

## 자동차 와이퍼 소켓 부품 제작용 오버몰딩 금형의 냉각 시스템 설계<sup>§</sup>

이동기<sup>\*†</sup>, 박민우<sup>\*\*</sup>, 안동규<sup>\*\*</sup>

\* 조선대학교 메카트로닉스공학과, \*\* 조선대학교 기계공학과

### Design of Cooling System of Over-molding Mold for Socket Component of Automobile Wiper

Dong Gi Lee<sup>\*†</sup>, Min Woo Park<sup>\*\*</sup> and Dong Gyu Ahn<sup>\*\*</sup>

\* Dept. of Mechatronics Engineering, Chosun Univ.,

\*\* Dept. of Mechanical Engineering, Chosun Univ.

(Received June 21, 2011; Revised July 29, 2011; Accepted August 8, 2011)

**Key Words** : Over-Moulding(오버몰딩), Socket Component(소켓 부품), Cooling System(냉각 시스템), Cooling Characteristics(냉각 특성), Product Quality(제품 품질), Volumetric Heat Sink(체적 열 흡수부)

**초록**: 본 논문의 목적은 수치해석을 통한 자동차 와이퍼 소켓 부품 제작용 오버몰딩 금형의 냉각 시스템 설계이다. 초기 금형설계에 대한 수치해석을 수행하여 제품내 높은 온도 분포를 나타내는 열집중 영역을 도출하였다. 열집중 영역의 냉각특성 개선을 위하여 직선형 냉각수로와 체적 열 흡수부의 2 가지 냉각시스템을 고려하였다. 직선형 냉각수로의 설계를 도출하기 위하여 냉각수로의 직경과 위치가 냉각 특성과 제품 품질에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 또한 체적 열 흡수부 설계가 제품 냉각 특성과 변형에 미치는 영향을 고찰하였다. 최종적으로 체적 열 흡수부가 추가된 다중 슬라이스 오버몰딩 금형이 냉각 특성과 제품품질을 동시에 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

**Abstract**: The objective of this study is to design of a cooling system of the over-molding mold for a socket component of an automobile wiper by performing numerical analyses. Hot spots in which the temperature distributions are higher than those of other region, were estimated by an initial over-molding analysis for the initial design of the mold. On the basis of the initial over-molding analysis, two types of cooling system designs with a linear cooling channel and a volumetric heat sink, were considered to improve the cooling characteristics of hot spots. To obtain an appropriate cooling system design, the effects of the diameter and the position of the linear cooling channels on the cooling characteristics and the product qualities were quantitatively examined. In addition, the effects of the design of the volumetric heat sink on the cooling characteristics and deformation distributions in the molded product were investigated. The results of the over-molding analysis of the two types of cooling systems showed that the multi-sliced over-molding mold with a volumetric heat sink can improve both the product quality and the cooling characteristics of the mold.

## 1. 서 론

오버몰딩 공정은 금속 단자와 플라스틱 재료로 구성된 전기 부품 생산에 폭넓게 활용되는 사출성형 공정 중 하나이다.<sup>(1,2)</sup> 특히, 자동차 핵심 전기 부품 생산에 오버몰딩 기술이 다양하게 활용됨에 따라 플라스틱 부품의 변형에 의한 치수 불량으로

부터 야기되는 전기 부품 오작동을 방지하기 위하여, 관련 플라스틱 부품의 품질 개선과 생산성 향상에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 사출성형의 오버몰딩 공정에서 오버몰딩 금형의 냉각 특성은 제품의 생산성과 품질에 큰 영향을 미친다.<sup>(3)</sup> 일반적으로 사출성형 공정에서 금형의 냉각 특성은 금형 내부의 냉각시스템 설계에 매우 의존적이다.<sup>(4)</sup> 고품질 플라스틱 제품 제작과 금형 생산성 향상을 위해서는 균일/고속 냉각이 가능한 금형의 냉각 시스템 설계가 필수적이다.

최근 사출성형 금형의 냉각시스템 설계 시 직선형 냉각수로 설계 뿐만 아니라 고 열전도성 금속

§ 이 논문은 2011년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계 학술대회(2011.6.30-7.1, 라마다프라자 제주호텔)발표논문임

† Corresponding Author, [dglee@chosun.ac.kr](mailto:dglee@chosun.ac.kr)

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

재료를 배치하여 사출성형 금형의 냉각 특성을 개선하는 방법이 연구되기 시작하고 있다.<sup>(5-7)</sup> 고 열전도성 금속 재료로 구성된 사출성형 금형의 경우 균일/고속 냉각이 가능하여 제품의 변형을 감소시킬 수 있으며 금형의 생산성을 향상시킬 수 있다.

Tang 등은 냉각수로의 크기와 위치 및 냉각수 유량 등의 영향을 비교/분석하여 다중 캐비티 사출 금형의 냉각 시스템 최적 설계에 관한 연구를 수행하였다.<sup>(8)</sup> Min 은 냉각 시스템 설계를 위하여 냉각 공정과 관련한 냉각수 입구온도와 냉각수량 및 냉각수로의 직경과 위치에 따른 영향에 대한 연구를 수행한 바 있다.<sup>(9)</sup> Louisville 대학에서는 크롬 구리와 H-13 금형강으로 구성된 이중 재료 사출성형 금형을 제작하여 금형의 냉각 특성에 관한 연구를 수행하였다.<sup>(10)</sup> Ahn 등은 이중 재료로 구성된 열전도성 금형을 설계하여 3 차원 비정상 열전달 해석 및 열응력 해석을 통한 금형의 냉각 특성과 열응력 분포 변화를 고찰하였다.<sup>(11)</sup>

본 연구에서는 오버몰딩 금형의 3 차원 사출성형 해석을 통하여 자동차 와이퍼 소켓 부품 제작용 오버몰딩 금형의 냉각 시스템의 설계를 수행하고자 한다. 냉각 시스템의 설계를 위하여 사출성형 해석을 통하여 선정된 제품의 열 집중 영역(hot spot)에 직선형 냉각수로와 체적 열 흡수부(volumetric heat sink)를 가진 냉각시스템을 적용하고자 한다. 직선형 냉각수로의 직경과 위치 및 체적 열 흡수부의 두께에 따른 제품내 온도분포 변화와 제품 품질 변화를 정량적으로 고찰하고자 한다. 이 결과로부터 우수한 냉각 특성과 제품 품질 특성을 나타내는 냉각 시스템을 선정하고자 하며, 이 냉각 시스템이 적용된 오버몰딩 금형의 제품 품질 개선과 생산성 향상을 고찰하고자 한다.

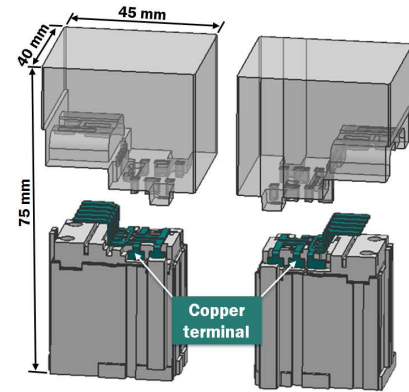
## 2. 금형 설계 및 사출성형 해석

Fig. 1 은 본 연구 대상인 자동차 와이퍼 소켓 제작용 사출성형 금형 코어코로 크기는 45 mm × 40 mm × 75 mm 이다. 대상 금형은 구리 단자에 플라스틱 재료를 오버몰딩하는 금형으로 총 2 개의 캐비티로 구성되어 있다. 금형 내부의 초기 냉각수로는 설계는 Fig. 2 와 같이 직선형 냉각수로로만 구성되어 있었으며, 냉각수로의 직경은 모두 6 mm 였다. 초기 냉각수로는 두개의 캐비티에 대하여 동일하게 설계되었으며, 금형 코어를 벗어난 위치에 설계되어 있었다.

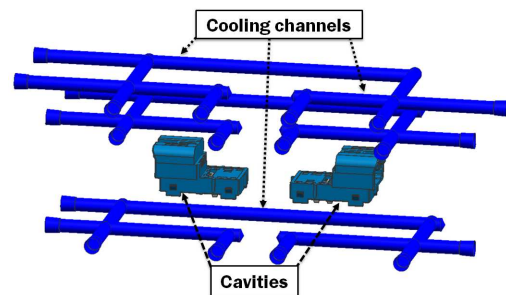
수치해석은 Moldflow MPI 6.1 을 사용하였으며, 구리 금속 단자를 인서트(insert)로 가정한 인서트 사출 해석 기법과 국부적으로 삽입한 고 열전도성 금속 재료의 물성을 반영하기 위하여 몰드 인서트(mold insert) 해석 기법을 활용하였다. 런너 시스템 및 냉각수로의 해석 격자는 Fig. 3 과 같다.

**Table 1** Initial conditions of injection moulding analysis

Mould Temp. (°C)	Melting Temp. of resin (°C)	Coolant Temp. (°C)
55	240	20



**Fig. 1** Mould design of a plastic part



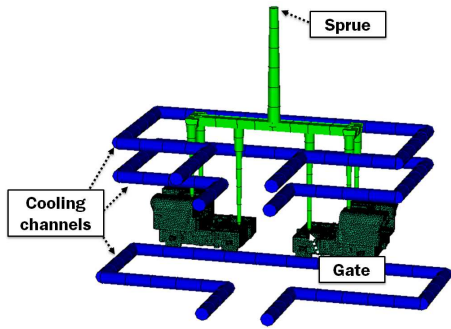
**Fig. 2** Initial designs of cooling channels

스프루(sprue) 형태는 원뿔형이고 시작 지름은 4 mm, 끝 지름은 5.8 mm 이다. 게이트부는 지름이 0.8 mm 인 핀 포인트 게이트(pin point gate)로서 설계하였으며, 모두 세 곳에 설치하였다. 사출성형 해석에 사용된 격자는 제품의 경우 삼각형 셸(shell) 요소 이고, 런너 시스템와 냉각수로의 경우 보(bean) 요소를 사용하였다. 절점과 해석 격자 수는 각각 36,641 개 와 103,597 개이다. 사출성형 해석에 사용된 재료는 유리섬유가 30 % 함유된 KEPEX 3330GF 수지를 사용하였으며, 사출성형 해석을 위한 초기 조건은 Table 1 과 같다.

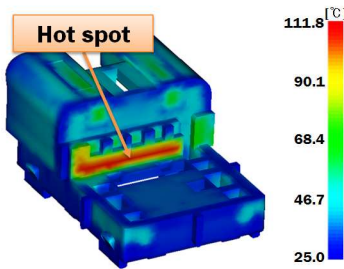
초기 금형에 대한 사출성형 해석 결과 Fig. 4 와 같이 제품내 온도 분포가 주변보다 높게 형성되는 부분을 제품의 열집중 영역으로 선정하였다. 열집중 영역에 대한 냉각 특성을 개선하기 위하여 Fig. 5 와 같이 열집중 영역 부근에 추가적인 직선형 냉각수로 추가와 열전도성이 우수한 구리 합금인 Ampcoloy 940 의 고 열전도성 재료를 삽입하는 체적 열 흡수부의 2 가지 형태의 냉각 시스템 설계를 도출하였다.

**Table 2** Design alternatives of linear cooling channels

Design	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D (mm)	4	4	4	5	5	5	6	6	6
H (mm)	6	8	10	6	8	10	6	8	10



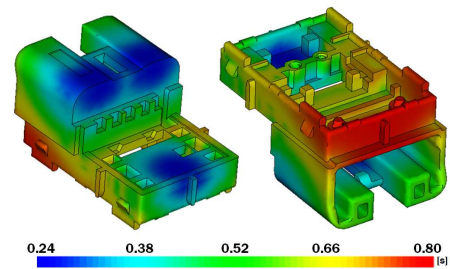
**Fig. 3** Meshes of injection moulding analysis



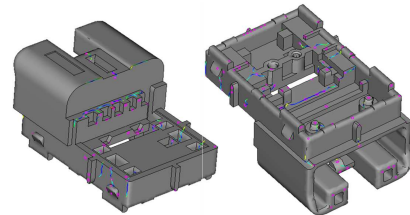
**Fig. 4** Estimation of hot spot

**Table 3** Results of injection moulding analysis

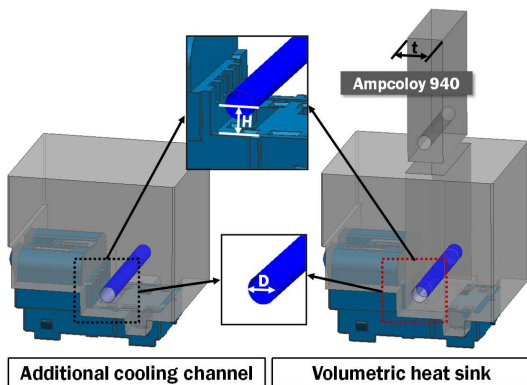
Design	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Filling time (sec)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Max. injection pressure (MPa)	97.3	97.3	97.4	97.3	97.3	97.3	97.4	97.3	97.4
Clamping force (tons)	21.5	21.6	21.6	21.5	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6



**Fig. 6** Filling patterns



**Fig. 7** Formation of air traps and weldlines



**Fig. 5** Modified designs of cooling system

직선형 냉각수로의 설계를 위한 설계 변수는 냉각수로의 직경 (D) 과 제품면으로부터 냉각수로 중심까지의 높이 (H) 로 선정하였다. 냉각수로의 직경과 높이를 조합하여 Table 2 와 같은 총 9 가지의 직선형 냉각수로 설계안을 도출하였다. 체적 열 흡수부의 설계 변수는 고 열전도성 재료의 두께 (t) 로 선정하였으며, 해석에 사용된 열흡수부결과 및

고찰의 두께는 4 mm, 7 mm 및 10 mm 이다.

3.1 추가적인 직선형 냉각수로가 부가된 금형의 충전 및 성형 특성

추가적인 직선형 냉각수로의 설계 변수인 직경과 위치에 따른 9 가지 설계 조건에 대하여 3 차원 사출성형 해석 결과 얻어진 각 조건별 충전 시간, 최대사출압력 및 형체력은 Table 3 과 같다. 직선형 냉각수로의 9 가지 설계 조건에 대한 충전 시간은 0.8 초 정도로 동일하여 냉각수로의 직경과 위치가 충전 시간에 미치는 영향은 거의 없음을 알 수 있었다. 또한, Fig. 6 과 같이 직선형 냉각수로의 직경과 위치에 관계없이 동일한 충전 특성을 보였다. 최대사출압력과 형체력이 각각 97.3~97.4 MPa 과 21.5~21.6 tons 의 범위로, 직선형 냉각수로의 직경과 위치에 따라 각각 0.1 MPa 과 0.1 tons 정도의 차이로 거의 동일하였다. 모든 냉각수로 설계조건에서 제품의 평균 수축율은 6.7~6.8 % 범위 내이고, 최대 휨 변형량은 0.23 mm 정도로 나타났다. 이 결과들로부터 냉각수로의 직경과 위치가 최대사출압력, 형체력, 수축률





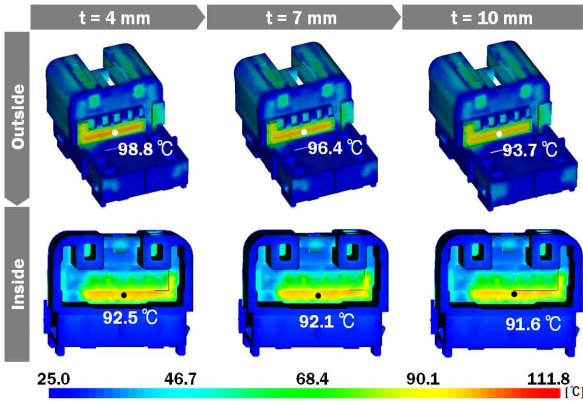


Fig. 10 Influence of the thickness of volumetric heat sink on the temperature distribution in the product

전체적인 온도 분포가 보다 균일하게 됨을 알 수 있었다. 또한 체적 열 흡수부의 두께가 10 mm 일 때, 제품 내외부 온도차가 약 2.1 °C 정도 가장 작게 나타났다. 이 현상들은 체적 열 흡수부의 재료인 Ampcoloy940 재료의 열전도도가 기존 금형 재료의 약 10 배 정도이고, 이로 인하여 체적 열 흡수부가 증가할수록 열집중 영역에서 냉각채널로 전달되는 열량이 증가되기 때문으로 사료된다.

본 체적 열흡수부 두께에 따른 최대 수축률 변화를 고찰한 결과 체적 열흡수부 두께 4 mm, 7 mm 및 10 mm 에 대하여 각각 제품 최대 수축률이 각각 10.32 %, 10.27 % 및 10.21 % 로 나타났다. 그러나 최대 치짐량의 경우 체적 열흡수부 두께에 관계없이 약 0.23 mm 정도로 거의 일정하게 나타났다. 위 결과들로부터 본 금형에 적합한 체적 열 흡수부 두께를 10 mm 로 결정하였다.

3.4 초기 금형과 선정된 냉각시스템이 부과된 금형의 사출성형 특성 비교

냉각 시스템 설계에 따른 제품 사출성형 특성 변화를 고찰하기 위하여 기존 금형과 추가적인 냉각수로가 부과된 금형 및 추가적인 냉각수로와 체적 열흡수부가 부과된 금형의 사출성형 특성을 비교하였다.

기존 금형과 추가적인 냉각수로가 부과된 금형 및 추가적인 냉각수로와 체적 열흡수부가 부과된 금형의 충전시간, 최대 사출압력 및 형체력은 금형 설계 변화에 관계없이 거의 변화가 없었다. 그러나 제품의 평균 수축율과 최대 치짐량은 Table 6 과 같이 직선형 냉각채널과 체적 열흡수부가 추가될 때 마다 각각 0.1~0.2 % 와 0.01 mm 감소하는 것을 알 수 있었다.

기존 금형과 2 가지 형태의 냉각시스템을 가진 금형으로 제작된 제품의 온도분포는 Fig. 11 과 같이 직선형 냉각수로와 체적 열흡수부가 추가되면서 현저한 온도 감소와 함께 온도분포의 균일성이 증

Table 6 Mean shrinkages and maximum deflections of the moulded product for different designs of mould

Design	Previous	Additional cooling channel	Volumetric heat sink
Mean shrinkage (%)	6.9	6.7	6.6
Max. deflection (mm)	0.25	0.24	0.23

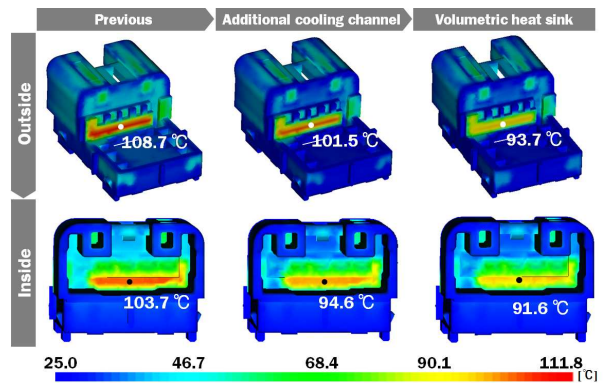


Fig. 11 Variations of temperature distributions in the product for different cooling system designs

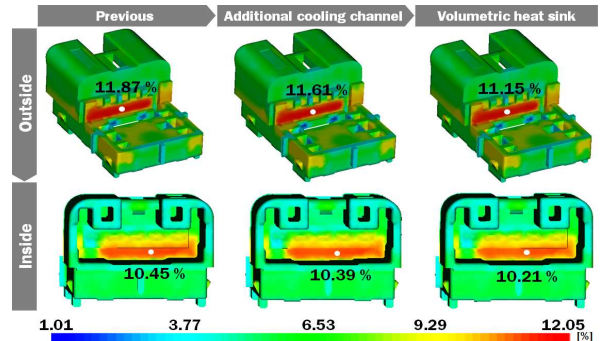


Fig. 12 Variation of volumetric shrinkages of the product for different cooling system designs

가됨을 알 수 있었다. 또한 제품 내외부 온도차도 직선형 냉각수로와 체적 열흡수부를 가진 금형으로 제작된 제품에서 가장 적게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 12 는 기존 금형과 추가적인 냉각수로가 부과된 금형 및 추가적인 냉각수로와 체적 열흡수부가 부과된 금형으로 제작된 제품의 수축율 분포를 나타낸다. Fig. 12 에서 체적 열흡수부가 추가될 경우 제품 내부보다 제품 외부의 수축율 감소가 더 많이 일어나고, 이로 인하여 제품 내/외부간 수축율 차이를 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 13 은 위 3 가지 형태의 금형 설계에 대한 제작된 플라스틱 제품의 최대 온도 발생 위치에서의 시간에 따른 온도 변화를 나타낸다. Fig. 13

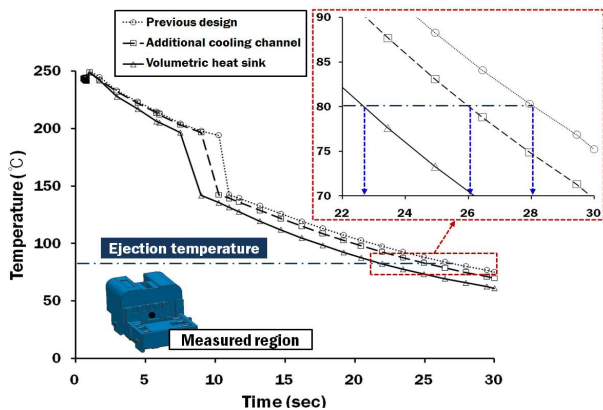


Fig. 13 Variation of temperature-cycle time curves for different cooling system designs

에서 기존 금형의 경우 제품의 취출이 가능한 온도에 이르는 시간이 약 28 초 정도가 소요되나, 직선형 냉각채널이 추가될 경우 26 초로 제품 취출 시간이 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 직선형 냉각채널과 체적 열흡수부를 모두 추가할 경우 제품 취출 시간이 약 23.5 초 정도 감소하는 것을 알 수 있었다. 이 결과로부터 직선형 냉각수로와 체적 열 흡수부를 모두 금형에 추가할 경우 제품 냉각 시간을 약 5.5 초 정도 단축시킬 수 있음을 알 수 있었다. 위 결과들로부터 고열전도성 금속 재료가 삽입된 체적 열 흡수부를 제품 열점에 대하여 균일/고속 냉각이 가능한 오버몰딩 금형의 냉각 시스템으로 선정하였다.

### 3. 결론

본 논문에서는 수치해석을 통한 자동차 와이퍼 소켓 부품 제작용 오버몰딩 금형의 냉각 시스템 설계에 대하여 연구하였다. 초기 금형설계에 대한 수치해석을 수행하여 제품내 높은 온도 분포를 나타내는 열집중 영역을 도출하였다. 열집중 영역의 냉각 특성 개선을 위하여 추가적인 직선형 냉각수로를 가진 금형과 추가적인 직선형 냉각수로 및 체적 열 흡수부를 모두 가진 금형 고려했다. 추가적인 직선형 냉각수로의 설계를 도출하기 위하여 직선형 냉각수로의 직경과 위치가 제품의 냉각 특성과 제품 품질에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 이결과로부터 냉각수로의 직경과 높이가 모두 6 mm 인 경우를 적절한 설계안으로 도출하였다. 또한 체적 열흡수의 설계를 도출하기 위하여 체적 열 흡수부의 두께가 제품 냉각특성과 변형에 미치는 영향을 고찰하였다. 이 고찰 결과 체적 열흡수 두께가 10 mm 인 경우를 적합한 설계로 선정하였다. 최종적으로 기존 금형과 추가적인 냉각수로가 부가된 금형 및 추가적인 냉각수로

와 체적 열흡수부가 부가된 금형으로 제작된 제품의 사출성형 특성, 온도 분포, 수축율 및 시간에 따른 제품 온도 변화를 비교/분석하였다. 그 결과 추가적인 냉각수로와 체적 열흡수부가 부가된 다중 슬라이스 금형을 사용할 경우, 균일/고속 냉각과 동시에 제품 품질과 생산성의 향상이 가능함을 알 수 있었다.

### 후 기

이 논문은 2011 학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

### 참고문헌

- (1) Prus, H., 1983, "Process and Machine for Over-molding Connectors on Electrical Conductors," *U.S. Patent 4383964*
- (2) Fusselman, D., Gale, R. and Horchler, D., 2001, "Electrical Connector with Over-molded Housing Member and Method of Over-molding," *U.S. Patent 6200171*
- (3) Costa, F., Fan, Z., Kennedy, P., Kietzmann, C. and Ray, S., 2005, "Three-dimensional Cooling and Warpage Simulation for the Injection Over-molding Process," *Proceedings of ANTEC 2005*, Vol. 2, pp. 146~150.
- (4) Lin, Z. C. and Chou, M. H., 2002, "Design of the Cooling Channels in Nonrectangular Plastic Flat Injection Mold," *Journal of Manufacturing System*, Vol. 21, No. 3, pp. 167~186.
- (5) Ahn, D. G. and Park, S. H., 2006, "Manufacturing of Injection Mold with a High Cooling Rate Using DMT Rapid Prototyping Process," *Proc. of 2006 KSPE Autumn Annual Meeting*, pp. 17~18.
- (6) <http://www.nasatech.com/NEWS/rpd399.xpress.html>.
- (7) Ahn, D. G. and Kim, H. W., 2007, "Investigation into Variation of Thermal Characteristics for the Mould with Multi-materials," *Proc. of 2007 KSPE Spring Annual Meeting*, pp. 223~224.
- (8) Tang, L. Q., Chassapis, C. and Manoochehri, S., 1997, "Optimal Cooling System Design for Multi-cavity Injection Molding," *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol. 26, pp. 229~251.
- (9) Min, B. H., 1999, "A Study on the Cooling System Design of Injection Mold," *Proc. of 1999 KSPE Autumn Annual Meeting*, pp. 910~913.
- (10) Knights, M., 2003, "Rapid Tooling It's Faster in Molding, too," *Plastic Technology Online Article*, pp. 1~6.
- (11) Ahn, D. G., Kim, H. W. and Lee, K. Y., 2009, "Design of the Thermally Conductive Mould to Improve Cooling Characteristics of Injection Mould for a Mouse," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 33, No. 3, pp. 201~209.