

오염총량관리를 위한 분석적 BOD모델(AMB) 개발

Development of an Analytical Model of BOD(AMB) for Total Pollution Load Regulation

김 경 섭* / 안 태 진**
Kim, Kyung Sub / Ahn, Taejin

Abstract

Water quality models can be applied to manage the regional water quality problems and to estimate the target and allowable pollution load in watershed effectively. Since the models such as QUAL2E, WASP5 and HSPF need many data and are not easily applied in real systems, the water quality model, which would be simple and easily applicable, has been required. Thus, an Analytical Model of BOD(AMB) considering travel time of pollutant was developed for the total pollution load regulation in drainage basin. It was found that the main stream length of a sub-basin in the AMB should be shorter than 7km and the length of distributed pollutant load should also be shorter than 3.5km in a sub-basin. The basin in the AMB could be divided into sub-basins with almost same hydraulic characteristics and reaction rate constant satisfying the proposed stream length. The running results of the AMB in a small stream were very close to the results of QUAL2E, which is widely used one in the world. Therefore, the AMB can be used to regulate the total pollution load in drainage district by local government.

keywords : analytical model, total pollution load regulation, water quality model, allowable pollution load

요 지

수질모델을 사용하여 수계내 오염물질의 총량관리를 위한 오염물질관리 목표량 및 허용총량 파악, 그리고 삭감 계획의 효과 분석을 수행할 수 있다. 그러나 QUAL2E, WASP5 및 HSPF와 같은 수질모델은 다양한 자료를 요구하고 실제수계 적용이 쉽지 않음으로 수계의 수리학적 특성이 반영된 용이성을 갖춘 분석적인 수질모델 개발의 필요성이 제기되었다. 따라서, 본 연구에서는 유달경로를 고려한 배수구역내 오염총량관리를 위한 분석적인 BOD모델(AMB)을 개발하였다. AMB모델은 배수구역내 소배수 구역의 하천 유하 거리가 약 7km 이내 비점오염원 유입 유로연장은 약 3.5km로 설정되어야 하며, 배수구역은 위의 유하거리를 만족하는 상태에서 가능한 한 일정한 수리학적 특성 및 반응속도상수를 갖는 소배수 구역으로 분할되어야 한다. 본 모델을 소하천에 적용해 본 결과 QUAL2E와 같은 상용화된 모델 결과와 유사하게 나타났으며, 지자체에서 오염총량관리를 위한 수질관리대책 마련시 적절하게 본 모델을 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 분석적 모델, 오염총량관리, 수질모델, 허용총량

* 국립환경대학교 환경공학과 부교수

Associate Professor, Dept. of Envir. Engrg., Hankyong National University, Ansong, Kyonggi 456-749, Korea

** 국립환경대학교 토목공학과 조교수

Assistant Professor, Dept. of Civil Engrg., Hankyong National University, Ansong, Kyonggi 456-749, Korea

1. 서 론

지구가 탄생된 이래 발생한 환경에 비친화적인 오염 물질들은 밖으로 빠져나감 없이 그대로 지구에 머무르고 있으며 이 물질들은 지구자체의 정화능력을 자정작용에 의해서 분해되거나 소멸된다. 그러나 인구의 증가, 산업화 등으로 발생하는 오염물의 집중화 현상 및 독성물질의 생성은 하나뿐인 지구의 생태계를 파괴하고 있으며, 인간의 생존권을 위협하고 있다. 특히 수계의 오염문제는 농업용수 및 공업용수 등의 수자원이용을 부적절하게 하여 생산성 및 수확량의 감소를 초래하고 있으며, 또한 음용수로서의 가치를 상실하게 하여 음용수 수질기준을 만족하기 위한 수처리 비용을 과다를 유발하고 있다. 따라서 수계의 오염정도를 정확히 파악하고 원인인자를 명확히 규명하는 것은 적절한 수질보전대책 및 관리방안 수립을 위하여 필수적이다.

외부의 오염원 유입에 의하여 야기되는 수계의 수질 변화는 계량화가 가능한 수학적 모델을 이용하여 파악할 수 있다. 수질은 유입 오염부하량의 크기에 따라 결정되며 수계내 오염물질 변화는 이 물질의 화학 및 생물학적 특성에 의하여, 또한 수계의 물리적인 특성에 의하여 지배를 받는다. 오염발생원으로부터 비롯되는 부하량은 수질관리모델을 통하여 수계의 물리적 조건과 오염물의 화학적 및 생물학적 조건이 고려된 후에 농도로 변환되며, 이는 수이용에 필요한 수질기준과 비교·검토하게 된다. 목표로서 하는 수질기준을 초과할 경우 다양한 처리방법을 동원하여 유입되는 부하량을 허용배출량 이하로 감소시킬 필요가 있다(Chapra, 1997).

한강수계상수원수질개선및주민지원등에관한법률의 통과(1999.2.8) 및 지침안(1999.9) 마련으로 한강수계 지역에 위치한 시·군은 오염총량관리제를 도입하여 수계를 효율적으로 관리할 수 있다(환경부, 2000). 수계내 오염물질의 총량관리를 위하여 오염물질관리 목표량 및 허용총량 파악, 그리고 삭감계획의 효과 분석은 기존의 수질모델을 사용하여 파악하여야 한다. 그러나 이는 다양한 자료를 요구하고 실제수계 적용이 쉽지 않음으로 수계의 수리학적 특성이 잘 반영된 용이성을 갖춘 분석적인 수질모델 개발의 필요성이 제기되었다. 따라서 본 연구에서는 오염총량관리대상물질인 BOD에 대하여 유달경로를 고려한 분석적인 모델 (Analytical Model of BOD, AMB)을 개발하고, 이 모델 사용시 유의하여야 할 사항 등을 살펴보도록 한다. 분석적인 모델은 수질관리에 유용하게 사용되고 있다(Vollenweider, 1976; Chapra와 Canale, 1991).

2. 모델 개발

2.1 오염총량관리

환경은 자정능력이 있어 어느 정도의 외부 환경압력에 견딜 수 있으나 환경압력이 자정능력을 초과하면 환경파괴 현상이 발생한다. 이런 현상이 수환경에서 발생하면 수중 생태계는 파괴되고 수계는 수자원으로서의 활용과 미적·위락적 가치를 상실하게 된다. 이를 회복하기 위한 방법은 물리, 화학 및 생물학적 방법 등의 수환경 개선을 통한 환경자정능력의 향상 및 외부 환경압력의 감소로 대별할 수 있다. 유역내 허용 가능한 총 오염부하량은 수계의 환경용량을 고려하여 파악된다(정부합동, 1998; 경기개발연구원, 1999).

2.1.1 점오염원

이송에 의하여 오염물이 이동하는 플러그 흐름반응기로 가정할 수 있는 하천에서 일차원 정상상태의 BOD농도는 식 (1)과 같다(김정섭, 1996; Chapra, 1997).

$$c = c_0 e^{(-\frac{k}{U}x)} \quad (1)$$

여기서 c 는 유하거리에서의 BOD 농도 [ML^{-3}], c_0 는 초기 BOD농도 [ML^{-3}], k 는 BOD반응속도상수 [T^{-1}], U 는 평균 유속 [LT^{-1}], x 는 유하거리 [L]이다. 하천에 오염물이 유입될 경우 초기농도는 완전혼합을 가정하면 식 (2)와 같이 표현된다.

$$c_0 = \frac{Q_w c_w + Q_r c_r}{Q_w + Q_r} \quad (2)$$

여기서 Q 는 유량이며 [L^3T^{-1}], 첨자 w 및 r 는 각각 유입 및 하천을 나타낸다. 유입유량이 하천유량에 비하여 상대적으로 적고($Q_w \ll Q_r$), 하천의 오염정도가 낮아서 BOD농도가 무시할 정도로 작다면($c_r \cong 0$), 식 (2)는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$c_0 = \frac{Q_w c_w}{Q_r} = \frac{W}{Q_r} \quad (3)$$

여기서 W 는 유입 오염부하량 [MT^{-1}]이다. 식 (3)을 식 (1)에 대입하면 식 (4)와 같다.

$$c = \frac{W}{Q_r e^{\frac{k}{U}x}} = \frac{W}{a} \quad (4)$$

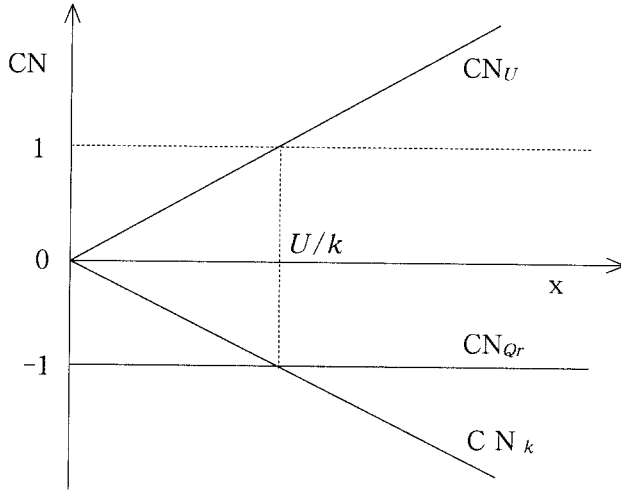


그림 1. 매개변수 Condition Number의 변화

표 1. 점오염원에서 매개변수의 Condition Number

Condition Number 표현	Condition Number	$x < U/k$	$x > U/k$
$CN_{Qr} = (\Delta c/c)/(\Delta Q_r/Q_r)$	-1	sensitive	-
$CN_k = (\Delta c/c)/(\Delta k/k)$	$-kx/U$	-	sensitive
$CN_U = (\Delta c/c)/(\Delta U/U)$	kx/U	-	sensitive

여기서 $a = Q_r e^{kx/U}$ 는 자정계수 또는 환경용량 $[L^3 T^{-1}]$ 이며, 하천거리에 따라 증가함을 알 수 있다.

2.1.2 비점오염원

비점오염원이 균일 분산오염원 형태로 하천의 유로를 따라 유입된다고 가정하면, 오염이 안된 하천에서의 BOD농도는 식 (5)와 같다(김정섭, 1996; Chapra, 1997).

$$c = \frac{S_d}{k} (1 - e^{-\frac{k}{U}x}) \quad (5)$$

여기서 S_d 는 분산오염원 $[ML^{-3}T^{-1}]$ 이다. 분산오염원은 식 (6)과 같이 표현되며

$$S_d = \frac{W}{AL} \quad (6)$$

여기서 A 는 하천의 단면적 $[L^2]$ 및 L 은 분산오염원 유입 유로연장 $[L]$ 이다. 식 (6)을 식 (5)에 대입하여

정리하면 식 (7)과 같으며

$$c = \frac{W}{ALk(1 - e^{-\frac{k}{U}x})} \quad (7)$$

하천거리에 따라 유입 부하량이 증가하고 환경용량도 증가함을 알 수 있다.

2.2 매개변수 민감도 분석

환경용량은 점오염원의 경우 Q_r , k , U , 비점오염원의 경우 A , L , k , U 의 함수임을 알 수 있다. 매개변수의 상대적인 중요성을 파악하기 위하여 점오염원 및 비점오염원에 대하여 민감도분석을 실시하였으며 점오염원에 대한 결과가 그림 1 및 표 1에 나타나 있다. 여기서 CN은 Condition Number이며 그림 1과 같이 하천거리 x 가 U/k 보다 작으면 유량에 민감함을 알 수 있다.

BOD 반응속도상수 (k)는 미처리수의 경우 0.2~

표 2. 한계 유하거리

배출수 형태	k (/d)	U (m/s)	한계 유하거리 ($x < U/k$) (km)
미처리수	0.35 (0.2~0.5)	0.03	7.4
1차처리수	0.2 (0.1~0.3)	0.03	13
2차처리수	0.075 (0.05~0.1)	0.03	35

0.5/d의 값(평균 $k = 0.35/d$)을 갖는다 (Thomann 와 Mueller, 1987). 하천의 평균 유속(U)을 0.03m/s 이상으로 가정한다면 극단의 경우($U = 0.03m/s$)를 고려하더라도 x 는 약 7.4km가 되어, 하천 유하거리가 약 7km 이상이면 k 및 U 에, 7km 이하면 Q 에 민감함을 알 수 있다. 하천에 유입되는 배출수의 형태에 따라 반응속도상수는 다르고, 수계별로 수리학적 특성이 변함으로 유량에 민감한 한계 유하거리는 최저 유속 0.03m/s의 경우 표 2에 나타난 바와 같다. 그림 2는 유속 및 반응속도상수에 따른 한계 유하거리를 보여주고 있다.

식 (7)로 나타나는 비점오염원 BOD농도식에서 지수함수는 $kx/U < 0.5$ 조건(극단의 경우 $L < 3.7km$)에서 식 (8)과 같이 근사화할 수 있으며

$$e^{-\frac{k}{U}x} \cong 1 - \frac{k}{U}x \quad (8)$$

식 (8)을 식 (7)에 대입하여 정리하면 식 (9)가 얻어진다.

$$c = \frac{W}{AU} = \frac{W}{Q} \quad (9)$$

따라서, 비점오염원의 경우 하천의 평균 유속(U) 0.03m/s 이상의 조건에서 분산오염원 유입 유로연장(L)이 3.7km보다 작으면 환경용량은 하천유량으로만 나타남을 알 수 있다.

그러므로 하천유량은 점 및 비점오염원의 경우 각각 $kx/U < 1$ 및 $kx/U < 0.5$ 의 조건에서 중요한 자정계수임을 알 수 있다. 따라서, BOD에 대한 분석적인 모델 개발시 이점을 충분히 고려하도록 한다.

2.3 BOD 모델

2.3.1 분석적 모델 개발

다음 표 3과 같이 소배수 구역별로 매개변수를 정의하고 그림 3과 같은 배수구역에서 소배수 구역별로 BOD 오염원이 유입된다고 가정할 경우 최하류 끝단에서의 BOD농도는 식 (10)과 같이 파악할 수 있다. 배수구역의 구분은 소배수 구역 본류가 한계거리 이내를 만족하는 상태에서 가능한 한 일정한 수리학적 특성 및 반응속도상수를 갖는 조건이어야 한다.

$$c_3 = c_3' + c_3'' + c_3''' \quad (10)$$

여기서 c_3' 는 소배수구역 1에서 배출되는 부하량이 배수구역 끝단에 미치는 농도, c_3'' 는 소배수구역 2가 끝단에 미치는 농도 및 c_3''' 는 소배수구역 3이 끝단에 미치는 농도이다. 각 농도는 유량이 중요한 매개변수이므로 유하거리에 따른 유량변화를 충분히 고려하

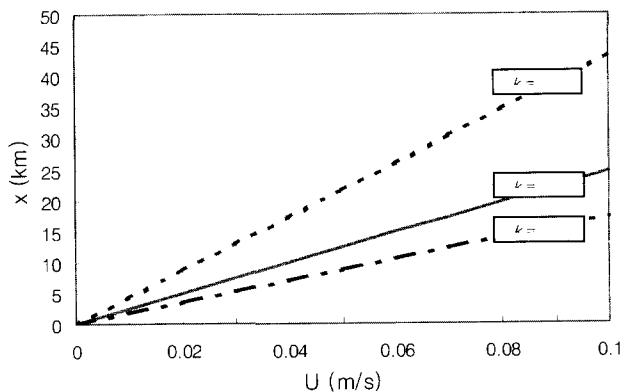


그림 2. 유속 및 반응속도상수에 따른 한계 유하거리

표 3. 소배수구역 매개변수 표현

소배수구역	소배수 구역명	유량 [L ³ T ⁻¹]	유속 [LT ⁻¹]	반응속도 상수 [T ⁻¹]	소배수구역 유하거리 [L]	유입부하지점에서 소배수구역경계면까지의 거리 [L]
1	S ₁	Q ₁	U ₁	k ₁	L ₁	ℓ ₁
2	S ₂	Q ₂	U ₂	k ₂	L ₂	ℓ ₂
3	S ₃	Q ₃	U ₃	k ₃	L ₃	ℓ ₃

여 나타내면 각각 식 (11), (12) 및 (13)과 같다.

$$c_3 = e^{-\frac{k_3}{U_3} L_3} \frac{Q_2}{Q_3} e^{-\frac{k_2}{U_2} L_2} \frac{Q_1}{Q_2} e^{-\frac{k_1}{U_1} \ell_1} \frac{W_1}{Q_1} \quad (11)$$

$$c_3 = e^{-\frac{k_3}{U_3} L_3} \frac{Q_2}{Q_3} e^{-\frac{k_2}{U_2} \ell_2} \frac{W_2}{Q_2} \quad (12)$$

$$c_3 = e^{-\frac{k_3}{U_3} \ell_3} \frac{W_3}{Q_3} \quad (13)$$

점 및 비점오염원은 소배수 구역 어느 지점, 어느 구간에서도 유입될 수 있으므로 안전율을 반영하여 배수

구역 끝단에서 수질이 최악이 될 수 있는 경우를 고려하여야 하며, 이를 기초로 소배수구역별 허용총량을 산정할 수 있다. 이 경우 각 소배수 구역별 유입부하량은 소배수구역 경계면에서 유입된다고 가정할 수 있으므로 식 (11)~(13)은 식 (14)~(16)과 같이 표현된다.

$$c_3 = e^{-\frac{k_3}{U_3} L_3} \frac{Q_2}{Q_3} e^{-\frac{k_2}{U_2} L_2} \frac{W_1}{Q_2} \quad (14)$$

$$c_3 = e^{-\frac{k_3}{U_3} L_3} \frac{W_2}{Q_3} \quad (15)$$

$$c_3 = \frac{W_3}{Q_3} \quad (16)$$

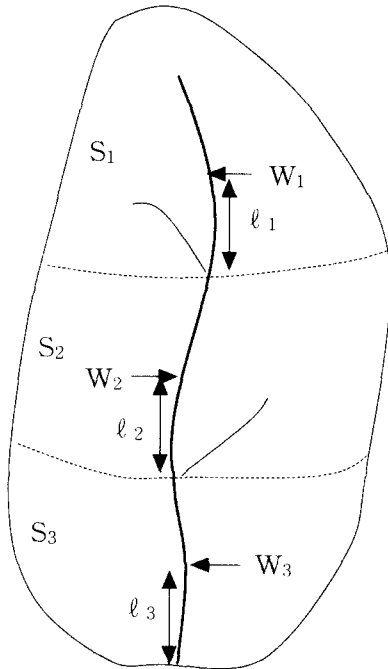


그림 3. 배수구역 구분

여기서 W₁, W₂ 및 W₃는 단지 점오염원에 의한 부하량으로 보이지만, 식 (9)에 나타난 비점오염원에 의한 부하량도 식 (14)~(16)에 반영될 수 있다. 비점오염원에 의한 수계내 농도는 오염원 유입구간 끝에서 최대가 되므로 소배수구역에서 점오염원과 같이 안전율을 고려하면 소배수구역 경계면에서 비점오염원 부하량이 유입된다고 볼 수 있다. 따라서 식 (14)~(16)에서 W는 점 및 비점오염원에 의한 부하량의 합으로 정의할 수 있다.

배수구역 일부가 다른 지자체에 속하여 이를 통하여 하천이 유입될 경우에는 최상류를 통한 오염원 유입을 고려해 주어야 하므로 이를 반영하여 식 (10)을 다시 표시하여 정리하면 식 (17)과 같다.

$$e^{-\frac{k_3}{U_3} L_3} e^{-\frac{k_2}{U_2} L_2} e^{-\frac{k_1}{U_1} L_1} W_0 + e^{-\frac{k_3}{U_3} L_3} e^{-\frac{k_2}{U_2} L_2} W_1 + e^{-\frac{k_3}{U_3} L_3} W_2 + W_3 \leq c_3 Q_3 = \overline{W_3} \quad (17)$$

여기서 W₀는 다른 지자체 배수구역으로부터의 유입부

하량, $\overline{W}_3 = c_3 Q_3$ 는 배수구역의 오염총량관리목표량이다. 식 (17)을 수계의 환경용량을 파악하기 위하여 다시 표현하면 식 (18)이 얻어진다.

$$\frac{W_0}{Q_3 e^{\frac{k_3}{U_3} L_3} e^{\frac{k_2}{U_2} L_2} e^{\frac{k_1}{U_1} L_1}} + \frac{W_1}{Q_3 e^{\frac{k_3}{U_3} L_3} e^{\frac{k_2}{U_2} L_2}} + \frac{W_2}{Q_3 e^{\frac{k_3}{U_3} L_3}} + \frac{W_3}{Q_3} \leq c_3 \quad (18)$$

만약 소배수구역 2로 유입되는 지천의 BOD 부하량이 과도하여 본수계의 농도분포에 영향을 미친다면 수계 내로 유입되는 부하량은 이를 반영하여 산정되어야 한다. 이 경우 배출부하량은 다음과 같이 치환할 수 있으며 이를 식 (17) 및 (18)에 사용할 수 있다.

$$W_1 \leftarrow W_1 + W_2 \quad (19)$$

여기서 첨자 t 는 유입지천을 나타낸다.

2.3.2 BOD 모델 일반식

배수구역의 관리목표량 및 허용총량을 파악할 수 있는 식 (17) 및 (18)을 n 개의 소배수 구역별로 구분하여 일반화하여 나타내면 식 (20) 및 (21)과 같다.

$$\sum_{j=0}^{n-1} \left[\left(\prod_{i=j+1}^n e^{-\frac{k_i}{U_i} L_i} \right) W_j \right] + W_n \leq c_n Q_n = \overline{W}_n \quad (20)$$

$$\sum_{j=0}^n \left(\frac{W_j}{a_j} \right) \leq c_n \quad (21)$$

여기서

$$a_j = Q_n \left(\prod_{i=j+1}^n e^{\frac{k_i}{U_i} L_i} \right) \quad \text{if } j < n \quad (22)$$

$$a_j = Q_n \quad \text{if } j = n$$

3. 모델 적용

본 연구에서 개발된 AMB모델의 실제 수계에서의 적용성을 살펴보기 위하여 모의결과를 1, 2차년도 (1998~1999년)에 걸쳐 연구가 진행된 안성천수계 금석천 유역에서의 모의결과와 비교·분석하였다(경기개발연구원, 1998, 1999). 2차년도 연구는 현실적으로 적용가능한 수질개선방안의 효과를 분석하기 위하여

금석천을 5개의 구간으로 구분하여 QUAL2E를 적용하였다. 금석천 유역은 안성시내 및 대덕면 일부를 포함하고 있으며 상류측은 주로 산림 및 농경지, 중류측은 안성시내, 하류측은 농경지를 통과하고 있다. 금석천의 유역면적은 9.808km², 유로 연장은 6.3km, 유역 평균폭은 1.69, 유역형상계수는 0.29이며, 금석천 본류의 하상구배는 1/110이다. 유역형상은 장방형이며 지형은 동쪽방향에 대린골산(표고 278.0m)과 비봉산(표고 229.5m)이 위치하고 북·서쪽 유역 경계의 표고는 150m 이내이다. 토지이용상황은 유역면적의 26%는 논(2.554km²), 24.4%는 답(2.388km²), 30.5%는 임야(2.994km²), 1.3%는 목장용지(0.131km²), 9.9%는 시가지(0.970km²), 7.9%는 기타 면적(0.771km²)이다. 금석천의 하천개수사업은 안성천 합류지점부터 3km 정도 시행하여, 하천을 직강화하고 하천 호안은 돌망태와 콘크리트 블록으로 보호하였다.

금석천 유역은 환경기초시설의 미비로 유입되는 배출수는 미처리수로 가정할 수 있고(평균 $k = 0.35/d$), 유속(U)은 0.42~0.03m/s로 나타나 극단의 경우($U = 0.03m/s$)를 고려해보더라도 한계유하거리는 약 7.4km가 되어, 유로연장이 약 6.3km 인 금석천은 Q_c 에 민감함을 알 수 있다. 따라서 전체 배수구역을 하나의 유역으로 가정하더라도 본 연구에서 개발한 AMB모델은 적용·가능하다.

필요한 매개변수는 표 4와 같으며 BOD 제거가작은 용존 BOD가 감소하는 부분과 침강에 의한 손실로 구분하였다. 일반적으로 온도가 10℃ 증가하면 반응속도상수는 2배 증가하며 역으로 10℃ 감소하면 절반으로 감소한다. 금석천의 경우 BOD 실측시 온도는 21~23℃를 나타내 반응속도상수에 대한 온도 영향은 미미하였다.

그림 4에는 QUAL2E 모델을 수행하여 얻어진 BOD 농도 및 본 연구에서 제안된 AMB모델의 결과가 실측치와 함께 나타나 있다. 이 그림에서 보는 바와 같

표 4. 금석천 수리 및 수질매개변수 자료

소배수 구역	소배수 구역 유하거리 L(km)	유량 Q(m ³ /s)	유속 U(m/s)	반응속도상수 k(d)	
				용존	침강
1	1.9	0.09	0.152	0.35	0.0
2	0.7	0.16	0.318	0.35	0.0
3	0.8	0.22	0.094	0.35	0.6
4	0.6	0.18	0.130	3.40	0.6
5	0.3	0.27	0.124	0.35	0.0

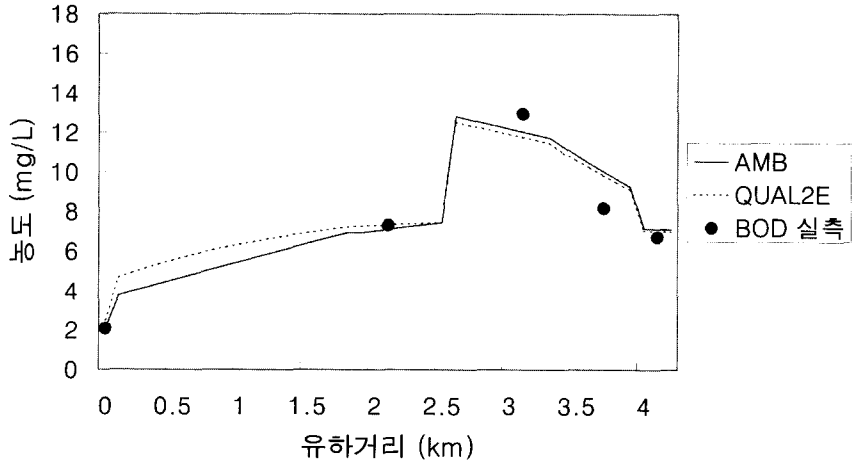


그림 4. 결과비교

이 AMB 모델 결과는 QUAL2E 모델 결과를 잘 따르고 있다. 다만 QUAL2E 모델에서는 소배수 구역 1 및 2에서 유입유량과 함께 비점오염원이 고려되었지만 AMB 모델에서는 유량이 고려되지 않음으로 약 2.5km 지점까지 다소의 변이를 보이고 있다. 급석천은 주요오염원인 생활하수가 점오염원과 같이 일정지점에서 유입되고 있어 유하거리 2.7km 지점에서 수질이 급속히 악화되고 있다. AMB 모델 결과의 신뢰성을 파악하기 위하여 계산치와 실측치를 비교하였으며, 계산치의 표준오차는 1.225로 나타나 모의결과는 실측치를 잘 표현하는 것으로 분석되었다.

3.1 허용총량

급석천의 허용오염총량은 소배수 구역별로 환경용량을 산정하여 파악할 수 있다. 상수원수 1급 및 2급수를 목표로 하는 소배수 구역별 허용총량은 표 5와 같다. 이 표의 허용총량은 배수구역 끝단에서 실측한 평균유량을 사용하여 산정한 것이며 만약 저수량으로 관리목표량을 정한다면 다른 수치를 보일 것이다. 식 (22)로 계산된 소배수 구역별 환경용량은 0.393~0.270m³/s의 범위를 나타내고 있으며 상류에 위치한 소배수구역 부하량에 대한 환경용량이 큼을 알 수 있다. 허용총량은 단지 오염원이 각 소배수 구역에서만 배출된다고 가정할 경우에 산정된 수치이다.

각 소배수 구역별로 허용가능한 부하량을 할당할 경우에는 다양한 선택이 가능하며, 최적의 수질을 확보하기 위한 유입부하량 감소 및 하천의 환경용량 증대 등의 수질관리 방안은 비용-효과적인 방법에 기초한 시

표 5. 소배수 구역별 허용총량

소배수 구역	소배수구역 유하거리 L(km)	환경용량 a(m ³ /s)	허용총량 W(kg/d)	
			상수원수1급	상수원수2급
0	2.0	0.393	34.0	101.9
1	1.9	0.374	32.3	96.9
2	0.7	0.371	32.0	96.1
3	0.8	0.338	29.2	87.5
4	0.6	0.273	23.6	70.7
5	0.3	0.270	23.3	70.0

스템 최적화 기법으로 파악할 수 있고 또한 의사결정자의 판단이 중요한 변수가 될 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 배수구역내 오염총량관리를 위한 분석적인 BOD모델을 유달경로를 고려하여 개발하였다. 본 모델은 다량의 자료를 요구하는 상용화된 모델과 비교해 볼 때 유속 및 BOD 반응속도상수만을 요구하여 수계 적용이 용이하며, 이 모델을 소하천에 적용해 본 결과 QUAL2E와 같은 모델 결과와 유사하게 나타났다. 따라서, 지자체에서 오염총량관리를 위한 수질관리대책 마련시 적절하게 본 모델을 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

AMB모델을 적용할 경우 유의사항 및 장래 보완하여야 할 사항을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) AMB모델에서 하천의 평균유속이 0.03m/s 이상

일 경우 배수구역내 소배수 구역의 하천 유하 거리는 약 7km 이내, 비점오염원 유입 유로연장은 약 3.5km 이내로 설정되어야 한다.

2) AMB모델에서 배수구역은 위의 유하거리를 만족하는 상태에서 가능한 한 일정한 수리학적 특성 및 반응속도상수를 갖는 소배수 구역으로 분할되어야 한다.

3) 비점오염원에 의한 유량증가는 AMB모델에서 무시하였으므로 이에 대한 연구가 필요하다.

4) 유입부하량의 과다로 인해 하천내 혐기성구간이 존재할 경우 이 구간의 BOD는 지수변화로 파악할 수 없으므로 이에 대한 보완이 필요하다.

5) 배수구역내 허용총량은 배출부하량 형태이므로 발생부하량과 배출부하량과의 관계가 소배수 구역별로 파악되어야 오염총량이 효율적으로 관리될 수 있다.

감사의 글

본 연구의 일부는 경기개발연구원에서 지원한 경기도내 소하천 관리를 위한 기초연구에서 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

경기개발연구원 (1998, 1999). 경기도내 소하천 관리

를 위한 기초연구(금석천을 중심으로).
김경섭 (1996). 수질관리. 환경대학교출판부.
정부합동 (1998). 수질관리특별종합대책.
환경부 (2000). 한강수계 오염총량관리제 시행방안 연구.
Chapra, S. C., and Canale, R. P. (1991). "Long-term phenomenological model of phosphorus and oxygen for stratified lakes." *Wat. Res.*, Vol. 25, No. 6, pp. 707~715.
Chapra, S. C. (1997). *Surface water-quality modeling*. McGraw-Hill, New York, NY.
Thomann, R. V., and Mueller, J. A. (1987). *Principles of surface water quality modeling and control*. Harper and Row, New York, NY.
Vollenweider, R. A. (1976). "Advances in defining critical loading levels for phosphorous in lake eutrophication." *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* Vol. 33, pp. 53~83.

(논문번호:00-059/접수:2000.08.25/심사완료:2000.11.27)