

## **인천국제공항 준설매립 시공사례**

**A Case Study for Construction of hydraulic fill from dredged material  
in Incheon International Airport**

**최 인걸, (주)유신코퍼레이션 이사 (공항토목시설공사 감리단)**

**In-Gul Choi, Yooshin Engineering Corporation**

**Synopsis : The purpose of this paper is to present the procedure for dredging and placement of fill material through hydraulic methods in Incheon International Airport.**

**In this study the effects of gradation of dredged soil on the deposition properties was investigated by field test, also it shows a method for reducing Segregation of material at the outlet pipe and removal of non-compliant material.**

**A pilot test was performed to check geotechnical behavior and permeability of the hydraulic fill. Sand drains at 2.4m spacing in rectangular pattern were installed and surcharges of 4.0m sand fill were constructed over the hydraulic fill in 5-1 Area.**

**The subsequent field and laboratory test results indicates that the settlement of preloading is greater than that of design. It also shows that the permeability of the hydraulic fill meets the specification requirements for permeability of sand mat material.**

# 인천국제공항 준설매립 시공사례

## 1. 서론

국토의 면적이 협소한 우리나라는 매립산업을 통한 임해단지 개발이 수행되어 왔으며 근래에는 매립재료의 부족으로 부근해역에 매장되어 있는 토사를 준설하여 이를 매립하는 준설매립 방법이 점차 사용되고 있다. 현재 준설매립이 널리 시행되는 나라로는 네덜란드, 싱가포르 및 일본을 들수 있고 우리나라에서는 광양재철 부지, 여천 용성단지, 마산 적현단지 등의 조성사업에 준설매립을 시행한 사실이 있으며 인천국제공항의 경우 공항건설을 목적으로 준설매립을 실시하였다.

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 간격등 준설시의 환경에 따라 달라지게 된다.

인천국제공항 지역에서 적용한 준설방식은 펌프식 준설선을 이용하여 주변지역의 토사와 해수를 동시에 흡입하여 배사관을 통하여 목표지역에 매립하는 방식이다. 이러한 방식은 물과 토사의 혼합유체 속에서 토사를 침강, 퇴적시켜 새로운 지반을 형성하는 것으로서 형성될 지반은 퇴적시의 환경에 따라 매우 다양한 특성을 나타낸다.

이때 토립자의 침강, 퇴적이 수중에서 이루어지므로 토립자의 낙하에너지가 작아지게 되어 느슨한 상태의 연약지반을 형성할 가능성이 크며 또한 동일 위치에서는 퇴적환경이 동일하므로 유사한 입경의 입자가 침강, 퇴적되어 빈입도의 지반이 형성되기 쉽다.

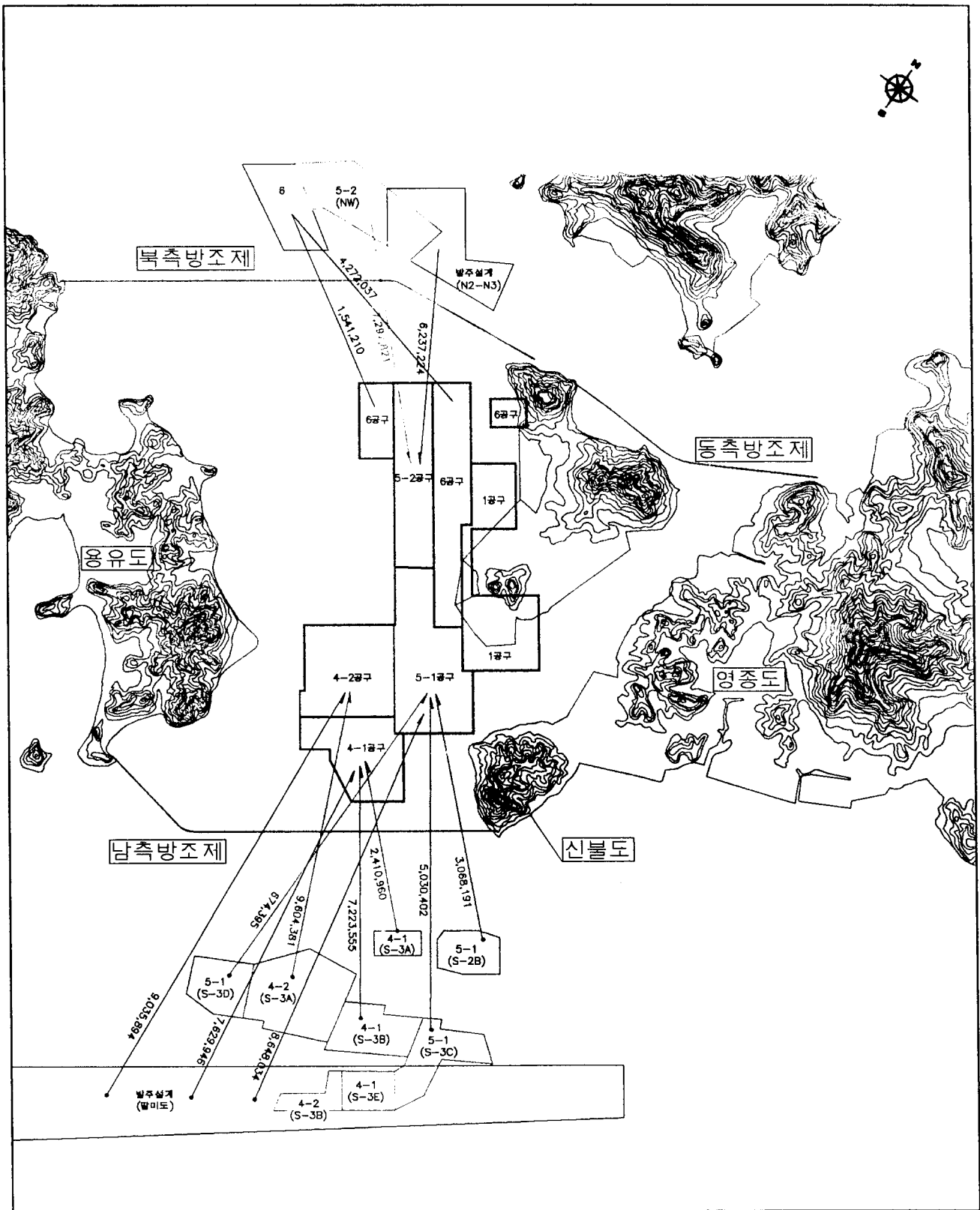
인천국제공항 건설지역은 원지반의 경우  $N < 5$ 이하의 평균심도가 약 5m이고 그 위에 2.0~6.1m의 준설패립을 실시하여 부지를 확보한후 수직배수재(Sand Drain, Plastic Board Drain)를 타설하여 연약층을 개량하므로서 준설패립된 지반이 포장층을 위한 노상, 노체가 되므로 포장하중 특성에 지층이 되기 위해서는 적절한 다짐공법이 요구된다.

본 사례는 공항부지조성공사를 수행하면서 선정된 준설토취장의 지반 및 패립층 재료 특성과 준설풍적을 살펴보고 준설풍에 의한 배송거리가 당초 10km로 설계되었으나 준설풍능력이 저하되어 현장조건에 맞는 배송거리를 조정할 내용과 공항부지내 준설풍 시공 및 불량 준설풍토를 치환한 사례등을 포함하였다. 또한 준설풍층 하부지반의 개량에 관한 시험시공을 실시하여 준설풍토가 배수용 Sand Mat역할을 할수있는지 여부와 준설풍 완료후 프리로딩을 실시하여 지반거동등을 분석 및 고찰하므로서 준설풍 분야에 실무적인 자료제공을 함에 그 목적이 있다.

## 2. 준설풍취장 및 준설풍 특성

### 2.1 준설풍취장 위치도

공항부지내 패립을 위하여 남.북측 외측해역에 준설풍취장을 선정하여 뽀프 준설풍선에 의한 준설풍작업이 이루어졌고, 준설풍패립에 의한 부지조성공사 완료는 주로 4, 5, 6공구(4-1, 4-2, 5-1, 5-2, 6공구)로서 공구별 준설풍취장 위치도는 <그림 2.1>과 같다.



<그림 2.1> 준설토취장 위치도

## 2.2 준설지반 특성

본 준설지반은 영종도, 신불도 및 팔미도 등으로 둘러싸인 해역이며 북측일부는 간조시 대체로 평탄한 간사지로 노출되어 있다. 본 지역의 기반암인 대보화강암은 용유도 및 신불도 일대에 분포하며 주요 구성광물은 석영 및 장석이고 흑운모 및 불투명 광물이 소량 함유되고 있다.

본 지역의 토질은 해성 퇴적토로서 실트질 모래(SM), 점토질실트 또는 극세사(ML), 실트질 점토(CL) 및 입도분포가 불량한 모래(SP) 등으로 구성되어 있으며 준설재료로서 가능성을 보이는 #200체 통과율은 대략 47.3%이다.

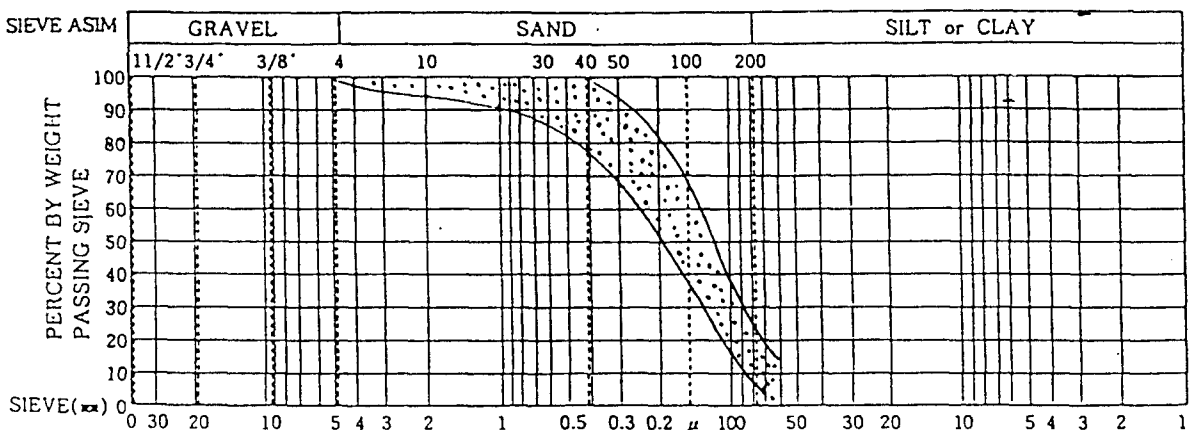
시추 조사결과에 의하면 1.0~15.5m의 모래층(평균 9.0m), 1.0m~15.0m의 실트층(평균 8.7m), 1.0~15.5m의 점토층(평균 4.8m)의 수직분포상태를 보여준다.

본 지층의 모래층은 입도분포가 불량한 모래(SP)와 실트질 모래(SM)로서 쇄각류등 유기물질의 함유량이 많고 습윤하며 표준관입시험 결과 N치는 4~50 정도로 느슨에서 매우 조밀한 상대밀도를 갖는다. 실트층은 점토질 실트 및 극세사를 포함하며 대체로 습윤 내지 젖은 상태로 조개껍질 같은 유기물을 많이 함유한다. 표준관입 시험결과 N치는 2~45로 타격치의 변화가 심하다. 점토층은 실트질 점토로서 1.5~6.0m 두께로 분포하며 N치는 9~18 범위로 견고 또는 매우 견고한 상태이다.

## 2.3 준설매립토 특성

### 2.3.1 입도분포 현황

펌프준설선을 이용하여 물과 토사를 함께 매립한 준설매립토의 주요 입도분포 현황은 <그림 2.2>와 같다.



<그림 2.2> 입도분포 현황

### 2.3.2 준설매립토 특징

준설매립층의 두께는 원지반고에 따라 2.0~6.1m까지 다양하며 준설매립토 다짐시공시 최적공법을 선정하고자 5-1공구에 다짐시험 시공위치를 선정하였으며 시험지역의 준설매립토 특성은 [표2.1] 과 같다.

[표2.1] 준설매립토의 특성

항 목	범 위	비 고
함수비(%)	4.7 ~ 24.4	
비 중	2.65 ~ 2.66	
#200번체 통과량(%)	7.0 ~ 10.1	
균등계수	1.5 ~ 3.0	
$\gamma_{dmax}$ (kg/cm <sup>3</sup> )	1.78 ~ 1.80	수정 다짐 기준
최적함수비(%)	14.8 ~ 15.4	수정 다짐 기준
실내 CBR	19.1 ~ 22.5	수정다짐의 다짐도 95% 기준
흙 분류	SP-SM	

### 2.3 공구별 준설실적 현황

공구별 준설실적 현황은 [표2.2] 와 같으며 준설에 의한 배송거리는 당초 약10km로 설계하였으나 현장 시공시 준설 작업능력이 저하되어 배송거리를 당초 설계의 약 40~90%거리인 4.2-9.0 km로 변경하였으며, 거리 조정으로 인한 공사비는 증가되었으므로 향후 설계시는 현장 조건에 적절한 배송거리를 정할 필요가 있다.

[표2.2] 준설실적 현황

구 분	부지면적 (㎡)	준 설 토 취 장								준 설 량 (㎡)	
		당 초				변 경				당 초	변 경
		위 치	N치	배송거리 (km)	준설능력 (㎡/hr)	위 치	N치	배송거리 (km)	준설능력 (㎡/hr)		
4-1공구	42만평 (1,383,430)	팔 미 도	10	10	1,369	S - 2A	4.9	4.9	876	7,629,946	2,410,960
						S - 3B	7.1	7.1	1,283		7,223,555
4-2공구	54만평 (1,785,124)	팔 미 도	10	10	1,369	S- 3 A	14.9	7.7	1,227	9,604,381	
											9,604,381
5-1공구	76만평 (2,512,397)	팔 미 도	10	10	1,369	S - 2B	11.6	6.4	669	8,648,034	3,068,191
						S - 3C	11.0	9.0	1,182		5,030,402
						S - 3D	9.8	8.3	1,177		674,395
5-2공구	47만평 (1,553,719)	N2 - N3	15	3.0	927	Nw	13.5	4.2	884	6,237,224	7,292,821
6공구	77만평 (2,549,661)	장봉수도	7	4.9	1,188	장봉수도	15	4.9	1,188	7,035,619	5,319,247
계	296만평 (9,784,331)									38,586,717	41,117,952

### 3. 준설매립재료 조건

#### 3.1 개요

공항내의 지역을 용도상으로 구분하면 활주로, 유도로, 계류장, 여객청사, 주차장, 구내도로 및 착륙대등이다. 그러므로 활주로, 유도로, 계류장의 노반조성을 위한 성토재료로서 준설토 이용은 준설토의 공학적특성 및 다짐특성에 적합한 준설매립 재료를 선정하였다.

#### 3.2 준설매립재료 품질관리

##### 3.2.1 목적

준설매립토의 품질관리를 검증하여 보다 향상된 양질의 준설매립체가 중요구조물 설치지역에 매립되도록 하고 Pump 준설선에 의한 직접준설매립 공법상 매립지내에 불규칙하게 발생되기 쉬운 Silt pocket을 최대한 억제하기 위하여 매립위치별, 매립두께별 취약부위를 선정 집중적으로 품질 관리하여 Silt pocket으로 인한 새로운 언약지반이 형성되지 않도록 하기위한 시공계획을 수립함에 있다.

##### 3.2.2 준설매립토 품질관리

###### (1) 품질관리기준

품질관리 대상지역은 활주로, 유도로, 계류장 및 정비계류시설지역이며 매립재료의 품질관리 기준은 [표3.1] 과 같다.

[표3.1] 매립재료 품질관리 기준

구 분	포 장 지 역		포장외 지역 (무처리)
	노 상	노 체	
#200 통과율	15% 이하	25% 이하	25% 이하
C. B. R	10% 이상	5% 이상	-
소 성 지 수(PI)	6이하		-



(2) 품질시험 및 시험실시기준

품질시험 및 시험실시기준은 [표3.2] 와 같다.

[표3.2] 품질시험 및 시험실시기준

공 종	시 험 명	적용기준	시험실시기준
매 립 토	입 도	KSF 2302	매작업시 1일 5개소
	#200통과량	KSF 2309	각1회 (유하거리별)
	현장밀도	KSF 2311	매립층 두께 매1m에서 10,000m <sup>2</sup> 당
	소성지수	KSF 2304	1회
	실내CBR	KSF 2320	200,000m <sup>2</sup> 당 1회

(3) 품질관리 시험기준 및 회수

품질관리 시험기준 및 회수는 [표3.3] 과 같다.

[표3.3] 품질관리 시험기준 및 회수

시험종목	시험빈도 결정기준량(m <sup>2</sup> )	시험회수	비 고
입 도	3,564	1	
#200통과량	3,564	1	
소성지수	200,000	1	
실내CBR	200,000	1	
다짐시험	200,000	1	
현장밀도	매층 10,000m <sup>2</sup> 마다 (4층)	1	포장구간

4. 준설매립 시공

4.1 개요

준설공사는 특수한 공법을 제외하고는 준설선을 이용하여 시공하게 된다. 사용되는 준설선의 형식 및 준설토사의 운반처리 방식에 따라 시공방법이 정해 지며

준설선은 펌프(Pump)선, Cutter Suction, 그라브(Grab)선, 딥퍼(Dipper)선, 드래그 석순(Drag suction)선, 바켓(Bucket)선 등이 있다. 이중 펌프선, 그라브선이 동양권에서 가장 많이 쓰인다. 준설계획을 세울때는 사전에 기상, 해상, 지상 등 자연조건을 조사하여 현장상황을 파악한 뒤에 공사의 목적, 공기 등을 고려하면서 준설시공계획을 수립하여야 한다. 인천국제공항 부지조성공사에서는 상기조건을 고려하여 현장여건에 가장 적합하고, 경제적이며, 효율적인 펌프 준설선으로 시공하였으며 본 내용에서는 준설매립 시공 및 시공과정중 발생된 불량 준설매립토 치환사례를 언급하고자 한다.

## 4.2 준설선 설치

### 4.2.1 개 요

본 공사에 투입된 준설선은 각 공구별 준설량 및 공사기간 특히 배송거리(약 5.0km)를 감안하여 주로 12,000HP 펌프 준설선을 사용하였으며 준설선을 설치할 경우는 다음기준에 준하여 설치하였다.

### 4.2.2 설치기준

- ① 준설선은 대형이상(12,000HP)으로 공사추진에 적절하여야 하므로 준설선단 및 배사관 등을 결정할시 토질, 공기 및 토량, 해상, 기상, 지리적 조건, 준설구역, 매립구역, 준설심도, 매립심도, 매립방법, 배송거리, 준설선단의 조합, 환경영향의 검토 및 대책 등을 고려하여 결정한다.
- ② 공사 착공전에 준설토취장 등 관련 인·허가 수속을 완료하여야 한다.
- ③ 착공전에 오탉방지막, 위험표시를 위한 부표, 위험표시등, 제반환경, 안전시설을 완료하여야 한다.

## 4.3 준설작업능력

부지조성공사 4, 5, 6공구중 최근('98. 6. 30)까지 준설을 실시한 6공구의 준설 작업능력은 [표4.1] 과 같다.

[표4.1] 준설 작업능력

작업능력			평균유보율	평균유속	배사관경
m <sup>3</sup> /hr	m <sup>3</sup> /day	m <sup>3</sup> /mon			
1,188	17,820 (15hr)	409,860 (23일)	79.12 %	4~5 m/sec	φ760 m/m

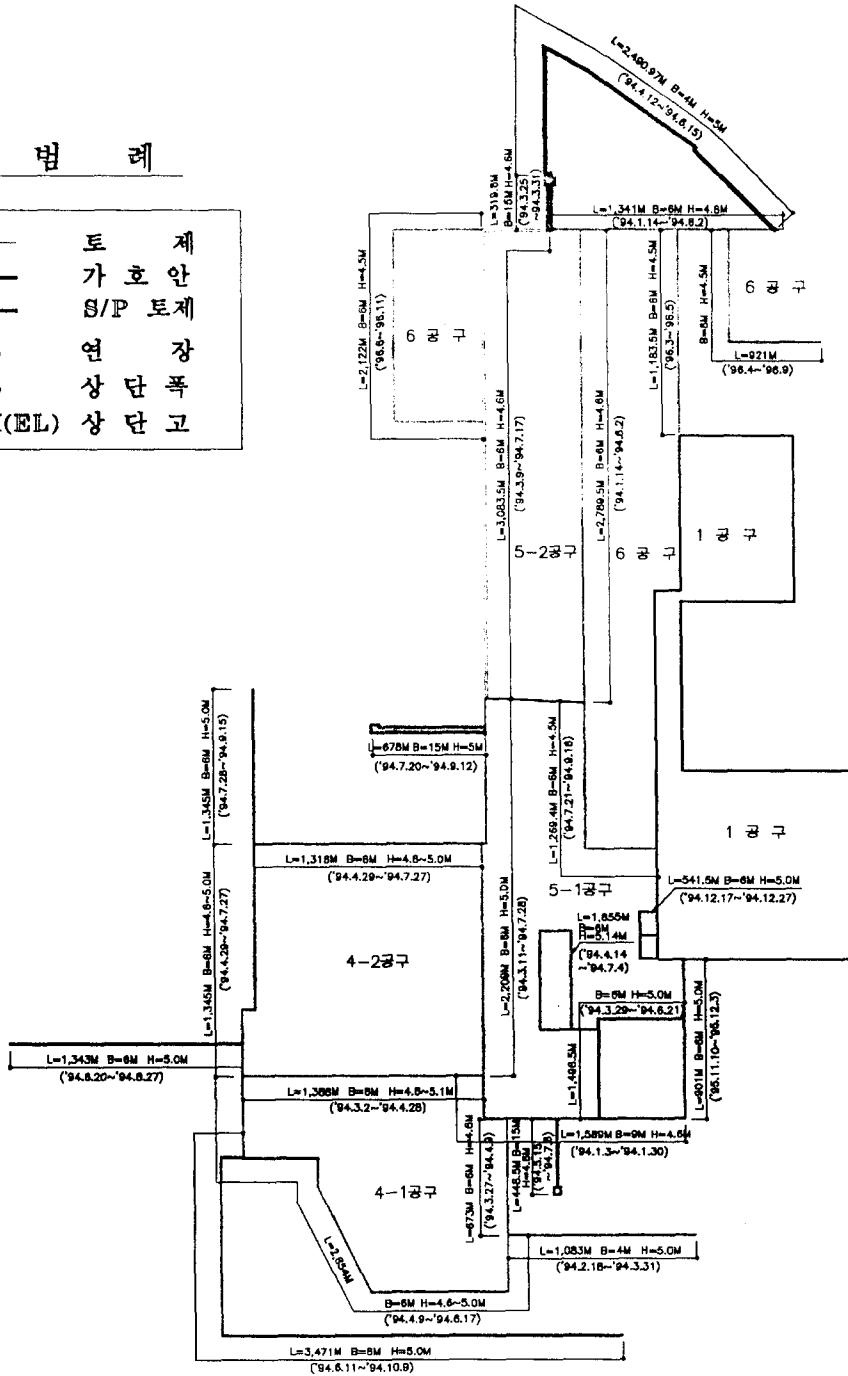
## 4.4 토제 및 가호안 축조

### 4.4.1 공구별 토제 및 가호안 시공

부지 준설매립을 위해 공구별로 1994년 1월부터 3월 사이에 착수된 토제 및 가호안 축조공사는 준설 매립시공에 앞서 바닷물의 차단 및 공구경계, 작업 운반로 등을 위하여 상단폭 4~15m, 높이 3~4m, 길이 5~11km 규모로 축조되었으며, 공구별 토제 및 가호안 평면도는 <그림 4.1>과 같다.

# 범례

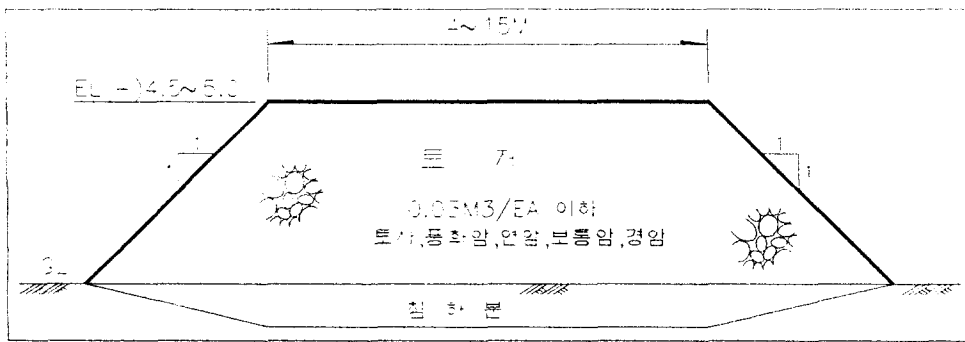
—	토제
—	가호안
—	S/P 토제
L	연장
B	상단폭
H(EL)	상단고



<그림 4.1> 토제 및 가호안 평면도

#### 4.4.2 토제 및 가호안 표준단면도

토제 및 가호안 표준단면도는 <그림 4.2>와 같고 이중 토제의 경우는 토사 이상의 재료 즉 풍화암, 연암, 경암등을 사용하였으며, 가호안의 경우는 풍화암 이상의 재료를 사용하였다.



<그림 4.2> 토제 및 가호안 표준단면도

#### 4.5 여수토 관리

매립지 내로 폐송된 니토는 폐송토사가 침전된 다음 침투수 이외는 여수토로 부터 외해(매립지외)로 배출하여야 하며 여수토의 구조는 일반적으로 월류식과 맨홀식으로 구분할 수 있고, 어느 구조이나 높이는 일반적으로 간조면보다 위에 설치한다. 월류식은 호안 또는 흙막이 구조의 마루 일부를 얇게 파고 여수를 직접 매립지 외로 배수하는 형식이며, 관로식(맨홀식)은 매립지내에 웅덩이를 파두어 여수를 밑에서 도수관 등으로 매립지 외로 배수하는 방법이다.

이 두 방식은 모두 배수단면을 매립토의 토질, Pump 선의 능력, 매립면적 등에 의해 결정해야 하는데 인천국제공항 부지 매립지내에는 상기 검토조건을 감안하여 당초 콘크리트 구조물에 의한 흡관 배설에서 H-Pile 타설(토류벽식)에 의한 배사관 설치로 변경 시공하였으며

여수토의 시공특성 및 장·단점 분석은 [표4.2] 와 같다.

[표4.2] 여수토의 시공특성 및 장·단점

구 분		H-PILE 타설 (배사관 설치)	콘크리트 구조물 (흙관설치)
시 공 특 성		<ul style="list-style-type: none"> <li>· H-PILE 항타</li> <li>· 토류벽 설치</li> <li>· 배사관 시공</li> <li>· Tainter Gate 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가물막이 시행                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 침수정 물푸기 및 거꾸집 설치</li> </ul> </li> <li>· 터파기</li> <li>· 흙관부설 (φ800m/m)</li> <li>· 철근 가공조립 (벽체)</li> <li>· 바닥 및 벽체 Con'c 타설</li> </ul>
장단점	시공성	· 가물막이공 불필요 (H-PILE 항타)	· 가물막이공 필요 (∵ 콘크리트 응결전 물푸기 시행)
	공사비	· 가물막이공 불필요	· 가물막이 시행으로 공사비 증가
	공 정	· 단시일 시공가능 (5일 소요)	· 철근 가공조립 및 거꾸집 설치 콘크리트 양생등 공기연장 (40일 소요)
	안정성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 배사관 연결로 누수현상 거의 없음.</li> <li>· Tainter Gate 설치로 토류벽이 해수의 영향을 받지 않음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 흙관 연결로 연결부 침하발생 우려 및 누수현상으로 체계 붕괴요인</li> <li>· 침투수로 인한 시멘트 성분이 씻겨 강도저하 요인</li> </ul>

#### 4.6 준설매립 시공기준

- ① 노상 높이는 활주로,유도로 등의 포장 하단에서 2.0m, GSE 및 LAND SIDE도로에서 1.0M 이다
- ② 노체 높이는 노상하단에서 원지반고까지 또는 무처리구간은 부지 계획고에서 원지반까지이다.
- ③ 준설 시행전에 수심측량을 실시하되 음향측심기, 전자측심기를 사용하여 실시하며 결과 표를 작성하여 보고한다.  
(측심 범위는 측심간격은 20m × 20m이며, 축척은 1 : 2,400 이다.)
- ④ 준설구역은 부표 등을 설치하여 해상사고를 방지한다.
- ⑤ 100~500m 간격으로 매립 계획고가 표시된 기준틀 및 표지판을 설치한다.
- ⑥ 준설 예정구역내에서는 균일한 높이로 준설하고 준설후 높이를 일정하게 끝정리 해야한다.
- ⑦ 배사관 배치간격의 주선은 200~250m, 지선은 60~80m로 배치한다.

- ⑧ 준설매립시 Silt Pocket이 생기지 않도록 사전 조치하고, Silt Pocket 발생시 완전히 제거한후 시행한다.
- ⑨ 준설토에 함유된 SILT는 여수토로 분산하여 최대한 유출토록한다.
- ⑩ 매립계획고까지 매립하기 위하여 기준틀을 설치하고, 완성계획고는 심한 요철이 없도록 마무리한다.
- ⑪ 준설 매립시 한 곳에 집중적으로 매립되지 않도록 배송관 토출구 조정 또는 불도자로 균일하게 정지작업해야 한다.
- ⑫ 매립계획고는 잔류침하를 고려한 여유성토를 시행해야 한다.

## 4.7 불량 준설매립토 치환사례

### 4.7.1 개요

본공사에 적용한 Pump준설선에 의한 직접준설매립방법에서는 준설토취장의 재료변화에 즉각적으로 대처하기가 곤란할 뿐만아니라 양질의 재료만 선별 매립하기가 매우 어렵다. 인천국제공항의 경우 준설매립 시공 과정에서 준설 및 품질관리를 철저히하여 양질의 질을 확보하였으나 부득이 준설매립에 부적합한 불량토가 준설되었으며 이를 치환한 사례를 소개하면 다음과 같다.

### 4.7.2 매립지내 불량 준설매립토 형성 사유

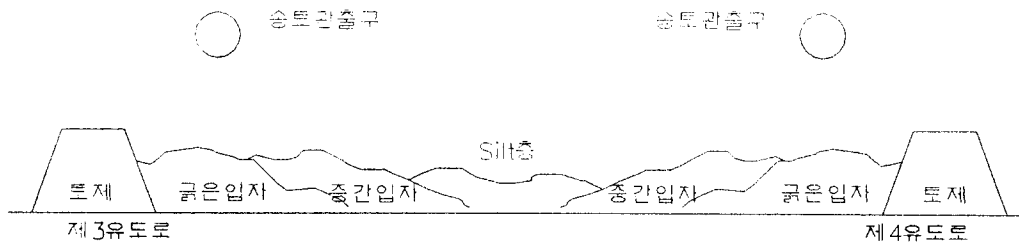
#### (1) 준설토취장 조건

준설구역의 토취장이 당초 계획되었던 북측○○구역은 준설매립에 부적합한 불량토가 산재되어 일부 준설후 작업 중단하고 위치를 인접지역으로 옮겨 준설을 시행하였으나 변경구역 부근도 평균 가용 채취심도가 2m내외로서 준설작업 여건이 비교적 좋지 않았다.

#### (2) 준설 매립시공 현황

연속도로 측면을 매립후 후속공정을 감안 남측에서 북측방향으로 매립 진행하였으나, 연속도로쪽이 차단되어 유하거리가 길어짐에따라 준설수와 함께 여수토로 배제 되어야 할 부유토가 <그림 4.3>과 같이 매립지

내에 쌓이게 되고 Silt Pocket이 불규칙하게 발생하였으며 또한 준설 토 취장 조건 및 부지 매립 진행순서에 따라 송토관 토출구에서 유하 거리가 멀고 사각진 모서리 구간에 일부구간이 매립 물량으로 부적합한 불량 토가 퇴적되어 취약부위로 형성됨.

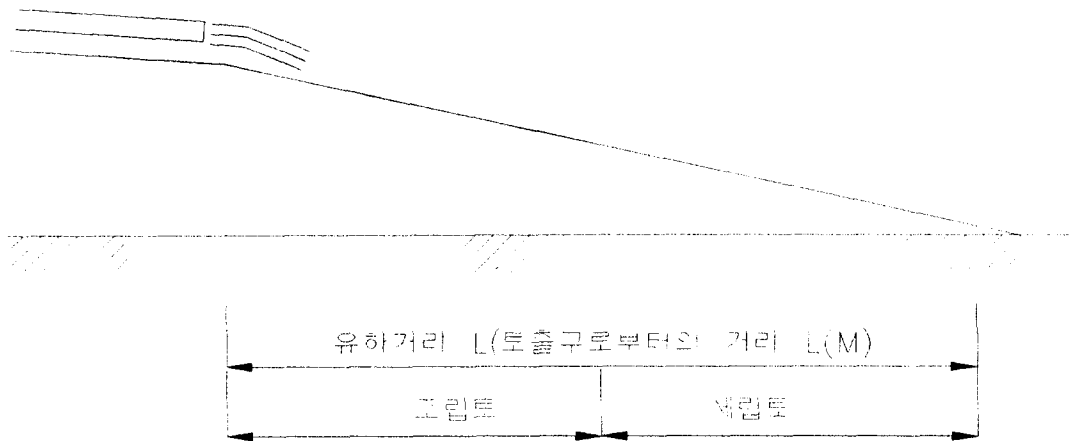


<그림 4.3> 준설매립 시공 현황도

#### 4.7.3 불량 준설매립토 확인

유하거리별 매출토사의 매립 형태는 <그림 4.4>와 같고 토출구로부터의 거리별 #200통과량 백분율 변화는 [표 4.3] 과 같으며 조사결과 토출구 부근은 양질의 조립토가 침전매립되고, 멀수록 세립자가 많이 포함되었음을 알수있다.



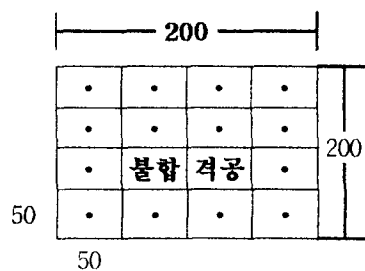


<그림 4.4> 유하거리별 배출토사의 배립형태

[표4.3] #200통과량 백분율 변화

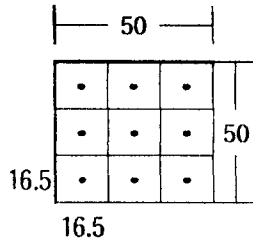
구 분		토출구로 부터의 거리 L(m)					비 고
		10	50	100	150	200	
1차시험	200번체 통과율	3.79	5.57	7.65	-	-	1회
		4.08	9.69	13.85	-	-	2회
2차시험	200번체 통과율	-	-	1.81	15.79	31.2	1회
		-	-	3.07	21.32	28.5	2회

불량토 치환구역 범위를 결정하기 위해 준설패립토 품질 확인조사 결과 불합격 지역에 대하여 12개 (50m×50m)의 소블럭으로 분할하고 불량심도 1개소씩 시료를 채취하여 품질시험(200번체 통과율)을 <그림 4.5>와 같이 실시하였으며



<그림 4.5> 준설패립 확인시험 평면도

품질시험결과 불합격 지역에 대하여는 (50m×50m)소블럭을 다시 9개의 블록으로 세분하여 위와 같은 시료 채취 및 시험을 반복 실시후 시험결과에 의거 <그림 4.6>과 같이 치환구역을 최종결정하였다.



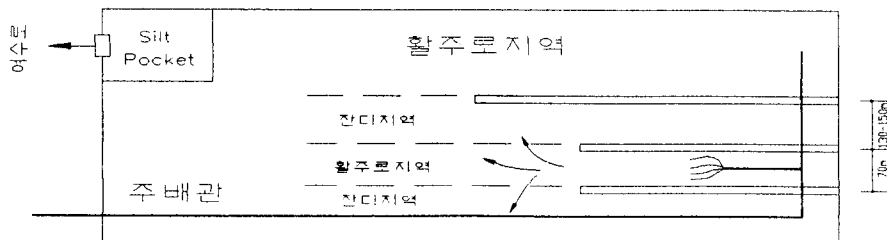
<그림 4.6> 불량치환토 치환구역 범위

#### 4.7.4 불량 준설매립토 치환

준설도중 또는 준설완료후의 불량 준설매립토 치환방법은 불량토의 퇴적 두께에 따라 3가지 방법으로 처리할수 있으며 첫번째 방법은 준설중 퇴적 두께가 약 1m미만인 경우로서 불량토위에 주행성 확보를 위한 양질의 준설재료를 우선 매립하고 불량토와 혼합이 잘될수 있도록 준설수를 이용하여 지반을 포화시킨다음 백호우장비로 불량토 하단까지 굴착한후 양질의 재료와 혼합시키는 혼합공법이며 두번째 방법은 준설중 불량토 퇴적두께가 약 30cm미만인 경우로서 불량토 부위를 준설수의 유속을 약 2m/sec 정도로 송수하여 씻어내는 씻기방법이며 세번째 방법은 준설후 퇴적두께가 약 2m미만인 경우로서 상기 2가지 방법을 적용하기 어려우므로 불량토 전체를 백호우로 굴착 치환하는 치환방법이 있다.

본 현장은 불량토 퇴적두께가 약 50cm이므로 혼합, 씻기방법을 병행하여 불량토를 치환하였으며 단계별 불량토 처리 주요내용은 다음과 같다.

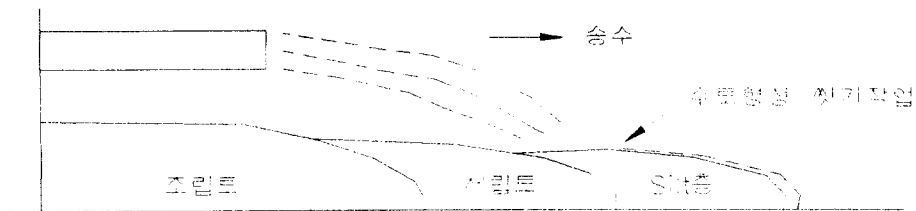
- (1) 불량토 부위에 송토관 토출구를 <그림4.7>과 같이 일직선으로 포설한다.



<그림 4.7> 송토관 토출구 조정관리

(2) 1차로 불량토 침전부에 대하여 50m이내에 불량토가 제거될때까지 <그림 4.8>와 같이 송수 시행 한다.

일반적으로 송수는 준설작업 시작점, 배사관 이설후, 준설작업 완료후 약 30~60분 정도로하여 물이 맑아질때까지 실시함이 좋다.



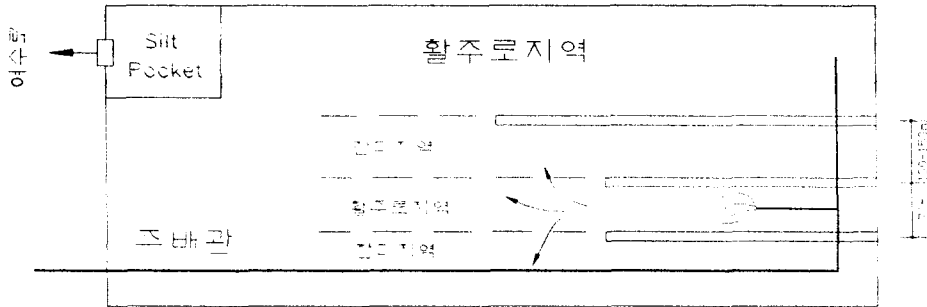
<그림 4.8> 송토관 송수 조정관리

(3) 매일 준설된 재료를 시험하기 위해 기술자를 배치하고 시험결과를 다음날 판단하여 중요지역에 양질의 재료를 우선 배치하고 배사관 위치를 자주 바꿔주며 최소 하루에 한번 배사관을 추가로 연결한다.

양질모래는 중요지역에 준설되고 실트함량이 높은 재료는 덜 중요한 지역에 배사되도록 연결부에는 T형 또는 Y형의 분기관을 설치하여 각 지관을 단기간내에 바꿀수 있게한다.

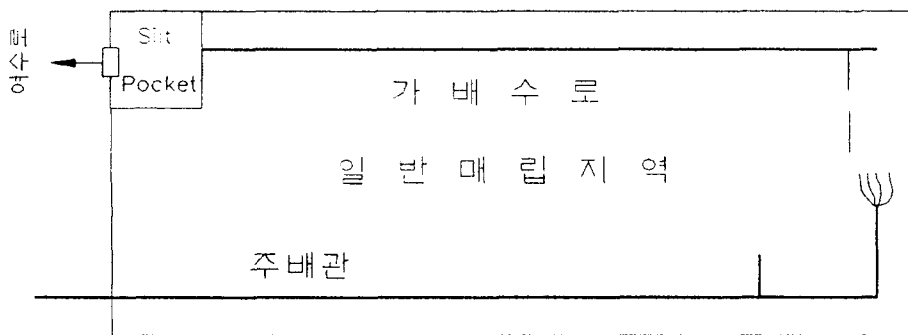
(4) 습지장비를 이용하여 준설토가 한곳에 집중적으로 매립되지 않도록 포크레인으로 불량지반을 굴착하고 습지도차를 이용 균일하게 정지 매립토록 하고 불량토를 여수로 흘려가도록 유도한다.

(5) 준설수 배제는 지구의 배수로의 여건이 좋은 방향으로 유도될수 있도록 활주로 종방향으로 준설토를 이용하여 가토제를 설치하고 활주로 폭에 따라 <그림 4.9>와 같이 약70m 간격으로 설치하였으며 잔디지역은 130~150m간격으로 설치하였다.



<그림 4.9> 가토제 설치관리

(6) 유하거리가 길 경우에는 준설수가 자유롭게 확산되며 이로 인한 유속 감소로 인하여 세립토가 넓게 확산되므로 <그림 4.10>과 같이 유하거리가 가장 짧은쪽으로 가배수로를 형성 관리한다.



<그림 4.10> 가배수 설치관리도

(7) 준설토사에 함유되어 있는 Silt는 가능한 여수로에 분산 유출되게 여수토의 낙낙판 조정관리를 철저히 하여 Silt가 한곳에 집적되어 새로운 연약지반이 형성되지 않도록 한다.

(8) 치환완료 확인방법은 양질의 재료와 혼합후 품질관리 시험을 다시 실시하였으며 시험결과 시방규정에 준하는 재료로 치환되었음을 확인하였다.

## 5. 준설매립 하부지반 개량에 대한 시험시공

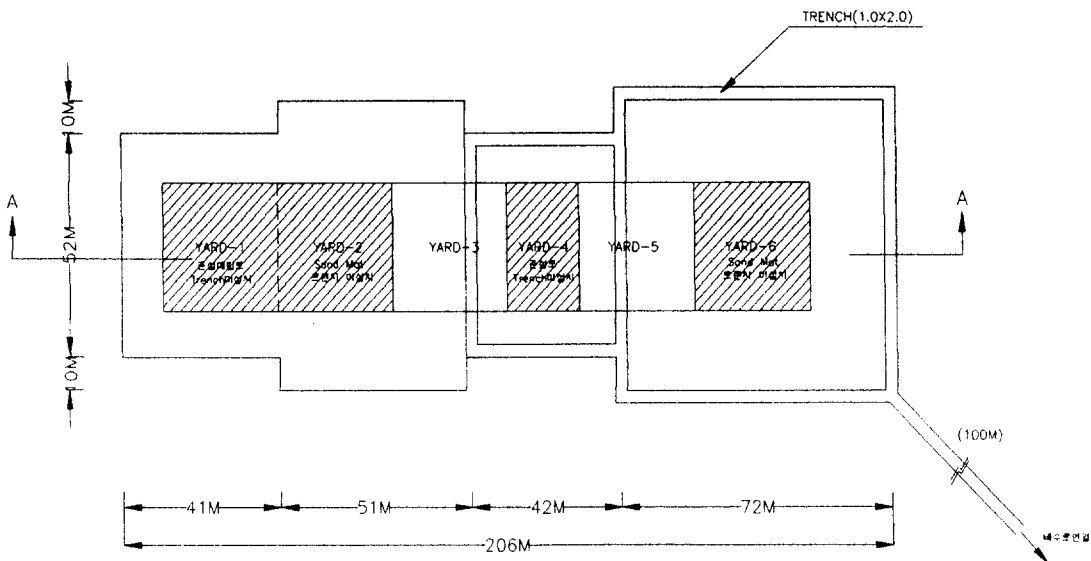
### 5.1 목 적

준설매립토 상단에 원활한 간극수 배제를 위하여 50cm두께의 Sand Mat를 시공토록 되어 있으나 시방규정에 준하는 Sand Mat재료 ( $K=1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$  이상)를 확보하기 위해서는 육지에서 구입하거나 준설매립 재료를 선별하여 사용해야 하므로 상당한 시간과 경비가 소요된다.

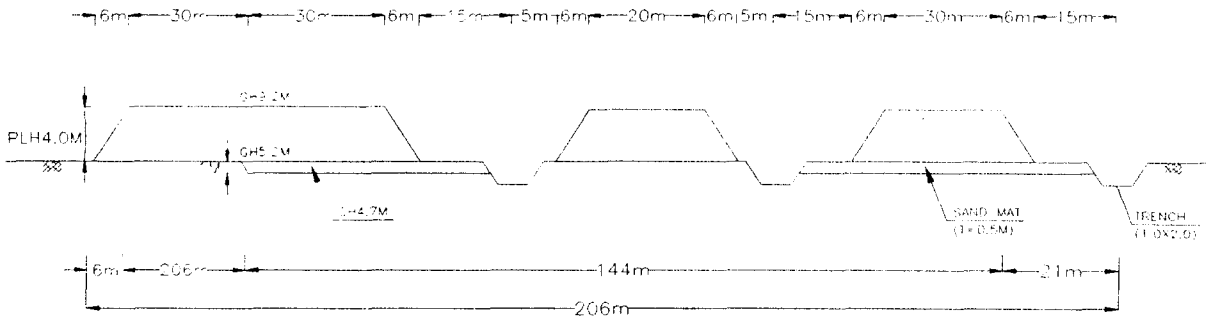
이에 대한 대안으로 현장에서 준설매립으로 형성된 양질의 준설토가 Sand Mat역활을 발휘할수 있는지 여부와 준설매립층 하부지반에 대한 지반거동을 분석하기 위하여 시험시공을 실시하였다.

### 5.2 시공현황

시험시공 위치는 5-1공구의 <그림 5.1>과 같고 위치도중 A-A단면도는 <그림 5.2>와 같으며 시험시공 규모는 72m×206m이고 Sand Drain 설치간격은 2.4m, 직경은 0.4m이며 프리로딩(Preloading) 높이는 4.0m이다.

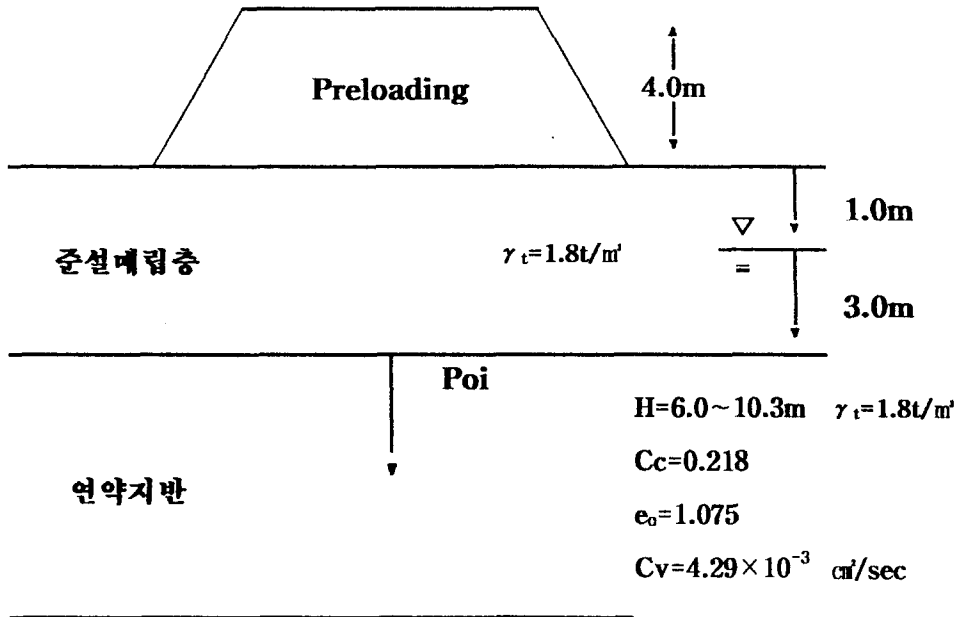


<그림 5.1> 시험시공 위치도



<그림 5.2> A-A 단면도

### 5.3 설계침하량



<그림 5.3> 준설패립 표준단면도

## ① 준설도에 의한 침하

□ 연약지반의 준설·배립에 의한 압밀도

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \quad (1)$$

$$U = \frac{(4T_v/\pi)^{0.5}}{[1+(4T_v/\pi)^{2.8}]^{0.179}} \quad (2)$$

여기서,

$T_v$  = 수직방향 시간계수

$C_v$  = 수직방향 압밀계수

$t$  = 소요시간 (6개월)

$H$  = 배수거리 (6.0m, 10.3m)

$U$  = 압밀도

연약지반의 심도가 6.0m, 10.3m에 대한 압밀도를 계산하면 각각 48.6%, 28.0%이다.

□ 침하계산

정규 압밀도 지반에 대한 침하량은 연약층의 심도 6.0m인 경우 28.8cm, 심도가 10.3m인 경우는 34.6cm이며 압밀도를 고려한 침하량은 각각 14.0cm, 9.7cm이며 추후 예상 침하량은 각각 14.8cm, 24.9이다.

## ② Preloading에 의한 침하

□ 프리로딩에 의한 침하는 연약지반의 심도 6.0m, 10.3m인 경우 각각 26.9cm, 41.7cm이므로 준설도 및 프리로딩에 의한 향후 예상 총 압밀침하량은 41.7cm ~ 66.6cm이다.

■ 현재 침하량 추정(Preloading제하후 3.5개월)

$$T_h = \frac{C_h}{de^2} \times t \quad (3)$$

여기서,

$T_h$  = 수평방향 시간계수

$de$  = 모래 말뚝의 유효직경

$$T_h = \frac{4.29 \times 10^{-3}}{(1.13 \times 2.4 \times 100)^2} \times 86,400 \times 105 = 0.5292$$

$$n = \frac{d_e}{d_w} = \frac{1.13 \times 2.4}{0.4} = 6.78 \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{n^2}{n^2-1} \ell_n(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2} = 1.212 \quad (5)$$

$$U_h = 1 - e^{-8T_v/\lambda} = 97 \%$$

∴ 현재 추정침하량 =  $U \times$  설계압밀침하량

$$= 0.97 \times (41.77 \sim 66.6) = 40.50 \sim 64.6\text{cm}$$

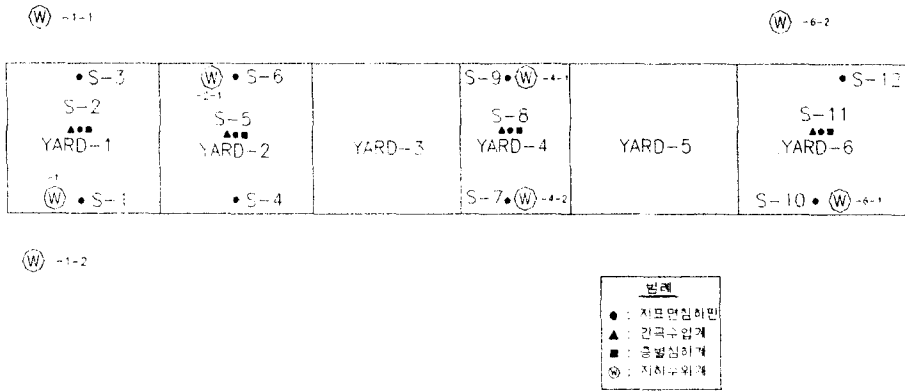
또한 Preloading에 의한 침하 :  $0.97 \times (26.97 \sim 41.75) = 26.16 \sim 40.50\text{cm}$



## 5.5 현장계측

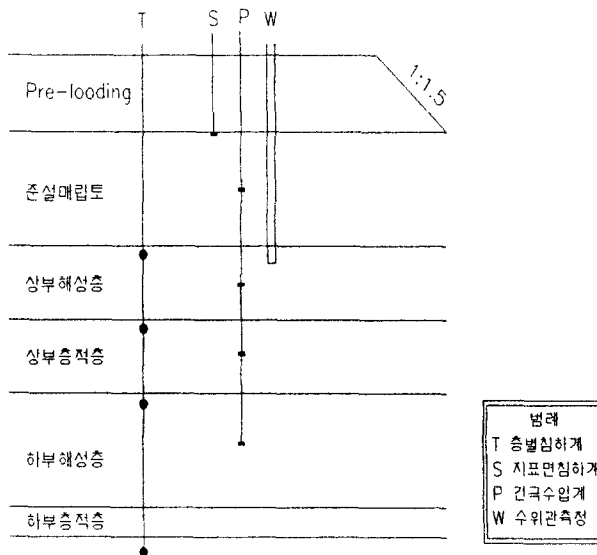
### (1) 계측기 설치 평면 및 단면도

계측기 설치 위치 평면도는 <그림 5.4>와 같고 계측기 설치 단면도는 <그림 5.5>와 같다.



<그림 1> 계측기설치 위치도

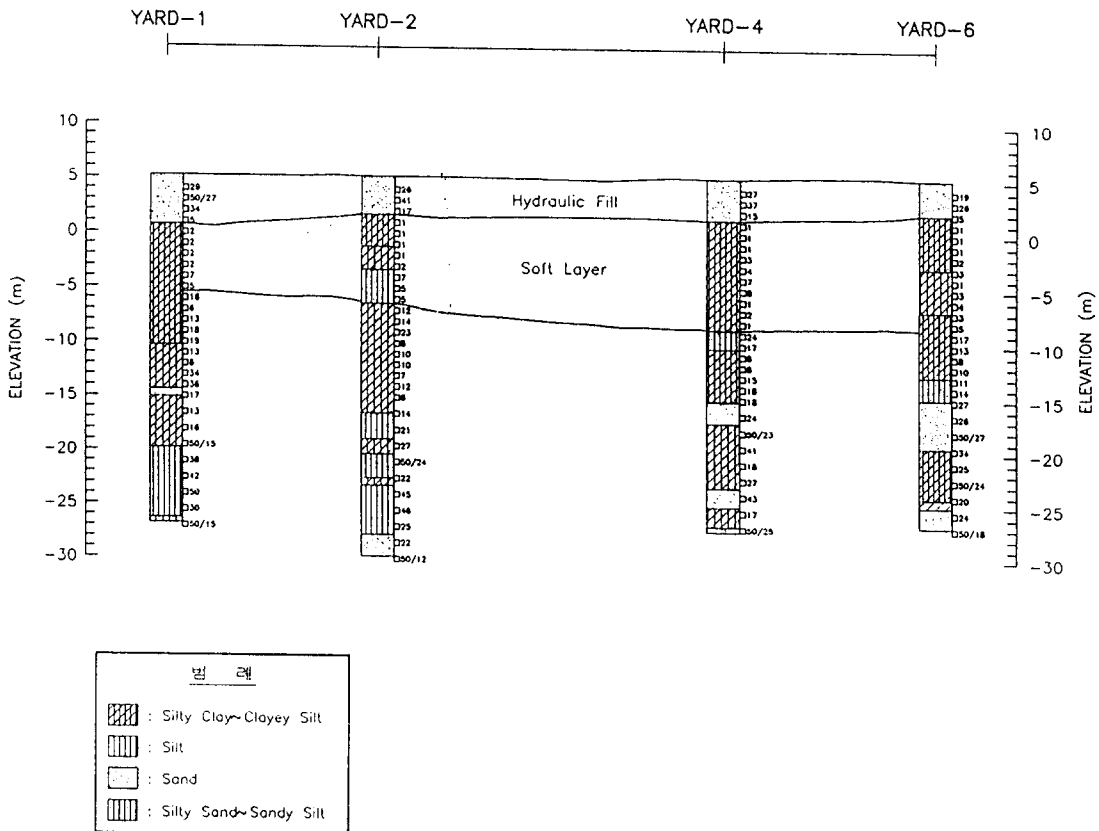
### <그림 5.4> 계측기 설치위치 평면도



### <그림 5.5> 계측기 설치 단면도

## (2) 지반조건

- ① 본 지역의 지층구조는 지표로부터 준설패립층, 퇴적층으로 발달하고 있으며 퇴적층은 <그림 5.6>과 같이 상부 퇴적층과 하부 퇴적층으로 구분할수 있다.
- ② 준설패립층은 원지반으로부터 3.2~4.5m로 패립되었으며 통일 흙분류상 실트질 모래(SM) 또는 세립질모래(SP)로 이루어져 있다.
- ③ 퇴적층은 실트질 점토내지 점토질 실트(CL-ML) 및 실트질모래(SM) 등이 불규칙하게 퇴적되어 있다.
- ④ 연약층은 대부분 상부 퇴적층에 분포하며 연약층 두께는 6.5~10.3m이다.
- ⑤ 상부 퇴적층의 표준관입저항치(N치)는 1-6회/30cm정도로 연약한 상태이나 하부로 갈수록 다소 증가한다.



<그림 5.6> 지층 단면도

## 5.6 분석결과

### 5.6.1 준설패립토의 Sand Mat 대응성 시험결과

준설패립토가 Sand Mat 시방기준 [200번체 통과량 5%이하, 투수계수 (K) =  $1 \times 10^{-3}$ cm/sec 이상] 에 적합한지를 판단하기 위하여 YARD별 준설패립토 입도시험과 실내 및 현장 투수시험을 실시하였으며 준설패립토 입도시험 결과는 [표5.1] 과 같고 실내 및 현장투수시험 결과는 [표5.2] 와 같다.

[표5.1] YARD별 입도시험 결과 (준설패립토)

구 분	D <sub>85</sub> (mm)	D <sub>15</sub> (mm)	#200번체 통과량	비 고
YARD - I	0.38	0.11	9.8%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지표하 50cm에서 시료채취</li> <li>• D<sub>85</sub>가 0.37mm로 Sand Mat 용 재료 입도시방의 하한치에 접근</li> <li>• 노상의 준설패립 입도시방 (200번체 통과량 15%이하)에는 만족하나, Sand Mat 입도시방(5%)에는 미흡</li> </ul>
YARD - II	0.37	0.13	9.0%	
YARD - IV	0.36	0.11	8.0%	
YARD - VI	0.36	0.11	9.2%	
평 균	0.37	0.12	9.0%	

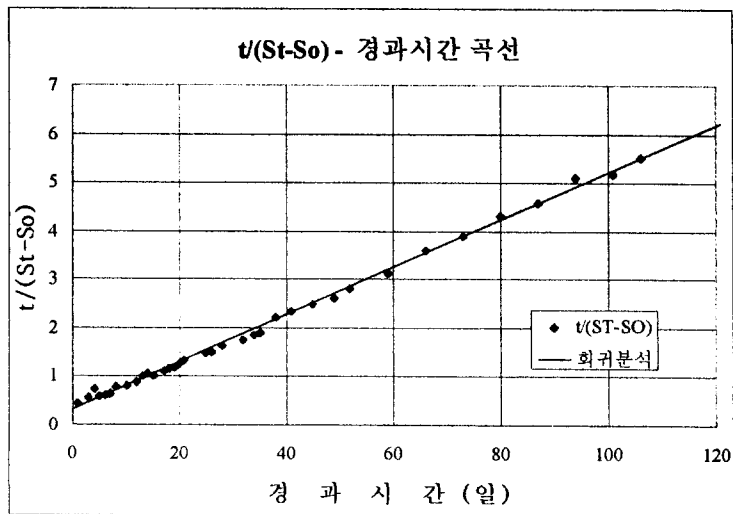
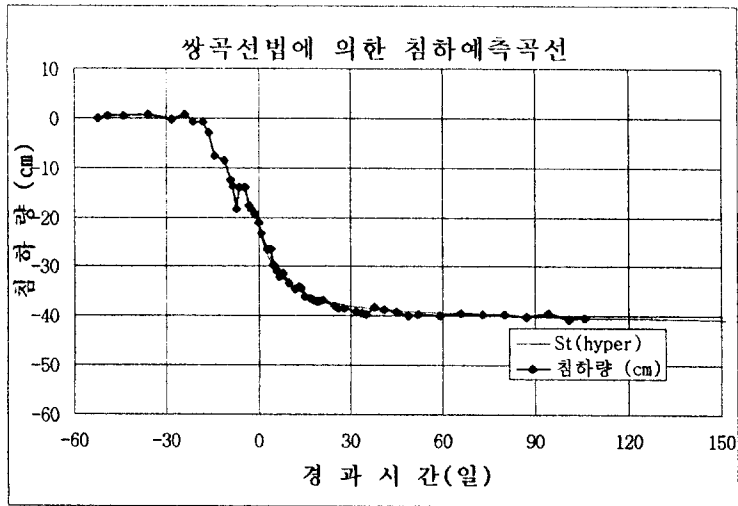
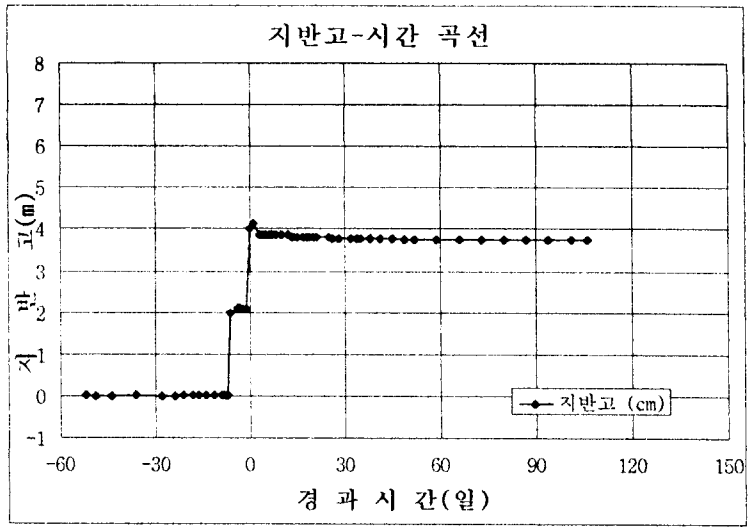
[표5.2] 준설토의 실내 및 현장 투수시험 결과

구 분	실내투수시험 (정수위법)	현장투수시험 (GL -0.6 ~ -1.1m)	비 고
YARD - I	$2.10 \times 10^{-2}$	$2.73 \times 10^{-2}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 준설토의 투수계수는 지역적으로 혹은 심도별로 다양함.</li> <li>• GL-2.0m이하 심도에서 부분적인 현장투수계수값은 <math>a \times 10^{-5}</math> 정도로 나타남.</li> </ul>
YARD - II	$3.40 \times 10^{-2}$	$3.08 \times 10^{-2}$	
YARD - IV	$3.00 \times 10^{-3}$	$3.07 \times 10^{-2}$	
YARD - VI	$2.6 \times 10^{-3}$	$3.56 \times 10^{-2}$	
평 균	$1.52 \times 10^{-2}$	$3.11 \times 10^{-2}$	

### 5.6.2 지반거동 계측결과

(1) 지표면 침하판의 대표적인 계측결과는 <그림 5.7> 및 [표5.3] 과 같으며 준설매립이 완료된후 수직배수제를 타설하여 Preloading 실시후 방치 3.5개월까지 측정한 계측결과는 30.9 ~ 50.4cm의 범위로 쌍곡선법 (Hyperbolic Method)으로 분석한 현재 추정압밀도는 97.24~99.95%를 나타내고 있다.

상기 예측치에 따른 상관도는 0.95이상의 높은 상관관계를 나타내고 있어 계측결과의 신뢰도는 양호한 것으로 평가 되어지며, Preloading 실시에 따라 계측된 실측침하량 (30.9~50.4cm)은 검토된 설계침하량 (26.16~40.50cm)보다 다소 크게 나타난 경향을 나타내고 있다.



<그림 5.7> 시간 - 성토높이 침하량 관계

[표5.3] 지표면 침하판 측정결과 및 분석결과

YARD 구 분	계측기 번 호	계측결과 (cm)	현재추정압밀도 U (%)	최종예측 침하량 (cm)	상관도	비 고
I	S - 1	40.3	96.18	41.9	0.995526	준설토
	S - 2	49.5	99.76	49.6	0.996459	
	S - 3	43.3	99.76	43.4	0.993082	
II	S - 4	39.9	99.05	40.3	0.98281	S.M
	S - 5	50.4	97.25	51.8	0.994863	
	S - 6	44.4	98.28	45.2	0.98151	
IV	S - 7	36.1	99.95	36.1	0.98763	준설토 Trench
	S - 8	45.4	98.23	46.2	0.985565	
	S - 9	39.9	97.65	40.9	0.980947	
VI	S - 10	30.9	97.24	31.8	0.988475	S.M Trench
	S - 11	42.5	99.19	42.8	0.990425	
	S - 12	34.3	97.60	35.1	0.928667	

(2) Yard별 설계 침하량 및 계측기별 주요결과는 [표 5.4] 와 같다.

[표 5.4] Yard별 침하량 및 계측기별 압밀도

구 분	설계침하량 (t=105day, u=97%)	현장계측에 의한 예측침하량 (쌍곡선법)	실 제 침하량	압밀도(t=30days)			비 고
				침하판	간극수압계	층별침하계	
Yard I	26.05 ~ 40.5cm	49.6cm	49.5cm	99.76%	87.8%	95.01%	
Yard II		51.8cm	50.4cm	99.25%	98.6%	95.35%	
Yard IV		46.2cm	45.4cm	98.23%	91.3%	95.73%	
Yard VI		42.8cm	42.5cm	99.19%	90.6%	95.90%	

(3) YARD별 사면선단의 발생 침하량은 중앙부 지표면침하판 (S-2, S-15, S-8, S-11) 측정치의 74~87% 정도로 시험시공 검토 단면과 성토 하중조건에 의한 Boussinesq 도표의 영향계수(I)는 연약층 심도가 6.0m인 경우 0.86이며 10.3m인 경우 0.78로서 사면선단부는 중앙부에 비하여 응력이 적게 전달됨을 알수 있었다.

## 6. 결 론

- 1) 부지조성공사 공구중 준설매립을 시행함에 있어 설계당시의 표준관입시험 N값에 따른 준설능력은 927~1,369 m<sup>3</sup>/hr이었으나 현장 실제 준설능력은 설계의 약 85%수준인 669-1,283 m<sup>3</sup>/hr로 저하되었으며 배송거리 또한 당초 10 km에서 4.2km~9.0km로 변경되었다. 그 이유는 설계당시 보링간격이 200m이므로 퇴적상태가 매우 불규칙한 본 현장의 경우는 조사 당시의 보링간격이 넓었던 것으로 판단된다. 따라서 정확한 준설작업 능력 및 배송거리 산정은 N값에 의해 좌우되므로 설계시 퇴적상태가 불규칙하다고 판단된 경우는 토질조사 간격을 좁히는등 충분한 토질조사가 이루어져야 한다.
- 2) 토출구로 부터의 직선거리가 150m이상되면 #200체 통과량이 20%이상으로 나타나므로 송토관의 토출구 관리가 매우 중요함을 알수 있었으며, 시방기준에 준하는 준설재료를 확보하고 또한 부유토의 확산을 막기 위하여 가토제 시공간격은 활주로의 경우 200번체 통과량 시방기준이 15%이하이므로 약70m, 잔디지역의 경우 200번체 통과량 시방기준이 25%이하이므로 활주로보다 넓은 130~150m로 시공하였다.
- 3) 불량 준설매립토(약 50cm)의 완전제거를 위하여 불량토 상부에 주행성 확보를 위한 양질의 재료를 우선 매립하고 불량토와 혼합이 잘될수 있도록 지반조건을 포화조건이 되도록 한다음 백호우 장비로 불량토까지 치환한후 양질의 재료와 혼합하는 혼합공법과 불량토 부위를 준설수로 송수하고 습지도저로 Pushing을 하여 불량토를 씻어내는 씻기방법을 적용하여 불량 준설매립를 치환하여 공항공사의 준설매립 재료에 대한 고품질을 확보하였다.

4) 침하해석 결과 설계침하량중 Preloading에 의한 침하량은 26.05~40.50cm 이나, 실제발생 침하량 (30.9~50.4cm)이 설계치보다 상회하는 결과를 나타내고 있다. 그 이유는 가정된 압축지수(Cc)의 값이 다소 과소평가된 것으로 추정되며, 또한 준설패립토의 Self Consolidation과 Sand Drain 타입에 따라 준설패립토 및 원지반의 교란에 의한 영향으로 추가 침하가 발생한 것으로 판단된다.

5) Yard II와 Yard VI지역이 가장 큰 압밀도(침하량 및 침하속도)를 보일 것으로 예상되었으나, 현장계측결과, 현재까지 적용공법별(Yard별) 침하양상은 큰 차이가 없는 것으로 나타나므로 본 시험시공에 사용된 준설토는 Sand Mat의 배수효과를 충분히 발휘하고 있는 것으로 판단된다.

그러나 준설토는 유한한 투수성을 가지고 있으므로 배수거리가 길 경우 Sand Mat 층내에 과잉간극수압이 발생하지 않도록 Sand Mat두께를 높이거나 또는 Trench를 설치, 지하배수공 및 집수정을 설치하여야 한다.

## 참 고 문 헌

1. 교통부, 한국공항공단 (1992. 12.) “수도권 신국제공항 부지조성 실시설계 보고서”
2. 신공항건설공단 (1995. 5.) “Sand Mat 시험시공 계측관리 용역 보고서”
3. 한영철, 송정락 (1992. 10.) “군산지역 준설토의 퇴적특성”,  
가을학술발표회 PP. 61~64
4. 신공항건설공단 (1996. 3.) “수도권 신공항 다짐 시험시공 용역 종합보고서”