

Pop-up식 전자태그와 재래식 태그로 알게된 한국 남해동부해역 대구 *Gadus macrocephalus*의 이동

이정훈* · 김정년¹ · 이재봉² · 최정화 · 문성용 · 박준수 · 김두남²

국립수산과학원 남동해수산연구소, ¹국립수산과학원 서해수산연구소, ²국립수산과학원 원양자원과

Movement of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in the Korean Southeast Sea, ascertained through pop-up archival tags and conventional tags

Jeong-Hoon LEE*, Jung Nyun KIM¹, Jae-Bong LEE², Jung Hwa CHOI, Seong Yong MOON,
Junsu PARK, Doo Nam KIM²

Southeast Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Korea

¹West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Korea

²Distant Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

To estimate the movement of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in the Korean Southeast Sea, three type tags were used. A total of 97 Pacific cod were tagged and released with either archival tags or conventional tags. Of these releases, commercial fishermen recovered thirteen conventional tags, and five of seven pop-up tags transmitted data to Argos satellites. Pacific cod began to move towards East Sea after release, and they spent most of their time at depths of 100 to 300m, water temperatures of 0.8 to 14.0°C. However, geographical ranges of their movement limited to area around the southern East Sea. Pacific cod attached conventional tag were recaptured near the release site(Jinhae Bay: main spawning ground) about one or two year after release. Data obtained from tagging investigations suggest that they migrated annually from spawning ground to habitat of the Korean Southeast Sea.

Keywords: Pacific cod, Movement, Pop-up archival tag, Convention tag

서론

대구(*Gadus macrocephalus*)는 우리나라 주변해역에 출현하는 대구과 어류의 한 종으로, 우리나라 동해, 서해, 일본 북부, 동중국해, 배링해 등 수온 5~15°C, 수심 45~450 m의 비교적 깊은 바다에서 무리를 지어 서식하는 냉수성 어류로, 우리나라뿐만 아니라 태평양 연안국

인 미국, 일본, 러시아 등에서 중요한 상업성 어종으로 알려져 있다 (NFRDI, 2004; Kim et al. 2005).

우리나라 대구의 어획량은 1990년대 후반까지는 낮은 수준을 보였으나, 2000년대부터 증가하기 시작하여 2014년에는 1940년대 어획량 이후 처음으로 1만톤을 상회하였다. 하지만 해역별로 서해에서 어획되는 대구

*Corresponding author: jhoonlee@Korea.kr, Tel: 82-55-640-4723, Fax: 82-55-641-2036

의 어획량은 증가한 반면, 동해에서 어획되는 대구는 감소하는 추세가 이어지고 있다 (MOF, 2014).

국내에서는 대구 자원의 지속적 이용을 위해 포획금지기간 및 포획금지체장을 설정하여 법적으로 관리하고 있으나, 계군별 (서해계군, 동해계군) 생태학적 특성이 상이하어 현재로서는 효과적인 자원관리가 어렵고, 또한 계군 구분에 대한 연구결과도 상이하어 (Gwak and Nakayama, 2011, Seo et al., 2010, Kim et al., 2010), 무엇보다 효과적인 자원관리를 위해서는 계군구분이 명확히 이루어져야 할 필요가 있다.

계군구분에는 유전자분석을 이용하는 방법, 태그를 이용하여 이동범위를 추정하는 방법 등이 주로 이용되고 있으며, 최근에는 다양한 기술이 집약된 전자태그를 생물에 부착하여 방류하면서 이동 뿐 아니라 행동, 서식환경에 대한 정도 높은 결과를 도출하고 있다 (Otway and Ellis, 2011, Furukawa et al., 2014)

본 연구에서는 우리나라 주변해역에서 서식하는 대구의 최대 산란장인 진해만에서 산란을 마친 대구에 2종의 전자태그와 2가지 형태의 재래식 태그를 부착하여 이동 범위 및 이동 방향을 추정하고, 그 결과를 기존에 보고된 유전자분석결과와 함께 고찰하면서 우리나라 대구의 계군을 구분할 수 있는 근거자료를 마련하여 효과적인 자원관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

진해만에서 산란한 후 서식지로 이동하는 대구의 이동경로, 이동범위 및 서식환경을 파악하기 위하여 2011년부터 2015년까지 5년간 2종의 전자태그 (Pop-up Satellite Archival tag 및 Data Storage Tag)와 2가지 형태의 재래식 태그 (Spaghetti tag 및 Atkins tag)를 부착한 표지방류조사를 실시하였다. 방류용 활어는 거제 외포수협에 위판된 활어 대구를 이용하였고, 대구의 활력 상태에 따라 일정기간 대형 수조에 순치하여, 건강한 상태의 대구를 방류용으로 선별 사용하였으며, 태그는 방류 직전에 부착하여 방류하였다.

전자태그 중 이동경로 추정이 가능한 Pop-up Satellite Archival tag (PAT: MK-10, Wildlife Computer Inc., USA)는 2011년 1개체, 2012년부터 2014년까지 매년 2개체를 부착하여 방류하였다. PAT는 10초 간격으로 수

심, 수온 및 조도를 저장하였다가 178~365일 후에 어체에서 자동 탈락하여 수면으로 부상하면 Argos 위성으로 자료를 송신하도록 설정되었다. 기지국으로 수신된 조도 정보를 이용하여 추정되는 대구의 이동경로는 Argos 위성의 운영실무를 담당하고 있는 프랑스의 CLS사에서 계산하여 제공된 자료를 이용하였다.

Archival tag (Data Storage Tag: G5 and G6, Cefas Technology Ltd., Lowestoft, UK)는 수온과 수심이 기록되는 data logger로서 정확한 서식환경을 파악하기 위한 용도로 2014년 16개체, 2015년 12개체에 부착하여 방류하였고, Data Storage Tag (DST)는 최장 15개월간 수온과 수심을 기록할 수 있도록 설정하였다. 그 외 이동범위를 추정하기 위하여 2011년부터 2015년까지 총 97개체에 2종류의 재래식 태그를 부착하여 방류하였다. 표지표를 부착한 대구는 거제 이수도 동쪽 약 5 km 해역에서 방류하였고, 방류시기는 진해만에서 산란을 마치고 서식지로 이동하는 시기 중에 2월 말 또는 3월 중순이었다.

방류된 대구의 재포획율을 높이기 위해 홍보용 포스터를 2회 제작하고, 어업인 및 수협 등 관계기관에 배부하여 홍보하였다.

결과 및 고찰

총 7개의 PAT를 부착하여 방류한 개체들 중 5개의 PATs로부터 자료가 수신되었다 (Table 1). 개체별로 수신된 자료는 14~150일간의 자료로, 설정기간 (90~365일)보다 빨리 수면으로 부상하여 수신되었다. 조기부상의 원인에 대해서는 PAT를 사용하여 이동경로를 추정한 다랑어류 등 (Marcinek et al., 2001) 대형어종에 비해 대구 어체가 상대적으로 소형으로서 유명시 태그에 대한 저항이 커 스트레스 등에 의한 조기 사망의 가능성이 있는 것으로 사료된다. 또한 기록된 자료가 인공위성으로 100% 송신된다고 보장되지 않는 점 (Gunn, 2000)을 고려하면, 기계적인 오류의 영향일 가능성도 있어, 그 원인에 대한 정확한 판단은 불가능하다.

연도별 수신된 자료로 추정된 대구의 수평적 이동경로를 종합하여 Fig. 1에 나타내었다. 2011년에 부착한 개체는 방류 후 울릉도 남동쪽까지 북상한 후 오끼제도 방향으로 이동한 것으로 추정되었고, 2012년에 부착한 개체는 약 2달에 걸쳐 거제도 남쪽으로 남하했다가,

Table 1. Summarizes release and recovery information of *Gadus macrocephalus* tagged with pop-up archival tags during 4 years.

No.	Tag ID	Release		Total length(cm)	Days of data
		data	location		
1	108289	2011/03/04	34.53N, 128.49E	80.0	88
2	108733	2012/02/28	34.88N, 128.83E	65.3	150
3	108734	2012/02/28	34.88N, 128.83E	63.8	-
4	108726	2013/02/28	34.93N, 128.82E	70.0	53
5	108728	2013/02/28	34.93N, 128.82E	66.2	-
6	108730	2014/03/06	34.93N, 128.84E	71.0	14
7	108727	2014/03/06	34.93N, 128.84E	62.0	14

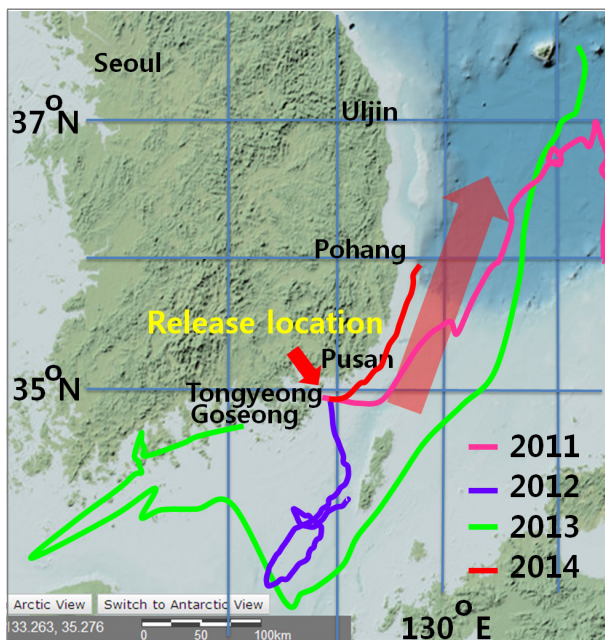


Fig. 1. Horizontal movement paths of *Gadus macrocephalus* tagged with pop-up archival tags in Gojeo, Korea. All species moved toward the East Sea.

다시 대마도 남서쪽 해역까지 북상한 후, 약 한달 간 머문 것으로 추정되었다. 2013년에는 방류 직후 서쪽으로 이동하며 전남 연안까지 이동하다가 다시 동쪽으로 방향을 돌려 제주도 서쪽 한-일 중간수역을 거쳐 동해상으로 이동한 것으로 추정되었고, 2014년에 방류한 2개체는 모두 방류 즉시 동해 쪽으로 이동한 것으로 추정되었다.

PAT는 수중에서 측정된 조도값을 이용하여 해수표면온도, 연구대상 어류의 1일 최대 이동거리 등 다양한 요인들을 조합하여 이동경로에 대한 위경도를 추정한다 (BLS, 2009). 하지만 감광되기 쉬운 수중에서 측정

된 조도값은 육상에서 측정된 값보다 정밀도가 떨어지기 때문에 어류에 사용하여 추정된 이동경로는 어느 정도 오차를 감안해야 한다. Gunn (2000)은 PAT의 단점이 75kg이상 대형어종에서 사용가능 하다고 하였고, 제조사인 Wildlife Computers사의 MK-10 PAT 사양에는 조도의 측정 수심이 약 300m 이내이기 때문에 대구와 같이 측정 한계이상의 수심까지 이동하는 어종에 대한 이동경로의 추정에는 비교적 큰 오차가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 Ishida (2012)는 이동경로의 정밀성에 문제가 되지 않기 위해서는 고도회유성 생물을 대상으로 이용된다고 하였고, 다양한 오차를 발생시키는 요인들을 감안하더라도 수신된 위치정보가 총 7단계 중 중간이상 (0 이상의 클래스)으로 비교적 정도가 높고, 추정된 이동경로에 대한 신뢰성이 부족하더라도 최후로 수신된 이동지점은 동해상이기 때문에 진해만에서 산란을 마친 대구는 모두 동해안을 서식처로하는 개체군임을 추정할 수 있다.

PATs에서 수집된 5개체의 이동수심은 8~344 (평균: 132m; SD: 71m)m의 범위로, 대부분 100~300 m 범위에서 주로 서식했던 것으로 분석되었고, 이동시 수온은 0.8~14.0 (평균: 8.3°C; SD: 4.1°C)°C의 범위였다. 대구가 어획된 위치로 추정된 서식수온은 6~12°C, 서식 수층은 45~450 m (평균 150 m)로 (NFRDI, 2010), 수신된 자료와 유사한 경향을 보였지만, 지금까지 보고된 서식수온 보다 낮은 곳에서도 분포할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

총 28개의 DST가 2014년부터 2015년까지 개체당 1개씩 부착되어 방류되었고, 그 중 1개의 DST가 2015년 3월 27일에 회수 되었다. 이는 2015년 3월 16일에 방류된 개체로 방류 후 11일만인 2015년 3월 27일에 방류

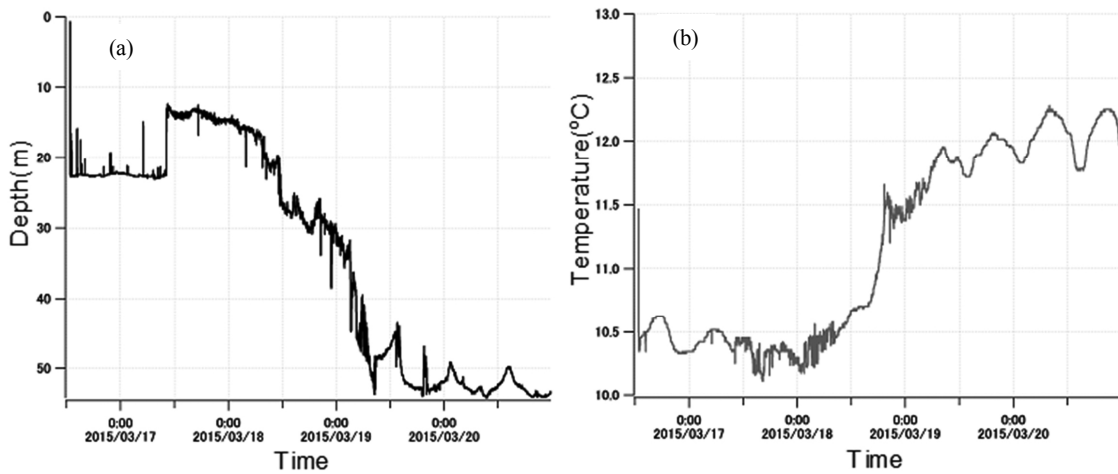


Fig. 2. Time series of depth(a) and water temperature(b) of Pacific cod *Gadus macrocephalus* equipped with data storage tag.

Table 2. Summarizes release and recapture information of *Gadus macrocephalus* tagged with conventional tags in Geoje, Korea.

No.	Release			Recapture		
	date	Length(cm)	Weight(kg)	date	location	Depth(m)
1	2011/03/04	8.30(FL)	6.7	2011/09/15	Uljin	135
2	2011/03/04	66.3(TL)	3.6	2011/11/05	Phohang	-
3	2011/03/04	61.8(TL)	2.1	2012/01/10	Geoje	27
4	2011/03/04	70.0(TL)	3.7	2012/02/06	Geoje	22
5	2012/02/28	62.0(TL)	2.1	2012/05/16	Phohang	-
6	2012/02/28	71.0(TL)	2.6	2012/05/17	Uljin	-
7	2012/02/28	72.2(TL)	3.1	2013/01/18	Geoje	50
8	2012/02/28	40.2(TL)	0.7	2013/04/10	Geoje	-
9	2012/02/28	62.0(TL)	2.1	2013/12/24	Ulsan	-
10	2012-02/28	69.5(TL)	4.8	2014/01/21	Jinhae	-
11	2012/02/28	76.0(TL)	3.7	2012/01/17	Goseong	24
12	2012/02/28	64.0(TL)	2.5	2015/01/08	Jingae	23
13	2012/02/28	59.0(TL)	1.8	2015/03/27	Geoje	54

지점에서 남동쪽 약 12 km 떨어진 곳에 설치된 호망에 의해 어획되었다. 호망을 설치한 어민에게 확인할 결과, 대구가 재포획된 당시, 호망 어획물의 확인 주기는 일주일 간격이었고, 수심자료를 분석한 결과 3월 21일부터 DST를 회수한 3월 27일까지 수심의 변동이 거의 없는 것으로 보아, 재포획된 대구는 방류 5일 후에 포획된 것으로 추정된다. 따라서 어획물을 확인한 것으로 추정되는 3월 20일까지 1분 간격으로 저장된 수심과 수온자료를 분석한 결과, 경험 수심은 0.6~54.3 (평균: 33.8m; SD: 15.4m)m였고, 경험 수온은 10.1~12.3 (평

균: 11.7°C; SD: 0.7°C)°C였다 (Fig. 2). 방류 직후 1분 이내에 방류지점의 수심인 약 21 m까지 급속도로 하강하며 유영하였고, 이후 저층 바다 부근을 유영한 것으로 추정된다 (Fig. 3). 비록 짧은 기간에 재포획되어, 경험수온 및 수심에 대한 한계치를 확인할 수 없을 뿐 아니라, 깊은 수심의 서식지로 이동하기 위해 깊은 수심으로 적응하는 기간을 추정하기는 어렵지만, 남동부해역에서 채집된 대구에서 섭이한 어류의 위내용물 중에서 대구보다 상층에 서식하는 청어의 비율이 가장 많이 차지하는 것으로 보아 (Lee et al., 2015), 수심 m 정도

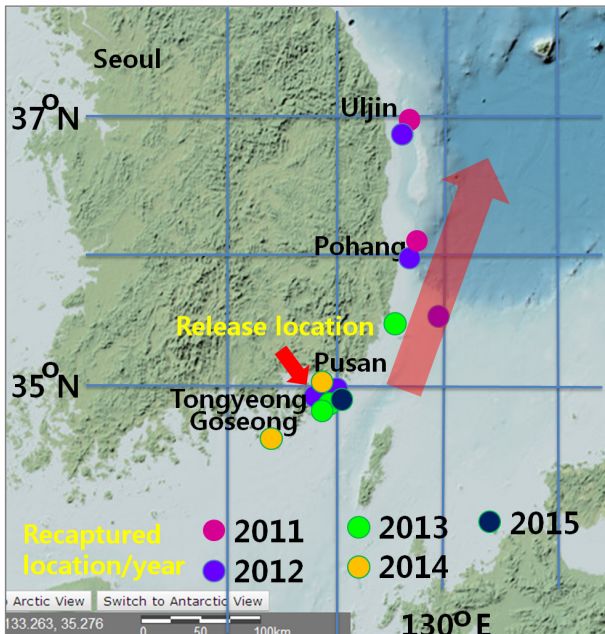


Fig. 3. Recapture locations of thirteen Pacific cod *Gadus macrocephalus* tagged with conventional tags.

의 범위에서는 섭이활동 등을 위해 단시간에 수직 이동이 가능할 것으로 판단된다. DST는 비교적 고가이고, 회수되지 않으면 자료를 획득할 수 없는 단점은 있지만, 대구뿐 아니라 다양한 해양생물에 대한 서식환경, 행동생태를 파악하는데 유용한 장비로서 그 유용성을 확인 할 수 있었다.

재포획된 재래식태그 부착 개체의 경우, 총 97 방류 개체 중 2015년 10월 현재까지 13개체가 재포획되어 13.4%의 재포획율을 보였고, 재포획된 개체는 호망 또는 자망에 의해 어획되었다 (Table 2). 재포획된 13개체 중 4개체는 1년 또는 2년 후에 방류해역에서 재포획되어 매년 산란을 위해 동일한 산란장으로 산란내유하는 것으로 판단된다. 위도가 가장 높은 재포획 지점은 경상북도 부근해역이었으며, 모든 개체가 이보다는 아래 해역에서 재포획 되었다(Fig. 3). 또한, 재래식 태그를 부착한 대구의 재포획 위치는 PAT로 추정된 이동 범위와 유사한 결과를 보였다. 이들 결과로부터 우리나라 동해에 서식하는 대구에는 강원도와 경상북도 경계의 위도를 중심으로 그 아래쪽에 주로 서식하는 동해남부해역 계군과 동해북부해역에 주로 서식하는 계군이 존재할 가능성이 있는 것으로 판단되었다. Gwak and Nakayama (2011)의 유전자분석에 의한 대구의 계군 추정 결과에

따르면 우리나라 동해에 서식하는 대구는 최소 2개의 계군이 있는 것으로 추정되었고, Lee et al. (2015)에 의해 보고된 남동부해역에서의 대구 식성과 Yoon et al. (2012)에 의해 보고된 강원도 주변해역 대구의 식성이 대분류군에서는 비슷하지만, 소분류군에서 그 해역에서는 주로 출현하는 생물이 위내용물로 출현하는 것으로 보아 최소 두 계군이 존재할 가능성이 있는 것으로 판단된다. 또한 대구는 수십~수백km 내외로 비교적 이동범위가 좁고 (Cunningham et al. 2009; Westrheim, 1984), 극동연안에서도 10개 이상의 지역개체군이 존재하는 것처럼 (Moiseev, 1953), 우리나라에서 어획되는 대구도 다양한 계군이 존재하며, 그 중 동해남부해역에 서식하는 대구 계군의 산란장은 남해동부에 위치한 진해만으로 동해남부와 남해동부해역을 산란내유하는 단일계군이 존재하는 것으로 판단된다.

결론

진해만을 산란장으로 산란내유하는 대구의 이동을 파악하기 위하여 2011년부터 5년간 전자태그 2종 (Pop-up Satellite Archival tag, Data Storage Tag) 및 재래식태그를 총 97개체에 각각 부착하여 방류하였다. pop-up식 전자태그는 총 7개 중 5개가 인공위성을 통해 기록된 자료가 회수되었고, 재래식태그가 부착되어 방류된 개체들 중 13개체가 어업인들의 협조에 의해 회수되었다. 인공위성으로 수신된 자료 및 재래식태그 부착 개체의 재포획 위치를 분석한 결과, 진해만에서 산란을 마친 대구의 이동범위는 동해남부해역에 한정되어 있는 것으로 판단되었고, 이들은 주로 수심 100~300 m, 수온 0.8~14.0℃에서 서식하는 것으로 확인되었다. 총 28개의 data storage tag를 부착하여 방류한 대구들 중 비록 1개체가 방류 후 11일만에 재포획되어, 경험수온 및 수심에 대한 한계치를 확인할 수는 없지만, 섭이활동 등을 위해 단시간에 수심 m 범위의 수심을 이동할 것으로 판단된다.

사사

이 논문은 2015년도 국립수산물연구원 수산과학연구소 사업 (R2015027)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- BLS. 2009. Biologging. Kyototouushinsha, Tokyo, Japan, pp 233.
- Cunningham KM, Canino MF, Spies IB and Hauser L. 2009. Genetic isolation by distance and localized fjord population structure in Pacific cod (*Gadus macrocephalus*): limited effective dispersal in the northeastern Pacific Ocean. *Can J Fish Aquat Sci* 66, 153-166. (doi: 10.1139/f08-199)
- Furukawa S, Tsuda Y, Nishihara GN, Fujioka K, Ohshimo S, Tomoe S, Nakatsuka N, Kimura H, Aoshima T, Kanehara H, Kitagawa T, Chiang WC, Nakata H and Kawabe R. 2014. Vertical movements of Pacific bluefin (*Thunnus orientalis*) and dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) relative to the thermocline in the northern East China Sea. *Fish Res* 149, 86–91. (doi: 10.1016/j.fishres.2013.09.004)
- Gunn J. 2000. From plastic darts to pop-up satellite tags. In: Hancock DA, Smith DC, Koehn JD, Eds. *Fish Movement and Migration*. Australian Society for Fish Biology Workshop Proceedings, Bendigo, Victoria, September 1999, Australian Society for Fish Biology, Sydney. pp 55-60.
- Gwak WS and Nakayama K. 2011. Genetic variation and population structure of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* in Korean waters revealed by mtDNA and msDNA markers. *Fish Sci* 77, 945–952. (doi: 10.1007/s12562-011-0403-2)
- Ishida T. 2012. Field informatics: Kyoto University Field Informatics Research group. In: Arai N and Okuyama J, Eds. *Biologging*. Springer, pp 21-38.
- Kim IS, Choi Y, Lee CY, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. *Illustrated book of Korean Fishes*. Kyohak Publishing Co. Ltd, p 615.
- Kim MJ, An HS and Choi KH. 2010. Genetic characteristics of Pacific cod populations in Korea based on microsatellite markers. *Fish Sci* 76, 595-603. (doi: 10.1007/s12562-010-0249-z)
- Lee JH, Kim JN, Park JS, Park T and Nam KM. 2015. Feeding Habits of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* in Southeast Sea of Korea. *Kor J Ichthyol* 27, 142–148.
- Marcinek DJ, Blackwell SB, Dewar H, Freund EV, Farwell C, Dau D, Seitz AC and Block BA. 2001. Depth and muscle temperature of Pacific bluefin examined with acoustic and pop-up satellite archival tags. *Mar Biol* 138, 869–885. (doi: 10.1007/s002270000492)
- MOF. 2014. Fisheries Information Service, <http://www.fips.go.kr/>
- Moiseev PA. 1953. Cod and flounder of Far Eastern Seas. *Izv. Tikhookean. Nanch Noissled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr* 40, 1-120.
- NFRDI. 2004. *Commercial Fishes of the Coastal & Offshore Waters of Korea*. Hanguel, p 333.
- NFRDI. 2010. *Ecology and Fishing Ground of Fisheries Resources in Korean Waters*. Yeamoonso, p 405.
- Otway NM and Ellis MT. 2011. Pop-up archival satellite tagging of *Carcharias taurus*: movement and depth/temperature-related temperature use of south-eastern Australian waters. *Aust J Mar Freshwater Res* 62, 607–620. (doi: 10.1071/mf10139)
- Seo YI, Kim JI, Oh TY, Lee SK, Park JH, Kim HY and Cho ES. 2010. The population structure of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius) based on mitochondrial DNA sequences. *J Life Sci* 20, 336–344. (doi: 10.5352/jls.2010.20.3.336)
- Westrheim SJ. 1984. Migration of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in British Columbia and nearby waters. *Int North Pac Fish Comm Bull* 42, 214–222.
- Yoon SC, Yang JH, Park YM, Choi, Park JH and Lee DW. 2012. Feeding habits of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the coastal waters off Jummunjin, Gangwondo of Korea. *Kor J Aquat Sci* 45, 379–386. (doi: 10.5657/kfas.2012.0379)
-
2015. 11. 02 Received
2015. 11. 24 Revised
2015. 11. 25 Accepted