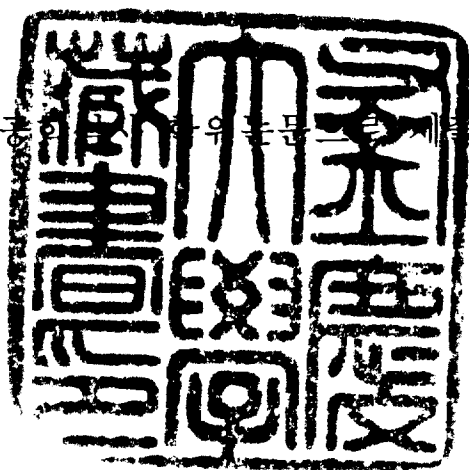


공 학 석 사 학 위 논 문

고청정 주조품 제조를 위한 유도로
sealing, bubbling process 개발

지도교수 김 우 열

이 논문을 통하여 김 우 열 교수님께 감사드립니다



2002년 2월

부경대학교 산업대학원

생산가공공학과

이 길 안

이길안의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월

주 심 공학박사 김 성 규



위 원 공학박사 김 우 열



위 원 공학박사 방 국 수



목 차

Abstract

1. 서론	1
2. 이론적 배경	3
2.1 유도로 용해의 특징	3
2.2 N, O, H의 영향	6
2.2.1 질소 (N)	6
2.2.2 수소 (H)	7
2.2.3 산소 (O)	7
2.3 비금속개재물	8
2.3.1 A계 개재물	8
2.3.2 B계 개재물	8
2.3.3 C계 개재물	9
3. Sealing, Bubbling Process 주조품 평가	12
3.1 시편의 제조	12
3.2 최적화 조업 조건	14
3.3 화학성분 분석 및 조직관찰	14
3.4 경도측정	22
3.5 전산소함유량 측정	22
3.6 비금속개재물 크기 및 함유량 측정	22
4. 결과 및 고찰	26
4.1 최적화 조업	26
4.2 조직관찰	30
4.3 경도측정	30

4.4 전산소함유량 측정	35
4.5 비금속개재물 크기 및 함유량 측정	35
5. 결론	41
6. 참고문헌	43

Development of sealing and bubbling process in induction furnace
for produce high clean cast.

Gil-An Lee

Department of Production and Joining Engineering
Graduate School of Industry
Pukyong National University

Abstract

The effects of sealing and bubbling on microstructure, hardness, non metallic inclusion and total oxygen content on induction melted Ti-containing high-chromium white cast iron were investigated.

Sealing and bubbling result in no noticeable difference on microstructure of cast. Furnace sealing or ladle bubbling, however, result in higher hardness. The total oxygen content of cast with furnace sealing or vacuum melting was lower compared to cast without furnace sealing or cast with bubbling. The content of non metallic inclusion of cast with furnace sealing was lower compared to cast with ladle bubbling or cast without furnace sealing.

1. 서론

유도로를 사용하는 중소규모의 주물공장은 대기중에서 용해, 출탕, 주입공정을 거쳐 주조제품을 제조한다. 그러나, 용해과정에서 대기중의 산소 또는 용존산소 등에 의해 원재료, 첨가합금원소 등은 일부 산화되어 비금속개재물 또는 산화물을 형성하게 된다. 이때 발생된 비금속개재물이나 산화물 등은 용탕속에 그대로 잔류된 상태로 몰드에 주입된다. 이로 인해 제품의 입계 및 내부에는 이러한 비금속개재물이나 산화물 등이 존재하게 되어 주조제품의 중요한 결함 원인으로 작용하게 된다. 특히, 제조 조건에 따라서 여러 가지 개재물들이 생기므로 그 종류·형태·치수 등의 제어가 주조제품 제조에 있어서 중요한 기술적 과제가 된다. 또한 이러한 비금속개재물들은 연성·인성·내피로성·내식성·내마모성 등에 나쁜 영향을 미치므로 특수한 용도를 제외하고는 되도록 적은 것이 바람직하다. 보통의 강재는 비금속개재물을 체적비로 0.1% 정도 함유하고 있지만, 그 존재량을 대폭 저하시킨 것을 청정강이라고 한다.

이와 같은 주조제품 결함의 원인이 되는 비금속개재물이나 산화물 등은 몰드로 주입되기 전에 제거되어야 한다. 현재 일반적으로 사용되는 방법으로는 용해후 출탕전에 슬래그웁집제를 이용하여 용탕표면에 부상시켜 슬래그로 제거하고, 래들에 출탕 할 때 산소와의 친화력이 강한 Al등의 탈산제로 탈산처리를 행한다. 그러나, 이러한 방법은 만족할 만한 수준의 비금속개재물의 제거 및 탈산효과를 기대하기 어렵다. 이러한 효과들을 향상시키기 위해서는 진공 유도용해를 하거나, 진공탈가스법등으로 제조하는 것이 가장 효과적이다. 그러나, 일반적인 중소규모의 주물공장은 이러한 고가의 진공설비를 갖추고 주조제품을 제조하는 것은 현실적으로 어렵다.

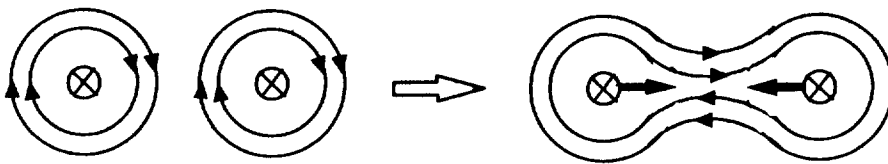
그러므로, 중소규모의 주물업체는 현재 보유중인 유도로를 이용한 용해과정에서 비금속개재물 및 산화물등의 발생을 최소화할 방법이 요구되어진다.

따라서, 본 연구는 유도로 상부를 sealing하여 대기중의 공기와 용탕의 접촉에 의한 산화를 최소화할 수 있는 내열커버와 용해과정중 생성되어진 비금속개재물의 분리부상을 촉진시키도록 lance bubbling 장치를 설계, 개발하였다. 개발되어진 유도로 sealing 및 lance bubbling 장치는 생산현장에 설치한 후 현장적용 테스트를 거쳐 장치의 최적조건을 설정하였다. 장치의 특성을 평가하기 위한 방법은 ①용해시 유도로 sealing 및 lance bubbling 다음에 기존의 래들을 사용한 경우 ②기존 용해 후에 래들에서 bubbling을 행한 경우 ③일반적으로 행해지고 있는 용해 및 래들작업을 행한 경우로 구분하여 시험재를 제조하였다. 각각의 방법에 의해서 제조된 시험재는 동일부위를 절단하여 특성평가용 시편을 만든 후 전산소량 분석, 조직관찰, 경도비교, 비금속개재물의 함유량 및 크기를 측정 비교하였다. 특히 유도로 sealing 및 bubbling의 효과의 특성을 파악하여 비금속개재물 함유량이 0.1%이하인 고청정주조품의 제조에 대한 기초자료로 활용하고자 하였다. 또한 비교를 위해 동일화학생분의 진공유도용해시험을 한 후 그 시편을 채취하여 각 특성평가에 참고하였다.

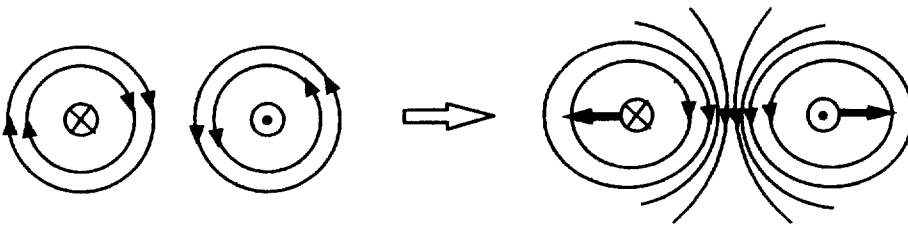
2. 이론적 배경

2.1. 유도로 용해의 특징

유도로 용해의 가장 큰 특징은 유도로에서 용해된 용탕 내에는 자력이 발생하고 있어, 그 작용으로 용탕에 교반운동이 일어나는 것이다¹⁾. 서로 나란히 있는 도선에 전류를 통했을 때 서로의 전류방향에 따라 자력선이 어떻게 되는지를 고찰해 보면 자력선이 전류의 방향에 대하여 시계방향으로 발생하므로 그림 2.1 (a)와 같이 전류가 같은 방향인 경우에는 도선을 에워싼 형태로 되고 그 때문에 도선은 주변의 자력선에 밀려들어가서 접근해가는 듯한 힘을 받는다. 그림 2.1 (b)와 같이 전류가 반대방향인 경우中间的의 자력선방향은 같게 되어 좁은 간격에無理하게 진입하는 상태로 되기 때문에 도선은 밖으로 확대되어 가는 듯한 힘을 받는다. 이 현상을 유도로에 해당시켜 고찰해 보면 용탕 내에는 2차코일이 있어 이에 1차 코일과 반대방향의 전류가 흐른다고 간주되므로 1차코일과 용탕간이 서로 반발하는 듯한 힘이 발생한다. 이 경우 1차 코일은 노체에 지탱되어 있으므로 이 힘은 용탕에 작용하여 용탕을 노중심방향으로 움직인다. 이 상태를 그림 2.2 (a)에 나타내었다. 또 그림 2.2 (b)와 같이 용탕을 횡으로 자른 상태를 생각해 보면, 같은 방향의 전류를 겹으로 쌓아 올렸다고 보여지므로 용탕의 주변에서는 종방향으로 수축하려는 힘이 작용한다. 이상의 2개의 힘이 합성되어서 용탕내에는 그림 2.2 (c)에 나타낸 것과 같은 원운동이 일어난다. 그 때문에 용탕면의 중앙은 부풀어 올라오고, 거기에 내부로부터 용탕이 용출하여 주변으로 미끄러 떨어져 나가는 상황을 볼 수 있다. 용탕의 하반부에는 반응방향의 원운동이 진행되고 있다. 이 교반력(P)은 다음 식으로 수식화되고 있다.



(a) case of equivalent direction



(b) case of opposite direction

Fig. 2.1 Relation of a direction of an electric current and a line of magnetic force.

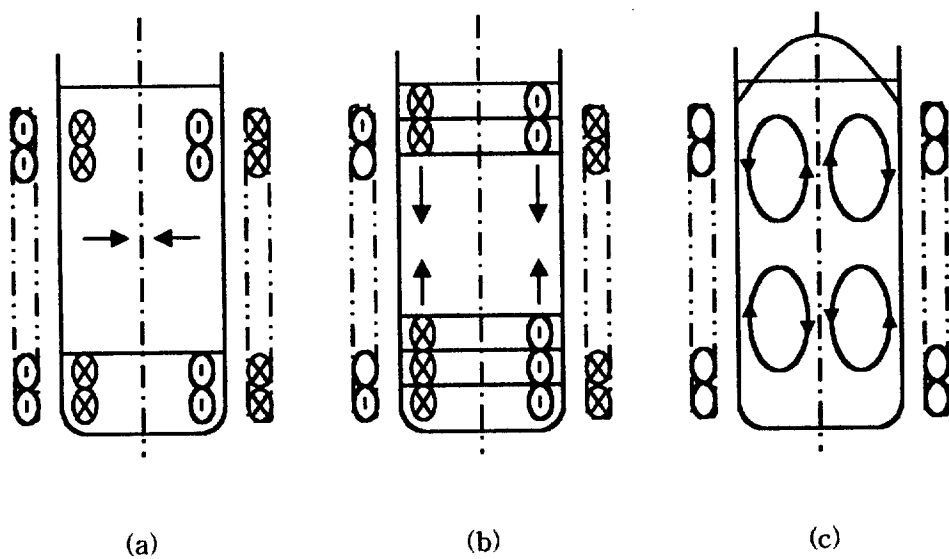


Fig. 2.2 Agitation movement of a molten metal.

$$P = \frac{0.316W}{\pi dl \sqrt{\rho f}} (kg/cm^2)$$

단, W: 전력(kW), d : 도가니직경(cm), l : 용탕의 높이(cm), ρ : 용해지금의 고유저항(Ωcm), f : 전류의 주파수(Hz). 이 힘은 $\sqrt{f}$ 에 반비례하므로 저주파 유도로에서는 용탕의 교반이 심하게 일어난다. 교반운동이 너무 심하면 노벽의 마모가 크게되고 용탕의 산화도 우려되므로, 일반적으로 유도코일은 도가니의 아래에 위치하도록 감고, 용탕의 정압에 의하여 교반력을 제지하도록 하고 있다. 주철용해의 경우 교반작용은 오히려 유리하게 작용한다. 예컨대, 성분조절용으로서 첨가되는 흑연, 페로실리콘, 페로망간등의 입자는 용탕 속으로 빨리 들어서 용해하므로 산화 감소하는 비율이 적고, 회수율도 고율로 안정된다. 또 주철용해의 경우에는 용탕면이 대기에 노출되어도 고온에 이르면 용탕 중의 탄소가 산화물을 환원되도록 작용하므로 산화의 우려는 거의 없다. 교반작용은 탈산반응을 조장하므로 출탕시의 용탕중의 산소량은 일반적으로는 쿠파라용탕보다는 낮아진다.

용탕을 장시간 노 내에 보온하는 경우 노 내 분위기가 강산화성이 되기 쉽고 또 수소 등도 함유되므로 주물의 재질에 악영향을 미치고 용탕의 고온유지는 성분변화를 시키므로 주의를 요한다.

2.2. N, O, H의 영향

2.2.1. 질소 (N)

강중에 잔류하는 질소량은 용해원료, 용해방법에 따라서 현저하게 변화된다²⁾. 일반적으로 질소는 극히 미량 존재하여도 강의 기계적 성질에 큰 영향을 미치는데 인장강도, 항복강도를 증가시키고, 연신율은 저하시킨다. 특히 충격치 감소 및 천이온도의 상승효과는 현저하다.

질소는 탄소와 동일하게 침입형 원소이고, 강중에서 확산속도가 빠르

며, 또한 페라이트에 대해서 최대 약 0.1%(580℃)로부터 0.003%정도 (상온)까지 연속적으로 용해도변화를 나타내는 등 다른 잔류원소와는 틀리는 특징이 있다.

특히 극연강박판의 딥 드로잉(deep drawing) 가공시 표면에 주름이 발생하는 현상은 주로 질소의 변형시효에 의한 것이다. 이것을 안정화시키기 위해서는 질소와 친화력이 큰 Al, Ti, Zr, V, B 등을 첨가함으로써 취화현상을 방지한다.

또 질소는 다른 합금원소와 결합하여 질화물을 형성하므로 강의 여러 성질에 영향을 미친다. AlN이 강중에 미세하게 석출되어 있으면 오스테나이트의 결정립이 미세하게 되어 세립강의 제조가 가능하고, 이외에 Ti, Zr, V, Nb 등도 질화물을 형성하여 결정립을 미세하게 만든다. 그러나 AlN이 다량 존재하면 고온인성을 크게 해치고 특히 단조시에는 오스테나이트 입계에 AlN이 석출하여 입계취성을 일으키며 고온크리프강도도 저하된다.

2.2.2. 수소 (H)

수소는 원자반경이 극히 작으므로 Fe 격자 중에 N, C 등과 동일하게 침입형으로 고용되어 있고, 강중에서는 다른 원소에 비해서 확산속도가 매우 빠르므로 강축을 자유로이 이동할 수 있다. 또 수소는 백점, 헤어크랙(hair Crack), 선상조직 및 용접시 비드균열 등 여러 가지 결함의 원인으로 된다. 결함 방지 또는 제거를 위하여 최근에는 진공용해 또는 진공처리에 의해 탈수소를 한다.

2.2.3. 산소 (O)

주철 중에 함유되는 가스 중에서 영향이 특히 큰 것은 산소이다. 즉 산소는 시멘타이트(Fe_3C)와 펄라이트를 안정화시켜 페라이트를 변태하

기 힘들게 하는 것으로 알려졌다. 따라서 칠(chill)이 들어가기 쉽고, 유동성은 함유산소가 많을수록 불량하게 되며 수축공이나 균열의 발생이 많아진다.

산소는 거의 Fe에 고용되지 않기 때문에 강중에서는 주로 비금속개재물로서 존재하며 이들중 SiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 등은 Fe에 대해서 고용도를 갖지 않지만, FeO, MnO 등은 고온에서 약간 고용한다. 특히 이들 비금속개재물은 강의 기계적성질, 피로특성 등을 저하시킨다. 순도가 높은 Fe-O 합금에서는 산소함유량의 증가와 함께 충격치가 온도는 현저하게 상승하지만 순Fe에 소량의 C, Mn등이 존재하면 그 영향은 거의 사라진다. 산소는 다량으로 함유되어 있으면 강의 침탄시 이상조직의 원인으로 되파 동시에 경화능을 저하시키고 가열에 의한 오스테나이트 결정립의 성장을 촉진시킨다. Fe-O 합금에서의 산소함유량의 증가에 따른 샤르피 충격에너지 변화를 그림 2.3에 나타내었다³⁾.

2.3. 비금속개재물

용해작업시 용탕 속에 생성한 산화물, 유화물 및 질화물 등이 그대로 강 중에 남는데 이 비금속개재물은 그 종류, 양, 형상 및 분포상태에 따라 재질에 미치는 영향도 다르다. 일반적으로 그림 2.4에 나타낸 것과 같이 분류된다⁴⁾.

2.3.1. A계 개재물

가공으로 인해 점성 변형된 것(주로 유화물, 규산염등). 필요한 경우에는 다시 유화물과 규산염으로 나누어 전자를 A1계 개재물, 후자를 A2계 개재물이라 한다.

2.3.2. B계 개재물

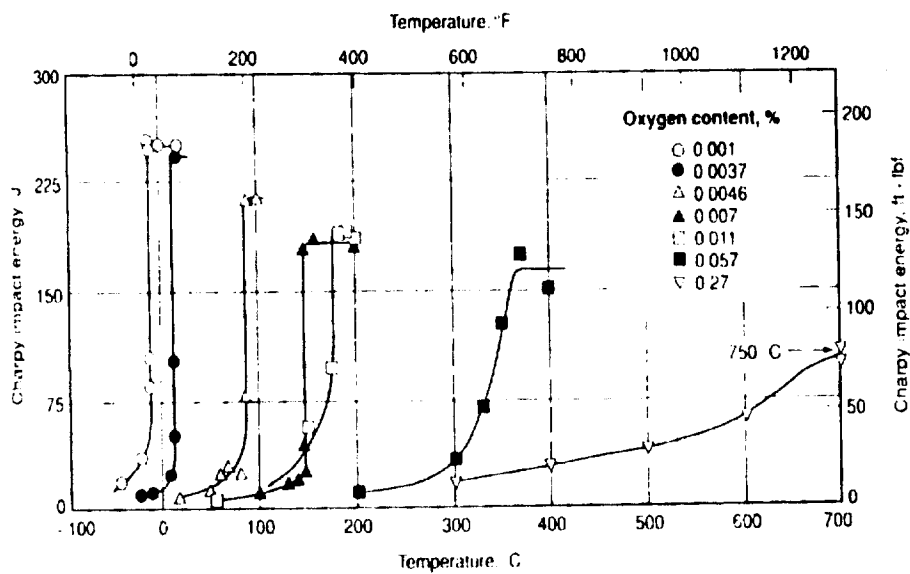


Fig. 2.3 Charpy V-notch impact energy curves for iron-oxygen alloys with varying oxygen content.

"A" system inclusion	
"B" system inclusion	
"C" system inclusion	

Fig. 2.4 Variety and distribution of non metallic inclusion.

가공방향으로 집단을 이루어 불연속적으로 입상으로 늘어서 뭉쳐 있는 것(주로 알루미나). Nb, Ti, Zr(단독 또는 2종 이상)을 함유한 강에 대하여는 필요한 경우에는 다시 알루미나등의 산화물계와 Nb, Ti, Zr의 탄질화물계로 나누어 전자를 B1계, 후자를 B2계 개재물이라 한다.

2.3.3. C계 개재물

소성변형하지 않고 불규칙적으로 분산해 있는 것 (입상 산화물, 질화물 등)으로 열처리시에는 어느 것이나 퀴칭균열의 기점이 되며, 특히 대형의 것이나 집단을 이루고 있는 것은 그 영향이 심하다. Nb, Ti, Zr(단독 또는 2종 이상)을 함유한 강에 대하여는 필요한 경우에는 다시 산화물계와 Nb, Ti, Zr의 탄질화물계로 나누어, 전자를 C1계, 후자를 C2계 개재물이라 한다.

3. 실험재료 및 실험방법

3.1. 시편의 제조

본 연구에 사용되어진 재료는 크게 원재료와 부재료로 구분되어진다. 원재료는 저탄소강 고철 및 스테인레스 고철 그리고 첨가합금원소로 사용된 Cr, Mn, Ti, W 등을 사용하였다. 그리고, 부재료는 슬래그응집제와 Al 탈산제를 사용하였다. 원재료는 탄소함량이 약 3.0% , 크롬이 약 20%, 티타늄이 약 1.4%, 기타 Mo, Ni, W등이 약 1% 함유되어지도록 유도료에 장입하고 용해하였다. 용해되어진 용탕은 몰드에 주입하여 시험재를 제조하였는데, 몰드건조상태에 따른 변수를 최소화하기 위해 셀몰드를 사용하였다. 제조되어진 시험재의 형상은 지름40mm, 길이 160~180mm인 물리형의 제품이다.

생산현장에 유도로 sealing 및 lance bubbling 장치를 시공한 후 각 조건에서의 특성을 평가하기 위해 다음과 같이 3가지 방법으로 구분 제조하였다. 그리고, 비교를 위해 동일화학성분조성의 진공유도용해도 병행하였다. 이후 각 방법의 표기는 괄호안과 같이 나타낸다.

첫 번째 기존 대기용해 + 기존 래들 (기존방법)

두 번째 유도로 sealing 및 lance bubbling후 용해 + 기존 래들
(유도로 sealing용해방법)

세 번째 기존 대기 용해 + 래들 bubbling
(래들 bubbling방법)

각 조건들은 생산업체의 조업표준에 맞추어 원재료 장입량, 용탕중량, 출탕온도, 유지시간, 주입속도 및 해체시간등을 일정하게 유지하여 조업공정 변화 외에는 일체의 조건변화를 주지 않았다. 각 조건별 실험에서의 조업표준을 표 1에 나타내고, 그림 3.1은 유도로 sealing 및 lance bubbling process의 개략도 이다. 먼저 원재료를 유도로에 장입

Table 1. Standard of operation.

	Melting temperature (℃)	Pouring temperature (℃)	Note
Induction furnace sealing	1500~1510	1350~1360	Ar gas sealing, bubbling
Ladle bubbling	"	"	Ar gas bubbling
Normal	"	"	

Induction furnace sealing : using normal ladle next to induction furnace sealing and lance bubbling when melting is done.

Ladle bubbling : bubbling in ladle after normal melting

Normal : normal melting and ladle process

하여 용해를 시작하고, 원재료가 용해되기 시작하면 유도로 sealing 커버로 유도로 상부를 Ar 가스 sealing시켜 용탕이 공기와 접촉하여 산화되는 것을 최대한 억제한다. 이후 용탕을 lance로 Ar 가스 bubbling 시킨다. 이것은 유도로의 용탕 교반운동으로 개재물의 분리부상이 일어나지만, Ar 가스 bubbling을 동시에 행함으로써 생성되어진 비금속개재물의 분리부상을 더욱더 촉진시키기 위함이다. 그림 3.2, 3.3, 3.4는 유도로 sealing 및 lance bubbling을 위해 생산현장에 설치되어진 장치이고, 그리고 그림 3.5부터 3.6은 래들 bubbling 및 dam형 래들에 대한 개략도와 사용중인 장치들을 나타낸다.

3.2. 최적화 조업 조건

생산현장에서 유도로 sealing 및 lance bubbling을 행하여 조업할 경우 최적화 조건은 sealing, bubbling용 Ar 가스공급압력과 유지시간에 의해 달라진다. 그러므로, 수차례에 걸친 예비실험결과를 토대로 최적화 조건을 설정하였고, 설정되어진 조건에 의해 유도로 sealing 용해 시험재를 제작하였다.

3.3. 화학성분 분석 및 조직관찰

각 조건별로 시험재에서 화학성분 분석용 시편을 채취하여 발광분광정량분석을 행하였다. 각 시편당 4point를 분석한 후 평균값을 취하였다. 시편의 성분분석 결과를 표 2에 나타낸다. 분석결과에서 각 조건의 화학성분은 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 즉 유도로 sealing 용해 조건으로 주조품을 제조하여도 화학성분 조성에는 큰 영향을 미치지 않는다는 것이다. 미세조직은 광학현미경과 SEM을 이용하여 관찰하였다. 미세조직 관찰용 시편은 증류수 50ml + 질산 40ml + 불산 10ml를 혼합한 부식액으로 부식하여 광학현미경 및 SEM으로 조직관

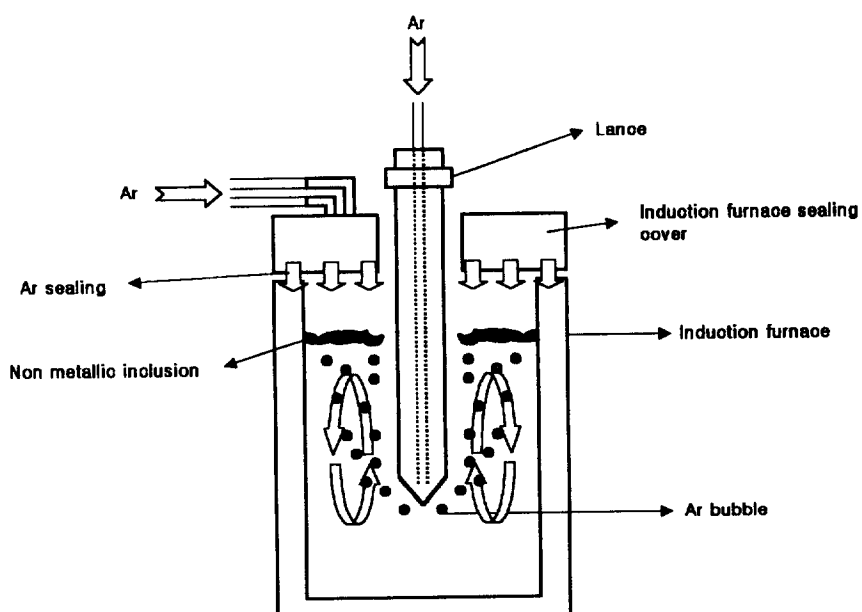
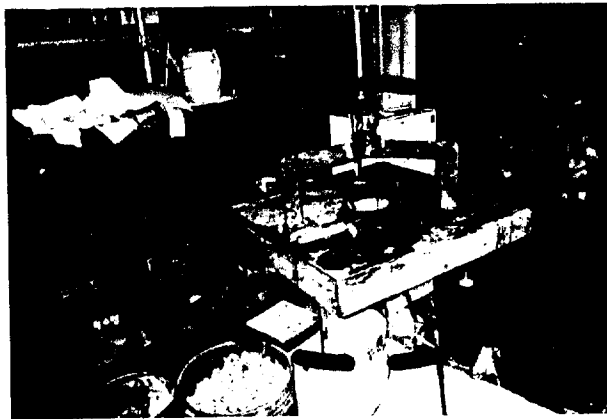


Fig. 3.1 Schematic of sealing and lance bubbling process in induction furnace

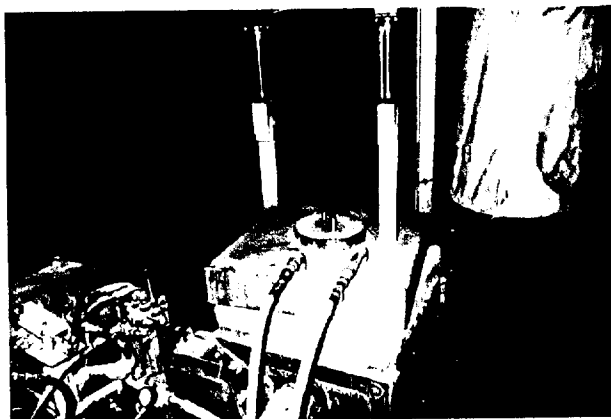


(a)

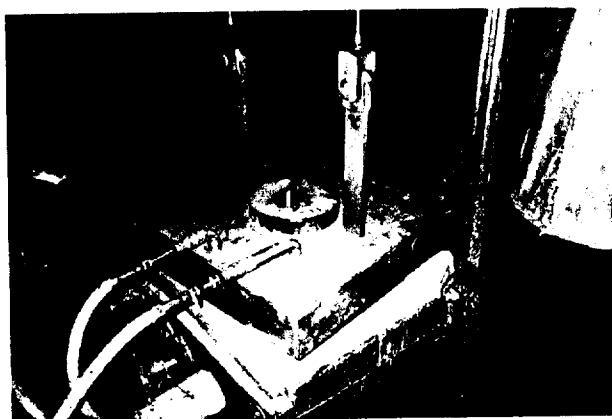


(b)

Fig. 3.2 Photograph of heat resisting cover

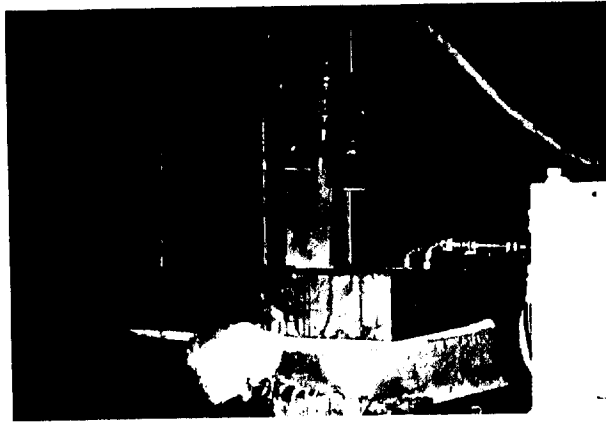


(a)

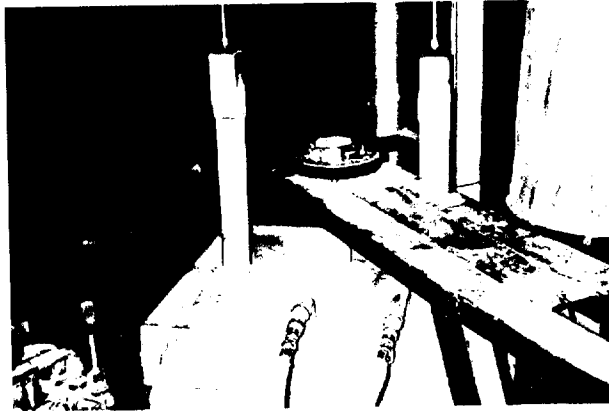


(b)

Fig. 3.3 Ar gas supply equipment of induction furnace sealing.



(a)



(b)

Fig. 3.4 Photograph of induction furnace lance bubbling process

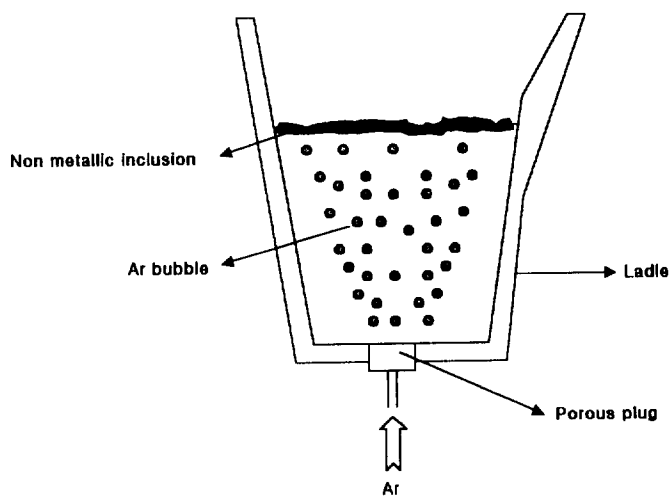
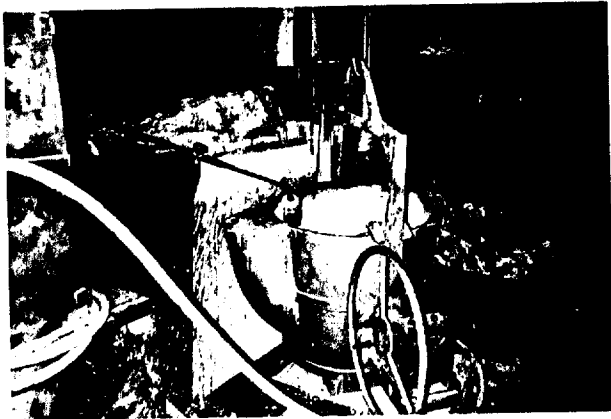


Fig. 3.5 Schematic of ladle bubbling.



(a)



(b)

Fig. 3.6 Photograph of dam type ladle and ladle bubbling.

Table 2. Chemical component analysis result.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	W	Ti
Spec	2.7	0.8	1.2	0.01	0.01	20	0.1	0.5	1.5	1.2
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	3.0	1.2	1.6	0.03	0.03	24	1	1.5	2	1.8
Induction furnace sealing	2.84	0.88	1.55	0.024	0.012	21.90	0.42	1.39	1.74	1.35
Ladle bubbling	2.83	0.84	1.54	0.025	0.013	20.97	0.58	1.16	1.80	1.31
Normal	2.79	0.85	1.53	0.023	0.012	20.82	0.56	1.06	1.71	1.27

Induction furnace sealing : using normal ladle next to induction furnace sealing and lance bubbling when melting is done.

Ladle bubbling : bubbling in ladle after normal melting

Normal : normal melting and ladle process

찰을 행하였다.

3.4. 경도측정

각 조건별 경도변화를 측정하기 위해 비커스 경도기를 사용하여 경도값을 측정하였다. 각 조건별 시험재의 동일한 부위를 절단하여 시편을 만든 후, 경도 측정은 하중 20kg으로 셋팅하여 시편의 중심에서 외곽으로 2mm 간격으로 10 point씩 시편당 2회 측정하였다.

3.5. 전산소함유량 측정

각 조건별 시험재에서 동일한 부위를 절단하여 가로4mm×세로4mm×길이7mm의 전산소분석시편을 제작하고, 그림 3.7의 O₂/N₂분석기를 이용하여 전산소함유량을 분석하였다. 전산소함유량은 각 조건별 분석시편을 3회 측정한 평균값으로 구하였다.

3.6. 비금속개재물 크기 및 함유량 측정

비금속개재물 크기 및 함유량 측정은 각 조건별로 그림 3.8에 나타낸 원형인 경우 시험편 채취방법(KS D 0204, JIS G 0555)에 준하여 시편을 제작하였다. 제작된 시편은 연마후 부식하지 않은 상태에서 각 조건별 비금속개재물 크기 및 함유량을 그림 3.9의 image analyzer(영상분석기)를 이용하여 비금속개재물 크기와 함유량을 분석하였다.

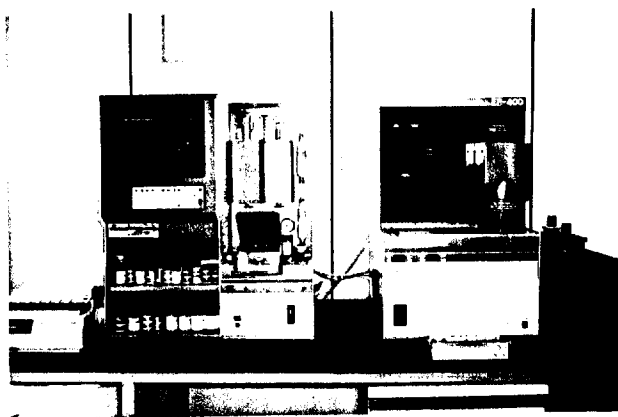
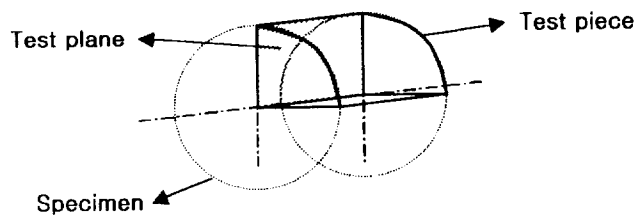
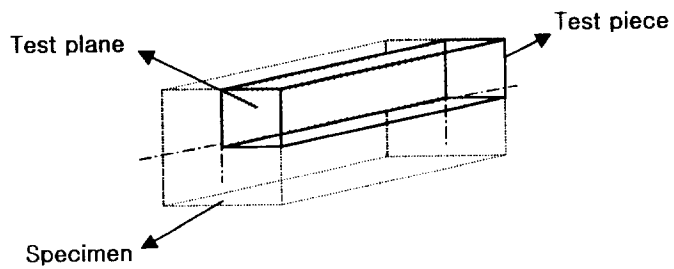


Fig. 3.7 Photograph of O₂/N₂ determinator



(a) Sampling of test piece from round specimen



(b) Sampling of test piece from square specimen

Fig. 3.8 The sampling of the test pieces from specimen

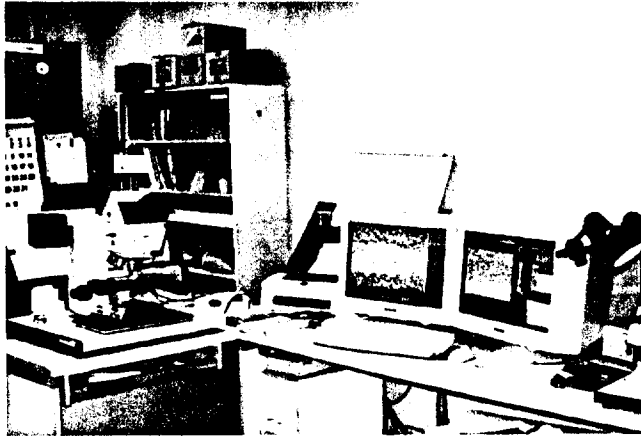


Fig. 3.9 Photograph of image analyzer

4. 결과 및 고찰

4.1. 최적화 작업

생산현장에서 유도로 sealing 및 lance bubbling 방법을 적용한 고청정 주조품을 제조하기 위하여 Ar 가스 공급압력과 유지시간의 최적화 조건을 설정하였다. 최적화 조건설정을 위한 반복 실험결과 sealing 및 bubbling용 Ar 가스 공급압력은 유도로 sealing시 $2\text{kg}/\text{cm}^2$, 유도로 lance bubbling시 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 가 최적의 가스 압력이었다. 또한, 유도로의 최적 sealing 유지시간을 결정하기 위해서는 유도로에 Ti 투입후 시간경과에 따른 용탕중의 Ti 함유량 변화 및 전산소함유량 변화를 측정하여 구하였다. 용탕중의 Ti 및 전산소량 변화를 측정한 결과는 그림 4.1과 4.2에 나타낸다. 그림 4.1은 용탕에서 4%에 해당되는 Ti을 첨가한 후 시간경과에 따른 용탕중 Ti 변화량을 나타낸다. 여기서 Ti이 초기에 줄어든 이유로는 용탕중 산화와 대량 반응하여 비금속개재물로 분리 부상되었기 때문이라 생각되며, 5분 이상 경과시 완만하게 감소되는 것을 알 수 있다. 한편 그림 4.2로부터 용탕중 전산소함유량은 초기 10분 이내에 용존산소량이 급격하게 줄어들고 그후는 완만하게 감소하는 것을 알 수 있다. 이 결과를 참고로 해서 유도로 sealing 및 lance bubbling 최적 유지시간을 5분단위로 측정한 결과 10분에서 15분 사이를 유지하는 것이 최종 생산되어진 주조품의 비금속개재물 및 전산소함유량이 기존방법 대비 우수한 결과를 나타내는 것을 확인하였다.

상기의 최적조건을 토대로 시험생산을 행하여 기존방법으로 제조한 제품과 기술개발 process를 적용한 제품을 비교한 결과를 나타낸 것이 그림 4.3이다. 그림 4.3의 (a)는 기술개발 적용전의 기존제품이고, (b)는 기술개발 적용후 제품이다. 이 그림에서 알 수 있는 것은 제품외관에서 차이를 확연히 알 수 있다. 즉, 기술개발 적용전 제품의 경우 주입구

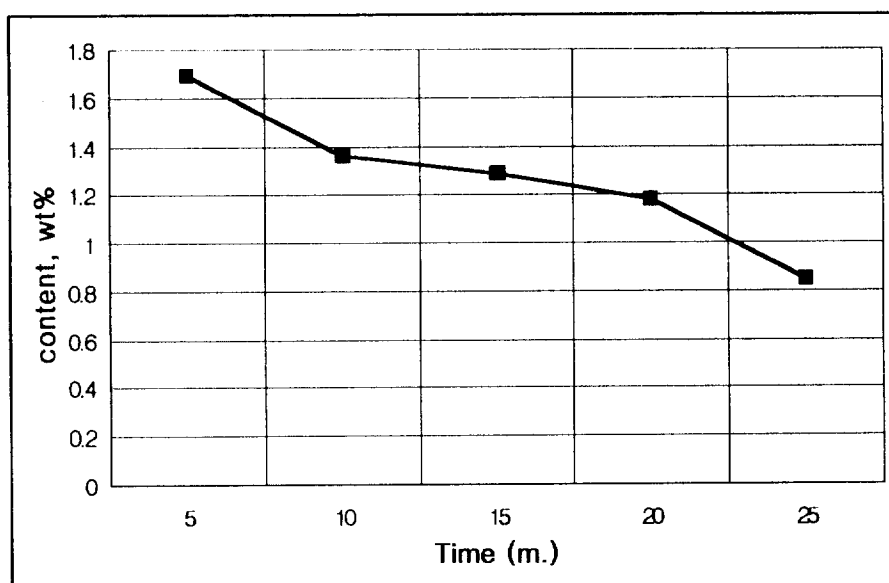


Fig. 4.1 Change of Ti content in induction furnace molten metal.

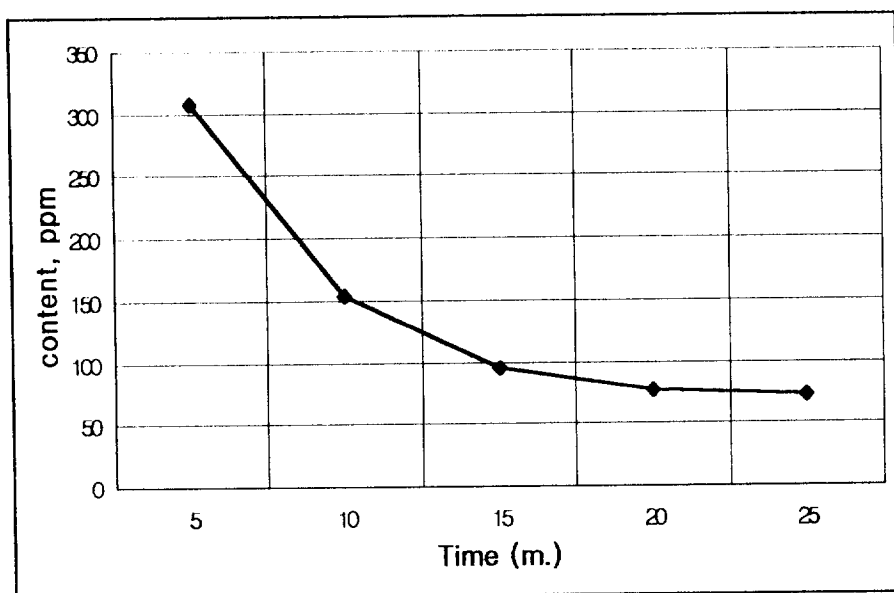
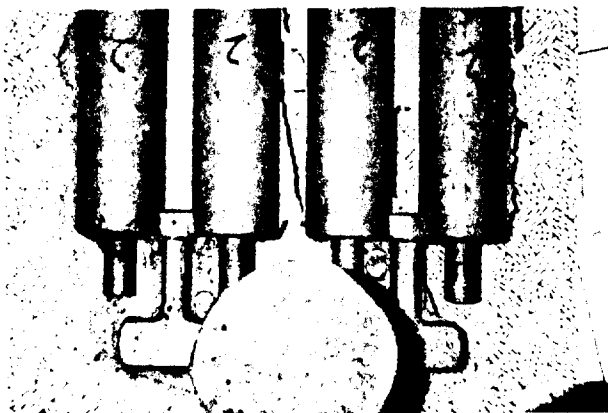


Fig. 4.2 Change of oxygen content in induction furnace molten metal.



(a) Before



(b) After

Fig. 4.3 Photograph of technology development product.

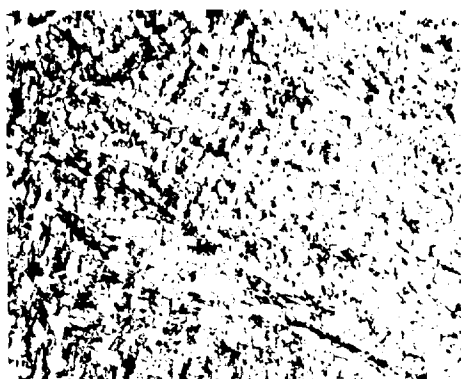
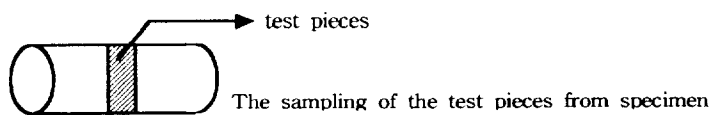
근처에서 가스성 기공 등이 집중되어 있고, 기술개발 적용후 제품의 경우 가스성 기공 등이 주입구 근처에서 집중되는 현상이 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 유도로 sealing 및 lance bubbling process의 전산소함유량 감소와 비금속개재물 감소 효과로 인한 결과로 추정된다.

4.2. 조직관찰

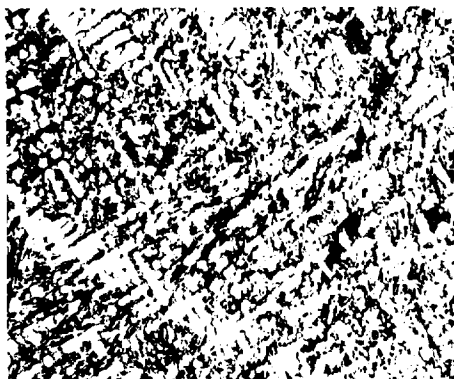
진공유도용해, 유도로 sealing 용해방법, 래들 bubbling 방법, 기존방법으로 주조된 시험재에서 그림 4.1의 상부에 나타난 위치에서 시편을 채취한 후 경면연마 후 부식하여 각 조건별로 광학현미경 사진을 나타내면 그림 4.4 (a),(b),(c),(d)와 같다. 이 그림에서 알 수 있듯이 미세주조조직은 어떠한 공정으로 제조하여도 거의 비슷하다는 것을 알 수 있다. 그러나, 그림 4.4의 (d)에서는 기공 또는 비금속개재물로 추정되는 결함을 볼 수 있다. 유도로 sealing 용해방법과 래들 bubbling 방법으로 제조된 시편에서 석출물로 보여지는 것을 SEM으로 촬영하고 EPMA로 분석한 결과를 그림 4.5와 4.6에 나타낸다. 이 결과로부터 검은 부분은 Ti(C, N) 탄질화물로 형성되어 있으며 Ti 석출물의 경계부 위인 흰 부분은 WC로 생각되어 진다.

4.3. 경도측정

그림 4.7에 각 조건별 경도시험 결과를 나타낸다. 이 그림으로부터 진공유도용해가 가장 높은 경도값을 나타내고 있고 유도로 sealing 용해방법의 경우는 다른 2가지 경우보다 상대적으로 약간 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 래들 bubbling방법이 유도로 sealing 용해방법보다 경도값이 상대적으로 낮은 이유는 기존용해에서 생성된 비금속개재물 및 슬래그, 이물질 등이 래들 bubbling시 상부로 완전히 분리 부상



(a) Vacuum



(b) Induction furnace sealing



(c) Ladle bubbling



(d) Normal

Fig. 4.4 Optical microscope Photograph of process.($\times 100$)

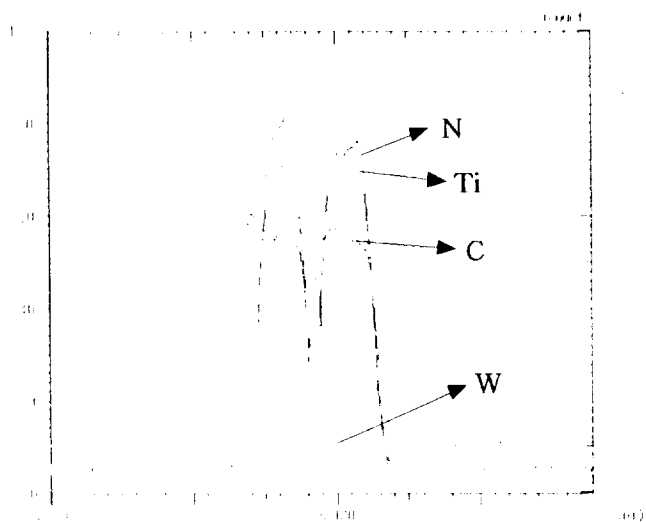
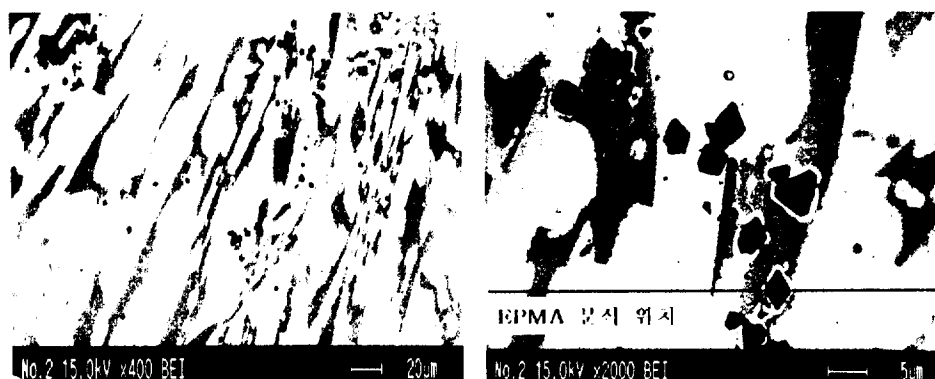


Fig. 4.5 SEM photograph and EPMA graph of Ti precipitation in induction furnace sealing.

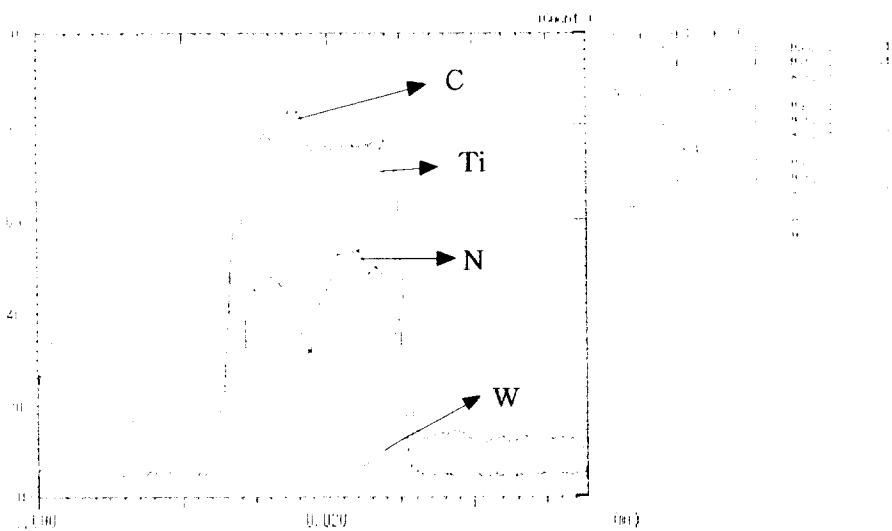
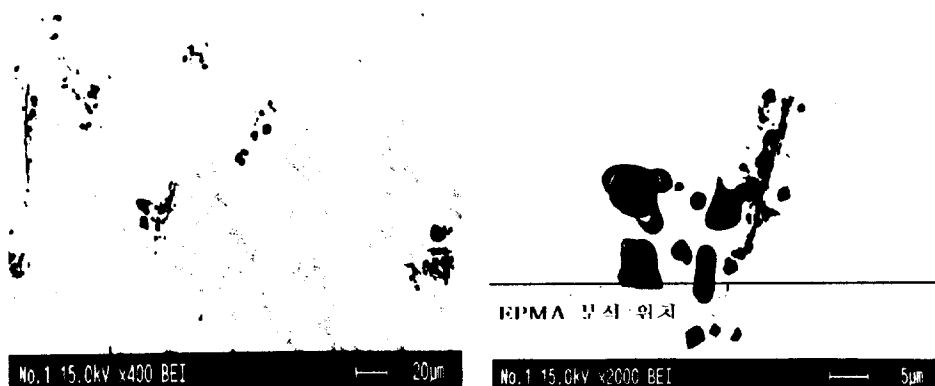


Fig. 4.6 SEM photograph and EPMA graph of Ti precipitation in ladle bubbling.

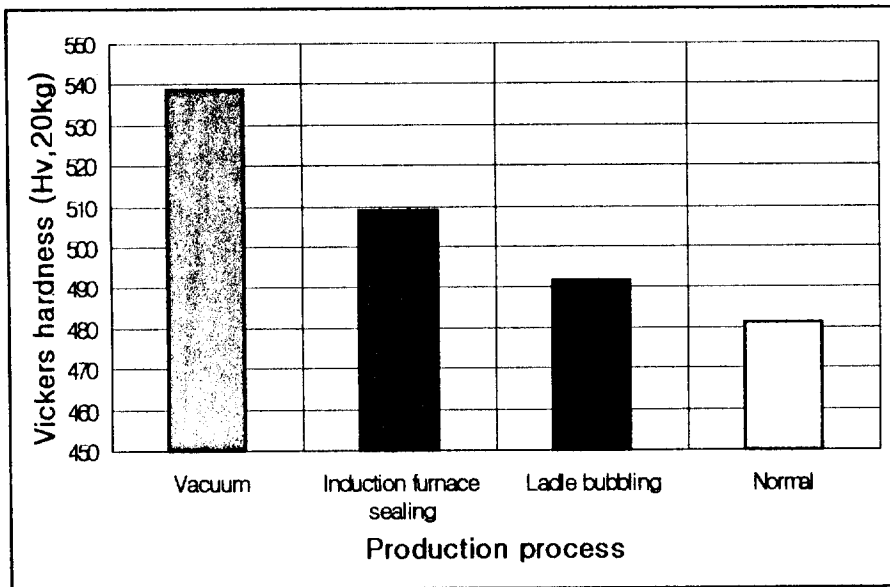


Fig. 4.7 Comparison of vickers hardness. (Hv 20kg)

되지 않고 용탕내부에 존재해있는 상태에서 몰드에 주입되어 제품 내에 혼입되고, 또한 래들 bubbling으로 인한 대기중의 산소 등과 용탕이 활발히 접촉되어 교반됨으로써 Ti 등이 재 산화되어 개재물형태로 분리되기 때문이라고 생각된다.

4.4. 전산소함유량 측정

전산소함유량을 O_2/N_2 분석기를 이용하여 각 조건별로 분석을 행하였다. 그 결과를 나타내면 그림 4.8과 같다. 이 그림으로부터 진공유도 용해 및 유도로 sealing 용해방법이 다른 두 조건보다 전산소함유량이 낮게 나타난다는 것을 알 수 있다.

비교를 위해 진공유도용해한 경우를 제외할 경우에 전산소함유량이 100ppm 이하로 측정된 경우는 유도로 sealing 용해방법뿐이다. 그 이유는 유도로 용해중 용탕을 내열커버와 Ar 가스로 sealing을 해서 대기중의 산소와의 접촉을 최대한 억제시켰기 때문이라고 생각된다. 한편, 래들 bubbling방법이 전산소함유량이 가장 높은 이유는 래들 bubbling시 대기중의 산소와 래들내의 용탕표면이 활발히 접촉 및 반응하였기 때문이라고 생각된다.

4.5. 비금속개재물 크기 및 함유량 측정

그림 4.9는 각 조건별로 제조된 시편의 비금속개재물(화살표가 있는 부분)을 촬영한 사진이다. 여기서 비금속개재물 크기는 유도로 sealing 용해 방법이 $3\sim 7\mu m$ 수준이며 래들 bubbling 방법이 $6\sim 12\mu m$, 기존방법이 $8\sim 20\mu m$ 수준임을 알 수 있다.

그림 4.10은 비금속개재물의 종류별 함량을 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있다시피 유도로 sealing 용해방법이 다른 조건에 비해 산화물계 비금속개재물과 Al계 비금속개재물 형성이 훨씬 줄어든 것을 알 수 있

다. 그림 4.11은 비금속개재물의 총합량을 나타낸 것이다. 이것도 마찬가지로 유도로 sealing 용해방법이 가장 우수하다는 것을 알 수 있다.

비금속개재물 크기와 함유량을 각 조건별로 측정한 결과는 유도로 sealing 용해 방법이 가장 우수한 것으로 나타났다. 그 이유는 유도로 용해시 sealing으로 인해 대기중의 산소와 용탕간의 접촉이 최대한 억제되고, 또한 lance를 이용하여 용탕을 bubbling 시킴으로써 생성되어진 비금속개재물의 분리부상이 촉진되어 비금속개재물 함유량 감소로 이어졌다고 생각된다.

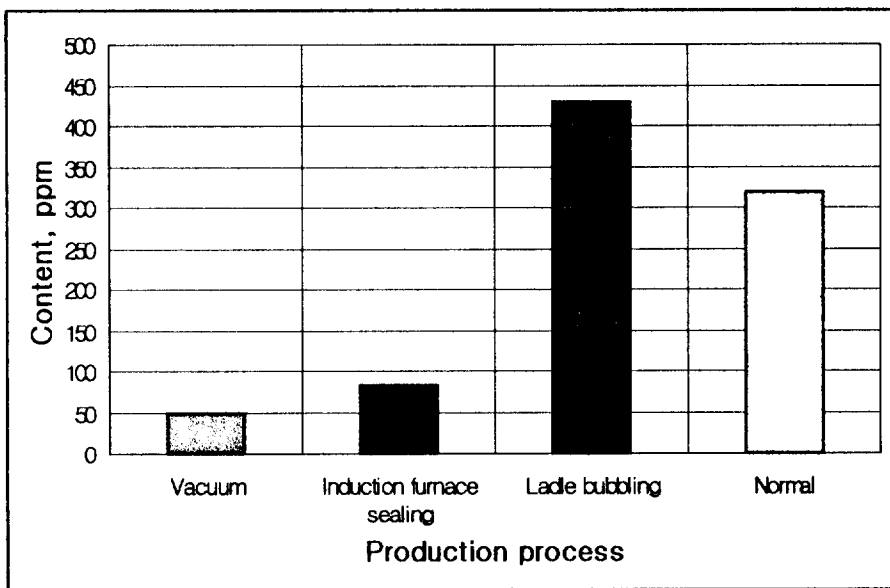


Fig. 4.8 Result of total oxygen content measurement.

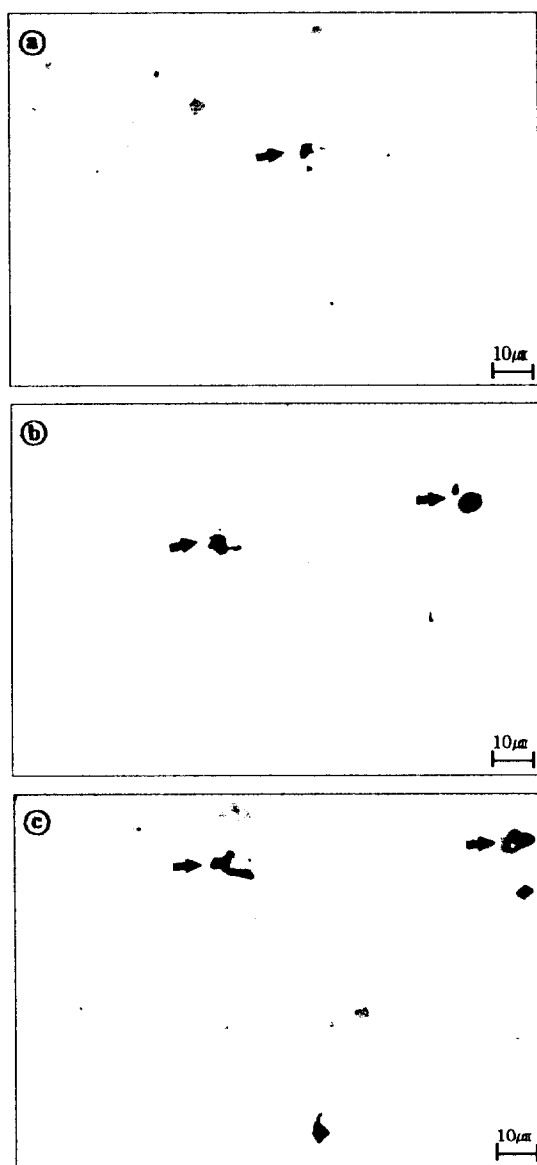


Fig. 4.9 Photograph of non-metallic inclusion.

Ⓐ Induction furnace sealing Ⓑ Ladle bubbling Ⓒ Normal

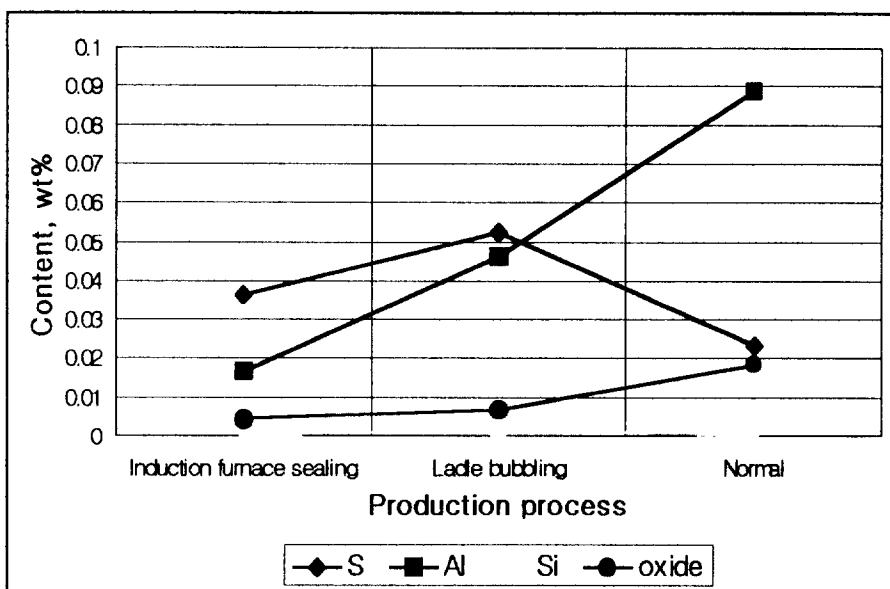


Fig. 4.10 Content of non-metallic inclusion.

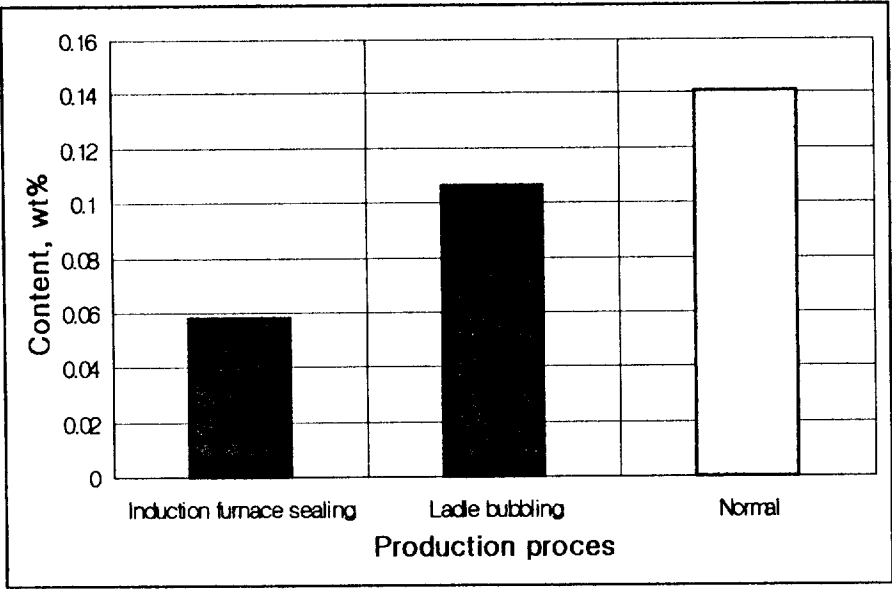


Fig. 4.11 Total content of non-metallic inclusion.

5. 결론

고청정 주조품 제조를 위한 유도로 sealing, bubbling process 개발과 관련된 유도로 sealing 및 lance bubbling 방법, 래들 bubbling 방법, 기존방법으로 용해 제조된 시편의 미세조직, 경도, 전산소함유량 및 비금속개재물 함유량 그리고 개발 전, 후의 제품외관을 비교한 결과를 나타내면 다음과 같다.

(1) 미세조직은 진공용해시편을 포함하여 4가지 조건에 의해 관찰된 미세조직의 큰 변화는 관찰되지 않았다. 그 이유는 각 조건별로 제조된 시험재의 화학성분조성이 거의 동일하였고, 시험재 제조시 출탕온도, 주입온도, 몰드 해체시간을 동일하게 하여 미세조직 변화에 영향을 미칠 변수가 없었기 때문이다.

(2) 각 조건에서의 경도값은 진공용해방법이 가장 우수했으며 본 연구에서 시도된 유도로 sealing, bubbling 용해가 그 다음으로 우수하다는 것을 알 수 있었다.

(3) 전산소함유량은 진공용해방법이 가장 우수했으며 본 연구에서 시도된 유도로 sealing, bubbling 용해가 그 다음으로 우수하다는 것을 알 수 있었다.

(4) 비금속개재물 함유량도 마찬가지로 결과로서 진공용해방법을 제외한 대기중 용해조건중 유도로 sealing, bubbling 용해 조건이 가장 우수한 값을 나타내었고, 비금속개재물 크기 측정결과도 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

(5) 주조제품 외관을 기존방법으로 제조된 제품과 비교한 결과, 본 연구에서 시도된 유도로 sealing, bubbling 용해 제품의 표면 결함이 현저히 감소되어지는 것으로부터 래들에서 bubbling을 행한 제품과 기존 제품보다도 더욱 우수한 품질의 주조품을 유도로 sealing, bubbling

process를 통해 제조가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

- 1) 이종남 : 鑄造工學, 보성문화사, (1995) 376-377
- 2) 홍영환 : 강의 열처리 기초, 기전연구사, (1995) 24-25
- 3) Metal Handbook, Volume 1, (1990) 689-690
- 4) 일본열처리기술협회 : 열처리 가이드 북, 보문당 (1994) 17
- 5) 손재웅, 이광한, 노광현 : 대한금속학회지, Vol 32, (1994) No 5
- 6) J.R. Davis : ASM Specialty Handbook, Cast Irons, (1996) 287-302
- 7) 유병돈 : 대한금속학회지, Vol 33, (1995) No 9
- 8) 김선효 : 대한금속학회지, Vol 30, (1992) No 6
- 9) 임정호 외 3 : 주조, 제18권, 5호 (1998. 10)
- 10) 이정건 외 1 : 주조, 제8권 3호 (1988. 9)
- 11) 이봉옥 외 1 : 주조, 제19권 6호 (1999. 12)
- 12) 한국표준협회 : 한국산업규격, KS D 0204 (1988)
- 13) 일본표준협회 : 일본공업규격, JIS G 0555 (1998)
- 14) 일본주물협회 : 주물편람, 대광서림, (1996) 1199-1211

감사의 글

산업대학원을 입학한지 엇그제 같은데 벌써 졸업을 눈앞에 두었습니다. 그동안의 생활을 돌이켜 보면 모두에게 짐만 된 것 같습니다. 부족한 제자를 위해 사랑과 진심으로 이끌어주신 김우열 교수님께 먼저 진심으로 감사드립니다.

부족함이 많은 저를 지도해 주시느라 수고하신 김성규 교수님과 방국수 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고, 현재 미국에 계신 박홍일 교수님, 조상명 교수님, 이병우 교수님, 서원찬 교수님, 이길근 교수님께도 감사의 마음을 전해 드립니다. 여러 교수님들의 지적과 격려로 이 논문이 완성되었다고 생각하고 있습니다.

제가 실험함에 있어서 많은 부분 참여해주시고 도와주신 고등학교 선배이자 인생의 선배인 Rist의 박재현 박사님, 큰 형님같은 강창권 선배님 그리고 팀장이신 김영섭 박사님께도 진심으로 감사드립니다.

생산의 바쁜 와중에도 실험을 허락해 주신 천봉특수금속의 김승환 사장님, 김희수 부사장님, 심진석 이사님, 정원화 직장님 그외 모든 천봉의 식구들에게도 감사의 마음을 전합니다.

그리고, 제가 졸업하도록 자기일 인양 진심으로 도와준 91학번 동기인 주원이, 상준이, 윤수, 대혁이, 우택이, 상무, 그리고 질긴 인연의 병철이, 미국에서 고생중인 인호에게도 고맙다 라는 말을 꼭 하고 싶습니다. 후배인 윤상이와 귀찮은 부탁을 해도 웃으면서 도와준 후배 진길이에게도 고마운 마음을 전합니다.

포항생활에서 가장 신세를 많이 진 배정일씨, 백규씨, 강용기씨, 주조공정연

구팀의 김병문 박사님께도 감사의 마음을 전합니다.

한번씩 찾아뵈실때마다 회사생활과 건강에 대해 물어보시고 걱정하시는 장인 어른, 장모님 그리고 치남식구들에게도 감사의 마음을 전합니다.

항상 저를 걱정하시며 제가 아무 걱정 없이 공부할 수 있도록 해주신 어머니님과 시집간 동생과 매제에게도 감사의 말을 전합니다. 다시 한번 제가 아무 걱정없이 공부하도록 해준 어머니님, 아내, 귀여운 공주 선민이에게 이 논문을 바칩니다.

2001년 12월 20일

이길안 올림