

수중촬영조사법과 음향자원조사법을 활용한 울주군 연안 소규모 바다목장 해역의 어류 군집 조사

황보규 · 이유원^{1*} · 조현수 · 오정규² · 강명희³

군산대학교 해양생산학과, ^{1*}한국해양수산연수원 교육연구팀, ²한국생태연구원 (주), ³경상대학교 해양경찰시스템학과

Visual census and hydro-acoustic survey of demersal fish aggregations in Ulju small scale marine ranching area (MRA), Korea

Bo-Kyu HWANG, Yoo-Won LEE^{1*}, Hyun-Su JO, Jeong-Kyu OH², Myounghee KANG³

Dept. of Marine Science & Production, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

¹Education and Research Team, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 606-773, Korea

²Korea Ecology Institute Co., Ltd, Gunsan 325-904, Korea

³Dept. of Maritime Police and Production System, The institute of Maritime Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

Visual census and hydro-acoustic survey was carried out at Ulju small scale marine ranching area (MRA) to estimate demersal fish aggregations on September and November 2013. In this hydro-acoustic survey, the authors combined an image sonar with a scientific echo sounder to monitor an underwater situation and compare two acoustic data. Consequently, visual census survey was useful to estimate fish species composition for hydro-acoustic survey, because it is easy to identify aggregated fish species and overcome limits on a fishing depth and ability of a conventional fishing gear like a bottom gill-net or a fish trap at marine ranching area. Mean fish density was estimated as 0.757 g/m² on September and 0.219 g/m² on November and Fish abundance was finally calculated as 1.51ton (coefficient of variation, CV=13.1%) on September and 0.44ton (CV=47.7%) on November, respectively. Hydro-acoustic survey combined with the image sonar was useful to monitor fish aggregations and estimate fish stocks around artificial reefs at shallow coastal MRA. We were able to easily identify the underwater structures like an artificial reef and a fishing rope as well as fish aggregations from image sonar data. Therefore, the method was effective to separate unwanted echo signals in acoustic data of scientific echo sounder.

Keywords: Scientific echo sounder, Abundance estimation, Theoretical model, Image sonar

서론

근래 우리나라 수산업은 해외어장 축소, 연안환경 오

염의 증가, 남획 등으로 인한 어업자원량의 감소로 인하여 수산물 생산량이 지속적으로 감소하고 있고, 이와

*Corresponding author: yoowons@seaman.or.kr, Tel: 82-51-620-5815, Fax: 82-51-620-5853

더불어 수산물 수입 자유화 뿐만 아니라, 일본 방사능 유출에 따른 수산물 소비가 급감하여 수산업 환경은 더욱 악화되고 있는 실정이다. 이에 연근해 어업자원의 효율적인 관리와 연안 어장환경의 정비 및 조성을 통하여 어업 생산력을 증대시켜 믿을 수 있는 국내 수산물의 안정적인 공급을 도모하기 위한 많은 노력들이 이루어지고 있다.

우리나라에서는 수산자원 조성을 위하여 1970년대부터 인공어초 시설 사업 등을 통해 인위적으로 수산 동식물의 서식공간을 조성하여 수산자원량을 증대시키고자 하였으며, 1998년에는 통영해역에 어업형 바다목장 사업을 시작으로, 2001년 이후 여수의 다도해형 바다목장, 울진의 관광형 바다목장, 태안의 갯벌형 바다목장, 제주의 체험관광형 바다목장 사업을 통해 지속 가능한 어업과 수산물의 공급을 도모하고 있다. 또한, 2011년에는 수산자원의 보호와 육성 등 수산자원 관리사업의 전담하는 수산자원관리공단이 설립되어, 바다숲, 바다목장의 조성 및 종묘방류와 같은 사업들이 체계적으로 추진되기에 이르렀다.

인공어초나 바다목장 사업 등을 통한 수산자원의 증대효과를 파악하기 위해서는 어군의 분포나 현존량에 대한 조사가 필수적이다. 우리나라 연안에 조성되고 있는 바다목장의 자원조성 효과는 자망이나 통발을 이용한 시험어획조사나 잠수 및 수중촬영 조사, 과학어군탐지기를 이용한 음향자원조사 등 (Kang et al., 2008; Kim et al., 2011; Lee et al., 2012)이 활용되고 있지만, 이러한 조사기법 중 한가지만 선택하여 수행하는 경우가 많고, 이러한 경우에는 각각의 조사기법이 가지는 한계로 인하여 조사결과의 신뢰도를 보장하기 어려운 경우가 많이 발생하기도 한다. 따라서, 어업자원 조사에서 기존 조사기법들의 복합적 활용뿐만 아니라, 새로운 계측 시스템 및 계측기법을 적용하는 것은 현재 수행되고 있는 어업자원 조사의 문제점을 극복하고, 자원량 추정의 정확도를 더욱 더 향상시키기 위해 꼭 필요한 시도이다.

최근 음향자원 조사법은 시스템과 해석기법의 발전에 힘입어, 다중 주파수 (multi-frequency)나 광대역 (broadband) 음향시스템 및 다중빔 (multi beam) 방식을 채택한 계측기법이 개발됨으로서, 수중생물로부터 기존의 시스템으로는 얻을 수 없었던 다양한 정보를 수집하는 것이 가능하게 되었다. 또한, 수중의 영상을 입체

적으로 취득하는 음향 이미지소너 (acoustic image sonar)가 개발되어 인공어초와 같은 수중 구조물뿐만 아니라 수중생물의 행동을 모니터링하는 데에 활용할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 울산 울주 연안 바다목장 해역에 대하여 총 2회 (9월과 11월)에 걸쳐 다이버를 이용하여 수중촬영조사를 실시하고, 이와 함께 과학어군탐지기에 의한 음향자원조사를 실시하여, 어군의 분포상 및 어류 현존량을 추정하였다. 또한, 최근 개발된 음향 이미지소너의 촬영 영상을 과학어군탐지기의 음향자료와 비교분석하여 그 활용방법에 대해 검토하였다.

재료 및 방법

조사 정선 (Survey line)의 설정 및 현장조사

현장 음향자료 수집은 2013년 9월 28일과 11월 15일에 2차례 조사를 실시하였는데, 현장조사를 위해서 설계한 조사정선은 Fig.1과 같다. 조사 해역은 울주군 서생면 대송리 소규모 바다목장 해역으로 수심은 약 10~30 m정도이고 비교적 좁은 해역이다. 음향조사는 Line transect법을 이용하여 Fig.1과 같이 해안선에 수평방향으로 총 15개의 조사정선을 설계함으로써 세밀한 조사가 가능하도록 하였다. 그러나, 조사해역에는 어선 어업에 종사하는 어업인이 적어 현장조사에서 용선이 가능한 선박이 1톤 미만의 소형 어선이었기 때문에, 강한 조류와 파도에 의해 직선으로 항주하지 못하는 등의 문제가 발생하여 9월 조사에서는 13개의 정선만을 항주하였다.

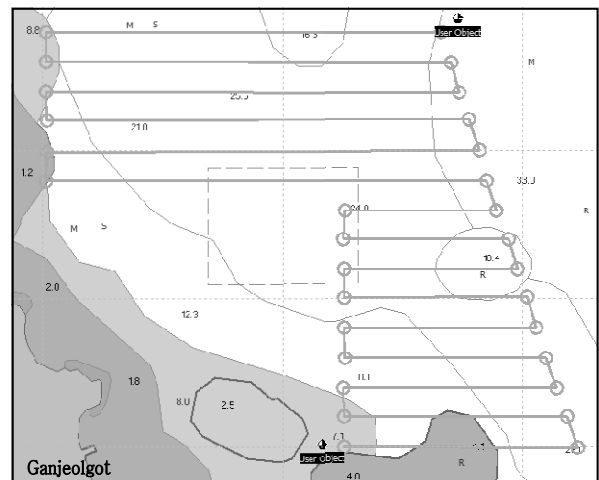


Fig. 1. Design of Survey tracks in Ulju marine ranching area in 2013.

음향 시스템과 자료 처리

바다목장해역 현장조사에는 120kHz 분할빔 과학어군탐지기 (EK60, Simrad, Norway)와 음향카메라 (Blueview P900-45, Teledyne Marine company, USA)를 사용하였다. 과학어군탐지기는 수중에 설치되는 송수파기, 제어부 (GPT), 표시부로 구성된다. 현장조사에서 파도와 선박의 항주에 따른 기포의 영향으로 음향시스템의 잡음이 크게 발생하기도 하므로, 송수파기는 Fig.2와 같이 우현 중앙부 수면으로부터 약 1.3 m아래에 설치하였으며, 선속 약 5 knots의 속도로 조절하면서 조사를 수행하였다. 음향 자료 수신을 위한 음파의 송파간격 (Transmitting interval)는 최대한 짧게 설정하여, 세세한 어군탐지가 가능하게 하였으며, 펄스폭 (Pulse length)을 0.512 msec로 설정하여 어류의 음향신호 탐지가 용이하도록 하였다. 그리고, 선박의 위치, 즉 송수파기의 위치정보는 DGPS를 음향시스템 내부에 동시에 기록하여, 음향신호분석시의 공간적인 위치를 확인하였다.

한편, 음향 카메라는 화상취득방법의 특성을 고려하여 선수 향하게 한 다음 수면 하 약 30° 아래로 경사각을 가지게 설치하였다. 따라서, 음향카메라가 먼저 선

수쪽 전방의 표적을 탐지하고, 이 표적이 과학어군탐지기에 탐지되어 기록될 수 있도록 설치하였다.

인공어초에 유집된 어군의 분포특성은 과학어군탐지기로부터 출력되는 체적산란강도 (volume scattering strength, Sv) 자료를 이용하여 분석하였으며, 모든 음향 자료에서 어초 및 기포 등에 의한 잡음을 제거하고, 에코그램에서 해저면과 수면까지의 전체 수층에 대하여 음향 자료를 추출하여 분석에 이용하였다. 그리고, 수집된 음향자료를 0.1 n.mile의 EDSU (elementary distance sampling unit) 간격으로 추출된 NASC (Nautical Area scattering coefficient) 값을 이용하여 어군의 공간 분포특성을 파악하는데 사용하였다.

음향산란 이론모델을 이용한 우점어류의 음향산란특성의 추정

현장에서 수집한 음향자료인 체적산란강도를 이용하여 추출한 NASC 값을 어업자원의 밀도 (n/m^2)로 환산하기 위해서는 대상 어종의 음향반사강도 (Target Strength, TS) 값을 추정할 필요가 있는데, TS는 조사해역에서 측정한 음향조사 자료를 대상생물의 분포밀도

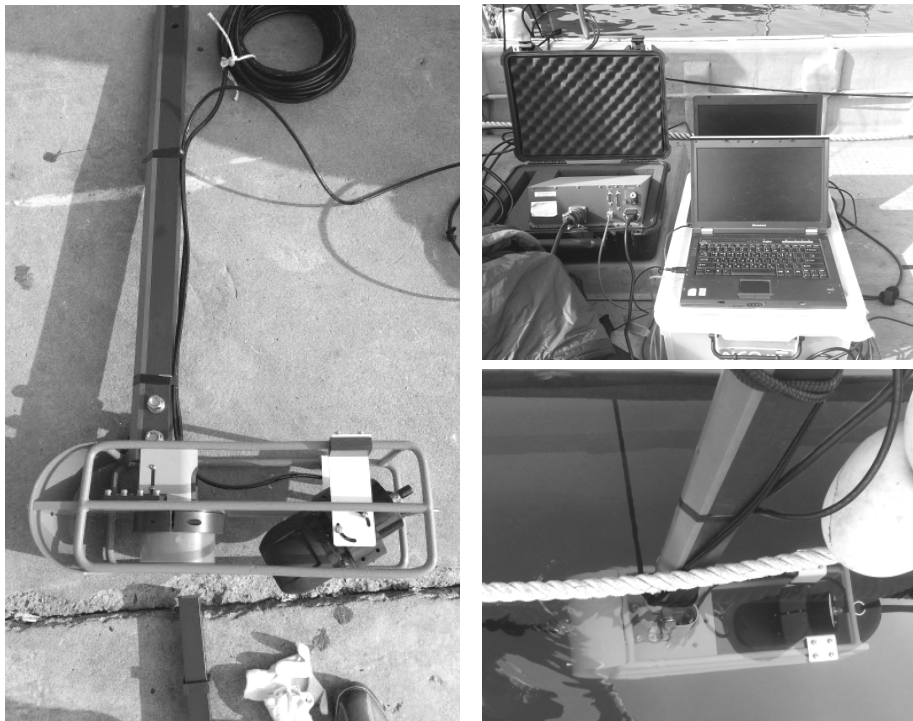


Fig. 2. Installation of scientific echo sounder (EK60, Simrad, Norway) and acoustic image sonar (Blueview P900-45, USA)

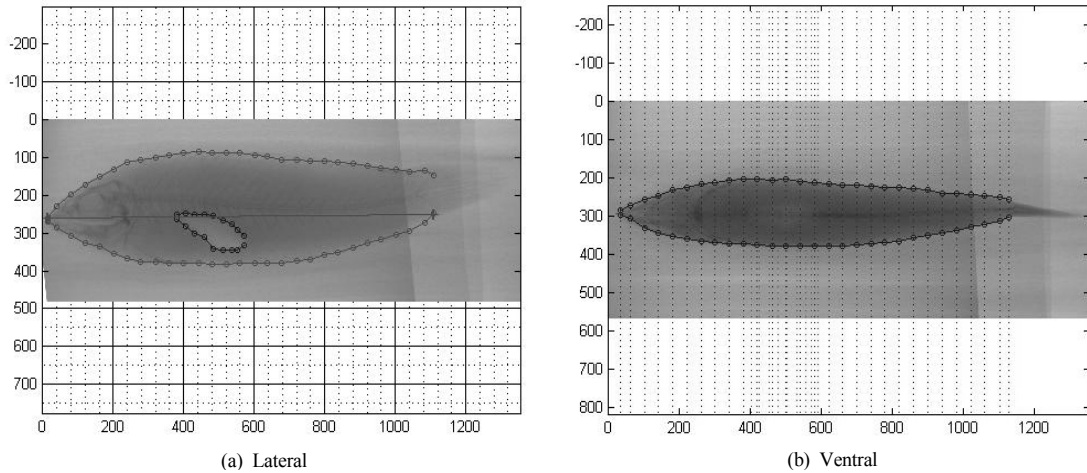


Fig. 3. Extracted shape of fish body and swim-bladder from x-ray photo.

로 변환하는데 필요한 가장 중요한 파라미터이다. 최근 까지도 우리나라 연안의 서식하는 여러 어종들에 대하여 음향산란특성을 규명하기 위한 많은 연구가 수행되었으나 (Lee, 2005, 2010; Lee and Shin, 2005), 수많은 어종들에 대하여 살아있는 생물샘플의 수집이 어렵고, 실측에는 많은 시간이 소요되기 때문에 아직까지 그 특성이 규명되지 못한 많은 어종들이 남아있다. 정확도 높은 어업자원조사를 수행하기 위하여 대상생물의 음향산란특성은 실측을 통하여 규명되어야 하지만, 대상 어종의 음향산란특성자료가 없을 때는 음향산란의 이론모델을 이용한 추정법을 활용할 수 있다 (Gauthier and Horne, 2004; Lee et al., 2010; Hwang et al., 2012).

현재 어류의 음향산란의 검토에 가장 넓게 활용되고 있는 모델은 Kirchhoff-ray mode model (Clay and Horne, 1994, 이하 KRM모델)로 다양한 어종의 음향산란특성 검토에 활용되어 왔는데, KRM모델은 어류의 체형과 부레를 잘게 절단된 원통으로 근사하고, 이들과 각 체적요소로부터 음향산란성분의 합을 구하여 음향산란을 추정한다.

시험어획조사 및 수중촬영조사 결과, 바다목장 해역의 우점종을 확인하고, 그 어종에 대하여 음향산란특성을 추정하였다. 체형 및 부레 형상의 추출을 위하여, 활어 샘플을 급속냉동법을 이용하여 냉동시켜 실험실에서 측면과 배면의 x-ray 촬영을 실시한 다음, x-ray 화상을 디지털화하여, 3차원 물리 모델을 구현하였다 (Fig.3).

결과 및 고찰

바다목장 해역 어류의 공간적 군집특성

울주군 바다목장해역에서 9월 28일에 실시한 현장음향조사에서 얻은 어군의 공간분포를 Fig. 4에 나타내었다. 9월 조사를 보면, 간절곶 위쪽 육지쪽으로 만 형상을 이루는 해역에서 강한 어군 신호가 탐지되었고, 이외에는 외해의 수심이 깊은 쪽에서 어군신호가 탐지되는 특징을 보였다. 육지쪽에 강한 어군신호를 나타낸 해역은 양식장이 설치되어 있는 곳으로 먹이생물이 풍부하여 어류의 군집과 체류가 있는 것으로 판단된다. 그리고, 외해쪽에 강한 어군신호를 나타내는 해역은 팔각반구형 대형강제어초가 부설되어 있는 해역으로 이 해역 부근의 신호는 인공어초 부설에 따른 것으로 판단된다.

9월 현장조사로서 얻은 울주군 바다목장 해역의 면적산란계수 (NASC)값은 $10 \text{ m}^2/\text{n.mile}^2$ 이하가 4.1%, $10\sim50 \text{ m}^2/\text{n.mile}^2$ 이 27.4%, $50\sim100 \text{ m}^2/\text{n.mile}^2$ 이 41.1%, $100\sim500 \text{ m}^2/\text{n.mile}^2$ 이 26.0%이었고, $500 \text{ m}^2/\text{n.mile}^2$ 이상의 높은 값은 약 1.4%를 차지하여, $100 \text{ m}^2/\text{n.mile}^2$ 이상의 높은 값을 보이는 지점이 많았다.

11월 15일에 실시한 현장음향조사에서 얻은 어군의 공간적 분포를 Fig. 5에 나타내었다. 11월 조사에서도 9월 조사와 같이 양식장 부근에서는 강한 어군신호를 나타내었으나, 외해의 인공어초 부설지점 뿐만 아니라 이외의 해역에서는 강한 어군신호가 나타나지 않았다. 11월 조사에서 어군신호의 탐지가 적은 것은 겨울철 수온

이 낮아짐에 따라, 어류가 저층바닥에 체류하며 운동을 하지 않거나, 다른 해역의 월동장 등으로 이동하였기 때문으로 판단된다.

11월 현장조사로서 얻은 울주군 바다목장 해역의 면적산란계수 (NASC)값은 10 m²/n.mile² 이하가 50.0%, 10~50 m²/n.mile²이 40.5%로 50 m²/n.mile² 이하의 값이 대부분을 차지하였고, 50~100 m²/n.mile²이 6.8%, 100~500 m²/n.mile²이 1.4%이었고, 500 m²/n.mile² 이상의 높은 값은 약 1.4%를 차지하였다.

수중촬영조사 및 자망과 통발을 이용한 시험어획조사 결과 바다목장해역 두 정점에서 2013년 9월과 11월에 실시한 수중촬영조사로 얻은 어종별 출현 개체수를 Table 1에 나타내었다.

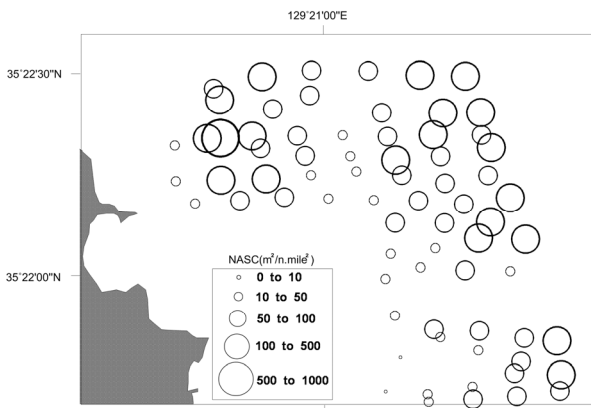


Fig. 4. Spatial distribution of demersal fish at Ulju marine ranching area (2013-09-28).

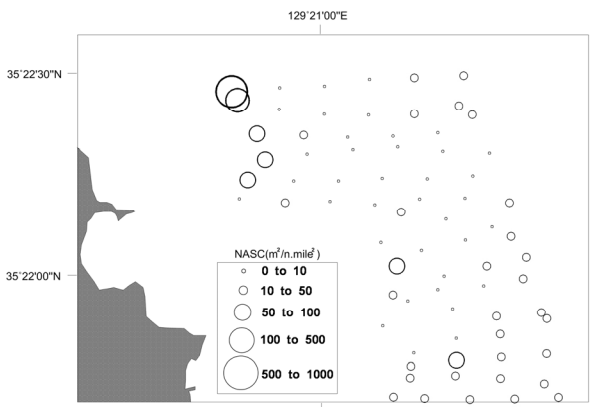


Fig. 5. Spatial distribution of demersal fish at Ulju marine ranching area (2013-11-15).

Table 1. Appeared number of species obtained by visual census survey

Species	2013-09-28		2013-11-15	
	station1	station2	station1	station2
<i>Sebastes inermis</i>	30	33	33	18
<i>Sebastes joyneri</i>			1	
<i>Sebastes longispinis</i>		1		
<i>Sebastes schlegelii</i>	1	1		4
<i>Hexagrammos agrammus</i>	2	3	1	
<i>Hexagrammos otakii</i>	9	3	8	2
<i>Pseudoblennius spercooides</i>	1	2	1	1
<i>Microcanthus strigatus</i>			51	12
<i>Epinephelus septemfasciatus</i>	1	4		
<i>Epinephelus bruneus</i>		1		
<i>Apogon semilineatus</i>		3050		
<i>Apogon doederleini</i>		3		
<i>Trachurus japonicus</i>	3	9		
<i>Girella punctata</i>	6	15		
<i>Microcanthus strigatus</i>	31	22		
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	4	7	1	
<i>Oplegnathus punctatus</i>		2		
<i>Goniistius zonatus</i>	3	4		
<i>Ditrema temminckii</i>	8	49	10	3
<i>Neoditrema ransonnetii</i>	436	268		
<i>Chromis notata</i>	567	771	41	
<i>Pomacentrus coelestis</i>		2		
<i>Halichoeres poecilepterus</i>	153	312	127	18
<i>Halichoeres tenuispinis</i>	41	161	22	11
<i>Pseudolabrus sieboldi</i>	6	7	3	2
<i>Pteragogus flagellifer</i>	1			1
<i>Semicossyphus reticulatus</i>	11	20	3	1
<i>Siganus fuscescens</i>			12	
<i>Petrosciartes breviceps</i>		4		
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	5	1		
<i>Thamnaconus modestus</i>		3		
<i>Rudarius ercodes</i>		1		
<i>Ostracion immaculatus</i>		5	1	1
Undefined juvenile			300	

9월 조사에서 출현한 어류는 총 30종으로 정점 1에서 출현한 어종수는 총 20종이 확인되어 북쪽의 어초에서 출현종수가 더 많았다. 가장 많이 출현량을 보인 종은 줄도화돔 (*Apogon semilineatus*)으로 전체 출현 개체수의 약 50%를 차지 하였으나, 정점 1에서만 출현하였다. 다음으로 출현 개체수가 많았던 종은 자리돔 (*Chromis notata*)으로 2개의 정점에서 각각 567개체, 771개체가 있었고, 세 번째는 평균 352개체가 확인된 인상어 (*Neoditrema ransonnetii*), 다음으로는 평균 232.5개체가 확인된 용치놀래기 (*Halichoeres poecilepterus*)였다.

그러나, 11월 조사에서 출현한 어류는 총 18종으로 수온이 높았던 9월 조사에 비해 급격히 감소하였으며, 정점 1에서 615개체, 정점 2에서 74개체를 확인하였는데, 이 중에서 종을 판별할 수 치어 무리를 제외하면, 용치놀래기가 가장 많이 발견되었다. 2회의 수중촬영조사의 결과로 볼 때 대체로 어초주변에는 연안 정착성 어류인 볼락류, 돛류, 놀래기류가 높은 밀도로 서식하는 것으로 추정되었으며, 이 중에서도 조사 정점 및 시기와 관계 없이 비교적 고른 출현율을 보인 우점종은 용치놀래기로 확인되었다.

우점종의 체장-체중 관계 및 음향반사강도의 체장 의존성

수중촬영조사 결과에서 울주 바다목장 해역의 지속적이고 고른 출현율을 보인 우점종인 용치놀래기였기 때문에, 이 어종에 대한 음향특성을 적용하여 음향자료를 해석하기 위해서 필요한 파라미터를 추정하였다. 용치놀래기 샘플은 9월에 바다목장 인근 정치망에서 확보한 샘플 59마리의 체장 및 체중을 측정하여 추정하였다.

음향자료로부터 현존량 (ton)을 산출하기 위해 추정한 용치놀래기의 체장-체중 관계는 Fig.6에 나타내었다. Fig.6에서 TL (total length) 및 W (weight)는 각각 용치놀래기의 체장과 체중을 나타낸다. 용치놀래기의 체장-체중 관계식은 $W = 0.0232 TL^{2.2817}$ ($R^2=0.9374$)로 추정되었으며, 평균 음향반사강도 산출을 위해 추정한 용치놀래기의 체장빈도분포는 Fig.7과 같다.

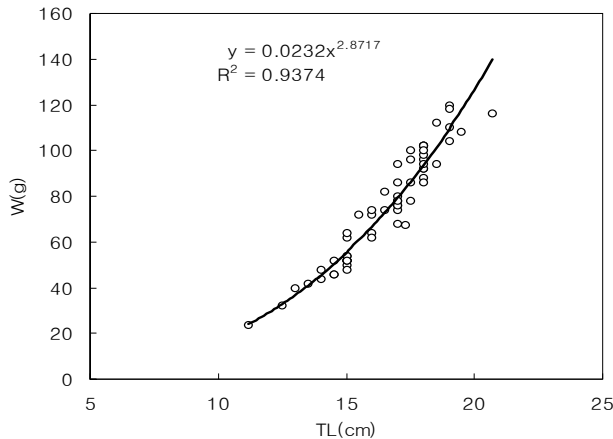


Fig. 6. Relationship between total length (TL) and body weight (BW) of multicolorfin rainbowfish (*Halichoeres poecilepterus*) at Ulju marine ranching area on September 2013.

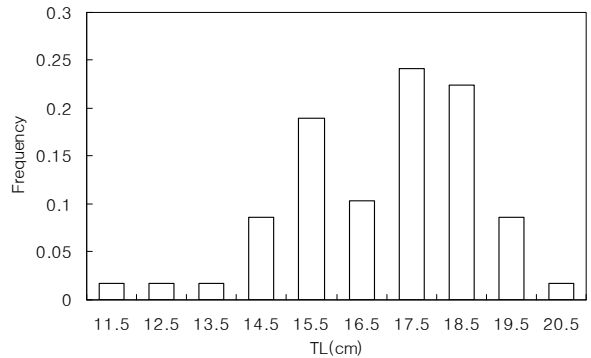


Fig. 7. TL frequency of *Halichoeres poecilepterus* at Ulju marine ranching area on September 2013.

Lee et al. (2010)은 참돔, 황놀래기, 호박돔 등의 제주도 연안 주요 정착성 어종들에 대하여 음향산란모델을 이용하여 120 kHz에 대한 TS_{cm} 값을 추정하고 검토한 결과, 그 범위는 $-69.3 \sim -75.1$ dB로 나타났다. 6마리의 냉동 샘플로 구현한 용치놀래기의 물리모델과 이를 이용하여 추정한 주파수 120 kHz에 대한 음향산란특성을 Table 2와 Fig.8에 나타내었다. 샘플의 체장은 16.5 ~ 20 cm이었고, 추정한 음향산란패턴은 생물개체의 체형과 부레의 차이로 인하여, 다소 차이를 보이고 있으나, 자세각 변동을 확률밀도함수 ($-5, \pm 15$)로 가정하여 구한 기준화 TS인 TS_{cm} 값은 유사하였으며, 샘플들 사이의 변동은 120 kHz에서 0.9 dB로 매우 작았다. 6개 샘플에 대한 TS_{cm} 의 평균값은 120 kHz에서 -71.3 dB로 추정됨으로서, 문헌의 보고와 유사함을 확인하였다.

이상의 결과로부터 추정한 주파수 120 kHz에 대한 용치놀래기의 평균 TS와 체장함수는 아래 같이 추정되었으며, 본 용역조사에서 어류 현존량 추정은 120 kHz에 대한 용치놀래기의 평균 TS 체장 함수식을 이용하였다.

$$\langle TS_{120kHz} \rangle = 20\log(TL) - 71.3$$

바다목장 해역의 어류 현존량 추정

앞에서 구한 용치놀래기 샘플의 체장 - 체중 관계식 및 체장분포, 평균 TS와 체장 함수를 이용한 음향변환계수 (conversion factor)와 음향 조사를 통해 얻은 NASC 값으로부터 어류 밀도를 계산한 후, 조사면적 (2 km²)에 대하여 환산한 울주군 바다목장해역의 현존량 추정 결과를 Table 3에 나타내었다. 음향적으로 추정

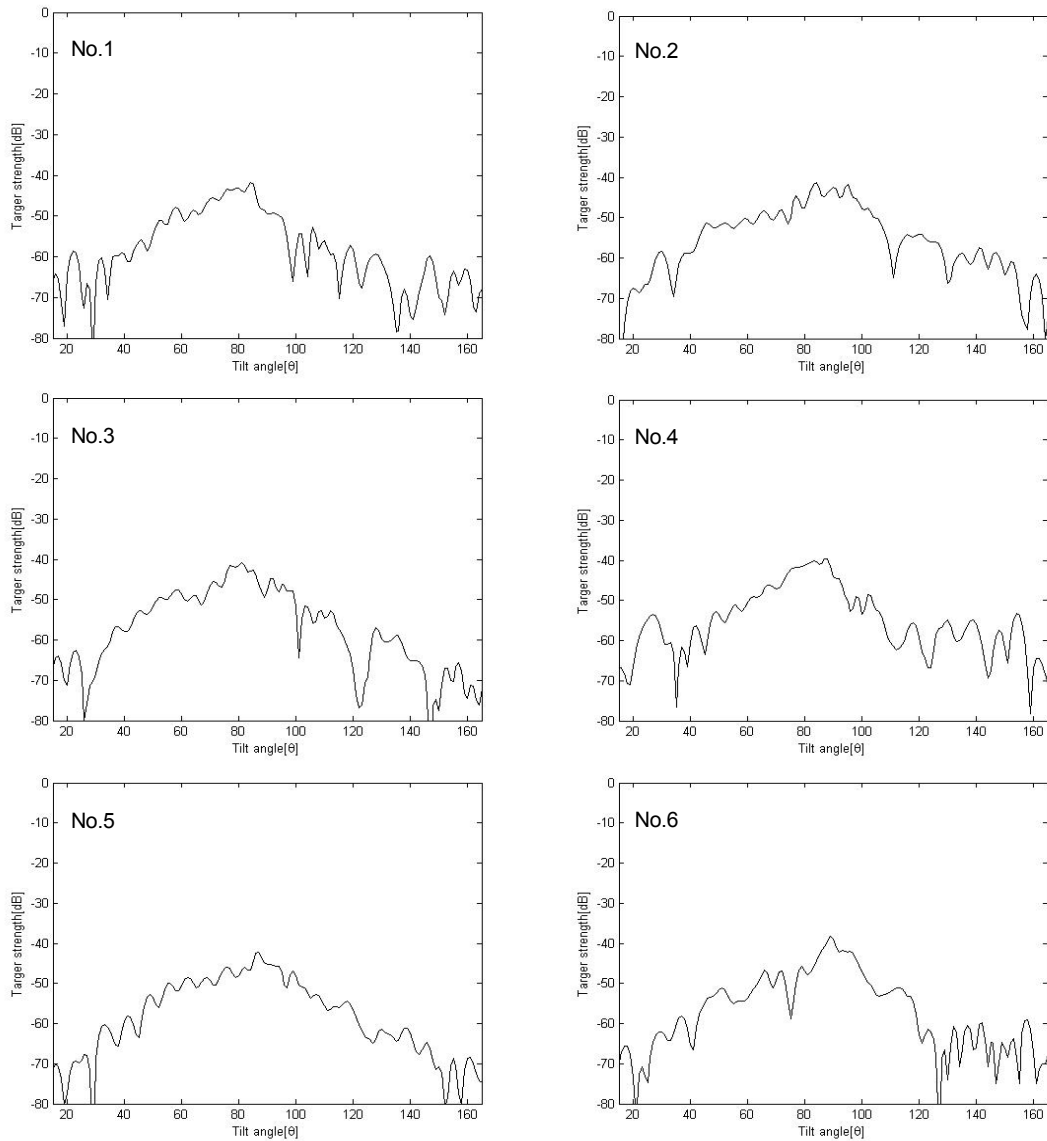


Fig. 8. Estimated acoustic scattering pattern of *Halichoeres poecilepterus* for 120 kHz (Nos 1-6 refer to Table 2).

Table 2. TS and TScm estimated with Theoretical acoustic scattering model

No.	TL (cm)	20log (TL)	Averaged TS*		TScm
			120 kHz		120 kHz
1	18.5	25.3	-47.1	-72.4	
2	19.0	25.6	-45.9	-71.4	
3	16.5	24.3	-47.6	-71.9	
4	19.2	25.7	-46.0	-71.7	
5	19.2	25.7	-44.2	-69.9	
6	20.0	26.0	-44.9	-70.9	
Average					-71.3
S.D.					0.9

*for fish swimming angle distribution with Probability Density Function (-5, ±15)

울진 시범바다목장 해역의 어류의 평균밀도는 9월이 0.757 g/m²이었고, 11월은 0.219 g/m²이었으며, 평균밀도로 부터 추정된 9월 어류 현존량은 약 1.51톤 (coefficient of variation, CV=13.1%)로 추정되었고, 11월의 어류현존량은 이보다 낮은 약 0.44톤 (CV=47.7%)로 추정되었다.

겨울철의 어군밀도는 다른 계절에 비해 상대적으로 낮은 값을 보이는 것은 일반적이다. 연안의 소규모 어업자들은 수온이 떨어진 겨울철에는 추운날씨로 조업 여건이 나쁘고, 어획량도 적기 때문에 일반적으로 출어

를 하지 않는 경우가 많다. 또한, 겨울철의 어군밀도가 낮게 나타나는 것은 어군의 행동습성 및 회유 이동과 관련할 가능성이 있다. 겨울철에는 어류의 움직임이 적어져 바닥 또는 암반 사이에서 활동하지 않고 체류하거나, 겨울철 수온이 낮아짐에 따라 월동장으로 이동하는 등의 회유를 함으로써, 어류 현존량의 낮아질 수 있다. 이와 같이 본 조사에서는 11월 어군분포밀도는 9월에 비해 낮은 수준으로 추정되었으나, 서식 어종의 행동습성 및 이동 등에 대한 생태적인 자료와 조사 시기와의 등의 관계를 파악하는 것도 필요하다고 판단된다.

실제 음향조사에서 기상 조건, 조사선의 상태, 어구의 부설, 지형적인 조건 등으로 인하여, 지리적 또는 시간적으로 많은 제약이 따른다. 뿐만 아니라, 시기적으로 바다목장해역으로 내유하는 회유성 어군들에 의해 바다목장해역의 어류 현존량의 변동이 크게 나타나는 경우도 있으므로, 효과적이고 정확도 높은 조사를 위해서는 대상어종의 생태적 특성과 음향산란특성을 정확하게 구명하고, 이를 바탕으로 정기적이고 체계적인 조사를 수행해야 할 것으로 판단되며, 이러한 체계적인 조사가 지속적으로 이루어진다면, 보다 정확도 높은 현존량의 추정과 함께 시범바다목장해역의 자원량 추이에 대한 정확도 높은 추정이 가능할 것으로 판단된다.

음향카메라의 화상과 어군탐지기 음향신호의 비교

2013년 9월 28일에 음향카메라에 탐지된 개체어의 화상을 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에 나타낸 A는 바다목장해역에 부설된 십자형 어초의 화상으로, 십자형 어초의 부설상태를 화상의 형태로 확인할 수 있었고, 시스템에 탑재된 기능으로 추정된 십자형 어초의 폭은 실제 어초 크기와 동일한 약 3 m로 나타나, 어초와 같은 수중 구조물의 부설상태와 크기를 추정하는 데에 매우 유용함을 알 수 있었다. 그리고, 그 위로 보이는 B는 어군 군집에 의한 화상으로, 어초 주변에 밀집된 어군을 확인하는 데에도 유용하였다. 한편, 이 시스템에서 시험적으로 추정된 개체어들의 체장은 유의한 값을 보이지 않았는데, 그 이유는 음향빔의 공간적 분해능력이 거리가 멀어질수록 떨어지기 때문으로 생각된다. 따라서 원 거리에 대하여 수중생물의 크기를 추정하는 데에는 활용하기 힘든 것으로 판단되며, 음향카메라를 이용하여 개체어의 체장 추정이나 행동 분석을 위해서는 탐지범위를 근거리로 한정하여 수행해야 할 것으로 판단된다.

11월 조사에서는 대부분의 해역에서 강한 어군의 신호가 탐지되지 않았으나, 양식장 부근에서는 강한 어군 신호가 탐지 되었는데, 이 지점에서 탐지된 어군의 화상과 에코그램을 Fig.10에 나타내었다. Fig 상부의 음향 카메라 화상에서 원으로 표시한 것이 어군이고, 어군 아래에 나타난 것은 양식장 구조물을 나타낸다. 양식장 구조물 부근에는 어군이 밀집되어 분포하였는데, 음향 카메라에서는 45°의 넓은 탐지범위로 주변의 어류의 탐지가 용이하였으며, 높은 공간적 분해능으로 어군의 신호는 개체어 형태로 수집된 것을 알 수 있다. 그러나, 이 어군은 상대적으로 좁은 빔폭(약 7°)을 가진 과학어군탐지기 에코그램에서는 일부 만이 탐지된 것으로 판단된다. 또한, 음향카메라의 화상에서 확인되는 양식장 수중 구조물 (a)는 에코그램을 통해서도 어군인지 수중 구조물인지를 확인하는 것이 불가능하였다.

Table 3. Fish abundance estimation in Ulju small scale marine ranching area estimated by hydro-acoustic survey

Transect No.	2013-09-28		2013-11-15	
	n_i^*	NASC**	n_i^*	NASC**
1	7	113.7	6	134.2
2	5	104.9	6	12.7
3	8	126.7	6	23.1
4	7	152.0	6	16.2
5	8	80.1	6	15.0
6	8	62.6	7	9.6
7	3	74.4	3	14.4
8	4	117.4	4	8.7
9	4	47.5	4	29.1
10	5	75.9	4	9.8
11	4	30.6	5	9.7
12	5	54.5	4	11.7
13	5	54.0	4	32.4
14	-	-	4	21.8
15	-	-	5	15.5
$\sum n_i$		73	74	
Weighted mean NASC		8.86	2.57	
Conversion factor		0.086	0.086	
ρ^{***} (g/m ³)		0.757	0.219	
Survey area (km ²)		2	2	
Biomass (ton)		1.51	0.44	
Coefficient of variation (%)		13.1%	37.8%	

* number of 0.1n.mile averaging intervals on the ith transect
 ** mean backscattering area per 0.1n.mile²
 *** mean biomass

음향카메라를 이용하여 어군을 탐지할 경우, 수중의 형상을 실물 화상 형태로 보여줄 뿐만 아니라 높은 공간분해능을 가지기 때문에, 과학어군탐지기와 동시에 운용할 경우 어군탐지기에서 표시되는 에코그램으로 판독하기 힘든 수중 물체 및 수중 구조물을 동시에 확인하여 해저형상이나 어군으로 오인하기 쉬운 대상을 확인하기에 유용할 것으로 생각된다. 또한, 어초의 부설상태나 어초와 관련한 유집상태를 동시에 파악할 수 있기 때문에 앞으로 음향카메라의 특성에 맞는 Survey 방식의 설정으로 조사 기법을 개선한다면, 음향카메라를 이용하여 다양한 정보를 수집할 수 있을 뿐만 아니라 정량적인 조사도 가능할 것으로 판단된다.

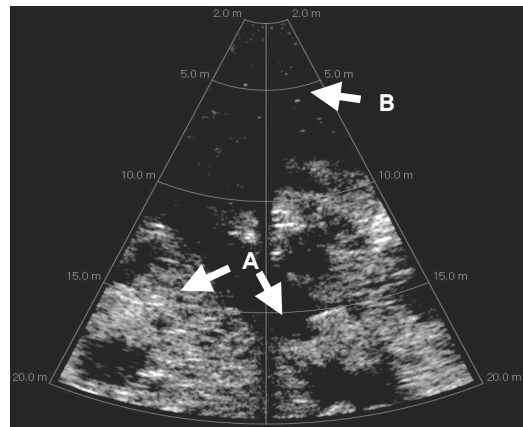


Fig. 9. Image of artificial reefs and individual fishes detected by acoustic imaging sonar on September 2013.

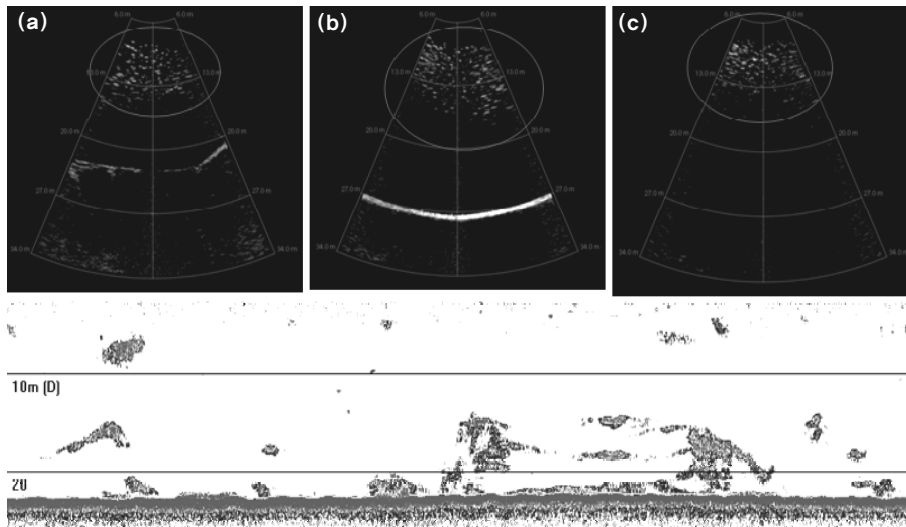


Fig. 10. Comparison of echo sounder echogram and images of acoustic image sonar on November 2013.

결론

울산 울주 연안 바다목장 해역에 대하여 총 2회 (9월과 11월)에 걸쳐, 다이버를 이용할 수중촬영조사를 실시하고, 이와 함께 과학어군탐지기에 의한 음향자원조사를 실시하여, 바다목장 해역의 어군의 분포상 및 어류 현존량을 추정하였다. 이와 함께, 최근 개발된 음향 이미지 소너의 촬영 영상을 과학어군탐지기의 음향자료와 비교분석하여 그 활용방법에 대해 검토하였다.

다이버에 의한 수중촬영조사는 시험어획조사에 활용되는 자망과 통발 등의 어구의 어획수심의 제한 및 어획능력의 한계를 극복하여, 어초주변에 군집된 어군이나 어종의 분포를 보다 정확하게 추정할 수 있었으며,

또한 화상분석을 통하여 얻은 어종구성 자료를 과학어군탐지기의 음향자료를 해석하는데에 적용함으로써, 수심이 얇은 연안의 바다목장 해역의 어류 현존량 추정에 활용이 가능하였다. 최종적으로 수중촬영조사와 음향자원조사의 복합으로 추정한 울진바다목장의 어류 평균밀도는 9월이 0.757 g/m^2 이었고, 11월은 0.219 g/m^2 이었으며, 평균밀도로 부터 추정한 9월 어류 현존량은 약 1.51톤 (CV=13.1%)로 추정되었고, 11월의 어류현존량은 이보다 낮은 약 0.44톤 (CV=47.7%)로 추정되었다.

최근 개발된 음향카메라는 2차원 에코그램에서 확인하기 힘든 수중 구조물이나 물체의 형상을 화상으로 확

인할 수 있었으며, 이를 통하여 연안 조사에서 흔히 발견될 수 있는 수중 구조물, 어구, 로프와 같은 물체로부터의 발생될 수 있는 잡음의 영향을 효과적으로 분리하는 데에 유용함을 확인하였다. 앞으로 각 조사 시스템의 적절한 배치와 조사기법의 고안을 통하여 연안 바다목장 인공어초 및 어류 군집조사에 보다 유용한 정보를 수집하는 데에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Clay CS and Horne JK. 1994. Acoustic models of fish: The Atlantic cod (*Gadus morhua*). *J Acoust Soc Am* 96 (3), 1661-1668. (DOI: 10.1121/1.410245)
- Gauthier S and Horne JK. 2004. Acoustic characteristics of forage fish species in the gulf of Alaska and bering sea based on Kirchoff-approximation models. *Can J Aquat Sci* 61, 1839-1850. (DOI: 10.1139/f04-117)
- Hwang KS, Lee KH and Hwang BK. 2012. Verification and application of Target Strength for Japanese anchovy (*Engraulis japonicas*) by theoretical acoustic scattering model. *J Kor Soc Fish Tech* 48(4), 487-494. (DOI: 10.3796/KSFT.2012.48.4.487)
- Kang DH, Im YJ, Lee CW, Yoo JT and Myoung JG. 2008. Hydroacoustic Survey of Spatio-Temporal Distribution of Demersal Fish Aggregation Near the West Coast of Jeju Island, Korea. *Ocean and Polar Res* 30(2), 181-191. (DOI: 10.4217/OPR.2008.30.2.181)
- 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(2), 139-145. (DOI: 10.3796/KSFT.2011.47.2.139)
- Lee JB, Oh TY, Yeon IJ, Kim BY, Shin HO, Hwang BK, Lee KH and Lee YW. 2012. Estimation of demersal fish biomass using hydroacoustic and catch data in the marine ranching area (MRA) of Jeju. *J Kor Soc Fish Tech* 48(2), 128-136. (DOI: 10.3796/KSFT.2012.48.2.128)
- Lee DJ. 2005. Fish length dependence of acoustic target strength for 12 dominant fish species caught in the Korean waters at 75 kHz. *J Kor Soc Fish Tech* 41(4), 296-305.
- Lee DJ. 2010. Fish length dependence of target strength for striped beakperch, bluefin searobin and konoshiro gizzard shad caught in the artificial reef ground of Yongho Man, Busan. *J Kor Soc Fish Tech* 46(3), 239-247. (DOI: 10.3796/KSFT.2010.46.3.239)
- Lee DJ and Shin HI. 2005. Construction of a Data Bank for Acoustic Target Strength with Fish Species, Length and Acoustic Frequency for Measuring Fish Size Distribution. *J Kor Fish Soc* 38(4), 265-275.
- 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(2), 157-163. (DOI:10.3796/KSFT.2010.46.2.157)

2014. 8.27 Received
 2014. 11.14 1st Revised
 2015. 2.10 2nd Revised
 2015. 2.11 Accepted