

# 전자식 파킹 브레이크용 세레이션 기어의 냉간단단조 공정 설계 및 후방 압출특성에 관한 평가

서주한<sup>\*,\*\*</sup>, 최종원<sup>\*</sup>, 정의은<sup>\*</sup>, 강명창<sup>\*\*,#</sup>

<sup>\*</sup>대한메탈(주), <sup>\*\*</sup>부산대학교 융합학부

## Multi-stage Cold Forging Process Design and Backward Extrusion Characteristics Evaluation of Serration Gear for Electronic Parking Brake

Ju-Han Seo<sup>\*,\*\*</sup>, Jong-Won Choi<sup>\*</sup>, Eu-Enn Jung<sup>\*</sup>, Myungchang Kang<sup>\*\*,#</sup>

<sup>\*</sup>Deahan Metal Co.,Ltd, <sup>\*\*</sup>The Graduate school of Convergence Science, Pusan National University

(Received 03 September 2021; received in revised form 18 October 2021; accepted 09 November 2021)

### ABSTRACT

Reducing production costs through net-shaped cold forging is an important aspect in the automobile industry. In this study, we intend to produce a net-shaped electronic parking brake (EPB) serration gear for automobiles, using multi-stage cold forging. These serrations are then assembled to the reduction gear of an EPB actuator. The forging process of the serrations and the cold forging design were verified through finite element analysis (FEA) in order to evaluate metal flow. The forging machine was selected by checking the load using FEA. Based on the FEA results, molds were designed, and parts were made using multi-stage cold forging to produce a net-shaped serration gear.

**Keywords :** Cold Forging(냉간단조), Serration(세레이션치형), Net-shape(정밀성형), Extrusion(압출), FEA (유한요소해석)

## 1. 서 론

단조공정은 대표적인 소성가공공정 중의 하나로써 품질과 생산성이 우수하고 경제적인 가공법으로 알려져 있다<sup>[1-2]</sup>. 특히 자동차를 비롯한 다양한 기계공업분야에서 대량생산의 요구에 따라 단조공법을 주로 사용하고 있으며 대표적인 예로 볼트, 너트와 같은 체결요소들이 주를 이루었으나 점차 정밀 부

품으로 범위가 넓어지고 있다. 최근들어 자동차 기능들의 전동화가 대형차량에서 소형차량으로 확대되고 있다. 정밀 부품들의 수요가 늘어나면서 완성차 업계에서는 생산량 확보와 원가 경쟁력 확보가 중요한 화두가 되었다.

최근 연구 동향을 보면 열간과 온간 단조의 대형 난성형 제품들의 냉간단조화가 많이 진행되고 있고 소형 제품 중 특히 후방 압출에 관련된 연구는 많이 진행되지 않았다. 세레이션 등의 정밀 치형의 압출을 위해 예비성형 조건을 조정하여 정밀 세레이션 치형의 성형성을 검증해 보고자 한다.

# Corresponding Author : kangmc@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-7395, Fax: +82-51-510-7396

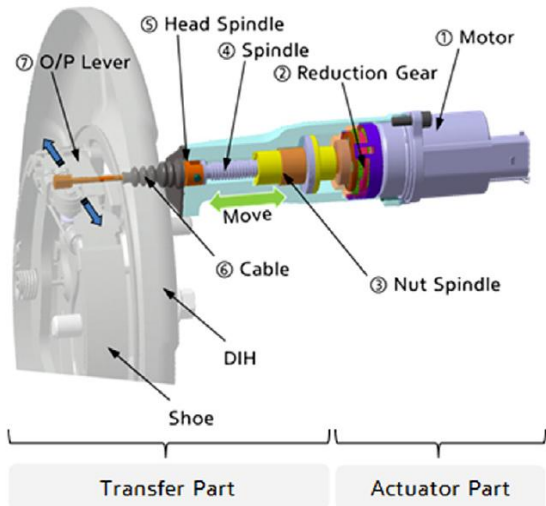


Fig. 1 Working mechanism of a novel EPB system<sup>[5]</sup>

자동차 정밀 부품 중에서 전자식 파킹 브레이크인 EPB(Electronic Parking Brake) 시스템의 감속기어는 정밀 세레이션 형상으로 수요가 증가하기 전에는 가공 설비를 통한 전면 가공으로 제품을 생산했으나 수요의 증가로 획기적인 가공 시간 절감이 필요한 상황이다<sup>[3-4]</sup>. 그 방안으로 FEA에 의한 유한요소해석 검증 등이 요구되고 있다<sup>[6-8]</sup>.

본 연구에서는 Fig. 1의 EPB 시스템에서 구동부(Actuator part)의 ②감속 기어 세레이션의 후방 압출 정밀 치수 형상을 자동 냉간단조로 공정기술개발 및 FEA 검증을 진행하고자 한다.

## 2. 세레이션 형상 단조품의 생산 설비, 설계 및 유한요소해석

### 2.1 단조 설비 및 소재

단조 설비의 경우 대한메탈 주식회사에서 보유한 효동기계공업 주식회사의 HNP-627(Hyodong Nut Parts former, 6stage, max cut off dia Ø27) 설비에서 단조성형을 진행하였다. 주요 사양은 Table 1과 같으며 본 사양에 맞추어 공정 설계 및 금형 설계를 진행하였다.

Table 1 Forging machine specifications

HNP-627 Specifications	
- Cut-off length (mm)	- 10~80
- Dies k.o (mm)	- 100
- Punch k.o (mm)	- 50
- Forging load (kg)	- 35,000
- Main motor (kW)	- 75
- Machine weight (kg)	- 70,000
- Machine size (m)	- 6.2×3.6×3.6
- Stage	- 6stage



Fig. 2 HNP-627 and experimental set-up

Table 2 Chemical composition of SCM420 steel substrate(wt%) - KS D 3867

	C	Si	Mn	P	S
SCM 420	0.17	0.15	0.55	0.03	0.03
	~0.23	~0.35	~0.95	less	less

HNP-627의 외관 및 금형 장착 형상은 Fig. 2의 사진과 같다. HNP-627은 길이가 짧은 제품을 성형하는데 특화되어 있으며 펀치가 좌-우로 움직이며 성형이 이루어진다. 냉간포머의 특징인 연속 6공정의 금형이 차례대로 장착되어 있다.

성형 소재의 경우 자동차업체의 지정 소재인 SCM420으로 성형 및 해석을 진행하였다. SCM420의 화학 성분 함량은 Table 2와 같고 동일한 성분 함량의 소재를 사용하여 제품 성형을 진행하였다.

## 2.2 다단냉간단조 공정 설계

본 논문의 대상이 되는 감속기 부품의 냉간다단 단조 공정을 Fig. 3과 같이 설계하였다.

Fig. 3에서 Stage 0은 CHQ(Cold Heading Quality) Wire Ø26.5를 사용하여 절단이 이루어진다. Ø26.5로 선정한 이유는 Stage 1 전방 압출 감면률과 절단된 소재의 길이가 연관되어 있다. 통상 감면률을 최대 68%까지 사용하는데 Fig. 3은 64.63%의 감면률을 보인다. 감면율을 더 높여 플렌지 성형에 유리하도록 할 수 있지만 소재의 외경이 커지면 절단 길이가 짧아져 이송이나 절단 중 이탈이 발생 할 수 있다.

Stage 1은 감속기어의 가공을 위한 전방 압출이 이루어지는 공정이다. Stage 2의 경우 Ø44의 플렌지를 성형하기 위한 예비 성형 공정으로 Ø35로 플렌지 예비 성형을 실시한다. 예비 성형이 없이 플렌지를 바로 성형할 경우 편심이 발생될 확률이 높다. Stage 3은 Ø44 플렌지를 성형 및 Stage 4에서 이루어질 후방 압출 공정의 면취를 성형하는 공정이다. Stage 4은 세레이션의 예비 성형공정으로 후방 압출이 이루어지는 공정이다.

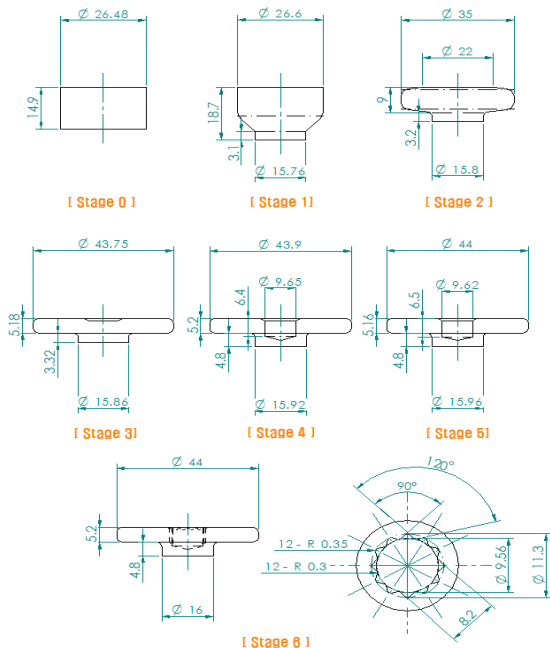


Fig. 3 Process design of 6-stage cold forging

Stage 5는 예비 성형 구간, 플렌지, 가공 기준면 등 성형이 이루어진 형상을 보정하는 공정이다. Stage 6은 세레이션 정밀 성형이 이루어진다.

## 2.3 Finite Element Analysis (FEA)

냉간다단단조 공정 설계의 성형 안전성 및 증을 위해 강소성 유한요소해석 프로그램인 AFDEX 3D를 이용하여 해석을 수행하였고 조건은 Table 3과 같다. Fig. 3의 냉간다단단조 공정을 FEA 해석을 실시하여 결과를 확인하면 Fig. 4와 같이 유효 변형율에 특이사항 없이 안정적으로 나타난다. 유효 변형율이 높을 때 나타나는 레드존이 거의 존재하지 않는다.

Table 3 The conditions of the AFDEX 3D

Process conditions	Value
AFDEX 3D	1/12 (30°)
Forging	Cold
Simulation	3D with flash
Analysis	Flow analysis
Deformation	Rigid plastic
Material	AISI 4120
Friction( $\mu$ )	Oil cold (0.025)

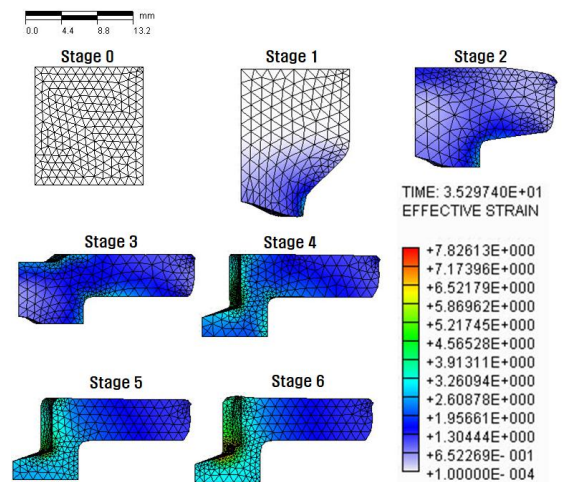


Fig. 4 Cold forging process for FEA analysis

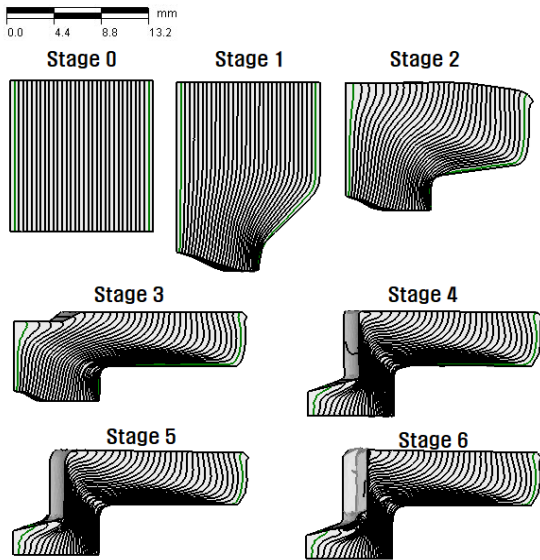


Fig. 5 Cold forging process FEA(metal-flow)

단류선(Metal flow)은 Fig. 5와 같이 끊김이나 접힘, 칩투 등의 이상 징후는 보이지 않는다<sup>9-10)</sup>. Stage 1의 전방 압출에서는 압출 되는 방향으로 흐름이 잘 이어 졌고, Stage 2~3의 플렌지 성형에서도 접힘 및 꺾임의 이상 현상이 나타나지 않는다. Stage 4, 6 후방 압출 구간에서도 단류선의 흐름이 잘 이루어 지고 있다.

부하 하중은 Table 4와 같이 해석되었으며 Stage 1~6 전체 부하는 183ton으로 설비 최대 부하인 350ton 이내이다. 설비 제조사에서 요구하는 적정 부하율 80%인 280ton 이내로 생산에 적절한 부하이 고 하중의 연속 그래프는 Fig. 6과 같다.

Table 4 Cold forging load(ton) by process

	Punch	Die
Stage 1	3	76
Stage 2	9	17
Stage 3	1	11
Stage 4	10	21
Stage 5	9	15
Stage 6	4	7

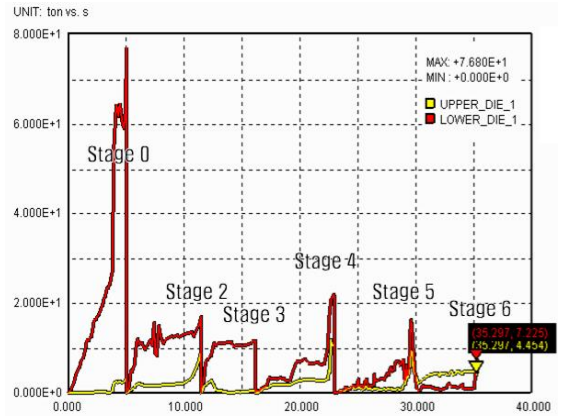


Fig. 6 Cold forging load graph(#10~60)

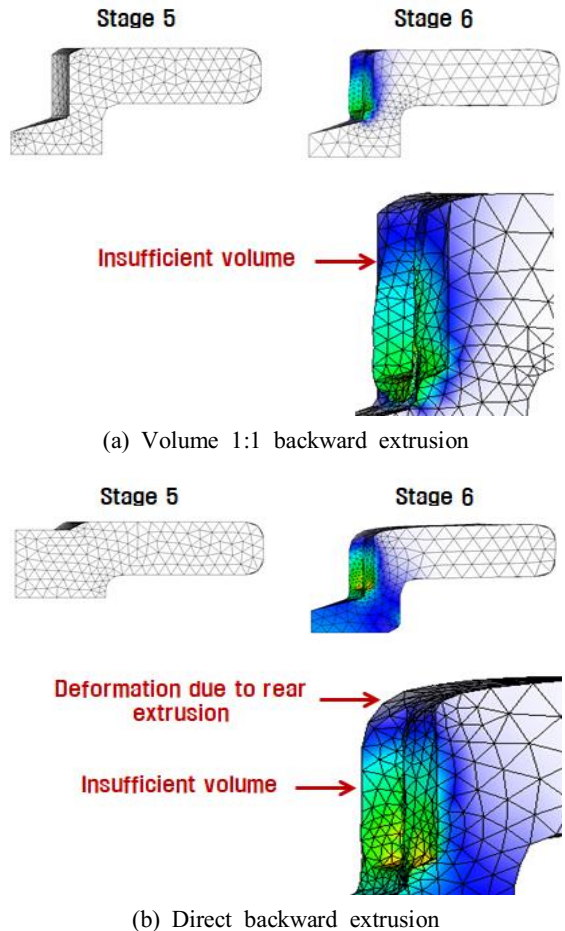


Fig. 7 Serration backward extrusion FEA test



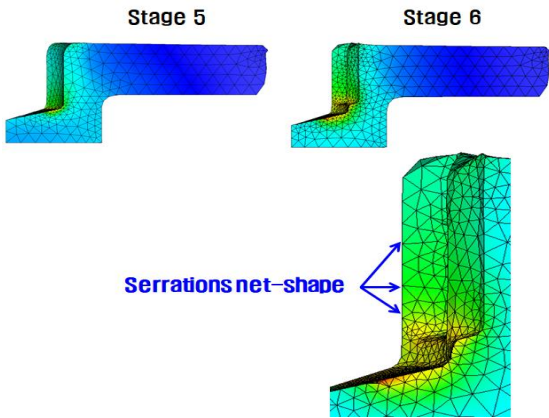
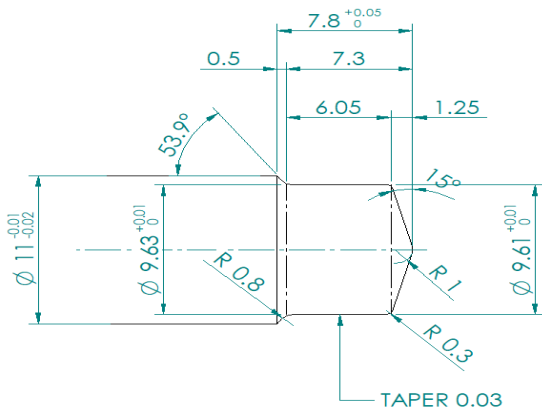
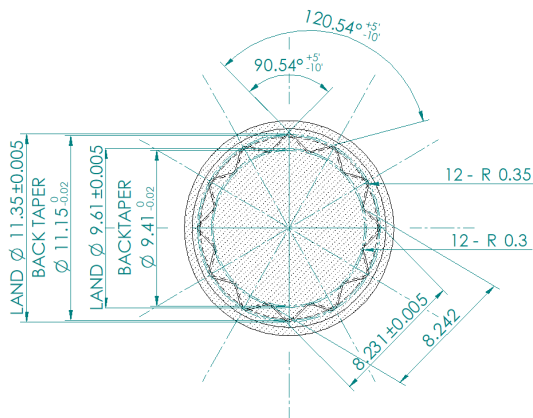


Fig. 8 Serration net-shape FEA



(a) Stage 5 punch pin



(b) Stage 6 punch pin

Fig. 9 Stage 5, 6 forged parts pin design

본 논문에서는 세레이션을 성형하기 위해 Stage 5의 예비 성형부의 체적량을 세레이션과 1:1로 맞추지 않았다. 변화되는 성형량에 맞추어 성형을 할 경우 Fig. 7(a)와 같이 세레이션 내측 치형이 완전히 성형되지 않는다. 후방 압출이 일어날 때 내경쪽으로 체적이 완전히 이동되지 않고 후방으로 체적 이동이 일어난다.

치형 내경측 체적 부족을 해결하기 위해 예비 성형없이 세레이션 성형할 경우 Fig. 7(b)와 같이 후방 압출 하단부에는 체적이 부족하지 않지만 후방 압출 초입부가 여전히 체적이 부족하다. 그리고 플렌지부의 변형이 일어나 평탄도가 일그러 졌다.

위와 같은 FEA 해석 결과를 바탕으로 예비 성형구간의 치수를 세레이션 치형 내경 접원의 치수보다 +0.005 크게 성형하여 해석한 결과 Fig. 8과 같이 치형의 체적 부족 형상이 보이지 않는다.

Fig. 8의 결과를 얻기 위하여 중요 성형 구간인 Stage 5, 6의 성형부 치수를 Fig. 9와 같이 설계 후 FEA를 진행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

냉간다단 단조공정 형상은 Fig. 10과 같다. FEA를 활용한 공정설계와 동일하게 성형되었고 외관의 이상 현상은 발견되지 않았다.



Fig. 10 Stage 0~6 Cold forging process product

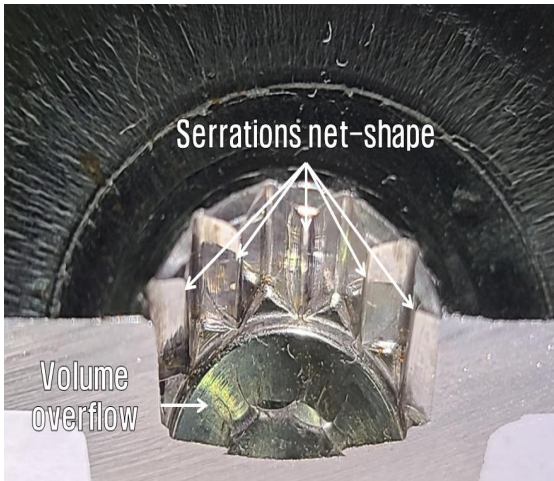


Fig. 11 Serration net-shape of cold forging

통상적으로 Stage 1에서 전방 압출 전 면취 성형공정이 있으나 최종 세레이션 성형까지 공정 확보를 위해 면취 공정을 삭제하고 압출을 진행하였다. 면취 공정이 삭제되었지만 외관 및 치수에는 이상이 없었다.

플렌지 성형은 설계와 같이 Stage 2~3으로 나누어 성형이 이루어져 외관 및 치수를 만족하였다.

Stage 4에서 후방 압출 후 내경과 외경에 변형이 생겼지만 Stage 5을 통해 형상을 보정 하였다.

Stage 6 세레이션 정밀 성형한 경우 Fig. 7에서 발견된 세레이션의 내측 치형에 체적이 모자라는 현상이나 플렌지 변형은 나타나지 않았고, Fig. 11과 같이 완전한 세레이션이 성형되었다.

Fig. 11에서 보듯이 단면을 잘라 세레이션 형상의 내경 쪽을 확인하면 체적이 완전하게 이동되어 형상의 성형이 완전히 이루어 졌음을 알 수 있다.

다만 FEA결과 예상보다 Stage 6에서 세레이션 성형 후 남은 체적이 Stage 5 바닥부 쪽으로 내려간 것이 단조품에 나타났다. Stage 6에서 후방 압출 중 체적의 이탈이 일부 발생 되어 성형 하부로 체적이 유입된 것으로 보인다.

세레이션의 치수 검증은 단조품 3개를 가로로 절단하여 세레이션이 관통되도록 보이게 만들어 대한메탈 주식회사에서 보유한 Mitutoyo사 Profile projector PJ-A3000을 Fig. 12와 같이 자체 측정하였다.

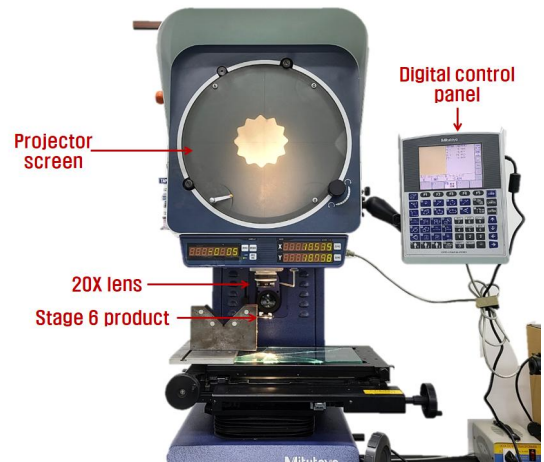


Fig. 12 Measure stage 6 product with Mitutoyo PJ-A3000

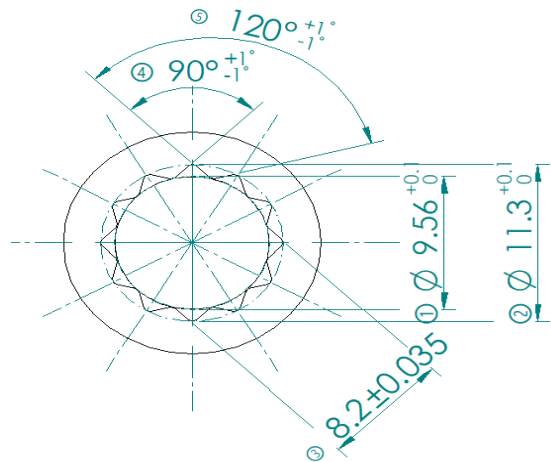


Fig. 13 Serrations net-shape dimensions

Table 5 Measurements of serration dimensions

	No.1	No.2	No.3
① Ø9.56~9.66 (mm)	Ø9.58	Ø9.57	Ø9.58
② Ø11.3~11.4 (mm)	Ø11.32	Ø11.31	Ø11.31
③ 8.165~8.235 (mm)	8.21	8.19	8.18
④ 119°~121°	120°34'	120°3'	120°29'
⑤ 89°~91°	90°33'	90°29'	90°35'

완성 자동차에서 요구하는 세레이션의 중요 치수들은 Fig. 13과 같으며 측정값은 Table 5와 같으며 중요 치수 모두 공차에 만족하는 측정값을 보인다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 자동차 산업의 전동화 정밀부품 대량생산 요구에 맞추어 EPB 시스템의 감속기 기어 부품을 냉간다단 단조로 성형해 보았다. FEA 공정해석을 진행하고 금형을 제작하여 냉간다단단조의 제품 형상과 중요부위 치수를 확인하였고, 충분히 더욱 복잡하고 어려운 정밀 부품을 냉간다단 단조로 대량 생산이 가능함을 검증하였다. 본 연구에서 얻은 주요한 결론은 아래와 같다.

1. FEA 해석 검증으로 실패 확률을 줄여 후방 압출 세레이션 등의 정밀 성형이 가능함을 검증하였다.
2. FEA 해석을 통해 검증된 냉간다단단조공정에 맞추어 금형을 제작하여 EPB 시스템의 감속기어 부품을 결합없이 성공적으로 성형하였다.
3. 기존 가공에 의지하던 소량 생산 정밀 부품을 냉간다단단조로 대량 생산함으로써 재료수율과 가공비용의 측면에서 상당한 원가절감이 이루어져 자동차 산업군에 냉간다단단조 부분의 확대가 가능함을 알 수 있었다.

#### 후 기

“이 논문은 2019년 산업기술혁신사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음. (No.20006979)”

#### REFERENCES

1. Yuangen, Q., Cho, H Y., “A Split Die Design for Forging of Hexagonal Bolt Head”, Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 5, pp 91-97, 2020.
2. An, S. C., Lee, G., Kim, S. Y., Im, Y. T., “Elastic Analysis of Cold Extrusion Die Set with Stress Ring”,

Journal of The Korean Society for Technology of Plasticity, Vol. 11, No. 4, pp. 355-362, 2002.

3. Lange, K., “Some aspects of the development of cold forging to a high-tech precision technology”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 35, pp 245-257, 1992.
4. Jo, A. R., Jeng, M. S., Lee, S. K., Moon, Y. H., Hwang, S. K., “Multi-stage Cold Forging Process for Manufacturing a High-Strength One-Body Input Shaft”, Journal of Materials, Vol. 14, 532, 2021.
5. Shim, S. H., Jeon, G. B., Lee, J. H., Shin, U. H., Kim, B. C., Jung, Y. D., “A Study on Application Strategy and Actual Car Effectiveness of Electronic Parking Brake for Rear Wheel Driving Car”, Journal of The Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 27, No. 5, pp. 389-398, 2019.
6. Ann, K. H., Kang, J H., Heo, S S., Shin, T S., Cho, H Y., “Multistage Cold Forging Process Design of Al6082 Considering Forming Limit”, Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 9, pp 93-99, 2020.
7. Choi, D. S., Kang, H B., “Finite Element Analysis of Multistage Hot Forging Process During Mold Cooling”, Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 5, pp 75-81, 2020.
8. Kim, H. J., Jin, C. K., “Process Design Molding with Precision Hot Forging of One-way Clutch Inner Race”, Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 4, pp 83-90, 2018.
9. Abe, Y., Mori, K., Kato, T., “Joining of high strength steel and aluminium alloy sheets by mechanical clinching with dies for control of metal flow”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 212, pp. 884-889, 2012.
10. Kim, Y. J., “Finite Element Simulation for Design of Compound Forging Process For a Hollow Flanged Spindle”, Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 3, pp. 69-75, 2010.