

인휠모터 구동차량의 승차감 및 자세제어를 위한 기초적 연구 A Fundamental Study on the Control of Ride Comfort and Attitude for In-wheel Motor Vehicles

김영렬 · 박철 · 왕지남

Y. R. Kim, C. Park and G. N, Wang

(접수일 : 2011년 04월 21일, 수정일 : 2011년 09월 09일, 채택확정 : 2011년 09월 09일)

Key Words : In-wheel Motor(인휠 모터), Independent Braking/Driving Force Control(독립 제구동력 제어), Ride Comfort(승차감), PSD(파워스펙트럼밀도), Sky-Hook(스카이훅), Rolling Motion(롤 운동)

Abstract : It is being accelerated to develop environment-friendly vehicles to solve problems on the energy and environment of earth. The electric driving motor commonly installed in these vehicles has the excellent control capability such as fast response and accurate generation to torque control command. Especially, in-wheel motor has the additional merit such as independently driving each wheel in vehicle. Recently, being developed various control algorithm to enhance the safety and stability of vehicle motion using actively the merits of in-wheel motor. In addition to that, being issued the possibility of enhancing the ride comfort and attitude of vehicle motion such as pitching and rolling. In this paper, investigate the theoretical relationship between the braking/driving force and the motion of sprung mass of vehicle and propose the control method to enhance the ride comfort and attitude of vehicle motion. The proposed control method is proved through the simulation with vehicle model provided by TruckSim software which is commercial one and specializes in vehicle dynamics.

1. 서 론

지구 에너지 환경을 해결하기 위한 친환경 동력시스템을 탑재한 차량 개발이 가속화 되고 있다¹⁾. 이러한 친환경자동차에서 공통적으로 사용되고 있는 전기구동 모터를 휠 내에 탑재하는 인휠 모터(in-wheel motor) 구동 차량이 선진 메이커를 중심으로 개발되고 있다²⁾. 특히, 최근 개발되고 있는 군용 차량은 6x6 인휠모터 구동 시스템을 적용하여 야지 기동성을 높이고 있다³⁾.

전기구동 모터는 우수한 제어성으로 인하여, 단순히 친환경 동력시스템의 구동계로서의 역할 뿐만 아니라 차량의 운동 제어에 활용 될 수 있다.

전기구동 모터의 우수한 제어성이라 함은 첫째로, 제어 응답성이 빠르다는 점으로서 토크 명령에 대하여 내연기관에 비하여 100배 이상 빠르다. 둘째로,

전기구동 모터는 토크의 크기가 전류의 크기에 비례하므로 정확하게 예측 할 수 있다. 또한, 인휠모터화하여 차량의 각 휠을 독립적으로 구동 할 수 있다는 장점이 있다^{4,5)}.

이러한 장점을 차량의 운동제어에 적극 활용하는 연구가 이루어지고 있으며 주로 자동차의 가감속에 관련된 차륜 슬립제어와 선회운동제어에 관련된 DYC(direct yaw moment control)연구가 이루어지고 있다^{6~10)}. 한편으로, 최근에는 차량운동에 있어서 승차감에 관련된 차량의 상하운동 제어 및 전후방향의 피칭운동과 좌우방향의 롤링운동제어에도 활용될 수 있다는 가능성이 제기되고 있다^{10,11)}.

차량의 가감속 운동 제어 및 선회운동 제어에 대해서는 기존의 연구로부터 다양한 기법이 제시되고 있지만, 상하운동제어를 비롯한 차량 자세제어에 대해서는 구체적인 기법이 제시되고 있지 않다.

본 연구에서는 4륜 군용 차량인 험비(HMMWV) 차량 모델을 이용하고 이를 4륜 인휠모터 구동 차량으로 하여, 인휠모터의 독립구동력 제어를 통한 차량의 자세기법을 제안하고자 한다.

김영렬(교신저자) : 아주대학교 시스템공학과 대학원
E-mail : yrk_1234@naver.com, Tel : 031-219-3942
박 철 : 현대자동차 중앙연구소 기반기술연구팀
왕지남 : 아주대학교 산업정보시스템공학과

제안된 기법의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 차량 운동은 차량운동 해석 전용 프로그램인 TruckSim¹³⁾과 여기에서 제공된 험비 차량모델을 사용하였으며, 제안된 제어 기법은 Matlab/Simulink을 이용하여 직접 모델링하였다.

2. 제구동력과 차량 상하운동의 관계

2.1 제구동력과 현가장치 Anti-Dive/Anti-Lift 특성

인휠모터 구동 차량에서 인휠모터의 구동력 제어를 통한 차량 상하운동 제어에 관한 가능성은 다음의 Fig. 1 같이 차량 현가장치의 Anti-Dive/Anti-Lift 특성에 착안 한다.

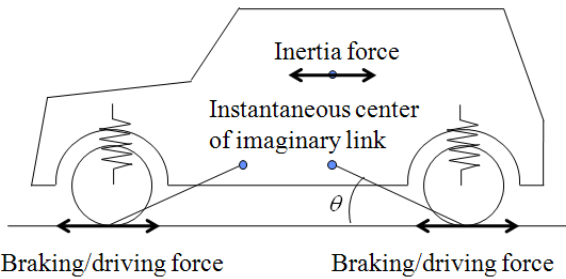


Fig. 1 Imaginary link of suspension system

제구동력에 따른 차량의 관성력의 작용으로 차체에는 피치운동(pitch motion)이 발생되지만 현가장치(suspension system)로부터 피치운동을 막아주는 소위 Anti-lift 및 Anti-dive 힘이 발생한다. 즉, 전후륜 현가기구로부터 타이어의 노면 접촉점의 상하운동 궤적의 순간중심점에 설정된 가상 링크의 노면과의 사잇각만큼 제구동력의 분력이 발생하여 현가 스프링에 반력의 변화를 생성한다.

여기서 Anti-lift 및 Anti-dive 힘을 발생시키기 위해서는 현가장치의 가상링크의 순간 중심점은 현가장치의 적절한 설계를 통하여 Fig. 1에서와 같이 전륜에서는 후방에, 후륜에서는 전방에 위치해야 한다.

2.2 제구동력 제어를 통한 차량운동 제어 가능성

Anti-dive/Anti-lift 특성으로부터 제구동력이 차량의 상하운동을 제어 할 수 있음을 파악하였고 이를 차량운동제어에 활용가능성은 다음과 같다.

차량의 상하운동(heave motion) 제어를 위해서는 Fig. 1에서 전륜과 후륜에 제구동력을 서로 반대로 가함으로써 달성 할 수 있다. 이 힘들은 서로 상쇄되기 때문에 차량의 주행을 위한 제구동력이나 선회운동 모멘트를 변화시키지 않는다.

동 모멘트를 변화시키지 않는다.

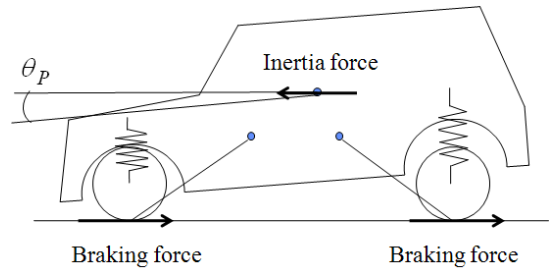


Fig. 2 Braking forces against pitch motion

또한, 차량의 상하운동 제어는 차량의 피치운동과 롤 운동(roll motion) 제어로 확대하여 적용 할 수 있다. 즉, 피치운동의 경우는 Fig. 2에서와 같이 관성력에 의해 피치운동이 발생 할 경우 전후륜 모두 제동력을 가함으로써 피치운동을 억제 할 수 있다. 그러나 이것은 차량의 제구동력의 합을 변화시키는 힘으로 작용하므로 적용이 곤란하다.

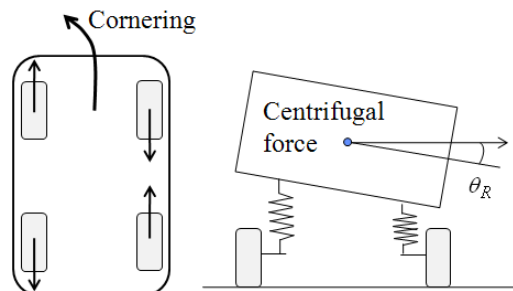


Fig. 3 Diving/braking Forces against Roll Motion

한편으로 롤 운동에 대한 제어 가능성은 Fig. 3에서와 같이 차량 선회운동에 따른 원심력으로 차량에 롤 운동이 발생할 때 전후좌우 각륜에 각기 다른 방향의 제구동력을 가함으로써 롤운동을 억제 할 수 있으며, 이러한 힘의 작용은 서로 상쇄되어 차량의 제구동력의 변화 및 선회운동 모멘트를 발생시키지 않는다.

3. 대상 차량과 운동제어 알고리즘

3.1 대상 차량

본 연구를 위한 대상 차량으로는 군용 4x4 차량으로서 상용 소프트웨어인 TruckSim에서 그 모델이 제공되고 있는 HMMWV를 대상으로 하였다.

Fig. 4 및 Table 1은 4x4 HMMWV 차량의 외관 및 주요 제원이다.



Fig. 4 4x4 HMMWV used for simulation

Table 1 Specification of simulated 6x6 vehicle

Items	Unit	Value
Vehicle Weight	kg	3,710
Wheelbase	mm	3,302
Tread	mm	1,900
Roll Inertia	kg mm ²	1,241.3
Pitch Inertia	kg mm ²	4,331.6
Yaw Inertia	kg mm ²	4,331.6
Tire radius/width	mm	565/365
Front Suspension	Double Wishbone	
Rear Suspension	Double Wishbone	

3.2 4x4 차량에서의 상하 운동 제어

2절에서 이미 제구동력이 현가 스프링에 작용하는 하중을 변화시킬 수 있음을 제시하였고 이것을 이용한 차량의 상하운동의 제어를 승차감 향상 측면에서 그 구체적인 제어기법을 제안한다.

즉, 차량에서는 소위 스카이훅 제어이론¹⁴⁾에 따라 현가장치 댐퍼의 감쇄력을 가변 제어하여 차량의 상하운동을 제어하고 있다. 본 논문에서는 스카이훅 제어이론을 바탕으로 인휠모터의 제구동력 제어를 통한 차량 상하운동제어 기법을 제안 한다.

3.2.1 스카이훅(Sky-Hook) 제어 이론

Fig. 5와 같이 가상의 관성기준(inertia reference)과 차량의 스프링 상중량(sprung mass) M에 가상의 스카이훅 수동 댐퍼를 설치하여 M의속도 \dot{x} 에 직접 비례하는 감쇄력을 발생시킨다.

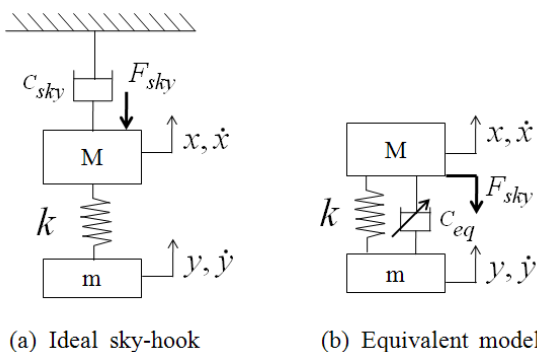


Fig. 5 Ideal and equivalent model for sky-hook

그러나 실제로는 이것이 가능하지 않기 때문에 현가장치의 댐퍼를 이용하여 이와 등가적인 감쇄력을 발생시키는 것이 된다.

실제적인 등가모델에서의 등가감쇄계수는 다음과 같게 된다.

$$C_{eq} = C_{sky} \frac{\dot{x}}{\dot{x} - \dot{y}} \quad (1)$$

또한, 상기 식(1)에 따라 등가적인 감쇄력은 다음과 같은 조건에 대해서만 가능하다.

$$\dot{x} (\dot{x} - \dot{y}) > 0 \quad (2)$$

상기 식이 성립하지 않은 경우의 감쇄계수는 Zero로 두는 것이 이상적인 스카이훅 제어에 가장 부합하지만 이것 역시 물리적으로 불가능하기 때문에 실제적으로는 이상적인 스카이훅 감쇄계수의 1/10배를 적용하는 것이 일반적이다.

3.2.2 차량 상하운동 제어 기법

인휠모터 구동차량의 제구동력은 상기 2.1절에 따라 스프링 상중량 M에 작용하는 외력 F_c 가 되므로 Fig. 6과 같이 모델링 할 수 있다.

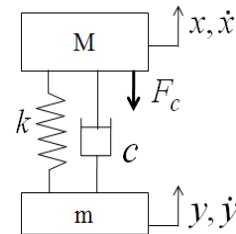


Fig. 6 Equivalent model for controlling heave motion

Fig. 6의 모델에 대한 운동 방정식은 다음과 같이 된다.

$$M\ddot{x} = -k(x - y) - c(\dot{x} - \dot{y}) - F_c \quad (3)$$

$$m\ddot{y} = -k(y - x) - c(\dot{y} - \dot{x}) \quad (4)$$

식 (3)으로부터 M의 운동의 변화를 줄이려면 M의 운동과 반대 방향으로 F_c 를 적용하여야 함을 알 수 있다. 또한 F_c 의 차량에서의 적용은 식 (2)의 스카이훅 제어 조건을 포함하여, 전륜과 후륜의 스프링 하중량의 상하 방향 속도를 각각 \dot{y}_f, \dot{y}_r 라고 하면 다음과 같이 된다.

$$\dot{x}(\dot{x} - \dot{y}_f) > 0 \text{ .and. } \dot{x}(\dot{x} - \dot{y}_r) > 0 \quad (5)$$

상기 식 (5)는 스카이훅 제어로부터 도출된 기본 조건으로 본 논문에서는 이와 함께 다시 최종적으로 식 (6)의 조건을 만족하는 것에 한하여 F_c 를 적용하는 것으로 한다.

$$(\dot{x} > 0 \text{ and } \ddot{x} > 0) \text{ or } (\dot{x} < 0 \text{ and } \ddot{x} < 0) \quad (6)$$

이것은 Fig. 7에서의 음영영역에서와 같이 차체의 상방향운동이 상방향으로 전개되고 있는 상황에서는 이를 억제하려는 F_c 가 적용되어지지만 차체의 상방향운동이 본래의 자세로 되돌아오려는 상황에서도 F_c 가 적용되면 차체를 하방향으로 가속시키게 되는 것을 방지하고자 하는 기법이 된다. 마찬가지로 차체의 하방향 운동이 하방향으로 전개되는 상황에서는 이를 억제하려는 F_c 가 적용되어지지만 차체의 하방향 운동이 본래로 돌아오려는 상황에서는 F_c 를 적용하지 않기 위함이다.

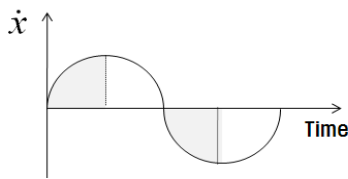


Fig. 7 Control condition to heave motion

이것은 식 (6)과 같이 \dot{x} 와 \ddot{x} 의 부호가 일치하는 조건과 동일한 것이 된다. 다음으로 F_c 의 부호와 크기의 결정에 대해서는 \dot{x} 의 부호에 따라 다음과 같이 결정한다.

$$\begin{cases} \dot{x} > 0, F_{c,front} = C_{sky}|\dot{x}|, F_{c,rear} = -C_{sky}|\dot{x}| \\ \dot{x} < 0, F_{c,front} = -C_{sky}|\dot{x}|, F_{c,rear} = C_{sky}|\dot{x}| \end{cases} \quad (7)$$

즉, 차체의 상하방향의 속도 \dot{x} 의 부호가 양의 값을 갖는 차체의 상방향 운동에 대해서는 상기 2.1절에서 논의된 바와 같이 전륜에서는 구동력을 그리고 후륜에서는 제동력을 가하기 위한 것이다. 반대로 \dot{x} 의 부호가 음의 값을 갖는 차체의 하방향 운동에 대해서는 전륜에서는 제동력을 후륜에서는 구동력을 가하는 것이 된다. 이때 F_c 의 크기는 스카이훅 제어에서와 같이 차체의 상하방향의 속도 \dot{x} 의 크기에 비례하는 힘이 된다. 여기서 수직적으로는 \dot{x} 의 절댓값을 취함으로써 \dot{x} 의 부호로 인하여 앞서 언급한 힘의 작용방향이 변화되는 것을 방지한다.

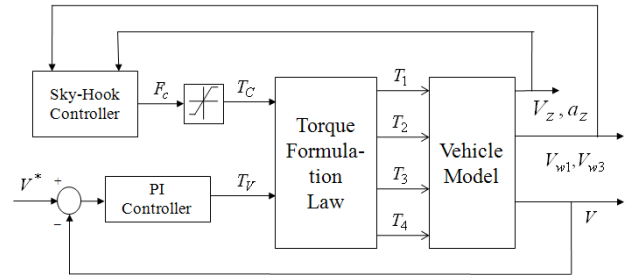


Fig. 8 Proposed control algorithm for heave motion

이상의 상하운동 제어를 위해 제안된 제어기법은 Fig. 8과 같이 된다.

즉, 차량의 수직속도 V_z 와 수직가속도 a_z 정보로부터 스카이훅 제어기 블록에서는 식 (5), (6) 및 (7)에 따르는 F_c 의 적용여부와 크기를 결정하고, 이것은 Saturation 블록을 통하여 토크로 변환하고 적용 인휠모터의 토크 한계의 크기에 제한되는 토크 T_c 를 산출하게 된다. 한편으로 차량의 종방향 목표 운동속도 V^* 를 만족하기 위한 제구동토크 T_V 역시 차량의 종방향 속도 V 의 정보로부터 PI(비례적분) 제어기에 의해 산출 된다. 여기서 PI제어기의 제어 게인은 각각 1000, 100이 적용되었으며 이로써 차량의 목표 속도를 정확히 추정하였다. 산출된 T_c 와 T_V 는 토크분배 법칙(torque formulation law) 블록에서 다음의 식 (8)과 같이 각 차륜의 모터 토크 명령을 만들어 내어 차량에 적용하는 것이다.

$$\begin{cases} T_{1,2} = T_c + T_V/4 \\ T_{3,4} = -T_c + T_V/4 \end{cases} \quad (8)$$

여기서 인덱스 1,2,3 및 4는 각 차륜을 구분하고 있는데 각각 좌측전륜, 우측전륜, 좌측후륜 및 우측후륜을 나타낸다.

상기 식은 차체의 수직운동 속도가 상방향 일 때 양의 값으로 두고 이때 T_c 의 방향은 전륜에는 구동토크를 후륜에는 제동토크를 가하는 것을 의미하고 있다. 한편 T_V 에 대해서는 사륜 전체에 균등한 제구동토크를 배분하는 것을 의미한다.

3.3 4x4 차량에서의 롤 운동 제어

2절의 Fig. 3에서 이미 제구동력 만들어내는 외력 F_c 으로 차량의 진행 속도와 방향을 변화시키지 않고 차량의 롤 운동을 제어 할 수 있음을 밝혔다.

이에 대한 구체적인 제어 방안에 대해서는 Fig. 9과 같이 롤 각(roll angle) θ_R 을 피드백제어 하는 것으로 하는 제어 기법을 제안 한다.

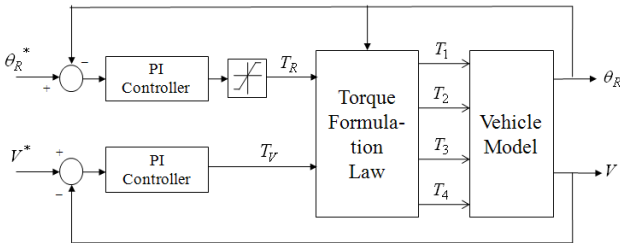


Fig. 9 Proposed Control Algorithm for Roll Motion

여기서 목표 롤 각 θ_R^* 은 0(zero)으로 두는 것으로 하였다. 목표 롤 각과 차량의 롤 각의 편차로부터 PI 제어기를 통하여 롤 운동을 제어하기 위한 인휠모터의 제구동토크의 크기가 결정되고 이것은 포화 블록을 통하여 인휠모터의 토크제한에 따라 최종적인 제구동토크 T_R 이 결정 된다. 여기서 PI제어기의 제어게인은 각각 5000과 10이 적용되었다.

한편으로 운전자에 의한 차량의 목표 속도를 위한 제구동토크 T_V 역시 PI제어기를 통하여 결정된다. 여기서의 제어기 게인은 Fig. 8의 상하운동제어기의 게인과 동일하게 적용하였다.

T_R 과 T_V 으로부터 각 차륜에 토크를 적용하는 법칙은 토크 분배 법칙 블록에서 정의된다. 이것은 이미 2.2절에서 논의한 바와 같이 롤 각의 방향에 따라 각 전후 좌우륜의 제구동토크의 방향이 결정된다. 예를 들어 롤 각이 양의 값을 가지게 되면 좌측 전륜은 구동력을 갖는 것으로 제어되어야 하며 우측 전륜은 제동력을 갖는 것으로 제어되어야 한다. 이것은 후륜의 경우는 반대이다.

따라서 상기 Fig. 9의 알고리즘 블록도에 따라 롤 각이 양의 값을 가진다면, 즉 차량이 좌선회를 하고 있다면 PI제어기의 출력은 음의 값이 되고 좌측 전륜에 구동력을 주기 위해서는 음의 부호를 곱하여야 한다. 이와 같은 원리에 따라 토크 분배 법칙은 다음 식과 같이 된다.

$$(9) \quad \begin{cases} \theta_R > 0, & T_{1,4} = -T_R + T_V/4 \\ & T_{2,3} = T_R + T_V/4 \\ \theta_R < 0, & T_{1,4} = T_R + T_V/4 \\ & T_{2,3} = -T_R + T_V/4 \end{cases}$$

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

4.1 차량 상하운동 제어 결과

TruckSim에서 제공하는 거친 포장 노면(rough road)을 60kph의 주행속도로 직진 주행하는 것을 시

뮬레이션 하였다. 제안된 제어 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 제어를 수행하지 않은 주행 및 제어를 적용한 주행과 제어를 적용하되 제구동력의 방향을 반대로 적용한 경우를 시뮬레이션 하여 비교하였으며 이의 결과는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10은 차량 승차감 평가에서 주로 사용되고 있는 스프링 상중량의 상하운동 가속도의 파워 스펙트럼 밀도(PSD: power spectral density)이다. 그리고 차량의 상하방향의 승차감은 일반적으로 4~8Hz의 대역에서 가장 민감한 것으로 알려져 있기 때문에 이의 영역에서 비교하고자 하였다¹⁵⁾.

Fig. 10의 결과로부터 인간이 가장 민감하게 느끼는 4~8Hz의 대역에서 이들의 차이를 명확히 알 수 있다. 즉, 제어를 적용한 경우 적용하지 않은 경우 대비 파워 스펙트럼 밀도는 감소하였음을 알 수 있으며, 이것은 본 연구에서 제안하는 알고리즘의 유효성을 증명하는 것이 된다. 파워 스펙트럼 밀도의 최대치 기준으로 이를 데시벨로 나타내면 제어를 적용한 경우 약 2dB의 저감효과가 있는 것이 된다. 또한, 제어의 방향을 반대로 한 경우 제어를 하지 않은 경우 보다 파워 스펙트럼 밀도의 크기가 증가된 것을 볼 때 본 연구의 제어 알고리즘의 유효함과 그 이론적 접근의 타당성이 입증 된 것이 된다.

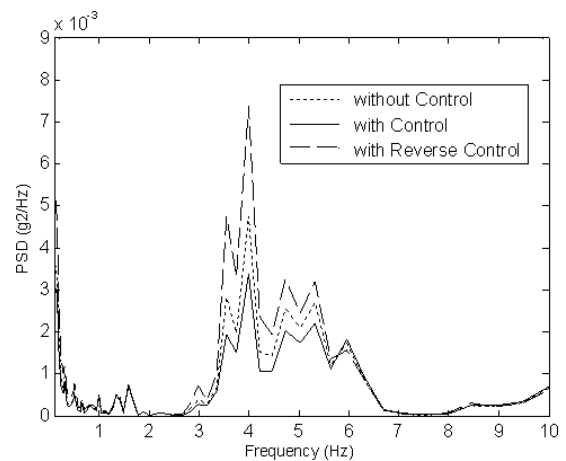


Fig. 10 PSD of vertical acceleration of sprung mass

4.1 차량 롤운동 제어 결과

TruckSim에서 제공하는 이중 차선 변경(double lane change) 시험을 시뮬레이션 하여 이때 차량에 발생하는 롤 각을 제어 전후 비교하였다. 이때, 차량의 주행 속도는 70kph로 주행하였으며 그 결과는 Fig. 11과 같다.

Fig. 11의 결과로부터 제안된 알고리즘을 적용한

경우 롤 각이 전체적으로 축소됨을 알 수 있으며 이것은 실제 차량의 선회운동에서 선회안정성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 이로부터 본 논문에서 제안하고 있는 알고리즘은 목표로 하는 롤 운동 제어에 유효함을 알 수 있다.

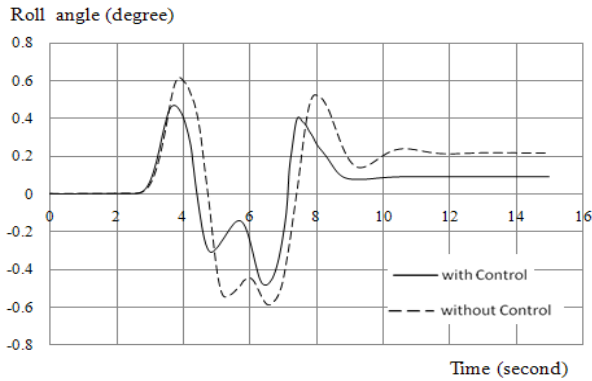


Fig. 11 Roll angle of sprung mass

5. 결론

본 연구에서는 전기구동 모터의 우수한 제어성과 인휠모터 구동 차량의 독립적인 제구동력 제어가 차량의 승차감 제어나 선회 운동시 롤 운동과 같은 자세 제어에도 활용 될 수 있음을 증명하고자 하였으며, 이를 위해 차량 상하운동 및 롤 운동에 있어서 구체적인 제어 알고리즘을 제안하여 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

승차감 제어를 위해서는 스카이훅 제어에 바탕을 둔 제어 기법을 제안하여 거친 노면을 주행시 4~8Hz의 대역에서 유효한 결과가 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 또한, 차량 선회 운동시 발생하는 롤 각을 억제 하고자 하는 제어 알고리즘 역시 유효함을 확인하였다. 특히, 제안된 제어 기법은 운전자에 의한 차량의 본래의 운동, 즉 차량의 주행속도와 선회운동을 변화시키지 않고 차량의 상하운동과 롤운동을 제어하는 것이 된다.

향후에는 모터가 갖는 우수한 제어성과 인휠모터의 독립 제구동력 제어성을 활용한 기존의 다양한 개별 차량운동제어 기법들에 본 연구에서 제안한 차량 승차감 및 자세 제어를 접목하여 통합화 된 차량 운동제어 알고리즘 개발이 필요하다.

참고 문헌

1. CC. Chan, 2002, "The State of the Art of

Electric and Hybrid Vehicles", Proceedings of IEEE, Vol. 90, No. 2, pp. 247-275.

2. H. Sugai, S. Murata, 2010, "Influence of In-wheel-motor to Vehicle Structure and Suspension", JSAE Annual Congress (Spring), Yokohama, No. 28-10, pp. 1-4.

3. T.J. Trezaka, 2002, "Advanced Hybrid Electric Wheel Drive (AHED) 8X8 Vehicle Program", 4th International AECV Conference.

4. S. Sakai, H. Sado, Y. Hori, 1999, "Motion Control in an Electric Vehicle with 4 Independently Driven In-wheel Motors", IEEE Transaction on Mechatronics, Vol. 4, No. 1, pp. 9-16.

5. Y. Hori, 2004, "Future Vehicle Driven by Electricity and Control", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 51, No. 5, pp. 954-962.

6. K. Fujii, H. Fujimoto, 2006, "Slip ratio estimation and control without detection of vehicle speed for electric vehicle", 日本電氣學會 産業界側制御研究會, IIC-06-01, pp. 1-6.

7. K. Fujii, H. Fujimoto, 2007, "Slip Ratio Estimation and Control Based on Driving Resistance Estimation without Vehicle Speed Detection for Electric Vehicle", 日本計測自動制御學會 7th 制御部門大會, 084-1-3.

8. T. Saito, H. Fujimoto, T. Noguchi, 2002, "Yaw Moment Stabilization Control of Small Electric Vehicle", Industrial Instrumentation and Control, IEE Japan, pp. 83-88.

9. A. Tsumasaka, H. Fujimoto, T. Noguchi, 2003, "Cornering Stiffness Estimation of Electric Vehicle Based on YMO", Proc. of the 2003 Japan Ind. Appl. Soc Conf., Vol. 2, 2-51, pp. 551-552.

10. N. TaKahashi, H. Fujimoto, 2007, "Yaw Rate Control for Electric Vehicle Based on Estimation of Front and Rear Cornering Stiffness Coefficients", 日本計測自動制御學會 7th 適應學習制御大會, pp. 9-12.

11. S. Murata, 2010, "Development of In-wheel-motor Drive Unit", JSAE Annual Congress (Spring), Yokohama, No. 28-10, pp. 5-9.

12. D. Akaho, M. Nakatsu, E. Katsuyama, K. Takakuwa, K. Yoshizue, 2010, "Development of Vehicle Dynamics System for In-wheel-motor Vehicle", JSAE Annual Congress (Autumn), Fukuoka, No. 120-10, pp. 1-6, 2010.
13. Mechanical Simulation Corporation, 2009, "TruckSim quick start guide, Version 8.0".
14. 강태호, 백운경, 2002, "스카이-훅 제어를 이용한 반능동 현가식 운전석의 승차감 해석", 한국동력기계공학회지, 제6권 2호, pp. 33-39.
15. Thomas D. Gillespie, 1992, "Fundamental of Vehicles Dynamics", Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, pp. 181-187.