

# 초심자라도 아는 주철주조방안의 기초 (제 2회)

松田政夫\*

松田技術士事務所

## Basic of Gating System & Risering on Iron Castings for Primary Engineers - Part 2-

Masao Matsuda\*

Matsuda Consulting Engineer Office

번역 : 최정철<sup>2)</sup>

### 4. 탕구방안의 수리학

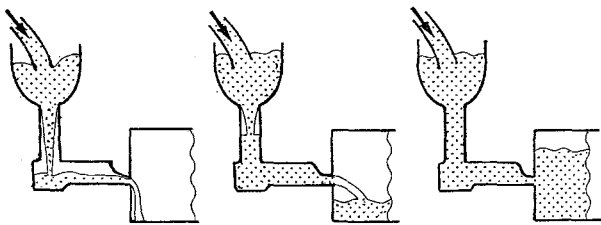
#### 4.1 탕구계 흐름의 3단계

주입개시부터 종료까지의 탕구계의 흐름을 그림 1-15와 같이 다음의 3가지 단계로 나누어 생각했다.

- 1) 탕도가 충만될 때까지의 단계
- 2) 주물이 되는 캐비티내의 용탕레벨이 주입구 위치까지 달하지 않는 단계(개방 주입구의 단계)
- 3) 용탕레벨이 주입구위치를 넘고나서 완전히 충만하기까지의 단계(잠수 주입구의 단계)

2)의 단계만은 탕구계의 흐름이 정상상태를 유지하고 있으므로 먼저 이 단계에 대해서 생각한다.

탕구방안의 흐름을 이해하기에는 수리학의 지식이 도움이 된다. (칼럼2)에서 간단한 수리학의 상식을 이해해보자.



(a) 탕도가 충만하지 않은 단계 (b) 개방주입구의 단계 (c) 잠수주입구의 단계

그림 1-15. 주입중의 3단계

(칼럼2) 간단한 수리학(압력헤드, 속도헤드, 유량계수, 압력구배선, 에너지 구배선)

그림 1-16의 액조에는, 좌하측면에 노즐이 있어서 그 노즐로부터 속도 v로 액체가 분출하고 있는 것으로 한다. 유출량과 같은 량이 끊임없이 위로부터 보급되고 있다고 하는 정상상태를 가정한다.

노즐의 위치로부터 보면, 탕크의 액면은  $H_1$ [m]만큼 높은 위치에 있다. 노즐에는  $H_1 \times \rho$ 의 압력이 걸려있다.  $\rho$ 는 액체의 밀도이다. 그 압력에서 v라는 노즐의 속도를 얻는 것이다. 거기서 이  $H_1$ 과 v와의 관계를 얻기 위해 단순한 물리의 문제로서, 우선 높이 H(m)의 위치에 있는 물체가 갖는 에너지에 대해서 생각해 보자.

에너지: 에너지라는 것은 일량을 다루는 소스이다. 단위는 일과 같은 [J(줄)]로 표시된다.

일량=힘×거리이다. 어느 물체에 1[N(뉴턴)]의 힘을 가해서 1[m]이동시켰을 때, 물체에 부여한 일량이 1[J(줄)]의

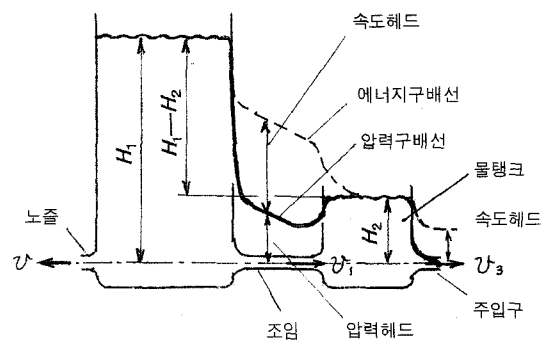


그림 1-16. 수리학의 설명도

1) 日本鑄造工學會誌 Vol 77, No.2, pp. 142~149에 게재된 자료임.

2) 아주대학교 신소재공학과(Dept. of Materials Science and Eng., Ajou University)

일량이다.

그 1[N]의 힘이란 가령 잘 미끄러지는 얼음의 위에 1kg의 물체를 두어 옆에서 부터 손으로 눌러서 1m/s<sup>2</sup>의 가속도를 물체에 주었을 때의 손에 받은 반력이다. 그래서 1[N]=1[kg]×1[m/s<sup>2</sup>]이 된다.

실제로 1[N]의 힘을 체험하는 데는 받침대만을 손으로 눌러서 눈금이 1kg을 눌렀을 때의 손에 받은 반발력의 약 1/10이 1[N]의 힘이라고 인식해 두면 좋다.

높은 위치에 있는 물체의 에너지: 거기서 질량 m[kg]의 물체가 지구의 중력의 가속도g(=9.8m/s<sup>2</sup>)에 거역해서 어느 높이 H까지 갖고 올리면 그 물체는 m/s×H[kg·m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>](혹은 [J])의 에너지를 갖게 된다. (질량 m이 아니고 체적 V로 생각한다면, m 대신에 ρV를 넣으면 좋다.(ρ: 밀도)

그래서 H의 높이에 있는 물체가 갖는 에너지의 크기는 높이 H를 보면 짐작이 간다. 더우기 H는 [m]이나 [cm]의 단위의 치수로 보이는 값이기때문에 알기 쉽다.

거기서 이 H를 에너지를 나타내는 1개의 지표로 생각해서 이것을 압력수두(壓力水頭)라고 부른다. 용탕을 취급하는데 왜 수두라고 불리는가라고 하는 익숙하지 않은 편도 있으므로 여기서는 영어의 head를 취해서 헤드라고 부르며, 압력헤드라고 부른다.

반대로 m[kg]의 물체가 H의 높이에 있어 지구와 서로 끌어당기는 중력의 가속도 g(9.8[m/s<sup>2</sup>])로, 높이 H를 낙하하면 m×g의 힘으로 거리 H[m]만 움직인 것이 되기 때문에, m×g×H와 같은 크기의 운동의 에너지를 갖게 된다. 이때 최초로 위치해 있던 H를 위치헤드 혹은 포텐셜헤드라고 부른다. 그림 1-16의 액조의 탱면에는 H<sub>1</sub>의 위치헤드를 갖고 있게 된다.

v의 속도를 갖는 물체의 에너지: H의 높이를 낙하하고, 속도가 v가 되었을 때 높이 H와 속도 v와의 관계는 H=v<sup>2</sup>/(2g)이다(이것은 간단한 적분으로, v=gt, H=gt<sup>2</sup>/2=g(v<sup>2</sup>/g<sup>2</sup>)/2인 것으로 부터 알 수 있다). 이 H=v<sup>2</sup>/(2g)의 것을 속도헤드라고 부른다. 단위는 [m]이다.

속도헤드를 에너지로 표시하면 위의 식 H=v<sup>2</sup>/(2g)의 양변에 mg를 곱해서, mgH=m·v<sup>2</sup>/2가 된다.

헤드로 표시한 H=v<sup>2</sup>/(2g)를 다시 쓰면 v=√2gH가 된다. 이하 이 식과 유사한 식을 잘 사용한다.

여기서 그림 1-16에 돌아간다. 손실이 전혀없는 경우: 그림 1-16의 좌측의 흐름으로 생각한다. H<sub>1</sub>의 압력헤드가 있는 액조의 노즐로부터, 대기중에 분출하는 액체의 속도 v는 v=√2gH<sub>1</sub>라는 것이 된다. 이 등식은 실제로는 일어날 수 없다.

압력헤드의 일부가 점성으로 먹혀진 경우: 실제로는 에너지의 손실이 일어나고 일부가 점성에 먹혀서 그 부분만큼 유속이 내려간다. 내려가는 것을 나타내는데 1보다 적은 수치 C를 곱해서 v=C√2gH<sub>1</sub>로 한다. C를 유량계수라고 부른다. 수력학의 조보는 일종의 계수의 과학이어서 실용적으로 되어 있다.

흐른 후에 압력헤드가 남아있는 경우: 그림 1-16의 우측의 흐름을 생각한다.

끝난 후의 소액조내에 H<sub>2</sub>의 압력헤드가 있어 중간의 조임의 유속이 v<sub>1</sub>로 되어 있으면 v<sub>1</sub>을 일으키는 원동력은 (H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>)의

압력헤드차이다. (H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>)의 압력헤드차가 모든 속도헤드로 전환되는 것은 아니고 조임의 입구손실이나, 조임내의 관 마찰로 잃어버려 속도헤드는 일만가 작게 된다. 작게 된 속도 v<sub>1</sub>를 나타내는데 유량계수 C<sub>1</sub>을 곱해서 v<sub>1</sub>=C<sub>1</sub>√2g(H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>)로 나타낸다.

조임의 단면적이 일정하다면 v<sub>1</sub>는 일정하고 도중의 속도헤드도 같이 일괄적이다. 압력헤드만이 감소해간다.

조임의 앞 소액조내에 들어가면 속도헤드는 대강 점성에 먹혀서 소감하지만 일부는 압력헤드로 복원한다. 그림의 H<sub>2</sub>는 복원한 후의 압력헤드이다.

이상의 압력헤드의 이동변화를 실선으로 나타냈다. 이것을 “압력구배선”이라고 부르고 있다. 압력헤드에 속도헤드를 더한 즉 도중에 갖고있는 에너지 저부의 크기를 헤드로서 표시한 것이 파선으로 이것을 “에너지구배선”이라고 부르고 있다.

배압(背壓)이 없는 경우: 그림 1-16의 주입구출구에서는 배압이 없다. 탱크내의 압력헤드 H<sub>2</sub>가 주입구의 흐름을 가속하고, v<sub>3</sub>의 유속을 가져오는 것이지만, 여기서도 손실이 있으므로 유량계수 C<sub>3</sub>를 곱한다. v<sub>3</sub>=C<sub>3</sub>√2gH<sub>2</sub>의 유속이 된다. 손실의 비율: 손실은 조임의 입구손실, 조임의 도중에 있어서의 관 마찰 손실등이다. 손실은 없어지는 것이 아니라 엄밀하게 말하면 열로 변한 것이다.

우리가 원하는 것은 에너지 중 어느 만큼 이용되었는가이다. 중간의 조임에 대해서 말하면 압력헤드차(H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>)중 이용된 비율 r을 r=(v<sub>1</sub><sup>2</sup>/2g)/(H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>)로 하면 v<sub>1</sub><sup>2</sup>=r·2g(H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>), v<sub>1</sub>=√r·√2g(H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>)이고 이 관계로 부터 유량계수 C<sub>1</sub>을 √r을 표시하고 있는 것을 알 수 있다.

### 4.2 정상상태에 있어서의 수력학

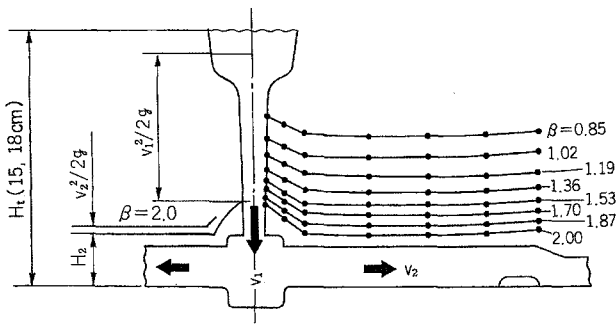
사용하는 첨자: 탱구방안의 흐름을 아는데는 수식의 도움을 빌리지 않으면 안된다. 수식에는 많은 기호를 사용한다. 같은 기호는 첨자를 붙여서 구별한다. 첨자에 숫자를 사용한 경우는 다음의 개소를 나타내도록 한다.

첨자의 0은 주탕받이, 1은 탱구, 2는 탱도, 3은 주입구 단지 주입구로 부터 주탕받이액면까지의 높이만은 t(전부의 뜻)을 이용한다. 예를 들면 v<sub>1</sub>은 탱구조임의 유속, A<sub>3</sub>은 주입구의 단면적, H<sub>1</sub>은 주입구로 부터 주탕받이 액면까지의 높이를 나타낸다.

GIRI탕구조임 탱구방안의 예를 나타낸다. 앞서 그림 1-17에서 나타낸 GIRI의 탱구조임 탱구방안을 모형한 관로로 물을 흘리고 압력헤드 혹은 속도헤드를 측정하고, 그것을 선 그림으로 나타낸 것이 그림 1-17이다.

그림 1-17의 주탕받이→탕구조임→탱도→주입구의 순은, 우선 나타낸 그림 1-16의, 최초의 액조→조임→소액조→주입구의 순과 대응한다.

그림 1-17의 우측의 기호 β는 주입구비(주입구의 총단면적/탕구조임의 단면적)이다. β=0.85~2.0에 걸쳐서 각부의 압력헤드, 혹은 그 압력헤드를 연결한 압력구배선을 나타내고 있다. 또 그림의 좌측에는, β=2.0일 때의 탱도의 압력헤드 H<sub>2</sub>와 압력헤드에 속도헤드를 더한 에너지구배선을 나타내고 있다.



(Ht를 15cm와 18cm로 하여 측정하고 헤드비로 표시했다. 탕구조입을 바꾸지 않고 주입구의 탕구비 β를 바꾸어 측정)

그림 1-17. 탕구조입 탕구방안의 물모델실험에 의한 탕구저 및 탕도의 압력헤드 측정치

탕도의 손실헤드는 비교적 적으므로 무시될수 있지만 그래도 용탕이 탕도선에서 충돌하고 약간 압력헤드로 회복하고 있는 모습이 압력구배선에 나타나고 있다.

중요한 것은 주입구의 유속을 다루는 것은 주입구 직전 탕도의 압력헤드 H<sub>2</sub>만으로 그것 이외 개소의 압력헤드에는 전혀 영향주지 않는다는 것이다.

### 5. 탕구방안의 설계

#### 5.1 탕구방안설계의 순서

계산으로 구하는 것은 각부의 단면적이다. 탕구, 탕도, 주입구등의 배열을 정한 후, 각부의 단면적을 구하면 탕구방안의 골격이 정해진다. 구체적인 계산에는 8. 탕구방안의 계산연습에서 나타내므로, 여기서는 계산순서만으로 그친다.

- ① 주입중량 W<sub>p</sub>을 구한다.

$$W_p = \text{제품주물중량 } W_0 / \text{주방율 } \eta$$

주방율이란 주입중량에서 탕구, 압탕, 부유물등을 제외한 제품주물중량의 비율(W<sub>0</sub>/W<sub>p</sub>)을 나타내고, 통상의 주물공장에 있어서는 η=0.70-0.75(압탕을 붙이는 경우는 0.60-0.65)정도. [주] 압탕이나 부유물등을 주물중량 W<sub>0</sub>의 일부로서 취급하는 방법도 있지만, 이 경우의 주방율 η는 당연 다르게 된다.

- ② 주입체적 V<sub>p</sub>을 구한다. V<sub>p</sub>=W<sub>p</sub>/ρ

용탕의 밀도 ρ는 유럽, 미국 모두 6.1 g/cm<sup>3</sup>의 값을 이용하고 있다. 그 근거를 모르는 채 사용해 왔지만, 그것에 의한 부조화는 생기지 않는다.

③ 주입시간 t<sub>p</sub>을 결정한다. 앞서 서술한 바와 같이 주입시간은 될 수 있는 한 길게 하는 것을 원칙으로 하고, 작업성, 탕회전불량의 발생을 고려해서 비교적 자유로이 정하면 좋다. 결정하기 어려운 경우는 식 (1)을 고려해서 하면 무난하다.

- ④ 탕구의 유량 q를 q=V<sub>p</sub>/t<sub>p</sub>로 구한다.

⑤ 주입구의 위치를 결정하고, 각각의 주입구가 분담하는 주물의 범위를 개략구분하고, 유량 q를 주입구 마다 될 수 있는 한 균등하게 나누어서 약도에 기입해 둔다.

- ⑥ 주입구에 이르기까지의 탕도등의 유량은, 주입구로부터 탕

구에 역으로 합류하는 형으로 계산한다. 그 유량도 약도에 기입해 둔다.

⑦ 탕도의 유속을 결정한다. 탕구저로부터 최초의 주입구까지의 탕도의 유속 v<sub>2</sub>는 30 cm/s에 가까운 수치를 선택한다(이물의 부상분리 항 참조)

⑧ 탕구조입의 유속 v<sub>1</sub>과 주입구의 유속 v<sub>3</sub>을 계산한다. 계산방법을 이 후 설명한다.

⑨ 각부의 유속이 결정되면 각부의 단면적 A는 A=q/v(유량/유속)으로 결정된다.

#### 5.2 탕도의 압력헤드의 결정방법

(1) 우선 탕도의 압력헤드 H<sub>2</sub>를 결정하는 것이 비결

그림 1-17의 압력구배선으로부터 알수 있는 좋은 상태의 것은 탕도의 속도헤드를 무시해도 탕구방안의 결정에 큰 영향을 미치지 않는 것이다. 왜냐면 탕도의 유속 30 cm/s에서는 그 속도헤드 v<sub>2</sub><sup>2</sup>/2g는 0.5 cm으로 탕구방안전체의 헤드의 5% 이하이다. 주입구의 유속에의 영향은 높아 2,3%에 지나지 않는다. 따라서 상류의 주입구에도 하류의 주입구에도 같은 압력헤드 H<sub>2</sub>가 걸리는 것으로서 취급해도 좋다. 거기서 탕도의 압력헤드 H<sub>2</sub>를 멋대로 우선 결정해 버린다. 이것이 방안의 설계를 용이하게 하는 비결이다.

(2) 탕도의 압력헤드 H<sub>2</sub>를 결정하는 데의 유의점

탕도의 천정에는 얼마인가의 용탕의 압력이 걸려있는 상태에 있는 것이 바람직하다. 그렇지 않으면 탕의 표면의 용탕 충돌 등으로 탕도의 벽면이 각리할 위험이 있다. 탕도의 천정에는 적어도 2 cm 정도의 압력헤드를 걸어두고 싶다. 그러기 위해 탕도의 압력헤드를 탕도단면의 높이 보다 약간 높게 결정한다.

예를 들면 탕도의 단면 높이가 4 cm일 때, 탕도의 압력헤드 H<sub>2</sub>를 6 cm로 결정하면 주입구의 유속은 후에 서술한 바와 같이 90 cm/s가 된다. 일반적으로는 주입구의 유속을 이것이상 적게 하는데는 연구가 필요하다(8. 탕구방안의 연습시간8.2, 그림 1-30이 그 1예). 또 H<sub>2</sub>를 적게 취하면 6.3에서 서술한 바와 같이 주탕초기에서 탕도가 충돌하는데 시간이 걸린다.

반대로 H<sub>2</sub>을 높게 취하면 주입구의 유속이 크게 되고 옛날에는 주입구전의 주형면을 침식하기때문에 바람직하지 않다고 생각되어지고 있었다. GIRI 탕구방안으로 주입구비 β를 크게 결정하고 있는 것은 하나는 이 목적인 것이다. 최근의 주형은 매우 빠른 주입구의 유속에도 견디는 강함을 갖게 되었다. 그러나 주입구의 유속을 높게 하므로서 주입구 단면을 작게하면 압탕의 향에서 서술하는 액체수축시의 1차 수축 압탕기능이 저하하므로 그 편이 문제가 되는 경우도 있다. 압탕을 붙이지 않은 회주철주물에서는 매우 중요한 문제이다.

#### 5.3 주입구 및 탕구조입의 유속 계산

탕도의 헤드 H<sub>2</sub>가 결정되면 탕구조입의 유속 v<sub>1</sub> 및 주입구의 유속 v<sub>2</sub>는 다음의 식으로 구할 수가 있다. 주입구의 유속 v<sub>3</sub>은 탕도의 헤드 H<sub>2</sub>에서 가속된 것으로 탕구조입의 유속 v<sub>1</sub>은 최초의 H<sub>1</sub>으로 부터 탕도의 H<sub>2</sub>까지 잃어버린 압력헤드 차 (H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub>)에 의해 가속된 것에서 이끌어낸 식이다.

$$v_1 = C_1 \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad (3)$$

$C_1$ : 조임의 유량계수=0.89

$$v_3 = C_3 \sqrt{2gH_2} \quad (4)$$

$C_3$ : 주입구의 유량계수=0.83

$C_1, C_3$ 는 물을 이용한 실험에서 얻어진 값[5,10]이지만 100 K (°C) 이상의 과열도를 가진 주철용탕에 있어서도 탕구저나 주입구부근의 형상이 다르다면 거의 이 수치가 적용된다.

$C_3=0.83$ 이라는 것은 [칼럼2]에서 설명한 바와 같이  $C_3^2=r$  (압력헤드의 이용율)= $0.83^2=0.69$ 라는 관계여서 압력헤드  $H_2$ 의 69%가 속도헤드로 변해서 남은 31%가 손실이 되는 것을 의미하고 있다.

만들어 두면 편리한 유량계산도: 그림 1-18과 같은 유량계산도를 준비해 두면  $v_1, v_2, v_0$ 는 간단하게 읽어낼 수가 있다.  $v_0$ 는 후에 서술한 주탕받이조임의 유속이다.

그림 1-18의  $C=0.65$ 의 선은 탕도조임의 경우이다. 단, 경사 탕구 허부 단면적과 탕도조임의 단면적을 같이 취한 경우이다.  $C=0.95$ 의 선은 후술의 주탕받이조임의 유량계수이다(물에 의한 실험전은 0.92라고 추정하고 있다).

유량계산도의 작도법은 간단하다.  $C=0.83$ 의 경우를 예로 취하면, 헤드  $H=1$  cm에서는  $v=36.7$  cm/s, 100 cm에서는 10배의  $v=367$  cm/s이 되므로 이 2점을 XY축 대수준급의 그래프 용지에 그려 직선으로 연결하면 된다.

Q. 용탕과 물과의 점성의 다름: 주철용탕은 물보다도 훨씬 점성계수가 높을 것이다. 물에 의한 실험에서 얻어진 유량계수 등을 주철용탕에 적용될수 있는가

A. 탕구계를 흐르는 용탕온도는 주입온도에 가까우므로 점성의 영향보다 관성의 영향이 강한 흐름이 된다. 따라서 점성계수의 비교가 아니고 점성계수를 밀도로 나눈 운동점성계수에비교하지 않으면 안된다. 운동점성계수를 비교하면 과열도 150°C 이상의 용탕에 있으면 실온의 물의 운동점성계수의 수치보다도 반대로 약간 적은 수치가 될 것이다. 따라서 물로 구한 유량계수를 탕구계의 용탕의 흐름에 적용해도 그 다름은 무시될 수 있다.

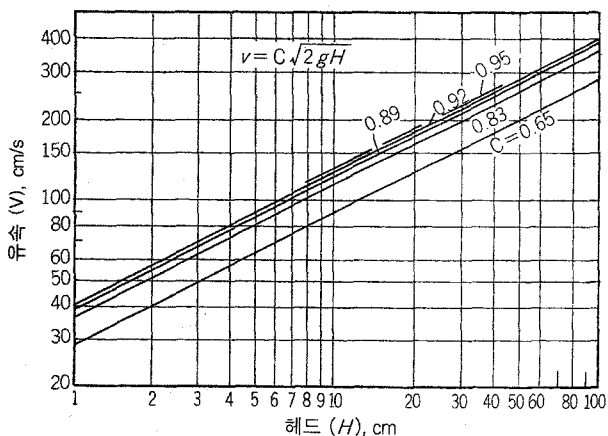


그림 1-18. 유속계산도

Q. 주형내 흐름의 관찰: 투명한 상형을 씌워서 주형내에 물을 흘리고 주형내의 흐르는 방향을 관찰하면 주형내 용탕의 흐름에 대해서 추정이 될 수 있다고 생각해도 좋은가.

A. 박육주물에서는 매우 많은 수정이 필요하게 된다. 캐비티 내에서는 용탕온도가 내려가고 점성이 급격하게 높아진다. 관성계의 흐름이 아니고 점성계의 흐름으로 변해서 물의 흐름과의 상이성을 잃어버린다. 따라서 물을 흘린 관찰에서는 판단을 잘못한다. 전에 그림 1-1에서 나타난 바와 같이 선행의 용탕은 박육부에서 순서대로 정지해서 후속용탕에 뒤쳐져서 흐름이 진행한다는 흐름방향을 감안한 수정이 필요하게 된다. 탕구계의 흐름과는 다르다.

Q.  $C_1, C_3$ 의 유량계수: 어떠한 실험에서 구한 수치인가.

A. 그림 1-7에서 나타난 방안의 모형에 물을 흘려  $H_1, H_2$  및 주입구로부터 유출한 유량(체적/시간)을 측정해서 주입구의 유속, 조임의 유속을 유량/단면적으로 계산한다. 그 수치를 식 (3), 식 (4)에 대입하면  $C_1, C_3$ 의 수치가 결정된다[9]. 주입구 단면적을 변하게 하면 유량이 변하지만, 유량계수의 수치는 거의 변하지 않는다.

### 5.4 방안의 높이 $H_1$ 로부터 유속을 구하는 계산식

(1) 방안의 높이 만으로는 주입구의 유속은 결정되지 않는다. 일단의 방안 설명으로는 주입구의 유속  $v_3$ 는, 방안 전체의 헤드  $H_1$ 와 총괄유량계수  $C_1$ 를 이용해서

$$v_3 = C_1 \sqrt{2gH_1} \quad (5)$$

의 형으로 나타내고 있다. 이 경우의 총괄유량계수  $C_1$ 과, 앞서 나타난 요소 마다의 유량계수  $C_1, C_3$ 와는 어떠한 관계에 있는가를 구해보자.

식 (5)의  $v_3$ 의 수치는, 식 (4)의  $v_3$ 와 같으므로  $\sqrt{H_2}/\sqrt{H_1} = C_1 C_3$ 일 것이다. 탕구조임의 단면적  $A_1$ 의 유량과, 주입구의 단면적  $A_3$ 의 유량은 [연속의 조건]으로부터  $A_1 v_1 = A_3 v_3, v_1 = \beta v_3$  (주입구비  $\beta = A_3/A_1$ ), 따라서  $H_2 = H_1 C_1^2 / (\beta^2 C_3^2 / C_1^2)$ 가 된다. 이상의 계수를 식 (3)에 대입하면  $v_1$  및  $C_1$ 은

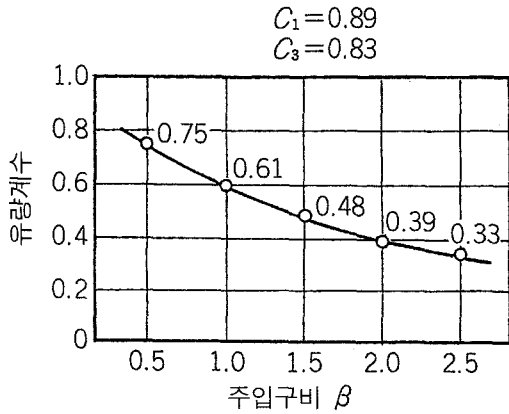
$$v_1 = \beta C_1 \sqrt{2gH_1} \quad (6)$$

$$C_1 = C_1 \cdot C_3 / \sqrt{\beta^2 C_3^2 + C_1^2} \quad (7)$$

의 관계가 되는 것을 알 수 있다. 주입구비  $\beta$ 를 더해 식 (7)의 총괄유량계수  $C_1$ 를 계산하면 그림 1-19에서 나타난바와 같이  $C_1$ 는 주입구비에 의해 크게 다르게 되어 버린다. 식 (5)에서 계산하면 주입구비를 추정하지 않으면 총괄유량계수  $C_1$ 가 정해지지 않는다. 따라서 주입구의 유속은 구할 수가 없다.

(2) 탕구비를 의지해서 단면적을 계산하면, 때때로 잘 맞지 않는다.

현재에서는 많은 공장에서 아직 탕구비(탕구조임, 탕도, 주입구의 단면적비)를 우선 정해서 그것을 기본으로 각부의 단면적이 계산되고 있다. 그러나 추천되고 있는 탕구비도 제창자에 의해 여러 가지이며, 추천하는 근거도 애매하다. 탕구비로부터



C<sub>1</sub> = 0.89  
C<sub>3</sub> = 0.83

C: 탕구의 높이 H<sub>0</sub>로부터 식(5)  $V_3 = C_3 \sqrt{2gH_0}$ 로 주입구의 속도  $V_3$ 를 구했을때의 유량계수로, 식(7)로 계산한 값

그림 1-19. 탕구비와 유량계수의 관계

는 어떠한 흐름이 되는가 정량적 예측은 곤란해서 잘못이 생겨도 정확한 대책이 나오기 어렵다. 그것에도 상관하지 않고 전승기술이 되고 있는 것은 이상하다.

책에 의하면 식 (5)을 이용해서  $v_3$ 를 계산할 때의 유량계수를 0.3-0.7의 범위에서 잡는다 라고 쓰여져 있다. 이러한 애매한 수치에서는 계산식을 이용하지 않은 것과 같다.

5.5 탕도의 저항

탕도의 손실헤드가 큰 경우: 지금까지의 계산에서는 탕도의 유속헤드  $v_2^2/2g$ ( $v_2$ :탕도의 유속)을 무시해서 취급하고 있다. 탕도의 유속이 40 cm/s 이상에서, 또한 탕도가 길거나, 도중에 필터를 붙이는 등의 조건에서는 탕도에 있어서 흐름의 헤드손실을 생각하지 않으면 안된다. 생각해도 중,소몰의 일반적인 주형에서는 탕도에 있어서 헤드손실은 1cm 정도를 생각하면 충분할 것이다.

6. 여러 가지 방안과 그 취급법

6.1 복잡한 탕구방안에의 탕흐름이론의 응용

요소의 조합으로 복잡한 방안에서도 적용될 수 있다. 여기까지의 탕구계의 이론은, 단순한 1단 주입구 경우의 이론이었다. 복잡한 탕구계에서도 이 이론이 적용될 것인가. 기본으로한 탕구계의 탕흐름의 이론은 2개의 요소 (a) 주탕받이으로부터 탕구저까지, 식 (3) (b) 탕도로부터 주입구, 식 (4) 로 나누어서 취급하는 것을 기본으로하고 있으므로 이 2개의 요소를 조합하는 것으로 매우 복잡한 방안에서도 합리적으로 결정할수 있게 된다. 예를 들면 그림 1-20과 같이 도중에 종탕도를 갖는 방안에서는 파선으로 표시한 바와 같은 제2탕구가 존재한다고 가정해서 취급하면 좋다. 그래서 제2조임의 유속은 식 (3)을, 하단의 주입구 유속은 식 (4)을 이용하는 것만으로 복잡한 탕구방안의 단면적이 합리적으로 계산될 수 있다. (단지 그림 1-20은 최초의 탕구가 역경사 탕구이다. 탕구

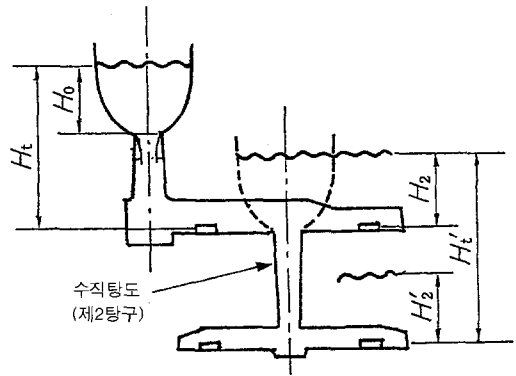


그림 1-20. 수직탕도에 대한 용탕헤드의 사용법

가 긴 경우는, 식 (3)의 대신에 다음에 서술한 식 (8)을 적용하는 것이 된다.)

6.2 역경사 탕구의 경우의 유량계산

(1) 역경사 탕구의 흐름은 불연속, 유량은 주탕받이의 조임으로 결정한다.

그림 1-20의 탕구와 같이 아래가 넓은 역경사탕구, 또는 직관에서는, 탕구내에 제2탕면이 생겨서, 흐름이 불연속이 된다. 이 경우, 탕구에 유입한 유량은, 탕구상부의 조임(이하 임시로 주탕받이 조임이라고 부른다)의 단면적으로 결정한다. 다음 식 (8)에서 나타난 바와 같이, 주탕받이조임의 유속  $v_0$ 는, 탕구가 충전되어 있지 않은 사이에는 다음식이 된다.

$$v_0 = C_0 \sqrt{2gH_0} \tag{8}$$

$H_0$ : 주탕받이조임으로부터 위의 주탕받이액면까지의 헤드  
 $C_0$ : 주탕받이조임의 유량계수(0.92라고 추정되고 있지만 다른 실험에 의하면 거의 0.95이다)

(2) 편차가 많은 경사 탕구의 주입시간  
다음의 문제를 생각해보자.

[문제]그림 1-21의 탕구방안에서, 주탕받이 탕면수위를 주입

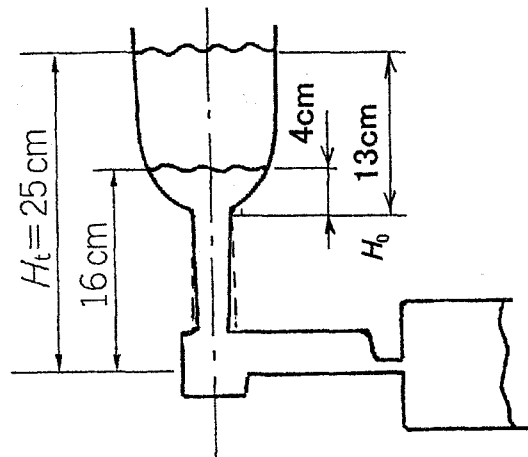


그림 1-21. 탕구비의 용탕수위 차이에 의한 주입시간의 차이

구보다 위  $H_1=25\text{ cm}$ 에 유지해서 주입했을 때, 주입시간이 12 초였다고 한다. 만약  $H_1=16\text{ cm}$ 로 낮게 해서 주입한다고 하면, 주입시간은 어떻게 변하는가, 하기의 2개의 경우에 대해서 구해보자. 어느 것이나 주입구가 비교적 두껍고, 따라서 탕도의 압력레벨은 적다고 한다.

① 경사탕구의 경우(그림 1-21의 실선)

② 역경사탕구의 경우(그림 1-21의 파선)

[1의 경우의 해답] 주입구의 유속은 식 (5)  $v_3=C_v\sqrt{2gH_1}$ 로 계산되므로  $v_3$ 는 탕구의 높이  $H_1$ 의 평방근에 비례한다.  $H_1$ 이 25cm였다고 하는 것이 16cm로 주입된다면 유속  $v_3$ 는  $\sqrt{16}/\sqrt{25}=4/5$ 배로 적게 된다. 12초였던 주입시간은 유속에 반비례해서 길게 되어,  $12 \times 5/4=15$ 초로 거의 전과 크게 변하지 않는다. 주입시간은 헤드의 평방근밖에 영향하지 않는 이유 때문이다.

[2의 경우의 해답] 역경사탕구의 경우는, 경사탕구의 경우와 크게 다르게 된다. 탕도의 헤드가 낮게 설정되어 있으므로 탕구내 용탕의 제2레벨이 “목”(주탕받이조임)에 달하는 것은 주탕받이가 된다. 주입시간의 대부분이 주탕받이조임에 조율되어 있다고 간주해도 좋다. 따라서  $v_0=C_0\sqrt{2gH_0}$  ... 식 (8)이 적용된다. 조임으로부터 탕면까지의 헤드  $H_0=13\text{ cm}$ 와 4cm의 경우와를 비교하게 된다. 유속은  $\sqrt{4}/\sqrt{13}=1/1.8$ 이 된다. 주입시간은 유속에 반비례해서 길게 되고,  $12 \times 1.8=22$ 초로 크게 변하게 된다.

만약 주입구가 가늘고 탕구의 레벨이 곧바로 “목”에 막히는 것 같으면 그 후는 연속의 흐름이 되므로 1의 경우와 거의 변하지 않게 된다.

이상의 비교로 부터 주입할 때의 주탕받이 수위의 다름에 따른 주입시간에의 영향은 경사조임탕구방안에서는 극히 작지만 역경사탕구에서는 주입구가 가늘지 않은 한 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

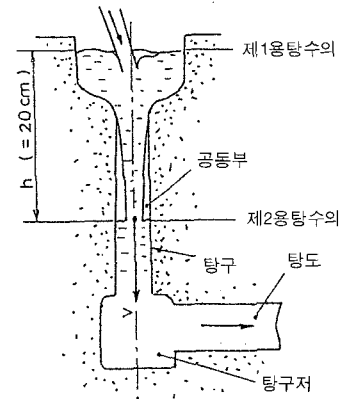
Q. 역경사탕구에 있어서 용탕산화:역경사탕구에서는 탕구내의 유속에 따른 안개의 원리로 (-)압이 발생하고, 외기를 흡입해서 용탕을 산화시킨다고 하고 있다. 그 염려는 없는가

A. 안개의 원리와는 조건이 다르다. 외기흡입의 염려는 없다고 생각된다.

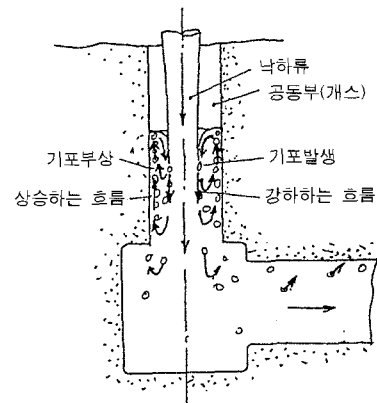
역경사탕구(혹은 직관)에서는 그림 1-22와 같이 확실하게 탕구상부에 공동이 생긴다. 주탕받이 탕면을 [제1탕면] 탕구내의 탕면을 [제2탕면]이라고 부르도록 한다. 탕구높이가 30cm나 되면 제2탕면에 돌입하는 직전의 유속은 2m/s에 달한다. 흐름의 주위의 개스압이 저하하는 것은 흐름에 접하고 있는 공동내의 기체도 매달려 회전류가 생기게 되므로 회전류의 속도헤드에 개스의 밀도를 곱한 수치의 (-)압이 생긴다. 그 (-)압이나, 물기둥으로 고쳐 0.1mm도 되지 않아 문제는 아니다. 용탕으로부터의 개스의 방출을 생각하면 (-)압은 되지 않아 오히려 (+)압이라고 추측된다. 따라서 역경사탕구에 있어서 용탕산화가 일어나는 일은 없다.

Q. 기포의 혼입: 그러면 탕구저 부근에서 용탕내에 개스의 기포가 들어가는 일은 없는가

A. 개스의 기포는 들어간다고 생각한다. 육조내에 탕을 조용하게 떨어뜨릴 때는 공기의 혼입은 일어나지 않지만 아주 극소량이라도 흐름을 흐트러뜨리면 곧바로 공기를 끌어안게 된다.



(a) 역 경사탕구



(b) 제2용탕 수위의 존재에 의한 개스발생과 그 움직임의 상상도

그림 1-22. 탕구내 공동의 발생

이 현상과 마찬가지로. 그러나 압력저하에 의해 신선한 외기가 거품이 되어 들어가는게 아니라 그 경우에 존재한 개스가 혼입하는 것이다. 그 개스는 용탕으로부터 방출된 산소농도가 희박한 개스라고 생각된다. 그러나 곧 용탕의 압력으로 주형을 통해서 압출될 가능성이 높다. 이 정도의 개스에 의한 산화가 염려라면 낙하형 주입구등은 사용하지 않게 된다.

### 6.3 탕도가 충만할 때까지의 시간

주입구비를 크게 하면 탕도가 충만될 때까지의 시간이 늘어난다. 탕도가 충만할 때까지의 시간은 실험에서는 구하기 어려우므로 다음의 조건에서 계산해 보았다.

① 경사탕구조임의 유량은 최초로부터 일정하다고 가정했다.

② 조임으로부터 탕도에 흘러넣은 유량과 주입구로부터 유출한 유량과의 차로 탕도내의 밀도로부터의 용탕높이  $h$ 가 늘어난다.

계산결과를 그림 1-23에 나타낸다. 이 계산으로부터 주입구비  $\beta$ 가 크면 탕도가 충만될 때 까지의 시간이 길게 된다는 것을 알 수 있다. 예를 들면  $\beta > 2.3$ 의 경우는 주입종료 가까이 탕도가 충만되지 않는 상태가 된다.

용탕의 충만에 시간이 걸리는 현상은, 주탕받이에서도 일어나고 있다. 래들로부터 주탕받이에의 유량증가에도 시간이 걸리고

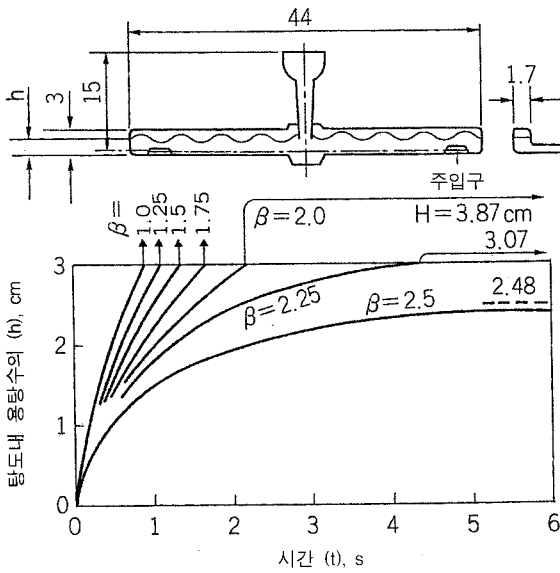


그림 1-23. 주탕초기에 있어서의 탕도내 용탕수위의 변화계산에

주탕반이 수위의 상승도 탕도의 경우에 비슷하게 급속으로는 높아지지 않는다. 이것들의 현상이 겹쳐지게 됨에 따라 탕도가 충만할 때까지의 시간은 상기계산 수치보다 매우 길게 걸리는 것이라고 추찰된다.

이렇게 탕도 충만에 시간이 걸리는 것에서 주탕초기에 탕도에서의 이물제거가 기대되지 않는 경우도 있을 수 있다. 이 관점에서 보면 탕도의 헤드  $H_2$ 는 그다지 낮게 할수 없게 된다.

6.4 용탕레벨상승에 동반하는 비정상흐름

(1) 유효탕구높이에 따른 단면수정의 일반적방법

그림 1-24(a)에서 나타내는 바와 같이 캐비티내 용탕수위가 주입구를 넘으면 주입구는 잠수주입구가 된다. 잠수주입구라도 유량계수는 개방주입구의 경우와 거의 변하지 않는다. 수위가 주입구보다  $h[cm]$ 만 높게된 시점의 주입구의 유속은 다음식과 같이 된다.

$$v_3 = C_1 \sqrt{2g(H_t - h)} \tag{9}$$

즉  $h$ 만의 배압이 걸리고  $h$ 의 상승과 함께 유속은 감소해 간다고 하는 비정상흐름이 된다.

그렇기 때문에 일반적으로는 다음과 같은 보정법이 취해져있다. 주물의 수평횡단면적은 밑에서부터 위까지 같은 모양으로 변하지 않는다고 가정한다. 주물내 수위가 주입구수위에 달하기까지는  $h=0$ , 주입구를 넘어서 충만할 때 까지는 주입구보다 위의 주물치수  $p$ 의 절반상당의 배압이 항상 걸려있다고 간주한다. 후자의 시간적 비율은  $P/C$ 에 있다고 해서 마치 주입시간을 통해서 다음식의 헤드  $H_e$ 로 유입했다고 간주해서 평균적 유속을 계산하는 방법이다.

$$H_e = H_t - P^2/2C \tag{10}$$

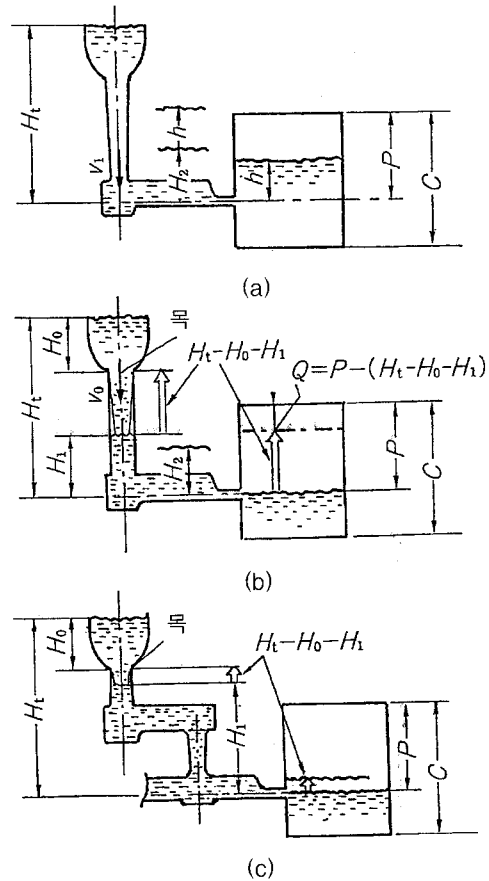


그림 1-24. 주형내 용탕수위변화에 따른 탕구계헤드의 변화

$P, C$ : 그림 1-24에 나타낸 치수

이  $H_e$ 를 유효탕구높이라고 부른다. 완전한 밀어올리는 주입구라면  $H_e = H_t - C/2$ 이다. 이  $H_e$ 를 식 (5)  $v_3 = C_1 \sqrt{2gH_t}$ 의  $H_t$ 로 치환했을 때의  $v_3$ 를 주입구의 평균적 유속이라고 간주한다.

내가 원하는 방법: 상기 일반적 방법으로는 방안도로 쓰는 경우에 불편하다. 나는 다음의 방법을 권장한다.

실제의 방안설계에 있어서는  $\epsilon = \sqrt{H_e/H_t}$ 의 값을 미리 구해 두어 낙하형 주입구( $P=0$ )로서 구한 주입구와 조임의 횡단면적에  $1/\epsilon$ 을 곱해서 크게한 수치를 설계치로 한다. 탕도는 보정해도 하지 않아도 영향은 적다.

예외: 이상은 경사탕구의 경우이다. 그러나 그림 1-24(b)와 같은 직관 또는 역경사탕구(주탕반이조임)의 경우에는 캐비티내의 수위상승분만큼 탕구내의 수위도 상승한다. 이 사이 주탕반이조임의 유속  $v_0$ 은, 식 (8)에서 나타낸  $v_0 = C_0 \sqrt{2gH_0}$ 의 일정치를 유지한다.

단지 그림 1-24(c)와 같이, 탕구내의 수위가 목(주탕반이조임)에 곧 잠히는 경우는 (a)와 같이 유량저하현상이 일어난다.

(2) 배압으로 유속을 보정해도 얻어지는 효과는 적다.

이 보정의 목적은, 노린 대로 주입시간을 얻으려고 하는 것이 주목적이므로 주입시간의 약간의 차이를 문제로 하지 않아도 좋은 일반의 경우는 보정할 의미가 없다.

6.5 탕구비가 갖는 의미

탕구비는 방안결정을 위한 비율이 아니고, 결과이다. 탕구비를 이용해서 단면적을 구하는 방법으로는 적절한 방안설계가 되지 않는다는 것을 앞서 서술했다. 주물에 있어서는 유량이 변하지 않고 주입구의 유속도 변하지 않는다면 탕구비에 차이가 있어도 어떠한 영향도 미치지 않는 것이다. 그러한 예를 방안의 높이를 바꾼 모식적 방안으로 비교 검토해 보자.

조건: 그림 1-25는 탕구높이 300 cm, 200 cm의 2종류의 탕구방안으로 어느것이든 같은 다음의 조건을 만족하는 것으로 한다. 주입체적 10000 cm<sup>3</sup>의 용탕을 15초로 주입한다. 유량은  $q = 10000/15 = 666 \text{ cm}^3$ , 탕도유속은 40 cm/s, 탕도헤드  $H_2$ 는 9 cm, 따라서 주입구의 유속은  $v_3 = 0.89\sqrt{2g \times 9} = 110 \text{ cm/s}$ , 탕도의 단면적  $A_2 = 666/40 = 17 \text{ cm}^2$ , 주입구의 단면적  $A_3 = 666/110 = 6 \text{ cm}^2$ .

즉 탕도보다 뒤는 모두 같고 주물에 있어서 층만 조건은 모두 같게 하고 있다. 이 조건에서 탕구높이나 형으로 탕구비가

어떻게 되는가를 조사해 보자.

① 경사탕구에서 탕구높이만 다른 경우, 그림 1-25(a):

탕구높이 30 cm일 때 탕구비=1:4.6:1.6

탕구높이 20 cm일 때 탕구비=1:3.3:1.2

다른 것은 탕구비만으로 주물에 있어서는 어떠한 영향도 없다.

② 2 경사탕구와 역경사탕구와의 다름, 그림 1-25(b): 탕구높이 30 cm의 경우로 생각한다.

경사탕구의 경우 탕구비=1:4.6:1.6

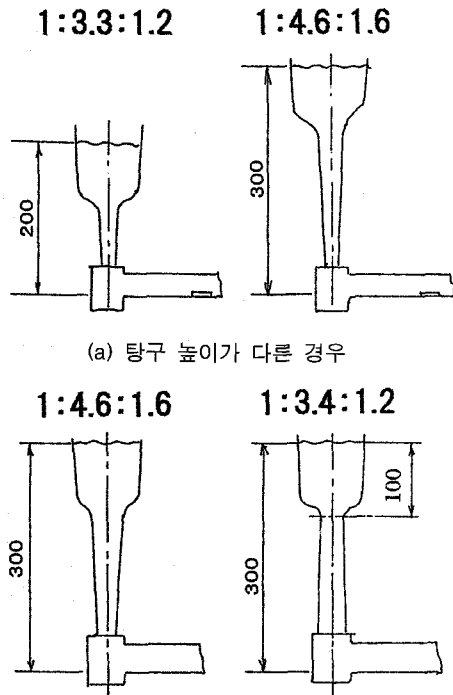
액면하 10 cm에 주탕받이조임 탕구비=1:3.4:1.2

탕구비가 달라도 주물에의 영향은 없다. 따라서 탕구비에 각별한 의미는 없다.

③ 앞서 그림 1-24(c)에서 나타낸 바와 같은 2단 주입구가 되면 탕구비의 선택 방법이 없게 된다.

이상의 것으로부터 탕구비의 가치를 나는 다음과 같이 평가하고 있다.

[탕구비는 각 단면적을 합리적으로 계산한 결과여서 각 단면적의 계산 목적으로 입력하는데 가치가 없다.]



(a) 탕구 높이가 다른 경우

(b) 경사 탕구와 역경사 탕구

그림 1-25. 주입구의 유량·유속, 탕도의 유량·유속이 같아도 탕구비가 다른 예

6.6 탕구봉의 두께가 결정되어 있는 경우

양산라인에서는 주형틀별로 탕구봉 두께를 선택할 수 없다. 양산라인에서는 주탕받이 부위가 스퀴즈헤드로 성형된 경우가 많다. 그러나 빈번한 형 교환을 위해 모든 금형도 같은 두께의 탕구봉이 붙여져있다. 또 탕구는 역경사탕구가 된다. 그러면 탕구계의 흐름은 다음과 같이 된다.

탕구가 긴 경우: 탕구내에 제2용탕 수위가 생겨 유량은 주탕받이조임으로 결정되고, 식 (8)과 식 (4)을 사용해서 계산할 수 있다. 주입시간은, 1 톤당의 주입량에 비례해서 자동적으로 결정된다.

탕구가 짧은 경우: 탕구내에 제2용탕레벨이 생겨도 그 시간은 짧으므로 식 (3)과 식 (4)을 사용해서 계산할 수 있다. 주입시간은 이것도 1 톤당의 주입량에 비례해서 자동적으로 결정한다.

참 고 문 헌

[5] 松田政夫 : 綜合鑄物 3 (1962) 3, 21.  
 [9] 日本綜合鑄物センター : 文獻(8) の譯, 研究調査報告 25 (1964) 67.  
 [10] 松田政夫 : 鑄物講演概要集 33 (1961) 9, 別冊 128.