



## 적층성형 중자의 중공도에 따른 자동차용 Hollow Knuckle 차압주조 성형성 연구

윤필환<sup>a</sup>, 강호정<sup>a,\*</sup>

### Evaluation of Hollow Structure in Cores by Additive Manufacturing for Counter-Pressure Casting of Automotive Hollow Knuckles

Pilhwan Yoon<sup>a</sup>, Hojung Kang<sup>a,\*</sup><sup>a</sup> Smart Forming Process Group, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received	30	September	2025
Revised	28	October	2025
Accepted	28	October	2025

##### Keywords:

Counter pressure casting (CPC)  
Chamber depressurization  
Additive manufacturing (AM)  
Hollow casting  
Hollow ratio of core  
Gas content

#### ABSTRACT

Lightweight design is essential in the automotive industry to improve energy efficiency and extend the driving range of eco-friendly vehicles. Among various approaches, hollow structural components are particularly effective; however, they require advanced casting processes with reliable core technologies. This study investigates the feasibility of Additive Manufacturing (AM) cores with different hollow ratios in counter pressure casting (CPC) of automotive hollow knuckles. A core geometry was optimized by filling and solidification simulations, and cold-box and AM cores (0%, 18%, and 40% hollow ratios) were fabricated. Trial castings were conducted using both conventional CPC and chamber depressurization CPC. Results revealed stable castings at 0% and 18% hollow ratios, while core collapse occurred at 40%. Chamber depressurization CPC significantly reduced internal defects with residual gas reaching as low as 4.8 cc/100 g. These findings demonstrate the potential of AM hollow cores with chamber depressurization CPC for producing large hollow aluminum components.

## 1. 서론

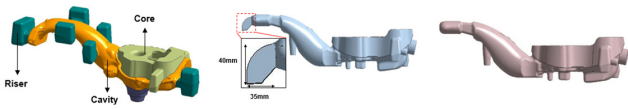
최근 자동차 산업은 내연기관 중심에서 전기차(EV), 하이브리드, 수소차 등 친환경 모빌리티로 빠르게 전환되고 있으며, 이에 따라 차량 경량화는 주행거리 향상과 에너지 효율 개선을 위한 필수 기술로 부각되고 있다<sup>1,2)</sup>. 경량화 기술 중에서도 구조적 강도를 유지하면서 무게를 줄일 수 있는 중공(hollow) 설계가 효과적인 대안으로 주목받고 있으며, 이를 구현하기 위한 금형 내 중자(core) 기반 주조 기술의 중요성이 점차 확대되고 있다<sup>3)</sup>.

차압주조(counter pressure casting, CPC)는 용탕을 층류(laminar flow)로 금형에 충전시켜 산화물과 기공 결합을 억제하고, 결과적으로 우수한 기계적 특성을 확보할 수 있는 공정이다. 그러나 기존 CPC에서는 금형 챔버 내부에서 중자와 용탕의 반응으로 발생한 가스가 외부로 배출되지 못해, 내부 결합 발생으로 이어지는 한계가 존재한다. 이러한 문제는 대형 중공 자동차 부품의 적용 확대를 제약하는 주요 요인이 되고 있다<sup>4,6)</sup>.

이러한 한계를 개선하기 위해 본 연구에서는 적층성형(additive manufacturing, AM) 공법을 활용한 중자를 도입하였다. AM 기

\* Corresponding author. Tel.: +82-52-980-7718

E-mail address: hjkang7@kitech.re.kr (Hojung Kang).



(a) Casting design (b) Core design 1 (c) Core design 2

**Fig. 1 Casting and core design for automotive hollow knuckle: (a) casting design with core and riser; (b) core design 1, (c) core design 2**

반 중자는 기존 Cold-box 방식과 달리 내부 중공도(hollow ratio)를 자유롭게 설계할 수 있어, 주조 후 제거 용이성, 중자 사용량 절감, 반응가스 발생 저감 등의 장점을 제공한다. 다만, 중공도가 과도하게 높을 경우 주조 압력에 의해 중자가 붕괴될 수 있으므로, 최적 중공도의 도출이 필수적이다<sup>[3]</sup>. 또한 본 연구에서는 기존의 보온로 가압 방식 CPC와 더불어, 금형 챔버 압력을 낮추어 차압을 형성하는 챔버 감압 방식 CPC를 적용하였다. 챔버 감압 CPC는 주조 과정에서 발생한 반응가스를 외부로 효과적으로 배출할 수 있어, 중자 적용 시 내부 결합 억제에 유리할 것으로 기대된다<sup>[7-9]</sup>.

따라서 본 연구에서는 자동차용 hollow knuckle을 대상으로 충전 및 응고 해석을 통해 중자 형상을 최적화하고, Cold-box 중자(비교재)와 AM 중자(중공도 0%, 18%, 40%)를 제작하였다. 이후 기존 CPC와 챔버 감압 CPC 공정을 적용하여 제품을 제작하고, 성형성, 내부 가스량, 미세조직을 분석하여, 중공 알루미늄 부품 제조를 위한 최적 조건을 확인하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 중자 형상 해석

본 연구에서는 hollow knuckle에 적용될 중자의 형상을 최적화하기 위하여 충전 및 응고 해석을 수행하였다. Fig. 1은 주조 방안과 중자 설계안을 나타낸 것으로, Fig. 1(a)는 hollow knuckle에 대한 주조방안, Fig. 1(b)는 1차 중자 설계(core design #1), Fig. 1(c)는 2차 중자 설계안(core design #2)을 보여준다. 중자 형상에 따른 용탕의 충전 거동과 응고 시 수축 결합 발생을 예측하기 위해 전용 해석 소프트웨어인 Anycasting s/w (AnycastingTM)을 활용하여 주조 시뮬레이션을 수행하였다<sup>[10-12]</sup>. 사용된 합금 성분은 Table 1에 제시된 A356 합금 조성을 기반으로 설정하였으며, 주조해석 조건은 Table 2의 No.1(conventional CPC, furnace pressurization mode)을 적용하였다. 이를 통해 중자 내부 형상을 보완하고 최적화된 설계를 도출하고자 하였다. 최종적으로 결정된 중자 형상은 이후 중자 제작 및 시험 주조 단계에 적용되었다.

**Table 1 Chemical composition of A356 alloy (wt.%)**

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
7.25	0.105	0.105	0.085	0.275	0.03	0.04	Bal.

**Table 2 Casting process parameters of the experiment**

No.	Casting method	Initial balancing pressure ( $P_f \leftrightarrow P_c$ , mbar)	Chamber pressure ( $P_c$ , mbar)	Furnace pressure ( $P_f$ , mbar)	Filling pressure ( $\Delta P = P_f - P_c$ , mbar)
1	Conventional mode (furnace pressurization)	800	800	1,150	350
2	Developing mode (chamber depressurization)	800	450	800	350

	CB_0	AM_0	AM_18	AM_40
Method	Cold box	Additive Manufacturing (AM)	Additive Manufacturing (AM)	Additive Manufacturing (AM)
Weight (kg)	5.42	4.92	4.34	2.62
Volume (mm <sup>3</sup> )	3,636,455	3,636,455	3,010,719	2,213,671
Hollow ratio of core (%)	0	0	18	40

**Fig. 2 Fabricated cores for hollow automotive knuckle: cold-box core and AM cores with different hollow ratios (0%, 18%, 40%)**

### 2.2 중자 제작

해석을 통해 도출된 중자는 Fig. 2와 같이 Cold-box 공법(비교재)과 적층성형 (additive manufacturing, AM) 공법으로 제작하였다. Cold-box 공법은 페놀 레진을 혼합한 주물사를 중자 박스에 투입한 후 아민 가스를 통과시켜 경화시키는 방식으로, 산업 현장에서 널리 사용되는 전통적인 중자 성형법이다. 본 연구에서는 내부 중공 구조가 없는 Cold-box 중자(CB\_0)를 제작하여 비교 기준으로 활용하였다<sup>[3]</sup>.

AM 공법은 Binder Jetting 기반 3D 프린팅 방식을 적용하였으며, 외형 치수는 Cold-box 중자와 동일하게 유지하였다. 내부에는 hollow 구조를 설계하여 중공도를 0%, 18%, 40%로 달리하였다. 이때, 중공도는 중자 외벽 두께를 일정하게 유지한 상태에서 내부 빈 공간의 체적비로 정의하였으며, 중공도 18%는 외벽 두께 20 mm 조건에서 내부를 제거했을 때의 중공 비율, 중공도 40%는 외벽 두께 10 mm 조건에서 내부를 제거했을 때의 중공 비율에 해당한다.

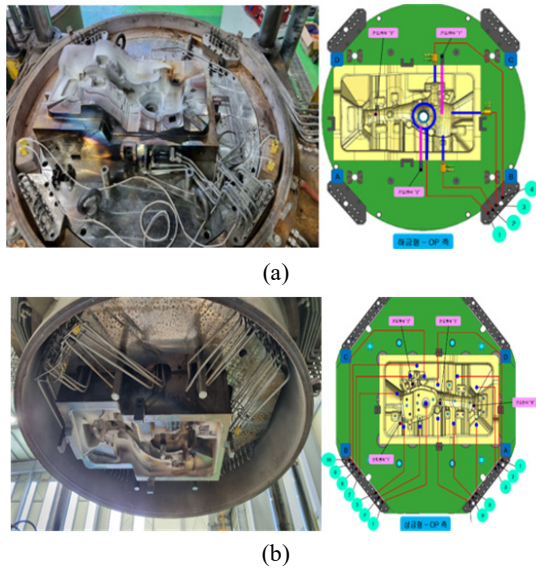


Fig. 3 Lower mold (a) and upper mold (b) used in the experiment

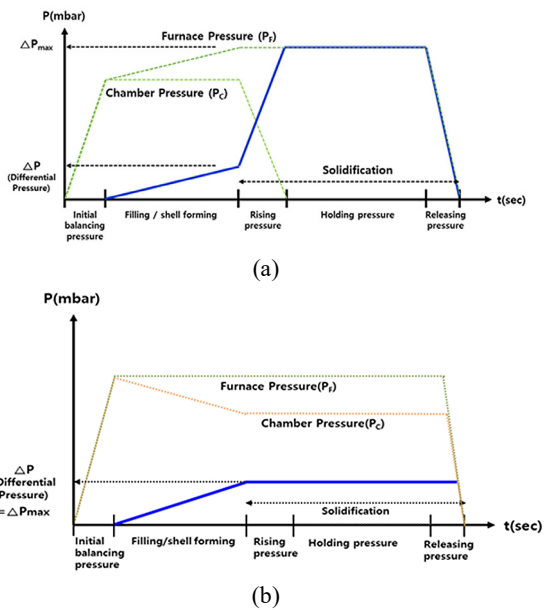


Fig. 4 Casting pressure profiles of conventional CPC and chamber depressurization CPC

$$Hollow\ ratio\ of\ core(\%) = \frac{V_{void\ volume\ of\ core}}{V_{core\ volume}} \times 100$$

### 2.3 중자 적용 시험주조 및 성형성 평가

시험주조는 기존 CPC(보온로 가압 방식)와 챔버 감압 방식 CPC 두 가지 조건으로 수행하였으며, Fig. 3은 사용된 하부 금형(Fig. 3(a))과 상부 금형(Fig. 3(b))을 나타낸 것이다. 주조에 사용된 합금은 Table 1과 같이 A356 합금이며, 주조 조건은 Table 2에 나타낸 바와 같이, 초기 균형 압력을  $P_f=P_c=800$  mbar로 설정

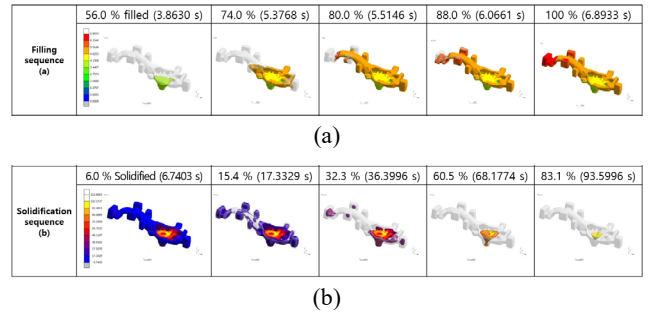


Fig. 5 Simulation results of filling (a) and solidification (b) behavior for product with core design 1

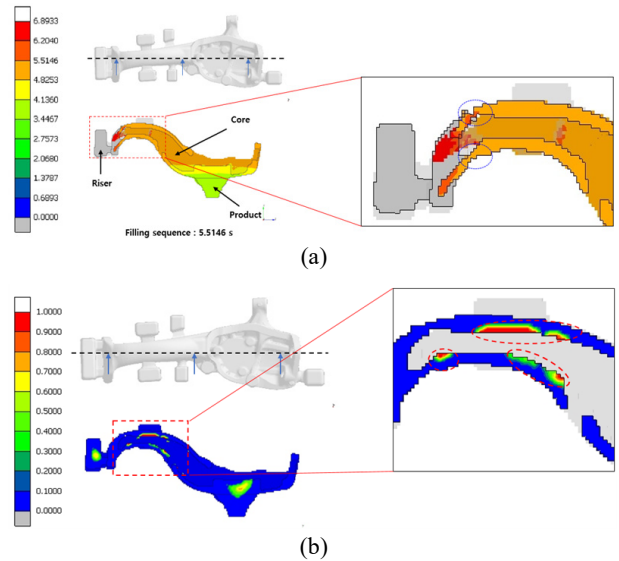


Fig. 6 Cross-sectional simulation results of product with core design 1: (a) filling sequence(5.5146 s), (b) prediction of shrinkage defects

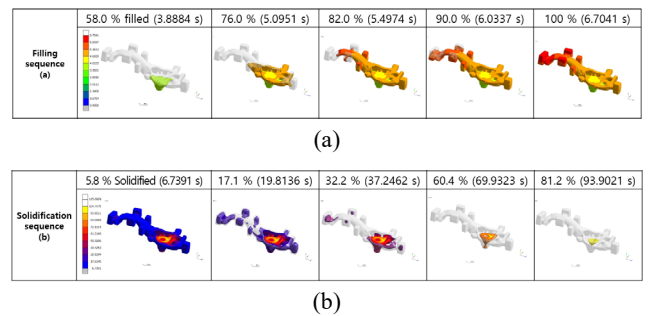


Fig. 7 Simulation results of filling (a) and solidification (b) behavior for Product with core design 2

하였다. Fig. 4와 같이 기존 CPC 공정은 보온로 압력을 상승시켜 차압을 형성하였으며(Fig. 4(a)), 챔버 감압 CPC 공정은 챔버 압력을 낮추어 동일한 차압을 구현하였다(Fig. 4(b))<sup>[1,11]</sup>.

시주조된 시편은 먼저 중자가 남아 있는 상태에서 외관 검사를 실시하여 중공도 조건에 따른 미성형 및 코어 붕괴 여부를 확인하였다. 이후 중자를 제거한 상태에서 외관 검사와 표면부 미세조직

분석을 통해 코어 제작 방식(Cold-box법, AM법)에 따른 차이를 평가하였다. 공정 및 중공도 조건에 따른 차이를 분석하기 위해, 비파괴 검사, 조직 분석, 그리고 잔류 가스량 측정을 수행하였다. 내부 결함의 분포와 형상은 Micro X-ray CT(Nikon, XTH320L)로 분석하였으며, 미세조직 분석은 중자 인접 영역을 대상으로 광학현미경(OM, Olympus BX51)을 활용하여 관찰하였다. 또한, 내부에 잔류하는 가스량은 제품가스측정기(DIAVAC LIMITED, DGM-ALDC-100)를 이용한 진공용융추출법으로 정량화하여, 중자 중공도와 공정 조건에 따른 가스량 변화를 분석하기 위해 조건 별 5회씩 측정하여 평균을 내어 비교하였다<sup>[11]</sup>.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 구조해석을 통한 중자 설계

Fig. 5와 Fig. 6은 1차 중자 설계안에 대한 충전 및 응고 해석 결과이다. 충전 해석 결과, Fig. 5(a)와 같이 약 6.9초 이내에 knuckle 전체가 충전되었으며, 초기에는 하부 리너에서 용탕이 비교적 안정적인 층류(laminar flow)로 상승하였다. 그러나 충전 후 반부에서는 중자 인접부에서 충전 속도가 불균일하게 나타났으며, Fig. 6(a) 단면 결과에서 확인되듯이 와류 및 충전 지연 현상이 발생하여 공기 혼입과 수축 결함 발생 가능성이 높게 예측되었다. 응고 해석 결과, Fig. 5(b)와 같이 충전 완료 후 약 93.6초 이내에 응고가 완료되었으며, 최종 응고 부위는 압탕 및 리너 영역으로 나타났다. 그러나 Fig. 6(b)의 수축 결함 예측 결과와 같이, 중자 접촉면 부근에서 응고 지연으로 인해 국부적인 수축 결함이 집중될 가능성이 확인되었다.

이러한 문제를 개선하기 위해 중자 끝단 형상을 조정한 2차 설계안을 도출하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 2차 설계안의 해석 결과이다. 충전 해석 결과, Fig. 7(a)와 같이 전체 충전 시간이 약 6.7초로 1차 설계와 큰 차이는 없었으나, 충전 분포가 전반적으로 균일해졌으며, Fig. 8(a)의 단면 결과에서도 와류와 충전 지연 현상이 크게 완화되었다. 응고 해석 결과(Fig. 7(b), Fig. 8(b))에서도 개선 효과가 뚜렷하게 나타났는데, 응고 완료 시간은 약 93.9초로 유사했으나, 수축 결함 발생 부위가 감소하고 크기 또한 축소되었다.

따라서 본 연구에서는 1차 해석을 통해 확인된 문제점을 개선한 2차 설계안을 최종 중자 형상으로 결정하였으며, 이를 실제 중공 주조 실험에 적용하였다.

#### 3.2 중자 중공도에 따른 시제품 제조 및 성형성 평가

Fig. 9는 Cold-box 중자와 AM 중자(중공도 0%)를 적용하여 제작된 시편의 표면부 및 단면 조직을 비교한 결과이다. 두 조건

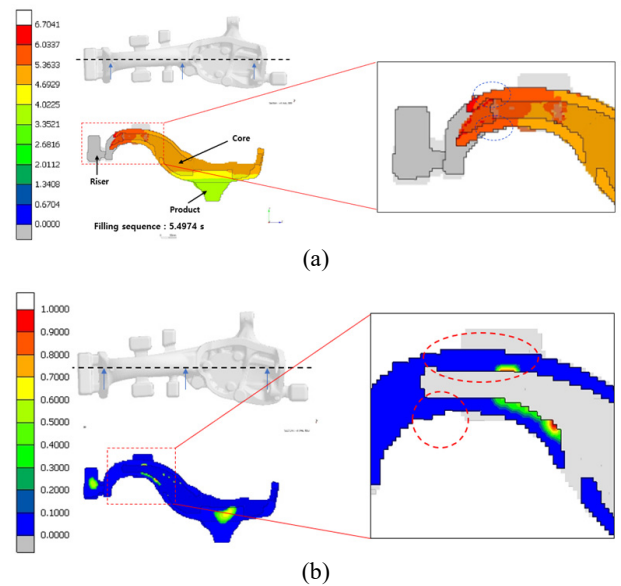


Fig. 8 Cross-sectional simulation results of product with core design 2: (a) filling sequence(5.4974 s), (b) prediction of shrinkage defects

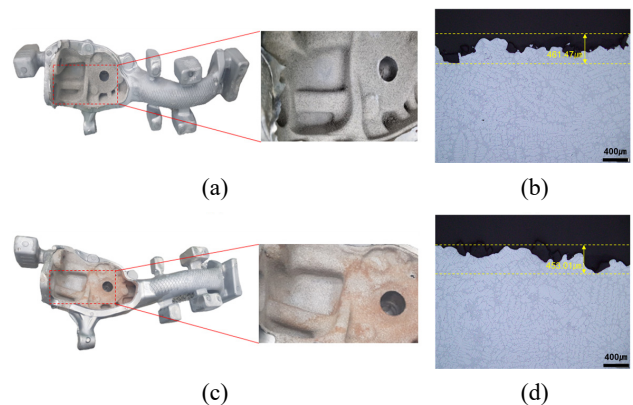


Fig. 9 Surface appearance and cross-sectional microstructure analysis of products after core removal: (a) surface of product with cold-box core, (b) cross-section microstructure of product with cold-box core, (c) surface of product with AM core (0% hollow ratio), (d) cross-section microstructure of product with AM core (0% hollow ratio)

모두 중자가 정상적으로 제거되었으며, 외관상 큰 차이를 보이지 않았다. 표면부 관찰 결과, 주조 결함이나 미성형 흔적은 확인되지 않았고, 단면 조직에서도 치밀한 미세조직이 형성되었다. 또한 제품 표면과 인접한 계면의 불균일성을 측정된 결과, Cold-box 중자의 경우 461.47  $\mu\text{m}$ , AM 중자의 경우 453.01  $\mu\text{m}$ 로 나타나 중자 제작 방식의 차이에 따른 뚜렷한 영향은 나타나지 않았다. 따라서 중공도가 0%일 때에는 Cold-box와 AM 공법 모두 안정적인 성형성을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 중자 중공도 조건(0%, 18%, 40%)에 따른 시제품의

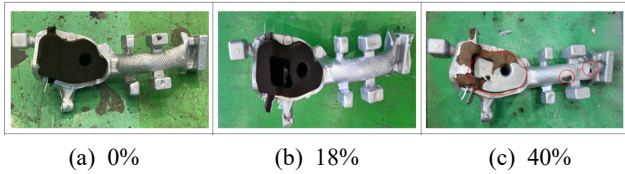


Fig. 10 Formability evaluation of trial castings according to core hollow ratio (0%, 18%, 40%)

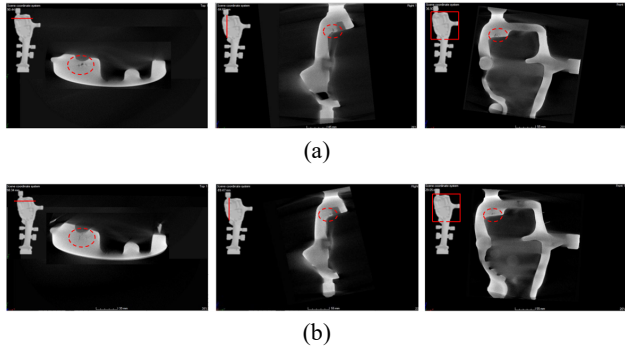


Fig. 11 X-ray 3D CT images of castings with 18% hollow ratio of core: (a) conventional mode(furnace pressurization mode), (b) chamber depressurization mode

성형성을 나타낸다. 0%와 18% 조건에서는 미성형이나 중자 붕괴 현상이 관찰되지 않아 양호한 성형성을 확보할 수 있었다. 반면, 40% 조건에서는 일부 구간에서 충전 불량과 중자 붕괴가 동시에 발생하여 미성형 결함이 확인되었다. 40% 중공도 조건에서는 코어 하단부의 얇은 외벽에서 열응력 집중이 발생하였으며, 충전 말기에 용탕 압력 상승과 결합되어 균열이 내측으로 전파되는 파단 거동을 보였다. 이러한 결과는 해석에서 예측된 응력 집중 위치와 일치하며, 외벽 두께 10 mm 이하에서는 코어의 구조적 안정성이 급격히 저하 되는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 18% 중공도가 성형성과 안정성 측면에서 가장 적합한 조건으로 판단되었다.

### 3.3 주조 공정별 시제품 제조 및 특성 평가

Fig. 11은 중공도 18% 조건에서 제작된 시편의 X-ray CT 분석 결과이다. 기존 CPC(보온로 가압 방식, Fig. 11(a))에서는 중자 인접 영역 및 두께 변화가 큰 부위에서 기공 및 수축 결함이 다수 관찰되었다. 반면, 챔버 감압 방식 CPC(Fig. 11(b))에서는 동일 위치에서의 결함 발생이 현저히 감소하였으며, 특히 중자 접촉면에서의 내부 기공 크기와 밀도가 크게 줄어드는 양상을 보였다.

Fig. 12는 동일 조건에서의 미세 조직을 관찰한 결과로, 기존 CPC 시편(Fig. 12(a))에서는 blow hole과 같은 기포 결함이 다수 분포하였으며 평균 DCS(Dendrite cell size) 값이 49.11  $\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 반면 챔버 감압 CPC 시편(Fig. 12(b))에서는 기공 발생이 현저히 줄어들었고, 평균 DCS 값은 48.52  $\mu\text{m}$ 로 유사하게 나타나 미세조직적 특성은 유지하면서 내부 결함이 감소했음을 확인하

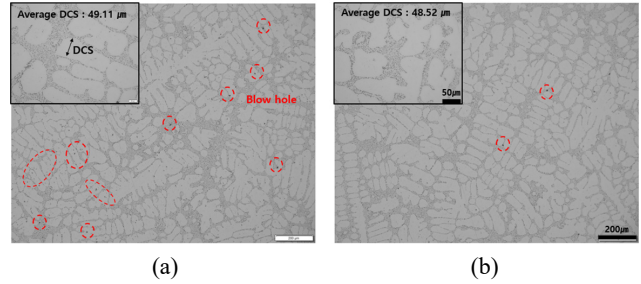


Fig. 12 Optical microstructure (OM) images of castings with 18% hollow ratio of core: (a) conventional mode, (b) chamber depressurization mode

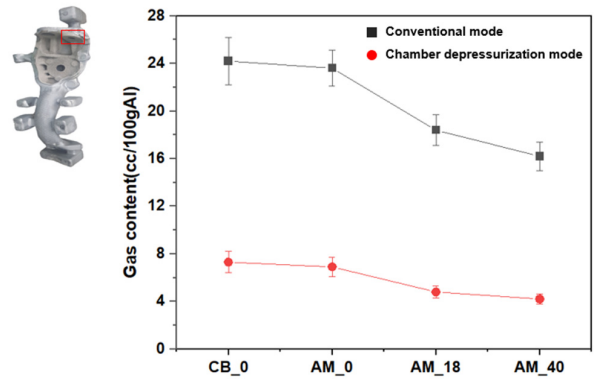


Fig. 13 Gas content analysis of castings according to core hollow ratio and casting process

였다.

Fig. 13은 공정 방식 및 중자 중공도 조건에 따른 내부 가스 함유량을 정량적으로 비교한 결과이다. 시편은 중자와 접촉하는 영역에서 채취하여 분석하였다. 기존 CPC 공정에서는 중자 중공도가 증가할수록 가스량이 다소 감소하는 경향을 보였으나, 절대적인 가스 함유량은 여전히 높아 최대 24.2 cc/100gAl 수준을 나타냈다. 반면 챔버 감압 CPC는 모든 조건에서 기존 공정보다 현저히 낮은 가스량을 보였으며, 중공도 40% 조건에서는 4.8 cc/100gAl까지 감소하였다. 이는 챔버 감압 과정에서 용탕과 중자 반응으로 발생하는 가스가 외부로 효과적으로 배출되었기 때문으로 판단된다.

따라서, 기존 CPC 대비 챔버 감압 CPC 공정은 내부 결함과 가스 함유량을 크게 줄이는 효과를 가지며, 특히 중자 중공도 18% 조건에서 성형성과 내부 품질이 가장 우수하게 나타났다.

## 4. 결론

본 연구에서는 자동차용 hollow knuckle을 대상으로, 적층성형 (additive manufacturing, AM) 중자의 중공도에 따른 차압주조 (counter pressure casting, CPC) 성형성을 평가하고 기존 CPC와 챔버 감압 CPC를 비교하였다. 우선 충전 및 응고 해석을 통해 코

어 형상을 최적화한 뒤, Cold-box 코어와 AM 코어(중공도 0%, 18%, 40%)를 제작하여 시제품 주조에 적용하였다. 성형성 평가 결과, 중공도 0%와 18% 조건에서는 안정적인 성형이 가능하였으나 40% 조건에서는 중자 붕괴와 미성형이 발생하였다. 특히 18% 조건은 성형 안정성과 내부 품질 측면에서 가장 적합한 조건으로 확인되었다. 또한 챔버 감압 CPC는 기존 CPC와 비교했을 때 내부 결함과 잔류 가스량을 현저히 줄였으며, 중공도 40% 조건에서는 가스 함유량이 최소 4.8 cc/100 g-Al 수준까지 감소하였다. 이러한 결과를 종합하면, AM 기반 중공 중자와 챔버 감압 CPC의 결합은 중공 알루미늄 부품 제조에 효과적인 공정임을 입증하였으며, hollow knuckle과 같은 대형 자동차 부품 성형에 충분히 적용 가능함을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 중간 중공도(25~30%) 조건에 대한 추가 검증과 열-유동-응력 연성 해석을 수행하여, 중자 파손 메커니즘을 정량적으로 규명할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 수송기기기술개발사업 세부사업 자동차산업기술개발사업의 지원으로 수행하였음(과제번호: 20024914).

## References

- [1] Ding, M., Zhan, H., Wang, C., Wang, Q., Shuang, J., Wang, J., Zhang, Y., 2025, Effect of Grain Refinement on the Microstructure and Tensile Properties of Cast Aluminum A356.2 Alloy Knuckles Made by Counter Pressure Casting (CPC) Process, *Int. J. Metalcast.*, 19 2118-2131, <https://doi.org/10.1007/s40962-024-01455-w>.
- [2] Katarov, I. H., Arsov, Y. B., Stoyanov, P., Zeuner, T., Buchrig-Polaczek, A., Sahm, P. R., 2001, Porosity Formation in Axi-Symmetric Castings Produced by Counter-Pressure Casting Method, *Int. J. Heat Mass Transf.*, 44:1 111-119, [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(00\)00085-5](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(00)00085-5).
- [3] Gawronová, M., Lichý, P., Kroupová, I., Obzina, T., Beňo, J., Nguyenová, I., Merta, V., Jezierski, J., Radkovský, F., 2022, Evaluation of Additive Manufacturing of Sand Cores in Terms of the Resulting Surface Roughness, *Heliyon*, 8:10 e10751, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10751>.
- [4] Li, Q., Hao, Q., Jie, W., Daan, M., 2013, Influence of Filling Parameters on Fatigue Properties of A357 Alloy Produced by Counter Pressure Plaster Mold Casting, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 23 1281-1285, [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(13\)62594-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62594-7).
- [5] Mi, G., Xin, P., Zeng, S., 2009, Effect of Solidification Condition on Secondary Dendrite Arm Spacing of the A357 Alloy Under Counter-Pressure Casting, *J. Wuhan Univ. Technol.-Mat. Sci. Edit.*, 24 119-122, <https://doi.org/10.1007/s11595-009-1119-3>.
- [6] Ou, J., Wei, C., Logue, S., Cockcroft, S., Maijer, D., Zhang, Y., Chen, Z., Lateng, A., 2021, A Study of an Industrial Counter Pressure Casting Process for Automotive Parts, *J. Mater. Res. Technol.*, 15 7111-7124, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.11.124>.
- [7] Wei, C., Ou, J., Mehr, F.F. Mehr, Maijer, D., Cockcroft, S., Zhang, L. A, Y., Chen, Z., Zhu, Z., 2022, Study of an Industrial Scale Counter Pressure Casting Process Using an Advanced Thermal-Stress Model, *Metall. Mater. Trans. B.*, 53 3396-3412, <https://doi.org/10.1007/s11663-022-02668-2>.
- [8] Xiong, B. W., Yu, H., Yan, Q. S., Zhao, J. Q., Chen, S. N., Yang, Z., 2025, Effects of Sample Thickness on Microstructures and Mechanical Properties of A357 Alloy, *Int. J. Cast Met. Res.*, 25:6 374-378, <https://doi.org/10.1179/1743133612Y.000000020>.
- [9] Yan, Q., Yu, H., Xu, Z., Xiong, B., Cai, C., 2010, Effect of Holding Pressure on the Microstructure of Vacuum Counter-Pressure Casting Aluminum Alloy, *J. Alloys Compd.*, 501:2 352-357, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.04.103>.
- [10] Yoon, J. M., Kim, S. B., Yim, Y. H., Park, J. Y., 2008, Numerical Simulation of Molten Metal Flow Under Vacuum Condition in High Pressure and Low Pressure Die Casting Process, *Int. J. Cast Met. Res.*, 21:1-4 299-303, <https://doi.org/10.1179/136404608X362133>.
- [11] Kang, H. J., Yoon, P. H., Lee, G. H., Kim, E. S., Park, J. Y., 2020, Effect of Process Parameters on Thick-wall Thickness Casting, *Journal of Korea Foundry Society*, 40:2 34-42, <https://doi.org/10.7777/jkfs.2020.40.2.34>.
- [12] Park, D. H., Lee, C. H., Park, C. W., 2025, Design of Optimal Casting Method for Track Shoe Parts of Super-large Excavator Caterpillar using Two-cavity Sand Casting Technology of Wear-resistant Alloy Cast Steel, *J. Koeran Soc. Manuf. Technol. Eng.*, 34:2 88-95, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2025.34.2.88>.



**Pilhwan Yoon**

Researcher in Korea Institute of Industrial Technology(KITECH). His research interests include Aluminum Pressurized Casting.

E-mail: [ph1047@kitech.re.kr](mailto:ph1047@kitech.re.kr)



**Hojung Kang**

Researcher(Ph.D.) in Korea Institute of Industrial Technology(KITECH). His research interests include Aluminum Pressurized Casting (HPDC, CPC) and X-ray CT Defect Analysis.

E-mail: [hjkang7@kitech.re.kr](mailto:hjkang7@kitech.re.kr)