

서해안 지역 실트샌드의 매립직후 공학적 특성에 관한 연구 Study on Engineering Properties after Reclamation in Silty Sand Soil Layers of Western Ocean

양태선¹⁾, Tae-Seon Yang, 심민보²⁾, Min-Bo Shim, 양태규³⁾, Tae-Gyu Yang, 김주현⁴⁾, Joo-Hyun Kim

¹⁾ 김포대학 건설정보과 조교수, Assistant Prof., Deeeept. of Constructionl Information, Kimo College

²⁾ 평원엔지니어링 지반공학부 이사, Executive Manager, Gunil Eng. Co., Ltd.

³⁾ 지오원 엔지니어링 대표이사, CEO, GEOONE Eng. Co., Ltd.

⁴⁾ 혜인이엔씨 지반공학부 과장, Manager, Geotechnical Div., Hyein E&C. Co., Ltd

SYNOPSIS : For reclamaing fill materials, hydraulic fill is neeeded in domestic parts of the reclamation sites every year. Engineering properties of soils after reclamation is calculated by laboratory. But before or after reclamation, reclamation quatities depend on the depth from the ground surface when hydraulic fill is dumped. In this paper, the engineering properties on the depth from ground surface are assumed by cone penetration testt where fine grained soft soil is formed is proposed through several sites.

Key words : Hydraulic fill soil, After reclamation, Engineering properties

1. 서 론

준설매립에 의해 조성되는 도로 및 단지 등에 사용되는 준설토는 서해안 지역의 경우 남해안에 비해 비교적 입자가 굵은 사질토이며 매립후 불균질한 지층을 형성하게 된다. 이러한 지반은 매립후 지반상태와 평면계획에 따라 보강을 하지만 매립직후 준설토의 공학적 특성에 대하여는 현장시험보다는 실내시험위주로 연구되었다. 특히, 느슨한 상태로 매립되어 다짐도가 불량하고 연약하여 액상화 발생 가능성이 잠재하고 있으므로, 노상·노체의 다짐도를 확보하기 위한 다짐공법이 적용되는 경우 어느 정도의 매립특성이 존재하는지에 대한 연구가 필요하다.

준설매립에 의해 조성된 지반의 초기상대밀도분포는 매립방법에 따라 달라지게 된다. 이와 같은 매립방법에 따른 상대밀도 분포에 대해 홍콩 준설매립현장에서 측정된 결과를 살펴보면, 수상교통 다짐에 의해 상대밀도 80%, 수중 Hopper Dumping 방법에 의해 상대밀도 35~65%, 수중 hydraulic fill 방법에 의해 상대밀도 25~55%가 조성되는 것으로 나타났으며, 수중 hydraulic fill 방법보다 hopper dumping 방법에 의해 조성된 준설매립부지의 상대밀도가 대략 10% 정도 크게 산정되는 것으로 보고되었다. 또한, NAVFAC, Design Manual 7-1(1982)에서는 세립분 함유량이 10~15% 범위에 있는 준설토를 이용하여 hydraulic fill 방법에 의해 투기할 경우, 별도의 다짐공법 미적용시에도, 50~60% 정도의 상대밀도가 얻어지는 것으로 제시되어 있다.

본 연구에서는 준설투기 방법에 의해 조성된 육상부지의 매립직후 콘관입시험인 현장시험 결과를 통하여 공학적 특성을 평가하고 서해안 현장의 준설매립지반의 밀도특성에 대해 국내외의 현장실험을 실시하였다.

2. 검토 내용

2.1 현장밀도시험 및 실내다짐시험

본 시험은 준설매립후 지반의 밀도를 측정하기 위하여 현장에서 직접 모래치환법을 사용하여 측정하였으며 시험결과는 표 1과 같다.

표 1. 모래치환법을 이용한 현장밀도측정 결과

심도 (m)	인천 남항				평택			
	습윤밀도 (t/m ³)	건조밀도 (t/m ³)	함수비 (%)	상대밀도 (%)	습윤밀도 (t/m ³)	건조밀도 (t/m ³)	함수비 (%)	상대밀도 (%)
0.5	1.525	1.507	1.2	56.1	1.483	1.399	0.6	15.2
2.0	1.608	1.561	3.1	63.5	1.704	1.629	4.6	55.6
비중	2.66				2.66			

또한, 준설매립 지반의 시료를 채취하여 실내다짐시험을 실시한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 실내다짐시험결과

심도 (m)	인천 남항		평택	
	최대건조밀도 (t/m ³)	최소건조밀도 (t/m ³)	최대건조밀도 (t/m ³)	최소건조밀도 (t/m ³)
0.5	1.814	1.240	1.908	1.252
2.0	1.827	1.242	1.925	1.258
평균	1.820	1.241	1.916	1.255

2.2 현장시험 방법

본 조사는 피조콘 관입 시험을 시행하여 연약지반내 잔류 간극수압의 측정 및 연속적인 원위치 전단강도를 파악함으로써 지반특성 파악 및 토질정수를 유추하여 설계시 요구되는 기초자료를 제공하는 것이 목적으로 준설투기후 조성된 부지의 심도별 토질특성을 파악하고자 하였다. 현재 매립중인 국내 3곳의 준설태현장(인천 남항, 송도신도시, 평택 현장)에서 직접 조사한 결과를 나타내었다.

조사위치의 선정은 현장에서 제공한 도면상에서 각 구간의 조사지점을 계획하고 확인한 후 결정하였으며, 각 지점에 대한 조사내용은 평택현장 1개소,,인천(남항) 1개소,,인천(송도) 1개소이다.

2.3 측정값의 정리 및 활용

가. 토층분류

보정된 콘선단저항치(q_t), 마찰비(R_f), 간극수압계수비(B_q)를 이용하여 토층을 세분화한 것으로 그림 1과 같다.

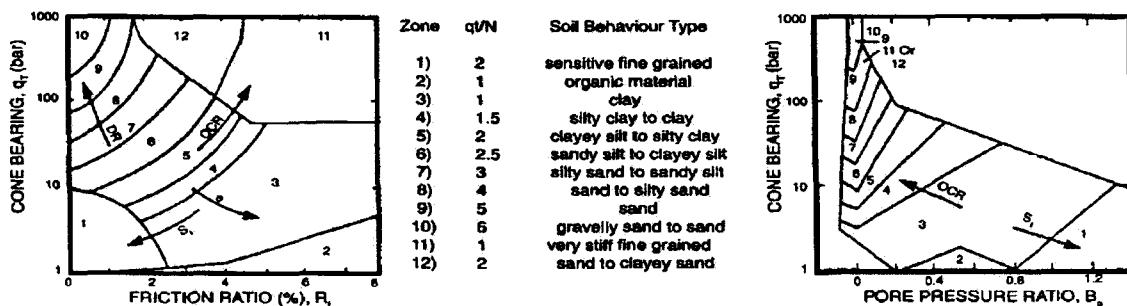


그림 1. CPTU를 이용한 흙분류 차트(Robertson 등, 1988)

Zone	Soil Behaviour Type	q_c/N	Zone	Soil Behaviour Type	q_c/N
1	예민한 세립토	2	7	실트질 모래 내지 모래질 실트	3
2	유기질토	1	8	모래 내지 실트질 모래	4
3	점토	1	9	모래	5
4	실트질 점토 내지 점토	1.5	10	자갈질 모래 내지 모래	6
5	점토질 실트 내지 실트질 점토	2	11	매우 굳은 세립토*	1
6	모래질 실트 내지 점토질 실트	2.5	12	모래 내지 점토질 모래*	2

나. 사질토의 상대밀도(Dr) 추정

사질토의 상대밀도는 원추관입 저항력(q_c)과 밀접한 관계가 있는데, Jamiolkowski 등(1985)은 여러 가지 사질토에서의 시험결과를 바탕으로 상대밀도와 원추관입 저항력과의 관계를 그림 2와 같이 제안하였다.

$$D_r = -98 + 66 \log\left(\frac{q_c}{\sqrt{\sigma_{vo}'}}\right)$$

여기서, σ_{vo}' 는 연직 유효응력

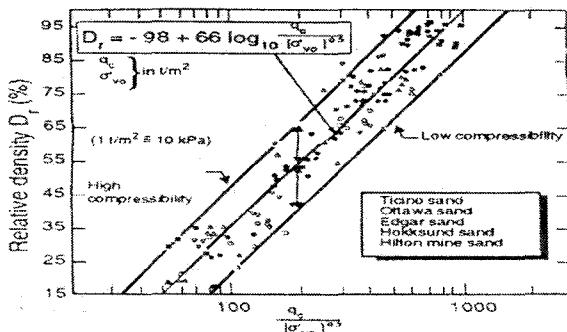


그림 2. 상대밀도와 원추관입 저항력과의 관계

다. 사질토의 내부마찰각(ϕ') 추정

원추관입 저항력은 지반의 수직응력(σ_{vo}')의 영향을 받기 때문에 ϕ' 은 다음과 같은 관계이다.

(Robertson & Companella, 1983)

$$\phi' = \tan^{-1} [0.1 + 0.38 \log\left(\frac{q_c}{\sigma_{vo}'}\right)]$$

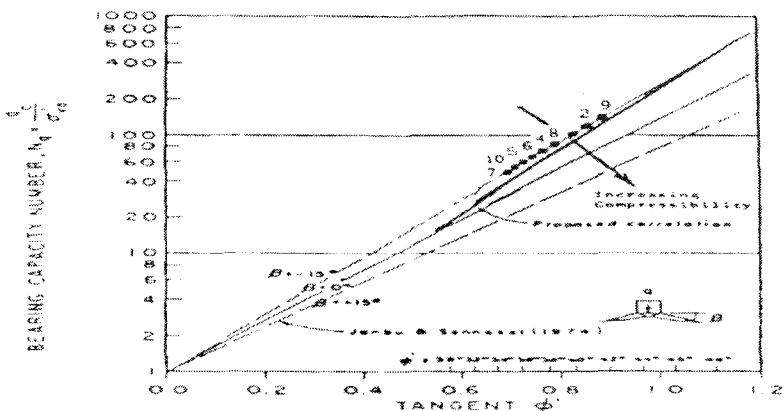


그림 3. 내부마찰각과 지지력 계수의 관계

3. 현장시험 결과

3.1 평택 현장

모래로 매립된 연약지반의 흙을 CPT 측정자료를 이용하여 분류한 것으로 Robertson등이 개발한 도표를 이용하였다. 측정자료에 다소 편차는 있지만 모래에서 실트질 모래로 분류되며 심도 12.0m 아래에서는 원지반 점토층이 존재하고 있다. CPT 시험에 의한 흙분류는 부분적으로 점토층이 일부 존재하는 것으로 나타났으나 전반적으로 모래층이 주류를 이루고 있다. 체분석 결과를 살펴보면 #200 통과량이 10%이내인 것을 알 수 있다.

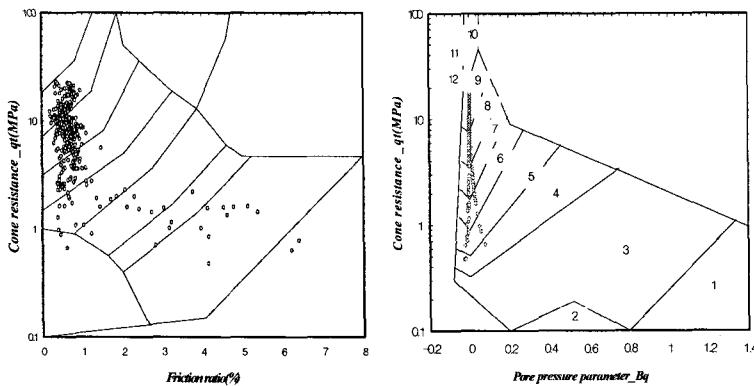


그림 4. 흙 분류표

3.2 인천 현장

- 남항현장

모래로 매립된 연약지반의 흙을 CPT 측정자료를 이용하여 분류한 것으로 Robertson등이 개발한 도표를 이용하였다. 측정자료에 다소 편차는 있지만 모래에서 실트질 모래로 분류되며 심도 11.0m 아래에서는 원지반 점토층이 존재하고 있다. CPT 시험에 의한 흙분류는 부분적으로 점토층이 일부 존재하는 것으로 나타났으나 전반적으로 모래층이 주류를 이루고 있다. 체분석 결과를 살펴보면 #200 통과량이 12%이내인 것을 알 수 있다.

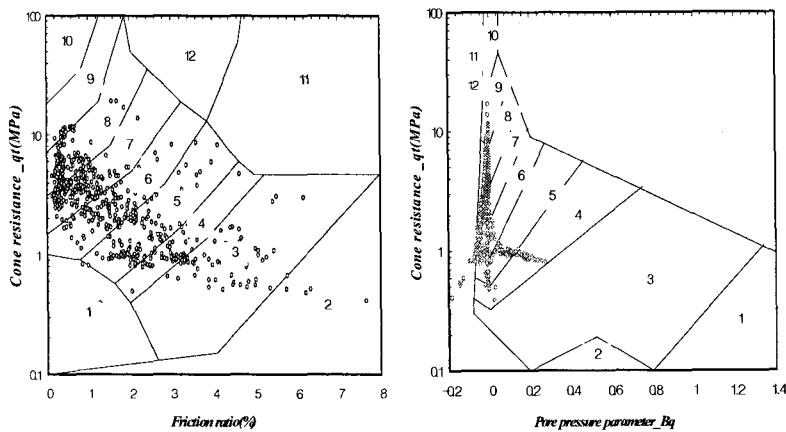


그림 5. 흙 분류표

- 송도 현장

모래로 매립된 연약지반의 흙을 CPT 측정자료를 이용하여 분류한 것으로 Robertson 등이 개발한 도표를 이용하였다. 측정자료에 다소 편차는 있지만 모래에서 실트질 모래로 분류되며 심도 11.0m 아래에서는 원지반 점토층이 존재하고 있다. CPT 시험에 의한 흙분류는 부분적으로 점토층이 일부 존재하는 것으로 나타났으나 전반적으로 모래층이 주류를 이루고 있다. 체분석 결과를 살펴보면 #200 통과량이 13%이내인 것을 알 수 있다.

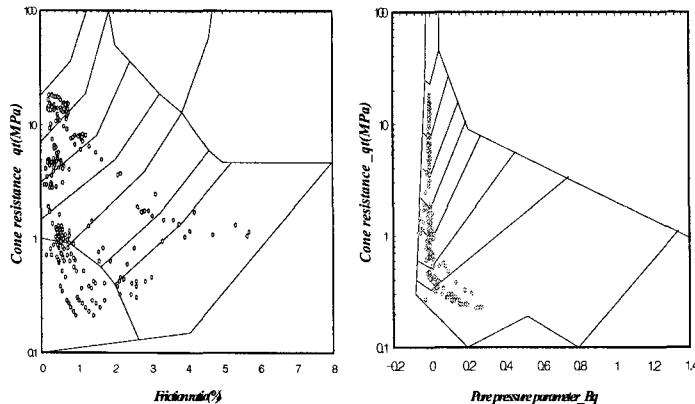


그림 6. 흙 분류표

3.3 군장 현장

모래로 매립된 연약지반의 흙을 CPT 측정자료를 이용하여 분류한 것으로 Robertson 등이 개발한 도표를 이용하였다. 측정자료에 다소 편차는 있지만 모래에서 실트질 모래로 분류되며 심도 2.0m 아래에서는 원지반 점토층이 존재하고 있다. CPT 시험에 의한 흙분류는 부분적으로 점토층이 일부 존재하는 것으로 나타났으나 상부층이 모래층이 주류를 이루고 부분적으로 점토층이 협재되어 있다.

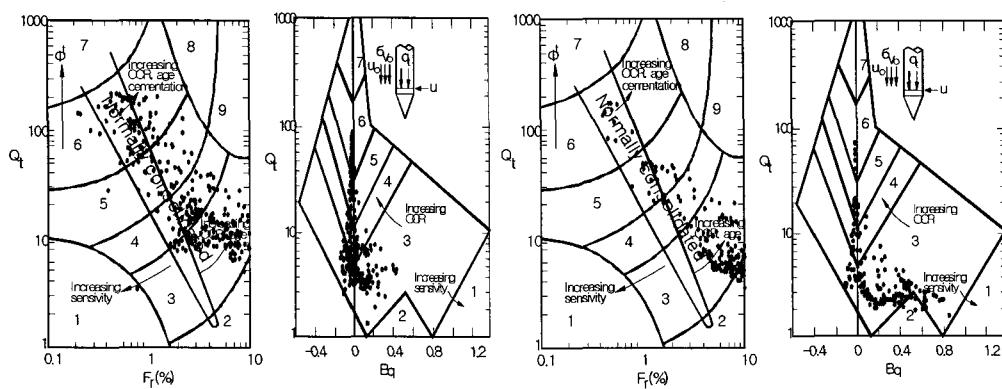


그림 7. 흙 분류표

3.4 결과 분석

4개현장의 상태밀도, 내부마찰각을 관계식에서 의하여 추정한 결과는 그림 8과 같다.

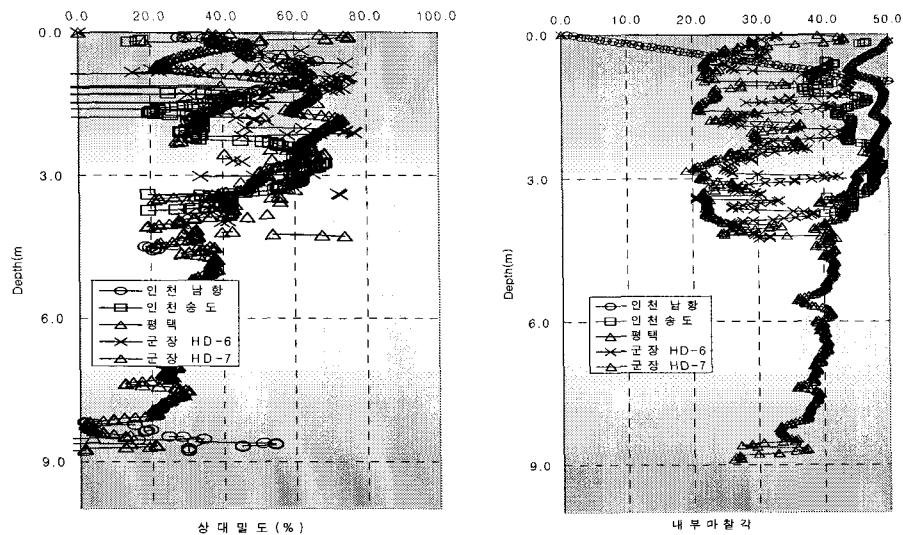


그림 8. 상대밀도, 내부 마찰각 추정결과

4. 결 론

준설매립지반의 매립후 밀도특성과 간극비의 특성을 알기위하여 기존 국내외 시공사례를 토대로 분석하고, 국내 현장에 대한 콘관입시험을 통하여 현장특성을 추정한 결론은 다음과 같다.

현재 매립이 진행중인 군장시료와 평택시료, 인천시료에 대하여 매립직후의 현장 콘관입시험 결과의 상대밀도, 현장밀도시험 및 표준관입시험 결과를 이용하면 매립후의 N치를 통하여 상대밀도, 내부마찰각을 추정할 수 있다. 모래매립이 진행중인 평택, 인천남항의 내부마찰각은 25.8° - 41.1° 범위에 분포하고 있다.

참 고 문 헌

1. 김종국, 채영수(2005), “현장 및 실내시험을 이용한 준설매립지반의 액상화 평가에 관한 연구”, 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, pp.1529~1537.
2. 정민형, 정용은, 김주현, 곽상돈, 이충호, 이송(2005), “준설매립지반의 액상화 평가개선 방안”, ISSMGE ATC-7 한국지반공학회 공동심포지엄 논문집, pp.337~340.
3. 사단법인 한국지반공학회(2003), 구조물 기초설계기준 해설, 구미서관
4. 해양수산부(1999), 항만 및 어항시설의 내진설계 표준서