

## Side Scan Sonar 자료처리에서 수중예인체의 절대위치

김성렬\* · 이용국 · 박건태 · 석봉출 · 정백훈

한국해양연구원, 426-744 경기도 안산시 상록구 사2동 1270번지

### Absolute Sonar Position on Side Scan Sonar Data Processing

Seong-Ryul Kim\* · Yong-Kuk Lee · Gun-Tae Park · Bong-Chool Suk · Baek-Hun Jung

Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan 426-744, Korea

**Abstract:** For the seafloor acoustic image mapping of side scan sonar, the beginning step of the procedure is to fix the absolute sonar (tow-fish) position since the sonar is not hull mounted but towed astern. The technical algorithm used to calculate the actual sonar position without any other additional sub-system, i.e., the underwater acoustic position tracking system or the sonar attitude measuring device, was proposed. In the seafloor image mosaic mapping results using the sonar track (not ship track) developed in this study, any ambiguity or inconsistency of seafloor features was not found. The incidental effect from the sonar position determination procedure orients the towing direction of sonar to be smooth, consequently the swath pattern on the across-track direction becomes stable and the blanking phenomenon of the insonification area is reduced conspicuously. This technical method is considered to be an useful tool when applied to other underwater towing vehicle surveys.

**Keywords:** side scan sonar, seafloor acoustic image, tow-fish, swath pattern, insonification area

**요약:** 사이드 스캔 소나를 이용한 해저면 음향영상자료의 처리과정에서 가장 첫 번째 단계는 수중예인체의 절대위치를 결정하는 것이다. 예인체를 조사선박에 부착하지 않고 후미에서 수중예인하기 때문이다. 수중에서 음향을 이용하여 위치를 추적하는 장치나 예인체의 움직임을 관측하는 추가적인 지원장비 없이도 절대위치를 계산할 수 있는 기술적인 알고리즘이 제안되었다. 예인항적으로 작성된 모자이크 결과도면에서, 인접한 측선 간의 불일치나 모호하게 집합되는 해저형태를 발견할 수 없었다. 절대위치 계산과정에서 수중예인체의 진행방향이 부드럽게 되는 부차적인 효과가 있다. 그 결과 진행방향에 대하여 수직으로 분포하는 영상자료의 펼침형태가 안정적으로 배열되며 음향조사영역의 평면투영에서 자료의 유실현상도 현저하게 줄어든다. 수중에서 예인하는 방식의 다른 분야 해양조사에서도 이 연구결과의 적절한 활용이 기대된다.

**주요어:** 사이드 스캔 소나, 해저면 음향영상, 수중예인체, 펼침형태, 음향조사역

## 서론

Side scan sonar 현장조사는 음파를 발신하고 수신하는 수중예인체(tow-fish)를 조사선박 후미에서 예인하는 방식으로 수행되므로, 해저면 음향영상의 기록 위치는 조사선박의 항해위치와 언제나 차이가 난다. 예인케이블의 방출길이를 알고 있더라도 조사선박의 항해속도와 항해방향에 따라서 조사선박과의 이격거

리는 수시로 달라진다. 뿐만 아니라 해저지형이 변하는 경우에는 방출길이의 변경이 필요하다. 따라서 수중예인체가 조사선박의 뒤에서 예인되고 있다는 사실 외에는 우리가 알고있는 위치정보는 없다는 의미가 된다. 따라서 수중예인체의 절대위치를 결정하기 위한 위치보정 작업이 우선적으로 선행되지 않으면, 기타 자료후처리 과정이 적절하더라도 실제의 해저면 형태와는 왜곡된 결과를 얻게 된다.

수중예인체의 정밀한 위치파악을 위하여 short/long base line과 같은 관측장비를 조사해역에 설치하여 음향학적으로 3차원적인 수중음속거리 네트워크를 구성하는 방법이 적용될 수 있으나(Jones, 1999), 고가의

\*Corresponding author: srkim@kordi.re.kr

Tel: 82-31-400-6270

Fax: 82-31-408-5822

추가적인 장비가 필요하고 현장운영의 번잡함 때문에, 대부분의 경우 보조장비 없이 해저면 탐사가 수행되고 있다. 한편 해양공학 분야에서는 동력학적으로 예인케이블의 거동(behaviours)을 수치모의로 해석하여, 예인시스템의 수중위치를 정밀하게 추정하려는 연구가 지난 30여 년 전부터 진행되어 왔다 (Buckham *et al.*, 2003). 기본적인 개념은 예인케이블을 여러 개의 선분(finite linear segments)으로 나누고 케이블의 특성자료와 외부의 환경요인들을 입력변수로 사용하여 선분 마디(node)의 운동상태를 수치모델에 적용하는 3차원적인 접근방법이다. Walton and Polacheck(1960)가 선분을 집중질량(lumped mass)으로 간주하여 해를 구하는 방법을 제안한 이후, Paul and Soler(1972)는 관성력을 고려하지 않은 상태에서 준(유사) 동적(quasi-static)으로 수행될 수 있는 2차원적인 계산방법으로 개선하였으며 Chapman(1984)에 의하여 3차원적인 수치모델이 확립되었다. 그리고 Huang(1994)과 Driscoll *et al.*(2000)은 예인케이블의 재질에 따른 굽힘강성(stiffness)에 대한 효과를 고려함으로써 동력학적인 수치해석 방법을 보완하게 되었다. 그러나 이러한 연구의 대부분은 장력이 강한 예인케이블(steel armoured type)에 적용되는 경우이며, 가볍고 쉽게 굽어지는 예인케이블(kevlar type)에 관련된 연구(Leonard and Recker, 1972; Sanders, 1982; Ablow and Schechter, 1983)는 상대적으로 많지 않다고 보고되고 있다(정동호 외, 2003).

현재의 상황에서 음향학적인 방법을 적용하기에는 탐사장비의 한계가 있다. 동력학적인 방법은 예인케이블의 거동을 수치해석하기 위한 케이블 특성과 해양환경(예, 해류), 현장상황 등 전반에 대한 적절한 경계(입력)조건이 필요하며, 절대위치의 근사치를 구하기 위한 수치해석에 상당량의 계산시간이 요구된다. 따라서 이 연구에서는, 기본적으로 취득되는 항적자료와 음향자료 그리고 예인케이블의 방출길이 이 세 가지 요소만을 이용하여, 기하학적인 방법으로 수중예인체의 절대위치를 산출하는 기존의 연구결과(과학기술처, 1993; 김성렬, 2000)를 체계적으로 정리하여 소개하였으며, 향후 개선되어야 할 문제점을 토의하였다. 그리고 모자이크로 처리된 해저면 음향영상 매핑결과가 해저지질 분포환경을 무리 없이 표현할 수 있는지를 함께 검토하였다.

## 자 료

해저면 탐사장비 Seafloor Mapping System (SMS960, EG&G)을 사용하여 포항 영일만 해역에서 수행된 음향영상 자료를 이용하였다. Data Recorder (RD-111T, TEAC)에 저장 기록된 현장자료는 3kHz 샘플링간격으로 디지털 변환 처리하여 720Kbyte 씩 1분 분량의 자료를 한 개의 자료군 파일로 구성하였다. 수중예인체(272, EG&G)의 음향주파수는 105kHz이지만 그래픽으로 출력되는 파형신호는 포락선(envelope) 형태이므로 계수화처리 주파수가 3kHz이더라도 자료의 특성은 변하지 않으며 장비제작사 측에서 제시하는 표준 샘플링간격이다(EG&G, 1981, 1989a). Decca Trisponder System(Del Norte)을 이용한 해상위치 관측자료는 한국측지계(Korea Geodetic System, KGS)에서 UTM(Universal Transverse Mercator) 도법으로 환산하여 사용하였다.

## 수중예인체의 절대위치

### 조사선박과 수중예인체의 위치관계

모식도 Fig. 1은 조사선박과 수중예인체의 공간적인 상호위치 관계를 설명하고 있으며, 그림에서 표시된 기호의 의미는 다음과 같다.

- S: 조사선박에 설치된 항법장치의 안테나 위치
- S': 조사선박의 후미 끝 또는 예인케이블의 도르래 위치
- F: 조사선박 후미에서 예인되는 수중예인체의 수평적 위치
- d1: 안테나에서 조사선박 후미까지의 거리
- d2: 조사선박 후미에서 수중예인체까지의 수평적 거리
- h1: 해수면에서 수중예인체까지의 깊이
- h2: 해수면에서 조사선박 갑판 또는 도르래까지의 높이

여기서 알고 있는 변수는 S, d1 및 h2이며, 구하여야 할 변수는 S', d2, h1 및 F이다. 탐사측선이 직선이 아닐 경우, 수중예인체의 위치는 조사선박의 직후방이 아니고 회전방향의 안쪽으로 치우치게 되며 조사선박의 항해방향과 수중예인체의 예인방향에도 차

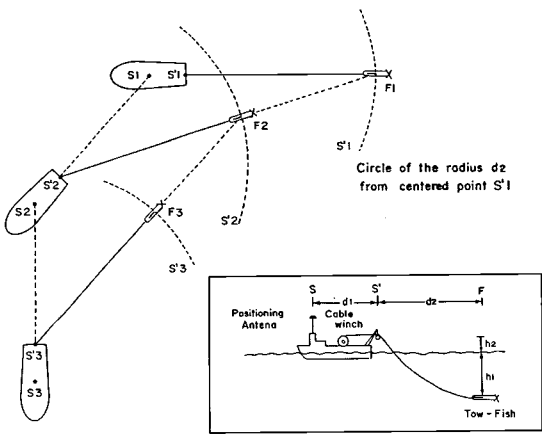


Fig. 1. Schematic illustration of the geometrical relationship between ship's and tow-fish's position layout. The shown in box is the vertical view.

이가 있음을 알 수 있다. 그리고 조사선박의 위치이동(S1, S2, S3,...) 시간간격은 매초단위이므로 실제상황을 감안한다면, 2초만에 조사선박이 90°로 진행방향을 바꾸고 있는 Fig. 1은 다소 과장된 표현이다.

우선 조사선박의 항법장치 안테나의 위치 S(x,y)와 예인케이블의 도르래 위치 S'(x',y')에 대한 x 축과 y 축 방향의 상대적인 변위거리를 dx와 dy로 정의한다면, 아래의 식(1)과 (2)의 관계에 있다.

$$dx = x - x' \tag{1}$$

$$dy = y - y' \tag{2}$$

그리고 변위거리는 안테나에서 조사선박 후미까지의 거리(d1) 및 조사선박의 항해방향(ship's heading, HD)과는 아래의 식(3)과 (4)의 관계에 있다.

$$dx = \cos(270 - HD) \cdot d1 \tag{3}$$

$$dy = \sin(270 - HD) \cdot d1 \tag{4}$$

일반적으로 항해방향을 기록하는 장치가 없는 조사선박이 대부분이므로, 조사선박이 현재의 위치(S1)에서 다음의 위치(S2)로 이동했을 때의 항적방향(ship's track)을 항해방향 자료로 활용하여도 큰 오차는 발생하지 않는다. 그리고 식(3)과 (4)에서 상수 270을 사용하는 이유는 일반방위계에서는 북쪽이 0° 또는 360°이지만 직각좌표계에서는 동쪽(오른쪽)이 0°이므로 그 차이를 보정하기 위한 방위각 상수이다. 따라서 변위거리 dx와 dy를 아래의 식(5)와 (6)과 같이 S(x,y)를 보정하면 S'(x',y')의 위치가 결정된다.

$$x' = x + dx \tag{5}$$

$$y' = y + dy \tag{6}$$

여기서 예인케이블의 도르래 위치(S')는 조사선박의 위치(S)와 수중예인체의 위치(F) 사이에서 경첩점(hinge point) 역할을 한다고 볼 수 있다. 그리고 해수면에서 수중예인체까지의 깊이(h1)를 구할 수 있다면, 방출된 예인케이블은 구부러지지 않는 단단한 하나의 마디로 간주한다는 가정 하에서, 피타고라스 정리를 이용하여 S'에서 F까지의 수평적 거리(d2)를 결정할 수 있다. 예인케이블의 상태를 직선으로 단순화함으로써 계산상의 복잡성을 피할 수 있다. 그리고 선박속도와 예인체의 수중깊이 관계(Fig. 5)에서 보면, 예인케이블의 굽어지는 정도를 정량적으로 산출하더라도 그 차이는 크지 않다는 것을 확인할 수 있으며, 자료후처리 과정에서 매핑위치는 격자개념으로 재배열되므로, 해저지질 분포환경을 표현하는데 무리가 없다고 판단되기 때문이다(김성렬 외, 1987, 2002).

d2가 결정되면 S'를 원점으로 반경 d2의 원을 점선으로 그릴 때 F와 S'를 잇는 선분과의 교차점이 수중예인체의 절대위치로 결정된다. 이와 같이 최초의 수중예인체 위치인 F1을 한번만 결정하면, S'2와 F1에서 F2를, S'3와 F2에서 F3를, S'4와 F3에서 F4를..., 등등 순차적으로 반복하는 순환(recursive) 방식으로 수중예인체의 수평적 위치 F를 차례차례 결정할 수 있다. 물론 이 계산과정에서 조사선박의 항해속도나 예인케이블의 방출길이가 달라지면 h1 역시 변하므로, 매번 수신되는 음향자료 파형신호에서 h1을 결정한 다음 d2를 다시 계산하여 위의 순환방식에 적용한다. 여기서 해수면에서 수중예인체까지의 깊이(h1)를 결정하는 문제와 처음 시작되는 최초의 수중예인체 위치(F1)를 모르는 상태에서 어떻게 절대위치가 될 수 있는가에 대한 두 가지 문제가 제기된다.

### 수중예인체의 깊이(h1)

수중예인체의 수중고도에 따라서 해저면 음향영상의 기록형태는 약간 차이가 있다(Fig. 2). (a)에서는 수중예인체가 해저면 보다 해수면에 더 가까이 있을 경우에 수면반사(surface return)가 해저반사(bottom return) 보다 먼저 도달하게 되지만, (b)에서는 그 반대로 수중예인체가 해수면보다 해저면에 더 가까이 있으므로 해저반사가 수면반사 보다 먼저 도달하게 된다. (c)는 (a)의 경우로서 좌현과 우현 음향자료의

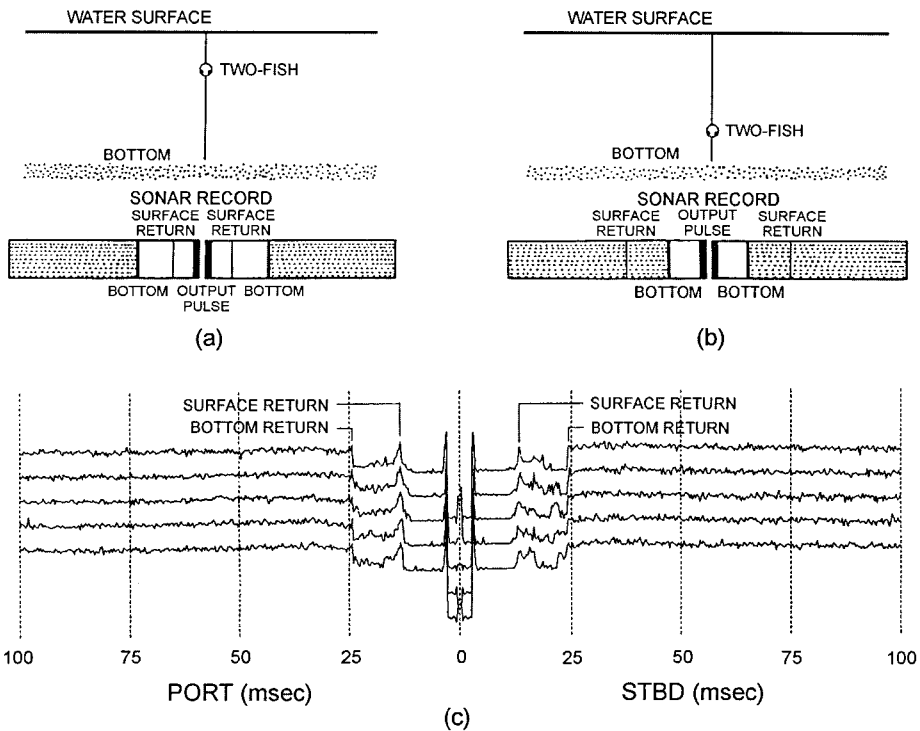


Fig. 2. Record patterns of side scan sonar according to the tow-fish height in water column. (a) Surface return arrives earlier than bottom return when tow-fish height from sea-bottom is greater than its sunken depth from water surface. (b) Surface return arrives later than bottom return when tow-fish height is less than its sunken depth. (c) Patterns of sonar signal trace. (a) and (b) were modified from Mazel (1985).

실제파형 일부를 보여주고 있다. 그림의 중앙부분이 초기의 출력펄스(output pulse)이며 해수면에서 반사되는 수면반사가 도달되고 그 이후 해저면에서 후방산란되어 도달하는 해저반사가 이어지고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 음향자료에서 수면반사의 왕복주행시간에 수중음속 1,500 m/sec를 적용하여  $h_1$ 을 산출할 수 있다. 그리고 방출된 예인케이블의 길이와  $h_2$ 를 알고 있으므로 수평거리  $d_2$ 는 아래의 식(7)에서 계산된다.

$$d_2 = ((\text{cable out})^2 - (h_1 + h_2)^2)^{1/2} \quad (7)$$

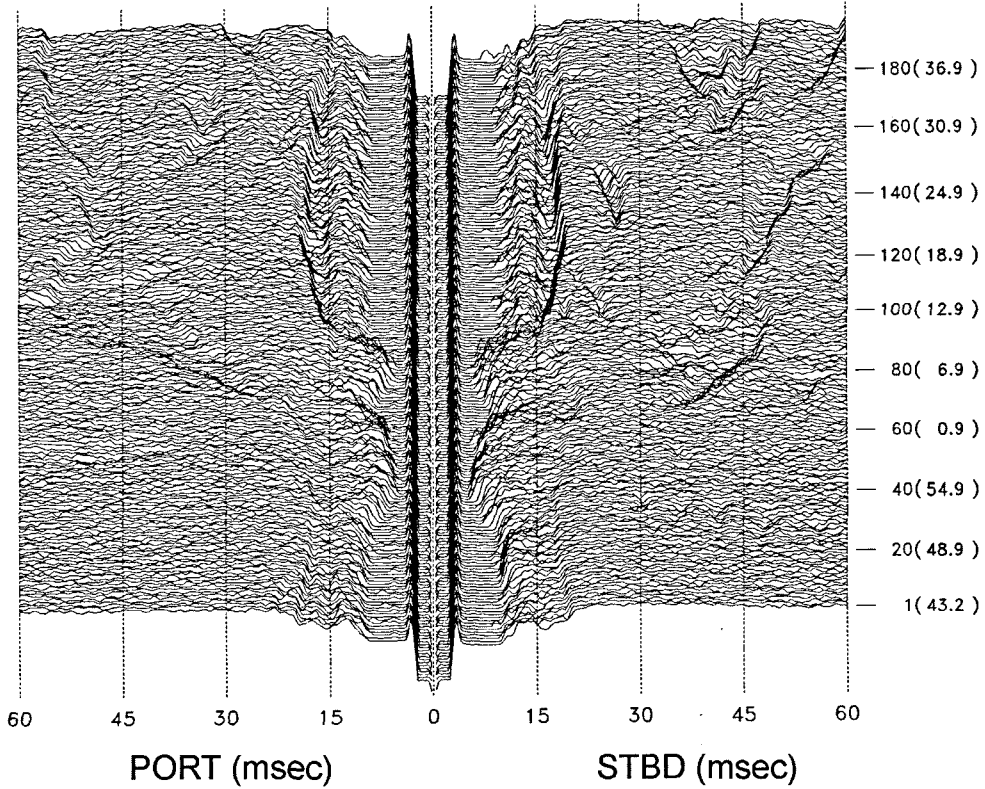
수면반사는, 수중환경잡음(underwater background noise) 보다는 비교적 진폭이 강하여, 수중에서는 쉽게 구별될 수 있다. 그러나 해저반사를 뒤따라오는 경우(Fig. 2(b))에는 상대적으로 진폭이 약하기 때문에, 그 위치를 정확하게 추적하기가 쉽지 않다. 수면반사가 해저반사에 의해 가려진 기록 예시(Fig. 3)에서 보면, 파형신호 일련번호 80번 이후부터 구분이 가능함을 알 수 있다. 이와 같이 가려지는 부분은 앞

뒤 음향자료의 신호형태와 조사선박의 항해속도 등을 감안하여 보간적인 방법으로 수면반사의 위치를 결정하게 된다.

### 가려진 수면반사

이 연구에서 제안하고 있는 절대위치 결정방법에서는, 예인체의 수중깊이( $h_1$ )를 하나의 입력변수로 사용하고 있으므로 가려진 수면반사의 위치추적은 필수적이다. 그러나 수심이 깊은 해역에서는, 수중예인체를 상당한 깊이까지 내려서 예인하게 되므로(Fig. 4), 수면반사가 장시간에 걸쳐 나타나지 않는 경우가 발생한다. 세로축은 예인체의 수중깊이(sunken depth)를 나타내고 있으며, 가로축은 탐사시각과 함께 매분간격으로 예인깊이를 표시하고 있다. 몇 군데의 변곡점은 탐사진행 중에 예인케이블의 길이를 변경한 지점이고, 표시된 숫자는 그 당시의 방출길이를 의미한다. 예인케이블이 662 m 방출되었을 때 수중예인체는 약 151.71 m 정도의 예인깊이를 보이고 있다. 이와 같이 수중예인체 내부에 수압센서(fish depth pressure

F:\PH9110SS\10041558 43.2

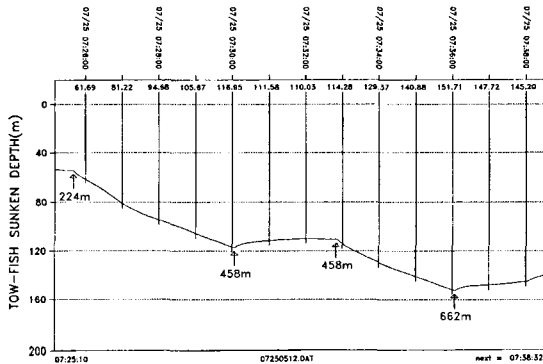


**Fig. 3.** Real records of the surface returns embedded in the bottom returns. The buried surface return pattern cannot be well distinguished because its intensity is not stronger than the bottom return. The centered high amplitude is the output pulse.

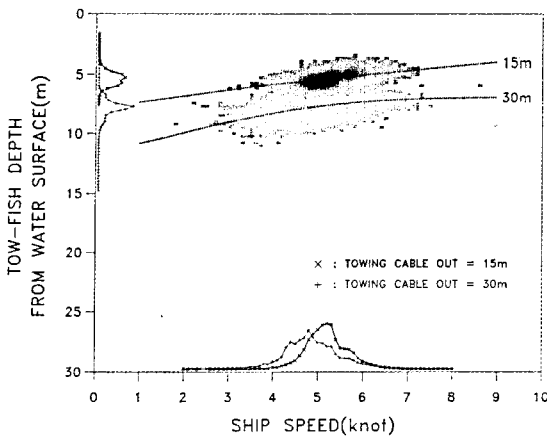
sensor)가 부착되어 있다면 수압자료가 바로 수면반사에 해당된다. 단 수압자료를 이용할 경우에는, 현장 탐사를 시작하기 전에 수중예인체를 해수면에 고정하

여, 수압센서의 영점보정(zero adjust)이 필요하다.

그러나 수압센서의 내장은 선택사항이며, 탐사장비의 운영체계가 디지털시스템이 아니면 장착이 불가능하다. 현재까지 국내에서 운용되고있는 탐사장비의 일부는 아직도 아날로그형이고 수압센서가 없는 경우가 대부분이어서, 파형신호에서 수면반사의 위치를 추적하는 방법은 여전히 필요하다. 수면반사가 나타나지 않는 근본적인 이유는, 예인체의 수중고도가 수심의 절반이하에 위치하기 때문이며, 조사선박의 항해속도 변경 또는 해저지형의 기복변화에도 그 원인이 있다. 이러한 관점에서 선박속도와 예인체의 수중깊이는 어떤 관계가 있는지를 검토해 보았다(Fig. 5). 조사선박의 항해속도는 약 4~6 노트 범위에 집중되어 있으며, 예인체의 수중깊이는, 예인케이블의 방출 길이가 15m와 30m일 때 각각 약 4~7m와 7~10m 정도의 분포범위를 보이고 있다. 각각에 대하여 상관 계수 95% 이상으로 회귀곡선(regressive fitting



**Fig. 4.** Tow-fish sunken depth profile. The length of towing cable out with the arrow symbol was marked at the points of profile inflection.



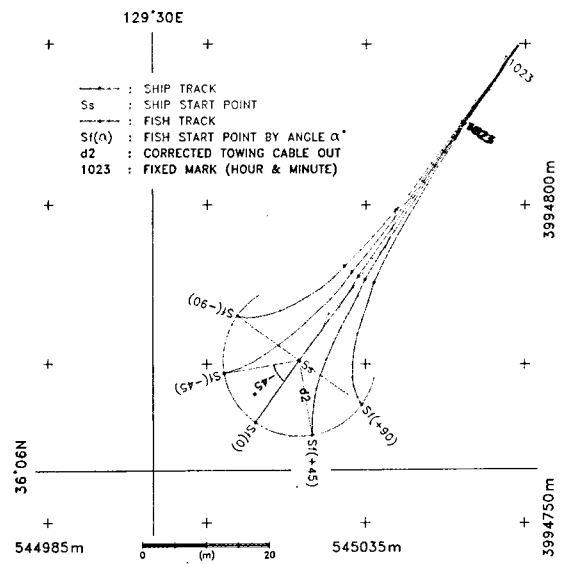
**Fig. 5.** Relationship between ship speed and tow-fish depth. The main ranges of tow-fish depth are 4~7m and 7~10m in case of 15m and 30m towing cable out, respectively. The ship speed is mostly in the range of 4~6 knots.

curve)을 구하였으나(Davis, 1973), 실제의 상황과는 다소 차이가 있을 것으로 생각된다. 15m 회귀곡선에서 항해속도가 증가할수록 수중예인체도 점점 수면으로 뜨고 있으나, 실제로는 항해속도가 다소 증가하더라도 30m에서와 같이 거의 평형상태를 유지해야 할 것으로 판단되기 때문이다. 결론적으로 항해속도가 크게 변하지 않는다면, 예인체의 수중깊이 역시 대단히 좁은 범위에 분포하고 있음을 지시한다.

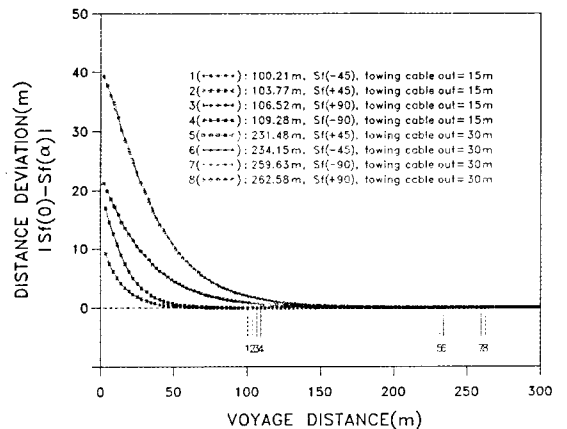
대부분의 해저면 음향영상 탐사활동은 수심이 깊지 않은 연안역에서 이루어진다는 점을 감안한다면, 수면반사가 해저반사에 장시간 동안 가려지는 상황이 그렇게 자주 발생하지는 않는다. 따라서 특별한 경우의 해양환경이나 현장상황으로 발생하는 예외적인 조건이 아니라면, 앞뒤 음향자료의 신호형태와 조사선의 항해속도를 고려한 보간법으로 수면반사의 위치를 추적하더라도, 절대위치의 산출결과에 큰 영향은 미치지 않는다.

**수중예인체의 최초위치(F1)**

해저면 탐사가 시작되는 위치에서 d2(예인케이블의 수평거리는) 산출될 수 있으므로, 조사선박의 탐사시작위치(Ss)를 원점으로 반경 d2의 원 위에 임의로 5개의 수중예인체 출발위치(Sf)를 가정하였다(Fig. 6). Sf(0)는 조사선박의 진행방향으로 그 연장선 위에 출발위치를 설정한 것이고, Sf(α)는 Sf(0)로부터 Ss를 중심으로 α만큼 회전된 지점 즉 ±45° 및 ±90°로 4



**Fig. 6.** Hypothetical tow-fish starting positions are shown on the circle with the radius of distance(d2) at the ship starting position(Ss); each tow-fish track is gradually converging at a certain position when ship's going on.



**Fig. 7.** Relationship between the distance deviation of Sf (0) and Sf (α) and the voyage distance accumulated from ship starting position (Ss). The zero on y-axis means when each Sf (α) track is identical with Sf (0) track.

개의 경우를 고려하였다. 수중예인체는 조사선박의 후미에서 예인되므로 ±90° 이상의 각도는 필요하지 않다. 조사선박이 앞으로 진행함에 따라, 수중예인체가 동심원상의 어디에서 출발하더라도, 예인위치는 어느 한 지점(그림에서 겹쳐지고 있는 숫자 1023)에 점차적으로 수렴하고 있음을 알 수 있다.

『임의의 시작위치(Sf(α), α = arbitrary angle)에서

각각 출발된 수중예인체는 얼마간의 거리가 진행되었을 때 모두 한 지점에 도착하겠는가? 그리고  $Sf(0)$ 를 실제의 출발위치로 간주한다면 「 $Sf(\alpha)$ 는 한 지점에 수렴할 때까지 어느 정도의 오차범위를 포함하고 있는가?」를 정량적으로 분석해 보았다(Fig. 7). 세로축은  $Sf(0)$ 와  $Sf(\alpha)$ 에서 각각 출발한 수중예인체 위치간의 이격거리를 나타내고 있으며, 가로축은 조사선박이 탐사를 시작한 위치로부터 항해한 누적거리를 표시하고 있다. 그림의 하부에 나타난 “1”에서 “8”까지의 숫자는, 각각의 경우에서 예인위치의 차이값이 제로(zero)가 되기 시작하는 누적항해거리의 위치를 표시하고 있다. 예인케이블의 방출길이가 15m에서는 100.21~109.28m부터 일치하기 시작하고 있으며, 30m에서는 231.48~262.58m 정도이다. 즉 방출길이가 짧을수록 누적항해거리는 짧아지고 있다. 또한 방출길이가 동일한 경우에는  $\alpha$ 가 작을수록 수렴거리는 짧아지고 있으며,  $\alpha$ 의 절대값이 같은 경우에는 이격거리의 변화양상은 거의 비슷하게 나타나고 있다.

이러한 결과로 미루어 볼 때, 방출길이가 30m의 경우 탐사를 시작한 이후 약 300m 정도의 항해거리가 지나면 수중예인체의 절대위치는 안정적으로 결정될 수 있다. 실제의 현장탐사에서 첫출발 300m라는 항해거리는 장비테스트 또는 준비단계이지 결코 본격적인 탐사활동이 시작된 상황은 아닐 것이다. 따라서 수중예인체의 절대위치 확보를 위해, 계획된 탐사구역에 조사선박이 진입하기 전에 적당량의 사전항해를 하거나, 아니면 신빙성이 없다고 판단되는 시작부분의 일부자료를 사용하지 않으면 된다. 가능한 직선방향으로 사전항해를 시작한다면 누적항해거리를 줄이면서 보다 신뢰성이 있는 절대위치를 결정할 수 있을 것이다.

## 결과 및 토의

### 음향영상의 평면적 투영

Side scan sonar 음파형태는 수중예인체의 진행방향에 대하여 수직단면으로 부채꼴 모양이며, 이 연구에서 사용된 수중예인체인 모델 272 계열(EG&G, 1989b)의 경우 빔폭(beam width)은  $1.2^\circ$ 의 얇은 두께를 갖는다. 따라서 음파가 양쪽 측면으로 해저면을 훑어(scanning) 나가는 음향照射域(insonification area)은 긴 띠 모양의 사다리꼴 형태가 되며, 다시 여러 개의 單位照射域(foot-print area)으로 구성된다(Clay

and Medwin, 1977). 이들 각각의 모양과 크기를 Malinverno *et al.*(1990)이 제안한 방법으로 계산한 다음, 수중예인체의 절대위치에서 좌현과 우현 방향으로 단위조사역의 위치에 순차적으로 음향강도 값을 투영(mapping)함으로써 해저면 음향영상 결과도면이 제작된다. 그러나 단위조사역의 개별적인 위치가 계산되더라도 이들의 크기가 일정하지 않고 펼침형태(swath pattern)로 분포하기 때문에, 컴퓨터의 해상도(resolution, DPI)와 일치하는 격자자료(grid data)로 재구성하여 통계 처리된 대표값이 모자이크 처리기법에 적용된다(김성렬 외, 1994, 1995).

### 절대위치의 적용결과

두개의 나란한 축선으로 취득된 해저면 음향영상(Seafloor acoustic image) 자료를 수중예인체의 절대위치를 적용하여 모자이크한 결과(Fig. 8)에서 보면, 두 축선 간 영상기록의 연결성에 전혀 불합리한 미비점을 발견할 수 없다. 조사선박은 결과도면의 왼쪽 하부에서 출발하여 계획된 축선을 종료하고 항로를 변경하기 위하여 3회에 걸쳐 회전한 후에 오른쪽 축선에 진입하고 있다. 수중예인체가 조사선박의 후미에서 예인된다는 점을 상기할 때, 인접한 두 축선의 영상기록이 정확하게 결합된 이 결과는 절대위치를

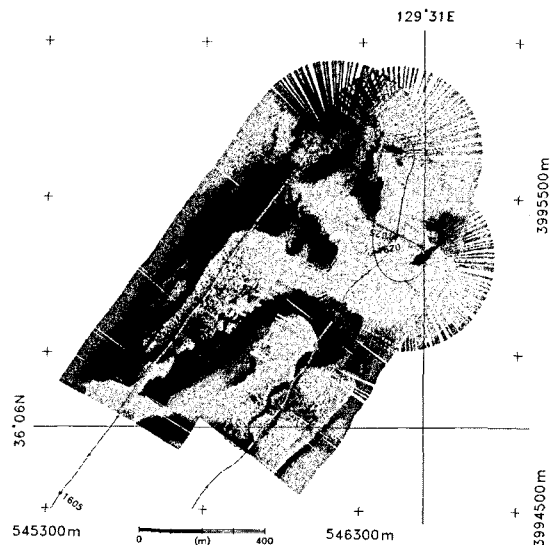
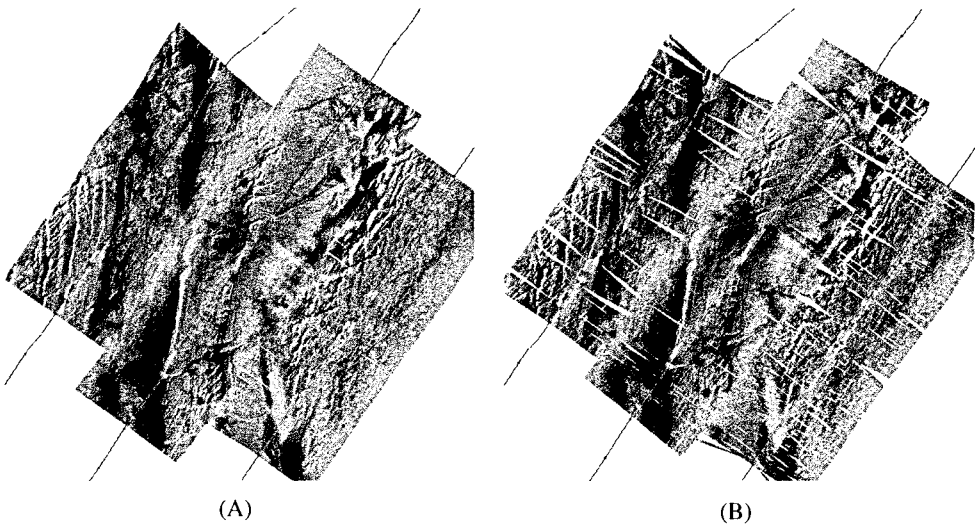


Fig. 8. Seafloor acoustic mosaic image processed based on the absolute sonar position. Bottom imageries of two survey tracks coincide with each other perfectly, even if ship's track is rounded several times.



**Fig. 9.** (A) is the result used absolute sonar position, the structure lines are arranged very well and the survey area is completely filled with sonar imagery. (B) is the result used navigation data directly, the connection of bottom features between the adjacent track lines is not proper and the blanking areas are swathed so much.

산출하는 알고리즘이 해지면 음향영상 탐사자료를 모자이크 처리로 표현하는데 있어서 효과적으로 적용될 수 있음을 시사한다.

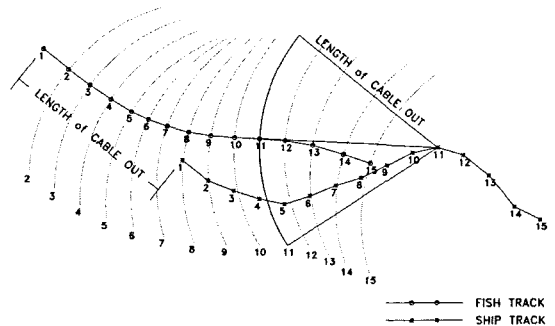
절대위치를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우(Fig. 9)를 비교하여 보면, 몇 가지 관점에서 큰 차이점을 발견할 수 있다. 절대위치를 적용한 결과(A)에서는 남북방향의 굵은 해저면 구조선과 북동-남서 방향의 미세한 구조선들이 잘 연결되고 있으며, 탐사기록이 해저면 전체를 빈틈없이 채우고 있다. 그러나 선박항적을 이용한 결과(B)에서는 이러한 구조선의 연결성이 결여되어 있으며, 인접한 측선 간에도 영상기록이 잘 접합되지 않고 있다. 또한 탐사기록의 중간 중간에 많은 음향영상자료가 유실(blanking)되고 있다. 이 연구에서는 예인케이블의 방출길이가 비교적 짧은 (15m와 30m) 경우이지만, 만약 방출길이가 더 길어 진다면 측선 간 영상기록의 결합은 전혀 불가능하다.

영상자료의 펼침형태는 수중예인체의 진행방향에 대하여 좌우 수직방향으로 분포하기 때문에, 예인항적(sonar track)이 가지런하게 정렬되지 않으면 영상자료의 투영방향이 틀어지므로 유실현상이 나타나게 된다. 현재까지 논의된 절대위치 산출방법을 실제의 항적좌표에 적용하여 보면(Fig. 10), 선박항적에 비하여 예인항적이 훨씬 부드럽게 정렬되고 있음을 볼 수 있다. 이러한 효과로 인하여 절대위치를 이용한 결과에서는 영상자료의 유실현상이 현저하게 줄어들게 된다.

**보완되어야할 문제점**

이 연구에서 소개하고 있는 절대위치 산출방법은, 해저면 음향영상 모자이크 자료처리에 효과적으로 적용되고 있으나, 향후 보완되어야할 몇 가지 문제점들이 남아 있다.

(i) 조사선박 자체의 항해방향(ship heading)에 대한 자료가 없기 때문에 항적방향(ship track direction)을 항해방향으로 대체하고 있으나, 엄밀하게는 바람이나 조류의 영향으로 인하여 조사선박의 항해방향과 항적 방향은 다르다. 이것은 선박위치(S)를 조사선박의 후



**Fig. 10.** Basic conception for the determination method of absolute sonar position developed in this study. The fixing procedure of sonar position 11 is shown as an example, the fish track is so stable and smooth on comparing with the ship track.



미 끝 또는 예인케이블의 도르레 위치(S')로 변환시키는 변위거리 계산식 (3)과 (4)에 영향을 미치게 된다.

(ii) 방출된 예인케이블은 구부러지지 않는 단단한 하나의 마디로 간주한다는 가정 하에서 조사선박 후미에서 수중예인체까지의 수평거리(d2)를 계산하고 있다. 이러한 가정은 분명 실질적인 위치와는 차이가 있다.

(iii) 항적방향을 근간으로 수중예인체의 절대위치를 산출하고 있다. 논리적인 전개는 충분한 타당성이 있으나 해류가 존재하는 해양환경을 고려한다면, 아무리 d2가 정확하게 결정되더라도 실제의 예인위치와는 다소 차이가 있을 것이다.

(iv) 음향자료의 필침형태가 수중예인체의 진행방향에 대하여 수직으로 음향조사역이 분포하기 때문에, 해저영상의 평면적 투영방향은 절대적으로 예인항적(sonar track)의 영향을 받게 된다. 그러나 (i)에서 언급된 내용과 같은 의미에서, 예인항적과 수중예인체의 자체방향(sonar heading)과는 차이가 있을 수 있다.

(i)과 (iv)는 조사선박과 수중예인체의 장비에 관한 사항으로서 향후 기능상의 보완이 이루어진다면 간단히 해결될 수 있으나, (ii)와 (iii)의 문제는 수중위치 정밀추적장치를 사용하지 않고서는 명쾌하게 해결될 수 있는 사항은 아니지만, 동역학적으로 예인케이블의 거동을 수치해석하는 방법이 적용될 수 있을 것이다. (iii)의 경우 조사선박의 항해방향과 수중예인체의 예인정보(sonar attitude: rolling, pitching, yawing, heading) 기록장치가 구비된다면 절대위치의 오차는 훨씬 줄일 수 있다. 추가적으로 조사해역의 수층음속 구조에 대한 자료가 있다면 좀더 현실적인 위치에 해지면 음향영상의 투영이 가능할 것이다.

수중케이블의 거동에 관하여, 신현경과 김덕수(1996)는 양식장의 시설물로 설치된 케이블-부이-중량물 계류시스템에서 해류의 영향을 받고있는 케이블의 장력을 구하기 위하여 3차원적 비선형 상미분방정식을 통하여 정적해석을 시도한 바 있다. 박한일과 류창혁(1998)은 예인시스템에 대한 3차원 정적 지배방정식을 제시하고 유한차분법으로 예인케이블의 형상과 장력을 예측하였으며, 박한일과 정동호(2002)는 저장력 예인케이블의 비선형 동적거동을 수치적으로 해석하고 그 결과를 국외사례와 비교한 바 있다. 이러한 결과를 근간으로, 예제해석을 통한 예인케이블의 3차원 동적형상을 추정된 결과도 있다(정동호 외, 2003). 그러나 이와 같이 동역학적인 방법으로 계산된

예인시스템의 수중위치 자료를 side scan sonar 자료 후처리에 적용한 연구결과는 아직 보고된 바 없다.

이 연구에서 제안하고 있는 위치보정 방법에 대한 신뢰성을 검토한 연구결과(김성렬 외, 1997)에 의하면, 수중예인체의 절대위치와 조사선박 위치의 거리 차이를 통계적으로 비교해본 결과 1m 이내에 포함되는 경우가 전체 항적자료(측선변경 포함)의 88.79%를 차지하고 있으며, 음향자료에서 계산된 수심자료와 조사선박에 고정설치된 음향측심기 기록자료의 상관계수는 0.9954 정도이다. 따라서 예인케이블의 굽어짐 정도를 정량적으로 산출하지 못하는 영향이 해저영상을 왜곡시킨다고 판단되지는 않는다. 향후 예인케이블의 거동을 수치해석을 통하여 추정되는 위치 자료를 적용할 수 있는 방법과 그 결과를 검토하는 것은 차기연구의 과제라고 생각한다.

## 결론

정밀하게 수중위치를 추적하거나 수중예인체의 움직임을 관측하는 고가의 추가적인 지원장비 없이도, 해저면탐사 음향영상 모자이크 자료처리를 위한 절대위치 산출기법을 제안하는데 이 연구의 근본적인 목적이 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 항해자료와 음향자료(수면반사)를 이용하여 기하학적인 보정방법으로 수중예인체의 절대위치를 산출하는 기술적인 알고리즘이 제시되었다.

2. 절대위치로 작성된 모자이크 결과도면에서, 인접한 측선 간에 해저영상의 불일치나 모호하게 접합되는 왜곡현상은 관찰되지 않았다.

3. 항해자료가 절대위치로 변환되는 과정에서 수중예인체의 예인항적은 선박항적에 비하여 훨씬 부드럽게 정렬되는 부차적인 효과가 있었다.

4. 그 결과 수중예인체의 진행방향에 대하여 수직으로 분포하는 영상자료의 필침형태가 안정적으로 배열된다. 따라서 음향조사역의 평면적 투영과정에서 영상자료의 유실현상은 현저하게 감소된다.

5. 이와 유사한 예인방식의 수중센서를 이용하는 기타 해양조사 분야에서도 이 연구결과의 적절한 활용이 기대된다.

6. 향후 동역학적으로 예인케이블의 거동에 대한 수치해석을 통하여 계산되는 수중예인시스템의 위치 자료가 해저영상 모자이크 자료후처리에 적용될 수 있는 접근방법과 적용결과의 검토가 필요하다.

## 사 사

이 연구는 한국해양연구원 기관고유사업 “해양지구 물리 탐사기술개발 연구”에서 내용의 일부를 재정리 하고 기존에 발표된 연구성과를 보완한 결과입니다. 현장자료 취득에 도움을 주신 해양조사 선박직원 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 과학기술처, 1993, 해양지구물리 탐사기술개발 연구(III). BSPN 00182-602-5, 378 p.
- 김성렬, 유흥룡, 박건태, 이용국, 안충현, 1987, Side Scan Sonar 탐사자료의 영상처리와 해저면 backscattering 음향특성. 한국해양학회지, 22(3), 143-152.
- 김성렬, 박건태, 이용국, 1994, 천해용 105kHz 해저면 탐사 장비 송신 및 수신신호 제어에 관한 연구. 한국해양연구소, BSPE 00416-700-5, 75 p.
- 김성렬, 석봉출, 이용국, 박건태, 정백훈, 장재경, 1995, 해저면 탐사자료의 계승화처리 및 해석기법에 관한 연구. 한국해양연구소, BSPE 00472-817-5, 62 p.
- 김성렬, 박건태, 이용국, 석봉출, 최동림, 한상준, 유해수, 1997, Side Scan Sonar 해저면탐사 자료로부터 수심계산 및 Tow-Fish 위치보정의 검증. 해양연구, 19(2), 91-104.
- 김성렬, 2000, Side Scan Sonar를 이용한 해저면탐사: 영상처리에서의 예인센서의 절대위치 보정. 제1회 ITRC-SILC 학술발표회 논문집, 고해상 천부 영상화 기술, 137-150.
- 김성렬, 우한준, 이용국, 정갑식, 제종길, 박건태, 정백훈, 조진형, 2002, 신두리 해안 Side Scan Sonar 해저면 음향영상과 해저퇴적물. 한국지구과학회지, 23(8), 707-721.
- 박한일, 류창혁, 1998, 사이드스캔 소나 예인케이블에 걸리는 장력 및 형상 해석. 해양안전학회지, 4(2), 63-68.
- 박한일, 정동호, 2002, 유한차분법을 이용한 저장력 예인케이블의 비선형 동적해석. 대한조선학회논문집, 39(1), 28-37.
- 신현경, 김덕수, 1996, 내파성 가리비 연승식 양식시설에 관한 연구(I) -케이블-부이-중량물 계류시스템의 3차원 비선형 정적해석-. 한국해양공학회지, 10(1), 92-99.
- 정동호, 김종규, 박한일, 2003, 해안탐사장비 예인케이블의 3차원 동적해석에 관한 연구. 한국해양학회지 바다, 8(2), 203-209.
- Ablow, C.M. and Schechter, S., 1983, Numerical simulation of undersea cable dynamics. Ocean Engineering, 10(6), 443-457.
- Buckham, B., Nahon, M., Seto, M., Zhao, X., and Lambert, C., 2003, Dynamics and control of a towed underwater vehicle system, part I: model development. Ocean Engineering, 30(4), 453-470.
- Chapman, D.A., 1984, Towed cable behaviour during ship turning manoeuvres. Ocean Engineering, 11(4), 327-361.
- Clay, C.S., and Medwin, H., 1977, Acoustical oceanography: principles and applications. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., 544 p.
- Davis, J.C., 1973, Statistics and data analysis in geology. John Wiley & Sons, Inc., 378 p.
- Driscoll, R., Lueck, R., and Nahon, M., 2000, Development and validation of a lumped-mass dynamics model of a deep sea ROV system. Applied Ocean Research, 22(3), 169-182.
- EG&G, 1981, SMS960 Seafloor Mapping System. Instruction Manual, EG&G Environment Equipment.
- EG&G, 1989a, Model 260 Image Correcting Side Scan Sonar. Instruction Manual, EG&G Marine Instruments.
- EG&G, 1989b, Model 272-TD Dual-Frequency Tow Fish with TVG. Instruction Manual, EG&G Marine Products.
- Huang, S., 1994, Dynamics analysis of three-dimensional marine cables. Ocean Engineering, 21(6), 587-605.
- Jones, E.J.W., 1999, Marine Geophysics. John Wiley & Sons. New York, USA, 466 p.
- Leonard, J.W. and Recker, W.W., 1972, Nonlinear dynamics of cables with low initial tension. Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of American Society of Civil Engineers, 98(2), 293-309.
- Malinverno, A., Edwards, M.H., and Ryan, W.B.F., 1990, Processing of SeaMARC swath sonar data. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 15(1), 14-23.
- Mazel, C., 1985, Side scan sonar record interpretation. Klein Associates, Inc., Undersea Search and Survey, 144 p.
- Paul, B. and Soler, A.I., 1972, Cable dynamics and optimum towing strategies for submerdibles. Marine Technology Society Journal, 6(2), 34-42.
- Sanders, J.V., 1982, A three dimensional dynamic analysis of a towed system. Ocean Engineering, 9(5), 483-499.
- Walton, T.S. and Polacheck, H., 1960, Calculation of transient motion of submerged cables. Mathematics of Computation, 14(69), 27-46.