

浮 타이어 消波堤의 정적 장력 해석 방법

윤길수 · 추원효

부산수산대학교 해양공학과

Static Tension Analysis Method for Floating Tire Breakwater

Gil-Su YOON and Weon-Hyo CHU

Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan,

Pusan 608-737, Korea

This paper deals with static tension analysis method for Floating Tire Breakwater(FTB). FTB can be used for the limited wave height. It is especially focused on Goodyear type FTB easily applied to the breakwater for the fisheries cultivating region. The numerical examples for FTB design procedure was reviewed. It is also studied the static analysis method of offshore catenary spread mooring system. The general calculation procedure for the tension versus excursion curves for the multi-line system using the basic catenary relationship was studied. Calculation results showed good agreement with some existing mooring results. To extend this mooring force calculating method to the floating fisheries cultivating cages, the strength of synthetic fiber was considered. This analysis method can be used to the estimation of the mooring force for the floating structures such as floating breakwaters and floating artificial reefs.

서 론

부방파제는 수심에 따른 영향을 덜 받기 때문에 그 형상에 따른 소파효과에 대한 연구가 세계 제 2차 대전을 전후로 활발히 연구되고 있다(Kowalski, 1974; CERC group, 1984; MacCartney, 1985). 그러나 부방파제의 연구는 소파효과의 증대에 따른 계류식의 장력 증가를 실험적으로 결정해야 하는 어려움이 따르기 때문에(MacCartney, 1985; Giles *et al.*, 1978, 1979), 소형 마리너 계획 등과 같은 제한된 영역의 소파 기능을 모색하지 못하였다(Noble, 1976). 그러나 부방파제의 이용은 수심의 영향을 덜 받을 뿐만 아니라, 입사파의 감쇠와 함께 원활한 해수 유동의 이점은 어장용 방파제로서의 이용 가능성을 가지고 있다. 연근해역의 밀식과 수질 오염으로 인하여 어장으로서의 기능이 저하됨에 따라 보다 적극적인 증양식 방법을 모색하게 되었다. 외해쪽으로 나가게 되면 수질은 좋지만 파

고가 높아 부유식 양식시설이 적합하지 못하였다. 따라서 어장용 방파제로서 소파기능을 향상 시킴으로써 어장의 확장이 가능해질 것이다. 수심이 깊은 반면 입사파고가 비교적 적은 해역을 부방파제로서 파고를 줄여줄 수 있다면 외해 양식장으로 이용가능한 면적이 크게 늘어날 것이다.

따라서 본 논문에서는 어장용 소파제로서 부방파제의 이용 가능성을 살펴보고 부방파제 중에서도 가장 경제적이라고 생각되는 부 타이어 소파제(Floating Tire Breakwater, FTB)의 설계방법에 대해 다루고자 한다. 加藤(1984)은 여러가지 형상의 변화에 따른 부방파제의 소파효과에 대하여 연구하여 파장 100 m인 폭풍시에도 견딜 수 있는 부방파제까지 다룬 바 있으나, 부방파제의 소파에 의해 수반되는 계류계의 장력추정까지는 수행하지 않았다. 외해 양식을 위한 어장용 소파제는 수심이 깊은 반면 입사파고가 작은 제한된 해역에서만 가능하기 때문에 부방파제의 사용이 고정구조물에 비해

경제적이며, 이런 관점에서 부 타이어 소파제의 사용이 바람직하다고 생각된다. 본 논문에서는 어장용 부소파제로서 개발 가능성이 많은 Goodyear 형 FTB의 설계 계산 방법을 고찰하였다. 특히 부방파제의 소파효과가 커짐에 따라 수반되는 계류계의 장력이 커지게 되는데 부방파제 설치시 사용되는 현수식 spread 계류계의 장력의 정적 해석방법에 대해 집중적으로 논하고자 한다.

이론 및 방법

1. 어장용 부방파제

우리나라는 국토면적에 비하여 긴 해안역을 가지고 있어서 증·양식 시설의 적극적인 개발이 요청되고 있다. 증·양식시설의 개발의 필요성에도 불구하고 적극적인 개발이 수행되지 못하고 있는 이유는 해마다 겪어야 하는 태풍으로 부터의 재해를 피할 수 없기 때문이다.

방파제의 건설은 막대한 초기 투자를 필요로하므로 증·양식시설로는 엄두도 못내고 있는 실정이다. 앞으로는 보다 경제성이 있는 증·양식시설이 요구될 것이다. 이러한 시점에서 어장용 방파제로서 부방파제를 다루어 보는 것은 그 의미가 클 것으로 생각된다. 어장개발을 위한 파랑제어를 목적으로 하는 방파제, 소위 “어장용 방파제”란 방파제에 관한 본질적인 문제는 일반 항만의 방파제와 큰 차이가 없으나, 그 배후의 수역이 수산 증·양식장으로서 이용되는 방파제를 말하며 그 중요한 특징은 다음과 같다.

- ① 증·양식장의 보호, 또는 어장 외곽시설로서, 각각의 대상생물에 적합한 소파력을 가져야 한다.

- ② 어장환경, 특히 수질보전에 있어서 해수의 교류, 교환 및 혼합 확산의 감소 최소화, 또한 해안지역에 있어서 표사에 의한 토질의 최적, 혹은 침식을 일으키는 등의 악영향은 최소한도로 억제되어야 한다.

- ③ 20 m 이상의 수심에 건설 가능해야 한다.

- ④ 설치와 관리에 편리해야 한다.

- ⑤ 공사비가 비교적 저렴해야 한다.

이러한 조건은 각항에 대해서도 상당히 어려운 문제이나, 현지의 사정은 복합된 조건을 자주 요구한다. 예로서 직립식 방파제나 잠제는 상당한 정도의 소파효과를 기대할 수 있으나, ②의 조건은 만족하지 못하고, 수심이 커지면 ④ 및 ⑤의 조건을 만족시킬 수 없다. 또한 ②의 조건을 만족시키기 위하여 수면 부근에만 설치하는 구조물은 그 유지문제가 있게 된다. 이와같이 어장용 방파제를 합리적으로 설계하기는 매우 어렵다. 이에 대하여, 佐藤은 가두리 작업과 어류생육에 필요한 해면의 靜穩度を 표 1, 2, 3과 같이 정리하였다(加藤, 1984).

표 1, 2, 3에서 가두리 작업과 어류 생육에 필요한 해면의 정온도는 유의파고 1 m 이하를 유지하여야 함을 알 수 있다. 이러한 투과파고를 얻기 위하여 부방파제 중 가장 경제적이라고 생각되는 페타이어를 이용한 부 타이어 소파제(Floating Tire Breakwater; FTB)의 설계방법을 다루고자 한다.

Table 1. Wave levels for wave tranquility

Level	Wave steepness(H/L)	H _{1/3}
A	below 0.015	below 1.0 m
B	∕ 0.02	∕ 1.0 m
C	∕ 0.03	∕ 1.5 m
D	∕ 0.04	∕ 2.0 m
E	∕ 0.05	without limits

Table 2. Wave tranquility levels for breeding operation

Operation	Wave level	Period
Work on the scaffold	A	always
Work out of scaffold		
1) Installment of equip. for seed collection.	B~C	about 1 week
Seed attachment.	A~B	about 2~3 days
2) Breeding.	below D	about 3~7 days
3) Selection, Adjustment	C	
4) Shipment.	B~C	60~70% of all period on demand
5) Maintenance, Repair.	A~B	80~90% of all period on demand
6) Cleaning.	B~C	∕
7) Installment, Change.	B~C	∕

Table 3. Wave tranquility level for nursery of fisheries

Contents	Wave level
1) Impact	D~E
2) Damage for scales	D~E
3) Floating, netting	D~E
4) Decreasing	C~D
5) Movement, sinking	B~C

2. 부 타이어 소파제(FTB) 설계방법

부방파제의 소파효과는 加藤(1984)에 의해 파장 100 m에 이르는 태풍에 견디는 반 영구 구조물에 대한 소파효과를 가지는 정도까지 연구되어 왔다. 그러나 제작 비용의 면에서 볼 때 가반성 구조물로서도 충분히 소파효과를 기대할 수 있는 어장용 소파제의 경우에는 부 타이어 소파제(FTB)로도 충분히 소파효과를 얻을 수 있다. FTB는 초기제작 비용이 싸고 제작이 간편하며 폐기된 타이어의 사용가능성 때문에 경제적이다. FTB module은 소형 정박시설이나, 폭풍시나 평상시 파고가 높은 곳의 일시적인 파랑 차폐방법으로 이용될 수 있다(Hales, 1981). 부 타이어 소파제의 소파효과는 입사파고에 대한 투과파고의 비로서 정의되는 투과계수로서 얻어지는데 Wave-Guard와 같이 부 타이어의 밀도를 높이면 투과계수를 낮추어 소파효과를 높일 수 있으나 이 경우 부 타이어 소파제를 지지하는 계류계의 장력이 커지게 되므로 각 계류삭에 미치는 장력의 저감화 대책을 강구하여야 할 필요가 있다. Harms(1978)는 FTB를 실험에 의해 입사파고에 대한 부소파제의 폭의 변화에 따른 투과계수의 변화와 계류삭의 장력의 크기를 모형실험에 의해 Fig. 1, Fig. 2와 같은 결과를 얻었다. 이로부터 요구되는 투과파고를 얻을 수 있는 투과계수와 장력을 구할 수 있으나 실험 범위를 벗어나면 투과계수와 장력 추정이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 FTB의 소파효과의 양식장의 이용방법(윤, 1990)의 외해형 가두리 양식장의 소파시설로서의 가능성을 모색하기 위하여 특히 Goodyear FTB에 관한 설계방법을 고찰하고, FTB의 계류계를 구성하고 있는 현수식 spread 계류계의 정적 장력 계산방법에 대해 중점적으로 기술하고자 한다.

(1) FTB 폭의 결정

특정지역 조건에 대해 주어진 설계유의파(입사파) H_i , 파주기 T , 수심 d , 투과파고 H_t , 파장 L , 투과계수 K_t 가 결정될 수 있다. 파장 L 은 주어진 파주기 T 와 수심 d 로부터 다음과 같다.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left[\frac{2\pi d}{L} \right] \quad (1)$$

투과계수 k_t 는 $k_t = H_t/H_i$ 로 부터 결정된다.

파장 L 과 투과계수 k_t 를 알면, 요구되는 부소파제 폭이 Fig. 1에서 결정된다. 파장에 대한 FTB의 폭의 비인 B/L 이 커질수록 FTB의 투과계수가 작아져서 소파효과가 좋아지는 경향을 보이지만, 이는 B/L 이 1.4 보다 작은 범위 즉, FTB의 폭이 42 ft(12.8 m) 보다 작아야 한다. 그러나 보다 밀도 높은 Wave-Guard형 FTB에서는 Fig. 2에서와 같이 보다 큰 입사파고에 대해서도 더 낮은 투과효과를 보여주듯이 소파효과를 크게 할 수 있는 FTB 형태의 개발 가능성을 모색할 수 있다(Giles & Sorenson, 1978).

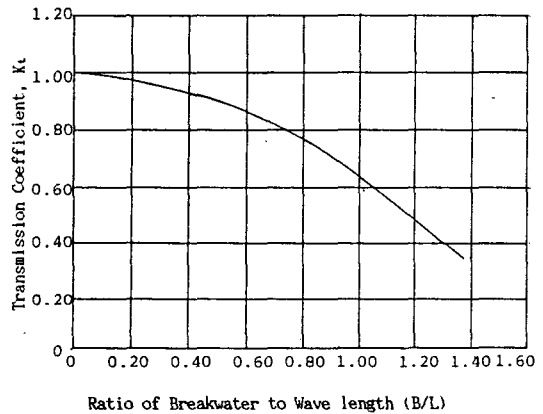


Fig. 1. Design curve for predicting the transmission coefficient from B/L(Giles & Sorenson, 1978).

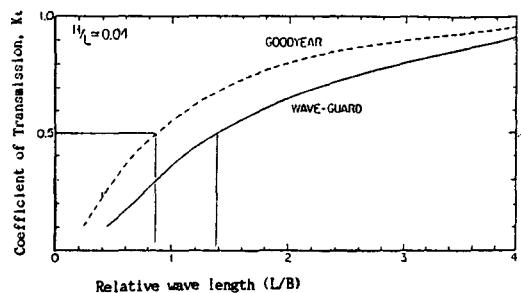


Fig. 2. Wave transmission curves for Goodyear and Wave-Guard(Harms, 1979).

(2) 계류삭의 결정

FTB의 계류삭 장력은 입사파고의 함수이다. Fig. 3은 주어진 입사파고의 함수이다. 설계곡선이 제한된 자료에 기반을 두고 있기 때문에 입사파고가

1.37 m보다 큰 경우 주의를 요한다. 또한, 부소파계의 폭과 입사파장의 비가 1.4 보다 크면, anchor에 작용하는 실제하중은 부가적인 하중에 의해 더 커질 것이다. Fig. 3은 외해쪽 계류삭의 경사가 1:7인 경우에 적용되는 것이며, 만약 그 경사가 더 급해지면 경사각의 tangent 비율로 커져야 한다(Giles & Sorenson, 1978).

보통 해안쪽 계류삭인 leeward mooring line은 해안쪽에서 나가는 파력과 바다쪽에서 오는 파력의 20% 증 큰 값에 대해 설계하여야 한다. 계류삭의 장력은 peak load가 심각한 문제를 야기하므로 이 peak load를 감쇠시킬 수 있는 중간 부이, clump weight 등의 활용방안을 강구하여야 한다.

Anchor의 수직하중을 최소화 하기 위해 계류삭은 최대수심의 8 배 이상의 길이를 가져야 하며, anchor는 방파제로부터 최대수심의 약 7 배가 되는 위치에 놓아야 한다. 또한, anchor의 파주력은 기대되는 최대파력보다 커야한다. 파력이 주기적이므로, 부소파계와 anchor 사이의 모든 연결들은 유연하여야 하며 가능한 한 자유롭게 움직여야 한다. 따라서 아연도금 강이나 구조된 steel chain이 바람직하나 경제적인 이유로 wire cable이 사용된다. cable 축의 피로와 부식에 따른 약화의 문제가 있으므로 이를 허용할 수 있도록 크게 만들어야 한다.

입사파고를 어장용 FTB에 의해 투과계수를 낮춤으로써 소파효과를 높이는 것은 종국적으로 계류계의 장력의 증가를 초래하므로 FTB의 계류계로 자주 사용되는 현수식 spread 계류계의 장력 해석 문제로 귀착되며 이를 위한 정적 해석 방법은 다음과 같다.

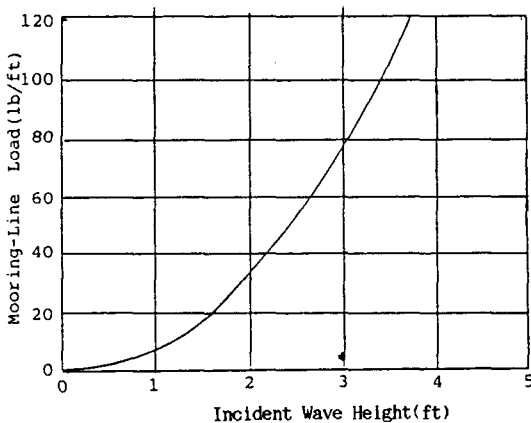


Fig. 3. Design curve for predicting mooring loads per foot of breakwater length a given incident wave height(Giles & Sorenson, 1978).

3. 현수식 spread 계류계 해석방법

(1) 현수식계류계

수심이 깊어짐에 따라 FTB를 포함한 부유식 구조물은 파력으로부터 부유식 구조물을 원하는 위치에 유지하기 위해서 계류계를 가지게 된다. 계류계는 느슨하게 늘어져 있는 현수식과 팽팽하게 당겨져 있는 taut식이 있는데 수심이 깊은 경우에는 보통 느슨하게 늘어져 있는 현수식 계류계를 가지게 된다. 현수식 계류는 고정구조물 보다 더 경제적이고 생각되는 경우에 부유 구조물에 사용된다. 현수 계류는 유연하며 주어지는 환경력에 대하여 탄성적 거동을 한다.

부유되어 있는 현수식 계류 구조물은 감쇠 탄성 스프링 시스템의 방법으로 환경으로부터의 에너지를 소모시킨다. 물론, 이 방법은 이 구조물이 계류계의 한도내에서 움직여야만 하는 것을 뜻한다. 현수식 계류계의 설계의 원리는 부유 구조물이 외력을 받아 허용한계 내에 남아있는 것을 확인하는 것이다. 외력으로서 파력들은 매우 중요하며 두가지 형태를 하고 있는데, 일차 파력은 파들 자체와 같은 주파수로 구조물의 운동을 유발하고 규칙파에서 일정력으로 작용하며, 2차파력은 불규칙파에서 천천히 변하는 표류력을 준다. 또한 풍력은 외해구조물의 하중에 상당한 원인으로 작용한다. 반잠수체에서 풍력은 비교적 파 표류력보다 더 중요하다. 대부분의 현존하는 계류계는 바람, 파와 조류력들이 계산되어 구조물에 정적 하중들로 작용되고, 낮은 주파수 표류력들이 무시되는 소위 준-전적 계류 방법을 사용하여 설계되고 있으며, 이들 세 힘들의 최대가 시간과 방향 모두 일치한다는 좀더 신중한 가정 아래 계산된다(Jordan and Brewerton, 1982).

(2) 현수식 계류삭 장력 계산방법

계류계의 형상은 Fig. 4(a)와 같이 수평적으로 전개되어 있으며(spread), 전개되어 있는 계류삭 하나의 수직적 형상은 Fig. 4(b)와 같다. 하나의 현수식 계류삭의 장력과 계류삭의 길이에 대한 기하학적인 관계식은 다음과 같다(API, 1984; 中村, 1979).

$$(Y + P_h/W)^2 = s^2 + (P_h/W)^2 \quad (2)$$

$$Y = (P_h/W)(\cosh(WX/P_h) - 1) \quad (3)$$

$$s = (P_h/W)\sinh(WX/P_h) \quad (4)$$

$$P_v = Ws \quad (5)$$

여기서 Y는 수심, P_h는 장력의 수평성분, W는

(3) Spread 계류계 계산방법

부유 구조물의 계류계는 spread 배치방법을 자주 사용하며 Fig. 4와 같다. 배치되는 계류사의 숫자는 최대 8개를 넘지 않는데, 그 이유는 계류사 끼리의 엉키는 위험 때문이다. Spread 계류계는 수심에 대한 수위의 변화가 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 2차원 평면에 대하여 생각하며, 각 계류사 마다의 인장을 포함한 total excursion, 또는 offset에 따른 실제 계류사들의 장력 변화를 계산하여야 한다. 또한 변형 후의 수평면 상에서 excursion 후의 계류사들의 장력들의 작용 방향이 원래의 각도와 틀려지는 것도 고려하여 벡터합을 구하여야 한다. 이를 위하여 spread 계류계의 파 진행 방향의 offset에 따른 각 계류사의 excursion 길이와 변화된 θ 각의 계산을 TANG2에서 수행하여 계산결과를 PT. OUT에 저장한다.

프로그램 DEGF2는 PT. OUT에서 각 계류사의 excursion 길이와 각도를 읽어들이고, DEGF. OUT에서 θ 에 따른 계산자료를 읽어들이어 각 계류사의 excursion에 해당하는 각도를 찾아 내삽하여 장력을 계산한 후 TAB. OUT에 저장한다.

(4) 수치계산의 적용 예

상기 수치해석 방법에 의하여 FTB를 포함한 부유식 계류 구조물에서 자주 사용하는 현수식 spread 계류계에 대한 offset와 그에 따른 장력 계산 방법을 검증하기 위하여 다음의 2가지 경우에 대하여 수치계산을 행하였다.

경우 1: 155 m 수심에 반잠수 시추선의 8점 계류의 최대 하중에 대한 계산을 위한 입력자료는 다음과 같다.

선박 형태: 원주 columns를 가진 두개의 pontoon 반잠수체. 계류는 영구적이고 추진기기의 사용이나 폭풍동안 chain 하중을 조정함으로써 하중을 감소시키는 일이 없다.

계류 형태: 8점 계류로서 각 line은 3" chain 850 m와 3.5" wire이다. Wire는 anchor 단에 연결되어 있다. Fairlead에서의 pretension은 50 ton이다. 이들 mooring chains와 wire rope에 대한 자료는 Table 4와 같다.

계류계의 excursion은 그것을 재는 중립점의 선택에 따라 excursion이 달라지므로 중립점을 택하는 것이 중요하다. 본 경우에는 초기장력이 50 ton을 나타내는 $\theta=49.5^\circ$, $s=325.4$ m, excursion=102.7 m을 중립점으로 택하였다.

Beam에서 22.5° 벗어난 quartering에 대한 계산

결과는 Fig. 6에 보이듯이, 중립점에서 excursion에 대한 계류사의 장력에 대하여 Jordan의 계산치와 거의 일치하고 있음을 보인다. 특히 Fig. 6의 ㉞에서와 같이 중립점에서 excursion에 대한 chain 1의 장력, ㉠에서와 같이 chain 2 & 8의 장력과 ㉡에서 주 계류사인 chain 1의 장력을 제외한 다른 모든 계류사의 장력의 합에 대하여 계산을 수행한 바 전 경우에 있어서 본 수치계산 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

경우 2: API RA 2P(API, 1984)의 계산에의 계류계에 대한 자료는 다음과 같다.

수심: 550 ft
 계류사 길이: 5,000 ft
 2-1/4 IWRC wire 8 lines
 Catalog Breaking Strength: 414,000 lbs.
 공기중 중량: 9.36 lb/ft
 수중 중량: 7.8 lb/ft

위 자료로부터 quartering seas에 대하여 계산하여 초기장력을 18.5 t으로 택하여 $\theta=26.5^\circ$, $s=2335.7$ ft, excursion=468.8 ft로 추정하였다. Effective elastic modulus를 6,000 lbs/ft로 하였을 때, Fig. 7에서 보듯이 주 계류사의 excursion에 대한 장력과 계류사 길이는 완전히 일치하고 있으나, 전체 계류계의 장력의 합은 offset가 커짐에 따라 계산치가 API 계산치와의 차이가 커지고 있다. 그 원인으로서 인장계수와 초기장력의 추정과 계류사의 인장계수 등

Table 4. Data of mooring chains and wire rope

Mooring Chains	
Type:	3" ORQ
Wt/meter submerged:	117 kg/m
Break load:	472 ton
Proof load:	313 ton
Water depth below fairlead:	150 m
Length of chain from fairlead:	850 m
Effective elastic modulus:	7,800 kg/mm ²
Elastic strain at breakload:	0.663%
Coefficient of friction of chain:	0.75
Wire rope	
Length to anchor:	800 m
Size/construction:	3.5"/6×41
Breaking Strength:	498 ton
Elastic Modulus:	7,000 kg/mm ²
Elasticity of chain wire:	32.7 ton/m
Combination:	extension

의 오차가 누적되는 것으로 생각된다. 따라서 계류사의 인장계수와 초기장력은 계류계의 정적장력계산에 극히 중요한 것을 알 수 있는데 특히 계류사의 인장계수는 제조회사의 자료에도 누락되는 경우가 많다. Wire인 경우에는 과단강도의 3~5%에서 적당한 값을 추정하여 사용한다.

(5) 합섬 로프의 장력 추정

부유 증양식 시설의 계류사로 anti-fauling 목적으로 합섬섬유 로프가 주로 사용되며, PET(polyester), PE(polyethylene), PP(polypropylene), Nylon 등이 있으나 합섬섬유 로프의 내구성에 대한 자료는 적다. 上北(1990)에 의하면 PET가 낮은 하중율(하중/견장력)에 있어서 내구년도가 다른 것에 비해 좋았다(Table 5). 내구년도를 10년으로 볼 경우 2초 주기의 풍파를 107회 받게된다. 직경 12 mm의 PET 경우 하중율은 23.0%로 추정된다(Fig. 8). 이 경우 하중율의 역수인 4.5배의 안전율을 설정하여야 한다. 증층에 설치되는 부어초의 경우 항상 로프에 장력을 받기 때문에 creep에 대해 견디어야 하는데, PET의 경우 10년 경과 후에도 하중율의 약

70%의 장력을 유지하므로 creep에 대해서는 무시하여도 된다.

1988년도부터 일본 수산청에서 조사된 계류사 자료에 의하면 합섬섬유 계류사는 년 약 10%의 저감율이 추정되었다(上北, 1990). 따라서 로프의 초기 필요강도가 T_0 ton 일 때 n년 후의 로프의 강도 T_n 은 다음과 같이 추정된다.

$$T_n = T_0(1 - 0.1)^n$$

이상의 사항으로부터 부유 증양식 시설에 사용되는 합섬섬유 로프의 계류사의 장력면에서 내구수명은 10년으로 택하는 것이 적합하며, 그에 따른 계류사의 장력을 추정하여 5의 안전율로 설계하는 것이 바람직하다.

결과 및 고찰

깊이가 비교적 깊으며 파고가 1 m 내외의 입사파를 가지는 해역의 양어시설의 소파제로서 Good-year나 Wave-Guard FTB와 같은 부 타이어 소파제

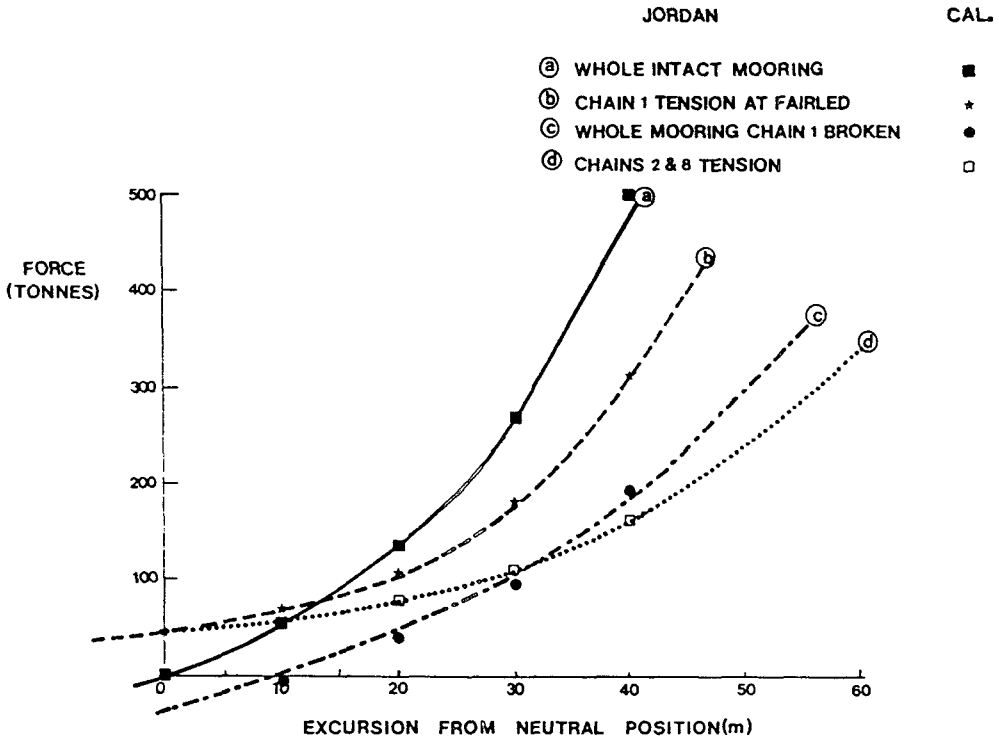


Fig. 6. Comparison with calculated results with existing data of forces and excursions for quartering seas in AK-1(Jordan & Brewerton, 1982).

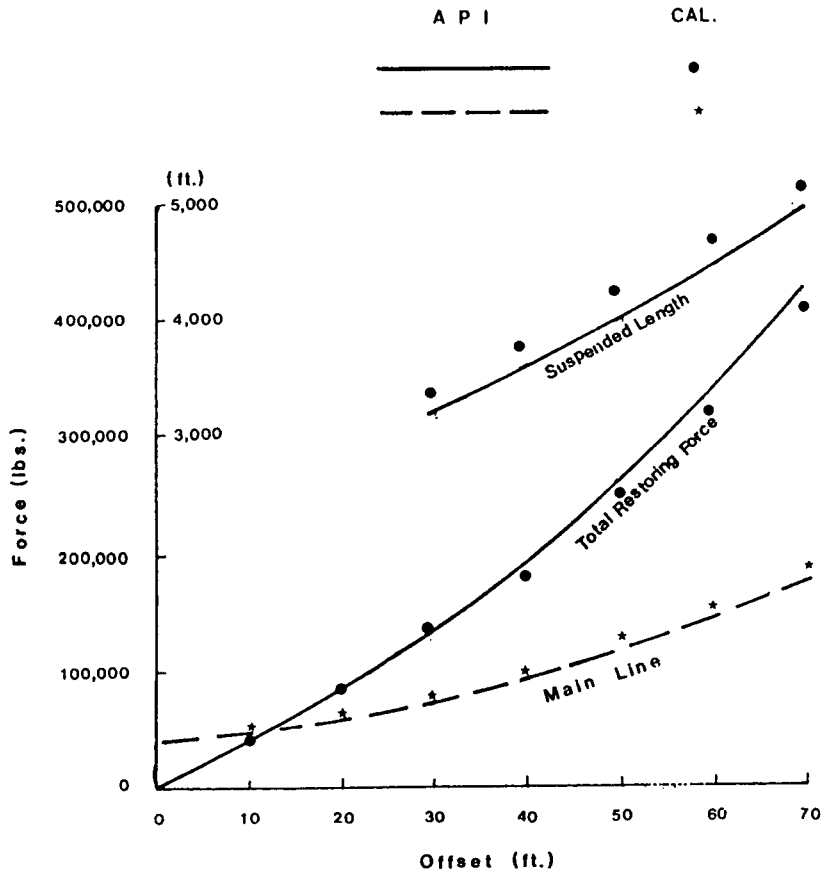


Fig. 7. Comparison with calculated results and existing data of Forces and excursions for quartering seas in the case of API(API, 1984).

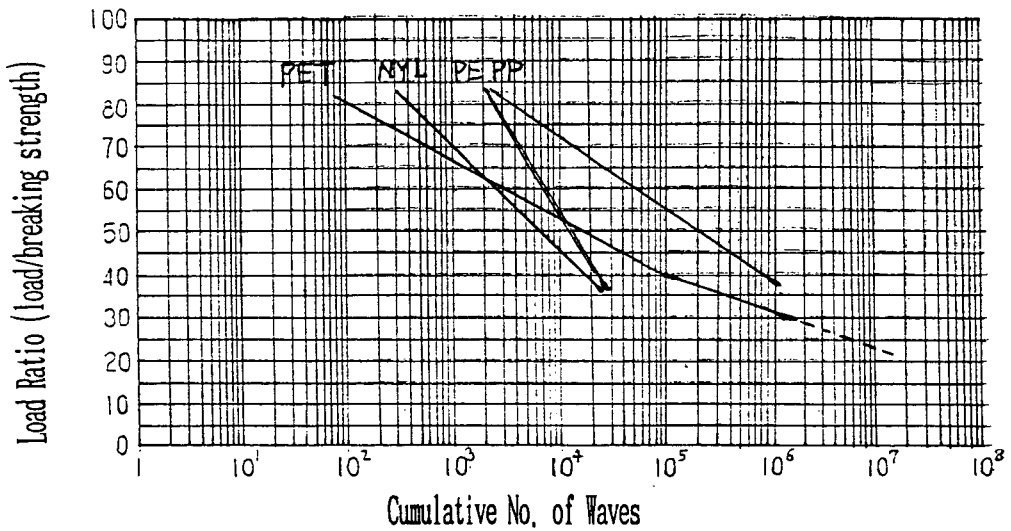


Fig. 8. The relation of cumulative No. of Waves and load ratio for synthetic ropes (wave period is 2 sec) (上北, 1990).

Table 5. Breaking strength of synthetic ropes($\Phi=12$ mm) (上北, 1990)

Class	Breaking Strength
PET(Poliester)	3.1 t
Nylon	2.8 t
P. P(Polypropylene)	2.0 t
P. E(Polyethelene)	1.3 t

의 활용 가능성이 높은 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 외해 양식장의 소파시설로서 고려될 수 있는 대상 구조물 중에서 가장 경제적으로 이용될 수 있는 페타이어 부방파제의 폭, 계류삭 등의 결정에 관한 설계방법을 소파효과의 관점에서 고찰한 결과 FTB의 소파효과가 좋을수록 계류계의 장력이 커지고 있는데, 실제 설계시에 활용하려면 기존 모형실험에 의한 소파효과 및 계류계의 장력 추정은 상당히 제한된 자료에 의존하여야 하기 때문에 설계시 계류계의 장력 추정방법을 정적 해석 방법에 의해 계산하였다.

부 타이어 소파제를 포함한 부유식 구조물이 가장 많이 선택하고 있는 계류방법으로서 현수식 spread 계류계의 형상 변화에 따른 반력의 계산방법을 연구하였다. 현수식 spread 계류계의 해석은 어렵다기 보다는 많은 계산량으로 인하여 불편하였으나, 간단한 계산순서의 계산과정을 유도하고 수치계산 프로그램을 작성하여 현수식 spread 계류계의 정적 장력을 계산할 수 있었다.

계산과정의 적합성을 확인하기 위하여 Jordan and Brewerton(1982)의 계산결과와 API(1984)의 계산결과와 비교 검토한 결과 Jordan and Brewerton(1982)의 계산결과와는 전 영역에 걸쳐 잘 일치함을 확인하였으나, API의 결과와는 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 그 이유로서 현수식 spread 계류계의 offset와 장력계산에 있어서 계류삭의 초기장력과 인장강도의 값에 매우 민감하게 작용하며 이들의 정확한 수치값이 요구됨을 알 수 있었다. Wire인 경우에는 파단강도의 3~5%에서 적당한 값을 추정하여 사용하는데 그 값에 따른 차이가 크므로 wire의 인장강도는 3%에 가까운 값을 선택함으로써 부유체의 이동거리인 offset가 크게 나오도록 신중한 선택을 하여야 할 것으로 생각된다.

대부분의 소형 부유식 양식시설은 주로 합성섬유를 사용하고 있는 바, 부유식 증양식 시설에 있어서는 하나의 계류삭에 대한 정확한 excursion의 추정보다는 사용년도에 따른 합성섬유의 인장강도의 저하의 관점이 더욱 크게 작용하여 합성섬유

로프에 대한 장력 추정방법을 다루었다. 안전한 외해 부유 증양식 시설을 설치하기 위하여 앞으로 더욱 활발한 계류삭의 종류에 대한 인장강도와 저감효과에 대한 연구가 필요할 것으로 생각되며, 앞으로 부방파제, 부어초 등 부유 증양식 시설에 직접 적용 가능한 실용적인 연구로 발전되어야 할 것이다.

결 론

부 타이어 소파제의 정적 장력 해석방법에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수심에 비해 파고가 작은 해역의 어장용 소파제로서 부 타이어 소파제(FTB)의 활용 가능성이 크다.
- 2) 부 타이어 소파제의 계류계로 이용되는 현수식 spread 계류계의 장력을 추정할 수 있는 정적해석방법을 제시하였다.
- 3) Quartering sea에서의 기존의 Jordan & Brewerton 계산자료를 사용하여 현수식 spread 계류계의 정적 장력 계산을 수행한 결과와 거의 일치하는 결과를 얻음으로써 제시된 수치계산 방법의 적합성을 확인하였다.
- 4) 본 방법에 의한 현수식 spread 계류계의 정적장력 계산시 계류삭의 초기장력과 계류삭의 인장강도에 의해 크게 영향을 받기 때문에 계류삭의 종류에 따른 정확한 초기장력과 인장강도 값을 사용하여야 하며 이에 관한 지속적인 연구가 요망된다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 지원 해양산업개발연구센터의 “연안 증양식 시설 설계 시스템 개발”과 한국학술진흥재단 지원 지방대학육성과제 “부방파제의 소파효과에 대한 연구” 결과의 일부임을 밝히며 이에 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- A. P. I. 1984. API recommended practice for the analysis of spread mooring systems for floating drilling Units, API RP 2P: 1~25.

- CERC group.1984. Shore protection manual, U. S. Army CERC, vol. 1, 2-1~2-30.
- Giles, M. L. and R. M. Sorenson. 1978. Prototype scale mooring load and transmission tests for a floating tire breakwater, CERC TP 78-3.
- Giles, M. L. and J. W. Eckert. 1979. Determination of mooring load and transmitted wave height for a floating tire breakwater, CERC CETA 79~4: 7~20.
- Hales, L. Z. 1981. Floating Breakwaters: state of the art literature review, CERC Tech. Report NO. 81~1: 117~149.
- Harms, V. W. 1978. Design criteria for floating tire breakwaters, ASCE Vol. 105 NO. ww2: 149~170.
- Harms, V. W. 1979. Discussin of the design criteria for floating tire breakwaters, ASCE ww1: 29~34.
- Jordan, P. A., Fimeche and R. W. Brewertton. 1982. Offshore catenarary moorings, offshore moorings, Thomas Telford LTD: 95~114.
- Kowalski, T. 1974. Floating breakwaters conference papers, Univ. of Rhode Island Marine Tech. Report No. 24: 193~246.
- MacCartney, B. L. 1985. Floating breakwater design, J. of Waterway, Port Coastal and Ocean Engineering, ASCE: 304~318.
- Noble, H. M. 1976. Use of wave-maze flexible floating breakwater to protect offshore structure and landings, OTC 2542: 214~224.
- Ogawa, Y. 1984. Fundamental analysis of deep sea mooring line in static equilibrium, Applied Ocean Research, Vol 6(3): 140~147.
- 加藤 重一. 1984. 水産土木概論, 恒星社 厚生閣: 247~313.
- 上北征南. 1990. 최근의 증양식장의 조성기술에 대하여, 해양산업개발연구센터 제3회 공동세미나 proceedings: 87~110.
- 中村 充. 1979. 水産土木學, 工業時事通信社: 476~478.
- 윤길수. 1990. 부방과제의 양식장 이용기술, 해양산업개발연구센터 제2회 공동세미나 proceedings: 75~90.

1992년 11월 20일 접수

1993년 1월 7일 수리