

<응용논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2010.34.2.237

생산라인용 자동차 변속기용 헬리컬 기어 검사 장치에 관한 연구

이민기\* · 이응석\*† · 김기남\*\* · 김광중\*\*

\* 충북대학교 기계공학부 , \*\* (주)삼호정기

A Study on the Helical Gear Inspection System for Vehicle Transmission Gear Manufacturing Line

Lee Min-Ki\* , Lee Eung-Suk\*† , Kim Ki-Nam\*\* and Kim Kwang-Jung\*\*

\* School of Mechanical Engineering, Chungbuk Nat'l Univ.,

\*\* SAMHO Machinery Co. Ltd.

(Received September 15, 2009 ; Revised December 16, 2009 ; Accepted December 19, 2009)

**Key Words:** Master Gear(마스터 기어), Hi Monitor Gear(하이 모니터 기어), Low Monitor Gear(로우 모니터 기어), Run-Out(런아웃), Work Gear(워크 기어)

**초록:** 본 논문은 자동차 변속기의 헬리컬기어 검사 장치에 대한 것이다. 기어 프로파일 전용 검사설비는 시간이 많이 소요되므로 생산라인용으로 적합하지 못하다. 본 논문에서 사용된 마스트기어를 이용하여 생산된 기어와 비교하여 방법은 보다 경제적이며 효율적이다. 본 논문에 사용된 3가지 기어검사 파라미터는 nick, 흔들림(run-out) 및 PCD (pitch circle diameter) 등이다. 기어검사장치의 측정정밀도에 영향을 미치는 요소들에 대해서도 또한 언급되었다. 이 장치는 현재 국내에서 전량 수입되는 기어 생산라인용 설비에 실제적으로 사용될 것이다.

**Abstract:** This paper presents a study on the helical gear inspection system for application to vehicle transmission gear manufacturing lines. The special gear profile inspection system is not suitable for manufacturing lines due to the measuring time. The master gear method, which was used in this study and compared with the machined gear in the line, is more efficient and economical. In this paper, three helical gear inspection parameters were of concern: nick, run-out, and PCD (pitch circle diameter) error. To evaluate its influence on the accuracy, the gear measuring system was also studied. This system can be useful in practical vehicle transmission gear manufacturing lines, where imported equipment is currently being used.

1. 서 론

고객이 자동차를 구매할 때 승차감과 함께 자동차의 소음 및 진동은 구매조건인 필수조건이 되고 있으며, 이런 소음 및 진동의 원인은 여러 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 자동차 외부적으로는 바퀴와 지면에 의한 마찰음 및 진동, 자동차가 진행 중 바람을 가르며 나는 소리 등이 있다. 둘째, 내부적으로는 자동차 엔진부와 엔진에서 출력되는 힘을 전달하는 기계적 소음 및 진동 등으로 분류할 수 있다. 이런 소음과 진동 중 우리가 관심 있는 부분은 자동차의 내부 소음 및 진동으로, 엔진에서 출력되는 힘을 전달하는 자동차 변속기

의 소음 및 진동이다.

자동차 변속기의 내부는 수많은 기어의 조합으로 이루어져 있으며, 적절한 감속비로 자동차 주행시 주행 성능의 기준으로 사용된다. 변속기의 품질기준은 내구성이 좋아야 하고, 기어 소음이 적으며, 변속 충격이 적고 변속시 부드러운 운전이 가능해야 한다.

본 연구는 자동차 변속기 내부에서 동력을 전달하는 헬리컬 기어의 소음 및 진동을 줄이기 위한 하나의 방법으로 정밀하게 가공된 기어를 검사하는 장치를 연구<sup>(1-3)</sup>하였으며, 가공된 기어의 중요한 인자로는 각 수치의 가공 상태와 흔들림 정도, 피치원 지름의 정밀도로 양품 및 불량품을 판단하는 방법에 관한 것이다.

† Corresponding Author. eungsuk@chungbuk.ac.kr

## 2. 라인용 기어 검사 장치의 개념

자동차 변속기 내부에 사용되는 동력 전달용 기어는 고속회전에 큰 토크 전달을 위하여 부드럽고 조용한 헬리컬 기어를 사용한다. 또한 변속기 내부에 사용되는 기어는 전량 전수검사를 시행하기 때문에, 변속기 내부의 기어 숫자만큼 전용 기어 검사 장비를 필요로 한다. 그러나 국내에서 현재 사용 중인 기어 검사 장비는 독일 및 일본 등 해외 자동차 회사와 기어 회사의 장비를 수입하여 사용하고 있으며, 장비에 문제가 발생하였을 경우에 따른 시간도 많이 소요되고 있다. 또한 기어 측정 방식에 대해서는 중요한 노하우이므로, 외부로 거의 알려지지 않고 있는 상태다. 또한, 기어 프로파일 측정 전용 장치는 off-line으로 검사실에서 한정된 수량의 정밀측정에 사용되며, 측정시간의 문제로 라인용으로는 사용이 불가능하다.

Fig. 1은 헬리컬 기어 검사기 설계이며, 정밀하게 가공된 마스터 기어를 가공된 워크 기어와 함께 회전시켜 마스터 기어부의 변위를 LVDT로 측정한다. 이때 한쪽에는 스프링을 장착하여 마스터 기어와 워크 기어가 일정한 압력이 유지되도록 하고, 측정된 변위값은 PC로 입력되어 분석 작업을 실시한다. 본 장치는 기어생산 라인에서 로봇에 의해 시험물이 장착, 탈착되면서 분당 수

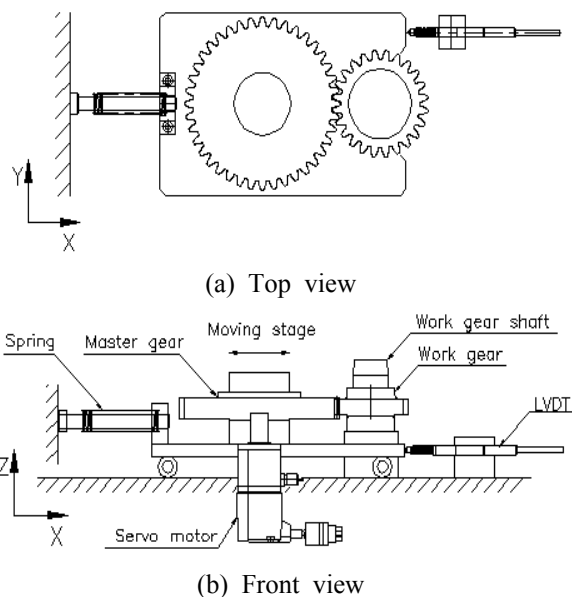


Fig. 1 Diagram of the helical gear inspection system

개의 기어 검사가 가능하다. LVDT의 위치는 워크 기어와의 간섭을 피하기 위하여 중심이 아닌 위치에 설치되었으며, 워크기어를 모니터 기어와 같은 조건에서의 비교측정 방식이며 (동일 LVDT의 위치에서), 또한 LDVT의 설치시 발생하는 정렬오차 등은 정렬 각도가 일정이하의 경우 적은 값으로 판단된다. 변속기어는 스프라인방식과 테이퍼 방식의 2가지가 사용되고 있으며, 본 연구에서는 테이퍼 방식으로 조립공차에 의한 흔들림을 없애기 위하여 테이퍼 jig를 선택하였다. 스프라인 방식의 경우는 같은 축의 테이퍼 스프라인 jig를 제작하여야 할 것이다. 검사 기어의 loading은 실제 현장에서는 라인용 로봇을 이용하지만, 본 실험 장치에서는 수작업으로 하였다.

## 3. 기어 검사 장치의 정밀도 분석

### 3.1 Moving stage의 진직도

Fig. 2는 실제 제작된 헬리컬 기어 검사기로, 각 장치 요소의 오차 요인을 분석하였다. 가공된 기어를 검사하기 위해서는 각 부분의 기계적 오차를 측정하고, 측정된 값이 기어를 측정한 결과에 어떠한 영향을 주는지 파악하기 위한 것이다. Fig. 3은 장치의 진직도를 측정하였으며, 스테이지가 운동하는 X축 방향으로 5mm에 대하여 2가지 방향의 진직도에 대하여 10회 측정하여 평균한 값으로, Y축 방향 진직도 오차  $\delta y(X)$ 는 최대  $2.6 \mu\text{m}$ , Z축 방향 진직도 오차  $\delta z(X)$ 는 최대  $2.2 \mu\text{m}$ 이다. 따라서 마스터 및 워크 기어가 맞물려

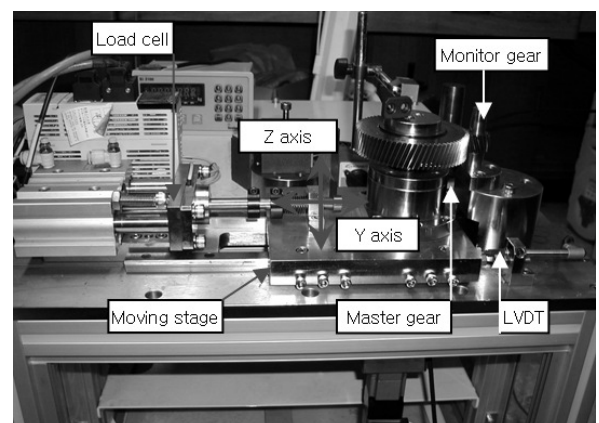


Fig. 2 The gear measuring system in the laboratory

회전하면서 변하는 측정거리는 1mm 이하므로 이 범위에서의 오차가 측정값 미치는 영향은 거의 없다는 것을 알 수 있다.

3.2 마스터 기어 조립부의 wobbling 흔들림 오차

축의 흔들림 오차는 좌우방향의 run-out과 아래 위 방향 tilting에 의한 wobbling으로 구분되며, 본 연구에서는 2가지를 별도로 측정하였다.

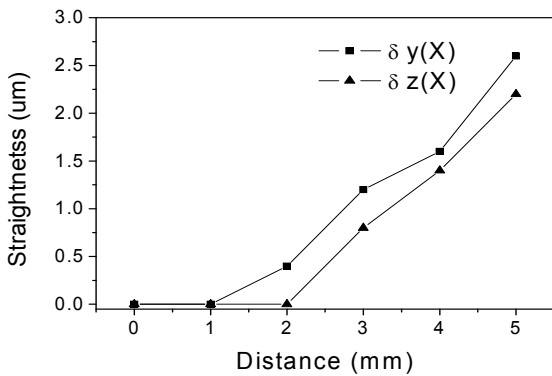
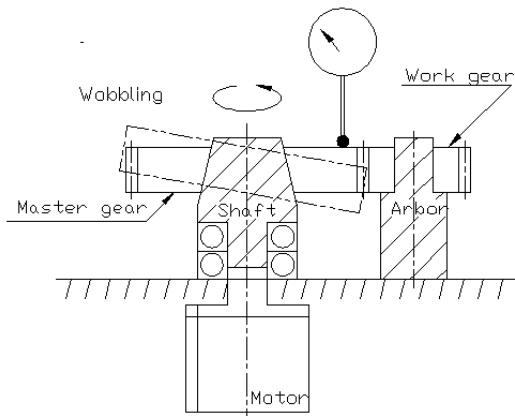
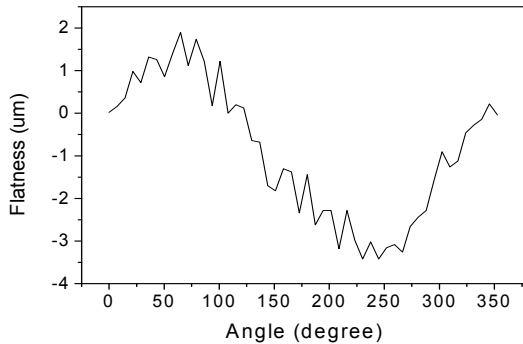


Fig. 3 Straightness of moving stage in the X axis



(a) Wobbling error measurement



(b) Flatness error of the master gear upper surface

Fig. 4 Wobbling error of the master gear in one revolution

마스터 기어와 회전축 결합시 마스터 기어 상부의 편평도 오차가 크게 되면, wobbling 현상(Fig. 4(a))에 의한 회전오차는 증가하게 된다. 마스터 기어 상부의 편평도에 의한 직각도 오차를 최소로 하게 되면, 측정 대상 기어의 측정값은 정확하게 측정된다. Fig. 4(b)는 마스터 기어 상부의 편평도를 측정한 값으로 최대 5.3  $\mu\text{m}$  정도이다.

3.3 마스터 기어 회전축의 run-out 흔들림 오차

회전운동을 하는 모든 회전체는 필수적으로 run-out 오차와 진원도 오차를 가지고 있으며, 두 가지 오차 성분을 줄이기 위하여 많은 노력을 한다. 본 논문과 같이 회전체를 이용한 검사 장비의 경우 run-out 오차와 진원도의 오차는 그 값이 적은 값이라도 측정 정밀도에 영향을 미친다. 특히 run-out 오차는 정밀하게 가공된 마스터 기어가 결합되어 구동축으로 사용되기 때문에 측정 정밀도에 큰 영향을 미친다. Fig. 5는 마스터 기어 회전축의 1회전 진원도 값이며, 최대 2.4  $\mu\text{m}$ 의 편차를 보인다. Fig. 6(a)는 마스터 기어 회전축의 1회전 run-out 값으로, 구동축에 결합된 상태에서 최대 13.5  $\mu\text{m}$ 의 편차를 가지고 있다. Fig. 6(b)는 마스터 기어 구동축을 10회전 시킨 것으로 각각의 회전이 비슷한 양상을 나타내지만, 일치하는 재현성은 나타나지 않고 있다. 이것은 축 내부의 볼 베어링이 회전하면서 무작위로 이동하는 것으로 예상된다.

마스터 및 워크기어의 조립공차는 축직경에 대하여 도면상  $\pm 0.01\text{mm}$  정도이나 테이퍼측으로 끼워맞춤 조립된다. 따라서 이러한 공차는 결과적인 축의 편심조립에 의한 흔들림 오차의 한 원인으로 된다.

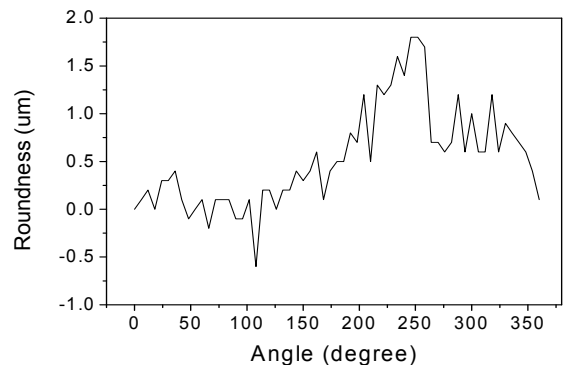


Fig. 5 Roundness error of the master gear shaft itself

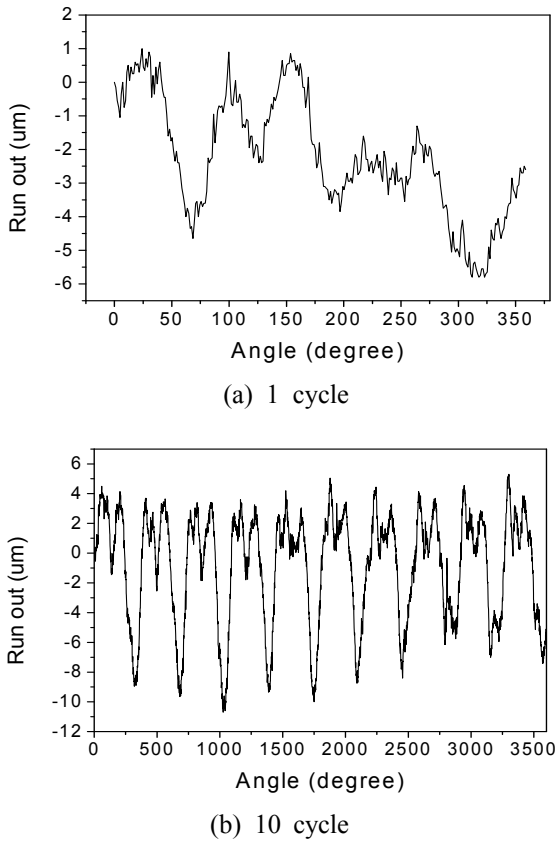


Fig. 6 Run-out error of the master gear shaft with motor and bearing

4. 헬리컬 기어 검사 Parameter 측정

4.1 Mastering (기준값 설정)

대부분의 복잡한 동적 기계 신호는 압력, 변위, 변형률의 함수이거나, 아니면 또 다른 물리량인 지, 정상 상태나 과도 상태에 관계없이, 단순 조화 성분의 합<sup>(4)</sup>으로 나타낼 수 있다. 각각의 성분은 자기 자신의 진동수와 진폭을 가지고 있으며, 다른 성분들과 다양한 위상 관계로 합쳐 있다. 다양하게 합쳐진 위상 중 우리가 알고 있는 주파수를 적절한 filtering 방법을 이용하면, 우리가 필요로 하는 주파수 대역을 분리하고 분리된 값의 진폭을 알 수 있다. 헬리컬 기어를 측정하는 방법은 위의 순서도 (Fig. 7)와 같이 측정용 마스터 기어 및 모니터 기어를 이용하여 기준값을 측정하고, 피측정 기어인 워크 기어를 측정하여 기어 검사 항목인 nick, run-out, PCD 에 대하여 합격과 불합격 판정을 실시한다. 측정값을 분석하기 전 기어 검사기 자체의 오차를 제거하는 방법으로는 아래 식 (1)과 같이 계산한다.

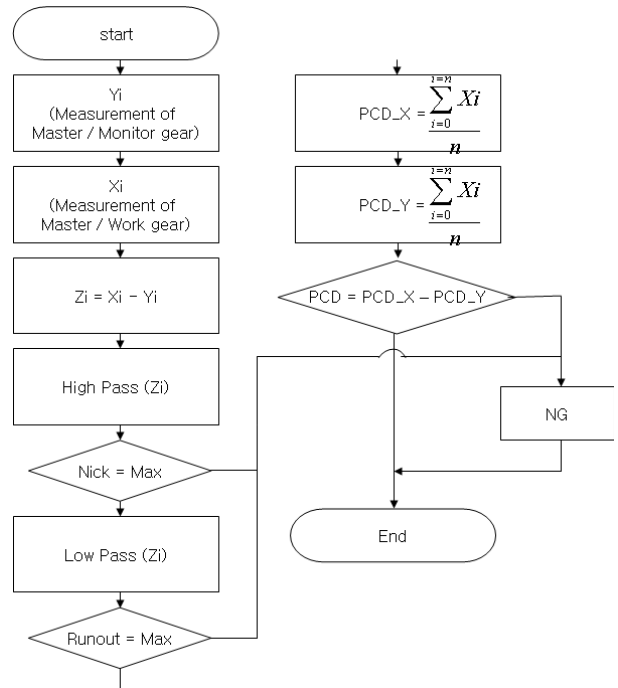


Fig. 7 Flow chart for the gear inspection system

식 (1)의  $X_i$ ,  $Y_i$ 의 측정 data에는 마스터 기어와 검사기 자체인 기계 오차값을 포함하고 있다. 그러나 계산된  $Z_i$ 의 값에는 마스터 기어 오차와 기계 오차값이 제거된 순수한 워크기어에 대한 오차값만을 가지고 있고, 이 오차값을 가지고 양품 기어와 불량품 기어를 선별한다.

$$Z_i = X_i - Y_i \tag{1}$$

여기서,  $Z_i$  : work gear profile error,

$X_i$  : master + work gear measured data,

$Y_i$  : master + monitor gear measured data.

Mastering은 피측정 기어인 워크 기어의 기준 값을 선정하기 위한 준비 작업으로, 하나의 큰 마스터 기어(기준 기어)와 두 개의 모니터 기어(피니언 기어)로 구성되어 있다. 두 개의 모니터 기어는 마스터 기어의 정밀도 등급에 해당하는 정도를 가진 것으로, 워크 기어의 상한 및 하한의 공차를 가지고 제작된다. Fig. 8은 측정된 마스터 기어에 대한 모니터 기어의 상한 및 하한, 그리고 평균값으로 마스터링은 두 기어의 평균값을 사용하여 워크 기어에 대한 비교측정의 기준값으로 사용된다.

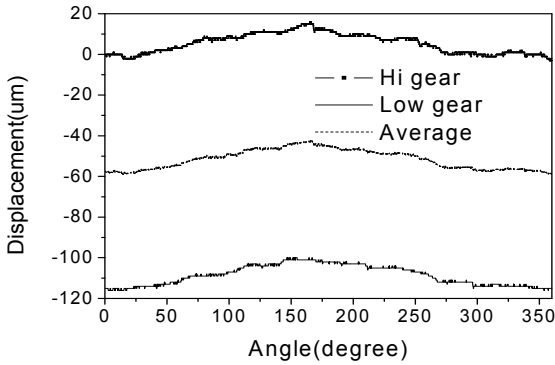


Fig. 8 Measurement of two monitor gears for  $Y_i$

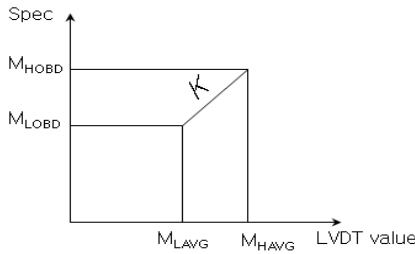


Fig. 9 Definition of the  $K$ , compensation factor

4.2 기어 PCD 계산

기어의 피치원은 두 기어가 서로 맞물리는 가상의 선으로, 이론값으로서 계산이 가능하고, 실제 기어의 피치원 지름을 정밀하게 측정한다는 것은 불가능하다. 본 논문에서는 회전하는 두 기어의 중심거리 변화를 두 개의 모니터 기어(Hi gear, Low gear)의 기준값에 대한 워크 기어의 상대 값으로 측정한다. 이때 모니터 기어의 이론적인 값과 실제 측정되는 값의 차이가 발생하게 되는데, 이 값을 보정하기 위한 하나의 방법으로 보정상수를 취하는 방법을 제안한다(Fig. 9). 정밀한 마스터 기어와 모니터 기어의 중심거리를 알고 있고, 측정 대상 기어인 워크 기어의 중심거리를 측정한다고 했을 때, 보정상수  $K$ 는 아래 식에 의해 쉽게 계산할 수 있다. 측정값의 기준이 되는 마스터 기어와 모니터 기어가 이상적으로 가공되었다고 가정하면,

$$K = \frac{M_{HPCD} - M_{LPCD}}{M_{HRPCD} - M_{LRPCD}} \quad (2)$$

여기서,  $M_{HPCD}$  : Hi monitor gear ideal PCD  
 $M_{LPCD}$  : Low monitor gear ideal PCD



Fig. 10 An example of gear inspection software and PCD calculation window

$M_{HRPCD}$  : Hi monitor gear real PCD

$M_{LRPCD}$  : Low monitor gear real PCD.

식 (2)와 같은 수식을 구하여 보정상수  $K$ 를 계산할 수 있다. 식 (2)의 보정상수  $K$ 는 기어 성적서의 PCD값과 실제 측정된 하이 모니터 기어와 로우 모니터 기어의 LVDT 평균값 차이로, 이 보정값은 워크 기어 측정시 아래의 식 (3)과 같이 사용되면, 최종 판단식은 식 (4)와 같다.

$$W_{PCD} = K \times W_{AVG} \quad (3)$$

여기서,  $W_{PCD}$  : work gear PCD

$W_{RAVG}$  : work gear average value

$$M_{LRPCD} \leq W_{PCD} \leq M_{HRPCD} \quad (4)$$

여기서,  $H_{LRPCD}$  : Low monitor gear PCD,

$M_{HRPCD}$  : Hi monitor gear PCD.

Fig. 10은 본 연구의 알고리즘에 의한 헬리컬 기어 검사 software와 PCD를 계산하는 window를 보여준다. 본 장치 부품의 주요한 정밀도 요인은 오차를 기록하는 LVDT 자체 오차이며, 따라서 모니터 기어를 사용하여 측정된 LDVT의 측정값으로 구해진  $K$ 값으로 워크기어를 측정하는 방법을 사용하였으며, 이것은 측정에서 자체적으로 LVDT를 교정하는 방법이 된다.

4.3 Gear nick 계산

Nick는 피측정 기어에 흠집 또는 깨어짐, 눌림 및 미가공 등이 발생하였을 경우 나타나는 것으로, 기어의 한 부분을 확대하여 표현하면 Fig. 11과 같다. Nick를 추출하는 방법으로는 식 (1) Zi의 결과에서 filtering 방법을 사용한다. High pass(마스터 기어 잇수 기준)를 실시하여 치형에 해당하는 진동값만을 구하고, 마스터 기어와 워크 기어의 비율로 중첩하여 평균을 구하면 워크 기어의 치형 오차를 구할 수 있으며, 계산 순서는 Fig. 12와 같다.

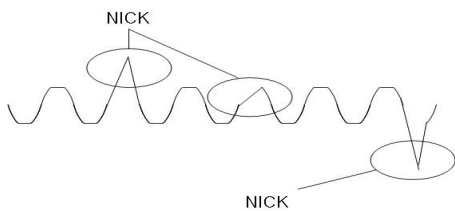


Fig. 11 Definition of nicks

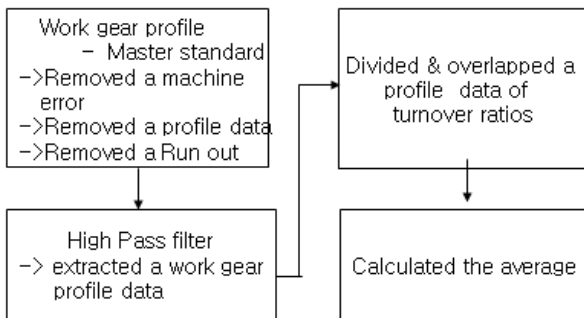


Fig. 12 Nick error measuring flow-chart

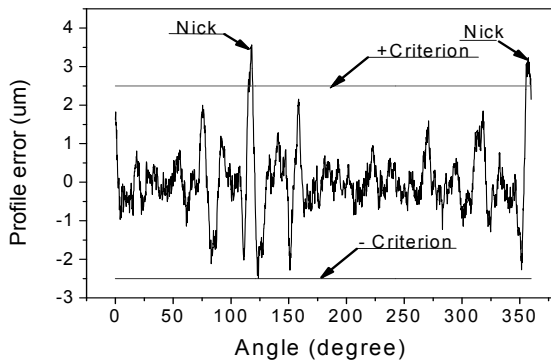


Fig. 13 Measured a nick error of the work gear

NICK table (60° 간격)						
Angle	0	60	117	180	270	357
Error	0	0	3.5	0	0	3.2

Fig. 14 Nick angle results according to the criterion in the inspection software

또한 측정된 워크 기어의 nick 기준값은  $\pm 3 \mu\text{m}$ 로서,  $117^\circ$ 에서  $3.5 \mu\text{m}$ ,  $357^\circ$ 에서  $3.2 \mu\text{m}$ 가 발생했다는 것을 알 수 있다 (Fig. 13). 기어 회전각도에 불량 기준에서의 Nick 발생 각도를  $60^\circ$  간격으로 표시하는 검사 window의 예를 Fig. 14에 보여준다.

4.4 기어 Run-out 계산

기어 치형의 평균원이 축 중심에서 벗어난 값을 기어 run-out이라 정의한다. Run-out 계산을 위해서는 식 (1) Zi의 측정값에 대하여 low pass(기어 회전비 기준)를 실시하면, 기어 회전비에 따른 저주파 형태의 data가 추출되고, 이 data를 기어 회전비에 대한 값으로 분할하여 회전비에 대한 값으로 평균한다. 이 평균값의 최대값과 최소값의 차이가 워크기어가 가지고 있는 run out 오차값이 되며, 계산 순서는 Fig. 15와 같다. 본 연구에서 보이는 실제 측정된 워크 기어의 run out 오차는  $2 \mu\text{m}$  정도이다. Fig. 16과 같이 run-out 오차가 처음  $0^\circ$ 에서는 변위 값이  $0 \mu\text{m}$ 이지만,  $359^\circ$ 에서  $-1.0 \mu\text{m}$ 가 측정된 이유는 측정 회전비에 따른 워크 기어를 중첩하여 평균을 낸 것으로, 마스터 기어와 워크 기어가 맞물려 회전하면서, 워크 기어 내경(축 부분)에 슬라이딩 회전 운동 때문으로 예상된다.

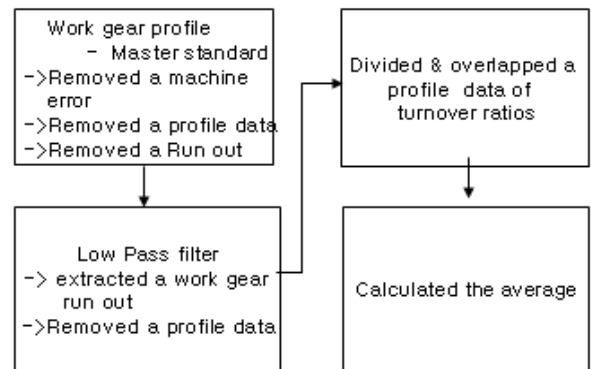


Fig. 15 Flow chart of run-out error measurement

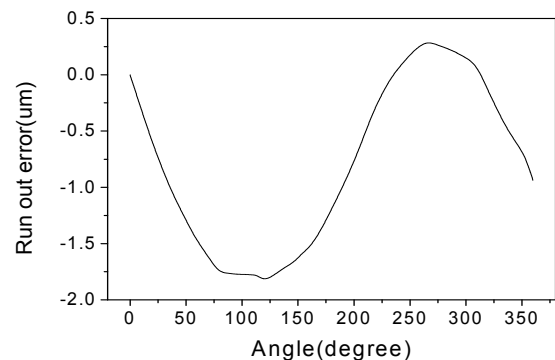


Fig. 16 Measured a run out error of the work gear

#### 4. 결 론

자동차 변속기용 기어는 고정밀의 가공치수를 요구한다. 본 연구에서는 변속기용 헬리컬 기어 생산라인에서 전수검사용으로 필요한 라인용 기어 검사장치로서 마스터 기어를 사용하는 장치에 대한 검사방법 및 검사 software를 위한 알고리즘 등을 연구하였다. 실제 이와 같은 장치는 자동차 생산공장에서 현재 모든 라인에서 수입에 의존하고 있으며, 따라서 국내 개발이 필요할 시점에서도 측정 파라미터의 개념 및 검사 알고리즘 등이 전혀 알려지지 않고 있는 실정이다. 본 연구에서는 기어 검사 장치 hardware에 요구되는 측정 알고리즘의 원리를 제안하였고, 실험을 통해 유효성을 확인하였다. 마스터 기어를 사용하는 방식의 검사장치는 기존의 측정실에서 수행하는 off-line 방법인 기어 치형 프로파일 테스터에 비하여 검사시간의 단축으로 생산 라인에 적용할 수 있어 필수적이다. 또한, 마스터 기어의 정밀도만 잘 관리되면, 본 연구에서 언급된 장치의 제작시 최초의 기계부품 및

구조에 대한 오차요인 보정과 함께 우수한 측정의 내구성 (신뢰성)을 얻을 수 있을 것이다.

#### 후 기

“이 논문은 2009년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2009)”

#### 참고문헌

- (1) Darle W. Dudley, 1994, “Handbook of Practical Gear Design,” CRC PRESS, pp. 1.1~51, pp. 5.72~5.85.
- (2) Kim Kang-tae and Jeong Jae-su, 2008, “Gear Fundamental Utilization Technology,” YaeMunSa, pp. 399~429.
- (3) Gear Manufacturing Edited Committee, 2007, “Gear Manufacturing Hand Book,” GiJeon, pp. 1.31~1.49.
- (4) Han Chol-oh, 1996, “Mechanical Measurements,” BANDO Press, pp. 133~174.