

## 대구(*Gadus macrocephalus*)의 초기 발생시기의 비중변화

이화현

부경대학교 지오메틱연구소

### Changes in the Specific Gravity of Pacific Cod *Gadus macrocephalus*, During the Early Life Stages

Hwa Hyun Lee

Institute of Geomatics, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

The Pacific cod *Gadus macrocephalus*, lays demersal eggs and the hatching larvae rise toward the surface layer of the ocean to feed. The change in the specific gravity of eggs and larvae was investigated to examine their vertical distribution and movement in the water column. The specific gravities of fertilized eggs and various size classes of larvae were measured using a density gradient apparatus. In total, the instantaneous specific gravity of 146 eggs and 225 larvae were measured. To prevent any disturbance in the gradient water column due to larval movement, 0.004% MS222 was used for anesthesia. Due to their high specific gravity, eggs spawned were deposited over the sea-bed of the spawning ground. The specific gravity of hatching larvae decreased abruptly. However, Pacific cod larvae still had a comparatively high specific gravity at hatching ( $1.03655 \pm 0.00146$  g/cm<sup>3</sup>, n=4, mean SL=3.62 mm) and their specific gravities tended to decrease as they grew. The specific gravity stabilized 6 days after hatching ( $1.02590 \pm 0.00212$  g/cm<sup>3</sup>, n=15, mean SL=4.67 mm) and the cod larvae were eventually able to float in the water column.

Key words: Pacific cod, Walleye pollock, Specific gravity, Density gradient water column

## 서론

북태평양에는 톰코드(tomcod *Microgadus tomcod*), 명태(walleye pollock *Gadus chalcogrammus*), 대구(Pacific cod *G. macrocephalus*)의 세 종의 대구과(Family Gadidae) 어류가 서식하고, 그 중 명태와 대구는 차가운 물에 서식하는 대표적인 어종으로 아시아와 북미연안의 대륙붕과 대륙사면에 주로 서식한다(Hart, 1973; fishbase, <http://fishbase.org/>). 두 어종은 북태평양 생태계에서 매우 번성하고 있고, 생물학적 생태학적 특징이 매우 유사한데, 우리나라 수역은 이들 남방한계선에 해당된다(Kim, 1990). 체장에 따라 다르기는 하지만 성숙한 암컷 대구는 한 산란기 동안 약 백만 개 이상의 침성란을 육지에서 가까운 얕은 수심의 해역에 산란하고, 명태는 몇 십만 개의 부성란을 산란한다. 대구의 알은 해수의 밀도보다 높은 비중을 가지고 있기 때문에, 산란 후부터 부화할 때까지 산란해역의 바닥에 놓여진다. 산란 초기의 대구 알은 약한 점착성을 나타내지만 알의 발달이 진행되면서 점점 점착성이 사라져서 알들이 따로 떨어져

어져 독립적으로 발생하게 된다(Bian et al., 2014). 해저 바닥에 머물던 알에서 부화한 어린 대구는 빠르게 그들의 서식 수심을 변화시켜 해수표면으로 이동한다(Laurel et al., 2010). 대구의 알과 달리 명태의 알은 수층에 부유하는데, 미국 알래스카만의 shelikof strait에서는 수심 200 m 보다 깊은 수심에 주로 분포하지만(Kendall and Kim, 1989), 베링해에서는 표층에 분포한다(Nishiyama et al., 1986). 해양어류 알(egg)과 자어(yolked larvae)가 부유하는 수층의 깊이는 생물의 비중(specific gravity)과 생물을 둘러싼 해수밀도의 차이에 기인한다. 어류의 알과 자어의 비중은 그들이 발달하는 과정을 통해 지속적으로 변화하며(Kendall and Kim, 1989; Laurel et al., 2010), 해수의 밀도는 온도와 염분의 변화에 의하여 시시각각으로 달라진다. 따라서 해양에서 생물체의 수직위치는 생물의 비중과 해수의 밀도 차이에 의해 결정되므로 그들의 수직 위치는 매우 역동적으로 변하게 된다(Sundby, 1997; Coombs et al., 2004; Goarant et al., 2007; Petereit et al., 2009; Sundby and Kristiansen, 2015). 대부분의 어류는 소화기관이 완전히 발달되지 않은 상태로 부

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0332>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 51(3) 332-337, June 2018

Received 4 June 2018; Revised 20 June 2018; Accepted 22 June 2018

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5923 Fax: +82. 51. 629. 5923

E-mail address: proxima07@hanmail.net

화하는데, 이 시기에는 난황을 가지고 있다. 초기의 자어 시기에는 표층으로 이동하는 경향이 나타나고, 난황이 흡수되면서 소화기관을 비롯한 여러 기관들이 발달하고 성장하면서 비중이 증가하여 깊은 수심으로 이동하는 형태는 보인다(Miller and Kendall, 2009).

본 연구에서는 앞서 연구된 대구의 알은 주변 해수보다 비중이 높아서 산란해역의 저서에서 부화한다고 한(Hurst et al., 2009; Laurel et al., 2010; Bian et al., 2014) 연구를 바탕으로 진해만에서 산란하는 대구 알의 발달단계별로 측정된 대구 알의 비중과 산란해역의 해수밀도차이를 파악하여 산란 후 언제까지 해저에 머무는지 파악하고자 하였다. 또한 부화한 자어는 빠르게 비중이 감소하여 난황이 있는 상태에서 해양 표층에서 채집된다는(Hurst et al., 2009; Laurel et al., 2010)의 연구를 바탕으로 대구 자어의 비중변화를 실험을 통하여 관찰하여 산란해역의 바닥에서 부화한 자어가 해양의 표층에 도달하는 시기를 파악하고자 하였다. 본 연구 결과는 대구의 초기생활사 시기 동안 해양에서의 수직이동을 파악하는 기초자료로 제공될 수 있고 대구과의 다른 중요한 어종인 명태 자어의 비중변화와 비교하여 이들의 초기발생시기의 공통점과 차이점을 파악함으로써, 이들이 생존전략을 유추해보는 계기가 될 수 있을 것이다.

## 재료 및 방법

대구 알은 부산광역시 수산자원연구소에서 인공수정 30분 후 제공받았다. 약 1시간 이동 후 부경대학교에 위치한 실험용 항온사육수조에 투입하였고, 부화 후 자어를 이용한 실험이 종료될 때까지 사육하였다. 대구 알을 사육하기 위한 항온수조는 수조 아래쪽에서 공기와 해수를 공급하는 장치를 사용하여 가라앉은 알들 사이에 해수가 순환되면서 알이 해수와 함께 계속 움직이게 하여 산소부족으로 인한 알의 사망을 방지하였다. 대구 알과 같이 저층에 가라앉은 상태로 발생하는 생물은 수조 바닥까지 완전히 순환되는 순환시스템을 사용해야 알의 질식을 방지할 수 있다. 이에, 사육수조의 수온은 Seo et al. (2007)의 수온에 따른 부화성공을 연구결과를 바탕으로 가장 부화율이 높은 수온(6°C)을 유지하였다. 부화용 수조의 크기는 지름 40 cm, 높이 60 cm의 원형수조를 사용하였다. 부화 5일 후부터는 먹이 생물로 Rotifer를 매 실험 1시간 전에 급이 하였다.

알과 자어의 비중은 밀도구배수층(density gradient water column, DGC; Martin Instrument Co. LTD, UK)을 이용하여 측정하였다(Coombs, 1981). 본 실험에서 용액의 밀도는 3차 증류수에 소금(염분, RedSea Co., USA)을 용해하여 조절하였고, 염도(밀도)의 확인은 수온염분측정기(YSI 30-10 FT, YSI Inc., USA)를 이용하였다. 완성된 밀도구배수층은 밀도를 이미 알고 있는 유리구슬 5개(23°C 기준, 1.0210-1.0467 g/cm<sup>3</sup>)를 띄워 밀도구배가 예상대로 제작되었는지 확인하고, 각 구슬의 높이와 용액의 밀도를 이용하여 회귀직선식을 구하여 알과 자어의 비중을 계산하였다. 대구 알과 자어의 비중을 측정하기 위하여

제작한 밀도구배수층의 염분범위는 20-80 PSU (알)과 20-60 PSU (자어)이고, 수온은 평균 6.29°C, 밀도는 1.0188-1.0580 g/cm<sup>3</sup>이었다.

대구 알과 자어는 높은 염분의 밀도구배수층에 오래 머물게 되면 결국 모든 수분을 빼앗기고 사망에 이르기 때문에 시료는 사육수조에서 매번 새로운 개체를 채집하여 비중을 측정하였다. 알의 비중은 하루 두 번(11, 22시), 수정 후 8세포기(수정 후 12시간 후)부터 부화시까지, 각 5립씩 밀도구배수층에 투입 후 30분동안 안정화시킨 후 높이를 측정하였다. 대구 알은 비교적 낮은 온도(6-7°C)에서 약 10일(Seo et al., 2007)-12일(Lee et al., 2007) 후에 부화하므로 총 측정횟수 약 25회를 목표로 하여 하루에 두 번 아침 10시, 밤 10시에 측정하였다. 자어는 하루에 세 번(02, 10, 18시), 부화 직후부터 부화 후 16일 까지, 5마리씩 밀도구배수층에 투입하여 비중을 측정하였다. 자어측정 시간은 빛을 기준으로 측정하였는데, 완전한 어둠상태와 햇빛으로 인하여 영향을 받는 오전, 그리고 해가 지면서 빛의 세기가 낮과 밤 중간 정도라 예상되는 저녁에 측정하였다. 난황을 흡수하여 운동능력이 생긴 이후로는 0.004% MS222 해수에 마취하여 비중을 측정하였다. 알의 크기는 처음 알을 투입하는 시점에서 측정하였고, 자어는 사육수조에서 채집 후 현미경을 이용하여 길이를 측정하고 사진으로 남긴 후 밀도구배수층에 투입하였다.

대구 알과 자어의 비중 결과는 우리나라 해역에서 가장 큰 대구의 산란장으로 알려져 있는 진해만의 겨울철(2월) 해수온도와 염분을 이용하여 계산한 해수밀도와 비교하였다.

## 결 과

대구 알의 비중은 2012년 2월 겨울철 진해만(수온 평균 7.89±1.2°C, 염분 평균 33.52±0.3 psu, n=4)의 해수밀도 1.02612±0.0002 g/cm<sup>3</sup>와 2013년 2월 겨울철 진해만(수온 평균 6.54±0.9°C, 염분 평균 33.94±0.4 psu, n=7)의 해수밀도 1.02663±0.0002 g/cm<sup>3</sup> 보다 높은 값을 보였다(Fig. 1). 알을 이용한 측정이 이루어진 모든 관찰에서 밀도구배수층의 수온은 평균 6.296±0.149°C (6.2-6.5°C, n= 25)이었다. 대구 알은 이 수온에서 수정 후 270-300시간(11.25-12.50일) 경과하면 부화하는데, 처음 대구 알을 측정할 시점은 수정 후 12시간 이후 8세포기였고, 이 때 측정된 대구 알의 비중은 1.0471±0.0005 g/cm<sup>3</sup> (n=11)이었다. 이후 알의 비중은 점점 증가하여 수정 180시간 후에 1.0540±0.0008 g/cm<sup>3</sup> (n=5)로 가장 높은 비중을 보였고, 부화직전 알의 무게가 가벼워지면서(1.0459±0.0015 g/cm<sup>3</sup>, n=5) 처음 측정했던 알의 비중과 비슷한 값을 보였다. 전반적으로 알의 비중은 수정 후 180시간 경과시점까지 점점 무거워지고, 그 이후 수정 후 264 시간 관측시점까지 안정적으로 높은 비중이 유지하다가, 부화직전에 감소하였다(Fig. 1). 알의 비중이 감소하거나 증가하는 경향과 상관없이, 대구 알의 비중은 산란 직후부터 부화 시점까지 지속적으로 해수밀도보다 높았다(Fig. 1).

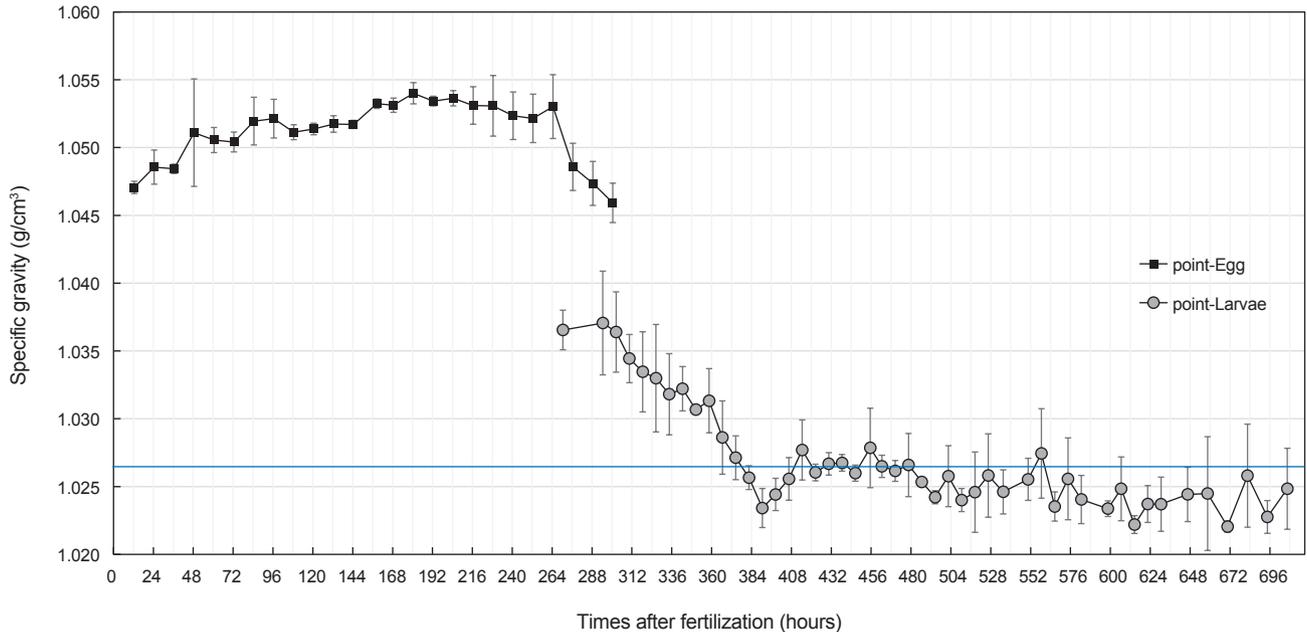


Figure 1. Changes in specific gravity of Pacific cod *Gadus macrocephalus* eggs and larvae since artificial fertilization. Horizontal line represents seawater density at surface of Jinhae Bay in February 2012 ( $1.02612 \pm 0.0002 \text{ g/cm}^3$ ). Black circle indicates specific gravity of eggs and white circle indicates larvae.

대구 자어의 비중은 알 수정 후 약 270시간이 되는 시점부터 측정하였다. 처음 측정한 대구 자어의 비중은  $1.3655 \pm 0.0015 \text{ g/cm}^3$  ( $n=4$ )이었고, 부화 6일째(수정 390시간 후, 즉 부화 120시간 후)에  $1.0234 \pm 0.0014 \text{ g/cm}^3$  ( $n=4$ )까지 비중이 감소한 이후 실험종료시점인 자어 부화 19일째 마지막 측정까지 자어의 비중은 비교적 안정적으로 나타났다( $1.0250 \pm 0.0015 \text{ g/cm}^3$ ,  $n=175$ ; Fig. 1). 초기 부화자어의 비중은 알의 비중 보다 낮고 주변해수의 밀도보다는 높게 측정되었는데, 알의 비중이 주변해수밀도보다 가벼워지는 시점은 부화 후 5일째(수정 382시간 후, 부화 112시간 후)로 나타났다(Fig. 1).

대구 자어 부화 이후 성장에 따른 비중의 변화 양상을 산란해역의 해수밀도와 비교하였다(Fig. 2). 주변해수의 밀도보다 자어의 비중이 높으면 자어들은 해저에 머물게 되고, 해수밀도보다 자어의 비중이 낮으면 해수표층으로 떠오르게 된다. 자어의 비중을 일평균으로 보면, 부화 후 점차 감소하는 경향이 나타난다. 부화 첫날 평균 비중은  $1.0365 \pm 0.0015 \text{ g/cm}^3$  ( $n=4$ )이었고, 6일째 되는 날의 평균 비중은  $1.0255 \pm 0.0020 \text{ g/cm}^3$  ( $n=14$ )로 감소하였다(Fig. 2). 이 시기부터 자어의 비중은 대체로 해수보다 가벼워 표층생활이 가능해지게 된다. 부화 후 처음 측정한 자어의 크기(standard length, SL)는  $3.62 \pm 0.16 \text{ mm}$  ( $n=9$ )로 나타났고, 자어의 비중을 측정하는 전체 기간동안 지속적으로 성장하여 비중측정 마지막날(부화 20일째)에는 자어의 평균크기가  $5.30 \pm 0.15 \text{ mm}$  ( $n=18$ )로 나타나 18일 동안 평균성장율은  $0.093 \text{ mm/day}$ 로 추정되었다. 대구 자어의 비중을 측정하는

동안 나타난 가장 작은 크기의 개체는  $3.43 \text{ mm}$ 였고(부화당일), 가장 큰 개체는  $5.74 \text{ mm}$ 였다(부화 17일 후). 대구 자어가 먹이를 먹기 시작한 시점은 부화 7일 후부터 였는데, 부화 10일 후까지 약간의 난황이 남아 있는 것을 확인할 수 있었다.

## 고 찰

우리나라 동해에서 포획한 대구를 이용한 연구(Seo et al., 2007)에 의하면 대구 알의 크기는 평균  $1.03 \text{ mm}$  ( $1.01\text{-}1.09 \text{ mm}$ )였고, 부화직후 대구 자어의 크기는 전장 평균  $4.10 \text{ mm}$  ( $3.95\text{-}4.25 \text{ mm}$ )이었다. 본 연구에서 사용한 진해만에서 어획한 대구 알의 크기는 평균  $1.14 \pm 0.02 \text{ mm}$  ( $1.11\text{-}1.16 \text{ mm}$ ,  $n=20$ ), 부화직후 자어의 크기는  $3.62 \pm 0.16 \text{ mm}$  ( $3.43\text{-}3.88 \text{ mm}$ ,  $n=9$ )로 Seo et al. (2007)의 결과에 비해 알의 크기는 크고, 자어의 평균 크기는 작은 것으로 나타났다. 이는 서로 다른 계군에 의한 차이일 수도 있고, 어미의 영양상태 및 채집시기에 따른 차이일 수도 있다.

대구는 침성란을 산란하고 부화한 자어는 표층에 떠서 생활하는 현상을 보이는데(Chyung, 1977; Seo et al., 2007), 본 실험에서 알과 자어의 비중을 측정한 결과도 이러한 결과를 뒷받침한다. Bian et al. (2014)에 의하면 일본 홋카이도 연안에서 산란한 대구 수정란의 비중은  $1.0316\text{-}1.0454 \text{ g/cm}^3$  범위였고, 이들은 산란후부터 부화까지 모든 알의 발달단계가 해양의 바닥에서 진행되므로 주로 해양의 표층을 조사하는 자치어플랑크톤

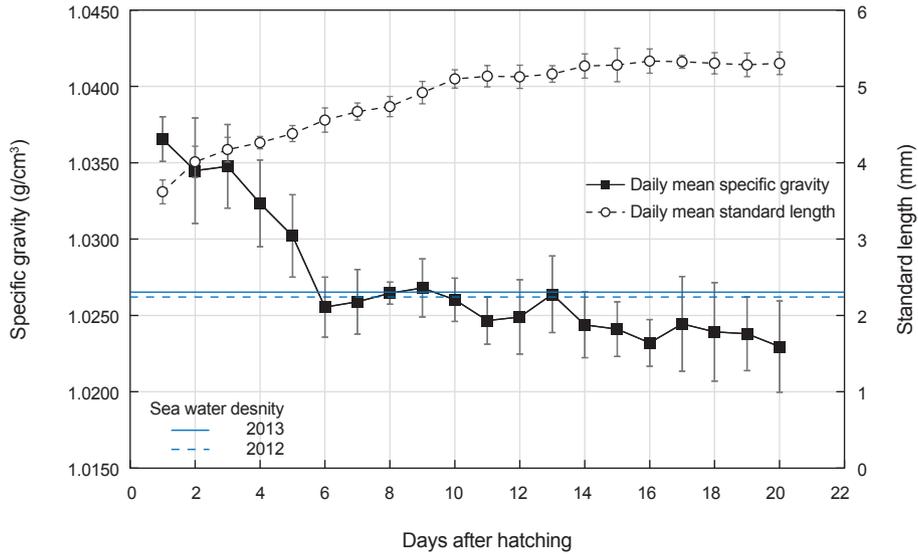


Figure 2. Changes in daily mean standard length (mm) and specific gravity of Pacific cod *Gadus macrocephalus* larvae since hatching. Horizontal two lines represent seawater densities at surface of Jinhae Bay in February 2012 (dash,  $1.02612 \pm 0.0002 \text{ g/cm}^3$ ) and 2013 (solid,  $1.02663 \pm 0.0002 \text{ g/cm}^3$ ).

채집방법(ichthyoplankton survey)으로는 대구 알을 채집할 수 없었다고 하였다. 본 측정실험에 사용된 진해만 대구의 수정란 비중은 범위는  $1.0459\text{-}1.0540 \text{ g/cm}^3$ 로 Bian et al. (2014)의 결과보다 조금 더 높은 비중을 나타내었다. 이는 비중을 측정하는 방법의 차이 또는 서로 다른 태평양 대구 계군을 이용한 결과일 수도 있다. 하지만, 대구 알의 비중은 산란 직후부터 부화시점까지 꾸준히 산란장 주변 해수밀도[2012년 2월  $1.02612 \pm 0.0002 \text{ g/cm}^3$  (n=4), 2013년 2월  $1.02663 \pm 0.0002 \text{ g/cm}^3$  (n=7)]보다 높게 측정되어 대구 알은 산란 직후부터 부화시점까지 해저에서 머물게 됨을 유추할 수 있다.

부화 직후 대구 자어의 비중은 해수밀도보다 높았지만 ( $1.03655 \pm 0.0015 \text{ g/cm}^3$ , n=4) 이후 빠르게 감소하여 부화 104시간 후에는 주변 해수밀도와 비슷한  $1.0271 \pm 0.0016 \text{ g/cm}^3$ 이 되었고, 112시간 후에는 주변 해수밀도보다 낮은 비중 ( $1.02566 \pm 0.0009 \text{ g/cm}^3$ , n=5)이 되었다. 이후 대구 자어의 비중은 매 측정시 마다 증가와 감소를 하였으나 대체적으로 주변 해수보다 가벼운 비중을 보인다(부화 112시간부터 449시간 후 까지 평균 비중  $1.02498 \pm 0.00148 \text{ g/cm}^3$ , n=175). 자어의 비중이 빠르게 감소하는 연구 결과는 Li et al. (2015)에서도 보고되었는데, 이는 자어들이 스스로 헤엄치지 못하는 기간동안 난황을 흡수하여 몸의 비중이 가벼워지면서 해수 표면으로 떠오르는 것으로 추정된다.

저서성 어류인 명태는 대구와 다르게 중층 수층에 부유하는 알을 낳는 것으로 알려져 있다(Kim, 1987). 우리나라 근해에서 채집된 명태의 알과 자어의 비중변화를 측정할 실험결과를 사용하고자 하였으나, 우리나라에서 명태 알을 이용한 실험결

과가 전무하여 1985년 4월 미국 알래스카만 쉘리코프해협(the Shelikof Strait, Gulf of Alaska, USA)에서 봉고네트로 채집한 명태 알과 자어를 이용한 비중측정결과를 사용하여 자어의 수직이동 경향을 비교하였다(Table 1). 명태 알의 비중은 부화직전에 감소하고 부화한 난황자어의 비중은  $1.02567 \pm 0.00169 \text{ g/cm}^3$  (평균 크기 3.65 mm SL)으로 측정되었다(Kim, 1987). 이후 성장함에 따라 명태 자어의 비중은 점점 가벼워져서 자어 크기구간 4.0-4.5 mm (평균 4.27 mm SL), 4.5-5.0 mm (평균 4.83 mm SL), 그리고 5.0-6.0 mm SL (평균 5.27 mm SL)에 속하는 자어의 비중은  $1.02561 \pm 0.00106 \text{ g/cm}^3$  (n=17),  $1.02539 \pm 0.00086 \text{ g/cm}^3$  (n=21), 그리고  $1.02525 \pm 0.00103 \text{ g/cm}^3$  (n=38)로 측정되었다. 그리고 특이적으로 미성숙계대로 부화한 난황자어(<3 mm SL)의 비중은 정상적으로 부화한 난황자어의 비중보다 낮게( $1.02512 \pm 0.00049 \text{ g/cm}^3$ , n=31) 측정되었다(Kim, 1987). 이들 명태 자어가 존재하는 수심을 1985년 자어를 채집할 당시 쉘리코프 해협에서 측정된 수온과 염분으로 계산한 해수밀도와 비교했을 때, 갓 부화한 난황자어(평균 3.65 mm SL)는 수심 147 m의 해수밀도와 균형을 이루었고, 부화 3일 후 평균크기 4.27 mm SL 자어들은 수심 119 m의 해수밀도와, 그리고 부화 5일 후 평균크기 4.83 mm SL 자어들은 수심 4 m의 해수밀도와 균형을 이루는 것으로 계산되었다(Kim, 1987).

본 실험에서 측정한 대구 자어의 크기와 비중이 Kim (1987)에 나타난 명태 자어의 비중과 비슷하므로 같은 방법을 이용하여 대구 자어의 수직 위치를 추정하면, 대구의 산란해역인 진해만은 상대적으로 얕은 수심(약 45 m)의 해역이라서 겨울철

Table 1. Summary of the specific gravity experiments for walleye pollock *Gadus chalcogrammus* and Pacific cod *G. macrocephalus* larvae

Species	Sampling area	Sampling Date / Gear	Egg incubation period	Larval rearing period (Days after hatching)	Larval rearing temperature	Larval rearing salinity	Total number of larvae experimented	Hatching mean size (Specific gravity mean±SD, g/cm <sup>3</sup> )	remark
walleye pollock	Shelikof Strait of the Gulf of Alaska	April 1985/ Bongo net	14-21 days	10	About 5°C	Unknown	114	3.65 mm 1.02567±0.00169	Kim (1987)
Pacific cod	Southern coast of Korea	Jan. 2015/ Artificial fertilization	12 days	19	6.1-6.5°C	34	225	3.62 mm 1.03655±0.00146	This study

이면 거의 모든 수층이 고르게 섞일 것으로 예상된다. 본 실험에 사용한 2012년과 2013년 2월에 측정된 진해만의 수온과 염분으로 계산한 해수밀도는  $1.02612 \pm 0.0002 \text{ g/cm}^3$  ( $n=4$ )와  $1.02663 \pm 0.0002 \text{ g/cm}^3$  ( $n=7$ )이었고, 해수밀도 보다 자어의 비중이 낮아지는 부화 5일 후부터 표층수면을 향해 이동하게 될 것으로 가정할 수 있다. 앞서 언급한 Kim (1987)에 나타난 명태자어는 평균크기 4.27mm SL 개체들은 119 m 수심에 머물다가 거의 2일만에 평균크기 4.83 mm로 성장하고 해수표면에 닿을 만큼 상승하는 것을 볼 수 있다. 대구 자어도 명태자어와 비슷하게 상승하는 경향을 나타낸다면 대구 자어는 부화시점부터 부화 5일 째 까지 해저 바닥에서 머물다가 부화 6일 후부터 표층을 향해 서서히 상승하여 표층에 닿게 될 것으로 예상된다. 이는 Hurst et al. (2009)의 연구에서도 나타나는데, 실제 해양에서 수층별로 채집된 대구 자어의 크기를 분석했더니 수심 1-4 m 사이에서 난황을 가진  $4.9 \pm 0.1 \text{ mm SL}$ 의 개체들이 채집되었고, 그보다 깊은 수심에서는 스스로 먹이를 섭이 할 수 있는 크기의 자어들이 채집되었다(6.9-15.3 mm SL). 본 실험 결과에 의하면 대구 자어의 비중이 주변해수 밀도보다 낮아지는 시점은 부화 6일 후부터(일평균 크기  $4.56 \pm 0.16 \text{ mm SL}$ ,  $n=15$ )였으므로 이 때부터 표층으로 상승을 시작하여 스스로 먹이를 섭이하고 부레를 이용하여 수심을 조절하는 능력이 생길 때까지 표층에 머무는 것으로 가정할 수 있다. 일반적으로 대구는 부레가 있어서 수층 안에서 머무는 깊이를 조절하지만, 초기 자어 시기의 수직분포를 결정하는 요인으로는 부레의 팽창과 수축에 의한 부력조절의 영향보다는 자어 몸체의 비중에 의해 결정되는 것으로 알려져 있고(Saborido-Rey et al., 2003; Woolley and Qin, 2013), 본 실험 결과 역시 가벼워지는 자어의 비중이 직접적으로 난황자어의 수직 위치를 결정하는 요인이 되는 것으로 판단된다.

대구 자어를 사육하면서 더욱 적합한 먹이를 사용하였더라면 난황흡수 이후 자어의 빠른 성장을 기대해볼 수 있을 것이다. 대구 자어의 먹이로는 로티퍼 Rotifer를 급이하였는데, 본 연구에 사용한 품종이 차가운 물에 잘 적응하지 못하여 먹이생물로서의 역할을 다 하지 못하여 자어의 성장이 원활하지 못했던 것으로 판단된다. 본 실험 결과에 의하면 대구 자어가 부화 10일

까지 난황을 흡수하면서 평균 3.62 mm 에서 평균 5.10 mm 까지 성장한 반면, 완전히 섭이에만 의존한 부화 11일부터 19일 사이에는 평균 5.10 mm 에서 5.30 mm까지 0.2mm 성장하였기 때문이다.

어류의 알과 자어 시기는 사망률이 아주 높는데, 이 시기동안 해류에 의하여 알과 자어가 성공적으로 산란장(spawning ground)에서 성육장(nursery ground)으로 이동되는 정도가 가입성공율을 결정하는 효과를 갖는다. 알과 자어가 머무는 수심에 따라 해류에 의한 이동결과가 다르게 나타나므로 각 발달단계에 따른 생물의 비중변화를 파악하는 것은 생물이 해양에서 위치하는 수직, 수평적 분포를 예측하는 모델에 적용시키는데 중요한 요소가 된다. 본 결과는 대구 알과 자어가 진해만의 수층에서 어느 위치에 분포하는지 추정하는데 이용될 수 있고, 초기 생활사 시기에 산란장과 성육장 주변에서 발생하는 해양환경변화가 가입량에 미치는 영향을 파악하는 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 사 사

본 논문에 사용된 실험재료를 제공해주신 부산광역시 수산자원연구센터에 감사드립니다.

## References

- Bian X, Zhang X, Sakurai Y, Jin X, Gao T, Wan R and Yamamoto J. 2014. Envelope surface ultrastructure and specific gravity of artificially fertilized Pacific cod *Gadus macrocephalus* eggs. *J Fish Biol* 84, 403-421. <https://doi.org/10.1111/jfb.12292>.
- Chyung MK. 1977. The fishes of Korea. Il Ji Sa Publishing Co., Seoul, Korea.
- Coombs SH. 1981. A density-gradient column for determining the specific gravity of fish eggs, with particular reference to eggs of the mackerel *Scomber scombrus*. *Mar Biol* 63, 101-106. <https://doi.org/10.1007/BF00394667>.
- Coombs SH, Boyra G, Rueda LD, Uriarte A, Santos M, Conway DVP and Halliday NC. 2004. Buoyancy measurements

- and vertical distribution of eggs of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Mar Biol* 145, 959-970. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1389-4>.
- Goarant A, Petitgas P and Bourriau P. 2007. Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) egg density measurements in the Bay of Biscay: evidence for the spatial variation in egg density with sea surface salinity. *Mar Biol* 151, 1907. <https://doi.org/10.1007/s00227-007-0624-1>.
- Hart JL and Clemens WA. 1973. Pacific fishes of Canada (Bulletin 180). Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Canada.
- Hurst TP, DW Cooper, JS Scheingross, EM Seale, BJ Laurel and ML Spencer. 2009. Effects of ontogeny, temperature, and light on vertical movements of larval Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). *Fish Oceanogr* 18, 301-311. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2009.00512.x>.
- Kendall A and S Kim. 1989. Buoyancy of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) eggs in relation to water properties and movement in Shelikof Strait, Gulf of Alaska, *Can J Fish Aquat Sci Spec Pub* 108, 169-180.
- Kim S. 1987. Spawning behavior and early life history of walleye Pollock, *Theragra chalcogramma*, in Shelikof Strait, Gulf of Alaska, in relation to oceanographic factors. Ph. D. Dissertation, University of Washington, Seattle, U.S.A., 221.
- Kim S. 1990. Status of fishery and science of Bering Sea walleye pollock: (I) History and importance of fisheries. *Ocean Res* 12, 117-128.
- Kim S and A Kendall. 1989. Distribution and transport walleye pollock larvae in Shelikof Strait, Gulf of Alaska, in relation to water movement. *Rapp P-v Cons int Explor Mer* 191, 127-136.
- Laurel BJ, LA Copeman, TP Hurst and CC Parrish. 2010. The ecological significance of lipid/fatty acid synthesis in developing eggs and newly hatched larvae of Pacific cod (*Gadus microcephalus*). *Mar Biol* 157, 1713-1724. <https://doi.org/10.1007/s00227-010-1445-1>.
- Lee JY, CS Lee, WK Kim, SU Park and BH Min. 2007. Effects of water temperature on egg developments, hatching and larval growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus*. *J Aquaculture* 20, 260-264.
- Li Z, J Yamamoto and Y Sakurai. 2015. Vertical position, specific gravity and swimming ability of Pacific cod *Gadus macrocephalus* yolk-sac larvae reared at four temperatures. *Fish Sci* 81, 883-889. <https://doi.org/10.1007/s12562-015-0911-6>.
- Miller B and Kendall AW. 2009. Early life history of marine fishes. University of California Press, Berkeley, U.S.A.
- Nishiyama, T, Hirano K and Haryu T. 1986, The early life history and feeding habits of larval walleye pollock *Theragra chalcogramma* (Pallas) in the southeast Bering Sea. *INPFC Bull* 45, 177-277.
- Petereit C, Hinrichsen HH, Voss R, Kraus G, Freese M and Clemmesen C. 2009. The influence of different salinity conditions on egg buoyancy and development and yolk sac larval survival and morphometric traits of Baltic Sea sprat (*Sprattus sprattus balticus* Schneider). *Sci Mar* 73, 59-72. <https://doi.org/10.3989/scimar.2009.73s1059>.
- Saborido-Rey F, OS Kjesbu and A Thorsen. 2003. Buoyancy of Atlantic cod larvae in relation to developmental stage and maternal influences. *J Plank Res* 25, 291-307. <https://doi.org/10.1093/plankt/25.3.291>.
- Seo YS, Park ME, Kim JG and Lee U. 2007. Egg development and juvenile growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea population). *Korean J Fish Aquat Sci* 40, 380-386. <https://doi.org/10.5657/kfas.2007.40.6.380>.
- Sundby S. 1997. Turbulence and ichthyoplankton: influence on vertical distributions and encounter rates. *Sci Mar* 61: 159-176.
- Woolley LD and JG Qin. 2013. Ontogeny of body density and the swimbladder in yellowtail kingfish *Seriola lalandi* larvae. *J Fish Bio* 82, 658-670. <https://doi.org/10.1111/jfb.12020>.