

〈 응용 논문 〉

핸들링 성능 향상을 위한 다이내믹 핸들링 제어 시스템 개발

조 완 기 · 길 한 별 · 유 승 한*

한국기술교육대학교 기계공학부

Dynamic Handling Control System for Lateral Agility Improvement
Using Torque Vectoring

Wanki Cho · Han-Byeol Gil · Seung-Han You*

School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology & Education, Chungnam 31253, Korea

(Received 21 January 2021 / Revised 4 February 2021 / Accepted 9 February 2021)

Abstract : This paper presents the brake-based torque vectoring control system with engine torque-up compensation, which can improve the agile characteristics of vehicles. In detail, the torque vectoring system enhances vehicle agility/steerability and extends the driving limit by braking the inner wheel and driving the outer wheel simultaneously. As a result, drivers will be able to steer the vehicle with less steering effort and/or higher speed. The dynamic handling control that is referred to here is focused on agile motion upon turning at a corner rather than extension of the driving limit. The performance of the proposed integrated brake/traction control system was verified by the experiment results.

Key words : Torque vectoring(토크 벡터링), Understeer(언더스티어), Wheel slip(휠 슬립), Agility(민첩성), Stability(안정성), Steerability(조종성), Handling(핸들링), Electronic stability control(차량 안정성 제어)

1. 서 론

최근 차량의 핸들링 성능에 대한 소비자들의 요구도가 높아지고 있다. 해당 성능은 사시, 차체, 및 구동계의 특성이 복합적으로 반영되어 결정되며 타 성능과 Trade-off 관계에 있기도 하다. 따라서 해당 성능 육성 시 타 성능과의 조화로운 균형을 반드시 고려해야 된다. 본 연구는 제동과 엔진 통합 제어를 통해 차량의 핸들링 성능을 향상시키는 것을 목표로 한다. 보다 구체적으로는 선회 내측 구동륜 제동을 통해 차량의 언더스티어 특성을 감소시켜 선회추종성 및 주행 한계를 높이고 제동제어에 의한 차속 감소를 보상하기 위해 엔진 구동 토크를 증대시킨다. 타이어 힘 관점에서 봤을 때 선회 시 횡 하중 전이에 따라 선회 외측의 수직항력이 내측보다 커지게 되는데 구동력도 이 비율대로 분배할 경우 다양한 선회 성능 향상이 나타난다. 주로 토크 벡터링이라 명명되는 이러한 제어는 보통 전용 하드웨어의 추가를 요구하나¹⁰⁾ 본 연구에서는 차량 기본 구성 요소인 ESC(Electronic

Stability Control)와 엔진 토크 제어 만으로 이를 구현하였고 DHC(Dynamic Handling Control: 다이내믹 핸들링 제어)시스템으로 명명하였다.

제안 제어 시스템은 기존 편제동 기반의 토크 벡터링^{9),10)}과 다르게 제동제어에 의한 속도 감소를 보상을 위한 엔진 토크 상승 제어를 제동제어와 동일한 시점에 적용하여 통합제어하는 측면에서 차별성을 갖고 있으며 두 가지 토크 벡터링의 목적, 1) 선회 시 언더스티어 저감, 2) 선회 가속 시 선회 내측 구동륜의 휠 스핀 저감, 모두를 고려하여 개발하였다. 한편 제안 제어 시스템은 향후 엔진 동력 차량뿐만 아니라 전기모터 구동 차량에까지 동일한 원리로 적용이 가능하며 오히려 모터의 경우 엔진 대비 빠른 토크 응답성을 갖고 있기 때문에 성능 상의 유리한 측면도 있다.

개발된 DHC 시스템은 실차 시험을 통해 제어의 타당성 및 신뢰성을 검증하였으며, 하위 제어에 해당하는 엔진/제동 토크 제어는 각각 엔진 제어시스템의 엔진 토크

*Corresponding author, E-mail: shyoo@koreatech.ac.kr

¹⁰⁾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.

상승 CAN 명령 시그널, ESC 유압유닛의 TC(Traction Control)밸브 목표 전류, 모터 목표 전압 시그널 인터페이스를 통해 수행되었다. 해당 방식의 제동 압력 제어의 경우 일반적인 목표 제동 압력 방식의 인터페이스 대비, 직접 ESC 유압유닛의 밸브, 모터 제어를 통해 근본적인 유압 응답 특성의 설계가 가능하다는 장점이 있다.

한편, 본 논문의 작성 구조는 다음과 같다. 2장에서 제안된 다이내믹 핸들링 제어 시스템의 컨셉, 효과, 시스템 구성을 기술하고 3장에서 상세 제어 설계 부분, 4장에서 제안된 알고리즘의 실차 검증을 다루며 5장에서 결론을 맺는 것으로 구성되어 있다.

2. 다이내믹 핸들링 제어 시스템 개요

2.1 제어 컨셉 및 효과

다이내믹 핸들링 제어에서 활용되는 토크 벡터링은 휠 별 구동력의 독립적인 분배를 의미하며 본 연구에서는 구동 액슬에서의 내륜 편제동 및 전체 엔진 구동 토크 상승 제어를 통해 구동력의 좌우 독립적 분배가 가능하게 된다. 이러한 좌우 구동력의 벡터링이라는 제어 측면 자유도 추가는 Fig. 1에 표현된 것과 같이 종방향 한계 마찰 상황에서 전체 구동력 한계를 증가시킬 수 있으며 더 나아가 전체 횡방향 힘 한계 또한 증대된다.^{11,12)}

보다 상세히 설명하면 좌선회 가속 상황에서 토크 벡터링 없이 좌/우 동일한 구동력이 발생하는 경우(Fig. 1(a)) 횡방향 하중 전이에 따라 수직하중이 내륜에서 외륜으

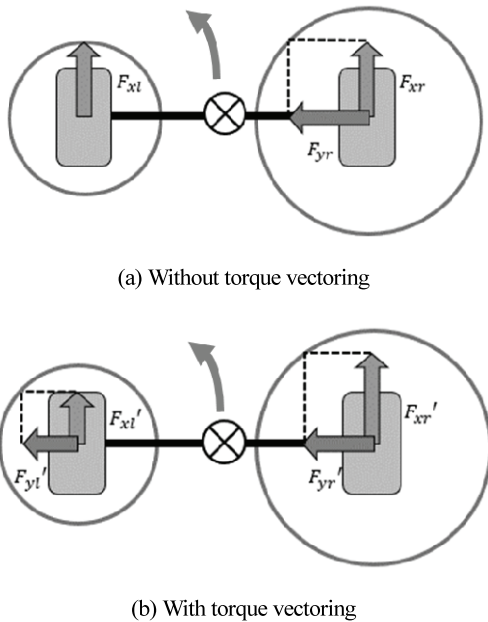


Fig. 1 The effect of torque vectoring in terms of the longitudinal/lateral friction limits¹¹⁾

로 쏠리게 되어 선회 내측 구동륜에서 먼저 구동 한계에 다다르게 되며 오픈 디퍼렌셜의 특성상 우측 구동륜까지 함께 구동력이 제한된다. 따라서 이 경우 선회 외측 구동륜의 여유 구동력이 전혀 발휘되지 못하는 문제가 있다. 또한 내측륜의 경우 구동력 포화로 횡력은 급격히 감소하며 전체 구동륜 측면에서도 여유 횡력이 작아지게 된다. 반면 토크 벡터링 제어가 발생한 경우(Fig. 1(b)) 좌우 독립적 구동력 배분에 의해 전체 타이어 마찰력 측면에서 외륜 방향으로 효율적 분배가 이루어지며, 추가적인 구동력 및 횡력 모두 발생이 가능하게 되어 전체 마찰 한계가 증가한다.¹¹⁾

한편 (대부분 차량의 특성인) 언더스티어 경향을 갖고 있는 차량의 횡동역학 측면에서 토크 벡터링 제어의 효과를 살펴보면, Fig. 2에서와 같이 동일 횡가속도 발생 기준(동일 전체 횡력) 추가 발생된 요모멘트에 의해 전륜에서의 타이어 횡슬립각은 감소하고 후륜에서의 타이어 횡슬립각은 증가되게 된다. 따라서 정상상태선회 조건에서 앞바퀴 횡력은 감소하고 뒷바퀴 횡력은 증가하여 앞바퀴에서의 추가 횡력 발생이 가능해지고 이는 추가 조향이 가능함을 의미하며 결국 정상상태 선회 시 최대 요레이트/횡G가 증대된다. 이러한 효과는 언더스티어 선회 성향을 갖는 차량에서 특히 선회 한계 증대에 효과적으로 작용될 수 있다.¹¹⁾

일반적으로 알려진 토크 벡터링 제어의 효과를 정리하면 아래와 같다. 해당 제어 효과는 구동 방식(전륜구동, 후륜구동)에 관계없이 발생한다.

- 선회 추종성 향상, 요계인 증대, 조향 응답성 개선, 운전자 조향각 감소
- 최고 선회 속도 증가, 최대 선회 요레이트/횡가속도 증가

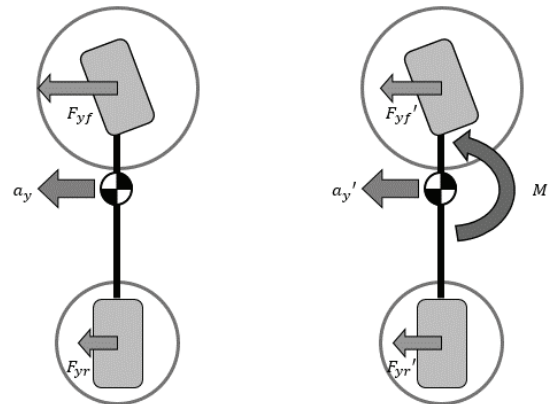


Fig. 2 The effect of torque vectoring in terms of vehicle lateral dynamics¹¹⁾

2.2 시스템 구성

다이내믹 핸들링 제어 시스템은 크게 선회 내륜 제동력 제어를 위한 ESC(Electronic Stability Control) 모듈, 전체 구동력(엔진 토크) 제어를 위한 EMS(Engine Management System) 모듈, 제어 로직이 담기는 범용 ECU에 해당하는 dSPACE사의 오토박스(Autobox) 및 제어에 필요한 센서들로 구성되어 있다. Fig. 3에 개발에 사용된 후륜 구동 타입의 시험 차량 및 전체 제어 시스템 구성을 나타내었다. 참고로 다이내믹 핸들링 제어 시스템의 개발을 위해 ESC 모듈은 제동압력 발생을 위한 액추에이터의 역할만 수행한다.

제안된 다이내믹 핸들링 제어는 차량의 CAN통신을 통해서 제어에 필요한 센서 정보를 획득하며 엔진 구동 토크와 ESC의 제동력 또한 기 정의된 CAN 인터페이스를 통해 10 ms 주기로 제어한다. 이 때 제동력 제어를 위한 ESC와의 인터페이스는 개발 초기 목표 압력 인터페이스 방식으로 개발하다가 실제 양산성 및 제어 튜닝 용이성을 고려하여 직접 제동압을 제어할 수 있는 목표 TC 밸브 전류, 목표 모터 전압 방식으로 변경하였다. 여기서 모터 전압은 인위적으로 유압을 발생시키기 위한 유압 모터의 토출유량과 관련되고 TC밸브 전류는 토출된 유량을 전류에 대응되는 일정 압력으로 레귤레이팅하는 역할을 수행한다.

이 두 방식의 차이는 결국 하위제어에 해당하는 제동 압력제어를 상위제어인 차량 다이내믹 핸들링 제어 로직에서 직접 담당하느냐, 아니면 제동 부품 업체에 위임하느냐의 문제이며 두 번째 방식이 상위 제어에서의 개발 부담이 증가하는 단점이 있으나 업무 구분이 명확해지고 압력 제어를 상위제어 관점에서 원하는 응답 사양으로 직접 제어할 수 있는 장점이 있다.

Fig. 4에 목표 TC밸브전류/모터전압 인터페이스로 개발된 압력 제어 성능을 나타내었다. 모두 동일한 10 bar 단위의 계단식 목표 압력 생성을 위해 동일한 TC밸브 전류, 모터 전압 입력을 발생시키는 상황이다. 압력제어는 모터 전압은 일정하게 유지하고 TC밸브의 PWM(Pulse Width Modulation) 듀티를 조절하여 압력을 제어하는 방식으로 제어를 실시하였다. 압력센서가 없는 HU (Hydraulic Unit) type에도 적용 가능하도록 Feedforward 압력 제어 방식을 선택하였다. 여기서 Feedforward 방식은 사전 단품 시험을 통해 일정 전압에서 밸브 전류와 전압 간의 관계를 확보하고 이를 역으로 적용하여 상위제어에서 결정된 특정 목표 압력이 요구될 때 해당되는 밸브 전류를 발생시켜 제어하는 방식을 의미한다. 한편 밸브의 PWM 제어에 의한 다소의 맥동이 관찰되었으며 대략적으로 300 ms 이내로 목표압력에 도달하였다. 그래

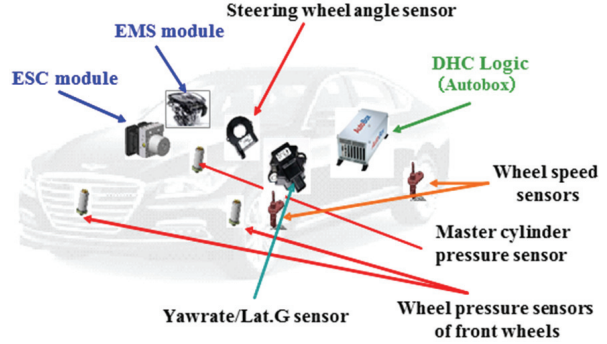


Fig. 3 Dynamic handling control system configuration

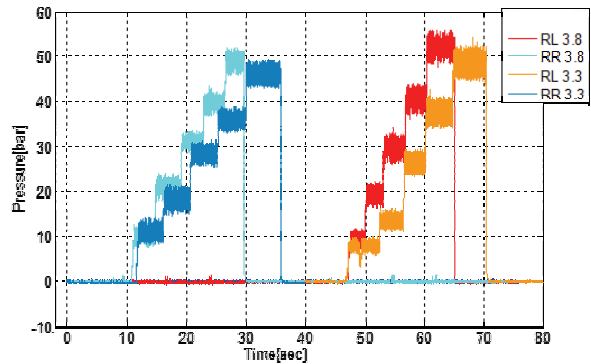


Fig. 4 Pressure control performance for the feedforward control approach

프에서 확인할 수 있듯이 서로 다른 차량(배기량 3.3 L, 3.8 L 차량)에서, 혹은 좌/우 휠에서도 압력 제어성능차이가 발생하는 것을 확인할 수 있으며 결국 HU(Hydraulic Unit) 단품 별로 제어 편차가 발생하며 온도 및 Aging에도 영향을 받는다.

이러한 제어 압력 값의 차이에서 발생하는 하위 제어의 불확실성은 차량 레벨의 물리량인 요레이트, 휠속 정보 등을 피드백하여 극복해야 하며 필요 시 휠 동역학을 활용해서 추가적인 응답 성능의 개선이 가능할 것으로 예상된다.

3. 다이내믹 핸들링 제어 로직 개발

3.1 제어 영역

개발된 다이내믹 핸들링 제어 시스템의 제어 영역은 Fig. 5에 표현된 것과 같이 가속 선회 시 노면 한계 영역 근처에서 선회 내측륜 휠슬립 및 언더스티어 횡가동이 나타나기 시작하는 시점에서 추가적인 가속/선회로 TCS/ESC 제어가 발생하는 시점 사이의 영역이다. 다이내믹 핸들링 제어가 동작하면 결과적으로 TCS/ESC 개입이 억제되는 효과가 나타난다.

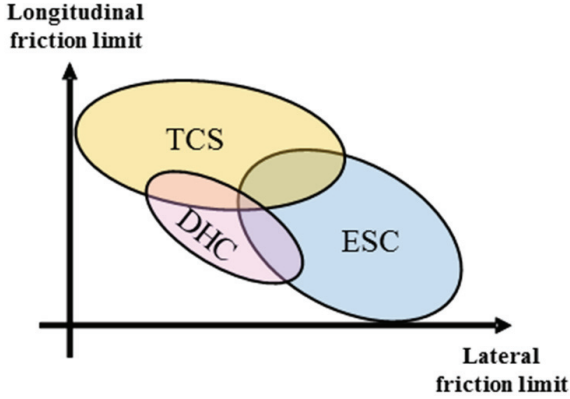


Fig. 5 Control operational range of DHC

3.2 제어 설계

다이내믹 핸들링 제어 로직의 전체 기능아키텍처를 Fig. 6에 나타내었다. 전체 제어 구조는 선회 Agility 개선을 위해 추가 요모멘트를 산출하는 부분과 제어 진입/해제를 결정하는 부분으로 구성된다.

목표 추가 요모멘트(Target yaw moment, $\Delta M_{z, tar}$)는 식 (1)에서 정의되며 기본적으로 차량의 언더스티어 정도에 비례하여 결정된다. 비례계수 K_p 는 차속과 횡가속도별 튜닝에 의해 결정되며 언더스티어의 정도는 식 (2a)에 정의된 정상상태 선회 요레이트(γ_{ss})에 식 (2b)에서와 같이 실제 차량 횡동역학 대비 작은 위상 지연에 해당하는 시정수 T 를 반영하여 산출된 기준 요레이트(γ_{ref})와 차량 현재 요레이트(γ) 사이의 오차에 근거하여 산출한다.¹³⁾ 여기서 코너링 강성은 인위적으로 요레이트 게인을 증가시키기 위해 Nominal 값을 사용하였다. 추가적으로 선회 중 가속 입력이 큰 상황에서 내측 구동륜의 휠슬립이 일정 기준 이상인 경우 선회 내륜의 슬립을 억제하기 위해 추가적인 요모멘트 제어량이 추가 발생하도록 설계하였다. 휠슬립 비례계수 K_{wheel} 은 차속과 횡가속도에 대한 튜닝으로 결정된다.

$$\Delta M_{z, tar} = K_p \cdot (\gamma_{ref} - \gamma) + K_{wheel} \cdot (\omega_{RL} - \omega_{RR}) \quad (1)$$

$$\gamma_{ss} = \frac{1}{1 - \frac{m(l_f \cdot C_f - l_r \cdot C_r)v_x^2}{2 \cdot C_f \cdot C_r(l_f + l_r)^2}} \cdot \frac{v_x}{l_f + l_r} \delta_f \quad (2a)$$

$$\gamma_{ref} = \frac{1}{T_S + 1} \gamma_{ss} \quad (2b)$$

식 (2a)에서 δ_f 는 전륜 조향각, l_f 와 l_r 는 무게 중심에서 전륜 및 후륜까지의 거리, m 은 차량 질량, C_f 와 C_r 는 전/후 코너링 강성, v_x 는 차량 종방향 속도를 각각 나타

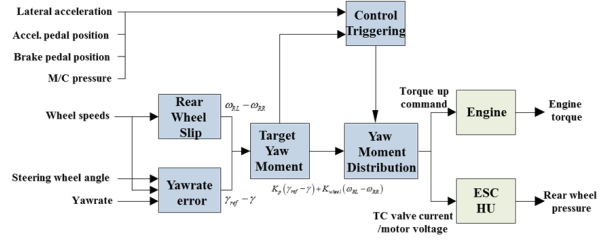


Fig. 6 Functional block diagram of proposed DHC algorithm

낸다.

목표 추가 요모멘트($\Delta M_{z, tar}$)는 목표 추가 구동 토크, 목표 제동 토크(압력)로 분배되며 생성 시점의 동기화가 일어날 수 있도록 설계되었다. 현재 차량에서는 제동 유압제어에 의한 제동토크까지의 응답이 엔진 토크 제어에 의한 휠에서의 구동 토크 발생까지의 응답 대비 빠른 편이기 때문에 제동 압력 제어를 지연시키는 방법으로 동기화를 구현하나 전기모터가 동력원인 전기자동차에서는 그 반대로 동기화가 이뤄져야 할 것으로 판단된다.

또한, 차량 횡동역학 모델에 의해 계산된 마찰한계에 근거하여 전체 제어량을 일차적으로 제한하며, 추가적으로 급작스러운 오버스티어 방지를 위해 제어 중 조향 각속도가 증가할 경우 제어량이 감소하도록 유도하였고, 최종적으로 운전자 입장에서 제어 이질감 및 액추에이터 작동 소음을 고려하여 제어량 및 제어 변화량을 적절하게 제한하였다. 개발 초기에는 앞서 설명한 식 (1) 기반의 Feedback 방식의 제어량 산출에 추가하여 조향각, 조향각속도, 엔진 토크 등에 직접적으로 의존하는 Feedforward 방식으로, 보다 빠른 응답으로 적극적으로 제어량을 산출하는 방식도 검토하였으나 결과적으로 엔진/제동 액추에이터의 소음, 진동 등의 제약으로 적용에 어려움이 있었고 이는 추후 독립적 전기모터로 구동되는 차량에서는 충분히 도입이 가능할 것으로 판단된다.³⁻⁶⁾

마지막으로 제어 진입 및 해제를 결정하는 Control triggering 부분은 산출된 추가 목표 요모멘트 크기를 기준으로 민감 작동을 방지하기 위해 일정 값 이상 조건에서 On 되도록 설정되었으며 Off 조건의 기준은 On 조건 대비 낮게 설정되었다.

4. 실차 검증

개발된 다이내믹 핸들링 제어 시스템을 검증하기 위해 실차 시험을 실시하였다. 실차 시험은 제어 효과가 두드러지게 나타나는 고마찰 노면에서 실시하였다. 다이내믹 핸들링 제어의 여러 효과 중에서 본 논문에서는 요레인 증대와 선회 응답성 개선 측면에서 시험 결과를 분석하였다.

4.1 요게인 증가

다음은 선회 내륜 제동, 선회 외륜 구동 측, 다이내믹 핸들링 제어를 통해 언더스티어가 발생한 상황에서 요게인(조향각에서 요레이트 사이의 게인)이 증대되는 효과를 다양한 주행 시나리오에서 검증한 것을 나타낸다. 우선 요게인은 조향각/요레이트 비율을 의미하는데 요게인이 커질수록 동일 조향각 입력 시 차량의 요레이트가 더 커지게 되어 운전자가 선회 Agility를 느낄 수 있고 동일 궤적 통과할 때에는 조향입력의 크기가 작아진다. Fig. 7, 8 및 9에서는 각각 슬라럼, 원선회 및 차선변경 주

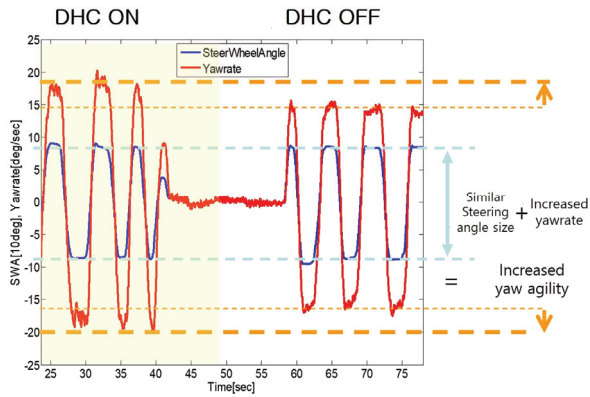


Fig. 7 Yaw gain increase in the slalom maneuver

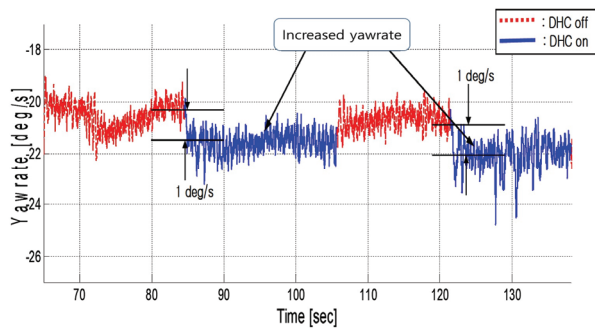


Fig. 8 Yaw gain increase in the circle turning maneuver with constant speed

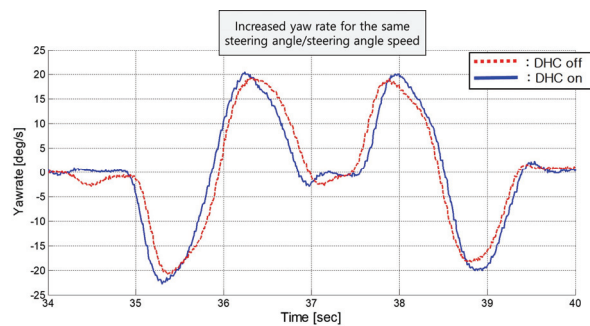


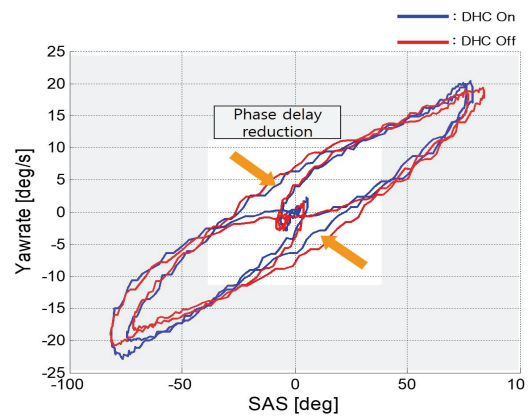
Fig. 9 Yaw gain increase in the lane change maneuver

행 조건에서의 요게인 증가 효과를 각각 나타내고 있다. 제어 효과는 주행 상황 별로 다르며 식 (1)에 정의된 것처럼 언더스티어 및 내륜 휠슬립이 발생할수록 크게 발생한다. 슬라럼 주행(Fig. 7)에서 약 15 % 내외로 가장 정량적으로 개선도가 높았으며 원선회(Fig. 8)와 차선변경 주행(Fig. 9)에서도 각각 약 5 %, 10 % 정도의 개선도를 확인하였다.

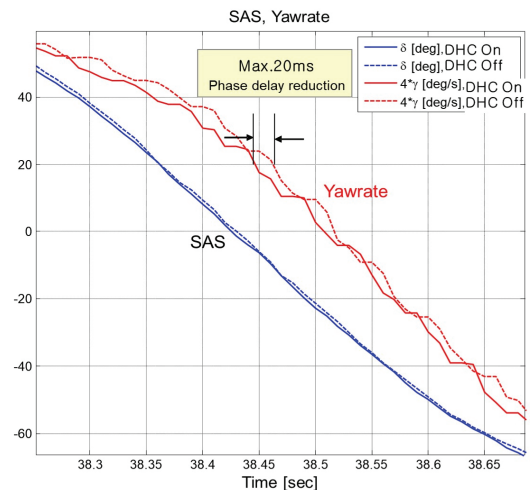
4.2 조향 응답성 개선

다음은 다이내믹 핸들링 제어를 통해 조향 응답성이 개선되는 효과를 검증한 결과이다. 우선 조향 응답성은 운전자 조향 입력과 실제 차량 요레이트 간의 시간 지연으로 평가가 가능한데 지연이 작을수록 응답성이 높은 것으로 간주하였다. Fig. 10에서 60 kph, 슬라럼 주행 조건에서의 조향 응답성 개선도를 나타내었다.

Fig. 10(a)을 보면 다이내믹 핸들링 제어가 On 되는 경



(a) Yawrate - SAS Plot



(b) SAS and Yawrate plot in time domain

Fig. 10 Steering response improvement in slaloms

우에 두 신호 간 히스테리시스 폭이 감소하는 것을 확인할 수 있는데 이는 조향각에 대한 요레이트의 위상 지연이 감소하는 것을 의미하고 결국 운전자는 조향각 입력-차량 요 거동 출력 응답에서 민첩성을 느낄 수 있다. 실제 고마찰 노면 기준 60 kph 슬라럼 주행 시 Fig. 10(b)에 표현된 바와 같이 정량적으로 약 20 ms의 위상 지연 개선 효과를 확인 하였다.

5. 결론

이번 연구에서는 제동과 엔진 통합 제어를 통해 토크 벡터링 효과를 발생시켜 차량의 핸들링 성능을 향상시키는 다이내믹 핸들링 제어 시스템을 개발하였다. 보다 구체적으로는 선회 내측 구동륜 제동을 통해 차량의 언더스티어 특성을 감소시켜 선회 추종성 및 주행 한계를 높이고 인위적인 제동제어에 의한 차속 감소를 보상하기 위해 엔진 토크를 증대시킨다. 토크 벡터링 측면에서 보면 구동륜에서 구동력을 좌/우 수직하중 비율로 분배하여 보다 효율적으로 타이어 마찰력을 사용하여 결국 전체적인 주행 한계를 높여줄 수 있었다.

본 시스템은 현대자동차의 제네시스 차량에서 개발 및 검증되었으며, 하위 제어에 해당하는 엔진 토크 제어는 엔진제어시스템과 엔진 토크 상승 CAN 통신 시그널을 통해, 제동 압력 제어는 ESC 시스템과 TC밸브 목표 전류, 모터 목표 전압 2개의 인터페이스를 통해 수행되었다. 개발된 DHC 시스템은 현재 RCP (Rapid Control Prototyping) 레벨에서 검증되었다. 본 연구는 현재처럼 유압제동, 엔진구동 방식 차량뿐만 아니라 향후 다양한 구동 방식의 전기자동차에서도 충분히 적용이 가능할 것으로 예상된다.

후 기

이 논문은 2020학년도 한국기술교육대학교 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음. 또한 본 연구는 현대자동차의 지원을 받아 수행되었음. 이 성과는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2017R1A1A1A05069503).

References

- 1) P. van Vliet, "Torque Vectoring for Improved Vehicle Dynamics," Vehicle Dynamics Expo, 2010.
- 2) D. Piyabongkarn, J. Y. Lew, R. Rajamani and J. A. Grogg, "Active Driveline Torque-management Systems," IEEE Control Systems Magazine, Vol.30, No.4, pp.86-102, 2010.
- 3) J. Yi, K. Lee, I. Kim, D. W. Jeong and S. J. Heo, "A Study of Torque Vectoring Application in Electric Vehicle for Driving Stability Performance Evaluation," Transactions of KSAE, Vol.22, No.3, pp.250-256, 2014.
- 4) J. Y. Park, J. W. Lee and S. J. Heo, "Study on Control Algorithm Development of Front Wheel Driven Dual Motor Torque Vectoring System and Handling Performance Evaluation," Transactions of KSAE, Vol.27, No.4, pp.301-308, 2019.
- 5) C. Chatzikomis, A. Sorniotti, P. Gruber, M. Bastin, R. M. Shah and Y. Orlov, "Torque-Vectoring Control for an Autonomous and Driverless Electric Racing Vehicle with Multiple Motors," SAE 2017-01-1597, 2017.
- 6) J. Park, J. Choi, H. Song and S. H. Hwang, "Study of Driving Stability Performance of 2-Wheeled Independently Driven Vehicle Using Electric Corner Module," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol.37, No.7, pp.937-943, 2013.
- 7) K. Oh, K. Park, J. Lee and J. Yun, "Model- Predictive-Control Based Rear Wheel Torque Vectoring Algorithm for 4WD Vehicle to Improve Driving Stability," Transactions of KSAE, Vol.26, No.6, pp.755-763, 2018.
- 8) R. Kumar, B. K. Suda, S. Karande, D. Piyabongkarn and C. Patil, "Simulation and Experimental Study of Torque Vectoring on Vehicle Handling and Stability," SAE 2009-28-0062, 2009.
- 9) E. Ko, K. Lee and H. Kim, "A Study of Brake Torque Vectoring for Vehicle Stability Enhancement in Understeer Condition," KSAE Fall Conference Proceedings, pp.602-606, 2017.
- 10) D. Kasinathan, A. Kasaiezadeh, A. Wong, A. Khajepour, S. K. Chen and B. Litkouhi, "An Optimal Torque Vectoring Control for Vehicle Applications via Real-Time Constraints," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.65, No.6, pp.4368-4378, 2016.
- 11) K. Sawase and Y. Ushiroda, "Improvement of Vehicle Dynamics by Right-and-Left Torque Vectoring System in Various Drivetrains," Mitsubishi Motors Technical Review, No.20, pp.14-20, 2008.
- 12) L. Kakalis, A. Zorzutti, F. Cheli and G. C. Travaglio, "Brake Based Torque Vectoring for Sport Vehicle Performance Improvement," SAE 2008-01-0596, 2009.
- 13) S. H. You, J. S. Jo, S. Yoo, J. O. Hahn and K. I. Lee, "Vehicle Lateral Stability Management Using Gain-Scheduled Robust Control," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.20, No.11, pp.1898-1913, 2006.