

최적 타이어 힘 분배를 이용한 6WD/6WS 차량의 등판 주행 성능 향상

김상호¹, 김창준¹, 한창수^{1*}
¹한양대학교 기계공학과

Improvement of Hill Climbing Ability for 6WD/6WS Vehicle using Optimum Tire Force Distribution Method

Sang-Ho Kim¹, Chang-Jun Kim¹ and Chang-Soo Han^{1*}

¹Department of mechanical engineering, Hanyang University

요 약 본 다축 차량은 험지와 야전에서 높은 이동성 때문에 비포장도로를 주행해야 하는 군용차량으로 사용된다. 특히 군용차량은 군 요구 사항에 의거 기본적으로 60% 경사로에서 안정적인 등판 성능을 지녀야 한다. 따라서 본 논문은 최적 타이어 힘 분배 방법을 통한 6WD/6WS 차량의 등판능력 향상을 다루었다. 경사로 등판 시 사용할 최적 타이어 힘 분배 방법을 위하여 운전자로부터, 목표로 하는 종 방향 힘과 횡 방향 힘, 요 모멘트를 계산하였고, 마찰 원 이론과 목적함수에 따른 최적화 된 토크가 각 룰에 분배되었다. 알고리즘 성능을 확인하기 위해서, 트럭심 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션 하였고, 비교를 위하여 2대의 차량을 제안하였다. 한 대의 차량은 최적타이어 힘 분배 방법이 적용되었고, 나머지 한 대는 궤도 차량과 같은 균등 힘 분배 방법이 적용되었다. 경사로에서 등판능력은 최적 타이어 힘 분배 방법에 의해서 향상 되어졌다.

Abstract Multi-axle driving vehicle are favored for military use in off road operations because of their high mobility on extreme terrains and obstacles. Especially, Military Vehicle needs an ability to driving on hills of 60% angle slope. This paper presents the improvement of the ability of hill climbing for 6WD/6WS vehicle through the optimal tire force distribution method. From the driver's commands, the desired longitudinal force, the desired lateral force, and the desired yaw moment were obtained for the hill climbing of vehicle using optimal tire force distribution method. These three values were distributed to each wheel as the torque based on optimal tire force distribution method using friction circle and cost function. To verify the performance of the proposed algorithm, the simulation is executed using TruckSim software. Two vehicles, the one the proposed algorithm is implemented and the another the tire's forces are equivalently distributed, are compared. At the hill slop, the ability to driving on hills is improved by using the optimum tire force distribution method.

Key Words : 6WD/6WS Vehicle, Motion Control, Optimum Tire Force Distribution Method, Hill Climbing Ability

1. 서론

다축 구동차량은 군사용 또는 기타 특수 목적으로 사용되어진다. 3축을 가진 6WD 차량은 탱크와 같은 궤도 차량이 보유한 제자리 선회 및 험지 주행 능력을 가진

다. 그리고 급가속 및 급제동 시에 하중이 중륵에도 배분되어 피치각이 감소되는 구조적인 이점도 가지고 있다. 6WD 차량은 2WD, 4WD 차량에 비하여 우수한 가속력 및 제동력으로 험지 및 미끄러운 노면에서도 좋은 성능을 보인다. 또한 다수의 독립 휠 구동으로 인하여 외부

이 논문은 2011년 HYU연구특성화사업으로 지원받아 연구되었음. (HYU-2011-T)

*교신저자 : 한창수(cshan@hanyang.ac.kr)

접수일 11년 01월 17일

수정일 (1차 11년 02월 21일, 2차 11년 03월 23일)

게재확정일 11년 04월 07일

타격 혹은 내부 고장에도 주행이 가능하다.

최근 배터리 기술의 발달 및 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 개발로 인하여 각 휠에 모터를 탑재한 다축 전기 차량 또는 4륜 차량이 연구되고 있다. 이들은 제어적인 관점에서 빠른 응답성과 정확한 토크 발생, 독립구동의 이점을 가진다[1]. 특히 이러한 시스템의 다축 차량은 일반 조향(normal steering)과 스키드 조향(skid-steering) 및 복합 조향이 가능하며 많은 자유도를 포함하기 때문에 차량 운동 해석 및 제어가 어렵다. 따라서 다축 차량에 알맞은 제어 및 토크 분배 방법이 연구되어야 한다. 6WD 차량에 대한 최적 타이어 힘 분배 방법이 적용된 알고리즘이 소개 되었고, 주어진 경로를 추종함을 보였다[2]. 또한 6WD/6WS 차량에 대하여 최적 타이어 힘 분배 방법을 적용한 제어 알고리즘 역시 소개 되었으며, 주어진 경로를 추종함을 보였다[3]. 하지만 이러한 알고리즘들이 경사로에서 어떻게 적용되고 효과가 나타나는지에 대해서는 다루질 않았다.

본 논문은 최적 타이어 힘 분배 방법을 이용하여 경사로에서 6WD/6WS 차량의 힘 분배 방법에 따른 등판 성능 향상에 대하여 다룬다. 먼저 6WD/6WS 차량의 모델을 설정하고 라그랑지 승수 방법(Lagrange Multiplier Method)로 풀이한 최적 타이어 힘 분배 방법을 이용하여 목적 함수를 최소화 시키는 타이어 힘을 계산한다. 제안된 알고리즘은 차량 전용 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 차량에 적용 및 시뮬레이션 되며, 군 요구사항(ROC)[4]을 만족하는 직선 60% 경사로 등판을 목표로 시뮬레이션 한다. 비교 차량으로는 좌우측 각 3개륜이 각각 동일한 구동을 지니는 균등 분배 방법을 사용한 차량을 선정하여, 제안된 알고리즘을 사용한 차량과 균등 분배 방법을 사용한 차량을 직선 경사로에서 비교함으로써 알고리즘에 따른 등판 성능을 검증, 비교한다. 본 논문은 경사각 추정[9]과 모터 성능은 고려하지 않고, 목표로 하는 휠 토크는 실제 휠 토크와 같다는 가정만을 고려하였다.

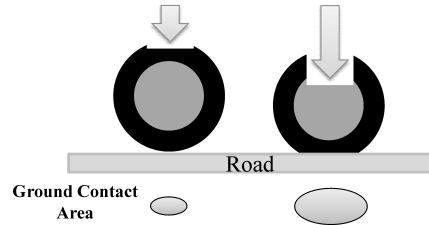
2. 경사로에서 차량의 모델

경사로에서는 평지와 달리 차량의 각 룰에 작용하는 수직하중이 다르다. 그리고 룰들의 최대 종 방향 힘 역시 다르다. 따라서 차량의 등판능력 및 운동성능은 평지에서와 다르게 해석된다.

2.1 마찰 원

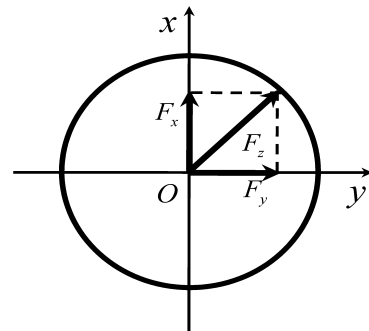
단순히 수직하중에 따른 타이어의 대략적인 접지 면적

을 사료하면, 그림 1과 같이 가정할 수 있다.



【그림 1】 수직하중에 따른 타이어 접지 면적

타이어는 수직 하중에 의하여 지면의 접지 면적이 증가한다. 따라서 이러한 현상은 그림 2와 같이 나타낸다.



【그림 2】 마찰 원

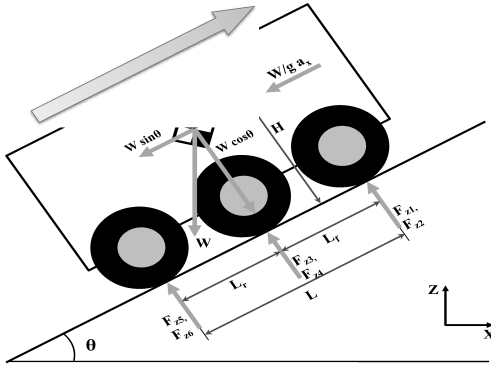
각 타이어에 작용하는 종 방향 힘과 횡 방향 힘의 크기는 타이어에 걸리는 수직하중에 비례하게 된다. 따라서 각 타이어에 작용하는 종 방향 힘 F_{xi} 와 횡 방향 힘 F_{yi} , 그리고 수직 하중 F_{zi} 는 다음과 같은 관계식으로 표현한다.

$$F_{xi}^2 + F_{yi}^2 = (\mu_i F_{zi})^2 \quad (1)$$

2.2 경사로 모델과 차륜 수직 하중

각 타이어에 작용하는 수직 하중은 센서를 이용하여 직접 계측하기 어렵다. 대신 평지에서는 비교적 획득하기 쉬운 차량의 종 방향 가속도인 a_x 와 횡 방향 가속도 a_y 를 사용하여 계산한다.

본 논문에서 직선 경사로에서의 수직 하중 계산을 위하여 그림 3과 같은 단순화 된 XZ평면 모델을 이용하여 계산한다.



[그림 3] 경사로에서 6WD/6WS 차량의 모델

각 차축에 작용하는 수직 하중은 뉴턴(Newton)의 제 2 법칙을 적용하고 가속 시에는 달랑베르의 힘을 이용하여 차축에 작용하는 수직 하중을 계산한다. 그 후 차축에 작용하는 수직 하중을 다시 좌·우륵에 분배함으로써 각 륵에 작용하는 수직 하중은 다음 식으로부터 계산된다.

$$\begin{aligned} F_{z1} &= \frac{L_r}{3L} W \cos \theta - \frac{W a_x H}{2gL} - \frac{WH \sin \theta}{2L} \\ F_{z2} &= \frac{L_r}{3L} W \cos \theta - \frac{W a_x H}{2gL} - \frac{WH \sin \theta}{2L} \\ F_{z3} &= \frac{W}{6} \cos \theta \\ F_{z4} &= \frac{W}{6} \cos \theta \\ F_{z5} &= \frac{L_f}{3L} W \cos \theta + \frac{W a_x H}{2gL} + \frac{WH \sin \theta}{2L} \\ F_{z6} &= \frac{L_f}{3L} W \cos \theta + \frac{W a_x H}{2gL} + \frac{WH \sin \theta}{2L} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 W 는 차량의 무게, L 은 휠베이스, L_f, L_r 은 무게 중심으로부터 전륵, 후륵까지의 거리이고 H 는 무게 중심까지의 높이(CG height), g 는 중력 가속도, a_x 는 종 방향 가속도, θ 는 경사로의 경사각이다.

식 (2)에서 알 수 있듯이, 경사로에서 경사각과 차량의 가속도가 증가함에 따라서 차량의 전륵에 인가되는 하중은 작아지고, 후륵에 인가되는 하중은 증가한다.

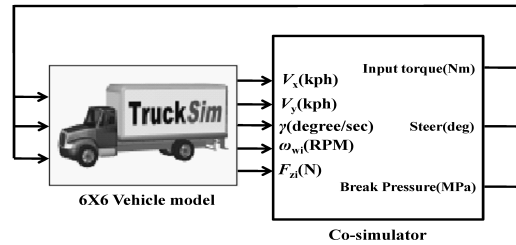
2.3 경사로에서 각 륵에 작용하는 종 방향 힘

식 (1)로부터 각 륵에 작용하는 수직 하중에 따른 최대 종 방향 힘과 횡 방향 힘이 정의 된다. 그리고 식 (2)로부터 직선 경사로에서 전륵과 중륵, 후륵에 작용하는 수직 하중이 다르다. 따라서 횡 방향 힘이 일정하다고 가정하면 전륵과 중륵, 후륵에 작용 할 수 있는 최대 종 방향 힘

에 차이가 발생한다. 하지만 이러한 힘을 고려하지 않고 각 륵에 같은 토크를 적용한다면 비효율적인 토크 분배 문제가 야기된다. 따라서 이에 알맞은 제어 및 토크 분배 방법이 필요하다.

3. 6WD/6WS 차량 모델 및 경사로(Slope)에 대한 가정

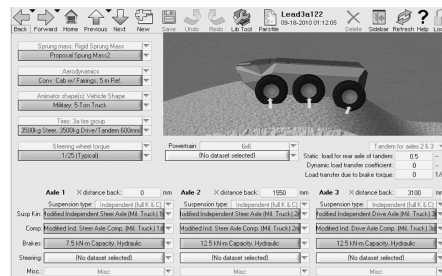
차량 주행 시 동특성은 타이어와 노면 등의 조건과 차량의 횡가속도, 현가장치에 의한 하중의 이동 및 다양한 원인에 의하여 영향을 받는다. 본 논문에서 목표로 하는 차량은 6X6 군용 차량으로서 다축 차량모델을 지원해주는 트럭시(TruckSim)를 이용하고, 통합시뮬레이션 (Co-simulation) 환경은 그림 4와 같이 매트랩 시뮬링크 (Matlab Simulink)를 사용한다.



[그림 4] Co-simulator

3.1 6WD/6WS 차량 모델

주행 제어 알고리즘을 개발하거나 성능을 평가하기 위해서는 실제 차량을 대신할 차량 모델이 필요하다. 따라서 인휠 모터(In-Wheel Motor)를 이용한 독립구동 방식 차량 모델의 전기 차량을 개발하기 위하여 엔진 및 파워 트레인 등의 동력전달 요소를 제거하고, 실제로 사용되어 질 현가 상 질량(Sprung mass), 관성(Inertia), 현가시스템의 K&C (Kinematics&Compliance)데이터 등을 적용하여 6X6 인휠 독립구동 전기차량 모델을 개발하였다.



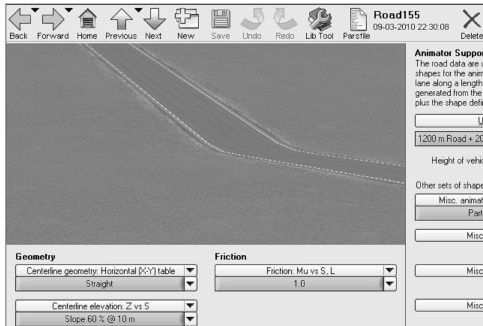
[그림 5] TruckSim 차량 모델

[표 1] 6X6 TruckSim 차량 모델의 구성

	Parameter or Selection
Sprung Mass	8 ton, wheelbase 3100mm, tread 2104mm
Suspension	Independent type Jounce stop: 200mm, Rebound stop: 150mm
Steering	6 Wheel Steering
Tire	3000kg Rating, 500mm Radius in TruckSim
Brake	Mechanical Brake

3.2 경사로(Slope)에 대한 가정

본 논문은 그림 6과 같은 소프트웨어에서 제공하는 경사로 모델을 이용한다.



[그림 6] TruckSim 경사로 모델

경사로의 기울기는 식 (3)과 같이 계산된다[11].

$$\alpha\% = 100 \cdot \tan\alpha_{radians} \quad (3)$$

α 는 경사로 기울기이다. 따라서 목표로 하는 경사로의 기울기를 설정하면 경사로에 맞는 경사각을 산출할 수 있다. 본 논문에서는 군 요구사항(ROC)[4]을 만족하는 직선 60% 경사로 등판을 목표로한 시뮬레이션을 위하여 경사각을 약 31°의 각도로 설정하고, 경사로는 마른 노면인 정상상태로 가정하여 마찰계수를 1로 가정한다.

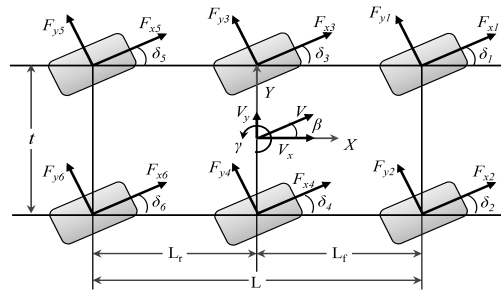
4. 차량 목표 모델 및 목표 힘

제안하는 제어 알고리즘은 운전자 또는 운전자 모델로부터 목표 종 방향 속도를 입력 받아 각 휠의 차량의 종 방향 목표 힘을 계산한다. 또한 조향 입력으로부터 계산된 목표 요 속도를 이용하여 목표 요 모멘트를 결정하고

최적화 된 토크를 각 룬에 분배한다. 본 논문에서는 도로 환경을 직선 경사로로 가정하여 차량의 등판 주행성능 향상 여부를 검증함으로 제어알고리즘은 직선주행만을 고려한다.

4.1 차량 목표 모델

본 논문은 그림 7과 같은 2차원 평면상에서의 6WD/6WS 차량을 목표 제어 모델로 한다.



[그림 7] 2차원 평면에서 6WD/6WS 차량 모델

차량 모델을 기반으로 하여 아래와 같은 운동 방정식을 구할 수 있다.

$$m V_x (\dot{\beta} + \gamma) = \sum_{i=1}^6 F_{yi} \quad (4)$$

$$I_z \dot{\gamma} = L_f (F_{y1} + F_{y2}) - L_r (F_{y5} + F_{y6})$$

여기서 m 은 차량 질량, V_x 는 차량의 종 방향 속도, β 는 미끄럼 각, I_z 는 관성모멘트, γ 는 요 속도를 나타내고 F_{xi} 와 F_{yi} 는 각각 i 번째 타이어에 작용하는 종·횡 방향 힘이다.

4.2 목표 요 모멘트, 횡력 생성

본 논문에서는 정상상태에서의 직선 주행 경사로 등판으로 가정하였기 때문에 목표 요 속도는 $\gamma_{des} = 0$ 가 된다. 그리고 목표 요 모멘트 M_{des} 를 생성하기 위하여 목표 요 속도와 실제 차량의 요 속도간의 차이를 이용하여 PI제어기를 이용한다.

$$M_{zdes} = K_P (\gamma_{des} - \gamma) + K_I \int (\gamma_{des} - \gamma) dt \quad (5)$$

목표 요 모멘트는 그림 7의 차량 모델에 따라, 2차원 평면의 모델링 식에 의해 생성된다. 따라서 아래와 같은 식을 만족 시켜야 한다.

$$\frac{t}{2} \{ (F_{x2} - F_{x1}) + (F_{x4} - F_{x3}) + (F_{x6} - F_{x5}) \} + L_f(F_{y1} + F_{y2}) - L_r(F_{y5} + F_{y6}) = M_{zdes} \quad (6)$$

정상 상태 직선 주행으로 가정한다면 M_{zdes} 는 0이 되어야 한다.

목표 횡력은 차량 모델을 기반으로 한 운동방정식으로부터 목표 횡력을 계산할 수 있다.

$$F_{ydes} = m V_x (\dot{\beta} + \gamma_{des}) \quad (7)$$

또한 2차원 평면의 모델링 식에 따라서 각 타이어에 발생한 횡 방향 힘들의 합은 목표 횡 방향 힘과 같아야 하기 때문에 식 (8)과 같다.

$$\sum_{i=1}^6 F_{yi} = F_{ydes} \quad (8)$$

여기에서 차량의 정상상태 미끄럼각(Steady State Slip Angle) β 는 직선 경사로 주행으로 가정하여 $\beta = 0$ 이 된다. 이에 따라서 $F_{ydes} = 0$ 또한 성립한다.

4.3 목표 종 방향 힘 생성

목표 종 방향 힘은 운전자의 속도 입력에 추종하도록 목표 속도와 트럭시뮬레이션(TruckSim)에서 제공하는 차량의 속도를 비교하여 식 (9)와 같이 PI제어를 사용한다.

$$F_{xdes} = K_P (V_{xdes} - V_x) + K_I \int (V_{xdes} - V_x) dt \quad (9)$$

목표 종 방향 힘 역시 그림 7의 차량 목표 모델로부터 생성된 2차원 평면의 모델링 식에 따라 각 타이어에서 발생하는 종 방향 힘들의 합과 목표 종 방향 힘이 같은 식 (10)과 같다.

$$\sum_{i=1}^6 F_{xi} = F_{xdes} \quad (10)$$

5. 직선 경사로 등판 주행을 위한 최적 타이어 힘 분배 방법

최적 타이어 힘 분배 방법[5,10]은 식 (1)로부터 목적 함수를 정의 하고, 최소화하기 위한 최적화 방법을 사용한다. 따라서 수직하중에 따른 힘 분배가 적용되고, 적용에 따른 효과를 경사로 등판주행에 적용한다.

5.1 목적 함수

식(1)의 마찰 원(Friction Circle) 개념으로부터 최적화 방법을 위하여 각 타이어에 작용하는 일반화된 힘(normalized force)의 제곱 합을 목적 함수(Cost Function)로 정의 한다.

$$J = \sum_{i=1}^6 \mu_i^2 = \sum_{i=1}^6 \frac{F_{xi}^2 + F_{yi}^2}{F_{zi}^2} \quad (11)$$

5.2 최적화된 타이어의 종 방향 및 횡 방향 힘 분배

F_{xdes} 와 F_{ydes} , M_{zdes} 를 만족시키는 각 타이어의 최적 횡 방향 힘 및 종 방향 힘을 계산하기 위해서 최적화 방법을 사용한다. 최적화 방법은 주어진 구속 조건을 만족하는 동시에 목적함수를 최소화 시킨다. 따라서 본 논문에서 타이어에 작용하는 힘은 식 (6), 식 (8) 그리고 식 (10)을 이용한 구속 방정식의 행렬로 식 (12)와 같이 표현한다.

$$AX = \begin{bmatrix} F_{xdes} \\ F_{ydes} \\ M_{zdes} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{xdes} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -\frac{t}{2} & \frac{t}{2} & -\frac{t}{2} & \frac{t}{2} & -\frac{t}{2} & \frac{t}{2} & L_f & L_f & 0 & 0 & -L_r & -L_r \end{bmatrix},$$

$$X = [F_{x1} \ F_{x2} \ F_{x3} \ F_{x4} \ F_{x5} \ F_{x6} \ F_{y1} \ F_{y2} \ F_{y3} \ F_{y4} \ F_{y5} \ F_{y6}]$$

목적 함수 가중행렬 W 를 식 (13)과 같이 정의한다.

$$W = \begin{bmatrix} F_{z1}^{-2} & & & & & \\ & \ddots & & & & \\ & & F_{z6}^{-2} & & & \\ & & & F_{z1}^{-2} & & \\ & & & & \ddots & \\ & & & & & F_{z6}^{-2} \end{bmatrix} \quad (13)$$

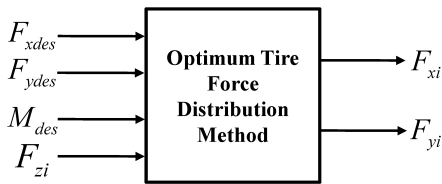
식 (11)의 목적 함수와 식 (12)의 구속 방정식, 식 (13)의 가중행렬을 이용하여 최적화 문제를 식 (14)과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \quad \frac{1}{2} J = \frac{1}{2} X^T W X \\ & \text{subject to} \quad \begin{bmatrix} F_{xdes} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - AX = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

식 (14)로 정의된 최적화 문제를 라그랑지 승수 방법(Lagrange Multiplier Method)를 사용하여 선형화 시스템의 해인 최적 타이어 종 방향 힘과 횡 방향 힘을 식 (15)과 같이 산출한다.

$$X = W^{-1} A^T (A W^{-1} A^T)^{-1} \begin{bmatrix} F_{xdes} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

따라서 최적화된 타이어의 종 방향 힘과 횡 방향 힘 분배는 그림 8와 같이 블록선도로 표현한다.

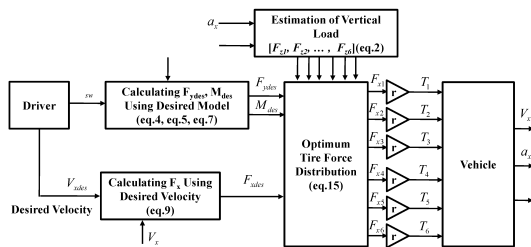


[그림 8] 최적 타이어 힘 분배 방법 블록선도

6. 시뮬레이션 결과

6.1 시뮬레이션 블록 다이어그램

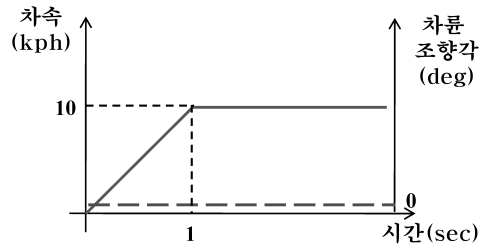
경사로 직선 주행을 위한 최적 타이어 힘 분배 방법을 이용한 6WD/6WS 제어 알고리즘의 블록선도를 그림 9와 같이 정의한다. 운전자로부터 조향각과 요구 속도를 입력 받고, 차량으로부터 속도와 요 속도를 피드백 받아 목표 종 방향 힘과, 횡 방향 힘 그리고 목표 모멘트를 산출한다. 경사로에 대한 정보와 차량의 종 방향 가속도를 피드백 받아 각 룰에 작용하는 수직하중을 계산하여, 목표 종 방향 힘과 횡 방향 힘, 목표 모멘트와 함께 최적 타이어 힘 분배 방법에 적용한다. 최적 타이어 힘 분배로부터 산출된 종 방향 힘은 바퀴의 반지름을 곱하여 토크로 변환한다.



[그림 9] 최적 타이어 힘 분배를 위한 6WD/6WS 차량의 토크분배 알고리즘 블록선도

6.2 시뮬레이션 설정 및 비교차량 선정

직선 등판 주행 시, 본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 소프트웨어에서 제공하는 경사로 모델을 사용하고, 군 요구사항(ROC)[4]을 만족하기 위한 60% 경사로를 설정한다. 경사로의 마찰계수는 정상 상태의 환경으로 가정하여 1로 설정하고, 그림 10과 같이 차속 및 조향각을 설정한다.



[그림 10] 차량속도와 조향각의 Profile

실선은 속도 프로파일(Profile)을 나타내고 점선은 조향각 프로파일(Profile)을 나타낸다. 직선 등판 주행 시 모터의 최대 토크를 만들기 위하여 10kph로 가정하였으며 조향각은 0도로 가정한다.

제안한 최적 타이어 힘 분배 알고리즘과 같이 비교하기 위하여 6WD 차량[8]을 선정한다. 비교 차량인 6WD 차량의 모델은 6WD/6WS 차량 모델과 동일하며, 6WS만 제거된 차량이다. 이 차량에 식 (16)와 같은 균등 분배 방법을 사용하여 시뮬레이션 한다.

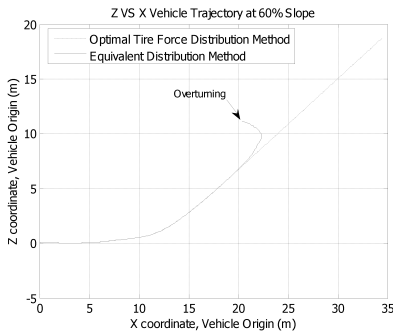
$$F_i = \begin{cases} \frac{(t/2)F_{xdes} + M_{zdes}}{t}, i = 2, 4, 6 \\ \frac{(t/2)F_{xdes} - M_{zdes}}{t}, i = 1, 3, 5 \end{cases} \quad (16)$$

균등 분배 방법을 사용한 차량은 좌측륜과 우측륜이 균등한 값을 가짐으로써 궤도 차량과 같이 구동력이 분배된다.

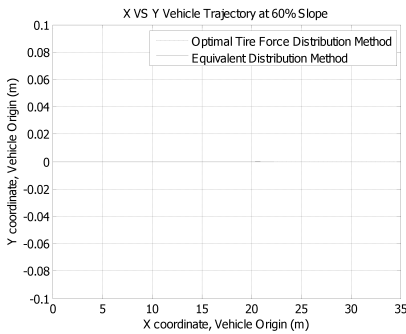
6.3 등판 주행 성능 비교

60% 직선 경사로에서 본 논문이 제안한 알고리즘이 적용된 6WD/6WS 차량과 균등 분배 알고리즘을 적용한 6WD 차량의 Z-X평면 경로와 X-Y평면 경로, 차량의 속도비교를 통하여 차량의 등판 주행 성능을 확인한다.

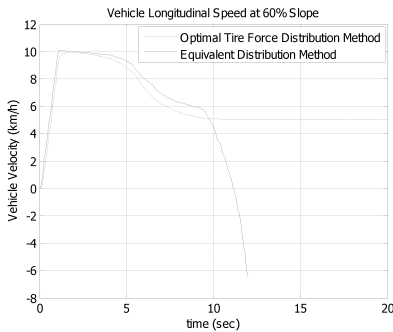
그림 11은 Z-X평면에서의 경로이고 그림 12는 X-Y평면의 경로이다. 또한 그림 13은 등판 주행 시 차량의 종 방향 속도이다.



[그림 11] 60% 경사로에서 차량의 Z-X평면 경로



[그림 12] 60% 경사로에서 차량의 X-Y평면 경로

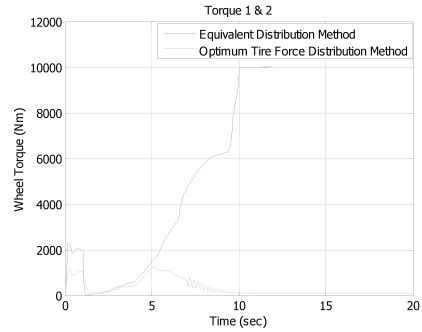


[그림 13] 60% 경사로에서 차량의 종방향 속도

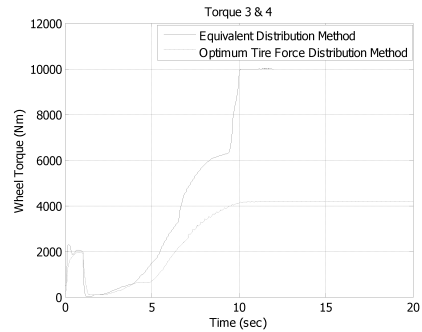
그림 11, 그림 12, 그림 13에서 실선은 토크 균등분배 방법이 적용된 차량의 경로 및 속도 그래프를 나타내며, 점선은 최적 타이어 힘 분배 방법에 따른 토크 분배 방법이 적용된 차량이다. 그림 11에서 실선의 결과로 보면 토크 균등분배 방법이 적용된 6WD 차량은 등판에 실패하고, 최적 타이어 힘 분배 방법이 적용된 6WD/6WS 차량은 60% 경사로를 등판 하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 12에서는 차량의 직선 주행을 나타내고, 그림 13에서 토크 균등분배 방법이 적용된 차량은 속도가 음의 값을 나타내며 등판에 실패함을 알 수 있다. 그러나 최적 타이어

힘 분배 방법이 적용된 차량의 속도는 5Kph로 차량이 등판에 성공함을 나타낸다. 따라서 힘 분배 방법에 따른 60% 직선 경사로 등판 성능 향상 여부가 판별 되었다.

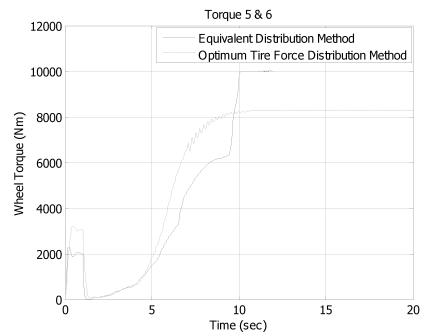
최적 타이어 힘 분배에 따른 각 구동 토크는 그림 14, 그림 15, 그림 16과 같다.



[그림 14] 분배 방법에 따른 T_1, T_2 비교



[그림 15] 분배 방법에 따른 T_3, T_4 비교



[그림 16] 분배 방법에 따른 T_5, T_6 비교

그림에서 실선은 토크 균등분배 방법이 적용된 차량으로 전륜, 중륜, 후륜의 토크입력이 같고, 점선은 제안된 알고리즘이 적용된 차량으로 타이어에 작용하는 수직 하

중에 따라서 타이어가 가질 수 있는 최적의 종 방향 힘을 발생시키는 토크를 입력하고 있음을 알 수 있다.

최적 타이어 분배 방법이 적용된 6WD/6WS 차량은 타이어의 수직 하중에 따른 종방향 힘 발생 특성을 고려하여 등판 시 차량에 인가되는 수직하중에 따른 최적화 방법으로 토크를 분배하여 60% 경사로에서 차량의 등판을 가능하게 하였고, 차량의 등판 주행 성능이 향상되었다.

7. 결론

본 논문은 6WD/6WS 전기 차량을 위한 최적 타이어 힘 분배 방법을 이용하여, 60% 직선 경사로 등판 주행 성능 향상 연구를 하였다. 6륜 구동 차량의 구동력 분배 방법에 따른 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 구동력 분배 제어 알고리즘을 적용 검증하기 위하여 트럭시뮬레이션(TruckSim)을 이용한 6WD/6WS 차량의 통합시뮬레이션(Co-Simulation) 환경을 구축하였다.
- 2) 라그랑지 승수 방법(Lagrange Multiplier Method)를 이용하여 목적 함수를 최소화 하는 최적 타이어 힘 분배 방법을 차량에 적용 하였다. 그 결과 각 륜의 구동력을 최적으로 분배 할 수 있었다.
- 3) 균등 분배 방법이 적용된 6WD 차량과 최적 타이어 힘 분배 방법이 적용된 6WD/6WS 차량을 60% 경사로에서 등판 주행 성능 비교를 하였다. 비교 결과 균등 분배 방법이 적용된 6WD 차량은 전복하여 등판에 실패 하였고, 최적 타이어 힘 분배가 적용된 6WD/6WS 차량은 효과적으로 힘을 분배하여 안정적으로 60% 직선 경사로 등판에 성공하였다. 따라서 최적 타이어 힘 분배가 적용된 6WD/6WS 차량의 직선 경사로 등판 주행 성능이 향상되었다.
- 4) 최적 타이어 힘 분배 방법이 적용된 6WD/6WS 차량이 60% 직선 경사로에서 등판 주행을 성공함에 따라서, 직선 등판 주행에서도 좋은 효과를 확인하였다.

참고문헌

- [1] Y.Hori, Y.Toyota, and Y.Tsuruoka, "Traction control of electric vehicle: Basic experimental results using the test EV, UOT", *IEEE Trans. Ind.Applicat*, Vol. 34, pp.1131-1138, 1998.
- [2] J. Kang, W. Kim, K. Yi and S. Jung, "Skid Steering Based Maneuvering of Robotic Vehicle with Articulated

Suspension", SAE, Vol, 645-652, 2009.

- [3] D. Kim, C. Kim, Y. Kim, C. Han, "A Study on an Independent 6WD/6WS System for Electric Vehicles using the Optimum Tire Force Distribution," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems* Vol. 16, No. 7, July 2010.
- [4] 신현인, "비무기체계 표준품목의 상용전환 연구", *민군규격통일화사업 보고서*, pp. 48-55
- [5] Ossama Mokhiamar and Masato Abe, "Simultaneous Optimal Distribution of Lateral and Longitudinal Tire Force for the Model Following Control", *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 126, pp. 753-763, 2004.
- [6] M. Abe and W. Manning, *Vehicle Handling Dynamics: Theory and Application*, ELSEVIER, Amsterdam, 2009.
- [7] Thomas D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE, 2009-01-0437, 2009.
- [8] Mian Ashfaq Ali, Changjun Kim, Hyunsoo Shin, Jaeho Jang, Changsoo Han, "Study on the Characteristics of Skid Steering for Six Wheel Drive Vehicle (6x6)," *KSAE Annual Conference*, pp. 325, 2008(In Korea).
- [9] Hiroshi Ohnishi, Junichi Ishii, Mitsuo Kayano, Hiroshi Katayama, "A study on road slope estimation for automatic transmission control," *JSAE Reveiw*, pp.235-240, 2000.
- [10] Naoki Ando, Hiroshi Fujimoto, "Yaw-rate Control for Electric Vehicle with Active Front/Rear Steering and Driving/Braking Force Distribution of Rear Wheels", *IEEE Int. Workshop Advanced Motion Control*, pp. 726-731, 2010.
- [11] Martin Larsson, "Road Slope Estimation", Master Thesis, Linköping universitet, 2010

김 상 호(Sang-Ho Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 일반대학원 기계공학과 (석사과정)

<관심분야>

인휠 플랫폼 차량의 구동력 및 선회 제어

김 창 준(Chang-Jun Kim)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 한양대학교 일반대학원 메카트로닉스 공학과 (공학석사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 일반대학원 기계공학과 (박사과정)

<관심분야>

능동 조향, 복합 조향, 인휠 플랫폼 차량의 구동력 및 선회 제어

한 창 수(Chang-Soo Han)

[정회원]



- 1983년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (공학사)
- 1985년 : Univ. of Texas at Austin (공학석사)
- 1989년 : Univ. of Texas at Austin (공학박사)
- 1990년 ~ 현재 : 한양대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

로봇 메커니즘 설계 및 해석, 차량동역학, 필드로봇, 서비스 로봇, Wearable Robot