

인공섬의 토질공학적 문제점 고찰  
GEOTECHNICAL PROBLEMS OF ARTIFICIAL ISLANDS

안상로(SANG-RO AHN)\*1, 엄용섭(YONG-SUP UM)\*1, 김학삼(HAK-SAM KIM)\*1, 방은경(YOON-KYUNG BANG)\*1, 홍성완(SUNG-WAN HONG)\*2

\*1. 한국건설기술연구원 지반연구실 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Division, K.I.C.T., Seoul  
\*2. 한국건설기술연구원 지반연구실 실장, Head, Geotechnical Engineering Division, K.I.C.T., Seoul

SYNOPSIS

The paper presents general engineering properties of soft marine sediments and related geotechnical problems associated with construction of artificial islands. Both of the data from foreign and domestic sources are utilized. The selection of soil improvement methods are also discussed.

1. 서론

우리나라는 현재 제3차 국토종합개발계획 아래 국토의 균형발전과 국토의 효율적 이용을 목표로 서, 남해안을 2000년대를 향한 신산업지대로 개발, 육성코자 공업용지, 도시의 재개발용지, 폐기물처리용지 등이 건설되고 있으며, 특히 부산 해상 신도시와 영종도 신국제공항 건설추진으로 인공섬 건설시대에 접어 들었다.

일반적으로 인공섬은 항만시설, 공항시설, 위락시설, 에너지시설, 공업시설, 어업개발시설, 해상도시 등을 건설하기 위한 것이나, 최근 국내 외적으로는 이들 단일기능을 한데 묶어 복합기능을 갖도록 건설하고 있으며, 그 축조형식도 다양하다.

이러한 인공섬을 건설하는 데에는 열악한 해상조건과 복잡한 연약지반으로 많은 어려움이 있으며, 특히 해안 및 해저지반은 퇴적토의 분포상태, 입도분포, 토립자의 형상, 흡착이온의 특성, 간극수질 등이 다양하고, 조류 및 온도 등과 같은 퇴적환경에 크게 영향을 받아 퇴적후에도 용력 이력, 간극수질 변화 및 용해작용 등에 의하여 흙의 구성 구조와 결합상태가 다양한 토질 특성을 가지고 있다.

더욱이 인공섬 조성방법중 일반적으로 적용되고 있는 준설토에 의하여 매립조성된 기초지반은 지지력이 거의없는 슬러리 상태로 이러한 연약지반을 개량하는데에는 기술적인 어려움이 매우 크다.

따라서 본 연구에서는 우선 인공섬을 이해하고, 인공섬의 조성방법에 대해 기술하였으며, 인공섬 건설시 중요시 되고 있는 해안 및 해저지반의 형성 과정을 알아보고, 해안, 해저지반에 대한 조사 및 시험자료를 통하여 세계의 해저퇴적물 분포상태와 한국 해저토의 지형, 지질학적 특성과 함께 해안지반의 공학적 특성을 파악하였다.

또한 이러한 지반조건에서 인공섬을 건설하는데 요구되는 기술적 사항들과 함께 토질공학적 측면에서 극복하여야 할 문제점을 제시하였으며, 그중 인공섬을 건설하는데 가장 문제되고 있는 인공적으로 조성된 지반의 개량을 위하여 일반적인 지반개량의 개념과 함께 준설토에 의한 매립지반의 개량공법과 각각의 특성을 제시하였다.

2. 인공섬의 분류 및 건설기술

2.1 인공섬의 정의 및 역사

기원전 4000 년경 나일강, 티그리스강, 유프라테스강, 인더스강 등 하구에서 매립, 운하의 굴착 등이 시작되어, 북서유럽을 중심으로 제방이나 수문 등이 건설되었다. 기원 1000 년경 그레브나 스크레이퍼 등이 개발되어 네덜란드를 중심으로 해수면하의 해역을 매립하기 시작하였다. 15 세기에 말, 바람 등의 힘을 이용한 그레브선이 네덜란드에서 개발되어 대형 매립공사가 시작되었다. 16 세기에 들어 영국에서 이러한 선박이 대형화가 이루어졌으며, 1796 년 최초의 증기동력의 준설선이, 1920 년 최초의 디젤동력에 의한 준설선이, 1924 년 최초의 전기동력에 의한 준설선이 개발되어 준설, 매립에 획기적인 기원을 마련하게 되었다. 국토의 특성상 네덜란드는 17 세기에 이미 암스텔담 근처에 1,360 km<sup>2</sup>의 간척사업을 실시하는 등 준설, 매립, 항만공사, 준설선의 개발 등에 있어 선두주자로서의 역할을 담당하고 있다. 이러한 건설기술과 장비의 개발과 아울러 인류는 초기에는 연안을 간척 매립 사업 등으로 육지화하여 공업단지, 농지 등으로 이용하여 왔다. 그러나 인류는 육지를 거점으로 살고 있지만 지구의 70 %를 점유하고 있는 바다를 효과적으로 이용할 수 있는 방안과 수산자원의 보호와 해양 오염방지의 차원에서 대상 부지가 연안에서 외해로 진출하고 있는 추세에 따라 인공섬의 개발을 시작하였다(자료에 의하면 일본의 시나가와다이바(品川台場, 1853-1854)가 최초의 인공섬으로 알려지고 있음). 여기에서 인공섬이라 함은 해양을 어떠한 목적과 방법에 의하여 육지화한 곳으로 주변이 물로 싸인 물을 말한다. 그러나 실제로 바다에 섬을 만든다는 것을 생각할 때 영연히 존재하는 바다의 힘, 즉 파도 또는 조류 등 자연의 힘에 저항하여 육지로서 존재하기 위해서는 많은 기술적 노력이 필요하다.

2.2 인공섬의 분류

인공섬을 분류하는 데에는 해안으로 부터의 이안거리에 따라 0.1~3.0 km내의 것을 연안인공섬, 3.0 km 이상의 것을 해상인공섬이라 분류하기도 하나, 일반적으로 용도 또는 목적에 따라 분류하며, 그 세부내용은 다음과 같다.

### 2.2.1 용도에 따른 분류

인공섬을 용도에 따라 분류하면 아래와 같이 7가지로 분류할 수 있다.

- (1) 바닷물을 배제한 후 농지로 이용 : 간척
- (2) 매립에 의하여 육상용지로 이용 : 임해공업단지
- (3) 파도나 흐름의 방호로 이용 : 방파제
- (4) 산업폐기물 처리장 : 산업폐기물 매립
- (5) 교통·운송시설의 이용 : 도로, 항만, 공항
- (6) 방어상 요새로 이용 : 군사용
- (7) 전진기지로 이용 : 석유 탐사 및 해양개발기지

(1), (2), (3)은 과거에 많이 사용되었으며, 최근 대도시 부근에서 (4)를 볼 수 있고, (5)는 공항, 해상 횡단도로 등에서 찾아볼 수 있다.

### 2.2.2 인공섬의 목적에 따른 분류

인공섬을 목적별로 분류하면 농지를 얻기 위한 수단으로 시작하여, 국방상의 목적, 유통운송, 도시 기능, 공업용지 기능, 레크레이션 기능 등 복잡하고 다양한 기능 이외에 공항, 발전소, 석유저장 또는 굴착기지 등으로 분류할 수 있으며, 이외에 최근에는 산업폐기물, 항로준설도사 처리의 목적으로 인공섬을 건설하고 있다. 그러나 최근 인공섬의 건설은 단일 집약적인 기능보다는 복합적인 기능을 요구하고 있다.

인공섬을 목적별로 분류하면 다음과 같다.

- (1) 각종 유통 기지
- (2) 관광 레크레이션 단지
- (3) 교육·학술 연구 단지
- (4) 도시(거주, 호텔)
- (5) 공업단지 및 재개발 용지(폐기물 처리)
- (6) 해저광산물 개발기지
- (7) 에너지 기지
- (8) 농수산 기지(해양농장, 목장, 가공)
- (9) 방재 기지
- (10) 대수심 해양구조물 건설 기지

### 2.3 인공섬의 조성방법

인공섬의 조성방법으로는 해저 또는 매립지에 착지하는지 여부에 따라서 접지식과 부채식으로 나눈다. 또한 매립식이나 말뚝방식의 경우에는 설치장소를 정지한 후 인공섬을 건설하지만 착저식이나 부채식 등은 사전에 부채나 구조물을 공장에서 제작함이 가능하며 공장에서 건조 비율이 높기 때문에 품질의 안정, 공기단축, 공비의 절감 등의 잇점이 있다. 그러나 기존의 인공섬 조성방법에는 매립식이 약 70 % 이상을 차지하고 있는 실정이다.

그림 1은 인공섬의 축조형식별 개념도를 나타낸다.

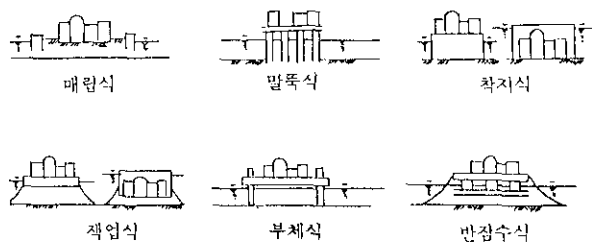


그림 1. 인공섬의 축조형식

인공섬의 축조 형식별 특징은 다음과 같다.

- (1) 매립식 : 케이슨이나 강널말뚝 등을 호안에 설치하여 해안을 매립한 후 인공섬을 조성하기 때문에 지진의 영향은 받지만, 파랑의 영향은 받지 않는다.
- (2) 말뚝식 : 해저에 말뚝을 타입하고, 그 위에 플랫폼을 설치하여 구조물을 건설하는 방식으로 파랑의 영향은 적지만, 지진의 영향을 받기 쉽다.
- (3) 착저식 : 케이슨 또는 부채위에 구조물을 건설하는 것으로서 설치장소까지 구조물을 물에 띄우고 예인후 가라앉혀 설치한다. 비교적 평탄한 얕은 바다에 적용하지만 해저를 먼저 정지한 후 가라앉혀 설치한다.
- (4) 책임방식 : 부채위에 구조물을 설치하는 것으로서 설치장소까지 물에 띄우고 예인하여 기둥을 해저에 위치시킨 후 부채를 떠받쳐 고정시키는 방법으로 기둥의 강도나 책임의 능력에 의하여 구조물의 중량을 제한한다.
- (5) 부채식 : 부채위에 구조물을 건설하는 것으로서 설치장소까지 예인하여 계류하는 방법으로 파랑에 주의할 요하지만, 지진의 영향은 적다.
- (6) 반접수식 : 부채의 일부를 잠수시켜 부채의 흔들림을 감소시키는 것으로서 구조물의 중량보다 홀수의 변화에 영향을 더 받는다.

이들 인공섬 조성방법의 선택은 목적, 규모, 높이, 연약지반개량공법, 축조재료, 구조형식, 체계의 안정성, 축조재료의 액상화, 해양환경문제 및 경제성 등의 종합적인 검토에 의하여 결정되어야 한다. 그러나 일반적으로 제반조건 및 조성방법에 따라 다르지만 얕은 바다에서는 매립식, 착저식이 경제적이고, 깊은 바다에서는 부채식이 경제적으로 나타나 있다.

### 2.4 인공섬의 건설현황

현재까지의 인공섬 건설기술개발과 함께 세계 각지에서는 많은 인공섬이 건설되었거나 추진되고 있다. 자료에 의하면 일본의 시나가와다 이바(品川台場, 1853-1854)가 최초의 인공섬으로 알려져 있으며, 이를 필두로 네덜란드의 항만 및 콤비나트 용도의 로탈담 유포르트 인공섬(1965-1973), 프랑스의 세계 최대규모(7300 만 m<sup>2</sup>)의 공업항 목적의 뤼스 공업항 인공섬(1965-?), 오스트레일리아의 컨테이너부두로 이용한 다뉴항 인공섬(1971-1980), 브라질의 세계 최단기간(83일)에 건설된 소금 관련시설의 아리아부랑카 인공섬(1973), 미국의 민간 및 군사용 공항으로 산호초가 있는 연안에 만든 호놀룰루 공항 인공섬(1973-1976), 최초로 건설로봇가 사용된 일본의 오오사카 북항 인공섬(1972-1989), 최초로 인공섬에 의한 해상공항이 일본의 관서근해(1987-1993)에 건설되고 있다. 이들 인공섬은 대부분 해안에서의 이안거리가 5 km 이내에서 건설되었으며, 그 용도는 공항, 항만, 폐기물처리, 도시개발용지 및 공업용지와 녹지 또는 무역기지 등 다양하게 나타났고, 면적은 작게는 브라질 사모라 인공섬(1978-1984)의 0.3만 m<sup>2</sup>에서 크게는 프랑스의 뤼스공업항(1965-?)으로 7,300 만 m<sup>2</sup>에 이르며, 우리나라의 수도권 신국제공항 인공섬(1992-2020)도 5,800만 m<sup>2</sup>로 규모면에서 세계 2위의 크기이다.

건설공기는 규모, 지형·지질조건 등 여러 여건에 따라 다르며, 브라질의 아리아부랑카 인공섬(1973)의 83일로부터 일본의 제3해보의 30년 정도까지 다양하나 대체로 10년 전후로 분석되었다.

그 시공방법에서는 준설·매립에 의한 방법이 대부분을 차지하고 있으며, 수심은 대체로 0~40 m로 매립식은 10~20 m 내외의 수심에서 많이 건설되고 있으며, 브라질 사모라 인공섬(1978-1984)은 석유굴착이 목적인 바 부채식으로 145.5 m에 이르고 있다.

한편 지반의 지형·지질 측면에서 볼 때 대부분 실트, 모래 및 연약 점토층으로 구성되어 있으며, 호안은 사석호안이나 널말뚝 등에 의한 호

표 1. 국내·외 인공섬 건설 예

국 명	명 칭	이안거리 (Km)	용 도	면 적 (단 m <sup>2</sup> )	공 기	시공 방법	수심 (m)	지형·지질	호안 형식	매립 방법	특 징
마 국	호놀룰루 공항	0.366	민간 및 군사용	400	1973. 5 ~ 1976. 8	매립, 매립	2~9		사석 인 쇄보림	판공준설선에 의하여 인공섬을 매립하여 인공섬 이용된 인공섬	-산호초로 반문 -인공섬 건설로 인공섬
	사무스 인공섬	0.6~2.0	석유굴착용	16	1965 ~ 1966	전선에 의해 준설된 모래와 고내부에 인공섬	12	실트 및 사질토	사석호안	판공준설로 한나에 의해 인공섬을 매립	자연해안이 없으므로 인공섬을 매립하여 인공섬
네덜란드	모텔담 유로포드	0	항만 및 레크리나트	3,035	1965 ~ 1973	매립	0~20	모래, 실트	모래둑, 사석선, 방파제	-와이프라이에 의한 준설, 모래둑의 파손에 의해 -볼도우지에 의해 준설	수문, 운하, 방파제, 인공섬
오스트레일리아	피사만	0.3~0.7	석탄 석출시설, 석탄 항만관련시설	600	1977. 4 ~ 1979. 9	판공준설에 의한	0	실트, 모래	사석호안	-대형 벨트콘베이어 -비지 방식, 펌프선	대규모 연속시공 시스템
싱가포르	싱가포르 매립	0	주택용지, 문화시설 용지	1,598	1966. 4 ~ 1985. 1	육상토 및 준설 모래에 의한 매립	6	해저면 아래 30 m 까지 점토층	석적호안	한나준설선에 의한 매립	다양한 호안방식 채택
일 본	나고야항 담성부두	1.4	구역 지정, 녹지, 국제전시장	191	1963 ~ 1985	호안, 안벽매립 조성(펌프선)	0~5	연약지반	널말복식 널말복 산교	한나준설선에 의한 매립	
	오오사카 북항	0.45	폐기물 매립처리 시설, 녹지, 공원 용지	615	1972 ~ 1989	매립	10	25m 까지 연안층과 30m 이하 모래층	-여러가지 널말복채택 -널상계	준설토는 비지선에 의하여 준설된 모래를 이용하여 비지선에 의해 직접 부하됨	-여러가지 기반 고정방법 채택 -건설도면도 채용
	나가사키 공항	1.5	해상공항	162.9	1971.12 ~ 1974.11	사석호안 매립	10~18	-두께 1~5 m의 충격점토 (N=0~31) -이하 N=5~20의 동화현무암	사석경사 호안	샌드위치 공법	일본 최초의 인공섬
	전서 국제공항	5.0	해상공항 및 공항관련시설	511	1987 ~ 1993	매립	17~19	-18m의 충격점토 -그이래 5m 두께의 충격점토	완강사 석적 -강안셀식 -중앙인공섬 -지점소파 케이싱 호안	초기에는 인공섬에서 모래를 벨트콘베이어에 의해 해수면에서 인공섬에 운반 매립	-대규모 연속시공 -세계 최초 -24시간 가동
	후쿠오카 하네다 국제공항	1.7	-육상 항공도로 부속설비 처리장 용지	900 (92년말) 1,100 (완공시)	1974 ~ 1996	-준설토사이에 의한 매립 -암말속진상토	18	-16~20m에 연안층점토 그이래 40m 두께의 충격점토		준설토사이에 의한 매립 폐기물에 의한 매립	
	고베 포드 아일랜드	0.4	-부두, 항만시설 -도시재개발	436	1966 ~ 1981	매립	12			도취장에서 토사채취 -벨트콘베이어로 운송 -비지선에 의해 매립 -비지선에 의해 매립 -전체매립의 산토(사토) 이용	
	한 국	부산 인공섬	0.3~0.4	-정보통신 단지 -국제부역기지 -국제항공도시	858.8	1991 ~ 2003	매립	12~19		-방파제 건설 -케이슨 -콘크리트	토사부입 -벨트콘베이어 -비지선 -부입
	수도권 인공섬	2.0	-해상 공항 -유양기지 -국제부역기지	5,617	1992 ~ 2020	매립	3~4	-상부 퇴적층 4.3m의 점토성인공섬 -하부 퇴적층 20.8m의 점토성인공섬	-강제지반 사석경사제	산토매립(펌프선)에 의해 준설	

안형식이 주로 채택되었으며, 펌프준설선에 의한 준설매립이 주로 사용되었다.

싱가포르 매립인공섬(1966-1985) 등에서는 일부 육상토를 이용하여 매립을 하였으며, 일본 고베 포드 아일랜드(1966-1981)에서는 시내의 건설잔토(사토)를 이용하여 일부 매립하였으며, 부산 인공섬(1991-2003)에서도 시내의 건설잔토(사토)를 이용하여 일부 매립함으로써 공비절감의 효과를 도모할 예정이다.

이러한 인공섬의 대표적인 건설현황은 표 1과 같다.

### 3. 해저지반의 형성

#### 3.1 지반의 형성

충적층은 지질학적 형성세대로 보면 충적세(약 1 만년전, 즉 후기빙하기)에 하성의 퇴적에 의하여 가장 최근에 지층을 이룬 것으로 그 형성 과정은 우선 모암의 풍화에 의한 침식이 시작된 후 풍우에 의하여 운반 퇴적된 것이다. 충적층 생성과정에서 모래와 자갈이 퇴적되면 지내역이

있는 양호한 지반이 형성되고, 비교적 새로운 시대에 퇴적한 지층으로 하구연 부근의 지층중에는 연약한 유기질토 및 점성토가 하천유동의 변화에 따라 다시 퇴적하거나 혹은 경우에 따라서 지각변동 등의 물리적 변화와 하천수, 지하수, 해수 등에 의하여 화학적 영향 등의 지형적, 자연환경 변화의 극히 복잡한 구성요소로 형성될 수 있다.

빙하 빙하기시대에는 빙하가 발달하여 수분이 육지부분으로 이동하였기 때문에 이 시대에는 해수면은 현재보다 약 -100 m 정도까지 저하하기도 하였다. 이 시대의 해안선은 현재보다 근해의 육지화된 부분에 하천이 나타나 심한 굴곡을 이루고 빙하기가 끝날 무렵에 빙하가 점차 녹아 그 유빙에 의하여 밀려나온 모래, 자갈이 계곡을 메워 퇴적되었다.

이러한 해성퇴적층의 퇴적과정은 그림 2에서와 같이 빙하기가 끝날 무렵에는 빙하가 녹아 해수면이 급격히 상승하였고, 일단 상승한 해수면은 재차 -20~-30 m 까지 저하한 후 상승하였으며, 충적세 중기에는 현재 해수면 보다 5~6 m 높게 된 후 점차로 하강하여, 현재 해수면을 이루고 있는 것으로 보고 있다.

이와 같은 현상에 의하여 해안선은 전진, 후퇴 혹은 정체가 일어나고 그 속도에 의하면 유입사는 하천퇴적물이 퇴적속도와 관계에 따라 퇴

적내용과 상태에 변화를 일으키게 되며 해안선의 상승속도보다 육지로부터의 운반퇴적물이 많은 경우에는 델타퇴적을 만들게 된다.

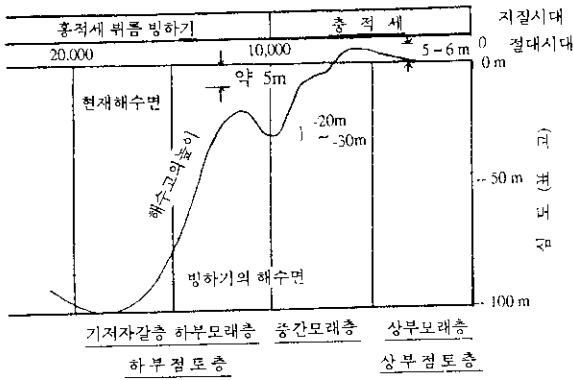


그림 2. 홍적세로부터 충적세까지의 해수면의 변화

한편 대륙붕은 빙빙하기 말경 파식(派蝕)과 퇴적에 의하여 평탄한 면이 형성되고 그후 해진(海進)에 의하여 해면아래로 들어가서 생성된 것으로 해수가 덮고 있는 육지의 연장이라고 볼 수 있다. 이는 대부분 해수면 아래 -200 m 전후한 위치에 발달되어 있으며, 그 경사는 평균 6°로 전육지의 약 18%의 넓이에 해당되고, 남북아메리카 대륙의 태평양안과 같이 대륙붕이 거의 없는 곳이 있으나 아르헨티나와 브라질 앞바다 그리고 동지나해나 북극해를 비롯한 대륙과 섬에 인접한 곳에서는 대부분 넓게 분포되어 있다.

### 3.1.1 하천에 의한 퇴적

해저 퇴적물은 거의 하천에 의하여 운반되고 그 퇴적속도는 평균적으로 심해저에서 1~20 mm/1000 년이고, 대륙사면에서는 100 mm/1000 년 이하가 되지만 전해양면적의 10%가 100 mm/1000 년의 속도로 나머지 부분은 5 mm/1000 년의 속도로 퇴적되고 있으며, 평균 해저퇴적속도는 15 mm/1000 년으로 알려져 있다. 따라서 해양면적은 대륙의 약 2배가 되므로 대륙은 30 mm/1000 년의 속도로 깎여 나간다고 볼 수 있다.

#### (1) 해안퇴적과 해저퇴적의 특징

연안 및 해저퇴적은 하천에 의하여 운반된 토립자와 파랑에 의하여 침식을 받은 세사 등과 같은 미립자에 의하여 충적층을 형성하기 때문에 장소에 따라서는 하천에 의하여 유입한 토립자에 의하여 하구부근에서는 델타퇴적을 형성하고, 실트, 점토 등의 미립자는 해수중에 부유 운반되어 해저 퇴적을 형성한다.

해저 퇴적토는 입경이 작아 해수중에 부유하고 황모회현상에 의하여 간극비가 큰 특징을 갖고 있으며, 퇴적형태의 특징을 보면 매우 완만하게 행해지고 모암이 침식을 받아 운반, 퇴적과정을 거치기 때문에 유입 방향에 대해서는 많은 변화를 갖는 토질이 얇은 층을 이루어 퇴적하고 평방향으로 균일하게 넓은 퇴적을 진행한다.

#### (2) 델타퇴적의 특징

델타퇴적은 토사가 해수역에 유입할 때 하천속도가 급격하게 감소하게 되는데 이때 근해를 향하여 입경이 비교적 큰 토립자로부터 입경이 작은 토립자 순으로 침강하여 퇴적한 지역이다.

해안선의 진퇴와 운반토사에 의한 델타퇴적이 서로 교차하여 반복된 경우에는 복잡한 호층이 형성된다.

그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 퇴적토립자는 하구에서 입경이 크고 근해에는 입경이 작으며, 완경사를 이룬다.

- 하천유량과의 관계에서 상류 지역에서는 침식에 의한 토질이 퇴적한다.

- 유입의 이동에 의하여 퇴적층이 침식, 퇴적을 반복한다.

해안선의 상승속도가 퇴적속도보다 빠른 경우에는 점토와 같은 미세립의 흙이 연속하여 퇴적하는 경우가 많고 그 퇴적상태에 따라 연안퇴적 또는 해저퇴적을 이룬다.

### 3.1.2 빙하에 의한 퇴적

고위도 지방에서는 빙하가 대량의 토사를 해안선까지 이동시키고 대륙붕까지 운반한다. 하천의 경우와는 달리 빙하는 세립토로부터 입경이 큰 조립토까지 운반하며, 퇴적속도도 빠르다.

특히 하천을 따라 운반량이 큰 곳에서는 더욱 그러하고 대륙으로부터 먼 거리에 있는 심해저에는 퇴적속도가 작게 나타나며, 이때 생성되는 석회질연이(Calcareous ooze)와 규산질연이(siliceous ooze)는 생물성 퇴적물의 일종이다.

### 3.2 세계의 해안 및 해저토

심해 보링계획(Deep Sea Drilling Project: DSDP)의 결과에 의하면 그림 3은 89 지점에서 채취한 900 개의 흙시료에 대하여 해저면으로부터 200 m 깊이까지의 범위내에서 대표적인 흙시료의 종류를 나타낸 것이다.

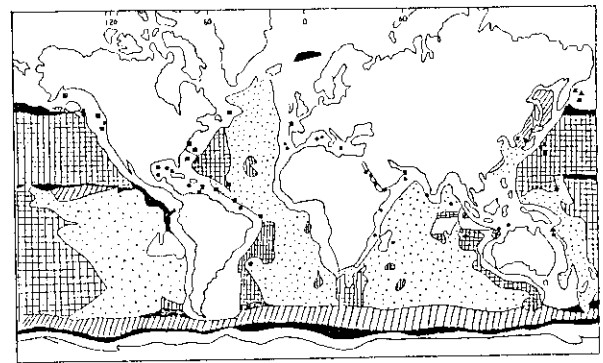


그림 3. 해저의 주요퇴적물 분포

주요퇴적물의 종류로는 석회질연이가 48%로 가장 많이 나타났으며, 점토가 43%, 규산질연이 6%, 화산회가 3%로 나타났다.

심해저의 흙은 갈색점토와 심해연이의 2 종류로 구분되는데 그 분포면적은 거의 비슷하게 나타났으며, 육지에서 비롯된 모래는 적게 나타나고 빙하에 의해 표류한 빙산이 녹아 심해저에 퇴적한 경우와 혼탁류(turbidity current)에 의한 대륙붕상의 퇴적물이 심해저에 이르는 경우가 대부분이다.

북태평양 지역의 퇴적물의 종류로는 ① 하천원 퇴적물(fluvial marine): 0.016 mm 보다 조립인 입자, ② 하천원 퇴적물: 0.016 mm 세립인 입자, ③ 갈색점토, ④ 석회질연이, ⑤ 석회질 모래와 실트, ⑥ 규산질연이의 6 가지로 분류되었다.

### 3.3 한국 해안 및 해저 지반

우리나라 근해의 지반조사와 각종 실험자료를 수집, 분석함으로써 아래와 같이 지형 및 지질학적 특성을 파악하였고, 지역별로 해안지반의 물리적, 역학적 특성지들을 분석하였다.

#### 3.3.1 지형 및 지질학적 특성

한반도의 주변해역은 서해와 남해의 대륙붕과 동해분지로 이루어져 있으며 그 생성시기, 지형 및 수심은 복잡 다양한 분포형태를 보이고 있다. 또한 해저에 퇴적되어 있는 물질의 분포도 퇴적물의 공급원과 조류 등의 영향으로 매우 복잡한 형태를 나타내고 있다. 그림 4에서는 우리나라 근해의 수심을 보여주고 있으며, 그림 5는 해저 표층 퇴적물의 분포도를 나타내고 있다. 이를 개략적으로 요약하면 다음과 같다.

##### (1) 서해

- 생성시기 및 지형 : 충적세 빙빙하기시대 부서의 해수면 상승과 남해의 습곡대가 침식하여 육원성 쇄설물(陸源性 碎屑物)과 해양성 퇴적물(海洋性 堆積物)이 침적된 본지로 최대 두께 2,000 m 이상의 퇴적층이 형성되어 있는 곳도 있다. 대륙붕(면적 약 30 만km<sup>2</sup>)은 북쪽으로는 선캄브리아기의 화성암, 변성암 기반의 일부가 산동-요동반도를 따라 융기하여 능(陵)을 이루어 발해만과 경계를 짓고 있으며, 남쪽은 중생대 지각변동에 의하여 중국 상해-한반도 남서부 방향의 습곡대가 형성되어 동지나해와 접하여 있다.
- 퇴적물 : 중국대륙의 황하, 양자강을 통해서 연간 16 억톤의 쇄설물이, 그리고 한반도의 압록강, 한강, 대동강, 금강, 영산강을 통해서도 상당량의 퇴적물(주로 조립질)이 연안류, 해류 및 파랑에 의하여 운반, 침적되어 서해 중앙부, 중국대륙 연안부에서 동지나해에 이르는 해역과 한반도 서, 남해연안에 세립질 퇴적물이 넓게 발달, 분포한다. 표층 1 cm의 퇴적물의 경우 한반도의 서, 남해 연안과 외해쪽에는 각각 실트, 점토 와 모래가 넓게 분포되어 있으며, 북부의 사질토와 남부 및 중국대륙에 가까운 서부의 세립질 퇴적물이 뚜렷이 구분되어 이에 따라 함수율, 공극비, 유기물 함량 등의 물리적 성질들도 뚜렷이 달라진다. 깊이 150 cm내외의 퇴적물의 경우 남쪽으로 갈수록 실트 보다 점토함량이 증가(50% 이상)하며, 점토질 실트에서 실트질 점토로 변하고, 전반적으로 실트의 입경이 크며, 비교적 토질역학적으로 안정된 상태를 보이고 있다.
- 수심 : 수심은 매우 얕아서(평균수심 55 m) 대부분 100 m이내의 평탄한 해저면을 이루고 있다. 연해는 조석간만의 차가 커서 인천에서는 간만의 차가 8 m에 이르기기도 한다.

##### (2) 남해

- 생성시기 및 지형 : 선캄브리아기의 변성암, 퇴적암, 관입화강암으로 구성된 중한지괴(中韓地塊, Sino-Korea Craton)위에 놓여져 있고 수차례의 조산운동 결과 초기 신생대의 불규칙한 지형을 이루었다. 해안선은 다수의 만으로 연결되어 있어 매우 복잡하며(직선거리의 8.8 배) 2,240 여개의 크고 작은 섬들이 산재하여 한국 총 도서 중 60 % 이상을 차지한다. 섬은 모두 육지의 구릉 및 산맥이 침강한 것으로, 그 배열은 육지의 구조선(構造線)에 일치한다.
- 퇴적물 : 해수면 하강시 퇴적된 잔류 사질 퇴적물로 덮혀 있고, 현재 퇴적물이 조류가 강한 섬 주변의 암반 노출지역에서 떨어진 곳에 두껍게 퇴적되어 있다(30~60 m). 세립질 퇴적물은 중국대륙의 황하가 주공급원이며, 연안해류에 의해서 제

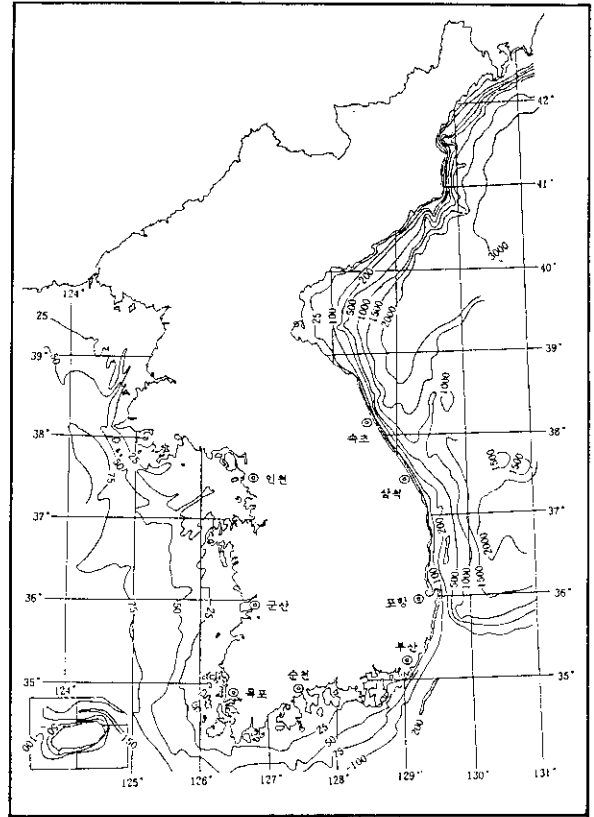


그림 4. 한국 근해의 수심 분포도

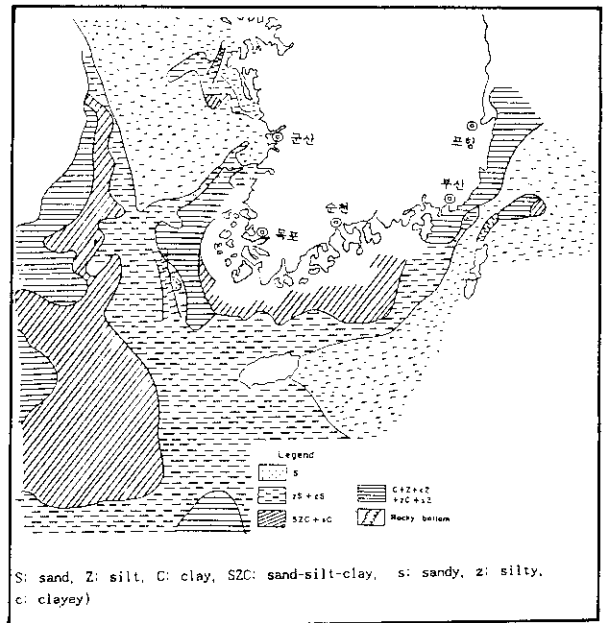


그림 5. 한국 근해의 해저 표층퇴적물 분포도

주도 남서쪽까지 운반되어 잔류 사질 퇴적물로 피복하고 있다. 표층 1 cm의 퇴적물은 섬돌 주변과 수로내의 일부지역을 제외하고는 거의가 점성토 및 사질토로 구성되어 있고, 상부 퇴적층은 서해안에서 남해안을 따라 흐르는 연안류에 의한 세립 퇴적물 유입, 조류에 의한 공급, 중국 양자강에서 흘러온 부유 퇴적물 및 섬진강 등의 하천에서 유출된 퇴적물의 유입 등에 의해 퇴적된 것으로 알려져 있다.

\* 수심 : 해저면은 제주(평균수심 120 m)와 대한해협(평균수심 200 m)의 남쪽 및 남동방향으로 점차 깊어지고 나머지 해역은 수심 100 m 이하이다.

(3) 동해

- \* 생성시기 및 지형 : 제 4기 초에 대단층 운동(運動)으로 함몰하여 생성된 해분(海盆)으로, 해저지형은 한반도쪽에 절한 해저가 복잡하며, 또한 급경사를 이루어 대륙붕의 면적은 극히 좁다.
- \* 수심 : 동해의 대륙붕 면적은 21만 km<sup>2</sup>으로서 해안에서 15 km 내외의 넓이로 발달되어 있을 뿐이고, 전체 면적의 1/5밖에 안 된다. 또한 3,000 m 이상의 심해부는 약 30만 km<sup>2</sup>이나 되며, 최심부는 북동쪽 오지리섬 부근의 3,762 m 이고, 평균 수심은 1,530 m 이다.

3.3.2 해안지반의 공학적 특성

우리나라 해안에 있어서 기반암의 깊이는 지역에 따라 매우 상이(相異)하나 평균적으로 서해안에서 최대 27 m, 남해안과 동해안에서 각각 34 m와 20 m 정도로 알려져 있으며, 이러한 기반암 상부에 분포하는 연약지반의 전반적인 특성을 파악하는 것은 매우 어려운 일이지만 지난 약 20여년간 수행된 각종 실험자료들을 토대로 서해안의 인천, 반월 등 13 개 지역, 남해안의 낙동강 하구, 광양 등 8개 지역, 동해안의 명주, 속초 등 2개 지역 등 총 24개 지역 해안 연약지반의 물리적, 역학적 특성치들을 수집, 분석하여 요약한 결과는 다음과 같다.

(1) 물리적 특성

- \* 자연함수비 : 우리나라 해안지반의 자연함수비는 서해안 14.6~68.7 %, 남해안 15.6~148 %, 동해안 64~226 %의 넓은 범위로 나타났으며, 동해안, 남해안, 서해안의 순서로 크게 나타났다. 이는 지역별로 점토함유량과 입도특성이 상이하기 때문이다.
- \* 액성한계 : 액성한계의 경우 서해안 26.0~64.6 %, 남해안 21.8~130.0 %, 동해안 62~150 %의 범위로 나타났고, 소성지수도 서해안 NP~45.8 %, 남해안 NP~82.0 %, 동해안 29~95 %의 범위로, 서해안, 남해안, 동해안으로 갈수록 증가하였다.
- \* 공극비 : 초기공극비는 서해안 0.565~2.283, 남해안 0.514~4.450, 동해안 2.880~5.640의 범위로서 서해안과 남해안 연약지반의 초기 공극비가 비슷한 범위를 나타낸 반면 동해안 연약지반의 공극비가 상대적으로 크다.
- \* 점토함유율 : 입경 2μ 이하의 점토함유율은 0~80 %의 범위로 다양하다.
- \* 비중 : 비중은 지역에 관계 없이 2.56~2.80의 범위로 대체적으로 비슷한 크기이다.
- \* 흙분류 : 통일분류법에 의한 분류 결과, 전반적으로 CL, CH, ML, OH, 등의 토질이 불규칙하게 분포되어 있는 것으로 나타났다.
- \* 건조밀도 : 건조밀도는 0.85~1.48 g/cm<sup>3</sup>의 범위로, 지역에 따라 큰 차이는 없다.

(2) 역학적 특성

\* 일축압축강도 : 우리나라 해안 연약지반의 일축압축강도는 대부

분이 0.01~0.50 kg/cm<sup>2</sup>의 범위로, 지역에 관계 없이 비교적 연약한 상태이며, 에민비는 1.0~20.8의 범위로 나타나 전반적으로 에민점도 영역에 포함되었다.

- \* 삼축압축강도 : 비배수 비압밀조건하의 삼축압축시험 결과 점착력 C'는 0~0.65 kg/cm<sup>2</sup>, 내부마찰각 φ'는 0~35°의 범위에 있다.
- \* 압축지수 : 1차원 압밀시험 결과 나타난 압축지수는 0.077~0.800의 범위로 나타났다.

표 2에서는 우리나라의 24개 지역에서 채취된 해안 연약지반의 물리적, 역학적 특성치들을 보여준다.

4. 인공섬 건설기술 및 지반공학적 문제점

인공섬을 조성할 때 대두되는 건설기술은 일반 토목기술을 기반으로 항만기술 및 해양구조물 기술과 연관되어 있으며, 토목기술의 중요한 한 분야이다. 이 기술분야는 최근 국내외의 매립지와 인공섬의 건설과 함께 현저하게 발달하였다. 즉 인공섬을 건설하는 데에는 해상, 기상조 건들의 면밀한 조사와 함께 공비결감, 환경대책, 안전성 등의 관점에서 검토되어야 할 문제가 많다.

4.1 인공섬 건설기술

인공섬 건설기술은 다음과 같은 기술적 사항들이 검토되어야 한다.

- (1) 조사·실험 예측기술로서 넓은 범위에 대한 정확한 토질데이터를 파악할 수 있도록 음파탐사 기술의 응용개발, 대수심 사운딩 기술의 개발, 대수심 자동시료채취 기술들이 개발되어야 할 것이며, 기존의 측정 데이터를 이용하여 장기 예측치를 추정함에 의하여 야기되는 불확실성을 고려할 수 있는 확률론적 예측 해석기법이 연구되어야 할 것이다.
  - (2) 설계기술로서는 극한 설계법과 허용응력 설계법이 있으나, 현장조건과 함께 각각의 장점을 고려한 설계기법의 개발이 필요시되고 있다.
  - (3) 시공기술로서 현재 인공섬 건설은 해상조건이 좋은 날에 대량 급속 시공한다는 점을 감안할 때 자연의 악조건을 극복할 수 있는 선택기계의 개발 또한 필요하다.
  - (4) 관리기술로서 기상, 해상조건에 의한 영향이 크기때문에 일반 육상 공사에 비하여 정보에 의한 시공 시스템 기술 개발·향상이 요망된다.
- 또한 각 조성방법에 따라 다음과 같은 세부적인 기술개발이 이루어져야 한다.
- (1) 매립식에서는 대수심 호안 건설 기술, 대수심 연약 지반 개량 기술 및 대량 토사 채취 운반 기술 등의 개발이 이루어져야 한다.
  - (2) 부체식에서는 해상 접합 기술, 계류 시스템 기술 및 부식 방지 기술 등이 개발되어야 한다.
  - (3) 유각식에서는 대규모 잔교 건설 기술이 이루어져야 한다.
  - (4) 착석식에서는 구조물 본체의 구조 기술 및 대규모 대수심 기초지반 조성 기술 등이 이루어져야 한다.
- 이들 조성방법에서 공통적으로 환경 보전 기술, 시공법 및 시공용 선박과 기계 기술 및 접근, 수송 기술 등이 개발되어야 한다.

4.2 토질공학적 문제점

해저지반은 육상지반과는 달리 해수와 그 운동이 해저지반에 영향을 미치게 되는데 이러한 측면에서 지반공학적 특성을 들면 다음과 같다.

- \* 퇴적양식이 흙의 구조에 미치는 영향
- \* 급속 퇴적지에서의 미압밀지반의 형성
- \* 세굴에 의한 과압밀 발생
- \* 파랑에 의한 지반의 동적반복작용에 의한 영향

표 2. 한국 해안 연약지반의 물리적, 역학적 특성

특 성	서 해 안													
	김 포	반 월	한강하구	인천항	서 산	영산강하구	금강하구	아산만	영종도	군 산	남양지구	계화도	송산지구	
자연함수비(w)	21.6 ~57.1	24.1 ~56.4	20.1 ~38.0	24.3 ~48.5	32.0 ~47.0	47.1 ~68.7	28 ~40	30 ~45	26.5 ~50.1	35 ~60	14.6 ~65.9	18.9 ~42.4	29.87 ~47.66	
역성한계 (w)	27.1 ~40.1	27.2 ~45.2	28 ~34	35.9 ~62.6	26.0 ~47.0	32.4 ~55.6	30 ~41	27 ~36	26.2 ~51.7	34.2 ~42.9	26.4 ~64.6	28.6 ~49.4	32.8 ~52.6	
소성지수 (w)	2.5 ~18.2	11.0 ~25.7	6 ~12	12.8 ~24.6	8.0 ~21.0	16.0 ~36.1	8 ~20	7 ~17	10.9 ~21.8	8.9 ~16.9	NP ~45.8	NP ~27.1	9.73 ~30.86	
초기공극비(w)	0.931 ~1.286	1.277 ~1.842	0.8 ~1.0	0.815 ~1.211	0.76 ~1.333	1.448 ~2.283	0.8 ~1.15	0.85 ~1.2	0.745 ~1.401	0.93 ~1.57	0.565 ~1.831	0.575 ~1.070	0.809 ~1.233	
점토함유율(<2μ)	< 15	< 20	10 ~25	< 15	-	25 ~50	12 ~35	12 ~33	0 ~79.8	> 15	5.7 ~62.6	< 34	24 ~59	
비중	2.651 ~2.724	2.65 ~2.71	2.66 ~2.70	-	2.71 ~2.74	2.705 ~2.729	2.66 ~2.70	2.66 ~2.70	2.63 ~2.70	2.65 ~2.69	2.56 ~2.80	2.62 ~2.72	2.59 ~2.65	
예민비	3.57 ~6.64	3.8 ~4.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
흙 분류	ML~CL	CL	-	CH	CL	CH	-	-	CL, ML	CL, ML	CL, CH	CL, CH, ML	CL, CH	
일축압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	0.07 ~1.037	-	0.27~ 0.61	-	-	0.1 ~0.25	0.14 ~0.40	0.16 ~0.41	0.15 ~0.40	-	0.04 ~0.37	0.09 ~0.38	0.28 ~0.60	
점착력 (C, kg/cm <sup>2</sup> )	0 ~0.65	-	0.13~ 0.3	-	-	0.08 ~0.13	0.13 ~0.29	0.1 ~0.22	0.09 ~0.24	0.65 ~2.4	0.04 ~0.48	0 ~0.42	0.10 ~0.43	
내부마찰각 (φ, °)	0 ~34	-	3~17	-	-	0~3	2 ~14	2 ~6	-	24 ~25.4	0 ~27	1.5 ~35	6 ~17	
압축지수	-	-	0.13~ 0.24	-	-	0.3 ~0.6	0.12 ~0.28	0.17 ~0.34	0.077 ~0.520	0.132 ~0.40	-	-	-	
건조밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	-	-	1.27~ 1.48	-	-	0.93 ~1.22	1.21 ~1.45	1.21 ~1.42	-	1.0 ~1.4	-	-	-	

특 성	남 해 안							동 해 안		
	나동강하구	강 양	마산항	섬진강하구	마산귀고리	부산항	여 수	금남지구	명 주	속 초
자연함수비(w)	27 ~55	18.0 ~92.2	42 ~78	43 ~78	101 ~148	58 ~81	84 ~111	15.60 ~90.50	64 ~226	83 ~155
역성한계 (w)	32 ~53	22.3 ~87.8	31 ~52	35 ~53	107 ~130	58 ~84	74 ~97	21.8 ~54.7	114 ~150	62 ~145
소성지수 (w)	19 ~27	8.6 ~63.6	11 ~25	15 ~28	58 ~82	10 ~54	31 ~65	NP ~29.1	92 ~93	29 ~95
초기공극비(w)	0.75 ~4.45	0.583 ~3.015	1.36 ~1.82	1.28 ~2.09	2.81 ~3.48	0.76 ~2.65	2.47 ~2.99	0.514 ~2.667	3.8 ~5.64	2.88 ~3.89
점토함유율(<2μ)	25 ~35	5 ~39	< 15	20 ~50	12 ~45	< 45	15 ~30	5 ~42	-	10 ~37
비중	2.65 ~2.69	2.64 ~2.73	-	2.66 ~2.70	-	-	-	2.62 ~2.71	2.56 ~2.60	-
예민비	2.2 ~13.3	1 ~20.8	-	-	-	1.1 ~8.3	-	-	-	-
흙 분류	CL	CH	CL	-	CH, OH	CL, CH, OH	CL, CH, OH	CH	OH, CH	CH, OH
일축압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	-	0.13 ~0.57	-	0.1 ~0.18	-	-	-	0.01 ~0.27	-	-
점착력 (C, kg/cm <sup>2</sup> )	0.14 ~0.35	-	-	0.08 ~0.15	-	0.08 ~0.30	0 ~0.11	0.03 ~0.30	-	0
내부마찰각 (φ, °)	3 ~10	-	-	0 ~4	-	17 ~21	14 ~21	0 ~20	-	24 ~28
압축지수	0.15 ~0.31	-	-	0.4 ~0.8	-	-	-	-	-	-
건조밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	1.20 ~1.45	-	-	0.85 ~1.19	-	-	-	-	-	-

- 퇴적물 내의 가스의 존재
- 전해질을 가진 간극수가 점토에 미치는 영향

해저지반은 육상지반과는 달리 몇몇 특별한 공학적특성을 가지고 있기 때문에 건설에 따른 많은 문제점을 가지고 있다. 우리나라에서도 매립에 의한 인공섬이 추진되고 있는 바 매립에 의하여 지반을 조성하는 경우를 예를 들면 양질토사를 사용하면 연약지반처리 문제는 다소 감소할 수 있지만 점성토를 사용하는 경우 조성된 지반은 극도로 연약하게 되기 쉬운데 일반적인 경우 준설전에 60~80 %의 함수비를 가지고 있던 점성토는 매립중 또는 매립직후 300 % 정도에 달하게 되고 이와 같은 지반은 거의 지지력을 갖지 못하는 슬러리 상태가 된다.

그러나 매립공사 종료후 수개월 방치하면 함수비는 점차로 감소하나 건조수축이 진행되는 것은 지표면 부근이 50~60 cm 정도에 한 하고 수위가 지표면 부근에 존재하는 경우에는 점토층 중의 함수비는 매립후 약 4 개월 경과한 시점에서도 140~160 % 정도의 값을 가진다고 알려져 있다.

또한 준설직후의 역학적 성질에 대하여는 대략 일축압축강도  $qu \leq 0.2 \text{ kgf/cm}^2$ 이며, 매립후의 점성토의 압밀계수  $C_v$ 는  $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{min}$ 으로 나타난다고 알려져 있으며, 준설직후의 역학적 성질은 매우 연약하여 토질시험이 어렵고 이에 관한 자료 또한 극히 한정적이다.

이처럼 해양지반의 토질공학적 문제점은 매우 크다 하겠으며, 이들을 정리하여 보면 다음과 같다. 해저지반이 불안정하게 되는 원인으로서는 퇴적물의 급속한 퇴적, 퇴적물내의 가스의 존재, 해면하의 상하운동 등이 고려되고 파랑과 지진에 의한 동적반복하중하에서의 해저지반의 액상화, 활동 등이 문제가 되며 이들 현상을 규명하기 위해서는 해저지반내의 간극수압을 아는 것이 중요한 문제가 된다.

또한 해양기초 구조물을 건설하기 위한 방법중 말뚝에 의하여 지지되는 고정식 기초구조물에 관해서는 지지층까지의 깊이와 지지력을 파악하는 것이 중요하며, 중력식 착저구조물에 관해서는 활동, 전도 등 액상화에 대한 기초지반의 안정성에 대한 검토가 중요하다. 한편 유체, 구조물 및 지반의 3 가지 조건이 고려된 동적응답해석연구와 구조물과 지반 안정성이 보다 합리적으로 평가되어야 할 것이며, 쇄굴에 대한 대책도 중요시되고 있다. 특히 매립식에 의한 인공섬 건설시 토질공학과 관련된 검토사항은 지반지지력, 침하, 호안형식, 제체 및 호안의 활동과 액상화에 대한 안정성 등의 확보여부가 문제시 되고 있다.

### 5. 지반 개량

일반적으로 연약지반은 연약점토, 실트질과 같이 세립한 흙, 함수비가 높은 점토질 흙, 이토, 지하수면 아래에 존재하는 느슨한 상태의 모래 퇴적물 등과 같은 흙들로 이루어진 지반을 가리키며, 지질학적인 관점에서 볼 때는 자연적으로 쌓인 충적층지반, 늪지, 해안, 호수 또는 습지지역을 매립한 인공섬 등을 연약지반으로 간주하고 역학적인 관점에서는 높은 압축성은 있으나, 낮은 강도를 갖는 지반을 연약지반을 말한다. 이러한 연약지반을 개량하는 데에는 여러가지 공법이 사용되는데 이는 지반개량공법의 특성과 함께 개량목적과 지반상태를 감안하여 최적의 개량공법을 선정하여야 한다. 다음은 지반개량공법 선정방법과 매립지반 개량공법별 특징을 비교, 고찰하였다.

#### 5.1 지반개량공법 선정방법 및 공법별 특성

##### 5.1.1 지반개량공법 선정방법

지반 개량방법의 결정과 지반조사를 하기 위한 기본조건에 대한 개략적인 흐름도는 그림 6과 같다.

연약지반의 경우 대부분 지반 처리가 필요한데 적합한 지반개량공법은 지반 또는 토질의 상태, 시공현장조건, 경제성과 같은 여러가지 조건

에 따라 결정되어진다. 이러한 경우 시공방법의 선정은 어떤 방법들이 적용하기에 가장 타당한가에 대한 조사부터 시작하고, 현장조건, 지반개량소재, 경제여건 등과 같은 제반요소들을 고려해야 한다.

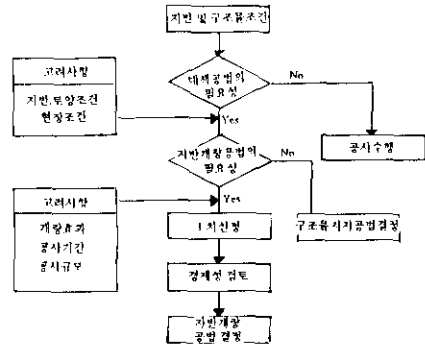


그림 6 지반개량 공법을 선정하기 위한 기본 흐름도

#### 5.1.2 지반개량의 기본개념과 목적별 지반처리공법의 분류

지반개량의 목적은 강도가 부족한 흙이나 부적절한 조건을 갖춘 지반에 안정성을 높이고자 하는 것으로 지반개량의 소기의 목적을 달성하기 위해서는 조밀화, 고결화, 압밀에 의한 배수, 보강, 치환과 같은 기술적인 특성을 고려해야 한다. 표 3에서는 지반개량의 목적 및 공법과의 상관관계를 나타내고 있다.

표 3. 지반개량 공법별 목적

지반개량공법	지 반 개 량 목 적		
	역 학 적 특 성	수문학적특성	환경특성
치환공법	지지력증대, 변형방지	-	-
보강공법	지지력증대, 변형방지, 토압감소, 사면안정	차 수	환경보호
고결화공법	지지력증대, 변형방지, 토압감소, 사면안정	액상화방지, 차수	폐기물 관리
조밀화공법	지지력증대, 변형방지, 토압감소, 사면안정	액상화방지, 차수	폐기물 관리
탈수공법	지지력증대, 변형방지,	배 수	-

#### 5.1.3 토질조건에 따른 지반개량공법의 분류

연약지반을 안정화하기 위해서는 지반의 특성개선이나 보강재를 사용하여 개선할 수 있다. 모래나 자갈과 같이 소성이 없는 비점성토의 경우에는 다짐방법을 사용하여 개선할 수 있으나, 높은 함수비, 유기질 성분을 함유한 점성토의 경우에는 공극수 추출방법을 이용하여 지반을 개량할 수 있다.

적용하중, 현장조건, 시공기간 등과 같은 요소들을 고려하여 구조물 설계와 함께 지반개량공법들을 적용하기 위해서는 다양한 토질조건과 제반 문제들에 적합한 처리방법을 선정하는 것이 중요하다. 표 4에서는 토질의 종류별 지반개량공법의 적용성을 나타내었다.



표 4. 토질종류별 지반개량공법의 적용성

지반개량공법	적용가능한 토질	지반개량상태
보강공법	유기질토, 화산질 점토, 소성점토, 실트점토, 모래질토, 자갈질토	흙과 보강재 상호작용
혼합그라우팅	유기질토, 화산질 점토, 소성점토, 모래질토	교착
다짐공법	실트질토, 모래질토, 자갈질토	간극비 감소
탈수공법	유기질토, 화산질 점토, 소성점토, 실트질토	간극비 감소

- (1) 보강공법은 과거 수년간 지반개량 분야에서 지속적인 발전을 하고 있으며 특히 점성토에서 입상토까지 다양한 토질의 종류에 적용할 수 있다. 예를 들어 토목섬유는 연약점토와 충격피적지반개량에 효과적이며, 그라우트되지 않는 토질에서는 마이크로파일링(micropiling), 또는 네일링(nailing) 등이 효과적인 방법이다.
- (2) 혼합 그라우팅 공법은 경화작용으로 토질의 점착력과 강도를 증가시키는 것으로써 흙입자를 결합시키고 변형에 저항하기 위해 간극이 봉쇄되어 침식에 저항하고 침투수가 차단됨으로써 토체내의 물의 흐름과 팽창 문제를 어느정도 감소시킬 수 있다.
- (3) 다짐공법은 밀도를 증가시키기 위해 지반에 에너지를 가하는 것으로써 이러한 공법은 실트질흙, 모래질흙, 입상토와 같은 투수성이 좋은 지반에 적합하다. 이 공법을 입상토에 적용할 경우 입자간의 조밀화에 따른 침하와 공극이 감소되고 입자들간의 마찰력을 증대시킨다.
- (4) 탈수공법은 간극의 체적감소를 유도하여 간극으로부터 물을 분산하기 위해 높은압력(선행중)을 작용하여 배수시킴에 의해 지반이 압밀되면서 개량되는 공법으로 높은 함수비, 유기질 성분을 가지는 두꺼운 연약점토층에 적합하다. 또한 이 방법은 지반개량을 하는데 소요되는 시간을 줄이기 위하여 샌드드레인과 페이퍼 드레인과 같은 수직배수장치와 함께 사용되어지면 더욱 효과적이다.

그림 6은 지반개량 공법의 선정 흐름을 보여주며, 아래의 도표를 활용하여 알은지반, 깊은 지반에서의 개략적인 적절한 시공방법들을 선정할 수 있다. 그러나 실제 현장에서 적합한 공법을 선정할 때에는 그외의 특별한적인 요소들을 감안하여 선정하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 그림 7에는 토질의 입경에 따라 사용가능한 지반개량공법을 개괄적으로 나타내었다.

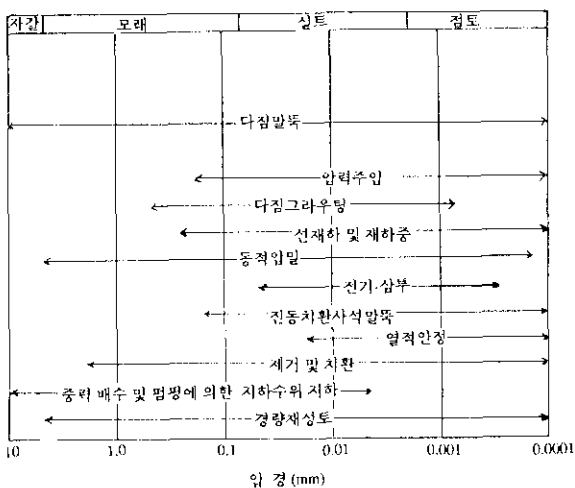


그림 7 입경에 따른 연약지반 처리기법 분류

그림 7에 보인 바와 같이 다짐말뚝, 동적압밀, 경량재성토 공법 등은 점토, 실트, 모래, 자갈 등과 같이 넓은 범위에 사용 가능 하며, 동적압밀, 세기 및 치환, 경량재성토 공법 등은 점토-모래 정도 입경을 갖는 토질에 적용 할 수 있다. 그러나 중력배수 및 펌핑에 의한 지하수위저하 공법은 점토와 세립실트 입경으로된 토질에는 부적합한 것으로 나타나있다. 대부분 연약 지반은 실트, 점토로 이루어져 있으며, 이들 입경 정도에 적용 가능한 개량 공법들로서는 압력주입, 다짐그라우팅, 선행제하 및 재하중, 전기-삼투, 열적안정 공법 등을 들 수 있다.

5.2 준설에 의한 매립지반 개량공법의 종류 및 특성

인공섬을 건설하기 위한 지반조성 방법으로는 대부분 준설토에 의한 매립방법을 채택하고 있다. 여기에서는 매립에 의한 지반을 개량 하기 위한 공법들을 들고 각각의 특성을 조사, 분석 하였다. 현재까지 개발된 이들 공법들은 동다짐, 침투압밀, 선행제하 공법 등 18 가지로 분류되는데 일반적으로 많이 사용되고 있는 지반개량 공법들의 원리는 크게 다짐 및 진동, 그라우팅, 침투력, 건조수축, 적류전류, 안정제 첨가, 하중제하, 충격파, 겔 또는 고형 침전물 등을 이용하여 공법을 선정 하기 위한 고려 사항별 특징을 살펴보면 다음과 같다

- \* 적용 가능한 토질의 종류 : 모래질 흙에서는 표면다짐, 펌핑에 의한 탈수, 폭파, 진동탐침, 진동다짐, 그라우팅 공법 등이 적합하며, 점토질 흙에서는 표면건조, 다짐말뚝, 진동치환쇄석말뚝, 선행제하공법, 서차지공법 등이 적합하다. 또한 실트질 흙에서는 전기-삼투, 침투압밀, 다짐말뚝, 케미칼 그라우팅 등의 공법이 사용되어 질 수 있다.
- \* 최대 처리 유효 깊이 : 그라우팅을 이용한 지반개량은 처리 깊이에 관계없이 사용되어 질 수 있으나, 진동다짐은 30 m, 폭파공법은 30 m 이상, 선행제하 및 서차지 공법은 15-30 m, 다짐말뚝, 혼합탈수말뚝공법은 20 m 이상, 진동탐침 및 진동치환쇄석기등은 20 m, 펌핑에 의한 탈수공법은 7 m, 표면건조공법은 1-7 m 정도의 지반개량이 가능하다.
- \* 사용재료 : 공통적으로 많이 사용되는 재료는 자갈, 쇄석, 입상토, 물 등이며, 폭파 및 흙 케이싱은 폭파공법, 성토재아래의 지하 배수 시스템은 침투 압밀공법, 알루미늄, 웰포인트 등은 전기-삼투공법 등에 주로 사용된다.
- \* 활용장비 : 믹서, 탱크, 호스, 노즐, 제트 등은 그라우팅 관련 계량공법에 많이 사용 되어진다. 로울러, 불도우저 등은 표면 다짐 시 주로 사용되며, 바지선, 수정다짐장비 등은 수면하 표면다짐공법, 크레인 등은 진동다짐공법, 진공배수장치 및 침하게 등은 선행제하공법, 침하게 및 피조메타 등은 서차지공법 등에 사용 되어진다
- \* 개량 지반의 특성 : 일반적으로 지반개량을 함으로써 높은 밀도, 강도 증가, 압축성 및 함수비 감소 등의 공통적인 효과를 얻을 수 있다. 또한 케미칼 그라우팅, 특수 그라우팅 공법 등을 사용함으로써 상기의 효과 외에 액상화 방지 효과를 동시에 기대할 수 있으며, 동다짐, 진동다짐, 다짐말뚝, 표면다짐 등은 양호한 균등성을 확보할 수 있다.
- \* 공법별 장, 단점 : 시공이 간단한 공법으로는 표면다짐, 진동탐침, 동다짐, 선행제하공법 등이 대표적이다. 이들 공법들중 진동탐침 방법은 견고한 지반에서는 관입이 곤란하며, 표면 다짐의 경우 건조 상태에서 작업이 가능하다. 동다짐공법은 대규모 처리 면적에 적합하고, 선행제하공법은 확고한 이론이 정립된 반면 처리 시간이 길다. 성토제하가 불필요한 공법으로는 전기 삼투, 침투압밀 공법 등이 있다.
- \* 공 비 : 현장 여건에 따라 단적으로 평가 하기는 어려우나, 일반적으로 단가가 높은 공법들로는 그라우팅, 전기-삼투, 혼합탈수말뚝 등이며, 저렴한 공법은 표면다짐, 폭파, 표면건조, 동다짐, 선행

재하 공법 등이며, 현장 재반 여건에 따라 진동치환 채석 및 모래 기둥, 다짐말뚝 공법 등은 단가에 상당한 차이가 있다.

지반 개량 공법별 주요특징을 종합 정리하면 표 5와 같다.

표 5. 준설에 의한 매립 지반개량공법의 특성

개량공법	원리	적합한 토질의 종류	최대유효 처리깊이	사용재료	활용장비	개량된 지반 특성	장·단점	공비
표면다짐 (Surface compaction)	포설된 성토층을 다짐	깨끗한 모래 (#200체 통과량 < 15%)	-	-	* 로울러 * 불도우저	* 양호한 균동성 * 높은 상대밀도	* 시공간단 * 경제성 * 건조상태에서 작업가능	저렴
수면하 표면다짐 (Underwater surface compaction)	포설층 성토표면을 다짐	깨끗한 모래 (#200체 통과량 < 15%)	-	-	* 탭퍼가 장착된 바저선 * 수중다짐장비	* 균동성 확보 * 높은 상대밀도	* 시공간단 * 경제성 * 건조상태에서 작업가능	저렴
펌핑에 의한 탈수 (Internal dewatering by pumping)	침투력에 이용한 밀도증가	깨끗한 모래	7 m	-	* 흡입탐침 * 흡입펌프	* 밀도증가	* 개발초기 단계	
표면건조 (Surface drying)	건조수축에 의한 밀도, 강도증가, 압축성 감소	연약한 점성토	1~7 m	-	-	* 높은 강도 * 낮은 압축성	* 처리깊이의 제약 * 타설 및 지반개량 속도 느림	저렴
폭파 (Blasting)	충격파와 진동에 의해 역상화 및 변형을 유도하여 인위적인 침하를 발생시켜 높은 강도 유지	깨끗한 모래 (#200체 통과량 < 15%)	> 30 m	폭약 출 케이싱	* 제프, 드릴 장비	* 시간변화에 따라 밀도, 강도 증가 * 70~80%의 상대밀도	* 빠른 시공 * 개량면적 제한없음 * 지표면 근처 지반 개량 효과 저하	저렴
진동탐침 (Vibratory probe)	진동에 의한 조밀화 역상화에 의한 수중 침하유도	깨끗한 모래 (#200체 통과량 < 15%)	> 0 m	-	* 진동말뚝 드라이버 * 로브 탐침	* 80%의 상대밀도 유지	* 급속시공 * 시공간단 * 견고한지반 관입관란	보통
동다짐 (Dynamic compaction)	* 지반의 고강도 충격력을 반복 적용	비점성토 폐기물 매립지	15 m	-	진동이 있는 100t 이상, 큰 용량의 크레인	* 균동성 증가 * 개량효과 깊이에 따라 감소	* 단순, 급속시공 * 세립토에 적합 * 대규모 처리 면적에 적합	저렴
진동다짐 (Vibro-compaction)	* 진동과 다짐에 의한 조밀성 증대	깨끗한 모래 (#200체 통과량 < 20%)	-	일상토	바이브로프로트 크레인, 펌프	* 높은 상대밀도 * 양호한 균동성 * K <sub>0</sub> 증가	* 균동성 증대 * 개량효과 극대	보통
다짐말뚝 (compaction pile)	말뚝체의 변형과 진동에 의한 조밀성 증대	깨끗한 모래, 실트질 모래, 점토질 모래	30 m	말뚝재료 (시멘트, 모래 또는 흙)	파일 드라이버, 모래 밀봉장비	* 높은 밀도 * 적절한 균동성 * 보강재로서 말뚝작용	* 세립토에 적합 * 균동한 다짐형성 * 지표면 근처(1~2m) 개량효과 저하 * 결과 check 간산	보통~ 높음
진동치환채석 및 모래기둥 (Vibro replacement stone and sand column)	연약 지반에 구멍을 뚫고 모래 채움.	연약한 실트질, 점성토	> 20 m	자갈, 채석	바이브로프로트 크레인	* 지지력 증대 * 침하 감소 * 기둥이 보강재로 작용	* 선형 압축 보다 빠른 시공성 * 제한된 지지력 * 불충분 제거하거나 대체하기 위한 배수 불필요	보통~ 높음
선행재하공법 (preloading)	부지조성에 앞서 연약지반내의 침하를 유발하여 중하중을 가함	점성토	15-30 m	성토재나 선행채하 재료 : 중하중 배수관 가능	* 토사운송장비 * 진동배수장치 * 침하계	* 함수비, 간극비 감소 * 강도 증가	* 시공간단, 취급호환 * 이음점 필요 * 장기간 소요	저렴
서차지 (Surcharge fill)	침하기간의 단축을 위해 성토재층을 두껍게 하고 제거	점성토	15-30 m	성토재나 선행채하 재료 : 배수관 가능	* 토사운송장비 * 침하계 * 피조메터	* 함수비, 간극비 감소 * 강도 증가	* 선행하 보다 빠른 시공성 * 이음점 시간 단축을 위해 수직배수 사용	보통

(계속)

개량공법	원리	적용토질의 종류	최대유�효 깊이	사용재료	활용장비	개량된 특성	장·단점	공비
전기-삼투 (Electro-osmosis)	직류전류가 음극에 부착되어 양극으로 이동하는 과정에서 양극에 부착된 수분은 이온의 이동에 의해 수분을 제거	연약한 실트 및 점토	-	일루미늄, 웨일 포인트	직류공급장치, 배선, 동력장치	* 함수비, 압축성 감소, 강도증가	* 성토재가 필요없음 * 제한된 깊이 * 점성액 부적합	높음
침투압밀 (Seepage consolidation)	침투력이 압밀유도	연약한 점토	-	성토재, 배수 시스템	펌프	* 함수비, 압축성 감소, 강도증가	* 성토재가 필요없음 * 침투도가 다름 * 장기간	보통
구조식 성토 (Structural fill)	성토재가 기초와 수평으로 연결되어 하중을 분산시켜 유도를	연약한 점토질에 사용	-	모래, 자갈, 비석, 석회, 슬래그, 시멘트	혼합 및 다짐장비	* 지지력 증대	* 높은 강도 발현 * 적절한 하중분포	저렴 ~ 높음
혼합타설말뚝 (Mix-in-place pile & wall)	건조수축에 의한 밀도, 강도 증가, 압축성 감소	연약하고 느슨한 실트, 매립지반에 사용	< 20 m	시멘트, 석회, 아스팔트, 인장재	* 드릴 리프트, * 로타리 커팅, * 믹싱 헤드	* 고강도 흙, 파일, 벽체	* 인접한 흙 사용 * 품질관리 곤란	높음
특수 그라우팅 (Particular grouting)	충격파와 진동에 의한 압상화 및 인위적 높이를 얻는다	깨끗한 모래, 자갈	제한없음	그라우트, 물	* 믹서, 탱크, 펌프, 호스	* 액상화 방지, * 고강도 유지	* 준위도에 국한 * 용량개항 평가 곤란	저렴
케미컬 그라우팅 (Chemical grouting probe)	진동에 의한 조밀화 및 압상화에 의한 수축	중간 정도의 실트, 점토	제한없음	그라우트, 물	* 믹서, 탱크, 호스, 펌프	* 불투수성 형성, * 액상화 방지	* 낮은 점성 * 침투개항 평가 곤란	높음 ~ 높음
다짐 그라우트 (Compaction grout)	고압력으로 팽망한 후 레디얼 하이드로 그라우트를 적용시킴.	* 불균질, 압축성 * 불규칙한 실트, 매립 * 연약한 재료 * 느슨한 구조 * 기초지반	제한없음	혼합 시멘트	* 배치장비, * 고압력 펌프	* 압축된 지반내에 그라우트 구조 형성	* 큰 규모의 채움과 * 낮은 부피가 * 사용 시 주의요망	높음
제트 그라우팅 (Jet grouting)	배수 속도 분사정수제에 의해 형성	모래, 실트, 점토	제한없음	그라우트, 물	* 믹서, 탱크, 펌프, 호스	* 불투수성 형성, * 액상화 방지	* 낮은 점성 * 침투개항 평가 곤란	높음

## 6. 요약 및 결론

본 논문에서는 인공섬의 토질공학적 문제점을 고찰하기 위한 것으로 국내외의 인공섬 관련 자료와 해양 및 해저 지반 조사 자료를 수집, 분석함으로써 인공섬을 이해하고 해양지반의 공학적 특성을 파악하였으며, 인공섬 건설시 지반공학적 문제점과 함께 지반개량공법의 선정 방법을 제시하였다.

세부항목에 대한 결론은 다음과 같다.

\* 인공섬이라는 용어를 최초로 사용한 일본의 시나가와다이바(品川岬, 1853-1854) 이래 네덜란드의 노들담 유로포트 인공섬, 프랑스의 뤼스 공업항 인공섬, 오스트레일리아의 보다뉴 항 인공섬, 브라질의 아리아부랑카 인공섬, 미국의 호놀룰루 공항 인공섬, 일본의 오오사카 북항 인공섬 및 관서국제공항 등의 인공섬이 축조되면서 인공섬의 용도도 간척 및 공업단지에서 해양도시, 자원개발지, 폐기물 처리장, 해양개발지, 국제 금융시장, 국제 부역기지, 해상공항 및 관광단지등 다양하게 나타났으며, 현재에는 단일 기능보다는 복합기능을 갖춘 인공섬을 건설하는 추세이다.

\* 인공섬 축조형식은 여러가지가 있으나, 인공섬 건설 현황조사에 따르면 일반적으로 매립에 의한 방법으로 축조되고 있으며, 석유개발지 등에서는 부체식도 찾아 볼 수 있다. 이러한 인공섬은 해안에서의 이안거리가 주로 5 km 이내에 축조되고 있으며, 면적은 0.3 만 m<sup>2</sup>에서

7,300 만 m<sup>2</sup>까지 다양하고, 공사기간은 대체로 10 년전후가 대부분으로 나타났다. 한편 매립에 의한 인공섬 건설 현황에 의하면 수심은 10~20 m내외로 해저지반이 대부분 실트, 모래 및 연약 점토층으로 구성되어 있고, 준설 매립이 주류를 이루고 있으며, 건설 잔토와 석탄회애에 의한 매립 경험도 있다.

\* 해저 지반은 주로 층적세와 홍적세의 하천 및 빙하에 의한 퇴적토로 이루어져 있으며, 세계의 해양 및 해저토의 주요 퇴적물은 석회질연이 48 %, 점토 43 %, 규산질연이 6 %, 화산회 3 %로 나타났다.

\* 한국 해저지반의 지형 및 지질학적 특성 :

서해안의 경우 대륙붕 면적은 30 만 km<sup>2</sup>이며, 세립질 퇴적물로서 표층은 실트, 점토와 모래가 넓게 분포되어 있으며, 깊이 150 cm내외의 퇴적물의 경우 남쪽으로 갈수록 점토질 실트에서 실트질 점토로 변하고 대부분의 경우 수심은 100 m이내의 평탄한 해저면을 이루고 있다.

남해안의 경우는 대소의 섬들이 산재하여 한국의 총 도서중 60 %를 차지하고 있으며, 표층은 거의가 점성토와 사질토로 구성되어 있고, 제주도 근해의 평균 수심은 120 m와 대한해협 200 m 수심을 제외하고는 대부분 100 m이하의 수심을 이루고 있다.

동해안의 경우는 대륙붕의 면적이 좁으며, 3,000 m 이상의 심해부가 약 30 만 km<sup>2</sup>나 되어 평균 수심은 1,530 m에 이른다.

\* 한국 해안퇴적토의 물리적, 역학적 특성으로 자연함수비는 서해안 14.6~68.7 %, 남해안 15.6~148 %, 동해안 64~226 %의 범위로 나타났

으며, 초기간극비는 서해안 0.565~2.283, 남해안 0.514~4.450, 동해안 2.880~5.640의 범위로 나타났다. 이들은 통일분류법으로 CL, CH, ML, OH가 주류를 이루며, 분포상태는 불규칙하게 나타나있다. 또한 일축압 축강도는 대부분 0.01~0.50 kg/cm<sup>2</sup>이며, 예민비는 1.0~20.8, 점착력 c'는 0~0.65 kg/cm<sup>2</sup>, 내부마찰각  $\phi'$ 는 0~35° 범위로 나타났고, 압밀 시험에 의한 압축지수는 0.077~0.800의 범위로 나타났다.

토질공학적 문제점으로는 퇴적형태, 압밀상태, 지반의 동적 현상, 지반내 가스 및 전해질의 영향 등을 들 수 있으며, 매립에 의한 인공섬 건설시에는 지반지지력, 침하, 호안형식, 재채 및 호안의 활동과 역상화에 의한 안정성등을 확보하여야 하는 문제점을 가지고 있다.

이러한 지반공학적 문제점을 해결하기 위하여 현장 조건에 따라 적합한 지반개량 공법의 선정 방법에 대하여 기술하였으며, 특히 준설에 의한 매립지반 개량 방법에서 고려되는 토질 종류, 사용재료, 활용장비, 개량지반의 특성, 공법별 장·단점 및 공비 등에 대하여 각각의 공법별 특징을 비교, 분석하였다.

#### 참고문헌

1. 교통부, "수도권 신국제 공항 기본설계 부지조성 보고서", 1992
2. 교통부, "수도권 신국제 공항 기본 설계 토질조사 보고서", 1992
3. 부산발전진흥기획단, "해상 신도시 건설", 1992
4. 국토개발 연구원, "대단위 간척사업사례의 평가분석", 1986.7
5. 국토개발 연구원, "간척지원실태분석 및 활용방안연구", 1982.12
6. 유연택, "우리나라 서남해안에 분포하는 충적점토의 토질특성에 관한 연구", 강원대학교 대학원 농학박사 학위논문, 1988.8
7. 과학기술처, "한국해역 종합 해양자원도 작성연구-황해·봄·가을 겨울철-", 1986.6

8. 과학기술처, "한국해역 종합 해양자원도 작성연구-남해(예비조사)-", 1987.7
9. 김사한, "한국해성점토의 분포 및 공학적 특성에 관한 연구", 동국대학교 대학원 공학 석사학위 논문, 1987.12
10. 송만순, "우리나라 해성점토의 계 토질계수의 상관 관계", 한양대학교 산업대학원 공학 석사학위 논문, 1988.6
11. 포항종합제철주식회사, "산업폐기물 매립기본설계-토질조사보고서", 1991.3
12. 포항종합제철주식회사, "광양제철소 부지조성을 위한 침하안정관리 '83보고서", 1983.12
13. 한국토지개발공사 기술연구소, "연약지반처리공법연구", 1987.14. 임영준, 이종모, 신동수, "간척공학", 한국농촌환경개발연구소, 1982.5
15. 한국토지개발공사, "연약지반침하안정관리용역-침하안정관리 종합보고서", 1991.4
16. 한국토지개발공사, "군산산업기지 개발조성사업-토질조사보고서", 1989.11
17. 한국토지개발공사, "군산산업기지 개발조성사업-토질조사보고서(부록-실내시험보고서)", 1989.11
18. 한국토지개발공사, "대불산업기지 개발조성사업-토질조사보고서", 1990.9
19. 한국토지개발공사, "대불산업기지 개발조성사업-토질조사보고서(부록-실내시험보고서)", 1990.9
20. 한국건설기술연구원, "인공섬 건설시의 침하관리 시스템", 건설기술정보지, 1992. 9.
21. 일본 운수성, "히네다 신국제 공항", 1992
22. 일본 운수성, "관서 국제공항", 1992
23. 일본 토목학회, "해양 토질", 1979
24. 일본해양개발 건설 협회, "인공도 시공계획 지침서", 1987
25. 일본해양개발 건설 협회, "인공도 시공기술", 1984
26. 일본토목학회, "인공도의 시공기술", 1991
27. R.H.A. van Duin and G. de Kaste, "The pocket guide to the Zuyder Zee project", 1989.1