

준설토 투기장의 배출수 오염 저감에 관한 연구

박재현¹⁾, 김명학²⁾, 권대영³⁾

1. 서 론

산업발전으로 인해 많은양의 폐기물이 발생하였고 과거에는 이런 폐기물을 매립이나 투기를 통해 처리하였지만 그 결과 환경오염이 더 심해지고 오염된 지역을 원래대로 복구하기 위해 천문학적인 예산이 소요되게 되었다. 따라서 현재는 이런 폐기물을 다시 자원으로 재활용하는 방안에 대한 연구가 많이 진행이 되고 있다. 현재 굴 양식장에서 연간 30만 톤에 달하는 굴폐각이 발생하고 있지만 이중 10% 정도만이 재활용되고 있으며 나머지 90%는 방치되거나 무단 투기됨에 따라 굴폐각에 대한 여러 가지 재활용 방안이 제시되고 있다. 협소한 국토면적을 지닌 국내 실정으로 해안매립에 의한 입해단지 부지조성과 새로운 항만시설구축을 위한 매립사업의 수행시 소요되는 매립재는 양질의 흙을 육상이나 해상에서 채취하여 포설하는 것이 일반적이나 양질의 매립재는 수급과 경제성을 고려하여 해상에서 펌프준설선을 사용하여 해상점토를 준설하여 매립하는 것이 현재 국내의 실정이다. 이러한 해상점토는 자중압밀이 진행되어 향후 지반개량을 위한 소요지력을 얻는데 상당한 시간이 소요되며, 공기가 길어져 공사비가 증가하는 문제가 있다. 이런 해상점토의 단점을 보완하는 연구가 진행되고 있으며, 준설토에 폐기물을 혼합하여 압밀 및 지반강도를 증진시키는 연구가 많이 진행되고 있지만 준설토에 굴폐각을 혼합하는 연구는 초보단계에 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 현재 연구된 굴폐각과 준설토의 특성을 바탕으로 굴폐각을 준설토에 혼합하여 압밀 및 침강되는 효과를 분석하며 굴폐각의 혼합으로 인해 준설토의 물성치 변화, 건조축형성 및 건조균열의 변화를 알아보고자 한다.

2. 굴폐각 재활용을 위한 공학적 특성 연구

2.1 굴폐각의 조성성분

표 1 은 굴폐각을 구성하고 있는 성분의 중량비를 나타낸 것으로 탄산칼슘 ($CaCO_3$)의 함유량이 90.0%이상 나타났다. 탄산칼슘은 석회석의 주성분으로 많은 분야에서 유용하게 사용되고 있으며, 이러한 탄산칼슘의 함유량이 많다는 것은 앞으로의 굴폐각의 활용전망을 더욱 높게 한다.

표 1 굴폐각의 조성성분 (윤, 2001)

성분	SiO_2	Al_2O_3	FeO_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	CO_2
(%)	2.00	0.50	0.20	51.06	0.51	0.60	0.58	43.04

2.2 Jar Test

준설토의 응집실험은 표 2 와 같은 Jar Test를 통해 수행하였다. 우선, 굴폐각의 응집제로써의 특성과약을 위해 준설토에 굴폐각만 첨가하여 실험을 수행하였다. 이후 세가지 응집제를 첨가하여 Jar Test로부터 각각

1) 인제대학교 토목공학과 조교수
2) 인제대학교 토목공학과 부교수
3) 인제대학교 토목공학과 전임강사

의 최적 응집제량을 결정하였다. 마지막으로 도출된 최적 응집제량에 굴패각을 첨가하여 Jar Test를 수행하였다.

준설토 응집을 위한 최적조건 도출을 위한 본 Jar Test 실험을 준설토 7g을 증류수 1000ml에 첨가한 조건에서 수행하였다. 응집제 첨가 직후 급속교반은 250rpm에서 1분간 실시하였으며 이후 50rpm에서 5분간의 완속교반을 실시하였다. 마지막으로 20분간의 정치후 상등액을 채취하여 탁도, pH 및 철·망간 등을 측정하였다.

상등액의 탁도는 준설토의 응집·침강 효과를 나타내는 직접적 지표이다. 응집 전후의 철·망간 분석을 통해 응집에 의한 용출 중금속 제거 효과를 보고자 하였다.

이런 일련의 Jar Test를 통해 굴패각에 의한 준설토 응집의 효과를 확인하고자 하였다. 또한 준설토 응집에 필요한 최적 응집제량 및 굴패각량의 결정으로부터 현장 적용시 경제성 분석도 파악하고자 하였다.

표 2 Jar Test의 조건

1	준설토 + 굴패각
2	준설토 + 응집제
3	준설토 + 응집제 + 굴패각

1) 준설토 + 굴패각 함량

준설토에 응집제를 사용하지 않고 각기 다른 함량의 굴패각첨가에 따른 Jar Test 결과를 아래 표 5에 나타내었다.

표 3 굴패각 함량에 의한 Jar Test 결과

굴패각 함량 (%)	0	5	10	15	20	25
탁도 (NTU)	600	600	550	550	600	750

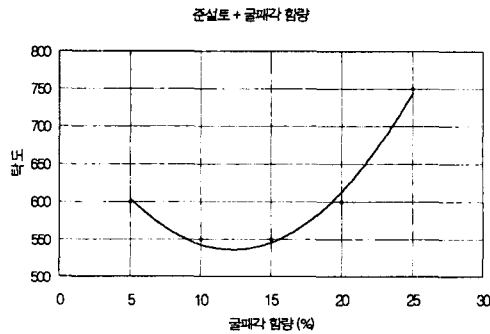


그림 1 굴패각 함량에 의한 Jar Test 결과

표 3에서 보여주듯이 굴패각만의 첨가는 준설토 응집효과에 있어 그다지 효과가 없는 것으로 나타났다. 굴패각 첨가가 10% 및 15%에서 준설토에 의한 탁도가 600NTU에서 550NTU로 다소 줄어들었으나 25% 첨가에서 750NTU로 오히려 증가하였다. 이는 굴패각 자체가 오히려 탁도를 증가시키는 요소로 작용한 것으로 보여진다. 본 실험결과로부터 굴패각만에 의한 준설토 응집은 바람직하지 않은 것으로 판단하였으며 이후 수처리용 응집제인 황산알루미늄, 염화제2철, 황산제2철을 응집제로 사용하면서 굴패각의 응집보조제로써의 효과를 실험해 보았다.

2) 준설토 + 응집제

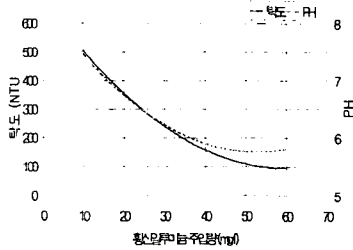


그림 2 황산 알루미늄에 의한 Jar Test 결과

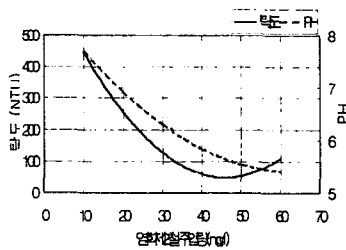


그림 3 염화제2철에 의한 Jar Test 결과

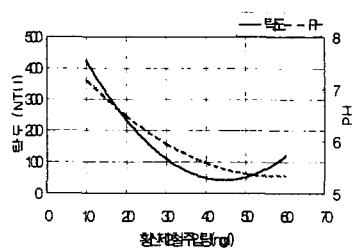


그림 4 황산 제2철에 의한 Jar Test 결과

표 4 상등액 내 평균 철·망간 분석결과 (응집제 첨가시)

	원수	황산알루미늄	염화제2철	황산제2철
철 (mg/l)	4.36	1.21	1.25	1.73
망간 (mg/l)	0.28	0.11	0.14	0.21

각기 다른 세 종류의 응집제에 대한 최적 응집제량 결정을 위한 Jar Test 결과를 그림 2, 3, 4에 나타내었다. 그림 2, 3, 4에서 보여주듯이 황산알루미늄, 염화제2철, 황산제2철 각각의 7g/l 준설토 응집을 위한 최적량은 50mg/l, 50mg/l, 40mg/l로 나타났다. 또한 준설토 응집에는 염화제2철과 황산제2철이 황산 알루미늄에 비해 우수한 결과를 보였다. 각각의 응집제 최적량에 대해서 염화제2철과 황산제2철의 탁도가 65NTU, 및 70NTU 였는데 반해 황산 알루미늄은 87NTU이었다. 상등액의 pH는 모든 실험에서 응집제 주입량의 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 원수내의 pH는 7.1 이었던데 반해 응집제 주입량이 60mg/l 이었을 때 세종류 모두의 응집제에서 상등액의 pH는 6.1로 감소하였다. 이는 준설토 응집시 pH조정을 위한 응집보조제의 필요성을 보여주는 결과라 할 수 있겠다.

철·망간 분석결과는 표 4 에서 볼수 있듯이, 응집제에 의해 양호한 제거 결과를 보였다. 모든 응집제에 의해 철은 약 70%, 망간은 약 50%의 제거를 나타냈으며, 철·망간제거에는 황산알루미늄이 다소 우수한 결과를 나타냈다.

3) 준설토 + 최적응집제량 + 굴패각 함량

이전 실험들에서 준설토의 응집에 굴패각이 그다지 효과가 없다는 사실과 응집제에 의한 준설토 응집이 효과는 있으나 pH저하에 따른 조정의 필요성을 확인할 수 있었다. 따라서 준설토 응집에 굴패각의 응집보조제의 효과를 확인하는 실험을 위해, 이전 Jar Test에서 도출된 최적응집제량에 각기 다른 함량의 굴패각을 첨가하여 Jar Test를 수행하였다. 이전과 동일하게 상등액의 탁도, pH 및 철·망간 농도를 분석하였다

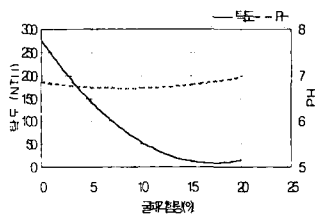


그림 5 최적 황산알루미늄 + 굴패각에 의한 Jar Test 결과

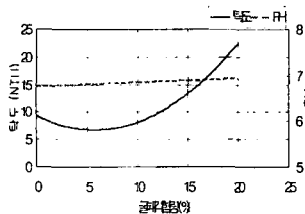


그림 6 최적 염화제2철 + 굴패각에 의한 Jar Test 결과

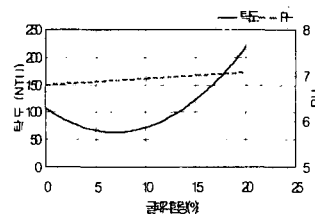


그림 7 최적 황산제2철 + 굴패각에 의한 Jar Test 결과

표 5 상등액 내 평균 철·망간 분석결과 (응집제, 굴패각 첨가시)

	원수	황산알루미늄	염화제2철	황산제2철
철 (mg/l)	4.36	0.34	0.34	0.70
망간 (mg/l)	0.28	불검출	불검출	불검출

상등액내 탁도 및 pH분석치를 그림 5, 6, 7 에 나타내었다. 그림 5, 6, 7 에서 보여주듯이 모든 응집제에 대해 굴패각 첨가가 준설토의 탁도제거에 뛰어난 기여를 한 것으로 나타났다. 최적 굴패각 함량은 황산알루미늄, 염화제2철, 황산제2철에 대해 각각 15%, 10%, 5%였다.

응집제 투입만의 Jar Test 결과는 최적 응집제량 투입시 황산알루미늄, 염화제2철, 황산제2철에 의한 상등액의 탁도가 각각 87NTU, 65NTU, 70NTU 였으나, 이에 준설토 대비 15%, 10%, 5%의 굴패각 투입에 의해 상등액의 탁도는 9.7NTU, 6.3NTU, 60NTU로 대폭 감소하였다. 위의 결과는 황산알루미늄과 염화제2철의 응집제에 굴패각은 투입함으로써 약 90%의 잉여 탁도제거 효과를 보여주는 결과이다.

따라서 응집제와 굴패각에 의한 전체적인 준설토의 응집은 황산알루미늄과 염화제2철에서 거의 100%에 가까운 결과를 나타내었다. 하지만 황산제2철에 대한 굴패각의 잉여 탁도제거 효과는 70NTU를 60NTU로 떨어뜨리는 미미한 수준이었다.

이들 결과는 굴패각의 응집제에 대한 우수한 응집보조제 능력을 보여주는 것으로 굴패각 대부분의 구성성분인 $CaCO_3$ 가 처리수의 알카리도 상승을 유발하며 응집제의 준설토 응집에 크게 기여한 것으로 보인다.

상등액의 pH는 굴패각 첨가량의 증가에 큰 차이없이 모두 약 7의 값을 나타내었다. 응집제와 굴패각에 의한 철·망간 제거는 표 5 에서 보여주고 있다. 최적응집제량과 굴패각 첨가에 의해 철은 약 90% 가까운 제거를 나타냈으며, 망간은 모든 경우에 대해서 검출되지 않는 수준이었다. 따라서 굴패각의 첨가가 준설토로 인한 중금속의 제거에도 뛰어난 효과가 있는 것으로 확인되었다.

3. 결론

본 연구는 현재 폐기물로 분류되어서 방치되는 굴패각을 이용한 준설토의 시험을 통해 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 굴패각의 혼합량에 따른 응집·침강 실험결과 굴패각을 15% 넣은 혼합토의 경우 30분까지는 굴패각을 넣지 않은 준설토의 침강속도에 비해 4 cm정도 빨리 침강하는 것을 볼 수 있었으며, 1시간 경과 후에는 다른 시료들과 같은 거동을 보임을 알 수 있었다. 그러나 20%의 굴패각을 혼합하였을 때는 오히려 굴패각을 넣지 않은 준설토보다 침강이 늦게 일어남을 알 수 있었다.
2. Jar Test를 통해 각각의 응집제의 최적량을 산정하였으며, 탁도를 기준으로 했을 때 황산알루미늄, 염화제2철, 황산제2철 각각의 최적량은 50mg/l, 50mg/l, 40mg/l였으며, 탁도제거를 통해 확인된 응집·침전효과는 모두 90%이상이었다. 상등액내 pH는 응집제 주입량 증가로 감소하였으며, 철·망간은 각각 약 70%와 50%의 제거효과를 나타냈다.
3. 최적응집제에 굴패각을 혼합하여 효과를 분석하였는데, 최적 굴패각 함량은 황산알루미늄, 염화제2철, 황산제2철에 대해 각각 15%, 10%, 5%였으며 염화 제2철에 대한 굴패각의 효과가 가장 뛰어난 것으로 나타났다. pH Test 결과 굴패각을 첨가함으로써 pH수치가 낮아지는 것을 방지할 수 있었으며, 철은 약 90%, 망간은 불검출되는 효과를 나타냄으로써 응집 효과를 증진시키는 응집보조제 역할을 함을 알 수 있었다.

4. 참고문헌

1. 윤길림 외 3인, (2001), 대한토목학회논문집, " 폐각재활용을 위한 공학적 특성 연구" pp. 421~431.
2. 유남재 외 1인, (2001), 대한지반공학회 "준설매립토의 침강/압밀과 전단강도특성 및 예측"
3. 한국해양연구소, (2000), "준설토 재활용 방안 연구", pp. 1~193.
4. 이송 외 2인, (1994), 대한토목학회논문집, "준설매립 점토의 자중압밀 특성에 관한 연구" pp.953~963.