



6륜 독립구동 플랫폼의 스키드 조향 알고리즘 개발

박치만**, 김문준***, 김현수*
(*,**성균관대학교, ***위아(주))

1. 머리말

차륜에 인휠 모터를 장착한 독립구동 플랫폼은 미래형 친환경 자동차의 신개념 구동구조로서 기대를 모으고 있다. 인휠 독립구동 플랫폼은 변속기로 대표되는 기존의 동력 전달장치를 사용하지 않기 때문에 배터리 장착을 위한 여유공간을 확보할 수 있고, 제거된 구조 자체의 동력 손실만큼 연비 향상이 가능하다. 엔진에 비해 빠른 응답특성의 모터를 구동원으로 하여 각 휠의 토크를 독립적으로 제어할 수 있기 때문에 기존 차량 플랫폼보다 향상된 주행성능 및 안정성의 확보가 가능하다¹⁾. 또한 기계적인 조향장치의 추가 없이 스키드 조향(skid steer), 제자리 선회(pivot turn)등의 특수형태 구동을 구현할 수 있다. 이러한 특징으로 인해 인휠 독립구동 플랫폼은 이동 로봇의 구동구조로서도 크게 활용 가치가 있다고 할 수 있다.



그림 1 6륜 이동 로봇

이 연구에서는 인휠 모터를 장착한 6륜 독립구동 플랫폼을 대상으로 하여 스키드 조향을 위한 효율적인 모터 제어알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증하였다.

2. 6륜 독립구동 플랫폼 모델링

독립구동 플랫폼의 동특성을 분석하여 제어알고리즘을 개발하고 이후 개발된 제어알고리즘을 검증하기 위하여 6륜 독립구동 플랫폼을 모델링하였다. 타이어와 노면 사이의 비선형 특성 및 하중이동 등을 복합적으로 반영할 수 있도록 ADAMS를 이용하여 그림 2와 같은 차량 모델을 개발하였다. 또한 MATLAB/Simulink를 이용한 모터를 모델링하여 ADAMS 플랜트와 co-simulation할 수 있는 환경을 구성하였다.

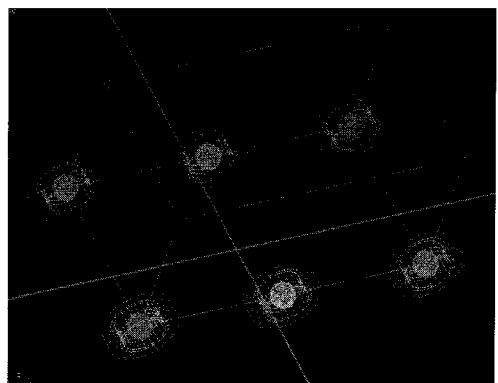


그림 2 ADAMS 플랜트

* E-mail : hskim@me.skku.ac.kr / (031) 290-7438

3. 제어알고리즘

3.1 차량모델

인휠 독립구동 플랫폼은 좌우측 인휠 모터의 토크 차이를 제어하여 직접 요모멘트(direct yaw moment)를 생성함으로써 기계적인 조향장치의 추가 없이도 플랫폼의 선회구동이 가능하다. 이 연구에서는 타이어와 노면 사이의 비선형 특성 및 차량 모델의 불확실성에 대해 충분한 강인성을 확보 할 수 있도록 슬라이딩 모드 제어기법을 이용한 직접 요모멘트 제어알고리즘을 개발하였다. 그림 3은 차량 모델을 나타낸다.

차량의 요모션(yaw motion)에 대한 운동방정식은 아래와 같다.

$$I_z \dot{\gamma} = \sum M_z = M_{yaw} + M_{res} \quad (1)$$

$$M_{yaw} = \frac{W}{2}(F_{xfr} + F_{xmr} + F_{xrr}) - \frac{W}{2}(F_{xfl} + F_{xml} + F_{xrl}) \quad (2)$$

$$M_{res} = (F_{yfl} + F_{yfr})L_f - (F_{yrl} + F_{yrr})L_r \quad (3)$$

여기서 I_z 는 차체의 z축 회전 관성, γ 는 요레이트, M_z 는 z축 모멘트, M_{yaw} 는 좌우측 휠의 구동 토크차에 의한 직접요모멘트, M_{res} 는 타이어의 횡력에 의한

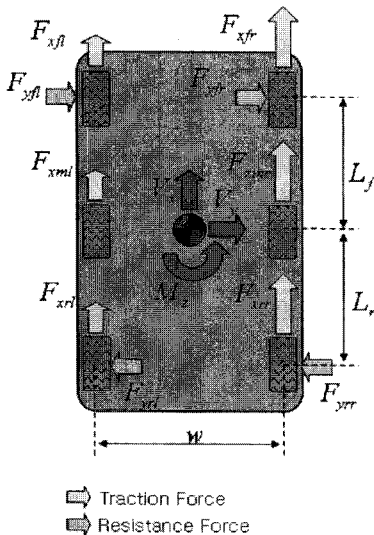


그림 3 차량 평면 모델

반력 모멘트, F 는 타이어와 노면 사이의 작용력, L_f 는 무게 중심에서 전륜까지의 거리, L_r 은 무게 중심에서 후륜까지의 거리, w 는 윤거를 나타내며 아래첨자 x 는 종방향, y 는 횡방향, z 는 수직방향, fl 은 전륜 좌측 휠, fr 은 전륜 우측 휠, ml 은 중륜 좌측 휠, mr 은 중륜 우측 휠, rl 은 후륜 좌측 휠, rr 은 후륜 우측 휠을 의미한다.

3.2 직접 요모멘트 제어

현재의 차속과 실제 기계적인 조향장치에서의 조향각에 해당하는 가상의 조향각(δ)을 이용하여 기준 선회량을 요구 요레이트로 표현할 수 있다.

$$\gamma_d = \frac{V}{L} \delta \quad (\text{understeer coefficient} = 0) \quad (4)$$

실제 요레이트(γ)가 계산된 요구 요레이트(γ_d)를 추종하도록하는 직접 요모멘트의 생성을 위해 좌우측 토크의 크기 차이를 산출하는 제어 알고리즘을 개발하였다. 개발된 제어 알고리즘을 통해 출력되는 제어값은 좌우측 휠의 구동토크에 각각 더하고 뺄으로써 직접 요모멘트를 생성하게 된다^(2,3).

3.3 슬라이딩 모드 제어

계산된 요구 요레이트(γ_d)와 실제 요레이트(γ)의 차이를 요레이트 에러(e_γ)로 정의한 후 이 오차값과 오차값의 미분값을 이용하여 식 (6)과 같이 슬라이딩 평면을 설정하였다. 이 슬라이딩 평면의 부호에 따라 식 (7)과 같은 제어값을 출력한다.

$$e_\gamma = \gamma_d - \gamma \quad (5)$$

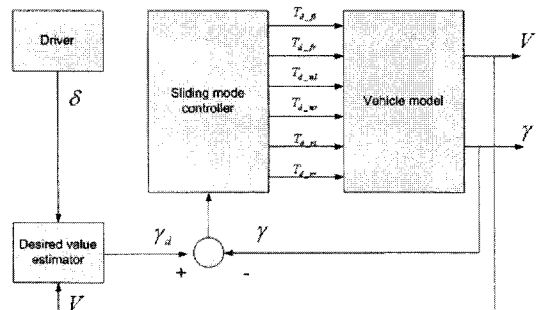


그림 4 모터 제어알고리즘

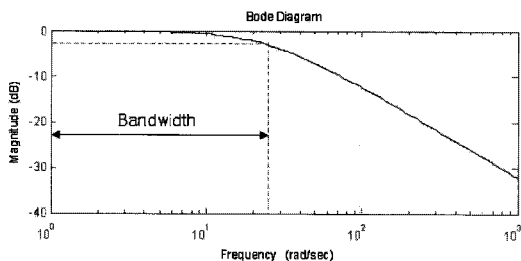


그림 5 저역통과 필터

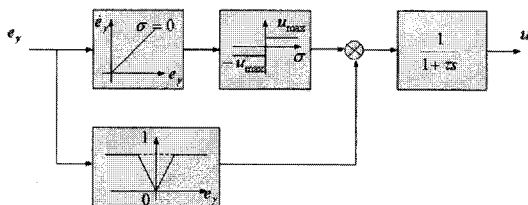


그림 6 슬라이딩 모드 제어알고리즘

$$\sigma = me_y + \dot{e}_y \quad (6)$$

$$u_y = \text{sign}(\sigma) \cdot u_{\max} \quad (7)$$

여기서 σ 는 슬라이딩 평면, m 은 control gain, u_y 는 출력되는 제어값, u_{\max} 는 제어입력의 최대값을 나타낸다. 출력되는 제어값은 좌, 우측 휠의 구동토크에 각각 더하고 뺄으로써 직접 요모멘트를 생성하게 된다.

슬라이딩 모드 제어기법에 의한 제어값은 고주파의 채터링(chattering)성분을 가지며 시스템의 진동을 야기하는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 일정한 대역폭(bandwidth)을 갖는 저역통과 필터(lowpass filter)를 거쳐 필터링된 제어값을 사용함으로써 고주파의 진동 성분을 잡을 수 있다. 이 연구에서는 저역통과 필터를 그림 5와 같이 일정 시상수를 갖는 1차 시스템으로 모델링하여 제어알고리즘에 적용하였다.

또한 요레이트 에러의 크기에 따라 제어입력 최대값 u_{\max} 의 크기를 결정하는 룰을 함께 적용함으로써 진동 성분의 크기를 줄일 수 있다. 그림 6은 기본적인 슬라이딩 모드 제어기법을 보완하여 적용된 슬라이딩 모드 제어알고리즘을 나타낸다.

4. 시뮬레이터

제한된 스키드 조향 알고리즘의 효과를 검증하기 위

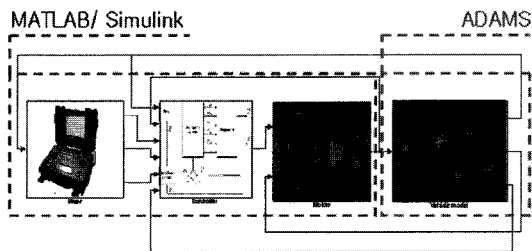


그림 7 성능해석 시뮬레이터 구조

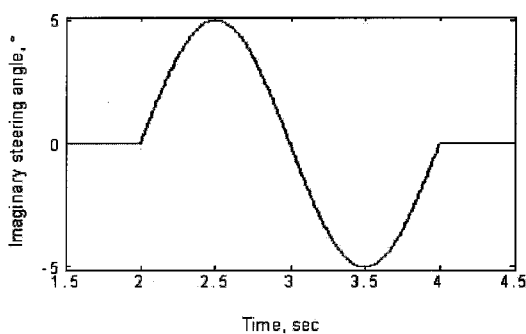


그림 8 개루프 조향 신호

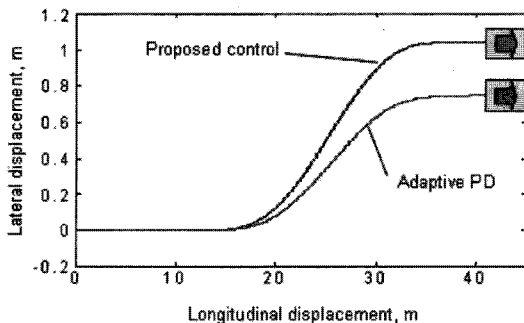


그림 9 차량 이동 궤적

하여 그림 7과 같은 성능해석 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터는 MATLAB/Simulink 기반의 운전자 모델, 제한된 제어알고리즘, 모터 모델과 함께 ADAMS로 개발된 차량모델로 구성된다.

5. 시뮬레이션 결과

$\mu = 0.9$ 의 마른 노면을 일정 속도(20 km/h)로 주행 중 스키드 조향을 이용하여 차선을 변경하는 시뮬레이션

특집: 제17권 제6호 로보틱스

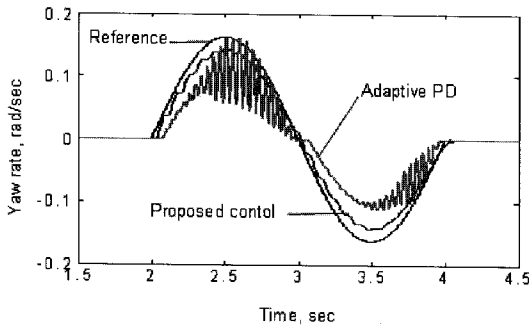
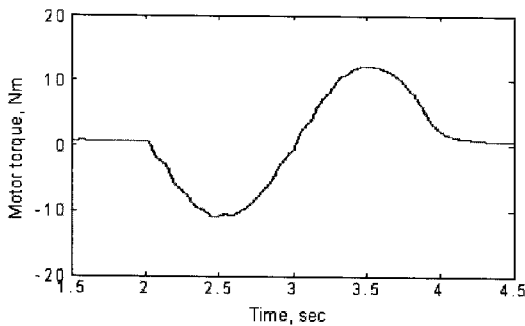
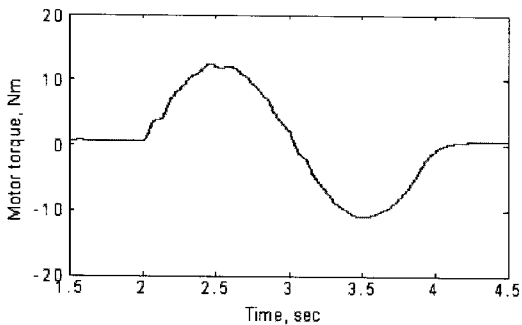


그림 10 요(Yaw) 레이트



(a) 좌륜



(b) 우륜


그림 11 모터 토크

을 수행하였다. 제안된 슬라이딩 모드 제어알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 adaptive PID 제어를 사용한 결과와 함께 비교하였다. 차선 변경을 위하여 운전자 모델은 그림 8과 같은 개루프 조향 신호를 제어기에 입력하였으며 이때의 이동 궤적을 그림 9에 도시하였다.

차속과 조향 신호를 이용하여 결정된 요구 요레이트 및 실제 요레이트를 그림 10을 통해 비교하고 있다.

Adaptive PID의 경우 실제 요레이트 값이 상당한 에러와 함께 크게 진동하는 반면, 슬라이딩 모드를 기본으로 하여 제안된 제어알고리즘의 경우 확연한 에러의 감소와 함께 진동성분이 사라진 것을 확인 할 수 있다. 그림 11은 6륜 독립구동 플랫폼의 스키드 조향 시 좌·우측 인휠 모터 각 1개에 작용하는 모터토크를 나타낸 것이다.

6. 맺음말

인휠 모터를 장착한 6륜 독립구동 플랫폼을 이용하여 기계적인 조향장치의 추가 없이 스키드에 의한 조향이 가능하도록 하는 제어알고리즘을 개발하였다. 제어알고리즘은 슬라이딩 모드 제어기법을 기본으로 하여 타이어와 노면 사이의 비선형 특성에 대한 강인성을 확보하고자 하였다. 또한 슬라이딩 모드 기법의 단점인 채터링 문제를 해결하기 위해 에러의 크기에 따라 제어게인의 강도를 결정하는 한편 일정 대역폭의 저역통과 필터를 1차 시스템으로 모델링하여 적용하였다. 개발된 스키드 조향 제어알고리즘의 성능검증을 위하여 ADAMS 차량모델과 MATLAB/Simulink를 기반으로 개발한 co-simulator를 이용하여 차선 변경 시뮬레이션을 수행하고 타당성을 검증하였다. 

참고문헌

- (1) Okano, T., Hwa, T. C., Inoue, T., Uchida, T., Sakai, S. and Hori, Y., 2002, "Vehicle Stability Improvement Based on MFC Independently Installed on 4 Wheels-basic Experiments Using UOT Electric March II", PCC-Osaka, Vol. 2, pp. 582~587.
- (2) Lee, R., Kim, J., Kim, D. and Kim, H., 2006, "Development of In-wheel Motor Independent Drive Control Algorithm for Electric Vehicle", KSAE, Vol. 3, pp. 1772~1777.
- (3) Kim, J., Lee, R., Lee, J., Lee, J. and Kim, H., 2006, "Motor Control Algorithm for a 6-Wheel Independent Drive Electric Vehicle", SICE-ICASE International Joint Conference, pp. 2416~2419.