

SCM420H 유성기어의 호닝효과에 관한 연구

안인효*, 안민주**, 허철수***, 류성기#

A Study on the Effect of the Honing in SCM420H Planetary Gear

In-Hyo An*, Min-Ju Ahn**, Zhezhu Xu***, Sung-Ki Lyu#

(Received 28 January 2011; received in revised form 13 February 2011; accepted 11 May 2011)

ABSTRACT

This study deals with the effect of the honing in SCM420H planetary gears. The hardness, tooth profile, lead and roughness of the gear surface can be improved by honing. Therein, the honing techniques are welcomed especially as one of the physical surface improvement methods. As a result, gear honing reduces vibration and noise, and will increase the life of gear. And gear honing also changes the surface of gear tooth in a short time and price, so it is a very important method in manufacturing industry. But nowadays, it is hard to find the detail information of gear honing. The test gear is a planetary gear which is used in the automotive industry. It is manufactured by the hobbing, shaving, carburizing and honing. This study investigates the effect of honing in surface shape of SCM420H planetary gears, including fatigue strength test and characteristics of honing of SCM420H planetary gears.

Key Words : Planetary Gears(유성기어), Honing(호닝), Surface Roughness(표면조도), Pitch Error(피치 오차), Profile Error(프로파일 오차), Lead Error(리드 오차), S-N Curve(S-N 곡선)

1. 서 론

일반적으로 기어에서의 마무리 가공공정은 연삭과 호닝이 대표적이다. 그러나 호닝은 원통내면의 정밀 다듬질을 목적으로 많이 사용되는 방법이기 때문에 호닝의 특수 가공인 기어 치면 호닝에 관한 연구는 거의 찾아보기 어렵다. 기어 호닝은 톱니의 형상과 표면 구조를 수정 및 개선함으로써 소음 레벨의 저하를 목적으로 자동차 업계에서 확립한 기술이다. Udo Schapp^[1]은 호닝이

아주 높은 절입력을 걸었을 경우에도 블록 형상의 드레싱 기어 또는 공작물이 오목 형상의 슷들에 잘 맞물려 기어 부위가 나빠지는 일 없이 가공할 수 있으며, 맞물림이 양호하고 단시간에 치면의 커다란 오차를 수정할 수 있으므로 좋은 성과를 얻을 수 있다고 하였다.

본 연구에서는 산업용과 자동차용 감속기 부품으로 많이 사용되는 유성기어를 SCM420H 소재로 시험기어를 가공하였으며, 기어가공은 산업현장에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 세이빙으로 가공하였다. 또한 세이빙가공 기어에 칩탄열처리를 실시한 보통의 유성기어와 세이빙가공 기어에 칩탄열처리와 호닝가공 공정으로 가공한 호닝 유성기어의 표면조도, 치면의 치형형상, Pitch error 등의 기계적 성질을 측정하여 호닝의 효과를 고찰하고자 한다. 그리고 전기-유압서보 피로시험기를 사용하여 굽힘피로시험으로 S-N 곡

* 한국폴리텍항공대학

** 한국폴리텍VII대학

*** 경상대학교대학원 기계항공공학부

교신저자 : 경상대학교 기계항공공학부(ReCAPT)

E-mail : sklyu@gnu.ac.kr

선을 구하여 호닝가공이 유성기어의 피로강도에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

2. 호닝가공의 이론적 배경

2.1 호닝의 개요

호닝(Honing)은 종래 원통내면의 정밀 다듬질을 목적으로 한 표면 다듬질의 한 가지 방법이지만 오늘날은 원통의 외면이나 평면의 다듬질에도 이용되고 있다. 특히 원통내면의 정밀다듬질 즉 유압 실린더, 수압기, 자동차, 항공기, 압축기 등의 실린더의 다듬질에 응용되고 있다. 호닝에서의 스톨은 스프링 등의 탄성체를 매개로 주축에 나란히 연속해서 배치 되어있기 때문에 공작물의 표면의 모양에 따라 그 표면에서 극히 미량을 깎아낸다. 작업시에는 절삭유를 공급하여 칩이나 탈락한 스톨입자의 세척작용과 공작물과 혼에 발생하는 절삭열이나 마찰열을 냉각시킨다^[2].

2.2 기어 잇면의 호닝조건

호닝의 특수 작업으로서 기어 잇면의 호닝이 행해지고 있다. 보통 사용되고 있는 다듬질용 공구는 플라스틱의 원판 주위의 치형 부분에 스톨입자(#60~280)를 단단하게 끼워 일체화 한 것이다. 다른 하나는 Fig. 1과 같이 기어의 모양을 한 금속제 본체의 치형 잇면에 스톨입자를 피복한 것이다^[3]. 다듬질의 방법은 Fig. 2처럼 기어 세이빙과 같이 공작물과 맞물려 공구를 회전시키고, 공작물은 축방향에 왕복운동을 하여 잇면의 다듬질을 행한다. 어떤 담금질 기어에서도 호닝에 의해 표면다듬질상태의 개선^[4], 치형, 리드 오차, 오버 핀 지름 등의 수정을 할 수 있다. 호닝속도는 기어의 종류에도 의존하지만 보통 100~300m/min이고, 가공량은 최대 0.05mm 정도이다.



Fig. 1 Producing of hone by diamond dressing gear



Fig. 2 Gear honing manufacturing

3. 시험기어의 제원 및 표면처리 조건

3.1 시험기어의 제원

본 연구에 사용한 시험기어의 제원은 Table 1과 같으며, 이뿌리에서 X선 잔류응력측정이 가능하도록 모듈 $m=4.75$, 잇수 $z=27$ 를 선택하였고, 피로 시험기의 부하능력을 고려하여 이폭 $b=13.58\text{mm}$ 를 채택하였다. 시험기어의 재료는 KSD 규격의 SCM420H를 사용하였으며, 그 화학적 조성비를 Table 2에 나타냈다.

Table 1 Dimension of test gear

Module(m)	4.75
Number of teeth(z)	27T
Pressure angle(pa)	20°
Finish	Shaving
Gear grade	JIS B 1702-1976 4급
Face width	13.58(mm)
Tip diameter	Ø144.1
Span gauge(4T)	52.07
Pitch circle	Ø128.25
Over pin diameter	Ø144.830 0/-0.1(Ø 9)
Material	SCM420H
Heat - treatment	Carburized

Table 2 Chemical composition of SCM420H [wt %]

SCM420H	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	Cr
Range	0.17 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.55 ~ 0.90	0.03 ~	0.03 ~	0.30 ~	0.25 ~	0.85 ~ 1.25	0.15 ~ 0.35
Measured	0.21	0.24	0.83	0.011	0.012	0.11	0.08	1.15	0.16

3.2 시험기어의 가공공정과 열처리 조건

직경 160mm의 SCM420H의 환봉을 20mm로 절단하여 선반에 몰려 1, 2차 선삭 후 호브 커터(hob cutter)와 세이빙 커터(shaving cutter)를 사용하여 각각의 장비로 기어 가공을 한 후 930°에서 45분간 침탄처리 후 850°로 다시 가열 후 유냉을 실시하였다. 그리고 170°에서 120분간 뜨임처리를 하였다. 유효 침탄 깊이는 AGMA^[5]의 표준값을 참고하여 침탄처리를 하였으며 시험기어의 가공 공정과 열처리 조건을 Fig. 3 및 Fig. 4에 각각 나타냈다.

본 연구에서는 세이빙과 호닝이 기어의 치형에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 각각의 표면처리 방법에 따라 시험 기어의 기호를 Table 3과 같이 S, SCQ, SCQH로 구분하여 나타냈다.

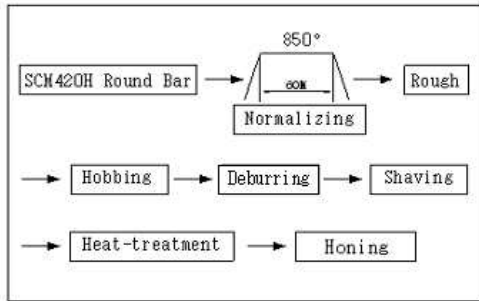


Fig. 3 Machining process of test gears

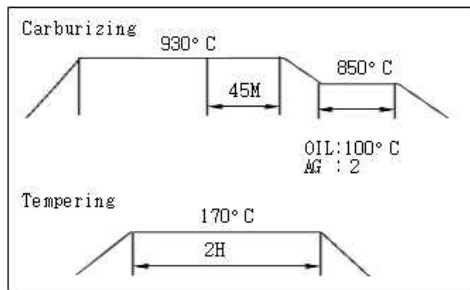


Fig. 4 Heat-treatment cycle

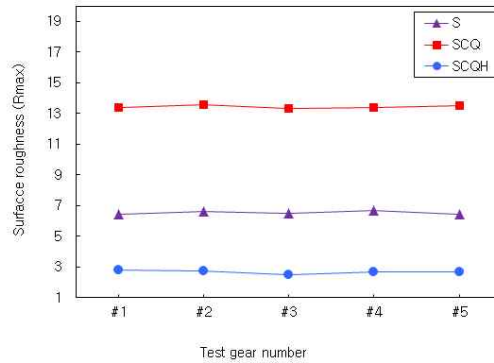
Table 3 Test piece cord

Cord of gear	Surface treatment
S	Shaving
SCQ	Shaving + Carburizing Quenching
SCQH	Shaving + Carburizing Quenching + Honing

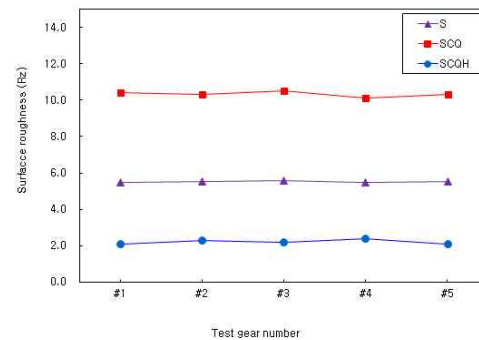
4. 시험결과 및 고찰

4.1 시험기어의 표면거칠기

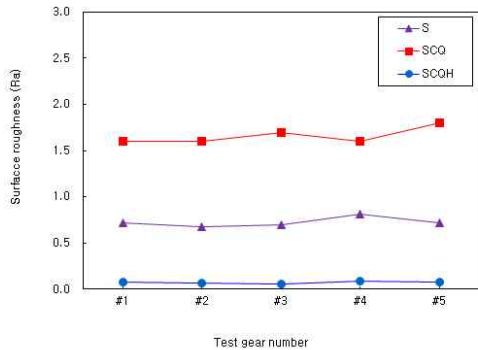
표면거칠기는 거칠기측정기(HOMMEL T500)를 사용하여 측정하였으며 S, SCQ, SCQH시험기어에 대한 각각의 최대높이 거칠기(Rmax), 10점 평균거칠기(Rz), 중심선 평균거칠기(Ra)의 측정결과를 Fig. 5에 나타냈다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 최대높이 거칠기의 경우 SCQH기어의 최대높이 거칠기는 S기어보다 약 58.9%, SCQ기어보다 약 80.0% 향상된 것으로 나타났다. 그리고 10점 평균거칠기와 중심선평균거칠기에서도 호닝가공을 한 SCQH기어가 가장 좋게 나타났다. 이는 SCQ기어의 경우 침탄 열처리과정에서 탈탄작용에 의해 생성된 표면 이상층과 이물질, burr 등의 영향이며, SCQH기어의 경우 표면 이상층과 이물질, burr 등이 제거되었기 때문에 표면거칠기가 향상된 것으로 생각된다.



(a) Surface roughness(Rmax)



(b) Surface roughness(Rz)



(c) Surface roughness(Ra)

Fig. 5 Surface roughness of test piece gear

4.2 시험기어의 피치측정

법선피치 측정법은 기준을 정하는 방법에 따라 회전 중심 기준, 이끝원 기준, 이뿌리원 기준의 3가지 방법이 있다. 이들은 일반적으로 측정을 쉽게 하기 위하여 측정기어의 중심에 대해서 일정한 원주상에 측정자를 고정해서 측정하는데 일반적으로 회전 중심 기준법이 많이 사용되며, 이것은 단일 피치오차, 인접 피치오차, 누적 피치오차로 나누어진다. 기어축과 동심인 피치원상에서 측정된 각 원피치의 측정치와 이론치의 차이인 단일 피치, 서로 이웃하는 두 피치의 차이인 인접 피치, 기어와 동심인 피치원상에서 잰 임의의 수의 연달아 기록된 원피치 합 의 실제값과 이론값과의 차이인 누적피치가 있다. 그리고 이 흠의 흔들림(run-out)이란 것이 있으며. 이는 측정기어의 피치원 부근에 접촉되는 구슬(볼) 또는 핀의 측정자를 이 흠에 넣고 그 반경 방향의 위치를 측정하여 최대값으로 나타낸 것이다. 치형 측정기(CLP-65)를 사용하여 측정한 S, SCQ, SCQH시험기어의 피치에러와 run-out 측정결과를 각각 Fig. 6과 Fig. 7에 나타냈다. Fig. 6에 나타난 것과 같이 SCQH기어의 피치에러는 S기어보다 약 68.1%, SCQ기어보다 약 75.4% 향상된 것으로 나타났다. SCQ기어에서 피치에러가 높게 나타난 이유는 열처리 후 후처리를 하지 않았기 때문에 탈탄에 의한 표면 이상층과 이물질, burr의 영향으로 튀는 현상이 일어나기 때문이다. 따라서 열처리 후 호닝가공을 후처리로 실시한 SCQH기어가 효과적인 것을 확인 할 수 있었다.

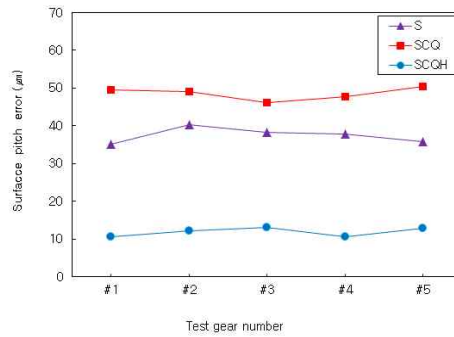


Fig. 6 Surface pitch error of test piece gear

Fig. 7에 나타낸 흔들림(run-out)의 경우 SCQH기어는 S기어보다 약 47.9%, SCQ기어보다 약 75.4% 향상된 것으로 나타났다. 이것은 SCQ기어의 경우 칩단 열처리과정에서 생성된 표면 이상층, 이물질, burr의 영향이며, SCQH기어의 경우 후처리에 의해 표면 성상이 향상되었기 때문이다.

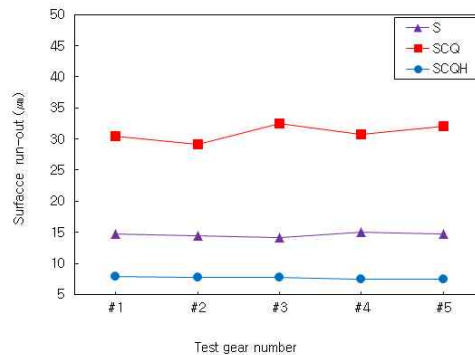


Fig. 7 Surface run-out of test piece gear

4.3 시험기어의 치형측정

기어에 있어서 가장 중요한 부분이 치형이다. 치형에는 Profile과 Lead가 있는데 Profile는 Gear의 Root에서 Tip 방향으로의 Involute 곡선의 형상을 말하며, Lead는 Gear tooth의 횡방향 형상을 말한다. Dimension보다 원하는 치형 및 Grade를 맞추는 것이 가장 어렵기 때문에 소음 발생의 주된 원인이 여기에 있다고 해도 과언이 아니다. 치형 측정은 기어 잇줄의 좌표를 디지털적으로 측정하여 이것을 이론상의 잇줄과 비교하여 오차를 산출하는 방법이다. 측정방법은 치형측정기(CLP-65)를 사용하여 기어의

회전중심을 측정기준으로 하고 약 90°마다 1개의 이의 치면을 측정했다. 그리고 유성기어는 스퍼기어로서 KS B 1405에 의해 9등급으로 나누어지며, 사용 목적에 따라서 각각의 오차로 Grade를 나타낸다. Profile 오차란 실제의 치형과 피치원의 교점을 지나는 정확한 Involute 곡선을 기준으로 하여 이에 수직 방향의 측정값을 의미하며, Lead 오차는 피치원상의 정확한 잇줄방향에서 벗어난 량을 μm 단위로 측정값을 말한다. Fig. 8, 9는 치형측정기(CLP-65)를 사용하여 측정한 S, SCQ, SCQH 시험기어의 치형을 측정 한 Profile error와 Lead error의 측정결과이다. 프로파일 에러의 경우 SCQH기어는 S기어보다 약 23.4%, SCQ기어보다 약 56.6% 향상된 것으로 나타났다. SCQ기어에서 프로파일 에러가 아주 높게 나타나는 이유는 열처리 후 후처리를 하지 않고 측정을 하였기 때문에 탈탄에 의한 표면 이상층, 이물질, burr 등의 영향이다. 따라서 열처리 후 호닝가공을 후처리

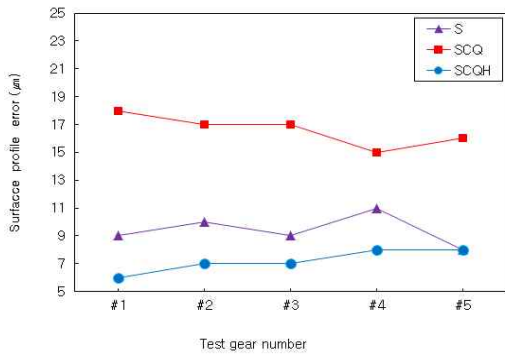


Fig. 8 Surface profile error of test piece gear

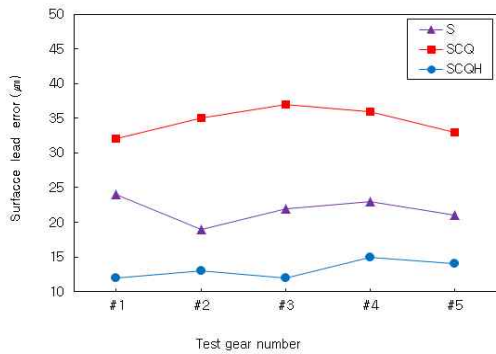


Fig. 9 Surface lead error of test piece gear

로 실시한 SCQH기어가 효과적인 것을 확인 할 수 있었다. Fig. 9에 나타낸 리드 에러의 경우 SCQH기어는 S기어보다 약 39.5%, SCQ기어보다 약 61.9% 향상된 것으로 나타났다. 이것은 SCQ기어의 경우 칩탄 열처리과정에서 생성된 표면 이상층, 이물질, burr의 영향이며 SCQH기어의 경우 후처리에 의한 효과이다.

4.4 시험기어의 굽힘피로시험

S-N 시험법은 S-N 곡선의 경사부, 수평부에서 파괴확률 $P=50\%$ 에 해당하는 S-N 곡선을 구하는 것을 목적으로 14개의 시험편을 사용하여 파괴확률 50%에 해당하는 S-N 곡선을 구하는 14점 S-N 시험법^[6]을 기준으로 하였다. 전기-유압 서보식 피로시험기의 시스템을 Fig. 10에 나타냈다. 시험편은 S-N 곡선의 경사부를 결정하기 위하여 4단계로 나누어 각 응력마다 2개씩 모두 8개, 수평부를 결정하기 위하여 6개의 시험편을 사용하여 소표본 스테이스케이스법^[7,8]을 적용하기 때문에 적어도 14개의 시험편이 필요하다. 하지만 시험도중 14개를 초과하는 경우도 있으므로, 약간의 여유 시험편을 준비했다. ISO 기어 강도 계산식^[9]에서 열처리 기어의 수명계수가 $N=3 \times 10^6$ 에서 1.0을, 비열처리 기어의 수명계수는 $N=1 \times 10^7$ 에서 1.0을 추천하므로 본 시험의 비파괴 반복하중수를 S에서는 $N=1 \times 10^7$ 을 SCQ와 SCQH에서는 $N=3 \times 10^6$ 으로 하였다. 전기-유압서보식 굽힘피로시험기를 사용하여 S, SCQ, SCQH의 굽힘피로시험을 실시한 결과를 정리하여 Fig. 11에 나타냈다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 SCQH기어의 굽힘피로강도는 S기어보다 약 114.0%, SCQ기어보다 약 15.9% 향상된 것으로 나타났다.

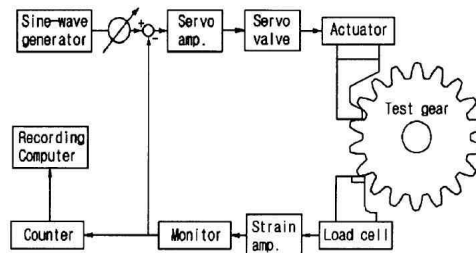


Fig. 10 System of bending fatigue tester

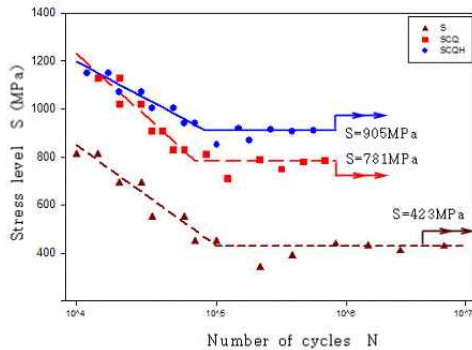


Fig. 11 S-N curves of test piece gear

5. 결론

본 연구에서는 호닝가공이 SCM420H 유성기어의 표면성상에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 표면거칠기, 피치, 치형과 같은 특징을 고찰하였고, 피로실험을 실시하여 피로강도를 구한 후 호닝이 피로강도에 미치는 영향을 고찰하였다. 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 표면거칠기는 최대높이 거칠기의 경우 SCQH기어의 최대높이 거칠기는 S기어보다 약 58.9%, SCQ기어보다 약 80.0% 향상되었다.
2. CQH기어의 피치에러는 S기어보다 약 68.1%, SCQ기어보다 약 75.4% 향상되었다.
3. SCQH기어의 흔들림(run-out)은 S기어보다 약 47.9%, SCQ기어보다 약 75.4% 향상되었다.
4. SCQH기어의 프로파일 에러는 S기어보다 약 23.4%, SCQ기어보다 약 56.6% 향상되었다.
5. SCQH기어의 리드 에러는 S기어보다 약 39.5%, SCQ기어보다 약 61.9% 향상되었다.
6. SCQH기어의 굽힘피로강도는 S기어보다 약 114.0%, SCQ기어보다 약 15.9% 향상되었다.

후 기

이 논문은 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Udo Schapp, “파워 호닝 원통 기어의 고정밀도 하드 피니싱”, 機械技術. Vol. 32, No. 8 통권371호, pp. 74-81, 2005.
2. 이징구, “최신 정밀가공학”, 기전연구소, pp. 105-131, 2008.
3. 김민주, 이승수, 전언찬, “호닝 가공에 사용되는 다이아몬드공구의 성능평가에 관한 연구”, 한국공작기계학회논문집, Vol. 11, No. 1, pp. 10-16, 2002.
4. 鄭大熙, "Honing加工이 表面粗度에 미치는 影響에 關한 研究", 漢陽大 産業大學院, 1988.
5. AGMA Standard, "Practice for carburized aerospace gearing", American gear manufactures association 246.02A, pp. 11-14, 1983.
6. JSME S002, "Standard method of statistical fatigue testing", pp. 7-20, 1981.
7. Brownlee, K. A., Hodges, J. L., Rosenblatt. M, "Evaluation of fatigue strength", Journal of America stat. Assn, Vol. 48, pp. 29-35, 1953.
8. Little, R. E., "Probabilistic aspects of fatigue", ASME Spec. Tech. Pull, Vol. 5, No. 11, pp. 55-56, 1972.
9. ISO/DP 6335/111, "Calculation of load capacity of spur and helical gears", Part 3, pp. 78-105, 1980.