

ADCP 음파 산란신호에 의한 동물 플랑크톤 일주수직운동의 정량화

강재훈⁺ · 김현성⁺⁺

1. 서론

1999년에 제주해협 수심 124m에 계류 관측한 10개월간 장기 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler) 음파산란신호에는 뚜렷한 하루주기의 변동이 나타나 있다. 이 하루주기 신호는 다른 나라의 여러 연구결과들에서 동물플랑크톤의 하루주기 수직운동이 원인임을 제시하고 있다. 한편 한국 서해 및 남해연안에서 관측된 장기 ADCP 음파산란신호들에도 하루주기가 매우 잘 나타난다. 그런데 제주해협 ADCP 음파산란신호의 하루주기 변동을 자세히 살펴보면 낮에는 저층에서 강하고 밤에는 다시 표층에서 증가하여 동물플랑크톤의 수직운동 특성을 어느 정도 유추해 볼 수 있다. 그러나 해수층의 음파 산란자는 매우 다양하므로 이러한 하루주기가 실제 동물플랑크톤이 원인인지 규명하기 위해서는 주요 산란자들에 대한 정량화가 필수적이다. 따라서 2000년 7월에 제주해협에서 관측한 ADCP 음파산란신호와 해수층의 주요 산란자인 동물플랑크톤, 식물플랑크톤(Chl-a), 부유사(SS) 관측치를 비교분석해 보았다. 정량화 작업 후에는 장기 ADCP 음파산란신호의 장점을 이용한 동물플랑크톤 일주수직운동의 계절변화 특성을 간단히 살펴보았다.

2. 자료처리

그림.1의 삼각형으로 표시된 제주해협 깊은 골에서 1999년 3~12월까지 관측된 장기 ADCP(307.2kHz) 음파산란자료와 2000년 7/21~24일까지 관측된 ADCP 음파산란자료 및 이와 비교하기 위한 CTD, 동물플랑크톤, 식물플랑크톤(Chl-a), 부유사(SS) 시계열 자료를 각각 이용하였다. 우선 Kaneko et. al(1996)의 방법을 따라 그림.2의 원시 ADCP 음향강도 자료를 음파의 전달손실을 보정한 dB단위의 후방산란강도(BS)로 변환 하였다. 그 다음에 하루주기 특성을 자세히 보기 위해 후방산란강도의 편차를 구한 후 하루의 매시간 마다 평균을 내어 일평균 후방산란강도편차를 구하였다. 한편 정량화 작업을 위해 변환된 후방산란강도편차 자료를 주요 수층 산란자들과 선형회귀분석하여 간단한 상관도를 살펴보았다.

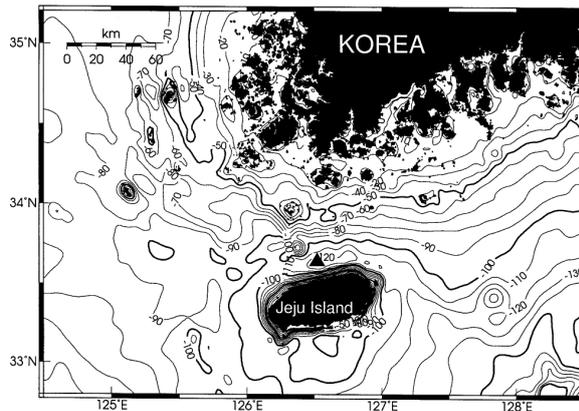


그림 1. 제주해협 주변지형 및 자료 관측점

+ (주)한국해양과학기술(KOSEC)

++ (주)한국해양과학기술(KOSEC)

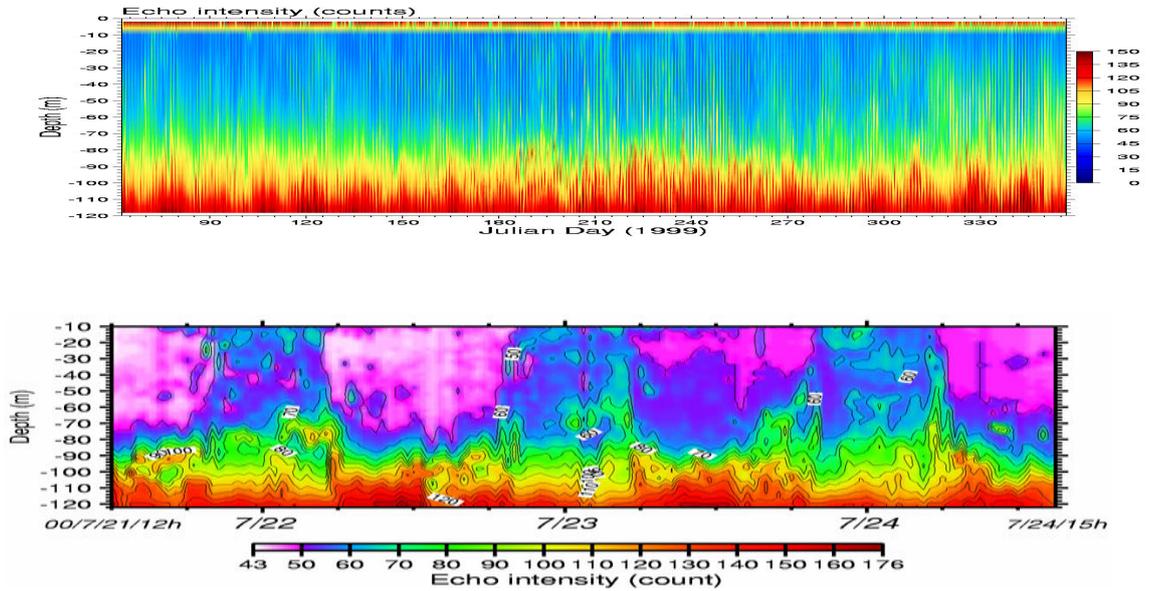


그림 2. 1999년(상)과 2000년(하)의 원시 ADCP 음파산란 자료

3. 동물플랑크톤 일주수직운동의 특성

그림3은 1999년, 2000년 7월의 일평균 후방산란강도편차와 1999년 7월의 일평균 수직속도를 나타낸다. 잘 볼 수 있듯이 밤과 정반대로 낮 시간에는 상층에서 후방산란강도가 상대적으로 감소하며 오히려 저층에서 증가하는 역상분포를 보인다. 수직속도는 아침과 저녁으로 1~3cm/s의 하강, 상승속도가 나타난다. 그림4의 스펙트럼특성을 보면 음향강도와 수직속도 성분에서 하루주기가 반일주기보다 우세하지만 수평유속성분은 반일주기가 탁월하고 하루주기가 K1, O1 조석분조로 구분되어 하루주기 음파산란신호가 생물학적 기원에 유래함을 알 수 있으며 동물플랑크톤의 하루주기 수직운동이 주원인인 것으로 보인다. 이러한 후방산란강도를 이용한 동물플랑크톤의 하루주기 수직운동을 연구한 결과 (Kaneko et al., 1996, Zhu et al., 2000)들은 위의 특징을 잘 뒷받침 해준다.

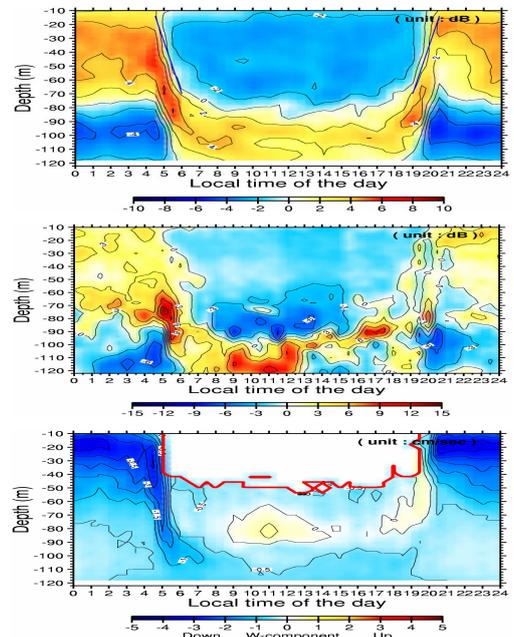


그림 3. 일평균 후방산란강도편차(상:1999, 중:2000)와 일평균 수직속도(하:1999)

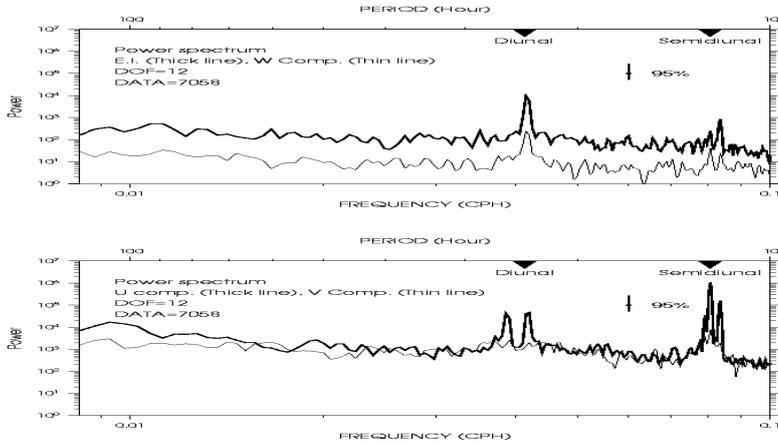


그림 4. 음향강도, 수직속도(상)와 수평속도(하)의 파워스펙트럼

4. 동물플랑크톤 일주수직운동의 정량화

그림 5는 2000년 7월의 ADCP 후방산란강도편차와 비교하기 위한 주요 수중산란자인 클로로필(Chl-a)과 부유사(SS)를 의미하는 fluorometer와 PAR 센서(빔 흡수계수)의 3시간 간격 시계열자료 및 이 광학센서 값들과 실제 현장에서 관측된 클로로필과 부유사와의 높은 상관성을 보여준다. fluorometer는 수온약층이 존재하는 약 30~40m에서 최대를 보이고 빔 흡수계수는 저층에서 최대를 보이며 주로 M2주기가 지배적으로 나타난다. 그림6은 각각 최대값을 갖는 34m 후방산란강도편차와 fluorometer, 110m 후방산란강도편차와 빔 흡수계수와의 선형회귀분석 결과를 나타낸다. 각각 상관계수는 $-0.31(r^2=0.10)$, $-0.10(r^2=0.01)$ 을 나타내었으며 그 절대값은 상대적으로 부유사에 비해 오히려 크로로필이 307.2kHz ADCP 후방산란강도편차에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 클로로필 산란자 조차도 후방산란강도편차 변동에너지의 10%정도만 차지한다. 그림7은 0~60m에서 3시간 간격으로 채집한 동물플랑크톤의 일변화를 나타내며 주로 제주해협은 요각류(Copepoda)가 우점함을 알 수 있다. $300\ \mu\text{m}$ (0.3mm)이상의 요각류 총량은 일변화가 뚜렷치 않지만 $500\ \mu\text{m}$ (0.5mm) 크기의 중형동물플랑크톤은 상층에서 새벽에 양이 많고 낮에는 양이 작아지는 뚜렷한 일변화를 보여준다. 이것은 동물플랑크톤이 하루 주기 수직운동의 원인인 증거가 된다.

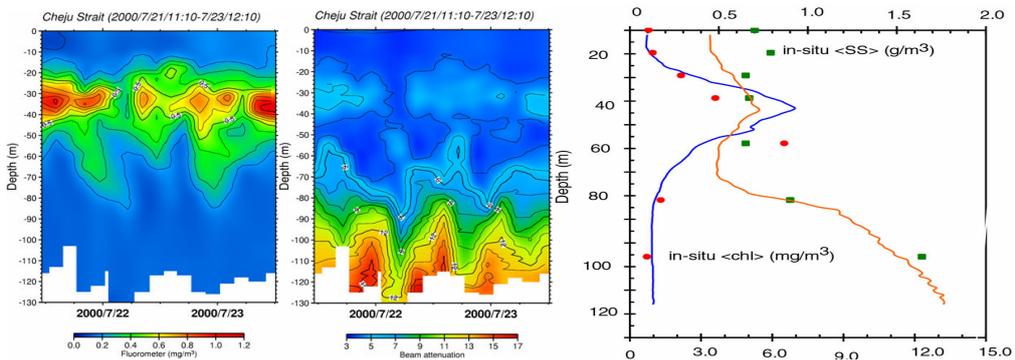


그림 5. CTD 광학센서(좌: fluorometer, 중: PAR 센서) 시계열자료 및 현장 관측자료와의 보정(우)

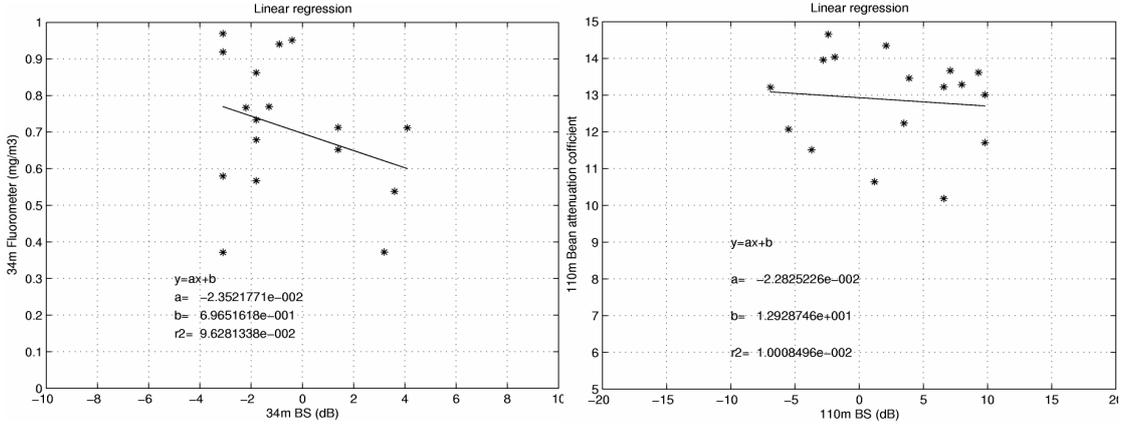


그림 6. 후방산란강도(BS) 편차에 대한 클로로필(좌), 빔 흡수계수(우)의 선형회귀분석 결과

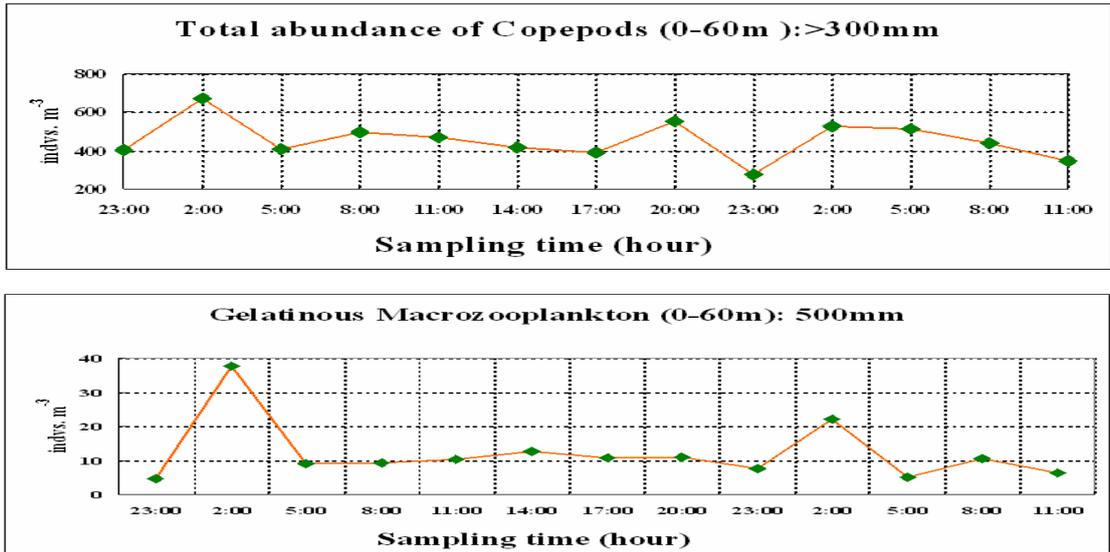


그림 7. ADCP 관측점의 상층 0~60m에서 3시간 간격으로 채집한 동물플랑크톤의 일변화

5. 동물플랑크톤 일주수직운동의 계절변화

그림8은 일평균 후방산란강도편차를 월별로 분석한 후 30m, 110m에 대하여 월별로 도시한 그림이다. 잘 볼 수 있듯이 동물플랑크톤의 하루주기 수직운동의 뚜렷한 계절변화가 나타난다. 아마도 태양이 강한 여름철에는 수직운동이 매우 강화 되면서 일조시간에 따라 수직하강, 상승하는 시간대도 크게 영향을 받고 있는 것으로 보인다. 유사한 결과가 Greenland sea에서도 이미 보고되었다(Fischer and Visbeck, 1993).

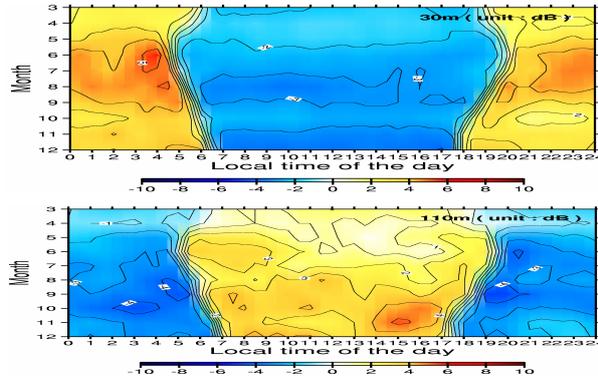


그림 8. 하루주기 수직운동의 월변화

6. 요약 및 결론

ADCP 일평균 후방산란강도편차는 밤에 상승, 낮에 하강하는 하루주기 동물플랑크톤 수직운동 특성을 매우 잘 보여주었다. 정량화 작업의 결과는 307.2kHz ADCP 음파산란신호에 대하여 수동적 산란자인 식물플랑크톤과 부유사가 대체적으로 약 10%정도의 작은 기여만을 하고 있었으며 상대적으로 식물플랑크톤의 기여도가 커서 부유사의 영향은 매우 작은 것으로 나타났다. 동물플랑크톤은 제주해협에서 요각류가 우점하고 있었으며 상층 0~60m에서 뚜렷한 하루주기 변화가 나타나 307.2kHz ADCP 음파산란신호의 하루주기 신호는 동물플랑크톤의 일 주수직운동에 의한 것임을 뒷받침하는 증거가 된다. 한편 식물플랑크톤과 부유사는 동물플랑크톤의 사이즈에 비해 작다. 사용된 ADCP의 주파수가 307.2kHz이고 파장이 약 5mm이므로 비교된 산란체중 가장 크기가 큰 동물플랑크톤이 가장 유력한 산란체라고 볼 수 있다. 따라서 제주해협에서 클로로필이나 부유사는 산란체의 역할을 잘 하지 못하고 대부분 동물플랑크톤이 영향을 주는 것으로 사료된다. 한편 동물플랑크톤의 하루주기 수직운동의 계절변화는 계절에 따라 태양의 강도와 일조시간에 민감한 영향을 받는 것으로 나타나며 주로 태양이 강한 여름철에 그 강도가 크게 나타난다. 앞으로 정밀한 정량화 작업을 위해서 세부적인 관측 자료가 필요한 것으로 보인다.

7. 참고문헌

- Fischer, Jurgen and Martin Visbeck, 1993. Seasonal variation of the daily zooplankton migration in the Greenland Sea. *Deep Sea Research*, 40, pp.1547~1557.
- Kaneko, Arata, Xiao-Hua Zhu and Marie-Helene Radenac, 1996. Diurnal Variability and Its Quantification of Subsurface Sound Scatterers in the Western Equatorial Pacific. *Journal of Oceanography*, 52, pp.655~674.
- Zhu, Xiao-Hua, Yoshio Takasugi, Masayuki Nagao and Eisuke Hashimoto, 2000. Diurnal Cycle of Sound Scatterers and Measurements of Turbidity Using ADCP in Beppu Bay. *Journal of Oceanography*, 56, pp.559~565.