

◇技術資料◇

## 인천국제공항(IIA)의 다짐시험시공 결과 및 적용

김 영 응\*<sup>1</sup>  
김 용 철\*<sup>2</sup>

### Abstract

The IIA(Inchon International Airport) which will function as the HUB airport in the northeast Asian region in the upcoming 21th century will be located in the reclaimed land with sand dredged in the vicinity of project area between Youngjong and Yongyu islands. The original ground is composed of soft clayey silt (ML) or silty clay (CL). The reclaimed land is classified as being SP-SM and having poor gradation of  $Cu < 3$  which resulted in the anticipation for difficulty in compaction (compaction index = 0.6~0.7). This anticipation shedded light on the necessity of performing test compactions for the thickness of 3~5meters of reclaimed land, aiming at the discovery of effective and economical compaction method. Upon the call for the test compaction performance 4 different compaction methods have been selected for trial from the research done on the international and local academic papers, past experience with compaction works, and their written materials. For the precise interpretation of test results, the ground survey and measurements have been performed. The Hydraulic Hammer Compaction has been chosen as the most optimum in accordance with the test results.

### 요 지

다가오는 21세기 동북아의 HUB공항이 될 인천국제공항은 인천광역시의 영종도와 용유도 사이의 간석지 일대를 인근지역의 해사를 준설하여 매립함으로써 자리를 잡게 된다. 이 지역의 원지반은 연약한 점토질 실트(ML) 또는 실트질 점토(CL)이고, 준설매립지반은 SP-SM으로 분류되며, 입도가 불량( $Cu < 3$ )하여, 다짐이 용이하지 않을 것으로 조사결과(다짐지수=0.6~0.74)가 나타났다. 따라서, 본 지역과 같이 빈입도이고, 주 다짐대상층이 3m~5m로 분포하고 있어 준설매립토의 개량에 대하여 효과적이고 경제적인 공법을 제시하기 위하여는 시험시공이 필수적이다.

이에 국내외의 학술자료, 시공사례등의 자료를 통하여 적용가능한 4가지의 공법을 선정하여 시험시공을 실시하고, 정확한 개량효과를 확인키 위한 지반조사 및 계측을 실시하여 본 공사적용을 위한 최적 다짐공법(유압식 햄머 다짐공법)을 선정하였다.

\*1 정희원, 신공항건설공단 건설시험소장

\*2 정희원, 신공항건설공단 건설시험소 대리

## 1. 서 론

인천국제공항의 위치는 인천광역시 중구 영종도와 용유도 사이의 간석지 일대로서 수도권 서울로부터 약 40km의 거리에 위치하며, 상부에 비교적 연약한 실트질 점토층이 분포하고 있고, 이러한 연약지반 위에 산토 또는 준설토를 3m~5m 정도 매립하여 부지를 조성한다. 본 지역에서 사용되는 준설토는 펌프식 준설선을 이용하여 주변지역의 토사와 해수를 동시에 흡입하여 배사관을 통하여 목표지역에 매립하는 방식이다. 조성된 매립부지는 느슨한 상태로 그위에 활주로를 건설하기 위해서는 소요강도를 확보하여야 하는데 본공사 착수전에 다짐시험시공을 시행하여 매립토 및 원지반에 대한 토질공학적 특성 및 다짐효과를 측정·분석하여 경제성, 시공성 등을 종합적으로 비교검토함으로써 가장 적절한 다짐공법을 선정하여 본공사에 적용코자 한다.

## II. 다짐시험시공의 필요성

사업주변지역의 토사와 해수를 동시에 흡입

하여 배사관을 통하여 매립하는 방식은 물과 토사의 혼합유체 속에서 토사를 침강/퇴적시켜 새로운 지반을 형성하는 것으로서, 형성된 지반은 퇴적시의 환경에 따라 매우 다양한 특성을 나타낸다. 이때 토립자의 침강/퇴적이 수중에서 이루어지므로 토립자의 낙하에너지가 작아지게 되어 느슨한 상태의 연약지반을 형성할 가능성이 크다. 또한 동일위치에서는 퇴적 환경이 동일하므로 유사한 입경의 입자가 침강/퇴적되어 빈입도(Poorly Graded)의 지반이 형성되기 쉽다. 공학적 특성이 부족한 연약지반을 개량하는 공법은 여러 가지가 있으나, 대상지반의 특성 및 경제성, 환경 오염성 등을 감안하여 선택적으로 적용되고 있다. 본 지역의 준설매립토는 두께가 대체로 3m~5m이고, #200번체 통과량이 노상의 경우 15%이하, 노체의 경우 25% 이하의 사질토( $Cu < 3$ )로 ASTM D 4253 및 D 4254의 #200번체 통과량 15%이하 또는 JSF T161의 #200번체 통과량 5%이하의 비점성토 규정과는 차이가 있고, 실제 시험결과 또한 다짐두께를 15cm로 하여 몰다짐한 결과 다짐도가 83%~90%로 나타나 노상의 다짐도기준 95%에 훨씬 미달되어

표 2.1 다짐시험시공지역의 준설매립토 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	
$\gamma_{dmax}(t/m^3)$	1.78~3.0	수정다짐(D다짐) 기준
최적함수비(%)	14.8~15.4	수정다짐(D다짐) 기준
실내 CBR	19.1~22.5	수정다짐의 다짐도 95%기준
분 류	SP-SM	
다짐지수(F)*	0.6~0.74	Hilf(1991)로부터 추정
지하수위(m)	GL.-10~-1.4	

$$a: F = (e_{max} - e_{min}) / e_{min}$$

( $e_{max}$ : 가장 느슨한 상태의 흙의 간극비,  $e_{min}$ : 가장 조밀한 상태의 흙의 간극비)

로 대개  $F = 0.56 \sim 2.3$ 의 범위를 가지며 F가 작을수록 다짐이 곤란

본 시험시공에서는 제외하였다. 동 사업은 대상 하중이 항공기 하중이므로 항공기에 대한 포장설계의 요구조건을 만족할 수 있을 정도의 개량효과를 달성할 수 있는 공법이여야 한다. 이러한 조건을 만족하는 지반개량공법은 여러 가지가 있을 수 있겠으나, 주 다짐대상층인 준설매립토가 3m~5m 두께로 분포하고 있어 다짐공법 선정이 제한적이고, 또한 전술한 바와 같은 빈입도 지반에 대한 효과적인 다짐 방법은 잘 알려져 있지 않은 상태이다. 본 지층은 펌프준설선을 이용하여 물과 토사를 함께 매립한 지반으로 비교적 빈입도의 느슨한 상태의 조립토로 구성되어 있고, 다짐시험시공시 시험시공 지역의 준설토를 대상으로 매립깊이별 (GL. 0~-5m)로 시험을 실시하고 시험자료를 기준으로 그 특성을 살펴보면 <표2.1>과 같다.

따라서 다짐지수(compactibility)가 0.6~0.74의 범위로서 다짐이 매우 곤란한 본 지역 준설매립토의 개량에 대하여 효과적이고 경제적인 공법을 제시하기 위하여는 본 공사 실시예정지역에서의 시험시공이 필수적이다. 본 준설매립토에 대한 시험시공은 세립분 함유량이 비교적 적은 조립/빈입도의 지반이 주요 대상이므로, 지반의 특성 및 국내외 사례들을 조사하여 중

다짐(roller compaction), 동다짐(dynamic compaction), 유압식햄머다짐(hydraulic hammer compaction) 및 대형 진동햄머다짐(mammoth vibro tamping compaction)의 4가지 방법을 적용하였다.

### III. 다짐시험시공 시행

#### 1. 다짐시험시공 계획

##### 1.1. 시험부지 선정 및 공법배치

시험시공 부지는 각종 규정, 보고서, 문헌 및 국내외의 시공사례 등을 참고하여 각 다짐공법별로 요구되는 적정 다짐두께, 연약지반개량 후 원지반의 개량정도, 지하수위 위치 및 trafficability 등의 사항을 중심으로 비교 검토하였고, 본 공사시 품질관리 및 시공성 확보에 대한 시행착오를 최소화하고 지반의 다양한 변화에 대비키 위해 인천국제공항 1단계 건설사업 부지중 다짐조건이 가장 불리한 지역을 검토 선정하였다.

##### 1.2 공법배치도

시험다짐의 규모는 공법의 평가 등 시험다짐 소기의 목적을 달성할 수 있는 범위내에서

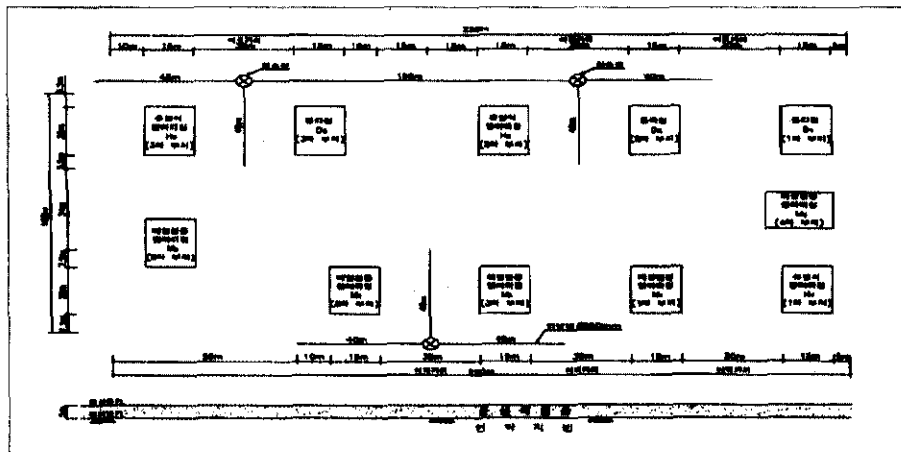


그림 3.1 공법배치도

최소규모로 시행하는 것을 원칙으로 하여 다짐 장비의 운행이 가능한 최소수준으로 층다짐은 5m×15m, 타 공법에 대하여는 15m×20m를 1개 시험부지의 규모로 적용하였다. 또한 본지역에 적용되는 공법들을 정적 및 동적 다짐에 너지를 이용하여 지반을 개량하는 공법으로서 각 공법간의 거리가 가까울 경우 공법간의 간섭동이 발생하여 정확한 개량효과 분석이 곤란하게 될 수 있으므로 각 시험공법 적용부지 사

이에 적정한 이격거리를 두고 공법별, 차수별 로 시험부지를 결정하였다.

## 1.2. 계측 및 지반조사

### 1.2.1 계 측

계측은 다짐시 예상되는 지반거동을 정확히 파악하기 위하여 시행하는 것으로, 본 과업에서는 다음과 같은 항목 및 목적으로 현장계측을 실시하였다.

표 3.1 본 과업 적용 계측항목

계 측 항 목	측 정 목 적
간극수압계	다짐시험시 과잉간극수압의 변화 및 소산 정도를 파악하여 지하수가 다짐에 미치는 영향을 파악.
수 위 계	간극수압계와 동시에 측정하여 과잉간극 수압을 측정 지하수위와 다짐효과의 관계 파악.
침 하 관	다짐시공으로 인한 지반의 총 침하량 및 체적변화율을 산출
Screw Type 침하봉	원지반에 설치하여 원지반의 침하량을 측정하고 침하판에서 측정한 총 침하량과의 관계에서 준설 매립토의 침하량을 산출

계측은 측정치의 변화가 심한 초기에는 높은 빈도를, 변화가 심하지 않은 후기에는 낮은 빈도를 적용하였다.

다짐시험시공 지역에 대한 원지반 및 준설 매립토의 토질특성을 파악하고, 다짐으로 인한 원지반의 영향 및 다짐효과를 파악하기 위하여 실내시험 및 현장시험을 <표 3.3> 및 <표 3.4>와 같이 실시하였다.

### 1.2.2 지반조사

표 3.2 계측빈도 기준

항 목	빈 도	
간 극 수 압	시 공 전	· 초기치 측정
	시 공 중	· 일 5회 빈도로 계측
	시 공 후	· 시공후 1주간은 2회/일 빈도로 계측 · 시공후 2주간 1회/일 빈도로 계측
지 하 수 위	시 공 전	· 초기치 측정
	시 공 후	· 일 2회 빈도로 계측
	시 공 후	· 시공후 1주간은 2회/일 빈도로 계측 · 시공후 2주간은 1회/일 빈도로 계측
Screw 침하계 및 침하판	시 공 전	· 초기치 측정
	시 공 후	· Series별 시공 완료시 1회 계측
	시 공 후	· 시공후 1주간은 1회/일 빈도로 계측 · 시공후 2주간은 1회/2일 빈도로 계측

표 3.3 실내 시험

시험 항목	시험 목적	얻어지는 값	실시 기준
함수비 시험	· 흙의 기본적인 성질 파악	· 함수비(%)	KSF-2306
비중 시험	· 흙의 기본적인 성질 파악 · 간극비 · 포화도 계산	· G <sub>s</sub>	KSF-2308
체 분석	· 입도에 따른 흙의 분류 · 재료로서의 흙의 규정	· 입경가적 곡선 · 유효경 · 균동계수 · 곡률계수	KSF-2309
액소성 시험	· Consistency에 의한 흙의 분류 · 흙의 공학적 성질 추정 · 토공재료로서의 적정성 파악	· 액성한계(LL, %) · 소성한계(PL, %) · 소성지수(PI, %)	KSF-2303, 2304
실내다짐시험	· 성토의 시공방법 결정 · 시공관리	· 함수비-밀도 곡선	KSF-2312
CBR 시험	· 포장두께 설계 · 토공의 지척제공	· CBR	KSF-2320, 2321

표 3.4 현장조사시험

시험 항목	시험 목적	얻어지는 값	실시 기준
시추조사 (Boring)	· 토층구성 파악 · 불교란 및 교란시료 채취 · 시추조사와 병행하여 원위치시험 실시 · 지하수위 파악	-	· 회전수세식 (Rotary Wash Boring) · NX 구경 · 수직 · Casing 사용
시험굴 조사 (Test Pit)	· 지반의 구성상태 확인 · 다짐 및 CBR 시험을 위한 교란시료 채취	-	KSF-2313
표준관입시험 (SPT)	· 토층의 굳기 · 다짐정도 파악 · 지반의 물성파악을 위한 불교란시료 채취 · 지반개량효과 확인	· N치 (30cm 관입된 타격수)	KSF-2318
동적관입시험 (DCP)	· 토층의 굳기 · 다짐정도 파악 · 지반개량효과 · 표준관입시험의 간이화를 목적으로 개발	· 동적관입저항 (연속적으로 관입된 30cm마다의 타격횟수)	KSF-2318적용
정적관입시험 (CPT)	· 토층의 굳기 · 다짐정도 파악 · 지반개량효과 · 토층의 배열 · Trafficability 추정	· 동정적관입저항 (q <sub>c</sub> :kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM D3441
들밀도 시험 (Field Density Test)	· 현장의 흙의 밀도파악 · 다짐정도 추정	· 습윤밀도( $\gamma_w$ :t/m <sup>3</sup> ) · 습윤밀도( $\gamma_s$ :t/m <sup>3</sup> ) · 함수비, w <sub>p</sub>	KSF-2311
현장배인시험 (Field Vane Test)	· 원지반 비배수 전단강도 추정 · 예민비 추정 · 지지력 계산	· 원위치의 전단강도 (C <sub>u</sub> : kg/cm <sup>2</sup> )	KSF-2342
평판재하시험 (Plate Bearing Test)	· 기초지반의 허용지지력 및 침하추정 · 지반반력계수 추정 · 지반의 변형계수 추정	· 지반반력계수(K <sub>s</sub> ) · 극한지지력 (q <sub>c</sub> )	KSF-2310

## 2. 각 공법별 시공개요 및 시공순서도

### 2.1. 시공개요

#### ○ 층다짐

구분	규모	다짐장비	전압두께	지하수위
Yard I	5m×15m	10Ton 진동 Roller	20cm	다짐층 하부-0.8m
Yard II	5m×15m	10Ton 진동 Roller	30cm	다짐층 하부-0.8m
Yard III	5m×15m	10Ton 진동 Roller	40cm	다짐층 하부-0.8m

#### ○ 동다짐

공법	다짐면적 (m×m)	무게	다 짐 상 태					준설 매립 두께 (m)	지하 수위 (GL-m)	비고	
			낙하고	Series	Grid	타격점	타격수				
동다짐	1차부지	15×20	Pw 10t	10m	1차 2차 3차	5.0m×5.0m 5.0m×5.0m 3.5m×3.5m	20개 12개 31개	5회	5.2	-1.2	1차와 2차는 지하수위 차이, 2차와 3차는 다짐에너지 차이
	2차부지	15×20	Pw 10t	10m	1차 2차 3차	5.0m×5.0m 5.0m×5.0m 3.5m×3.5m	20개 12개 31개	5회	5.2	-3.0	
	3차부지	15×20	Pw 10t	15m	1차 2차 3차	5.0m×5.0m 5.0m×5.0m 3.5m×3.5m	20개 12개 31개	5회	5.5	-3.5	
유압식 햄머 다짐	1차부지	15×21	Pw 7t	12m	1차 2차 3차	3.0m×3.0m 3.0m×3.0m 3.5m×3.5m	35개 35개 70개	20회	5.4	-1.4	1, 2차와 3차는 다짐에너지 차이
	2차부지	15×21	Pw 7t	12m	1차 2차 3차	3.0m×3.0m 3.0m×3.0m 3.5m×3.5m	35개 35개 70개	20회	5.2	-3.0	
	3차부지	15×21	Pw 7t	12m	1차 2차 3차	3.0m×3.0m 3.0m×3.0m 3.5m×3.5m	35개 35개 70개	20회	5.6	-3.9	
대형 진동 햄머 다짐 공법	1차부지	15×21	Tw 13ton	V/Hammer 200kw	1차 2차	3.0m×3.0m 3.0m×3.0m	35개 28개	60초 30초	5.5	-1.9	1,2,3차는 동다짐 공법과 동일, 4차는 1, 2차와 지하수위 조정. 5차는 준설 매립토 두께 조정
	2차부지	15×21	Tw 13ton	V/Hammer 200kw	1차 2차	3.0m×3.0m 3.0m×3.0m	35개 28개	60초 30초	5.4	-3.2	
	3차부지	15×21	Tw 13ton	V/Hammer 200kw	1차 2차	3.0m×3.0m 3.0m×3.0m	35개 28개	60초 30초	5.6	-3.1	
	4차부지	15×21	Tw 13ton	V/Hammer 200kw	1차 2차	3.0m×3.0m 3.0m×3.0m	35개 28개	60초 30초	5.0	-1.0	
	5차부지	15×21	Tw 13ton	V/Hammer 200kw	1차 2차	3.0m×3.0m 3.0m×3.0m	35개 28개	60초 30초	3.0	-1.0	

Pw : Pounder Weight

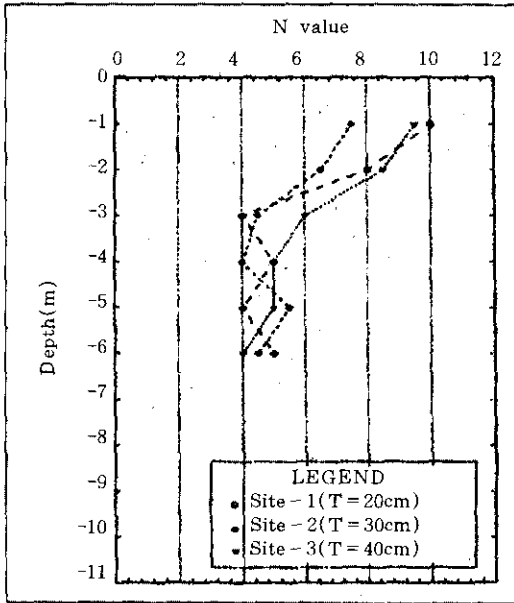
Rw : Rammer Weight of Hydraulic Hammer

Tw : Tamper (3m×3m) Weight

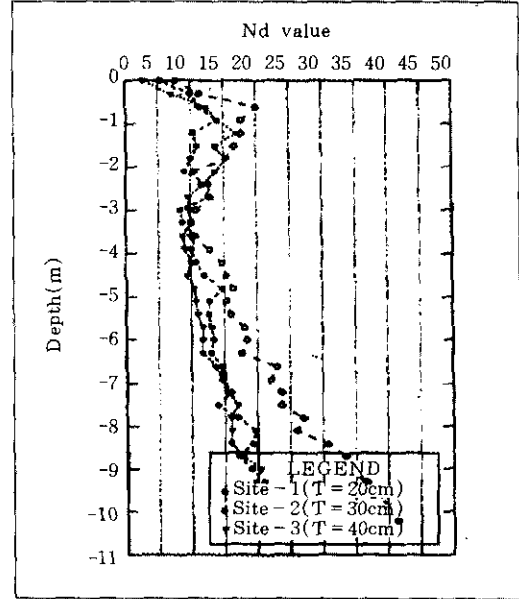
### 3. 각 공법별 다짐결과

#### 3.1 총다짐

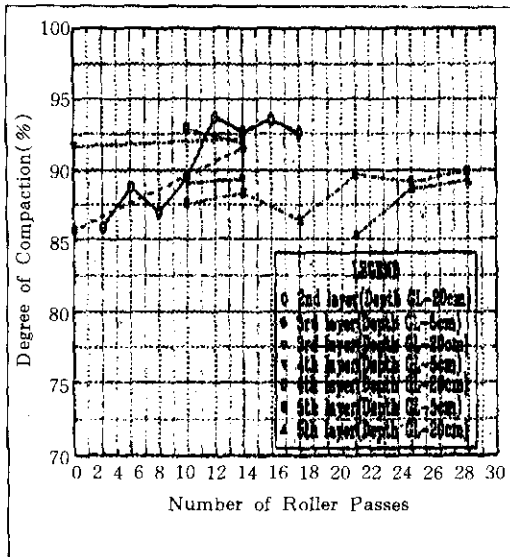
##### 3.1.1 전압횟수에 따른 다짐도의 변화



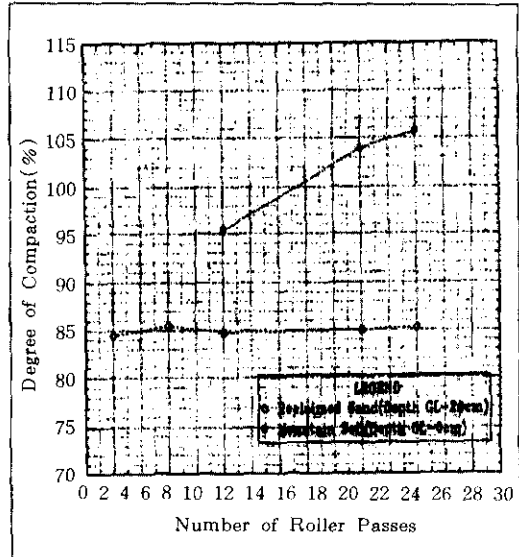
(A)



(B)



(C)



(D)

그림 3.2 총다짐에 따른 지반조사자료의 변화

그림 3.2의 (C)로부터 전압두께 20cm의 경우 전압횟수 10~16회 까지는 최대 다짐도가 92~94%까지 증가하는 경향을 보이나, 그 이후는 전압횟수를 계속 증가시켜도 다짐도의 증가현상은 보이지 않았다. 전압두께 15cm, 30cm 또는 40cm의 경우도 전압횟수 증가에 대한 다짐도 변화는 전압두께 20cm를 적용한 부지와 유사하며, 최대 다짐도는 92~94% 정도로써 준설매립토 노상의 목표 다짐도 95%에 미달하는 현상을 나타내었다.

### 3.1.2 산토 복토후의 층다짐 결과

다짐작업시 진동롤러에 의한 표면교란으로 목표다짐도가 얻어지지 못할 수 있음을 고려하여, 준설매립토의 표면에 양질의 산토를 15cm 포설하고 전압횟수별로 현장 밀도 시험을 수행하였다.

그림 3.2의 (D)와 같으며, 산토의 다짐도는 최대 106%까지 도달하였으나, 준설 매립토의 다짐효과는 매우 저조하여 준설매립토 노상의 목표 다짐도 95%에 훨씬 못 미치는 것으로 나타났다.

### 3.1.3 평가

다양한 방법으로 본 준설매립토에 대한 층다짐의 가능성을 검토하였으나, 세립분이 적고 빈입도인 본 준설매립토의 특성상 다짐지수가 낮아 본 과업에서 사용된 장비를 이용한 층다짐으로는 노상의 다짐목표인 다짐도 95%의 확보가 어려운 것으로 평가되었다. 그러나 층다짐에 의한 본 지역 준설매립토의 최대 다짐도는 92~94% 범위로 확인된 바, 다짐도 90%가 요구되는 구조물이나 부지에서는 층다짐공법의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 3.2 동다짐, 유압식 햄머다짐, 대형 진동햄머다짐

시험시공에 적용된 다짐공법중 층다짐을 제외한 나머지 3개의 공법은 다짐방식이 유사한 바, 총괄적으로 비교분석하였다.

### 3.2.1 동다짐

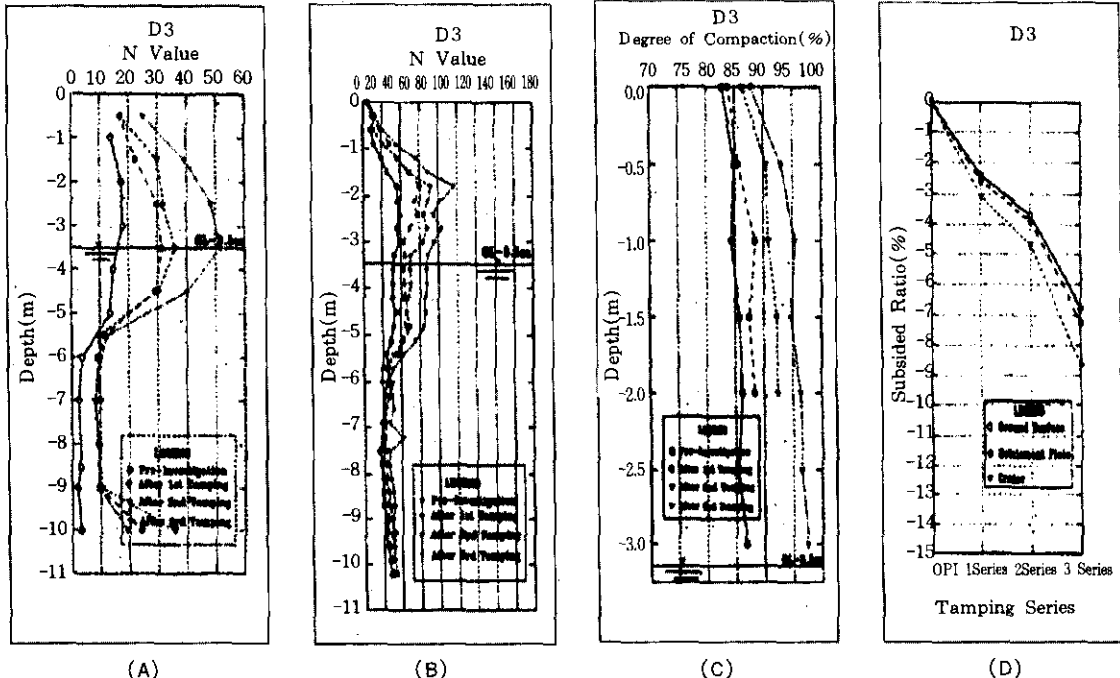


그림 3.3 동다짐에 따른 지반조사자료의 변화



### 3.2.2 유압식 햄머다짐

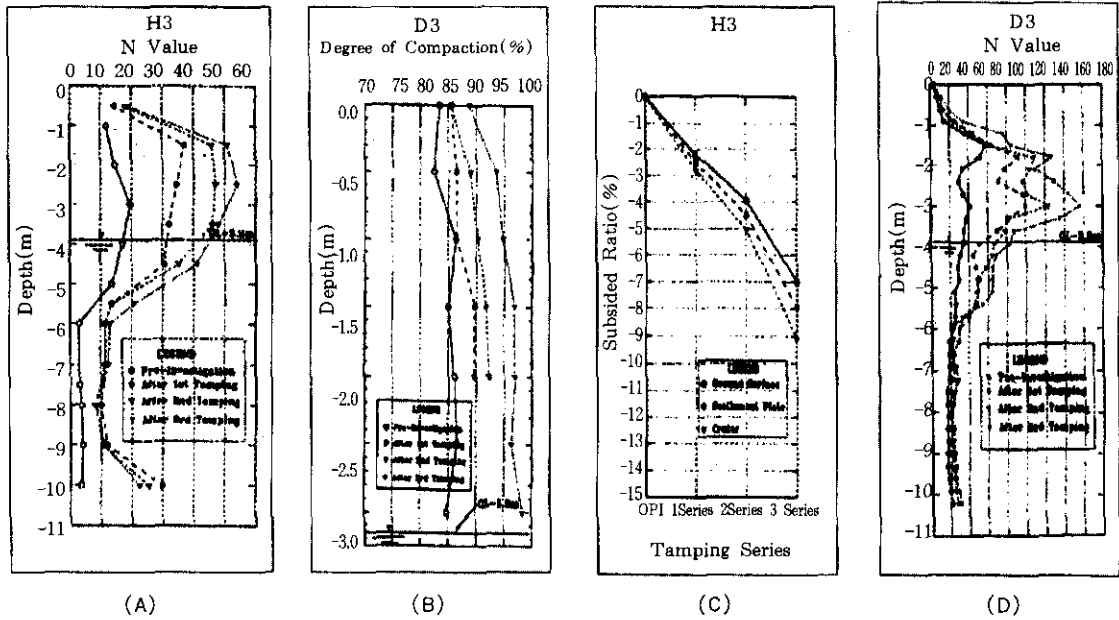


그림 3.4 유압식 햄머다짐에 따른 지반조사자료 변화

### 3.2.3 대형 진동햄머다짐

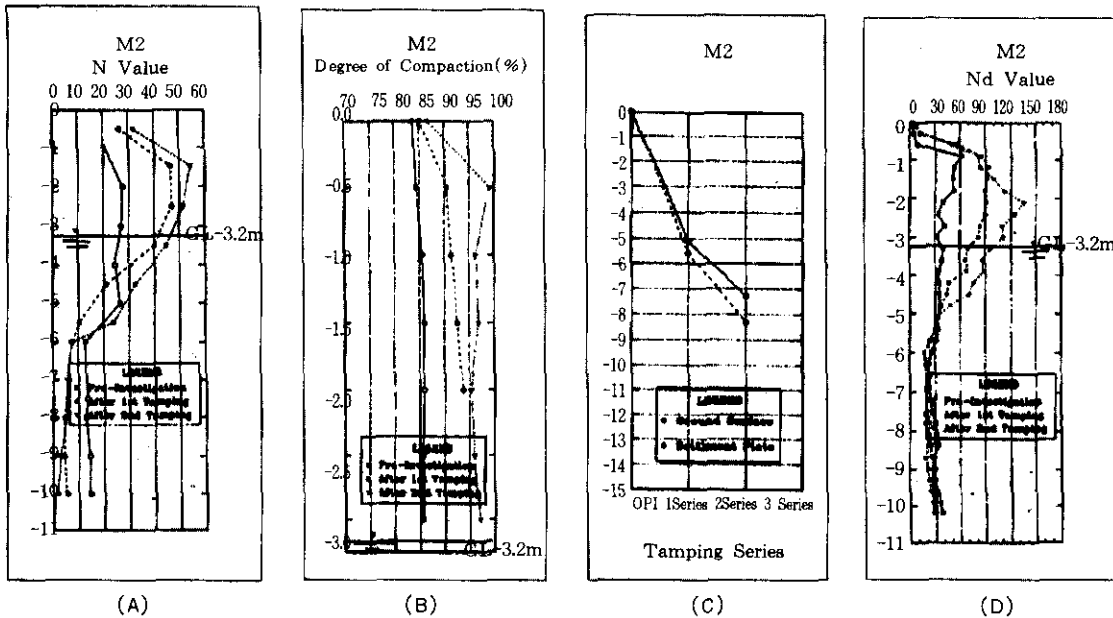


그림 3.5 대형 진동햄머다짐에 따른 지반조사자료 변화

### 3.3 개량심도 및 상부 교란심도

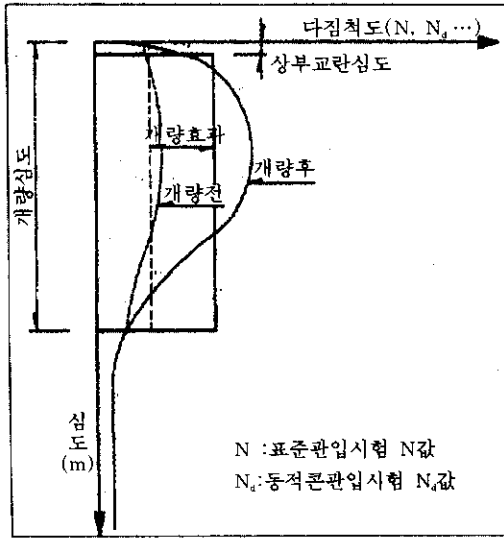


그림 3.6 개량심도, 개량효과, 상부교란심도, 다짐도의 개념도

표 3.5 각 공법별 개량심도

공법	개량심도 (m)	준설매립토 두께 (m)	교란심도 (m)	비고
동다짐	4.8-5.4	5.2-5.5	1.3	
유압식 햄머다짐	4.2-5.4	5.2-5.6	1.0	
대형진동 햄머다짐	4.2-4.8	5.0-5.6	0.7	지하수위가 높을 경우 1.3까지 교란

표 3.6 각 공법별 개량효과

공법	표준관입시험(N)		동적콘관입시험(N <sub>d</sub> )		다짐도 <sup>1</sup> (%)		간극비 <sup>1</sup>	
	다짐전	다짐후	다짐전	다짐후	다짐전	다짐후	다짐전	다짐후
동다짐공법	16~26	34~45	32~41	55~70	83.5~85.7	94.8~96.1	0.724~0.774	0.538~0.561
유압식 햄머다짐공법	16~24	42~44	36~43	59~99	83.9~85.8	94.2~96.6	0.719~0.765	0.526~0.572
대형진동 햄머다짐공법	20~25	39~45	33~49	87~103	84.9~85.6	94.0~96.9	0.727~0.747	0.530~0.583

<sup>1</sup> : GL-3.0m까지 평균임.(상부 교란심도 제외)  
지하수위가 낮고, 다짐에너지가 증가될수록 개량효과가 향상되었다.

### 3.4 공법비교

- (1) 동다짐 공법의 경우 가장 깊은 개량심도를 나타내었으며, 장비 및 시공법 조건으로 보다 깊은 심도까지 개량가능하므로 목표 개량심도가 클 경우에 바람직한 것으로 판단된다.
- (2) 유압식 햄머 다짐공법의 경우 GL-4.5

~-5m까지 효과적으로 다질 수 있는 것으로 나타났으나, 준설매립토의 두께가 5m 이상인 경우 유압햄머 규격을 크게 하여 1회당 타격에너지를 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

- (3) 대형 진동 햄머다짐 공법의 경우 4.5m 정도까지 다질 수 있는 것으로 나타났으나, 지하수위가 높고 준설매립토 두께

가 얇은 경우에는 적용성이 떨어지는 것으로 나타났다.

### 3.5 지하수위의 영향

시험다짐의 결과, 지하수위를 저하시킨 경우 다짐의 효과가 향상 되었으며, 지하수위를 저하시키지 않을 경우 다짐에너지를 증가하여야만 목표 다짐도를 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다. 준설매립토의 다짐작업과 병행하여 지하수위를 저하시켰을 경우 기대되는 효과는 상재하중의 증가로 연약지반의 압밀침하를 촉진시킬수 있으며, 준공후 지하수위 저하시 예상되는 잔류침하를 억제할 수 있고, 각종 구조물 설치 및 utility배관매설을 위한 굴착공사시 지하수 처리비용을 절감할 수 있으며, 굴착사면의 안정성도 증가될 것으로 판단된다. 또한 지하수위 저하는 포장구조물의 원활한 배수율도 모하여 장기적인 활주로 포장의 내구성 확보에 기여할 수 있을 것이며, 녹지대의 식생에도 많은 도움이 될 것으로 판단된다. 이러한 제반 효과를 고려할 때 지하수위 심도를 저하시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 다짐작업시 원지반 및 준설매립토로부터 측정된 공법별 과

잉간극수압과 간극수압계 매설위치에서 계산한 유효상재하중은 다짐작업으로 발생한 과잉간극수압은 지반의 유효상재하중과 비교하여 작게 나타난 바, 액상화 혹은 교란은 발생하지 않은 것으로 판단된다. 또한 과잉간극수압은 준설매립토의 경우 1~2시간, 원지반의 경우 1~2일 이내에 소산이 완료되는 것으로 예측된 바, 과잉간극수압의 발달로 인한 다짐작업의 효율저하는 무시할 수준인 것으로 판단된다.

### 3.6 준설매립토 두께의 영향

다짐에 대한 준설매립토 두께의 영향을 검토하기 위하여, 다짐에너지와 지하수위가 동일하고 준설매립토 두께가 상이한 부지에서 대형진동햄머다짐을 실시하였다. 검토결과, 준설매립토의 두께가 얇은 경우, <표 3.7>에서 보는 바와 같이 개량효과가 다소 저조하였다. 이는 준설매립층의 두께가 얇을수록 원지반에 큰 에너지가 전달되고 원지반과 준설매립토의 경계면에서 일부 다짐에너지의 반사가 일어나며, 준설매립층 표면에서 전달되어온 압축파가 인장파로 바뀌어 다짐의 효과를 감소시키는 경향이 강하기 때문으로 판단된다.

표 3.7 준설매립토 두께에 대한 다짐의 효과 비교

	준설매립토의 두께(m)	지하수위 (GL. 기준)	다짐에너지	N	Nd	비 고
대형진동햄머 다짐4차부지	5.0	-1.0m	200kw, 11Hz 60초+30초	39	87	개량심도까지의 평균치임.
대형진동햄머 다짐5차부지	3.0	-1.0m	200kw, 11Hz 60초+30초	36	64	

### 3.7 원지반에 미치는 영향

다짐작업으로 인한 원지반의 영향을 검토하기 위하여 실시한 현장베인시험 결과는 <표 3.8>과 같으며, 이로부터 대부분의 경우 다짐작업으로 인한 원지반의 교란은 없는 것으로 판단된다.

다만, 준설매립토 두께가 3.0m인 대형진동햄머다짐의 경우 다짐후 원지반의 베인 전단강도가 저하되는 경향이 나타나 준설매립토의 두께가 얇은 경우 원지반이 다소 교란되는 것으로 판단되었다.

따라서 진동햄머다짐의 경우 준설매립토의 두께가 얇은 경우에는 다짐성 저하 및 원지반

교란이 발생할 우려가 있으므로 준설매립토 두께는 3m 이상이 필요한 것으로 판단된다.

대형 진동햄머다짐 이외의 동다짐 공법의 경우 3m의 개량심도는 일반적으로 적절한 개량대상이 아니며, 유압식 햄머다짐의 경우 준

설매립토 및 원지반내에서의 과잉간극수압 발생양상이 진동햄머다짐의 경우보다 작거나 유사한 바, 대형 진동 햄머다짐 공법의 한계심도 3m를 동일하게 적용시킬 수 있는 것으로 판단된다.

표 3.8 다짐 공법별 배인 전단강도의 변화(kg/cm<sup>2</sup>, 불교란시료)

구 분	다 짐 전	다 짐 후	비 고
동 다 짐	0.28-0.48	0.37-0.62	예민비 $S_v = 2.0-3.5$
유압식 햄머다짐	0.38-0.47	0.39-0.62	예민비 $S_v = 2.5-3.5$
대형진동 햄머다짐	두께 5m	0.27-0.65	예민비 $S_v = 2.0-3.5$
	두께 3m	0.38-0.47	

### 3.8 준설매립토 상부의 지반반력 계수

qc 값을 이용하여 산정한 심도 1m 에서의 ks 값은 다음의 관계에 의하여 8.0kg/cm/cm 정도로 추정 되는 바, 실제 요구치 5.5kg/cm/cm를 상회하는 것으로 판단되었다.

$$\begin{aligned}
 ks &= 40 \cdot Sf \cdot qc = 40 \cdot Sf \cdot qc/30(Rn/m^2/m) \\
 &= 40 \times 3 \times 20,000/30(Rn/m^2/m) \\
 &= 80,000(Rn/m^2/m) = 8(kg/m^2/m)
 \end{aligned}$$

여기서, ks = 지반반력 계수

qa = 허용지지력 (=qc/30)

qc = 콘 관입저항력(=200kg/cm<sup>2</sup> = 20,000kN/m<sup>2</sup> :안전측)

### 3.9 다짐도와 체적변화율의 관계

시험시공시 다양한 방법으로 실측한 체적감소율과 GL-3m 까지 확인된 다짐도 (상부 교란층 제외)의 관계는 <그림 3.7>과 같으며, 다짐도 95% 이상을 만족시키는 체적감소율을 대략 7~9%의 범위이다. 현장에서는 다짐으로 인한 준설매립토의 체적감소 및 기타 손실 등을 고려하여, 준설매립고가 3~5m인 1단계 공항부지에 대하여 평균 40cm 정도 두께의 여분의 매립토가 필요할 것으로 판단된다.

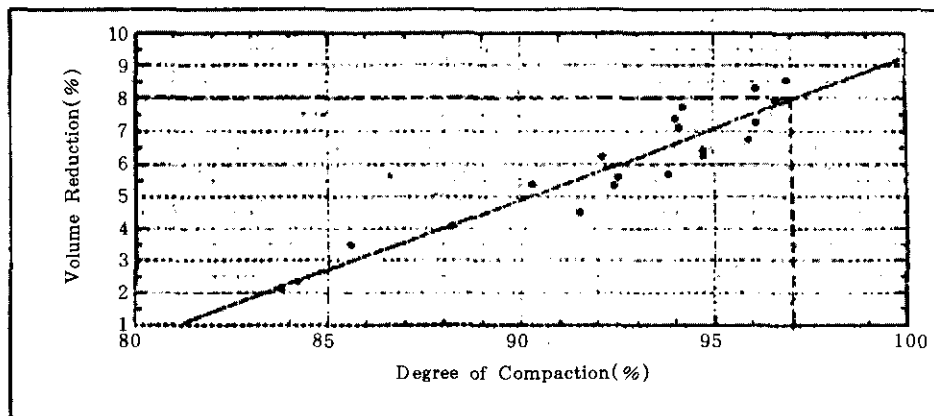


그림 3.7 다짐도와 체적감소율의 관계

#### IV. 결 론

1. 입도가 불량한 준설패립토(SP-SM)지역에 대하여 4가지 공법을 시험시공한 결과 노상의 다짐도 95%확보가 불가능한 층다짐공법(다짐도 92%를 넘지못함)을 제외한 동다짐, 유압식 햄머다짐, 대형진동다짐공법에 대하여 공사의 특성과 현장여건, 경제성등을 비교검토하고 본 공사에 적용할 수 있는 최적공법으로 유압식 햄머다짐 공법을 선정하였다.
2. 최적공법선정을 위한 3가지 공법의 비교

결과는 다음과 같다.

3. 본 시험시공은 매립두께가 평균 5m이며,  $Cu < 3$ , 다짐지수가 0.6~0.74인 지역에서 시행하여 얻어진 결과로 향후 이와 유사한 지역의 공사시에 참고할 수 있는 자료가 될 것이다.
4. 대형진동햄머 다짐공법은 발전기 등과 같은 부대장비를 일체화 시키고, Tamper의 타격점에 대한 정확성을 보완하고 진동시 Tamper의 이동방지 등을 연구 보강하면 사질토 지반에서 매우 효과적인 다짐공법이 될 것이다.

항 목 \ 공 법	동다짐공법	유압식 햄머다짐	대형 진동다짐공법
다짐도 만족	양호	양호	양호
경제성	보통	저렴	고가
장비 조합성	단순	중간	복잡
장비 조달성	용이	비교적 용이	어려움
시공관리	비교적 용이	용이	비교적 어려움
안전도	비교적 안전	안전	다소 불안전
지하수위영향	적게받음	비교적 적게받음	비교적 크게받음

#### Reference

1. 신공항건설공단 : 수도권 신공항 다짐시험시공 용역 종합보고서
2. Hans F. Winterkorn and Hsai-Yang Fang : Foundation Engineering Handbook pp 256~258
3. 일본 토질공학회 : 연약지반 대책공법 PP 321~327 (1988)
4. 이 중 규 : 토질역학 PP 165~167
5. Braja M. Das : Advanced Soil Mechanics PP 36~47
6. Braja M. Das : Fundamental of Soil Dynamic (1982)
7. Richart, F.E Jr., Woods, R.D. and Hall, J.R. : Vibrations of Soils and Foundations (1970)
8. D'Appolonia, D.J. and D'Appolonia, E. : Determination of the Maxmum Density of Cohesionless Soil, Proc. 3rd Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng. Hafia, Israel, Sept. (1967)
9. 關西國際空港(株) 公務一部 企劃課長 口田登, 公務一係長 北村昭二 : 埋立地の地盤改良, Airport Review No.90(1994)