

B.T.Pin을 이용한 치형부품의 측면 냉간성형공법 개발

이진수¹ · 박세제² · 김병민³ · 김동환[#]

Development of Side Forming Technology for the Tooth Part Using B.T.Pin in Cold Forming Process

J. S. Lee, S. J. Park, B. M. Kim, D. H. Kim

(Received November 1, 2016 / Revised January 5, 2017 / Accepted March 8, 2017)

Abstract

In this study, the method of process design for side forming of a tooth part used for a component of automobile transmission was suggested using FE-simulations. To develop the side forming for the tooth part, in this paper, the shape factors of B.T.Pin was considered as design parameters. The shape factors of B.T.Pin were selected to be the round of pin, reinforced angle and reinforced length. Based on FE simulation results, appropriate shape factor without causing any defects was selected. In addition, to increase the strength of pin, the combination of shape factor having minimum stress after side forming was selected using FE-simulation. In addition, with design of a die set, cold side forming of the tooth part was experimented to estimate effectiveness of the designed B.T.Pin. From experiments, it was found that the tooth part with complete formation of the tooth was obtained without making any forming defects and punch fracture.

Key Words : Cold Forming, Back Taper Pin, FE-simulation, ANOVA

1. 서론

최근 자동차 산업에서 부품 제조 기술은 소비자 시장의 환경 변화와 함께 급속히 변화하고 있다. 자동차의 성능이나 품질의 향상은 물론 제품의 개발 기간 단축과 생산비용의 절감 등은 필수적으로 요구된다. 이를 위해 자동차 부품 업계에서는 제품 설계 초기 단계에서부터 경량화 재료 사용과 생산 공정 개선에 중점을 두고 제품을 개발하고 있다. 최근 원재료 값 상승과 중국의 급격한 성장은 국내 자동차 부품 업체들의 원가절감과 생산성 향상의 압박으로 작용하고 있으며, 자율주행 자동차를 넘어 무인자동차의 시대로 향해 가는 현 시점에 부품의 신



Fig. 1 The tooth part used in automatic transmission

뢰도가 필수적으로 요구된다.

자동차 자동변속기용 정밀 복합 치형 부품은 Fig. 1과 같이 변속기에 설치되어 주변속 1단 및 2단에서 동력 전달 역할을 한다. 복합 치형의 사이징 공정 시 자동변속기용 정밀 복합 치형 부품 전용으로 제작된 코어 금형에 기어 형상별 특수 제작된 8종의 B.T.Pin(back taper pin)을 체결 하여 사이징하게 된다.

1. 부산대학교 산업대학원 기계공학과

2. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템공학과

3. 부산대학교 기계공학부

Corresponding Author : Department of Aircraft Part Engineering, International University of Korea, E-mail: dhkim@iuk.ac.kr

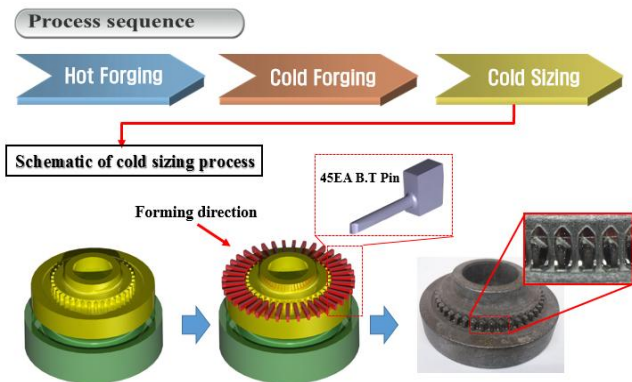


Fig. 2 Process sequence and sizing process of tooth part

이때 B.T.Pin은 치형 수에 맞게 한 가지 기어류에 40~50여개의 전용 B.T.Pin을 사용 하게 된다.

정밀 복합 치형 부품 전용 B.T.Pin은 하나의 Pin이 파손되더라도 40~50여개의 Pin 전체를 교체해야 한다. B.T.Pin 파손은 정밀 복합 치형 부품 생산 원가 상승의 원인이 되며, 불량률 증가와 함께 잦은 금형 교체로 인한 생산성 저하 등의 문제를 동반한다. 따라서 B.T.Pin의 금형 수명 향상을 위한 고강도 형상설계가 시급한 실정이다. 고정밀 자동 변속기용 정밀 복합 치형 부품 양산을 위해서는 사이징 공정시 결함 발생을 최소화하는 무결함 공정 기술개발이 절실히 요구된다. 이러한 공정 기술을 바탕으로 향후 8속, 10속 자동변속기용 정밀 복합 치형부품의 양산 안정화 기술 개발에 몰두 하여야 할 것이다.

관련 연구를 살펴보면, Park 등[1]은 스퍼기어에 대한 열간 및 냉간 단조, 냉간 사이징 공정의 FEM 해석 프로그램을 활용한 성형가능성을 평가 하였다. 또한, Kil 등[2]은 단조 공정에서의 금형 수명을 예측하고 규명하였으며 금형 수명향상의 방향을 제시하였다. Behrense[3]는 기어의 열간 단조 및 냉간 단조, 냉간 사이징 시 발생하는 과도한 하중과 치수 결함에 대해 규명하였으며 Lee 등[4]은 복합 단조 공정을 통한 자동차 변속기 정밀 클러치 기어의 개발로 기어류 부품의 수명 향상 및 발전방향을 제시하였다. Kim 등[5]은 클러치 기어(cluth gear)의 냉간 단조 공정의 개발을 통하여 기어류 부품의 냉간 단조 공정에서의 신뢰성을 확보하였다. Nam 등[6]은 헬리컬 기어 성형공정에서 금형 수명 향상을 위하여 단조 공정 설계를 통한 금형수명 향상에 대한 연구 수행하였으며, Kim 등[7]은 상용 자동차 차동기어 장치에 사용되는 정밀 베벨기어를 온간단조 공정으로 성형

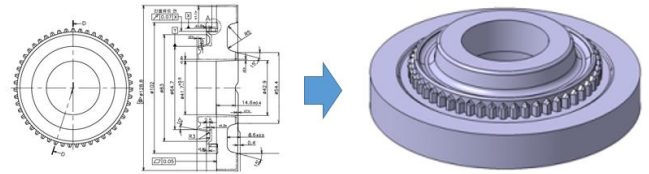


Fig. 3 The shape of tooth part

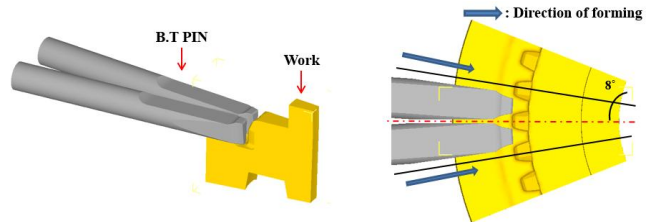


Fig. 4 3D Schematic drawing of side forming for tooth part

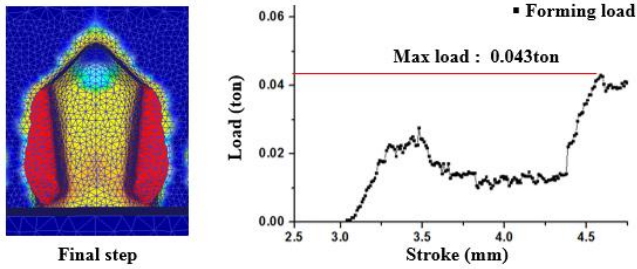
하기 위하여 공정순서 결정 및 베벨기어의 예비성형체의 설계변수를 파악하고, 최적화 기법을 이용하여 최적의 예비성형체를 설계하였다.

자동변속기용 정밀 복합 치형 부품의 공정은 Fig. 2와 같이 열간 단조, 냉간 단조, 냉간 사이징 공정을 거쳐서 제품이 생산된다. 하지만 정밀 복합 치형 공정에서 열간 단조 시 제품의 변형으로 인해 발생하는 평탄도 불량과 제대로 안착되지 않아 제품 치형상부가 뭉개지는 현상(해바라기 불량), 작업 시 사이징 다이(die)에 작용하는 과도한 국부적 하중으로 인한 오일 그루브(oil groove) 부위 라운드 간섭에 의한 1차 사이징 금형의 치형상부 크랙(crack) 발생 등의 문제점이 발생 되었다. 이를 개선하기 위해 사이징 다이를 수정할 경우 생산품 치형의 각도가 불량으로 나타나며, 2차 공정에서 B.T.Pin의 마모로 인하여 O.B.D (over ball diameter)의 공차 불량이 발생하는 문제점이 발견되었다. 또한, 내경 결속, 소재 찌힘, 이물질 협착, 소재 불량 등과 같은 결함들이 발생하고 있다.

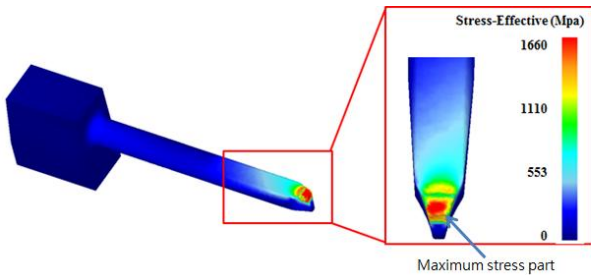
본 연구의 목적은 부품의 불량률 저감, 공구 수명 향상 등 고정밀 무결함 치형 가공기술을 이용하여 차세대 변속기의 핵심 부품인 자동변속기용 정밀 복합 치형 성형 기술을 제시하고자 하며, 기어 형상별 특수 제작된 B.T.Pin 금형의 수명을 개선 하고자 한다.

2. 정밀 복합 치형 냉간 사이징 공정

정밀 냉간 사이징 공정을 개발하기 위하여 총 8종의 복합 치형 부품 중 45개의 치를 가지는 대칭



(a) Forming load



(b) Max stress

Fig. 5 The result of FE-simulation

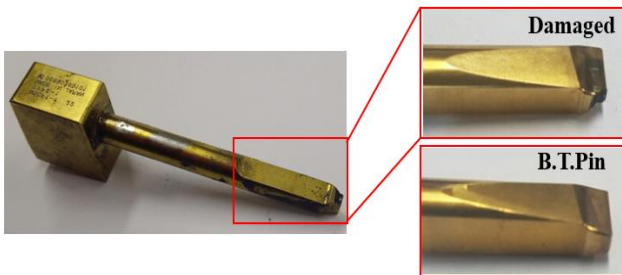


Fig. 6 Case of B.T.Pin damaged by local load

형 제품의 유한요소해석을 진행하였다. 유한 요소 해석을 진행하기 위하여 45개 치의 대칭형 복합 치형 부품을 Fig. 3과 같이 기존 B.T.Pin을 포함하여 3차원 모델링 하였다.

유한요소해석을 하기 위하여 3차원 모델링한 정밀 복합 치형과 기존 B.T.Pin을 이용하여 Fig. 4와 같이 유한요소해석을 수행하였다. B.T.Pin의 소재는 SKD11이며, 정밀 복합 치형은 대칭형의 경우 45개의 치형이 있기 때문에 전체 모델링을 사용하지 않고, 1개의 치형 8°에 해당하는 모델링을 사용하여 유한요소해석을 진행하였다. 치형의 형상을 고려한 해석을 수행하여야 하기 때문에 치형 하나만의 해석임에도 100,000EA의 높은 밀도의 격자를 사용하여 해석을 수행하였다.

정밀 복합 치형 냉간 사이징 공정 유한요소해석 과정은 B.T.Pin이 소재의 중심으로 이동하며 치형을 성형한다. 또한 복합 치형의 특성상 B.T.Pin의 역구배 형상으로 치형 아랫부분부터 힘을 받아 성형되는 것을 확인할 수 있다(Fig. 5 (a)). 해석 결과 Fig. 5 (a)와 같이 최대 성형하중은 0.043ton이 발생하였으며, Fig. (b)와 같이 B.T.Pin의 끝단부 (성형부)에 최고 응력이 발생 하였다. 현장에서 얇고 긴 금형을 사용한 결과 약 2,500타에서 Fig. 6과 같이 사이징 공정에서 발생하는 성형하중이 B.T.Pin 몸체로 분산되지 못하고 끝 단 형상부에서 국부 하중으로 인한 파손이 발생 하였다.

3. B.T.Pin 성형해석 및 형상결정

3.1 B.T.Pin 성형해석

정밀 복합 치형 냉간 사이징 기술 개발을 위해서는 고강도의 B.T.Pin이 필요하다. 고강도의 B.T. Pin 개발을 위해 여러 가지 형상 변수들 중 Fig. 7과 같이 펀치곡률(A), 각도(B)와 길이(C)를 설계변수로 선정하고 Table 1과 같이 3수준으로 구성하였다. 선정된 3가지 설계변수를 실험계획법의 직교배열표에 따라 9가지 경우에 대한 유한요소 해석을 수행하였고, 각각의 조건에 대한 해석

결과를 Table 2에 나타내었다. 총 9가지 해석 결과 최대 응력값은 No. 8의 조건에서 가장 작은 값을 나타내었다. 직교배열표에 따른 해석 결과 성형 중 B.T.Pin에 작용하는 하중은 설계변수들의 조합에 따라 매우 민감한 것을 확인할 수 있다. 설계변수들이 목적함수인 B.T.Pin의 작용 하중에 미치는 영향을 평가하기 위해 분산분석 일원배치법을 활용 하여 Table 3와 같이 나타냈다. 그 결과 B.T.Pin에 작용하는 하중에 가장 많은 영향을 미치는 인자는 Fig. 8과 같이 각도(B)이며, 다음으로는 길이(C), 펀치곡률(A) 순으로 나타났다. 유한요소 해석과 분산분석을 이용하여 B.T.Pin에 작용하는 최소 하중의 설계변수조합은 펀치 곡률 10mm, 각도 50°, 길이 7.1mm임을 알 수 있다. 이러한 결과를 이용하여 Fig. 9와 같이 1차 개선 B.T.Pin을 제작하였다. 1차 개선 B.T.Pin을 현장에 적용한 결과 약 20,000타 정도의 수명을 보였다. 치형 형상은 우수하나 금형 수명향상을 위하여 고강도 B.T.Pin 형상 수정 보완이 요구된다.

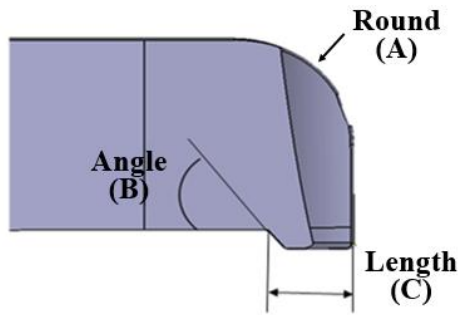


Fig. 7 Design parameters of B.T.Pin

Table 1 The levels of design parameters

Parameters	Round:	Angle:	Length:
Levels	A(mm)	B(°)	C(mm)
0	5	30°	7.1
1	10	50°	7.3
2	15	70°	7.5

Table 2 Orthogonal array for FE-simulation

No.	Round:	Angle:	Length:	Max stress(MPa)
	A(mm)	B(°)	C(mm)	
1	5	30°	7.1	217
2	5	50°	7.3	224
3	5	70°	7.5	278
4	10	30°	7.3	214
5	10	50°	7.5	212
6	10	70°	7.1	235
7	15	30°	7.5	241
8	15	50°	7.1	203
9	15	70°	7.3	235

Table 3 ANOVA table for precision tooth

Parameters	S	ϕ	V	F0	ρ
A	587.555	2	293.777	0.520	0.618
B	2,082.889	2	1,041.444	3.301	0.107
C	1,051.556	2	525.777	1.078	0.397
T	3,722.000	6	-	-	-

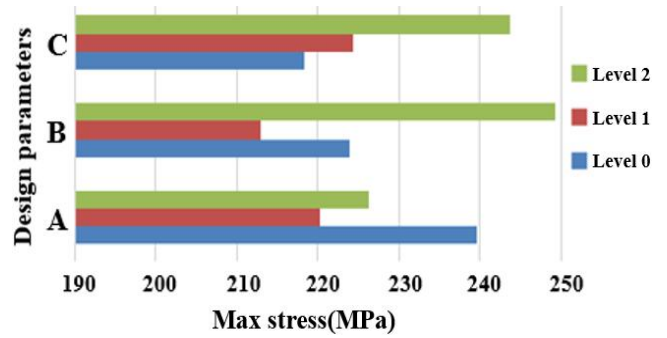


Fig. 8 Analysis of level for each parameter in sizing process

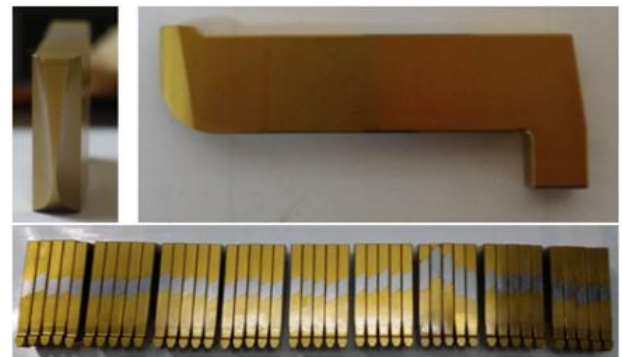


Fig. 9 The picture of B.T.Pin for forming experiment

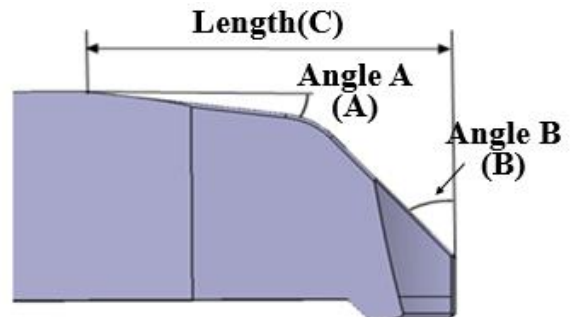


Fig.10 Design parameters of considering its strength

3.2 강도를 고려한 B.T.Pin 형상설계

1차 개선 B.T.Pin의 현장 적용 결과 일정 수준의 파손의 위험은 방지하였으나, 형상의 수정 보완이 필요하다. B.T.Pin 1차 개선에서 각도 50°, 길이 7.1mm의 값을 고정하고, 강성 보완을 위하여 형상 곡률을 개선하였다(Fig. 10). B.T.Pin의 2차 개선에서는 Fig. 10과 같이 새로운 설계변수 각도 A, 각도 B, 길이 C의 3가지로 선정하고 Table 4와 같이 각각 3 수준으로 구성하였다. 선정된 수준별 설계 변수들을

Table 4 The levels of design parameters

Parameters	Angle A:	Angle B:	Length:
Levels	A(°)	B(°)	C(mm)
0	15	35	19
1	20	45	20
2	25	55	21

Table 5 Orthogonal array of FE-simulation(considering tool strength)

No.	Angle A:	Angle B:	Length:	Max stress(MPa)
	A(°)	B(°)	C(mm)	
1	15	35	19	228
2	15	45	20	216
3	15	55	21	257
4	20	35	20	210
5	20	45	21	227
6	20	55	19	222
7	25	35	21	233
8	25	45	19	196
9	25	55	20	206

Table 6 ANOVA table for precision tooth

Parameters	S	ϕ	V	F0	ρ
A	744	2	372	1.258	0.349
B	370.666	2	185.333	0.517	0.620
C	1384.667	2	692.333	3.665	0.091
T	2,499.333	6			

이용하여 총 9번의 유한요소해석을 진행하였으며, 그 결과를 Table 5과 같이 나타내었다.

총 9가지 해석 결과 최대 응력값은 No. 8의 조건에서 가장 작은값을 나타내었다. 2차 유한요소해석 결과를 이용하여 설계 변수들이 목적함수인 B.T.Pin의 작용 하중에 미치는 영향을 평가하기 위해 분산 분석을 수행하여 Table 6과 같이 나타냈다. 그 결과 B.T.Pin에 작용하는 하중에 가장 많은 영향을 주는

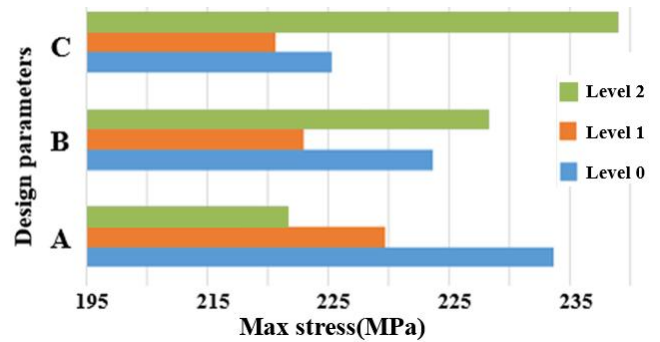


Fig.11 Analysis of level for each parameter in side forming process(considering tool strength)

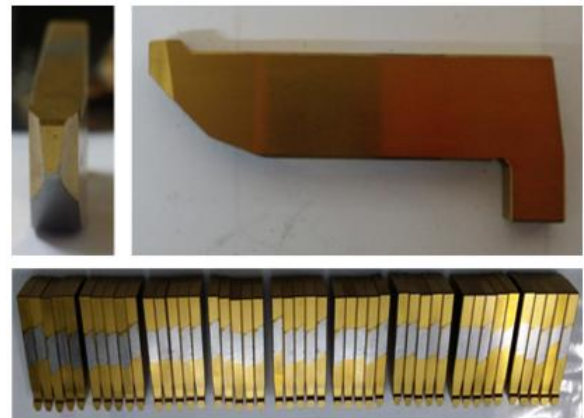


Fig.12 The shape of B.T.Pin



Fig.13 Experiment of cold sizing process for tooth part

인자는 Fig. 11과 동일하게 길이 C이며, 다음으로는 각도 A, 각도 B 순으로 나타났다. 유한요소 해석과 분산분석을 이용하여 B.T.Pin에 작용하는 최소 하중의 설계변수 조합은 각도 A 25°, 각도 B 45°, 길이 (C) 20mm임을 알 수 있다. 이러한 결과를 이용하여 Fig. 12와 같이 2차 개선 B.T.Pin을 제작하여 실험을 수행하였다. Fig. 13에 현장에서 수행된 실험사진을 나타내었다. 약 2개월에 걸쳐 시험은 수행되었고 그 결과 약 100,000타 이상의 생산수명을 가졌으며 파손은 발생하지 않았다.

4. 결론

본 연구에서는 자동변속기용 정밀 복합 치형 부품의 측면 냉간 사이징 공법 개발을 유한요소 해석을 수행하였으며, B.T.Pin에 작용하는 국부적인 하중으로 인한 결함을 규명하였다. 더불어 B.T.Pin의 형상을 설계하여 핀에 작용하는 집중 하중에 대하여 분석하였으며, 유한요소법을 이용하여 고수명, 고강도를 갖춘 형상 최적화 설계를 제시하였다. 본 연구를 통해 아래와 같은 결과를 도출하였다.

(1) 자동변속기용 정밀 복합 치형 부품의 측면 냉간 사이징 공정 시 발생하는 문제점을 개선하기 위해 기존의 얇고 긴 B.T.Pin을 이용하여 사이징 공정 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석 결과 현장에서 발생하는 동일한 부위에서 1,660Mpa의 집중하중이 끝단부에 작용하였다.

(2) 고강도 B.T.Pin 개발을 위해 기존 원형 타입의 형상을 사각형상으로 변경하였으며 설계변수 3가지 편치 각도 A, 각도 B, 길이 C를 이용하여 실험계획법과 분산분석을 이용하여 급형에 가해지는 하중이 가장 작은 조건은 A는 10°, B는 50°, C는 7.1mm인 것을 알 수 있었다. 1차 개선된 B.T.Pin을 제작하여 현장에 실험한 결과 약 20,000타 정도의 수명을 보였다.

(3) 1차 개선 B.T.Pin의 수명을 향상시키고자 1차 형상 변수 각도 B 50°, 길이 C를 7.1mm를 고정하고 새로운 설계변수 각도 A, 각도 B, 길이 C를 선정하여 실험계획법을 이용한 총 9번의 유한요소해석을 수행하였다. 해석결과와 분산분석을 이용하여 2차 개선 B.T.Pin의 최적 설계 조건은 A는 25°, B는 45°, C는 20mm로 나타났다. 2차 개선 B.T.Pin의 수명 테스트 결과 현재 약 100,000EA 이상의 제품을 생산하였으며, 손상된 부위가 발견되지 않았다. 따라서 고수명 고강도의 B.T.Pin을 통해 생산비용을 획기적으로 절감하고 생산 효율을 높일 수 있었다.

후 기

본 논문은 2016학년도 한국국제대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어진 것이며 이에 감사 드립니다.

REFERENCES

- [1] J. J. Park, J. H. Lee, 1996, FEM Analyses of Hot Forging and Cold Sizing of a Spur Gear, Trans. Mater. Process., Vol. 5, No. 2, pp. 105~114.
- [2] Y. K. Kil, Y. H. Kim, Y. B. Park, D. Y. Yang, M. H. Bae, S. O. Choi, 2002, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Fall Conf., Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 250~254.
- [3] B. A. Behrens, E. Doege, 2004, Cold Sizing of Cold- and Hot-Formed Gears, CIRP Ann. Manuf. Technol., Vol. 53, No. 1, pp. 239~242.
- [4] K. O. Lee, J. M. Kim, J. S. Je, S. S. Kang, 2006, Development of Precise Clutch Gear for Automobile Transmission by Compound Forging Process, J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 23, No. 1, pp. 185~192.
- [5] D. H. Kim, J. M. Lee, T. G. Lee, J. S. B. M. Kim, 2009, Kor. Soc. Precis. Eng. Spring Conf., Kor. Soc. Precis. Eng., Seoul, Korea, pp. 685~686.
- [6] J. H. Nam, S. H. Jung, T. W. Jung, Y. S. Lee, 2010, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Spring Conf., Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 107~110.
- [7] D. H. Kim, B. M. Kim, 2003, Preform Design of the Bevel Gear for the Warm Forging using Artificial Neural Network, J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 20, No. 7, pp. 36~43.