

수치해석을 이용한 토글식 100톤 사출성형기의 중량 개선에 관한 연구

한성렬*

¹주식회사 화승알앤에이

A Study on Improvement of 100 Tons Toggle Injection Molding Machine's Weight Using Numerical Analysis

Seong-Ryeol Han^{1*}

¹Hwaseung R&A Co., Ltd.

요 약 플라스틱 사출성형은 원재료를 한 번의 가공으로 최종 제품을 만들 수 있는 장점을 가지고 있다. 사출성형을 위해서는 금형의 설치, 플라스틱 수지의 용융, 용융수지의 사출, 성형품의 취출 등을 위하여 사출성형기는 반드시 필요하다. 사출성형기는 여러 가지 방법으로 구분되는데, 본 연구는 현재 국내 A사에서 생산되고 있는 토글식 사출성형기를 대상으로 한다. 연구내용으로는 사출성형기의 여러 부품 및 주요한 플레이트에 대하여 3차원 모델링을 실시하고, 3차원 캐드상에서 조립하여 사출성형기의 전체 구조를 파악하였다. 그리고 에너지 및 생산비 절감을 위하여 주요 플레이트에 대하여 유한요소법을 이용하여 사출압력과 형체력 적용시의 플레이트에 발생하는 스트레스와 변위를 분석하고, 그 결과를 토대로 플레이트를 개선하였다. 개선된 플레이트를 대상으로 유한요소 재해석을 통하여 고정 플레이트는 약 2.7%, 이동 플레이트는 약 3.5%, 테일 스톱은 약 6.9%의 중량 감소 결과를 확인하였다.

Abstract Nowadays, three-dimensional computer added design(3D CAD) tool are widely and actively used for design of mechanical machine. Because using the tool is more effective to understand design concept and to collaborate with other operation than using two-dimensional design tool. In this study, the 3D CAD tool which is called I-DEAS was applied for three-dimensional modeling of main parts and assembling of modeled parts for identification the entire shape of a injection molding machine. In addition, a study was also performed regarding reduction for the weight of main plates for saving production cost and energy in the machine. A finite element method(FEM) program in I-DEAS tool was used for the improvement study. First, the current main plates were structural analysed and then the plate deformations, weak regions and stress distributions were graphed. By the FEM results, the 2nd improved designing of the plates was conducted such as reinforcement or slimming of the plate wall thickness. The 2nd structural FEM was performed for verification of the redesigned plates and then the FEM results were compared with the 1st FEM's result. The weight of the main plates were averagely reduced approximately 3 - 7%. By these results, it was seemed that the improved plates have a useful availability.

Key Words : Finite Element Method, I-DEAS, Injection Molding Machine, Three-Dimension CAD

1. 서론

사출성형은 플라스틱 수지를 가열시켜서 용융상태로 만들고, 그것을 금형에 사출한 후 냉각시간을 거쳐 취출

(ejecting)하여 별도의 가공 없이 제품으로 생산한다. 또한, 정밀 치수를 요구하는 복잡한 대형 제품을 한 번에 생산할 수 있는 이점을 가진 생산 방법이다. 그러므로 사출성형은 플라스틱 제품을 생산하기 위해 사용되는 가장

*Corresponding Author : Seong-Ryeol Han(HWASEUNG R&A)

Tel: +82-55-370-3489 email: srhan@hsma.com

Received September 11, 2013

Revised October 4, 2013

Accepted October 10, 2013

일반적이며, 중요한 생산 방법 중의 하나이다[1,2].

플라스틱 제품 생산을 위해서는 금형 뿐 만 아니라 금형의 설치, 수지의 용융 및 용융수지를 금형으로 사출하고, 금형으로부터 성형품을 취출하기 위하여 사출성형기(injection molding machine)가 반드시 필요하다.

사출성형기는 성형품의 종류, 형체력, 성형방법, 설치되는 금형의 크기, 설치 장소와 방법에 따라 분류된다. 일반적으로 분류로 고압의 사출압력에 대하여 금형의 열림을 방지하기 위한 형체력을 기준으로 소형에서부터 대형에 이르기 까지 폭 넓은 사양으로 제작되고 있다[3].

형체력의 발생 방법에 의한 분류는 유압식(hydraulic) 또는 토글식(toggle)으로 나눌 수 있다. 토글식도 유압식과 동일하게 유압을 이용하지만 토글식은 작은 유압력으로 토글 기구를 작동시켜 큰 형체력을 발생시키는 특징을 가지고 있다[4,5].

이러한 특징을 가진 토글식 사출기도 에너지 및 생산비 절감이라는 시대적 요구로 인하여 기존 생산되고 있는 성형기를 현재의 능력을 유지하면서도 보다 경제적으로 생산이 가능한 사양으로 개선해야 될 필요성이 대두되었다. 그리고 현재 사출성형기 설계시 2차원적 설계에 의존하여 생산을 진행하던 것을 빠른 시각적 이해를 위하여 주요 부품에 대한 3차원적 설계도 필요하게 되었다.

본 연구는 국내 A사의 토글식 100톤 사출성형기를 대상으로 주요 부품들을 3차원 모델링을 실시하였고, 그 모델에 사출압력(injection pressure)이 작용한다는 가정 하에서 주요 플레이트에 발생하는 응력(stress)과 변형(deformation)을 유한요소 해석으로 계산하였다. 해석결과에서 플레이트의 중량을 절감하면서 플레이트의 보강 및 개선 가능한 부분을 선정하였다.

플레이트의 개선 설계 및 3차원 리모델링을 실시하고, 개선 모델에 대하여 유한요소 해석을 재실시하여 개선 플레이트의 유효성을 검증하였다. 토글 사출성형기의 3차원 모델링 및 유한요소 해석은 3차원 통합설계 프로그램인 I-DEAS를 사용하였다.

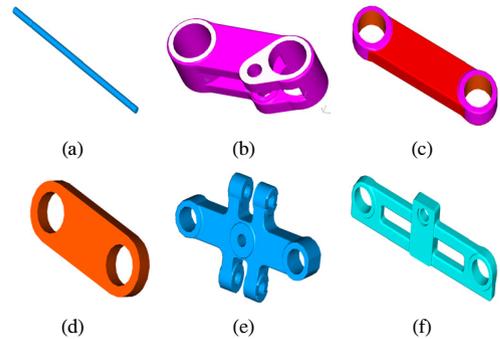
2. 본론

2.1 사출성형기의 3차원 모델링

Fig. 1은 토글식 사출성형기 부품중에서 타이바(tie bar), 단 링크(short link), 장 링크(long link), 크로스 링크(cross link), 크로스 헤드(cross head), 타이바 지지판을 3차원 모델링하여 나타낸 것이다.

Fig. 2는 토글 사출기의 주요한 플레이트를 나타낸 것

으로, 금형이 설치되는 고정 플레이트(fixed plate)와 이동 플레이트(moving plate), 토글 시스템을 받치는 테일 스톡(tail stock)로 나눌 수 있다. 그리고 플레이트의 재질은 주철 FCD45 이다.

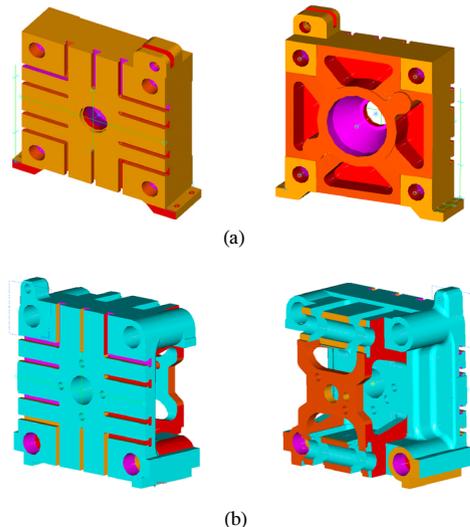


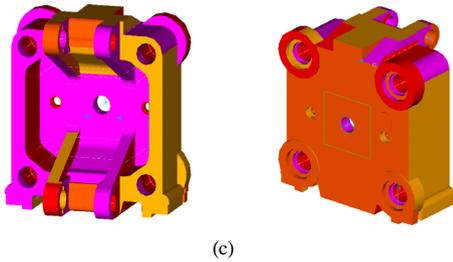
[Fig. 1] Extra parts of clamping unit : (a)Tie bar (b)Short link (c)Long link (d)Cross link (e)Cross head (f)Tie bar support

Table 1은 각각의 플레이트 크기, 두께, 중량을 나타낸 것이다.

[Table 1] Plate size, thickness and weight

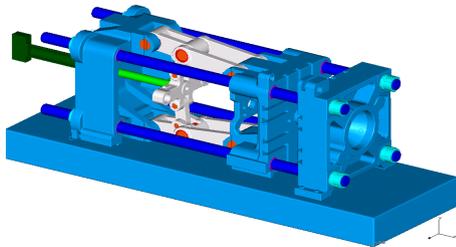
Plate	Size (mm)	Thickness (mm)	Weight (N)
Fixed plate	550 × 550	170	3959.2
Moving plate		190	4145.4
Tail stock		230	4655.0





[Fig. 2] Injection molding machine plates : (a)Fixed plate (b)Moving plate (c)Tail stock

Fig. 3은 앞선 3차원 모델들을 조립한 토글 사출기를 나타낸 것이다.



[Fig. 3] Assembly modeling for clamping unit

2.2 FEM 모델 및 경계조건

FEM 해석을 위한 기계적 물성을 table 2에 나타내었다. 그리고 플레이트의 메시(meshing)은 프로그램의 자동 메시(free mesh) 기능을 사용하였다. 요소 타입은 테트라(tetra)이며, 플레이트들의 요소수와 절점수는 table 3과 같다.

해석 모델의 경계조건(boundary condition)은 타이바가 통과하는 플레이트의 네모서리 홀 내부의 변위(translation)와 회전(rotation)은 모두 고정으로 하였다. 그리고 고정 플레이트와 테일 스톡은 프레임에 고정 설치되므로 고정용 볼트 홀 내부도 고정하였다.

금형이 설치되는 고정 플레이트와 이동 플레이트의 중앙면에 가로 300(mm)와 세로 300(mm) 면적에 사출압력 600bar가 수직으로 가해진다고 가정하였다. Fig. 4에 고정 플레이트의 해석 경계조건을 나타내었다.

금형이 완전히 닫혀 지면서 발생하는 토글력이 최대 형체력이며, 이 힘이 테일 스톡의 링크 홀 내부에 가해지는 것이다. 즉, 100톤의 힘이 링크 홀 내부에 가해진다. 힘이 가해질 때 링크 홀에 연결된 링크가 약 6도 정도 경사지게 작용하므로 링크 홀 내부에 가해지는 힘도 6도 정도 경사지게 적용하였다. Fig. 5에 테일 스톡의 해석 경계조건

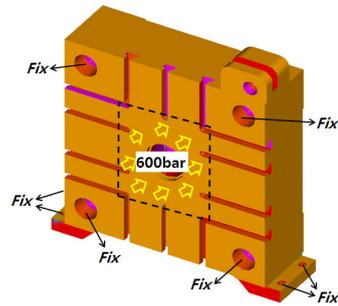
을 나타내었다.

[Table 2] Mechanical properties of FCD45

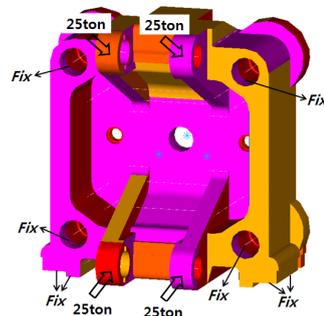
Property	Value
Elastic modulus (MPa)	116,620
Yield Stress (MPa)	348.8
Density (kg/mm ³)	7.15e-006
Poisson's ratio	0.26

[Table 3] Element and node number of plates

Plate	Element No.	Node No.
Fixed plate	52520	75264
Moving plate	61025	88510
Tail stock	80245	105680



[Fig. 4] FEM boundary condition for fixed plate

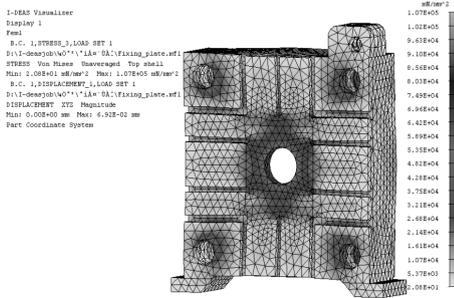


[Fig. 5] FEM boundary condition for tail stock

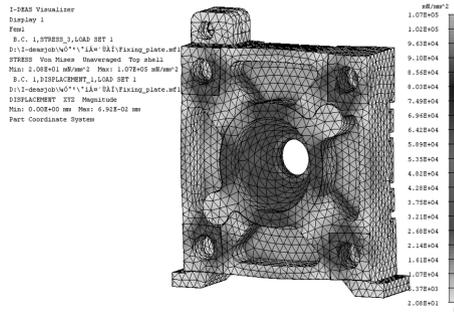
2.3 플레이트별 1차 구조해석

Fig. 6은 고정측 플레이트의 해석 결과이다. 최대응력이 발생하는 부위는 타이바가 통과하는 홀의 에지(edge) 부위로 최대 107MPa의 응력이 발생하였다. 그러나 실제 플레이트 가공에서는 홀의 에지부는 필렛(fillet) 가공이 이뤄지므로 해석 결과와 같은 국부적인 응력은 발생하지 않을 것으로 사료된다. 금형의 설치판이 접촉되는 플레이

트의 중앙면에 약 0.069mm의 최대 변형이 발생하였다. 중앙부에서의 최대 응력은 약 101MPa이다.



(a) front side

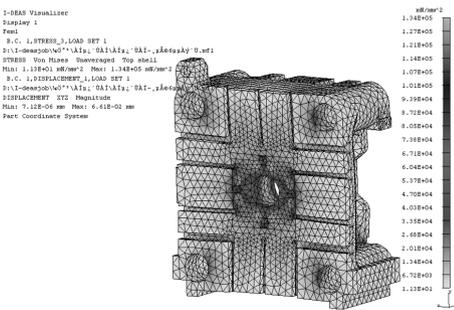


(b) back side

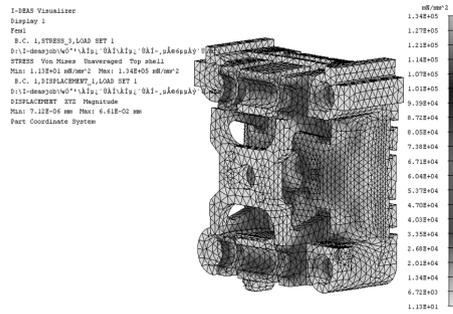
[Fig. 6] 1st FEM result for stress of fixed plate

Fig. 7은 이동측 플레이트의 해석 결과이며, 고정측의 결과와 유사하였다. 타이바가 관통하는 홈의 에지에서 최대 응력 134MPa가 발생하였다. 금형의 설치판이 접촉하는 플레이트 중앙부의 최대 휨은 0.061mm이며, 발생 응력은 약 128MPa 이었다.

고정측 플레이트와 이동측 플레이트의 해석 결과에서 금형의 설치판이 접하는 플레이트면의 T 슬롯 부위가 동일하게 높은 응력이 발생하였다. 따라서 플레이트 개선시 T 슬롯의 수정을 결정하였다.



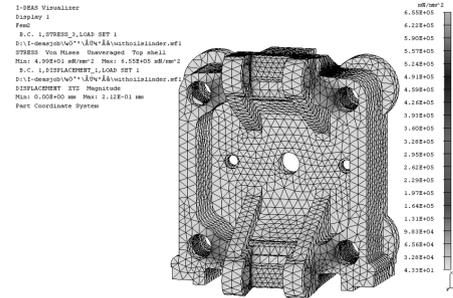
(a) front side



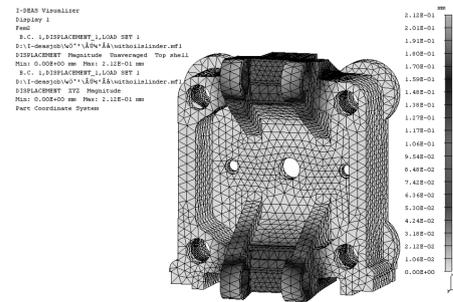
(b) back side

[Fig. 7] 1st FEM result for stress of moving plate

Fig. 8은 테일스톡의 해석 결과이다. 타이바가 통과하는 홈의 에지를 제외하면, 토글력이 전달되는 링크 홀 부위에 최대 응력과 변형이 일어났다.



(a) Stress distribution

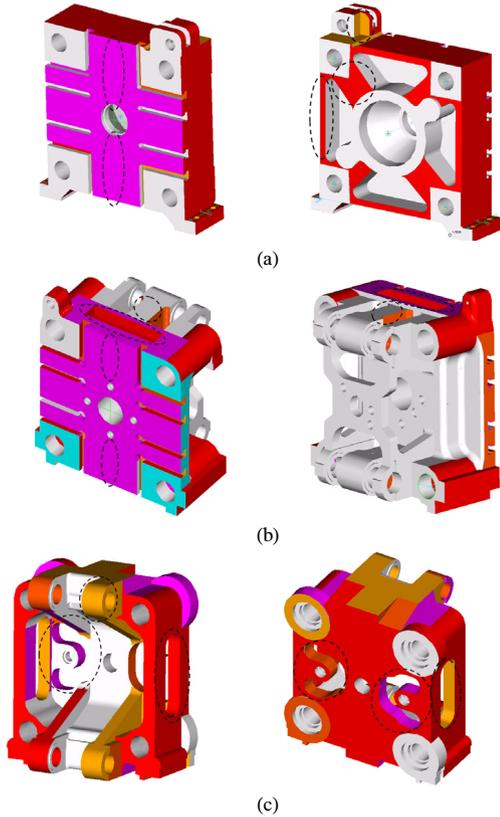


(b) Deformation

[Fig. 8] 1st FEM result of tail stock

최대 응력은 175MPa, 최대 휨은 0.21mm이었다. 따라서 설계 개선시 링크 홀 부위를 보강하고, 변형이 작은 플레이트 뒤 평면 부위의 살빼기를 결정하였다.

2.4 플레이트 개선

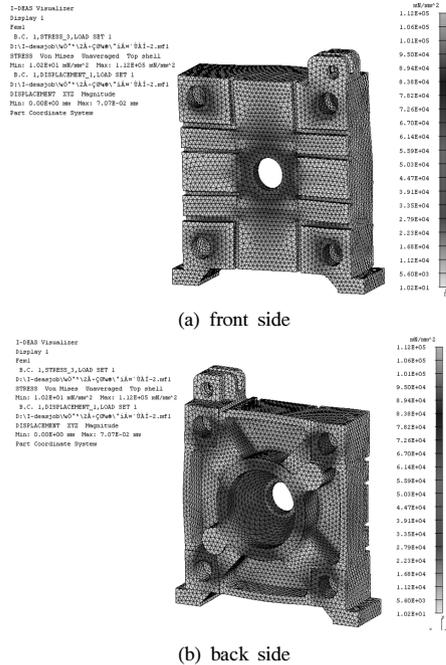


[Fig. 9] Improved plates : (a)Fixed plate (b)Moving plate (c)Tail stock

1차 해석 결과를 참고로 플레이트의 개선 설계를 실시하였다. 과잉 설계로 생각되는 부분은 살 두께를 감소시키고, 보강이 필요한 부분은 살 두께의 증가 또는 형상을 수정하였다. 고정 플레이트와 이동 플레이트의 금형과 접촉되는 평면의 T 슬롯 2 개소를 삭제하였고, 그 외는 기존 살 두께를 조금씩 감소시켰다. 그리고 테일 스톡은 평면부의 살빼기 및 링크 연결부를 보강하였다. Fig. 9는 수정된 각 플레이트의 3차원 모델을 나타낸 것이다.

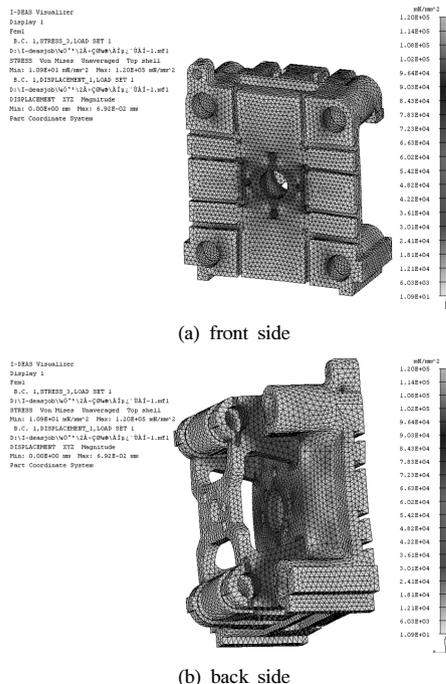
2.5 플레이트별 2차 구조해석

Fig. 10은 개선된 고정측 플레이트의 2차 해석 결과이다. 수정된 고정 플레이트의 해석결과를 살펴보면 1차 해석결과와 동일하게 금형이 접촉되는 플레이트의 중앙부에서 최대 응력과 최대 힘이 발생하였다. 중앙부의 최대 응력은 109MPa, 최대 힘은 0.07mm이었다.



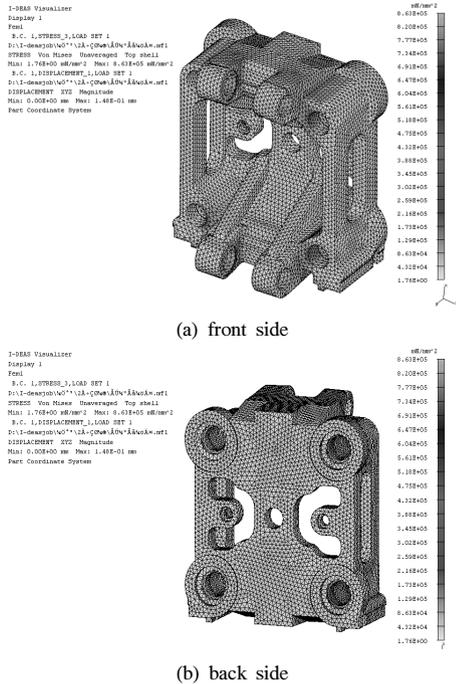
[Fig. 10] 2nd stress distribution of improved fixed plate

Fig. 11은 이동측 플레이트의 2차 해석 결과이다. 이동 플레이트의 2차 해석 결과도 1차의 해석 결과와 유사하였다. 최대 응력은 120MPa, 최대 힘은 0.069mm이었다.



[Fig. 11] 2nd stress distribution of improved moving plate

Fig. 12는 테일 스톡의 2차 해석 결과이다. 링크 연결 부의 최대 응력은 약 152MPa이며, 최대 변형량은 0.148mm이다. 1차 해석결과와 비교하여 응력의 경우 23MPa, 변형량은 약 0.06mm가 감소하였다.



(a) front side

(b) back side

[Fig. 12] 2nd stress distribution of improved tail stock

3. 구조해석 결과

Table 4는 플레이트의 1차와 2차 FEM 해석 결과를 비교한 것이다. 고정 플레이트는 약 2.7%, 이동 플레이트는 약 3.5%, 테일 스톡은 약 6.9%의 무게 절감이 있었다. 이는 2차 플레이트의 개선이 구조적, 경제적으로 유효한 효과를 가지고 있음을 의미한다.

[Table 4] Summary of FEM results

Plate		Stress (MPa)	Deformation (mm)	Weight (N)	Reduction weight (N)
Fixed	1st	101	0.069	3959.2	107.8
	2nd	109	0.07	3851.4	
Moving	1st	128	0.061	4145.4	147.0
	2nd	120	0.069	3998.4	
Tail stock	1st	175	0.212	4655.0	323.4
	2nd	152	0.148	4331.6	

4. 결론

토글식 100톤 사출성형기의 에너지 및 생산비 절감을 위하여 주요 플레이트의 중량 개선 연구를 실시하였고, 연구 결과는 아래와 같다.

1. 토글식 100톤 사출성형기의 주요 부품과 플레이트에 대하여 3차원 모델링을 수행하여 사출성형기 전체 형상을 빠르게 이해 할 수 있었다.
2. 주요 플레이트에 사출압력이 가해지는 것을 가정하여 FEM 해석을 실시하였고, 각 플레이트별로 개선 가능 부위를 확인하였다.
3. 개선한 플레이트에 대하여 FEM 재해석을 통하여 개선사항의 유효함을 확인하였다.
4. 개선된 고정 플레이트는 약 107.8N, 이동 플레이트는 약 147.0N, 테일 스톡의 경우는 약 323.4N의 중량이 절감 되었다.

References

- [1] S. K. Jung, S. H. Lee, "A Guide of shot peening Processing," pp. 6-12, Sehwa Publishers, 2001.
- [2] R. D. Gillespie, "Its Effect on Process Consistency and Resultant Improvement in Fatigue Characteristics," Proc. of the 5th International Conference on Shot Peening, Vol. 1, pp. 81-90, Oxford, 1993.
- [3] G. Menges, W. Michaeli, P. Mohren, "How to Make Injection Molds," pp. 121-122, Hanser Publishers, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.3139/9783446401808>
- [4] H. Wohlfahrt, "The Influence of Peening Conditions on the Resulting Distribution of Residual Stress," Proc. of the 2th International Conference on Shot peening, Vol. 1, Chicago, pp. 316-331, 1984.
- [5] H. S. Jung, J. H. Yoo, "An Experimental Study on Tie Bar Elongation Test of Toggle Type Injection Molding Machine," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 475-476, 2008.

한 성 렬(Seong-Ryeol Han)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부경대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 부경대학교 기계공학부대학원 (기계공학석사)
- 2007년 2월 : 부경대학교 기계공학부대학원 (기계공학박사)
- 2007년 4월 ~ 현재 : 주식회사 화승알앤에이 FL설계2팀 차장

<관심분야>
자동차설계, 컴퓨터응용설계