

# 까단조형 인서트를 이용한 주물재의 특성연구

임홍섭<sup>1</sup>, 박현규<sup>1</sup>, 이건엽<sup>1</sup>, 강용기<sup>2</sup>, 문영훈<sup>1\*</sup>

## A Study on the characteristics of the cast using forged insert

H. S. Yim, H. K. Park, K. Y. Lee, Y. K. Kang, Y. H. Moon

### Abstract

In this study, the casting process using forged insert was applied to manufacturing a knuckle, in order to prove that application of casting process using forged insert is likely to get the effect of light weight and superior mechanical characteristic compared with existing casting products. Firstly, in the forging experiment, it was confirmed that the optimal configuration of the forged insert could be predicted by FE analysis. And by using FVM (Finite Volume Method) software, it was verified that a proposed casting design was available. To identify the mechanical characteristic of the final casting product, the microstructural observation and hardness test were performed at the boundary zone between forging and casting part.

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

### 1. 서론

최근 지구 온난화 문제가 대두됨으로써 자동차 저공해 고연비화에 대한 관심이 집중되어 경량화 요구가 크게 증가하고 있다. 경량화는 연비 개선과 같은 코스트 문제만 아니라 주행/조향성 향상 및 승차감 개선과 같은 자동차 성능을 개선하여 상품성을 개선하므로 중요한 기술의 하나로 인식되고 있다.

구동과 조향을 동시에 수행해야 하는 전륜구동차에서는 차동장치에 가해지는 힘 전달의 변화가 중요한 문제이며 구동축과 피동축이 같은 속도로 회전하도록 해주는 장치가 필요하다. 이 역할을 위해 사용되는 것이 너클 이다. 너클은 기본적으로 외륜(outer race, housing), 내륜(inner race, spider)과 볼(ball) 또는 케이지(cage)등의 부품으로 기계적 요구특성과 각 부품간의 상대운동에 따른 부품의 요구정밀도가 높아 냉간 또는 온간단조 등의 정밀단조에 의해 생산되고 있으며 부품의 원가절감을 위하여 주조공법으로 생산되고 있으나,

부품의 경량화 요구와 원가절감에 맞추어 단조형 인서트를 이용한 주조공법을 적용시켰다. 단조공법은 강도 및 신뢰성 면에서 우수하나, 상대적으로 다른 공정 대비 단가가 높고 설계자유도가 크게 떨어져 복잡한 형상을 가지는 너클의 경우 적용이 어려운 단점이 있으며, 주조공법은 단가가 상대적으로 저렴하고 설계 자유도가 높으나, 품질 신뢰성이 떨어지고 품질관리에 어려움이 있는 단점이 있다. 따라서 너클의 외륜은 볼 베어링이 구동하므로 강도가 우수한 단조형 인서트를 사용하였고, 나머지 너클의 형상은 주조공법을 적용하였다. 이때 단조형 인서트와 주물과의 결합력이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 단조형 인서트와 주물과의 결합력을 증대시킬 수 있는 인서트 단조형상을 제안하고, 이를 바탕으로 최적 주조방안을 파악하고자 한다.

### 2. 연구 내용 및 방법

#### 2.1 단조 실험 소재

실험 소재는 단조용 소재인 SM45C로서 성형성,

1. 부산대학교 기계공학부  
2. 일진글로벌 기술연구소  
\* 부산대학교 기계공학부, E-mail:yhmoon@pusan.ac.kr

내식성, 표면처리성이 뛰어나서 철도차량 및 자동차 부품, 육상 구조물, 선박 부품 등에 사용되고 있으며, 단조실험은 1000ton 유압프레스에서 실시하였고, 단조 시 소재온도는 220℃로 가열하였으며, 금형의 온도는 300℃로 가열하여 실험을 하였다. Table 1은 SM45C의 화학성분을 나타낸다.

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

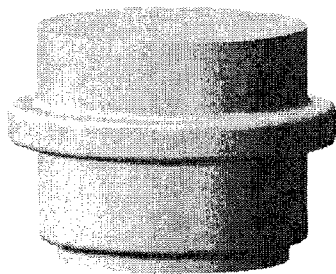
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
SM45C	0.45	0.19	0.70	0.02	0.01	0.02	0.01	0.008

### 2.2 주조 실험 소재

주조법에는 크게 사형주조법과 금형주조법이 있는데, 본 실험에서는 구상흑연주철을 이용한 사형주조법을 사용하였다. 구상흑연주철은 진동흡수, 충격흡수 등이 좋아 공작기계 등의 구조물 재료로 많이 사용되며, 이 외에도 모터 하우징, 펌프 하우징 등의 진동흡수능과 강성이 요구되는 부품에도 광범위하게 사용되고 있다.

### 2.3 단조형상제안 및 실험

인서트 형태의 단조품은 Fig. 1에 보인 바와 같이 형상이 단조로우면서 외부 주조품과의 결합력을 증대시킬 수 있는 구조를 가지고 있다. 제안된 인서트 형태의 단조품의 형상이 유용한가를 확인하기 위하여 Fig. 2와 같이 DEFORM-3D를 이용하여 해석하였다. AISI-1045 소재를 이용하여 상온에서 20℃, 펀치 속도는 1mm/s로 하였다.

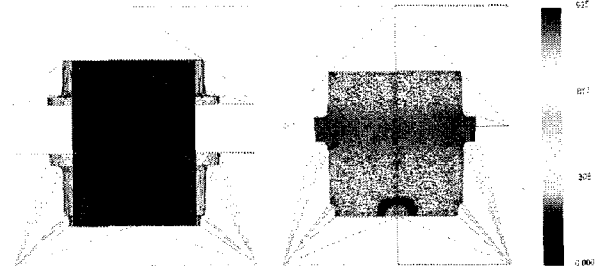


**Fig. 1 Insert type forging specimen**

### 2.4 기본주조방안 및 수정주조방안 조건에서의 충전 양상분석

주조 조건으로 주물재의 재료는 구상흑연 주철을 사용하였으며, 용탕의 출탕온도는 1550℃, 주입온도는 1500℃, 사형주조틀은 상온으로 설정하

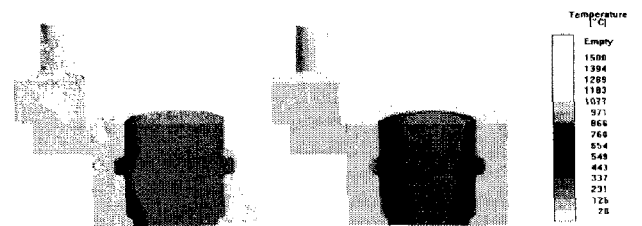
여 주조성 평가 시험은 스페치어 r1



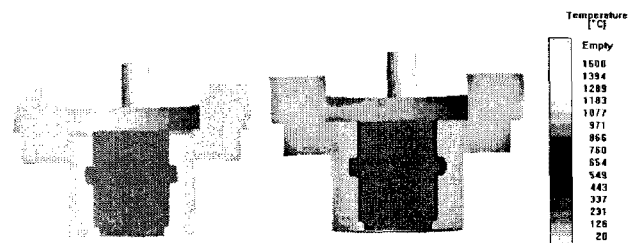
**Fig. 2 FE analysis of forging process**

기본주조방안(Type1) 및 수정주조방안(Type2)의 조건에서 전체적으로 용탕이 충전되는 양상, 용탕의 유동해석, 응고해석에 의한 수축공 등의 내구결함의 해석, 용융되는데 필요한 시간 해석을 MAGMA soft를 이용하여 분석하였다.

Fig. 3은 기본주조방안인 게이트(gate)가 하나인 모델로써 전체 충전양상을 시간에 따른 온도분포에 따라 분석한 것이며, Fig. 4는 수정된 주조방안으로 게이트 하나를 추가하여 양쪽 측면에서 용탕이 주입 되는 방식으로 전체 충전양상을 시간에 따른 온도분포에 따라 분석한 것이다.



**Fig. 3 Filled up image of gate type 1**



**Fig. 4 Filled up image of gate type 2**

### 2.5 주조 단조 경계부 분석 및 미세조직 관찰

단조형 인서트를 삽입한 주물재를 와이어 커팅기를 이용하여 용탕이 주입되는 방향과 주입구에서 90° 방향에서의 경계부를 관찰하였으며 Fig. 5

와 같이 측정부위를 선정하여 각 주조부와 단조부의 경계면으로부터 3mm 간격으로 경도를 측정하였다. 또한 주조부와 단조부의 경계부에서의 조직을 관찰하기 위하여 시편을 연마한 후 나이탈 용액(100 cc C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH + 5cc HNO<sub>3</sub>)에 10~15초 정도 부식시킨 후 미세조직을 관찰하였다.

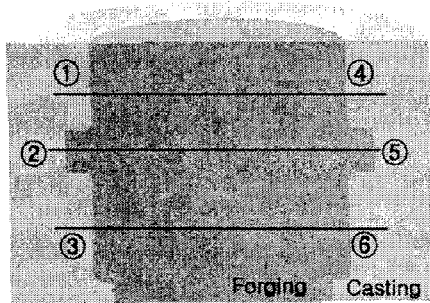


Fig. 5 Measuring points for Hardness

### 3. 실험 결과

#### 3.1 충전해석 결과

게이트가 1개인 기본방안과 게이트가 2개인 수정방안의 용탕의 충전 거동과 온도 분포를 Fig. 6 와 Fig. 7에 나타내었다. 게이트가 1개인 모델의 경우 용탕의 충진이 완료되었을 때 게이트가 있는 부분과 없는 부분에서 약 100℃ 정도의 온도 차이가 발생 하였으며, 단조형 인서트와 주물과의 결합력을 높이기 위하여 추가로 1개의 게이트를 설치하여 해석한 결과 용탕의 충진이 완료되었을 때 온도분포가 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

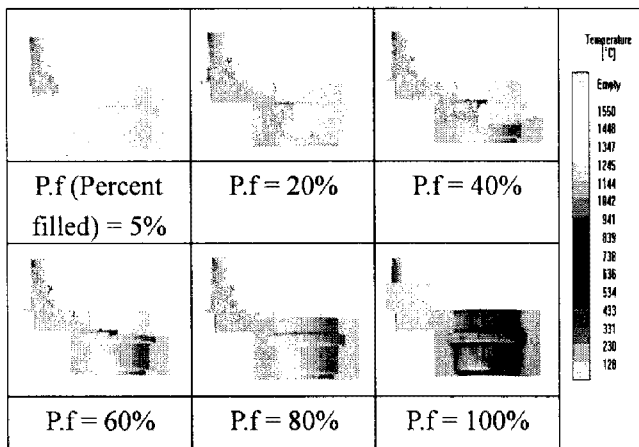


Fig. 6 Filling temperature distribution of type 1

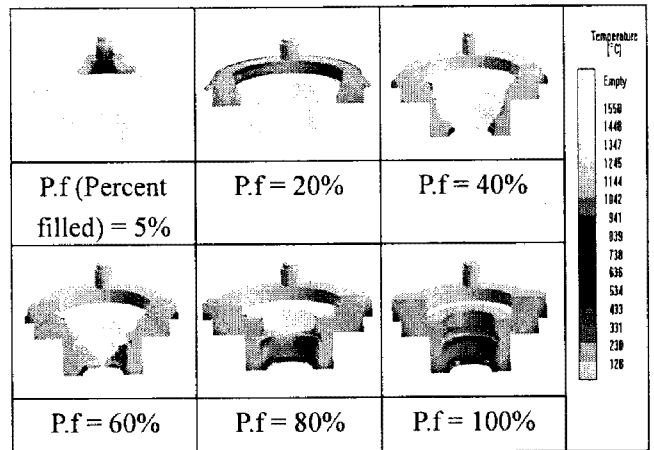


Fig. 7 Filling temperature distribution of type 2

충진이 완료되었을 때의 주물재의 온도분포는 1500℃ 정도로 이는 인서트 단조의 재질인 SM45C의 용융점인 1480℃ 보다 높아 주물이 유입되면서 단조 인서트와 용착이 일어났음을 알 수 있다.

#### 3.2 단조인서트와 주조부의 경계부 분석

단조형 인서트를 이용한 주물재를 Fig. 8에 나타내었고, Fig 9 (a), (b) 와 같이 와이어 커팅으로 주물재의 단면을 절단하여 경계부를 분석하였다.

Fig. 9 (a)와 같이 용탕이 주입되는 방향으로 단면을 관찰한 결과 주입구 쪽 단조형 인서트와 주물재간의 용착으로 인한 결합이 나타났으며, 주입구 반대방향은 결합이 되지 않고 틈이 발생한 것을 확인하였다. 또한 Fig 9 (b)와 같이 주입구의 90° 방향으로 단면을 절단한 결과 단조 인서트와 주물과의 틈이 양쪽 모두에서 나타나는 것을 확인하였다.

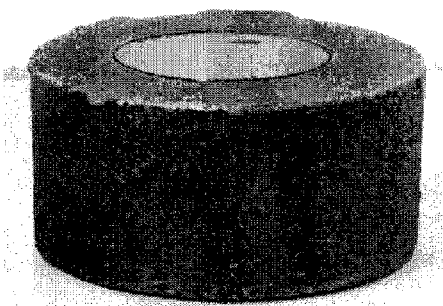
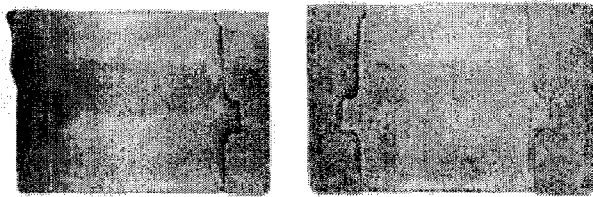


Fig. 8 forging/casting sample



(a) Gating cross section (b) Gating cross section 90°

Fig. 9 Photos of cross section

Fig. 5와 같이 단조형 인서트와 주조부의 위치에 따른 부위별 경도를 측정하여 Table 2에 나타내었다. 단조형 인서트를 이용한 주물재의 주조부와 단조부의 경도를 측정한 결과 모두 신뢰성을 만족하는 정도값을 나타내었다.

Table 2 Result of Brinell hardness (HRB)

	1	2	3	4	5	6
주조부	88.1	87.2	86.8	89.7	88.5	87.9
단조부	88.2	87.8	87.1	92.1	88.0	91.6

### 3.3 단조 인서트와 주조 경계부의 미세조직 분석

단조형 인서트를 삽입한 주물재의 성형과정에서 발생하는 조직을 관찰하였다. Fig. 10(a)의 주조부에서는 침상형 페라이트 기지 조직을 가지는 전형적인 구상흑연주철의 미세조직이 관찰되었다. 또한 Fig. 10(b)의 단조부에서는 전형적인 열간단조 조직이 관찰되었다. 단조 인서트와 주조 경계부에서는 틈이 0.5~1 $\mu$ m로 측정되었다. 이의 결과는 기능상에 의해 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.



(a) casting

(b) forging

Fig. 10 Microstructures of sample

## 4. 결론

본 연구에서는 인서트 단조공정과 주조공정의 장점을 동시에 지니는 주물재를 이용하여 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 단조형 인서트와 주물과의 결합을 높이기 위한 구조의 단조형상을 제안하였다.
- (2) 유한요소 해석 도구인 MAGMA soft를 이용하여 충전 거동에 따른 최적조건을 설정 할 수 있었다.
- (3) 단조형 인서트를 이용한 주물재를 제조한 결과 주조부, 단조부의 단면 경도가 유사한 정도 값을 얻을 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 부품 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Gwangmin Yoon, Minsoo Kim, Youngjin Ko, Jongdae Lim, 2007, Development of aluminum rear carrier using cast-forging process, Proceeding of KSAE 2007 Spring Annual meeting pp 1702~1708.
- [2] Ohhyuk Kwon, Wonbyong Bae, Jongrae Cho, 2005, Forging effect of AL6061 in casting/forging process, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No. 11, November.
- [3] Chulwoo Park, Joonhong Park, Youngho Kim, Jaechan Choi, 2002, A study on development desing system of gating system for semi-solid diecasting process by finite element method, Proceeding of KSPE 2002 Autumn Annual meeting pp 324~328.
- [4] S I Wang, M K Seo, J R Cho, W B Bae, 2002, A study on the development of large aluminim flange using the casting/forging process, Journal of Materials Processing Technology, Vol 130-131, pp 294~298.
- [5] H Q Chen, Q C Wang, H G Guo, 2002, Reseach on the casting-forging precision forming process of alternator poles, Journal of Materials Processing Technology, Vol 129, pp 330~332.