

# 트랙터 트랜스미션용 후진 아이들 기어의 3D 프린팅 특성

김해지\*.#

\*경남과학기술대학교 자동차공학과

## 3D Printing Characteristics of Reverse Idle Gears for Tractor Transmissions

Hae-Ji Kim\*.#

\*Department of Automotive Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology

(Received 11 July 2017; received in revised form 22 July 2017; accepted 23 July 2017)

### ABSTRACT

This paper concerns the possibility of 3D printing reverse idle gears for tractor transmission. For the purposes of this experiment, idle gears were manufactured using a SLA 3D printer, FDM 3D printer, and through machining. The accuracy of the idle gears produced in these three different ways were evaluated by the properties of their outer diameter, inner diameter, roundness, concentricity, parallelism, span, backlash, and gear grade. The tooth characteristics of the idle gears were evaluated by their profile, lead, and the pitch of the gears. The results of this experiment determined that the surface conditions created by the finishing process had a significant impact on the dimensional accuracy of the gears and the characteristics of their teeth.

**Key Words :** Idle Gear(아이들 기어), SLA 3D Printing(SLA 3D 프린팅), FDM 3D Printing(FDM 3D 프린팅), Dimensional Accuracy(치수 정밀도), Tooth Characteristic(치형 특성)

### 1. 서 론

3D 프린팅은 FDM(Fused Deposition Modeling), SLA(Stereo Lithography Apparatus), SLS(Selective Laser Sintering) 등으로 방식이 나누어져 있고, 적용 분야에 따라 프린팅 방식을 달리하여 산업에 적용되고 있다. 최근 국내외적으로 3D 프린팅 기술을 접목한 다양한 응용 연구들이 진행되고 있다. Lee 등<sup>[1]</sup>은 ABS 수지로 3D Printing 시 실험변수들의 영향에 관한 연구를 수행하였으며, Pyo 등<sup>[2]</sup>은 위치추적기를 내장한 산악용

신발 디자인 및 3D 다공성 폴리머 프린팅을 이용한 중창 제작에 관한 연구를 수행하였다. Kang 등<sup>[3]</sup>은 소비자 지향 3차원 헬멧제품 제작을 위한 UV레이저 기반의 폴리머/금속적층에 대한 기초연구를 수행하였으며, Shim 등<sup>[4]</sup>은 폴리머 적층 시스템과 염 침출법을 결합한 3차원 다공성 인공지지체를 제작하였다.

그리고 Yun 등<sup>[5]</sup>은 3D Printer 기술과 Direct Write 기술을 이용한 3DCD의 제작하여 기존에 사용되는 PCB를 대체 가능할 수 있는 3DCD를 실현하였다.

Hwang<sup>[6]</sup>은 편심구동장치 시제품 개발을 위한 3D프린팅과 5축가공 복합기술을 이용하여 편심구동장치의 원활한 구동을 확인함으로써 3D프린팅 기술과 5축가공 기술을 응용한 복합기술의 적용 타당성을 검증하

# Corresponding Author : khji@gntech.ac.kr  
Tel: +82-55-751-3647, Fax: +82-55-751-3649

였다. Lee 등<sup>7)</sup>은 압출 적층 방식의 알루미늄 용융기의 설계 및 해석을 통하여 FDM 방식의 알루미늄 압출이 가능한 3D 프린터에 사용할 수 있는 금속 용융기를 제안하였으며 다양한 연구들이 진행되었다.<sup>[8, 9]</sup>

본 논문에서는 3D 프린팅 응용 연구로써 SLA 방식의 3D 프린터, FDM 방식의 3D 프린터로 제작된 아이들 기어 및 SCM420 소재로 기계 가공된 아이들 기어를 비교하여 3D 프린팅 특성을 분석하고자 하였다. 각각의 방식으로 제작된 아이들 기어의 정밀도는 외경, 내경, 진원도, 동심도, 평행도, 걸치기, 백래쉬, 기어 등급 등으로 평가하였다. 아이들 기어의 치형 특성은 기어의 프로파일, 리드, 피치 등을 측정하여 평가하고자 하였다.

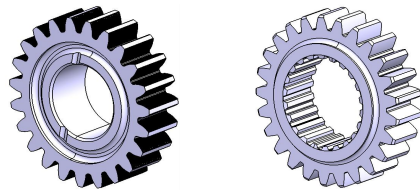
## 2. 트랙터용 후진 아이들 기어 및 3D 프린팅

트랙터용 후진 아이들 기어(idle gear)는 트랙터의 변속기에 장착되며 2개의 메인 기어 사이에 설치되어 트랙터의 후진 시에 위치 조정과 회전 방향을 변환하기 위해 사용되는 기어이다. Fig. 1에서는 아이들 기어의 쌍(스퍼기어)을 3차원 형상으로 나타내고 있다. 그리고 트랙터용 후진 아이들 기어 쌍의 중요 치수를 Table 1에 나타내었다.

Fig. 2에서는 본 실험에 사용된 3D 프린터를 나타내고 있다. Fig. 2(a)에서는 SLA 방식의 Objet24 3D 프린터(Stratasys)의 사진을 나타내고 있고, 3D 프린팅 시에 액상타입의 흰색 Verowhite 빌드와 서포트로 재료로 형상이 출력되게 구성되어있다. Objet24 3D 프린터의 레이어 두께는 0.028mm로 적층되며, 후진 아이들 기어 제작에서도 동일한 레이어 두께를 설정하였다. Fig. 2(b)에서는 FDM 방식의 Wiiibox 3D 프린터를 나타내고 있고, 필라멘트는 PLA(poly lactic acid) 타입의 직경 1.75mm의 필라멘트를 사용된다. Wiiibox 3D 프린터의 레이어 두께는 0.1mm, 0.15mm, 0.2mm 등으로 설정되며, 후진 아이들 기어 제작에서는 0.1mm로 설정하였다. SLA 방식의 3D 프린터와 비교하여 FDM 방식의 3D 프린터에서는 고체 필라멘트를 일정 온도에서 용해시켜 적층하는 방식으로써, 215°C 온도로 설정하여 3D 프린팅을 진행하였다. Fig. 3에서는 Objet24 3D 프린터의 전용 프로그램인 Objet Studio에서 시물레이

션된 아이들 기어의 Verowhite 소모량, 서포트 소모량, 제작시간 등을 나타내고 있다. Fig. 4에서는 Wiiibox 3D 프린터의 전용 프로그램인 Cura에서 시물레이션된 아이들 기어의 필라멘트 소모량과 제작시간을 나타내고 있다.

SLA 방식의 3D 프린터가 FDM 방식의 3D 프린터보다 재료의 소모량과 제작시간이 더 소요되는 것을 확인할 수 있었으며, 그 이유는 SLA 방식의 3D 프린터의 적층 두께가 영향을 미친 것으로 판단된다.



(a) Spur gear A(Z:23) (b) Spur gear B(Z:25)

Fig. 1 3D image of idle gear

Table 1 Dimensions of idle gear

Dimension	Spur gear A	Spur gear B
Module	3.0	3.0
Pressure angle	20°	20°
Number of teeth	23	25
PCD(mm)	Ø69	Ø75
Addendum modification coefficient(mm)	+ 0.0956	+ 0.0946
Span measurement (mm)	32.160 (-0.18,-0.12)	32.242 (-0.12,-0.06)

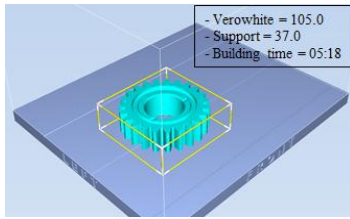


(a) Objet 24(SLA)

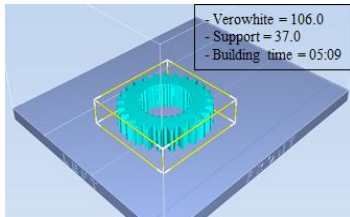


(b) Wiiibox(FDM)

Fig. 2 Used 3D printer

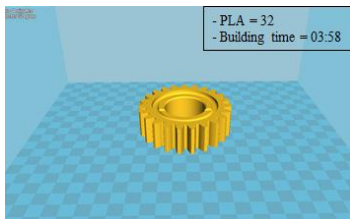


(a) Spur gear A(Z:23)

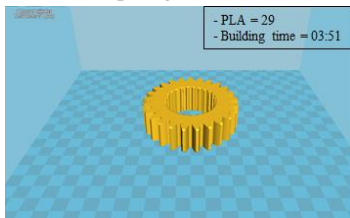


(b) Spur gear B(Z:25)

**Fig. 3 Estimated consumption of Objet 24 3D printer**



(a) Spur gear A(Z:23)



(b) Spur gear B(Z:25)

**Fig. 4 Estimated consumption of Wiiibox 3D printer**

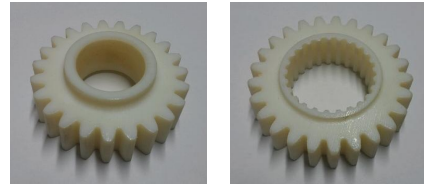
Fig. 5에서는 SLA 방식으로 제작된 스퍼기어, FDM 방식으로 제작된 스퍼기어 및 SCM420 소재로 기계 가공된 스퍼기어 A와 B를 나타내고 있다.

제작된 스퍼기어의 정밀 측정을 위해 ZEISS사의 VAST-XT 3차원측정기를 사용하였으며, 스퍼기어의 외경, 내경, 진원도, 동심도, 평행도 등을 측정하였다.

Fig. 6에서는 AST-XT 3차원측정기를 사용하여 SCM420 소재로 기계 가공된 스퍼기어, SLA 방식으로



(a) SCM420

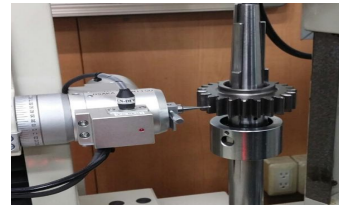


(b) SLA



(c) FDM

**Fig. 5 Manufactured idle gears**



(b) SCM420



(c) SLA



(d) FDM

**Fig. 6 Precision measurement of idle gears**

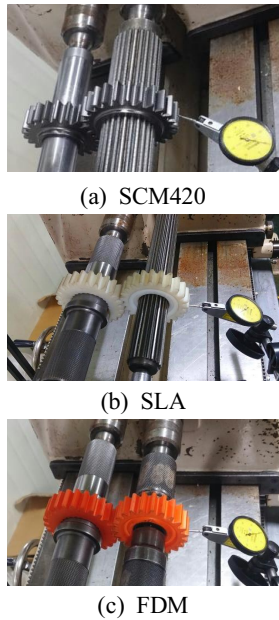


Fig. 7 Backlash measurement of idle gears

제작된 스퍼기어 및 FDM 방식으로 제작된 스퍼기어 외경을 측정하는 그림을 나타내고 있다.

Fig. 7에서는 스퍼기어 테스트기에서 백래쉬 측정 그림을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 스퍼기어 테스트기에 피니언과 기어를 장착한 후 축각을 90°로 맞춘다. 피니언을 고정한 후 기어의 피치원지름과 직각이 되도록 다이얼게이지를 셋팅한다. 그리고 기어를 좌·우로 최대한 회전시켰을 때의 다이얼게이지 값을 백래쉬 값으로 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 아이들 기어의 정밀도

아이들 기어의 정밀도 평가를 위하여 SCM420 소재로 기계 가공된 스퍼기어, SLA 방식으로 제작된 기어 및 FDM 방식으로 제작된 기어 A와 B에 대하여 외경, 내경, 진원도, 동심도, 평행도, 걸치기, 백래쉬, 기어 등급 등을 측정하였다.

Table 2와 Table 3에서는 3가지 방식으로 제작된 스퍼기어 A와 B의 정밀도 결과를 나타내고 있다. 아래 결과에서 보는 바와 같이 SCM420 소재로 기계 가공된

스퍼기어 A와 B는 설계 기준의 치수에 만족하는 치수 결과로 나타났으며, SLA 방식과 FDM 방식으로 제작된 스퍼기어 A와 B는 설계 기준의 치수에 만족하지 못하는 결과를 나타내었다. 특히, 기어 등급 측정 결과에서 보면은 SLA 방식과 FDM 방식으로 제작된 스퍼기어 A와 B는 거의 사용할 수 없는 제품 결과를 나타내고 있다.

SLA 방식으로 제작된 기어 및 FDM 방식으로 제작된 기어 A와 B에 대한 정밀도 비교에서는 액체 필라멘트와 고체 필라멘트의 사용에 따른 차이와 적층 레이어의 차이 때문에 SLA 방식으로 제작된 스퍼기어가 상대적으로 우수한 정밀도를 나타내었다.

제작 방식에 따라 스퍼기어의 정밀도 차이가 난 이유를 보면 기계 가공 방법과 비교하여 3D 프린팅에서 사용된 플라스틱 필라멘트의 적층에 따른 수축현상이 발생한 것으로 사료된다.

Table 2 Measurement results of spur gear A(Z:23)

No.	Check list	Dimension	SCM420	SLA	FDM
1	Inner Dia.(mm)	$\begin{matrix} \varnothing 33 \\ (+0.009\sim+0.034) \end{matrix}$	033.018	032.823	032.868
2	Roundness(mm)	0.01	0.003	0.044	0.155
3	Outer Dia.(mm)	$\begin{matrix} \varnothing 75.542 \\ (-0.2\sim 0) \end{matrix}$	075.435	075.385	075.228
4	Roundness(mm)	0.01	0.005	0.066	0.204
5	Concentricity(mm)	0.03	0.013	0.047	0.049
6	Paralleism(mm)	0.03	0.021	0.051	0.025
7	Span(mm)	$\begin{matrix} \varnothing 32.160 \\ (-0.18\sim-0.12) \end{matrix}$	032.020	032.630	032.520
8	Backlash(mm)	-	0.15~0.17	0	0.05~0.10
9	Gear grade(JIS)	5	3	6	-

Table 3 Measurement results of spur gear B(Z:25)

No.	Check list	Dimension	SCM420	SLA	FDM
1	Inner Dia.(mm)	$\begin{matrix} \varnothing 41.700 \\ (0\sim+0.025) \end{matrix}$	041.714	041.615	041.655
2	Roundness(mm)	0.01	0.008	0.033	0.150
3	External Dia.(mm)	$\begin{matrix} \varnothing 81.536 \\ (-0.1\sim 0) \end{matrix}$	081.477	081.401	081.180
4	Roundness(mm)	0.01	0.007	0.122	0.137
5	Concentricity(mm)	0.03	0.022	0.054	0.083
6	Paralleism(mm)	0.03	0.004	0.053	0.099
7	Span(mm)	$\begin{matrix} \varnothing 32.242 \\ (-0.12\sim-0.06) \end{matrix}$	032.137	032.250	032.190
8	Backlash(mm)	-	0.15~0.17	0	0.05~0.10
9	Gear grade(JIS)	5	4	8	-

### 3.2 아이들 기어의 치형 특성

기계 가공된 기어, SLA 3D 프린터 및 FDM 3D 프린터로 제작된 기어에 대하여 OSAKA SEIMITSU 치형측정기를 사용하여 기어의 프로파일(Profile), 리드(Lead), 피치(Pitch) 등을 측정하였다.

Fig. 8에서는 스퍼기어 A의 프로파일을 나타내고 있다. Fig. 8(a)의 SCM420 소재로 기계 가공된 기어의 프로파일 그래프는 기어의 외경부(Tip)에서부터 치저부(Root)까지 일정한 형태의 프로파일 그래프를 보이고 있으며, 프로파일의 편차인 BIAS 또한 크게 차이를 보이지 않는다. Fig. 8(b)의 SLA 방식으로 제작된 기어의 프로파일 그래프는 외경부에서 치저부 방향으로 이동하여 기어의 치저부 쪽으로 갈수록 이두께가 커지며, 방향성은 일정하게 보여주고 있다. Fig. 8(c)의 FDM 방식으로 제작된 기어의 프로파일 그래프는 그림에서 보는 바와 같이 방향성이 없으며, BIAS의 차이가 심하게 나타남을 확인할 수 있었다. 그리고 프로파일 그래프의 굴곡이 심하게 나타난 것은 기어의 표면거칠기에

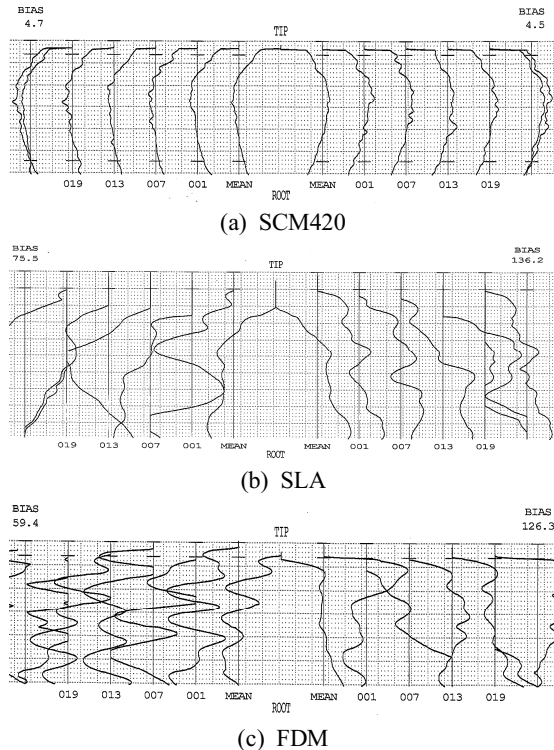


Fig. 8 Profile deviation of spur gear A(Z:23)

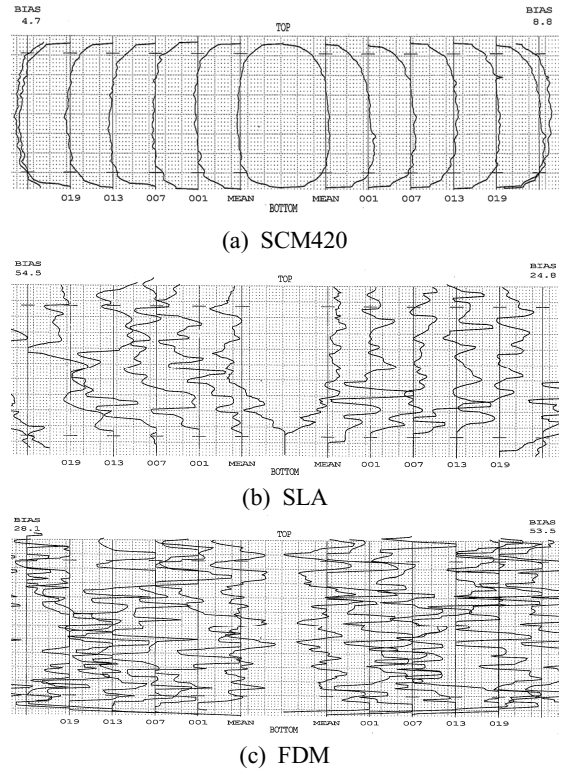


Fig. 9 Lead deviation of spur gear A(Z:23)

기인된 것으로 사료된다.

Fig. 9에서는 스퍼기어 A의 리드 편차를 나타내고 있다. Fig. 9(a)의 SCM420 소재로 기계 가공된 기어의 Lead 그래프는 상부(Top)에서부터 바닥면(Bottom)까지의 편차가 거의 없으며, 리드 그래프가 일정한 방향성을 나타내었다. 그리고 BIAS 또한 큰 차이를 보이지 않았다. Fig. 9(b)의 SLA 방식으로 제작된 기어의 리드 그래프에서는 바닥면으로 접근할수록 기울어짐을 확인할 수 있었고, 리드 그래프의 방향성은 일정하게 나타났다. 그러나 표면거칠기가 불균일하여 리드 그래프가 정상적인 형상으로 측정되지 않았음을 확인할 수 있었다. Fig. 9(c)의 FDM 방식으로 제작된 기어의 리드 그래프에서는 형태를 알아볼 수 없을 만큼 표면거칠기가 거칠고 그 방향성 또한 일정치 않은 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10에서는 스퍼기어 A의 피치 편차를 나타내고 있다. Fig. 10(a)의 SCM420 소재로 기계 가공된 기어의 피치 그래프에서 Fr(runout) 값은 25.8 $\mu$ m 으로 JIS 3급에

해당되며, 각각의 그래프는 23개로 기어(Z:23)의 개수와 같다. 그래프의 값은 기어의 중심에서 각 기어의 프로파일 피치 값을 계수화된 값이며, 이 값이 적을수록 기어의 각 이빨이 상대기어와 맞물려 회전할 때, 일정한 백래쉬 값을 가질 수 있으며, 기어의 정밀도를 JIS나 KS 규격으로 이를 분류하고 있다.

Fig 10(b)의 SLA 방식으로 제작된 기어의 피치 그래프에서 Fr 값은 99.6 $\mu\text{m}$ 으로 JIS 6급에 해당되며, 그래프의 2~4번을 제외하면 비교적 낮은 에러 값을 나타내었다.

Fig 10(c)의 FDM 방식으로 제작된 기어의 피치 그래프에서 Fr 값은 345.9 $\mu\text{m}$ 으로 JIS 8급에 해당되며, 전체적으로 피치 에러 값이 크고 기어의 정밀도가 비교적 낮다.

Fig. 11에서는 스퍼기어 B의 프로파일 편차를 나타내고 있다. Fig. 11(a)의 SCM420 소재로 기계 가공된 기어의 프로파일 그래프에서 기어의 외경부에서 치저부까지 일정한 형태의 그래프를 보이고 있으며, 프로파일의 편차인 BIAS 또한 크게 차이를 보이지 않는다.

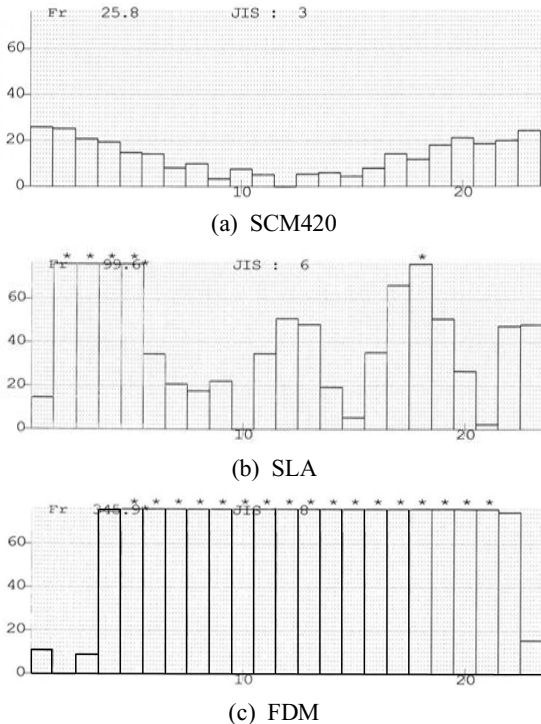


Fig. 10 Pitch deviation of spur gear A(Z:23)

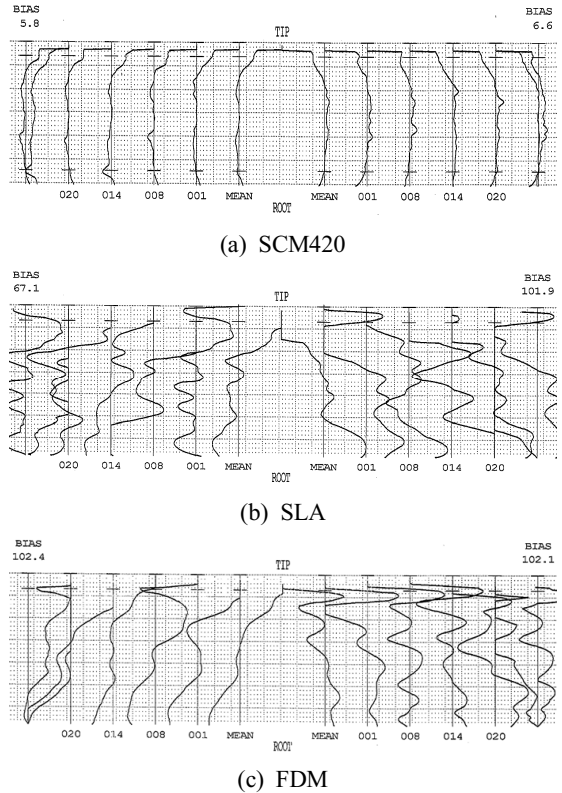


Fig. 11 Profile deviation of spur gear B(Z:25)

Fig. 11(b)의 SLA 방식으로 제작된 기어의 프로파일 그래프에서는 외경부에서 치저부 방향으로 이동하여 기어의 치저부 쪽으로 갈수록 이두께가 커지며, 방향성은 일정한 편이나 좌측의 BIAS가 67.1 $\mu\text{m}$ 이며, 우측의 BIAS 101.9 $\mu\text{m}$ 으로 기어의 좌보다 우형상의 차이가 큰 것을 알 수 있었다. Fig. 11(c)의 FDM 방식으로 제작된 기어의 프로파일 그래프에서는 프로파일의 방향성이 없으며, BIAS 또한 좌, 우가 심한 편임을 알 수 있었다.

Fig. 12에서는 스퍼기어 B의 리드 편차를 나타내고 있다. Fig. 12(a)의 SCM420 소재로 기계 가공된 기어의 리드 편차 그래프에서 상부에서 바닥면의 편차가 없으며, 일정한 방향성을 가졌고 BIAS 또한 큰 차이를 보이지 않았다. Fig. 12(b)의 SLA 방식으로 제작된 기어의 리드 그래프에서는 바닥면으로 갈수록 기울어짐을 볼 수 있으며, 방향성은 일정하게 나타났다. 표면거칠기가 불균일하여 아래와 같은 그래프가 나타난 것으로

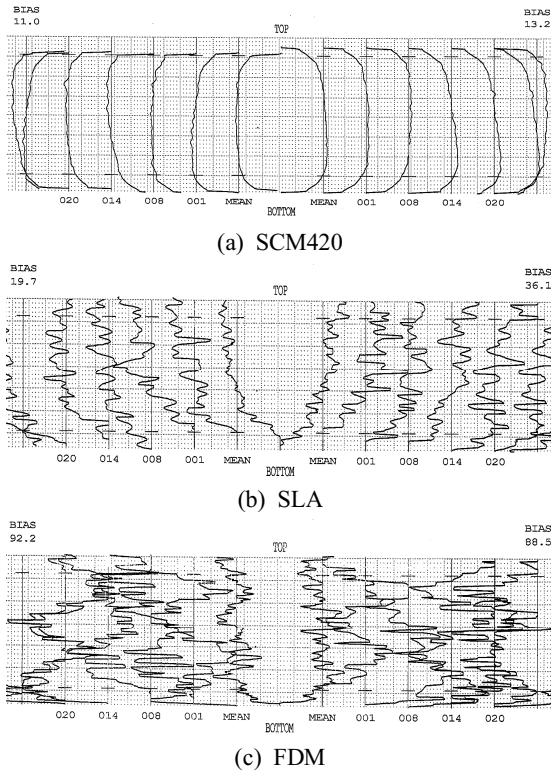


Fig. 12 Lead deviation of spur gear B(Z:25)

판단된다. Fig. 12(c)의 FDM 방식으로 제작된 기어의 리드 그래프에서는 형태를 알아볼 수 없을 만큼 표면거칠가 나쁘고 리드의 방향성이 일정하지 않은 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 13에서 스퍼기어 B의 피치를 나타내고 있다. Fig. 13(a)의 SCM420 소재로 기계 가공된 기어의 피치 편차 그래프에서 Fr 값은 40.0 $\mu\text{m}$ 으로 JIS 4급에 해당되며, 각각의 그래프는 25개로 기어(Z:25)의 개수와 같다.

Fig. 13(b)의 SLA 방식으로 제작된 기어의 리드 그래프에서는 Fr 값이 203.9 $\mu\text{m}$ 으로 JIS 8급에 해당되며, 그래프의 1~3번, 23~25번을 제외하면 비교적 높은 에러 값을 갖는다. Fig. 13(c)의 FDM 방식으로 제작된 기어의 피치 그래프에서는 Fr 값이 531.3 $\mu\text{m}$ 으로 JIS 규정에서 측정불가에 해당되며, 전체적으로 피치 애러 값이 크고, 기어의 정밀도가 매우 낮음을 확인할 수 있었다.

아이들 기어의 치형 특성 평가에서는 기계 가공된 기어 A와 B는 JIS 3급과 4급으로 정밀도가 평가되었으

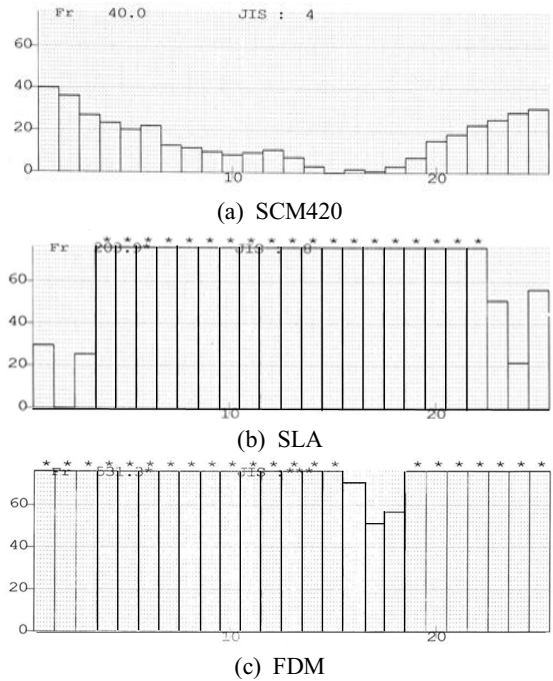


Fig. 13 Pitch deviation of spur gear B(Z:25)

며, SLA 3D 프린터로 제작된 기어 A와 B는 JIS 6급과 8급으로 정밀도가 평가되었다. 그리고 FDM 3D 프린터로 제작된 기어 A와 B는 JIS 8급 이상으로 정밀도가 평가되었다. 기어 등급이 차이 난 것은 기계 가공된 기어는 기어 표면의 정밀도를 유지하기 위해 최종 가공 공정인 세이빙 공정을 거쳐 요구되는 정밀도를 유지하였다. 그러나 SLA 3D 프린터 및 FDM 3D 프린터로 제작된 기어는 샌드 페이퍼 등을 이용한 후처리 공정없이 서프트만 제거한 후에 측정된 결과와 적층 두께에 따라 기어 표면의 상태가 기어 등급에 영향을 미친 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 트랙터용 후진 아이들 기어를 대상으로 하여 SCM420 소재로 기계 가공된 스퍼기어, SLA 방식의 프린터와 FDM 방식의 3D 프린터로 제작된 스퍼기어에 대하여 스퍼기어의 정밀도와 치형 특성을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

스퍼기어의 치수 정밀도와 치형 특성에서는 기계 가공된 스퍼기어가 설계 기준에 적합하였으며, 두 가지 방식으로 3D 프린팅된 스퍼기어의 정밀도와 치형은 설계 기준에 적합하지 않았다. 3D 프린팅된 스퍼기어의 설계 기준에 적합하지 않은 것은 후처리 공정에 따른 표면의 상태가 치수 정밀도와 치형 특성에 큰 영향이 있음을 확인하였다.

## 후 기

“본 논문은 2016년도 경남과학기술대학교 대학 회계연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

## REFERENCES

1. Kang Y. G., Lee, T. W. and Shin, G. S., "The Influence of Experiment Variables on 3D Printing using ABS Resin," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 2, pp. 94-101, 2017.
2. Pyo, J. H., Yoo, C. J., Shin, J. K., Lee, T. G. and Shin, B. S., "A Study on the Design of Hiking Boots Equipped with GPS and its Midsole Manufactured by 3D Porous Polymer Printing Method," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 6, pp. 83-88, 2016.
3. Kang, B. S., Ahn, D. G., Shin, B. S. and Shin, J. K., "A Fundamental Study on Polymer/Metal Additive Method using a UV Laser for Consumer-oriented 3D Helmet Products," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 6, pp. 89-94, 2016.
4. Shim, H. R., Sa, M. W. and Kim, J. Y., "A Study on Fabrication of 3D Porous Scaffold Combined with Polymer Deposition System and a Salt Leaching Method," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 5, pp. 86-92, 2016.
5. Yun, H. Y., Kim, H. C. and Lee, I. H., "Fabrication of 3D-Printed Circuit Device using Direct-Write Technology," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 1-8, 2016.
6. Hwang, J. D., Yang, J. S., Yun, S. H. and Jung, Y. G., "Hybrid Technology using 3D Printing and 5-axis Machining for Development of Prototype of the Eccentric Drive System," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 38-45, 2016.
7. Lee, H. S., Na, Y. M., Kang, T. H., Park, J. K. and Park, T. G., "Design and Analysis of Aluminum Melting Machine in Fused Deposition Modeling Method," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 62-72, 2015.
8. Kim, D. B., Lee, G. T., Lee, I. H. and Cho, H. Y., "Finite Element Analysis for Fracture Criterion of PolyJet Materials," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 134-139, 2015.
9. Kim, H. J., "Experimental Study on Production Characteristics of Straight Bevel Gear using a Polyjet Method 3D Printer," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 6, pp. 63-68, 2015.