



축제식 대하양식장에서 수차의 순환기능

강 운 호*

여수대학교 창업보육센터

Effects of Paddle Wheel on Water Circulation in Shrimp Culture Ponds

Yoon-Ho Kang*

Yosu National University Business Incubator, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

To study the effect of paddle wheel on water circulation, velocity components were measured in shrimp ponds both along the longitudinal direction from a single paddle wheel and at 25 grid points of two ponds, which have mean water depth of 1.2 m and aspect ratio (length/width) 1.05 and 0.68, respectively. An analysis of factors related to water quality and circulation showed that i) a single paddle wheel has an effective distance of 33 m for de-stratification, 16 m for particulate suspension and 25 m for removal of organic material, dispersion of DO and prevention of bed sediment disturbance and ii) with doubling the number of paddle wheels at the pond corners, the flow speed increased by 13 % over the ponds, while it reduced by 8.5 % around the pond centres. Contrary to expectation, increasing the number of paddle wheel did not generate strong circulation around the pond centre and improve water quality.

Key words: Shrimp pond, Paddle wheel, Jet flow, Eddy, Circulation

서 론

자연 호지와 호소는 시간에 따라 노령화 과정을 거친다. 노령화는 수괴와 저질에서 동시에 발생하는데, 사육호지의 경우 노화속도는 온도, 영양염, 저질조건, 생물밀도, 과다사료 등의 환경요인에 의해 결정된다. 특히, 고밀도 양식장에서 노령화는 퇴적물 침강 및 퇴적, 수질악화, 혐기성 저질 및 슬러지, 중금속 및 부영양화를 유발하는 영양염 축적 등에 의해 가속화 될 수 있다. 이러한 호지의 노령화는 양식어종의 생산성과 직접 연관이 있기 때문에 노령화를 늦추는 방법에 대한 연구는 매우 중요하다 (Rogers, 1989).

호지의 노령화를 방지하기 위한 관리방법으로서 포기과 순환, 저질 준설, 저질 산화, 사육수 교환을 증가와 오염물 제거를 위한 호지 디자인 개선 등의 공학적 방법이 있다. 포기는 호지의 수괴와 저질의 용존산소 농도에 직접적으로 영향을 미치며, 수질과 저질을 개선하는 효과를 갖는다. 순환은 수온성층 파괴, DO의 연직혼합 그리고 퇴적물 두께를 감소시켜 양식생물을 위해 보다 좋은 수질을 제공한다. 따라서, 포기과 순환은 수질 및 저질을 개선하는데 탁월한 효과가 있는 것으로 나타났다 (ASCE, 1979). 저질 준설은 단기간에 걸쳐 오염물이 쌓이는 것을 감소할 수 있으나, 비용이 많이 소요되고 저질이 교란될 가능성이 있다. 산화물(Calcium nitrate)을 저질에 투입할 경우 저

*Corresponding author : ykang@info.yosu.sc.kr

질의 표층만 소독하고 양식생물에게는 영향을 주지 않는 장점이 있다. 유량 교환율을 증가시키기 위해서는 비용이 많이 소요되기 때문에 포기 및 순환을 함께 고려하는 것이 바람직하다. 유기물 등의 사료찌꺼기를 쉽게 제거하기 위한 배수구의 디자인이나, 판리가 가능한 호지의 적정 규모를 정하는 것도 중요하다. 이상의 여러 가지 방법 중 수차를 이용한 방법이 가장 널리 사용되고 있다.

수차의 일차적 기능은 포기 기능인데, 산소전달 효과에 대해서는 이미 많은 연구가 되어있는 반면 (ASCE, 1983; Ahmad and Boyd, 1988; Boyd and Watten, 1989; Fast et al., 1999), 수차의 순환기능에 대해서는 아직 많은 연구가 진행되지 않은 형편이다 (Chamberlin, 1988; Rogers and Fast, 1988; Rogers, 1989; Peterson, 2000). 현재 우리나라에서 수차는 축계식 고밀도 대하양식장에서 널리 사용되고 있으나, 수차의 순환효과에 대해서는 외국과 마찬가지로 연구가 미비한 실정이다. 호지의 용존산소가 3~4 mg/L 이하인 저산소일 경우, 일반적으로 포기시설을 이용하여 호지에 산소를 공급한다. 포기시설은 전원공급에 따라 크게 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 전력공급 시설이 갖추어지지 않는 경우 트랙터에 연결하여 포기시설을 가동하는 것이고, 다른 하나는 전력공급을 안정적으로 공급받을 수 있는 경우, 전원을 포기시설에 직접 연결하여 사용하는 것이다. 포기시설은 형태 및 구조에 따라 다음 몇 가지가 있다. 즉, 수직펌프, 펌프스프레이, 수차, 공기확산시스템, 프로펠러 흡기펌프 등이 있다. 포기시설의 산소공급 기능에 관련하여 표준산소 전달속도 (Standard Oxygen Transfer Rate : SOTR; = lb O₂/hr)와 표준포기효율 (Standard Aeration Efficiency : SAE; = lb O₂/HP-hr)이라는 두 가지 계수를 사용한다. SOTR은 일정온도 (68F)와 초기산소농도 0 mg/L인 조건하에서 포기시설에 의해 공급되는 용존산소의 양으로 정의된다. SAE는 SOTR을 포기시설 작동에 사용된 동력으로 나눈 양으로 정의되며, 이때 동력은 공급되는 전원의 마력이 아니라 포기시설의 축에 전달되는 마력을 나타낸다. SOTR은 트랙터에 연결하여 사용하는 경우 포기시설의 등급을 나타낼 때 주로 쓰이며, SAE는 비교적 작은 규모의 포기시설의 기능을 표시할 때 사용한다.

수차는 호지에 산소를 공급하지는 않지만 산소와 수온 등을 재분포시키는 순환기능을 갖는다. 순환기능의 효과는 저질개선, 성층파괴, DO의 균일한 연직분포, 그리고 개선된 수질에 의한 서식생물의 증가 등을 지적할 수 있

다. 순환기구가 호지에 미치는 효과는 호지내 생물이 서식할 수 있는 공간을 확장하여 결과적으로 생물의 서식공간을 확장시킨다 (Chamberlin, 1988; Rogers and Fast, 1988; Rogers, 1989; Peterson, 2000).

본 연구에서는 우리나라 서해안 대하양식장에서 수차를 사용하였을 때 호지에서 발생하는 유속을 관측하여 흐름의 순환구조를 해석하였고, 그 결과로부터 수차가 호지에 미치는 성층방지, 저질교란 및 입자성 물질 침강방지 기능에 대한 효과를 파악하였다.

재료 및 방법

1. 양식장

수차에 의한 호지내의 순환 관측은 전북 고창군 부안면 송현리에 위치하는 대하양식장 (Fig. 1)에서 실시되었는데, 양식장에서 사육하는 어종은 보리새우科 보리새우屬에 속하는 대하 *Penaeus chinensis* 이다. 호지의 규모, 취수, 배수 및 수차의 배치 등에 대해서는 1991년 Kim (2000)이 직접 설계하였고 현재 이 방법에 따라 운영되고 있다. 양식장은 9개의 사육호지와 2개의 저수호지로 구성되어 있으며, 저수호지는 사육수를 일시적으로 취수하여 모아두는 장소로 Fig. 2의 중앙 R1과 R2이다. 본 실험에 사용된 사육호지는 Fig. 2의 A와 B로서 저수호지로부터 사육수를 공급받는다.

2. 양식장의 기하학적 형태

호지의 기하학적 형태는 사각형으로서 직각의 모서리를 갖는다. 호지 벽의 경사는 사육이 시작되는 4월에는 약 45° 이나 사육이 끝나는 10월에는 부분적으로 경사가 약

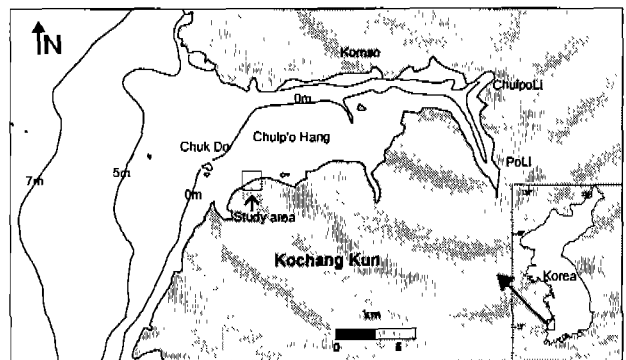


Fig. 1. Map showing the study area.

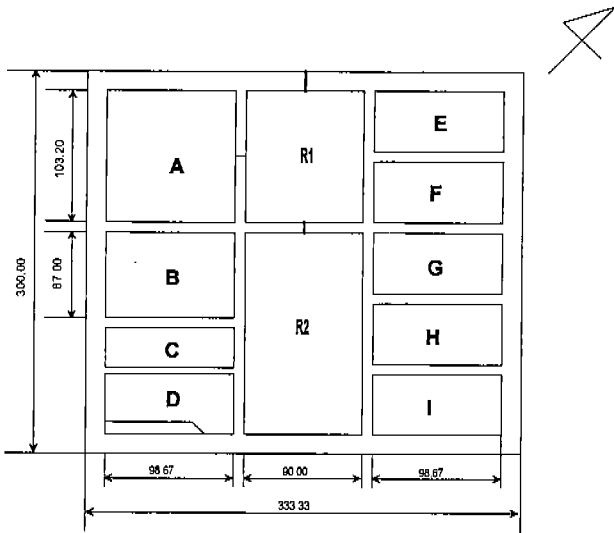


Fig. 2. Schematic diagram of shrimp culture ponds.

30° 정도까지 완만한 형태로 변한다. 호지 벽의 토양은 주로 니질로 구성되어 있어, 강우시 심하게 침식되어 호지내로 유입되는 현상을 보인다. 본 연구에서 주로 사용된 호지 A와 B의 변장비 (길이/폭)는 각기 1.05, 0.68이다. 호지의 바닥은 주로 니질로 구성되어 있으며, 수심은 배수구가 있는 구역이 가장 깊으며 대각선으로 반대편 구역이 가장 얇다. 양쪽의 수심차는 약 30~50 cm에 달한다. 그리고 양쪽을 연결하는 대각선을 따라 골을 파서 바닥에 침강하는 오염물이 배수구로 이동하도록 되어있다.

3. 수차

본 연구에 사용된 수차는 대만산 FORZET Model 201로서 모터에 공급되는 전원은 1.5 kW(2HP)이며 rpm은 1,600이고 수차 날개의 rpm은 모터에 대해 14 : 1의 비율을 갖는다. 수차는 물에 뜨게 하기 위해 부양판을 갖고 있으며 호지에 설치시에는 말뚝을 이용하여 고정한다. 수차에는 4개의 허브가 하나의 축에 고정되어 있고, 1개의 허브에 8개의 날개가 부착되어있다. 날개의 재질은 플라스틱이며 가로와 세로가 18×21 cm로서 원형의 구멍이 촘촘히 뚫어져 있어 회전시 물과 충돌하여 물을 전방으로 밀어내면서 동시에 공기방울을 발생시켜 포기가 잘 이루어지도록 고안되어 있다 (Fig. 3).

4. 유속 관측

유속 관측은 호지 A, B 그리고 F 세 곳에서 두 가지 방

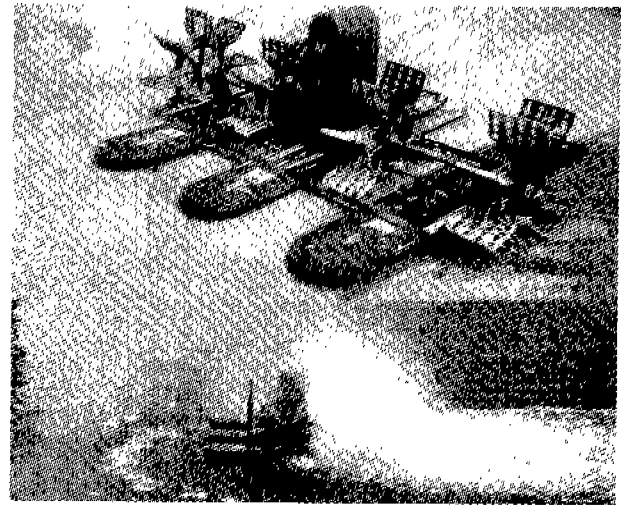


Fig. 3. Front and side views of paddlewheel aerator.

법으로 실행하였다 (Fig. 2). 첫째, 수차 1대를 작동하면서 수차에 의한 직선 거리별 유속변화를 측정하기 위해 호지 F (평균수심 1.2 m)에서 수차를 좌상단에 대각선 방향으로 우하단을 바라보도록 위치시키고 10m 마다 표층, 중층 및 저층에서 유속을 관측하였다. 층별 관측수심은 표층은 수표면에서 20 cm, 저층은 바닥에서 20 cm 그리고 중층은 중간수심으로 정하였다. 둘째, 수차에 의한 호지내 유속구조를 측정하기 위해 호지 A와 B에서 유속을 관측하였다. 양 호지에서 수차는 모서리에 각각 1대씩 4대를 설치하였다. 본 연구에서는 대각선 위치에서 수차를 2대 작동하는 경우와, 4대 전부 작동하는 두 가지 경우를 택하여 표층, 중층 및 저층에서 각기 유속을 측정하여 수심 평균값을 사용하여 해석하였다. 관측 위치는 모두 25곳이며 Fig. 4에 표시하였다. 관측 지점에는 3 m 길이의 말뚝을 박아 위치를 고정하였고, FRP보트를 이용하여 관측을 실시하였다. 수차와 바람에 의한 흐름으로 배의 위치를 고정시키기 어려워, 보트를 말뚝에 정박하고서 사람이 관측 기기를 직접 들고 사육수로 들어가 유속을 관측하였다. 관측 값은 케이블에 연결된 장치를 통하여 보트 위에서 읽고 야장에 기록하였다. Fig. 4는 호지 B의 수차의 위치와 관측지점을 나타내었으며, 호지 A에서 수차의 위치는 호지 B(호지벽에서 가로와 세로 각기 9 m)와 동일하다. 그 외 관측위치는 호지 B에서 보는바와 같이 동일한 거리 비율을 산정하여 결정하였다.

유체의 속력과 방향은 전자식 기록식 유속계 ACM210-D (Altec Electronics Co., Japan)를 사용하여 관측하였다.

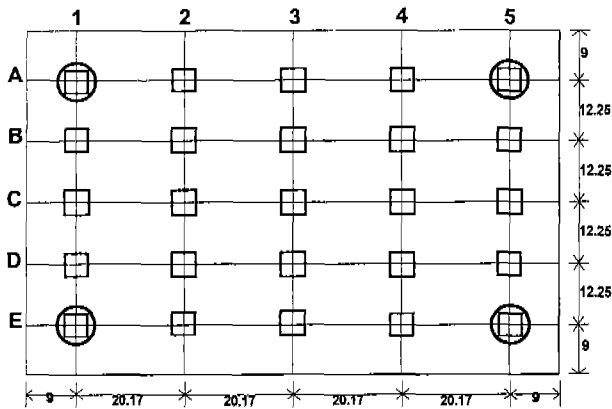


Fig. 4. Location of flow measurements and paddlewheels on B culture pond. (flow-square; paddlewheel-circle; unit-m).

기기는 속력센서, 방향센서, 연결선, 플라스틱날개 그리고 표시장치로 구성되어있다. 속력센서는 직경 5 cm의 구 형태를 갖고며 표면에 4개의 전극이 돌출되어 있다. 작동원리는 패러데이의 전자기 유도법칙에 따른다. 전도체가 자기장을 지날 때 전도체는 전류를 발생시킨다는 원리에 근거하여, 유체가 센서(자기장)를 지날 때, 유속에 비례하는 전류가 발생되는데 이때 이 전류를 측정하는 것이다. 센서의 측정범위는 0~250 cm/s이며, 정밀도는 관측 값의 $\pm 2\%$ 혹은 ± 0.5 cm/s 이고 해상도는 0.1 cm/s이다. 유향 센서는 몸통의 압력 장치내에 위치하며 정밀도는 $\pm 2^\circ$ 이며, 해상도는 0.1° 이다. 두 개 센서에서 획득된 아날로그 관측 값은 케이블을 통하여 표시장치에서 디지털 값으로 변환하여 읽거나, RS-232C 포트를 통하여 컴퓨터로 송신할 수 있다. 자료 변환시 시간평균은 연속, 5s, 10s 중 선택할 수 있는데 본 연구에서는 5s로 설정하였다. 기기 사용시 플라스틱날개를 몸통에 연결하지 않고 사용할 수 있으나 유향이 빠르게 변하여 안정된 자료를 구하기 힘들거나 혹은 유속이 너무 느려 유향이 분명치 않을 때 부착하여 사용하는 것이 바람직하였다.

결 과

1. 수차 1대에 의한 유속구조

평균 수심이 1.2 m 인 호지 F에서 수차 1대를 좌상단에서 대각선 방향으로 우하단을 향하도록 하고서 10 m 마다 표층, 중층 및 저층에서 유속변화를 관측한 결과, 평균 값 및 유향을 Fig. 5에 표시하였다. 이때 유향은 수차가 물

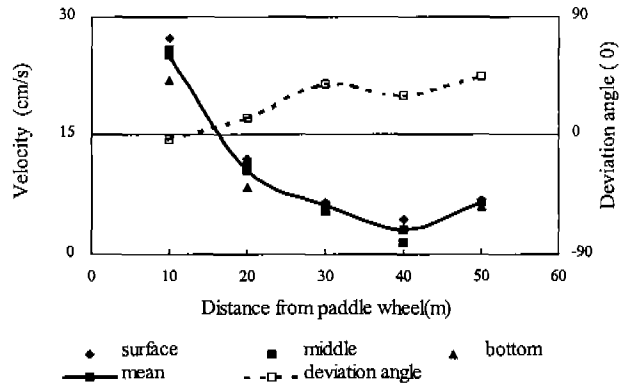


Fig. 5. Velocity measurements along longitudinal direction from a single paddlewheel.

을 밀어내는 대각선 방향을 0° 로 가정하고 시계방향으로 관측한 편각을 사용하였다. 10 m 지점에서 각층의 유속은 각기 27.3, 25.8 및 22.0 cm/s로서 평균 25.0 cm/s 였다. 표층과 저층의 차이는 5.2 cm/s 이었다. 유향은 표층과 중층에서 0° , 저층에서 347° 였다. 20 m 지점에서 유속은 각층에서 12.0, 11.2, 8.4 cm/s 였으며 평균 10.5 cm/s 이었다. 유향은 각기 28° , 6° , 6° 였다. 30 m 지점에서 유속은 각층에서 6.4, 5.3, 6.5 cm/s 였으며 평균 6.1 cm/s 였다. 유향은 각기 36° , 44° , 38° 이었다. 40 m 지점의 유속은 각층에서 4.3, 1.5, 3.3 cm/s 이었으며 평균 3.0 cm/s 이었다. 유향은 각기 116° , 301° , 33° 이었다. 수차로부터 거리가 증가하면서 수심평균 유속변화는 비교적 선형성을 보이 나, 저층의 유속이 중층보다 강하게 나타나는 불규칙한 특성이 나타난다. 특히 거리가 멀어짐에 따라 유향은 우편향성을 뚜렷이 보인다. 50 m 지점에서 유향은 수심평균 45° 로서 우편향성이 40 m에서 보다 증가하였다. 한편, 수심평균 유속은 6.4 cm/s로서 40m 지점에 비해 오히려 2 배 이상 증가하는 현상을 보였다.

2. 호지 A의 유속구조

호지 A의 A1과 E5 위치 (Fig. 4)에서 수차를 작동하고서 23개 지점에서 유속을 관측하였고, 수심평균 유속과 유향을 Fig. 6에 표시하였다. 수차의 영향이 직접 미치는 호지의 벽을 따라 관측된 유속은 최대 19.2 cm/s, 최소 7.5 cm/s, 평균 13.7 cm/s 이었고, 호지 내부 B2에서 D4까지 유속변화는 2.4~6.7 cm/s 로 평균 4.7 cm/s 이었다. 따라서 호지 전체의 평균유속은 10.2 cm/s이었다. 다음 단계로 호지 A의 A1, A5, E1 과 E5 위치 (Fig. 4)에서 수차를

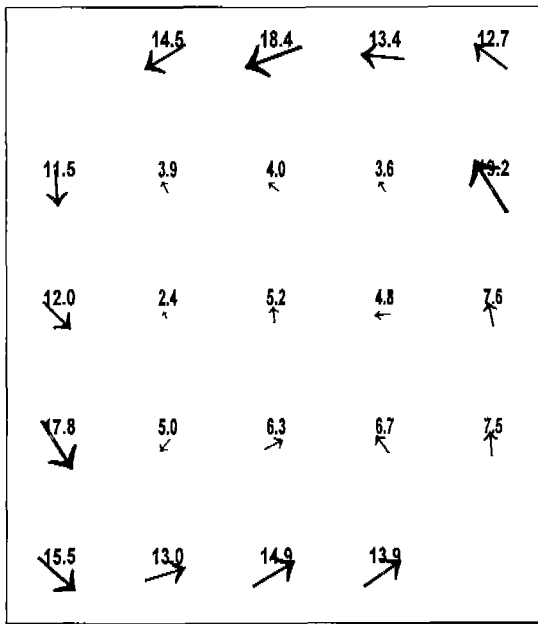


Fig. 6. Flow vector diagram of pond A with 2 paddle-wheels running.

작동한 후 21개 지점에서 유속을 관측하였고, 수심평균 유속과 유향을 Fig. 7에 표시하였다. 수차의 영향이 직접 미치는 호지의 벽을 따라 관측된 유속은 최대 32.5 cm/s, 최소 9.4 cm/s, 평균 19.7 cm/s 이었고, 호지의 내부 B2에

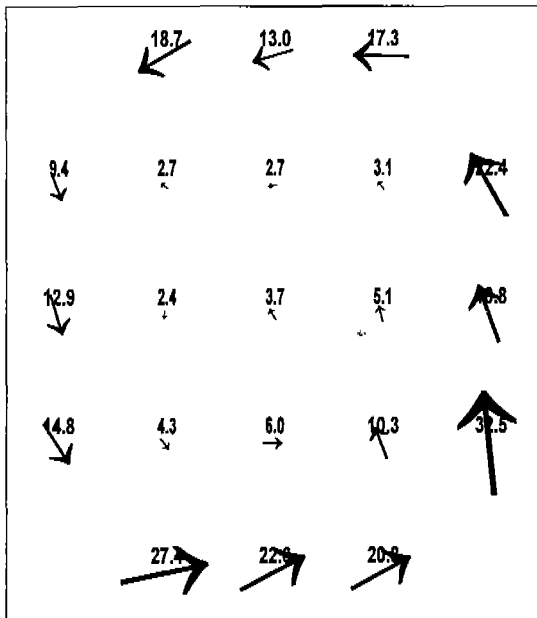


Fig. 7. Flow vector diagram of pond A with 4 paddle-wheels running.

서 D4까지 유속변화는 2.4~10.3 cm/s 의 변화로 평균 4.5 cm/s 이었다. 따라서 호지 전체의 평균유속은 11.8 cm/s 이었다. 호지 A에서 수차 2개와 4개를 작동하는 두 가지 경우에 대해 비교하여 본 결과 벽 근처에서 유속은 30.5% 증가하였으나, 중앙에서는 오히려 4.4% 감소하였고 전체적으로는 13.5% 증가하였다 (Table 1).

3. 호지 B의 유속구조

호지 B의 A5와 E1 위치 (Fig. 4)에서 2대의 수차를 작동하여 유속을 관측하였고, 그 결과를 Fig. 8에 표시하였다. 호지의 벽을 따라 관측된 유속은 10.4~27.4 cm/s 범위로 평균 16.3 cm/s 이었고, 호지의 내부 B2에서 D4까지 유속 변화는 2.2~15.4 cm/s 범위로 평균 6.1 cm/s 이었다. 그리고 호지 전체의 평균유속은 12.7 cm/s 였다. 다음 단계로 A1, A5, E1 과 E5 위치에 4대의 수차를 작동하여 유속을 관측한 결과를 Fig. 9에 표시하였다. 호지의 벽을 따라 관측된 유속은 13.0~30.7 cm/s 범위로 평균 21.4 cm/s 였으며, B2에서 D4까지 유속변화는 2.0~13.1 cm/s 범위로 평균 5.4 cm/s 를 보였다. 전체의 평균유속은 14.6 cm/

Table 1. Flow measurements (cm/sec) in pond A with both 2 and 4 running paddle wheels

	Periphery		Centre		Total mean
	range	mean	range	mean	
2 PWs	7.5~19.2	13.7	2.4~ 6.7	4.7	10.2
4 PWs	9.4~32.5	19.7	2.4~10.3	4.5	11.8
Change rate(%)		30.5		-4.4	13.5

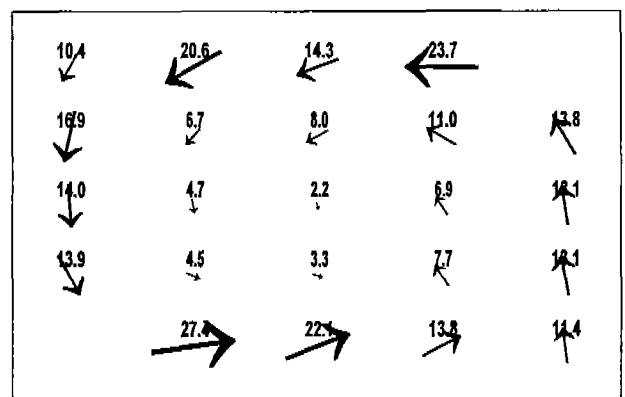


Fig. 8. Flow vector diagram of pond B with 2 paddle-wheels running.

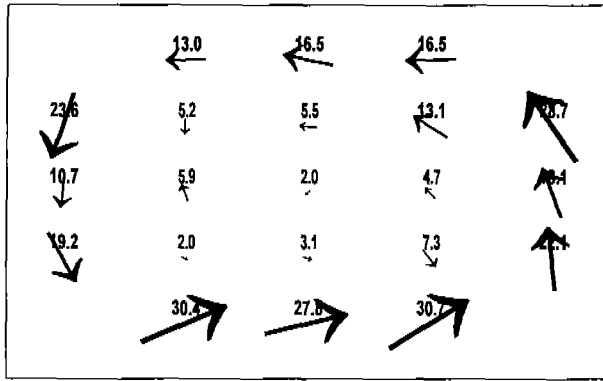


Fig. 9. Flow vector diagram of pond B with 4 paddle-wheels running.

Table 2. Flow measurements (cm/sec) in pond B with both 2 and 4 running paddle wheels

	Periphery		Centre		Total mean
	range	mean	range	mean	
2 PWs	10.4~27.4	16.3	2.2~ 7.7	6.1	12.7
4 PWs	13.0~30.7	21.4	2.0~13.1	5.4	14.6
Change rate(%)		23.8	-12.5		13.0

s 이었다. 두 가지 경우에 대해 비교하여 본 결과 벽 근처에서 유속은 23.8% 증가하였으나, 중앙에서는 오히려 12.5% 감소하였고 전체적으로는 13.0% 증가하였다 (Table 2).

고 찰

호지 F에서 수차 1대에 의해 발생하는 유속구조를 장축 방향에서 파악한 결과, 수차에서 40 m 거리까지는 선형적으로 감소하였으나, 20 m 지점부터 유향에 우편향성이 발견되어 거리가 멀어질수록 증가하였다. 특히, 50 m 지점에서 수심평균 유속이 40 m 지점보다 2배 이상 증가하였으며, 유향의 우편향성은 더욱 증가하였다. 이러한 사실에 대한 원인은 수차에 의해 생성된 제트운동량, 바람효과 및 호지의 기하학적형태 등의 복합적 영향으로 나타났다. i) 수차에 의해 생성된 고속의 제트흐름은 주변 유체와의 경계면에서 유속의 차이를 갖게된다 (Abraham, 1965; Rajaratnam, 1976). 따라서 수차 바로 근처에서는 고속의 제트흐름으로 인한 난류 전단층이 발생한다. 이 전단층은 불안정하고 매우 빠르게 성장하며, 이때 형성되는 원형 와류들은 난류제트 유체를 비회전성 주변유체 안으로 그

리고 비회전성 주변유체를 제트 안으로 포획하게 된다. 경계면에서 발생한 전단응력에 의해 제트류에서는 유속이 감소되고 주변 수역의 유체에서는 유속이 증가된다. 이러한 작용은 혼합층에서 주로 발생하며, 혼합층은 수차에서 멀어질수록 점차 제트의 중심축까지 확장된다. 따라서 초기의 제트유속을 유지하는 영역인 중심핵은 제트의 축을 중심으로 점차 폭이 좁아져 제트의 중심축의 최대유속이 초기의 제트유속과 같아지는 점을 지나게되며, 이 지점까지를 일반적으로 흐름확립영역이라 한다. 흐름확립영역에서 중심핵 안의 유속분포는 균등한 초기 제트유속을 유지하지만 중심핵의 두께는 점차 작아지며 제트흐름의 유속분포는 점차 Gaussian 형태로 변하게 된다. 이 흐름확립영역을 지나면서 제트의 유속분포는 점차 초기 제트유속보다 작아지며 수차로부터 아주 먼 곳에서 제트유속은 소멸된다. ii) 기상조건에 따른 바람전단에 의해 호지에는 취송류가 생성될 수 있다. 2000년 4월에서 10월까지 양식기간 동안 양식장 위치와 가장 가까운 부안관측소에서 관측된 풍속자료를 보면, 유속관측 당일인 10월 3일에는 오전 9시에서 오후 5시까지 시간평균 2.6 m/s, 시간 최대 3.7 m/s의 서북서풍이 기록되었다. 서북서방향은 호지에서 바다를 보았을 때 거의 정면(Fig. 2의 방위참조)이다. 따라서 호지에서 흐름구조는 바람의 영향을 받아 대각선 방향에서 오른쪽으로 더 큰 편향을 보이는 것으로 생각되었다. iii) 호지의 최상단에서 수차에 의해 발생된 제트 운동량은 대각선 방향으로 진행하다 맞은편 우하단 벽에서 반사되어 되돌아 가게된다. 이때 유선의 모양은 호지의 기하학적 형태에 의해 수차를 중심으로 오른쪽은 시계방향으로 왼쪽은 반시계 방향의 패턴을 보이게 될 것이다. 따라서 유속구조는 이상의 서로 다른 세 가지기구들의 복합적 작용의 결과인 것으로 해석할 수 있다.

양식에 적합한 적정유속에 대한 자료는 많지 않으나, 양식장에서 선호되는 유속은 다음 조건을 동시에 만족해야 할 것이다. 성층을 방지하고 먹이사료나 배설물 찌꺼기를 제거하기 위해 필요한 만큼 강하여야 하나, 저질이 교란되어 탁도를 증가시켜서는 안된다. 수심이 1 m인 경우 표층과 저층의 수온차가 2~4°C 나타날 수 있고, 수심이 깊을 경우 수온차는 더 커질 수 있다. 수온차 이외에 용존산소의 성층도 동반된다. 성층이 강한 경우 표층은 과포화, 저층은 무산소층이 형성될 수 있다. 이는 사육생물의 먹이 섭식, 성장과 생식에 장애를 일으키고 질병과 생산성 감소를 유발한다. 성층 파괴로 수질과 저질을 개선

하고 생산성을 증대시킬 수 있다. 성층을 방지하는데 필요한 유속은 5 cm/s 라고 보고된 바 있다 (Oswald, 1978). 하수처리와 관련된 실험에서는 유속이 15.2 cm/s 이상은 되어야 입자성 물질이 침강하지 않고 부유할 수 있다고 보고되어, 위 두 가지 경우 중앙값이 7.6 cm/s이면 유기물 제거와 용존산소의 분산에 적당하면서 저질을 교란하지 않을 것이라 사료된다 (Rogers, 1989). 따라서 수차 1대가 호지에 미치는 순환효과는 위 조건에 따라 다음과 같이 평가될 수 있다. 첫째, 성층 방지조건에서 수차의 영향이 미치는 유효거리는 수차로부터 약 33 m이다. 둘째, 입자성물질 부유조건에서는 유효거리가 약 16 m이다. 셋째, 유기물제거, 용존산소 분산 및 저질을 교란하지 않을 조건에는 유효거리가 25 m가 된다.

호지 A와 B에서 각기 수차 2대와 4대를 작동하여 25개 지점에서 유속을 관측하였다. 그 결과 유속구조는 뚜렷한 차이를 보였다. 25개 관측지점에서 평균유속은 수차가 2대에서 4대로 증가함에 따라, 2곳의 호지에서 모두 약 13% 정도가 증가하였고, 수차의 영향이 직접적으로 미치는 호지의 벽을 따라 관측된 유속의 평균값은 호지 A에서는 30%, B에서는 24% 정도 증가하였다. 그러나 호지의 중앙에서 평균유속은 수차수가 증가함에 따라 각기 약 4%와 13% 감소하였다. 호지의 중앙에서 수차가 많이 설치될 수록 순환이 더욱 빨라질 것이라는 예상과는 달리 유속의 감소가 발생하였다. 여기에 대해서는 와류형성과 이에 따른 유속구조로서 설명할 수 있다. 호지의 한 모서리에서 수차에 의해 발생하는 강한 제트류는 호지의 벽을 따라 이동하다가 다음 모서리에서 다른 수차에 의해 다시 강한 제트운동량을 얻게되면서 호지 전체를 반시계 방향으로 움직이는 구조를 보인다 (Kang, 1998; Figs. 5, 6, 7, 8). 제트운동량은 벽과 바닥과의 마찰로 인해 운동량을 일부 소비하지만 호지는 폐쇄된 사각형 공간이기 때문에 외부로의 운동량 소비는 거의 없다고 할 수 있다. 호지 중앙은 외곽에서 형성되는 큰 와류에 의해 전체적으로는 와류의 흐름방향과 일치하는 흐름을 갖는다. 그러나 국부적으로 바람, 수심, 난류, 공진 등의 단일 혹은 복합적 효과에 의해 균일하지 않을뿐더러 작은 규모의 와류를 형성하며 서로간의 난류전단에 의해 운동량을 열에너지로 소모하기도 한다. 이러한 와류의 규모는 유속관측 지점간의 거리보다 작을 수 있으며 방향 또한 외곽 혹은 인근 것과 반대일 수 있다. 정량적 해석을 위해서는 제트운동량, 바람, 지형 및 바닥조건 등에 대해 통제가 가능한 실내 수조실험

이 선행되어야 정확한 해석이 가능하리라 생각된다. 현장에서 직접관측에는 여러 조건이 복합되어 나타나며 관측 또한 까다롭기 때문에 해석이 매우 어려운 실정이다.

결과적으로 본 연구에 적용된 호지의 경우, 수차수의 증가로 인해 호지 중앙의 유속은 기대와는 반대로 감소하여 수질은 더욱 악화될 것으로 판단되었다. 아울러 수차의 수와 관계없이 호지 중앙의 유속범위는 부분적으로 성층을 방지하기에 충분치 않을뿐더러, 유기물제거 혹은 입자성 물질의 침강을 방지하기에는 약한 것으로 나타났다. 본 연구는 수차의 순환기능에 의한 물리적 효과에 대한 자료를 제공하는데 목적이 있으며, 향후 호지의 수질 및 저질개선을 위한 연구에 기초자료로서 활용될 것으로 기대된다.

요 약

축제식 고밀도 대하양식장에서 많이 사용되는 수차의 순환기능을 조사하기 위해, 전라북도 고창군 부안면 송현리의 대하양식장에서 유속을 관측하였다. 한 대의 수차를 작동하고서 가로방향에서 유속을 관측하였고, 변장비가 서로 다른 2곳의 호지에서 수차를 2대 그리고 4대 작동하여 유속을 관측한 실험 결과를 아래와 같이 요약할 수 있다.

1. 수차 1대에 의해 발생하는 유속구조를 파악한 결과는 수차에서 40 m 거리까지는 유속이 선형적으로 감소하는 한편, 20 m 지점부터 유향의 편향성이 발견되어 거리가 멀어질수록 증가하였다. 이러한 사실에 대한 원인은 수차에 의해 생성된 제트운동량, 바람효과, 바닥수심 및 호지의 기하학적형태 등의 복합적 영향인 것으로 보인다. 그리고 수차의 순환효과는 다음 조건에 따라 평가될 수 있다. 즉, 성층 방지 (5 cm/s)에 따른 유효거리는 수차로부터 33 m 이고, 유기물 제거와 용존산소의 분산 및 저질 교란 방지 (7.6 cm/s)에 따른 유효거리는 25 m 였으며, 입자성 물질의 침강방지(15.2 cm/s)에 따른 유효거리는 16 m 였다.

2. 호지 A와 B에서 각기 수차 2대와 4대를 작동하여 25개 지점에서 유속을 관측한 결과, 수차가 2대에서 4대로 증가함에 따라 2곳의 호지 유속은 모두 약 13% 정도 증가하였다. 수차의 영향이 직접적으로 미치는 호지의 벽을 따라 관측된 유속의 경우, 호지 A에서는 30% B에서는 24% 증가하였다. 그러나 호지의 중앙에서는 각기 약 4%와 13% 유속감소가 발생하였다. 일반적으로 수차가 많이

설치될 수록 순환이 더욱 빨라질 것이라는 예상과는 달리 호지의 중앙에서는 오히려 유속이 감소하였다. 여기에 대해서는 와류형성에 의한 중앙부의 정체효과로 생각되었다.

따라서 본 연구에 적용된 호지의 경우, 수차수의 증가로 인해 호지 중앙의 유속은 기대와는 반대로 감소하여 수질은 더욱 악화될 것으로 판단되었다. 아울러 수차의 수와 관계없이 호지 중앙의 유속범위는 부분적으로 성층을 방지하기에 충분치 않을뿐더러, 유기물 제거 혹은 입자성 물질의 침강을 방지하기에 약한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구에 필요한 시설과 수차 및 호지 특성에 대한 자료와 양식일지를 제공한 선일수산의 김영돈 대표에게 감사 드린다.

참 고 문 헌

Abraham, G., 1965. Entrainment principle and its restrictions to solve problems of jets. *J. Hyd. Res.*, 3(2) : 1-23.
 Ahmad, T. and C. E. Boyd, 1988. Design and performance of paddle wheel aerators, *Aquacult. Eng.*, 7 : 39-62.
 American Society of Civil Engineers(ASCE), 1979. Symposium on Reaeration Research, Speciality Conference held in Gatlinburg, Tennessee, October 1975. ASCE, 345E 47th St, New York, N.Y. 10017.

American Society of Civil Engineers(ASCE), 1983. Development of standard procedures for oxygen transfer devices. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA-600/2-83-102, 292pp.
 Boyd, C. E. and B. J. Watten, 1989. Aeration systems in aquaculture. *Rev. Aquacult. Sci.*, 1 : 425-472.
 Chamberlin, G. W., 1988. Rethinking shrimp pond management. (*in*) Coastal Aquaculture, (ed.) G.W. Chamberlin, Vol. 5.
 Fast, A. W., E. C. Tan, D. F. Stevens, J. C. Olson, J. Qin and D. K. Barclay, 1999. Paddlewheel aerator oxygen transfer efficiencies at three salinities. *Aquacult. Eng.*, 19 : 99-103.
 Kang, Y. H., 1998. Eulerian and lagrangian approaches to simulate solute transport in a rectangular harbour. Ph. D. thesis. University of Bradford UK, 350 pp.
 Oswald, W. J., 1978. The engineering aspects of microalgae. pp. 533-534. (*in*) The Handbook of Microbiology. 2nd Ed., CRC Press, Boca Raton.
 Peterson, E. L., 2000. Observations of pond hydrodynamics. *Aquacult. Eng.*, 21 : 247-269.
 Rajaratnam, N., 1976. Turbulent Jet. Development in Water Science Series, No.5, Elsevier Scientific Publishing Company.
 Rogers, G. L, 1989. Aeration and circulation for effective aquaculture pond management. *Aquacult. Eng.* 8 : 349-355.
 Rogers, G. L. and A. W. Fast, 1988. Potential benefits of low energy water circulation in Hawaiian prawn ponds. *Aquacultural Engineering*, 7 : 155-65.
 Kim Y. D., 2000. Personal communication.

(접수 : 2000년 12월 8일, 수리 : 2001년 3월 21일)