

강릉 남대천과 연곡천의 수질과 동해 연안으로 방류되는 오염물질의 량 비교

윤이용⁽¹⁾

Comparison of water qualities and pollutants discharged to the East sea of Korea from Namdae and Yeongok stream in the Gangneung city

by
Yoon, Yi Yong⁽¹⁾

요 약

강원도 강릉시에 위치하지만 성격이 서로 상이한 남대천과 연곡천 하구와 연안역에서 발생하고 있는 오염현상의 원인을 규명하기 위하여 하천의 수질과 동해 연안으로 방류되는 오염물질의 량을 2002년 4월부터 11월까지 월 1회씩 7회에 걸쳐 조사하였다. 남대천은 하천수질 기준 II - V 등급으로 변화가 큰 반면, 연곡천은 거의 I, II 등급 수질을 유지하고 있다. 상·하류간 변화는 물론 시기별 변화폭도 연곡천보다 남대천이 크다. 동해연안으로 배출되는 오염물질의 량도 유량이 평균 1.4배 정도 많고 오염물질의 농도도 더 높은 남대천이 연곡천보다 BOD는 15.5배, COD는 2.6배, 총질소는 1.7배, 총인은 6.9배 더 많이 배출시키고 있어 연안생태계에 미치는 영향도 클 것으로 사료된다.

Abstract

The Water quality of Namdae and Yeongok stream, located in the Kangneung City, and pollutants discharged to the east sea of Korea were investigated during april to november 2002 in order to understand the costal pollution phenomena. The water quality grade of Namdae stream vary between II and V of water standard. On the other hand, that of Yeongok Stream is keeping I or II. The temporal and spacial variation of Namdae stream are higher than Yeongok stream. The water pollutants discharged to the east sea of Korea from Yeongok stream are lower 15.5 times for BOD, 2.6 times for COD, 1.7 times for T-N, 6.9 times for T-P than from Namdae stream, of which water flux are 1.4 times higher and contain much more of pollutants than Yeongok stream. It may have some effect on the costal ecosystem according to their pollutant flux.

Keywords: Namdae stream, Yeongok stream, Water quality, Pollutant flux.

(1) 정희원, 관동대학교 건설환경시스템 공학부.

1. 서 론

하천은 식수와 농업용수, 공업용수로 이용되며, 인근 도시 주민들의 어업활동과 수상 위락, 수변 경관, 정서함양 등과 같이 심미적으로도 매우 중요하다. 그러나 급속한 산업화로 인하여 하천에 대한 의존이 더 커지고 그 결과 하천은 인근 유역에서 배출되는 오염물질의 과다 유입과 부분별한 수자원과 골재의 개발로 본래의 기능을 잃어 가고 있다.

우리나라 동해안 지역의 하천은 본류의 길이가 짧고 하천 상류지역은 태백산맥 사면에 놓여 있어 경사가 매우 급하며, 하류 지역은 동해안과 연하여 있어서 하천의 경사가 완만한 특성을 나타낸다¹⁾.

강릉 남대천은 강원도 강릉시 왕산면 일대의 대화실산과 두리봉에서 발원된 지류와 대기리에서 발원된 지류가 성산면 오봉리에 위치한 오봉댐에서 합류하여 저장되며, 약 500m 하류에서 성산면 삼포암과 가마골에서 흘러 들어오는 지류와 합류된 후 강릉시내 중심을 지나 하류지역의 섬석천과 함께 동해로 유출되는 하천이다. 유로연장은 30.2km이고 총 유역면적은 252.9km²로서 상류지역은 태백산맥의 동쪽사면에서 발달한 영동수계의 전형적인 특징을 나타내는 반면 강릉시를 경유하는 중·하류지역은 생활 하·폐수의 유입으로 오염된 도시하천의 형상을 나타내고 있다²⁾. 일반적으로 호소 및 댐의 주변 지역에서 유입되는 다양한 생물 요인으로 인하여 생물상이 매우 다양하게 형성되며 독특한 생태계를 형성하고 있었으나 일부 구간에서는 안정적으로 유지되던 생태계가 여러 물리, 화학적인 요인에 의해 균형이 깨지고 있으며, 1990년 6월에 완공된 강릉 수력발전소에서 도암댐의 물을 유로 변경하여 사용한 방류수가 유입됨으로써 기존의 남대천 수질 및 생태계가 관심의 대상이 되어 왔다³⁾.

연곡천은 해발 1433.5m의 오대산 국립공원에 위치한 동대산으로부터 발원하여 소금강천과 신왕천을 지류로하여 동해로 유입하는 지방 2급 하천이다. 유로연장은 28.7km이고 총 유역면적은 165.98km²이다. 하상은 주로 모래와 진흙으로 이루어져 있고, 여울에만 다소의 작은 돌과 자갈들이 있다. 하천의 양안에는 높은 제방이 있으며,

홍수 때 물길이가 바뀌기도 한다. 하구는 해빈류의 영향을 받아 해안 사주가 북서 해안선 방향으로 발달하여 하구 폐쇄현상이 나타나고 있기 때문에 하구는 북동방향으로 열려 있으며, 정체 수역 및 유속이 느려 오염물질들이 축적될 수 있는 여건을 갖고 있다⁴⁾. 하류 지역은 하천 생태학적으로 중요한 어류의 서식처와 공간을 제공하는 소가 매우 잘 발달되어 있으며, 이들 중에 백일교 상류와 송림교 상류의 소는 인위적인 원인에 의하여 발달되었으나 2002년 9월의 태풍 루사로 인하여 물길 등 수리적인 특성이 크게 변형되어 졌다. 황어를 비롯하여 은어, 연어, 뱀장어 등 회유성 어류가 서식하는 청정하천으로 총 11과 25종의 어종이 서식하며, 동해안으로 유입되는 5개 하천에서 서식이 확인된 한국 특산종 8종 중 3종의 서식이 확인됨에 따라 매우 높은 고유성을 가진 하천이다⁵⁾.

본 연구의 목적은 강원도 강릉시에 위치하지만 성격이 서로 상이한 남대천과 연곡천의 수질을 조사 비교하며, 동해 연안으로 방류되는 오염물질의 량을 조사 연구함으로써 강하구와 연안역에서 발생하고 있는 오염현상의 원인을 규명하기 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

2. 시료채취 및 분석

시료채취는 2002년 4월부터 11월까지 월 1회씩 7회 실시하였다. 남대천의 조사 지점은 회산교(하구로부터 7.5km 상류부에 위치), 잠수교(하구로부터 5.75km 상류부에 위치), 공항대교(하구에서 0.75km 떨어진 지점으로 동해연안으로 방류되는 최종방류수 지점)이며, 연곡천의 조사지점은 가평교(하구로부터 5.75km 상류부에 위치), 잠수교(하구로부터 4.0km 상류부에 위치), 구영진교(하구에서 0.25km 떨어진 지점으로 동해연안으로 방류되는 최종방류수 지점)이다(Fig. 1).

유량 변화에 따른 오염물질의 농도와 연안으로 배출되는 량을 조사하기 위하여 매 조사시마다 GENERAL OCEANICSINC의 DIGITAL FLOWMETER를 사용하여 동해연안으로 배출되는 유량을 측정하였다.

분석항목은 총 18개 항목으로 YSI 6600을 이용하여 온도, 염도, DO, 전도도, pH, ORP, 탁도, chlorophyll-a를 현장에서 1분 간격으로 5회 측

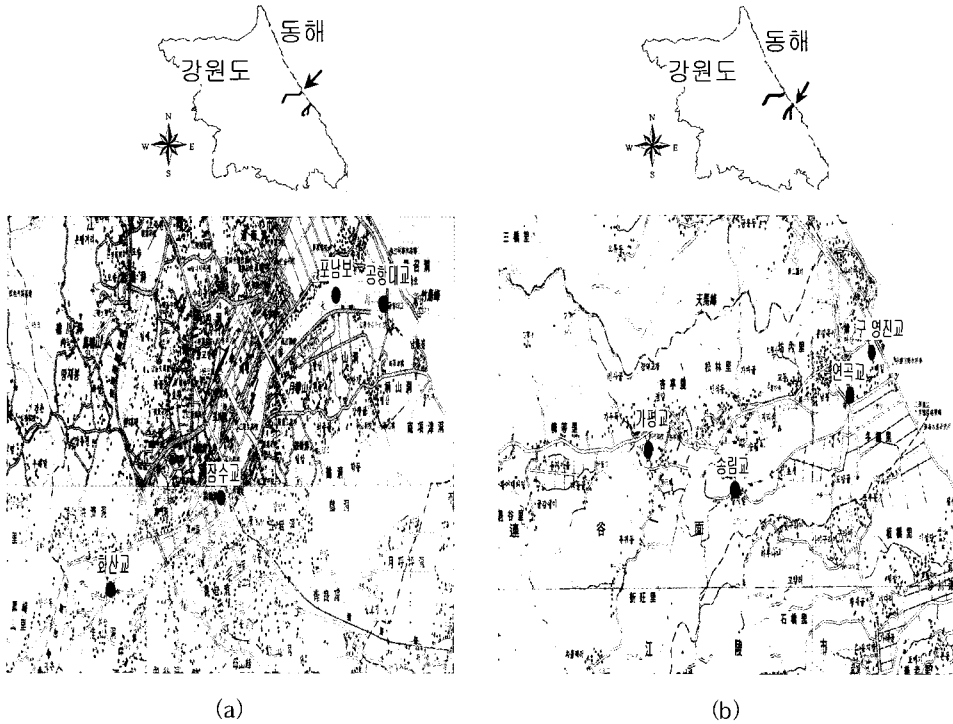


Fig. 1 Location of sampling stations, (a) Namdae stream, (b) Yeongok stream.

정하여 평균하였으며, SS, COD_{Mn}, 영양염류 (NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P, T-N, T-P), 대장균은 현장에서 시료를 채취하여 냉온하에서 실험실로 운반하여, 시료채취 후 48시간 이내에 수질분석공정시험법에 따라 분석하였다⁶⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강릉 남대천과 연곡천의 수질

수질 분석결과를 Table 1에 조사지점별 수질변동을 Fig. 2에 나타내었다.

3.1.1. 수온, pH, 탁도, SS

조사기간 중 수온의 변화는 남대천이 7.37 ~ 24.6 °C, 연곡천이 5.65 ~ 24.2 °C 로서 연곡천의 수온 변화폭이 다소 큰 편이며, 4 ~ 8월에는 상류에서 하류로 갈수록 수온이 증가한 반면 9월부터는 감소하였다. 그러나 남대천은 일시적으로

만들어진 보에 의한 물의 흐름이 방해되어 일관성 있는 변화를 보이지 않는다.

pH는 남대천이 7.13 ~ 8.2, 연곡천이 6.83 ~ 7.77로서 전반적으로 연곡천의 pH가 남대천보다 낮으며, 하류로 갈수록 감소한다.

탁도는 남대천이 4.5 ~ 85.9, 연곡천이 0.1 ~ 21.0 NTU로 남대천이 전반적으로 높다. 특히 하류부에서는 최대 255.7 NTU까지 증가하며, 유량에 따른 변화도 크다.

SS(부유물질)는 남대천이 1.5 ~ 48.0 mg/l, 연곡천이 0.1 ~ 16.0 mg/l의 변화를 보이며, 남대천이 연곡천보다 평균 2 ~ 3 배 더 높다. 연곡천의 경우 상류에서 하류까지 큰 변화가 없으나 남대천에서는 하류로 갈수록 증가하는 추세를 보이지만 태풍 루사 이후 조사된 9월에는 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 현상이 관찰되었다.

3.1.2. DO, BOD, COD, Chlorophyll a

조사기간 중 용존산소의 농도(DO)는 남대천이

Table 1 Variation of water quality items(from April to November 2002).

	Nandae Stream	Yeongok Stream
Temp.(°C)	7.3~24.6	5.6~24.2
DO(mg/ℓ)	3.98~13.81	7.73~12.26
DO%	38.9~166.0	83.6~111.7
pH	7.1~8.3	6.8~7.7
Turbidity(NTU)	4.4~85.9	0.1~21.0
chl-a(μg/ℓ)	0.4~50.7	0.1~9.6
ss(mg/ℓ)	1.5~48.0	0.1~16.0
BOD(mg/ℓ)	0.2~26.0	0.2~1.3
COD(mg/ℓ)	1.3~39.8	0.7~10.2
NH ₃ -N(mg/ℓ)	0.020~9.090	0.003~0.351
NO ₂ -N(mg/ℓ)	0.07~5.95	0.01~0.33
NO ₃ -N(mg/ℓ)	0.020~0.850	0.088~0.738
PO ₄ -P(mg/ℓ)	0.0005~0.0495	0.0001~0.0050
T-N(mg/ℓ)	0.50~7.64	0.25~4.72
T-P(mg/ℓ)	0.01~0.64	0.004~0.14
Faecal coliform (MPN/100mℓ)	108~160,000	19~2,798

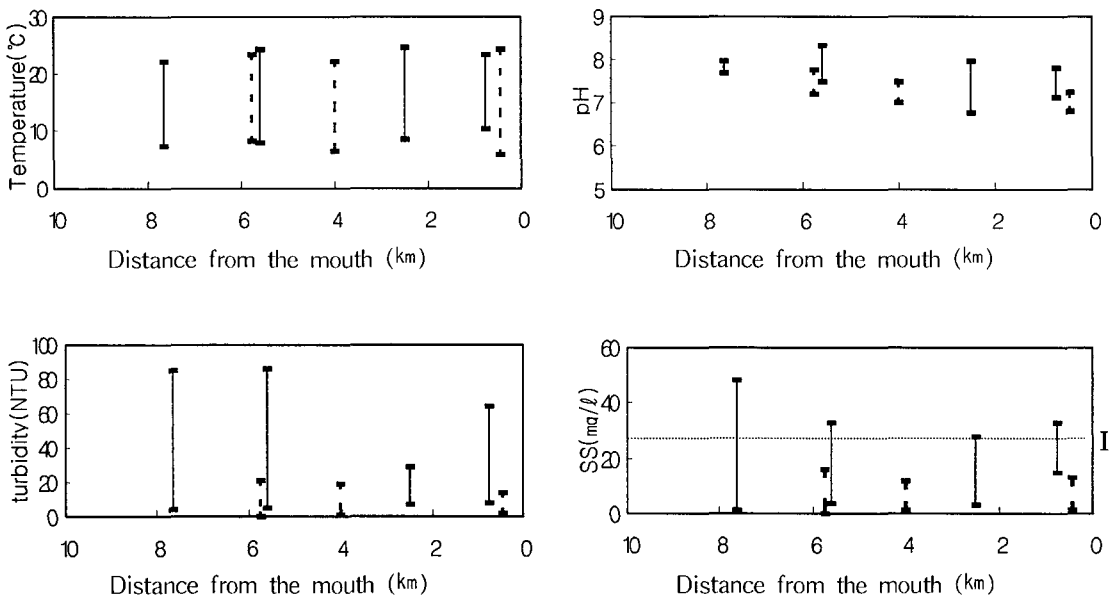


Fig. 2 Distribution of water quality items in the Namdae(—) and Yeongok stream(- -) (horizontally dotted line indicate water quality grade).

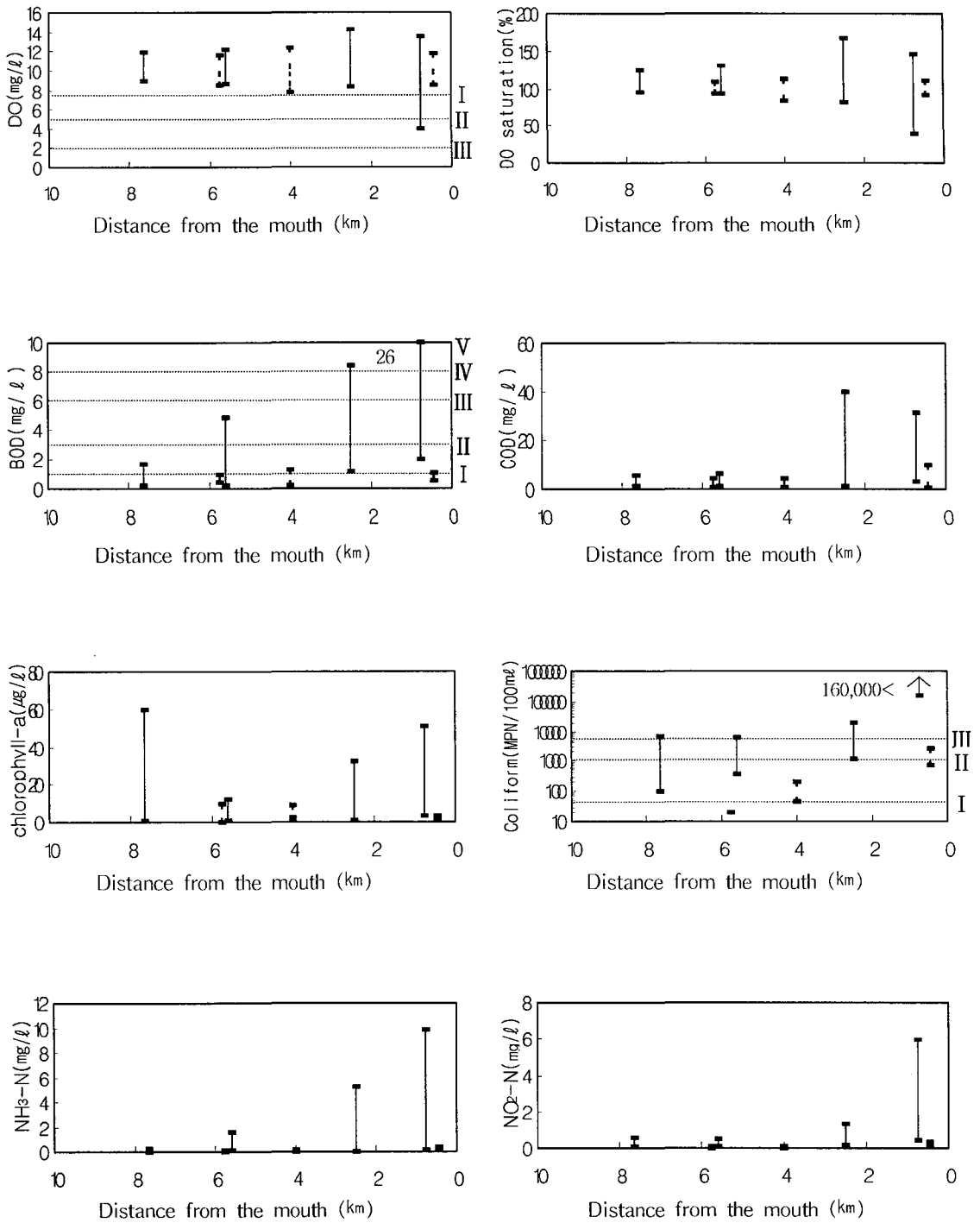


Fig. 2 Continued.

강릉 남대천과 연곡천의 수질과 동해 연안으로 방류되는 오염물질의 량 비교

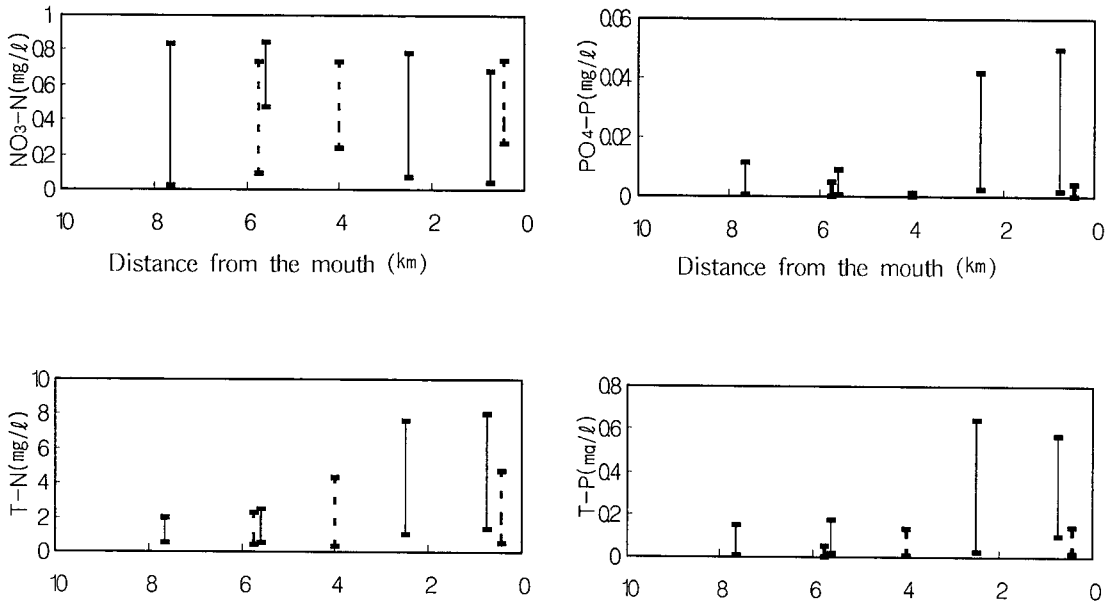


Fig. 2 Continued.

3.98 ~ 13.81 mg/l (39% ~ 166%), 연곡천이 7.73 ~ 12.26 mg/l (84% ~ 112%)의 변화를 보이며, 남대천의 변화폭이 전 수역에 걸쳐 연곡천 보다 크며, 특히 하류부의 변화폭이 크다. 연곡천의 경우 상하류간 변화도 적은 반면, 남대천은 구간 별 물의 정체성에 따라 차이가 크다. 윤[1999]에 의하면 남대천 하류에서는 수리적, 지형적 특성에 따라 오염물질의 축적현상과 산소침하(oxygen sag)현상이 두드러지게 나타남을 지적한바 있다²⁾. 본 연구의 조사기간 동안에도 하류부의 포남보를 기점으로 공항대교에서 수질이 크게 악화됨을 알 수 있었다.

COD와 BOD는 수중 유기물질의 량을 나타내는 간접적인 지표로서 하류로 갈수록 증가하는 양상을 보인다. 특히 남대천의 경우, 중·상류에서 유입된 유기물질들이 동해 연안으로 배출되기 전에 하류부의 수리적 특성으로 인하여 정체되어 하류부의 농도가 높게 나타난다.

Chlorophyll은 남대천이 0.41 ~ 50.7 µg/l, 연곡천이 0.1 ~ 9.6 µg/l의 변화를 보이며, 남대천의 일차생산력이 연곡천보다 높으며 유역에 따른 변화폭도 크다.

3.1.3. 영양염류(T P, T N)

총인은 남대천이 0.01 ~ 0.64 mg/l, 연곡천이 0.004 ~ 0.14 mg/l의 변화를 보이며 남대천이 연곡천보다 3 ~ 4 배 더 높고, 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 추세이다. PO₄-P의 경우, 연곡천은 전 수역에서 0.001 mg/l 이하로 낮은 반면 남대천은 하류에서 급증한다.

총질소의 경우, 두 하천의 상류부 농도는 비슷하지만 하류부에서는 연곡천보다 남대천이 약 1.7배 정도 더 높게 나타났다.

3.1.4. 대장균

대장균은 하수, 특히 분뇨오염의 지표항목이다. 연곡천은 전 수역에서 19 ~ 2798 MPN/100ml로 5월 하류부에서 예외적으로 높게 나타난 2798 MPN/100ml을 제외하고는 하천수질 II 등급 기준인 1000 MPN 이하였으나 남대천 하류부에서는 매 조사시마다 MPN법으로 측정할 수 있는 상한치인 160,000 MPN/100ml을 초과하였다. 이러한 것들이 인근연안으로 배출될 경우 해수욕객들의 보건상 위해성이 있을 수도 있을 것이다.

3.2 유량의 변화에 따른 하류부 최종 배출수의 수질과 오염물질의 배출량 변화

유량의 변화에 따른 하류부 최종 배출수의 수질과 오염물질의 배출량 변화를 Table 2 와 Fig. 3에 나타내었다.

조사기간 중 동해연안으로 배출되는 남대천의 유량은 98,000 ~ 1,199,000 m³/d(평균 497,000), 연곡천의 유량은 54,000 ~ 706,000 m³/d(평균 356,000)로 남대천이 연곡천의 약 1.4배 정도이며 변화폭도 크다. 조사기간 중 남대천에서는 남산교 교량증폭공사를 위하여 설치한 임시 보와

기존의 보들로 인하여 자연적으로 유하하는 연곡천보다 유량의 변화폭이 컸음을 알 수 있다.

유량의 변화에 따른 최종 배출수의 수질 항목별 농도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 연곡천의 경우, 전반적으로 큰 변화가 없는 반면 남대천에서는 유량이 증가할수록 탁도는 증가하지만 부유물질의 두드러진 변화는 없다. BOD와 COD도 유량에 따라 두드러진 변화 패턴은 없으나 인위적으로 물의 흐름을 차단함으로써 유량이 적은 시기에 변화폭이 크다. 총인과 총질소를 비롯한 영양염류들도 유량이 적은 시기에 변화폭이 크며 유량이 증가함에 따라 감소하는 추세이다.

Table 2 Variations of water quality items at the down stream and flux of pollutants to the East sea according to the variation of water flux(from April to November 2002).

	Namdae Stream	Yeongkok Stream
water flux(m³/day)	98,000~1,199,000(497,000)	54,000~706,000(356,000)
water quality items		
Temp.(°C)	10.2~24.6(19.5)	5.6~24.2(17.9)
DO(mg/ℓ)	3.98~13.81(8.19)	8.55~11.70(8.75)
DO%	38.9~166.0(91.5)	90.5~111.5(102.1)
pH	7.1~7.5(7.2)	6.8 ~ 7.2(6.9)
Turbidity(NTU)	8.4~63.9(27.7)	2.2~14.3(5.1)
Chl.-a(μg/ℓ)	3.6~50.7(16.3)	0.6~3.4(1.6)
SS(mg/ℓ)	16.0~33.0(21.4)	1.0~13.0(5.0)
BOD(mg/ℓ)	2.0~26.0(8.9)	0.5~1.1(0.8)
COD(mg/ℓ)	3.4~39.8(13.4)	0.9~10.2(4.3)
NH ₃ -N(mg/ℓ)	0.08~9.09(2.66)	0.06~0.35(0.15)
NO ₂ -N(mg/ℓ)	0.43~5.95(1.63)	0.04~ 0.33(0.13)
NO ₃ -N(mg/ℓ)	0.04~0.68(0.43)	0.26~0.73(0.43)
PO ₄ -P(mg/ℓ)	0.0020~ 0.0495(0.024)	0.0001~0.001(0.001)
T-N(mg/ℓ)	1.34~7.64(3.37)	0.55~4.72(2.01)
T-P(mg/ℓ)	0.09~0.64(0.30)	0.01~ 0.14(0.04)
Faecal coliform (MPN/100ml)	160,000이상	780~2798(1798)
flux of pollutants		
BOD(kg/day)	1028~8932(4115)	43~526(265)
COD(kg/day)	1370~9184(4958)	140~7201(1914)
T-N(kg/day)	261~2478(1259)	121~1969(754)
T-P(kg/day)	22~261(125)	4.8~67(18)

() : mean values

강릉 남대천과 연곡천의 수질과 동해 연안으로 방류되는 오염물질의 량 비교

하천수질기준으로 볼 때 남대천은 유량에 따라 II ~ V 등급으로 평균 III 등급 정도의 수질인 반면, 연곡천은 거의 I, II 등급의 수질을 유지하고 있다.

동해연안으로 배출되는 최종 오염물질의 배출량은 유량이 증가할수록 증가하며(Fig. 4), 남대천이 연곡천보다 BOD는 15.5배, COD는 2.6배, 총질소는 1.7배, 총인은 6.9배 더 많이 배출시키고 있다.

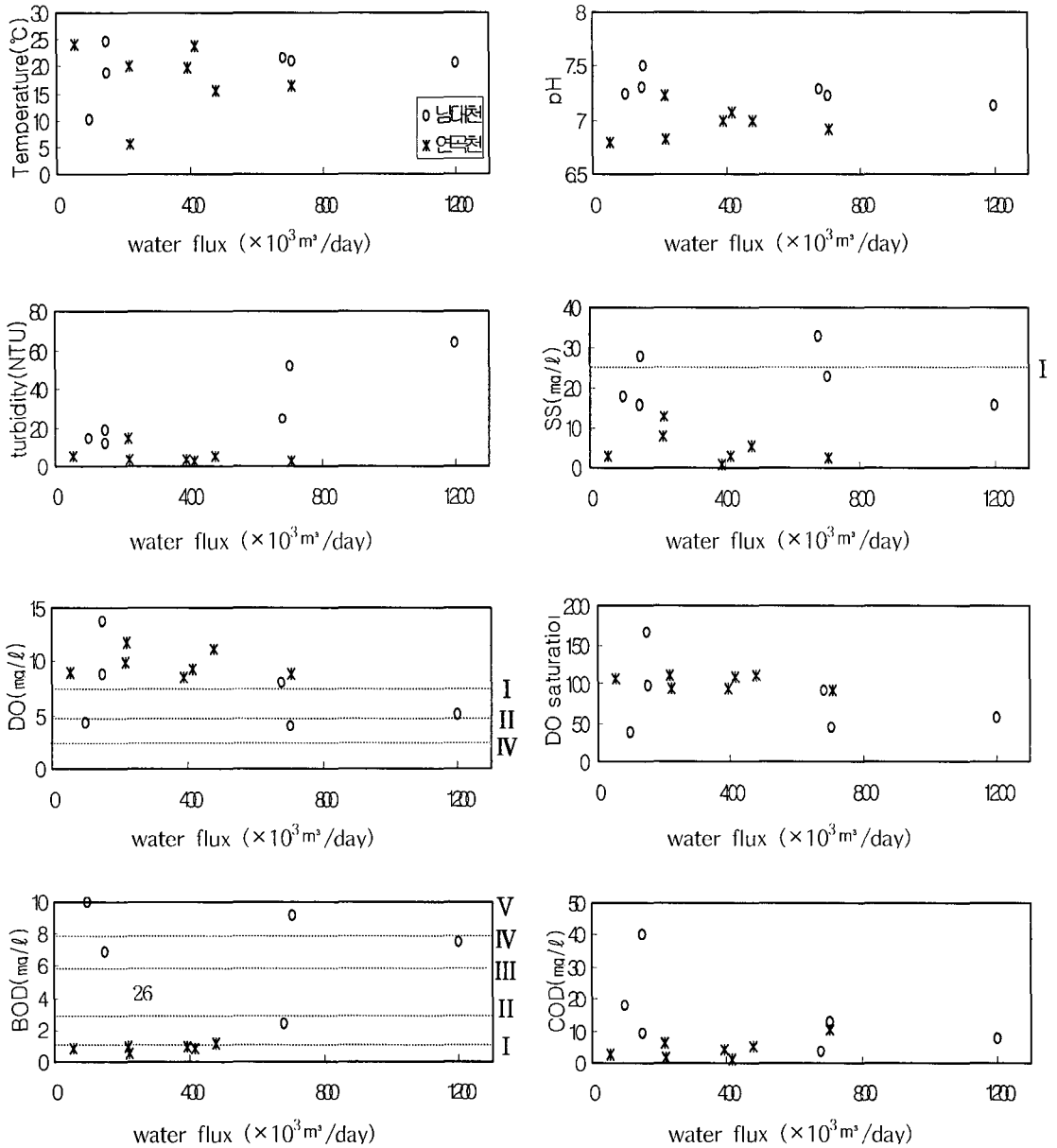


Fig. 3 Variation of water quality items in the downstream according to the water flux(horizontally dotted line indicate water quality grade).

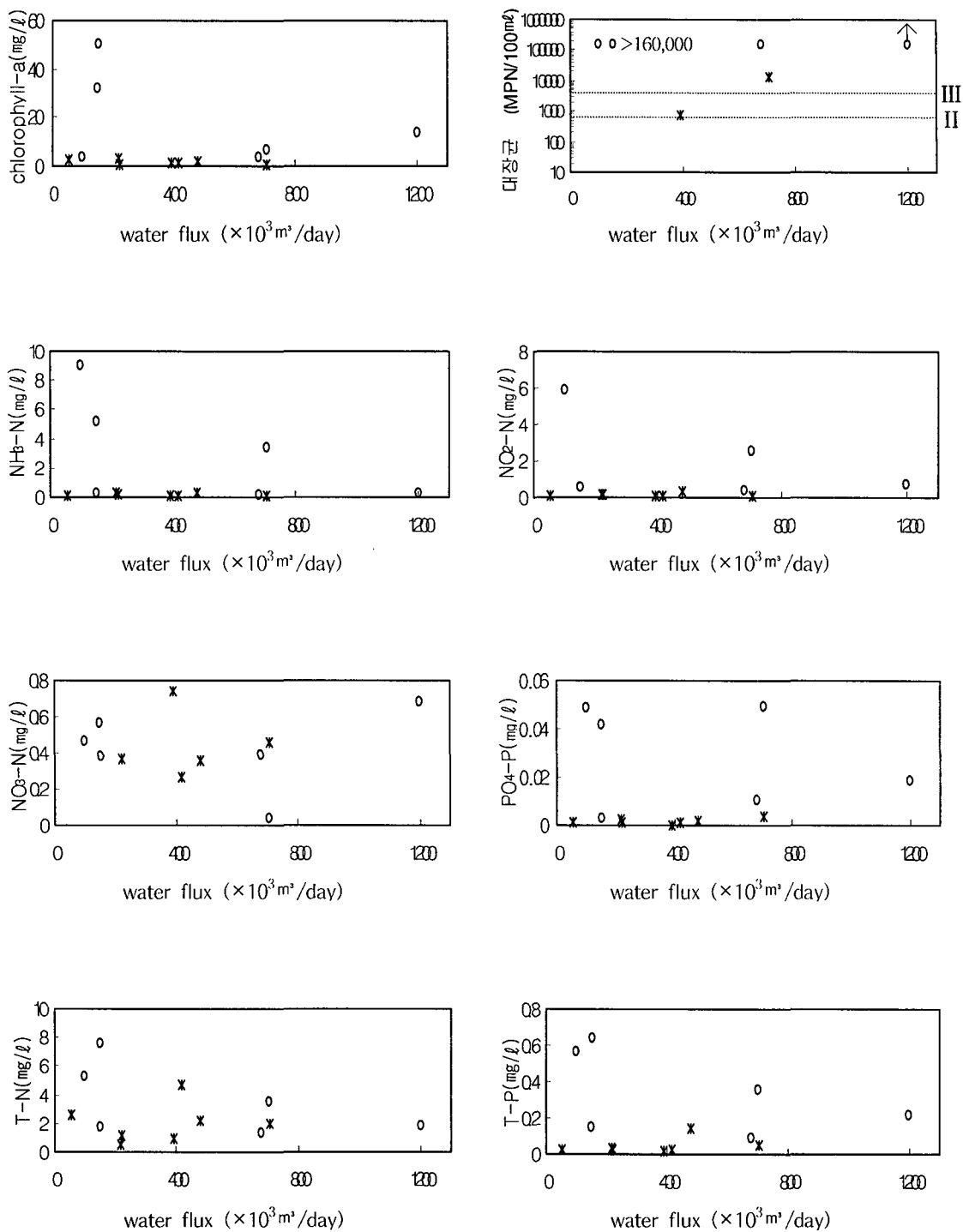


Fig. 3 Continued.

강릉 남대천과 연곡천의 수질과 동해 연안으로 방류되는 오염물질의 량 비교

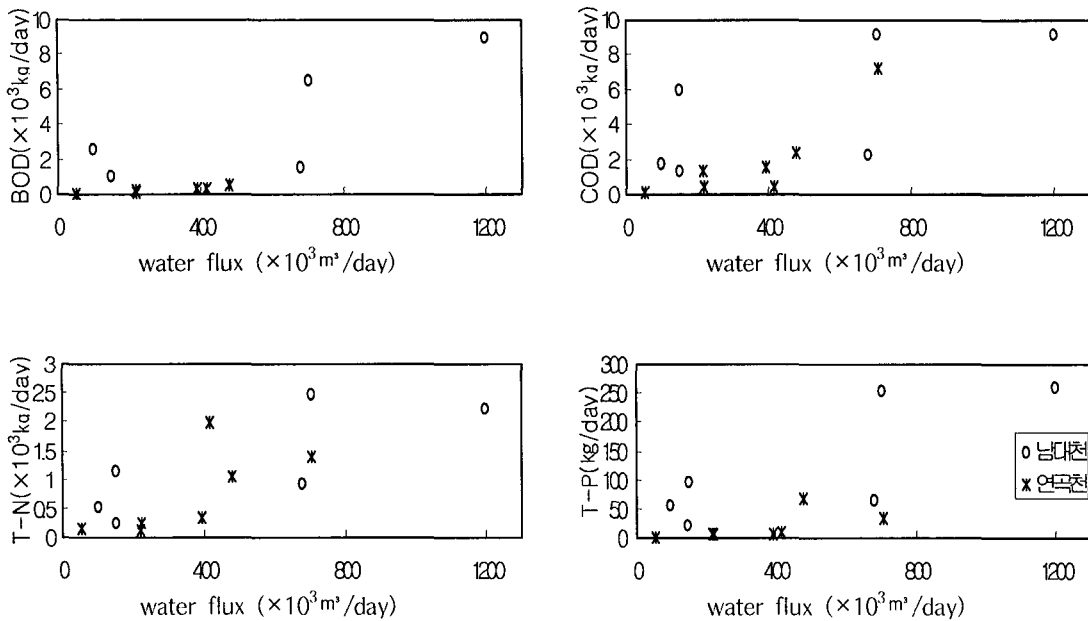


Fig. 4 Variation of pollutants flux according to water flux.

4. 결 론

강릉 남대천은 강릉시가지를 경유하며 강릉시의 생활용수를 직·간접적으로 받아들여 동해로 유출되는 반면 연곡천은 오염원이 비교적 적은 오대산 국립공원에서 발원하여 동해로 유출되는 하천으로 남대천이 인간생활의 영향을 많이 받고 있는 반면 연곡천은 보다 자연적인 하천이다. 두 하천의 수질은 남대천이 II ~ V 등급으로 변화가 큰 반면 연곡천은 거의 I, II 등급 수질을 유지하고 있다. 상·하류간 변화는 물론 시기별 변화폭도 연곡천보다 인간활동으로 인한 영향을 많이 받고 있는 남대천이 크다.

동해연안으로 배출되는 오염물질의 량도 유량이 평균 1.4배 정도 많고 오염물질의 농도도 더 높은 남대천이 연곡천보다 BOD는 15.5배, COD는 2.6배, 총질소는 1.7배, 총인은 6.9배 더 많이 배출시키고 있어 연안생태계에 미치는 영향도를 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 강원 지역 환경 기술 센터에서 시행한 환경 기술 개발 사업 연구과제에 의해 지원된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 박상덕·최은호, 2000, “연곡천 하류부 하도 및 유역의 수문 특성”, 연곡천 하류부 생태 환경 심포지움 논문집, pp. 1~14.
- [2] 윤이용, 1999, “강릉 남대천 하류의 오염물질 정체현상과 강릉수력 발전방류수의 영향”, 대한 환경공학회, Vol. 21, No. 11, pp. 2221~2230.
- [3] 윤이용·김경태, 1998, “강릉 남대천 수계의 중금속 분포 및 거동 특성 연구”, 대한환경공학회지, Vol. 20, No. 8, pp. 1039~1049.
- [4] 한동준·정태영, 2000, 연곡천의 수질, 연곡천 하류부 생태 환경 심포지움 논문집, pp. 15~20.
- [5] 조무현, 2000, 연곡천 하류부의 어류 분포, 연곡천 하류부 생태 환경 심포지움 논문집, pp. 31~37.
- [6] 최규철·김무석·유근우·황재석, 1996, 수질 오염공정법주해, 동화기술.