

1. 서론

비점오염이란 토지이용이나 오염된 대기 때문에 발생하는 지표수 및 지하수의 오염을 말한다. 따라서 비점오염의 크기와 영향은 공장이나 하수처리장의 배출구 또는 공장의 굴뚝에서 나오는 점오염처럼 오염의 크기와 영향을 쉽게 파악할 수도 없으며 법적인 규제도 매우 어렵다. 환경법규가 강화되면서 점오염의 규제는 성공적으로 이루어져 이들로부터의 오염배출량은 감소되는 추세이나 규제가 전혀 이루어지지 못하는 비점오염의 크기는 상대적으로 점차 커지고 있다. 비점원 오염은 그 특성상 관리하기 어렵고 또한 가장 이해가 덜된 오염이기 때문에 비점원 오염을 효율적으로 통제하기 위한 연구가 시급히 요구되고 있다. 비점원 오염의 가장 시급한 연구과제로는 토지이용에 대한 처방과 반응관계의 개선, 토지이용이 수질에 미치는 영향의 예측능력 개선, 그리고 위험성 판단과 예측모델의 입력자료로 사용될 수 있는 자료수집의 확대 및 개선 등이 있다.

비점원 오염물질의 발생과 운반은 토성, 재배작물, 경지의 경사도와 경사장, 경운방법, 농약과 비료의 사용량 및 사용시기, 강우량, 작물수확후 경지의 처리, 하천과의 거리, 심지어는 농산물의 가격 등에도 영향을 받고 있기 때문에 토지이용에 대한 처방과 반응관계의 개선이나 토지이용이 수질에 미치는 영향의 예측능력을 개선하기 위하여서는 상당히 많은 경험과 자료가 요구된다. 또한 비점오염의 위험성 판단이나 예측모델의 입력자료로 사용될 수 있는 자료도 지역의 특성을 잘 대변할 수 있는 장기간의 관측 자료를 사용하여야 위험성 판단(risk assessment)을 정확하게 할 수 있고 모델의 예측값도 신뢰성을 확보할 수 있다. 그러나 우리나라는 위에서 언급한 관계를 구명하는데 사용할 수 있는 자료를 아직 축적하지 못하고 있기 때문에 다양한 토지이용에 따른 수질과 유출과의 관계를 구명할 수 있는 자료를 축적이 가장 시급히 요청되고 있다. 자료가 축적이 되면 이를 바탕으로 비점원 오염을 효과적으로 통제할 수 있는 기술과 정책개발을 할 수 있다.

본 연구에서는 강원도의 전형적인 산간농촌지역을 관통하는 2개의 하천에서 유출량과 오염물질 농도와와의 관계를 구명하기 위한 제1단계 조치로서 이들 하천에서 약 1년 동안 관측

한 자료를 유역의 특성과 함께 분석하였다.

2. 유역의 특성 및 연구방법

연구유역의 행정구역은 강원도 춘천시 서면 방동1리와 2리이며 유역면적은 13.8 km²이다. 연구유역은 다시 방동1천과 방동2천 유역으로 나뉘어져 있으며 각각의 소유역면적은 9.2 km²과 4.6 km²이다. 방동1리와 방동2리의 경지면적은 각각 115.5(논 58, 밭 57.5)ha와 101.6(논 49, 밭 52.6)ha로 논과 밭의 비율은 거의 비슷하다. 95년 11월 현재 방동1리는 95가구에 368명이 그리고 방동2리는 74가구에 271명이 거주하고 있다. 본 유역은 춘천도심지와는 직선거리로 약 5 km 정도 떨어져 있고 신씨묘(장절공 신승겸묘)와 같은 관광지가 있음에도 불구하고 지리적으로 외부와 고립되어 있어 대량의 오수를 방출하는 대중음식점 한 곳 없는 전통적인 농촌마을로 수문학적으로 독특한 2개의 paired watersheds를 형성하고 있다.

유역의 특성조사는 농가에서 발생하는 오염물질의 종류, 크기 그리고 하천에 미치는 영향을 예측하는데 도움을 줄 수 있는 항목들을 중심으로 조사하였다. 대표적인 조사항목은 화장실의 상태, 목욕탕과 부엌의 구조, 배수로의 길이, 하수의 처리방법, 주택 및 축사와 하천과의 거리, 축산현황과 축사의 구조, 하천제방의 존재유무와 하천관리상태, 폐기물 처리방법 등의 특성을 조사하였다. 또한 비료와 농약의 사용량도 조사하였다.

방동1천과 2천의 상류, 중류, 하류에 각각 유출량과 수질측정지점을 선정하고 평균 2주에 1회정도 유량과 수질을 측정하였다. 유출량 측정은 전자유속계를 사용하여 유속을 측정 한 후 평균단면법으로 유량을 계산하였다. 채취된 수질샘플은 강원대학교 농업생명과학대 공동실험실에서 TN, Nitrate (NO₃-N), BOD와 대장균(total coliform)에 대해서 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

방동리 유역 농가의 편의시설인 입식부엌, 목욕탕 및 정화조 설치현황은 표1과 같다. 그러나 현재에도 많은 농가가 새로운 주택을 신축하고 있으므로 농가의 편의시설은 빠르게 증가되리라 생각된다. 목욕탕이 없는 주택도 간이시설을 하여 추운 겨울을 제외하고는 집에서 샤워등의 목욕을 하는 것으로 나타났다. 이들

표 1. 방동리 유역 농가의 편의시설

구분	방동1리	방동2리
총가구수	95	74
입식부엌	72	44
목욕탕	54	37
정화조	20	14

편의시설들은 재래식 시설에 비하여 많은 생활오염을 배출하는 배출원이다. 반면에 농가와 하천 사이의 거리나 혹은 배수로의 길이는 배출원에서 배출되는 비점오염물질의 자연정화작용과 많은 영향을 주고 있다. 배출원에서 동일한 오염물질이 배출되어도 배수로의 길이가 길 때는 주변하천의

수질에 거의 영향을 주지 못하는 반면에 배수로가 없이 오염물질이 하천으로 유입되면 하천의 수질에 막대한 영향을 준다. 유역전체적으로 보았을 때, 농가와 하천과의 거리는 30 m 이내가 11가구, 30에서 50 m 사이가 13가구, 50에서 100 m 사이가 56가구, 그리고 100 m 이상이 70 가구로 비교적 하천에서 멀리 떨어져 있다. 또한 농가의 생활하수는 87가구가 배수로가 없이 주변의 농경지로 흡수가 되고 있어 하천으로 직접적인 오염부하는 없었다. 또한 나머지 63가구는 배수로를 통하여 하수를 배출하나 평시에는 하수가 배수로에서 토양으로 침투되어 하천까지는 도달하지 못하였다.

방동1리와 2리의 가축은 각각 소가 562마리와 418마리, 개는 123마리와 112마리, 닭이 92마리와 125마리, 염소가 4마리와 14마리, 오리가 14마리와 15마리이며 돼지는 방동1리에만 2마리, 그리고 방동2리에는 사슴이 14마리와 꿀벌이 100통이 사육되고 있다. 우사의 구조는 오염의 발생이 작은 톱밥발효 우사가 5동, 개래식 마굿간 형식의 우사가 15동 그리고 오염발생이 많은 바닥을 콘크리트로 포장한 집단사육장식 우사가 90동을 차지하고 있다. 축사와 하천과의 거리는 30 m이내가 10곳, 30에서 50 m 사이가 14곳, 50에서 100 m 사이가 40곳 그리고 100 m 이상되는 곳이 가장 많아 47곳 이었다. 축사의 배수로는 거의 대부분 주변의 토양으로 침투되도록 되어있었으며 하천으로 연결되는 배수로를 가진 축사는 15곳이었다. 축사 배수로에서도 평시에는 하천으로 축산오수가 직접 유입되지 않았다.

방동1천은 비교적 하폭이 넓고 하상에는 굵은 호박돌 크기의 돌이 많았다. 하천은 제방과 옹벽 등으로 정비되어 있어 하천변에서 자연의 정화작용은 작을 것으로 예상되나 홍수시 농경지 유실 등의 위험은 없었다. 굵은 조약돌 등으로 피복된 방동2천의 하폭은 좁고 직선화되어 있으며 하천의 양안은 제방으로 잘 보호되어 있다. 그러나 하상이 좁고 직선화된 관계로 경사가 급한 구간은 1995년의 홍수로 하상이 상당히 많이 유실되었다. 방동1, 2천 모두 한 쪽의 제방은 폭 5 m 도로로 시멘트 콘크리트 포장이 되어 있으며 다른 한 쪽의 제방도 폭 3 m 정도의 비포장 농도로 구성되어 있다.

방동1과 2천의 유량과

수질의 측정은 3월 부터 11월 말 현재까지 18회 측정되었다. Fig. 1에 방동2천의 유출량을 나타냈다. 방동1, 2천의 유량은 3월과 4월 그리고 10월 이후의 건기에는 매우 작아 상류에서는 0.001 m³/sec에서 0.08 m³/sec 정도였으며 하류에서는 0.005 m³/sec에서 0.08 m³/sec로 측정되었다. 복류수

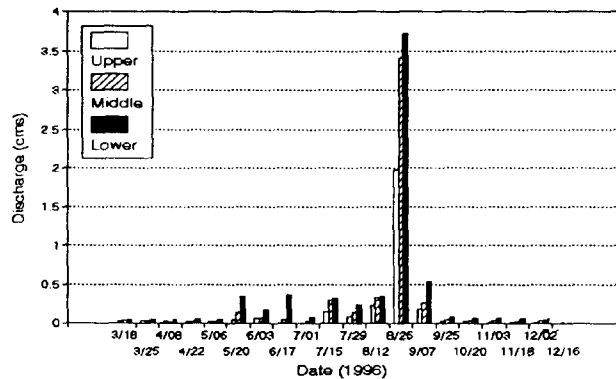


Fig. 1. Discharge at the upper, middle and lower sampling sites of Bangdong 2 Cheon

가 많은 하천구간에서는 지표수가 나타나지 않는 곳도 있었다. 방동2천의 유역면적은 방동1천의 1/2이나 건기시의 유출량은 방동1천과 차이가 없었다. 이는 방동1천의 경우 하폭이 넓고 하상의 사력층이 두꺼워 복류수가 많은 반면에 방동2천은 하상의 사력층이 얇아 복류수가 없는 반면 주변에서 지하수의 유입이 많기 때문으로 생각된다. 이와 같은 유역은 토지이용과 수질과의 관계를 연구하는 데 유리한 유역으로 고려되고 있다.

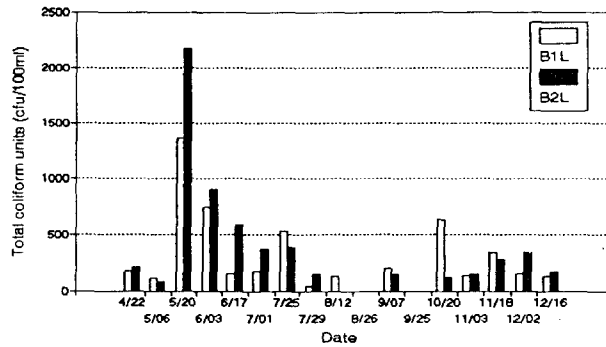


Fig. 2. Total coliform units (cfu/100ml) at the lower sampling sites of Bangdong 1 Cheon (B1L) and Bangdong 2 Cheon (B2L)

하천수의 대장균은 16회 분석되었다. 대장균의 농도는 5월에서 7월 사이에 비교적 높고 변화가 비교적 큰 경향을 보였으나 8월 이후 부터는 감소되고 변화도 작게 나타나고 있다. 대장균은 최대 2,235 cfu/100ml까지 검출되었다. 계절에 따른 대장균 농도의 변화는 방동 1, 2천 모두에서 상류와 중하류 사이에 서로 다른 양상을 보였다. 상류의 경우 대장균의 농도는 5월 중순부터 증가하기 시작하여 6월 말에 가장 높았고 그리고 서서히 감소하여 11월 말경에는 초봄 수준으로 돌아왔다. 반면에 중류와 하류에서 대장균 농도는 5월 중하순경에 가장 높았으나 이후로는 급격히 감소하여 8월과 9월에는 매우 낮았으며 10월과 11월에 다시 약간 증가하는 경향을 보이다 다시 감소하였다 (Fig. 2). 이는 상류의 경우 하천주변 산림지의 초목이 부패되면서 대장균이 유입되어 하절기에 높은 반면 중하류지역은 봄에 논과 밭에 산포한 축분이나 두엄등의 퇴비에서 많은 대장균이 유입되어 일시적으로 높은 농도를 보였으나 퇴비가 토양과 동화되면서 대장균의 숫자가 급격히 줄어들고 하천 유입도 작아지기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 장대장균은 검출되지 않았기 때문에 축산분뇨 등에 의한 직접적인 하천 오염은 없는 것으로 사료된다.

방동1과 2천의 BOD는 거의 나타나지 않고 있다. 최대 BOD값은 95년 6월 17일에 방동2리 중류에서 채취된 시료에서 5.9였으며 거의 모든 시료에서 0에 가깝게 나타나 하천수는 유기물에 의해 거의 오염되지 않았음을 나타내고 있다. 하천수의 부유물질(SS)의 농도는 측정시료 거의 모두 25 mg/l 이하로 상수원수 1급수에 해당하였으나 하천에서의 교량작업이나 모내기 또한 홍수시에는 SS의 농도가 상당히 증가하였다.

질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 농도는 5월 말까지는 0.5 mg/l 혹은 그 이하의 낮은 농도를 보이다가 6월 초부터 증가하여 12월 말까지도 1~2 mg/l의 농도를 보였다 (Fig. 3). 질산성 질소 농도의 증가는 봄철의 발작물 파종시과 모내기 철에 사용된 퇴비나 화학비료가 지표유출

이나 지하유출을 통하여 하천으로 유입되며 증가되는 것으로 생각된다. 방동2천의 질산성 질소의 농도가 방동1천 보다 다소 높은 경향을 보이는 것은 방동2천으로 지하수의 유입이 많은 것 때문으로 사료된다. 또한 하상의 사력층이 두꺼운 방동1천의 경우 질산성 질소의 농도변화가 비교적 작았던 데 비하여 하상의 사력층 얇은 방동2천의 경우는 질산성

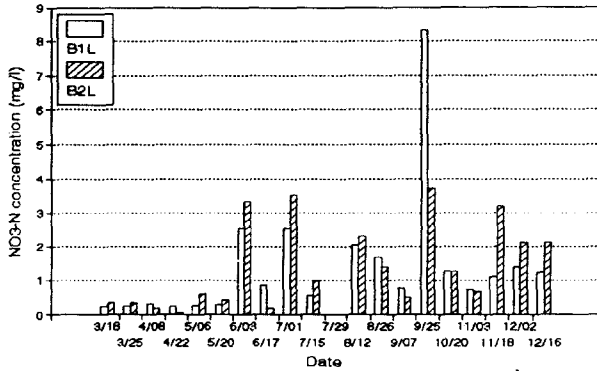


Fig. 3. NO₃-N concentrations (mg/l) at the lower sampling sites of Bangdong 1 Cheon (B1L) and Bangdong 2 Cheon (B2L)

질소 농도의 변화가 컸다. 질산성 질소의 농도는 12월이 되어도 감소하지 않는 이유는 여름과 가을에 지하수로 침투한 질산성 질소가 시간을 두고 서서히 하천으로 배수되기 때문인 것으로 생각된다. 이는 최예환 등(1994)의 연구결과와도 일치하고 있다. 질산성 질소는 유기물이 산화되어 생성되는 안정된 질소화합물로 대장균과 더불어 농어촌 지역의 주요한 오염원 중의 하나이다. 질산염(nitrate, NO₃⁻) 농도와 질산성 질소(NO₃-N) 농도 그 기준이 다르다. 즉, 같은 1 mol/l의 농도에서 질산염 농도는 질산염 분자량(질소분자 1개 + 산소분자 3개)의 질량인 62 g/l이고 질산성 질소는 질산염중의 질소분자만의 질량을 나타내는 농도이므로 14 g/l이다. 그러므로 우리나라의 음용수 기준치인 질산염 10 mg/l는 질산성 질소 농도로 나타내면 2.26 mg/l가 된다. 질산성 질소의 농도가 2.26 mg/l를 초과하면 질산염의 농도는 10 mg/l 이상이 되어 음용수 기준치를 초과한다.

총질소(TN)의 경우도 질산성 질소와 거의 동일한 경향을 보여주고 있으나 농도가 질산성 질소보다는 다소 높게 나타났다 (Fig. 4). 총질소의 농도도 방동2천이 1천보다 다소 높은 경향을 보이고 있는 이유는 방동1천의 경우 하천가에는 발이 많으나 방동2천의 경우 논이 대부분이어서 논으로부터 유기물의 유입이 많기 때문인 것으로 생각된다. 총질소의 농도도 질산성 질소의 농도와 마찬가지로 6월 초에 증가

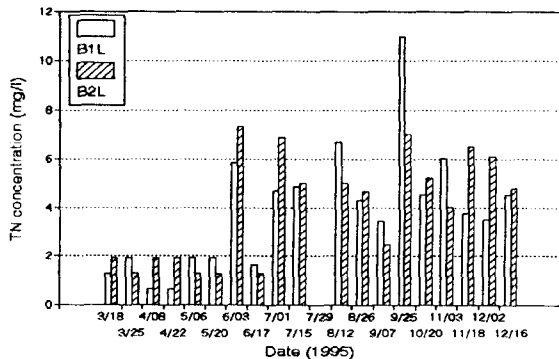


Fig. 4. Total nitrogen (TN) concentration at the lower sampling sites of Bangdong 1 Cheon (B1L) and Bangdong 2 Cheon (B2L)

하여 12월 말까지도 영농이 시작되기 전의 농도로 환원되지 않고 있다. 6월 이후 총질소 농도의 증가는 질산성 질소 농도의 증가에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 하천수질기준에는 총질소의 농도가 포함되어 있지 않으나 호소수질기준 1급수의 총질소 농도는 0.2 mg/l 이고 5급수가 1.5 mg/l임을 감안하면 의암호로 배수되는 방동1과 2천의 총질소 농도는 여전히 높다고 볼 수 있다.

4. 결 론

연구유역 전체농가와 축사의 50% 이상의 생활 및 축산폐수는 배수로를 통하여 하천으로 배수되지 않고 집주변의 농경지로 배수되어 토양속으로 침투되고 있어 하천에 부과되는 오염부하가 발생원을 기준으로 한 통계상의 오염부하보다는 매우 작다. 배수로를 통하여 배수되는 농가의 생활하수도 배수로에서 토양속으로 침투되어 장마철을 제외한 평시에는 하천으로 유입되는 양이 거의 없다. 장대장균이 검출되지 않은 것은 축산분뇨가 하천으로 유입되지 않고 있음을 시사하고 있으며 BOD가 0에 가깝게 나타나는 것은 유기물의 유입이 거의 없다는 것을 의미한다. 반면에 총질소와 질산성 질소의 농도가 비교적 높게 나타나는 것은 유기물이 지표나 지중에서 분해되어 무기염의 형태로 지하수를 통하여 하천으로 유입되기 때문인 것으로 사료된다. 연구유역 하천의 수질은 홍수기를 제외한 전 기간 동안 하천수를 기준으로 하였을 때 상수원수 1등급을 항상 유지하고 있다. 또한 하천의 미소생물 조사에서도 뿔알락하루살이 애벌레, 강도래 애벌레류와 물날도래 애벌레류가 많이 관찰되어 1급수의 수질을 유지하고 있었다. 따라서 홍수시나 모내기철이 아닌 평시의 전형적인 농촌부락에서의 하천을 통한 비점오염원의 배출은 하천수 기준으로는 매우 작았으나 총질소의 농도가 비교적 높아 질소유입을 차단하기 위한 영농방법과 토지이용방법의 개발이 요구되고 있다.

4. 참고문헌

- 신동석. 1990. 논에서의 질소 및 인의 농도와 유출입. 서울대 석사학위 논문.
- 최예환, 최중대, 유능환. 1994. 인공호수에서의 부영양화 방지대책 연구. 국제수문개발계획 (IHP) 연구보고서. 건설부.
- 최중대, 최예환, 김기성. 1995a. 방목지와 초지의 지표수와 지하수 수질 특성. 한국수자원학회지 Vol. 28(3): pp.175-186.
- Choi, J. D. and Y. H. Choi. 1995. Effect of Farming Practices on Water Quality 한국농공학회지 Vol. 36(영문판) pp.63-71.