친환경 해상 구조물 건설 - Suction Pile 공법

- 우리나라 경쟁력 앞서가, 방파제 · 해상 공간 등 적용 범위 넓어 -

Suction pile은 파일 내부의 물이나 공기와 같은 유체를 외부로 suction함으로써 발생된 파일 내부와 외부의 압력 차를 이용하여 설치되는 파일이다. suction pile이란 명칭도 이 독특한 설치방법에 기인한다. suction pile은 길이에 비하여 폭이 상대적으로 넓은 구조를 하고 있으며, 보통 길이와 직경비가 2 : 1을 넘지 않는다. 오늘날까지 시공된 suction pile중 가장 큰 것은 직경이 32 m, 길이가 37 m에 이르며, 수심 300 m 해저면에 시공되어 석유 시추 플랫폼의 기초로 사용되었다. suction pile의 형상은 상단부는 밀폐되고 하단부가 열린, 컵을 엎어놓은 모양을 하고 있다. 설치 방법을 간략히 설명하면 다음과 같다.

suction pile을 해저면에 안착시키면 파일 자중에 의하여 파일 하단부가 일정 깊이까지 관입된다. 이 상태에서 파일 상단부에 설치된 suction 장치를 이용해서 파일 내부의 물을 외부로 배수시킨다. 배수된 물은 파일 하단부의 해저층을 통해서만 유입될 수 있으므로 파일 내부의 압력이 저하된다. 그 결과 파일 내부와 외부의 압력 차가 발생하게 되는데, 이 힘에 의하여 파일이 관입된다. 파일 관입을 방해하는 저항력은 파일 하단부의 선단 지지력과 주면 마찰력에 의하여 결정되며, 관입력이 저항력보다 크면 파일은 관입하게 된다.

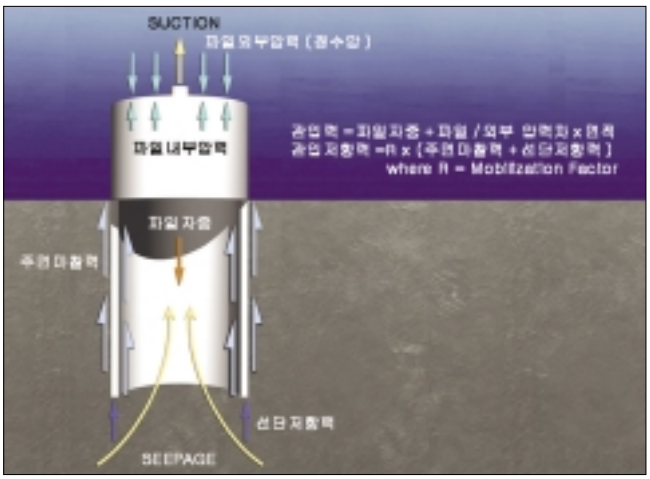
suction pile의 또 하나의 중요한 기술적 특징은 설치의 반대 개념, 즉 물을 파일 내부로 주입하여 파일 내부에 양압력을 가하여 쉽게 인발할 수 있다는 것이다. 따라서 기 시공된 suction pile을 인발하여 재시공할 수 있기 때문에 반복 사용할 수 있다. suction pile은 주로 스틸이나 콘크리트로 제작되지만, 구조적 안정성만 확보된다면 복합 소재, 목재 등 다양한 재료로 제작할 수 있다.

suction pile 공법의 적용

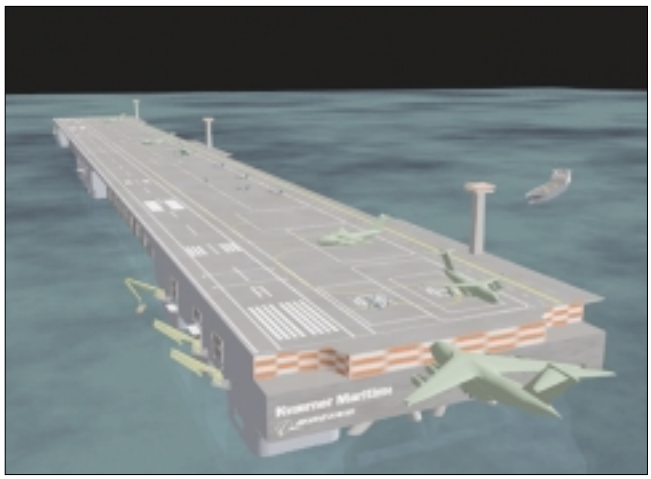
suction pile이 기존 파일과 비교되는 가장 큰 특징은 수심이나 크기에 제약이 없다는 것이다. 따라서 원하는 크기의 파일을 어느 위치에나 쉽게 설치할 수 있다. 대표적인 적용 예로는 1980년대 말 노르웨이에 건설된 석유 시추 플랫폼인 Golfaks C Gravity Platform, 또 일본의 간사이공항과 현재 연구 중인 Mega-Float, 미 해군의 MOB (Mobile Offshore Base), 영국에서 추진 중인 6000기의 해상 풍력 발전소 등을 들 수 있다.

suction pile은 1980년대 말부터 북유럽 특히 네덜란드나 노르웨이 등지에서 심해저 석유 채취용 플랫폼의 기초로 주로 사용되었으며, 같은 목적으로 남아프리카공화국, 호주, 브라질 등 극히 일부 국가에서 적용된 사례가 있다. 이들 파일은 주로 경험식에 의존하여 설계되었으며, 전 세계적으로

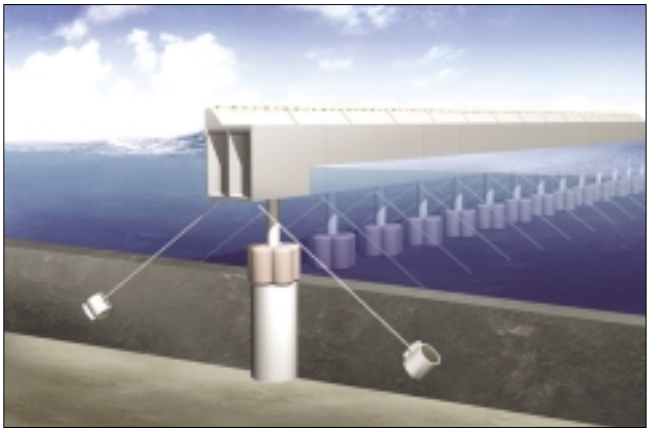
Suction Pile 설치 원리



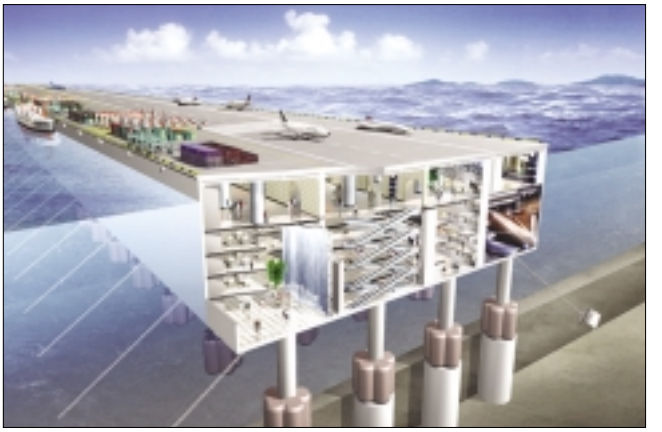
미 해군의 MOB 개념도



suction pile을 이용한 신형식 방파제



suction pile을 이용한 부유식 해상 공항



suction pile의 기술 개발이 본격적으로 시작된 것은 불과 10년도 되지 않았다. 아직까지는 기술 개발 초기 단계이다.

미국에서는 1990년도 중반 미해군의 차세대 방어 전략인 MOB 연구 프로젝트에서 처음 시도되었다. MOB는 길이 약 1.6 km, 폭 180 m로 기존 항공 모함 크기의 약 16배에 달하며, 5,000여명의 병력이 작전을 수행할 수 있도록 계획되었다. 또한, 필요시에는 자체 추진 장치로 이동도 가능하다. 이 거대 구조물의 mooring 시스템을 설계하기 위하여 suction pile이 연구되었다. 그 이유는 suction pile이 drag anchor와 같은 기존 앵커들에 비하여 수천 또는 수만 배의 인발 저항력을 가지고 있어 거대한 힘의 제어가 가능할 뿐만 아니라, 쉽게 인발할 수 있어 MOB mooring 시스템의 요구 조건을 가장 잘 만족시키기 때문이다. 이에 관한 연구는 4년여 간 이론과 시험을 병행하여 이루어졌으며, 현재 실용화 단계에 있다.

우리나라의 기술력 ‘ 우위 ’

한국에서는 지난 1999년부터 2000년 사이에 미 해군의 suction pile 연구 개발 프로젝트의 일부인 centrifuge 모델 시험을 성공적으로 수행하였다. 이 연구의 가장 큰 성과는 미 해군의 군사적 목적에 맞게 세계 어느 지역에서도 적용이 가능한 가장 일반적인 설계 기법을 개발한 것과 적용 범위를 심해저의 점토 지반에서 천해저의 모래층, 심지어 육상에서까지 시공이 가능하도록 확장한 데 있다.

또한, 대우건설이 지난 2001년 7월부터 9월까지 점토 지반인 옥포항과 모래 지반인 온산항에서 suction pile 현장 시험을 성공적으로 수행했으며, 이를 통해 현장 시공과 관련된 많은 핵심적인 기술들을 개발했다. 세계적으로도 이처럼 suction pile에 대한 대대적이고 정밀한 현장 시험 시공을 수행한 것은 처음이다.

신개념 방파제 및 신형식 해상 공간

국내에 시공된 대부분의 방파제는 사석 매립형 또는 콘크리트 케이슨식 방파제로서 이는 수심이 깊거나 해성 점토층이 깊을 경우에는 막대한 공사비 및 공기가 필수적이며, 공사 중이나 후에 붕괴나 잔류 침하와 같은 문제 발생 가능성이 높다. 이를 해결하기 위하여 부유식 방파제 등과 같은 다양한 형식의 방파제가 연구되어 왔다. 하지만 부유식은 제어할 수 있는 파의 파장이 제한적이라 비교적 파가 작은 내항에 그 적용이 한정되고 있다.

그렇지만, 이미 서술한 바와 같이 suction pile 기술로 거대한 파일과 앵커의 시공이 가능하게 되었기 때문에 신개념의 친환경적인 고정형 방파제의 시공이 가능케 되었다. 상부는 케이슨 형태의 방파제로서 부력을 이용하여 자체 하중을 최소화시키고 조수간만에 따른 하중 변위를 부력통으로 조절하여 원천적으로 방파제의 연직 하중을 상쇄시켜 압밀 침하를 방지하고, 횡방향 하중은 suction pile의 횡방향 지지력과 embedded suction anchor의 인발 지지력으로 제어한다. 수심과 연약 점토층이 깊을수록 공기 및 공사비가 기존 매립형 방파제에 비하여 상대적으로 크게 줄어든다.

일본 간사이 국제 공항은 인간이 바다에 창출한 세계적으로 대표적인 생활 공간이다. 하지만 해성 점토 위에 매립으로 건설된 이 인공섬은 매년 심각한 침하 문제로 골치를 앓고 있다. 위에서 설명한 역학적 개념으로 인공섬을 건설하면 침하 문제는 원천적으로 제거될 수 있다. 이와 같은 거대 해상 구조물의 실현은 suction pile 기술로 인하여 해저에 거대 기초나 앵커를 설치할 수 있어 가능해졌다. 상부는 공항 활주로나 항만으로 이용되고 내부는 호텔, 백화점 등과 같은 인간 생활 공간으로 활용되는 해상 도시를 매립 없이 효과적으로 건설할 수 있게 되었다. 그 밖에도 해상 항만, 조선소, 발전소, 모래 유실 방지 시설, 해상 조력 및 풍력 발전 시설 등 그 적용 범위가 무궁무진하다. 결론적으로 suction pile로 인하여 기존 해상 구조물들과 같은 기능을 수행하는 개념이 전혀 다른 친환경적인 구조물의 창출이 가능해진 것이다.

조영기
대우건설 토목기술 2팀 차장