

어류의 연속행동계측을 위한 SSBL 바이오텔레메터리 방식의 개발에 관한 연구

박주삼
여수대학교

서론

초음파 발신기(핑거)에 의해 원격으로 해양생물을 추적하는 방법(이하 바이오텔레메터리 라고 한다)은 해양생물에 핑거를 부착하여, 핑거가 발사하는 음을 표적으로 해양생물의 행동생태를 파악하는 중요한 수단이다. 바이오텔레메터리의 최대 장점은 대상생물의 순간적인 행동생태와 서식환경을 동시에 상세하게 조사할 수 있다는 것으로, 이것은 다른 방법으로는 실현하기가 어렵다.

바이오텔레메터리 방식에는 1) 지향성을 가진 단일의 수파기를 회전시켜 핑거 음이 최대가 되는 수파기의 방향으로부터(Voegeli et al., 1998; Stasko and Polar, 1973) 또는, 복수의 지향성을 가진 수파기를 배열하여 가장 큰 핑거 음을 수신한 수파기의 방향으로부터(Bertrand et al., 1999; Young et al., 1972) 해양생물의 대략의 방향을 판단하는 최대감도방식, 2) 수파기 또는 하이드로폰을 임의의 위치에 설치하여 각각의 수파기 또는 하이드로폰에 도달한 핑거 음의 시간차로부터 해양생물의 위치를 계측하는 음향측위방식이 주로 이용된다. 음향측위방식은 보통의 음향측위와 같이 기선의 길이를 기준으로 한 LBL(Logn Base Line) (Hawkins et al., 1974), SBL(Short Base Line) (韓軍 et al., 1995) 방식이 이용된다. 최근에는 계량어군탐지기에 사용되고 있는 스프리트빔 방식으로 바이오텔레메터리를 시도하였다(Hedgepeth et al., 1998).

이와 같이 바이오텔레메터리 방식은 진보를 거듭하고 있지만, 해양생물을 추적하기 위해서는 아직도 문제점이 많다. 최대감도방식은 자세한 해양생물의 행동 파악이 어렵고, LBL, SBL의 음향측위방식은 무지향성의 하이드로폰을 임의의 거리에 복수로 설치하여 사용하기 때문에 항주하는 선박에 의한 광범위의 검지가 어려우며, 장비의 설치나 취급이 간편하지 못하다. 또한, 스프리트빔 방식은 고정도의 TS(Target Strength)를 측정하기 위해 빔폭을 좁게 하기 때문에 해양생물을 추적하기에는 적합하지 못하다. 따라서 해양생물을 넓은 범위에서 연속적이며 자세하게 행동을 파악할 수 있으며, 장비의 설치와 취급이 간편한 시스템의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 이와 같은 관점에서 바이오텔레메터리 음향계의 일반적인 평가 및 설계방법을 개발한다. 또한, 연속적이며 자세한 해양생물의 행동생태를 계측할 수 있는 새로운 바이오텔레메터리 방식을 개발하고자 한다.

재료 및 방법

먼저, 확실하게 핑거 음을 수신할 수 있는 검지범위 즉, 최대검지거리와 검지범폭의 개념을 도입하여 그것을 이용한 바이오텔레메트리 음향계의 평가방법과 일반적인 설계방법을 개발하였다. 이를 위하여 신호대 잡음비(SN비)를 주파수, 송파음압, 수파기의 직경 등의 함수로서 유도하였다. 특히, SN비를 포함한 검지범폭의 개념을 새롭게 도입하였으며, 실제의 조건에 맞는 검지범위를 예상할 수 있도록 하였다. 또한, 검지거리, 수파기의 직경, 검지범폭을 함수로 하여 주파수에 대한 SN비로 표시한 설계범용도를 작성하였다.

다음으로, 장비의 설치 및 취급이 간편하고, 해양생물의 순간적인 상세한 행동을 비교적 쉽게 추적할 수 있는 새로운 바이오텔레메트리 방식을 개발하였다. 바이오텔레메트리 방식은 핑거에 수은, 압력센서 등의 추가로 인한 부담을 주는 것은 불리하기 때문에 수파계를 고도화함으로써 행동추적을 행하는 방법으로 하였다. 해양생물의 3차원 위치는 거리, 방위의 계측에 의해 구한다. 거리를 알기 위해서는 핑거 음의 수신시각과 송신주기로부터 추정된 핑거의 음의 송신시각과의 차를 구해, 수파기와 핑거의 거리를 계산하는 핑거동기방식을 이용한다. 방위를 알기 위해서는 복수의 수파기를 1개의 용기에 수납하여 각 수파기에 수신된 핑거 음의 전후·좌우의 위상차를 구해, 핑거의 수파기에 대한 방위를 구하는 SSBL 방식을 채용하였다. 이 거리와 방위를 조합하여 해양생물의 수파기에 대한 상대위치를 구하는 방식, 즉 SSBL·핑거동기·바이오텔레메트리 방식(이하 SPB 방식이라고 한다)을 개발하였다.

바이오텔레메트리 방식의 고도화가 가능하도록, 개발한 바이오텔레메트리의 음향계의 설계방법(朴柱三·古澤昌彦, 2002)을 적용하고, 스포리트빔 방식 계량어군탐지기의 송수파기의 설계방법(古澤昌彦 et al., 1994)을 응용하여 시스템을 설계하였으며, 시작시스템을 제작하였다. 또한, 핑거동기방식을 사용하기 위해서는 핑거의 송신주기가 일정한 것을 전제로 한다. 그러나, 시간이 경과함에 따라 핑거의 송신주기를 결정하는 발전기의 주파수가 변하게 되어 송신주기가 어긋나게 된다. 따라서 핑거의 송신주기의 보정방법에 대하여 고찰하였다.

본 바이오텔레메트리 방식과 시스템을 이용하여 구면파수조(15mL×10mW×10mD)에서 검증실험을 행하여 유효성을 확인하였고, 수조와 바다에서 어류에 핑거를 부착하여 추적실험을 행하여 실용성을 확인하였다. 검증실험은 전후·상하·좌우의 움직임이 1cm 정도로 제어되어 위치를 명확하게 알 수 있는 전동실험대에 핑거와 같은 펄스를 송신할 수 있도록 한 하이드로폰을 장착하여 시스템의 보정과 위치측정정도를 구하였다. 또한, 핑거를 위치가 알 수 있도록 이동시켜, 핑거동기방식에 의한 거리, SSBL 방식에 의한 방위를 자동·연속으로 측정하여 측정거리, 측정위치, 측정속도를 구해 이미 알고 있는 값과 비교하여 본 방식의 유효성을 확인하였다. 수조에서 어류의 행동추적은 어류의 행동을 관찰할 수 있기 때문에 어류의 이동경로의 계측치와 대체적인 관측치를 비교하여 어류의 이동경로, 속도 등을 조사하였으며, 바다에서

어류의 행동추적은 상하·좌우방향으로 회전되는 파이프에 수파기를 부착하여 수파기를 회전시키면서 자연상태에서 어류의 이동경로, 속도 등을 조사하여 본 방식의 실효성을 확인하였다.

결과 및 고찰

바이오텔레메트리 음향계의 평가 및 설계를 위하여 새롭게 도입한 검지빔폭의 개념은 복수의 빔을 사용하는 경우 검지의 누락이 적은 수파 빔의 수를 결정할 수 있는 등 종합적인 빔의 넓이를 나타내는 지표로서 유용하다. 검지범위는 주파수, 송파음압, 수파기의 직경, 수파 빔의 수 등을 평가하는데 유용하다. 설계범용도는 SN비가 높고 실용성이 높은 영역을 선택하여 그 내부에 설계점을 정함으로써 종합적으로 적절한 설계를 할 수 있다. 즉, SN비가 높고 확실하게 추적할 수 있는 적절한 주파수, 수파기의 직경, 검지빔폭, 수파 빔의 수를 설계할 수 있다. 또한, 바이오텔레메트리 시스템의 성능평가에도 응용된다.

SPB 방식의 개발에 의해 기존의 바이오텔레메트리 방식의 결점을 대폭 해결하였으며, 수온이나 압력센서 등을 구비하지 않은 간단한 추적전용 핑거를 부착한 해양생물의 순간적인 상세한 행동을 비교적 쉽게 추적할 수 있다.

시스템은 시판되는 핑거, 수파기, 수신기, AD변환을 주로 행하는 디지털오실로스코프, 데이터수록과 해석을 위한 퍼스널컴퓨터로 구축하였다. 수파기의 설계는 설계방법에 따라 주파수, 송파음압, 수파기의 직경, 검지빔폭 등을 결정하였다. 주파수는 가능한 검지범위를 넓게 하기 위하여 70kHz로 하였다. 수파기 배열의 설계는 광범위 추적(광빔)과 고정도 추적(협빔)이 가능하도록 1개의 수파기로서 2개의 빔모드를 변환하여 사용할 수 있도록 하였다. 핑거의 송파음압이 최소에 가까운 136dB의 경우에 협빔모드에서 최대검지거리는 457m, 검지빔폭은 29°, 수파기의 직경은 21.4mm, 위상빔의 중심간의 거리는 10.7mm, 측각정도는 π 이었으며, 광빔모드에서는 각각 258m, 76°, 64.3mm, 32.1mm, 3π 를 실현할 수 있었다. 수신기는 수파레벨의 변동에 대응할 수 있도록 증폭율이 다른 2채널로 구성하였다. 핑거의 송신주기의 어긋남에 의한 핑거의 동기오차는 수온의 정보에 의해 보정할 수 있도록 하였다. 즉, 수온의 변화에 따른 핑거의 송신주기를 측정하여 도중에 송신주기의 어긋남에 의한 측정거리 오차를 보정하지 않고도 핑거동기방식을 사용할 수 있는 방법을 채용하였다.

핑거와 같은 펄스를 송신할 수 있도록 한 하이드로폰에 의한 검증실험에서 시스템의 보정후 시스템의 측정위치오차는 협빔모드에서 6.4cm, 광빔모드에서는 24cm이었다. 핑거에 의한 검증실험에서 핑거동기방식에 의한 측정거리오차는 1.8cm로 전동실험대의 제어장치에 표시된 거리와 측정거리는 거의 같았다. SPB 방식에 의한 측정위치오차는 7.7cm로 고정도 측정이 가능하였다. 핑거의 측정이동속도는 핑거를 장착한 전동실험대의 대략의 이동속도에 일치하였다. 수조에서 잉어를 이용한 바이오텔레메

터리에서 잉어의 수평면에서의 측정이동경로와 관측이동경로는 대체적으로 일치하였으며, 3차원 추적이 가능했다. 또한, 이동평균으로 평활화한 잉어의 측정이동속도는 11.2cm/s로 적당한 결과를 얻을 수 있었다. 바다에서 부리를 이용한 바이오텔레메터리에서도 상세하게 3차원으로 추적이 가능했으며, 부리의 측정이동속도는 43.9cm/s이었다. 이상으로 본 연구에서 개발한 SPB 방식은 수신계의 고도화만으로 소형 핑거를 장착한 해양생물의 상세한 행동추적이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 많은 성과를 거두었다. 특히, 바이오텔레메터리 시스템의 평가 및 설계가 쉽게 되었으며, SPB 방식에 의해 해양생물의 상세한 행동추적이 가능함을 알 수 있었다. 금후 이 방식을 더욱 실용적으로 사용하기 위해서는 1) 잡음측정을 실시하여 검지범위를 자동적으로 표시하도록 하는 것, 2) 온라인처리와 표시를 가능하게 하는 것, 3) 해양생물의 위치를 절대위치로 하는 것, 4) 간단하고 정확한 핑거동기방식의 보정방법을 개발하는 것, 5) 선박의 유동에 대한 대책을 세우는 것, 이 필요하다. 1)의 문제는 계량어군탐지기의 잡음 측정법(Takao and Furusawa, 1995)과 같이 수신계에 핑거음이 수신되지 않을 때 잡음의 측정을 행하는 방법으로 해결할 수 있을 것이다. 2), 3)의 문제는 현재의 기술로 비교적 쉽게 해결할 수 있다. 4)의 문제는 송파의 기능을 사용하여 대상어의 에코로부터 거리를 구해 해결할 수 있을 것이다. 5)의 문제는 유동각도가 적을 때는 유동의 주기성으로, 유동각도가 클 때는 피치각 센서로 보정할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- Bertrand A., E. Josse, and J. Massé. 1999. *In situ* acoustic target-strength measurement of bigeye (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) by coupling split-beam echosounder observations and sonic tracking. *ICES J. Mar. Sci.*, 56, 51-60.
- Hawkins A.D., D.N. MacLennan, G.G. Urquhart, and C. Robb. 1974. Tracking cod *Gadus morhua* L. in a Scottish sea loch. *J. Fish Biol.*, 6, 225-236.
- Hedgepeth J., D. Fuhrman, D. Geist, and R. Johnson. 1998. Fish movement measured by tracking radar-type acoustic transducers. In: Alippi A. and G.B. Cannelli (eds) *Proceedings of the Fourth European Conference on Underwater Acoustics*. Rome, 199-204.
- Stasko A.B. and S.M. Polar. 1973. Hydrophone and bow-mount for tracking fish by ultrasonic telemetry. *J. Fish. Res. Board Can.*, 30, 119-121.
- Takao. Y. and M. Furusawa. 1995. Noise measurement by echo integrator. *Fisheries Science*, 61, 637-640.
- Voegeli F.A., G.L. Lacroix, and J.M. Anderson. 1998. Development of miniature pingers for tracking Atlantic salmon smolts at sea. *Hydrobiologia*, 371-372, 35-46.
- Young A.H., P. Tytler, F.G.T. Holliday, and A. MacFarlane. 1972. A Small sonic tag for measurement of locomotor behaviour in fish. *J. Fish Biol.*, 4, 57-65.
- 古澤昌彦・澤田浩一・有路實・山谷恭三・倉都健治. 1994. 計量魚探機用複合ビーム送受波器の開発. 海洋音響學會講演論文集, 63-66.
- 朴柱三・古澤昌彦. 2002. 超音波バイオテレメトリの音響系の評價および設計方法. 日本水産學會誌, 68, 334-344.
- 韓軍・宮本佳則・濱田悦之・中村善彦. 1995. 魚の行動解析のための同期法超音波ピンガー追跡システム. 日本水産學會誌, 61, 369-374.