

## 게이트 수에 따른 주물재의 특성 분석

이성문<sup>1</sup> · 이해경<sup>1</sup> · 이견엽<sup>1</sup> · 문성민<sup>1</sup> · 문영훈<sup>#</sup>

### Effect of gate numbers on the characteristics cast

S. M. Lee, H. K. Yi, G. Y. Lee, S. M. Mun, Y. H. Moon

#### Abstract

In this study, the casting process using forged insert was investigated to characterize the manufacturing process by which good mechanical properties can be obtained when compared with existing casting products. Process analysis for the casting design was performed by using FVM (Finite Volume Method) software. In filling process, three kinds of candidate gating systems are considered and analyzed respectively. The molten metal behavior in gating system is so important that it affects the solidification behavior of the cast.

**Key Words** : Forging, Casting, Gating system, Solidification

#### 1. 서론

최근 자동차 산업 기술 경쟁 속에서 자동차 부품의 모듈화 및 일체화 기술 개발은 세계적인 추세로 조립과정 및 해체 과정을 단순화 할 수 있고 신차 개발기간의 대폭적인 단축이 가능하기 때문에 모든 자동차 회사에서 사활을 걸고 개발에 나서고 있다[1]. 이 중 너클(knuckle)부품은 기본적으로 외륜(outer race, housing), 내륜(inner race, spider)과 볼(ball) 또는 케이지(cage)등의 부품으로 각 부품간의 상대운동에 따른 부품의 요구정밀도가 높고 기계적 특성을 향상시키기 위해 앞으로는 단조공정을 적용시켜 제작될 예정이다. 본 연구에서는 너클 부품의 기계적 향상을 위해 베어링과 연결되는 부위는 단조공법을 적용하고 다른 부분은 설계자유도를 높일 수 있는 주조공법을 적용하는 단조형 인서트 타입의 주물 너클을 개발하고자 주조전용 해석 code인 MAGMASoft를 이용하여 용탕의 충전 및 응고해석을 통하여 실제 주조된 제품과 비교 분석을 하고자 한다.

#### 2. 실험방법

##### 2.1 단조 인서트

단조용 인서트는 SM45C를 사용하여 열간 단조로 1000ton 유압프레스에서 실시하였고, 단조 시 소재온도는 1100℃, 금형의 온도는 220℃로 가열하여 실험하였다.



Fig. 1 Forged insert for casting

단조 인서트는 Fig. 1과 같이 외부 주조품과의 길이방향으로의 구속력을 부여하기 위해 원주방향으로 돌출된 형상을 제작하였다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과 / 정밀정형 및 금형 가공연구소  
# 교신저자 : 부산대학교, E-mail: yhmoon@pusan.ac.kr

## 2.2 주조 실험

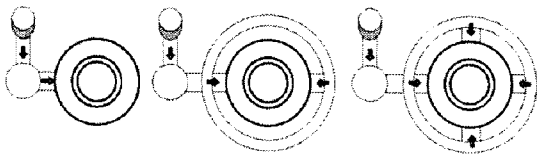
본 연구에서는 구상흑연주철(FCD50)을 이용한 사형 주조법으로 주물재를 제작하였다. Table 1은 구상흑연주철의 대표적 화학성분을 나타내었다.

**Table 1 Chemical compositions of specimen (wt. %)**

Material	C	Si	Mn	P	S
FCD50	3.3~3.8	2.0~3.0	0.2~0.6	0.15	0.005~0.015

## 2.3 주조해석 및 주조/단조 경계부 분석

Fig. 1의 인서트 타입의 단조품을 삽입 한 후 주조 유동해석을 수행하였다. 적절한 주조방안을 도출하기 위하여 게이트 형상을 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 게이트가 1개일 때와 게이트가 2개일 때 그리고 90° 방향으로 위치한 4개의 게이트에서 용탕이 주입되도록 세가지 형상에 대하여 설계하고 비교 분석하였다[2~4]. 단조형 인서트를 삽입한 주물재를 와이어 커팅기를 이용해서 단면을 절단하여 주조부와 단조부의 경계부를 관찰하였다.



(a) one gate (b) two gates (c) four gates

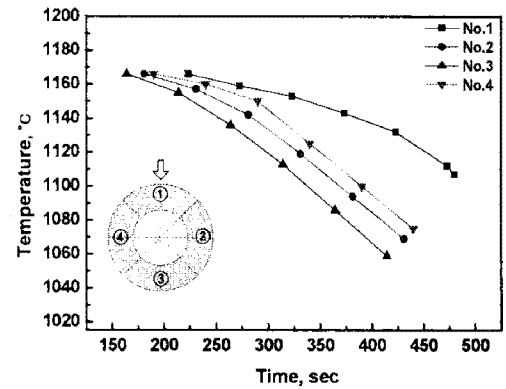
**Fig. 2 Gating systems**

## 3. 실험결과 및 고찰

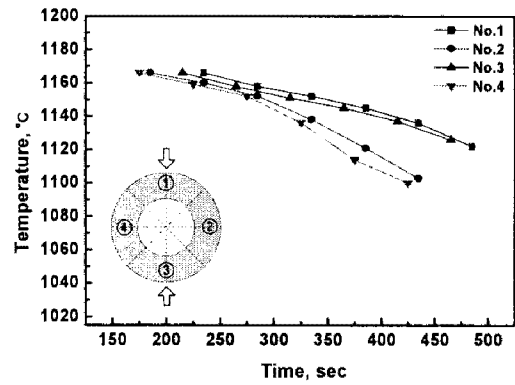
### 3.1 주조해석 결과

게이트 개수별로 용탕의 충전거동과 온도 분포를 분석하였다. 용탕의 충전거동은 게이트에 가까운 부분부터 충전되어 단조품의 표면을 따라 게이트의 반대 방향까지 용탕이 차 들어가는 형태이고 용탕의 온도분포도 마찬가지로 충전되어 들어가는 순으로 게이트 부분이 가장 높고 게이트에서 멀어질수록 온도가 낮게 나타났다. Fig. 3은 구상 흑연 주철의 응고가 시작되는 온도인 1166°C 부터 300초 동안의 온도 이력을 나타내고 있다. 전체적으로 게이트가 위치한 곳이 게이트가 위치하지 않는 곳보다 냉각속도가 느리게 나타났다.

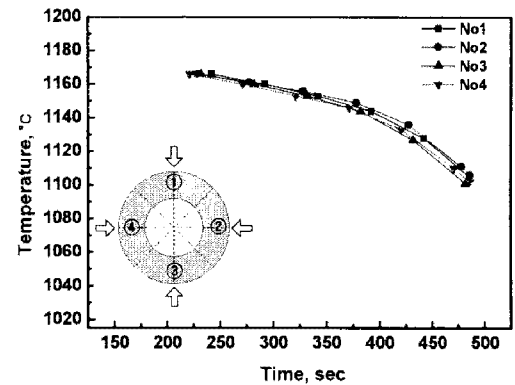
게이트의 반대편에서는 압탕이 없기 때문에 주입 시간은 느리고 냉각속도는 빨라서 응고 수축으로 인한 주조/단조부 경계부의 접합 치밀도가 저하될 것으로 예상된다.



(a) one gate



(b) two gates

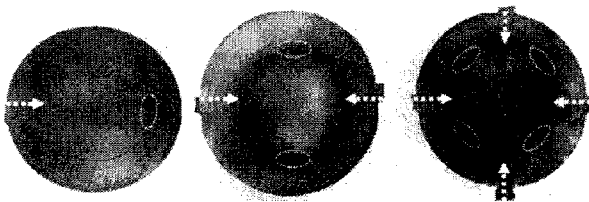


(c) four gates

**Fig. 3 Comparison of local cooling rates**

3.2 단조품과 주물품 사이의 경계면 분석  
단조품과 주물품의 경계면을 분석하기 위해 Fig. 4와 같이 시편의 중심부를 수평으로 커팅한 후

간격을 측정하였다. 마이크로 현미경을 이용하여 경계면을 분석한 결과 Fig. 4 (a)의 경우에는 게이트의 반대쪽에서 단조품과 주물간의 최대 간격이  $330\mu\text{m}$  정도 나타났고, Fig. 4 (b)와 같이 게이트가 2개일 경우에는 게이트가 위치하지 않는 곳에서  $227\mu\text{m}$  정도의 최대 간격이 발생하였다. 게이트가 4개일 경우에는 게이트가 위치하지 않는 쪽에서  $42\mu\text{m}$  정도의 미세한 간격이 나타났다.



(a) one gate (b) two gates (c) four gates

Fig. 4 Wire cutted section of cast with forged insert

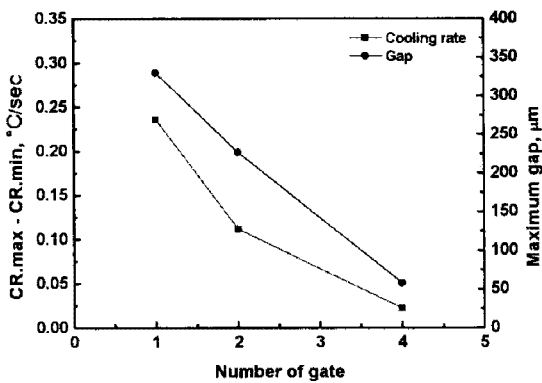
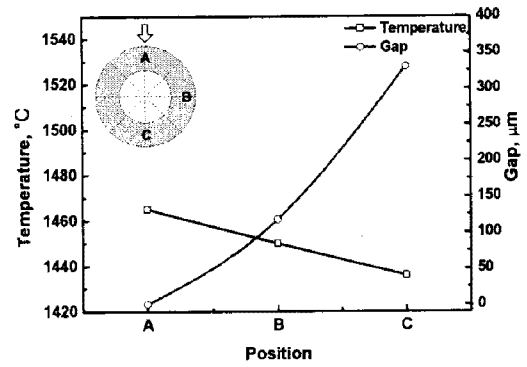
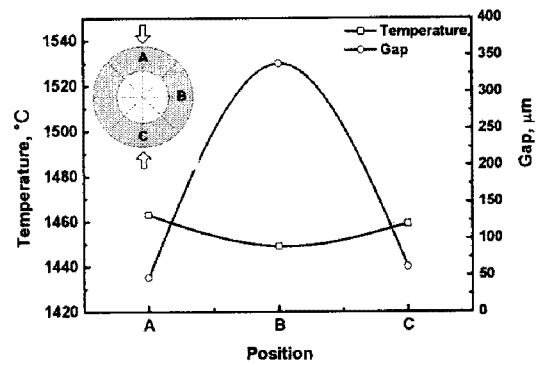


Fig. 5 Relationship between maximum gap and cooling rate difference

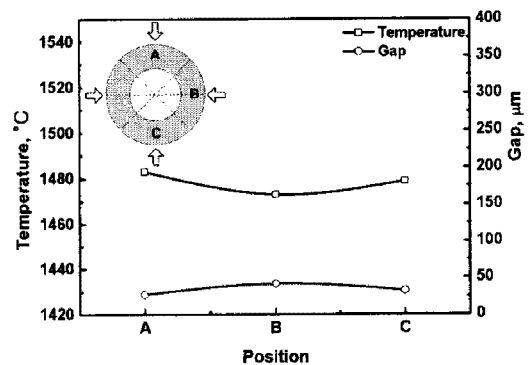
Fig. 5 에서는 Fig. 3에 나타낸 주철의 응고온도  $1166^{\circ}\text{C}$ 부터 300초 동안의 온도변화를 각 각의 냉각속도로 나타내고 게이트 수에 따라 최대, 최소 냉각속도의 차이를 앞에서 측정된 단조품과 주물과의 최대 간격과 비교 하였다. 냉각속도가 클수록 단조품과 주물과의 간격은 늘어났으며, 냉각 속도가 느리면 간격이 줄어드는 것을 확인하였다. Fig. 6은 게이트가 1개, 2개, 4개일 경우에 각각의 위치를 선정하여 용탕이 완전히 충전되었을 때의 온도와 단조품과 주물과의 경계면의 간격을 나타내었다.



(a) one gate



(b) two gates



(c) four gates

Fig. 6 Effect of molten metal temperature on the gap between insert and cast

Fig. 6 (a)에서 나타낸 것처럼 게이트가 1개일 경우 주입구 A 지점에서의 가장 거리가 먼 C 지점에서의 간격은 약  $330\mu\text{m}$ 이다. 온도차이가 날수록 간격도 커지는 것을 알 수 있다. Fig. 6 (b)는 게이트가 2개이고 A와 C 지점에서 용탕을 주입한 경우이다. 주입구로부터 거리가 가장 먼 B 지점에서의 간격은  $227\mu\text{m}$ 로 가장 크게 나타났다. Fig. 6 (c)와 같이

게이트가 4개인 경우에는 26, 42, 32 $\mu\text{m}$ 로 상대적으로 간격이 작게 나타났다.

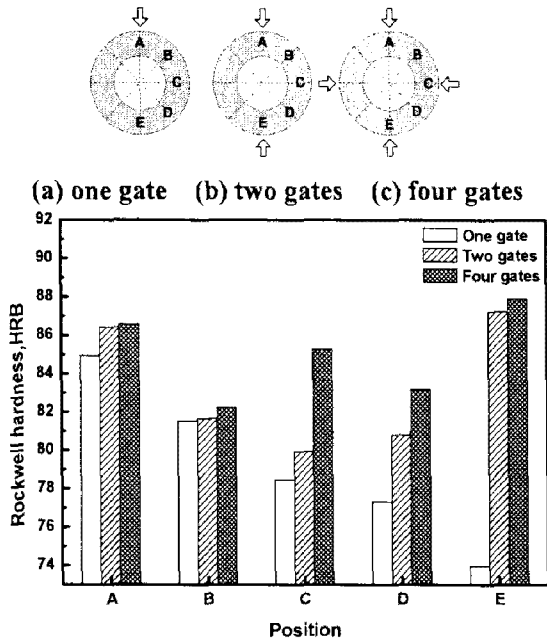


Fig. 7 Hardness of casting at various positions

단조형 인서트를 삽입한 주물재 샘플의 기계적 강도측면에서 절단된 단면의 경계부를 중심으로 3mm간격으로 주물의 경도를 측정하였다[5]. Fig. 7에서와 같이 게이트가 1개일 때는 게이트가 위치하고 있는 A에서 평균 경도값이 85.1HRB이었고 게이트에서 가장 먼 곳에 위치하고 있는 E에서는 74.0HRB로 게이트가 위치하고 있는 A 보다 상대적으로 경도값이 낮게 측정되었다. 게이트가 2개일 경우에는 게이트가 위치하는 A와 E에서 87.0HRB로 게이트가 위치하지 않는 곳의 평균 경도값 81.0HRB보다 높은 것을 확인 할 수 있었다. 게이트가 4개일 경우에도 마찬가지로 게이트가 위치하는 곳이 상대적으로 경도가 높은 것을 확인하였고, 게이트 수가 증가할수록 평균 경도값이 증가함을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 단조품을 인서트로 삽입하여 사형주조 하는 원가절감형 인서트 타입의 주물재를

제작하고자 사형주조를 이용한 샘플을 제작하여 특성을 분석한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 게이트가 위치하는 곳과 게이트가 위치하지 않은 곳에서 냉각속도의 차이에 따라 단조품과 주물재 사이의 간격도 차이가 남을 확인하였다.
- (2) 게이트 수에 따라 주물재를 제조하여 단조품과 주물의 단면 경도를 비교해 본 결과 주물재에서는 게이트의 수가 늘어날수록 평균 경도값이 증가하였으며, 단조부의 경우는 게이트의 수와 관계없이 유사한 경도값을 나타내었다.
- (3) 전산해석을 통하여 단조형 인서트를 이용한 주물재 성형공정의 유동 및 응고양상을 확보함으로써 금형설계의 기초 자료를 설정 할 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구 센터사업의 연구비 일부 지원으로 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] D. S. Kim, G. H. Kim, 2007, Development of multi-axial durability test mode for modularized hub bearing unit ,Proceeding of KSAE Spring Annual meeting, pp.1417~1422.
- [2] C. G. Kang, S. M. Lee, B. M. Kim, 2008, A study of die design of semi-solid die casting according to gate shape and solid fraction, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 204, pp. 8~21.
- [3] C. G. Kang, P. K. Seo, 2003, The effect of gate shape on the filling limitation in the semi-solid forging process and the mechanical properties of the products, Journal of Materials Processing Technology, Vol.135, pp. 144~157.
- [4] L. H. Kallien, M. Lipinski, 1993, Optimization of die cast parts using numerical simulation of die filling and solidification, Transaction of the 17th International Die Casting Congress pp.85.
- [5] W. C. Jeong, 2008, Change in hardness and microstructure with quenching and tempering of ductile cast iron, J of the Korean society for heat treatment, Vol. 21, pp. 69~78.