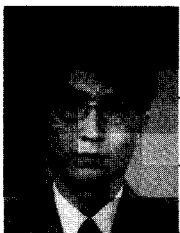


다이캐스팅에 있어서 금형 냉각방안의 설계 및 불량 문제



백 운 창

(KIMM 재료기술연구부)

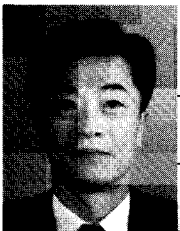
- '96 경상대학교 금속재료공학과(학사)
- '98 경상대학교 금속재료공학과(석사)
- '98 - 현재 한국기계연구원 인턴연구원



윤 중 열

(KIMM 재료기술연구부)

- '94 아주대학교 재료공학과(학사)
- '96 아주대학교 재료공학과(석사)
- '96 - 현재 한국기계연구원 연구원



한 유 동

(KIMM 재료기술연구부)

- '79 서울대학교 요업공학과(학사)
- '81 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '85 - '90 미국 Polytechnic Univ. 재료공학과(박사)
- '81 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서 론

최근 다이캐스팅 제품은 대형화와 소형화 경향이 현저하며 제품의 일체화로 인한 복잡화와 분할에 따른 단순화의 방향으로 발전하고 있다. 대형화, 일체화는 알루미늄 합금 다이캐스팅에 많이 적용되고 있으며, 약 10~20kg 정도의 중량을 가진 제품으로 4륜차 엔진의 엔진블럭, 미션 케이스 등의 제품이 생산되고 있다. 소형화, 정밀화는 다이캐스팅으로 이전에 생각할 수 없었던 0.6~2.5g 정도의 초소형 부품을 생산하고 있으며, 그 분야로는 4륜차, 정밀 기기, 전기 기기, 산업기계, 완구, 일용품 등 많은 부분에 적용되고 있다.

일반적으로 다이캐스팅에서 구조방안은 크게 탕구방안과 금형 냉각방안으로 구분할 수 있다. 여기에서는 탕구방안에 대해서는 다음으로 미루고 금형의 냉각방안에 대한 내용을 중점적으로 다루고자 한다.

최근에 품질보증이 엄격해지고, 불량품의 혼입률이 PPM단위로 억제되길 요망하고 있어 이러한 요구를 만족시킬 수 있도록 구조방안을 설계하는 것이 과제이다. 특히, 잘못된 냉각방안은 수축공, 표면수축, 변형 등의 각종 결함을 발생시킬 수 있다. 따라서 본고에서는 금형의 냉각방안 설정에 있어서 금형의 냉각현상에 대한 이해와 각각의 결함을 방지할 수 있는 대책을 제시함으로써 제품의 불량률을 낮추고 금형의 수명향상을 위한 여러 가지 방안들을 고찰해 보고, 이와 관

련된 CAE(Computer Aided Engineering) 기술 적용방안에 대해서 살펴보고자 한다.

2. 본 론

다이캐스팅에서 가장 중요한 기본적인 3대 조건은 탕구속도, 충전시간, 금형온도로 구분할 수 있다. 이 중에서 금형 온도는 금형 냉각방안 설정에 지표가 된다. 품질보증을 만족시키고 불량품을 최대한 억제하기 위해서는 다이캐스팅의 각 shot마다 양품을 만들 수 있는 금형 온도가 필요하다. 그러나 각 shot마다 적절한 금형의 온도를 얻는 것은 상당히 어려운 일이다. 금형 온도란 금형의 캐비티(금형의 공공) 표면온도로 일반적으로 용탕이 탕구에서 분사되는 순간의 금형의 온도를 지칭한다. 또한 금형 온도가 중요한가 하는 것은 용탕온도와 금형 표면온도와의 온도차에 비례하여 용탕의 온도가 저하하기 때문이다.

만일 금형 온도가 소정의 온도보다 낮아지면 용탕은 부분적으로 응고하여 용탕이 캐비티에 유입될 때 각종 결함^{주1)}이 발생하고, 심한 경우 압축 응력에 견디지 못하여 균열 등의 결함이 발생될 수 있다. 또한 용탕의 온도가 높아 냉각이 늦어지는 곳에서는 수축공, 표면수축, 변형 등의 결함이 발생될 수 있다. 게다가 금형 온도가 높으면 제품 취출시 압출핀이 빠져나가는 부위에 제품 갈아먹음, 소착 등의 결함이 발생하기 때문에 제품 취출시간이 길어져야만 양질의 제품을 얻을 수 있다. 하지만 이러한 경우에도 결국에는 시간당 shot 수를 감소시켜 생산성이 저하되며, 압출 불능, 변형 등이 발생될 위험성이 있다. 이와 같이, 금형 온도는 제품의 품질 상태 및 양부, 불량률 등에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 단순히 금형 전체의 열출입만을 고려하여 금형 냉각방안을 설정할 경우에

는 건전한 구조품을 얻은 수 없으며 좀더 세심한 금형 냉각방안을 고려할 필요가 있다. 그러나 금형에 들어가는 열량이나 금형에서의 열 이동은 비정상상태의 문제이므로 계산하기 어렵다. 또한 열전도 이론을 따르더라도 반 무한한 넓은 평면 등에 대해서는 계산이 가능하나 실제 제품에 대해서는 정확한 계산이 어렵다.

본 원고에서는 금형 냉각 방안법들의 개념과 기본원리를 이해하기 위해서 정상상태의 문제를 간단히 계산할 수 있는 금형 냉각방안들에 대해서 살펴보고, 근래에 많은 진전을 보이고 있는 비정상 상태의 열 흐름을 다룰 수 있는 전자계산법에 의한 금형 해석방법과 금형 방안에 기초한 결함문제 해결방법 살펴보고자 한다.

2.1 G.Ulmer의 금형 냉각방안^[1]

금형 냉각 설계에 대해서는 많은 방법과 고안들이 제안되고 있으나 업체에서 이전부터 행해지고 있는 금형의 냉각은 주로 G.Ulmer의 금형 냉각방안을 따르고 있다. G.Ulmer의 금형 냉각방안은 열 전달식에 따라 용탕에서 금형으로 열이 전달되고 금형 내에서 냉각수로 열이 제거되는 과정을 검토하여 냉각수를 설계하는 것이다. 이 방안에 따르면 냉각수로의 계산은 금형에 들어가는 열량(가열 열류속) q_0 가 자연히 유출하는 열량(자연방출 열류속) q_n 과 냉각으로 인해 제거되는 열량(인공냉각 열류속) q_m 의 합과 같게 된다.

$$q_0 = q_n + q_m$$

그러나 전체 제열량(금형에서 인공적으로 제거해야하는 열량)의 계산만으로는 문제가 있어 냉각수로의 위치 등을 고려하여 평균 온도구배 등을 검토하고 있다. 온도구배의 개념이 필요한 이

주1) 주입되는 용탕이 부분 응고하여 탕추(湯皺), 탕경(湯境, cold shut)의 발생 또는 접합 불충분으로 인한 기포결합 등의 결함

유는 다음과 같다. 금형에 사출된 용탕은 응고 완료하기까지는 일정 계면온도에서 급격히 금형에 열을 이동시키며, 응고완료 후에는 제품이 금형 표면에 접해 있는 제품에서 금형으로의 열 이동은 급격히 저하하며 이러한 현상은 다음 shot까지 지속된다. 따라서 금형에서 일어나는 온도구배의 형태나 크기가 현저하게 차이가 있다. 일반적으로 이러한 금형 온도구배와 관련하여 1 사이클을 3 구간으로 구분하고 있으며 제 1기는 사출부터 응고완료까지, 제 2기는 응고완료 직후부터 형 열림까지, 제 3기는 형 열림부터 사출 직전까지로 구분한다. 그림 1은 반무한으로 넓은 평판의 제품에 대해 금형의 수로를 10mm 등간격으로 배치하여 얻어지는 온도구배를 보여주고 있다.

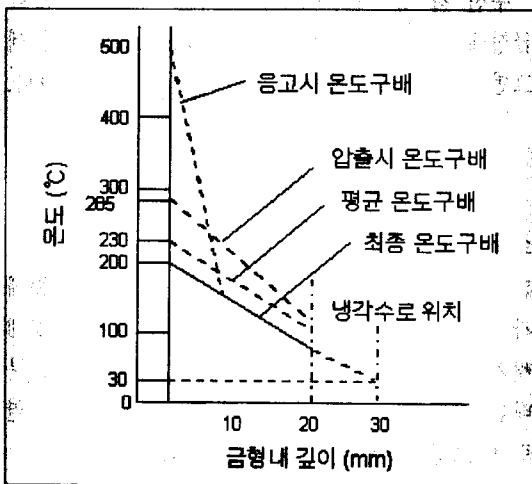


그림 1. 1 사이클 완료시의 금형의 온도구배

제 1기는 무시할 수 있을 만한 짧은 시간이지만 기포결함문제와 관련하여 중요한 시기이다. 제 2기는 압출이 끝날 때 캐비티 표면에 열 피막으로 집적된 열량과 그 뒤 금형에서 이동한 열량과의 합으로 금형의 표면 온도를 구할 수 있다. 마지막으로 1사이클의 약 5/6정도에 해당하는 제 3기에서는 제 1, 2기에서 더해진 열량의 5/6를 제거하는 시기이다. 이러한 방식으로 얻어진 금형 표면의 온도 대 시간의 곡선은 실제 실험(그림 2)과 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

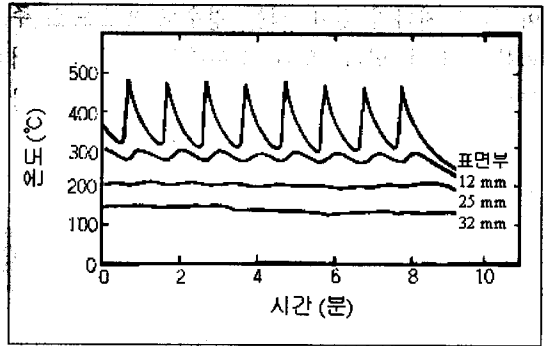


그림 2. 깊이에 따른 각 열전대의 실제 금형 온도추적 곡선(금형내부)

연속 사출의 경우 규칙적인 주기로 캐비티에서 냉각수로 향하는 평균 열류속이 발생되며 캐비티와 냉각수로 사이의 온도구배에 의해 평균 열류속, 즉 단위시간에 더해지는 열량을 제거할 수 있다. 그리고 이러한 온도구배를 얻기 위해 냉각수로의 위치와 크기가 결정된다.

금형의 냉각수로의 위치와 수로를 결정할 때, 분류식 수로의 위치는 제품 형상으로 결정되기 때문에 금형에서 수로의 최적위치와 크기 등은 주로 직선식 수로에 의해서 결정된다. 냉각수로의 최적위치는 캐비티 표면에 직각방향으로 두고, 캐비티를 극부적으로 너무 냉각되지 않을 적당한 거리와 적당한 효율을 얻을 수 있도록 정한다. 극부적인 냉각을 피하기 위해서는 수로 중심부터 캐비티까지의 거리는 최소한 수로 직경의 2배로 해야 한다.

냉각수로가 금형에서 제거하는 열류속은 물의 유속(U)에 따라 변화한다. 열전달계수(h)는 $h = KU^n$ 으로 나타낼 수 있다. K는 상수, n은 일반적으로 0.8에 가까운 상수이다. 이 경우 직선식 수로의 25~30kl/cm/hr, 분류식 수로의 50~60kl/cm/hr는 유속 1m/s 정도로 얻어지는 수치이나, 수로의 유속은 다른 기계의 작동상황 등에 의해 항상 변화하는 것으로, 여유를 갖고 속도를 조절할 수 있는 수로이어야 한다. 수량(유속)은 시험주조에서 결정하는 것이 좋으나, 너무 커다란 구멍을 뚫어 수량을 아주 적게 하면 증발하

여 물이 지나지 않게 되는 경우도 있으므로 주의할 필요가 있다. 또한 고품질을 얻기 위해서 국부적으로 고온인 캐비티 표면온도 부위를 강하게 냉각하기 위해 각 수로의 유량을 조절할 필요가 있다.

2.2 SDCE의 금형 냉각방안

SDCE 금형냉각방안은 SDCE(Society of Die Casting Engineers)에서 발행한 E.A.Herman의 저서 『다이캐스팅 금형의 설계^[2]』에 나타나 있는 금형 냉각방안을 말한다. SDCE 방안은 G. Ulmer의 금형 냉각방안을 더욱 상세히 서술하였으며, G. Ulmer와 동등한 정상상태의 열전도의 1차식에서 냉각수로의 위치, 크기 및 수량의 설정은 노모그래프(nomography, SDCE 냉각수로 계산표)를 이용하여 간단히 산출할 수 있도록 한 것이 특징이다.

SDCE 방안에서는 입열, 제열의 문제를 보다 정밀히 하기 위해 금형 각 부분을 각각의 열 세그먼트로 분할하여, 그 각각의 열 세그먼트에 대해 입열량을 산정 그 결과에 따라 금형 각부를 냉각하려고 하였다. 또한 냉각에 있어서 열의 집중, 분산 등을 고려함과 동시에 그 부분에 대한 냉각 또는 가열도 고려하였으며, 금형 내의 열의 흐름 방향 설정 및 제거 등에 대해 기술하고 있다.

2.2.1 입열량의 해석

① 열 세그먼트의 분할

입열량을 해석하기 위해서는 주입구, 탕도, 제 품부, 탕류를 포함한 몇 가지 열 세그먼트로 분할해야 한다. 각 세그먼트는 탕류의 유로를 따라 분할하며, 용탕은 제일 처음 세그먼트에서 다음 세그먼트로 흐르도록 하였다. 열 세그먼트의 체 적은 동일 체적으로 하는 것이 바람직하다. 그림 3(a)에 나타낸 것과 같이 캐비티를 각각의 열 세그먼트로 분할하였으며, 그것의 계통도를 그림 3(b)에 나타내었다.

② 각 열 세그먼트가 가지는 기본열량

우선 각 열 세그먼트가 가지는 기본열량과 각 금형에 대한 열량분산을 검토하기 위해 각 열 세그먼트 및 금형 각부의 체적, 표면적을 계산한다.

③ 용탕이 통과 중에 금형에 뺏기는 열량

위 방법은 용탕이 순간적으로 충전 되었을 때 의 계산이나 실제로는 캐비티 표면을 흘러 충전 된다. 따라서 용탕이 유로를 따라 흐르는 도중에 각 세그먼트에서 냉각되어 열을 잃는다. 그렇게 뺏기는 열량은 용탕이 통과한 각 세그먼트로 분 배된다고 볼 수 있다. 따라서 각 세그먼트의 열 량을 보정해야 할 필요가 있다.

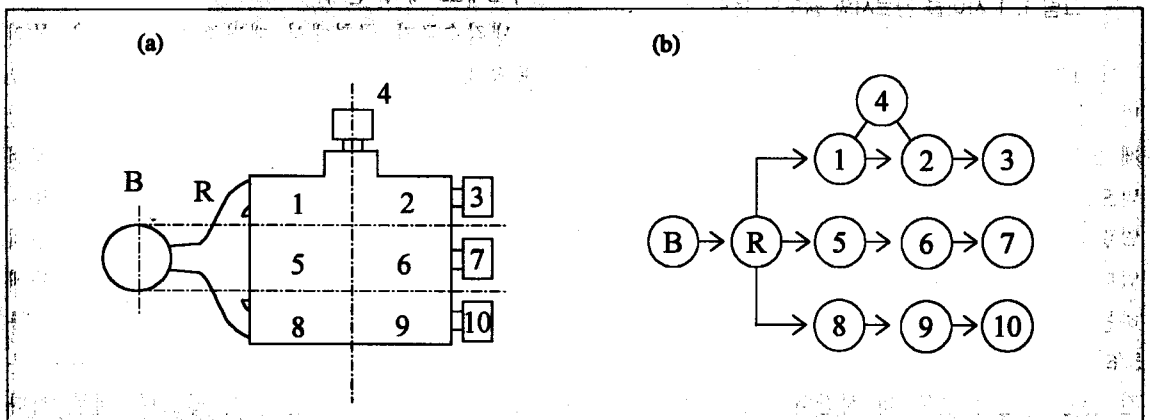


그림 3. 열 세그먼트 분할 에 및 그 계통도

응고잠열의 25%에 해당하는 열 손실이 있을 것이라고 간주하면, 탕류의 최종 끝부분의 열 세그먼트는 주입온도와 액상선 온도 차이만큼의 열량과 용융잠열의 25%에 해당하는 열을 잃게 된다고 할 수 있다.

용탕이 잃는 열은 용탕이 지나간 각 열 세그먼트에 따라 배분하여 각 열 세그먼트에 더해진다. 따라서, 최종적인 각 열 세그먼트의 열량은 「기본 입열량 - 충전중에 손실하는 열량 + 각 열 세그먼트에 더해지는 열량」이 된다.

④ 열량의 최종치

비스켓, 탕구부근은 입열량이 많고 탕선부(3,7,10번 부위)는 적다. 탕구부에서 많은 열이 들어감을 알 수 있다. 따라서 이 부위의 열을 적절히 처리하지 않으면 여러 가지 각종 결함이 발생한다. 열은 금형에 접하는 금형 표면에서 방출되므로 고정, 가동의 양쪽 금형의 표면적은 동일하게 되도록 나누는 것이 좋다. 하지만 일반적으로 양쪽 금형의 면적은 동일하나 실제 금형에는 중자(中子)나 입자(入子) 등이 포함되어 있으므로 그와 같은 경우는 적다. 따라서 열량의 최종치는 각 열 세그먼트의 열량을 거기에 접하고 있는 각 금형의 표면적에 비해 계산하여 나눈으로써 결정할 수 있다.

⑤ 금형 표면의 열 손실

이외에 한가지 더 고려해야 할 사항으로는 이형체에 의한 금형의 열 손실이다. 실제 주조작업시에 금형 표면에 이형체를 도포한다. 다이캐스팅 공정에서 이형체의 용매(물, 등유, 경유 등)가 다량으로 증발되어 금형에서 열이 손실된다. 따라서 열량의 최종치에서는 이 열을 빼야만 한다. 그러기 위해서는 금형 표면에 스프레이 하는 수량을 결정할 필요가 있다. 냉각수로에서 제거하는 열량은 스프레이로 인해 제거되는 열량을 각 금형에 분배되는 열량에서 빼야만 한다. 비스켓부, 탕구부는 다량으로 열이 더해지므로 다량

으로 스프레이 하여 열의 균형을 잡는다. 이런 부분에 대해서는 특별한 생각을 하고 있다. 또 스프레이 제거 열량을 계산하고, 결정한 것을 주조현장에 전달하고 현장에서는 그것을 토대로 스프레이 해야 한다.

2.2.2 냉각수로의 설계

SDEC법에서는 앞서 고려한 각 열 세그먼트에 대해 계산된 냉각수로를 이용하면 금형 내부에서 항상 변화하고 있는 열을 제거하는데 필요한 조건을 만족시킬 수 있다. 아래에는 냉각수로를 설치하는 기본방법에 대해서 살펴보았다.

① 냉각수로의 위치

냉각수로는 열전도 현상에 의해 캐비티 표면에서 금형 내부로 유입하는 열을 제거하므로 금형 내부에 설치한다. 따라서 캐비티 표면에서 수로까지의 거리는 열의 이동에 커다란 영향을 끼친다.

② 냉각수로의 크기와 수량

수로의 위치를 정하여도 수로의 크기, 길이가 너무 크거나, 수량이 너무 많으면 과잉 냉각되므로 적절한 수로의 크기와 수량을 정해야만 한다.

③ 캐비티 형상에 의한 수로위치의 수정

그림 4는 표면 부근에 다소 열류의 혼란이 있으나, 열류는 거의 평행하게 흐르는 냉각수로의 설치 예이다. 그러나 일반적으로 캐비티 형상에

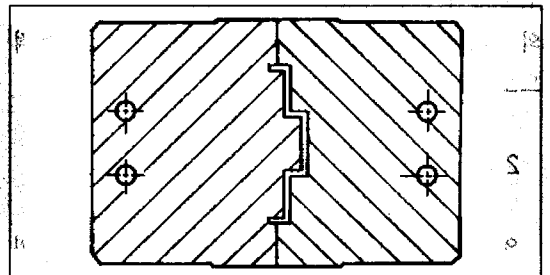


그림 4. 단순한 윤곽의 캐비티는 금형내에서 무리없는 평행한 열류를 만들어 낸다.

따라서 보다 복잡한 열류의 흐름을 고찰할 필요가 있다. 열류의 흐름은 크게 2가지로 나누어 생각할 수 있다. 열류가 집중되는 곳이 없이 흐르는 경우를 '발산하는 열류' 라고 하고, 반대로 어느 한 부위를 향해서 집중되는 경우의 흐름을 '수렴하는 열류' 라고 한다. 그림 5는 외형에서는 발산하는 열류가 일어나고 중자에서는 수렴하는 열류가 일어나는 제품의 예를 나타내었다.

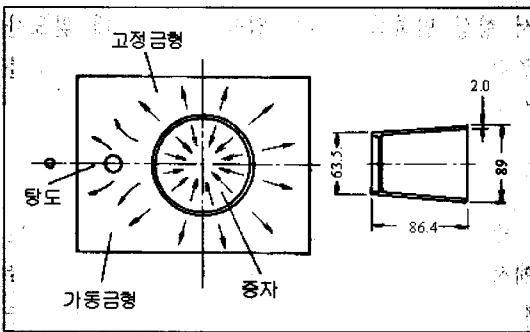


그림 5. 발산하는 열류, 수렴하는 열류의 제품 예

2.3 ILZRO의 금형 냉각방안

ILZRO(International Lead Zinc Reserch Organization)방식은 금형 표면온도를 중시하는 방식이다. ILZRO' 금형 냉각방안의 수로설계는 아연합금을 대상으로서 실험을 행하여 정한 것으로 알루미늄 합금인 경우와 채용했던 평균 캐비티 표면온도와 다소 차이가 있으므로, 그다지 참고가 되지 않고 있다. SDCE의 금형 냉각방안의 기본적 사고 방식은 ILZRO의 실험 등을 참고하여 E.A.HERMAN이 고안했고, ILZRO방안의 사고방식과 SDCE방안의 사고방식은 기본적으로는 거의 동일한 것이므로 생략하겠다.

2.4 금형 냉각기술

일반적으로 냉각수로에는 직선식 및 분류식의 냉각수도가 이용된다. 앞서 설명한 바와 같이 금형냉각에 필요한 냉각수도를 계산하여 이론적으

로 사용하여도, 제품두께의 변화 또는 입열량이 균일하지 않은 곳도 있고, 게다가 열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 그 온도차에 비례하여 흐르는 법칙에 따라 금형 각부로 확산하기 때문에 열류가 매우 복잡해진다. 냉각수로는 그 위치에 따라 그곳에 도착한 열을 제거하는데 지나지 않는다. 따라서 그대로는 금형 표면의 입열량에 따른 이상적인 열 제거는 어렵다. 이와 같은 경우는 열류를 제어하는 방안이 필요하다. 이러한 것을 금형 냉각기술이라 한다. 많은 기술이 있겠지만 일반적으로 이용되고 있는 방법을 설명하겠다.

2.4.1 열류의 제어

E.A.Herman은 열류를 그대로 방치해 두면, 열류가 흐트러져 캐비티의 어떤 부분이 과냉하기도 하므로 열류의 방향을 정해 균일하게 냉각하도록 고안하여야만 한다고 주장하였다. 예를 들어, 열장해(입자의 외측에 공극을 설치하고 있는 곳)는 분산하는 열류를 일정한 열류를 유도하여 캐비티 표면이 동일하게 냉각되도록 열류를 제어하고 있는 예이다. 또 일반적 제품에서는 캐비티 각 부분에 더해지는 열류가 현저하게 다른 경우가 많다. 이와 같은 경우는 부가되는 열량에 상응하는 열류를 각 부분에 만들어 주어 열류가 균일하도록 만들어 준다. 이를테면 제품이 두꺼운 곳은 빠르게 제품이 얇은 부분은 느릿하게 열을 제거하여 열류가 교차하거나 흩어져 불필요한 과냉, 서냉이 일어나지 않도록 열류를 제어할 필요가 있다.

그 열류를 제어하기 위해서는 냉각수로(온도가 낮은 흡열원의 설치)로 그 열을 유도하는 흡열원을 설치, 또는 열류를 저지하기 위한 열장해 등을 설치하게 된다. 그림 6은 이와같은 열류제어기술을 모식도로 나타낸 것이다. 그림 중 A는 열류로를 설치하여 열의 흐름을 막게 한 예이고 C, G, E, F는 열장해이다. 특히, C, G등은 두꺼운 부분에서 냉각수로로 가는 열류를 만들어 주고, 다른 부분의 과냉을 방지하고 있다.

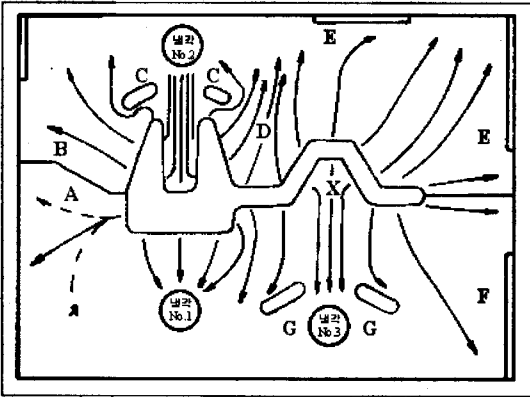


그림 6. 금형 냉각기술(열류 제어의 모식도)

그림 7은 열류 제어에 대한 사고방식을 나타내고 있고, 실제로는 이와 같은 열장해를 만드는 것이 불가능한 경우도 있다. 따라서 열장해를 만드는 기술로써 입자, 중자 또는 캐비티 분할 등이 자주 이용된다.

입자를 이용하는 경우에는 금형 주위에 접한 입자에 의해서 열장해가 만들어지고, 또한 입자를 냉각하여 열류를 제어 할 수 있다. 그림 7은 입자에 의해 열류를 바꾼 예를 보여주고 있다.

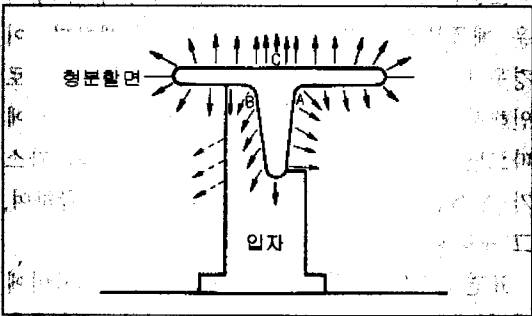


그림 7. 입자에 의해 열류 변화

2.4.2 공기 분사

가는 중자핀, 또는 가동 중자의 선단부 등 가는 부분 따위는 수로에 의해 냉각하는 일이 어려운 경우가 있다. 그때는 압축공기를 분사해 그 부분을 냉각하는 일도 행해진다. 이와 같은 경우 공기 캡의 개폐는 중자의 동작, 금형의 개폐 등에 의해 행하도록 하면 자동화 할 수가 있다.

2.4.3 이형제에 의한 냉각

현재로서는 수용성 이형제가 자주 이용되고 있고, 물은 증발잠열이 높아 수용성 이형제의 분사에 의한 냉각효과가 크기 때문에 다량으로 내뿜으면 과냉하는 경우가 있다. 따라서 분사량 조절이 필요하다. 특히 이 방법은 중자핀, 입자 돌출부 등의 수로에 의한 냉각이 불가능한 곳의 냉각에 효과적이다.

2.4.4 히트 파이프에 의한 냉각

히트파이프는 액체의 증발을 이용한 열 제거 도구로 그 열의 이동속도는 아주 높아 순동의 100~1000 배의 열전도율을 가진다. 다이캐스팅 금형에 이용 가능한 히트파이프는 일반적으로 스텐레스 파이프에 물을 봉입한 것으로 최소 직경 4mm인 것부터 있다. 입자의 돌출부 또는 작은 중자핀 등에 이용 가능하다.

그 사용 예를 나타낸다. 그림 8은 입자 돌출부에 등에 이용한 예로, 일반적인 냉각수로와 비교하여 나타내었다. 그림 중의 1, 2, 3의 경우는 일반적인 냉각수로의 예로 중자의 돌출부의 냉각은 충분하지 못하지만, 4, 5의 히트파이프인 경우는 입자 돌출부를 함입적으로 냉각 가능하다. 한편, 히트파이프는 액체의 증발을 이용하기 때문에 증기의 압력에 의해서 용기를 파괴될 수 있으므로 그 사용방법 및 사용시간의 관리에 충분히 주의할 필요가 있다.

2.4.5 금형 재료

국부적으로 큰 열류를 얻기 위해 열전도율이 높은 재료를 이용하여 단면부위를 공기 또는 물 등으로 냉각하는 방법이다. 그 한 예를 그림 9에 나타낸다. 금형 재료는 텅스텐, 몰리브덴, 베릴륨 등 등이 사용된다.

2.5 두꺼운 제품부의 수축공 문제

다이캐스팅법은 사형주조법과 차이가 있어 금

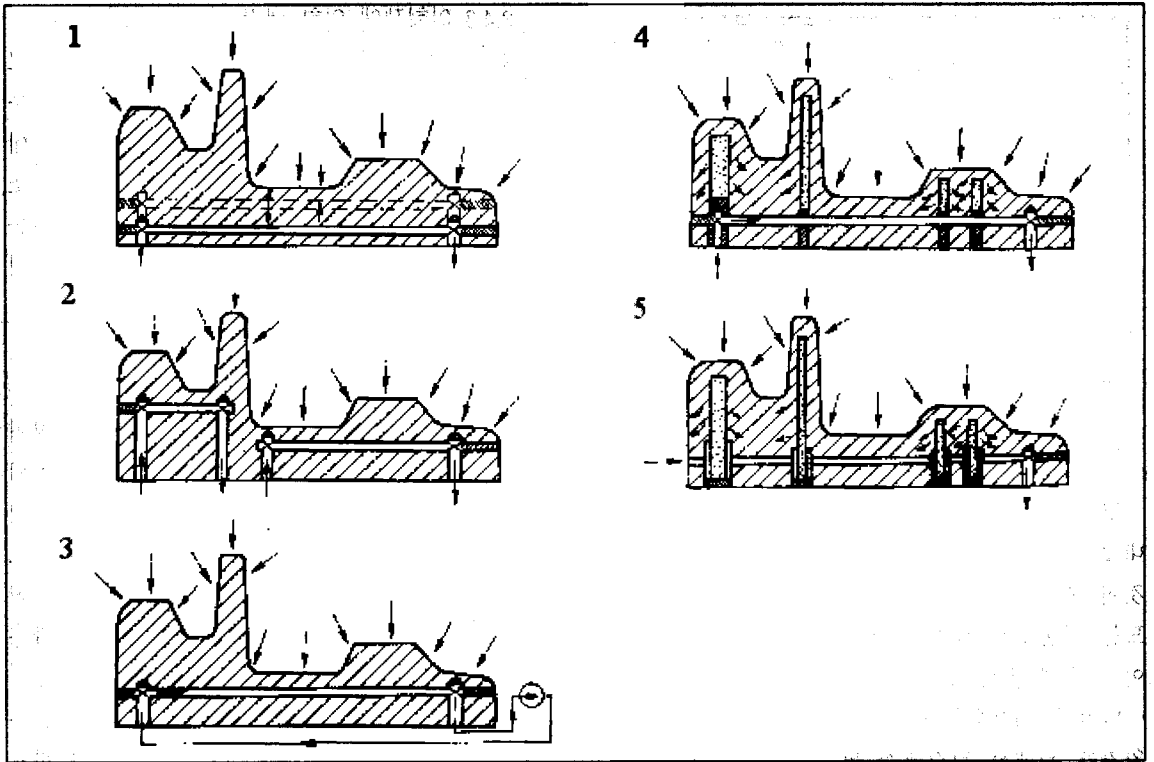


그림 8. 일반 냉각수로와 히트 파이프 사용 비교 예

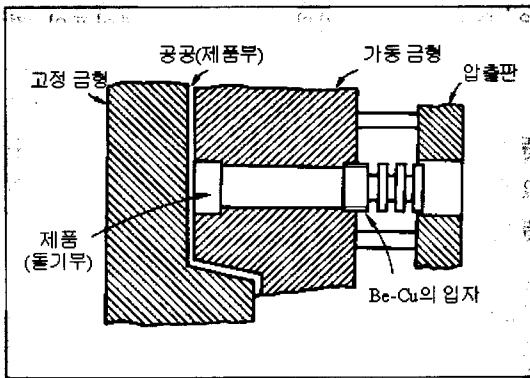


그림 9. 열전도율이 높은 재료에 의한 냉각 예

형구조상 필요로 하는 위치에 압탕을 붙이는 것이 어려운 경우가 많다. 금형온도가 적절하면 탕구에서의 가압에 의한 압탕 효과를 기대할 수 있으나 그것은 균일한 두께를 가진 제품의 경우로 제품두께가 달라 제품의 두꺼운 곳이 독립적으로 있으면 압탕효과는 기대할 수 없다. 그리고 일반

적으로는 그림 10 (a)에 나타난 바와 같이 두꺼운 제품부에 수축공 또는 수축이 발생한다. 이 경우 탕구에서 가까운 곳은 수축공이 압탕효과로 인해서 작아지는 경우도 있다. H. K. Barton에 따르면 용탕 내에 분산하여 흐르는 형내의 가스가 두꺼운 제품부로 방출되어 가스를 포함하여, 그 수축효과가 확대된다고 한다.

표면수축은 금형 표면온도의 부분적 차이에 의해 균일 두께부에서도 발생하지만 수축공은 일반적으로 두꺼운 부분에 발생한다. 수축공(기포결함)은 용탕이 응고할 때 수축에 의해 발생하는 것으로 그림 10(b)와 같은 금형 냉각설계에 의해서 어느 정도까지는 방지할 수 있지만, 기본적으로 제품 설계상에서 제품두께를 균일하게 하는 것이 효과적인 문제 해결 방법이다.

G.Ulmer의 방법에 의하면 SKD6, 61계의 5%Cr강의 금형에서는 응고완료까지 열은 주물

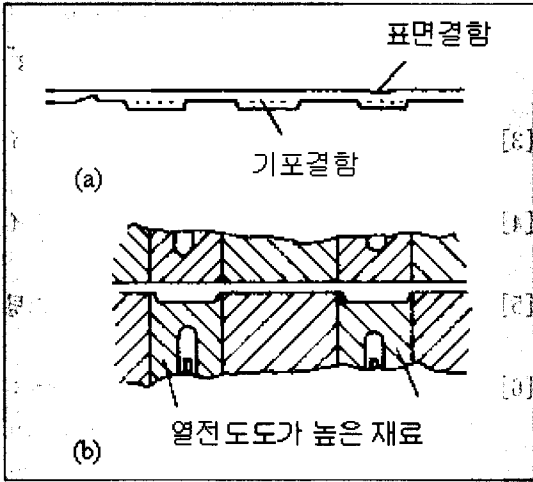


그림 10. 제품두께 변화의 금형의 냉각

의 제품두께의 2배 거리까지 밖에 침입하지 않는다. 이것은 금형의 냉각수로는 일반적으로 금형 표면에서 20~25mm 이상 떨어져 설치하여 열충격에 의한 금형의 균열파손을 방지해야만 함에도 불구하고 응고완료까지 열은 금형 표면에서 2e(제품두께 4mm인 경우 8mm)에 도달하는데 그치게 되어, 응고 중에 급격히 열을 뺏는 것은 어렵게 된다.

이 용탕의 응고를 고려하면 얇은 곳이 먼저 응고하고, 두꺼운 부분은 응고하지 않은 액체가 남은 채 탕구에서 가압이 되지 않게 되고, 용탕의 보급이 불가능하게 되어 버린다. 따라서 수축공이 생긴다. 이것을 방지하기 위해서는 얇은 부분을 동일시한에 응고시켜야 한다. 금형온도의 조정이나 두꺼운 제품부에 고열전도재료를 사용함으로써 해결 가능하다.

2.6 금형 냉각의 새로운 해석법

컴퓨터에 의한 금형 냉각의 해석법은 유효한 새로운 기술로 대두되고 있다. 전자 계산기 및 해석 소프트웨어 발전에 의해 2차원 열전도의 문제로서 금형의 단면에 대한 열해석 뿐만 아니라 3차원의 금형 열해석에 대해서 많은 발전이

이루어져 있다. 그림 11은 상용 프로그램에 의한 금형의 열해석 예를 나타낸 것이다.

컴퓨터 시뮬레이션은 최초의 실험적 접근에 기초하여, 시뮬레이션을 실시·비교하여 그 결과를 바탕으로 냉각수로와 가열구성의 체계적 변화를 통해 금형의 열적인 정보를 얻을 수 있다. 이것은 금형수명과 주물의 품질을 반영하는 최적화된 금형 디자인을 이끌어 낼 수 있다.

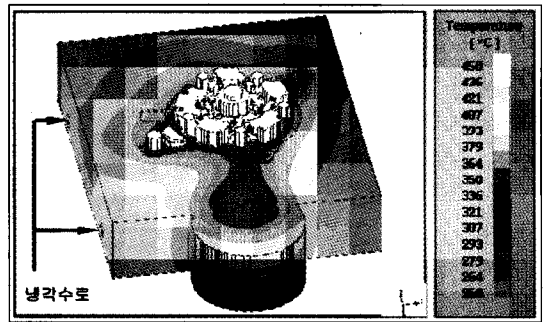


그림 11. 상용프로그램에 의한 금형의 열해석 예 (1사이클 직후)

또한, 시뮬레이션은 최적 운영조건에 대한 데이터(예열조건, 사이클 시간)를 예비선정 가능하게 한다. 금형의 예열은 금형 수명 향상에 가장 큰 효과를 얻을 수 있는 것들 중에 하나이다. 컴퓨터 시뮬레이션은 예열구성에 대한 모든 정보를 제공할 수 있다. 예를 들어 특정 예열온도에 의해 시뮬레이션을 미리 실시함으로써 지정된 예열온도의 건전성을 평가할 수 있다. 그리고, 주조공정에서 공정의 효율을 산정할 때 가장 중요한 변수 중의 하나인 사이클 시간을 시뮬레이션에 의해 최적화 할 수 있다. 사이클 시간은 사용자에게 의해서 결정될 수 있는 생산 변수로 금형온도의 함수이다. 따라서 시뮬레이션에 의한 주물응고 해석과 금형의 열해석을 통해서 최적화된 사이클 시간을 선택할 수 있다. 이와 같이 다이캐스팅 주물업자들은 시뮬레이션을 사용함으로써 금형의 수명향상과 사이클 시간 최적화 등을 기할 수 있다.

3. 결 론

지금까지 다이캐스팅의 금형설계 방안에 있어서 금형 냉각현상을 이해하는 방법들과 각각의 결함 방지대책에 대하여 살펴보았다. 다이캐스팅 금형설계에 있어서 수요자의 복잡한 요구와 신제품 개발에 있어서 보다 빠르고, 신뢰성 높은 설계를 위해서 보편화되어 있는 컴퓨터 시뮬레이션의 적용이 절실하다. 이 기술을 통해 보다 면밀한 공정설계와 디자인을 통해 다이캐스팅 현장 기술자들과 금형 설계업자 간의 신뢰를 키우고 나아가서는 생산성 증진은 물론 기술력 축적에도 높은 기여를 할 수 있을 것이라고 기대된다.

참 고 문 헌

[1] G.Ulmer : Trans. 6th International Die

Casting Congress (1969), paper No. 9.
[2] E.A. Herman : "Die Casting : Desiging" (SDCE Inc.), 1970.
[3] 菅野友信, 植原寅藏 : アルミニウム合金ダイカスト - その技術と不良対策
[4] 植原寅藏 : 最近の鑄造方案の傾向とポイント, 型技術, 第5卷 第7.
[5] 김경현, 정인상 편저 : 알루미늄 다이캐스팅 제조기술, 1994.
[6] Ralph H.Box, Lothar H.Kallien : Simulation-Aided Die and Process Design, DIE CASTING ENGINEER Magazine, September/October 1994
[7] Lothar Kallien, J.C.Sturm : Simulation Aided Design for Die Casting Tools, DRIVING DIE CASTING INTO THE 21ST CENTURY DETROIT (1991).