

|||||||
技術資料
|||||||

국부가압 다이캐스팅 주조기술

김억수 · 이광학^{†*}

Local Squeeze Diecasting Technology

Eok-Su Kim and Kwang-Hak Lee^{†*}

1. 서 언

정밀한 금형에 용탕을 압입시켜 고정도의 주조표면이 미려한 주물을 대량 생산하는 다이캐스팅법은 그 효과가 매우 커 산업 전반에 걸친 폭 넓은 파급이 이루어지고 있다. 그러나 용탕의 단시간 고속 충전, 이형제의 열분해에 따른 증발가스의 발생 및 금형내의 공기 혼입, sleeve 내에서 발생하는 파단 chill층의 분산 등에 의한 porosity나 응고조직의 불 균일성 등의 주조결함이 발생하고, 사출 응고시 탕도부가 선행 응고되어 생성된 수지상과 망상조직 중에 발생하는 응고수축에 대한 용탕 보충이 어렵기 때문에 다량의 수축결함이 발생된다. 또한, 다이캐스팅법은 이러한 주조결함의 영향으로 열처리가 불가능하여 기계적 성질의 향상을 기대할 수 없는 등, 주조합금의 본래 강도를 안정되게 재현하기가 어려운 실정이다. 따라서 일반 다이캐스팅법을 개선하고 품질을 향상시킨 새로운 다이캐스팅법의 개발이 당면과제로 대두되었으며 다이캐스팅 제품을 고품질화 하는 특수 다이캐스팅법(표 1, 2)은 1950년대부터 선진국을 중심으로 고안이 되었으며, 1970년대에 들어 많은 방식이 개발되어 현재에 이르고 있다.

이러한 특수다이캐스팅법은 크게 종래의 고속 충전의 개념을 계승시킨 방법과 저속 충전하는 방법으로 구분할 수 있으나, 본고에서는 일반 다이캐스팅의 고속 충전의 생산성이 높은 개념을 계승한 특수다이캐스팅법 중 최근들어 그 적용이 폭넓게 증가되고 있는 국부가압 다이캐스팅법에 관한 효과적인 적용을 위한 설

계기술 및 주조기술에 관하여 소개 하고자 한다.

2. 국부가압다이캐스팅법의 기본원리 및 구조

제품형상에 의해 porosity 발생이 쉬운 후육부의 품질을 개선하기 위한 공법으로 1984년경부터 일본京都다이캐스팅(株), TOYOTA, HONDA, 日本電裝, 日本輕金屬(株) 등에서 각기 개발되어 보고되고 있다.

일반다이캐스팅법은 금형에 용탕을 압입시켜 단시간에 응고 완료되고, 얇은 gate 부가 선행응고하기 때문에 plunger의 고압력이 cavity에 미치는 영향은 매우 적어진다.

따라서 이론적으로도 제품 각부를 동일시간에 응고시키는 것은 불가능하며, 현재 주조조건 등의 선택적 상황을 이용하여도 후육부는 1.5배 정도의 응고시간이 소요되므로 후육부의 수축공 등 주조결함 발생은 필연적이라 할 수 있다. 이같은 문제점의 개선책으로는 수축공 발생이 쉬운 boss부나 후육부 등의 후가공 되는 부위에 용탕충진 직후의 timing에 맞게 가압cyclinder 등에 의해 가압 plunger를 압입하여, 용탕을 가압하여 줌으로써 수축공 등의 주조결함을 제어하는 방법이다. 가압효과를 높일 때에는 가압압력, 시간 및 속도 등이 중요하며, 적정조건 확립시 충분한 효과를 기대할 수 있지만, 제품에 혼입된 가스량의 근본적 제어는 어렵기 때문에 열처리는 불가능하다. 이 방법의 주조Mechanism을 그림 1에 나타내었고, 그림 2에서는 이 방법을 적용하여 개선한 부품사례(동남정밀(주))를 보였다.

동남정밀(주)기술연구소(Dong-Nam Precision Co., Ltd.)

*울산대학교 첨단소재공학부(The School of Materials Science and Engineering, University of Ulsan)

[†]E-mail : kwanghak@mail.ulsan.ac.kr

표 1. 특수다이캐스팅의 발전사

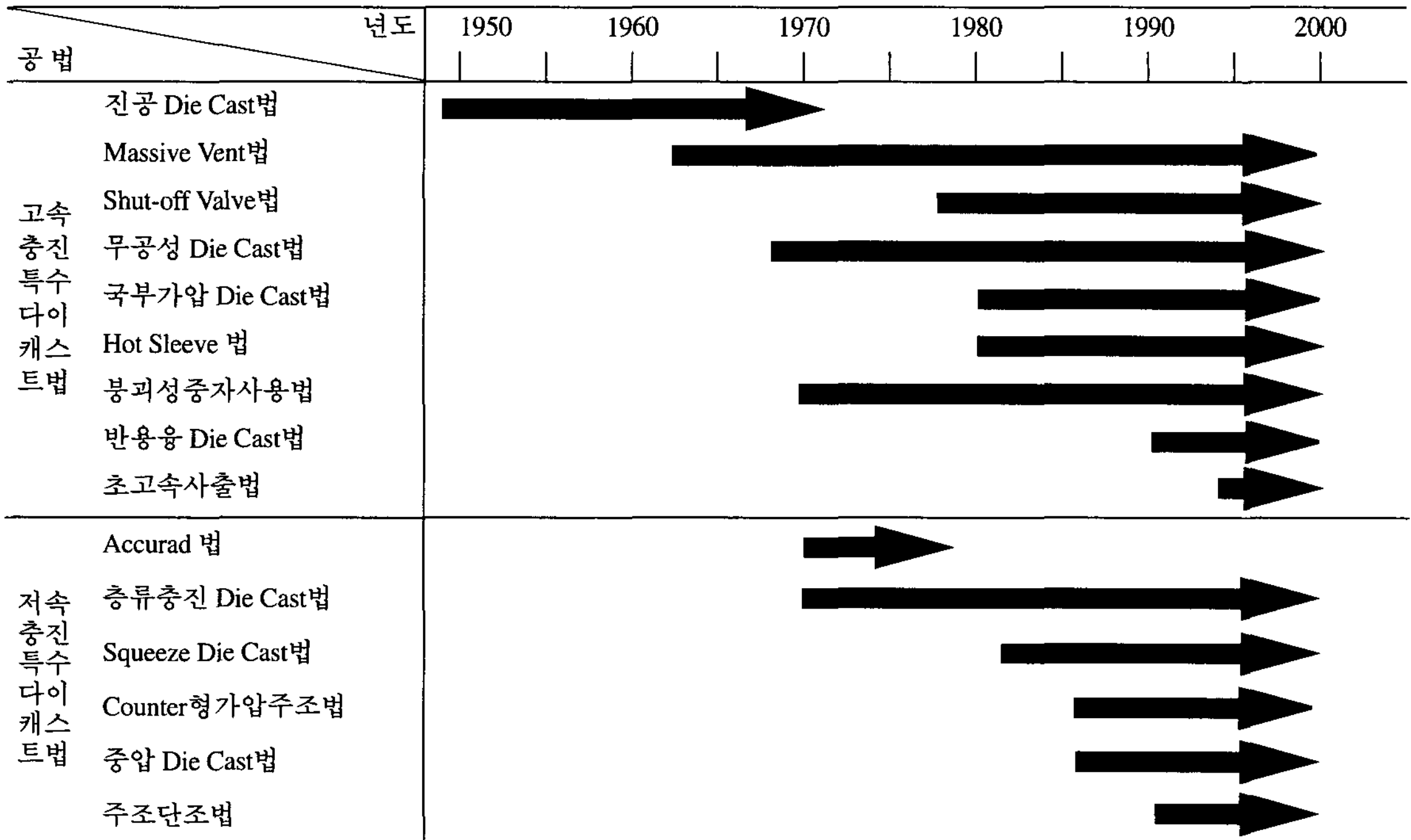


표 2. 특수다이캐스팅법의 특성과 개발목적

구분	탕구속도 (m/s)	탕구두께 (mm)	가압력,가압방식 (kgf/cm ²)	주입온도 (°C)	이용목적		
진공 Die cast법	30~60	0.5~2.5	500~700(Plunger 1단)	620~660	Porosity 및 Blow Hole 감소		
고속충진특수다이캐스팅법	Massive Vent법	↑	↑	↑	"		
	Shut-off Valve법	↑	↑	500~1,000	↑	"	
	무공성 Die Cast법	↑	↑	500~1,000(활성가스치환)	↑	"	
	국부가압 Die Cast법	↑	↑	500~1,000(3,000~6,000)(Plunger, Cylinder)	660~700	Porosity(shrinkage)감소	
	Hot Sleeve법	↑	↑	500~1,000(Plunger 1단)	↑	파단 Chill층감소	
	반용융 Die cast법	30~100	-	800~1,500	570~600	조직품질향상	
	붕괴성 중자 사용법	~30	0.5~2.5	300~700	660~700	Under-cut제품제조	
	초고속사출Die cast법	30~150	↑	500~1000(plunger 2단,다단)	620~700	Porosity미세분산조직미세화	
	저속충진특수다이캐스팅법	Accurad법	0.3~2.5	5~15	500~1,000(Plunger 2단)	700~720	Porosity 및 Blow Hole감소
		층류충진 Die cast법	0.5~0.7	↑	500~1,000(Plunger 1단)	700이상	"
경전식 Squeeze법		0.2	↑	1,000~2,000(직접압입)	700~750	"	
Counter식 가압법		~2	-	300~500(가압,Counter Plunger)	700~720	"	
중압 Die Cast법		~2	-	50~2,000(Plunger, Cylinder)	↑	"	
주조단조법		주조공법에 따라 상이	-	열간단조 (forging ratio:30%이상)	-	주조결함 zero화 조직미세화	

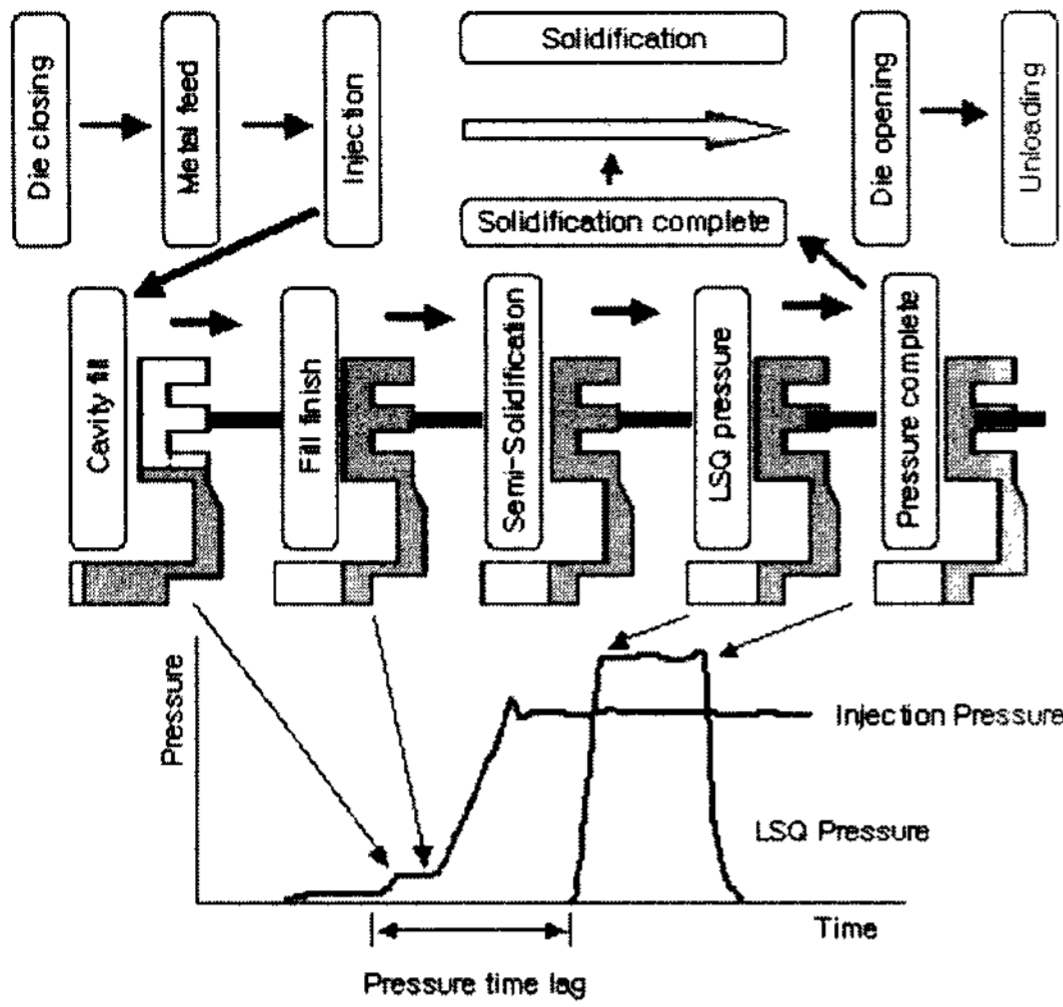


그림 1. 국부가압다이캐스트법의 기본 Mechanism도.

3. 국부가압주조법의 기본설계원리

국부가압법을 적용하는 것으로만 품질을 높일 수 있다는 사고 보다는 국부가압을 통하여 기대할 수 있는 효과를 사전에 면밀히 검토하여 국부가압의 효과를 극대화할 수 있도록 국부가압 영향 인자들을 상세히 경험적이고 산술적인 자료를 기초로 충분한 검토가 되어야 한다.

3.1. 가압력의 효과범위

국부가압을 통하여 주조결함을 제어할 수 있는 효과적인 가압력의 파급 영역으로는 압입부를 중심으로(표 3)에서 보인바와 같이 최대 반경 40 mm이며 t_2 의 두께나 Al합금의 특성에 따라서는 그 이상 영역으로의 파급도 기대할 수 있다.

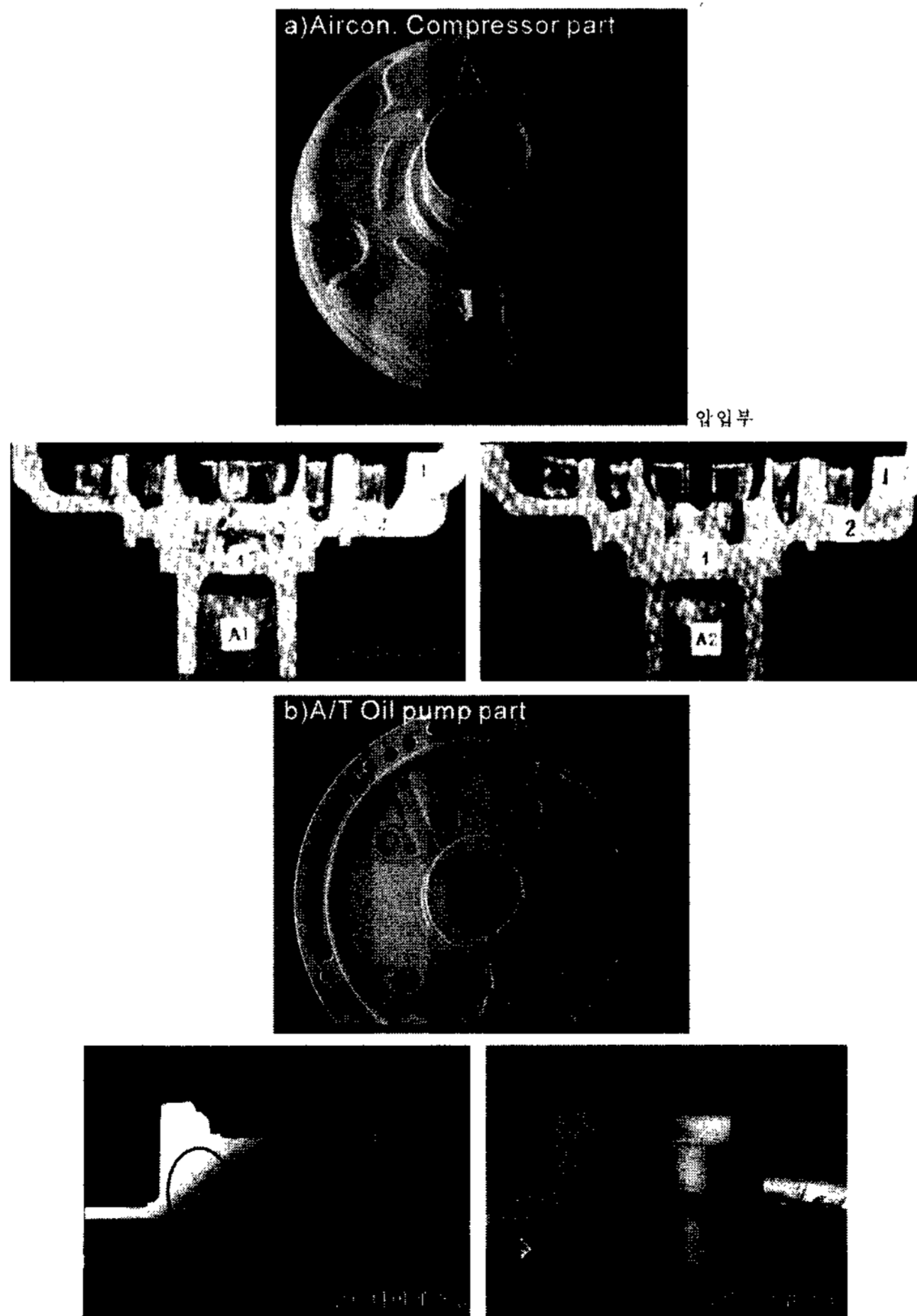


그림 2. 국부가압다이캐스트 적용사례

표 3. 파급범위

	압입부와 연결되어 있는 제품부의 두께 t_2 (mm)	압입부와 연결되어 있는 제품부의 단면적 ⁽¹⁾ A(mm ²)	파급범위 (mm)
1	4 미만	20 미만	압입부주위 ⁽²⁾
2	4~6	20~50	반경 25
3	6 이상	50 이상	반경 40

(1)[압입부와 연결되어 있는 제품부의 단면적 A]는, 압입부의 두께 t_1 에서 두께 t_2 로 변화하는 부분의 단면적을 말함.

(2)[압입부주위]는, 두께 t_1 의 부분을 말함. 두께 t_2 가 얇을 경우 용탕이 빨리 응고되기 때문에, 가압하여도 압력의 전달이 어려워 LSQ핀 주위에만 가압효과가 나타난다

3.2. 국부가압의 필요 압입량

국부가압을 이용하여 효과적인 결함제어를 위해서는 국부가압을 필요로 하는 량(체적)이 얼마정도인가를 정확히 산출해야 한다. 따라서, 먼저 가압효과를 기대하는 영역의 제품 체적을 구한 후 일반다이캐스트법에서 그 체적당 발생하는 수축등의 구조결함의 발생율을 도입하여 가압을 필요로 하는 체적을 구하면 설계하고자 하는 LSQ(Local Squeeze) Pin의 Size나 LSQ의 Stroke을 산출할 수 있다.

$$V_{LSQ} \geq V \times 0.06$$

V : 가압의 효과를 기대하는 영역의 제품 체적
(제품 or 도면에서 산출)

V_{LSQ} : 가압을 필요로 하는 체적

0.06: 일반다이캐스트법에서 발생하는 구조결함을 $\times 2$ 배
(경험치)

3.3. 국부가압부의 형상설계

국부가압을 필요로 하는 체적(V_{LSQ})을 산출하면 가압pin의 경이나 Stroke을 결정할 수 있다. 그리고 가압부의 효과를 높이기 위해 가압pin의 선단부를 가능한 구형으로 설계하면 효과적이며(그림 4 참고), 가압pin부의 기본 형상설계는(그림 5)를 참고하면 된다.

또한, 국부가압을 이용한 연속양산주조를 위해서는 무엇보다도 pin과 bush의 치수공차가 중요하며(표 4 가압pin과 bush의 공차 참조), 원활한 작동성과 강성유지를 위한 bush의 설계(그림 6) 및 가압pin과 coupling의 공차(그림 7)설계 및 관리가 trouble이 없는 양산주조를 가능하게 한다.

3.4. 국부가압력의 설계

압입시 국부가압 pin에 가하는 압력은 최소 2000 kgf/cm² 이상이 되도록 설계되어야 하며, 경험적으로 3000~6000 kgf/cm² 정도의 가압력을 갖도록 설계하면

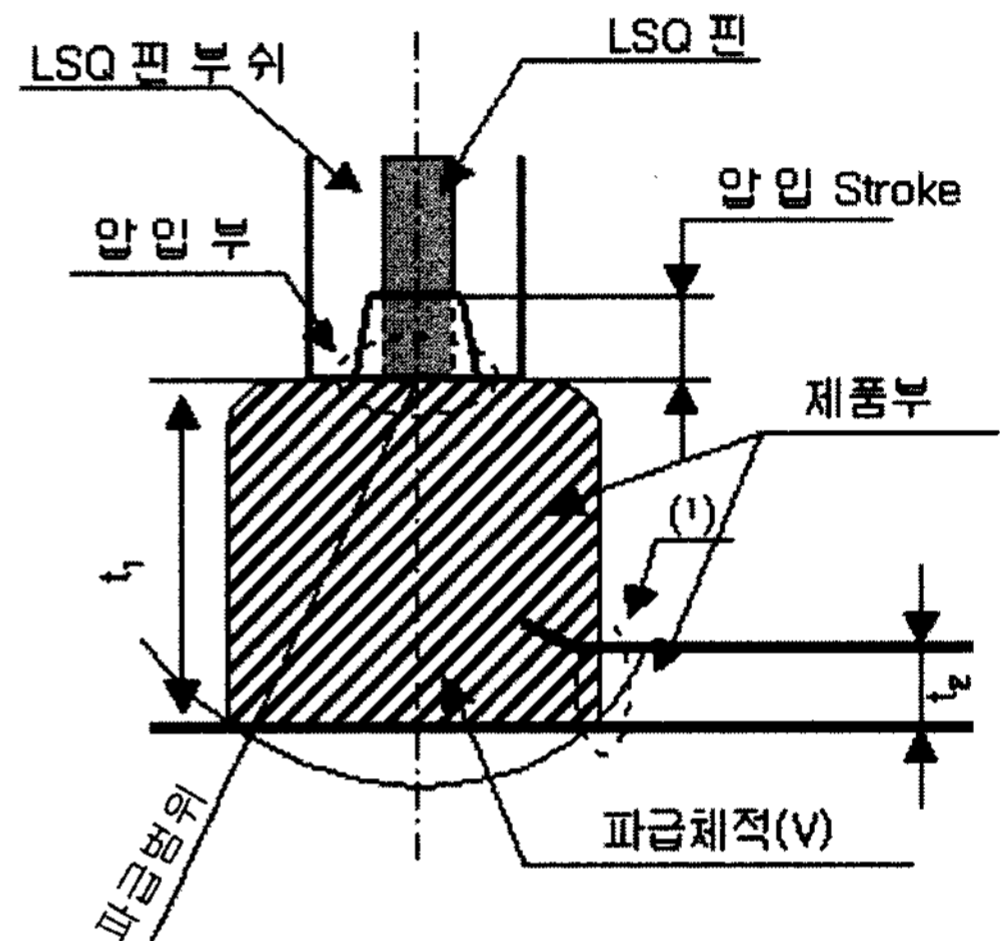
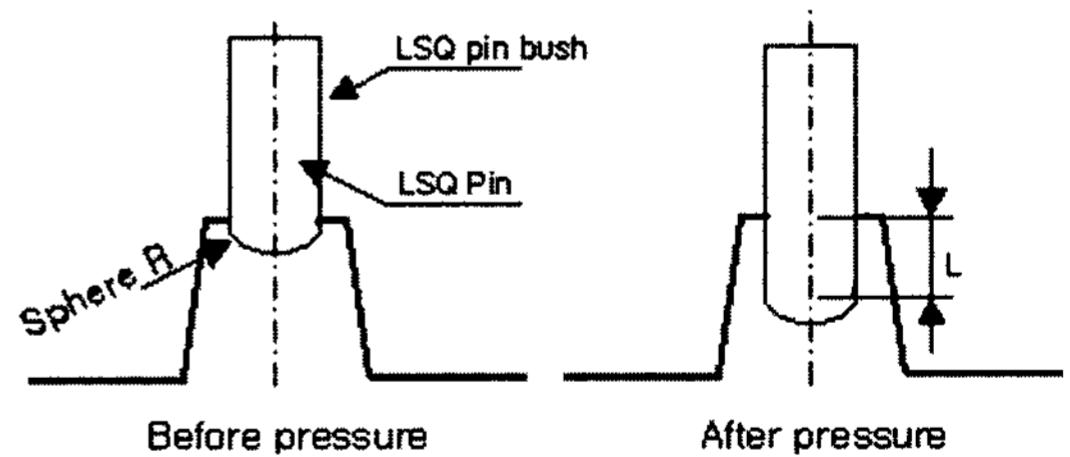
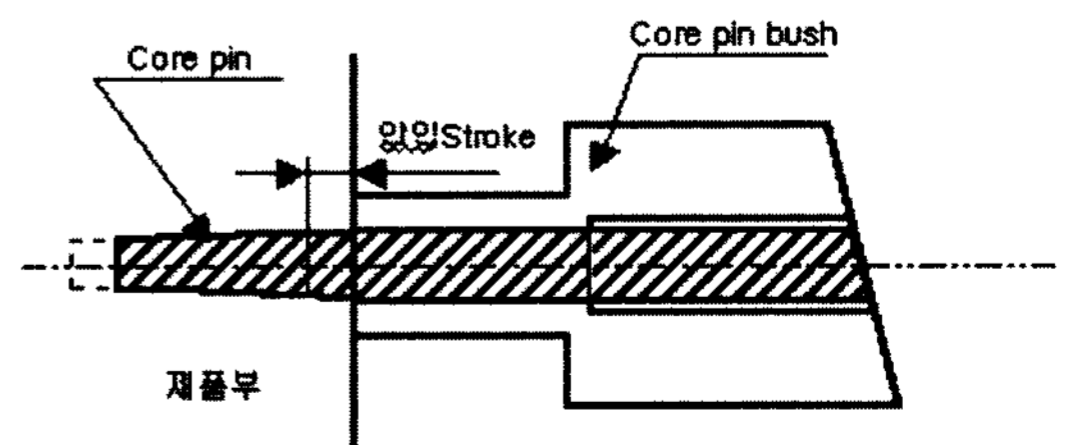


그림 3. 가압효과의 파급범위(영역).



(a) 일반가압의 경우



(b) 중자핀을 이용한 가압의 경우

그림 4. 가압Pin의 추천설계 사례.

이상적이다. 국부가압력의 설계는 아래의 식으로 산출하여 최적의 가압실린더 설정과 필요시 증압 Booster 사용등을 결정하여야 한다.

$$P_{LSQ} = \frac{P_{MC} \times A_{CYL} \times \text{증압비(증압 Booster 사용의 경우)}}{A_{PIN}}$$

- P_{LSQ} : 제품에 가해지는 국부가압력(kgf/cm²)
- P_{MC} : 다이캐스팅 Machine 유압(통상, 140~150 kgf/cm²)
- A_{CYL} : 국부가압 Cylinder의 단면적
- A_{PIN} : 국부가압 pin의 단면적
- 증압비: 가압력 부족시 채택할 수 있는 증압 Booster의 증압비(보통 1.5배 or 2.0배)

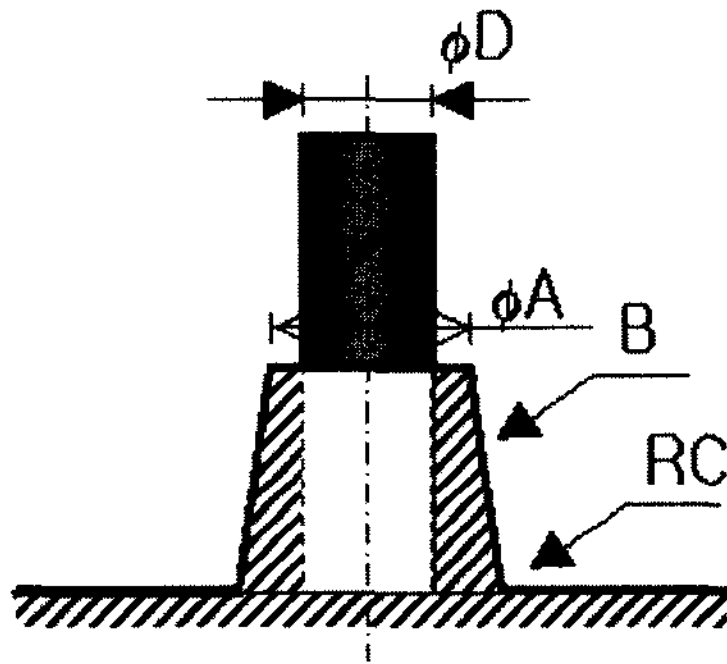
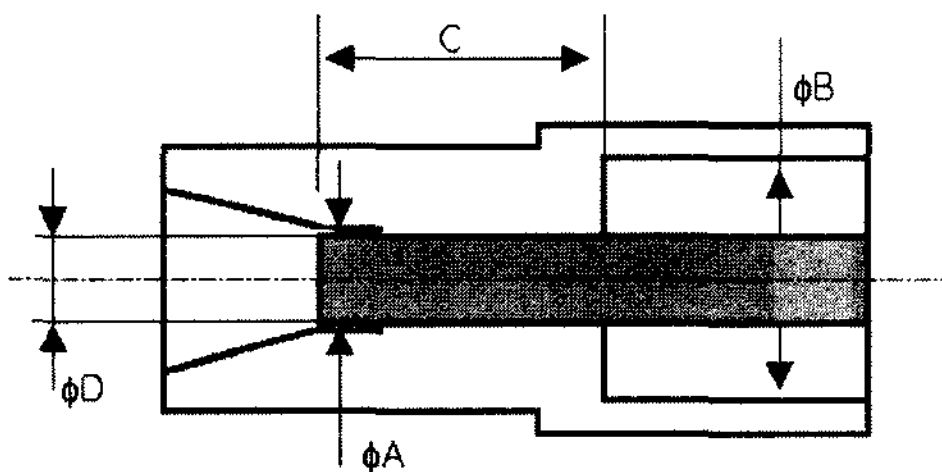


그림 5. 국부가압핀부의 형상.

표 4. 국부가압 pin 과 bush 의 치수공차관리

Nominal dia. Of Pin	Tolerance	Nominal dia. Of bushing	Tolerance
~φ7 mm	-0.03 -0.04	~ φ7 mm	+0.02 0
φ8 ~ φ10 mm	-0.04 -0.05	φ8 ~ φ10 mm	+0.02 0
φ11 ~ φ14 mm	-0.05 -0.06	φ11 ~ φ14 mm	+0.02 0
φ15 mm~ (Use cooling channel)	-0.05 -0.07	φ15 mm~	+0.02 0

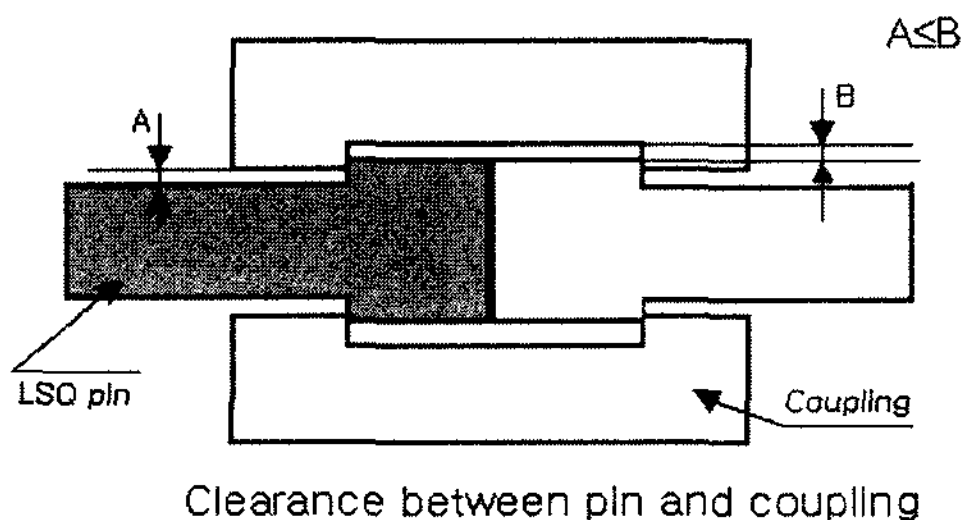
φA	Min. φD+2mm
B	Min. 2°
RC	Min. R 2mm
φD	Max. φ20mm(Normally, up to φ12mm)
Stroke	Max. L=24mm(Normally, up to 15mm) $L=4V_{LSQ}/\pi D^2$
Pin shape	Basically sphere, but may be flat



φA	φD+0.02mm
φB	φD+(2~4)mm
C	Min. 30mm
Material (Pin,Bush)	SKD61 (HRC 47±2)

Treatment: Nitriding or TD treatment after grinding.

그림 6. 국부가압 pin bush의 설계.



Nominal dia. of pin	Clearance (A)
~φ10mm	0.25~0.5mm
φ11 ~ φ14mm	0.5~1.0mm
φ15mm ~	1.0~1.5mm

그림 7. 가압 Pin과 Coupling의 공차관리.

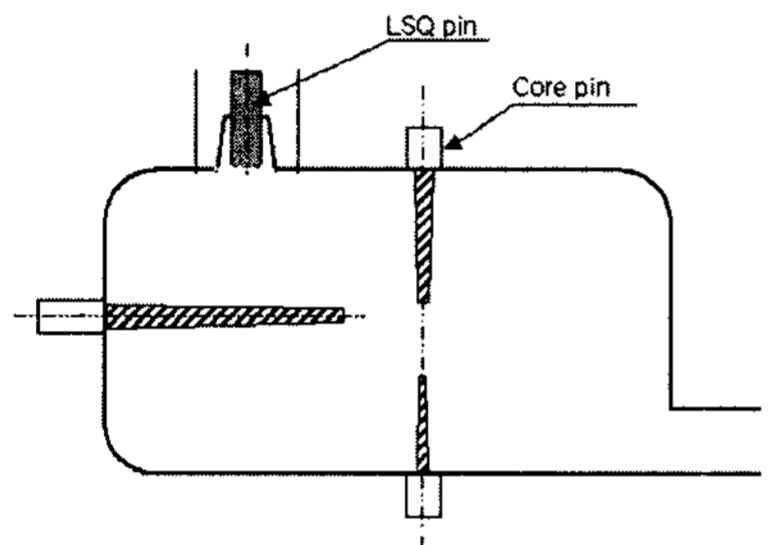
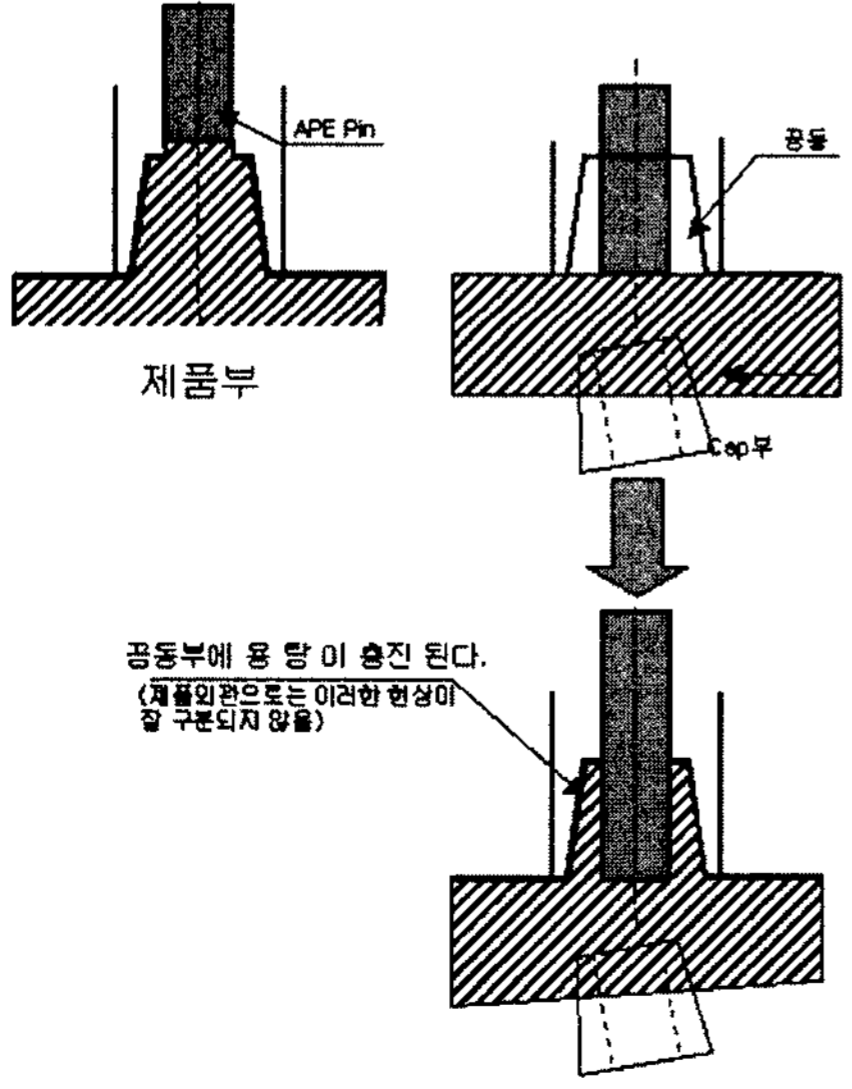
3.5. 가압 개시시간의 설정

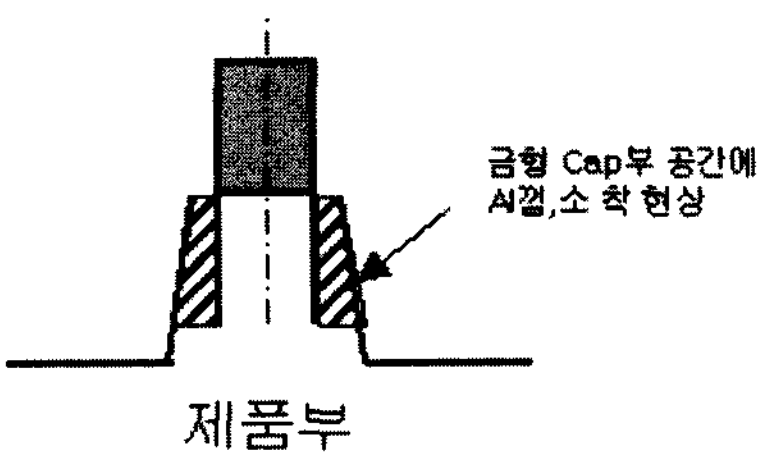
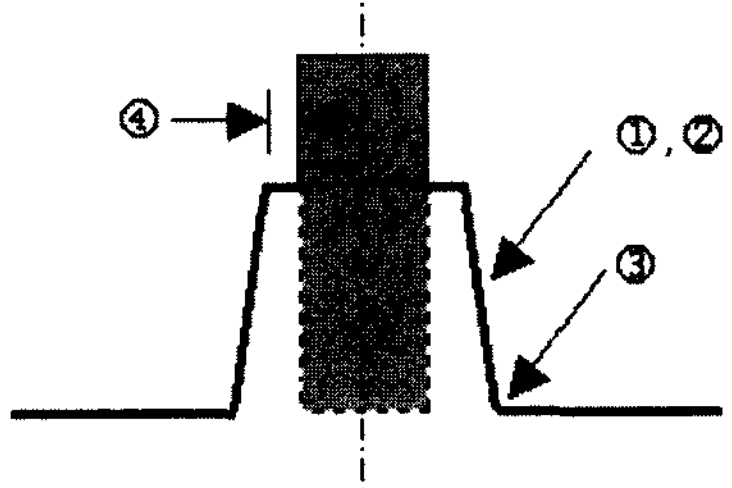
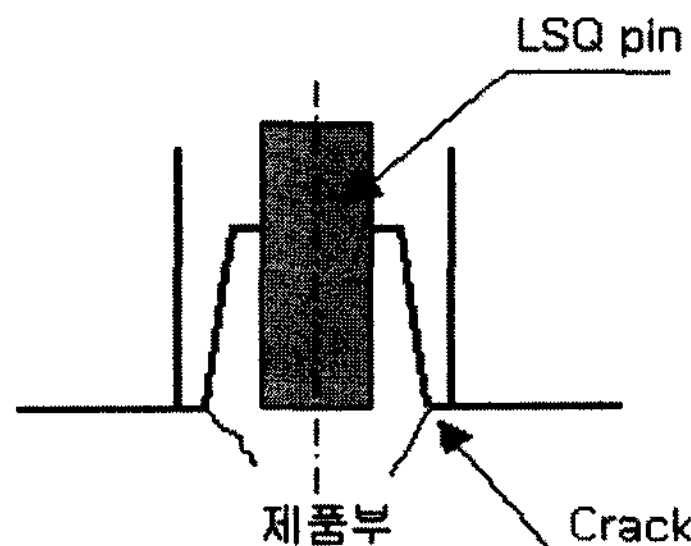
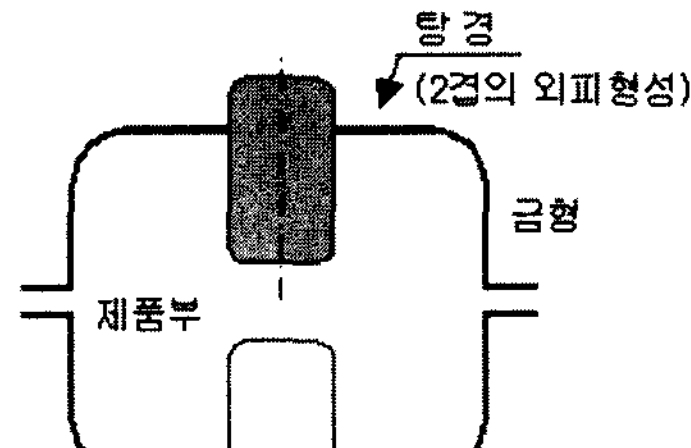
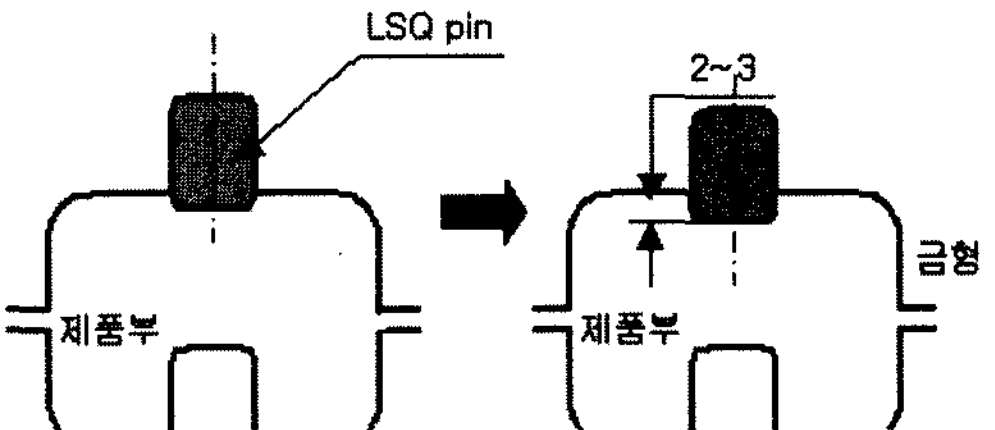
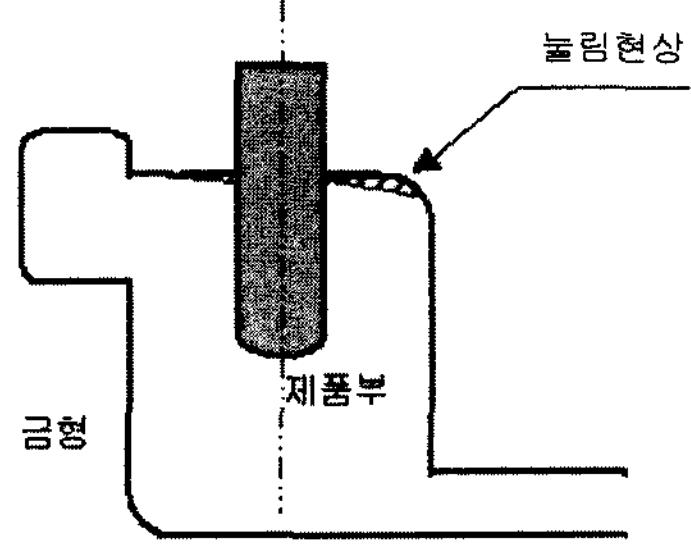
가압개시시간은 용탕온도나 Al합금재질, 주조조건등에 따라 달라질 수 있으므로 최적 주조조건을 먼저 설정한 후 설계된 국부가압pin stroke의 85~95%의 가압 깊이가 유지될 수 있도록 time-lag를 설정하여 주면된다. 통상적으로 가압 개시시간이 너무 빠르면 가압을 기대하는 영역이 응고를 시작하기도 전에 가압 pin이 stroke의 end point까지 먼저 도달하게 됨으로 가압의

효과가 떨어지게 되며 또한, 가압 개시시간이 너무 늦어도 가압영역이 응고가 진행되어 가압선단부의 변형 저항력이 국부가압력보다 크게되어 가압의 효과가 떨어지게 된다.

따라서, 가압 개시시간의 설정은 제품품질의 확인과 병행하여 Try-Out을 통하여 최적 조건을 찾아야 하며, 통상적으로 가압개시시간 1.5~3.0초의 범위에서 효과적인 국부가압 다이캐스트법의 주조가 가능하다.

3.6. 국부가압사용에 따른 예상문제 및 개선대책

No.	주요 예상문제	개선 대책
1	<p>가압부 주변의 가는 중자핀은 부러지거나 휨이 발생하기 쉽다.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ① 중자핀의 선단부를 절단한다. 단, 후가공이 추가되면 Cost-up된다. ② 가압핀의 압입 속도를 늦춘다. ③ 파급체적을 재확인하여 과다할 경우, 가압핀 경이나 Stroke을 조정한다.
2	<p>가압부 주변에서 소착되기 쉽다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① 방전피막처리를 한다. ② 내부냉각을 강화한다.
3	<p>가압핀 테두리의 Al(Cap부) 이 제품부에 혼입된다.</p>  <p>공동부에 용량이 흡진 된다. (제품외관으로는 이러한 현상이 잘 구분되지 않음)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① 가압 주변의 내부 냉각을 강화한다. (후육부) ② 가압 timing을 조정한다.

<p>4</p>	<p>가압핀 테두리로 Al Cap이 금형에 잔류한다.</p> 	<ol style="list-style-type: none"> ① 가압핀 부쉬의 마모를 체크한다. ② 가압핀 부쉬의 뽑기구배를 크게 한다. ③ 가압핀 부쉬의 치수 R을 크게 한다. ④ 가압핀 외부의 Al의 두께를 두껍게 한다. ⑤ 이형제의 적정 Spray여부를 체크한다. 
<p>5</p>	<p>가압핀 부쉬 부분의 R부 크랙</p> 	<ol style="list-style-type: none"> ① 가압 timing을 조정한다. ② 가압핀 부쉬부 R을 크게 한다.
<p>6</p>	<p>탕경불량</p> 	<ol style="list-style-type: none"> ① 가압핀의 후퇴한을 앞으로 나오게 한다. (2~3mm) 
<p>7</p>	<p>가압핀의 압입상태에서의 연속주조</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 가압핀과 부쉬가 마모, 움직이지 않음. ② 가압핀의 압입상태에서 가압핀이 부러짐. 	<ol style="list-style-type: none"> ① 핀과 부쉬의 마모나 유압 실린더의 누유를 체크한다. ② 핀, 부쉬를 정기적으로 교환관리한다 ③ 가압용 유압실린더에 리미트 스위치를 설치한다.
<p>8</p>	<p>가압 주변의 제품형상 눌림현상</p> 	<ol style="list-style-type: none"> ① 내부냉각을 강화(후육부)한다. ② 가압timing을 적절히 조정한다.

4. 결 언

일반 고압다이캐스팅에서 주조품의 외관과 내부품질 을 좌우하는 2가지 요소로서 i) 용탕의 금형 cavity로 의 주입속도, ii) 용탕에 가해지는 압력을 들 수 있다. 그러나 이러한 중요인자를 최적으로 설정하더라도 고 속고압의 일반 다이캐스팅법의 경우 후육부의 응고 수 축에 의해 야기되는 주조결함의 제어는 근본적으로 피 하기가 어려운 실정이다. 따라서 이러한 주조결함의 제 어와 동시에 고속충진법의 높은 생산성을 계승할 수 있는 주조기술의 개발이 필연적 과제라 할 수 있다.

본고에서는 이러한 고압 주조기술 계승발전의 일환 으로 선진국에서 적용하고 있는 국부가압 다이캐스팅 법의 효율적인 적용과 효과 극대화를 위한 경험적 기 술을 여과없이 상세히 소개코자 하였다.

따라서, 국내 고압주조 maker에서도 고정도의 내압 기밀이 요구되는 부품이나, 국부적으로 매우 엄격한 주 조결함의 제어가 요구되는 주조품의 신규 개발 및 품 질개선을 위해서 보다 많은 경험으로 국부가압 주조기 술을 효과적으로 응용하고 발전시켜 나간다면 기존의 일반 다이캐스팅이 갖고 있던 중대한 주조결함의 문제 점을 대폭 개선하는데 많은 도움이 되리라 생각한다.

國內外鑄物關聯行事

2003

9월 3일 ~ 9월 5일

제3회 전국주조경기대회(경연대회)
한국, 인천

10월 17일 ~ 10월 22일

The 8th Asian Foundry Congress
Thailand, Bangkok

9월 15일 ~ 9월 18일

22nd International Die Casting Congress
& Exposition
USA, Indiana

10월 20일 ~ 10월 23일

제7회 국제 주조·단조 공업로 및 열처리 산업전
한국, 여의도

9월 24일 ~ 9월 26일

9th International Fair of Technologies
for Foundry
Poland, Kielce

10월 27일 ~ 10월 30일

제143회 전국강연대회
일본, 高山市

10월 14일 ~ 10월 17일

4th International Conference on Electromagnetic
Processing of Materials
France, Lyon