

파력에 의한 돌핀의 거동 특성

Dynamic Behavior of the Breasting Dolphin Caused by Wave Power

조원철* · 윤경석**

Cho, Won Chul · Yoon, Gyeong Seug

Abstract

In this study, the behavior of breasting dolphin caused by the maximum wave height in the coastal area of Incheon has been investigated. The dynamic deflection, shear stress and moment of pile are analyzed using the coefficient of horizontal subgrade reaction resulted from loading tests for different DWT (Dead Weight Tonnage). The dynamic characteristics of pile in accumulated and dredged soils show almost the same pattern. It is shown that the resistance of dolphin to external load increases as the diameter of pile increases. The bettered pile dolphin is more than 10 times stable than the vertical pile type based on the study of dynamic characteristics of dolphin.

Keywords : *breasting dolphin, dynamic characteristics of pile, dead weight tonnage (DWT), wave power*

요 지

본 연구에서는 우리나라 인천 남구 시화호 연안의 퇴적토를 가토제(containment dyke)내에 펌핑 매립한 인천 LNG 인수 기지 조성부지 내의 준설지반과 인근 시화호 조성공사 지역의 해상퇴적토에 대해 토질시험을 실시하여 토질정수를 산정하고, 돌핀 기초말뚝의 배열 조건을 달리하여 태풍 내습 시 돌핀에 작용하는 최대 파고에 의한 돌핀 기초말뚝의 변위, 전단력과 모멘트에 대한 거동 특성을 해석하였다. 수치해석 결과, 최대 심해설계파와 만내발생파의 파력에 의한 돌핀구조물의 거동은 일반적으로 준설토와 퇴적토의 지반반력계수 보다는 말뚝 직경의 크기에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 또한 돌핀구조물 기초말뚝을 직향으로 모델링한 경우와 경사말뚝을 조향으로 모델링한 경우, 조향이 직향보다 돌핀에 작용하는 외력에 대해 수십 배 이상의 저항효과가 있는 것으로 나타나고 있다.

핵심용어 : 돌핀, 말뚝의 동적 거동 특성, 선박재하톤수, 파력

1. 서 론

오늘날 정보산업의 발달과 더불어 환경적인 측면은 물론 세계화와 더불어 국가 간 해상교역이 활성화 되고, 국토의 효율적 활용의 필요성과 더불어 해안개발에 의한 토지이용의 극대화에 가치를 두게 되어, 공항, 항만 등으로 인해 늘어나는 해상운송 수요를 충족시키기 위하여 해안을 운송로 및 물류 전진기지 등으로 개발하고 있다.

돌핀 계류는 적용수심에 제한은 있지만 안정된 계류 방법이며, 대형 부채구조물의 계류방식으로서 비교적 현실성이 높은 것으로 알려져 있다. 계류돌핀구조물은 연안 퇴적지반에 건설되는 구조물로서 선박의 접안하중, 파력, 풍력, 조류 등의 외력에 대해 충분히 안전하게 접안하고 계류 할 수 있어야 한다.

돌핀구조물과 같은 해양구조물에 작용하는 외력 중 풍속에 관한 연구는 변동풍에 대한 각주파수 성분의 스펙트럼이 자주 사용되는데 대표적인 것은 日野(1965) 등에 의해 제안되

었으며, 또한 Cartwright and Longuet-Higgins(1956)의 최대값 이론을 이용하여 돌풍률에 대한 추정식을 유도하였다. 吉田(1972)은 여러 종류의 토질에 대한 흙의 변형계수(E_s)사이의 상관관계에 대해 조사하고 평판재하시험 등을 통하여 실험식을 제안하였다. De Beer and Wallays(1972)는 성토 하중을 받고 있는 지반은 수평변위에 대한 저항효과가 증가함을 제시하여 수동말뚝에 대한 간편한 해석법을 제시하였으며, Poulos(1973)는 수평하중을 받고 있는 탄성지반 속의 말뚝을 탄성보로 가정하고 말뚝의 거동을 해석 할 수 있는 말뚝 및 지반의 변위방정식을 제안하였다. Elder and Sills(1984)는 준설토의 압밀에서 응력이력에 영향을 미치는 요소에 대해 연구하였고, Imai(1980, 1981, 1992, 1995)는 초기 함수비를 달리한 시험을 수행하여 침강 및 퇴적 메커니즘을 제시하였으며, 또한 유효응력 증가에 따른 간극비 변화에 대해 연구하였다.

본 연구에서는 우리나라 인천 남구 시화호 연안의 퇴적토를 가토제(containment dyke)내에 펌핑 매립한 인천 LNG

*정회원 · 교신저자 · 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 교수 (E-mail : chowc@cau.ac.kr)

**중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (E-mail : yoon79@highcon.co.kr)

인수기지 조성부지 내의 준설지반과 인근 시화호 조성공사 지역의 해성퇴적토에 대해 토질시험을 실시하여 토질정수를 산정하고, 돌핀 기초말뚝의 배열 조건을 달리하여 태풍 내습 시 돌핀에 작용하는 최대 파고에 의한 돌핀 기초말뚝의 변위, 전단력과 모멘트에 대한 거동 특성을 규명함으로써, 연안에 시공되는 돌핀 기초말뚝의 경제적인 설계를 위한 자료를 제시하고자 한다.

2. 수치모델링

2.1 돌핀의 모델링

본 연구의 수치해석에서는 말뚝의 변위 증가에 의한 지반 반력은 비선형성을 보인다는 사실에 토대를 두고 있으며, 입의의 깊이에서의 말뚝 변위는 그 위치에서의 지반반력에만 의존하므로 지반을 일련의 P-y곡선으로 표현하는 복합층 해석이 가능하게 개발된 현재 국내에서 범용으로 사용되고 있는 범용프로그램(Group 6.0)을 사용하였다.

돌핀의 기초말뚝은 강관 D812×16t, D914×16t에 대해서 3×4열 말뚝(12본)을 직향과 조향으로 구분하여 배치하고 퇴적토와 준설토의 물성 차이에 대하여 무리말뚝으로 해석하였다. 조향의 경우, 경사는 1:4의 기울기로 선박 접안 시 Fender에 작용하는 수평력의 방향으로 배치하였다. 돌핀구조물 기초 지반의 토질정수(N치 : 표준관입시험치, K_h : 수평지반반력계수, 탄성계수)는 토질시험에 의해 산정된 표 1의 값을 사용하였다.

돌핀구조물의 단면도는 그림 1과 같으며, 돌핀구조물의 수치해석을 위한 모델링은 그림 2와 같고, 돌핀의 외형 제원은 표 2와 같다.

표 1. 수치해석에 적용된 토질정수

구분	토질정수	국내설계기준 (도로교 표준시방서)			토질시험 결과		
		N치	K_h (kg/cm ²)	탄성계수	N치	K_h (kg/cm ²)	탄성계수
준설토		8	2.03	28N	8	2.60	27N
퇴적토		3	0.64	28N	3	0.60	24N

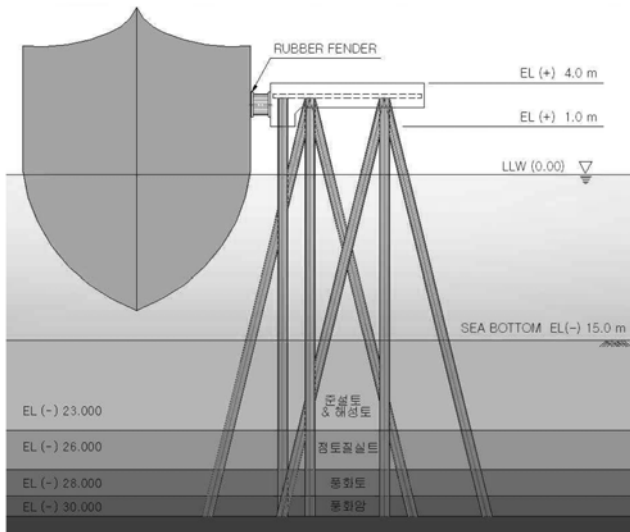


그림 1. 돌핀구조물 단면도

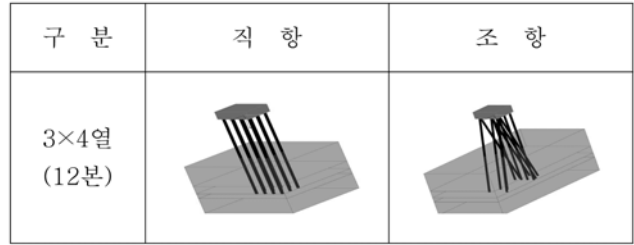


그림 2. 돌핀구조물 모델링

표 2. 돌핀의 외형 제원

돌핀의 크기 (L×B×H)	돌핀 기초말뚝		
	본수	배열	간격
11×8×3.0 m	12	4×3열	3.0 m

2.2 돌핀에 작용하는 파력

항만구조물의 경우 대상 위치에서의 파랑분포를 예측하기 위해 여러 방법이 제시 되어 왔으며, 심해에서 발달된 파랑이 천해로 전파되는 동안 파랑의 변화를 예측하는 방법과 바람에 의해 차폐된 해역에서 발생된 파랑의 변화를 예측하는 방법이 있다.

본 연구에서는 심해에서 발달된 파랑의 변화를 예측하기 위해 2005년 12월에 발표된 “전 해역 심해파추정보고서 II”를 기초로 하여 입사파 제원을 검토하고, 바람에 의해 발생된 만내발생파는 인천 기상대에서 관측된 44년간 자료(1961~2004년)를 기초로 예측하였다. 그리고 본 연구에서의 돌핀의 경우, 재현빈도 50년에 대한 심해설계파와 풍속자료를 기초로 인천 LNG 인수기지 연안에 대해 SWAN모형을

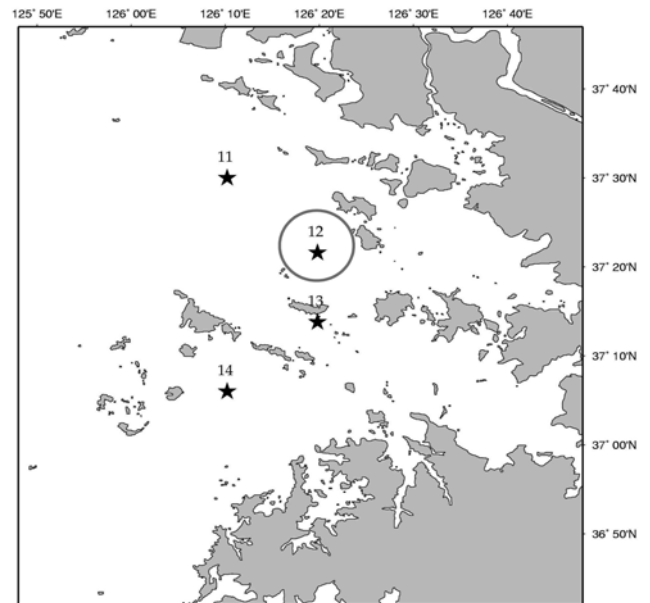


그림 3. 개정 심해설계파 추정위치

표 3. 개정 심해설계파 (W파향)

추정위치	파고(m)	주기(sec)
11	3.68	8.31
12	4.05	9.01
13	4.22	9.46
14	4.63	9.96

이용하여 구조물에 대한 설계파를 산정하고, 이에 따라 돌핀에 작용하는 파력을 CADMAS-SURF모형을 이용하여 계산하였다.

2.2.1 최대설계파 산정

1) 심해설계파에 의한 수치해석 방법

인천 인근 해역에서의 개정 심해설계파 추정 위치는 그림 3에서의 11번, 12번, 13번, 14번으로 하였다. 또한, 대상 해역은 W방향을 제외한 방향에 대해서는 크고 작은 섬들에 의해 차폐되어 있어 이를 설계 풍향으로 결정하였다. 추정 위치 중에서 지형적인 영향과 추정 위치와 대상 해역의 영향을 고려하여 12번 위치에서의 파고 4.05 m, 주기 9.01 sec를 채택하였다(표 3).

이를 제원으로 추정 위치와 인천 LNG 기지 인근 해역을 포함하는 30×18 km 해역에 대해 수치실험을 수행하였으며, 심해파 내습 시의 등파고선도와 파고분포도는 그림 4와 5에

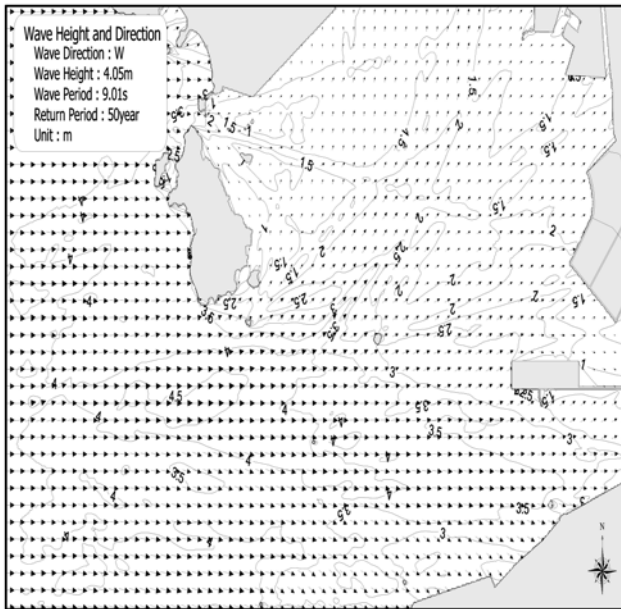


그림 4. 등파고선도(심해파 내습 시)

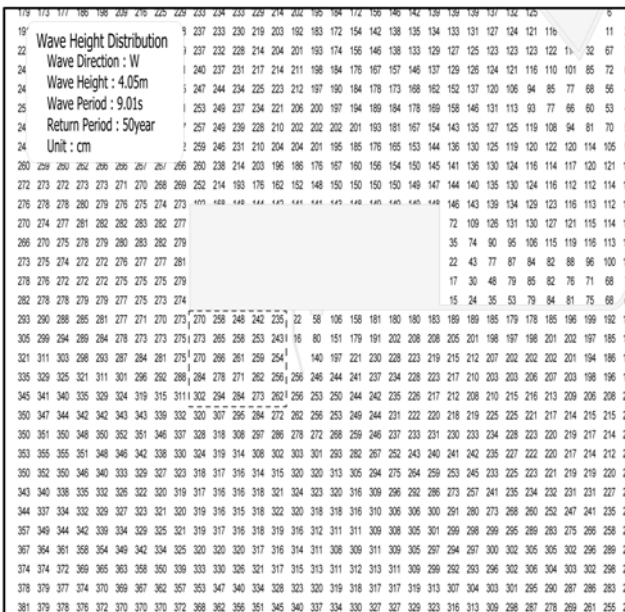


그림 5. 파고분포도(심해파 내습 시)

나타나 있다. 대상 해역에서의 파고 분포는 2.35~3.02 m로 인근 섬과 지형적인 영향에 의해 입사파고보다 다소 작게 산정되었다. 따라서, 심해파 내습 시 구조물에 대한 설계파의 파고와 주기는 각각 3.02 m, 9.01 sec로 결정하였다.

2) 풍파에 의한 수치해석 방법

풍파에 의한 수치실험을 수행하기 위해 인천 기상대에서 관측된 44년간 자료(1961~2004년)를 사용하였다. 수치실험에 사용된 풍속은 수면 위 10 m 풍속으로 이를 산정하기 위해 관측된 매시 풍속의 풍향별 최대 풍속자료를 보정하여 극치분석하여 산정하였다. 수치실험에 사용된 풍향은 W풍향으로 심해설계파 파랑제원과 같다. 풍속 보정을 위해 사용된 식은 다음과 같다.

$$U_{10} = \frac{U_*}{\kappa} \ln\left(\frac{1000}{z_o}\right) \quad (1)$$

여기서, U_{10} 은 고도 10 m에서 풍속, U_* 는 마찰속도($=\kappa U_{obs}/\ln(Z_{obs}/Z_o)$), κ 는 Von Karman 상수 ($=0.4$), z_o 는 저면 조도 길이(≈ 30 cm)이다.

극치통계분석은 FT-I(Fisher-Tippett type I)분포와 Weibull 분포를 사용하여 재현빈도 50년 풍속을 산정 후 서로 비교하여 상관계수가 큰 분포의 풍속을 채택하였으며, FT-I 확률분포함수는 다음과 같다.

$$F(H_s \leq \hat{H}_s) = \exp\left[-\exp\left\{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)\right\}\right] \quad (2)$$

여기서, A 는 축척매개변수이고, B 는 위치매개변수이다.

Weibull 확률분포함수는 다음과 같다.

$$F(H_s \leq \hat{H}_s) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)^k\right\} \quad (3)$$

여기서, A 는 축척매개변수, B 는 위치매개변수, k 는 형상매개변수이다. 이러한, 풍속보정과 극치통계분석을 통해 산정된 재현빈도 50년에 해당하는 풍속은 W풍향 25.1 m/sec로 산정되었다. 위에서 산정된 제원으로 심해설계파와 같은 조건으

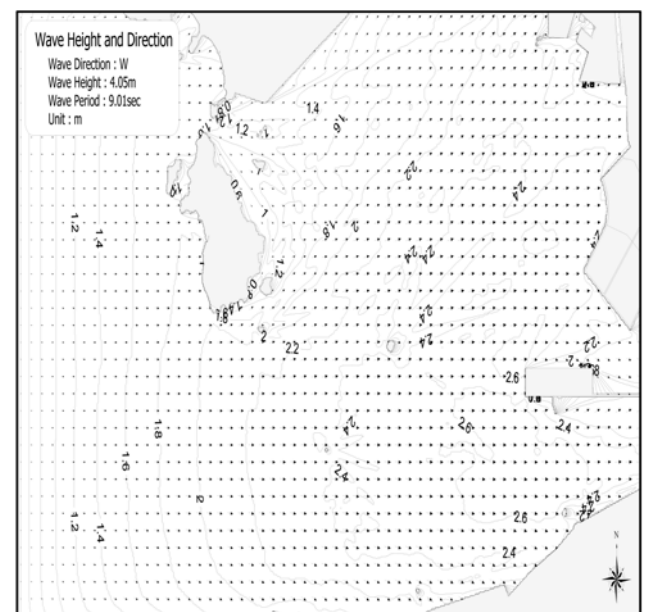


그림 6. 등파고선도(바람에 의한 풍파)

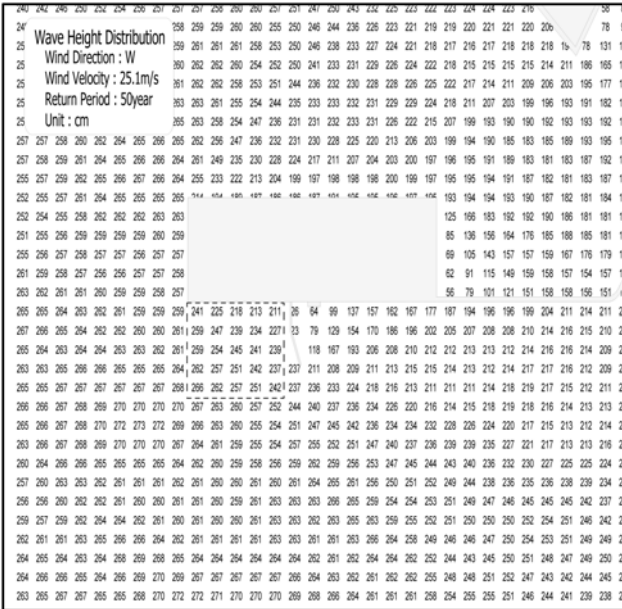


그림 7. 파고분포도(바람에 의한 풍파)

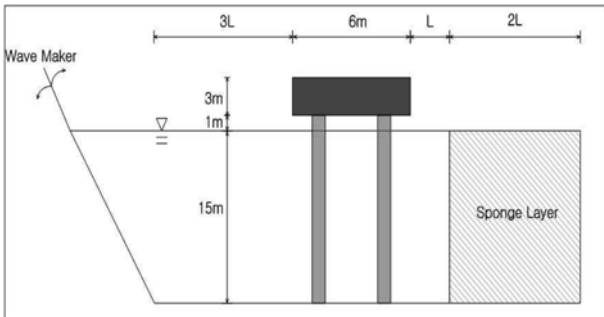


그림 8. 실험 수조 개요도

로 수치실험을 수행하였으며, 풍파에 의한 등파고선도와 파고 분포도는 그림 6과 7에 나타나 있다. 실험 결과, 대상 해역에서의 파고분포는 2.11~2.66 m로 나타났고, 주기분포는 5.5~6.0 sec로 산정되었다. 따라서, 대상 구조물의 안정성을 확보하기 위해 가장 큰 파고와 주기인 파고 2.66 m, 주기 6.0 sec를 채택하였다.

2.2.2 파력의 산정

심해설계파에 의한 설계파와 바람에 의한 설계파를 제원으로 CADMAS-SURF 모형을 이용하여 구조물에 작용하는 파력을 산정하였다. 수치실험의 정확성을 높이고자 구조물 전면에서 3L(L:파장)의 위치에서 조파기를 설치하고 구조물 배후에 2L의 스폰지층을 두어 파를 흡수하여 반사파에 대한 영향을 제거하였다. 전체적인 모의수조는 그림 8과 같다.

심해설계파에 의해 발생하는 파력계산을 위한 수조는 306 m×19 m이고, 계산격자는 0.5 m의 등방격자를 사용하였다. 만내발생파에 의한 파력계산에 방법에 사용된 수조는 186 m×6 m이고 계산격자는 0.3 m를 사용하였다. 심해설계파에 의해 산정된 파고 3.02 m, 주기 9.01 sec에 대해 파력을 계산한 결과는 8.93 t/m²로 나타났으며, 만내발생파에 의한 파고 2.66 m, 주기 6.00 sec에 대한 파력계산 결과는 6.02 t/m²로 나타났다(표 4).

표 4. 구조물에 작용하는 설계파와 파력

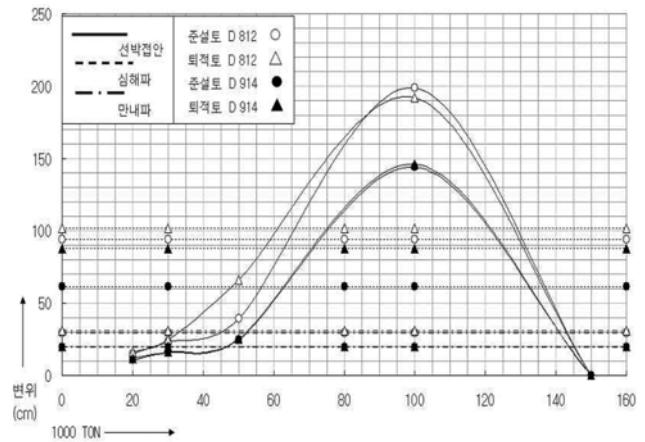
구분	심해설계파에 의한 방법	만내발생파에 의한 방법
파고(m)	3.02	2.66
주기(sec)	9.01	6.00
파력(t/m ²)	8.93	6.02

3. 수치해석 결과 및 분석

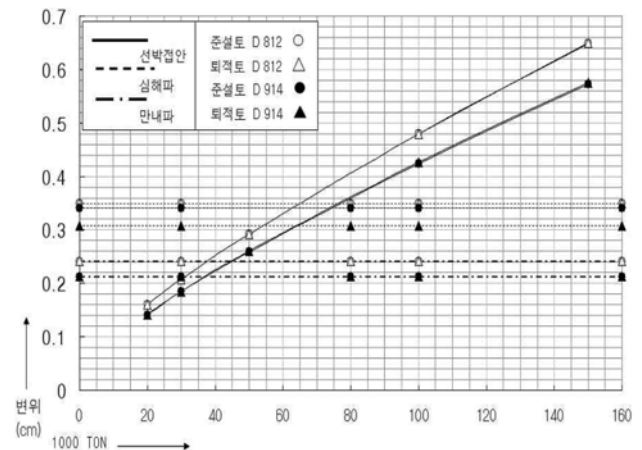
3.1 파력에 의한 돌핀의 변위 특성

그림 9는 직향과 조향에 대한 기초말뚝의 최대 변위 특성을 심해설계파와 만내발생파로 구분하여 지반 및 말뚝 직경별 관계그래프로 나타내고 있으며, 최대 심해설계파와 만내설계파에 의한 파력이 돌핀에 작용할 때의 최대 변위와 동일한 변위를 발생시키는 선박재하톤수(DWT)를 나타내면 표 5와 같다.

직향의 경우, 심해설계파에 의한 파력이 돌핀에 직각방향으로 작용할 때, D812에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 60,000~65,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 변위를 나타내고 있고, D914에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 65,000~70,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 변위를 나타내고 있다. 만내발생파의 경우, D812에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 32,500~45,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 변위를 나타내고 있고, D914에 대해서는 선박



(a) 파력에 의한 직향의 변위특성



(b) 파력에 의한 조향의 변위특성

그림 9. 파력에 의한 돌핀의 변위특성

표 5. 심해설계파와 만내설계파의 파력에 의한 최대 변위와 동일한 변위를 발생시키는 선박재하톤수(DWT)

구분		직향		조향	
		심해설계파	만내발생파	심해설계파	만내발생파
D812	준설토 ○	65,000	45,000	65,000	37,500
	퇴적토 △	60,000	32,500	65,000	37,500
D914	준설토 ●	65,000	47,500	75,000	37,500
	퇴적토 ▲	70,000	47,000	65,000	37,500

표 6. 파력에 의한 수치해석 결과 (최대 변위)

구분		심해설계파		만내발생파	
		변위(cm)	변위(cm)	변위(cm)	변위(cm)
직향	준설토	D812	94.0	19.6	
		D914	61.4	19.4	
	퇴적토	D812	102.0	31.2	
		D914	88.0	20.0	
조향	준설토	D812	0.35	0.24	
		D914	0.34	0.21	
	퇴적토	D812	0.35	0.24	
		D914	0.31	0.21	

재하톤수(DWT) 47,000~47,500톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 변위를 나타내고 있다.

조향의 경우, 심해설계파가 작용할 때에는 D812에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 65,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 변위를 나타내고 있고, D914에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 65,000~75,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 변위를 나타내고 있다. 만내발생파의 경우, D812와 D914 모두에서 선박재하톤수(DWT) 37,500톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 변위를 나타내고 있다.

인천연안의 심해설계파와 만내발생파가 돌핀구조물에 직각 방향으로 작용할 때, 돌핀구조물의 기초말뚝에서 발생하는 최대 변위에 대한 해석 결과는 표 6과 같으며, 일반적으로 만내발생파에 보다 파력이 큰 심해설계파에 의한 기초말뚝의 최대 변위가 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

직향인 경우, 심해설계파에 대한 최대 변위는 퇴적토에서 그리고 말뚝의 직경이 작을수록 크게 나타나고 있어, 지반의 종류와 말뚝의 크기 모두가 말뚝의 최대 변위에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 만내발생파에 대한 최대 변위는 심해설계파의 경우보다 상대적으로 작게 발생하고 있으며, D812의 경우에는 지반의 종류에 따른 반력계수의 영향을 받고 있으나, D914의 경우에는 그다지 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타나고 있다. 말뚝의 직경에 따른 최대 변위의 차이는 퇴적토에서는 크게 나타나고 있으나 준설토에서는 미소한 차이만을 보이고 있다.

조향인 경우, 심해설계파에 대한 최대 변위는 D812의 경우에는 지반의 영향을 받지 않으나, D914의 경우에는 준설토에서의 최대 변위가 퇴적토에서의 최대 변위보다 다소 크게 나타나고 있다. 그리고 준설토에서는 말뚝의 크기에 따른 최대 변위의 차이가 거의 없으나, 퇴적토에서는 말뚝의 직경

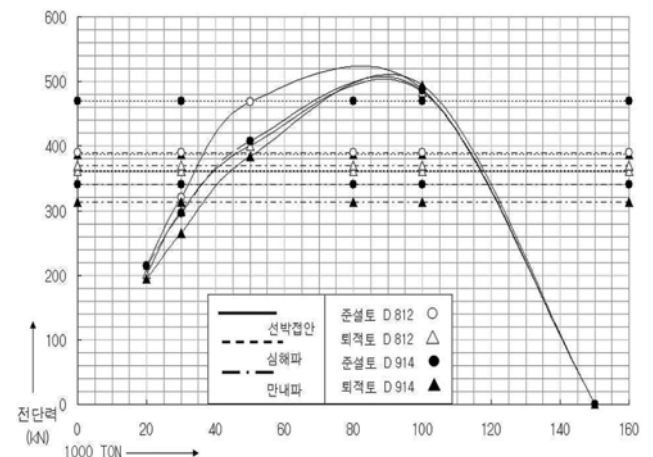
이 작을수록 다소 최대 변위의 차이를 보이고 있다. 만내발생파에 대한 최대 변위는 직향에서와 같이 심해설계파의 경우보다 상대적으로 작게 발생하고 있으며, 준설토와 퇴적토에 대한 최대 변위의 차이는 나타나지 않고, 단지 말뚝의 직경이 작을수록 최대 변위가 다소 크게 나타나고 있다.

돌핀구조물의 최대 변위는 기초말뚝이 직향인 경우보다 조향인 경우에 상당히 작게 나타나고 있어, 일반적으로 횡력을 받는 돌핀과 같은 구조물에는 2개 이상의 말뚝이 조합된 경사말뚝을 사용하는 조향이 기초말뚝의 최대 변위를 상당히 줄일 수 있는 방법으로 사료된다.

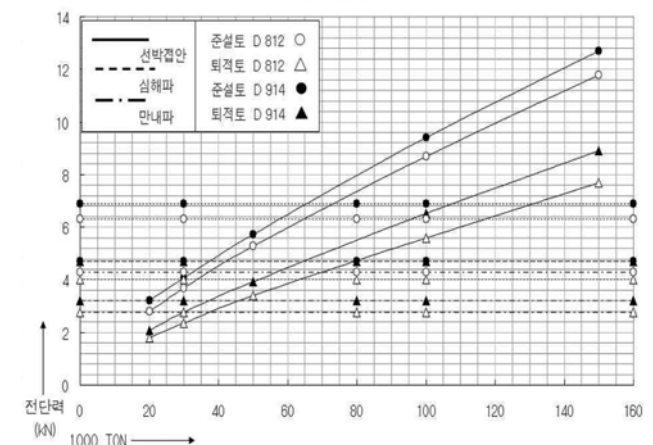
3.2 파력에 의한 돌핀의 전단력 특성

그림 10은 돌핀이 최대 심해설계파와 만내발생파에 의해 파력을 받을 경우 기초말뚝에 발생하는 최대 전단력의 크기를 선박재하톤수(DWT)별 말뚝 직경과 지반강성파의 관계 그래프로 나타내고 있으며, 직향과 조향에 대한 최대 전단력 관계그래프에서부터 최대 심해설계파와 만내설계파에 의한 파력이 돌핀구조물에 작용할 때의 최대 전단력과 동일한 전단력을 발생시키는 선박재하톤수(DWT)를 나타내면 표 7과 같다.

직향의 경우, 심해설계파에 의한 파력이 돌핀에 직각 방향으로 작용할 때, D812에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 34,000~39,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 전단



(a) 파력에 의한 직향의 전단력 특성



(b) 파력에 의한 조향의 전단력 특성

그림 10. 파력에 의한 돌핀의 전단력 특성

표 7. 심해설계파와 만내설계파의 파력에 의한 최대 전단력과 동일한 전단력을 발생시키는 선박재하톤수(DWT)

구분		직향		조향	
		심해설계파	만내발생파	심해설계파	만내발생파
D812	준설토 ○	34,000	37,000	65,000	37,500
	퇴적토 △	39,000	41,000	64,000	37,500
D914	준설토 ●	68,000	36,000	65,000	37,500
	퇴적토 ▲	51,000	37,000	65,000	37,500

표 8. 파력에 의한 수치해석 결과 (최대 전단력)

구분		심해설계파		만내발생파	
		전단력(kN)	전단력(kN)	전단력(kN)	전단력(kN)
직향	준설토	D812	360	390	
		D914	470	340	
	퇴적토	D812	362	370	
		D914	388	314	
조향	준설토	D812	6.3	4.3	
		D914	6.9	4.7	
	퇴적토	D812	4.0	2.8	
		D914	4.7	3.2	

력을 나타내고 있고, D914에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 51,000~68,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 전단력을 나타내고 있어, 심해설계파의 경우 말뚝의 직경에 따라 발생하는 전단력이 크게 차이를 보이고 있는 것으로 나타나고 있다. 만내발생파의 경우, D812에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 37,000~41,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 전단력을 나타내고 있고, D914에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 36,000~37,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 전단력을 나타내고 있다.

조향의 경우, 심해설계파가 작용할 때 D812에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 64,000~65,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 전단력을 나타내고 있고, D914에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 65,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 전단력을 나타내고 있다. 만내발생파가 작용할 때에는 D812와 D914 모두에서 선박재하톤수(DWT) 37,500톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 전단력이 발생함을 보이고 있다.

심해설계파와 만내발생파가 돌핀구조물에 작용할 때, 돌핀구조물의 기초말뚝에서 발생하는 최대 전단력에 대한 해석 결과는 표 8과 같다.

직향인 경우, 심해설계파에 대한 최대 전단력은 D812의 경우에는 준설토와 퇴적토에서 거의 차이가 없으나, D914의 경우에는 퇴적토에서 보다 준설토에서 최대 전단력이 상당히 크게 나타나고 있어 지반의 강성이 최대 전단력에 많은 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 말뚝의 직경이 클수록 최대 전단력이 크게 나타나고 있는데 준설토에서 그 차이가 더욱 크게 나타나고 있다. 만내발생파에 대한 최대 전단력은 준설토에서 그리고 말뚝의 직경이 작을수록 크게 나타나고 있다.

조향인 경우, 심해설계파와 만내발생파에 대한 최대 전 단

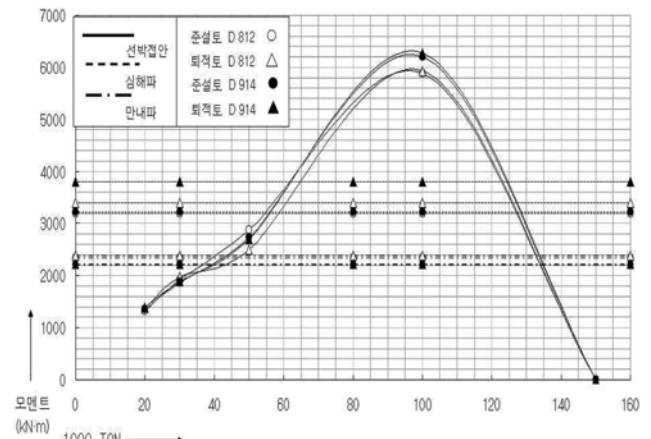
력은 퇴적토에서 보다 준설토에서 크게 나타나고 있고, 말뚝의 직경이 클수록 최대 전단력이 크게 나타나고 있다.

돌핀구조물의 변위 특성에서 나타난 것과 같이 돌핀구조물 기초말뚝이 직향인 경우보다 조향인 경우에 대한 최대 전단력의 크기가 상당히 작게 나타나고 있다.

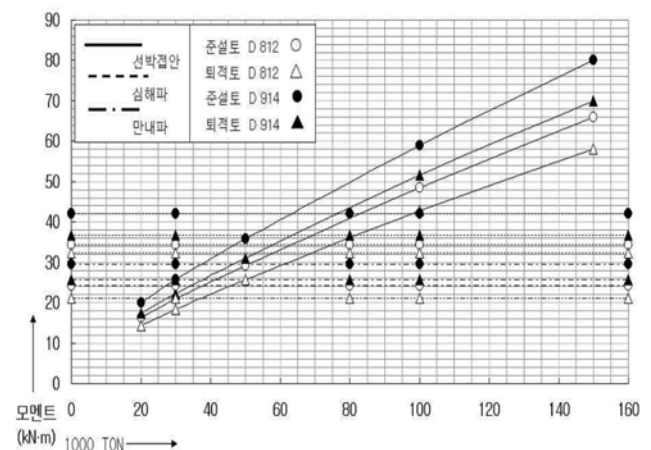
3.3 파력에 의한 돌핀의 모멘트 특성

그림 11은 돌핀의 기초말뚝에 발생하는 최대 모멘트의 크기를 선박재하톤수(DWT)별 말뚝 직경과 지반강성파의 관계 그래프로 나타내고 있으며, 직향과 조향에 대한 최대 모멘트 관계그래프에서부터 최대 심해설계파와 만내설계파에 의한 파력이 돌핀구조물에 작용할 때의 최대 모멘트와 동일한 모멘트를 발생시키는 선박재하톤수(DWT)를 나타내면 표 9와 같다.

직향의 경우, 심해설계파에 의한 파력이 작용할 때, D812에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 55,000~61,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 모멘트를 나타내고 있고, D914에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 56,000~62,500톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 모멘트를 나타내고 있다. 만내발생파의 경우, D812에 대해서는선박재하톤수(DWT) 40,000~48,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 모멘트를 나타내고 있고, D914에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 40,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 모멘트를 나타내고 있다.



(a) 파력에 의한 직향의 모멘트 특성



(b) 파력에 의한 조향의 모멘트 특성

그림 11. 파력에 의한 돌핀의 모멘트 특성

표 9. 심해설계파와 만내설계파의 파력에 의한 최대 모멘트와 동일한 전단력을 발생시키는 선박재하톤수(DWT)

구분		직향		조향	
		심해설계파	만내발생파	심해설계파	만내발생파
D812	준설토 ○	55,000	40,000	62,500	37,500
	퇴적토 △	61,000	48,000	68,000	37,500
D914	준설토 ●	56,000	40,000	63,000	37,500
	퇴적토 ▲	62,500	40,000	63,000	37,500

표 10. 파력에 의한 수치해석 결과 (최대 모멘트)

구분			심해설계파	만내발생파
			모멘트(kNm)	모멘트(kNm)
직향	준설토	D812	3200	2340
		D914	3220	2210
	퇴적토	D812	3400	2380
		D914	3800	2220
조향	준설토	D812	34.4	24
		D914	42.0	30
	퇴적토	D812	32.4	21
		D914	36.8	26

조향의 경우, 심해설계파가 작용할 때, D812에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 62,500~68,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 모멘트를 나타내고 있고, D914에 대해서는 선박재하톤수(DWT) 63,000톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 모멘트를 나타내고 있다. 만내발생파의 경우, D812와 D914 모두에서 선박재하톤수(DWT) 37,500톤의 선박이 돌핀에 접안할 때 발생하는 모멘트가 발생함을 보이고 있다.

인천연안의 심해설계파와 만내발생파가 돌핀구조물에 작용할 때, 돌핀구조물의 기초말뚝에서 발생하는 최대 모멘트에 대한 해석 결과는 표 10과 같다.

직향인 경우, 심해설계파에 대한 최대 모멘트는 퇴적토에서 그리고 말뚝의 직경이 클수록 크게 나타나고 있다. 만내발생파에 대한 최대 모멘트는 퇴적토에서 다소 크게 나타나고 있고 그리고 말뚝 직경이 작을수록 크게 나타나고 있다.

조향인 경우, 심해설계파와 만내발생파에 대한 최대 모멘트는 준설토에서 그리고 말뚝의 직경이 클수록 크게 나타나고 있다.

최대 모멘트의 크기는 돌핀구조물 기초말뚝이 직향인 경우보다 조향인 경우에 상당히 작게 나타나고 있다.

4. 결론 및 요약

본 연구에서는 인천 연안에 설치되는 돌핀구조물에 대해 태풍 내습 시 발생하는 최대 심해설계파와 만내발생파에 의한 돌핀의 거동 특성을 퇴적토와 준설토에 대해 말뚝의 배열 및 크기에 따라 해석하여 보았으며 결론 및 요약은 다음과 같다.

1. 돌핀구조물의 심해설계파와 만내발생파에 대한 최대 변위는 지반의 종류와 말뚝의 크기 모두로부터 영향을 받는 것으로 나타났으나, 말뚝의 크기에 대한 영향이 다소 크게 나타났으며, 만내발생파에 대한 최대 변위는 파력이 큰 심

해발생파보다 상대적으로 작게 발생하였다.

2. 돌핀구조물 기초말뚝에서 발생하는 최대 전단력은 직향의 경우, 지반의 강성과 말뚝의 크기 모두로부터 영향을 받는 것으로 나타났으나, 말뚝의 크기에 대한 영향이 다소 크게 나타났다. 조향인 경우에는 말뚝의 크기가 클수록 그리고 퇴적토에서 보다 준설토에서 최대 전단력이 크게 나타났으나, 말뚝의 크기 보다는 지반의 강성이 최대 전단력에 더욱 영향을 미치는 것으로 나타났다.
3. 돌핀구조물 기초말뚝에서 발생하는 최대 모멘트는 직향의 경우, 지반의 강성과 말뚝의 크기 모두로부터 영향을 받는 것으로 나타났고, 조향인 경우에는 말뚝의 크기가 클수록 그리고 퇴적토에서 보다 준설토에서 최대 모멘트가 크게 나타났으나, 지반의 강성보다는 말뚝의 크기가 최대 모멘트에 더욱 영향을 미치는 것으로 나타났다.
4. 돌핀구조물 기초말뚝을 직향으로 모델링한 경우와 경사말뚝의 조향으로 모델링한 경우에 대한 거동 특성을 비교한 결과, 조향이 직향에 비해 돌핀에 작용하는 외력에 대한 수십 배 이상의 저항효과가 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

한국해양연구원(2005) 전해역 심해파추정보고서 II.
 日野(1965) Relationships between the instantaneous peak values and the evaluation time, 日本土木學會 論文集, 第117號, pp. 23-33.
 吉田(1972) クイの方向地盤係の算定方法, 日本土質 工學會論文報告集, Vol. 12, No. 3.
 Cartwright, D. and Longuet-Higgins, M. (1956) The statistical distribution of the maxima of a random function, *Proc. of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 237, No. 1209, pp. 212-232.
 De beer, E. and Wallays, M. (1972) Forces induced in piles by unsymmetrical surcharges on the soil around the pile, *Proc. of 5th ECSMFE*, Madrid, pp. 325-332.
 Elder, M. and Silts, G. (1984) Time and stress dependent compression in soft sediments *ASCE Symposium on consolidation/sedimentation*, pp. 411-424.
 Imai, G. (1980) Settling behavior of clay suspension, *Soil and Foundation*, Vol. 20, No. 2, pp. 7-20.
 Imai, G. (1981) Experimental studies on sedimentation on mechanism and sediment formation of clay materials, *Soil and Foundation*, Vol. 21, No. 1, pp. 7-20.
 Imai, G. and Tang, Y. (1992) A constitutive equation of one-dimensional consolidation derived from inter-connected Tests, *Soils and Foundations*, Vol. 32, No. 2, pp. 83-96.
 Imai, G. (1995) Analytical examinations of the foundation to formulate consolidation phenomenon with inherent time-dependence, *International symposium on compression and clayey soils*, Vol. 1, pp. 75-120.
 Poulos, H. (1973) *Load-deflection prediction for laterally loaded piles*, Research report No. R208, school of civil engineering, Univ. of Sydney.

(접수일: 2008.7.23/심사일: 2008.9.1/심사완료일: 2008.10.10)