

# 계류기초의 파주력 산정에 관한 연구

정진호 · 류청로 · 김종규

부산수산대학교

(1996년 1월 23일 접수)

## Holding Mechanism of Anchor System for Fisheries Facilities

Jin - Ho JUNG, Cheong - Ro RYU and Jong - Kyu KIM

National Fisheries University of Pusan

(Received January 23, 1996)

### Abstract

The optimal design of floating type fisheries facilities in the open sea is demanded considering with the severe hydrodynamic forces on floating body, mooring tension and holding force of anchor. For conserving the facilities in most effective state, design and selection of anchor system is one of the most important fundamental subject.

To enhance the design procedure of anchor system the holding forces of anchor are investigated by the hydraulic model test and are compared with the typical conventional results for various anchors. Applicability of previous estimation methods of holding force are checked and holding mechanism of anchor is discussed. Using the results a new computational concept of holding force is suggested considering mainly the effects of passive soil pressure (resistance), steady soil pressure, and surface friction etc. The new estimation method is proved as a feasible one by comparing the results of hydraulic model experiments.

Applicability of various anchors to the anchor system on open sea fisheries structures is comprehensively reviewed using the present model tests and previous study results in the viewpoint of economy, construction and stability etc. Using the results, fundamental anchoring system design procedures are suggested to apply huge marine ranching complex with increase of the holding capacity of anchor under the optimum cost.

### 서 론

최근 연안어장의 축소 및 황폐화, 원양어장의 배타적 경제수역 선포 및 어로 규제 등에 의한 생산성 저하와 노동의 기피 및 이어촌 현상은 수산업 및 어촌의 낙후를 심화시키고 있다. 수산업 및 어촌 진흥을 위한 각종 정책이 나오고 있지만, 사회

경제적 지원뿐만 아니라 연안어장의 개량, 개발, 보전을 기초로 한 효율적인 재배어업으로의 전환이 요구되고 있다. 그 일환으로 증·양식사업이 실시되어 오고 있으며, 인공어초어장조성사업과 종묘재배, 방류 및 양식사업 등이 시행되고 있다.

종래의 양식업은 주로 자연적인 지형 및 해양환경 특성을 이용하여 유지관리가 용이한 내만에서

이루어져 왔다. 그러나, 내만형 천해어장이 극히 한정되어 있을 뿐만 아니라 이들 대부분의 어장은 폐조류 양식장이 선점하고 있으며, 그나마 매립·간척으로 축소되어 가고 있는 실정이다. 또한, 생활오수, 공장폐수 및 양식장의 자가오염 등으로 적조가 다발하여 대량 폐사하는 등 유지 관리상 많은 문제가 제기되고 있다.

이로부터 양식시설의 기능 보완에 의한 재해의 예방과 피해 적지에의 시설확장이 검토되고 있다. 그러나, 이를 위해서는 외해의 해양환경에 적합한 설계기술의 개발이 요망된다. 부유식(계류) 시설물에 대한 작용유체력의 평가 및 동요 특성의 규명, 계류삭의 거동과 계류삭 장력 및 계류기초의 소요 고정력 평가 등을 기초로 한 최적설계 및 배치가 요구되고 있다. 한편, 부유식 수산시설물의 피해 원인으로 계류장치가 시설물에 걸리는 작용유체력(유수저항, 파력 등)을 이기지 못해 계류기초(앵커)가 끌린다거나 계류삭이 절단되는 계류시스템의 파괴문제가 주로 지적되고 있다.

본 연구에서는 이러한 부유식 수산시설물의 효율적인 유지관리 및 설계를 위한 기초적 연구의 일환으로 이 계류시스템 문제 중 종래의 파주력(고정력) 산정방법의 문제점을 검토하여 계류기초별 고정력 및 수산시설에의 적용성 등을 종합적으로 비교·검토하고, 새로운 고정력 산정 개념의 정립 및 그 적용성을 평가하고자 한다. 이를 위하여 계류기초의 구성에 있어서 종래에 제안된 방법들을 종합적으로 검토하고, 해저마찰 및 계류기초(앵커)의 종류에 따른 파주력의 변화특성을 수리모형실험에 의해 파악하고자 한다. 또한, 이를 기초로 새로운 파주력(고정력) 계산모델을 파주력식의 경우 입지부의 수동토압과 접지부의 전단마찰력이 작용하는 것으로 고려하며, 중력식은 연직성분의 파주력이 요구될 경우로서 계류삭 장력의 작용각에 따라 중량의 연직성분과 전단마찰력의 수평성분이 작용하는 개념을 도입하여 제안하고자 한다. 이 계산모델의 결과와 실험결과를 비교하여 분석함으로써 새로운 파주력 산정모델의 적용성을 검증하고 효율적인 계류기초 구성방법에 대해 검토하고자 한다.

## 수산시설물의 설계과정과 계류시스템

### 1. 부유식 수산시설의 설계과정

부유식 해양시설물은 인류가 해양에서 생산활동을 시작하면서부터 고안 활용되기 시작하여, 최근 석유산업의 발전과 함께 더욱 다양화, 심해화, 기술집적화되고 있다. 수산업에서의 부유식 시설물도 산업활동 여건상 이와 같은 경향을 보이고 있으며, 이는 산업의 발달과 함께 수산 생산물에 대한 수요의 다양화 및 고급화, 연안역의 간척 및 오염에 따른 연안어장의 황폐화 및 감소화, 기초기술의 발달 및 응용 등에 의한 영향으로 생각된다.

수산업에서 이용되고 있는 부유식 수산(양식)시설물은 수산생물의 어획 또는 양식을 위해 사용되고 있으며, 어류양식을 위한 가두리 양식시설과 패류 및 해조류 양식을 위한 연승식 양식시설 및 부어초사업이 그 대표적인 시설이다.

부유식 수산시설은 크게 계류 구조물, 계류삭, 계류기초로 구성되며, 기능 및 안정성을 고려한 최적설계는 시설지의 해양환경외력 및 저질환경 등에 대한 각 요소시설에 대한 작용유체력 및 이에 의한 운동 특성의 해석과 환경 및 요소시설 간의 상호작용을 해석함으로써 이루어 질 수 있다. 이를 위한 부유식 수산시설물의 일반적인 설계 절차는 Fig. 1과 같이 생각할 수 있다.

### 2. 수산시설용 계류시스템의 종류 및 구성

부유식 수산시설물을 계획 위치에 유지시키기 위해서는 적절한 계류시스템의 설계 및 안정적인 설치가 필요하다. 또한, 계류시스템의 안정성과 기능성을 극대화하기 위해서는 설계시 계류된 수산시설물의 크기, 작용하는 환경외력, 설치수심과 해저의 토질조건 등을 고려하여야 한다. 한편, 계류시스템의 설계는 매우 복잡한 문제이며, 특히 극심한 해양환경조건 하의 앵커의 종류 및 중량, 추, 계류삭의 적절한 선택은 시설물의 유지를 위한 중요한 요소이다. 계류기초는 앵커(anchor), 클럼프(clump), 체인(chain), 완충부자(cushion buoy) 등으로 구성되며, 계류방법으로는 일점계류(single point mooring, SPM), 다점계류(spread mooring

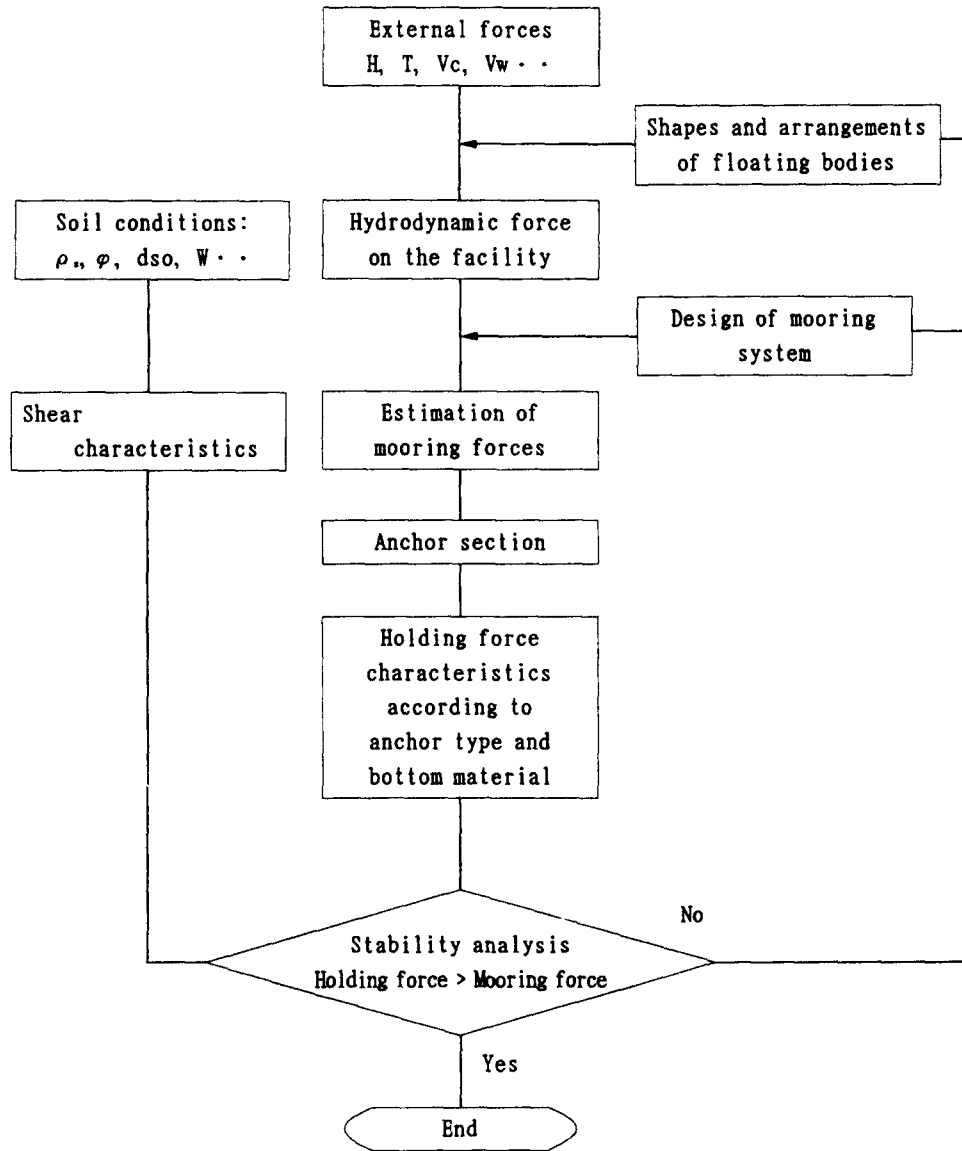


Fig. 1. Design flow of floating fisheries structures.

system, SMS), 자동위치정위방식(detective positioning system, DPS), 복합식(composite system, CS) 등이 이용되고 있다.

따라서, 계류기초 및 계류방법별 특성을 파악하는 것은 효율적이고 안전한 계류시스템의 설계를 위한 중요한 과제이며, 여기서는 이에 대한 종래의 연구결과 및 현장의 일반론을 점검하고자 한다. Fig. 2는 일반적으로 부유식 수산시설물에 가장 많

이 이용되고 있는 계류시스템의 형태이다.

1) 부유(계류)시설물의 종류 및 특성

부유식 수산시설물은 부어초 등의 수산자원 증식시설과 가두리 및 연승식 양식시설 등과 같은 양식시설로 대별된다. 이들 수산시설물의 설계 및 배치는 대상해역의 해양외력 환경으로부터 작용외력의 평가와 구조물과 해양외력환경의 상호작용

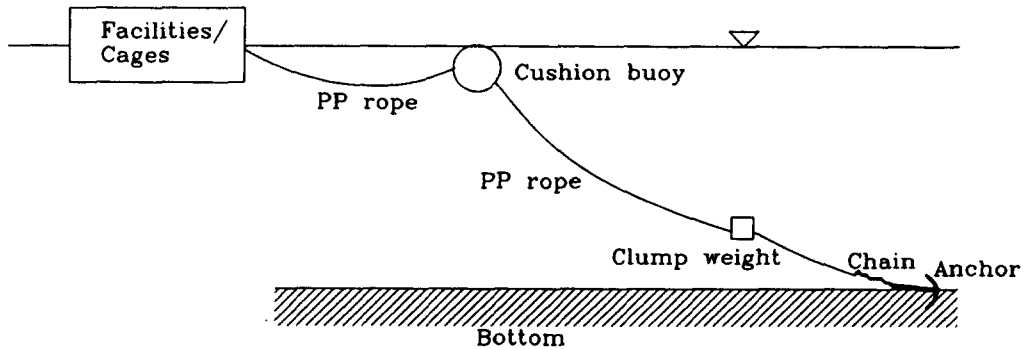


Fig. 2. Configuration for typical mooring system.

에 의한 동요 특성 또는, 이에 의한 계류력 변화 및 계류기초의 안정성 등의 문제로 집약할 수 있다. 부유식 수산시설물에 작용하는 유체력은 크게 파력과 해(조)류력이며, 고투과성일 경우에는 항력이, 불투과성의 경우 항력과 관성력이 중요한 유체력 성분이라 할 수 있다(Beveridge, 1987 ; 松原, 1983).

2) 계류사의 종류 및 특성

계류사는 부유(계류)시설물을 정위 및 유지시키기 위해 계류기초부와 연결시키는 로프나 체인으로 연결방법으로는 일점 및 다점계류방법이 이용되고 있으며, 일점계류는 하나의 계류사로 부유구조물을 제어하는 일점계류시스템으로서 계류사 및 앵커가 작고 간단한 장점이 있다. 그러나, 계류사가 절단되면 시설물의 소실을 가져오는 극단적

인 위험이 있다. 한편, 다점계류는 2개 혹은 그 이상의 계류사를 이용하여 부유구조물을 제어하는 다중계류로서, 구조물의 운동을 최소화하여 기능성 및 안정성을 제고시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나, 앵커가 악천후시 소실되면 그 순간에 재설치가 어렵고, 다른 계류사와 함께 얽혀 손상 입을 위험이 있다.

3. 계류기초의 종류 및 특성

계류기초는 시설물 및 계류계의 정위 및 유지 관리에 있어서 중요한 요소이다. 계류기초는 계류사 장력의 수평 및 수직성분에 저항하기 위하여 충분한 파주력 또는 고정력을 가져야 하고, 초기건설과 관리가 용이하도록 과중하거나 과대하지 않아야 한다. 계류기초의 파주력은 구조 형태, 중량, 해저

Table 1. Effects of basic parameters on anchor behavior

Fundamental parameter		Main function				
		Opening	Penetration	Burial	Stability	Holding force
Geometrics	• Distribution of Masses - rotation axis position	○			○	
	• Trimming palm area	○				
	• L/F ratio of fluke specing				○	
	• Fluke space area			○		○
	• Bearing surface of shank			○		
	• Shank length		○			
	• Stocks, stablizers				○	
	• Fluke - shank angle		○	○		
	• Pulling angle					○
	• Burial depth					○
Mechanics	• Mechanical properties of soil	○	○	○	○	○
	• Fluke roughness		○	○		○

상태 등에 따라 달라지며, 그 관계는 Table 1과 같으며, 종류는 크게 다음 4가지로 분류될 수 있다.

(1) 중력식 (deadweight type) : 콘크리트 방괴 (블록), 고철덩이, 돌망태 등으로 간단하고 저렴하며 수직력에 강하나 수평력에 약한 것이 흠이다. 한편, 대형 크레인 등 시공장비가 없는 낙도 등의 수산시설물로서의 중력식 앵커는 소형어선으로서 수십톤의 중량을 갖는 앵커의 기능을 갖는 계류기초를 건설해야하는 현실적인 문제가 있어서 다양한 형태의 소형 콘크리트 블록 조합 및 돌망태의 조합에 의한 계류기초의 설계, 시공도 고려해야 할 문제라 할 수 있다.

(2) 파주력식 (embedment type) : 투하된 계류기초가 저질에서 당겨져 해저바다에 꽂혀서 파주력을 발생시키는 형식으로서, 수평력에 대해 큰 저항력을 제공하는 형태의 계류기초이다. 예로서, Navy stockless, Danforth, Light weight, Boss and mushroom 앵커가 있는데 이들은 모래, 진흙, 점토 등에서 큰 효과가 있다. 단점은 수직력이 작용할 때 뽑히는 경향이 있고, 파주력이 발휘될 때까지 해저 위에서 끌림(dragging)이 필요하다. 그리고, 끌림의 안정성을 보완한 새로운 형식의 앵커인 Steven, Flipper delta, Bruse, Vicinay CS, Delta tripple형의 앵커가 있다. 이들 앵커의 특성은 Table 2와 같다.

(3) 복합식 (composite type) : 중력식인 사각블록 하부에 수평 저항력의 증가를 위해 말뚝을 보강

하는 형식의 기초로서 파일의 직경, 길이, 배치 등에 따라 파주력의 변화를 보인다.

(4) 고정식 (fixed type) : 고정식은 파일이나 판을 해저에 박거나 묻어서 파주력을 얻는 형태로서 파일형, 흡입형 등이 있다. 파일은 사각 혹은 원형 단면으로 금속, 철근콘크리트 등으로 제작된다. 외부로부터 받은 토질압력에 면저항이 미치는 동안 수직인장에 대한 저항은 토질과 파일 사이의 마찰력에 의해서 제공된다. 파일의 주 장점은 사질토에서 높은 파주력을 가지는 것으로 알려져 있다. 이러한 구조는 최근의 해양목장화 기본시설로서의 각종 주요시설 고정용으로 도입할 필요가 있는 형태라 할 수 있다.

## 계류기초(앵커)의 파주력 산정 모델링

### 1. 종래의 연구결과 및 문제점

#### 1) 파주력식

파주력식의 고정력은 anchor fluke이 해저지질에 꽂혀 들어가 수평방향의 끌림에 저질이 저항하는 것이고, 이러한 기능을 잘 발휘하는 여러가지 형상이 고안되어 오래 전부터 많이 사용되고 있다. 그러나 파주력식에 대한 고정력의 산정과 이에 대한 평가 및 응용을 위해서는 파주력식의 고정력에 대한 작용기구를 규명하는 것이 필요하나, 이에 관한 연구는 거의 없는 실정이며, 종래의 연구는 주로 앵커의 중량에 고정계수 또는 마찰계수의 합수

Table 2 Various types of marine anchors

	Type	Fluke - shank angle(°)	Shank	Flukes
Stock	Long articulated stock	40	Articulated	Small surface area
Danforth	Articulated in stock	40	Articulated	Large surface area
Steven	Short stocks fixed on the flukes	(S) : 32 (M) : 50	Articulated	Large surface area
Flipper delta	Stockless anchor with lateral stabilizers	(S) : 36 (M) : 50	Articulated	Hollowed out triangular
Bruse	Self stabilizing	40		A single crows-shaped flukes
Vicinay CS	With long articulated stock	40	Articulated	Long, narrow and sharp
Delta tripple	Juxtaposition of 3 delta anchor with fixed angle	30	Tripple	3 Triangular flukes

S : sand, M : mud.

Table 3. Hold force coefficients of anchor and anchor chain according to bottom materials

Coefficient	Seabed conditions						
	Clay mud	Mud	Mud/sand	Sand	Fine shell	Shingle	Flat rock
$C_A$	10	.	8	7	7	6	5
$C_C$	3	2	2	.	2	1.5	1.5

로 고려해 왔다.

일반적으로 앵커의 파주력( $H_t$ )은 앵커의 수중 무게에 비례하며, 앵커에 체인이 연결되었을 경우에는 식 (1)과 같이 체인의 무게에 비례하는 저항력의 합으로 계산하여 왔다.

$$H_t = C_A W_{Aw} + C_C W_{Cw} \quad (1)$$

여기서,  $C_A$ 는 앵커의 고정계수,  $W_{Aw}$ 는 앵커의 수중중량,  $C_C$ 는 앵커 체인의 고정계수,  $W_{Cw}$ 는 앵커 체인의 수중중량이다. 이들 계수는 日本海軍의 操艦教範(1959)에서 인용되고 있으며, 그 값은 Table 3과 같이 저질에 따라 각기 다르게 나타나 있다.

한편, 강제앵커에 대한 파주력은 식 (2)와 같이 산정할 수 있다 (沿岸漁場整備開發事業設計指針, 1991).

$$\text{Clay mud} : H_t = 8W_{Aw}^{2/3} \quad (2)$$

$$\text{Mud} : H_t = 5W_{Aw}^{2/3}$$

$$\text{Sand} : H_t = 3W_{Aw}$$

$$\text{Flat rock} : H_t = 0.4W_{Aw}$$

여기서,  $H_t$ 는 앵커의 파주력(ton · force),  $W_{Aw}$ 는 앵커의 수중중량을 나타내고 있다. 식 (2)는 모두 앵커의 중량과 저질의 특성만을 고려하였을 뿐, 앵커의 형상, 표면조도 등의 영향은 고려하지 않은 간략식이다.

황 등(1983)은 anchor fluke이 저질에 파고 들어간 접지면적, 길이 및 접지각을 고려하여 식 (3)과 같은 파주력 산정식을 제안하였다.

$$H_t = k W_{Aw} = W_{Aw} \rho_s SL \tan(\alpha - \theta) \sin(\alpha - \theta) \quad (3)$$

여기서,  $k$ 는 고정계수이며,  $W_{Aw}$ 는 앵커의 수중중량,  $\rho_s$ 는 저질의 밀도,  $S, L$ 은 anchor fluke이 파고 들어갔을 때의 접지면적 및 길이이며,  $\alpha$ 는

anchor fluke의 각도,  $\theta$ 는 접지각이다. 이 식은 앵커에 의한 저질의 저항력을 고려한 산정식이나, 저질에 따른 내부마찰각으로 대표되는 저항 및 저질의 중량 등이 충분히 고려되지 못한 점을 지적할 수 있다. 따라서, 이런 문제점들을 고려한 파주력 산정식의 정립이 필요하다고 생각된다.

또한, 실용상으로는 파주력 뿐만 아니라 anchor fluke이 저질로의 입지가 용이한가 등의 문제가 있으며, 저질이 모래나 사니가 아닌 경우 고정력이 일정하지 않은 문제점 등도 거론되고 있다. 한편, 인장되는 방향이 일정하면 좋지만, 이것이 시시각각 변화하는 경우에는 anchor fluke 근처의 모래나 사니 등의 공극율이 급속히 증가하게 되어 고정력이 급격히 감소하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 anchor fluke을 되도록 크게 하는 방법 등도 고려할 수 있다.

## 2) 중력식

중력식은 고정력의 수직성분력은 강하나 수평성분력이 약한 편이다. 이는 고정력이 앵커의 중량에 의존하여 구조물을 유지시키기 때문이다. 그러나 중력도 저질에 따라 침하 또는 매몰되게 되면 자중 뿐만 아니라 접지 측면의 표면마찰력을 받게 되며, 수평성분력으로는 저면의 마찰력과 좌우에서 토압을 받게 된다. 그러나, 종래의 산정방식은 이러한 고정력의 작용기구를 고려하지 않고 간단히 수중중량의 함수로 고려하고 있다.

佐藤(1973)는 중력식 앵커의 대표형인 콘크리트 블록에 대하여 해저 바닥에서 끌리지 않을 조건으로 부터 중력식 앵커의 고정력 산정식을 식 (4)와 같이 제안하였다.

$$H_t = \frac{1}{2} W_{Aw1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(G_s - 1)}{G_s} \cdot W_{Aw2} \quad (4)$$

여기서,  $G_s$ 는 콘크리트 블록의 비중,  $W_{Aw1}$ 는 앵

커의 수중중량,  $W_{Aw2}$ 는 콘크리트 블록의 공기중 중량이다.

한편, 중력식의 경우 저질이 사질이나 점토질이 면 침하 또는 매몰하게 되는데, 이것은 저질의 겉보기 밀도를  $\rho$ , 해수의 밀도를  $\rho_1$ , 블록의 밀도를  $\rho_2$ 로 하고 저질에 매몰되어 있는 체적을  $V_b$ , 수중에 나와있는 체적을  $V_w$ 로 하면 장시간 후에는 식 (5)가 만족되는 깊이까지 침하하게 된다.

$$\rho_1 \cdot V_w + \rho_2 \cdot V_b = \rho(V_b + V_w) \quad (5)$$

따라서,  $\rho_2$ 가  $\rho$ 보다 큰 경우에는 침하가 계속되지만, 실제로는 모래지역에서는 층의 깊이가 무한하지 않고 사니지역에서는 공극률이 최소가 되어 있고, 고점성유체 층의 침강운동으로 간주해도 모래층의 심부에 점성이 급격히 증대하는 것과, 일반적으로 계류하는 경우에는 수직력의 분력이 블록에 더해져 있는 것이 많으므로 무한히 침강하지는 않는다. 그러나 문제점은 일정기간 후 고정력이 매몰에 의해 증대하는 것을 설계 초기에 산정하기는 어렵고, 시공상 앵커를 침하시킨 후 계류시키지 않을 경우에는 극한설계 개념상 침하 전의 경우를 생각해야 한다.

## 2. 계류기초별 파주력 산정 모델

본 연구에서는 이러한 종래 파주력 산정법들의 문제점을 고려하여 각 계류기초별 파주력을 검토하고 평가하는 방법을 검토하였다. 여기서 파주력식의 경우 입지부의 수동토압과 접지부의 전단마찰력이 작용하는 것으로 생각하며, 중력식은 연직성분의 파주력이 요구될 경우로서 계류삭 장력의 작용각에 따라 중량의 연직성분과 전단마찰력의 수평성분이 작용하는 것으로 생각하였고, 고정식은 외부로부터 작용하는 토질압력 및 토질과 파일 간의 마찰력에 의한 저항력이 작용하는 것으로 생각하여 파주력 산정 모델을 정립하고자 한다.

### 1) 파주력식에 대한 파주력 산정 모델

파주력식은 계류기초의 입지에 따른 저항력과 접지부의 전단 마찰력의 합으로써 파주력이 형성되며, 주로 수평방향력이 필요한 경우에 사용한다. 본 연구에서 고려한 파주력 산정모델의 모식도는

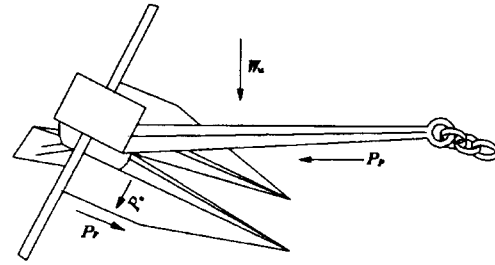


Fig. 3. Definition of holding force for embedment type anchor.

Fig. 3과 같고, 산정식은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} H_x &= P_p + P_F + P_s \quad (6) \\ &= 0.5 K_p \gamma h^2 b + \mu W_{Aw} + \rho_s V_s \sin \theta \\ &\quad (\text{or } \rho_s V_s \cos \theta) \\ H_z &= W_{Aw} + W_{Cw} \end{aligned}$$

여기서,  $P_p$ 는 입지부의 수동토압에 의한 성분,  $P_F$ 는 접지부의 전단 마찰력,  $P_s$ 는 입지부 상부의 정토압에 의한 성분을 나타낸다. 또한,  $K_p$ 는 투영 단위면적당의 수동토압계수로서 日本의 沿岸漁場整備開發事業設計指針書(1991)에 따르며, 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.  $h$ 는 입지부의 투영고,  $\gamma$ 는 단위체적당 수중중량,  $W_{Aw}$ 는 앵커의 수중중량,  $W_{Cw}$ 는 앵커체인 수중중량,  $\rho_s$ 는 저질 밀도,  $V_s$ 는 입지부 상부의 흙의 체적,  $\mu$ 는 마찰계수로서 식 (8)과 같다.

$$K_p = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta_0 [1 - (\sin(\phi - \delta_0) \sin \phi / \cos \delta_0)^{1/2}]^2} \quad (7)$$

$$\mu = K_p (h_t / l_n + 0.5 \gamma h_t^2 / W) + \mu_s \quad (8)$$

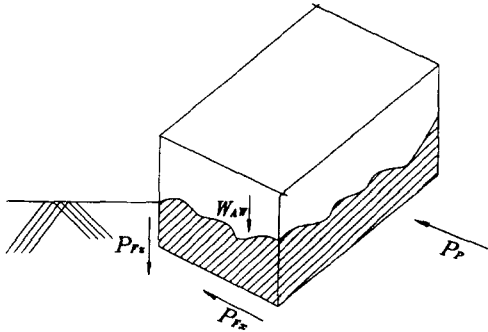
여기서,  $\phi$ 는 저질의 내부마찰각,  $\delta_0$ 는 접지면의 최대마찰각,  $\mu_s$ 는 앵커와 저질의 마찰계수(=tan  $\phi$ )이다. 한편, 저질의 마찰계수 및 마찰각은 Table 4와 같다.

### 2) 중력식에 대한 파주력 산정 모델

중력식은 파주력의 연직방향력이 크게 요구될 때 사용하는 형식으로서 이전의 산정식은 주로 계류기초의 수중중량에 비례하는 형식으로 산정식이 제안되어 있으나, 여기서는 침하시의 측면 마찰

**Table 4. Internal friction angle for various bottom conditions**

Bed condition	Particle condition	Friction angle (°)	
Sand		0	
Mud	Equality	Loose	28,30
	"	Dence	35
	Angled	Loose	34
	"	Dence	46



**Fig. 4. Definition of holding force for deadweight type anchor.**

력 및 수평성분에 대한 고정력을 포함한 산정식을 식 (9)와 같이 나타내고, 산정모델의 모식도는 Fig. 4와 같다. 또한, 여러개의 콘크리트 블록에 의한 조합 및 돌망태 등에 의한 계류기초의 보강시에도 이를 준용할 수 있는 것으로 가정하여  $K$ 개의 단위 구조물에 대한 고정력을 합하여  $x$  및  $z$ 방향의 총고정력  $H_x, H_z$ 를 구할 수 있는 것으로 한다.

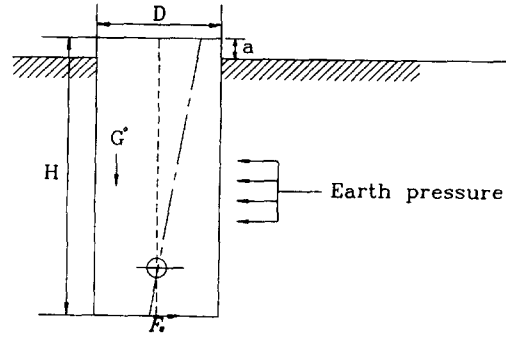
$$H_x = \sum_1^K P_{kFx}$$

$$H_z = \sum_1^K W_{Aw} + P_{kFz} \quad (9)$$

여기서,  $P_{kF}$ 는  $k$ 개로 구성된 콘크리트 블록 또는 돌망태에 작용하는 힘의 작용방향에 대한 접지면의 표면마찰력을 나타내며, 수직성분의 경우 측면 접지부, 수평성분의 경우 하부의 접지부를 나타낸다.

### 3) 고정식에 대한 파주력 산정모델

고정식은 흡입형, 굴삭형, 매물형 등에 의한 해저 고정 계류기초로서 파주력(고정력)은 외부로부터 작용하는 토질압력 및 토질과 파일 간의 마찰력에 의한 저항력이 작용하는 것으로 고려하여 산정식을 제안하였다. 그 모식도는 Fig. 5와 같으며,



**Fig. 5. Definition of holding force for fixed type anchor.**

수평저항은 식 (10)과 같은 토압이 작용하는 것으로 고려할 수 있다.

$$Q = \frac{\gamma DH^2 \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2})}{2(a+H)} \quad (10)$$

여기서,  $\gamma$ 은 저질의 단위체적중량,  $\phi$ 는 저질의 내부마찰각,  $D$ 는 파일의 직경,  $H$ 는 파일의 높이,  $a$ 는 해저에 묻히지 않은 파일의 높이이다. 수직저항은 표면마찰력과 계류기초의 수중중량으로 식 (11)과 같이 고려할 수 있다.

$$L_u = F_s + G' \quad (11)$$

여기서,  $G'$ 는 파일의 수중중량,  $F_s$ 는 표면마찰력으로 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_s = \pi D \int_0^H f_0 dz \quad (12)$$

여기서,  $f_0$ 는 단위 표면적당 표면마찰력으로 일반적으로 11~14를 사용한다 (Hogervorst, 1980).

## 파주력 산정에 관한 수리모형실험

### 1. 계류기초의 수리모형실험

#### 1) 모형제작 및 실험장치

##### (1) 모형 제작

본 실험에서는 부유식 수산시설물의 안정적인 유지에 필요한 앵커의 중량 및 계류기초의 최적화를 구명하기 위하여 중력식, 파주력식 및 고정식에 대한 일반적 모델을 대상으로 모형을 제작하였다.



파주력식의 경우 스톡 앵커와 댄포스 앵커, 중력식의 경우에는 콘크리트 사각블록을, 고정식은 플라스틱 원통형 파일을 채택하여 이들의 모형을 제작하였다. 또한, 계류사의 연결구성은 앵커의 단위중량당 파주력 변화를 알아보기 위해 여러가지 형태의 계류사를 구성하여 실험을 행하였다.

현장에서 상용되고 있는 300kg(공기중)의 앵커를 실험수조의 규모를 고려하여 1/20로 축소하여 15kg으로 제작하였으며, 자재명세서 및 설계도는

**Table 5. Prototype and model for stock and danforth anchor** (unit : mm)

Symbol	Stock anchor		Danforth anchor	
	Prototype	Model	Prototype	Model
A	1829	673	1630	600
B	823	303	-	-
C	1239	456	978	360
D	299	110	-	-
E	304	112	951	350
F	484	178	-	-
G	247	91	190	70
H	170	62	1521	560

**Table 6. Model for concrete block**

Dimensions	Model
Weight (kg)	15
L (mm)	390
B (mm)	190
H (mm)	100

각각 Table 5, 6, 7 및 Fig. 6, 7, 8과 같다. 모형은 식 (13)에 의해 실물과 동일한 재료로 제작하였다.

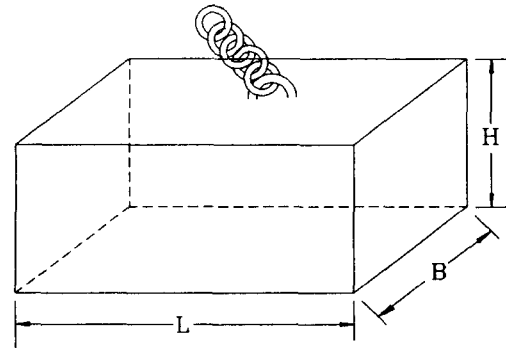
$$S_L^3 = \frac{W_2}{W_1} = \frac{L_2^3}{L_1^3} \quad (13)$$

단,  $W_1$ 은 실물 앵커의 무게,  $W_2$ 는 모형 앵커의 무게,  $L_1$ 은 실물 앵커의 길이,  $L_2$ 는 모형 앵커의 길이를 나타낸다. 따라서, 치수비  $S_L$ 은 식 (14)와 같

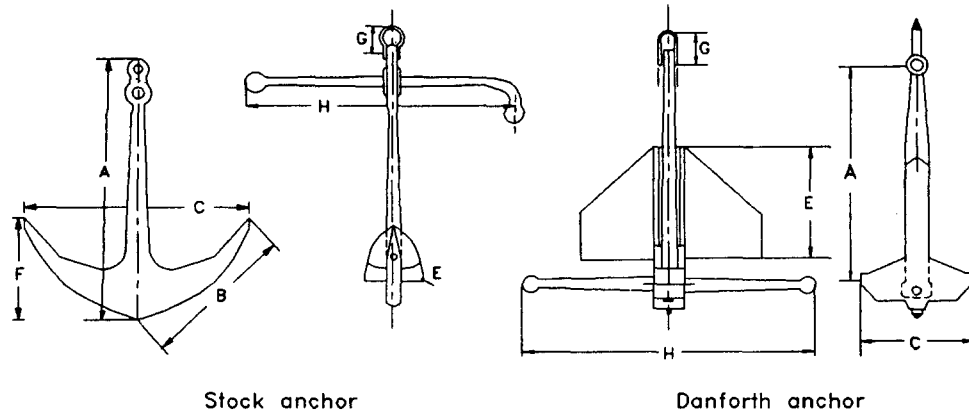
**Table 7. Structural condition of model for fixed pile**

Dimensions	Case 1	Case 2
Weight (kg)	0.1	0.2
D (mm)	32.0	48.0
H (mm)	20.0	20.0

D : diameter, H : height



**Fig. 7. Typical shape of concrete block.**



**Fig. 6. Typical shapes of stock and danforth anchor.**

- A : Length of shank
- B : Length of arm
- C : Length between bill
- D : Width of fluke
- E : Length of fluke
- F : Length of head
- G : Length of anchor ring
- H : Length of stock

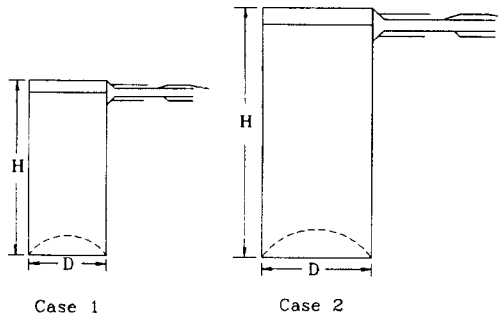


Fig. 8. Typical shapes of fixed piles.

다.

$$S_L = \frac{W_2}{W_1} = \sqrt[3]{\frac{L_2}{L_1}} = \sqrt[3]{\frac{1}{20}} = 0.368 \quad (14)$$

(2) 실험장치

실험에 사용한 수조는 두께가 20mm인 FRP수조이고, 크기는 2.6m × 1.2m × 1.1m(L × B × D)였다. 실험장치는 Fig. 9와 같이 수조 양면의 가장자리에 2m 높이의 ㄷ자형인 철재앵글 지주를 세우고 그 중간에 로드셀(용량 500kgf)을 설치하였다.

장력은 로드셀에서 측정된 힘을 인디케이터에 디지털 방식으로 표시되도록 하였으며, 측정된 수치는 줄의 각도(0°, 30°, 45°)를 포함한 값으로 최

대치만 산정하였다. 실험에 사용된 모터는 기어드 방식의 직류모터(DC 110V × 0.75Kw)로서, 회전 속도는 감속기를 이용하여 제어할 수 있다.

2) 실험방법

저질을 수조 바닥에 35cm의 높이로 채운 후 해수를 주입하고 표면은 평면이 되도록 한 후 모형 앵커의 투묘상태를 anchor arm의 각도를 최대로 벌려서 저질속으로 밀어넣어 anchor shank을 저질면에 평행하게 밀착하도록 하고 anchor ring에 연결된 계류삭은 철재앵글 지주중앙에 부착되어 있는 도래를 통하게 하여 도래위에 설치된 로드셀에 의해서 장력이 측정될 수 있도록 하였다.

콘크리트 사각블록은 저질 밑 5cm 정도의 깊이 에 설치하고, 고정식 파일은 저질 속으로 완전히 밀어 넣어 앵커와 동일한 방법으로 장력을 측정 하였다.

계류삭 구성은 3가지의 방법으로 나누어서 실험을 행하였다. 첫번째 방법은 계류삭의 전부(앵커에서 로드셀까지)를 PP로프만 사용하고, PP로프의 1/3 되는 지점에 2kg의 추(clump)를 달아 장력의 변화를 측정하였다. 두번째 방법은 계류삭의 1/3은 앵커체인으로 연결하고, 나머지 2/3는 PP로프를 연결하여 계류삭을 구성하였다. 이 경우 체인의

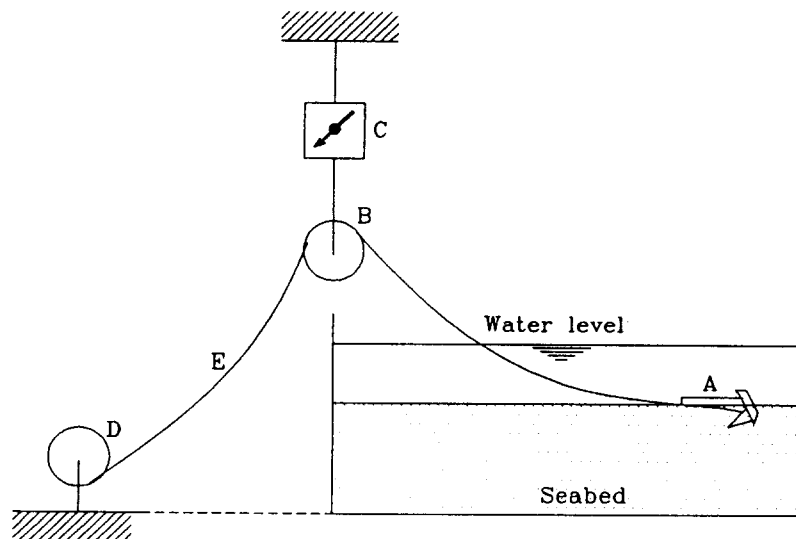


Fig. 9. Experimental equipments.

A : Model anchor, B : Single block, C : Load cell, D : Electric motor with reduction gear, E : Pulling rope

직경 D는 6mm이며, 무게는 2.2kg이었다. 세번째 방법은 파주력의 증대를 위하여 2번째 방법에 추가하여 1/3 지점에 2kg의 추를 달았다. 또한, 앵커와 계류삭간의 각도를 달리하여 파주력의 변화를 알아보는 실험도 행하였다.

한편, 최대장력은 모터를 계속 구동시켜 anchor arm이 저질 속으로 완전히 파고 들어가서 더 이상의 장력변화가 없었을 때 측정된 장력으로 회전속도는 400rpm이었다. 실험횟수는 5회 였으며, 그 평균치를 구하여 최대파주력으로 하였다.

## 2. 파주력 특성 및 산정식 확립

### 1) 파주력식 계류기초

수리모형실험은 스톡 앵커, 덴포스 앵커 및 홀형 앵커에 대해 실시하였고 파주력 특성은 Table 8과 같이 정리할 수 있다.

Table 8에서와 같이 스톡 앵커의 최대파주력은 42kg, 덴포스 앵커의 최대파주력은 77kg로 나타났으며, 종래의 산정식들에 의한 계산치와는 큰 차이를 보이고 있다. 특히 모래에 대해서는 변동이 크며, 본 연구에서 제안한 산정식에 의한 결과는 비교적 잘 일치하고 있다. 앵커의 중량 및 저질의

**Table 8. Comparisons of maximum holding force between measured and calculated values for stock, danforth and hall's anchor**

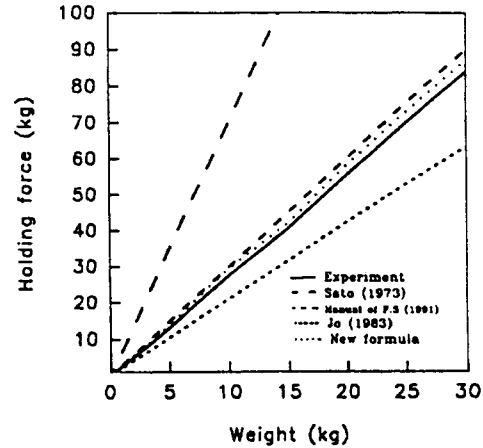
Methods (Bed conditions)	Holding forces (kg)		
	Stock anchor	Danforth anchor	Hall's anchor
Measured			
(Sand)	40.7	74.7	56.9
(Mud)	42.0	77.0	58.9
Sato (1973)			
(Sand)	91.0	91.0	91.0
(Mud)	104.0	104.0	104.0
Manual of fisheries structure (1991)			
(Sand)	39.0	39.0	39.0
(Mud)	30.4	30.4	30.4
Jo (1983)			
(Sand)	31.7	110.3	37.9
(Mud)	35.4	115.3	42.4
This study			
(Sand)	42.1	72.4	55.1
(Mud)	43.5	79.5	60.1

변화에 따른 파주력 변화는 Fig. 10~12와 같다.

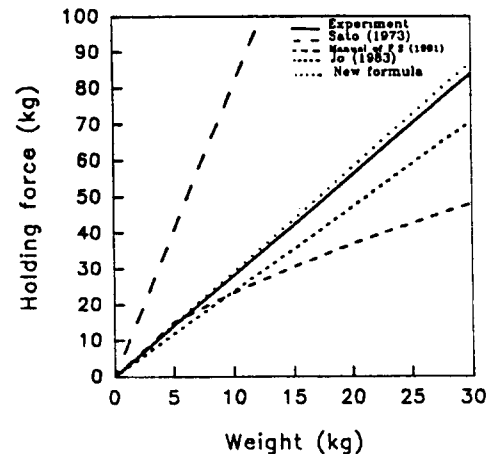
### 2) 중력식 계류기초

중력식인 콘크리트 블록에 대한 최대파주력의 측정 결과는 Table 9와 같다.

중력식의 실험치는 17kg이었으며, 고정력의 연직성분만을 고려한 佐藤(1973)의 계산치와는 큰 차이를 보이고 있으나, 침하시의 측면 마찰력을 고려한 산정식의 계산치는 실험치와 거의 일치되게 나타났다. Fig. 13은 콘크리트 블록의 중량변화에 따른 파주력의 경향을 나타낸 것이다.



(a) Sand



(b) Mud

**Fig. 10. Hold forces of stock anchor with change of anchor weights and bottom soils.**

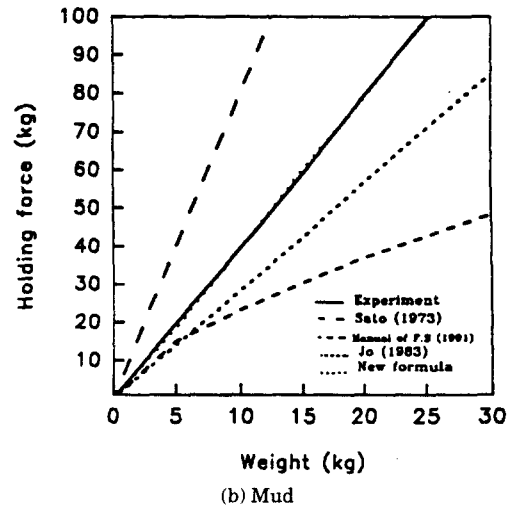
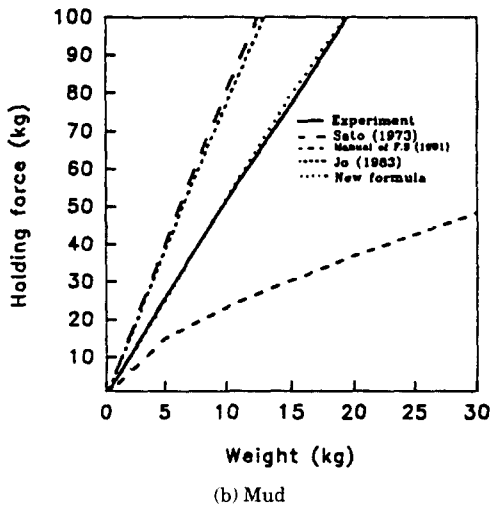
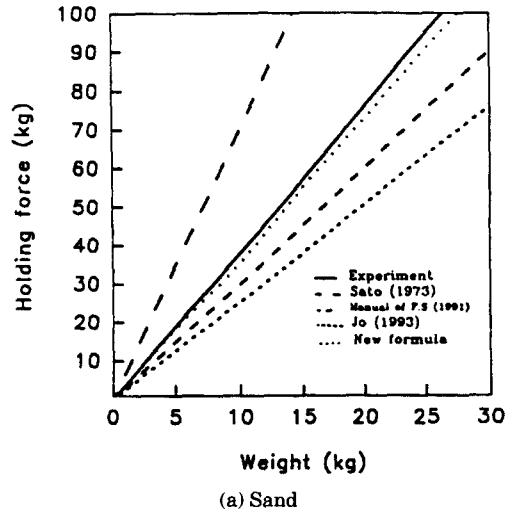
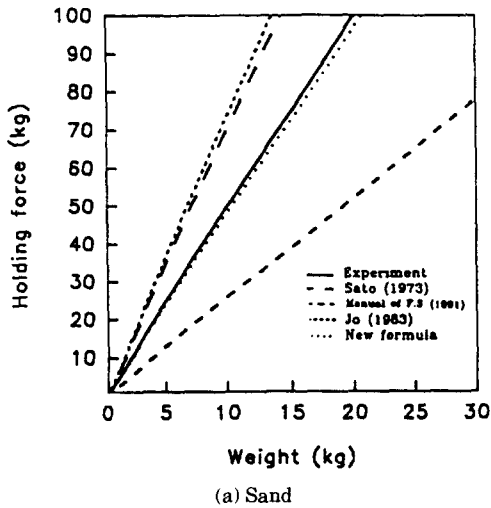


Fig. 11. Hold forces of danforth anchor with change of anchor weights and bottom soils.

Fig. 12. Hold forces of hall's anchor with change of anchor weights and bottom soils.

Table 9. Comparisons of maximum holding force between measured and calculated values for deadweight anchor

Items	Holding force (kg)
Measured	17.0
Sato (1973)	7.5
This study model	16.6

Table 10에서 보면 고정식 계류기초에 대한 고정력의 실험치와 산정식에 의한 계산치가 거의 일치하는 경향을 확인할 수 있으며, 본 연구에서 간단한 식으로 제안한 고정력계산 개념이 다양한 형태의 계류기초 설계 및 시공에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

3) 고정식 계류기초

고정형 원통파일에 대한 최대파주력의 측정 결과는 Table 10과 같다.

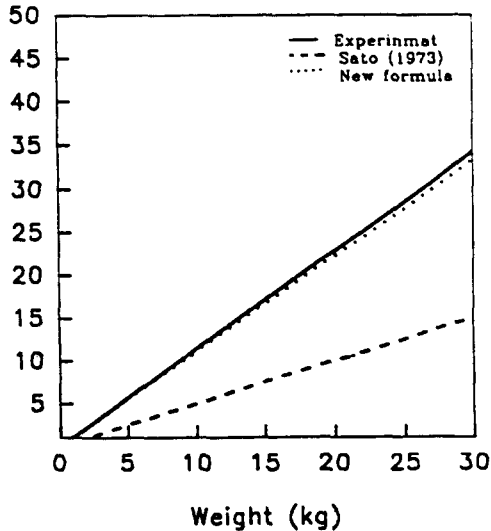


Fig. 13. Holding forces of concrete block with change of block weights.

Table 10. Comparisons of maximum holding forces between measured and calculated for pile fixed anchor

D (cm)	H (cm)	Holding force (kg)	
		Measured	Calculated
3.2	20	4.4	4.3
4.8	20	6.3	6.4

### 적정 계류시스템의 구조 도출

#### 1. 계류기초의 종합적 비교에 의한 적정 구조의 고찰

계류기초의 개발 및 특성에 관한 많은 연구가 이루어져 왔지만, 최근에는 대상해역의 심해화 및 시설의 대규모화 등에 대한 요청으로 이를 위한 연구가 행해지고 있다. 이들은 대부분 해운업 및 석유산업의 발달과 더불어 선박, 석유탐사 및 시추를 위한 구조물의 안정계류를 중심으로 이루어져 왔다. 한편, 수산시설물의 다양화, 외해화 및 대형화 등에 따라 적정 계류기초의 검토가 필요하며, 이를 위해 종래에 개발되어져 이용되고 있는 계류기초의 수리모형실험 및 현장실험 결과와 본 연구에서 실시한 실험 결과 등을 종합적으로 비교·검토하고자 하였다. 계류기초의 안정성 및 경제성 등에

대한 종합적인 비교는 용이하지 않으나, 안정성과 관련하여 Anchor fluke의 펼침성, 저질에 대한 침투성(관입성), 문힘 상태, 안정성, 파주력 등을 정리하고, 경제성과 관련해서는 계류기초의 중량에 대한 고정력(파주력)의 비율로서 정리하고자 하였다. 여기서는 Puech (1978) 등의 연구결과와 본 연구의 실험결과를 종합하여 Table 11에 비교하여 나타내었으며, 각 계류기초의 안정성 및 경제성을 저질종류에 따라 비교하였다.

Table 11에서 계류기초의 기능성과 관련한 anchor fluke의 펼침성은 Steven형, Fliper delta형, Danforth형이 양호하며, 저질에 대한 침투성(관입성)은 Fliper delta형, Bruse형, Stock형이 양호하였다. 저질에 대한 문힘성은 사질의 경우 Delta triple형, Danforth형이 양호하였다. 그러나, 이러한 계류기초의 기능은 선박과 같이 투묘후 선체에 의한 끌림으로 계류기초가 고정되는 경우를 대상으로 한 것으로 기동성을 요하지 않는 경우에는 다른 관점에서 평가하여야 할 것으로 고려된다. 따라서, 수산시설물이나 대형 해양구조물과 같은 장기 체류형의 경우 이러한 시설성이 인위적인 외력이나 작업에 의해 수행될 수 있으므로 계류기초의 규모 및 파주력에 의한 안정성 및 경제성의 평가가 중요한 것으로 고려된다. Table 11로부터 알 수 있는 것처럼 자중에 대한 고정력의 비율을 기준으로 비교할 때, Delta triple형, 고정식 파일, Steven형 및 Fliper delta형의 순으로 나타남을 알 수 있다.

따라서, 수산시설물의 경우 시설의 중요성 및 규모를 중심으로 적정 계류기초를 선정할 필요가 있다. 또한, 체류형 및 기동형으로 나누어 고려할 필요가 있으며, Delta triple형 및 고정식 파일, Steven형 및 Fliper형 등이 적합한 것으로 고려된다.

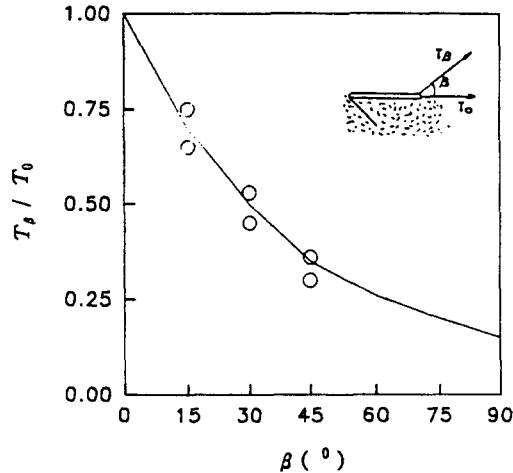
#### 2. 적정 계류시스템의 구성에 대한 실험적 고찰

수산시설물의 안정성 향상을 위해서는 계류기초의 선택 뿐 아니라 부유구조물과 계류기초를 연결하는 계류시스템의 배열 및 구성도 중요한 검토 사항이다. 여기서는 적정 계류시스템의 구성을 위

**Table 11. Comparative review of various anchors in the viewpoint of function, stability and holding forces**

Anchor	Soil	Opening	Penetration	Burial	Stability	Holding force (kg)	HP/W	
Steven (100kg)	(S)	fast	good	no	middle	1000	10	Alain Puech (1978)
	(M)	random	good (if flukest ripped)	deep	unstable at depth	2500	25	
Fliper delta (100kg)	(S)	fast	good	no	middle	1000	10	
	(M)	fast	good	deep	middle	2500	25	
Bruse(50kg)	(S)		good	burial depth depend on the traction angle	high	600	12	
	(M)		good	shallow	highq	250	5	
Vicinay CS (114kg)	(S)	normal	partial by jerks	no	lies down on stock without	1500	13.2	
	(M)	random	satisfactory if flukes tripped	possible if penetration occurs	good if penetration occurs	500	4.4	
Delta triple (100kg)	(S)		on the spot	deep	high	4500	45	
	(M)		on the spot	deep	high	4500	35	
Danforth (15kg)	(S)	normal	good	deep	low	74	4.9	Exper- imental re- sults
	(M)	random	good	deep	middle	77	5.1	
Stock (15kg)	(S)	fast	good	shallow	high	41	2.7	
	(M)	fast	good	shallow	middle	42	2.9	
Concrete block (15kg)	(S)		good	shallow	high	17	1.1	
	(M)		good	shallow	high	19	1.1	
Fixed file (0.18kg)	(S)		good	deep	high	6	32	
	(M)		good	deep	high	7	37	

S : sand, M : mud.



**Fig. 14. Change of relative maximum holding force by pulling angles.**

한 실험적 연구를 실시하였다. 앞장의 1절에서 기술한 수리모형실험장치 및 방법으로 동일 계류기초를 대상으로 계류삭 연결구조의 변경에 따른 파주력 변화를 검토하였다. 이로부터 적정계류시스

**Table 12. Variation of maximum holding force according to various mooring systems**

Types of mooring line	Holding force (kg)		
	Concrete block	Stock anchor	Danforth anchor
Rope	17	42	77
Rope + clump	20	45	80
Rope + chain	23	52	85
Rope + clump + chain	26	62	93

템 구성 방안을 제시하고자 하였다. 또한 앵커와 계류삭 사이의 각을 조절하여 파주력의 변화치를 무차원화하여 Fig. 14에 나타내었는데 앵커와 계류삭간의 각도가 클수록 파주력이 작아지는 것을 알 수 있다. 콘크리트 블록은 수평력보다는 연직력이 강하므로 계류삭의 각도를 높여 주는 것이 파주력 증대에 효과적인 것으로 생각된다.

수리모형실험에서는 계류삭을 로프만으로 구성한 경우를 기준으로, 로프에 추, 체인, 추와 체인의 보완에 따른 대상 계류기초의 고정력을 측정하고, 그 변화 특성을 정리하여 Table 12에 나타내었다.

표로부터 계류삭이 PP로프로만 구성될 경우 최대 파주력은 콘크리트 블록의 경우 17kg, 스톱 앵커의 경우 42kg, 덴포스 앵커의 경우 77kg으로 나타났다. 한편, PP로프에 추(중량 2kg)를 보완하면 최대 파주력이 콘크리트 블록은 20kg, 스톱 앵커는 45kg, 덴포스 앵커는 80kg로 증가되었다. PP로프에 체인(중량 2.2kg, 길이 80cm)을 연결하여 구성할 경우는 콘크리트 블록은 23kg, 스톱 앵커는 52kg, 덴포스 앵커는 85kg으로 나타났다. 또한, PP로프에 추와 체인을 동시에 보완하여 계류삭을 구성할 경우의 최대 파주력은 콘크리트 블록의 경우 28kg, 스톱 앵커의 경우 62kg, 덴포스 앵커의 경우 93kg으로 나타나 가장 큰 파주력을 나타내었다. 파주력식의 경우 수평력으로 구조물의 안정을 지지하나 PP로프의 경우 부력의 작용으로 수평력이 감소하므로 PP로프가 경제적이지만 구조물의 안정성 및 경제성을 고려한 일부분 체인의 사용이 파주력을 증가시키는 데 유효할 것이다. 이로부터 경제성을 고려하여 필요에 따라 이러한 계류시스템의 구성에 의한 안정성 향상을 검토할 수 있을 것이다.

## 결 론

본 연구는 부유식 수산시설물의 안정성 및 기능성 제고를 위한 적정 계류시스템의 설계 및 배치를 위한 기초적 연구로서 계류기초별 파주력 특성 및 파주력 산정개념을 정리하고, 그 적용성을 종합적으로 검토하고자 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 종래 계류기초의 고정력은 앵커의 공기중 무게와 저질에 따른 고정계수에 비례하는 형식을 기준으로 실험을 통해 고정계수를 산정하여 사용하였으나, 이는 계류기초의 형상 및 입지 특성 등을 고려하지 않은 문제가 있었다. 이로부터 고정계수치가 과대평가되어 계류기초의 소요중량을 과소평가시킬 위험성이 있음을 지적할 수 있다. 따라서, 고정계수의 합리적인 산정을 위해서는 계류기초의 종류별 실험에 의한 산정과 산정방법의 표준화가 요망된다.

(2) 계류기초의 고정력에 대한 합리적인 평가와

작용력 기구의 정립을 검토하였고, 입지부에 대한 수동토압과 상부 정토압의 법선성분, 표면 마찰력 등을 고려하는 산정개념을 정립하였다. 그리고, 각종 계류기초의 고정력 작용기구에 따라 작용력 성분을 고려하도록 하였다. 즉, 파주력식의 경우 이들 작용력을 모두 고려하고, 중력식의 경우 정토압의 법선성분을 제외한 저항력이 작용하는 것으로 고려하였으며, 고정식은 토질압력 및 토질과 파일 간의 마찰력에 의한 저항력이 작용하는 것으로 고려하여 고정력을 산정할 수 있다.

(3) 파주력식, 중력식 및 고정식 대한 실험결과를 이용하여 종래 산정식과 본 연구에서 제안한 산정식의 적용성을 검토하였으며, 본 연구에서 제안한 산정식은 종래 산정식에 비해 적용성이 탁월함을 알 수 있었다.

(4) 수산시설물에 이용가능한 계류기초에 대한 적용성을 비교·검토한 결과, 파주력식의 경우는 파주력 및 경제적으로는 비교적 양호하나, 투하후 해저바닥에 꽂힘이 문제시되며, 중력식의 경우 제작경비는 작지만, 파주력이 약하고 운반과 설치시 어려운 문제점이 있으며, 고정식의 경우는 파주력 및 안정성은 강한 반면, 경제성에 문제가 다르나 앞으로 대형 부유식 수산시설물에는 이용 가능한 것으로 판단된다.

(5) 앵커와 계류삭 사이의 각을 조절하여 파주력의 변화치를 실험한 결과, 앵커와 계류삭간의 각도가 클수록 파주력이 작아지는 것을 알 수 있었으며, 콘크리트 블록은 수평력보다는 연직력이 강하므로 연직계류가 필요한 시설에 그 적용성이 큰 것으로 판단된다. 또한, 계류기초의 고정력 증대를 위한 적정 계류기초의 구성을 검토한 결과, 경제성을 고려하여 앵커체인(전체 계류삭 길이의 1/3)과 추를 보완하는 방법이 계류력 증대면에서 가장 유효한 것으로 나타났으나, 시설의 종류와 시설기능에 따른 계류방식에 따라 계류기초가 선택적으로 사용되어야 함을 강조할 수 있다.

## 參考文獻

- Ansari, K. A. (1980) : Mooring with multicomponent cable system, J. Eng. Res., Vol.62, 102.

계류기초의 파주력 산정에 관한 연구

- Berteaux, H. O. (1976) : Buoy Engineering, A Wiley Interscience Publication, 265~272.
- Beveridge, C. M. (1987) : Cage Aquaculture, London Press, Fishing News Books, 39~101.
- FARM OCEAN AB. (1989) : Strategies and technologies in offshore farming, 2nd Tasmanian Aquaculture Conference, 265~273.
- Helfrich, S. C. (1976) : Pullout characteristics of a suction anchor in sand, Offshore Technology Conference, 2469, 501~506.
- Hogervorst, J. R. (1980) : Field trails with large diameter suction piles, Offshore Technology Conference, 3817, 217~224.
- Poulos, H. G. (1988) : Marine Geotechnics, School of Civil Mining Engineering, University of Sydney, 420~425.
- Puech, A. (1978) : Behavior of anchors in different soil condition, Offshore Technology Conference, 3204, 1321~1328.
- 浦環 (1984) : 앵커의 최대把駐力係數, 日本航海學會誌, 70, 37~45.
- 小山 荒雄 · 浦環 (1984) : 新型錨의開發, 日本航海學會誌, 70, 47~54.
- 操艦教範 (1959) : 舊日本海軍, 海上保安廳, 36~39.
- 佐藤 修 (1973) : 増養殖施設設置に關する若干の問題, 水産土木 (1), 17~24.
- 本田啓之輔 (1981) : 特殊型 앵커, 海洋工學講演會論文集, 68, 49~54.
- 松原雄平 · 平尾章 · 野田英明 (1983) : 波動下における海中養殖施設の動的應答に關する研究, 第34回 海岸工學論文集, 420~424.
- 日本全國沿岸漁業振興開發協會 (1991) : 沿岸漁場整備開發事業設計指針書, 198~205.
- 金世元 (1991) : Hall형 錨 및 錨鎖의 把駐力係數에 관한 模型實驗, 釜山水産大學校 碩士學位請求論文, 5~15.
- 金喆俊 (1982) : 船體纜裝, 螢雪出版社, 23~36.
- 朴容燮 (1976) : Anchor의 把駐抵抗과 安全把駐係數에 관한 問題點 考察, 韓國海洋大學校 論文集, 11, 139~154.
- 辛鉉守 (1983) : Static analysis of spread mooring System, 韓國線形試驗水槽協議會 海洋工學分科 5차 Workshop, 13~19.
- 曹台鉉, 金奉采, 金奉安, 張志元 (1983) : 錨纜網 漁具 改良 研究 - 錨 改良 基礎 試驗, 國立水産振興院研究報告, 31, 6~16.
- 崔恒洵 (1983) : Static analysis of a single - point catenary mooring, 韓國線形試驗水槽協議會 海洋工學分科 5차 Workshop, 35~45.