

## 게이트 수에 따른 단조형 인서트와 주물재 사이의 경계부 특성 분석

이성문\* · 이해경\* · 이건엽\* · 문성민\* · 문영훈\*\*\*

\*부산대학교 정밀기계공학부  
\*\*정밀정형 및 금형가공 연구센터

### Effect of Gate Number on the Characteristics of Interface between Cast and Forged Insert

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

\*Dept. of Mechanical Engineering

\*\*Engineering Research Center for Net Shape and Die Manufacturing, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

**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 pouring 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. The results show that as the number of gates is increased, hardness of cast was increased and gaps of cast with forged insert were decreased.

(Received March 11, 2009; Revised March 17, 2009; Accepted March 20, 2009)

**Key Words** : Molten metal, Gating system, Solidification

## 1. 서 론

최근 자동차 산업의 환경변화에 따라 생존을 위한 필수 전략으로 자동차 부품간의 기능 통합화가 점차적으로 보편화 되어 가고 있다. 자동차 부품의 이러한 변화는 초기 단순 부품조립에서 단위 부품별로 모듈화를 시도하였으나, 원기절감 및 품질에는 한계가 있으므로 기능 통합형 모듈로 발전하고 있는 추세이다[1].

일반적으로 부품의 모듈화나 일체화시 부품의 형상이 매우 복잡해지고 고정밀성을 요구하게 되므로 모듈화나 일체화를 통한 부품의 제조시 고품질화로 인한 제조비용의 상승을 수반하게 된다. 따라서 일체화 부품의 제조에 있어 일체화를 통한 제조비용의 상승과 이중재료의 일체화 경우, 일체화를 통한 제품의 품질특성 유지 등이 부품제조의 핵심사항이다. 이중 너클(Knuckle)부품은 기본적으로 외륜(Outer race 및 Housing), 내륜(Inner race 및 Spider)과 볼(Ball) 또는 케이지(Cage)등의 부품으로 기계적 요구특성과

각 부품간의 상대운동에 따른 부품의 요구정밀도가 높아 냉간 또는 온간 단조 등의 정밀단조에 의해 생산되기도 하지만 부품의 원기절감을 위하여 예전에는 주조공법으로 생산되었으나, 앞으로는 기계적 특성 향상을 위해 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 유한차분법을 이용한 주조전용 해석 code인 MAGMASoft를 이용하여 용탕의 충전 및 응고해석을 통하여 실제 주조된 제품과 비교 분석 하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 단조 인서트

단조용 인서트는 SM45C를 사용하여 열간 단조로 1,000 ton 유압프레스에서 실시하였고, 단조 시 소재

\*E-mail : yhmoon@pusan.ac.kr

온도는 1,100°C, 금형의 온도는 220°C로 가열하여 실험하였다. Table 1은 SM45C의 화학성분을 나타낸다.

2.2 주조 실험

본 연구에서는 구상흑연주철(FCD50)을 이용한 사형 주조법으로 주물재를 제작하였다. Table 2는 구상흑연주철의 화학성분을 나타내었다.

2.3 주조해석

Fig. 1의 인서트 타입의 단조품을 삽입 한 후 주조 유동해석을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 부품은 자동차에서 구동과 조향을 동시에 수행하는 너클 부품의 외륜과 볼 베어링이 구동하는 부분에 단조형 인서트를 이용하여 주조 해석을 수행하였다. 적절한 주조방안을 도출하기 위하여 게이트 형상을 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 게이트가 1개 일때와 게이트가 2개일 때 그리고 90° 방향으로 위치한 4개의 게이트에서 용탕이 주입되도록 세가지 형상에 대하여 설계하고 게이트 수에 따라 비교 분석하였다[2-6].

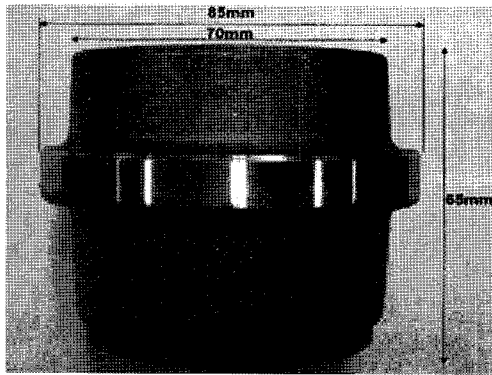


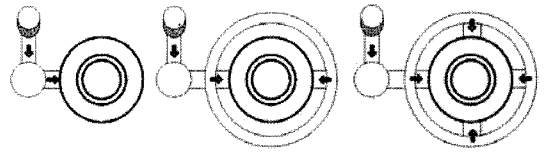
Fig. 1. Forged insert for the casting.

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

Material	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

Table 2. Chemical compositions of specimen (wt.%)

Material	C	Si	Mn	P	Cr	Mg	Cu	Ni
FCD50	3.72	2.23	0.30	0.02	0.02	0.04	0.30	0.02



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

Fig. 2. Gating systems.

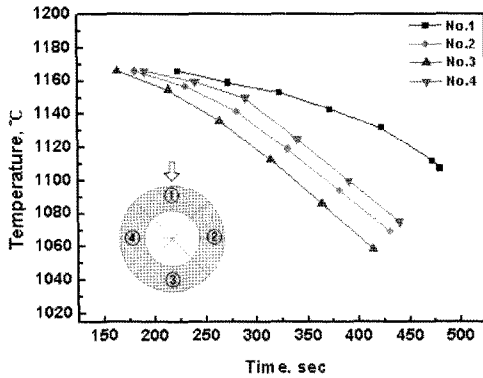
2.4 주조/단조 경계부 분석

단조형 인서트를 삽입한 주물재를 와이어 커팅기를 이용해서 단면을 절단하여 주조부와 단조부의 경계부를 관찰하였다. 게이트 수에 따라 측정부위를 선정하여 각 주조부와 단조부의 경계면으로부터 3mm 간격으로 로크웰 경도 B스케일과 비커스 경도기를 사용하여 경도를 측정하였다. 또한 단조부와 주조부 경계부의 간격을 마이크로 현미경으로 측정한 후 분석하였다.

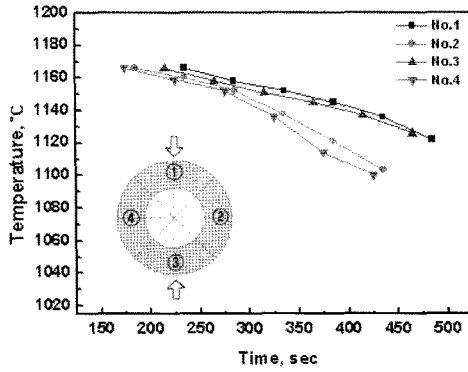
3. 실험결과 및 고찰

3.1 주조해석 결과

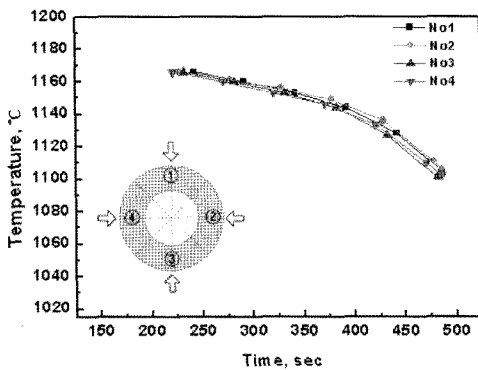
게이트 개수별로 MAGMASoft 주조해석을 이용하여 용탕의 충전거동과 온도 분포를 분석하였다. 용탕의 충전거동은 게이트에 가까운 부분부터 충전되어 단조품의 표면을 따라 게이트의 반대 방향까지 용탕이 차 들어가는 형태이고 용탕의 온도분포도 마찬가지로 충전되어 들어가는 순으로 게이트 부분이 가장 높고 게이트의 반대방향이 온도가 낮게 나타났다. 게이트가 1개일 경우에는 게이트에서 가까운 부분은 지속적인 용탕의 주입이 일어나고 있기 때문에 온도가 상대적으로 높고 게이트의 반대편에서의 온도는 상대적으로 낮았다. 게이트가 2개일 경우에는 게이트가 1개일 때 보다 충진이 안정적으로 이루어졌으며 게이트가 위치한 양쪽에서는 높은 온도 분포를 나타내었다. 게이트 4개가 위치하는 경우에는 4개의 게이트에서 압탕 역할을 하고 있으며 용탕의 주입이 게이트가 위치하는 90° 방향으로 안정적으로 주입되



(a) one gate



(b) two gates

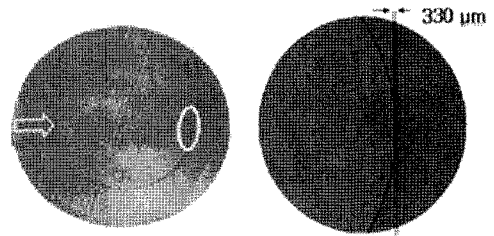


(c) four gates

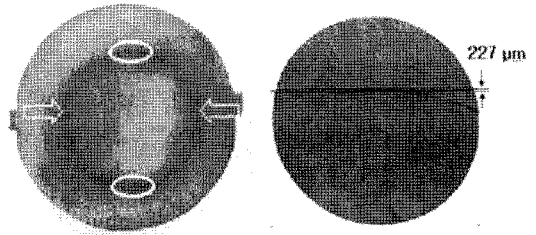
Fig. 3. Comparison of local cooling rates.

여 4개의 게이트 쪽에서는 유사한 온도분포를 나타내고 있는 것을 확인하였다.

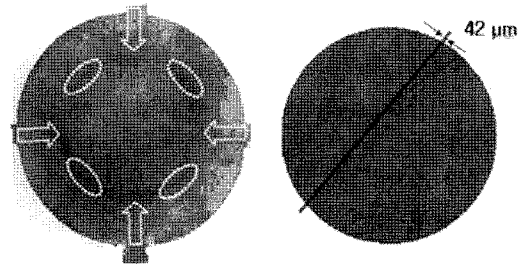
Fig. 3은 구상흑연주철의 응고가 시작되는 온도인



(a) one gate



(b) two gates



(c) four gates

Fig. 4. Wire-cut section of cast with forged insert.

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 주입시간은 느리고 냉각속도는 빨라서 응고 수축으로 인한 주조 단조부 경계부의 접합 치밀도가 저하될 것으로 예상된다.

### 3.2 단조품과 주물품 사이의 경계면 분석

단조품과 주물품의 경계면을 분석하기 위해 Fig. 4와 같이 시편의 중심부를 수평으로 커팅한 후 간격을 측정하였다. 커팅 후 단면을 살펴보면 육안으로 볼 때 게이트가 위치하는 방향에서는 주조부와 단조

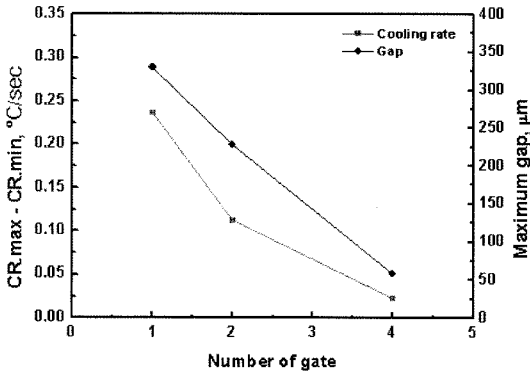


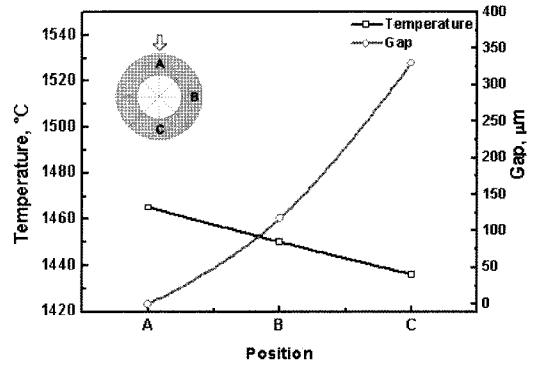
Fig. 5. Relationship between maximum gap and maximum cooling rate difference.

부의 경계면이 뚜렷하지 않고 게이트가 위치하지 않은 곳에서는 경계면에 간격이 발생 되어있는 것을 관찰할 수 있었다.

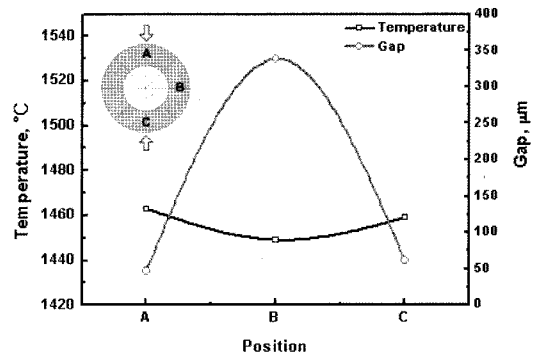
또한 마이크로 현미경을 이용하여 경계면을 분석한 결과 Fig. 4(a)의 경우에는 게이트의 반대쪽에서 단조품과 주물간의 최대 간격이 330 μm 정도 나타났고, Fig. 4(b)와 같이 게이트가 2개일 경우에는 게이트가 위치하지 않는 곳에서 227 μm 정도의 최대 간격이 발생하였고, Fig. 4(c)와 같이 게이트가 4개일 경우에는 게이트가 위치하지 않는 쪽에서 42 μm 정도의 미세한 간격이 나타났다. 게이트가 위치하지 않은 곳에서의 온도는 상대적으로 낮고 응고 속도는 빠르므로 응고 수축에 의한 체적 부족 현상을 일으켜 단조품과 주물품의 간격이 크게 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 5에서는 Fig. 3에 나타낸 주철의 응고온도 1166°C 부터 300 초 동안의 온도변화를 각각의 냉각속도로 나타내고 게이트 수에 따라 최대와 최소 냉각속도의 차이를 앞에서 측정한 단조품과 주물과의 최대 간격과 비교하였다. 냉각속도 차이는 게이트가 1개 일 때 가장 크고 게이트 4개 일 때가 가장 작게 나타났다. 냉각속도가 클수록 단조품과 주물과의 간격은 늘어났으며, 냉각 속도가 느리면 간격이 줄어드는 것을 확인하였다.

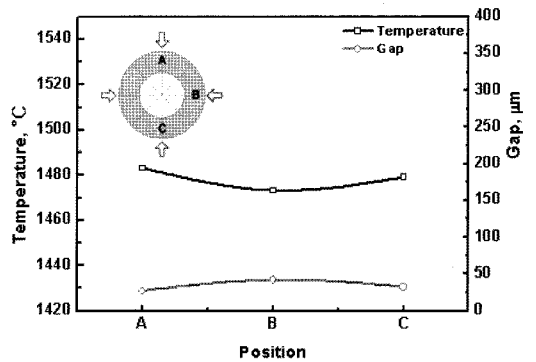
Fig. 6은 게이트가 1개, 2개 및 4개일 경우에 각각의 위치를 선정하여 용탕이 완전히 충전되었을 때의 온도와 단조품과 주물과의 경계면 간격을 나타내었다. Fig. 6(a)에 나타낸 것 처럼 게이트가 1개일 경우 주입구 A 지점에서의 가장 거리가 먼 C 지점



(a) one gate



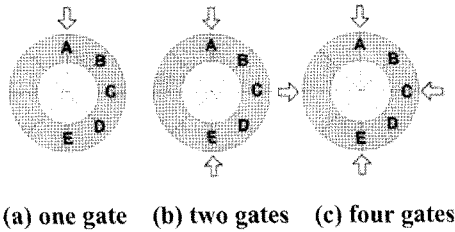
(b) two gates



(c) four gates

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

까지 온도차는 약 30°C 이고 간격은 약 330 μm이다. 온도차이가 클수록 간격도 커지는 것을 알 수 있다. Fig. 6(b)는 게이트가 2개이고 A와 C 지점에서 용탕을 주입한 경우이다.



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

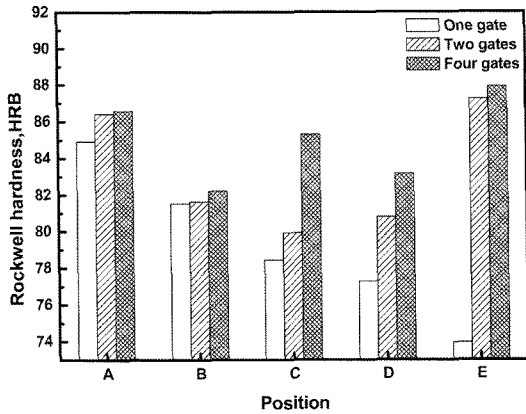
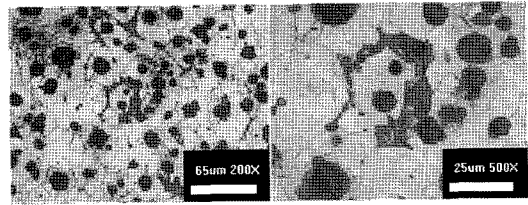


Fig. 7. Hardness of casting at various positions.

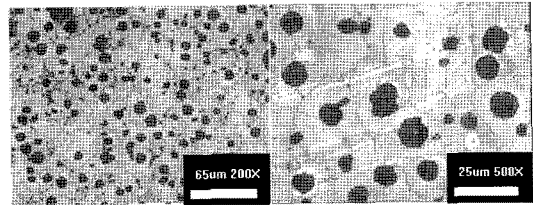
주입구로부터 거리가 가장 먼 B 지점에서의 온도차는 약 14°C이며 간격은 227 μm로 가장 크게 나타났다. Fig. 6(c)와 같이 게이트가 4개인 경우에는 온도차는 약 10°C이며 간격은 26, 42 및 32 μm로 상대적으로 간격이 작게 나타났다. 게이트가 위치하는 곳에서 간격이 작게 발생하는 이유는 주물의 온도변화가 크지 않고 게이트를 통과하는 용탕이 입탕 역할을 하기 때문이다.

단조형 인서트를 삽입한 주물재 샘플의 기계적 강도측면에서 절단된 단면의 경계부를 중심으로 3mm 간격으로 주물의 경도를 측정하였다.

Fig. 7에서와 같이 게이트가 1개일 때는 게이트가 위치하고 있는 A에서 평균 경도값이 HRB = 85이었고 게이트에서 가장 먼 곳에 위치하고 있는 E에서는 HRB = 74로 게이트가 위치하고 있는 A 보다 상대적으로 경도값이 낮게 측정 되었다. 게이트가 2개 일 경우에는 게이트가 위치하는 A와 E에서 HRB = 87로 게이트가 위치하지 않는 곳의 평균 경도값 HRB = 81 보다 높은 것을 확인 할 수 있었다. 게이트가 4개일 경우에도 마찬가지로 게이트가 위치하는 곳이 상대적으로 경도가 높은 것을 확인하



(a) position A



(b) position E

Fig. 8. Microstructure of one gate system.

였고 게이트 수가 증가할수록 평균 경도값이 증가함을 알 수 있었다. 경도차이의 원인을 파악하기 위해 경도차이가 많이 나는 게이트가 1개일 경우의 A와 E 위치를 절단하여 2% 나이탈 에칭 후 미세조직을 관찰하였다.

Fig. 8에서 관찰된 부위에는 페라이트와 구상흑연, 그리고 일정한 모양을 가지지 않고 길게 덩어리 형태로 뭉쳐진 펄라이트 등 3가지 상으로 구성되어 있는 것을 볼 수 있었다.

게이트가 위치 하는 A에서 구상흑연의 양은 약 20%, 펄라이트는 3.6%였고 게이트와 먼곳에 위치하는 E에서의 구상흑연의 양은 23%, 펄라이트는 0.2% 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 그 이유는 Fig. 3(a)에 보인 바와 같이 A에서의 냉각속도는 약 0.21°C/sec이고 E에서는 약 0.43°C/sec로 냉각 속도의 차이와 관계가 있는 것으로 판단된다. 이 3종류의 상에 대해 하중 25 g으로 비커스 경도를 측정하였다. 구상흑연은 HV = 51 ~ 63, 페라이트는 HV = 138 ~ 151 정도의 경도를 나타낸 반면에 펄라이트는 HV = 211 ~ 259 정도의 높은 경도를 나타내었다 [7]. 게이트가 위치하는 A에서는 펄라이트 양은 증가하고 구상흑연의 양은 상대적으로 낮기 때문에 게이트와 먼 곳에 위치하는 E의 경도보다 높게 나타난 것으로 생각된다. 단조품의 경우에는 게이트의 수와 상관없이 HRB = 88 정도로 경도 감소는 일어나지 않았다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 단조품을 인서트로 삽입하여 사형주조하는 원가절감형 인서트 타입의 주물재를 제작하고자 사형주조를 이용한 시편을 제작하여 특성을 분석한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 게이트가 위치하는 곳과 게이트가 위치하지 않은 곳에서 냉각속도의 차이가 증가함에 따라 단조품과 주물재 사이의 간격도 증가 하였다.

2. 주물의 냉각속도 차이에 따라 펄라이트와 구상흑연의 양이 차이를 보였으며 게이트 수가 많아 냉각속도가 느릴수록 펄라이트 양은 증가하고 구상흑연의 양은 감소하였다.

3. 게이트 수에 따라 주물재를 제조하여 단조품과 주물재의 단면 경도를 비교해 본 결과 주물재에서는 게이트의 수가 늘어날수록 펄라이트 양의 증가로 평균 경도값이 크게 나타났으며, 단조부의 경우는 게이트의 수와 관계없이 유사한 경도값을 나타내었다.

4. 전산해석을 통해 단조형 인서트를 이용한 주물재 성형공정의 유동 및 응고양상을 확보함으로써 금형설계의 기초 자료를 설정 할 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업의 연구비 일부 지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. D. S. Kim, and G. H. Kim : Proceeding of KSAE Spring Annual Meeting, (2007) 1417-1422.
2. C. G. Kang, S. M. Lee, and B. M. Kim : Journal of Materials Processing Technology, **204** (2008) 8.
3. C. W. Park, J. H. Park, Y. H. Kim, and J. C. Choi : Proceeding of KSPE Autumn Annual Meeting, (2002) 324-328.
4. M. A. Osborne, C. E. Mobley, R. A. Miller, and L. H. Kallien : Transaction of the 17th International Die Casting Congress and Exposition, (1993) 77.
5. L. H. Kallien, and M. Lipinski : Transactions of the 17th International Die Casting Congress and Exposition, (1993)
6. J. L. Bassani : Int. J. Mech. Sci, **19** (1977) 152.
7. W. C. Jeong : J of the Korean Society for Heat Treatment, **21** (2008) 69.