

토크 벡터링 시스템이 적용된 차량의 선회 성능 향상을 위한 토크 분배에 관한 연구⁺

(A Study on the Torque Distribution for Improving the Turning Performance of a Vehicle with Torque Vectoring System)

김 세 현¹⁾, 김 태 규²⁾, 이 승 근³⁾, 최 동 건⁴⁾, 최 인 규⁵⁾, 곽 군 평^{6)*}
(SeHyeoun Kim, TaeKue Kim, SoongKeun Lee, DongGun Choi, InGyu Choi, and Gunpyoung Kwak)

요 약 차세대 전기자동차에서는 전비 향상 및 주행 성능 개선을 위하여 각 휠에 의해 직접적으로 토크를 제어하는 인 휠 모터 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 전기자동차 구동용 인 휠 모터에 적용되는 토크 벡터링 시스템에서 각 휠에 가해지는 토크를 분배하는 알고리즘에 대한 연구를 수행하였다. 차량의 주행 및 조향에 따른 실제 차량 특성 파라미터를 적용한 차량 모델을 구현하기 위해 MATLAB Simulink 환경에서 시뮬레이션을 진행하였으며 제안된 알고리즘에 따라 토크 분배가 이뤄지는 것을 확인하였다.

핵심주제어: 전기자동차, 인 휠 모터, 토크 벡터링 시스템, 토크 분배

Abstract In next-generation electric vehicles, research is being conducted on an in-wheel motor system that directly controls torque by each wheel to improve total cost and driving performance. Accordingly, in this paper, a study was conducted on an algorithm that distributes the torque applied to each wheel in a torque vectoring system applied to an in-wheel motor for driving an electric vehicle. In order to implement a vehicle model that applies actual vehicle characteristic parameters according to vehicle driving and steering, a simulation was conducted in the MATLAB Simulink environment, and it was confirmed that torque distribution was performed according to the proposed algorithm.

Keywords: Electric car, In-Wheel Motor, Torque vectoring system, Torque distribution

* Corresponding Author: kwak@changwon.ac.kr
+ This research was supported by Changwon National University in 2023~2024.
Manuscript received April 02, 2023 / revised May 18, 2023 / accepted August 17, 2023
1) 창원대학교 전기공학과, 제1저자

2) 창원대학교 전기공학과, 공동저자
3) LG전자 H&A 연구소, 공동저자
4) ㈜다운지능정보, 공동저자
5) ㈜삼성테크전력, 공동저자
6) 창원대학교 전기공학과, 교신저자

1. 서 론

최근 전 세계적으로 탄소 중립을 앞당기기 위한 각 국 정부의 탄소 배출 규제 강화에 따라 자동차 산업에서 전기자동차의 시장 점유율이 높은 성장세를 보이고 있다(Jamie et al, 2020). 전기자동차 업계의 기술이 발전됨에 따라, 기존의 인 라인(In-line) 방식의 1세대 구동계를 갖는 전기자동차 처럼 휠에 가해지는 토크의 분배를 차동기어(differential)가 아닌 각 휠에 연결된 모터에 의해 토크를 제어하는 인 휠 모터 방식이 대두되고 있다. 차량 선회 시 정밀도를 향상시키기 위한 방법 중 하나인 토크 벡터링(Torque vectoring) 시스템은 1990년대 후반부터 연구되어 왔으며 SUV 차량에서의 새로운 토크 벡터링 드라이브라인 시스템에 대한 연구(Jonathan C et al, 2005), 토크 벡터링 시스템을 적용한 전기 자동차에 대한 연구(Behrouz Najjari et al, 2022)등이 이뤄지고 있다.

최근 토크 벡터링 시스템은 차동기어를 제어하는 방식과 브레이크를 제어하는 두 가지 방식이 주로 사용되고 있다. 기계적 장치인 차동기어를 통하여 구동력을 배분하는 기존의 차량은 양쪽 휠의 마찰력 차이가 극단적일 경우 한쪽 휠에는 토크가 전달되지 않기에 토크 벡터링 시스템을 적용할 경우, 좌우 휠의 독립적인 구동에 한계가 발생한다. 반면 인 휠 모터는 각 휠과 모터를 결합한 장치이기에 4개의 바퀴의 독립적인 제어가 가능하다. 따라서 인 휠 모터에 토크 벡터링 시스템을 적용시킬 경우 차량의 전후, 혹은 좌우 4개의 각 휠에 주행 상황에 따라 전달되는 토크의 크기를 완전히 독립적으로 조절하여 구동력을 배분할 수 있다는 이점이 있다. 따라서 본 논문에서는 전기자동차용 인 휠 모터에 대한 해석 모델을 구축하고 토크 벡터링 시스템을 적용하여 운전자의 Driving reference를 추종하는 알고리즘을 제안하였다. Fig. 1은 차동기어에 의해 구동되는 차량과 인 휠 모터의 토크 벡터링 시스템이 적용된 차량의 선회 시 차이를 나타낸다.

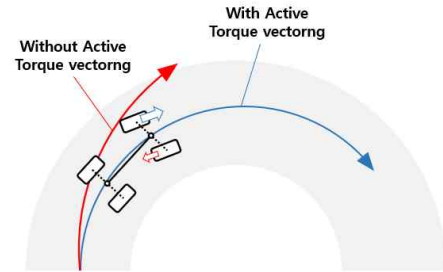


Fig. 1 Turning radius of the vehicle with torque vectoring

2. 시뮬레이션 환경 구성

2.1 전체 차량 모델링

인 휠 모터에 토크 벡터링 시스템을 적용시킴으로써 각 휠에 가해지는 토크 제어 성능을 검증하기 위하여 실제 차량의 폭, 무게 등 특성 파라미터를 적용시켜 역학적 모델링을 하기 편리한 MATLAB Simulink 환경에서 해석 모델을 구축하고 토크 벡터링 제어 시뮬레이션 해석을 수행하였다. MATLAB Simulink 환경은 구축된 차체에 대한 실시간 시뮬레이션을 통해 주행 중인 차량의 각 휠에 대한 토크 분배를 보다 직관적으로 확인할 수 있다는 이점이 있다.

본 논문에서는 MATLAB Simulink의 3D 환경에서 지면을 따라가는 4개의 휠이 있는 차량

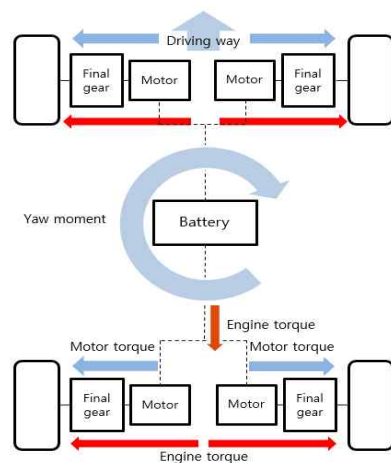


Fig. 2 Vehicle model with in wheel motor system

을 구현하였고 차량 주변 상황을 인식, 차량 제어 알고리즘을 시뮬레이션 하였다.

Fig. 2는 인 휠 모터 시스템의 전체적인 구성도를 나타낸다. 인 휠 모터 시스템은 각 휠에 모터가 장착되어 있는 구조이므로 여러 센서를 이용하여 차량의 전후, 혹은 좌우의 각 휠에 주행 상황에 따라 전달되는 토크의 크기를 독립적으로 조절하여 최적의 구동력을 배분할 수 있다. 전체적인 시스템은 Fig. 2와 같이 배터리로부터 에너지를 공급받아 모터와 기어를 통해 좌, 우 4개의 각 휠에 토크를 배분하는 방식을 사용하였다.

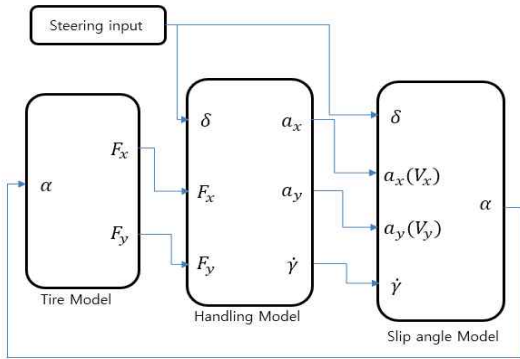


Fig. 3 Vehicle steering algorithm

3DOF(3 Degree of Freedom)에서의 차량 모델 알고리즘을 Fig. 3과 같이 구성하였다. 차량의 전체 모델 알고리즘은 Fig.3에서와 같이 Steering input을 입력하면 핸들링 모델에서 x, y 축 가속도와 yaw angle을 결정하게 되고, Handling model 에서 발생한 x, y 축 속도와 yaw angle을 통하여 slip angle을 결정하게 된다. Slip angle yaw에서 결정된 가속도가 Tire model에 입력되어 각 휠에 인가되는 토크를 결정하게 된다. 전체 차량 모델은 4개의 인 휠 모터로 구동하며 Fig. 3에서의 물리 시스템에 대한 모델링을 기반으로 MATLAB Simulink의 Simulation 3D System 환경을 이용하여 3D 시뮬레이션으로 차량 선회 시 각 휠에 가해지는 토크에 대한 제어 해석을 수행하였다.

2.2 Handling model

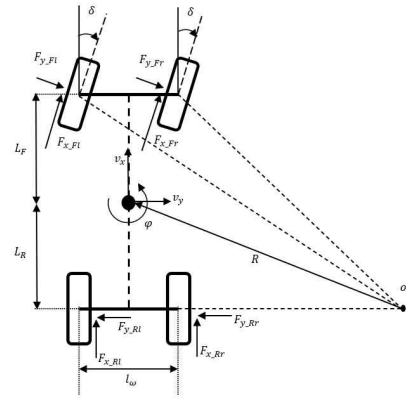


Fig. 4 Vehicle dynamics system

Fig. 4는 차량의 3DOF 모델의 차체와 각 휠에 적용되는 힘들에 대해 나타낸 것이며 차량 주행 시 발생하는 종 방향, 횡 방향 힘은 식(1), 식(2)와 같이 표현할 수 있다(Peikun Sun et al, 2020).

$$ma_x = F_{x_Rr} + F_{x_Rl} + (F_{x_Fl} + F_{x_Fr})\cos(\delta) - (F_{y_Fl} + F_{y_Fr})\sin(\delta) \quad (1)$$

$$ma_y = F_{y_Rr} + F_{y_Rl} + (F_{y_Fl} + F_{y_Fr})\cos(\delta) - (F_{x_Fl} + F_{x_Fr})\sin(\delta) \quad (2)$$

차량 선회 시 현재 차량의 선회율과 운전자가 요구하는 선회율의 차이가 발생하게 된다. 이와 같이 발생하는 오차를 통하여 운전자가 요구하는 선회율을 추종하는데 필요한 토크량을 계산하고 각 휠에 알맞은 토크를 분배하여 차량이 목표 선회율을 실시간으로 추종하도록 하는 알고리즘이 필요하다. 현재 차량의 선회율은 식(3)과 같다.

$$\gamma_{dis} = \frac{V_x}{R} = \frac{V_x}{(l_F + l_R) + \frac{m V_x^2 (l_F C_R - l_R C_F)}{2 C_F C_R (l_F + l_R)}} \delta \quad (3)$$

운전자가 요구하는 선회율은 식(4)로 표현할 수 있다(Smith. et al, 2016).

$$\begin{aligned}
 I_z \ddot{\gamma} = & l_F(F_{x_Fl} + F_{x_Fr})\sin(\delta) + \\
 & l_F(F_{x_Fl} + F_{x_Fr})\cos(\delta) - l_R(F_{y_Rl} + F_{y_Rr}) \\
 & + \frac{l_w}{2}(F_{x_Fr} + F_{x_Fl})\cos(\delta) \\
 & + \frac{l_w}{2}(F_{x_Rr} + F_{x_Rl}) + \frac{l_w}{2}(F_{y_Fr} + F_{y_Fl})\sin(\delta)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

현재 선회율 및 요구 선회율의 차이를 기반으로 요구되는 보상 선회율을 계산하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다(Jinhyun, Park. et al,2013).

$$\begin{aligned}
 M = I_z \dot{\gamma}_{dis} - l_F F_{xF} \cos(\delta) \\
 + l_R F_{yR} - I_z K(\gamma - \gamma_{dis})
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

발생된 선회율의 차이를 이용하여 차량 전체에 요구되는 토크량은 식(6)과 같이 결정한다.

$$T_{total} = M \times \frac{R}{\gamma}
 \tag{6}$$

차량 주행에 있어서 차량 선회 시 운전자가 요구하는 선회율과 동일하게 조향하는 것은 중요한 문제이다. 이를 위해 차량이 진행 방향을 바꾸기 위해 휠의 회전축 방향을 바꾸는 조향장치가 존재한다. 내측, 외측 휠이 같은 조향각을 가질 경우 각각의 휠이 같은 반경을 가지며 평행하게 선회하기 때문에 주행 중 파손이 일어나는 경우가 발생한다. 다음 Fig. 5는 4개의 바퀴의 선회 중심을 한 점 에서 일치시키는 애커먼 스티어링에 대하여 나타낸 그림이다.

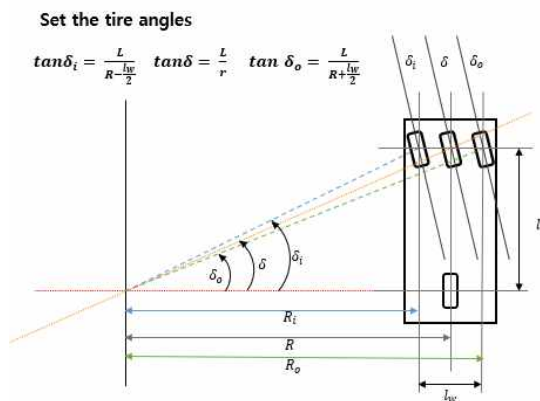


Fig. 5 Ackerman Steering

안정적인 차량 선회를 위하여 외측 휠의 조향각보다 내측 휠의 조향각을 작게 하여 선회 중심을 한 점으로 일치시키면 네 개의 휠이 같은 중심을 가지고 선회하게 된다. 이와 같이 애커먼 스티어링을 적용하면 차체의 안정적인 선회가 가능하다.

2.3 Tire slip angle model

실제 차량에서는 차량이 선회할 때 차량의 휠이 노면과 접촉함으로써 실제로 이동하고 있는 방향과 현재 휠의 향해 있는 방향의 차이가 발생하게 되는 것을 Slip angle이라 한다. Slip angle은 휠의 전진 속도와 측면 속도의 벡터 합으로 나타낼 수 있다.

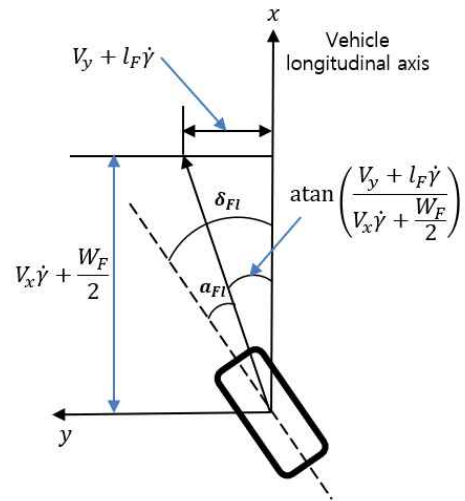


Fig. 6 Front Left Wheel Slip Angle System

Fig. 6는 전륜 좌측 휠의 Slip Angle System에 대하여 표현한 그림이다(Kanghyun, Nam. et al, 2015). 이를 바탕으로 slip angle를 결정하기 위한 수식은 다음과 같다. 식(7)~(10)은 4개 각 휠의 slip angle을 나타낸다(Jongsang, Seo. et al, 2013).

$$a_{Fl} = \text{atan}\left(\frac{V_y + l_F \dot{\gamma}}{V_x + \dot{\gamma} \frac{W_F}{2}}\right) - \delta_{Fl}
 \tag{7}$$

$$a_{Fr} = \text{atan}\left(\frac{V_y + l_F \dot{\gamma}}{V_x - \dot{\gamma} \frac{W_F}{2}}\right) - \delta_{Fr} \quad (8)$$

$$a_{Rl} = \text{atan}\left(\frac{V_y + l_R \dot{\gamma}}{V_x + \dot{\gamma} \frac{W_R}{2}}\right) - \delta_{Rl} \quad (9)$$

$$a_{Rr} = \text{atan}\left(\frac{V_y + l_R \dot{\gamma}}{V_x - \dot{\gamma} \frac{W_R}{2}}\right) - \delta_{Rr} \quad (10)$$

코너링 강성은 MATLAB Simulink Vehicle Body 3DOF에서의 Coner Stiffness and Relaxation Dynamics의 식을 사용하였으며 코너링 강성은 다음과 같이 적용된다. 식(11)~(14)는 각 휠에 적용되는 코너링 강성을 나타낸다.

$$C_{Fl} = \frac{2F_{zFl}}{F_{zFl} + F_{zFr}} \cdot C_F \quad (11)$$

$$C_{Fr} = \frac{2F_{zFr}}{F_{zFl} + F_{zFr}} \cdot C_F \quad (12)$$

$$C_{Rl} = \frac{2F_{zRl}}{F_{zRl} + F_{zRr}} \cdot C_R \quad (13)$$

$$C_{Rr} = \frac{2F_{zRr}}{F_{zRl} + F_{zRr}} \cdot C_R \quad (14)$$

2.4 토크 분배 방법

토크 벡터링 시스템은 운전자의 요구 속도와 선회율에 따라 발생한 차체의 토크를 각 휠에 전달함으로써 각 휠에 최적의 토크를 배분하여 요구된 속도와 선회율을 잘 추종하도록 만든 시스템이다. 따라서 주행 상황에 따라 바뀌는 여러 정보들을 피드백 받아 각 휠의 토크를 결정하는 것이 중요한 요소 중 하나이다.

Fig. 7은 차량에 적용되는 수직항력, 외력, 차량의 무게중심으로부터 각 휠까지의 거리 등 하중 분포를 계산하는 데 있어 필요한 동역학적 모델을 나타낸 것이다(Donkyu, Baek. et al, 2020).

운전자의 요구 속도에 의해 차량이 구동하기

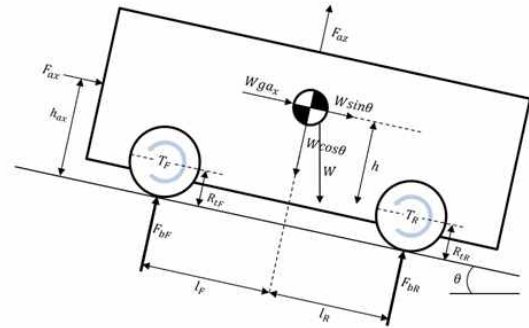


Fig. 7 Side vehicle dynamics model

위한 총 요구 토크량이 결정되면 요구 선회율을 추종하기 위하여 각 휠에 토크를 분배하는 과정이 필요하다. 일반적으로 차동기어를 통해 구동되는 차량의 경우 각 휠에 가해지는 회전 저항에 따라 차동기어가 토크를 분배하기 때문에 운전자의 의지와는 상관없이 주행상태에 따라 좌우 휠에 배분되는 토크 비율이 결정된다. 반면인 휠 모터 시스템을 적용하여 구동하는 차량의 경우 좌우 휠의 회전수의 차이와 관계없이 완전히 독립적인 구동이 가능하므로 운전자가 요구하는 Driving Reference에 따라 차량에 가해지는 총 토크량을 차량의 하중 분포의 영향만 고려하여 분배하였다. 4개의 각 휠에 토크를 분배하기 위해서는 먼저 차량의 전, 후륜에 가해지는 토크량을 계산할 필요가 있다. 이는 다음과 같이 식(15)에 따라 전, 후륜 휠에 토크량을 분배할 수 있다.

$$\frac{F_{bF}}{F_{bR}} = \frac{W_F}{W_R} \quad (15)$$

$$= \frac{l_R W \cos \theta - l_R F_{az} + h \left(\frac{W}{g} - F_{ax} - W \sin \theta \right)}{l_F W \cos \theta - l_F F_{az} - h \left(\frac{W}{g} - F_{ax} - W \sin \theta \right)}$$

위에서 계산된 전, 후륜의 토크에 따라 4개의 좌, 우 각 휠에 다음과 같이 토크를 분배할 수 있다. 식(16)~(19)은 각 휠에 분배된 토크에 관한 수식이다.

$$T_{Fl} = k_{Fl} \cdot k_{Flr} \cdot T_{total} \quad (16)$$

$$T_{Fr} = k_{Fr} \cdot (1 - k_{Flr}) \cdot T_{total} \quad (17)$$

$$T_{Rl} = (1 - k_{Fr}) \cdot k_{Flr} \cdot T_{total} \quad (18)$$

$$T_{Rr} = (1 - k_{Fr}) \cdot (1 - k_{Flr}) \cdot T_{total} \quad (19)$$

Table 1 Nomenclature

Parameters	Discription
$\dot{\gamma}$	yaw angle (rad/s)
δ	wheel angle (rad)
C	cornering stiffness ($kg \cdot m^2$)
F	force (N)
V	velocity (m/s)
a	acceleration (m/s^2)
l	length (m)
R	turning radius of vehicle (m)
g	accelation of gravity (m/s^2)
I	moment of inertia (kgm)
W	weight of vehicle ($kg \cdot m/s^2$)
m	vehicle mass (kg)
M	moment of vchile (Nm)
K	coefficient for control
s	slip angle
k	distribution ratio
F	front
R	rear
l	left
r	right
x	longitudinal
y	lateral
z	normal
a	aero
b	break

Table 1은 본 논문에서 사용된 수식들을 정리한 표이다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 모델링 한 차량 모델은 운전자가 요구하는 선회율과 가속도에 의한 Driving Reference를 입력하면 차량이 구동하기 위해 필요한 총 토크를 결정하고 전, 후륜에 가해지는 토크량을 바탕으로 좌, 우 각 휠에 요구되는 토크량을 결정하여 움직이는 시스템을 갖는다.

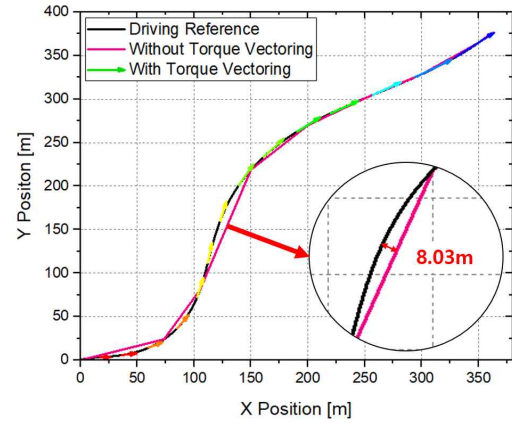


Fig. 8 Required driving reference

Fig. 8은 Driving Reference에 따라 토크 벡터링을 적용하였을 때의 속도와 방향을 벡터로 나타낸 그래프와 토크 벡터링을 적용하지 않았을 때 차량이 이동하는 위치에 대한 좌표를 나타낸 그래프이다. 운전자의 요구 선회율과 가속도인 Driving Reference는 임의로 설정하였으며 시간에 따라 변하는 차량의 X Position과 Y Posotion에 대하여 표현하였다. 토크 벡터링 시스템을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 최대 오차가 8.03m 정도 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 토크 벡터링 시스템을 적용하지 않았을 때 각 휠에 가해지는 토크량을 시간에 따라 나타낸 그래프이다. 토크 배분이 이뤄지지 않아 각 휠에 입력되는 토크량이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 반면 Fig. 10은 앞에서 언급한 방식에 따라 운전자가 요구하는 Driving Reference를 추종하기 위해 Front Left, Front Right, Rear Left, Real Right 각 휠에 분배된

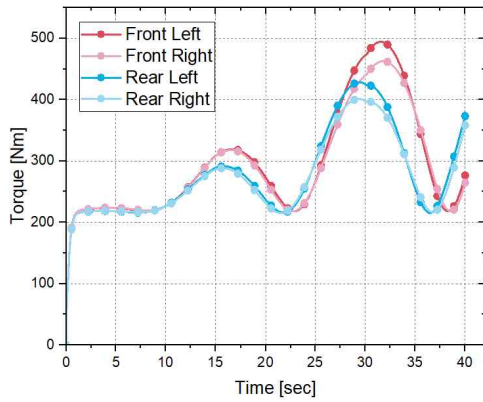


Fig. 9 Without torque distributed to each wheel

토크의 그래프를 나타낸 것이다. 전,후륜에 분배되는 토크를 5:5로 가정하고, 좌회전, 우회전이 일어날 때의 좌,우휠에 분배되는 토크의 분배비를 2:1로 결정하였을 때의 시뮬레이션이다. 토크 벡터링 시스템을 적용하여 각 휠에 토크 분배를 하였을 때 차량 선회 시 운전자의 요구 선회율과 가속도를 추종하며 구동함을 확인할 수 있었다. Fig. 8에서는 시간에 따라 차량이 이동하는 좌표와 운전자의 Driving reference에 따라 차량이 움직이는 데 필요한 토크의 양과 방향에 대하여 벡터로 표현하였으며 Fig. 9와 Fig. 10에서는 Fig. 8을 추종하며 시간에 따라 각 휠에 분배되는 토크량을 확인할 수 있다.

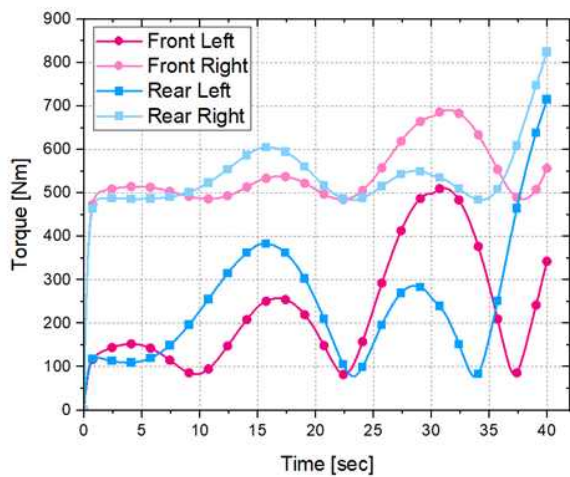


Fig. 10 Torque distributed to each wheel

4. 결론

본 논문에서는 인 휠 모터에 적용되는 토크 벡터링 시스템을 구축하여 차량 선회 시 각 휠에 가해지는 토크를 분배하는 알고리즘에 대하여 시뮬레이션을 진행하였다. 우선, MATLAB Simulink 환경에서는 구축된 차체에 대하여 Real-time 시뮬레이션을 통해 주행 중인 차량의 각 휠에 대한 토크 분배를 보다 직관적으로 확인할 수 있다는 이점이 있다. 따라서 인 휠 모터가 적용된 4개의 바퀴가 독립적으로 구동하는 전체 차량에 대한 모델을 MATLAB Simulink 환경에서 구성하였다. 이를 위해, Simulink에서 지원하는 블록셋들을 이용하여 실제 차량의 폭, 무게 등의 특성 파라미터를 적용시킨 차체 해석을 진행하였다. 현재 차량이 운전자의 요구 선회율을 추종하기 위해 차량에 요구되는 총 토크량을 계산하고 계산된 토크량을 이용하여 각 휠에 토크를 분배하는 방법에 대한 연구를 진행하였다. 이때 시뮬레이션의 정확도를 높이기 위하여 차량 모델링에 수직항력, 외력, 차량의 무게 중심으로부터 각 휠까지의 거리 등 하중 분포를 계산하는 데 있어 필요한 동역학적 모델을 적용하였다. 본 논문에 적용한 알고리즘은 운전자가 요구하는 차량의 Driving Reference에 대하여 4륜 각 휠에 서로 다른 토크를 인가하여 차량을 구동 시키는 것이며, 운전자의 주행 패턴에 따라 차량이 구동하기 위한 총 토크량을 계산하고 운전자의 요구 선회율을 충족시키기 위하여 4개의 각 휠에 토크를 분배하는 방식의 알고리즘을 구축하였다. 이에 따라, 차량이 운전자의 요구 선회율과 가속도에 따라 각 휠에 서로 다른 토크를 인가하여 Driving Reference를 추종하는 성능을 검증하였다.

References

Behrouz Najjari, Mehdi Mirzaei, Amin Tahouni, (2022), Decentralized integration of constrained active steering and torque vectoring

systems to energy-efficient stability control of electric vehicles, *Journal of the Franklin Institute*, 8713-8741

DonKyu Beak. (2020). Energy Efficient Electric Vehicle Driving Optimization Method Satisfying Driving Time Constraint. *Korea Industrial Information Systems Research*, 25(2), 39-47.

Jamie, Hamilton. and Bryn, Walton. (2020). Electric Vehicle Market Forecast ategy for 2030, *Deloitte insight*, 31-52.

Jinhyun Park, Jeonghun Choi, Hyeonwoo Song, Sung-Ho Hwang. (2013). Study of Driving Stability Performance of 2-Wheeled Independently Driven Vehicle Using ElectricCorner Module. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 37(7), 937-943.

Jonathan C. Wheels (2005), Torque Vectoring Driveline: SUV-based Demonstrator and Practical Actuation Technologies, SAE Technical Paper 2005-01-0553

Kanghyun, Nam. (2015). Application of Novel Lateral Tire Force Sensors to Vehicle Parameter Estimation of Electric Vehicles, *Sensors (Basel)*, 15(11), 28385-28401.

Peikun Sun, Drugge, Lars and Jerrelind, Jenny. (2020). Energy-Efficient Direct Yaw Moment Control for In-Wheel Motor Electric Vehicles Utilising Motor Efficiency Maps, *Energies 2020*, 13(3), 593-319.

Seo, Jongsang, Yi, Kyongsu, Kang, Juyong. (2013). Development of Driving Control Algorithm for Vehicle Maneuverability Performance and Lateral Stability of 4WD Electric Vehicle, *Journal of Auto-vehicle Safety Association*, 5(1), 62-68.

Smith, Edward., Velenis, Efstathios., Cao, Dongpu. and Tavernini, Davide. (2015). Evaluation of Optimal Yaw Rate Reference for Electric Vehicle Torque Vectoring, *Proceedings of the 13th International Symposium on Advanced Vehicle C*



김세현 (SeHyeoun Kim)

- 정회원
- 창원대학교 전기공학과 공학사
- 관심분야: 전력변환시스템, E 모빌리티
- 창원대학교 전기공학과 공학사
- 관심분야: 전력변환시스템, E 모빌리티



김태규 (TaeKue Kim)

- 정회원
- 창원대학교 전기공학과 공학사
- 창원대학교 전기공학과 공학석사
- 창원대학교 전기공학과 공학

박사

- (현재) 창원대학교 메카트로닉스대학 전기공학과 조교수
- 관심분야: 신호처리시스템, 전력제어시스템, 전동기제어, BMS, 차세대반도체, 스마트팩토리



이승근 (SoongKeun Lee)

- 준회원
- 충남대학교 전파공학과 공학사
- 충남대학교 전파공학과 공학석사
- 창원대학교 메카트로닉스공학부 전기공학과 공학박사 수료

- LG전자 H&A본부 리빙솔루션연구소 책임연구원
- 관심분야: 전력변환 시스템, EMI



최동건 (DongGun Choi)

- 준회원
- 숭실사이버대학교 ICT공학과 컴퓨터공학전공 공학사
- 창원대학교 메카트로닉스공학부 전기공학 공학석사

- 창원대학교 메카트로닉스공학부 전기공학과 공학박사 수료
- (현재) (주)다운지능정보 대표이사
- 관심분야: 지능정보 전력시스템



최 인 규 (InGyu Choi)

- 준회원
- 한양대학교 사이버대학 전기공학 학사
- 창원대학교 메카트로닉스공학부 전기공학 공학석사
- 창원대학교 메카트로닉스공학부 전기공학과 공학박사 수료
- (현재) ㈜삼성테크전력 이사
- 관심분야: 전력시스템



곽 군 평 (Gunpyoung Kwak)

- 준회원
- 고려대학교 전기공학과 공학사
- 고려대학교 전기공학과 공학석사
- 고려대학교 전기공학과 공학박사
- (현재) 창원대학교 전기공학과 교수
- 관심분야: 자동제어, 시퀀스 제어, EV 시스템