

# 후륜 구동 자동차의 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트의 진동특성에 관한 연구

## A Study on the Vibration Characteristic of Slip-In Tube Propeller Shaft in FR Automobile

이혜진†·황재혁\*·김승수\*\*·변정무\*·김응주\*\*·차달준\*\*\*·강상욱\*\*\*·변원용\*\*\*

H. J. Lee, J. H. Hwang, S. S. Kim, J. M. Byun, E. Z. Kim, D. J. Cha, S. W. Kang and W. Y. Byun

**Key Words** : Propeller Shaft(추진축), Vibration Test(진동시험), Lightness(경량화), Slip-In Tube(슬립 인 튜브).

### ABSTRACT

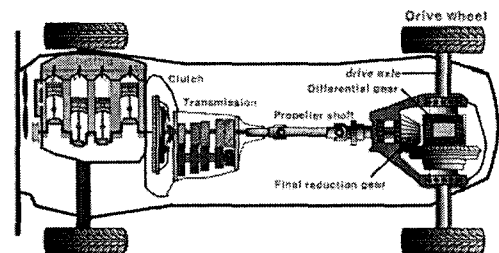
Many researchers have studied on the lightness of automobile. These researches are such as a body shell, sub frame, fuel tank, engine etc. The transmission part is a magnitude one in the aspect of weight. A drive shaft (propeller shaft) transmits the engine power to rear differential gear assembly. It is used in the compact car that is a single drive shaft. But in the case of long body cars such as SUV (Sports Utility Vehicle), truck and large vehicle, two or three divided drive shaft are used to prevent the vibration damage from a drive shaft that has been taken high torsion and rotation. This multi-divided drive shaft structure is so heavy because it is assembled by yoke, center bearing and solid spline axis. When the rear axle move up and down, the spline shaft adjust the variation of a length between the transmission and rear axle gearbox. In this paper, it is studied in the experimental method that is a bending vibration characteristic of slip in tube shaped propeller shaft. This type propeller shaft is developed to combine the spline axis with drive shaft and can be light in weight of transmission part.

### 1. 서 론

기관의 동력은 일반적으로 엔진에서 변속기를 거쳐 추진축에 의해 차등기어에 전달되어 타이어로 전달된다. 후륜구동(FR, Front-engine Rear-wheel drive) 자동차의 추진축(Fig. 1-(a))은 변속기와 차등기어 사이에 장착되어 엔진동력을 전달하는 역할을 하며, 전륜구동(FF, Front-engine Front-wheel drive)자동차의 경우(Fig. 1-(b))는 차등기어 와 타이어 사이에 장착된 등속조인트(Constant velocity joint)에 의해 동력을 전달한다.

일반적으로 자동차의 추진축(Propeller shaft or Drive shaft)은 다음과 같은 주요 기능을 가지고 있다.

- 엔진의 구동토크 전달
- 유니버설 조인트(Universal joint)를 이용해 각도변화를 가능하게 한다.
- 슬립이음(Slip joint)으로 축방향의 길이 변화를 가능하게 한다.
- 플렉서블 자재이음(Flexible center bearing)으로 회전 진동을 감쇠시킨다.



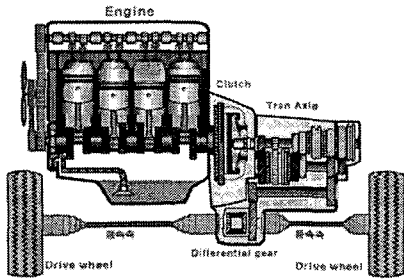
(a) 후륜구동 자동차

† 책임저자 : 정회원, 한국생산기술연구원 디지털성형공정팀  
E-mail : naltl@kitech.re.kr  
Tel : (032)850-0372, Fax : (032) 850-0370

\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

\*\* 한국생산기술연구원 신소성가공팀

\*\*\* 경창산업(주) T/M사업부



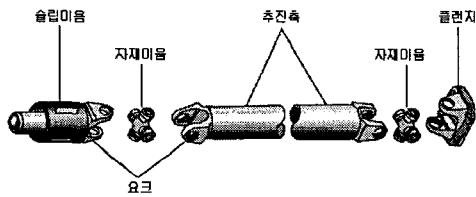
(b) 전륜구동 자동차

Fig. 1 전륜 및 후륜구동 자동차의 동력전달

소형급 자동차의 경우는 일체로 된 단통 형태의 추진축을 사용하지만 차체가 긴 중형이상의 SUV(Sports Utility Vehicle)나 트럭, 대형차량에서는 차량 구동 시 지속적인 비틀림 토크를 받으며 고속 회전하는 추진축의 진동으로 인한 파손을 방지하기 위해 2 또는 3분할 추진축을 진동흡수를 할 수 있는 센터베어링으로 연결된 구조(Fig. 2-(a))가 사용되고 있다. 이러한 다분할 추진축의 경우에는 추진축 양 끝단에 스플라인(Spline) 형태로 가공된 슬립이음 구조(Fig. 2-(b))를 가지고 있어서 뒤차축의 상하 운동에 따른 변속기와 종감속 기어 사이의 길이 변화를 조절하게 되어 있다.



(a) 센터 베어링으로 연결된 구조

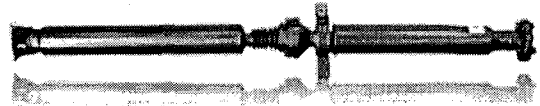


(b) 슬립이음(Slip joint)구조

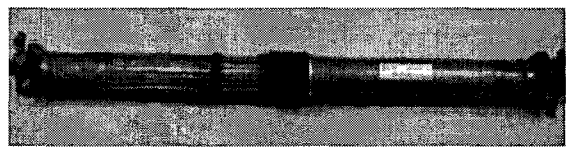
Fig. 2 다분할 추진축의 연결구조

후륜구동 자동차의 추진축은 강한 비틀림을 수반해서 고속 회전을 하기 때문에 이를 견딜 수 있는 중공관으로 제작되어 있다. 하지만 차체가 긴 차종의 경우에는 다축으로 분할되어 있어서 각 연결 부위의 중실 스플라인 이음구조로 인해 자동차의 전체적인 무게증가 요인으로 작용하고 있다. 최근 차량 경량화를 위한 연구가 진행이 되면서 후륜구동 자동차의 추진축 경량화에 관한 연구도 같이 진행되고 있다. 외국에서는 이러한 후륜구동 자동차의 추진축 경량화를 위

해 중공 추진축에 스플라인을 가공하여 결합하는 방식의 슬립 인 튜브(Slip in tube) 샤프트를 이용하여 선진기술을 적용한 제품을 양산하고 있는 상황이다. Fig. 3에 중실소재의 슬립이음 구조를 가진 2분할 추진축 구조와 중공소재의 슬립 인 튜브 샤프트를 가진 2분할 추진축을 나타내었다.



(a) 중실소재 슬립이음 구조의 2분할 추진축



(b) 중공소재 slip-in tube propeller shaft

Fig. 3 중실/중공 소재의 propeller shaft

본 논문에서는 후륜구동 자동차에 사용되는 추진축의 경량화를 위해 중공소재의 추진축에 스플라인 가공을 하여 추진축 자체가 뒤차축의 상하운동에 따라 길이조절을 위해 슬라이딩을 할 수 있도록 설계/제작된 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트의 굽힘 진동 특성을 실험적으로 연구하였다. 그 결과를 비교하기 위해 외국에서 후륜구동 SUV에 적용되고 있는 동일 치수의 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트 제품 결과와 비교하였다. 실험에 사용된 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트는 국내에서는 처음으로 SUV 차량에 도입하기 위해 국산화 개발 중인 부품이다.

## 2. Slip-In Tube Propeller Shaft의 제작공정

중공 소재의 추진축과 스플라인축의 기능을 일체화 시킨 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트를 성형하기 위해 그루빙 성형법(Grooving forming method)을 적용하였다. 그루빙 성형법은 Fig. 4에서 나타난 것과 같이 치형이 형성된 맨드릴에 중공소재를 장착한 후 성형롤러를 치형이 시작되는 곳에서 맨드릴의 축방향 이송과 반대되는 방향으로 공진시키며 공정주기마다 맨드릴을 1 피치(Pitch)씩 등각 회전시키며 치형을 성형하는 비절삭 점진 성형기술이다.

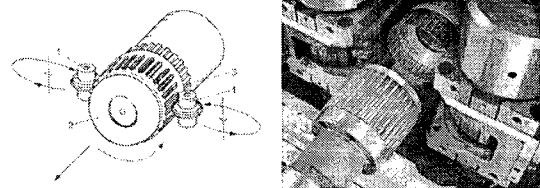
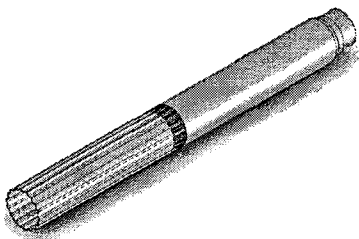


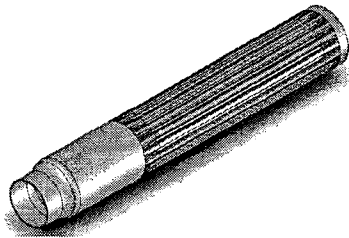
Fig. 4 Grooving process

### 3. Slip-In Tube Propeller Shaft의 굽힘 진동특성 측정

본 연구를 통해 국산화 개발 중인 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트는 두 개의 추진축으로 구성되며, 각 축에는 그루빙 성형법을 이용해 스플라인이 가공되어 있어서 두 축은 길이 조절이 가능도록 슬라이딩 구속으로 조립된다. 바깥쪽 프로펠러 샤프트 축(Fig. 5-(a))은  $\Phi 80.0\text{mm}$ 의 두께 1.6mm인 중공관을 이용하여 성형되었고, 안쪽 프로펠러 샤프트 축(Fig. 5-(b))은  $\Phi 76.2\text{mm}$ 의 두께 1.6mm인 중공관을 이용하여 성형되었다. 두 축의 사양을 Table 1에 나타내었다.



(a) Inner slip-in tube propeller shaft



(b) Outer slip-in tube propeller shaft

Fig. 5 3D CAD of developed slip-in tube propeller shaft

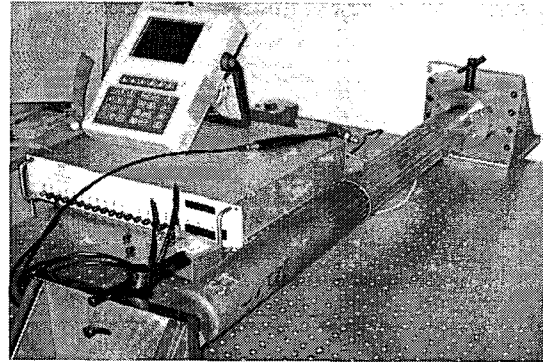
Table 1. Specification of developed propeller shaft

Specification	Inner shaft	Outer shaft
Total length	708mm	512mm
Spline length	326mm	337mm
Tube diameter	$\Phi 76.2\text{mm}$	$\Phi 80.0\text{mm}$
Supporting diameter	$\Phi 66.0\text{mm}$	$\Phi 66.0\text{mm}$
Thickness	1.6mm	1.6mm
Material type	STKM 13B	

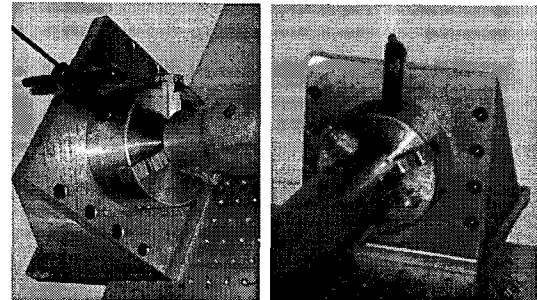
#### 3.1 실험장치의 구성

개발된 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트의 굽힘 진동 특성을 측정하는 동안 외란 영향이 없도록 하기위해 Fig. 6-(a)과 같이 실험 장치를 방진정반위에 설치하였다. 그리고 내/

외측 프로펠러 샤프트 축들은 Fig. 6-(b)와 같이 내경 구속을 위해 선반척(Lathe chuck)을 이용하여 지그(Jig)를 제작하여 고정하였다.



(a) 실험장치 구성



(b) 내경 구속용 지그

Fig. 6 Bending vibration testing equipments

개발된 프로펠러 샤프트의 굽힘 진동 특성을 측정하기 위해 충격해머(PCB Inc.)를 사용하여 프로펠러 샤프트를 가진하였으며, 그에 따른 진동응답신호를 측정하기 위해 가속도계(PCB Inc.)를 사용하였다. 실시간으로 측정된 가진 및 응답 신호를 이용하여 주파수 분석을 하기위해 FFT Analyser(DI-2200)를 사용하였다.

#### 3.2 슬라이딩 결합길이에 따른 진동특성

개발된 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트는 회전/직선 구동체이므로 마찰로 인한 재료 손상 최소화 및 표면강도 향상을 위해 열처리를 한다. 이러한 열처리로 인한 프로펠러 샤프트의 굽힘 진동 특성 영향을 알아보기 위해 비열처리 제품과 열처리 제품에 대해 동일 시험을 수행하였다. 그리고 외국에서 개발/적용되고 있는 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트 제품과 동일 시험을 수행하여 결과를 비교하였다.

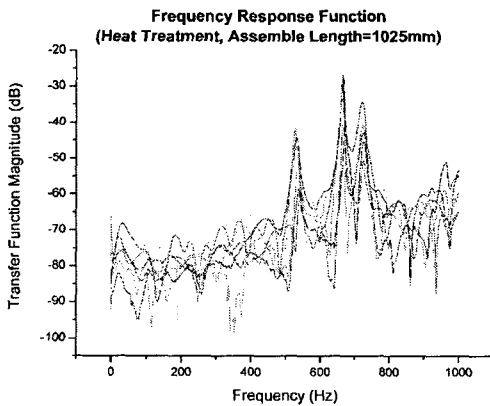
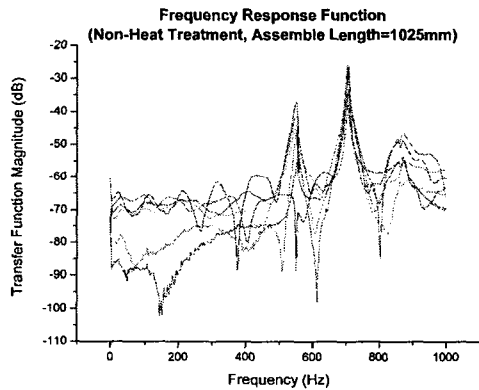
각 시험은 조립된 상태의 프로펠러 샤프트를 결합 길이별로 가진위치를 고정시키고 응답측정위치를 변화 시키면서 각 결합위치에 대한 진동특성을 평균화 및 분석을 수행하였다. 각 응답위치별로는 10회의 주파수 응답 데이터를 평균화

처리하였다. 그리고 회전구속을 부가하기위해 양단 고정 지 그를 회전하여 적정 토크를 부가하였다.

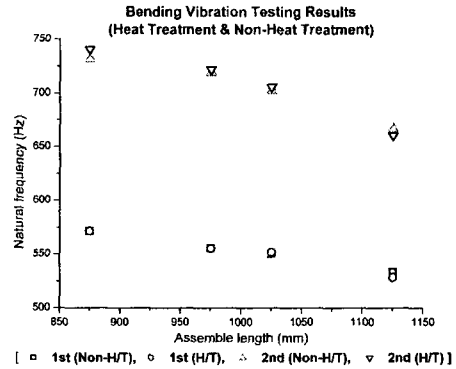
Table 2와 Fig. 7에 열처리에 의한 굽힘 진동 특성 측정 결과를 나타내었다. 시험결과를 분석한 결과 열처리 공정은 프로펠러 샤프트 제품의 진동특성에는 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다. 그리고 프로펠러 샤프트 조립길이가 증가할수록 각 모드별 고유진동수가 감소함을 확인할 수 있었다.

Table 2. Bending vibration characteristic testing result (Heat treatment & Non-heat treatment)

Mode	Case	Natural frequency(Hz) at Assemble length(mm)			
		875	975	1025	1125
1st	Non- H/T	571.42	555.78	550.05	533.51
	H/T	571.42	555.48	552.01	528.68
2nd	Non- H/T	731.40	718.74	702.25	666.90
	H/T	740.49	721.84	705.81	660.82



(a) Frequency response function graph



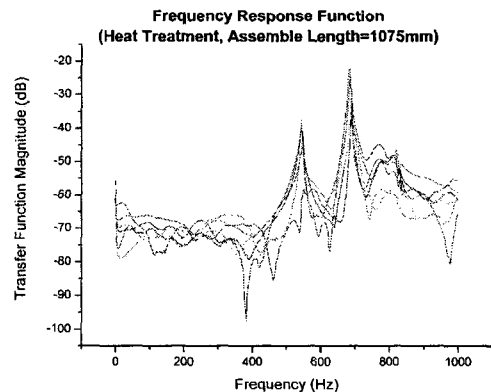
(b) Comparison graph

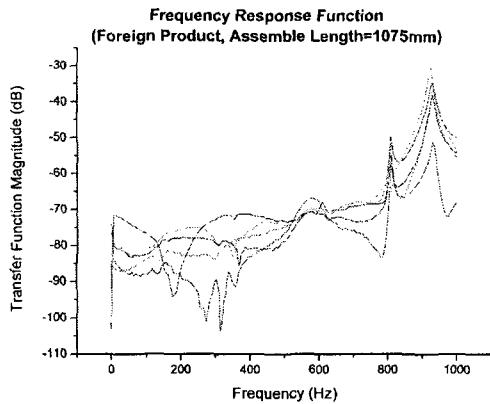
Fig. 7 Bending vibration testing result graph (Heat treatment & Non-heat treatment)

외국에서 개발되어 SUV 차량에 적용되고 있는 동일 제품의 굽힘 진동 특성을 비교하기 위해 개발된 열처리 제품의 데이터와 비교분석하였다. 그 결과를 Table 3과 Fig. 8에 나타내었다. 시험결과 외국 제품이 개발된 제품보다 각 모드별 고유진동수가 높게 나와서 진동 특성이 우수함을 확인할 수 있었다. 하지만 외국 제품의 경우 Fig. 9와 같이 이음부에 고무 실링(Sealing) 처리가 되어 있고, 장축 끝단 형상이 개발된 제품과는 달리 직선 형태로 되어 있어서 구속 조건이 상이하므로 생긴 결과로 분석되었다. 또한 두 제품의 경우 원소재가 상이하다는 점이 진동특성에 미치는 영향이 가장 크다고 판단된다.

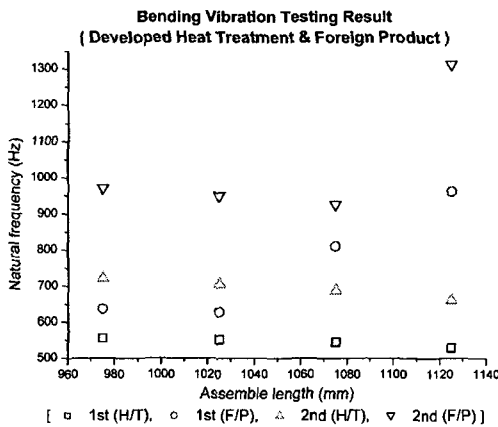
Table 2. Bending vibration characteristic testing result (Developed heat treatment & Foreign product)

Mode	Case	Natural frequency(Hz) at Assemble length(mm)			
		975	1025	1075	1125
1st	H/T	555.48	552.01	545.61	528.68
	F/P	636.83	628.05	810.22	961.34
2nd	H/T	721.84	705.81	688.00	660.82
	F/P	970.71	949.39	926.19	1,311.86





(a) Frequency response function graph



(b) Comparison graph

Fig. 7 Bending vibration testing result graph (Developed heat treatment & Foreign product)

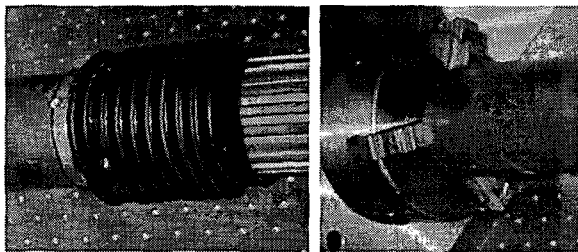


Fig. 9 Different testing condition of foreign product

#### 4. 결론

본 논문에서는 후륜구동 자동차에 사용되는 추진축의 경량화를 위해 중공소재의 추진축에 스플라인 가공을 하여 추진축 자체가 뒤차축의 상하운동에 따라 길이조절을 위해 슬라이딩을 할 수 있도록 설계/제작된 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트의 굽힘 진동 특성을 실험적으로 연구하였다. 개발된 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트는 회전/직선 구동체이므로 마찰로 인한 재료 손상 최소화 및 표면강도 향상을 위해 열

처리를 한다. 이러한 열처리로 인한 프로펠러 샤프트의 굽힘 진동 특성 영향을 알아보기 위해 비열처리 제품과 열처리 제품에 대해 동일 시험을 수행하였고, 외국에서 개발/적용되고 있는 슬립 인 튜브 프로펠러 샤프트 제품과 동일 시험을 수행하여 결과를 비교하였다.

연구결과 열처리 공정은 프로펠러 샤프트 제품의 진동특성에는 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다. 그리고 프로펠러 샤프트 조립길이가 증가할수록 각 모드별 고유진동수가 감소함을 확인할 수 있었다. 그리고 외국 제품이 개발된 제품보다 각 모드별 고유진동수가 높게 나와서 진동 특성이 우수함을 확인할 수 있었다. 하지만 외국 제품의 경우는 이음부에 고무 실링(Sealing) 처리가 되어 있고, 장축 끝단 형상이 개발된 제품과는 달리 직선 형태로 되어 있어서 구속 조건이 상이하므로 생긴 결과로 분석되었다. 또한 두 제품의 경우 원소재가 상이하다는 점이 진동특성에 미치는 영향이 가장 크다고 판단된다. 원소재의 재료분석 및 구속조건에 다른 진동 특성예의 영향 등에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 제품의 성형 치수를 정밀하게 측정하여 해석적인 분석 작업도 필요할 것으로 보인다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 “2010 생산기반 기술혁신사업” 중 (주)경창산업이 주관하고 있는 “고기능 구동체를 위한 저절삭/초정밀 부품 성형기술 개발” 사업의 위탁과제로 수행 중이며 이에 관계자 여러분들에게 감사의 말씀을 올립니다.

#### 참 고 문 헌

다음의 양식을 참고하셔서 작성해 주시기 바랍니다.

- (1) D. Richards and D.J. Pines, 2003, “Passive reduction of gear meshvibration using a periodic drive shaft”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 264, pp. 317 ~ 342
- (2) M. H. A. Janssens, J. W. Verheij and D. J. Thompson, 1999, “The use of an equivalent forces method for the experimental quantification of structural sound transmission in ships”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 226, No. 2, pp. 305 ~ 328
- (3) Durk Hyun Cho, Dai Gil Lee and Jin Ho Choi, 1997, “Manufacture of one-piece automotive drive shafts with aluminum and composite materials”, Composite Structures, Vol. 38, No. 1-4, pp. 309 ~ 319
- (4) K. Koser and F. Pasin, 1997, “Torsional vibration of the drive shafts of mechanisms”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 199, No. 4, pp. 559 ~ 565