

■■■■■■■■■■  
**論 文**  
 ■■■■■■■■■■

## 다이캐스팅 금형 공간 내의 감압도에 미치는 제 변수의 영향

김기영

### Effect of Evacuation Variables on Pressure Change in the Die Cavity

Ki-Young Kim

#### Abstract

There are two types of vacuum die casting, one is known as the chill block method, and the other is the valve block method. Efficiency of the valve block method is better than the chill block method. However purchasing and maintaining cost of the former one is very high, the latter method is popular in many small and medium die casting shops. Simple evacuation system using chill vent was prepared to investigate the effect of the air pressure, hose length and chill vent type on the pressure change in die cavity in this study. The rate of evacuation was influenced by the evacuation method, chill vent condition and hose length. Evacuation time became longer and vacuum level lower when evacuating cavity via chill vent. It took a longer time to evacuate the cavity when a longer hose was used. Vacuum level in the cavity also decreased with increase in hose length.

(Received April 3, 2000)

#### 1. 서 론

다이캐스팅은 고속, 고압으로 금형공간 내에 용탕을 압입하는 방법이므로, 주형 공간 내의 가스가 용탕 충전 시에 방출되지 않고, 금형공간 내에 남아서 다이캐스팅법의 최대결함인 기포 결함의 원인이 된다[1]. 다이캐스팅 주물 중의 가스함유량은 보통 다이캐스팅법에서는 15~30cc/100g 정도로[2,3], 이러한 가스는 작은 기공(氣孔)으로 존재하는데 주물 외표면에 발생하는 경우는 적으나 표면 직하에 존재하는 경우가 많으므로, 주물의 표면가공을 요하는 부품의 경우에는 불량률 증가의 가장 큰 원인이 된다. 또한 과도한 내부 가스량으로 인하여 용접 및 열처리가 불가능하여 높은 기계적성질 및 내압성이 요구되는 각종 기밀 보안 부품에의 사용이 제한되어 왔다.

이러한 결함을 원천 봉쇄하기 위하여 다양한 방법이 개발되었는데, 그 중 널리 쓰이고 있는 것이 진공 다이캐스팅법이다[4-6]. 실제 다이캐스팅 주조 시 금형공간내의 가스압력은 위치에 따라서 다르나 19.6~196.2 kPa(0.2~2.0 kg/cm<sup>2</sup>) 정도의 압력이 걸리는데[7], 용탕 충전 중에 금형공간 내를 배기, 압력을 낮춤으로

써 주입 중 발생하는 가스를 최대한으로 금형 밖으로 배출시키는 방법이다. 진공 다이캐스팅법에도 다양한 방법이 있는데[8], 두가지 조건이 필수적이다. 하나는 금형 공간 내의 배기가 충분하여야 하고, 또 하나는 용탕이 금형 밖으로 분출하지 않아야 한다는 것이다. 즉 급탕과 배기를 잘 조화시켜야하나 이 두가지는 서로 상충되므로 배기가 잘 되면서 급탕도 잘 되도록 각 메이커에서는 특수한 밸브를 개발, 금형에 설치하여 사용하고 있다[9]. 이러한 장치는 대개 고가이고 유지보수가 쉽지 않으므로 이보다 약간 성능은 떨어지나 밸브를 사용하지 않고 칠베트(chill vent)를 이용하여 금형 공간 내를 배기하는 방법이 널리 쓰이고 있다[10,11].

칠베트의 유로는 빨래판 모양의 띠모양이 있어서 여기를 지나는 동안 용탕이 응고하여 용탕이 금형 밖으로 분출하는 것을 막을 수 있으므로, 칠베트를 경유하여 단시간 내에 금형공간을 배기할 수가 있다. 이 장치는 간단하여 소규모의 공장에서도 큰 비용을 들이지 않고 활용할 수 있는 이점이 있으나, 중소형 다이캐스팅기를 대상으로 칠베트를 사용한 배기방법 및 그 효율에 대해서는 정량적으로 연구된 결과가 별로 없다.

본 연구에서는 공압 및 진공펌프를 이용한 진공배기 간이시스템을 제작한 후 공기 압력, 진공도, 배관호스의 길이, 칠베트의 조건 등을 달리하여 금형공간 내의 압력을 측정하고, 이 결과로부터 칠베트를 경유한 간이 진공 다이캐스팅법에 있어서 최적의 작업 조건을 제시하고자 한다.

## 2. 실험방법

그림 1은 실험장치 개략도이며, 실험조건은 표 1과 같다. 실험에서는 금형공간 크기, 사용 공압, 배관 호스의 길이, 칠베트 조건을 변화시켰다. 여기서 실제 금형을 사용한 것은 아니고 원통형의 용기를 사용하였는데 이후 금형공간이라 칭한다. 금형공간을 배기시키기 위한 장치로는 공압을 이용하여 진공을 만드는 이젝터(ejector) 또는 진공펌프를 사용하였고, 진공펌프를 쓴

경우에는 펌프를 금형에 직결한 경우와 진공저장용기를 통하여 연결한 경우로 나누어 그 영향을 측정하였다. 진공저장용기의 체적은 금형공간의 최대크기인 500 cm<sup>3</sup>의 20배인 100,000 cm<sup>3</sup>으로 하였다. 이젝터를 쓴 경우는 공압에 따라서 배기능력이 달라지므로 공압을 147 kPa에서부터 588 kPa까지 변화시켰다. 그리고 금형공간 크기는 100 cm<sup>3</sup>부터 500 cm<sup>3</sup>까지(Al합금으로 0.27 kg에서 1.35 kg), 배관호스의 길이(내경은 10 mm)는 1m에서부터 10m까지 변화시켰다. 단 이젝터를 쓴 경우는 이젝터를 금형공간에 또는 칠베트에 직접 연결하여 측정하였다. 또한 칠베트는 안쓴 경우와 쓴 경우로 나누어 그 결과를 측정하였는데, 쓴 경우는 칠베트 내부의 유로 단면적이 막힌 것, 1/3만 열린 것, 2/3만 열린 것, 전부 열린 것(단면적으로는 0, 8.3, 16.7,

Table 1. Summary of experimental conditions

variables	experimental conditions					
	A	B	C	D	E	F
vacuum pump	×	×	○	○	○	○
vacuum tank	×	×	×	×	○	○
ejector	○	○	×	×	×	×
chill vent	×	○	×	○	×	○
die cavity volume, cm <sup>3</sup>	100, 150, 250, 350, 400, 500					
hose length, m	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10					
air pressure, kPa	147, 196, 245, 294, 343, 392, 441, 490, 540, 588					
chill vent area, mm <sup>2</sup>	0, 8.3, 16.7, 25.0					

\*○: used, ×: did not used

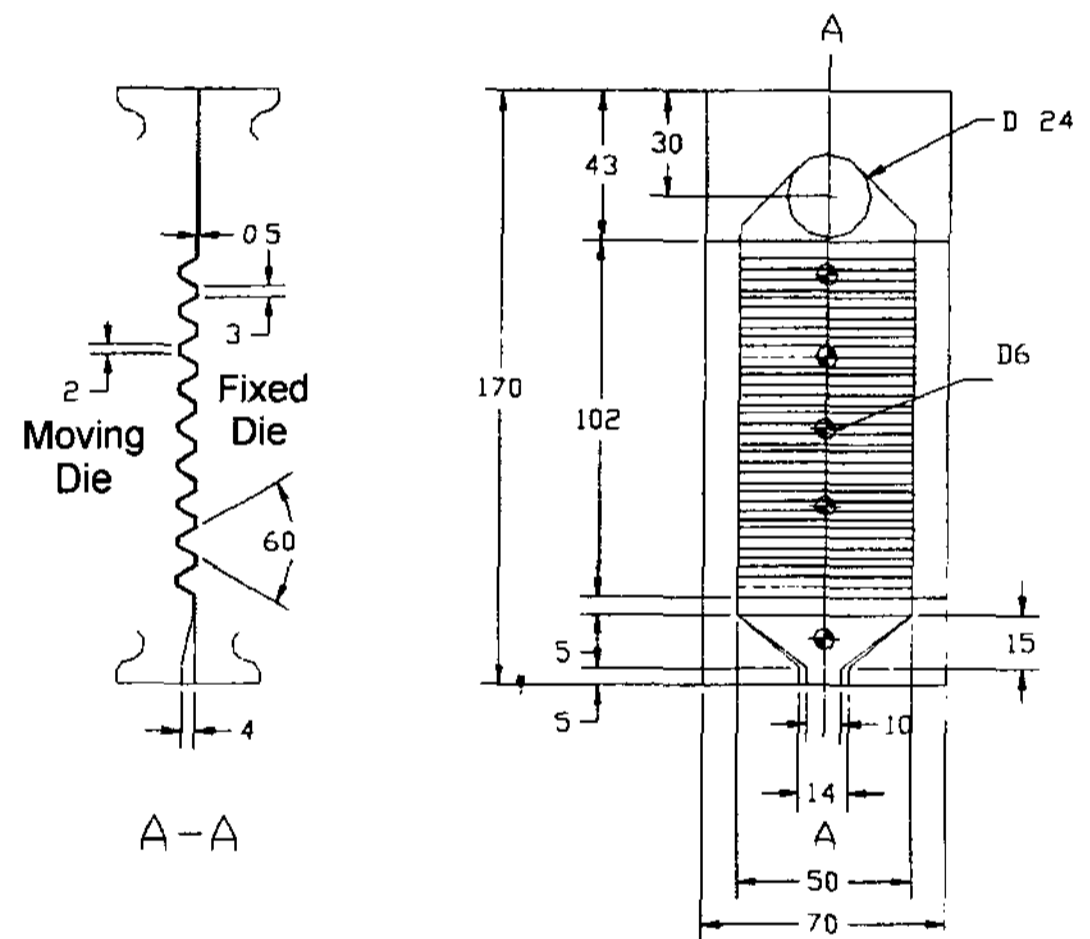


Fig. 2. Chill vent.

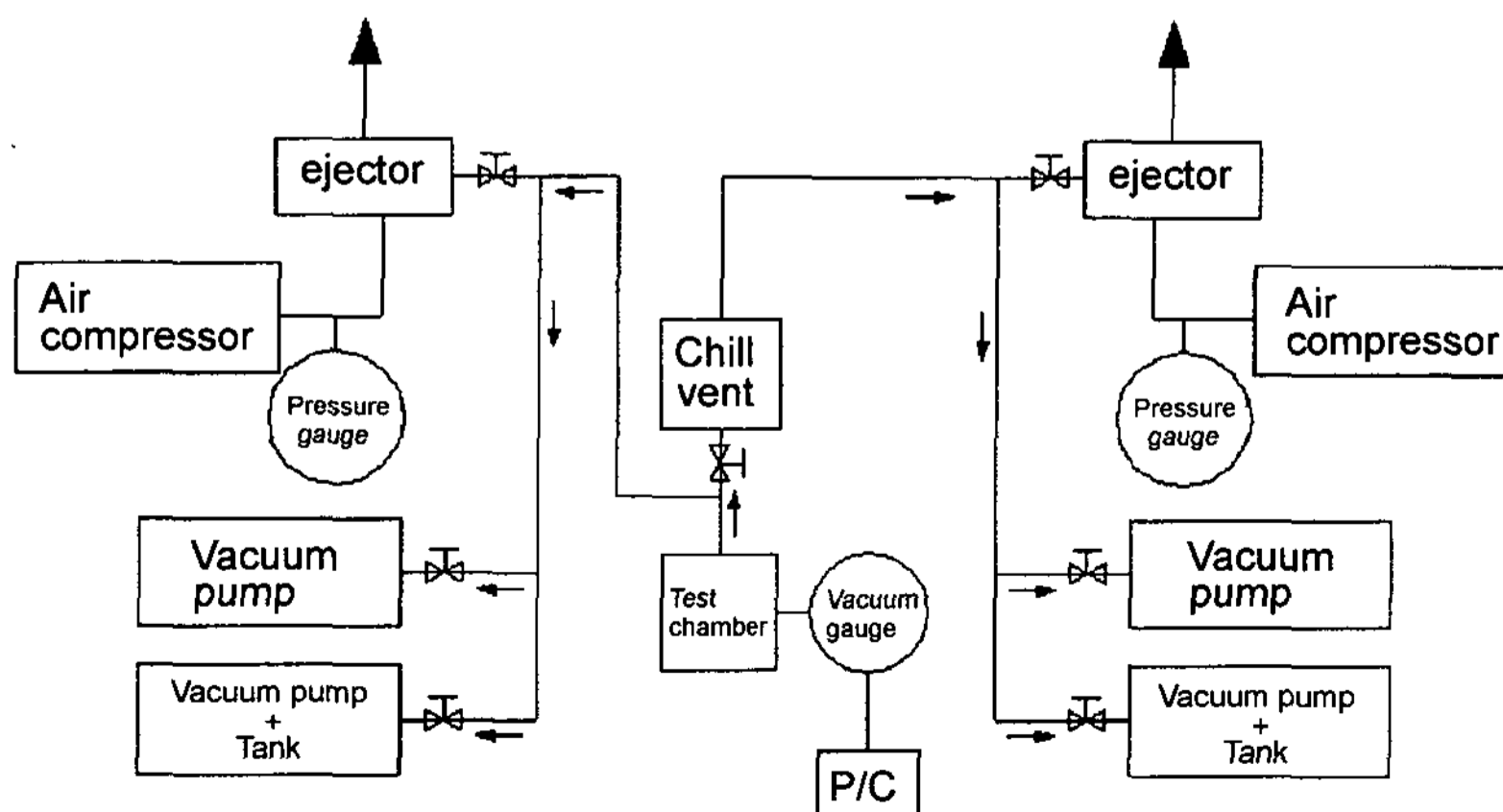


Fig. 1. Schematics of experiment

다이캐스팅 주물 핀(fin)이라든지 이형제 등의 축적 등에 의하여 유로의 일부가 막히는 것을 가정한 것이다.

칠베트의 크기는 내부 공간의 폭이 50 mm,凹凸이 10개, 두께가 0.5 mm인 것(그림 2)을 사용하였는데, 칠베트는 실제 다이캐스팅에서 사용할 수 있도록 2분할로 제작하였다. 칠베트를 사용하지 않는 경우는 금형공간 상부에 설치된 내경 8 mm의 파이프에 배기시스템을 직결하였다.

압력은 압력센서와 진공센서를 배관라인과 금형공간 중에 설치하고, 이를 P/C에 연결하여 측정, 기록하여 데이터를 처리하였다. 감압 소요시간은 배기 시작 후 일정압력에 도달하여 압력의 변화가 없을 때까지의 시간으로 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 이젝터만 쓴 경우

그림 3은 이젝터의 진공 배기능력을 나타낸 것으로(조건 A, B), 이젝터에 공급되는 공기의 압력이 높을수록 금형공간의 감압도는 증가하는데, 392 kPa(4 kg/cm<sup>2</sup>) 이상이 되면 큰 변화가 없었다. 칠베트를 경유하지 않은 경우는 감압도가 93.3 kPa(700 torr)이었고, 칠베트를 경유한 경우는 감압도가 65.3 kPa(490 torr)이었다. 따라서 이젝터의 진공배기능력에 소요되는 공압은 147 kPa (1.5 kg/cm<sup>2</sup>)와 392 kPa(4 kg/cm<sup>2</sup>)로 하여 실

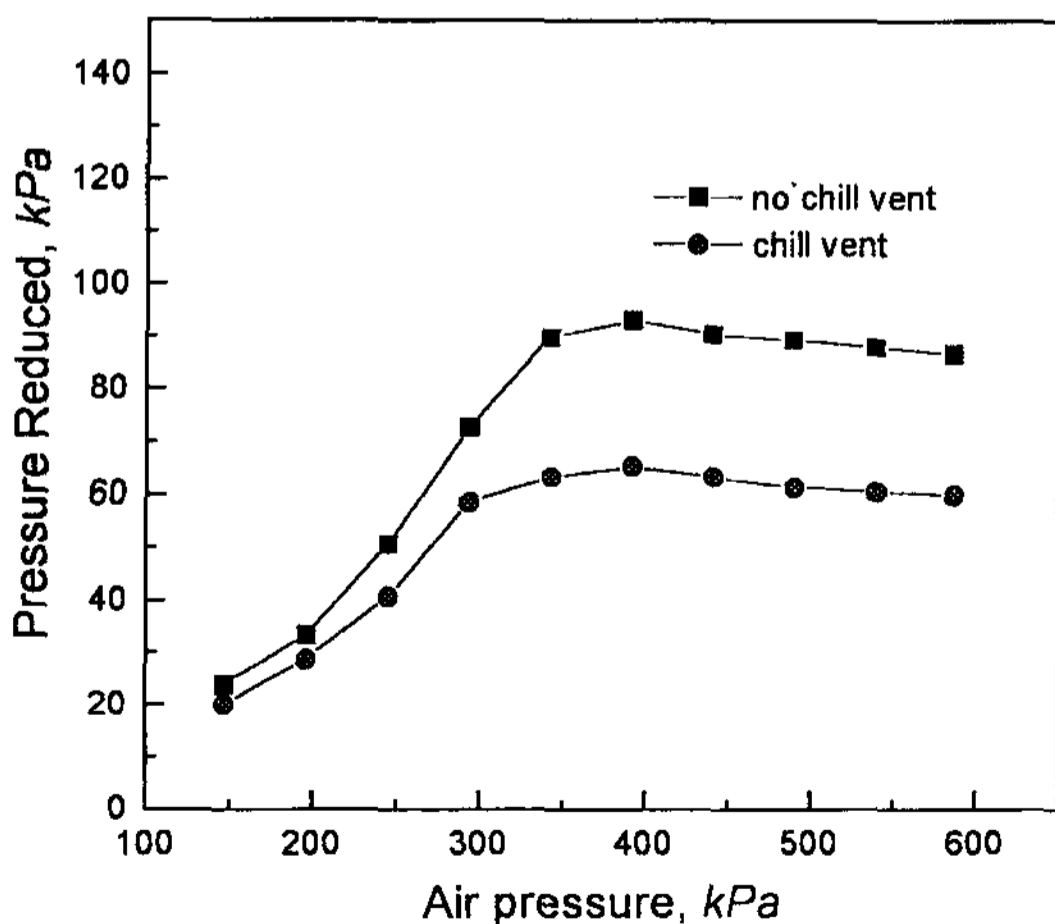


Fig. 3. Relation between air pressure and the pressure reduced in test chamber evacuating it with ejector under conditions of test chamber (chamber) volume: 500cm<sup>3</sup>, chill vent: fully open, hose length: 1m.

험을 하였다.

그림 4는 칠베트를 경유하지 않은 경우와 경유한 경우의 금형공간 크기에 따른 감압도를 나타낸 것이다. 금형공간 크기에 따른 감압도의 변화는 거의 없는데, 공기의 압력이 392 kPa(4 kg/cm<sup>2</sup>)일 때는 양자사이에 차이가 있으나, 147 kPa(1.5 kg/cm<sup>2</sup>)일 때는 차이가 별로 없었다. 그러나 감압소요시간은 금형공간 크기가 증가하면 길어졌는데, 공기의 압력이 392 kPa(4 kg/cm<sup>2</sup>)일 때, 감압소요시간은 1.7초~2.9초 정도로 변화하였다. 또한 칠베트를 사용하면 감압도가 감소하였는데, 이는 칠베트가 좌우로 2분할되어 있어서, 합형면에서의 누설이 있기 때문에 감소한 것으로 보이며, 실제 측정 시에 배기시간을 길게 하여도 감압도가 증가하지 않고 일정한 값을 유지하였다.

#### 3.2 진공펌프만을 쓴 경우

그림 5는 진공펌프만을 쓴 경우(조건 C, D)의 호스 길이에 따른 감압도의 변화로, 호스길이가 길어지면 칠베트를 경유하지 않은 경우는 감압도가 약 101 kPa(760 torr)으로 길이에 따른 변화가 없이 일정하였으나, 칠베트를 경유한 경우는 감압도가 63.9 kPa(480 torr)에서 55.9 kPa(420 torr)로 호스길이가 길어질수록 감소하고 있다. 도달시간은 두 경우 모두 호스길이가 길어질수록 증가하고 있는데, 칠베트를 경유하지 않은 경우는 1.7초에서 3.6초로 증가하였고, 칠베트를 경유한 경

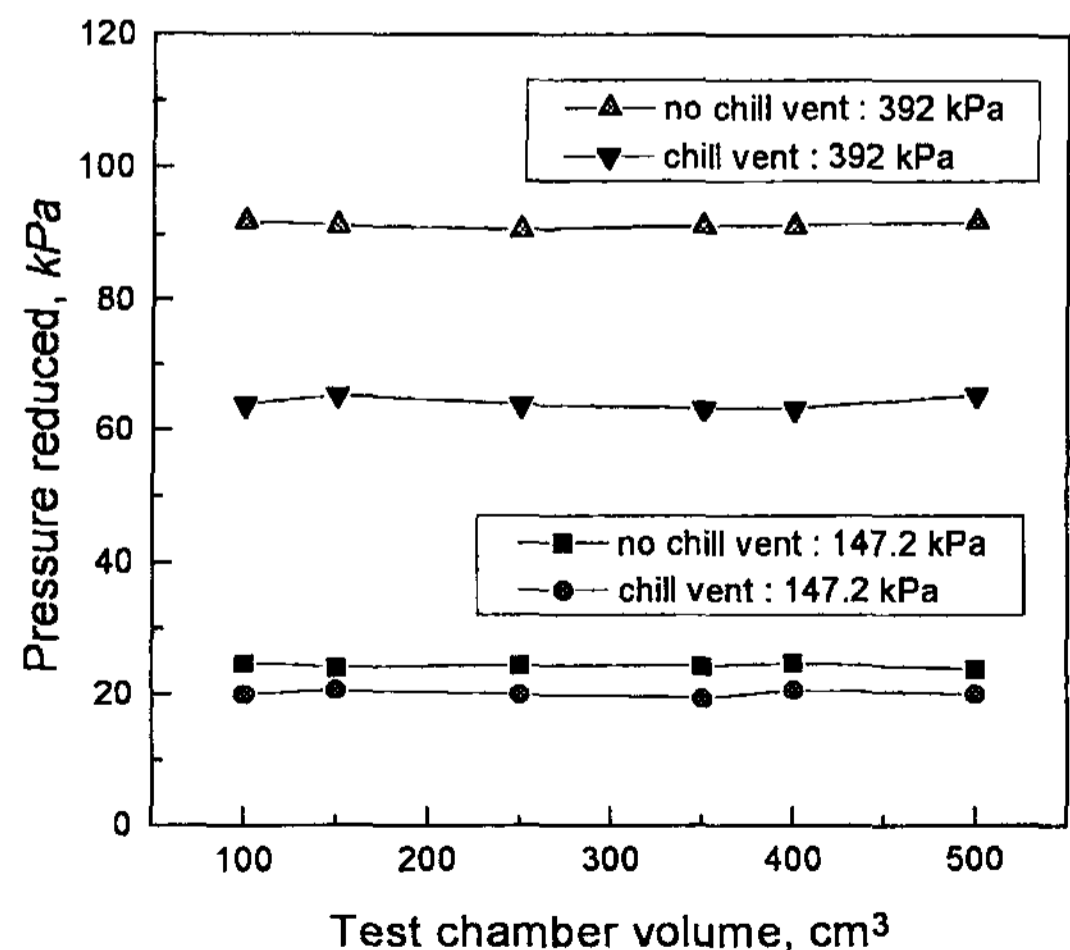


Fig. 4. Change of the pressure reduced in test chamber with test chamber volume evacuating it with ejector under conditions of chill vent: fully open, hose length: 1m.

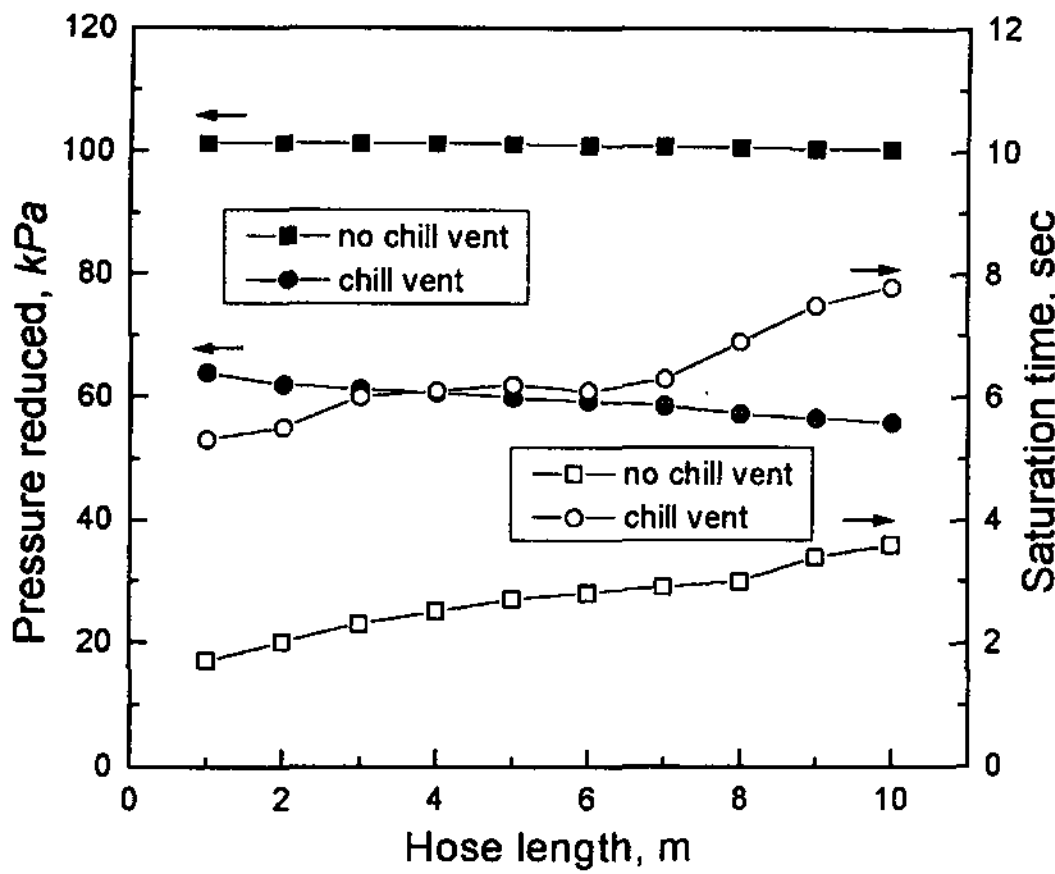


Fig. 5. Relation between hose length and the pressure reduced in test chamber evacuating it with vacuum pump under conditions of test chamber volume: 500cm<sup>3</sup>, chill vent: fully open.

우는 5.3초에서 7.8초로 증가하였다. 칠벤트를 경유한 경우에 감압소요시간이 증가하는 이유는 다음과 같이 생각된다. 칠벤트 내부의 유로는 용탕의 분출을 방지하기 위하여 각도를 가지고 여러 차례 꺾이게 만들어져 있는데, 배기하는 경우에도 마찬가지로 금형 공간 중의 공기가 밖으로 나오면서 칠벤트의 벽면에 충돌, 에너지 손실이 일어나므로 배기속도가 감소하여 칠벤트를 사용하면 배기시간이 증가하는 것으로 보인다.

그림 6은 칠벤트를 경유하지 않은 경우와 경유한 경우의 금형공간 크기에 따른 감압도를 나타낸 것이다. 금형공간 크기에 따른 감압도의 변화는 거의 없으나, 도달시간은 2.4초(100 cm<sup>3</sup>)에서 7.8초(500 cm<sup>3</sup>)로 증가하였다. 칠벤트를 경유하지 않은 경우는 호스길이에 따른 감압도의 변화가 없으나, 칠벤트를 경유한 경우는 호스길이가 짧을 때의 감압도가 약 6.7 kPa(50 torr) 정도 높게 나타나고 있다.

칠벤트 사용 시는 배기시간이 길어졌을 뿐만 아니라 감압도도 떨어졌는데, 호스길이에 따라서 감압도나 배기시간이 차이를 보이는 이유는 다음과 같이 생각된다.

실제로 배기되어야 하는 체적은 금형공간 체적 100~500cc + 호스 내부 체적으로, 다음 식을 이용하여 배기소요시간[12]을 계산하여 보면 표2와 같다.

$$\Delta t = 2.3\tau \log (P_1/P_2)$$

$\Delta t$  : 압력이  $P_1 \rightarrow P_2$ 로 되는 시간(sec)

$t$  : 시정수(V/S), V : 용기의 체적(m<sup>3</sup>),

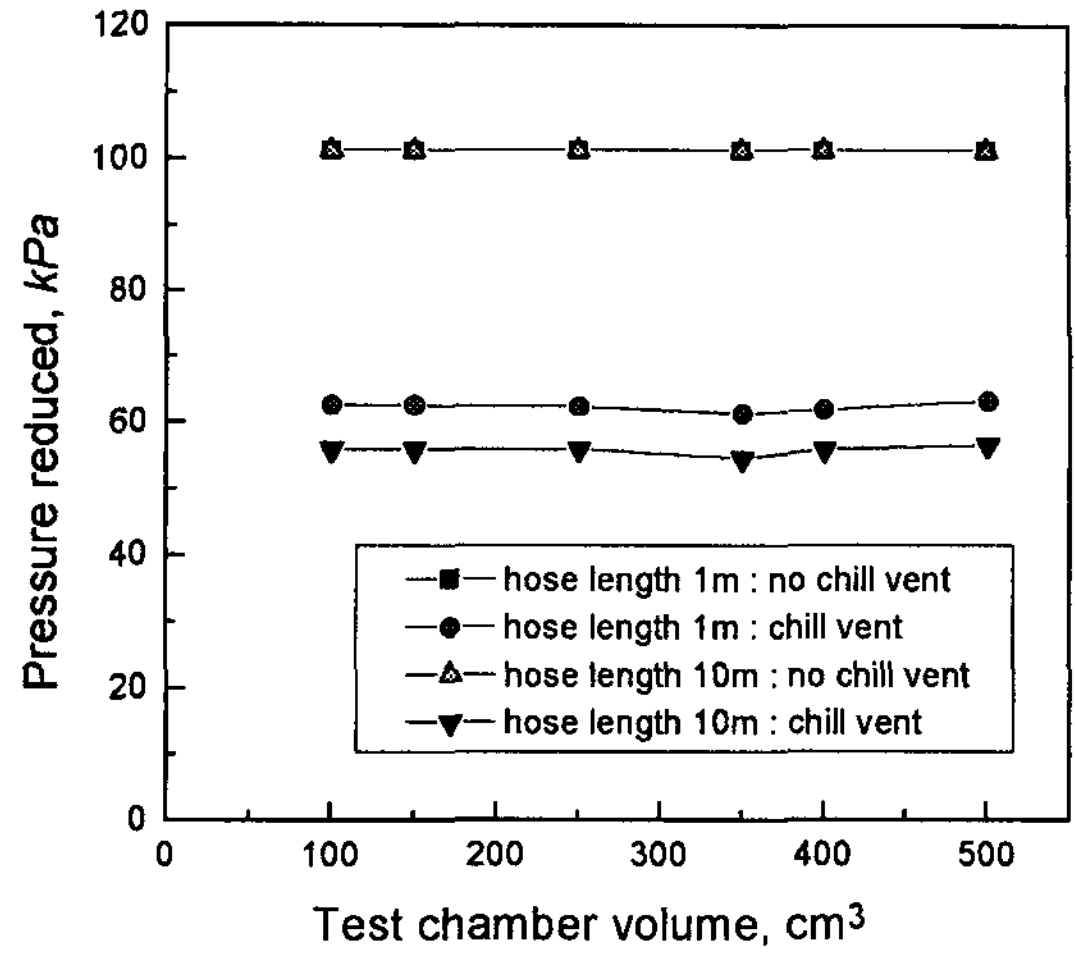


Fig. 6. Change of the pressure reduced in test chamber with test chamber volume evacuating it with vacuum pump under conditions of chill vent: fully open, hose length: 1m and 10m.

S : 배기속도(m<sup>3</sup>/sec)

표 2를 보면 호스의 체적이 금형공간 체적에 비하여 큰 것을 알 수 있는데, 배기체적이 증가하므로 배기시간은 증가하게 된다. 칠벤트를 사용하지 않았을 때에는 계산치와 측정치가 거의 일치하나, 칠벤트를 사용한 경우에는 계산치보다 배기시간이 길어지고 있는 것을 알 수 있다. 이는 칠벤트가 좌우로 2분할되어 있어서, 합형면에서의 누설의 영향 때문으로 보인다. 감압도도 떨어진 이유는 배기체적 500 cm<sup>3</sup>정도까지는 배기 능력에 미치는 칠벤트 합형면, 호스 연결부위에서의 누설의 영향이 적으나, 배기체적이 어느 정도 커지면 누설의 영향이 커져서 감압도가 떨어지는 것으로 생각된다. 즉 이러한 누설의 영향은 현재로서는 정량적으로 평가할 수가 없으나, 배기시스템의 능력과 누설량과 관계에서 누설량이 어느 임계치를 넘어서면 감압도는 감소하는 것으로 보인다.

### 3.3 진공펌프와 진공저장용기를 쓴 경우

그림 7은 진공펌프로 미리 진공배기하여 놓은 진공저장용기를 통하여 배기한 경우(조건 E, F)의 호스길이에 따른 감압도의 변화로, 호스길이가 길어지면 칠벤트를 경유하지 않은 경우는 감압도가 약 101 kPa(760 torr)으로 길이에 따른 변화가 없이 일정하였으나, 칠벤트를 경유한 경우는 감압도가 약 76.6 kPa(575 torr)에서

Table 2. Calculated and measured evacuation time with hose length

Hose Length m	Hose Inner Volume cm <sup>3</sup>	(Hose Inner + Chamber) Volume* cm <sup>3</sup>	Evacuation Time Calculated sec	Evacuation Time Measured** sec	
				Without Chill Vent	With Chill Vent
1	78	578	1.60	1.7	5.3
2	157	657	1.81	2.0	5.5
3	235	735	2.03	2.3	6
4	314	814	2.25	2.5	6.1
5	392	892	2.46	2.7	6.2
6	471	971	2.68	2.8	6.2
7	550	1050	2.90	2.9	6.3
8	628	1128	3.11	3	6.9
9	706	1206	3.33	3.4	7.5
10	785	1285	3.55	3.6	7.8

\* chamber volume : 500 cm<sup>3</sup>

\*\* evacuation by only vacuum pump : evacuation rate 100 l/min

\*\*\* P<sub>1</sub> : 1 atm (~100 kPa), P<sub>2</sub> : 1 kPa

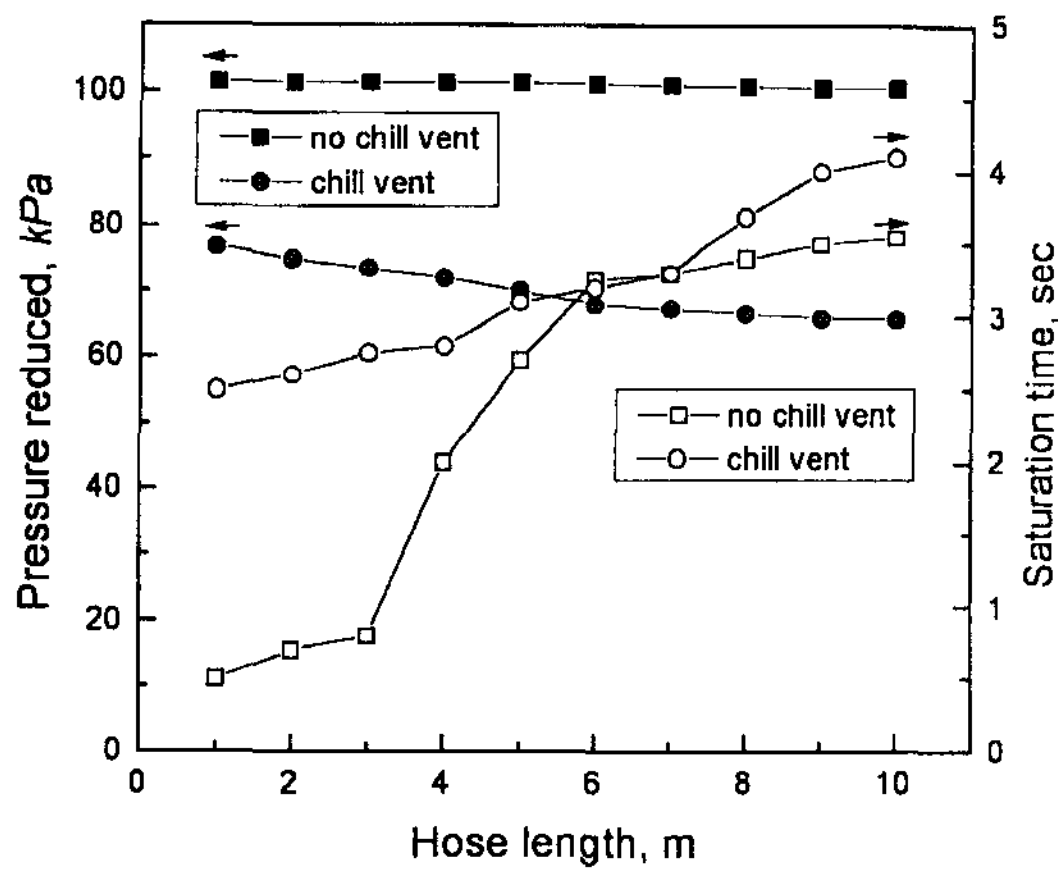


Fig. 7. Relation between hose length and the pressure reduced in test chamber evacuating it with vacuum pump with tank under conditions of test chamber volume: 500cm<sup>3</sup>, chill vent: fully open.

65.7 kPa(493 torr)로 길이가 길어질수록 감소하고 있다. 도달시간은 두 경우 모두 호스길이가 길어질수록 증가하고 있는데, 칠벤트를 경유하지 않은 경우는 0.5초에서 3.5초로 증가하였고, 칠벤트를 경유한 경우는 2.5초에서 4.1초로 증가하였다.

그림 8은 칠벤트를 경유하지 않은 경우와 경유한 경우의 금형공간 크기에 따른 감압도를 나타낸 것이다. 금형공간 크기에 따른 감압도의 변화는 거의 없으나, 도달시간은 1.3초(100 cm<sup>3</sup>)에서 2.5초(500 cm<sup>3</sup>)로 증가하였는데, 진공펌프만으로 배기한 경우의 2.5초~8초보다는 매우 빨라졌다.

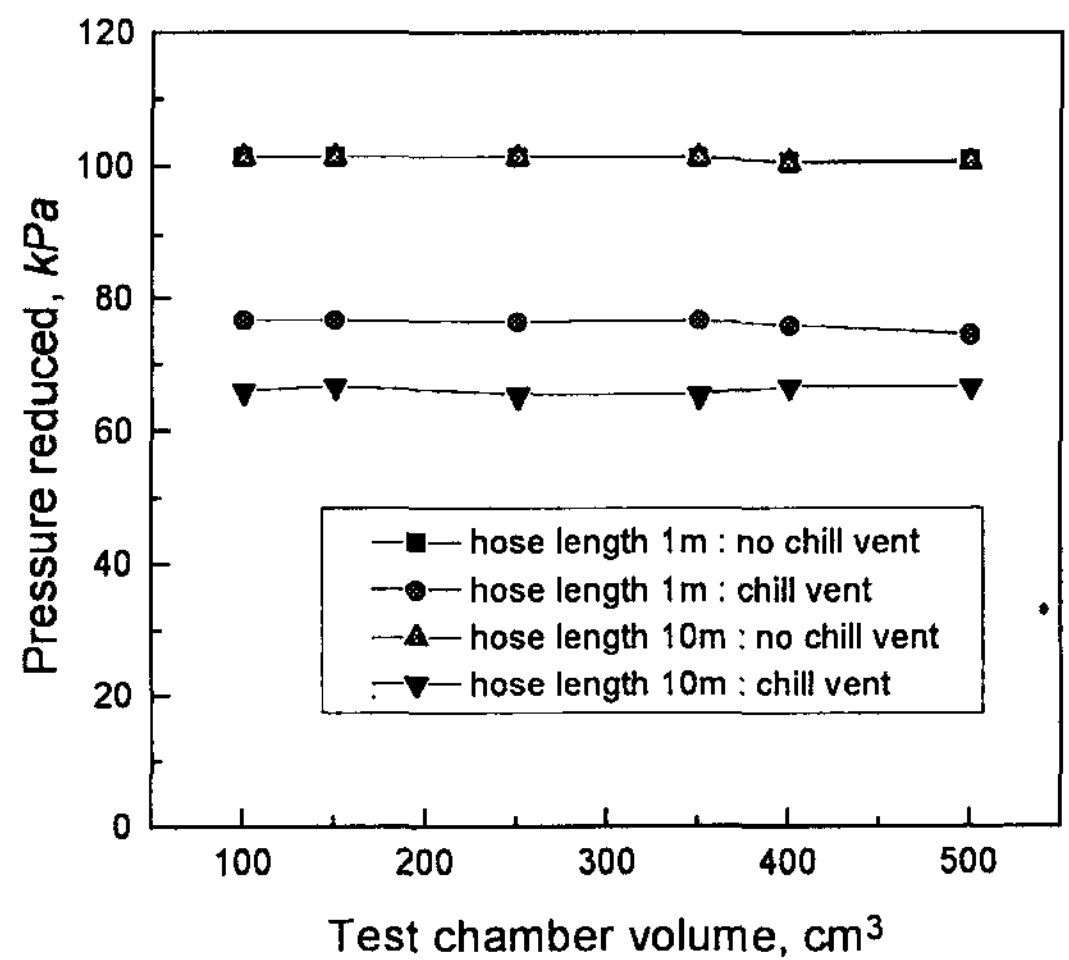


Fig. 8. Change of the pressure reduced in test chamber with test chamber volume evacuating it with vacuum pump with tank under conditions of chill vent: fully open, hose length: 1m and 10m.

칠벤트를 경유하지 않은 경우는 호스길이에 따른 감압도의 변화가 없으나, 칠벤트를 경유한 경우는 호스길이가 짧을 때의 감압도가 약 8 kPa(60 torr) 정도 높게 나타나고 있다. 3.2절의 진공펌프만을 쓴 경우와 비교하여 보면 칠벤트를 경유하지 않은 경우는 비슷하나, 경유한 경우는 진공저장용기를 사용하면 55.9 kPa~63.9 kPa(420~480 torr)에서 65.7 kPa~76.6 kPa(493~575 torr)로 감압도도 높아지고 그 도달시간도 약 1/2이하로 단축이 되고 있다.

상기한 바와 같이 칠벤트를 경유하지 않은 경우의

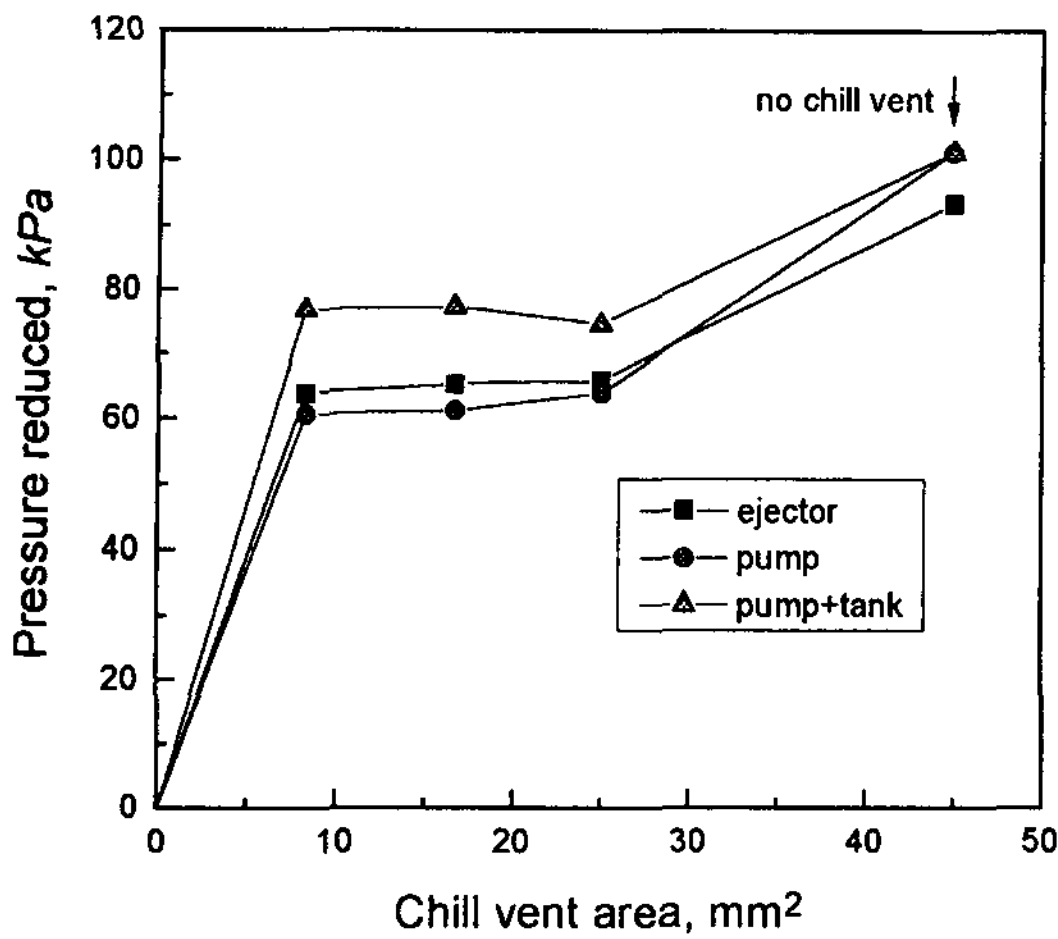


Fig. 9. Change of the pressure reduced in test chamber with chill vent area evacuating it with various evacuation methods under conditions of test chamber volume: 500cm<sup>3</sup>, hose length: 1m.

감압도는 진공펌프만을 쓴 경우와 비슷하나, 경유한 경우는 진공저장용기를 사용하면 감압도도 높아지고 그 시간도 단축이 되고 있는 것으로 보아서, 칠벤트를 사용한 경우는 합형면 및 호스연결부위에서의 누설, 凹凸부의 공기의 흐름에 대한 저항 등의 저해 요인이 있지만, 단시간 내에 대량으로 배기할수록 감압 효과가 있는 것으로 보인다.

### 3.4 칠벤트 조건에 따른 변화

그림 9는 칠벤트 유로 단면적에 따른 3.1절~3.3절의 조건에서 측정된 감압도를 나타낸 것으로, 금형공간 체적은 500 cm<sup>3</sup>이고 호스 길이는 1m로 한 결과이다. 세 가지 경우 모두 칠벤트를 경유하지 않은 경우에 비하여 경유한 경우는 감압도가 낮아졌다. 그러나 칠벤트 단면적이 감소함에 따른 감압도의 변화는 그다지 크지 않았는데, 감압소요시간은 2.5초에서 4초 정도로 단면적이 감소하면서 증가하였다. 칠벤트가 완전히 막힌 경우는 전혀 금형공간 내의 감압이 이루어지지 않았다. 실제 다이캐스팅 조업에서 칠벤트가 완전히 막히는 경우는 종종 일어날 수 있는데, 그 주된 이유는 전회 쇼트에서의 주물 핀(fin)이 떨어져 나가지 않고 붙어 있는 경우이다.

다이캐스팅의 기포 결함 저하를 위한 진공 다이캐스팅에서는 금형공간 내의 감압도와 그 시간이 중요하다. 금형공간 내의 압력과 다이캐스팅 가공면에 나타나는

기공용적의 관계를 문헌에서 보면 공간내의 압력이 감소하면 기공용적이 감소하다가 40 kPa(300 torr) 이하가 되면 일정한 값을 나타내고 있는데[8], 본 연구에서의 감압 후의 금형공간 내 압력은 대부분의 경우에 감압도가 60 kPa(450 torr)을 초과하므로 금형공간 내의 압력은 40 kPa(300 torr) 이하가 되어 다이캐스팅의 기포 결함 저하에 유효한 압력임을 알 수 있다.

다이캐스팅의 사이클타임은 중소형기에서는 30초 내외인데, 금형이 달히고 레들로 용탕을 퍼서 주입이 완료 될 때까지의 시간은 4초 내외이다. 따라서 본 연구에서의 금형공간 배기 방법을 활용하기 위해서는 칠벤트와 진공저장용기 간의 길이를 가능한 한 짧게 하여야 하며, 감압에는 시간이 2초 이상 요구되므로 실제 다이캐스팅 작업에서는 이 시간을 고려하여 감압을 미리 시작하여야 한다.

## 4. 결 론

다이캐스팅의 기포결함 저하를 위하여 칠벤트를 사용한 진공다이캐스팅법을 효율적으로 활용하기 위한 기초 자료로서, 공압 및 진공펌프를 이용한 진공배기 간 이시스템을 제작하여, 공압력, 감압도, 배관호스 길이, 칠벤트의 조건 등을 달리하여 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 대부분의 실험조건에서 금형공간 크기에 따른 감압도의 변화는 거의 없었으나, 그 도달시간은 증가하였다. 그러나 배관호스 길이가 길어지면 감압도는 감소하였고, 그 도달시간은 증가하였으며, 칠벤트를 쓸 경우는 쓰지 않는 경우보다 감압도가 낮고, 그 도달시간이 길어졌다.

2) 금형공간 체적이 500 cm<sup>3</sup>이고, 칠벤트에 진공펌프만을 쓴 경우는 진공도달시간이 호스길이에 따라 5.3~7.8초 정도 소요되었고, 감압도는 55.9~63.9 kPa(420~480 torr)이었으며, 칠벤트에 진공펌프와 진공저장용기를 쓴 경우는 진공도달시간이 호스길이에 따라 2.5~4.1초 정도 소요되었고, 감압도는 65.7~76.6 kPa(493~575 torr)이었다.

## 참고 문헌

- [1] W. G. Walkington: Die Casting Defects, NADCA (1997) 43.

- [2] K. Tomita et al: J. of Japan Institute of Light Metals 19 (1981) 186.
- [3] Y. Shinada et al: Imono,61(1989) 920.
- [4] M. Ebisawa: Sokeizai(1995) 27.
- [5] G. Zaiss: SDCE 13th International Die Casting Congress, Milwaukee,WI(1985) G-T85-071
- [6] G. Sakamoto and M. Sose: SDCE 13th International Die Casting Congress, Milwaukee, WI(1985) G-T85-034
- [7] Y. Yamamoto et al: J. of Japan Institute of Light Metals 39 (1989) 21.
- [8] Sokeizai center: Production Technology of Light Casting and Die Casting (1994) 375
- [9] K. Baumgartner: Vacuum High Technology for Top Quality Pressure Diecastings: 15th International Pressure Diecasting Conference, Montreux, Switzerland (1996) paper No. 28.
- [10] H. G. Brogden: SDCE 10th International Die Casting Congress, St. Louis. Missouri(1979) G-T79-093
- [11] N. Tsumagari and A. Nitz : NADCA transactions, T97-045, 113.
- [12] Ulvac Co. : Vacuum Handbook(1982), 34