한국환경농학회지 제20권 제3호(2001)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 20, No. 3, pp. 252~257

만경강 상류 지역 수질의 시기별 변화

문영희* · 박종민 · 손재권 · 김계환
전북대학교 새만금연구 사업단

(2001년 10월 22일 접수, 2001년 11월 16일 수리)

Change in Water Quality on Upper Stream of Mankyeong River

Young-Hee Moon*, Jong-Min Park, Jae-Gwon Son, and Kea-Hwan Kim (Saemankum Research Center, Chonbuk National University, Chonju, Chonbuk 561-756, Korea)

Abstract : To get the basic information for the water quality improvement and control of water resource at Mankyeong river stream, the water quality in four site of main stream and three site of branch stream at the upper stream were investigated mainly from February to August in 2000. The water temperature was affected by depth, flow rate of the water, and air temperature, and ranged 6.4 to 30.8℃. The pH, DO and BOD values of the water was 5.9~9.7, 4.6~14.50 mg/L, and 0.1~11.8 mg/L range, respectively. The content of total nitrogen, NO_3-N and NH_4-N was 1.19~10.61 mg/L, 1.00~5.93 mg/L, and ND (non detected)~2.79 mg/L, respectively. The concentration of total phosphorus was ND to 1.14 mg/L. The concentration of Cl ion was 3.5~196.4 mg/L. The content of Fe and Mn was 0.002~0.100 mg/L and ND~0.04 mg/L, respectively. The contents of heavy metal Cd, Cu, and Zn were ND~0.03 mg/L, ND~0.05 mg/L, and 0.001~0.17 mg/L, respectively. Pb was not detected in all the samples. The pH, total nitrogen contents, and total phosphorus content were frequently exceeded the water quality standard for agriculture. The degree of water pollution was very varied by the sampling place. The water quality was generally polluted in the dry season more than in rainy season. The highest level of water pollution observed in the area of Samyea Bridge among the 7 sites.

Key words : Mankyeong river, pollution, agricultural water

서 론

농업용수원의 오염은 수생 생태계의 활동을 저하시키거나 피해를 주며 나아가 토양이나 농작물의 생육과 품질에 영향을 끼칠 뿐만 아니라 최종적으로는 농작물을 통하여 인류 건강에 해를 끼치게 되므로 농업용수의 관리는 단순한 농작물 생산 차원이 아니라 수생 생태계 보호는 물론 사람의 건강차원에서 대단히 중요한 문제이다[1-3].

호남평야의 중심을 지나며 농업용수를 공급하는 만경강은 곡창 호남평야로써만이 아니라 우리 나라 농업 차원에서 대단히 중요한 역할을 하는 농업용수원이다. 이에 전라북도는 물론 국가에서도 수질 보전을 위하여 많은 노력을 기울이고 있다[4,5]. 만경강은 전북 완주군 고산면 대아저수지에서 출발하는 고산천이 최상류 이며 이후 완주군 비봉면 어우리 어우보부터 본 류가 시작된다. 완주군 소양면에서 시작되는 소양천은 봉동읍에서 만경강과 본류와 합류된다. 한편 완주군 구이면 구이 저수지에서 시작되는 삼천천이 전주시를 지나면서 전주천과 합류된 후 삼례읍 삼례교 지점에서 만경강의 중류로 합류하여 하류를 거쳐 서해바다까지 흐르게 된다. 만경강은 전북지역의 총 수자원량 2,488백만 m^3중 780.5백만 m^3으로 31.4%를 차지하며 용수별 이용 현황은 생활용수 17.9%, 공업용수 11.1%, 농업용수 63%, 하천유지용수 8%로 각각 이용되고 있다[6].

만경강 뿐 만 아니라 일반적으로 대부분의 하천의 경우 상류지역의 수질은 비교적 양호하다 할 수 있으나 주택지역이나 산업지역을 통과하면서 그 수질이 급격히 악화되게 된다. 이에 만경강 수질은 현재 새만금 간척사업과 관련하여 사회적으로 많은 관심을 불러일으키고 있다. 그러나 우리 나라의 주요 하천인 낙동강[7-16], 금강[17-19], 남강[20] 등 많은 하천[21-24]에 대해서는 수질평가 및 관련연구가 비교적 활발히 진행되고 있는 편이나 만경강의 수질[25-27]에 대하여는 사회적 관심에 비하여 수질 분석 및 연구에 대한 보고는 매우 적은 편이다.

따라서 본 연구에서는 pH, DO, BOD, 영양염류 및 중금속류의 함량 등 만경강 유역의 수질을 종합적으로 분석하여 이에 대한 기초자료를 제공할 목적으로 수행되었다.

*연락저자:
Tel : +82-63-270-2549 Fax : +82-63-270-2550
E-mail : yhmoon@moak.chonbuk.ac.kr

재료 및 방법

조사시기 및 채취 지점

만경강 상류수계의 수질조사는 2000년 6월부터 8월까지 3개월간 실시 (단 수온, pH, DO, 및 BOD는 2월부터 8월까지 조사)하였으며 조사횟수는 평균적으로 월 1~2회 실시하였다. 채취지점은 소양천의 상류인 완주군 동상면 죽절리 송광교 밑 (A지점)과 중류인 명덕리 명덕교 밑 (B지점), 고산천의 상류인 완주군 고산면 신당리 신당교 밑 (C지점)와 하류인 비봉면 어우리 어우보 (D지점), 만경강 상류인 봉동읍 낙평리 봉동교 밑 (E지점)과 봉동읍 신탁리 고천보 (F지점) 및 삼례읍 삼례리 삼례교 밑 (G지점)으로 만경강이 시작되는 지점부터 상류지역이었다.

시료채취 및 분석방법

수질시료는 각 지점에서 수심 약 10 cm 되는 곳에서 폴리에틸렌 용기 (1.8 L)로 채수하여 차량을 이용 가능한 빨리 실험실로 운반하여 중금속 성분을 제외하고는 즉시 분석을 실시하였다.

조사항목은 갈수기이고 비영농기인 2월에서 5월 사이에는 수온, pH, DO, BOD 만을 측정하였고, 관개용수로 많이 이용되는 영농기인 6월에서 8월 사이는 수온, pH, DO, 유기물함량과 관련하여 BOD를 측정하였고, 비료성분으로서 전질소, NO_3-N, NH_3-N, 전인 함량을 측정하였으며, 이 밖에 염소이온함량을 측정하였고 일반금속 및 중금속 (Fe, Mn, Cd, Cu, Zn 등)을 분석하였다.

DO와 pH는 DO-meter (istek model 23D)와 pH-meter (istek 73P)를 이용하여 현장에서 직접 측정하였다. 그 외 수질 분석은 수질오염 공정시험법[29]에 준하여 전질소, NO_3-N, NH_3-N, 전인 함량은 흡광광도법, 염소이온은 적정법에 따라 분석하였으며 금속류는 시료 500 mL를 50 mL로 농축하여 원자흡광분석기로 분석하였다. 기상 자료는 전주 기상대 자료를 이용하였다.

결과 및 고찰

조사시간 중 기상 변화

기온은 수온에 영향을 미치며 수온은 수중 용존산소량 및 생물상에 크게 영향을 끼치며 강수량은 관개용수의 양에 영향을 주어 수중의 각종 물질의 농도에 직접적으로 영향을 끼치므로 수질조사시 기본적인 사항이라 하겠다. 본 연구에서는 조사기간 중 기온과 강수량의 변화를 전주기상대 자료를 이용하여 조사하였다. 먼저 기온을 보면 2월은 -10.2~9.7℃이었으며 3월은 -5.9~18.9℃이었으며, 4월은 -0.4~25.4℃, 5월은 7.2~28.2℃, 6월은 13.4~32.8℃, 7월은 19.7~34.9℃, 8월은 19.2~34.4℃로 2월부터 7월까지는 계속적으로 증가되고 7월과 8월은 비슷하였음을 알 수 있었다.

월별 강수 현황을 살펴보면 2월중 강수일은 6일로 나타났고, 강수량은 최저 0.1 mm에서 최고 1.8 mm, 총 4.3 mm, 3월은 강수일 7일, 강수량은 최저 0.1 mm에서 최고 13.1 mm, 총 30 mm, 4월의 강수일은 5일, 강수량은 최저 0.3 mm에서 최고 36 mm, 총 44.8 mm, 5월의 강수일은 11일, 강수량은 최저 0.1 mm에서 최고 19.5 mm, 총 34.3 mm, 6월의 경우 강수일이 11일, 강우량은 최저 1.8 mm에서 최고 161 mm, 총 408.9 mm, 7월의 강수일은 16일, 강수량은 최저 0.2 mm에서 최고 157.6 mm, 총 333.8 mm, 8월의 강수일은 16일, 최저 0.1 mm, 최고 102.3 mm, 총 428.1 mm로 2월부터 6월까지는 강수량이 점진적으로 많아짐을 알 수 있었으며 5월까지는 월 총 강수량이 50 mm 이하로 매우 적었으며 6월~8월에는 300~400 mm의 비교적 많은 강수량을 보였다.

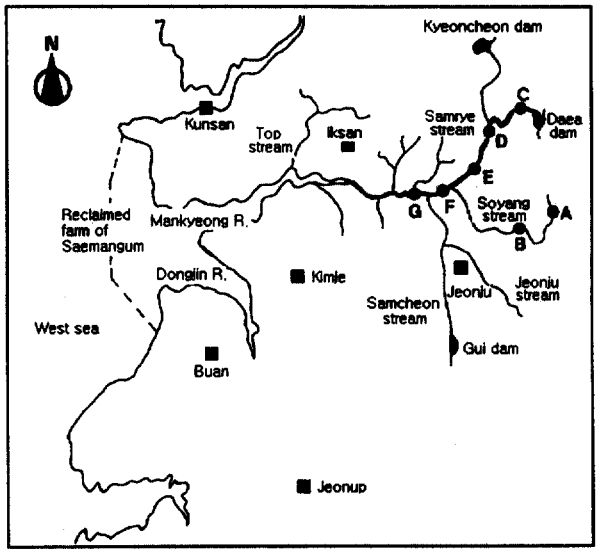

Fig. 1. Location map of sampling sites along Mankyeong river

A: Songkwang Bridge, B: Myeongduk Bridge, C: Sindang Bridge, D: Floodgate of Owu, E: Bongdong Bridge, F: Floodgate of Gocheon, G: Samyre Bridge

수질 현황

수온은 전반적으로는 기온에 비례하였지만 같은 날짜의 경우에도 지역에 따라 최고 10℃정도까지 차이를 보였는데 이는 측정당시의 수심 및 유속과 밀접한 관계가 있기 때문인 것으로 판단된다. 수온이 가장 낮았던 지역은 만경강의 최상류지역에 위치하고 비교적 물의 흐름이 많았던 신당교 지역으로 2월부터 8월까지 10~22℃ 정도를 유지하였다. 일반적으로 수심이 깊을 때가 수온이 낮았으며 수심이 얕아도 물이 흐르는 상태에서는 비교적 수온이 낮게 나타났다. 전체적으로 수온이 가장 높았던 곳은 삼례교 지점이었으며 다음으로는 고천보 지점이었는데 30℃전후까지 달하였다. 이는 봉동 삼례 지역의 하수 및 전주공단에서 유입되는 하천수의 영향때문인 것으로 사료된다[27]. 수온은 용존산소에도 영향을 끼치며 나아가 조류를 포함한 수생 생물의 증식에도 영향을 끼칠 것으로 사료된다[1,2,10].

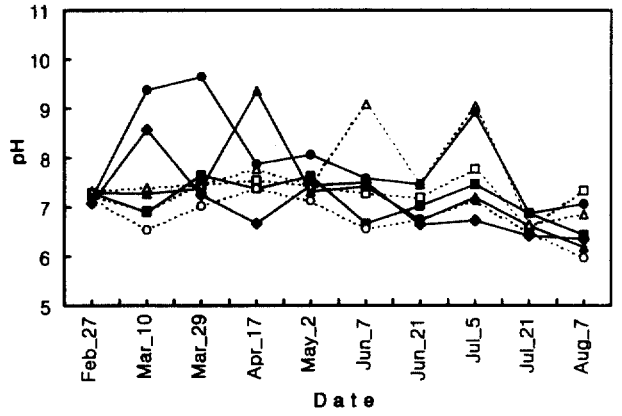

Fig. 2. Change in pH of water samples of Mankyeong river stream.

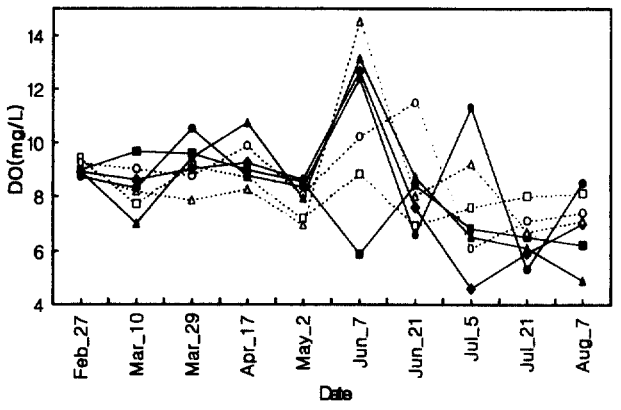

Fig. 3. Change in DO of water samples of Mankyeong river stream.

물의 pH는 가장 기본적인 조사항목이다. 물의 pH를 현장에서 직접 측정한 결과는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 농업용수의 수질기준중 pH는 6.0~8.5로 되어있다. 만경강 최상류 지역인 송광교, 명덕교, 신당교 지역의 pH는 7.0정도로 농업용수로 사용하는 데는 별다른 문제가 없는 것으로 조사되었다. 그러나 중상류 지역으로 내려오면서 pH가 높아져 고천보, 신중보, 삼례교 지역의 pH는 갈수기인 2월에서 5월 사이에 9.0~10.0사이로 상당히 높게 나타나 금후 세심한 주의가 요망되었다. 수량이 많아지면서 pH는 정상으로 전환되어 7월 하순과 8월에는 대부분의 지역이 6.5~8.5 사이로 나타났지만, 삼례교와 고천보 지역의 경우에는 pH 9.0정도의 비교적 높은 값으로 관측되어 이 지역의 수질보전에 세심한 주의가 요망되었다[25,27]. 이등[27]은 1995년과 1997년에 실시된 만경강수질 조사에서 지역은 다르지만 pH가 6.2~8.7로 나타났다고 보고하였다. 이러한 조사결과와 비교하여 보면 pH가 크게 높아졌음을 알 수 있었다.

수중 생물이 생활하는데는 절대적으로 산소가 요구되어지는바 용존산소량 (DO)는 매우 중요한 인자로 농업용수 (하천수 기준 IV등급)로서는 2 mg/L이상, 수산용수 (하천수 기준 II등급이상)를 위하여는 5 mg/L이상으로 되어있다. 수중의 용존산소는 대기중에서 유입되거나 수생식물의 광합성 작용으로 증가되며 수중 생물의 호흡과 관련하여 감소된다. 본 연구에서 DO의 측정결과는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 4.6~14.5로 나타났다. 5 mg/L 이하는 2회만 조사되었을 뿐 용존산소량이 비교적 높은 것으로 나타났다. 임 등[10]에 의하며 호소와 같은 정체 수역의 경우 봄, 가을 기간에는 조류의 탄소동화작용의 영향으로 용존산소가 과포화상태를 나타낼 수 있으며 강 등[8]의 보고에 의하면 낙동강 중류 지역에서 조류가 과다히 번성하는 경우 용존산소가 14.1 mg/L로 조사되었다. 본 조사에서 6월초까지는 DO가 계속적으로 증가되었으며 특히 6월 초의 경우 10 mg/L 이상으로 아주 높았는데 이 이유는 이때까지 갈수기로 강물의 량이 적고 거의 이동이 없었던바 조류

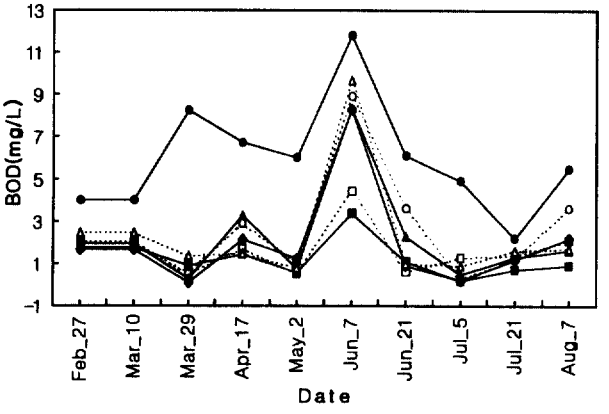

Fig. 4. Change in BOD of water samples of Mankyeong river stream.

의 동화작용이 왕성하였기 때문인 것으로 추정되며 6월 말부터 DO값이 낮아 진 것은 강우에 의한 유량증가의 영향으로 판단된다.

수중의 유기물을 호기적 미생물로 분해시키는데 필요한 산소량인 생물학적 산소요구량(BOD)은 수중 오염도를 평가하는 기본적인 사항으로 널리 이용되고 있다. 농업용수 (하천수 기준 IV등급)로서는 8 mg/L이하, 수산용수 1급으로는 3 mg/L이하 (하천수 기준 II등급), 수산용수 2급으로는 5 mg/L이하 (하천수기준 III등급)로 기준하고 있다. BOD를 조사한 결과는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 0.5~11.8로 지역별 조사시기별로 큰 차이를 보였다. 갈수기의 마지막 단계인 6월초의 시료에서는 다른 시기에 비하여 BOD가 월등히 높았으며 지역별로는 조사지점중 가장하류에 위치하고 전주시 생활용수와 전주공단하수가 합류된 삼례교지역이 가장 높게 나타났다. 임등[10]의 낙동강 수계 수질 현황에서도

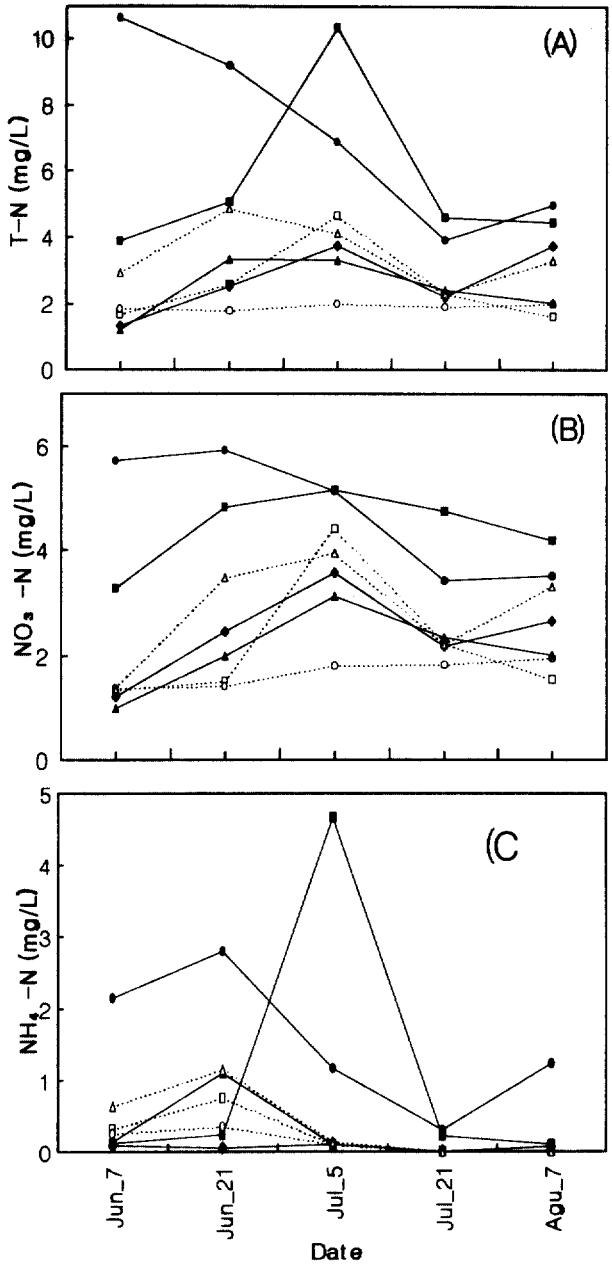

Fig. 5. Change, in T-N(A), NO_3-N(B), and NH_4-N(C) in water samples of Mankyeong river stream.

Songkwang Myeongduk Sindang Owu Bongdong Gocheon Samyre

BOD가 조사 시기 및 지점에 따라 현저히 변화되는 것으로 조사되었다.

수질중 총질소 함량, NH_4-N 및 NO_3-N의 함량을 조사한 결과는 Fig. 5에 나타낸 바와 같다. 수질중 총질소량은 우리 나라 호소 수질 환경기준에 1등급이 0.2 mg/L, 2급과 3급이 각각 0.4 mg/L, 0.6 mg/L이하로 되어있으며 농업용수 수질 기준치는 1 mg/L로 정하고 있으며 질소 형태별 관개용수중 함량에 대한 기준은 아직 확실하지 못하며 수도 생육에 피해 한계농도에서

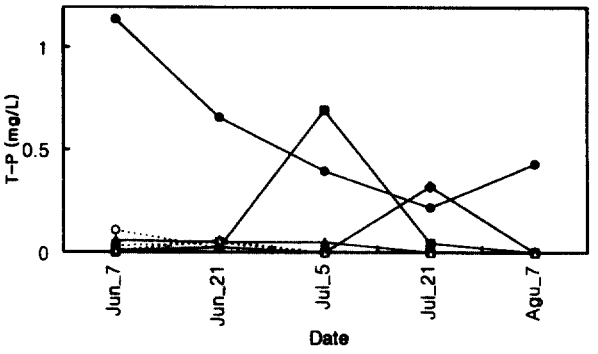

Fig. 6. Changes in T-P in water samples of Mankyeong river stream.

Songkwang Myeongduk Sindang Owu Bongdong Gocheon Samyre

NO_3-N은 20 mg/L이하이며 관개수중 농도는 5~6 mg/L이하인 정도로 알려져있다[2,30-32].

본 조사에서 검출된 총 질소양은 0.9~10.6 mg/L로 거의 대부분의 시료에서 농업용수 기준치를 초과하였다. 지역별로는 하류로 갈수록 총 질소 함량이 증가함을 알 수 있었다. NH_4-N의 함량은 불검출~4.7 mg/L까지이었으며 지역에 따라 조사시기에 따라 현저하게 변화되었으며 일반적으로 6월에서 8월로 가면서 감소 되었다. 그러나 NO_3-N의 함량은 1.0~5.9 mg/L로 조사시기나 조사지역에 따라 큰 변화가 없었다. 총 질소함량이 3 mg/L까지는 벼농사에서 시비대책과 재배기술개량 등으로 대응이 가능하지만 5 mg/L이상에서는 수량감소가 확실한 것으로 보고되어 있어 세심한 주의가 요망된다[33]. 한편 1995~1997년에 실시한 이 등[26]의 만경강 수질 조사 연구에서 NH_4-N이 0.1-28.3 mg/L, NO_3-N이 1.7~5.0 mg/L로 본 조사 결과치에 비하여 유사하거나 더 높은 경우가 많았다.

수질중 총 인 함량을 조사한 결과는 Fig. 6에 나타낸 바와 같다. 인 성분은 질소성분과 함께 부영양화를 일으키는바 호소 수질환경 기준에서 농업용수 기준은 0.1 mg/L이며 0.01~0.05 mg/L이면 조류 발생이 가능한 수준으로 되어 있다[34]. 본 조사에서 N.D~1.14 mg/L으로 나타났는데 비가 적었든 6월 시료의 경우에는 모든 시료에서 검출되었으나 홍수기인 7월과 8월 시료에서는 불검출이 대부분이었지만 검출된 시료의 검출량은 지역에 따라 현저한 차이를 보였다. 특히 삼례교의 시료에서는 전 시료가 기준치를 초과하였는데 이는 전주천에서 유입되는 가정하수와 공업단지에서 배출되는 산업폐수가 부분적으로 유입되었기 때문으로 사료되며 명덕교와 봉동교 지점의 시료에서도 검출치가 높은 경우가 있었는데 이는 인근 농가의 축산폐수에서 유출되는 비료성분의 영향 때문인 것으로 사료된다. 이와 같은 원인에 의거하여볼 때 상기에서 지적한 질소 함량이 높은 시료에서 총 인의 함량이 높은 시료가 많았는데 그 원인이 동일하기 때문으로 판단된다[1,9,27,32]. 본 결과와 조사 지역 및 시기가 달라 직접비교는 곤란하지만 이 등[26]은 1995~1997년의 만경강 수질중 PO_4^{3-} 의 함량

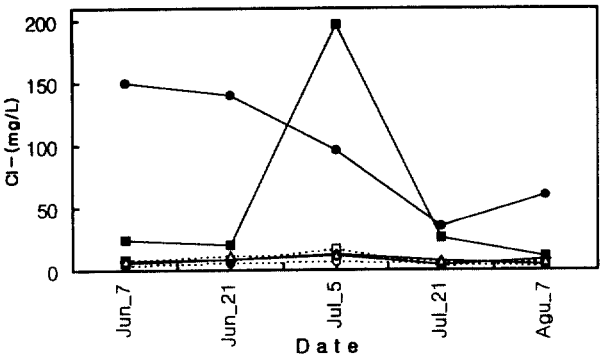

Fig. 7. Changes in Cl^- of water samples of Mankyeong river stream.

이 0.6~9.7 mg/L로 보고한 바있는데 이는 본 결과에서보다 일반적으로 높게 나타났다.

미량원소인 Cl^-는 식물체의 광합성 감소, 탄수화물 이동저해, 호흡 및 수분흡수를 저해하는 것으로 알려져 있으며 수도생육을 저해하는 기준은 250 mg/L으로 되어있다. 본 조사결과 만경강상류 유역 중 Cl^-의 함량은 Fig. 7에 나타낸바와 같이 채취장소 및 시기에 따라 현저하게 달랐으며 일반적으로는 갈수기인 6월초에는 전체적으로 농도가 높았지만 8월로 갈수록 점점 낮아지는 경향을 보였으며 최저 3.5 mg/L에서 최고 196 mg/L으로 기준치에는 못 미치는 정도였다. 그러나 일반적으로 오염이 많이 되었다고 볼 수 있는 삼례교 지역의 경우 염소 이온의 함량은 다른 지역에 비하여 10~20배정도 높게 나타나 다른 지역에 비하여 오염이 많이 되었음을 알 수 있었는데 이는 전주공단에서 배출되는 폐수 때문으로 사료된다.

수질 중 Fe 및 Mn과 Cd, Cu, Pb, Zn 등의 중금속 함량을 조사한 결과는 Table 1에 나타낸 바와 같다. Cd의 검출빈도는 14%이었으며 검출 빈도 면에서 볼 때 삼례교와 봉동교 지점에서는 다른 지점에 비하여 높은 편이었지만 검출 농도는 일본에서 수도재배용 농업용수의 제한기준인 0.01 mg/L의 기준치이하이었다. Cu의 수질 허용농도는 우리 나라에서는 0.01 mg/L이며 일본에서는 0.02 mg/L로 되어있는데 본 조사 결과 검출 빈도가 26%이었으며 대부분의 시료에서는 이 기준을 만족시켜 주었으나 삼례교 지역의 6월 21일 시료의 경우에는 0.05 mg/L로 기준치보다 높게 나타났다. Pb는 모든 시료에서 검출되지 않았지만 Zn은 산업에서 비교적 널리 사용되어지고있는 이유 때문인지 전 시료에서 검출되었다. Zn의 검출 농도 범위는 0.001~0.17 mg/L 이었으나 우리나라의 농업용수 수질 기준인 1 mg/L이하이었으며 일본의 수도재배용 농업용수의 제한 기준인 0.5 mg/L에 못 미치는 정도이었다. Mn은 검출빈도는 40%이었으며 검출농도범위는 0.001~0.04 mg/L이었으며 Fe는 전 시료에서 검출되었으며 검출농도범위는 0.002~0.1 mg/L 수준으로 검출되었다.

Table 1. Some metals contents in Mankyeong river streams from June to August in 2000.

Sampling sites	Content (mg/L)					
	Fe	Mn	Cd	Cu	Pb	Zn
Songkwang	0.004~0.07	ND	ND	ND	ND	0.003~0.03
Myeonduk Bridge	0.004~0.05	ND~0.010	ND~0.001	ND~0.004	ND	0.001~0.02
Sindang Bridge	0.002~0.05	ND~0.000	ND	ND~0.010	ND	0.001~0.05
Floodgate of Owu	0.002~0.05	ND~0.002	ND	ND	ND	0.001~0.01
Bongdong Bridge	0.004~0.03	ND~0.010	ND~0.003	ND~0.010	ND	0.002~0.02
Floodgate of Gocheon	0.005~0.03	ND~0.001	ND	ND~0.010	ND	0.002~0.01
Samyre Bridge	0.004~0.1	0.001~0.04	ND~0.001	ND~0.050	ND	0.004~0.17

* ND : not detected

이상에서 살펴 본 바와 같이 만경강 상류지역의 수질을 조사한 결과 갈수기인 6월 중순까지와 이후 강우가 많아 하천의 유량이 증가하는 시기 (7월~8월)와 비교하여 볼 때 갈수기가 오염정도가 월등히 높았으며 또한 갈수기의 경우 지역에 따라 분석치가 현저히 달랐는데 이는 수량이 적어 물의 이동이 거의 없었고, 상대적으로 오염부하량이 커졌기 때문이었을 것으로 판단되었다. 따라서 하천의 환경보전을 위하여는 농번기 이외의 시기에도 적정량 이상의 물이 유역이나 수원 (저수지 등)으로부터 하천에 유입되어져 그 기능이 유지되어져야 할 것으로 사료되었다. 오염이 가장 심하였던 지역은 공단을 거쳐 나오는 전주천과 합류 지점인 삼례교 지점으로 이는 공단에서 버려지는 오폐수 때문으로 판단되었다. 분석 항목별로 볼 때 전반적으로 오염치가 높은 항목은 pH, T-N이었으며 다음으로는 T-P로 나타났다. 만경강은 농업용수 뿐 아니라 생활용수, 공업용수로도 사용되는 중요한 역할을 하는 바 새만금사업 시행과는 별도로 적절한 수질대책의 마련이 시급한 실정이다.

요 약

만경강 상류 유역의 수질 오염 실태를 조사한 결과 요약하면 다음과 같다. 3월부터 8월 사이의 수온은 6.4~30.8℃로 나타나, 기온에 영향을 받았지만 수심과 유속에도 크게 영향을 받은 것으로 조사되었다. 수질의 pH는 5.9~9.7 범위었으며 용존산소량

(DO)은 4.60, 생물학적 산소요구량 (BOD)은 0.1~11.8 mg/L이었다. 수질중 질소원의 검출량은 전질소함량이 1.19~10.61 mg/L, NO_3-N은 1.0~5.93 mg/L, NH_4-N은 ND~2.79 mg/L이었다. 전인의 함량은 ND~1.14 mg/L, 염소이온함량은 3.5~196.4 mg/L로 나타났다. Fe와 Mn의 검출량은 각각 0.002~0.100 mg/L, ND~0.04 mg/L이었다. Cd 검출량은 ND~0.03 mg/L, Cu의 검출량은 ND~0.05 mg/L, Zn은 0.001~0.17 mg/L로 나타났으나, Pb은 전체시료에서 검출한계 이하이었다. 수질 분석 항목중 상당수의 시료가 기준치를 초과한 항목은 pH, T-N, T-P이었으며 전체적인 오염 상태는 갈수기인 6월의 경우가 8월보다 높았으며 갈수기의 경우에는 지역별로 물의 이동이 거의 없었기에 지역에 따라 수질의 오염상태가 현저히 달랐으며 지역별로는 오염정도가 가장 높았던 지역은 공장폐수가 많이 유입되는 삼례교유역의 수질로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Kim, B. Y. (1988) Water pollution in relation to agriculture. *Korean J. Environ. Agric.* 7(2), 153-169.
2. 한기학, 박창규 (1989) 농업환경화학. 동화기술.
3. Ellis. A. (1993) Agriculture and the environment. Horwood Limited.
4. 광주환경지청 (1989) 만경강수질보전대책.
5. 전라북도 (1995) 수질보전대책 종합보고서 (만경강, 동진강, 섬진강, 금강).
6. 전북대학교 새만금연구사업단 (1999) 만경강 상류유역의 기초조사.
7. 강용태 (1995) 낙동강 회생을 위한 하수고도처리 시스템의 개발. 수처리 기술. 3(4), 27-35.
8. 강용태, 현길수, 양희천 (1996) 낙동강 수계의 오염에 따른 수질예측 및 관리대책. 수처리기 술. 4(3), 3-15.
9. 김수원 (1994) 낙동강 유역의 다목적댐 건설이 수질환경에 미치는 영향과 대책. 수처리기술. 2(3), 115-131.
10. 임영석, 조주식, 이홍재, 이영한, 손보균, 허종수 (1999) 낙동강 수계의 수질현황. 한국환경농학회지 18(2), 126-134.
11. 정종배, 김복진, 김정국, 김민경 (1998) 낙동강 유역 주요 농업지대 소하천수질의 영농형태별 비교. 한국환경농학회지 17, 140-144.
12. 최언호, 이서래 (1982) 낙동강 중류 수계의 수질 조사 연구 (1978-80년). 한국환경농학회지. 1(1), 31-38.
13. 최언호, 이서래 (1982) 낙동강 중류 수계의 자정 능력 평가. 한국환경농학회지. 1(1) : 39~47.
14. 정종배, 김복진, 김정국 (1997) 낙동강 중요 농업지대 소유역의 수질 오염. 한국환경농학회지 16, 187-192.
15. 하호성, 허종수 (1982) 김해평야의 관개수의 오염에 관한 연구. 한국환경농학회지 1(1), 22-30.
16. 하호성, 허종수 (1989) 김해평야 관개수 오염도가 벼영양생리에 미치는 영향. 한국환경농학회지. 8(2), 93-102.
17. 한강완, 조재영, 김성조 (1997) 금강유역 농업지대의 토양 및 수질 오염. 한국환경농학회지 16(1), 19-24.
18. 이종태, 이진일, 남윤규, 한규홍 (1999) 금강수계 농업용수의 수질. 한국환경농학회지 18, 122-125.
19. 최창현, 한강완, 조재영, 전재철, 김성조 (2000) 금강수계 남대천 유역의 수질변화와 오염부하량. 한국환경농학회지 19(1), 26-31.
20. 이영환, 김종균, 이한생, 조동진, 조수식 (1997) 남강 농업용수의 시기별 수질 변화. 한국환경농학회지 16, 259-263.
21. 국립환경연구원 (1989) 하천 및 호소 수질의 최적화 관리 방안.
22. 김진호, 이종식, 류종수, 안의영, 안승구 (2000) 수원 서호의 수질화학성분변화와 농업용수원으로의 적합성 평가. 한국환경농학회지 19, 242-246.
23. 김진호, 이종식, 김복영, 홍승길, 안승구 (1999) 경기지방 농업용 지하수 수질 현황. 한국환경농학회지 18, 148-154.
24. 이종식, 정구복, 김진호, 김복영 (1998) 경안천 수계의 농업용수로서 수질 검토. 환국환경농학회지 17, 136-139.
25. 이덕배, 이경보, 이경수 (1996) 호남지역의 시설원예 재배지 지하수중 화학성분 변동요인조사. 한국환경농학회지. 15(3), 348-354.
26. 이경보, 이덕배, 강종국, 김재덕 (1999) 만경강과 그 인근 시설재배지 지하수의 시기별 수질변화. 한토비지 32(3), 223-231.
27. 이경보, 이덕배, 이상복, 김재덕 (1999) 만경강 수계 농업용수의 시기별 수질변화. 한국환경농학회지 18(1), 6-10.
28. 김계환, 문영희, 박종민, 허삼남, 박준모 (2000) 만경강 상류유역의 식물상. 전북대학교농대논문집 31, 18-33.
29. 환경부 (1998) 수질오염공정시험방법
30. 이기우 (1993) 환경법. 학현사
31. 한국수자원공사 (1995) 암모니아성 질소 제거 방법
32. 한국수자원공사 (1988) 부영양화 방지대책
33. Hidaka, S. (1993) Multi-utilization of water and irrigation water quality. *Jap. Soc. Soil Sci. Plant Nutr.* 64, 465-473.
34. Harper, D. (1992) Eutrophication of freshwaters. Chapmam Hill, London.