

3D FLS 영상에서 수면파에 의한 수중기포의 감쇄

양 흥 열*

Elimination of Bubbles formed by Surface Waves on 3D FLS Images

Heung-yol Yang*

요 약

3D FLS(Foward Looking Sonar)는 상선등의 앞쪽에서 바다내부와 해저를 시각적으로 표현하는 능동 소나이다. 3D FLS에서 수면파에 의한 수중기포의 영향을 감쇄시키기 위한 방법을 논의한다. 실험으로부터 수중기포 감쇄 필터를 사용하여 수중기포의 영향을 감쇄시킨다.

Key Words : 3D FLS, Breaking waves, Ocean bubbles, Sonar Imaging

ABSTRACT

3D FLS is a active sonar that can represent the underwater inside visually in forward direction. We discuss on the decrease of bubbles from breaking waves in 3D FLS frames. In the experiment using the bubbles reduction filter the effect of bubbles was decreased a lot.

I. 서 론

수중에서 수중기포는 해수표면 아래서 수면파가 부서져서 생성되며 난류작용에 의해 이동된다. 수중기포에 대한 연구는 20세기 초부터 진행되었으며, 수중기포의 형태에 대한 연구에서부터 수중기포의 생성 및 소멸과정, 반사 및 산란에 대한 연구가 진행되었다^[1]. [2]에서는 100kHz와 400kHz의 고주파를 발사하였을 경우, 수중기포층의 TS(Target Strength)가 100dB를 상회함을 보여준다. 또한 송신 SL(Source Level)이

TL(Transmission Loss)에 의해 감소될 때, 100kHz에서는 20m내에서 수중기포층의 TS가 SL-TL보다 크므로 통신에 문제가 생기지만, 400kHz에서는 역이 성립하여 신호를 검출할 수 있음을 보여준다. 그러나 이 결과는 소나의 구동 주파수를 변경시켜 수신결과를 향상키는 방법이며, 실질적으로 소나를 운영할 때 이의 영향을 감쇄시키기 위한 신호처리에 대한 연구는 거의 진행되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 3D FLS에서 수면파에 의한 수중기포의 영향을 감쇄시키기 위한 방법을 논의하고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 수면파에 의한 수중기포의 특성에 대한 기존 연구로부터의 고찰로부터 수중기포가 존재할 때의 TS를 유추하며, 3D FLS를 위한 수중기포 감쇄 필터를 정의 내린다. 3장에서는 3D FLS의 시스템 특성을 살펴보고, 수중에서 3D FLS로 수중기포가 존재하는 특성의 타겟을 스캔한 영상에서 수중기포 감쇄 필터로 실험한 결과를 보여준다. 마지막장에서 본 논문의 결론을 나타낸다.

II. 본 론

2.1 수면파에 의한 수중기포의 특성

음파가 해수내의 기포와 부딪히면 기포가 압축되고 입사 음파가 약해진다. 입사 음파에 대한 기포의 응답은 음파의 주파수 및 기포의 크기에 좌우되며 임의의 주파수에서 기포 주위 해수와 기포 자체 질량의 합과 관계 되는 이 시스템의 관성이 시스템의 압축성과 조화를 이룰 때 공진 응답이 일어난다. 공진 현상이 일어나면 기포의 진폭이 최대가 되며 입사음파로부터 최대 에너지가 유출된다. 기포는 주어진 크기에서 특성의 공진 주파수를 갖는다^[1].

$$f_r = \frac{326}{a} \sqrt{1+0.03d}$$

$$f_r = \text{resonant frequency, Hz} \tag{1}$$

$$a = \text{bubble radius, cm}$$

$$d = \text{depth, ft}$$

기포의 소산 과정을 나타내는 계수는 기포의 맥동과 관련된 감쇄계수 δ 이다. δ 는 방사감쇄, 점성감쇄, 열감쇄의 합으로 구성된다^[3]. 산란 단면은 공진 주파수에서 최대가 되며 공진점에서 멀어지면 급격히 감소된다.

* First Author : Department of Technology Planning, Defense Agency for Technology and Quality, 10662@dtqa.re.kr 정희원
 논문번호 : KICS2015-10-332, Received October 12, 2015; Revised November 8, 2015; Accepted November 19, 2015

$$\sigma_s = \frac{4\pi a^2}{(f_r^2/f^2 - 1)^2 + \delta^2} \quad (2)$$

$f =$ 구동주파수

1yd3 의 체적내에 n 개의 기포를 포함하는 수중의 단위 체적당 산란강도는 기포당 산란 표면을 σ_s 라 간주했을 때, 산란강도는 식 (3)과 같다⁴⁾.

$$S_s = \frac{N(z)}{4\pi} \int_0^\infty \sigma_s(a,z)p(a)da \quad (3)$$

N 은 기포의 농도, $p(a)da$ 는 정규화된 평형분포이다. 바람의 세기가 10m/s일 때 깊이 0에서 수중기포의 농도는 약 105m-3이며 깊이가 증가함에 따라 지수적으로 감소한다⁵⁾. $p(a)$ 는 식 (4)와 같다³⁾.

$$p(a) = 0 \quad a < 17\mu m \quad (4-a)$$

$$p(a) = -3.85 \times 10^{-5}(a-42)^2 + 2.41 \times 10^{-2}$$

$$17\mu m \leq a \leq 58\mu m \quad (4-b)$$

$$p(a) = 1.55 \times 10^5 a^{-4} \quad 58\mu m < a \quad (4-c)$$

바람의 세기를 10m/s라고 가정하면, 수중기포의 산란강도는 식 (2),(4)를 참조하여 식 (3)을 계산하면 0m를 기준으로 하여 1yd3 에서 62.2dB가 된다. 또한 바람의 속도가 10m/s일 때, 파도의 주기는 약 5.5초이다⁶⁾.

3D FLS의 운용시 타겟을 스캔할 때 수면파에 의한 수중기포는 TS가 타겟보다 강하며 일정값의 TS를 가지며 타겟 주변에 잔재하여 타겟의 형상을 왜곡시키는 효과가 발생한다. 이를 극복하기 위해 3D FLS 운용시 수면파에 의한 수중기포의 영향을 감쇄시키기 위한 방법을 논의한다.

2.2 수중기포 감쇄 필터

실험을 위한 타겟은 길이 20m, 지름 2m의 타원형 물체로써 TS는 46dB이다. 즉 타겟보다 수면파에 의한 수중기포의 TS가 강하여 타겟의 형상을 명확하게 보이지 못하게 한다.

수중기포 감쇄 필터는 다음과 같은 규칙을 따른다.

(1) 수중기포 감쇄 필터를 결정하는 프레임의 개수 (N_F)와 프레임 속도(v_F)의 곱은 파도의 주기(T_W)보다 크다.

$$T_W < N_F \times v_F \quad (5)$$

(2) 특정 임계값(P_{TS})보다 낮은 픽셀에서의 TS값 ($P(x,y)$)은 잡음의 영향(N)으로 간주한다.

$$\text{if } P_{TS} > P(x,y), P(x,y) \in N \quad (6)$$

(3) 수면파에 의한 수중기포의 TS(P_B)가 타겟의 TS(P_T)보다 크다.

$$\text{always, } P_B > P_T \quad (7)$$

(4) 타겟은 거의 움직이지 않고 고정되어 있어 정해진 프레임 개수(N_F) 내에서 최소값을 취하면 타겟의 TS값(P_T)이 최소값이므로 수면파에 의한 수중기포의 영향을 제거할 수 있다.

$$\text{Min}(P_i(x,y)) = P_T, \quad i = 1,2,\dots,N_F \quad (8)$$

바람의 세기를 10m/s라고 가정하면 파도의 주기는 5.5초이며, 3D FLS 의 프레임 속도는 1.5625초이다. 따라서 수중기포 감쇄 필터를 적용하는 프레임의 개수는 4프레임 이상이 되어야 한다.

III. 수중기포 감쇄 필터에 의한 실험결과

실험에 사용한 3D FLS의 사양은 구동 주파수가 150kHz이고, 초당 프레임수는 1.5625 프레임이며, 120°의 빔각에서 32개의 빔수를 갖는다. 즉 1빔당 약 3.75°의 각을 이룬다. 200m의 거리에서는 수평, 수직으로 13.09m의 해상도를 갖는다. 거리 해상도는 2.98cm이다. 실험에서는 600m까지의 거리를 측정하였다. 그림 1은 수중기포 감쇄 필터를 적용하지 않았을 때의 타겟을 스캔한 3D FLS 영상이다. 400m에서 타겟이 존재한다. 그러나 그림 (2-a)와 같이 특정 프레임에 수면파에 의한 수중기포의 TS가 두드러지게 나

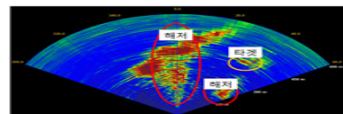


그림 1. 3D FLS로부터의 타겟 영상 (수중기포 감쇄 필터 적용 전)
Fig. 1. Target image on 3D FLS (Before adjusting Bubbles reduction filter)

타난다. 수면파의 주기는 약 5프레임 동안 유지된다.

그림 (2-b)는 수중기포 감쇄 필터에서 N_F 를 2로, P_{TS} 를 30으로 적용했을 때의 3D FLS 영상들이다.

2프레임마다 최소값을 찾으므로 한 주기마다 하나의 프레임에서 수중기포의 영향을 볼 수 있다. 그림 (2-c)는 수중기포 감쇄 필터에서 N_F 를 3으로, P_{TS} 를 30으로 적용했을 때의 3D FLS 영상들이다. 수면파에 의한 수중기포의 영향이 감쇄된 것을 볼 수 있다. 그러나 N_F 의 값이 예상보다 작은 것은 수면파가 주기내에 계속 존재하지 않고, 2프레임내에 사라지기 때문으로 예상된다.

그림 (3-a)는 다른 시점과 장소에서 해저와 암벽을 스캔한 영상이다. 그림 (3-b)에서 수면파의 생성과 소멸이 한 프레임에서 나타나 N_F 가 2여도 수면파의 영

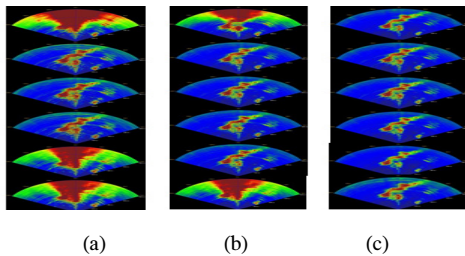


그림 2. 3D FLS 영상에 수중기포 감쇄 필터 적용 (a) 적용 전 (b) $N_F=2, P_{TS}=30$, (c) $N_F=3, P_{TS}=30$
 Fig. 2. Adjust Bubbles reduction filter for 3D FLS images (a) Before adjusting (b) $N_F=2, P_{TS}=30$, (c) $N_F=3, P_{TS}=30$

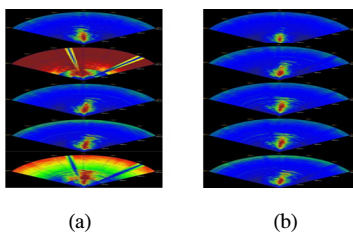


그림 3. 3D FLS 영상에 수중기포 감쇄 필터 적용 (a) 적용 전, (b) $N_F=2, P_{TS}=30$
 Fig. 3. Adjust Bubbles reduction filter for 3D FLS images (a) Before adjusting, (b) $N_F=2, P_{TS}=30$

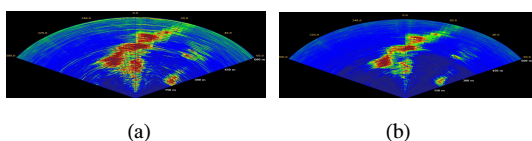


그림 4. 3D FLS 영상에서 (a) $P_{TS}=20$, (b) $P_{TS}=30$
 Fig. 4. For 3D FLS image (a) $P_{TS}=20$, (b) $P_{TS}=30$

향을 감쇄시킬 수 있다.

그림 (4-a)는 그림 (3)의 영상에서 P_{TS} 를 20으로 적용했을 때의 영상이며, 그림 (4-b)는 P_{TS} 를 30으로 적용했을 때의 영상이다. 그림 (4-b)가 더 타겟의 형태를 뚜렷이 가지고 있고, 주변 잡음의 영향이 감쇄됨을 볼 수 있다.

IV. 결 론

3D Sonar 영상에서 수중기포 감쇄 필터를 이용하여, 수면파에 의한 수중기포의 영향을 감쇄시킬 수 있으며, 수중기포의 영향에서부터 타겟의 형태를 파악할 수 있게 하여 수중영상의 품질을 향상시킬 수 있다. 이는 수중기포의 TS가 타겟의 TS보다 크기 때문에 프레임내에서 최소값을 취하면 수중기포에 의한 영향이 사라지는 것에 기인한다. 또한 특정한 임계값을 둬으로써 배경잡음의 영향을 줄일 수 있음을 확인하였다. 이로인해 3D FLS 영상에서 타겟을 탐지할 때 수중기포에 의한 오판을 감소시킬 수 있다.

References

- [1] Urick, *Principles of Underwater Sound*, 3rd Ed., CA: Peninsula Publishing, 1967.
- [2] M. V. Trevorror, *Near-surface environmental limitations to high-frequency sonar performance: A review*, Defence R&D Canada, 2001.
- [3] T. G. Leighton, *The acoustic bubble*, Academic Press, 1994.
- [4] M. Tirindelli, et al., *Wave action of rubble mound breakwaters: the problem of scale effect*, DELOS EVK3-CT-2000-00041, 2004.
- [5] G. B. Crawford, et al., "On the spatial distribution of ocean bubbles," *JGR*, vol. 92, no. C8, pp. 8231-8243, Jul. 1987.
- [6] R. E. Thomson, *Oceanography of the british columbia coast*, Department of Fisheries and Ocean, 1981.