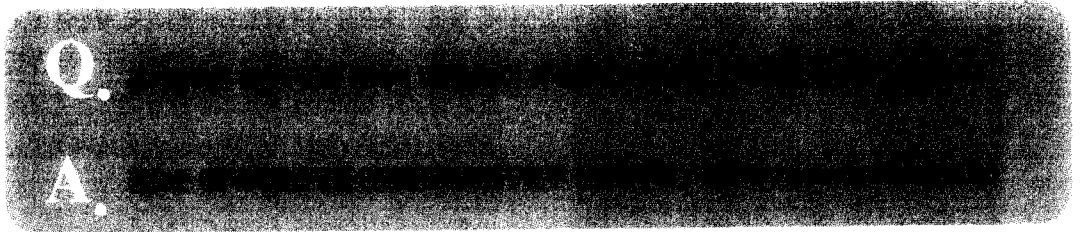


Q & A

지반공학적 문제에 대한 답을 드립니다.



경사말뚝의 내진성능

경사말뚝은 횡방향 강성이 크기 때문에 횡방향 하중이 주요 하중으로 작용하는 해양구조물에서 아주 효율적으로 사용할 수 있다. 그러나 최근에는 경사말뚝이 내진성능이 취약하다는 이유로 많이 사용하고 있지 않는데, 그 이유는 횡방향 강성이 연직말뚝에 비해 상대적으로 커지면서 지진의 고유한 진동특성과 경사말뚝의 고유 진동수가 겹쳐져 증폭효과를 나타내기 때문이다. 물론 실제 발생하는 지진의 종류에 따라 증폭이 발생하는 고유한 진동수가 틀리기 때문에 경사말뚝이라고 해서 무조건 지진에 취약하지는 않지만, 내진설계를 위한 제시된 표준 설계스펙트럼을 이용하여 그 거동 특성을 고찰해 볼 수 있다.

말뚝으로 지지되는 해양구조물의 내진설계는 중요도에 따라 1등급 및 2등급, 내진성능 수준에 따라 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 구분하여 적절한 해석방법을 사용한다(해양수산부, 1999). 지진해석 방법으로는 구조물에 작용하는 지진력에 의한 영향을 해석하기 위하여 자중에 비례하는 임의의 수평력 또는 수직력을 지진하중으로 가정하여 정적 해석을 수행하는 등가정적해석법과 응답스펙트럼법 및 시간이력해석법으로 구분하는 동적 해석방법이 있다.

이 가운데 가장 간단하게 적용할 수 있는 방법이 구조물의 첫 번째 고유진동모드를 이용하여 등가정적 해석을 수행하는 단일모드해석법이다.

단일모드해석법은 지진에 의해 발생하는 지반의 응답가속도의 주파수 특성에 의해 나타나는 응답스펙트럼이 크게 나타나는 주기와 구조물의 첫 번째 고유진동주기가 겹쳐지는 부분에서 증폭이 발생하여 구조물에 가장 큰 지진하중이 작용한다는 이론이다. 그림 1은 '항만 및 어항시설의 내진설계표준서'(해양수산부, 1999)에서 제시된 표준 설계응답스펙트럼을 나타낸 것으로, 설계 지반의 종류에 따라 SA에서 SE로 구분하고 지진구역에 따라 1-등급 지역

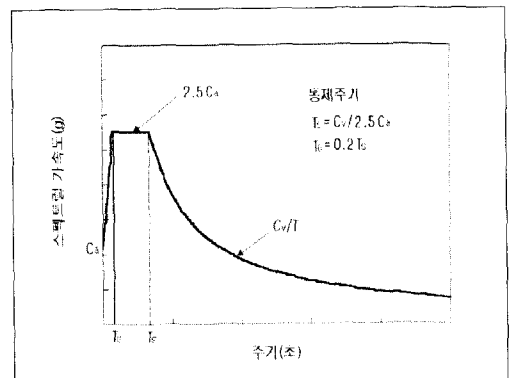


그림 1. 표준 설계응답스펙트럼

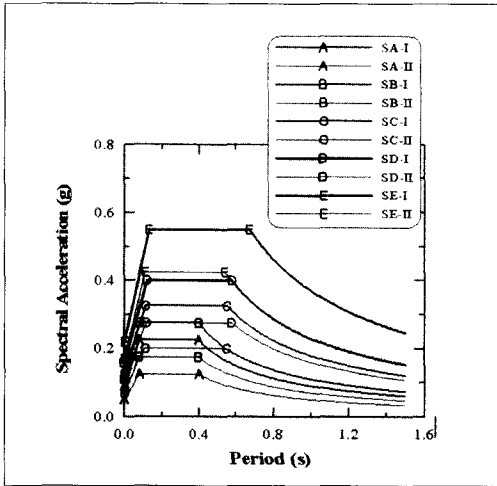


그림 2. 표준 설계응답스펙트럼

표 1. 지진계수 C_a 와 C_v

지반 분류	C_a		C_v	
	I	II	I	II
SA	0.09	0.05	0.09	0.05
SB	0.11	0.07	0.11	0.07
SC	0.13	0.08	0.18	0.11
SD	0.16	0.11	0.23	0.16
SE	0.22	0.17	0.37	0.23

표 2. 지반의 분류

지반 분류	지반종류	V_s (m/s)	깊이 (m)	s_u (kPa)
S _A	경암지반	1500초과	-	-
S _B	보통암지반	760~1500		
S _C	매우 조밀한 토사지반/ 연암지반	360~760	> 50	> 100
S _D	단단한 토사지반	180~360	15~50	50~100
S _E	연약한 토사지반	180미만	< 15	< 50
S _F	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

과 II-등급 지역으로 구분하며, 이 두 가지 조건에 따라 결정된 지진계수 C_a 와 C_v (표 1 참조)에 따라 표준 설계응답스펙트럼이 결정된다. 지진계수에 따

라 얻어진 10가지의 표준 설계스펙트럼은 그림 2와 같다.

결정된 표준 설계응답스펙트럼에서 해당 구조물의 첫 번째 고유 진동모드에 해당하는 고유 주기에 해당하는 가속도 응답 S_a 를 구한 후, 아래 식을 이용하여 설계 지진하중을 구하는 방법이다. 여기서, I는 지진등급에 따른 중요도계수이며, W는 구조물 자중을 나타낸다.

$$P_e = S_a I W \quad (1)$$

그림 3은 말뚝의 내진설계에 사용되는 표준 설계 응답스펙트럼에서 말뚝시스템의 첫 번째 고유 진동 모드에 해당하는 주기가 말뚝의 경사에 따라 어떠한 변화를 보이는지 알아보기 위해 SB지반(보통암 지반) 조건을 가정하여 설계응답스펙트럼 위에 경사 말뚝의 경사에 따른 고유주기의 변화를 설계응답스펙트럼 위에 도시한 것이다. 그림에서 설계하중계수가 연직말뚝은 1차 고유진동모드에서 $0.17C_a$ 정도이지만 경사말뚝이 설치되면서 최대 값인 $2.5C_a$ 에 해당함을 알 수 있다. 즉, 식 1에서 제시된 바와 같이 등가정적인 방법으로 계산하는 지진하중은 경사 말뚝의 경우에 연직말뚝에 비하여 상당히 증가함을 알 수 있다. 다만, 그림 4는 동적 내진해석에서 사용할 수 있는 인공지진파의 응답 스펙트럼을 도시한 것으로 표준 설계스펙트럼에 잘 부합하고 있는 것을 알 수 있지만 부분적으로 완전하게 일치하지 않으며 실제 지진기록을 이러한 표준 설계응답스펙트럼과 비교해 보면 인공지진파보다 상대적으로 큰 차이를 보이는데, 이러한 원인으로 인해 구조물의 고유주기에 해당하는 주기에서 우연하게 응답 값이 다소 작아지는 현상도 발생할 수 있다.

경사말뚝의 내진성능은 연직말뚝에 비해 취약하

Q&A

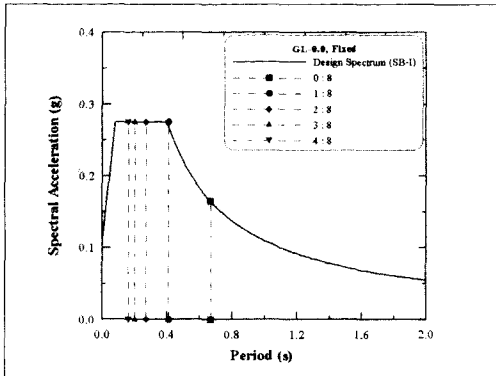


그림 3. 말뚝경사에 따른 고유진동수의 변화

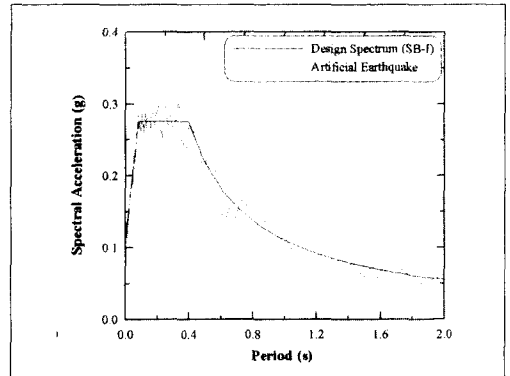


그림 4. 인공지진파의 응답스펙트럼

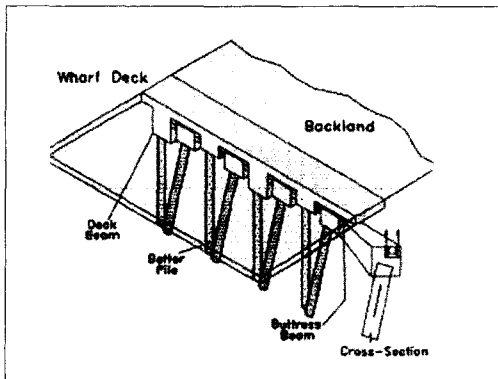


그림 5. 내진휴즈연결장치

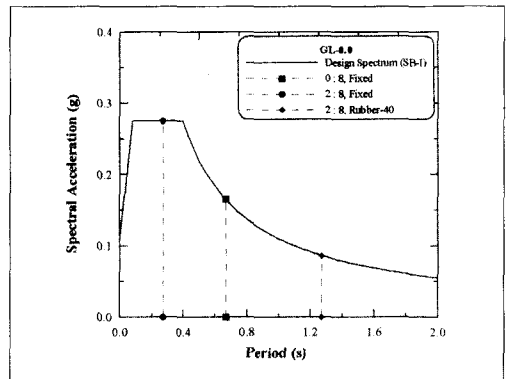


그림 6. 고무면진장치의 효과

기 때문에 연직말뚝만 사용하는 것은 정적인 하중 상태에서 경사말뚝의 효율성을 따져볼 때 비효율적일 수도 있다. 따라서 최근에는 경사말뚝의 내진성능을 향상시키기 위한 방법이 많이 제시되고 실제 현장에 사용되고 있다.

항만에 시공되는 기존의 일반적인 경사말뚝이 가지고 있는 부적합한 내진 성능을 향상시키기 위하여 경사말뚝에 추가의 장치를 설치한 hybrid system이 최근에 개발되어 적용되고 있다. 이러한 hybrid system의 종류에는 내진 휴즈 연결 장치(seismic fuse link)를 설치하는 방법과 미끄럼 장치를 설치

하는 방법(base-isolation technology)이 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 미국의 Long Beach 항에서는 상판과 경사말뚝의 연결부에 내진 휴즈 장치인 수평 강철 빔을 설치하여 지진으로 인한 축하중을 강철 빔의 힘을 이용하여 상판에 전달시키고자 하였다(Roth et al., 1992). Los Angeles항에서는 경사말뚝의 내진성능 향상을 위하여 말뚝 연결부에 격리 장치(base-isolation)를 도입하였는데, 초기 강성으로 정적 하중에 대한 과도한 횡방향 변위를 제어하고 강한 지진파에 대해서는 연결부가 항복하도록 하여 말뚝 두부의 움직임과 상판의 움직임을 서로 분

리시키고자 한 것이다(Zmuda et al., 1995).

일반적으로 교량이나 건물의 내진성능을 향상시키기 위해 사용하고 있는 고무-납 면진시스템을 개량하여 도입하기 위한 연구도 많이 이루어져 있다. 이러한 면진 시스템이 설치된 경사말뚝의 내진특성을 고찰해보기 위해 위와 같이 고유주기의 변화를 고찰해 보면, 그림 6과 같다. 그림 6은 말뚝 두부에 고무면진장치가 설치되었을 때 설계응답스펙트럼 상에서 고유 주기의 변화를 도시한 것으로, 연직말뚝으로 이루어진 잔교식 안벽에 경사말뚝을 설치함

에 따라 고유 주기가 짧아져 설계하중의 증가효과를 보이지만, 경사말뚝 두부에 면진장치를 설치할 경우 고유 주기를 길어지게 만들 수 있고, 면진장치의 높은 감쇠비로 인해 응답 가속도가 작아지는 효과를 볼 수 있기 때문에 내진설계에서 경사말뚝을 보다 효율적으로 활용할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 면진장치는 이 뿐만 아니라 가속도, 변위 등에 대해서도 내진성능을 향상시킬 수 있는 것으로 알려져 있다.

한국지반공학회 논문집 정기구독 신청 안내

회원 여러분의 안위를 기원합니다.

1999년 1월부터 우리학회의 간행물이 학회지와 논문집으로 분리 발간되었습니다. 학회지는 매월 무가로 회원들께 배포되며, 논문집은 유가로 1년에 20,000원의 구독료를 납부하고 받아 보실 수 있습니다. 필요하신 회원은 다음 사항을 참고하셔서 논문집 구독 신청을 하시기 바랍니다.

다음

- 구독료 : 1년 9회, 20,000원
- 신청기한 : 수시(단, 신청시점이 구독료 납부 회계시점임)
- 입금처 : 국민은행 (예금주: 한국지반공학회) 534637-01-002333
- * 입금 후 반드시 학회 사무국(02-3474-4428, 7865)으로 연락하여 확인하시기 바랍니다.