

하이포이드 기어의 소음원인규명을 위한 디플렉션 테스트와 전달에러 측정에 대한 연구

최병재* · 오재응† · 박상길**

Identify Hypoid gear whine noise for Deflection test and Transmission error measurement

Byungjae Choi, Jae-Eung Oh, Sang Kil Park

Key Words : Hypoid gear(하이포이드 기어), Deflection Test (디플렉션 시험), Transmission error(전달에러), Gear whine Noise(기어 와인 소음), Axle(액슬)

Abstract

Hypoid gears are widely used in rear drive and 4WD vehicle axles. Investigation of their sensitivity to deflections is one of the most important aspects of their design and optimization procedures. The deflection test is performed in the actual gear mounting using completely processed gear. This test should cover the full operating range of gear loads from no load to peak load. Under peak load the contact pattern should extend to the tooth boundaries without showing a concentration of the contact pattern at any point on the tooth surface. Transmission error is tested on an axle assembly triaxial real car load condition.

기호설명

- F'i : 종합전달에러 (μ rad)
- F'l : 장파장성분 전달에러 (μ rad)
- F'k : 짧음파장성분 전달에러 (μ rad)
- F'max : 치와 치사이의 최대 전달에러 (μ rad)
- F'mit : 치와 치사이의 평균 전달에러 (μ rad)

1. 서론

자동차의 Power train 중 하나인 Axle 의 사용은 그간 FF type 차량의 보편화로 일부 소형화물차, 특수 차량 버스, 등에 주로 사용되었으나 2000 년 이후 차츰 늘어나기 시작한 RV, SUV 차량들과 중대형 고급승용차량에서 FR, 4WD, AWD type 의 구동 방식을 채택하여 차량의 성능을 한층 높이고 고급화 고성능화 되고 있다. 이로 인해 Axle 의

중요성과 역할은 날로 증가 하고 있으며, 이러한 차량들은 기존의 경유 차량과 달리 고급화 되면서 차량의 실내 Overall 소음 또한 많이 낮아져 변속기와 Axle 에서의 기어소음이 문제시 되고 있다. 저소음 Axle 개발을 위해 Hypoid gear 의 Axle Assembly 에서 입력 부하 변동에 따른 Transmission error 측정은 저소음 Axle 개발을 위한 처형수정 엔지니어의 입장에서는 기어 치면의 형상 정도와 직결되는 기어의 전달에러측정이 강하게 요구되어 왔으나 아직까지 국내에서는 Axle Assembly 에서의 Transmission error 의 측정^[4]에 대한 연구사례는 보고 되지 못하였으나 일본에서는 Transmission error 측정에 대한 연구사례^[2]가 보고되어 왔으며, 측정 정밀도 면에서 완전하지 않아 토크 변동을 측정하는 방법^[2]이 연구되고 있다. 본 논문에서는 Axle 에 사용되고 있는 Hypoid gear 의 Development(치형 개발)를 위한 deflection test^[1] [3]에 관한 소개와 deflection test 결과를 Gleason 사의 T900 을 이용한 해석결과에 대하여 논하고, Hypoid Gear 의 whine

† 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
TEL : (02)2220-0452 FAX : (02)2299-3153

* DYMOS

** 한양대학교 대학원 기계공학과

noise 의 원인규명을 위해 Triaxial Transmission error 측정에 대한 소개와 Axle Assembly 에서의 부하 변동에 따른 Transmission error 측정을 통해 Axle 에서의 소음원인을 규명하였다.

2. Deflection Test

2.1 Deflection test 소개

Axle 의 설계를 위해 부하(Torque)가 가해진 상태에서 구동 기어와 피동기어의 미세 변화량(Deflection)과 기어의 접촉모양(Tooth contact pattern)을 측정하는 시험으로 Fig1 은 Deflection 을 측정하고 있다. Tooth contact check 는 두개의 이가 맞물릴 때 Gear marking compound 를 한쪽 기어에 적당량 도포하여 기어의 Tooth contact check 한다. 측정방법은 투명 Tape 을 이용한 측정 방법이 있으며, 그 예는 Fig2 에서 볼수 있다.



Fig 1 Deflection check

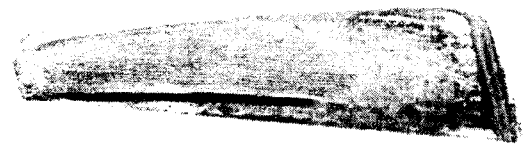


Fig 2 Tooth contact pattern check

2.2 Deflection 측정위치 및 입력 부하 조건

Deflection Test 의 측정위치는 Fig3 에 기술되어 저 있으며, Hypoid Gear 의 E,P,G, α 방향의 Deflection 량을 삼각 함수를 이용한 계산^[1]을 위해 Pinion 과 Ring Gear 의 상하 좌우의 비틀림과 Case 의 변위를 제외한 실제의 Deflection 량을 측정하며, 각 변위센서는 Pinion Gear 의 Inner BRG(베어링) 조립 부를 기준으로 위치하여 측정되어진다. Deflection Test 의 Pinion Gear 의 rpm 은 5-10rpm 으로 회전시키면서 Gear 에 Load 를 인가한다. 입력

부하조건은 차량에서 소음 발생 구간 및 여러 운전 mode(Wide open throttle, Same wide open throttle, 전폐감속, 소음발생구간에서의 Light drive)로 운전 되어질 때 가해지는 Torque 를 실측하여 입력 부하조건으로 활용한다. Fig4 는 차량에서 Axle 입력 되는 Torque 측정시험 장치의 계략도이다. Fig5 는 차량의 각 운전 mode 별 측정결과이며, Table1 은 각각의 결과를 표로 정리하였다.

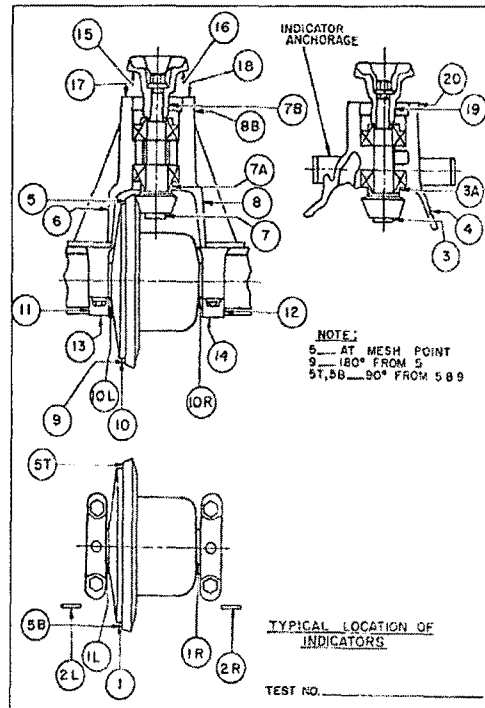


Fig 3 Displacement indicator measuring point & indicator anchorage point

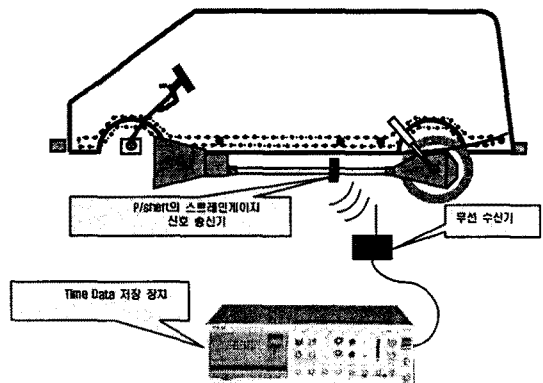


Fig 4 Measurement Axle Input Torque on vehicle

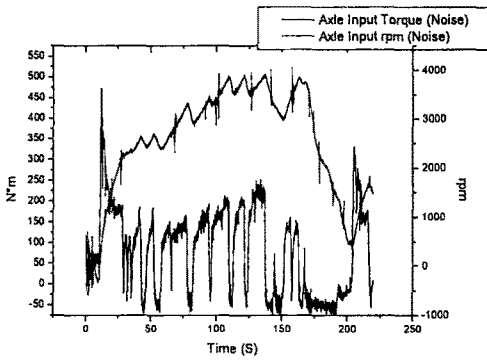
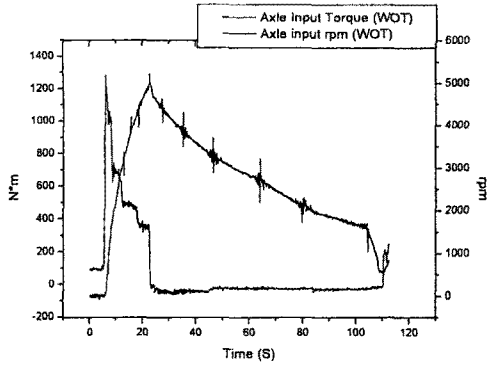


Fig 5 Axle Input Torque and rpm on test mode

Table 1 Axle Input Torque

	80~90kph	95~110kph	120~130kph
Noise section	100~150	100~170	150~200
W.O.T.	650~700	490~600	450~500
Coast	-10	-25	-40

Unit(N*m)

3. Transmission error

3.1 전달에러 측정

Axle 에 사용 되어 지는 Hypoid gear 및 변속기에 사용되는 Helical gear 의 전달에러 측정은 일반적으로 Single flank test 방법을 이용해 Gear 쌍의 전달에러 측정에 대하여 Fig6 에서 Hypoid Gear 를 위한 Gleason 사의 600HTT 장비와 Helical gear 의 Single flank test 장비를 보여주고 있다. 이 장비를 이용해 20N*m/60rpm 의 낮은 부하조건에서 평가하는 한계는 있지만 생산현장에서 매우 효과적으로 Gear 쌍의 가공 품질을 검사하고 있다. Fig7 은 장비의 내부 구조에 대해 설명하고 있다. 측정하고자 하는 Pinion 과 Gear 가 맞물려 회전할 때 기

어의 잇 수보다 최소 30 배 이상의 분해능을 가진 Rotary encoder 를 이용해 각각의 기어의 회전 각속도를 구하여 Pinion 의 잇수와 Gear 의 잇수에 따라 각각 Long wave 와 short wave 로 나누어 계산한 후 평균 tooth mesh 에 대한 Transmission error 에 대하여 계산한다. 또한 각각의 Time data 는 FFT 과정을 거쳐 각각의 Spectrum 을 계산하여 기어의 order 별 Transmission error 를 계산한다.

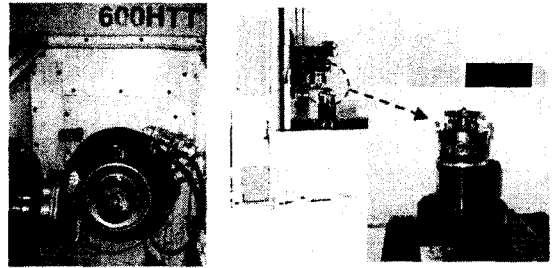


Fig 6 Hypoid Gear & Helical Gear of Single flank tester

3.2 Triaxial Transmission error 측정 system

3.1 의 Single flank test 는 Gear 의 2 축에 대한 Transmission error 의 평가였으며, Hypoid Gear whine noise 의 원인 분석을 위한 평가로서는 다음과 같은 이유로 부적절 하다. ① 낮은 부하조건 ②부하조건에서의 Deflection 에 대한 영향이 포함되어 있지 않다. ①의 원인으로는 장비의 한계로서 장비에 Gear 장비에 볼트를 이용하지 않고 마찰을 이용해 각축에 고정되므로 높은 Torque 에서의 Transmission error 의 평가는 불가능하다. ②의 원인 또한 낮은 토크에서는 Axle Assembly 에서 발생하는 Deflection 이 발생하지 않아 Gear whine noise 의 원인 규명이 불가능하다. 또한 fig8^[2]에 기존의 맞물림 오차 측정장치의 구조의 예를 나타낸다. Pinion 축과 Gear 축의 연장선상에 설치한 Rotary encoder 의 회전 data 로부터 Transmission error 를 산출된다. 모터 축에서의 외란을 막기 위해 커플링을 사용하였으나 강성이 낮아 Transmission error 의 가진에 의해 측정값이 달라지는 문제점을 가지고 있으며, Fig9^[2]는 Laser 센서를 이용한 Transmission error 측정 장치의 구조의 예를 나타낸다. 이방법의 장점은 기존의 맞물림 오차 측정장치의 단점을 보완하기 위해 Fry wheel 을 이용해 Axle Input 의 각속도를 일정하게 하였으며, 혁신적인 부분은 각도를 측정하여 Transmission error 를 측정하지 않고 Laser 센서를 이용해 각속도의 변화량을 측정해 Transmission error 를 측정하였다. 이방법의 문제점은 Laser 센서를 이용하기 위해 Axle Assembly 에 구멍이 있어야 한다. 또한 위 두종류의 측정

방법 모두 Single flank test 법의 응용을 위해 2 개의 Rotary encoder 를 사용하여 Output 한쪽을 고정하고 측정하였다. 이러한 방법의 단점은 Output 의 한쪽을 고정하여 발생하는 차동에 의해 디프기어가 회전하면서 발생하는 Transmission error 의 영향이 포함되어져 측정의 정밀도가 낮아진다. 따라서 이러한 단점들을 보완 하기 위해 Axle Assembly 상태에서 Triaxial Transmission error 의 측정이 필요하다. Triaxial Transmission error 평가 System 을 이용한다면 차량에서 Axle Assembly 에 입력되는 Input Torque 구간에서의 Transmission error 의 평가를 통해 Gear whine noise 의 원인분석이 가능하다. 또한 Axle Assembly 의 Triaxial Transmission error 평가방법은 Axle Assembly 뿐 아니라 FF Type 수동 변속기에서도 응용이 가능하다. Fig10 은 Triaxial Transmission error 측정 장치를 나타내고 있다. Axle assembly 의 Input, LH Output, RH Output 에 3 개의 Ring type magnetic Rotary encoder 를 설치하였으며, 이는 1 회당 20480 의 분해능을 가지고 있어 측정하고자 하는 Gear 의 잇수(30-80 개)의 200 배 이상으로 고정밀의 Transmission error 측정이 가능하다.

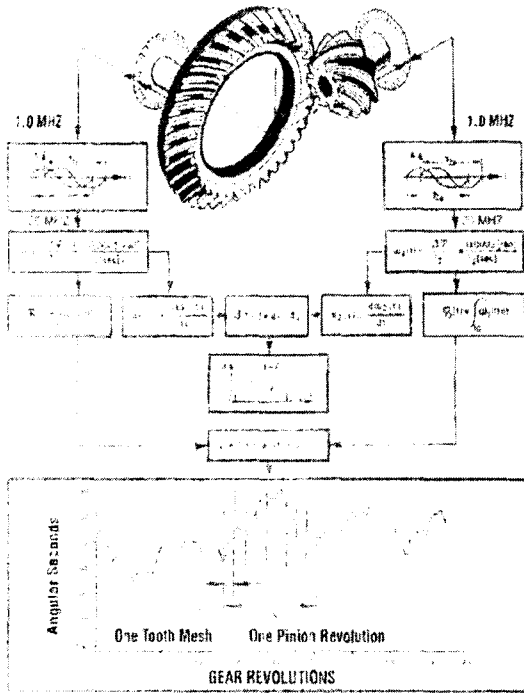


Fig 7 Gleason Single flank tester transmission error measurement system

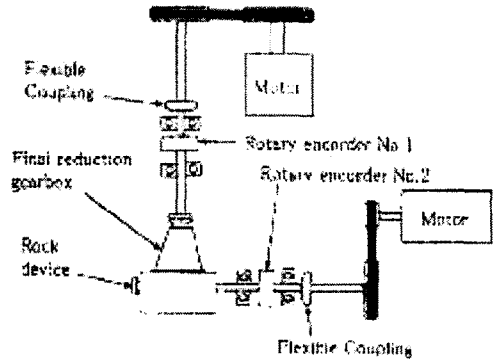


Fig 8 Conventional transmission tester

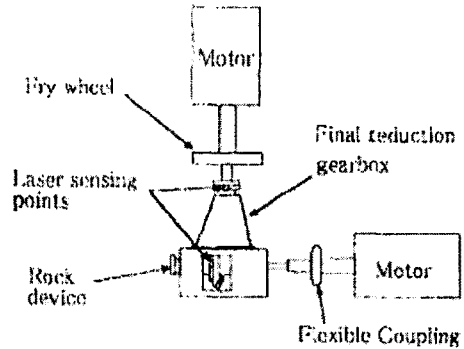


Fig 9 Transmission error measured by Angular velocity Laser sensor

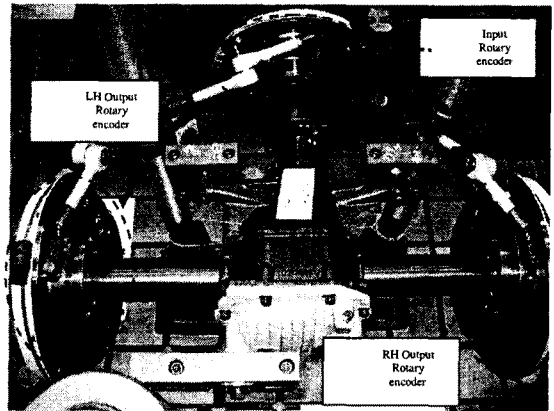


Fig10 Triaxial Transmission error tester

4. Deflection test result

4.1 승용 Axle 의 Deflection test result
 Fig 11 은 Hypoid Gear 의 좌표계를 나타내고 있다. Fig12는 P 축 Fig13은 G 축 Fig14는 E 축 Fig15는

α 각의 Deflection 결과를 나타내고 있다. Table2 는 각 Input Torque 별 Gear 의 Contact pattern 의 변화를 나타내고 있다. Contact pattern 의 변화는 전형적인 Toe Bias In pattern 의 형태에서 부하 증가에 따라 Heel 쪽으로 변지는 특성을 보이고 있다. Input Torque 증가에 따라 P 축의 경우 Drive 측은 +방향, Coast 측은 -방향의 경향을 보였으며, 최대 0.02mm 최소 -0.025mm 까지 Deflection 이 발생하였으며, G 축의 경우 Drive 와 Coast 가 +방향으로 같은 방향의 Deflection 되었고 Coast 시 0.042mm, Drive 시 0.018mm 로 Coast 시 2 배가 넘는 민감한 Deflection 결과를 보였다. E 축의 경우 Drive 시 0.03mm 로 Coast 시의 -0.045mm 보다 적었다. α 축의 경우 Drive 시보다 Coast 89.96° 로 더욱 민감한 Deflection 을 보였다.

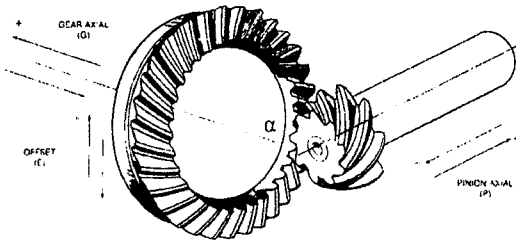


Fig 11 Hypoid gear Axial

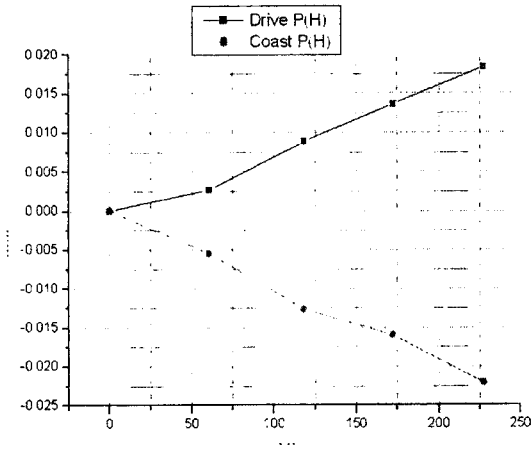


Fig 12 P Axial deflection test result

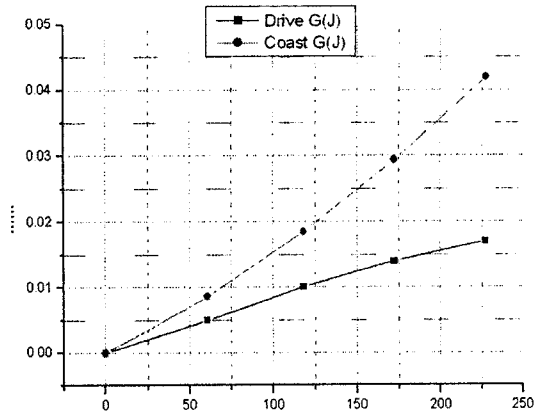


Fig 13 G Axial Deflection test result

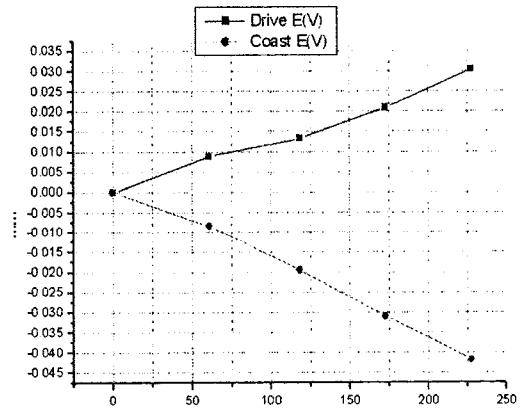


Fig 14 E Axial deflection test result

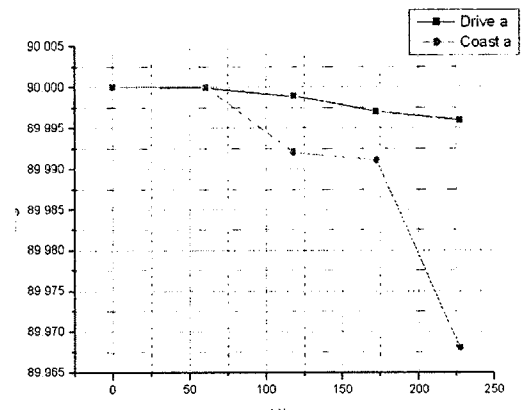


Fig 15 α Axial deflection test result

Table 2 Tooth contact pattern result

DRIVE		COAST		비고
Load	기어 접촉면 (Tooth Contact)	Load	기어 접촉면 (Tooth Contact)	
1		1		
2		2		
3		3		
4		4		
5		5		

4.2 Deflection test result 를 적용한 해석결과

4.1 의 Deflection test 결과를 Gleason 사의 T900 S/W 의 Load TCA 를 이용한 결과를 Fig16 에서 보여주고 있다. Input Torque 에 따른 Deflection 값의 적용 전후를 비교한 결과 적용한 것과 그렇지 않았을 때와 Transmission error 계산결과 주목할 만한 결과를 보였다. Fig17 에서는 Deflection 값의 적용 전후의 Drive side 의 Input torque 변화에 따른 Transmission error 변화를 나타낸다. Drive 시 Input torque 가 증가함에 따라 Deflection 값의 적용 전 감소하던 Transmission error 값이 적용 후 2 배 이상으로 증가하는 계산결과를 보였으며, Fig18 은 Coast side 의 Input torque 변화에 따른 Transmission error 변화를 나타낸다. Coast 역시 부하 증가에 따른 Transmission error 값의 증가하는 경향은 같으나 값의 증가는 Deflection 값의 적용 후 2 배로 증가하였다.

Table 3 Load vs deflection+load calculation result

구분	Load	Deflection test 결과	DRIVE		COAST		비고
			그리스 계이지 해석결과 (Load 만 적용시)	T-error (μ rad)	그리스 계이지 해석결과 (Load + Deflection 적용시)	T-error (μ rad)	
DRIVE	1			150.7		150.7	
	2			116.7		120.3	
	3			114.6		114.4	
	4			100.4		246.4	
	5			97.2		250.1	
COAST	1			195.5		195.5	
	2			198.1		218	
	3			207.2		246.2	
	4			217		267.3	
	5			231.1		304.2	

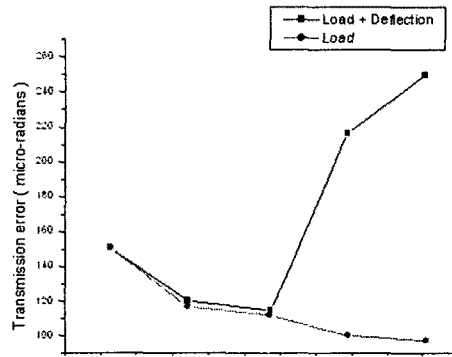


Fig 16 Drive side transmission error or load vs load + deflection

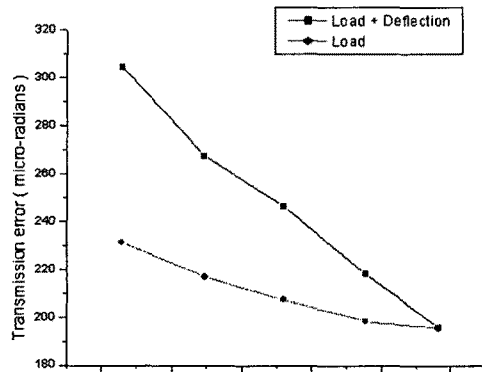


Fig 17 Coast side transmission error of load vs load + deflection

5. Triaxial Transmission error 측정결과

5.1 Axle Assembly Triaxial Transmission error 측정 결과

시험에 사용되어진 Axle 의 Pinion 의 잇수는 11 개 이며, Gear 의 잇수는 43 개이다. Axle Assembly 에서의 Triaxial Transmission error 측정은 먼저 3 축(Input, LH output, RH output)의 Time 에 대한 rpm 신호의 측정결과를 Fig18 에 나타냈다. 측정된 2 개의 output rpm 의 평균 rpm 을 구한 결과를 Fig19 에 나타냈다. Fig20 은 Input rpm 과 평균 output rpm 을 이용해 Input 을 기준으로 output 의 Total Angular displacement(μ rad)를 계산한 결과를 보이고 있다. Fig21 은 Fig20 의 Total signal 에서 Pinion gear 의 Total signal 을 계산한 결과에서 Long wave 와 Short wave 로 구분하여 보여주고 있다. Long wave 는 Pinion gear 의 Run out 량을 나타

내고 있으며, Short wave 는 Pinion gear 의 Transmission error 를 나타내고 있다. Fig22 또한 Fig21 과 마찬가지로 Gear 의 것을 보여주고 있다. Fig23 은 Pinion 과 Gear 가 맞물려 돌아갈 때 각각의 이빨이 맞물려 돌아갈 때의 Transmission error 를 평균으로 계산하여 보여주고 있다. 일반적으로 Transmission error 량은 Fig23 의 결과를 FFT 로 분석하여 Pinion 의 Mash order 에 해당하는 First, second, third order 에 대하여 분석하여 각각의 값을 Pinion 과 Gear 의 대표 Transmission error 값으로 한다. T900 을 이용해 Noise 구간의 Input torque 범위 Deflection 을 고려하여 Noise master 치형을 개발하여 Input torque 변화에 따른 Transmission error 결과를 Fig24 는 보여준다. 초기 20N*m 에서는 7 μ rad에서 225N*m 에서는 0.9 μ rad으로 낮아졌다 다시 증가하는 결과를 보이고 있다. 점선구간은 Axle 에 입력되는 실차 Torque 구간이다.

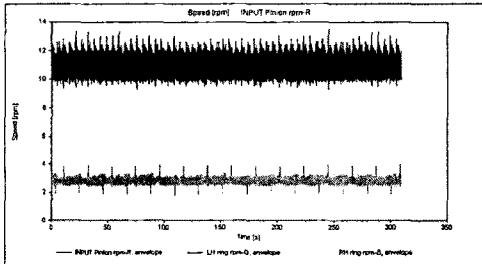


Fig 18 Triaxial time domain rpm masurment result

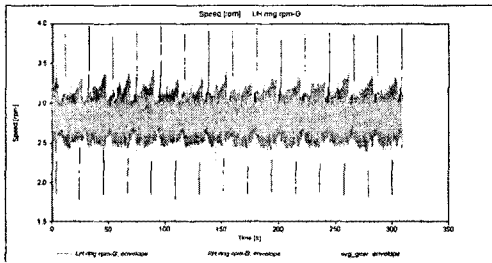


Fig 19 LH & RH output rpm averaging result

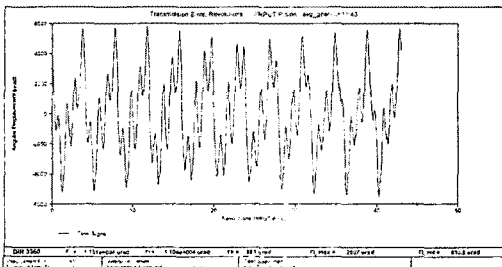


Fig 20 Total signal by reference input pinion gear

rpm signal

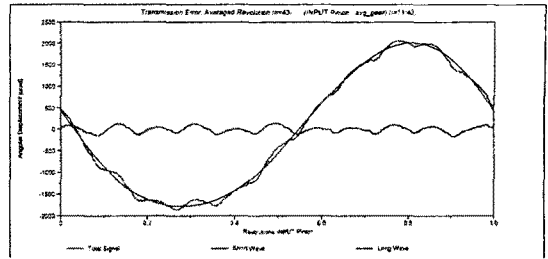


Fig 21 Total signal & long and short wave of Pinion gear

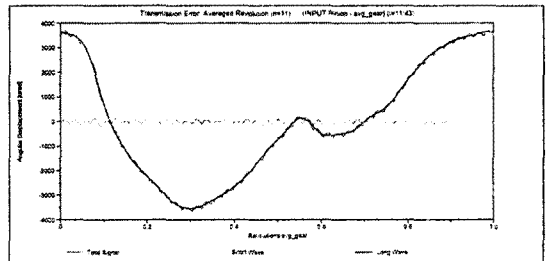


Fig 22 Total signal & long and short wave of gear

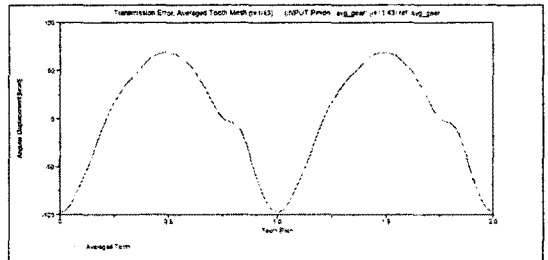


Fig 23 Averaged tooth pitch result

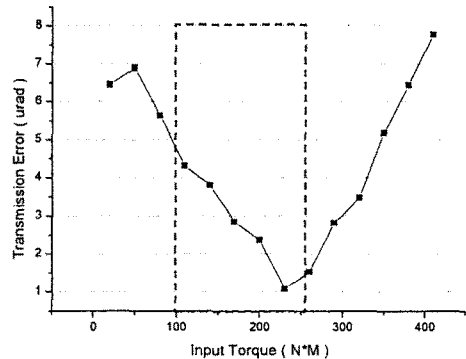


Fig 24 Transmission error result of each load condition of noise master Axle Assembly

6. 결 론

Hypoid gear 의 Gear whine noise 의 원인 규명을 위해 Pinion 의 Input torque 에 따른 Deflection 이 Transmission error 량에 미치는 영향은 2 배 이상 임을 시험과 해석을 통해 증명하였으며, Hypoid gear whine noise 의 원인은 Deflection 에 의한 Transmission error 의 증가가 원인임을 알 수 있었 으며, 이러한 결과를 이용하여 최적의 Hypoid gear 의 치형 개발에 있어서 목표가 되는 Torque 범위를 차량의 Noise 발생구간에서 Axle assembly 에 작용하는 Torque 범위로 정하여 그 Torque 범위에서의 Deflection 량을 적용하여 최소의 Transmission error 가 발생하도록 치형을 설계한다면 차량에서 Hypoid gear whine noise 의 발생을 최소화 할 수 있을 것이다. 위의 결론을 증명하기 위해 Noise master Axle assembly 의 Transmission error 측정결과 실차 Noise 발생구간에서 최소의 Transmission error 값을 보였다.

참고문헌

- (1) Wells Coleman, 1975 "Analysis or Mounting Deflection on Bevel and Hypoid Gears", Gleason Works, SAE 750152.
- (2) Kato, Nomura, Trans, 2003-12, "Measuring method of transmission error of final reduction gearboxes and gear noise occurrence mechanism", JSME, Vol.69, No.688, p230-235.
- (3) Mohsen Kolivand, Abdolhamid Hannaneh, Nasser Soltani, Zabihollah Kargar Shoroki, 2006-11, "Retaining Hypoid Gear Performance Characteristics With Differential Housing And Shafts Deflections", ASME, IMECE2006-13216.
- (4) Kato, 1985, "Analytic Procedure for Gear Tooth Surface Modification Reducing Gear Noise", JThe 3rd international pacific conference on automotive engineering, Vol.3, p773-778.