

굴패각 고화재를 혼합한 준설토의 역학적 특성 조사

이상진 · 김용태 · 백승철 · 윤길림*

안동대학교 토목환경공학과 · *한국해양연구소

1. 서론

우리 나라의 남해안은 양식업에 의한 어업 활동이 활발하다. 특히 굴양식은 남해안 주민의 주소득원으로 생산량이 급격히 증가하고 있으나, 굴패각 형태의 폐기물 또한 급격히 증가하여 폐기물로 처리하여야 하는 굴패각의 처리비용의 부담으로 방치되거나 무단 투기됨으로 인해 해안 지역의 환경 오염이 날로 심각해지고 있다. 지금까지 굴패각의 처리는 매립에 의존하였으나 보다 확실한 처리 방법을 찾기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다.

국가 산업이 발달함에 따라 좁은 국토의 단점을 보완하기 위해 해안간척사업이 활발하다. 이러한 간척 사업에 준설토를 이용할 경우, 준설토 처리비용을 절감할 수 있으나, 연약한 성질의 준설토를 개량해야 하는 문제점을 가진다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 고화재를 사용하는 방법이 있으나, 현재 상용되고 있는 고화재는 고가이어서 경제적이지 못하다. 이러한 사회적 요구에 의해 굴패각을 고화재로 활용하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 준설토와 굴패각 고화재를 혼합하여 일축압축시험 및 비배수 비압밀 삼축압축시험을 시행하여 굴패각 혼합 준설토의 강도 특성을 규명하고자 하였다.

2. 대상 준설토의 기본 물리적 특성

대상 준설토의 물리적 특성을 고찰하기 위하여 비중시험, 입도분포시험, 함수비시험, 액·소성시험을 실시하였다. 시험 결과들을 요약하면 표 1과 같다.

표 1 대상 준설토의 물리적 특성치

비중시험(Gs)		2.429
입도분포시험	D10(mm)	0.0021
	D30(mm)	0.0044
	D60(mm)	0.0056
함수비시험(%)		50.89
액·소성시험	액성한계(%)	53
	소성한계(%)	30.27
	소성지수(%)	22.73

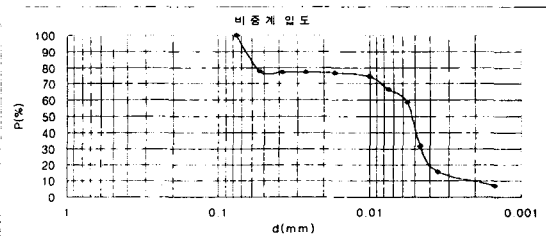


그림 1 비중계에 의한 입도분포곡선

시험결과에서 일반 점토의 비중이 2.6정도임을 생각할 때, 대단히 낮은 비중을 가지고 있으며 이는 유기질이 다량 포함된 것으로 판단된다. 입도분포시험 결과 통일분류법(USCS)로 흙을 분류하면 유기질 점토 혹은 탄성질 실트로 판단된다.

3. 굴패각 혼합토의 공시체 제작 및 압축강도 실험방법

굴패각을 이용하여 연약지반을 개량할 경우, 굴패각의 혼입율과 준설토의 함수비 및 양생일에 따른 강도 특성을 조사하였다. 굴패각의 혼입율을 중량비 3%, 6%, 9%, 12%로 변화시켜 준설토와 혼합하여 함수비 50%, 100%, 150%의 공시체를 제작하였다. 공시체 제작에 사용된 몰드는 PVC관을 일정 길이로 잘라 사용하였으며, 표면 건조를 막기 위해 상하에 film으로 막아 상온에서 약 2일 방치하였다. 이는 시료의 함수비가 높아 스스로 자립할 수 있도록 하기 위함이다. 이러한 공시체를 28일간 수중에서 양생하여 일축 및 삼축압축시험을 수행하였다.

4. 혼합토의 역학적 특성 분석

연약지반의 조기 강도 발현을 위한 굴패각을 혼합한 혼합토의 강도 특성을 판단하기 위한 일축 및 삼축압축시험에 대한 시험결과는 표2와 같다.

표 2 혼합토의 일축 및 삼축압축강도 (kgf/cm²)

양생일 (day)	함수비 (%)	일축압축시험				삼축압축시험			
		굴패각 혼입율				굴패각 혼입율			
		3%	6%	9%	12%	3%	6%	9%	12%
7	50	0.10	1.52	3.45	4.25	0.37	4.22	10.27	13.69
	100	0.08	0.73	1.90	1.95	0.34	2.35	5.17	6.49
	150	0.06	0.54	0.89	1.20	0.31	1.83	2.69	3.57
14	50	0.14	1.69	5.19	7.81	0.49	4.72	13.27	20.16
	100	0.09	0.83	2.4	3.36	0.35	3.07	6.63	8.68
	150	0.07	0.78	1.23	2.10	0.35	2.34	3.41	5.75
28	50	0.17	1.88	6.29	9.02	0.67	5.70	13.83	22.20
	100	0.11	1.21	2.83	4.04	0.51	3.44	7.17	9.91
	150	0.08	0.80	1.39	2.55	0.44	2.35	3.80	6.09

표 2의 결과는 굴패각의 혼입율을 4가지로 변화시키고 함수비를 50%, 100%, 150%로 변화시켜 28일간 양생한 공시체에 대하여 신뢰도를 높이기 위해 3회 실험을 수행한 결과이다. 삼축압축시험의 경우 구속압을 50kpa, 100kpa, 150kpa로 주어 실험하였으므로 일축에 비해 상당히 큰 값을 나타내고 있다. 굴패각의 혼입율에 따른 강도는 일축압축시험인 경우 0.1kgf/cm²~9.0kgf/cm², 삼축압축시험인 경우 0.5kgf/cm²~22kgf/cm² 정도로 상당히 넓은 범위의 강도를 가졌다. 그러나 양생일에 따른 강도의 변화는 굴패각 혼입율에 따른 강도의 변화에 비해 상대적으로 좁은 범위의 결과로 나타났다.

4.1 일축압축시험

준설토에 대한 굴폐각의 혼입율에 따른 압축강도 변화는 양생일에 관계없이 전반적으로 굴폐각의 혼입율이 증가함에 따라 압축강도가 증가하였다. 특히, 그림(3)에서 50%의 함수비에서는 혼입율 6%와 9% 사이에서 압축강도가 급격히 증가하였으며, 압축강도 증가비는 양생일에 따라 2.27~3.35정도였다.

혼합토의 양생일에 대한 영향은 그림4, 5와 같이 일정 비율의 굴폐각을 혼입한 경우 전반적으로 양생일이 증가할수록 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 양생에 따른 압축강도 증가는 양생 7일에서 14일 사이에서 급격하게 나타났으며, 함수비가 낮고 굴폐각의 혼입율이 증가할수록 압축강도 증가비가 크게 나타났다.

함수비 변화에 따른 혼합토의 압축강도 변화는 함수비가 낮아질수록 높은 압축강도를 가지며 특히, 함수비와 양생일이 같더라도 굴폐각의 혼입율이 증가할수록 함수비 100%에서 50% 사이에서 압축강도 증가비가 크게 나타났다.

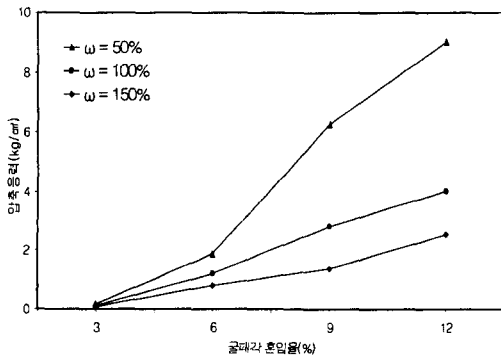


그림 2 굴폐각 혼입율에 따른 강도변화 (28일 양생)

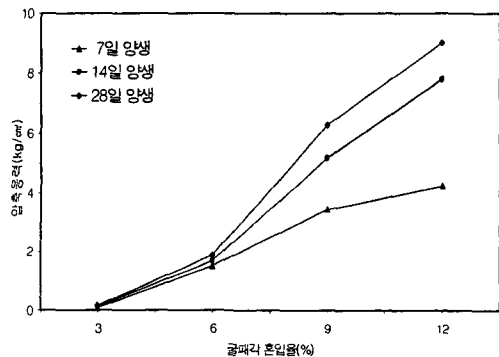


그림 3 굴폐각 혼입율에 따른 강도변화 (ω = 50%)

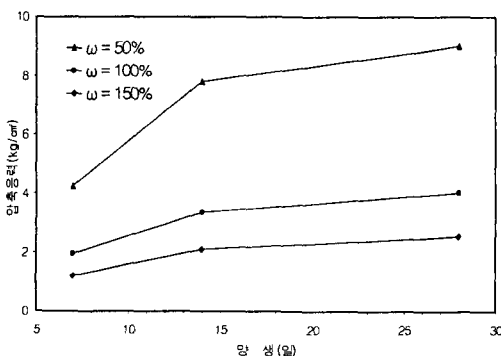


그림 4 혼합토의 양생일에 따른 강도변화 (Os=12%)

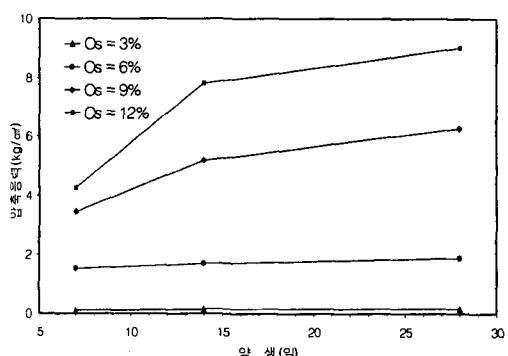


그림 5 혼합토의 양생일에 따른 강도변화 (ω = 50%)

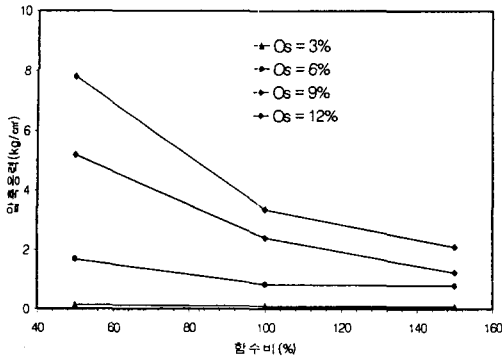


그림 6 함수비 변화에 따른 강도변화 (양생 14일)

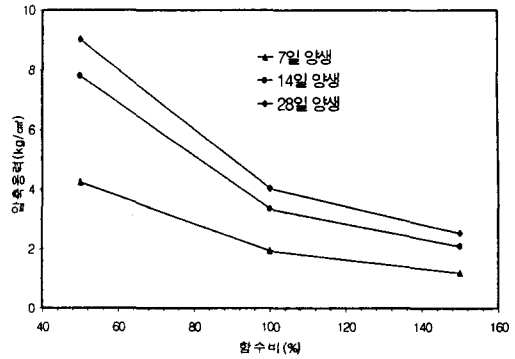


그림 7 함수비 변화에 따른 강도변화 (Os=12%)

4.2 비배수 비압밀 삼축압축시험

4.2.1 굴패각 혼입율의 영향

삼축압축상태하의 동일한 구속압과 초기 함수비에서 굴패각의 혼입율의 변화에 따른 응력-변형거동을 고찰하였다. 이를위해 본 연구에서는 초기 함수비 50%인 시료를 150kpa의 구속압으로 실험한 결과를 굴패각 혼입율 3%~12%로 증가함에 따른 응력-변형 거동을 도시하였다.

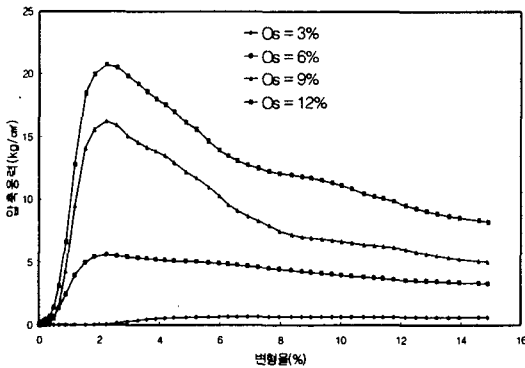


그림 8 굴패각 혼입율에 따른 강도변화

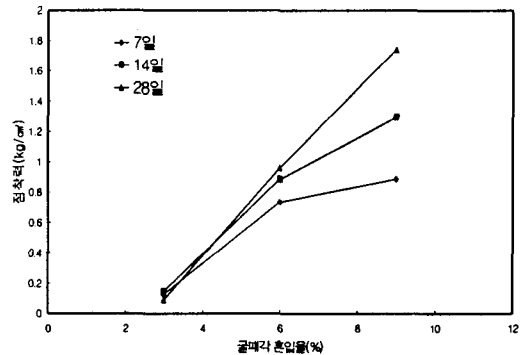


그림 9 굴패각 혼입율에 따른 점착력 변화

그림 8에서 굴패각 혼입율 6% 이하에서는 응력-변형 곡선이 파괴시까지 완전한 증가양상을 보이고 있으며, 파괴 변형을 이후의 축차응력의 감소는 거의 나타나지 않았다. 그러나 혼입율 9% 이상에서는 파괴시까지 응력-변형 곡선이 급격히 증가하는 경향을 보이며, 파괴 변형을 이후의 축차응력 감소 또한 급격한 변화를 보이고 있다. 파괴시의 변형율은 2%내외로 혼입율 6%까지는 고화재 혼입율이 낮을수록 다소 큰 변형율에서 파괴됨을 알 수 있다. 이는 과압밀 점토와 같은 거동을 나타내는 것이다. 그림 9에서는 굴패각 혼입율에 따른 점착력의 변화를 나타내고 있다. 점착력은 굴패각 혼입율이 높을수록, 양생일이 클수록 증가함을 알 수 있다.

4.2.2 양생일에 따른 영향

삼축압축상태에서 양생일에 따른 응력-변형거동을 고찰하기 위하여 본 연구에서는 다양한 굴패각 고화재 혼입을 중에서 대표적인 결과로 보여지는 9% 함유율의 경우에 대해 도시하였다. 그림에서의 삼축압축 응력상태의 구속압은 150kpa이며 함수비는 50%이다.

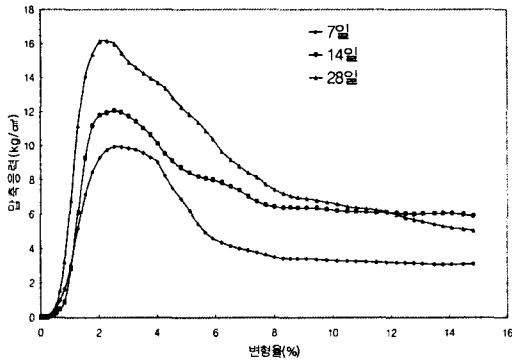


그림 10 양생일 변화에 따른 강도변화

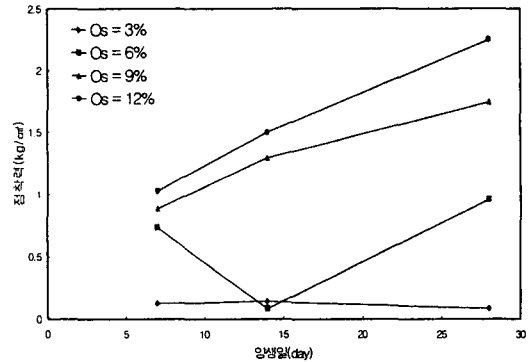


그림 11 양생일 변화에 따른 점착력 변화

그림 10에서와 같이, 파괴 변형을 이후의 축차응력은 변형율의 증가에 따라 급격히 감소하여 일정한 잔류축차응력을 나타내고 있다. 파괴 변형을 상태에서 응력은 양생일이 길수록 순간적으로 감소하며 양생일이 짧을수록 완만한 응력 변화가 나타난다. 또한 양생일 14일까지는 변형율 8%이후에서 일정한 잔류축차응력을 갖지만 28일의 경우에는 미소하게나마 축차응력의 감소가 계속 되는 것으로 보인다. 그림 11에서는 양생일 변화에 따른 점착력의 변화를 나타내고 있다. 굴패각 함유율 3%에서는 양생일에 따른 점착력의 변화가 거의 일어나지 않으나, 6%이상에서는 대체적으로 증가하는 경향을 보이고 있다.

4.2.3 준설토의 초기 함수비의 영향

삼축압축상태에서의 초기 함수비 변화에 따른 응력-변형거동에 대해 고찰하고자 함수비를 50%~150%로 변화시키고 굴패각 혼입율을 6%로 하여 구속압 50kpa 상태에서 실험한 결과를 도시하였다.

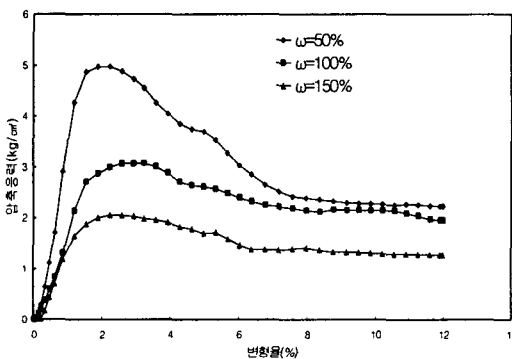


그림 12 함수비 변화에 따른 강도변화

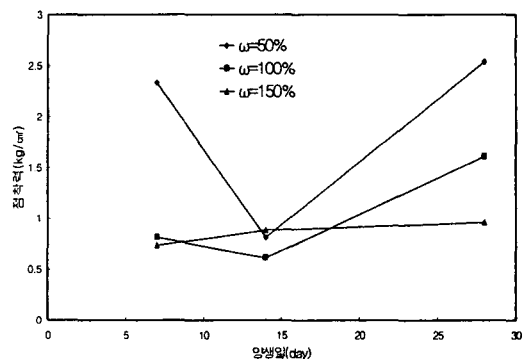


그림 13 함수비 변화에 따른 점착력 변화

그림 12에서와 같이 전반적으로 삼축압축상태에서 응력-변형거동은 파괴변형을 2% 이내에서 압축강도가 조기에 발생하고 거의 일정한 잔류 축차응력을 나타내고 있다. 특히 함수비 50%의 경우 다른 함수비의 시료에 비해 파괴 축차응력이 급격히 증가하여 조기에 압축강도가 발생하고 파괴 변형을 이후 축차 응력이 급격히 감소하여 함수비 100%의 잔류 축차응력과 거의 같은 값을 나타내고 있다. 이처럼 함수비에 따른 축차응력의 변화는 함수비가 증가할수록 응력-변형곡선이 완만한 증가를 보이며, 변형을 8% 이상에서는 잔류 축차응력이 $1\text{kgf/cm}^2 \sim 2\text{kgf/cm}^2$ 정도로 거의 일정함을 알 수 있다. 그림 13에서는 함수비 변화에 따른 점착력의 변화를 나타내고 있다. 함수비가 저함수비에서 고함수비로 변화함에 따라 점착력이 양생일이 길어질수록 증가하는 경향을 나타내고 있다.

5. 결 론

본 연구는 현재 폐기물로 분류되어 방치되는 굴폐각을 준설토와 혼합하여 일축 및 삼축시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 굴폐각의 혼입율이 증가함에 따라 압축강도가 증가하였고 특히, 50%의 함수비에서는 혼입율 6%와 9% 사이에서 압축강도가 급격히 증가하였다.
2. 양생일이 증가할수록 압축강도가 증가하는 것으로 나타났으며 양생에 따른 압축강도는 양생 7일에서 14일 사이에서 급격한 증가를 보였다.
3. 함수비가 낮아질수록 높은 압축강도를 가지며 특히, 함수비 100%에서 50% 사이에서 굴폐각의 혼입율이 증가할수록 압축강도 증가비가 크게 나타났다.
4. 삼축압축시험에 의한 점착력의 변화는 굴폐각 혼입율이 증가할수록 증가하였다.
5. 굴폐각 혼입율 6%, 양생일 14일을 기준으로 점착력의 증가가 큰 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 한국해양연구원, (2002. 3), “준설토 재활용 방안 연구(Ⅱ)”, pp.1~76.
2. 윤길림 외 5인, 한국지반공학회 논문집, (2001. 10), “굴폐각을 혼입한 모르타르 혼합토의 강도특성 연구”, pp.51~60.