

논문

# 감압냉각장치를 이용한 다이캐스팅 금형의 냉각성능평가

김억수 \* · 박주열 \*\* · 김용현 \*\* · 손기만 · 이광학

울산대학교 자동차선박대학원  
\*한국생산기술연구원 친환경정정기술지원센터  
\*\*동남정밀(주) 기술연구소

## Evaluation of Diecasting Mold Cooling Ability by Decompression Cooling System

Eok-Soo Kim\*, Joo-Yul Park\*\*, Yong-Hyun Kim\*\*, Gi-Man Son, and Kwang-Hak Lee

Institute of e-Vehicle Technology, University of Ulsan

\*Green Technology Service Center, KITECH

\*\*Dong Nam Precision Co. LTD., R&D Center

### Abstract

This study has been carried out to investigate the cooling ability improvement of diecasting mold by decompression cooling system. The decompression cooling system was applied to the new/used oil pump cover molds. The temperature of the surface mold applied the decompression cooling system fell to 15 degrees, especially in case of the used mold. The defect ratio of the oil pump cover manufactured by decompression cooling system has decreased from 2.8 percent to 0.2 percent. According to the results of the cooling ability improvement of diecasting mold by decompression cooling system, the decompression degree and supply pressure were set up the control item to apply the decompression cooling system to the diecasting mold in the industry field.

**Key words :** Die casting, Mold cooling, Decompression cooling system.

(Received October 6, 2009 ; Accepted October 23, 2009)

### 1. 서 론

다이캐스팅에서 적정 금형온도 유지는 생산성 면에서 매우 중요하며, 또한 품질에 미치는 영향이 지대하다. 금형온도가 너무 낮으면 용탕충전성이 나빠지고, 너무 높으면 충전성은 개선되나 응고시간이 길어지고 응고수축이 많아져 금형의 균열발생이 심해지게 된다. 따라서 이러한 사항을 우선 고려한 후 합금의 종류, 제품의 형상, 금형의 구조에 따라 최적의 냉각설계를 하여야 한다[1~8].

다이캐스팅 금형의 유지온도는 통상 150~200°C 내외이나(표면온도는 이보다 높으며, 위치에 따라서 다름), 반복되는 사이클에서 이 온도를 유지하기 위해서는 금형에 적절한 냉각을 하지 않으면 안 된다. 즉, 주입된 용탕이 금형 내에서 응고·냉각되는데 이때 용탕으로부터 금형에 전달되는 열량과 목표 금형온도 및 취출 시의 제품온도를 알면 냉각수로의 설계를 할 수 있다. 금형 냉각 설계는 다음의 사항을 고려한다.

- 주조 1시간의 쇼트에 의하여 금형에 전달되는 열량계산
- 적절한 캐비티 면의 금형온도를 유지할 때의 냉각수로 위치 계산

· 적절한 금형온도를 유지하기 위한 냉각수로의 용량 계산(직경과 길이)

여기서 유의하여야 할 사항은 실제로 금형온도의 관리 포인트는 한군데(고정형, 가동형 각각 1곳)이고, 캐비티면 또는 내부의 어느 곳의 한 점이 될 수밖에 없는데, 금형 냉각 설계시 통상 캐비티 표면의 온도가 금형 유지온도가 아니고, 냉각수관 주위의 온도를 금형온도로 간주한다. 금형 표면의 대표적인 온도는 표면온도계로 측정할 수 있으나, 연속적으로 측정, 제어하는 경우에는 금형 중에 열전대를 삽입하는 방법이 일반적이다.

금형온도에 따른 사이클 타임의 계산은 냉각해석 소프트웨어 또는 실측에 의한다. 소프트웨어 사용[9] 시는 일정 금형온도 유지 시의 1회 응고·냉각시간을 계산하여 그 결과 온도분포를 보면 제품 표면 특정부의 온도가 취출온도(대략 300~350°C)에 도달하였을 때의 시간을 알 수 있으므로 적절한 사이클 타임을 추정할 수 있다. 즉 금형온도를 적정 유지온도로 낮추기 위해서는 냉각이 필요한데, 냉각수관의 금형 표면에서의 위치 및 길이, 직경은 이 소프트웨어에서 적당한 크기로 입력, 반복 계산에 의하여 수정이 가능하다. 한편, 응고시간은 제품과 냉각공 거리의 제공에 비례하므로 금형설계시 주조방안을 고려하여

\*E-mail : osgim@kitech.re.kr

빠른 냉각속도를 얻기 위해서는 금형 캐비티면에 보다 더 가까이 냉각공을 설치하는 것이 좋다. 그러나 현재의 금형설계는 금형균열에 의한 누수위험 때문에 통상 캐비티면에서 20 mm 이상 이격시켜서 만들어야 하는 제약을 가지고 있다. 특히 슬리브, 분류자, plunger tip의 누수는 제품품질에 미치는 영향이 매우 크다. 또 냉각관 내부는 냉각수 함유성분중의 증발잔류물 Ca, Mg, SiO<sub>2</sub>등이나 스케일 및 기타 이물질에 의한 관 막힘이 생겨 냉각수가 통수되지 않을 수 있으며, 통수되어도 냉각효율이 좋지 않게 되며, 이들 퇴적물은 통상 고압수나 압축공기에 의해서 제거되지 않을 정도로 강하게 고착되어 있다. 국내 주조공장은 대부분 옥외수조를 설치, 냉각수를 냉각탑에서 냉각하여 금형 및 장비에 공급하는 순환식 시스템이다. 이러한 중앙집중식 시스템에서는 배관위치에 따라 냉각수량이 다를 수 있고, 일부 공정만 가동을 요하는 경우에도 전체 냉각설비가 가동되어야 하는 단점이 있다.

이러한 금형설계[10]와 생산에서의 제약에도 불구하고 국내에서는 달리 금형의 냉각계에 대한 연구가 현재로서는 진행되고 있지 않으며, 균열 발생 시 단지 냉각관의 통수를 중단하고 외냉을 통해 해결함으로써 사이클 시간이 연장되어 생산성이 저하하고, 또 용손, 소착에 의한 금형의 노후화를 더욱 가속시키며, 또한 금형수리 및 가동비용을 증가시키는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 금형의 수명을 향상시키고 동시에 생산성향상을 동시에 이룰 수 있는 방안의 하나로 금형의 냉각공에 감압 냉각시스템을 적용하는 시스템을 고안하여 감압냉각 전후의 금형 냉각성능과 시제품에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 전산모사를 통한 냉각효과 분석

본 연구에서 감압냉각시스템을 적용할 품목으로 자동차 자동 변속기 부품 중 하나인 Oil pump cover를 선정하였는데, 그

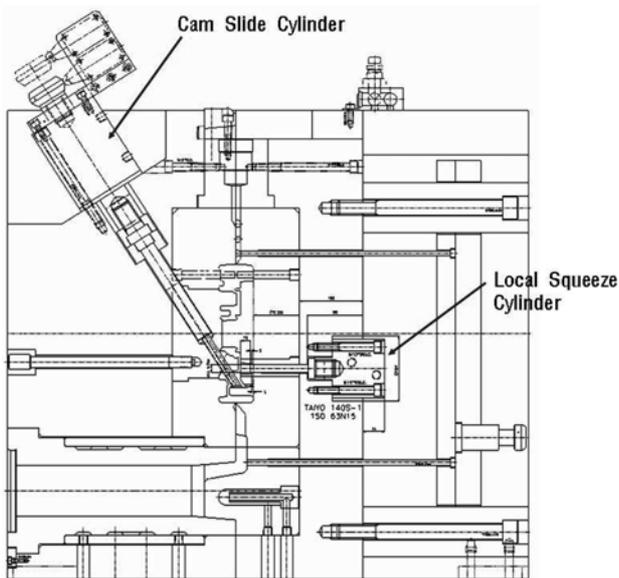


Fig. 1. Drawing of Oil pump cover mold.

이유는 이 품목이 under-cut형상이 존재하고 요구 품질 수준이 높기 때문에 Fig. 1에서 보는 바와 같이 cam slide core 실린더 및 국부가압 실린더가 금형내부에 배치되는 구조로 되어 있어 금형 내 냉각수로 충분히 확보하고 있지 못하기 때문이다.

전산모사[9]에서 온도변화를 확인하기 위해 Fig. 2에 보인 바와 같이 금형내부에 가상의 열전대를 3개소 설치하였다. 일반적으로 다이캐스팅에서 가장 과열되는 부위는 게이트부이기 때문에 열전대 1, 2를 게이트부 주변의 냉각수로 사이에 설치하였는데 열전대1 주변의 냉각수로 사이즈는 Ø8 mm이며, 열전대2 주변의 냉각수로 사이즈는 Ø15 mm이다. 열전대3은 금형 구조적으로 냉각수로가 설치되지 못하는 부위에 설치하였으며, 이 가상열전대 3개소 모두 제품부에 근접하게 위치하도록 설정하였다.

전산모사 조건은 총 4가지로 설정하였는데, 감압냉각을 적용하기 전과 후로 구분하고 각각의 조건에서 금형의 노후정도를 감안하여 신작금형과 금형수명이 약 50% (50,000shots) 이상 진행된 노후금형에 있어 냉각성능을 분석하였다. 이는 금형의 노후에 따라 금형 냉각수로 내부에 스케일, 경막 등이 발생하여 냉각능력이 급속도로 저하되기 때문이다. 전산모사에 사용된 software는 MAGMASoft를 사용하였으며, 초기 금형온도는 일반적으로 안정적인 금형온도로 알려져 있는 200°C로 설정하였고, 15초경과 후 금형 열림, 17초경과 후 제품이 취출되는 것으로 설정하였다.

### 2.2 감압냉각시스템 설계

감압 냉각시스템은 통상적으로 중앙집중식으로 되어 있는 냉각수 순환방식을 각 장비별로 별도의 냉각 수조를 설치하고, 금형으로의 냉각수 공급은 단순히 수압에 의존하는 것이 아니라 펌프를 사용하여 강제 통수시키는 것이 주요한 개념이다. Fig. 3에 그 모식을 나타내었다.

실제 설계상에서는 기압용 펌프와 흡인용 펌프를 따로 설계하였는데 이는 금형 냉각공 내부에 균열이 발생하였을 경우 기압펌프만 사용할 경우 냉각공 내부의 압력이 높아져 균열을 통하여 냉각수가 캐비티 내부로 누수될 가능성이 높다. 이를 방지하기 위하여 흡인펌프를 별도로 설치, 금형 냉각공 내압력

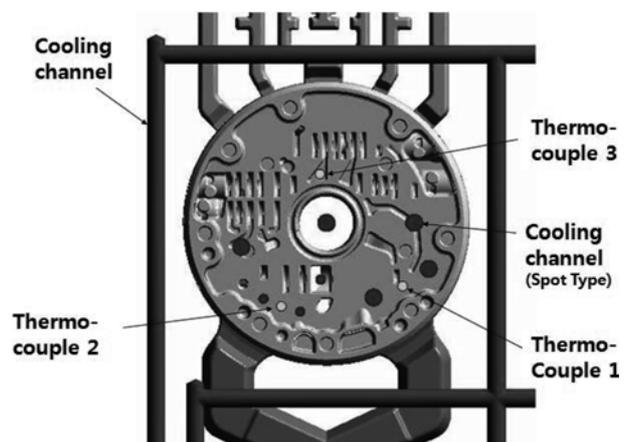


Fig. 2. Cooling channel and Thermocouple position.

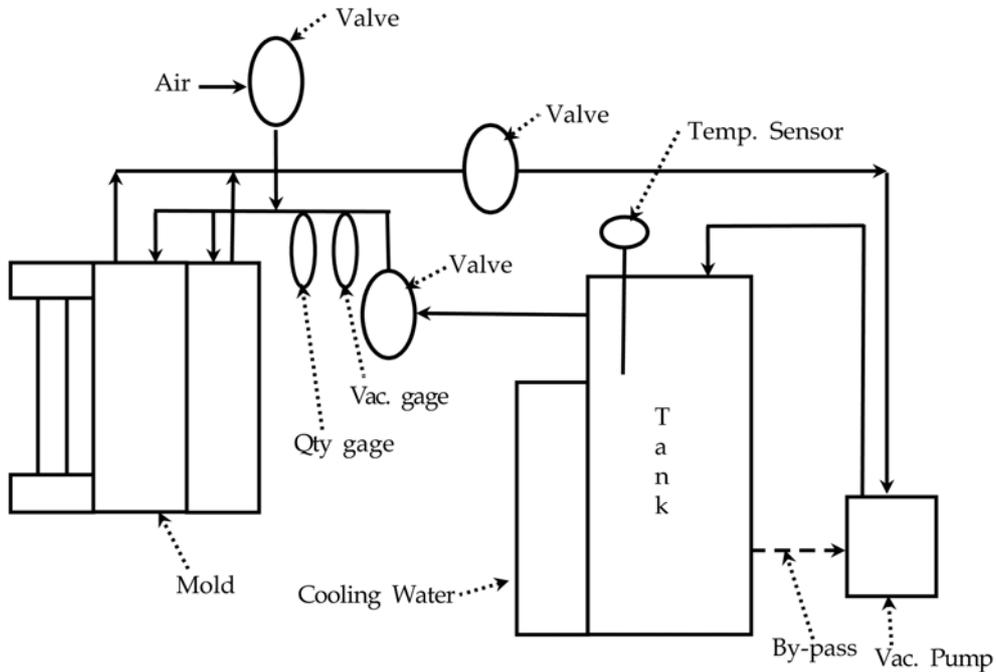
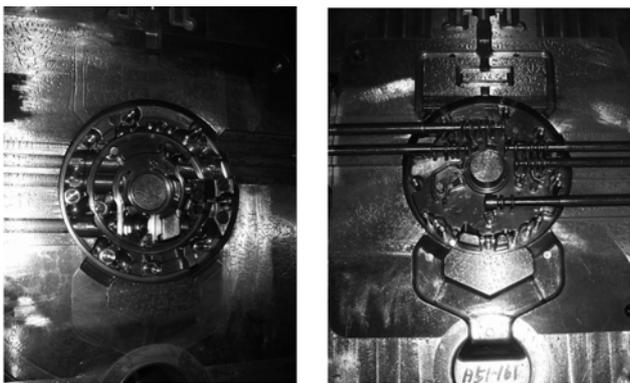


Fig. 3. Mimetic diagram of Decompression cooling system.



(a) Fixed die(mold) (b) Moving die(mold)

Fig. 4. Die casting mold of Oil pump cover.

상승을 억제하고 냉각수 통수가 더욱더 원활할 수 있도록 구성하였다. 감압냉각장치는 크게 2부분으로 냉각수를 순환시키는 설비와 냉각수를 냉각시키기 위한 설비로 구성되어 있다. 냉각수 순환 설비 내부에는 2개의 펌프(가압, 흡인)가 설치되어 있으며, 이 펌프를 통해 냉각수를 금형으로 강제 통수시킨다. 그리고 냉각수의 과열을 방지하고 일정온도를 유지시키기 위하여 별도의 냉각설비를 통하여 공냉각 시킨다.

### 2.3 감압냉각시스템 적용 다이캐스팅 주조실험

본 연구의 실험대상 품목인 Oil pump cover의 금형 사진을 Fig. 4에 나타내었다. 제품부 홀 형상을 만들기 위해 양측면부 2개소에 slide core가 있으며, 외부에서는 보이지 않지만 고정 금형 내부에 cam slide core가 있고, 가동금형 내부에는 local squeeze cylinder가 설치되어 있는 구조이다.

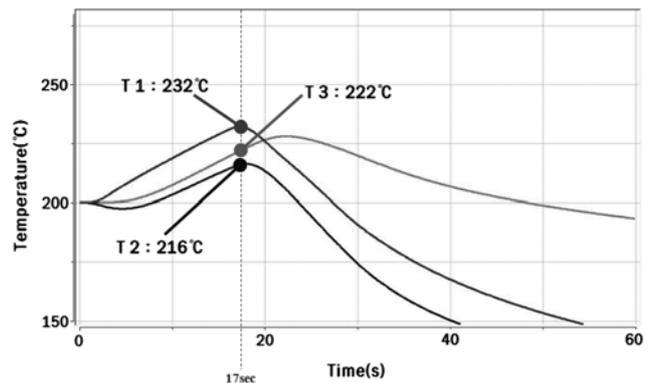


Fig. 5. Temperature distribution of New mold (Before decompression cooling system).

다이캐스팅 주조는 cold chamber type의 800ton 고압주조기를 사용하여 시주조를 행하였으며, 감압냉각시스템 적용 시 감압도는 -0.08MPa, 압송압력은 0.3~0.4MPa 이었다. 또한 감압냉각시스템의 적용에 따른 금형의 온도변화를 측정하기 위해 열화상카메라(Thermal image system, TH9100, NEC, Japan)를 사용하여 제품 취출 직후의 금형 표면온도를 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 전산모사를 통한 냉각효과 분석

본 연구의 전산모사[9] 결과에서 얻어진 각 경우의 그래프를 Fig. 5~8에 각각 나타내었으며, 그 중 제품 취출 직후 시간인 17초 경과시의 온도를 비교 분석해 보았다.

그래프에서 보듯이 열전대1의 경우 용탕이 게이트를 통해 유입되는 부분에 위치하고 있기 때문에 상대적으로 높은 온도

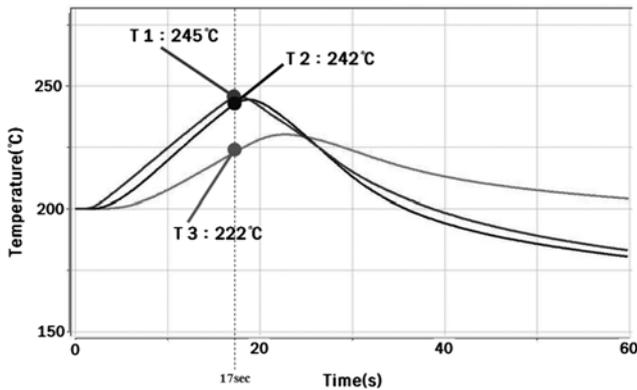


Fig. 6. Temperature distribution of Outworn mold (Before decompression cooling system).

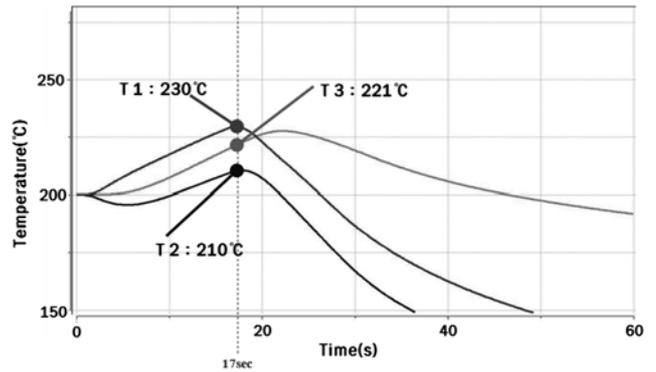


Fig. 8. Temperature distribution of Outworn mold (After decompression cooling system).

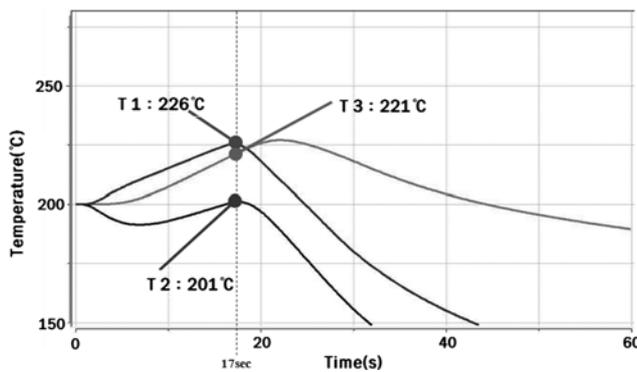


Fig. 7. Temperature distribution of New mold (After decompression cooling system).

를 나타내는데 냉각수로는 제 기능을 발휘하는 신작금형의 경우 온도가 약 232°C로 나타났으며, 노후금형의 경우 245°C까지 상승하였다. 이러한 금형에 감압냉각시스템 적용 조건으로 해석한 결과를 보면 각각 230°C 및 226°C로 나타나 6~15°C의 온도저하가 나타났다.

또한, 열전대2의 모식 결과를 보면 전체적인 온도변화 양상은 열전대1의 경우와 유사하였다(신작금형 216 → 201°C, 노후금형 242 → 210°C). 그러나 전체적으로 온도가 열전대1에 비해 낮고 온도저하 효과 또한 열전대1에 비해 큰 것으로 나타났다. 이는 열전대의 설치 위치와 냉각수로간의 이격거리에 따라 그 차이가 크기 때문인 것으로 추정된다. 또한, 노후금형의 금형온도 상승의 요인은 신작금형에 비하여 냉각관 내부가 냉각수 함유성분중의 증발잔류물 Ca, Mg, SiO<sub>2</sub> 등이나 스케일 및 기타 이물질에 의한 관 막힘이 생겨 냉각효율이 떨어진 결과로 추정된다. 그러나 본 연구에서 고안된 감압 냉각시스템이 적용된 노후금형에서는 냉각후 감압pump로 금형내부의 잔류 냉각수를 완전히 제거 후 금형을 사용, 보관함으로써 금형 노후화에 따른 스케일발생이 현저하게 줄어든 결과로 감압 냉각 시스템을 적용하지 않은 노후금형과는 확연하게 금형온도 차이를 보인 것으로 추정된다.

반면 열전대3의 경우 금형의 노후정도, 감압냉각시스템의 적용 유무에 관계없이 거의 일정한 값을 확인할 수 있는데 이는

열전대3이 금형구조상 냉각수로를 설치할 수 없는 곳에 설치되었기 때문에 근본적으로 냉각수에 의한 냉각효과가 나타나지 않은 결과로 생각된다.

### 3.2 다이캐스팅 시주조 금형온도 분석

본 연구의 시험대상 품목인 oil pump cover의 금형을 이용하여 800ton 고압주조기에서 시주조를 행하였으며, 감압 냉각 시스템 적용시 감압도는 -0.08MPa, 압송압력은 0.3~0.4MPa 이었다.

감압 냉각시스템의 적용에 따른 금형의 온도변화를 열화상카메라로 촬영하여 표면온도 변화를 Fig. 9에 나타내었으며, 그 결과를 전산모사 결과와 비교하여 보면 전체적인 온도분포 패턴은 전산모사 결과와 비슷하게 나타났다. 즉 냉각수로는 집중적으로 배치되어 있는 제품 하부는 감압냉각의 적용, 금형 노후 등 외부 요인에 의해 온도편차가 심하게 나타난 반면, 금형구조상 냉각수로를 설치할 수 없는 상부 지역은 큰 차이 없이 비슷하게 나타났다.

또한 전체적으로 전산모사 결과보다 온도가 전반적으로 조금 더 높게 나타났는데 이는 열화상카메라 촬영이 금형의 표면온도를 측정하는 것임에 비해 전산모사 조건은 금형 내부온도를 측정하는 것이었기 때문에 이 부분에서 온도차이가 발생한 것으로 판단된다.

이러한 결과로 볼 때 감압 냉각시스템은 특히 금형의 노후로 인해 냉각성능이 저하되는 것을 방지하는데 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각되며, 전체적으로 금형온도를 안정화시킬 수 있기 때문에 신작금형부터 사용할 경우 금형수명 향상에도 기여할 수 있을 것으로 추정된다.

### 3.3 다이캐스팅 시제품 분석을 통한 냉각효과 검증

다이캐스팅 시주조를 통해 제작한 시제품 중 노후금형에서 제조된 제품을 대상으로 품질분석을 실시하여 감압 냉각시스템의 효과를 간접 비교하였다.

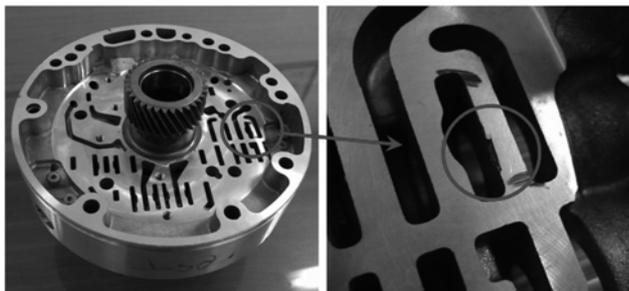
Fig. 10에 감압 냉각시스템을 적용하지 않은 금형에서 생산된 시제품에 대한 기계 가공한 결과를 나타내었다. 사진에서 보는 바와 같이 가공 후 내부에 응고수축에 기인한 것으로 추정되는 내부결함이 발생한 것을 확인하였고(Fig. 10-a참조), 먼

	New mold	Outworn mold
Before decompression cooling system		
After decompression cooling system		

Fig. 9. Surface temperature comparison between before and after apply decompression cooling system.



(a) Inner shrinkage of Machining hole



(b) Peeling defect of Machining surface

Fig. 10. Casting defects of apply decompression cooling system before.

삭 가공 표면에서도 금형소착에 기인한 것으로 판단되는 박리 문제가 발생하였다(Fig. 10-b참조). 이러한 결함들은 금형의 표



Fig. 11. Sound castings of apply decompression cooling system.

면온도가 직접적인 원인이 되기 때문에 금형온도 관리가 매우 중요한 항목이다. 그에 비해 Fig. 11의 감압 냉각시스템의 적용에 의한 시제품의 가공 홀 내부와 가공면 면삭 검사의 결과에서는 주조결함이 없는 매우 건전한 표면을 얻을 수 있었다.

따라서 이 두 가지 결함에 초점을 맞추고 감압 냉각시스템 적용 전후의 시제품을 대상으로 전수 결함조사를 실시하여 결함발생률을 비교하였으며, 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 전수조사는 감압 냉각시스템 적용 전후 생산품 각 1,000개를 대상으로 하였으며, 시제품 제작업체인 동남정밀(주)의 자체 검사 기준에 따라 불량여부를 판별하였다.

그 결과를 보면, Table 1에 나타낸 바와 같이 홀 내부결함의 경우 감압냉각 적용전 생산품 1000개 중 25개에서 발생하였으며, 표면박리의 경우 17개에서 발생하였다. 이 두 가지 결

Table 1. Comparing the incidence of defects.

	Inner shrinkage of Machining hole	Peeling defect of Machining surface	Total
Before decompression cooling system	2.5%	1.7%	2.8%
After decompression cooling system	0.1%	0.1%	0.1%

함은 대부분 한 제품에서 동시에 발생한 경우가 많아 전체 불량 발생은 28개로 불량률 2.8%를 나타내었다.

반면 감압냉각시스템을 적용하면서 생산된 1,000개 제품에 대한 전수검사 결과는 단 1개에서만 불량이 발생하였으며, 불량이 발생한 1개에서 홀 내부결함 및 표면박리가 동시에 발생하여 전체 불량률은 0.1%로 나타났다.

이러한 결과로 볼 때 다이캐스팅 품질과 생산성에 지대한 영향을 미치는 금형에 있어 노후화에 따른 감압 냉각시스템의 적용은 금형의 냉각능 향상, 금형수명 증가뿐만 아니라 불량률 저감에도 매우 효과가 높은 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

다이캐스팅 금형의 냉각성능향상을 위해 금형의 노후화에 따른 감압 냉각시스템에 대한 냉각성능 평가 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전산모사를 통해 감압 냉각시스템의 냉각성능향상 및 금형 냉각공 감압도 확인을 통하여 흡인펌프의 성능을 확인할 수 있었다.

2) 감압 냉각시스템의 효과 검증을 위하여 열화상카메라를 통해 금형표면 온도를 분석한 결과, 금형의 노후정도가 심할수

록 감압냉각의 효과가 높은 것으로 나타났다.

3) 감압 냉각시스템의 적용 전후 생산된 제품의 결함 발생률은 적용 전에 약 2.8% 및 적용 후에 약 0.1%로 홀 내부결함과 표면박리 결함 발생률이 매우 감소됨을 확인하였다.

이러한 결과로 볼 때 다이캐스팅 금형의 냉각성능 향상을 위한 감압 냉각시스템을 현장에 적용함으로써 제품의 불량률 감소 및 금형의 수명향상 등에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] E. J. Vinarcik, John willy & Sons, Inc. USA: "High Integrity Die Casting Processes", (2003) p.12
- [2] E. S. Kim, Y. M. Hong, Jour. of Industrial Technology: "Design of Conformable Injection Plunger Rod for Heat Distorted in Die Casting Process", 13, (2005), p1~8
- [3] E. S. Kim, Jour. of KFS: "Special Die Casting Technology", 17(6), (1997) p.527
- [4] S. K. Basu et al. : 16th International Die Casting Congress, (1991), Detroit
- [5] E. S. Kim, Y. H. Kim, Y. M. Hong, Jour. of Industrial Technology: "The Behaviors of chill layers with temperature variation of shot sleeve in Die Casting process", 13, (2005), p1~8
- [6] K. P. Young : 17th International Die Casting Congress, (1993), Cleveland
- [7] T. Sawai and K. Gohonjyo : Japan Die Casting Congress Transactions, JD92-03, (1992)
- [8] Y. Egoshi et al. : Japan Die Casting Congress Transactions, JD90-28, (1990)
- [9] J. Y. Park, E. S. Kim, I. M. Park, Jour. of KFS: : "Die Casting Process Design of Automobile Gear Housing by Metal Flow and Solidification Simulation", 24 (2004) p. 347~355
- [10] K. Y. Kim, Jour. of KFS: "Die Casting Mold Design(III) - Cooling System", 19(4), (1999) p.369