소하천에서의 수질변화 및 수질모델링

○김경섭* · 안태진** · 이상은*** · 송미영****

1. 서론

소하천은 현재 관리의 대상이 되고 있는 주요하천의 오염배출원으로서 그 중요성에 비해 오염원 및 수질을 비롯한 환경현황이 거의 파악되고 있지 않은 실정이다. '98년 12월에 개정된 하천법에 의하면 법정하천은 국가하천, 지방1급·2급하천 으로 분류되고 있으며 비법정하천은 법정하천에서 제외된 소규모의 하천을 소하천이라 하고 있다. 행정자치부는 관리주체에 따라 소하천을 세천, 소천 및 중천으로 분류하고 있다. 세천은 통·리 단위 하천으로서 하폭은 2-5m이며, 소천은 면·읍·동 단위 하천으로 하폭은 6-10m 이고, 중천은 법정하천이 아닌 시·군·구 단위 하천으로 폭은 11m 이상이다. 건설교통부는 수문지형학적 인자에 따라 대략 유역면적이 10km^{2}이내이고, 유로연장은 5km 이내인 하천을 소하천으로 분류하고 있다. 본 연구에서는 안성시에 위치하고 있는 금석천을 대상으로 소하천의 수질변화 및 수질관리방안을 살펴보았다. 금석천은 유역면적이 약 10 km^2, 유로연장이 약 6km로 지방2급하천으로 지정되어 있지만 대표적인 소하천으로 볼 수 있다.

2. 본론

2.1 소하천에서의 수질변화

시료채취를 위한 수계내 지점은 금석천 5지점(G1-G5), 안성천과의 합류점 하류부에 위치한 1지점(G7) 등 총 6지점을 선정하였다. 수질분석 항목은 총 18개로서 일반 항목 8개(온도, pH, DO, SS, 전기전도도, BOD, COD, chlorophyll-a), 영양염류 항목 6개(T-P, T-N, PO_4-P, NO_2-N, NO_3-N, NH_4-N), 중금속항목 4개(Cd, Cu, Zn, Pb)이다. 연구대상하천의 수질현황을 좀더 정확히 파악하고자 COD_{Mn}이외에 COD_{cr}을 분석하였다. 1998년도에 3번, 1999년도에 5번의 실측과 함께 용수수요가 많은 하절기 및 비하절기의 일간 수질변화를 파악하기 위하여 1999년도 8월 및 10월의 시료채취는 3시간 간격으로 총 8번을 금석천 유역 5지점에 대하여 실시하였다. 그림 2.1.1, 2.1.2은 금석천 측점별 DO 및 BOD를 나타내고 있다. 그림 2.1.3~6은 3차(8월) 및 5차(10월) 분석에 의한 시간별 DO 및 chlorophyll-a 농도를 나타내고 있다.

*국립한경대학교 환경공학과 조교수
**국립한경대학교 토목공학과 조교수
***국립한경대학교 식물자원과학과 조교수
****경기개발연구원 책임연구원

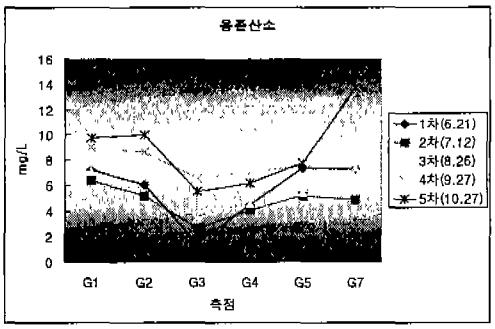

그림 2.1.1 금석천 측점별 DO

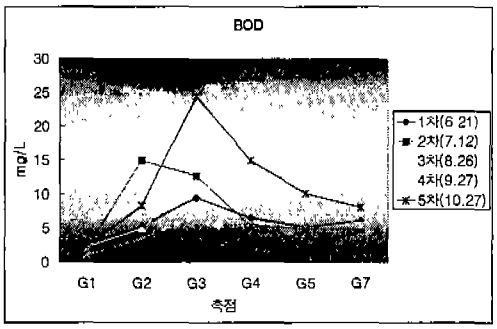

그림 2.1.2 금석천 측점별 BOD

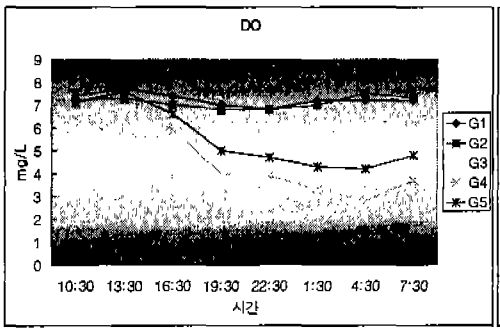

그림 2.1.3 3차 시간별 DO

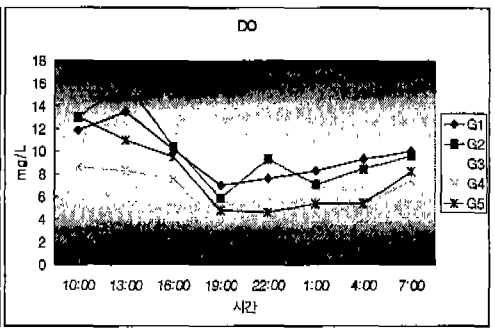

그림 2.1.4 5차 시간별 DO

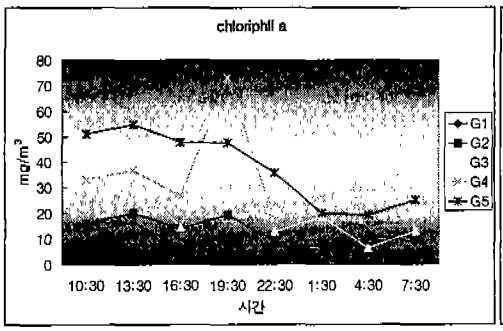

그림 2.1.5 3차 시간별 BOD

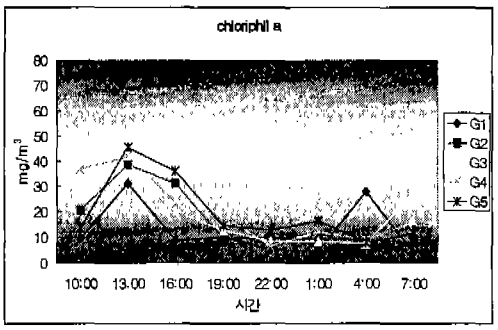

그림 2.1.6 5차 시간별 BOD

2.2 소하천 수질관리

2.2.1 수질모델링

하천의 수상태는 유입 오염부하량의 크기에 따라 결정되며 이는 오염물질의 화학 및 생물학적 특성에 의하여, 또한 수계의 물리적인 특성에 의하여 지배를 받는다. 외부의 오염원유입에 의하여 야기되는

수계의 수질변화는 계량화가 가능한 수학적모델을 이용하여 파악할 수 있다. 소하천은 유로연장이 짧고 홍수와 같은 부정부동류 발생시 전파속도(cererity)에 의해 물이 수계내에 머무르는 시간이 작아 소하천 흐름을 정상부등류로 가정할 수 있다. 따라서 수리학적 특성이 시간에 따라 일정하다고 가정하고 오염물의 이송, 확산 및 감소를 해석하는 수질모델이 적용가능하다. 본 연구에서는 이와같은 조건에 맞는 미국 환경청에서 개발한 QUAL2E 모델을 사용하여 DO 및 BOD에 대하여 수질모델링을 실시하였다(그림 2.2.1). 또한 경기도 산·학·연 연구과제의 일환으로 한경대학교에서 개발한 비점오염원 관리모델(WQMMN - Water Quality Management Model for Non-point sources)을 이용하여 유하거리에 따른 BOD분포를 파악하였다(그림 2.2.2, 2.2.3).

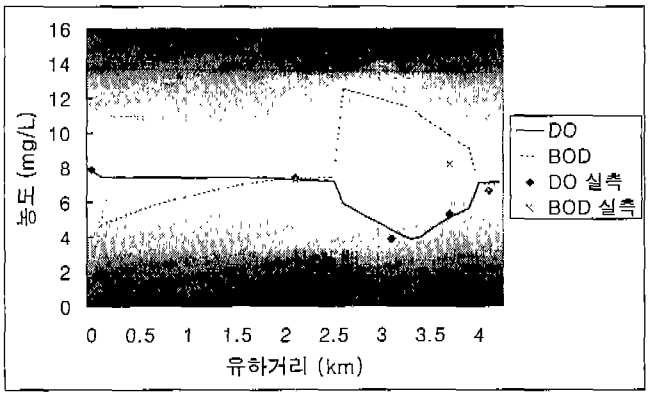

그림 2.2.1 금석천 DO, BOD 계산치 및 실측치

그림 2.2.2 비점오염원 관리모델

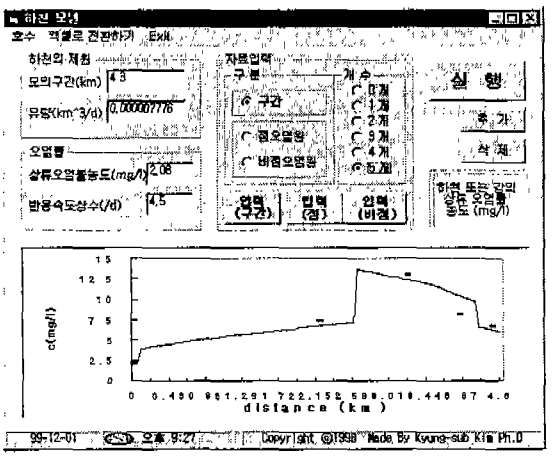

그림 2.2.3 하천모델

2.2.2 수질개선방안

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. 금석천은 생활하수가 주오염원으로 점오염원과 같이 일정지점에서 금석천에 유입되고 있으며 2001년도에 건설예정인 하수종말처리장이 가동되고 있지 않음으로 수상태가 악화되어 있다. 따라서 금석천에 적용가능한 현실적인 수질개선방안을 표 2.2.1과 같이 제안하였다. 대안 1, 2 및 3에 대한 수질개선효과가 그림 2.2.4에 나타나 있다.

표 2.2.1 적용수질개선방안

대 안	방 안	내 용
대안(Option) 1	오·폐수처리시설 설치	하수종말처리장 가동
대안(Option) 2	하상오니토 준설	대안 1 + 구간3의 하상퇴적물 준설
대안(Option) 3	점오염원 배출규제	대안 1 + 대안 2 + 동남아파트 배출부하량 감소

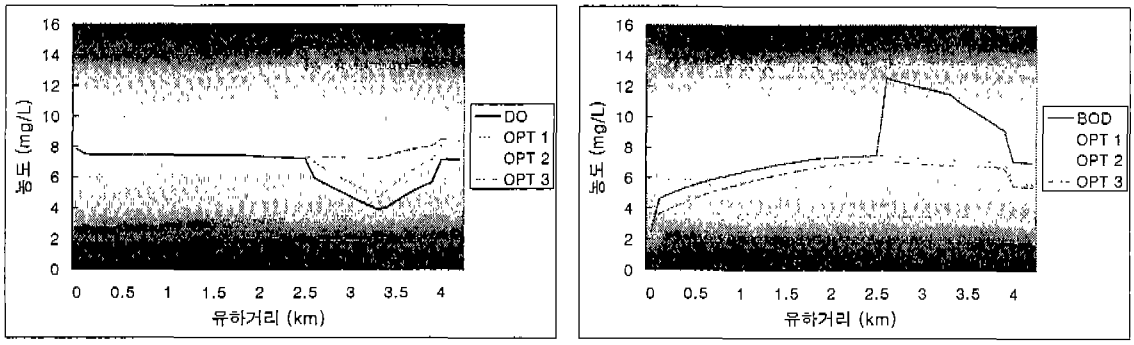

그림 2.2.4 개선방안에 따른 DO 및 BOD 변화

2.2.3 오염총량규제

한강수계상수원수질개선및주민지원등에관한법률의 통과(1999.2.8) 및 지침안(1999.9) 마련으로 한강수계지역에 위치한 시·군은 오염총량관리제를 도입하여 수계를 효율적으로 관리할 수 있다. 수계내 오염물질관리 목표량, 허용총량의 파악 및 삭감계획의 효과 분석은 기존의 수질모델을 사용하여 파악하여야 한다. 그러나 이는 다양한 자료를 요구하고 실제수계 적용이 쉽지 않음으로 용이성을 갖춘 분석적인 수질모델 개발의 필요성이 제기되었다. 오염총량관리대상물질인 BOD에 대하여 유달경로를 고려한 분석적인 모델개발에 앞서 유의사항을 살펴보도록 한다.

점오염원

확산을 무시한 단지 이송에 의하여 오염물이 이동하는 플러그 흐름반응기로 가정할 수 있는 하천에서 일차원 정상상태의 BOD농도는 다음과 같다.

$$c = c_0 e^{(-\frac{k}{U}x)} \tag{2.2.1}$$

여기서 c_0는 초기 BOD농도 [ML^{-3}], k는 BOD반응속도상수 [T^{-1}], U는 평균 유속 [LT^{-1}], x는 유하거리 [L]이다. 하천에 오염물이 유입될 경우 초기농도는 완전혼합을 가정할 경우 다음과 같이 표현되며

$$c_0 = \frac{Q_w c_w + Q_r c_r}{Q_w + Q_r} \tag{2.2.2}$$

여기서 첨자 w는 유입오염원 및 r은 하천을 나타낸다. 유입유량이 하천유량에 비하여 상대적으로 적고 ($Q_w \ll Q_r$), 하천이 오염이 안되어 BOD농도가 무시할 정도로 작다면($c_r \cong 0$), 식 2.2.2는 다음과 같이 표현되며

$$c_0 = \frac{Q_w c_w}{Q_r} = \frac{W}{Q_r} \tag{2.2.3}$$

여기서 W는 유입 오염부하량 [MT^{-1}]이다. 식 2.2.3과 식 2.2.1을 연계하면 다음 식이 얻어진다.

$$c = \frac{W}{Q_r e^{\frac{k}{U}x}} = \frac{W}{a} \tag{2.2.4}$$

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

비점오염원

비점오염원이 균일 분산오염원 형태로 하천의 유로를 따라 유입된다고 가정하면, 오염이 안된 하천에서 BOD농도는 다음과 같이 나타난다.

$$c = \frac{S_d}{k}(1 - e^{-\frac{k}{U}x}) \tag{2.2.5}$$

여기서 S_d는 분산오염원 [$ML^{-3}T^{-1}$]이다. 분산오염원은 다음과 같이 표현되며

$$S_d = \frac{W}{AL} \tag{2.2.6}$$

여기서 A는 하천의 단면적 [L^2] 및 L은 분산오염원 유입 유로연장 [L]이다. 식 2.2.6을 식 2.2.5에 대입하고 정리하면 다음과 같고

$$c = \frac{W}{ALk/(1 - e^{-\frac{k}{U}x})} \tag{2.2.7}$$

환경용량은 점오염원과 반대로 하천거리에 따라 감소함을 알 수 있다.

매개변수 민감도 분석

환경용량은 점오염원의 경우 Q_r, k, U, 비점오염원의 경우 A, L, k, U의 함수임을 알 수 있다. 매개변수의 상대적인 중요성을 파악하기 위하여 점오염원 및 비점오염원에 대하여 민감도분석을 실시하였으며 점오염원에 대한 결과가 표 2.2.2에 나타나 있다.

표 2.2.2 점오염원에서 매개변수의 Condition Number

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

BOD 반응속도상수(k)는 미처리수의 경우 0.2 ~ 0.5 /d의 값을 갖으며 금석천의 유속(U)은 대개 0.42 ~ 0.03m/s이므로 극단의 경우(k = 0.5 /d, U = 0.03m/s)를 고려해보더라도 x는 약 5km가 되어, 하천 유하거리가 약 5km 이상이면 k 및 U에, 5km 이하면 유량에 민감함을 알 수 있다. 금석천은 유하거리가 5km 이내임으로 하천유량이 중요한 매개변수임을 알 수 있다.

식 2.2.7로 나타나는 비점오염원 BOD농도식에서 지수함수는 $kx/U<0.5$ 조건(극단의 경우 $L<2.5$km)에서 다음과 같이 근사화할 수 있으며

$$e^{-\frac{k}{U}x} \cong 1 - \frac{k}{U}x \tag{2.2.8}$$

식 2.2.8을 식 2.2.7에 대입하여 정리하면 다음 식이 얻어진다.

$$c = \frac{W}{AU} = \frac{W}{Q_r} \tag{2.2.9}$$

따라서 비점오염원의 경우 분산오염원 유입 유로연장(L)이 2.5km보다 작으면 환경용량이 유량으로만 나타남을 알 수 있다.

점 및 비점오염원의 경우 모두 하천유량이 중요한 환경용량임을 알 수 있으며 차후 BOD에 대한 분석적인 모델 개발시 이점을 충분히 고려하여야 할 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 소하천의 수질변화추이를 분석하였으며, 오염원 총량규제를 위한 환경용량을 산정하였다. 또한 수질개선대책의 효율성을 파악하기 위하여 수질모델링을 실시하였다.

4. 참고문헌

경기개발연구원, 1999, 경기도내 소하천 관리를 위한 기초연구(금석천을 중심으로).

김경섭, 1996, 수질관리, 한경대학교출판부

Chapra, S. C., 1997, Surface Water-Quality Modeling, McGraw-Hill.

환경부, 2000.1, 한강수계 오염총량관리제 시행방안 연구.

정부합동, 1998, 수질관리특별종합대책.