

# 심해저 망간단괴 집광기 채집장치의 설계평가

최종수\*, 이태희\*\*, 홍섭\*, 심재용\*\*\*

## Design Evaluation of Pickup Device Collecting Deep-Sea-Manganese Nodules

Jong-Su Choi\*, Tae Hee Lee\*\*, Sup Hong\*, Jae Yong Shim\*\*\*

### ABSTRACT

Performance and efficiency of deep seabed collector is a primary factor for feasibility of commercial deep ocean mining. The efficiency of manganese nodules collector depends on vehicle mobility relative to undulating seafloor and is attributed pickup head to keep altitude and elevation of it against seafloor. For this reason, motion control of pickup head relative to the changing deep-sea topography and other disturbances is of particular importance in design of pickup device. The concept of design axiom is applied to a pickup device of hybrid type in order to evaluate the concept design. Kinematic analysis conducted in absolute Cartesian coordinates gives position, velocity, and acceleration of the hydraulic cylinders which enable the pickup head to keep the preset optimal distance from seafloor. Inverse dynamic analysis provides the driving forces of hydraulic cylinders and the reaction forces at each joint. Design sensitivity analysis is performed in order to investigate the effects of possible design variables on the change of the maximum strokes of hydraulic cylinders. The direct differentiation method is used to obtain the design sensitivity coefficients.

**Key Words** : Deep Sea Manganese Nodules Collector(심해저 망간단괴 집광기), Pickup Device(채집장치), Design Axiom(설계 공리), Kinematic Analysis(기구학 해석), Inverse Dynamic Analysis(역동역학 해석), Design Sensitivity Analysis(설계 민감도 해석)

### 1. 서론

최근 들어 심해저 개발에 대한 관심이 집중되면서 채광 기술 분야에서 괄목할 만한 성과를 거두고 있다. 우리나라

라는 UN으로부터 선형 투자국의 자격으로써 태평양 C-C(Clarion-Clipperton) 해역에 광구권을 승인 받아 이 광구에 대한 개발권과 함께 선형 투자국으로써 의무 수행의 책임을 갖게 되었다. 수심 5000m 심해저 망간단괴

\* 한국기계연구원 선박해양공학센터  
 \*\* 한양대학교 공과대학 기계공학부  
 \*\*\* 현대중공업 선박해양연구소

개발로 대표되어지는 심해저 채광 기술 중 망간단괴의 채집 기술은 매우 중요한 핵심 기술이며, 이에 대한 연구가 요구되고 있다.<sup>(1)</sup>

심해저 망간단괴 집광기는 일반적으로 채집 장치의 형태에 따라 유체식, 기계식, 혼합식으로 분류된다. 이 중 혼합식은 유체식과 기계식을 혼합한 형태로 물체트 노즐로 망간단괴를 들어올린(유체식) 후 기계식으로 망간단괴를 수송한다. 이러한 형태는 채집 효율이 좋고 특히 환경친화적인 것으로 알려져 있다.

심해저 퇴적물의 상층부는 준액체(semi-liquid) 상태로서 준액체층 위에서의 망간단괴의 채집에는 여러 가지 기술적 어려움이 존재한다. 준액체층은 차량 구동장치와의 상호작용으로 차량의 운동에 많은 영향을 주어서 평탄한 해저면일지라도 차량은 주행 시 상하·회전 운동을 하는 것으로 알려져 있다.<sup>(2,3)</sup> 따라서 차량에 고정되어 있는 채집장치 또한 이와 같은 운동에 영향을 받을 것으로 예상된다. 준액체층상에서의 차량 운동은 채집장치의 흡입부(intake part)와 심해저면 사이의 상대적인 거리에 변화를 주어 채집 효율의 저하를 초래한다. 본 연구에서 고려 중인 혼합식 집광기는 채집장치의 흡입부가 심해저면에 대해 적절한 위치와 자세를 유지하기 위해서 2개의 유압실린더를 사용하고 있다.

본 연구에서는 혼합식 집광기의 채집장치에 대해 기구적 설계 및 해석의 관점에서 설계 평가를 수행한다. 먼저 설계 공리의 관점에서 개념설계를 평가하며, 기본적인 형상에 대한 기구학 해석을 수행함으로써 실린더의 상대 위치, 속도, 가속도를 구하고 그 결과를 이용한 역동역학 해석의 결과로부터 실린더에 제공되어야 할 동력과 각 조인트에 작용되는 반력을 구한다. 또한 기구학적 민감도 해석을 통해 설계 개선의 자료를 제시한다.

## 2. 혼합식 채집장치의 모델링

Fig. 1은 노즐에 의해 심해저면의 망간단괴가 들어 올려져서 핀 체인 벨트로 수송되는 혼합식 집광기의 채집장치를 나타낸다. 채집장치의 효율을 결정하는 인자는 심해저면과 흡입부의 간격, 노즐의 분사각 및 분사속도, 노즐 간격, 벨트의 회전속도 등이 있다. 그러나 본 연구에서는 채집장치의 핵심기술인 심해저면과 흡입부(Intake part)의 간격을 제어하는 2개의 실린더의 연구에 제한한다. 따라서 이 실린더에 의해서 제어되는 채집 머리부의 거동을 연구하기 위해 흡입부 간극을 제외한 나머지 인자

는 최적의 상태라고 가정한다.

채집장치는 강체로 가정된 모두 7개의 물체로 구성되어 있으며 평면운동을 한다고 가정한다. 즉, Fig. 2에서처럼 채집장치는 실린더 #1, #2가 각각 2개의 강체로 이루어져 있고 프레임(frame), 채집 머리부(pickup head) 그리고 차량(ground로 가정)도 강체로 가정한다. 각 물체의 무게중심에 물체 부착  $x'-y'$  기준계(body fixed  $x'-y'$  reference frame)가 붙어 있다고 가정한다. 그리고 X-Y 관성 기준계에 대해 모든 물체의 위치가 정의되어 있다. 각 물체 사이는 6개의 회전 조인트(revolute joint)와 2개의 병진 조인트(translational joint)로 연결되어 있다고 모델링한다. 따라서 ground를 포함한 기구학적 구속 방정식의 개수가 19이고 전체 물체의 일반화된 좌표계의 개수가  $3 \times 7 = 21$ 이므로 자유도는 2가 된다.

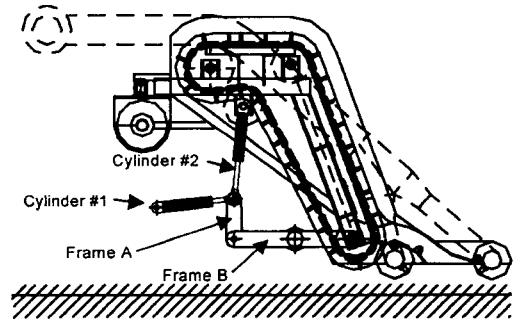


Fig. 1 Pickup device of hybrid collector

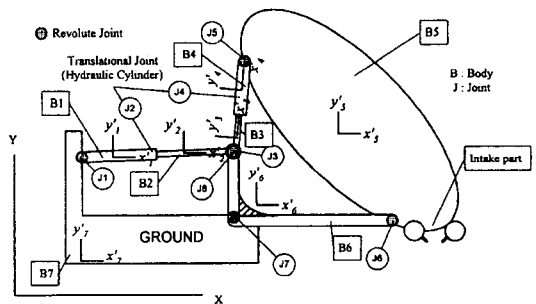


Fig. 2 Body-fixed reference frame embedded to each body of pick-up device of hybrid collector and numbering of each body and joint

## 3. 설계 공리에 의한 혼합식 채집장치의 설계 평가

설계 공리는 설계를 평가할 수 있는 기준을 제공한다.

본 연구에서는 혼합식 채집장치에 대해 설계 공리를 적용해서 개념설계를 평가한다. 설계 평가 기준으로서 설계 공리는 다음과 같이 정의된다.<sup>(4)</sup>

- 공리 1 : 기능 독립 공리 ( The Independence Axiom)
- 공리 2 : 정보량 최소의 공리 (The Information Axiom)

혼합식 채집장치의 설계를 다음과 같이 계층 구조화한다. 먼저 채집장치에 대한 기능 요구는 다음과 같다.

FR1 : 망간단괴를 끌어 올려서 전달하는 장치

FR1은 채집장치의 포괄적 기능이며 이 기능 요구를 만족시켜주는 것이 바로 채집장치로서 다음과 같이 설계 변수(DP1)를 정의한다.

DP1 : 채집장치

채집장치는 다음과 같은 세부 기능 요구로 분해할 수 있다.

- FR11 : 단괴를 들어 올리는 장치
- FR12 : 단괴를 수송해서 전달하는 장치
- FR13 : 흡입부의 위치와 자세 조정 장치
- FR14 : 전체 시스템을 지탱하는 장치

이와 같은 기능 요구를 구현하기 위해 혼합식 집광기의 채집장치는 다음과 같은 물체 분사 노즐, 체인 편 벨트, 실린더, 프레임 등의 설계변수가 있다.

- DP11 : 물체를 분사하는 노즐
- DP12 : 체인 편 벨트
- DP13 : 2개의 실린더
- DP14 : 프레임

물체를 분사하는 노즐은 단괴를 들어 올리고, 일련의 편으로 덮인 체인 벨트는 단괴를 전달하고, 2개의 실린더는 흡입부의 위치를 조정하며, 프레임은 전체 채집장치를 지탱한다. 따라서 설계 방정식은 다음과 같고 비연성이 되므로 설계 공리1을 만족한다.

$$\begin{cases} FR11 \\ FR12 \\ FR13 \\ FR14 \end{cases} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ X & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X & X \end{bmatrix} \begin{cases} DP11 \\ DP12 \\ DP13 \\ DP14 \end{cases} \quad (1)$$

유압실린더(DP13)의 역할은 다시 다음의 기능으로 세분화 될 수 있다.

- FR131 : 흡입부의 Y방향 위치 조정
- FR132 : 흡입부의 자세 조정

2개의 실린더는 흡입부의 Y방향과 자세를 조정하는 기능 요구를 만족한다. 이것에 대한 설계 변수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

DP131 : 실린더 # 1의 Stroke

DP132 : 실린더 # 2의 Stroke

현 계층에서 설계 변수 DP131과 DP132에 대해 공리 1을 적용시켜서 설계 방정식을 만들면 다음과 같다.

$$\begin{cases} FR131 \\ FR132 \end{cases} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{cases} DP131 \\ DP132 \end{cases} \quad (2)$$

순차적으로 DP131으로 FR131을 조정하고 나면 DP132로써 FR132를 만족시킬 수 있으므로 비연성된 설계다. 따라서 설계 공리1을 만족한다.

식(2)를 물리적으로 설명하면 실린더 #1의 상대 운동시 흡입부는 Fig. 2의 7번 조인트를 중심으로 회전하는 경향을 가진다. 따라서 실린더 #1의 운동은 Frame A부분의 길이를 회전 반경으로 프레임을 움직이고 그와 같은 움직임은 Frame B부분과 6번 조인트와 흡입부의 거리를 합한 길이를 회전 반경으로 흡입부를 움직이게 한다. 현 설계에서 Frame A보다 Frame B가 3배나 길다. 따라서 상하 위치 조절의 기능이 실린더 #1의 주된 기능이다.

실린더 #2는 6번 조인트를 중심으로 흡입부를 회전시키려는 경향을 가지고 채집 머리부를 직접 움직인다. 현 설계에서 흡입부와 6번 조인트 사이의 거리가 작다. 따라서 실린더 #2의 상대 운동은 흡입부의 상하 병진 운동보다는 회전에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하면 혼합식 집광기의 채집장치가 설계 공리 중 기능 독립의 공리를 만족하는 '잘된 설계'라는 것을 알 수 있다.

#### 4. 기구학 해석

2절에서의 기구학적 모델로부터 다음과 같은 기구학적 구속방정식을 구성한다.<sup>(5,6)</sup>

$$\Phi^K(\mathbf{q}) = [\Phi_1^K(\mathbf{q}), \dots, \Phi_{19}^K(\mathbf{q})]^T = \mathbf{0} \quad (3)$$

여기서  $\mathbf{q}$ 는 일반화된 좌표계이며, 상첨자  $K$ 는 기구학적 구속방정식을 의미한다.

망간단괴로 널려진 심해저면 중 상업적 채광의 대상이 될 부분은 평탄하고 장애물이 없을 것으로 간주되나 준액체층으로 이루어진 퇴적층 상부와 집광기 주행장치간의

상호작용으로 차량은 상하 회전운동을 할 것으로 예상된다. 본 기구학 및 동역학 해석에서는 차량은 정지하여 있고 심해저면이 다가오는 것으로 가정하여 해석한다. 따라서 채집장치의 흡입부(Fig. 2 참조)에 대한 상대적인 심해저면의 상하 변화는 차량의 운동에 많은 영향을 받는다. 이에 대한 정확한 모델링은 차량과 준액체층을 포함한 심해저면의 자료가 없는 관계로 엄밀하게 정의할 수 없으나, 주기 운동을 할 것으로 예측할 수 있으므로 흡입부에 상대적인 심해저면은 정현파로 모델링하고 가장 상대운동이 심한 경우를 다음의 식과 같이 모델링하여 그 위에 망간단괴가 존재한다고 가정한다.

$$y = 7 \sin\left(\frac{2\pi}{2000}(x - 100t)\right) [cm] \quad (4)$$

식(4)로 표현되는 심해저면에 대해 채집장치의 흡입부가 최적 거리를 항상 유지할 때의 흡입부의 Y방향 좌표에 각을 구동 구속조건으로 두면 식(5)와 같은 방정식을 구성할 수 있다.

$$\Phi^D(q, t) = [\Phi_1^D(q, t), \Phi_2^D(q, t)]^T \quad (5)$$

여기서 상첨자 D는 구동 구속조건을 나타낸다.

식(3)과 식(5)를 연립하여 다음과 같이 구속 방정식을 완성한다.

$$\Phi(q, t) = \begin{bmatrix} \Phi^K(q) \\ \Phi^D(q, t) \end{bmatrix} = 0 \quad (6)$$

식(6)을 Newton-Raphson법을 이용하여 풀면 시간에 따른 모든 물체의 위치와 자세를 구할 수 있다. 위치해석

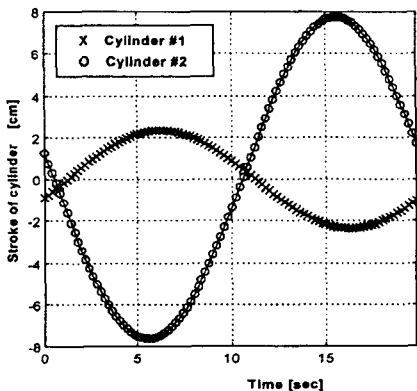


Fig. 3 The stroke of hydraulic cylinders versus time

에서 실린더의 행정은 Fig.3과 같다. 계산 결과 실린더 #1의 행정은 약16 [cm]이고 실린더 #2의 행정은 5 [cm]이다. 주파수는 두 개의 실린더 모두 0.05 [Hz]이다. 여기서 실린더의 행정은 비교적 작고 주파수가 아주 낮기 때문에 실린더의 상대 거동은 상당히 느리다는 것을 알 수 있다.

위치 해석에서 사용된 구동 구속조건을 수치적으로 미분하여 속도 및 가속도 해석에 대한 구동 구속조건을 구한다. 이와 같이 구해진 구동 구속조건을 사용해서 다음과 같은 식을 구성하여 실린더의 상대 속도 및 가속도를 비롯해서 모든 물체의 속도 및 가속도를 구한다.

$$\Phi_q \dot{q} = -\dot{\Phi}_t \equiv v \quad (7)$$

$$\Phi_q \ddot{q} = -\left(\Phi_{qq} \dot{q}\right)_q \dot{q} - 2\Phi_{qt} \dot{q} - \ddot{\Phi}_t \equiv \gamma \quad (8)$$

여기서 하첨자 q와 t는 각각 q와 t에 대한 편미분을 나타내며  $\Phi_q$ 는  $\Phi$ 의 Jacobian이다. 계산 결과 실린더 #1의 최고속력은 0.7[cm/sec]이고 실린더 #2의 최고속력은 2.5[cm/sec]이다. 또한 최대 가속도는 실린더 #1이 0.2[cm/sec<sup>2</sup>]이고 #2는 0.8[cm/sec<sup>2</sup>]이다.

이 시스템은 수중에서 작동되므로 부가 질량(added mass)과 항력(drag force)의 영향을 받게 된다. 따라서 기구학 해석을 바탕으로 유체력의 영향을 고려한다.

어떤 물체에 작용하는 부가 질량에 기인된 외력은 물체의 가속도와 주위 유체의 배수 질량에 비례한다. 각 물체의 가속도는 최대가 10<sup>-4</sup> [m/sec<sup>2</sup>]의 차수이므로 중력 가속도의 차수와 비교하여 매우 작다. 그리고 본 시스템의 경우 큰 배수량(displacement volume)을 갖는 구성요소 없으므로 부가 질량에 의한 외력은 무시할 수 있다.

집광기의 전진 방향으로 가장 앞부분에 위치해 있는 채집 머리부는 투영면적이 가장 넓은 부분으로 다른 요소보다 항력이 많이 작용된다. 따라서 다음 장에 수행할 역동역학 해석에서는 채집 머리부에 대한 항력만을 고려하기로 한다.

### 5. 역동역학 해석

2개의 유압 실린더의 상대 거리를 구동 구속조건으로 두고 또한 그것을 이용하여 각 물체의 가속도를 구한다. 이것을 이용하여 다음의 Lagrange 승수 형태의 운동 방정식을 구성한다.

$$M\ddot{q} + \Phi_q^T \lambda = Q^A \quad (9)$$

여기서  $M$ 은 질량 행렬을 나타내고,  $\Phi_q$ 는 시스템의 일반화된 좌표계에 대한 구속 방정식의 Jacobian을,  $Q^A$ 는 외부 작용력을,  $\lambda$ 는 Lagrange 승수를 각각 나타낸다. 기구학 해석에서  $\ddot{q}$ 와  $\Phi_q$ 를 구하였으므로  $Q^A$ 를 구해서 식(9)를 정리한 다음의 식으로부터 Lagrange 승수를 구한다.<sup>7)</sup>

$$\lambda = (\Phi_q^T)^{-1} (Q^A - M\ddot{q}) \quad (10)$$

Lagrange 승수는 식(10)의 우변에서 보는 것처럼 작용력과 관성력의 선형 조합이다. 즉 다음과 같이 Lagrange 승수를 두 가지 형태로 나눌 수 있다.

$$\lambda_A = (\Phi_q^T)^{-1} (Q^A) \quad (11)$$

$$\lambda_B = (\Phi_q^T)^{-1} (-M\ddot{q}) \quad (12)$$

식(11)은 시스템에 대한 작용력에 기인된 Lagrange 승수를 구해주고 식(12)는 시스템의 관성력에 기인된 Lagrange 승수를 구해준다. 2개의 실린더의 상대 운동을 구동 구속조건으로 두었을 때 Lagrange 승수는 실린더의 구동력(driving force)을 계산하는 데 사용되어지고 관성력과 작용력으로 나누어 각각의 항에 의해 기인된 구

동력을 구할 수 있다.

Fig. 4에는 관성력과 작용력 그리고 모든 힘을 고려했을 때의 구동력이 나타나 있다. 관성력이 작용력에 비해 매우 작아서 무시될 수 있다는 것을 알 수 있다.

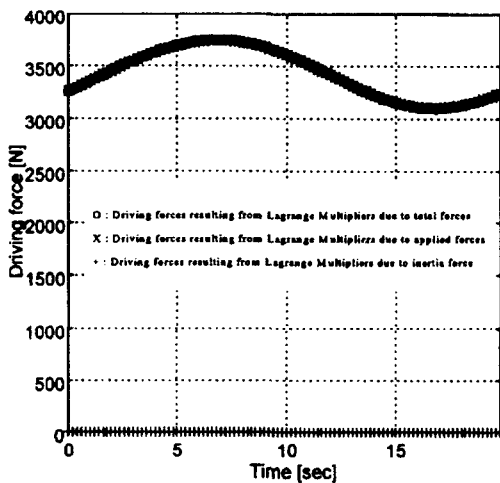
채집장치가 망간단괴를 채집하기 위한 거동을 하기 위해서는 실린더 #1에는 인장력이 실린더 #2는 압축력이 작용되어야 한다는 것을 알 수 있고 실린더 #1에 더 큰 힘이 작용되어야 한다.

이와 같은 이유는 관성력이 작아서 무시되면 정역학적

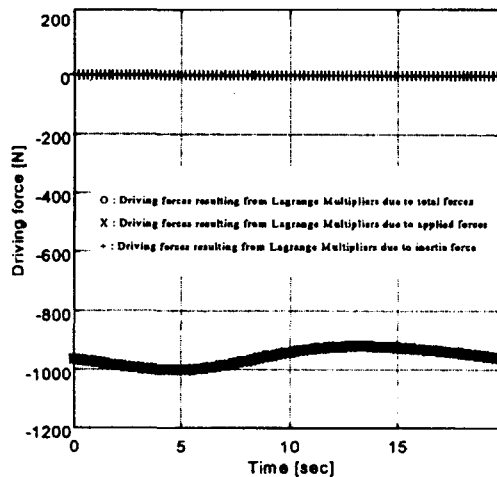
Table 1 The maximum reaction forces of each body\*

Joint No.	Joint Type	Ref. Body	x-direction Forces [N]	y-direction Forces [N]
J 1	Rev	7	3727.7	353.9
J 2	Tra	1	0.	10.25
J 3	Rev	2	3727.7	414.9
J 4	Tra	3	0.	-0.78
J 5	Rev	4	-57.02	-849.6
J 6	Rev	5	948.9	1111.5
J 7	Rev	6	4733.6	2703.8
J 8	Rev	6	-57.0	-923.2

\* Note that the reaction forces of translational joints are defined on the global reference X-Y frame and those of revolute joints are defined on the body fixed x'-y' frames of their reference bodies. The reference frames are defined in Fig. 2.



(a) hydraulic cylinder #1



(b) hydraulic cylinder #2

Fig. 4 Driving forces to hydraulic cylinders

평형을 이루기 위해 가장 질량이 큰 채집 머리부의 무게 중심의 위치 때문에 실린더 #2보다 #1에 큰 힘이 작용된다고 생각된다.

기구학적 구속조건에 대한 Lagrange 승수는 각 조인트에 걸리는 반력을 계산하는데 사용되어지며, Table 1에 그 결과가 나타나 있다. Table 1에서 조인트의 형태 중 "Rev"는 회전 조인트를 "Tra"는 병진 조인트를 각각 나타낸다. 1번, 3번, 7번 조인트에 걸리는 힘이 3000 ~ 5000 [N] 정도로 두드러지고 6번과 8번 조인트에도 힘이 많이 작용된다. 3번, 6번, 7번, 8번 조인트는 프레임에 연결되어 있고 1번과 3번 조인트는 실린더 #1과 연결된 조인트이다. 따라서 전체 시스템을 지탱하는 역할을 하는 프레임과 실린더 #1에 힘이 많이 작용된다는 것을 알 수 있고 이 부분의 부재는 충분히 강도가 유지될 수 있도록 설계 되어야 할 것이다.

### 6. 설계 민감도 해석

일반적으로 동일한 구동조건에 대해 실린더의 최대 행정이 클수록 에너지의 관점에서는 불리하나 제어의 측면에서는 유리하다. 따라서 실린더의 최대 행정을 변화시키기 위한 설계 변수의 변화의 방향을 제시하는 것은 실린더 설계의 중요한 정보가 된다. 이에 따라 본 연구는 Fig. 1의 프레임 A, B의 길이를 설계 변수  $b_1, b_2$ 로 두고 채집 머리부에서 5번 조인트의  $x'_5, y'_5$  방향의 위치 좌표를 설계 변수  $b_3, b_4$ 로 둔다. 또한 Fig. 1의 실린더 #1과 #2의 최대 행정길이를 성능함수  $\Psi_1, \Psi_2$ 로 다음과 같이 정의한다. 먼저  $d'_1, d'_2$ 를 어느 시간  $t_i$ 에서 실린더 튜브와 실린더 로드 사이의 거리라고 두면 다음과 같이 일반화된 좌표계로 수식화 시킬 수 있다.

$$d'_1 = q_4 \cos q_6 + q_5 \sin q_6 - (q_1 \cos q_3 + q_2 \sin q_3) - d_{01} \quad (13)$$

$$d'_2 = q_{10} \cos q_{12} + q_{11} \sin q_{12} - (q_7 \cos q_9 + q_8 \sin q_9) - d_{02} \quad (14)$$

따라서 성능함수는 실린더 운동의 한 주기를 통해 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\Psi_1 = \max(d'_1) - \min(d'_1) \quad (15)$$

$$\Psi_2 = \max(d'_2) - \min(d'_2) \quad (16)$$

여기서  $d_{01}, d_{02}$ 는 각각 실린더 #1과 #2의 기준 행정 길이

를 가리킨다. 따라서 주기 운동에 대해  $\Psi_1, \Psi_2$ 는 행정 길이를 나타낸다. 이것을 직접 미분법을 이용하여 설계변수  $b_1, b_2, b_3, b_4$ 에 대해 민감도를 구한다.

주어진 성능 함수와 설계 변수를 일반화된 민감도 벡터에 대입하면 다음으로 나타낼 수 있다.<sup>(8,9)</sup>

$$\frac{d\Psi_1}{db} = \Psi_{1q} q_b \quad (17)$$

$$\frac{d\Psi_2}{db} = \Psi_{2q} q_b \quad (18)$$

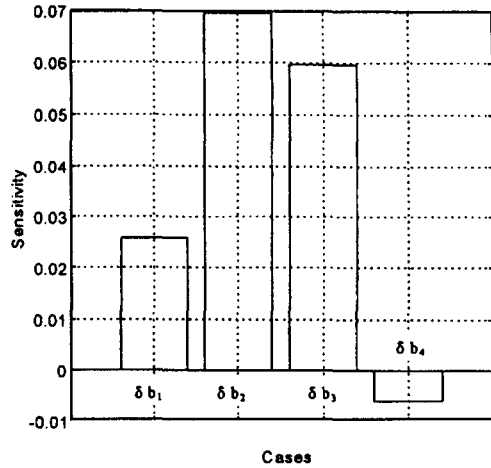
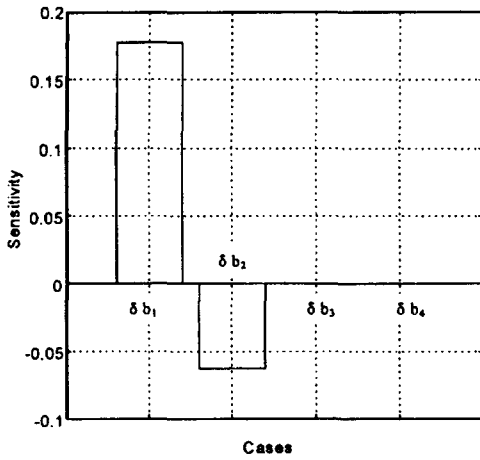
여기서 하첨자 "q"는 편미분을 뜻한다. 상태 변수에 대한 설계 변수의 편미분값  $q_b$ 는 다음의 식에서 구한다.

$$\Phi_q q_b = -\Phi_b \quad (19)$$

Fig. 5 (a), (b)는 각각 전체 행정에 대한  $\Psi_1$ 와  $\Psi_2$ 의 민감도를 나타낸다. 실린더 #1의 최대 행정은 프레임 A의 길이 변화에 아주 민감하고 5번 조인트의 위치에는 전혀 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서 만약 실린더의 #1의 최대 행정을 변경하기 위해서는 프레임 A의 길이를 변경 시키는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다. 실린더 #2의 경우 최대 행정을 증가시키려면 프레임 A와 프레임 B의 길이를 증가시켜야 하고 채집 머리에서 5번 조인트를  $x'_5$ 의 양의 방향으로 옮기고  $y'_5$ 의 음의 방향으로 옮겨야 한다는 것을 알 수 있고 프레임 B의 길이의 변화와 5번 조인트의  $x'_5$  방향으로의 변화가 실린더 #2의 최대 행정에 민감하다는 것을 알 수 있다.

### 7. 결론

혼합식 심해저 망간단괴 집광기의 채집장치를 심해저에서 운동제어를 위한 여러 가지 변수의 영향에 대한 연구를 기구학적, 역동력학적 측면에서 수행하였다. 먼저 설계 공리를 적용하여 현 시스템의 개념설계가 '잘된 설계'라는 것을 알 수 있었다. 기구학 해석을 통하여 채집장치가 심해저 상을 진행할 때 흡입부가 일정한 위치와 자세를 유지하기 위한 실린더의 상대 위치, 속도, 가속도를 구하여 앞으로 수행할 채집장치의 실험을 위한 기초 자료를 제공하였다. 또한 역동역학 해석을 통하여 실린더에 주어야 할 힘을 구함으로써 실린더 용량 선정과 제어를 위한 기초적인 데이터를 제시했고, 각 조인트에 걸리는 반력을 계산하여 각 부재의 강도 설계의 근거를 마련하였



(a) Design sensitivity of performance function  $\Psi_1$

(b) Design sensitivity of performance function  $\Psi_2$

Fig. 5 Design sensitivity of the maximum strokes of hydraulic cylinders with respect to the design variables such as the lengths of frames A and B, and  $x_5^-$ ,  $y_5^-$  - directional positions of joint 5 on pickup head

다. 실린더의 최대 행정에 대한 기구학적 설계 민감도 해석을 수행하여 채집장치의 기구학적 설계 변경 시 그 목적에 부합한 방향을 제시할 자료를 마련했다. 이상의 채집장치에 대한 연구는 채집장치의 기초 설계 단계에서 유용한 자료가 될 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. 홍 섭, "심해저 망간단괴 채광시스템의 기술분류," *선박해양기술 19호*, pp. 149 - 157, 1994.
2. THESIS-KRISO-HMRI joint project, 1996.
3. H. Amann, H.U. Oebius, F. Gehbauer, W. Schwarz, and R. Weber, *Soft Ocean Mining*, OTC, 1991.
4. Nam P. Suh, *The principal of design*, Oxford University Press, New York, 1990.
5. E.J. Haug, *The Computer Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems*, Allyn

and Bacon, Boston, 1989.

6. J.S. Choi, T.H. Lee, and S. Hong, "Kinematic and Dynamic Analysis of Deep Sea Manganese Nodules Collector," *2nd Deep Sea Bed Mining Technology*, KIMM, pp. 91-104, 1996.
7. 최종수, 이태희, 홍 섭, "심해저 망간단괴 채집장치의 기구학 및 동역학 해석," *한국해양공학회 추계 학술대회 강연논문집*, pp. 210-217, 1996.
8. Taeoh Tak, *A Recursive Approach to Design Sensitivity Analysis of Multibody Systems Using Direct Differentiation*, Ph.D. Thesis, U. of Iowa, Iowa City, IA 52242, U.S.A., 1990.
9. 홍 섭, 심재용, 이태희, 최종수, "심해저 망간단괴 집광기의 채집장치에 관한 연구," *한국정밀공학회 추계 학술대회 논문집*, pp. 891-895, 1996.