

◆특집◆ 기어

SCM 415H 기어의 치면 연삭조건에 관한 연구

김래성*, 김종민**, 최창***, 양용균***, 류성기***,#

*경상대학교 항공IT기계융합사업단, **지원, ***경상대학교 기계항공공학부, 항공기부품기술연구소

Study on the Teeth Grinding Condition of SCM415H Gears

Lae-sung Kim*, Jongmin Kim**, Chang Choi***, Longjun Liang***, Sung-ki Lyu***,#

*Creative AIMCEEP, Gyeongsang National Univ., **Jiwon LDT,

***School of Mechanical & Aerospace Engineering, ReCAPT, Gyeongsang National Univ.

(Received 31 March 2015; received in revised form 2 April 2015; accepted 7 April 2015)

ABSTRACT

Gears are produced through a variety of methods. In general, a metal piece is formed into the general shape of a gear through rough cuts. The gear then moves on to a more precise machine that removes more material. Grinders work via abrasion, rubbing a rough surface against a work piece at such high speeds that it literally scrapes unwanted material away from the item. Since the grinder is spinning so fast, the material is removed very quickly. This allows a grinder to remove a very small amount without taking any unwanted material with it. This study investigates the effect of grinding process parameters like grinding spindle speed and table transfer speed on the gear grade and grinding efficiency.

Key Words : Grinding Process(연삭공정), Grinding Condition(연삭조건), Gear Grade(기어등급), Grinding Efficiency(연삭효율), Grinding Spindle Speed(연삭 속도)

1. 서 론

기계공업의 발전이 급격히 진행되면서 출력향상을 위한 기어의 동력전달의 향상과 고출력화에 따른 경량화, 고강도화, 저소음화가 요구되고 있다. 그 중에서도 우리 생활에 직접적인 영향을 미치는 자동차 문화에 있어서는 안전성, 경제성, 편의성을 요구하며, 대형화에 따른 고정밀, 저소음화, 고부하능력의 효과상승 및 경제성을 감안하여 여러 가지 방안 중 이를 만족 시킬 수 있는 기어표면 정도에

관한 연구가 필요하다.

일반적으로 정밀도가 높은 기어를 생산하기 위한 마무리 가공공정은 기어연삭과 기어호닝이 대표적이다. 그 중 기어연삭은 기어가공 후 열처리로 인한 치면의 변형을 제거하여 정밀도가 아주 높은 기어를 가공하는 방법으로 소음레벨의 최소화가 절실한 자동차용 변속기와 산업용 기어 감속기의 기어를 연삭하기 위해 확립한 가공기술이다.^[1]

그러나 연삭가공은 다른 가공과는 달리 동일한 조건에서도 재현성이 어렵고, 문제발생시 직접적인 원인 규명이 어려워 대부분 숙련된 작업자의 경험에 의존하여 문제를 해결하고 있는 실정이다. 이것은 연삭작업에서의 수많은 가공변수가 연관되어 발생하기 때문에 정량적으로 명확한 변수를 규정하기

Corresponding Author : sklyu@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1632, Fax: +82-55-772-1578

가 쉽지 않으므로 많은 연구들이 수행되고 있다.^[2-5]

본 연구에서는 자동차용 변속기와 산업용 감속기 부품으로 많이 사용되고 있는 SCM415H 소재로 기어를 가공한 다음 침탄열처리를 실시한 후 기어의 정밀도 향상을 위한 기어연삭 작업 시 수많은 연삭 가공 변수들 중 주축의 연삭숫돌 절삭속도, 테이블 이송속도의 조건을 각각 달리하여 가공한 후 기어 치면의 치형형상, 피치에러 등 기계적 성질들의 변화를 측정하여 기어연삭의 최적 절삭조건을 고찰하고자 한다.

2. 시험기어의 제작 및 특성

2.1 시험기어의 제원

본 연구에 사용한 시험기어의 재료는 KSD 규격의 경화능 구조용 강재인 SCM415H를 사용하였으며, 그 화학적 조성비를 Table 1에 나타냈다. 시험기어는 공작기계에 사용되는 기어로 모듈 3에 잇수 16인 기어로 주요제원을 Table 2에 나타냈다.

Table 1 Chemical composition of SCM415H

SCM 415H		Chemical composition(%)								
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
SPEC	M in	0.12	0.15	0.55					0.85	0.15
	M ax	0.18	0.35	0.90	0.03	0.03	0.3	0.25	1.25	0.35
Measured		0.16	0.23	0.76	0.012	0.007	0.014	0.06	1.05	0.15

Table 2 Dimension of test gear

Material	SCM415H
Module	3
Pressure angle	20°
Number of teeth	18T
Outside diameter	60 mm
Pitch diameter	54 mm

2.2 시험기어의 가공공정과 열처리 조건

∅ 65 mm의 SCM420H의 환봉을 180 mm로 절단하여 선반에 물려 1, 2차 선삭 후 호브 커터(hob cutter)를 사용하여 기어 가공을 한 후 열처리 작업을 실시하였다. 열처리 후 각 부위의 동심도에 맞춰 외경연삭을 하고 이 연삭면을 기준으로 치면연삭을 하였다. 시험기어의 가공 공정과 열처리 조건 그리고 열처리 후 깊이방향의 경도시험결과를 Table 3에 각각 나타냈다. 본 연구에서는 숫돌의 회전속도와 절입속도가 치형에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 각각의 처리 방법에 따른 시험기어의 기호를 Table 4와 같이 나타냈다.

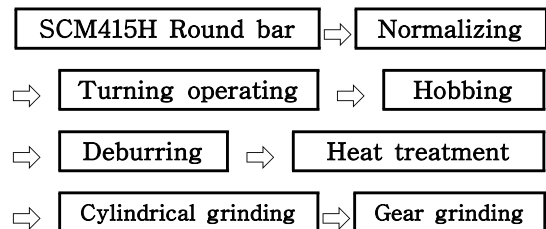


Fig. 1 Machining process of test gear

Table 3 Heat treatment cycle

SPEC	<input checked="" type="checkbox"/> CARBURIZING <input type="checkbox"/> Q-T <input type="checkbox"/> NORMALIZING <input type="checkbox"/> ANNEALING												
	SURFACE HARDNESS	HS 75-80 HRC 56-59		CASE DEPTH	0.8-1.0 mm								
	CORE HARDNESS			TENSILE STRENGTH	Kg/mm ²								
HEAT CYCLE													
HARDNESS TEST	SURFACE (HRC)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
		57	58										
	CASE DEPTH(mm)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
	HARDNESS 1(HV)	720	710	708	687	672	624	600	597	556	532		
HARDNESS 2(HV)													

Table 4 Test gear code

Gear code	Grinding condition for experiment		
	Workpiece feed (mm/rev)	Grinding worm speed (rpm)	Automatic wheel-withdrawal (mm)
GF-0.5	0.5	1500	0.2
GF-1	1		
GF-1.5	1.5		
GS-1100	1	1100	
GS-1500		1500	
GS-1900		1900	



Fig. 3 Gear profile test machine(TTI 300E)

2.3 시험기어의 시험장비

본 연구에서는 Fig. 2에 나타난 치면연삭기 (Reisauer RZ 302E)를 사용하여 치면연삭을 하였으며, 치면연삭 후 치형측정은 Fig. 3에 나타난 치형측정기(TTI 300E)를 사용하여 측정하였다.



Fig. 2 Gear grinding machine(Reisauer RZ 302E)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시험기어의 피치측정

법선피치 측정법은 기준을 정하는 방법에 따라 회전 중심 기준, 이끌원 기준 및 이뿌리원 기준이 있다. 이들은 일반적으로 측정을 쉽게하기 위하여 측정기어의 중심에 대해서 일정한 원주상에 측정자를 고정해서 측정하는데 일반적으로 회전 중심 기준법이 많이 사용되며, 이것은 다시 단일 피치오차, 인접 피치오차 및 누적 피치오차로 나누어진다. 기어축과 동심인 피치원상에서 측정된 각 원피치의 측정치와 이론치의 차이인 단일 피치, 서로 이웃하는 두 피치의 차이인 인접 피치, 기어와 동심인 피치원상에서 쉐 임의의 수의 연달아 기록된 원피치합의 실제값과 이론값과의 차이인 누적피치가 있다. 시험기어 5개를 기어 치형측정기를 사용하여 측정한 단일피치오차, 인접피치오차, 누적피치오차를 정리하여 Fig. 4 ~ Fig 7에 나타냈다. 단일피치오차는 Fig. 4에 나타난바와 같이 연삭피드값에 큰 차이가 나타나지 않았지만 GF-0.5와 GF-1.0이 GF-1.5보다 다소 작게 나타났다. 인접피치오차는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 연삭피드값에 큰 차이가 나타나지 않았다. 누적피치오차는 Fig. 6에 나타난

바와 같이 연삭피드값에 큰차이가 나타나지 않았지만 GF-0.5와 GF-1.0이 GF-1.5보다 다소 작게 나타났다.

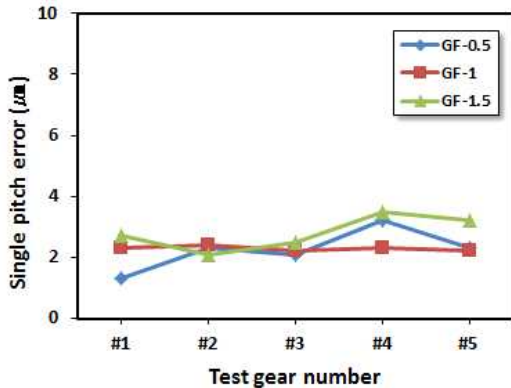


Fig. 4 Single pitch error

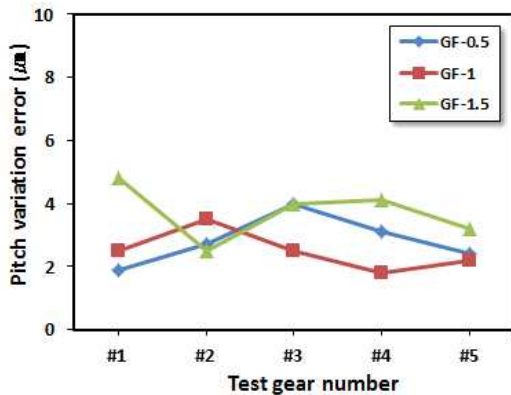


Fig. 5 Pitch variation error

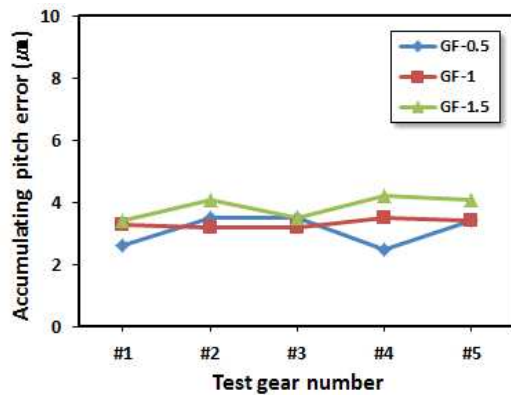


Fig. 6 Accumulating pitch error

3.2 시험기어의 치형 측정

기어에 있어서 가장 중요한 부분이 치형이다. 치형에는 프로파일과 리드가 있는데 프로파일은 기어의 이뿌리에서 이끝 방향으로 인벌류트곡선의 형상을 말하며, 리드는 피치원상의 기어이 황방향 형상을 말한다. 치수보다 원하는 치형 및 등급을 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 치형측정기를 이용하여 기어의 회전중심을 측정기준으로 하고 약 90°마다 1개의 이에 대하여 좌우 양 치면을 측정했다. 그리고 유성기어는 스퍼기어로서 KS B 1405에 의해 9등급으로 나누어지며, 사용 목적에 따라서 각각의 오차를 조합하여 등급을 나타낸다.

프로파일에러란 실제의 치형과 피치원의 교점을 지나는 정확한 인벌류트곡선을 기준으로 하여 이에 수직방향의 측정값의 차이를 의미하며, 리드에러는 피치원상의 정확한 잇줄방향에서 벗어난 량을 μm 단위로 측정된 값을 말한다.

3.2.1 Workpiece feed에 따른 프로파일 오차 측정 결과

5개의 시험편의 프로파일 오차를 측정된 다음 측정결과를 Fig. 7에 나타냈다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 피드 변화에 따른 프로파일 측정결과 GF-1.5에 비해 GF-1은 27.3%, GF-0.5는 39.7% 향상되었다.

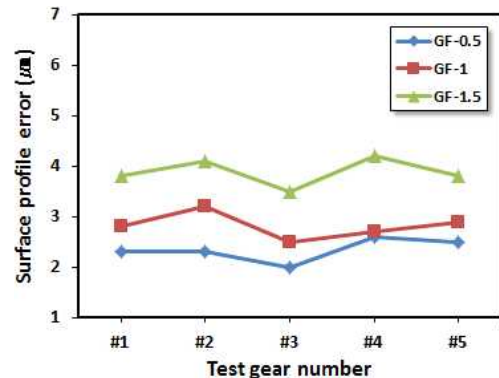


Fig. 7 Surface profile error of test gears

3.2.2 Workpiece feed에 따른 리드 에러 측정 결과

5개의 시험편의 리드 오차를 측정한 다음 측정결과를 Fig. 8에 나타냈다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 피드 변화에 따른 리드 측정결과 GF-1.5에 비해 GF-1은 27.3%, GF-0.5는 39.7% 향상되었다.

3.2.3 Grinding worm speed에 따른 프로파일 오차 측정 결과

5개의 시험편을 Grinding worm 속도에 따른 프로파일 오차를 측정한 다음 측정결과를 Fig. 9에 나타냈다. Fig. 9에서 알 수 있듯이 Grinding worm speed에 따른 프로파일 오차를 측정결과 GS-1900에 비해 GS-1500은 51.7%, GS-1100은 61.9% 향상되었다.

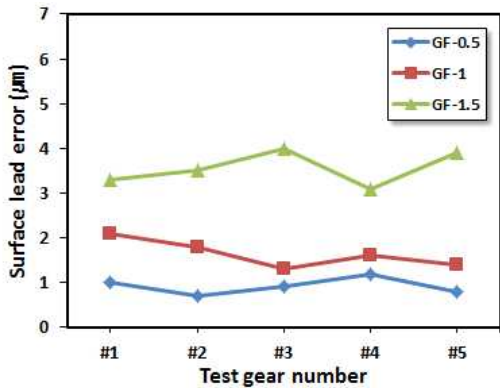


Fig. 8 Surface lead error of test gears

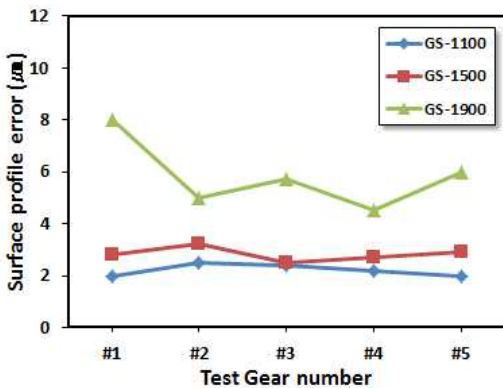


Fig 9 Surface profile error of test gears

3.2.4 Grinding worm speed에 따른 리드 에러 측정 결과

5개의 시험편을 Grinding worm 속도에 따른 리드 오차를 측정한 다음 측정결과를 Fig. 10에 나타냈다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 Grinding worm speed에 따른 리드 오차를 측정결과 GS-1900에 비해 GS-1500은 71.32%, GS-1100은 79.37% 향상되었다.

3.3.5 기대등급과 생산성 비교 결과

실험 결과에 따른 실제 가공시간과 기대 등급을 정리하여 Table 5에 나타냈으며 피드와 회전속도에 따른 가공시간과 프로파일, 리드, 런아웃의 상관관계를 Fig. 11에 나타냈다.

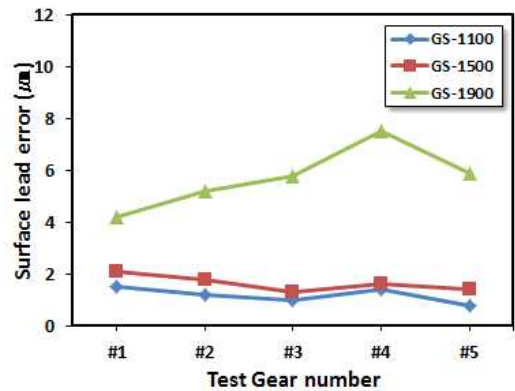


Fig 10 Surface lead error of test gears

Table 5 Expectation grade and production per 1 day

Specimen No.	Grinding time (min)	Production per 1 day(EA/8H)	Expectation grade (KS Grade)
GF-0.5	19	25	0
GF-1 (SG-1500)	15	32	0
GF-1.5	12	40	1
GS-1100	20	24	0
GS-1900	10	53	1

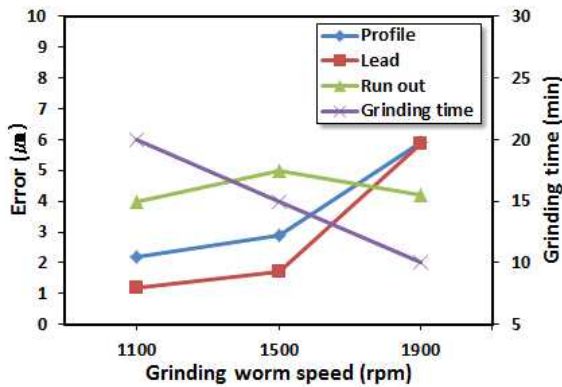


Fig. 11 Workpiece feed relations between error and grinding time

4. 결론

본 연구에서 기어연삭의 조건에 따라 SCM415H 기어의 피치에러, 프로파일에러 및 리드 에러에 미치는 영향을 고찰하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 피드 변화에 따른 프로파일 측정결과 GF-1.5에 비해 GF-1은 27.3% GF-0.5는 39.7% 향상되었다.
2. 피드 변화에 따른 리드 측정결과 GF-1.5에 비해 GF-1은 53.9%, GF-0.5는 74.15% 향상되었다.
3. 회전속도 변화에 따른 프로파일 측정결과 GS-1900에 비해 GS-1500은 51.7%, GS-1100은 61.9% 향상되었다.
4. 회전속도 변화에 따른 리드 측정결과 GS-1900에 비해 GS-1500은 71.32%, GS-1100은 79.37% 향상되었다.
5. 연삭조건에 따른 피치와 런아웃은 큰 차이가 나타나지 않았다.
6. 기어 정밀도를 고려할 경우 기어연삭 최적조건은 피드 0.5 mm/rev, 회전속도 1500 rpm의 가공조건으로 나타났다.
7. KS 1급 수준의 기어 생산성을 고려할 경우 기어연삭 최적조건은 피드 1 mm/rev, 회전속도 1900 rpm의 가공조건으로 나타났다.
8. KS 0급 수준의 기어정밀도와 기어 생산성을 고려할 경우 기어연삭 최적조건은 피드 1 mm/rev, 회전속도 1500 rpm의 가공조건으로 나타났다.

9. 실험 결과 피드와 회전속도에 따른 가공시간과 프로파일, 리드, 런아웃의 상관관계를 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 지식경제부 산업기술혁신사업(우수기술연구센터(ATC)) 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Gwangtae Kim and Jaesu Jung, "Gear Basic applied technology," Yeamoonsa, pp. 3~7, 2001.
2. Hyun Ku Lee, Moo Suk Kim and Koo Tae Kang, "An Experimental Research for the Optimization of the Gear Grinding Machine's Operating Condition," The Korean Society for Noise and Vibration Engineering Proceedings, Vol. 20, No. 7, pp. 665~671, 2010.
3. Altinas, Y. and Weck, M., "Chatter Stability of Metal Cutting and Grinding," CIRPAnnals Manufacturing Technology, Vol. 53, No. 2, pp. 619~642, 2004.
4. Park, S. S., Min, B. K., Lee, S. J., Shin, S. J., Choi, H., "The Development of the Gear Profile Grinding Machining Quality Monitoring System Using Tool Vibration Signal," KSAE 08-S0233, pp. 1406~1411, 2008.
5. In-Hyo An, Nam-Soo Hur, In-Bum Lee, Sung-Ki Lyu, "A Study on Effect of the Grinding in SCM420H Planetary Gear," KSMPE, Vol. 11, No. 5, pp. 54-59, 2012.