

초심자라도 아는 주철주조방안의 기초 (제 1회)

松田政夫*

松田技術士事務所

Basic of Gating System & Risering on Iron Castings for Primary Engineers - Part 1-

Masao Matsuda*

Matsuda Consulting Engineer Office

번역 : 최정철²⁾

서 론

본고의 내용: 본고는 재단법인 소형재센터의 실천강좌, 주철의 생산기술 ‘주철주조방안의 기초’로 강의하여 온 것을, 본 강좌의 폐강 시점에, 실무자를 위한 강의록의 형으로 정리한 것이다.

중 소주물로 또 비교적 박육주물을 대상으로 했다.

특히 중시한 사항: 본고에서는 실무에 응용할 수 있도록, ‘체계화’ 혹은 ‘이론화’에 중점을 두고 기술한 것이다. 내용에 대해서는 다음의 점을 의식해서 기술했다.

1) 일반에 보이는 전해져오는 기술 중에 저자가 의문시한 내용이나 통설과 다른 견해는 할애하는 일 없이 알기 쉽게 논할 예정이다. 다른 이론이 있는 쪽도 비판하면서 읽도록 희망한다.

2) 방안을 이해하기에는 약간의 기초이론의 도움이 필요하게 된다. ‘간단한 수리학’ ‘주형내 열전도’ 등이 그것이다. 예비지식이 없어도, 또 전문서에 의지하지 않고도 이해할 수 있도록 ‘칼럼’란에서 필요한 사항을 쉽게 해설해 두었다. 이는 사람도 논지의 전개상 봐주면 좋겠다.

3) 강의와 달리 질의를 받을 수 없다. 과거에 받은 질문외에 의문을 가질 만한 문제를 상정해서 Q&A의 형태로 내 생각을 서술해 두었다.

제외한 사항: 대형주물이나 후육 주물은 대상으로 하지않았지만 논지에는 대형, 후육주물에 대해서도 적용될 수 있는 것이 꽤 많이 있다고 생각된다.

중, 소형, 박육주물에 관계하고 있어도 이하의 항목에 대해서는 취급하지 않고 있다. 취급하지 않은 것은 중요시하지 않은 것이 아니라 저자의 소임이 아니기 때문이다.

1) 최근은 컴퓨터시뮬레이션에 따른 수치해석법의 기술습득이 상식이 되어 있지만 여기서는 수치해석에 대해서는 취급하지 않는다. 수치해석에 이르는 전단계의 기초적 문제에 한하

고 있다.

2) 수축결함에 미치는 미량원소의 영향등은 본고에서는 거의 취급하지 않는다. 성분은 요구되는 제품기능의 관점에서부터 설계의 단계에서 결정되어지고 있는 경우가 많고 현장의 재량은 허용편차범위에 한한다는 이유에도 의하지만, 방안이론의 골간으로서 체계화하는 것만으로도의 지식을 갖고 있지 않기 때문이 다.

본고의 구성: 탕구방안과 입탕방안으로 크게 구별했다. 연습을 각각의 말미에 마련했다. 필히 한번은 연습을 하는 것으로 논지의 이해에 노력하기 바란다.

I. 탕구방안의 기초

1. 탕구계의 기능

1.1 탕구방안 기술을 배우는 목적

(1) 탕구방안 기술은 불량방지기술에 연결된다.

주조현장에 있어서 기술상의 최대의 관심사는 불량을 내지 않는 것이다. 탕구방안이 직접의 원인이어서 불량발생이 된 사례는 그렇게 많지 않다. 직접 원인이 되는 후보는 그 외에 얼마든지 있다. 예를 들면 개재물의 발생이 직접의 원인이 되고 탕구방안이 직접의 원인은 아니다. 이와 같이 탕구방안은 불량 발생원인 후보를 불량으로 연결시키지 않는 보조적 역할이 되는 경우가 많다. 이런 일은 반대로 탕구방안기술에 정통하는 것이 불량을 방지하고 또한 주조결함 발생과정을 진찰하는 통찰력을 양성하는데 유효하다고 생각되어진다.

탕구방안기술을 배우는 것은 체계화된 골간을 배우는 것으로, 결함발생방지를 위한 일상 활동은 그 골간을 뛰어넘는 편차요인을 문제로 하는 것이다. 골간을 이해하지 않으면 결함발생방지를 위한 일상 활동의 효율이 나쁘게 된다. 방안기술 중에서도 특히 탕구방안기술의 체계화는 지금까지 충분하다고 말할

1) 日本鑄造工學會誌 Vol 77, No.1, pp. 64~72에 게재된 자료임.
2) 아주대학교 신소재공학과(Dept. of Materials Science and Enf., Ajou University)

수 없다고 생각된다.

불량률이 낮다고 해서 현장은 만족해서는 안된다. 싸게 만드는 방안, 경량화 방안, 또는 작업성이 좋은 방안등의 균형을 생각하는 일이 남아 있다. 그것에는 방안이 갖는 본질을 알아 두지 않으면 균형적 평가를 할 수 없다.

(2) 전송기술에는 의문점도 있다.

‘조용히 빨리’라든지 ‘난류를 일으키지 않도록’라든지 옛날에는 탕구방안에 관해서 목표 나열적 제언을 듣는 일이 많이 있었다. 구체적으로 이유를 들어, 정량적으로 과학적으로 계통적이었던 해설은 탕구방안에 관해서는 적었던 것처럼 생각된다.

현장에서는 방안이 좋고 나쁘고를 조사할 여유가 없다. 보통의 측정기술력으로 방안을 결정하지 않으면 안된다. 때로는 논문에 게재된 것이라는 근거가 있어 바른 것으로서 신뢰되어 채용되어 있는 것도 있었을 것이다. 그래도 불안하면 다른 곳에서는 어떻게 하고 있는가를 채택한다. 변한 방법을 들으면 충분한 검토를 거치지 않고 채용하고, 이윽고 그것이 경험기술로서 독자 행보를 한다. 때가 바뀌어 사람이 변하고 어느새가 그것이 전송기술이 되어 정착한다. 그렇게 되는 사례가 탕구방안에는 많았다고 생각된다.

자기 공장의 전송기술에 충분 신뢰를 두고있는 경우에도 본고에서 서술한 다른 보는 방법을 검증해 두는 것으로 더욱 이론 무장된 전송기술로 높아질 수 있다고 생각된다.

1.2 탕구계의 4기능

모두의 상황에 좋은 탕구방안은 없다.

탕구계에 요구되는 주요한 기능은 다음의 4개이다.

- 1) 용탕의 분배
- 2) 적절한 주입시간을 준다
- 3) 이물질(슬래그, 개재물, 모래등)의 제거
- 4) 액체수축시의 압탕 기능(자세히는 II 압탕방안 5. 1차 수축압탕의 항에서 서술하는데 중요한 기능이다)

이들 기능은 첫째 주조결함 방지기능을 우선하지만 결함의 종류에 따라서는 서로 모순하는 경우도 있다. 또 동시에 주조, 주입, 마무리 등의 주조전체에 대한 조건도 만족시켜야만 한다. 탕구방안은 그것들을 종합적으로 적정화시키는 것으로서 결정된다.

2. 주입시간

2.1 종래의 주입시간 사고

(1) 근거가 애매한 최적 주입 시간설

1960년경까지는 ‘각각의 주물에는 최적주입시간이 존재한다’라는 생각에서부터 최적주입시간을 알아내는 연구가 행해졌다. 경험파라고 말해지는 대표로 각사의 경험적 실적을 집약해서 얻어졌다고 한다. 미국의 Dietert 등의 제안[1]이 있다. 또 하나는 이론파라고 말해지는 것의 대표로 이론해설에 기초해서 얻어졌다고 한다. 유럽파의 Bjorklund[2]나 Trenchle 등의 설이 열거된다. 단지 그들이론파의 설에는 근거가 되는 열이동설은 바르게도 그 적용에 잘못이 있다고 생각된다.

방안기술과 같은 이론적인 내용은 다음에 잘못이 있다고 알았다고 해도 지적을 받는 일이 적은 경우 독자행보를 해서 전송되는 일이 있다. 상기의 이론파의 설도 그 한 예이다.

(2) 이론의 적용을 잘못된 Bjorklund나 Trenchle의 설 ‘주입시간은 주입시의 과열도(주입온도와 응고온도의 차)의 2승에 비례시켜야 한다’라고 그들은 말한다. Bjorklund는 구체적으로 ‘주입온도가 1300°C(과열도는 1300-1150=150°C)로 적절한 주입시간은 1350°C(과열도는 200°C)로 높이면, 주입시간을 약 2배로 해도 좋고 반대로 1250°C(과열도는 100°C)로 낮게 하면 주입시간을 약반으로 축소하지 않으면 안된다’라고 단언하고 있다. 즉 과열도가 100°C와 200°C의 경우에서는 주입시간은 4배나 다르게 된다. 이 설은 후술하는 미국의 경험파의 설로도 우리들의 경험으로도 맞지 않는다. 그들의 설에는 다음의 2개의 생각이 근거가 된다.

- 1) 주형내 용탕이 유동성을 지속하는 사이에 주탕을 종료시키지 않으면 안된다.
- 2) 용탕으로부터 주형에의 열이동 속도는 경과시간의 평방근에 반비례해서 감소한다.

이것이 왜 실정과 맞지 않는가. 다음에 서술하는 박육주물의 주형내 용탕흐름의 실태에 주의하지 않은 것은 아닌가 생각된다. 박육주물에서는 주형내 전체의 평균적 온도, 평균적 유동성이 문제가 되는 것은 아니다. 옆길로 치우친 용탕의 응고가 아무리 많이 진행하고 있어도 탕 앞쪽에 요동하는 용탕의 유동성이 유지하고 있으면 탕의 흐름이 진행하고 있는 것에 그들은 주의하지 않은 것 같다.

그래서 우선 주형내의 탕 흐름의 실태를 찾아보자.

2.2 박육주물의 탕 흐름의 실태

(1) 선행의 용탕은 후속의 용탕의 길을 만든

Fig. 1-1은 횡으로 놓여진 평판상의 박육주물을 밑의 두꺼운 탕도로부터 눌러 올려서 주조한 때의 주물의 표면색으로부터 추정할 용탕의 탕 흐름의 모식도[4]이다. 탈형 후의 표면을 보면 Figure 파선의 바깥(점점 모양의 범위)은 감색의 회색을 한 속이라고 하는 급냉된 검은 피부이다. 이것에 대해 파선의 내측(중앙부)은 거의 금속 본래의 지금(地金)의 색을 하고 있어 때로는 모래가 소착한 것도 있다. 파선으로 나타내는 것과 같이 그 지금 색부의 범위는 위로 갈수록 좁게 된다. 용탕이 최초로 주형으로 접촉한 시점에서는 모든 부분이 점점 모양의

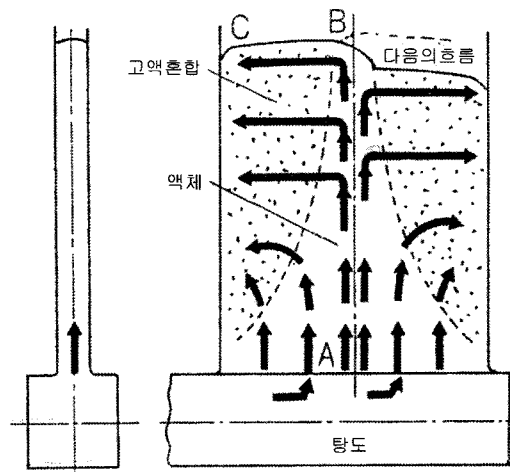


Fig. 1-1. 평판상 주물의 용탕 상승 흐름의 모식도

범위와 같은 급냉 표피가 된다고 생각된다. 다음에 과열도가 있는 후속의 용탕이 오는 것에 의해 중앙부는 재용해된다. 따라서 흐름이 정지한 시점에 있어서는 중앙부는 용액이 직접 주형면에 접한 상태에 있었다고 추찰된다. 이 용액이었던 부분이 지금 색으로 보이는 것이라고 생각된다.

Fig. 1-1로부터 다음과 같은 탕 흐름을 상상할 수 있다. 용탕은 최초 탕도로부터 일률적으로 상승하려고 하지만, 양단으로 흐른 용탕은 중앙부의 용탕보다도 빠르게 냉각이 진행하고 급속하게 점성이 늘어나서 속도가 둔해진다. 그렇게 하면 중앙부의 용탕 수준이 높게 되어 화살표로 나타내는 것과 같은 중앙으로부터 양옆 박육부의 용탕의 수평분배 흐름이 일어난다. 또한 이 분배는 좌우 서로 행해진다는 설이 있다. 시간이 흐름에 따라 파선의 내측(폭의 중앙부)에서는 주형벽의 온도가 높게 되어, 후속의 고온용탕에 있어 탕이 흐르기 쉬운 길이 된다.

(2) 용탕의 흐름의 탕도

일반적으로 캐비티(주물이 되는 부분)내의 탕 흐름의 탕도는 자연스럽게 결정하는 것이며, 방안등으로 인위적으로 변하는 것은 곤란하다. 또, 한번 된 탕도는 주입이 종료할 때까지 크게 변하는 일이 없다.

(3) 박육부에 나타난 탕 흐름의 흔적

박육부의 흐름의 상태는 Fig. 1-2의 실린더헤드 탕흐름 불량품에서 볼 수가 있다[4]. 화살표의 박육부의 위치에 10 mm(-)의 간격으로 수평방향으로 탕경이 만들어져 있다.(Figure 내의 일러스트 참조). 이것은 전술한 수평분배 탕 흐름이 나타난 것이다. 즉 Fig. 1-2는 한쪽으로부터 박육부에 흘러 들어간 용탕이 응고를 진행시키고 있는 사이에 반대측의 보스(역자주: boss. 차나 바퀴 이음류)로부터 흘러온 용탕이 덮어 씌어져 응고를 시작해서 그 경계가 탕경이 되어진 것을 말하고 있다.

Fig. 1-2의 주물은 이 시점에서 탕 흐름을 정지하고 있지만,

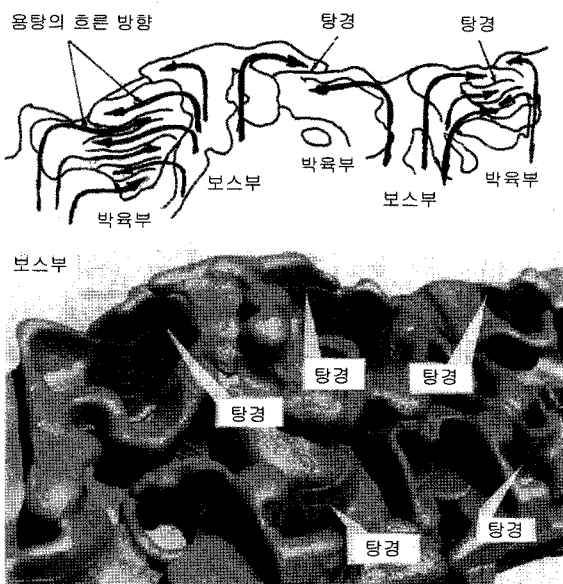


Fig. 1-2. 실린더헤드의 저온주입으로 나타난 박육부에 있어 수평흐름의 형적(탕경)

박육부에 있어서 선행의 용탕이 응고를 진행했다고 해도, 가열된 탕도가 박육부에 존재하고 탕이 공급되고 있는 한 용탕은 앞으로 진행하려고 했을 것이다. 즉 탕 흐름은 주형내 용탕의 평균온도에 한하지 않고 탕도가 고온으로 유지되어, 선단의 탕을 누르고 있는가 어떤가에 달려있다. 이것이 복잡한 박육주물이라도 탕이 미치는 원리이다.

(4) 급냉된 것은 탕 앞 뿐

다시 Fig. 1-1에 돌아가서 Figure의 C부에 달한 용탕은 최초로 캐비티내에 유입한 용탕은 아니다. C의 용탕은 어느 정도 탕면 수준이 상승한 단계에서 탕도로부터 유입해 온 용탕이다. 즉 C부에 달한 용탕은 선행의 용탕에 의해 가열되었던 중앙 탕도 부분을 발 빠르게 도달해 B부에 달하고, B에서 C에 거의 수평하게 흐른 용탕이다. A에서 B까지의 흐름에 있어서 용탕온도강하는 아주 약간이지만 B에서 C에 있어서는 차가운 주형에 접하기 때문에 급격하게 온도를 낮춘다. 혹은 급격하게 고상율을 증가시켜 조건이 나쁘면 탕 유동불량 혹은 탕경이 된다. 이 B에서 C의 유동시간만이 짧으면 좋지만, 그렇게 하기 위해서는 전체의 주입시간을 짧게 할 수 밖에 없다.

그러면 어떠한 주입시간이라면 타당할까.

2.3 환상의 최적주입시간

(1) Dietert의 주입시간

일본에서는 1960년경까지 많은 공장에서 미국의 GIRI(Gray Iron Research Ins.)가 나타낸 $t_p = S \sqrt{W_0}$ (t_p : 주입시간, S: 비례상수, W_0 : 주물중량)이 되는 Dietert의 식 (1)을 의지해 온 것 같다. 그러나 이 식 만으로는 내가 있던 공장의 실태와 맞지 않았다.

(2) 유동거리에서 Dietert식을 보정

Dietert의 식을 자동차용 주물에 맞추어본 바, 작은 것일수록 계산치보다도 실측치쪽이 주입시간이 길다고 하는 결과였다. 그 차이는 캐비티내의 탕 흐름 거리를 고려해 넣지 않았다는 것이 원인이 아닐까 생각했다. 그래서 Fig. 1-3(b)의 Figure 오른쪽 밑에 나타낸 바와 같은 $l = a + b + c$ 의 길이를 탕 흐름 거리로 가정하여, Fig. 1-3(a)의 대수 그래프에서 횡축을 거리 l [cm]로 잡고, 종축을 주입시간의 실측치 t_p 와, $S = 2.1$ 로 두었을 때의 Dietert식의 계산치 $2.1 \sqrt{W_0}$ 과의 비를 잡아 대수 그래프에 그렸다. 그러면 거의 직선 관계로 표현되었다. 직선의 식을 $Y = a(X-A)$ 로 해서 나타내면 종축의 $Y=0$ {실수로는 $t_p = S \sqrt{W_0} = 1.0$ 의 선상에서 횡축 $X = \log 43 (l = 43)$ 의 점을 통과하고 직선의 근배가 거의 $a = -1$ 로 간주하게 되는 직선관계가 되어 있다. 주입시간의 측정치와 Dietert의 식의 계산치가 일치하는 것은 $l = 43$ cm의 경우뿐이다. 직선의 식 $Y = a(X-A)$ 에 실수를 대입하면 $\log \{t_p = S \sqrt{W_0}\} = -1(\log - \log 43)$, $\{ = \log(43/l) \}$ 이 되기 때문에 t_p 와 l 의 관계를 구하면 $t_p = 2.1(43/l) \sqrt{W_0}$ 를 얻는다. 그래서 Fig. 1-3(b)에 나타내는 주입시간 산정도를 작성했다. 즉 $(43/l)$ 의 수치로 보정한 식을 채용하면 실정에 맞는 식이 되는 것을 알았다[5].

그런데 이 보정식은 일견 합리성이 있는 것처럼 보여도 Fig. 1-1에 나타난 박육부의 탕흐름의 실태에서 보면 Fig. 1-3(b)의 l과 같은 유동길이를 상징하는 사태가 단지 착상에 지나지 않았다는 것을 알았다. 진실은 Dietert의 제창을 모르는 현장의

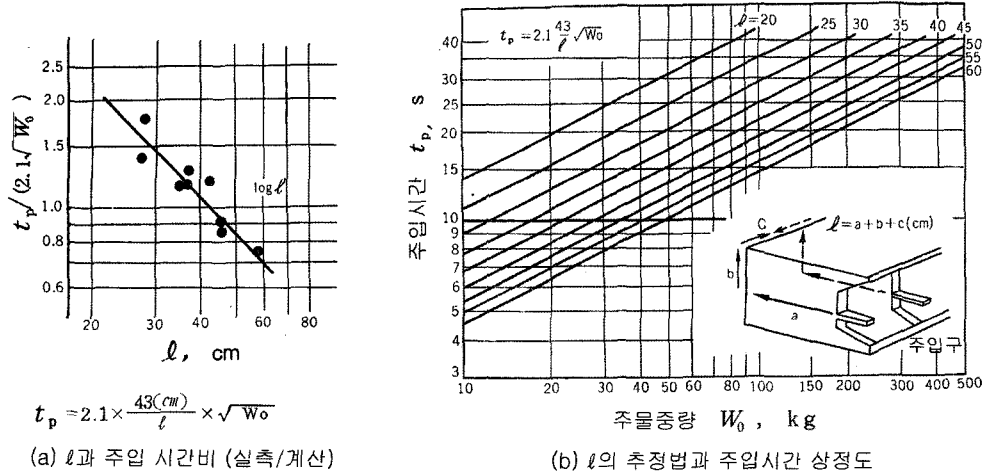


Fig. 1-3. 추정 탕흐름 거리에서의 Dietert의 주입시간을 보정하는 시도

담당자가 단순하게 탕구멍의 두께를 주물중량에 응해서 경험적으로 결정하고 있는 것에 지나지 않고 깊은 의미가 있는 것은 아니다. $\sqrt{W_0}$ 에 비례시키는 것이 아니라 $W_0^{1/3}$ 나 $W_0^{1/4}$ 에 비례시키는 정도로 해서 비례계수를 실정에 맞추는 것만으로도 유사한 결과가 얻어질 것이다.

(3) Dietert의 식을 개량한 Wallace&Evance의 식

Wallace&Evance[6]는 500 kg 이하의 박육주물에 대해서 Dietert의 식에 재질과 평균 육후를 가미한 식 (1)을 제공했다.

$$t_p = K \{1.41 + (D/1.46)\} \sqrt{W_0} \quad (1)$$

W_0 : 주물중량[kg] D: 평균 육후[cm] K는 보정계수로 주입온도와 CE값이 결정된 경우에 Fig. 1-4에서 읽을 수 있는 유동성(유동길이[cm])을 기준유동길이 100 cm로 뺀 것이다. (단지식 (1)은 lb, in 단위를, 국제단위로 환산한 것)

Fig. 1-4의 K값으로 보정하는 형의 식 (1)은, 초기과열도가 높은 만큼 용탕의 CE값(탄소당량)이 큰 만큼, 주물이 큰 만큼,

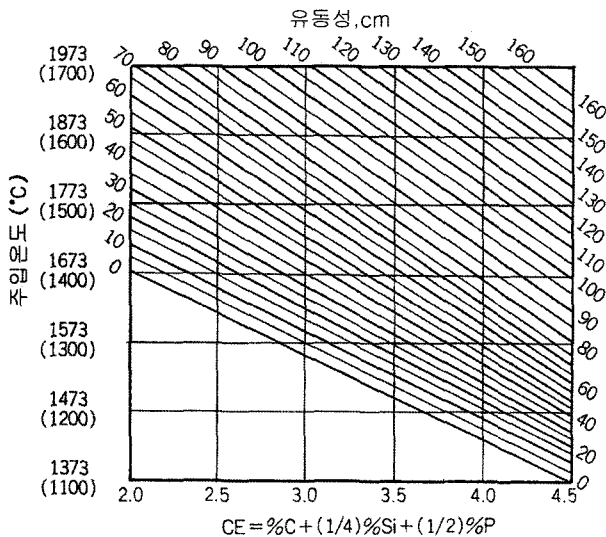


Fig. 1-4. CE값과 주입온도로부터 유동길이를 구하는 선 그림

평균 육후가 두꺼운 만큼, 주입시간을 길게하는 것이 좋다는 것이 되어 상식적이다.

앞서의 Bjorklund나 Trenchle의 실과 크게 다른것은 실험적으로 얻어진 유동길이비를 채용한 점이다. 결론은 Bjorklund나 Trenchle가 주입시간을 과열도의 2승에 비례시키는 것에 대해 Fig. 1-4에서 알 수 있듯이 과열도가 2배라도 주입시간은 1.8 배 정도, 그리고 가열도의 약 0.8승에 비례하는 정도로 하고 있는 점이 크게 다르다.

(4) 주입온도는 자유롭게 고를 수 없다.

이상의 생각은 주입온도에 의해 적절한 주입시간을 고르는 것을 추천하고 있는 것은 아니다. 주입시간은 탕구방안을 결정하면 거의 결정되어 버린다. 주입온도에 의해 주입시간을 바꾸는 것은 현실적이지 아니다. 주입온도는 각종 조건에 의해 자연적으로 어느 범위에 한정된다. 예를 들면 래들주입의 경우 최고온도 1450°C 이상으로 높이는 것은 일반적으로 불가능하다. 박육중·소형 주물공장에서는 공장 설계등의 관계상 주탕개시온도는 1450°C 이상으로는 할 수 없고, 1350°C 이하가 되면 탕 흐름 불량발생의 불안으로 주입을 멈추고 있다. 주입온도는 일반적으로 주물의 종류에 관계없이, 작업표준으로서 결정되는 것이 보통이다. 주물에 의해 주입온도를 선택하는 것도 주입온도에 의해 주입시간을 조절하는 것도 현장에서는 행해지지 않는다. 이상 서술한 바와 같이 Fig. 1-4는 현실적이지 않고 이상을 나타낸 것이지만 Fig. 1-4를 맞다고 가정하 다음의 문제를 고려해보자.

(문제) CE값 4.2의 용탕에서 주입온도 $T_p=1673 \text{ K}$ 일 때 주입시간 $t_p=18$ 초가 적당하다고 가정한다. 그런데 CE값이 4.0으로 낮추어져있다. 같은 주입온도라면 주입시간을 어느 정도로 변경하는 것이 적당한가, 반대로 주입시간을 바꾸지 않으면 주입온도는 얼마가 적당하다고 간주하는 것이 좋은가 Fig. 1-4로 판단하자.

(해답) CE값 4.2, 주입온도 1400°C에서는 유동길이는 90 cm, $K=0.9$ 이다. CE값=4.0, 주입온도 1400°C에서는 유동성은 80 cm, $K=0.8$ 이 되기 때문에 $18 \times 0.8/0.9=16$ 초, 즉 18

초를 16초로 조금 짧게 한 것이 좋다.

반대로 주입시간을 18초인 채로 유동성 90 cm(K=0.9)을 유지하려고 하면 Fig. 1-4에서 주입온도를 약 1440°C로 높이는 것이 좋다는 것이 된다. 경향으로서 그렇게 되는 하나의 이유이다.

(5) 식 (1)의 이론적 근거는 없다.

식 (1)에서 무엇인가 물리적 근거를 내어놓으려고 했던 현장의 사람이 있다. 경험측으로서 얻어진 결과에 물리적 근거를 구하는 것은 쓸데없는 경우가 많다. 단위가 몸을 이루는 것이 아니지 않은가. 유동성에 따른 보정계수 K값이라도 유동성의 실험적 비교경과로서 이것이 주입시간의 보정치로서 유효할지 아닐지는 별문제이다.

(6) 최적주입시간은 존재하지 않는다.

그러면 물리적인 근거를 가진 최적주입시간은 있는가. 나는 없다고 생각한다. 그러나 전혀 근거가 없는 것은 일을 진행하는 것에 불안이 있으므로 큰 안목으로서 식 (1)을 열거해 두었다.

주물마다에 최적주입시간이 있다고 하는 근거는 없지만 다음의 정성적 경향은 고려해 둘 필요가 있을 것이다.

유동성 불량을 생기게 하지 않기 위해서는 주입온도를 높게 하는 것이 좋지만 높게 하면 소착 등의 결함이 나올 위험이 있다. 또 용해설비에 의해 주입온도범위에서도 한계가 있다. 주입시간을 짧게 하면 작업성은 좋게 되지만 탕구계가 두껍게 되어 경제성은 나쁘게 된다.

(7) 주입시간을 고르는 방법의 결론

주입작업에 지장을 가져오지 않는 범위에서 주입시간을 될 수 있는 한 길게하는 것을 원칙으로 하지만 유동성 불량의 위험이나 작업에 지장이 생기면 약간 짧게 해도 좋다. 주입시간의 자유도는 꽤 크다고 생각되어진다.

원래 최적주입시간이라는 것은 존재하지 않고 “허용되는 주입시간의 범위만이 존재한다” 라고 나는 생각하고 있다. 그러나 근거 애매한 주입시간이라도 최초로 결정하지 않은 때에는 방안결정 작업이 진행되지 않는다.

주입시간이 결정되면 그 주입시간을 얻기 위한 탕구방안을 결정하면 좋다. 그 방법을 ‘탕구방안의 수력학’이라고 설명한다.

Q. 유동길이에 대해서: Fig. 1-4의 유동길이는 시험 주형의 흠의 크기에 의해 다르게 될 것이지만, 시험 주형의 사이즈는 결정되어 있는가. 또 CE값 구하는 법이 응고의 경우와 다른 것은 왜인가.

A. Fig. 1-3의 유동성은 그들이 실험에 제공한 spiral형 유동성시험주형에서의 유동길이(cm)이다. 시험주형이 다르면 유동길이는 다르게 된다. Fig. 1-4는 자사공장의 용탕을 만약 그들의 시험주형에 흘리면 얼마나의 유동길이가 되는가. CE값과 주입온도를 Fig. 1-4에 그리면 읽을 수 있는 것이다. 그러나 읽은 유동 길이를 이용하는 것이 아니고 CE값 4.5 주입온도 1400°C의 경우(혹은 CE값 4.2, 1450°C의 경우)의 유동길이 100 cm와의 비 K(무차원치)수치를 사용하는 것이어서 실험주형의 차에 의한 영향은 없어지는 것이다.

CE값이 응고의 경우와 약간 달라지는 것에 대해서 그들은 탕 흐름의 경우는 (1/3) Si보다 (1/4) Si로 한 쪽이 실제에 잘 맞는 것뿐이라고 서술하고 있다.

Q. 여러개 빼낼 경우의 주입시간: 주형내에 2개 이상을 동시에 주입하는 경우에는 주물 1개당의 주입시간을 생각하는가 아니면 i상자마다의 주입시간을 생각하는가.

A: 각각의 주물에 최적주입시간이 존재한다고 생각했던 시대에서는 1개당의 주입시간이라고 하지 않으면 도리에 맞지 않는다. 그러나 작업성을 우선하는 것이라면 탕구로 연결한 모든 것을 1개의 주물이라고 생각해서 1상자마다의 주입시간을 선택하는 것이 실제적이라고 생각되어진다.

3. 이물질의 제거

3.1 주탕받이에 있어 이물질의 부상

(1) 주탕받이에서 얻어지는 것은 큰 이물질 뿐

용탕내에 포함된 슬래그, 개재물등의 이물질은 래들내에 있는 사이에 부상시켜서 제거할 수 있다면 좋지만 실제로는 약간 용탕에 섞여 주입되어 버린다. 주탕받이내는 교반상태로 있으므로 부상분리에는 적당하지 않다. 주탕받이에서 잡히는 것은 큰 덩어리 뿐이다. 소립의 이물질의 제거까지는 기대할 수 없다.

주탕받이에서 얻어지는 것은 큰 이물에 한정되어 있어도 주탕받이에서의 이물질 부상분리를 효과적으로 하는데는 주탕받이내 용탕레벨을 빨리 높여, 넘치기 전에 유동을 급감시킨다는 민감한 주탕동작이 요구된다. 그것이 숙련자의 주탕작업 요령으로 되어있다.

Q. 기민한 주탕법: 이물질 분리를 위해서는 기민한 주탕조작이 필요로 하지만 안전하고 기민하게 조작하기에는 어떠한 주탕장치를 고르면 좋은가

A. 수동주탕의 경우: 스토퍼식 래들은 유량의 조절을 할 수 없다. 경사래들은 유량 조절이 용이하다. 특히 드럼형 래들은 밸런스가 좋고 경사 핸들의 감속을 작게 할 수 있으므로 비교적 기민한 경사가 가능하다.

자동주탕의 경우: 전동 경사는, 기민성에 결여되는 결점이 있다. 저자들은 주탕구 가깝게 위치하는 경동축을 직렬 2단 실

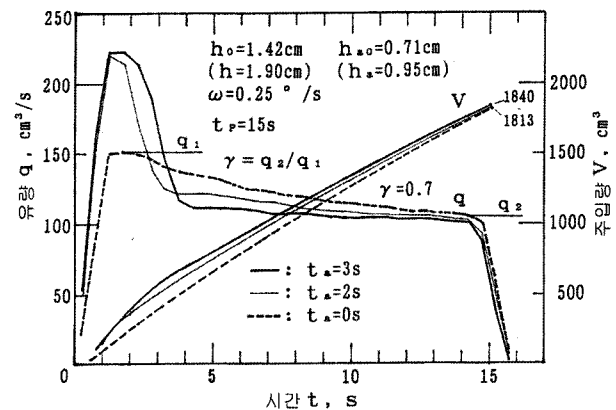


Fig. 1-5. 초기유량을 높이는 이상적 주탕

런더로 동시에 떨어뜨려 2,3초 후에 1단째를 복원시키는 경동축 2단 승강 자동주탕기를 고안했다. 이 방법을 채용하면 Fig. 1-5의 유동곡선과 같이 초기의 유량은 크지만 다음의 1단째의 복원으로 주탕반이의 용탕레벨을 적절하게 유지할 수가 있다. 숙련된 주탕작업자는 이 Figure와 같은 유동곡선이 되도록 손가감으로 유동을 조절하고 있을 것이다.

3.2 탕구계에 있어서 이물질의 포착

탕도는 중요한 이물질 포착장이다. 주탕반이에서 포착해서 얻어지지않은 슬래그, 개재물, 모래등의 이물질은 탕도를 통과하는 사이에 잡혀서 주입구에 들어가지 않도록 한다. 그 방법을 대별하면

- 1) 용탕과의 밀도차를 이용해서 분리시킨다.
 - 2) 세라믹폼 필터를 통과시켜서 잡는다는 2개의 방법이 있다.
- 1)은 또한 탕도에서 부상 분리시키는 방법과 스월게이트라고 불리는 사이클론내에서 원심분리시키는 방법이 있다.

3.3 탕도에서의 이물질 부상분리 기구

- (1) 탕도의 조용한 흐름, 0.5초의 부상시간

탕구계 중에서 탕도만이 이물질을 부상 분리시킬 수 있는 유일한 장소이다. 용체내에서의 이물질의 부상속도는 용체내 이물질의 중력(밀도로 향함), 부력(위로 향함), 부상때 생기는 저항력(밀도로 향함)과의 균형에서 계산할 수 있다. 그것에 의하면 큰 입자의 이물질일수록 그 직경의 평방근에 비례해서 부상속도가 크게 된다. 작은 입자일수록 띄우기 어렵다.

그러나, 일부러 부상 분리시켜도 난류가 있으면 다시 용탕내에 혼입된다. 수평 흐름이 되는 탕도내에서는 조용한 흐름이

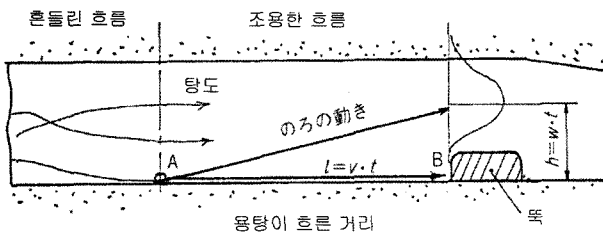


Fig. 1-6. 탕도에 있어 슬래그의 부상분리기구

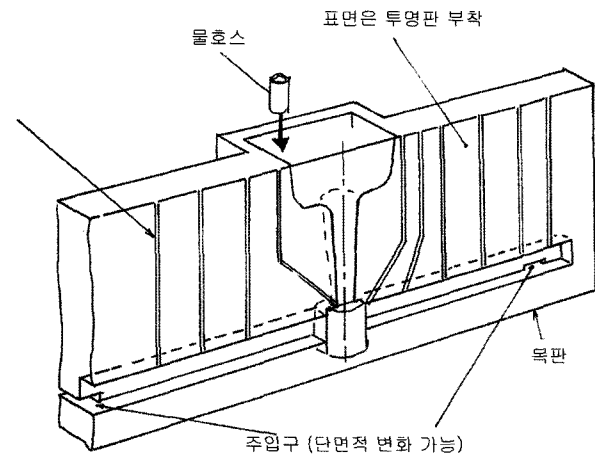


Fig. 1-7. 탕구방안의 탕흐름을 물의 흐름으로 조사하기 위한 방안모형

되기 쉽고 혼입은 일어나기 어렵다. 부상 분리에 상황이 좋은 장소이다.

부상한 이물질을 주입구에 넣지 않기 위해서는 Fig. 1-6에 나타낸 바와 같이 이물질이 주입구 입구의 위를 통과하면 좋다. 부상하는 높이의 편차를 생각해서 주입구보다 충분히 높은 h의 높이까지 부상시키는데 부상속도를 w로 한 경우 시간 t가 필요하다면 그 사이에 용탕은 유속v로 거리 vt=l만큼 진행하게 된다. 즉,

$$h = wt = w \cdot l / v \quad (2)$$

의 관계식이 성립한다. 식 (2)는 거리 l이 긴 만큼 또 유속 v가 늦은 만큼 이물질이 잘 부상하는 것을 나타내고 있다. 바꿔 말하면 부상에 도움이 되는 거리 l이 짧으면 탕도의 유속v를 작게 할 필요가 있지만 그것에도 한계가 있다.

미국의 GIRI(Gray Iron Research Ins.)[8,9]에서는 탕구저로부터 15 cm까지는 주입구를 붙이지 않고, 그 사이의 유속을 30 cm/s로 하도록 추천하고 있다. 즉 탕구저로부터 최초 주입구까지의 사이를 용탕이 흐르는 시간을, 0.5초 이상 주는 것을 추천하고 있게 된다.

- (2) 단지형 탕구저의 효과

탕구저 부근의 흐름에는, 요동이 남는다. Fig. 1-7에 나타내는 탕구계의 모형에 물을 흘려서 관찰하면, GIRI로 정한 Fig. 1-8(a)의 단지형의 탕구저가, 흐름의 요동을 빨리 고치는데 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 용탕이 탕구를 강하하는 사이에 중력으로 가속되어, 그것이 탕구저에 충돌한다. 다음에 용탕은 측면에 충돌해서 흐름을 위로 향하게 바꾸게 되므로 수평방향

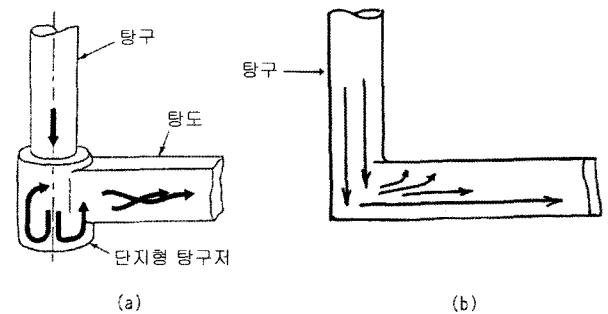


Fig. 1-8. GIRI 탕구방안의 항아리형 탕구저(a)와 L형 탕구(b)

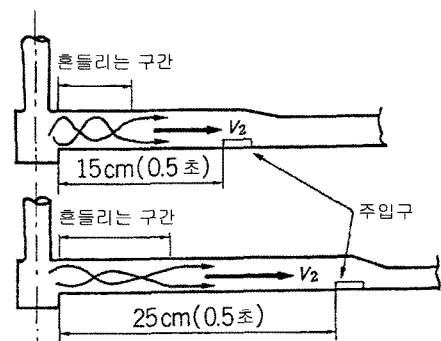


Fig. 1-9. 까지의 탕도가 길게 잡힐 경우의 탕도의 유속 v2 주입구

의 탕도의 유속이 제어되고 탕도내의 흐름을 가라앉히는 것이다. 이 점이 중요하다.

Fig. 1-8(b)과 같은 L자형 탕구저를 이용한 경우의 흐름에서는 탕구저 충돌의 기체를 가진채 탕도의 저면을 용탕이 고속으로 달린다. L자형 탕구저는, 탕도의 흐름이 요동하기 쉽다. L자형은 구조가 단순하다는 이외에 바람직한 점이 없다.

(3) 포착효과는 스크랩야드에서

탕도에서 실제로 개재물이 부상 분리되어 있는가 어떤가를 조사하는데는 용해장의 스크랩야드로 리턴재가 되었던 탕도의 스크랩을 부딪쳐보면 알 수 있다. 다음의 칼럼 1에서 나타내는 GIRI 탕구방안에 의한 탕도에서는 탕구저 가까운 탕도에서 개재물이 부착하고 있는 것을 2할 정도나 발견한 일이 있다. 표면에 부착하고 있기 때문에 곧 바로 알 수 있다.

(4) 탕도를 길게 잡는 경우

탕도의 길이와 슬래그의 부상 분리효과의 관계를 다음의 문제에서 생각해 보자.

[문제] GIRI 탕구방안에서는 탕도에서 슬래그를 부상 분리시키기 위해 전술한 바와 같이 탕구저로부터 15 cm의 사이에 주입구를 붙이지 않고 탕도의 유속을 30 cm로 하고 있다. 만약 Fig. 1-9와 같이 탕구로부터 주입구까지의 거리가 25 cm라고 한다면 탕도의 유속을 얼마까지 빠르게 하면 좋을까

[해답] 탕도의 유속을 높이면 그만큼 탕구계가 경량이 되어 경제적이다. 유속 30 cm로 거리 15 cm가 필요하다는 것은 0.5초간의 슬래그 부상시간이 필요하다는 의미이다. 25 cm를

0.5초에 흐른다면 탕도의 유속은 $v_2 = 25/0.5 = 50 \text{ cm/s}$ 가 적절하다는 것이 된다.

해답으로서는 이상으로 좋지만 유속이 증가하는 만큼 흐름이 흐트러져 슬래그의 부상 분리효과를 잃는다. 탕도의 유속 50 cm/s에서는 흐름이 꽤 요동하기 쉬운 상태로 생각하는 쪽이 안전하다. 40 cm/s 이상으로 하는 것은 될 수 있는 한 피하는 것이 좋다. 혹은 탕구저로부터 15 cm만은 유속 30 cm/s로 억제하고 그 이상의 곳은 유속을 빠르게 하는 방법도 있다.

칼럼 1 GIRI의 탕구방안

Fig. 1-10의 좌상이 탕도 초오크방안(Runner choke gating system)으로, 우상이 탕구 초오크방안(Sprue choke gating system)이다. 탕구는 어느 것이나 밑으로 가는 것에 따라 가늘게 되는 경사탕구이다. 탕도는 탕구저로부터 좌우로 나누어져 있지만, 그 경우의 탕도·주입구의 단면적은 좌우를 합계한 크기로 생각한다. 탕도 초오크방안의 경우, '탕구의 하부의 단면적은 탕도 초오크의 단면적과 같은 크기로 한다' 라고 쓰여져 있다. 따라서 탕구 초오크방안은 실제로는 탕구와 탕도의 2단 조임이라고 생각할 수도 있다. 탕구가 긴 경우에는 이 2단 조임은 효과가 있지만, 물을 흘려서 관찰해 보면 탕도내의 흐름의 요동이 크다. 따라서 탕도 초오크방안을 나는 추천하지 않는다.

GIRI 탕구방안의 특징은 탕구비(탕구 초오크, 탕도, 주입구의 단면적비)가 1:3:2 혹은 1:4:2여서 다른 방안과 비교해서 탕도 단면적이 큰 것 또 주입구 0. 단면적비가 다른 방안의 2배 정도나 큰 것이다. 이것들의 이점이 계속 명백해진다.

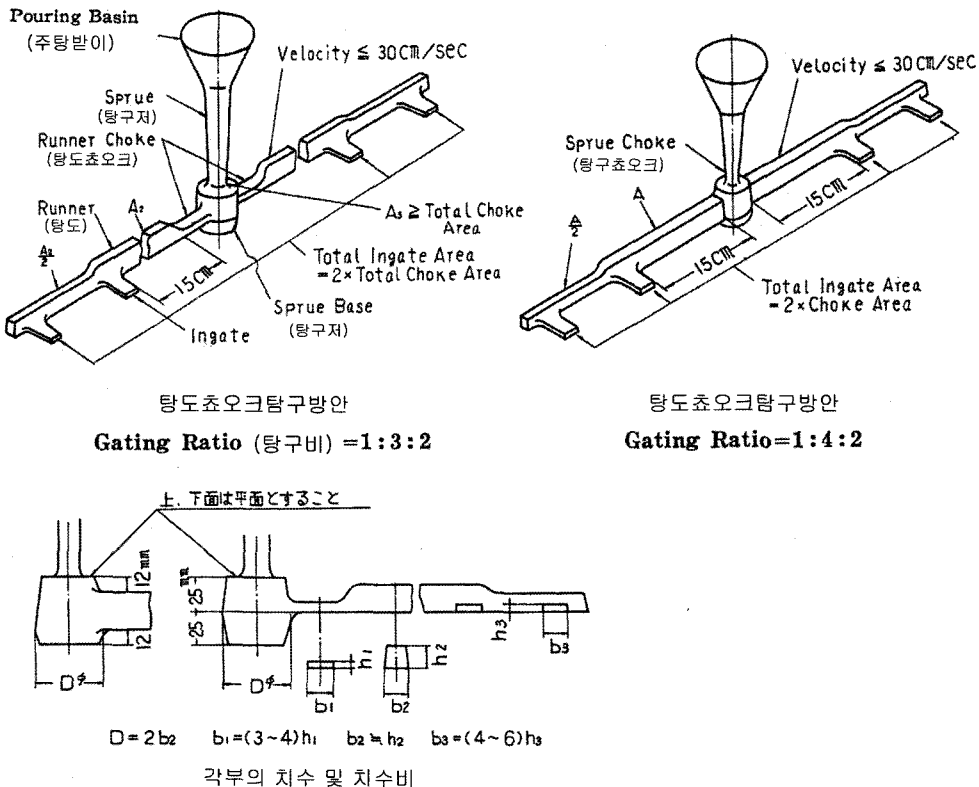


Fig 10. GIRI의 탕구방안

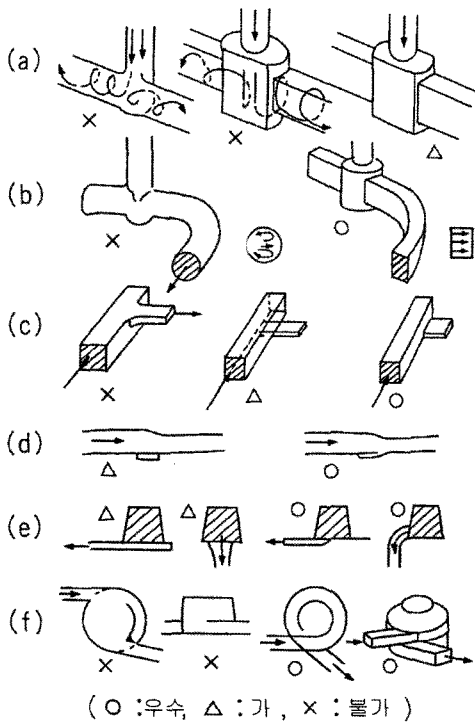


Fig. 1-11. 탕구방안의 형상 우열

3.4 탕구, 탕도, 주입구의 결합

세부적 공리로 이물질 포착효과가 변한다. 이물질을 탕도에서 포착해서 주입구로부터 캐비타내로 유입하지 않기 위해서는 탕도나 주입구에 Fig. 1-11에 나타난 바와 같은 배려가 필요할 것이다.

(a)는 탕도내의 선회 흐름을 피하는 탕구저의 형에 대해서이다. 탕구와 탕도의 중심선이 벗어나 있으면 선회흐름이 된다. 단지형 탕구저의 한쪽 면의 팽창이 모래 부착이 적은 것을 이유로 현장에서 제멋대로 잘려버린 적이 있었다. 한쪽만 잘린 형의 모형에 물을 흘려 관찰하면, 탕도내가 선회 흐름이 되어 있는 것을 알 수 있다. 자른다면 대칭적으로 양면을 자르는 쪽이 좋다.

(b)는 굴절이 있는 탕도의 경우로 탕도단면을 원형으로 하면 중심부의 유속이 외측보다 크기 때문에 생기는 원심력의 차이로 혼입 흐름이 생긴다. 단형단면(短形斷面)을 골라야만 한다.

(c)는 주입구의 붙이는 방법에 대해서이다. 주입구를 탕도의 위쪽으로 붙이면 일부러 부상 분리한 이물질을 정중하게 주물의 속에 인도하게 된다. 전술의 이물질 부상 분리기구로부터도 주입구는 탕도측면의 낮은 위치에 붙이는 쪽이 좋다. 얇은 주입구, 즉 판 주입구를 고르는 일도 효과가 있다고 생각되어진다.

(c) (d) (e)는 상형에 탕도를 붙여, 하형에 주입구를 잘라 있던 손 조형의 잔재라고 생각되지만, 최초로 흘러온 탕 선단의 용탕이 주입구에 흘러들어오기 때문에 바람직하지 않다. 탕 선단의 용탕은 탕도 앞까지 보내져서 정지시키는 것이 바람직하다.

3.5 스월게이트

(1) 어중간한 이유에 의한 착각

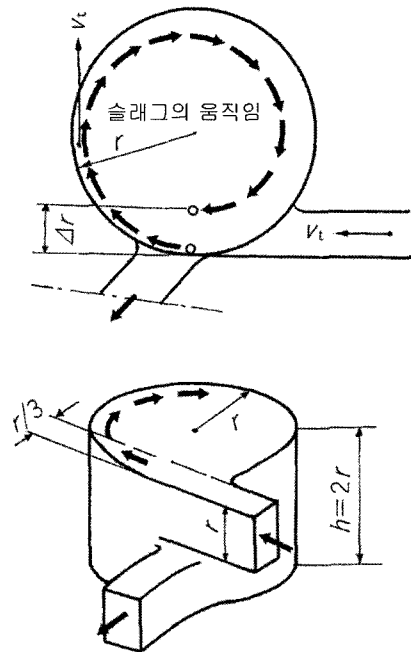


Fig. 1-12. Swirl gate에 의한 원심분리

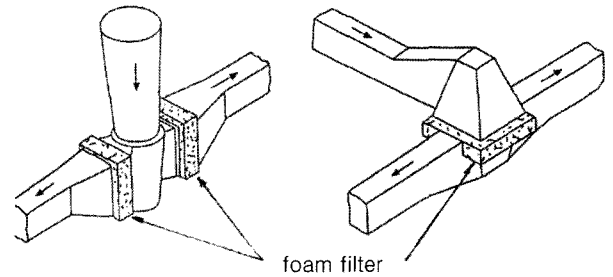


Fig. 1-13. 바람직한 세라믹 폼 필터의 부착법

Fig. 1-12와 같은 스월게이트에서 이물질을 원심분리시키는 방법도 자주 이용되어진다. 질량 m에 걸리는 원심력 F는, $F=mv^2/r$ (r: 회전반경, v: 접선방향의 속도)이므로 반경이 적은 만큼 또 유입속도가 큰 만큼 원심력이 크게 되어 스월게이트를 콤팩트하게 할 수 있어 적합하게 생각하기 쉽지만 원심분리에는 원심력 외에 시간도 필요하다. 소형이 되면 분리에 필요한 시간은 짧게 된다. 또 원심분리와 동시에 부상분리도 일어나고 있다. 그 양방으로 스월이 적은 만큼 효과는 떨어지게 된다.

복잡한 구조는 설계자의 번거로움이라는 다른 결과를 가져오는 일도 있다. 예를 들면 스월게이트내에서 용탕이 한번 회전하는 것을 기대해도 실제로는 Fig. 1-11(f)의 왼쪽 끝 Figure와 같이 절반 회전으로 나오고 마는 가능성이 없다고는 말할 수 없다. Fig. 1-12와 같이 입구와 출구에 단차를 주면 잘 1회전시킬 수 있을지도 모른다.

1회전 한다고 해도 계산하면 같은 정도의 이물질 분리효과를 얻기에는 스월게이트보다도 탕도에 의한 부상 분리의 쪽이 적은 체적으로 끝날 것으로 생각된다.

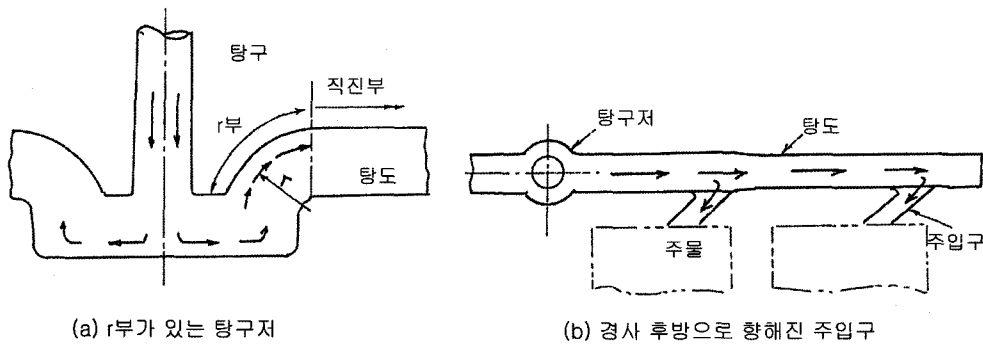


Fig. 1-4. 의문이 남는 굴절에 의한 이물질 분리효과.

(2) 압탕 겸용으로서 이용

스웰게이트내의 유속을 크게 하기 위해서는 입구를 꽤 크게 해도 좋지만 출구는 유속이 낮아지므로 단면을 두껍게 한다. 이 관계는 압탕의 경우와 같다. 스웰게이트를 압탕 겸용의 목적으로 붙인다면 이치에 적합하지 않을까 생각된다.

3.6 세라믹 폼필터

(1) 흐름의 저항이 늘어나는 것에 주의

세라믹 폼필터에 의한 이물질 제거포착효과는 극히 높고, 각종의 필터가 제공되어있다. 필터의 삽입으로 흐름의 저항이 늘어나는 것을 피하기 위해 필터설치개소에서는 Fig. 1-13과 같이 탕도의 단면적을 2배로 높이는 것이 권장되고있다.

(2) 종래형 스키마와의 차이

폼필터를 탕구의 하부에 붙이고 있는 예를 보았다. 이 위치에서는 빠른 속도를 위해 일부러 포착한 슬러그가 다시 후속의 용탕으로 밀려흐를 위험이 있다. 초오크 대신에 사용한다면 1구멍 또는 몇 구멍의 종래형 스키마라고 칭하는 것과 맞는다. 그것이 필터로서의 효과가 있다고 잘못 알고 있는 책자가 있다. 2mm 정도 이상의 틈 구멍에서는 이물질 포착의 기대는 할 수 없다.

Q: 자주 사용되는 탕구저: Fig. 1-14(a)와 같은 탕구저가 자주 이용되지만 전술한 GIRI의 탕구저는 그것보다도 뛰어나다고 생각되어지는가.

A: 독일의 어느 기업으로부터 배웠다고 하는 어느 나라의 주물공장에서 같은 Figure와 같은 탕구저를 이용해왔다. 그들이 탕도에 넣기 전에 윗 돌출의 커브는 어떠한 목적인가를 질

문하면 ‘커브인 곳에서 원심력에 의한 이물질 분리를 시키기 위해’라는 답이 돌아왔다. 이물질은 용탕보다 밀도가 작기 때문에 이물질보다도 용탕 쪽이 강한 원심력을 받기 때문에 이물질은 반대로 내측에 올 것이다. 억지로 이 탕구저의 이점을 든다면 탕구의 속도에너지를 죽이는 효과가 밑의 평평한 L형 탕구저보다는 훨씬 좋고 GIRI의 탕구저에 가까울 것이라고 생각되는 점이 있다. 그렇지만 그 목적이려면 GIRI의 탕구저 쪽이 콤팩트해서 경제적이라고 할 수 있다. 탕도의 길이도 GIRI의 형 쪽이 길게 취해지기 때문에 그것만 이물질의 부상 분리에 유리할 것이다.

같은 이유로 Fig. 1-14(b)와 같이 주입구의 향함을 비스듬하게 뒤로 향해도 직각 향하기의 주입구보다 이물질의 유입이 거의 없게 된다는 근거는 없다.

참 고 문 헌

- [1] H. W. Dietert : Trans. AFS 34 (1926) 1038.
- [2] Bjorkulund : Modern Casting, Apr. (1962) 68.
- [3] Trenchle : Giesserei, Aug. (1962) 548.
- [4] 松田政夫 : 鑄物 61 (1989) 12, 882.
- [5] 松田政夫 : 綜合鑄物 3 (1962) 3, 21.
- [6] J. F. Wallace, E. B. Evance : AFS Trans. 65 (1957) 267.
- [7] 松田政夫, 頃安貞利 : 鑄造工學 71 (1999) 7, 443.
- [8] G. I. R. I. Report 231, June (1957).
- [9] 日本綜合鑄物センター : 文獻8)의譯, 研究調査報告 25 (1964) 67.