

해양부산물을 활용한 연약지반처리와 토목분야 적용

장용채¹⁾

¹⁾ 목포해양대학교 해양시스템공학부 해양토목공학전공 부교수

1. 서론

삼면이 바다인 우리나라에서 서남해안지역의 천연자원이란 바다와 밀접한 관계를 많이 하고 있다. 대규모 토목공사에 사용되는 골재는 금강과 영산강 하구로부터 흘러들어 바다와 인접해 있는 곳에 하상골재가 많이 분포하고 있으며, 인접바다에는 바다모래가 퇴적되어 있다.

20세기 말까지 만해도 이와 같은 천연골재들을 큰 어려움 없이 채취해왔으나, 새천년인 21세기를 맞아 점점 고갈되어가는 천연자원을 보호하자는 목소리가 커지면서 각 지방자치단체에서는 앞 다투어 자기지역의 천연재료를 보호하고 있는 실정이다. 대규모 토목공사를 하는 여러 기관에서는 골재의 수급이 공사 진행의 관건이 될 정도로 심각한 상황에 이르자 대체 재료의 개발에 많은 관심을 표명하기 시작한 것이다. 여기서는 해양부산물 중 우리나라에서 가장 많이 발생하는 굴폐각을 중심으로 꼬막, 소라껍질 등 다양한 패각류의 공학적 활용성에 대해 논의하고자 한다.

2. 굴폐각 혼합토의 공학적 특성

2.1 각종 혼합토의 다짐특성

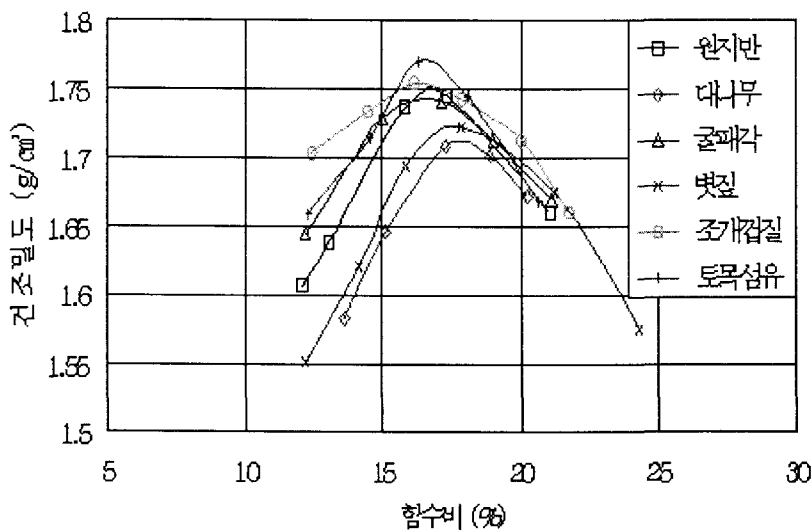


그림 2.1 여러 재료 혼합토의 다짐 특성

2.2 부산물 혼합토의 강도특성

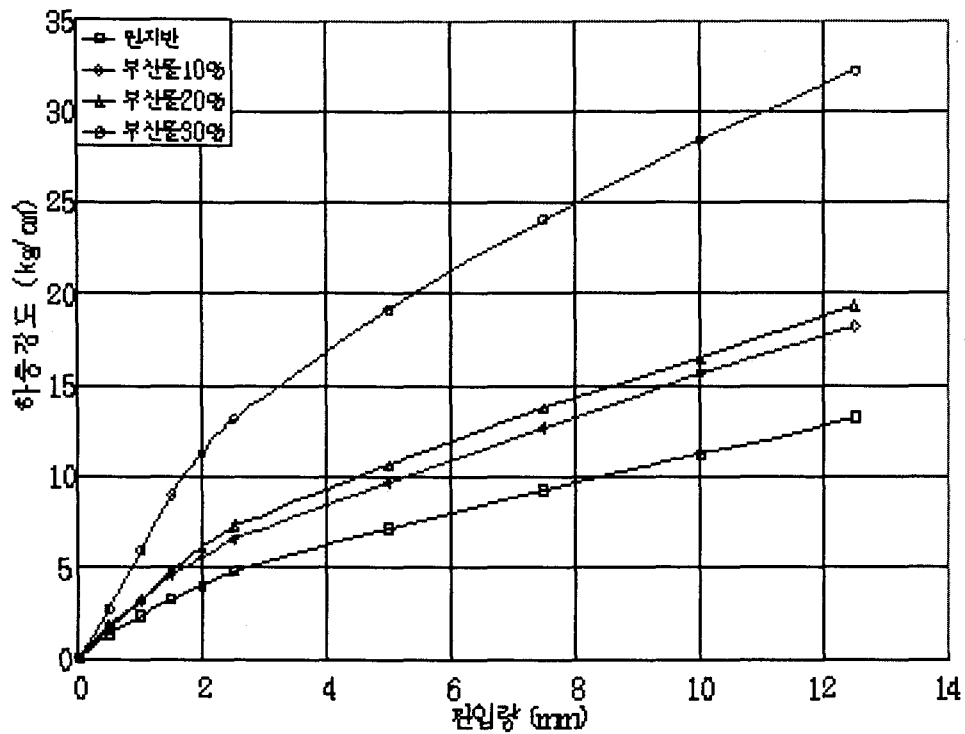


그림 2.2 부산물 혼합토의 강도 특성

3. 굴패각 혼합 연직배수공법 설계

3.1 굴패각 혼합토의 혼합비 산정

- 오염물질 정화기능이 있는 굴패각 혼합토의 전단강도, 투수성을 파악하여 친환경 연직배수공법의 적용시 공학적 특성 파악
- 시험결과

모래:굴패각(%)	투수계수	점착력	내부마찰각	비고
100:0	3.09×10^{-3} cm/sec	0.11 kg/cm ²	43.5°	· 굴패각 혼합비 30~50%내에서 모래와 거의 유사한 공학적 특성을 나타냄
70:30	2.11×10^{-3} cm/sec	0.13 kg/cm ²	46.9°	
60:40	1.65×10^{-3} cm/sec	0.19 kg/cm ²	44.3°	
50:50	3.09×10^{-3} cm/sec	0.25 kg/cm ²	42.9°	

3.2 굴패각 혼합토의 오염정화 Mechanism

① 굴패각의 특성 및 무기물 조성

Inorganics	Composition(%)	Inorganics	Composition(%)
Ca	37.6	Mn	0.0036
Mg	0.22	Sr	0.078
Na	0.79	Zn	0.0018
Cd	-	Si	0.014
Cu	0.0003	K	0.041
Cr	-	Pb	-
Ni	-	Al	0.059
Fe	0.061		
겉보기 밀도	1.48 g/cm ³	비표면적	5~7 m ² /g

- 굴패각의 특성 ⇨ 굴 패각의 비중 = 1.48 g/cm³, 표면적 = 5~7 m²/g
- XRD 결과 ⇨ 굴 패각의 무기물 조성은 CaCO₃

② 연직배수재에 굴패각 첨가시 중금속 제거와 오염물질 정화

침전에 의한 오염물질 저감	
$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OysterShell} + \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \quad (\text{pH} \uparrow)$ $\text{M}^{n+} + n(\text{OH})^- \rightarrow \text{M}(\text{OH})_n$ <p>단, Mⁿ⁺: 중금속</p> <p>M(OH)_n: 수산화침전물</p> <p>제거 예 $\text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2$, $\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$</p> <p>$\text{Cr}^{2+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3$, $\text{As}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{As}(\text{OH})_2$</p> <p>$\text{Pb}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{OH})_2$</p>	
Ca에 의한 인산염 저감	
$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^2 + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ $5\text{Ca}^{2+} + 3\text{HPO}_4^{2-} + 4\text{OH}^- \rightarrow \text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6(\downarrow) + 3\text{H}_2\text{O}$	
결과 분석	<ul style="list-style-type: none"> · 굴 패각 첨가시 오염물질 제거 Mechanism ⇨ Ca에 의한 인산염 저감, CaCO₃에 의한 오염물질 흡착

③ 굴패각 첨가시 흡착등에 의한 오염물질 제거량 및 제거 Mechanism

오염물질	농도1	토양2	공업3	생활4	하천5	제거율(%)	X/M6	접촉시간	제거 Mechanism
Cr ⁶⁺	0.063	4	0.1	0.1	0.05	> 90	21.3mg/g ⁸	60min ⁸	흡착, 침전
Ni	7.48	40							흡착, 침전
Cu	3.84	50				≈ 95	2.5mg/g ⁷	30min ⁸	흡착, 침전
Zn	30.9	300				>90	2.5mg/g ⁷	2hr ⁶	흡착, 침전
As	0	6	0.1	0.05	0.05				흡착, 침전
Cd	0	1.5	0.02	0.02	0.01	>97	2.5mg/g ⁷	30min ⁶	흡착, 침전
Hg	0.2	4	ND	ND	ND				흡착, 침전
Pb	3.62	100	0.2	0.2	0.05	>97	2.5mg/g ⁷	30min ⁶	흡착, 침전

④ 굴패각을 충전한 배드상에서 오염물질의 예상 제거 Mechanism

연직배수재에 굴패각을 첨가시 오염물질의 농도가 높은 경우는 pH 상승에 의한 수산화물 형태의 침전이 예상되며, 오염물질의 농도가 낮은 경우 물리적 흡착(adhesion)과 화학적 흡착(absorption) 등에 의해 중금속이 제거되는 것으로 예상된다.

4. 굴패각 활용기술의 특징

건설공사용 모래의 대체재료로서 활용하기 위한 굴패각 활용기술의 특징은 다음과 같다.

1) 지반 개량재로서 이용되는 모래에 비하여 가격경쟁력이 있고 수급이 용이하다.

2) 굴패각의 내부마찰각은 35~55°로서 모래의 일반적인 내부마찰각과 거의 동일하거나 약간 크게 나타남으로서 소요의 강도를 얻고자 하는 연약지반의 배수재(sand drain재)로 적용이 가능하다.

(한국해양연구원 연구진은 굴패각과 모래를 1:2의 비율로 섞어 부산항 도로현장의 연약지반개량공사에 시험시공을 수행한 결과, 굴패각이 모래를 대체할 수 있는 뛰어난 대체 재료임을 확인할 수 있었다.)

3) 굴패각은 재료의 단위체적중량의 감소, 투수성 증가를 요구하는 안벽의 뒷채움재, 토목구조물의 뒷채움재 그리고 투수특성을 이용하여 연약지반의 배수재로 활용이 가능하다.

① 골패각의 최대 및 최소 단위체적중량(γ_{dmax} , γ_{dmin})은 각각 $0.95 \sim 1.25t/m^3$ 와 $0.71 \sim 0.81t/m^3$ 의 범위로서 모래의 통상 단위체적중량 $1.9t/m^3$ 에 비하여 작음으로 경량재로서의 가치가 우수하다.

② 골패각의 투수계수는 모래의 $10^{-3} \sim 10^{-1}cm/sec$ 보다 훨씬 큰 $7.5 \times 10^{-3} \sim 8.9 \times 10^{-3}cm/sec$ (미립분을 포함하는 경우)와 $8.8 \times 10^{-2} \sim 1.1 \times 10^{-1}cm/sec$ (미립분을 포함하지 않는 경우)의 범위로서 모래에 비하여 탁월한 배수능력을 가진다.

4) 골패각 고화재는 친환경성이 인하여 주변환경에 문제가 되어 공사시 사용이 어려운 기존고화재의 중금속 함유문제를 해결하는 대안이 될 수 있으며 지반 강도개선 및 지하수의 차수 및 지수 효과도 매우 좋은 것으로 실험결과 확인되어 향후 해양개발 및 항만건설현장에 사용이 가능하다.

(골패각을 분쇄하여 시멘트 혼화재로 사용할 경우에도 장기강도 및 화학적 반응 등에서 공학적으로 문제가 없다는 사실을 밝혀냄으로써 향후 친환경콘크리트 생산에 상당부분 기여할 것으로 기대된다.)

5) 골패각을 모래의 대체재료로 이용함으로써 골재의 원활한 수급에 큰 도움이 될 것이며, 골재 채취에 따른 환경적인 문제도 줄어들 것이다.

(파쇄한 골패각을 모래와 적절히 혼합하여 SCP 지반개량공법 및 뒷채움재 활용법.)

5. 골패각 활용 관련 문헌

- 김지훈, 목포해양대학교 석사논문, “해양부산물 첨가에 따른 황토의 공학적 특성” 2005, 2
- 해양수산부 연구보고서, “골패각 혼입 특수콘크리트 개발” (2000.12.-2003.12)
- 한국지반공학회 논문집 21권 3호 “친환경 골집질 고화재 개발” 2005. 3
- 한국지반공학회 논문집 20권 9호 “SCP 공법적용을 위한 골패각-모래 혼합토의 전단과 압축특성” 2004. 12
- 대한토목학회 논문집 24권 5c “골패각-모래 혼합토의 실험적 특성 연구” 2004.9
- 한국지반공학회 논문집 19권 5호 “모래다짐말뚝재료로서 파쇄골패각의 특성조사” 2003.10