

미계측 유역관리를 위한 WASP5 모형의 개선 및 적용성 검토

김진호¹ · 신동석² · 권순국³

¹농촌진흥청 농업과학기술원 환경생태과, ²국립환경과학원 수질총량과,

³서울대학교 조경·지역시스템공학부

(2007년 1월 30일 접수; 2007년 2월 23일 수락)

Modification of WASP5 for Ungauged Watershed Management and Its Application

Jin-Ho Kim¹, Dong-Suk Shin², and Soon-Kuk Kwun³

¹Division of Environment and Ecology, National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

²Water Pollution Cap System Division, National Institute of Environment Research, Incheon 404-708, Korea

³Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Received January 30, 2007; Accepted February 23, 2007)

ABSTRACT

This study was carried out to develop a water quality simulation model for the evaluation of an ungauged watershed. For this purpose, the WASP5 model was selected and modified. The model consists of three sub-models, LOAD-M, DYN-M, and EUT-M. LOAD-M, an empirical model, estimates runoff loadings using point and non-point source data of villages. The Geum River Estuary watershed was selected to calibrate and verify the Modified-WASP5. The LOAD-M model was established using field data of water quality and quantity at the gauging stations of the watershed and was applied to the ungauged watersheds, taking the watershed properties into consideration. The result of water quality simulation using Modified-WASP5 shows that the observed average BOD data from Gongju and Ganggyeong were 2.6 mg/L and 2.8 mg/L, and the simulated data were 2.5 mg/L and 2.4 mg/L, respectively. Generally, simulation results were in good agreement with the observed data. This study focused on formulating an integrated model for evaluating ungauged watersheds. Even though simulation results varied slightly due to limited availability of data, the model developed in this study would be a useful tool for the assessment and management of ungauged watersheds.

Key words : Modified-WASP5, Pollutant loads, Watershed management, Ungauged watershed

I. 서 론

과거 우리나라의 수질환경정책은 유역의 수계로 유입되는 하·폐수의 발생원을 배출허용기준이나 방류수 수질기준을 통해 규제하는 농도규제중심의 정책이었다. 그러나 이러한 기준을 만족하더라도 유역내 오염물질

이 일정한계를 초과할 경우, 수환경은 그러한 부하를 견뎌내지 못하고 있기 때문에 최근 이러한 농도규제방식에서 유역내 모든 오염원을 관리할 수 있는 오염총량제도가 도입되게 되었다. 이러한 오염총량제도의 정책적 수행을 위해서는 우리나라 유역단위 수질관리를 위한 기초연구가 시급이 필요한 실정이다.

유역단위 수질관리를 위한 연구는 크게 오염원 해석, 배출 및 유달 구조 해석, 수질항목간의 상호작용 해석 등으로 구분할 수 있는데(Ministry of Environment, 1998), 오염원 해석에 대한 연구는 각 오염원의 발생 원 단위 해석을 대상으로 하고 있으며(Choi *et al.*, 1995), 배출 및 유달 구조 해석에 대한 연구는 오염원으로부터 발생된 오염물질이 하천이나 호수로 이동하는 과정을 대상으로 하며, 수문 유출 해석 연구의 응용분야(Beasley *et al.*, 1980)로서 진행되어 왔다. 또한 수질항목간의 상호작용 연구는 1920년대 Streeter and Phelps의 BOD-DO 관계 정립 이후, 1970년대에 지표수 중의 독성물질 거동을 수치해석 방법인 수질모형을 통해 모의하면서 시작되었으며, 오염물질이 수체에 유입된 후 이류 및 확산에 관한 분야를 포함하여 오염물질 및 생태계간의 반응 기작을 대상으로 진행되어 왔다(Kong, 1992).

유역단위 수질관리를 위한 수질모형은 현재까지 하천이나, 호수에 대한 수질모형의 국내 적용사례는 하나의 유역 전체를 대상으로 하지 않고 유역 일부나 소구간에 대하여 개별적으로 적용한 것이 대부분이고, 실측농도 자료를 경계조건으로 입력하여 모의하는데 치중하여 왔으므로, 수질 및 유량 측정자료가 없는 미계측 유역에 대한 연구사례는 찾아보기 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 환경부의 오염총량관리 기준 원단위(Ministry of Environment, 1999a)를 사용하여 오염원 해석을 수행함으로써 오염부하량 산정의 객관성을 유지하고, 건설부 및 환경부 유량·수질 측정망 자료로부터 회귀하여 설정한 유달합수를 측정지점 상류유역에 확대 적용함으로써 미계측 유역의 배출 및 유달 구조 해석의 어려움을 해결하고자 한다. 또한 계산 구획별 반응계수의 도입, 국내에서 실측하고 있는 수질항목으로의 입·출력 수정, 그리고 배열의 크기 확장을 통하여 하천구간의 예측이 가능하도록 기존 WASP5 모형을 수정한 Modified-WASP5를 개발하고, 이 모형을 실측자료로부터 구한 유달합수와 연결함으로써 대규모 유역관리에 사용할 수 있도록 하나의 시스템으로 통합하여 실용성을 높이며, 금강하구 유역에 적용하여 개발모형의 적합성을 검토하고자 한다.

II. 재료 및 방법

2.1. 수정 WASP5 모형의 기본이론

유역단위 수질관리를 위해 개발한 WASP5 수질모형

을 수정한 Modified-WASP5는 오염원 해석, 배출 및 유달 구조 해석, 수질항목간의 상호작용 해석으로 구성되어 있으며, 각각에 해당하는 부모형으로는 미계측 유역의 배출 및 유달부하량을 계산하는 부하모형(Load-M), 하천 및 호수의 계산구획 유량, 유속을 계산하는 수리모형(DYN-M), 수질을 계산하는 수질모형(EUT-M)이 있다.

부하모형은 오염원현황자료와 배출원단위를 이용하여 배출부하량을 계산한 다음, 계산된 배출부하량과 수질관측지점의 유달부하량으로 실측유달율을 구한다. 유역의 유달율을 유량과 면적과 회귀시켜 유달합수를 구하고, 유달합수를 유역전체로 확대 적용시킨 것이다. 유달부하량의 계산은 배출부하량에 유달합수를 곱한다.

$$L_a = SOURCE * DUNIT \quad (1)$$

$$L_a = 86 * Q * C \quad (2)$$

$$R = \frac{L_a}{L_a} \quad (3)$$

$$R = f(A, Q) \text{ 이며 즉, } R = \alpha A^{-\beta} Q^\gamma \quad (4)$$

$$L_a = L_a * R = L_a * \alpha A^{-\beta} Q^\gamma \quad (5)$$

여기서 L_a 는 배출부하량(kg/d), SOURCE는 오염원크기, DUNIT는 배출원단위, L_a 는 실측유달부하량(kg/d), 86.4는 환산계수, Q 는 유량(m³/s), C 는 수질농도(mg/L), R 은 실측유달율, A 는 유역면적(km²), α , β , γ 는 회귀계수, L_a 는 유달부하량(kg/d)을 의미한다.

수리모형(DYN-M)은 연속방정식과 모멘텀방정식을 연립하여 유량과 수위를 구하며, WASP5의 부모형인 DYNHYD5 모형의 기본식과 해법을 그대로 적용하였으며, 수정·개발모형인 DYN-M에서는 DYNHYD5를 대규모 유역관리에 사용할 수 있도록 배열의 크기를 확장하고, 보정 및 결과의 표현을 자유롭게 할 수 있도록 입·출력을 수정하였다.

수질모형(EUT-M)은 수체 내에 들어 있는 물질의 시간적, 공간적 변화를 물질수지 방정식으로 계산하며, WASP5의 부모형인 EUTRO5 모형의 기본식을 그대로 준용하였다.

2.2. 대상유역

모형의 적용 대상 유역인 금강하구 유역은 유량 관측지점 및 수질 관측지점이 유역면적에 비하여 적어 미계측 소유역이 많고, 금강하구는 하천과 호수의 특

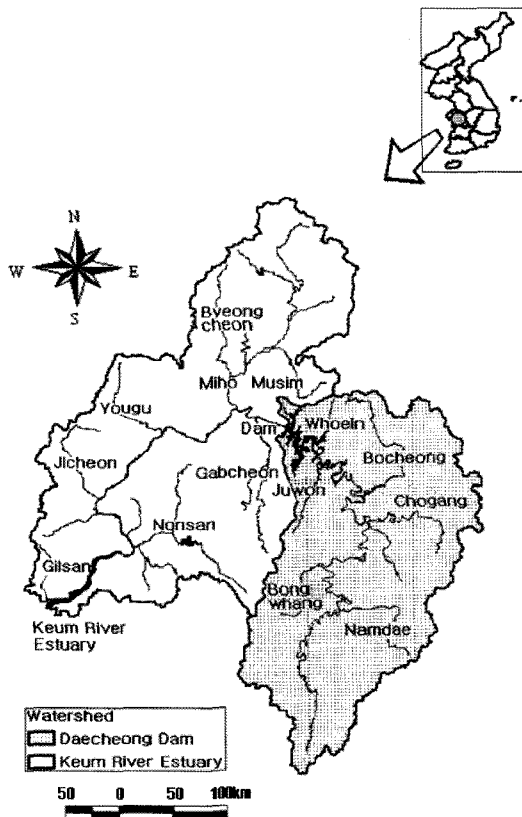


Fig. 1. The geography of Geum River Estuary watershed.

성을 동시에 지니므로, 본 연구의 목적에 적합하여 대상 유역으로 선정하였다. 금강하구 유역은 행정구역상 대전광역시, 충청남북도, 전라북도 일부를 포함하며 유역면적이 약 5,700 km²(2,257개 동리)이다. 유역인구는 총 264만여 명(1998), 축산 사육두수는 총 830만여 두(1998), 산업현황은 총 1,353 업소(1일 폐수발생량 16만4천 m³/day)이다. 대형댐 방류지점부터 금강하구로 유입될 때까지 유로연장 약 140.0 km에 이른다. 금강본류를 거쳐 금강하구로 유입되는 주요 지천으로는 갑천, 미호천, 용수천, 대교천, 정안천, 유구천, 지천, 은산천, 금천, 석성천, 논산천, 길산천이 있다(Fig. 1).

2.3. 기상자료

금강유역의 중심인 대전축후소의 1997년 평균 기온은 12.9°C로 나타났고, 1월이 가장 낮은 -2.4°C, 8월이 가장 높은 26.0°C로 나타났었다. 1999년 평균 기온은 13.0°C로 나타났고, 1월이 가장 낮은 -0.3°C, 8월이 가장 높은 25.64°C로 나타나, 년 평균의 변동폭은

±1°C 정도로서 크지 않다(Korea Meteorological Administration, 1997; 1998; 1999). 대전 축후소의 총 강수량은 1997년 1,765 mm, 1998년 2,070 mm, 1999년 1,455 mm로 나타났는데, 1998년 강수량은 1999년보다 615 mm 정도 더 많은 것으로 나타났다.

강수량의 분포는 5월부터 8월까지 집중되어 1997년 72%, 1998년 67%, 1999년 50%로 나타났으며, 1998년 이 월별 편차가 가장 컸으며, 태풍 등으로 인한 폭우로 7-9월의 강우량이 최대를 보였다.

2.4. 오염원 및 원단위

조사된 오염원은 양식장, 토지이용, 미처리 사업장, 하·폐수처리장, 인구, 축산 현황으로 구분하여 동리별로 정리하였고(Ministry of Environment, 2000), 해당 동리의 오염부하가 어느 구획으로 배출되는지 표시하였다. 배출원단위는 연구자나 연구기관 별로 그 발표 결과가 상이하므로, 환경부의 오염총량관리 기준 원단위(Ministry of Environment, 1999b)를 사용하여 오염부하량 산정의 객관성을 유지하였다.

2.5. 유량 자료

유량자료는 건설부 측정망 유량이며, 유량연보(Ministry of Construction and Transportation, 1997; 1998; 1999) 및 수문자료집(Korea Water Resources Corporation, 1997; 1998; 1999)에 일별로 수록된 자료를 사용하였다.

또한 공업용수 취수량, 하·폐수처리장 방류량, 유량자료가 존재하는 농업용 취입보, 양수장의 일별 유량이 물수지 계산에 사용되었다. 유량자료 중 1998년 자료는 모형의 보정에 사용하였으며, 1997년 및 1999년 자료는 모형의 검증에 각각 사용되었다.

1998년 금강하류의 하천유량은 매포, 공주, 강경지점에서 연평균 179.4 m³/s, 281.6 m³/s, 842.7 m³/s를 보였으며, 8월 중순의 홍수시에 3925.0 m³/s로서 전체 유량의 25%를 차지하였다. 금강하구 유역의 강경지점 유량도 공주지점과 강경지점 사이에 별다른 유입원이 없으나, 연초인 1월에도 하천유량이 600 m³/s를 초과하는 자료를 보인다. 이러한 연유로, 미계측 유역에 대한 유량은 이상값을 제거한 후 이용하였다.

2.6. 수질 자료

사용한 자료는 환경부 측정망 수질이며, 환경연감에

월별로 수록된 자료를 사용하였다(Ministry of Environment, 1997; 1998; 1999). 수질자료 중 1998년 자료는 모형의 보정에 사용하였으며, 1997년 및 1999년 자료는 모형의 검증에 각각 사용되었다.

공주지점의 1997년 연평균 BOD는 3.7 mg/L, 1998년 2.5 mg/L, 1999년 2.7 mg/L 이었으며, 강경지점의 1997년 연평균 BOD는 3.6 mg/L, 1998년 2.8 mg/L, 1999년 3.5 mg/L 이었으며, 두 지점의 1998년 TN 평균은 각각 3.63 mg/L, 3.87 mg/L, 1998년 TP 평균은 각각 0.121 mg/L, 0.129 mg/L로 나타났다.

BOD와 TN, TP 모두 공주지점, 강경지점으로 갈수록 상승하는 경향을 보이는데, 이는 대청댐 방류 후, 대전시와 공주시 등 도시지역을 통과하면서 유입된 생활하수 및 공단폐수의 영향으로 판단된다. 특히, 7월~9월의 경향을 보면, 강우 패턴과 반비례함을 알 수 있으며, 홍수가 있었던 1998년의 수질이 다른 년도에 비하여 현저히 낮아짐을 보여, 이는 고농도의 도시유출수가 강우로 인한 유입수에 희석되어 나타난 결과임을 뒷받침하는 것으로 보인다.

2.7. 하도 제원

금강하구 유역의 하천분류 구간 평균 하폭은 하천구간 230 m, 하구언 구간 900 m이었으며, 하구언 부근은 1200 m 정도로 조사되었고, 평균수심은 하천구간 1.7 m, 하구언 구간 3.4 m이었으며, 하구언 부근은 6.0 m 정도로 조사되었다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 구획의 구성

구획의 크기는 하천구간을 Fig. 2와 같이 2 km로 균등하게 분할하였으며, 금강분류 구간을 70개, 유입지천구간 424개의 격자를 갖도록 구성하였다. 상·하류경계는 분할된 148개 소유역 유입지점, 대청댐방류 1지점, 취수원 57지점, 처리장방류 15지점과 금강하구 1지점으로 구성하였다. 여기서, I는 상수, 농업 및 공업용수 취수장, D는 생활하수, 공장폐수, 축산폐수처리장, Q는 유량 측정망, C는 수질 측정망의 위치를 나타낸다.

3.2. 모형적용결과

3.2.1. 부하모형

부하모형(Load-M)은 소유역의 양식장, 토지이용,

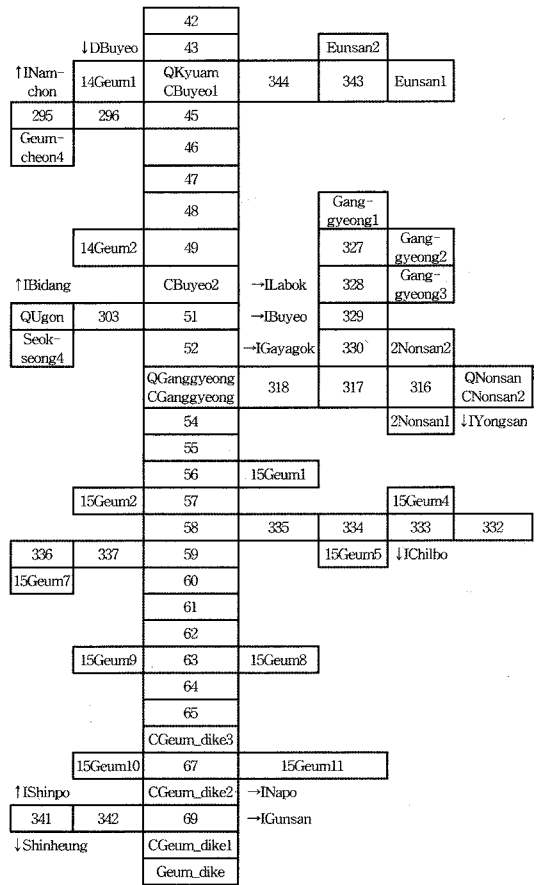


Fig. 2. Segmentation of Geum River estuary watershed for modeling.

미처리 사업장, 하·폐수처리장, 인구, 축산 현황 자료와 각각의 배출원단위를 이용하여 일(월)별 배출부하량을 계산한다. 계산된 배출부하량을 수질관측지점의 실측유달부하량과 비교하여 구한 수질관측지점 유역의 실측유달율을, 유역의 특성인 유량, 면적 등의 관계식으로 부터 구한 부하함수의 회귀계수와 소유역의 특성을 사용하여 미계측 상류 소유역에 적용시킴으로써, 소유역별 유달부하량을 구한다. 배출부하량은 오염원과 해당 원단위를 곱하여 구하였으며, 토지용도별 배출부하량은 강우량에 비례한다고 가정하여 년 강우량에 대한 원 강우량의 비율로써 가중치를 주었다. Fig. 3에서 보듯이 BOD, TN, TP의 총 유달부하량의 상대오차는 각각 44%, 32%, 26%이고 상관계수는 0.91, 0.96, 0.87을 보였다.

이는 유역의 크기가 증대됨에 따라 각각의 자료의 개수가 증가하므로, 비유량의 계산에서부터 누적된 소

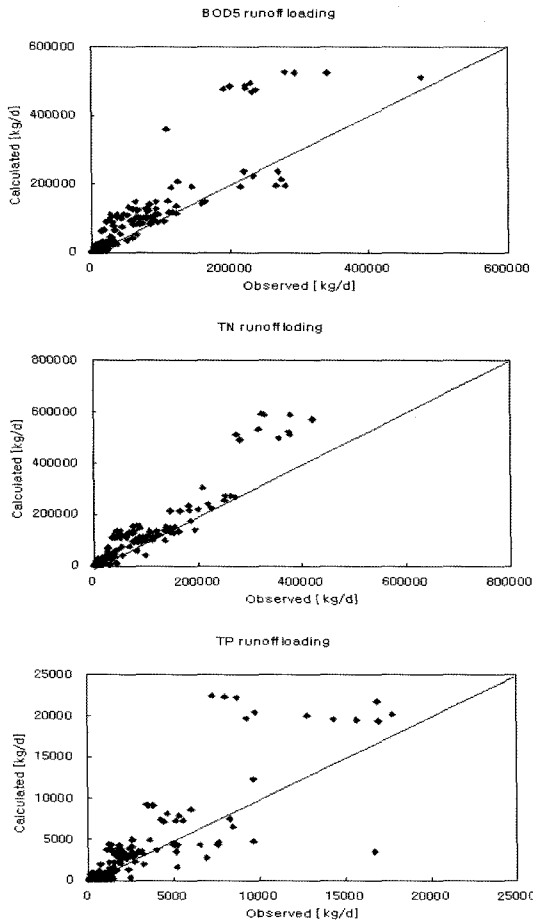


Fig. 3. Comparison of observed and calculated runoff loadings of BOD, TN and TP in Geum River estuary watershed.

유역 부하량의 오차 때문으로 판단된다. Fig. 3에서 보듯이 1:1 선 위쪽에 분포하는 계산결과들은 유달을 계산에서 수질측정 날짜와 유량 날짜와의 불일치, 원 단위의 획일성, 비유량의 오류로부터 기인된 것과 관련이 있다.

실측유달을 산정에 필요한 수질농도와 유량자료에 있어서, 수질측정지점 중 유량관측자료가 존재하지 않는 지점이 전체의 48지점 중 37지점이므로, 부득이하게 비유량 방법을 통해 유량을 계산하였을 뿐만 아니라, 유량이 존재하더라도 환경연감의 수질자료는 월 자료로만 명시되어 있어 현 상황에서 정확한 유달부하량을 계산하는 데는 한계가 있었다. 특히, TP에서 분산이 크게 나타나는 이유는 TP의 유달 특성이 유량과 거리가 멀기 때문이다(Kwon, 1998).

이와 같은 결과를 볼 때, 자료의 분산이 나타나기는

하나, 제한된 자료로부터 실측치와 계산치가 유사한 경향을 가지므로 미계측 유역에 적용이 가능하다고 판단된다.

3.2.2. 수리모형

수리모형(DYN-M : Modified-DYNHYD5)은 소유역의 유출·유입량을 입력자료로 하여 계산구획별 유속, 수심을 계산한다. DYNHYD5와 다른 점에는 상류와 하류조건이 Junction번호의 크기에 따라 내부에서 뒤바뀌는 것과 출력화일(*.DDF 및 *.HYD)의 Junction 유량 결과 출력을 정정한 것이 있으며, 입력 가능한 가변유량의 개수를 충분히 확장하여 하천의 지류가 다수 존재할 경우에도 적용할 수 있도록 하였고, 시간별 관심구획의 유량, 수위, 유속, 부피를 별도로 출력하게 함으로써, 통계처리나 도표 작성이 편리하도록 하였다. 소유역의 유량이 존재하지 않으므로, 부하모형에서 계산한 비유량을 입력하여 계산구획별 유속, 수심을 계산하였으며, 수리모형의 보정계수는 Manning의 n과 계산시간 간격이 있으며, 조도계수의 경우 하천구간은 0.030, 하구연구간은 0.020으로 하였으며, 계산시간 간격은 60초로 하여 보정하였다.

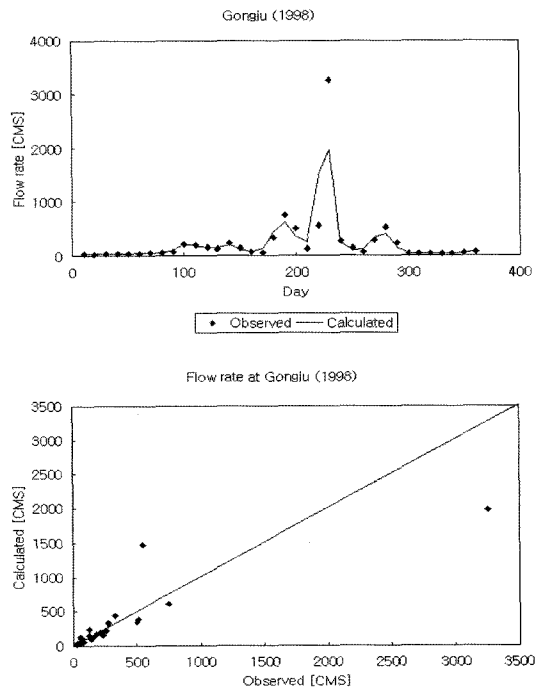


Fig. 4. Comparison of observed and calculated flow rate at Gogju in 1998.

공주지점의 결과는 Fig. 4와 같으며, 실측값과 계산값의 상관계수는 0.88로 나타나, 보정 및 검증의 결과와 비슷한 정도를 보였다.

오차의 주된 원인은 수리계산에 필요한 유량자료에 있어서, 경계조건으로 분류되는 상류 소유역의 유량 관측자료가 없으므로 비유량 방법을 이용하였기 때문이다.

또한 1999년이나 1997년에 비해 상관계수가 작은 것은 1998년에 집중호우 및 태풍 등의 영향으로 하천 유입유량의 급격한 변동이 있었기 때문이다.

수리계산에 필요한 유량자료에 있어서, 경계조건으로 분류되는 상류 소유역의 유량 관측자료가 존재하지 않으므로, 부득이하게 비유량 방법을 이용하였으나, 별다른 유출입 유량이 없는 경우에도 하류에서 유량이

급등하여 실제 상황을 정확히 재현하는데는 어려움이 따른다. 이러한 특이값을 제거한 후, 측정지점에 대한 비유량을 각각 구하고 이들 비유량의 평균을 사용하였으나, 현재 가용한 자료의 제한성으로 더 나은 결과를 계산할 수 없었다.

위와 같은 결과를 볼 때, 실측값에서 자료의 왜곡이 보여지고, 계산값이 실측치와 차이가 있기는 하나, 현재 가용한 자료로부터 모의발생한 수리계산결과는 실측치와 계산치가 일관된 경향을 보이므로 수질예측에 큰 무리가 없다고 판단된다.

3.2.3. 수질모형

수질모형(EUT-M : Modified-EUTRO5)은 하천 및 호수에서 설정된 구획별 수질을 시계열로 모의한다.

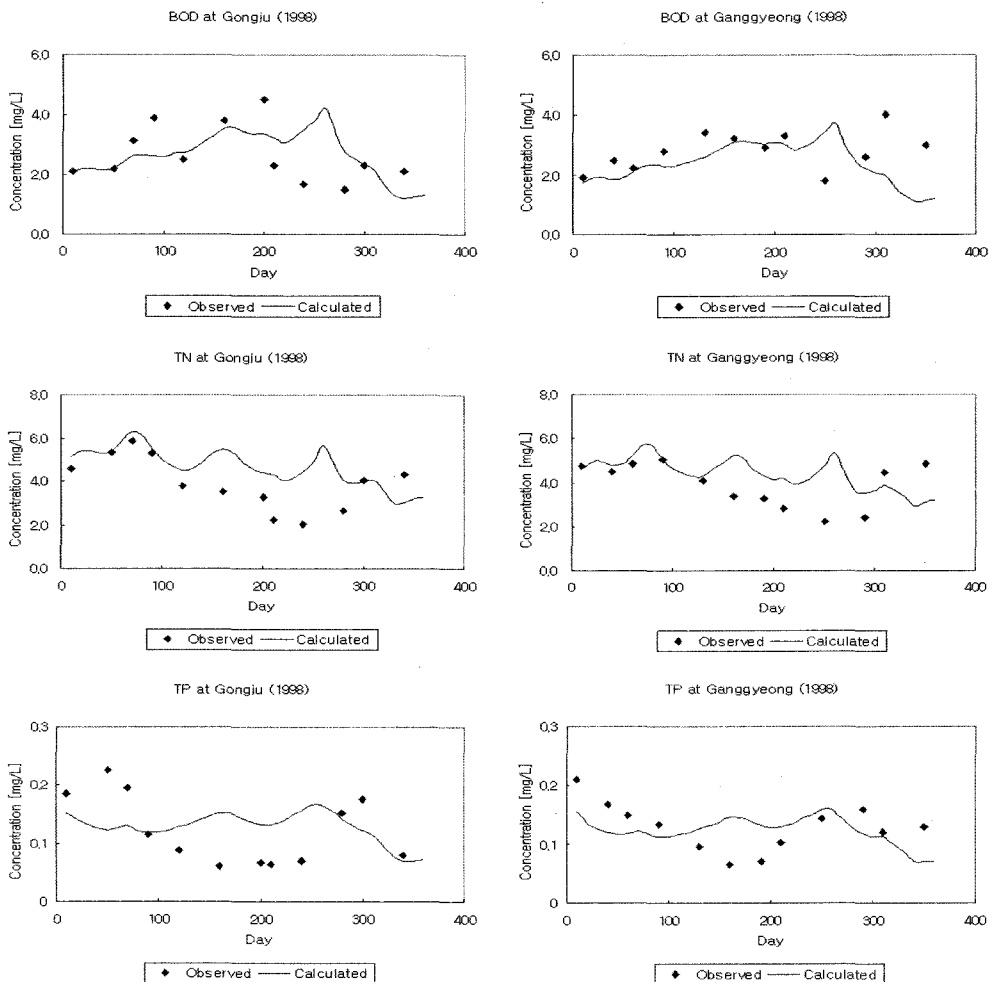


Fig. 5. Comparison of observed and calculated concentration of BOD, TN and TP at Gongju and Ganggyeong in 1998.

EUTRO5와 다른 점에는 변수의 배열을 충분히 확장하여 하천의 지류가 다수 존재하는 대규모 수계에도 적용할 수 있도록 하였으며, 시간별 관심구획의 수질 결과를 별도로 출력하게 함으로써, 통계처리나 도표 작성이 편리하도록 한 것이 있다. 또한, 하천모형인 QUAL2모형처럼 수리조건 및 지형조건에 따라 구획별로 반응계수를 입력할 수 있도록 하고, 국내에서 측정하는 항목으로 경계조건의 수질을 변경하여 내부에서 계산되는 CBOD, ON, OP의 값을 입력한 BOD, TP, TP, Chl-a로써 자동 계산하도록 하였다. 경계농도 변경에 따른 계산은 다음의 식 (6)~(8)을 이용하였다.

$$BOD_5 = CBOD(1 - e^{-5k_{r1}}) + \frac{64}{14}NH_4(1 - e^{-5k_{r1}}) + k_{g1}k_{46} \frac{Chl-a}{1000}(1 - e^{-(k_{50} + k_{52})}) \quad (6)$$

$$TP-PO_4 = a_{pc} * a_{pc} * \frac{Chl-a}{1000} + OP \quad (7)$$

$$TN-NH_4-NO_3 = a_{nc} * a_{pc} * \frac{Chl-a}{1000} + ON \quad (8)$$

여기서, BOD_5 = 5일간 생물화학적 산소요구량(mg/L), TP =총인 농도(mg/L), TN =총질소 농도(mg/L)이다.

WASP모형의 기본 값을 기초로 반응계수를 선정하고, 수질측정값과 계산값이 일치되도록 조정하였다. EUTRO5 모형에서는 반응상수가 전체 구획에 동일하게 사용되나 EUT-M 모형에서는 반응상수가 계산구획별로 다르게 입력될 수 있으므로 범위로 표시되었다. 경계조건의 반응상수는 0.001로써 최소화시켜 경계지점에서 자체적으로 자정/반응되지 않도록 하였으며 본류구간에 유입된 후에는 다른 연구자의 결과와 EUTRO5 모형의 기본 값으로부터 보정을 시작하였다.

부하모형의 결과인 유달부하량과 수리모형의 결과인 유량을 입력하여, 각각의 수질항목의 반응계수를 조정해가면서 실측값과 계산값의 편차를 줄이는 시행착오법을 사용하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

실측농도와 계산농도차이는 BOD, TN, TP의 상대오차가 각각 57%, 40%, 51%로 나타났다. 공주와 강경의 평균 BOD 농도는 2.6 mg/L 및 2.8 mg/L로 관측되었으며, 모의결과는 각각 2.5 mg/L와 2.4 mg/L로 나타났다.

공주와 강경의 평균 TN 농도는 3.9 mg/L 및 3.9 mg/L로 관측되었으며, 모의한 결과는 각각 4.7 mg/L와 4.4 mg/L로 나타났다.

공주와 강경의 평균 TP 농도는 0.12 mg/L 및 0.13 mg/L로 관측되었으며, 모의한 결과는 각각 0.13

m/L와 0.12 mg/L로 나타났다. 개발모형에 대한 하천구간의 예측에 무리가 없음을 확인하였다.

적 요

유량 및 수질자료가 부족한 미계측 유역의 수질환경평가를 간편하게 수행할 수 있는 대유역 수질관리를 위한 수질모형 Modified-WASP5을 개발하고, 금강하구 수질재현에 활용을 통해 그 적용성을 입증하였다.

Modified-WASP5은 부하모형과, 수리모형, 수질모형으로 구성되어 있으며, 부하모형은 동리 단위로 조사된 점원 및 비점원 자료와 배출원단위를 입력하여 소유역 배출부하량을 계산하고, 이를 통계적으로 구한 유달함수에 대입하여 유달부하량을 출력한다. 부하모형의 결과, 금강하구 유역의 BOD, TN, TP의 총 유달부하량의 상대오차는 각각 44%, 32%, 26%이고 상관계수는 0.91, 0.96, 0.87을 보였다. 위와 같은 결과를 볼 때, 자료의 분산이 나타나기는 하나, 제한된 자료로부터 실측치와 계산치가 유사한 경향을 가지므로 미계측 유역에 적용이 가능하다고 판단된다.

수리계산에 필요한 유량자료에 있어서, 경계조건으로 분류되는 상류 소유역의 유량관측자료가 존재하지 않으므로, 부득이하게 비유량 방법을 이용하였으나, 별다른 유출입 유량이 없는 경우에도 하류에서 유량이 급등하는 등 실제 상황을 정확히 재현하는데는 어려움이 따른다. 이러한 특이 값을 제거한 후, 측정지점에 대한 비유량을 각각 구하고 이들 비유량의 평균을 사용하였으나, 현재 가용한 자료의 제한성으로 더 나은 결과를 계산할 수 없다.

수질모형의 결과, 공주와 강경의 평균 BOD 농도는 2.6 mg/L 및 2.8 mg/L, 모의결과는 각각 2.5 mg/L와 2.4 mg/L로 나타나 개발모형에 대한 호수 및 하천구간의 예측에 무리가 없음을 확인하였다.

이와 같이, 본 연구에서는 하천과 호수가 연계된 수계에 적용이 가능한 동적 수질모형(WASP-M)을 개발하여 WASP5의 범용성을 높였으며, 개발된 부하모형과 수질모형을 이용하여 대청호 및 금강하구 유역에 적용한 결과, 그 적용성이 입증되었으며, 위에서 언급한 과제들이 연구개선될 경우 우리나라 수계에 범용으로 적용가능하고, 미계측 유역의 수질환경평가에 이용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Beasley, D. B., L. F. Huggins, and E. J. Monke, 1980: ANSWERS : A Model for Watershed Planning, *Trans. of ASAE* **23**(4), 938-944. (in Korean)
- Choi J. Y., W. G. Park, Y. H. Park, and H. J. Han, 1995: The Report of Survey Project on Non-point source, KEL. (in Korean)
- Kong, D. S., 1992: Limnological and ecological studies of lake Paldang, Korea University, a thesis for a doctorate. (in Korean)
- Korea Water Resources Corporation, 1997: 1998: 1999: Source book of hydrology. (in Korean)
- Korea Meteorological Administration, 1997: 1998: 1999: A monthly report of meteorology. (in Korean)
- Kwon, S. K., 1998: Management Improvement and Perspective on Nonpoint Sources of Water Pollution in Korea, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **20**(11), 1497-1510. (in Korean)
- Ministry of Construction and Transportation, 1997: 1998: 1999: An annual report of flux. (in Korean)
- Ministry of Environment, 1997: 1998: 1999: An environmental yearbook. (in Korean)
- Ministry of Environment, 1998: Special Management Countermeasures for the Water Quality of Water Resources in Han River Basin, MOE, Division of Water Quality Policy. (in Korean)
- Ministry of Environment, 1999a: Guidelines of TMDLs Plan. (in Korean)
- Ministry of Environment, 1999b: Reports of Water Quality Modeling using Water Policy Supporting System in Geum River Basin. (in Korean)
- Ministry of Environment, 2000: Survey of Pollutant Sources Nationwide and DB Set Up, National Institute of Environmental Research. (in Korean)