

기어 전달오차 측정 시스템의 개발 및 라인 적용에 관한 연구

Development of a Transmission Error Measurement System and Its Adaptation to a Manufacturing Line

이 현 구[†] · 이 상 화^{*} · 구 한 일^{*} · 유 동 규^{*} · 원 광 민^{*} · 이 태 휘^{**}
Hyun Ku Lee, Sang Hwa Lee, Han Il Ku, Dong Kyu Yoo,
Kwang Min Won and Tae Hwi Lee

(Received April 5, 2016 ; Revised May 31, 2016 ; Accepted May 31, 2016)

Key Words : Transmission Error(전달오차), Grinding Machine(기어연삭기), Gear Noise(기어소음)

ABSTRACT

Diverse research on gearing systems have been made to resolve gear NVH problems for many decades, and transmission error (T.E.) has been identified as one of the main sources generating gear noises. While gear profiles and amounts of tooth modifications have influences on gear noise in the design aspect, it is found that bad manufacturing conditions such as burrs, bumps and damage, which result in improper gear operating conditions, produce gear noise with respect to manufacturing process. In this paper, T.E. measurement system was introduced to examine the gears damaged or improperly manufactured, while they are assembled, by comparing T.E. values and various gear conditions with theoretical ones. This T.E. measurement system, following grinding machining process, has been installed in a manufacturing line in 2014, and it results that the transmission rework to resolve manufacturing problems is not needed at the end of line.

기 호 설 명

- θ_g : 기어 회전 각도
- r_g : 기어 반경
- θ_p : 피니언 회전 각도
- r_p : 피니언 반경

1. 서 론

자동차에서 변속기는 동력을 차단하거나, 전달하고 또는 방향을 전환하는 중요한 역할을 수행한다.

이러한 변속기를 구성하는 대부분의 요소는 기어와 베어링이다. 변속기내의 기어는 치(tooth)간의 접촉을 통하여 구동축의 동력을 피동축으로 전달한다.

일반적인 운전조건에서 기어의 치 접촉이 이상적으로 완벽하다면, 기어치 사이의 진동이 거의 발생하지 않아서 소음도 발생하지 않을 것이다. 그러나 완벽하게 설계된 기어라 할지라도 다양한 제작 요인들로 인한 생산 품질 산포를 가지게 된다. 이러한 산포가 기어소음을 유발하기도 한다. 공장의 생산라인에서 발생할 수 있는 기어소음의 원인은 주로 가공, 운반 중 손상, 조립 품질 등에 의한 것이다.

변속기 일일 생산량이 수만 대에 이르는 대량 생

[†] Corresponding Author; Member, Hyundai Motor Company
E-mail : hk-lee@hyundai.com
^{*} Hyundai Motor Company
^{**} Psylogic

[‡] Recommended by Editor Gi-Woo Kim
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

산 체제를 가지고 있는 다국적 글로벌 기업으로서는 한 순간의 품질관리 실수가 회사에 막대한 손실을 초래할 수 있다.

저급한 기어의 품질은 소음을 유발하고 고객들에게 아주 낮은 품질의 차량을 구입했다는 인식을 심어줄 수 있다. 따라서 기어 가공에서는 열처리 품질 산포를 최소화하기 위하여 열처리 후 가공하는 그라인딩(grinding) 공법 등을 주로 적용하고 있다. 자동 수치제어가 되는 그라인딩 머신에서는 설정된 기어의 이상적인 치형을 원하는 임의의 지점에서 자유자재로 수정할 수 있다. 따라서 대량생산, 고정도의 기어 가공 공법으로 그라인딩 공법을 사용하여 품질 안정화를 추구하고 있다.

그라인딩 공법으로 전반적인 생산 품질을 안정화시킬 수는 있으나, 그라인딩 가공상의 돌발 문제를 모두 완벽하게 해결할 수는 없다. 이러한 문제를 해결하고자 국내에서는 그라인딩머신의 워홀과 가공조건 등에 따라 발생하는 품질편차를 최소화하기 위하여 그라인딩 장비의 가공조건을 최적화 하는 연구가 진행되었다⁽¹⁾. 뿐만 아니라, 변속기 소음 측면에서 감성품질 불량품이 차량에 탑재되는 것을 막기 위하여 변속기 생산 라인의 끝부분에 전수 품질 점검 시스템인 'EOL(end of line)'을 도입하여 전수 점검을 통한 변속기 소음, 진동 품질관리를 실시하고 있다^(2,3). EOL 품질 검사 시스템에서는 기어 가공불량이나, 사양 오조립 등으로 인한 변속기가 출하 전에 걸러진다. 그러나 이것은 문제가 된 변속기를 분해, 부품교체, 재조립을 하기 때문에 생산자 입장에서는 직행률이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 새로운 기법과 장비의 개발로 감성품질도 유지하며 직행률도 향상시킬 필요성이 대두되는 것이다.

많은 연구자들에 의해 기어 소음을 저감하는 효과적인 방법이 기어의 전달오차를 줄이는 것으로 알려져 왔다⁽⁴⁻⁷⁾. 전달오차의 측정에는 저속, 무부하 조건에서 측정하는 정적 전달오차(static transmission error)와 저속, 부하조건에서 측정하는 정적 하중 전달오차(static loaded transmission error) 그리고 동적 조건, 고토크 영역에서 측정하는 동적 하중 전달오차(static loaded dynamic transmission error) 등으로 구분할 수 있다. 정적 전달오차는 가공과 관련된 문제를 검출하기에 적합한 것이고, 정적 하중 전달오차는 기어의 치 강성에 대한 기하학적 제원과 설

계적인 측면이 고려된 것이다. 또한 동적 하중 전달오차는 운전하는 동적인 특성 등이 작용되는 것으로 운전조건하에서 발생하는 토크, 베어링 포스, 치에 가해지는 동적인 힘 그리고 모멘트 특성 등이 실려 있다. 따라서 변속기 전체에 대한 구조나 운전 조건 등의 통합 개발이 필요한 경우에는 정적 하중이나, 동적 하중 전달오차에 대한 측정과 분석이 적당하나, 생산 라인에서 기어 가공 품질에 대한 것을 검출하는 것에는 정적 전달오차를 측정하는 것이 가장 적당하다.

국내에서 연구된 가장 최근의 전달오차 측정에 대한 연구는 외접기어와 유성기어 시스템에 대한 전달오차 측정기를 개발한 연구가 진행되었다. 외접기어 전달오차 측정기는 대상 소음과 전달오차의 값을 비교하여 스펙을 제시하였고, 유성기어의 전달오차 측정시스템 개발은 세계 최초로 개발된 것으로 대상 소음의 높고 낮은 현상 구분을 통한 양품과 불량품에 대한 구분이 가능하다는 연구가 보고되었다^(8,9). 이 논문에서는 기 개발된 외접기어 전달오차 측정장비의 양산 적용을 위한 문제점 등을 보완하고 실제 기어 가공라인에서 발생할 수 있는 다양한 문제 유형별로 약 2000대 이상을 평가하고 분석, 예측된 데이터로 검출 코드를 비교하여 설정하고 생산라인에 설치한 것으로 양산라인의 사이클 타임(cycle time)에 영향을 미치지 않고도 실시간으로 전달오차를 측정 검사하는 시스템을 개발한 것에 의의가 있다.

전달오차 측정장비가 설치되기 이전에는 1년 동안 수백 대의 자동변속기가 기어 가공 품질 불량으로 EOL에서 검출되어 변속기가 출하되지 못하였다. 그러나 개발된 기어 전달오차 측정장비를 설치하여 기어 가공 시 발생하는 문제점을 사전에 걸러서 조립하기 때문에, EOL에서 출하되지 못하는 문제가 없어졌다. 뿐만 아니라, 기어가공 후 실시간으로 측정을 진행하기 때문에 가공상의 문제점을 실시간으로 피드백(feedback)하여 기어 가공품질 향상에도 기여하였다.

2. 본 론

2.1 기어 가공 품질과 그라인딩 가공

기어의 가공품질 중 가장 많은 영향을 미치는 부분은 가공 공법과 열처리 부분이다. Table 1은 여러

Table 1 Gear quality levels and manufacturing methods

KS B ISO 1328 (JIS B 1702)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Grinding			○	○	○	○	○	△					
Honing					○	○	○	○	○				
Shaving						○	○	○	○	○			
Shaving + hear treatment							○	○	○	○	○	○	○

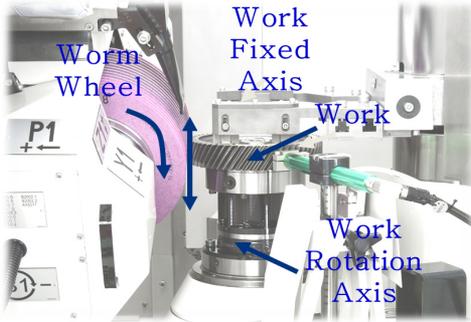


Fig. 1 Gear grinding machine

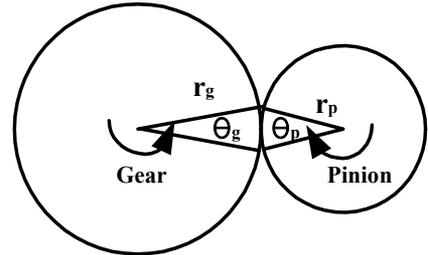


Fig. 2 Transmission error

가지 기어 가공법과 2005년 개정된 KS 기어품질에 따른 등급 구분에 대한 것을 표기한 것이다. 셰이빙 (shaving) 가공 후 열처리를 한 것은 KS 12등급까지 저하될 수 있으나 그라인딩은 KS 7등급이 최하 등급이다. 따라서 대량생산체제에서는 그라인딩 공법을 선택한다.

Fig. 1은 라이샤워(Reischauer)사(社)의 그라인딩 머신으로 기어를 가공하는 예를 보인 것이다.

기어인 워크가 고속으로 회전하는 조건에서 워휠 (숫돌)이 일정한 회전수로 회전하면서 정해진 속도로 상하로 이동하여 기어의 표면을 가공한다.

그라인딩 가공 공법 적용으로 나타나는 기어품질의 문제점 등은 장비의 기본적인 성능과 노후화, 특별한 가공조건에서의 장비 공진 문제, 숫돌의 크기 변화에 따른 품질, 숫돌입자 탈락에 의한 품질, 사용하는 절삭유의 종류, 워크 고정 방법과 고정력 크기, 그리고 가공하는 작업자의 경험과 능력 등에 따른다.

2.2 기어 치합전달오차와 소음

어떤 기어에서 치탄성변형, 축처짐, 치형상오차 등의 비정상 성분들은 입력 구동축에서 출력 피동축으로 전달하는 각운동을 불완전하게 만든다. 이러한 각운동의 차이가 전달오차이다. 기어가 회전하면서

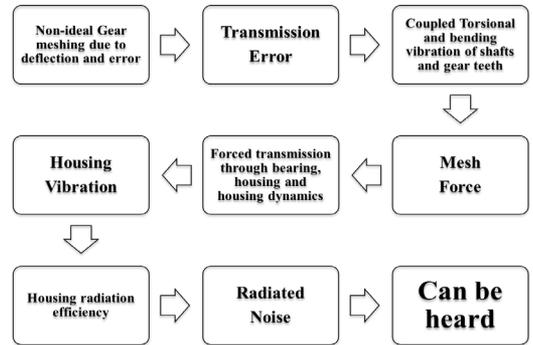


Fig. 3 Transfer paths of gear noise

전달오차의 차이가 기진력이 되어 진동을 유발하고 진동이 반복되어 기어 소음으로 발현되는 것이다.

Fig. 2는 기어 전달오차를 간단하게 표현한 것으로 이론적인 회전값에서 실제 회전값을 뺀 것을 표현한 것이다. 식 (1)은 그 예를 보인 것이다. Fig. 3은 기어 소음이 발생하여 전달되는 경로에 대한 것을 도식화한 것이다.

$$T.E. = \theta_{p_theory} \cdot r_p - \theta_{p_real} \cdot r_p \tag{1}$$

2.3 변속기 생산 공장의 기어 품질관리

현재 국내외에서 변속기를 생산하는 거의 모든 공장에서는 EOL을 통하여 소음 진동 품질 검사를 진행하고 있다. 많은 수의 부품으로 조립되는 변속

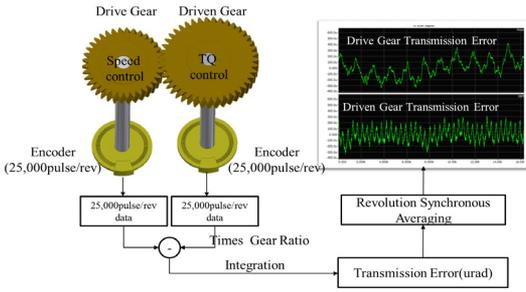


Fig. 4 Transmission error measurement and analysis methods

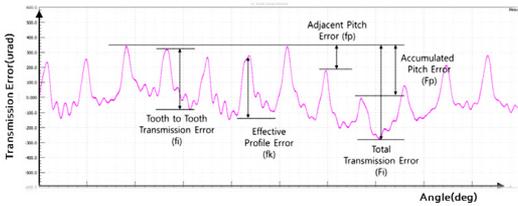


Fig. 5 Transmission error analysis in data

기를 생산하다 보면, 기어의 열처리, 가공, 운반, 조립 등에 의한 품질산포가 존재한다. 특히 가공, 운반, 조립의 과정을 거치는 동안 발생한 불량품 기어는 EOL에서 걸러지게 되고, 이렇게 걸러지는 변속기는 분해, 조립 후 정상변속기로 개선한 뒤 출하된다. 그러나 이러한 과정에서 불필요한 비용과 직행률의 저하, 그리고 작업자의 불만이 쌓이는 과정이 반복될 수밖에 없다. 이러한 현상은 노후화된 가공 장비의 사용과 부주위한 작업자 등에 의해 부득이하게 발생하는 현실적인 현상이다.

이를 개선하기 위하여 새로운 고용량의 가공 장비를 도입하는 것은 고비용이 투자로 이어진다. 새로운 장비가 설치되었다고 하더라도, 장비를 운영하는 사람의 기술적 숙련도가 일정 수준에 도달하지 않으면 예상치 못한 문제가 재발되기도 하다. 따라서 품질 산포를 가질 수밖에 없는 현실을 적극적으로 수용하더라도 문제 기어가 사전에 걸려져서 조립 라인으로 진입하지 않도록 하는 검사시스템이 필요한 것이다.

2.4 전달오차 측정 시스템

Fig. 4는 전달오차 측정시스템의 측정과정을 설명한 것이다. 전달오차를 측정하기 위하여 1회전당

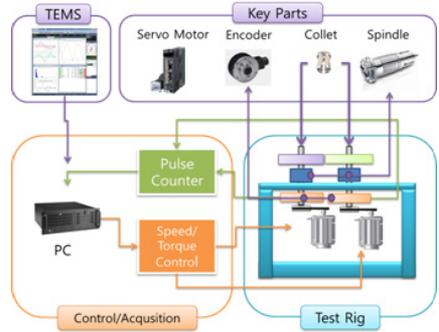


Fig. 6 Transmission error measurement system

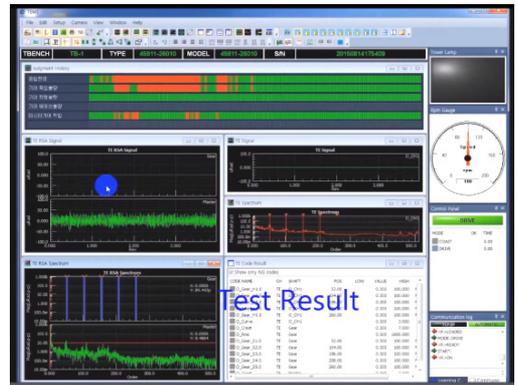


Fig. 7 Result of measured transmission error

25 000개의 펄스 신호가 발생하는 고성능 엔코더를 드라이브와 드리븐 기어에 각각 장착되도록 하여 각각의 회전 속도 신호를 추출하고 기어비를 계산한 다음, 그 차이 값을 구하고 적분하여 전달오차를 구하였다. 이 결과값으로 각각의 드라이브와 드리븐 기어의 회전 신호 기준으로 여러 번 반복 평균 분석하는 회전동기화평균법(synchronous averaging revolution)을 이용하여 전달오차값을 분석하면 드라이브 기어와 드리븐 기어별로 구분하여 현상 분석이

Table 2 Specifications of a transmission error measurement system (hardware)

Functions	Specifications (hardware)
Servo motor	SIMENSE 1.5 kW (7.5 Nm)
Control mode	Drive : speed control Driven : torque control
Encoder	25 000 pulse/rev
Clamping unit	Drive : manual type Driven : automatic type (axis forces : 700 kgf)
Spindle + collet	Runout 5 um
Center distance	Automatic control
Size	1250 mm × 700 mm × 1320 mm
Cycle time	Ace 12 s, Dec 12 s, Total 53 s
Etc.	Camera exit transfer unit

Table 3 Codes and causes of gear faults

Detecting codes	Explain (causes)
O_Rms	TE average (several causes)
O_Peak	TE max (several causes)
O_Crest	Nick
fi_avg	Tooth T.E avg (bumps)
fk_avg	Tooth profile error avg (bumps)
O_Output_H1.0 ~ H5.0	Gear mesh frequency (profile error)
O_Output_S1.0 ~ S5.0	Side band (gear run-out)
O_Curve	Spectrum pattern (bumps, cave-in)
O_Output_H1.2	Specified har (profile/lead wave)

가능해 진다.

Fig. 5는 이렇게 분석된 데이터를 가지고 각각의 현상이 나타내는 것을 정리한 것으로, 기어 1회전당 골과 산의 전체 깊이에 해당하는 전체 전달오차, 기어 평균 오차, 최고/최소 오차, 기어의 피치오차, 누적피치오차 등을 구분한 것을 설명한 것이다.

Fig. 6은 전달오차 측정시스템의 구성도와 실제 공장 라인에 설치된 예를 보여준 것이다. Fig. 7은 전달오차의 측정 결과를 보여주는 화면을 나타낸 것이다.

Table 2는 전달오차 측정시스템의 하드웨어의 제원에 대한 것을 나타낸 것으로 드라이브는 속도제어를

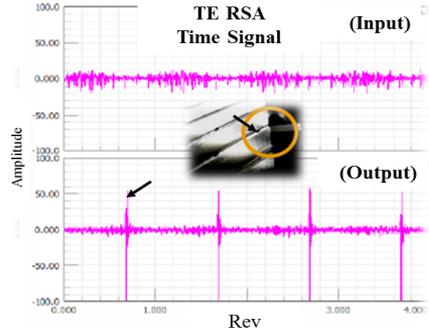


Fig. 8 Time-domain T.E. signal from a gear with a nick

드리븐은 토크제어를 하여 기어가 항상 일정한 속도와 하중에서 평가되도록 구성되었다. 정회전과 역회전을 각각 12초씩 평가를 하여 기어 치면의 모든 부분을 점검할 수 있으며, 기어의 로딩부터 측정, 출하까지의 과정에서 전체공정상의 사이클 타임에 영향을 미치지 않도록 구성하였다.

Table 3은 다양한 원인에 따른 분석 코드를 나타낸 것이다. 타임시그널(time signal)을 FFT(fast fourier transform) 분석을 통하여 항목별로 정리된 것으로 O_Rms, O_Peak 등의 값은 다양한 원인이 존재할 수 있다는 것을 나타낸 것이고, O_Crest값은 평균 rms값에 대한 peak to peak값의 비를 나타낸 것으로 기어 찍힘인 닉(nick)이 명확한 경우에 나타난다는 것을 의미한다. 이외의 코드들은 각각의 기어 형상의 문제점 등에 대한 것을 언급한 것이다.

2.5 다양한 사례 연구

(1) 기어닉(gear nick)

기어를 운반하다 작업자의 부주의로 떨어뜨리는 경우 기어 치에 찍힘 손상이 생기는 경우가 있다. 이러한 문제의 검출코드는 O_Crest로 검출한다. Fig. 8은 아웃풋 기어의 1개 치에 닉이 발생한 것을 타임시그널을 계측, 동기회전 평균화법으로 분석한 것으로 출력측에서 1회전당 신호가 강력하게 나오는 것을 확인할 수 있다.

(2) 다양한 그라인딩 가공 불량에 따른 현상

그라인딩 장비로 가공하는 경우, 임펄스의 드레싱 직후에 불량 치형이 많이 검출된다. 리드(lead)치형

Table 4 Some results caused by various causes and detecting codes

Cases	Gear	Condition	Detect code	Value (m+)
Gear nick	A	Dec	O_Crest	33.8 σ
Lead wave	A	Dec	H1.2/H2.1/H2.2	8.3 σ
Non manufacturing bottom of gear	A	Acc/Dec	O_Curve	51.1 σ
Bump in the tooth	A	Acc	O78, O112	11 σ
Profile & lead wave	B	Dec	H2.1/H3.1/H4.1	14.3 σ
Incomplete manufacturing	B	Ace	O_fi	9.5 σ
Tooth dent	C	Dec	O_Rms etc	13.5 σ
Non manufacturing bottom of gear	D	Ace	O_Rms etc	38.7 σ
Debris	E	Ace	O_Crest	7 σ
Different gear	E	Acc/Dec	H1.0, O_Curve	16 σ

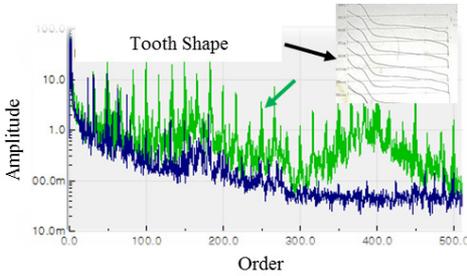


Fig. 9 Frequency-domain T.E. signals from a gear with some wave defects in lead shape

러한 경우 저부하 조건에서 소음 현상이 나타난다. Fig. 10은 스프링 백 현상이 있는 치형상과 측정 결과를 보여준 것으로 평가가 진행된 469개 기어 중 3개가 치끝 돌출이 발생했다고 나타난 경우를 표기한 것이다. 특정한 영역에서 OA값이 양산 평균값인 1.0(분산 $\sigma = 0.5$) 정도이나 불량품은 6.5 정도의 높은 값을 나타낸다.

(3) 이중 기어 조립

한 개의 가공 라인에서 여러 개의 기어를 생산하기 때문에, 이중 기어가 투입되는 경우가 가끔 발생한다. 이중기어가 투입되는 경우 전달오차 1차 하모닉 값인 H1.0 및 전체 주파수 분석 레벨인 O_Curve 값이 전체적으로 상승하는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 정상인 경우 H1.0 값이 20 미만이나, 이중기어가 들어간 경우 약 120까지 상승하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 11은 앞서 언급한 이중기어가 중간에 유입되었을 때의 전달오차값과 일반적인 경우의 결과를 나타낸 것이다.

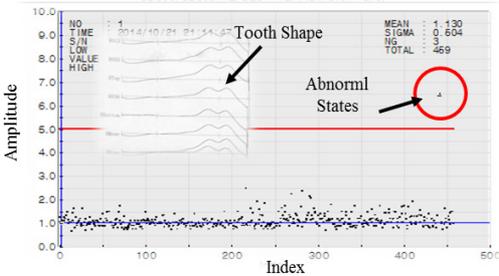


Fig. 10 Frequency-domain T.E. signals from a gear with some spring-back defects in profile shape

불량의 검출코드는 O_Output_H1.2/2.1/2.2로, 기어 하모닉 성분의 1.2배, 2.1배, 2.2배의 값으로 나타난다. 이 값은 그라인딩 가공 조건에 따라 달라지기도 한다.

Fig. 9는 리드 치형 불량품의 치형 형상과 전달오차값의 차수별 스펙트럼 분석 결과 예 를 보인 것이다. 정상적인 값보다, 전 주파수 대역에서 값이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

그라인딩 가공을 진행하는 경우, 가공 조건이 최적화되어 있지 않으면 치의 끝부분에 가서 스프링백이라는 현상으로 치끝이 돌출되는 경우가 있다. 이

(4) 라인 검출력

Table 4는 라인에 설치된 이후 다양한 문제 조건에서 검출된 현상과 검출코드 그리고 그 값에 대한 결과 값을 표기한 것으로 특정한 문제품에 대해서는 특정 코드가 높게 상승하는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 산포는 평균값(m) + 3 시그마(σ) 정도 이내에서 관리한다. 3 시그마(σ) 이상의 값이 나타나면 특정한 문제점에 대한 검출력이 우수하다고 판단되는데, 개발된 전달오차 측정장비는 각각의 원인 항목과 검출 함수별 특정값이 평균값 대비 최소 7 시그마(σ)에서 33.8 시그마(σ)까지 높은 검출력을 나타내고 있다.

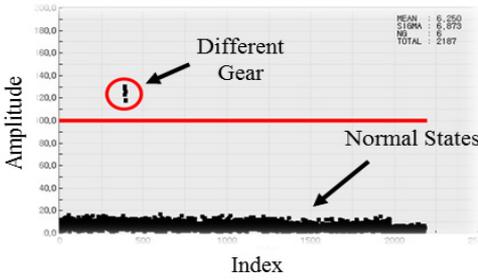


Fig. 11 Calculated index results from different gear ratio

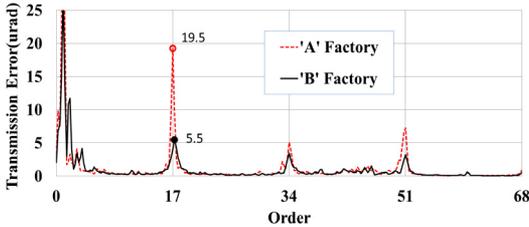


Fig. 12 A spectrum analysis result in same gear specifications

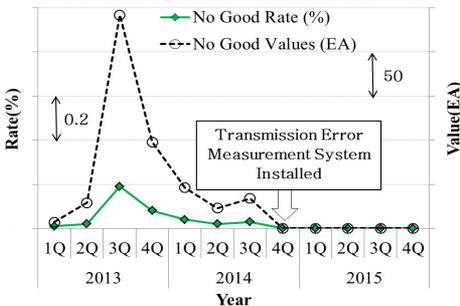


Fig. 13 Trends of no good rate and values before and after installation of transmission error measurement system

뿐만 아니라, 생산 공장이 다르지만 동일한 제원의 기어를 평가해 보니, 각각의 전달오차 값이 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 실제 문제가 되지 않지만, 각 공장의 가공 품질에 대해서도 점검, 비교할 수도 있는 것을 확인하였다. Fig. 12는 그 결과를 보인 것으로 ‘A’ 공장에서 생산되는 기어가 ‘B’ 공장에서 생산되는 기어 대비 품질이 약 4 배정도 열세한 것을 확인할 수 있다.

Fig. 13은 전달오차 측정 시스템을 설치하기 전과

설치한 후의 EOL에서 기어 가공 문제로 인한 검출에 대한 자료를 정리한 것이다. 전달오차측정 시스템을 설치한 이후 시점(2014년 4분기)부터 EOL 불량율과 문제 기어 검출에 의한 교체가 ‘0’이 되어 직행률이 100 % 개선되었음을 확인할 수 있다. 간혹 가공기어에 오일에 의한 이물질이 부착되어 전달오차값이 높게 나오는 경우가 있으나, 이러한 경우는 작업자의 육안 검사와 세척 후 재순환 검사를 통하여 재평가가 실시하여 검출한다.

3. 결론

이 연구는 기어 가공 시, 운반 및 조립 시 발생하는 다양한 품질 불량으로 인하여 발생하는 문제를 사전에 검출하기 위하여 전달오차 측정장비를 개발하여 공장 라인에 설치함으로써 EOL 직행률을 100 % 개선한 것으로 결론은 다음과 같다.

- (1) 변속기 기어 그라인딩 가공 불량으로 연간 수백대의 변속기가 EOL에서 불량으로 검출되어 분해, 재조립되었고, 수천 개의 기어를 폐기 처리하였으나, 전달오차 측정시스템 설치 후, 다양한 검출 코드를 개발하고 반영하여 가공불량에 의한 분해, 재조립이 한 건도 없다.
- (2) 기어 전달오차 측정 시스템을 통하여 기어 가공상의 문제점을 실시간으로 피드백하여 일정 수준 이상의 가공품질을 유지할 수 있고, 구축된 전달오차 데이터 베이스를 통하여 가공조건, 가공 툴 교체 주기 등에 따른 영향성 등을 확인할 수 있다.
- (3) 개발된 장비로 공장별 품질 문제의 차이를 확인할 수 있으며, 여러 공장에 설치되었고, 해외로 송부되는 기어의 검사 시스템으로도 이용되어 해외 생산 변속기의 품질을 향상시킬 수 있다.

Reference

- (1) Lee, H. K., Kim, M. S. and Kang, K. T., 2010, An Experimental Research for the Optimization of the Gear Grinding Machine's Operating Condition, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 7, pp. 665~671.
- (2) Lee, H. K., Kim, M. S., Hwang, S. Y., Yoo, D.

K. et al., 2011, A Development of the Noise Quality Checking System EOL of the 6th Speed Automatic Transmission in the USA, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 7, pp. 657~664.

(3) Knöfel, B., Troge, J., Drossel, W., Krohn, N. et al., 2015, Acoustic Emission of Gearboxes at End-of-line Testing and in Vehicles, International Automotive Acoustics Conference, Proceedings CD-ROM.

(4) Tarutani, I. et al., 1994, Analysis of Gear Transmission Error, Fisita International Congress at Beijing, No. 945029, pp. 250~259.

(5) Kubo, A. et al., 1990, Representative form Accuracy of Gear Tooth Flanks on the Prediction of Vibration and Noise of Power Transmission, Transaction of JSME, Vol. 56, No. 532, pp. 3398~3403.

(6) Yuruzume, I., 1979, Transmission Errors and Noise of Spur Gears Having Uneven Tooth Profile Errors, Transactions of the ASME, Vol. 101, pp. 268~273.

(7) Chung, C., Steyer, G., Abe, T., Clapper, M. et al., 1999, Gear Noise Reduction through Transmission Error Control and Gear Blank Dynamic Tuning, SAE Technical Paper 1999-01-1766, pp. 877~886.

(8) Lee, S. H., Lee, H. K., Kang, S. C., Kim, S. Y. et al., 2014, A Research for the Development of the Transmission Error Measuring System and Transmission Error Specification for the Gear Noise Quality,

Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 6, pp. 470~475.

(9) Lee, H. K. Do, J. G., Hong, S. M., Yoo, D. K. et al., 2014, A Research for a Development of the Test Equipment for Transmission Error of the Planetary Gear Carrier Pack, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 7, pp. 549~554.



Hyun Ku Lee is a NVH senior research engineer in the Hyundai - Kia Motors Research and Development Division. He received his B.S. and M.S. degrees of Mechanical Engineering from The Konkuk University in 1995

and in 1997 respectively. He is registered in the Marquis Who's Who in the World 2016, 33rd Edition and in the 2000 Outstanding Intellectuals of 21st Century 10th Edition 2016 of the International Biographical Centre. He developed several 6th, 8th speed ATs, a CVT, and Transmission error measurement Equipment for external gear and planetary gear sets and a pRMC, a PTA program for gear designer and also authored several papers related on the automatic transmission noise. His current research on automatic transmission's noise focused on the planetary gear, oil-pump, EOL, Transmission Error and so on.