

## 울돌목 해역에서 조류발전 시설 터빈 가동에 따른 동물플랑크톤의 피해 영향

유정규<sup>1)</sup>, 남은정<sup>2)</sup>, 명철수<sup>3)</sup>

### Impact assesment of zooplankton by turbine of tidal power plant in Uldolmok waterway, Korea

Jeong-kyu Yoo, Eun-jung Nam, Chul-soo Myung

**Key words** : Turbine(터빈), Physical impact(물리적 충격), Diaphragm pump(다이아프램 펌프), Net mortality(순 사망률), Egg production(알 생산)

**Abstract** : 울돌목은 조류발전의 세계적인 최적지로 꼽히고 있으며 서해와 남해의 접이 지대로서 조류에 의해 해양 생물 군집의 대량 이동이 빈번한 곳이라 할 수 있다. 조류 발전 시설인 터빈의 가동은 물리적인 충격에 의해 해양 생물의 생태-생리 반응에 영향을 미칠 가능성이 있다. 네트를 이용한 1차 조사에서 터빈 가동에 의한 동물플랑크톤의 순 사망률은 44.3%로 나타났다. 1차 조사 이 후 다이아프램 펌프를 이용한 조사 결과 중 출현 개체수가 높았던 조사에서 전체 동물플랑크톤의 순 사망률은 각각 7.3%, 5.8%를 나타내었고, 요각류는 각각 4.4%, 5.2%를 나타냈다. 물리적인 충격을 인위적으로 가한 실험에서 스트레스를 받은 요각류 *Acartia hongii*의 알 생산은 스트레스를 받지 않은 것보다 1.8~2.3배 낮은 경향을 보였다. 본 조사에서 동물플랑크톤이 낮은 사망률을 보이는 이유는 작은 크기의 생물이 우점하였기 때문이며 조사 결과에서 몸체가 비교적 단단하고 크기가 작은 요각류는 상대적으로 약한 부유유생보다 높은 생존율을 보였다. 울돌목 조사 해역에서 출현한 동물플랑크톤은 크기가 작아 터빈의 물리적인 충격에 의한 사망률은 낮을 수 있으나 순간적으로 강한 스트레스를 받는다면 재생산을 포함한 생리활동이 저하될 수 있음을 보였다. 네트 및 펌프를 이용한 조사 결과에서 네트에 의한 채집은 터빈의 영향뿐만 아니라 빠른 유속으로 인하여 네트가 받는 압력에 의해 생물체가 손상되는 양상이 높아 사망률이 높았던 것으로 보인다. 그러나 다이아프램 펌프는 생물 채집 시 오류를 최소화하는 장점은 있으나 채집의 장치 간에 비해 매우 적은 생물량이 채집되는 단점을 보였다

### 1. 서 론

울돌목은 전남 해남군 화원반도와 진도 사이에 있는 해협(Fig. 1)으로서 지형적인 영향으로 유속이 최대 13 knot(6.6m/s)로 조류발전의 세계적인 최적지로 꼽히고 있다(Kang *et al.*, 2003). 또한 울돌목 수로는 길이 약 1,100m, 폭이 약 300~500m로 해협의 폭이 좁아 발전 구조물의 설치와 발전효율이 극대화될 수 있는 최적의 조건을 갖춘 지역이다(최 등, 2004).

연안에서 인간 시설의 증가는 해양 생물의 생리-생태에 영향을 미칠 수 있으며 이는 해양 생태계의 변화를 초래할 수 있다. 해양 구조물 공사, 매립 그리고 채취는 부유 물질(한국골재협회인천지회, 2002) 및 독성 물질의 유입 등으로 해양 생물의 생리 활동 저하 및 치사를 일으킬 소지가 있

다. 발전소의 경우 냉각계통 순환에 따른 치사 및 생리 활동 저하가 해양 생태계 변화의 원인으로 인식되기도 한다(Hamilton *et al.*, 1970; Briand, 1975; 심과 여, 1992). 울돌목 해역의 조류 발전 시설은 자연적인 신 재생 에너지 시설로서 친환경적인 구조물로 여겨진다. 그러나 발전시설인 터빈의 가동은 해양 생물에 물리적인 충격을 가해 치사 및 스트레스 증가에 따라 생리 반응에 영향을 줄 가능성이 있다. 울돌목 해역은 서해와 남해의 접이 지대로서 조류에 의해 남해와 서해 해양 생물 군집의 대량 이동이 예상되는 곳이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 발전소 구조물인 터빈의 가동에 따른 동물플랑크톤의 치사 및 생리 반응의 차이를 조사하여 조류 발전 시설에 따른 동물플랑크톤의 피해 영향을 파악하고자 한다.

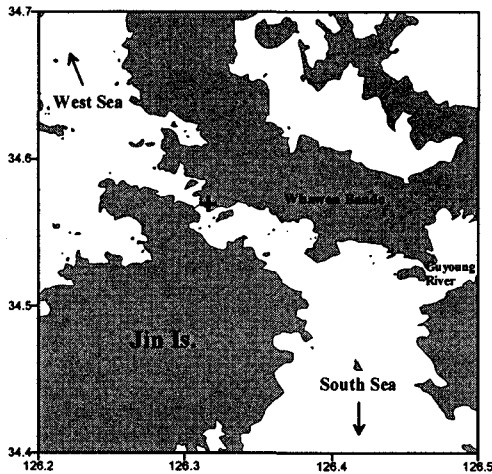


Fig. 1 Map showing the sampling site.

## 2. 재료 및 방법

동물플랑크톤의 사망률 측정은 울돌목 조류 발전 시설에서 2004년에 총 5회(4월, 7월, 8월, 12월 1회)를 실시하였다. 1차 조사에서는 망구 47 cm, 망목 200 $\mu$ m인 원추형 네트를 이용하여 터빈을 통과하기 전과 통과한 후의 시료를 채집하여 사망률을 구하였다. 2차 조사부터 4차 조사까지는 다이아프램 펌프를 이용하여 사망률 분석을 위한 동물플랑크톤 시료를 채집하였다(Fig. 2). 동물플랑크톤의 사망률은 터빈 통과 후 전체 사망률과 터빈 통과 전 자연 사망률의 차를 이용하여 터빈에 의한 순 사망률을 구하였다. 사망률은 현장에서 시료의 채집 즉시 해부 현미경을 통해 생사 유무로 구하였다.

터빈에 의한 순간적인 스트레스에 따른 동물플랑크톤의 생리 반응 조사는 요각류의 알 생산으로 비교하였다. 요각류 *Acartia hongii*의 생시료를 채집하여 대조구와 원심분리기를 통해 100, 200, 400rpm의 순간적인 스트레스를 가한 후 24시간 동안 생산된 알의 수를 비교하였다. 생시료 채집은 망구 47cm, 망목 200 $\mu$ m인 원추형 네트를 이용하여 수직 채집하였으며 시료의 채집과 동시에 현장 수온에 맞춰진 항온수조에 넣어 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 2~3시간 안정시킨 후 80 $\mu$ m인 체로 걸러진 해수가 들어있는 1l pc bottle에 암컷 성체 8~10 개체씩 넣은 후 대조구는 현장 수온에 맞춰진 배양실의 수조에 배양하였으며, 나머지 시료는 원심분리기를 통해 인위적인 스트레스를 가한 후 배양하였다. 모든 실험구에서 2~3번 반복 측정하였다. 24시간 후 해부 현미경을 통해 생산된 알의 수를 계수하여 비교하였으며 알 생산은 암컷 성체 한 마리당 생산된 알의 수로 나타내었다.

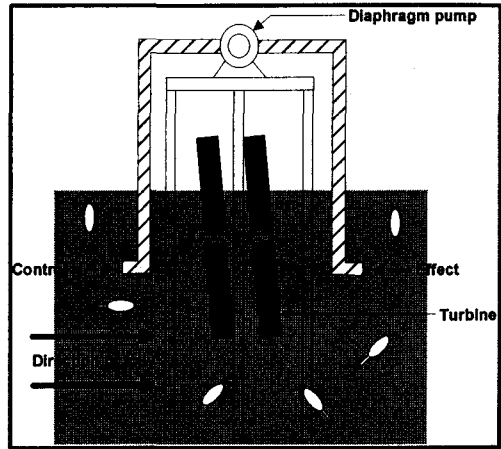


Fig. 2 Sampling gear with diaphragm pump for collecting zooplankton.

## 3. 결과

### 3.1 조류 발전시설의 터빈 가동에 의한 동물플랑크톤 순 사망률

터빈 가동에 의한 동물플랑크톤의 순 사망률은 터빈 통과 전과 후의 동물플랑크톤 생사 유무를 고려하여 측정하였다. 동물플랑크톤의 사망률은 시료의 채집방법에 따라 차이가 크게 나타났다. 1차 조사에서는 네트에 의한 채집방법을 이용하였으나 조사 해역의 빠른 조류에 의해 네트가 받는 압력이 증가하여 조사 과정에서 동물플랑크톤의 순 사망률이 40%를 상회하는 높은 값을 나타냈다. 따라서 채집과정에서 발생하는 사망률의 증가를 줄이기 위하여 다이아프램 펌프(Diaphragm pump)를 이용한 채집방법을 채택하여 터빈 가동에 의한 사망률 이외의 사망요인을 최소화하였다.

다이아프램 펌프를 이용하여 측정된 전체 동물플랑크톤의 사망률은 Table 1에 나타내었다. 전체 동물플랑크톤의 순 사망률은 -1.7~16.5%의 범위를 보였다. 12월 조사에서는 생물량이 극히 낮아 자료의 분석에 있어 큰 의미를 갖기 어려워 보인다. 시료의 개체가 충분히 확보된 조사에서는 5.8, 7.8%의 순 사망률을 보여 네트에 의한 사망률 44.3%보다 매우 낮은 경향을 나타냈다.

내용을 입력하십시오.

Table 1. Net mortality(%) of zooplankton by turbine of tidal power plant.

Content	Sampling method	Month	Before		After		Net mortality
			Mortality	Inds.	Mortality	Inds.	
Total zooplankton	Net	4/7	15.8	387	60.1	464	44.3
		7/31	6.9	260	14.1	297	7.2
	Diaphragm pump	8/1	6.5	108	12.3	244	5.8
		12/13	9.5	21	7.8	51	-1.7
		12/14	6.4	47	22.9	48	16.5
Copepods	Net	4/7	16.5	369	57.9	423	41.4
		7/31	5.4	129	9.8	235	4.4
	Diaphragm pump	8/1	6.1	82	11.3	213	5.2
		12/13	5.3	19	6.7	45	1.4
		12/14	4.7	35	23.7	38	18

터빈 가동에 의한 동물플랑크톤의 피해 영향은 터빈 회전제에 의한 물리적인 요인에 의해 몸체가 손상되는 것에서 비롯된다. 그리고 터빈의 강한 회전제에 의한 스트레스와 쇼크로 생리 활동이 저하되는 현상을 들 수 있다. 따라서 크기가 크거나 몸체가 연약한 생물의 피해가 클 것으로 예상된다. 그러나 본 조사에서는 작은 크기의 동물플랑크톤이 우점하여 낮은 사망률을 보였다. 조사 결과 몸체가 비교적 단단하고 크기가 작은 요각류는 상대적으로 약한 부유유생보다 높은 생존율을 보였다. 조사에서 우점한 동물플랑크톤의 경우 크기가 1mm 이하의 작은 크기였다.

세부적인 동물플랑크톤의 순 사망률을 살펴보면 다음과 같다. 7월, 8월 조사에서 우점한 동물플랑크톤은 *Paracalanus crassirostris*와 *P. indicus*였다. 두 종의 크기는 *P. crassirostris*가 대략 400 $\mu$ m 이하, *P. indicus*가 700~800 $\mu$ m로 볼 수 있다. 터빈이 가동되는 시간에 조사된 결과에서 *P. crassirostris*는 12.3%, 16.2%의 사망률을 보였고 *P. indicus*는 6.5%, 2.6%의 사망률을 나타냈다. 12월의 조사에서는 전체적으로 낮은 생물량을 보여 종별 사망률의 변이가 컸다.

### 3.2 인위적인 스트레스에 의한 동물플랑크톤의 생리 반응

인위적으로 스트레스를 가한 후 동물플랑크톤의 순간 치사율을 측정된 결과에서 사망률은 매우 낮은 것으로 조사되었다(Fig. 3). 순간 사망률은 5% 이하이거나 음의 값을 보인 경우도 있어 인위적인 스트레스에 의한 동물플랑크톤의 사망률은 의미가 없는 것으로 판단된다.

인위적인 스트레스에 의한 동물플랑크톤의 사망률은 매우 낮게 조사되었으나 순간적인 스트레스는 생물의 생리 활동에 영향을 미칠 수 있다. 인위적인 스트레스를 가한 후 요각류의 알 생산을 비교한 결과를 보면 순간적인 스트레스는 동물플랑크톤의 생리 반응에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 스트레스를 가하지 않은 대조실험구에서 요각류 *Acartia hongii* 암컷 성체의 알 생산은 평균 11.03 $\pm$ .76(Mean $\pm$ SD) eggs/female/day였다. 그러나 인위적인 스트레스를 가한 *A. hongii*는 100rpm에서 6.25 $\pm$ .77, 200rpm에서 4.81 $\pm$ .27, 400rpm에서 5.21 $\pm$ .58eggs/female/day로 조사되었다(Fig. 4). 스트레스를 받은 *A. hongii*는 스트레스를 받지 않은 *A. hongii*보다 1.8~2.3배 낮은 알 생산을 나타냈다.

내용을 입력하십시오. 내용을 입력하십시오. 내용을 입력하십시오. 내용을 입력하십시오. 내용을 입력하십시오. 내용을 입력하십시오. 내용을 입력하십시오. 내용을 입력하십시오.

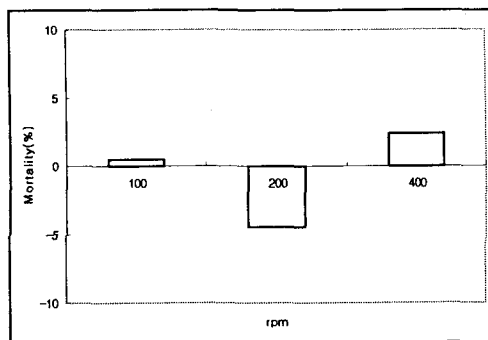


Fig. 3 Net mortality of *Acartia hongii* by effect of a centrifuge.

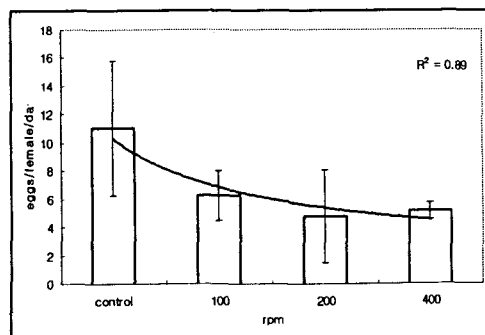


Fig. 4 Daily egg production rate of *Acartia hongii* by effect of a centrifuge.

### 3.3 발전소 온배수에 의한 동물플랑크톤 치사율과의 비교

기존 연구에서 발전 시설에 의한 동물플랑크톤의 사망률은 온배수에 의한 영향이 주를 이룬다. 발전소의 냉각 계통 순환에 따른 동물플랑크톤의 사망률 조사는 대부분의 발전소에서 수행되고 있다. 조류 발전 시설에 의한 동물플랑크톤의 사망은 터빈의 회전에 의한 물리-기계적인 영향이 큰 반면에 기타 여러 발전 시설에서는 냉각을 위한 해수의 취수 시 발생하는 물리적인 충동에 의한 원인이 있지만 온배수와 현장 해수의 수온 차이에 의한 치사 또는 스트레스가 가장 큰 원인으로 여겨지고 있다. 기존에 조사된 발전소의 냉각 계통 순환에 따른 동물플랑크톤의 사망률은 계절 및 해역에 따라 다양하게 나타난다.

이 전의 연구 결과들을 살펴보면 동물플랑크톤의 사망률은 국내의 경우 16.0%(한국해양연구원, 2000), 30.2%(LG에너지주식회사, 2002), -2.5~21.5%(LG에너지주식회사, 2004), 2.4~16.1%(주)이엔씨 기술연구소, 2003), -24.8~20.2%(한국전력공사 전력연구원, 2001-a), -10.6~19.3%(한국전력공사 전력연구원, 2002-b), -6.6~57.7%(한국전력공사 전력연구원, 2001-b), -7.2~16.4%(한국전력공사 전력연구원, 2002-b), 12.5~83.6%(한국전력공사 전력연구원, 2003)라는 보고가 있다(Fig. 5). 외국의 경우 Anraku & Kozasa(1979)에 의하면 요각류가 냉각계통을 통과한 후 71~81%가 치사된 것으로 보고하였다. 또한 Kolehmainen *et al.*(1975)는 온배수 배출에 따른 배수구 주변 해수의 수온 상승폭이 10℃ 이상일 때 동물플랑크톤이 냉각계통을 통과하면서 95%가 치사되는 것으로 보고하였으나 수온 상승폭이 1~6℃일 경우 오히려 생물량과 종 다양성이 점진적으로 증진될 수 있다고 하였다. 국내의 연구 결과와 본 조사 결과를 비교해 보면 조류 발전 시설의 동물플랑크톤 사망률은 기존 연구 결과의 범위에 속하며 평균적으로는 낮은 값을 보였다(Fig. 5). 그러나 해역별로 출현하는 동물플랑크톤 종의 차이는 사망률 조사에 있어 각각 동물플랑크톤의 내성 범위와 관련이 있기 때문에 각기 다른 결과를 보일 수 있다.

그밖에 해양 준설이나 항만, 방조제 공사 과정에서 발생하는 동물플랑크톤의 사망률은 대부분 부유사 농도에 의한 영향과 담수 유입량의 변화에 의한 결과로써 본 조사결과와의 비교가 어려우나 사망률에 미치는 여러 가지 요인에 비해 상대적으로 본 조사에서 조류발전 터빈에 의한 사망률은 낮은 것으로 나타났다.

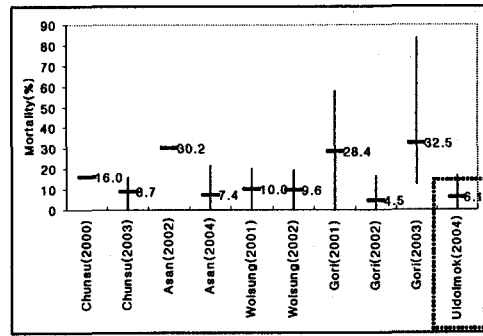


Fig. 5 Comparison of zooplankton mortality between effects of tidal power plant and other power plants. Data was quoted in references of KORDI(2000, Chunsu bay), E&C Institute(2003, Chunsu bay), LG energy Co.(2002, Asan bay), LG energy Co.(2004, Asan bay), KEPRI(2001, Wolsung), KEPRI(2002, Wolsung), KEPRI(2001, Gori), KEPRI(2002, Gori), KEPRI(2003, Gori).

### 4. 결론

울돌목 해역은 남해 및 서해의 점이 지대로서 해양 생물의 이동이 빈번한 해역이다. 조사해역에서 우점한 동물플랑크톤은 대부분 1mm 이하 작은 크기의 생물이 우점하였으며 요각류가 많은 부분을 차지하였다. 네트 채집에 의한 사망률 측정은 빠른 조류로 인해 네트에 걸리는 압력이 커짐에 따라 동물플랑크톤의 사망률이 터빈이 아닌 다른 원인에 의해 증가되는 경향을 보였다 이는 측정 시 사망률이 과대평가가 될 소지가 있다는 것을 의미한다. 다이어프램 펌프를 이용한 채집에서 동물플랑크톤의 순 사망률은 평균 6.1%를 나타내어 여러 발전소의 보고서에서 나타난 사망률보다 낮은 경향을 보였다. 그러나 스트레스를 경험한 동물플랑크톤의 생리 활동이 저하될 가능성은 있을 것으로 보인다. 순간적인 스트레스는 동물플랑크톤의 순간 사망률에 큰 영향을 미치지 않으나 이후 발생하는 생리적인 반응, 즉 성체의 알 생산을 1.8~2.3배 감소시킨 결과를 나타냈다. 울돌목 조사 해역에서 출현한 동물플랑크톤은 크기가 작아 터빈의 물리적인 충격에 의한 사망률은 낮을 수 있으나 순간적으로 강한 스트레스를 받는다면 재생산을 포함한 생리활동이 저하될 수 있음을 보인다. 그러나 실험에서는 100rpm 이상의 회전력으로 생물에 스트레스를 가하여 수행되었기 때문에 실제 울돌목 해역의 터빈의 회전력보다 높은 스트레스를 받았을 가능성도 배제할 수 없다.

## References

심재형·여환구, 1992. 한국 연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향 - II. 고리원자력발전소 냉각계통 통과에 따른 식물플랑크톤의 변화. *Korean J. Environ Biol.*, Vol. 10, No.1, pp. 1-8.

(주) 이엔씨기술연구소, 2003. 보령복합화력발전소 어업피해영향조사 관련 해양생물환경조사 최종보고서. pp. 51-52.

최동림·이태희·김성렬·이용국·박진순·염기대, 2004. 전남 진도 울돌목의 해저지형 및 지질환경. 한국해양학회. 2004년 춘계 학술발표대회 초록집. pp.416.

한국골재협회인천지회, 2002. 경기만 내 해사부존량 추정 및 해사채취에 따른 환경영향연구. pp. 396-399.

한국전력공사 전력연구원, 2001-a. 월성원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2000년보). pp. 137-145.

한국전력공사 전력연구원, 2002-a. 월성원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2001년보). pp. 134-137.

한국전력공사 전력연구원, 2001-b. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2000년보). pp. 151-158.

한국전력공사 전력연구원, 2002-b. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2001년보). pp. 155-158.

한국전력공사 전력연구원, 2003. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2002년보). pp. 155-158.

한국해양연구원, 2000. 보령화력발전소 주변해역 온배수 환경조사. pp. 377-393.

LG에너지주식회사, 2002. LG부곡 LNG복합화력발전소 건설사업 사후환경영향조사 결과보고서(4차년도). pp. 93-95.

LG에너지주식회사, 2004. LG부곡 LNG복합화력발전소 건설사업 사후환경영향조사 결과보고서(6차년도). pp. 146-147.

Anraku, M. and E. Kozasa, 1979. The effects of heated effluents on the production of marine plankton(Takahama Nuclear Power Station-II). *Bull. Plankton Soc. Jap.* 26(2): pp. 77-86.

Briand, F. J. -P., 1975. Effect of power plant cooling systems on marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, 33: 135-146.

Hamilton, D. H., Jr., D. A. Flemer, C. W. Keefe and J. A. Mihursky, 1970. Power plants:

effects of chlorination on estuarine primary production. *Science*, 169: 197-198.

Kang, S.K., K.D. Yum and W.O. Song, 2003. Nonlinear tidal characteristics along the Uldolmok waterway off the southwestern tip of the Korean peninsula. *Ocean and Polar Research*, Vol. 25(1): pp. 89-106.

Kolehmainen, S.E., F.D. Martin and P.B. Schroeder, 1975. Thermal studies on tropical marine ecosystems in Puerto Rico. *In*. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants. Proc. Symp. Oslo., Internation Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 409-422.