

|||||||
論 文
 |||||

공정 및 주조 변수의 AC4C 알루미늄 합금 용탕의 로터리 degasser 를 이용한 탈가스 처리 결과에 미치는 영향

이기준 · 권해욱

Effects of Process and Casting Variables on the Results of Degassing AC4C Aluminum Alloy Melt by Using Rotary Degasser

Ki-Joon Lee and Hae-Wook Kwon

Abstract

The effect of various factors on the results of degassing of AC4C aluminum alloy melt by using rotary degasser were investigated. The difference between the effects of nitrogen gases of commercial pure and high purity grades on the degassing results was not significant. The optimum degassing condition was obtained. The effect of holding and degassing temperature was not significant, either. The result of degassing was deteriorated by the modification treatment of eutectic silicon, meanwhile improved by the grain refining. The effect of the latter was stronger than that of the former when the melt was treated simultaneously. The volume fractions of hydrogen porosity of the castings obtained from the molds with water moisture such as natural and green sand molds were much higher than those from the molds without that such as pep-set and CO₂ molds.

(Received August 5, 2000)

1. 서 론

알루미늄 액상과 고상 중의 수소의 용해도 차이는 커서 제품 내부에 기포가 없는 건전한 제품을 생산하기 위해서는 용탕 중 수소 원자를 반드시 제거하여야 한다[1]. 따라서 수소가 용탕 내로 가능하면 녹아 들어 오지 않게 하기 위하여 주의 깊게 장입물을 선택하여 용해하고 이미 용탕에 용해되어 있는 수소를 탈가스 처리하여 제거해야 한다. 또한 적절하게 주형 설계를 하여 방향성 응고를 유도하고 응고 수축에 대한 보상이 잘 일어나게 하여 액상과 고상의 수소 용해도 차이에 의하여 발생하는 기포의 형성을 방지하거나 최소화 하여야 한다. 온도가 증가함에 따라 고상이나 액상 중에서의 용해도는 증가하며 용점에서 액상과 고상 중 용해도 차이는 크다. 특히 응고가 일어나는 동안 고상 중 수소 함량이 고용도를 넘게 되어 수소가 기체로 빠져 나온다. 수소 기체가 응고가 일어나는 동안 밖으로

빠져 나오지 못하면 주조품의 내부에 기포로 남게 될 것이다. 기포 내부의 압력이 대기압, 용탕에 의한 정수압 및 기포의 반경에 대한 표면장력의 비의 합보다 클 때 기포가 형성한다. 따라서 건전한 알루미늄 주조품을 생산하기 위해서는 가능하면 액상 중에 수소가 녹아 들어오는 것을 방지하고 주입하기 직전에 탈가스하여 가능한 용탕 중 수소의 농도를 감소시켜야 한다. 또한 탈가스 처리하여 고상 중의 수소 용해도보다 적은 양의 수소가 용해되어 있는 용탕은 수소가 다시 녹아 들어가기 쉬우므로 탈가스 처리를 하여 용탕의 수소 농도가 낮아지면 바로 주형에 용탕을 주입하여야 한다.

합금의 용해 과정에서 대기, 플럭스, 도가니, 연소가스, 내화물, 용해 공구 및 장입 재료 등 여러 가지 원천으로부터 용탕으로 수소가 공급된다. 따라서 용해를 할 때 이들 수소 공급원으로부터 가능한 수소의 공급을 방지하고 용탕 표면에 플럭스를 사용하여 보호 피막을 만들어 주며 보호 피막이 파괴되지 않도록 세

심한 주의를 기울여야 할 것이다. 알루미늄과 수증기가 만나 알루미늄 산화물이 생기고 수소는 원자 상태로 용탕에 녹아 들어간다[2, 3]. 주조용 알루미늄 합금 용탕에 용해된 수소를 고상의 수소 용해도 아래로 가능한 한 낮추어 주조품 내에서의 기포 형성을 방지하기 위한 용탕의 탈가스 방법으로는 자연 탈가스, 진공 탈가스[4], 기체 취입법 그리고 탈가스제 투입법 등이 있다. 비활성 기체인 질소와 불활성 기체인 아르곤을 사용하는 기체 취입법은 가장 일반적인 탈가스 방법이다. 용탕의 하부에 미세하게 분산되어 취입된 기체는 수소의 분자화를 위한 핵생성 자리로 작용하여 수소 분자와 함께 용탕 밖으로 배출된다. 또한 취입시 생기는 진동 에너지는 용존 수소의 질소로의 확산과 핵생성을 촉진시킨다. 따라서 취입 기체가 미세하면 수소의 확산 거리가 짧아지고 이동 속도가 빨라져서 탈가스 효과는 좋아진다[2].

본 연구에서는 도가니로에서 용해한 AC4C 조성의 알루미늄 합금 용탕을 보온로에 옮겨서 온도를 유지한 상태에서 로터리 디개서로 탈가스 처리를 하여 취입 기체의 유속, 로터리 디개서의 흑연관의 회전 속도 및 용탕 유지 온도 등의 조업 변수와 용탕 처리의 따른 탈가스 효과에 미치는 영향을 조사 연구하고자 하였다. 그리하여 최적 조건을 얻고 이를 시험 주조품의 주조에 적용하여 확인하고 주형 재료에 따른 탈가스 효과의 변화를 조사하기 위하여 계단형 시험 주조품을 주조하였다. 이를 근거로 AC4C 알루미늄 합금 주조품을 생산하기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 용해 및 탈가스 처리

모든 경우에 AC4C 조성인 인고트와 회수재를 4 : 1의 비율로 300 kg 용량의 탄화 규소 도가니를 장착한 중류 연소 도가니에 장입하여 용해하였다. 본 실험에서 사용한 AC4C 사양의 알루미늄 합금의 화학적 조성은 Table 1에서 보이는 바와 같다.

처음 두 Heat에서는 장입물을 용해한 후 730°C의

온도로 유지한 상태에서 내경, 외경 및 길이가 각각 15, 5 및 90 mm인 흑연관을 도가니 내의 용탕 속에 넣어서 이 관을 통하여 질소 기체를 취입하여 탈가스 하였다. 이 흑연관은 기역자 형의 외경 20 mm인 강관에 부착시켰으며 이 강관을 고무관을 사용하여 질소 기체 용기에 연결하였다.

세 번째 이후의 Heat에서는 장입물이 용해된 후 레이들을 사용하여 200 kg 용량의 보온로로 옮겨서 원하는 온도에서 유지시키면서 탈가스 처리를 하였다. 보온로는 탄화 규소 도가니를 장착하고 이 도가니 외부에 니크롬계의 열선을 사용하여 가열하는 전기 저항로이다. 용탕을 장입한 후 K-형태의 열전대를 침적시켜 용탕의 온도를 측정 및 조절하였다. 용탕에 질소 기체를 취입하지 않는 동안에는 가열부의 온도를 용탕의 온도보다 50°C 높게 유지하고 온도가 낮은 질소 기체를 용탕 속에 취입하는 동안에는 가열부의 온도를 용탕의 온도보다 100°C 더 높게 유지하여 용탕의 온도를 원하는 온도로 유지하였다. 용탕의 온도가 원하는 유지 온도에 도달한 후 로터리 디개서를 이용하여 탈가스 처리를 하였다. 가로 및 세로의 길이가 각각 20 및 25 mm인 직사각형 단면의 통로가 있는 지름 및 두께가 각각 200 및 35 mm인 원판형 임펠라가 부착된 내경, 외경 및 길이가 각각 8, 75 및 835 mm인 회전시킬 수 있는 흑연관을 용탕 속에 침적시켜 회전시키면서 질소 기체를 취입하여 탈가스 처리를 하였다. 이때 이 흑연관의 회전 속도는 최대 500 rpm까지 변화시킬 수 있다. 이 흑연관은 빌트를 사용하여 연결된 전동기를 가동시켜 회전시켰으며 고무관을 사용하여 질소 기체 용기에 연결시켰다. 이 전동기는 로터리 디개서의 기둥에 장착되어 흑연관과 함께 상하로 움직일 수 있으며 이 기둥을 중심 축으로 회전시킬 수 있다.

2.2 용탕 중 상대 수소 함량의 측정

첫 번째부터 여덟번째까지 Heat에서는 용해 후 그리고 탈가스 처리한 후 각각 용탕 중 수소 함량을 저압 시험 장치를 이용하여 측정하였다. 용탕의 응고가 일어날 때에 분위기의 압력이 낮으면 수소 기포는 쉽게 핵

Table 1. Chemical composition of AC4C aluminium casting alloy (wt %).

	Si	Mg	Fe	Cu	Zn	Al
specification	6.50~7.50	0.25~0.45	0.55 max.	0.25 max.	0.35 max.	bal.
test casting	7.32	0.25	0.44	0.13	0.07	bal.

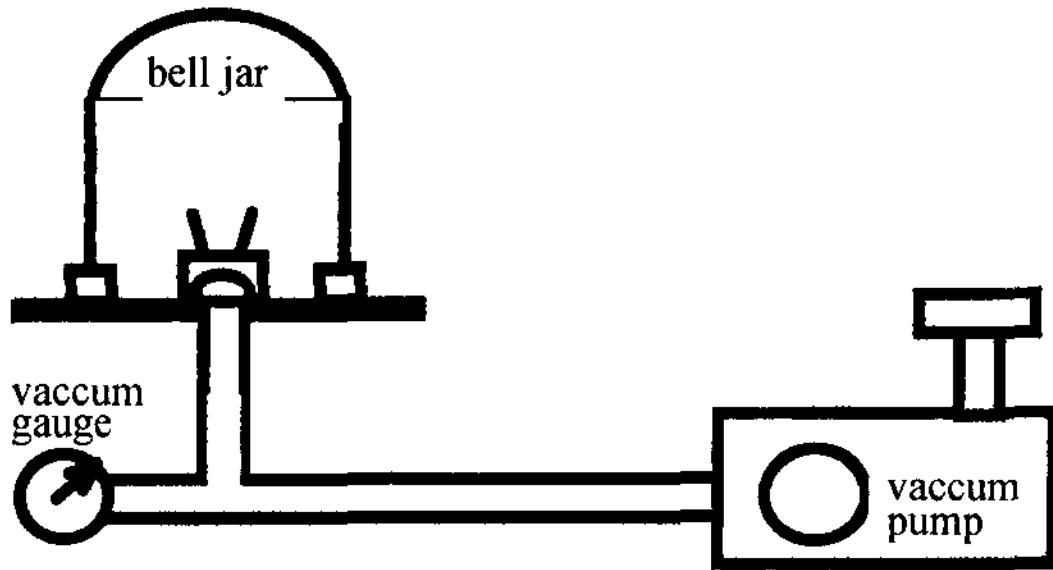


Fig. 1. Experimental apparatus for the reduced pressure test[2].

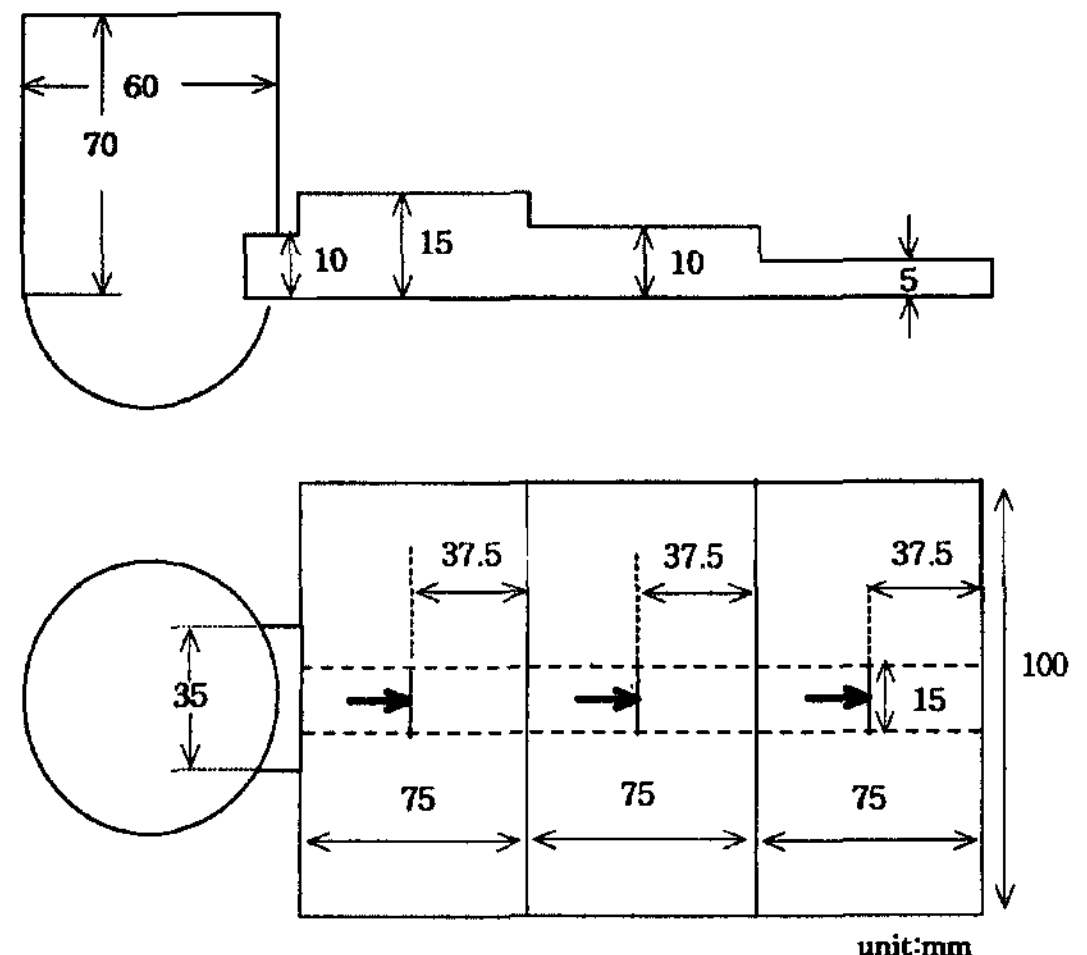
생성하여 팽창할 것이므로 용탕 중 수소 함량을 비교하기 위한 변별력을 크게 증가시킬 것이다[6,7]. 저압 시험 장치의 저압 챔버 내에서 저압에서 용탕이 응고하는 시간을 감안하여 질소 기체 취입 전과 취입 후 7, 15, 22 및 30 분에 도가니 또는 보온로로부터 200 g의 용탕을 소형 레이들로 채취하여 저압 시험을 하였다. 저압 시험 장치의 구성은 Fig. 1에서 보이는 바와 같다. 저압 챔버는 고무관을 사용하여 진공 챔버와 연결되어 있으며 압력 게이지가 부착되어 압력을 측정할 수 있다. 저압 챔버는 외경, 두께 및 높이가 각각 216, 6 및 670 mm인 벨자(bell jar)를 스테인레스 강판 위에 올려 놓아 만들었으며 벨자와 스테인레스 강판 사이에는 내경, 외경 및 두께가 각각 210, 248 및 2 mm인 진공 그리드를 바른 환형의 고무판을 삽입하여 진공 밀폐되게 하였다. 이때 벨자와 스테인레스 판은 분리시킬 수 있으며 스테인레스 강판 가운데에 구멍을 뚫어 내경 및 길이가 각각 5 및 50 mm인 관을 용접하여 부착시켰다. 이 관과 진공 펌프사이에는 고무관으로 연결시켰다.

200 g의 용탕을 담을 수 있는 스테인레스 컵에 흑연 도형제를 도포한 후 저압 챔버를 열고 가운데에 설치한 내화 벽돌 위에 올려 놓고 용탕을 스테인레스 컵에 주입하였다. 그리고 벨자를 덮은 다음에 진공 펌프를 가동하여 압력이 22.5 torr[8]가 되게 하였다. 시험 압력에 도달하는 시간은 약 10초이며 응고 시간은 약 6 분이었다. 응고가 끝난 후 진공 펌프 가동을 중단하고 밸브를 열어 공기가 들어가게 한 후 벨자를 열어 스테인레스 컵을 방출시켜 응고된 시편을 얻었다. 수냉식 핵소를 사용하여 저압 시험 시편의 가운데를 수직으로 절단하고 50, 100 및 220번의 연마지로 조연마 후 등급 차트와 비교하여 상대적 수소 함량을 결정하였다[8].

2.3 시험 주조품 중의 수소 기포 결함

아무런 용탕처리를 하지 않은 네번째 Heat의 세번째 용해와 용탕 처리의 영향을 시험하기 위한 여덟번째 Heat에서는 용탕 처리 결과를 확인하기 위하여 자연사 주형을 조형하여 계단형 시험 주조품을 주조하였다. 아홉 번째 Heat에서는 주형 재료의 탈가스 결과에 미치는 영향을 시험하기 위하여 네가지 서로 다른 주형 재료로 조형하여 계단형 시험 주조품을 주조하였다. 계단형 시험 주조품의 개략적인 모양과 크기는 Fig. 3에서 보이는 바와 같다. 탕구의 지름과 길이는 각각 40 및 100 mm이고 탕도 단면의 가로와 세로는 각각 15 mm이다. 탕도는 압탕을 중심으로 시험 주조품의 반대편에 연결하여 용탕이 압탕을 통하여 주형 공간으로 흘러 들어가도록 하였다.

시험 주조품의 응고가 일어날 때 각 두께의 판재의 중앙 부분에서 응고가 가장 늦게 일어날 것이므로 각 층의 중앙부의 수직면의 수소 기포 결함을 관찰하였다. 먼저 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 계단형 시험 주조품의 폭의 중앙 부분에서 길이 방향으로 절단하여 폭 15 mm의 계단형 시편을 얻었다. 그리고 이 시편의 길이 방향으로 각 층의 경계면에서 37.5 mm인 위치를 각각 절단하여 각 층의 가운데 면을 관찰하기 위하여 가로 및 높이가 각각 15 mm인 시편을 각 층에서 얻었다. 세로는 각각 5, 10 및 15 mm이다. 두께 5 및 10 mm인 층에서 얻은 시편은 마운팅한 후 그리고 두께 15 mm인 층에서 얻은 시편은 절단한 상태로 보통



* The Arrows indicate the faces for metallographic test

Fig. 2. Step test casting.

의 방법으로 조연마 및 세연마하였다. 이 시편들을 34 배의 배율에서 관찰하였으며 Win-us Technology사의 화상 분석 장치를 이용하여 면적 분율을 측정하여 수소 기포의 부피 분율을 얻었다.

2.4 질소 기체 순도의 영향

처음 두 Heat에서는 탄화 규소 도가니에 장입물을 장입하여 용해한 후 730°C의 온도로 유지한 상태에서 흑연관을 도가니 중 용탕 내에 넣어서 탈가스하였다. 이때 취입 질소 기체 중 수분의 함량이 탈가스 효과에 미치는 영향이 클 것으로 판단하여 각각 용해한 후 수분의 함량이 높을 것으로 판단되는 공업적으로 순수한 등급인 99.9% 순도의 질소 기체와 수분 함량이 매우 낮을 것으로 판단되는 고순도인 99.99% 순도의 질소 기체를 각각 취입하여 질소 기체의 순도의 탈가스 효과에 미치는 영향을 조사하였다. 질소 기체의 취입 유속은 3, 5 및 8l/min로 변화시켰다. 10l/min의 유속으로 질소 기체를 취입하여 탈가스 처리를 시도하였으나 이 경우에는 과다한 유량으로 인하여 용탕이 도가니로부터 넘쳐서 실험이 불가능하였다.

2.5 로터리 디개서의 흑연 임펠러 회전 속도 및 질소 기체 취입 속도의 영향

처음 두 Heat의 경우 질소 기체 취입 시간이 길면 고순도 질소 기체로 탈가스 한 경우가 효과가 더 좋았으나, 초기에는 유속의 변화에 따라 고순도 질소를 사용하는 경우보다 변화가 더 크기는 하나, 오히려 공업적으로 순수한 질소 기체로 탈가스한 경우가 더 좋은 것으로 나타났으며 그 차이는 별로 크지 않았다. 따라서 경제성을 고려하여 취입 질소 기체는 공업적으로 순수한 등급을 사용하였다.

세 번째에서 여섯 번째까지의 네 Heat에서는 탈가스 효과가 더 좋고 재현성이 있을 로터리 디개서를 사용하여 탈가스 처리를 하였으며 그 과정은 Table 2에서 보이는 바와 같다. 이 Heat들에서는 흑연 임펠러의 회전 속도와 질소 취입 기체의 유속의 탈가스 효과에 미치는 영향을 조사하여 최적 탈가스 조건을 얻고자 하였다. 각 Heat에서 730°C의 온도에서 유지되고 있는 용탕에 취입 질소 기체의 취입 속도를 3, 5, 8 및 10 l/min로 변화시키면서 취입하였다. 질소 기체의 취입 속도가 10l/min로 큰 경우에는 질소 기체의 기포가 너무 크고 용탕의 유동이 너무 컸다. 따라서 최대 질소

기체 취입 속도를 10l/min로 하였다. 그리고 흑연 임펠러의 회전 속도는 10~300 rpm의 범위에서 50 rpm의 간격으로 변화시켰다.

2.6 용탕 유지 온도의 영향

로터리 디개서를 이용하여 알루미늄 합금 용탕을 탈가스 처리할 때 730°C의 용탕 유지 온도에서 최적 조건을 얻기 위한 앞의 네 Heat로부터 허용 등급 7등급에 가장 빨리 도달하고 그 이후에 수소 함량이 비교적 낮은 상태가 유지되는 최적 조건을 얻었다. 최적 조건은 로터리 디개서의 흑연 임펠러의 회전 속도가 200 rpm이고 질소 기체의 취입 유속이 8l/min인 것으로 나타났다. 따라서 다른 변수의 탈가스 효과에 미치는 영향을 조사하기 위한 이 후의 Heat에서는 이 조건으로 흑연 임펠러 회전 속도와 질소 기체 유입 속도를 일정하게 유지하면서 용탕을 탈가스 처리하였다.

일곱 번째의 Heat에서는 용탕 유지 온도의 탈가스 효과에 미치는 영향을 조사하고자 하였으며 그 과정은 Table 2에서 보이는 바와 같다. 700°C 아래의 온도에서는 온도가 너무 낮아서 주조시 유동도의 문제가 있을 것이고 760°C 이상의 고온에서는 별 의미가 없고 800°C 이상의 온도에서는 탄화 알루미늄이 형성할 가능성이 있으므로[7] 용탕 유지 온도를 각각 760 및 700°C로 하여 다른 조건이 같고 용탕 유지 온도가 730°C인 네 번째 Heat의 두 번째 용해의 결과와 비교하였다. 이 때 앞에서 언급한 바와 같이 질소 기체 취입 전과 취입 후 7, 15, 22 및 30분에 저압 시험을 하여 각각 용탕 중 상대 수소 함량을 측정하였다.

2.7 용탕 처리의 영향:

용탕 유지 온도의 영향을 조사하기 위한 일곱 번째 Heat의 시험 결과 용탕 유지 온도의 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 이 후의 다른 변수의 영향을 조사하기 위한 모든 Heat의 경우에도 처음 여섯 Heat의 경우와 마찬가지로 730°C의 용탕 유지 온도에서 탈가스 처리를 하였다.

여덟 번째 Heat에서는 공정 규소 개량화 및 결정립 미세화 처리의 용탕 처리의 탈가스 결과에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. Table 2에서 보이는 바와 같이 첫 번째와 두 번째 용해시에는 용탕을 각각 공정 규소 개량화 처리와 결정립 미세화 처리를 하였으며 세 번째 용해시에는 이 두 가지 용탕 처리를 동시에

Table 2. Melting and treatment procedure.

Heat number	Melting number	holding temperature (°C)	N ₂ flow rate (l/min)	impeller revolution speed (rpm)	remark
1	1	730	3	-	commercial pure N ₂ (99.9%)
	2		5	-	
	3		8	-	
2	1	730	3	-	high purity N ₂ (99.9%)
	2		5	-	
	3		8	-	
3	1	730	3	150	
	2		5		
	3		8		
	4		10		
4	1	730	3	200	
	2		5		
	3*		8		
	4		10		
5	1	730	3	250	
	2		5		
	3		8		
	4		10		
6	1	730	3	300	
	2		5		
	3		8		
	4		10		
7	1	700	8	200	
	2	760			
8*	1	730	8	200	eutectic Si modified
	2				grain refined
	3				refined & modified
9**	1	730	8	200	natural sand mold
	2				green sand mold
	3				CO ₂ mold
	4				pep-set mold

* Step test casting was poured.

** Melt was grain refined and modified.

하였다. 공정 규소 개량화와 결정립 미세화를 위하여 스트론튬과 티타늄 및 보론을 첨가하기 위한 모합금은 각각 Al-10%Sr과 Al-5%Ti-1%B 합금이며 이 합금의 화학적 조성은 Table 3에서 보이는 바와 같다. 공정 규소 개량화를 위하여 요구되는 스트론튬의 함량은 최소 0.004%이며 스트론튬 함량이 너무 높으면 응고 후

주조품 내에 취성이 큰 스트론튬 화합물이 형성할 가능성이 있다[9]. 또한 스트론튬을 첨가한 후 탈가스 처리를 하는 동안에 감쇄 현상이 있을 것이므로 스트론튬 목표 함량을 0.02%로 하여 Al-10%Sr 합금 400g을 200 kg의 용탕에 첨가하였다. 결정립 미세화를 위하여 필요한 티타늄 및 보론의 함량은 각각 0.01~0.03%

Table 3. Chemical compositions of modification and grain refining agent (wt %).

	Sr	Ti	B	Fe	Si	Ca	V	Al
modifier	9.80	-	-	0.17	0.90	0.01	-	bal.
grainrefiner	-	5.04	1.04	0.17	0.10	-	-	bal.

및 최소 0.01%이다[2]. 따라서 보론 함량이 0.01%를 목표로 Al-5%Ti-1%B 합금 2kg을 200kg의 용탕에 첨가하였다. 장입물을 용해한 후 용해로로부터 용탕을 보온로로 옮긴 후 무게를 측정하여 미리 준비한 Al-10%Sr 및 Al-5%Ti-1%B 합금을 예열하여 표면층의 수분을 제거한 후 도가니 벽을 따라서 용탕 속으로 들어가도록 조심스럽게 보온로로 첨가하였다. 그리고 로터리 디개서의 흑연 임펠러를 용탕 속에 넣어서 탈가스 처리하는 동안 녹지 않은 용탕 처리용 합금이 흑연 임펠러를 손상시킬 수 있으므로 합금을 용탕 속에 첨가하고 1분을 유지하여 합금이 완전히 녹은 후 임펠러를 용탕 속에 넣어서 탈가스 처리를 하였다.

용탕 처리를 한 후 질소 기체 취입 전과 취입 후 7, 15, 22 및 30분에 저압 시험을 하고 동시에 자연사로 조형한 Fig. 2에 보이는 바와 같은 계단형 시험 주조품을 주조하기 위한 주형에 각각 주입하였다. 그리고 미세 및 거시 조직의 변화를 관찰하기 위한 계단형 시험 주조품은 응고한 후 탈사 및 절단하여 15mm 두께의 층으로부터 Fig. 2에서 보이는 바와 같은 위치에서 미세 및 거시 조직 관찰을 위한 시편을 얻었다. 다른 조건이 같고 아무 처리를 하지 않은 네 번째 Heat의 세 번째 용해 및 여덟 번째 Heat의 첫 번째와 세 번째 용해로부터 얻은 시편을 보통의 방법으로 연마하여 1% 농도의 불산 용액으로 부식시켜 미세 조직을 관찰하여 공정 규모의 개량화를 확인하였다. 또한 아무 처리를 하지 않은 Heat의 세 번째 용해 및 여덟 번째 Heat의 두 번째와 세 번째 용해로부터 얻은 시편은 보통의 방법으로 연마한 후 Tucker 부식액으로 부식시켜 거시 조직을 관찰하여 결정립 크기를 확인하였다.

2.8 주형 재료의 영향

아홉 번째 Heat에서는 Table 2에서 보이는 바와 같이 자연사, 생형, CO₂ 주형 및 펄셋 주형의 네가지 서로 다른 주형 재료의 주조품 내의 기포 결함의 형성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 먼저 장입물을 용해한 후 보온로로 옮겨서 730°C의 온도로 유지하였다. 이 용탕에 공정 규모 개량화 처리 및 결정립 미세화 처리를 위하여 Al-10%Sr 및 Al-5%Ti-1%B 합금을 첨가하고 로터리 디개서의 흑연 임펠러를 200rpm의 회전 속도로 회전시키면서 8l/min의 유속으로 질소 기체를 22분간 취입하여 탈가스 처리를 하였다. 그리고 미리 조형한 네가지 종류의 계단형 시험 주조품을 주

조하기 위한 주형에 주입하였다. 응고가 일어난 후 탈사하여 시험 주조품 표면 조도를 육안으로 관찰하고 절단하였다. Fig. 4에서 보이는 바와 같은 각 층의 위치에서 시편을 얻어 연마하여 34배의 배율에서 Win-us Technology사 제작 화학 분석 장치를 이용하여 수소 기포의 부피 분율을 측정하였다.

각 시험 주조품의 주형 재료에 따른 표면 조도의 변화와 이에 따른 수소 기포 형성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 각 주형의 제조사 사용한 주물사의 입도를 미국 주물인 협회(AFS) 입도 분석법에 따라 분석하였다. 체 번호 30, 40, 70, 100, 140, 200 및 팬을 차례로 체 진동기에 장착하고 각 주형 재료에 사용한 주물사 50g을 30번 체에 올려놓고 두껍을 덮은 다음 체와 팬을 고정시키고 체 진동기를 15분간 가동하였다. 체질이 끝난 후 각 체와 팬에 남아있는 모래의 무게를 측정하여 AFS 입도 번호를 결정하였으며 3회 반복하여 그 평균값을 얻었다.

계단형 시험 주조품의 경우 자연사의 경우가 가장 수소 기포의 부피의 부피 분율이 크게 나타났으며 그 이유는 자연사 중 수분의 영향이 클 것으로 생각되어 수분의 함량을 측정하였다. 약 300g의 자연사를 100°C 온도로 유지되고 있는 건조용 오븐에 넣어 10일간 건조시켰으며 건조 전과 후의 무게를 측정하여 그 차이로부터 수분의 양을 측정하였으며 3회 측정하여 그 평균값을 얻었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 질소 기체 순도의 영향

처음 두 Heat에서는 취입 질소 기체의 순도의 탈가스 결과에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 장입물을 용해한 후 730°C의 온도로 유지하고 있는 용탕에 흑연관을 넣어서 공업적으로 순수한 등급인 99.9% 순도의 질소 기체와 고순도인 99.99% 순도의 질소 기체를 취입하여 탈가스 처리하였다. 이 때 질소 기체의 취입 유속은 3, 5 및 8l/min으로 변화시켰으며 저압 시험으로 상대 수소 함량을 측정된 결과는 Fig. 3에서 보이는 바와 같다.

공업적으로 순수한 등급의 질소 기체는 고순도의 질소 기체보다 수분의 함량이 높은 것으로 탈가스 결과가 더 나쁠 것으로 생각되었다. 그러나 전자의 경우 후자에 비하여 탈가스 처리 결과가 질소 기체 취입 속

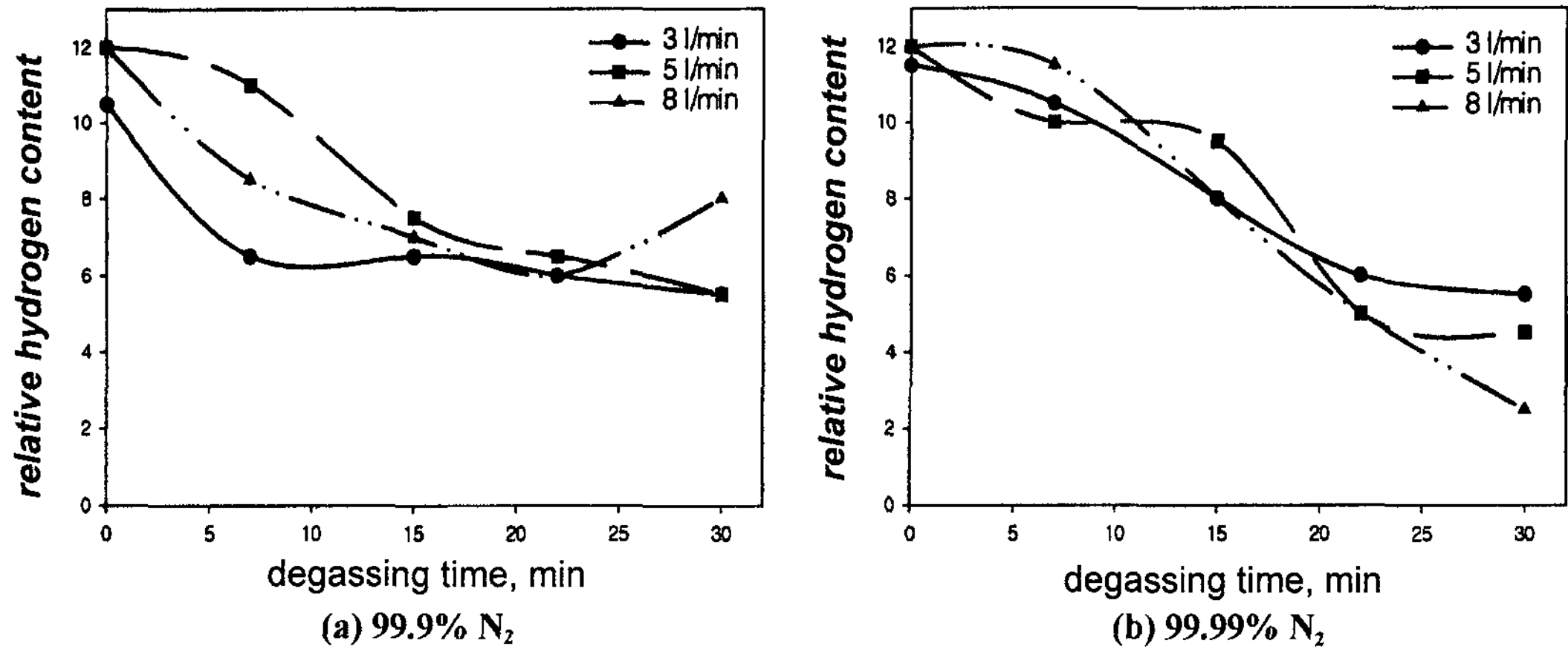


Fig. 3. The effect of the purity of N₂ gas on the variation of relative hydrogen content in the melt degassed by graphite tube in the crucible during holding at 730°C.

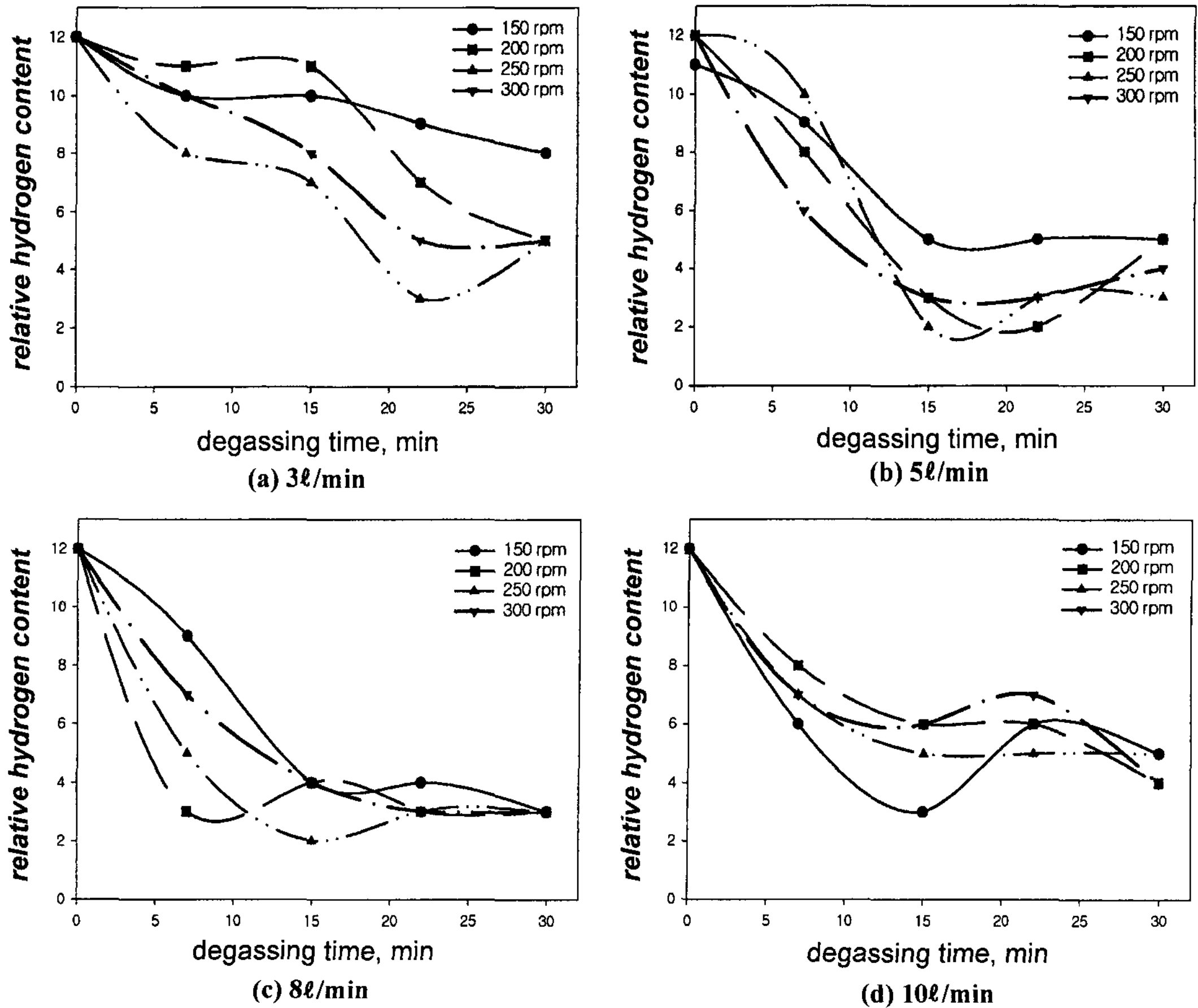


Fig. 4. The effect of the revolution speed of the graphite impeller of rotary degasser and the flow rate of nitrogen gas on the relative hydrogen contents of melts during holding at 730°C.

도에 따른 변화가 심하기는 하지만, 15분까지 탈가스한 경우에는 전자의 경우가 후자의 경우보다 탈가스 결과가 오히려 더 좋았다. 탈가스 처리를 시작한 후 22분 이후에는 후자의 경우의 결과가 전자보다 더 좋기는 하나 그 차이는 그리 크지 않으며 질소 기체의 순도의 영향은 그렇게 크지 않은 것으로 생각된다. 따라서 이후의 Heat에서는 공업적으로 순수한 등급의 질소를 사용하여 탈가스 처리를 하였다.

3.2 로터리 디개서의 흑연 임펠러 회전 속도 및 질소 기체 취입 속도의 영향

본 연구에서는 질소 기체의 기포를 미세하게 나뉘게 하고 용탕을 잘 섞어 줄 수 있어서 탈가스 성능이 더 좋으며 재현성이 있는 로터리 디개서를 사용하여 탈가스 처리를 하였다. 세 번째에서 여섯 번째까지의 네 Heat에서는 Table 2에서 보이는 바와 같이 용탕을 730°C의 온도에서 유지시키면서 흑연 임펠러의 회전 속도와 질소 기체의 취입 속도를 변화시켜 최적 탈가스 조건을 얻고자하였다. 장입물을 용해한 후 보온로로 옮겨서 730°C의 온도로 유지하면서 로터리 디개서로 탈가스 처리를 하였다. 로터리 디개서의 흑연 임펠러의 회전 속도를 150~300 rpm의 범위에서 50 rpm의 간격으로 변화시키고 질소 기체의 취입 속도를 3, 5, 8 및 10 l/min로 변화시키면서 탈가스 처리를 하였으며 그 결과는 Fig. 4에서 보이는 바와 같다.

전체적으로 보면 상대 수소 함량 값이 매우 분산되어 있기는 하지만 3~8 l/min의 질소 기체의 취입 속도 범위에서 질소 기체의 취입 속도가 증가함에 따라 대체로 상대 수소 함량이 감소하는 것으로 나타났다. 질소 기체의 취입 속도가 10 l/min로 크면 용탕 중 상대 수소 함량이 오히려 약간 증가하였다. 이것은 미세한 취입 질소 기포와 진동 에너지가 용존 수소의 분자화 및 기포의 핵 생성을 촉진 시켜서 수소를 용탕 밖으로 배출시키는 효과[2]와 질소 기체 중 존재하는 수분[10]에 의한 수소의 재용해 효과의 상대적인 크기로 설명할 수 있을 것이다. 취입 속도 3~8 l/min의 범위에서는 전자의 효과가 커서 취입 속도가 증가함에 따라 상대 수소 함량이 감소하다가 10 l/min로 취입 속도가 크면 질소 기포가 조대해지며 취입 질소의 양이 많아져서 후자의 효과가 전자보다 더 커졌을 것으로 생각된다. 또한 질소 기체 취입 시간이 증가함에 따라 15분 이후에는 다른 조건에 따라 상대 수소 함량이 약간

증가하는 경우가 있기는 하나 대체로 상대 수소 함량이 감소하였다.

저압 시험으로 용탕 중 상대 수소 함량을 측정하는 경우 사형 주조에 대하여 허용 등급은 7등급 이하인 것으로 대체로 알려져 있다[3]. 따라서 본 연구에서도 이 기준을 근거로 실험 결과를 고찰하였다. 먼저 취입 기체의 취입 속도가 3 l/min로 낮은 경우에는 로터리 디개서의 흑연 임펠러의 회전 속도가 250 rpm인 경우 15분간 탈가스 처리하였을 때 가장 먼저 허용 등급인 7등급에 도달하였다. 그 이후 시간이 지남에 따라 상대 수소 함량이 감소하였으나 30분간 탈가스 처리한 경우에는 오히려 증가하였다. 질소 기체의 취입 속도가 5 l/min로 증가하면 상대 수소 함량의 허용 등급에 가장 빠르게 도달하는 흑연 임펠러 회전 속도는 300 rpm으로 나타났으나 15분 탈가스한 경우에는 모든 경우에 허용 등급인 7등급 보다 용탕 중 상대 수소 함량이 매우 더 낮아졌다. 질소 기체의 취입 속도가 8 l/min인 경우 및 질소 기체의 취입 속도가 200 rpm 일 때 가장 먼저 상대 수소 함량이 허용 등급보다 매우 낮은 3등급에 도달하였다. 이 경우에는 질소 기체의 취입 속도가 5 l/min인 경우와 마찬가지로 15분 이후에는 상대 수소 함량이 허용 등급 아래로 매우 낮아졌다. 질소 기체의 취입 속도가 10 l/min로 클 경우에는 흑연 임펠러의 회전 속도가 150 rpm으로 가장 낮을 때 가장 먼저 상대 수소 함량이 허용 등급에 도달하였으며 15분간 탈가스 처리하였을 때 상대 수소 함량이 최소인 3등급에 도달하였다가 오히려 증가했다. 질소 기체의 취입 속도가 10 l/min로 증가하면 취입 질소의 기포가 조대해지고 질소 기체내의 수분에 의한 수소의 재용해 효과가 질소 기포와 진동 에너지에 의한 수소 기체 배출 효과보다 컸을 것이기 때문으로 생각되었다.

질소 기체의 기포가 용탕 중 수소의 핵생성과 성장에 영향을 미쳐서 탈가스를 촉진시킬 것이며 로터리 디개서의 흑연 임펠러의 회전 속도가 증가할수록 용탕 중 질소 기체의 기포가 미세하게 나뉘어서 잘 분산될 것이므로 탈가스 효과가 증가할 것으로 기대되었다. 그러나 최적 탈가스 조건은 질소 기체의 취입 속도가 너무 클 경우 질소 기체 중 수분과 질소 기체 기포의 조대화에 의하여 나타날 수 있는 역효과와 흑연 임펠러의 회전 속도 증가에 따라 나타날 수 있는 용탕의 과도한 교란에 의한 실험의 한계를 고려하여 결정하였

다. 용탕 중 상대 수소 함량인 7등급보다 매우 낮은 3 등급에 가장 빨리 도달하여 탈가스 처리 시간이 증가함에 따라 상대 수소 함량이 3~4의 범위에서 유지되는 조건인 질소 기체 취입 속도 및 흑연 임펠러 회전 속도가 각각 8l/min 및 200 rpm인 경우가 최적 조건인 것으로 결정하였다.

3.3 용탕 유지 온도의 영향

일곱 번째 Heat에서는 용탕 유지 온도의 탈가스 결과에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 앞의 네 Heat의 실험 결과로부터 얻은 최적 탈가스 처리 조건을 적용하여 장입물을 도가니로에서 용해한 후 보온로로 옮겨서 질소 기체 취입 속도 및 로타리 디게서의 흑연 임펠러의 회전 속도를 각각 8l/min 및 200 rpm으로 하여 탈가스 처리를 하였다. 이 때 용탕 유지 온도를 700°C보다 더 낮은 경우에는 용탕의 온도가 너무 낮아서 유동도가 나뻐서 800°C 부근의 높은 온도로 유지할 경우에는 과열이 되고 탄화 알루미늄이 형성할 가능성이 있으므로[7] 이를 감안하여 700 및 760°C로 변화시켰다. 서로 다른 용탕 유지 온도에서 탈가스 처리한 후 저압 실험으로부터 얻은 상대 수소 함량의 탈가스 시간에 따른 변화는 Fig. 5에서 보이는 바와 같다. 모든 경우에 7분 동안 탈가스 처리한 후 상대 수소 함량은 허용 등급인 7등급 보다 훨씬 낮은 3~4 등급의 범위 내에 있는 것으로 나타났으며 탈가스 처리시 시간이 증가함에 따라서 크게 달라지지는 않았다. 용탕 유지 온도에 따라 용탕 중 수소의 용해도는 다를 것이다. 그러나 질소 기체의 취입 속도 및 흑연 임펠러의 회전 속도를 최적 조건으로 하여 탈가스 처리한 경우 탈가스 처리시 용탕의 유지 온도는 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다.

3.4 용탕 처리의 영향

여덟 번째 Heat에서는 공정 규소 개량화 처리, 결정립 미세화 처리 및 이 두 가지의 동시 처리의 탈가스 결과에 미치는 영향을 각각 조사하고자 하였다. Table 2에서 보이는 바와 같이 장입물을 용해하고 용탕을 보온로로 옮긴 후 730°C의 온도에서 유지하면서 각각 용탕 처리를 하였으며 로타리 디게서를 이용하여 200 rpm의 흑연 임펠러 회전 속도에서 8l/min의 취입 속도로 질소 기체를 취입한 후 저압 시험을 하고 동시에 계단형 시험 주조품을 주조하기 위한 자연사 주형

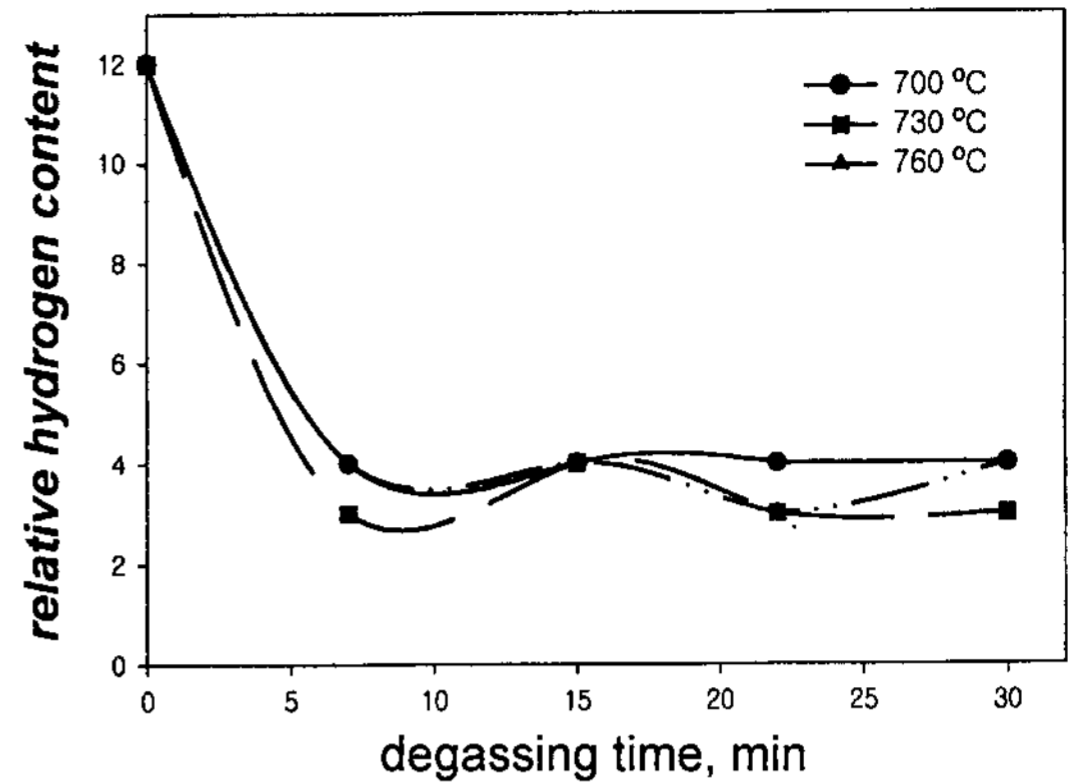


Fig. 5. Variation of relative hydrogen contents of melts degassed with N₂ gas at the flow rate of 8l/min and the revolution speed of the graphite impeller of 200 rpm during holding at different temperatures.

에 주입하였다.

용탕 처리의 결과를 확인하기 위하여 동일한 조건으로 탈가스 처리하고 용탕 처리를 하지 않은 네 번째 Heat의 세 번째 용해와 여덟 번째 Heat로부터 얻은 계단형 시험 주조품의 15 mm 두께 층의 Fig. 2에서 보이는 바와 같은 위치에서 시편을 얻어 미세 조직과 거시 조직을 관찰하였다. 공정 규소의 개량화 처리 결과를 확인하기 위하여 광학 현미경으로 미세 조직을 관찰한 결과는 Fig. 6에서 보이는 바와 같으며 결정립 미세화 처리 결과를 확인하기 위하여 거시 조직을 관찰한 결과는 Fig. 7에서 보이는 바와 같다. 용탕 처리의 결과로 공정 규소는 개량화되고 초정 α알루미늄 결정립은 미세화되어 이들의 탈가스 결과에 미치는 영향을 조사하는 데에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.

각 처리 조건과 탈가스 시간에 따른 용탕 중 상대 수소 함량의 변화는 Fig. 8에서 보이는 바와 같다. 용탕 처리를 하지 않고 탈가스 처리한 경우 상대 수소 함량이 가장 빠르게 허용 등급보다 훨씬 낮은 3등급에 도달하였으며 탈가스 시간이 증가함에 따라 3~4등급의 범위에서 유지되었다. 공정 규소 개량화 처리를 한 경우에 탈가스 처리 시간이 증가함에 따라 상대 수소 함량의 감소 속도가 가장 낮아서 22분 동안 탈가스 처리한 경우에는 오히려 허용 등급인 7등급 보다 큰 8등급으로 증가하였다. 이것은 용탕을 공정 규소 개량화 처리를 하면 응고가 일어나는 동안 공정 규소의 성장을

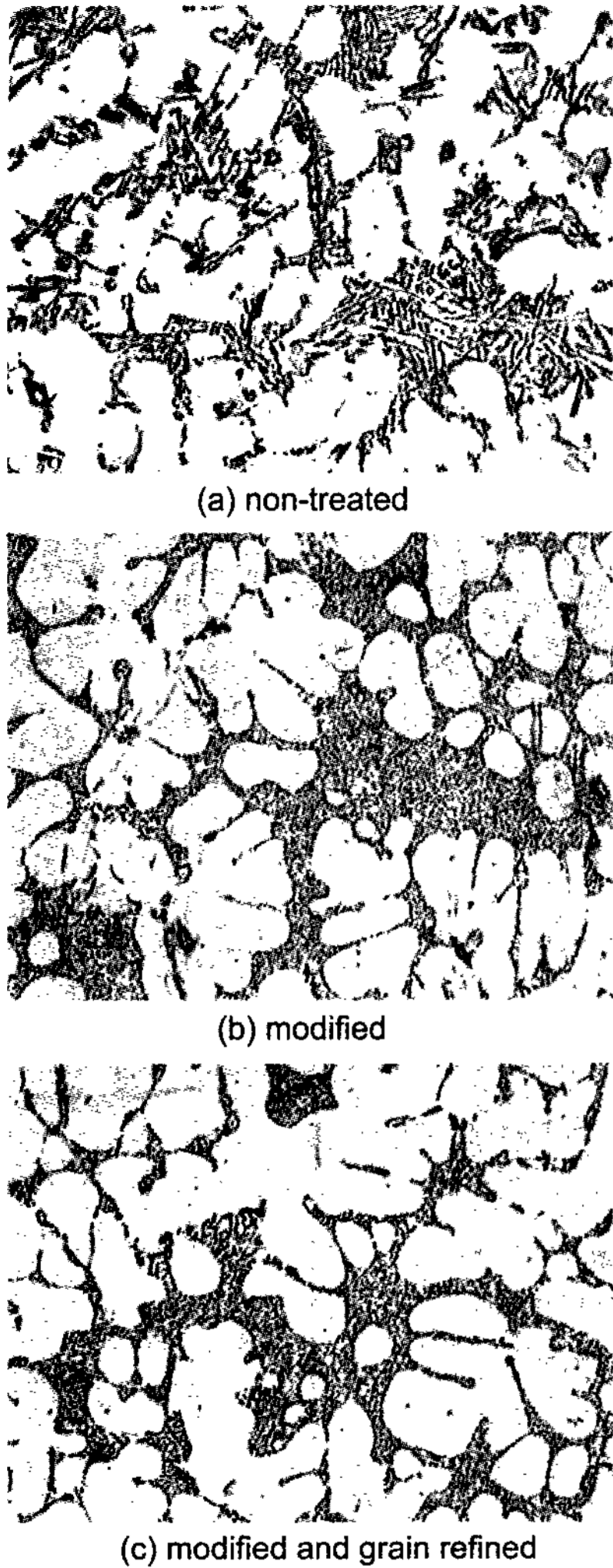


Fig. 6. Optical micrographs of the specimens obtained from the center of the layer of 15 mm thickness of step test casting solidified after pouring the nontreated and treated melts, 100× .

억제하여 액상의 과냉이 커지고 따라서 초정 α 알루미늄 상이 더욱 성장하게 되어 응고 범위가 넓어지게 된다[11].

따라서 응고가 일어나는 동안 α -덴드라이트 사이의 액상 중에서 핵생성 및 성장한 수소 액상으로부터 빠져나오지 못하게 되어 응고 후에 수소 기포로 남게 될 것이다. 결정립이 미세화 되면 응고가 일어나는 동안 액상의 공급이 다소 개선되고 기포의 핵생성이 촉진되어 미세한 기포가 균일하게 분포되는 것으로 인하여 기포의 부피 분율이 감소할 것으로 생각되었다[2]. 7분

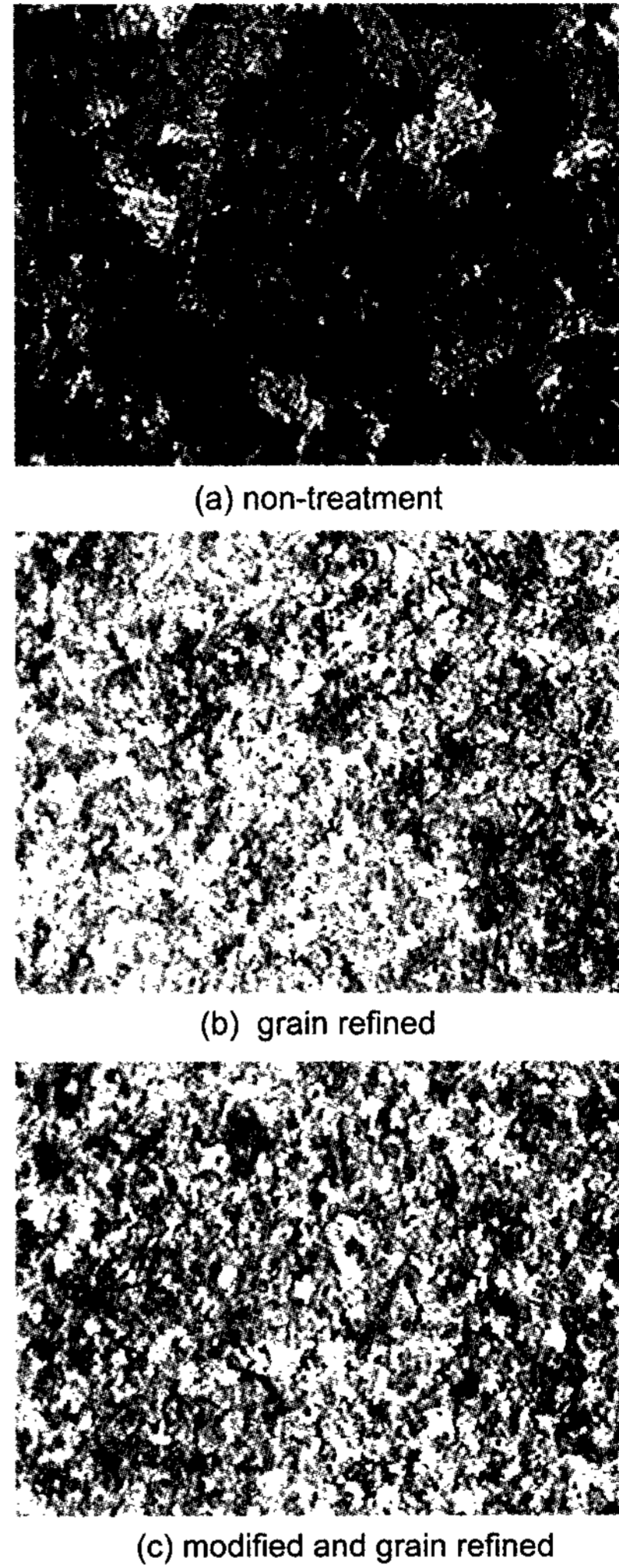


Fig. 7. Optical macrographs of the specimens obtained from the center of the layer of 15 mm thickness of step test casting solidified after pouring the nontreated and treated melts, 7× .

동안 탈가스 처리한 경우에는 결정립 미세화 처리를 한 용탕의 상대 수소 함량이 8등급으로 아무 처리도 하지 않은 용탕의 경우보다 상대 수소 함량이 높았다. 그러나 15분 이상 탈가스 처리한 경우에는 차이가 크지는 않으나 3~2등급으로 상대 수소 함량이 낮았다. 두가지 처리를 동시에 한 용탕의 경우에는 아무 처리도 하지 않은 용탕의 경우보다는 상대 수소 함량이 높았으나 모든 경우에 허용 등급인 7등급 보다 낮았으며 탈가스 시간이 증가함에 따라 상대 수소 함량이 감소하였다. 공정 규소 개량화 처리와 결정립 미세화 처리

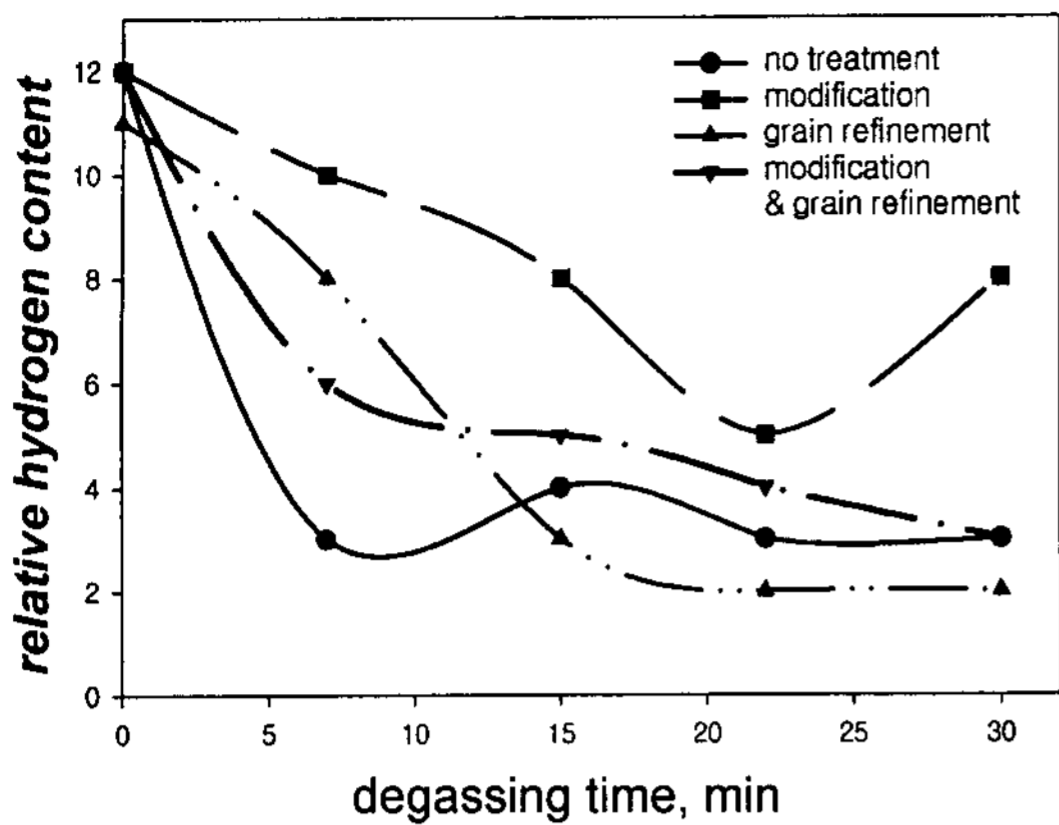


Fig. 8. The variation of relative hydrogen contents in the differently treated melts after degassing with N₂ gas at the flow rate of 8/min and the revolution speed of graphite impeller of 200 rpm during holding at 730°C.

의 두 가지 처리를 동시에 한 용탕의 경우에는 공정 규소 개량화에 의한 역효과보다 결정립 미세화 처리에 의한 효과가 더 큰 것으로 생각되었다.

3.5 주형 재료의 영향

아홉 번째 Heat에서는 자연사, 생형, CO₂, 및 펍셋 주형의 네가지 서로 다른 주형 재료의 시험 주조품 중

수소 기포 결함의 형성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 장입물을 용해한 후 보온로로 옮겨서 730°C의 유지 온도에서 용탕 처리 및 탈가스 처리를 한 후 준비한 주형에 각각 주입하였다.

응고가 일어난 후 탈사하여 먼저 계단형 시험 주조품의 표면 상태를 관찰하였으며 그 결과는 Fig. 9에서 보이는 바와 같다. 자연사 주형으로부터 얻은 주조품의 표면 조도가 가장 낮았으며 생형, 펍셋 주형 및 CO₂ 주형의 순으로 증가하였다. 그 원인을 확인하기 위하여 각 주형의 제조시 사용한 주물사의 입도를 분석하였다. 자연사 주형, 생형, 펍셋 주형 및 CO₂ 주형의 조형시 사용한 주물사의 AFS 입도 번호는 각각 174.8, 64.1, 62.5 및 46.7으로 나타났다. 즉 사용한 주물사의 입도에 따라서 얻은 주조품의 조도가 변하였으며 주물사가 조대할수록 주조품의 표면 조도가 증가하였다. 표면 조도가 증가할수록 수소 기포의 핵생성 자리가 된 것으로 예측이 되는 표면적이 증가할 것이다.

계단형 시험 주조품을 절단하여 각각 Fig. 2에서 보이는 바와 같은 위치로부터 미세 조직 관찰용 시편을 얻어서 화상 분석 장치로 측정된 수소 기포의 부피 분율은 각각 Fig. 10에서 보이는 바와 같다. 전체적으로 수소 기포의 부피 분율이 1% 이하로 매우 낮게 나타났다. 조형할 때 물을 사용하는 자연사 주형과 생형으

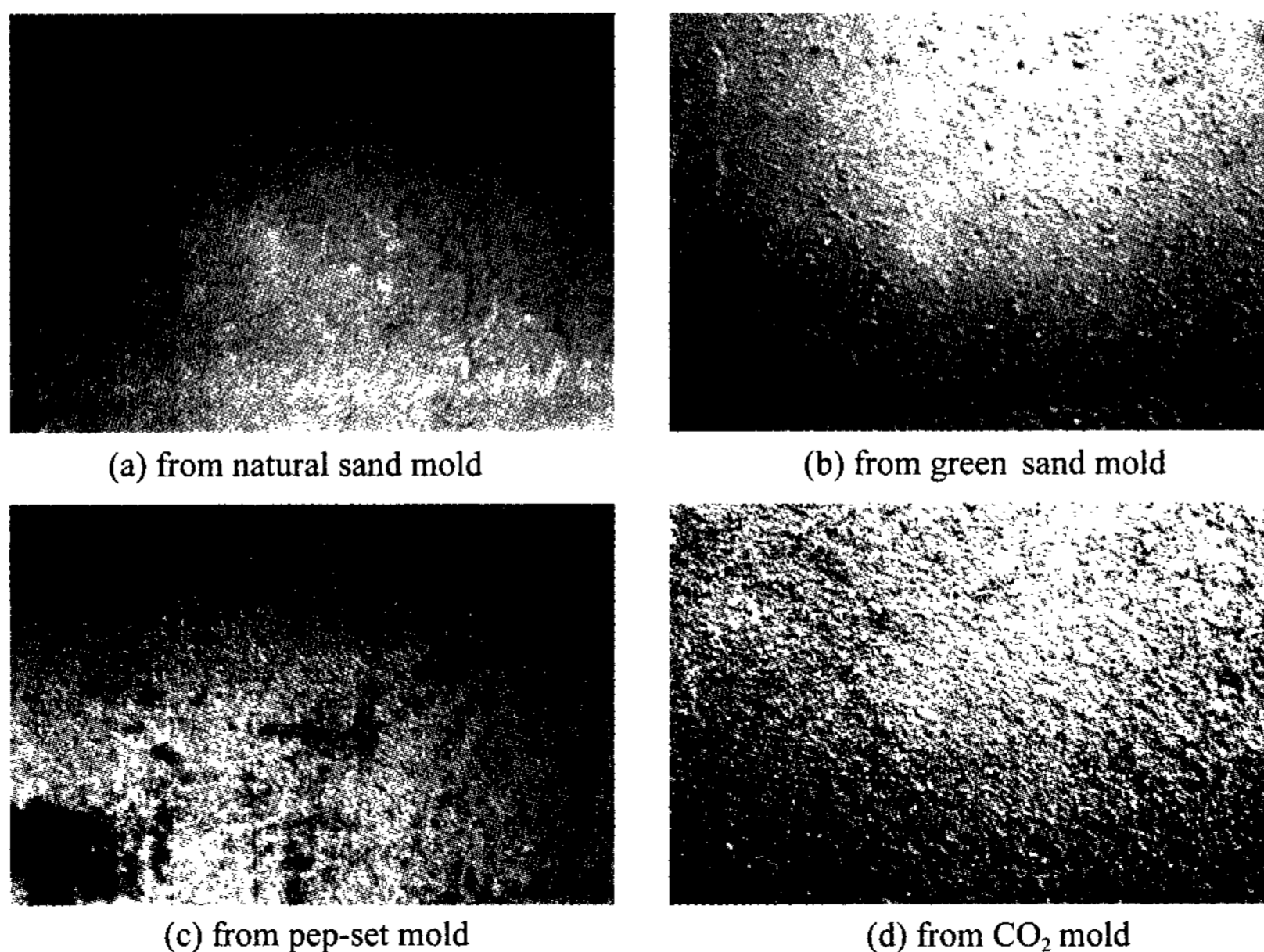


Fig. 9. Surface roughness of the step test casting from the melt poured into different mold after the melt treatment.

로부터 얻은 시험 주조품 내의 수소 기포의 분율보다 그렇지 않은 펩셋 주형과 CO₂ 주형으로부터 얻은 시험 주조품 내의 수소 기포의 분율이 더 낮았다. 이것은 사용한 수분의 영향이 크기 때문일 것으로 생각되었다. 자연사 주형의 수분의 양을 분석하였으며 그 양은 약 14.7 %였다. 조형할 때에 물을 사용하지 않은 펩셋 주형과 CO₂ 주형으로부터 얻은 시험편 중 수소 기포의 부피 분율을 보면 사용한 주물사의 입도가 큰 CO₂ 주형으로부터 얻은 시험 주조품으로부터 얻은 시험편 중의 수소 기포의 부피 분율이 더 큰 것을 알 수 있었다. 모든 경우의 수소의 부피 분율이 1% 이하로 매우 낮게 나타났으며 수소 기포의 핵생성 자리가 될 것으로 예상이 된 표면 조도가 큰 주조품 중의 수소 기포의 부피 분율이 더 큰 것으로 예상하였으나 이 인자의 영향보다는 조형시 수분의 사용 여부의 영향이 훨씬 더 큰 것으로 생각되었다. 그리고 이러한 두 종류의 인자의 영향보다 용탕 처리 후 탈가스 처리를 잘 하면 수소 기포 결함이 매우 적은 건전한 주조품을 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 결 론

AC4C 알루미늄 합금 용탕을 여러 가지 인자의 탈가스 처리 결과에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공업용 순도와 고순도의 질소 기체로 탈가스 처리한 경우 질소 기체의 순도는 탈가스 결과에 큰 영향을 미치지 않았다.
- 2.) 용탕을 730°C의 온도에서 8l/min의 취입 속도로 로터리 디개서의 회전 속도를 200 rpm에서 질소 기체를 22분 동안 취입하여 최적 탈가스 결과를 얻었다.
- 3) 용탕 유지 및 탈가스 처리 온도의 탈가스 결과에 미치는 영향은 크지 않았다.
- 4) 공정 규모의 개량화 처리는 탈가스 결과를 나쁘게 하였으며 결정립 미세화 처리는 탈가스 처리 결과를 개선하였다. 두 가지 용탕 처리를 동시에 할 경우 개량화 처리의 악영향보다는 결정립 미세화 처리의 탈가스 개선 효과가 더 큰 것으로 나타났다.
- 5) 자연사 주형 및 생형과 같이 조형시 물을 사용하는 주형의 경우가 펩셋 주형 및 CO₂ 주형과 같이 그렇지 않은 주형으로부터 얻은 주조품 중의 기포 결함이 훨씬 더 컸다. 주조품 표면의 조도가 클수록 주조

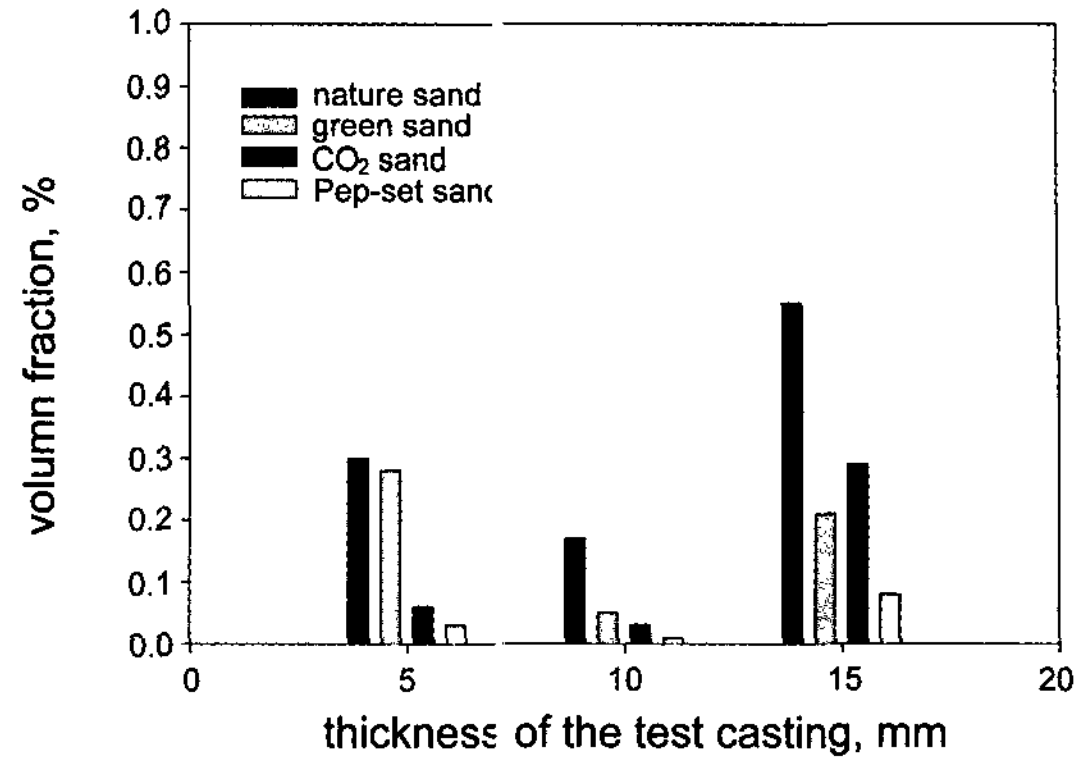


Fig. 10. Volume fractions of hydrogen porosity in the specimens obtained from step test castings solidified after having poured into the different molds after the melt treatments.

품 내 수소 기포의 부피 분율이 크기는 하나 이의 영향보다 수분에 의한 영향이 훨씬 더 컸다.

후 기

본 연구는 대농 금속의 지원으로 이루어졌으며 본 논문의 저자 중 이기준은 영남대학교의 '98 연구 조교로 배정되어 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] W. R. Opie and N. J. Grant. : Trans. AIME, vol. 188, pp1237-1241 (1950)
- [2] John E. Gruzleski and Eernard M. Closset : The American Foundrymen's Society, Inc. (1990)
- [3] F. C. Dimayuga, N. Handiak and J. E. Gruzleski : Trans. AFS, vol. 96, pp83-88 (1988)
- [4] E. L. Roby and E. F. Fischer : Trans. AFS, vol. 76, pp237-240 (1968)
- [5] B. Noble, A. J. Trowsdale and S. J. Haris : Chapman & Hall, pp5969-5978 (1997)
- [6] A. M. Samuel and F.H. Samuel : Trans. AFS, vol. 100, pp657-666 (1992)
- [7] J. Gruzleski, N. Handiak and H. Campbell : Trans. AFS, vol. 94, pp147-154 (1985)
- [8] "Aluminum Alloy Data book", Wabash Alloys (1996)
- [9] M. O. Pekguleryuz and J. E. Gruzleski : Trans. AFS, vol. 92, pp297-309 (1984)
- [10] E. V. Blackmun : Trans. AFS. vol. 79, pp63-68 (1971)
- [11] J. M. Kim, H. W. Kwon and C. R. Loper, Jr. : Trans. AFS, vol. 104, pp743-749 (1996)