미호천 유역의 하천수질 예측모형 적용

정상만* / 박정규** / ○박영기***

1. 서 론

수질오염의 가장 근본이 되는 문제는 물사용과 관련된 우리의 생활양상 때문이다. 농작물 경작, 주거지의 폐수배출방법, 산업활동 그리고 여가활동 등의 증가로 인해 오염물질이 축적되어 하천의 수질이 더욱 악화되고 있다. 이에 따라 하천의 관리를 위해서는 지속적인 연구에 의한 장기적인 수질 보전대책이 필요하며 이에 앞서 유역내의 오염물질에 대한 정확한 평가와 예측이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 금강 수계 전면적의 18.8%를 차지하고, 금강 중·하류지역의 수질오염에 중요한 영향을 미치는 미호천 유역에 대한 수질현황 및 오염부하량을 조사하고 유달율을 산정하는 한편, 국내·외 하천에 적용하여 그 적용성이 널리 인정된 미국 EPA(Environmental Protection Agency)의 QUAL2E 모형을 이용과 과거 수질자료를 적용하는 통계학적 모형인 시계열 모형의 Box-Jenkins방법 등 이 두 가지 모형을 이용하여 모형의 보정과 검증을 실시하고 미호천유역의 적용성을 판단하였으며, 두 모형을 비교하여 보다 적합한 모형을 살펴보는 한편, 장래 수질을 예측하고자 한다.

2. 수질모형의 적용

2.1 대상유역

미호천유역은 금강수계의 북쪽 중앙부인 동경 127° 09′05″ ~ 127° 41′38″, 북위 36° 30′30″ ~ 37° 03′03″사이에 위치하고 있다. 유역의 북쪽 및 동쪽은 한강유역, 북서쪽은 안성 및 삽교천 유역, 남쪽은 금강 중류지역과 접하고 있으며, 그 유역면적은 1,860km^{2}로써 금강 전 유역면적 9,843.2km^{2}의 18.8%를 차지하고, 미호천의 유로연장은 87.3km이다. 수질모형의 적용 및 예측을 위한 대상유역은 미호천수계에서 오염원이 특히 집중되어 있는 중·하류지역의 「청원군 신팔결교 ~ 금강유입부」의 36km 구간에 대하여 적용하였다.

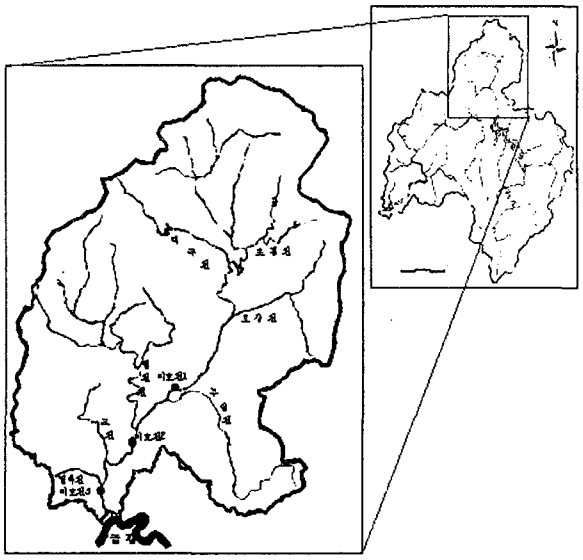

그림 2.1 대상유역

2.2 수질현황 및 오염부하량

2.2.1 수질현황

본 연구 대상지역의 수질자료는 환경부 수질자료를 이용하였고, 미호천 수계에 대한 수질현황을 살펴보면 DO의 경우 2.1mg/l ~ 13.7mg/l의 범위이며 하류로 내려갈수록 낮게 나타났다. BOD의 경우 1.0mg/l ~ 9.6mg/l의 범위이며 4, 5월의 농도가 2.6 ~ 7.2mg/l로 대부분 높게 나타났다. T-N의 경우 2.52mg/l ~

* 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 교수 · 041-850-8628 (E-mail : smjeong@kongju.ac.kr)
** 혜천대학 환경시스템과 교수 · 042-580-6302 (E-mail : jkpark@hcc.ac.kr)
*** 공주대학교 대학원 토목환경공학과 공학석사 · 042-581-6344 (E-mail : park090@krpost.net)

12.62mg/l의 범위이며 하류로 갈수록 증가하는 것으로 나타났으며, T-P의 경우 최저 0.02mg/l ~ 최고 0.59mg/l의 범위를 나타냈으며, 하류로 갈수록 농도는 증가했으며, 1993년 이후부터의 자료를 분석한 결과 DO변화는 과거와 거의 비슷한 상태를 나타내고 있으며, BOD, T-P의 경우 다소 감소하는 추세를 나타내었고, T-N의 경우 다소 증가하는 것으로 나타났다.

2.2.2 오염부하량

대상유역을 기준으로 상류유역(M-H), 미호천 직접 유입지역(M-Ⅰ, M-Ⅱ, M-Ⅲ), 무심천 유역(MU), 병천천 유역(B), 조천 유역(C), 월하천 유역(W)으로 구분하였으며, 환경부에서 제시한 원단위를 이용하여(환경부, 2000) 인구, 축산, 토지이용, 산업에 의한 오염부하량을 산정한 결과 표 2.1에 나타난 것과 같이 BOD 총발생부하량은 131,474.7kg/day이며, T-N, T-P의 경우 각각 59,015.6kg/day, 12,854.2kg/day로 산정되었다. 유역별 발생오염 부하량은 미호천 상류지역을 제외하고 BOD 총발생량의 경우, 병천천유역(B)이 가장 많은 21,677.2kg/day 발생되었으며, T-N 총발생량의 경우 19,450.6kg/day로 무심천 유역(MU)이 가장 크게 발생하였고, T-P 총발생량 역시 2,793.8kg/day로 무심천 유역(MU)에서 가장 많이 발생하였다. 이는 축산시설에 의한 오염부하량의 발생이 주원인 것으로 조사되었다.

표 2.1 미호천 유역의 발생부하량 및 평균 유달률

(단위: kg/day)

구분	항목	합계	M-H	M-Ⅰ	M-Ⅱ	M-Ⅲ	MU	B	C	W
총괄	BOD	131,474.7	57,811.6	9,573.9	7,354.8	3,684.1	13,451.7	21,677.2	11,024.3	6,897.0
	T-N	59,015.6	19,350.3	3,892.0	2,275.3	1,009.0	19,450.6	6,763.1	4,292.0	1,983.4
	T-P	12,854.2	5,031.7	499.4	548.1	307.1	2,793.8	1,955.0	1,132.2	586.8
인구	BOD	26,448.2	7,165.3	7,569.2	1,385.9	308.3	6,499.5	1,886.1	1,079.8	554.1
	T-N	23,673.1	2,602.3	1,589.5	351.6	83.1	17,042.3	479.6	1,383.2	141.5
	T-P	3,036.2	305.2	181.7	36.0	8.2	2,263.9	48.9	178.0	14.4
축산	BOD	91,634.1	44,647.8	528.9	5,298.5	3,238.7	4,640.7	18,024.4	9,190.2	6,065.0
	T-N	22,518.0	10,999.1	127.7	1,278.6	786.3	1,101.7	4,490.0	2,248.6	1,486.1
	T-P	8,531.6	4,178.5	42.6	453.7	288.4	391.9	1,745.5	893.9	537.1
토지이용	BOD	8,101.4	3,648.5	545.8	414.5	137.1	1,615.5	1,034.7	506.4	199.0
	T-N	7,187.5	3,573.9	314.7	453.1	139.7	784.6	1,244.5	474.2	202.8
	T-P	534.8	258.0	27.1	32.9	10.6	68.4	87.4	35.5	14.9
산업	BOD	5,291.0	2,350.0	930.0	256.0	0.0	696.0	732.0	248.0	79.0
	T-N	5,637.0	2,175.0	1,860.0	192.0	0.0	522.0	549.0	186.0	153.0
	T-P	751.6	290.0	248.0	25.6	0.0	69.6	73.2	24.8	20.4
BOD 평균 유달율 (%)			3.49	1.08	3.35	2.63	5.03	4.07	6.37	4.99
T-N 평균 유달율 (%)			18.14	4.50	14.96	14.75	4.20	20.40	18.81	16.04
T-P 평균 유달율 (%)			1.37	1.02	2.38	1.68	0.80	1.63	4.81	0.60

2.3 모형의 적용

DO, BOD, T-N, T-P등 4가지 수질항목에 대하여 수질을 예측하였고, QUAL2E 모형의 경우 수질모형의 적용을 위해 대상구간을 3개의 Reach와 36개의 Element로 나누었으며, 각 Element는 1km 단위로 구분하였다. 또한 각 Reach별 수리계수의 산정은 유량계수법을 사용하였으며 수리계수의 산정을 위해 「금강수계 유량측정 조사 보고서(건설교통부, 1997)」에 나타난 유량-유속, 유량-수심에 대한 실측치를 이용하였다. 미호천 본류로 유입되는 무심천, 병천천, 조천, 월하천 등 지류의 하천에 대해서는 점오염원으로 가정하였으며, 대상구간에 대한 하천수 사용 실태는 「금강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정(건설교통부, 1999)」 보고서에 나타난 자료를 이용하였다. 미호천의 수질 모형적용을 위해 2000년 미호천 본류 및 각 지류에 대한 환경부 수질 자료를 활용하였다.

통계학적 모형인 Box-Jenkins 시계열분석법은 일반적으로 자료의 정상성 검정, 계차변환, 모형식별, 모수추정 그리고 적합성 검정의 단계로 이루어지며 검정된 모형으로 장래예측이 가능하다(윤용운, 1995). 자료의 계산을 위해 1993년 이후의 환경부 자료를 이용하였고, 자료의 통계치 계산 및 모형설정, 예측을 위해 SPSS v 10.0 통계 패키지를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

QUAL2E 모형의 수질반응계수를 산정한 후 2000년 1월부터 12월의 자료에 적용하여 수질을 모의한 후 실제 관측치와 비교하여 분석한 결과 DO의 경우 상관계수(R)는 0.899, BOD의 경우 R = 0.797, T-N의 경우 R = 0.697 그리고 T-P는 R = 0.732로 나타나 DO, BOD, T-N, T-P의 경우 비교적 상관성이 있는 것으로 나타났다.

Box-Jenkins 시계열분석법의 계산결과 자료에 대한 미호천 1지점의 DO, 미호천 3지점 DO 항목을 제외한 나머지 자료에 대해서는 정상성을 나타내었으며, 정상성을 나타내지 못한 자료의 경우 대수변환($\ln X_t$)을 취할 경우 모두 정상성을 나타내었다. ARIMA 또는 ARMA모형 그리고 계절성 ARIMA모형의 경우 모형식별이 어려우므로(Salas, 1995) 이를 위해 AIC(Akaike Information Criterion) 통계 값을 이용하여 모형식별에 이용하였다. 그리고 식별된 모형을 이용하여 모형의 모수를 추정하고, 추정모형에 대한 적합성 검정을 위하여 잔차에 대한 t-검정을 실시한 결과 추정된 모형은 적합한 것으로 판정되었으며, 결정된 모형을 이용하여 장래수질예측을 실시하였다. 표 3.1은 수질항목에 대한 통계값 및 AIC 통계값 그리고 적합성 검정 결과 결정된 모형을 나타내었다. 표 3.2에서는 결정된 모형을 이용하여 수질을 모의한 후 실제 관측치와 예측치를 비교한 결과 DO에 대한 상관계수(R)는 0.726, BOD의 경우 R = 0.694, T-N의 경우 R = 0.632, T-P의 경우 R = 0.226으로 나타나 QUAL2E 모형과 비해 상관계수는 다소 낮은 것으로 나타났다.

표 3.1 미호천 수질자료의 통계 값

구분		N	최소값	최대값	평균	표준편차	분산	왜도	첨도	AIC	모형
미호천1	DO	96	5.90	13.60	9.118	1.884	3.551	0.713	-0.247	-83	ARIMA (0,0,1)(0,1,1)
	BOD	96	0.90	7.00	3.118	1.121	1.256	0.698	1.114	265	ARIMA (1,0,0)(1,1,0)
	T-N	95	1.30	8.39	3.796	1.675	2.807	0.720	-0.298	76.7	ARIMA (1,0,1)(1,1,1)
미호천2	DO	96	4.30	13.70	8.448	2.055	4.222	0.674	0.069	343	ARIMA (1,0,0)(1,1,0)
	BOD	96	1.00	9.600	4.347	1.782	3.176	1.006	0.836	345	ARIMA (0,0,1)(0,1,1)
	T-N	95	1.84	12.62	4.872	2.191	4.799	0.872	0.576	336	ARIMA (1,0,1)(1,1,1)
미호천3	DO	96	4.00	13.40	8.176	2.041	4.168	0.397	-0.344	-28.5	ARIMA (0,0,1)(0,1,1)
	BOD	96	1.20	8.90	5.130	1.745	3.046	0.148	-0.460	286	ARIMA (0,0,1)(0,1,1)
	T-N	95	0.68	12.02	5.815	2.200	4.841	0.411	-0.061	346	ARIMA (1,0,0)(1,1,0)

표 3.2 관측치와 예측치에 대한 상관계수

구분	QUAL2E 모형				시계열 모형			
	DO	BOD	T-N	T-P	DO	BOD	T-N	T-P
상관계수(R)	0.899	0.797	0.697	0.732	0.726	0.694	0.632	0.226

그림 3.1에 나타난 것과 같이 QUAL2E 모형의 모의수행 결과 T-P에 대한 실제 관측 값과 모의 값에 대한 상관성이 낮게 나타났으므로 T-P를 제외한 DO, BOD, T-N의 3가지 수질항목에 대하여 QUAL2E 모형을 이용한 기초시설 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대한 2005년, 2010년의 수질예측과 Box-Jenkins 시계열분석법을 이용한 2005년, 2010년의 장래수질을 예측하였다. 예측결과 미호천 1지점에 대한 DO의 경우 오염물질의 농도 증가로 인한 산소의 증가로 인해 점점 낮아지는 것으로 나타났으며, BOD의 경우 하류로 갈수록 그리고 시간이 지남에 따라 수질농도는 점차 증가하는 것으로 예측되었다. T-N의 경우 기초시설 고려할 경우와 고려하지 않을 경우 농도의 예측변화에 대한 차이는 거의 없는 것으로 나타났으며, 시간이 지남에 따라 T-N의 농도는 다소 증가하는 것으로 예측되었다.

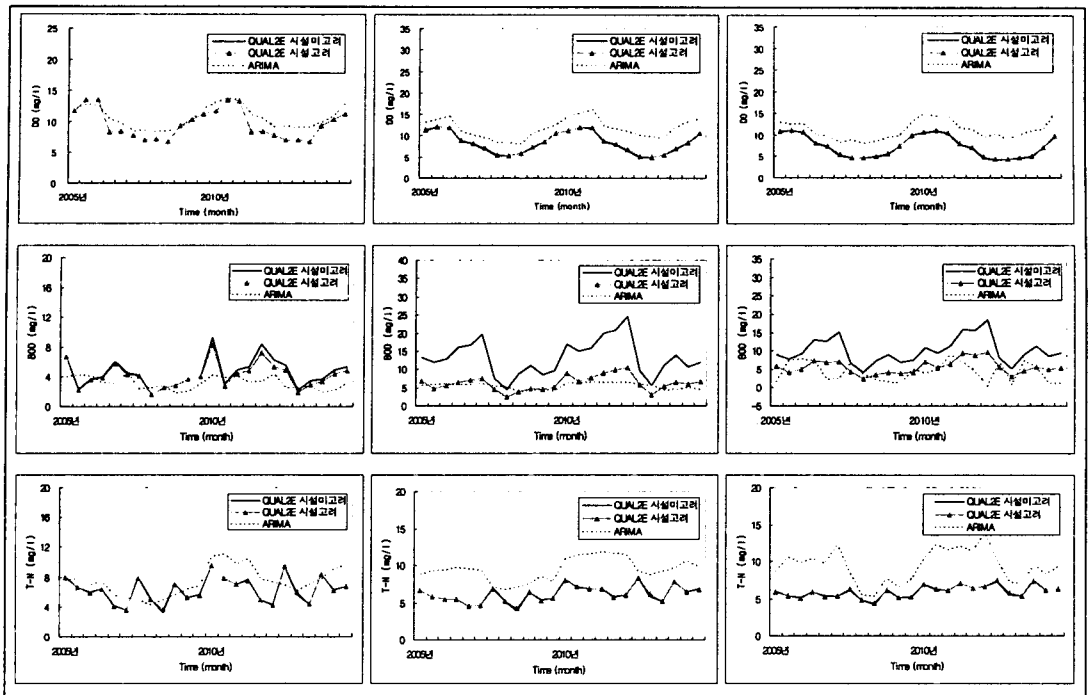

그림 3.1 미호천 각 구간별 수질예측 결과

4. 결 론

1. 산정된 오염부하 발생량은 BOD의 경우 미호천 상류 유역이 57,811.6kg/day로 가장 많이 발생하였으며, T-N은 무심천 유역과 미호천 상류유역이 19,450.6kg/day, 19,350.3kg/day로 가장 많이 발생하였으며, T-P는 5,031.7kg/day로 미호천 상류 유역이 가장 많이 발생하였다. BOD, T-N, T-P 발생량에 대한 오염원별 발생량은 BOD의 경우 축산이 전체발생량의 70%로 가장 많은 배출량을 나타냈으며, T-N은 인구와 축산이 전체발생량의 40%, 38%를 차지하였다. T-P의 경우 전체발생량의 66%를 배출한 축산이 가장 많은 오염부하량을 발생시키는 것으로 나타났다
2. QUAL2E 모형을 이용한 수질의 예측 결과 DO는 시간이 지날수록 점차 감소하였으며, 구간별 농도의 경우 하류로 내려갈수록 점차 감소하였다. BOD, T-P는 시간이 지남에 따라 농도는 점차 증가하였으며, 구간별 농도의 경우 2지점까지 농도는 증가하는 반면 이후 점차 감소하는 것으로 나타났다. T-N은 시간이 지날수록 점차 증가하는 반면, 구간별 농도는 하류로 내려갈수록 점차 감소하는 것으로 나타났다.
3. 시계열 모형을 이용한 수질의 예측결과 DO, BOD는 시간이 지날수록 점차 증가하였으며, 구간별 농도의 경우 2지점까지 증가하다 이후 점차 감소하는 것으로 나타났다. T-N은 시간이 지날수록 농도는 점차 증가하는 것으로 나타났으며, 구간별 농도 또한 점차 증가하는 것으로 나타났다. 배출되는 발생오염 부하량 중 축산에 의해 배출되는 부하량이 가장 많은 비중을 차지하고 있으므로 앞으로 축산에 대한 처리계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다.
4. QUAL2E모형과 Box-Jenkins 시계열분석법에 의한 2000년 1월부터 12월까지 수질을 예측한 결과를 이용하여 실제 관측치와 상관성 분석시 DO, BOD, T-N의 항목에 대해 QUAL2E 모형이 상관성이 높은 것으로 나타나 하천에 대한 수질의 예측시 QUAL2E 모형이 시계열 모형보다 더 적합하리라 판단된다.

5. 참고문헌

윤용운(1995), STATGRAPHICS를 이용한 박스-젠킨스방법의 시계열 분석론, 경문사.

J. D. Salas, J. W. Delleur, V.Yevjevich and W. L. Lane(1980), Application Modeling of Hydrologic Time Series, Water Resources Publication.