

# 진동가속도센서를 이용한 Reduction Gear Box Noise 검출시스템 개발 A Development of Noise Detection System Utilizing the Vibrating Accelerative Sensor for the Reduction Gear Box

천종필† · 편영식\*

Cheon jong pil, Pyun young sik

**Key Words :** Reduction Gear Box(감속기), Whine(와인), Noise(소음), Vibration(진동), Acceleration sensor(가속도센서), Frequency analysis system(주파수 분석시스템)

### ABSTRACT

Reduction Gear Box where from productive site uses the gear with power delivery with high mechanical efficiency of power a deceleration and as the mechanical element union product which has the velocity ratio which is various together is produced with the power occurrence motor and leads gets a high driving force is plentifully used. The above occurs from gear drive issue sound Whine, Noise and Vibration as occurring from the rim process which the gear will bite mainly is delivered with the case etc. gear drive whole which leads the axis and the bearing. The productivity falls with the going straight rate decrease which with like this problem point is caused by with re-work the problem point where the cost of production rises under improving boil many kinds analyzed the plan and investigates the resultant acceleration sensor which and a frequency analysis system and was made to apply.

### 1.

기어를 이용한 감속기(Reduction Gear Box)는 높은 동력전달 효율과 다양한 속도비를 갖춘 가장 경제적인 동력전달장치로 생산현장에서 많이 사용되고 있다. 그러나 주로 기어물림과정에서 발생하는 이상소음, 이음, 진동이 축과 베어링을 거쳐 케이스 등 기어 구동계 전체로 전달된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 수정작업이 양산라인에서 발생하게 되면 생산성저하와 동시에 생산원가가 상승하는 문제가 발생하고 있다.

소형감속기의 소음품질을 개선하고자 소음인자의 하나인 치면압을 헬리컬 기어로 설계하여 줄이고, 한 치형등급과 피치오차를 줄이기 위해 Motor 회전축

헬리컬기어(Helical Gear)는 고주파열처리후 Skiving M/C으로 치면을 Skiving처리하였고, 상대 헬리컬기어는 기어연삭기로 치면 연삭과 크라운링(crowning)가공을 하여 기어의 물림위치를 중앙으로 이동시키고 있다. 이로써 안전규정에서 요구하는 소음수준은 달성되고 있으나 고객의 소음품질에 대한 요구 수준은 더욱 엄격해지고 있다. 특히 감속기 가까이서 작업하는 작업자는 기어 물림에서 발생하는 높은 피치의 와인(Whine)소음에 의한 고통을 받고 있어 이에 대한 해결이 중요한 문제이다.

이러한 와인(Whine)소음을 작업자의 육감인 청음 검사로 합/불합격 판정을 분류하는 것은 작업자 개인별 및 개인 자체의 컨디션 차이에 의한 개인오차로 인해 합격판정을 받고 출고된 제품이 클레임으로 반품되는 사례가 많아 품질실패비용(COPQ)이 크게 발생하여 제조원가가 인상되고 있다.

이 연구에서는 소형감속기를 대상으로 진동가속도 센서를 이용한 소음검출장치를 개발하여 이러한 개인별 오차에 의한 소음품질문제를 해결하여 원가 절감은 물론 작업자 만족도를 개선시키고자 한다..

† 책임저자: (주)삼양감속기 생산기술팀  
E-mail : cjp0574@sygear.co.kr  
Tel : 032-820-2897, Fax : 032-822-7815  
\* 선문대학교 공과대학 기계공학과

## 2. Gear

### 2.1 Scan Time

진동센서로부터 입력되는 신호를 시간 t에 대한 변위 X로 표현하는 함수로 표현한다.

$$x = A_0 \sin \omega t$$

(x, 2 f )

$$v = \frac{dx}{dt} = A_0 \omega \cos \omega t$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -A_0 \omega^2 \sin \omega t$$

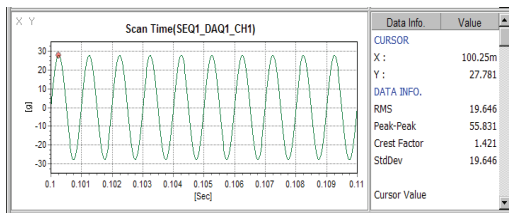


Fig.1 Scan Time Spectrum

$$\text{RMS} = \frac{A_0}{\sqrt{2}} \quad \text{Average} = \frac{2A_0}{\pi}$$

$$\text{Peak - Peak} = 2A_0 \quad \text{Crest Factor} = \frac{A_0}{\text{RMS}}$$

### 2.2 FFT(Fast Fourier Transform)

FFT는 이산적 푸리에 변환을 짧은 시간내에 계산하기 위한 알고리즘으로 주어진 유한 데이터 점들의 세트, 예를 들어 실세계 신호로부터 주기적으로 얻어진 샘플들을 그 요소 주파수들의 형태로 표현하여 연속신호  $f(t)$ 의 푸리에 변환은

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t))$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt \quad a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-j\omega t) dt$$

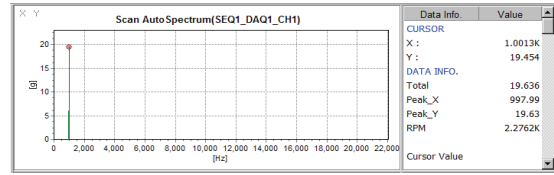


Fig.2 Fast Fourier Transform Spectrum

### 2.3 Overall Trend

진동 Level의 모든 주파수 합으로 전체 진동 Level의 측정값으로 표현된다

$$L_{t1} = \frac{L_{f1} + L_{f2} + L_{f3} + \dots + L_{fn}}{\text{Weight of Time Window}}$$

$$\therefore L_{t1} = \frac{1}{\text{WTW}} \sum_{i=1}^n L_{fi}$$

$$\therefore L_{\text{Overall(RMS)}} = \frac{1}{n_t} \sum_{i=0}^n L_{ti}$$

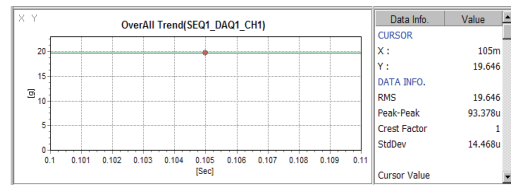
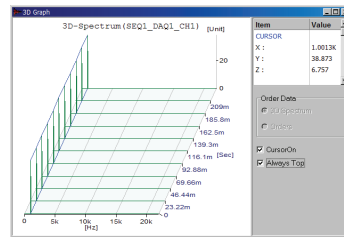


Fig.3 Overall Trend Spectrum

### 2.4 Loudness

Sound Quality 평가 항목으로 최근 많이 사용하며 인간의 감성적 심리음향요소를 포함한 소음 평가 방법이며, 국제표준이다

$$\Delta f = 25.0 + 75.0 \times \left[ 1.0 + 1.4 \times \left( \frac{f(\text{Hz})}{1000} \right)^2 \right]^{0.69} \text{ Hz}$$

Critical Band (Bark)	1	2	3	4	5	6	7	8
Center Frequency (Hz)	50	150	250	350	450	570	700	840
Bandwidth (Hz)	100	100	100	100	110	120	140	150
Critical Band (Bark)	9	10	11	12	13	14	15	16
Center Frequency (Hz)	1000	1170	1370	1600	1850	2150	2500	2900
Bandwidth (Hz)	160	190	210	240	280	320	380	450
Critical Band (Bark)	17	18	19	20	21	22	23	24
Center Frequency (Hz)	3400	4000	4800	5800	7000	8500	10500	13500
Bandwidth (Hz)	550	700	900	1100	1300	1800	2500	3500

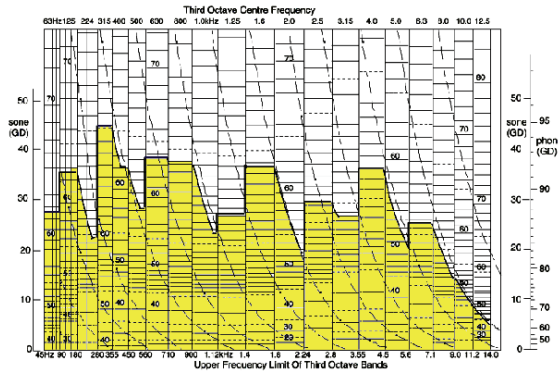


Fig. 3 Loudness

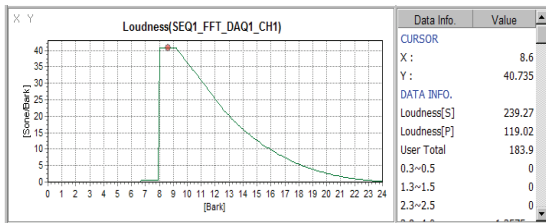


Fig. 4 Loudness Spectrum

### 3.

#### 3.1

본 연구에서는 기어와 모터로 구성되는 산업용 소형 감속기(Geared Motor)의 구성은 회전동력을 전달하는 모터축의 헬리컬기어를 통해 동력이 입력되어 1단Gear Ass'y, 1단 Pinion과 2단Gear Ass'y, 2단 Pinion과 3단Gear로 연결되어 출력축을 통해 출력되는 구성방식이며 Fig.5는 소형감속기 내부구조이다.

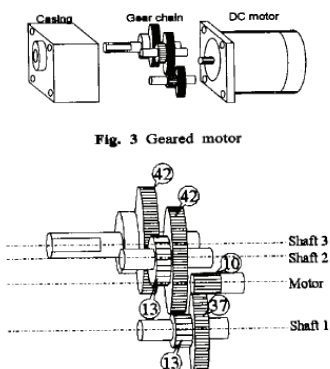


Fig. 5

### 3.2

#### 3.2.1

Fig.6은 진동측정시스템 구성형태이며, 구성요소로 피삭물체에 진동을 측정하는 가속도센서(Accelerometer), 센서구동 전원 공급장치(ICP Power), 입력레벨 변환기(G), 아날로그-디지털 신호 변환기(ADC), 디지털 신호처리 프로세서(DSP로 구성되어 있다.

- A. Accelerometer(가속도센서)
- B. ICP Power(센서 구동 전원 공급 장치)
- C. G(입력 레벨 변환기)
- D. ADC(아날로그-디지털 신호변환기)
- E. DSP(디지털신호처리프로세서)

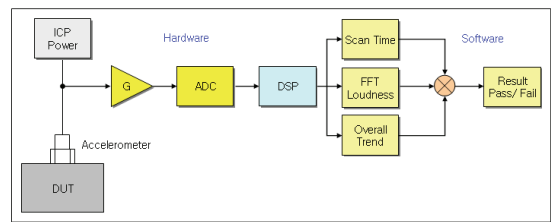


Fig. 6

#### 3.2.1 Lay - out

Fig.7은 진동측정장치 Lay - out로 콘베어 조립라인에 설치되어 감속기에 Motor입력축을 서보모터에 부착하여 감속기 내부의 1단Gear와 연결되어 감속기를 구동시킨 후 감속기 케이스에 공압실린더를 이용하여 가속도센서를 밀착시킨 후 측정된 값을 BK2120B분석장치를 통한 분석을 통해 감속기의 내부의 조립된 품질을 평가하여 PC를 통해 합불판정이 결정되어 진다

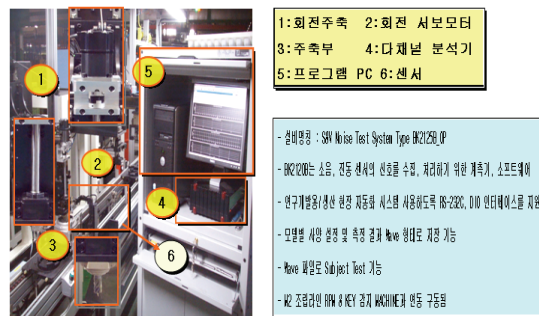


Fig. 7

Lay-out

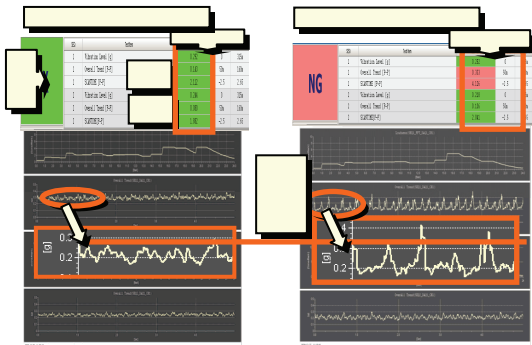


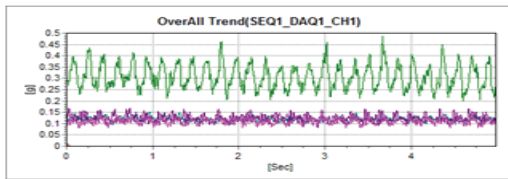
Fig.8 Spectrum

### 3.3 Spectrum Trend

#### 3.3.1

소형 감속기를 구동시키면 가속도센서(Accelerometer) 검출된 측정값을 분석기 필터를 통과해서 기어의 시끄러움(편심) 동작을 유형(기어의 중합상태)을 오버를 트렌드(Overall Trend(RMS)), 오버를 트렌드(Overall Trend(Peak-Peak))를 통해서 전체의 경향에서 소란스러움이 나타남을 실험을 통해서 얻을 수 있었으며, Fig.9의 편심음의 신호특, 변덕스러움(기어齒 啮힘형태)을 보여주고 있다.

#### A. 편심음의 신호특징



#### B. 찍힘음의 신호특징

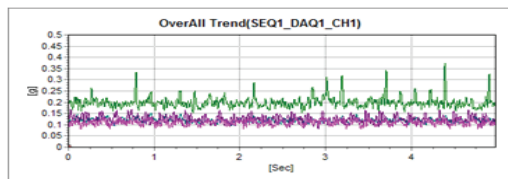


Fig.9 Overall Trend(RMS, Peak-peak) Spectrum

Fig.9 기어의 齒부 날카로운 소음은 치차의 치형 오차(Profile),치선방향 오차(Lead), 치홈의 흔들림, 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, 범선피치오차에 의해 나타나며 Scan Time(Peak - Peak) 그래프적으로 Fig.10으로 표시된다. 통상 JIS B 1702 평치차 및 헬리컬 치차의 정도에 의한 2급 수준에서 적게 나타났다.

#### C. 날카로움의 신호특징

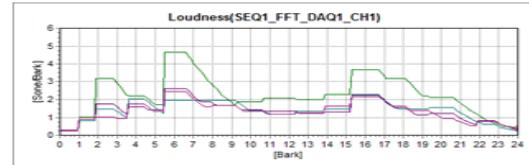
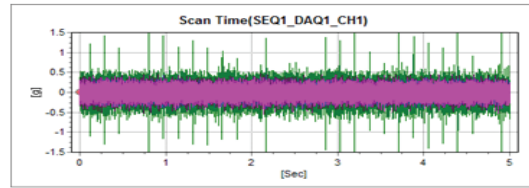


Fig.10 Scan Time(Peak-peak), Loudness Spectrum

#### 3.3.2 Grease

Fig.11은 소형 감속기 내부에 윤활유 주입 전.후에 가속도(Accelerometer)값의 평균으로 비교시 0.32G의 변화값이 나타났으며, 윤활유 주입 후 와인(Whine)소음, 날카로운 이음이 50% 낮아지는 것을 Fig.11에서 보여주고 있다.

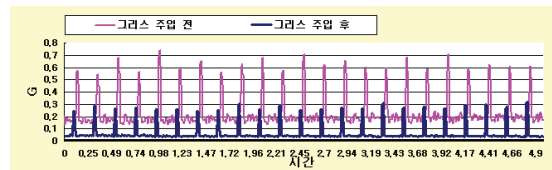


Fig.11 Spectrum

## 4.

### 4.1 Spectrum 가

Fig.12에 값은 소형 감속기 모델중 0.4Kw Geared Motor F105형을 구동시켜 기어와 베어링 및 조립상태에서 얻은 비율(Ratio)별로 측정된 값의 평균값이다.

NO	Model	Overall Trend (RMS)	Overall Trend (P-P)	Scan Time Trend (P-P)	NO	Model	Overall Trend (RMS)	Overall Trend (P-P)	Scan Time Trend (P-P)
1	0.4kW 10L	0.1539	0.2281	0.9852	6	0.4kW 60L	0.0623	0.0153	0.3583
2	0.4kW 20L	0.0814	0.0377	0.6008	7	0.4kW 75L	0.0544	0.0132	0.3684
3	0.4kW 40L	0.0698	0.0271	0.5152	8	0.4kW 90L	0.0370	0.0149	0.3021
4	0.4kW 50L	0.0485	0.0133	0.3283	9				

Fig.12 Ratio Mesh frequency data

## 4.2 Ratio Overall Trend(RMS)

Gear진동측정시스템의 신호처리 이론 공식에 준한 비율별 소형 감속기를 구동시켜 가속도센서를 통해서 수집된 측정값을 BK2120B에서 분석하여 출력된 값을 전용 프로그램으로 계산되어 얻은 결과를 그래프로 Fig.13에 나타나듯이 Ratio가 작은 제품은 입력회전대비 출력회전의 감속시킨 변화가 작은 비율은 가속도(g)값이 높게 나타났으며, 비율이 높을수록 토오크가 큰 만큼 출력 회전수가 작은 고 비율은 낮은 가속도(g)값과 와인(Whine)소음도 줄어드는 경향을 보여다.

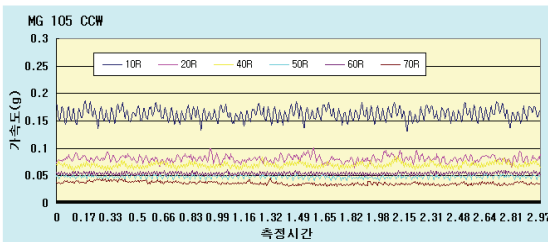


Fig.13 Ratio Overall Trend(RMS) Spectrum

## 3.3 Noise Spectrum

Fig.14는 기어의 시끄러움(편심) 동작음 유형(기어의 종합상태)을 오버올 트렌드 평균값(Overall Trend(RMS)), 오버올 트렌드(Overall Trend(Peak-Peak)) 스펙트럼, 기어의 齒부 날카로운 소음은 치차의 치형오차(Profile), 치선방향 오차(Lead), 치홈의 흔들림, 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차, 법선피치오차는 Scan Time(Peak-Peak) 스펙트럼으로 나타내며, 기어등급에 의한 변화추이에서 경향을 분석하면 O/T RMS(Root Mean Square)값이 중앙값을 취하고 있다

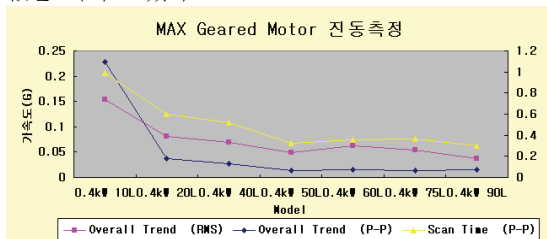


Fig.14 Ratio Spectrum Analysis Data

## 5.

본 연구에서는 소형감속기의 소음발생률 줄이기 위해 가속도센서와 Vibration Filter 측정시스템을 적용하여 조립된 기어들의 품질을 측정하여

오감(청력검사)으로 검사로 개인오차로 인한 품질 문제를 밝혀 내었으며, 연구과정에서 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1) 인간의 오감으로 감속기의 소음,진동을 판정 하던 것을 가속도센서와 진동분석시스템을 적용한 결과 조립라인에서 제품의 합,불 판정으로 종합생산성(직행률)이 향상되고, 재작업의 횟수를 현저히 줄일 수 있었다.

2) 조립된 기어의 시끄러움(편심) 동작음 유형, 齒부 날카로운 소음, 취급 부주위로 찍힘으로 인한 변덕스러운 소음의 진동주파수 그래프로 배열된 기어부의 고장위치를 파악할 수 있어 재작업이 쉬워졌다.

3) 감속기에서 발생하는 소음진동신호의 분석을 통해 감속기의 결함이나 불량여부를 판별할 수 있었으며, 제작시 높은 치수정밀도를 유지하기 위해 세심히 주의를 기울이면 기존의 설계나 사양을 크게 변경하지 않고도 현저히 소음을 감소시킬 수 있다.

(1) Fukuma, H. et al., 1973, Fundamental Research on Gear Noise and Vibration(6<sup>th</sup> Report, Generation Mechanism of Radial and Axial Vibration of Spur Gear),” Bulletin of the JSME, Vol. 16, No. 97 July , pp 1094-1107.

(2)Kiyono,S., Aida, T. and Fujii, Y., 1978, “Vibration of Helical Gears: Part1 Theoretical Analysis,” Bulletin of the JSME, Vol. 21, No. 155, May , pp.915-922

(3)Kiyono, S, Aida, T. and Fujii, Y., 1978, “Vibration of Helical Gears: Part 2 Experimental Investigation,” Bulletin of the JSME, Vol. 21 No. 155, May, pp 923-930.

(4)Kubo. A., 1978, “Stress Condition, Vibrational Exciting Force, and Contact Pattern of Helical Gear with Manufacturing and Alignment Error,” ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 100, Jan., pp 77-84

(5)Umezawa, K., 1989, “The performance Diagrams of Helical Gears,” Proceeding of the 1989 International Power Transmission and Gearing Conference, pp 399-408.

(6)박찬일, 이장무, 1995, “치형오차를 가진 헬리컬기어의 진동특성에 관한 연구.”1534 대한

기계학회논문집(A) 제20권 제5호, pp. 1534-1542, 1996.

(7) 배범원, 최연석, 1999, “진동신호를 이용  
기어체인의 고장진단.” 1731 대한기계학회논문  
집 A권, 제24권 제7호, pp. 1731-1739, 2000

(8) 김주한, 성하경, 정중기, “ 기어백래쉬(Backlas  
h) 변화에 의한 소형감속기의 소음특성에 관한  
연구” 대한기계학회 2001년도.