

차량용 변속기의 조향안전화 제어장치의 개발

송창섭*, 강서익**

Development of the Safety Steering System of Motor Vehicles Transmission

Song Chang-sub, Kang Seo-ik

Abstract

The operation of heavy tracked vehicle has the problems in the steering that made by misoperations. The protection device is applied to the vehicles. But that device has the engine stop and over load condition problems. The steering safety system is developed on the basis of clutch slip that proved the durability in the dynamo test and field test. The steering safety system caused the performance improvement of vehicles when steering.

Keywords : Transmission, Clutch, Torque, Vehicle

1. 서론

궤도차량은 변속기중 조향장치에 대한 성능이 매우 중요하다. 이는 야지주행차량으로서 궤도를 사용하여 조향해야 하므로 장륜차량과는 다른 특성을 갖게된다. 변속조향장치에는 조향시 걸리는 부하가 주행시 보다 약 20 배 이상 걸릴 수 있고 또한 궤도차량의 특성상 외부과부하 및 엔진전부하에 충분히 견딜 수 있어야 하고 조향시에는 운전성이 확보되어야 하므로 조향핸들과 궤도의 동특성, 조향각도간에 선형성이 있어야 조향운전성이 좋은 조향장치라 할 수 있다. 궤도차량은 야지에서의 고기동성이 특징으로서 가속성능 뿐만 아니라 조향성능이 매우 중요하다. 궤도차량의 조향은 장륜차량에 비해 크게 다음 3가지 다른 면을 갖고 있다.

첫째 조향시 장륜차량과 달리 스톱들을 더 주어야 한

다. 궤도차량의 경우 조향시 엔진의 동력이 조향부분과 주행부분으로 나누어지며 조향으로 인한 궤도의 마찰로 동력손실이 발생하기 때문이다.

둘째 궤도차량의 조향은 한쪽궤도의 조향력을 다른쪽 궤도에 전달하는 동력재생방식(Regenerative System)을 사용한다. 즉 외측궤도는 궤도의 진행방향으로 구동토크가 작동하나 내측궤도는 반대방향으로 제동토크가 작동하여 동력을 흡수한다.

셋째 제자리선회(Pivot)를 할 수 있다는 점이다. 이러한 차이점은 궤도를 사용하여 구동하는 차량은 일반 장륜차량의 조향방법과는 달리 좌우궤도의 속도차이를 발생시켜 궤도의 미끄러짐을 이용하여 조향하기 때문이다. 이를 미끄럼조향(SKID STEERING)이라 한다.^(1, 2, 3)

궤도차량 운용시 운전자의 오작동으로 조향클러치과손 사례가 빈번히 발생, 이를 방지하기 위하여 현재 엔진의

* 한양대학교 정밀기계공학과

** 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

연료를 차단하는 방안이 적용되고 있다. 이는 변속기의 부의 비교적 적은 설계변경 범위와 신속한 전달동력 차단능력을 갖고 있기 때문이다. 그러나 엔진정지에 의한 운용성의 저하로 궤도차량용 변속조향장치에 조향안전화 장치를 개발 장착하게 되었다. 이는 변속기 과부하를 기존의 토오크센서에 의한 방법보다 속도차로 판단하는 방식을 적용하여 엔진정지현상을 방지하고 조향장치외부에 무한부하가 작동시에도 과도토크를 판단하여 조향안전화 제어장치가 조향 클러치의 작동압력을 제거시켜 조향장치를 보호하는 일종의 안전장치이다.^(5, 6, 7)

본 논문에서는 조향안전화장치의 개발에 따른 동력계 및 차량시험과정과 입증과정에 대해 서술하였다.

2. 클러치의 작동토크

다관클러치의 작동 토크는 다음식으로 구할 수 있다.

$$T = \mu F \cdot R_m N$$

여기서, 유효반경 : $R_m = \frac{2(R_o^3 - R_i^3)}{3(R_o^2 - R_i^2)}$

F : 작동력, μ : 마찰계수, N : 클러치 갯수

그리고 클러치가 작동시 클러치의 에너지 흡수용량은 다음과 같다.

$$\dot{q}(t_i) = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{T(t_i) \cdot N(t_i)}{2mS \cdot J}$$

$$\dot{q}_{max} = \max[\dot{q}(t_i)]$$

$$q = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\dot{q}(t_i) + \dot{q}(t_{i+1})}{2} \cdot \Delta t$$

$$= \Delta t \left[\frac{1}{2}(\dot{q}(t_1) + 2\dot{q}(t_2) + \dots + \dot{q}(t_{n-1}) + \dot{q}(t_n)) \right]$$

여기서,

q : energy density

\dot{q}_{max} : max. power density

N(t) : output speed

S : surface area of friction plate

Δt : divided time

$\dot{q}(t)$: power density

T(t) : output torque

m : number of friction plate

J : mechanical equivalent of heat

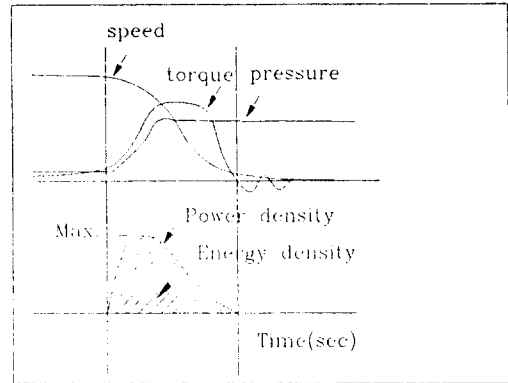


Fig 1. Energy Capacity of Steering Clutch

차량용 조향클러치의 경우 구조적인 면에서 다양한 외부조건에 의한 부하를 받고있다. 이는 과도한 작동상태에서 작용하고 있다는 것을 보여준다. 그러나 현재까지의 시험결과는 클러치의 내구성능은 미끄럼 속도, 작동압력, 미끄러짐시간과 관계가 없으며 에너지 흡수능력과 관계가 있음을 보여준다. 단 작동압력과 클러치 표면온도가 클러치 재료의 한계를 초과하지 않는 조건이다. 그러나 클러치의 에너지 흡수능능은 다양한 변수를 가지고 있다. 단 한번의 과도한 작동으로도 클러치의 파손을 가져올 수 있다. 본 변속기의 조향클러치의 최대용량은 3, 500 N.m의 토크까지만 견딜 수 있다. 그러나 최대토크이상의 부하가 작동시 클러치는 미끄러지면서 소착 및 소손을 일으키게된다. 그러나 미끄러지는 순간에 클러치에 작용하는 압력을 제거시 조향클러치의 소손을 방지하게되는 것이다. 이는 조향클러치에 미치는 순간적인 미끄러짐이 클러치 내구도에 미치는 영향을 고려하지 않은 것이다. 또한 현재까지 사용되고 있는 토오크센서를 이용한 토크측정이 상당히 어렵다. 그리고 차량에 장기적으로 부착하여 사용할 수 있는 토오크센서는 현재 신뢰성 측면에서 사용하기 어렵다. 따라서 조향장치에서의 토크측정을 이용한 조향압력제거는 사실상 적용불가하다. 조향안전화장치의 기본원리는 바로 조향장치의 전후회전수를 비교하여 클러치에 미끄럼이 발생시 나타나는 차이를 인식하여 그순간 조향압력을 제거하는 것이다. 여기에는 조향장치의 전후회전수의 차이를 어느정도 비교하는 것이 타당한 것인가는 추후 시험을 통하여 최적화작업을 추진하였다. 또한 단시간내에 클러치가 미끄러질 때의 흡수용량을 기준으로 차량의 운행기간동안 충분한 수명을 가지고 있는가는 과부하횟수를 추정하여 시험

하기로 하였으며 일단 동력계시험에서 2,000회 시험을 통하여 성능을 확인하였다.

3. 시험장치

3.1. 동력계 시험장치

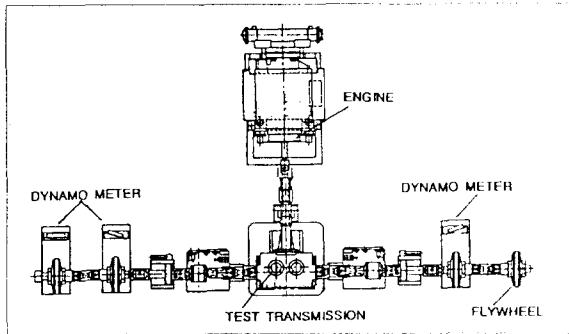


Fig 2. Test Facility of Dynamometer

동력계 시험장비는 Fig 2와 같으나 조향안전화장치 시험을 위하여 변속기 외부출력축을 고정하고 변속기 좌우 출력축(SUMMARIZING GEAR)의 구조를 변경하였으며 토오크 측정은 양측에서 측정하였다. 구조를 변경한 것은 토오크의 크기가 동력계의 용량을 넘어서기 때문이다.

3.2. 조향안전화장치의 작동조건

조향안전화장치의 설계개념은 외부과부하에 의해 조향클러치 미끄러짐이 발생시 조향압력을 제거하여 조향클러치의 손상을 방지하는 것으로 조향력이 극히 높은 저속 급조향시에만 작동하도록 설계 즉 변속기 외부과도부하가 걸려 조향클러치에 미끄러짐이 발생하고 차량속도가 6 KPH이하일 경우 1-2초내에 전자제어장치에 의해 조향클러치 작동압력을 제거하여 조향클러치를 보호한다. 조향클러치의 미끄러짐은 조향장치의 전후회전수를 감지하여 판단하되 그 기준은 5% - 25% 사이에서 결정되었으며 이유는 축진동(Torsional Vibration)에 의한 것이다. 즉 동력계에서는 장축이 사용되나 차량에서는 축이 짧기 때문에 판단기준량이 축소되는 것이다.

6 KPH조건은 조향과 제동을 동시에 작동하고 조향반경이 차량궤도폭의 1/2이하 일때 조향클러치에 소손이

발생할 가능성이 크다. 이것을 감지할 수 있는 가능한 방법은 차량속도 약 6KPH 이하일 때의 범위로 판단하는 것이 현재 타당하다. 550 RPM이하 작동조건은 중궤도차량용 변속조향장치의 구조상 기계식으로 조향 및 제동시 지형조건에 따라 궤도가 고정될 경우 전부하시 조향클러치가 과손되거나 무부하시 엔진정지를 시스템적으로 발생할 수 있다. 이 때 엔진의 속도를 감지하여 550 RPM이하시에 조향안전화장치 작동시키도록 하였다. 중립상태에서 2.5초 지속시 작동조건은 앞에서 서술한 바와 같이 변속기 구조상 중립조향을 일으키면 시스템적으로 조향클러치 및 주축에 과도부하에 의한 과손가능성이 크므로 채택하였다.

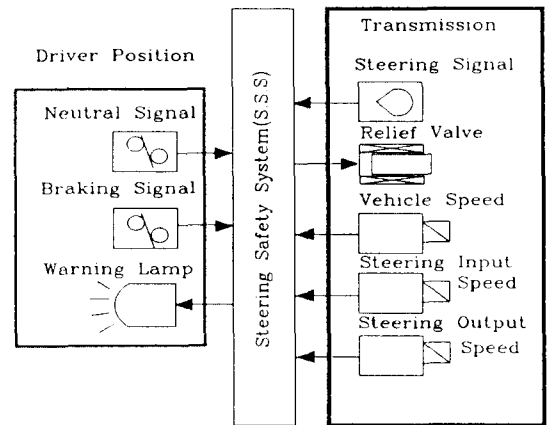


Fig 3. Sensor and Controller of Safety Steering System

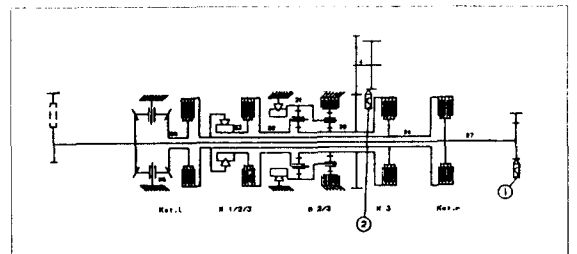


Fig 4. Speed Sensor Position of Steering Input, Output
* ① 조향출력 속도센서, ② 조향입력 속도센서, Kst.l, K1/2/3, B2/3 : 조향클러치

3.3. 조향안전화장치의 설치부위

조향안전화장치의 핵심부품인 압력제거밸브는 Fig 5의 ㉠이며 조향장치의 공급경로에 설치되어 슐레노이드 밸브에 의해 작동된다. 조향클러치의 미끄러짐을 판단하기 위한 속도센서는 Fig 4에서와 같이 조향장치 전후에 설치된다.

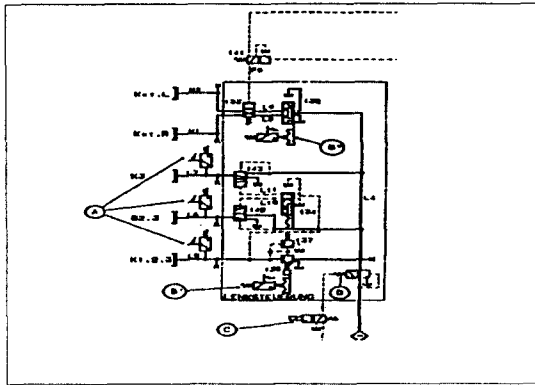


Fig 5. Structure of Hydraulic System

* ㉠ 조향압력 밸브, ㉡ 중립 밸브, ㉢ 조향압력 해제 밸브

4. 시험결과 검토

4.1. 동력계 개발시험결과

개발시험은 Fig 6에서 보는 바와 같이 5회시험 후 2분 냉각하는 주기로 2000회 시험을 실시하였다. 5회 연속작동시 클러치의 온도는 145°C 까지 상승하고 있으며 클러치의 미끄러짐 토크도 감소하는 경향을 보이고 있다. 조향 클러치의 최대 미끄러짐 토크는 3,500 N.M로 시험결과 나타나 있다. 클러치온도가 5회이상 미끄러질 때는 온도상승이 145°C 이상으로 되므로 소착 가능성이 크다. 따라서 조향안전화장치에는 이 조건에 대한 알고리즘이 포함되어 있다. 즉 12초 이내에 5회이상 작동시 2분 후 작동하도록 되어 있다.

4.2. 차량시험결과

주차, 상용제동신호 발생시 조향안전화장치 작동조건에 따라 조건이 만족되면 조향안전화 장치는 즉시 작동하였다. 엔진속도가 550 RPM 이하시에 조향클러치에 작동하는 압력을 제거하여 엔진정지를 방지하였다. 조향

안전화장치의 주요기능인 조향클러치 미끄러짐 발생시 속도차가 발생하여 5%이상(최종결과 15%) 차이가 날 때 즉시 조향안전화장치가 작동함을 알 수 있다.(Fig 7 참조) 조향압력제거 밸브는 시간차에 의해 지연되어 작동됨을 알 수 있다. 중립신호발생시 즉 기어조정기의 중립신호발생시 2.5초 경과후 조향안전화장치가 작동한다. 조향안전화장치 작동시 조향압력이 불안정할 때 압력센서의 변화에 의한 조향신호는 매우 불안한 현상을 보인다.

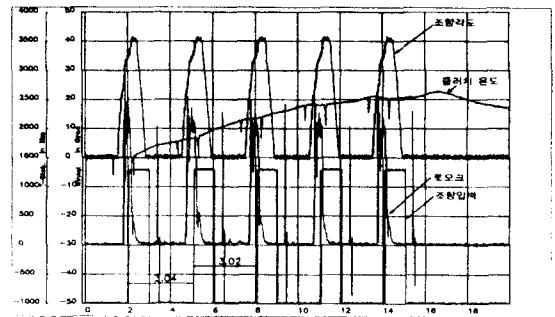


Fig 6. Test Result of Dynamo

차량이 조향출발시 조향작동 불능현상은 출발시 급조향 및 가속시 조향불능이 간헐적으로 발생하였으며 조향작동 불능시 조향핸들을 원위치로 복귀후 재시도시에는 조향이 정상작동되었으며 조향작동이 불능시에는 조향안전화장치 경고등이 점등되고 차속도 8KPH 이상에서는 무조건 정상화되었다. 이는 정상적으로 조향안전화장치가 작동되지 않아야하는 상황을 전자제어장치가 조향클러치 미끄러짐으로 판단하여 작동시키는 것으로 조향입출력 속도를 감지하고 조향상태를 감지하는 스위치류는 전기/전자적으로 작동하나 조향클러치의 작동은 유압으로 작동하므로 속도차가 발생하여 이를 보상하기위한 입출력속도 비교시간을 두고 연속적인 미끄러짐이 감지될 때 미끄러짐을 판단하게 되는데 이러한 시간차는 지연조건과 조향핸들 작동속도에 따라 차이가 있으며 조향시 조향장치의 압력이 형성되면서 조향단수를 결정하게 되는데 이때 급조향시 노면조건에 따라 조향단수 신호지연시 조향속도가 발생한 것으로 판단되어 이를 위해 조향안전화장치 프로그램의 민감도를 변경하여 시험한 결과 발생하지 않았다.

4.3. 조향클러치 내구성 시험결과

조향안전화장치의 설계변경시에는 조향장치의 내구성 및 신뢰성시험이 요구되나 실차를 대상으로 시험시 시험기간 및 시험조건, 시험비용 측면에서 합리적인 방안이 요구된다. 따라서 차량에 측정기(Counter)를 설치하여 측정된 결과를 이용하여 조향과부하에 대한 추정횟수를 내구도기준을 근거로 산정하여 시험하면 신뢰성을 만족하는 것으로 판단하여 시험을 실시하였다.

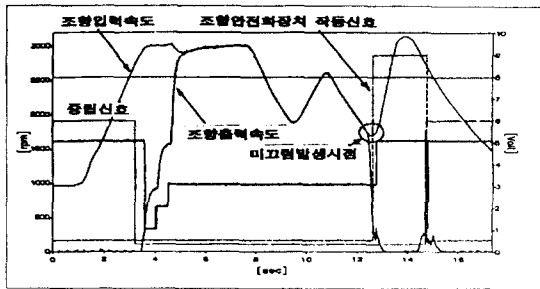


Fig 7. Result of Vehicle Test

기존의 차량에 장착되어 있는 측정기(Counter)에 의해 측정된 작동횟수 대 주행거리의 자료를 이용하여 통계치를 계산하면 최저치 218회, 최고치 1051회가 계산된다.(Fig 8. 참조) 따라서 약간의 오차를 고려하면 내구도 9,600 KM를 주행한다고 가정했을 때의 과도부하 산정횟수는 1,100회가 타당한 것으로 판단된다.

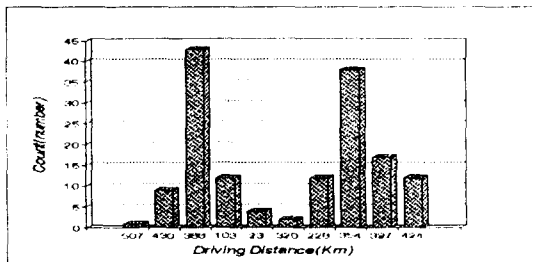


Fig 8. Measured Number of Field Operation

과도부하 산정횟수 1,100회를 과도부하 각 조건에 따라 실시한 후 분해한 결과 좌안정 클러치(Kst.l, 내측 5개 외측 6개)는 변형 및 열변색되었으며 측정결과 내측

0.26mm와 0.28mm의 변형이 발생하였다. 조향1단 클러치(K1/2/3)와 조향2단 클러치(Br2/3)는 내외측 23개 모두 양호하였다. 조향3단 클러치(K3)는 내측 5개 외측 6개중 내측 클러치에 0.28mm 및 열변색이 발생하였다. 우안정클러치(Kst.r)은 내측 5개 외측 6개가 변형 및 열변색이 발생하였으며 내측클러치에 0.26mm의 변형이 발생하였다. 이는 분해결과 일부 클러치는 사용불가하나 나머지 클러치는 재사용가능한 것으로 판정되었다. 기준은 열변색은 허용불가로 폐기하며 변형허용량은 0.2mm이다. 그러나 분해전 실시한 차량시험에서는 최소화전반경 및 실차 조향성능시험에서 합격수준에 있었으며 기타 다른 부품에는 이상이 없었으나 조향클러치의 사용가부판정은 현단계에서 조향클러치의 에너지 흡수용량에 대한 피로곡선에 대한 시험자료가 없어 판단하기 곤란한 실정이다.(클러치 분해사진 Fig 9, 10, 11참조)



Fig 9. Breakdown of Stabilizer Clutch



Fig 10. Breakdown of 1st Steering Clutch



Fig 11. Breakdown of 2nd Steering Clutch

5. 결 론

가. 조향클러치의 미끄럼에대한 판단기준은 동력계시험에서의 25%에서 차량시험결과 15%로 최적화 되었다.

나. 조향안전화장치의 개발시험결과 설계목표인 엔진정지 현상방지 및 외부조향과부하시 조향클러치 보호성능을 만족하는 것으로 판단된다.

다. 9,600 Km 상당횡수 시험 후 조향클러치 분해확인 결과 양호하였으며 조향안전화장치를 차량적용시 내구성을 충분히 만족할 것으로 판단된다.

라. 조향클러치의 에너지 흡수용량에 대한 피로곡선에 대한 시험이 추후 필요하다.

참고문헌

- (1) Watanabe, Kitano, "Study on Steerability of Articulated Tracked Vehicles, "Journal of Terramechanics", 1986
- (2) Kitano, Jyozaki, "A Theoretical Analysis of Steerability of Tracked Vehicles, "Journal of Terramechanics", 1976
- (3) W steeds, "Tracked Vehicles", Automobile Engineer, p 143(1950)
- (4) K.R.Weiss, "Skid Steering", Automobile Engineer, p 22(1971)
- (5) M.G. Bekker, "The Theory of Land Locomotion", The University of Michigan Press, 1963
- (6) Kitano, Kuma", "An Analysis of Horizontal Plane Motion of Tracked Vehicles", Journal of Terramechanics, 1977, p 211-225
- (7) St. Pott, "The Turning Resistance of Tracked Vehicles- Adams Simulation Compared to Field Measurements and Analytical Models"
- (8) Kar, "Prediction of Track Forces in Skid-steering of Military Tracked Vehicles", Journal of Terramechanics", 1987, p 75-86
- (9) J. Hock, "Steering Gears for Tracked Vehicles", ZF Technical Paper
- (10) M.G.Bekker, "Theory of Land Locomotion", 1955
- (11) Wong, "Theory of Ground Vehicles", 1978