

박육성형제품의 강도평가에 관한연구

김옥래*, 우창기†

(논문접수일 2011. 05. 03, 수정일 2011. 06. 28, 심사완료일 2011. 07. 01)

A Study on the Strength Evaluation of Thin Wall Molding

Ok Rae Kim*, Chang Ki Woo†

Abstract

In this paper, using by rapid heating and cooling systems for injection molding and temperatures to changes. In the process of molding temperature and pressure inside the mold was found. In addition, the tensile strength of test specimens were molded, mechanical properties of injection molded parts were identified on mold temperature. Copper could withstand more tensile force than NAK. Therefore, it can be concluded that materials with high heat conductivity must be used in thin walled products.

Key Words : Injection Mold(사출금형), RHCM,(Rapid Heat Cycle Molding:급속가열금형), Thin-wall Molding(박육성형금형), Tensile Strength(인장강도)

1. 서론

최근 전자 및 자동차 산업의 급격한 성장과 더불어 제품의 고성능, 고 정밀은 물론 얇은 두께와 경량화에 대한 요구는 점점 증가되고 있다. 특히 얇은 두께의 제품 성형 시 기존의 일반적인 균일 금형온도 유지방법을 적용하였을 때 성형특성이 가지는 여러 가지 문제로 인하여 새로운 성형기술이 요구되었다. 새로운 성형기술의 대표적인 예로는 급속가열(Rapid Heat Cycle Molding : RHCM) 또는 가변온도(Variotherm Injection Molding : VIM) 사출성형이 있다.

RHCM 프로세스의 간략한 단계를 살펴보면 1단계로 용융된 수지 사출 전 몰드에 열을 가하여 고온상태로 유지한다. 2단계는 가열된 금형에 충전단계가 이루어지고 3단계인 보압단계에서는 용융된 수지를 응고시키기 위하여 빠르게 냉각한다. 특히 1단계에서 몰드에 열을 가하는 방법은 RHCM 프로세스의 개발과 동시에 다양한 방법이 적용되고 있는 부분이다. 대표적인

사례로 Jansen⁽²⁾ 과 Yao 등⁽³⁾에 의하여 개발된 전기 가열을 이용한 RHCM을 들 수 있다. 이 방법은 몰드베이스에 열효율 강화와 열 소비를 줄이기 위하여 절열층을 코팅하고 절열층 위에 전기적 가열을 위한 가열층을 코팅하여 급속 열반응 몰드를 이용한다.

RHCM 프로세스를 거친 용융된 수지는 균일 금형온도 유지 방법에서의 수지와는 상대적으로 작은 사출압력, 낮은 사출속도에서도 마이크로 구조의 캐비티 형상을 복제할 수 있으며, 웰드라인(weld line), 플로우 마크(flow mark), 플로팅 파이버(floating fiber)와 같은 성형품 표면불량 또한 쉽게 제거할 수 있다⁽¹⁻⁶⁾. 위와 같은 장점을 가진 RHCM 프로세스는 현재 시제품 제작 등에서는 성공적으로 적용되고 있으나 제품양산 단계의 중요 파라미터인 가열 및 냉각 효율, 온도 균일성, 에너지 소모 등의 요소를 만족시키기 위하여 여전히 심도 깊은 연구와 문제 해결의 개선방향이 논의 되고 있다⁽⁷⁾.

본 연구는 이러한 장치를 이용한 금형시스템의 특성을 파악

* 한국생산기술연구원 금형기술센터 (kor@kitech.re.kr)
주소: 421-808 경기도 부천시 오정구 삼정동 36-1
† 인천대학교 기계공학과

하고 사출성형 인장시편의 기계적 물성에 미치는 영향을 살펴 보기 위해, 제작된 급속가열 및 냉각장치시스템을 활용하여 금형의 온도 변화에 따른 사출성형실험을 수행하였고 각각의 성형과정에서 발생하는 금형내의 온도와 압력데이터를 획득하였으며, 그 결과를 상호 비교하였다. 또한 성형된 시편을 인장 시험기를 이용하여 인장실험을 수행하여 금형온도가 사출 성형 품에 미치는 기계적 물성에 대한 특성을 규명하였다.

2. RHCM 프로세스

Fig. 1은 RHCM 프로세스가 수행되는 동안 금형온도가 변화 되는 것을 보여주는 그래프이다. 성형 사이클 시간을 줄이기 위하여 가열 단계는 RHCM 몰드에서 가열이 필요한 캐비티 및 코어에서 제품이 취출되는 순간부터 시작된다. 만약 캐비티 부분만 가열이 필요하다면, 몰드를 개폐하였을 때 몰드를 가열 하면 된다.

가열단계에서의 몰드는 이전에 설정된 폴리머의 글래스 온도 보다 높은 온도까지 가열된다. 금형온도가 이전에 설정된 온도에 다다르게 되면 가열단계는 완료되며, 프로세스는 고온을 유지하는 단계로 접어들고 이때 용융된 폴리머는 캐비티 안쪽으로 유입된다.

충전과 보압과정이 끝난 후 고온상태를 유지되는 과정이 종료되고 냉각단계로 전환된다. 이 단계에서는 용융된 폴리머를 응고시키기 위하여 몰드는 냉각수에 의해 급격히 냉각이 된다. 폴리머 온도가 취출온도 이하로 낮아지면 냉각 단계가 완료되고 저온상태로 유지(홀딩단계가 시작)된다. 두 번째 홀딩단계 동안에는 제품을 취출하기 위하여 몰드가 개방된다.

3. 금형시스템 제작

본 연구에서는 플라스틱 인장시편의 사출성형을 위해 만들어진 국제 규격 ISO3167을 참고로 하여 Fig. 2와 같이 인장

시편의 규격을 결정 하였다. 이 규격의 4.2 절에 의하면 사출 성형 시 ISO294-1에 맞는 실험을 하기 위해 TYPE A를 사용 하도록 명시되어 있다.

규격 KS M ISO 527-3에는 플라스틱 인장시편의 성형을 위한 사출금형의 세부사항이 규정되어 있으며 이를 실험 시 적용 하였다. Sprue는 노즐 쪽이 $\varnothing 4\text{mm}$ 로 하고 러너 쪽을 $\varnothing 6\text{mm}$ 로 부여하였다. 러너(runner)는 사다리꼴의 러너의 형상으로 넓은 쪽은 5mm , 짧은 쪽은 4mm 로, 두께 4mm 로 설정하였다. 게이트(gate)의 높이는 0.5mm 로 하였다. 게이트의 폭은 제품의 라운드(round) 형상을 제외한 폭과 같이 하고, 러너의 빼기 구배는 10° 이상 30° 미만으로 설계하였다. 캐비티(cavity) 제품부의 빼기 구배는 없이 하였으며 취출핀(ejector pin)은 시험부(test area) 바깥쪽에 설치하고, 중심에서 36mm 이상 벗어났다. 가열/냉각 시스템은 작동 상태 하에서 캐비티 표면이든 어느 곳을 측정해도 5°C 이상의 격차가 나지 않도록 설계하였다.

시편 길이는 80mm 로 하고, 시편 사이의 거리 60mm 로 하였다. 경면사상은 인장시편에 하중이 걸리는 방향으로 하도록 유도하였으며, 냉각과 냉각 사이의 거리는 26mm , 시편 사이의 거리 60mm 로 설계하였고, SC 형태의 2단 금형(SC2530)의 규격을 사용하였다. 일반적인 인장시편의 두께는 4mm 가 표준이지만 박육의 인장시편 성형을 위해 캐비티의 제품부 두께를 1mm , 0.5mm 가 되는 각각의 성형부를 설계 하였다. 시편의 두께가 1mm 와 0.5mm 가 되는 인장시편 성형을 통하여 박육 사출을 위한 사출금형 설계 되었다. 이후 캐비티 및 코어를 교체

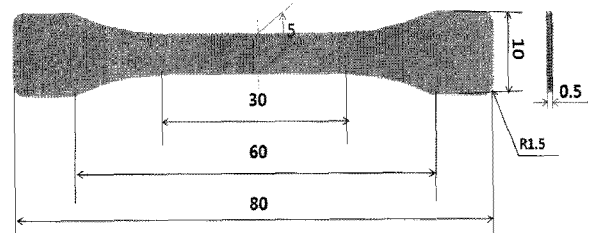


Fig. 2 Tensile test specimen

가열 → 고온상태 유지 → 냉각 → 저온상태 유지

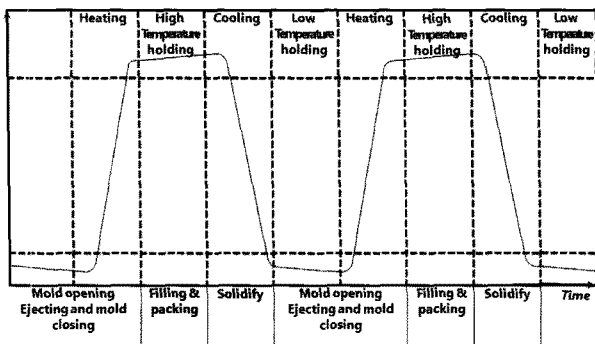
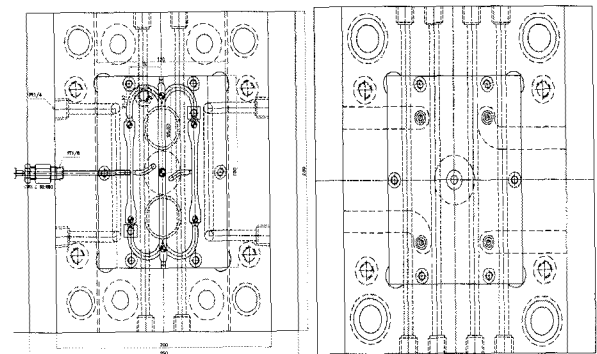


Fig. 1 Schematic of mold temperature changes during the RHCM process



(a) Drawings for core (b) Drawings for cavity

Fig. 3 Assembly drawings for designed mold

하여 박육 사출품의 인장특성을 연구하는데 적용하였다. Fig. 3 은 몰드베이스 및 금형이 조립된 전체를 2D 형상으로 보여주고 있으며, 금형의 크기는 250mm × 250mm × 230mm 이고, 코어 부분인 하판의 조립이 된 모습을 보여주고 있다. 캐비티 및 코어의 열 손실을 방지하기 위하여 코어의 옆면 및 바닥 면을 도포하여 코어와 몰드베이스의 공기층을 형성하도록 설계하였다.

(a)는 2D도면의 하측평면도, (b)는 상측의 평면도를 나타내고 있으며, 하측의 코어엔 온도센서를 설치하고 게이트를 막을 수 있는 핀 블록을 설치하였으며, 상측은 압력센서 2개와 온도센서 1개를 설치하여 캐비티 내부의 압력 및 온도의 변화를 관찰할 수 있도록 설계가 되어 있으며, 또한 시편의 두께를 변경할 수 있도록 스톱 핀의 높이를 조절할 수 있는 시스템을 구현하였다.

사출성형 조건표는 Table 1에 제시하였다. 사용된 수지는 유리섬유(glass fiber)가 함유되어 있지 않은 투명 ABS(TR 557)와 아크릴(PMMA(IF-850))의 수지를 사용하였다. 두 수지 모두 제조사는 LG사이며, 전자는 의로기기 등 깨지기 쉬운 제품에 사용되고 후자는 도광판, 차량의 window, 광학용도의 정밀 부품이나 투명성이 요구되는 제품에 널리 사용되고 있다.

이번 실험은 사출속도와 수지온도의 변화를 부여하지 않고 금형온도를 부여하여 플라스틱 인장시편을 성형하였다. 사출 속도 100mm/s 로 고정하고 수지온도(245, 240, 230, 220, 200°C)를 고정하여, 금형온도를(60, 90, 110, 130°C)변화시키면서 실험을 수행하였다.

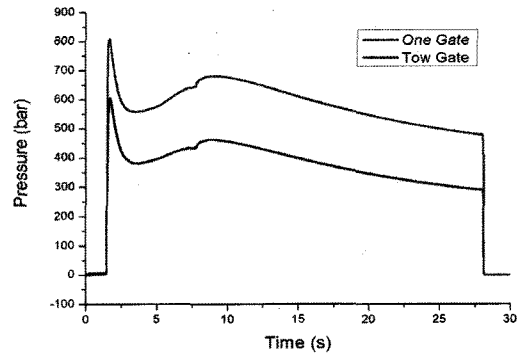
3.1 사출성형중 압력 및 온도센서를 통한 평가

금형온도를 60°C에서 130°C까지 올리면서 각각의 캐비티내의 압력 변화를 측정해 보았다 60°C는 809bar/604bar, 90°C는 822bar/612bar, 110°C는 834bar/ 618bar, 130°C는 840bar/612bar로 측정되었다. 일반 사출기에서 최대 충전 속도로 사출함으로 급격히 압력이 상승하고 충전에서 보압으로 전환될 때 압력이 감소하였다가 다시 상승하는 모습을 볼 수 있다.

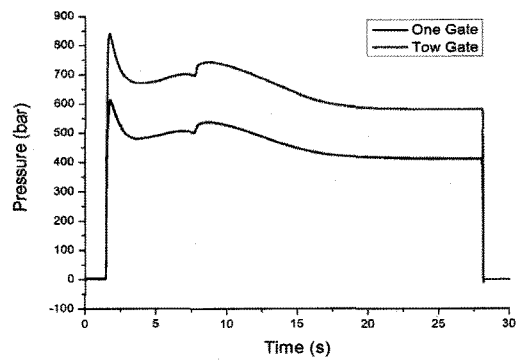
이는 보압 전환 후 수지의 수축보정을 위해 압력이 가해지는

Table 1 Recommended processing parameters and scope of injection molding experiment

Processing control factor	Polymer	
	ABS (TR 557)	PMMA (IF-850)
Injection velocity(sec)	0.6	0.6
Holding pressure (%)	90	100
Holding time (sec)	6	6
Mold temperature (°C)	60 ~ 130	60 ~ 130
Melt temperature (°C)	245	260

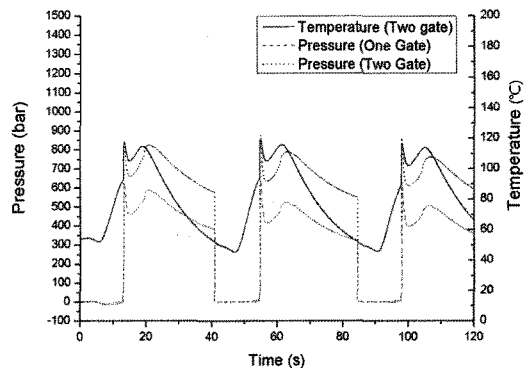


(a) 60°C

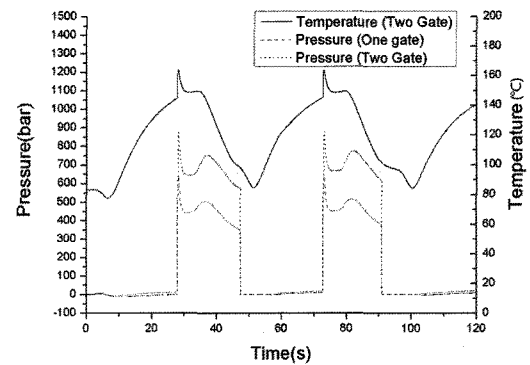


(b) 130°C

Fig. 4 Pressure distribution along the time(cavity)



(a) 60°C



(b) 130°C

Fig. 5 Temperature and pressure distribution along the time

현상을 말하며, 게이트가 고화됨으로 압력이 하강하고 금형이 열림으로 인하여 캐비티내의 압력은 0이 된다. 또한 게이트가 1개인 경우 미 충전 상태임으로 압력이 낮게 나타나고 있음을 알 수가 있다. 아울러 금형온도가 높을수록 보압이 높게 나타나고 있다. Fig. 4는 60°C와130°C의 압력을 보여주고 있다.

Fig. 4는 사출성형을 수행하면서 60°C와 130°C의 각각의 압력과 온도를 동시에 나타내 보여주고 있으며, (a)는 금형온도를 60°C로 설정하여 사출을 실시하였을 경우 97°C로 상승하고, 수지가 충전되었을 때 125°C까지 올라가는 현상을 보이고 있으며, 보압으로 전환 되어 압력을 받을 때 2차 상승한다. (b)는 금형온도를 130°C로 설정하여 사출성형 할 경우 145°C까지 올라가고 충전이 완료 될 시점에서는 164°C까지 상승하고 난 다음 보압으로 전환될 때 온도를 유지하다가 냉각에 의해 서서히 온도가 낮아지고 있다. Fig. 5를 보면 60°C일 때는 온도가 비교적 빠르게 상승하지만 130°C일때는 온도상승곡선이 완만하게 생성되고 있는 것을 알 수가 있다.

3.2 인장강도시험

본 연구에서는 사출속도와 수지온도가 플라스틱 인장시편의 기계적 물성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 인장시험을 수행하였다. 각 사출성형조건에 대해 5번의 인장시험을 수행하였다. 실험에 사용된 인장 시험기는 KNR Systems Inc.사의 플라스틱 전용 인장 재료시험기를 사용하였으며 모델명은 102S이며 최대하중은 250kgf이다. 사용 장비의 크기는 124 ×150×1096(W×D×H(mm))이고 실온 대기 중에서 크로스헤드의 속도를 0.1mm/min로 일정하게 유지하였다. 장비 제원은 Table 2와 같다.

시편의 금형온도에 따른 장력의 정도를 측정하기 위하여 시험편 두께는 1mm, 게이트의 방향은 단일 방향으로 구성하고, 수지를 주입하여도 웰드라인이 발생되지 않도록 사출성형 조건을 설정 한다. 이러한 조건하에 금형온도의 변화를 90°C에서

20°C씩 증가시켜 110°C, 130°C 총 3단계의 조건 변화를 주어 박육성형 시편을 확보 하였다. 이와 같이 확보된 시편을 인장시험기로 온도에 따른 인장력을 측정해 보았다. 각 온도에 대한 5개 시편의 인장력 평균값은 Table 3 과 같으며 90°C에서는 86.51MPa, 110°C에서는 약 1MPa 증가한 87.55MPa, 130°C에서는 7.61MPa 증가한95.16MPa로 나타나고 이다. 본 실험에서 Fig. 7의 그래프를 참고 하면 수지의 종류가 ABS이며, 재료두께가 1mm일 때 금형의 온도가 높을수록 수지의 유동성이 좋아지고 압력전달이 잘 이루어져 결합력이 좋아졌으며 결과적으로 인장력이 높아지는 경향을 볼 수 있다.

Table 4 는 제품의 두께가 0.5mm이며, 사출성형 수지 ABS와 PMMA에 대하여 금형온도에 따른 시편의 인장력 시험 결과이다. ABS의 경우 60°C일 때는 41.65MPa, 90°C일 때 41.33MPa, 110°C일 때 40.42MPa, 130°C일 때 42.76MPa로 온도에 대한 인장력의 차이가 미미하게 나타났으며, 금형온도가 110°C일 때 강도는 가장약하게 측정되었다.

또한 PMMA수지는 60°C일 때 35.08MPa, 90°C일 때 33.81MPa, 110°C일 때 35.39MPa, 130°C일 때는 39.75MPa로 측정되었으며 금형온도가 90°C일 때 가장 약하게 나타나고 있다. ABS 수지와 PMMA수지 모두 온도에 따라 선형적인 인장력 상승을 보여주고 있지 않지만 전반적으로 금형온도가 상승할 수록 인장강도가 좋아지고 있으며, 제품두께가 1mm이고, 웰드라인이 발생되지 않은 제품과 비교해 볼 때 제품의 두께가 얇고 웰드라인이 생성되는 제품의 특성은 취약해 질 수 있다는 것을 알 수 있다. Fig. 8은 같은 제품두께가 0.5mm인 제품을 ABS와 PMMA수지에 따른 차이를 그래프로 비교해 보았다.

금형소재로 많이 사용하는 특수강인 NAK80과 구리에 니켈과 주석을 배합하여 만들어진 Copper(C727 00)를 사용하여 금형을 제작하고, 시험을 통하여 시편을 확보하고 인장력을 테스트하여 비교해본 결과 NAK보다 Copper소재가 더 우수한 것으로 규명되었다. 또한 그 비율은 금형온도가 90°C 일 때 인

Table 2 Instruction of tensile strength

Company	KNR Systems Inc.
Model	102S
Loading frame Size(mm)	124×150×1096 (W×D×H)
Load capacity	250 kgf
Maximum speed	1000 mm/min
Minimum speed	0.05 mm/min
Position resolution	0.001mm
Position accuracy	0.01
Control software	Sabio-Static
Speed accuracy	±0.005%
Position accuracy	0.01mm

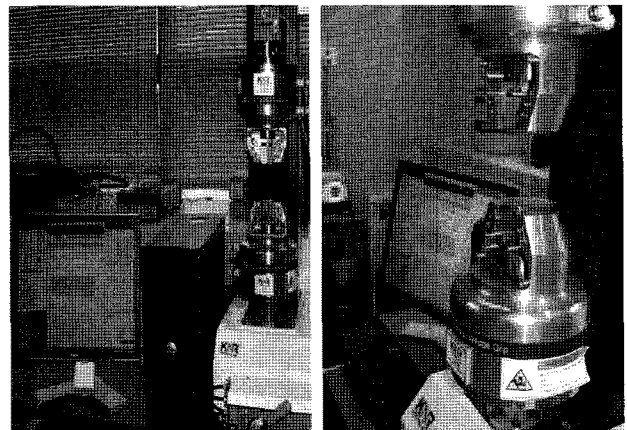


Fig. 6 Tensile strength for measurement

장력은 11.8%, 110℃ 일 때 20.1%, 130℃ 일 때 20.5%증가 하였다.

4. 결론

(1) 시험편두께 1mm의 1점 게이트인 ABS소재는 금형온도가 상승할수록 인장강도가 향상되었다.

Table 3 Measure load data using Mold temperature(1mm)

Mold temperature	ABS
90℃	86.51 MPa
110℃	87.55 MPa
130℃	95.16 MPa

Table 4 Measure load data using mold temperature(0.5mm)

Mold temperature	ABS	PMMA
60℃	41.65 MPa	35.08 MPa
90℃	41.33 MPa	33.81 MPa
110℃	40.42 MPa	35.39 MPa
130℃	42.76 MPa	39.75 MPa

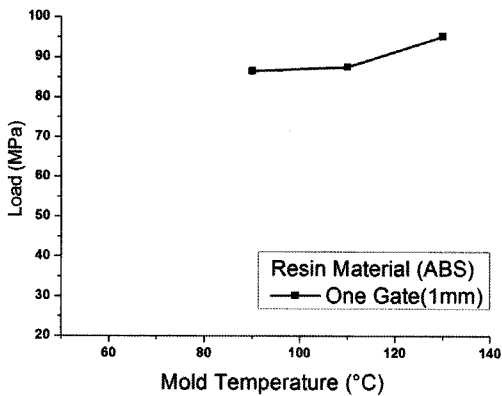


Fig. 7 One gate (1mm, ABS)

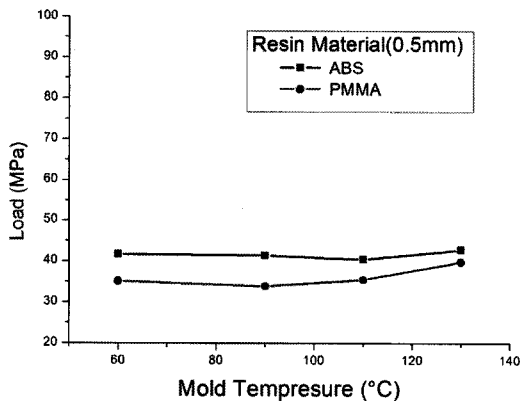


Fig. 8 Measurement for tensile strength(ABS, PMMA)

- (2) 시험편두께 0.5mm의 2점게이트인 경우 ABS는 금형온도가 60℃보다 90℃와 110℃가 인장강도가 약해지고 130℃일 때 우수하다.
- (3) 시험편두께 0.5mm의 2점게이트인 경우 PMMA는 금형온도가 60℃보다 90℃에서 인장강도가 약하고 110℃와 130℃일 때 우수하다.
- (4) 인장강도를 테스트하여 비교해본 결과 NAK보다 Copper (C72700)소재가 우수하다. 따라서 열전도도가 좋은 금속 재료를 사용할 경우 수지의 결합력이 향상되므로 인장력이 우수한 것으로 규명되었다.

후 기

본 연구는 2010년도 인천대학교 자체연구비에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Menges, and Mohren, 1993, *How to Make Injection Molds*, Carl Hanser Verlag Munich, USA, pp. 131~165.
- (2) Janse, K. M. B., 1995, "Heat Transfer in Injection Moulding Systems with Insulation Layers and Heating Elements," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 38, No. 2, pp. 309~316.
- (3) Yao, D. G., and Kim, B., 2002, "Development of Rapid Heating and Cooling Systems for Injection Molding Applications," *Polymer Eng. and Sci.*, Vol. 42, No. 12, pp. 2471~2481.
- (4) Chen, S. C., Peng, H. S., Chang, J. A., and Jong, W. R., 2004, "Simulations and Verification of Induction Heating on a Mold Plate," *Int. Commun Heat Mass Transfer*, Vol. 42, No. 12, pp. 971~80.
- (5) Chang, P. C., and Hwang, S. J., 2006, "Simulation of Infrared Rapid Surface Heating for Injection Molding," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 49, No. 21-22, pp. 3846~3854.
- (6) Yu, M. C., Young, W. B., and Hsu, P. M., 2007, "Micro-injection Molding with the Infrared Assisted Heating System," *Mater. Sci. Eng., A*, Vol. 460-461, No. 15, pp. 288~295.
- (7) Curu, S. R., Yen, T. V., James, E. M., and Charles. L. M., 2004, "Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene in the Thermoplastic Elastomer State," *European Polymer Journal*, Vol. 40, No. 40, pp. 63~71.