

# 신경망을 이용한 클러치 기어의 정밀성형공법 개발

## Development of Forming Technology for Clutch Gear Using Artificial Neural Network

강재영<sup>1</sup>, 김병민<sup>2</sup>, 김영환<sup>3</sup>, 김동환<sup>3,✉</sup>  
Jae Young Kang<sup>1</sup>, Byung Min Kim<sup>2</sup>, Yeong Hwan Kim<sup>3</sup> and Dong Hawn Kim<sup>3,✉</sup>

1 한국국제대학교 대학원 기계자동차공학과 (Automotive & Mechanical Engineering, International University of Korea.)

2 부산대학교 기계공학부 (Department of Mechanical Engineering, Pusan National Univ.)

3 한국국제대학교 기계자동차공학과 (Automotive & Mechanical Engineering, International University of Korea.)

✉ Corresponding author: dhkim@iuk.ac.kr, Tel: 055-751-8236

Manuscript received: 2011.2.8 / Revised: 2011.3.28 / Accepted: 2011.4.17

*Precision forging of gears has a lot of advantages when compared to conventional gear shaping, because it allows the manufacture of gear parts without flash and consequently without the need for subsequent machining operations. In this study, the cold forging process is determined to manufacture the cold forged product for the precision clutch gear used of a commercial automobile. To do this, shape ratio of initial shape having influence the forgeability of forged product is analyzed. The optimal initial shape of clutch gear is designed using the results of DEFORM-3D and the artificial neural network (ANN). The initial shape through the detail analysis results, such as metal flow, distributions of strain can be obtained.*

Key Words: Clutch Gear (클러치 기어), Cold Forging (냉간 단조), Finite Element Method (유한요소법), Artificial Neural Network (신경망), Metal Flow (금속 유동), Optimal Design (최적설계)

### 1. 서론

기어는 기계요소 중 수요가 많고 기능상으로 매우 중요한 부품으로서 종래에는 밀링가공, 호빙가공 등과 같은 절삭가공에 의해 생산되었으나 대량생산 및 제품의 균일화라는 측면이 부각됨에 따라 분말야금법이나 냉간단조 등의 비 절삭가공법에 의한 생산이 활발하게 진행되고 있다. 특히 냉간 소성가공은 생산성이 높고, 재료 소비율과 개당 생산비가 낮으며 또한 제품의 기계적 성질이 우수하다는 장점을 가지고 있다.<sup>1</sup> 기어류 부품의 냉간단조 공법은 이상의 조건들을 충족시키면서 고정도화를 이룰 수 있는 뛰어난 성형기술이다. 클러치 기어의 경우 강력한 전달력과 정확한 속도비를 가지고 회전운동을 전하기 위하여 사용되는

기계부품으로 치형부(teeth) 치수 정밀도가 매우 중요한 제품이다. 본 연구에서는 클러치 기어류에 대한 정밀 냉간 성형단조 공법을 개발하기 위하여 성형 해석 및 시험을 수행하였다. 이전의 연구에서는 클러치 기어의 치형부를 원추형(Cylindrical type), 주저형(Declined cylindrical type) 그리고 창형(Spear type)의 3 가지 냉간단조 공법에 대하여 성형 공정 해석을 수행하여 결함 및 치형 정밀도에 관한 연구를 수행하였고, 창형이 유리함을 제시하였다.<sup>2</sup> 본 연구에서는 유한요소법과 신경망을 이용하여 하나의 시스템으로 구축하고, 개발된 시스템을 공정설계에 적용하여 클러치 기어의 치형 끝단부 정밀도 향상을 위하여 치형 형상, 변형이력 및 성형하중을 고려한 최적의 초기 형상 설계 기법을 제시하고자 한다.

## 2. Clutch gear 성형해석

### 2.1 Clutch gear

본 연구에서 고려한 클러치 기어 부품의 형상은 Fig. 1 과 같다. 최종 부품 형상의 제작과 동일하게 초기 부품 형상을 설계하였다.

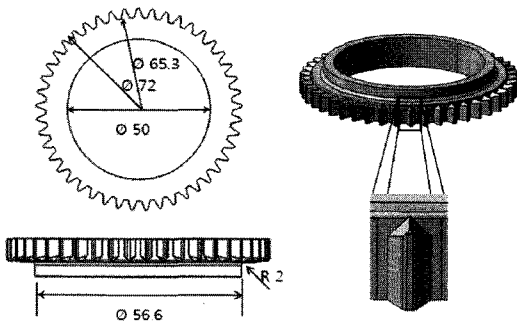


Fig. 1 3D modeling of clutch gear

클러치 기어류 성형해석을 위하여, 클러치 기어의 재료에 대한 인장시험을 수행하였다. 본 연구에 사용된 재료는 SCr420H 이며 인장시험으로부터 응력-변형을 커브를 얻을 수 있었다. 클러치 소재에 대한 응력-변형을 관계식은  $\sigma = 869\epsilon^{0.173}$  이며, 탄성계수(E)는 210GPa, 가공경화지수(n)는 0.173, 강도계수(K)는 869MPa, 항복응력( $Y_s$ )은 311.2MPa 이다.

### 2.2 Clutch gear 의 유한요소해석

본 연구에서는 단조공정을 설계한 후 CAE 시뮬레이션을 통해 설계를 검토하는 방법을 사용하였다. 클러치 기어의 냉간단조 성형해석을 위하여 상용 유한요소 코드인 DEFORM-3D 를 이용하였다.

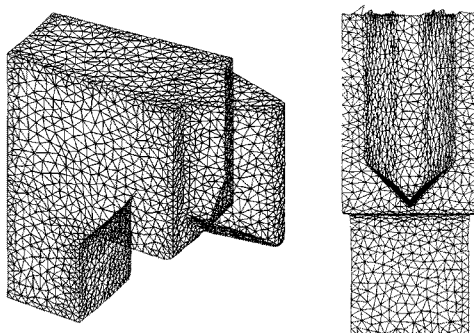


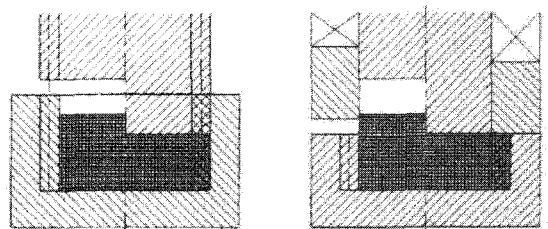
Fig. 2 1/45 section for forming analysis

클러치 기어 부품은 축 대칭 형상이며, 이에 본 연구에서는 Fig. 2 처럼 속도 경계조건을 이용하여 1/45 형상에 대한 성형해석을 수행 하였다. 치형부의 기어사양은 Table 1 에 나타내었다. 본 연구에서는 4 절점으로 이루어진 4 면체 요소를 사용하였으며, 일반적인 냉간단조 공정을 고려하여, 금형 소재간의 마찰계수(m)은 0.12 로 하였다. 인장 시험으로부터 얻은 SCr420H 소재의 응력-변형을 관계식을 적용하였다.

Table 1 Specification of clutch gear

Items	Value
Module(m)	1.5
Pressure angle	20°
Number of tooth	45
Pitch circle Diameter	Ø 90
Material	SCr420H

심 등<sup>4</sup> 은 스퍼기어를 단조하기 위한 일반적인 공정, 즉 안내형(Guiding type)과 구속형(Clamping type) 으로 단조공정을 Fig. 3 처럼 분류하였고 스퍼기어에 대해 각각 단조실험을 하고 비교하였으며, 상용 알루미늄 소재를 이용하여, 안내형 및 구속형 공정으로 스퍼기어의 변형 거동을 고찰하였다.



(a) Guiding type

(b) Clamping type

Fig. 3 Die design for gear forging

그 결과, 같은 평균 가공압력으로 가공한 경우, 안내형 공정이 치형의 성형에 유리하였다. 그러나 안내형의 경우 재료와 다이 벽면의 마찰로 인하여 이젝터부에 재료가 충전되기 어려웠고, 구속형의 경우 펀치운동 방향과 수직으로 재료가 급격히 이동되는 펀치 쪽의 충전이 어려웠지만 안내형 보다 치형 정밀 성형에 유리함을 알 수 있었다.

따라서 본 논문에서는 치형을 보다 정밀하게 성형 하기 위해 구속형을 토대로 하여 금형을 모델링 하였다. 해석 시 금형의 구성요소를 Fig. 4 에

나타내었으며, 각 구성요소는 펀치, 다이와 소재의 하단부를 받쳐주는 백업다이로 구성되어 있다.

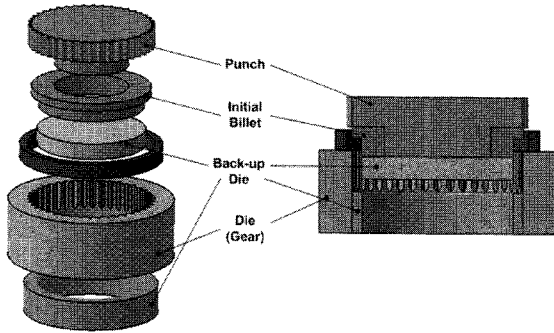
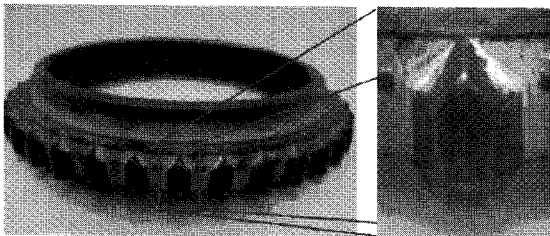
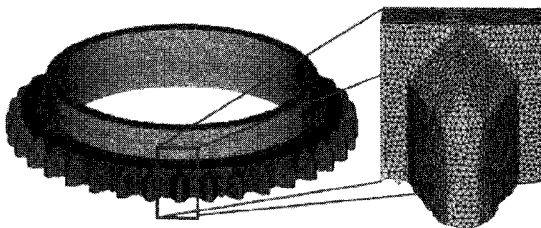


Fig. 4 Die set for FE-simulation of clutch gear

Fig. 5(a)는 최초 설계와 동시에 임시로 진행한 기존 냉간단조 실험의 결과를 보여주며, Fig. 5(b)는 동일한 실험조건에 대한 시뮬레이션에 결과이다.



(a) Experiment by cold forging process of clutch gear



(b) FE-simulation of clutch gear

Fig. 5 Comparison experiment and FE-simulation of clutch gear for conventional condition

실험과 해석으로부터 소재의 형상과 금형에 미충만하는 경향이 잘 일치함을 알 수 있었고, 이에 본 연구에서는 성형해석으로부터 소재 형상비에 따른 클러치 치형의 금속 유동에 관하여 연구를 수행하였다.

### 3. 소재 형상비에 따른 금속 유동분석

냉간단조의 경우 같은 체적의 소재라도 형상에 따라 금형에 충만한 정도가 달라지기 때문에 초기 소재 형상 결정은 매우 중요하다.

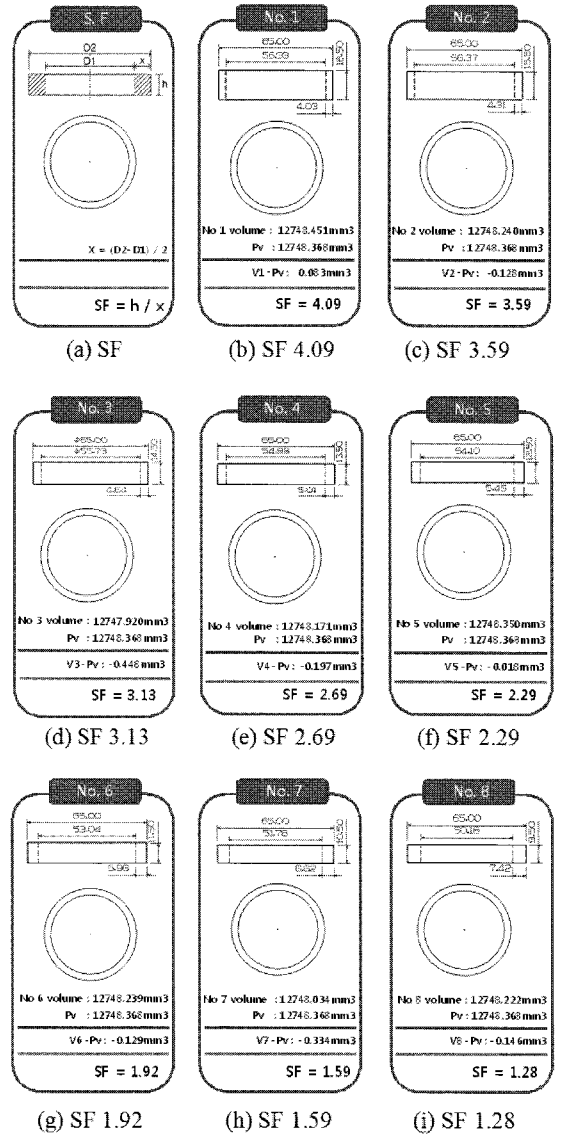


Fig. 6 Shape factor of initial material

본 논문에서는 링(Ring)형 초기 소재 두께와 높이에 따른 형상비(SF : Shape Factor)에 따라 해석을 수행하였다. 형상비의 정의는 Fig. 6(a)와 같다.

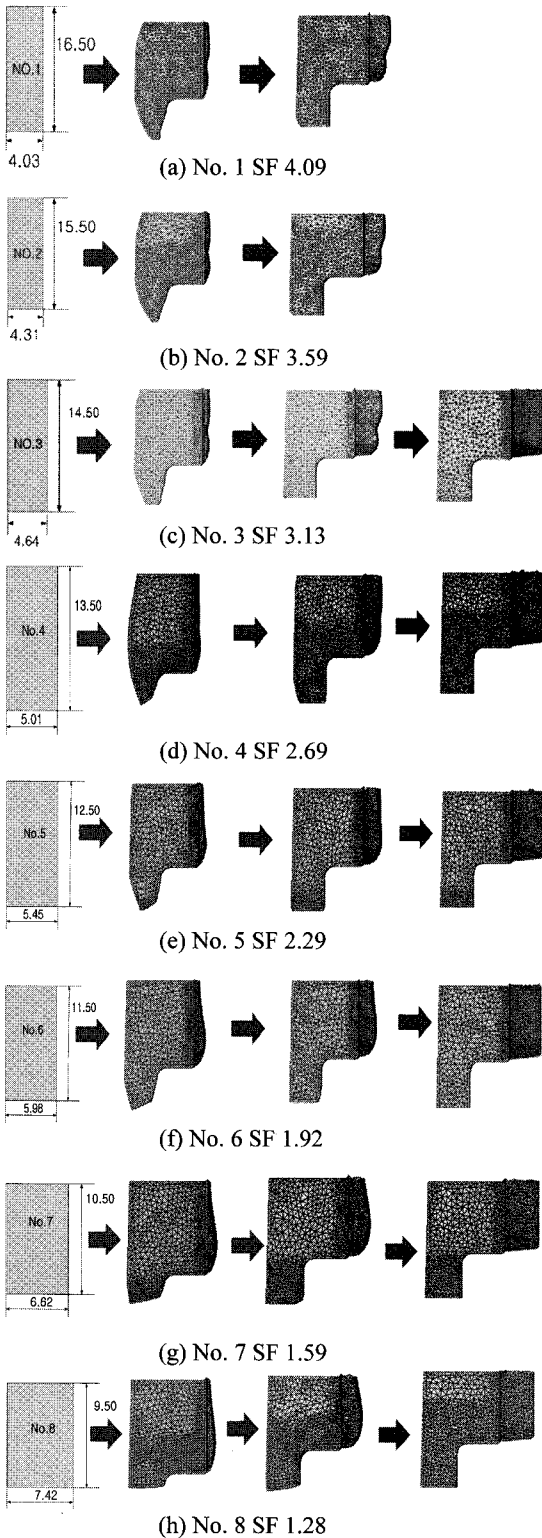


Fig. 7 Metal flow according to SF

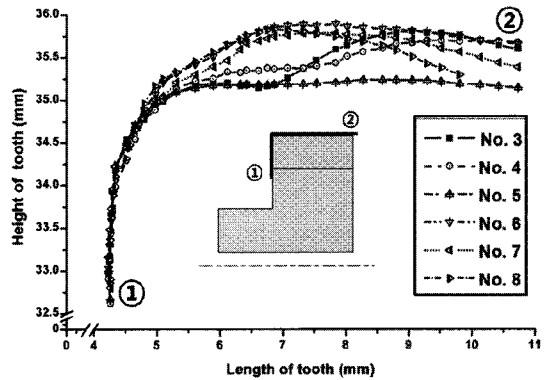


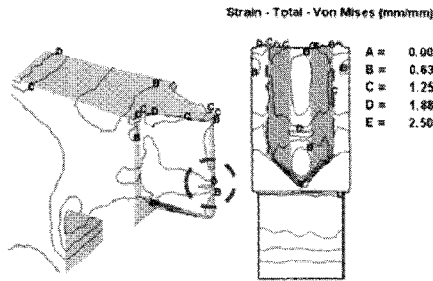
Fig. 8 Profile of tooth according to SF

형상비를 통해 8 가지의 초기 소재형태를 정의하였고, 형상비에 따른 클러치 기어부의 금속 유동을 평가하기 위하여 해석한 결과를 Fig. 7 에 나타내었다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)의 경우 치형의 상단이 먼저 생성되면서 금형의 치형부에 채워졌다. 이 과정에서 치형의 상단과 하단의 유동 속도의 차이 의해 “3”자 형상으로 치형의 중앙 부분에 접힘 현상이 생겼고, 금형에 미충만 하였다. Fig. 7(c)의 소재는 앞의 두 소재와 유사하게 치형의 중앙 부분에 경미한 접힘 현상이 발생하였지만, 치형부는 금형에 충만 하였다. Fig. 7(d) ~ Fig. 7(f)의 소재는 비교적 균등하게 치형이 생성되면서 충만하였고, Fig. 7(g)와 Fig. 7(h)의 소재는 치형이 생성되는 과정에서 치형의 하단부가 먼저 생성되면서 금형에 충만되었다.

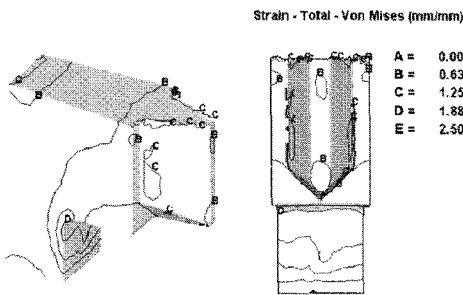
최종 설계의 선택을 위해 변형률 값의 비교를 통해 결함을 분석하였다. Fig. 8은 초기소재의 형상비를 통해 성형된 제품의 변형률을 비교하는 그림으로 No. 1 과 No. 2 는 치형부가 미충만 하였으므로 비교 대상에서 제외하였다.

Fig. 9(a) No. 3 소재의 경우 치형의 중앙 부분이 접히는 금속 유동의 현상으로 치형의 중앙에 상대적으로 높은 변형률 분포를 보인다. Fig. 9(b) No. 5 소재의 경우에는 소재의 유동이 일정하고 치형부의 변형률도 고른 분포를 가진 것을 확인할 수 있었다. 클러치 기어의 경우 치형 부분 강도가 매우 중요한 부위이므로, 변형률 분포를 확인하였을 때 Fig. 9(b) No. 5 가 Fig. 9(a) No. 3 에 비하여 다소 유리할 것으로 예측된다. Fig. 9(c) No. 7 소재의 경우에는 금형의 하단부에 먼저 소재가 충전 되면서 치형부가 성형이 되는 탓에 치형부의 변형률이 Fig. 9(b) No. 5 의 소재보다 높은 경향을 보인다. 또한

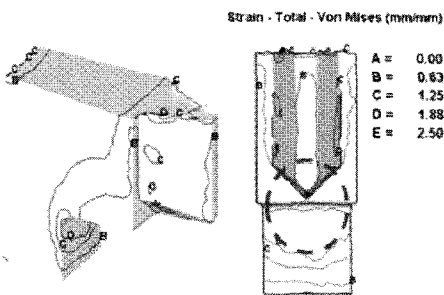
기어의 하단부 역시 상대적으로 높은 분포를 보여, 향후 성형시의 파손이나 기어의 수명에 영향이 미칠 것 예상된다.



(a) Distribution of effective strain for SF 3.13 (No. 3)



(b) Distribution of effective strain for SF 2.29 (No. 5)



(c) Distribution of effective strain for SF 1.59 (No. 7)

Fig. 9 Distribution of effective strain for SF 3.13, 2.29 and 1.59

#### 4. 신경망을 이용한 최적설계

본 연구에서는 클러치 기어 정밀 치형 형상 설계를 위하여 신경망(ANN : Artificial Neural Network)을 이용한 최적설계를 수행하였다.<sup>8</sup> 신경망 학습의 장점인 신뢰성, 빠른 응답성을 이용하여 미 해석된 설계변수조합의 특성치를 예측함으로써 최적의

설계변수조합을 찾아낸다. 이러한 신경망의 입력값과 목표값을 정리하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2 FE-simulation conditions of clutch gear

FE -simulation	Training data for ANN	
	Input Layer	Out Layer
	Shape Ratio	Forming Load
No. 3	3.13	22.78 ton
No. 4	2.69	21.64 ton
No. 5	2.29	21.28 ton
No. 6	1.92	22.39 ton
No. 7	1.59	21.54 ton
No. 8	1.28	21.41 ton

신경망 학습에 있어서 가장 중요한 부분이 학습데이터(training data)의 선정이다. 학습데이터의 범위는 우선적으로 최적의 값을 포함하는 범위가 되어야 이상적이며, 전문가적인 지식 또는 현장의 경험을 토대로 해석 및 시험범위 그리고 데이터의 수준이 결정되어야 한다. 만약 학습데이터가 전문가적인 지식이 없이 선정된다면 신경망의 예측결과와는 실제 결과와 큰 차이를 보일 수 있고 신뢰받지 못하는 학습과정이 될 수 있다.

본 연구에서는 현장에 적용되고 있는 예비성형체 즉, 소재높이 16.5mm 폭 4.03mm 의 형상비에 대한 문제점을 분석한 결과 미충만 체적 발생과 금속유동이 치형 상·하로 접친다는 것을 알 수 있었고, 이것은 예비성형체의 높이가 폭에 비해 상대적으로 크을 의미한다. 이를 해결하고 금속유동에 가장 효과적인 형상비를 예측하기 위하여 현장에서 적용되는 16.5mm 에서 실제 적용 가능한 최소 높이 9.5mm 까지 1mm 식 등간격으로 줄이면서 성형해석이 수행되었으며, Table 2에 제시된 바와 같이 신경망 학습데이터로 사용하고자 한다.

No. 1 과 No. 2 의 경우에는 미충만 하였기 때문에 신경망 학습에서 제외하고 No. 3 ~ No. 8 형상비에 대하여 신경망 학습하였다. 형상비에 따른 신경망 학습으로 예측된 성형하중 결과 그래프를 Fig. 10에 나타내었다. 형상비가 비교적 큰 범위에서 성형하중은 크고 형상비가 작아질수록 작아지다가 다시 상승하는 경향을 보여준다. 예측된 결과에서는 형상비가 2.43 일 때 가장 낮은 성형하중 21.11 Ton 을 나타내었다. 해석한 결과에서는 형상

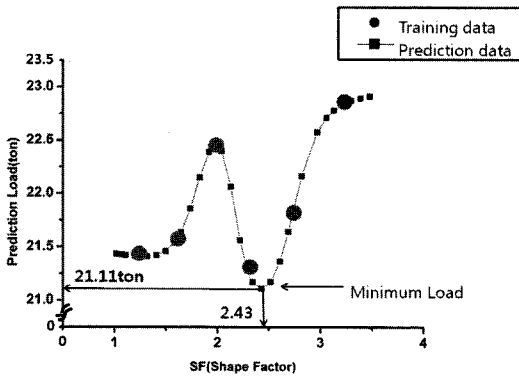


Fig. 10 Prediction of forming load for SF using artificial neural network

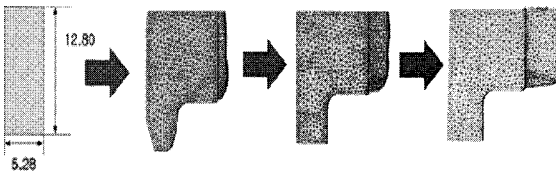


Fig. 11 Metal flow of SF 2.43

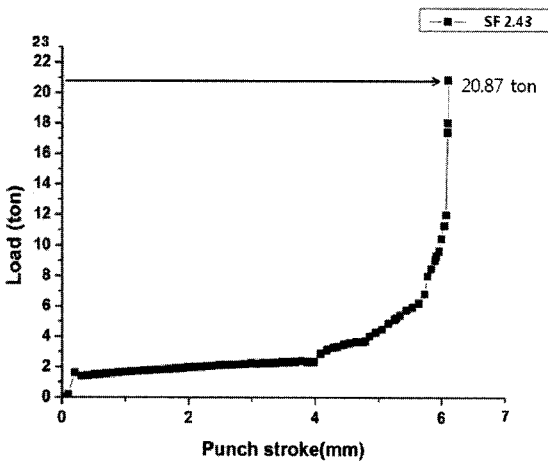


Fig. 12 Forming load of SF 2.43

비가 2.29 에서 21.28 Ton 으로 가장 낮게 나타났으나, 해석결과의 신경망 학습으로부터 가장 낮은 성형하중을 가지는 형상비는 2.43 으로 예측되었다. 이에 본 연구에서는 형상비 2.43 에 대한 검증해석을 수행하였다.

앞서 예측된 최소 성형 하중을 가지는 형상비

2.43 에 대한 소재의 유동 형상을 Fig. 11 에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 치형부에서 거의 균일한 변형거동이 발생함을 알 수 있었고 최종 성형구간에서 치형 내부 완전히 채울 수 있음을 확인하였다.

Fig. 12 에는 형상비 2.43 에 대한 성형하중 그래프를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 성형하중은 금형 내부를 채우는 시점에서 20.87 Ton 으로 나타났고, 이것은 신경망으로 예측된 21.11 Ton 과 거의 일치한다는 것을 알 수 있었다.

### 5. 정밀 클러치 기어 금형에 관한 고찰

본 연구의 신경망 학습에 의해 예측된 최적의 형상비 결과에서 제시된 설계방법 및 결과의 검증을 위하여 냉간 단조 실험을 수행하였다. 정밀 클러치 기어의 성형을 위하여 시제품을 제작하였다. 클러치 기어 금형용 재료를 1 차 황삭가공 및 열처리 하였고, CNC 가공으로 기어방진가공용 전극 및 기어 가공하여 방진시간 단축 및 전극소모량 감소와 금형의 미세 크랙 발생을 저감시켰다.

앞의 방법을 토대로 금형을 제작 하였고, 금형의 자세한 스펙은 Table 3 에 나타내었다.

Table 3 Specification of bottom die

Remark	Specification	Result
Unfilling	Max 0.5	0.000
Tooth root diameter	Ø83.10±0.15	Ø83.08~83.12
Measurement O.P	Ø93.8+0.2	Ø93.78~93.82
Chamfer Angle	45°30'+0.5°-1°	45°30'~45°40'
Fillet R	0.4 - 0.1	0.1

본 금형으로 실험을 수행한 결과 정밀한 치형을 가진 클러치 기어를 성형할 수 있었다. Fig. 13 는 성형된 최종 클러치 기어 부품을 나타내었으며, 제작된 클러치 기어 시작품의 치수정밀도를 조사하기 위하여 치저경, 오버핀경, 챔퍼 각도, 치저부 R 등을 검사하였으며, Table 4 에 검사결과를 나타내었다. 클러치 기어의 치수인 치저경, 오버핀경 등 모두 자체 규격을 만족시키는 결과를 얻고 있음을 확인할 수 있었다.

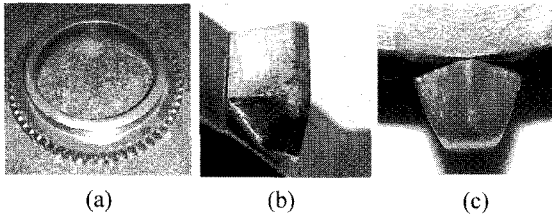


Fig. 13 Experiment result of clutch gear

Table 4 Specification of clutch gear

Remark	Specification	Result
Unfilling	Max 0.5	0.3~0.4
Tooth root diameter	Ø83.10±0.15	Ø83.04~83.10
Measurement O.P	Ø93.8+0.2	Ø93.85~93.88
Chamfer Angle	45°30'+0.5°-1°	45°20'~44°50'
Fillet R	0.4 - 0.1	0.3~0.4

## 6. 결론

본 연구에서는 CAE 해석 기법 적용을 통하여 일반 금형으로 클러치 기어의 성형시 나타나는 치형부의 미충만 및 접힘 등의 발생 원인을 규명하고 초기소재의 금속유동의 영향을 파악하여 제품의 불량 발생을 최소화하였고, 신경망 학습법을 이용하여 성형하중이 가장 낮으면서도 치형의 성형성이 뛰어난 형상비를 찾아 해석을 통해 신경망 학습법을 검증하였다. 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

(1) 클러치 기어의 치형의 CAE 해석을 통한 최적의 예비성형체 설계를 위하여 본 연구에서는 초기 소재의 형상비에 따른 성형해석을 수행하였다.

(2) 형상비에 따른 초기소재의 금속유동을 파악한 결과, 초기소재의 형상에 따라 치형부의 접힘 등의 결합과의 관계를 알 수 있었고, 최적의 형상비는 2.29 인 조건임을 알 수 있었다.

(3) 앞의 해석을 통하여 얻은 결과를 통해 신경망 학습을 하였다. 신경망 학습을 통해 얻은 최적의 형상비는 2.43 이었고, 예측된 성형하중은 21.11 Ton 이었다. 이를 검증 해석한 결과, 20.87 Ton 의 성형하중으로 클러치 기어를 성형할 수 있었다.

(4) 본 연구를 통해 향후 고수명, 고정밀의 클러치 기어 금형 기술개발에 적용될 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 2008 년도 중소기업기술혁신개발사업 중 “신기술평가 우수과제” 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Dean, T. A., “The net-shape forming of gears,” *Materials and Design*, Vol. 21, No. 4, pp. 271-278, 2000.
2. Kim, D. H., Lee, J. M., Lee, T. G., Lee, J. S. and Kim, B. M., “Development of Cold Forging Process of Clutch Part with Outer Gear,” *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Spring Conference*, pp. 685-686, 2009.
3. Scientific Forging Technologies Corporation, “DEFORM-3D Version 6.1 User’s Manual,” 2008.
4. Shim, S. W., Song, G. S., Yoon, D. S., Park, Y. B. and Yang, D. Y., “Precision Cold Forging for Reverse Idle Gear of Automobile,” *Proc. of 2<sup>nd</sup> Symposium on Forging, Proceedings of the Korean Society for Technology of Plasticity Conference*, pp. 145-157, 1995.
5. Choi, J. C., Choi, Y., Kim, K. K. and Tak, S. J., “A Study on the Forging Processes of Spur Gears,” *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Spring Conference*, pp. 1015-1019, 1997.
6. Koo, T. K., Hwang, S. J., Park, W. G. and Oh, S. W., “Prediction of Air Pocket Pressure in Draw Die during Stamping Process,” *Transactions of KSAE*, Vol. 16, No. 6, pp. 10-18, 2008.
7. Lee, K. O., Kim, J. M., Je, J. S. and Kang, S. S., “Development of precise clutch gear for automobile transmission by compound forging process,” *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 23, No. 1, pp. 185-192, 2006.
8. Kim, D. H. and Kim, B. M., “Preform Design of the Bevel Gear for the Warm Forging using Artificial Neural Network,” *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 20, No. 7, pp. 36-43, 2003.