

TECHNICAL NOTE

어류 수정란(egg) 밀도 측정 장치 개발 및 적용

박종원 · 정해근 · 박주면 · 박흠기 · 이충일*

강릉원주대학교 해양자원육성학과

An Experimental Device for Measuring Egg Density and Adaptation under Laboratory Conditions

Jong Won Park, Hae Kun Jung, Joo Myun Park, Heum-Gi Park, Chung Il Lee*

Department of Marine Bioscience, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

Abstract

Information about the density of fish eggs is important to understand the vertical distribution of eggs and survival in early stage, in particular change in egg density is one of major issue in fisheries. This paper describes a practical application of an experimental system for measurement of the fish egg density under laboratory conditions. The device can control the temperature range in each water column, and make different densities at each layer. The density of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) eggs have ranged from 1,018.49 to 1,020.93 kg/m³ and were aggregated around the density of 1,020 kg/m³. The results show that the device is applicable for measuring the fish egg density under laboratory conditions.

Key words : Water temperature, Density float, Stratification, Olive flounder

1. 서론

해양에 서식하는 많은 어류들은 난(egg), 자치어(larva), 미성어(juvenile), 성어(adult)에 이르는 생활사 시기를 거치며, 알에서 갓 부화한 유생은 대부분 플랑크톤 생활을 한다. 어류들은 성장과정 동안 외부 환경변화에 각기 다른 적응력을 가지고 살아가며, 특히 초기 생활사 시기의 환경변화는 생존을 결정짓는 중요한 요소가 된다(Bunn et al., 2000). 어류는 전체 생활사 기간에 비해 산란 후 부화에 이르는 과정은 매우 짧은 시간동안 진행되며, 난의 수평 및 연직 분포 변화는 부화장으로 성공

적인 수송과 부화율 및 초기 생존율에 중요한 변수로 작용한다(Jung et al., 2013; Nissling et al., 2017). 그리고 이러한 초기 생활사 시기의 생존율은 가임량 예측 연구에 중요한 요소가 된다(Leggett and Deblois, 1994).

수주내 어류 난의 수직 분포는 난을 둘러싸고 있는 해수와 난의 밀도(density) 차이에 의해 결정이 된다. 자연 상태에서 난의 밀도는 난이 분포하는 수심에서 해수의 밀도와 흡사하므로, 난이 채집된 곳의 해수의 밀도를 파악하면 난의 밀도를 간접적으로 추정할 수 있다. 하지만, 실제 해역에서 특정 대상종의 난의 밀도와 채집된 수심의 밀도를 동시에 측정하기는 쉽지 않다. 그리고 어종에

Received 4 May, 2018; Revised 18 July, 2018;

Accepted 27 July, 2018

*Corresponding author: Chung Il Lee, Department of Marine Bioscience, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea
Phone: + 82-33-640-2855
E-mail: lecci@gwnu.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© 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.

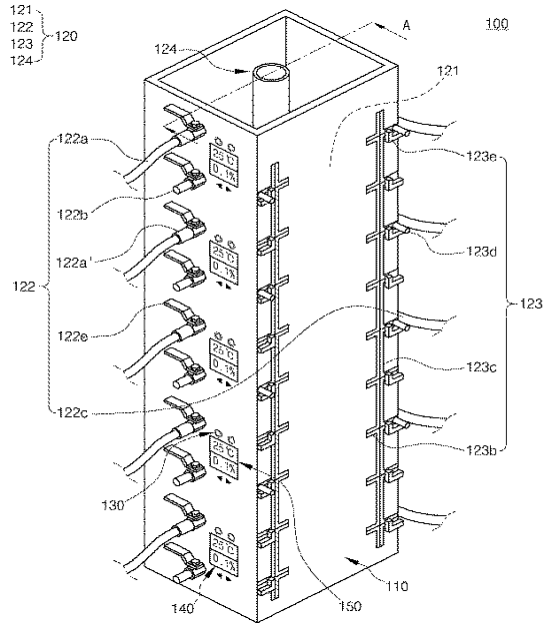


Fig. 1. Design for egg specific gravity measurement.

따라 난의 부화과정이 빨리 진행되고 이에 따라 밀도 변화가 생길 수 있기 때문에(e.g. Ospina-Álvarez et al., 2012), 현장에서 효율적인 측정을 하기에는 더 큰 어려움이 있다. 또한, 어류의 난은 부화과정 동안 내부 조직의 발달과 구성 물질 등의 변화로 인하여 밀도가 변하기 때문에(Kim et al., 2004), 상대적으로 짧은 시간내에 진행되는 난의 밀도 변화를 효과적으로 측정할 수 있는 방법이 필요하다. 기존의 어류 난의 밀도 측정 방법은 염분 농도의 변화를 기반으로 한 밀도 조절 방식을 이용하였으며(Coombs et al., 1985; Kim et al., 2004), 이는 실제 해양에서의 수온과 염분 변화에 따른 수주 내 연속적인 구조의 변화를 모사하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 해양생물의 자원생태학적 특성 이해와 자원량 관리에 있어서 중요한 요소인 어류 난의 밀도를 추정하기 위하여, 수온과 염분 변화에 따른 수주내의 연속적인 밀도 변화와 이에 따른 난의 위치 변화를 효과적으로 측정할 수 있는 장치의 개발과 납치(*Paralichthys olivaceus*) 난을 이용한 밀도 측정 결과를 분석하였다.

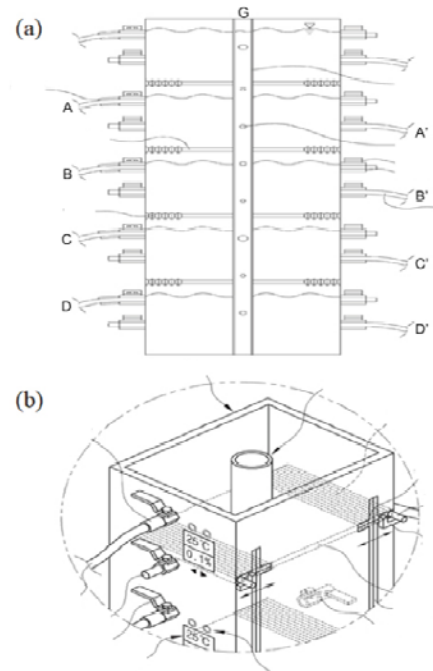


Fig. 2. Exploded perspective views: (a)=overall two-dimensional view of the device, (b)=specific three-dimensional view of the uppermost layer.

2. 장치 설계 및 기능

2.1. 밀도 측정 장치의 주요 구성 요소

본 장치(Fig. 1과 2)는 중심부(No. 124 in Fig. 1)의 외측에 층별 분리되는 외부 공간을 두어 층별(A-D in Fig. 2a)로 서로 다른 수온의 유체를 각각 공급 및 배출시켜 중심부 내측 있는 유체의 수온 조절이 되도록 하였다. 이러한 층별 수온 조절에 의해 다양한 밀도구배를 형성하는 구성을 통해 어류 난의 발달에 따른 밀도 변화 측정을 용이하게 하고자 한다. 각 요소별 부호의 설명은 Table 1에 정리하였다.

Fig. 1은 난 밀도 측정 장치의 모식도이며, 항온기를 이용하여 원하는 수온을 설정하고 유체(예: 해수)의 공급 및 배출(Fig. 1의 a-e)부위에 연결 후 항온기와 순환시켜 사용자가 원하는 수층의 수온 설정 및 유지가 가능하고, 항온기에 연결된 수온감지 센서를 이용하여 정밀한 수온 순환이 가능하다(Table. 2). Fig. 2a는 밀도 측정 장치의 내부를 나타내는 측 단면도이며, 각각 다른 높이로 유체

Table 1. Specifications of density measurement device which is shown in Fig. 2a

No.	Usage	Volume (cm ³)	Number of hose
A/A'	In-flow/out-flow	20 × 20 × 15 cm	2
B/B'	In-flow/out-flow	20 × 20 × 25 cm	3
C/C'	In-flow/out-flow	20 × 20 × 15 cm	2
D/D'	In-flow/out-flow	20 × 20 × 25 cm	3
G	Density measurement	1.5 × 1.5 × 82 cm × π (3.14)	n/a

Table 2. Specific densities in each number of density floats

No.	Density (kg/m ³)	No.	Density (kg/m ³)
1	1,015.2	6	1,023.9
2	1,020.0	7	1,024.9
3	1,021.1	8	1,025.9
4	1,022.1	9	1,027.0
5	1,023.0		

를 흐르게 할 수 있다. Fig. 2a의 G 부분은 반지름 1.5 cm 높이 82 cm의 구조를 가지며, 유체가 흐르는 높이 및 수온을 다르게 하여 밀도 변화를 관찰할 수 있다.

2.2. 항온기 및 밀도구슬

밀도 측정 장치에 공급하는 유체의 수온조절을 위한 항온기는 MaXircu CR-30을 사용하였고, 수온 조절범위는 -25℃~+150℃이고 정확도와 해상도는 모두 ± 0.1 ℃이다. 항온기에서 수온 조절을 위한 유체는 증류수를 이용하였고, 저온(<2℃)에서 유체의 동결을 방지하기 위하여 투명 부동액을 증류수와 1:3의 비율로 섞어 사용하였다.

밀도 측정장치 중심부 수주내에서 항온기를 이용하여 인위적으로 밀도구배를 만든 뒤 수층별 밀도구배를 측정하기 위한 밀도 구슬(density float, H&D Fitzgerald's, ± 0.1 kg/m³)은 총 9개를 이용하였다. 각각 밀도 구슬의 밀도는 1,015.2, 1,020.0, 1,021.1, 1,022.1, 1,023.0, 1,023.9, 1,024.9, 1,025.9, 1,027 kg/m³이고, 1에서 9까지 번호를 매겼다(Table 2). 그 다음 수주내 밀도 구슬간 밀도 차이와 거리를 이용하여 밀도구배를 추정하였다.

3. 밀도구배 형성 및 어류 난(egg) 밀도 측정

3.1. 밀도구배 형성

본 연구는 밀도구배 형성을 위해 본 장치에서 층별 수온 조절을 통하여 밀도구배를 만든 뒤 밀도구슬을 이용하여 층별 밀도 변화를 추정하였다. 실험에 사용된 해수의 염분은 33.4 psu이며, Fig. 1의 중심부에 항온기를 이용하여 상부와 하부의 온도를 임의로 조절하여 30분 후 그에 따른 수주 내의 밀도구배 형성한 뒤 밀도 구슬을 수주에 띄워 밀도 변화를 관찰하였다.

실험은 5번의 다른 수온 조절을 통하여 각기 다른 밀도구배(Case 1~5)를 형성하였다(Table 4). 실험 조건으로 밀도 측정 장치(Fig. 2a)의 B와D 부분의 15 cm 높이를 고정시켜 유체가 흐르게 하였고, Case 1부터 Case 5까지 각각 2~10℃, 2~15℃, 2~17℃, 2~20℃, 5~20℃의 범위로 수온을 유지시켰다(Table 3). Case 1의 경우 수주 내에 저층과 중층 상층부에 각각 1,027, 1,025.9, 1,024.9 kg/m³의 밀도구슬이 위치하였다 (Fig. 3a). Case 2의 경우 저층, 중층, 상층부에 각각 1,027, 1,025.9, 1,024.9, 1,023.9 kg/m³의 밀도구슬이 위치하였다(Fig. 3b). 그리고 Case 1과 2에서는 중층부에 강한

Table 3. Temperature range and density float distribution at water column in each case

Case	Depth (cm)	Temperature (°C)	Density float (kg/m ³)	Case	Depth (cm)	Temperature (°C)	Density float (kg/m ³)
1	0	2	1,027	4	0	2	1,027
	15	2			18	8	1,025.9
	25	7.2	1,025.9		23	13.7	1,024.9
	30	9.2			40	19.5	1,023.9
	65	10	1,024.9		65	20.2	1,023
2	0	2	1,027	5	0	6.5	1,027
	18	8	1,025.9		13	8	1,025.9
	25	13.5	1,024.9		23	14.5	1,024.9
	30	15.7			40	19.5	1,023.9
	65	15.5	1,023.9		65	19.7	1,023
3	0	2	1,027				
	18	8	1,025.9				
	23	13.7	1,024.9				
	30	16.5					
	65	17	1,023.9				

수온약층이 형성되었고, 밀도층 또한 뚜렷하게 형성되었다. Case 3의 경우 수주 내에 밀도구배는 Case 2와 동일한 구조가 형성되었지만, 1,024.9 kg/m³의 밀도구슬이 더욱 아래로 내려갔다(Fig. 3c). Case 4의 경우 수주 내에 저층, 중층, 상층부에 각각 1,027, 1,025.9, 1,024.9, 1,023.9, 1,023 kg/m³의 밀도구슬이 각 수층에 위치하였으며, Case 2와 3과 마찬가지로 중층부에 강한 수온약층이 형성되었다(Fig. 3d). Case 5의 경우 수주 내에 저층, 중층, 상층부에 각각 1,027, 1,025.9, 1,024.9, 1,023.9, 1,023 kg/m³의 밀도구슬이 분포하였으며, 앞선 Case 1~4와 다르게 중층의 수온약층이 약해져서 보다 밀도층이 뚜렷하게 형성되었다. 특히, Case 5 (5~20°C)가 수주 내의 밀도구배가 가장 균등하게 나타난 것으로 확인되었다(Fig. 3e).

3.2. 어류 난(egg) 밀도 측정 실험

밀도 측정 장치를 이용하여 밀도구배를 형성한 뒤 실제 어란의 밀도를 추정하기 위하여 넙치(*paralichthys olivaceus*) 수정란을 이용하여 실험하였다. 실험에 사용된 넙치 난의 발달 단계는 장배기(gastrula stage)이고 크기는 약 1 mm이며(Jung et al., 2015), 전라남도 여수에 위치한 배양장(배양장명: 마린 씨드)에서 공급받았다. 넙

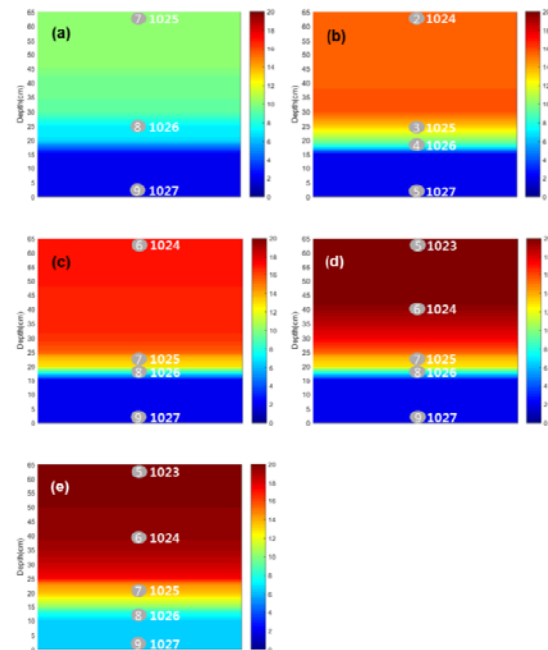


Fig. 3. Temperature ranges and density floats (circle) distributions along with each case of vertical temperature profiles: (a) 2~10°C, (b) 2~15°C, (c) 2~17°C, (d) 2~20°C, (e) 5~20°C.

Table 4. Estimated egg densities of *Paralichthys olivaceus* eggs in this study. The numbers indicate each of twelve replicate experiments

No.	Estimated density (kg/m ³)	Temperature (°C)	Number of egg
R-1	1,020.93	21.1	2
R-2	1,020.84	21.2	4
R-3	1,020.75	21.3	1
R-4	1,020.65	21.3	4
R-5	1,020.56	21.4	3
R-6	1,020.47	21.4	1
R-7	1,020.20	21.6	3
R-8	1,019.88	21.7	14
R-9	1,019.72	21.7	6
R-10	1,019.26	21.6	8
R-11	1,019.10	21.6	1
R-12	1,018.49	21.6	1

치 난의 밀도 측정을 위한 수주의 수온 범위는 5~22℃, 밀도 구슬의 범위는 1015.2~1025.9 kg/m³였다. 밀도구배가 형성된 수주에 낱치의 난 약 50개를 주입하여 수주 내 난의 위치가 안정된 후(약 1시간), 그 위치를 밀도 구

슬의 위치와 함께 기록하였다(Fig. 4). 또한 급격한 수온 변화에 따른 낱치 난의 열충격을 최소화 하기 위해 15-18℃ 수온 범위(낱치 난의 적정 부화 수온; Kim et al., 2010)가 형성된 위치에 난을 투하하여 밀도를 측정하였다. 그 결과 대부분의 낱치 난은 밀도 구슬 2번(1020.0 kg/m³)과 4번(1022.1 kg/m³) 사이에 위치하였고, 일부 난은 2번 보다 높은 곳에 위치하였다. 각 밀도 구슬에 해당하는 낱치 난의 위치와 밀도 구슬간 간격을 이용하여 측정된 낱치 난의 밀도 범위는 1,018.49 ~ 1,020.93 kg/m³도였고, 평균 밀도는 1,019.92 kg/m³(±1.91 kg/m³) 였다(Table 5).

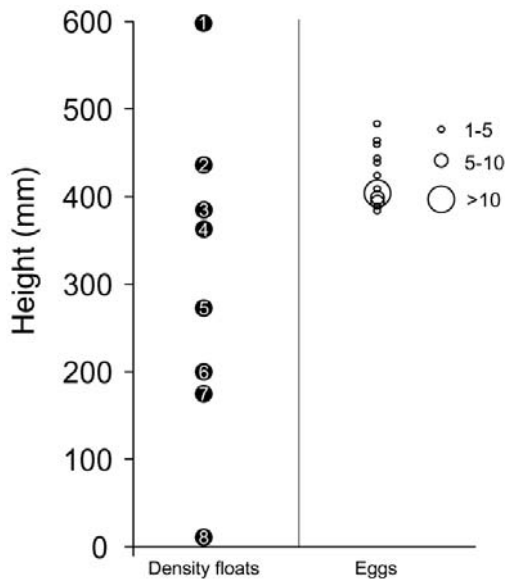


Fig 4. Vertical distribution of density floats and eggs of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). The number in circle indicate the number of each density float listed in Table 2.

4. 결론

본 연구에서는 인위적인 밀도 구배 형성이 용이한 장치를 개발하고, 이를 통해 어류 난의 밀도 측정 가능성을 실험 하였다. 해양에서 나타나는 다양한 형태의 밀도 구배를 규모가 작은 실험장치내에 재현하는 실험을 하였으며, 형성된 밀도 구배내에서 주요 양식 대상 어종인 낱치의 난 밀도를 측정 하였다. 측정 장치의 중심부 외내측 공간에 있는 유체의 온도 조절과 수온 조절을 통해 수주(column)내에 다양한 형태의 밀도 구배 형성이 가능 하였다. 낱치 난의 밀도 측정 실험 결과 난의 밀도 범위는 1,018.49 ~ 1,020.93 kg/m³이었고, 평균 1,019.92 kg/m³

이었다. 추후 측정된 난 밀도의 오차 범위를 최소화 하기 위해 반복 실험이 필요할 것으로 판단된다. 그리고 밀도 구슬이 갖는 오차 범위를 고려한 난의 밀도 측정 및 각기 다른 밀도 구배에서 부화 후 유생의 분포 특성에 대한 후속 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(MICT기반 명태 수산자원 회복·관리기술 개발, 강원씨그랜트사업)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Bunn, N. A., Fox, C. J., Webb, T., 2000, A Literature review of studies on fish egg mortality: Implications for the estimations of spawning stock biomass by the annual egg production method, Lowestoft: Sci. Ser. Tech. Rep., CEFAS, 37.
- Coombs, J., Hind, G., Leegood, R. C., Tieszen, L. L., Vonshak, A., 1985, Analytical Techniques, In: Techniques in Bioproductivity and photosynthesis 2nd edition, (Eds), Coombs, J. Hall, D. O. Long S. P., Scurlock, J. M. O., Pergamon Press, 219-220.
- Jung, H. S., Kim, Y. K., Kim, H. C., Noh, J. K., Lee, J. H., Kim, D. S., 2015, Embryonic development of haploid olive flounder *Paralichthys olivaceus*, Kor. J. Fish. Aquat. Sci., 48, 696-703.
- Jung, K. M., Kang, S., Cha, H. K., Choi, K. H., Myksvol, M. S., 2013, Buoyancy and vertical distribution of Mackerel *Scomber japonicus* eggs in Korean waters, J. Fish. Aquat. Sci., 46, 957-965.
- Kim, S., Yoo, J. M., Lee, E. K., 2004, Density changes of *Maurolucus muelleri* eggs during development, Kor. J. Ichthyol, 16, 331-335.
- Kim, Y. S., Do, Y. H., Kim, S. Y., Chang, Y. J., 2010, Developmental speed of olive flounder *Paralichthys olivaceus* eggs in various water temperatures. Dev. Reprod., 14, 59-63.
- Leggett, W. C., Deblois, E., 1994, Recruitment in marine fishes: Is it regulated by starvation and predation in the egg and larval stages?, Neth. J. Sea Res., 32, 119-134.
- Nissling, A., Nyberg, S., Petereit, C., 2017, Egg buoyancy of flounder, *Platichthys flesus*, in the Baltic Sea adaptation to salinity and implications for egg survival, Fish. Res., 191, 179-189.
- Ospina-Álvarez, A., Palomera, I., Parada, C., 2012, Changes in egg buoyancy during development and its effects on the vertical distribution of anchovy eggs, Fish. Res., 117, 86-95.