

# 준설매립 연구 및 기술동향

준설매립기술위원회

## 1. 서론

우리 나라는 국토의 효율적 이용을 목표로, 남해안을 2000년대를 향한 신 산업지대로 개발 육성하여 경제성장에 따른 공업용지 및 주거용지와 공항, 항만 등의 늘어나는 수요를 충족하고자 해안매립을 통한 부지개발을 활발히 진행하고 있다. 영종도 신공항, 새만금 간척사업, 울촌공단, 아산공업단지, 광양 컨테이너부두, 부산 신항 개발등이 그 예라 할 수 있다.

준설매립에 의하여 형성된 지반은 퇴적형성 연대가 짧기 때문에 지반이 덜 고결되어 강도가 약하고, 준설과정에서 입자가 분급되어 같은 크기의 입자끼리 한 곳에 모이려는 경향을 가지고 있다. 또한 해저지반은 육상지반과는 달리 해수와 그 운동, 퇴적양식 차이로 인한 흙 구조에 대한 영향과 이로 인한 압밀진행중인 지반형성, 쇄굴과 파랑에 의한 영향 등으로 특이한 공학적 특성을 갖으며, 건설공사에 있어서 많은 문제점을 안고 있다. 또한 공사로 인한 환경에 미치는 영향을 최소화 하는 것이 필요하다.

본 고에서는 준설 매립 장비의 개발, 환경친화적 준설 및 준설토의 활용, 준설토의 침강 및 퇴적, 자중압밀 과정에 대한 이론적 연구, 초연약지반의 전단강도 산정, 표층처리공법 개발 등 최근에 국내, 국제적으로 폭넓게 이루어져온 최근의 연구동향과 신기술들에 대하여 소개한다.

## 2. 침강 및 자중압밀에 대한 연구와 과제

현장에서 압밀해석을 위해 일반적으로 쓰여지고 있는 Terzaghi의 압밀이론식은 흙의 압밀현상을 이론적으로 표현하기 위하여 여러 가지 가정을 포함하고 있으며 그 중 간극비와 유효응력의 선형적 관계, 압밀이 진행되는 동안 일정한 투수계수, 그리고 미소변형(Infinitesimal Strain)이라는 세 가지 가정이 중심이 되고 있다. 이러한 가정하에 유도된 Terzaghi의 압밀이론식으로 커다란 침하량을 보이는 연약지반의 압밀거동을 해석하는 것은 현장조건과 기본가정의 불일치로 인해 적절하지 않다고 판단된다. 따라서, 커다란 압밀침하량이 예상되는 연약점토의 일차원 압밀거동을 해석하는데 유효응력-간극비-투수계수의 구성관계의 비선형 거동과 압밀에 따른 변형률의 영향이 고려된 유한변형 압밀이론의 사용이 요구된다.

표 1. 향후 준설매립 분야의 연구 내용

분 야	내 용
침강 및 퇴적, 자중압밀 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비소성 준설토의 모델링</li> <li>· 모래함유량에 따른 준설토의 모델링</li> </ul>
체적비, 자중압밀 침하량 산정	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 준설방법/토출구 위치에 따른 체적비 산정</li> <li>· 모래함유량에 따른 체적비 산정</li> <li>· 체적비 산정방법의 현장 적용성</li> <li>· 저용력 단계의 구성관계 설정</li> <li>· 토출구에서 거리에 따른 체적비의 변화</li> </ul>
전단강도	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모래함유량에 따른 전단강도 특성</li> <li>· 압밀침하량과 전단강도 관계</li> <li>· 비배수 전단강도의 효율적 측정과 신뢰성 검증</li> <li>· 매립시간별, 심도별 전단강도의 변화</li> </ul>

준설매립 분야와 관련하여 준설매립지반의 침강 및 퇴적, 자중압밀 과정에 대한 기본적 연구를 바탕으로 준설매립현장의 체적비 산정, 초연약지반의 전단강도 산정, 표층처리공법 개발 등의 폭넓은 분야의 연구가 수행되었다. 지금까지의 연구성과를 토대로 하여 표 1의 내용에 대한 연구가 추후 수행되어야 한다고 본다.

우리는 현재까지 많은 매립공사를 수행하면서 매립기술을 축적해왔지만 앞으로 공사여건이 더 나빠지고 환경오염 등의 여러 가지 기술적 문제에 부딪치게 된다는 것을 충분히 예상할 수 있다. 최근 제기되는 환경문제로 인해 준설매립 공법 적용시 이를 고려한 설계가 진행되고 있지만 환경친화적인 국토의 효율적 이용을 극대화하기 위하여 더 많은 관심과 연구가 수행되어야 할 것이다.

또한, 연약지반에 대한 안정처리를 위해 많은 공법이 도입되어 적용되고 있지만, 대부분의 공법이 외국으로부터 도입되어 많은 기술을 배우는 실정이다. 물론 이러한 기술도입도 중요하지만, 국내의 여건에 적합한가를 충분히 검토한 후에 적용하는 것이 매우 중요하다. 특히, 준설매립공법을 이용하여 부지를 조성하는 경우 준설, 투기 및 지반의 안정화 처리단계까지의 전 과정에 있어서 아직도 외국의 기술을 그대로 답습하고 있는 형편이다. 따라서, 시공의 정확성과 경제성을 도모하기 위해서는 국내 실정에 맞는 공법 및 기술을 개발해야 한다.

### 3. 준설기술의 발전

#### 3.1 대수심 대규모 준설선

준설 방법은 크게 펌프 준설과 Grab 준설로 나눌 수 있다. Pump 준설은 Pump 준설선으로 해저면의 토사를 물과 같이 흡입하여, 압송 Pipe를 사용하여 매립지까지 운반하는 방법이다. Pump 준설의 장점은 매우 경제적이며, 해저면의 교란이 적은 장점이 있다. Grab 준설은 해저의 토사를 Grab로 채취하여 토운선으로 매립 예정지까지 운반하는 방법으로 다음과 같은 경우에 주로 사용된다.

- ① 운반거리가 긴 경우 Pump 준설로는 장거리 압송에 한계가 있음(최대 4km 정도)

- ② 채취한 흙이 고함수비로 되는 것을 원하지 않을 경우
- ③ Pump 준설에서 이용되는 것과 같은 정도의 대용량의 매립지 확보가 곤란한 경우
- ④ Pump 준설시 발생하는 대용량의 여수 처리가 불가능 할 경우

Grab 준설은 굴착시 해수면의 오탁이 발생하므로 이에 대한 대책이 필요하고, 시공 효율면에서도 Pump 준설보다 떨어진다. 상기 방법 외에 준설토를 Hopper에 담아서 투기장(매립지)까지 이동하여 투기(매립)를 하는 Hopper 준설이 있으나, 준설 방법 측면에서는 Pump 준설과 같으며, 준설토 운반 및 매립 방법은 Grab 준설시 적용하는 방법과 거의 유사하다고 하겠다.

준설토의 운반은 Pump 준설한 것을 Pipe로 압송하는 방법과 토운선으로 운반하는 방법, 또는 Hopper Dredger로 운반하는 방법이 있다. Pump 준설에 의한 운반은 Pipe 압송 외에는 방법이 없으며, 토운선으로 운반하는 방법은 Grab 준설에 한정된다. 효율면에서는 Pump 준설이 압도적으로 우수하나 주변에 사토장이 확보되지 못하는 경우에는 토운선이나 Hopper를 이용하는 방법 외에는 방법이 없다.

최근 대수심의 해저에서 모래를 채취하여 매립을 하는 공사가 국내에서도 다수 시행되고 있으며, 채취 위치도 육지에서 100km 이상 떨어진 원거리에서 이루어지고 있다. 이와 같은 조건에서 모래를 채취하고 운반하기 위해서는 대수심에서의 준설이 가능하고 원거리 운반시 효율이 좋은 자항식의 Hopper Dredger를 이용하게 된다. 전세계적으로 100m 이상의 수심에서 준설을 할 수 있는 장비는

표 2. 대형 Trailing Suction Hopper Dredger 현황

업체명	장비명	용량 (m <sup>3</sup> )	홀수 (m)	준설심도 (m)	항해속도 (kn)	준설 Pipe (mm)	토출 Pipe (mm)
Jan De Nul	Vasco Da Gama (2000)	33,000	13.0/6.5	45/60/131	16.5	1400	1100
	Gerardus Mercator (1997)	18,000	11.51/5.05	97/105/112	15.2	1200	1000
Van Oord ACZ	Volvox Terranova (1998)	20,015	11.2	10/101	19.0	1000	1000
Dredging International	Nile River	17,000	10.42	110	16	1200*2	1100
	Pearl River	17,000	10.42	110	16	1200*2	1100
Ballast-Ham	Ham318(2001.12)	23,700	13.0	110	17.3	1200	
	Rotterdam (2001.08)	21,500	11.33	40/60/110	15.9	1200*2	1000
	Amsterdam (1996)	18,000	10.0	70	15.0	1100*2	1000
Boskalis International	Queen of Netherlands	23,347	12.98	56/120	16.7	1200*2	
	WD.Fairway	23,347	12.98	55/80/120	16.7	1200*2	
Penta Ocean	Queen of Penta Ocean	20,000	10.5	30/40/60	16.5		

10대 미만으로 표 2와 같은 Hopper Dredger가 주를 이루고 있다. 통상 Hopper Dredger는 좌우측에 2개의 준설 Pipe를 장착하고 있으나 대심도에서 준설을 가능케 하기 위해서는 1개의 준설 Pipe 만을 사용하게 된다. 표 2에 나와 있는 장비 중 Gerardus Mercator와 Queen of Netherlands는 부산신항 공사에 투입되어 현장에서 105km 떨어진 위치에서 수심 100m 이상의 심도에서 모래를 채취하여 직접 부지에 매립하는 능력이 준설선 1대당 월 750,000m<sup>3</sup>에 이르고 있다.

### 3.2 수질을 오염시키지 않는 진공흡입준설공법

최근 호소, 하천, 항만 등으로 유입된 퇴적오니로 인한 수질오염이 점차 가속화되어 자정능력을 상실한 호소와 하천, 댐 등에서는 부영양화현상으로 심층부의 산소고갈, 저서생물의 고사, 독성물질을 생성하는 남조류의 출현에 따른 어패류의 피해 및 상수원지역의 정수장에 등 각종 환경문제로 경제적인 피해가 증가하고 있다. 이를 해결하기 위한 대책으로서 내부오염원인 오니토를 수질환경보전차원에서 제거해야만 하는 사례가 점차 증가추세에 있다. 퇴적오니를 준설하는 목적, 과정 및 처리방식이 보다 환경공학, 생태학적인 관점에서 환경준설 또는 박층준설이라는 용어를 쓰기도 한다.

지금까지의 준설에서는 퇴적오니토를 준설할때 발생하는 부유물질로 인하여 수중으로 많은 양의 오염물질이 확산됨으로서 준설하기 전보다 오히려 수질이 더 악화되기도 하였다.

그러나, 수질개선차원에서의 수저오니토를 회수하기 위한 오니전용준설장비인 진공흡입압송시스템을 이용한 선진 외국에서는 이미 관련 기술이 개발되어 호소, 하천 또는 항만, 저수지 등에 적용되어 수질개선에 매우 좋은 효과를 얻고 있으며, 국내에서도 저수지의 수질개선을 위해 이미 농림부 국책사업의 일환으로 진행되고 있으며, 이 시스템의 특징은 다음과 같다. ① 밀폐형 드럼어태치먼트 하부면에서 진공압으로 퇴적오니를 흡인함으로써 오니의 수중확산으로 인한 2차오염이 발생하지 않아 오탉방지막을 설치할 필요가 없다. ② 퇴적오니의 성상에 따라 65%~85%의 고탍니저함수비로 준설할 수 있어 준설오니토의 재활용이 용이하다. 또한 여수처리시설을 위한 부지를 최소화할 수 있다. ③ 박층준설도 가능하여 오염도층만 선택적으로 제거할 수 있다. ④ 퇴적오니는 원지반에서 처리장까지 압송관을 통하여 송니되기 때문에 현장주변에서의 악취발생이나 오니확산 우려가 없어 도심지 또는 민가인접지역에서도 효과적으로 작업이 가능하다. ⑤ 시스템 전체를 최소화하여 각 부분 별로 분할·육상이동이 용이하며, 협소한 장소에서도 조립·해체가 용이하다.

## 4. 매립 및 지반처리 기술

### 4.1 모래매립 기술

해상, 하천, 운하 등을 대상으로 수심이 얕아지는 것을 방지하거나 하폭을 넓히기 위해 행하는 수중굴착을 준설이라고 하며 단지조성을 위하여 연안해면이나 하구부근등의 얕은 곳에 준설토로 용지를 조성하는 것을 매립이라고 한다. 준설공사는 준설선에 의한 수중준설, 준설파이프 또는 준설선에

의한 준설토의 이동 및 매립공사로 구분된다.

모래를 준설할 경우 유보율은 70~95%의 변화폭을 갖고 있으므로 유보율을 향상 시키기 위해서는 가호안의 축조, 여수토의 위치와 높이, 배사관 거리조정 등의 철저한 계획수립 및 시공관리가 필요하다.

인천국제공항 1단계 공항건설 부지조성공사시 모래 준설 및 매립 시공사례를 간략히 소개하면 준설 토취장의 토질은 남해안에 퇴적된 고소성 점토와는 달리 주로 실트질 모래(SM) 및 실트질 점토(CL)로 구성되어 있으며 준설재료 가능성을 보이는 #200체 통과율은 대략 47.3%이다. 준설, 매립방법은 준설선의 능력, 매립계획 및 운반거리 등을 고려하여 12,000~20,000 마력 펌프 준설선의 760mm 배사관으로 연약 지반위에 직접 준설매립하였다. 매립두께는 2.0~6.1m 이고 준설매립토(모래) 품질관리기준은 노상의 경우  $t=2m$ , #200통과량은 15%이하이며, 노체는  $t=3m$  로서 #200 통과량은 25%이하이다. 준설매립층은 설계 지지력확보 및 액상화를 방지하기 위하여 유압해머다짐(직경 1.0m, 중량 10ton)을 실시하였고 다짐 관리기준은 Cone Penetration Test 결과 노상 $>20Mpa$ , 노체 $>15Mpa$  이다. 설계의 표준관입시험 N값에 따른 준설능력은 927~1,369 $m^3/hr$ 이었으나 현장 준설능력은 토취장의 퇴적상태가 불규칙하여 설계의 약 85%수준인 669~1,283 $m^3/hr$ 로 저하되었고 배송거리 또한 당초 10km에서 4.2~9.0km로 변경되었으며 유보율은 약 79%이다. 따라서 정확한 준설작업 능력 및 배송거리 산정은 N값에 의해 좌우되므로 유보율을 고려한 모래준설은 충분한 토질조사가 이루어져야 한다. 준설매립된 일부 구역은 준설시 토취장 재료가 불규칙하고, 매립시에는 배사관 토출구 유하거리가 길어 시방규정에 미달한 불량 준설토가 형성되었다. 따라서 이를 해소하기 위하여 불량토 상부에 양질의 준설재료를 매립하여 불량토와 혼합을 하거나 또는 불량토 부위를 준설수로 송수하면서 습지도저로 pushing하여 씻어내는 방법을 적용하였다. 준설매립 기간중의 계측빈도는 1회/1일 실시토록 시방서에 규정되어 있으나 준설매립 기간중에는 침하발생이 상대적으로 적고 연약 지반층의 과잉간극수압 주중 변화도 적으므로 1회/1주로 변경 조정하였다.

앞으로도 우리나라에 모래매립의 필요성도 요구되고 외국의 사례를 보다 검토하여 그 기술을 보다 발전시켰으면 한다.

1993년 현대건설에서 수주한 창이 동부지역 매립공사는 기존 싱가포르 창이 국제공항의 2개의 활주로에 연하여 제 3의 활주로를 건설하기 위한 부지조성공사로서, 계획부지의 지반조건은 지층의 약 35%는 실트폰드(Silt Pond)로 구성되어 있었으며 이 지역의 매립은 함수비가 150% 이상이고 전단강도가 거의 0인 상당한 두께의 초연약점토질 흙이 투기되어 있는 실트폰드이다.

실트폰드는 길이가 2,000m 이고, 폭이 750m 에서 1,050m인 55만평 넓이의 인공으로 조성된 연못의 일종이었다. 실트폰드내 침전물 평균두께는 15m 정도이고 아직 자중압밀이 진행중인 대단히 연약한 슬러리 상태이었으며, 특히 상부 5m는 전단강도가 거의 0에 가까운 초연약점토로서 일반적인 매립방법인 single point discharge나 dump filling method 등으로 시공이 불가능하여 특수한 시공방법이 요청되었다.

실트폰드의 슬러리는 이제 침전이 완료되어 함수비와 연계된 간극비가 매우 크고, 전단강도가 거의 없으며, 자중압밀이 진행중인 초연약지반으로 매립 중 아주 약간의 매립 높이의 차이가 지반의

파괴를 발생시킬 수 있다. 따라서 실트폰드를 지반파괴 없이 성공적으로 매립하기 위하여 모래살포 공법을 보강재와 함께 실트폰드 매립에 적용하여 초연약지반을 강제치환 없이 성공적으로 매립할 수 있었다.

실트폰드 매립은 모래 살포 장비를 이용, 모래를 얇게 전 지역에 고르게 살포하여 모래 두께가 6m 정도에 도달하면 직매립할 것으로 당초 계획되었다. 그러나 전 지역을 6m로 동일하게 살포하는 경우 많은 시간이 소요될 것으로 판단하여 최초 2m 두께는 전 지역에 고르게 모래를 살포하고 그 후 모래 두께가 점차 증가토록 살포하여 이 사이 구간에서 완만한 경사가 유지되도록 하였다.

모래 살포장비는 동일한 chainage를 따라 움직이며 50m 구간으로 모래를 살포하여 4~5회 반복 이동해서 (1회 이동시, 폭 50m 구간에 7cm 정도 두께의 모래가 살포됨) 모래층의 두께가 20~40cm 정도에 도달하면 다음 chainage로 50m 이동하여 계속 살포작업을 수행하였다. 전단파괴 규모를 단 시간에 확인하기 위하여 소형 폰톤을 이용, 전 구간을 100m 간격으로 wash boring 하여 살포 모래층의 두께를 조사하여 그 범위를 파악하였다.

#### 4.2 표층 처리 공법

최근 해안 인접지역에서는 준설토 투기장을 조성하여 항로 및 박지 준설시 발생하는 준설풀토를 투기하여 부지 조성하는 사업이 많이 시행됨에 따라 연약한 준설풀토의 개량방안이 중요문제로 부각되고 있다.

준설풀토지반을 개량하기 위해서는 인력 및 장비의 진입이 필수적이거나, 일반적으로 준설풀토로 이루어진 매립지반은 매우 연약하여 진입이 자유롭지 못한 상태이다. 따라서 준설풀 토투기후 초기에 부지를 조성하기 위해서는 표층처리공법의 적용이 필수적이다.

일본의 경우도 가호안을 만들어 Pocket을 형성하는 것은 동일하지만, 일본에는 SCP 해상 전용장비가 많다는 것이 다르다. 따라서, 일반토사로 매립을 하는 경우는 우리와는 달리 해상상태에서 승강식 Tremie관을 사용하여 부사(Sand Mat)를 포설하고 토사도 해상 전용선이 작업 가능한 심도까지 포설함으로써 원지반의 교란을 최대한 억제한 상태에서 신속한 작업을 한다.



그림 1. 부유식 연석매립공법(모래 및 토사 포설선) : Floating Conveyor

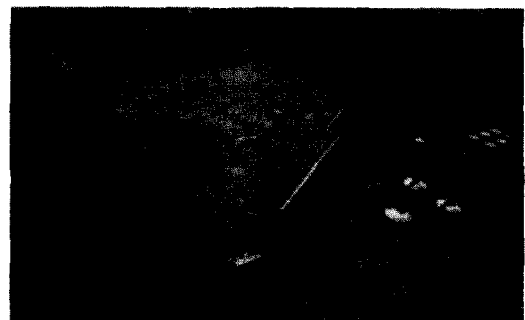


그림 2. 매립 공사 전경

표층처리공법은 연약층의 표층 일부를 석회계, 시멘트계 등의 안정제를 혼합하여 견고한 지반으로 형성하는 강도증가공법, 재료의 휨강성 및 인장강도를 이용하여 연약지반의 지지력 증대시키는 보강공법, 연약지반의 용기와 파괴 및 소성유동이 발생하지 않도록 Mat재료를 균일하게 박층으로 포설하는 균등재하공법으로 크게 나눌 수 있다. 표층처리공법인 강도증가공법, 보강공법 및 균등재하공법 중 신공법으로 근래 시공현장에 적용되기 시작하고 있는 공법에 대해 소개하고자 한다.

#### 4.2.1 표층 고화제에 의한 처리공법

본 공법은 준설향토지반의 표층 일부를 플라이애쉬계 또는 석회계 고화제를 혼합하여 견고한 지반을 형성하는 강도증가공법이며, 고화제에 따라 반응시간이 짧은것도 있어 처리후 즉시 장비의 진입이 가능한 것도 있으며, 환경에 영향을 적게 미치는 자연 친화적인 공법도 있어 현재 “광양항 3단계 1차 컨테이너 터미널 축조공사”에서 시공중에 있다(그림 3).

#### 4.2.2 대나무매트 공법

대나무 매트의 휨강성을 이용하여 상부 제체 하중을 균등재하하여 지반의 국부파괴 및 불규칙 침하를 억제하는 보강공법의 한 분야로서 매트 제작, 포설이 용이 하고 매트 포설후 즉시 장비의 진입이 가능하다. 시공사례로는 “여수시 묘도지구 배수로 호안 기초공사”와 “부산신항 북「권」 배후부지 호안 기초공사” 등이 있다(그림 4).

#### 4.2.3 고압건식 포설 공법

크레인에 배사관을 연결시킨 후, Air Compressor를 이용하여 건조된 모래를 균등 포설하는 공법으로 균등재하 효과가 우수하다. 건조모래의 최대 포설거리 150m까지 시공 할 수 있으며 부산시 시설공사 부지조성 표층처리 공법에 적용하였다(그림 5).

#### 4.2.4 컨베이어 벨트 포설공법

컨베이어 벨트를 이용하여 Mat재료를 운반하고 포설하는 공법으로 부지외곽에서 내측방향으로 공

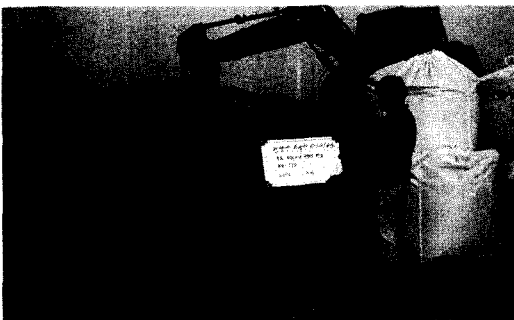


그림 3. 표층 고화처리 공법



그림 4. 대나무 매트 공법

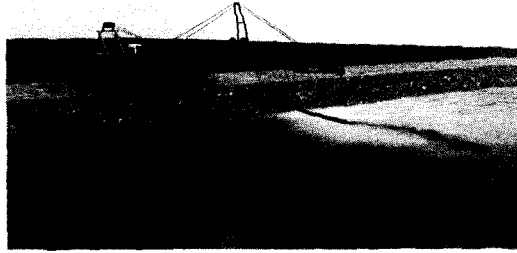


그림 5. 고압건식 포설공법



그림 6. 컨베이어 벨트 포설공법



그림 7. 크레인 릴레이 공법

사를 진행하며 외곽 장비의 작업범위내 포설작업이 끝나면 장비 진입이 가능하도록 접지압을 확보한 후 컨베이어 장비를 추가 투입하는 방식으로 점진적으로 부지 내측으로 Mat를 포설하는 공법이다. 컨베이어 장비를 사용함으로써 토사흐름이 원활하여 시공능률의 향상이 기대할 수 있으며 습윤상태의 재료 포설이 가능하다. 광양항 3단계 1차 컨테이너 터미널 축조공사의 표층처리 공법으로 시공중에 있다(그림 6).

#### 4.2.5 크레인 릴레이 공법

크레인과 호퍼를 이용한 공중 살포방식으로 부지외곽에서 내측방향으로 공사를 진행하는 방식으로 외곽의 크레인 작업범위내의 포설작업이 끝나면 장비의 진입이 가능하도록 접지압을 확보한 후 크레인을 추가 투입하여 릴레이 방식으로 Mat재료를 운반·포설하는 공법이다.

시공사례로는 창원 적현단지 싸이로 부지 조성공사, 진해 J시설공사 등이 있다(그림 7).

#### 4.2.6 소형 준설편프를 이용한 공법

부산항 4단계 공사시 적용했던 공법으로 상부층을 모래로 강제 치환하는 공법이다. 준설토의 처리지역이 대단위가 아닌 경우는 소형 준설편프를 사용하여 표층을 처리할 수 있다. 먼저 Mat (Geotextile 또는 Geo Grid)를 포설하고 상부에 모래를 준설편프로 인력 포설한 후, 장비 진입이 가능한 시점에 습지 도져 등의 토공장비를 진입시키는 방법이다.



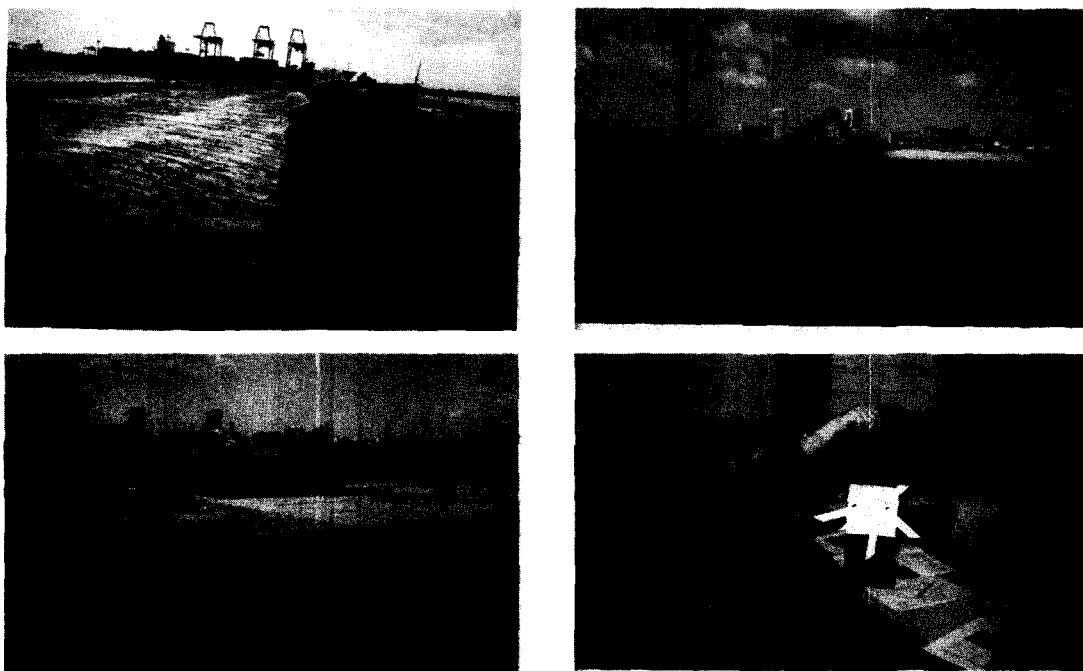


그림 8. Geo Grid 포설과 단계성토

#### 4.2.7 Geo Grid의 포설

준설토 상부에 2방향 Geo Grid를 인력 포설한 후, 소규모 장비로 토공을 하지만, 국내의 습지 도저는 다소 커서 무리가 따를 수도 있다. 바지를 이용한 Geo Grid 포설은 준설토를 해상 특수장비로 평탄작업을 한 후에, Geo Grid를 포설하고 초소형 습지 Dozer 등으로 복토하여 표층부를 안정시킨 후, 대형장비로 토공을 한다(그림 8).

#### 4.2.8 시멘트계 표층처리공법

1965년경 일본에서 시작된 방법으로 시멘트·석회·역청재료 등의 안정재를 사용하여, 현장에서 Floater가 달린 자주식의 Stabilizer(개량심도 1m 내외)로 혼합, 노반을 축조하는 공법이다. 연약지반의 표층을 대상으로 한 혼합처리방식으로 도로, 철도, 공항의 노상·노반 안정처리에 적합하다.

#### 4.2.9 Trench 굴착에 의한 표토층의 건조 촉진(PTM:Progressive Trench Method)

(주)현대건설이 여천공단에서 표층을 신속하게 건조시키기 위해서, 유럽에서 도입한 공법으로 원리는 마치 쟁기로 밭을 가는 것과 유사하다. 연약지반 상부에 Trench를 파면, 표면수의 유도가 쉽고 건조시키기가 용이하다는 점에 착안한 것이지만, 지반이 실트질이나 모래질이 많을 경우에 효과적이다.

#### 4.2.10 수평 드레인공법

준설토 등의 초연약지반의 수평드레인을 이용한 표층처리 공법으로 일본에서는 東洋건설이 특허

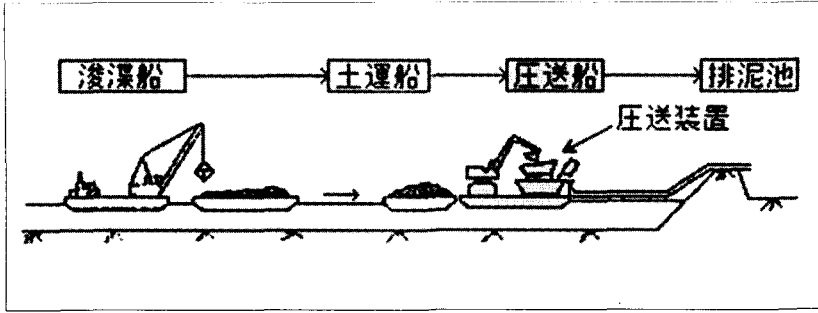


그림 9. Grab 준설선 흐름도

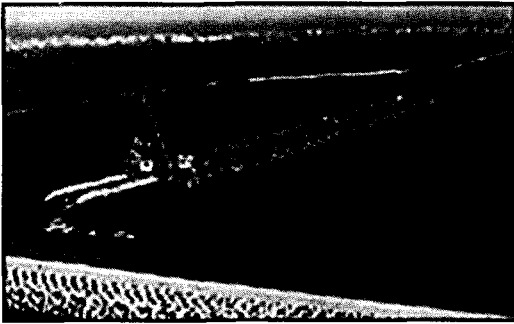


그림 10. 浮橋埋立法 (Floating Reclamation Method)

를 받았으며 국내에서는 (주)대우건설에서 2000년 5월 여천공단지역에서 현장시험을 실시하였다.

#### 4.2.11 Grab 준설

준설펌프가 아닌, Grab로 준설하여 함수비의 커다란 변화 없이 이송시켜, 추후의 표층처리 공법을 용이하게 하는 공법이다. 표층처리공법은 통상 Geo Grid를 포설하고 소형 트럭과 Dozer를 사용하여 복토한다. 이 공법의 준설비용은 다소 비싸다.

#### 4.2.12 浮橋埋立法(Floating Reclamation Method)

水 위에 대선을 띄워 연결하고, 덤프트럭으로 직접 토사를 매립지에 투입하는 공법이다. 이 공법은 Pump 준설에 의한 매립에 비하여 토사의 체적변화율이 적어서, 매립지에 많은 토사를 직접 넣을 수 있다. 그리고, 대선을 이동하므로, 토사의 투입장소를 자유로이 변경할 수 있어서, 비교적 균일한 토층을 갖는 매립지를 조성할 수 있다. 또한 해양 오염의 염려가 적으며 원지반 상에 다층으로 포설할 수 있고 매립고의 수위 변화없이 임의로 매립고를 조절할 수 있으며 장치가 단순하여, 고장에 의한 공사영향이 없다(그림 10).



그림 11. 사전 치환공법

#### 4.2.13 사전 치환공법

연약지반상 매립을 할 때, 사전에 구조물의 계획을 수립하여, 필요한 곳에 미리 soil-cement로 매립하여 강도를 확보함으로써 본 구조물의 구축기간을 단축하도록 한다. 준설매립지의 구조물이 들어갈 위치에 사전 계획적으로 soil cement를 채워서 추후 흙막이나 기초공사를 용이하게 한다(그림 11).

### 4.3 대심도 연약지반 처리

심도 50m까지의 지반개량에는 시공장비와 경제성 때문에 Vertical Drain 공법이 많이 적용된다. 세계적으로 50m 정도의 대심도 지반개량은 Singapore Changi 공항에서 Prefabricated Vertical Drain 공법이 많이 적용되었으며, 국내에서는 부산신항만 현장에서 최대 50m까지의 PBD를 시공하고 있다. 현재 PBD 타설기 12대를 동원하여 시공중에 있으며, 시공속도는 장비 1대당 월 200,000m의 시공 능력을 보이고 있다. 부산신항 북컨부두 및 배후부지만 총 7,000,000m의 PBD공이 설계되어 있으며, 이중에서 현재까지 북컨테이너 부두 지역에서 약 10,000,000m의 시공 실적을 보이고 있다. 부산신항만의 경우 타설 간격을 1.2m~1.5m로 하고 있으나, 50m에 달하는 대심도의 경우 수직도 유지상의 문제로 PBD 타설 깊이를 좁게 하여도 침하 속도는 비례적으로 증가하지 않는 문제점에 대해서는 향후 검증을 하여야 할 것이다.

## 5. 해양구조물 축조기술

### 5.1 부유식 방파제

선진외국에서는 기존의 중력식 방파제의 기능을 가질 뿐만아니라 연약지반상에서 그리고 심해역에서도 그 기능을 충분히 발휘할 수 있고, 자연환경의 보존이 가능한 새로운 형식의 경제적인 부방파제에 대한 연구 및 개발이 활발히 수행되고 있으며, 국내에서는 원전항 방파제에 설치될 예정이다.

조위차도 크고, 수심이 깊고 연약지반인 해역에 대해서는 건설비가 매우 싼 부방파제가 타당할 것이며, 특히 해수교환이 우수하기 때문에 항내의 수질개선 및 유지가 가능하므로 부방파제의 수요가



그림 12. 부유식 방파제 경관도

증대될 것으로 기대된다(그림 12).

## 5.2 해양공간 창출을 위한 인공섬 축조 기술

인구의 과다, 국토의 협소함, 환경친화형 공간창출, 기술집약형 신개념 신공간을 제공하여 국가경쟁력을 극대화시키는 전략을 구상함에 있어 해안/해양공간창출 기술개발은 현재 우리가 선택할 수 있는 최적의 대안이 될 것이며, 그 기술분야는 표 3과 같다.

우리나라는 12해리 기준으로 국토의 71.2%에 해당하는 영해를 확보하고 있어 제2의 국토공간을 가지고 있으며, 수심 20m 이내의 수역이 국토의 20% 정도의 크기로 존재하여 해양공간창출에 매우 유리한 조건을 가지고 있고, 11,000km에 달하는 해안선과 3,200여 개의 도서가 분포하는 지역적 특성이 연안 및 해상에서 신공간에 접근하는데 천혜의 여건을 조성하고 있으므로 인공섬 축조기술을 파악하고 이에 대한 장기적인 기획과 투자는 국가적인 차원에서 핵심적인 과제로서 추진되어야 할 것이다.

표 3. 해양공간개발 기술분야

연안개발	해양개발	해양에너지
1. 항만건설	1. 대형 해양육조물 축조	1. 조력 : 방조제 이용
2. 간척지개발	2. 부채식 해양구조물	2. 파력 : 발전장치개발
3. 임해공업단지	1) 부유식 교량	3. 해류조력
4. 인공섬건설	2) 부유식 보조항만	4. 온도차 이용
5. 인공도시	3. 해중터널	5. 태양에너지 발전시설
6. 해상비행장	4. 해상 플랜트	6. 해상소각로 및 발전설비
7. 해상저유기지	5. 자원탐사/생산 플랫폼	7. 해상저유기지
8. 종합해양레저공원	6. 수중도시	
9. 해상소각로 및 발전설비	7. 해양목장	
10. 해수 담수화시설	8. 해양 예보시스템 구축	
	9. 핵관련 폐기물시설	



그림 13. Los Angeles항의 항공사진(1987년)



그림 14. Los Angeles항의 개발 예상도

### 5.2.1 관련 기술개발 동향

해양공간개발 기술분야에 접근하기 위한 기술분야의 구분은 다음과 같다.

인공섬, 인공도시 < 수심 20m < 대형/부체식 해양구조물  
 (지반공학 기술) ↔ (기계/철강/조선 기술)  
 (연안역 해양공간) (심해역 해양공간)

따라서 국내연안에서 수심 20m이내의 수역을 활용하면 인공섬 축조를 통하여 국토의 20%정도를 해양공간 개발지역으로 활용할 수 있다.

국내에서의 해양개발관련 기술은 1997년 국가 해양기본도 작성 자료처리로부터 시작하여 1998년부터 해양환경분야 심층정보 데이터베이스 구축, 연안방재 구조물의 설계기술개발, 신항만개발 기반 기술 연구가 수행된바 있으며, 국내 대표적인 인공섬 개념의 해양개발사업은 영종도 신공항건설 사업의 예를 들 수 있다.

미국 Los Angeles항 인근의 경우 30여년의 장기 계획에 따라 주변 환경을 고려하여 항만정비 및 인공섬의 개발을 추진하고 있다.

인공섬 개발을 위한 사업 추진은 일본에서 가장 활발하게 진행되고 있는데 근년의 인공섬 건설사례로는 東京항 중앙방파제 내측 및 외측 매립지 조성사업, 大阪항 광역처리장정비사업, 木更津 인

표 4. 세계 각국의 대표적인 해상공항 사례

프로젝트명	제안자	공표연도	개요(규모, 구조방식)
SEADROME	E.R Armstrong	1924	- 대서양 횡단비행의 중계기지로 계획된 세계최초의 해상공항 - 반잠수식, 1370(L)×350(B) ft
NEWYORK Offshore Airport	L.Lerner & M.A. Graham	1973	- 뉴욕의 연안 5마일에 해상공항 설치 - Pontoon방식
관서국제공항 1기 공사	일본조선 공업협회	1977	- 반잠수식, 돌핀링크 계류방식 - 면적 567ha, 강제중량 550만톤
광저국제공항 2기 공사	마린플로트 추진기구	1993	- Pontoon방식, 돌핀계류방식 - 면적 850ha, 강제중량 335만톤



그림 15. 일본 관서국제공항의 건설 광경



그림 16. 일본 神戸·六甲아일랜드의 건설 광경

공섬, 관서국제공항, 御坊발전소 인공섬 조성사업, 神戸·六甲아일랜드의 건설, 島式어항 등을 들 수 있다.

### 5.2.2 관련 기술개발 과제

인공섬 개발과 관련하여 21세기 해양공간 창출을 위한 방향모색은 친수공간 확대, 연안역 통합관리체계 구축, 환경친화적인 연안공간 개발, 해저공간 기지 건설, 환경친화적이고 경제성 있는 초대형 부유식 인공해양공간 조성기술 개발 등의 분야에서 이루어져야 할 것이다.

일본의 경우 인공섬 축조를 위한 토질공학적 과제의 관계를 그림 17과 같이 제시한 바 있다.

인공섬 개발에 있어서 선행되어야 할 기술은 정온해역을 확보하기 위한 구조물, Amenity 공간 확보를 위한 구조물, Green 해양환경을 창조하는 구조물 등의 방파제 축조기술 개발과 더불어 준설매립토의 조기안정화 처리기술 및 장기적인 해안보전기술의 개발이 요구된다(그림 18).

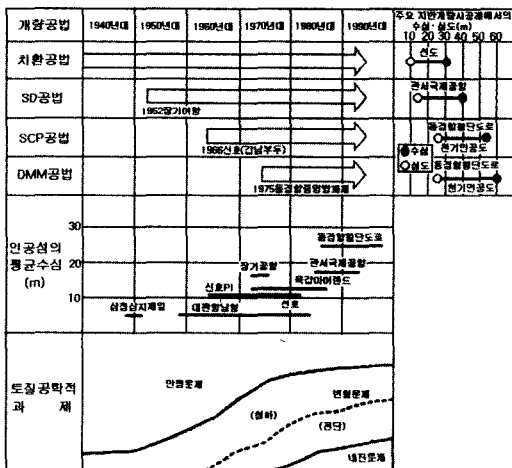


그림 17. 토질공학 과제(일본해양공사기술위원회, 1995)

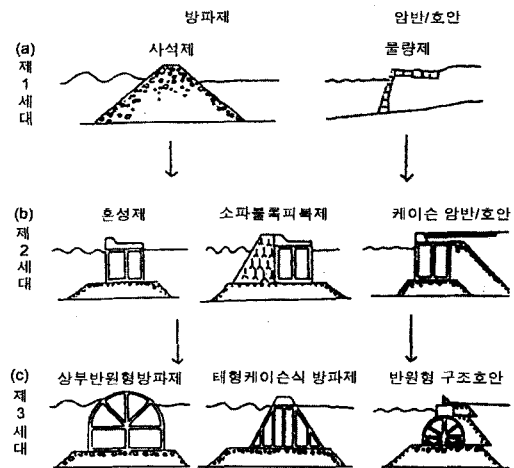
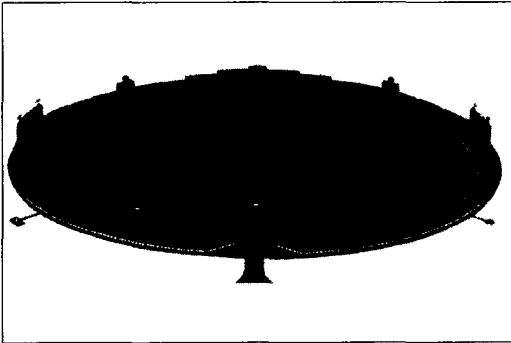


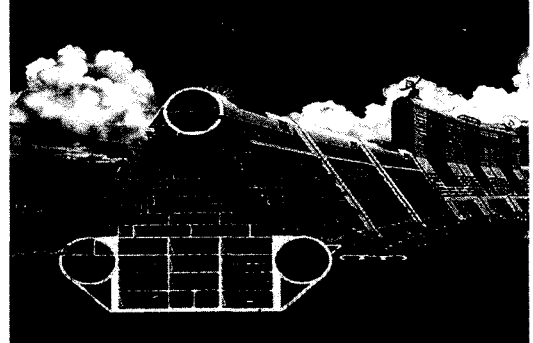
그림 18. 방파제 축조기술의 변천

표 5. 21세기 해양공간에 대한 패러다임의 변화

부문별	20세기 마지막 세대	21세기 첫세대
해양이용 항만산업 해양과학기술 해양조사 자원개발 생활기반	해양자유이용 H/W 중심의 양적성장(항만시설 확충) 과급효과가 적고 폐쇄적 기술 조사선 중심의 1차원적 조사 육상 중심 육지도시 중심	해양분할 주권 S/W 중심의 질적성장(정보화, 자동화) 전 후방 효과가 크고 종합적 기술 인공위성 이용 3차원적 조사 해양중심 해양도시 출현



(a) Soft Landing Island 전경



(b) Soft Landing Island 단면도

그림 19. Soft Landing Island 모식도

### 5.2.3 관련 기술개발 전망

미국과 일본에서 추진하고 있는 해양구조물의 사례를 보면 미국의 MOB(Mobile Offshore Base)와 일본의 Soft Landing Island(軟着島)의 예를 들 수 있다.

먼저 Soft Landing Island(軟着島)의 경우 Nikken Sekkei의 구상에 의해 SL-System의 기술을 도입한 것으로 모식도 및 예상시설의 규모는 그림 5.8에 나타났다.

또한 MOB(Mobile Offshore Base)의 경우 미해군성의 구상으로서 구조상 3 Hinged System에 정방이동을 통한 Anchoring 방법과 철거 System을 도입하고 있다.

따라서 인공섬 축조기술의 개발을 위해서는 국가적인 차원에서 장기적 비전을 가지고 추진되어야 하며, 해양공간에 대한 패러다임의 변화에서부터 출발해야 할 것이다.

## 참고문헌

1. Aboshi, H., Yoshikuni, H. and Maruyama, S. (1970), "Constant Loading Rate Consolidation Test", Soils and Foundations, Vol. 10, No. 1, pp. 43-56.
2. Been, K. (1980), "Stress - Strain Behaviour of a cohesive Soil Deposited under Water", PhD Thesis, Oxford University.
3. Been, K. and Sills, G. C. (1981), "Self-weight Consolidation of Soft Soils : An Experimental and Theoretical

- Study", *Geotechnique*, Vol. 31, pp. 519-535.
4. Bloomquist, D. G., and Townsend, F. C. (1984), "Centrifugal Modeling of Phosphatic Clay Consolidation", *Proc. ASCE Symp. on Sedimentation/Consolidation Models*, pp. 565-580.
  5. Carrier, W.D., Bromwell, L.G., and Somogyi, F. (1983), "Design Capacity of Slurried Mineral Waste Ponds", *ASCE* 109, GT5, 699.
  6. Carrier, W.D. and Beckman, J.F. (1984), "Correlations Between Index Tests and the Properties of Remoulded Clays", *Geotechnique*, 34, 2, 211.
  7. Elder, D. McG. and Sills, G.C. (1984), "Time and Stress Dependent Compression in Soft Sediments", *Proc ASCE Symp. on Sedimentation and Consolidation Models*, San Francisco, pp 425-444.
  8. Elder, D. McG. (1985), "Stress Strain and Strength Behavior of Very Soft Soil Sediment", Phd. Thesis, Oxford, UK.
  9. Gibson, R. E., England, G. L. and Hussuey, M. J. L. (1967), "The Theory of One-dimensional Consolidation of Saturated Clay I : Finite Non-linear Consolidation of Thin Homogeneous Layers", *Geotechnique*, Vol. 17, pp. 261-273.
  10. 이창희, 김은정 (1998), 호소 및 하천오염퇴적물 관리방안, 한국 정책평가연구원.
  11. 조홍제, 한건연, 김상호 (1996), "낙동강 하류부에서의 오니준설에 따른 수질영향분석", *한국수자원학회지*, 제29권, 제3호, pp. 177-186.
  12. 황순진 (1998), 경기도 인공호수의 수질개선과 효과적인 관리방안, 경기개발연구원 연구보고서, 98-17.
  13. 황순진 (1998), 수질관리를 위한 생태학적 접근방안, *경기 21세기* 20, pp. 77-95.
  14. 山崎正一 외2 (1995), 水中堆積物の浚渫固化處理方法.
  15. 油谷進介, 室田明, 岩田尙生 (1993), "浚渫埋立工事における濁りの發生原單位の検討", 474/VI-20.
  16. 日本 眞空 システム協會 (2001), "積算基準".
  17. シメント固化材による地盤改良マニュアル (1994), 社團法人 シメント協會.
  18. 福江ほか (1993), "海底土の汚染の現状と問題點", 第28回 土質工學研究發表會, 2-1, 169-172.
  19. 松本・横田 (1977), "底からみた東京灣의 汚染の歴史", *地球化學* 11. 51~57.
  20. (財)先端建設技術センター (2000), 建設汚泥リサイクル指針.
  21. 건설부 이리지방국토관리청 (1987), 광양항 건설 공사지, pp. 409-421.
  22. 금강종합건설(주) (2002), 복천데이터 터미널 배후부지 조성공사 복동호안 공법변경 보고서.
  23. 김광빈 (2002), "제지회 지반개량제를 혼합한 고함수비 준설 매립토의 공학적 특성에 관한 연구", 전북대학교 대학원 토목공학과 석사학위 논문집.
  24. 김준호, 박보하 (2000), "대나무", *대원사*, pp. 53-110.
  25. 나영목, 심동현, 홍의, 한정수 (1997), "초연약지반 매립에서 토목섬유 시공사례", *지반공학회 가을학술발표회*, pp. 333-340.
  26. 나영목, 홍의 (1997), "실트폰드 매립을 위한 모래살포공법의 개발 및 적용", *현대건설 창립 50주년기념논문*.
  27. 대한준설공사 (1987), "준설, 매립작업교본", pp. 150-157.
  28. 대한토목학회 (2001), "PFA 지반안정재 혼합토의 공학적 특성".
  29. 대한토목학회 (2002), "연약지반의 함수비 변화에 따른 고화 처리토의 강도특성".
  30. 신공향건설공단 (1995), Sand Mat 시험시공 계측관리 용역 보고서, pp. 30-31.
  31. 신은철 (2000), "준설 및 매립", *한국토지공사 연약지반개량과정 연수교재*, pp. 19.
  32. 여수지방해양수산청 여수항 건설사무소 (1998), 광양항 묘도 준설토 투기장 실시설계 보고서.
  33. 유건선 (1986a), "Pilot 매립현장소개 1", *대한토목학회지*, 제38권, 제4호, pp. 1-7.
  34. 유건선 (1986b), "Pilot 매립현장소개 2", *대한토목학회지*, 제38권, 제5호, pp. 30-42.
  35. 윤충섭외 7인 (1997), *최신 토목시공학*, 반도출판사, pp. 709-710.
  36. 이 송 (1999), "국내의 준설매립사례", *한국지반공학회 준설매립과 환경매립(지반공학시리즈 10)*, pp. 316-317.
  37. 이흥주 (2002), "제지회 지반안정재 혼합토의 공학적 특성에 관한 연구", 전북대학교 대학원 토목공학과 석사학



위 논문집.

38. 인천국제공항공사 (2000), “인천국제공항 연약지반개량백서”, pp. 43-44.
39. 인천국제공항공사 (2000), “부지조성공사 건설지”, pp. 522-540.
40. 지반공학회 (2002), “제지회계 지반개량재로 처리된 연약점토의 물리적 특성”.
41. 최인걸 (1998), “인천국제공항 준설매립 시공사례”, 한국지반공학회 학술발표논문집, pp. 88-118.
42. 최인걸 (2002), “준설토 매립 및 침하량 산정”, ISSMGE ATC-7 SYMPOSIUM, pp. 383.
43. 최인걸, 고문수, 김영웅, 김학중 (2001), “인천국제공항 토목시설공사를 위한 연약지반개량 시공사례 연구”, 한국지반공학회지, pp. 21-23.
44. 최인걸, 김종국, 김영웅, 최원호 (2000), “인천국제공항의 연약지반개량에 관한 연구”, 한국농공학회지, pp. 105.
45. 최인걸, 박태순, 김영웅, 성낙일 (2000), “인천국제공항 연약지반의 활주로 포장시공 사례연구”, 한국도로포장공학회지, pp. 112.
46. 한국컨테이너 부두공단 (2002), 광양항 3단계 1차 컨테이너 터미널 축조공사 대안설계 보고서.
47. (주)한국항만기술단 (2001), “대나무매트를 이용한 초연약지반 호안 및 가설도로의 기초처리공법”.
48. 해군시설감실 (1998), 97-9551-J 시설공사 실시설계 보고서.
49. 해군시설감실 (1999), 99-5951-2 시설공사 실시설계보고서.
50. 山内豊聰 外2人 (1979), “版理論を 用いた數網工の 沈下量計算”, 九大工學集報, pp. 433-438.
51. Bo Myint Win, Arulrajah, A., Choa, V., and Na, Y.M. (1999), “One-dimensional compression of slurry with radial drainage”, Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 39, pp. 9-17.
52. Bo Myint Win (2002), “Deformation of ultra-soft soil”, Ph. D thesis, Nanyang Technological University.
53. Na, Y. M., Choa, V., Bo Myint Win & Arulrajah, A. (1998), “Use of geosynthetics for reclamation on slurry like soil foundation Proceedings of the Intl Symposium on Problematic Soils”, IS-TOHOKU98, Sendai, Japan.
54. Gibson, R. E., Schiffman, R. L & Cargill, K. W. (1981), “The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays, II. Finite non-linear consolidation of thick homogeneous layers”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 18, pp. 280-293.
55. Hentenyi, M. (1946), “Beam on Elastic Foundation”, University of Michigan Press, Ann Arbor, Mi, pp. 50-64.
56. 염기대등 (1997), 연안역 개발의 현재와 미래, 대한토목학회지.
57. 오임상 (1998), 21세기의 해양과학 발전방향, 해양과학기술 학술발표회.
58. 이상호, 손세창 (1998), 인천국제공항건설 정보화 사례, 대한토목학회지.
59. 정태영, 정정훈 (1992), 해양공간 이용을 위한 부유식 해양구조물, 대한토목학회지.
60. 한국해양연구소 (1991), 부산 인공섬 건설에 따른 퇴적물 이동연구(II), 연구보고서.
61. 홍경표, 인공섬 시공기술, 한국토지공사, 토지개발기술.
62. 홍남식 (1999), “초대형 부체식 구조물의 기술현황 및 전망”, 대한토목학회지.
63. 홍석원 (1998), “대형해양구조물을 이용한 해양개발”, 해양과학기술 학술발표회.
64. 運輸省 第4港灣建設局 (昭和62年度), “浮体式 構造物利用方案照査 (A-既往事例集)”.
65. 運輸省 第4港灣建設局 (昭和62年度), “浮体式 構造物利用方案照査 (B-新規マイテマ集)”.
66. 日本土木學會 (昭和48年度), “海洋鋼構造物設計指針(案)解説”.
67. 沿岸 開發技術研究センター (平成3年), “浮体構造物 技術マニコアル”.
68. 附設海鋼技術開發研究所, “浮防波堤의 設計를 위한 數値模型開發研究”.
69. 運輸省 第4港灣建設局 (昭和59年), “浮体工法 開發照査クレーキソグループ報告書”.
70. 日本全國漁港協會 (平成4年), “漁港의 防波堤·けい船岸等の 設計指針 計算例”.
71. 山海黨, “海洋浮遊構造物의 係留設計”.
72. 中井康博 (1991), “清水建設(株) 海洋開發エンジニアリング部”, 일본토목학회지.
73. 小川 繁太郎 (1994), “空港島工事における機械化施工技術”, 建設の機械化.
74. CIVIL ACADEMY (1998), AQUA-LINE Project.