

금형온도제어에 대한 실천공학모형 연구

A Study on Practical Engineering Model for Tool Temperature Control

신주경*

오산대학교 기계공학과

Ju-Kyung Shin*

Department of Mechanical Engineering, Osan University, Osan 18107, Korea

[요약]

사출 성형에서 금형 온도는 성형품의 품질에 큰 영향을 준다. 어느 정도의 온도가 적정한가는 성형 재료, 성형품에서 요구되는 품질에 의해서 결정되고 중요한 것은 그 온도가 안정적이어야 한다. 먼저 그 수지에 적합한 금형 온도 조건 범위 내에서 성형품이 요구하는 품질에 맞는 금형 온도를 설정해야 한다. 즉, 성형품의 표면 광택, 성형 사이클의 단축, 변형 방지, 수축 및 수지 흐름의 용이성 등의 중요성에 의해서 금형 온도는 변화한다. 실질적인 금형 기술 향상을 위해서 사출 금형을 설계하고 제작하는 산업체에서 적용할 수 있는 온도 제어에 대한 애로 기술 과정의 훈련 모형을 제시하고자 한다.

[Abstract]

In injection molding, the tool temperature has a great influence on the quality of the molded article. The appropriate temperature is determined by the molding material and the quality required for the molded part, and the important point is that the temperature should be stable. First, the tool temperature should be set in accordance with the quality required by the molded article within the range of the tool temperature conditions suitable for the material. That is, the tool temperature changes depending on the importance of the surface gloss of the molded article, shortening of the molding cycle, prevention of deformation, degree of shrinkage, ease of resin flow and the like. In order to improve practical tool technology, we propose a training model of the difficult process of tool temperature control which can be utilized in industry that design and manufacture injection mold.

Key Words: Injection molding, Molded article, Molding cycle, Practical tool technology, Tool temperature

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2018.089>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 13 October 2018; **Revised** 13 November 2018

Accepted 20 November 2018

***Corresponding Author**

E-mail: jkshin@osan.ac.kr

I. 서론

사출 금형(injection tooling)과 사출 성형(injection molding)은 기계, 자동차 IT, 전기 및 전자 산업 등과 같은 다양한 주요 산업 분야에서 여러 방법으로 응용되고 있다. 반면 이들 기술 수준에 대한 고객의 요구 사항은 많지만, 전문 기술자 수급의 어려움으로 인해 다양한 요구를 충분히 만족시키지 못하고 있는 것이 산업 현장에서의 문제점이다. 산업체에서 필요한 현장 맞춤형 인재를 필요로 하는 직무 분야에서 전문 대학의 산학 협력과 연계한 금형 기술 교육이 필요하다[1,2]. 산업체에 적응력이 강한 인재 양성 및 산학 협력으로 기업체에 대한 애로 기술 지원이라는 교육 훈련의 목적을 가지고 실천적 기술 교육을 진행하고자 한다[3-5]. 사출 작업 공정(injection molding process)에서 일어나는 어려운 성형 불량(molding defects) 발생은 금형 온도 조절에 의한 경우가 대부분이므로 이에 대한 명확한 문제 해결(trouble shooting) 방법이 필요하다. 온도 조절에서 금형의 냉각 회로(cooling circuits) 설계가 매우 중요하다. 이것을 잘못 적용하면 온도 관리가 어려워지고 온도 조절이 쉽지가 않다. 결국, 성형품의 치수 오차나 휨 변형 등이 발생하여 제품 외관을 일정하게 유지할 수 없을 뿐 아니라 재현성에도 문제가 발생하게 된다[6,7]. 본 연구에서는 사출 금형의 온도 제어에 의한 성형품(molded parts)의 외관 품질(appearance finish)과 물리적인 특성에 미치는 영향을 찾아서 성형 불량을 최소화하는 금형 온도 조절의 영향에 대해서 충분히 이해를 한 후, 성형품 외관 품질, 휨 변형에 대한 최적의 금형 온도 제어 방법을 예측하고자 한다[8,9]. 따라서 금형 설계, 금형 제조 및 성형 가공 업체에서는 까다로운 애로 기술 중의 하나인 온도 제어 기술을 통해서 플라스틱 제품의 성형 불량 대책을 세울 수 있다. 산업체 현장에서 실무자가 금형 설계, 금형 제조 및 성형 가공에서 일어나는 다양한 문제점을 경험하는 과정과 기술 교육에서 습득한 이론적 지식을 응용하여 이러한 작업에서 발생된 문제들을 해결할 수 있도록 새로운 금형 기술 교육 훈련 방법을 제안한다.

II. 관련 연구

A. 냉각 효과

사출 성형 공정 중 금형의 가열과 냉각에 따른 열 흐름에 대한 제어가 가장 중요하지만 이에 대한 기술적인 노하우가 적은 것이 사출 금형과 사출 성형 산업체의 현실이다. 동일

한 사출 성형기(injection molding machine)로 작업을 마친 성형품의 전체적인 품질 판정은 그 금형 온도 관리와 열 흐름에 대한 합리적인 기술적 판단으로 결정된다. 이를 위해서는 적합한 금형 구조, 성형품의 요구 조건, 원재료, 성형기의 능력, 러너 시스템(runner system) 및 경제성 등을 생각하여 냉각 효과가 우수한 금형 설계가 요구된다. 이 때 성형 사이클 중, 단위 시간 당 생산 수량과 가장 밀접한 관계가 있는 것이 용융 수지의 냉각 시간(cooling time)이다. 가장 효과적인 냉각 방법으로 설계하는 것은 성형품에 요구되는 세 가지 요소인 성형품 외관, 물리적 성질 및 치수 정밀도의 영향이 금형 온도 제어에 크게 의존하기 때문에 매우 중요하다. 금형 온도 제어의 가장 큰 목적으로는 성형 사이클 시간 단축, 성형성 개선, 성형품 외관 상태 개선, 성형품 강도 저하 방지, 성형품 형상 및 치수 정밀도 유지에 있다. 금형은 열 교환기와 같아서 냉각 수로를 통해 물이 열을 받아 외부로 이동하게 하는데 그 온도 차이가 크면 냉각 효과가 크나 캐비티(cavity) 내에서 유지되어야 하는 각 수치 별 최저 온도가 있으므로, 냉각수 온도가 너무 낮으면 안되며 보통 70~110°C 정도를 유지한다. 그리고 냉각 시간은 금형 온도에 크게 좌우되므로 금형 온도를 저온으로 유지한다는 것은 전체 성형 사이클 타임을 단축한다. 성형품의 표면 상태 개선에서는 금형 온도에 영향을 받는 외관적 결함 즉, 광택 불량, 흐름 자국(flow marks) 등은 금형 온도를 조절하는데 따라 방지할 수 있다. 금형 온도가 높으면 광택이 올라가고, 흐름 자국이 일부 제거될 수 있다. 또한 금형 온도에 따라 충전 속도가 불균일하며 유속이 크면 냉각수의 입, 출구 온도차가 적으며 유속이 작으면 금형 온도를 90~110°C까지 높인다. 성형품 두께가 다르면 일반적으로 수축률이 차가 생기고 특히 결정성 수지의 경우에는 그 차이가 크다. 수축률의 차이가 있으면 그것에 의해 성형품의 변형을 발생시킨다. 두께의 변화가 수축률의 변화를 일으키는 이유 중의 하나는 냉각 속도가 다르다는 것

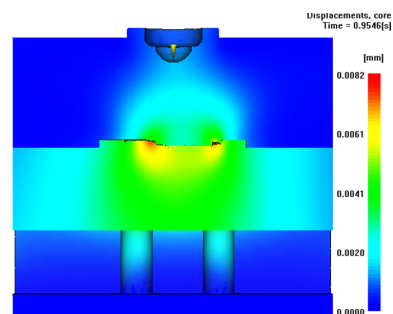


그림 1. 금형온도와 사출압력에 의한 변형

Fig. 1. Deformation due to mold temperature and injection pressure.

표 1. 성형조건의 인자와 영향

Table 1. Factors and influences of molding conditions

Items
Temperature: screw, polymer, mold tool, dry
Pressure: filling, packing, back, ejecting, mold opening/closing
Time: filling, holding, cooling, dry
Speed: injection, rotating, mold opening/closing, ejecting
Quantity: metering, ejecting, mold opening, cushion

으로 생각되기 때문에 두께의 변화가 있어도 변형의 발생을 방지하기 위해 두께가 얇은 부분과 두께가 두꺼운 부분이 이형 할 때 같은 온도가 되도록 각각 열을 제거한다. 균일한 두께의 성형품도 금형 온도 분포가 균일하지 못한 경우에는 고온부의 수축률이 크고 변형의 원인이 된다. 냉각 시간은 성형품의 최대 살 두께(wall thickness)에 따라 결정되는데 이를 자세히 살펴보면 냉각 시간은 다른 운전 조건이 동일할 경우 성형품의 최대 살 두께(원형의 경우는 반경)의 제곱에 비례하며 두께가 두 배가 되면 냉각 시간은 네 배가 되며 살 두께가 가장 두꺼운 곳에서 냉각 시간이 25~30초 까지도 소요된다. 따라서 얇은 것은 가능한 균일한 두께로 하는 것이 중요하다. 그림 1에서 금형 온도와 사출 압력에 의한 금형의 변형을 시뮬레이션으로 나타내고 표 1에서는 성형품에 영향을 미치는 사출 성형 조건의 주요 인자와 그로 인한 영향을 보여준다.

B. 금형 온도 제어

캐비티 온도는 사출 성형 공정에서 중요한 요소로써 성형품의 품질과 사이클 타임에 큰 영향을 주고 있다. 성형품의 품질은 대부분 캐비티 내에서 일어나는 여러 현상에 의해서 결정되는데 여기에서 중요하게 작용하는 인자가 온도(T), 압력(P), 비체적(V)이다. 캐비티 온도는 물성, 외관, 치수 정밀도와 같은 성형품의 품질에 큰 영향을 준다. 따라서 금형 온도는 품질과 생산성에 큰 영향력을 끼친다. 최적의 열교환을 계산하기 위해서 금형 설계자는 우선 표 2에서 제시한 자료를 바탕으로 성형품에 관한 기초 자료를 조사해야 한다. 캐비티 온도와 제품 품질의 관계는 매우 중요하다. 그 결과 표 3에서 나타낸 것과 같이 캐비티 온도가 성형품 품질에 영향을 주는 중요한 인자이다. 냉각 효과를 높이기 위해서는 냉각 회로의 위치를 가능한 캐비티 표면에 접근시키고 냉각 회로 수를 증가시킨다. 가장 좋은 것은 금형 표면의 온도를 되도록 균일하게 유지하는 것이 이상적이며, 이것은 성형품 단면 중앙부의 냉각 속도를 균일하게 하는 것과 같다. 또 용융 수지를 충전할 때와 성형품을 밀어낼 때의 온도차도 이

표 2. 열 교환 계산과 캐비티 재료 선택에 필요한 자료

Table 2. Data required for heat exchange calculations and selection of cavity materials

Items needed for heat exchange and cavity material	
성형품에 관한 일반적인 자료	인서트
플라스틱 종류에 관한 자료	요구되는 성형품의 물성
사용수지의 물성	플라스틱의 열적 성질(분자배향, 잔류응력, 결정화도)
성형품의 치수와 공차	

표 3. 캐비티 온도가 제품 품질에 미치는 영향

Table 3. Effects of cavity temperature on product quality

Things affecting molded parts quality
Surface appearance
Post shrinkage
Orientation
Residual stress

들과 대응하여 변화시킨다. 일반적으로 직경이 큰 한 개의 냉각 회로보다 비교적 직경은 작아도 많은 수의 회로가 더욱 효과적이다. 플라스틱 제품의 사출 성형 주기에 있어서 냉각 단계는 사출 성형에서 가장 많은 시간을 가진다. 금형 내에서 용융 수지가 냉각될 때까지의 시간은 전체 성형 주기의 반 이상이 된다. 전체 성형 주기에 있어서 금형의 효과적인 설계로 단축시킬 수 있는 단계는 바로 냉각 단계일 뿐이다. 금형 온도는 캐비티 표면 온도의 성형 사이클 중의 온도 변화에서와 같이 측정 장소, 측정 지점에 의해 크게 변화하고 캐비티 벽 온도는 더욱 크게 변동하며, 냉각 구멍 벽면 온도가 가장 변동이 적다. 캐비티 벽 온도라 할지라도 최고 온도, 최저 온도, 평균 온도의 어느 것을 설정 캐비티 온도로 하느냐가 문제이다. 캐비티 벽의 온도가 처음에는 낮아도 캐비티 벽면에 전달된 열량에 상당하는 양이 일정한 시간 내에 제거되지 않으면, 캐비티 벽면의 온도는 초기의 설정 온도보다 서서히 상승하게 된다. 뒤틀림(warpage)은 가장 대표적인 불량 현상으로 불균일한 냉각이 원인이다. 제품이 금형에서 이형(demolding) 후 뒤틀려있는 현상이다. 일반적으로 제품은 불균일한 냉각의 영향으로 온도 강하가 불충분한 쪽으로 뒤틀려 있다. 또한 플라스틱이 높은 잔류 응력을 가지고 금형에서 배출되면 외관상 정상적으로 보이더라도 사용 중에 균열, 변형 등이 발생한다. 성형품이 균형을 유지한 냉각이 이루어질 때 응력은 두께 중심에 대하여 대칭이 된다. 그러나 균형에 맞지 않는 냉각을 할 때 응력 분포는 비대칭을 이룬다. 차가운 면이 높은 압축 능력을 가지는 반면에 뜨거운 면은 아주 낮은 압축 능력을 가지며 인장 응력까지 발생하게 된다. 이러한 불균일한 응력 분포는 성형 제품에 균열을 발

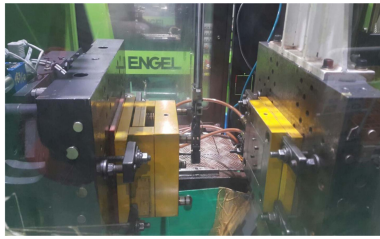


그림 2. 냉각시스템을 이용한 사출성형공정
 Fig. 2. Injection molding process using cooling system.



그림 3. 부적정한 캐비티 온도에 의한 사출 성형품
 Fig. 3. Molded parts by improper cavity temperature.

생시킬 것이다. 이것은 균형을 유지하는 냉각으로 해결될 수 있다. 그림 2에서는 사출 성형기에 금형 세팅과 함께 냉각 채널이 적용된 사출 성형 공정을 나타낸 것이고 그림 3은 플라스틱 부품에 있어서 부적당한 캐비티 온도에 의한 광택 불량 이 발생한 제품을 보여준다.

III. 훈련프로그램 모형

금형으로 열 이동 밸런스가 유지되어 있을 때, 금형에서 발생하는 온도 기울기가 일정하며, 전체 금형 온도도 안정하여 변화가 없다. 이것이 금형 온도가 제어되고 있는 이상적인 상태이다. 이것을 바탕으로 사출 성형에서 최적의 성형품을 생산하기 위한 방법의 하나로 실질적이며 응용이 가능한 고난이도 금형 기술 지식이 요구된다. 특히 경기 남부 지역의 중소기업을 대상으로 하는 금형 기술 훈련 과정을 개설하기 위하여 금형 관련 협약업체에 기술 교육에 관한 수요 조사를 실시하였다. 그리고 수요가 있는 금형 온도 제어에 대

표 4. 금형온도제어를 위한 금형기술 훈련과정.

Table 4. Tooling technology training course for mold temperature control

과정명	사출금형온도제어를 위한 금형기술		
교육목표	<ul style="list-style-type: none"> 사출금형 품질관리 능력을 확보하기 위하여 플라스틱 재료의 종류별 물성, 사출금형의 구조 및 설계 원칙, 사출성형기의 원리와 구조, 사출성형조건 등을 이해할 수 있다. 금형제작 시 품질관리를 위하여 성형품과 금형의 구조 및 품질 특성을 이해할 수 있다. 		
관련NCS	15. 기계 > 10. 금형 > 01. 사출금형 > 03. 사출금형 품질관리		
훈련직무	사출금형품질관리(사출금형제작_L3_ver2.0)		
교과목명	사출금형품질실무(24h)		
	단원명	세부교육훈련내용	교육방법
교과내용	성형조건 조정 · 결정하기	성형조건 조정 · 결정 방법 사용 수지의 성형조건 이해와 냉각채널설계 배치	사출성형기 사출금형세트 금형온조기 팰릿 원재료건조기 플라스틱성형품
	성형사이클타임 결정하기	금형설계사양서와 사출성형기 조건설정 방법 캐비티 내에서 온도분포 이해	
	사출금형구조 검토하기	인젝션 및 냉각회로설정 방법 캐비티 재료와 냉각시간의 영향	
	사출성형성 검토하기	성형조건이 성형품질에 미치는 영향 성형제품 두께와 냉각시간 관계	
	플라스틱 재료검토하기	사출온도, 금형온도에 따른 성형조건 설정 플라스틱 재료별 열적 특성과 물성 이해	
	성형불량유형 파악하기	불량유형 파악 불량발생원인 분석	
지식/기술	<ul style="list-style-type: none"> 사출성형 조건과 성형품질에 대한 지식 사출온도, 금형온도 등 재료별 성형조건 설정 능력 플라스틱 재료별 성형조건에 대한 지식 사출성형조건 설정능력 		
결과평가	<ul style="list-style-type: none"> 서술형시험/평가자 체크리스트 평가척도 : 해당 지식과 기술을 습득하여 직무수행에 필요한 기술적 사고력과 문제 해결력을 토대로 작업을 수행할 수 있다. 		
활용교재	NCS학습모듈/한국산업인력공단		

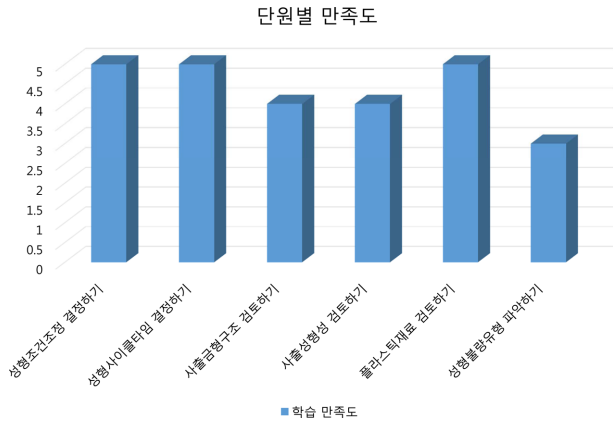


그림 4. 학습 단원 별 만족도 분석

Fig. 4. Satisfaction analysis for learning unit.

한 직무 향상 훈련 차원에서의 교육 프로그램을 설계하여 이를 재직자 훈련 과정에 적용하였다. 표 4에서는 사출 성형 공정 중에 수행하는 금형 온도 제어를 위한 교육훈련 과정의 프로그램 내용을 보여준다. 그림 4는 2018. 1월 25일부터 1월 31일까지 실시한 설문으로, 경기 남부 인근지역에서 금형 산업체에 종사하는 자로, 최소 3년 이상의 경력이 있는 중급 수준의 사출 금형 설계, 사출 금형 가공, 사출 금형 조립을 하는 사출 성형 실무자 12명을 대상으로 한다. 그리고 이 훈련 교육 과정에서 각 학습 단원 별 참여자의 학습 만족도에 대한 설문 조사 결과를 그림으로 보여준다. NCS 국가직무능력표준을 기반으로 하는 여섯 개로 구성된 각 능력단위 별로 훈련 내용을 살펴보면, 성형 조건 조정 결정하기 4.5점, 성형 사이클타임 결정하기 3.9점, 사출 금형 구조 검토하기 4.2점, 사출 성형성 검토하기 3.8점, 플라스틱 재료 검토하기 4.2점, 성형 불량 유형 파악하기 4.1점으로 나타났다. 결국 각 항목에서 성형 조건 조정 결정하기, 사출 금형 구조 검토하기, 플라스틱 재료 검토하기, 성형 불량 유형 파악하기에서는 만족도 점수가 높게 나타나며, 반면 성형 사이클 타임 결정하기, 사출 성형성 검토하기 2개 항목에서는 낮은 점수로 조사되었다. 조사 결과를 바탕으로 약 3.0점대의 사출 성형 사이클 타임 결정하기, 사출 성형성 검토하기에 대한 훈련 과정 보완이 필요하며, 성형 조건 조정 결정하기 등 나머지 4개 단원에 대한 학습 요구도가 대략 4.0점 이상으로 매우 우수한 것으로 나타난다. 설문에서 학습 주제별 내용에 대해서 훈련 참여자 만족도는 전체적으로 우수하게 나타났다. 앞으로도 사출 금형 분야에 대한 산업 수요에 맞추어서 국가직무능력표준(NCS)을 활용한 기업체 직무 중심의 교육 과정 개설·운영 등 산업체 의견을 충분히 수렴하여, 산업체에 맞는 교육 훈

련 내용을 반영시키는 현장 맞춤형 교육 훈련 과정이 더욱 더 필요할 것이며 산업계에서 필요로 하는 금형 기술 교육에 대한 질적 향상을 가져올 것이다.

IV. 결론

실질적인 금형 기술 교육으로서의 금형 온도 제어에 대한 사출 성형 금형의 예로 기술과 사출 성형 불량을 해결하기 위한 기술적인 전문 지식이 요구된다. 현장에서 실무자가 금형 설계, 금형 제조 및 성형 가공에서 일어나는 다양한 문제점을 분석하고 금형 기술 교육에서 습득한 이론적인 지식을 응용하였다. 금형 제조 및 성형 가공에서 발생된 문제들을 해결할 수 있도록 새로운 금형 기술 교육을 제시하였다. 그리고 금형 온도 제어에 의한 성형품의 외관 품질과 물리적인 특성에 미치는 영향을 분석하여, 성형품의 성형 불량을 최소화하는 온도 조절에 대해서 정리하였다. 이를 바탕으로 성형품의 외관 품질, 휨 변형에 대한 최적의 금형 온도 제어 방법을 실험하는 플라스틱 제품에 응용하였다. 특히 경기 남부 지역의 중소기업을 대상으로 하는 금형 기술 훈련 과정을 개설하기 위하여 금형 관련 협약업체에 기술 교육에 관한 수요 조사를 실시하였다. 그리고 수요가 있는 금형 온도 제어에 대한 직무 훈련 차원에서의 금형 교육 훈련 프로그램을 설계하여, 이를 재직자 훈련 과정에 적용하였다. 그리고 사출 성형 금형 산업에 종사하는 중급 수준의 사출 성형 금형 실무자를 대상으로 하는 훈련 과정에서, 각 학습 단원 별 참여자 학습 만족도에 대한 설문 조사 결과는 만족도가 4.0점 이상으로 양호하게 나타났다. 산업 수요에 맞는 충분한 산업체의 의견을 수렴해서 NCS 국가 직무 능력 표준을 활용함과 동시에, 기업체 직무 중심의 교육 과정 개설·운영 등, 산업계에서 필요로 하는 현장 맞춤형 교육이 더욱 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2018학년도 오산대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] B. K. Park, "Invigoration of industry-university cooperation for industrial human resource development,"

- Engineering Education*, vol. 12, no. 3, pp. 14-20, 2005.
- [2] K. W. Kim, B. J. Ghang, and W. Y. Lee, "A case study on vocational education & training for the youth employment enhancement: Focused on analysis of performance indicator in youth employment academy," *Journal of Practical Engineering Education*, vol. 5, no. 2, pp. 123-127, December 2013.
- [3] C. H. Oh, B. H. Kim, J. I. Kim, J. H. Ha, K. H. Ahn, and N. S. Kim, "Research on actual state and improving suggestion for practical engineering technician," KUT-HRD Research Center, Research Report 2010-01, February 2011.
- [4] D. H. Lee, D. C. Kang, K. Yi, and K. H. Jung, "An education-oriented industry and university collaboration model a case study of LG electronics and Handong University," *Journal of Engineering Education Research*, vol. 7, no. 3, pp. 32-38, May 2004.
- [5] E. J. Song, "Practical engineering teaching method: A study on methodology for teaching improvement on the university," *Journal of Practical Engineering Education*, vol. 4, no. 1, pp. 45-50, June 2012.
- [6] J. P. Beaumont, *Runner and gating design handbook*, Hanser, Munich, pp. 27-33, 2004.
- [7] R. A. Malloy, "Plastic part design for injection molding," Hanser, Munich, pp. 75-84, 1994.
- [8] O. Zollner, "Optimized mould temperature control," Plastic Business Group, Application Technology Information (1104 d,e), 1997.
- [9] G. Menges and P. Mohren, "How to make injection molds," Hanser, Munich, pp. 272-278, 1994.



신주경 (Ju-Kyung Shin) _종신회원

2004년 2월 : 연세대학교 기계공학과 석사
2012년 2월 : 중앙대학교 기계공학과 박사수료
1989년 1월 ~ 1998년 6월 : LG산전(주) 과장
1998년 6월 ~ 2002년 3월 : 모토로라(주) 책임연구원
2002년 3월 ~ 2006년 6월 : 뉴젠텔레콤(주) 이사
2008년 3월 ~ 현재 : 오산대학교 기계공학과 부교수
<관심분야> 기계공학, 제품개발, 금형, HRD