

화강석 잔사의 응집 특성

홍 영 호
해전대학 환경신소재계열

Coagulation Properties of Granite Particle

Young-Ho Hong
*Department of Environment & High Technology Material, Hyejeon College,
Hongsung 350-800, Korea*

Abstract

This study was carried out to investigate the optimal condition for granite particle coagulation process by using various chemical coagulation agents. The coagulation of a suspended granite particle was monitored by using various different coagulants, such as $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, SA-solution(KOH + $Al(OH)_3$ + K_2CO_3 mixture) and jade particle. To accomplish this study, analysis of water quality, removing Turbidity and Packing Density were measured with jar-tester. In the results of this experiment, it was found that the removal rate of the granite particle was increased with the decrease of the pH of the sludge. The turbidity(NTU) at the above coagulants was reduced from 95% to 98%. Removed of Turbidity and Packing Density was more efficiency to the SA-solution than others.

I. 서 론

현탁입자의 분산농도가 매우 희박하고 현탁입자가 작아서 중력의 영향이 미치지 못하는 범위가 되면 침강이 잘 일어나지 않는 부유상태로 존재하게 된다. 이처럼 분산질 자체의 자유침강 시간이 긴 경우에는 응집제를 첨가하여 수용액중에 분산되어 있는 미립자들을 응집 시켜서 입자의 크기를 크게 하여 침강시켜야 한다^{1,2)}.

일반적으로 수용액중에 분산되어 있는 무기물 입자의 응집 현상은 현탁액에 분산되어 있는 미립자가 반대의 하전(charge)을 지닌 응집체에 의하여 전하의 중화 현상이 발생하여 입자가 서로 접근할 때 계면전위(interfacial potential)가 급격히 감소하

여 0에 가까워질수록 응결이 쉽게되어 응집이 발생한다고 할 수 있다^{3,4)}. 즉, 세분화된 미립자중에서 표면의 특성이 소액성인 경우에는 화학적으로 불안정하며, 계면장력이 크기 때문에 응집을 시키기 위하여 응집제를 사용하여야 한다. 이러한 응집 기술은 폐수처리에서 발생하는 고/액분리의 중요한 기술이라고 할 수 있다.

응집공정은 전체 폐수처리공정의 전처리공정으로 후속공정의 효율을 결정하는데 중요한 역할을 수행하게 된다. 따라서 폐수처리공정의 효율을 향상시키기 위해서는 응집공정의 효율 향상이 절대적으로 필요하게 된다. 응집공정은 입자성 및 콜로이드성 물질 제거뿐 아니라 용존유기물질의 제거에도 상당히 중요한 공정이다^{5,6)}.

건축폐기물의 재활용을 위하여 발생하는 폐기물을 선별하는 과정에서 파쇄를 실시하는데 이때 발생하는 잔사들의 처리를 위하여 효율적인 응집제를 사용하기 위하여 발생하는 폐기물의 종류에 따라 사용되는 응집제가 달라야 한다. 발생하는 슬러지의 종류와 형상에 따라 응집제의 종류가 선정되어야 하나 실제적으로는 간편일률적으로 사용되는 응집제에 따라 응집 효율에 대한 검토는 물론이거니와 과도한 응집제의 사용에 따른 2차적인 환경오염이라는 문제까지 나타나고 있는 실정이다⁷⁾. 이를 해결하기 위하여는 적절한 응집제의 선정과 최적의 조건에 따른 응집제의 사용이 선행되어야 한다.

수용액중에 고체가 분산된 형태로 존재하는 분산계에서 고-액의 분리를 목적으로 사용되는 응집제로는 무기계 응집제로 응집효과가 우수한 황산알루미늄(Aluminium sulfate)가 널리 사용되고 있으며, 응집특성은 분산계의 pH에 따라 많은 영향을 받는다.

응집공정은 음의 전하로 대전되어 침전하지 않고 안정하게 존재하는 물 속의 오염물질을 불 안정화시켜 플록(floc)형성을 촉진시키기 위한 것이고 floc 형성공정은 형성된 floc을 침전 및 여과공정에서 제거하기 용이하도록 floc을 성장시켜주기 위한 것이다. 이러한 응집 공정에 영향을 줄 수 있는 인자로는 원수의 pH, 알칼리도, 오염물질 농도 및 온도 등이 있다. 일반적으로 폐수중에 응집제가 주입되게 되면 매우 빠른 속도로 수화반응을 거치면서 수산화물을 형성하게 된다^{8,9)}.

암석 폐기물의 처리공정에서 발생하는 폐잔사들은 많은 용도의 개발이 가능하나, 표면 전기적인 성질이 서로 다르기 때문에 응집시키기 위하여 화학적인 처리를 하여야 한다. 일반적으로 응집 효율은 알칼리성 분위기에서 그 효율이 증가되므로 발생된 폐잔사를 응집시키기 위하여 응집조건을 알칼리성으로 하여야 한다. 이때 사용되는 알칼리성 물질들에 의하여 발생하는 수질 오염을 방지하기 위한 설비를 갖추어야 한다. 이러한 화학적 처리는 응집 효율의 향상이라는 목적에는 부합되는 방법이나, 이때 사용하는 응집제의 물성과 최적 응집조건인 알칼리의 조절에 따른 응집 보조제등의 사용에 따라 많은 오염들이 발생한다. 따라서 이때 발

생되는 상등액의 오염과 이로 인한 배출수의 오염에 따른 2차적인 환경 오염을 초래한다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 대안으로 본 연구에서는 화강석 가공공정에서 다량으로 발생하는 폐슬러지를 효율적으로 응집시키기 위한 공정의 기초자료로 활용하기 위하여 시도되었다.

고체 폐기물중에서 화강석 가공공정에서 발생하는 화강석 폐잔사는 높은 부가가치를 위하여 응집하여 다른 건축관련 재료로 활용 할 수 있으나, 현실적으로 파쇄 공정에서 발생하는 잔사를 응집하는데 많은 어려움이 있다. 본 연구에서 조사한 대부분의 화강석 잔사의 처리공정에서 사용되는 응집제는 황산알루미늄을 주성분으로 하는 알칼리성제임에도 불구하고 응집효율이 매우 나쁜 결과를 보이고 있다. 더불어 슬러지를 재활용하기 위하여 슬러지를 다른 재료와의 혼합하였을 때 응집성이 우수하여야 많은 분야에 걸쳐서 재활용할 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 화강석 잔사의 응집특성에 미치는 응집제의 특성과 산/알칼리 조건이 응집에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 환경 친화적인 응집공정의 개발을 위하여 최근에 널리 사용되고 있는 옥석(jade)가공 공정에서 발생하는 옥석 폐잔사를 이용한 응집효과에 대한 검토를 실시하였다.

II. 실험 및 방법

화강석의 가공공정에서 발생하는 폐잔사에 대한 응집특성에 관한 실험을 실시하기 위하여 무기계 응집제로 널리 사용하는 황산알루미늄($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) 과 염화제이철($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) 그리고 탄산칼슘($CaCO_3$)을 이용한 응집 실험을 실시하였다. 응집 실험에 앞서 화강석에 대한 산성 조건과 알칼리성 조건에서의 응집 특성에 관한 분석을 실시하였다. 응집 특성은 충전밀도(packing density)와 상정액의 탁도(NTU)를 비교하여 분석하였다. 또한 응집 능력을 향상시키기 위하여 알루미늄(Al_2O_3)와 수산화칼륨(KOH)을 사용한 응집제를 제조하여 응집특성을 비교하였고 환경 친화적인 응집을 위하여 옥석의 가공공정에서 발생하는 폐잔사를 활용한 응집을 시도하였다.

1. 충전밀도(Packing Density)의 측정

화강석 잔사를 응집시키기 위하여 사용된 각종의 응집제가 화강석 잔사의 응집에 미치는 영향을 충전밀도를 측정하여 분석하였다. 응집제와 시료를 혼합하여 진탕기(shaker)를 사용하여 350rpm에서 30분간 진탕하고, 시료가 응집제를 함유한 수용액내에서 완전한 분산이 이루어지도록 한 다음에 일정한 부피를 지닌 메스실린더에 응집제를 함유한 수용액을 넣고 자연침강을 시키면서 시간변화에 따른 침전물의 부피를 측정하여 충전밀도를 측정한다.

2. 응집특성 실험

화강석 가공공정에서 발생한 폐잔사를 표준체로 체 분석하여 150mesh를 통과한 시료를 선택하여 사용하였다. 상기 시료를 110°C 온도에서 3시간 동안 건조시킨 다음에 수용액 250ml에 시료 30g을 넣고 여기에 응집제를 넣은 다음 shaker를 사용하여 350rpm에서 30분간 진탕하여 시료가 수용액내에서 완전한 분산이 이루어지도록 한 다음에 Mass cylinder에 정치시켜 일정한 시간 간격으로 상등액을 취하여 탁도를 측정하였다. 탁도는 탁도계(HACH-2100P)를 사용하여 측정하였다. 화강석 폐잔사의 효율적인 응집을 위하여 응집제로 황산알루미늄($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$), 황산칼슘($CaSO_4$), 그리고 염화제이철($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)을 사용하였으며 수용액의 산/알칼리변화는 수산화 나트륨(NaOH)과 황산(H_2SO_4)을 사용하여 측정하였다.

3. 응집제의 합성

증류수 500ml가 들어있는 반응기에 수산화칼륨(KOH) 200g을 넣고 여기에 수산화 알루미늄 120g을 넣은 다음에 130°C로 가열하여 완전히 용해시킨다. 이 용액에 탄산칼륨(K_2CO_3) 50g을 가하여 완전 용해시켜 응집제를 제조하였다. 이렇게 합성된 용액은 알루미늄·나트륨(Sodium Aluminate (SA))계 물질이다.

III. 결과 및 고찰

화강석 폐잔사의 효율적인 응집을 위하여 응집

제의 종류와 응집시 수용액의 산/알칼리의 변화가 응집효과에 미치는 영향을 검토하였다. 본 연구에서는 무기계 응집제로 널리 사용되는 황산알루미늄을 기본적인 응집제로 사용하였으며, 더불어 염화제이철과 황산칼슘등을 응집제로 사용하여 연구를 실시하였다. 그 결과를 살펴보면 다음과 같다.

응집특성을 향상시키기 위한 연구에서 사용하는 화강석 잔사의 기초적인 물성을 확인하기 위하여 250ml의 물에 화강석 잔사를 5g에서 30g까지 분산시킨 후 pH, 총용존 고형물(TDS)의 양 그리고 전도도의 변화를 측정하여 그 결과를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 분산된 화강석 잔사의 양에 관계없이 pH는 일정하게 유지되었다. 또한 총용존 고형물과 전도도는 분산된 잔사의 양이 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있다. 즉, 수용액에 분산된 후에 pH는 8.33에서 8.69 정도의 값을 지니며, 총용존 고형물의 농도는 18~30mg/l 정도의 값을 보이며, 수용액의 전도도는 38.1 μ S에서 64 μ S 정도의 값을 보였다. 이러한 결과를 활용하여 본 연구에서는 응집제를 함유한 수용액에 분산시키는 잔사의 양은 20g으로 일정하게 하여 실험을 실시하였다.

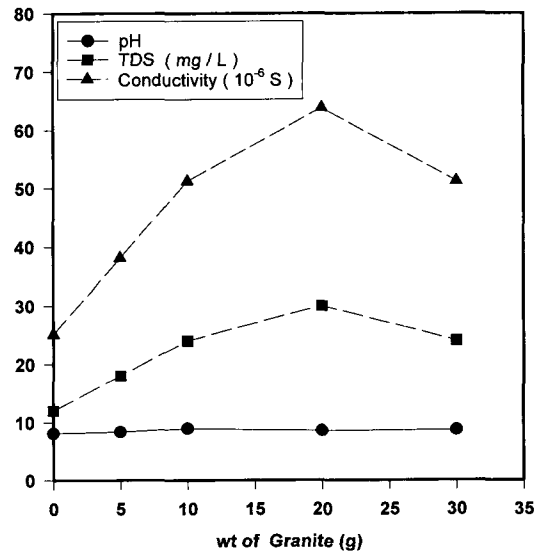


Figure 1. Various Physical properties of granite particle suspended in aqueous solution.

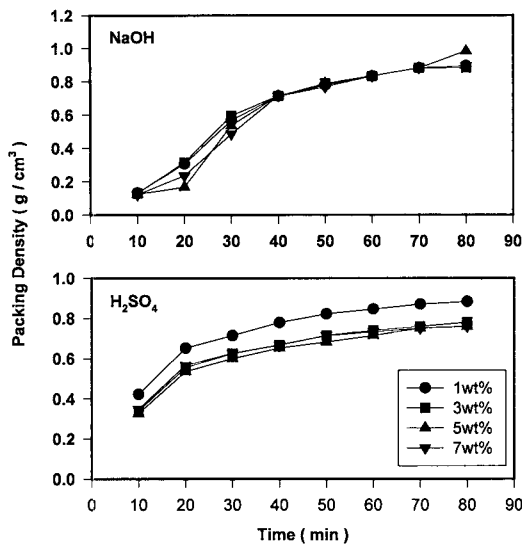


Figure 2. Coagulation characteristics of granite particle with aqueous condition.

산/알칼리의 변화에 따른 화강석 잔사의 응집특성을 분석하기 위하여 알칼리로 수산화나트륨용액과 산으로 황산을 사용하여 시간의 변화에 따른 충전밀도를 측정하여 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 산성조건에서는 황산의 농도가 감소할수록 충전밀도가 증가하여 응집이 빨리 진행됨을 알 수 있었다. 또한 알칼리성 조건에서는 전체적으로 알칼리인 수산화나트륨용액의 농도에 관계없이 충전밀도가 시간에 따라 증가하는 현상을 보이고 있다. 이러한 사실로부터 화강석 잔사는 산성조건에서 보다는 알칼리성 조건에서 응집 현상이 빨리 일어남을 알 수 있다.

화강석 연마 후 발생하는 폐잔사의 응집효율에 미치는 황산알루미늄의 효과를 확인하기 위하여 1~7wt%의 황산알루미늄용액에 폐잔사를 분산시켜 침강에 따른 효율을 측정하여 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 침강성에 대한 실험결과에서 초기에는 1%wt의 황산알루미늄용액에 분산시킨 화강석의 침강성이 현저하게 증가되었으나, 시간이 40분 정도 경과한 후에는 사용한 황산알루미늄용액의 농도에 비례하여 침강성이 증가되는 것으로 확인되었다. 이때 상징액의 탁도를 분석한 결과 그림 3에서 보는바와 같이 1wt%의 황산알루미늄용액을 사용한 경우는 초기의 탁도가 178 NTU에서 80분

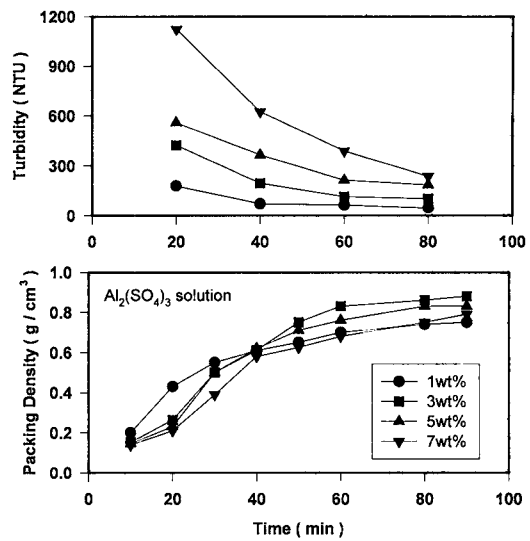


Figure 3. Coagulation characteristics of granite particle with Al₂(SO₄)₃.

이 경과 후 45.6 NTU로 74.3%의 탁도 제거효과를 나타냈으며, 7wt%의 황산알루미늄용액을 사용한 경우에는 초기 탁도가 1122 NTU에서 80분 후에는 237 NTU로 79%의 탁도 제거효율을 보이고 있다. 시간이 48시간이 경과한 후에는 95.5%~98.9%의 제거효율을 나타내었다. 이러한 결과로부터 화강석 잔사를 응집시킬 경우 황산알루미늄용액의 농도가 증가할수록 상징액의 탁도 제거에 효과가 우수하다는 사실을 확인할 수 있었다.

화강석 폐잔사의 응집효율을 검증하기 위하여 1~7wt%의 황산칼슘(CaSO₄ · ½H₂O) 용액에 폐잔사를 분산시켜 황산칼슘용액의 농도 변화에 따른 침강성 실험을 실시하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 황산칼슘용액의 농도가 증가할수록 침강성이 감소되는 결과를 보이고 있으며, 전반적으로 황산알루미늄 보다 침강성이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 황산칼슘용액의 경우 첨가된 황산의 농도에 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단되었다.

황산칼슘이 화강석의 응집에 별 영향을 미치지 않는다는 사실은 상징액의 탁도를 분석한 결과에서도 일치되는 결과를 보이고 있다. 상대적으로 우수한 응집성을 나타내는 황산알루미늄용액에 산과 알칼리를 가했을 경우 침강성에 미치는 산과

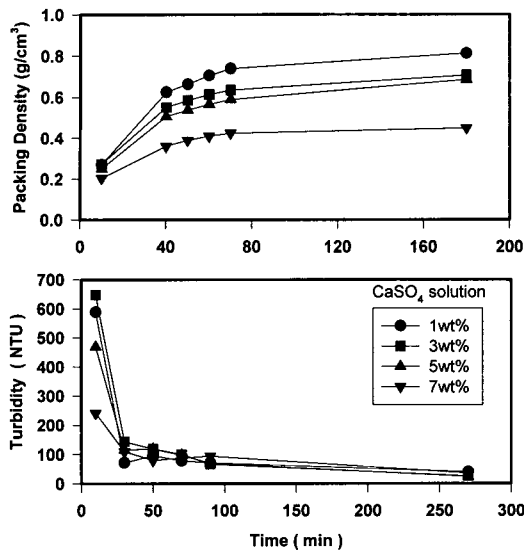


Figure 4. Coagulation characteristics of granite particle with CaSO_4 .

알칼리 효과를 비교하기 위하여 5wt%의 황산 알루미늄 용액에 산으로는 황산을 2.5g~17.5g을 가하였고, 알칼리로는 수산화나트륨을 2.5g~17.5g을 가하여 침강성에 대한 실험을 실시하였다.

그림 5 에서 보는바와 같이 수산화나트륨을 사용한 알칼리성의 경우에는 초기 20분까지는 전혀 침강현상이 나타나지 않았으나 약 30분 정도의 시간이 경과된 후부터 침강현상이 나타나고 있다. 특히 수산화나트륨의 양을 1wt% 첨가한 경우에는 침강성이 매우 불량하다는 것을 알 수 있었다. 수산화나트륨의 양을 3wt%~5wt%을 가한 경우에는 30분 정도 시간이 경과한 후 부터 침강이 진행되어 약간의 차이가 있기는 하나 수산화나트륨을 사용하지 않은 경우에 비하여 침강성이 약간 감소하는 결과를 보이고 있다. 이러한 현상은 상징액의 탁도에서도 유사한 결과를 보이고 있다. 황산을 사용한 산성의 경우에는 황산을 1wt%~5wt%를 사용한 경우 황산을 사용하지 않은 경우에 비하여 침강성이 조금 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과로부터 황산알루미늄을 응집제로 사용하는 경우에는 황산을 가하여 산성 조건에서 침강을 시키는 것이 화강석 폐잔사의 침강성을 향상시키는 것으로 나타내고 있어 이 결과를 활용하여 화강석 침강시 pH 조절에 따라 산성조건에서도 침강성의

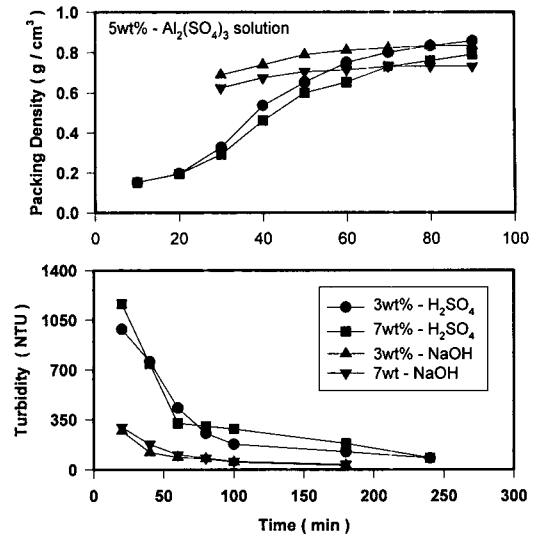


Figure 5. Coagulation characteristics of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ with various aqueous conditions.

향상을 기대할 수 있을 것으로 판단되었다.

친환경적인 응집을 위하여 사용한 옥석 가공공정에서 발생하는 슬러지를 사용하여 화강석의 응집특성을 분석하여 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 폐광에서 발생하는 옥석을 파쇄하여 보관하는 과정에서 슬러지 형태로 존재하는 경우 자체 응집력이 우수하여 별도의 응집제를 사용하지 않고서도 응집이 형성될 정도이었다. 따라서 이와 같이 자체응집력이 우수한 폐옥석을 화강석의 응집에 활용하기 위하여 물을 분산매로 사용한 옥석 폐잔사가 화강석의 응집 효율에 미치는 영향을 검토하였다. 그 방법으로는 화강석에 대한 옥석의 비를 30:0에서 0:30까지의 범위로 혼합하여 침강성을 측정하였다. 화강석 대 옥석의 비가 30:0인 경우에는 물에서 응집이 거의 진행되지 않는다는 사실을 확인하였는데, 이는 화강석 폐잔사의 경우 응집을 진행하기 위해서는 응집제를 사용하여야 한다는 결과를 알 수 있었다. 이러한 화강석 폐잔사에 옥석을 첨가하게 되면 그림 6 에서 보는바와 같이 화강석 대 옥석의 비에서 옥석잔사의 비가 10~20% 정도 존재할 경우에 가장 우수한 응집 효율을 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 화강석 폐잔사에 중량비로 10wt%에서 20wt% 정도의 옥석 폐잔사를 혼합하면 별도의 응집제를 사용하지 않고도 응

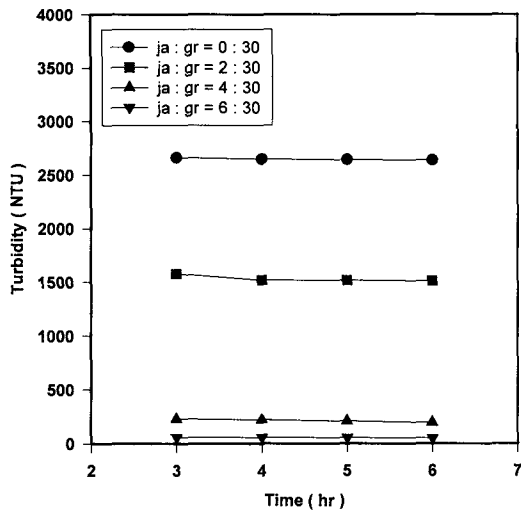


Figure 6. Coagulation characteristics of granite particle with jade.

집을 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

물을 분산매로 사용하고 옥석 폐잔사와 화강석 잔사를 혼합하여 320rpm의 회전속도에서 1시간동안 진탕후 정지시키고 120분 후에 상징액의 탁도 (Turbidity), 전도도, 총용존고형물(TDS) 그리고 상징액의 알칼리도를 측정하여 응집효과에 대한 실험결과를 표 1에 나타내었다.

화강석 잔사 30g을 수용액에 분산시킨 경우 상징액의 알칼리도를 측정하기 위하여 사용된 황산 소비량이 최대가 되며 여기에 옥잔사를 첨가한 경우에는 황산 소비량이 점차로 감소하는 경향을 보여 순수한 옥잔사의 경우가 황산 소비량이 가장 작아 알칼리도가 가장 낮은 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 탁도와 전기전도도 측정결과에서도

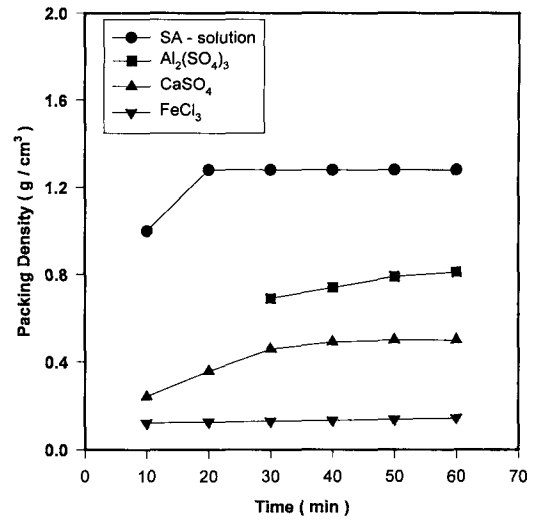


Figure 7. Coagulation characteristics of granite particle with various coagulants.

거의 유사한 경향을 나타내고 있으며, 특히 옥잔사의 중량비가 25wt%의 경우가 가장 좋은 결과를 보이고 있다.

특히, 화강석 잔사 30g을 물에 분산시킨 경우의 상징액의 탁도가 390.6NTU로 매우 높게 나타났으나 화강석 잔사 30g에 옥잔사를 중량비로 25wt%에서 50wt%까지 첨가한 경우에는 상징액의 탁도가 8.87 NTU에서 13.5 NTU로 약 98% 정도의 감소 효율을 나타내어 매우 효과가 우수하다는 것을 알 수 있다.

본 실험에 사용된 응집제에 따른 응집특성을 파악하기 위하여 응집제의 농도를 5wt%로 하고 여기에 3wt%의 수산화나트륨을 가하여 알칼리성 조건에서 황산알루미늄, 염화제이철, 황산칼슘, 그리

Table 1. Physical Properties of Granite-Jade Mixture

granite(g)	jade(g)	Physical properties			
		Turbidity (NTU)	Conductivity (μ S)	TDS(mg/l)	H ₂ SO ₄ (ml)
0	30	12	187.1	88	0.6
30	10	13.5	237	126	0.65
30	20	9.47	260	124	0.7
30	30	8.87	288	136	0.7
30	0	390.6	201	95	1.0

고 $\text{KOH} + \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$ 를 사용하여 합성한 SA용액 및 친환경적인 응집을 위하여 사용한 옥석 가공공정에서 발생하는 옥석 슬러지를 응집제로 사용하여 응집특성을 분석한 결과를 그림 7에 나타내었다. 폐잔사를 응집시키기 위한 응집제로 SA용액을 사용하는 경우에는 1wt%의 농도를 가진 황산용액을 SA 용액에 대한 중량비로 5wt%에서 10wt% 정도 혼합하여 사용하는 것이 효율적 측면에서 최적의 조건이 된다는 것을 확인할 수 있었으며, 따라서 이 조성비를 유지하여 응집제로 사용하는 것이 경제적, 기술적인 측면에서 응집 효율을 가장 향상시킬 것으로 사료된다.

IV. 결 론

화강석 가공공정에서 발생하는 화강석 폐잔사의 응집에 미치는 응집제의 특성과 산/알칼리 조건이 응집에 미치는 영향을 검토하기 위하여 실시된 본 연구에서는 무기계 응집제로 널리 사용되는 황산알루미늄을 기본적인 응집제로 사용하였으며, 더불어 황산칼슘, 염화제이철 등을 응집제로 사용하여 연구를 실시하였다. 또한 환경 친화적인 응집공정의 개발을 위하여 최근 널리 사용되고 있는 옥석(jade)가공 공정에서 발생하는 옥석 폐잔사를 이용한 응집효과를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 황산알루미늄용액을 응집제로 사용한 경우 초기의 탁도가 시간이 경과함에 따라 감소하여 7wt%의 황산알루미늄용액을 사용한 경우에는 48시간이 경과한 후에는 탁도물질의 95.5%~98.9%가 제거되는 것으로 나타났다.
- (2) 황산을 사용한 산성조건인 경우에는 황산을 중량비로 1wt%~5wt%를 사용한 경우 황산을 사용하지 않은 경우에 비하여 침강성이 조금 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과로 보아 황산알루미늄을 응집제로 사용하는 경우에는 황산을 가하여 산성 조건에서 침강을 시키는 것이 화강석 폐잔사의 침강성을 향상시키는데 유리한 것으로 판단되었다.
- (3) 옥석 가공공정에서 발생하는 슬러지를 사용하여 화강석의 응집특성을 분석한 결과 화강석 대 옥석잔사의 비에서 옥석잔사의 비가 중량비로 10~20% 정도일 때 가장 우수한 응집 효율을 나타내므로 별도의 응집제를 사용하지 않고서도 응집을 시킬 수 있어, 환경 친화적인 방법으로도 화강석 폐잔사를 응집시킬 수 있음을 알 수 있었다.
- (4) 알칼리성 분위기에서 $\text{KOH} + \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$ 를 사용하여 혼합한 SA용액을 폐잔사를 응집시키기 위한 응집제로 사용하는 경우에는 황산알루미늄을 응집제로 사용한 경우에 비하여 응집효율이 40% 정도 우수하며, 응집제로 SA 용액에 1wt%의 황산용액을 중량비로 5wt%에서 10wt% 정도 혼합하여 사용하는 것이 경제적, 기술적인 측면에서 응집 효율을 가장 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. R. A. Williams : Colloid and Surface Engineering: Applications in the Process Industries, Butterworth-Heinemann, 1992.
2. 박상원, 김성국, 홍대일 : 수용액상에서 부유 미립자의 표면전위와 응집특성에 관한연구, 한국환경과학회지, 8(3), 363, 1999.
3. Oberbeck, J. TH. G. : J. of Colloid Interfacial Sci., 58, 408, 1977.
4. Clark, J. W., Viesman, W., & Harmer, M. J. : Water Supply and Pollution Control, 2nd Ed., International Textbook Co., 1977.
5. Paul N. Cheremisinoff. : Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology, Marcel Dekker, 1995.
6. 곽종운 : 정수용 무기응집제의 응집이론과 최근 개발동향, 한국수자원공사 제28회 심포지움, 1994.
7. Aysen Turkman and Orhan Uslu. : New Developments in Industrial Wastewater Treatment, Kluwer Academic Publishers, 1991.

8. 최봉중, 이승목, 이상호 : 산성폐광폐수를 이용한 매립지 침출수의 응집처리, 한국환경위생학회지, 26(4), 129, 2000.
9. 이영신 : 자철광을 이용한 폐수처리시 응집효율에 미치는 영향, 한국환경위생학회지, 17(1), 67, 1991.