

## T/F Driven Gear 동심도 향상을 위한 브로치 형상에 관한 연구

박세제<sup>1</sup> · 김동환<sup>#</sup>

### A Study of the Broach Tool Shape for Improving Concentricity of a T/F Driven Gear

S. J. Park, D. H. Kim

(Received January 14, 2014 / Revised June 9, 2014 / Accepted June 12, 2014)

#### Abstract

Broaching is widely used for the machining of inner shaped slots in work-pieces. The broach tool is moved vertically (usually by hydraulic power) through the work-piece. Broaching occurs with the work-pieced fix while the broach tool traverses through material and shears it. To produce a T/F driven gear both an outside cutting and an inside cutting are needed. The outside cut determines the tooth profile and the inside cut determines the inner dimension. Broaching can cause problems with concentricity. In the current study, the characteristics of shearing along the cutting blade and the broaching of a T/F driven gear are considered.

**Key Words** : T/F Driven Gear, Shearing, Cutting, Broaching, Broach Tool

## 1. 서 론

절삭 공정의 일종인 브로칭 공정(Broaching process)은 기본적인 기계 가공으로 절삭 공정으로 공구가 여러번 공작물을 통과하여 작업을 완성시키는 절삭 가공 중 가장 생산적인 공정 중의 하나이다. 브로치는 일련의 날로 구성되어 있고 각각의 날의 높이는 이전의 날보다 약간 높고 이러한 날당 높이 상승은 재료의 절삭량과 칩(Chip)의 두께를 결정한다. 공구의 이송은 주로 유입에 의해 이루어지며 브로칭 머신은 공구의 이송 방식에 따라 인발식(Pull-type)과 압입식(Push-type)으로 구분된다[1]. 브로칭 공정은 브로치에 의해 복잡한 형상의 구멍이나 형상을 1회 가공으로 완성할 수 있다는 장점이 있어 대량 생산에 많이 이용되고 있으며, 절삭 인선을 순차적으로

통과함으로써 가공품의 다듬질 면이 균일하고 정도가 높은 장점이 있다. 본 연구 대상인 T/F(Transfer) 드리븐 기어는 자동변속기에 설치되어 주변속단에 변속된 기어비를 최종 감속장치인 디퍼렌셜에 전달해주는 역할을 한다. Fig. 1과 같이 T/F 드리븐 기어 생산 공정은 초기 빌렛에서 3공정에 걸쳐 열간단조를 수행하여 외측 스퍼기어를 성형하고 이후 2번의 절삭공정(CNC)으로 기어의 외곽치수를 형성한다. 그리고 MCT공정을 홀(Hole) 가공을 한 후 브로칭 공정으로 내측 세레이션을 성형한다.

T/F 드리븐 기어의 브로칭 공정은 소재 고정 없이 안치대에 올려진 상태로 공구가 이송되며, 브로칭 날 형상은 치 형상을 생성하는 외치가 공구 전반에 걸쳐 형성되어 있으며 이후 치저경을 절삭하는 내치로 이루어져있다. 소재의 고정 없이 공구의 인발 절삭력에 의해 고정된다. 이때 소재의 안착 부위와

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템공학과

# Corresponding Author : Department of Mechanical Automotive Engineering, International University of Korea, E-mail: dhkim@iuk.ac.kr

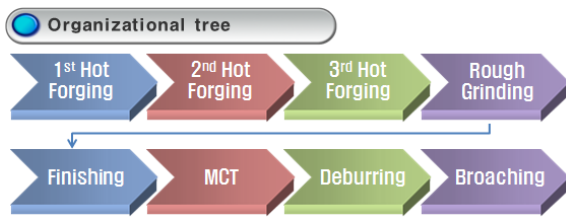


Fig. 1 The organizational tree for T/F driven gear

브로칭 공구의 외치 및 내치의 형상에 의해 동심도가 결정된다.

Kim 등[2]은 CAE 해석 기법 적용을 통하여 내장형 다단 변속 허브 기어의 냉간단조 시에 발생하는 미세 치형부 파단 및 접힘 등의 발생 원인을 규명하기 위해 하단 치형부, 상단 치형부, 내부 직경 설계 인자들의 영향을 성형해석 및 신경망을 통해 파악하고 최적 설계변수조합을 예측하고 이를 검증하였다. Kim 등[3]은 최대 두께18mm의 두꺼운 판재를 대상으로 프로그레시브 방식의 파인 블랭킹 공정 및 금형을 개발하였다. 이때 파인 블랭킹 공정의 특성을 고려하여 프로그레시브 공정을 위한 전체 스트립 레이아웃(Strip layout)을 설정하였으며, 설계된 금형에 의한 성형 공정 유한요소해석하였다. 실제 프로그레시브 파인 블랭킹 금형을 가공하고 시험 성형을 수행하여 개발된 금형 설계의 타당성을 확인하였다. Choi 등[4]은 초고강력강판 DP980의 트리밍 공정에서 경사각이 트리밍 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 경사각이 클수록 재료 내부에 높은 인장 정수압응력이 발생하여 트리밍 하중이 감소하는 것을 확인하였다. 또한 예약인 경우, 전단 개시까지 높은 굽힘응력을 받아 가공경화가 발생하기 때문에 트리밍 하중이 증가하는 경향이 있는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 내측 세레이션 생성 공정인 브로칭 공정에 사용되는 공구의 외치 및 내치의 형상에 따라 소재의 전단특성을 분석하고 이를 바탕으로 현장에 사용되는 T/F 드리븐 기어용 브로치의 성형성을 평가한 후 브로치 외치와 내치의 조합 및 형상을 제시하고자 한다.

## 2. 브로치 형상에 따른 유한요소 해석

T/F 드리븐 기어용 브로치는 Fig. 2와 같이 공구가 이송됨에 따라 치형의 형상을 결정 짓는 외치(A)와

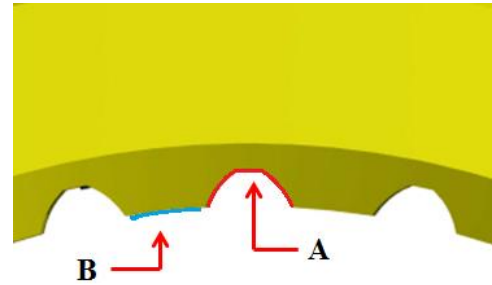


Fig. 2 Schematic shear section of A and B

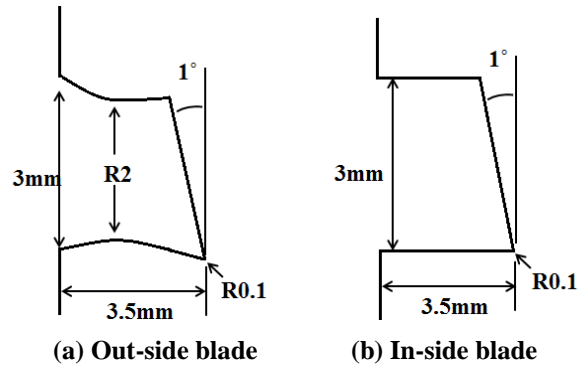
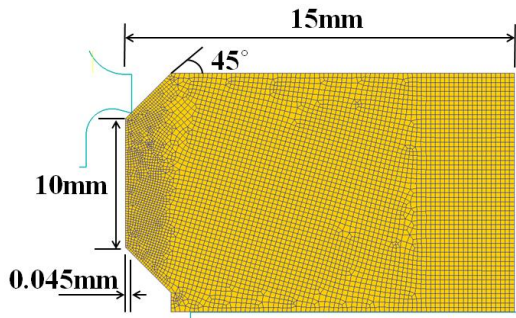


Fig. 3 Schematic drawing of cutting blade

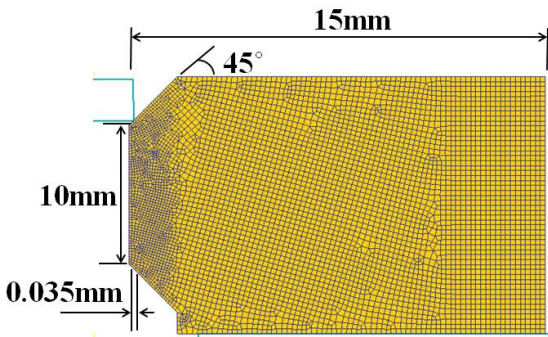
소재 치저경에 해당하는 부위를 절삭하는 내치(B)로 구성되어 있다. 이러한 절삭날을 Fig. 3과 같이 도식화하였으며, Fig. 3 (a)와 같이 외치는 톱니와 같은 날카로운 형상으로 이루어져 있으며, 내치의 형상은 Fig. 3 (b)와 같다. 두 종류의 날 모두 소재와의 접촉면적을 줄이기 위하여 날 끝 부분에 1°의 각을 가지고 있다.

### 2.1 전단공정에 대한 유한요소 해석

외치와 내치의 전단 특성을 알아보기 위하여 Fig. 3과 같이 상용 유한요소해석 프로그램 DEFORM-2D를 이용하여 유한요소해석을 수행하였다. 해석에 사용된 소재는 SCM920이며 마찰계수(m)는 0.12를 사용하였다. 해석에 사용된 소재 형상은 해석 정밀도와 절삭량을 고려하여 Fig. 4와 같이 절삭되는 소재의 일부를 사용하였다. 브로칭 공정 시 외치 하나당 절삭 깊이는 Fig. 4 (a)와 같이 0.045mm이며 내치의 절삭 깊이는 Fig. 4 (b)와 같이 0.035mm이다. 외치와 내치를 이용한 유한요소 해석 과정을 Fig. 5 (a)와 Fig. 5 (b)에 각각 나타내었으며, 공구가 이송될수록 칩이 점점 말리면서 절삭되는 과정을 확인할 수 있다. 소재에 나타나는 최대하중은 Fig. 6 (a)와 같이 외치 최대 153.86MPa, Fig. 6 (b)와 같이 내치는 148.96 MPa으로 외치의 경우가 높은 것으로 나타났다.

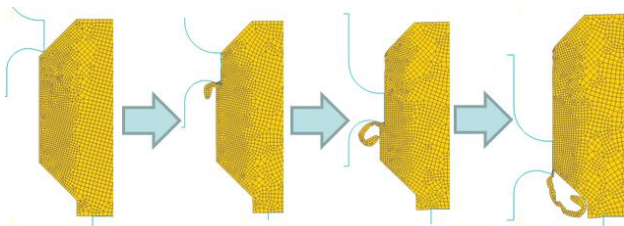


(a) Shearing using out-side blade

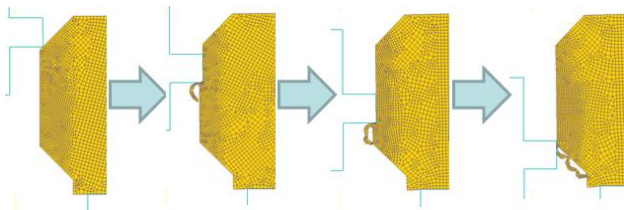


(b) Shearing using in-side blade

Fig. 4 Schematic drawing of shearing process



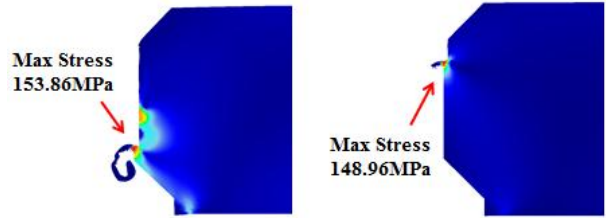
(a) Shearing process of out-side blade



(b) Shearing process of in-side blade

Fig. 5 FE-simulation results of shear process

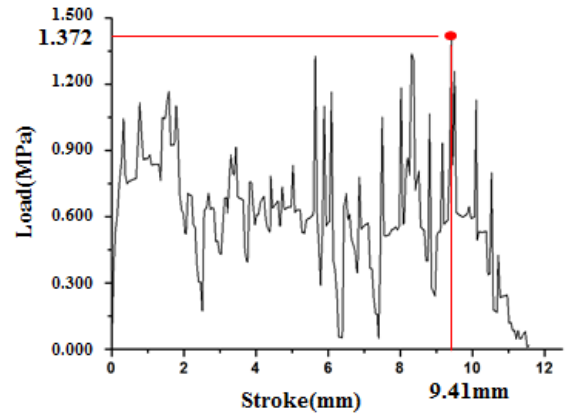
성형 중 최대하중은 외치인 경우 Fig. 7 (a)와 같이 1.372 MPa, 내치는 Fig 7 (b)와 같이 0.882 MPa로 비교적 내치가 작게 나오는 것으로 나타났다. 이는 브로칭 공정 시 날 하나당 절삭 깊이가 외치가 내치



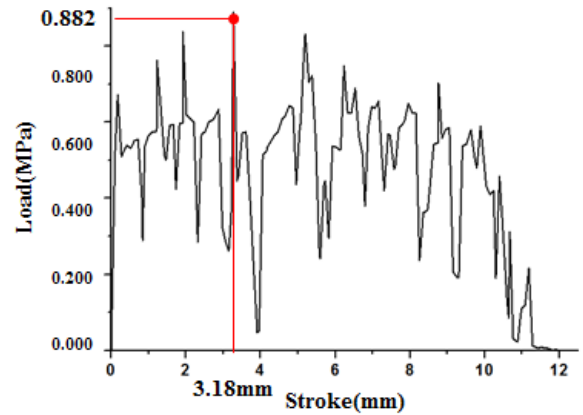
(a) Out-side blade

(b) In-side blade

Fig. 6 FE-simulation results of maximum stress



(a) Out-side blade



(b) In-side blade

Fig. 7 Forming load on shear process

보다 많으며, 치형의 형상을 전체적으로 절삭하는 외치가 내치에 비해 소재와 공구가 접촉하는 면적이 더 넓기 때문이라고 판단된다.

## 2.2 브로칭 공구 형상에 따른 유한요소 해석

T/F 드리븐 기어용 브로칭 공구는 설명한 바와 같이 외치가 초기 도입부에 형성되어 있으며, 공정 마지막에 내치가 소재를 절삭하게 된다. 본 연구의 목

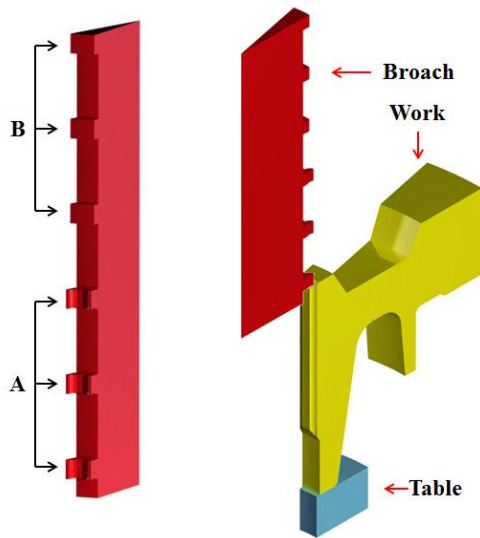


Fig. 8 Schematic view of conventional broaching component

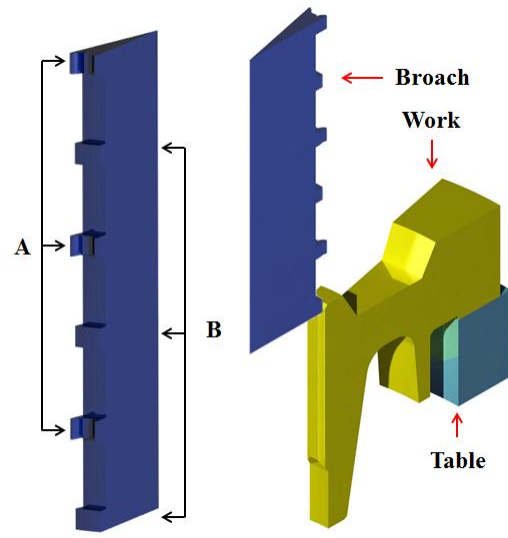


Fig.10 Schematic view of improvement broaching component

Table 1 Condition of conventional broaching process

Sort	Shearing order and measurement(mm)					
	A			B		
Shearing Order						
Shearing measure	0.045	0.015	0.01	0.035	0.035	0.01

Table 2 Condition of improvement broaching process

Sort	Shearing order and measurement(mm)					
	B	A	B	A	B	A
Shearing Order						
Shearing measure	0.035	0.045	0.035	0.015	0.015	0.01

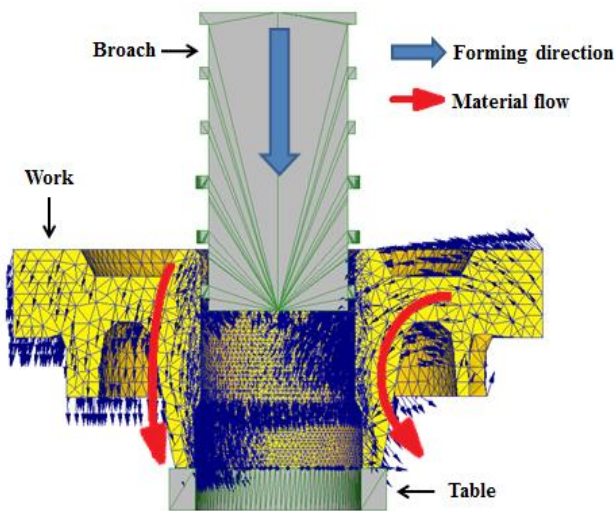


Fig. 9 FE-simulation result of conventional broaching process

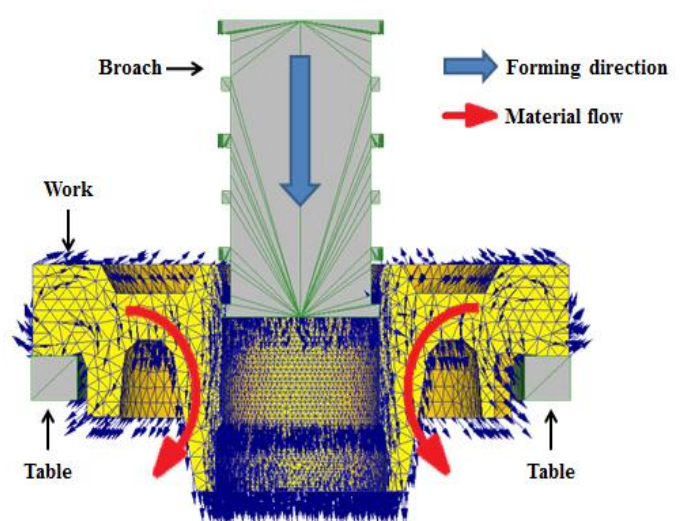


Fig.11 FE-simulation result of improvement broaching process

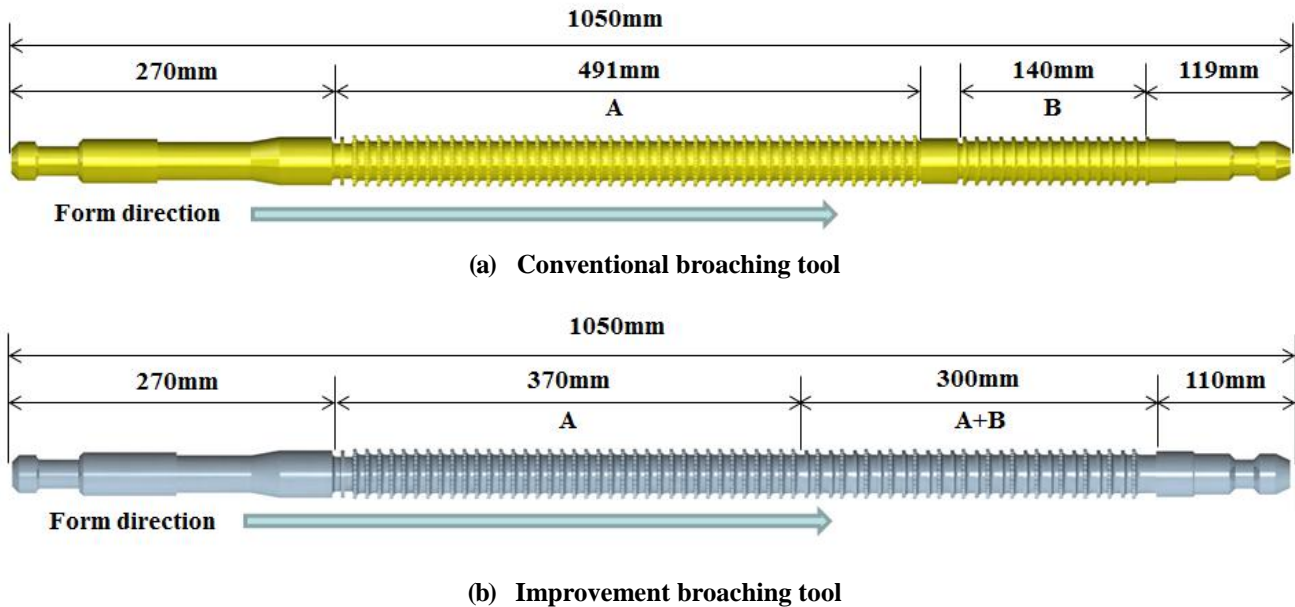


Fig.12 Schematic drawing for T/F driven gear broaching tool

적인 T/F 드리븐 기어 내측 세레이션 생성 시 발생하는 동심도 등의 문제점을 분석하기 위하여 T/F 드리븐 기어 브로칭 공정을 유한요소 해석하였다. 유한요소해석 프로그램 DEFORM-3D를 이용하여 해석을 진행하였다. 사용된 소재는 SCM920이며, 마찰계수( $\mu$ )는 0.12이다. 브로칭 공구 성형 속도는 1,000 mm/sec이며, 브로칭 성형 해석에 사용된 모델링은 Fig. 8과 Fig. 10과 같이 유한요소해석을 진행하였다. 모델링 시 먼저 현장과 동일한 조건으로 Fig. 8과 같이 브로칭 공구의 외치를 먼저 배치하고 그 후 내치를 배치하였으며, 해석 시간을 줄이고 해석 신뢰도를 높이기 위하여 브로칭 공구의 외치와 내치 마지막 형상 3개씩을 이용하여 형상화 하였다. Table 1에 절삭 날 각각의 절삭 깊이와 순서를 나타내었다.

외치(A)를 먼저 절삭 후 내치(B)를 절삭하는 공정을 유한요소해석하였으며, 유한요소해석 결과 Fig. 9 와 같이 소재 유동은 전체적으로 절삭 방향과 동일하게 향하고 있으나 소재의 한쪽으로 유동이 집중 되면서 불균형적인 소재 유동을 보였다. 이는 현장에서 발생하는 편방향 변형으로 인한 동심도 불량 등의 문제를 발생 시킬 수 있다. 이러한 문제점은 외치와 내치의 절삭 순서와 소재를 안착시킬 때 소재의 중심부와 가깝고 접촉이 작은 면을 이용하여 절삭력을 지지한다는 것에 문제점이

있다고 판단된다. 이러한 편방향 변형 문제점을 해결하고자 Fig. 10 과 같이 절삭날과 내치를 교차적으로 위치시키고 안착면을 소재의 넓은 면으로 변경하여 T/F 드리븐 기어의 브로칭 공정 유한요소 해석을 진행하였다. 외치와 내치의 절삭 순서 및 절삭 깊이를 Table 2 와 같이 나타내었으며 절삭 깊이는 동일하나 절삭 순서는 내치를 시작으로 순차적으로 위치시켰으며, 마지막으로 외치를 위치시켜 모델링하여 유한요소해석을 진행하였다. 그 결과 Fig. 11 과 같이 나타내었으며 소재의 유동을 분석하면 전체적으로 공구의 진행 방향과 소재의 유동 방향이 일치하며 소재 유동이 안정적으로 나타났다. 이는 소재의 안착면을 절삭력이 발생하는 곳과 소재의 중심에서 멀고 안정적인 넓은 면에 안착시킴과 성형하중 및 최대응력이 높은 외치와 비교적 안정적인 내치가 순차적으로 절삭하면서 소재의 유동이 안정적으로 나타난 것으로 판단된다.

### 3. T/F 드리븐 기어의 공정개선

외치와 내치의 전단특성과 전단순서에 따른 유한요소 해석 결과를 바탕으로 Fig. 14 (b)와 같이 외치가 도입부에 위치하고 이어 외치와 내치가 순차적으로 배열된 브로칭 공구 형상을 현장 제시하고, Fig. 13과 같이 브로칭 공정 시 안착면을 소재의



(a) Before (b) After  
 Fig.13 Table shape of T/F driven gear in broaching process

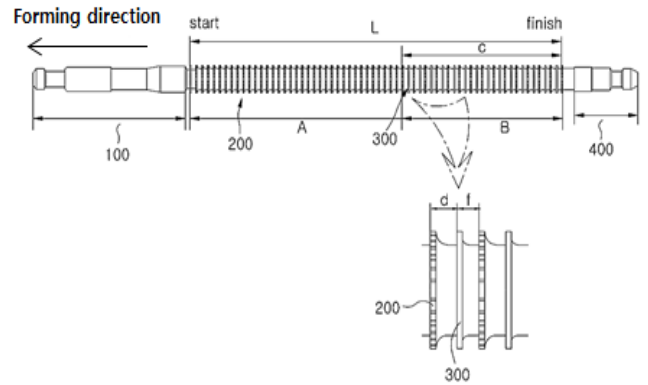


Fig.16 Schematic drawing for modified broaching tool



(a) Conventional broaching tool



(b) Modified broaching tool

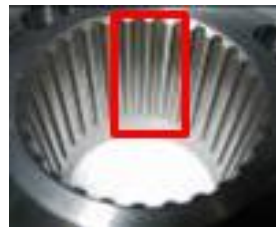
Fig. 14 Broaching tool for T/F driven gear

**Table 3 Condition of conventional broaching process**

No.	The result of concentricity on f(mm)						
	7	8	9	10	11	12	13
1	22	20	22	21	22	21	24
2	23	24	18	23	24	23	29
3	27	19	20	26	21	28	27
4	23	25	20	24	19	24	31
5	25	22	21	21	25	29	30
6	21	23	18	23	29	31	32
7	19	25	21	20	21	28	25
8	22	21	16	22	20	27	29
9	26	21	22	20	25	25	26
10	25	23	21	19	26	24	30
Avg.	23.3	22.3	19.9	21.9	23.4	26	28.3



(a) Incongruity



(b) Acceptance

Fig. 15 Inner serration of T/F driven gear

내측 좁은 면에서 외측 넓은 면이 절삭력을 지지할 수 있도록 개선하였다. Fig. 16과 같이 개선된 브로칭 공구의 순차 배열구간 B에서 내치와 외치의 거리  $f$ 를 Table 3과 같이 7 mm에서 13 mm까지 총 7가지의 브로칭 공구를 제작하여 10개의 제품을 브로칭하여

동심도를 측정하였다. 측정결과 내치와 외치의 거리  $f$ 가 9 mm일 때 동심도가 최저로 나타났다.

내치와 외치의 거리  $f$ 가 9mm인 제작된 브로칭공구를 이용하여 T/F 드리븐 기어 세레이션 가공 공정을 진행한 결과 Fig. 15와 같이 개선 전 브로칭 공정 제품 Fig. 15(a), 개선 후 브로칭 공정 제품 Fig. 15(b)를 같이 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 T/F 드리븐 기어의 세레이션 제작 공정에 사용되는 브로치의 형상에 따라 성형성을 평가하였고 그 결과를 바탕으로 브로칭 공구를 제

작하고 현장 실험을 통해 검증하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) T/F 드리븐 기어용 절삭날의 전단 특성을 분석한 결과 외치가 내치에 비해 더 많은 절삭량을 가지며 그로 인하여 더 높은 전단 하중이 발생하였다.

(2) T/F 드리븐 기어용 브로칭 공구의 절삭날 형상에 따른 유한요소 해석 결과 외치와 내치를 마지막 공정에서 교차시키는 것이 브로칭 공정에서 소재를 절삭 시 발생하는 편방향 변형 방지에 유리한 것으로 나타났다.

(3) 브로칭 공정 시 소재 안착 부위는 전단력이 발생하는 곳과 멀고, 소재의 안착 접촉면이 보다 많은 소재의 외경 쪽으로 안착하는 것이 유리한 것으로 나타났다.

(4) 연구 결과를 바탕으로 브로칭 공구 설계를 수정 및 보완하여 현장에 적용하였으며, 실험 결과 동심도 0.02mm 이하로 제품 요구치수에 만족하는 결과를 얻었다.

## 후 기

본 연구는 중소기업청 창업성장기술개발사업 성장과제의 일환으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## REFERENCES

- [1] S. C. Lee, S. I. Kang, J. W. Hong, 2002, A Life-Process Analysis of Broaching Tool, IE Interface, Vol. 15, No. 1, pp. 64~72.
- [2] D. H. Kim, D. C. Ko, S. H. Lee, H. S. Byun, B. M. Kim, 2006, Development of Press Forming Technology for the Multistage Fine Tooth Hug Gear, J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol. 23, No. 6, pp 44~51.
- [3] J. D. Kim, J. J. Kang, H. K. Kim, S. K. Hong, B. J. Kim, 2005, A Progressive Fine Blanking Process Design for Forming of Carrier Plate, Trans. Mater. Process, Vol. 14, No. 3, pp. 207~214.
- [4] H. S. Choi, D. C. Ko, 2012, Proc. Kor. Soc. Automot. Eng. Spring Conf.(editor: B. M. Kim), Kor. Soc. Automot. Eng., Seoul, Korea, pp. 139~142.
- [5] S. H. Jeong, J. J. Kang, 1995, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf(editor: S. I. Oh), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 211~223.
- [6] H. S. Choi, S. G. Kim, H. K. Choi, B. M. Kim, 2012, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf.(editor: D. C. Ko), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 440~443.
- [7] Z. H. Chen, C. Y. Tang, T. C. Lee, L. C. Chan, Large Deformation Finite Element Analysis of Strain Localization in Fine-Blanking Process, Met. Mater. Int., 1998, Vol. 4, No. 3, pp. 529~532.