

## 만경강·동진강 유역의 오염물질 유출모델링 Pollutants Discharge Modeling in Mankyung and Dongjin Rivers

고재원\* · 조홍연\*\* · 정신택\* · 권혁민\*\*\*

Jae Won Ko\*, Hong Yeon Cho\*\*, Shin Taek Jeong\*, and Hyuck Min Kweon\*\*\*

**요 旨** : 만경강·동진강 유역의 오염물질 유출모형을 수립·적용하였다. 모형의 입력자료인 유역정보 및 오염원 정보는 GIS 도구를 이용하여 추출·분석한 자료를 이용하였으며, 월별 유출량 및 하천의 오염물질 농도 관측자료와 모형의 계산결과를 비교·분석하였다. 분석결과, 유역유출량은 여름철에 약간 과소 추정하고 있으나 전체적인 변화경향은 일치하고 있다. 또한 모형에서 계산된 오염물질 농도는 10년 평균 수질자료와 1999년도 월별 수질자료를 이용하여 비교하였다. 그 결과, 익산천에서는 크게 과소 추정하고 있으나, 전체적으로는 양호한 정도로 일치하고 있는 것으로 파악되었다. 익산천에서 과소 추정하는 이유는 오염퇴적물에 의한 국지적 영향으로 사료되며, 오염퇴적물이 수층에 미치는 영향을 규명하기 위해서는 하천의 퇴적물 오염도 관측·분석을 통한 심도깊은 연구가 수행되어야 할 것이다.

**핵심용어** : 오염물질 유출모델링, GIS 도구

**Abstract** □ Pollutants discharge modeling was carried out in the watershed of Mankyung and Dongjin rivers. The watershed and pollutants source information extracted and analysed by the GIS tool was used as the model input parameters. This model was calibrated by comparison of the measured and computed monthly freshwater discharge and water quality(WQ) concentration. The compared WQ data are the ten-year-mean WQ concentration and monthly WQ concentration in 1999. The results show that the watershed runoff is underestimated in summer season, although the seasonal trends are relatively well estimated. The WQ concentrations were also relatively well estimated except Iksancheon. The computed concentration was much lower than the observed concentration in Iksancheon because of the effect of polluted sediment. Thus, the effects of polluted sediment on water column need further study through measuring and analysing the degree of the sediment contamination.

**Keywords** : Pollutants discharge modeling, GIS tool

### 1. 서 론

대규모 임해공단 조성과 중국과의 교역항을 조성함으로써 균형적인 국토개발을 통해 21세기를 대비한 국토이용구조를 재편성하는데 목적이 있는 새만금 간척종합개발사업은 최근 일고 있는 간척공사와 갯벌의 가치에 대한 논란이상으로 커다란 사회적 관심사가 되었다. 간척사업은 갈수록 줄어드는 농경지와 산업용지의 확보 차원에서

1960년대부터 현재까지 꾸준히 진행되고 있다. 그러나 1992년 '환경과 개발에 관한 리우선언' 이후 환경에 대한 인식이 높아지면서 갯벌에 대한 가치가 부각되어 간척 무용론을 주장하는 환경단체들이 늘고 있다. 한편 방조제 축조 등 공사기간중 발생하는 부유물질 등에 의한 해양오염을 방지하기 위하여 오타방지막 설치와 담수호내 수질 개선을 위해 제염 암거 설치 등으로 환경피해를 최소화하고 있으며, 공사에 따른 환경관리 조사를 지속적으로 실

\*원광대학교 공과대학 토목환경공학과(Corresponding author: Jae Won Ko, Department of Civil & Environmental Engineering, Wonkwang Univ., Iksan, Jeonbuk 570-749, Korea. jk1049@hanmir.com)

\*\*한국해양연구원 연안·항만공학연구본부(Coastal & Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research & Development Institute)

\*\*\*경주대학교 토목공학과(Department of Civil Engineering, Kyungju Univ.)

시하고 있다.

기존의 수질예측모델링의 경우 많은 경우에 대하여 정확도를 높이기 위하여 더욱 많은 매개변수를 필요로 하기 때문에 추정 및 검증과정에서 오히려 어려움을 겪게 되는 역효과를 가져오기도 했다. 그래서 수질모형의 효율적 적용을 위해서는 보다 정확한 입력자료의 생성기법을 개발하고 매개변수의 추정과 검증 방안의 개선과정이 필요하며, 이들 과정을 결합한 종합적인 수질모형을 개발하는 것이 필요하다.

GIS 기법은 컴퓨터 기술의 발전과 함께 표준적인 좌표체계의 구성 및 각종 지리정보를 입력, 보완, 처리하고 출력할 수 있도록 개발된 기법으로서 이를 통한 다량의 공간정보들을 조작, 처리, 분석할 수 있어 다양한 계획의 실시를 위한 보완자료로 사용에 강력한 기능을 제공할 수 있는 방법이다(김철, 조근만, 1994; 이범희, 1998).

본 연구에서는 GIS 기법을 이용하여 기존의 만경강과 동진강 유역에 대한 각종 정보(건설교통부, 2000; 전주지방환경관리청, 2000; 환경부, 2000a, b)를 지형 및 공간과 관련하여 해석하고 이들의 관계로부터 대상유역의 유출량 추정 및 유역의 오염부하량 및 유달을 정보를 이용하여 유역 하천에서의 오염물질 농도를 계산하는 모형을 수립·적용하였다. 모형에 사용된 모든 입력자료는 GIS 도구를 이용하여 추출, 생성하였으며, 계산된 결과도 GIS 도구를 이용하여 도시하였다.

## 2. 하천 유출량 분석

GIS 도구를 이용하여 생성된 지형도를 바탕으로, 유역에서의 유출경로를 생성하였고, 강우에 의한 유출량 및 유출계수 등을 산정하였다. 또한 유출경로를 바탕으로 오염물질의 확산경로와 오염부하량의 산정 및 유달율을 계산하여 관측소에서의 실측값과 비교하였다.

하천의 유출량을 계산하기 위해서 본 연구에서는 기생성한 유역의 흐름방향(고재원 등, 2001)과 기상청에서 제공하는 월평균 연강우량, 1999년 연강우량 자료를 이용하였다(Table 1참조). 유역내의 각 지역마다 강우량에 차이가 있으므로 강우 관측소의 위치를 점 자료로 입력하고 이 자료에 관측된 강우자료를 입력한 후, ARC/Info 모형을 이용하여 Thiessen 다각형을 만들어 점 강우자료를 유역전체의 면적자료로 확장하였다. 모든 입력자료를 격자정보로 치환하고, 필요한 연산은 격자간에 수행되도록 하였다. Thiessen 다각형 면적에 강우 관측소의 평균 연강우량을 곱하고 Burn-in DEM 모형으로부터 생성된 흐름방향으로 흐름누적(flow accumulation)을 수행하여 월별 유출량과 연 유출량을 계산하여 관측된 유출량과 비교·도시하였다(Fig. 1참조). 관측된 유출량과 모형의 유출량은 만경강과 동진강의 유출량이 다소 차이가 있으므로 두 유역을 구별하여 모형에 적용하였다. 이러한 계산 과정에

Table 1. 년평균 월합계 강우량(mm)

140 군 산													
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1999년	20.7	28.6	70.0	80.5	106.5	176.4	156.1	161.7	264.6	179.1	16.5	26.1	1286.8
평년값	34.5	35.6	50.7	90.3	91.1	136.3	254.2	226.3	130.6	49.9	56.9	33.8	1190.2
243 부 안													
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1999년	28.9	31.7	82.5	85.0	95.0	189.5	174.2	199.5	284.5	133.0	15.5	39.5	1358.8
평년값	34.8	40.4	52.8	97.2	93.4	150.3	266.8	234.5	123.8	58.3	55.4	41.7	1249.4
146 전 주													
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1999년	14.1	31.2	73.9	75.8	93.5	174.0	205.0	241.3	302.1	127.8	17.1	9.7	1365.5
평년값	35.7	41.4	60.1	99.4	97.2	146.7	278.5	244.5	143.8	60.2	59.0	29.7	1296.2
245 정 읍													
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1999년	49.0	46.7	120.5	127.0	117.0	157.0	165.0	198.0	275.5	116.5	18.7	24.4	1415.3
평년값	45.5	41.6	54.3	93.7	91.5	149.2	257.2	251.9	132.2	61.7	60.5	43.1	1282.4

(주)자료: 평년값=기상청 관측자료의 30년(1961~1999) 평균(http://www.kma.go.kr)

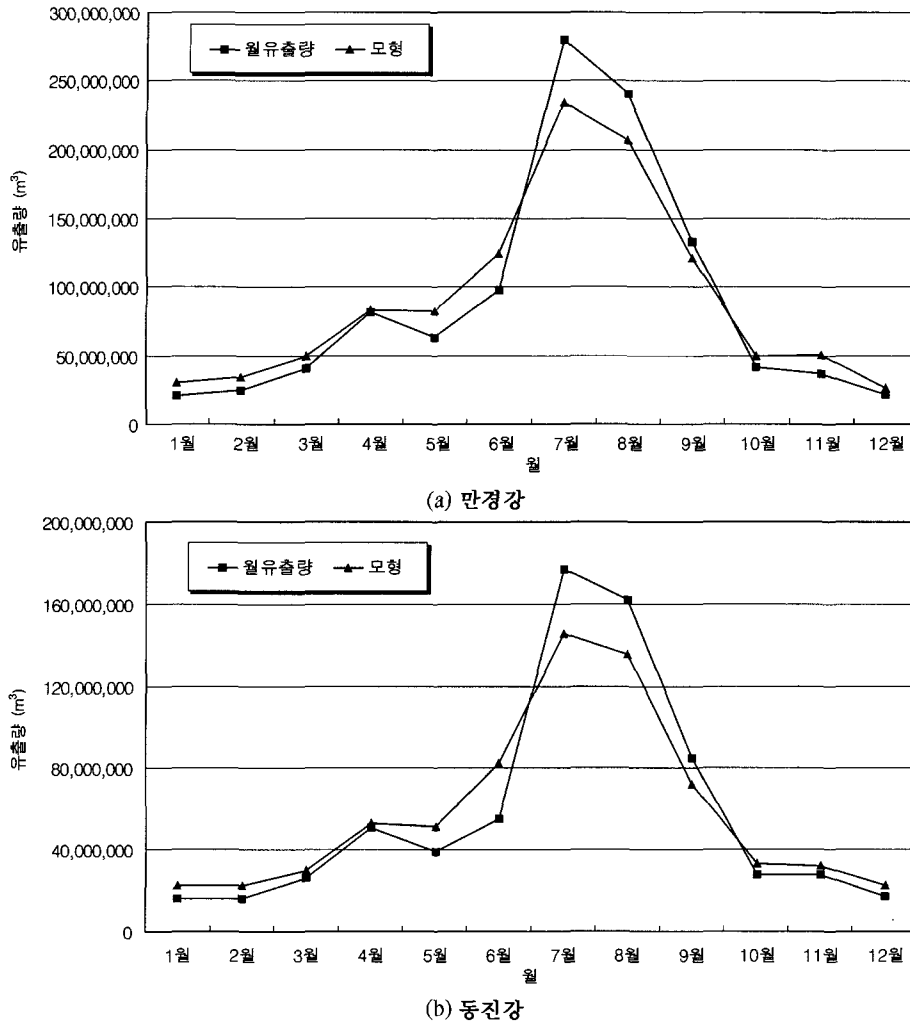


Fig. 1. 월별 계산유출량과 평균 실제유출량의 비교.

서 생성된 자료를 년 유출량과 비교하여 유출계수(만경강 : 0.57, 동진강: 0.49)를 산정하였다.

모형의 계산치와 관측치를 비교한 결과, 갈수기(10월~4월)에는 관측치와 예측치가 큰 차이가 없으나 풍수기(5월~9월)에는 다소 차이가 있음을 보이고 있다. 이는 여름에 집중적이고 불규칙한 강우가 많아서 하천의 특성(하천의 폭, 유속, 조도계수 등)을 고려하지 않고 단순히 유역 전체의 지형적인 요소만 고려한 본 모형에서는 복잡한 도시 유출을 보이는 소유역에서 다소 차이가 있다고 사료된다. 이러한 차이로 인해 월평균 강우량을 이용한 모형의 경우 BOD 농도 산정에 큰 영향을 줄 수 있다. 실제 관측된 월 1~2회 빈도의 오염부하량은 계절적인 강우변

화에 따라 약간의 차이는 있으나 강우에 의한 유출량 변화보다 그 변화가 크지 않다. 따라서, 이 변화를 반영하기 위해서는 강우에 의한 유출변화와 오염부하량 변화를 파악할 수 있는 빈도의 오염부하량 관측이 수행되어야 할 필요가 있다.

### 3. 오염물질 유출에 의한 하천 수질 분석

오염물질 유출모델링은 유역의 토지이용도 및 오염원 정보를 이용하여 생성된 유역의 오염부하량 정보(고재원 등, 2001) 및 유역의 유출량을 이용하여 하천의 오염물질 농도를 산정하였다. 유역의 오염물질 유출은 토지이용상

**Table 2.** 만경강 · 동진강의 오염물질 유달율

	유달율(오염물질 농도 매개변수)		
	BOD	TN	TP
만경강	0.25	1.98	0.66
동진강	0.19	1.44	0.42

황에 따른 단위 오염물질 발생량에 유달율을 곱하여 산정하였으며, 해당 소유역에서의 BOD, TN, TP 오염부하량은 수리학적인 영향, 수질항목간의 반응, 저질에서의 용출 및 소멸 등에 의한 영향은 고려하지 않고 오염물질이 혼합되는 하천 합류부에서 간단한 평형조건을 이용하여 산정하였다. 즉,  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  유량과  $C_1, C_2, \dots, C_n$  농도

를 가진 n개의 하천이 합류되는 하천 직하류부의 유량  $Q_e$ , 농도  $C_e$ (평형상태의 농도)는 다음과 같이 계산하였다.

$$Q_e = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$C_e = (Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + \dots + Q_n C_n) / Q_e$$

한편, 유역에서의 오염물질 유달율을 산정하기 위하여 수질관측소에서의 관측농도와 모형의 계산농도를 비교하여 유달율을 산정하였다(Table 2참조). 유달율은 발생오염부하량에 대한 도달오염부하량의 비율로 정의된다. 도달지점은 유역의 최하류부에 해당한다.

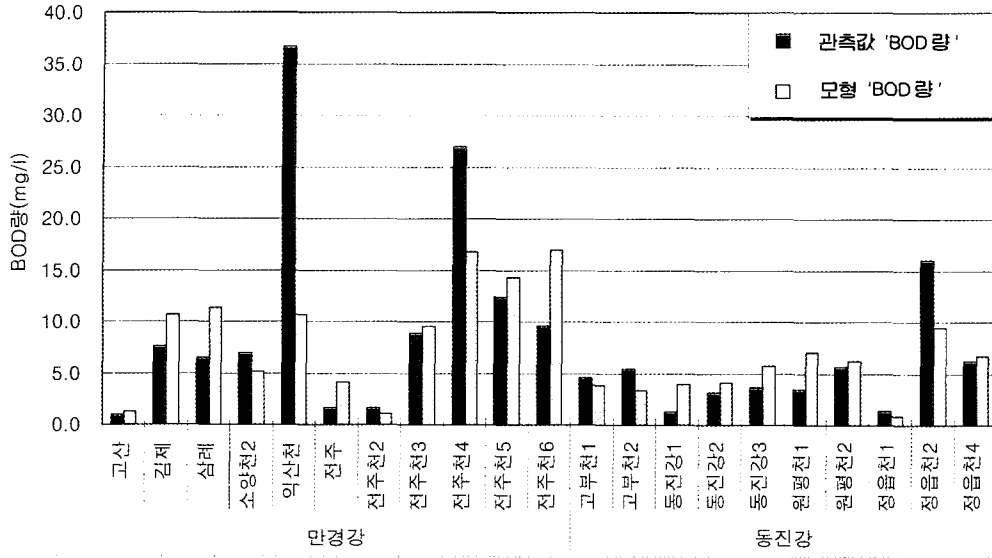
세단급 유역(만경강, 동진강 유역)의 하천 수질농도 정보는 환경부에서 측정한 자료를 이용하였다. 만경강, 동진강의 BOD 농도를 분석한 결과, 지점별로 BOD 농도

**Table 3.** 만경강과 동진강의 연도별 BOD 농도 변화(환경부, 2000b)

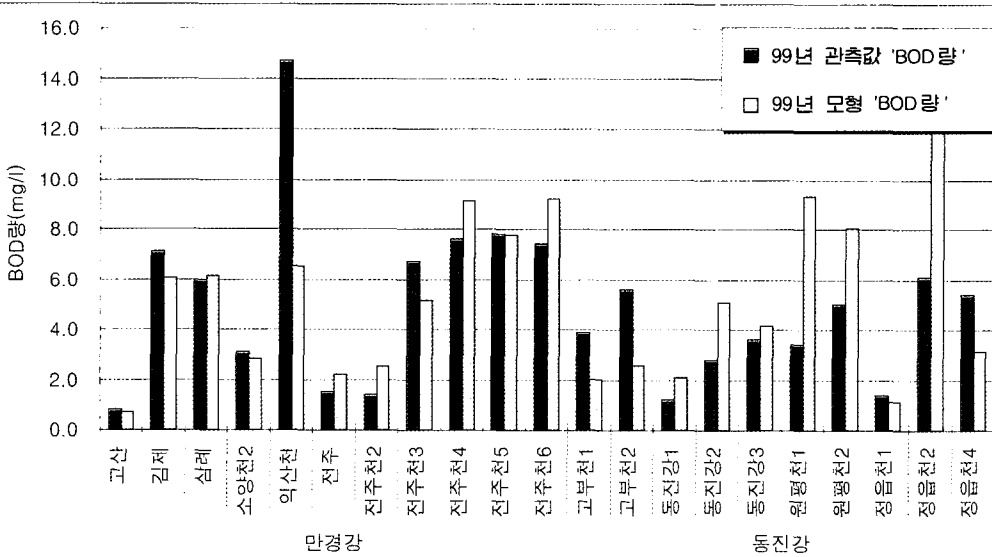
		1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	평균
만경강	고산	1.0	1.0	1.4	1.2	1.0	1.2	1.0	0.9	1.0	1.1	1.4	1.0	0.7	0.8	1.1
	전주	1.4	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.2	1.9	2.0	2.6	1.2	1.1	1.5	1.5
	삼례	5.4	4.1	8.6	7.4	6.8	5.6	6.3	5.1	6.5	7.9	9.1	5.9	5.3	6.0	6.4
	김계	6.8	5.6	7.9	5.1	4.9	5.4	6.6	7.2	6.5	9.2	10.7	70.0	6.8	7.1	11.4
	전주천6						11.1	12.7	7.8	10.2	12.6	10.9	8.4	7.0	7.4	9.8
	익산천						30.8	17.4	11.9	23.3	88.8	63.0	45.5	35.2	14.7	36.7
동진강	동진강1										1.1	1.4	1.1	1.1	1.2	1.2
	동진강2			3.0	2.9	2.2	1.8	2.4	1.6	3.0	7.5	3.3	2.9	2.7	2.8	3.0
	동진강3														3.6	3.6
	정읍천4					4.9	4.8	4.7	3.6	6.1	10.3	8.0	6.3	7.2	5.4	6.1
	고부천1										6.5	4.0	4.6	4.1	3.9	4.6
	고부천2			4.1	4.0	3.8	3.6	4.6	5.1	5.8	7.8	5.3	5.8	5.5	5.6	5.1
	원평천1										5.2	2.7	3.6	2.3	3.4	3.4
	원평천2			4.4	4.0	4.4	3.7	5.3	5.7	5.4	8.7	6.7	5.2	5.0	5.0	5.3

**Table 4.** 만경강과 동진강의 월별 BOD 농도 변화(환경부, 2000b)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
만경강	고산	0.7	0.8	0.6	0.7	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	1.2	0.8	1.1
	전주	1.0	1.5	1.8	1.6	1.9	1.5	2.0	1.6	0.7	1.5	0.9	1.5
	삼례	8.3	6.8	7.2	6.4	5.2	5.5	5.9	4.2	2.8	6.6	6.2	6.6
	김계	9.6	8.8	8.1	7.3	6.9	7.5	7.6	5.3	4.0	7.6	6.0	6.4
	전주천6	10.9	11.9	8.8	7.2	7.2	6.1	6.4	6.6	3.0	7.8	4.8	7.6
	익산천	13.2	14.9	37.6	11.8	11.6	12.3	10.3	13.6	6.5	10.8	17.0	16.6
동진강	동진강1	0.8	1.0	1.8	0.8	1.1	1.5	1.5	1.1	0.7	1.4	0.7	1.5
	동진강2	3.3	2.6	3.4	1.7	2.7	2.5	2.8	2.8	1.7	5.2	2.5	2.6
	동진강3	4.3	3.4	4.0	2.1	3.7	3.6	3.9	3.6	2.6	6.5	2.8	3.2
	고부천1	2.8	4.2	3.0	4.0	3.8	4.8	4.4	4.6	2.0	8.1	2.7	2.0
	고부천2	4.5	5.7	4.2	4.8	4.6	5.8	5.6	5.7	4.7	10.9	5.6	5.5
	원평천1	2.2	4.0	3.2	2.2	3.5	3.8	4.0	4.4	2.8	4.7	2.9	2.5
	원평천2	4.2	6.4	4.2	4.5	5.5	5.2	5.8	5.5	3.8	5.6	5.3	3.9



(a) 10년 평균 수질 자료에 의한 BOD 농도



(b) 1999년 수질 자료에 의한 BOD 농도

Fig. 2. 만경강, 동진강에서의 평균 관측값과 모형 계산값의 비교.

가 크게 차이가 나고 있다(Table 3, Table 4참조). 특히, 익산천의 경우에는 모든 지점보다 매우 심한 오염양상을 보이고 있다. 따라서, 익산천의 경우에는 유역에서의 오염부하량에 의한 오염과 저층에 퇴적된 오염물질에 의한 영향이 모두 고려되어야 할 것으로 사료되나, 본 연구에서는 저층 오염에 대한 정보가 미흡하여 유역의 오염부하량에 의한 영향만을 고려하여 하천의 오염물질 농도를

계산하였다.

본 연구에서는 GIS 도구를 이용하여 생성된 모형을 이용하여 계산된 자료를 10년 평균(1990년~1999년) BOD 농도 및 1999년도 BOD 농도와 비교하여 도시하였다(Fig. 2참조). 익산천을 제외한 전 지점이 비교적 양호하게 일치하고 있으며, 보다 양호한 결과를 얻기 위해서는 유역 정보 및 하천의 퇴적오니에 의한 오염부하량 정보가 추

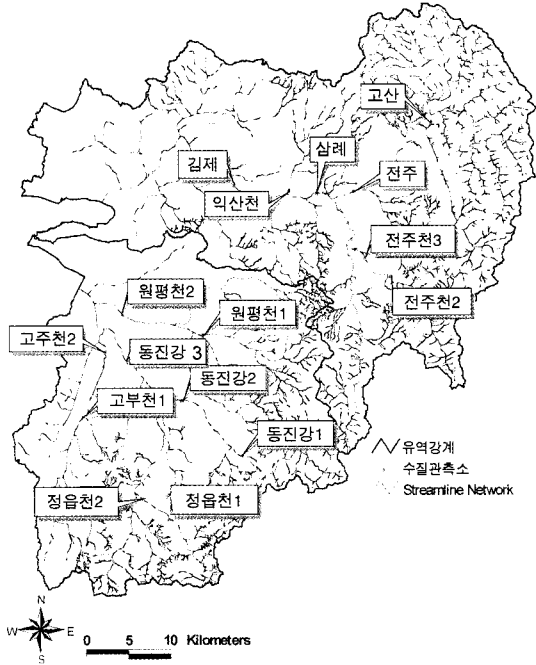


Fig. 3. 수질 관측소 명칭과 위치.

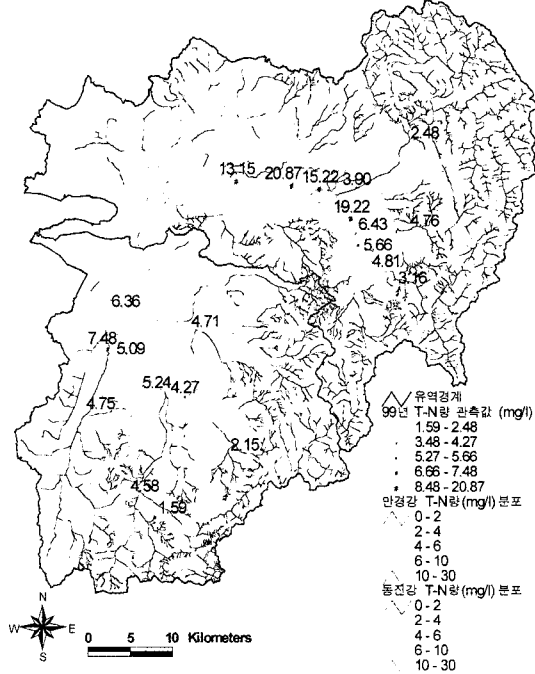


Fig. 5. 새만금 지역의 TN 농도 분포(1999).

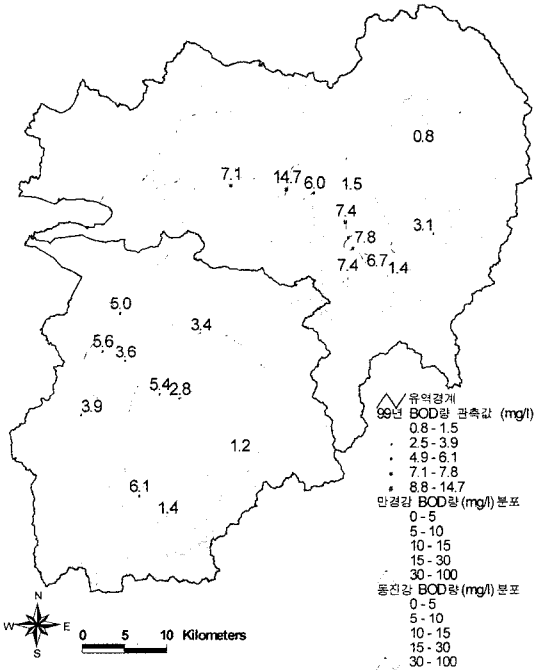


Fig. 4. 새만금 지역의 BOD 농도 분포(1999).

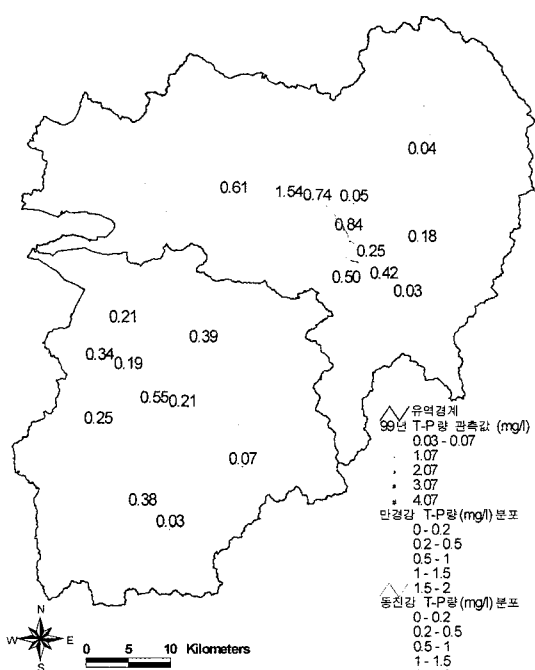


Fig. 6. 새만금 지역의 TP 농도 분포(1999).

가되어야 할 것으로 사료된다. 모형의 정확도는 모형에서 사용되는 입력자료의 신뢰도와 직결되어 있으므로 이에 대한 보완이 추후 강구되어야 할 것으로 사료된다. 특히, 익산천의 경우에는 계산치가 관측치에 비하여 매우 낮은 값을 보이고 있는데, 이는 유역에 의한 오염부하량 뿐 아니라 저층에서의 오염부하 등 다른 요인에 의한 것으로 사료된다. 그러나, 전반적으로 유역에서의 오염물질 농도 재현은 양호한 것으로 사료된다.

유역 및 하천에서의 전반적인 농도분포를 파악하기 위하여 1999년 BOD, TN, TP 농도분포를 추정된 결과와 수질관측소(Fig. 3참조)에서의 관측농도를 GIS 도구를 이용하여 도시하였다(Fig. 4~Fig. 6참조). BOD 농도 분포결과와 마찬가지로, TN, TP 농도 분포도 전반적으로 일치하는 경향을 보이고 있으나, 국지적으로 큰 차이가 보이는 곳은 그 지역에 대한 오염요인에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다. TN항목의 관측농도가 모형에서 산정한 값보다 높게 나타난 것은 만경강과 동진강 모형의 매개변수(유달율 등)에서는 비슷한 범위로 추정되어 분석결과도 거의 같게 산정되어야 하나 적용 원단위의 TN 발생 부하량이 실제 발생량 보다 낮게 제시되었기 때문인 것으로 사료된다

#### 4. 결 론

본 연구에서는 수질 관측소에서의 실제 관측치와 모형의 계산치를 비교하여 GIS 도구를 이용한 유역유출모형 및 오염물질 유출모형의 보정·검증을 수행하였다. 이 결과에 의하면 TN의 관측농도가 모형에서 산정한 값보다 높게 나타난 것은 만경강과 동진강 모형의 매개변수에서는 비슷한 범위로 추정되어 분석결과도 거의 같게 산정되어야 하나 적용 원단위의 TN 발생 부하량이 실제 발생량 보다 낮게 제시되었기 때문인 것으로 사료된다. 이 모형에서는 년평균강우자료와 통계자료(인구, 축산농가와 산업체 등)를 이용하였기 때문에 전체 BOD 농도를 추정하는데는 문제가 없었으나, 해당 연도의 월별변화 추이를 추정할 때 다소 차이가 있었다. 월별 BOD 농도 추정시 풍수기와 갈수기에 차이가 나타나는 것은 장마나 태풍시에 유출량이 많아 오염 물질의 농도가 낮아져 갈수기와 홍수기의 차이가 있는 반면에 실제 관측값에는 큰 변화가 없고 전반적으로 9월에 낮은 수치를 보이고 있다. 익산천의 경우 풍수기의 BOD 농도는 15 ppm 정도를 웃돌고 있지만 추정치의 경우 10 ppm 이하를 보이고 있다. 이는

유역의 오염부하량에 의한 영향과 더불어 퇴적오니의 영향 및 다른 요인이 큰 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다. 따라서, 오염이 심한 익산천에 국한하여 연구를 수행할 경우, 저층오염부하량 등 추가적인 오염원에 대한 조사 및 분석이 포함되어야 할 것이다.

수질 관측소 계측의 정확성 향상, 체계적이고 정확한 적용원단위의 산정 및 Network 체계를 이용하여 실시간 실측자료를 제공받을 수 있다면 본 모형에서 강우 따른 비점오염원에 의한 오염물질농도 변화 등을 고려할 수 있고 다양한 각도로 분석에 필요한 매개변수를 입력자료로 이용할 수 있을 것이다(Meyer *et al.*, 1993, Maidment, 1996; Beven, 1996). 더 나아가 앞으로 관측기기의 발달과 컴퓨터 속도의 향상으로 인해, 정기적으로 제공되는 인공위성 자료, 지형자료와 수질자료 등을 Arc/Info 모형을 활용하여 빠른 시간 내에 수치화하고 분석할 수 있을 것이다. 특히 본 연구에서 다루지 못했던 오염 확산모델과 토양도를 이용한 수문자료의 분석을 병행하여 좀더 정확한 단위 유량도를 비롯한 수문자료나 오염원의 확산을 보다 더 정확히 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구성과는 2001년도 원광대학교 교비지원을 받아 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 건설교통부, 2000. 수자원 단위지도, 한국수자원공사, <http://wamis.kowaco.or.kr/>.
- 고재원, 정신탉, 김철, 조홍연, 2001. 지리정보체계를 이용한 만경강·동진강의 유역정보 및 오염부하량 분석. 한국해양안·해양공학회지, 13(3), pp. 237-244.
- 김철, 조근만, 1994. GIS와 수문·수자원 관리. 수공학 Workshop, 한국수문학회.
- 기상청, 2000. 1961-1999 월평균강우량, <http://www.kma.go.kr>.
- 이리지방국토관리청, 1993. 동진강, 만경강 하천정비 기본계획.
- 이범희, 1998. 지리정보체계 및 전문가시스템을 이용한 도시 유출 및 수질모형의 개발, 서울대학교 대학원, 박사학위논문.
- 전주지방환경관리청, 2000. 만경강 중권역 1999년 수질오염원 조사결과.
- 환경부, 2000a. 토지 피복도, <http://www.me.go.kr/main.html>.
- 환경부, 2000b. 환경통계연감, <http://www.me.go.kr/main.html>.

Beven, K.J. 1996. A Discussion of Distributed Hydrological modeling. *Distributed Hydrological Modeling*, Abbott M.B and Refsgaard J.C., Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 255-278.

Maidment, D.R., 1996. *A GIS Assessment of Nonpoint Source Pollution in The San Antonio-Nueces Coastal Basin*, Univ. of Texas at Austin.

Meyer, S.P., Salem, T.H., and Labadie, J.W., 1993. Geographic Information System in Urban Storm Water Management. *Journal of Water Resources Planing and Management*, ASCE, **119**(2), pp. 206-398.

---

Received April 18, 2002

Accepted May 17, 2002