

온도, pH, 염분 내성 및 충격이 개불, *Urechis unicinctus* 유생에 미치는 영향

최상덕 · 김호진* · 라성주 · 정형택 · 윤호섭 · 신종암 · 이원교

여수대학교 수산생명과학부
*전남수산시험연구소

The Antibiotic Resistance and Shock of Temperature, pH and Salinity Effect on Larvae of *Urechis unicinctus*

Choi Sang Duk · Ho Jin Kim* · Sung Ju Rha · Hyung Taek Jung,
Ho Seop Yoon · Jong Ahm Shin · Won Kyo Lee

Division of Aqualife Science, Yosu National University
*Aquaculture Division, Chunnam Fisheries Research Institute

ABSTRACT

The effect of different temperature, salinity and pH on survival rate of *Urechis unicinctus*'s swimming embryo was examined to develop the method for the efficient seed production. In addition to, this study was designed to investigate the possibility of pollutant marker diagnosis of marine pollutions by the change in different temperature, salinity and pH.

Treatment was carried out with different temperature(5°C, 10°C, 17°C, 20°C, 25°C), salinity (0‰, 10‰, 20‰, 30‰, 34‰, 40‰) and pH(4, 6, 7.2, 8.2, 9.2, 10).

All the swimming embryo of the temperature experiment was survived within all experiment section, but the others experiment were not.

At the temperature-shock and tolerance experiment ranging from 5°C to 25°C, the survival rate was occurred: 75%, 95%, 100%, 100%, 50%, at the pH-shock experiment ranging from 4 to 10, the survival rate was occurred: 0%, 50%, 85%, 100%, 60%, 0%, at the pH-tolerance experiment ranging from 4 to 10, the survival rate was occurred: 0%, 75%, 90%, 100%, 80%, 0% and at the salinity-shock experiment ranging from 0‰ to 40‰, the survival rate was occurred: 0%, 10%, 90%, 95%, 100%, 0%, at the salinity-tolerance experiment ranging from 0‰ to 40‰, the survival rate was occurred: 0%, 0%, 90%, 100%, 100%, 0%.

These results suggest that, the survival rate of larvae of *Urechis unicinctus* was the highest at 17°C, 34‰, pH 8.2 and this *Urechis unicinctus* could be live at the zone of euryceious and zone of euryhalines.

Key Words : Pollutions, pH, Temperature, Salinity, *Urechis unicinctus*

1. 서 론

해양오염에 의한 해양 생태계의 파괴는 인간의 생존과 직결되는 심각한 문제가 아닐 수 없다. 그 중에서도 어패류나 해조류 등 수산생물의 오염은 삼면이 바다로 둘러싸여 있는 우리나라에서는 매우 심각하게 받아들여지고 있다.

이러한 오염은 머지않아 곧 자원의 고갈을 초래할 것이다. 미래의 식량자원으로서 해양생물 중 무척추동물에 대한 인식이 날로 향상되어 일부 양식 종에 대한 연구는 많이 진행되어 있으나, 개불에 대한 연구는 아주 미약한 상태이다. 특히 조간대 지역에 분포하고 있는 해양생물인 개불의 실제적인 계통보전을 목적으로 하는 초기 생활사, 생태 및 분포 등에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

현재 국내에서 개불에 관한 연구로는 초기 배 발생에 미치는 온도의 영향, pH 및 염분이 초기 배 발생에 미치는 영향 등이 있을 뿐 거의 없다 (Choi et al., 1998, 1999). 다른 종이나 *Urechis caupo*에 대한 연구로는 발전소의 온배수로 인한 온도변화가 *U. caupo*의 배 발생에 미치는 영향, 화력발전소 냉수계층이 해양생물에 미치는 경향을 보고한 적이 있다(Akesson, 1997; Lee and Jin, 1987). 일반적으로 무척추동물의 배 발생은 수온, 염분 등이 환경요인과 어미의 성숙도에 따라 속도 및 소요되는 시간이 좌우된다고 할 수 있다. 특히 개불의 경우 수온 뿐만 아니라 염분, pH는 난 발생을 좌우하는 매우 중요한 요인임을 인식하면서도, 여러 가지 온도, 염분, pH 조건하에서의 배 발생과정을 밝힌 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

한편, 저질 개선 효과에 탁월한 개불은 사질, 니질, 사니질인 해역에서 U자형 관을 만들어 서식하고 있으며, 특히 개불은 저질에 잠입 할 때 "U"자형의 관을 형성하기 때문에 환경 친화성 동물로 평가되고 있다(Clark, 1969; Stephen and Edmonds, 1972; Storch, 1984; Choi 등, 미발표). 해양 생태

계에서 인간이 쉽게 이용하고 생산성이 매우 높은 조간대의 저질은 임해공단의 배출수, 양식장 노후화 및 혐기성인 환경오염 등에 의하여 호기성인 저질이 혐기성인 환경으로 전이되는 경우가 많다 (Pritchard and White, 1981; Eaton and Arp, 1990; Choi et al., 1997; Choi et al., 1998). 저질이 혐기성상태로 전이되면 해양생태계는 파괴되어 많은 생물이 살수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 개불의 생존에 크게 영향을 미칠 것으로 추측되는 온도, 염분, pH에 따른 생존율의 변화와 생리적 특성을 밝힘으로서 개불의 경제적, 효율적, 효과적인 보전 관리, 대량종묘생산에 있어서 반드시 규명되어야 할 과제라 생각되며, 온도, 염분, pH가 개불유생의 성장에 미치는 영향을 분석하여 오염지표의 설정 가능성을 평가하고자 한다.

2. 재료 및 방법

실험에 사용된 개불은 1999년 4월 20일 전라남도 여수시에 소재한 잠수기수협에서 구입하였다. 구입한 개불은 ice pack을 이용하여 여수대학교 양식장환경 및 무척추동물학 실험실로 옮기고, 실험해수는 자연해수를 5 μ m cartridge 여과기로 여과시킨 후, 이 해수를 실험수조에 6l 넣었으며, 7일간 사육하였다. 수조는 43×23×25cm의 크기를 사용하였으며, 바닥은 직경 0.7cm의 자갈을 15cm 높이로 깔았고, 수온은 16±0.3°C, 용존산소는 6~7mg/l로 유지하였다. Arp et al.(1992)의 방법에 준하여 개불의 체장 및 체중을 조사하였으며, 인공수정에 사용된 개불의 암컷은 12.8cm, 67g였고, 수컷은 16cm, 84g였다. 수정은 Choi et al.(1998)의 방법에 준하여 16±0.3°C에서 채취한 알을 정자 현탁액으로 수정시켰다. 개불의 인공수정을 위하여 구강부터 절개한 후에 인위적으로 압박을 가하여 개불의 난낭과 정낭을 채취하였다. 알주머니에서 채취된 성숙난은 평균 직경 110 μ m로 구형, 담황색이었고 핵은 중앙에서 약간 벗겨져 한쪽으

로 치우쳐 있는 분리침성난이였다.

개불을 수정시킬 때의 수온은 $16 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 였고, 염분은 34‰, pH는 8.2인 상태였다. 수정된 개불의 난을 멸균해수가 채워진 1000ml용 비이커에서 10일간 사육한 부유유생을 수온, 염분 및 pH의 내성과 충격실험에 각각 사용하였다.

개불 유생에 대한 온도의 내성과 충격실험은 5°C , 10°C , 17°C , 20°C , 25°C 에서 실시하였다. 10일간 사육한 개불 유생의 온도의 충격실험을 조사하기 위하여, 수온 $16 \pm 0.3^\circ\text{C}$, 염분 34‰, pH 8.2인 환경 조건에서 사육하던 유생을 온도별 각 실험구에 20개체씩 5분간 노출한 후, 원상태의 환경조건으로 옮겨 60분 동안 생존율을 각각 조사하였다. 유생에 대한 온도 내성실험을 조사하기 위하여, 온도별 각 실험구에 유생을 20개체씩 분주하고 60분 동안 생존율을 각각 조사하였다.

유생에 대한 pH의 내성 및 충격실험은 온도의 내성 및 충격 실험과 같은 방법으로 실시하였다. pH의 조절은 NaOH수용액과 HCl 수용액을 사용하여 실험에 필요한 pH를 조절하였고(pH 4, 6, 7.2, 8.2, 9.2, 10), pH meter(Mettler Toledo)를 이용하여 측정하였다. 이때 염분농도와 온도는 개불의 성체가 서식하던 곳과 비슷한 30‰, $16 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 이었다.

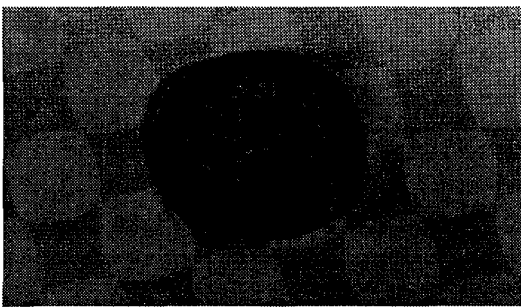


Fig. 1. Larvae of *Urechis unicinctus*.

한편, 유생에 대한 염분의 내성 및 충격실험은 위의 두 가지 방법과 동일한 방법으로 실시하였으

며, 염분농도별 실험구는 0, 10, 20, 30, 34, 40‰였다. 이때 수온은 $16 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 였고, pH는 8.2였다. 실험의 각 구간에 필요한 염분농도는 인공해수를 제조하여 사용하였고, 염분계(Tsurumi model E-2)를 이용하여 각 실험에 필요한 염분농도를 측정하였다. 모든 실험은 3회 반복하여 실시하였으며, 실험에 사용된 데이터는 평균값을 사용하였다.

3. 결 과

3.1 온도충격 및 내성실험

온도충격실험에서의 각 실험구간별 개불의 생존율 결과는 Fig. 2과 같다. 실험 중 17°C 와 20°C 에서 생존율은 거의 100%를 나타냈으며, 개체는 강한 활동력과 섭모운동을 보였다. 17°C 를 기준으로 볼 때 10°C 는 25°C 보다 높은 생존율을 나타내었고, 5°C 에서는 한 시간 후 약 75%의 생존율을 보였으며, 섭모운동으로 보기에 조금 부족하나 미약한 운동을 하고 있었다. 10°C 에서는 약 95%정도의 높은 생존율을 나타냈고, 5°C 보다는 조금 더 활발한 운동을 보였으나, 17°C 와 20°C 보다는 조금 미약한 섭모운동을 하고 있었다. 25°C 에서는 50%정도의 생존율을 나타내었으나 개불유생의 활동성은 매우 미약하였다. 개불유생들은 저수온인 경우 고수온일 때 보다 더욱 강하고 활발한 섭모운동과 높은 생존율을 나타내었다. 온도충격실험에서는 실험하는 동안 전 개체가 폐사하는 실험구는 나타나지는 않았다.

온도내성실험에서 생존율의 결과는 Fig. 3와 같다. 온도내성실험에서는 충격실험과 거의 유사한 결과를 나타내었으며, 온도내성실험 중 10°C , 17°C , 20°C 에서 거의 100%에 달하는 높은 생존율을 나타내었고, 5°C 에서는 85%정도의 생존율을 나타내었다. 또한, 25°C 실험구에서도 45%의 생존율을 나타냄으로써 충격실험에서와 비슷한 생존율 결과를 나타내었다. 이 실험에서도 역시 저수온인 경우

고수온인 경우보다 더욱 높은 생존율과 활발한 섬모운동을 보여 주었으며, 온도충격실험에서와 같이 모두 폐사하는 실험구는 나타나지는 않았다.

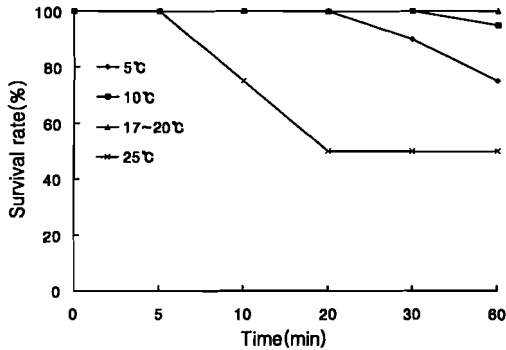


Fig. 2. The effect of different temperature shock on survival rate of swimming embryo of *Urechis unicinctus* for 5 minute.

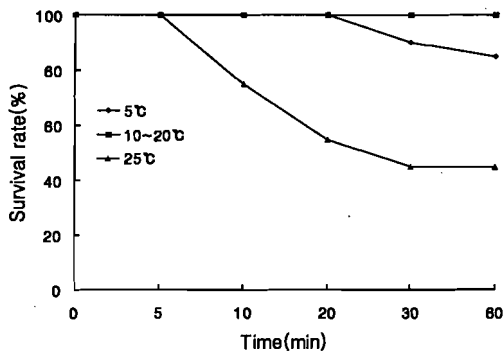


Fig. 3. The effect of different temperature tolerance on survival rate of swimming embryo of *Urechis unicinctus*.

3.2 pH 충격 및 내성실험

pH 충격실험은 수온 $16 \pm 0.3^\circ\text{C}$, 염분 34‰에서 pH4, 6, 7.2, 8.2, 9, 10에서 행하였으며, 각 실험구에서 생존율의 결과는 Fig. 4와 같다. pH8.2에서는 생존율 100%를 보였고, pH7.2에서는 약 80%의 비교적 높은 생존율을 보였으나, pH6과 pH9.2에서는 각각 50%, 60%의 생존율을 보였다. 또한, pH4와 pH10에서는 0%의 생존율을 나타내었다.

전체적으로 볼 때 pH8.2에서는 강한 섬모운동과 활동성을 보였고, pH6과 pH9.2에서는 미약하나마 섬모운동을 하였다. pH7.2에서는 pH8.2보다 활동성이 약했고, pH6과 pH9.2에서보다 활발한 섬모운동을 하였다. 반면 강산성과 강염기성인 pH4와 pH10에서의 모든 개체는 형태적 변화가 나타났으며, 실험 시작 약 5분이 지나서 전 개체가 폐사하였다.

한편, pH내성실험에서는 충격실험과는 조금 다른 결과를 얻을 수가 있었다. pH내성실험에서 각 실험구간별 생존율의 결과는 Fig. 5와 같다. pH4와 pH10에서는 전 개체가 폐사하였으며, pH6,

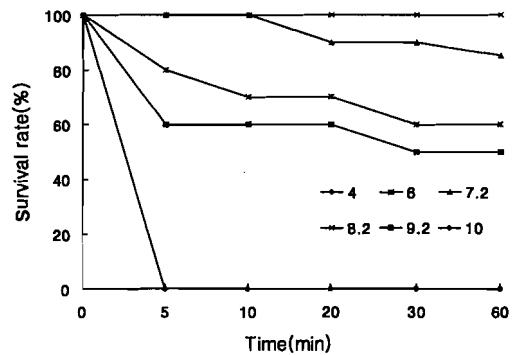


Fig. 4. The effect of different pH shock on survival rate of swimming embryo of *Urechis unicinctus*.

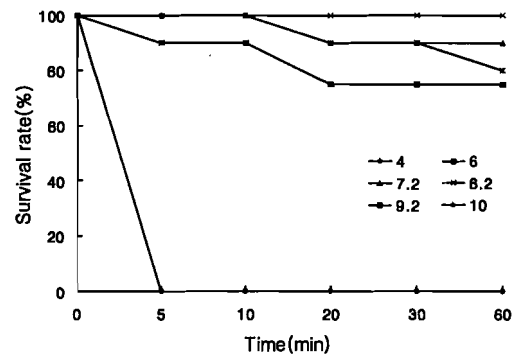


Fig. 5. The effect of different pH tolerance on survival rate of swimming embryo of *Urechis unicinctus*.

pH7.2, pH9.2에서는 75%, 90%, 80%의 높은 생존율을 나타냄으로써 pH충격실험에서보다는 높은 생존율을 나타내었다. 그러나 pH내성실험에서도 역시 강산과 강염기에서는 생존율이 0%였다.

3.3 염분 충격 및 내성실험

수온은 $16 \pm 0.3^\circ\text{C}$, pH8.2에서 실시한 염분 충격 실험의 결과는 Fig. 6과 같다. 실험 중 34%에서 100%의 높은 생존율을 나타냈고, 20%와 30%에서는 각각 90%와 95%의 높은 생존율을 나타냈으며, 10%에서는 10%의 낮은 생존율을 나타냈고, 0%의 가장 낮은 생존율은 0%와 40%에서 나타났다.

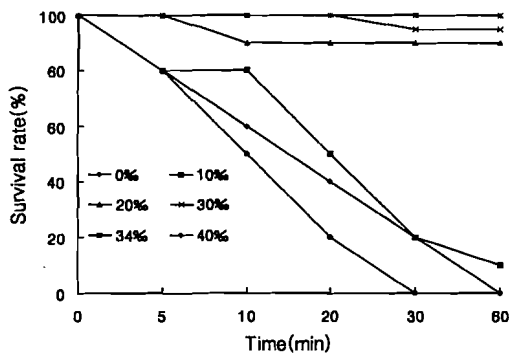


Fig. 6. The effect of different Salinity shock on survival rate of swimming embryo of *Urechis unicinctus*.

염분 34%을 기준으로 볼 때 0%와 40%에서는 개불의 생존이 불가능하였고, 20%와 30%에서는 일정 시간 내에서 비교적 잘 적응하는 모습을 보였다. 전체적으로 볼 때 34%에서는 강한 섬모운동과 활동성을 보였고, 20%와 30%에서는 34%일 때보다 미약하나, 비교적 강한 섬모운동과 활동력을 나타내었다. 10%에서는 20%보다 덜 활동적이었으며, 생존하여 있는 개체들은 미약한 섬모운동을 하였다. 반면 0%와 40%에서는 모든 개체가 형태적 변이를 일으켰으며, 전 개체가 폐사하였다.

염분내성실험에서의 생존율결과는 Fig. 7과 같다.

염분 0%와 40%에서는 염분충격실험에서와 동일하게 생존율 0%를 나타내었으나, 전 개체가 폐사에 이르는 시간이 충격실험에서보다 더 빠른 진행을 보였다. 실험구간 중 10%에서도 전 개체가 약 20분 후에 폐사하여 0%의 생존율을 나타내었다. 염분 20%, 30%에서는 90%와 100%에 달하는 높은 생존율을 나타내었다. 염분내성실험에서 가장 높은 생존율은 34% 실험구이었다.

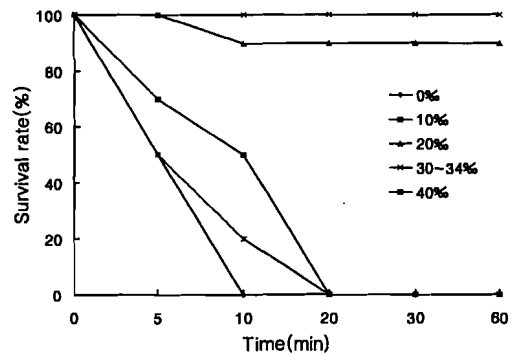


Fig. 7. The effect of different Salinity tolerance on survival rate of swimming embryo of *Urechis unicinctus*.

4. 고 찰

개불을 일명 “spoon-worm”이라고도 불리우며 온대, 적도 및 극지방의 조간대에서 심해층의 암석, 모래 및 펄에 서식하며 현재까지 3과 37속 157종이 알려져 있으나, 우리나라에서는 약 4가지 종이 있는 것으로 알려져 있으나, 이 종에 대한 초기 생활사, 생태 및 분포 등에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다.

개불의 체형은 체절이 없고, 체강을 갖는 대칭형이며, 크기는 수mm에서 25cm이며, 부드러운 표피를 갖는다(Clark, 1969; Stephen and Edmonds, 1972; storch, 1984; Choi et al., 1998). 본 연구에서는 개불에 대한 기초지식을 확립하는 계기로 개불의 생존율에 크게 영향을 미칠 것으로 추측되는

온도, 염분, pH에 따른 생존율의 변화와 조건대 생태계 변화에 대하여 개불의 환경영향 평가로써의 가능성을 제시하고자, 개불 유생에 대한 온도, 염분, pH의 내성 및 충격실험을 각각 5~25°C, pH4~10, 0%~40%에서 실시하였다.

온도충격 및 내성실험 결과 17~20°C 실험구에서는 모든 개체가 생존하였고, 5~20°C에서 비교적 높은 생존율을 나타내는 것으로 보아 늦봄부터 가을까지의 고수온을 제외한 계절적 수온변화에도 강한 생존을 나타낼 것으로 사료된다. 이러한 결과는 개불, *U. unicinctus*의 산란시기(11~4월)의 수온과 비교 해볼 때 본 종은 겨울철에 번식 성장하는 것으로 추정된다(Choi et al., 1999). 개불 유생에 대한 pH 충격 및 내성실험 결과 pH4와 pH10 실험구를 제외한 거의 대부분의 실험구(pH6~9)에서 높은 생존율을 보인 점으로 보아 개불 유생은 강산과 강염기를 제외한 조건대에서 서식이 가능 할 것으로 추정된다(Stephen, 1972; Suer and Phillips, 1983; Strathmann, 1987; Eaton and Arp, 1990; Arp et al., 1992; Choi et al., 1999).

유생에 대한 염분충격 및 내성 실험 결과, 염분 농도 20~34‰ 실험구에서 매우 높은 생존율(80% 이상)을 보였으며, 정상적인 섭모운동을 하였다. 이러한 결과는 개불의 서식장소가 조건대에서 광범위하게 분포할 것으로 추정된다. 이와 같이 생물을 이용한 환경 영향 평가에 관한 연구로는 Choi et al.(1997)의 황해산 도다리(*Pleuronichthys cornutus*)를 이용한 지질의 성분변화, 산소라디칼 및 제거 효소변화, 콜린에스테리아제 활성의 변화에 따른 생화학적 오염지표의 가능성, Lillie(1921)과 Hoadley(1923)의 성계 수정과 발생에 미치는 금속이온의 영향, Yu and Cho(1998)가 성계를 이용한 해수의 생물학적 평가에 있어 온도가 미치는 영향 등이 있다.

우리나라의 조건대는 공장폐수 및 육상오수의 유입, 그리고 농약 등의 오염원에 노출되어 있어 수

질환경이 매우 악화되고 있는 실정을 감안 할 때, 본 연구는 조건대에 서식하는 생물 중 개불의 서식환경을 예측하고 자원관리의 기초적인 자료를 얻었지만, 이에 대한 연구가 유생 뿐 아닌 개불성체에 대해서도 진행되어야 할 것으로 사료된다. 이러한 연구는 앞으로 해양오염, 또는 급작스런 기상이변에 따른 적절한 대책방안을 마련할 수 있는 좋은 모델이 될 것으로 사료된다.

한편, 무척추동물의 가치에 대한 인식이 계속 향상되고는 있지만, 무척추동물과 무척추동물이 서식하는 환경을 존속시키기 위해서 좀더 많은 연구가 필요한 시점이다. 보전활동의 초점이 되는 유용 무척추동물이나 환경의 건강에 민감한 지표종에 대한 보전 능력을 향상시키는데 주력을 기울여야 될 것이며, 앞으로도 많은 연구를 필요로 한다.

5. 요 약

개불의 경제적, 효율적, 효과적인 보전 관리, 대량종묘생산 뿐만 아니라 해양 조건대 환경 지표, 생리적 특성을 구명하기 위하여, 개불유생에 대한 온도 충격 및 내성, pH 충격 및 내성, 염분 충격 및 내성 실험 결과는 다음과 같다.

개불유생의 생존율에 미치는 온도 충격 및 내성을 조사한 결과, 17°C와 20°C 실험구에서는 100%의 가장 높은 결과를 얻었고, 20°C 이상과 10°C 이하 실험구에서는 생존율이 급격히 낮아졌다. 온도 충격 및 내성실험의 결과는 서로 비슷하였고, 전 개체가 폐사한 실험구는 나타나지는 않았다.

pH 충격 및 내성을 조사한 결과, pH8.2 실험구에서는 100%의 가장 높은 생존율을 나타내었고, pH8.2 실험구를 기준으로 pH가 상승하거나, 낮아질 때 생존율은 저조하였다. 그 중에서도 pH4와 pH10 실험구에서 전 개체가 붕괴되어 폐사하는 결과를 나타내었다. pH 충격 및 내성실험에서는 온도 충격 및 내성실험에서와는 달리 모든 개체가 붕괴하는 실험구도 나타났고, pH6과 pH9.2 실험구

에서의 pH 내성실험은 pH 충격실험보다 약 20% 정도 높은 생존율을 나타내었다.

염분 충격 및 내성실험을 조사한 결과, 30%와 34% 실험구에서는 100%에 달하는 가장 높은 생존율을 나타내었고, 이 두 실험구를 기준으로 염분이 상승하거나, 낮아질 때 생존율은 저조하였다. 그 중에서도 0%와 40% 실험구는 pH4와 pH10 실험구에서와 같이 모든 개체가 붕괴되어 폐사하는 결과를 나타내었다. 염분 충격실험은 0% 실험구에서 전 개체가 붕괴하는데 이르는 시간이 약 30정도인 반면 염분 내성실험의 0% 실험구에서는 10분 이내에 전 개체가 붕괴하는 결과를 나타내었다. 10% 실험구에서도 염분 충격실험은 60분 동안 10%의 생존율을 나타내었으나, 염분 내성실험의 10% 실험구에서는 20분 이내에 모든 개체가 붕괴하는 결과를 나타내었다.

이러한 결과를 볼 때 개불 유생의 생존을 위한 최소한의 조건으로써, 온도는 10°C~20°C, pH는 pH6~9.2, 염분은 20‰~34‰로 나타났다. 개불은 환경변화의 폭이 심한 공간대에 서식하기에는 적합한 동물로 평가되나, 극한 상황에서 생존율에 미치는 영향은 매우 민감하였다.

참 고 문 헌

- 1) Akesson, T. R., The effect of temperature change on the development of *Urechis caupo* Fisher and MacGinitie 1928(Echiuroidea), Estuarine and Coastal Marine Science, Vol. 5, 445~453(1977).
- 2) Arp, A. J., B. M. Hansen and D. Julian., Burrow environment and coelomic fluid characteristics of the echiuran worm *Urechis caupo* from population at three sites in northern California, Marine Biology, Vol. 113, 613~623(1992).
- 3) Choi, S. D., H. J. Kim, S. J. Rha, K. J. Choi, H. L. Suh., Study on the commercial scale production of *Urechis unicinctus*(von Drasche) in Southern Korea. The effect of temperature on egg development, Bull. Yosu /nal 'l. Univ., Vol. 13, No. 2, 973~981(1998).
- 4) Choi, S. D., H. J. Kim, S. J. Rha, S. Y. Hong, W. K. Lee, and W. B. Lee., The effect of pH and salinity on egg development of *Urechis unicinctus*(von Drasche) in Southern Korea, J. Aquaculture Vol. 12, No. 2, 155~161(1999).
- 5) Choi, J. H., D. W. Kim, C. K. Park, J. I. Kim, and D. B. Yang., Study on biochemical pollutant markers for diagnosis of marine pollution. IV. Changes in lipid components of flounder(*Pleuronichthys cornutus*) in the Yellow Sea, J. Korean Fish. Soc., Vol. 30, No. 4, 601~607(1997).
- 6) Choi, J. H., D. W. Kim, C. K. Park, and D. B. Yang., Study on biochemical pollutant markers for diagnosis of marine pollution. V. Changes in oxygen radicals and their scavenger enzymes of flounder(*Pleuronichthys cornutus*) in the Yellow Sea, J. Korean Fish. Soc., Vol. 30, No. 4, 608~613(1997).
- 7) Choi, J. H., D. W. Kim, C. K. Park, and D. B. Yang., Study on biochemical pollutant markers for diagnosis of marine pollution. VI. Changes in cholinesterase activity of flounder (*Pleuronichthys cornutus*) in the Yellow Sea, J. Korean Fish. Soc., Vol. 30, No. 4, 614~619(1997).
- 8) Clark, R. B., Systematic and phylogeny: Annelida, Echiura, Sipuncula. In M. Florkin and B.T. Scheer(eds.), Chemical zoology.

- Vol. 4, Academic Press, New York, p.68(1969).
- 9) Eaton, R. A. and A. J. Arp., The effect of sulfide on the oxygen consumption rate of *Urechis caupo*, *am. Zool.*, Vol. 30, 1~69(1990).
 - 10) Hoadley, L., Certain effect of the salts of the heavy metals on the fertilization reaction in *Arbacia punctulata*, *Biol. Bull.*, Vol. 44, 255~280(1923).
 - 11) Lee, S. K and P. Jin., Effect of cooling water system of a power plant on marine organisms. I. Effect on primary production, *Bull. Korean Fish. Soc.*, Vol. 20, No. 5, 381~390(1987).
 - 12) Lee, S. K., Effect of cooling water system of power plant on marine organisms. II. Effect on benthic organisms, *Bull. Korean Fish. Soc.*, Vol. 20, No. 5, 391~407(1987).
 - 13) Lillie, F. R., Studies of fertilization. X the effect of copper salts on the fertilization reaction in *Arbacia* and a comparison of mercury effects, *Biol. Bull.*, Vol. 41, 125~143(1921).
 - 14) Prichard, A. and F. N. White., Metabolism and oxygen transport in the innkeeper *Urechis caupo*, *Physiol. Zool.*, Vol. 54, : 44~54(1981).
 - 15) Stephen, A. C. and S. J. Edmonds., The Phyla Sipuncula and Echiura. British Museum (Natural History), London. 527 pp(1972).
 - 16) Storch, V., Echiura and Sipuncula. In J. Bereiter-Hahn, A. G. Matolsky and K. S. Richard(eds.), *Biology of the Integument*, Springer-Verlag, Berlin, pp.368~375(1984).
 - 17) Yu, C. M. and K. A. Cho., The effect of temperature on biological evaluation of seawater with seaurchins, *J. of the Korean Enviromental Sciences society*, Vol. 8, No. 2, 160~164(1998).