

주조아카데미

# 주물의 후처리

김동웅<sup>1)</sup>

한국생산기술연구원 뿌리기술연구소

\*감수: 최봉재<sup>2)</sup>

## 1. 서론

주조용 합금을 고온으로 용해하여 액상으로 만든 용탕을 주형에 주입한 후 응고시켜 원하는 형태의 제품을 만드는 공정을 주조공정이라고 하고, 그 공정을 통해 얻은 제품을 주물이라고 한다. 주물의 종류는 주형의 종류에 따라서 크게 사형주물과 금형주물로 구분할 수 있다. 사형주물은 모래로 만든 주형을 사용하는 방식인데, 용탕 주입 시 주형의 상태에 따라 다시 생형주물, 건조형주물, 표면건조형주물, 탄산가스형주물 등으로 구분될 수 있다. 일반적인 사형주물 생산 공정은 그림 1과 같이 나타낼 수 있고 [1], 크게 전처리 공정, 후처리 공정, 검사 및 출하 공정으로 나누어 생각할 수 있다. 전처리 공정은 크게 용해, 사처리, 조형, 주입 공정으로 나누어 생각할 수 있고, 후처리 공정은 크게 주형해체, 탈사, 탕구계 분리, 표면청정 등으로 세분화하여 생각할 수 있는데 본 고에서는 주물의 후처리 공정을 좀 더 세분화하여 설명하고자 한다.

하는 과정이다. 주형에 주물을 주입하고 일정시간이 경과하면 주물의 온도가 내려가게 되는데, 가능한 주형 속에서 자연 냉각하여 상온에 도달하였을 때에 주형을 해체하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 작업현장의 가용 면적이나 납기 등을 고려하여 냉각시간과 해체온도 등을 결정하게 되는데 대체적으로 250°C내외에서 해체하는 것이 바람직하다. 주물의 냉각과정에서 응력이 가장 집중되는 온도 구간은 400~600°C 구간이므로 이 온도영역에서 주형을 해체하는 것은 바람직하지 않다. 적절한 온도에서 취출된 주철 주물의 색깔은 옅은 검회색이며, 다소 높은 온도에서 취출되는 경우에는 옅은 적색을 띠는 것으로 알려져 있다 [2].

주형해체 후 주물에 붙어 있는 모래나 내화물을 제거하여 주물 표면을 깨끗하게 하는 과정을 탈사과정이라 한다. 마른 모래로 구성된 중자는 가볍게 두드려 제거 할 수 있지만 대상 제품의 크기 및 무게에 따라 다양한 탈사 장비가 필요할 수 있다. 예를 들어 주형 상자의 부피가 크거나 주물의 중량이 무거운 경우에는 Shakeout machine을 사용하여 탈사를 진행할 수 있다. 그림 2는 Shakeout machine의 한 종류를 보여준다 [3]. 드럼 속에 주형을 넣고 적당한 물을 분사하면서 흔들여 모래와 주물을 분리하는 방식이다. 모래는 장치 아래의 체를 통해 회수되며 주물은 그 위로 운반된다. 이 외에도 탈사를 위한 장치에는 펀치아웃머신 및 녹아웃머신 등이 있다 [4].

## 2. 본론

### 2.1 주형해체 및 탈사

주형해체는 주형틀에서 제품과 모래를 분리하여 제품을 취출

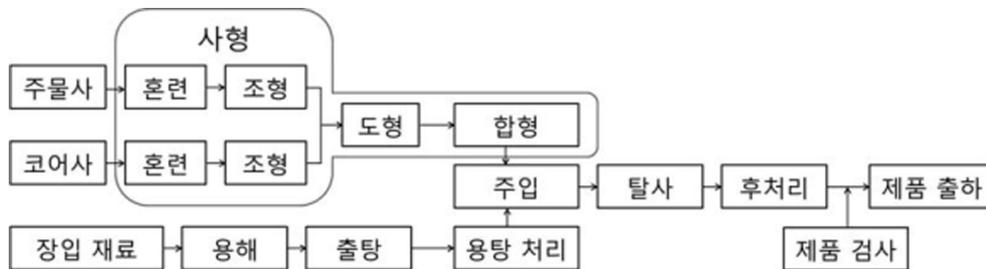


그림 1. 주물 생산 공정 [1].

<sup>1)</sup>E-mail: canon@kitech.re.kr

<sup>2)</sup>인하공업전문대학 교수 (E-mail: choibj@inhatc.ac.kr)

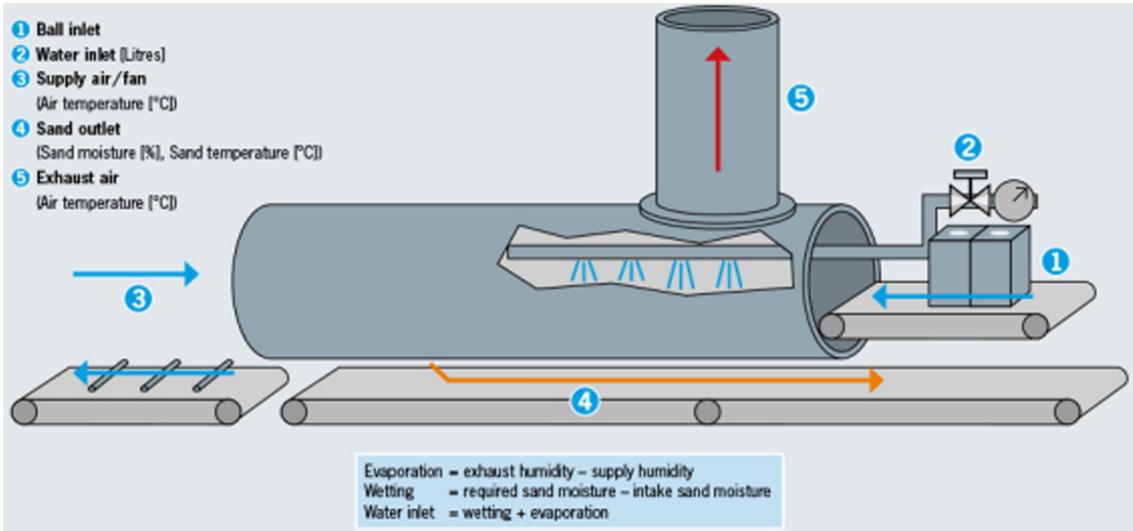


그림 2. Shakeout machine의 한 종류 [3].

### 2.2 탕구계 분리

탕구계는 주물을 만들기 위해 용탕을 투입하기 위해 부가적으로 설계된 영역이다. 그림 3에서 탕구계의 각 부분의 명칭을 나타내었다 [5]. 탕구계는 탕구, 탕도, 압탕 등으로 구성이 되는데, 탕구는 용탕을 주형에 충전시킬 때 필요한 통로이며 일반적으로 용탕 주입컵에서 수직방향으로 아래로 형성된다. 탕도는 주입컵의 반대쪽 탕구로부터 실제 주형의 입구까지에 달하는 수평부분을 의미하며, 주입되는 용탕에 섞여 있는 분순물이나 슬래그를 걸러내고, 실제 주형에 용탕이 안정적으로 충전되도록 돕는 기능을 한다. 압탕은 주형에 주입된 용탕이 응고될 때에 발생하는 부피 감소에 의한 영향을 상쇄하기 위해 추가적인 압력을 제공하는 목적으로 설계된 부분이다. 이러한 탕구계는 최종 주물제품은 아니지만, 최종 제품을 얻기 위해 부가적으로 필요한 부분이기 때문에, 주형해체와 탈사 공정 이후에 제거해야 한다. 회주철이나 취약한 (Brittle) 소재의 경우에는 손망치로도 쉽게 제거 가능한 경우가 있고, 주물의 크기에 따라 손망치 혹은 공기압 망치를 사용할 수 있다. 또한 주조방안을 설계할 때부터 탕구계를 잘 분리할 수 있도록 그림 4에서의 같이 초크 (Choke) 설계를 진행하는 방법도 있다 [6].

탕구와 압탕의 크기가 매우 크고 무거운 주물의 경우에는 가스 (Gas) 나 아크 (Arc) 를 이용하여 절단하는 방식을 사용하기도 한다. 이 경우 탕구계 제거 부위가 국부적으로 고온 환경에 노출되는데, 부분적인 조직변태가 일어날 가능성이 있으므로 주물의 재질에 따라 주의하여 작업해야 한다. 압탕의 경우에는 비교적 가스 (Gas)를 사용하여 절단하는 경우가 많은데, 절단 시에 주물에 흡수되는 열에너지가 본체의 변형을 유발시키기도 하며 크랙으로 진행될 수 있으므로 주의해야 한다. 특히 절단면에 발생하는 미세한 크랙은 최종 제품 물성에 큰 영향을 미치므로 절단 시에 제품으로부터 5~10mm 정도

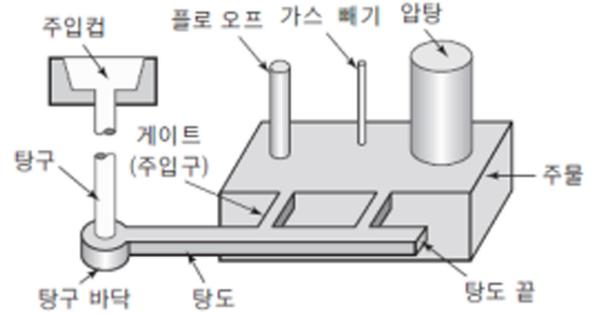


그림 3. 탕구계 명칭 [5].

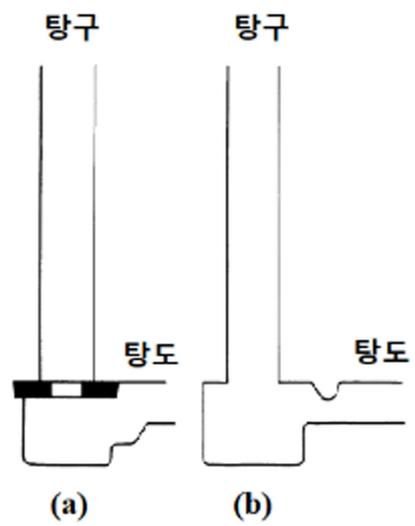


그림 4. 탕구계 초크 적용 예시 ; (a) 탕구 하단부 적용 and (b) 탕도 연결부 적용 [6].

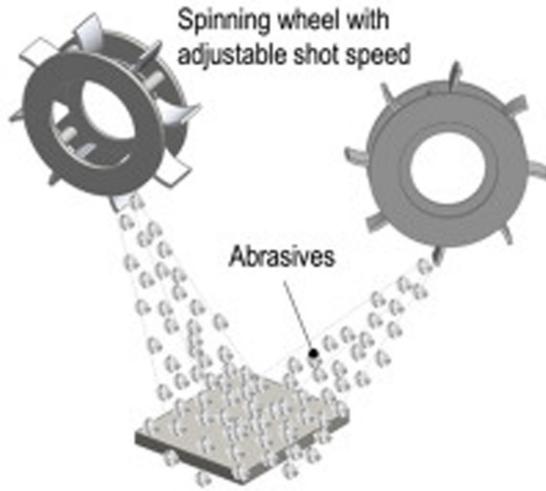


그림 5. 쇼트 블라스트 공정 원리 [7].

여유를 두고 절단한 후에 연마 (grinding)하여 마무리 하는 방식이 권장된다.

탕구계의 주요한 부분을 제거한 이후에도 제품과 무관한 부분이 남아 있는 경우가 있는데 핀 (fin)을 비롯한 작은 부분은 간단한 도구나 공기압 장비로 쉽게 제거가 가능하며, 거칠게 절단된 모서리 같은 부분은 주물의 크기에 따라 적당한 크기의 연마기 (grinder)를 활용하여 제거할 수 있다.

### 2.3 쇼트 블라스트

탈사공정 이후에도 주물 표면에는 모래나 기타 불순물이 붙어 있는데, 그 양이 소량인 경우에는 수동식 와이어 브러시 등으로 털어내는 것이 가능하지만, 일반적으로 블라스트를 많이 이용한다. 그 중에 쇼트 블라스트는 가장 보편적인 표면 청정 기법중의 하나이며, 그림 5에서와 같이 [7] 고속으로 회전하는 임펠러를 이용하여 주물표면에 쇼트를 투사하여 표면을 깨끗하게 하는 방법이다. 임펠러의 회전속도는 일반적으로 2000~3000rpm 정도이며 이때 쇼트의 투사속도는 60~70m/sec 수준이다 [4]. 임펠러의 끝단에서 직선으로 투사되는 쇼트는 그 크기에 따라 투사속도에 따라 일정한 운동에너지를 갖게 되고 이 에너지를 통해 주물표면의 모래와 불순물을 제거하게 된다. 이때 쇼트 입자가 가지는 운동에너지는 쇼트의 질량에 따라 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{1}{2}MV^2 \quad (1)$$

이때 M은 쇼트의 질량, V는 쇼트의 투사속도를 의미한다. 같은 질량을 가지는 쇼트를 투사할 때에는, 쇼트의 직경에 따라 운동에너지를 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$E = aD^3V^2 \quad (2)$$

표 1. Steel 쇼트의 kg당 입자 수 및 평균입도, 평균입도에 따른 충격도 상대비율 비교 [8]

SAE 규격	쇼트크기		110 size 쇼트 (SAE규격) 대비 충격도 비율
	평균입도 (mm)	kg당 입자 수	
780	2.4	26,400	185
660	2.0	44,000	110
550	1.7	72,600	64
460	1.4	121,000	36
390	1.2	209,000	-
330	1.0	341,000	16
280	0.8	550,000	-
230	0.7	924,000	6
170	0.6	3,300,000	2
110	0.4	7,700,000	1
70	0.3	26,400,000	-

이때, D는 쇼트의 직경, V는 쇼트의 투사속도, a는 쇼트 종류에 따른 비례상수를 의미한다.

주물표면에 가해지는 전체 충격도 (Impact Intensity)는 임펠러의 회전속도가 일정할 경우에 쇼트의 크기가 클수록 더 커진다. 표 1에는 steel 1kg당 생성되는 쇼트의 입자수와 평균입도와 평균입도에 따른 충격도의 상대비율을 나타내었다 [8]. 표 1에 의하면 1kg의 Steel을 사용할 경우, SAE규격 660size의 쇼트는 SAE규격 330size의 쇼트에 비해 평균입도 크기가 2배이지만, 전체 충격도는 약 6.9배 큰 것을 알 수 있다. 그러나 쇼트의 입자가 커질수록 kg당 입자수가 급격히 감소하게 되는데, 입자 수가 적어지면 주물표면에 닿는 면적이 줄어드는 단점이 있다.

주물표면에 투사된 쇼트 입자에 의한 충격도와 표면에 충돌한 면적을 함께 고려해야 하는데, 쇼트에 의해 표면처리가 된 면적을 커버리지 (Coverage)로 나타낼 수 있다. 커버리지는 주물표면에 투사된 쇼트로 인해 깨끗하게 된 면적을 주물표면의 전체 면적에 대한 백분율로 표시한다. 예를 들어 분당 200kg의 Steel 쇼트를 사용하는 경우에, 표 1에 의하면 평균 직경이 2.0mm인 쇼트는 총 8,800,000개의 쇼트를 투사하게 되고, 평균직경이 1.0mm인 쇼트는 총 68,200,000개의 쇼트를 투사하게 된다. 위에서 언급한 것과 같이, 각각의 쇼트 입자의 충격도 측면에서는 평균직경 2.0mm의 쇼트가 평균직경 1.0mm의 직경보다 약 6.9배 강하지만, 반대로 투사되는 입자 수의 측면에서는 평균직경 1.0mm의 쇼트를 사용하는 경우는 평균직경 2.0mm의 쇼트를 사용하는 경우에 비해 약 7.8배 많기 때문에 그만큼 커버리지도 높을 것으로 생각할 수 있다 [8]. 큰 사이즈의 쇼트를 사용하면 높은 충격도로 소착된 모래나 불순물 제거에 유리하지만 커버리지가 낮아지는 측면이 있

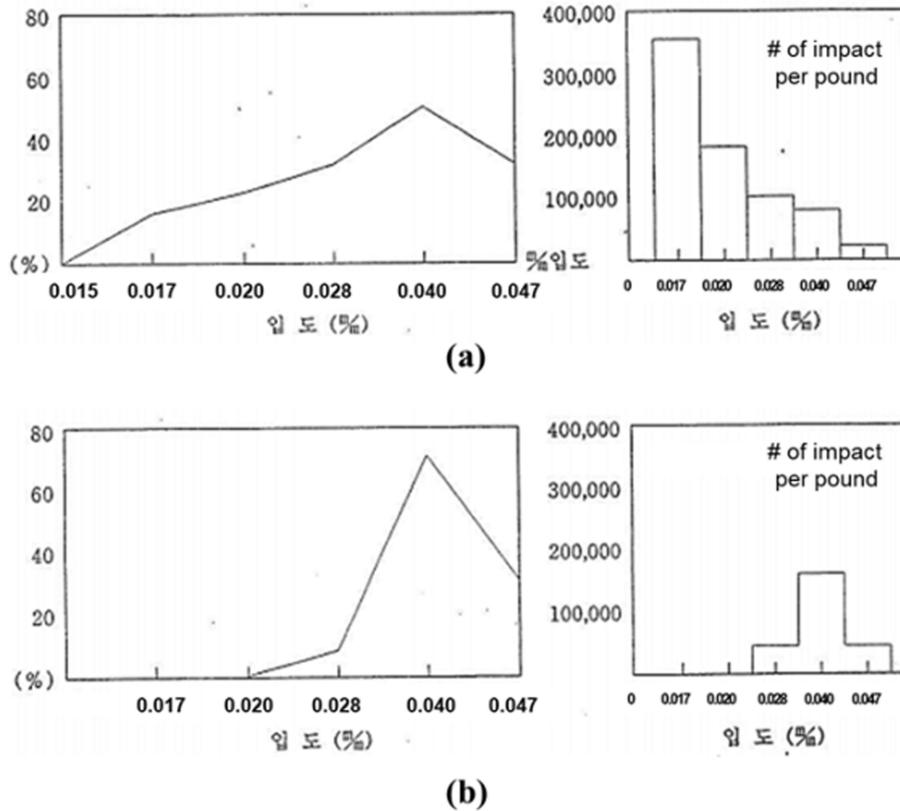


그림 6. 쇼트 블라스트 표면처리 성능 비교 ; (a)쇼트의 입도분포가 고르게 분포된 경우 and (b) 쇼트의 입도분포가 치우친 경우 [8]

고, 반대로 작은 사이즈의 쇼트를 사용하면 주물표면 전체 적용되는 커버리지는 높일 수 있으나 쇼트 입자가 가진 충격도가 불충분할 수 있다. 따라서 큰 사이즈의 입자와 작은 사이즈의 입자를 혼합하여 사용하는 것이 필요하다.

실제 쇼트 블라스트 장치내에 새로 투입된 쇼트는 주물표면에 반복적으로 부딪히면서 그 크기가 점차 줄어들게 된다. 사용되는 쇼트의 크기를 적절히 혼합할 경우에 충격도와 커버리지 측면에서 균형을 이루어 블라스팅 효과가 더 좋아질 수 있다. 그림 6(a)는 입도분포가 다양하게 섞여 있는 쇼트의 표면처리 성능을 나타내는 것으로, 그림 6(b)에서와 같이 쇼트의 입도분포가 한쪽으로 치중되어 있는 경우에 비해, 1 pound의 쇼트를 사용하였을 때 더 많은 충격량을 가짐을 보여준다 [8]. 이와 같이 쇼트 블라스터 작업효율을 높이기 위해서는 쇼트의 입도분포를 관리하는 것이 중요하다.

### 2.3 그 외 표면청정 기법

쇼트 블라스트 이외에도 다양한 방식의 표면청정 기법이 있는데, 대표적으로 샌드 블라스트, 하이드로 블라스트, 텀블러를 이용한 청정기법, 진동연마에 의한 청정기법 등이 있다. 먼저 샌드 블라스트는 그림 7에서 보이는 바와 같이 [7] 공기압축

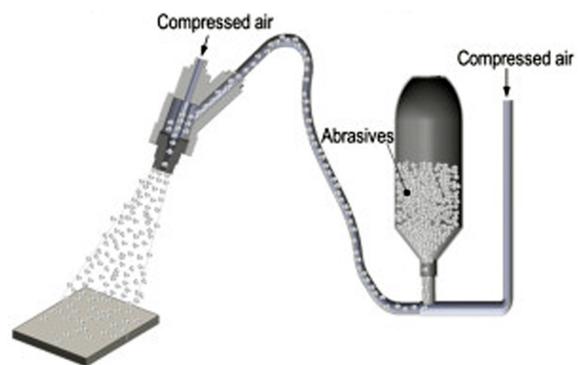


그림 7. 샌드 블라스트 공정 원리 [7].

기를 사용하여 노즐을 통해 모래를 주물표면에 분사하여 표면을 깨끗하게 하는 방식이다. 주로 표면이 유연한 경합금과 구리합금에 주로 사용되는 기법이며, 주물재료의 재질에 따라 블라스트에 사용되는 모래의 입도크기와 분사압력이 달라진다[4].

하이드로 블라스트의 경우에는 고압의 물을 분사시켜 주물의 코어를 제거하거나 주물표면의 모래를 제거하는데 사용하는 방

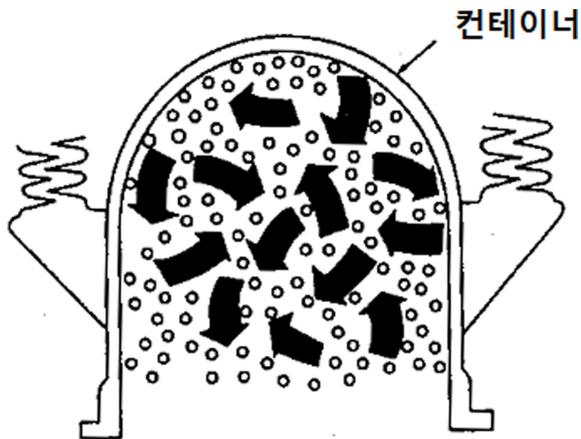


그림 8. 진동연마에 의한 표면청정 원리 [4].

법이다. 다른 표면청정 방법에 비해 효과가 우수하며 특히 모양이 복잡하거나 내부공동이 많은 중대형 주물에 활용된다 [4]. 다른 표면청정 기법에 비해 청정시간이 짧고 청정 공정시에 먼지가 발생하지 않는다는 장점이 있다. 수압은 230-250kg/cm<sup>2</sup> 정도가 적당하며 물속에 적당한 양의 모래와 인산염을 혼합하여 투사하고, 표면청정 이후에는 햇볕이 잘 드는 양지쪽에서 자연건조 시키는 것이 좋다 [2].

텀블러를 활용한 표면청정의 경우에는, 철재 용기에 표면처리가 필요한 주물과 다각형의 철 조각을 함께 넣고 용기를 회전시키면서 주물 표면을 깨끗하게 하는 방식이다. 이때 철재 용기의 회전 속도는 40~60rpm 정도이다. 철재 용기는 원통형 또는 다각형 모양의 용기를 사용할 수 있으며 장치가 비교적 간단하여 초기 설치비용이 적게 드는 장점이 있다. 반면에 소음이 심하고 주물표면에 손상이 발생하는 문제점이 있어, 부품의 재질과 종류에 따라 적절하게 활용해야 한다 [4].

마지막으로 진동연마에 의한 표면청정의 경우에는, 진동기 위에 설치되어 있는 컨테이너 속에 표면처리가 필요한 주물과

청정 매질을 함께 넣고 진동시키는 방식을 사용한다. 그림 8에서 보이는 바와 같이, 진동기로 컨테이너 전체를 진동시킬 때에, 주물과 청정 매질의 질량이 서로 달라 각각 다른 가속도를 가지고 움직이게 되며, 이때 발생하는 주물과 청정 매질 사이의 마찰력으로 주물 표면을 깨끗하게 한다 [4].

### 3. 결 론

본 고에서는 주물의 후처리 공정 중 주형해체 및 탈사, 탕구계 분리 및 다양한 표면청정 기법에 대해 기본적인 내용을 다루었다. 본 내용을 바탕으로 추가적인 정보를 찾아간다면 주물의 후처리 방법에 대한 이해를 더욱 높일 수 있을 것으로 생각한다. 또한, 최종 주물 제품이 완성되기 위해서는 후처리 공정 이후에도 주물의 보수작업, 열처리 작업 및 결함 검사 작업과 같은 추가 공정이 필요하다는 것을 추가로 언급하고 싶다.

### 참고문헌

- [1] 채재우 외, “소재기술백서2011”, 한국재료연구원, 창원 (2011).
- [2] 산업통상자원부, 국가뿌리산업진흥센터, “2014년 뿌리산업 인력 전문화시스템 구축 사업 -주조입문”, (사)한국주조공학회, 서울 (2014).
- [3] <https://www.datec.org/en/shake-out-drum/>
- [4] 조수연, 이경환, “주조응고학”, 구민사, 서울 (2015).
- [5] <http://www.kocw.net/home/cview.do?cid=3a57cb700d32674#&YvNYa-T-Tlg.link>
- [6] Sylvia J G, “Cast Metals Technology”, Addison-Wesley, Boston (1972).
- [7] Azarhoushang, B., 3 - Abrasive machining processes, in Tribology and Fundamentals of Abrasive Machining Processes (Third Edition), William Andrew Publishing, (2022).
- [8] 안두식, 한국주조공학회지, 1(2)(1981) 32.