

차널메기 양식장 주변 하천수의 수질 변동

이정열 · 클라우데 이 보이드*

군산대학교 해양생명양식학과

*어번대학교 수산양식학과

Variation in Water Quality of Streams around Channel Catfish Ponds

Jeong Yeol Lee and Claude E. Boyd*

Department of Aquaculture, Kunsan National University, Kunsan 573-702, Korea

**Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Alabama 36849, U.S.A.*

Most of channel fish farming in Alabama are still earthen pond style, and filld by rainfall and runoff. The water levels of ponds are maintained with stand-pipe, and the effluent from ponds very little discharged at usual time except at heavy rains and crop season. Overflow from ponds following rains occurs mostly in winter and early spring when stream flows high.

In this study to know how much effluents from fish ponds affected to streams which are nearby ponds, a survey carried out on the variation of water quality of seven streams and effluents at heavy rains. Water samples were collected at 14 sites on upstream (did not affected by effluents) and downstream (being affect by effluents), and sampled monthly from August 1997 to August 1998.

There were no clear trends of difference in most water quality variables between upstream and downstream of catfish farms during a year. The effluents from ponds after heavy rains were not highly polluted, but somtimes have elevated concentrations of TSS. Nitrogen content of effluents was higher than that of routine streams, but phosphorus was not clear. From this results suggest that the effluents from catfish farm are not having adverse impacts on stream water quality still yet.

Key words : Water quality, Stream and effluents, Channel catfish ponds, Alabama

서 론

최근 양식산업의 급속한 성장과 더불어 한편으로는 양식장에서 나오는 배출수에 의한 인근 수계의 수질오염 문제가 대두되면서(Iversen, 1995; Selong and Helfrich, 1998), 이에 대해서 축산폐수와 마찬가지로 엄격히 규제하려는 움직임을 보이고 있다. 특히 노지 양식장의 경우 심한 강우나 출하를 위한 어류 채포시에는 대량의 배출수를 방

출하고 있으며 평소에도 배설물 제거를 위하여 소량의 배출수를 인근 하천으로 배출시키고 있는 것이 현실이다. 따라서 향후 양식산업이 지속적으로 번성하기 위해서는 양식장의 배출수 관리가 필연적이다.

미국 알라바마주 중서부에는 약 500곳 이상의 메기양식장이 단지화(전체 수면적 약 10,300ha)를 이루고 있으며, 연간 4만톤 이상의 생산고를 올려 미국 전체 메기생산고의 13%를 차지하고 있다

(Alabama, 1998). 이들 양식장은 모두 노지 지수 식 양식장으로 인근 하천이나 강우로부터 유입된 사육수는 일정한 수위를 넘게 되면 stand pipe를 통하여 하천으로 배출되고 있기 때문에, 주변 하천은 양식장 배출수에 직접 영향을 받고 있다. 따라서 이들 지역은 양식장 배출수와 인근하천의 수질과의 관계를 규명하는데 매우 좋은 지역이다.

양식장 배출수 처리를 위해서는 먼저 배출수의 성격을 파악하고 배출수의 주 성분인 부유성 고형물과 질소, 인 등을 제거하는 것이 일차적 과제라 할 수 있다. 배출수의 성격에 대해서는 Boyd (1978, 1983), Schwartz and Boyd(1994a, b) 등의 연구가 있으며, 배출수 처리를 위해서 침전조 또는 습지(wet land) 등을 설치하여 배출수를 처리하는 방안이 많이 제시되고 있으나(Kessel, 1977; Schwarz and Boyd, 1995, 1996; Adler et al., 1996; Avnimelech, 1998; Boyd et al., 1998), 양식인들 입장에서는 아직 만족할만한 성과는 얻지 못하고 있다.

본 연구는 양식장 배출수가 주변 하천의 수질에 얼마만한 영향을 미치는지를 파악하고자 양식 단지가 잘 발달해 있는 미국 알라바마주의 메기 양식 단지를 중심으로, 양식장으로부터 나오는 배출수의 성격을 파악하고 배출수의 영향을 받는 인근 하천의 수질 변동을 조사 분석한 것이다.

재료 및 방법

조사 장소는 알라바마주 중서부의 메기양식 단지가 있는 Hale County 지역으로 이곳에 산재해 있는 7개 하천을 대상으로, 양식장에서 나오는 배출수의 영향을 받는 하류와 영향을 받지 않는 상류의 14개 정점을 선정, 1997년 8월부터 1998년 8월까지 매달 시료를 채집하여 실험실로 운반, 각 성분을 분석하였다. 또한 우기인 겨울(1월)과 초봄(4월)에 많은 비가 오고 난 뒤 양식장으로 부터 흘러 넘치는 배출수를 채집하여 그 영향을 파악하였다.

수질검사 항목으로 수온과 용존산소(DO), pH

는 현장에서 DO미터(YSI-58)와 pH미터(Fisher Model 1000)로 측정하였으며, 탁도와 전기전도도는 탁도계(HACH Ratio/XR)와 전기전도도계(Orion Model 140)로 측정하였다. 그리고 총암모니아태 질소(TAN), 총질소(T-N), 인산태 인(SRP), 총인(T-P), 총부유성고형물(TSS), 생물화학적산소요구량(BOD₅) 등은 Eaton et al.(1995)의 방법에 의하여 각각 분석하였다. 분석된 값은 각 하천별로 상류와 하류로 구분하여 월별 평균값으로 나타내었다.

결 과

1. 하천수의 수질 변동

메기양식장에서 나오는 배출수가 주변 하천의 수질에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 메기 양식장을 중심으로 배출수의 영향을 받는 하류와 영향을 받지 않는 상류에서 시료수를 채집하여 수질을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다.

먼저 수온의 변화를 보면, 상류와 하류간의 수온 변화에는 차이가 없이 같은 변동을 보이고 있으며, 7월이 가장 높았고 1월이 가장 낮은 온도를 보였다. pH는 대체로 7.0~8.2 범위의 변동을 보였으며 하류가 상류보다 약간 높은 경향을 나타내었다. 계절별로는 가을에서 겨울에 낮았으며 봄부터 여름 동안 높은 경향을 보였다. 용존산소의 변화는 조사기간 동안 5mg/l 이상을 보였으며 대체로 겨울에 높고 여름에 낮은 경향을 보였는데, 특히 하류의 경우 겨울에는 상류보다 약간 높았지만 여름에는 오히려 약간 낮은 경향을 보였다.

총부유성고형물의 경우 상·하류 모두 10월에 가장 높은 값을 보였고 3월과 6월에도 다소 높은 경향을 보였다. 그러나 상·하류간에 차이는 보이지 않았다. 탁도는 총부유성고형물의 변동과 같은 경향을 보여 10월에 높았고, 3월과 6월에도 높은 값을 나타내었다. 그러나 3월과 6월에는 상·하류간에 다소 차이를 보여 3월에는 하류가, 그리고 6월에는 상류가 높은 값을 보였다. 전기전도도 변동을 보면 상류는 9월에, 그리고 하류는 11월과

차널메기 양식장 주변 하천수의 수질 변동

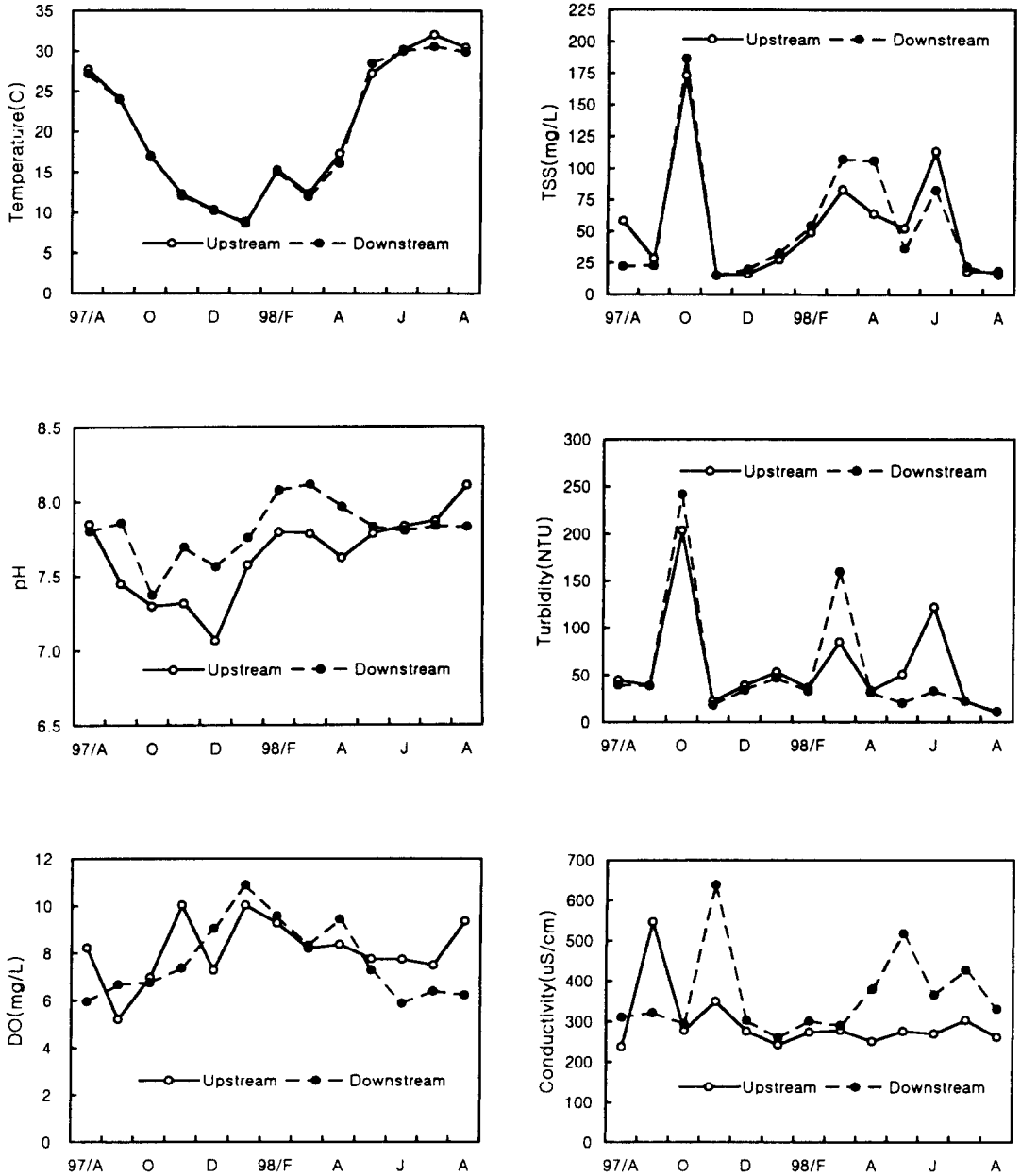


Fig. 1. Variation in average water quality of seven streams upstream and downstream which is nearby channel catfish farms in Alabama.

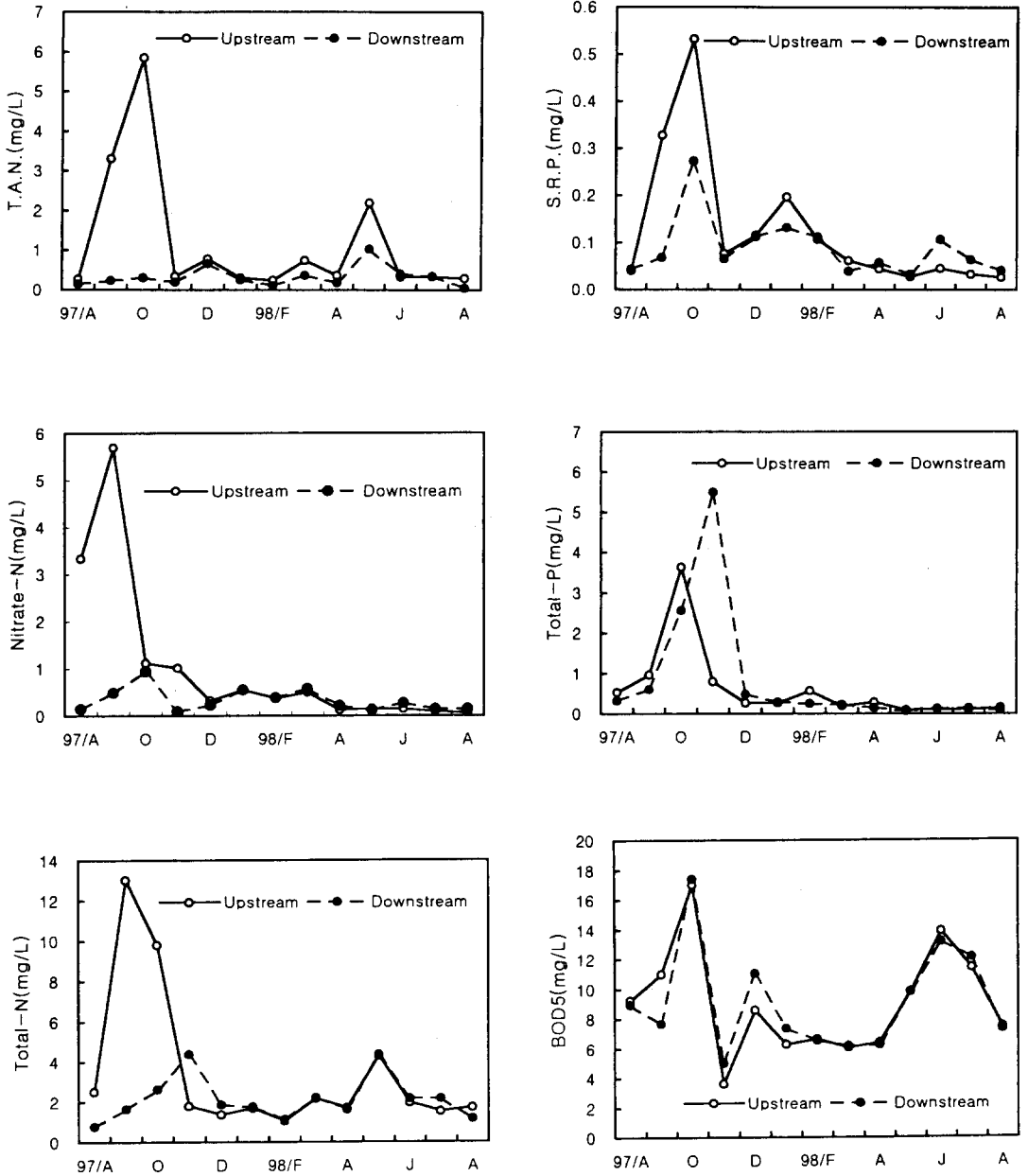


Fig. 1. Continued.

5월에 높은 값을 나타내었으며 대체로 하류가 상류보다 높은 값을 나타내었다.

총암모니아태 질소의 경우 하류에서는 5월을 제외하고는 큰 변동을 보이지 않았지만 상류의 경우에는 9~10월에 상당히 높은 값을 나타내었고 5월에도 약간 높은 값을 보였다. 질산태 질소와 총질소의 경우에도 상류에서 9~10월에 높은 값을 보였다. 그러나 하류의 경우에는 10~11월에 약간 높은 값을 나타내었을 뿐, 그 외의 달에는 2mg/l 미만의 낮은 값을 보였다. 또 인산태 인과 총인의 경우에도 높은 값을 보이는 9~11월을 제외하고는 상류와 하류 사이에 거의 차이를 보이지 않으며, 월에 따른 변동 또한 크지 않았다.

한편, 생물화학적산소요구량은 상·하류간 차이 없이 같은 경향을 보이면서 가을(9~10월)과 초여름(6~7월)에 높은 값을 나타내었고 겨울과 초

봄(1~4월)에 낮은 값을 나타내었다.

2. 양식장 배출수의 수질

강우로 인하여 배수구로 넘치는 양식장의 물이 주변 하천수에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 큰비가 내린 겨울(1월)과 초봄(4월) 두 차례에 걸쳐 55개소의 양식장 배출구에서 시료를 채집하여 분석한 결과는 Table 1에 나타난 바와 같다.

용존산소는 대부분의 조사에서 7.0~10.0mg/l의 범위를 나타내며 8.0~8.4mg/l의 범위가 가장 높은 빈도를 나타내었다. pH는 7.4~7.5를 나타낸 경우가 가장 빈도가 높았고 7.6~7.7이 다음으로 높은 빈도를 나타내었다. 전기전도도와 탁도는 250~299 μ S/cm 범위와 60~79NTU에서 가장 빈도가 높았고 총부유물질의 경우에는 25~74mg/l의 범위에서 가장 빈도가 높았다. 암모니아태 질

Table 1. Distribution in water quality variables of overflow from 55 channel catfish ponds in Alabama at heavy rain of winter and early spring

DO	Class(mg/L)	7~	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5				
	Frequency(%)	1.8	23.7	32.7	29.1	10.9	1.8				
pH	Class	6.8~	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6
	Frequency(%)	1.8	1.8	16.4	36.4	20.0	10.9	5.5	5.5	1.8	0
Conductivity	Class(μ S/cm)	150~	200	250	300	350	400	450	500	550	600<
	Frequency(%)	9.1	10.9	16.4	12.7	12.7	10.9	9.1	7.3	3.6	7.3
Turbidity	Class(NTU)	<20	20	40	60	80	100	120	140	160	180<
	Frequency(%)	1.8	3.6	9.1	21.8	14.5	12.7	9.1	7.3	9.1	10.9
TSS	Class(mg/L)	<25	25	50	75	100	125	150	175	200	225
	Frequency(%)	5.5	23.6	23.6	18.2	12.7	9.1	1.8	3.6	0.0	1.8
T.A.N	Class(mg/L)	<0.6	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0<
	Frequency(%)	34.5	21.8	3.6	9.1	5.5	1.8	5.5	3.6	5.5	9.1
Nitrate-N	Class(mg/L)	<0.2	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8<
	Frequency(%)	25.9	25.9	18.5	3.7	5.6	0.0	1.9	0.0	1.9	16.7
T-N	Class(mg/L)	1.0~	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5<
	Frequency(%)	5.6	16.7	13.0	1.9	24.1	7.4	11.1	7.4	1.9	11.1
S.R.P.	Class(mg/L)	<0.03	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27<
	Frequency(%)	5.6	27.8	18.5	18.5	11.1	1.9	9.3	0.0	0.0	7.4
T-P	Class(mg/L)	<0.4	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0<
	Frequency(%)	50.9	14.5	7.3	7.3	3.6	1.8	3.6	0.0	3.6	7.3
BOD ₅	Class(mg/L)	<5	5	10	15	20	25<				
	Frequency(%)	3.7	48.1	24.1	20.4	0.0	3.7				

소는 0.9mg/l미만의 농도에서 가장 높은 빈도를 보였으며, 총질소의 경우에도 대부분 5mg/l 이하를 나타내고 있으며, 인산태 인과 총인의 경우는 각각 0.1mg/l 이하 및 0.4mg/l 이하가 50% 이상의 빈도를 보였다. BOD₅는 10mg/l 미만의 경우가 50% 이상의 빈도를 나타냈지만 10~20mg/l 범위도 44.5%의 빈도를 나타내었다.

한편, 질소와 인 성분으로 평상시 양식장의 사육수와 하천수 그리고 강우 후의 양식장 배출수 간의 수질을 비교한 결과를 Fig. 2에서 보면, 대체로 양식장 사육수가 모든 성분에서 높은 값을 보였다. 그러나 강우 후 배출수의 질소 성분은 평상시 하천수의 농도보다 높은 값을 보인 반면, 인 성분은 평상시 하천수의 농도보다 높지 않아서 양식장의 배출수가 인근 하천에 미치는 영향은

아직 크지 않음을 보였다.

고 찰

양식장에서 나오는 배출수에는 사료찌꺼기와 배설 분 등의 고형성 유기물과 질소, 인 등의 용존성 무기물이 다량 함유되어 있어서 인근 하천으로 배출될 때에는 부영양화 내지는 수질오염을 일으키게 된다. 따라서 환경보호 측면에서 각종 형태의 양식장 배출수에 대해 규제를 강화해 나가려는 것이 세계적인 추세이다(Smith, 1972; Seok and Boyd, 1993; Iversen, 1995; Selong and Helfrich, 1998).

미국 알라바마주 중서부에 산재해 있는 메기 양식장들은 사육수로서 지하수를 사용하는 소수의 양식장(종묘배양장)을 제외하고는 대부분이 강우에 의존하는 형태이기 때문에(Boyd and Brown, 1984) 양어지의 물을 전부 배출하는 일은 거의 드물며, 다만 큰비가 내리거나 어류를 채포할 때만 다량의 사육수가 배출되고 있다. 따라서 평소 어떤 한 곳의 양식장에서 인근 하천으로 배출하는 배출수는 많지 않지만, 조사 지역 전체적으로는 500여곳의 양식장이 단지를 이루고 있어서 이 지역을 흐르는 하천의 통합관리 측면에서 볼 때는 하천의 오염이 염려될 수 밖에 없다.

알라바마주 중서부 지역에 산재해 있는 양식장 주변을 흐르는 7개 하천을 대상으로 양어지에서 나오는 배출수의 영향을 받는 하류와 영향을 받지 않는 상류에서 각각 시료를 채집하여 분석한 결과를 보면, 모든 분석 대상 성분에서 상·하류간에 큰 차이를 나타내지 않아서 양어지의 배출수가 하천에 미치는 영향은 아직 미미한 것으로 나타났다. 특히 메기 수확시기인 10월을 전후하여 각 성분들에서 상류 및 하류 모두 높은 값을 보였는데, 이는 양어지에서 나온 배출수의 영향 이라기 보다는 현장 조사전에 내린 심한 강우로 주변 토양으로부터 유입된 오염원에 기인된 것으로 추측된다. 그리고 탁도와 전기전도도 등에서 여름에 상·하류간에 다소의 차이를 나타내는 것

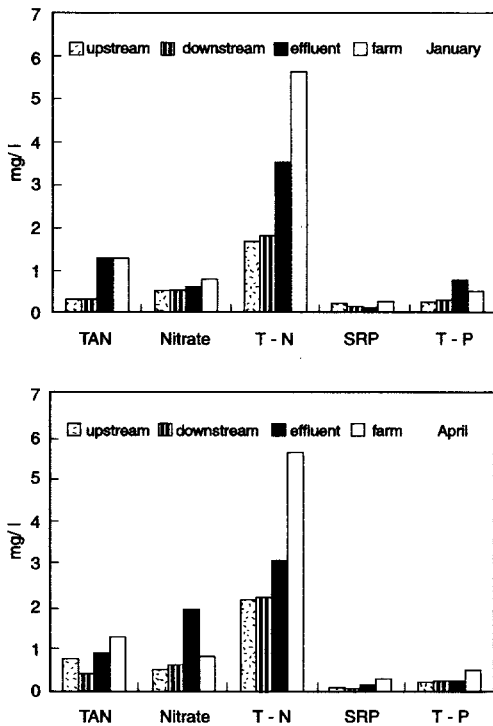


Fig. 2. Average of nitrogen and phosphorus concentrations at upstream, downstream, effluent and farm at Alabama catfish farms in January and April, 1998.

은 물이 흐르지 않고 고여 있는 경우가 많아서 조류 발생과 토양으로부터 유입된 이온 성분의 농축에 따른 결과라고 생각된다.

한편, 이번에 측정된 값을 이 지역에서 측정된 양어지의 연평균 수질과 비교해 볼 때(Table 2), 총부유성고형물, 총암모니아 및 총질소 등에서 하천수의 연평균값이 양어지 연평균 수질값 보다 낮은 값을 보였지만, 일부 특정 지역과 시기에는 양어지보다 상당히 높은 값을 나타내는 현상을 보였다. 이는 여름철 갈수기 때 하천수가 흐르지 않고 고여 있었기 때문으로 해석된다. 그러나 용존성 인과 총인에서는 하천수의 값이 양어지의 값보다 월등히 높게 나타났는데, 이는 양어지로부터의 유입되었다기 보다는 주변 토양으로부터 유입된 것이 아닌가 생각된다. 이러한 점은 Fig. 2에서 보았듯이 양어지의 배출수내 인 농도가 평소 하천수의 인 농도보다 높지 않은데서도 파악할 수 있다. 대체로 양식장에서는 단백질과 인의 함량이 높은 배합사료를 공급하기 때문에 질소 및 인의 함량이 높은 것이 배출수의 일반적인 특징이다(Boyd, 1983). Ellis et al.(1978)은 양어지로부터 나오는 고형물 배출은 하천의 오염에 크게 영향을 미치지 않았다고 보고한 반면, Tsai (1973)과 Carr and Goulder(1990a,b)는 배출수의 영향을 보고하고 있어서 지역과 하천의 성격에 따라 다르다는 것을 보여주고 있다. 금번에 측정

된 하천의 수질도 양어장으로부터의 영향이 미미한 것으로 나타났지만, 80년대 이 지역에서 측정된 하천수 수질(Seok and Boyd, 1993)과 비교하면 모든 측정 항목에서 그 값이 높아지는 경향을 보여 이 지역의 하천이 점차 오염되어 가고 있는 것으로 판단되었다.

노지의 지수식 양식장들은 평소에는 분 찌꺼기 제거 및 강우 등으로 일정 수위를 넘는 소량의 사육수만 방출되지만, 어류 수확기에는 양어지내 사육수의 약 95%가 방출되며, 특히 어류를 채포하기 위하여 그물을 끌 때 양어지 바닥에 쌓인 침전물이 배출수와 함께 방출됨으로서 오염도가 높은 배출수가 하천을 오염시키게 되며(Boyd, 1978, 1983; Seok et.al, 1995), 심지어는 수서생물의 생존에 영향을 미칠 수도 있다(Boyd, 1973; Garric et. al., 1990). 이때 하천의 오염정도는 배출수의 양과 오염도, 그리고 하천의 유속과 유량, 완충능(buffer action)에 따라 오염정도가 달라지겠지만, 결국 장기적이고 종합적인 관점에서 볼 때 하천의 수질을 보존하기 위해서는 배출수 처리는 필수적인 것이며, 양어가들이 편리하고 저비용으로 이용할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

미국 알라바마주의 메기 양식단지에서 배출되

Table 2. Comparison of annual mean concentration of water quality variables between samples collected from 7 streams and from 25 channel catfish ponds in west-central Alabama area

Variables \ Source	Streams (Present)	Seock & Boyd (1993)	Schwartz & Boyd (1994b)
DO (mg/l)	7.9 (0.9~19.7)	8.1 (0.8~16.8)	8.77 (1.90~16.80)
pH	7.7 (6.3~9.4)	8.3 (6.6~9.5)	8.2 (6.0~9.5)
TSS (mg/l)	54 (2~567)	76.1 (5.2~336.7)	69.4 (0.7~320.0)
T.A.N. (mg/l)	0.746 (0~34.040)	1.234 (0.020~5.257)	1.13 (0.01~7.71)
Nitrate-N (mg/l)	0.644 (0~20.815)	0.643 (0~6.661)	0.70 (0.18~16.80)
T-N (mg/l)	2.946 (0.387~50.226)	4.84 (0.89~14.04)	4.42 (0.58~14.04)
S.R.P. (mg/l)	0.105 (0.002~1.110)	0.013 (0~0.325)	0.010 (0~0.097)
T-P (mg/l)	0.736 (0.021~39.680)	0.422 (0.035~2.540)	0.250 (0~1.483)
BOD ₅ (mg/l)	9.1 (3.0~23.6)	8.4 (1.3~23.4)	9.42 (1.28~35.54)

*Numbers in parentheses are ranges.

는 양식장 배출수가 인근 하천 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 1997년 8월부터 1998년 8월까지 양식장 주변 7개 하천을 상류(양식장 배출수의 영향을 받지 않음)와 하류(양식장 영향을 받음)로 나누어 14개 정점에서 시료를 채취 수질을 조사하였다.

알라바마의 메기양식장은 노지 지수식 양식장 형태로 양식장의 배출수는 강우기나 수확기와 같은 특별한 경우를 제외하고는 배출되는 일은 드물다. 양식장에서 나오는 배출수의 영향을 받는 하류와 영향을 받지 않는 상류의 수질을 비교한 결과 대부분의 조사 항목에서 큰 차이를 보이지 않았다. 평상시의 양식장 수질, 하천수의 수질 및 강우 후 배출수의 수질을 비교한 결과 질소 성분은 배출수에서 높은 값을 보였지만 인 성분이 높지 않아서 양식장의 배출수가 인근 하천수에 미치는 영향은 아직 큰편은 아니라고 판단되었다.

참 고 문 헌

Adler, P. R., S. T. Summerfelt, D. M. Glenn and F. Takeda, 1996. Evaluation of wetland system designed to meet stringent phosphorus discharge requirements. *Water Environment Res.*, 68 : 836-840.

Alabama cooperative extension, 1998. Fisheries series timely information agriculture and natural resources. Alabama aquaculture data sheet.

Avnimelech, Y., 1998. Minimal discharge from intensive fish ponds. *World Aquacult.*, 29 : 32-37.

Boyd, C. E., 1973. The chemical oxygen demand of waters and biological materials from ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 3 : 606-611.

Boyd, C. E., 1978. Effluents from catfish ponds during fish harvest. *J. Environ. Quality*, 7 : 59-63.

Boyd, C. E., 1983. Effluents. in *Water quality in channel catfish ponds*. South. Cooper. Ser. Bull., 290 : 50-52.

Boyd, C. E. and S. W. Brown, 1984. Quality of water from wells in the major catfish farming area of Alabama. *AAES J.*, 8 : 195-206.

Boyd, C. E., A. Gross and M. Rowan, 1998. Laboratory study of sedimentation for improving quality of pond effluents. *J. Applied Aquacul.*, 8 : 39-48.

Carr, O. J. and R. Goulder, 1990a. Fish-farm effluents in rivers- I. Effects on bacterial populations and alkaline phosphatase activity. *Wat. Res.*, 24 : 631-638.

Carr, O. J. and R. Goulder, 1990b. Fish-farm effluents in rivers- II. Effects on inorganic nutrients, algae and the macrophyte *Ranunculus penicillatus*. *Wat. Res.*, 24 : 639-647.

Eaton, A. D., L. S. Clesceri and A. E. Greenburg, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA. AWWA. WEA. Washington, D.C.

Ellis, J. M., D. L. Tackett and R. R. Carter, 1978. Discharge of solids from fish ponds. *Prog. Fish-Cult.*, 40 : 165-166.

Garric, J., B. Migeon and E. Vindimian, 1990. Lethal effects of draining on brown trout. A predictive model based on field and laboratory studies. *Water Res.*, 24 : 59-65.

Iversen, T. M., 1995. Fish farming in denmark: environmental impact of regulative legislation. *Wat. Sci. Tech.*, 31 : 73-84.

Kessel, J. F., 1977. Removal of nitrate from effluent following discharge on surface water. *Water Res.*, 11 : 533-537.

Schwarz, M. F. and C. E. Boyd, 1994a. Effluent quality during harvest of channel catfish from watershed pond. *Prog. Fish-Cult.*, 56 : 25-32.

Schwarz, M. F. and C. E. Boyd, 1994b. Channel catfish pond effluent. *Prog. Fish-Cult.*, 56 : 273-281.

Schwarz, M. F. and C. E. Boyd, 1995. Constructed wetlands for treatment of channel catfish pond effluent. *Prog. Fish-Cult.*, 57 : 255-266.

Schwarz, M. F. and C. E. Boyd, 1996. Suggested. management to improved quality and reduce quantity of channel catfish pond effluents. Alabama Agri. Exp. Sta. Auburn University, Leaflet, 108, 4p.

Selong, J. H. and L. A. Helfrich, 1998. Impacts of trout culture effluent on water quality and biotic communities in Virginia headwater streams. *Prog. Fish-Cult.*, 60 : 247-262.

- Seok, K. J. and C. E. Boyd, 1993. Water quality in commercial catfish ponds and its receiving water bodies. *J. Aquacult.*, 6 : 187-197.
- Seok, K., S. Leonard, C. E. Boyd and M. F. Schwartz, 1995. Water quality in annually drained and undrained channel catfish pond over a three year period. *Prog. Fish-Cult.*, 57 : 52-58.
- Smith, C. E., 1972. Effects of metabolic products on the quality of rainbow trout. *American Fishes and U.S. Trout News*, 17 : 7-21.
- Tsai, C., 1973. Water quality and fish life below sewage outfalls. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 102 : 281-292.