

AWD 시스템 탑재 차량의 모델링 및 시뮬레이션

정호진^{*1)}·정상훈²⁾·최세범³⁾

한국과학기술원 기계공학과¹⁾⁻²⁾⁻³⁾

Modeling and Simulation of AWD Vehicle

Hojin Jung^{*1)} · Sanghoon Jung²⁾ · Seibum Choi³⁾

^{*1)2)3)} Department of Mechanical Engineering, KAIST, 291, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, Korea

Abstract : AWD system means it delivers drive force to all wheels so that it can help vehicle escape low mu surface or climb hill more conveniently. With the growing concern for vehicle safety issues, application of AWD is not only focusing on vehicle performance but also vehicle safety. To design AWD vehicle control logic, AWD system modeling which has similar simulations results of real AWD vehicle is crucial. This paper describe how to model transfer case which is a mechanical device to transfer some portion of torque of main drive shaft to sub drive shaft. Especially, wet clutch type model which can control the amount of torque distribution by allowing clutch slipping is introduced. To verify the feasibility of transfer case model, Carsim/Simulink based AWD system simulation results of vehicle which is based on RWD will be presented.

Key words : AWD(총륜구동), Transfer Case(트랜스퍼 케이스), Wet Clutch Model(습식클러치모델), Drivetrain Model(구동계 모델), Vehicle Dynamics and Control(차량동역학 및 제어)

Nomenclature

J_{t1} : transmission output shaft inertia, kgm²
 J_{t2} : wet clutch inertia, kgm²
 μ_s : wet clutch static friction coefficient
 μ_d : wet clutch dynamic friction coefficient
 V_s : wet clutch stribeck angular velocity
 r_i : wet clutch inner radius
 r_o : wet clutch outer radius
 r_c : wet clutch effective radius
 b_f : front drive shaft damping constant
 k_f : front drive shaft spring constant
 b_r : rear drive shaft damping constant
 k_r : rear drive shaft spring constant
 i_r : transfer case gear ratio
 b_f : front drive shaft damping constant
 T_t : transmission output torque
 T_c : wet clutch torque
 T_d : wet clutch drag torque
 T_f : front shaft torque
 T_r : rear shaft torque

Subscripts

AWD : all wheel drive
GMS : generalized maxwell slip
ATF : automatic transmission fluid

1. 서론

AWD 시스템은 기존의 차량의 전륜 또는 후륜에만 동력을 전달하던 2WD 구조에서 전후륜 모두로 동력을 분배하여 4WD 구조를 갖춘 시스템으로써 처음에는 험로를 주행하는 오프로드 차량을 중심으로 시스템이 장착되었다. 하지만 차량 분야 연구가 가속화되어 엔진 출력이 점점 향상됨에 따라 기존 2륜 차로는 최대 구동력 확보에 한계점이 존재하여 현재는 온로드 차량의 경우 고성능 세단을 시작으로 AWD 시스템이 탑재가 되고 있다.

본 논문에서 소개할 능동형 AWD 시스템은 운전자 입력에 의해 전·후륜 구동축으로 균등하게 배분하는 기존의 파트타임 4WD 및 기계식 AWD 시스템과는

차별화 되는데, 변속기 후단에서 후륜 차축으로 전달되는 주구동력에 대하여 트랜스퍼 모듈 내에서 클러치 시스템의 제어를 통해 전륜 구동축으로 전체 구동력의 일부를 분배하는 구조를 갖추고 있다. 제어를 위한 구동기 설계 형식은 전자기력을 이용한 볼램프 제어 형식 및 압력 발생 펌프를 통한 유압 제어 형식 등으로 다양한 제품들이 개발되고 있다.

이러한 능동제어 시스템의 장점을 기반으로 AWD 시스템은 종방향 및 횡방향 주행 안전성 향상을 위해 사용될 수 있다. 이를 위해서 현재 차량의 거동 및 노면상태를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 구체적인 예를 들어서 차량이 마찰계수가 작은 노면에서 경사가 심한 언덕을 올라갈 때, 마찰계수가 급격히 변하는 구간을 탈출할 때, 차량이 double lane change 및 circular motion과 같은 횡방향 운동을 포함하는 상황이 있고, 이와 같은 다양한 주행상황에서 전후 동력배분이 차량안정성을 향상시킬 수 있는지 예측하여 제어를 하는 연구가 이루어져야 한다. 특히 차량 주행 안전성과 관련된 ABS 및 ESC와의 협조제어를 통해 운전자의 승차감 및 코너 탈출 성능과 같은 주행성능 지표의 향상을 기대할 수 있다.

본 논문에서는 유압 액추에이터 기반의 습식 클러치 시스템 모델링을 통해 액추에이터 인가 압력에 따른 구동력 가변 배분에 대한 정확한 시뮬레이션 묘사를 위한 트랜스퍼 케이스 모델링 및 차량 탑재기반 시뮬레이션 검증 구성에 대해 소개한다. 개발된 AWD 플랜트 모델은 차량 시뮬레이션 프로그램에 탑재하여 AWD 주행제어로직 개발을 위한 다양한 시뮬레이션 검증을 가능하게 하여 실차 실험 과정 시에 발생 할 수 있는 시행착오를 줄일 수 있다.

2. 시스템 모델링

2.1 구동계 동역학 모델

4륜구동 차량의 거동상태는 전륜과 후륜으로 전달되는 토크에 따라 변하게 된다. 본 논문에서 모델링하는 AWD 시스템은 습식 클러치 제품을 사용함으로써 클러치 슬립을 허용하는 과도상태에서 전륜으로 전달되는 구동력의 조절이 가능하다. 따라서 클러치 체결력 형성에 따른 전륜의 토크 가변배분이 시뮬레이션 상에서 묘사가 가능해야 하

며, 또한 클러치 슬립이 발생하는 과도 상태에서 클러치 완전 체결로 이어질 때 토크 변화에 대한 묘사를 잘 할 수 있어야 한다. 변속기 후단에서 전륜 차동기어 및 후륜 차동기어 사이를 표현한 구동계 구성도는 그림 1과 같이 나타낼 수 있으며, 수학적 모델은 다음과 같이 표현할 수 있다.

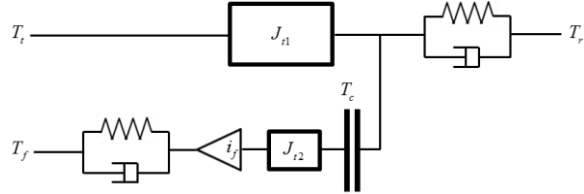


그림 1. 트랜스퍼 케이스 시스템 개요도

$$T_t - T_c - T_r = J_{t1} \dot{\omega}_{t1} \quad (1)$$

$$T_c = f(F_c, \omega_{slip}) - T_d \quad (2)$$

$$T_c - T_d - T_f / i_f = J_{t2} \dot{\omega}_{t2} \quad (3)$$

$$T_f = k_f (\theta_{t2} - \theta_f) + b_f (\dot{\theta}_{t2} - \dot{\theta}_f) \quad (4)$$

$$T_r = k_r (\theta_{t1} - \theta_r) + b_r (\dot{\theta}_{t1} - \dot{\theta}_r) \quad (5)$$

여기서 T_t 는 변속기 후단 토크, T_c 는 클러치 체결 토크, T_f 및 T_r 은 전륜 및 후륜 전달 토크이다. J_{t1} 은 후륜 구동 샤프트 inertia, J_{t2} 는 전륜 구동 샤프트 inertia이다. F_c 는 유압 액추에이터에 의한 클러치 체결력이다. 샤프트의 비틀림에 의한 전달 토크의 묘사를 위해 전륜과 후륜 구동 샤프트는 스프링 댐퍼 시스템으로 구성하였다. 클러치에 전달되는 토크는 클러치 체결력과 슬립량에 관한 함수 $f(F_c, \omega_{slip})$ 로 표현되는데, 구체적인 수식은 2.2.1에서 소개한다. T_d 는 클러치 드래그 토크를 나타낸다.

2.2 습식 클러치 모델

클러치는 유압 액추에이터의 작동을 통해 주구동축의 구동력 일부를 부구동축으로 전달해 주는 역할을 하며, 마찰재 종류 및 오일 사용 유무에 따라 건식과 습식 두 가지 종류로 나뉘게 된다. 건식 클러치는 클러치 체결시 마찰판의 슬립이 길어지면 마찰재가 쉽게 타버리는데, 습식 클러치는 클러치 오일이 마찰재에서 발생하는 열을 흡수하여 건식 클러치의 단점을 보완한다. 하지만 습식 클러치는 마찰판이 견딜 수 있는 최대 전달 토크가 작으므로 여러 개의 마찰판을 겹친 다판 클러치를 구성한다.

2.2.1 Generalized Maxwell Slip(GMS) 마찰 모델

클러치와 같이 두 물체 사이의 접촉력이 발생하는 시스템의 경우 시뮬레이션의 타당성을 확보하기 위해 마찰 모델의 정확도를 향상시키는 것이 중요하다. 마찰 모델링 관련해서는 학계에서 수많은 연구가 진행되고 있으며 대표적으로 LuGre, Lueven, GMS 마찰 모델 등이 있다. GMS 마찰 모델의 경우, LuGre 모델을 살짝 보완한 형태로 Lueven 모델의 장점인 마찰력 hysteresis 현상을 포함하면서도 간단한 형태를 가진다. GMS 모델은 완전 체결과 슬립 발생 상황을 구분하여 식을 표현한다.

2.2.1.1 완전 체결 상황

클러치가 완전한 체결 상태일 때 클러치 전달 토크의 미분방정식은 다음과 같다.

$$\frac{dM_i}{dt} = k_i(p, T_t) \cdot \omega \quad (6)$$

여기서 $k_i(p, T_t)$ 는 클러치 체결력과 변속기 출력 토크에 관한 함수이다. k_i 는 주행 시뮬레이션에서 carsim의 내부 4WD 시스템의 모델과 개발된 모델의 출력토크 비교를 통해 맵을 구성하였다.

2.2.1.2 슬립 발생 상황

클러치에서 슬립이 발생할 때 정적 마찰력과 쿨롱 마찰력에 의해 발생하는 클러치 전달 토크의 미분방정식은 다음과 같다.

$$\frac{dM_i}{dt} = \text{sgn}(\omega) C \left(\alpha_i - \frac{M_i}{s(\omega, p)} \right) \quad (7)$$

여기서 $s(\omega, p)$ 는 stribeck 식이며 다음과 같이 표현된다.

$$s(\omega, p) = \text{sgn}(\omega) \left(M_s + [M_c - M_s] e^{-\frac{|V_s(p)|}{\omega}} \right) \quad (8)$$

습식 클러치는 오일에 의해 발생하는 점성 효과도 고려해야 한다. 오일에 의한 점성 마찰 토크는 다음과 같다.

$$M_{vis} = \text{sgn}(\omega) C_v |\omega|^\gamma \quad (9)$$

최종적으로 슬립 발생시 클러치에 전달되는 토크는 다음과 같다.

$$T_c = M_i + M_{vis} \quad (10)$$

Stribeck 마찰에 의한 습식 클러치 체결력 시뮬레이션 정확도를 향상시키기 위해, 현재 완성 제품에 들어가게 될 습식 클러치의 정마찰계수와 동마찰계수 실험으로 얻어진 결과값을 사용하였다.

2.3 감소차수 모델을 적용한 완전 체결 묘사

2.2에서 소개한 GMS 모델의 완전 체결시의 전달 토크 식의 경우 carsim과 연동하여 시뮬레이션 환경을 구축할 때 일반적인 주행상황에서는 큰 문제점이 발견되지 않으나 저마찰 노면에서 급가속과 같은 복잡한 주행상황에서는 전달 토크 값에서 chattering 발생으로 인한 불안정성을 나타내어 시뮬레이션이 제대로 이루어지지 못함을 발견하였다. 따라서 완전체결 상황에서 식 (6)을 대체할 필요가 있고, 2.1에서 소개한 구동계 모델의 감소차수 모델을 구성하여서 완전체결 상황을 묘사하였다. 완전 체결시에는 변속기 후단 주구동축의 각속도와 클러치 후단 부구동축의 각속도가 같게 되므로, 구동계 동역학 모델은 다음과 같다.

$$\dot{\omega}_{11} = \dot{\omega}_c \quad (11)$$

$$T_i - T_f - T_r = (J_{i1} + J_{i2}) \dot{\omega}_{11} \quad (12)$$

$$T_f = k_f (\theta_{i2} - \theta_f) + b_f (\dot{\theta}_{i2} - \dot{\theta}_f) \quad (13)$$

$$T_r = k_r (\theta_{11} - \theta_r) + b_r (\dot{\theta}_{11} - \dot{\theta}_r) \quad (14)$$

2.4 드래그 토크 모델

드래그 토크란 동력 전달 계통에서 발생하는 회전 저항으로 부하가 걸려 있지 않은 상태의 동력전달 계통을 회전시키는 데 필요한 토크를 말한다. 습식 클러치의 경우 마찰 플레이트와 디스크 사이의 유막의 두께 및 에 따라 드래그 토크가 변하게 되는데, 클러치 드래그 토크 포함 유무는 슬립 발생시 체결력 변화 과정에 따른 동력 전달 손실을 고려하므로 전후륜 전달 토크의 정확도를 향상시킬 수 있다.

습식 클러치에서 드래그 토크는 마찰 플레이트와 디스크 사이의 유체 점성에 의한 전단 응력에 의해 발생하며 유체역학적 해석을 통해 모델링할 수 있다. 본 논문에서는 7)에서 소개된 드래그 토크 모델을 사용하였고, 실험값으로 얻어진 결과값에 맞게 파라미터들을 보정하였다.

$$T_d = 2\pi \int_{r_i}^{r_o} \frac{\mu \omega r^3}{h} (1 + 0.0012 \text{Re}_h^{0.94}) dr \quad (15)$$

여기서 r_i 는 클러치 내부 반경, r_o 는 원심력 받

생에 따른 유막이 퍼짐에 대한 유효반경이며 클러치 외부반경 보다는 작다. Re_h 는 습식 클러치에 사용되는 Automatic Transmission Fluid(ATF)의 레이놀즈 수이며 아래의 식과 같다.

$$Re_h = \frac{\rho\omega rh}{\mu} \quad (16)$$

여기서 μ 는 ATF의 점성계수, ρ 는 ATF의 밀도, ω 는 클러치 양단 각속도차, h 는 클러치 판 사이의 간극이다.

2.5 완전 체결과 슬립 발생 사이의 상태 변환조건 설정

AWD 시스템의 시뮬레이션 모델 정확도를 증가시키기 위해서는 클러치 체결력 형성에 따른 완전 체결 및 슬립 발생이 일어나는 상황을 정확히 판단하는 것이 중요하다. GMS 모델에서는 정적 토크 또는 마찰력을 기준으로 상태 변환을 구분하는데, 입력 토크가 급격히 증가하는 경우에는 클러치 체결력을 강하게 하여 완전 체결 상황으로 판단이 되었는데도 입력 샤프트와 클러치 사이에서 슬립이 크게 발생하는 시뮬레이션 결과를 보였다. 따라서 시뮬레이션 모델의 상태 변환 판단 정확도를 높이기 위해 정적 토크와 클러치 슬립량의 두 가지 조건을 동시에 활용하였다.

$$T_c \geq M_s \quad (17)$$

$$\omega_{slip} \leq 0.05rad / s \quad (18)$$

3. 시뮬레이션

구성된 트랜스퍼 케이스 플랜트 모델이 장착된 AWD 차량의 주행 시뮬레이션 검증을 위해 차량 주행 시뮬레이션 프로그램인 carsim을 이용하였다. 그림 2와 같이 트랜스퍼 케이스 이외의 부분은 carsim에서 제공하는 내부 모델을 사용하였으며 AWD 부분은 본 과제에서 개발된 트랜스퍼 케이스 simulink 모델을 연동하였다. 상용 시뮬레이션 모델과의 연동을 통한 시뮬레이션은 개발된 플랜트 모델의 범용성을 확인함과 동시에 carsim을 활용하여 다양한 주행상황에서 트랜스퍼 케이스 시스템 작동에 대한 차량 거동변화를 쉽게 파악할 수 있다. 표1은 모델링에 사용된 트랜스퍼 케이스의 주요 물성치를 보여준

다. 전후륜 샤프트 기어비가 1:1인 시스템에서 시뮬레이션을 진행하였다.

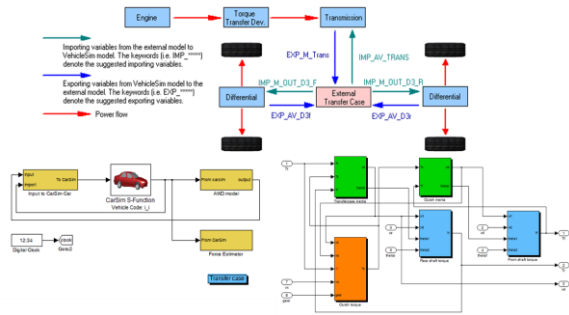


그림 2. 트랜스퍼 케이스 simulink 모델과 carsim 모델 연동

J_{t1}	$0.075kgm^2$
J_{t2}	$0.08kgm^2$
μ_s	0.148
μ_d	0.139
V_s	$21rad / s$
r_i	$0.0512m$
r_o	$0.06625m$
i_r	1
b_f	$56Ns / rad$
k_f	$9010N / rad$
b_r	$55Ns / rad$
k_r	$9020N / rad$

표 1. 트랜스퍼 케이스 물성치

3.1 슬립 발생에서 완전 체결 전환

첫번째 시뮬레이션에서는 본 논문에서 소개한 GMS모델의 과도 구간에서의 미분 방정식 모델의 타당성을 검증하기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 트랜스퍼 케이스 시뮬레이션 검증은 1ms 샘플링 타임에서 이루어졌다.

AWD 시스템의 장점인 구동력 가변 분배에 따른 시뮬레이션 검증 정확도를 높이기 위해서는 이러한 클러치 모델의 과도구간 체결 묘사에 대한 타당성이 검증되어야 한다.

시뮬레이션 검증방법으로 변속기 출력토크 및 클러치 체결력 변화에 따른 상태 변환 시점을 살펴보았다. 차량 주행 상황에서 저단 가속 상황과 같은 큰 구동력을 분배해야 하는 상황에서는 클러치 체결력이 강하지 않으면 주구동축으로 대부분의 구동

력이 전달되고 부구동축으로는 일부분의 구동력만 전달될 것이다(슬립 발생 상황). 클러치가 완전 체결 되기 위해서는 기어변속에 따른 변속기 출력 토크가 감소하거나 클러치 체결력을 더 강하게 하여야 한다. 첫번째 시뮬레이션에서는 클러치 체결력을 일정하게 유지시킨 상태에서 변속기 출력 토크 감소에 따른 상태 변환 시점을 살펴보았다.

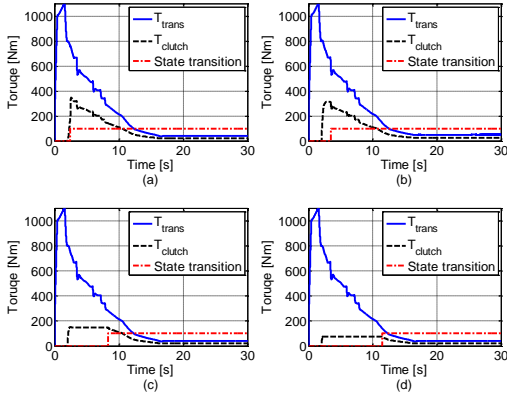


그림 3. 과도 상황에서의 AWD 시스템 모델 시뮬레이션 검증 (a) 3000N (b) 2000N (c) 1000N (d) 500N

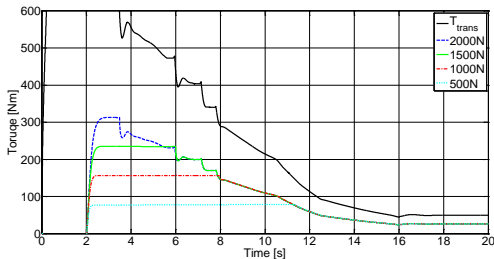


그림 4. 과도 상황에서의 AWD 시스템 구동력 가변 배분

그림 3의 시뮬레이션 검증 조건은 차량 직선 가속상황 중 2초부터 서로 다른 클러치 체결력을 발생시키는 상황이다. 파란색 실선이 변속기 출력 토크 검은 점선이 클러치 체결 토크, 빨간색 점선이 슬립 발생에서 완전 체결로 전환되는 시점이다. 클러치 체결력이 강할수록 슬립 발생 상황에서 더 강한 체결력을 가지고 있으며 완전 체결 전환이 더 빠르게 일어남을 알 수 있다. 4가지 시뮬레이션 모두에서 상태 변환에 따른 클러치 토크의 불연속성 및 시스템 불안정성이 발견되지 않아서 개발된 모델의 타당성을 검증하였다.

그림 4는 클러치 체결력 조절에 의한 전륜 구동

력 가변배분에 대한 타당성을 시뮬레이션 검증 한 결과를 나타낸다. 범례에 표시한 것처럼 저단기어 운행 상황에서는 클러치 체결력 조절을 통한 트랜스퍼 케이스의 구동력 가변배분이 가능함을 확인하였다. 즉 클러치를 완전히 체결시키지 않고 후륜으로 전달 되는 구동력의 일부분을 일정한 값을 가지고 전달할 수 있게 된다.

3.2 임의의 클러치 체결/미체결 시뮬레이션

두번째 시뮬레이션에서는 주행 상황중 클러치 체결/미체결에 따른 2WD/4WD 전환 시뮬레이션을 진행하였다. 추후주행제어 로직 개발에 대한 시뮬레이션 검증이 충분히 이루어지기 위해서는 임의의 전자제어 입력에 대한 시뮬레이션 타당성 검증이 최종적으로 이루어져야 한다.

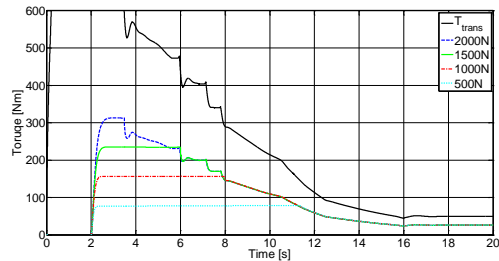


그림 5. 임의의 클러치 체결/미체결 상황에서의 AWD 시스템 모델 시뮬레이션 검증

그림 6의 시뮬레이션은 5초부터 10초 간격으로 클러치 체결/미체결을 반복하는 상황이다. 첫번째 체결구간의 체결력은 1500N, 두번째 체결 구간의 체결력은 1000N으로 설정하였다. 파란색 실선은 변속기 출력 토크, 검은색 점선은 클러치 체결 토크, 빨간색 점선은 상태 변환을 나타낸다. 앞선 단순 체결 상황과 달리 체결/미체결을 반복함으로써 sticking to slipping의 상태 변환 상황도 포함하게 되는데 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있는 것처럼 임의의 클러치 체결 변환에 따른 플랜트 모델의 안정성이 검증되었다.

3.3 Split mu 조건에서의 클러치 체결 시뮬레이션

세번째 시뮬레이션에서는 좌우 노면이 다른 환경에서의 AWD 작동에 따른 차량 거동 안전성 시뮬레이션 묘사를 진행하였다. 시뮬레이션은 좌측 노면 마찰계수 0.2, 우측 노면 마찰계수 0.85 구간으로 진입하여 시속 40km/h로 정속 주행하고

있을 때, 8-14 구간에서 half throttle을 발생시키는 상황이다. AWD 시스템도 급가속을 하는 순간에 작동한다.

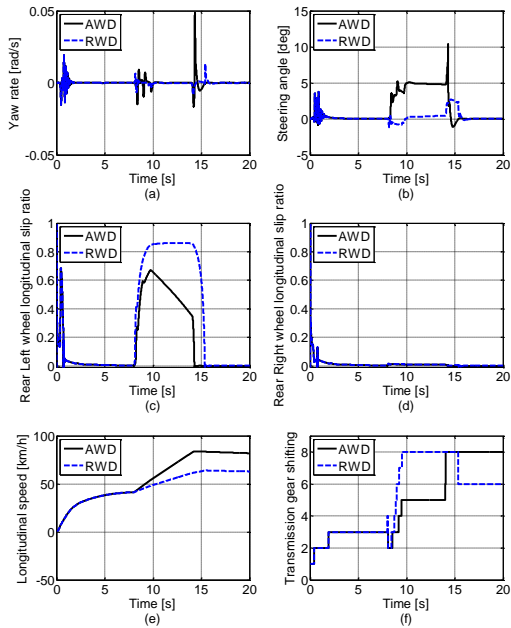


그림 6. split mu 상황에서의 AWD/RWD 차량 비교 (a) 요레이트 (b) 스티어링 휠 조향각 (c) 왼쪽 뒷바퀴 종방향 slip ratio (d) 오른쪽 뒷바퀴 종방향 slip ratio (e) 종방향 속도 (f) 기어 변속

그림 6은 split mu 구간 진입에 따른 AWD 및 RWD의 차량 거동을 비교한 그래프이다. split mu 상황에서 AWD/RWD 차이에 따른 종방향 속도를 비교해 보면 8초 구간에서 급가속을 시작하면서 RWD의 경우 구동력을 충분히 전달하지 못해 AWD 차량에 비해 종방향 속도 증가가 더딤을 확인할 수 있었다. 급가속구간의 기어 변속 과정에서 AWD가 RWD에 비해 저단기어에서 안정적으로 종방향 속도를 확보함을 확인할 수 있다. 후륜 양바퀴 종방향 slip ratio를 보면 고마찰 노면에서는 slip ratio 차이가 크지 않지만 저마찰 노면에서는 RWD의 경우 AWD에 비해 slip ratio가 크게 발생해 저마찰구간 탈출 성능이 떨어짐을 확인할 수 있었다. 다만 조향과 관련해서는 AWD가 RWD에 비해 steady counter steering이 크게 작용하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 전후로 동력분배를 할 때 AWD가 RWD에

비해 차량 yaw moment가 크게 작용하기 때문이다. Steady counter steering이 큰 만큼 14초의 off throttle 상황에서 transient counter steering도 AWD가 좀 더 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

3.4 double lane change와 slalom test에서 클러치 체결 시뮬레이션

후륜 구동 차량의 경우 급격한 step input과 같은 조향 입력과 throttle 입력시에 오버 스티어가 발생할 가능성이 있다. Double Lane Change(DLC) 및 slalom test는 transient 상황에서 차량의 거동 특성을 살펴보는 일반적인 검증 방법 중의 하나이다. 네번째 시뮬레이션에서는 마찰계수 0.85인 노면에서 시속 80km/h로 정속 주행하다가 step throttle을 발생시키면서 DLC 및 slalom test를 실시하는 상황에서 클러치 체결/미체결에 따른 2WD/4WD 전환 및 차량의 횡방향 안정성을 검증하는 시뮬레이션을 수행하였다. AWD 작동 유무에 상관없이 차량의 엔진 출력 토크 값은 일정하게 유지되고 있다.

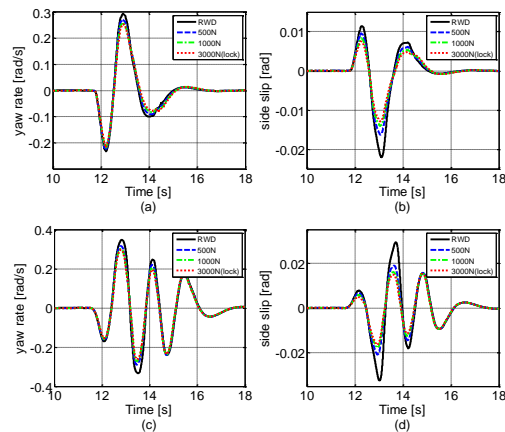


그림 7. 주행 시나리오 포함중 AWD 시스템 작동에 따른 차량 거동 변화 (a) 요레이트:DLC (b) 사이드 슬립각:DLC (c) 요레이트:slalom (d) 사이드 슬립각:slalom

그림 7은 double lane change 및 slalom test 상황에서 요레이트와 사이드 슬립각의 변화를 나타낸다. AWD의 경우 RWD의 경우에 비해 차량 요레이트와 사이드 슬립각이 작게 발생하는 안정적인 차량 거동을 보였는데, 체결력이 커질수록 요레이트와 사이드 슬립각의 극대값이 감소하는 특성을 보였다. 본 과제에서 개발중인 시스템은 센터 디퍼렌셜이 없는 시스템으로 클러치가 완전히

체결되면 steady state cornering시 필연적으로 발생하는 전륜과 후륜과 회전속도 차이를 보상해줄 수가 없고 횡방향 선회성을 제한하게 되어 차량이 안정적으로 거동하는 경향을 가진다. 따라서 주행상황을 고려하여 직진성과 선회성을 고려하여 체결력을 조절하여 전후륜 프로펠러 샤프트의 슬립을 허용하는 가변배분이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 AWD 시스템 플랜트 모델을 개발하고 차량 시뮬레이션 프로그램과 연동을 통한 AWD 시스템 차량의 시뮬레이션을 진행하였다. 습식 클러치의 마찰계수 변화 특성을 고려한 동역학 모델을 구축하여 트랜스퍼 케이스 시뮬레이션 플랜트를 구축하였고, AWD 시스템 차량의 다양한 주행상황에 대한 검증이 가능하도록 carsim 차량모델에 개발된 트랜스퍼 케이스 모델을 외부 모델로 탑재하여 AWD 시뮬레이션 검증 환경을 구축하였다. 실시간 플랜트 모델 검증은 단순 직진 주행 시나리오에서 일정 순간 일회적으로 체결력을 주어 슬립 발생에서 클러치 완전 체결로 상태 변환을 하는 상황과 연속적인 클러치 체결/미체결을 몇차례 포함한 포괄적인 상황에서 개발된 모델의 타당성을 검증하였고, 안정성을 확인하였다. 추가적으로 double lane change, slalom test 및 split mu와 같은 다양한 주행 시나리오와 노면 조건에서 시뮬레이션을 진행하였고, 주행 중 AWD 시스템 전개에 따른 차량 종방향 슬립량 변화 및 횡방향 차량 거동 특성인 요레이트 및 사이드 슬립각이 변화하는 것을 확인하였는데, AWD 시스템 전개시 RWD에 비해 종방향 및 횡방향 차량 거동 특성이 안정적으로 나타남을 확인하였다.

현재 구축된 carsim/simulink 기반 검증 모델은 추후 주행제어로직 개발을 위한 도구로 활용도가 높을 것으로 예상된다.

후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0028680).

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2015-H8601-15-1005).

References

- 1) Agusman Partogi Ompusunggu, Paul Sas, Hendrik Van Brussel, "Modeling and simulation of the engagement dynamics of a wet friction clutch system subjected to degradation: An application to condition monitoring and prognostics", Mechatronics, 2013.
- 2) Vincent Lampaert, Farid Al-Bender, Jan Swevers, "A Generalized Maxwell-Slip Friction Model appropriate for Control Purposes, IEEE Physics and Control Proceedings. International Conference, 2003.
- 3) Jiwon J. Oh, Seibum B. Choi, Jinsung Kim, "Driveline modeling and estimation of individual clutch torque during gear shifts for dual clutch transmission", Mechatronics, 2014.
- 4) Thierry JANSSENS, "DYNAMIC CHARACTERISATION AND MODELLING OF DRY AND BOUNDARY LUBRICATED FRICTION FOR STABILISATION AND CONTROL PURPOSES", Ph.D. dissertation, KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN, 2012.
- 5) Josko Deur and Josko Petric, Jahan Asgari and Davor Hrovat, "Modeling of Wet Clutch Engagement Including a Thorough Experimental Validation", SAE Technical Paper 2005-04-11, 2005.
- 6) Chengwu Duan, Rajendra Singh, "Dynamics of a 3 dof torsional system with a dry friction controlled path", Journal of Sound and Vibration, 2006, pp. 657-688
- 7) EJ Berger, "Friction modeling for dynamic system simulation", ASME Appl Mech Rev vol 55, no 6, 2002, pp. 535-577
- 8) Hiromu HASHIMOTO, Sanae WADA and Yoshiaki MURAYAMA, "An Influence of Centrifugal Force on the Performance of Thermo-hydrodynamic Turbulent Thrust Bearings", Bulletin of JSME, Vol. 27, No. 228, June 1984

- 9) Yiqing Yuan, Eysion A. Liu, James Hill, Qian Zou, "An Improved Hydrodynamic Model for Open Wet Transmission Clutches, ASME Journal of Fluids Engineering, 2007.
- 10) Youhei Takagi, Yasunori Okano, Masatoshi Miyayaga and Nobuyuki Katayama, "Numerical and Physical Experiments on Drag Torque in a Wet Clutch", Japanese Society of Tribologists, pp. 242-248, 2012.
- 11) Venu Subramanyam, Vince Monkaba and Todd Alexander, "A Unique Approach to All-Wheel Drive Vehicle Dynamics Model Simulation and Correlation", SAE TECHNICAL PAPER 2000-01-3526.