

초심자라도 아는 주철주조방안의 기초 (제 6회)¹⁾

松田政夫*

松田技術士事務所

Basis of Gating System & Riserling on Iron Castings for Primary Engineers - Part VI -

Masao Matsuda*

Matsuda Consulting Engineer Office

번역 : 최정철²⁾

6. 2차 수축압탕

6.1 기포 발생의 여러 설

의문이 남는 Kondick의 공정셀 팽창설: Kondick들은, 모식도 2-17을 나타내고, 수축공의 발생을 다음과 같이 생각했다²²⁾.

우선 응고가 진행한 외측의 공정셀이 공정팽창하면서 성장하고, 드디어는 서로 충돌하여, 중심부에 공동을 만든다. 그리고 수축공 발생 시기는, 외측의 공정셀이 아직 성장하고 있는 응고시간의 중간쯤의 시기에 발생한다는 생각이다. 우선 그림 2-9에 의하면, 그 응고시간중간 무렵의 시기에서는 중심부에 있어서도 공정응고가 진행중이어서 내외의 팽창율에 큰 차가 있다고 생각하지 않는다. 이 점 약간 설득력을 결여되어있다고 생각되지만, 본 이론을 채용하는 연구자는 많다.

Karsay의 2차 수축시 발생설: Karsay²³⁾는 외주부가 완전 응고층으로 응고하게 되고나서, 최후로 중심부만이 2차 수축을

일으키는 것을 주장한다. 이 때 당연 중심부에 있어서 체적의 부족을 가져온다. 그것이 수축공으로 발전한다고 생각하고 있는 것 같다. 저자도 기본적으로는 이 설을 취한다.

Kondick 설에서나, Karsay 설에서나, 주위가 고체에 가깝게 되고 나서 최후로 중심이 수축하면, 중심부근은 감압상태가 된다. 그 때 용탕에 포함하고 있는 가스가 비등해서 기포를 형성하는 것일 것이다. 저자도 이 통설에 따른다.

Karsay설과 비등설을 합하면, 다음과 같은 기포 발생기구가 부상해온다.

6.2 궁극의 기포 발생설

(1) 기포는 최종응고(2차수축)시의 감압에 따른 잔액의 비등
그림 2-18은, 주물의 중심부, 중간부, 표면부로 나누어서, 공정응고 팽창과 2차 수축의 시간적 관계로부터, 중심부에 기포가 발생하는 모양을, 모식적으로 설명한 것이다.

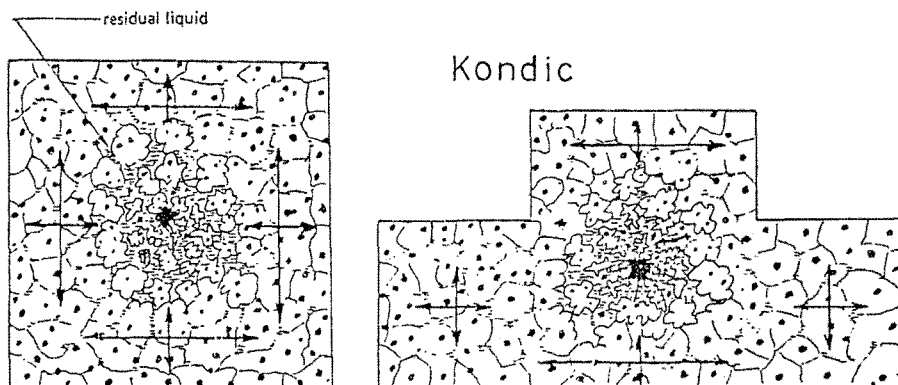


그림 2-17. 의문이 남는 수축공 발생의 메카니즘(Kondic)

1) 일본주조공학회지 vol 77 No 6 (2005) pp. 424~431에 게재된 자료임
2) 아주대학교 신소재공학전공(Ajou University) 교수

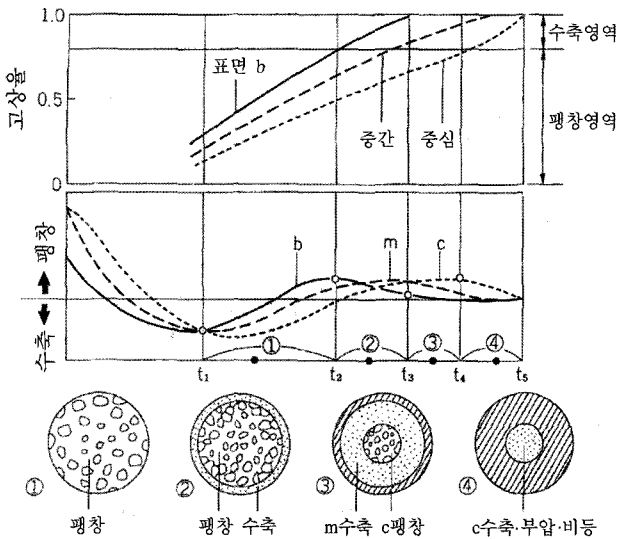


그림 2-18. 중심부에 기포발생하는 이유

고상이 성장하는 순서는, 표면 b, 중간 m, 중심 c의 순으로 되므로, 팽창, 수축도 그 순으로 된다. 중심부 c가 제일 늦어진다.

t_1 는 표면 b에서 팽창이 시작한 시점, t_2 는 표면 b가 팽창을 끝내고 2차 수축으로 전환한 시점, t_3 는 중간 m이 2차 수축으로 전환한 시점, t_4 는 중심 c가 2차 수축으로 전환한 시점이다.

도시의 시간대 ①, ②, ③, ④에 있어서, 팽창인가, 수축인가를 선 그림, 및 일러스트로 나타냈다.

시간대 ③에서는, 표면 b, 중간 m이, 모두 약간 수축해있고, 중심 c만이 공정응고 팽창중이다. 이 때 중심에서는 팽창압이 생기므로, 이 시간대에서의 기포발생은 생각하지 않는다.

시간대 ④의 최종응고 단계에서는, 표면 b와 중간 m은 거의 완전 응고체가 되어있고, 중심부 c만이 수축의 상태에 있다. 주위를 고체층으로 고체한 중심부 c는, 셀끼리의 미접촉부에, 차례차례로 잔존용액이 점재하는 형으로 되어 있을 것이다.

이 상태에서, 중심부 c의 응고수축이 진행하면, 중심부 c는 감압상태가 된다. 감압되면, 후지산 꼭대기에서 뜨거운 물이 비등하기 쉬운 것처럼 잔존 용체에 흡수되어있던 가스, 예를 들면 원자상의 H(수소를 예로 잡는다)를, 분자상의 H₂ 가스로서 방출해도 불가사의하지 않다.

잔존 용체는 셀사이에 점재하고 있기 때문에, 기포도 점재한 형으로 되어 발생하는 것은 당연하고, 관찰 결과에 잘 맞고 있다. 단지 가스가 서로 집합해서 공동을 만드는 일이 없도록 할 수 없다.

이상이 저자가 생각하는 기포발생 메카니즘이다. 기포 발생시기는, 응고완료 직전이다. 이 시점에서는 표면부는 물론, 중간부도 완전응고체가 되어 있을 것이다. Kondick의 외주부의 공정셀 팽창시 발생설은, 발생시기가 근본적으로 다르다.

(2) 최종 응고부의 부압(負壓)발생 방지

거기서 압탕에 구비된 중요한 기능은, 주물 최종 응고부에서 부압을 생기게 하지 않는 움직임이 있다. 기포가 발생하는 시

점에서는, 발생처 부근의 고상율은, 아마도 80%를 충분히 넘고 있어 발생처 부근의 고상율은, 1차 수축에 유효했던 정도의 중력압이기 때문이다.

① 압탕에는, 강력한 압력발생원이 없으면 안된다. 기대할 수 있는 것은, 압탕내의 공정응고팽창압만이다. 그 압력의 강함은, 밀폐하면 몇 기압에도 달한다고 알려져있다. 그 고압력과 주물내에 일어난 감압과의 사이에 큰 압력차가 생기게 되는 것이다.

② 그 큰 압력차가 작용하면, 주물내의 (-)압 발생을 눌러버릴 것은 가능하다. 그러기 위해서는, 압탕과, 주물의 최종 응고부를 연결하는 도중에, 압력으로 눌러 찌부러뜨리는 정도의 고액 혼합액이 통하지 않으면 안된다.

③ 압탕의 팽창압이, 압탕 자신의 팽창에서 감해지는 것으로는 압력전파는 일어나기 어렵다. 주물내에서 감압이 생기는 시기에는, 압탕 표면부는 완전 응고층이 되어 있는 것이 필요하다.

이상의 3개가 필수 조건이다. ①은, 주물의 응고말기에 있어서, 압탕이 응고 팽창중이어야한다는 것을 의미한다. ②는, 압탕 머리를 좁게 할 수 없는 이유가 된다. ③은, 압탕을 함부로 두껍게 할 수 없는 것을 의미한다.

압탕 내압이 높게 되지 않고도, 주물 내부압의 발생에 의해, 주물은 압탕으로부터 용탕을 불러오겠지 하고, 형편이 좋은 해석을 해서는 안된다. 주물내 잔존용체에 부압이 발생하면, 용탕을 불러오기 전에 기포가 발생하고, 기포가 발생하면 부압은 완화되고, 용탕을 불러오는 힘은 없게 된다.

6.3 2차 수축압탕의 기능

(1) 2차 수축압탕의 크기

압탕의 크기는 그림 2-19(b)에서 모식적으로 나타낸 바와 같이, 주물중심이 2차 수축을 일으키고 있는 시기와, 압탕이 공정응고 팽창하고 있는 시기가 중첩되는 상태에 있으면 좋다. 그리고, 주물의 2차 수축커브와, 압탕의 공정팽창커브를 교차하도록 크기를 고르면 좋다는 것이 된다. 일반적으로

$$m_r / m_c = 1.2$$

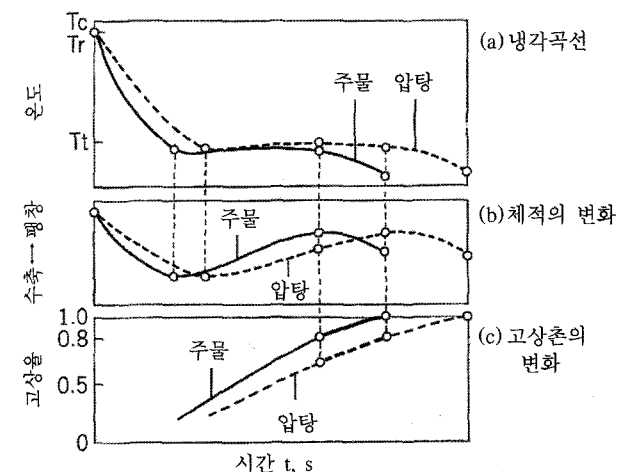


그림 2-19. 주물과 압탕의 응고진행 모식도

m_r : 압탕의 modulus, m_c : 주물의 modulus

정도로 좋다고 하고 있지만, 이 modulus비라면 (압탕의 응고시간 t_r)/(주물의 응고시간 t_c)=1.44가 되므로, 그림 2-19와 같이 주물의 수축곡선과 압탕의 팽창곡선이 교차한다는 시간적 조건에 거의 맞추고 있다.

이 경우의 m_r 은, [대는 소를 겸한다] 라고는 되지 않는다. 왜냐하면, 압탕 표면이 미응고에서 인장강도가 약한 상태에 있다면, 압탕은 자기 자신을 팽창시켜서, 중요한 주물내부의 감압에 역할하지 않게 되지 때문이다. 압탕 크기를 과대하게 하는 것은, 쓸데 없을 뿐만 아니라, 감압효과를 약하게 한다.

양보다 압력: 이 경우의 압탕의 작용은, 일시 수축의 경우와 같은 물질이동량을 생각하는 것이 아니라, 압력전파가 목적이 다. 압력전파는 공정셀 배열의 벗어남을 일으키는 정도에서 달성된다고 상상하고 있다.

(2) 용탕의 성질 차이의 영향

그렇지만 저자들의 실험에서는, $m_r/m_c=1.2$ 에서는 기포의 발생을 완전히는 그치지 않고, $m_r/m_c=1.32$ 에서 기포가 발생하지 않은 것이다. 양상으로 이행하고나서는 1.2로 충분하다. 용탕의 다름은 당연 효과에 영향하는 것이라고 생각된다.

(3) 주형의 강도로 2차 수축압탕 크기는 변하지 않는다.

압탕의 공정응고시의 팽창은, 주형의 강인성으로 달라지게 될 것이다. 주형이 강고하다면, 압탕의 부분 정도를 억제해서 압력의 손실을 방지하고, 주물내의 작용을 강하게 하는 도움이 될 것이다. 그러나 주형의 강도가 높아지면 압탕을 작아지게 할 수 있다는 것은 아니다. 압탕의 크기는 압탕의 응고팽창시기를 결정하는 것으로, 시기는 (압탕의 응고시간 t_r)/(주물의 응고시간 t_c)=1.44이 되도록, modulus비로부터 결정하는 것이다.

Q. 주형의 탄성에너지를 이용하는 설: 강고한 주형이라면, 공정응고 팽창분은 주형의 탄성에너지로서 축적되어, 그것이 2차 수축시에 압력이 되어 작용한다는 설이 있다. 구상후연주철은 죽상 응고이므로, 중심부에서의 압력전파에 형편이 좋다고 하는 설도 있다. 이들의 설은 안되는가.

A. 주형에 축적된 탄성에너지가, 기포발생을 어느 만큼 억제할 수 있는가, 의문이 있다. 기대하는 압력은 꽤 높으므로, 생형에서의 탄성에너지 축적은 무리일 것이다. 기대될 수 있다고 하면 금속백 주형의 경우만이다.

[죽상 응고이므로 상태가 좋다] 라고 생각하는 것은 쓸데 없다. 왜냐하면 죽상 응고의 단계는 응고기간중의 중간 무렵의 이야기로서, Kondick설의 경우이다. Karsay설을 취하면 높은 고상율을 통해서 외측의 주형으로부터 주물중심부에서의 압력전파는 기대할 수 없을 것이다. 기포발생을 응고말기의 2차 수축시로서 해서, 압력전파의 시기를 응고중기의 죽상의 시기에 맞춘다고 하면, 논리에 모순이 있다.

6.4 2차 수축 압탕의 설계

(1) 2차 수축 압탕 표준의 형상치수

지금까지 서술한 근거에 기초해서, 1차 수축분은 탕구계에서 공급하는 것으로 하고, 2차 수축분만으로 유효한 압탕 표준을 그림 2-16(b)에 나타냈다. 압탕내 팽창분을 놓치지 않기 위해

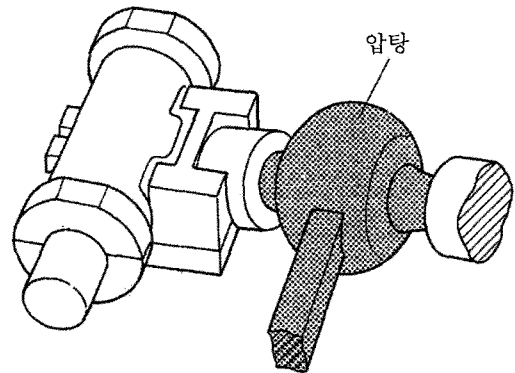


그림 2-20. 브레이크 실린더 압탕 방안

서는, 컨팩트한 구상을 이상으로 하지만, 형 빠기가 가능하도록 압탕의 하부를 원통상으로 했다.

$m_r/m_c=1.2$ 의 조건에서, 길이=직경으로 한 2차 수축 압탕을 생각하면, 압탕 직경 $D_{12}=7.2m_c$ 가 된다.

압탕 목을 꽤 두껍게 한다. 주입구는, 주물의 1차 수축량에 덧붙여서, 압탕의 1차 수축분도 탕구계로부터 보충되는 두께가 필요하다. 두껍다고 해도, 압탕 목보다 훨씬 작고, 압탕의 공정 응고압이 주물에 작용하는 시기에는, 주입구는 응고를 완료하고 있다.

1차 수축 압탕으로 필요로 한 대기를 불러오기 위한 압탕 정상중심에 붙인 홈은, 2차 수축공(기포) 대상의 압탕에서는 물론 유해하다. 붙인다면 압력을 피할 위험이 있다.

(2) 회주철주물에 붙인 2차 수축 압탕의 예

회주철주물에서도, 재료가 고강도 회주철이라면, 후유부에 있어서 기포가 발생하는 일이 있다. 그림 2-20의 주물에서는, 기포방지를 위한 2차 수축 압탕이 필요했다. 초기에는 일반적으로 보여지는 대기 도입형의 1차 수축용 압탕이 붙여져있지만, 그 압탕의 정상에 수축한 형적이 보이지 않는다. 1차 수축 압탕에서는 의미가 없는 것이다.

후유부의 기포는 2차 수축에 의한 것이므로, 그림에 나타낸 바와 같은 구형의 압탕을 추천하고 싶다. 이 경우, 압탕은 중간이 막혀져 있지 않고는 의미가 없으므로, 1차 수축분을 탕도로 부터 완전히 보충할 수 있는 만큼의 두꺼운 주입구가 바람직하다.

6.5 부분modulus

(1) 압탕 앞부분의 부분적 modulus를 생각한다.

주물은 대개 후유부와 박육부로 구성되어 있다. 박육부에서의 수축공의 발생은 없고, 후유부만이 압탕의 대상이 된다. 따라서 주물전체의 modulus를 생각해도 의미가 없다. 압탕 앞부분의 후유부의 부분적 modulus를 생각하지 않으면 안된다. 저자는 이것을 [부분modulus]라고 부르고, 전체의 modulus와 구별해서 취급하고 있다.

부분 modulus를 어떻게 건적하면 좋은가. 후유부를 어느 범위 잘라 취한다고 하고, 잘라 취한 단편의 가상적 modulus를 부분 modulus라고 부르는 것이다. 그 경우, 자른 단편은 단열

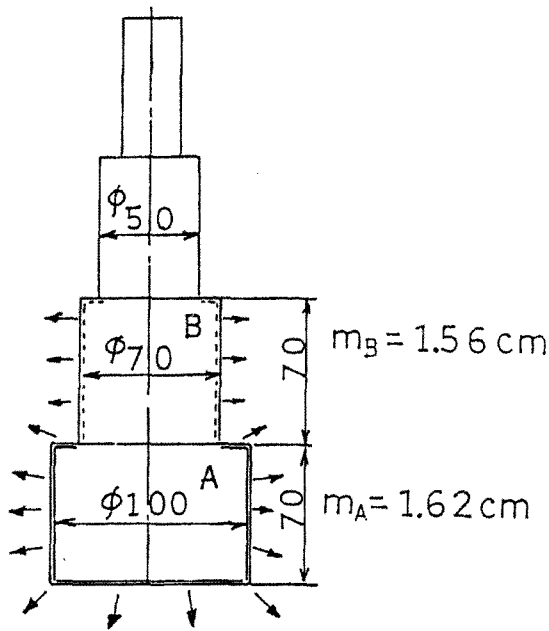


그림 2-21. 부분modulus의 예(佐藤高浩등의 실험)

면이라고 간주한다. 그 중에 박육편등이 있으면 제거하고, 제거한 흔적은 표면적에 계산한다. 이러한 단순한 형 쪽이 오히려 목적에 맞다.

기포발생 위치를 압탕 앞부분에 집중시키기 위해, 압탕 앞부분의 주물 육후를 약간 두껍게 해서, 나중에 깎아낸다고 하는 방법도 있다. 이 경우의 취급방법은, 부분 modulus의 개념에 합치하고 있다.

(2) 부분 modulus의 특수한 예

부분 modulus를 생각하면, 실험결과를 잘 알 수 있는 경우가 있다. 그림 2-21은 소실모형법 연구용 주물²⁴⁾이다. 그림의 A부와 B부에서 직경이 Ø100 mm와 Ø70 mm의 차이가 있지만, 응고시간에는 큰 차는 없다고 보고되고 있다. 부분 modulus의 관점으로부터 그 이유를 생각해보자.

B부의 체적 269 cm³는, A부의 체적 550 cm³의 약 절반에 지나지 않지만, A부에서는 직접주형에 접하고 있는 면적이 원통의 측면, 상면 외주부외에, 넓은 저면이 더해져서, 그림의 2중선의 범위 339 cm²이다.(A부와 B부의 가상 절단면은 단열이라고 간주해도 좋으므로, 표면적으로서 더하지 않는다). A부의 부분 modulus는 m_A=1.62 cm, B부의 표면적은, 그림의 파선의 범위 173 cm², 따라서 B부의 부분 modulus는 m_B=1.55 cm²이다. 이것만큼도 주입시간의 비는, 크보리노프의 식으로부터 t_B/t_A=(1.55/1.62)²=0.92이어서 A부와 B부의 차이는 극히 작다는 것을 알아차리다. 실은 그것뿐만이 아니다. A부와 B에서는 주형내 열확산의 정도가 다르다. A부는 어느 쪽인가 하면 구에 가깝다. B는 어느 쪽인가 하면 무한 원주에 가깝다. 표 2의 초기온도 1300°C에서의 주형상수 할증율을 고려하면, t_B/t_A=(1.55/1.62)²×(1.32/1.25)²=0.92×1.11=1.03이 되어, 충분히 응고시간은 역전하는 것이 된다. 실험결과는, 부분 modulus를 생각하는 것으로 잘 이해할 수 있다.

7. 전(全) 수축 압탕

(1) 1차 수축 압탕과 2차 수축 압탕을 겹치면 전 수축 압탕
1차 수축압탕과 2차 수축압탕을 일체의 압탕에 통합하는 데는, 2차 수축압탕 위에 1차 수축압탕을 올린 형, 그림 2-16(c)의 2점 쇄선의 형이 생각되어진다. 이 때 상하의 연결눈에 가늘어지는 각이 있으면, 액체수축시에 그 각부에서 수축공을 유발하고, 압탕 정상으로부터의 수축공을 보충할 수 없게 되는 위험이 있다. 단순한 경사에 가까운 형이 좋다. 2차 수축시의 강한 응고 팽창압 발생원이 되는 것은 압탕 하부로서, 이 팽창압 발생 시점에서는 압탕 상부는 응고를 완료하고 있는 것이 바람직하다. 위가 가는 경사 형상은 그 목적에 따라서 형편이 좋다.

(2) 전수축 압탕의 하부의 크기

2차 수축압탕이 되는 하부의 부분 modulus로부터 하부의 직경 D₂를 m₁/m_c=1.2가 되는 조건으로 구한다. 이 경우의 D₂는, 앞서의 2차 수축 전용의 압탕 직경 7.2m_c보다 작아도 좋다. 왜냐하면, 상부의 1차 수축 담당 압탕분을 짜른 면은 단열면으로서 취급해도 좋기 때문이다. 상부의 직경을 D₂=6.6m_c로 한 때에, 2차 수축 전용 압탕과 같은 modulus가 된다. 그림 2-16(c)의 표준도에는 이 수치를 기입했다.

(3) 압탕의 길이, 정상의 형상치수

전수축 압탕의 경우, 1차 수축에 대한 압탕으로부터의 공급량은, 본래 주물과 압탕 하부의 쌍방의 1차 수축량을 보충하는 것이라야한다. 엄밀하게 말하면 1차 수축압탕의 수치보다 약간 큰 것이 바람직하다. 형편 좋게 이 압탕은 경사가 크게 되므로, 1차 수축만의 압탕보다 상부의 체적은 늘고 있다. 그렇기 때문에 전체 높이, 및 압탕 정상 직경은, 1차 수직 압탕의 경우와 같게 해도 보충량은 충분할 것이다.

(4) 전수축 압탕의 경우의 주입구 단면

탕흐름 정지직후에 압탕으로부터의 공급을 촉구하기 위해서는 탕구로부터의 용탕보충을 빠르게 끊는다. 이를 위해 주입구를 가늘게 하는 것은 1차 수축압탕의 경우와 변하지 않는다.

Q. 압탕저의 부품: 일반의 압탕은, 압탕의 바닥을 부풀어지게 하고 있다. 그림 2-16에서 제안의 압탕은 바닥이 평평하다. 그것이라도 좋은가.

A. 부풀어져도 좋지만, 그것에 의해 중량이 늘어나는 만큼의 효과가 있는가 어떤가는 의문이다. 저면은 주탕 개시로 부터 고온의 용탕에 노출되어있어, 저면에서의 열유속은 다른 면보다 약간 작게 되어 있다.

8. 압탕 설치상의 주의

8.1 압탕 목의 두께

(1) 압탕 목의 부분modulus는 애매

손색이 없는 압탕을 붙여도, 압탕 목이 폐쇄되어서는 용탕 수율도, 압력 전파효과도 약해진다. 압탕 목을 두껍게 하면 압탕 잘라내기는 귀찮게 되지만, 압탕 효과를 우선시해야만 할 것이다.

압탕 목의 부분 modulus를 정의해서, 압탕 목 폐쇄되지 않

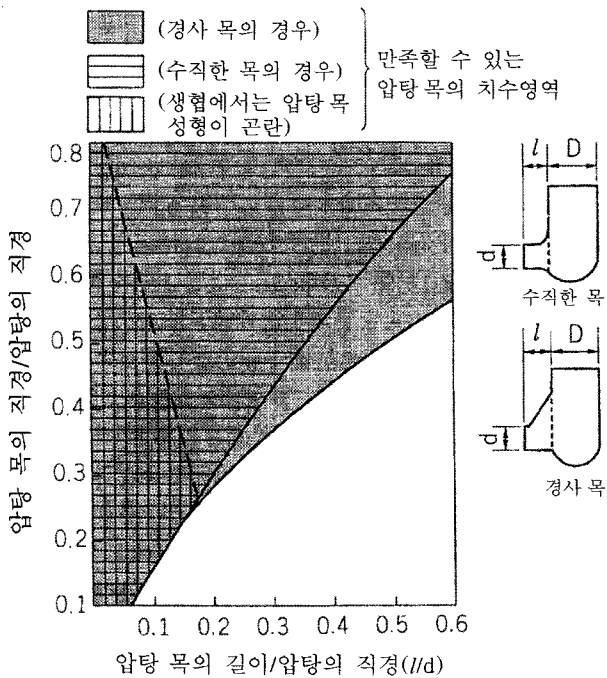


그림 2-22. 압탕목의 치수

은 한도를 설정한다고 하는 시도가 있다. 가늘어지는 부위는 인접 부분의 영향이 지나치게 커서, 단순한 V/A의 형에서는 응고시간 평가의 목적을 다하지 않는다. 부분 modulus는, 인접부의 열의 영향이 적은 경우에만 의미가 있다. 현재에서는 컴퓨터시뮬레이션에 따라서 시행착오로 적부를 확인할 수가 있다.

(2) 압탕 목을 짧게 하면 압탕 목 지름은 가늘게 할 수 있다.

GIRI에서는 그림 2-22를 제공하고 있다²⁴⁾. 압탕 연결 뿌리의 길이를 줄이면 압탕 목 직경을 작게 할 수 있다고 하여, 그 임계치를 주고 있다. (응고시뮬레이션에 따라서, 임계치를 약간 완만하게 해도 좋다고 여겨지는 개소가 지적되었지만, 더욱 검토를 요한다.) 주형이 강고하게 된 현재는, 이전보다 압탕 목을 짧게 하는 것이 가능하게 되었다고 생각된다.

8.2 뜨거운 압탕과 차가운 압탕

2차수축압탕은 뜨거운 압탕을 후육부에 직결시킨다. 압탕은, 용탕이 주입구로부터 압탕을 거쳐서 주물에 유입하는 형의 소위 [뜨거운 압탕]이 바람직하다. 이것에 대해서, 캐비티 내를 흐른 후의 차가워진 용탕에서 잠하고 있는 압탕은 [차가운 압탕]이라고 불리우고 있어 기능이 떨어진다. 차가운 압탕은 초기온도가 낮게 되기 때문이다. 압탕 지름을 표준보다 약간 크게 할 필요가 있을 것이다.

8.3 2개의 주물에 작용시키는 압탕

1차 수축용과 2차 수축용에서는, 공유시키는 압탕의 크기가 달라진다. 복수가 취하는 방안으로, 같은 주물 2개에 대해 1개의 압탕으로 수축공을 방지해서 얻는다면 경제적이다.

1차 수축분의 보충을 목적으로 하는 경우: 보통의 박육 주물의 압탕에서는 modulus보다도 보충량이 문제가 된다. 따라서 2개의 주물에 대한 압탕은, 이론상 2개분의 보충량을 주면 좋다. 주물의 형이 달라지는 2개의 주물에 대응시키는 경우에 있어서도, 양방의 수축분을 보충하는 만큼의 크기를 구비하고 있다면 좋을 것이다.

기포에 대한 압탕의 경우: 1차 수축압탕의 경우와 다르게 보충량을 구하는 것은 아니고 압력전파가 목적이다. 같은 주물 2개에 대한 압탕이라면 1개의 주물에 대한 압탕의 크기와 변하지 않고, $m_1/m_2=1.2$ 의 원칙이 적용된다고 생각된다. 달라지는 크기의 주물에 대해서는 1개의 압탕에서 대응할 수 있는가 어떤가 의문이 있다.

8.4 후육부 불연속 주물에서의 대응

1차 수축이 문제가 되는 경우는, 후육부의 중간에 약간 얇은 부분이 있어도, 용탕만 충족해 두면, 앞서 있는 후육부에도 보충할 수 있다. 회주철에서 고상율 0.4, 구상흑연주철에서 0.3이 되기까지는 용탕의 유동이 가능하기 때문이다.

2차 수축에 대해서는 거의 부정적이다. “거의”여서 효과가 전혀 없다는 것은 아니다. 1차 수축에 대한 용탕보충을 충분히 하면, 불충분한 방안보다도 기포발생이 약간 억제되고 있다고 하는 실험결과를 얻고 있다.

원칙으로서, 기포발생을 완전히 방지하는데는, 각각의 후육부에 각각 2차 수축압탕을 필요로 하는 것이라고 생각해두어야만 한다.

Q. 압탕으로부터의 급탕거리: 주강의 경우에는 압탕으로부터의 용탕도달 유효거리의 표준이 나타나고 있다. 주철에는 그것에 비슷한 표준은 없는가.

A. 잘 나오는 문제이지만, 조사한 경험은 없다. 급탕거리라는 것보다 “압탕으로부터의 압력이 도달하는 거리”라고 생각해야만 할 것이다.

주철의 경우에는 조건이 매우 다양해서, 체계화 할 수 없지 않은가라고 생각한다. 단지 상정이지만 억지로 말하면, 1차 수축에 대한 용탕보충은, 주입의 연장, 여운이라고 간주되므로, 압력 도달거리는 수십 cm의 범위에 미친다. 2차 수축의 경우는 고상율 100%에 가까운 중에서의 압력전파이므로 수 cm의 범위를 나오지 않을 것이라고 생각하고 있다.

9. 압탕 방안의 계산연습

9.1 1차수축압탕.....회주철, 괴상주물의 예

[문제]

그림 2-23에 나타내는 직경 6 cm, 길이 20 cm의 회주철 원추주물을 사형으로 구조하는 경우의 압탕방안을 결정해보자. CE값은 4.2로, 2차 수축에 의한 수축은 일어나지 않는 것으로 한다.

[해답]

형상은 찰막한 주물에 속한다. 탕흐름중의 온도강하, 수축은 아주 극소이다. 그래서 압탕으로부터의 용탕보급 필요량은, 주물체적의 4%이라고 가정한다.

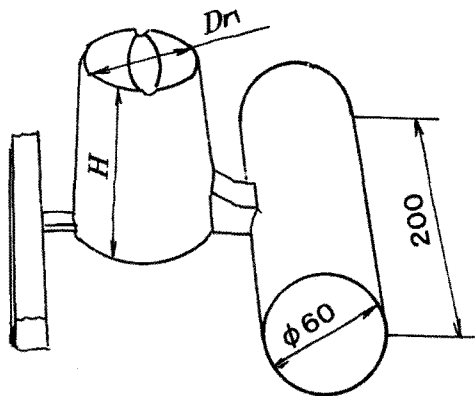


그림 2-23. 회주철 피상주물의 압탕방안

주물의 체적 $V_c=429 \text{ cm}^3$
 주물의 표면적 $A_c=339.3 \text{ cm}^2$ $m_c=1.26 \text{ cm}$
 보충필요량 $\Delta V_c=429 \times 0.04=17.2 \text{ cm}^3$

압탕 정상지름 Dr_1 은

(a) 보충가능량의 조건식(15a)에서는

$$Dr_1 = \Delta V_r^{1/3} = 17.21/3 = 2.6 \text{ cm}$$

(b) 유동성의 조건식 (17)에서는

$$Dr_1 = 3.6m_c = 4.5 \text{ cm}$$

후자가 크다. 따라서 $Dr_1=4.5 \text{ cm}$ 를 취하게 된다. 압탕의 총 높이 H: 식 (18)로부터, 주물의 높이 3 cm에, 수축공의 깊이 등을 덧붙여서,

$$H = P + 2.5Dr_1 = 3 + 2.5 \times 4.5 = 14.3 \text{ cm}$$

공급 가능량 ΔV_r : 식(15)을 적용하면

$$\Delta V_r \approx Dr_1^3 = 91 \text{ cm}^3$$

먼저의 보충 필요량 $\Delta V_c=17.2 \text{ cm}^3$ 의 5배 이상이나 있어 충분히 지나쳐 낭비이다. 용탕 절감을 위해, 임시로 압탕의 전체 높이 H를 $H=P+1.5Dr_1$ 으로 낮게 한다고 하면, Dr_1 은 압탕 상부의 modulus로 결정되므로, H를 낮게 해도 modulus가 변하지 않도록 하기 위해서는, Dr_1 을 4.5 cm에서 5.0 cm로 크게 하지 않으면 안 되게 된다. 그렇게 하면 압탕 체적은 10% 정도의 삭감으로 그쳐진다. 따라서 가압효과를 기대하고, 높은 쪽의 압탕인 채로 한다.

9.2 전 수축 압탕.....구상흑연주철, 박육 주물의 예 [문제]

그림 2-24는, 자동차용 휠 허브의 구상흑연주철주물이다. 이 주물의 전 수축 압탕, 그리고 1차 수축과 2차 수축에 유효한 압탕 값을, 그림 2-16의 압탕 표준에 따라서 결정하라.

조건: 중량은 22 kg, 재료는 가정하여 CE치=4.81로 한다. 주물 전체의 modulus $m_c=1.0 \text{ cm}$, 압탕 뿌리의 부분 modulus m_{cp} 를, $m_{cp}=1.2 \text{ cm}$ 로 가정한다. 1차 수축으로 수축공이 생길 위험이 있는 후육 범위는, 끝 면상 4 cm까지라고 견적한다. 또 비교적 슬립한 주물이기때문에 탕흐름중에 꽤 액체 수축을 끝

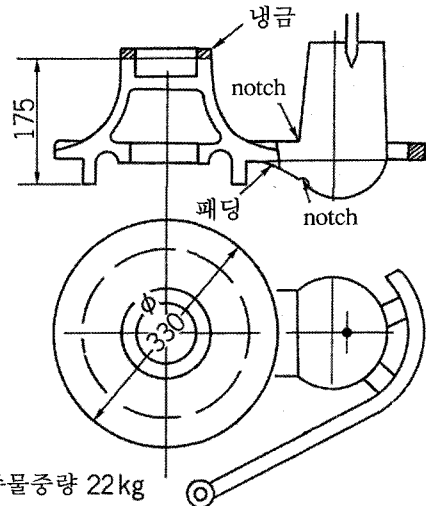


그림 2-24. 1차 수축 및 2차 수축에 대한 압탕

내고 있어, 압탕으로부터의 보충 필요량은, 주물체적의 2%라고 가정한다.

[해답]

1차 수축압탕(상부): 수축량을 주물의 체적 $V_c=22000/6.9=3188 \text{ cm}^3$ 의 2%라고 한다면 보충필요량 ΔV_c 은 $\Delta V_c=3188 \times 0.02=64 \text{ cm}^3$

이 양을 노리는 것은 압탕 정상 부근으로부터의 보급 가능량 ΔV_r 이다. 이 정상 지름 Dr_1 을 식 (15a)에서 구하면

$$Dr_1 = \Delta V_r^{1/3} = 64/3 = 4.0 \text{ cm}$$

이 수치를 압탕 정상 부근의 유동성 확보의 조건, 식 (17)($Dr_1=3.6m_c$)에 따른 수치와 비교한다.

$$Dr_1 = 3.6m_c = 3.6 \times 1 = 3.6 \text{ cm}$$

보충량 확보에 따른 조건 쪽이 유동성 확보의 조건보다도 압탕 정상의 지름은 크다. 따라서 큰 쪽의 $Dr_1=4.0 \text{ cm}$ 을 채용한다.

슬립하기는 하지만 체적이 큰 주물의 1차 수축압탕 치수는, 일반적으로 압탕 정상부근의 보충량 확보의 조건으로부터 정해지는 것으로, 유동성 확보(modulus비)의 조건에서 정해지는 것은 아니다.

압탕 높이 H_r : 압탕 목위 4 cm까지 공급하면 좋다는 것으로 부터 식(18)에 의해

$$H_r = 4 + 2.5 \times Dr_1 = 4 + 2.5 \times 4.0 = 14 \text{ cm}$$

이상으로 1차 수축에는 대응할 수 있는 압탕이 얻어진다. 2차 수축압탕(하부): 육후부의 $m_c=1.2 \text{ cm}$ 를 취해, 그림 2-16(c)로부터

$$D_{r2} = 6.6 \times m_c = 7.9 \text{ cm}$$

이상으로 1차, 2차 양 수축에 대한 전 수축압탕 치수가 정해진다.

[고찰]

상기 해답에서 얻어지는 압탕 체적과, [칼럼3]의 형상계수에 의한 압탕 체적 결정법에서 구해진 압탕 체적과를 비교해보자.

① 상기 해답에서 얻어진 압탕의 체적 V_r 를 계산한다. 원추대의 체적을 구하는 계산식을 사용한다.

$$V_r = (1/3)\pi H_r \cdot (1/4)(D_{r2}^2 + D_{r1} \cdot D_{r2} + D_{r1}^2) = 403 \text{ cm}^3$$

② 다음에 형상계수법에서 구해진 경우의 압탕 체적을 계산한다.

그림 2-24의 주물은, 전체의 modulus가 1.0 cm이라고 가정하고 있다. 이 주물을 평판의 집합체라고 본다면 평균두께는 2.0 cm이다. 그림 2-3에 흉내내서 형상계수를 구한다.

$$S = (L + W)/T = (330 + 175)/20 = 25$$

그림 2-4에서 $S=25$, 4.18%CE 구상흑연주철을 선에서 찾으면,

$$V_r/V_c = 0.2$$

이 된다. 주물의 체적 $V_c=3188 \text{ cm}^3$ 이므로, 압탕의 체적 V_r 은 $V_r=3188 \times 0.2=638 \text{ cm}^3$ 이 된다. 앞서 구한 전 수축압탕의 체적은 403 cm^3 이므로, 형상계수법에 의해 구해지는 638 cm^3 은, 약 60% 크게 견적되게 된다.

임시로 평균두께를 1 cm로 해서 형상계수를 $S=50$ 으로 간주해도, $V_r/V_c=0.17$, $V_r=542 \text{ cm}^3$ 이어서, 이것이라도 34% 크게 견적한 것이 된다.

크게 견적하는 것은 경제적으로 불리할 뿐만 아니라, 애써의 압탕내 팽창압이 압탕 자신의 팽창으로 약해진다고 한다. 성능적으로도 바람직하지 않은 결과를 생기게 하는 것이다. 대는 소를 겹치지 않는다. 본문 끝.

文 憲

- 22) N. Tafazzoli-Yadai, & Kondick: AFS International Cast Metals Journal, Dec. (1977) 41.
 23) S. I. Kalsay: AFS International Cast Metals Journal, Dec. (1980) 15.
 24) 佐藤高浩ほか: 鑄物濟111回全國講演大會講演概要集(1988) 8.
 25) 文獻9) 75

후기.....주조방안 여담...

경험기술의 정체: 2차 대전후에 있어서도, 주조방안의 결정은, 오랜 세월의 경험이 없다면 할 수 없는 심원한 특수기능과 같이 생각되어져 왔다. 지금으로는 믿을 수 없지만, 우리가 소속하고 있던 주물공장에서는, 후에 “현대의 명공”으로서 그 시대의 노동성으로부터 표창되었던 현장의 장로가 모두 혼자서 방안을 결정해왔다. 설계도도 그리지 않는다면, 계산서도 없었다. 그런데 그 장로에도 정년이 뒤따르게 되었다. 후를 이을 가능성이 없다. 새롭게 경험을 쌓아서 양성하려고 해도 머지않아 그 사람에도 정년이 온다. 경험에 의지하는 수행에서는 안되기

때문이다. 그렇다면 기술자가, 현행 방안의 뛰어난 점을 과학적으로 해석하고, 합리적 주조방안 결정법을 발견하려고 하는 것이 되어, 기계계 기술자인 나는 받아들여지게 되었다. 나의 주조방안과의 관련은 여기서부터 시작되었다.

최초로 한 것은 탕구방안이다. 조사하고 있는 중에, 수력학적 합리성에 결여하고 있다고 생각되는 곳이 걱정되었다. 물 모델로 실험도 했다. 본문의 탕구방안에 있는 방법의 얼만가는 이때 지적한 것이다. 경험적 현장기술의 정체를 알게 되었다는 생각이 있었다. 그것들을 참고로 [주조방안 설정 사내 표준]을 통합했지만, 그 일부를 구해 옹하고 당시의 [종합주물]에 투고했다. 그것이 오랜 세월 소형재센터 실천강좌의 주조방안의 일부를 담당하는 계기가 되었던 것이다.

경험 속으로 파고들: 이상의 얘기로 부터 생각되는 것은, [경험에서 얻어지는 주조방안]인 것 중에는, 단순한 “숙고”가 꽤 많게 잠수되어 있다고 하는 것이다.

사물은 무엇이라도 “생각해냄”으로부터 시작한다. 그러나 방안의 경우는 “생각해냄”이 “깊이 생각함”으로 변하기 쉽다. 현장에서는 진위의 정도를 확인할 여유등이 없는 것이 보통이다. 확인할 수 없기 때문이라고 해서 일을 진행하지 않는 이유는 될 수 없다. 다시 말하면 무엇인가의 결단을 내려서 앞으로 진행한다. 사람이 바뀌어 시대가 흐르면, 드디어 전송 기술이 되어 혼자 걷기 시작한다.

이론의 마력: 무엇인가의 이론이 첨가되어 있는 논지는, 고급으로 보여서 믿고싶어지게 된다. 본문에서도 몇몇인가 이론을 들었다. 이유도 열거했다. 주입시간이 다름을 유동장의 이유로 한 나의 “생각해냄”에 후일, 내 자신의 별도의 연구에서 오해라고 생각해내기 까지 나 자신 의심을 품지 않았다. 나뿐만이 아니라, 당시의 [최적 주입시간 연구위원회]의 선생들까지 속이는 일이 된다. 여기서 서술한 나의 논설도, [맞지않더라도 멀지않게]적 추정을 내려서, 논의를 진행하고 있다. [잘못한 깊이 생각함][상태가 좋은 이유]가 혼재하고 있는 것을 두려워한다. 혹시 눈치챈 점이 있다면 이 지적을 받아들이고 싶다.

현장과 학회: 오래된 시대에는, 방안에 대해서는 연구자는 꽤 환영 받았다. 근년은, 응고, 탕흐름 모두, 수치해석수법의 개발이 거의로, [머리를 사용하지 않고도 (본질을 알지 않고도) 할 수 있는 편리한 방안기술]을 지향하고 있는 감이 있다. 방안의 좋고 나쁨에 대해서 의론되는 일은 거의 없다. 현장에서는, 방안기술은 불량주물을 내지 않는 일상활동의 일환으로서 존재한다. 탕흐름으로부터 응고까지의 물리적 변화를 더듬는 것으로, 결함 발생 원인이 보여지는 것은 자주 있다. 방안의 지식이, 문제해결의 돌파구가 된다. 어느 선생으로부터 주조방안의 강연을 의뢰받았을 때, [나의 얘기를, 고전적이고 지금의 젊은 기술자에게는 받아들여기가 나쁘다]라고 서술한즉, [그러면 주조의 본질이나 결함원인을 추구하는 사고력은 쇠퇴한다]라는 의미의 말을 들었다. 나도 동감이다.

학회에서는 기술자의 연구는 진행하지만, 전의 오해를 시정하는 시도는 거의 행해지지 않는 듯이 보인다. 논문에 나온 지식이 의지하는 곳이 되었던 경우는, 현장에서는 의심스럽게 생각해도 진위를 확실하게 하는 여유가 없으므로, 학회에서 부정되는 일이 없는 한, 애써 배운 지식을, 간단히는 버려버리지는

않는다. 없는 경사는 추정으로 보충하고, 불명한 현상에는 상상을 배려하고, 얘기를 대충 완결시키도록 한다. 그렇지 않으면 일이 진행하지 않기 때문이다.

현장적 내용에 있어서도, 과거에 나온 오해를 방지하지 않고 현장인 사고의 도움이 되는 유효한 기초적 데이터를 제공하고, 그 체계화에 노력하는 일이 필요하다. 이 일에 관해서는 학회도 약간 책임이 있다고 생각된다.

학회의 연구논문에서는 실험결과가 중시되는 것은 당연하다. 그러나 실험결과만을 알고 곧바로 비약하는 것도 위험하다. 실험조건이 달라지는 경우도 있기 때문이다. 이론적 체계화가 되어 있지 않다면 큰 줄기로부터의 벗어남이 있어도 현장에서는 알 수 없다. 실험결과에서 나온 것이 아니고 현장에서 납득해서 확용될 수 있는 만큼의 체계화의 작업도 학회의 중요한 사명이라고 생각된다.

실험에서 확인될 수 없는 경우는, 모든 각도로부터 검증해서 모순이 생기지 않으면, 그 결론은 채용해도 좋다고 하는 것이 현재의 학문일 것이라고 생각한다. 그 여러 각도가 몸 안에서의 검증으로는 좁아서 놓칠 염려가 있다. 본문에서 다른 이론을 두려워하지 않고 할 수 있는 한 다른 견해를 강조한 것은 그렇기 때문이다.

주조방안의 다양성: 옛날과 달라서 현재에서는, 전체적인 기초를 습득해 두면, 각별한 경험이 없어도 방안은 이유 없이 결정되는 것을 알 수가 있다. 그러기 위해서는 자공장에 맞도록 정리된 “주조방안 결정의 지침서”가, 간결하게 통합되어 있으면 편리하다. 통합되어진 내용의 근거를 재체크함에 있어서, 본고의 방안도 역할을 할 것이라고 생각된다.

컴퓨터시뮬레이션을 활용하는 경우, 제1차의 형상을 입력하지 않은 것에는, 계산이 진행하지 않는다. 우선 고전적 방법으로 형상을 입력하는 것이 된다. 본문에서 서술한 압탕의 이유는, 그 착수 단계에서 역할한다고 생각한다. 또 원리를 알고 있다면, 컴퓨터시뮬레이션 결과의 평가는 더욱 타당한 것이 될 것이다.

방안의 좋고 나쁘고만이라면, 함부로 귀찮은 이유를 마구 진

열하지 않아 좋을지도 모른다. 중요한 것은, 주조결함이 발생했을 때, 어떻게 해서 생성한 것인가 그 프로세스를 채용하는 통찰력에 익숙해지는 일이다. 본서가, 결함발생 프로세스 추구의 단서로서 역할 하는 것을 기대하고 있다.

이론무장: 실적이 있는 공장에서는 주조방안의 결정법에는 꽤 많은 자신을 갖고 있는 것처럼 생각한다. 자신이 있는 공장만큼, 외부로부터 달라진 지식을 가져와도, 무시하거나, 적당히 검토로 끝내는 경향이 있다. 후계자는 그 단계에서 자사가 행하는 방법의 재고를 하게 된다. 강습에 참가시켜도 쓸데없다. 내가 아는 그러한 공장에서는, 방안도 조차 그려져있지 않았다. 계산공정을 나타내는 메모도 없었다. 필요가 없기 때문이다. 의론되는 일이 없기 때문이다. 지도자의 책임이 묻어지는 일도 있을 것이다.

사내만의 기술이 있다면 그것으로도 끝나지만, 해외의 기술이전이 연결되어있다면, 자사의 기술레벨의 평가에 영향할지도 모른다. [제품으로 승부한다]만으로는 부족하다. 될 수 있는 한 생각되는 확실한 설명이 필요하다. 중국에서는 옛날은 [아는 사람은 말하지 않는다](노자)라고 말해져 왔다. 그것은 심원한 형이상학적 [도]의 얘기로서, 우리들의 대상으로 하는 낮은 기술의 일은 아니다. 현재는 [아는 것 없다면 말하지 않고, 말 없이 참지 않으며, 말하는 자는 죄 없다]라고 말하고 있다고 25년전, 일중국교 수립시의 자동차공업 시찰단원으로부터 들었다. [이유보다 실행]이라고 잘 말해지지만, 이유를 확실하게 하지 않다면 상대의 납득이 얻어지지않는다. 기술자도 [口八丁 手八丁]의 시대이다. 충분히 의론을 반복해서, 이론 무장할 필요가 있다. 이론 무장의 테마로서도, 본장에서 들었던 것이 역할을 하는 것을 기대하고 있다.

감사 본고는, 27대 일본주조공학회 회장, 中江秀雄선생님의 추천과, 동 학회 사무국, 편집위원회의 제 선생으로부터의 조언, 교정에 의해 정리되게 되었습니다. 여기에 깊이 감사를 표합니다. 또한 수리학에 관해서 오랜 지도를 주신 오오사카대학 명예교수 近江宗一선생님에게 감사를 드립니다.

“초심자라도 알 수 있는 주조방안의 기초”는 금회로 전6회를 종료합니다만, 하기와 같이 오기가 있었기 때문에 정정합니다.

정오표

호	페이지	정정개소(행)	오	정
2	149	우 (1)	300 cm, 200 cm	300 mm, 200 mm
2	149	우 (13)	1:3.3:12	1:3.3:1.2
3	223	좌 (28)	$\sqrt{35.3/370}$	$\sqrt{35.3/37.0}$
3	224	좌 (7)	=245 cm	=245 mm
4	283	그림 2-6(b)	거리, x(cm)	거리, x(mm)