

강릉 신리천의 수량·수질 분석 및 오염부하량 추정 Water Quantity/Quality Analysis and Pollutants Load Estimation in Sillicheon River, Jumunjin, Gangneung

조홍연* · 김창일** · 이달수*

Hong Yeon Cho*, Chang Il Kim** and Dal Soo Lee*

요 지 : 강릉 주문진항 입구로 유입되는 신리천 유역의 수질을 2003년 4월 2일부터 10월 29일까지 2주 간격으로 관측하였으며, 미계측 유역의 유량추정에 이용되는 TANK 모형을 이용하여 신리천의 하천수량을 일별로 산정하였다. 관측된 수질자료의 지점별·시기별 변화양상을 분석하였으며, 유역의 강수량과 하천수량과의 상관관계를 분석하였다. 분석결과, 신리하교 지점의 BOD 농도와 강수량과는 상관계수 0.75로 높은 상관성을 보였으며, SS 농도와 2일 선행강수량과는 상관계수 0.36으로 약한 상관성을 보였다. COD, TN, TP 항목의 농도는 강수량, 하천 유량과는 전혀 상관성이 없는 것으로 파악되었다. 따라서, 본 연구에서 제시한 BOD 항목의 유역 오염부하량은 신뢰할 만한 수준이며, SS 항목의 오염부하량도 정확도가 다소 감소하지만 전체적인 오염부하량 변화양상은 반영하는 것으로 평가되었다. 반면, COD, TN, TP 항목의 유역 오염부하량 추정결과는 평균 오염부하량 수치정도로 활용할 수 있으나, 시기적인 변화양상을 파악하기 위해서는 인위적인 요소 및 토지이용 양상 등을 고려한 연구가 필요하다.

핵심용어 : 강릉 신리천, TANK 모형, 미계측유역, 하천 수량 및 수질, 오염부하량

Abstracts : Water qualities (WQ) were measured biweekly from April 2nd to October 29th, 2003 in Sillicheon flowing into the entrance of Jumunjin Harbour and daily water quantities (river discharges) were estimated by the TANK model which has been widely used to compute the runoff discharges in the ungauged watersheds. The spatial and temporal change patterns of the measured WQs were analysed in detail and the correlation between rainfall - WQ and river discharge - WQ were also analysed. From this results, it is found that the correlation coefficient between BOD concentration and rainfall is 0.75 and between the SS concentration and 2-days river discharge is 0.36. The correlation between the COD, TN, TP in the station of Silli Lower Bridge and rainfall runoff quantity was analysed as un-correlated items. As a consequence, the estimated BOD and SS pollutants loads are reliable and show good change patterns even though the accuracy of SS pollutants load is slightly low. The estimated COD, TN and TP pollutants loads, however, can be used only as the reference or averaged values. In order to analyse more accurately the temporal change patterns of these items, more-detailed researches considering the artificial effects and landuse patterns are highly required.

Keywords : Sillicheon, TANK model, ungauged watershed, river discharge (water quantity) and water quality, pollutants loads

1. 서론 - 연구의 배경 및 목적

강원도 강릉시 주문진읍에 위치한 신리천은 주문진항 입구로 유하하는 하천이다. 주문진항은 항만의 폐쇄적인

형태 및 주문진 유역의 과도한 오염부하로 인하여 해양 환경이 매우 악화된 상태이므로, 유역오염부하량 삭감을 위한 환경기초시설(주문진 하수종말 처리장)의 건설·운영(2003년 1월부터 가동) 및 해수교환방파제 건설에 의

*한국해양연구원 연안·항만공학연구본부 책임연구원(Corresponding Author: Hong Yeon Cho, Korea Ocean R&D Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul, 425-600, Korea. hycho@kordi.re.kr)

**건국대학교 토목공학과(Department of Civil Engineering, Konkuk University)

한 환경개선 사업이 추진되고 있는 지역이다. 최근에는 해수교환방파제 건설이 완료(2003년 12월)되어 단기적으로 뚜렷한 수질개선효과가 보이는 것으로 보고 되고 있다(동해지방해양수산청, 2004). 그러나, 장기적인 수질개선효과는 유역 오염부하량 삭감효과, 오염된 퇴적물로부터의 용출효과 및 신리천을 통한 오염부하량 등을 감안하여 정량적으로 영향분석을 하여야 한다. 하수종말처리시설을 통한 주문진 유역 오염부하량 삭감효과는 운영일지를 통하여 정량화 할 수 있으며, 해수교환 방파제를 통한 희석효과도 유입되는 유량 및 해수농도 관측을 통하여 정량화 할 수 있다. 또한, 오염된 퇴적물로부터의 용출효과도 관측자료를 활용할 수 있는 상황이다. 그러나, 신리천은 수량 및 수질에 대한 측정자료가 매우 미흡한 실정이며, 강우에 의한 수량 및 수질변화가 매우 크기 때문에 적절한 오염부하량 변화 추정자료가 필요하다.

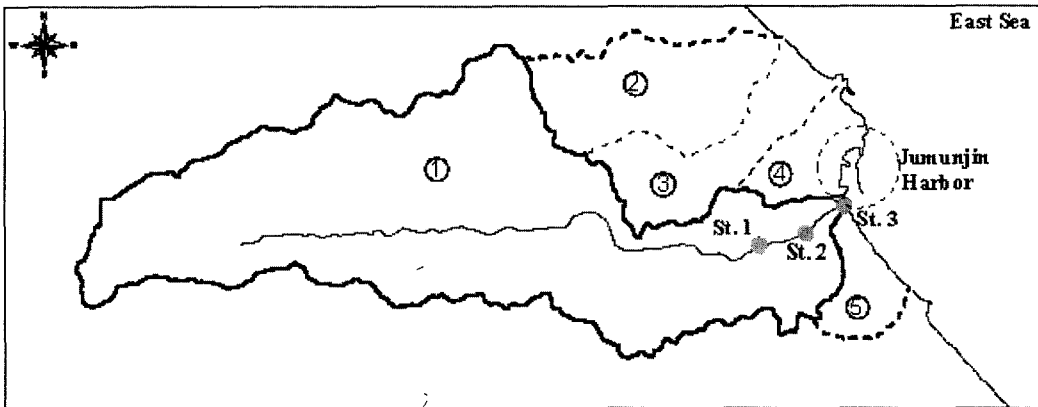
본 연구에서는 오염부하량 추정과정에서 배제할 수 없는 수량과 수질의 중요성을 감안하여 신리천 유역의 수량 추정 및 수질관측을 수행하였다. 추정된 하천 수량과 수질의 상관관계를 다각적으로 분석하고, 주문진항 및 인접한 연안해역의 정량적인 환경변화 분석에 필요한 자료를 제공하기 위하여 신리천 유역의 오염부하량을 추정·제시하였다.

2. 현장 관측

신리천의 수질관측은 강우에 의한 영향 및 수온상승에 의한 영향을 분석하기 위하여 2003년 4월 2일부터 2004년 10월 29일까지 7개월 동안 2주 간격으로 수행하였다. 관측지점은 인위적인 오염부하량 영향이 종료되는 지점인 금용교 지점(St. 1), 농촌지역의 영향이 포함되는 신리 2교 지점(국도 7호선 관통지점; St. 2), 신리천 유역의 모든 오염부하량 영향이 포함된 신리천 하구의 신리하교 지점(St. 3)이다(Fig. 1참조).

관측항목은 일반적인 수질항목 및 영양염류 항목으로 제한된 수온, pH, DO(용존산소), BOD, COD, SS(부유물질), TN(총질소), TP(총인) 항목이며, 수온, DO 항목은 현장에서 DO Meter(Model: YSI-58) 장비를 이용하여 측정하였으며, pH, BOD, COD, SS, TN, TP 항목은 수질오염공정시험법에 제시된 방법을 이용하여 분석하였으며, 관측결과는 Table 1에 제시하였다.

일반적으로 COD 농도는 BOD 농도 보다 높은 경우가 대부분이다. 우리나라와 일본에서는 COD 측정에 $KMnO_4$ 산화제를 사용하고 있으며, 구미에서는 Cr_2O_7 산화제를 이용하고 있다. $KMnO_4$ 산화제를 사용하는 방법은 산화력, 질소의 영향 등으로 인하여 측정방법에 문제점이 제기되고 있는 방법이며, 본 연구에서 COD 측정에 사용한 방법도



- (Ref.) * Jumunjin Watershed = ①+②+③+④+⑤ (Total Watershed Area = 61.8 km²)
 ① Sillicheon Watershed (=42.4 km²), ② Lake Hyangho Watershed (= 8.1 km²),
 ③ Gyohang(I) Watershed (=5.9 km²), ④ Gyohang(II) Watershed (=3.0 km²),
 ⑤ gyohang(III) Watershed (=2.4 km²)

- * Water Quality Measurement Stations :
 St 1. - Geumyonggyo, St.2 - 2nd Silligyo, St.3 - Lower Silligyo

Fig. 1. Watershed boundaries and measurement stations in Sillicheon.

Table 1. Water quality concentration in Sillicheon (mg/L)

(a) Geumyonggyo (St. 1)

Year	Month	Day	WT	pH	COD	SS	BOD	DO	TN	TP
2003	4	2	8.3	7.1	6.8	78.3	5.3	8.9	29.335	0.076
2003	4	16	-	6.7	3.6	19.1	3.3	-	16.581	0.057
2003	4	30	-	6.8	9.0	140.0	8.2	-	22.213	0.111
2003	5	16	-	6.9	4.6	4.2	61.5	-	0.762	0.031
2003	5	28	20.9	6.9	3.6	3.3	19.3	5.4	0.240	0.056
2003	6	11	19.2	6.9	5.8	4.5	76.5	6.8	0.846	0.112
2003	6	25	24.3	6.8	4.2	3.9	54.0	6.6	0.966	0.056
2003	7	9	20.4	7.2	8.0	7.1	106.9	6.9	0.451	0.084
2003	7	23	21.4	7.0	5.6	4.2	83.0	7.2	0.364	0.059
2003	8	6	21.1	7.3	5.1	4.5	38.0	6.4	0.353	0.056
2003	8	20	-	7.4	5.0	33.5	4.0	-	0.415	0.153
2003	9	3	21.3	7.9	1.4	57.5	0.8	6.8	0.481	0.072
2003	9	17	15.0	7.2	3.6	48.3	2.0	5.4	0.707	0.065
2003	10	1	17.4	6.8	3.0	46.5	4.9	6.3	0.864	0.107
2003	10	15	17.7	6.8	4.4	64.0	6.7	8.3	0.437	0.054
2003	10	29	18.1	6.2	6.8	279.0	9.8	7.9	1.063	0.207

(Ref.) WT: Water Temperature, TN: Total Nitrogen, TP: Total Phosphorus

(b) 2nd Silligyo (St. 2)

Year	Month	Day	WT	pH	COD	SS	BOD	DO	TN	TP
2003	4	2	8.3	7.5	15.0	15.6	13.4	9.2	17.519	0.066
2003	4	16	-	6.8	3.6	10.0	3.1	-	4.872	0.048
2003	4	30	-	6.9	10.8	126.5	19.3	-	14.285	0.152
2003	5	16	-	6.7	4.8	4.3	30.5	-	1.403	0.283
2003	5	28	21.2	6.8	4.4	3.9	22.7	5.4	0.947	0.107
2003	6	11	19.7	6.8	4.0	3.5	24.0	7.9	1.181	0.766
2003	6	25	24.0	6.9	3.8	3.5	20.7	6.8	1.141	0.088
2003	7	9	20.3	6.9	9.7	11.7	128.0	5.5	0.933	0.179
2003	7	23	21.5	6.9	8.3	7.7	150.4	5.9	0.616	0.118
2003	8	6	21.2	7.0	13.3	14.8	133.0	6.5	0.853	0.119
2003	8	20	-	7.5	6.3	50.5	7.1	-	0.849	0.118
2003	9	3	21.4	6.8	4.4	70.5	2.2	6.3	0.787	0.110
2003	9	17	16.3	7.1	3.2	52.0	2.5	2.9	1.105	0.052
2003	10	1	16.9	6.3	3.2	30.0	4.6	5.2	4.647	0.058
2003	10	15	17.7	6.8	3.8	20.5	6.9	8.2	1.272	0.199
2003	10	29	17.8	6.3	4.0	35.5	7.4	7.8	1.804	0.239

(Ref.) WT : Water Temperature, TN : Total Nitrogen, TP : Total Phosphorus

측정에 민감한 문제, 질소의 영향, 산화제의 산화능력보다 크게 나타나는 특정 유기물에 대한 미생물의 왕성한 산화능력 등의 영향으로 인하여 BOD 농도가 COD 농도보다 높게 나타난 것으로 사료된다. 따라서, 본 연구에서는 COD, BOD 항목간의 비교가 아니라 각각 항목의 변화경향 분석으로 제한하였다.

3. 신리천 유역 유출량 추정

신리천은 강원도 강릉시 주문진읍을 관통하여 동해로 유하하는 지방 2급하천으로 유역면적 42.4 km², 유로연장(하천의 종점에서 지형도상에 하천으로 표기된 구간의 최상류지점까지의 거리) 16.2 km, 하천연장(하천법령에 의해

Table 1. Continued
(c) Lower Silligyo (St. 3)

Year	Month	Day	WT	pH	COD	SS	BOD	DO	TN	TP
2003	4	2	9.0	7.1	6.4	20.8	5.8	8.0	1.362	0.083
2003	4	16	-	6.6	8.0	51.7	7.2	-	2.152	0.090
2003	4	30	-	6.8	11.3	101.5	10.5	-	2.646	0.131
2003	5	16	-	7.0	7.3	6.2	32.5	-	1.486	0.334
2003	5	28	20.5	6.6	14.0	12.4	26.3	0.6	2.729	0.412
2003	6	11	20.5	6.6	8.9	7.2	35.0	2.7	2.918	0.380
2003	6	25	23.5	6.6	8.6	9.1	33.0	2.3	2.620	0.338
2003	7	9	20.5	6.9	9.3	11.3	83.5	5.2	1.455	0.271
2003	7	23	22.1	5.9	8.7	10.8	100.4	4.5	0.842	0.130
2003	8	6	21.3	7.0	10.6	9.4	38.0	3.0	1.776	0.278
2003	8	20	-	6.9	9.1	36.7	8.5	-	1.473	0.347
2003	9	3	21.6	7.0	5.0	48.5	3.9	5.4	0.955	0.165
2003	9	17	15.8	7.0	10.3	52.5	5.2	6.1	1.637	0.151
2003	10	1	17.4	6.5	10.2	49.5	11.8	5.3	3.398	0.445
2003	10	15	22.5	6.6	7.8	39.0	13.8	4.2	1.703	0.465
2003	10	29	19.8	6.4	12.0	39.0	21.1	4.8	5.982	0.930

(Ref.) WT : Water Temperature, TN : Total Nitrogen, TP : Total Phosphorus

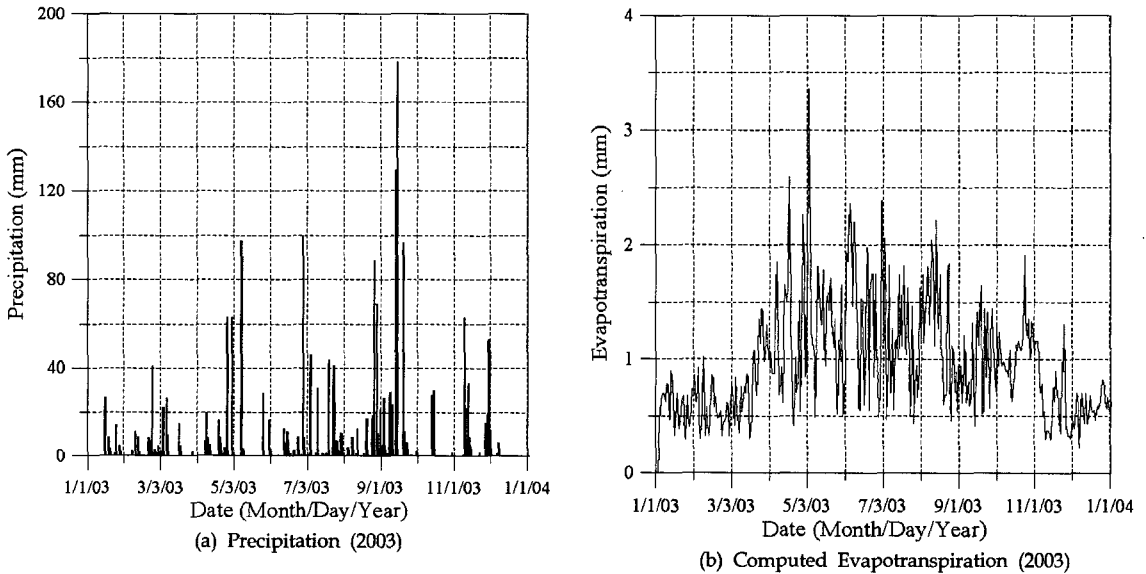


Fig. 2. Precipitation and evapotranspiration in Gangneung Weather Station (2003).

지정된 하천구간의 거리) 10.8 km, 계획홍수량 390 m³/s, 하폭 80 m 정도이다(건설교통부, 한국수자원공사, 2000). 주문진항 및 인접한 해역에 영향을 미치는 주문진 유역은 유역면적이 가장 큰 신리천 유역을 중심으로 교항유역 및 향호(향호저수지) 유역으로 구분할 수 있으며, 교항유역은 주문진 읍내 유역을 포함한 세부 유역으로 구분할 수 있다 (Fig. 1 참조).

신리천의 수량은 진해·마산만 수질환경관리모델 개발 사업 및 미계측 유역의 강우·유출예측을 위한 모형으로 한국수자원공사에서 개발된 TANK 모형을 이용하여 추정하였다. 본 모형은 진해·마산만 연구사업에서 마산만 유역의 하천 유량 추정에도 사용된 모형으로 일단위로 유량을 계산하여 제시한다(한국해양연구소, 1997, 1999, 2000; 한국해양연구원 2002, 2003). 신리천 수량 추정에 필요한

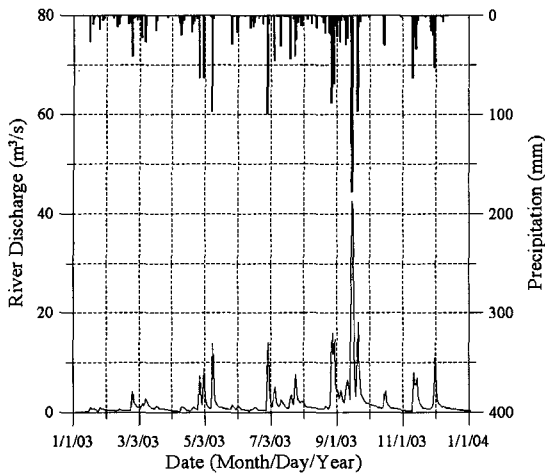


Fig. 3. Simulated river discharge using TANK model in Sillicheon (2003).

입력자료는 유역정보(유역면적 및 하천형상정보, 토지이용도 등), 강수량, 증발량 자료이다. 유역정보는 1:25,000 지형도를 이용하여 추출하였으며, 강수량 및 증발량 자료는 강릉측후소 자료를 이용하였다(Fig. 2참조). 모형의 매개변수는 유역정보를 통하여 계산되며, 물리적으로 무의미한 수치가 계산되는 경우에는 지정값(default value) 또는 물리적인 의미를 가지도록 매개변수를 조정하였다. TANK 모형을 이용한 신리천 유량 추정은 신리천 유역의 오염부하량 추정을 위하여 2003년 기간에 대하여 수행하였다(Fig. 3참조). 유역 유출량은 유역의 오염부하량 추정에 필수불가결한 인자이다(Chapman, 1992; Thomann & Mueller, 1987; NRC, 1993).

강릉측후소의 강수량 자료에 의하면 2003년도에는 태풍 매미에 의한 영향으로 9월에 일 100 mm 이상의 강우 사상이 발생하고 있으며, 유역 강우에 의한 신리천 유량 증가에 크게 기여하고 있는 것으로 파악되었다. 또한, 이 기간이 본 연구에서의 하천수질 관측기간에 포함되어 강우에 의한 유역하천 수질변화 분석에 적합한 자료가 포함된 것으로 파악된다. 한편, 신리천의 수량은 강수에 의한 직접적인 영향으로 변화가 크기 때문에 월 1~2회 정도의 측정으로 하천수량을 대표하는 경우 큰 오차를 수반할 수 있다. 따라서, 연속적인 하천유량 측정에 경제적·시간적인 제약이 있는 경우에는 미세측유역의 유량을 추정하는 방법이 모두 합리적인 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 수질변화 특성 분석 및 오염부하량 추정

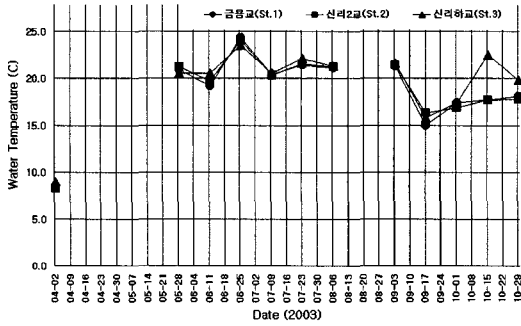
4.1 지점별 수질변화 양상 분석

지점별 수질변화 양상은 관측지점사이의 오염원 유입 양상 및 하천을 통한 오염물질 전달과정을 판단하는 자료로 사용할 수 있다(조홍연·채장원, 1999). 본 연구에서는 신리천 지점에서 관측된 수질을 도시하고, 지점별로 비교하여 하천을 통한 수질변화 양상을 분석하고, 유역에서의 오염물질 유입양상을 추정하였다(Fig. 4). 수질변화 양상은 자연적인 영향과 인위적인 영향으로 분류하여 분석하였다. 인위적인 영향은 자연적인 영향, 즉 강우 및 하천유량이 수질변동과 상관성이 높은 경우를 제외한 경우로 가정하였다. 따라서, 본 논문에서 언급되는 인위적인 영향은 보다 상세한 분석을 통하여 해석이 필요한 내용과 좁은 의미의 인위적인 영향(하천공사, 인위적인 오염물질 배출 등)을 모두 포함하고 있다.

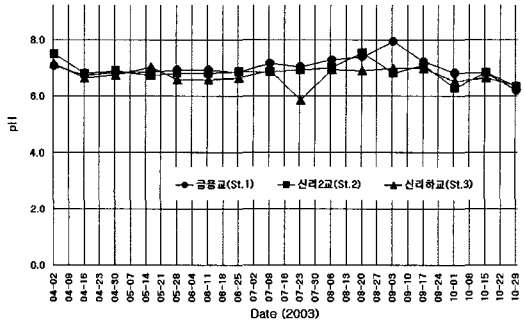
수온변화는 2003년 10월 신리하고 지점의 관측자료를 제외하고는 모든 지점이 큰 차이를 보이고 있지 않다. 10월 15일, 10월 29일 신리하고 지점의 수온이 다른 지점보다 2~5°C 정도 높은 이유를 확실하게 추정할 수 없으나, 신리하고 지점이 오염이 매우 심한 정체수역이라는 점을 감안하면 자연적인 영향보다는 인위적이고 일시적인 영향으로 판단된다. pH 농도변화도 전반적으로 지점별 변화는 큰 차이를 보이고 있지 않으나, 2003년 7월 23일, 9월 3일 pH 농도가 다른 지점에 비하여 각각의 1.0 정도 낮고, 높게 나타나는 경향도 역시 인위적이고 일시적인 영향으로 파악된다.

한편, COD 농도는 금용교 지점은 4.0(mg/L), 신리하고 지점은 8.0(mg/L)를 상회하고 있으며 변화양상은 유사하다. 그러나, 두 지점의 중간에 위치한 신리2교 지점의 COD 농도는 관측시기에 따라 변화 폭이 다른 지점보다 크게 나타나고 있으나 뚜렷한 변화양상(경향)은 보이고 있지 않은 것으로 파악되었다. 하천의 오염도는 신리하고 지점이 가장 심하고, 신리2교, 금용교 순으로 파악되었다. 그러나, BOD 농도에 의하면 신리2교 지점이 매우 높은 오염도를 보이고 있으나, 금용교 지점과 신리하고 지점의 상대적인 오염도는 시기에 따라 순위가 다른 것으로 파악되었다. BOD 농도는 지점별 변화보다는 시기적으로 춘계부터 상승하여 하계(2003년 7월~8월)에 정점에 이르는 뚜렷한 계절변화 양상을 보이고 있다.

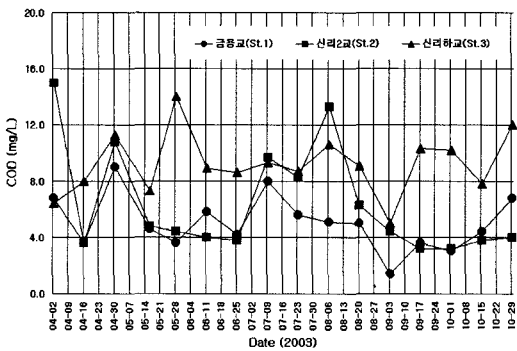
SS 농도는 특정기간에 지점별로 큰 차이를 보이고 있으나, 전반적으로는 4월 30일, 8월 이후의 급격한 농도증



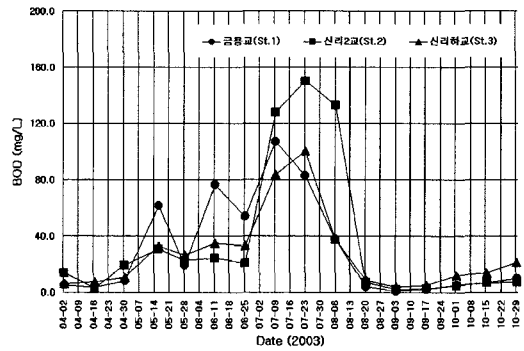
(a) Water Temperature



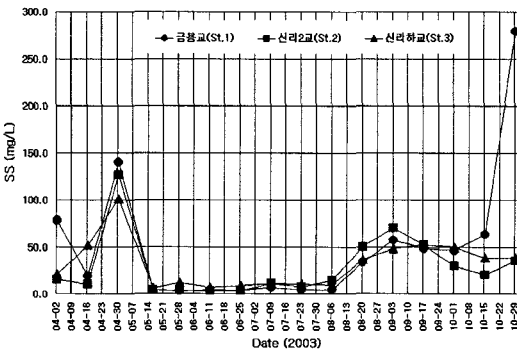
(b) pH



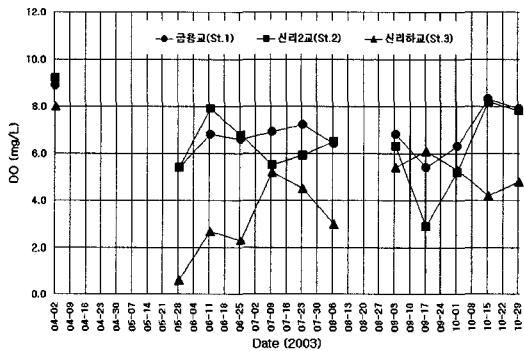
(c) COD



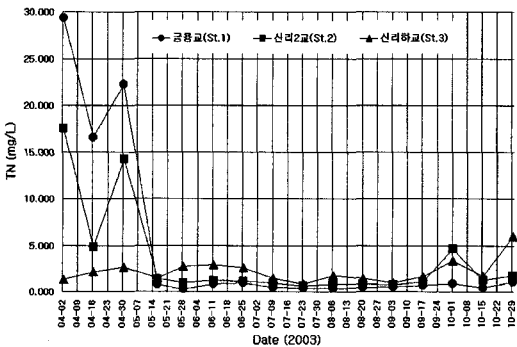
(d) BOD



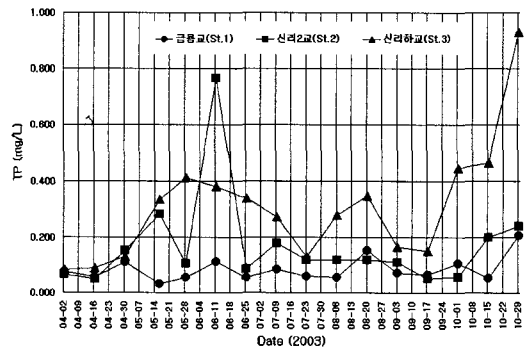
(e) SS



(f) DO(용존산소)



(g) TN(Total Nitrogen)



(h) TP(Total Phosphorus)

Fig. 4. Water quality changes in measurement stations.

가가 두드러진 양상으로 나타난다. SS 농도의 급격한 증가는 일시적인 집중호우 및 태풍(2003년 9월 내습) 때미에 의한 제방붕괴 등의 피해로 토사유실이 가속화된 영향으로 사료된다.

DO 농도의 지점별·시기별 변화는 뚜렷한 양상파악이 곤란하다. 다만, 신리하교 지점의 춘계, 하계 DO 농도가 생물 서식이 곤란한 농도(Thomann & Mueller, 1987; Chapman, 1992) 5.0(mg/L) 이하를 유지하고 있어 하천생태계에 미치는 악영향이 심각할 것으로 추정된다. 따라서, 신리하교 지점에 정체수역으로 형성된 영역에 대하여 적절한 환경관리대책이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

부영양화(eutrophication)를 판단하는 지표로 이용하기 위하여 측정된 영양염류는 TN, TP 항목이다. TN 농도변화는 춘계의 경우에는 지점별로 금용교 지점이 가장 높은 농도를 보이고 있으며, 신리2교, 신리하교 순으로 파악되었다. 그러나 5월말 이후에는 춘계에 비하여 상대적으로 낮은 농도이지만 신리하교 지점의 TN 농도가 가장

높은 것으로 나타났다. 신리하교 지점의 TN 농도가 높은 이유는 유역의 오염물질이 신리하교가 위치한 정체수역에 체류되어 지속적인 오염원으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 한편, TP 농도도 신리하교 지점이 가장 높은 수치를 보이고 있으며, 신리2교, 금용교 순으로 파악되었다. 6월 11일 신리2교 지점의 높은 TP 농도는 인위적인 영향으로 판단된다.

4.2 강우 및 유역수량에 의한 영향 분석

일반적으로 하천유역의 수질은 강우의 영향에 의하여 크게 좌우된다(Novotny and Chesters, 1981). 강우에 의한 영향분석은 선행 누적강우를 고려하여 분석하며, 선행 강우기간은 유역의 규모를 반영하여 결정한다. 본 연구에서는 관측된 수질농도변화를 관측일자의 당일, 2일, 3일, 4일, 5일 선행 누적강우 및 추정 선행유량에 대하여 각각 상관관계를 분석하였다. 선행강우 및 선행유량은 관측시기를 기준으로 ○일 동안의 누가강우 및 평균 유량이다. 수

Table 2. Correlation coefficient between water quality concentration and precipitation - river discharge

(a) Geumyonggyo (St. 1)

	1R	2R	3R	4R	5R	1Q	2Q	3Q	4Q	5Q
COD	0.119	0.178	0.144	0.061	0.014	0.062	0.030	0.000	0.026	0.024
SS	0.085	0.002	0.001	0.000	0.000	0.016	0.021	0.009	0.001	0.001
BOD	0.658	0.092	0.069	0.026	0.023	0.001	0.007	0.035	0.052	0.051
DO	0.001	0.004	0.047	0.028	0.147	0.006	0.010	0.087	0.183	0.197
TN	0.057	0.018	0.004	0.001	0.021	0.025	0.015	0.000	0.008	0.007
TP	0.003	0.007	0.001	0.007	0.027	0.002	0.008	0.025	0.024	0.019

(b) 2nd Silligyo (St. 2)

	1R	2R	3R	4R	5R	1Q	2Q	3Q	4Q	5Q
COD	0.038	0.098	0.055	0.019	0.025	0.044	0.017	0.001	0.028	0.030
SS	0.059	0.258	0.217	0.138	0.174	0.439	0.488	0.389	0.177	0.148
BOD	0.521	0.190	0.150	0.097	0.001	0.067	0.025	0.001	0.010	0.014
DO	0.017	0.019	0.000	0.001	0.447	0.140	0.184	0.405	0.507	0.507
TN	0.066	0.026	0.009	0.000	0.017	0.046	0.035	0.002	0.004	0.004
TP	0.063	0.000	0.000	0.000	0.039	0.029	0.038	0.061	0.057	0.051

(c) Lower Silligyo (St. 3)

	1R	2R	3R	4R	5R	1Q	2Q	3Q	4Q	5Q
COD	0.012	0.002	0.012	0.000	0.005	0.000	0.000	0.002	0.006	0.010
SS	0.136	0.099	0.097	0.065	0.132	0.285	0.358	0.318	0.162	0.141
BOD	0.749	0.225	0.201	0.139	0.001	0.058	0.016	0.000	0.021	0.028
DO	0.003	0.012	0.004	0.026	0.054	0.043	0.058	0.091	0.102	0.101
TN	0.088	0.081	0.106	0.103	0.100	0.078	0.084	0.093	0.053	0.040
TP	0.032	0.139	0.091	0.040	0.104	0.164	0.145	0.136	0.095	0.086

(Ref.) 1R, 2R, 3R, 4R, 5R: Precedant cumulative precipitations

1Q, 2Q, 3Q, 4Q, 5Q: Precedant mean river discharges

질관측지점(3개 지점), 관측 분석항목(6개 항목, BOD, COD, DO, SS, TN, TP 항목)에 대하여 강우 및 유량과의 상관관계를 분석한 결과, BOD 항목과 강우, SS 항목과 유량에서 미미한 상관관계를 파악할 수 있었으며, 전체적으로 수질항목의 농도는 강우량 및 하천 유량과 무관한 것으로 파악되었다(Table 2).

따라서, 강우를 이용한 BOD 항목의 오염부하량 추정 은 신뢰할 만한 수준이나, SS 항목의 오염부하량 추정은 낮은 신뢰성을 가진다. 반면, 2일 선행 하천유량과 SS 항목의 상관관계가 강우에 비하여 크게 나타나는 것으로 파악되었다. TN, TP 항목의 강우 및 유량과의 부상관성은 마산만 오염부하량 특성 분석과정에서 도출된 결과와 유사한 양상을 보이고 있다(조흥연 · 채장원, 1998). 한편, TN, TP 항목의 오염부하량 추정은 평균에 근거한 무작위적인 변동량 개념에서 추정되는 방법에 의존하게 된다. 그러나, 보다 정확한 TN, TP 항목의 오염부하량을 추정하기 위해서는 강우량 및 하천 수량에 의존하여 분석하는

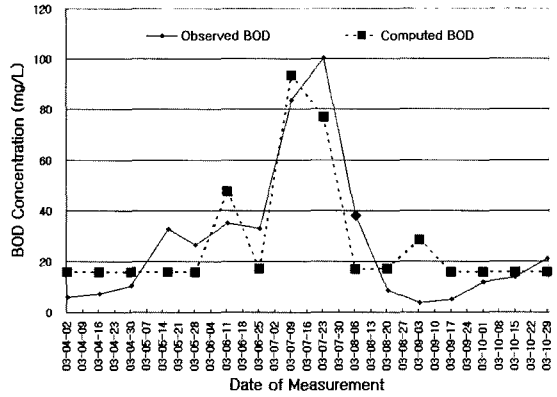
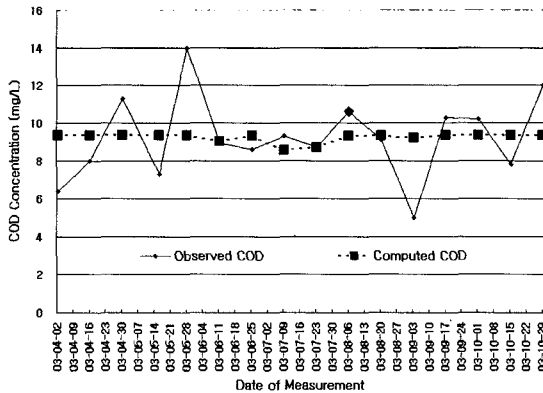
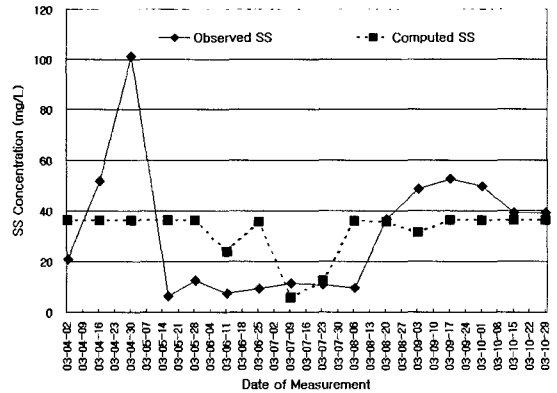


Fig. 5. Comparison plot between observed and computed BOD.

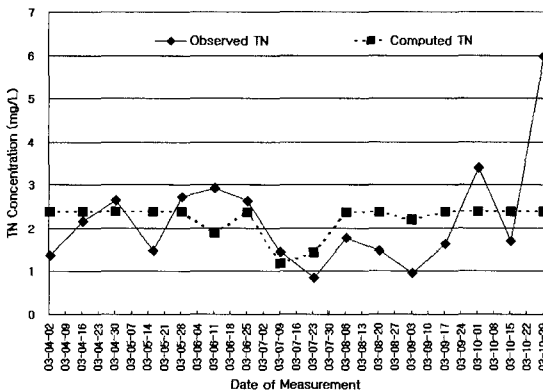
방법보다는 보다 정밀하고 지속적인 관측 및 하천수질에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인위적인 영향을 감안하여 분석할 필요가 있을 것으로 사료된다(Novotny and Chesters, 1981; Wheater et al., 1993).



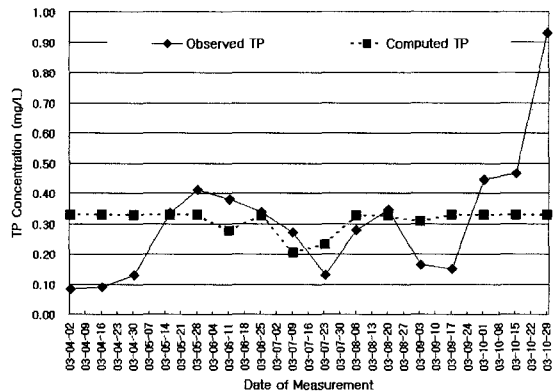
(a) COD



(b) SS



(c) TN



(d) TP

Fig. 6. Estimated concentration in case of low correlation.

하천의 오염부하량은 유역환경관리 방법으로 추진되고 있는 총량규제 차원에서 매우 중요한 인자이다. 유역 오염부하량(PL)은 수량(하천 유량, Q) · 수질(오염물질의 농도, c) 자료를 이용하면 환산계수(CF=86.4)를 포함한 식으로 간단하게 추정된다.

$$PL(kg/day) = CF \cdot Q(m^3/s) \cdot c(mg/L)$$

본 연구에서는 추정된 1일 단위의 하천수량을 기준으로 하여 추정된 하천수량 및 관측 수질농도와 하천 · 강우의 상관관계를 이용하여 1일 단위로 추정된 하천수질자료를 이용하여 1일 단위로 오염부하량을 추정하였다. 오염부하량 추정을 위한 신리천의 수질농도 추정은 상관관계 분석에서 도출된 함수를 이용하여 추정하였다. 상관관계가 양호한 것으로 파악된 BOD 농도의 관측치 및 계산치를 대비하여 Fig. 5에 제시하였다. 낮은 농도에서는 계산치가 과대추정하는 결과를 보이고 전체적인 변화경향은 반영하고 있는 것으로 파악된다. 한편, 상관계수가 낮은 경우에 대하여 수질농도를 추정하는 경우에는 농도의 시간적인 변화를 반영하지 못하고 계산치가 관측치의 평균값을 반영하는 정도로 파악된다(Fig. 6참조). 한편, 유량 자료에 의하여 추정된 SS 농도변화는 강우자료를 이용하여 추정된 결과보다 우수한 일치를 보이고 있다(Fig. 7).

유역의 오염부하량은 물리적인 의미에 근거한다면 하천 중점부에서의 자료를 이용하는 것이 적절한 방법으로 판단되나, 해역의 영향 및 정체수역이 형성되어 있는 신리천 하구지점의 수질자료가 부족한 경우에는 가용한 자료를 모두 활용하는 것이 보다 적절한 방법으로 사료된다.

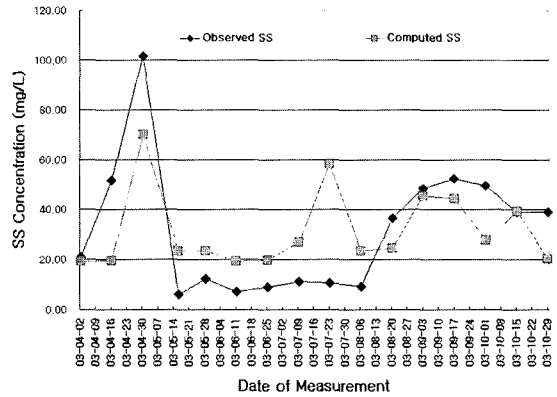


Fig. 7. Estimated SS concentration using river discharge data.

신리천 유역에서 해역으로의 오염부하량은 일별로 계산하였으며, 계절적인 변동성을 보기 위하여 월별로 평균한 수치를 제시하였다(Table 3참조). 우선, BOD 항목을 제외하고는 오염부하량의 일시적인 변동성이 정확하게 반영되지 못하고 있으나, 장기적으로 전체적인 총량 측면에서는 관측기간 동안의 평균적인 영향이 반영되었기 때문에 적절한 것으로 추정된다.

신리천 유역의 하계 BOD, SS 오염부하량은 연간 오염부하량의 70% 이상을 상회하고 있으며, TN, TP, COD 항목은 연간 오염부하량의 50% 미만을 차지하고 있다. 따라서, BOD, SS 항목의 오염부하량은 하계의 영향, 즉 강수량 및 하천 수량 등 자연적인 영향의 지배를 받는 인자로 추정된다. 반면, TN, TP 항목의 오염부하량은 강수량 및 하천 수량과 무관한 인위적인 다른 영향에 의하여

Table 3. Estimated Pollutants Load in Sillicheon Watershed (kg/day, 2003)

Month	Items	BOD	COD	SS	TN	TP
1		831	333	1,194	81	11
2		2,305	660	2,139	153	22
3		2,300	830	2,898	199	28
4		7,431	1,158	2,575	226	34
5		9,066	1,432	3,230	281	42
6		8,990	1,128	1,900	198	31
7		8,326	1,803	5,139	392	57
8		19,185	2,211	3,179	369	59
9		92,625	5,066	-9,660	237	77
10		2,539	927	3,248	223	31
11		12,893	1,916	4,052	366	56
12		1,088	619	2,381	157	22
Mean Value		13,880	1,505	1,877	241	39

지배를 받는 인자로 추정되며, 변화분석을 위해서는 유역의 TN, TP 발생부하특성 및 인위적인 배출양상에 대한 연구와 정기적인 관측이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

5. 결 론

신리천 유역의 추정수량과 관측 수질을 이용하여 수량과 수질의 상관관계를 분석하고, 분석된 결과를 이용하여 신리천 유역의 오염부하량을 추정하였다. 본 연구결과는 주문진항 및 인접한 연안해역의 정량적인 환경변화 분석을 위한 자료로 활용할 수 있다. 보다 정확한 오염부하량 추정을 위해서는 정확한 수량추정이 선행되어야 한다. 따라서, 신리천에서 지속적인 유량(또는 유량자료로 환산할 수 있는 수위)관측이 필요하다. 또한, 강우에 의한 영향으로 수질의 시간적·공간적인 변화가 중요한 시기에는 본 연구에서의 관측기간보다 짧은 간격으로 관측하여 오염부하량 추정에 활용하여야 할 것으로 사료된다.

그러나, 짧은 시간간격으로 수질관측을 지속적으로 수행하는 것은 Sensor 측정이 가능한 몇몇 항목(탁도, DO, pH, 수온, 염도 등)을 제외하고는 막대한 비용(자동수질 분석 시설) 및 인력(채수 및 실험실 분석)을 필요로 하기 때문에 간헐적으로 수집·축적된 수질 관측자료와 유역특성, 강우 및 하천수량의 상관관계 분석을 통하여 오염부하량을 추정하는 작업이 실용적인 대안으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부, 한국수자원공사 (2002). 우리 7급 길라잡이. 동해지방해양수산청 (2004). 주문진항 해수교환시설 설치공사 사전 모니터링 최종보고서. 3장. 한국해양연구원. 조홍연, 채장원 (1998). 진해·마산만 오염부하량의 특성분석. 한국해양·해양공학회지, 10(3), 132-140.
조홍연, 채장원 (1999). 진해·마산만 일반수질항목 및 영양염류의 장기추이분석. Ocean research, 21(1), 13-25.
한국해양연구소 (1997). 진해·마산만 수질환경 관리모델 개발(I). 제1차년도 연차보고서, BSPE 97607-00-1040-2, 해양수산부.

한국해양연구소 (1999). 진해·마산만 수질환경 관리모델 개발(II). 제2차년도 연차보고서, BSPE 98703-01-1147-2, 해양수산부.
한국해양연구소 (1999). 진해·마산만 수질환경 관리모델 개발(III). 제3차년도 최종보고서, 해양수산부.
한국해양연구소 (2000) 연안역에서의 육지와 해양상호작용 연구. 남해 동부연안역의 영양물질 유입과 생물생산력 환경조성 기반기술, 제1차년도 연차보고서, BSPE 00784-00-1294-4.
한국해양연구원 (2002). 연안역에서의 육지와 해양상호작용 연구. 남해 동부연안역의 영양물질 유입과 생물생산력 환경조성 기반기술, 제2차년도 연차보고서, BSPE 819-00-1392-4.
한국해양연구원 (2003). 연안역에서의 육지와 해양상호작용 연구. 남해 동부연안역의 영양물질 유입과 생물생산력 환경조성 기반기술, 제3차년도 최종보고서, BSPE 827-01-1493-4.
Chapman, D. (1992). Water quality assessment : A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Chaps. 3, 6-7, UNESCO/WHO/UNEP, Chapman & Hall, 239-369.
Novotny, V.N. and Chesters, G. (1981). Handbook of nonpoint pollution: Sources and Management. Van Nostrand Reinhold Company.
NRC (1993). Managing wastewater in coastal urban areas. Committee on Wastewater Management for Coastal Urban Areas, Water Science and Technology Board, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council, National Academic Press.
Thomann, R.V. and Mueller, J.A. (1987). Principles of surface water quality modeling and control. Chap. 1 and 6, Haper Collins Publishers.
Wheater, H.S., Jakeman, A.J. and Beven, K.J. (1993). Progress and directions in rainfall-runoff modeling. In Modelling Change in Environmental Systems (Edited by A.J. Jakeman, M.B. Beck and M.J. McAleer), John Wiley & Sons.

Received July 16, 2004

Accepted November 1, 2004