

VisualLISP을 이용한 다단이형인발 중간패스 단면형상설계 프로그램 개발

이상곤¹ · 이선봉² · 김병민[#]

Development of Intermediate Die Shape Design Program for Multi-Pass Shape Drawing by Using VisualLISP

S. K. Lee, S. B. Lee, B. M. Kim

(Received March 22, 2010 / Revised April 2, 2010 / Accepted April 13, 2010)

Abstract

In the multi-pass shape drawing process, it is important to design the intermediate dies for producing sound products. Up to now, the design of the intermediate dies is mainly carried out by the industrial experts based on their experience. In this study, a design program was developed to design the intermediate dies for multi-pass shape drawing process. The program was programmed by using VisualLISP. In this program the intermediate dies can be designed by using the initial material shape and the final product shape. In order to verify the effectiveness, the program was applied to design the intermediate dies of multi-pass shape drawing for producing four teeth spline and gun slide. Finally, FE analysis and shape drawing experiment were performed to verify the effectiveness of the designed intermediate dies. As a result, it was possible to produce the drawn products with the required dimensional accuracy.

Key Words : Shape Drawing, Intermediate Die, Design Program, FE Analysis, Shape Drawing Experiment

1. 서 론

인발가공은 와이어, 봉재 및 관재 등을 효과적으로 생산할 수 있는 공정이다. 축대칭 인발공정과 달리 단면형상이 복잡한 제품생산에 적용되는 이형인발(shape drawing)공정은 소재의 변형양상이 복잡하기 때문에 일반적으로 2~3패스의 다단으로 행해진다. 따라서, 요구품질을 가진 이형인발제품 생산을 위해서는 다단 이형인발공정 설계가 요구되며, 특히 중간패스 다이 단면형상설계가 매우 중요하다[1~3]. 현재까지 다단 이형인발공정의 중간 패스 다이 단면형상은 대부분 현장 작업자의 경험에 의존하여 설계되고 있기 때문에 과도한 비용과 시간이 소비되고 있다. 이를 극복하기 위

해서는 설계 초보자들도 쉽게 활용할 수 있는 다단 이형인발 중간패스 다이 단면형상 설계자동화 시스템이 필요하다. 저자 등을 포함하여 지금까지 다단 이형인발공정 중간패스 다이 단면형상설계에 관한 몇몇 연구들이 수행되었다. 전기장해석을 적용한 중간다이 단면형상설계[4~5], 초기소재와 최종제품을 이용하여 생성되는 가상다이를 이용한 설계[6], 그리고 등단면감소율 및 등하중이론 등을 이용한 설계 방법[7] 등을 제안하였다. 그러나, 실제 현장 작업자가 적용하기 위한 설계자동화 단계에는 이르지 못하고 있는 실정이다. 지금까지 설계자동화 관련 몇몇 연구들이 수행되었다. Kwon 등은 인발금형 형상을 데이터 베이스화 하고 CAD 환경에서 출력할 수 있도록 시스템을 구

1. 부산대 PNU-IFAM 국제공동연구소

2. 계명대 기계·자동차공학부

교신저자: 부산대 기계공학부, E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

축하였으며[8], Choi 등은 불규칙형상 박판제품의 블랭킹용 공정설계 및 공정설계 시스템에 관한 연구를 수행하였다[9]. 그러나, 다단 이형인발공정 중간패스 다이 단면형상설계 자동화에 관한 연구는 수행되지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 현장 숙련자의 경험, 기존 연구결과 등을 이용하여 다단 이형인발공정 중간패스 다이 단면형상 설계프로그램을 개발하였다. 프로그램은 VisualLISP 으로 작성되었으며, 그 타당성을 검증하기 위하여 4 산 스플라인(four teeth spline)과 건 슬라이드(gun slide) 제품 생산을 위한 다단 이형인발공정 중간패스 다이 단면형상을 설계하였다. 설계된 형상에 대하여 성형해석 및 인발실험을 수행하여 개발된 프로그램의 타당성을 검증하였다.

2. 중간패스 다이단면형상 설계

중간패스 다이 단면형상 설계를 위하여 이전 연구에서 제안한 가상다이를 이용한 설계방법을 응용하였다[6]. Fig. 1에서 보듯이 초기소재 형상과 최종제품 형상의 도심을 일치시킨 후 직선으로 연결하여 가상다이(virtual die)를 생성한다.

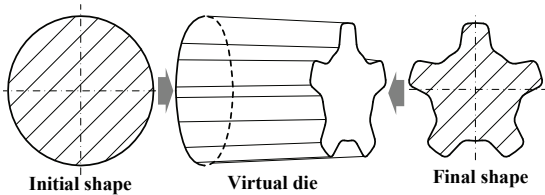


Fig. 1 Construction of the virtual die

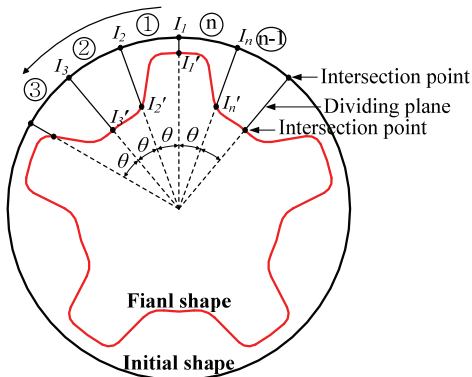


Fig. 2 Division of cross section of virtual die

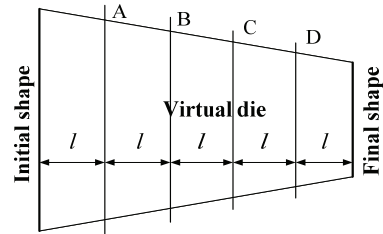


Fig. 3 Equal division of the virtual die

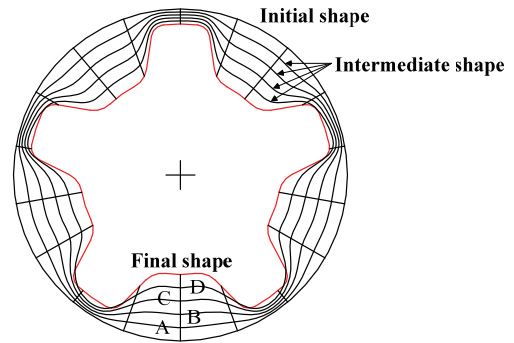


Fig. 4 Intermediate shapes between the initial shape and the final shape

생성된 가상다이에 대하여 Fig. 2에서 보듯이 도심을 중심으로 중심각이 일정한 단면요소로 가상다이를 분할하면, 분할면과 초기소재 형상과의 교차점(I_i), 그리고 최종제품 형상과의 교차점(I_i')이 생성된다. 교차점 사이의 직선($I_i I_i'$)을 n 개의 등간격으로 분할하면 Fig. 3과 같이 초기소재 형상과 최종제품 형상 사이에 유선형의 단면들이 생성된다. Fig. 4에 생성된 유선형 단면을 나타내었다.

Fig. 4의 유선형 단면들에 대한 단면감소율은 다음의 식(1)로 계산된다.

$$R = (A_i - A_e) / A_e \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

여기서, A_i 는 다이 입구부 단면적, A_e 는 다이 출구부 단면적이다. Fig. 4와 같이 생성된 유선형 단면형상들과 각 단면의 단면감소율을 기준으로 적절한 중간패스 다이단면형상을 결정하게 된다.

3. 중간패스 다이단면형상 설계프로그램

본 연구에서는 앞서 제안한 방법을 이용하여 이형인발 중간패스 다이 단면형상 설계프로그램

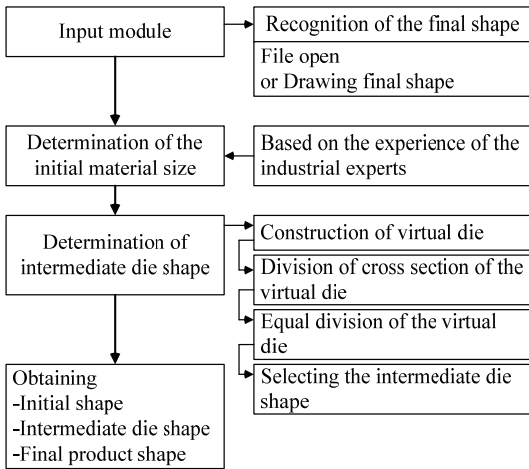
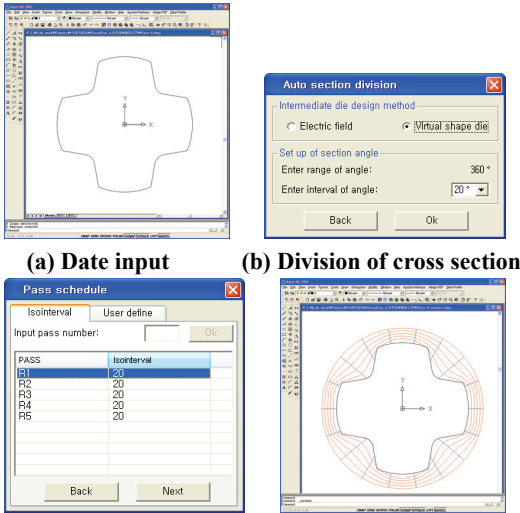


Fig. 5 Flowchart of the design program

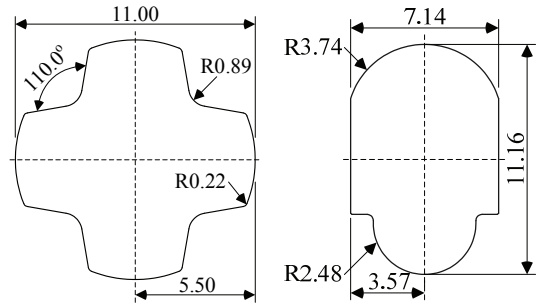


(c) Equal division of virtual die

Fig. 6 Developed program

을 개발하였다. 프로그램은 실제 산업현장에서 활발히 사용되고 있는 AutoCAD 기반의 VisualLISP을 이용하여 개발하였다. Fig. 5와 Fig. 6에 프로그램 흐름도 및 구성을 나타내었다.

Fig. 6(a)의 Input module에서는 최종제품 형상을 인식시킨 후 최종제품에 대한 최소외접원 직경을 기준으로 초기 원형소재의 직경을 결정한다[6]. 직경이 결정되면 초기 소재와 최종제품의 도심을 일치시켜 가상다이를 구성하게 된다. 이후 Fig. 6(b)에서 입력되는 각도로 가상다이 단면을 분할하고, 다시 길이방향으로 등간격 분할을 실시하여



(a) 4 teeth spline

(b) Gun slide

Fig. 7 Shape drawn products

Fig. 6(c)에서 보듯이 유선형의 다양한 중간 단면형상들을 생성하게 된다. 생성된 중간 형상들 중에 적합한 형상을 선정하여 중간패스 다이 단면으로 적용한다.

4. 프로그램 적용 및 검증

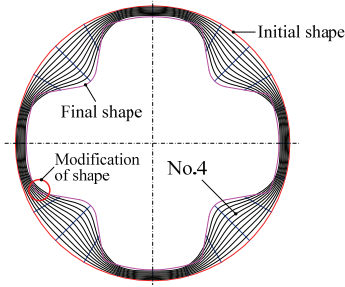
본 연구에서 개발된 다단이형인발 중간패스 다이 단면형상 설계 프로그램을 이용하여 실제 산업현장에서 2패스 및 3패스로 생산되고 있는 4산 스플라인과 건 슬라이드 생산 다단 이형인발공정의 중간패스 다이 단면형상을 설계하였다. Fig. 7에 적용된 제품 단면형상 및 치수를 나타내었다.

두 적용 제품의 초기 소재직경은 모두 13.0mm이며, 총단면감소율은 각각 40.37%와 50.46%이다. 각 제품에 대한 중간패스 다이 단면형상 설계를 위해 초기소재와 최종제품 사이는 10개의 등간격으로 나누었으며, 중심각의 경우 4산 스플라인은 15°로, 건 슬라이드는 10°로 나누었다.

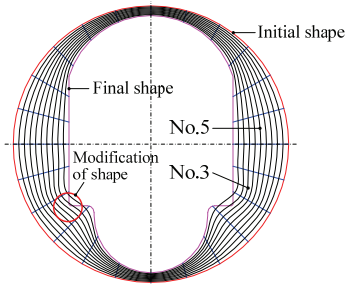
Fig. 8에 프로그램을 적용하여 생성된 단면형상들을 나타내었다. 생성된 단면형상들에 대하여 4산 스플라인의 경우 4번째 형상, 그리고 건 슬라이드의 경우 3번째와 5번째 형상을 중간패스 다이 단면형상으로 선정하였다.

선정된 형상들에 대하여 Fig. 8에서 보듯이 코너부(O)의 언더컷 발생부 형상을 수정한 후 최종 중간패스 다이 단면형상을 결정하였다. Fig. 9와 Fig. 10에 두 제품에 대한 각 패스 별 다이 단면형상을 나타내었다.

각 패스 별 다이 감소율은 Table 1에 나타내었다.

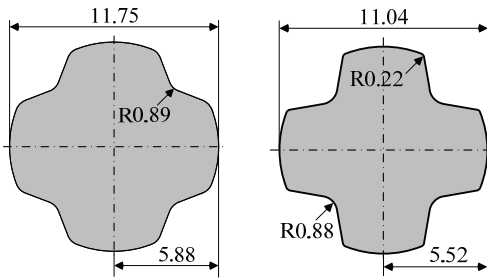


(a) 4 teeth spline



(b) Gun slide

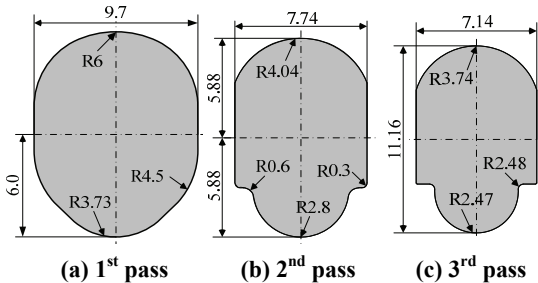
Fig. 8 Generated intermediate shapes



(a) 1st pass

(b) 2nd pass

Fig. 9 Generated intermediate shapes



(a) 1st pass

(b) 2nd pass

(c) 3rd pass

Fig.10 Generated intermediate shapes

Table 1 Reduction in area (%) of each pass

	1 pass	2 pass	3 pass
4 teeth spline	13.98	18.6.3	-
Gun slide	15.15	20.71	13.62

5. 성형해석 및 이형인발실험

5.1 성형해석 조건 및 결과

본 연구에서 설계된 중간패스 다이 단면형상에 대한 타당성을 검증하기 위하여 성형해석을 수행하였다. 적용된 소재는 실제 산업현장에서 적용되고 있는 AISI1020 이며, 인장시험을 통해 확보된 유효 응력-변형률 곡선은 식(2)와 같다.

$$\bar{\sigma} = 948.5\bar{\epsilon}^{0.23} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

성형해석은 상용해석 소프트웨어 DEFORM-3D 로 수행되었으며, 최종제품의 대칭성을 고려한 1/2 단면에 대한 해석을 수행하였다. 유한요소 개수는 해석시간을 고려하여 약 65,000 로 설정하였으며, 인발속도는 모든 패스에서 200mm/m, 소재와 다이 사이의 마찰상수(μ)는 0.06 으로 설정하였다. 실제 현장에서는 각 패스 인발 후 소재의 성형성 향상을 위해 풀립 열처리를 실시하고 있다. 성형해석 시 풀립 열처리 조건을 고려하기 위하여 각 패스 인발 후 소재의 유효변형률을 “0”으로 재설정하여 이후 패스에 대한 해석을 수행하였다.

5.2 성형해석 결과

Fig. 11과 Fig. 12에 성형해석 결과 각 패스 별 유효변형률 분포를 나타내었다. Fig. 11의 4산 스플라인의 경우 변형률이 가장 많은 제품 코너부에서 유효변형률이 가장 높음을 알 수 있다. 첫 패스 인발 후 풀립 열처리가 적용될 뿐만 아니라 첫 번째 패스의 단면 감소율이 두 번째 패스보다 높기 때문에 유효변형률 분포는 첫 번째 패스가 상대적으로 높음을 알 수 있다. 두 번째 패스 인발 후 제품의 모서리부(O)에 소재 미충만 영역이 발생함을 알 수 있다. 미충만 영역의 발생은 최종제품의 치수정도를 저하시키는 원인이다. Fig. 12는 건 슬라이드의 성형해석 후 유효변형률 분포를 나타낸 것이다. 건 슬라이드의 경우 두 번째 패스의 단면감소율이 가장 높기 때문에 유효변형률 또한 가장 높음을 알 수 있다. 건 슬라이드의 경우도 직각 모서리부(O)에서 미충만 영역이 발생함을 알 수 있다.

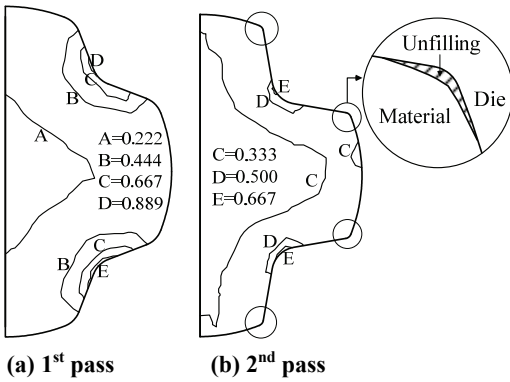


Fig.11 Distribution of effective strain (4 teeth spline)

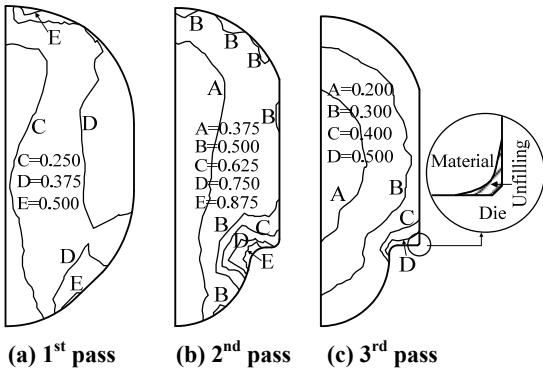
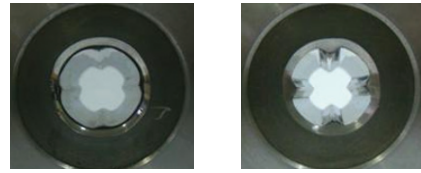
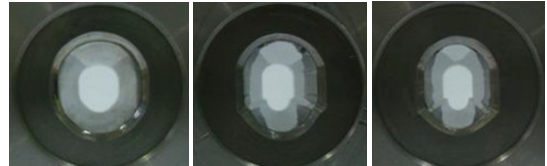


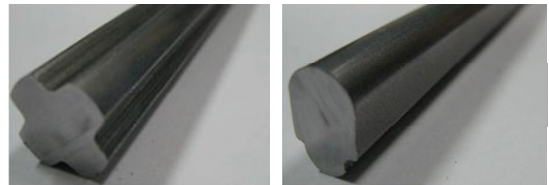
Fig.12 Distribution of effective strain (gun slide)



(a) 1st pass (b) 2nd pass
Fig.13 Dies for 4 teeth spline



(a) 1st pass (b) 2nd pass (c) 3rd pass
Fig.14 Dies for gun slide



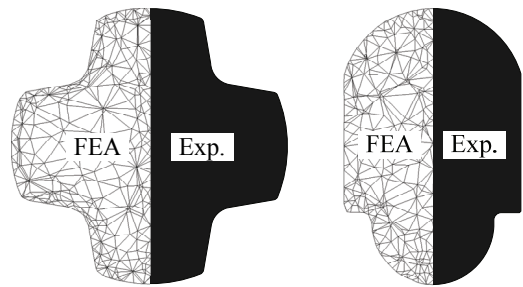
(a) 4 teeth spline (b) Gun slide
Fig.15 Products from the experiment

5.3 이형인발실험

중간패스 다이 단면형상 설계 프로그램 및 성형해석결과의 타당성을 검증하기 위하여 두 제품에 대한 이형인발실험을 실시하였다. 이형인발 실험은 MTS 를 이용하여 실시하였다. Fig. 13 은 제작된 4 산 스플라인 이형인발 다이를 나타낸 것이며, Fig. 14 는 건 슬라이드 이형인발 다이를 나타낸 것이다. Fig. 15 에 실험으로 생산된 제품을 나타내었으며, 해석 및 실험결과 단면형상을 Fig. 16 에 비교하여 나타내었다. 생산된 제품의 품질평가를 위하여 3D laser digitizing system 을 이용하여 최종 제품의 치수 및 미충만 면적을 측정하였다. 최종 제품의 치수오차는 모두 허용치수공차 이내(± 0.05 mm)였다.

Table 2 는 성형해석 및 실험에 의해 최종제품 코너부에 발생하는 미충만 면적을, 그리고 Table 3 에 각 패스 별 인발하중을 나타내었다.

해석 및 실험결과 미충만 면적은 성형해석결과가 다소 넓으며, 각 패스 별 인발하중은 실험값이



(a) 4 teeth spline (b) Gun slide
Fig.16 Result of FEA and experiment

Table 2 Comparison of unfilled area (mm²)

Case	4 teeth spline	Gun slide
FEA	1.166	1.703
Experiment	0.693	0.765

다소 높은 것을 알 수 있다. 이는 성형해석 시 유한요소개수 및 크기 제약에 의해 코너부의 소재형상을 정확히 모사하기 힘들뿐만 아니라, 소재

Table 3 Comparison of drawing load(ton)

Product		FEA	Experiment
4 teeth spline	1 st pass	2.16	2.24
	2 nd pass	1.92	2.06
Gun slide	1 st pass	1.94	2.11
	2 nd pass	2.17	2.28
	3 rd pass	1.36	1.43

와 다이 사이의 접촉면적이 실험과 다소 차이가 나기 때문이다. 그러나 경향은 모두 잘 일치함을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 VisualLISP을 이용하여 다단이형인발공정 시 중간패스 다이 단면형상을 설계할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, 실제 이형인발공정에 적용하여 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 초기소재와 최종제품의 도심을 일치시켜 3차원 가상다이를 생성한다. 생성된 가상다이의 길이방향으로 등간격 분할 시 초기소재와 최종제품 사이에 유선형의 다양한 중간단면들을 생성시킬 수 있다. 본 연구에서는 VisualLISP을 이용하여 AutoCAD로 중간단면 생성이 가능한 프로그램을 개발하였다.

(2) 개발된 프로그램은 초기소재와 최종제품 사이에 다양한 중간단면들을 생성시킬 수 있으며, 각 단면에 대한 단면감소율이 계산된다. 계산된 단면감소율을 기초로 작업자가 중간패스 다이 단면형상을 선정할 수 있다.

(3) 개발된 프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 4산 스플라인과 건 슬라이드 생산을 위한 다단 이형인발공정에 적용하여 중간패스 다이 단면형상을 설계하였다.

(4) 설계된 중간패스 다이 단면형상에 대한 성형해석 및 실험수행 결과 최종제품의 치수공차는 허용공차($\pm 0.050\text{mm}$)이내였으며, 실험결과 모서리부의 미충만 면적은 4산 스플라인의 경우 0.693mm^2 , 건 슬라이드의 경우 0.765mm^2 였다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 개발한 프로그램을 적용함으로써 다단 이형인발공정 중간패스 다이 단면형상을 효과적으로 설계할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 부품소재기술개발사업 및 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2006-K206010000 04-09E0100-00410).

참 고 문 헌

- [1] K. Yoshida, E. Hosaka, E. Miyazaki, Y. Taki, J. Shinbe, 1992, Section drawing for stainless steel rail used in linear motion guide, Process. 43rd J. Joint Conf. Technol. of Plast., pp. 371~374.
- [2] J. R. Renz, R. Kopp, 1998, A new calibration method for complex shape sections with reflex angles, Wire J. Int., 31, pp. 96~100.
- [3] Y. C. Kim, D. J. Kim, B. M. Kim, 2000, Intermediate die design system for the multi-stage drawing process, Trans. of NAMRI/SME, Vol. 28, pp. 69~74.
- [4] H. K. Shin, S. R. Lee, C. H. Park, D. Y. Yang, 2002, The optimal design of preform in 3-D forging by using electric field theory, Trans. Mater. Process., Vol. 11, No. 2, pp. 165~170.
- [5] J. E. Lee, T. K. Lee, S. K. Lee, B. M. Kim, 2008, Design of the cross sectional shape of intermediate die for shaped drawing of spline, Trans. Mater. Process., Vol. 17, No. 8, pp. 627~632.
- [6] S. K. Lee, J. E. Lee, T. K. Lee, S. B. Lee, B. M. Kim, 2009, Process design of multi-stage shape drawing process for cross roller guide, J. Kor. Soc. Precision Eng., Vol. 26, No. 11, pp. 124~130.
- [7] T. K. Lee, C. J. Lee, S. K. Lee, S. B. Lee, B. M. Kim, 2009, A study on the pass schedule of multi-pass shape drawing process for cross roller guide, Trans. Mater. Process., Vol. 18, No. 7, pp. 550~555.
- [8] H. H. Kwon, B. K. Lee, 2005, Development of automatic program for drawing die design, Trans., KSMTE, Vol. 14, No. 3, pp. 60~66.
- [9] J. C. Choi, B. M. Kim, C. Kim, S. M. Kim, 1996, An automated process planning and die design system for blanking of stator and rotor parts, Kor. Soc. Precision Eng., Vol. 13, No. 8, pp. 40~51.