

자동차용 고정밀 시트 리클라이너의 기어성형 공정에 관한 연구

강길석¹ · 박민제¹ · 장명진² · 김병민³ · 고대철[#]

A Study on Gear Forming Process for High Precision Automotive Seat Recliner

G. S. Kang, M. J. Park, M. J. Chang, B. M. Kim, D. C. Ko

(Received June 7, 2016 / Revised June 23, 2016 / Accepted July 4, 2016)

Abstract

In the automotive seat industry, the use of a fine blanking press is important for manufacturing of high precision products. Among them, a gear part which is a main component of an automotive seat recliner is generally manufactured by fine blanking press. However, the use of conventional mechanical press has been increasing in manufacture of gear part because of low productivity of fine blanking press. In this study, new forming process is suggested to fabricate the gear part with high precision by using mechanical press. The effect of flow restriction die (FRD) which has the restriction of blank edge on dimensional accuracy is investigated by FE-analysis. FE-analysis results for different conditions of FRD indicated that FRD has high dimensional accuracy with the lowest roll-over and the highest perpendicularity of gear part. After application to fabrication of the gear part using mechanical press, the measured dimensional characteristic was compared with the required specification of final product. In addition, results of the performance test showed that the product fabricated by developed process satisfied the required strength and durability. The results show that the suggested forming process by using FRD and mechanical press can replace fine blanking on the viewpoint of dimensional accuracy and productivity.

Key Words : Automotive Seat Recliner, Gear Forming, Mechanical Press, Fine Blanking, FE-analysis

1. 서 론

최근 자동차 부품산업에서는 생산성과 정밀도 향상을 위해 파인블랭킹(fine blanking) 기술을 프레스 성형에 적용하고 있다. 파인블랭킹은 일반 블랭킹 공정과 달리 비링(vee-ring), 스트리퍼(stripper), 카운터펀치(counter punch)가 소재를 가압하는 방식으로 상온 소재에 정수압응력을 발생시킴으로 소성변형능 향상에 따라 깨끗한 전단면을 얻을 수 있다. 그러나 전단압, 스트리퍼압, 카운터압 적용을 위하여

파인블랭킹 프레스에서는 3축을 유압으로 제어한다. 또한 편심 하중 방지를 위해 램 가이드의 높은 정밀도와 강성이 요구되어 기계식 프레스(mechanical press)에 비해 설비비용이 고가이며, 결과적으로 최종 제품의 단가가 상승하게 된다. 그러나 전용 파인블랭킹 설비로 제조되는 제품을 기계식 프레스를 이용하여 제조하면 생산성이 뛰어날 뿐만 아니라 프레스 설비 유지가 용이한 이점이 있다. 따라서 전용 파인블랭킹 설비를 대체하여 범용 기계식 프레스에서 고정도의 파인블랭킹 제품을 생산하기 위한

1. 부산대학교 일반대학원 융합학부
2. ㈜ 다스 성형개발팀
3. 부산대학교 설계기반미래성형기술센터 (ERC/ITAF)
Corresponding Author : Pusan National University, E-mail : dcko@pusan.ac.kr

연구가 활발히 진행되고 있다.

높은 치수정밀도의 제품을 생산하기 위해 파인블랭킹, 유동제어성형(flow control forming) 및 파인홀드스탬핑(fine hold stamping) 등의 정밀전단가공 기술과 같은 소재유동 제어에 대한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다[1~3]. Aoki 등[2]은 전단 가공에서 소재 두께에 대해 펀치의 크기 및 곡률, 블랭크홀더의 형상 그리고 홀더력 변화에 따른 소재유동과 변형률 분포의 영향을 조사하였다. Merklein 등[3]은 판재성형과 부피성형(bulk forming)이 결합된 공정에 대해 소재유동의 변화를 해석적으로 관찰하였고, Kim 등[4]은 기계식 프레스에서 유동제어성형 공법을 적용하여 리클라이너(recliner)의 핵심 부품인 플레이트홀더(plate holder)를 개발하였다. 최근 Yoon 등[5]은 리클라이너 부품인 섹터투스(sector tooth)에 대해 냉간단조(cold forging) 공법을 적용한 성형 공정을 설계하였으며, 유한요소해석 및 실험을 통해 설계된 공정의 유효성을 검증하였다.

본 연구에서는 파인블랭킹 프레스로 제조되고 있는 자동차 시트 리클라이너를 기계식 프레스에서 제조하기 위해 소재유동을 효과적으로 제어할 수 있는 제조공정을 제안하고자 한다. 이를 위해 유한요소해석을 이용하여 가장 합리적인 금형 형상 및 공정 조건을 선정하였다. 또한 시작품을 제작하여 제품의 성능을 평가함으로써 제시된 공정의 유효성을 확인하였다.

2. 리클라이너의 기어성형 공정설계

2.1 대상 제품

Fig. 1에서는 자동차 시트 및 라운드형 리클라이너(round type recliner)의 구성 부품을 나타내었다. 리클라이너는 시트 등받이(seat back)와 프레임(frame)을 연결하는 부품으로 시트 측면에 결합되어 등받이의 각도 조절 및 고정 역할을 수행한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 익스터널기어(external gear)는 내측에 인터널기어(internal gear)의 외치형과 맞물리는 모듈 1.45인 37개의 치형을 갖는다. 익스터널기어는 파인블랭킹 설비에서 피어싱(piercing), 버링(burring), 딥플성형(dimple forming), 기어성형(gear forming) 및 블랭킹 공정을 거쳐 제조된다. 이러한 익스터널기어는 인터널기어와 맞물려 상대 운동 시 유격 발생에 의해 소음 및 진동을 일으킬 수 있기 때문에 안전

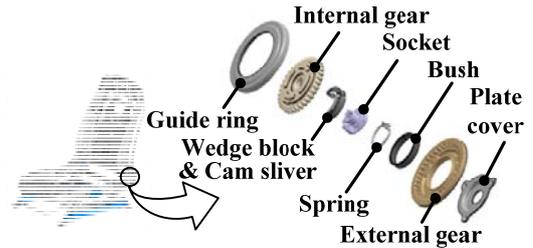


Fig. 1 Components of the automotive seat recliner

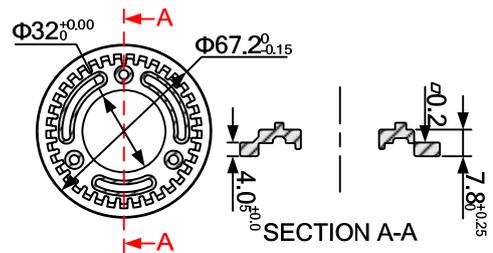


Fig. 2 Schematic drawing of external gear

Table 1 The required dimension of external gear (unit : mm)

Parameter	Requirement
Internal diameter of gear	52.60 ~ 52.70
Diameter of burring hole	32.00 ~ 32.06
Concentricity	Below 0.05
Perpendicularity	Below 0.02
Roll-over of gear	Below 1.10
Thickness of flange	4±0.05

성 및 감성 저하에 큰 영향을 미친다. 따라서 치수 정밀도가 우수해야 하며, 기어성형 시 기어부의 파단이 없어야 한다. Fig. 2와 Table 1은 기존의 파인블랭킹 공정을 통해 제조된 익스터널기어의 요구치수를 나타내었다.

2.2 공정설계

파인블랭킹 설비는 볼스터(bolster)의 면적이 협소하여 공정 수에 제한이 있다. 반면 기계식 프레스는 볼스터의 면적이 비교적 넓어 다수의 공정을 통한 복잡한 부품의 가공이 용이하다. 또한 각 공정에 다양한 성형 조건을 부여할 수 있기 때문에 성형하중을 분산시켜 금형의 한계수명이 증대되고 생산속도 향상을 통해 제품의 제조비용을 절감시킬 수 있다.

본 연구에서는 Fig. 3과 같이 익스터널기어의 제조 공정을 피어싱, 챔퍼링(chamferring), 노칭(notching),

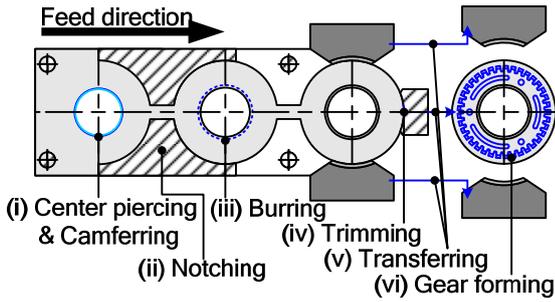


Fig. 3 Process layout for manufacturing of the external gear in mechanical press

버링, 트리밍(trimming) 및 기어성형으로 세분화하였다. 또한 익스터널기어의 품질을 결정하는 주요 공정인 기어성형 공정에 대해 중점적으로 설계하였다. 내치형부의 롤오버 저감 및 파단 방지를 위해 소재 유동을 효과적으로 제어할 수 있는 금형 형상인 FRD(flow restriction die)를 고안하였으며, 합리적인 금형 형상과 공정 조건을 결정하기 위해 유한요소해석을 수행하였다.

3. 유한요소해석

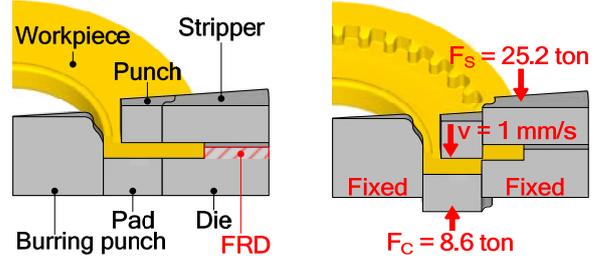
3.1 유한요소 모델링

적용 소재는 두께 4.0mm의 구상화 풀립 처리된 SNCM220을 사용하였다. 소재의 기계적 물성을 평가하기 위해 인장시험을 수행하였으며, 측정된 유동 응력은 식(1)에 나타내었다.

$$\bar{\sigma} = 709.74\bar{\epsilon}^{-0.162} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

본 연구에서는 상용 유한요소해석 소프트웨어인 DEFORM-3D를 이용하였으며, 유한요소해석 모델은 기어부의 치수와 파단 양상을 중점적으로 파악하기 위해 3차원 축대칭 문제로 가정하였다. 또한 기어성형 공정에서 펀치와 다이 사이의 클리어런스(clearance)가 매우 작으므로 탄성 변형은 무시할 수 있다고 판단하여 강소성(rigid-plastic) 재료로 가정하였고, 4mm의 후 판이므로 압연으로 인한 이방성(anisotropy)은 고려하지 않았다[6].

기어성형 공정에서는 펀치의 압입(penetration)으로 소재유동이 크게 발생되며, 성형이 진행될수록 기어가 형성되는 변형부(deformation zone)에 롤오버가 성



(a) Before gear forming (b) After gear forming
Fig. 4 FE-model of gear forming process by FRD

장하게 된다. 이러한 롤오버는 기어의 기능면을 감소시키는 원인이며, 일반적으로 펀치의 이송 방향과 소재의 반경 방향으로 소재가 유동하게 된다. 이러한 소재유동에 따라 변형부에 작용되는 높은 인장력에 의해 파단이 발생하게 된다. 따라서 변형부에 형성되는 롤오버와 파단을 억제하기 위해 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 FRD를 적용하고 기존의 파인블랭킹 설비와 동일한 스트리퍼압(Fs) 25.2ton과 카운터압(Fc) 8.6ton을 이용하여 소재유동을 제어하고자 한다. 이러한 FRD의 적용은 소재의 외곽을 구속함으로써 소재의 반경 방향에 대한 소재유동을 억제시키는 역할을 수행하게 된다.

3.2 연성파괴기준

기어 파단을 예측하기 위해 연성파괴기준을 도입하였다. 성형 중 발생하는 파괴는 다양한 하중 조건이 적용될 수 있으며 실험적 접근 및 수치적 계산이 용이한 식(2)와 같이 일반화된 Cockcroft-Latham의 파괴조건을 이용하였다.

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} \frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon} \approx C \quad (2)$$

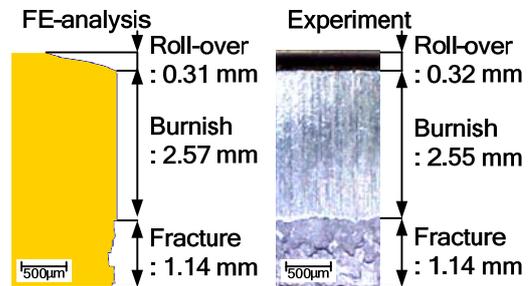


Fig. 5 FE-analysis and experiment for determination of critical damage value

여기서, $\bar{\epsilon}_f$ 는 파괴 시 유효변형률, $\bar{\epsilon}$ 는 유효변형률(effective strain), σ^* 는 최대 주인장응력(maximum principal tensile stress), $\bar{\sigma}$ 는 유효응력(effective stress) 그리고 C 는 Cockcroft-Latham 지수를 나타내고 있다.

본 연구에서는 피어싱 공정에 대한 유한요소해석과 실험 결과의 비교를 통해 SNCM220 소재의 임계손상치(critical damage value)를 도출하였다. 피어싱 공정에서 전단면 형상을 수치적으로 접근하기 위해 특정 요소의 손상치가 파괴기준(C)에 도달하면 요소는 파괴된 것으로 판단하였다. Fig. 5는 피어싱 공정에 대한 해석과 실험의 전단면 치수를 나타내었으며, 그 결과 파단 시점에서의 최대 손상치 1.7을 임계손상치로 도출할 수 있었다.

3.3 FRD 구속부 높이 선정

합리적인 FRD 구속부 높이를 결정하기 위해 구속부 높이를 1mm 단위로 변화시켜 롤오버 크기와 펀치의 성형 하중을 비교하였다. 그 결과 Fig. 6에 나타난 것과 같이 구속부 높이가 증가함에 따라 롤오버는 감소되었으나 성형 하중이 증가되었다. 또한 Fig. 7에서 나타난 것과 같이 구속부 높이가 소재 두께와 동일한 경우는 소재유동을 완벽하게 제어할 수 있으나 금형의 곡률 및 구속부에서 높은 면압이 발생하여 금형 파손이 우려된다. 따라서 롤오버의 크기가 작고 금형의 면압이 낮은 3mm의 구속부 높이를 선정하였다.

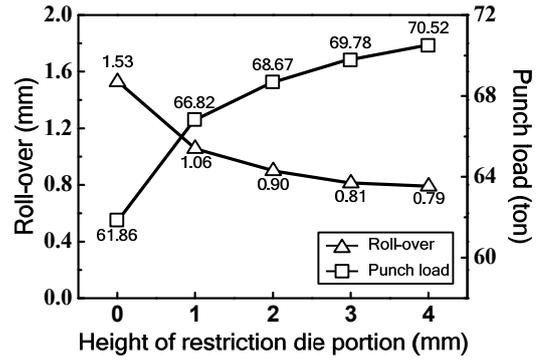


Fig. 6 Influence of roll-over and punch load on various restriction height

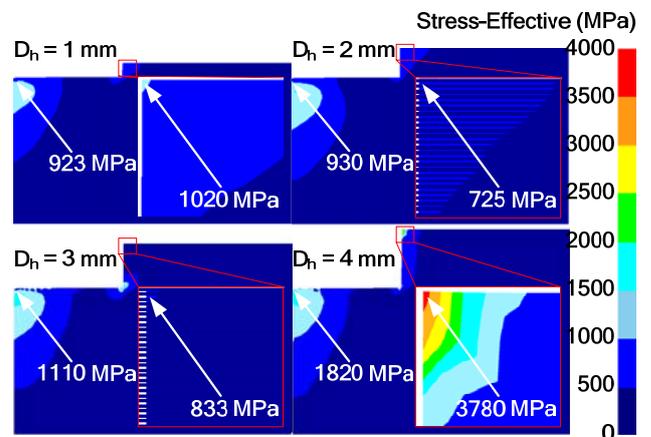


Fig. 7 Stress analysis of die on various restriction height

Punch stroke / Blank size	0 mm (Initial)	0.9 mm (25%)	1.8 mm (50%)	2.7 mm (75%)	3.6 mm (Final)
65.2 mm					0.77 mm
67.2 mm					0.84 mm
69.2 mm					0.82 mm
71.2 mm					0.86 mm
73.2 mm					0.84 mm

Fig. 8 FE-analysis results of velocity field on various blank size for FRD

3.4 초기 소재의 영향

Fig. 8은 FRD 공정에서 초기 소재 크기의 영향에 대한 해석 결과를 펀치의 행정거리에 따라 초기부터 최종 성형완료 시점까지 나타낸 것이다. 기어성형이 50% 진행된 시점에서 소재유동 방향이 변형부를 향하는 것을 확인할 수 있으며, 성형완료 후 기어부의 롤오버는 0.77~0.86mm로써 소재 외곽면 구속을 통해 요구치수 1.10mm 대비 22~30%의 개선 효과를 얻을 것으로 예측하였다. 따라서 초기 소재의 크기와 관계없이 FRD 적용을 통해 롤오버 성장이 효과적으로 억제될 수 있으며, 또한 리클라이너의 소형 경량화가 가능할 것으로 판단된다.

4. 실험 및 성능평가

4.1 실험

기어성형 공정의 실험에서 금형의 평탄도는 10 μ m 수준으로 가공되었으며, STD11 소재를 사용하였다. 금형의 열처리는 담금질 후 2회의 고온 템퍼링을 수행하여 HRC 58~60의 경도를 갖도록 하였다. 스트리퍼압, 카운터압을 부여하기 위해 상, 하부 금형에 가스 스프링을 장착하여 램의 상하 운동에 의해 부가하중이 작용하도록 제작되었다.

Fig. 9에서는 익스터널기어 시작품의 치형부를 나타내었다. 범용 기계식 프레스에서 FRD를 통해 제작된 시작품의 기어부에서는 파단이 없음을 확인할 수 있었다. Fig. 10은 기어성형 해석에 대한 결과와 시작품의 치수 측정 결과를 비교하여 나타내었다. 시작품의 치수 측정 결과 플랜지부 두께 10 μ m, 롤오버 0.92~0.98mm, 직각도 2 μ m, 동심도 40 μ m 이내로써 요구치수를 모두 만족하였다. Table 2에서는 초기 소재의 크기가 67.2mm로 동일한 기존 제품과 FRD 시작품의 치수 측정 결과를 나타낸 것이다. 여기서 시작품의 치내경, 버링경 및 플랜지부 두께는

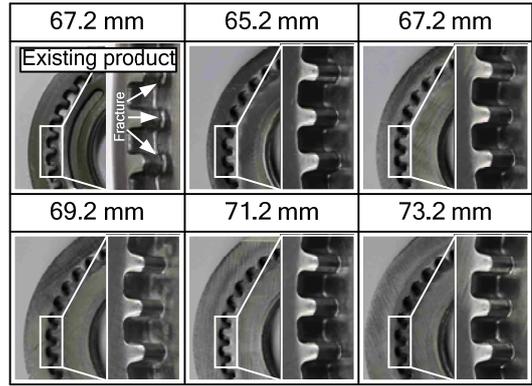
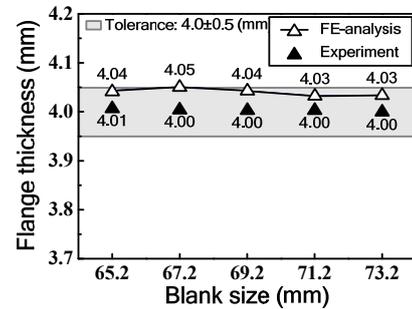
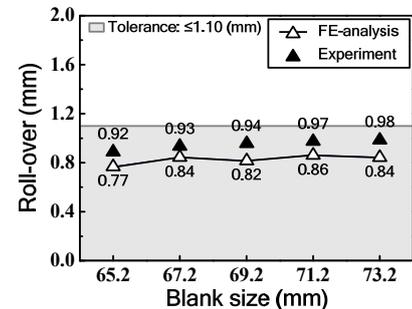


Fig. 9 Evaluation of gear fracture on various blank size manufactured by FRD



(a) Variation of flange thickness for various blank size



(b) Variation of roll-over depth for various blank size

Fig.10 Comparison of FE-analysis and experiment of result for dimensional accuracy

Table 2 Measured dimensions of external gear for existing and FRD products (unit : mm)

Parameter	Existing product [A]	FRD product [B]	Difference [(A-B)/A]
Internal diameter of gear	52.62	52.70	-
Diameter of burring hole	32.06	32.04	-
Concentricity	0.10	0.04	60.0%
Perpendicularity	0.110	0.002	98.2%
Roll-over of gear	1.10	0.93	15.5%
Thickness of flange	4.07	4.00	-

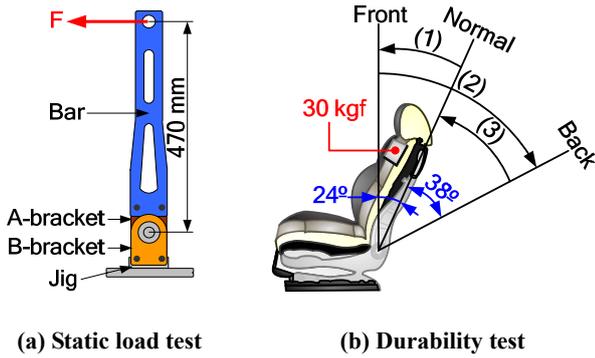
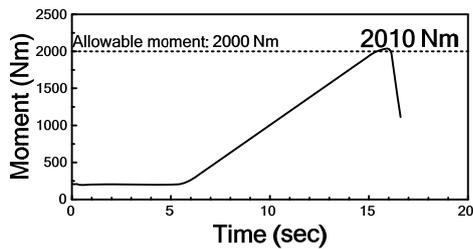
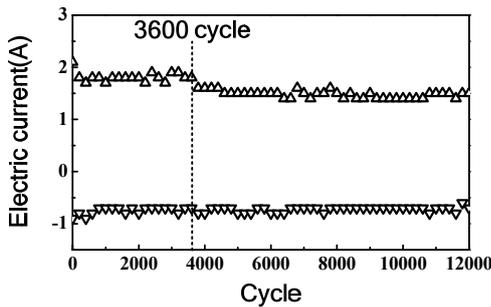


Fig.11 Schematic drawing of performance evaluation



(a) Static load test



(b) Durability test

Fig.12 Results of performance test for external gear manufactured by RDF

요구치수를 만족하였다. 또한 기존 제품과 비교하여 동심도 60.0%, 직각도 98.2% 향상되었고 롤오버는 15.5% 저감되었다. 따라서 FRD를 통해 제작된 익스터널기어 시작품의 치수정밀도가 기존 제품에 비해 매우 우수함을 확인할 수 있다.

4.2 성능 평가

시작품의 성능 평가를 위해 기존의 라운드형 시트 리클라이너 부품을 사용할 수 있는 초기 소재 크기가 67.2mm인 시작품을 선정하였다. FRD를 통해 제작된 시작품을 이용하여 완제품인 리클라이너를

조립한 후 정하중 강도 평가(static load test)와 내구성 시험(durability test)을 수행하였다.

정하중 시험은 Fig. 11(a)와 같이 리클라이너를 브라켓(bracket)과 용접한 후 바(bar)와 지그(jig)를 체결하여 정하중 강도 시험을 수행하였다. Fig. 12(a)는 정하중 강도에 대한 평가 결과를 나타내며, 요구 모멘트 2000N·m을 만족하는 2010N·m의 정하중 강도를 확인할 수 있었다.

내구성 시험은 리클라이너 조립품을 시트에 장착하여 Fig. 11(b)에 나타낸 것과 같이 리클라이너의 작동각(actuating angle) 62°에 대해 리클라이너 중심부에서 300mm 상단에 30kgf 중량을 부가한 후 다음과 같은 순서로 시험을 수행하였다. (i) 최전방 각도(24°)에서 2초간 구속, (ii) 최후방 각도(38°)에서 2초간 구속, (iii) 초기 위치로 복귀시켜 15초간 유지, (iv) (i)에서 (iii)의 과정을 3600회 반복 수행, (v) 전·후방 10°에 대해 8400회 반복 수행하였다. 내구성 시험에서 모터의 전압은 일정하고 진동, 소음 및 파손 등의 문제가 발생되면 모터의 저항이 변화되어 전류의 진폭이 급격히 상승하게 된다. Fig. 12(b)는 내구성 시험 12000회에 대한 결과를 나타낸 것이다. 내구성 시험 중 급격하게 상승되는 전류의 변화가 확인되지 않았으므로 리클라이너는 총 12000회 시험에 대해 정상 작동함을 알 수 있었다. 따라서 범용 기계식 프레스에서 FRD를 통해 제작된 익스터널기어 시작품은 리클라이너의 성능을 모두 만족함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 자동차 시트 리클라이너의 부품인 익스터널기어 제조공정에서 생산성 및 치수정밀도 향상을 위해 기어성형 공정에 대한 해석적, 실험적 연구를 수행하고 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 합리적인 FRD 구속부 높이를 3mm로 선정하였으며, 기어성형 공정에서 초기 소재 크기에 관계없이 롤오버는 0.77~0.86mm로써 저감 효과가 뛰어날 것으로 예측하였다.

(2) 범용 기계식 프레스를 이용하여 FRD를 통해 익스터널기어 시작품을 제작하고 기존의 요구치수에 비해 롤오버가 최대 15.5% 저감되었으며, 주요 치수정밀도 항목에 대해 기어부 동심도 및 직각도

가 각각 60.0%, 98.2% 향상됨을 확인하였다. 또한 치 내경, 버링경 및 플랜지부 두께가 요구치수를 모두 만족함으로써 FRD를 통해 제작된 익스터널기어의 치수정밀도가 매우 우수함을 확인하였다.

(3) 리클라이너 조립품의 성능 평가를 수행한 결과 정하중 강도 2010N·m, 내구성 시험 12000회 중 비정상 작동이 없었으므로 평가기준을 만족하였다.

따라서 범용 기계식 프레스에서 FRD를 통한 익스터널기어 제조공정의 유효성을 검증할 수 있었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의해 수행되었음.

REFERENCES

- [1] T. Nakano, 1994, Modern Applications of Complex Forming and Multi-action Forming in Cold Forging, J. Mater. Process. Technol., Vol. 46, No. 1-2, pp. 201~226.
- [2] I. Aoki, T. Takahashi, 2003, Material Flow Analysis on Shearing process by Applying Fourier Phase Correlation Method-analysis of Piercing and Fine-blanking, J. Mater. Process. Technol., Vol. 134, No. 1, pp. 45~52.
- [3] M. Merklein, J. Koch, S. Opel, T. Schneider, 2011, Fundamental Investigations on The Material Flow at Combined Sheet and Bulk Metal Forming Processes, CIRP Ann. Manuf. Technol., Vol. 60, No. 1, pp. 283~286.
- [4] B. M. Kim, H. S. Choi, M. J. Chang, J. H. Bae, S. B. Lee, D. C. Ko, 2008, Development of High Precision Plate Holder in Automotive Seat Recliner by Mechanical Press (I), J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 7, pp. 55~63.
- [5] J. H. Yoon, H. W. Jeon, J. H. Lee, 2013, Process Design of Cold Forging with Thick Plate for Seat Recliner Parts, Mater. Des., Vol. 49, pp. 449~455.
- [6] T. S. Kwak, Y. J. Kim, W. B. Bae, 2002, Finite Element Analysis on The Effect of Die Clearance on Shear Plans in Fine Blanking, J. Mater. Process. Technol., Vol. 130~131, pp. 462~468.