

# 갈수기 실측 유량을 활용한 낙동강 부정류 해석 및 검증

## Unsteady Flow Analysis and Verification

### Using the Dry Season Discharge in Nakdong River

한건연\*, 정제호\*\*, 김지성\*\*\*, 최현구\*\*\*\*

Kun Yeun Han, Je Ho Jung, Ji Sung Kim, Hyun Gu Choi

#### 요 지

낙동강은 대표적인 수지상 하천망의 형태로서 댐 방류량, 낙동강 하구언의 수위조절, 지류 유입량, 비점원 유입량 등 계산영역 경계에서의 비정상상태의 수리조건과 수질관리 계획에 의해 일률적으로 오염이 부하되는 정상상태의 수질조건이 공존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 부정류 수질해석의 선행연구로 갈수기 및 저수기에서 안정한 해를 제공할 수 있는 부정류 수리모형을 개발하였으며, 낙동강에서 실측된 유량 자료를 활용하여 개발된 모형의 적용성을 검증하였다. 또한 기존 범용 부정류 수질모형의 수리해석 결과와 비교하여 부정류 수리해석의 필요성을 확인하였다. 낙동강 물환경연구소에서 2004년, 2005년 환경기초조사사업의 일환으로 실측한 유량자료에 의한 본 모형의 모의결과, 동적 저유량의 낙동강 본류 유량 변동 특성을 정확히 모의하고 있는 것으로 판단되었으나 기존 정적 수질 모형에 의한 해석결과는 실측유량, 유속과 수리수심 등에 있어서 동적 해석 결과와 차이를 보이고 있으며, 이는 오염물의 종방향이송과 종확산계수 및 재포기계수 산정에 큰 영향을 미치는 유속, 수리수심 등의 수리량이 실제값과 상이하게 계산되어 수질해석의 불확실성을 가중시키는 결과를 도출하게 될 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 갈수기, 낙동강, 부정류해석

#### 1. 서 론

최근 환경부에서는 낙동강 유역의 오염총량관리제도의 시행에 따라 이제까지의 배출구 수질기준으로부터 총량수질기준을 통한 수질관리를 실시하고 있다. 오염총량관리를 실행하기 위해서는 주요지천 및 폐수처리장에서 수질개선 및 비점오염원 관리가 선행되어야 하는데 이를 효율적으로 제어하기 위해서 낙동강 유역에 적합한 최적 수질해석 모형의 개발이 요구되는 상황이다. 수질모형의 가장 큰 목적은 유역으로부터 발생한 오염물이 하천으로 유입되었을 때 하천 수질 및 생태계의 수학적 표현을 통해 장래의 수질을 예측하고, 예측된 결과에 따라 합리적인 수질관리대책을 수립하는 것이다.

낙동강은 대표적인 수지상 하천망의 형태로서 댐 방류량 및 지류유입량은 본류 수계에 직접적인 영향을 미치며, 수질해석의 기본이 되는 수리계산에 매우 중요한 변수가 된다. 또한, 대구, 구미, 왜관, 김천 등에서의 오염부하가 금호강, 남강 등의 주요 지류를 통하여 본류부로 유입되고 있으며, 하류부 칠서, 원동, 매리, 물금 등에서는 대량의 하천수를 취수하여 부산, 울산, 마산, 창원 지역 등의 생활 및 공업용수의 원수로 사용하고 있다. 다시 말해서 댐 방류량, 낙동강 하구언의 수위조절, 지류 유입량, 비점원 유입량 등 계산영역 경계에서

\* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : kshanj@knu.ac.kr

\*\* 낙동강 물환경연구소 연구사 · E-mail : jungjeho@me.go.kr

\*\*\* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : jisungk@gmail.com

\*\*\*\* 경북대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : honorguard99@msn.com

비정상상태의 수리조건과 수질관리 계획에 의해 일률적으로 오염이 부하되는 정상상태의 수질조건이 공존하고 있는 실정이다. 그러나 지금까지의 낙동강 유역에서의 수질해석은 주로 HEC-RAS 등을 활용한 부등류 해석에 의해 하천 흐름특성을 파악하고, 이를 QUAL2E 등 정상상태 수질해석 모델에 적용하여 해석하는 단순연구에 그쳐 수질 해석을 위해서 요구되고 있는 다양하고 정교한 결과를 제시하지 못하고 있다. 낙동강 유역에서는 비정상상태의 수리영향을 포함하여 수질해석을 실시하여야 하는데, 이를 위해서 수치해석기법에 의한 연속방정식, 운동량 방정식 및 수질방정식에 근거하여 낙동강유역 특성에 적합한 동적 수질모델의 개발이 필요한 상황이다. 특히, 예기치 못하게 허용기준을 초과한 과도한 오염 부하량이 발생할 경우 이로 인한 시간경과에 따른 하천영향 파악은 필수적이다.

본 연구에서는 부등류 수질해석의 선행연구로 갈수기 또는 저수기 저유량의 다양한 하천조건에서 발생하는 흐름을 안정적이면서도 효율적으로 계산할 수 있는 새로운 부등류 수리모형을 개발하였다. 개발된 수치모형에서는 일반적으로 수질해석에 사용되는 근사화된 사다리꼴 하도단면을 사용하지 않고, 계산의 정확도를 높이기 위해서 낙동강의 불규칙한 하도단면을 그대로 반영하였으며, 낙동강에서 실측된 유량자료를 활용하여 개발된 모형의 적용성을 검증하였다. 또한 기존 범용 부등류 수질모형의 수리해석 결과와 비교하여 부등류 수리해석의 필요성을 확인하였다.

## 2. 동적 수리모형의 기본이론

본 연구모형은 1차원 동적 수리 해석으로 위하여 St. Venant 방정식을 지배방정식으로 하였으며 식 (1), (2)로 표현된다.

$$\frac{\partial(s(A+A_o))}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(sQ)}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2/A)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial H}{\partial x} + S_f + S_e\right) = 0 \quad (2)$$

여기서,  $A$ 와  $A_o$ 는 흐름단면적과 저류단면적이며,  $\beta$ 는 운동량 보정계수이다.  $g$ 는 중력가속도,  $H$ 는 수위,  $Q$ 는 유량이다.  $s$ 는 사행계수이며,  $S_e$ 와  $S_f$ 는 각각 단면 확대·축소에 의한 손실경사와 마찰경사이다.

식 (1), (2)의 비선형 쌍곡선형 편미분방정식을 가중 4점 음해법(Fread, 1988)으로 전개하여 식 (3), (4)와 같은 유한차분모형을 구성하였다.

$$\left[ \frac{(s(A+A_o))_i^{j+1} + (s(A+A_o))_{i+1}^{j+1} - (s(A+A_o))_i^j - (s(A+A_o))_{i+1}^j}{2\Delta t_j} \right] + \theta \left[ \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_j} \right] + (1-\theta) \left[ \frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_j} \right] = 0 \quad (3)$$

$$\left[ \frac{(sQ)_i^{j+1} + (sQ)_{i+1}^{j+1} - (sQ)_i^j - (sQ)_{i+1}^j}{2\Delta t_j} \right] + \theta \left[ \frac{(\beta Q^2/A)_{i+1}^{j+1} - (\beta Q^2/A)_i^{j+1}}{\Delta x_j} \right] + (1-\theta) \left[ \frac{(\beta Q^2/A)_{i+1}^j - (\beta Q^2/A)_i^j}{\Delta x_j} \right] + \theta \left[ g\bar{A}^{j+1} \left\{ \frac{H_{i+1}^{j+1} - H_i^{j+1}}{\Delta x_j} + \bar{S}_f^{j+1} + S_e^{j+1} \right\} \right] + (1-\theta) \left[ g\bar{A}^j \left\{ \frac{H_{i+1}^j - H_i^j}{\Delta x_j} + \bar{S}_f^j + S_e^j \right\} \right] = 0 \quad (4)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \overline{A} &= \frac{(A_i + A_{i+1})}{2} & \overline{S_f} &= \frac{n^2 |\overline{Q}| \overline{Q}}{\phi^2 A^2 R^{4/3}} & \overline{S_f} &= \frac{|\overline{Q}| \overline{Q}}{K^2} & \overline{K} &= \frac{(K_i + K_{i+1})}{2} \\ \overline{Q} &= \frac{(Q_i + Q_{i+1})}{2} & \overline{R} = \overline{D} &= \frac{\overline{A}}{B} & \overline{R} &= \frac{\overline{A}}{P} & \overline{B} &= \frac{(B_i + B_{i+1})}{2} & \overline{P} &= \frac{(P_i + P_{i+1})}{2} \end{aligned}$$

### 3. 낙동강 유역에 동적 수리모형의 적용

#### 3.1 대상구간과 적용기간

낙동강 유역에 대한 모형의 적용구간은 상류부의 경상북도 안동시 풍천면 기산리 구담교(낙본C)에서 경상남도 김해시 대동면 월촌양수장(낙본K)에 이르는 275.25km 구간이다. 대상구간 내에서 낙동강 본류에 합류되는 국가하천과 지방 1급하천 중에서 낙동강 물환경연구소에서 실측하고 있는 지점자료를 활용하기 위하여 내성천, 영강, 병성천, 위천, 감천, 금호강, 회천, 황강, 남강, 밀양강을 지류로 입력하였다.

낙동강 물환경연구소에서 상기된 지점의 실측한 유량자료를 검토하여 적용대상 기간으로는 2004년 9월 1일부터 2004년 11월 16일까지의 자료와 2005년 3월 10일에서 2005년 6월 17일까지로 설정하였다. 낙동강 물환경연구소에서 실측한 유량은 수동측정에 의한 값으로 정확도가 높을 것으로 판단되었으나 실측 여건상 시간간격 및 일간격의 실측은 불가능하여 8일간의 간격으로 낙동강 상류부 및 하류부 구간으로 분리되어 상류에서 하류로 내려오면서 조사되었다. 오염총량 관리를 위한 낙동강 유역도는 그림 1과 같다.

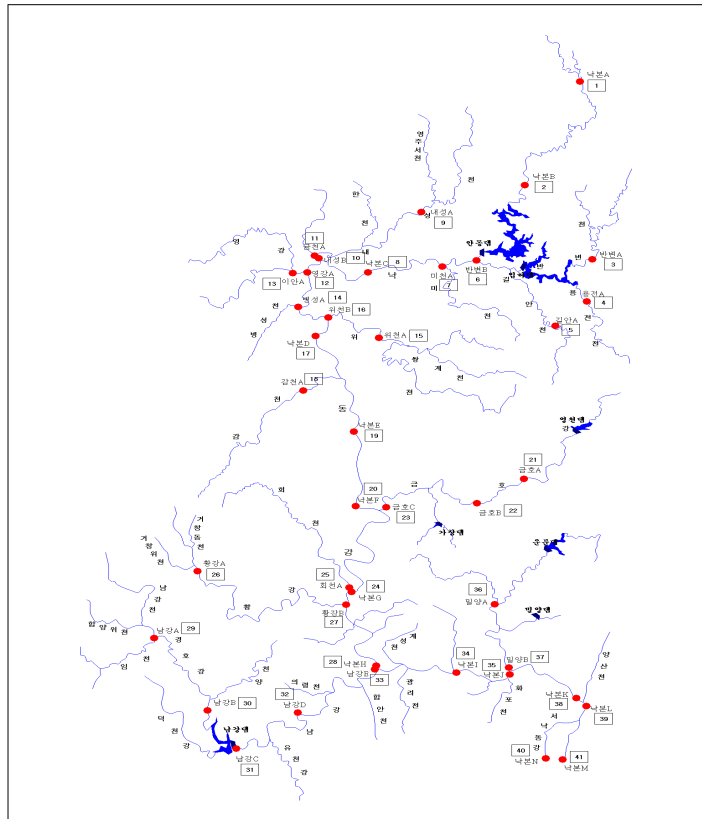


그림 1. 낙동강 유역도

#### 3.2 동적흐름 해석결과 비교

일반적인 수질해석 모델은 오염물의 이송효과를 분석하기 위하여 수리해석 결과로부터 대상구간의 유량, 유속, 그리고 흐름단면적과 수면폭에 의해 계산되는 수리수심 등을 활용하게 된다. 하천의 주요 흐름 특성인

상기된 값들을 매시간 실측하는 것은 엄청난 예산이 소요되므로 비경제적이며 비현실적이다. 따라서 하천의 수질해석을 위해 필요한 흐름 특성들은 과거 실측된 값들의 회귀분석이나 타 흐름 모델의 해석결과를 이용하게 된다. 기존의 Qual2E, Qualko 모형 등은 하천의 흐름 특성을 분석하기 위하여 회귀분석 결과를 사용하거나 하천단면을 사다리꼴로 근사화하여 해석하게 되는데 이는 하천의 실제 상황을 제대로 반영할 수 없을 우려가 크다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 하천수질 해석 모형의 흐름 해석 또는 회귀분석 결과를 동적 해석결과와 비교하여 분석하였다.

그림 2~그림 4는 적용기간 중에서 2004년 낙본I와 2005년 낙본G, 낙본I 구간에 대한 모의 결과이다. 그림에서 Steady는 QUALKO에 의한 계산결과이고, Unsteady는 본 연구에 의한 계산결과이며, Observed는 낙동강 물환경 연구소에서 관측한 실측 유량이다.

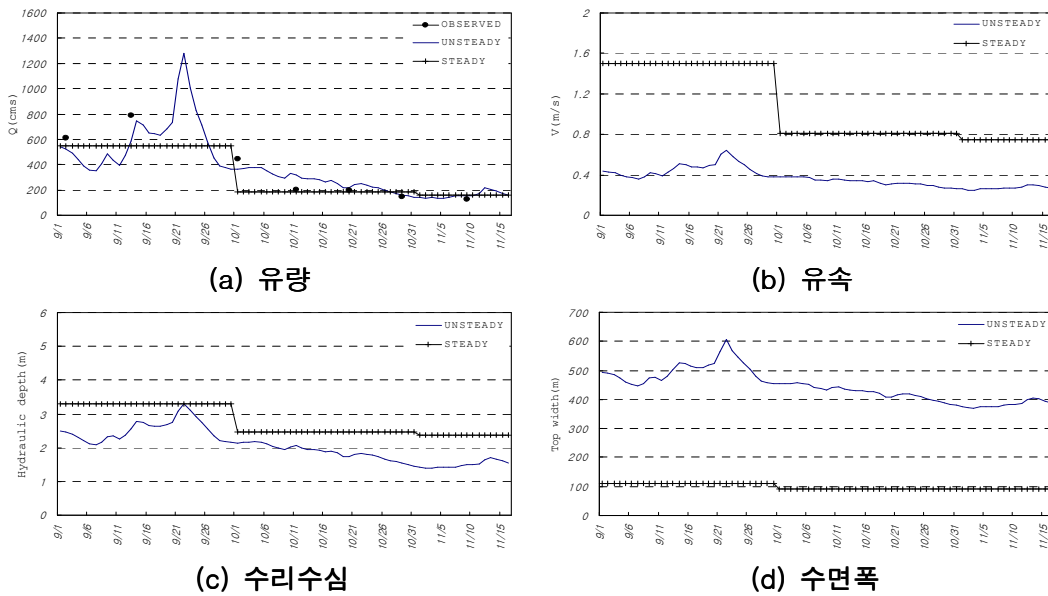


그림 2. 동적흐름 해석결과(낙본I, '04년도)

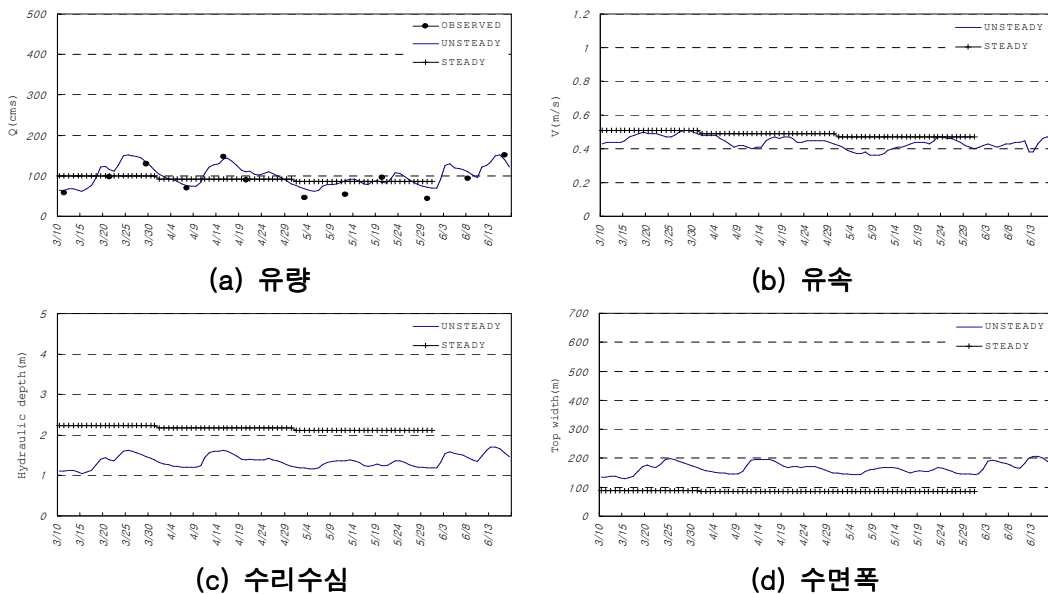


그림 3. 동적흐름 해석결과(낙본G, '05년도)

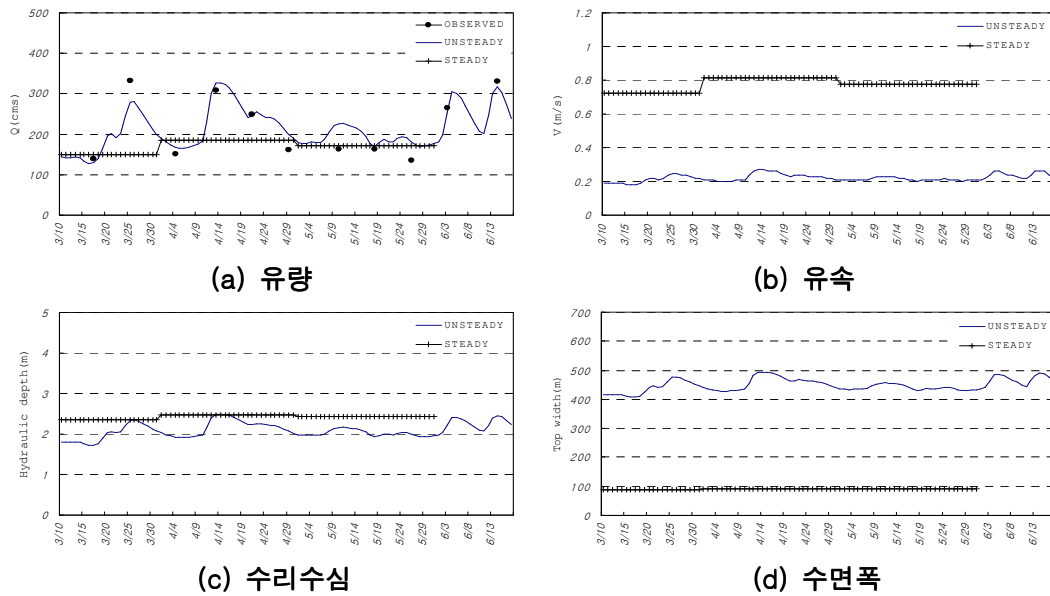


그림 4. 동적흐름 해석결과(낙본, '05년도)

#### 4. 결론

대상기간 중 2004년의 해석결과를 보면, 월별 정적흐름 해석결과가 실측유량의 평균정도를 나타내고 있으나, 유속은 큰 차이를 보이고 있었다. 이는 오염물의 이송에 큰 영향을 미치는 유속이 실제 상황과 상이하게 계산되어 수질해석의 불확실성을 가중시키는 결과를 도출하게 될 것으로 판단된다. 또한 하천의 재포기계수 추정에 사용되는 경심의 해석 결과 또한 실제 단면을 사용한 동적 해석 결과와 차이를 보이고 있으며 이는 하천단면의 근사화가 수질해석 결과에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

2005년 동적 흐름 해석모형의 결과는 저유량의 낙동강 본류 유량 변동 특성을 정확히 모의하고 있는 것으로 나타났다. 따라서, 기존의 정적수질 해석만을 이용한 경우 현재의 정확한 유량조건을 반영할 수 없고, 유속, 경심, 수면폭 등에서 실측치와 큰 차이를 보이게 되어 확산계수 산정, 재포기계수 산정, 퇴적물의 영향 분석을 위한 수심의 산정 시 큰 오차를 야기하게 되어 동적 수질해석결과에 의한 수리 매개변수 산정이 필요한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2005년도 낙동강 수계 관리위원회 환경기초 조사 사업의 「낙동강 유역에 적합한 수질예측 모델 개발」에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

1. 낙동강수계관리위원회, 낙동강물환경연구소 (2004). 낙동강 유역에 적합한 수질예측모델 개발.
2. 이길성 (1993). “영향계수를 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정.” 대한토목학회 논문집, 제13권 제4호, pp. 163-176
3. 한건연 (1991). 낙동강 중류부에서의 최적수질관리기법의 개발, 한국학술진흥재단 연구보고서.
4. Fread, D.L. (1998). NWS FLDWAV MODEL : Theoretical Description/User Documentation. Hydrologic Research Laboratory, NWS, Silver Spring, Md.