

# 시뮬레이티드 어닐링법을 이용한 해저 탐사용 잠수정의 배치설계에 관한 연구

장승호\*\*, 최명진\*

## A Study on the Layout Design of Ocean Space Submergible Boat by the Simulated Annealing Method

Seung Ho Jang\*\*, Myung Jin Choi\*

### ABSTRACT

In this paper, a method to apply the simulated annealing method to three dimensional layout design problem which has multiple constraint conditions and evaluation criteria, was suggested. A program to support three dimensional layout design was developed according to the suggested method. This program was applied to the layout design of the wireless unmaned ocean space submergible boat. The layout result was improved 19.0% for the result of layout design expert. By this, it was verified that the suggested method has validity in supporting three dimensional layout design problem.

**Key Words** : Cost Function(평가함수), Layout Design(배치설계), Evaluation Criteria(평가기준), State Transformation(상태변화)

### 1. 서론

배치설계는 일반적으로 2차원 부품의 배치설계와 3차원 부품의 배치설계로 나눌 수 있다. 2차원 부품의 배치설계에 있어서는 C. Sechen<sup>(1)</sup>이 스탠더드 셀의 배치 및 배선 문제를 다루고 있으며 최대 2700개의 스탠더드 셀의 배치 및 배선의 최적화를 가능하게 하였다. A. Albano 등<sup>(2)</sup>은 2차원의 불균일한 형상을 갖는 셀들의 배치설계 문제를 최적화 하였다. 그리고 K. Sakanushi 등<sup>(3)</sup>은 불룩한 형상을 갖는 블록의 최적 패키징법을 제안하고 있으며, D. F. Wong 등<sup>(4)</sup>은 VLSI 설계를 위한 시뮬레이티드 어닐링법의 적용 방법에 대하여 연구하였다. 또한 전자공학 분야에서는 수백에서 수천 개의

부품들을 배치/배선하기 위한 관련 논문이나 상업용 소프트웨어가 많이 있다. 3차원 부품의 배치설계 문제에 관한 연구는 2차원 부품의 배치설계문제에 관한 연구보다 상대적으로 그수가 적기는 하지만 다양한종류의 비선형계획(non-linearprogramming)법과 genetic algorithm 등이 부품의 배치설계 최적화를 위하여 적용되어 왔다<sup>(5)(6)</sup>. 그러나 이러한 연구들의 대부분은 부품의 기하학적 구조나 배치하고자하는 부품의 방향에 있어서 많은 제한이 있으며 복잡한 설계대상물에는 적용할 수 없다는 단점이 있다. J. Cagan<sup>(7)</sup>은 시뮬레이티드 어닐링법은 algorithm의 특성상 이와 같은 단점을 보완할 수 있다는 것에 착안하여, 기하학적으로 구축된 knapsack problem에 이 수법을 적용하였으며, 또한 T. Kämpke<sup>(8)</sup>는 bin-packing test problem에 이 수법을 적용하여, 그

2000년 10월 20일 접수

\* 경희대학교 기계·산업시스템공학부

\*\* 경희대학교 기계·산업시스템공학부

이전의 연구 결과보다 좋은 결과를 얻었다. 그리고 일반적인 형상을 갖는 3차원 물체의 배치설계에 관한 연구로는 Z. Dai와 J. Cha의 연구가 있다<sup>9)</sup>. 이들은 임의의 형상을 갖는 3차원 부품의 배치설계에 heuristic algorithm을 사용한 연구를 발표하였다. 그러나 이들의 연구는 부품의 초기 배치 상태를 생성하기 위한 것이며, 컴퓨터가 수행한 초기 배치를 가지고 사람(전문가)이 개입을 하여 최종마무리를 지어야 하는 번거로움이 있다. 또한 이들의 연구는 평가함수의 선정에 있어서도 몇몇 제한이 있다. J. Cagan, D. Degentesh and S. Yin<sup>10)</sup>도 일반적인 형상의 부품에 대한 배치설계문제를 다루고 있기는 하지만 실제로는 블록형이나 실린더형과 같이 기하학적으로 단순한 형상을 갖는 부품의 배치에 국한되어 있으며, 다양한 구속조건들을 분류하기 위한 명확한 기준이 없다.

본 연구에서는 시뮬레이티드 어닐링법을 다수의 구속 조건 및 평가 기준이 존재하고 다양한 3차원 형상의 부품들을 일정한 공간 내에 배치하여야 하는 해저 탐사용 잠수정의 배치설계에 적용하는 방법을 제안하고, 이를 토대로 배치설계 프로그램을 개발하고자 한다. 그리고 개발한 프로그램의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이티드 어닐링법에 의한 배치설계결과를 국소 탐색법의 하나인 퀘칭법(quenching method: 최급강하법, 소입법)에 의한 배치설계결과와 비교 분석하고자 한다.

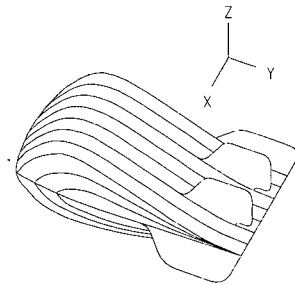
## 2. 해저 탐사용 무인 잠수정의 구성 부품 및 배치설계시 고려하여야 할 사항

### 2.1 잠수정의 구성 부품

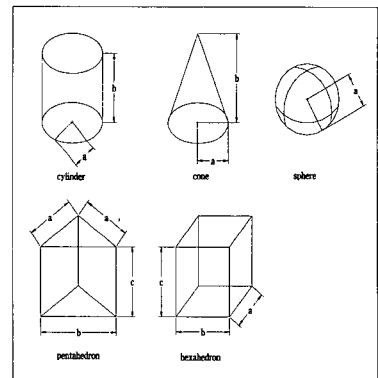
본 연구에서 3차원 배치설계의 설계 대상으로 하고 있는 무인 잠수정의 외관과 좌표계를 그림 1에 표시하였다.

무인 잠수정의 내부 공간에 배치될 부품의 수는 총 40개이며, 이들 부품의 리스트를 표1에 표시하였다. 주요 구성 부품의 개요는 다음과 같다.

- a) 드라이버: 액추에이터의 제어부
- b) 통신 장치: 초음파 긴급 통신 장치 및 해양 회수용 비컨(해면에서의 발신 장치).
- c) 선체: 섬유 강화 플라스틱(FRP)으로 제작되며 상하로 분할 할 수 있다.
- d) CPU: 선체의 자세, 안정성, 운동 방향 등의 계산을 수행하며 스러스터, 액추에이터 등에 제어



a) external appearance of ocean space submersible boat



b) shapes of components(primitive) to be arranged

Fig. 1 Shapes of ocean space submersible boat and components

신호를 출력한다.

- e) 컨트롤러 : 스러스터의 제어부.
- f) 인버터 : 스러스터 구동용 AC 모터의 주파수 변환 장치.
- g) 전원 : 인버터, 컨트롤러, CPU, 각종 센서 등의 전원 부이며 가동 시간은 24시간이고 전압은 DC 48V이다.

본 연구에서의 배치설계문제에 있어서는 선체 내부에 배치할 부품의 형상을 그림 1 b)와 같이 실린더(cylinder)형, 콘(cone)형, 구(sphere)형, 오면체(pentahedron)형, 육면체(hexahedron)형의 다섯 가지

Table 1 Components to be arranged in the ocean space sbmergible boat

Comp.1: emergency air bombe(right)	Comp.21: power source1, 2
Comp.2: emergency air bombe(left)	Comp.22: power source3
Comp.3: ballast1	Comp.23: Central Processing Unit
Comp.4: ballast2	Comp.24: inertial navigator(sensor)
Comp.5: camera	Comp.25: inertial navigator(power source)
Comp.6: Strobo	Comp.26: azimuth sensor
Comp.7: deballaster1	Comp.27: thruster(right)
Comp.8: deballaster2	Comp.28: thruster(left)
Comp.9: beacon	Comp.29: inverter(right)
Comp.10: transporter	Comp.30: inverter(left)
Comp.11: water temperature sensor	Comp.31: compensator
Comp.12: water current meter	Comp.32: horizontal rudder actuator(right)
Comp.13: pinger	Comp.33: horizontal rudder actuator(left)
Comp.14: supersonic sensor(front)	Comp.34: vertical rudder actuator(right)
Comp.15: supersonic sensor(rear)	Comp.35: vertical rudder actuator(left)
Comp.16: rear tank	Comp.36: distance measuring sensor 1
Comp.17: PH meter	Comp.37: distance measuring sensor 2
Comp.18: telecommunication apparatus	Comp.38: distance measuring sensor 3
Comp.19: paint emitter(for emergency)	Comp.39: AMP of distance measuring sensor
Comp.20: antenna ascent and descent equipment	Comp.40: receiver of distance measuring sensor

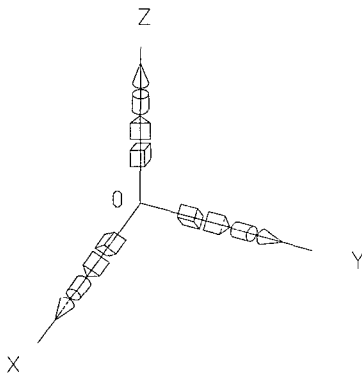


Fig. 2 Orientation of components in 3-dimensional space

로 분류하였다. 또한 이들 각 부품은 그림2와 같이 3차원 공간 내에서 부품의 기본 축 방향의 조로서 서술하며 다음 식으로 표현한다. 이 식에서 N은 부품의 번호이다.

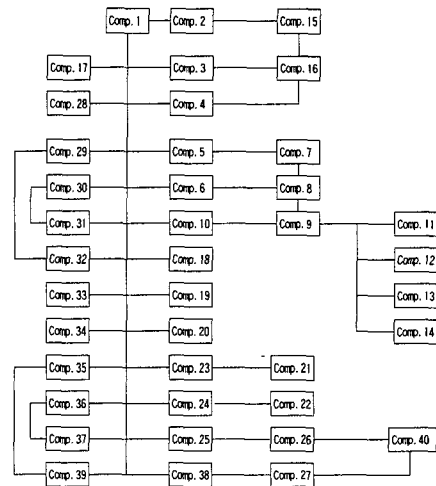


Fig. 3 Wiring diagram between components(numbers represent components in table 1)

$$\text{Comp.N} = \text{comp}(x, y, z, \text{BAO}) \quad (1)$$

표2는 잠수정 내부에 배치할 각 부품의 형상 및 크기를 나타낸 것이며, 표3은 이들 각 부품의 중량 및 부력 그리고 수중에서의 무게이다. 또한 본 연구에

Table 2 Shape and size of each component

	Shape	size(mm)				Shape	size(mm)		
		a	b	c			a	b	c
Comp.1	cylinder	95	325	-	Comp.21	hexahedron	120	120	300
Comp.2	hexahedron	90	90	320	Comp.22	hexahedron	40	40	80
Comp.3	hexahedron	45	45	28	Comp.23	hexahedron	50	50	120
Comp.4	hexahedron	45	45	28	Comp.24	cylinder	175	340	-
Comp.5	hexahedron	60	60	170	Comp.25	cylinder	130	170	-
Comp.6	hexahedron	70	70	110	Comp.26	cone	40	90	-
Comp.7	hexahedron	80	80	90	Comp.27	cylinder	70	145	-
Comp.8	hexahedron	80	80	90	Comp.28	cylinder	70	145	-
Comp.9	sphere	80	-	-	Comp.29	pentahedron	100	100	300
Comp.10	cylinder	74	300	-	Comp.30	pentahedron	100	100	300
Comp.11	cylinder	65	94	-	Comp.31	cone	55	120	-
Comp.12	cylinder	88	379	-	Comp.32	cylinder	105	300	-
Comp.13	sphere	70	-	-	Comp.33	cylinder	105	300	-
Comp.14	hexahedron	50	50	70	Comp.34	cylinder	105	170	-
Comp.15	hexahedron	50	60	60	Comp.35	cylinder	105	170	-
Comp.16	cylinder	105	340	-	Comp.36	cylinder	60	60	-
Comp.17	hexahedron	60	65	75	Comp.37	cylinder	60	60	-
Comp.18	pentahedron	60	65	75	Comp.38	cylinder	60	60	-
Comp.19	hexahedron	70	80	110	Comp.39	pentahedron	50	50	70
Comp.20	cylinder	60	60	-	Comp.40	pentahedron	50	50	70

Table 3 Weight and buoyant force of each component

	Weight on	Buoyant	Weight in		Weight on	Buoyant	Weight in
	ground	Force	Water		ground	Force	Water
	(Kg)	(Kg)	(Kg)		(Kg)	(Kg)	(Kg)
Comp.1	2.80	-0.87	1.93	Comp.21	24.99	-12.31	12.68
Comp.2	2.80	-0.87	1.93	Comp.22	6.62	-3.40	3.22
Comp.3	6.50	-1.70	4.80	Comp.23	20.86	-23.85	-2.99
Comp.4	6.50	-1.70	4.80	Comp.24	7.65	-8.54	-0.89
Comp.5	1.05	-0.94	0.11	Comp.25	2.75	-2.08	0.67
Comp.6	0.05	-0.79	-0.29	Comp.26	0.88	-0.30	0.58
Comp.7	3.00	-0.84	2.16	Comp.27	9.80	-3.00	6.80
Comp.8	3.00	-0.84	2.16	Comp.28	9.80	-3.00	6.80
Comp.9	1.60	-0.65	0.95	Comp.29	8.21	-7.46	0.75
Comp.10	1.40	-0.38	1.02	Comp.30	8.21	-7.46	0.75
Comp.11	0.88	-0.30	0.58	Comp.31	3.00	-1.44	1.56
Comp.12	3.00	-1.44	1.56	Comp.32	2.80	-0.87	1.93
Comp.13	1.50	-1.00	0.50	Comp.33	2.80	-0.87	1.93
Comp.14	0.50	-0.17	0.33	Comp.34	3.00	-0.87	2.13
Comp.15	0.88	-0.88	0.58	Comp.35	3.00	-0.87	2.13
Comp.16	2.80	-0.87	10.93	Comp.36	0.50	-0.17	0.33
Comp.17	0.88	-0.30	0.58	Comp.37	0.50	-0.17	0.33
Comp.18	0.88	-0.30	0.58	Comp.38	0.50	-0.17	0.33
Comp.19	1.05	-0.94	0.11	Comp.39	0.50	-0.17	0.33
Comp.20	0.50	-0.17	0.33	Comp.40	0.50	-0.17	0.33

서 대상으로 하는 잠수정의 각 부품간의 전원 및 각종 신호의 접속 관계를 그림3 에 표시하였다.

## 2.2 잠수정의 3차원 배치설계시 고려하여야 할 사항

잠수정의 설계에 있어서는 선체의 중심이 잠수정의 후방 부에 위치하면 잠수정의 조종 성이 악화되므로 잠수정의 중심은 잠수정의 전방으로부터  $0.352 \times d$  ( $d$ 는 선체의 길이)에 위치하는 것이 바람직하다. 그리고 잠수정의 자세를 수중에서 안정하게 유지시키기 위해서는 잠수정의 중심 및 부심을 선체의 중심 선상에 유지시키고 중심의 위에 부심이 오도록 잠수정을 설계할 필요가 있다. 여기에서 부심의 위치는 전방으로부터  $0.413 \times d$ 에 위치하는 것이 좋다. 부품의 배치 공간은 선체의 내부 공간이며 모든 부품은 이 공간 내에 배치되어야 한다. 또한 각 부품은 서로 중첩되어서는 안 된다. 각종 센서 및 CPU 등은 추진기나 액추에이터 등이 발생하는 노이즈의 영향을 받으므로 이들의 전원도 포함하여 가능한 한 노이즈의 영향이 미치지 않도록 배려하여야 한다. 부품간의 총 배선 길이는 짧을수록 좋다. 부품의 배치는 선체 내부에서 국소적으로 혼잡해서는 안되며 또한 카메라 및 스트로보 등의 부품은 되도록 가까이 배치되도록 하여야 한다.

## 3. 잠수정의 3차원 배치설계에 시뮬레이티드 어닐링법의 적용 방법

시뮬레이티드 어닐링법을 잠수정의 3차원 배치설계에 적용하기 위하여 본 연구에서 사용한 방법은 다음과 같다.

### 3.1 구속 조건 및 상태 생성

본 연구에서는 잠수정의 3차원 배치설계를 위한 구속 조건을 다음과 같이 4종류로 분류하였다. 또한, 각 부품의 배치 상태의 생성(이하 상태 생성이라고 함)은 이들 4종류의 구속 조건하에서 이루어지도록 하였다.

1) 배치 영역에 대한 구속 조건(constraint condition for layout domain: CC1) 특정 영역 안에 배치를 하여야 하는 부품, 예를 들어 CPU, 전원, 거리 측정용 센서, 바라스트 등 배치 위치에 제한이 있는 부품은 이 조건을 만족시켜야 한다.

2) 기본 축 방향에 대한 구속 조건(constraint

condition for basic axis orientation: CC2)

2.1절에 서술한 배치 부품의 기본 축의 방향에 제약이 있는 부품, 예를 들어 컴펜세이터( $z$ 축 방향의 구속), 구동용 액추에이터( $y$ 축 방향의 구속) 등은 이 조건을 만족시켜야 한다.

3) 배치 대칭성에 대한 구속 조건(constraint condition for layout symmetry: CC3)

인버터, 추진기, 수평타용 액추에이터 등과 같이 좌우 대칭으로 배치하여야 하는 부품은 이 조건을 만족시켜야 한다.

4) 배치 의존성에 대한 구속 조건(constraint condition for layout dependency: CC4)

카메라와 스트로보, 바라스트와 데바라스터 등과 같이 어떤 부품의 배치 위치가 결정되면 다른 부품의 배치 위치가 자동적으로 결정되는(의존성을 갖는) 부품은 이 조건을 만족시켜야 한다. 상태 생성이란 현재의 배치해(current layout solution)의 근방에서 또다른 배치해(subsequent layout solution)를 무작위로 추출하는 것이다. 배치 상태의 생성은 다음 순서 대로 수행한다.

a) 배치되어야 할 부품 중의 하나를 임의로 선정한다.

b) 선정된 부품의 구속 조건(전술한 4종류의 구속 조건)을 만족시키도록 모든 부품의 배치 상태를 임의로 변화시킨다.

c) 이와 같이 생성된 배치해(layout solution)를 새로이 선정된 배치해로 정한다.

### 3.2 평가 함수

본 연구에서는 2.2절의 잠수정 설계시 검토 항목들을 고려하여, 설계된 잠수정의 평가 기준(Evaluation criteria: E)을 다음과 같이 8가지로 분류하였다

1) 배치설계결과에 의한 잠수정의 중심의 위치가 잠수정의 이상적인 중심 위치( $0.352 \times d$ )로부터 벗어난 거리(E1: length)

2) 배치설계결과에 의한 잠수정의 부심의 위치가 잠수정의 이상적인 부심 위치( $0.413 \times d$ )로부터 벗어난 거리(E2: length)

3) 바라스트의 투하 전후에 있어서의 잠수정의 중심 위치의 변화량(E3: length)

4) 각 부품 상호간의 중첩 체적(E4: volume)

5) 각 부품이 배치 위치로부터 식출한 체적(빼져 나온 체적: protrude volume)(E5: volume)

6) 각 부품간의 총 결선의 길이(E6: length)

7) 각종 센서에 대한 노이즈의 영향(액추에이터나 추진기 등 노이즈의 발생 원이 될 수 있는 부품과 각종 센서간의 거리)(E7: length)

8) 기능적 관계를 갖는 부품간의 거리(예를 들어 카메라와 스트로보 등과 같이 어떤 기능적 관계를 갖는 부품간의 거리)(E8: length)

평가 함수는 새로이 생성한 배치해에 대한 평가치( $E_i$ )를 초기 배치(설계자가 행한 배치)에 의한 평가치( $E'_i$ )와의 비를 취하므로서 무차원화하였다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{Cost\_function} = \sum_{i=0}^m W_i \frac{E_i}{E'_i} \times 100 \quad (2)$$

단, 본 연구의 설계 대상인 잠수정의 경우에는  $m=8$  이며,  $E'_i$ 는 사람(배치설계 전문가)이 부여한 초기 배치에 대한 평가 함수 치이다. 또한  $W_i$ 는 각 평가 항목에 대한 가중치이며 0.0에서1.0 사이의 값을 갖는다.

#### 4. 잠수정의 배치설계 최적화 프로그램을 이용한 실험 결과

본 연구에서는 전술한 바와 같은 방법에 따라 해저 탐사용 잠수정의 배치설계 최적화 프로그램을

개발하였다. 하드웨어로는 PentiumIII, 550MHz를 사용하였으며 컴퓨터언어로는 C++를 사용하였다. 또한 본 연구에서는 시뮬레이티드 어닐링법을 국소 탐색법의 하나인 퀘칭법과 비교하기 위하여 온도를 영(zero)으로 고정하였을 때의 최적화도 시도하였다(그림4 a)참조). 본 연구에서 시도한 시뮬레이티드 어닐링법과 퀘칭법에 대한 프로그램 실행 스케줄을 표4에 표시하였다. 그리고 이 프로그램을 이용하여 1) 부품의 초기 배치를 숙련된 배치설계 전문가가 행한 경우(Ann.3, Ann.4 및 Que.4) 및 2) 컴퓨터 상에서 난수를 발생시켜 랜덤하게 초기 배치를 한 경우(Ann.1, Ann.2, Que.1, Que.2 및 Que.3)에 대한 부품의 배치 최적화를 수행하였다. 잠수정의 배치설계 사양으로서 표1과 같은 40점의 부품에 대하여 3장에서 언급한 4종류의 구속 조건과 8종류의 평가 기준을 부여하였다. 표5는잠수정 내에 배치될 각 부품에 대한 구속 조건을표시한 것이며, CC1에서 CC4는 3.1절에서언급한 각 구속 조건에 해당한다. 이 표에서 0 은 구속 조건이 있음을 의미하고 × 는 구속 조건이 없음을 의미한다. 표4의 시뮬레이티드 어닐링법과 퀘칭법에 대한 스케줄을 이용하여 수행한 배치설계 최적화 결과를 표6에 표시하였다. 이 표에서 “+”는 각 평가 항목(3.2절에서 언급한 E1에서 E8)의 개선을 의미하며 “-”는 개악(改惡)을 의미한다. 또한 이 표에서 괄호 안의 수치는 각 평가 항목에 대한 가중치( $W_i$ )이며 이들 스케줄을 이용하

Table 4 Total improvement rate and optimization schedule of simulated annealingmethod and quenching method

	Ann.1	Ann.2	Ann.3	Ann.4	Que.1	Que.2	Que.3	Que.4
Initial temp.	400.0	300.0	200.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Temp. renewal coef.	0.92	0.94	0.96	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00
Initial cost value	785.2	762.3	650.0	650.0	772.3	755.6	702.1	650.0
Final cost value	526.3	544.0	556.2	549.8	556.3	613.2	578.4	565.2
TIR	19.0%	16.3%	14.4%	15.4%	14.4%	5.6%	11.0%	13.0%

Table 5 Constraint conditions of each component

	CC1	CC2	CC3	CC4		CC1	CC2	CC3	CC4
Comp.1	×	×	○	×	Comp.21	○	×	○	×
Comp.2	×	×	○	×	Comp.22	○	×	○	×
Comp.3	○	○	×	○	Comp.23	○	×	×	×
Comp.4	○	○	○	○	Comp.24	○	×	×	×
Comp.5	○	○	×	○	Comp.25	○	×	×	×
Comp.6	○	○	×	○	Comp.26	×	○	×	×
Comp.7	○	○	×	○	Comp.27	○	×	○	×
Comp.8	○	○	×	○	Comp.28	○	×	○	×
Comp.9	×	×	×	×	Comp.29	×	×	○	○
Comp.10	×	×	×	×	Comp.30	×	×	○	○
Comp.11	×	×	×	×	Comp.31	×	○	×	×
Comp.12	×	×	×	×	Comp.32	○	○	○	×
Comp.13	×	×	×	×	Comp.33	○	○	○	×
Comp.14	○	×	○	○	Comp.34	○	○	×	×
Comp.15	○	×	○	○	Comp.35	○	×	×	○
Comp.16	○	×	×	×	Comp.36	○	×	×	○
Comp.17	×	×	×	×	Comp.37	○	×	×	○
Comp.18	×	×	×	×	Comp.38	○	×	×	○
Comp.19	×	×	×	×	Comp.39	×	×	×	×
Comp.20	×	×	×	×	Comp.40	×	×	×	×

Table 6 Layout design optimization result of ocean space submergible boat by simulated annealing and quenching schedules

	E1 (0.7)	E2 (0.9)	E3 (0.7)	E4 (0.8)	E5 (0.8)	E6 (0.7)	E7 (0.9)	E8 (1.0)	TIR
Ann.1	+2.5%	+3.2%	+4.8%	+5.2%	+2.6%	-2.2%	+5.7%	-2.8%	+19.0%
Ann.2	+3.2%	+3.1%	+4.5%	-1.3%	+4.2%	-4.3%	+5.4%	+1.5%	+16.3%
Ann.3	+2.8%	+3.5%	-2.3%	-5.2%	+6.3%	-4.3%	+3.2%	+2.8%	+14.4%
Ann.4	-4.5%	+2.2%	+2.6%	+3.2%	-5.5%	+7.6%	+4.2%	+5.6%	+15.4%
Que.1	+3.2%	+4.2%	+2.3%	+4.3%	-1.6%	+2.1%	-1.2%	+1.1%	+14.4%
Que.2	+1.1%	+2.5%	+4.3%	+2.2%	+1.2%	-4.1%	+0.9%	-2.5%	+5.6%
Que.3	+2.5%	-9.6%	+3.2%	-9.2%	+6.5%	+6.1%	+7.2%	+4.3%	+11.0%
Que.4	+7.2%	+6.3%	+2.2%	+5.5%	+1.1%	+1.4%	-5.9%	-4.8%	+13.0%

여 프로그램을 실행하였을 때의 각 평가 함수치의 변화 양상을 그림4에 나타내었다.

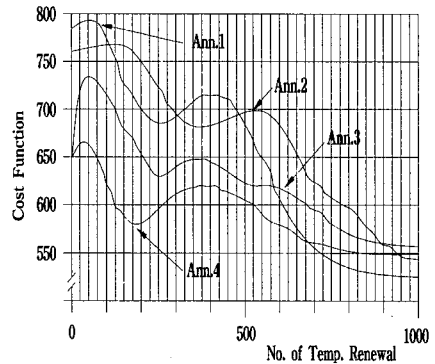
그림4의 배치설계 최적화 실험 결과로부터 다음과 같은 것을 알 수 있다.

a) Que.1에서 Que.4의 결과로부터 퀀칭법에서는 항상 대국적 최적해를 얻을 수 있는 것만은 아니다.

b) Ann.1에서 Ann.4의 결과를 비교함으로써 시물레이티드 어닐링법을 사용하여도 온도 갱신을 위한 스케줄이 적합하지 않으면 국소 해로 수렴될 수 있다.

그림4 b)의 Ann.1에서 Ann.4까지의 평가함수치의 변화에 있어서 고온 상태(프로그램 실행의 초기)에서는 평가함수치가 증가함을 알 수 있다(그림4 a)에서는 이와 같은 현상이 나타나지 않음). 이는 시물레이티드 어닐링법을 사용하면 고온 상태에서는 평가함수치의 개악도 받아들여지기 때문이며 시물레이티드 어닐링법에는 이와 같은 특징이 있으므로 국소해로부터 빠져 나와 대국적 최적해를 얻을 수 있는 것이다.

표6으로부터 각 스케줄중 Ann.1이 총 개선률(TIR: total improvement rate)에 있어서 가장 많은 개선(19.0%)이 이루어 졌음을 알 수 있다. 이는 숙련된 배치설계 전문가의 설계 결과에 대하여 19.0%의 개선이 이루어 졌음을 의미하며, 이 스케줄에 의한 잠수정의 배치설계 최적화 결과를 그림5에 표시하였다.



b) optimization by simulated annealing method  
Fig. 4 Transition of cost functions in the optimization process

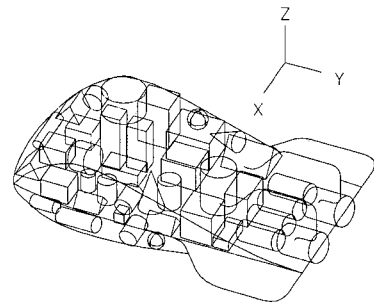
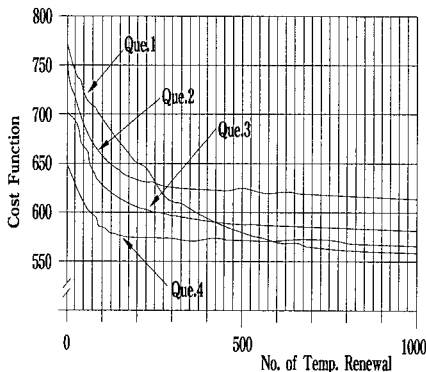


Fig. 5 Layout design optimization result of ocean space submersible boat by simulated annealing method

## 5. 결론

본 연구에서는 컴퓨터를 이용한 잠수정의 3차원 배치설계 지원에 시물레이티드 어닐링법을 적용하는 방법으로서 구속 조건과 평가 함수를 정의하는 방법 및 각 부품의 배치 상태를 생성하는 방법을 제시하였다. 그리고 제안한 방법에 따라 3차원 배치설계 프로그램을 작성하였으며, 40점의 부품을 갖는 무인 잠수정의 배치설계 최적화를 시도하였다. 그 결과 숙련된 배치설계 기술자가 행한 배치결



a) optimization by quenching method



과보다 19.0%의 개선이 이루어 졌다. 이를 통하여 제안한 방법을 사용하면 3차원 배치설계를 컴퓨터로 적절히 지원 할 수 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

1. Sechen, C., "The TimberWolf Placement and Routing Package," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SC-20, No. 2, pp. 510-522, 1985.
2. Albano, A., Sapuppo, G., "Optimal Allocation of Two-Dimensional Irregular Shapes Using Heuristic Search Methods," IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, Vol. SMC-10, No. 5, pp. 35-43, 1980.
3. Sakanushi, K., Nakatake, S. and Kakitani, Y., "The Multi-BSG: Stochastic Approach to and Optimum Packing of Convex-RectilinearBlocks," Proceedings of ACM/IEEE International Conference on Computer Aided Design 1998, pp. 267-274, 1998.
4. Wong, D. F., Leong, H. W. and Liu, C. L., "Simulated Annealing for VLSI Design," Kluwer Academic Publishers, 1988.
5. Kim, J. J. and Gossard, D. C., "Reasoning on the location of Components for assembly packaging," Journal of Mechanical Design, Vol. 113, pp. 375-381, 1991.
6. Landon, M. D. and Balling, R. J., "Optimal packaging of complex parametric solids according to mass property criteria," Journal of Mechanical Design, Vol. 116, pp. 375-381, 1994.
7. Cagan, J., "A shape annealing solution to the constrained geometric knapsack problem," Computer-Aided Design, Vol. 28, No. 10, pp. 763-769, 1994.
8. Kämpke, T., "Simulated annealing: use of a new tool in bin packing," Annals of Operations Research, Vol. 16, pp. 327-332, 1988.
9. Dai, Z. and Cha, J., "An octree method for interference detection in computer aided 3-D packing," Proceedings of the 20th ASME Design Automation Conference, Vol. 1, pp. 29-33, 1994.
10. Cagan, J., Degentesh, D. and Yin, S., "A simulated annealing-based algorithm using hierarchical models for general three-dimensional component layout," Computer-Aided Design, Vol. 30, No. 10, pp. 781-790, 1998.
11. Dai, W., Sato, M. and Kuh, E., "A Dynamic and Efficient Representation of Building-Block Layout," Proc. of 24th ACM/IEEE DAC, pp. 433-439, 1987.
12. Wimmer, S., Koren, I. and Cederbaum I., "Floorplans, Planar Graphs, and Layouts," IEEE Tras. on CAS, pp. 267-278, 1988.