

신뢰도 분석에 의한 한강하류부에서의 수질해석

한 건 연* · ○김 상 호** · 이 재 영** · 최 현 상**

1. 서 론

산업시설의 확충과 인구의 증가에 따라 이로 인한 산업폐수와 도시하수가 하천으로 방류되고 있다. 적정 수질을 갖춘 용수의 확보와 함께 갈수시와 저수시의 수질악화는 커다란 사회문제로 대두되고 있다. 한강 유역은 인구가 천만명 이상인 서울시를 관류하며, 수중보 상류지역은 팔당 댐 저수지와 함께 수도권 상수원으로서의 중요한 역할을 담당하고 있다. 본 연구대상 구간에는 왕숙천, 탄천, 중랑천 등 도시하수를 배출하는 지류 및 각종 취수장, 하수처리장 등이 위치하여 유량 및 수질이 이들의 영향을 크게 받고 있다. 또한 잠실 수중보가 위치하여 상·하류간에 수리학적 특성이 상이한 구간으로서 이 유역에 대한 신뢰도 해석기법을 도입한 효율적인 수질관리가 필요하게 되었다.

본 연구의 목적은 한강 하류부에서 수질관리를 위해서 MFOSM(Mean First - Order Second - Moment) 기법과 AFOSM(Advanced First - Order Second - Moment) 기법을 도입한 신뢰도 해석을 이용하여 주요 지류 및 하수처리장에서의 오염 부하 및 수질관련 반응계수의 변동성을 고려하여 취수장에서의 추계학적 수질해석을 실시하였다.

2. MFOSM 및 AFOSM 기법에 의한 불확실도 해석

2.1 MFOSM 해석

MFOSM(Mean First - Order Second - Moment) 기법에 있어서는 Taylor 급수를 변수의 평균값, $X_m = (x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn})$ 에 대해서 확장함으로서 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = g(\bar{x}_i) + \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{x}_i) \frac{\partial g}{\partial x_i} \quad (1)$$

이 식으로부터 Z에 대한 평균과 분산은 다음과 같다.

* 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 경북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

$$E[z] = \bar{z} = g(\bar{x}_i) \quad (2)$$

$$\sigma_z = \left[\sum_{i=1}^m (C_i \sigma_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

2.2 AFOSM 해석

AFOSM(Advanced First - Order Second - Moment) 기법의 기본 개념은 파괴면 상의 가능 파괴점, x_i^* 에서 실행함수가 0인 경우에 대하여 Taylor 급수 확장을 통해 실행함수를 선형화하는데 있다. 파괴점을 결정하기 위해 여러 가지 반복기법이 제안되어 왔는데, 다양한 해석기법이 제안되어 왔다(Rackwitz, 1976; Rackwitz와 Fiessler, 1977; Ang과 Tang, 1984). 파괴점에서 실행함수에 대한 Taylor 급수의 1차 확장식은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = g(x_i^*) + \sum_{i=1}^m (x_i - x_i^*) \frac{\partial g}{\partial x_i} \quad (4)$$

Z의 기대값과 표준편차는 각각 식 (5), (6)과 같이 나타낸다.

$$E[Z] = g(x_i^*) + \sum_{i=1}^m C_i (\bar{x}_i - x_i^*) \quad (5)$$

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^m \alpha_i C_i \sigma_i \quad (6)$$

여기서, $C_i = \frac{\partial g}{\partial X_i}$ (7)

$$\alpha_i = \frac{C_i \sigma_i}{\left[\sum_{j=1}^m (C_j \sigma_j)^2 \right]^{1/2}} \quad (8)$$

식 (4)에서 $g(x)$ 는 실행함수 Z를 함수로 나타낸 것이다. 만약 모든 기본변수들이 정규분포의 형태를 나타내고 있다면, 위험도 P_f 는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \quad (9)$$

여기서, β 는 신뢰지수이며, $\Phi(\beta)$ 는 β 에 대한 표준정규 누적분포함수이며 이 경우의 β 는 Rackwitz(1976) 알고리즘에 의해 결정되었다.

2.3 QUAL2E - RL 모형

확정론적 수질해석 기법에 있어 기존의 QUAL2E 모형에 대한 불확실성 해석을 위하여 MFOSM 기법과 AFOSM 기법을 도입하였다. 본 연구에서는 QUAL2E - UNCAS 모형에 MFOSM 기법과 AFOSM 기법을 적용함으로써 기존의 Monte Carlo 기법과 공유하여 함께 사용할 수 있는 QUAL2E - RL 모형을 개발하였다.

3. 확정론적 수질해석

모형의 적용대상은 한강 본류부를 선정하였는데 팔당댐 하류에서 한강대교에 이르는 34.5 km 구간이다. 대상구간은 길이 0.5 km의 계산요소 69개로 구성하고 다시 이를 지류 유입지점 및 잠실 수중보 등을 고려하여 동일구간 내에서는 수리학적으로 유사한 특성을 갖도록 8개의 구간으로 구분하였다. 본 해석구간의 상류부는 수중보의 영향으로 유속이 감소되고, 수심이 증가하는 수리학적 특성이 뚜렷하였다.

모형의 보정과 검증을 위하여 QUAL2E 모형의 매개변수를 BFGS 알고리즘에 의한 최적화기법에 의해서 추정하였고 다양한 유량 및 수질조건에 대하여 적용함으로써 모형의 검증을 실시하였다. 모형의 계산치는 그 종단형상에 있어 실측치와 비교하여 잘 일치되고 있음을 알 수 있었다. DO와 BOD에 대한 모형의 검증결과는 그 계산치와 실측치와의 상관관계에 있어 비교적 잘 일치되고 있었다.

4. 신뢰도 분석

확정론적 수질해석에서 구한 계수들을 중심으로 대상구간에 대한 신뢰도 분석을 실시하였다. 반응계수는 자연 하천계에서 큰 불확실도를 가지고 있는 상류단의 유량자료 및 수질자료군(FFHW)과 주요 반응계수군(RXNC) 그리고 점 오염원의 부하군(FFPL)에 대한 모든 변동을 고려하였다. 본 QUAL2E - RL 모형의 검증을 위하여 QUAL2EU에 있는 Monte Carlo 기법을 이용하였는데 사용될 모의수행의 수는 2000회를 사용하였다. MFOSM 기법과 AFOSM 기법을 사용하여 계산된 결과는 QUAL2EU의 Monte Carlo 기법을 이용한 평균, 표준편차, 그리고 분산계수와 비교한 결과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

본 연구모형에 대해서 실제 하천에서의 환경 기준치에 대한 위험도를 검토하였다. 대상 위치로는 수중보 직하류부와 한강대교 지점을 선정하였으며, DO와 BOD에 대해 수행되었다. 그림 1은 DO와 BOD에 대한 수중보 직하류부 지점에서의 신뢰도 분석을 하여 이에 대한 도해적인 제시를 나타내었다. 여기서 구한 누가확률곡선을 이용하여 MFOSM 기법, AFOSM 기법, 그리고 Monte Carlo 기법에 대한 출력의 빈도분포를 그림 2~그림 3과 같이 얻을 수가 있었다. 이러한 결과는

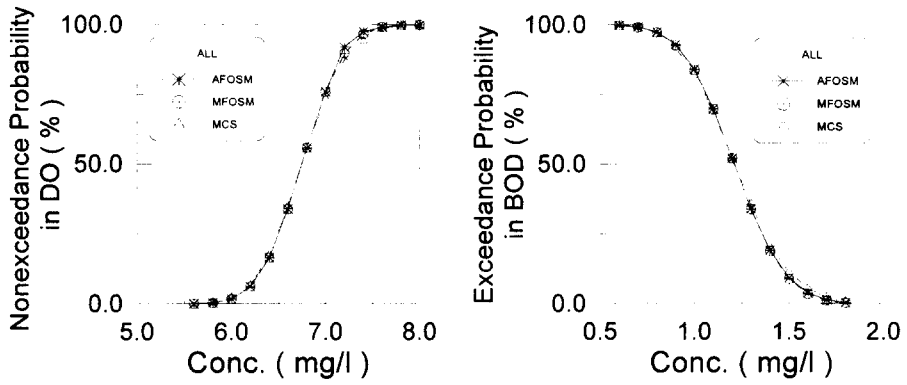


그림 1. 수중보 직하류부에서의 DO와 BOD에 대한 초과확률곡선의 비교

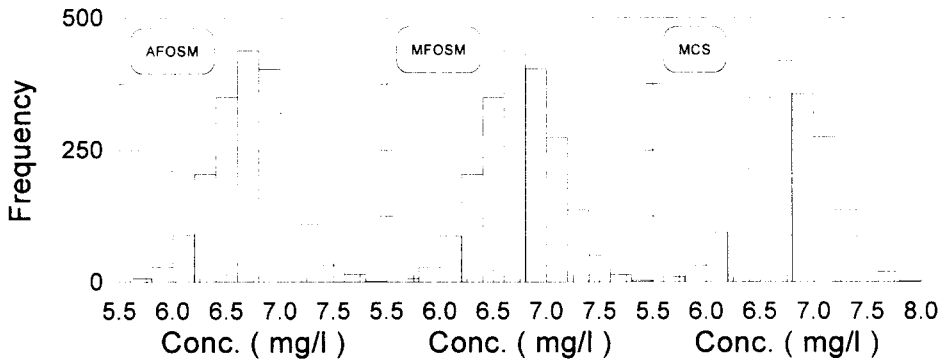


그림 2. 수중보 직하류부에서의 DO에 대한 빈도분포

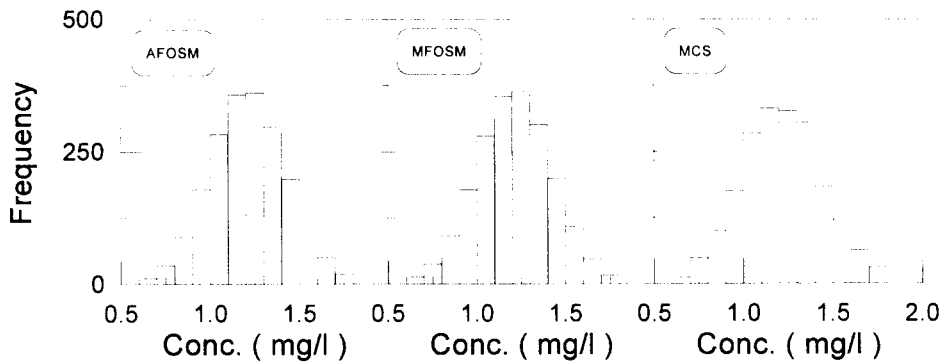


그림 3. 수중보 직하류부에서의 BOD에 대한 빈도분포

Monte Carlo 기법에서 사용한 반복횟수 2000회에 대한 각 기법에서의 BOD의 각 농도에서의 빈도수를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 DO의 빈도 분포는 수중보 직하류부의 경우 5.6~8.0 mg/l, 한강대교는 4.7~6.2 mg/l의 범위를 가지고 있었으며, BOD의 경우 수중보 직하류부에서는 0.6~1.8 mg/l이고 한강대교는 1.6~3.3 mg/l의 범위에서 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 수계내의 주요 지점에서 실제 수질환경기준치에 대한 위배확률을 얻을 수가 있다.

5. 결 론

본 연구는 신뢰도 분석에 의한 추계학적 수질해석을 실시하기 위해서 QUAL2E - RL 모형을 개발하고 이를 한강 본류부에 적용한 것이다. 팔당댐에서 한강대교에 이르는 34.5 km구간에 대해 최적 반응계수를 산정하여 모형의 보정과 검증을 실시하였으며, 계산 결과는 실측자료와 비교적 잘 일치하고 있었다.

QUAL2E - RL 모형과 QUAL2EU의 Monte Carlo 기법에 대해 주어진 지점에서 수질변수의 초과확률분포곡선과 수질농도에 대한 빈도분포도를 계산하여 제시하였으며, 두 기법은 비교적 합리적인 범위 내에서 일치하고 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 개발한 QUAL2E - RL 모형은 기존의 QUAL2E - UNCAS 모형과 더불어 국내 주요 하천유역에 적용되어 추계학적 수질관리 대책수립에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 참고문헌

- 한건연 등. (1999). “제7회 수공학 워크샵” - 하천·호수 수질예측모형(QUAL2E, WASP 등).
- 한건연, 김상호. (1997). “낙동강에서의 신뢰도해석에 의한 수질예보시스템의 개발.” 한국수자원학회논문집 제30권, 제4호, pp. 411~420.
- 환경부. (1988 - 1998). 한국환경년감.
- Ang, A.H., and Tang, W.H. (1984). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*. Volume II, John Wiley & Sons.
- Rackwitz, R. (1976). *Practical Probabilistic Approach to Design*. Bulletin No. 112, Comite European du Beton, Paris, France.
- Rackwitz, R., and Fiessler, B. (1977). *Non - Normal Distributions in Structural Reliability*. SFB 96, Report 29, Technical University of Munich, pp. 1 - 22.