

전기차 감속기 디스커넥터 치합 거동 특성에 대한 연구

정우현*¹⁾, 김주연²⁾

현대트랜시스^{1),2)}

A Study on the disconnect actuating system engagement behavior characteristics of electric vehicle reducer

Woohyeon Jeong*¹⁾ · Jooyeon Kim²⁾

^{1),2)} Drive System CAE Team, Hyundai Transys, 95 Hyundai-Ro, Namyang-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi-do 18280, Korea

Abstract : With the spread of electric vehicles, the market share of electric vehicles among global automobile sales is gradually increasing and it has continued to grow with a market share of 10% in 22. However, with the supply of electric vehicles, there are still problems to be solved, such as mileage problems depending on battery capacity, inconvenience in charging time and place, high vehicle prices compared to internal combustion engines due to battery prices, and uncertainties in subsidies. In the case of 4WD vehicles, there is driving stability due to road conditions and driving force distribution. Compared to internal combustion engines, electric vehicles have advantages such as spatial advantage and high output due to the application of two motors. Despite these advantages, 4WD electric vehicles need to improve efficiency due to their lower electricity ratio than 2WD. Among them, efficiency improvement through DAS application has been verified through various researches. Existing DAS simulations mainly focused on the simulation of vehicle perspectives using 1D simulation. In this research, a control simulator was developed to verify the behavioral characteristics during DAS engagement, and a multi-body dynamics analysis model was developed for precise verification of parts unit.

Key words : Disconnect Actuating System(연결 해제 장치), Disconnect (디스커넥터), Dog Clutch(도그 클러치), Multibody Dynamics(다물체 동역학), ADAMS(아담스)

Nomenclature

ω_d : differential drive gear angular velocity, rpm
 $\omega_{side.LH}$: differential side gear angular velocity, rpm
 $\omega_{side.RH}$: differential side gear angular velocity, rpm
 $T_{f.m}$: front motor torque, Nm
 $J_{f.m}$: moment of inertia of front wheel motor, kg.m²
 $I_{f.g}$: moment of inertia of front wheel gear set, kg.m²
 $I_{f.d}$: moment of inertia of differential gear, kg.m²

m_v : vehicle mass, kg
 R_t : tire dynamic radius, m
 $T_{r.m}$: rear motor torque, Nm
 T_{RL} : road load torque, Nm
 T_f : friction torque, Nm
 α : spline undercut angle, rad
 R_c : clutch radius, m

Subscripts

DAS : disconnect actuating system
 2WD : two wheel drive
 4WD : four wheel drive

* 정우현, E-mail: whjeong@hyundai-transys.com

1. 서론

전기차 보급에 따라 글로벌 자동차 판매량 중 전기차의 시장 점유율은 점진적으로 증가하고 있으며, 22년 10%수준의 점유율로 지속적인 성장을 이어오고 있다. 하지만 전기차 보급과 더불어 배터리 용량에 따른 주행거리 문제, 충전 시간 및 장소에 대한 불편함, 배터리 가격으로 인한 내연기관 대비 높은 차량 가격, 보조금 지급의 불확실성 등 여전히 해결해야 할 문제점이 산재되어있다.

4WD차량의 경우 일반적으로 알려져 있는 지면 상태 및 구동력 배분으로 인한 주행 안정성 외에 전기차에서는 내연기관 대비 공간적인 측면의 유리함, 2개의 모터 적용으로 인한 높은 출력 등의 장점을 가진다. 이러한 장점에도 불구하고 4WD 전동화 차량은 2WD대비 낮은 전비로 인하여 효율 향상이 필요하며, 이 중 DAS(Disconnect actuating system) 적용을 통한 효율 향상은 여러 연구를 통해 검증되어 왔다.¹⁾⁻³⁾

기존의 디스커넥터 관련 해석적 연구들은 1D 해석을 통한 차량 관점의 해석이 주를 이루었으며, 본 연구에서는 치합 시의 거동 특성을 구현하기 위한 제어 시뮬레이터 및 부품단위 정밀해석을 위한 다물체 동역학 해석모델을 개발하였다.

2. DAS 체결 거동 분석

디스커넥터 시스템은 2WD, 4WD 절환 시 도그클러치 형태의 기구를 통해 동력을 전달한다. 이 중 2WD 주행 상황에서 보조 구동륜의 모터, 감속기에 의해 발생하는 드래그 토크를 기계적으로 차단하여 전비를 향상시킨다. 디스커넥터 시스템은 주행 상황에 따라 구동계를 절환하며, 절환 시의 응답성 및 충격은 주행 성능에 반영된다.

2.1 DAS 회전 거동

디스커넥터 시스템의 구성은 Fig. 1 과 같다. 후륜의 주 구동 모터를 통해 차량의 동력은 전륜측에 전달되며, 한쪽의 드라이브 샤프트는 차동장치의 사이드 기어와 연결되어 있다. 전륜측의 보조 구동모터를 통해 차동 장치의 드라이브 기어로

동력이 전달되며, 베벨 타입의 기어에 의해 반대편의 사이드 기어로 합력이 전달된다. 이 때 디스커넥터와 연결된 Side Gear는 식 (1)과 같이 회전 거동한다.

$$\omega_d = \frac{1}{2}(\omega_{side.LH} + \omega_{side.RH}) \quad (1)$$

디스커넥터 시스템은 Fig. 2와 같이 클러치를 통하여 전륜측의 주 구동 모터와 후륜측의 보조 구동 모터를 동기화 하며, 4WD 절환 시 도그클러치 형식의 스플라인은 접촉의 형태로 전 후륜의 토크를 전달한다.

전륜측과 연결된 디스커넥터 클러치는 디퍼런셜 기어의 출력측과 연결되어 있으므로 전륜 모터 및 감속기와 일체화 시켜 검토할 수 있다. 따라서 전륜측 클러치의 운동 방정식은 식 (2)와 같다.

$$(J_{f.m} + J_{f.g} + J_{f.d})\dot{\omega}_{side.LH} = T_{f.m} \quad (2)$$

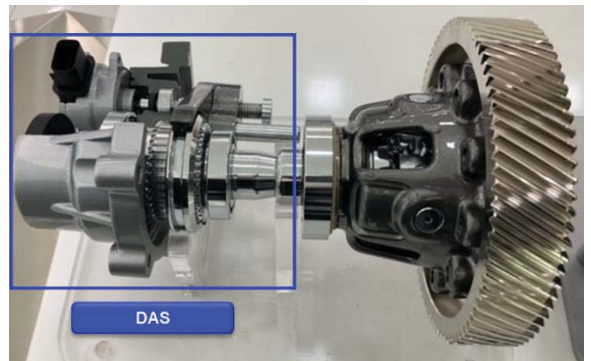


Fig. 1 DAS model

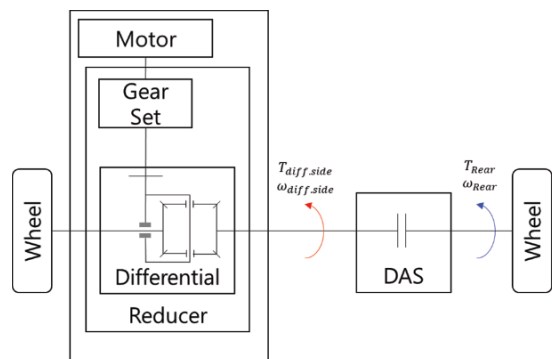


Fig. 2 Schematic diagram for dynamics modeling of DAS

차량 측과 직접적으로 연결된 디스커넥터 클러치는 후륜의 동력 및 차량의 주행저항으로 결정되며, 후륜측 클러치의 운동방정식은 식 (3)와 같다.

$$m_v \dot{\omega}_v / (2\pi R_t) = T_{r.m} - T_{RL} \quad (3)$$

2.2 도그 클러치 체결 구동

디스커넥터 시스템의 도그클러치는 절환 시 스플라인 치간 접촉에 의해 전 후륜의 토크가 상호적으로 전달되며, 후륜 모터에 의해 발생한 차량의 속도와 전륜 모터에 의해 발생한 디퍼런셜 기어의 속도의 상대량 및 액추에이터 작동력의 합력에 의해 거동의 차이를 발생시킨다.

보킹 시의 스플라인 접촉 거동은 Fig. 3과 같으며, 액추에이터 작동력의 함수로 마찰 모델을 고려할 수 있다.

$$T_f = \mu F_a R_c \quad (4)$$

체결 시의 접촉 거동은 보킹후 체결거동 혹은 즉시 체결 거동 두가지의 형태로 고려할 수 있다. 보킹 후 체결 거동은 식 (4)에 의해 전륜측과 후륜측의 회전속도가 마찰력에 의해 일정 부분 동기화 된 상태로 체결되며, 보킹량에 따라 회전속도 상대량의 차이로 인하여 축방향의 체결 거리의 차이를 발생시킨다. 스플라인 체결 시 벽면 접촉에 의해 클러치간 상대속도는 동기화 되며, 접촉 시의 액추에이터 작동력은 식 (5)와 같이 검토할 수 있다.⁴⁾

$$F_s = F_a - \mu(J_{f.m} + J_{f.g} + J_{f.d})\dot{\omega}_{side.LH} \cos \alpha / R_c \quad (2)$$

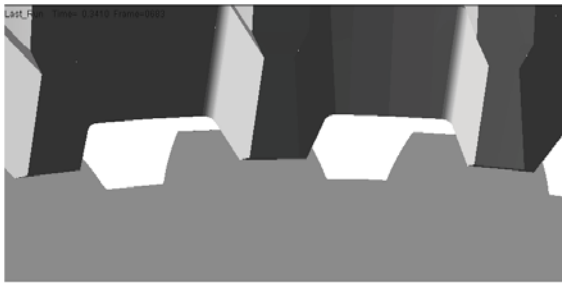


Fig. 3 Spline baulking behavior

2.3 DAS 해석모델 구성

디스커넥터 시스템의 동적 거동 특성 모델 개발을 위해 HEXAGON社의 ADAMS로 8자유도 시스템의 다물체 동역학 모델을 Fig. 4와 같이 구성하였다.

클러치 체결거동은 Fig. 5와 같이 보킹, 스플라인 벽면 접촉, 체결의 3가지 구간으로 나눌 수 있다. 보킹구간에서는 액추에이터 작용력에 의해 접촉력이 결정된다. 스플라인 접촉 시 상대 회전속도 및 전륜측의 관성에 의해 접촉력이 발생하며 체결 지연이 발생한다. 체결 구간에서는 클러치 상대속도에 따라 충격 토크는 선형적으로 증가한다. 또한 접촉 후 클러킹(Clunk) 거동이 발생하며 주기는 스플라인 치간 거리에 의해 결정된다.⁵⁾

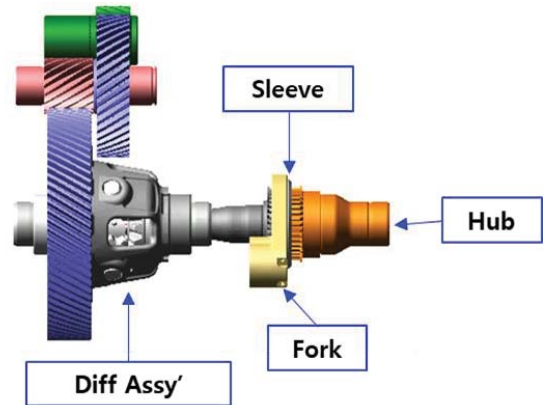


Fig. 4 DAS simulation model

클러치 접촉 시 보킹량에 따라 Fig. 6과 같이 체결 거동하며, 클러치 체결 응답속도는 보킹 시간만큼 지연된다. 스플라인의 치 상단부를 1, 치저부를 0이라는 펄스(Pulse)형태로 고려할 때 클러치 체결 시 스플라인의 접촉은 1-1의 보킹 거동, 1-0 혹은 0-1 직접 체결거동의 두가지 형태로 볼 수 있으며 이는 자동차 파킹시스템의 라쳇(ratchet)거동과 유사한 형태의 거동성을 가진다. 따라서 파킹시스템의 라쳇 거동 중 점프아웃 현상 및 파킹락 현상들은 디스커넥터 시스템에서도 발생할 수 있으며 이를 해석적으로 구현하였다. 보킹량이 작을 시 점점 치 상단부 접촉이 이루어지고 일정 보킹량 미확보 시 다음 치로 텅기는 라쳇팅 현상이 발생하게 된다. 또한 보킹 시 슬리브의 축방향 이동속도는 정지 후 증가하지만 보킹 없이 접촉할 시 슬리브는

축방향 속도를 유지하며 체결량이 증가하게 된다. 이때 접촉 충격에 의해 슬리브가 튀기며 다음 치로 이동하는 점프아웃 거동 혹은 즉시 체결되는 락킹(Locking)거동이 발생하게 된다.⁶⁾

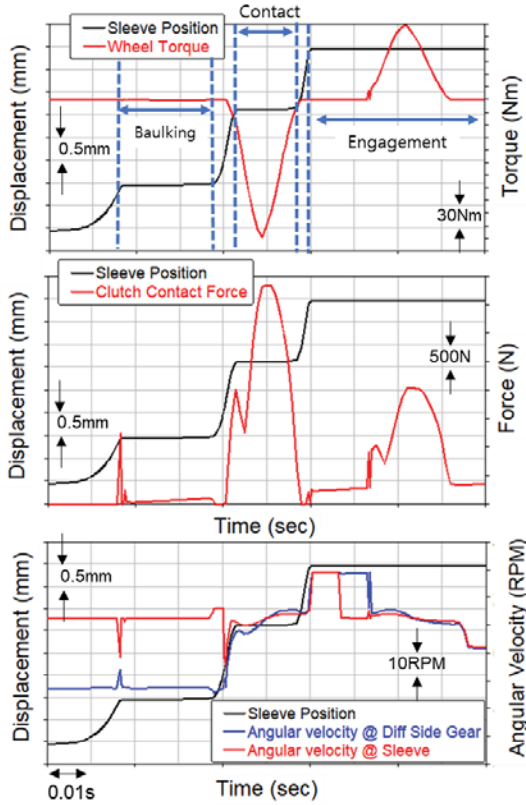


Fig. 5 DAS engagement behavior

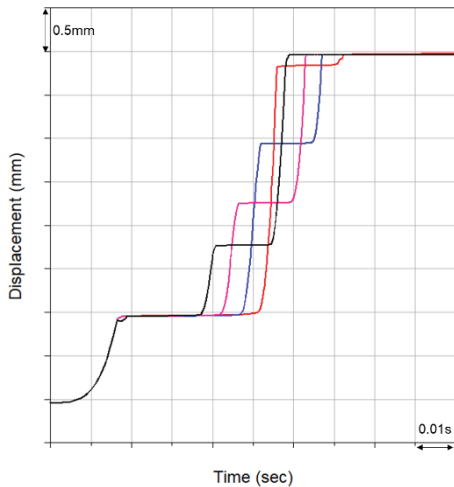


Fig. 6 Effect of baulking length on engagement behavior

2.3 시험을 통한 DAS 체결 거동 분석

해석결과 상의 거동 적합성을 판단하기 위해 시험을 수행하였으며, Fig. 7과 같이 다이내모미터를 이용하여 시험기를 구성하였다. 시험 조건은 출력 측 속도제어를 통해 해석 조건과 동일한 구속조건을 모사하였다.

시험 결과 DAS 체결 거동은 해석상의 보킹, 벽면 접촉, 체결의 3단계로 거동성을 추종하였다. 또한 상대 회전 속도를 변경하여 반복 시험을 진행하며 특정구간에서 체결 불가 현상형 반복되는 것을 확인하였으며, 이는 해당 회전속도 영역에서 앞서 언급한 스플라인의 치합 펄스가 1-0 혹은 0-1 형태의 거동을 하며 점프아웃이 발생하는 것으로 추정하였다.



Fig. 7 Dynamometer test

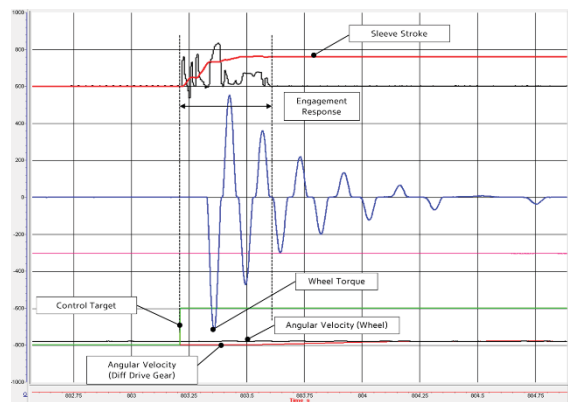


Fig. 8 Test result of DAS engagement

4. 결 론

DAS 체결 거동 분석을 위해 다물체 동역학 해석을 진행하였으며, 시험결과를 통해 거동의 정합성을 검증하였다.

- 1) DAS 체결 거동은 보킹, 스플라인 벽면 접촉, 체결 3단계로 검토할 수 있다.
- 2) 스플라인을 펄스(Pulse)형태로 고려할 때 클러치 체결 시 스플라인의 접촉은 1-1의 보킹 거동, 1-0 혹은 0-1 직접 체결거동의 두가지 형태로 볼 수 있으며, 자동차 파킹시스템의 라쳇 거동과 유사한 형태의 거동성을 가진다.
- 3) 보킹량에 따라 응답시간 및 체결 위치의 영향을 받으며, 보킹량이 일정수준 이하이거나 보킹이 없을 시 점프아웃 혹은 락킹 거동이 발생할 수 있다.
- 4) 다이ना모 시험을 통해 해석과 동일하게 3단계의 체결 거동을 확인하였고, 점프 아웃에 의한 체결 불가현상을 시험적으로 추정하였다.

References

- 1) Chanseok Park, Study on Efficient Increase by Dis-connector System of EV Gear box, KSAE Spring Conference, 855-858, 2020.
- 2) Moosuk Kim, A Study on Reduction of Differential Gear Whine Noise Caused by Application DAS in Electric Vehicle, KSAE Spring Conference, 799-805, 2022.
- 3) Hanbit Lee, Dis-Connector Control System of Drive System, KSAE Spring Conference, 1168-1169, 2020.
- 4) Gisbert Lechner, Automotive Transmission, Springer, 224-260, 1999.
- 5) Hanseung Lee, Study on the driveline clunk with Manual transmission, Automotive Transmission, KSAE Autumn Conference, 591-597, 2013.
- 6) Jooyeon Kim, A study on Improvement Verification Method of Locking Speed in Parking, KSAE Spring Conference, 67-73, 2022.