

화학적 재생에 의한 폐인공주물사의 재사용 특성

이지하^{*,**}, 김경호^{*}, 배민아^{*}, 이만식^{*}, 백재호^{*,†}

^{*}한국생산기술연구원 울산본부

^{**}부경대학교 공업화학과

[†] e-mail: jhbaek@kitech.re.kr

Reuse properties of waste artificial sand by chemical regeneration

Ji Ha Lee^{*,**}, Kyeong Ho Kim^{*}, Min A Bae^{*}, Man Sig Lee^{*}, Jae Ho Baek^{*,†}

^{*}Ulsan Division, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH)

^{**}Dept. of Industrial Chemistry, Pukyong National University

요 약

주조 산업에서 발생하는 폐기물은 주물 생산량의 약 30%를 차지하며, 그 중 폐주물사는 발생량이 가장 많고 환경오염과 처리비용 증가의 원인이 되고 있다. 폐주물사 재생은 이러한 문제를 해결할 수 있는 대안이 될 수 있다. 실험에 사용된 주물사는 사형주조에 많이 사용되고 있는 천연주물사를 대신하여 인공주물사를 사용하였으며, 점결제는 유기점결제를 대신하여 물유리를 기반으로 한 무기점결제를 사용하였다. 폐주물사의 재생은 알칼리 용액을 이용하여 사용된 점결제를 제거하였고 재생사의 재사용 특성을 파악하기 위해 3회 재사용 실험을 진행하였다. 1차 재생사는 점결제가 완벽하게 제거되지 않았으며, 잔류한 점결제는 재사용 과정에서 누적되어 재생사의 특성이 나빠졌다. 따라서 재생사가 재사용되는 과정을 고려하면, 사용된 점결제를 완벽하게 제거할 수 있는 방법이 개발되어야 한다.

1. 서론

폐주물사의 재생은 주물사 표면에 붙어 있는 점결제를 제거하여 원래의 주물사 입자로 만드는 것이다. 폐주물사의 재생 방법은 건식법, 습식법, 소성법 등이 있다. 건식법은 입자 간의 마찰에 의해 점결제를 제거하는 방법이며, 소성법은 점결제를 탄화시켜 없애는 방법으로 유기점결제 제거에 사용된다[1]. 무기점결제의 제거는 화학적 처리를 이용한 습식법이 효과적이며 습식법에서 사용하는 세척액은 산성용액 또는 염기성 용액이 많이 사용된다. Sodium silicate 계열의 무기점결제는 산 용액으로 중화시키면 규산이온이 중합되어 겔화가 일어나 SiO₂ 침전물이 생기게 되고 이 침전물이 재생사 표면에 서 제거되지 않고 남아있게 된다[2]. 한편, 염기 용액에서는 수산화이온이 Si-O-Si 구조를 붕괴시켜 점결제가 이온화된 상태로 표면에서 제거가 된다[3].

폐주물사 재생 관련 연구 중 Sourav Kayal[4]은 벤토나이트와 sodium silicate를 사용한 폐주물사의 습식 재생 방법에 대해 연구하였고, Dewi Idamayanti[5]은 물유리 점결제를 이용해 CO₂가스로 경화시킨 폐주물사를 고속으로 교반하여 습식 재생 하는 방법에 대해 연구하였다. 대부분의 선행 연구는 폐

주물사를 1회 재생하여 재생사의 특성을 평가하였으며, 반복적인 재사용 과정에서 발생할 수 있는 문제점에 대한 분석은 없었다. 따라서 본 연구에서는 인공주물사와 무기점결제로 제조된 폐주물사의 화학적 재생을 통해 재생사의 특성을 파악하고 반복되는 재사용 과정에서 발생하는 문제점을 분석하였다.

2. 실험방법

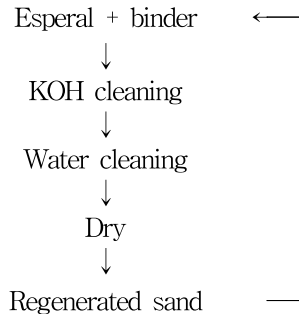
2.1 폐주물사 제조

원사는 AFS (American Foundry Society) 60인 espearl 인공주물사를 사용하였다. 점결제는 계면활성제를 포함한 무기점결제[6]를 사용하였으며, 원사 대비 1.5 wt%를 사용하였다. 샘플 제작은 중자기를 이용해 150℃의 열풍과 금형온도에서 가로 22 mm, 세로 22 mm, 길이 170 mm인 막대바를 만들었으며, 알루미늄 주조의 용탕 온도인 700℃에서 막대바를 6 분간 소성하여 폐주물사를 제조하였다.

2.2 재생방법

재생 공정은 Fig. 1에 나타내었다. 폐주물사와 0.2 M KOH를 1:1의 비율로 교반기에 넣은 후 150 rpm의 속도로 20 분간 교반하였다. 이후 진공여과장치를 통해 세척액과 주물사를

분리하고 잔류한 점결제와 세척액을 제거하기 위해 물을 이용하여 3회 세척하고 100℃에서 건조하여 1차 재생사를 제조하였다. 1차 재생사는 앞선 폐주물사 제조 및 재생하는 과정을 반복하여 3회까지 재생하였다.



[Fig. 54] Experimental process of chemical regeneration

2.3 분석

성분 분석은 X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF, XRF-1800, Shimadzu)를 이용하였고, Na_2O 함량을 기준으로 점결제 제거율을 파악하였다. 입도 분석은 체분석기인 sieve shaker (CG-211-8, 청계상공사)를 이용하였으며, 체눈 크기는 53 μm 부터 850 μm 인 체를 사용하였다. 입도 분석은 시료 100 g을 체 분석기에 넣고 진동기를 이용하여 3 분간 진동시킨 후 각 체에 남은 모래의 양을 기록하였으며, 입도 지수는 AFS GFN 입도측정 방법 (KS A 5301-95)을 이용하였다.

강도 분석을 위한 샘플은 조형기 (Young jin, Korea)를 이용하여 막대바를 제작하였다. 일반 강도는 20℃, 30 RH% 인 항온항습기에 막대바를 넣고 1분, 60분 후에 측정하였고, 내습 강도는 38℃, 65 RH% 항온항습기에 막대바를 넣고 1시간, 3시간 후에 측정하였다.

재생 후 모래 표면에 잔류하는 점결제 확인을 위해 Scanning Electron Microscope (SEM, SU8020, Hitachi)를 사용하였다.

3. 결과

3.1 성분 분석

원사, 폐주물사 및 재생횟수에 따른 재생사의 성분은 Table 1에 나타내었다. 원사의 성분은 Al_2O_3 65%, SiO_2 22%로 나타났다. 폐사의 Al_2O_3 와 SiO_2 함량은 각각 56.99% 28.06%이었으며, Na_2O 함량은 1.43%로 나타났다. 1차 재생사의 Na_2O 함량은 0.77%로 폐사 대비 46% 감소하였으나, 사용된 점결제가 완전히 제거되지 않고 잔류하였다. 2차와 3차 재생사의 Na_2O 함량은 각각 1.61%, 2.17%로 나타나, 제사용 횟수가 증가함에

따라 Na_2O 함량은 평균 0.7%씩 증가하였다. 또한, SiO_2 성분도 제사용 횟수가 증가함에 따라 평균 3.7 %씩 증가하였다.

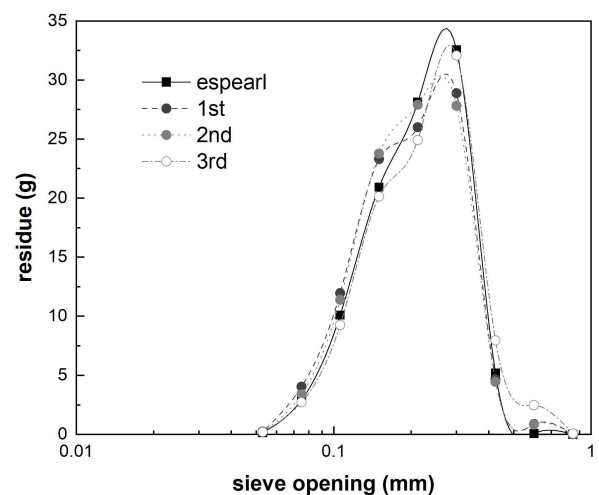
[Table 1] Chemical compositions of esperl and regenerated sands

	Esperl	Waste sand	Regenerated sands		
			1st	2nd	3rd
Al_2O_3	65.63	56.99	59.1	52.64	48.9
SiO_2	22.01	28.06	29.05	33.52	36.46
Fe_2O_3	3.84	4.13	3.4	3.55	3.36
K_2O	0.77	1.44	0.97	1.29	1.64
Na_2O	0.09	1.43	0.77	1.61	2.17

unit : %

3.2 입도 분포

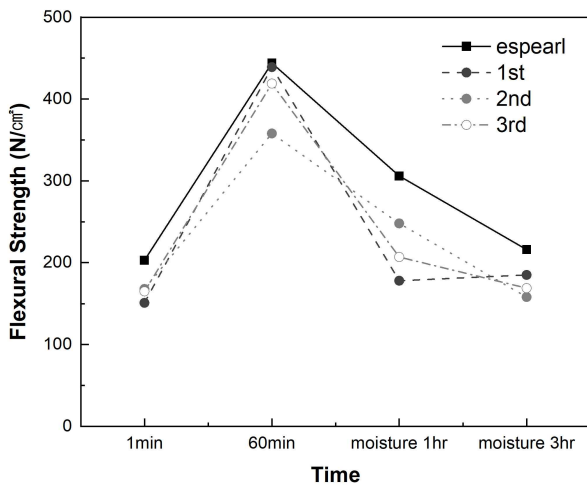
Fig. 2는 재생 횟수에 따른 입도 분포 그래프이다. 150 μm 에서 300 μm 의 범위에서 원사와 재생사의 분포에 미세한 차이가 있지만, 전체적으로 유사한 입도 분포를 나타냈다. 또한, AFS GFN 계산에 의한 원사의 입도는 AFS 57.84, 1차 재생사는 AFS 60.7, 2차 재생사는 AFS 60.1 그리고 3차 재생사는 AFS 56로 나타났다.



[Fig. 2] Particle size distributions of esperl and regenerated sands

3.3 강도 분석

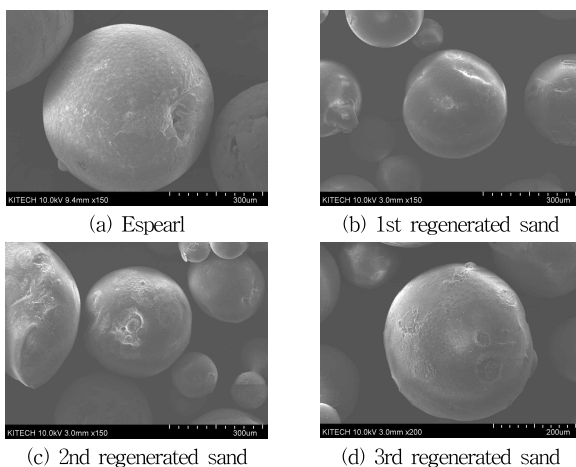
Fig. 3은 원사와 재생사의 일반 조건과 내습 조건에서 측정한 강도를 나타내었다. 원사의 1분과 60분 강도는 각각 203 N/cm², 444 N/cm²이었으며, 1 시간과 3시간 내습 강도는 각각 306 N/cm², 216 N/cm²이었다. 1차 재생사의 60분 강도는 439 N/cm²로 원사와 유사하였지만, 3시간 내습 강도는 185 N/cm²로 원사보다 낮게 나타났다. 2차와 3차 재생사의 강도는 1차 재생사와 유사하게 나타나, 일반 강도는 원사와 유사하거나 조금 낮았지만, 내습 강도는 원사보다 낮게 나타났다.



[Fig. 56] Flexural strengths of espearl and regenerated sands

3.4 표면 분석

Fig. 4는 원사와 재생사의 표면 분석 사진으로, 원사는 표면이 매끈하며 구형 입자(a)이다. 1차 재생사의 표면에는 제거되지 않은 점결제가 존재하며(b), 재사용 횟수가 증가함에 따라 표면에서 제거되지 않은 점결제도 많이 관찰되었다.



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

4. 결론

본 연구에서는 무기점결제를 이용한 폐주물사를 화학적 재생하고 재사용 과정에서 발생하는 문제점을 파악하기 위해 3회 재사용 실험을 진행하였다.

재생사의 Na₂O 함량은 재사용 횟수가 증가함에 따라 평균 0.7%의 일정한 비율로 증가하였으며, SiO₂ 함량도 평균 3.7% 증가하였다. 또한, 재생사의 표면에는 제거되지 않고 잔류한 점결제를 확인할 수 있었다. 재생사의 입도 분포는 원사와 유사하게 나타났으며, AFS 입도 계산에 의한 입도 지수도 원사

와 유사하였다. 재생사의 일반 강도는 원사와 유사하였지만, 내습 강도는 원사보다 낮게 나타났다. 이와 같은 결과를 통해, 점결제가 완벽하게 제거되지 않고 잔류한 재생사는 재사용 횟수가 증가할수록 점결제가 누적되었으며, 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 재생 과정에서 점결제를 완벽히 제거할 수 있는 재생 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 한국과학기술정보연구원, “주물공장의 발생 폐기물 처리 및 재활용기술”, 2009
- [2] Xiaofang Yang, Payman Roonasi, Allan Holmgren, “A study of sodium silicate in aqueous solution and sorbed by synthetic magnetite using in situ ATR-FTIR spectroscopy”, Journal of Colloid and Interface Science, 328 (1), pp. 41-47, 2008
- [3] SS. Kouassi, MT. Tognonvi, J. Soro, S. Rossignol, “Consolidation mechanism of materials obtained from sodium silicate solution and silica-based aggregates”, Journal of Non-Crystalline Solids, 357, pp. 3013-3021, 2011
- [4] Sourav Kayal, B.K. Chakrabarti, “Reclamation and utilization of foundry waste sand”, High Temperature Materials and Processes, 27(1), pp. 51-60, 2008
- [5] Dewi Idamayanti, Ari Siswanto, R. Widodo, Aldy Budhi Iskandar, “Wet Reclamation for Improving Properties of Waste Silica Sand from Foundry”, International Journal of Engineering and Applied Sciences, 5(5), pp. 19-22, 2018
- [6] 배민아, 김명환, 박정욱, 이만식, “물유리계 바인더의 첨가제가 Al-Si7Mg 합금 주조 시 소착에 미치는 영향”, 대한금속재료학회지, 56(4), p. 327-333, 2018