{l} \cdot g - \frac{h}{l} \cdot a_x\right) \frac{h}{t_f \cdot g} \cdot a_y \quad (2)$$

$$F_{z_RL} = \left(\frac{m}{2}\right)\left(\frac{lr}{l} \cdot g + \frac{h}{l} \cdot a_x\right) - m\left(\frac{lr}{l} \cdot g + \frac{h}{l} \cdot a_x\right) \frac{h}{t_f \cdot g} \cdot a_y \quad (3)$$

$$F_{z_RR} = \left(\frac{m}{2}\right)\left(\frac{lr}{l} \cdot g + \frac{h}{l} \cdot a_x\right) + m\left(\frac{lr}{l} \cdot g + \frac{h}{l} \cdot a_x\right) \frac{h}{t_f \cdot g} \cdot a_y \quad (4)$$

차량의 횡방향 거동은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_z \gamma = l_f (F_{x_FL} + F_{x_FR}) \sin \delta + l_f (F_{y_FR} + F_{y_FL}) \cos \delta + \Delta M_z - l_r (F_{y_RL} + F_{y_RR}) + \frac{l_f}{2} (F_{y_FL} + F_{y_FR}) \sin \delta \quad (5)$$

여기서 ΔM_z 는 요모멘트 제어기에 해당되며 이를 타이어 힘 기반으로 환산하면 아래와 같다.

$$\Delta M_z = \frac{t_f}{2} (F_{x_FR} - F_{x_FL}) \cos \delta + \frac{t_f}{2} (F_{x_RR} - F_{x_RL}) \quad (6)$$

타이어 횡방향 힘은 타이어 수직 하중, 타이어 코너링 강성, 타이어 슬립각을 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$F_{y_ij} = \frac{2 \cdot \mu \cdot (F_{z_ij})}{\pi} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\pi}{2 \cdot \mu \cdot (F_{z_ij})} C_{ij} \cdot \alpha_{ij} \right) \quad (7)$$

타이어에 작용하는 힘의 크기는 수직 하중에 비례하며 타이어에 작용하는 종방향 힘(Fx), 횡방향 힘(Fy), 수직 하중(Fz)는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\mu F_x = \sqrt{F_y^2 + (\mu F_z)^2} \tag{8}$$

정상상태 자전거 모델에서 부족조향 구배 K와 차속 v, 반경 R에 해당하는 선회운동시 횡가속도에 관한 식으로 유도하면 다음과 같다.

$$a_y = \frac{v^2}{l + Kv^2} \delta \tag{9}$$

식 (1) ~ (9)를 활용하여 최종적으로 요모멘트 제어량을 조향각과 증가속도의 함수로 근사화하면 식 (10)과 같다. (k_i: 상수)

$$\Delta M_z \approx k_1 \cdot a_x + k_2 \left(\frac{v^2}{Kv^2} \delta \right) + k_3 \tag{10}$$

앞에서 결정된 E-Handling 모터토크 제어량에 토크 유지 시간, 토크 진입 시간, 토크 기울기 등을 독립튜닝 파라미터로 설정하여 선회 운동 단계별 Fine 튜닝이 가능하도록 제어로직을 구성하였다. 또한 빈번히 제어 개입 및 해제를 방지하기 위한 판단 로직과 운전자의 악의적인 체터링(Chattering) 조향입력을 판별하여 제어를 해제시키는 기능을 추가하였다. Fig. 8 그래프는 올뉴투싼 HEV 차량에서 80 kph, SLC 조건에서의 성능 계측 결과이다. 선회 진입 초기 모터 제동 토크를 인가하여 전륜 횡력을 증가시켰고 그 결과 조향각 대비 요레이트 응답성이 약 0.08초 향상되었으며 최대 요레이트크기도 11% 증가되는 개선 효과를 확인할 수 있었다. 조향각이 중립으로 복원되는 시점에 모터의 구동 토크를 제어하여 후륜의 횡력을 증가시켰고 그 결과 차량의 횡슬립각이 15% 감소되어 선회안정감이 향상됨을 확인할 수 있었다.

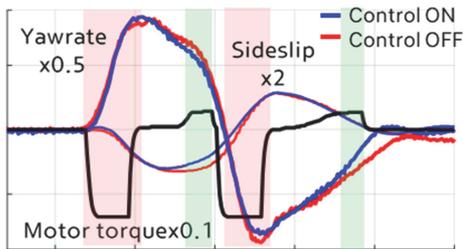


Fig. 8 Vehicle test results of 80 kph SLC

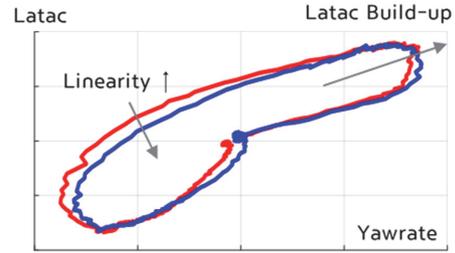


Fig. 9 Linearity of yaw rate-latac

핸들링 성능 평가의 중요한 척도 중 하나인 요레이트와 횡가속도의 상관관계를 실차 계측하여 살펴보았다. 최고 수준의 핸들링 성능을 가지는 차량일 수록 요레이트 대비 횡가속도의 생성이 빠르며 선형성 또한 우수하다. Fig. 9 그래프에서 알 수 있듯이 E-Handling 제어로직의 적용으로 요레이트 대비 횡가속도 응답성이 향상되었으며 히스테리 폭 축소로 표현되는 선형성 역시 개선됨을 확인하였다. 결론적으로 E-Handling 제어로직의 적용으로 인한 핸들링 성능 향상 효과는 단순한 요레이트의 증가뿐만 아니라 요레이트와 밀접하게 연결되어 차량의 선회성능을 결정하는 횡가속도와 횡슬립각 모두 동시에 개선됨을 확인하였다.

2.2.2 롤-피치 운동 일체감 향상 제어 개발

일반적으로 차량에 조향 입력이 들어오면 요레이트 발생, 횡가속도 발생, 롤(Roll)각 발생, 피치(Pitch)각 발생 순서로 차량 선회운동이 일어난다. 이때 롤각과 피치각 발생 시간차가 너무 커지면 선회 조작 중인 일반 운전자는 롤과 피치를 구분하지 못하고 롤 모션이 갑작스럽게 커졌다고 느낀다. E-Handling은 기본적으로 선회시 구동 모터의 제/구동을 이용해 횡력 증대를 유도하므로 추가적인 피치 운동 제어가 가능하다. 따라서 피치 이질감이 발생하지 않은 범위에서 모터 제어를 실시하게 되면 롤과 피치와의 응답성을 개선시킬 수 있으며 궁극적으로 롤/피치 선회 일체감 향상을 구현할 수 있다. 롤-피치 일체감 제어를 위한 목표 피치각을 연산하고 이를 위한 구동모터 감/가속도를 산출하였다.

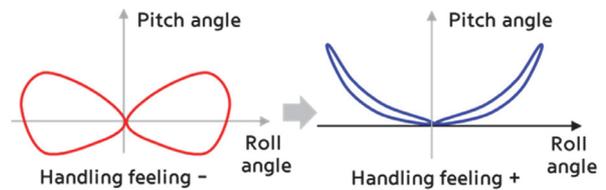


Fig. 10 Handling performance in roll & angle correlation

$$\theta^* = k \cdot \phi^2 \quad (11)$$

선회 운동시 목표 피치각은 식 (11)과 같이 롤각(ϕ)의 제곱에 비례하는 함수 형태로 단순화시켜 도출하였으며 피치각 역시 증가속도 기반으로 추정하였다. (k, p: 비례상수)

$$\theta \approx p \cdot a_x \quad (12)$$

횡가속도 기반으로 추정된 롤각을 활용하여 연산된 목표 피치각과 증가속도 기반으로 추정된 실제 피치각과 차이를 줄이기 위하여 PD 제어를 수행하였다.

$$\begin{aligned} \theta^* &= k \cdot \phi^2 \approx -p \cdot a_x \\ \varepsilon &= k \cdot \phi^2 + p \cdot a_x \rightarrow 0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} K_p \cdot \varepsilon + K_d \cdot \dot{\varepsilon} &= \\ K_p (k \cdot \phi^2 + p \cdot a_x) + K_d (2k \cdot \phi \cdot \dot{\phi} + p \cdot \dot{a}_x) &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

(Kp: P계인, Kd: D계인)

위의 수식으로부터 최종적으로 목표 피치각과 실제 피치각 차이(ε : 에러)를 0으로 수렴시키기 위해서 필요한 종방향 요구 가속속도를 아래와 같이 유도하였다.

$$a_x = -K_1 \cdot \phi \cdot (\phi + K_2 \cdot \dot{\phi}) - K_3 \cdot \dot{a}_x \quad (15)$$

Fig. 11은 80 kph SLC에서 롤-피치각 계측 결과이며 Fig. 12는 차속 80 kph, 슬라럼 (30 m) 시험 결과이다. 롤-피치 일체감 향상을 위한 제어가 적용되었을 때 롤과 피치의 응답성이 빨라지고 히스테리시스 폭도 약 22% 감소되어 롤과 피치 운동 간 선형성 개선이 이루어짐을 확

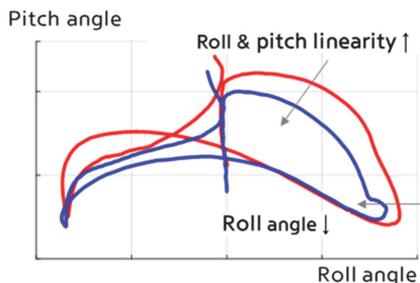


Fig. 11 Improved integration of roll and pitch in vehicle test (SLC)

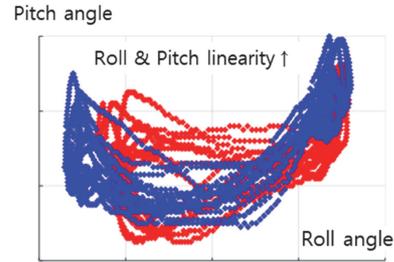


Fig. 12 Improved integration of roll and pitch in vehicle test (slalom)

인하였다. 또한 E-Handling 제어시 전반적인 롤각 및 피치각의 크기가 줄어들어 보다 안정적인 선회 성능 확보가 가능함을 확인하였다.

결론적으로 E-Handling 제어로직의 적용으로 현대기 아자동차 HEV 차량의 요, 횡, 롤, 피치 각각의 단일 운동 성능 향상뿐만 아니라 선회 운동시 유기적으로 연결된 이들의 연성 운동성능까지 개선됨을 확인하였다.

2.3 실도로 신뢰성 평가

2.3.1 동계 저마찰로 성능 검증

저마찰로에서 E-Handling로직의 유효성과 사이드이팩트 유무를 확인하기 위해 스웨덴 동계 시험장에서 시험을 진행하였다. 아래 계측 결과는 스노우 노면에서 차속 60 kph, 조향각 120 deg 차선변경을 수행한 결과이다. E-Handling 제어로직이 작동할 때 차량의 회두성과 횡가

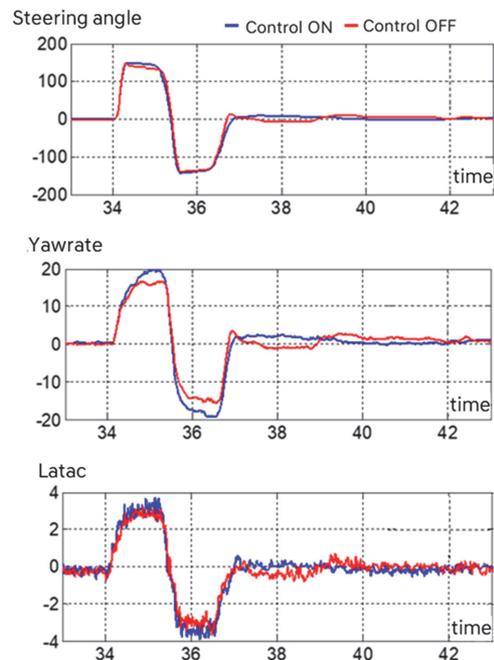


Fig. 13 SLC test results in low friction road

속도가 증가함을 확인하였으며 작동 이질감 및 다른 사시제어시스템과의 제어적인 충돌 문제도 없음을 확인하였다.

2.3.2 등강판로 주행성능 검증

E-Handling 로직의 양산성 검증을 위하여 국도 및 대관령, 진고개와 같은 등강판로에서의 실차 시험을 진행하였다. xEV 차량의 특성상 모터와 엔진을 연결하는 엔진 클러치 작동 시점과 변속시점에서는 E-Handling 제어 진입을 차단하고 해제시에는 인가 토크량의 Fade-out 제어를 통하여 운전성 측면에서 발생할 수 있는 이질감 문제를 원천 차단하였다. 또한 대관령 길 및 진고개 도로와 같은 등강판로에서의 E-Handling 제어효과와 사이드 이펙트를 실차 검증하였다. HPCU에서 사용하고 있는 경사로 추정기를 이용하여 등강판 조건에서는 토크 감소 및 제어 최적화를 통하여 와인딩 도로에서 핸들링 성능을 향상 시켰다.

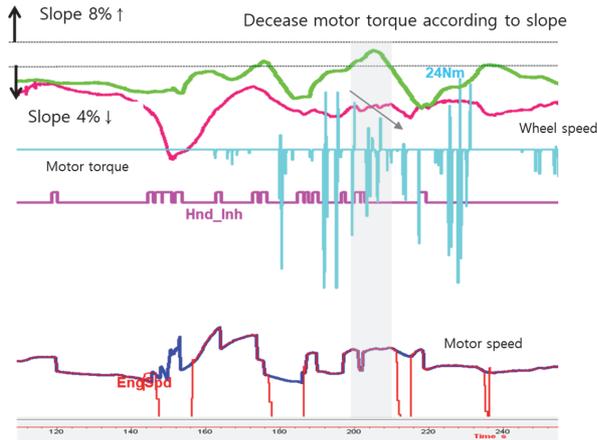


Fig. 14 Optimal torque control of E-Handling on slope

3. 결론

본 논문에서는 선회 운동시 xEV전동화 차량의 구동모터를 능동적 직접 제어하여 전동화 차량의 핸들링 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였고 향후 전개될 전동화 차량 시대에 반드시 필요한 구동모터 기반의 주행성능 개발 기반기술을 확보하였다. 그리고 여러 노면에서의 다양한 신뢰성 시험 검증을 통하여 현대기아자동차 최초로 올뉴투싼 HEV 차량에 양산 적용하였으며 전기

차와 여러 HEV 차종에 확대 전개 중이다. 하지만 전동화 차량의 특성상 핸들링 제어를 위한 구동모터 사용은 제약적인 수밖에 없으며 이를 보완하기 위해서는 기존 사시제어시스템과의 협조 제어는 필수 불가결하다.

앞으로 개발 예정인 xEV 차량에서는 ESC, ECS, e-4WD과 같이 주행성능을 직접적으로 제어하는 시스템들과 협조 제어를 통하여 보다 폭넓은 제어 영역을 확보하고 전동화 모터와 상호 보완적인 주행성능 향상 제어 로직 개발을 통해 현대기아자동차 전동화 차량의 상품성 향상에 기여할 예정이며 향후 차세대 전동화 차량 플랫폼과 자율주행 기능을 탑재한 미래모빌리티 주행 특성을 반영한 2단계 E-Handling 연구 개발도 지속 추진할 예정이다.

References

- 1) U. Kiencke and L. Nielsen, "Automotive Control Systems: for Engine, Driveline, and Vehicle," Measurement Science and Technology, Vol.11, No.12, 2000.
- 2) K. Han and G. Park, "Lateral Motion Control of Electric-Four-Wheel Drive Vehicle for Enhancement of Cornering Performance," Transactions of KSAE, Vol.28, No.9, pp.605-611, 2020.
- 3) H. S. Kim, W. S. Choi, W. S. Choi and W. S. Lim, "Energy Optimization through Operating Mode and Motor Torque Control for Electric Vehicles Equipped with 2-Motor and 2-Transmission," Transactions of KSAE, Vol.29, No.5, pp.477-483, 2021.
- 4) J. Seo and K. Yi, "Torque Vectoring based Model Predictive Control for Collision Avoidance Algorithm Development," KSME Spring Conference Proceedings, pp.11-12, 2014.
- 5) J. Park, J. Choi, H. Song and S. Hwang, "Study of Driving Stability Performance of 2-wheeled Independently Driven Vehicle Using Electric Corner Module," Transactions of KSME A, Vol.37, No.7, pp.937-943, 2013.
- 6) E. N. Smith, E. Velenis, D. Cao and D. Tavernini, "Evaluation of Optimal Yaw Rate Reference for Electric Vehicle Torque Vectoring," Proceeding of the 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC'16), Munich, Germany, pp.619-624, 2016.