

# 영산강 수계의 수질오염도 평가 및 예측

이경훈<sup>1)</sup> · 문병석<sup>2)</sup> · 김태경<sup>3)</sup> ○송형근<sup>4)</sup>

## 1. 서론

본 연구는 국내에서 한강수계, 낙동강수계, 금강수계, 영산강수계 등에 적용한 바 있는 QUAL2E 모형에 시행착오법을 이용하여 매개변수를 추정하였다. 또한, 수리학적 특성치를 유량계수법과 유로단면 이용방법, 두가지 방법으로 모의하여 신뢰도가 높은 방법을 선택하였다. 시행착오법에 의해 매개변수를 보정하고 검증한 수질모형을 이용하여 영산강 본류의 2006년, 2011년의 환경기초시설 미고려시 와 고려시로 나누어 모의하였으며, 영산강 본류의 수질에 가장 영향을 많이 주는 광주천의 오염부하량을 영산강 본류의 수질이 II급수에 만족하기 위한 광주천의 오염부하량을 예측하기 위해 점차적으로 광주천의 오염부하량을 줄여가면서 QUAL2E모형을 모의하였다.

## 2. 본론

### 2.1 대상구역

영산강 유역은 소백산맥 줄기인 노령산맥과 광주를 향해 서쪽으로 뻗어 남해안의 서단측까지 이르는 산맥사이에 위치하고 있는 유역으로서 동경 126 ° 26' ~127 ° 05', 북위 34 ° 48' ~35 ° 29' 사이에 위치하고 있다. 영산강은 섬진강과 분수령을 이루는 노령산맥의 용추봉(EL.570m)에서 수원이 시작되어 대지류인 황룡강 및 지석천과 합류하면서 남서 방향으로 유하하여 목포항 남단을 통하여 서해로 유입되는 하천으로서 한반도의 서남단에 위치하고 있다.

### 2.2 갈수기 수질 및 유량

본 모의는 수질이 가장 악화되는 갈수기를 대상으로 실시하였으며, 환경기초시설 미고려시의 BOD농도는 마륵지점은 III급수, 광주천은 IV~V급수로 나타났으며, 영산강유역의 그 밖의 다른 지역에서는 II급수로 나타났다.

### 2.3 연도별 오염부하량 산정

#### (1) 배수 구역 및 오염원 조사

① 인구 : 영산강의 생활오수 발생량은 인구수와 1인 1일 오수발생량 원단위를 이용하여 산정하였으며 이 때, 오수발생 원단위는 급수량 원단위와 유수율 및 하수발생률을 이용하여 결정한다. 급수

- 
- 1) 전남대학교 토목공학과 교수
  - 2) 서남대학교 토목공학과 조교수
  - 3) 전남대학교 토목공학과 박사과정
  - 4) 전남대학교 토목공학과 석사과정

량 원단위에 따른 오수발생량은 지역 특성을 고려하여 설정된 개별적인 자료를 사용하는 것이 원칙이나 본 연구 대상 구간에서는 개별적인 급수량 원단위를 적용하여 하수발생량을 구한다는 것은 불가능하므로 1인 1일 최대오수발생 원단위를 행정자치부에서 작성한 “중·장기 지방 상수도 종합 계획(1998~2007)” 보고서에 따라 산정하였고, 일반적으로 시와 군의 구분에 따라 급수량 원단위가 구별되므로, 본 연구에서는 이를 고려하여 원단위를 적용하였다.

② 산업 : 배수 구역내 산업 폐수발생량은 각 산업체의 폐수배출량 현황을 조사하여 산정하였다. 산업단지의 오염물질 발생부하량은 각 산업체의 폐수발생량과 폐수의 오염물질농도를 조사하여야 하지만 본 연구에서는 폐수의 오염물질농도를 실측하지 않고 폐수배출 기준농도를 이용하여 부하량을 산정하였다.

③ 축산 : 축산폐수 발생량은 가축의 사육 두수와 축산폐수발생 원단위를 이용하여 산정한다. 본 연구에서 사용한 축산폐수발생 원단위는 “오염 총량관리 계획 수립지침”에서 제시한 자료를 사용하였다.

④ 양식장 : 양식장 이용에 따른 오염물질 발생부하량은 양식장 면적과 이에 따른 오염물질 발생 원단위를 이용하여 산정하며, 본 연구에서는 “오염 총량관리 계획 수립지침”에서 제시한 양식장 이용에 따른 오염물질 발생 원단위를 이용하였다.

⑤ 토지이용 : 배수구역별 토지 이용에 따른 오염물질 발생부하량은 토지 이용별 면적과 토지 이용별 오염물질 발생 원단위를 이용하여 산정하며, 본 연구에서는 “오염총량관리 계획 수립지침”에서 제시한 토지 이용에 따른 오염물질발생 원단위를 이용하였다.

(2) 오염물질 총발생 부하량 산정

발생부하량은 앞에서 설정한 오염원 원단위에 오염원 발생량을 곱해 산정한다. 이에 따라 산정된 총폐수 발생량, BOD 발생부하량, T-N 발생부하량 및 T-P 발생부하량은 표 1에 나타낸 바와 같다.

표1. 영산강 유역의 총발생부하량 산정 결과

구분	1999년	2001년	2006년	2011년
총 폐수발생량( $m^3/day$ )	758,155	829,312	1,053,178	1,281,651
BOD 발생부하량( $kg/day$ )	338,809	357,759	378,298	403,628
T-N 발생부하량( $kg/day$ )	98,703	105,673	117,344	130,329
T-P 발생부하량( $kg/day$ )	22,970	24,700	27,037	29,490

(3) 오염물질 배출(삭감)부하량

오염물질 배출부하량은 발생부하량에서 하수종말처리장, 분뇨종말처리장, 산업폐수종말처리장 및 축산폐수 종말처리장 등 환경기초시설에 의한 오염부하 감소량을 빼고 산정하였다. 배출부하량 산정시 발생된 폐수가 처리되지 않고 그대로 배출될 때에는 미처리 배출부하로, 처리시설에 유입되어 처리되어 배출될 때에는 처리 배출부하로 보았다. 배출부하량 산정 결과는 표 2와 같다.

표 2. 영산강 유역의 배출부하량 산정 결과(단위: kg/day)

구분	1999년	2001년	2006년	2011년
BOD 배출부하량	88,733	86,209	86,295	114,669
TN 배출부하량	58,793	62,531	79,800	95,019
TP 배출부하량	9,037	9,184	13,235	14,459

(4) 유달률 및 유달부하량 산정

유달부하량이란 오염 발생원에서 오염부하가 처리시설에 의해 삭감되어 배출된 부하가 배수유역에 유하하면서 미생물에 의한 유기물 분해, 흡착 및 침전과정 등을 통하여 줄어든 후 대상하천에 도달하는 부하량을 말한다. 영산강 유역별 배출 부하량과 실측 유량 및 수질을 이용하여 유달률을 산정한 결과, 본류 구간인 BOD 유달률은 33%, TN은 50%, 그리고 TP는 37%로 추정되었으며, 이를 이용한 유달부하량 산정 결과는 표 3과 같다.

표 3. 영산강 유역의 유달부하량 산정 결과(단위: kg/day)

구분	1999년	2001년	2006년	2011년
BOD 유달부하량	17,812	16,534	16,062	18,908
TN 유달부하량	18,808	19,241	22,452	25,552
TP 유달부하량	1,607	1,562	1,976	2,163

2.4 수질예측 모형의 입력 자료 구성

(1) 수질 예측 구간 설정 : 하도 구간 구분은 대체적으로 수리 또는 지형 특성을 위주로 분할하였고, 생물학적·화학적 분해 속도 등이 일정하고 모형의 매개변수 보정에 이용할 수 있는 수질과 유량 측정 자료가 비교적 충분한 지점 및 지류 합류 지점 등을 중심으로 구분하였다. 영산강 본류에 대한 수질예측은 유로 연장 약 105.5km(담양댐~하구둑)이며, 소구간 요소는 하도 길이 0.5km 간격으로 설정하였으며, 14개 Reach와 총 211개의 소구간으로 구분하였다

(2) 연도별 목표 수질 : 2002년 이후 영산강 본류에 대한 목표 수질을 모두 II급수를 만족하기 위해 가장 오염이 심한 광주천의 오염부하량을 삭감하면서 모의 하였다.

(3) 입력자료 구성 : QUAL2E모형에서 일단 유량평형이 결정되었다면, 각 요소에 대한 수리·수문 특성을 결정하는 것이 필요하다. 특히, 유속, 수심 및 단면적을 결정해야한다. 계산요소의 수문학적 특성치와 유량과의 관계는 두가지 방법으로 다루었다. 본 연구에서 QUAL2E모형에 적용되는 수리학적 특성을 두가지 방법으로 모의 하여 신뢰도가 높은 방법을 선택하기로 했다. 첫 번째 방법으로 하천의 단면 자료를 사용하지 않는 유량계수법으로 멱급수 관계식을 통해 a, b,  $\alpha$ ,  $\beta$ 의 경험적인 상수가 수위-유량 관계곡선과 유속-유량 관계곡선에 의해 결정되어지면 흐름의 단면적은 연속방정식으로부터 구해지는 방법과 두 번째, 유로단면 이용방법으로 Manning의 방정식을 사용하는 방법은 사다리꼴 단면에서 수로 특성치와 유량을 상관시키는 경우 적용될수 있다. 첫 번째 방법으로 하천의 단면 자료를 사용하지 않는 유량계수법을 사용하였으며, 유량계수는 영산강유역 유량측정조사 보고서와 건설교통부 한강홍수통제소 “물정보시스템”의

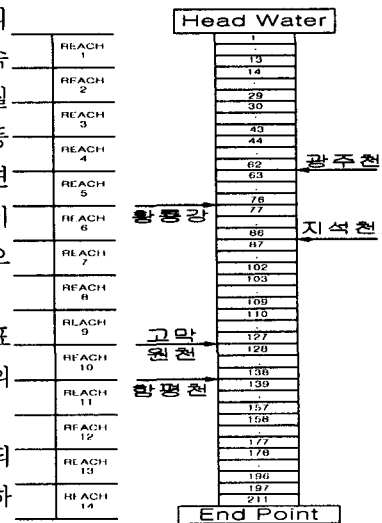


그림 1.대상구간의 모식도

구에서 QUAL2E모형에 적용되는 수리학적 특성을 두가지 방법으로 모의 하여 신뢰도가 높은 방법을 선택하기로 했다. 첫 번째 방법으로 하천의 단면 자료를 사용하지 않는 유량계수법으로 멱급수 관계식을 통해 a, b,  $\alpha$ ,  $\beta$ 의 경험적인 상수가 수위-유량 관계곡선과 유속-유량 관계곡선에 의해 결정되어지면 흐름의 단면적은 연속방정식으로부터 구해지는 방법과 두 번째, 유로단면 이용방법으로 Manning의 방정식을 사용하는 방법은 사다리꼴 단면에서 수로 특성치와 유량을 상관시키는 경우 적용될수 있다. 첫 번째 방법으로 하천의 단면 자료를 사용하지 않는 유량계수법을 사용하였으며, 유량계수는 영산강유역 유량측정조사 보고서와 건설교통부 한강홍수통제소 “물정보시스템”의

수위, 유속, 유량 자료를 이용하여 회귀식을 작성하여 추정했다.

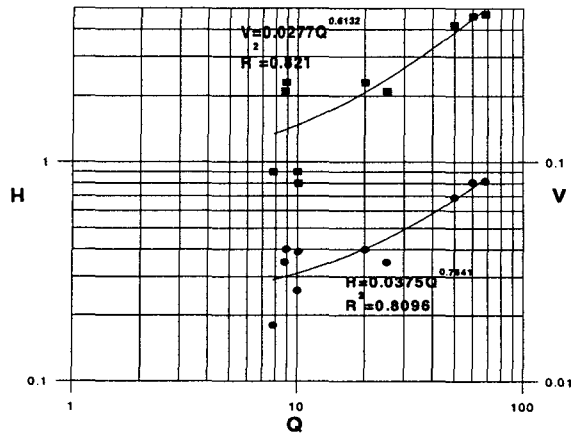


그림 2. 본동 유량계수 산정을 위한 회귀곡선

그림 2는 본동 유량계수 산정을 위한 회귀곡선을 나타내었다. 본동의 경우  $V=0.0277 Q^{0.6132}$ ,  $H=0.0375 Q^{0.7541}$ 로 나타났다.

두 번째 방법으로 유로단면 이용방법으로 하도를 사다리꼴 단면으로 보고, 하상 바닥폭과 조도계수, 좌우측 하안경사 및 하상경사를 입력하는 사다리꼴 하도(Trapezoidal Channels)옵션의 방법을 통해 모의하였다. 또한 좌우측 하안경사는 1:1로 입력하여 모의하였다.

## 2.5 수질을 고려한 오염부하량 삭감량 산정

### (1) 모형의 보정 및 검증

매개 변수 추정을 위한 모형의 보정과 검증에 사용된 실측 수질과 유량 자료는 건설교통부와 익산지방국토 관리청의 1차~4차까지의 수질, 유량 자료를 이용하였다. 모형의 보정은 실측치와 계산치가 잘 일치할 수 있도록 시행착오법을 이용하여 반복 실시했으며, 첫 번째로 하천의 단면 자료를 사용하지 않는 유량계수법을 적용한 경우, 두 번째로 유로단면 이용방법인 사다리꼴 하도(Trapezoidal Channels)옵션의 방법을 적용한 경우를 보정, 검증하였다. 그림 3과 그림 4은 첫 번째를 적용하여 보정과 검증을 하였다. 그림 5와 그림 6은 두 번째를 적용하여 보정과 검증을 하였다. 보정과 검증결과 첫 번째 방법이 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 첫 번째 방법으로 QUAL2E모형을 모의하기로 하였다.

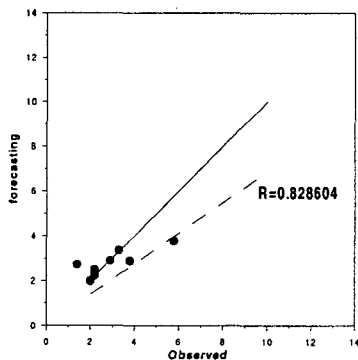


그림 3. 보정결과(유량계수법)

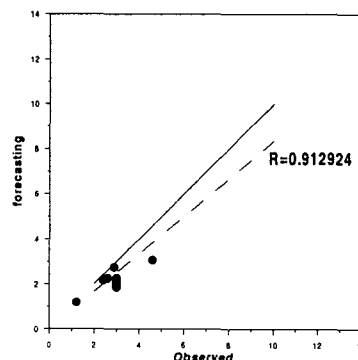


그림 4. 검증결과(유량계수법)

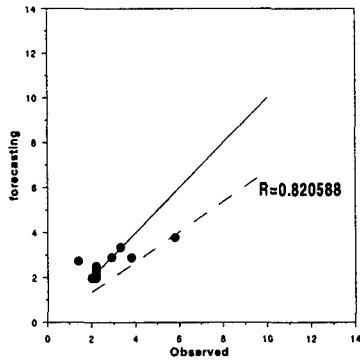


그림 5. 보정결과(유로단면 이용방법)

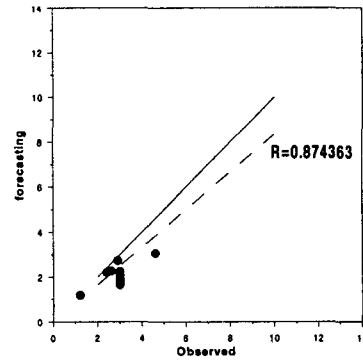


그림 6. 검증결과(유로단면 이용방법)

(2) 수질 예측

① 환경기초시설 미고려시의 수질예측

장래 2006년, 2011년 수질예측결과 영산강유역 상류부에서 약 30km지점까지 II급수를 나타내었으며, 광주천 유입 부근에서 극도로 수질이 악화되어 약 30km 지점으로부터 영산강 하류까지 거의 III급수로 나타났다.

② 환경기초시설 고려시의 수질예측

장래 2006년 수질예측결과 영산강유역 상류부에서 약30km지점까지 II급수를 나타내었으며, 광주천 유입 부근에서 극도로 수질이 악화되어 약 30km 지점으로부터 약 50km까지 III급수를 나타내다가 약 50km부터 영산강 하류까지 거의 II급수로 나타났다. 장래 2011년은 영산강유역 상류부에서

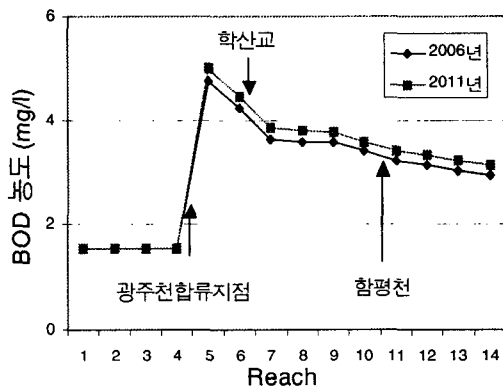


그림 7. 환경기초시설 미고려시

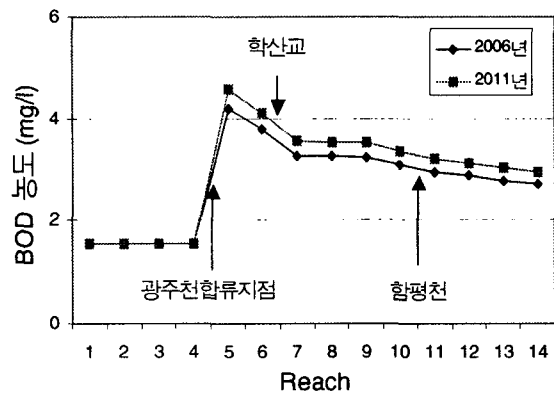


그림 8. 환경기초시설 고려시

약 30km지점까지 II급수를 나타내었으며, 광주천 유입 부근에서 극도로 수질이 악화되어 약 30km 지점으로부터 영산강 하류까지 거의 III급수로 나타났다.

③ 영산강 본류에 가장 영향을 많이 미치는 광주천의 오염부하량을 점차적으로 삭감하면서 모의한 결과, 2006년 광주천의 BOD농도는 V급수인  $8.13 \text{ mg/l}$ , 40%저감시 III급수인  $4.878 \text{ mg/l}$ , 2011년 광주천의 BOD농도는 V급수인  $8.96 \text{ mg/l}$ , 50%저감시 III급수인  $4.48 \text{ mg/l}$  일때 영산강 본류 전체수질이 II급수를 만족하는 것으로 나타났다.

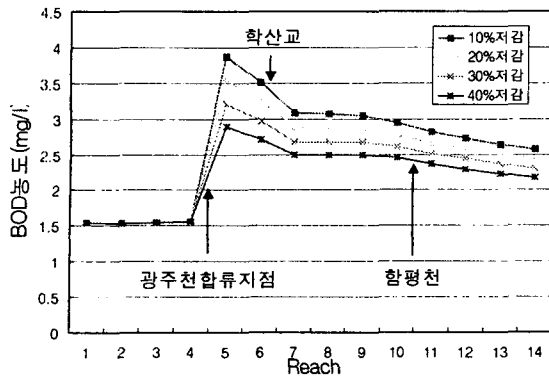


그림 9. 2006년 BOD농도 저감시

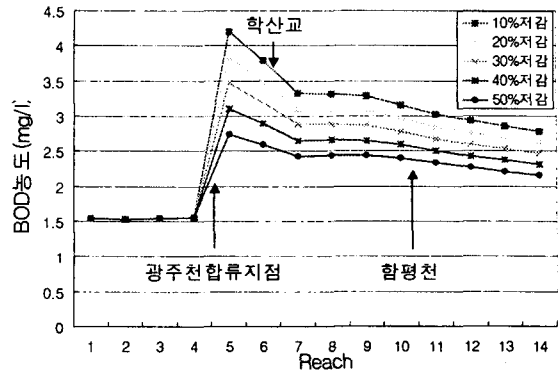


그림 10. 2011년 BOD농도 저감시

### 3. 결론

- 1) 영산강 본류를 QUAL2E모형으로 수리학적 특성치와 관련 해서 두 가지 방법으로 모의 한 결과 본 연구에서는 유로단면 이용방법은 보정, 검증결과 상관계수는 각각 0.820588, 0.874363이며, 유량계수법은 각각 0.828604, 0.912924로 나타나 유량계수법을 이용한 방법이 신뢰도가 높은 것으로 나타났다.
- 2) 환경기초시설 미고려시는 장래 2006년, 2011년 수질은 광주천 유입 부근에서 수질이 극도로 악화되어 약 30km 지점으로부터 영산강 하류까지 거의 III급수로 나타났다.
- 3) 환경기초시설 고려시는 2006년은 광주천 유입 부근에서 수질이 극도로 악화되어 약 30km 지점으로부터 약 55km 지점까지 III급수를 나타내다가 고막원천 부근에서 다시 II급수로 나타났다. 또한, 장래 2011년은 영산강유역 상류부에서 약 30km지점까지 II급수를 나타내다가 광주천 유입 부근에서 수질이 극도로 악화되어 약 30km 지점으로부터 영산강 하류까지 거의 III급수로 나타났다.
- 4) 2006년 환경기초시설 고려시에는 광주천의 BOD농도는 V급수인  $8.13 \text{ mg/l}$  에서 40%저감하였을 경우 영산강 본류의 수질이 전체 구간에서 모두 II급수를 만족하였으며, 2011년에서도 영산강 본류의 수질이 II급수를 만족시키기 위해서는 광주천의 2011년 BOD농도를 50% 저감시켜야 한다.

### 4. 참고문헌

- 1) 건설교통부, 익산지방 국토관리청(1999), 영산강,섬진강 수계 하천수 사용실태
- 2) 행정 자치부,중,장기 지방 상수도 종합계획(1998~2007)보고서
- 3) 환경부, 오염총량관리 계획 수립지침
- 4) 영산강 유역 유량측정조사 보고서
- 5) 건설교통부 한강 홍수통제소, 물정보 시스템
- 6) 환경부(1996), 환경통계연감