

## 방수커넥터용 열가소성-열경화성 이종소재 사출금형 개발

정태성<sup>1,#</sup> · 최경석<sup>2</sup>

### Development of Thermoplastic-Thermoset Multi Component Injection Mold for a Waterproof Connector

T. S. Jung, K. S. Choi

(Received October 6, 2015 / Revised October 27, 2015 / Accepted November 12, 2015)

#### Abstract

Based on eco-friendly advantages and the enhanced development in the chemical and physical characteristics, liquid silicone rubber (LSR) is widely used in producing precision parts in the automotive, medical, electronics, aeronautical and many other industries. In the current work, a thermoplastic-thermoset multi component injection molding (MCM) was developed for a waterproof automotive connector housing using PBT and LSR resins. Measurements of the rheological characteristics of PBT and LSR were made to improve the reliability of the numerical analysis for the multi component injection process. With the measured viscosity, pVT and curing data, numerical analysis of the multi cycle injection molding was conducted using simulation software (Sigma V5.0).

**Key Words** : Multi Component Injection Mold, Thermoplastic, Thermoset, Characteristics of PBT/LSR, Numerical Analysis

#### 1. 서론

최근 고급화 및 고기능화를 위해 2개 이상 동종 또는 이종의 재료를 사용하여 다색(multi-color)/ 다종(multi-material) 부품으로 구성된 전기/전자, 자동차, 포장재, 의료기기 등의 제품 개발이 증가하는 추세이다. 아울러, 이러한 제품을 금형 내에서 복합 성형함으로써 다기능을 갖거나 서로 다른 질감을 갖는 완제품을 한번에 제조하여 공정을 혁신적으로 단축하고 경쟁력을 높이는 기술의 적용이 점차 확대되고 있다.

특히, 다종 성형 분야에서는 LSR(liquid silicone rubber) 소재를 이용한 LIM(liquid injection molding)이 적용된 MCM(multi-component injection molding) 기술이 미국과 유럽을 중심으로 개발되어 방수커

넥터, 브레이크 부품, 크랭크 샤프트 모듈과 같은 자동차용 부품, 카테터나 주사기, 플런저와 같은 의료부품, 키패드나 진동 댐퍼와 같은 전자부품 등 다양한 기능성 강유 조합(rigid-flexible combination) 제품 생산에 사용되고 있다.

LSR는 친환경 열경화성 소재로서 진동 특성과 수분에 대한 저항력 등 기계적, 광학적, 열적 특성이 우수하며, 일반적인 가황형 고무에 비해 품질 안정성이 높고, 혼합 공정 삭감과 빠른 경화 특성으로 성형 시간의 대폭적인 단축 및 공정의 자동화를 꾀할 수 있는 이점이 있다[1, 2].

본 연구는 열경화성 소재인 LSR과 열가소성 수지를 동시에 성형하는 다종사출 공정을 통하여 자동차용 방수커넥터용 하우징(housing)과 방수씰(connector seal)을 하나의 금형에서 조립된 형태로 생산하기 위

1. 인하공업전문대학 기계설계과

2. ㈜케이유엠

# Corresponding Author : Department of Mechanical Design, Inha Technical College, E-mail: tsjung@inhac.kr

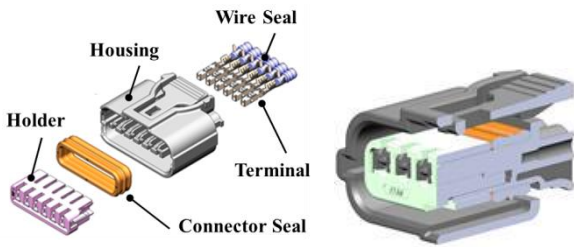


Fig. 1 Structure of water proof connector(male)

한 이중소재 사출금형의 개발에 관한 것이다.

기존에 별도로 이루어지던 플라스틱 하우징과 고무셀의 생산공정을 하나로 통합함으로써 금형 및 생산설비 절감, 검사 및 조립 공정수 축소, 생산시간 단축, 물류 이송공정 감소 등에 의한 원가 절감과 우수한 기밀성 확보, 부품간 유격 제거, 이송중 부품 이탈 문제 해결 등을 통해 품질 안정화를 기대 할 수 있어 가격 및 품질에 대한 제품 경쟁력을 강화 할 수 있다.

본 연구에서는 이를 위하여 가열구간과 냉각 구간이 혼재하는 4 캐비티(cavity)의 열가소성/ 열경화성 수지 이중사출 금형을 개발하였으며, 전산 성형 해석을 통해 성형공정 안정화를 위한 이중사출 성형 사출금형의 온도분포와 제품 성형성을 예측하였다.

## 2. LSR-PBT 이중사출 금형

### 2.1 자동차 방수용 커넥터

자동차의 가장 중요한 부위인 엔진룸의 모든 부품과 방수가 필요한 자동차의 전 부위의 전장 부품 및 와이어 하네스에 사용되는 핵심 기능 부품으로써, Fig. 1 과 같이 열가소성 사출성형 제품인 하우징(housing), 홀더(holder), 경화성 고무성형 제품인 방수셀(connector seal/ wire seal)과 금속 재질인 단자(terminal)로 구성되어 있다. 본 연구에서의 이중 사출성형 금형은 PBT 재질의 하우징과 LSR 재질의 방수셀을 동시 성형하기 위한 것으로 생산성 향상을 위하여 4 캐비티로 제작되었다.

### 2.2 MCM 이중사출 금형 구조

Fig. 2 는 본 연구에서 개발된 PBT-LSR 이중사출 성형 금형의 개략도이며, Table 1 는 중요 부품의 명칭과 부품번호, 재질을 보여준다. 개발 금형은 단열판으로 분리된 두 개의 성형 구역을 가지며, 실리콘

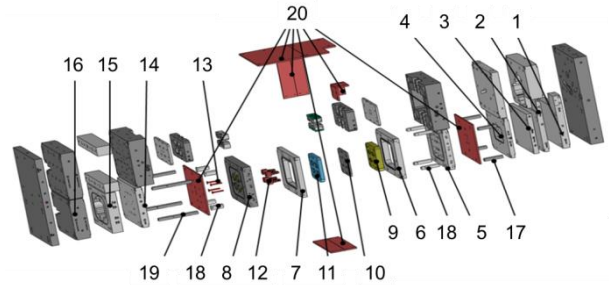
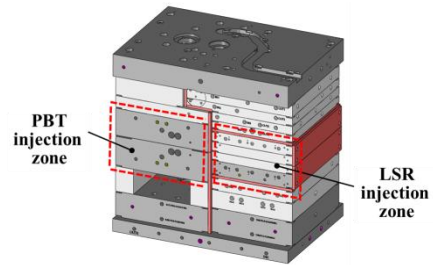


Fig. 2 4 Cavity LSR-PBT MCM Mold

Table 1 Structure of 4 Cavity LSR-PBT MCM Mold

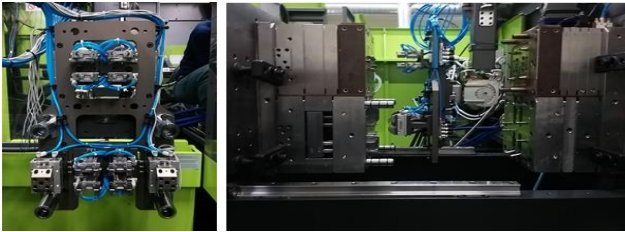
NO	Part Name	Material
1,2,3,4	Fixed Plate	NAK80
5	Upper Heating Plate	NAK80
6,7	Cover Plate	NAK80
8	Lower Heating Plate	NAK80
9,10,11	Core Plate	SLD MAGIC
12	Core	SLD MAGIC
13	Inner Heater	NAK80
14,15,16	Moving Plate	NAK80
17	Fixed Pin	SUJ2
18	Guide Pin & Bush	SUJ2
19	Guide Post	SUJ2
20	Isolation Plate	-

의 경화를 위하여 상하 측에 각각 5 개씩 10 개, LSR 성형코어의 내부에 4 개의 카트리지 히터를 설치하였으며, 실리콘 수지의 경화 온도는 약 170℃ 정도이며, 성형면의 온도 제어 정도는 ±5℃이고, 냉각수의 온도는 23±2℃이다.

본 연구에서의 다중사출 공정은 1 차로 열가소성 수지인 PBT 로 성형된 커넥터의 하우징을 로봇시스템을 이용하여 취출 후 2 차 LSR 성형용 코어에



(a) 4 Cavity LSR-PBT MCM Mold



(b) Ejecting robot system

Fig. 3 Photograph of Developed MCM Mold System

삽입하고, 하우징의 내측면에 방수셀을 성형하는 공정으로 이루어 지도록 설계되었다. Fig. 3은 개발된 4 캐비티 PBT-LSR 이종사출 성형 금형의 상하측 사진과 공정간 취출 이송을 위한 로봇시스템을 보여준다.

이종사출 성형기에서 하우징 및 방수셀의 성형이 완료된 제품은 이송로봇을 사용하여 검사용 지그에 안착 후 광센서로 제품을 확인하고, 컨베이어를 통해 이송하면서 금속 검출기를 통한 제품 내부 금속 물질 유, 무 검사, 방수 커넥터의 기능성 검사인 기밀성 검사, 영상을 이용한 LSR 콜드런너 게이트 버(gate burr) 형상검사, 사출품 미성형, 방수셀 형상 검사를 실시하게 된다. 또한, 실시간으로 금형을 보호하고 성형공정을 감시하기 위해 금속 검출기와 적외선 조명 및 필터를 적용한 카메라를 설치하였다.

### 3. 성형 공정 예측

#### 3.1 수지 물성 측정

사출성형 해석에서 수지 물성 데이터의 정확성은 해석 신뢰성을 증대시키기 위한 주요 인자이며, 실제 제품에 사용되는 수지와 성형해석에 적용한 소재의 유동특성이 상이한 경우 해석결과에 대한 신뢰성은 크게 떨어지고 해석을 이용한 공정예측이

불가능해진다[3]. 본 연구에서는 정확한 성형 공정 예측을 위하여 사용되는 LSR 과 PBT 수지에 대하여 유연화적 물성을 측정하였다.

LSR 의 비열은 열경화성 수지의 경화 반응 거동에 따라서 경화 반응 전, 경화 반응 중, 경화 반응 종료 상태에 따라서 상이하며, 경화 반응 전의 비열, 경화 반응 중의 비열, 경화 반응 후의 비열을 측정하여 해석용 데이터로 사용하여야 한다. 본 연구에서는 DSC(differential scanning calorimetry)를 이용하여 적용된 LSR 수지(GE gayer silicones, LSR 2740 TP3783)에 대한 비열을 측정했다.

또한, LSR 수지는 일반적인 열가소성 수지와 달리 경화 반응에 따라서 액상에서 고상으로의 상변화가 발생하게 되며, 그에 따라 수지의 흐름성이 결정되게 된다. 경화 반응 속도는 금형으로부터 공급되는 열량에 따라 제어되므로 등온 및 비등온 상태에서의 경화도 거동을 분석하여 해석에 적합한 데이터를 구축하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 DSC를 통한 LSR 수지의 경화 반응 특성을 측정했으며 측정된 결과는 비선형 회귀 분석을 통해서 수식 (1)과 같은 Kamal model에 적합한 계수로 구성하였다.

여기서,  $\alpha$  는 경화도(degree of cure),  $k$  는 반응속도 상수(reaction rate constant),  $R$  은 기체상수 8.3145J/mol-K,  $T$  는 절대온도(absolute temperature)이며, 실험을 통해 얻어진 활성화에너지(activation energy)  $E_i$ 와 상수  $m$ ,  $n$ ,  $a_i$  는 표 2와 같다.

$$\frac{d\alpha}{dt} = (k_1 + k_2\alpha^n)(1-\alpha)^m, \quad k_i = a_i \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right) \quad (1)$$

Table 2 Coefficient of Kamal Model for LSR

m	-	1.29586
n	-	1.86315
$a_1$	[1/sec]	$1.38813 \times 10^{-2}$
$a_2$	[1/sec]	$2.27162 \times 10^9$
$E_1$	[J/mol]	$1.25452 \times 10^5$
$E_2$	[J/mol]	$7.32022E \times 10^4$

LSR 수지의 경화 반응은 외부로부터의 에너지가 일정 수준 이상 공급되어야만 반응이 시작되는 경화 지연 특성을 지닌다. 전체 경화도 중 5%가 경화되는 시간을 경화 거동 시점으로 보고 경화 반응

지연 특성을 수식 (2)와 같은 형태로 반영하였다. 실험으로 얻어진  $T_0$  와  $t_0$  값은 각각  $1.3764 \times 10^4$  K,  $3.7726 \times 10^{-15}$  sec 이다.

$$t_i = t_0 \exp\left(\frac{T_0}{T}\right), \quad \bar{t} = \int_0^i \frac{dt}{t_i} \quad (2)$$

본 연구의 MCM 공정은 1 차 성형된 열가소성 수지 부품이 열경화성 수지 성형부로 이송된 후 인서트 되어 2 차 열경화성 수지 부품 성형 시 적용된다. 따라서, 최종 제품의 품질 안정화를 위해서는 1 차 성형되는 열가소성 수지 부품에 대한 사전 예측 작업이 필수적이다. 본 연구에서는 1 차 성형 공정에서 발생할 수 있는 물리적 변화 및 제품 불량을 사전에 예측하기 위하여 1 차 성형 수지인 PBT(삼양사, PBT Tribit 1500G10K)의 유연학적 특성, 열적 특성 및 결정화 특성에 대해서 측정하였으며, 측정된 데이터는 여러 성형해석 소프트웨어에서 사용될 수 있도록 정형화된 형태의 데이터베이스로 구축했다.

### 3.2 1차 사출 성형 해석

초기에 실은 상태인 금형이 사출기에 장착되어 일정한 횟수의 사출 공정을 거치고 나면 각 부분이 열적으로 평형한 상태가 되어 매 사출공정마다 각 부분의 온도가 일정한 범위 내에서 변하게 된다. 그러나, 일반적으로 전산 성형해석을 수행하는 경우 해석시간의 문제로 인하여 이러한 변화를 고려하지 않고 금형 코어나 플레이트의 온도가 일정하다는 가정 하에 해석을 수행하기 때문에 실제 사출과 차이를 보이게 된다.

본 연구에서는 전산 성형해석은 독일 Magma 사의 Sigma V5.0 를 사용하여 PBT 제품의 성형해석을 한 후 이 결과를 바탕으로 LSR 제품의 성형해석이 되도록 2 단계로 수행하였으며, 해석의 정확성을 기하기 위하여 초기 금형 온도 설정 후 11 사이클(cycle)의 연속 공정해석을 진행하였다.

PBT 수지로 성형되는 커넥터 하우징 제품부는 핫런너(hot runner)와 터널 게이트로 구성된 유동기구를 통해 4개의 부품이 동시에 성형되며 각 부품을 식별하기 위한 번호는 그림에 표시되어 있다. Table 3 와 4은 성형해석을 위한 초기 온도와 성형공정 조건을 보여준다.

성형 공정이 진행된 후 해석으로 예측된 금형 코

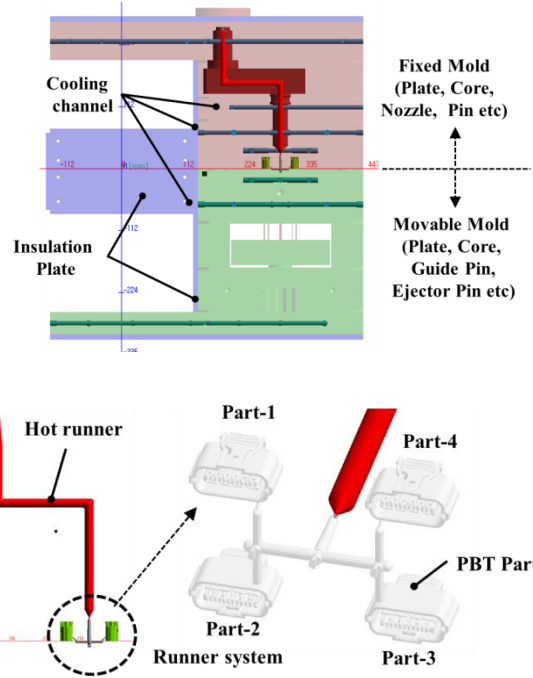


Fig. 4 Connector housing(PBT) part injection zone

Table 3 Initial Mold Temperature

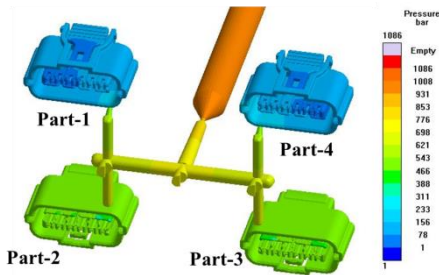
Resin melting temperature(PBT)	275 °C
Hot runner manifold block, nozzle & coil	275 °C
Mold parts(include Insulation plate)	23 °C
Cooling water	70 °C

Table 4 PBT Injection Conditions

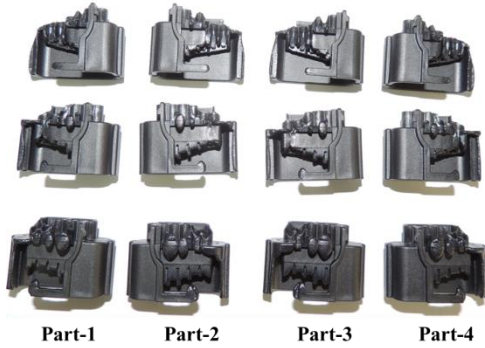
Injection time	1.21s
Flow rate	16cm <sup>3</sup> /s
Packing pressure/ time	560bar/ 6s
Cooling time	46.5s
Mold opening/ closing time	2s
Insert moving time	25s

어부의 온도는 전체적으로 약 60~78 °C 분포를 보여 주는데 공기에 노출되어 있는 쪽의 온도가 단열판이 위치한 쪽 온도보다 낮은 상태이다. 해석에서 충전시간(filling time)은 약 1.211초가 소요될 것으로 예측되며, 실제 사출과는 0.23초 차이가 있었다. 이 때 최대 사출압은 994.4bar로 예측된다.





(a) Pressure of 4 cavity (at end of fill)



(b) Short shot

Fig. 5 filling pattern of 4 cavity

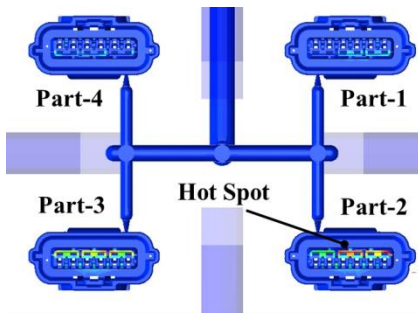


Fig. 6 Hot spot of Core #2, #3

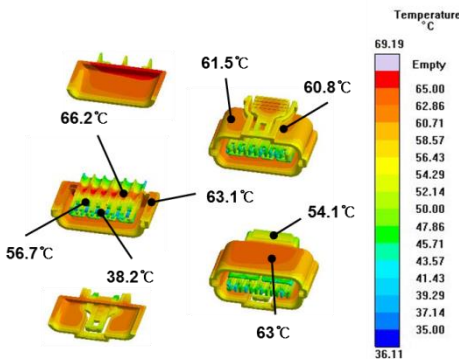


Fig. 7 Surface temperature of connector housing(at 25sec after ejection)

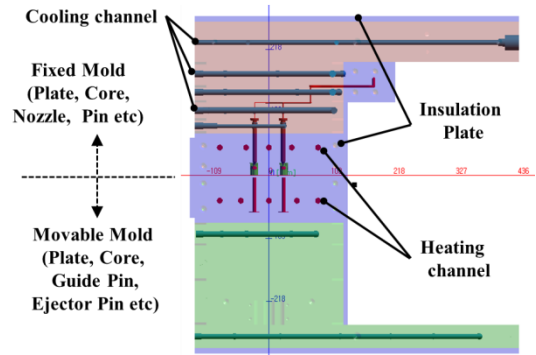


Fig. 8 Connector seal(LSR) part injection zone

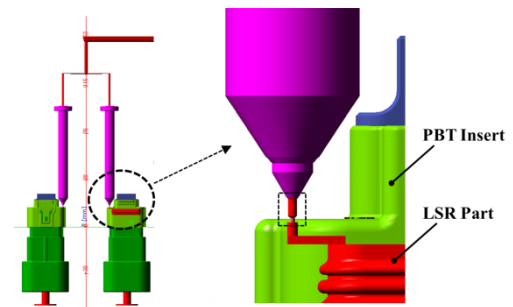


Fig. 9 Cold runner nozzle

Fig. 5 는 충전 완료 시 각 캐비티별 압력을 보여 주는데 Part 2, 3 이 먼저 충전 되고, 그 후 Part 1, 4 순으로 충전됨에 따라 각 캐비티별 압력 편차가 발생됨을 예측할 수 있으며, 미성형 시험에서도 동일한 현상을 확인할 수 있다.

이는 Fig. 6과 같이 냉각 채널이 설치되지 못한 금형의 하부에 금형 벽면 온도가 48~88°C까지 분포되는 Hot spot이 존재하기 때문에 제품의 성형성, 치수 안정성 또는 2차 열경화성 제품의 성형시 문제가 발생할 수 있는 가능성이 있음을 알 수 있으며, 이를 보정하기 위하여 냉각회로를 보완하였다.

취출 후 25초가 지나면 커넥터 하우징의 표면 온도는 약 60~64°C 분포를 보일 것으로 예측 되었으며, 제품 상층 내부 온도가 높아 냉각 속도 편차에 의해 등변 사다리꼴 형태의 변형이 예상된다.

### 3.3 2차 사출 성형 해석

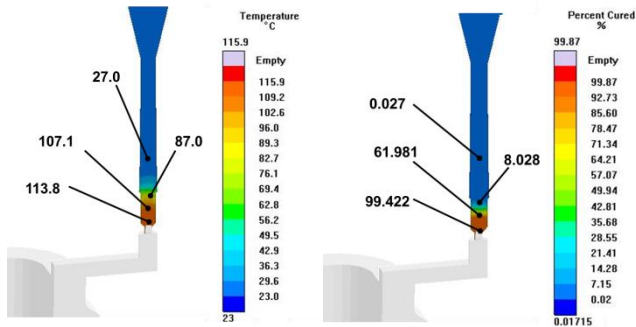
LSR 수지로 성형되는 방수씰 제품부 또한 커넥터 하우징과 같이 총 4 캐비티로 구성되어 있으며, 오픈게이트(open gate)형태의 콜드런너(cold runner)를 통해 LSR이 공급된다. 콜드런너와 금형의 접촉부 및 게이트 설정 위치에 대한 상세한 사항을 다음과 같다.

**Table 5 Initial Mold Temperature**

Resin temperature(LSR)	25 °C
Cold runner nozzle	23 °C
Mold parts(include Insulation plate)	23 °C
Cooling water(Mold/ Cold runner)	70 °C/23 °C
Heater(Fixed/ Movable)	165 °C/ 163 °C
Connector housing(PBT)	60 °C

**Table 6 LSR Injection Conditions**

Injection time	0.88s
Flow rate	1.85cm <sup>3</sup> /s
Curing time	52.5s
Mold opening/ closing time	2s
Insert moving time	25s

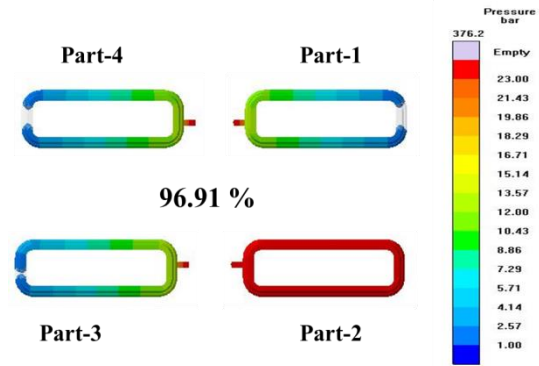


(a) Temperature (b) Degree of cure  
**Fig.10 Cold runner nozzle**

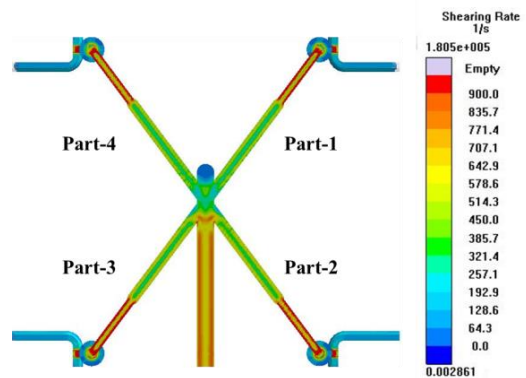
Table 5 와 6 은 성형해석을 위한 초기 온도와 성형 해석 조건을 보여준다. 10 회 의 성형 공정이 진행된 후 해석으로 예측된 콜드런너 영역의 온도는 약 23 ~31 °C 분포를 보였으며, 상/하측 히팅 채널의 온도를 165, 163 °C 로 제어할 때, 상/하측 금형 온도는 약 150~155 °C 로 분포된다.

Fig. 10 은 사출 직전 노즐 팁 부의 온도와 경화도를 보여주는데, 콜드런너 노즐 팁의 최대 온도가 114 °C 까지 상승되고 말단부 LSR 이 99% 이상 경화되어, 초기 사출압 증가의 원인으로 작용함을 예측할 수 있다.

콜드런너 팁 부의 초기 경화로 인하여 수지가 노즐부를 통과 시 최대 사출압은 1450bar에 도달할 것으로 예측되며, 이후 급격히 사출압이 감소하였다가



**Fig.11 Filling Pattern**



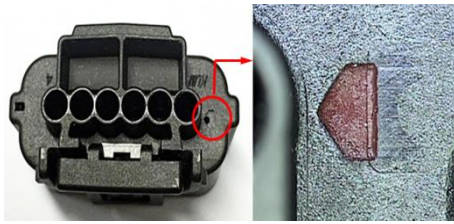
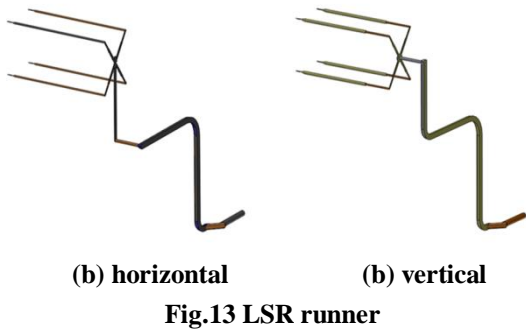
**Fig.12 Shear rate of LSR runner**

제품부 유동 시에는 최대 470bar가 요구되고, 평균 301bar의 낮은 압력으로 사출된다.

Fig. 11은 각 캐비티 별 충전 패턴을 표시하는데, Part 2, 3 이 먼저 충전 되고, 그 후 Part 4, 1 순으로 충전됨에 따라 각 캐비티별 압력 편차가 발생됨을 예측할 수 있다.

이는 Fig. 12에서와 같이 1차 콜드 런너에서 X 자 분기로 유동 시 Part 2, 3 쪽으로 전단률이 높은 수지가 유동되기 때문에 생기는 현상이다. 전단률에 의한 전단열이 발생하면서 Part 2, 3 쪽 수지의 온도는 높아지고 점도는 낮아지면서 Part 2, 3 의 유동이 빨라져 유동 불균형(flow unbalance)이 발생한 것으로 예측된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 Fig. 13과 같이 런너의 형상을 수직 분기형으로 변경하였으며, 충전 말단부에 가스벤트(gas vent)와 오버플로우(overflow) 홀을 설치하여 유동선단에 몰린 공기와 가스가 제품 기능부 밖으로 밀려 나갈 수 있도록 하였다.

Fig. 14는 본 연구를 통하여 제작된 방수형 커넥터의 형상과 단면을 보여준다.



본 연구에서 개발된 커넥터에 대하여 방수성 시험을 실시하였다. 방수성 시험은 상대 체결된 커넥터 하우징의 외부를 실리콘으로 완전 밀봉하고 수조 속에 넣은 후 커넥터 내부에 공기압을 서서히 가하여 기포가 발생할 시점까지의 압력을 측정하여 기포가 발생할 때 압력수치가 방수커넥터의 요구수준을 만족하는지에 대해 평가하였다. 순간적인 기포 배출을 정확하게 확인하기 위해 고속카메라를 설치하여 압력증가에 따른 기포배출과정을 관찰하였으며, 시험결과 환경 내구성 후 전 밀봉력 2.0kgf/cm<sup>2</sup>, 내구성 후 0.5kgf/cm<sup>2</sup>를 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 방수기능의 커넥터 하우징을 생산하기 위한 열가소성 수지인 PBT와 열경화성 LSR의 다중사출 금형을 개발하였다.

개발된 금형은 열경화성 수지의 경화를 위한 가열과 열가소성수지의 고화를 위한 냉각이 혼재한 4캐비티 금형으로서 LSR의 유동을 오픈 게이트 형식의 콜드런너를 가지고 있다.

전산 성형해석을 통하여 다중사출 성형공정에서 금형의 온도분포와 제품 성형성을 예측하였으며, 성형해석의 신뢰성 향상을 위해 실제 성형에서 사용하는 수지의 열적, 유변학적 물성을 측정하였고, 초기 금형 온도를 설정 후 11Cycle의 연속 공정해석을 진행하였다. 열전달을 고려한 전산 성형해석은 먼저 PBT제품의 성형해석을 한 후 이 결과를 바탕으로 LSR제품의 성형해석이 되도록 2단계를 거쳐 수행하였다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업원천기술개발 ‘방수제품용 복합 열가소성/열경화성 이종소재 정밀사출 금형 기술개발(과제 번호: 10042755)’의 연구결과임.

## REFERENCES

- [1] H. P. Park, B. S. Cha, J. W. Lee, Y. B. Ko, S. G. Kim, T. S. Jung, D. H. Kim, B. O. Rhee, 2014, Effects of Variation in Process Parameters on Cavity Pressure and Mechanical Strength of Molded Parts in LSR Injection Molding, J. Kor. Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol.23, No.2, pp. 206~212.
- [2] S. H. Lee, J. W. Lee, J. J. Kang, 2011, Proc. Spring Conf., Kor. Soc. Manuf. Technol. Eng., Kor. Soc. Mech. Eng., Seoul, Korea, pp. 138~139.
- [3] T. S. Jung, J. S. Kim, S. J. Ha, M. W. Cho, 2014, Measurement of Viscosity and Numerical Analysis of High Speed Injection Molding for Thin-Walled LGP, Trans. Mater. Process., Vol.23, No.1, pp. 41~48.