시간변량역치를 이용한 브라질 Dom Helvecio호수의 어류와 플랑크톤 생물의 음향적인 구분을 위한 기법

강 명 희*

경상대학교 해양경찰시스템학과, 해양산업연구소

Acoustic method for discriminating plankton from fish in Lake Dom Helvecio of Brazil using a time varied threshold

Myounghee KANG*

*Department of Maritime Police and Production system, The institute of Maritime Industry,
Gyeongsang National University*

An acoustic method for discriminating plankton from fish, in Lake Dom Helvecio of Brazil, is developed. The flow of data from this method is comprised of time varied threshold (TVT), dilation filter, bitmap and mask functions. The TVT can, of itself, precisely explain how to select an appropriate value. The final results of the echogram, which only shows plankton by masking fish signals, is used to examine the acoustic density of plankton by depth and time. The results indicate that the acoustic density of the plankton is at a depth of between 5m to 15m, its density is especially high at 10m to 15m. The results of the acoustic density of plankton by time indicate that May 7 is higher in density than May 8. Future study plans include the use of net samples, environmental datasets to identify the abundance and ecology described by the Chaoborus spp. from other species.

Keywords: Acoustic, Discriminating, Plankton, Echosounder, Lake

서 론

Minas Gerais주는 브라질의 남동쪽에 위치하며 다양한 크기의 강, 호수, 늪, 개울, 샘 등 다채로운 생태계를 형성하고 있다. 이 주의 호수 중에서 Dom Helvecio호는 Rio Doce 주립 공원의 경계 지역에 있으며 브라질에서 가장 크고 깊은

호수 중의 하나이다 (Bezerra-Neto and Pinto-Coelho, 2008). 일반적으로 호수와 같이 소규모로 닫혀진 생태계에 외래 어종이 유입될 경우, 이 외래 어종은 자연산 어종을 먹이로 하므로 자연산 어종의 수가 급격하게 감소되며 상대적으로 자연산 어종의 먹이인 동물성 플랑크톤의 수

*Corresponding author: mk@gnu.ac.kr, Tel: 82-55-772-9187, Fax: 82-55-772-9189

가 증가하는 경우가 빈번히 발생한다. 따라서 동물 플랑크톤의 밀도가 높아져 식물 플랑크톤의 수가 줄어드는 현상을 보인다. 이러한 현상을 Tropical cascade라고 부르며 브라질 외의 열대 지역에서 종종 발생되어 왔다 (Pinto-Coelho et al., 1994). 최근 Dom Helvecio호에도 외래 어종이 유입되어 호수 내 생태계 중 자연산 어종에 막대한 손실을 초래하였다. 특히 red piranha (*Pygocentrus nattereri*)와 tucunare (*Cichla cf. ocellaris*) 어종은 어류를 먹이로 하므로 동물 플랑크톤을 먹고 사는 자연산 어종의 수가 급격히 줄어들어 멸종 위기에 이르렀다. 그러나 이 호수에서는 Tropical cascade 현상과는 다르게 동물 플랑크톤을 먹이로 하는 *Chaoborus spp.*가 급증하여 동물 플랑크톤의 밀도는 현저히 줄어들고 상대적으로 식물 플랑크톤의 종과 수가 매우 늘어나게 되어 플랑크톤의 생태계에 큰 변화가 일어났다. 이런 생태계의 변화로 말미암아 호수의 수질이 떨어지는 결과까지 초래하게 되었다 (Pinto-Coelho et al., 2008). 따라서 Dom Helvecio호에서 일어나는 이러한 새로운 현상을 균형적이고 지속적인 생태계 관리라는 측면에서 대처하기 위해 이 현상에 대한 정확한 이해가 절실하게 필요하게 되었다.

수중 음향 조사 기법은 해양 뿐만이 아니라 깊은 호수와 저수지와 같은 담수어 환경에서 어류의 정량적인 평가, 어류 이동의 모니터링, 어류의 생태학에 관한 연구에 사용되어지고 있다 (Godlewska and Jelonek, 2006; Jurvelius et al., 2008; Knudsen and Larsson, 2009; Tan et al., 2011). 그렇지만 이 방법은 브라질에서는 널리 보급되어 있지 않은 실정이고 특히 호수라는 환경에서 이 음향 기법이 사용된 적이 없었다. 하지만 특별히 큰 규모의 강 및 호수를 대상으로 이러한 음향 기법을 이용한다면 해양을 대상으로 하는 것과 같이 단시간 내에 넓은 조사 영역에 대해 목표로 하는 수중 생물의 정량적인 평가가 가능하여 생태학적인 이해가 높아지리라 생

각된다.

Dom Helvecio호의 지속 가능한 관리를 위해서는 앞서 언급한 새로운 현상을 심도 있게 이해하는 것이 필요하다. 특히 매년 급증하는 *Chaoborus spp.*를 포함한 플랑크톤의 양과 생태학적인 특징에 관한 이해가 매우 중요한데, 이를 이해하기에 앞서 우선 어류와 플랑크톤 생물의 구분이 필요하다. 왜냐하면 이들 생물종들은 이 호수에서 빈번히 혼재하여 분포하고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 음향기법을 이용하여 Dom Helvecio호에서 수집한 음향 데이터로 어류의 신호를 차단하여 플랑크톤 생물의 신호만을 추출하는 방법을 구축하는 것을 목적으로 하며, 이러한 방법으로 추출한 플랑크톤만의 에코그램을 이용하여 수심과 시간에 따른 플랑크톤 생물의 음향학적인 밀도를 살펴보기로 한다. 본 연구에서 플랑크톤 생물이라 함은 어떤 종의 플랑크톤에 국한하지 않고 총괄적인 의미로서 플랑크톤과 같은 생물을 지칭한다.

재료 및 방법

데이터 수집

브라질의 Dom Helvecio 호에서 위도 $42^{\circ} 35' W$ ~ $42^{\circ} 36' W$ 와 경도 $19^{\circ} 46.45' S$ ~ $19^{\circ} 47.30' S$ 에서 음향조사를 실시하였다 (Fig. 1). 이 조사는

Fig. 1. Map of Brazil showing the location of the study. The cruise track is expanded.

Table 1. Parameters of the acoustic system (Biosonics DTX)

Name of parameter	Value
Receive sensitivity	-51.3 (dB)
Source level	220.7 (dB)
Absorption coefficient	7.12 (dB/km)
Major-axis beam width	6.6 (deg)
Minor-axis beam width	6.6 (deg)
Sound speed	1501.58 (m/s)
Transmitted pulse length	0.2 (ms)
Two way beam angle	-21.23 (dB re 1 sr)

2009년 5월 7일 오후 5시 29분에서 저녁 7시 5분까지, 2009년 5월 8일 오후 2시 38분에서 저녁 7시까지 두 차례 실시되었으며, 어군탐지기 (200 kHz split beam DTX, Biosonics)와 DGPS (AgGPS 132, Trimble)를 연결하여 소형 보트 현측에 고정하여 조사하였다. 데이터를 수록하기 전에 어군탐지기는 일반적이고 전형적인 방법으로 교정하였다 (Foote et al., 1987). 어군탐지기에 사용된 파라미터와 교정치는 Table 1에 표시하였다.

플랑크톤 신호의 제거에 사용되는 시간변량역치 음향학적으로 어류와 플랑크톤 생물을 구분하는 방법을 구축하기 위해서 음향 데이터 분석 소프트웨어 에코뷰 (Echoview ver. 5.2, Myriax)를 이용하였다. 이러한 구분 방법이 작성된 데이터의 흐름 (data flow)은 에코뷰의 가상환경 (Virtual echogram environment)에서 형성되었다.

수중에서 음파는 수심이 멀수록 그리고 해수 중 화학작용으로 인하여 음파의 강도가 약해진다. 이를 보정하기 위해서 일반적으로 어군탐지기는 TVG (Time Varied Gain)를 사용하는데, 이것은 시간에 따른 이득을 증가시키는 기능이라 설명할 수 있다. 여기서 시간은 음파가 진행되어 가는 수심을 의미한다. TVG가 플랑크톤과 같은 약한 신호를 가진 생물에 적용될 경우, 같은 크기일지라도 수심이 깊을수록 생물의 신호가 더 증가하는 것을 알 수 있다. 어류와 플랑크톤 생물이 혼재되어 있는 에코그램에서 플랑크톤의

Fig. 2. The ping graph is a line plot of data values against depth for all data points in a single ping. The black line shows the trend of the increased S_v values based on depth.

신호를 제거하기 위해 TVG를 근거로 만든 시간변량역치 (Time varied threshold, TVT)를 사용한다. 이 시간변량역치가 어류와 플랑크톤의 구분 방법에 가장 중요한 부분을 차지한다. 이 역치는 어탐기내에 있는 TVG곡선 (수심에 따라 곡선 형태를 이룸)을 기반으로 하여 개발된 것으로 식 (1)과 같다. 다시 말해 TVG로 말미암아 이 조사 영역에서의 수심에 따라 증가하는 플랑크톤 신호를 추정하여 이와 근접한 값 (TVT)을 만들어 이 값을 역치로 사용하여 플랑크톤 신호를 제거한다.

$$TVT(r) = S_v(1) + 20 \log(r) + 2\alpha(r-1) \quad (1)$$

여기서 $S_v(1)$ 은 1m에서의 체적 후방 산란 강도 (volume backscattering coefficient, dB re $1\text{m}^3/\text{m}^3$)를 뜻하며, r 은 송수파기로부터의 거리 (m), α 는 흡수감쇠계수 (m^{-1})를 의미한다. $S_v(1)$ 은 플랑크톤 신호를 제거하는 TVT곡선을 형성하는데 결정

적인 값이므로 최적값을 입력하는 것이 아주 중요하다. $S_V(1)$ 을 구할 때는 먼저 분석하고 있는 데이터에서 소수의 핑을 골라 핑 그래프를 만든다 (Myriax, 2012). 이 그래프는 수심에 따른 핑의 S_V 값을 표시하는 것으로 수심이 깊어질수록 어군탐지기의 가변된 이득 (TVG)이 증가하는데, 수심에 따라 증가하는 이득의 정도를 선형적으로 파악하여 $S_V(1)$ 값을 도출한다. Fig. 2는 핑 그래프의 예를 든 것으로 핑 번호는 214280이며 시간은 2009년 5월 8일 오후 7시 29분 35초였다. 가장 강한 S_V 값은 19m에서 볼 수 있으며 이것은 호수의 바닥임을 알 수 있다. 수심이 깊어질수록 S_V 값이 증가하는 경향은 Fig. 2의 검은 선을 통하여 알 수 있다. 이때 선을 수면 방향으로 연장하여 수심 1m에서의 S_V 값을 추정하여 식 (1)에 대입한다. 이 조사 환경 가운데 최적의 $S_V(1)$ 값은 -75dB 임을 Fig. 2에서 알 수 있다. 이로써 플랑크톤 신호를 인식하여 이 신호를 어류 신호로부터 제외시킬 기반을 만든 것이 된다.

결 과

음향학적으로 어류와 플랑크톤 생물이 혼재된 에코그램에서 플랑크톤 생물을 제거하기 위해서 작성한 데이터 흐름은 Fig. 3과 같다. 데이터 흐름에서 각 단계의 결과인 에코그램은 Fig. 4에 표시하였다. 데이터 분석 소프트웨어에서 어군탐지기로부터 수집한 음향 데이터 (Raw data)를 불러오면 Fileset1: Sv split beam pings (channel 1)과 같이 S_V 에 코그램이 표시된다 (Fig. 3의 step 1 과 Fig. 4a). 이 에코그램에서 수심 10m 보다 약간 낮은 곳부터 플랑크톤과 같은 생물이 호수 바닥까지 분포하고 있으며, 작은 크기의 어류는 5m부근에 분포하고 더 큰 어류는 수심 10m전후에 분포하고 있음을 알 수 있다. 특히 수심 10m근처에서는 플랑크톤과 어류가 혼재되어 분포하고 있음을 알 수 있다. 이 S_V 에코그램을 복사하여 똑같은 에코그램을 만들고 시간변량 역치 (TVT; S_V at 1m = -75dB) 기능을 적용하였

다 (Fig. 3의 step 2와 Fig. 4b). 이 역치는 식 (1)과 같이 수심에 따라 증가하며 이를 이용하여 플랑크톤과 같은 약한 신호의 생물을 제거한다. 방법에서 언급한 것과 같이 최적 값 $S_V(1)$ 을 결정하여 사용하는 것이 이어류와 플랑크톤 구분법에서 중요한 사항이다. 그리고 어군탐지기의 송수파기에서 음파를 발사할 때 송수파기 주변에서는 송신 음파가 불안정하므로 ring down이라고 불리는 잡음이 발생한다. 음향 데이터 분석에서는 이 잡음을 제외하고 수면 가까이에 존재하는 불필요한 신호를 제거하기 위해서 수면으로부터 어느 정도의 수심에 선을 표시하여 그 위의 신호를 데이터 분석에서 제외시킨다. 본 연구에서는 1.5m의 선을 사용하였다. 또한 Best bottom candidate라는 선 알고리즘 방법을 사용하여 호수의 기저선을 만들었다 (Myriax, 2012). 이 알고리즘은 어떤 범위 예를 들면 8개씩의 핑을 대상으로 가장 적절한 기저선을 만드는 것으로, 기존

Fig. 3. The data flow resulting from the acoustic method for discriminating plankton from fish. The final result, that is, the masked fish echogram shows only plankton recordings on the entire echogram. The numbers indicate the steps of the dataflow and corresponds to sub-figure (echogram) in Fig. 4.

한 개의 펄스 단위로 선을 작성하는 알고리즘 (Maximum S_v 법)보다 주변 호수 바닥의 정황을 고려하여 선을 생성하는 점에서 우수하다. 앞서 설명한 수면으로부터 선 위쪽 부분과 기저선 아래쪽 부분은 No data로 간주하여 진행할 데이터 분석에 포함시키지 않는다 (Fig. 3의 step 3과 Fig. 4c). 이 No data는 Fig. 4c에서 검은색으로 표시되었다. 이 단계로 말미암아 데이터의 양이 줄어들어 데이터 분석에 소요되는 시간이 상당히 줄어들었다. 다음으로 Fig. 3의 2단계를 통하여 어류만으로 작성된 에코그램에 팽창 7×7 필터를 사용하여 어류 신호의 크기를 증대시킨다 (Fig. 3의 step 4와 Fig. 4d). 이 필터는 팽창 필터

로 각 데이터 샘플 (혹은 포인트, 픽셀)을 대상으로 가로 7개와 세로 7개 즉 49개의 데이터 샘플 중에서 가장 최고값을 최종적인 데이터 값으로 선정한다. 이것은 어류 신호가 실제보다 약간 팽창되게 만드는 것으로 어류 신호를 보다 확실하게 제외시킬 수 있다. 다음으로 데이터 범위 비트맵의 연산자를 사용하여 어류로 판단할 수 있는 데이터 범위 (-60dB 이상)를 선택하여 이 값이하는 참 (True), 이상이면 거짓 (False)으로 하는 비트맵을 작성한다 (Fig. 3의 step 5와 Fig. 4e). 여기서 데이터 범위 값의 설정은 시간변량역치를 사용하여 플랑크톤 같은 생물 신호가 제외된 상태이므로 어류라고 생각할 수 있는 대략적인

Fig. 4. The S_v echograms: (a) the original echogram, (b) the copied original echogram after applying TVT (Time Varied Threshold), (c) the processed echogram from removing signals above the water surface line and below the bottom line, (d) the dilated echogram, (e) the bitmap echogram allocating fish signals to false and rest signals to true, and (f) the masked S_v echogram, which was created by (a) and (e), which is the final outcome showing only plankton-like animals. The sub-figures correspond to the steps relating to data flow in Fig. 2.

값을 사용하여도 결과에 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만 이 연구에 사용한 값은 Sv 에코그램 (Fig. 3의 step 1 과 Fig. 4a) 과 비트맵 에코그램을 비교하여 모든 어류의 신호가 비트맵 에코그램에 포함되었는지 확인한 후에 결정하였다. 마지막으로 Sv 에코그램 (Fig. 3의 step 1 과 Fig. 4a) 과 비트맵 에코그램에 마스크 기능을 사용한다 (Fig. 3의 step 6과 Fig. 4f). 비트맵 에코그램에서 플랑크톤 생물만이 참값이므로 원래의 Sv 에코그램에서 이 참값만이 표시된다. 반대로 어류라고 판단되는 신호는 거짓값이므로 차단되어 No data로 만들어진다. 이상과 같이 어류 신호는 차단되고 플랑크톤 생물만이 존재하는 에코그램을 만들어 어류로부터 플랑크톤 생물을 구별하는 방법을 구축하였다.

앞서 설명한 구분법을 사용하여 구별된 플랑크톤 생물만의 에코그램을 이용하여 수심과 시간에 따른 플랑크톤 생물의 특징을 알아보았다. 먼저, 수심에 따른 플랑크톤의 특징을 알아보기 위해서 Fig. 4f의 플랑크톤 생물만의 에코그램에서 가로 100m와 세로 50m의 영역 (cell)을 정하여 그리드를 만들고, 이 셀에 대한 평균 NASC (Nautical Area Scattering Coefficient, m^2/nmi^2) 값을 추출하였다. 이 NASC 값은 음향적인 밀도로서 자주 사용되고 있다. 다음으로 시간에 따른 플랑크톤의 특징을 알아보기 위해서 음향 데이

터를 수집한 5월 7일과 8일에 대해서 같은 시간대 즉 오후 5시 30분~오후 7시를 선별하여 수직적으로는 전체 수심으로 하고 수평적으로는 10분의 셀 크기를 이용하여 평균 NASC 값을 추출하였다. 수심과 시간에 대한 플랑크톤 생물의 음향 밀도는 Fig. 5에 나타내었다. 플랑크톤은 수심 5~15m에 많이 분포하고 있으며, 특히 5~10m에 $9.4 \sim 11.1 m^2/nmi^2$ 의 NASC 값을 보여 이 수심대에 집중적으로 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한, 수심이 깊어질수록 플랑크톤의 음향 밀도는 낮아짐을 알 수 있다 (Fig. 5a). 플랑크톤의 시간별 음향 밀도를 보면 5월 7일의 평균 NASC는 $18 m^2/nmi^2$, 5월 8일의 평균 NASC는 $39 m^2/nmi^2$ 을 보였다 (Fig. 5b). 전반적으로 5월 8일의 플랑크톤의 음향 밀도가 5월 7일의 것보다 높음을 알 수 있다. 이들간의 데이터는 같은 장소로부터 수집된 것이 아니므로 절대적인 비교는 어려우나 조사 영역이 좁고 비슷한 위치이기 때문에 대략적인 시간에 따른 음향 밀도의 변동을 알 수 있었다.

고 찰

본 연구에서 사용한 시간변량역치는 배경잡음 (background noise)을 제거하기 위해서도 사용될 수 있다. 단지 배경잡음의 특성을 고려하여 TVT를 만들어 사용하는 것이 중요하다. 식 (2)

Fig. 5. NASC (Nautical Area Scattering Coefficient) by depth (a) and NASC by time (b). The open circle means NASC of May 7 and the closed square is that of May 8.

는 간략하게 표현한 잡음의 S_N 값이며, 여기서 잡음이라 함은 배경잡음을 말하는 것으로 이는 대상종 이외의 원치 않은 대상으로부터의 신호를 뜻한다.

$$S_{IN}(r) = P_N + 20 \log(r) + 2\alpha R + C \quad (2)$$

여기서 P_N 는 수신된 잡음 전력 ($\text{dB re } 1 \text{ W}$), C 는 상수이다. 이 식의 r 을 1m라고 하면 식 (3)이 된다.

$$S_{IN}(1) = P_N + 20 \log(1) + 2\alpha R + C \quad (3)$$

식 (3)을 P_N 으로 정리하여 식 (2)의 P_N 에 대입하면 식 (1)을 도출할 수 있다.

현재까지 어류와 플랑크톤을 구분하기 위해서 복수 주파수를 사용하는 주파수차별법을 이용한 연구 사례가 있다 (Kang et al., 2002; Kloser et al., 2002). 이 주파수차별법은 ΔMVBS (mean volume backscattering strength)법 혹은 Sv차별법 혹은 dB differencing법이라고도 불린다. 또한, 복수 주파수를 사용하여 어떤 생물종에 대한, 예를 들면 *Mysis relictus*, *Chaoborus flavicans*, 음향 반사 특성 즉 주파수 반응을 조사하여 이 생물종을 판별하고자 하는 연구도 있다 (Knudsen et al., 2006; Rudstam et al., 2008). 하지만, 복수 주파수를 사용하기 위해서는 한 개 이상의 주파수를 갖추어야 하므로 일반적으로 적은 예산으로 수행되고 있는 담수어 환경에서의 연구는 이 방법을 사용하기가 힘든 실정에 있다. 그러나 본 연구의 방법을 사용한다면 한 개의 주파수를 사용하여도 어류와 플랑크톤을 구분할 수 있게 되어 경제적인 효율성을 높이면서 연구 목적을 달성할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 본 연구의 데이터 흐름은 에코뷰의 Template으로 사용하여 다른 연구자들과 공유할 수 있다. 즉, 이 구별 방법이 저장된 Template를 사용한다면 다른 연구자가 다시 데이터 흐름을 작성할 필요 없이 자신의 음향 데이터 (Raw data)를 입력시켜 사용할 수 있다. 물론 자신의 데이터 환경에 맞는 파라미터의 설정이 요구된다. 이 Template은 수중 음향 포

럼 (<http://www.hydroacoustics.net/>)을 이용하여 널리 공유할 수 있다. 그리고 최근 인공어초 지역에서도 음향기법을 이용하여 어류와 환경과의 관계, 우점종의 음향반사강도, 어류분포의 연구가 진행되고 있다 (Lee et al., 2010; Kang et al., 2011; Kim et al., 2011). 이 인공어초의 환경에서도 본 연구의 구분법은 데이터 분석의 초기단계에 유용하게 이용될 수 있다고 생각한다.

본 연구는 음향 데이터만을 사용하였지만 앞으로는 넷 샘플링 데이터를 추가하여 이것과 에코그램을 대응시켜 생물종별 음향적 및 생태학적인 특징을 살펴보고자 한다. 또한, 환경적인 데이터 즉 CTD (Conductivity, temperature, depth)로부터의 데이터 및 호수의 지리적인 데이터를 이용하여 수중 생물을 중심으로 종합적인 호수 환경을 이해하고자 한다. 마지막으로 가장 주목되고 있는 *Chaoborus spp.* 유충을 대상으로 어류뿐만 아니라 다른 플랑크톤으로부터 종을 식별하여 정량적인 특징과 생태학적인 특성을 살펴보고자 한다. *Chaoborus spp.* 유충은 몸 전체가 투명하여 유리벌레라고 불리며 각다귀와 비슷하게 생겼다. 이 유충은 2cm까지 자라며 몸통의 앞쪽과 뒤쪽에 까맣고 콩팥같이 생긴 주머니를 2개씩 가지고 있다. 이 주머니는 공기가 들어 있어 호수에서 수직적으로 이동할 때 사용된다. 생태학적으로 *Chaoborus spp.* 유충은 산소가 부족하거나 없는 곳에도 분포할 수 있다고 알려져 있다 (Oda and Hanazato, 2008; Knudsen and Larsson, 2009). 지금까지 *Chaoborus spp.* 유충에 관하여 음향적인 방법을 이용한 연구는 소수에 불과하다. 그 중 이 유충을 대상으로 여섯 개의 주파수 (38, 70, 120, 200, 364, 710kHz)를 사용한 음향 산란 특성을 조사한 연구에서 200kHz에서의 주파수 반응이 가장 높았는데 (Knudsen et al., 2006), 이는 이 주파수에서 공진하기 때문이고 Rayleigh에서 기하학적인 산란 특성으로 옮겨가는 주파수 반응 곡선에 있기 때문이다. 다른 연구는 적분 역치값을 $-30 \sim -75\text{dB}$ 에서

1dB씩 감소시켜서 만든 적분 결과 (NASC)를 사용하여 적분 역치에 따라 표시한 NASC곡선의 형태를 통해 어류와 *Chaoborus spp.*를 구분하였다. 이 곡선은 역치가 감소함에 따라 완만하게 증가하다가 어느 지점에서 급격히 증가하는 부분이 있는데, 이는 높은 역치값에서는 어류 이외의 생물은 제외되었다가 역치값이 낮아질수록 *Chaoborus spp.*와 같은 생물이 포함되기 때문이다. 특히 *Chaoborus spp.*과 같은 생물량을 구하기 위해서 낮은 역치값을 사용하여 구한 NASC값에서 높은 역치값을 사용한 NASC값을 빼서 구하였다 (Eckmann, 1998). 이 방법을 사용하여 어류에서 *Chaoborus spp.*과 같은 생물을 구분하여 음향학적인 밀도를 조사할 수는 있으나, *Chaoborus spp.*만이 있는 데이터를 추출하지 못하여 이 종에 대한 생태학적인 특성을 살펴볼 수는 없었다. 따라서 *Chaoborus spp.*유충을 다른 생물종들로부터 식별하고 정량적인 분석뿐만 아니라 생태학적인 특징을 조사할 수 있는 음향학적인 방법에 관해서 Minas Gerais주립대학교와 공동 연구를 수행할 계획이다.

결 론

브라질 Dom Helvecio호수에서 수집한 음향 데이터를 사용하여 시간변량역치, 팽창 필터, 비트맵, 마스크 기능을 사용하여 구축한 데이터 흐름을 이용하여 어류로부터 플랑크톤 생물을 음향적으로 구별하는 방법을 논하였다. 또한, 이 방법을 사용하여 어류의 신호를 차단하고 플랑크톤 신호만이 있는 에코그램을 만들어 수심과 시간에 따른 플랑크톤의 음향 밀도를 살펴보았다. 그 결과, 수심 5~15m에 플랑크톤이 많이 분포하고 있었으며 특히 10~15m에 집중적으로 분포하고 있음을 알 수 있었다. 시간상으로는 5월 7일 보다 5월 8일의 플랑크톤의 음향적인 밀도가 높음을 알 수 있었다.

사 사

음향 데이터를 제공하여 준 Ricardo Motta Pinto-Coelho에게 깊은 감사를 드립니다. 또한, 무상으로 에코뷰를 사용하게 지원해 준 Myraix Software사에게 진심으로 감사드립니다. 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사를 드립니다.

참고문헌

- Bezerra-Neto JF and Pinto-Coelho RM. 2008. Morphometric study of Lake Dom Helvecio, Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais, Brazil: a re-evaluation. Acta Limnol Bras 20, 161 – 167.
- Eckmann R. 1998. Allocation of echo integrator output to small larval insect (*Chaoborus sp.*) and medium-sized (juvenile fish) targets. Fish Res 35, 107 – 113.
- Foote KG, Knudsen HP, Vestnes G, MacLennan DN and Simmonds EJ. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish-density estimation: a practical guide. ICES Coop Res Rep, 44.
- Godlewska M and Jelonek M. 2006. Acoustical estimates of fish and zooplankton distribution in the Piaseczno reservoir, Southern Poland. Aquat Ecol 40, 211 – 219.
- Jurvelius J, Knudsen FR, Balk H, Marjomaki TJ, Peltonen H, Taskinen J, Tuomaala A and Viljanen M. 2008. Echo-sounding can discriminate between fish and macroinvertebrates in fresh water. Fresh Biol 53, 912 – 923.
- Kang M, Furusawa M and Miyashita K. 2002. Effective and accurate use of difference in mean volume backscattering strength to identify fish and plankton. ICES J Mar Sci 59, 794 – 804.
- Kang M, Nakamura T and Hamano A. 2011. The application of GIS in analyzing acoustical and multi-dimensional data related to artificial reefs ground. J Kor Soc Fish Tech 47, 222 – 233.
- Kim HY, Hwang BK, Lee YW, Shin HO, Kwon JN and Lee KH. 2011. Hydro-acoustic survey on fish

- distribution and aggregated fish at artificial reefs in marine ranching area. J Kor Soc Fish Tech 47, 139 – 145.
- Kloser RJ, Ryan T, Sakov P, Williams A and Koslow JA. 2002. Species identification in deep water using multiple acoustic frequencies. Can J Fish Aquat Sci 59, 1065 – 1077.
- Knudsen FR and Larsson P. 2009. Discriminating the diel vertical migration of fish and *Chaoborus flavicans* larvae in a lake using a dual-frequency echo sounder. Aqua Liv Resour 22, 273 – 280.
- Knudsen FR, Larsson P and Jakobsen PJ. 2006. Acoustic scattering from a larval insect (*Chaoborus flavicans*) at six echosounder frequencies: Implication for acoustic estimates of fish abundance. Fish Res 79, 84 – 89.
- Lee SJ, Lee YW, Kim JI, Oh TY, Hwang BK, Kim BY and Lee KH. 2010. Target strength estimation of dominant species in marine ranching ground of Jeju coastal water by KRM model. J Kor Soc Fish Tech 46, 157 – 163.
- Myriax. 2012. Help file 5.2.21 for Echoview. <http://support.echoview.com/WebHelp/Echoview.htm>.
- Oda S and Hanazato T. 2008. Diel vertical migration patterns in two populations of *Chaoborus flavicans* larvae (Diptera: Chaoboridae) in response to fish kairomones. J Limnol 67, 93 – 99.
- Pinto-Coelho RM, Giani A and Sperling EV (Editors). 1994. Ecology and Human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies. University Federal Minas Gerais, Brazil, 1 – 193.
- Pinto-Coelho RM, Bezerra-Neto F, Miranda FB, Mota TG, Resck R, Santos AM, Maia-Barbosa PM, Mello NAST, Marques MM, Campos MO and Barbosa FAR. 2008. The inverted trophic cascade in tropical plankton communities: Impacts of exotic fish in the Middle Rio Doce lake district, Minas Gerais, Brazil. Braz J Biol 68 (4, Suppl.), 1025 – 1037.
- Rudstam LG, Knudsen FR, Balk H, Gal G, Boscarino BT and Axenrot T. 2006. Acoustic characterization of *Mysis relicta* at multiple frequencies. Can J Fish Aquat Sci 65, 2769 – 2779.
- Tan T, Kang M, Tao J, Li X and Huang D. 2011. Hydroacoustic survey of fish density, spatial distribution, and behavior upstream and downstream of the Changzhou Dam on the Pearl River, China. Fish Sci 77, 891 – 901.

2012년 6월 11일 접수
 2012년 9월 4일 1차 수정
 2012년 10월 19일 2차 수정
 2012년 10월 26일 3차 수정
 2012년 10월 29일 수리