

## 전남바다목장해역에서의 음향표지 전복 (*Haliotis discus hannai*)의 이동범위 및 행동

황보규 · 신현옥\*

부경대학교 해양산업개발연구소, <sup>1</sup>부경대학교 해양생산시스템관리학부

### Movement range and behavior of acoustic tagged abalone (*Haliotis discus hannai*) in Jeonnam marine ranch

Bo Kyu HWANG and Hyeon-Ok SHIN\*<sup>1</sup>

Research Center for Ocean Industry Development, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>1</sup>Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

The moving ranges and behavior of four wild abalones, *Haliotis discus hannai*, were measured by an acoustic telemetry technique. The shape of the sea bottom of the experimental area was surveyed by a bathymetry system and three self-recording type acoustic receivers were used for monitoring the behavior and measuring the movement range. The abalones (WA1-WA4) attached acoustic tags were released and measured the movement during ten months. Three abalones (WA1, WA3 and WA4) were successively detected around the released point during the experiment and were moved to the V2 area where water depth is deeper than the V1 area. The change of inhabitation depth was also detected from the depth sensor of WA4. As the result, abalones were moved to deeper water area accordance with the decrease of the water temperature. The moved ranges of abalones were approximately 200 - 400m from the release point.

Keywords: Acoustic telemetry, Movement behavior of abalone, Acoustic tag, Detection rate

#### 서 론

최근 남획에 따른 어업자원의 감소와 해양환경오염 등으로 인하여 수산자원이 지속적으로 감소함에 따라, 인공어초의 투하나 종묘방류사업 등 연안어장을 회복시키고자 하는 많은 노력들이 이루어지고 있다. 이러한 자원회복을 위한

연구나 사업은 대상생물자원의 생태적 정보를 기반으로 이루어지게 되는데, 이에 따라 수산자원으로서 중요한 생물종에 대하여 계절적 분포 및 이동 등의 생태학적 특성을 규명하는 연구들에 대한 필요성이 더욱 높아지고 있다.

현재 방류사업으로 약 40종의 수산종묘가 방

\*Corresponding author: shinho@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5893, Fax: 82-51-629-5886

류되고 있는데, 이 중 참전복은 우리나라의 수산 양식업과 연안의 수산자원조성을 위한 주요 대상종으로, 2003년 이후에는 매년 3백만 마리 이상이 우리나라 전 연안에 방류되고 있으며 (Jung et al., 2008), 이와 함께 방류효과에 대한 연구 (Kang et al., 1996; Kim et al., 2006) 등이 이루어지고 있다. 전복은 1990년대 들어 육상수조식에 의해 대량생산이 이루어진 이후 급격한 가격하락이 이루어지기도 하였으나 (Ok et al., 2008), 여전히 고급수산물로서 인식되고 있으며, 특히 자연산 전복은 어민들에게는 매우 중요한 소득원이 되고 있다.

전복은 봄 - 가을 동안 비교적 얇은 수심에서 서식하지만, 겨울이 되면 얇은 수심에서는 찾아볼 수 없기 때문에 보다 깊은 곳으로 이동하는 것으로 여겨지고 있다. Kang et al. (1996)은 참전복 치패의 이동특성에 대하여 조사하였으나, 성체의 이동특성에 대한 연구는 찾아보기 어려우며, 일부 다이버나 나잠어업에 종사하는 해녀들은 전복의 유영행동을 목격하였다고 하지만 이러한 이동특성이나 유영행동에 대해서는 규명된 바가 없다. 그러나, 전복과 관련한 생태적 특성을 규명하는 것은 종묘의 방류를 통한 자원 증대와 효율적인 관리를 위해서 필요한 정보이다.

이에 본 연구에서는 우리나라 연안에서 종묘를 살포하여 많은 소득을 올리고 있는 전복의 이동행동을 음향 텔레메트리 기법을 이용하여 측정하고 그 이동양상에 대하여 고찰하였다.

## 재료 및 방법

### 부호형 음향표지 및 방류

실험에 사용한 음향표지 (V9TP - 1L and V9 - 2L, AMIRIX Systems Inc., Canada)는 표지의 식

별과 장기간의 추적을 고려하여 모두 부호형을 사용하였다. 펄스신호의 송신 주기는 30 - 90sec의 범위에서 임의로 변한다. 사용주파수는 69kHz, 음원음압 레벨은 142 - 143dB (re 1 $\mu$ Pa at 1m)이었다. 음향표지의 크기와 수중중량은 각각  $\phi 9 \times L29$  -  $\phi 9 \times L40$ mm, 2.7 - 2.9g이고, 배터리 수명은 145 - 290일이다. 실험에 사용한 4개의 음향표지 중 2개는 수온센서 (범위: -5 - 35 $^{\circ}$ C)와 압력센서 (범위: 0 - 50m)를 갖고 있어 표지한 생물의 유영층의 깊이와 유영층의 수온을 측정할 수 있다 (Table 1).

실험에 사용한 표지생물은 안도 주변에 서식하는 자연산 전복이며 방류하기 1 - 2일 전에 나잠어업으로 어획한 것이다. 음향표지는 에폭시 수지의 접착제를 사용하여 전복의 등껍질에 부착시켰다. 음향표지를 부착하기 전에 전복의 각장, 각폭 및 체중을 측정하였으며, 전복의 등껍질의 물기를 마른수건으로 제거한 후 사포를 사용하여 접착부위의 이물질을 제거하였다. 음향표지를 부착할 때에는 접착부위 주변만 제외한 전복의 나머지 부분을 젖은수건으로 감쌌으며, 접착제가 단단하게 굳을 때까지 이 상태를 유지시켰다 (Fig. 1).

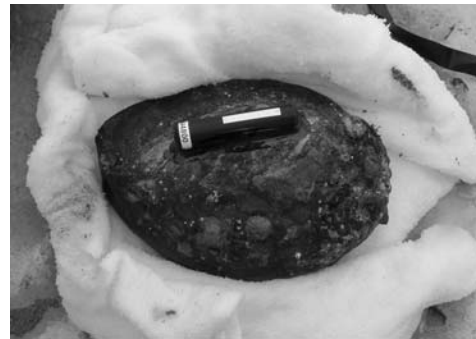


Fig. 1. A tagged wild abalone with a epoxy resin.

Table 1. Specifications of coded type acoustic tags used in the experiment. SL and TP denote the source level (dB re 1 $\mu$ Pa at 1m) and with temperature and pressure sensor, respectively

Model	f (kHz)	SL (dB)	Range (m)		Slope (m/s)		Intercept (m)		Life (day)	Weight (g in water)	Size (mm)
			Temp.	Pres.	Temp.	Pres.	Temp.	Pres.			
V9-2L	69	142	-	-	-	-	-	-	290	2.9	$\phi 9 \times L29$
V9TP-1L	69	143	-5 to 35	50	0.157	0.220	-5.0000	-0.879	145	2.7	$\phi 9 \times L47$

**Table 2. Summary of the characteristics of abalones equipped with acoustic transmitters**

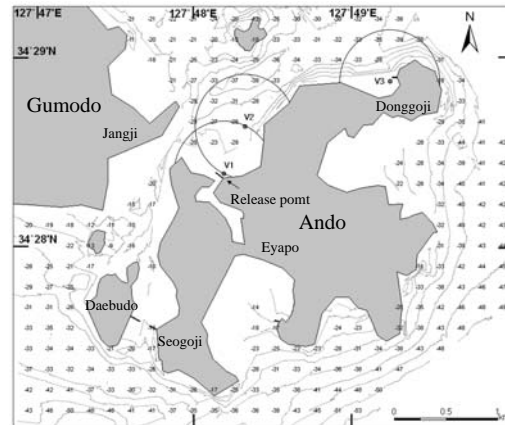
Symbol	Model	Tag ID	Length (mm)	Weight (g)	Release date (yyyy - mm - dd)
WA1	V9 - 2L	7213	104.2	124.2	2007 - 10 - 27
WA2	V9 - 2L	7212	108.9	123.6	2007 - 10 - 27
WA3	V9TP - 1L	55&56	109.8	162.7	2007 - 10 - 27
WA4	V9TP - 1L	61&62	107.4	136.6	2008 - 07 - 12

음향표지한 전복의 방류는 2007년 10월 27일과 2008년 7월 12일 두 차례에 걸쳐 이루어졌다. WA1 - WA3 (자연산 전복 #1 - #3)은 방류지점 (Fig. 2)인 전남 다도해형 바다목장 사무실 주변으로부터 약 2.2km 떨어진 역포에서 어획한 것이며, WA4는 방류지점으로부터 약 1.3km 떨어진 동고지에서 어획한 것이다. 실험에 사용한 음향표지어의 각장, 체중, 식별번호, 방류날짜는 Table 2에 나타내었다.

#### 실험해역 및 수신기의 배치

전복의 행동특성조사를 위한 실험해역 및 음향 텔레메트리 시스템의 설치위치는 Fig. 2에 나타내었다. 실험은 전남 다도해형 바다목장 해역 내에 있는 안도에서 실시하였으며, 2007년 10월 27일에서 12월 2일, 2008년 3월 16일부터 8월 10일에 걸쳐 이루어졌다. 실험해역의 수집은 2005년 1월 27일 DGPS 수신기 (KGB - 2, Kodon Electronics Co.)와 측량용 음향측심기 (320M, Knudsen Engineering Ltd.), 측량용 소프트웨어 (Hypack 8.9, Coastal Oceanographic Inc.)로 구성되는 해저지형 측정 시스템으로 조사하였고 (Kim and Shin, 2001), 실험해역의 조석은 국립해양조사원에서 제공하는 여수해역의 조석자료를 이용하여 분석하였다.

음향표지 전복의 행동특성 및 이동범위는 장기행동 기록용 고정식 수신기 (VR2W, AMIRIX Systems Inc.)와 추적용 수신기 (VR60, AMIRIX Systems Inc.)를 사용하여 측정하였다. 추적용 수신기는 생물체에 음향표지를 부착시키기 직전 및 직후의 음향표지의 작동상태 확인과 수신범위 내에 있는 음향표지의 존재여부를 실시간으



**Fig. 2. Study site and arrangement of the experimental equipments. V1-V3 are the location of the VR2 receivers and the circles denote approximated detectable area.**

로 확인하고 식별하는 데에 사용하였다. 해상에서의 위치측정에는 DGPS 수신기 (DGPS Max, CSI Wireless Inc.)를 사용하였는데, V1 - V3는 고정식 수신기의 위치를 나타내며, 전복의 방류지점은 V1과 동일지점이다.

## 결과 및 고찰

#### 전복의 이동행동의 특성

4마리 전복 모두 V1 및 V2 지점에서만 수신되었는데, 고정식 수신기에 기록된 방류전복 WA1의 위치별 탐지율의 변화는 Fig.3과 같다. 여기서, 탐지율은 음향표지가 하루 동안 송신하는 신호 발생 횟수 (약 1,500회/일)에 대한 탐지된 신호의 비율을 의미한다. WA1은 방류 후 11월 17일부터 수신기를 회수한 2007년 12월 12일까지 방류지점 주변인 V1에서 지속적으로 탐지되었다. 그러나, 수신기를 새로 설치한 2008년 2월 19일부터 4월 12일까지의 자료에서는 V2에서 먼저

신호가 탐지되어 3월 16일 부터는 V1과 동시에 탐지되었다. 이 후, 6월 7일부터는 다시 V1에서 탐지되기 시작하여, 신호가 두절된 9월 21일까지 지속적으로 탐지되었다.

음향표지의 탐지율은 수온분포와도 깊게 관련하지만, 저착생물의 경우 기본적으로 신호 수신에 방해가 될 수 있는 지형적인 굴곡과 수신기와의 상대적인 거리에 따른 S/N비와 관계한다. 방류 직후에 방류지점인 V1에서 낮은 수신율을 보였던 것은 전복의 체류장소의 지형적 특성이 V1 수신기의 신호 탐지에 영향을 주었기 때문으로 판단된다. 그러나, 3 - 4월에는 두 수신기에서 높은 탐지율을 나타내었다. 본 고정식 수신기의 탐지범위는 반경 약 500m로 알려져 있으나, 실험해역에서는 그 이하이며 탐지범위 내에서도 거리에 따라 탐지율을 급격하게 떨어진다 (Hwang and Shin, 2010). 따라서, 두 수신기에서 일별 탐

지율이 60% 이상 나타났었던 것은 전복이 방류지점인 V1에서 수심이 깊은 V2쪽으로 이동하였기 때문으로 판단된다 (Fig. 2). 그리고, 9월 21일 이후 신호가 두절된 것은 WA1에 부착시킨 음향표지의 예상 전지수명은 290일 정도로 전지수명이 끝났기 때문이다.

WA2는 WA1과 같이 방류 후 2007년 11월 17일부터 V1 지점에서 지속적으로 수신되다가, 수신기를 재설치한 후 2008년 3월 16일부터는 V2 지점과 동시에 수신되었으나 탐지율은 매우 낮았다. 이 후, 6월 7일부터 V1에서만 수신되던 신호가 되다가 이후 사라졌는데, 본 음향표지의 예상 전지수명 역시 8월까지이므로, 전지수명이 끝났기 때문으로 판단된다 (Fig.4)

방류전복 WA3의 위치별 탐지율의 변화는 Fig.5와 같다. WA3은 WA1 및 WA2와는 달리 방류 후 방류지점 부근에서 2007년 12월 12일까지

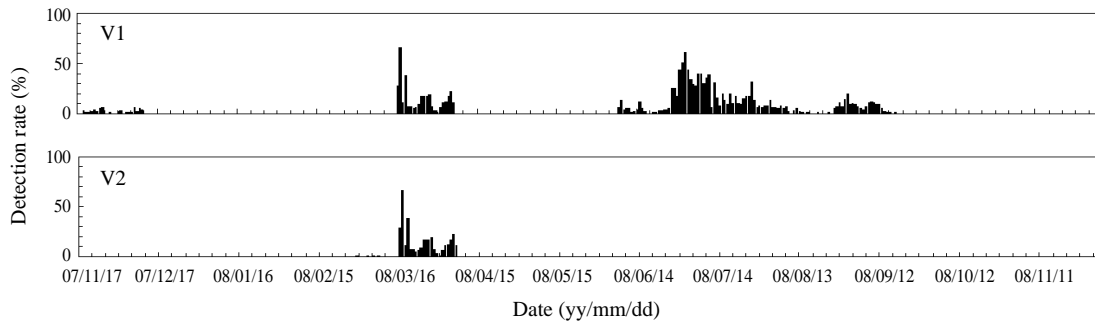


Fig. 3. Detected signal of a tagged wild abalone (WA1) from V1 and V2 receiver.

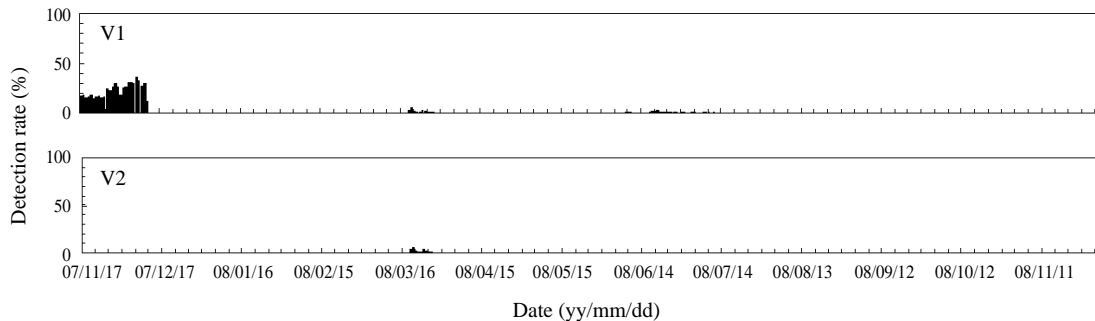


Fig. 4. Detected signal of a tagged wild abalone (WA2) from V1 and V2 receiver.

꾸준히 신호가 탐지되었으나, 이 후 모든 수신기에서 탐지되지 않았다. 방류 직후부터 탐지율이 매우 낮았던 점과 기간이 매우 짧았던 것으로 미루어 보아, V1의 탐지범위를 벗어나는 곳까지 이동했다기 보다는 지형적으로 신호탐지가 불가능한 장소로 이동하였을 가능성이 높을 것으로 판단된다.

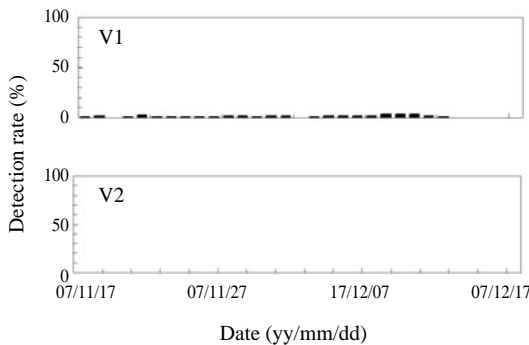
2008년 7월 12일에 방류한 전복 WA4의 위치별 탐지율은 Fig.6과 같다. WA4는 방류 이후 2008년 8월 8일까지 VR2수신기 V1에서 신호가 꾸준히 탐지되었다. 이후 9월 30일까지 하루 수회 정도의 탐지되다가 10월 이후부터 V1과 V2 동시에 탐지되기 시작하여 10월 14일부터는 약 30%의 높은 탐지율을 나타내었으며, 신호재탐지로 부터 수신기를 회수한 12월 3일까지 지속적으로 수신되었다. WA4도 WA1과 같이 시간

이 경과함에 따라 수심이 깊은 V2쪽으로 이동한 것으로 판단된다.

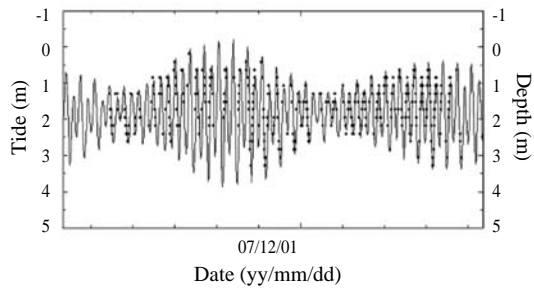
**전복의 이동행동에 따른 심도변화**

음향표지로부터 측정된 전복 WA3의 심도변화와 조위를 비교한 결과는 Fig.7과 같다. WA3의 심도변화는 조위의 변화와 거의 일치하는 것으로 보아, 이 기간 동안 전복은 동일한 수심에서 서식하였던 것으로 판단된다. 그러나, WA4는 신호가 재수신되기 시작하였던 2008년 8월부터는 방류 직후에 비하여 약 1m 이상 더욱 깊은 곳으로 이동한 것으로 나타났으며, 이후 더욱 깊어지는 특성을 보였다 (Fig. 8).

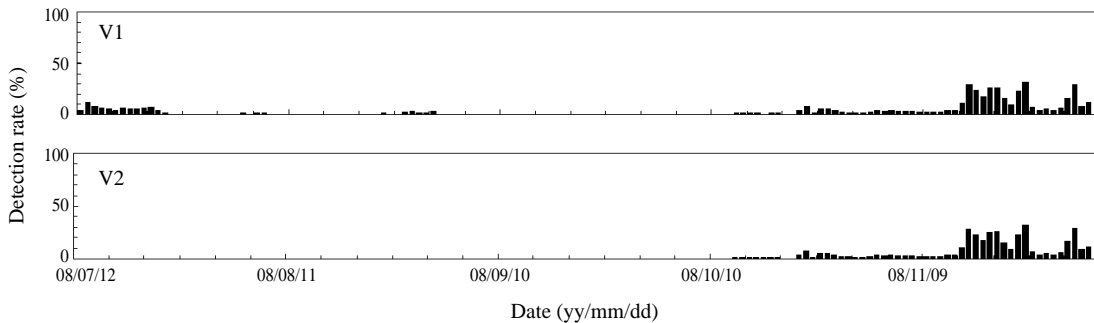
음향표지로부터 WA4의 서식 위치에서의 수온변화는 Fig. 9와 같다. WA3을 방류하였던 10월 27일부터 서식지의 수온은 감소하여, 신호가



**Fig. 5. Detected signal of a tagged wild abalone (WA3) from V1 receiver.**



**Fig. 7. Comparison of tide and inhabitation depth of the acoustic tagged abalone (WA3) from 2007. 11. 17 to 2007. 12. 12. Solid line and Dots indicate tide and inhabitation depth of abalone, respectively.**



**Fig. 6. Detected signal of a tagged wild abalone (WA4) V1 and V2 receiver.**

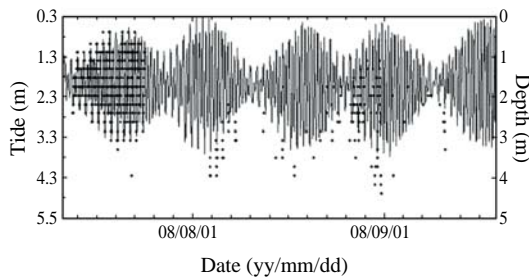


Fig. 8. Comparison of tide and inhabitation depth of the acoustic tagged abalone (WA4) from 2008. 7. 11 to 2008. 9. 12. Solid line and Dots indicate tide and inhabitation depth of abalone, respectively.

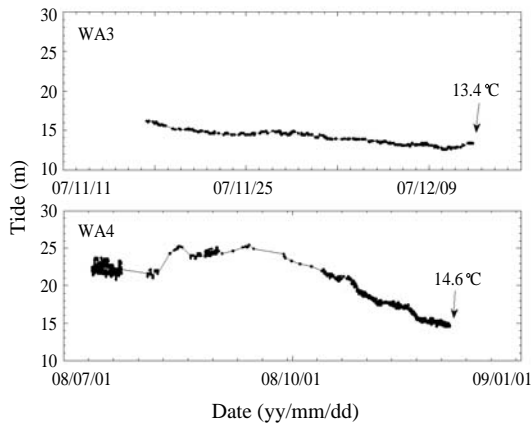


Fig.9. Temperature comparison of acoustic tagged abalones, WA3 and WA4 until disappear in detection range of V1 and V2.

두절된 2007년 12월 12일 (음력 11월 3일)의 수온은 13.4°C였고, WA4는 방류 당시 수온은 약 24°C였으며, 최종 수신된 2008년 12월 3일 (음력 11월 6일)의 수온은 14.6°C였다.

#### 전복의 이동범위

음향표지를 이용하여 4마리의 자연산 전복의 이동을 추적한 결과, 방류한 전복의 대부분은 방류지점으로부터 반경 500m이내의 해역에 체류하는 것으로 나타났다. 그러나, 신호가 두절된 WA3을 제외하면, 모든 전복이 상대적으로 수심이 깊은 V2 방향으로 이동하는 특성을 보였다.

이와 함께 압력센서가 부착된 WA3과 WA4 중에서 WA3은 짧은 기간에 신호가 단절되었기 때문에 관찰되지 않았으나, WA4는 서식 수심의 변화가 명확하게 나타났고, 이후 V2에서 동시에 수신되기 시작하였기 때문에 이러한 결과는 전복의 이동에 따른 것으로 판단된다.

음향표지 전복으로부터의 신호의 탐지율은 굴곡이 많은 주변해저지형의 영향으로 다소 복잡하게 나타났다. 그러나, 높은 탐지율을 기준으로 추측한다면 WA1, WA3, WA4는 방류지점인 V1에서 V2쪽으로 상당히 먼 거리를 이동하였을 가능성이 있다. 그 이유는 신호 탐지율은 전복의 이동과 신호수신에 영향을 미치는 지형적인 특성의 영향으로 나빠질 수 있어 높은 신호의 탐지율이 나타나기 어려우며, 50% 이상의 탐지율을 보인 것은 탐지범위 내에서도 상당히 근접하였다는 것을 의미하기 때문이다 (Hwang and Shin, 2010). 이 실험의 결과로부터 전복의 이동거리를 정량적으로 측정하기는 어려웠으나, V1 지점과 V2 지점에 설치한 수신기의 유효탐지거리를 고려하였을 때, 200 - 400m의 거리를 이동하였을 것으로 판단된다. 이러한 결과는 전복의 겨울철 이동습성과 관련이 있을 것으로 생각되며, 장거리 이동이 예상되는 시기에 3차원 수중위치 측정시스템을 이용하여 추정한다면, 보다 정확한 행동추적이 가능할 것으로 생각된다.

#### 결론

본 연구에서는 우리나라 연안에서 종묘를 살포하여 많은 소득을 올리고 있는 전복의 이동범위 및 행동을 음향 텔레메트리 기법을 이용하여 측정하고 그 이동특성에 대하여 고찰하였다. 음향표지를 이용하여 4마리 (WA1 - WA4)의 자연산 전복의 이동을 추적한 결과, 방류한 전복의 대부분은 방류지점으로부터 반경 500m이내의 해역에 체류하는 것으로 나타났다. 그리고, 신호가 두절된 WA3을 제외하면 모든 전복이 수심이 낮아짐에 따라 상대적으로 수심이 깊은 V2 지점

방향으로 이동하는 특성을 보였다. 전복의 이동 범위는 V1지점 및 V2지점에 설치한 수신기의 유효탐지거리를 고려하였을 때 방류지점 (V1) 으로부터 V2방향으로 200 - 400m정도 이동하였을 것으로 판단된다. 또한, 압력센서를 가진 WA4는 이동에 따른 서식수심의 변화가 명확하게 나타났으며, 수온이 낮아짐에 따라 서식수심이 점차 깊어지는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 전복의 겨울철 이동습성과 관련이 있을 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2007 학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음 (PK - 2007 - 051).

참고문헌

Kang, K.H., C.H. Wi and K.S. Kim, 1996. Effects of stocking and laboratory rearing in abalone, *Haliotis discus hannai* by tagging. *Journal of Aquaculture*, 9 (2), 109 - 115.

Kim, K.S., J.W. Hwang and H.C. Pack, 2006. An analysis on the economic effectiveness of abalone,

*haliotis discus hannai* releasing project in the coastal area near Ulsan city. *J. Fish. Mar. Sci. Edu.*, 18 (3), 261 - 271.

Kim, S.C. and H.O. Shin, 2001. Research on the geographic characteristics of the sea bed and the distribution of artificial reefs in Jaran Bay. *Bull. Kor. Soc. Fish. tech.*, 37 (3), 214 - 222.

Jeong, D.S, C.J. Park and C.Y. Jeon, 2008. Genetic variability and population structure of pacific abalone *haliotis discus hannai* sampled from stocked areas using microsatellite DNA markers. *J. Kor. Fish. Soc.*, 41 (6), 466 - 470.

Hwang, B.K. and H.O. Shin, 2010. Analysis on the detection ability of acoustic telemetry receiver for fish detection by installation depth. *J. Kor. Fish. Aquat. Sci.*, 43 (1), 83 - 88.

Ok, Y.S., J.O. Sung and N.S. Lee, 2008. Recent trend and its prospect in the abalone production. *Maritime Affairs & Fisheries Montly*, 290, 5 - 22.

---

2010년 5월 12일 접수  
 2010년 6월 30일 1차 수정  
 2010년 6월 30일 수리