

폐인공주물사 습식 재생의 세척액 선정

김하진^{***}, 김경호^{*}, 배민아^{*}, 김관성^{*}, 백재호^{*†}
*한국생산기술연구원 울산본부, **부경대학교 공업화학과
†e-mail:jhbaek@kitech.re.kr

Selection of cleaning solution for wet regeneration of waste artificial sand

Ha Jin Kim^{***}, Kyeong Ho Kim^{*}, Min A Bae^{*}, Pan Seong Kim^{*}, Jae Ho Baek^{*†}
^{*}Ulsan Division, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH)
^{**}Dept. of Industrial Chemistry, Pukyong National University

요약

우리나라에서는 양질의 천연사가 거의 고갈되었고, 기존에 수입해오던 중국과 베트남의 모래 또한 수출 금지로 인해 주물 생산에 필요한 모래의 공급이 어려워진 실정이다. 이 문제를 해결하기 위해 인공주물사의 개발과 폐주물사를 재생하여 활용하는 방안이 대두되었다. 유기바인더를 사용한 폐주물사는 열적 재생을, 무기바인더를 사용한 폐주물사는 습식 재생을 통해 재사용이 가능하다. 본 연구에서는 물유리계 무기바인더를 인공주물사에 적용한 주형의 폐주물사를 산성과 염기성 용액을 이용하여 재생하였다. 산성인 HCl로 세척한 재생사의 강도는 원사보다 현저히 낮게 나타났고, KOH로 세척한 재생사의 강도는 원사에 비해 15% 정도 낮게 나타났다. 따라서 폐인공주물사의 습식 재생에서는 HCl 보다는 KOH 용액이 더 적합한 세척액이며, 바인더의 제거율을 높이는 추가적인 실험이 필요하다.

1. 서론

주조는 우리나라 6대 뿌리기술 중 하나이며, 다양한 주조 방법 중에서 사형 주조는 모래로 주형이나 중차를 만드는 방법을 말하며, 이때 주형이나 중차를 이루는 모래를 주물사라고 한다. 천연주물사의 고갈과 중국 및 베트남 등에서의 규사 수출 금지 조치로 인해 천연주물사 가격이 급등한 문제가 생겼으며, 그 대안으로 세라믹 인공주물사 개발과 폐주물사의 재활용이 제안되었다[1].

주조 공장은 폐주물사를 비롯해서 분진, 슬래그, 폐내화물, 쇼트사 등의 폐기물이 많이 발생한다. 폐기물의 매립처리에 대한 점진적인 법 규제 강화로 인한 매립비용 증가 문제도 주물사 자원 구입 비용 상승 문제와 맞물려, 제조원가가 증가의 원인이 되고 있다. 따라서 폐주물사를 재생하여 재활용하는 방안이 꾸준히 요구되고 있다[2].

주형이나 중차를 만들 때는 주물사에 바인더(binder)를 첨가한다. 유기바인더는 주조 과정에서 유리폐놀, 벤젠, 미세분진 등 유해가스가 발생하여 작업장의 대기

가 오염되고, 작업자가 위험에 노출되며, 발생 가스가 주조품 내부에 기포를 만들어 제품의 강도를 떨어뜨리는 단점이 있다[3]. 하지만, 무기바인더를 사용하면 유해물질이 나오지 않아 작업환경이 양호하고 주조 결함이 감소되어 유기바인더 사용의 단점을 해결할 수 있다[4].

폐주물사의 재생은 주물사 표면에 부착된 바인더를 제거하여 본래의 주물사 입자 상태로 만드는 것을 의미한다[2]. 재생 방법에는 건식법, 습식법, 소성법이 있는데, 이 중 무기바인더가 포함된 폐주물사의 재생은 습식 방법이 적합하다[5].

본 연구에서는 폐인공주물사(waste artificial sand)의 습식 재생에 적합한 세척액을 선정하기 위해 산성과 염기성 용액을 이용하여 폐인공주물사를 재생하였고, 강도, 입도, 성분, 표면 분석을 통해 각 재생사의 특성을 비교하였다.

2. 실험방법

2.1 실험 재료

2.1.1 주물사

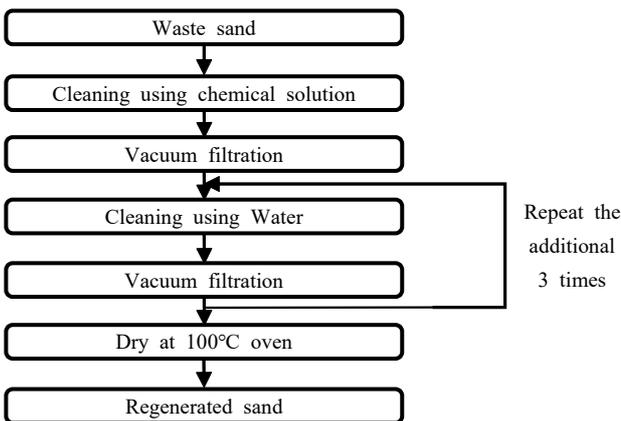
본 연구에서 사용한 인공주물사는 입도가 AFS(American Foundry Society) 46인 에스펠(Espearl)이며, 주성분은 Al_2O_3 와 SiO_2 인 알루미나계 인공사이다. 알루미나계 인공사는 구형의 입형을 가지고 있어 접결제의 소모량이 적고, 통기성과 충전성이 우수하여 강도가 높다[6].

2.1.2 폐사 제작

본 연구에서 사용한 무기바인더는 $xSiO_2-yNa_2O$ 를 기반으로 한 액상이며, Si와 Na를 비롯하여 K가 주성분이다[4]. 폐중자를 만들기 위해 인공주물사 원사에 물유리(sodium silicate)계 무기바인더 1.5 wt%를 넣고, 150°C로 가열된 금형에서 막대바 모양(22 x 22 x 170 mm)으로 성형하였다. 제조한 중자는 알루미나의 용탕온도인 700°C 열을 6 분간 가해 소성하여 폐사(waste sand)를 제작하였다.

2.2 재생 방법

본 연구에서 사용한 재생 공정은 Fig. 1에 나타내었다. 폐주물사의 세 가지 재생 방법 중 습식법을 사용하였고, 제조된 폐사는 세척액을 달리하여 재생하였다. 산성 세척액을 사용하는 경우와 염기성 세척액을 사용하는 경우를 비교하기 위해 대표적인 산·염기 물질인 HCl과 KOH를 사용하였다.



[Fig. 1] Flow chart of wet regeneration

우선 폐사 2 kg에 2 L의 0.2M KOH 또는 HCl 세척액을 넣은 후 20 분동안 150 rpm의 조건에서 교반하고, 진공여과장치를 이용하여 재생사와 세척액을 분리하

였다. 이후 동일 조건에서 물 2 L로 세척 과정을 3회 반복하고, 100°C 오븐에서 건조 처리하여 재생사를 제조하였다. 또한, 습식 방법 외에 건식법으로 파쇄한 재생사의 특성을 분석하여, 습식법의 결과와 비교하였다.

2.3 분석 방법

강도 분석은 막대바 제작 후 20°C, 30% RH의 항온항습기에 각각 1 분, 60 분 동안 넣고 일반 강도를 측정하였다. 이때 1 분 강도는 중자 제작 후 핸들링 강도를 확인하기 위해 측정하였으며, 60 분 강도는 항온항습기에 보관되면서 최대강도를 나타내는 강도이다[7]. 일반 강도를 측정함과 동시에, 덩고 습한 조건에 견딜 수 있는지를 확인하기 위해 38°C, 65% RH의 항온항습기에서 각각 1 시간, 3 시간 동안 보관한 후 내습 강도를 측정하였다. 강도는 3점 굽힘 강도를 측정하였다. 강도에 가장 영향을 미치는 요인인 입도를 측정하여 강도 변화에 어떤 영향이 있는지도 확인하였다. 성분 분석은 X-ray Fluorescence Spectrometer(XRF, XRF-1800, Shimadzu)를 이용하여 재생사에 잔류하는 Na_2O 함량을 기준으로 바인더의 제거 정도를 확인하였고, 재생 후 모래 표면에 잔류하는 바인더와 그 형태를 확인하기 위해 Scanning Electron Microscope(SEM, SU8020, Hitachi, Japan)를 사용하여 표면 분석을 진행하였다.

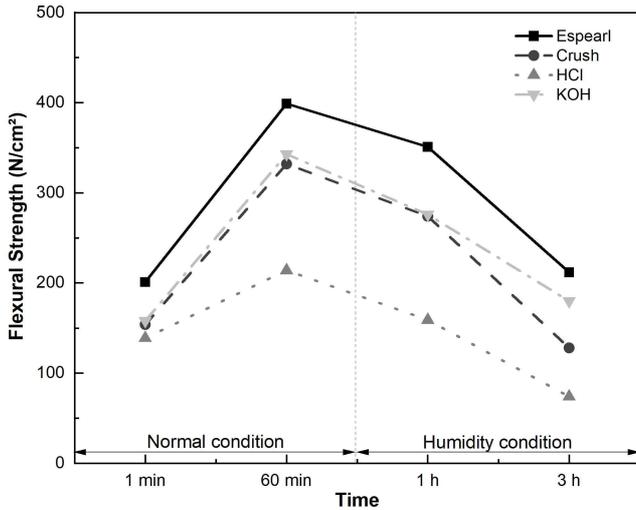
3. 실험 결과

3.1 강도 분석

원사와 재생사의 강도 분석 결과는 Fig. 2에 나타냈다. 원사의 1 분 강도는 201 N/cm^2 이었고 60 분 강도는 399 N/cm^2 이었으며, 1 시간 내습 강도와 3 시간 내습 강도는 각각 351 N/cm^2 , 212 N/cm^2 이었다.

파쇄한 재생사의 1 분, 60 분 그리고 1 시간 내습 강도는 원사와 비교하여 20% 낮게 나타났다. 하지만 3 시간 내습 강도는 120 N/cm^2 로, 원사보다 40% 낮게 나타나, 덩고 습한 환경에 오래 노출되는 조건에서는 파쇄하여 재생하는 방법이 적합하지 않다. HCl 재생사의 강도는 원사에 비해 최소 30% (1분 강도), 최대 65% (3시간 내습 강도) 낮게 나타나, 재생사로 사용하기에 적합하지 않았다. KOH 재생사의 1 분 강도는 158 N/cm^2 , 60 분 강도는 343 N/cm^2 이었으며, 1 시간 내습

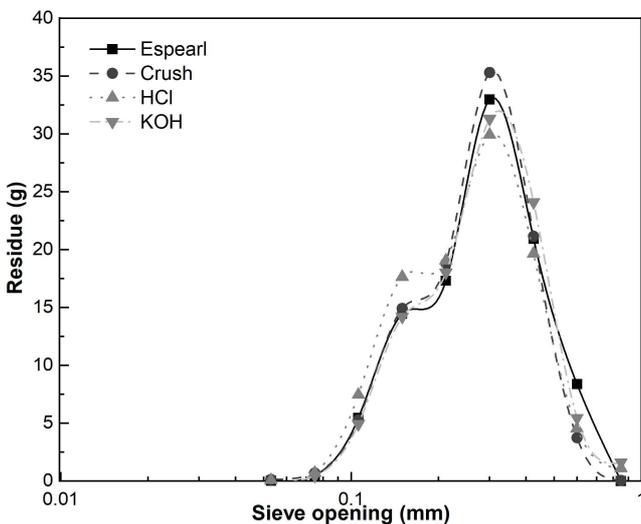
강도는 276 N/cm², 3 시간 내습 강도는 180 N/cm²이었다. KOH 재생사의 강도는 모든 조건에서 원사보다 15% 감소하였다.



[Fig. 2] Flexural strengths of espearl and regenerated sands

3.2 입도 분석

원사와 재생사의 입도 분포는 Fig. 3에 나타내었다. 입도 분포는 강도에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로, 천연사를 기준으로 입자의 크기가 클수록 강도는 커진다[7]. 입도 분포의 전체적인 모양은 유사하나, 파쇄한 재생사와 KOH 재생사는 크기가 큰 입자가 원사보다 적었으며, 크기가 작은 입자의 양은 비슷했다. HCl 재생사는 원사에 비해 체눈 크기 0.15 mm 체와 0.3 mm 체에 남은 크기가 작은 입자량이 증가했으며, 입자가 큰 모래의 양은 상대적으로 감소하였다.



[Fig. 3] Particle size distributions of espearl and regenerated sands

3.3 성분 분석

원사와 폐사, 그리고 재생사의 성분 분석 결과는 Table 1에 나타내었다.

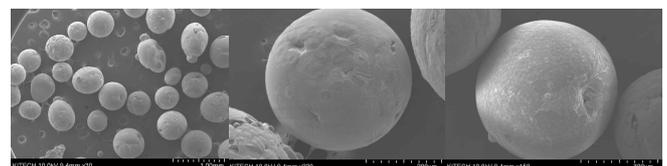
[Table. 1] Chemical compositions of espearl and regenerated sands

		Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
		unit : %			
Espearl		65.63	22.01	0.09	0.77
Waste sand		56.99	28.06	1.43	1.44
Dry Regeneration	Crush	56.30	29.18	1.85	1.41
	HCl	61.13	27.06	0.39	0.95
Wet Regeneration	KOH	58.32	27.69	0.63	1.16

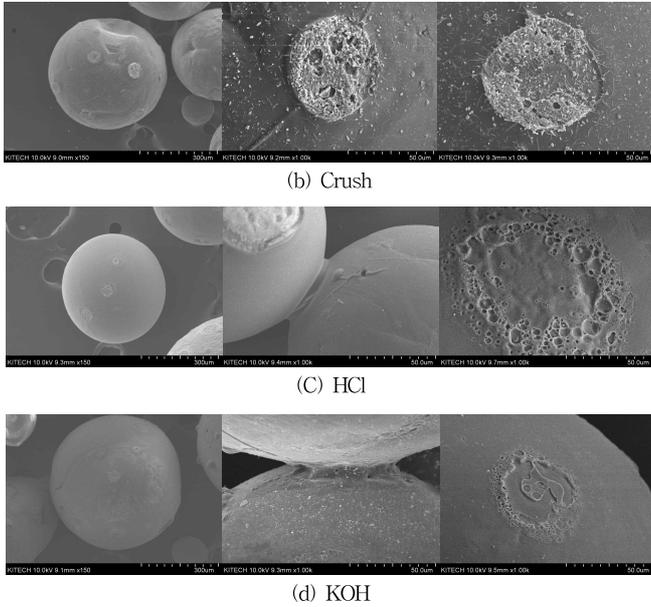
폐사는 Na₂O 성분의 함량이 1.43%이었고, 파쇄한 재생사는 1.85%로 증가하여 파쇄한 재생사의 바인더가 제거되지 않고 대부분 잔류해 있다는 것을 알 수 있다. HCl 재생사의 Na₂O의 함량은 폐사에 비해 73% 감소하였다. 수치상으로 바인더 제거 효과가 가장 좋게 나타났지만, 앞선 강도 분석에서는 강도 저하가 가장 크게 나타났다. KOH 재생사의 Na₂O의 함량은 0.63%로, 폐사에 비해 56% 감소하였고 바인더 제거율은 HCl 재생사보다 낮게 나타났다.

3.4 표면 분석

원사와 재생사의 표면 분석 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 원사는 전반적으로 구형의 입형을 가지고 있으며, 표면이 매끈하였다. 파쇄한 재생사는 전체적으로 뭉쳐져 있는 입자가 거의 보이지 않았지만, 잔류한 바인더가 선명하게 관찰되었고 물리적인 힘에 의해 부서진 바인더 미분이 존재하였다. HCl 재생사와 KOH 재생사 또한 잔류한 바인더가 관찰되었고 재생 과정에서 충분한 힘이 전달되지 못하여 입자끼리 뭉쳐있는 부분이 관찰되었다.



(a) Espearl



[Fig. 4] SEM images of espearl and regenerated sands

4. 결론

본 연구에서는 습식법을 활용한 폐주물사의 재생 공정에 적합한 세척액을 찾고자 하였다. 이를 위해 산성과 염기성을 대표하는 HCl과 KOH 용액으로 세척한 재생사의 강도, 입도, 성분, 표면 분석을 진행하였다. HCl 재생사는 성분 분석 결과에서 바인더 제거율이 가장 높게 나타났지만, 강도는 원사에 비해 현저히 낮게 나타났다. 이는 바인더의 Si 성분이 HCl에 의해 축합되어 SiO₂ 침전물이 표면에 생성되었고, 생성된 SiO₂가 재사용 시 강도 저하에 영향을 미치는 것으로 판단된다. KOH 재생사는 성분 분석 결과, 바인더가 다소 잔류하였고 강도는 원사에 비해 15% 정도 낮게 나타났다. 따라서 HCl보다는 KOH 용액이 습식 재생 시 더 적합한 세척액으로 판단된다. 다만, 재생과정에서 세척액의 농도를 조절하거나, 교반 속도와 시간을 조절하는 등의 방법을 통해 바인더 제거율을 높이는 추가적인 실험이 필요하다.

참고문헌

- [1] 김영준, 정명희, “폐주물사의 재활용 활성화 방안에 관한 연구”, 유기물 자원화, 18(4), p.43, 2010
- [2] 최창욱, “주물공장의 발생 폐기물 처리 및 재활용기술”, 한국과학기술정보연구원, 2009
- [3] 한국생산기술연구원 뉴스레터, 7(9), 2015
- [4] 배민아, 김명환, 박정욱, 이만식, “물유리계 바인더의 첨가체가 Al-Si7Mg 합금 주조 시 소착에 미치는 영향”, 대한

금속재료학회지, 56(4), p. 328, 2018

- [5] 최창욱, 길상철, “주물공장 발생폐기물의 처리 및 재활용기술 동향”, 한국주조공학회지 30(1), p. 23, 2010
- [6] 김창규, 최창욱, “주강공장 주물사 관리에 의한 주강품의 품질 향상지원”, 한국과학기술정보연구원, p. 9, 2013
- [7] 김경호, “주조공정 주물사의 순환 사용을 위한 습식재생 및 최적화”, 울산대학교 박사학위논문, p. 56, 2021