

군산지역 준설토의 퇴적특성

Deposition Properties of Dredged Materials of Kun-Jang Industrial Complex

한영철 (Han, Yound-Chul)*
 송정락 (Song, Chung-Rak)*

*대우엔지니어링 지반공학부 Geotechnical Engineering Div. Daewoo Engineering Company, Seoul

SYNOPSIS

Recently, by the lack of fill material, the dredge and fill (hydraulic fill) method is commonly used in reclamation projects. Hydraulic fill method dredges the soil and send it with water through the transportation pipe to the site. The initial state of the hydraulic fill material is accordingly the mixture of water and soil skeleton which settles with time forming a new soil layer. The properties of new soil layer is governed the size of the soil skeleton, the flow velocity of mixing water, salt concentration, the distance from the discharge pipe outlet, and other dredging conditions when settling process occur. In this study, the effects of gradation of dredged soil on the deposition properties (with emphasis on the optimum spacing of the discharge pipes) was investigated by field test.

It was found that the soft fine graind soil was formed at 350m from the discharge pipe outlet when the dredged material was classified as CL, while the soft fine grained soil was not formed even at the distance farther than 400m from the discharge pipe outlet when the dredged material was classified as SM.

1. 서론

준설매립은 바다 혹은 호수등 수면하부의 지반을 굴착(준설)하여 필요 지역에 매립하는 공법이다. 준설은 본래 항만등의 퇴적토를 제거하여 항로의 수심을 유지하거나, 댐 등의 저수지 바닥에 쌓이는 토사를 제거하여 저수지가 설계된 저수용량을 유지하도록 하는데 적용되었으나 근래에는 준설공법을 특정지역의 지반을 굴착하는 목적만이 아니고, 다른 지역을 매립하기 위하여 적용하고 있으며, 이러한 공법을 준설매립공법이라고 한다.

국토의 면적이 협소한 우리나라는 매립산업을 통한 임해단지 개발이 수행되어 왔으며 근래에는 매립재료의 부족으로 부근해역에서 채취된 토사를 준설하여 이를 매립하는 준설매립 방법이 점차 사용되고 있다. 현재 준설매립이 널리 시행되는 나라는 네덜란드, 싱가포르 및 일본을 들수 있고 우리나라에서는 광양제철 부지, 여천 용성단지, 마산 적현단지 등의 조성사업에 준설매립이 시행된 사실이 있다(2), (3), (4). 우리나라는 지형적으로 남해안 및 서해안에 수심이 낮은 간석지가 넓게 분포되어 있어 이 지역에 대한 준설 매립 공사는 매우 타당성이 있는 것으로 여겨지고 있다.

준설매립은 수면하부의 토사를 물과 함께 준설·압송하므로 지반의 초기상태는 물과 흙입자의 혼합상태이며, 흙입자는 수중에서 침강하여 새로운 지반을 형성한다. 이때 침강되어 형성되는 지반의 특성은 토립자의 크기, 준설시 물의 유동속도, 소금농도, 토출구의 간격 등 준설시의 환경에 따라 달라지게 된다.

특히 준설작업시에는 토출구로부터의 거리가 멀어짐에 따라 세립토가 집적되어 부분적인 초연약지반이 형성되는 사례가 자주 발생되고 있다. 이러한 현상은 준설토 토출구의 간격이 적정치 않으므로 인해 발생하는 것으로 알려져 있다.

그러나 지금까지 준설 매립토사의 특성에 관한 연구는 매우 미약한 실정으로 본 연구에서는 준설매립 토사의 특성연구의 일환으로 준설지역에서 채취된 시료에 대한 입도분석을 통하여 토출구의 적정간격을 중심으로 준설매립토사의 퇴적특성을 고찰하고자 하였다.

2. 대상 지역 및 준설작업 개요

본 고의 대상 지역은 전라북도 군산에 위치하며 대우 자동차 군산 공장 지반조성 공사가 시행된 지역으로 사업면적 약 2,500만 m², 매립

고 2.0 - 11.0m(평균 4.0m)이며 그 위치는 그림 1과 같다.

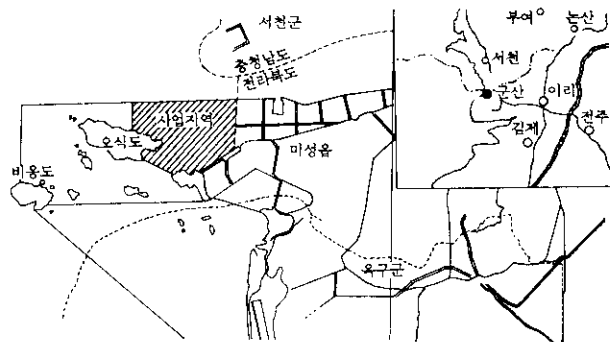


그림 1. 현장 위치

본 지역의 원지반조건은 연약한 해성퇴적토로 구성되어 있으며, 그 위에 모래질 Silt로 구성된 해저토사를 준설매립하여 공업단지를 조성하도록 계획되었다.

본 지역의 준설지역 원지반의 입도분포는 그림 2와 같다.

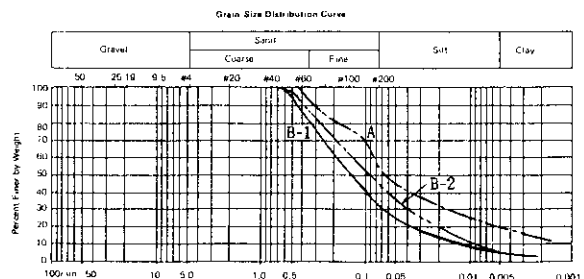


그림 2. 지반의 구성상태

본 지역의 원지반은 주로 실트질 모래 및 점토로 구성되어 있으며, 준설 구역별 준설토의 토질분류는 통일분류법에 의한 A 지역의 경우 CL(200번체 통과량 약 60%), B 지역의 경우 SM (200번체 통과량 약 40 - 50%)으로 분류된다 (표 1 참조).

표 1. 준설대상 지반의 입도분포

구분	체분석(통과량,%)			입경(MM)				Cu	Cc	분류	
	#10	#40	#200	D50	D10	D30	D60				
지역 A	No.1	100	98.7	61.3	.06	.001	.017	.075	75.0	3.9	CL
지역 B	No.1	100	97.8	41.1	.14	.012	.063	.19	15.8	1.7	SM
	No.2	100	98.6	50.9	.09	.008	.035	.13	16.3	1.2	SM

* Cu = coefficient of uniformity (균등계수)
* Cc = coefficient of curvature (곡률반경)

3. 시험 및 연구범위

본 연구에서는 준설재료의 특성이 서로 다른 2개 지역인 A 및 B 지역에서 배송된 준설토에 대하여 (시료채취가 가능한 수면위의 지반에서), 배사관 토출구로부터 50 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m의 거리 별로 시료를 채취하여 (총 40개소) 각각에 대한 입도시험(KSF 2302-81)을 실시하여 배사관 토출구로부터 거리에 대한 입도분포 특성의 차이를 고찰하고 궁극적으로 세립토의 집적율 최소화 할수 있는 토출구의 적정간격을 결정하고자 하였다.

4. 시험결과

4.1 토질분류

그림 3의 각 경우에서 채취된 시료에 대하여 입도시험을 실시한 결과는 부록 1에 첨부되었으며 이를 요약한 결과는 표 2와 같다. A지역의 경우 표 2에 나타난바와 같이 토출구로부터 거리가 멀어짐에 따라 SP - SM, SM, ML순으로 분류가 변화하고 있으나, B지역의 경우는 거리와 무관하게 SP, SP - SM, SM이 혼재 되어 있다. 이 현상은 A 지역의 경우 준설재료가 주로 SM 성분이어서 세립분이 거의 대부분 유실된 상태이고, B 지역의 경우 준설재료가 SM 내지 CL로 구성되어 있어, 유실율 이상의 세립분이 포함된 때문으로 판단된다.

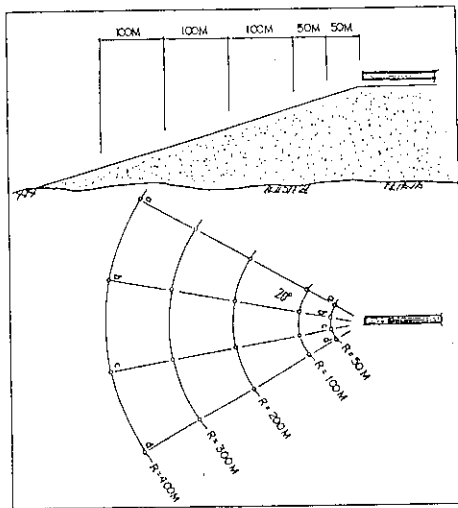


그림 3 시료 채취 위치

표 2. 토출구로부터의 거리에 따른 토질분류의 변화 A 지역

토출구로부터의 거리 R	구분	체분석(%)			입경(MM)						분류
		#10	#40	#200	D50	D10	D30	D60	Cu	Cc	
50 M	a	100	85.5	7.9	0.17	0.078	0.12	0.2	2.6	1.0	SP-SM
	b	100	91.0	11.3	0.17	0.074	0.12	0.2	2.7	1.0	SP-SM
	c	100	41.5	8.1	0.17	0.078	0.12	0.2	2.6	1.0	SP-SM
	d	100	95.8	10.4	0.17	0.074	0.12	0.2	2.7	1.0	SP-SM
100 M	a	100	96.7	10.7	0.16	0.072	0.12	0.19	2.6	1.0	SP-SM
	b	100	92.8	23.7	0.14	0.047	0.087	0.17	3.6	1.0	SM
	c	100	90.2	26.2	0.13	0.042	0.08	0.16	3.8	1.0	SM
	d	100	95.4	26.0	0.13	0.042	0.08	0.16	3.8	1.0	SM
200 M	a	100	98.3	26.5	0.13	0.046	0.082	0.17	3.7	1.0	SM
	b	100	97.0	38.5	0.10	0.03	0.06	0.14	4.7	1.0	SM
	c	100	93.1	38.1	0.10	0.03	0.06	0.14	4.7	1.0	SM
	d	100	98.3	19.5	0.15	0.06	0.093	0.17	2.8	1.0	SM
300 M	a	100	99.8	41.4	0.10	0.02	0.05	0.13	6.5	1.0	SM
	b	100	99.6	42.9	0.10	0.02	0.05	0.13	6.5	1.0	SM
	c	100	99.8	42.5	0.10	0.02	0.05	0.13	6.5	1.0	SM
	d	100	99.6	38.4	0.10	0.02	0.05	0.13	6.5	1.0	SM
400 M	a	100	99.7	59.2	0.06	0.015	0.03	0.07	4.9	1.0	ML
	b	100	99.4	53.8	0.07	0.022	0.04	0.09	4.1	1.0	ML
	c	100	98.9	25.2	0.13	0.043	0.082	0.17	3.8	1.0	SM
	d	100	99.2	44.7	0.08	0.025	0.045	0.12	4.8	1.0	SM

B 지역

토출구로부터의 거리 R	구분	체분석(%)			입경(MM)						분류
		#10	#40	#200	D50	D10	D30	D60	Cu	Cc	
50 M	a	100	99.3	6.6	0.18	0.08	0.12	0.2	2.5	1.1	SP-SM
	b	100	98.8	6.1	0.18	0.08	0.12	0.2	2.5	1.0	SP-SM
	c	100	98.6	5.2	0.18	0.08	0.12	0.2	2.5	2.0	SP
	d	100	99.3	6.5	0.18	0.08	0.12	0.2	2.5	1.2	SP-SM
100 M	a	100	97.3	5.0	0.17	0.08	0.12	0.2	2.5	1.2	SP
	b	100	99.5	6.4	0.17	0.08	0.12	0.2	2.5	1.0	SP-SM
	c	100	99.2	6.6	0.17	0.08	0.12	0.2	2.5	1.1	SP-SM
	d	100	99.5	6.9	0.17	0.08	0.12	0.2	2.5	1.0	SP-SM
200 M	a	100	99.9	5.2	0.17	0.08	0.12	0.2	2.5	1.0	SP
	b	100	99.7	6.0	0.17	0.08	0.12	0.2	2.5	1.0	SP-SM
	c	100	99.9	10.0	0.17	0.075	0.12	0.2	2.7	1.0	SP-SM
	d	100	99.7	8.3	0.17	0.075	0.12	0.2	2.7	1.1	SP-SM
300 M	a	100	100	16.6	0.17	0.065	0.1	0.19	2.9	1.0	SM
	b	100	99.9	30.2	0.12	0.042	0.07	0.15	3.6	1.0	SM
	c	8.8	99.8	9.4	0.17	0.075	0.12	0.20	2.7	1.0	SP-SM
	d	100	99.8	13.2	0.17	0.07	0.12	0.19	2.7	1.1	SM
400 M	a	100	99.7	21.0	0.14	0.058	0.08	0.18	3.1	1.0	SM
	b	100	99.4	4.5	0.17	0.082	0.12	0.19	2.3	1.0	SP
	c	100	99.9	18.5	0.14	0.058	0.08	0.18	3.1	1.0	SM
	d	100	99.9	20.8	0.14	0.058	0.08	0.18	3.1	1.0	SM

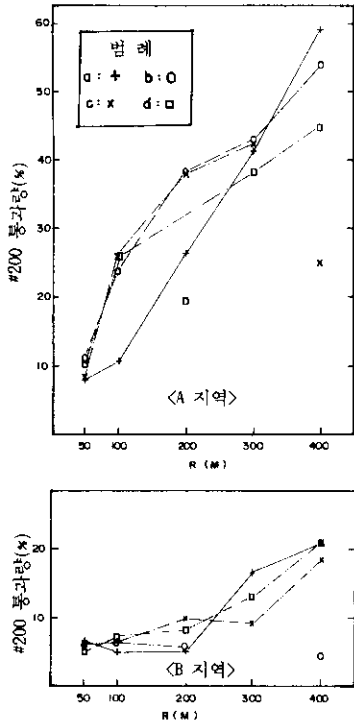


그림 4. 토출구로부터의 거리와 200 번째 통과량

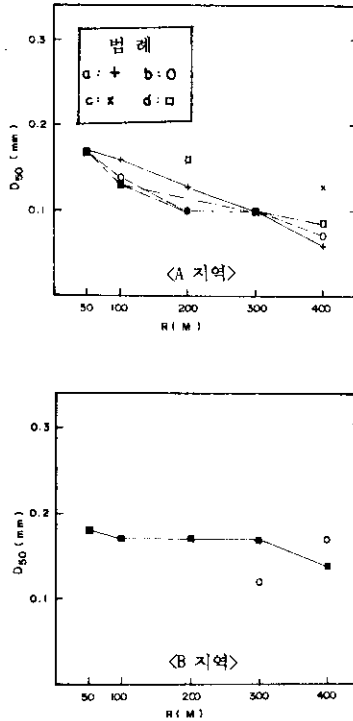


그림 5 토출구로부터의 거리와 D50

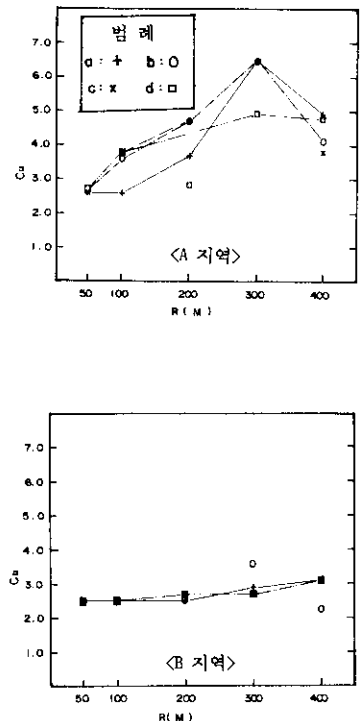


그림 6. 토출구로부터의 거리와 균등계수(Cu)

4.2 200번째 통과량

조립토와 세립토의 분류기준이 되는 200번째 통과량은 흙의 공학적 특성을 파악하는데 중요한 요소이다. A, B지역의 준설패립토사에 대하여 토출구로부터 거리별로 200번째 통과량을 도시하면 그림 4와 같다.

상기 그림으로부터 A지역의 경우 R = 200 m의 d 위치, R = 400 m의 c 위치와 B지역의 경우 300m, 400m의 b점은 유로형성 혹은 기타요인에 의해 부적절한 시료채취 등에 의한 것으로 판단되는바 무시하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

따라서 A지역의 경우 전반적으로 토출구로부터의 거리가 멀어짐에 따라 세립토의 비율이 증가되고 있으며, R = 350 m에서 200번째 통과량이 50%를 초과하게 되므로 R = 350 m 이상인 구간에는 세립토 지반, 즉 연약지반을 형성할 우려가 있는 것으로 판단된다.

B지역의 경우 토출구로부터의 거리가 멀어짐에 따라 세립토의 비율이 완만하게 증가되고는 있으나 실험된 전구간에 걸쳐 200번째 통과량이 50% 이하로서 세립토 지반의 형성가능성이 희박한 것으로 판단된다.

A 지역과 B 지역을 비교하여 A 지역의 세립분 함유량이 전반적으로 큰 것은 A 지역 준설패립토 자체가 상당한 세립분을 함유하기 때문인 것으로 판단된다 (표 1 참조). 또한 B 지역의 경우 세립분 함유량이 크게 변하지 않는 것은 준설패립토 자체에 세립분이 매우 적으므로, 준설패립토 대부분이 유실되었기 때문으로 판단된다. (세립토 유실율 = 60%, 항만설계기준 (1980))¹⁾.

4.3 평균 입경 (D50) 분포

평균입경의 토출구로부터의 거리에 따른 분포를 도시하면 그림 5와 같다.

상기 그림에서 전향의 200번째 통과량에서와 마찬가지로 부적절한 시료 채취로 인한 값을 무시하면, A, B지역 전반적으로 평균입경이 감소하는 경향을 보이며 200번째 통과량과 같이 B지역이 A지역보다 완만한 경향을 보이고 있다.

4.4 균등계수 (Cu) 분포

사질토 지반의 경우 균등계수는 입도분포의 양 불어부에 대한 판정기준이 되며 (입도 양호 : Cu) 4, 3 < Cu < 14), 노상토 적부판정 등 공학적 특성을 파악하는데 매우 중요한 요소이나 토출구로부터 거리 별 균등계수 값의 분포를 도시하면 그림 6과 같다.

상기 그림에서 부적절한 시료에 대한 값을 무시하면 A지역의 경우 R = 300 m까지 균등계수 값이 양호한 상태로 전전되는 경향을 보이고 있으나 R = 300m에서 균등계수 값이 감소되는 현상을 보이고 있다.

즉 A지역에서 R = 400 m인 지점의 균등계수가 상이한 값을 나타내고 있으나, 그림 4의 200번째 통과량 분포와 관련하여 R = 350 m를 경계로 하며 조립토와 세립토로 구분되어지고, 세립토인 경우 균등계수 값은 공학적 특성을 파악하는데 무관하고 별의미가 없기때문에 R = 350 m를 준설패립토의 조립토가 검출되는 영향반경으로 추정할 수 있다.

B지역의 경우는 균등계수의 값이 토출구로부터 거리에 따라 200 번째 통과량 및 평균입경의 분포와 마찬가지로 매우 완만한 증가를 나타내고 있다. 여기서, 준설패립토에 대한 입도분포의 양호여부 판정은 균등계수(Cu)뿐만 아니라 곡률계수(Cc)의 값의 검토가 필요하나 표 1 및 2로 부터 준설패립토가 A, B지역에서 전반적으로 곡률계수는 만족하고 있는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 군산국가공단 조성공사중 준설패립토로 조성되는 매립지반에 대하여 입도분석을 실시하여 그 퇴적특성을 분석하고, 연약지반형성을 최소화 할 수 있는 적절한 배사관의 배치간격을 결정하는데 주요안점을 두었다.

따라서 서로다른 2 개소의 준설패립토에 의하여 매립된 지반에 대하여 배사관 토출구로부터 방사방향의 거리별 준설패립토사의 시료를 채취하고, 각각에 대한 입도 시험을 실시하였다.

- ① 준설패립토에 따라 준설패립토의 입도분포는 서로 상당한 차이점을 보인다.
- ② 유로 단면의 형성은 국부적으로 매립지반의 입도분포를 크게 변형시킨다.

③ 동일한 준설재료에 대하여 토출구로부터 거리가 멀어 질수록 200 번째 통과량 및 균등계수 (C_u)의 값은 증가하고, 평균입경(D_{50})은 감소한다. 즉, 거리에 따라 세립화 하는 경향이 있다.

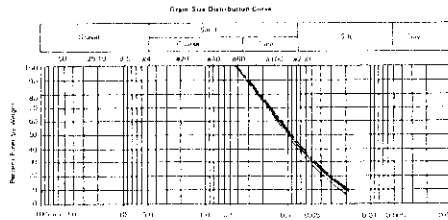
④ 준설재료가 세립토의 경우 200번째 통과량, 평균입경(D_{50}) 및 균등계수 (C_u)의 값은 토출구로부터 멀어짐에 따라 뚜렷한 변화양상을 보이며 또한 토질분류도 비교적 명확한 구분이 된다. 그러나 준설재료가 조립토인 경우 완만한 경사를 보이며 토질분류도 거리와 무관하게 혼재된 형태를 나타낸다.

⑤ 세립토를 함유한 준설토의 경우 $R = 350$ m에서 준설매립토가 조립토와 세립토로 구분되어지므로 $R = 350$ m 이상의 구간에서는 연약지반을 형성할 우려가 있다.

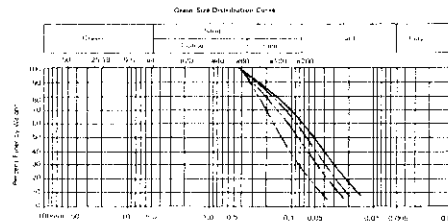
⑥ 비교적 조립토로 구성된 준설토의 경우 $R = 400$ m 이상의 구간에서 연약지반을 형성할 우려는 없는 것으로 추정된다.

⑦ 준설매립토가 조립토 지반(SM, SP)인 경우 균등계수 (C_u)의 값은 대부분 6이하로 불량한 입도분포를 보이며, 곡률반경은 전반적으로 1.0 - 3.0 범위로 양호한 수준이다.

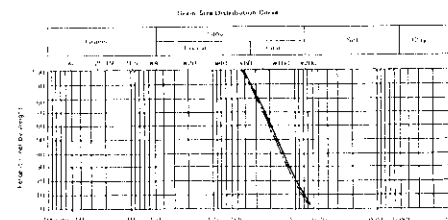
이상과 같이 준설매립토사의 입도분포를 고려할때 세립토(ML, MH, CL)를 함유하고 있는 준설토의 경우는 배사관의 주선배치 간격을 350 m 이내로 함으로서 연약 지반을 최소로 할 수 있으며, 조립토로 구성된 준설토의 경우는 주선배치 간격을 400 - 500 m 이상으로 아격시켜도 연약지반을 형성할 우려가 없을것으로 판단된다.



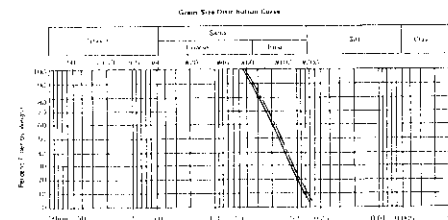
a —————
b, c ————
d —————
A지역, R = 300m



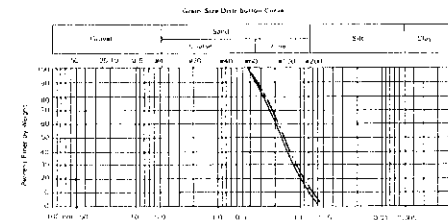
a —————
b, c ————
d —————
A지역, R = 400m



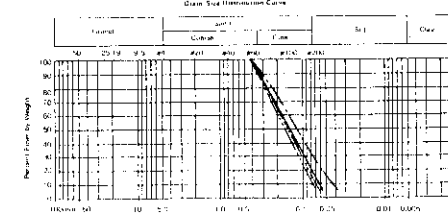
a, b, d —————
c ————
B지역, R = 50m



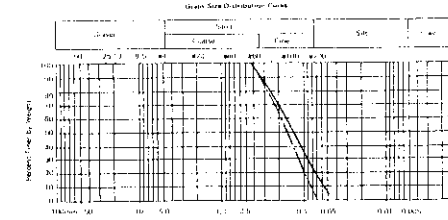
a —————
b, c, d ————
B지역, R = 100m



a, c —————
b, d ————
B지역, R = 200m



a —————
b —————
c, d ————
B지역, R = 300m



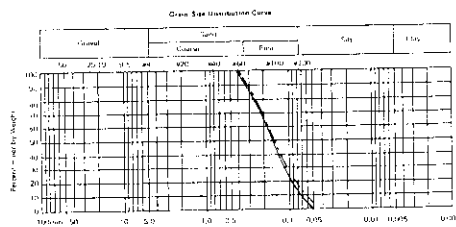
a, c, d —————
b —————
B지역, R = 400m

6. 참고문헌

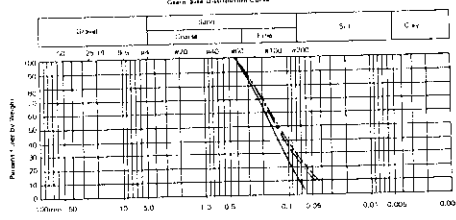
1. 건설부 (1980), 항만설계기준, p. 786
2. 러키석유화학주식회사 & 성화석유화학주식회사(1989), 여천공업단지 용성단지 실시설계 보고서, pp. 41 - 132
3. 포항종합제철(1990), 광양제철소 연약지반 개량공사 종합보고서, pp. 119 - 246
4. Graig, R.F. (1979), Soil Mechanics, Elsevier, pp.10
5. Japan Development Consultants (1979), Soil Improvement at Zuckhyun Seaside Industrial Site Chang Won Industrial Complex, pp. 1-1 ~ 2-14

7. 부록

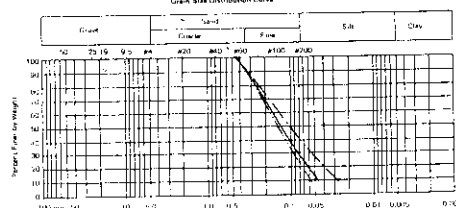
준설매립지반 채취 시료의 입도분포



a, c —————
b, d ————
A지역, R = 50m



a —————
b, c, d ————
A지역, R = 100m



a —————
b, c, d ————
A지역, R = 200m