

AC Induction motor용 강력형 Gear Head의 소음 특성 연구

김주한 · 성하경 · 임태빈 · 정중기
전자부품연구원

An investigation on noise quality of the gear head for ac induction motor

Joo Han Kim, Ha Kyeong Sung, Tae Bin Im, Jung Kee Chung
Korea Electronics Technology Institute

Abstract - The small gear head noise is caused by gear accuracy, assembling errors, and gear backlash. This main study is an investigation on noise quality of the small gear head through the change of gear backlash. In this study included gear design parameters related the small gear head, the knowledge of rattle noise related gear backlash, and the experimentation results of the small head noise through change of gear backlash. At last, this study propose the least method of the small gear head noise that is caused by suitable existence of gear backlash.

1. 서 론

기계 시스템의 구성요소 중 기어헤드는 동력 전달과 전환을 담당하는 요소로 자동차, 산업기계, 터보기계, 농업기계, 건설기계, 철도, 선박, 항공기, 공작기계, 사무용 및 제철기기 등의 모든 산업부문에 걸쳐 널리 사용되어 왔으며, 새롭게는 로봇을 위시한 각종 자동화 장비의 구동 및 동력전달 장치에 사용되고 있다.

기어 헤드의 가장 중요한 기술인 기어관련 기술은 선진국에 의존도가 큰 분야중의 하나로, 자동차, 공작기계, 로봇등 각종 기계류에 사용되는 기어는 외국에서 제공받은 도면과 가공기술로 단순 제작되고 있는 실정이며, 전반적인 기술수준도 낙후되어 있다. 또한 국내의 기어관련 기술자 수는 대단히 적고 일부의 기어 연구자, 기술자에게 조금씩 축적되어온 기술도 새로운 도약을 위한 기술바탕으로는 부족한 형편에 놓여 있다.

최근의 기어 시스템은 기계류의 일반적인 경향인 고속, 고 부하, 경량화 추세에 부응하여 고속화, 소형화 되어가고 있으며, 부하 한계에 가깝도록 큰 하중에 견딜 것이 요구되어 지고 있다. 특히 소형 기어헤드 시장에서의 기어는, 소음, 진동사항이 크게 좌우되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 소형 기어 헤드에 대한 소음 연구를 하고자 한다. 먼저 감속기 소음에 대한 발생요인을 알아보고, 기어 백래쉬량과 관련된 실제 소형감속기의 소음량을 실험측정 비교해 보고, 소형 기어헤드에서의 백래쉬 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 기어 헤드의 소음요인

기어 헤드에서 소음원인을 살펴보면 크게 세가지로 나누어 살펴 볼 수 있다. 먼저 기어에 대한 오차 때문에 생기는 소음이다. 기어에 대한 소음 발생기구를 먼저 알아보면, 기어의 소음은 기어 치와 치의 물림으로 인해 원주방향으로 타격되지만, 이것이 반경방향으로 가진력으로 변화되어서 소음이 된다. 변환 과정은 한쪽물림 결합이나 리드 오차에 의해 치폭 중앙에서 조금이라도 벗어난 곳에 원주방향 가진력이 가해지면 치에 비틀림 모멘트로서 작용하여 기어 본체까지도 비틀어 지고 말며,

나중에는 축방향의 진동으로 변환되고 만다. 즉 기어 소음이라는 것은 기어 치와 치의 물림충격으로 인해 기어의 축방향으로 고유진동이 유발되어 여러 가지 경로를 거쳐 사람 귀에 도달하는 것이다. 그럼 치와 치의 물림에 있어서 진동기진력이 생기는 이유는 크게 두가지로 나눌수 있다. 먼저 기어에 피치오차나 치형오차와 같은 제작 오차가 있고, 그 부분에서 급격히 가속이나 감속이 되어 큰 힘으로 치가 부딪치는 현상이 원인인 경우이다. 이런 소음을 기어화인소음(gear whine noise)이라고 한다. 다음으로는 기어 치의 휨으로 인한 소음이다. 부하가 걸린 기어의 물림에 있어서는 전혀 제작오차가 없는 기어에 있어서도 기어의 물림 진행에 따라 동시 물림 치수가 변화하기 때문에 치의 휨량이 변화하여 진동을 유발함과 동시에 휨에 의해 생긴 치형의 이상 때문에 구동기어의 치원에 중동기어의 치선이 격돌하여 큰 진동을 발생시키는 것이다. 이 현상은 주로 전달하중이 클때에 보다 많이 발생하고 이때는 제작오차보다도 치의 휨 오차의 쪽이 큰 것이 보통이다.

두 번째 이유로는 기어 치아와 축의 조립상태, 케이스와의 조립상태의 오차로 기어가 불균형 상태로 되어 소음, 진동이 발생하는 것이다. 이 경우는 소형기어 헤드와 같이 치수가 작고, 공간이 아주 한정된 기어헤드에서의 소음에 큰 영향을 미치는 인자이다.

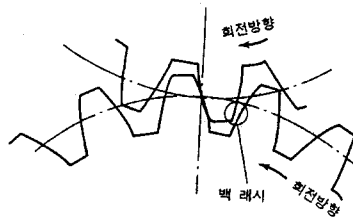


Fig. 1 Backlash

세 번째 이유로는 백래쉬(backlash)에 의한 소음이다. 백래쉬는 기어가 맞물림 상태에서 기어면 사이에 이루어지는 간격을 말하며, 기어의 결합, 그리스의 윤활, 기어의 팽창에 의한 변형 흡수등에 절대적으로 필요하다. 백래쉬량은 기어의 적용용도 따라 달라진다. 동력전달이 큰 기어의 경우는 비교적 관대한 백래쉬량을 요한다. 이러한 경우의 백래쉬량은 기어의 치형오차, 온도변화, 기어간의 중심거리 오차등을 보상하기 위한 충분한 백래쉬량을 필요로 한다. 정확한 제어 컨트롤을 필요로 하는 경우에는 최소량의 백래쉬량을 필요로 한다. 이러한 경우는 백래쉬에 의한 동적손실량을 최소화 하기 위함이다.

2.2 기어 백래쉬량과 기어헤드 소음과의 관계실험

2.2.1 실험 방법

기어 헤드의 소음을 측정하기 위하여, 구동 90w용 AC Indution motor을 구동원으로 하였다. 각 단별 기어 Spec은 Fig. 3과 같다. 아래 기어와 똑 같은 기어의 Spec으로 같은 가공방법, 같은 재료, 같은 조립방법등 모든 소음의 원인이 될 수 있는 조건을 동일하게 만들고, 백래쉬량만 서로 다르게 조정하여 실험 하였다. 백래쉬량은 아래식을 적용하였는데, 아래식에서 백래쉬량을 결정하는 여러 factor들 중에, 가장 손쉽게 조절 할 수 있는 중심거리 규정치에 대한 오차를 이용하여 조절 하였다.

$$C_o = \frac{2 \Delta a \sin \alpha_b - \Delta S1 - \Delta S2}{\cos \alpha} \quad (1)$$

Δa : 중심거리 규정치에 대한 오차
 $\Delta S1$, $\Delta S2$: 이두께 규정치에 대한 오차
 α_b : 물림 압력각

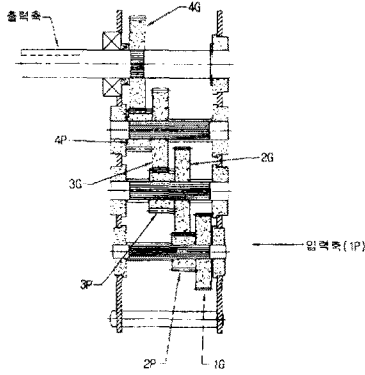


Fig. 2 4-step gears head

TRANSMITTED POWER [kW]	0.09	INPUT SHAFT SPEED	1800	rpm
REDUCTION RATIO	1/30	TOTAL CEN. DIST.	99.9	mm
REQU. RED. RATIO ERROR	0	%		
ACTUAL RED. RATIO ERROR	1/30	REQU. LIFE TIME	20000	hrs
Allow. Trans. Power [kW]	0.045	Allow. Output Torque	0.725	Kg.m

STAGE	1	2	3	4	5
GEAR TYPE	Single	Single	Single	Single	5
QUALITY [JIS]	2	2	2	2	
NORMAL MODULE	0.8	1	1.5	1.5	mm
NUMBER OF TEETH [PI]	10	16	11	12	
[GEAR]	36	32	22	25	
HELIX ANGLE	30	0	0	0	degree
MATERIAL [PINION]	S45C	S45C	SCM415	S45C	
[GEAR]	S45C	S45C	S45C	S45C	
ADD. HEIGHT RATIO	1	1	1	1	
BOTTOM CLEARANCE	0.25	0.25	0.25	0.25	mm
PRESSURE ANGLE	20	20	20	20	degree
REQ. CEN. DISTANCE	21.23	23.98	25.13	28.14	mm
CAL. CENTER DISTANCE	21.248	24	24.75	27.75	mm
REDUCTION RATIO	3.6	2	2	2.063	
GEAR SPEED	500	250	125	60	rpm
FACE WIDTH	7	6.5	8	13	mm
TOTAL MODIFICATION	-0.0206	-0.0367	0.3878	0.2732	

Fig. 3 Gears spec of 4-step gears head

여기서 중심거리 규정치에 대한 오차를 백래쉬량으로 가정하고 실험을 실행 했다. 즉, 중심거리 오차만을 변경하여 실험을 행했다. 소음 측정은 무향실에서 실시 하였고, weighting type은 A type으로 측정 하였다. 마이크로폰에서 나온 소음은

소음계(NA-10 RION사)를 걸쳐서, FFT analyzer(SA-76 RION사)를 사용해서 주파수 영역의 스펙트럼 조사와, 주파수대별 1/3 옥타브를 잡았다. 마이크로 폰과 모터 감속기와의 거리는 100mm로 하였고, 감속기 출력축과 마이크로 폰을 수평으로 놓고 실험을 하였다.

2.2.2 실험 결과 및 고찰

실험은 3가지 경우를 가지고 실험을 하였다. 백래쉬(중심거리 오차)를 다음과 같이 조절해서 실험을 행하였다. Fig. 7은 기어헤드의 각 단별 백래쉬가 0.04-0.07정도로 하여 측정 한 소음데이터 값이다. Fig. 8은 각 단별 백래쉬를 0.1-0.12로 하여 측정 한 값이다. Fig. 9은 각 단별 백래쉬를 0.14-0.17정도로 하여 측정 한 데이터이다.

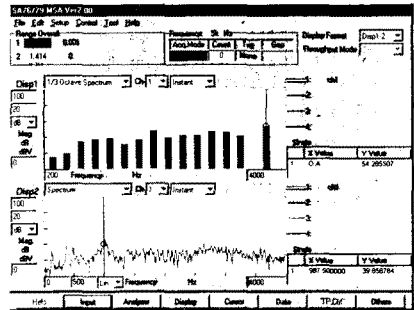


Fig. 4 FFT analyzer에 의한 소음분석(case1)

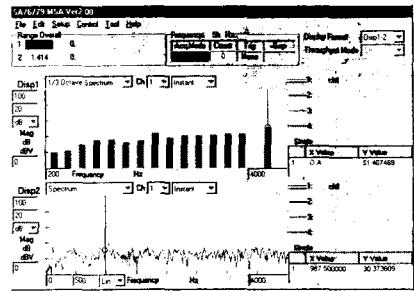


Fig. 5 FFT analyzer에 의한 소음분석(case2)

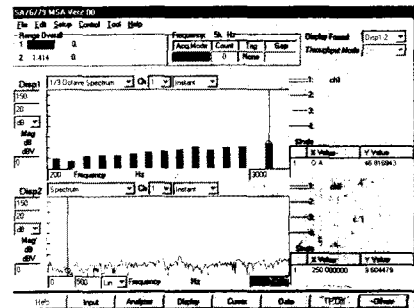


Fig. 6 FFT analyzer에 의한 소음분석(case3)

Table 1 Noise value of reductioner

백래쉬(중심거리오차)	소음값(dB)
CASE1(0.04-0.07)	54
CASE2(0.1-0.12)	51
CASE3(0.14-0.17)	47

위의 실험결과를 보면 백래쉬가 클수록 소음값이 감소함을 확인했다. 즉 case3일때가 가장 낮은 소음값을 가지고, case1일때가 가장 큰 소음값을 가짐을 확인 했다. 이결과는 중대형 기어헤드의 백래쉬와 관련 있는 래틀 소음에서, 백래쉬가 크면 래틀소음의 영향으로 소음이 증가한다는 결과값과 반대되는 결과이다. 이런 결과 값이 말해주는 것은, 앞에서 언급한 기어헤드 소음의 원인 중, 중 대형 기어헤드의 경우는 기어헤드의 조립상태보다는 기어의 백래쉬 영향이 더 큰 영향을 미치고, 소형 기어헤드의 경우는 기어의 백래쉬 영향보다는 기어헤드의 조립상태가 더 큰 영향을 미치는 것을 알려 주는 것이다. 즉 소형 기어헤드의 조립시, 소형기어헤드와 같이 치수가 작고, 공간이 아주 한정된 기어헤드에서는 기어와 피니언축과의 alignment문제, bearing alignment문제, 각종 misalignment로 인한 기어 충돌로 인한 기어 손상 유발등이 기어헤드 소음을 증가 시킨다. 이런 결과를 확인하기 위해서 case1의 진동실험을 수행하였다. 실험결과로, 다량의 misalignment와 기어 손상을 확인할 수 있었다. Fig. 10은 case1의 shaft축 반경방향의 진동값을 FFT analyzer을 이용해, 시간파형 및 spectrum 파형값이다.

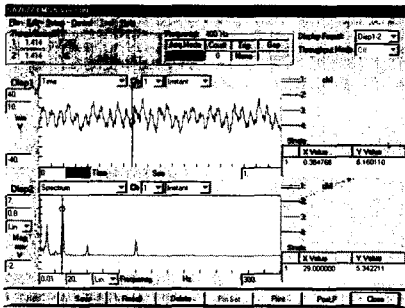


Fig. 7 FFT analyzer에 의한 진동분석(case1:vibration)

시간파형의 경우는 주기적인 형태를 가지고, 스펙트럼파형을 분석해보면, 1x(30Hz)의 경우가 가장 크게 나타나고, 2x(60Hz), 4x(120Hz)가 띄고, 10Hz에서도 좀 크게 띄고, 미세하나마 20Hz에서도 약간 띄는 것을 확인 했다. 1x에서 값이 띄는 것은 shaft의 misalignment을 의미하는 것이고, 10Hz주위에서 띄는 것은 기어불량을 나타내는 것이다

3. 결 론

본 논문은 소형기어헤드의 소음원인 및 소음에 원인을 주는 기어 설계 변수를 알아 보았고, 기어 백래쉬가 소음 기어헤드소음에 어떤 영향을 끼치는지 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 기어헤드의 소음은, 중 대형 기어헤드의 경우는 기어헤드의 조립상태보다는 기어의 백래쉬 영향이 더 큰 영향을 미치고, 소형 기어헤드의 경우는 기어의 백래쉬 영향보다는 감속기의 조립상태가 더 큰 영향을 가지는 것

을 알 수 있었다.

(2) 중,대형 기어헤드의 경우는 백래쉬의 최소화가 소음 특성에 좋지만, 소형기어헤드는 백래쉬가 어느정도 존재 함이 소음특성에 잇점이 있다.

(3) 진동실험을 통해 소형기어헤드의 조립상태가 기어헤드의 진동 및 소음에 미치는 영향을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- (1) Darle w. Dudley, 1984, "Handbook of Practical Gear Design", Chapter 8
- (2) Toshimitu sakai, Yuhji Doi, 1981, "Theoretical and Experimental Analysis of Rattling Noise of Automotive Gearbox", Society of Automotive Engineers, No 810773
- (3) Solfrank, Mechanik, 1990, "Modelling Gear Box Rattle Noise" VDI , pp 1074-1079
- (4) 이금정, 박철희, 1998, "고주파 래틀링 소음의 기초 연구". 한국소음진동공학회, pp 88-93
- (5) 안병민, 최은오, 1997, "변속기 진동 저감을 위한 파라미터 연구", 한국공학기계기술학회, pp 292-297
- (6) Ishida, Fukui, 1981, "Effect of Gear Box on Noise Reduction of Gear Device", JSME, pp 13-18
- (7) 과학기술처, 1992, "기어고급화를 위한 종합기술 개발", Tribology종합기술개발, pp 131-139
- (8) Kato, 1985, "Analytical Procedure for Gear Tooth Surface Modification Reducing Gear Noise", SAE pp 852273
- (9) 박찬일, 이장무, 1996, "치형오차를 가진 헬리컬 기어의 진동특성에 관한 연구". 대한기계학회 논문집, pp 1534-1542
- (10) Fox. R. L, 1976, "Measurement and Analysis of Truck Powertrain Vibration", SAE 760844