

등속조인트에서 발생하는 축력 측정장치 개발 및 검증

이광희 · 이득원 · 이철희* · 윤혁채* · 조원오*

인하대학교 기계공학과
*장암칼스(주)

Development and Verification of Measuring Tester for Generated Axial Force at Constant Velocity Joints

Kwang-Hee Lee, Deuk-Won Lee, Chul-Hee Lee[†], Hyuk-Chae Yun* and Won-Oh Cho*

Dept. of Mechanical Engineering, Inha University

*R&D Center, CALS Co.Ltd.

(Received August 15, 2012; Revised September 28, 2012; Accepted October 4, 2012)

Abstract – Generated Axial Force (GAF) due to internal friction at Constant Velocity (CV) joints is one of the causes generating vibration problems such as shudder in vehicle. In this study, the GAF measuring tester is developed to precisely measure GAF caused by internal friction in CV joints. As the developed tester can control temperature at joint, driving torque, angle of rotation and joint angles, actual driving conditions such as sudden acceleration can be applied to the machine. GAFs are measured and compared by using different types of grease in tripod housing. Also GAFs are measured for both new and used CV joints to be compared and analyzed. The test result shows the repeatability and consistency of the tester in terms of the different test conditions. By using the developed CV joint tester, friction performance of the joint can be evaluated by proposing the best CV joints as well as greases generating the lowest GAF.

Keywords – CV joints(등속조인트), generated axial force(축력), friction(마찰), shudder(서더), vibration(진동)

1. 서 론

파워 트레인(power train) 시스템은 엔진에서 발생하는 동력을 변속기를 통하여 차량의 바퀴까지 전달하는 역할을 하며, 등속조인트(constant velocity joint)는 파워 트레인을 구성하는 중요 부품 중 하나이다. 등속조인트는 리지드 리어 액슬(rigid rear axle)을 사용하는 트럭이나 픽업을 제외한 전륜 차량의 구동축(driveshaft)에 사용되며 등속으로 토크를 전달하는 역할을 한다. 외부 등속조인트는 고정형 조인트(fixed joint)이며 내부는 플런지형 조인트(plunge joint)으로 이루어져 있다.

고정형 조인트는 등속조인트의 관절각 변화를 가능하게 하며, 플런지형 조인트는 차량이 장애물을 통과하는 경우와 같은 상황에서 발생할 수 있는 구동축의 길이 변화를 가능하게 한다. 플런지형 조인트 종류 중 하나인 트라이포드(tripod) 등속 조인트의 경우 조인트의 기하학적 구조에 따른 마찰로 인해 내부에 축력(generated axial force, GAF)이 발생한다. 특히 트라이포드 등속 조인트에서 발생하는 축력의 경우 차량의 서더(shudder) 현상의 원인이 된다[1-3]. 서더 현상이란 차량이 저단에서 급가속 시 발생하는 횡방향 진동으로 차량의 진동 성능 및 운전자의 승차감 저하의 원인이 된다. 서더에 의한 차량 진동을 향상 시키기 위해서는 등속 조인트 내부의 마찰력을 감소시켜 발생하는 축력을 최소화 하는 것이 필요하다. 등속조인트 내부 마찰 특성 분석 및

[†]Corresponding Author: chulhee@inha.ac.kr

© 이 논문은 한국윤활학회 2012년도 추계 학술대회 (2012.10.17~19. 제주) 발표논문임.

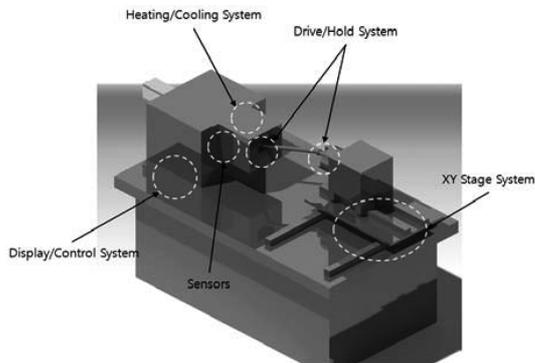


Fig. 1. Schematic diagram of developed non-rotating type GAF measurement tester.

마찰을 고려한 접촉 연구 등에 대한 많은 연구가 국내외적으로 진행되고 있다[4-8]. 하지만 이러한 축력을 측정할 수 있는 장비 개발은 국내에서 아주 미흡한 실정이다. 대부분의 축력 측정 장비는 해외에서 수입하고 있으며 회전형 장비의 형태로 이루어져 있다. 따라서 본 연구는 셔더 현상을 고려하여 축력을 정밀하게 측정할 수 있는 비회전형 축력 측정 장비를 개발하고 검증하는 것을 목적으로 한다.

2. 시험장비개발

2-1. 축력 측정장비 구성

개발된 축력측정장비는 기존 회전대구 시험기와 다르게 비회전형 형태이며 다양한 주행 조건을 고려할 수 있도록 설계 및 제작되었다. 차량이 저단에서 급출발 하는 경우 셔더 현상이 발생하므로 이를 고려하기 위해 비회전형으로 설계되었다. 따라서 기존 회전형 대구 시험기와 같이 주행중에 발생하는 등속조인트 내부 축력은 측정이 불가능하지만 셔더 현상을 일으키는 조건(준정적, quasi-static)에서의 축력을 보다 정확히 측정할 수 있다. 개발된 장치는 크게 다섯 부분으로 구성되어 있으며 Fig. 1을 통해 보다 자세하게 확인할 수 있다.

실제 차량에서 발생 가능한 다양한 조건을 적용할 수 있도록 개발되었으며, 온도조절, 조인트 관절각 변화, 부하 토크 조절이 가능하다. 전자식 열풍기와 공기냉각 장치를 통해 조인트 내부 그리스의 온도를 변화시킬 수 있다. 그리스는 온도의 영향에 따라 특성이 변하며 이는 내부 마찰계수 변화를 통해 축력에 영향을 미칠 수 있다. 온도는 실시간으로 측정되며 0~130°C

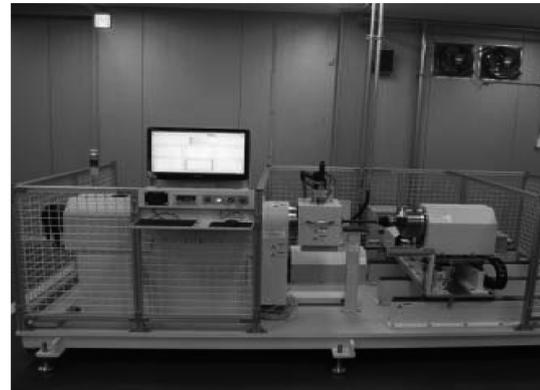


Fig. 2. The photographic image of the developed GAF measurement tester.

Table 1. The specification of the developed GAF measurement tester

Control parameter	Range
Torque (Nm)	1000(max)
Sliding stroke (mm)	10
Sliding velocity (mm/s)	5~10
Inner chamber temp. (°C)	0~130
Driveshaft length (m)	400~1000
Rotating angle (deg)	1~360
Articulation angle (deg)	0~20

내에서 설정할 수 있다. 또한 XY 스테이지 시스템을 통해 등속 조인트의 관절각을 0~15° 범위 내에서 조절이 가능하며 축방향 이동도 최대 10 mm 이내에서 설정이 가능하다. 차량이 정지 상태에서 급가속하는 경우 차량의 피치 움직임이 발생하므로 현가장치의 기구학적 특성으로 인해 구동축의 길이 변화가 순간적으로 일어날 수 있으므로 이를 고려하여 축방향 이동 거리 및 속도 제어가 가능하다. 축력을 측정하기 위해 다양한 센서를 사용한다. 등속조인트 온도를 측정할 수 있는 온도센서, 부하된 토크를 측정할 수 있는 토크 센서, 토크 발생 시 3축(X,Y,Z) 방향으로 발생하는 힘을 측정할 수 있는 3축 힘 센서가 장비에 장착되어 있다. 또한 제어 및 계측 시스템을 통해 센서를 통해 측정된 데이터를 실시간으로 측정 및 저장할 수 있으며 온도 조건, 조인트 관절각 조건 등을 자동으로 설정할 수 있다. 실제 개발된 비회전형 축력 측정장비는 위의 Fig. 2에서 확인할 수 있다.

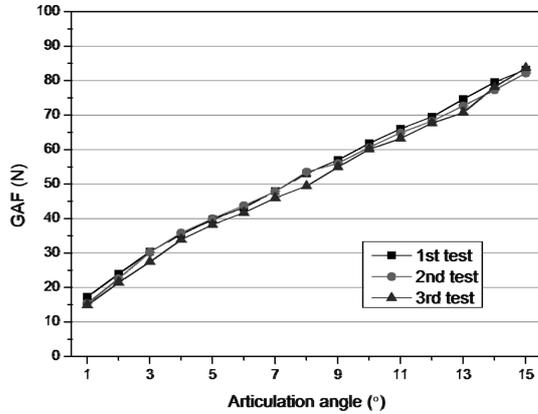


Fig. 3. Repetitiveness GAF measurement test results.

기존 회전형 내구 시험기에 비해 상대적으로 크기가 작으며 기존 시험기에서 측정 불가능한 서터를 고려한 준정적 상태에서 축력 측정이 가능하다. 또한 제어 시스템 및 하드웨어 모두 국내 기술을 바탕으로 개발되었다. 개발된 비회전형 축력 측정장비의 상세한 설정 사양은 아래 Table 1에서 확인할 수 있다.

2-2. 실험 및 검증

개발된 축력 측정장비의 신뢰성을 검증하기 위해 축력 측정 시험을 수행하고 기존 회전내구성 시험기에서의 시험 결과와 비교하였다. 또한 개발된 장비를 통해 축력을 반복적으로 측정하여 신뢰성을 검증하였다. 실험을 위해 등속 조인트의 한쪽을 고정하고 관절각을 변화시키면서 각 관절각마다 20°씩 구동축을 회전시키며 내부 축력을 측정하였다. 모든 실험은 자동으로 수행되며 반복성 테스트를 통해 측정된 축력은 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

개발된 비회전형 축력측정장비의 축력 측정 시험 조건은 다음과 같다. 축력 측정을 위하여 부하 토크는 300 Nm로 설정하였다. 관절각 0°에서 초기 설정을 완료한 후, 관절각을 1~15°까지 변경하며 총 3번 축력을 반복적으로 측정하였다. 측정된 축력은 모두 비슷한 경향을 보이며 측정된 축력 사이의 최대 오차 또한 5% 이내인 것을 확인할 수 있다. 따라서 개발된 축력측정장비의 반복성에 대한 신뢰성을 확인할 수 있다.

기존 회전형 시험기와의 축력 비교를 통해 개발된 축력 측정장비의 신뢰성을 검증하였다. 기존 회전형 시험기와의 축력 비교 결과는 Fig. 4에서 확인할 수 있다. 축력 측정에 사용된 등속조인트는 사용되지 않은 새 제

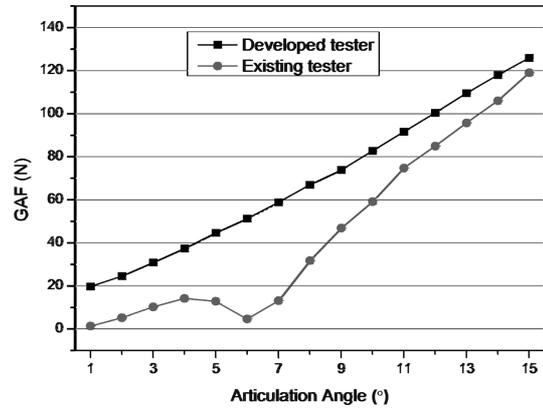


Fig. 4. Comparison of measured GAF results before durability test.

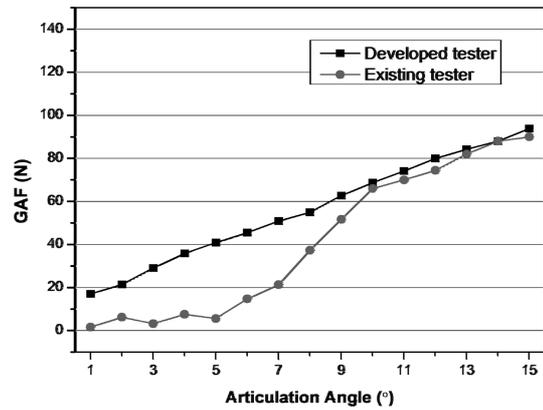


Fig. 5. Comparison of measured GAF results after durability test.

품으로 초기 제품에 대한 축력을 나타낸다. 기존 회전형 시험기의 경우 관절각이 4~8°를 제외한 구간에서 비교적 선형의 결과를 보여준다. 개발된 비회전형 측정장비의 경우 전 구간에서 선형화된 결과를 나타내며 비회전형 시험기에서의 축력과 비교하여 처음과 끝이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 비회전형 시험기로 축력을 측정했을 경우 나타나는 비선형 구간의 경우 회전하는 경우 발생하는 진동 혹은 등속 조인트의 형상 오차에 의해 발생하는 것으로 추측 된다.

Fig. 4에서는 내구 테스트를 거치지 않은 구동축과 등속 조인트의 축력을 측정된 결과이다. 차량이 일정 거리 이상을 주행한 경우 등속 조인트 내부 마찰계수가 안정화되기에 이를 고려하여 내구 테스트를 수행한 등속 조인트에 발생하는 축력을 측정하였다. 비회전형

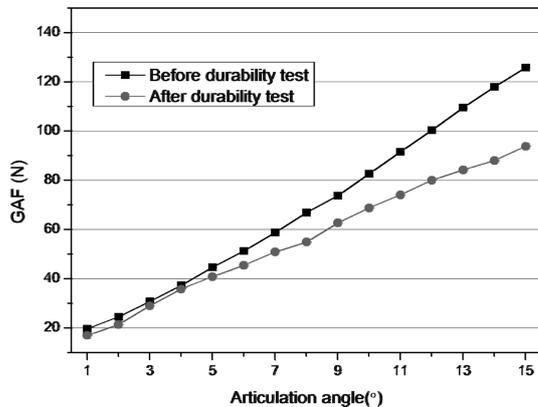


Fig. 5. Result of measured GAF before/after durability test.

시험기에서 측정된 축력과 비교 자료는 Fig. 5에서 확인할 수 있다. 앞선 시험과 마찬가지로 회전형 시험기로 축력을 측정했을 경우 비교적 동일한 비선형 구간이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 비회전형 축력측정장비의 경우에는 축력이 선형으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 초기 축력은 모두 비슷하지만 관절각이 증가할수록 축력 증가량이 상대적으로 작은 것을 호기할 수 있다. 최종적으로 관절각 15°에서는 내구 테스트를 수행한 이후 축력이 약 25% 정도 감소한 것을 확인할 수 있다. 내구 테스트에 따라 축력이 감소되는 것은 Fig. 6에서 확인할 수 있다. 관절각 5°까지는 내구에 상관없이 비슷한 축력을 보이지만 각도가 증가할수록 내구 테스트를 거친 경우 상대적으로 더 낮은 축력이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 차량 주행 거리가 적은 상태에서는 서더에 의한 차량 진동이 더 크게 나타날 것으로 예상된다.

개발한 비회전형 축력 측정장비로 축력을 측정할 경우 기존 회전형 시험기로 측정된 축력과 차이가 나는 구간이 존재하지만 처음과 끝은 큰 오차 없이 일치하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 다양한 조건에 따른 축력을 선형적으로 보다 쉽게 예측 가능하다. 또한 개발된 축력 측정장비의 경우 상대적으로 가격이 저렴하고 크기가 작으므로 오차를 고려한다 하더라도 기존 회전형 시험기와 비교하여 경쟁력이 있을 것으로 생각된다.

3. 결 론

본 연구는 등속 조인트 종류 중 하나인 플린지형 조인트 내부에서 내부 마찰에 의해 발생하는 축력을 보다

정확하게 측정할 수 있는 축력 측정장비를 개발하고 검증하는 것을 목적으로 한다. 차량의 변속기에 연결되어 동력을 등속으로 전달하는 등속 조인트의 경우 내부 마찰에 의해 축력이 발생하고 이는 차량의 서더 현상을 발생시켜 차량의 진동성능 및 운전자의 승차감 저하를 나타낸다. 따라서 개발된 축력 측정장비를 통해 다양한 조건에서 발생하는 축력을 정확하게 측정하는 것이 무엇보다 중요하다. 개발된 축력 측정장비는 서더 현상이 발생하는 저단에서의 급가속 조건을 고려하여 개발된 장비이며 기존 회전형 시험기와 축력 측정 비교를 통해 장비의 신뢰성 및 성능을 검증하였다. 개발된 장비의 반복성을 검증하기 위해 동일 조건에서 축력을 반복적으로 측정하였고 총 3번의 축력측정결과 모두 5% 이내의 오차 범위에서 비슷한 경향을 보이는 것을 확인하였다. 또한 회전형 시험기와 개발된 장비에서 축력을 측정하고 결과를 비교하였다. 회전형 시험기의 경우 축력이 비선형적으로 나타나는 구간이 존재하며 그 구간에서 상대적으로 비회전형 장비를 통해 측정된 축력과 큰 값 차이를 보였다. 하지만 처음과 마지막에 측정된 축력은 비슷한 결과값을 나타내므로 개발된 비회전형 축력 측정장비의 경우도 정확한 축력 측정이 가능한 것을 확인할 수 있다. 내구 시험이 등속조인트 내부 마찰에 영향을 미칠 수 있으므로 내구 테스트 전과 후 모두 두 장비에서 축력을 측정하였으며 모두 비슷한 결과를 얻었다. 개발된 축력 측정장비의 경우 축력이 선형적으로 나타나므로 다양한 환경에서 축력을 측정할 시 보다 쉽게 축력 예측이 가능할 것으로 생각된다. 또한 서더와 같은 차량 진동은 높은 축력이 발생할 때 크게 나타나므로 높은 관절각에서 기존 시험기와 비슷한 결과를 보이므로 서더를 고려한 축력 측정장비는 축력측정에 있어 충분한 신뢰성을 보인다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구 결과입니다. 또한 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력 과정 지원 사업의 연구 결과로 수행되었습니다. (NIPA-2012-H0401-12-1007)

참고문헌

1. Lee, C.H., "A Phenomenological Friction Model of

- Tripod Constant Velocity (CV) Joints,” *Tribology International*, Vol. 43, pp. 844-858, 2010.
2. Oh, S.T., “A Study on the Vehicle Shudder Associated with Axial Force or Tripod Joint for Automobile,” *Transaction of KSAE*, Vol. 5, No. 6, pp.53-63, 1997.
 3. 사종성, 신양현, 김태원, 김찬목, “등속조인트 방식에 따른 공회전 진동특성 연구,” *Transaction of KSAE*, 제5권, 제6권, pp. 183-190, 2008.
 4. Watanabe, K., Kawakatsu, T., and Nakao, S., “Kinematics and Static Analysis of Tripod Constant Velocity Joint of the Spherical End Spider Type,” *Journal of Mechanical Design by ASME*, Vol. 127, pp. 1137-1144, 2005.
 5. Lee, C.H. and Polycarpou, A., “Assessment of Elliptical Conformal Hertz Analysis Applied to Constant Velocity Joints,” *Journal of Tribology*, Vol. 132, No. 2, pp. 024501-024503, 2010.
 6. Mariot, J.P., Knevez, J.Y, and Barbedette, B., “Tripod and Ball Joint Automotive Transmission Kinematic Model Including Friction,” *Multibody System Dynamics*, Vol. 11, No. 2, pp. 127-145, 2004.
 7. Urbinati, F. and Pennestri, E., “Kinematic and Dynamic Analysis of the Tripod Joint,” *Multibody System Dynamics*, Vol. 2, pp. 355-367, 1998.
 8. 송명익, 임영훈, 조희제, 배대성, “트라이포드 타입 등속조인트의 다물체 동역학 해석,” *Transaction of KSAE*, 제18권, 제1호, pp. 1-7, 2010.