

등속조인트 방식에 따른 공회전 진동특성 연구

사 종 성¹⁾ · 신 양 현²⁾ · 강 태 원³⁾ · 김 찬 목³⁾

서일대학 자동차과¹⁾ · 자동차부품산업혁신센터²⁾ · 국민대학교 기계자동차공학부³⁾

A Study on the Characteristics of Idle Vibration due to the Type of Constant Velocity Joints

Jongsung Sa^{*1)} · Yanghyun Shin²⁾ · Taewon Kang³⁾ · Chanmook Kim³⁾

¹⁾Department of Automotive Engineering, Seoil College, Seoul 131-702, Korea

²⁾Jeonbuk Automotive Parts Industry Innovation Center, 1641-4 Soryong-dong, Gunsan-si, Jeonbuk 573-882, Korea

³⁾School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received 18 September 2007 / Accepted 31 October 2007)

Abstract : This paper deals with the characteristics of idle vibration due to the type of constant velocity joints. Based on the kinematics model of constant velocity joints, a offset between the tripod center and tullip center plays a important role in generating unwelcome forces. Moreover, it induced additional forces in lateral direction of a vehicle movement according to the angle of the spider in idle vibration. The difference of mass for each constant velocity joint types affect the natural frequency of the driveshaft and the powertrain. When the static torque is applied to the constant velocity joints, the natural frequencies of the driveshaft are reduced nearby 50Hz. There will be a big opportunity that the dirveshaft and constant velocity joints would be a transfer path of idle vibration at D or R gear range. Experiments indicate that TJ type is better than SFJ and DOJ in idle vibration.

Key words : Constant velocity joint(등속조인트), Idle vibration(공회전 진동), DOJ(double offset joint), TJ(tripod joint), SFJ(shudderless free-ring joint), Offset(오프셋)

1. 서 론

전륜구동차량에 사용되는 구동축(drive shaft 또는 half shaft)은 엔진과 변속장치에서 생성·변환된 구동력을 구동바퀴로 전달시켜주는 역할을 수행한다. 동시에 조향(steering)과정을 포함하여 도로의 노면조건으로 인하여 구동축의 각도변화와 길이방향의 변위가 발생하더라도 원활하게 구동력이 전달되어야만 한다. 이러한 구동축의 요구조건을 만족시키는 핵심부품이 바로 등속조인트(constant velocity joint, CVJ)라 할 수 있다.

구동축에 의한 차량의 진동소음현상으로는 공회전에서 발생하는 차체진동과 소음현상, 그리고 비교적 급격한 출발과정에서 발생하는 횡 방향의 차체진동인 셔더(shudder)현상이 가장 대표적이라 할 수 있다. 그 외에도 주행 시 구동축과 엔진의 회전성분이 서로 접근할 때 발생하는 비트(beat)현상과 구동축 자체의 굽힘현상으로 인한 부밍소음 booming noise) 등이 드물게 발생할 수 있다. 이러한 진동소음현상을 극복할 수 있는 등속조인트를 개발하기 위한 연구는 마찰력에 관한 해석이 핵심을 이루고 있다. 구동축과 등속조인트에 대한 선행연구 중에는 트라이포드 조인트(tripod joint, 이하 TJ) 내부 부

*Corresponding author, E-mail: jshistory@seoil.ac.kr

품인 튜립(tulip)의 반경, 튜립과 롤러(roller) 간의 작용력에 대한 해석수식을 유도하고 내부 마찰을 고려하여 서더 진동현상을 모사한 연구^{1,2)}가 있으며, ADAMS를 이용하여 Double Offset Joint(이하 DOJ) 내부 부품 간의 접촉력에 대한 해석사례가 있다.³⁾ 또한 등속조인트의 축력(axial force)과 서더현상에 대한 연구^{4,6)}와 부밍소음을 저감시키기 위한 중공축⁷⁾ 및 구동축의 강도설계에 대한 연구⁸⁾가 진행된 바 있다.

이러한 연구들은 등속조인트 내부 부품의 설계인자나 접촉응력의 해석 및 구동축의 축력 저감방안을 도출하는 것이 주요 관심사항이었다고 볼 수 있다. 그러나 엔진과 변속장치를 포함한 동력기관(powertrain)의 저진동, 저소음을 위한 기술발전과 함께 운전문화의 성숙성이 높아지면서 급격한 출발과정에서 발생하는 서더현상보다는 구동축에 의한 차체의 공회전 진동특성이 더욱 중요해지는 추세를 보이고 있다.

본 연구에서는 이러한 추세를 고려하여 차량의 공회전 진동현상에 영향을 줄 수 있는 등속조인트의 기구학적인 운동특성 및 정적 토크작용 시 구동축의 진동특성을 고찰해보고, 대표적인 등속조인트 방식인 DOJ, TJ, SFJ(shudderless free ring joint)를 직접 차량에 적용시켰을 때의 공회전 진동특성을 비교·검토하였다.

2. 등속조인트의 운동 및 진동특성

2.1 등속조인트의 운동특성

등속조인트는 동력기관과 구동바퀴 중심 간의 높이 차이에 따른 보상뿐만 아니라, 조향과정의 각도 변화나 노면조건에 따른 축방향의 길이변화에도 대응해야 한다. DOJ 방식은 구동축의 길이 및 각도변화를 가능케 한 초기의 등속조인트 방식으로, 서더 현상에서는 유리하였지만 공회전 진동특성에 취약하다는 단점을 가지고 있었다. 이를 개선시킨 제품이 TJ 방식이다.

TJ 방식의 내부 부품을 살펴보면 Fig. 1과 같이 120° 간격으로 3개의 스파이더(spider 또는 trunnion 이라고도 함)와 그 끝에 롤러(roller)가 장착되어 있다. 구동축의 장착각도(격임각)에 대해서는 스파이더 끝의 롤러가 니들 베어링을 따라서 튜립의 반경

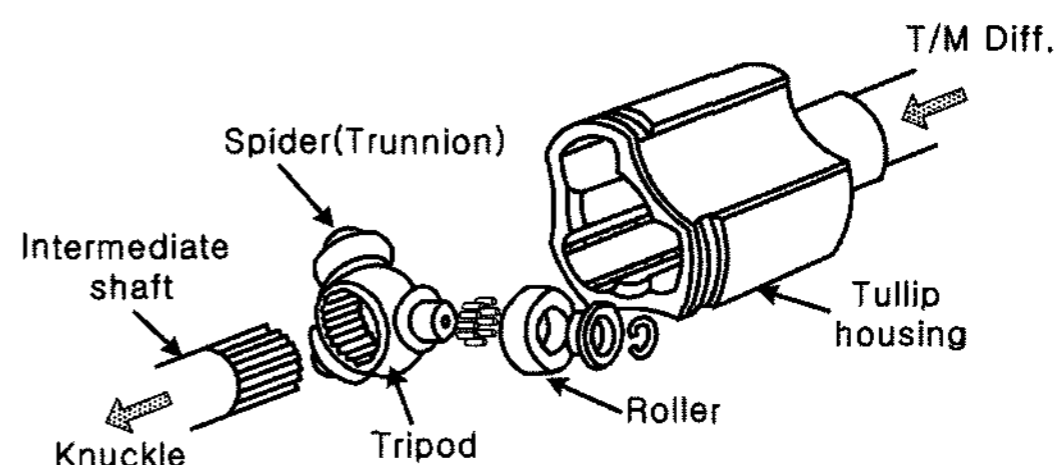


Fig. 1 Schematic diagram of tripod joint

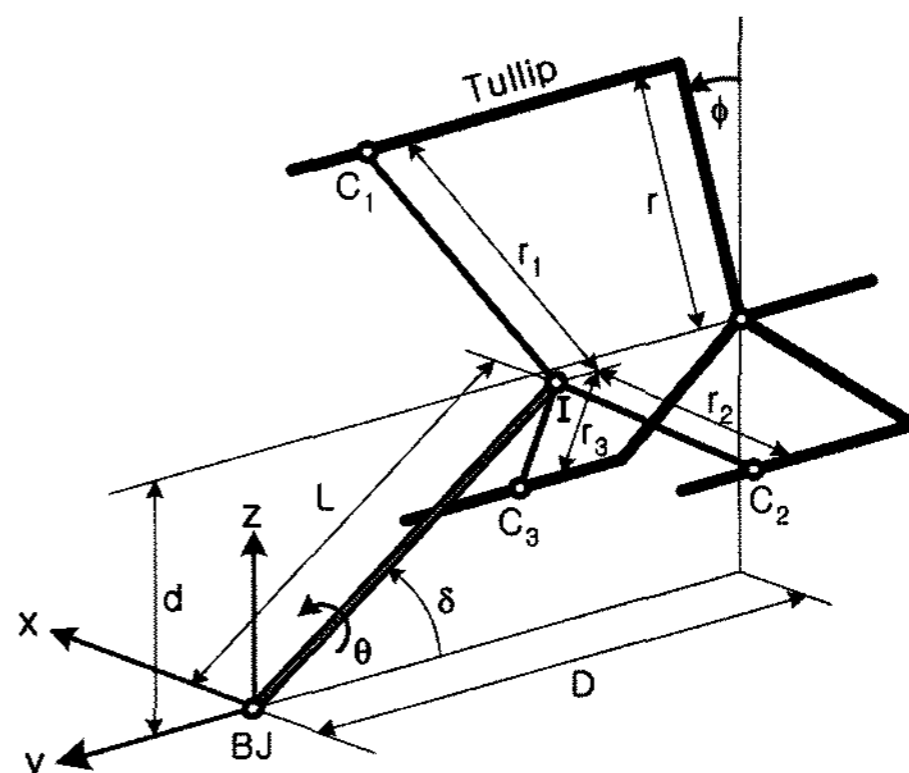


Fig. 2 Kinematics model of the constant velocity joint

방향으로 이동하게 되며, 구동축의 길이변화에 대해서는 롤러가 튜립 내부에서 회전하면서 축방향으로 이동한다.

구동축과 등속조인트의 운동특성은 각 스파이더의 롤러와 튜립 간의 접촉부위 및 장착각도를 고려하여 Fig. 2와 같이 표현할 수 있다.²⁾

여기서, x, y, z 는 고정(fixed)형 등속조인트인 BJ(Birfield joint 또는 Rzeppa joint라고도 함)를 기준으로 각각 차량의 진행방향, 좌우방향 및 상하방향의 좌표축을 의미하며, δ 는 구동축의 장착각도, L 은 구동축의 길이, r 은 튜립의 반경, d 는 등속조인트 간의 높이차이, ϕ 는 튜립의 회전각, θ 는 구동축의 회전각을 각각 나타낸다. 각 스파이더 끝에 장착된 롤러와 튜립 간의 접촉지점을 $C_1 \sim C_3$ 로 표현하였으며, 엔진의 회전력 전달과정에서 $\phi = \theta$ 인 조건을 만족시킬 때 진정한 의미의 등속조인트 역할이 수행된다.

구동축의 장착각도 δ 에 대해서 TJ 방식의 등속조인트는 스파이더의 위치(회전각)에 따라서 튜립의 중심축과 트라이포드의 중심(Fig. 2의 I)이 서로 일치하지 않는 오프셋(offset)이 발생하게 된다. 이는

구동축의 각도변화에 따른 길이차이(각 스파이더의 원호운동에 의한 반경차이)에 대응하기 위해서 각 스파이더 끝의 롤러가 반경방향으로 이동하기 때문이다. 스파이더의 중심과 각 롤러 간의 길이 r_i ($i=1\sim3$)는 구동축의 회전각 θ 에 대해서 식 (1)과 같이 정의된다.¹⁾

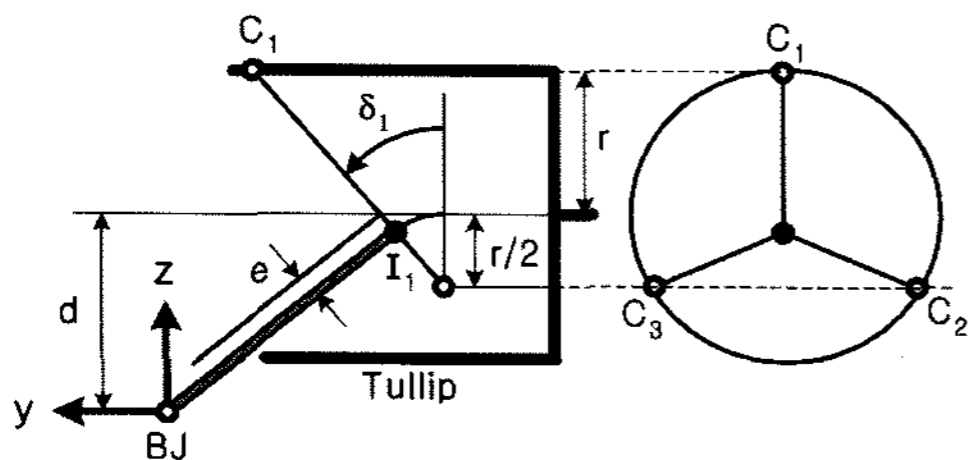
$$r_i = r + e(1 + 2\cos 2\theta_i) \quad (1)$$

$$\theta_1 = \theta, \theta_2 = \theta - \frac{2}{3}\pi, \theta_3 = \theta + \frac{2}{3}\pi$$

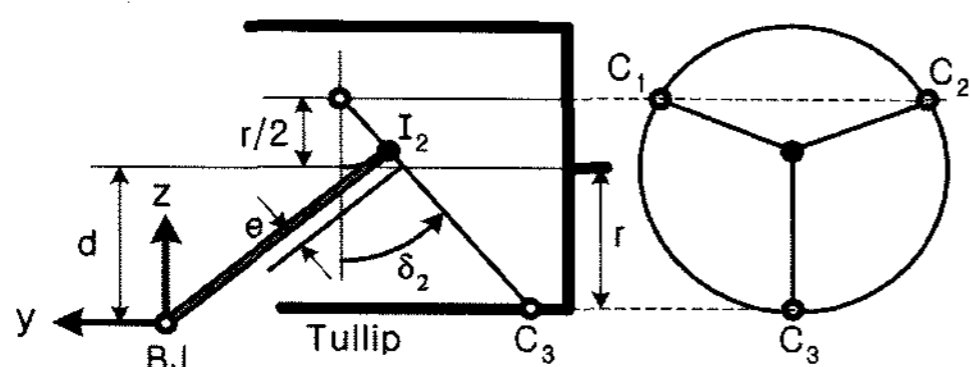
여기서, e 는 튜립 중심축과 트라이포드 중심 간의 거리인 오프셋을 뜻한다. 구동축의 회전에 따라서 스파이더 중심과 롤러 간의 길이 r_i 는 cosine 함수에 따라서 최대 $r+3e$ 에서 최소 $r-e$ 의 값으로 증감을 반복하면서 튜립 내부를 이동하게 됨을 알 수 있다. 스파이더의 회전각에 따른 구동축의 장착각도 및 오프셋을 검토하기 위해서 Fig. 3과 같은 경우를 고려해본다.²⁾

120° 간격으로 자리잡고 있는 스파이더의 위치가 Fig. 3(a)과 같을 때 롤러 C_1 은 최상단에, 롤러 C_2 와 C_3 은 동일선 상에 위치하여, 트라이포드의 중심 이동거리인 오프셋 e 는 식 (2)와 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} \left(\frac{r}{2} + e\right)\cos\delta_1 &= \frac{r}{2} \\ e &= \frac{r}{2}\left(\frac{1}{\cos\delta_1} - 1\right) \end{aligned} \quad (2)$$



(a) $\phi=0^\circ, 120^\circ$ and 240°



(b) $\phi=60^\circ, 180^\circ$ and 300°

Fig. 3 Joint angle and offset e of the constant velocity joints

동력기관의 회전에 따라서 스파이더가 60° 회전한 Fig. 3(b)인 경우의 오프셋은 식 (2)에서 δ_1 대신 δ_2 로 대체 되므로, 구동축의 대표적인 장착각도 δ 에 대한 트라이포드의 중심과 튜립 중심축 간의 오프셋은 식 (3)으로 표현할 수 있으며, 이는 참고문헌²⁾의 결과와 일치한다.

$$e = \frac{r}{2}\left(\frac{1}{\cos\delta} - 1\right) \quad (3)$$

구동축의 장착각도는 구동축의 회전과정에서 스파이더의 위치(각도)에 따라 δ_1 과 δ_2 사이에서 변화되며, 이들 간의 차이에 의한 미세한 각도변화가 120° 간격으로 발생하면서 오프셋 값 역시 변화함을 알 수 있다. 여기서 δ_1 은 구동축의 대표적인 장착각도 δ 의 변화과정에서 최소 각도를, δ_2 는 최대 각도를 나타낸다. 구동바퀴 쪽의 BJ를 기준좌표로 가정할 경우, Fig. 3에서 트라이포드의 중심 I_1 과 I_2 의 위치는 yz 평면에서 다음과 같이 정리된다.

$$I_1 \text{의 위치: } (-L\cos\delta_1, L\sin\delta_1)$$

$$I_2 \text{의 위치: } (-L\cos\delta_2, L\sin\delta_2)$$

즉, 등속조인트의 스파이더가 120° 만큼 회전할 때마다 트라이포드의 중심은 I_1 과 I_2 를 기점으로 공간좌표 상에서 타원운동을 하면서 왕복하고,¹⁾ 구동축은 BJ를 중심으로 원추운동(conical motion)을 하게 됨을 알 수 있다. 여기서 구동축의 장착각도가 고정되었다고 가정하더라도 오프셋이 식 (3)과 같이 상수 값을 갖지 않으며, 실제로는 스파이더의 회전각도에 따라서 구동축의 장착각도 역시 변화되면서 오프셋 값도 함께 증감되기 때문에 구동축을 통해 차체로 전달되는 진동특성이 변화될 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 고려한 차량의 공회전 상태에서는 구동축이 회전하지 않으므로, 등속조인트 내부의 스파이더가 임의의 회전각도에 위치한 상태로 정지되어 있다. 이 때에는 엔진의 폭발성분에 의한 가진력이 튜립에 전달되고, 튜립과 접촉한 롤러 간의 마찰저항에 의해서 구동축을 통해 BJ와 너클(knuckle) 부위를 거쳐서 구동바퀴 및 현가장치로 전달되는 엔진의 가진력도 변화하게 된다. 공회전 상태에서 일반 승용차량의 구동축 장착각도 δ 는 5° 내외의 적

은 값을 가지므로, 트라이포드 중심의 이동성분 중에서 cosine 성분으로 표현된 y축 방향의 이동이 지배적임을 유추할 수 있고, 이를 실차시험에서도 확인하였다. 트라이포드 중심의 이동이 커질수록 BJ와 현가장치로 전달되는 엔진의 가진력이 비례한다고 예상할 수 있으며, 롤러와 튜립 간의 마찰저항 역시 주요 이동방향인 y축 성분이 주가 되어 등속조인트 내부에 도포되는 그리스(grease)의 특성에 크게 좌우되므로, 공회전 진동현상에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.^{5,6)}

한편, 급격한 출발이 이루어지는 경우에는 차량의 앞부분이 들리는 스퀴트(squat) 현상으로 인하여 구동축의 장착각도가 크게 증대하고, 이에 따른 트라이포드 중심의 오프셋 또한 증가하여, 구동축이 한 회전할 때마다 세 번의 중심이동이 반복되면서 차량의 좌우방향으로 발생하는 서더 진동현상의 주요 원인으로 작용하게 된다. Fig. 4는 TJ 방식의 등속조인트 내부의 롤러와 튜립 그루브 간의 운동방향을 보여준다. 실제 등속조인트에서 서더진동에 대해서는 구동축의 회전과정에서 발생하는 힘을 GAF(Generated axial force)로, 공회전 진동에 대해서는 구동축 정지상태에서 동력기관의 진동현상으로 인하여 발생하는 힘을 PF(plunging force)로 구분하고 있다.

Fig. 4에서 표현된 각 운동방향을 기초로 3가지 종류의 마찰력을 고려할 수 있는데, 그 내용은 sliding에 의한 마찰력, skidding으로 인한 마찰력, rolling에 의한 마찰력 등이다. 특히, 구동축의 장착각도에 따라서 각 마찰력은 차이를 보이는데, 장착각도 역시 스파이더의 위치(회전각도)에 의하여 변화하고 있기 때문에 등속조인트에 작용하는 마찰력도 일정

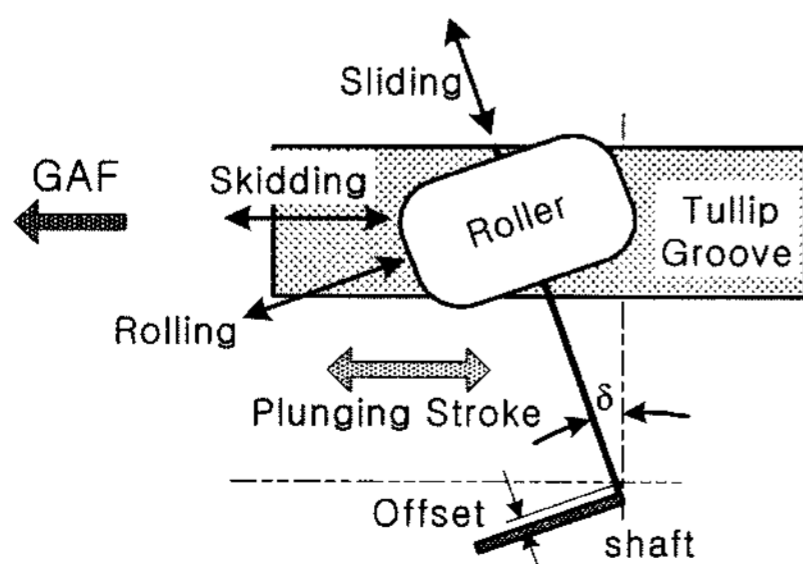


Fig. 4 Schematic diagram of generated axial force and plunging force

하지 않아서 차량의 진동특성에 영향을 끼치게 된다.

2.2 등속조인트의 진동특성

각 등속조인트 방식에 따른 차량의 공회전 진동 특성을 파악하기 위해서는 먼저 단품상태의 구동축과 등속조인트에 대한 고유 진동특성을 파악해야 한다. 본 연구에서 고려한 차종은 가솔린 4기통 엔진과 자동변속기를 장착한 국내 준중형 차량으로 DOJ, TJ, SFJ의 세 가지 방식을 가진 구동축을 선정하였다. 이 중에서 SFJ는 서더진동을 개선시키기 위해서 TJ 방식의 내부 부품인 롤러에 Photo. 1과 같이 자유 링(free ring)을 적용시킨 등속조인트이다.

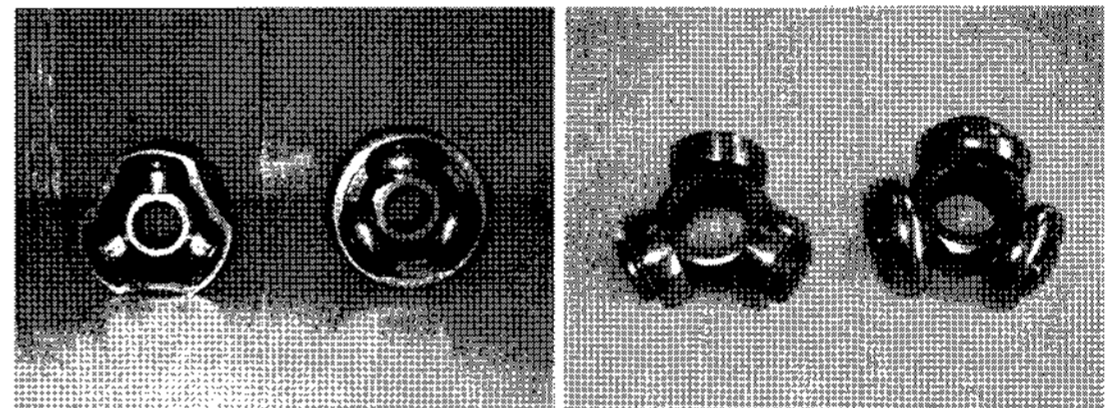


Photo. 1 Photograph of spider and roller of TJ (left) and SFJ

등속조인트는 앞에서 언급한 스파이더의 위치를 비롯하여 내부 부품들의 마찰특성, 그루브(groove)의 곡률, 그리스(grease) 등의 특성들이 공회전 진동현상에 큰 영향을 줄 수 있다.^{5,6)} 하지만, 본 연구에서는 다양한 등속조인트 간의 비교를 위해서 양산 사양으로 제작된 구동축을 채택하였고, 스파이더의 회전각도에 대한 영향은 단품시험 및 실차시험에 포함되지는 않았다. 비록 본 연구에서 실험적인 검증이 이루어지지 못했지만, 스파이더의 회전각도에 따른 공회전 진동특성과 PF 간의 연관성 파악을 위해서는 스파이더의 회전각도 차이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

각 등속조인트 방식에 따른 구동축의 세부제원은 Table 1과 같다. 대상차종의 구동축은 운전석 전방을 기준으로 좌측(LH)에는 단축(short shaft)이, 우측(RH)에는 장축(long shaft)이 장착된다.

Table 1에서 각 등속조인트 방식에 따른 구동축의 중량을 고려하면, 제일 가벼운 TJ 방식에 비해서 DOJ나 SFJ 방식은 약 12% 내외로 무거워지는 경향을 갖는다. 이러한 등속조인트 방식에 따른 중량차

Table 1 The specification of each constant velocity joints

	Length(mm)		Weight(kgf)	
	LH	RH	LH	RH
DOJ	514±2	799±2	6.0	7.2
TJ			5.4	6.4
SFJ			6.1	7.3

이는 결국 차량의 주요 운동부품인 구동축의 회전 관성력을 증대시켜서 차량주행이 누적될수록 연료 소비 측면에서도 무시 못할 수준의 차이를 유발할 것으로 예측된다. 또한 등속조인트 방식에 따른 중량차이는 구동축의 고유 진동특성에도 영향을 미치게 된다.

각 등속조인트가 적용된 구동축을 자유 지지조건 (free-free condition)에서 충격해머(impact hammer)를 이용한 가진시험을 실시하였다. 단축과 장축별로 각 구동축의 동일한 위치를 가진하여 측정되는 응답을 0~1,000Hz 진동수 범위에서 가속도계로 측정 한 주파수 응답함수(frequency response function)를 Fig. 5와 같이 비교하였다. 각 등속조인트 방식의 중량차이로 인하여 TJ 방식의 구동축이 다른 방식보다 고유 진동수가 약 20 Hz 정도 높은 경향을 가지게 된다. 이러한 등속조인트 방식에 따른 구동축 간의 진동수 차이는 실제 차량에 구동축이 장착되었을 때, 동력기관 출력(차동기어)부위의 진동특성에도 영향을 끼치고 있음을 실차시험에서 확인하였다.

또한, TJ 방식의 단축과 장축 간의 고유 진동특성을 비교한 결과(Fig. 5(b))에서는 단축에 비해서 길이 및 중량증대로 인하여 장축의 구동축이 낮은 고

유 진동수를 가지게 된다. 특히, 100 Hz 내외의 고유 진동수는 차량의 주행과정에서 엔진 진동에 의해 구동축이 공진할 우려가 있으므로 대부분의 차량에서는 동 흡진기(dynamic absorber)를 적용시키고 있으며, 일부 고급차량에서는 내부 중간축(inner shaft)을 적용하여 좌우 구동축의 길이를 같게 하는 등장(等長)축이 적용되기도 한다. 또한 구동축 자체의 고유 진동수를 높이기 위해서 중공축⁷⁾을 고려할 수도 있다.

구동축에 의한 차량의 공회전 진동특성을 파악하기 위해서는 자동변속기의 D 또는 R단 기어의 정차 조건과 같이 엔진의 토크가 구동축에 작용하는 경우의 특성변화를 살펴볼 필요가 있다. 따라서 구동축을 Photo. 2와 같이 전용시험기(MTS 제품)에 장착시키고, 각 방식의 등속조인트에 정적토크(300N·m)를 가하면서 구동바퀴 쪽의 등속조인트(BJ)는 고정시켜서 구동축이 회전하지 않도록 하였다. 이러한 시험조건은 엔진가동에 따른 진동전달과 토크변동(torque fluctuation) 등이 구동축에 작용하지 않기 때문에 실제 차량의 공회전 조건과는 차이가 있겠지만, 토크작용 시의 구동축 특성변화를 파악하기 위해서 단축과 장축의 각 구동축별로 자유지지조건과 동일한 가진위치(Photo. 2의 화살표)와 측정조건으로 충격해머를 이용한 가진시험을 실시하였다.

구동축의 자유 지지조건과 정적 토크가 작용했을 때의 진동특성을 비교(Fig. 6)해보면, 토크작용으로 말미암아 단축과 장축의 구동축 모두 50Hz 내외에서 낮은 고유 진동수가 새롭게 발생하며, 기존의 고유 진동특성에 있어서도 진동수의 증감현상이 존재함을 알 수 있다. 이는 구동축의 토크작용에 의해서 스파이더의 롤러와 튜립 간의 접촉력이 증대된 원인으로 파악된다.

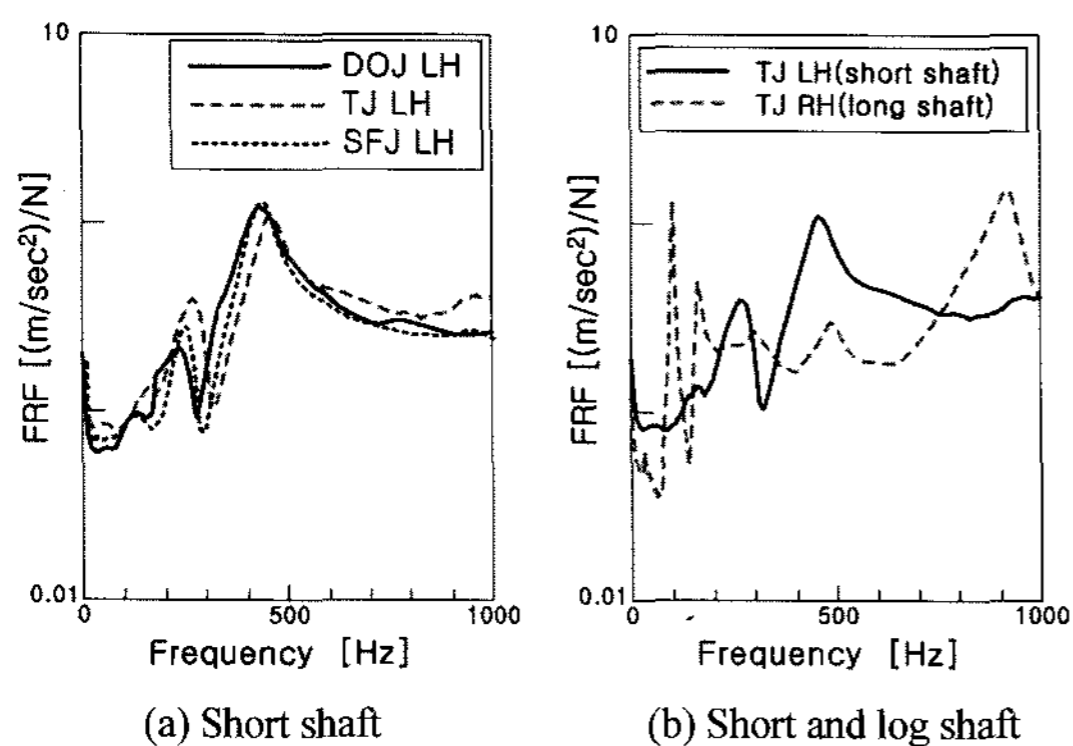


Fig. 5 Comparison of natural frequency with each constant velocity joints at free-free condition

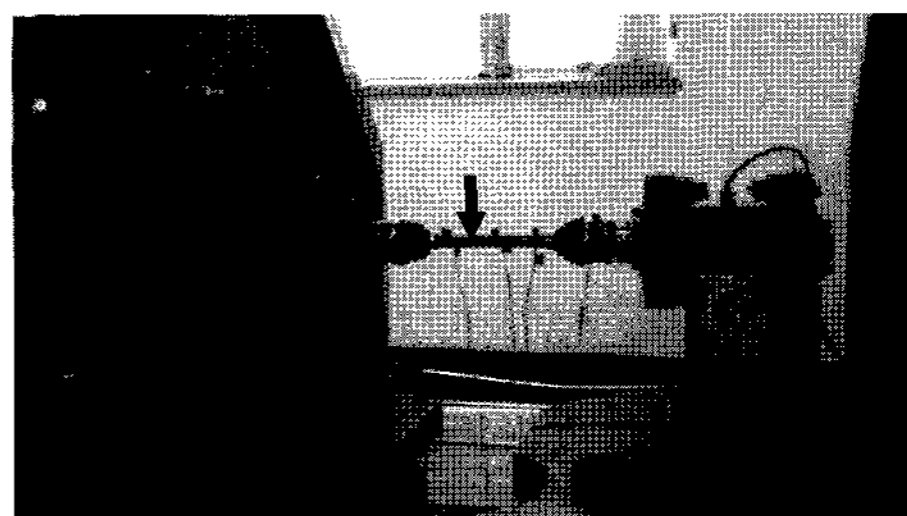


Photo. 2 Photograph of experimental apparatus

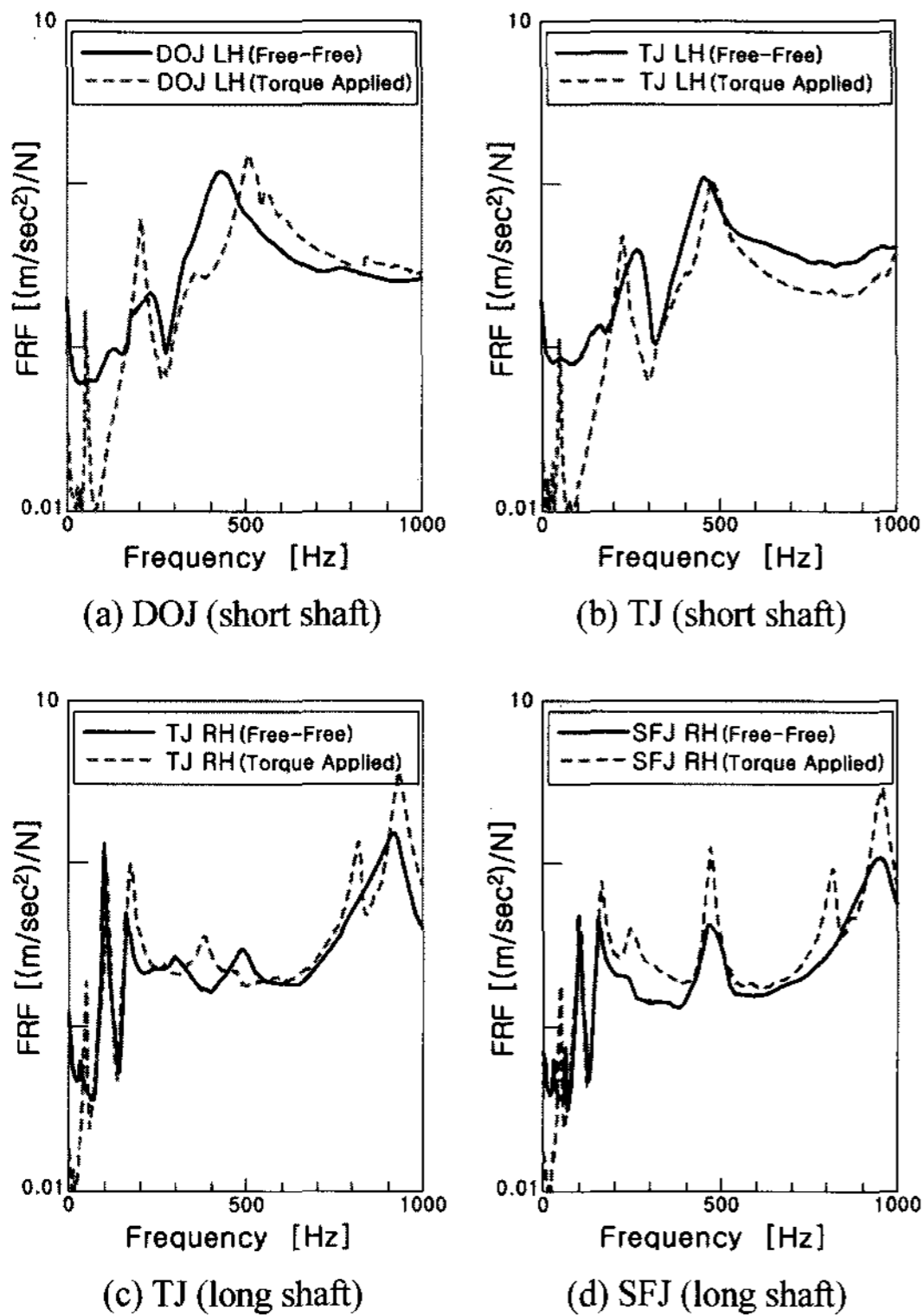


Fig. 6 Comparison of natural frequency with free-free and torque applied condition

정지상태의 구동축에 정적인 토크를 작용시켰을 때 50 Hz 내외의 고유 진동수를 갖는 경향은 결국 엔진의 공회전 진동수에 접근하는 셈이 되며, 실제 차량에서는 엔진 폭발성분에 의한 진동현상뿐만 아니라 토크 변동성분 등이 함께 구동축에 작용하기 때문에, 구동축을 통한 엔진의 진동전달이 더욱 증대될 수 있음을 유추할 수 있다.

3. 실차시험

각 등속조인트 방식이 적용된 구동축을 동일한 시험차량에 장착시킨 후, 운전석 귀 위치에 마이크로폰(B&K 4189, 2671제품)을 위치시켜 차량 공회전 정지조건에서 구동축의 토크작용 유무에 따른 실내소음의 변화를 비교하였다. 실차시험에 사용된 분석장비는 LMS CADA-X(v.3.5.0)이다. 자동변속기의 선택기어가 중립상태인 N 위치에서는 46.5~46.9 dB(A)의 수준으로 실내소음의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있었다. 또한, 선택기어가 D 위치에

서는 전반적으로 0.5 dB(A) 내외의 증가현상이 확인되었으나, 등속조인트 방식에 따른 실내소음의 차이는 거의 없는 것으로 파악되었다. 따라서 등속조인트 방식에 따른 영향은 차량의 진동특성을 중심으로 진행하였다.

각 등속조인트 방식에 따른 차량의 공회전 진동현상을 파악하기 위해서 동력기관의 출력부위(차동기어 하단위치), 구동축 및 좌우 구동바퀴의 너클(knuckle)부위에서 진동특성을 측정하였다. 여기서 너클부위는 구동축과 구동바퀴를 체결시키고 현가장치와 연결되는 주요 새시(chassis) 구조물이므로, 이곳의 진동특성이 구동축의 진동전달 특성과 연관만 아니라, 차량의 공회전 진동현상에도 민감한 영향을 끼친다고 볼 수 있다.

등속조인트 방식에 따른 차량의 공회전 진동특성을 파악하기 위해서는 동력기관으로부터 가진되어 구동축을 거쳐서 너클부위로 전달되는 진동특성의 비교·평가가 필요하다. 따라서 동력기관의 출력부위라 할 수 있는 변속기 차동기어(differential gear) 부위의 진동특성을 살펴본 결과, 자동변속기의 선택기어가 N 위치에서는 각 등속조인트 방식에 따른 변화가 거의 존재하지 않았다. 이는 수동변속기를 장착한 차량에서는 어떠한 등속조인트 방식을 채택해도 변속기 중립상태의 공회전 진동현상에는 거의 영향을 끼치지 않는다는 것을 의미한다. 그러나 자동변속기 차량에서는 변속기어가 D 또는 R 위치에 있을 때에는 Fig. 7과 같이 각 등속조인트 방식에 따라서 동력기관의 출력부위에서도 진동특성이 변화됨을 알 수 있다. 이는 단품상태의 등속조인트와 구동축의 고유 진동특성에서 이미 확인한 바와 같이 각 등속조인트 방식에 따른 구동축의 증량차이에

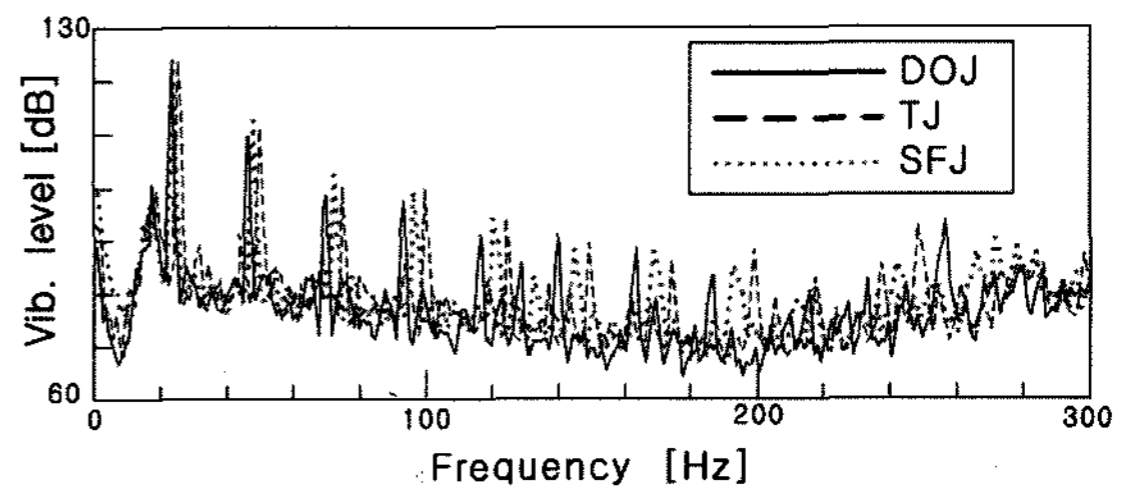
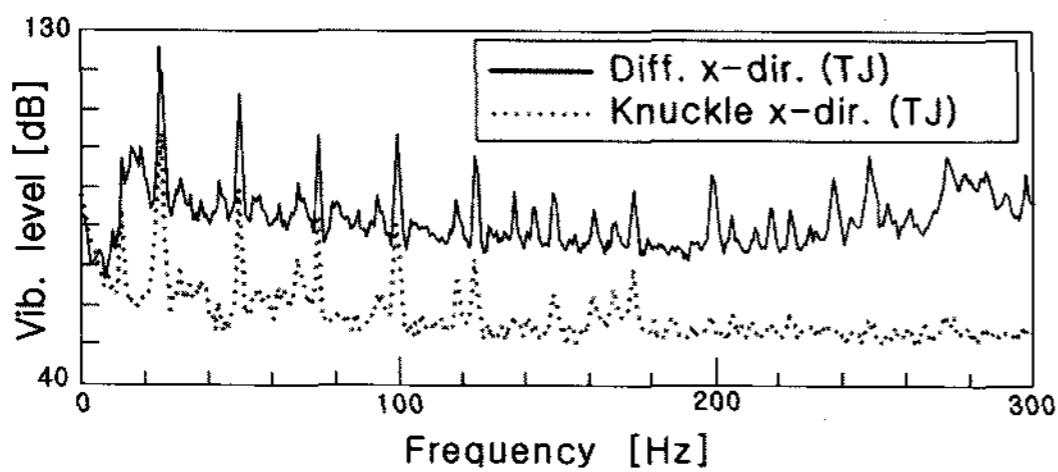


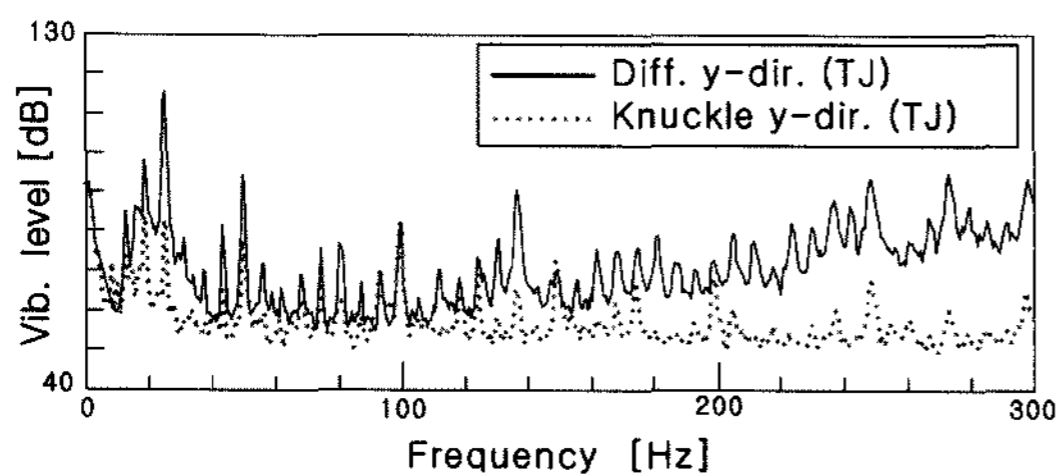
Fig. 7 Comparison of vibration level with each constant velocity joints at differential gear housing (z direction)

의한 원인이 지배적이며, 그 외 내부 부품 간의 마찰력 및 그리스 등의 영향 때문이라 파악된다. 각 등속조인트 방식에 따른 동력기관의 가진(加振) 특성은 엔진회전의 차수(order)가 높아질수록 진동수 격차가 더욱 증대되는 경향을 갖는다.

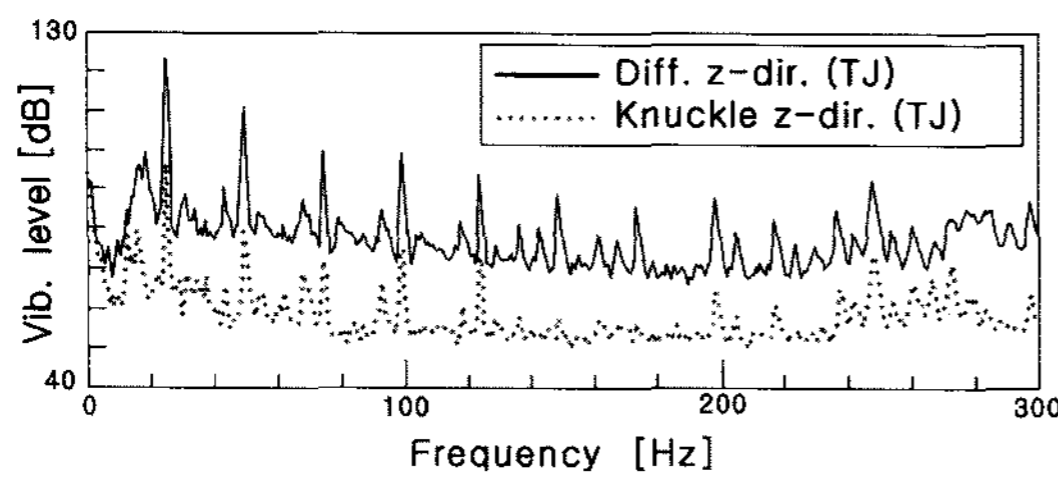
가진원(vibration source)이 되는 동력기관의 출력부위와 너클부위 간의 진동특성을 비교해보면 각 등속조인트 방식에 따른 공회전 진동특성을 확인할 수 있다. Fig. 8은 TJ 방식의 등속조인트가 적용된 차량의 동력기관 출력부위와 너클 간의 공회전 진동특성을 비교한 데이터이다. x와 z축 방향에서는 동력기관의 진동현상이 너클부위에서 현저하게 감소되고 있음을 알 수 있다. 하지만, y축 방향에서는 동력기관의 출력부위와 너클 간의 진동레벨 저감효과가 적음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 구동축의 운동특성을 검토하면서 부분적으로 예견한 바이기



(a) x direction

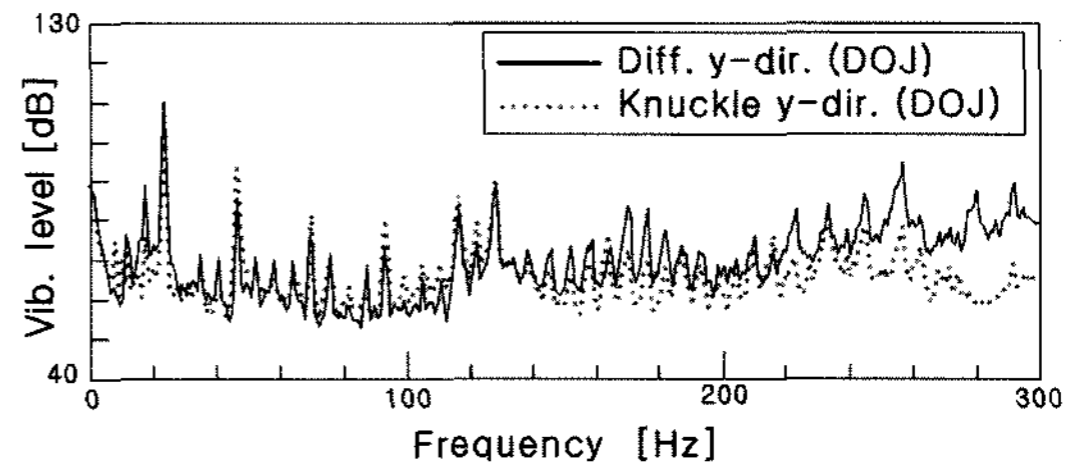


(b) y direction

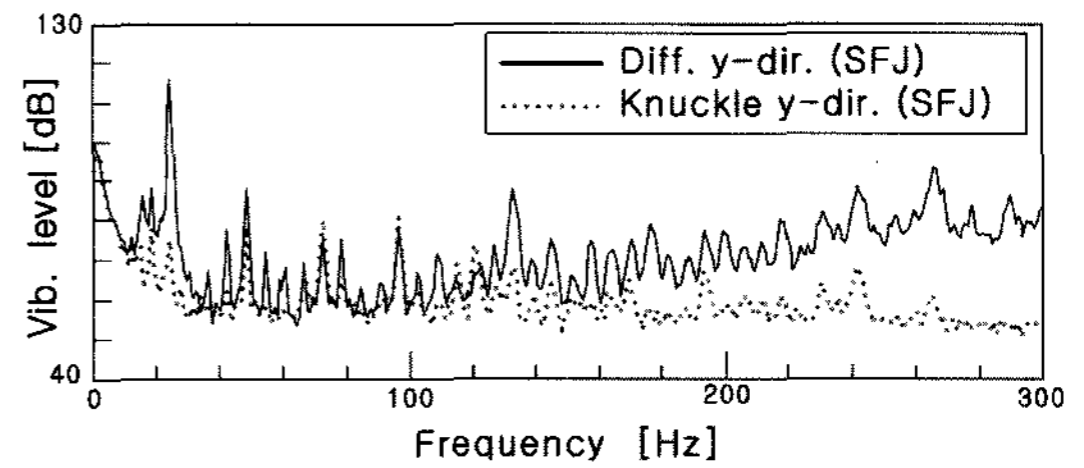


(c) z direction

Fig. 8 Comparison of vibration level with TJ at D range condition



(a) DOJ



(b) SFJ

Fig. 9 Comparison of vibration level of y axis at idle condition

도 하다. 즉, 등속조인트 내부부품인 스파이더의 위치에 따라서 y축 방향으로 전달되는 마찰력의 초기 값에 영향을 줄뿐만 아니라, 식 (3)에서와 같이 오프셋 값도 장착각도에 따라 조화함수 특성을 가지게 된다. 여기에 엔진으로부터 전달되는 가진력에 의한 진동특성과 조화 또는 상쇄되는 현상이 이어지면서 낮은 진동수 영역에서의 진동특성을 악화시키는 인자가 내재되어 있다고 볼 수 있다.

다른 등속조인트 방식인 DOJ와 SFJ도 x와 z축 방향에서는 TJ 방식과 동일한 양상을 보였으나, y축 방향은 Fig. 9와 같이 진동저감효과가 미비한 사실을 알 수 있다. 특히 DOJ 방식은 타 방식에 비해서 y축 방향의 진동특성이 200Hz의 진동수 영역에 이르기까지 불리하고, 부분적으로는 동력기관의 진동레벨보다 더욱 큰 구간도 존재한다. 결국, DOJ 방식은 엔진의 진동현상을 다른 방식보다 크게 너클 부위로 전달하고 있음⁶⁾을 재확인할 수 있으며, 실제 차량에서도 수동변속기 차량이나 4WD(4 wheel drive) 차량의 후륜 구동축에 주로 채택되고 있는 이유이기도 하다. SFJ방식은 30~120Hz 내외의 진동수 구간을 제외한 영역에서 DOJ에 비해 양호한 진동저감효과를 가지지만, TJ 방식에 비해서 120~180Hz 영역에서 진동레벨이 다소 높은 구간이 부분적으로 존재하므로 공회전 진동특성에서 다소 불리할 수

있다고 예상된다. 또한 SFJ 방식은 TJ 방식에서 발생하는 마찰력 중에서 sliding 현상으로 인하여 야기되는 마찰력을 현저하게 감소시켜서 서더 진동특성이 월등히 개선된 것과는 달리, 공회전 진동특성이 TJ 방식보다 우월하지 못한 것으로 보아 SFJ 방식의 설계변경 내용이 skidding 방향으로의 마찰력 저감에는 크게 기여하지 못하는 것으로 유추할 수 있다.

4. 결 론

등속조인트 방식에 따른 전륜구동차량의 공회전 진동특성을 파악하기 위하여 등속조인트의 운동특성, 단품 진동특성 및 실차시험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 등속조인트의 장착각도(꺾임각)와 스파이더 회전각도에 따라서 트라이포드의 중심과 튜립 중심축 간의 오프셋이 존재하며, 이로 인하여 트라이포드의 중심이동에 따른 작용력이 y축 방향(차량 좌우방향)으로 크게 작용함을 유추하고, 이를 실차시험에서도 확인하였다.
- 2) 구동축에 정적토크를 가했을 때에는 자유 지지 조건의 진동특성과는 달리 50Hz 내외의 낮은 고유 진동수가 새롭게 발생하는 것을 확인하였으며, 각 등속조인트 방식에 따른 중량차이가 동력 기관 출력부위의 진동특성에 영향을 주고 있음을 확인하였다.
- 3) 실차시험에서 등속조인트 방식에 따른 차량의 공회전 진동특성은 TJ, SFJ, DOJ의 순서로 양호한 특성을 나타냄을 확인하였다. 특히, TJ나 SFJ 방식의 등속조인트가 적용된 구동축의 경우에는 공회전 진동특성과 연관되는 PF(plunging force)에 대한 깊이 있는 이해가 필요하고, 이를 위하여 스파이더 회전각도에 따른 PF의 변화 및 실차적용 시의 변화현상에 대한 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- 1) J. Y. K'nevez, J. P. Mariot, L. Moreau and M. Diaby, "Kinematics of Transmissions Consisting of an Outboard Ball Joint and an Inboard Generalized Tripod Joint," *Journal of Multibody Dynamics*, Vol.3, pp.132-145, 2001.
- 2) J. P. Mariot, J. Y. K'nevez and B. Barbedette, "Tripod and Ball Joint Automotive Transmission Kinetostatic Model Including Friction," *Multibody System Dynamics*, Vol.11, pp.127-145, 2004.
- 3) Y. Hayama, "Dynamic Analysis of Forces Generated on Inner Parts of a Double Offset Constant Velocity Universal Joint(DOJ)," SAE 2001-01-1161, 2001.
- 4) S. T. Oh, "Vehicle Shudder Associated with Axial Thrust Force of C.V. Joint for Automobile," *Transactions of KSAE*, Vol.4, No.2, pp.198-208, 1996.
- 5) S. T. Oh, "A Study on the Vehicle Shudder Associated with Axial Force of Tripod Joint for Automobile," *Transactions of KSAE*, Vol.5, No.6, pp.53-63, 1997.
- 6) S. T. Oh, "A Study on the Improvement of the Vehicle Shudder by Optimum Design and the Determination of the Tripod Joint Specifications," *Transactions of KSAE*, Vol.10, No.1, pp.185-195, 1999.
- 7) K. H. Ko, H. S. Kook and J. H. Lee, "Development of Tubular Shaft for Reduction of Booming Noise in Vehicle Interior," *Transactions of KSAE*, Vol.10, No.1, pp.203-208, 2002.
- 8) C. H. Jeong, D. H. Jung, W. R. Bae, J. Y. Kim and J. S. Im, "Strength Design of Driveshafts for Passenger Cars," *Transactions of KSAE*, Vol.15, No.3, pp.114-123, 2007.