

Fig. 1. Pyrolysis of polystyrene foam (1037 K)

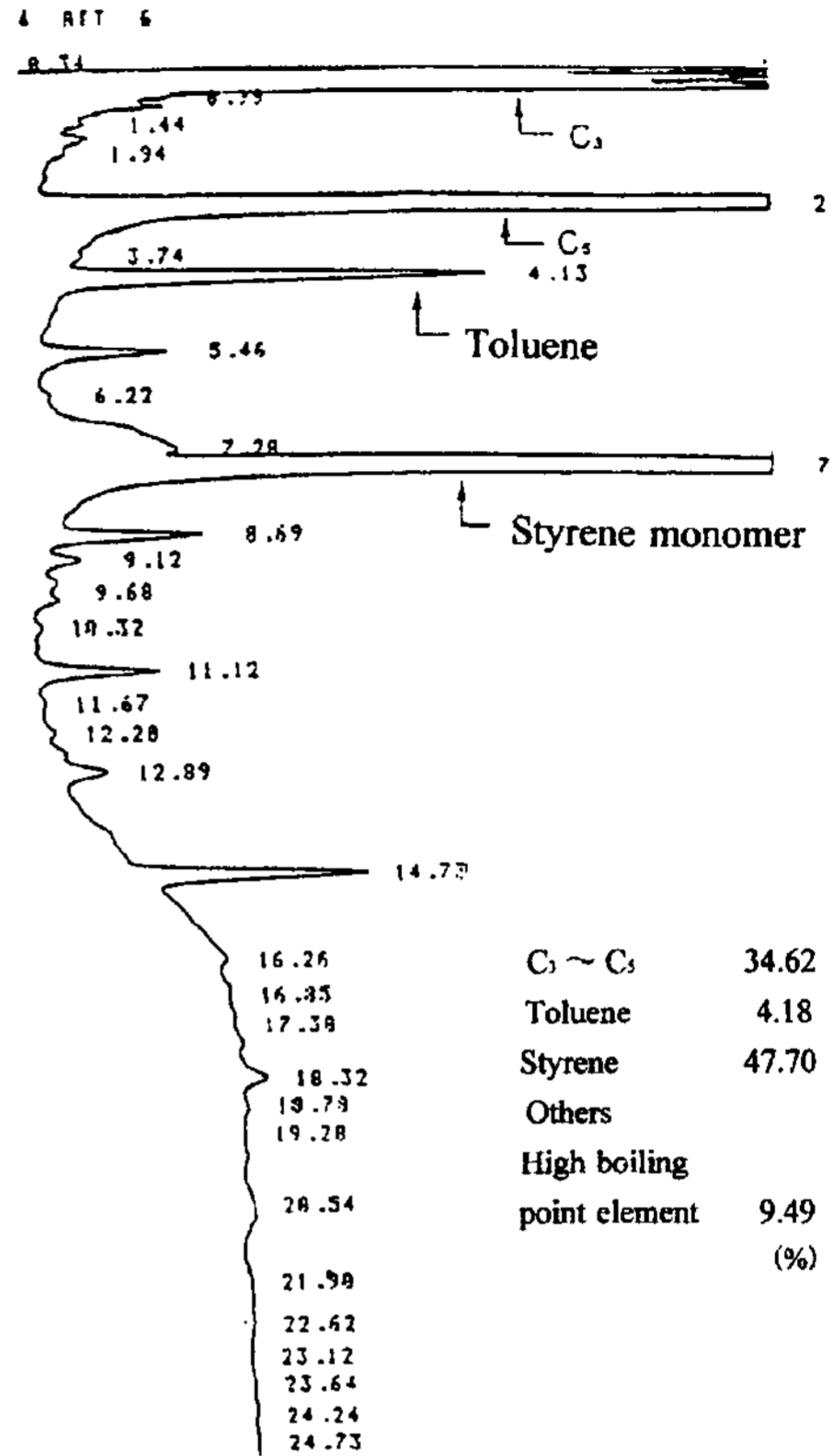


Fig. 2. Pyrolysis of polystyrene foam (1313 K)

서는 측정하지 못했지만 Fig. 2에 1313 K에서 열분해를 나타내었다. Fig. 1,2로부터 회귀식에 의해 1673 K 근방의 모노머 발생량은 10% 이하로 추정된다.

3. 용탕충전거동의 관찰

용탕충전 거동의 관찰은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 발포폴리스티렌 모형을 판두께 5 mm의 내열유리에 접착하여 조형한 후 주입시의 상황을 유리면에서 비디오 카메라로 촬영하였다. 사용한 모형은 JIS G5527에 규정된 호칭경 75의 압륜이다. 촬영은 통상의 비디오 카메라에 의한 용탕의 윤곽 관찰 이외에 간섭막 필터 등을 사용하여 무조명하에서 용탕에서의 단색방사광만을 CCD 카메라로 촬상하고 컴퓨터 처리에 의해 용탕면 온도로 표시하여 유동상태에서의 국부적인 용탕의 움직임을 추적하였다. Fig. 4에 통상의 비디오 카메라에 의한 촬상과 필터 등을 장착한 CCD 카메라에 의한 무조명하에서의 촬상 예를 보인다.

용탕면 온도측정의 보정은 표준텡스텐 리본 전구(20/

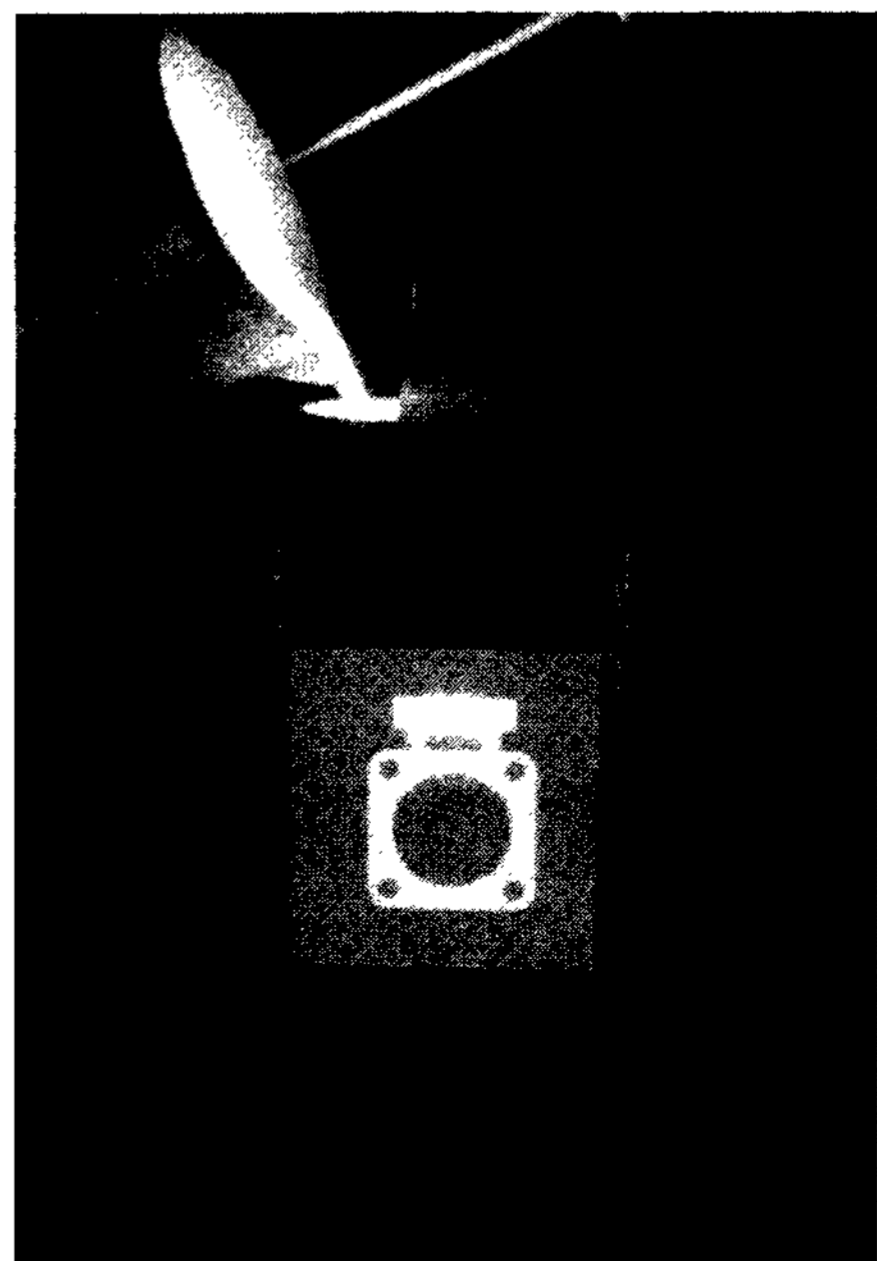


Fig. 3. Scenery of experiment.

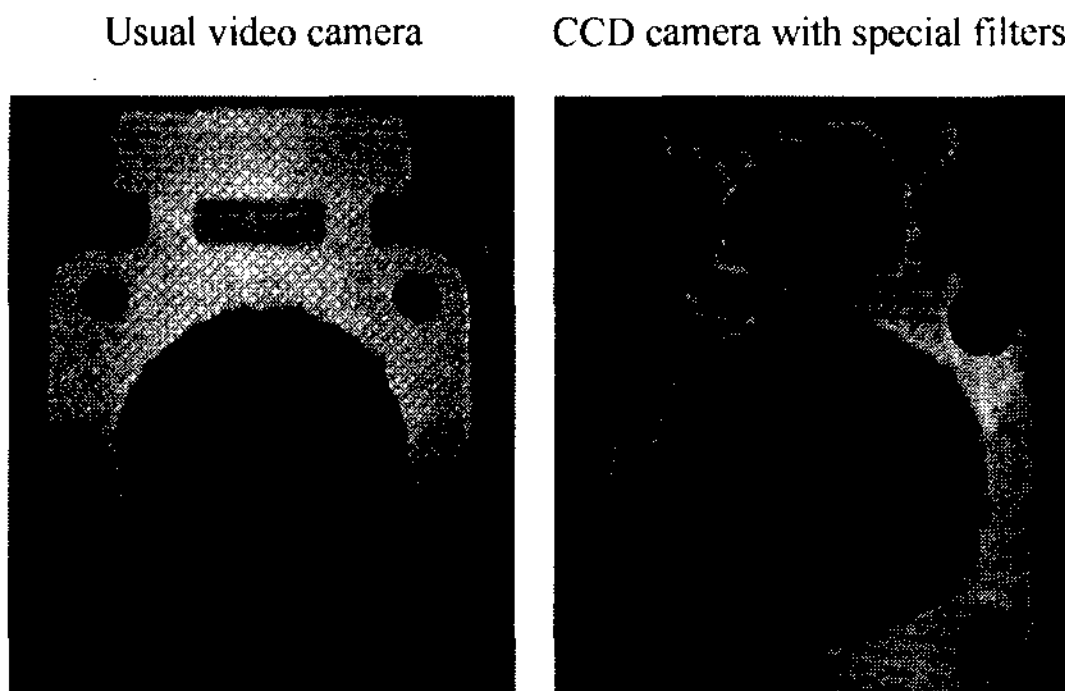


Fig. 4. Still image showing inflow of melt.

V No1058GE사제)의 인가전류와 온도와의 관계를 계량 연구소의 표준전구로 보정한 단색방사온도계(OEP-PM-650N No80280133 동경 광학기계사(주) 제)와 Cu정점 로(Cu의 응고점, 1357.77K(ITS-90) J 610 YOKOGAWA 사제)를 이용하여 각 금속용탕의 주입온도에서 응고점 까지의 영역에서 행하였다. 보정은 탕류측정 거리를 미리 결정해 놓고(2.7 m) 그 위치에 표준전구를 두고 측정에 필요한 각 온도로 전구를 점등하고 그 표준전구의 각 온도에서 광량을 CCD 카메라 전면엔 장착한 각 필터, 렌즈의 조리개에 의해 조정을 행하여 촬영, 모니터에 표시한다. 1/30 s로 촬영한 화상을 256 × 256(면)의 분해능 및 휘도심도를 8 bit(256계조)로 화상 메모리에 기록하고 컴퓨터로 전송하여 표준전구의 온도와 휘도심도 데이터로부터 보정을 행하였다.

온도와 방사온도계의 출력(전압)과의 관계는 이론적으로는 프랑크의 방사칙, 윈의 방사칙으로 결정하는 것이 원칙이지만 취급이 복잡하므로 실용적으로는 이들 법칙을 변형한 특성 표시식 $V = C \cdot \text{EXP}(-C_2/A \cdot T + B)$ 를 사용하였다. 여기서 A, B, 및 C는 온도계에 대한 정수로 A: 0.649857E+06 (M), B: 0.25000E-05 (MK), C: 0.4742422E+6 (V)이고 계량연구소에서 제시하였다.

Fig. 5에 동합금(CAC406)용탕에서 1173 K에서 1373 K까지 50 K 간격으로 보정을 행한 예를 보인다. 또 Fig. 6에 주입으로부터 1.5 s 후의 탕류의 상황과 수직라인의 온도계측 예를 보인다.

Fig. 7에 주철용탕(FC250 상당)의 무감압시 상부주입에서의 면온도측정예를 보인다. 통상의 비디오의 파장 영역에서의 촬영한 경우는 용탕의 윤곽 밖에 식별할 수 없지만 0.65 μm의 파장에 의한 관찰에서는 이미충전된 곳에 새로운 용탕의 유입상황을 관찰할 수 있었다.

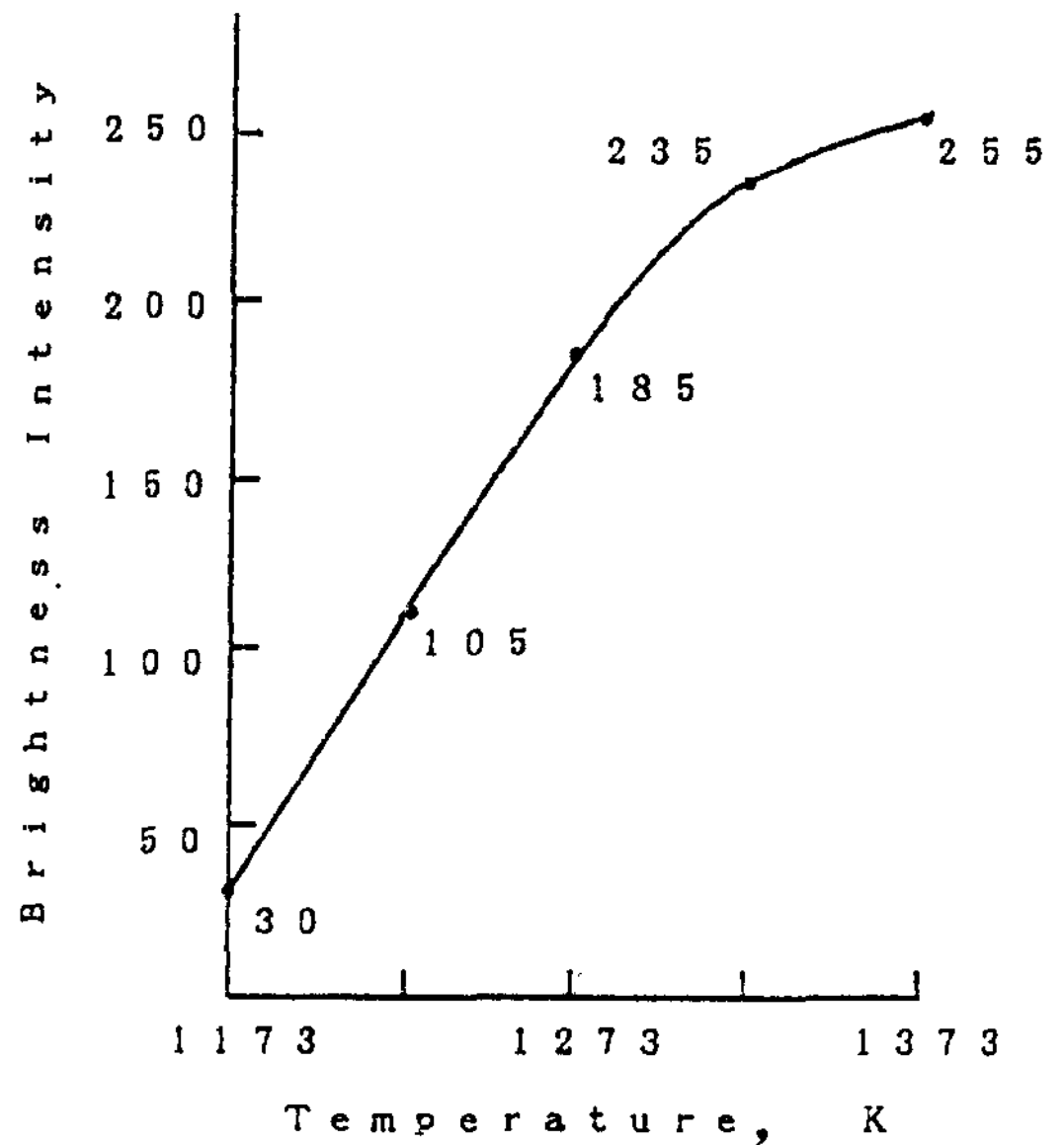


Fig. 5. Calibration curve of temperature distribution measuring system.

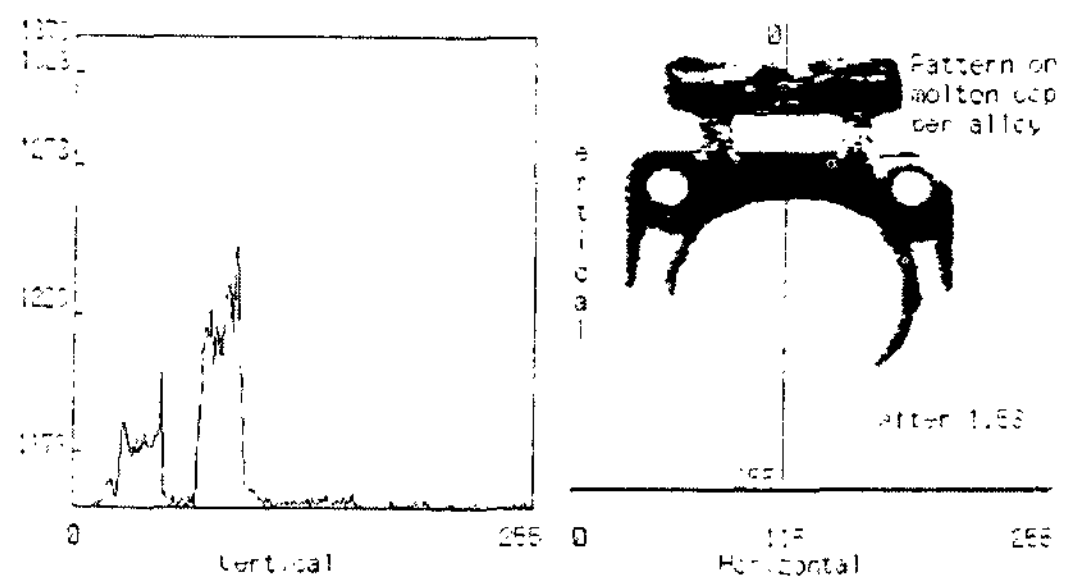


Fig. 6. Display of flow pattern and distribution temperature on molten copper alloy.

주철용탕은 모형과 치환부(용탕선단)은 방사상으로 충전해 가지만 모형의 기소실부에서는 유입관성에 의해 새로운 고온의 용탕이 소용돌이치면서 유입해 간다. 그 결과 유입시에는 형 내의 용탕온도분포가 반드시 방사상으로 되는 것은 아니다. 그러나 충전완료시에는 확산에 의해 온도구배는 탕구부를 정점으로 한 방사상으로 된다.

4. 알루미늄 총탕의 충전거동

알루미늄 합금은 용탕의 발포모형 분해능력이 낮기

때문에 주입시간이 상당히 길어진다. 또 비중도 가볍기 때문에 용탕충전은 통상의 공동을 가진 주형에서 예상되는 것과는 전혀 다른 거동을 보인다.

Fig. 8에 무감압시의 용탕유입상황을 보인다. 소실모

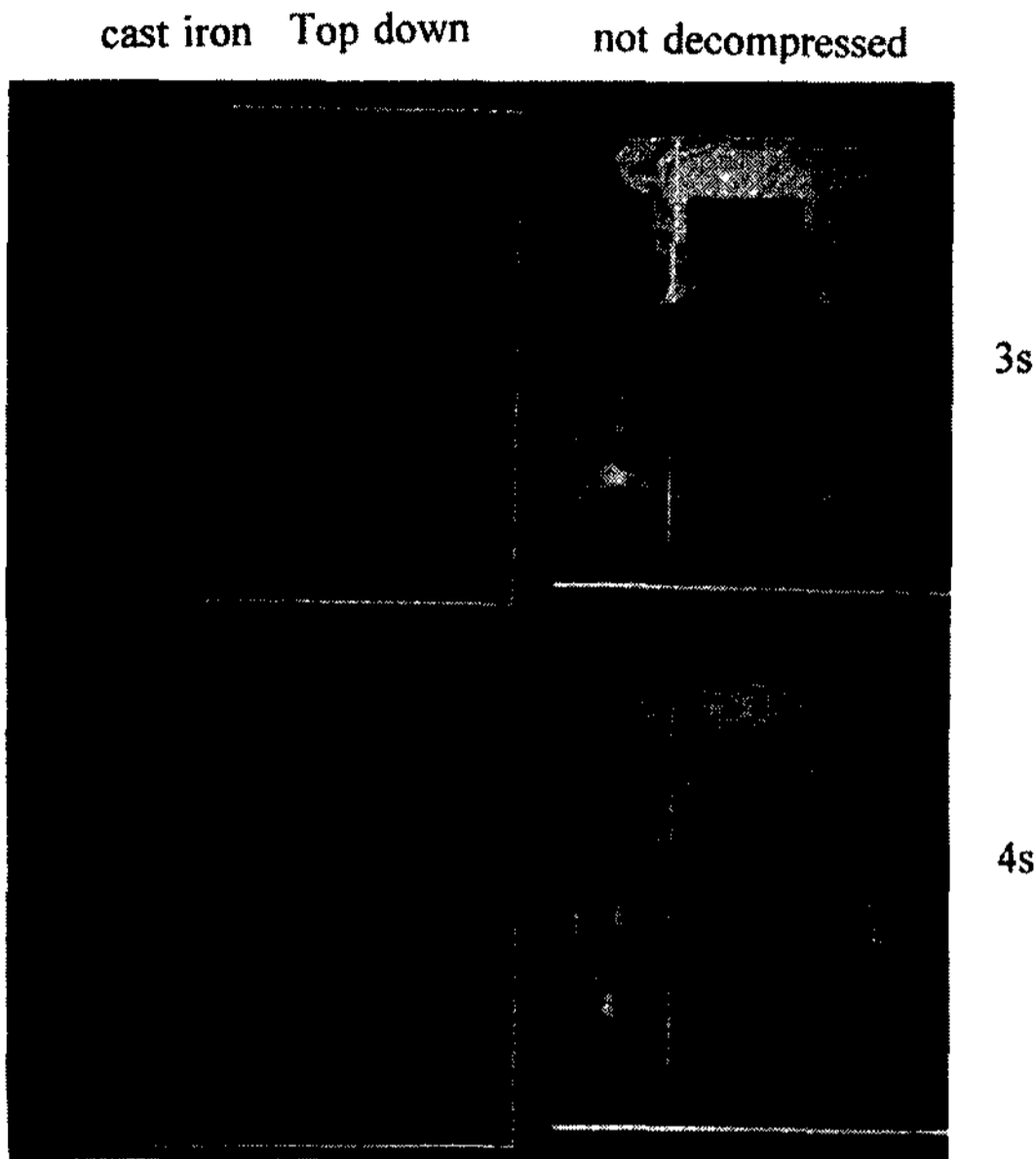


Fig. 7. Display of distribution temperature on molten cast iron.

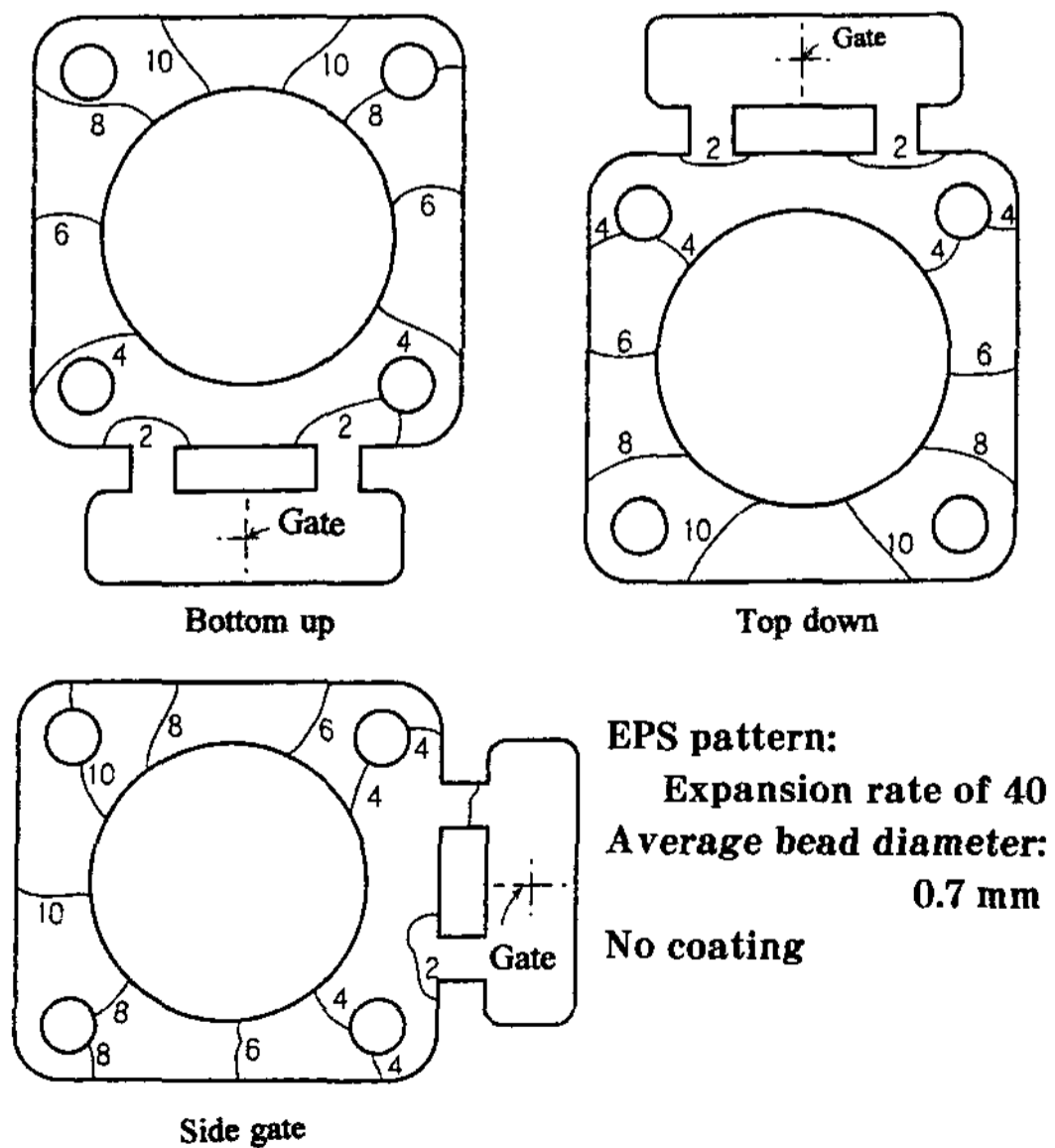


Fig. 8. Effect of gating system on inflow behavior of molten aluminium alloy under atmospheric pressure. (Isochronal lines unit;s)

형주조법에서 알루미늄합금 용탕의 탕류는 상당히 느리다. 이것은 주입온도가 비교적 낮기 때문에 모형의 분해속도가 늦어지게 되기 때문으로 생각된다. 또 gate의 크기, 위치가 결정되어버리면 상주 또는 하주 등의 탕구방안에 의해서는 어느 것도 탕류의 모양에는 큰 영향이 없는 것이 확인되었고 특히 측주에서도 용탕은 주형하부에 편중하지 않고 충전된다. 이것도 용탕의 중력에 의해 자유낙하 속도에 비해 용형의 분해속도가 한 order 정도 늦기 때문일 것이다.

이와 같이 알루미늄 합금 용탕의 경우는 기본적으로는 방사상으로 넓혀가며 주입된다고 생각해도 틀리지 않는다.

그러나 후속물에서는 다를 것이다. 특히 지나치게 작은 gate를 사용하는 경우와 같이 용탕보급이 모형소실을 따라가지 못하면 용탕은 방사상으로 되는 것이 아니라 탕구직하만 모형소실이 일어나게 되므로 용탕을 하부로 낙하해 간다. 이때 무점결재의 사립충전 만으로는 주형분락이 유발된다. 또 주물형상, 크기에 관계가 있지만 일반적으로 제품 직상에다 하주의 탕구를 직접 붙이는 것은 피하는 것이 무난할 것이다.

알루미늄합금 용탕에서 용탕진행이 “조용하면서 느리게”라고 말하는 것은 주물의 냉각특성에 특이한 영향을 미친다. 탕의 흐름이 조용하여 난류가 생기지 않는다는 것은 선단의 용탕이 자신의 치환량 이상의 모형을 분해해 나가는 것이고 느리다고 하는 것은 거리에 따라 온도저하가 현저해 진다는 것이다.

Fig. 9에 250(길이)×50(폭)×10(두께)mm의 발포폴리스티렌 모형이 한쪽 끝에서 주탕했을 때 알루미늄합금의 냉각곡선을 보인다. 소실모형주조법에서는 주탕 완료시 용탕선단부와 탕구부에는 확실한 온도차이가 있다. 또 Fig. 10에 용탕면 휘도측정에 의한 유입상황

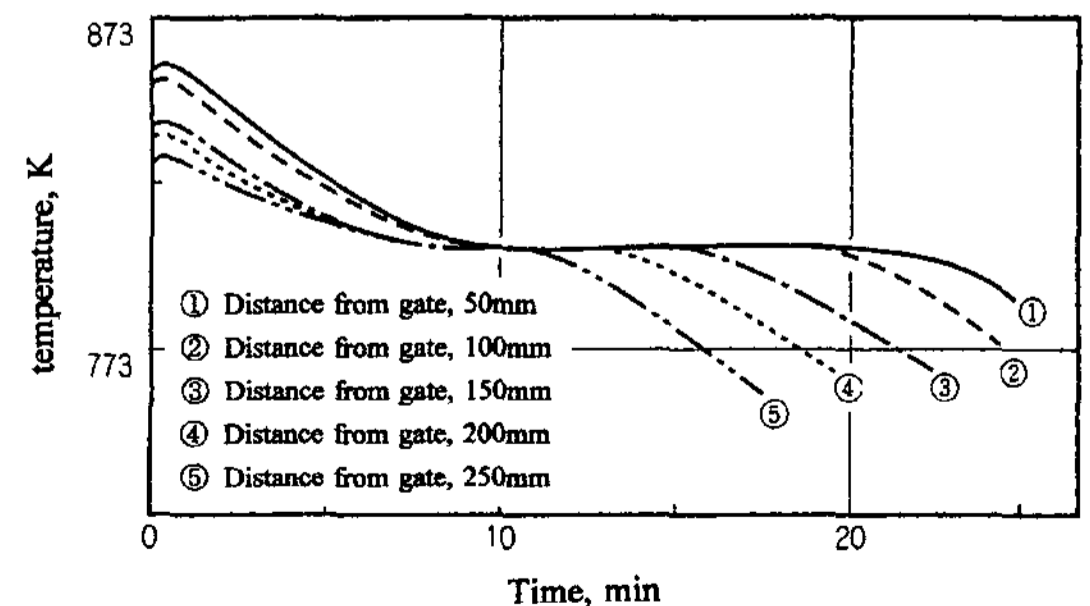


Fig. 9. Cooling curve of aluminum casting with 50×10 mm board.

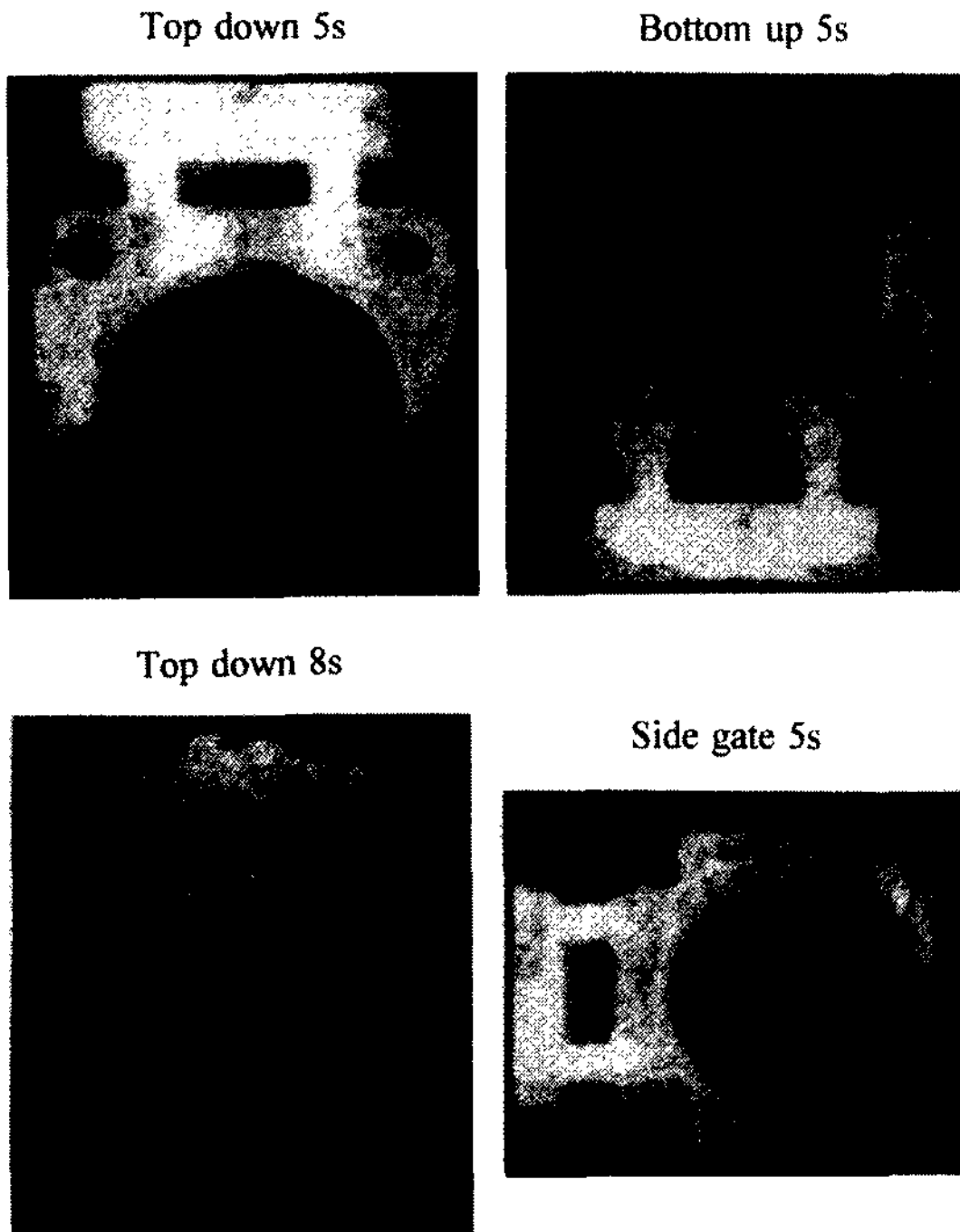


Fig. 10. Inflow situation of aluminium melt by using surface brightness analysis.

관측 예를 보인다. 용탕온도가 낮기 때문에 온도측정에까지는 이르지 못했지만 용탕유입상황은 잘 판별할 수 있다. 알루미늄 합금 용탕은 주입방안에는 거의 영향을 받지 않고 조용하고 천천히 차 들어가서 탕구부에서 선단부를 향하여 온도가 저하해 간다. 이 때문에 응고시의 지향성이 강해지고 탕도자신이 압탕이 되기 때문에 수축공의 대책이 용이하여 수율을 크게 향상시키는 것이 가능하지만 반면 선단의 용탕온도가 응고점에 도달하게 되면 용탕의 진행은 멈추게 되어 탕회불량이 된다. 그에 대한 대책으로서 주형 내 감압은 유효하다. 특히 박판물에서는 도형에 의한 통기도 저해를 약한 감압으로 보충해 준다. 그러나 Fig. 11에 보는 바와 같이 저온에서 주입되는 알루미늄 용탕에서는 모형의 분해소실속도가 늦으므로 조금 강한 감압을 걸어주면 용탕은 주형벽을 따라 먼저 들어가게 되어 미분해 폴리스티렌 모형을 둘러쌀게 된다. 이때 주형벽은 선행한 용탕에 의해 막히고 늦게 분해한 가스는 “감압했지만” 배기가 힘들어 진다. 이 가스는 용탕 중을 통하여 상부로 이동하여, 예컨대 상주법의 경우 탕구로 분출되지만 gate부에서 응고가 시작되면 blow 결

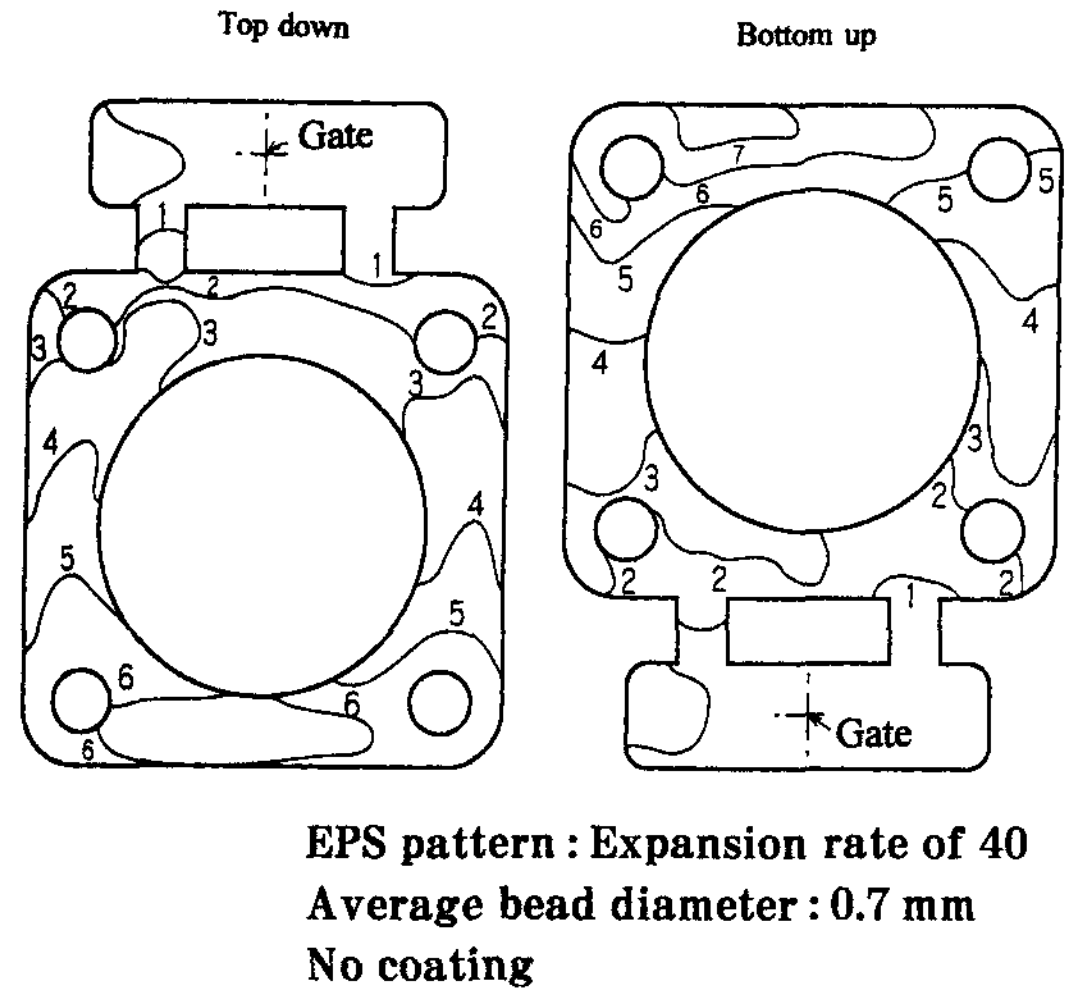


Fig. 11. Effect of gating system on inflow behavior of molten aluminium alloy under pressure of 6.7kPa. (Isochronal line unit: s)

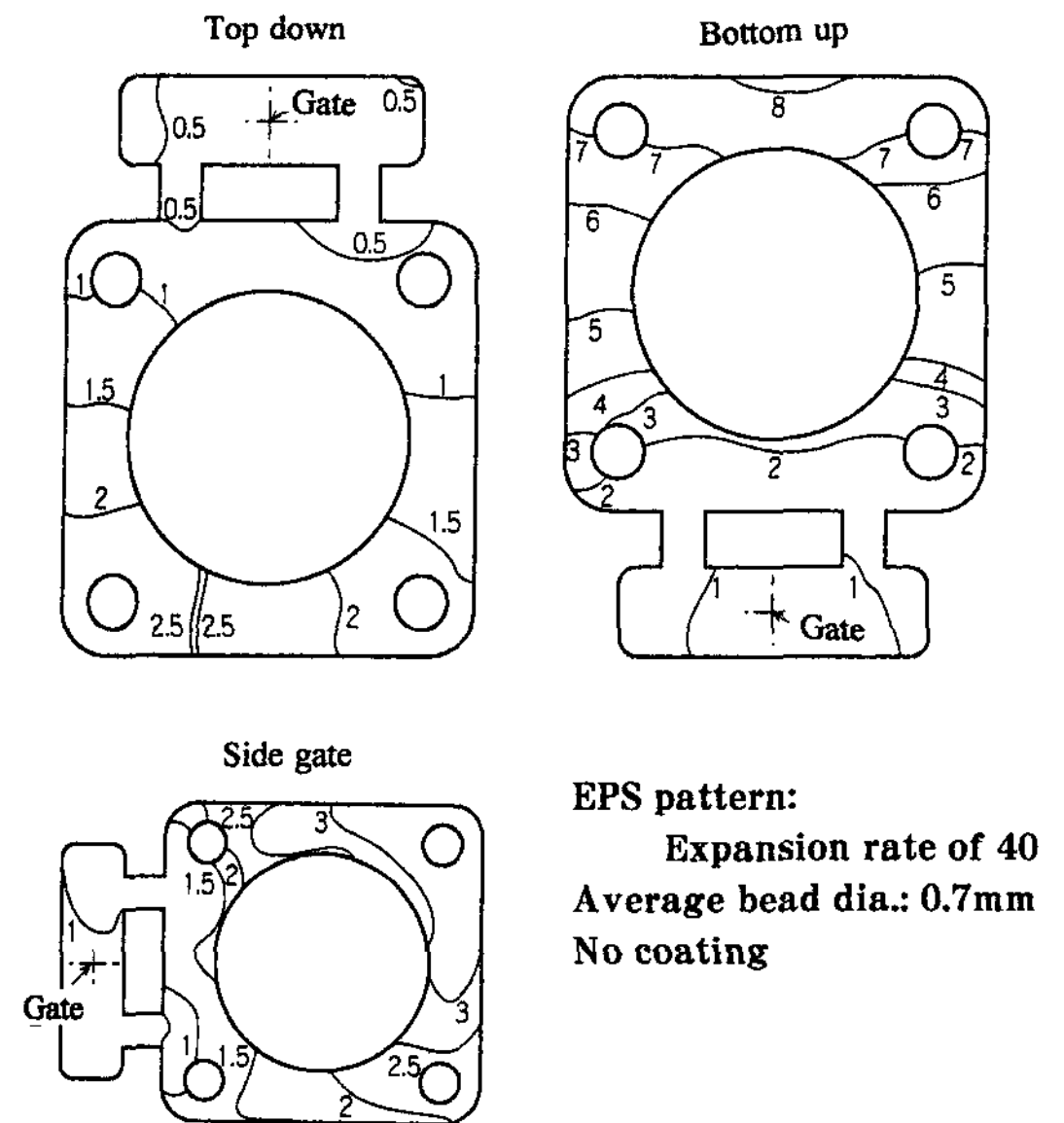


Fig. 12. Effect of gating system on inflow behavior of molten cast iron under atmospheric pressure. (Isochronal line unit: s)

함이 된다.

5. 주철용탕의 충전거동

Fig. 12에 일예를 보인 바와 같이 무감압시, 주철용탕

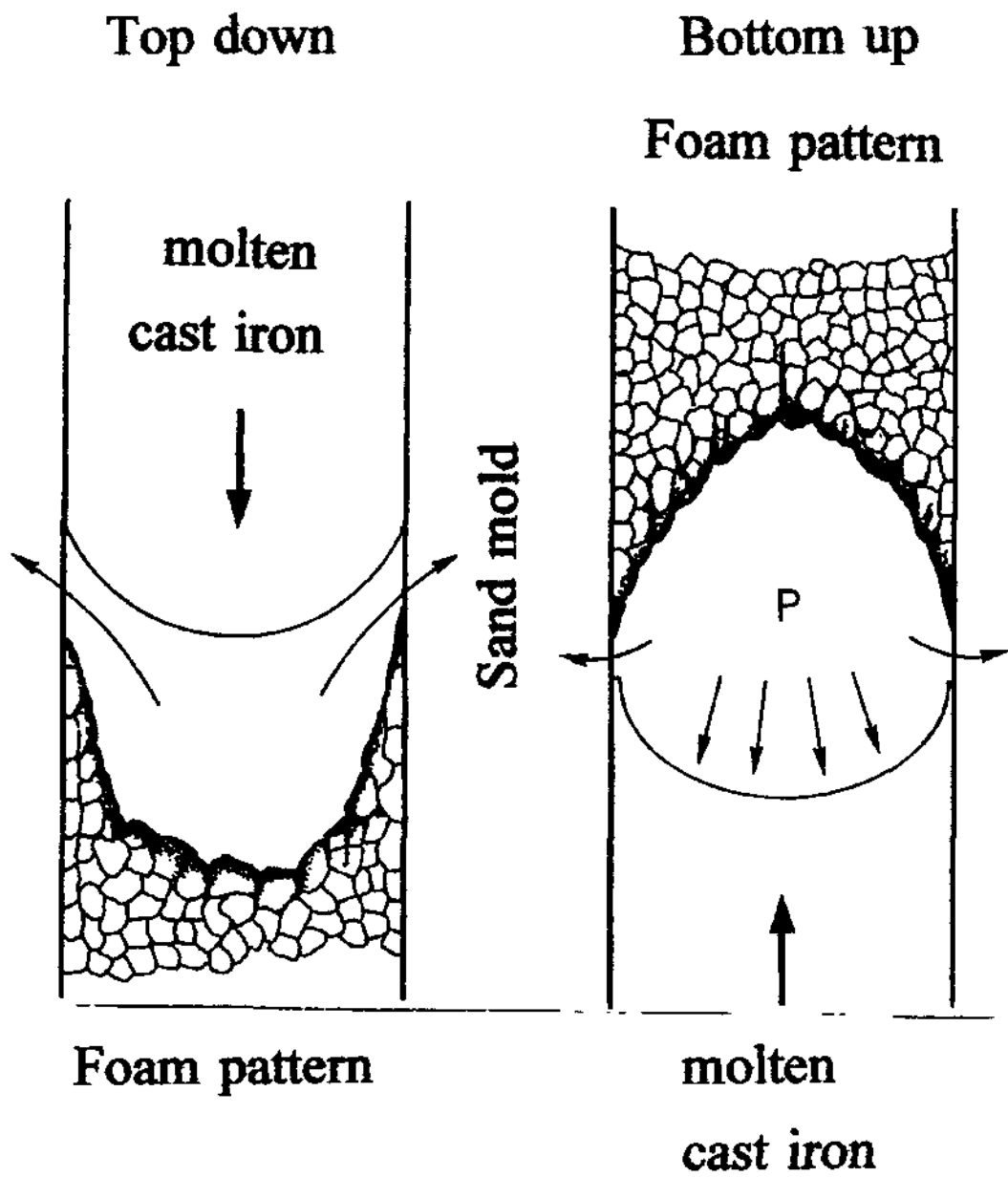


Fig. 13. Schematic view of molten cast iron inflow behavior under atmospheric pressure.

은 상주, 하주 등의 탕구방안에 따른 유입형태, 주입시간에 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 발생가스압의 저항에 의한 것으로 생각된다. 이 온도역(1673 K 부근)에서는 폴리스티렌이 폭발상태여서 상당한 량의 저급 탄화수소로까지 분해되고 또 고온이기 때문에 가스압도 높아지는데 이것은 알루미늄 합금 등 저온에서 주입되는 경우에 비해 매우 높은 것이다. 특히 상주식 방안의 경우 용탕충전은 크다란 저항을 받아서 맥동적으로 상승한다. 이것은 Fig. 13의 개념도에서 보는 바와 같이 주입된 용탕선단이 분해가스의 배출구를 막게 되기 때문이라고 생각된다. 더욱이 Fig. 14의 용탕면 온도측정도에서 보는 바와 같이 주철용탕에서는 하주시 새로이 유입되어 오는 고온의 용탕이 유입관성에 의해 선단부로 진행한다. 이것도 발포모형의 열분해를 촉진하는 한 요인이라고 생각된다. 하주법에서는 이와 같은 현상은 거의 보이지 않는데 이것이 하주시의 모형소실속도를 빠르게 한다. 그리고 측주법에서는 용탕비중이 크다는 점과 압입상승이 곤란하기 때문에 용탕은 어느 정도 하부로 편중하여 간다. 이 경향은 후유주물에서 더욱 현저할 것으로 예상되며 용탕상승이 일시 정지하는 개소가 생기면 거울음 결합, 주형붕락 등의 원인이 된다. 또 그림의 온도표시는 1473-1673 K 이상의 사

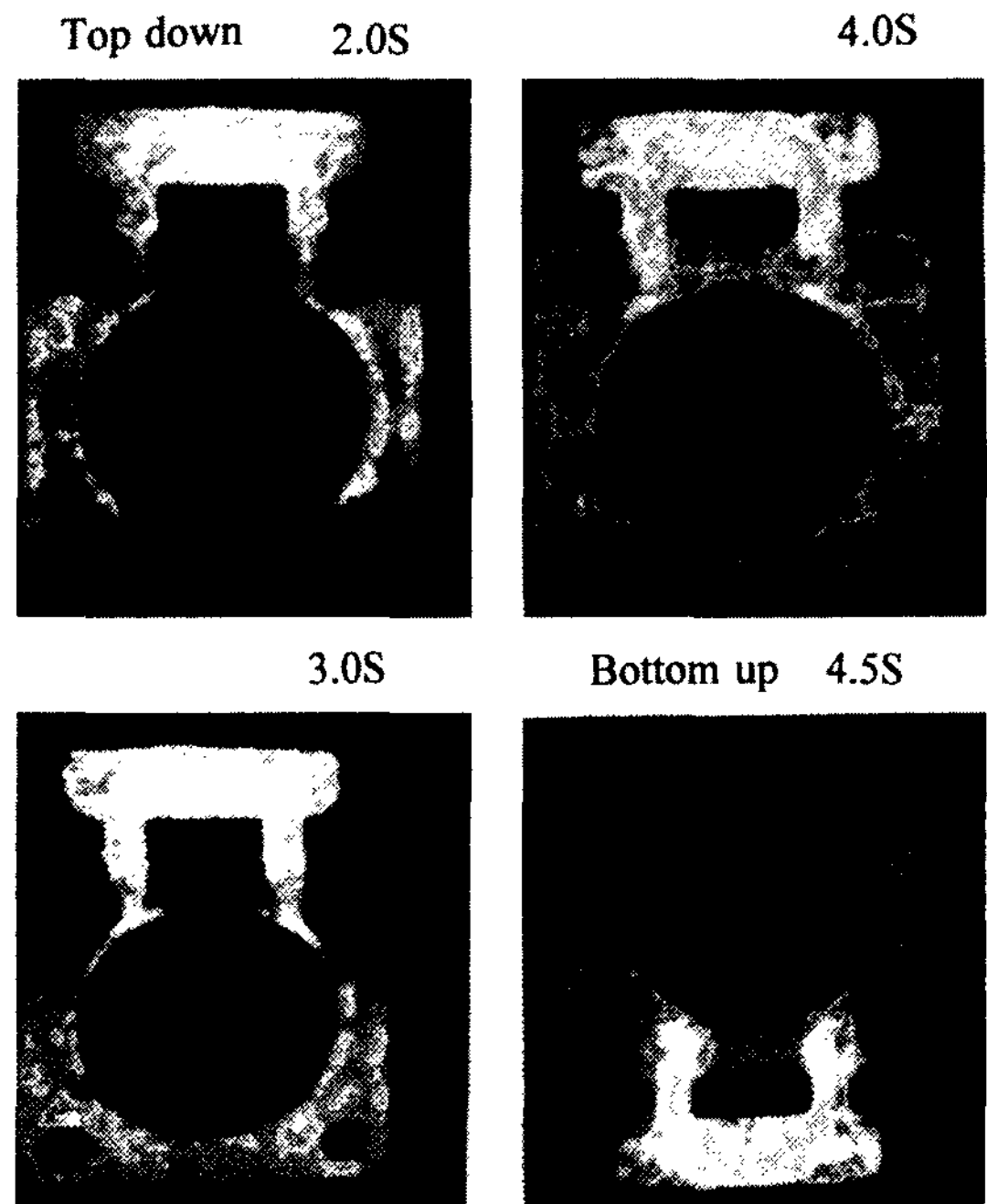


Fig. 14. Inflow behavior by using surface temperature measurement of molten cast iron.

이를 7단계로 균등 분할하고 명도에 의해 표시하였다. 주형 내 감압을 행하면 분해가스의 배출이 촉진되어 용탕의 충전이 빠르게 된다. 감압도의 영향은 제품형상, 모형, 용탕, 도형, 기재, 플라스크, 감압흡인의 방법, 제어방법 등 조건에 따라 크게 달라지지만 기본적인 경향으로서 주철용탕에서도 과감압이면 미분해폴리스티렌 모형이 말려들어가 가스결합을 유발하게 된다. 주형 내 감압은 발포모형의 분해가스를 배출하기 위해 행하는 것이므로 그 감압도는 필요 최소한으로 제한할 필요가 있다.

6. 동합금 용탕의 충전거동

Fig. 15에 동합금(CAC406) 용탕의 무감압에서의 충전거동을 나타내었다. 동합금의 온도역에서는 폴리스티렌 모형은 상당한 량이 탄화수소가스까지 분해된다고 추정되지만 실험에서는 상주법에서도 발생가스압의 저항은 그 정도로까지 감지되지는 않았다. 그러나 통기성이 낮은 도형재를 사용하면 후유부에서 거울음 결합이 다발하는 것이 확인되고 있다. 또 용탕비중이 크기 때문에 측주법을 사용할 경우 용탕의 상승이 일차적으

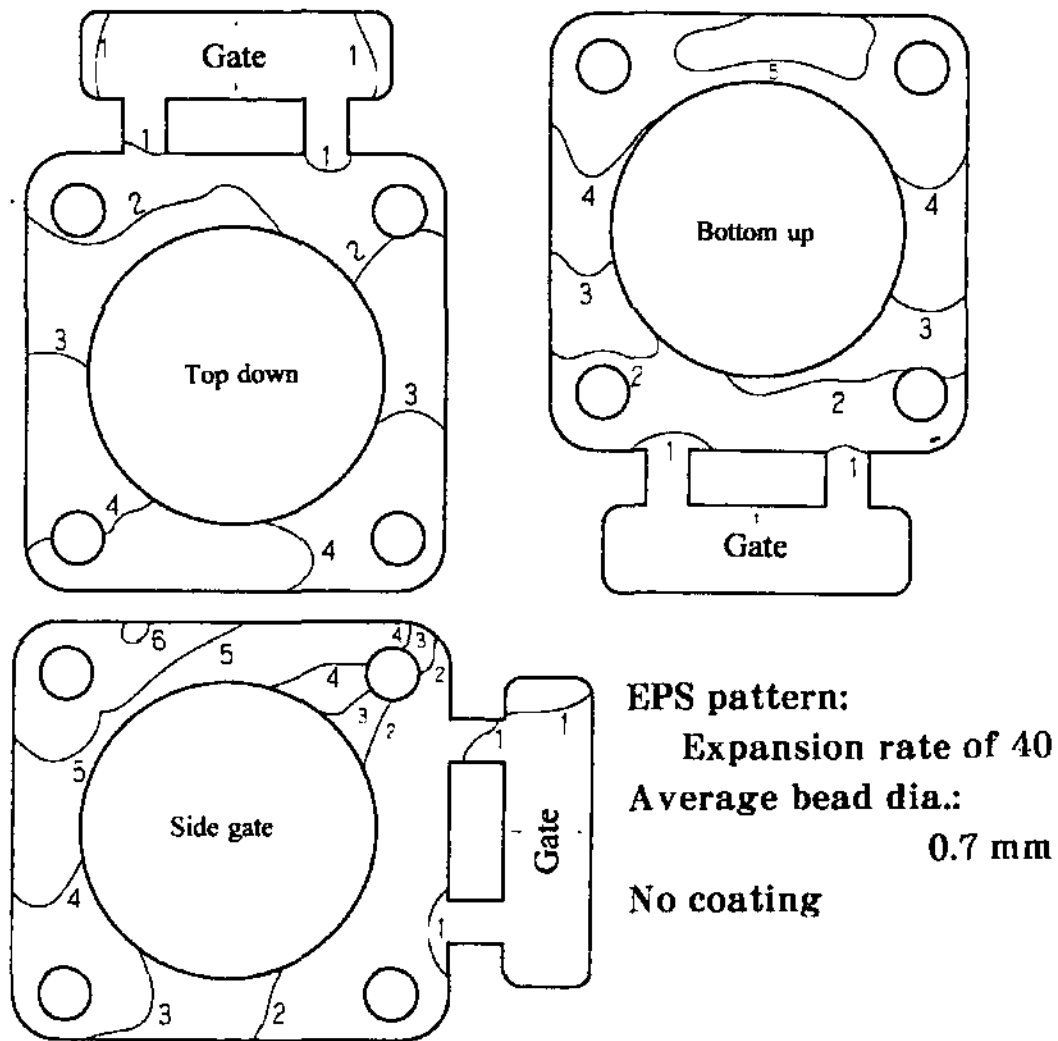


Fig. 15. Effect of gating system on inflow behavior of molten copper alloy under atmospheric pressure.

로 정지하는 개소가 생길 경우 형이 붕괴하는 수가 있어 주입방안에 유의할 필요가 있다. 또 용탕 충전 후에도 명확한 온도차이는 적으므로 지향성 응고가 불충분할 경우 압탕이 필요한 경우가 있을 지도 모른다.

도형막의 통기성을 충분히 확보할 수 있다면 소물, 박육물에서는 무감압 상주법에서도 거울음 결함의 발생은 적다. 또 통기성이 낮은 200호 규사를 사용하여도 무감압 주입이 가능하지만 알루미늄 합금의 경우와 마찬가지로 현장에서의 반복사용에 의해 모래중의 잔사축적이 문제가 될 수 있다.

Fig. 16에 플라스크 내를 26.7 kPa 감압했을 때의 용탕충전거동을 나타내었다. 동합금으로서는 다소 지나치게 과감압했기 때문인지도 모르겠지만 격심한 권입 현상이 관찰되었고 하주법에서는 말려들어간 가스가 탕구로부터 분출하고 상주법에서는 큰 기공 결함이 발견되었다. 동합금도 알루미늄 합금 경우 만큼은 아니지만 용탕의 온도가 낮기 때문에 모형의 소실속도가 늦어지므로 약감압 정도 밖에 사용할 수가 없다.

7. 주강용탕의 충전거동

주강은 S45C 강봉을 고주파로에서 용해하고 Al으로 탈산한 후 주입온도는 1876 K를 목표로 하였다. Fig. 17에 무감압시 하주법에서의 촬영사진을 나타낸다. 주철용탕의 경우만큼 명확한 경향을 관찰할 수는 없었지

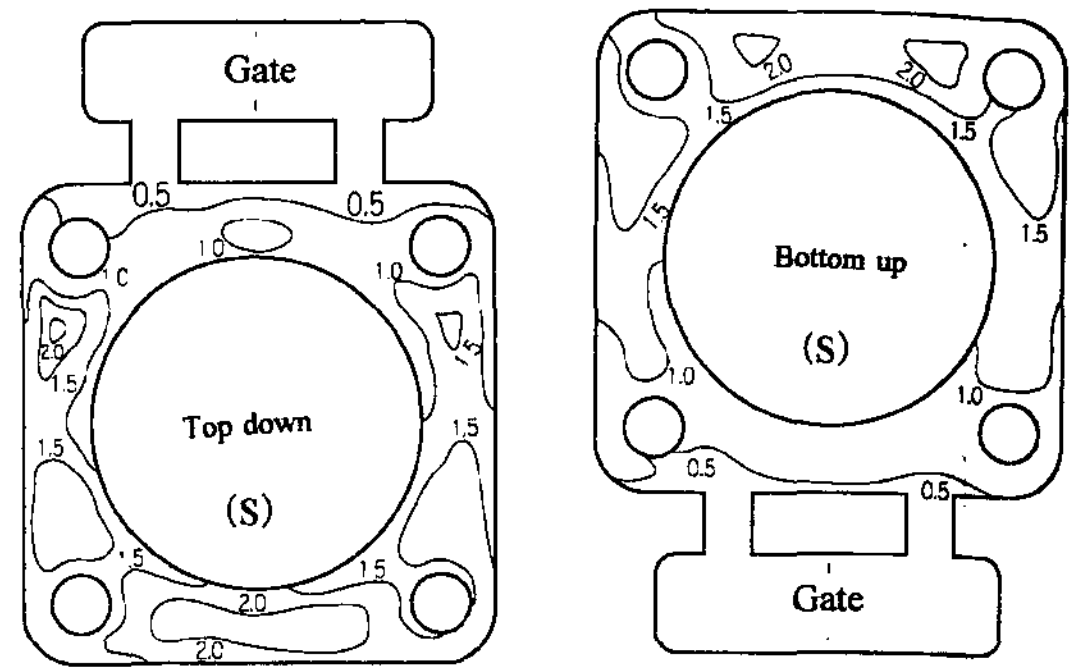


Fig. 16. Effect of gating system on inflow behavior of molten copper alloy under pressure of 26.7 kPa.

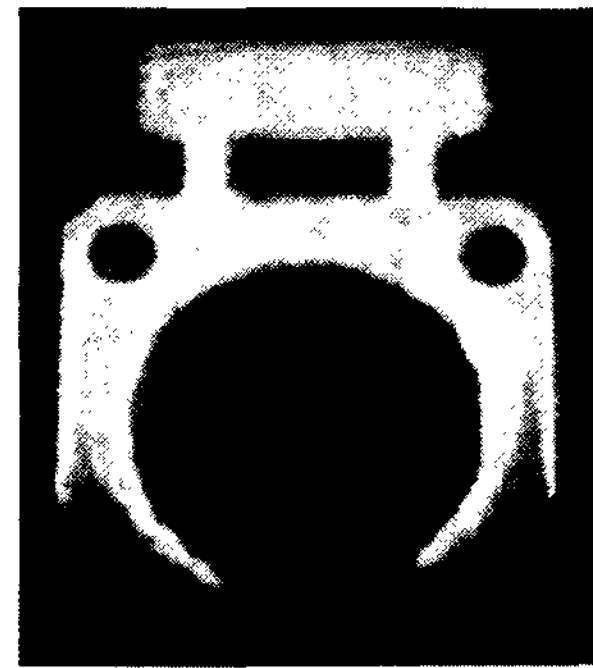


Fig. 17. Inflow behavior of molten steel under pressure of 26.7 kPa.

만 주강용탕에서도 모형이 이미 소실한 공간에 새로운 고온의 용탕이 유입관성에 의해 선단부로 선행해가는 모양을 확인할 수 있었다. 주입온도가 고온이기 때문에 발포모형의 분해는 더욱 빨라지지만 가스압의 저항도 커지게 되므로 용탕은 가스압이 낮은 부분을 향해 선택적으로 선행하기 쉽게 된다. 그 결과 용탕선단부의 진행은 산란의 경향이 있어 부분적으로 권입과 유

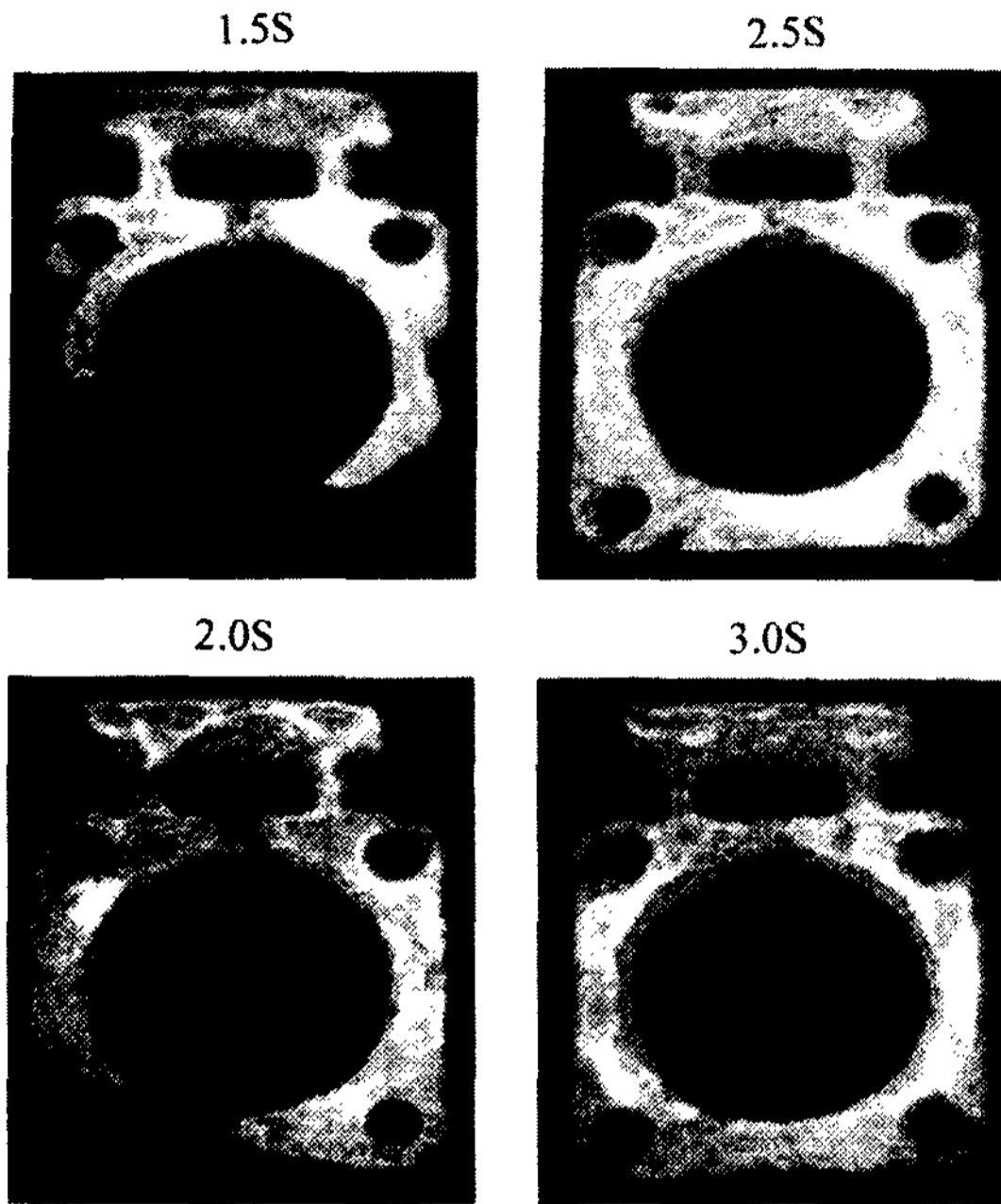


Fig. 18. Inflow behavior by using surface temperature measurement of molten steel.

사한 현상이 관찰되었다.

또 Fig. 18에서 보는 바와 같이 주강용탕의 경우도 동합금과 마찬가지로 용탕 충전 후도 명확한 온도차는 적으므로 지향성 응고가 불충분한 경우에는 압탕이 필요하다고 예상된다. 또 그림의 온도표시는 1673-1823 K 이상의 간격을 7단계로 균등 분할하고 명도에 의해 표시하였다.

8. 결 언

소실모형주조법은 점증하는 주물생산의 다양화, 고정도화, 감량화에 대응할 수 있는 주조법으로서 그 제조기술의 확립이 기대되고 있다. 본 보고에서는 소실모형주조법에서 각종 금속용탕의 충전거동을 검토하였다.

(1) 알루미늄 주물에서 용탕의 유입은 조용하고 천천히 충전이 행해지므로 탕구부에서 선단부를 향해 용탕

온도가 저하하므로 지향성응고가 일어나기 쉽다. 플라스크 내 감압을 행하는 것은 효과가 있지만 미분해 모형이 말려들어가기 쉽기 때문에 약감압 이상을 사용할 수 없다.

(2) 주철주물에서는 하주법에서는 용탕은 직하로 낙하하기 쉽고 상주법에서는 모형분해가스의 배출이 곤란해서 맥동적 충전이 된다. 지향성응고는 비교적 일어나기 쉽다. 감압은 특히 상주법의 경우에는 불가결한 것일 것이다. 그러나 주철주물의 경우에도 과감압이면 권입현상이 발생한다.

(3) 동합금에서 모형의 분해거동은 알루미늄 주물과 주철주물의 중간적 요소이다. 지향성응고가 다소 불충분하므로 경우에 따라서는 압탕이 필요하다.

(4) 주강주물에서는 고온이어서 모형의 분해는 빠르지만 발생가스압도 높아지므로 용탕은 가스압이 보다 낮은 쪽으로 선택적으로 유입해가기 때문에 선단부에 난류가 생기기쉬워 부분적 권입이 발생하는 수가 있다.

참 고 문 헌

- [1] 阪口 ; 鑄物 59 (12) (1987) 699.
- [2] 阪口 ; 鑄物 63 (5) (1991) 488.
- [3] 阪口 ; 濟4版鑄造型法 (日本鑄造技術協會) (1997) 285.
- [4] 阪口 ; 濟II版鑄型の生産技術 (索形材セクター) (2002) 377.
- [5] 山田, 阪口 ; 鑄造工學濟120回講演概要集 65.
- [6] 阪口, 山田 ; 鑄造工學濟120回講演概要集 66.
- [7] 阪口, 山田 ; 鑄造工學濟132回講演概要集 O-10.
- [8] 阪口, 山田 ; 鑄造工學濟141回講演概要集 114.
- [9] 阪口, 山田, 春日井 ; 鑄造工學濟123回講演概要集 28.
- [10] 阪口, 太田, 宇佐見, 栗野 ; 鑄物 59 (12) (1987).
- [11] 阪口 ; 鑄物 64 (1) (1992) 38.
- [12] 阪口, 山田, 春日井 ; 鑄造工學濟121回講演概要集 83.
- [13] 阪口 ; 鑄造工學會研報 61 (1992) 64.
- [14] 阪口, 山田, 春日井 ; 鑄造工學濟121回講演概要集 76.
- [15] 阪口 ; 鑄造工學濟124回講演概要集 56.
- [16] 山田, 阪口, 貞鍋 ; 鑄造工學濟125回講演概要集 25.
- [17] 阪口, 山田, 貞鍋 ; 鑄造工學濟125回講演概要集 26.
- [18] 阪口, 太田 ; 鑄造工學濟128回講演概要集 114.
- [19] 阪口, 山田, 中村 ; 鑄造工學濟128回講演概要集 115.
- [20] 山田, 阪口, 鷺崎 ; 鑄造工學濟128回講演概要集 116.
- [21] 阪口 ; 鑄造工學會関西支部研究報告書 (1996) 68.