



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2009年度 8 月
工學碩士學位論文

LPI 차량의 燃料壓力 레귤레이터
性形解釋 關한 研究

朝鮮大學校 大學院

機械工學科

朴 柱 洪

LPI 차량의 燃料壓力 레귤레이터
性形解釋 關한 研究

A Study on the Moulding Analysis of Fuel
Pressure Regulator to the LPI Vehicle

2009 年 8 月 日

朝鮮大學校 大學院

機械工學科

朴 柱 洪

LPI 차량의 燃料壓力 레귤레이터
性形解釋 關한 研究

指導教授 車 龍 勳

이 論文을 工學碩士學位 申請論文으로 提出함.

2009 年 8月 日

朝鮮大學校 大學院

機械工學科

朴 柱 洪

朴柱洪의 工學碩士學位論文을 認准함

審査委員長 朝鮮大學校 教授 洪 明 錫 印

審査委員 朝鮮大學校 教授 鄭 在 康 印

審査委員 朝鮮大學校 教授 車 龍 勳 印

2009 年 8 月 日

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of figures	I
List of tables	III
List of photographs	III
Abstract	IV

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구방법	5

제 2 장 관련이론

2.1 다이캐스팅법	6
2.2 열전달의 기본 미분 방정식	10
2.3 유동해석의 지배방정식	13

제 3 장 실험

3.1 재료 및 설계	16
3.2 LPI 연료시스템	18
3.2 구조방안	21

제 4 장 결과 및 고찰

4.1 충전해석	35
4.2 유동속도벡터	41
4.3 응고온도 분포	50
4.4 경도시험	58

제 5 장 결론	62
----------------	----

REFERENCES	63
------------------	----

LIST OF FIGURES

Fig. 2.1 Rotation direction of supper slow shot die-casting	9
Fig. 2.2 Pressure profile in die-casting	10
Fig. 2.3 A control volume in a 4-dimensional mesh cell	11
Fig. 3.1 Gas pressure Regulator	19
Fig. 3.2 LPG Gas infrastructure	20
Fig. 3.3 LPI(liquid petroleum injection) systeme	20
Fig. 3.4 Pprocess of die-casting	23
Fig. 3.5 Example of die for cold chamber machine	24
Fig. 3.6 Inlet in the mould	25
Fig. 3.7 Regulator inlet for the die casting	26
Fig. 3.8 Modeling of regulator using NX6	27
Fig. 3.9 LPI regulator under modeling	28
Fig. 3.10 LPI regulator upper modeling	29
Fig. 3.11 Side modeling LPI regulator	30
Fig. 3.12 Isometric of LPI regulator modeling	31
Fig. 3.13 STL transfer show for Z-CAST analysis	32
Fig. 3.14 Mesh generation results	33
Fig. 3.15 Die-casting process conditions	33
Fig. 4.1 Filling analysis results in the process 10%	36
Fig. 4.2 Filling analysis results in the process 20%	36
Fig. 4.3 Filling analysis results in the process 30%	37
Fig. 4.4 Filling analysis results in the process 40%	37

Fig. 4.5 Filling analysis results in the process 50%	38
Fig. 4.6 Filling analysis results in the process 60%	38
Fig. 4.7 Filling analysis results in the process 70%	39
Fig. 4.8 Filling analysis results in the process 80%	39
Fig. 4.9 Filling analysis results in the process 90%	40
Fig. 4.10 Filling analysis results in the process 100%	40
Fig. 4.11 Flow velocity vector in the process 30%	42
Fig. 4.12 Flow velocity vector in the process 40%	43
Fig. 4.13 Flow velocity vector in the process 50%	44
Fig. 4.14 Flow velocity vector in the process 60%	45
Fig. 4.15 Flow velocity vector in the process 70%	46
Fig. 4.16 Flow velocity vector in the process 80%	47
Fig. 4.17 Flow velocity vector in the process 90%	48
Fig. 4.18 Flow velocity vector in the process 100%	49
Fig. 4.19 Solidification temperature distribution of 200°C zone	51
Fig. 4.20 Solidification temperature distribution of 300°C zone	52
Fig. 4.21 Solidification temperature distribution of 400°C zone	53
Fig. 4.22 Solidification temperature distribution of 450°C zone	54
Fig. 4.23 Solidification temperature distribution of 500°C zone	55
Fig. 4.24 Solidification temperature distribution of 530°C zone	56
Fig. 4.25 Solidification temperature distribution of 550°C zone	57
Fig. 4.26 Test position for the H _B hardness	59
Fig. 4.27 A-Type measurement results	61
Fig. 4.28 B-Type measurement results	61

LIST OF TABLES

Table 2.1	Coefficients of various differential equations	15
Table 3.1	Mechanical properties of aluminium alloys for die-casting	16
Table 3.2	Chemical compositions of ALDC(S)8.1 Alloy	16
Table 3.3	Factor of valve body analysis	34
Table 4.1	Rockwell hardness test of regulator parts	60

LIST OF PHOTOGRAPHS

Photo. 3.1	Rockwell hardness test machine	17
Photo. 3.3	Die casting machine	18

ABSTRACT

A Study on the Moulding Analysis of Fuel Pressure Regulator to the LPI Vehicle

By Park, Ju-Hong

Advisor : Prof. Cha, Yong-Hun, Ph.D.

Department of Mechanical Engineering

Graduate School of Chosun University

Die casting which is extensively known as a necessary technology for lightweight spare parts of automobiles has three central elements of casting equipment, casting technology and die and has had much attention as a technology with the highest coefficient of expansion with increased need of high-quality and high-precision. However, technological aspect of advanced spare parts of automobiles is insignificant in comparison with that of advanced countries. For die casting, as automation rate and speed of production is high, mass-production with high-quality is possible thanks to reduced cost, precision, smooth casting surface and light-weight and thin casting and the technology is extensively used for spare parts of manufacturing machinery and automobile accessories.

In die casting, filling is the most important. Flow style of molten metal while filling affects temperature inside the cast and temperature distribution affects

the process of solidification of the molten metal. Molten metal may be solidified while being filled and the solidified part may be remelted by the filled molten metal. Thus, as the flowing molten metal is filled through an interaction with the process of solidification, the filling process is a physical phenomenon to be analysed foremost. ^(1~2) Several failures occurring during filling can be predicted through analyses of filling: incomplete filling of casting, adulteration of air or gas by filling of surface turbulent and so forth. To predict such failures, flow analysis and heat transfer analysis are important in filling of casting. However, national casting industries depend on experiences and intuition of well-trained technicians for design of casting or gating system rather than engineering analyses. Though experiences are important for casting design, understanding of casting process through casting filling and heat transfer analysis can give more physical insight to experienced technicians and standards of design to non-experienced ones. More importantly, it helps to curtail the time and process from design to manufacturing of casting, which contributes to less production cost. For optimal manufacturing of goods by casting, experienced technicians should make a model and a casting of a product, test their size or defects based on experiences of casting design, and correct them before the final products are manufactured. Such method requires much time, materials and energy. However, when computer-aided casting analysis is introduced, the manufacturing step of the model can be cut considerably, and time and cost can be saved.

In general, as casting goods have complex configuration, it is hard to obtain solutions based on an analysis and as the phenomenon inside the casing can not be analysed with an approach of Bernoulli's equation, there have been many attempts to model casting process through numeric analyses through continuity

equation, momentum and energy equation.

Therefore, a regulator of LPI automobile receives high internal pressure and works as a central part of the basic fuel supply system according to quality of performance. To produce high-quality casting goods, we need to identify causes of defects and theoretical analyses on physical phenomena occurring in manufacturing. Through understanding of causes of defects, we have to predict defects in manufacturing, and change casting design or control processing variables to produce high-quality goods. Therefore, it is certain that this study is useful in manufacturing as it analyses such process through a computer-applied program.

This study examined the casting analysis of fuel pressure regulator of LPI vehicles. We aims to predict all the phenomenon accompanied by flow and solidification in die casting, and maximize productivity and quality through optimal casting design and the following results are obtained:

To produce light-weight and high-quality spare parts, this study looked at affecting factors of quality targeting test models and found that gate, overflow, casting speed and pressure are very important, which affect pores by gas, flow of molten metal and solidification.

As a result of comparing Types A and B of casting design, it was found that the number of overflow affected flow, flow speed and solidification temperature. And there was a minute difference between solidification temperatures at thick section of the spare parts. Solidification began at temperatures of $624^{\circ}\text{C} \sim 630^{\circ}\text{C}$, but after the casting was completed, temperatures at the center of the parts were $600^{\circ}\text{C} \sim 614^{\circ}\text{C}$.

Temperature of molten metal showed optimal flow at temperature of 680°C . It began to solidify around at 650°C , and to be cooled between $580^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C}$ in

high speed. When the process was analysed through a computer simulation, it was found that hardness of regulators manufactured through Type B of overflow was above HR60.

제 1장 서론

1.1 연구배경 및 목적

다이캐스팅은 생산 자동화율이 높고, 생산속도가 빠르기 때문에 제조원가 절감, 치수정밀도, 주물표면의 미려함, 주물의 경량박육화 등의 양산성과 고품질을 겸비하고 있어서 각종 기계류 및 장식용 부품의 제조에 널리 쓰이고 있다.

다이캐스팅 기술의 3대 요소는 주조설비, 주조기술, 금형으로 특히 자동차 및 각종기계 부품의 경량화를 위한 필수기술이며 전자제품의 부품 등 고품질, 고정밀도 제품에 대한 요구 증대 때문에 여러 가지 주조방법 중 최근 연간 신장률이 가장 높은 기술로 주목받고 있다.

알루미늄 부품의 사용이 보편화 된 최근에 와서, 승용차의 알루미늄화 움직임에 변화가 생겼다. 90년 이전에는 승용차의 부품을 알루미늄 단조품으로 경량화 하는 것이 보통이었는데, 91년 가을경부터, 이것을 알루미늄 주조품으로 대체하는 방향으로 흐름이 바뀌었다. 원료 가격에서 비교하면 알루미늄 합금 종류에 따라 다르지만 표준적으로는 강에 비해 5배 이상이나 비싸다. 반면, 강을 알루미늄으로 대체하는 과정에서 단순히 비강도로 비교 하면 약 50%의 경량화가 달성 된다. 가격 경쟁이 심한 자동차 산업에서, 부품 가격이 상승함에도 불구하고, 알루미늄 호일, 엔진 블록, 인테크머니 호울드, 브레이크 캐리퍼 등에 적용하고 있는 것은, 경량화가 절실히 필요하기 때문이다.

초기에 선진국의 알루미늄 다이캐스팅 기술은 주조 조건에 따라 품질 차이가 크게 나타났다. 특히 기포 및 수축공에 의한 제품의 신뢰도가 낮기 때문에 케이스와 하우스링과 같은 구조용 재료로만 사용되어 왔으나 최근 진공다이캐스팅, 산소분위기 다이캐스팅, 저속충진 및 고압 충진법^(1~5)을 개발하여 자동변속용 밸브, 몸체, LPG 용 기화기, 분사펌프, 자동차 에어컨용 컴프레서, 실린더 블록과 같은 기밀성 및 내압이 요구되는 고급 기능부품 소재까지 개발되고 있다. 또한 열처리 및 용접까지

가능하며 기존의 주철 부품의 상당수를 대체하여 경량화에 크게 이바지 하고 있다. 다이캐스팅 제품에서 수축공 및 가스기포 결함 제어를 위해서는 금형설계와 용탕의 탈가스가 필히 수행되어야 한다. 최근에는 금형설계를 위해 응고현상에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 수축공 및 기포결함 발생을 미리 예측하여 방지할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 알루미늄 용탕의 탈가스와 산화물, 질화물 등의 비금속 개재물(inclusion)은 불활성인 아르곤 가스를 알루미늄 용탕에 주입하여 수소 및 비금속 개재물을 부상 분리하여 제거한다. 약품에 의한 탈가스 처리는 처리기간이 장시간 소요되어 알루미늄 회수율이 낮으며 매연에 의한 심한 공해를 유발시킨다^(6~22).

주조법에 의한 금속제품의 생산은 액체상태의 용융금속을 특정 한 형상을 한 주형내부로 유입시켜 냉각을 통해 원하는 제품을 만들어 내는 공정이다. 주조법은 복잡한 형상의 제품을 비교적 낮은 생산비로 용이하게 생산할 수 있기 때문에 많은 제품의 생산에 적용되고 있다. 산업기술의 발달로 단가가 낮은 고품질의 주조 제품에 대한 요구가 크게 증가하고 있으며 이에 따라 주조제품 생산업계에서는 품질향상과 생산비의 절감이 중요한 문제로 대두되고 있다.

하지만 주조 공정에서 용융금속이 주입구를 통하여 주형 공간에 주입되어 응고되는 과정은 열적, 물리적으로 매우 복잡한 현상으로서 그 과정을 정확히 규명하고 제어하는 일은 매우 어려운 문제이다.

이 과정은 용융금속이 탕구계를 통하여 주입되어 주형 공간내에 충전되는 과정과 충전된 금속이 냉각되면서 응고되는 과정의 두 가지로 나눌 수 있다. 종래에는 이를 제어하기 위하여 경험에 의존하였다. 충전 과정은 베르누이의 원리에 의하여 주입구에서의 유속을 구하여 탕구계의 치수를 계산하는 정도였으므로, 충전 과정에서의 와류 발생, 공기의 혼입 여부 등을 제어하는 것이 어려웠고 또한 응고 과정은 주물의 복잡한 형상에 따른 주물의 응고 양상을 정확히 제어하는 것은 불가능하였다. 따라서 주조시험을 통하여 정확한 결과가 입증되고 고품질의 주물을 얻을 수 있을 때까지 반복 주조시험을 하였다. 하지만 고품질의 주조제품을 얻기 위

해서는 주조 공정에 대한 정밀한 제어가 필요하고, 결함이 발생하는 원인에 대한 깊은 이해가 필요하며, 이를 위해서는 주조 공정에서 발생하는 물리적 현상을 공학적 접근을 통한 이론적 해석이 필요하다.

결함의 발생원인에 대한 이해를 통해 주조 공정에서 발생하는 결함을 예측하고 주형설계를 변경하거나 기타 공정변수를 제어함으로써 고품질의 제품을 생산할 수 있기 때문이다.

특히 다이캐스팅의 경우에는 충전 과정이 가장 중요하다. 용탕의 충진이 이루어지는 동안 용탕의 유동형태는 주형 내부의 온도에 영향을 미치며, 온도분포는 용탕의 응고 과정에 영향을 미친다. 충진이 이루어지는 동안 응고가 진행될 수도 있으며 응고된 부분이 충전되는 용탕에 의해 재용융 될 수도 있다. 이와 같이 용탕의 유동은 응고 과정과 밀접하게 상호작용하며 충진이 이루어지기 때문에 충전 과정의 해석은 주조 과정의 해석에서 가장 먼저 해석되어야 할 물리적 현상이다^(1~2). 또한 충전 과정에서 기인하는 여러 가지 결함은 충전 과정의 해석을 통해 예측할 수 있다. 충전 과정에서 발생할 수 있는 결함에는 주형이 완전히 채워지지 못하는 불량, 표면 난류와 같은 충전에 의해 공기나 가스의 혼입이 되는 불량, 이러한 결함을 예측하기 위해서는 주형의 충전 단계에서의 유동해석과 열전달 해석이 이루어져야 한다. 그러나 국내의 많은 주조 산업체에서는 주형이나 탕구계 등의 주조방안의 설계를 이러한 공학적 해석을 기초로 하지 않고 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관에 의존하고 있다. 주조방안 설계의 많은 부분에 경험이 중요하다 할지라도 주형 충전과 열전달 해석을 통한 주조 공정에 대한 이해는 숙련된 기술자에게는 더 깊은 물리적 통찰력을 줄 수 있으며 비 숙련자에게는 설계의 기준을 제시해 준다. 더욱 중요한 것은 제작하고자 하는 제품의 설계에서부터 제작까지의 기간을 단축하고 시작품을 제작하는 과정을 줄임으로써 생산비를 감소시킬 수 있다는 데 있다. 주조에 의해 제품을 제작하기 위해서는 숙련된 기술자에 의해 제품의 원형과 주형을 제작하고 경험에 의한 주조방안을 바탕으로 시작품을 제작하여 치수나 결함을 검사하여 주형 등을 수정하고 다시 시작품을 제작하는 과정을 통해 공정을

최적화 하고 있다. 이러한 방법은 많은 시간이 소요되며 재료의 낭비와 재사용을 위한 에너지의 소모 등 많은 비용이 들어간다. 그러나 이러한 과정을 컴퓨터를 이용한 주조 과정의 해석을 도입하면 시작품의 제작단계를 획기적으로 줄일 수 있기 때문에 많은 비용과 시간을 절감할 수 있다.

충진 과정의 유동해석과 열전달 해석 그리고 충진 후의 응고해석을 통한 주조 과정에 대한 이해는 주조방안의 설계에 대단히 중요하다. 컴퓨터가 발달하기 이전의 충진 과정에 대한 해석은 대부분 베르누이 방정식을 적용하여 주입구에서의 속도를 계산하고 충진되는 유량이나 탕구와 탕도의 높이나 면적을 계산하는 것이었다. 그러나 일반적으로 주조제품은 그 형상이 복잡하므로 해석적으로 해를 구하는 것이 어려우며 베르누이 방정식에 의한 접근방법으로는 주형내부의 현상을 해석할 수 없기 때문에 최근에는 연속방정식, 운동량 방정식, 그리고 에너지 방정식에 대한 수치해석을 통해서 주조과정을 모델링 하고자 하는 노력이 많이 이루어지고 있다.

따라서 LPI 자동차 레귤레이터 제품은 고압의 내압을 받는 제품으로 품질 성능에 따라 자동차의 가장 기본적인 연료공급 시스템의 핵심 역할을 한다. 본제품의 고품질화된 성형제품을 생산하기 위해서는 결함이 발생하는 원인에 대한 깊은 이해가 필요하며 이를 위해서는 제조공정에서 발생하는 물리적 현상에 대해 이론적 해석이 필요하다. 결함의 발생원인에 대한 이해를 통해 제조공정에서 발생하는 결함을 예측하고 주형설계를 변경하거나 기타 공정 변수를 제어하여 고품질의 제품을 생산할 수 있도록, 따라서 본 논문은 이러한 과정을 전산응용 프로그램을 통하여 이를 해석한 논문으로 제조현장에서 유용하게 쓰이리라 판단된다.

1-2 연구방법

본 연구에서는 레귤레이터 공정에서 금형설계 및 공정해석을 위한 설계원리를 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 유동해석으로 실시하였다. 다이캐스팅 공정에서 오버플로우 및 인게이트에서의 유체 속도제어는 주물의 품질을 향상시키기 위해 반드시 필요하며, 이러한 다이캐스팅 속도 및 냉각시간과의 관계에 대하여 열 및 유동해석의 관점에서 조사하였다.

1. 최적 조건이 설정되면 레귤레이터에 대한 다이캐스팅 주조방안을 설계하고, 시뮬레이션을 통하여 주조방안에서 일어날 수 있는 결함을 분석 예측하고, 실제 시험주조를 통하여 신뢰성을 확보하였으며, 결함 제거를 위한 방안을 정립하였다.

2. LPI 차량부품에 적용되는 주조방안에 대하여 주조 전용 상용 프로그램인 Z-CAST를 이용하여 충전 및 응고해석을 행하고 이로써 발생하는 제품의 결함 및 결함제어 가능성을 검토하여 개선방안 및 최적방안을 구하고자 하였다.

3. 두개의 모델링을 대상으로 성형품에 대하여 경도시험편을 제작하고 경도시험을 통하여 제작부품의 성능평가를 실시하여 최적의 주조조건 및 부품에 대한 신뢰성 검증을 실시하였다.

제 2장 관련 이론

2.1 다이캐스팅법

다이캐스트법은 종래의 일반적인 방법에서부터 주조방법 및 생산기술에 대한 발전을 거듭해 왔으며, 특히 자동차 산업의 급속한 발전과 더불어 부품의 경량화와 고강도, 내마모성 등의 요구에 맞추어 많은 연구가 이루어져 왔다. 이러한 특수 다이캐스트법은 충전방식에 의해 진공 다이캐스트법, GF법, 산소분위기 다이캐스트법, 국부가압 다이캐스트법 등의 고속 충전방법과 아큐라드(Accurad)법 종류충진 다이캐스트법, 경전식 스퀴즈 다이캐스트법, 중압 다이캐스트법등의 저속 충전방법 등으로 나누어진다^(23~30). 진공 다이캐스팅은 진공상태에서 캐비티(Cavity)로 용탕을 사출하여 기포결함(Porosity)이 없는 제품을 주조하는 방법으로 시설이 고가이고 능률이 좋지 않은 단점을 지니고 있어 그 적용에 제한을 받았지만 1950년대 이후부터 GF(Gas free)법에 이르기까지 많은 진공 관련 기술들이 개발이 되면서 다양한 부품에 적용이 가능하게 되었다. 국부가압 다이캐스트법은 보통 다이캐스트법에서 용탕의 캐비티 충전후 응고 과정중 치수가 작은 게이트부가 선행 응고하여 사출 플런저의 제품에 대한 가압 영향이 매우 떨어지게 됨으로서 제품내 최종 응고 부인 후육부에서 발생하는 수축결함의 제어가 불가능하게 되는 문제점을 해결하는 방안으로 이 부분에 별도의 가압 플런저를 설치하여 용탕 충전 직후 적절한 시간 지연(time-lag)후에 압입, 가압하여 수축공 결함을 제어하는 방법이다. 이때 가압 시점과 가압력이 최종제품에 영향을 주게 되며, 가압시점과 가압력은 밀접한 상관성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.

다이캐스팅 공정은 정밀한 금형에 용탕을 압입시켜 고정도의 주조표면을 갖는 주물을 대량 생산하는 가공방식이라고 정의되며, 성형체의 정밀성과 주조 후처리 과정의 간소화, 자동화의 용이성 등의 장점으로 인해 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되어 왔다. 그러나 용탕의 단시간 충전, 이형체의 열분해에 따른 증발가스의 발생

및 응고조직의 불균일성 등의 주조결함이 발생하고, 사출 응고시 탕도부가 선행 응고되어 응고 수축에 대한 용탕 보충이 어렵기 때문에 다량의 수축결함이 발생하는 문제점 또한 지적되었다. 따라서 이러한 결과들의 개선과 품질 향상을 위한 새로운 공정기술의 개발이 요구되었으며, 이에 따른 특수 다이캐스트법 등이 1950년대부터 선진국을 중심으로 활발히 연구되어 왔다. Pore-free 다이캐스트법, 국부가압 다이캐스트법, 핫 슬리브 다이캐스트법, 저속충진 다이캐스트법, 및 반응용 다이캐스트법 등이 개발되었다.

주조기술이 발전하면서 복잡한 형상에 대한 주조나 고품질의 주조 제품에 대한 생산이 가능해 지면서 기존의 단조나 기계가공에 의해 생산되던 부품들이 주조에 의한 생산으로 대체되고 있다. 또 자동차나 항공산업 등에서 경량화가 중요한 문제로 대두되고 있으며 다른 산업분야에서도 가볍고 얇으면서도 높은 강도를 갖는 주조제품에 대한 수요가 증가하고 있다. 우리나라의 전체 주조제품의 생산량도 1975년 27만톤에서 1990년에는 140만 톤으로 계속해서 증가하고 있다. 이러한 고품질 경량화 주조제품의 요구에 부응하기 위해서는 주조공정에 대한 정밀한 제어가 필요하다.

주조공정에서 가장 중요한 물리적 현상은 주위로의 냉각을 통한 고상화(solidification)이며 이러한 액상에서 고상으로의 상변화 열전달 과정에서 많은 결함이 발생한다. 이러한 결함에는 거시적(macroscopic ; shrinkage), 미시적(microscopic ; grain size and dendrite arm spacing)측면에서의 금속의 성질 변화뿐만 아니라 주형과 주물의 수축율의 차이에 의한 파손이나 주물 자체의 각 부분의 냉각시간의 차이에 의한 주물의 변형 등이 있다.

기존의 많은 연구자들은 응고 과정을 연구하면서 주형내부가 균일한 온도의 용탕으로 채워져 있다고 가정하였다. 그러나 실제 주조 공정에서는 주형내부의 충전시간의 차이나 주물의 두께의 차이, 각 주형부의 냉각율의 차이 등에 의해 충전이 완료된 후의 주형내부의 온도는 균일하지 않다. 따라서 균일한 온도라는 가정하에 응고 과정을 해석하는 것은 실제 물리적 사실과 부합되지 않으며, 올바르게 결함을

예측할 수 없다. 주형이나 탕구계의 설계가 잘못되면 주형의 어떤 부분에 응고가 진행되어 나머지 주형부분이 채워지지 못하는 경우도 있다. 탕경(cold shut or misrun)이라 부르는 이러한 현상은 특히 티타늄 합금과 같이 낮은 과열상태에서 큰 문제가 된다. 이러한 결함은 실제 주조 과정 이전에 반드시 예측하여야 하는 중대한 문제이다. 따라서 최근에는 주조 과정의 해석에 충전 과정을 포함하고자 하는 연구가 많이 이루어지고 있다. 주형의 충전이 이루어지는 동안 충전되는 용탕의 유동 형태는 주형내부의 온도에 영향을 미치며 온도분포는 용탕의 응고 과정에 영향을 미친다.

또한 충전 과정에 기인하는 여러 가지 결함은 충전 과정의 해석을 통해 예측할 수 있다. 충전 과정에서 발생할 수 있는 결함에는 앞에서 언급한바 있는 주형이 완전히 채워지지 못하는 불량, 표면난류와 같이 정숙하지 못한 충전이나 주형의 통기성 불량 등에 의한 공기나 가스의 함입, 용탕표면 금속의 산화 등이 있으며 높은 용탕의 속도와 온도에 의한 주형의 부식이나 파손이 일어날 수도 있다. 이러한 결함을 예측하기 위해서는 주형의 충전단계의 유동해석과 열전달 해석이 이루어져야 한다.

사형이나 금형주조에서 주형내 가스 유입을 방지하는 원칙은 용탕의 흐름이 난류로 되지 않게 층류한계 내에서 주입 되도록 하여 용탕의 최선단에서 가스를 순차적으로 밀어내는 것이다. 이와 같은 개념으로 저속충진 다이캐스팅법이 개발되어 실용화되고 있다. 이러한 저속충진 다이캐스팅의 대표적인 것이 초저속 주조법이다. 초저속 주조법은 정도가 높고 기포가 없는 제품을 만드는 방법으로 1966년에 미국의 General Motors사가 특허를 일반에게 공개한 것이다. 사출 플런저는 외부 플런저와 내부 플런저의 이중 플런저로 구성되어 있으며 금형의 열해석을 통하여 지향성 응고를 일으킬 수 있도록 금형온도를 조절하고 탕구속도를 종래의 20~60m/초에서 Al용탕의 층류한계인 1.5~1.6m/초 이하로 저속으로 주입한다.

Fig. 2.1과 같이 충전 직후 내부 플런저를 전진시키고 응고 수축한 부분에 용탕을 보급함으로써 수축공을 없애는 효과를 주고 있다. Fig. 2.2의 압력 곡선은 주조

시의 경과시간으로 플런저가 움직이기 시작하여 충전 개시까지의 시간과 캐버티를 용탕이 충전 하는데 요하는 시간, 그때에 플런저에 걸리는 압력 및 플런저 속도 및 충전 후의 최대 압력을 알 수 있다. 그림에서와 같이 b 구간에서 충전이 시작되어 완료되는 시점이며, c 구간은 최대 압력으로 가압을 하는 구간이다.

Fig. 2. 1 Rotation direction of die casting

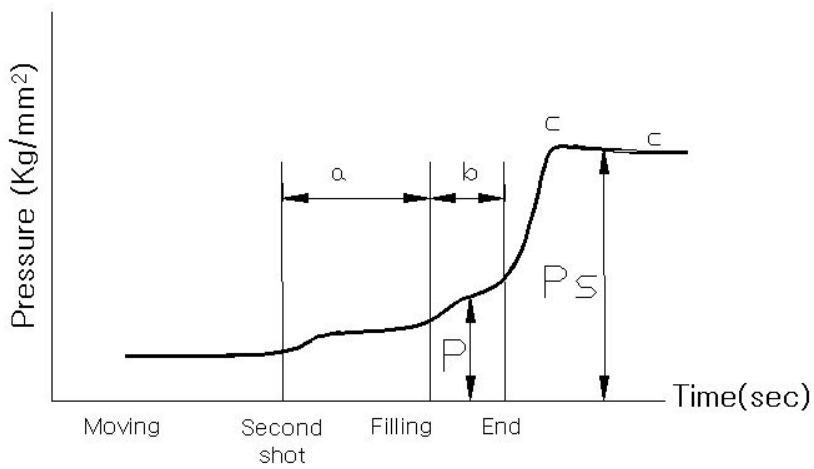


Fig. 2.2 Pressure profile in die-casting

2.2 열전달의 기본 미분방정식

열은 고온부에서 저온부로 흐르므로 열전도에 의한 열이동은 Fourier 제 1법칙을 따르게 된다^(31~34). 1 차원의 경우

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial X} \quad (2.1)$$

이 된다. 위 식에서 q 는 열유속(cal/cm^2), k 는 열전도도($\text{cal}/\text{C}, \text{cm}$), $\frac{\partial T}{\partial X}$ 는 온도 구배(C/cm)이다. 식에서 (-)부호는 열역학 제 2법칙을 만족시키도록 한 것이다.

Fig. 2.3 A control volume in a 4-dimensional mesh cell

시스템이 정상상태, 즉 온도분포가 시간에 대해서 변화하지 않는 경우에는 문제를 단순하게 하여 식에 필요한 값을 대입하여 적분하면 되지만 구조물 응고의 경우처럼 물체내의 온도 분포가 시간과 함께 변화를 하고 응고잠열이 발생하는 경우에는 물체내의 미소요소 dx, dy, dz 에 대해서 다음의 열에너지 보존식이 성립한다.

Fourier 제 2법칙에서는 열전도에 의해 미소 요소내에 유입되는 열량과 미소 요소내에 발생하는 응고잠열 합은 미소 요소내의 내부에너지 변화와 열전도에 의해 미소 요소로부터 유출되는 열량과 같다.

3차원의 좌표계에 설정된 단위 미소요소에 대해서 Fourier 제 2법칙을 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$q_x + q_y + q_z + q_{gen} = q_x + dx + q_y + dy + q_z + \frac{dE}{dt} \quad (2,2)$$

위의 식에서 q_x 는 x방향에서 유입되는 열량이고, $q_x + dx$ 는 x방향으로 유출되는 열량, q_y 는 y방향에서 유입되는 열량이고, $q_y + dy$ 는 y방향으로 유출되는 열량이다. 또한, q_z 는 z방향에서 유입되는 열량이고, $q_z + dz$ 는 z방향으로 유출되는 열량이다.

위 식의 각항은 다음과 같다.

$$q_x = -k dy dz \left(\frac{\partial T}{\partial X} \right) \quad (2,3)$$

$$q_x + dx = - \left[\left(k \frac{\partial T}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial X} \left(k \frac{\partial T}{\partial X} \right) dx \right] dy dz \quad (2,4)$$

$$q_y = -k dx dz \left(\frac{\partial T}{\partial Y} \right) \quad (2,5)$$

$$q_y + dy = - \left[\left(k \frac{\partial T}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(k \frac{\partial T}{\partial Y} \right) dy \right] dx dz \quad (2,6)$$

$$q_z = -k dx dY \left(\frac{\partial T}{\partial Z} \right) \quad (2,7)$$

$$q_z + dz = - \left[\left(k \frac{\partial T}{\partial Z} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left(k \frac{\partial T}{\partial Z} \right) dz \right] dx dy \quad (2,8)$$

$$Q_{gen} = \rho L \left(\frac{\partial f_s}{\partial t} \right) \quad (2,9)$$

$$\frac{dE}{dt} = \rho C_P dx dy dz \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) \quad (2,10)$$

여기서 ρ 는 밀도, L 은 응고 잠열, fs 는 고상률, C_p 는 비열이다.

내부 열에너지의 변화는 위의 각항을 정리하면 다음과 같이 나타난다.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X} \left(k \frac{\partial T}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial X} \left(k \frac{\partial T}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial X} \left(k \frac{\partial T}{\partial Z} \right) + \rho L \left(\frac{\partial fs}{\partial t} \right) \quad (2.11)$$

2.3 유동해석의 지배방정식

모든 비선형 항을 포함시킨 완전한 Navier-stokes 방정식을 원시변수의 형태 (Primitive value form)로 유도하여 사용한다. MAC, SMAC 및 SOLA-VOF법은 지배방정식을 원시변수의 형태로 사용함으로써 속도 및 압력을 직접 계산할 수 있다^(35~36). 계산의 정밀성과 수치해의 안정성을 높이기 위해 대류항의 계산에 있어서, 보통 중심 차분법과 풍상 차분법(UPWIND, scheme or donor cell schem)을 복합한 형태를 사용한다. 2차원 비압축성 유체를 해석하기 위해 사용하고 있는 기본방정식은 다음과 같다. 연속방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.12)$$

Navier-Stokes 방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u + g_x \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 u + g_y \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 u + g_z \quad (2.15)$$

여기서 ρ 는 밀도 ν 는 동 점성계수(kinematic viscosity), p 는 압력, g 는 중력가속도이며, u, v, w 는 x, y, z 방향의 속도이다. 유체 영역에서는 운동량 보존과 질량 보존의 원리를 이용하여 속도 및 압력분포를 계산할 수 있으나 자유표면 영역에서는 유체가 단위 셀을 부분적으로 채우고 있기 때문에 더 이상 질량 보존의 원리를 사용할 수 없다. 자유표면 영역은 유체영역과 빈공간 영역의 경계, 즉 용탕과 대기의 경계를 포함하고 있기 때문에 자유표면 경계조건을 만족해야 한다. 따라서 이러한 자유표면 경계조건을 이용하여 속도와 압력을 계산할 수 있다.

여기서 에너지 방정식은

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (2.15)$$

이다. 유체부피는

$$\frac{\partial t}{\partial F} = \frac{\partial u F}{\partial x} + \frac{\partial v F}{\partial y} + \frac{\partial w F}{\partial z} \quad (2.15)$$

여기서 F 는 유체부피분율이다.

지배미분 방정식(Finite Differential Equation(FDE))는 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \psi) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \psi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\psi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad (2.15)$$

Table 2.1에서 난류유동모델 인 $k-\epsilon$ 모델을 비롯한 각각에 대한 차분식에 대한 방정식의 계수들을 나타내었다.

Table 2.1 Coefficients of various differential equations

Equation	ψ	Γ_ψ	S_ψ
continuity	1	0	0
Momentum	U_i	$\mu + \mu_t$	$-\frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + S_\mu + X_i$
Thermal energy	T	$\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu^t}{\sigma^t}$	$\mu \left[-\frac{2}{3} \left(\frac{\partial U_k}{\partial x_k} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)^2 \right] + L \frac{\partial f_s}{\partial t} + S_T$
Turbulent kinetic energy	k	$\mu + \frac{\mu^t}{\sigma^k}$	$\rho (P_k + G_k - \epsilon)$
Dissipation of k	ϵ	$\mu + \frac{\mu^t}{\sigma^\epsilon}$	$\rho \frac{\epsilon}{k} [C_\epsilon (f_{lP_k} + G_k) - f_2 C_{\epsilon^2} \epsilon]$
VOF	f	0	0

제3장 실험

3.1 재료 및 설계

LPI 차량의 연료압력 레귤레이터 부품을 제작하기 위하여 사용된 재질은 AIDC(S)8.1 합금으로 기계적 성질 및 화학적 성분을 Table 3.1과 Table 3.2에 나타내었다.

Table 3.1 Mechanical properties of aluminium alloys for die-casting

Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation %	Coefficient of thermal expansion (°C)	Specific gravity (20°C)	Temperature conduction (25°C)
28.8	3	21	2.76	0.26
Melting area (°C)	Die-casting temp. (°C)	Solidification start temp. (°C)	Electric conduction (%)	
520~590	635~700	580	27	

Table 3.2 Chemical compositions of AIDC(S)8.1 alloy

(wt. %)

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
1.5~3.5	9.6~12.0	0.3 less	1.0 less	0.9 less	0.5 less	0.5 less	0.3 less	balance

또한 표면의 경도를 측정하기 위하여 Photo. 3.1과 같이 로크웰 경도계를 사용

하였으며, 볼 크기는 5 mm, 하중은 100 Kg으로 하였다.



Photo. 3.1 Rockwell hardness test machine

Photo. 3.2에서와 같이 다이캐스팅 기계는 350 톤 용량을 소화 할 수 있는 TOYO Ltd.의 것으로 실제 생산라인에서 사용하고 있는 시스템을 제품 사이클의 휴지시간을 이용하여 예비실험을 실시하였다. Table 3.3은 사출관계에 대한 장치의 사양을 나타낸 것이고, 압출력은 300 KN, 슬리브 스트로크는 425 mm이고, 저속 구간 거리는 288 mm이다. 또한 플런저 팁 직경은 표준크기인 70 mm를 기준으로 하였을 경우 사출력은 87.2 MPa이다.



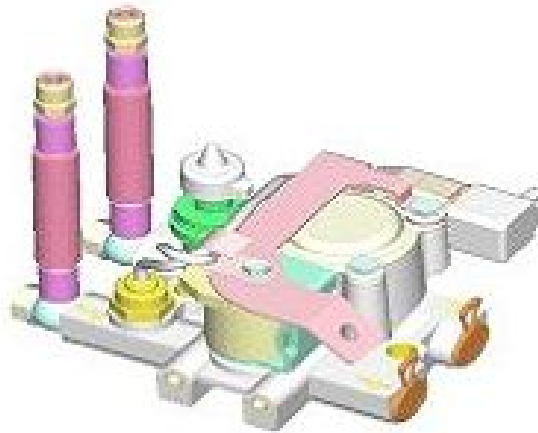
Photo. 3.2 Die-casting machine

3.2 LPI 연료시스템

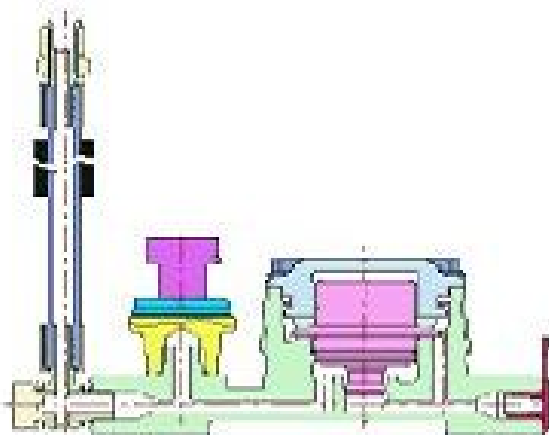
Fig. 3. 1과 같이 LPG 액상 연료분사 방식은 연료탱크의 압력에 의존한 기계식 LPG 연료 방식과는 달리 연료탱크 내에 연료펌프를 설치하여, 연료펌프에 의해 고압(5~15bar)으로 송출되는 액상 연료를 인젝터로 분사하여 엔진을 구동하는 구조로 되어 있다.

Fig. 3. 2~Fig. 3. 2에서와 같이 액상의 연료를 분사함으로써, 믹서 형식의 LPG 엔진의 구성품인 베이퍼라이저, 믹서 등의 구성 부품은 필요 없게 되었으며, 새롭게 적용되는 구성품은 고압인젝터, 봄베내장형 연료펌프, 특수재질의 연료공급파이프, LPI 전용 ECU, 연료 압력을 조절해주는 레귤레이터 등이 적용되었다. 연료 탱크에서 송출된 고압의 연료를 다이어프램과 스프링의 균형을 이용하여, 연료 통로내의 압력을 항상 ΔP 5bar로 유지시키는 역할을 한다. 또한 연료 압력 레귤레이터 외에

연료 분사량을 보상하기 위한 가스 압력 측정 센서(GPS), 가스 온도 측정(GTS) 및 연료 차단 솔레노이드 밸브를 내장하고 있어 연료라인의 연료공급 및 차단을 제어하는 기능을 한다.



(a) regulator



(b) side plate of regulator

Fig. 3.1 Gas pressure regulator

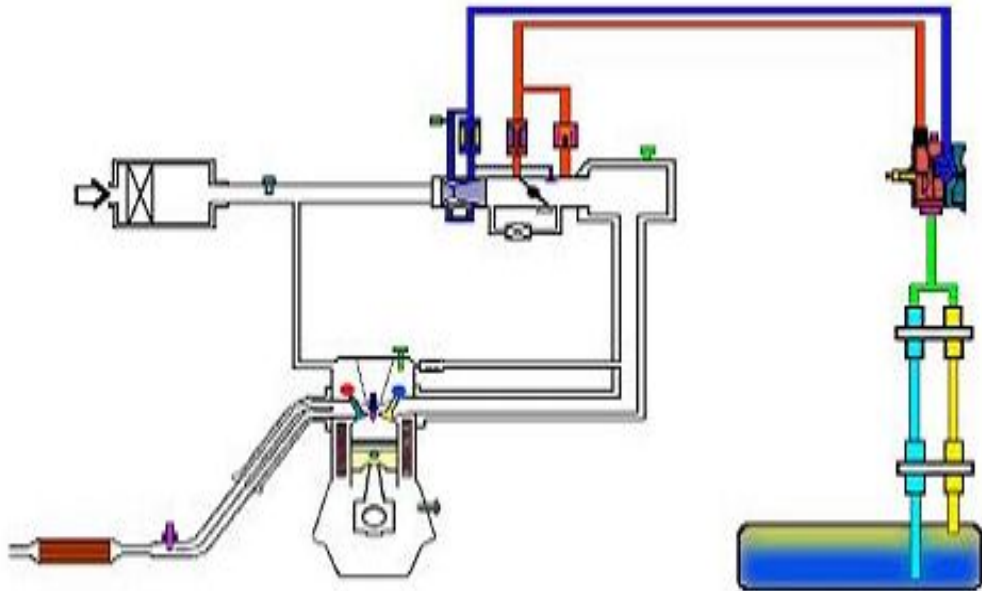


Fig. 3.2 LPG gas infrastructure

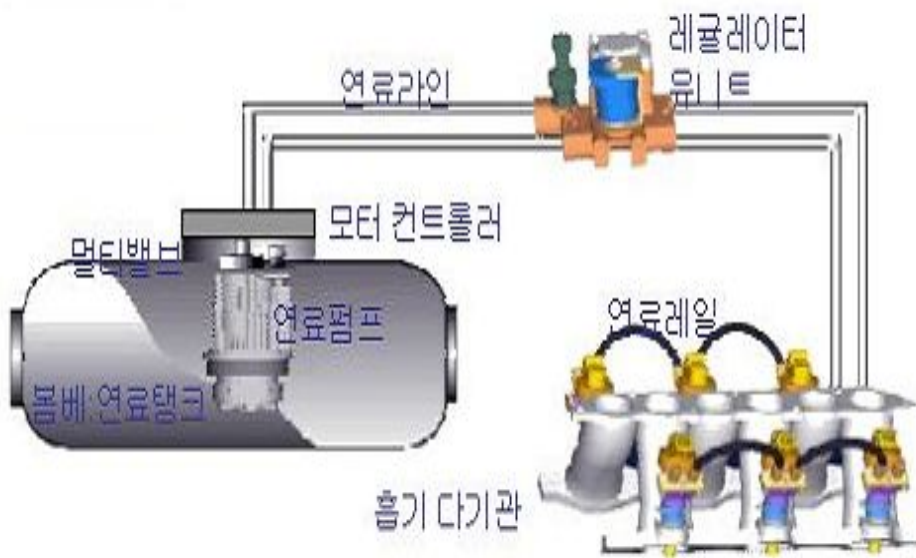


Fig. 3.3 LPI(liquid petroleum injection) system

3.3 주조방안

다이캐스팅에서 제품의 질을 결정하는 요구되는 형체력과 사용 가능한 충전률은 매우 중요한 요소이다. 필요로 하는 형체력은 제품의 투영면적과 고품질의 제품을 얻기 위한 보압의 곱으로 나타난다. 다음단계에서 고속 단계에서 필요한 유속을 정할 수 있는가를 확인 한다. 필요로 하는 유속은 유동률 저항과 사용합금 인자에 의해 영향받는 충전시간에 의해서 정하였다.

$$t_{fl} = c \left[\frac{T_g - T_f + S \times Z}{T_f - T_d} \right] \times T_{CW} \quad (3.1)$$

위 식(3.1)에서 t_{fl} 는 이상적인 충전시간이며, c 는 경험적인 결정 상수, T_g 는 탕 온 온도, T_d 는 다이 온도이다.

다이캐스팅 장비의 유동률은 수리학에 의존하고, 유동 저항은 유압시스템가 다이 캐버티에 의해 정의 된다. 이러한 관점에서 입구는 유동 저항을 지배하는 요소이다.

다음 식(3.2)는 손실에 따른 베르누이 방식에 따른 메탈 압력의 식이며, 연속방정식에 따른 체적 유동 나타냈다.

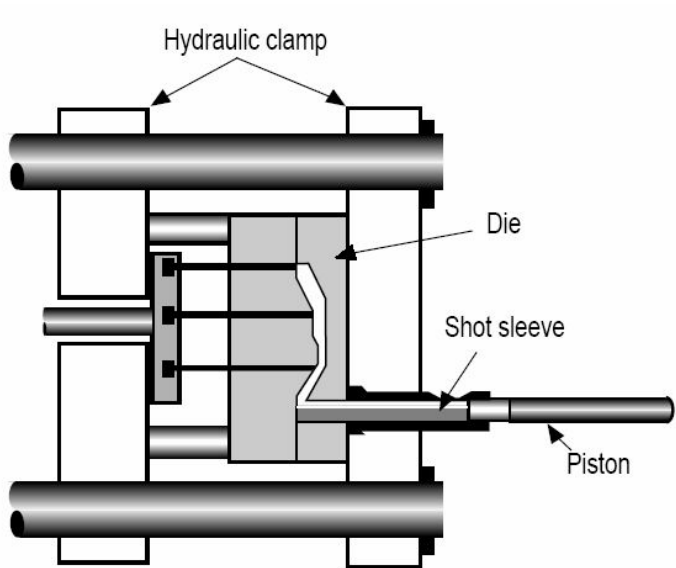
$$P_W = \frac{\rho}{2 \times g} \left[\frac{V_r}{C_d} \right]^2 \quad (3.2)$$

$$Q_W = V_{fs} \times A_P = V_r \times A_g$$

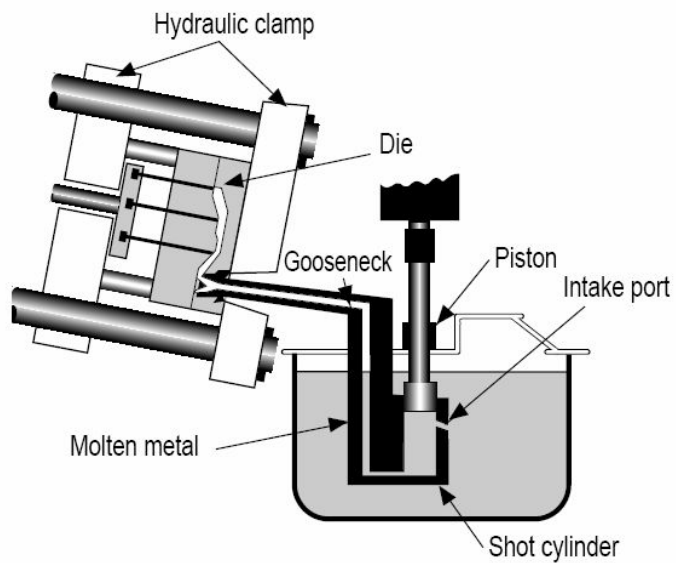
여기서 ρ 는 알루미늄 합금의 밀도이고 A_P 는 플런저 면적, V_r 는 입구 속도, A_g 는 입구 면적이다.

위의 식에서와 같이 적합하도록 입구의 단면적을 설계하였으며, 용해금속의 분

출속도가 크면 표면이 고운 주물을 얻을 수 있으나 너무 클 경우에는 주물에 공기가 유입되어 작은 기공을 만들기 쉬우므로 속도의 조절이 중요하다, 따라서 투입 속도는 유속이 크면 용해금속의 유동이 좋고 국부적으로 조기 응고가 방지되며 동일 주입시간이라도 입구의 단면적을 크게 하면 주입압력이 낮아지고 유속이 적게 되어 충전 불량 발생하기 쉽다. 가압력은 300 KN으로 하였으며, 제품의 중량은 약 0.4 Kg이고, 총중량은 약 1 Kg으로 하였다.

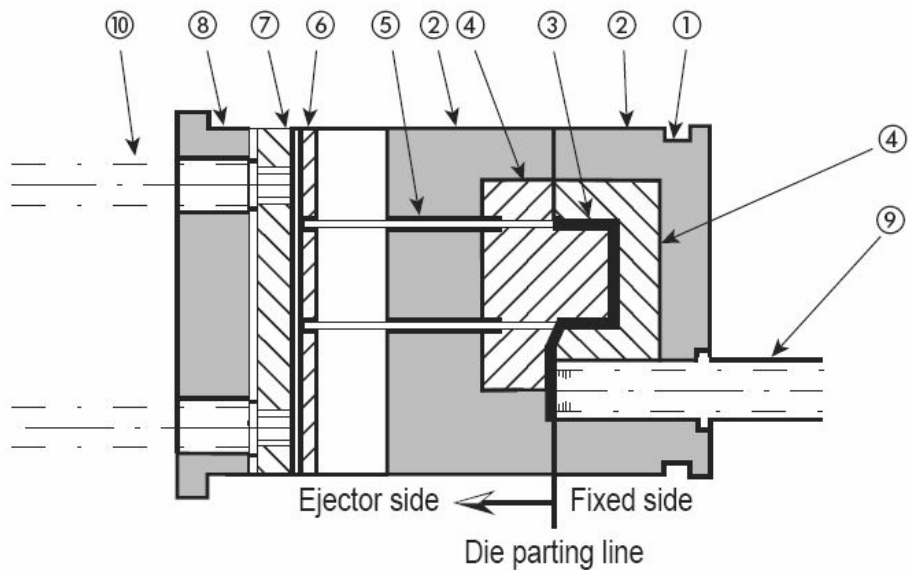


(a) Cold chamber process for the die-casting



(b) hot chamber process for the die-casting

Fig. 3.4 Process of die-casting



① Securing slot	② Bolsters
③ Impression cavity	④ Impression inserts
⑤ Ejector pins	⑥ Retaining plate
⑦ Ejector plate	⑧ Back block
⑨ Shot sleeve	⑩ Ejector operator pins

Fig. 3.5 Example of die for cold chamber machine

게이트는 용탕이 금형내에 100% 충전이 이루어 질 때까지 공급되는 가상의 용탕 주입구를 말하며, 충전 과정중에는 초기 용탕의 설정온도를 유지한다. 주입구의 단면적은 사출 플런저의 직경과 동일하며, 주입부의 체적 + 챔버부(shot chamber)의 체적 = 실제품의 비스킷(biscuit)의 체적이 된다.

주입구는 유동해석시 솔버 입력창에서 자동찾기를 통해 입력이 가능하다. 그리고 사용자들의 작업 환경에 따라 여러 형태의 주입구를 설정할 수 있다. Fig.3.6~3.7에서 보는 것과 같이 먼저 요소 선택창에서 주입구를 선택하면 주입구가 추가되게 된다.

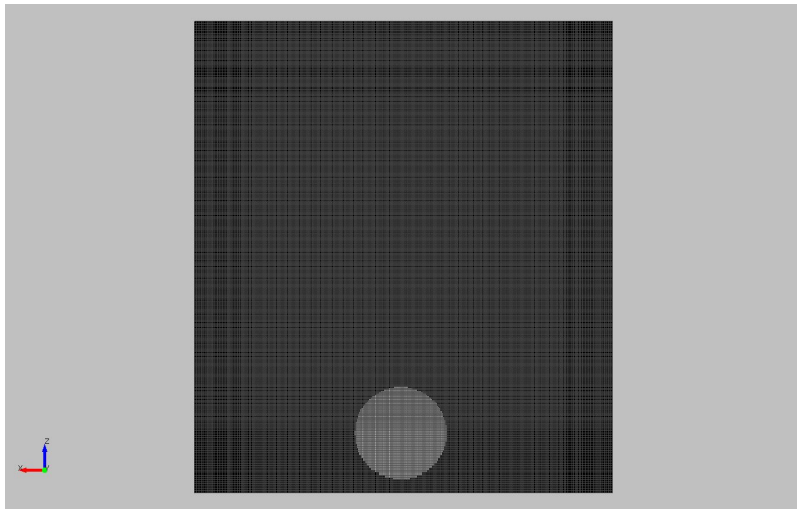


Fig. 3.6 Inlet in the mould

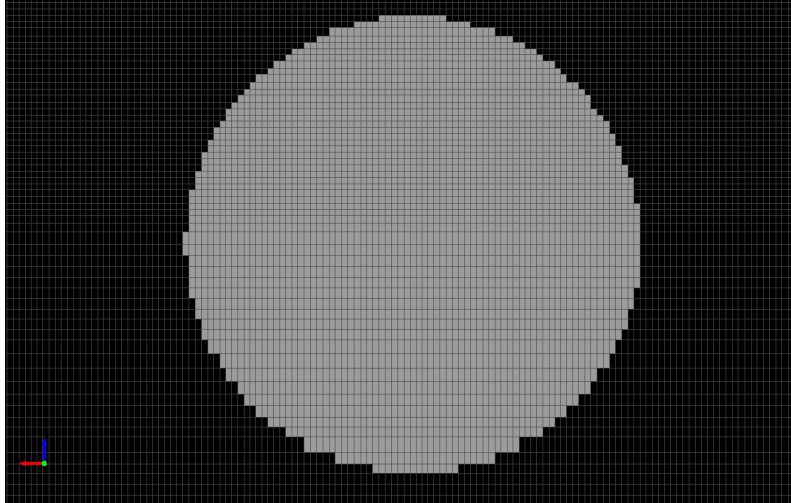
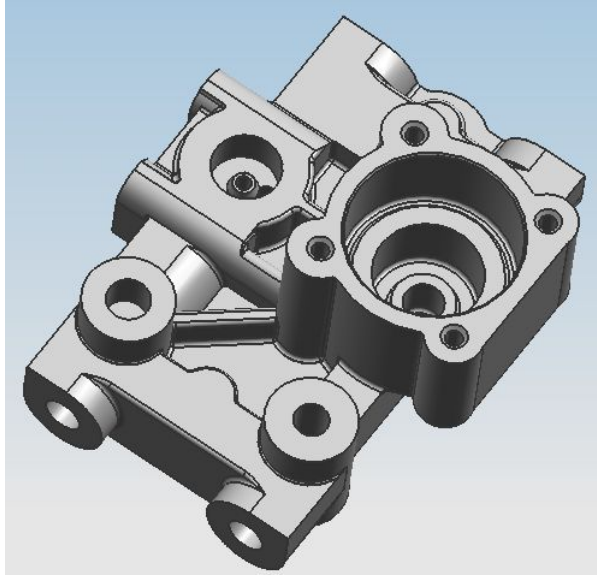


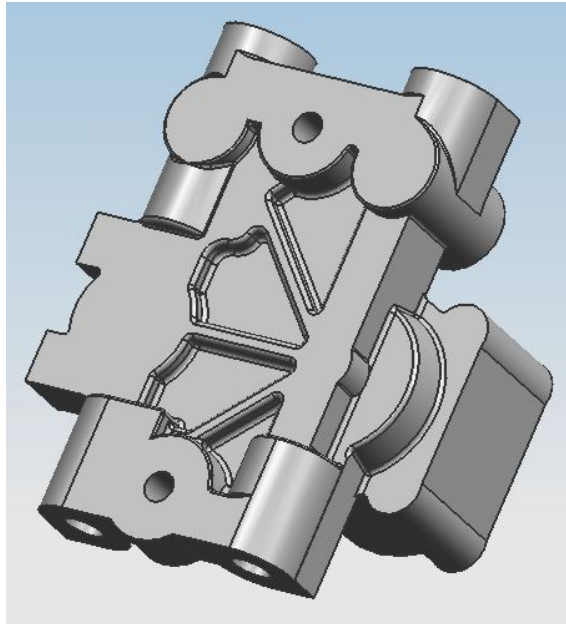
Fig. 3.7 regulator inlet for the die-casting

Fig. 3.8~Fig. 3.12에서 같이 오버플로우와 가스벤트는 통상 한쌍으로 설계하며 탕류를 개선시키고 다이캐스팅의 최대 결함인 기포 결함을 최소화시키는 역할을 한다. 오버플로우는 슬리브, 캐비티 중의 공기 및 가스를 제거하고 캐비티 주변의 용탕압력을 조절하며, 캐비티 각부의 온도조절 및 냉각되면서 오염된 초기 용탕을 저장하는 등의 역할을 한다. 가스벤트는 캐비티내의 가스를 빼내어 기포에 의한 제품 결함을 방지하는 역할이 그 목적이다. 따라서 오버플로우의 위치는 용탕의 흐름이 어려운 곳 또는 용탕이 만나는 점과 금형온도가 낮은 곳에 붙인다. 가스벤트는 캐비티로의 용탕흐름이 최종 충전되는 곳에 붙이며, 기공이 나타나기 쉽고 압입된 용탕이 직접 닿지 않는 위치에 붙이는 것이 일반적이다.

오버플로우는 가스의 혼입이 많은 용탕에 설치하고, 금형의 온도분포를 균일하게 하며 에어 벤트로 용탕이 밀려가지 않게 방지하고, 용탕이 충전 중에 압력이 낮게 유지하는 역할을 충분히 할 수 있도록 설계 하였다. 또한 소수의 큰 것 보다는 다수의 작은 오버플로우를 흐름과 같은 방향으로 좁게 설치하여 용탕이 입구로 역류하여 후속용탕의 충진이 방해되지 않도록 하였다.



(a) Down isometric of valve body part



(b) Upper isometric of valve body part

Fig. 3.8 Modeling of regulator using NX6

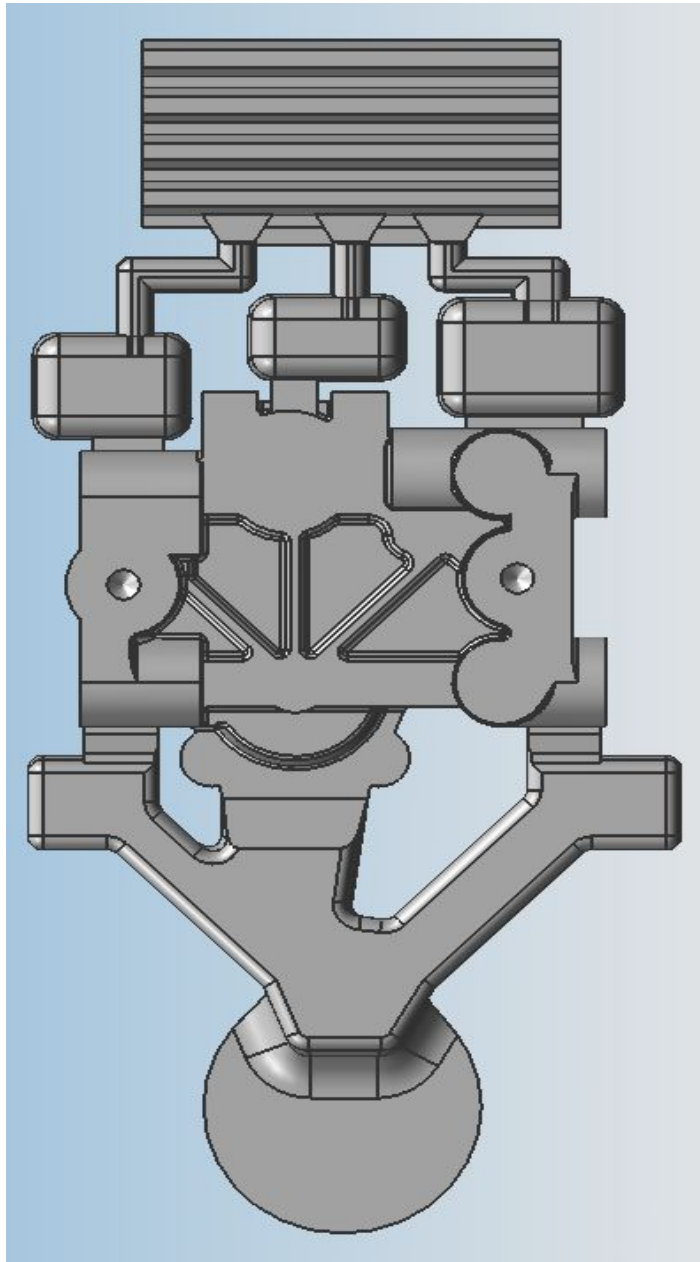


Fig. 3.9 LPI regulator under modeling

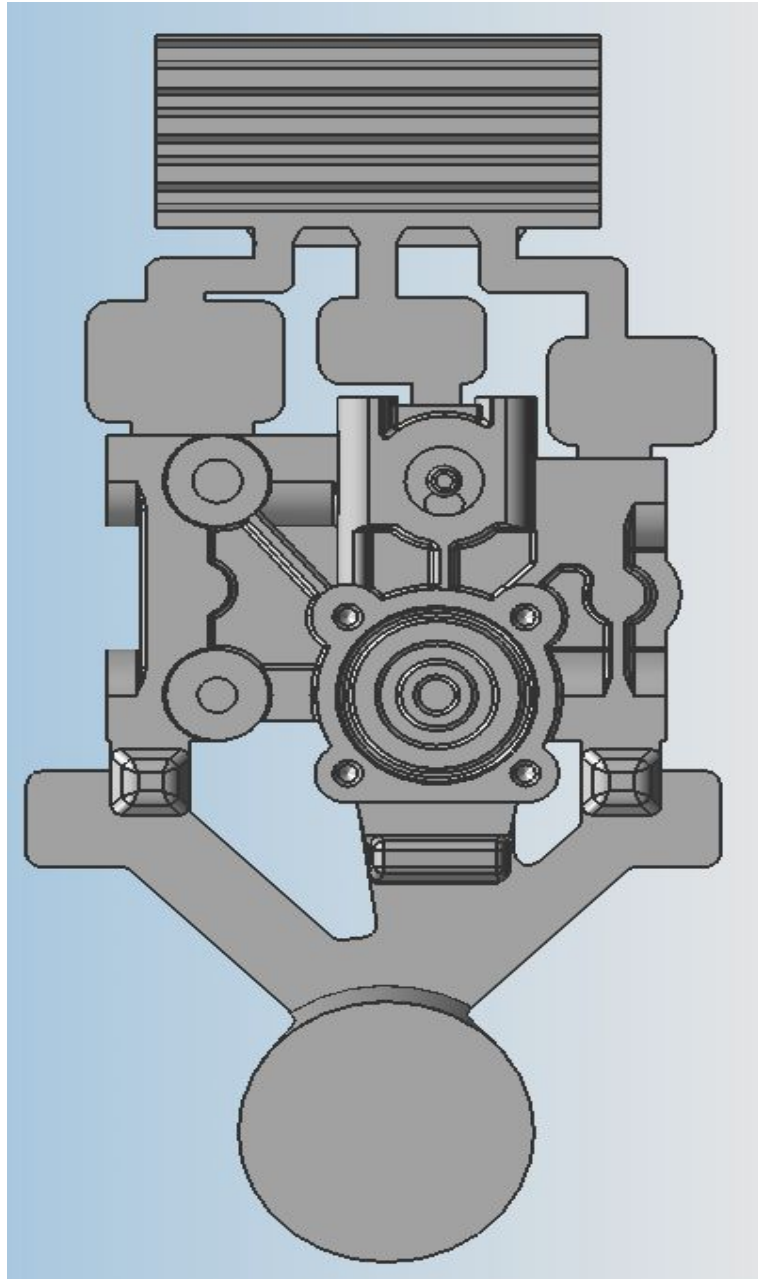


Fig. 3.10 LPI regulator upper modeling

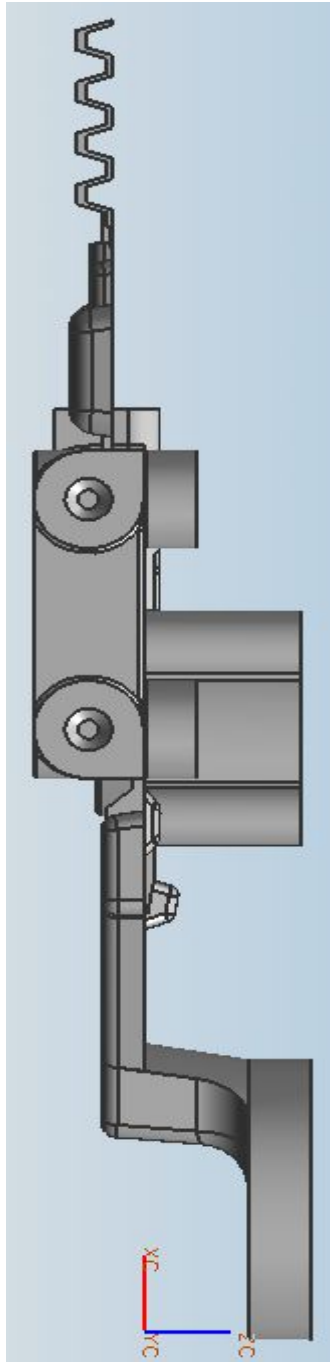


Fig. 3.11 Side modeling LPI regulator

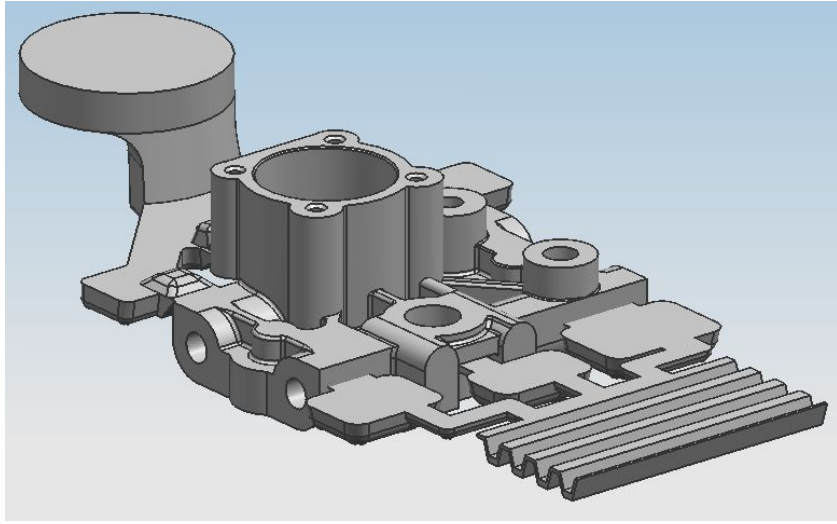


Fig. 3.12 Isometric of LPI regulator modeling

본 해석에서는 전산해석을 위한 소재물성 데이터로서 레귤레이터를 Z-CAST의 데이터 베이스에 내장되어 있는 AIDC(S)8.1합금의 열적 물성치를 사용하였다. 대체 소재를 공정합금으로 선택한 이유는 공정조성 합금의 경우 주조재로서 유동성이 좋으며, 응고중 등온변태에서 나타나는 현상으로 급랭으로 인해 조직이 미세화 되는 등의 특성을 가지고 있어 정량적인 해석이 아닌 전형적인 유동 및 응고패턴을 보여주는 정성적인 해석에 적절한 소재라고 판단하였다. 따라서 본 해석에서는 레귤레이터의 정밀한 응고거동 보다 충전 및 응고시 결함생성 현상과 가압 공정시 가압의 영향 등을 위주로 평가하였다.

전산해석의 충전 및 응고 해석에 이용되는 지배방정식은 유체의 흐름과 열전달에 대하여 질량, 운동량, 에너지보존법칙으로 나타낼 수 있으며, 유동해석은 Navier-Stokes방정식에 의해 하였으며, 열 유동해석은 Fourier's 방정식에 의해 하였다. 3차원 비압축성 유체의 유동 및 응고해석에 사용되는 연속방정식, SOLA-VOF를 사용한 Navier-stokes 방정식, 에너지 방정식 및 Volume of Fluid 식 등을 나타내었다. 충전 해석중에는 유한차분식(FDE : finite differential equation)을 이용 하였다.

Fig. 3.13은 STL 파일로 전환하여 Z-CAST로 불러들인 주형 및 게이트부가 형성된 모습을 볼 수 있다. 아래의 주물 메쉬가 주형 메쉬에 가려서 안 보이는 경우 주형에 주형이 숨기기가 되면서 화면에서 보이지 않게 되므로 제품형상을 확인할 수 있다. Fig. 3. 14는 메쉬가 형성된 최종 상태를 보여 주고 있다.

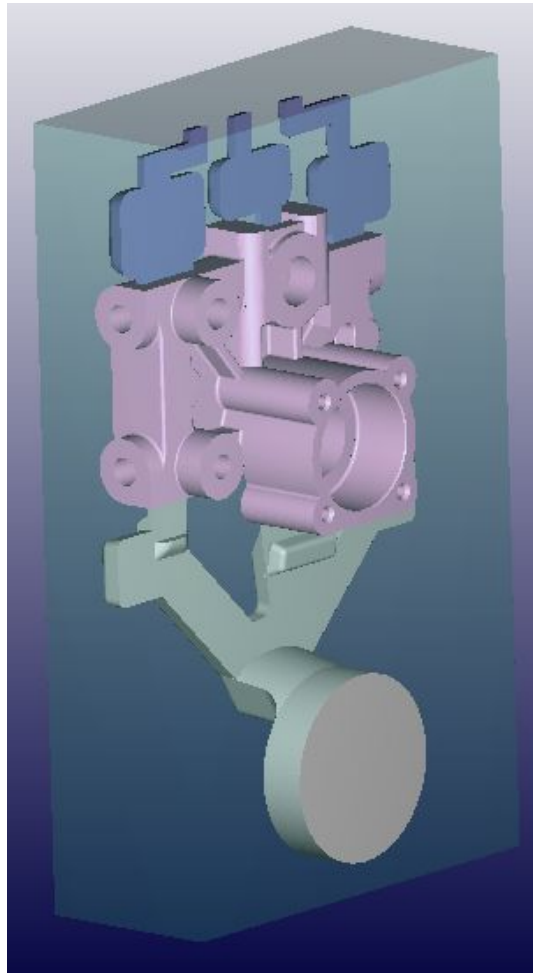


Fig. 3.13 STL transfer show for Z-CAST analysis

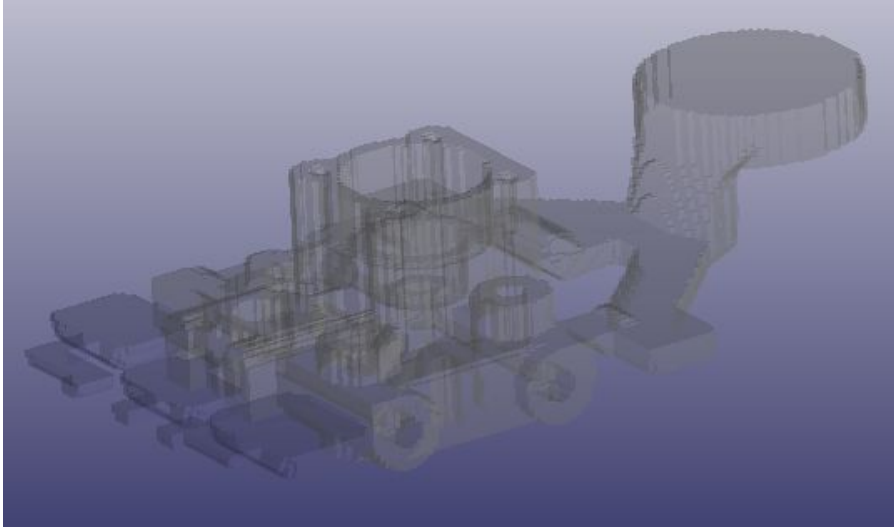


Fig. 3.14 Mesh generation results

Fig. 3.15은 입구부 전의 비스킷부로 다이캐스팅 제어를 위한 주요 분이며, Table 3.3은 주조해석을 위한 입력 조건이다. 여기서 D_p 는 34mm이며, 총중량은 약 0.94kg 이었다.

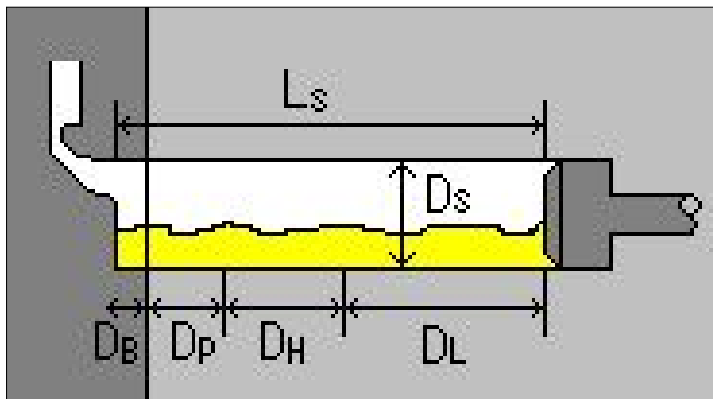


Fig. 3.15 Die-casting process conditions

Table 3.3 Factor of valve body analysis

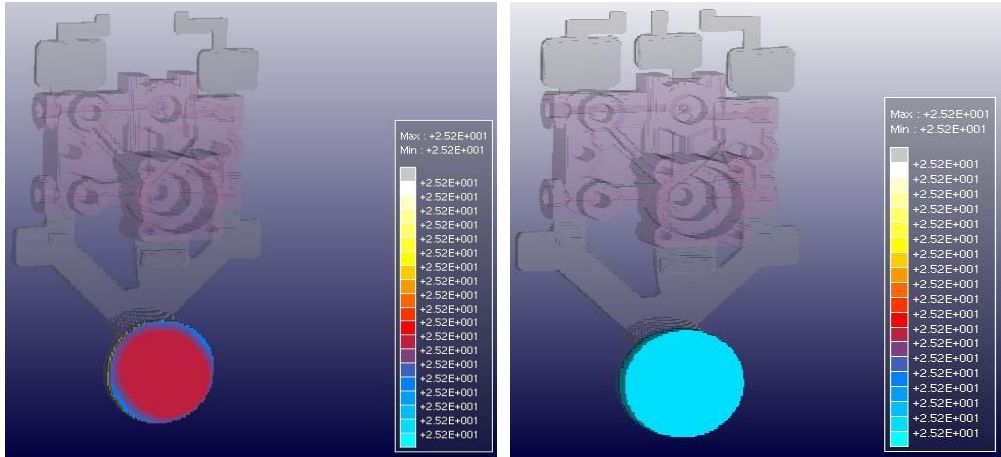
Factor	Positions	Units	Data
Sleeve stroke	LS	mm	410
Sleeve inner diameter	Ds	mm	60
Sleeve filling proportion	-	%	35
Slow interval distance	DI	mm	288
Slow injection speed	SL	m/s	0.25
High speed interval distance	Dh	mm	78
High injection speed	Sh	m/s	2.5
Bisket interval distance	Dh	mm	10

제4장 결과 및 고찰

4.1 충전해석

Fig. 4.1~Fig. 4.10은 충전중에 충전거동을 해석한 그림으로 최적화된 다이캐스팅 조건을 설정하여 충전해석 결과로부터 용탕의 충전 거동률을 나타내었다. 2단 사출속도에 의해 게이팅부가 모두 채워지는 시점을 기준으로 저속사출에서 고속사출로의 전환이 시작된다. 최적 다이캐스팅 주조방안에서 용탕의 비산(scattering flow)현상, 캐비티내에서의 용탕속도가 떨어지는 현상을 해결 하였다. 또한, 용탕의 유동성과 인게이트에서의 사출압력이 저하되어 용탕의 비산현상(scattering flow)을 보이는 것을 알 수 있다. 약 50% 충전시의 상부 오버플로우(overflow)부근에서의 용탕흐름이 서로 만나는 부분, 즉 탕회불량(whirling flow)으로 인한 결함의 발생 가능성이 높은 부분이 발생하였다. 이는 인게이트의 각도로 인해 용탕이 제품의 외각을 우선적으로 충전함으로써 발생하는 것으로 보인다. 이 탕회불량은 인게이트의 외각을 더 넓혀주거나 각도를 좀더 완만하게 보정해 주는 방법으로 용탕의 유동을 개선시킬 수 있다. 최적의 주조방안의 충전해석 결과를 통해서 용탕 유동에 있어서 오버플로우의 위치를 수정함으로써 속도, 온도 등이 균일하도록 유동을 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

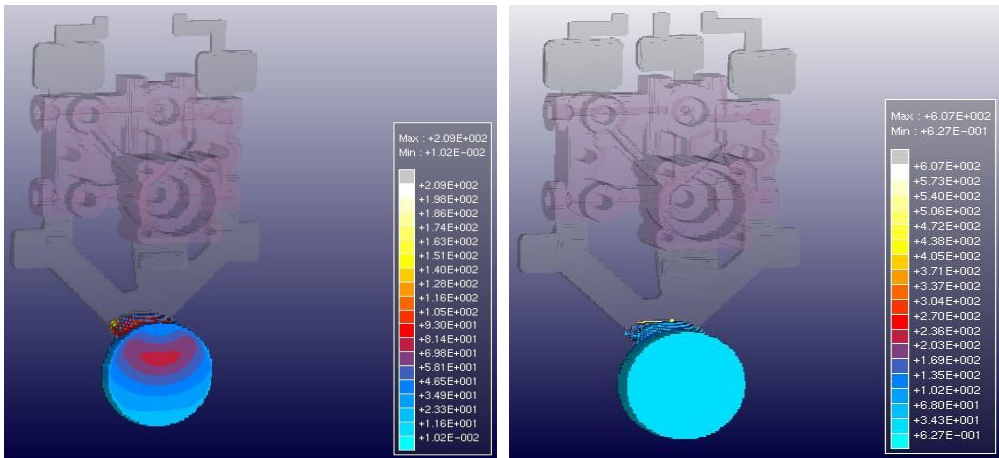
용탕이 캐비티내로 유입된 직후부터의 충전거동을 비교하기 위해 A-Type과 B-Type의 성형제품과 충전해석에 의해 충전율이 60%, 75%, 95%일 때의 유동과정이 다소 차이가 나타났으며, A-Type보다 B-Type에서 양호한 흐름을 관찰할 수 있었다.



(a) A-Type

(b) B-Type

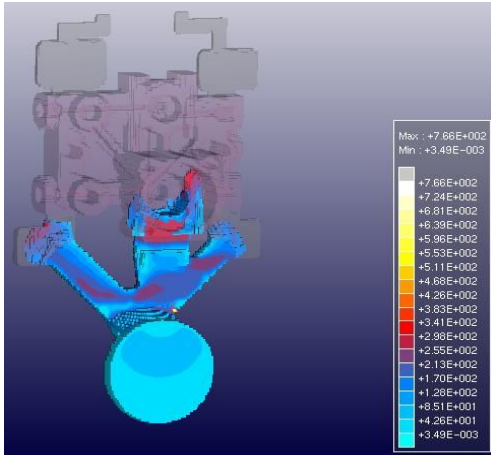
Fig. 4.1 Filling analysis results in the process 10%



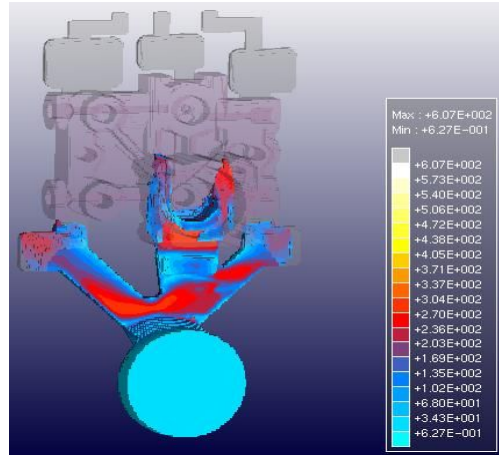
(a) A-Type

(b) B-Type

Fig. 4.2 Filling analysis results in the process 20%

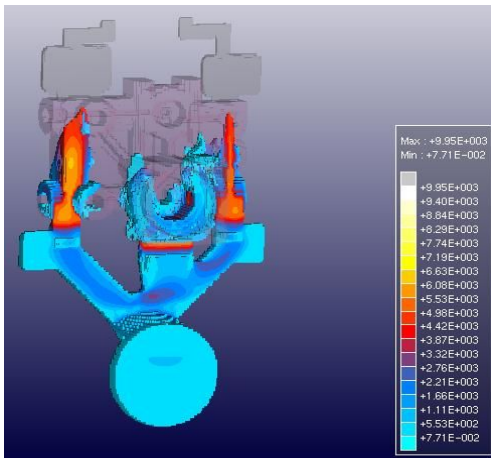


(a) A-Type

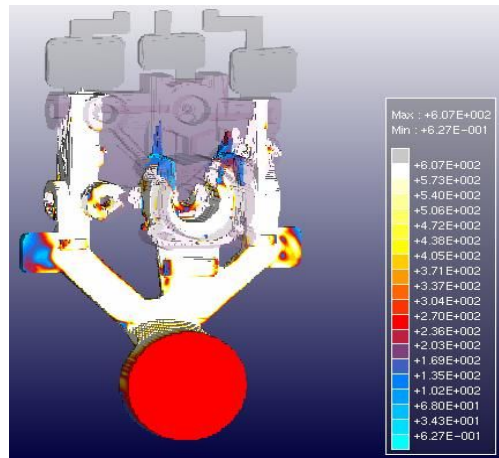


(b) B-Type

Fig. 4.3 Filling analysis results in the process 30%

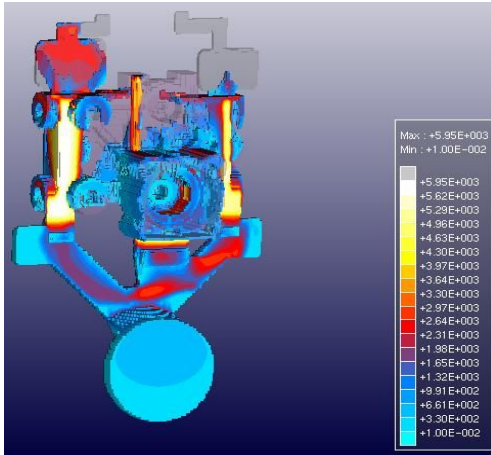


(a) A-Type

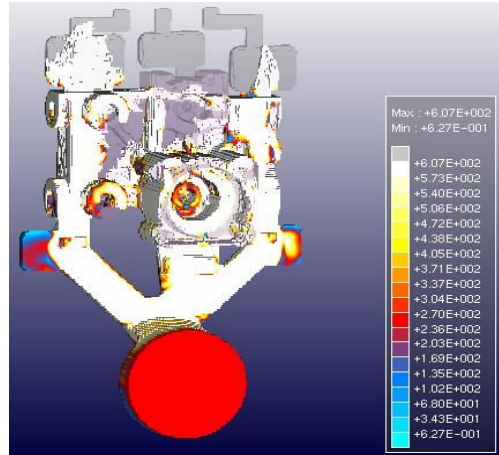


(b) B-Type

Fig. 4.4 Filling analysis results in the process 40%

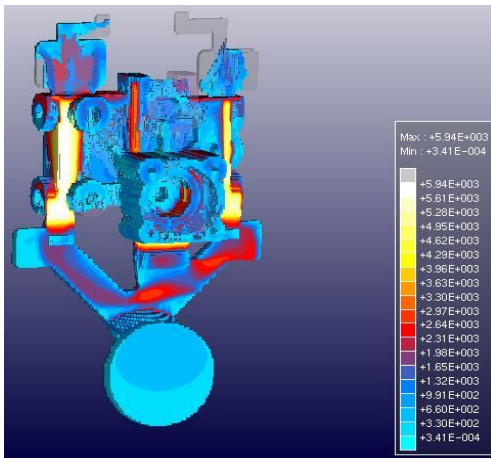


(a) A-Type

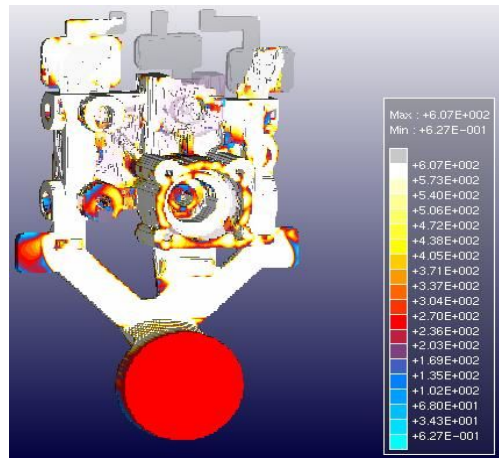


(b) B-Type

Fig. 4.5 Filling analysis results in the process 50%

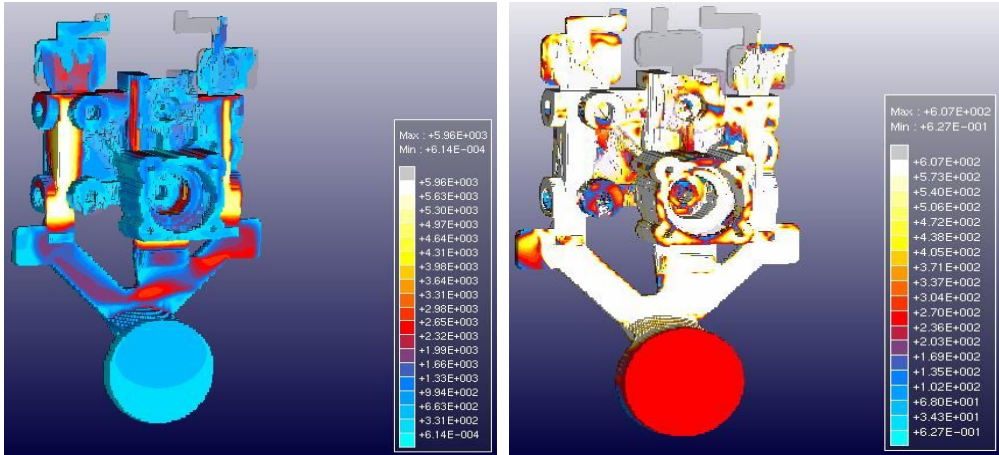


(a) A-Type



(b) B-Type

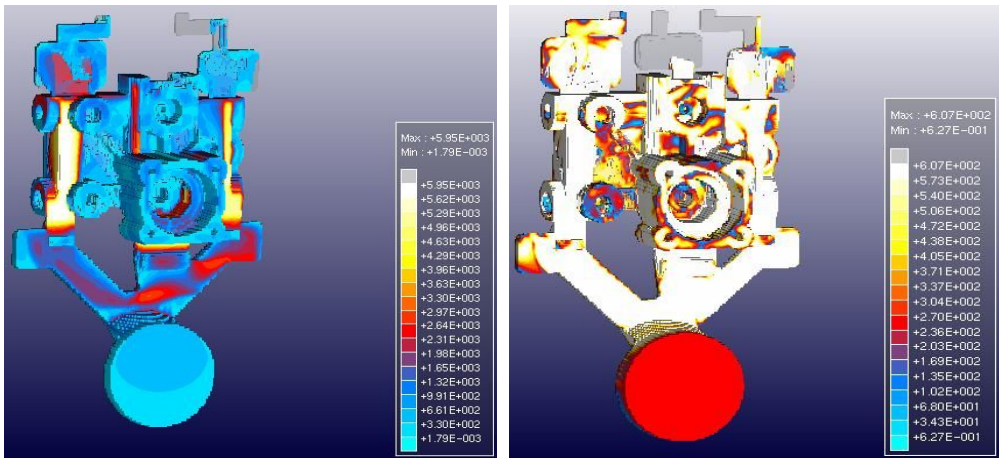
Fig. 4.6 Filling analysis results in the process 60%



(a) A-Type

(b) B-Type

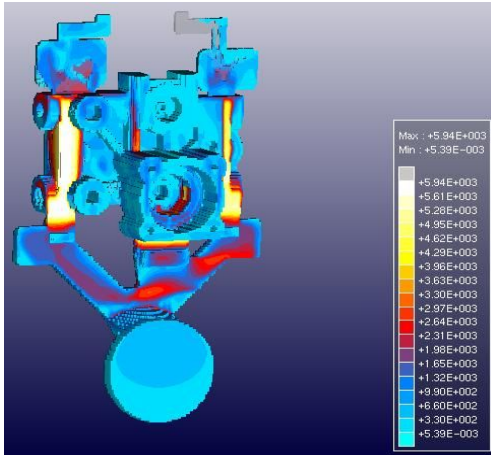
Fig. 4.7 Filling analysis results in the process 70%



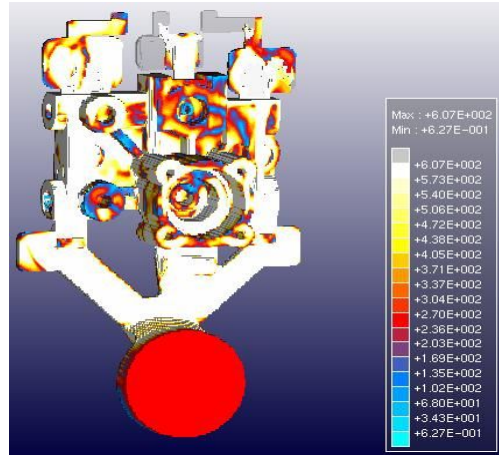
(a) A-Type

(b) B-Type

Fig. 4.8 Filling analysis results in the process 80%

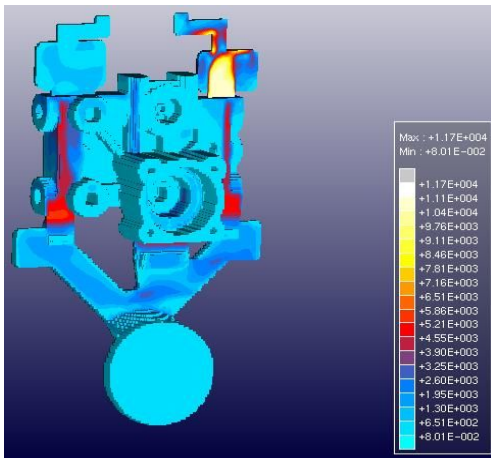


(a) A-Type

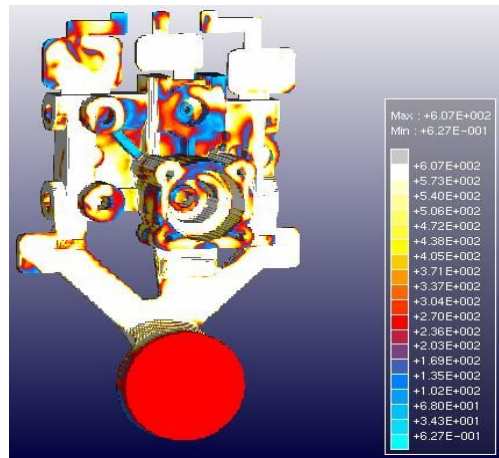


(b) B-Type

Fig. 4.9 Filling analysis results in the process 90%



(a) A-Type



(b) B-Type

Fig. 4.10 Filling analysis results in the process 100%

4.2 유동속도벡터

유동해석이 진행되는 중이거나, 해석이 완료된 뒤에도 충전 상태, 충전 온도분포, 충전 방향을 확인하여 제품의 결함을 찾아낼 수 있다.

Fig. 4.11~Fig. 4.18은 A-Type과 B-Type의 레귤레이터의 유동해석 진행과정을 속도벡터로 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 약간의 맴돌이 현상이 발생하였으나 속도벡터 결과 전반적으로 안정된 충전 양상을 확인할 수 있었다. A-Type과 B-Type의 속도벡터 비교분석 결과 A-Type보다는 B-Type에서 미소하게 속도가 빨랐으며, 진행률이 80%에 이르렀을 때에도 B-Type은 A-Type보다 왕성하게 이루어짐을 알수 있었다. 이러한 원인은 오버플로우의 개수의 증가로 두꺼운 부분을 고르게 충전하는 역할을 하기때문인 것으로 관찰 되었다. 따라서 이러한 해석 결과를 바탕으로 오버플로우의 개수 변화를 통하여 건전한 제품의 양산이 가능함을 관찰할 수 있었다.

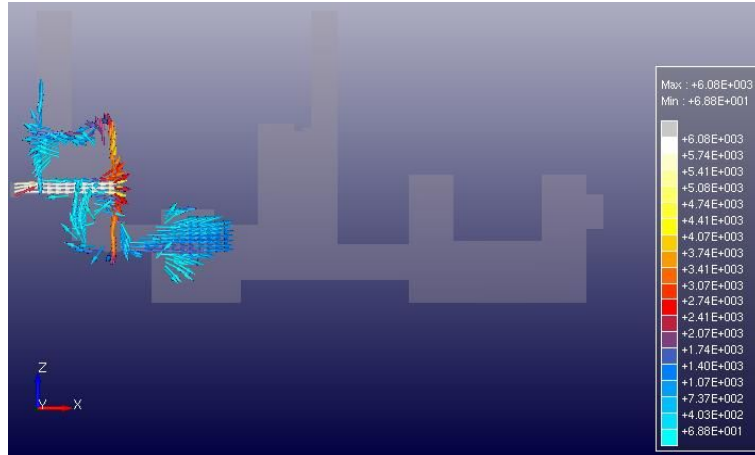


(a) A-Type

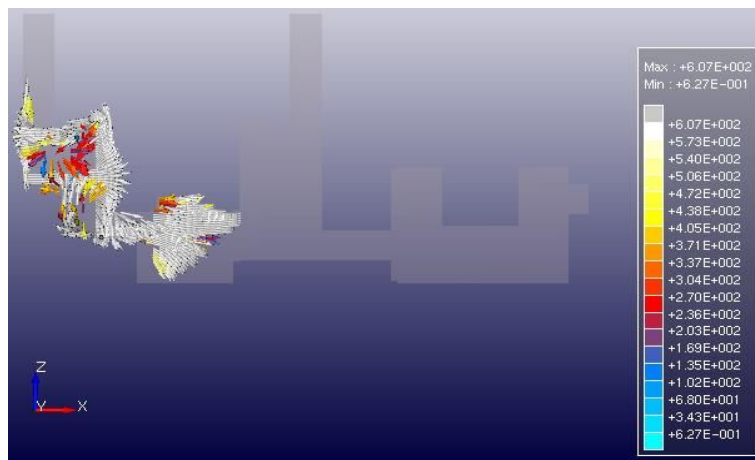


(b) B-Type

Fig. 4.11 Flow velocity vector in the process 30%

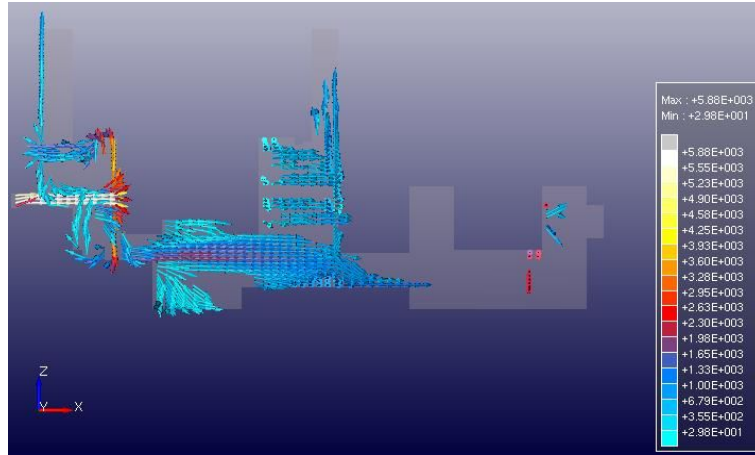


(a) A-Type

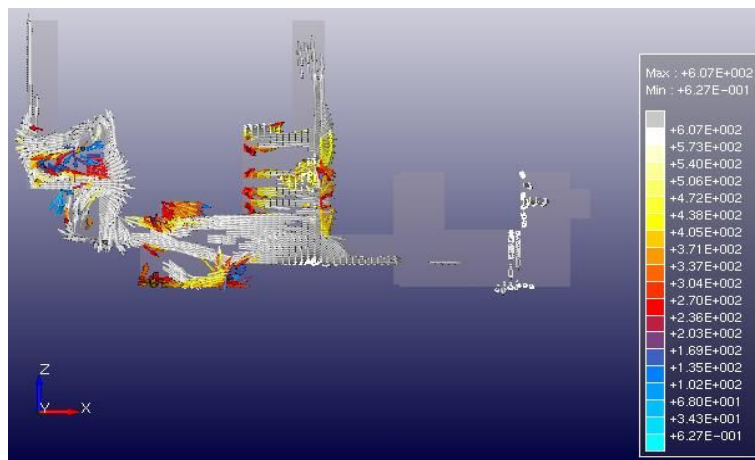


(b) B-Type

Fig. 4.12 Flow velocity vector in the process 40%

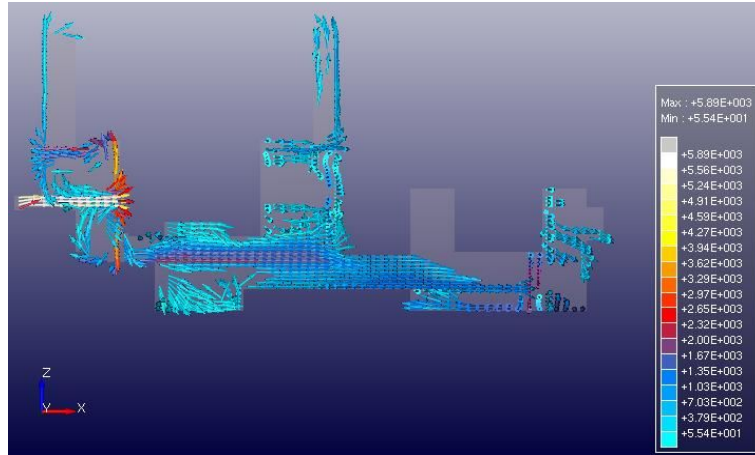


(a) A-Type

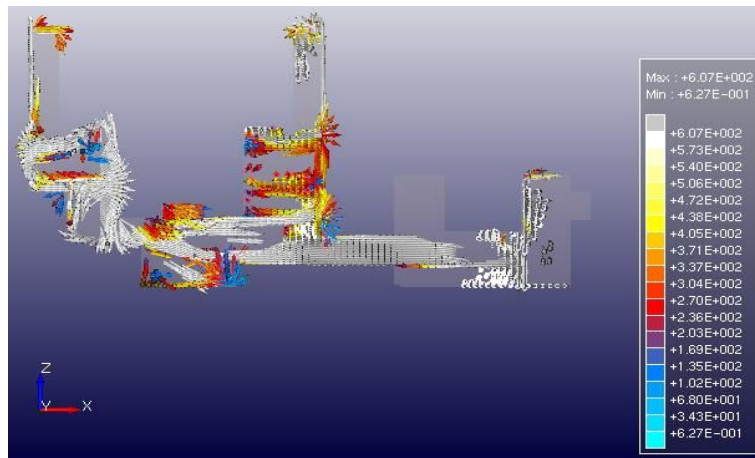


(b) B-Type

Fig. 4.13 Flow velocity vector in the process 50%

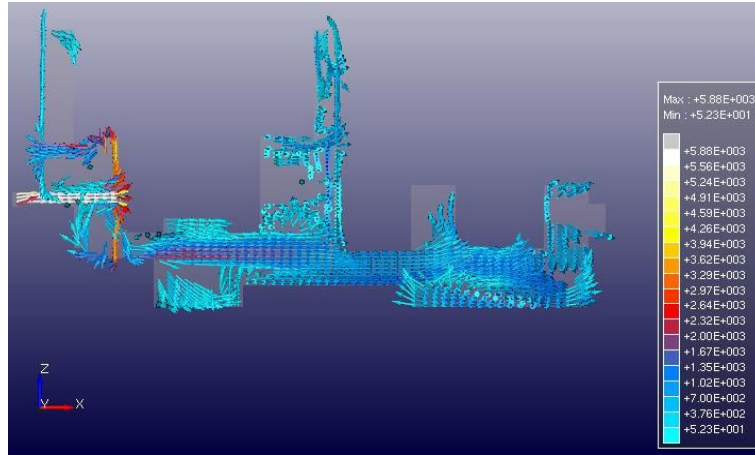


(a) A-Type

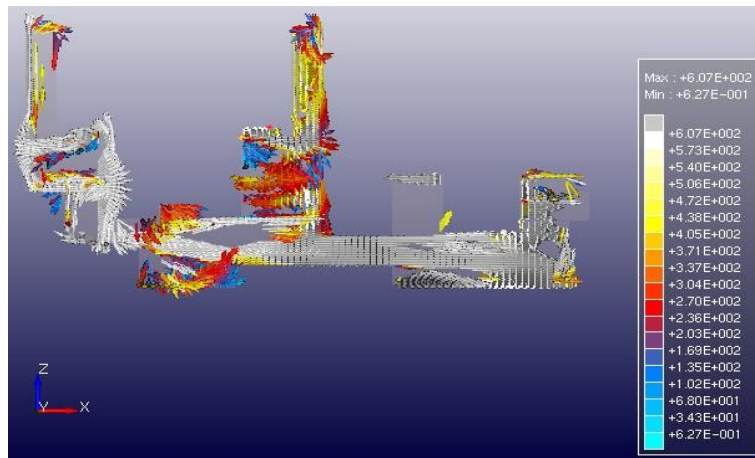


(b) B-Type

Fig. 4.14 Flow velocity vector in the process 60%

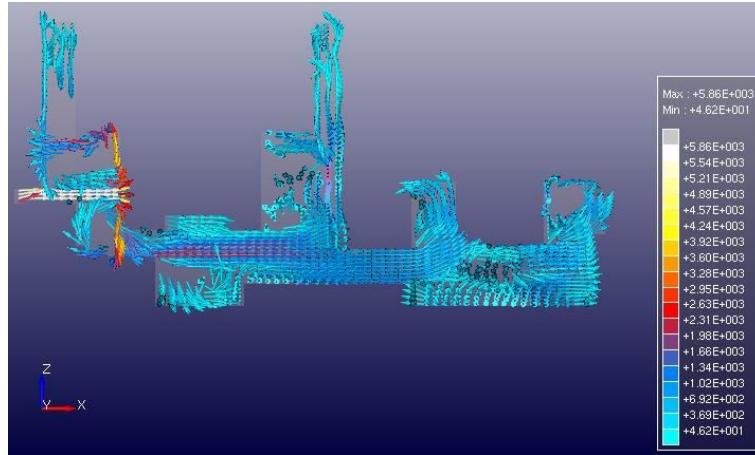


(a) A-Type

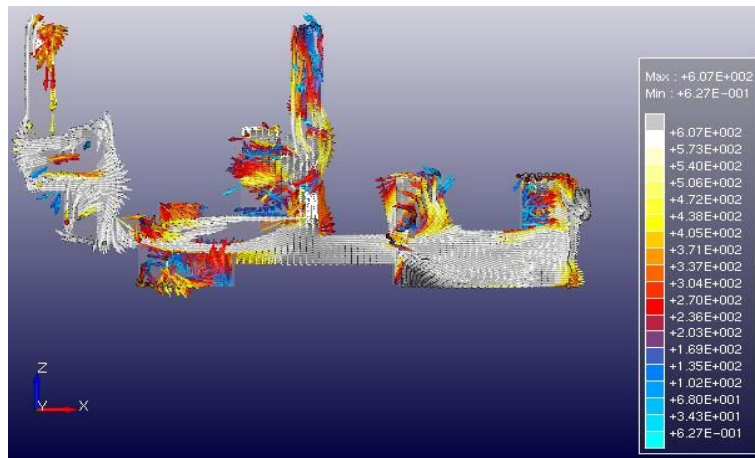


(b) B-Type

Fig. 4.15 Flow velocity vector in the process 70%

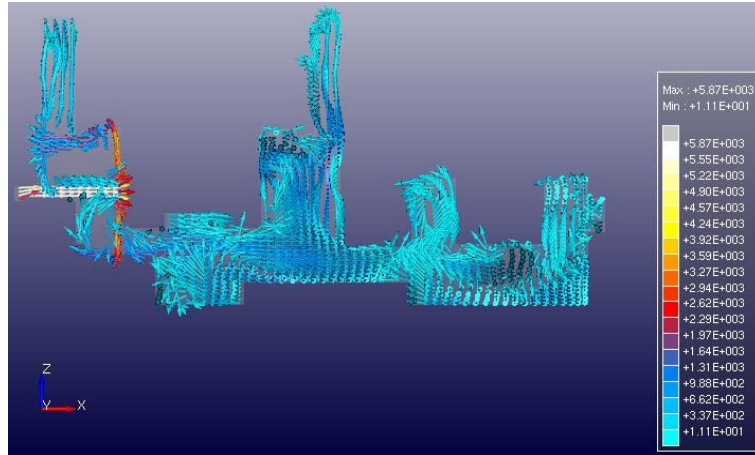


(a) A-Type

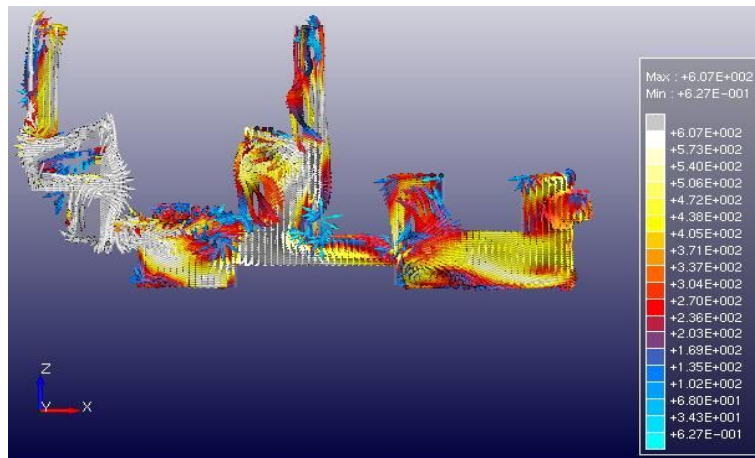


(b) B-Type

Fig. 4.16 Flow velocity vector in the process 80%

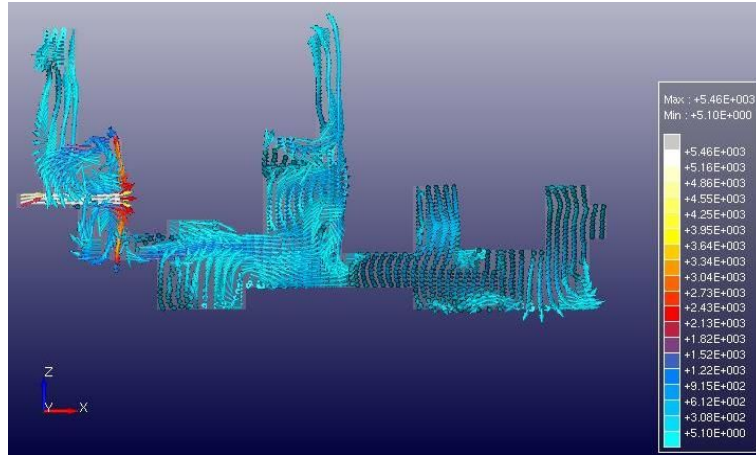


(a) A-Type

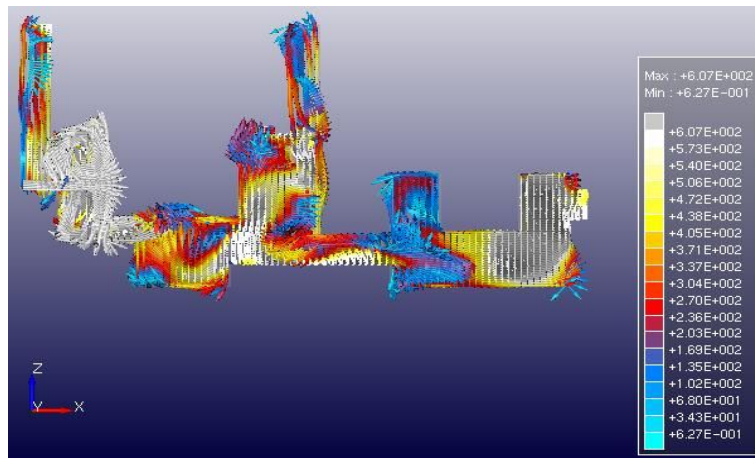


(b) B-Type

Fig. 4.17 Flow velocity vector in the process 90%



(a) A-Type

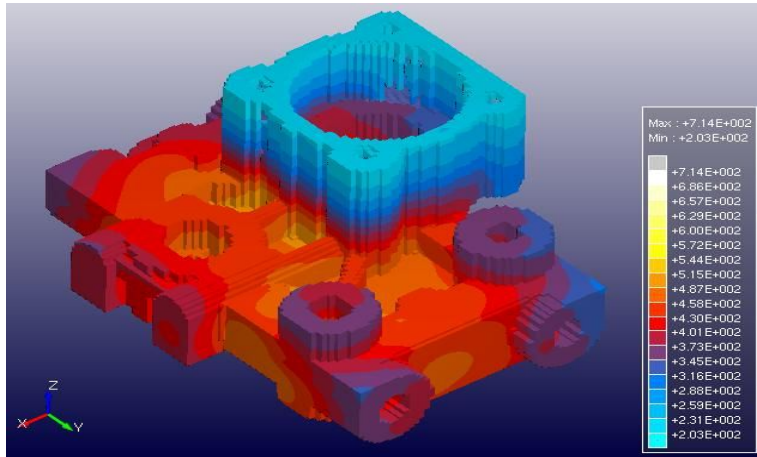


(b) B-Type

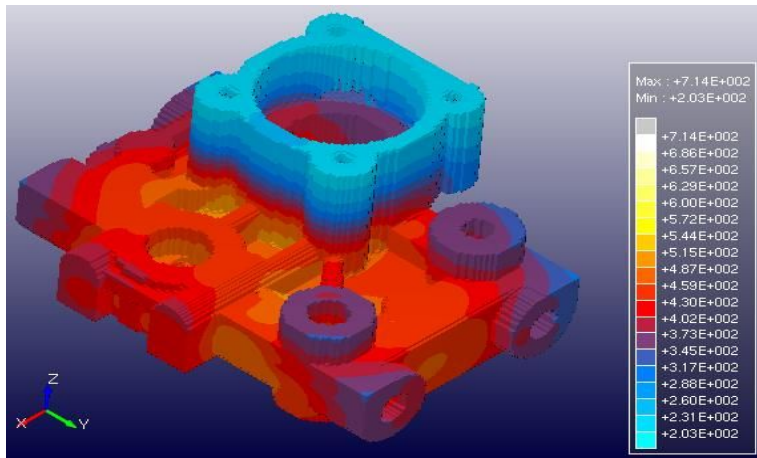
Fig. 4.18 Flow velocity vector in the process 100%

4.3 응고온도 분포

다이캐스팅 알루미늄 용융상태에서 응고가 완료된 후 A-Type과 B-Type의 온도분포를 비교 분석하였다. Fig. 4.19~Fig. 4.25에서와 같이 최대온도가 약 530℃를 비교 분석한 결과 B-Type의 형상에서 약간 빨리 응고가 되었음을 그림에서 알 수 있었다. 그림에서와 같이 다이캐스팅 제품에서 열이 금형으로 빠져 나오지 못하고 부품내부에 내재 되어 있으나, 주조품의 경도변화에는 큰 영향을 미치지 못했다. 또한 Fig. 4.25에서 알 수 있듯이 부품이 두꺼운 가운데 부분에서 열이 빠져 나오지 못하는 현상을 볼 수 있으나 최종 주조방안에서 이러한 문제점을 최소화되었음을 관찰할 수 있었다. Fig. 4.25에서 A-Type에서는 같은 온도가 잔류하였으나 B-Type에서는 사라졌음을 관찰 할 수 있었다.

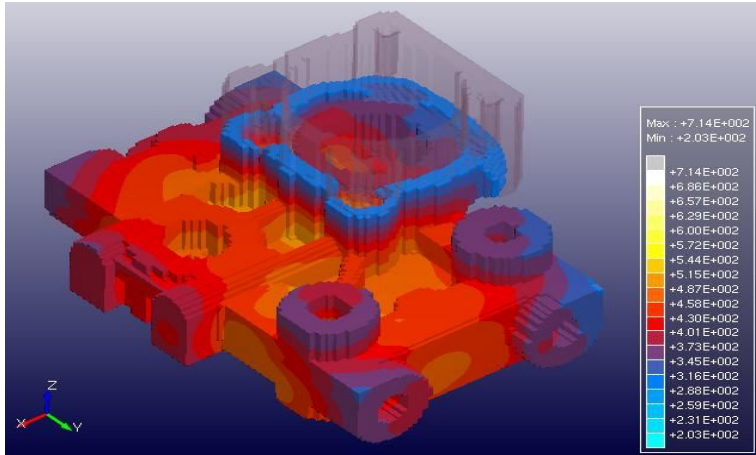


(a) A-Type

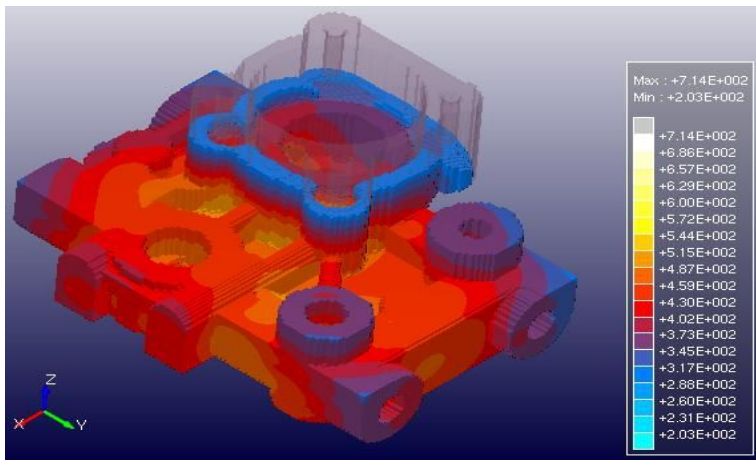


(b) B-Type

Fig. 4.19 Solidification temperature distribution of 200°C zone

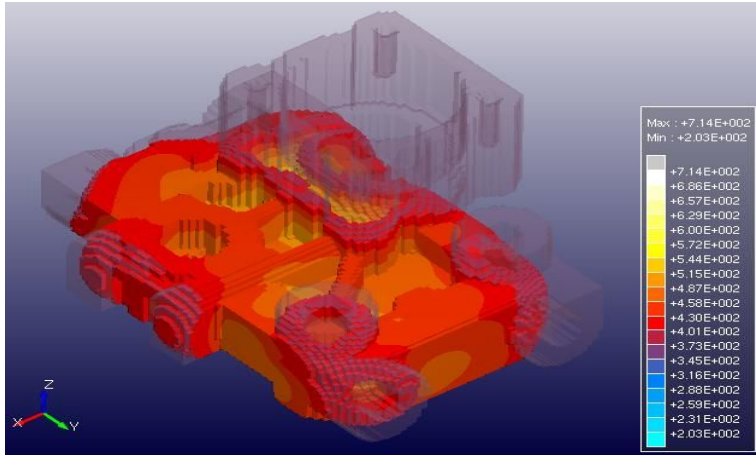


(a) A-Type

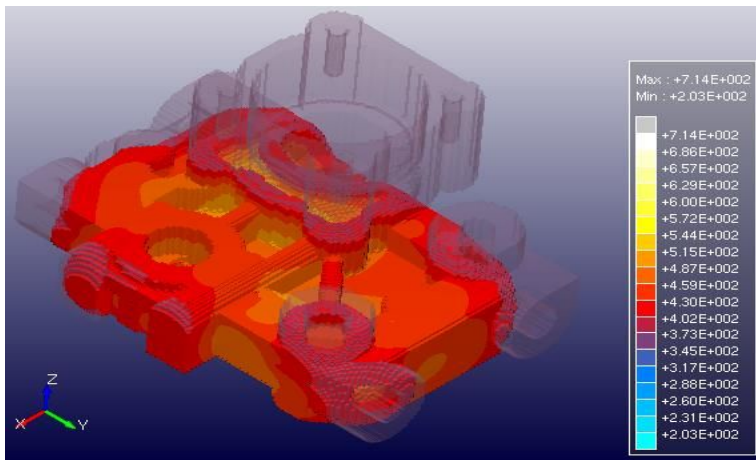


(b) B-Type

Fig. 4.20 Solidification temperature distribution of 300°C zone

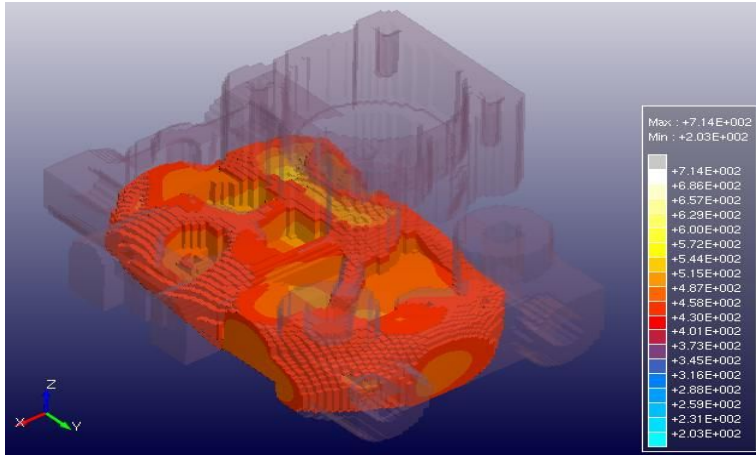


(a) A-Type

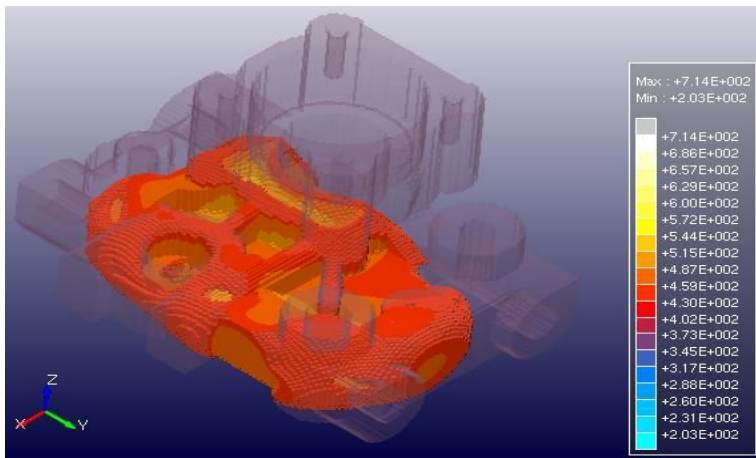


(b) B-Type

Fig. 4.21 Solidification temperature distribution of 400°C zone

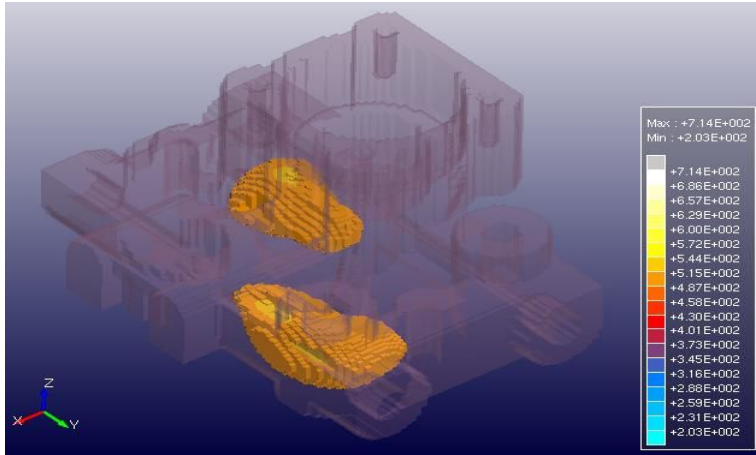


(a) A-Type

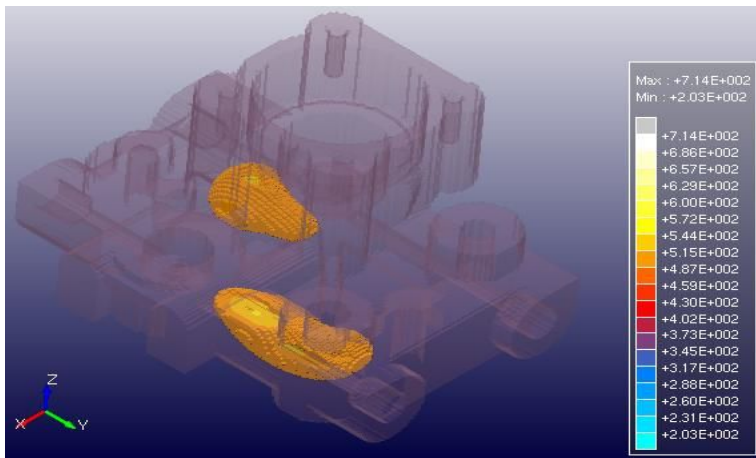


(b) B-Type

Fig. 4.22 Solidification temperature distribution of 450°C zone

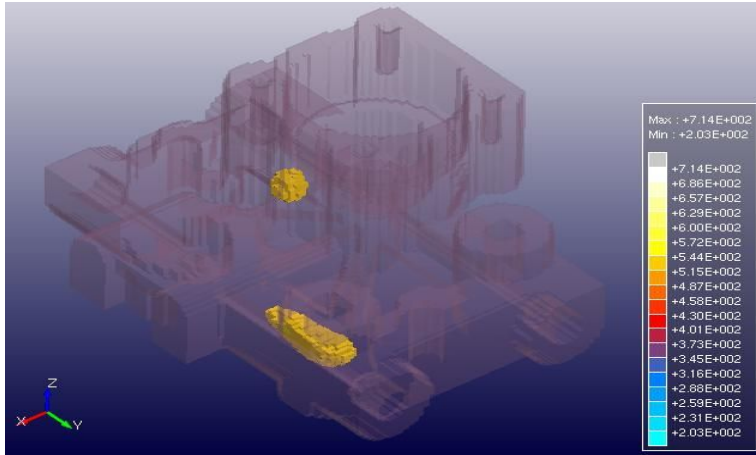


(a) A-Type

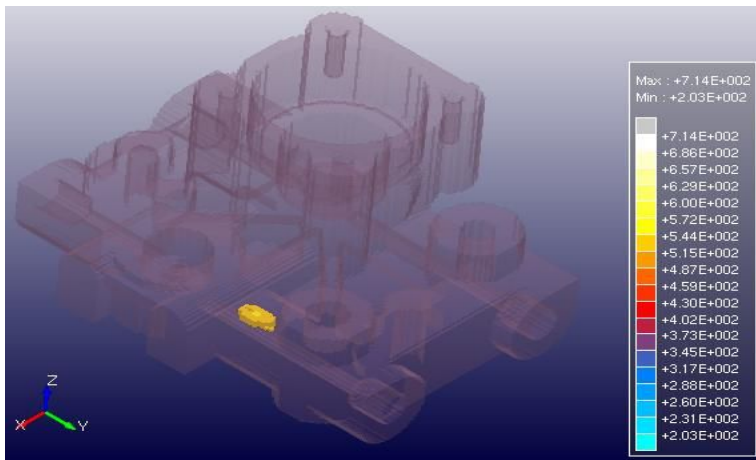


(b) B-Type

Fig. 4.23 Solidification temperature distribution of 500°C zone

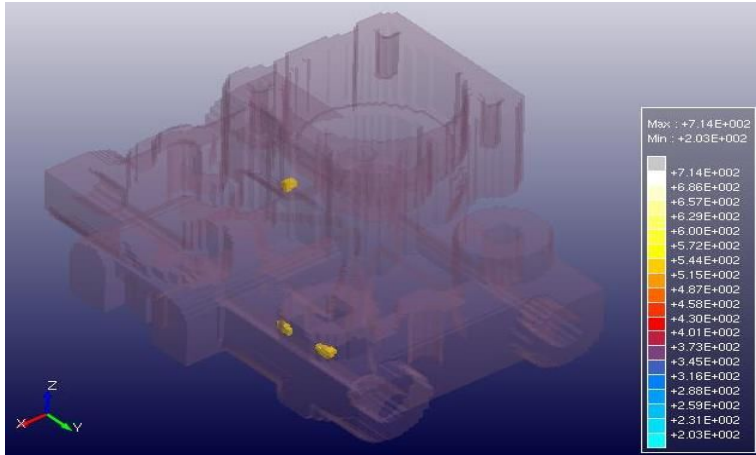


(a) A-Type

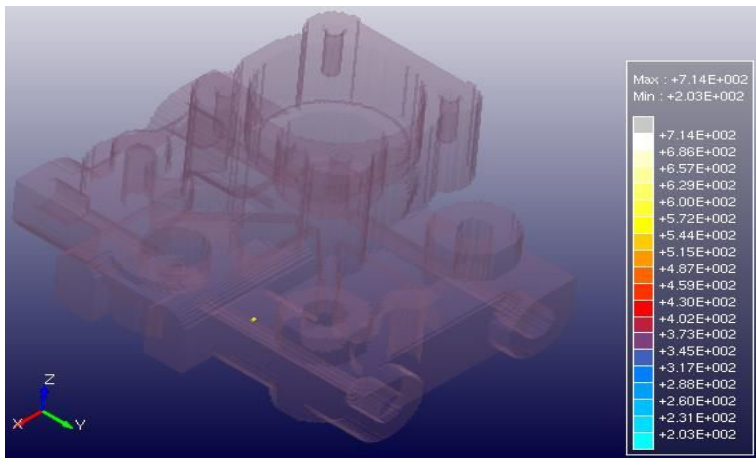


(b) B-Type

Fig. 4.24 Solidification temperature distribution of 530°C zone



(a) A-Type



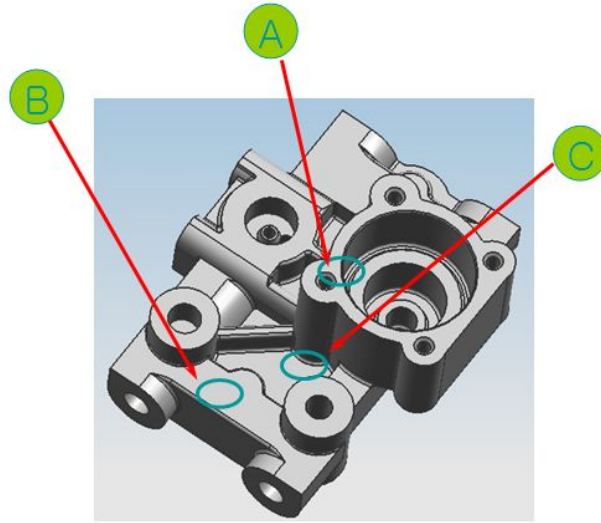
(b) B-Type

Fig. 4.25 Solidification temperature distribution of 550°C zone

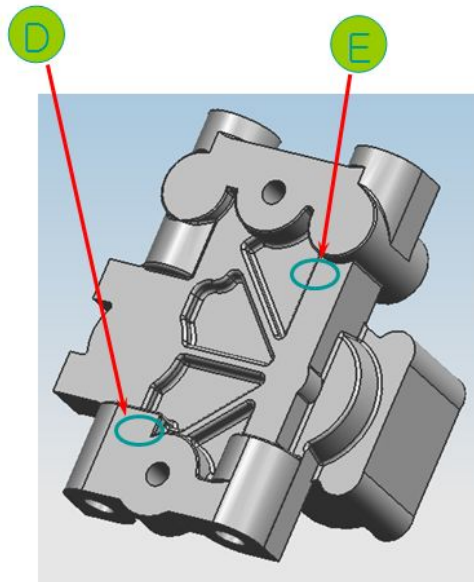
4.4 경도시험

Fig. 4.26에서 표시된 A, B, C, D 및 E 부위의 시험편을 채취하여 브리넬 경도시험을 행하였으며, 그 결과를 Table 4.1에 나타내었다. A-type과 B-type 경도시험 비교분석결과 오버플로우 최적형상 조건을 설정한 B-type에서 경도값이 60이상으로 측정되었다. Fig. 4.27~Fig. 4.28의 그림에서와 같이 각각의 위치에 따른 데이터 값의 평균값이 거의 같게 나타났으며, 최적상태인 B-type의 주조모델에서 높게 측정되었으며, 약간의 미소한 차이가 있는 것은 측정 오차에 의한 것으로 사료된다.

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 해석의 수정과 반복 해석에 의한 최적의 주조 조건을 구하였으며, 최종 주조조건의 제품의 경도 값이 높게 측정되었음을 정확히 알 수 있었다. 이것은 주조과정에서 발생하는 시행착오에 의해 발생 되는 비용, 시간 및 운영상 측면에서 현저하게 줄일 수 있으며, 신뢰성을 확보 할 수 있었다.



(a) Upper side of H_B hardness test zone



(b) Under side of H_B hardness test zone

Fig. 4.26 Test position for the H_B hardness

Table 4.1 Hardness test results (H_B)

Type	A type					B type				
No.	Test zone position					Test zone position				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	59	57	58	59	58	64	63	60	60	60
2	57	59	60	57	56	63	65	62	60	61
3	60	58	57	58	57	62	64	61	61	60
4	59	58	56	57	59	65	66	64	63	61
5	56	61	58	56	56	64	65	63	60	63
Av.	58.20	58.60	57.80	57.40	57.20	63.60	64.60	62.00	60.80	61.00

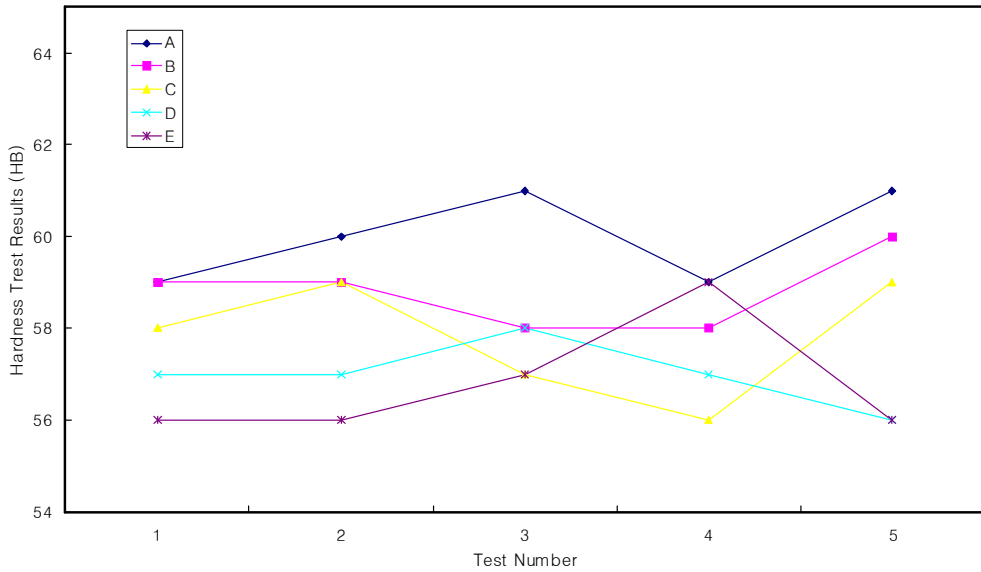


Fig. 4.27 A-Type measurement results

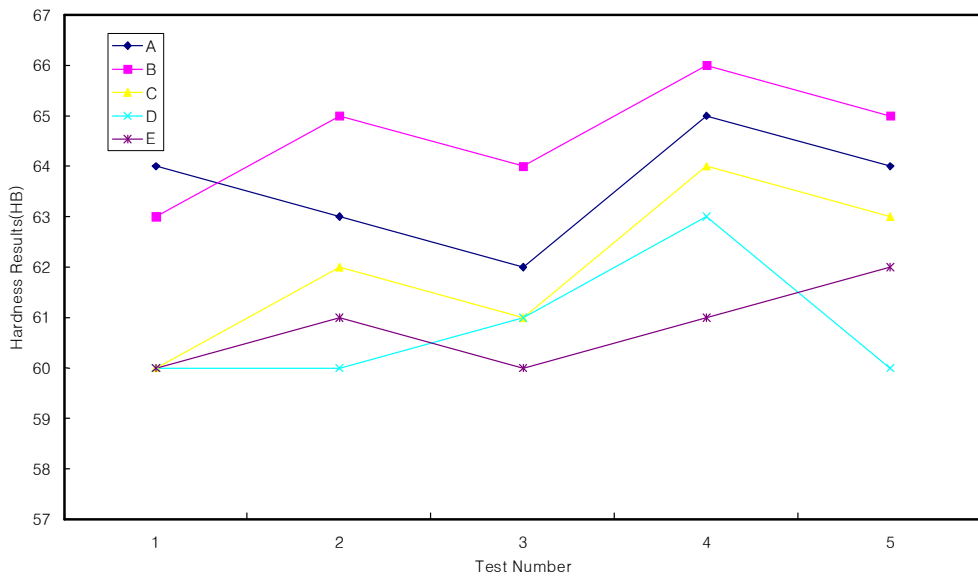


Fig. 4.28 B-Type measurement results

제 6장 결 론

본 연구는 LPI 차량의 연료압력 레귤레이터의 성형해석을 연구한 논문으로 다이캐스팅 주조과정에서의 유동 및 응고 과정에 따르는 제현상들을 정량적으로 예측하고, 주조설계에 있어서 최적화를 통하여 생산성 및 품질의 극대화를 얻고자 하였으며, 그 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 부품의 경량화 및 고품질 제품을 생산하기 위하여 시험모델을 대상으로 품질에 관여하는 영향인자들에 대하여 조사를 하였으며, 그 결과 주 요인 중 게이트 부, 오버플로우, 주조 속도 및 캐스팅 압력이 매우 중요하며, 가스에 의한 기공, 용탕 유동 및 응고에 영향을 주었다.

2. 주조방안 유형별 A-Type과 B-Type 비교 분석 결과 오버플로우의 개수에 따라 유동, 유동속도 및 응고온도 등에 영향을 주었음을 관찰하였으며, 제품의 후육부에서 응고온도의 분포가 미소하게 차이가 나타났다. 또한 응고 개시온도는 624°C ~ 630°C 에 서 시작 되었으나 성형이 완료된 후에 제품의 중심부에서 600°C ~ 614°C 의 온도가 존재 하였다.

3. 용탕의 온도가 680°C에서 최적의 유동 흐름을 보였으며, 650°C 정도에서 응고 되기 시작하여 580°C ~ 550°C 사이에서 급속도로 냉각되기 시작 하였다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션 해석 결과 오버플로우의 최적 형상인 B-Type에서 제작된 레귤레이터 부품의 경도 시험 결과 HR60 이상으로 측정 되어 양호한 상태를 보였다.

REFERENCES

1. J. Cambell, Mat. Sci. & Tech, Vol.17, pp. 885, 1991.
2. K. R. Brown, M. S. Venie, R. A. Woods, "The Increasing Use of Aluminum in Automotive Applications", JOM, Vol. 47, Issue 7, pp. 20~23, July 1995.
3. S. Okaniwa, "アルミニウム押出し", 軽金属, Vol. 45, No. 8, pp. 471~489, 1995.
4. A. Jackson, T. Sheppard, "Extrusion Limit Diagrams: Effect of Homogenising Conditions and Extension to Productivity Analysis", Materials science and technology, Vol. 13, pp. 61~68, January 1997.
5. C.C Tai, J.C Lin : Journal of Materials Processing Technology 84 pp. 1~12. 1998
6. G. Bar-Meir, E. R. G. Eckert, R. J. Goldstein, "Pressure Die Casting: A Model of Vacuum Pumping", Journal of Manufacturing Science & Engineering - Transactions of the ASME , Vol.118, pp. 259, 1996.
7. L.H. Kallien, P.Bellity, F. Odor and J.C.Sturm : AFS casting congress 1992.
8. P.N.Hansen, E. Flender and J. C. Sturm : int. Conf. On Best practice in foundries 11, 1993.
9. B.H.Hu, K.K. Tong, X.P. Niu, I. Pinwill, i Journal of Materials Processing Technology 2000 Vol. 105, pp. 128~133, 2000.
10. Song, R., Dhatt, G. and Cheikh, A. Ben, "Thermo-Mechanical Finite Element Model of Casting Systems," International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 30, pp. 579~599, 1990.

11. Aboutalebi, M. Reza, Hasan, M. and Guthrie, R. I. L., "Coupled Turbulent Flow, Heat, and Solute Transport in Continuous Casting Processes," Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 28B, pp. 731~744, 1995.
12. B.H.Hu, K.K. Tong, X.P. Niu, I. Pinwill, i Journal of Materials Processing Technology 2000 Vol. 105 pp. 128~133, 2000.
13. Yimer, B. and Senthil, K., "Experimental and Analytical Phase Change Heat Transfer," Energy Conversion and Management, Vol. 39, No. 9, pp. 889~897, 1998.
14. Reddy, M. P. and Reddy, J. N., "Numerical Simulation of Forming Processes using a Coupled Flow and Heat Transfer Model," International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 35, pp. 807~833, 1992.
15. Z HANG Weishan, XIONG Shoumei, LIU baicheng : Journal of Materials processing technology 63, pp. 707~711, 1997.
16. C. Mitterer , F. Holler , F. Ü stel, D. Heim, "Application of hard coatings in aluminium die casting - soldering, erosion and thermal fatigue behaviour ", surface and Coatings T echnology Vol.125, pp. 233, 2000.
17. C.C Tai, J.C Lin : Journal of Materials Processing Technology 84, pp. 1~12, 1998.
18. L.H. Kallien, P.Bellity, F. Odor and J.C.Sturm : AFS casting congress, 1992.
19. P.N.Hansen, E. Flender and J. C. Sturm : int. Conf. On Best practice in foundries 11. 1993.
20. G. Bar- Meir : Die casting engineer, May/Jun, 1998.
21. C. P. Hong, H. F. Shen and S. M. Lee, "Prevention of Macrodefects in

- Squeeze Casting of an Al-7Wt Pct Si Alloy", Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 31B, Iss. 2, pp. 297, 2000.
22. J. Campbell, "The concept of net shape for casting", Materials and Design, Vol. 21, pp. 373, 2000.
 23. C. C. Tai, J. C. Lin, "A runner - optimization design study of a die-casting die", Journal of materials processing technology, Vol. 84, pp. 1, 1998.
 24. Zhang Weishan, Xiong Shoumei, Liu Baicheng, "Numerical simulation of fluid flow in horizontal cold chamber die casting shot sleeves", Proceedings of the 3rd Pacific Rim International Conference on Modeling of Casting and Solidification Processes, pp. 341, 1996.
 25. Lu SC, Rebello AB, Miller RA, Kinzel GL, Yagel R, "A simple visualization tool to support concurrent engineering design", Computer -Aided Design , V.29, pp. 727, 1997.
 26. M. A. Osborne, C. E. Mobley, R. A. Miller, L. H. Kallien, "Modeling die casting process using Magmasoft", Transactions of the 17th International Die Casting Congress and Exposition, Ohio, USA, pp. 77, 1993.
 27. L. H. Kallien, M. Lipinski, "Optimization of die cast parts using numerical simulation of die filling and solidification", Transactions of the 17th International Die Casting Congress and Exposition, Ohio, USA, pp. 85, 1993.
 28. E. Niyama, K. Oda, K. Anzai, " A cyclic steady model for heat flow in die casting dies", Proceedings of the 3rd Pacific Rim International Conference on Modeling of Casting and Solidification Processes, pp. 1, 1996.
 29. Jing Tao, Anzai Koichi, Niyama Eisuke, " Die life prediction in the die casting cycle simulation", Proceedings of the 3rd Pacific Rim International Conference on Modeling of Casting and Solidification Processes, pp. 312, 1996.

30. 이재경, 최정길, 홍준표, 유동한계 고상율법을 이용한 수축공 생성의 수치해석, 주조 No. 18, Vol. 6, pp. 555, 1998.
31. 김억수, 김용현, 이광학, 김홍식, 스퀴즈 병용 다이캐스팅법에 의한 Al- 12%Si 합금의 결합제어에 관한 연구 , 주조 No. 15, Vol. 4, pp. 377, 1995.
32. E. S. Kim, K. H. Lee, Y. H. Moon, "A feasibility study of the partial squeeze and vacuum die casting process", Journal of Materials Processing Technology Vol.105, pp. 42, 2000.
33. Nahed A. El-Mahallawy, Mohamed A. Taha, Engenius Pokora and Friedrich Klein, "On the influence of process variables on the thermal conditions and properties of high pressure die- cast magnesium alloys", J. of Mat . Science and T ech. Vol.73, pp. 125, 1998.
34. S. C. Lu, A. B. Rebello, R. A. Miller, G. L. Kinzel, R.Y. Yagel, "A simple visualization tool to support concurrent engineering design", Computer Aided Design, Vol.29, No.10, pp. 727, 1997.
35. Zhang Weishan, Xiong Shoumei and Liu Baicheng, "Study on a CAD/ CAE System of Die Casting", J. of Mat . Science and T ech. Vol. 63, pp. 707, 1997.
36. Shamsuddin Sulaiman and Tham Chee Keen, "Flow Analysis along the Runner and Gating System of a Casting Process", J . of Mat . Science and T ech. Vol.63, pp. 690, 1997.
37. 박형진, 강충길, 김병민, 최재찬, 반응용 단조품의 제조공정 및 금형설계 , 주조 제19권 제2호, pp. 142, 1999.
38. N. S. Kim, C. G. Kang, " An investigation of flow characteristics onsidering the effect of viscosity variation in the thixoforming process", Journal of material processing technology Vol. 103, pp. 237, 2000.