

## 바다목장화를 위한 다목적 수산기지의 기초설계

김 현 주\* · 이 나 리\*\*

(99년 3월 23일 접수)

### Basic Design of Multipurpose Fisheries Base for Marine Ranching Program

Hyeon-Ju Kim\* · Nary Lee\*\*

**Key Words** : Marine Ranching System(바다목장), Multipurpose Fisheries Base(다목적 수산기지), Steel Pile Design(강관 설계), Design Optimization(설계최적화)

#### Abstract

Multipurpose fisheries base was conceptually designed to establish marine ranching system in the coastal waters around Tongyoung, southern sea of Korea. Fisheries base for marine ranching system has integrated various facilities which were required for the process of spawning, rearing, training, releasing, monitoring and catching functions. This base has five steel piles for supporting upper structure and systems. Four steel piles are surrounded by circular net pen made by steel wire, they have the function of the protection against fouling for pile and scouring for bottom soil as well as secondary rearing and short stocking. We can use the last pile to moor a ship and access to the base. Principal structure with steel piles is designed by optimization technique considering design external forces in the coastal waters of return period of 50 years. Design optimization problem is formulated for this base. Optimal design of multipurpose fisheries base is numerically investigated by sequential quadratic programming method.

#### 1. 서 론

최근, 연안 매립 및 해양오염에 따른 연안어장의 축소 및 황폐화가 가속되고 있다. 또한, 무분별한 남획에 의한 수산자원은 급감하고 있다. 그러나, 세계 각국은 식량자원화 추세에 있으며, 수입량이 많은 우리나라는 국민식량의 안정적 공급을 위해 체계적인 식량의 배양 및 공급을 위한 관리대책의 수립이 요청되고 있다<sup>1)</sup>.

공해상에서의 조업규제 강화로 원양어업은 타격을 받고 있으며, 주변국의 200해리 배타적 경제수역 설정에 따른 근해어업도 제한을 받게 되었다. 따라서, 연안어업의 중요성이 증대되고 있어 연안 수산자원의 효율적인 관리가 필요하게 되었다. 이

계적인 식량의 배양 및 공급을 위한 관리대책의 수립이 요청되고 있다<sup>1)</sup>.

\* 중신회원, 한국해양연구소 선박해양공학분소 해양개발시스템연구센터

\*\* 정회원, 한국해양연구소 선박해양공학분소 해양개발시스템연구센터

는 연안 수산자원의 지속 가능한 이용을 위한 자원 관리형 재배어업인 바다목장화로서 실현될 수 있을 것이다<sup>1), 2)</sup>.

우리나라에서는 70년대부터 인공어초어장 조성 사업을 시행해 왔으며, 90년대에 들어 연안 목장화로 발전시키기 위한 기초연구<sup>3)</sup>를 실시하였다. 해양수산부는 1998년부터 통영해역을 대상으로 바다목장화 시범단지 조성사업을 추진하고 있다<sup>4)</sup>.

바다목장화는 양호한 어장을 조성하고 우량종묘를 배양 및 방류하고 환경 및 자원관리를 통하여 자원의 증대 및 어획의 효율화를 꾀하는 것으로서 이를 위한 다양한 요소시설의 개발 및 종합화 기술이 필요하다.

본 연구에서는 바다목장화를 위한 요소시설의 종류별 소요기능을 개관하고, 어장조성기술과 인공종묘생산기술을 체계적으로 연계하기 위한 중간육성 및 방류기술의 정립을 위한 기능형 시설 개발을 목표로 한다.

바다목장화의 경제성 제고를 위한 시설의 효율성 제고 및 통합화가 요구되며, 본 연구에서는 강관계류식 중간육성시설의 강관을 활용한 인공종묘생산, 중간육성, 음향순치, 음향급이형 어군행동제어, 축양기능 및 해양환경 및 자원관리 모니터링 기지를 제공하고자 하는 다목적 수산기지화의 개

념설계를 실시하고자 한다. 여기서, 말뚝지지식 구조물(Jack-up형)을 적용한 다목적 수산기지의 기초설계를 중심으로 개념설계를 실시하였다.

## 2. 바다목장화를 위한 요소기술 및 시설

바다목장화는 어항 및 어촌 종합개발과 더불어 수산업의 청정생산·환경·문화산업화를 위한 기반으로서 생산성 높고 쾌적한 연안자원 개발 및 이용을 목표로 한다. 따라서, 연안의 공간 및 생물자원을 효율적으로 이용하기 위한 다양한 계획 및 기술을 필요로 한다<sup>1)</sup>.

바다목장화를 위한 요소기술을 어항개발기술, 어촌개발기술과 함께 Fig. 1에 정리해 보았다. 동 그림에서 바다목장화는 수산증식과 수산양식을 종합하여 수산자원을 배양-조성-관리하는 기술체계로서 나타내었고, 이를 위한 다양한 수산시설의 개발 및 배치가 요구된다.

바다목장화를 위한 요소시설은 크게 (1)종묘생산 및 배양시설, (2)중간육성 및 순치시설, (3)환경개선 및 어장조성시설, (4)자원관리(어군행동)시설, (5)해양환경 및 자원모니터링 시설, (6)해역-환경-생물관리기지 등이 대별할 수 있다.

여기서, 이들 수산시설의 개발 및 배치는 시설물

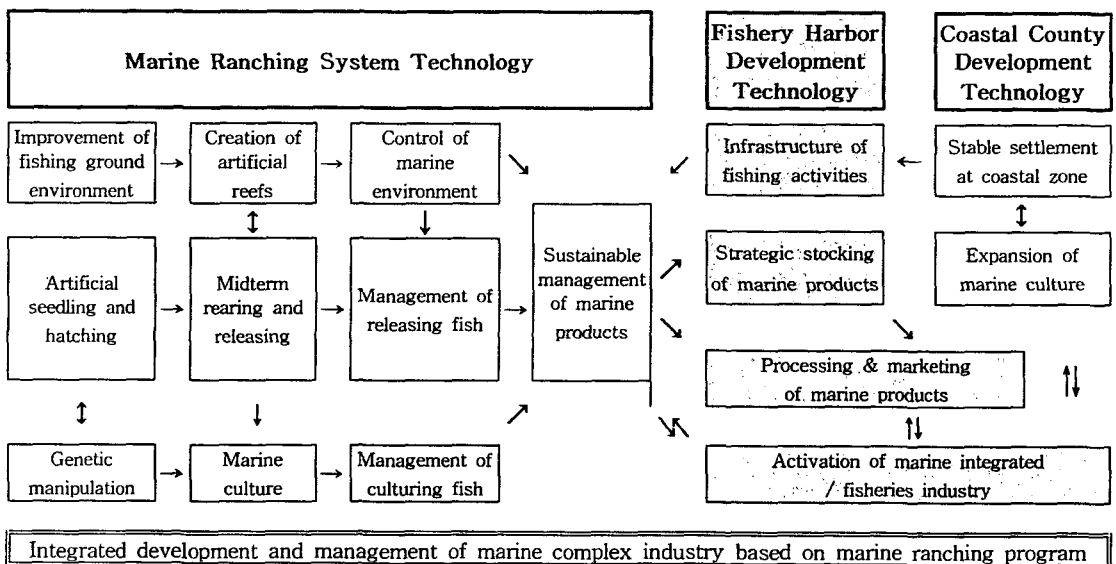


Fig. 1 Key technologies and their relations for marine ranching program in Korea

Table 1 Culturing and managing process of objective fish for Tongyoung marine ranching program

Process	Fish rearing	Childfish spawning	Childfish rearing	Midterm rearing by labiodental sounds	Releasing to marine ranching system	Labiodental sounds for resource management	Catching
Objective period	Preservation of healthy fish over 3 years old	7mm	7~30mm (about 2 month)	30~100mm (about 2~3 months)	80~100mm	4~7 times a day	As occasion demands quantity
Application program of fisheries base	Bag pen under fisheries base	Upper basin of fisheries base	Bag pen under fisheries base	Submersible fish cage moored leg piles	Creation and monitoring of artificial fishing ground	Monitoring of fish movement	Collecting by labiodental sounds

의 안정성과 대상어류의 생활사적 생리생태특성을 고려한 생태계 제어기능이 극대화되어야 할 뿐 아니라 경제성이 확보되어야 한다<sup>5)</sup>. 여기서, 경제성 평가는 생태계의 복구, 해양환경개선에 대한 효과를 경제적 가치로 평가하기가 아직 쉽지 않으므로 수산자원 생산성을 중심으로 이루어질 것이며, 바다목장화에서도 경제성 확보를 위한 시설 다기능화가 요망된다.

### 3. 바다목장용 다목적 수산기지 구성

Fig. 1에 나타난 것처럼 바다목장화를 위해서는 어장을 조성한 후, 인공적으로 자원을 배양육성하여 첨가하고, 환경 및 자원의 효율적인 관리를 실시하여야 한다. 여기서, 자원의 배양, 육성 및 순치, 환경 및 자원관리를 위한 바다목장화기지를 다목

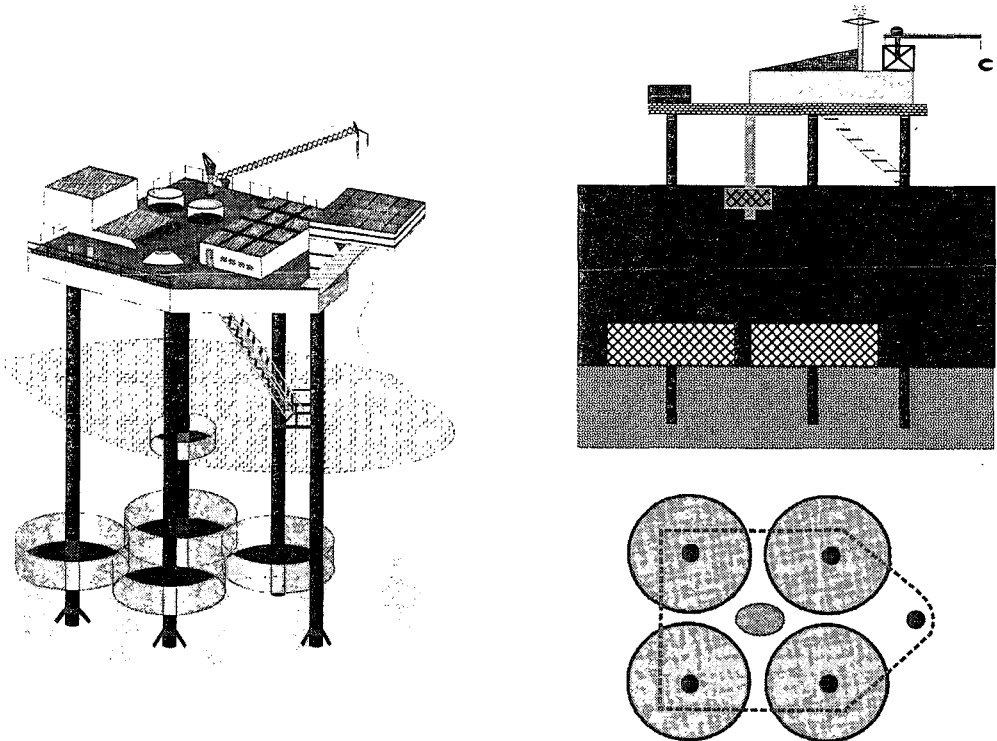


Fig. 2 Conceptual design of multipurpose fisheries base for marine ranching program

Table 2 Environmental conditions for conceptual design at Tongyoung marine ranching area

Return period(yr)	5	10	20	30	50	75	100	S.D	
Maximum wind speed (m/sec)	23.5	25.8	28.0	29.3	30.8	32.1	33.0	0.23	0.98
Instantaneous maximum wind speed (m/sec)	36.9	40.4	43.8	45.7	48.2	50.1	51.4	0.13	0.99
Significant wave height (m)		7.9	8.7	9.1	9.6	9.9	10.2		
Significant wave period (sec)		12.0	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0		
Extreme high water level (m)	3.11	3.16	3.21	3.23	3.27	3.29	3.32	0.07	0.97
Extreme low water level (m)	-0.21	-0.31	-0.40	-0.46	-0.52	-0.58	-0.61	0.11	0.95
Strongest current speed & direction	50cm/sec N, 50cm/sec S								
Soil condition	clay(0~3m), weathered soil(3~7m), weathered rock(7~10m), soft rock(10m~)								

적 수산기지로 정의하고, 이에 대한 기본적인 개발 개념을 정립하고자 한다.

한편, 통영해역의 바다목장화는 조피볼락 및 볼락을 1차적인 대상으로 하며, 종묘생산부터 어획까지의 자원첨가 및 관리계획은 대상어의 어류생활 사적 생리·생태 특성<sup>6)</sup>을 고려하여 Table 1과 같이 나타내었다. 또한, 각 단계별 수산기지의 기능 제공도 표에 나타낸 것과 같다<sup>7)</sup>.

바다목장화를 위한 수산기지는 Fig. 2와 같이 강관으로 지지되는 고정식 또는 Jack-up식 해양구조물이다. 그 상부공간에 인공종묘의 생산, 사료저장 및 급이, 음향순치, 해양환경 및 자원모니터링, 연구 및 관리요원 거주공간을 배치하고, 하부의 수면에 종묘배양을 위한 폐쇄식 가두리와 자동음향급이기를 시설한다. 또한, 해저면에는 강관을 중심으로 활동하며 부상 및 침강이 조절되는 원형가두리를 배치하여 음향순치식 중간육성 및 축양공간으로 활용한다.

탑재되는 시설은 다음과 같이 가정한다. (1) 인공종묘 생산을 위한 수조는 1t형 원형수조 2기를 사용하며, (2) 음향급이장치는 30W, 150dB, 300 Hz의 단속음을 방사하며, 사료저장장치는 300kg을 보관하며, 매일 1kg~10kg 정도를 급이한다. (3) 해양환경모니터링을 위해 해상기상관측장비를 시설하고, 실시간 계측 및 원격송신한다. (4) 자원모니터링은 어군탐지기 및 수중카메라로 실시하며, (5) 상부공간에 태양전지를 시설하여 발전(2kW) 및 축전한다. (6) 친어 양성 및 치자어 사육을 위한 해상 폐쇄식 가두리는 직경 5m, 깊이 3m의 PP 수조를 사용하며, (7) 중간육성 및 축양을 위한 부침식 가

두리<sup>8)</sup>는 원형금망을 이용하여 직경 10m, 높이 4m로 시설한다.

#### 4. 설계외력환경 및 작용유체력 산정

바다목장화 시범단지 조성을 위한 대상해역인 통영해역의 해양외력환경을 조사 및 분석하고, 극치통계해석에 의해 Table 2와 같이 정리하였다. Table 2의 파랑은 심해파 체원이므로 대상해역까지의 파랑변형을 고려하여 검토되어야 하며, 여기서는 파고-주기의 결합분포 특성을 고려하여 Table 3과 같이 다양한 파랑조건으로 가정하였다.

Table 3 Cases of postulated design conditions

CASE		W1	W2	W3	W4	W5	W6
Wave	Height(m)	1	2	3	4	5	6
	Period(s)	4	5.6	7.2	8.8	10.4	12

강관 및 원형 가두리망에 작용하는 설계외력은 Fig. 3에서와 같이 상부공 자중, 풍압력, 파력, 조류력, 선박충돌력 등이 작용한다. 다목적 수산기지에 탑재되는 시설로부터 상부공 자중을 산정한다.

상부에 탑재되는 시설의 총무게는 약 600 ton으로 가정한다. 또한, 육지측 강관에 선박의 접안으로 인해 작용하는 충격력은 최대 12 ton이 작용하는 것으로 가정한다. 그리고, 다목적 수산기지에 작용하는 풍압력은 식(1)로 산정한다.

$$F_w = 1/2 \times C_d \times \rho_a \times A_s \times V_w^2 \quad (1)$$

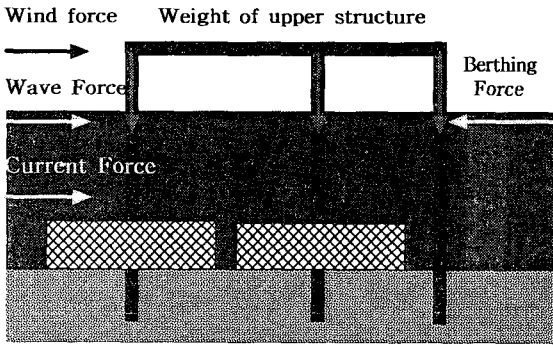


Fig. 3 External forces considered.

여기서,  $C_D$ 는 항력계수,  $\rho_w$ 는 공기의 밀도,  $A_s$ 는 해면 상부구조물의 투영면적,  $V_w$ 는 풍속을 나타낸다.

다목적 수산기지의 기초부인 5개의 강관말뚝을 중심으로 설치된 부침식 원형가두리망에 작용하는 유체력은 침강시를 기준으로 파력 및 조류력을 산정한다. 강관에 작용하는 파력은 식(2)와 같이 Morison식을 사용하여 산정할 수 있다.

$$F_{sw} = 1/2 \times C_D \times \rho_w \times A_c \times u^2 + 1/2 \times C_M \times \rho_w \times Q_c \times |a|^2 \quad (2)$$

여기서,  $C_D$ 는 항력계수,  $C_M$ 는 관성계수,  $\rho_w$ 는 해수의 밀도,  $A_c$ 는 해면하 구조물의 투영면적,  $Q_c$ 는 해면하 구조물의 체적,  $u$ 는 상류측 유속 또는 수립자속도,  $a$ 는 수립자속도를 나타낸다.

원형가두리에 작용하는 파력은 中村(1991)<sup>9)</sup> 방법을 사용하여 다음 식(3)과 같이 산정한다. 그리고, 원형가두리망에 작용하는 유체력은 계류되어 있는 강관말뚝에 계류력으로 작용한다.

$$F_{sw} = \frac{C_D w_0 d R D}{2 s g} [a(u^2 + u'^2) + \frac{\pi R u^2}{D}] \quad (3)$$

$$u' = \left( \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{\alpha C_D d}{4s}} \right) u \quad (4)$$

여기서,  $w_0$ 는 해수의 단위중량,  $R$ 은 원관형 가두리의 반경,  $D$ 는 가두리의 높이,  $u$ 는 상류측 유속 또는 수립자속도,  $u'$ 은 가두리 내부의 유속 또는 수

립자속도로서 식(4)로부터 계산된다. 그리고,  $d$ 는 망사의 직경,  $s$ 는 망목,  $\alpha$ 는 5.403으로 산정한다.

강관말뚝과 원형가두리망에 작용하는 조류력은 관측치로부터 얻은 조류속도를 사용하여 식(5)와 같이 산정한다.

$$F_c = 1/2 \times C_{DC} \times \rho_w \times A_c \times V_c^2 \quad (5)$$

여기서,  $C_{DC}$ 는 항력계수,  $V_c$ 는 조류유속을 나타낸다.

위 식으로부터 대상해역의 설계외력을 산정하여 말뚝 지지식 기초설계에 최적설계기법을 이용하여 강관말뚝 단면을 결정한다. 다목적 수산기지의 하부기초는 5개의 강관말뚝으로 지지되어 구조물에 작용하는 연직하중을 5개의 말뚝에 등분포로 작용하고, 동일한 치수의 말뚝을 사용한다고 가정하여 풍압력, 파력, 조류력, 접안력 등의 수평외력하중에 충분히 지지할 수 있고 경제적인 강관말뚝의 단면을 결정한다.

### 5. 최적설계기법을 이용한 기초설계

해양목장화를 위한 다목적 수산기지의 다양한 수산시설계획 및 기술개발과 함께 구조물의 안정성과 직접 영향을 미치는 하부기초의 설계 또한 중요성을 가지고 있다. 안정성이나 경제적 관점을 모두 고려해야 할 기초설계는 상부기지에서 발생하는 작업하중과 자중을 충분히 지지할 수 있도록 하여야 한다.

현재 시행되고 있는 말뚝식 해양구조물의 기초설계는 설계자의 경험과 통찰력 등이 주요 요소였지만, 다목적 수산기지와 같은 복잡한 구조의 종합설계시 초래하는 착오나 위험성을 배제하고 효율적이고 경제적인 설계를 하기 위해서 이러한 설계 문제에 컴퓨터를 이용한 설계최적화 과정의 적용은 필수적이다.

먼저, 공학최적설계의 유한차원 비선형계획문제(nonlinear programming problem; NLP)의 설계를 하기 위해서는 다음 식(6)~(8)과 같이 정식화한다.

● Find

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \quad (6)$$

- To minimize

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7)$$

- Subject to

$$h_i(x) = h_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (8)$$

$$g_j(x) = g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, \quad j = 1, \dots, k$$

여기서,  $x$ 는  $n$ 차원 설계변수벡터,  $f(x)$ 는 목적함수,  $h_i(x)$ 는 등호 제약함수,  $g_j(x)$ 는 부등호 제약함수,  $m$ 은 등호 제약조건의 개수,  $k$ 는 부등호 제약조건의 개수가 된다. 즉, 식(8)의 제약조건들을 만족하면서 식(7)의 목적함수를 최소화하는 설계변수 식(6)을 찾도록 설계문제를 정식화하게 된다.

위의 과정으로 다목적 수산기지의 말뚝지지식 기초의 수치적 설계최적화를 위해 ①대상 설계변수를 강관말뚝의 단면(평균직경  $D$ (mean diameter), 두께  $t$ (thickness))으로 설정하고, ②강관말뚝의 총 중량을 최소화할 목적함수로 하여, ③설계변수를 찾기 위한 기준이 되는 제약조건을 설계변수에 관한 함수로 정식화한다. 본 연구에서 고려될 제약조건은 축방향 압축력에 대한 제약조건, 축방향 인발력에 대한 제약조건, 휨모멘트에 대한 제약조건, 전체 좌굴에 대한 제약조건, 연직 지지력에 대한 제약조건, 설계변수의 상·하한 등을 고려하여 허용 응력 설계법으로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

- 설계변수(Design variables)

$$\begin{aligned} x_1 &= D \\ x_2 &= t \end{aligned} \quad (9)$$

- 목적함수(Objective function)

$$f(x) = r_s \cdot \pi \cdot D \cdot t \cdot L_p \cdot 5 \text{ 본} \quad (10)$$

- 축방향 압축력에 대한 제약조건,  $g_1(x)$

$$\frac{P}{A_e \cdot \sigma_{ca}} \leq 1.0 \quad (11)$$

- 축방향 인발력에 대한 제약조건,  $g_2(x)$

$$\frac{P}{\frac{NA_{15}}{5} + \overline{C_a}A_{25}} \leq 1.0 \quad (12)$$

- 휨모멘트에 대한 제약조건,  $g_3(x)$

$$\frac{M}{Z \cdot \sigma_{ba}} \leq 1.0 \quad (13)$$

- 전체좌굴에 대한 제약조건,  $g_4(x)$

$$\frac{P}{A_e \cdot \sigma_{ca}} + \frac{M}{Z \cdot \sigma_{ba}} \leq 1.0 \quad (14)$$

- 연직지지력에 대한 제약조건,  $g_5(x)$

$$\frac{Q_a \cdot F_s}{Q_u} \leq 1.0 \quad (15)$$

- 설계변수 제약조건,  $g_{6-10}(x)$

$$D_L \leq D \leq D_U$$

$$t_L \leq t \leq t_U \quad (16)$$

$$t \leq \frac{D}{20}$$

여기서,  $r_s$ 는 강관말뚝의 단위중량,  $L_p$ 는 말뚝 1기의 전체길이,  $A_e$ 는 유효 단면적,  $P$ 는 축 방향력,  $\sigma_{ca}$ 는 허용압축응력으로 세장비에 따라 다른값을 적용한다.  $\overline{N}$ 는 말뚝전체 근입 깊이에 대한 평균  $N$ 치,  $\overline{C_a}$ 는 평균부착력,  $A_{15}$ 는 사질토층에 근입한 말뚝의 주면 면적,  $A_{25}$ 는 점토층에 근입한 말뚝의 주면 면적이다.  $\sigma_{ba}$ 는 허용굽힘 응력  $1,400 \text{ kg/cm}^2$  이고,  $Z$ 는 단면계수,  $M$ 는 설계 휨 모멘트,  $Q_a$ 는 허용 연직 지지력으로서 축방향 압축력을 사용하였고,  $Q_u$ 는 극한 연직 지지력,  $F_s$ 는 안전율로서 3.0의 값을 사용한다.  $D_L$ ,  $D_U$ 는 강관말뚝의 평균직경의 하한과 상한,  $t_L$ ,  $t_U$ 는 두께의 하한과 상한이다.

즉, 다목적 수산기지의 말뚝 지지식 기초의 최적 설계문제는 (11)~(16)의 제시된 부등호 제약조건을 모두 만족하면서 목적함수 식(10)을 최소화하는 설계변수 식(9)를 결정하는 것으로 정식화되었다.

공학설계문제에 사용되는 최적설계기법은 지금까지 많은 개발과 함께 실제 응용되고 있다. 현재 개발된 최적화기법 중에서 효율성이 높다고 입증된 순차이차계획법(Sequential Quadratic Programming method; SQP)을 사용하여 수치적으로 최적화한다. SQP법은 어떤 시작점에서 출발하여도

해에 수렴한다는 것이 증명되었고, 다른 방법에 비해 수렴률이 빠르다는 장점을 갖고 있다<sup>10)</sup>. 앞에서 제시된 유한차원 비선형 계획문제의 정식화 과정의 표준형을 이차계획법(Quadratic Programming method; QP)으로 바꾸고, 이를 반복해서 풀기 때문에 반복이차계획법(Recursive Quadratic Programming method; RQP)이라고도 한다. SQP법은 크게 최적설계문제의 탐색방향(search direction)을 결정하는 문제와 탐색방향으로의 이동거리(step size)를 결정하는 문제로 구성한다. SQP법을 사용하여 코드화된 최적설계 서브루틴(NCONF subroutine) 등을 IMSL 라이브러리에서 호출하여 목적함수와 제약함수를 정의해 주는 서브루틴을 최적설계 프로그램에 포함시켜 최적설계를 수행한다. 설계입력자료는 설계변수의 개수, 제약조건 개수, 설계변수의 초기치, 설계변수의 상한치와 하한치, 최대실행 반복횟수 등이다.

설계 외력조건은 Table 2와 Table 3과 같이 설정하고, Table 3의 각 파라조건에 대한 말뚝 단면과 근입깊이, 강관말뚝의 총 중량을 산출하였다. 그 결과, 강관말뚝의 두께에 따른 강관말뚝의 평균직경과 5기 강관말뚝의 총 중량을 Table 4에 나타내었다. 각 경우에 대한 말뚝의 근입 깊이는 4~6m가 산출되었다.

Table 4 Optimum solutions for 6 Cases

CASE \ t(m)		0.015	0.01	0.008	0.006
W1	D (m)	1.31	1.64	1.86	2.21
	f(x)(ton)	63	53	48	43
W2	D	1.35	1.72	1.99	2.42
	f(x)	65	56	51	47
W3	D	1.40	1.83	2.15	2.71
	f(x)	68	59	56	53
W4	D	1.46	1.94	2.32	3.04
	f(x)	71	63	61	61
W5	D	1.52	2.06	2.52	3.49
	f(x)	74	68	67	70
W6	D	1.58	2.20	2.75	4.09
	f(x)	77	72	73	84

## 6. 결 론

연안역의 생산성 향상과 효율적인 수산자원 관

리를 위한 바다목장화 사업이 추진되고 있다. 바다목장화를 위해서는 다양한 요소기술 및 시설이 체계적으로 개발되고 통합되어야 한다.

본 연구에서는 바다목장화 요소시설의 일부를 기능적으로 통합하기 위한 다목적 수산기지의 개발개념을 정립하고, 기본 시스템을 구성하였다. 또한, 이를 고려하여 다목적 수산기지 하부기초의 강관식 구조물(Jack-up type)에 대한 기초설계를 최적화기법을 이용하여 실시하였다.

강관말뚝 5기로서 지지될 다목적 수산기지의 기초부는 1.6m 직경의 15mm 두께 이상의 강관으로서 지지가 가능할 것으로 판단된다. 여기서, 강관말뚝의 4기는 중간육성 및 축양을 위한 원형가두리를 가진 상태이며, 1기는 접안 및 수산기지로의 접근을 위한 시설을 고려하였다.

본 다목적 수산기지는 친어양성 - 치자어 배양 - 중간육성 및 음향순치 - 방류 및 자원관리 - 해양환경관리 - 어획 및 축양 기능을 제공할 수 있는 바다목장화 핵심시설로서 활용할 수 있을 것이며, 차후, 이를 위한 보다 체계적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 해양수산부 바다목장화사업의 일환으로 수행되고 있는 “신소재를 이용한 유동제어구조물 및 해상 중간육성시설 설계기술 개발”을 위한 연구결과물의 일부이다.

## 참고문헌

- 1) 김현주, 류청로, “어촌종합개발을 위한 인공중식장 조성방안”, 어항 97 봄, pp. 41-51, 1997
- 2) 류청로 등, “해양목장화를 위한 적정어초 및 설계기술 개발”, 수산청, RCOID 931-1213-06-1, pp. 276, 1994
- 3) 김종만 등, “해양목장화를 위한 기반연구”, 한국해양연구소, BSPE 97602-00-1073-3, 1997
- 4) 김종만, “연안 해안의 목장화”, 어항 '97 가을호, pp. 27-32, 1997
- 5) Ryu, C.H. and H.J. Kim, “A Design Concept

- of Artificial Habitat Considering the Function of Wave Control and Coastal Defence”, COSU 95, pp. 347-356, 1995
- 6) 유성규, “천해양식”, 신흥출판사, pp. 626, 1995
- 7) 김현주 등, “신소재를 이용한 유동제어구조물 및 해상 중간육성시설 설계기술 개발”, 한국해양연구소, pp. 100, 1998
- 8) 이나리, 김현주, 최학선, 류연선, “부침식 가두리 계류용 말뚝의 최적설계”, 한국어업기술학회지, 35(2), pp. 201-208, 1998
- 9) 中村充, “水産土木學”, 工業時事通信社, pp. 561, 1992
- 10) 이나리, “강관말뚝식 계류돌핀의 설계 최적화”, 부경대학교 석사학위논문, pp. 50, 1998