

6WS/6WD 차량의 독립조향 및 구동 제어알고리즘에 관한 연구

A Study on Independent Steering & Driving Control Algorithm for 6WS/6WD Vehicle

김 창 준, 한 창 수*
 (Chang-Jun Kim¹ and Chang-Soo Han¹)
¹Hanyang University

Abstract: Multi-axle driving vehicles that are used in special environments require high driving performance, steering performance, and stability. Among these vehicles, 6WS/6WD vehicles with middle wheels have structural safety by distributing the load and reducing the pitch angle during rapid acceleration and braking. 6WS/6WD vehicles are favored for military use in off road operations because of their high maneuverability and mobility on extreme terrains and obstacles. 6WD vehicles that using in-wheel motor can generate the independent wheel torque without other mechanical parts. Conventional vehicles, however, cannot generate an opposite driving force at each side wheel. Using an independent steering and driving system, six-wheel vehicles can show better performance than conventional vehicles. Using of independent steering and driving system, the 6 wheel vehicle can improve a performance better than conventional vehicle. This vehicle enhances the maneuverability under low speed and the stability at high speed. This paper describes an independent 6WS/6WD vehicle, consists of three parts; Vehicle Model, Control Algorithm for 6WS/6WD and Simulation. First, vehicle model is application of TruckSim software for 6WS and 6WD. Second, control algorithm describes the optimum tire force distribution method in view of energy saving. Last is simulation and verification.

Keywords: 6 wheel steering, 6 wheel drive, 6X6 vehicle, TruckSim, virtual steering angle, optimum tire force distribution method, energy minimization

NOMENCLATURE

| | | | |
|--------------------|---|----------|---|
| δ_w | Virtual Steering Angle | V_{xa} | Actual Vehicle Velocity from TruckSim |
| δ_{sw} | Steering Wheel Angle | C_{af} | Cornering Stiffness at Front Wheels |
| δ_i | Tire Wheel Angle of Each Wheel (i=1~6) | C_{am} | Cornering Stiffness at Middle Wheels |
| $\omega_\delta(V)$ | Steering Angle Gain according to Vehicle Velocity | C_{ar} | Cornering Stiffness at Rear Wheels |
| n | Gear ratio | l_f | Distance from Center of Gravity to Front Axle |
| T_i | Driving Shaft Torque of Each Wheel (i=1~6) | l_r | Distance from Center of Gravity to Rear Axle |
| F_{xi} | Longitudinal Force of Each Wheel (i=1~6) | K_v | Understeer Gradient |
| F_{yi} | Lateral Force of Each Wheel (i=1~6) | a_y | Lateral Acceleration |
| F_{zi} | Vertical Force of Each Wheel (i=1~6) | m | Vehicle Mass |
| F_R | Longitudinal Force of Right Side Wheels | μ | Friction Coefficient |
| F_L | Longitudinal Force of Left Side Wheels | J | Cost Function |
| F_{xdes} | Desired Longitudinal Force | r | Tire Radius |
| F_{ydes} | Desired Lateral Force | R | Turning Radius |
| M_{des} | Desired Yaw Moment | t | Tread |
| β_a | Actual Sideslip Angle from TruckSim | | |
| γ_a | Actual Yaw Rate from TruckSim | | |
| γ_{des} | Desired Yaw Rate | | |
| β_{des} | Desired Sideslip Angle | | |

I. 서론

특수한 환경에서 사용되는 다축구동 차량은 구동성, 조향성 및 안정성이 요구되며 그중에서도 중륵을 설치한 6WD/WS 차량은 하중을 배분 함으로서 급가속/제동시의 피치각을 감소시키는 구조적 안정성을 가지고 있다. 6WD차량은 2WD, 4WD 차량보다 우수한 가속력과 제동력을 가지고 있기 때문에 험지나 미끄러운 노면을 주행할 때나, 한 개 또는 두 개의 바퀴가 고장이 났을 때에도 좋은 성능을 보인다고 알려져 있다[1].

독립조향의 경우 기존의 기계적인 시스템에서 조향 휠과 조향 기구부를 연결하는 조향 컬럼을 제거하고 좌/우륵을 독립

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 6. 30., 수정: 2010. 9. 28., 채택확정: 2011. 2. 21.

김창준, 한창수: 한양대학교 기계공학과

(aphate@hanyang.ac.kr/cshan@hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 고기능 로봇 메니플레이션 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-C7000-1001-0002).

립적으로 제어가 가능한 Steer-by-Wire 시스템 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

능동조향, 요 모멘트 등의 차량 안정성 제어기법 등의 연구는 4륜 차량으로 대상으로 연구가 활발히 진행되고 있다 [3]. 최근 들어 기존의 4륜 차량에 적용되던 안정성 제어 방법이 6륜 차량에 적용되고 있다. M. Abe 등은 횡방향 및 종방향 타이어 힘을 최적 배분하는 연구를 4륜 차량에 적용하여 차량의 안정성을 향상시키는 연구를 진행하였다[4].

스키드 조향은 조향각에 의해서 발생하는 횡방향 힘을 사용하지 않고 좌우 차륜의 구동력 차에 의해서 선회를 발생 시키게 된다. 즉, 외륜의 휠 속도가 내륜보다 크게 발생하면서 선회를 이루게 된다. 스키드 조향의 특징은 저속에서 선회반경을 극단적으로 줄일 수 있으며, 제자리 선회를 가능하게 한다[5]. 일반 차량의 경우 좌우륜의 구동력 차를 발생시키기 위해서는 TVC (Torque Vectoring Device)와 같은 기계적 메커니즘을 이용하여야 한다. 하지만, 인휠 모터가 장착된 차량의 경우 기계적인 장치 없이 타이어에 장착된 모터에 의해서 각륜의 구동력 제어가 가능하다. 인휠 모터가 장착된 차량은 조향각을 발생시키지 않고 좌/우륜의 토크차를 이용하여 선회가 가능한 스키드 조향제어를 보다 쉽게 구현할 수 있으며, 저속에서는 선회반경을 작게 하여 조종성을 향상시키고, 고속에서는 선회반경을 크게 하여 안정성을 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 6륜 차량의 종/횡 방향 타이어 힘을 최적화 방법을 이용하여 6WD/6WS의 제어입력을 배분하여 차량의 거동을 향상시키는 연구를 진행한다. 차량모델은 6륜 구동 및 조향이 가능한 TruckSim (미국 MSC社) 차량 모델을 사용하였다. 6륜 차량의 6WD/6WS 제어알고리즘은 타이어 힘 최적화 분배 방법을 이용하여 F_x (종방향 힘), F_y (횡방향 힘), F_z (수직방향 힘)으로 정의된 목적함수를 최소화하는 방법을 사용하였다. 시뮬레이션 및 결론은 타이어 힘 최적화 방법에 사용된 목적함수 값을 비교하여 제어알고리즘의 성능을 검증하였다.

II. 차량모델

군용 차량으로서 6X6 차륜형 차량은 기존의 차량에 비하여 노면의 주행저항이 작아 보다 작은 동력으로 주행이 가능하다. 여기에, 궤도차량에 비하여 차륜형 차량의 단점인 차량 회전반경의 축소를 위해서는 각 차륜의 토크를 독립제어 할 수 있는 인휠모터를 탑재하여 궤도차량과 같이 제자리 선회 등 스키드 조향을 함으로써 기동성을 확보할 수 있다. 차량 모델용 전용 소프트웨어는 ADAMS와 CarSim으로 대표되는데 ADAMS에서는 차량 모델링에 있어서 차량의 구성품을 개별적으로 모델링 해야만 되는 것으로서 소프트웨어적으로 무겁게 됨으로써 통합시뮬레이션측면에서 단점이 있다. CarSim의 경우는 차량의 거동에 대한 최종적인 K&C (Kinematic & Compliance) 데이터를 SPMD (Suspension Parameter Measurement Device) 장비로 실제 차량의 데이터를 측정하거나 ADAMS와 같은 소프트웨어의 결과 데이터를 입력 받아 차량 운동을 모델링 하기 때문에 소프트웨어적으로 가볍고 이에 따라 통합시뮬레이션 및 실시간 시뮬레이션에 적합하다. TruckSim은 CarSim이 4X4 만을 제공하므로 6X6 에 대해

서는 동일한 기능의 TruckSim 사용이 필요하다.

TruckSim 차량모델은 미국 MSC(社)에서 개발한 다축 (8X8_4 axle 차량모델 개발 가능)용 차량모델이다. 민수용 차량개발을 위해서 사용하는 CarSim은 2개의 축으로 한정되어 있으므로 본 연구에서는 다축 차량모델이 가능한 TruckSim 차량모델을 선정하였다.

TruckSim 차량모델 개발에 필요한 데이터는 스프링 상부 질량의 질량, 관성, 치수, 현가시스템의 K&C 데이터, 타이어, 파워트레인, 브레이크, 조향시스템 데이터 이다. 본 연구에서는 전기차량을 대상으로 하므로 파워트레인을 제외한 데이터를 이용하여 차량모델을 개발한다.

그림 1과 2는 TruckSim 모델의 GUI 및 6X6 차량의 형상을 나타낸다. TruckSim 차량모델은 위에서 언급한 것과 같이 subsystem의 데이터를 입력하여 차량모델을 개발하게 된다. 표 1과 같이 6X6 차량은 스프링 상부질량과 관련하여 무게, 휠베이스, 트레드 값을 사용하였다. 현가 장치의 경우 독립타입을 사용하였으며, Jounce 입력에 대한 타이어의 종/횡 방향 변화, 캐스터/캠버/토 변화를 테이블 형식으로 비선형 값을 차량모델에 반영하였다. 현가 장치의 컴플라이언스는 부하/무부하 시의 스프링 & 감쇠 특성 역시 그 값을 테이블화 하여 적용하였다. Jounce/Rebound stop 값은 테이블 1과 같다. 조향모델은 제어 알고리즘에 의해서 6개의 휠을 독립적으로 제어하기 때문에 no steering으로 설정하였다. 타이어 및 브레이크는 TruckSim에서 제공하는 모델을 사용하였다. 차량 형

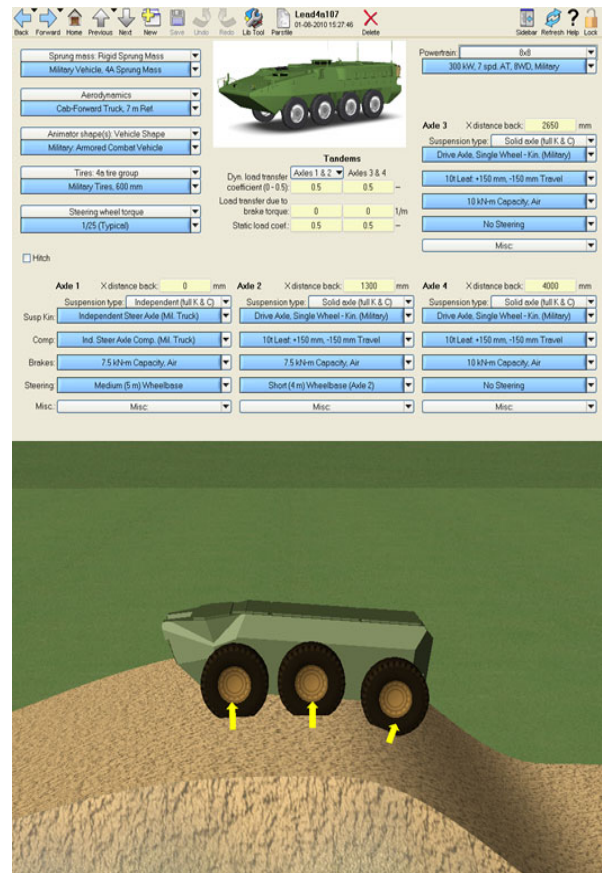


그림 1. TruckSim 차량모델 및 6X6 차량.
Fig. 1. TruckSim vehicle model & 6X6 vehicle.

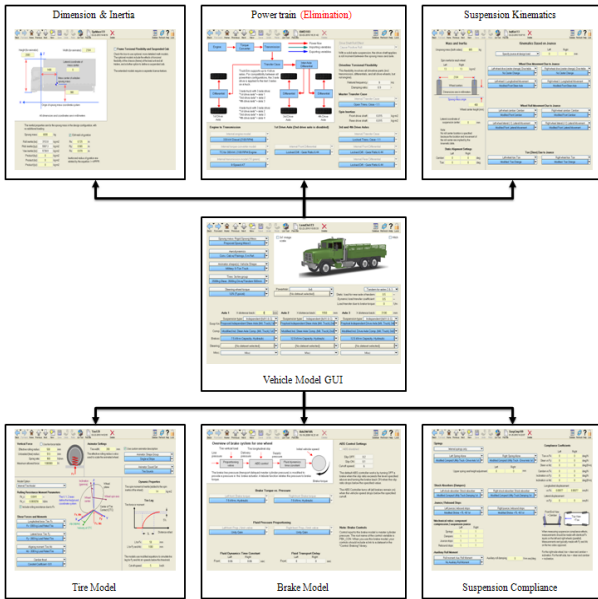


그림 2. TruckSim GUI 구성.

Fig. 2. Consist of TruckSim GUI.

표 1. 6X6 TruckSim 차량모델 구성.

Table 1. Consist of 6X6 TruckSim vehicle model.

| | Parameter or Selection |
|----------|---|
| 스프링 상부질량 | 8 ton, wheelbase 3100mm, tread 2104mm |
| 서스펜션 | Independent type Jounce stop: 200mm, Rebound stop: 150mm |
| 조향 | No steering |
| 타이어 | 3000kg Rating, 500mm Radius in TruckSim |
| 브레이크 | Mechanical Brake |
| 차량 형상 | STL file |

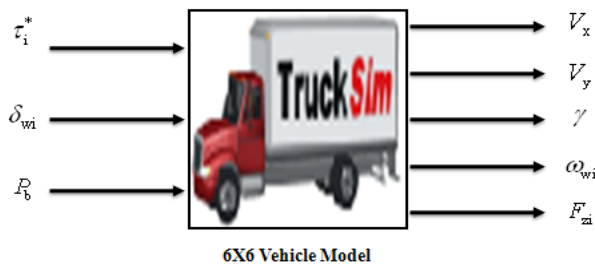


그림 3. TruckSim 차량모델의 입출력 관계.

Fig. 3. Relationship of input and output of TruckSim model.

표 2. TruckSim 차량모델 입출력.

Table 2. Input and output of TruckSim vehicle model.

| | 정의 | 단위 |
|---------------|---------------------------|------------|
| τ_i | 각륜의 구동토크 ($i=1\sim6$) | Nm |
| δ_{wi} | 각륜의 조향각 ($i=1\sim6$) | degree |
| P_b | 제동 신호 입력에 대한 브레이크 압력 | MPa |
| V_x | 종방향 차량 속도 | Kph |
| V_y | 횡방향 차량 속도 | Kph |
| γ | 요속도 | degree/sec |
| ω_{wi} | 각 륜의 속도 ($i=1\sim6$) | RPM |
| F_{zi} | 각륜의 수직방향 힘 ($i=1\sim6$) | N |

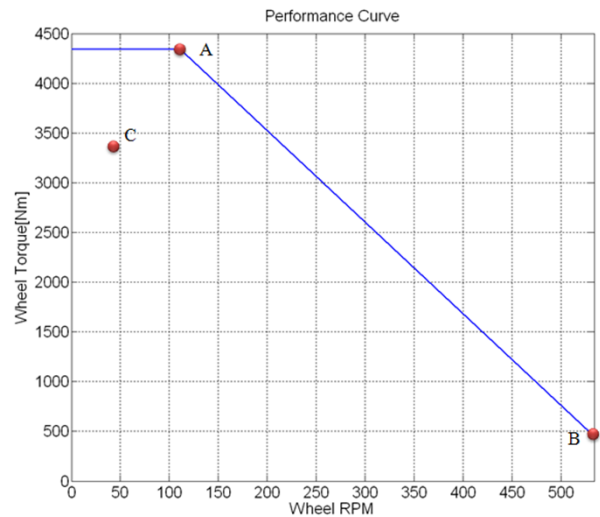


그림 4. TruckSim 차량모델의 Wheel Torque & RPM 성능 곡선.
Fig. 4. Performance curve of Wheel Torque & RPM for TruckSim vehicle model.

상의 경우 S/W에서 제공하는 것을 그대로 사용할 수 있지만 사용자의 의도에 따라서 디자인 툴을 이용하여 형상을 설계하고 모델에 반영하였다. 본 연구에 사용한 차량의 외형은 CATIA를 이용하여 설계하였다.

그림 3과 표 2는 TruckSim 차량모델의 입출력 관계를 나타낸다. 각륜의 구동력을 발생시키는 토크 6개와 각륜의 조향각 6개가 차량모델의 입력으로 들어가게 된다. 또한 출력으로는 차량의 종/횡 방향 속도, 요속도, 각륜의 속도 및 수직방향 힘이 된다.

그림 4는 TruckSim 차량모델의 제자리 선회 시 필요한 최대 휠 토크와 RPM, 즉 A점과 120kph 정속 주행 시 얻을 수 있는 B점을 이용하여 가상의 토크성능 곡선을 정의하였다. C 점은 차량의 60% 등판 시 요구되는 휠 토크 및 RPM을 수치적으로 계산하여 얻은 값이다[6]. 토크 성능 곡선은 향후 인휠 모터 및 감속기를 선정할 수 있는 기본자료로 사용할 수 있다.

III. 제어알고리즘

인휠 구동 차량은 차량 플랫폼을 간결하게 하고 스키드 조향을 할 수 있는 장점이 있다. 보다 중요한 사항은 차량운동 성능 향상이라는 가능성을 지니고 있다는 것으로서 이러한 장점을 활용하여야 한다. 이러한 모터 구동 차량에 있어서의 차량동역학의 향상은 그림 5와 같은 모터의 특성에 기인한다.

(1) 가감속이 매우 빠르고 정확한 토크를 발생

이것은 내연기관 차량에 비해 가장 근본적인 장점으로 종래의 내연기관 차량의 백배의 빠르기를 갖는다. 따라서 이를 완전하게 이용할 수 있다면 ABS (Antilock Brake System) 및 TCS (Traction Control System)의 통합성능을 대폭적으로 향상시킬 수 있다.

(2) 모터 토크는 쉽게 계산될 수 있다.

기존의 내연기관 및 유압식 브레이크에 반하여 모터에 의한 구동 및 제동력은 불확실성을 가지지 않는다. 그러므로 간단한 구동력 관측기는 타이어와 노면 사이의 구동/제동력을 실시간

| Enhance Active Safety | | |
|---|--|--|
| Motor Torque Generation - Fast and accurate - Motor's torque Response Time shorter than ICV (10~100 times) | Exact Torque Value - Estimate driving braking force in real time - Know the condition of the road surface | Independent Wheel Control - Install in each rear and front tire - Control the traction and braking forces independently |

그림 5. 모터 구동 차량의 특성.

Fig. 5. Characteristic of motor driven vehicle.

으로 관측 할 수 있게 해준다.

(3) 모터는 각각의 차륜에 탑재 할 수 있다.

좌/우륜에 서로 다른 방향의 토크를 발생시킴으로써 DYC를 부가할 수 있어 차량의 선회안정성을 제어할 수 있다.

1. 가상 조향각 알고리즘

가상 조향각 알고리즘은 저속에서는 차량의 선회반경을 최소화 하여 차량의 조종성을 높이고, 고속에서는 차량의 안정성을 높이기 위한 것이다. 능동 전륜조향(Active Front Steering)과 같은 개념으로 저속에서는 조향각을 크게 하여 조향입력에 대한 차량의 반응을 빠르게 하고, 고속에서는 반응을 느리게 하기 위하여 조향입력을 작게 하는 것이다.

운전자의 조향입력 δ_{sw} 는 식 (1)로부터, 타이어의 조향각 δ_w 로 계산된다. n 은 조향 기어비이다.

$$\delta_w = \frac{\omega_\delta(V)}{n} \delta_{sw} \tag{1}$$

여기서 ω_δ 는 차량 속도에 따라 결정되는 조향각 게인 값으로 그림 6과 같이 표현되며, 그 값은 시뮬레이션을 통하여 차량성능에 따라서 값이 결정된다. 차량의 속도에 따라 결정된 가상 조향각은 3.3절에서 사용할 목표모델의 입력으로 결정되어 저속에서는 목표 요속도를 크게하고, 고속에서는 작게하는 효과를 만들 수 있다.

2. 각륜의 구동력/조향각

본 논문은 독립 구동 및 조향이 가능한 6WS/6WD 구동 및 조향을 하므로, 각 타이어 힘을 발생시키기 위한 각 휠의 구

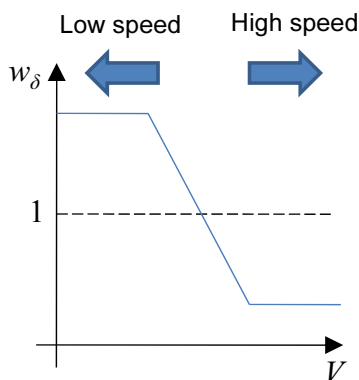


그림 6. 차량 속도에 따른 가상 조향각 Gain (ω_δ).

Fig. 6. Virtual steering angle gain (ω_δ) according to vehicle velocity.

동 토크 및 조향각 결정 방법이 필요하다.

타이어의 반경이 r 일 때, 타이어의 종 방향 힘으로부터 i 번째 휠의 구동토크는 식 (2)로부터 계산된다.

$$T_i = rF_{xi} \tag{2}$$

미끄럼 각이 충분히 작다고 가정할 경우, 타이어 횡력은 미끄럼 각에 비례한다. 전륜 ($i=1, 2$), 중륜 ($i=3, 4$), 후륜 ($i=5, 6$)의 조향각은 아래의 식 (3)으로 계산된다[6].

$$\delta_i = \begin{cases} \frac{F_{yi}}{C_{af}} + \beta_a + \frac{l_f \gamma_a}{V_{xa}} & \text{for } i=1, 2 \\ \frac{F_{yi}}{C_{am}} + \beta_a & \text{for } i=3, 4 \\ \frac{F_{yi}}{C_{ar}} + \beta_a - \frac{l_r \gamma_a}{V_{xa}} & \text{for } i=5, 6 \end{cases} \tag{3}$$

3. 목표 횡력과 요 모멘트

선회 반경 R 인 도로를 주행하기 위한 정상 상태 조향각은 아래와 같이 주어진다[6].

$$\delta_{sw} = \frac{l_f + l_r}{R} + K_v a_y \tag{4}$$

여기서 K_v 는 부족조향 구배이며 아래와 같이 주어진다.

$$K_v = \frac{l_f m}{2C_{af}(l_f + l_r)} - \frac{l_r m}{2C_{ar}(l_f + l_r)} \tag{5}$$

따라서 위 식 (5)을 식 (4)에 대입할 경우, 선회 반경은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{1}{R} = \frac{\delta_w}{l_f + l_r + \frac{mV_x^2(l_r C_{ar} - l_f C_{af})}{2C_{ar} C_{af}(l_f + l_r)}} \tag{6}$$

차량의 목표 요율은 가상 조향각에 의해 결정된 조향각과 차량의 종 방향 속도에 의해 아래 식으로부터 결정된다.

$$\gamma_{des} = \frac{V_x}{R} = \frac{V_x}{l_f + l_r + \frac{mV_x^2(l_r C_{ar} - l_f C_{af})}{2C_{ar} C_{af}(l_f + l_r)}} \delta_w \tag{7}$$

본 논문에서는 목표 요 모멘트 M_{des} 을 생성하기 위해 식 (7)로 주어진 목표 요속도와 차량의 요속도간의 차이를 이용하여 PID 제어를 설계하였다.

$$M_{des} = K_p(\gamma_{des} - \gamma) + K_I \int (\gamma_{des} - \gamma) dt + K_D \frac{d}{dt} (\gamma_{des} - \gamma) \tag{8}$$

목표 횡력의 경우, 자전거 모델을 이용하여 식 (9)와 같이 차량의 옆 미끄럼각과 목표 요속도, 종 방향 속도로부터 구할 수 있다[8].

$$F_{ydes} = mV_{xa} (\dot{\beta}_{des} + \gamma_{des}) \tag{9}$$

여기서 차량의 미끄럼 각의 변화는 목표모델에서 정상상태로 가정하므로 0이 된다.

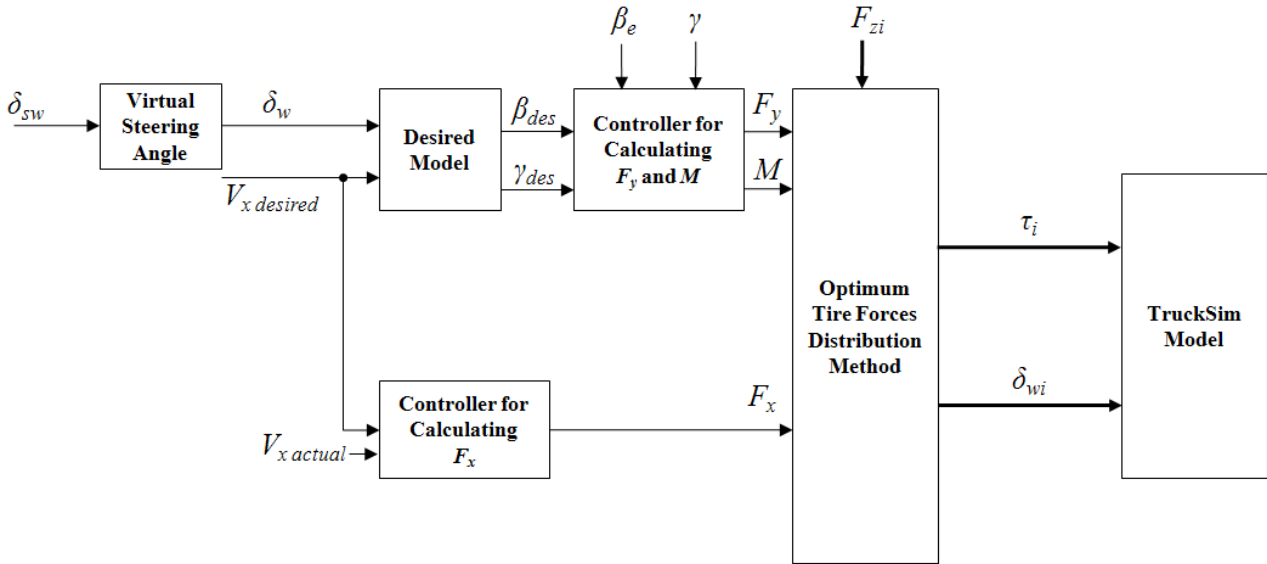


그림 8. 6WS/6WD 제어 알고리즘 블록 선도.
 Fig. 8. Block diagram of 6WS/6WD control algorithm.

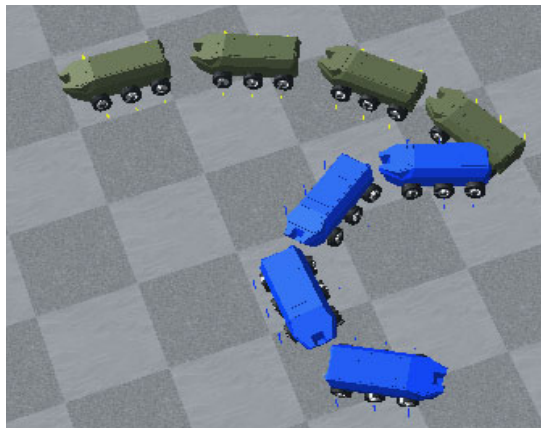


그림 9. 저속에서의 차량 궤적.
 Fig. 9. Vehicle trajectory at low speed.

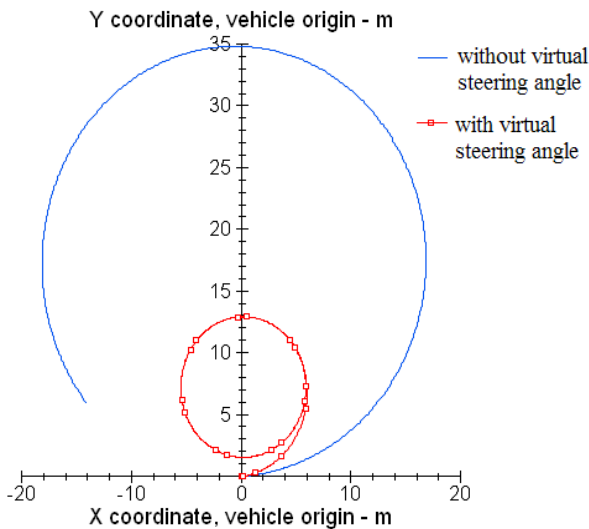


그림 10. 저속에서의 차량 선회반경.
 Fig. 10. Vehicle turning radius at low speed.

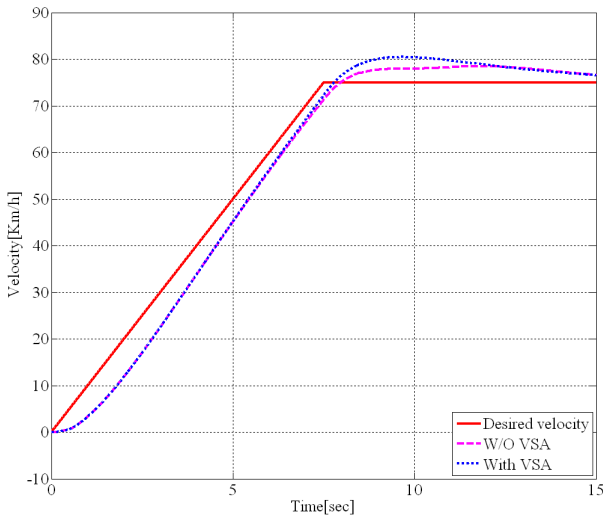
각 알고리즘 적용 유무를 비교 시뮬레이션 한 것이다. 그 결과 가상 조향각 알고리즘을 적용한 경우 선회 반경이 현저하게 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이것은 가상 조향각에 의해서 목표 요속도가 상승되었고, 이에 따른 DYC가 적용된 결과이다.

2. 고속에서의 차량 안정성 향상

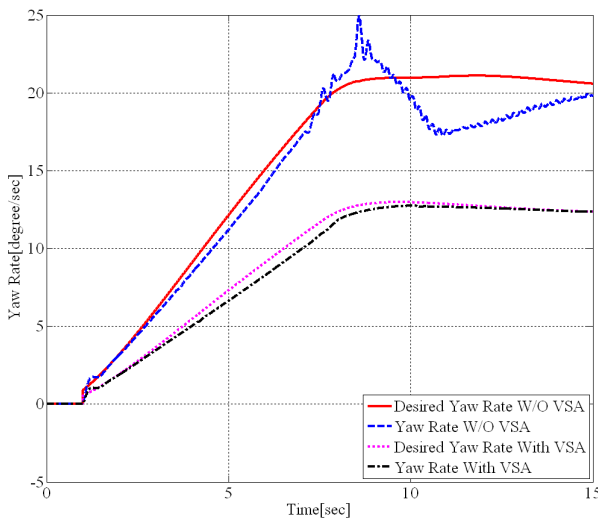
차량에 있어서 고속에서는 선회 안정성이 중요하므로, 가상 조향각 알고리즘에서는 이를 위해 차륜의 조향각을 작게 하여 목표 요속도를 낮추어 운전자의 조향입력에 대한 반응 속도를 느리게 하여 선회안정성을 높이게 된다. 이에 대한 효과를 다음과 같이 시뮬레이션 하여 비교하였다. 75kph의 차속에서 1초후 54도의 조향각(차륜의 조향각: 3도)을 입력하여 가상 조향각 알고리즘 적용 전/후를 비교하였다. 그림 11과 같이 가상 조향각이 적용되지 않은 차량(하단)보다 적용된 차량(상단)이 선회반경이 커지는 것을 확인할 수 있다. 그림 12는 차량의 속도 및 요속도를 비교한 결과이다. 차량의 종방향 속도의 경우 가상 조향각의 적용 유무에 따라 작은 오차를 보이지만, 선회 시 종방향 제어 성능이 안정적으로 확보되는 것을 알 수 있다. 요속도 결과를 살펴보면, 가상조향각의 적용 유무에 따라 목표 요속도가 다르게 설정된다. 이는 고속에서의 조향입력에 대한 반응을 느리게 하는 가상



그림 11. 고속에서의 차량 궤적.
 Fig. 11. Vehicle trajectory at high speed.



(a) Vehicle velocity



(b) Yaw rate

그림 12. 고속에서의 차량 속도 및 요속도 비교.
Fig. 12. Comparison of vehicle velocity and yaw rate at high velocity.

조향각의 효과이다. 최적타이어 힘분배 방법만을 사용한 차량의 경우 목표 요속도를 추종하지 못하는 것을 알 수 있다. 가상 조향각이 적용된 차량은 목표 요속도를 안정적으로 추종하는 것을 확인할 수 있으며, 가상 조향각은 차량에 부족 조향 효과를 가능하게 한다. 가상 조향각에 의해 결정된 조향각과 차량의 속도가 목표 종/횡 방향힘 및 요 모멘트를 결정하게 되고, 계산된 값들이 최적 타이어 힘분배 알고리즘의 입력으로 들어가게 된다. 그 결과로 차륜에 독립 조향 및 구동이 발생하여 차량의 요속도를 추종하게 된다[9].

3. 타이어 힘 최적 분배 알고리즘 시뮬레이션

제안된 타이어 힘 최적 분배 알고리즘 효과, 즉 타이어의 부하율의 합을 최소화 하는 효과를 검증하기 위하여 최적분배 알고리즘과 균등분배 알고리즘을 비교하였다. 여기서 타이어 부하율의 합은 결국 에너지 최소화를 의미한다. 그림 13은 알고리즘을 비교하기 위한 시뮬레이션 조건으로 속도와 조향각이다. 차량의 선회 중에 가속 및 감속을 하는 것으

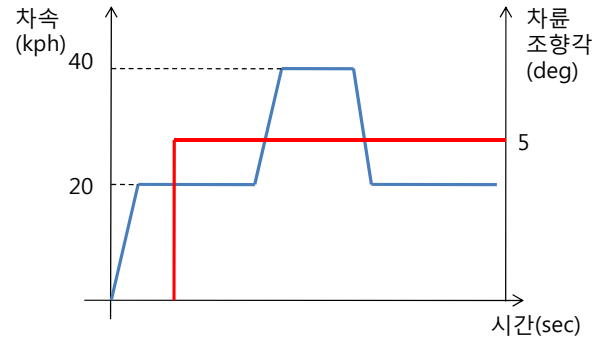
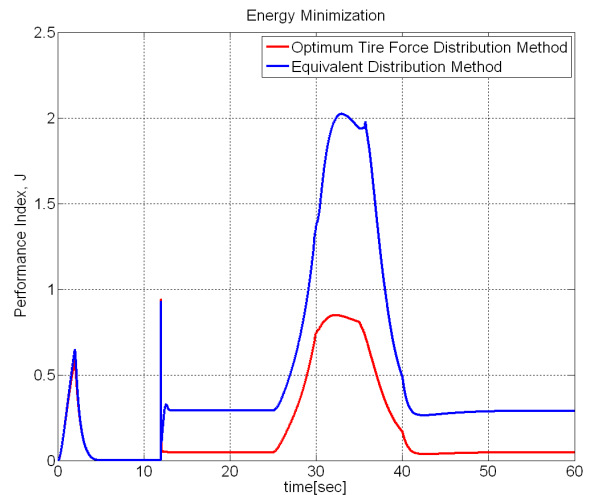


그림 13. 차속 및 조향각 profile.
Fig. 13. Profile of vehicle velocity and steering angle.



Y coordinate, vehicle origin - m

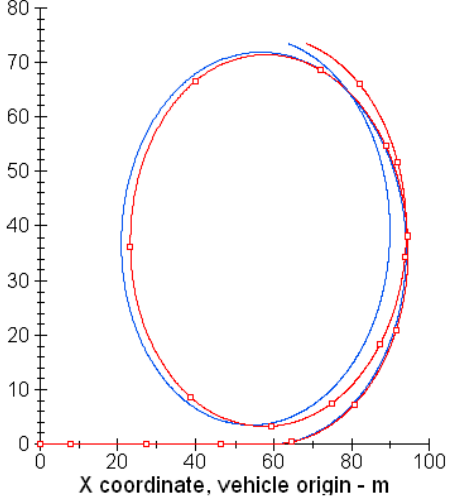


그림 14. 균등 & 타이어 힘 최적 분배에 따른 J와 차량궤적.
Fig. 14. J and vehicle trajectory of equivalent & optimum tire force distribution method.

로 하여 타이어의 재 구동력과 횡력을 포함하는 것으로 선정하였다. 이때, 균등 분배 알고리즘의 경우 각 차륜의 조향은 전륜 예서만 이루어지는 것으로 하였다.

그림 14는 상기 차속 및 조향각을 최적 타이어 힘 분배 알고리즘을 적용한 경우와 단순한 균등 분배 알고리즘을 적용하였을 때, Performance Index인 J값을 비교한 결과이다. J는 식

(11)을 이용하여 계산된다. 각 륜의 종/횡 방향 힘 및 수직방향 힘은 TruckSim 차량모델에서 제공하는 값을 사용하였다. 두 알고리즘은 유사한 경로를 갖지만, 최적 힘분배 알고리즘이 균등분배 알고리즘보다 J값이 작게 나타남을 알 수 있다. 이것은 결국 최적 타이어 힘 분배 알고리즘을 통한 독립조향의 효과가 반영되어 종 방향 힘의 축소를 통한 결과를 의미한다. J를 비교한 결과를 통하여 본 논문에서 제안하는 6WS/6WD 차량의 제어알고리즘의 적합성을 검증할 수 있다.

V. 결과

본 논문은 6륜 차량의 6WS/6WD 제어알고리즘으로 가상 조향각과 타이어 힘 최적 분배를 사용하였다. 6륜 구동 차량의 제어 알고리즘에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 제어 알고리즘 검증을 위한 사용한 차량모델은 TruckSim 모델이다. 일반 차량모델의 경우 CarSim을 많이 사용하지만, 본 논문은 다축(3 axle 6X6) 차량을 대상으로 하므로 4축까지 확장이 가능한 TruckSim 모델을 사용하였다.
- (2) TruckSim 차량모델은 스프링 상부질량, 타이어, 서스펜션, 제동, 조향 모델을 사용하였다.
- (3) 저속에서는 선회반경을 줄이고, 고속에서는 차량의 안정성을 향상시키기 위하여 가상 조향각을 사용하였다.
- (4) 가상 조향각에 의해 생성된 목표 요속도는 각륜의 구동력을 제어하여 DYC효과를 발생시켜 6륜 차량의 조종성과 안정성을 향상 시켰다.
- (5) 타이어 힘 최적 분배 방법은 목적함수를 최소화 하는 방법을 이용하여 각륜의 구동력과 선회력을 분배하는 알고리즘 이다.
- (6) 균등 분배 방법과 최적 분배 방법을 비교한 결과 본 연구에서 사용한 최적 분배 방법은 결과적으로 에너지 최소화 효과를 확인할 수 있다.

향후 연구에서는 fail-safe를 고려한 redundancy 상황에서의 차량 구동 알고리즘에 대한 연구 및 실차 적용을 위한 차량의 상태 추정 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] K.-S. Huh, K.-Y. Jhang, J.-E. Oh, J.-Y. Kim, and J.-H. Hong, "Development of a simulation tool for the cornering performance analysis of 6WD/6WS vehicles," *KSMEE(in Korean)*, vol. 13, no. 3, pp. 211-220, Mar. 1999.
- [2] C.-J. Kim, J.-H. Jang, S.-N. Yu, S.-H. Lee, C.-S. Han, and J. K. Hedrick, "Development of a control algorithm for a tie-rod-actuating steer-by-wire system," *IMEchE Part D: Journal of Automobile Engineering*, vol. 222, no. 9, pp. 1543-1557, Sep.

2008.

- [3] M. Nagai, Y. Hirano, and S. Yamanaka, "Integrated control of active rear wheel steering and direct yaw moment control," *Vehicle System Dynamics*, vol. 27, pp. 357-370, June 1997.
- [4] O. Mokhiamar and M. Abe, "Simultaneous optimal distribution of lateral and longitudinal tire forces for the model following control," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 126, pp. 753-763, Dec. 2004.
- [5] M. A. Ali, C.-J. Kim, H.-S. Shin, J.-H. Jang, and C.-S. Han, "Study on the characteristics of skid steering for six wheel drive vehicle (6x6)," *KSAE Autumn Conference(in Korean)*, pp. 325, Nov. 2008.
- [6] T. D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE, 1992.
- [7] H. Fujimoto, T. Saito, A. Tsumasaka, and T. Noguchi, "Motion control and road condition estimation of electric vehicles with two in-wheel motors," *IEEE Int. Conference on Control Applications*, pp. 1266-1271, Sep. 2004.
- [8] M. Abe and W. Manning, *Vehicle Handling Dynamics Theory and Application*, Elsevier, 2009.
- [9] D.-H. Kim, C.-J. Kim, Y.-R. Kim, and C.-S. Han, "A study on an independent 6WD/6WS of electric vehicle using optimum tire force distribution," *Journal of Institute of Control, Robotics and System(in Korean)*, vol. 16, pp. 632-638, July 2010.
- [10] J. Kang, W. Kim, J. Lee, and K. Yi, "Design, implementation, and test of skid steering-based autonomous driving controller for a robotic vehicle with articulated suspension," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 126, pp. 793-800, Mar. 2010.



김 창 준

2004년 한양대학교 기계공학과 졸업. 2006년 한양대학교 대학원 메카트로닉스 공학과 석사 졸업. 2006년~현재 한양대학교 대학원 기계공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 능동조향, 복합조향.



한 창 수

1983년 한양대학교 기계공학과(공학사). 1985년 Texas at Austin Mechanical Engineering(공학석사). 1989년 Texas at Austin Mechanical Engineering(공학박사). 1990년~현재 한양대학교 기계공학과 교수. 관심분야는 로봇 메커니즘 설계 및 해석, 차량동역학, 필드로봇, 서비스 로봇, Wearable Robot.