

도시하천의 하상퇴적토 준설에 따른 수질변화 예측 Prediction of Water Quality Variation Caused by Dredging Urban River-bed

조 흥 제* / 이 병 호* / 김 정 식** / 이 근 배***
Cho, Hong-Je / Lee, Byung-Ho / Kim, Jung-Sik / Lee, Kun-Bae

Abstract

The purpose of this study was to examine the effect of water quality improvement due to dredging the bottom deposit at the downstream of a urban river. The finite difference method was used to analyze the water quality variations caused by the depths of dredging and intercepting ratios of the goal years. 21 boring points were selected along the 11.2km river reach running through a metropolitan city. The pollution levels of the deposits from the bored points were examined by the leaching test. The improvement effect of the water quality, measured as changes of COD, were carried at under drought, minimal, and normal flow. The result indicates that the dredging of the contaminated sludge contributes the improvement of the water quality.

keywords : stream channel deposit, dredging, COD, effect of water quality improvement, water quality variation

요 지

도시하천 하류부에서의 하상퇴적토 준설에 따른 수질개선효과를 검토하기 위해 유한차분법을 사용하여 목표년도 하수의 차집율에 따라 목표수질 달성에 대한 기여정도를 분석하였다. 도시를 관류하고 있는 11.2km의 하천구간내에 21개 지점을 선정하여 시추를 실시하였으며, 용출시험을 통한 하상퇴적토의 오염정도를 조사하였다. 하상퇴적토 준설에 따른 주요지점별 COD 변화를 갈수량, 저수량 및 평수량에 대해서 검토하였고, 그 결과 오염된 하상퇴적토의 준설이 수질개선에 미치는 효과가 비교적 큰 것으로 나타났다.

핵심용어 : 하상퇴적토, 준설, COD, 수질개선, 수질변화

* 울산대학교 지구환경시스템공학부 교수
Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Ulsan Univ, Ulsan 680 749, Korea
(E mail : HJCHO@mail.ulsan.ac.kr)

** 울산대학교 대학원 지구환경시스템공학부 박사과정 수료
Doctoral Candidate, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Ulsan Univ, Ulsan 680 749, Korea

*** 울산광역시 시청 도시개발과
Urban Development Division, Metropolitan City Hall of Ulsan, Ulsan 680 701, Korea

1. 서론

최근 도시하천은 치·이수대책의 중요성과 더불어 친수공간이나 친수성 제공 등에 보다 더 의미를 가지게 되었다. 낙동강과 같은 대하천은 대규모 홍수발생과 용수취수 등에 의해 치·이수기능이 오히려 더 증대된 점이 없지 않으나 중소규모하천으로서 도시를 관류하는 경우에는 친수성이 강조되고 있는 추세이다(삼성건설, 1995). 일반적으로 하상의 퇴적물에는 각종 유기물 및 농약오염물, 독성오염물이 포함되어 있어 이에 대한 효과적인 제거는 하천수의 수질개선에 크게 기여할 수 있다.

퇴적된 오염물질의 위해성 및 준설에 대한 연구로서 Lorenzen(1976)은 호수의 부영양화가 퇴적된 오염물질 중 인의 용출과 밀접한 관계가 있음을 워싱턴 호수에 대한 해석에서 확인한 바 있다. Thomann과 Mueller(1987)는 하상에 퇴적된 토사내의 오염물질(오니) 증가가 부영양화에 따라 상수원수 오염을 가속시키고 있어 옹의 제거와 이에 따른 수질개선 효과를 적극적으로 검토할 필요가 있다고 강조한 바 있다. Eric 등(1994)은 도시나 고도로 공업화된 New York/New Jersey 항내가 다이옥신, 중금속 등으로 오염되어 있어 준설에 대한 필요성과 준설물질의 처리방법에 대해서 연구한 바 있다. Giesy 등(1990)은 미 연방환경부를 비롯한 캐나다에서 설정한 퇴적물 환경기준과 그에 대한 연구동향을 정리하였다.

국내에서는 하상준설 등에 대한 연구가 일천하며 이병호 등(1996)은 낙동강 준설토의 오염물질에 대한 용출특성과 이용방법을 연구하였고, 조홍제 등(1996)은 낙동강 하류부에서의 옹준설에 따른 수질개선효과를 QUAL2E 모형을 이용해 모의한 바 있다. 그 외 QUAL2E 모형을 이용한 하천수질해석에 대한 적용은 전경수와 이길성(1993), 백경원 등(1995), 한건연 등(1995)의 연구가 있다. 그리고, 속초시(1995)는 청초호 옹준설 방안 및 수질개선대책을 연구한 바 있다.

본 연구의 주 대상인 태화강은 감조하천으로서 하상경사가 매우 완만하다. 급격한 도시화에 따라 생활하수를 비롯한 각종오염물이 다량으로 유입되어 하류부에 퇴적됨으로써 수질이 급격히 악화되었다. 그로 인하여, 태화강으로부터 십수년간 계속되어오던 하루 약 2~4만 톤 규모의 생활용수 취수는 중단된지 오래되었으며, 현재는 오염된 하천수로부터의 악취로 인하여 태화강가로

의 접근에 혐오감을 느끼는 정도이다. 태화강의 수질을 근본적으로 개선하기 위해 차집관거 설치를 계속 추진하고 있으나 2001년 현재 차집율이 약 60%정도에 머무르고 있다.

태화강은 신·구시가지를 남북으로 나누며 시내중심가를 흐르는 전형적인 도시하천으로서 친수공간으로서의 기능이 보다 중요시되고 있다. 고수부지에 형성되어 있는 대나무숲과 더불어 맑은 물이 흐르던 과거의 태화강은 전 시민들의 향수가 서려 있다. 과거의 친수성을 확보하기 위해서 선행되어야 할 것은 수질개선 및 회복이며, 이를 위해 생활하수의 차집과 오염된 하천의 퇴적토에 대한 준설이다. 울산시는 수질개선을 통한 하천의 친수환경을 개선하기 위해 하상준설을 추진하고 있다. 이러한 지자체의 준설목적은 충분히 달성하기 위해서는 하상토 준설시 수질개선을 위해 현장조사 자료를 중심으로 검토하여 목표수질달성을 위한 준설기준 제시가 요구된다.

2. 물질수지모델의 전개

이상적인 하천의 모델링을 위해서는 WASP나 QUAL2E 모델 등을 이용하는 것이 바람직하겠으나 본 연구 구간은 유로가 짧고 하류부에 설치된 방사보가 바다와 접한 하구언의 특성도 어느정도 띄고 있는 특수한 지역이다. 또한 유입되는 유기물질, 질소, 인, 태양광선의 강도 등에 대한 상호작용이 불투명하다. 따라서 준설에 따른 수질개선효과를 검토하기 위해 단순한 물질수지모델을 적용하여 유입되는 COD와 하상퇴적토로부터의 용출, 자체분해를 등을 고려하여 분석을 실시하였다.

2.1 이론적 배경

그림 1은 지류가 있고 항이나 바다로 접근할수록 면적이 증가하는 일반적인 하천의 하구부 형태를 나타낸다. 평균수심은 하구부의 길이에 따라 깊어지거나 얕아지며 여기서 혼합은 상하좌우로 잘 혼합된다고 가정하고, 경사는 단지 하구축을 따라 종단경사만 고려한다. 그리고 여러 지점에서 하수가 하천으로 유입되거나 지류가 하천으로 유입된다.

유한차분법에 의한 모형을 구성하기 위해서는 하구부를 유한의 구간으로 나누고, 물질 농도는 분할구역의 중심에서 계산한다. 구간의 분할 수는 각 구간의 길이에 좌우되며, 실제 하구부에서는 일반적으로 1~2km의 구간거리가 적당한 것으로 알려져 있다. 구간길이는 일

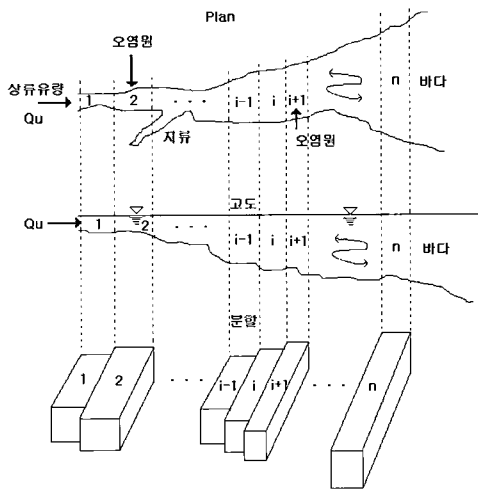


그림 1. 유한 분할구간으로 하구표현(유한차분법)

정할 필요는 없지만, 편의상 동일 길이로 가정하였다.

한편, 분할구간 i 에서 물질수지의 식을 결정하는 것은 비교적 간단하며, 다음과 같은 4개의 구성요소가 필요하다: (1) advective flow에 의한 이동, (2) 조석확산과 밀도 혼합에 의한 질량이동, (3) 소멸에 의한 질량손실 및 (4) s 의 source와 sink이다. 그림 2는 구간 i 에서의 물질수지를 도시하고 있다.

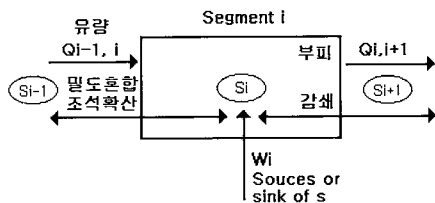


그림 2. i 번째 구간에 대하여 advective 유량, 조석확산, 밀도혼합 및 감쇄

2.2 대상하천의 구분

분석대상은 국가하천인 태화강의 삼호교에서 방사보에 이르는 하천구간을 선정하였으며, 그림 3에 나타난 바와 같이 생활하수가 유입되는 지점을 고려하여 51개 구간으로 분할하였다. 그림 3의 각 구간은 수리학적으로 유사한 특성을 가지는 것으로 가정하였으며, 분할시 차원이나 수심 등은 고려하지 않았다. 즉 각 구간내의 수질은 동일한 것으로 가정하였으며, 각 구간내 하천수 및 오염물질의 체류시간은 구간을 경과하는 시간으로서 이 시간동안 오염물질은 퇴적과 분해 등이 반복해서 발생하는 것으로 가정하였다.

2.3 모형의 구성

전절의 그림 3과 같이 분할된 각 하천구간의 COD에 대한 확산과정을 미분방정식을 이용하여 해석하면 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = Q_{i-1,i} C_{i-1} - Q_{i,i+1} C_i + V_i k C_i + \frac{EA_{i-1,i}}{Z_{i-1,i}} (C_{i-1} - C_i) + W_i + G_i - \frac{EA_{i,i+1}}{Z_{i,i+1}} (C_i - C_{i+1}) \quad (1)$$

여기서,

- E: Dispersion Coefficient (m²/day)
- A: 두 Segment의 평균 단면적(m²)
- Z: 두 Segment의 중심간 거리
- V: 부피
- C: COD농도
- Q: 유·출입되는 유량
- k: 침전, 자정작용에 의한 감소속도(hr⁻¹)
- W: 하천, 도구 등으로 유입되는 COD의 양(kg/hr)
- G: 퇴적으로부터 용출되는 COD의 양(kg/hr)

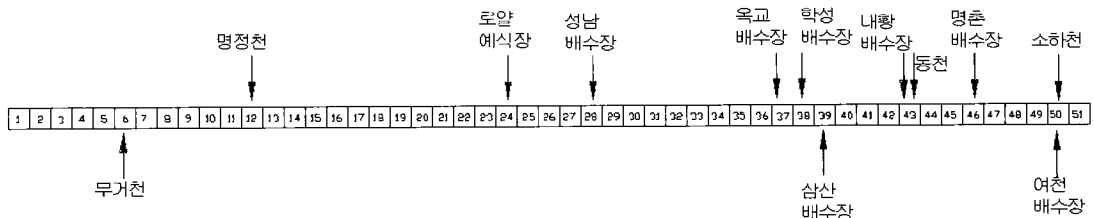


그림 3. 분석대상 하천의 분할 및 구성도

t : 시간(hr)
i : Segment 번호

삼호교에서 방사보에 이르는 구간은 감소하천이므로 바다가 만조일 때에는 물이 역류하는 현상이 생긴다. 따라서 분석구간은 하천과 호소의 성격을 동시에 가지고 있으므로 두 경우를 모두 고려하여 예측을 하였다. 분석구간은 수로의 연장이 짧아 수량과 유입되는 오염 부하량 등을 정확하게 파악하는 것이 매우 어렵다. 따라서 분석구간이 감소하천이기 때문에 물이 역류하는 동안에도 물이 정상상태(steady-state)로 흐르는 경우는 많지 않지만 간조시에는 태화강물이 상류에서 하류로 정상상태로 흐르는 것으로 가정하였고, 만조시에는 반대로 바다에서 상류로 정상상태로 흐르는 것으로 간주하였다.

물이 정상상태로 흐른다고 가정하고, 각 segment의 COD농도변화가 시간에 따라 일정하면, $V_i \frac{dC_i}{dt} = 0$ 이 되므로 식(1)은 다음 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} & Q_{i-1,i} C_i - Q_{i,i+1} C_i + V_i k C_i \\ & + \frac{EA_{i-1,i}}{Z_{i-1,i}} (C_{i-1} - C_i) + W_i + G_i \\ & - \frac{EA_{i,i+1}}{Z_{i,i+1}} (C_i - C_{i+1}) = 0, \quad i \geq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)를 정리하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \left(-Q_{1,2} + V_1 k - \frac{EA_{0,1}}{Z_{0,1}} - \frac{EA_{1,2}}{Z_{1,2}} \right) C_1 + \frac{EA_{1,2}}{Z_{1,2}} C_2 \\ & = -Q_{0,1} C_0 - \frac{EA_{0,1}}{Z_{0,1}} C_0 - W_1 - G_1 \\ & \left(Q_{1,2} + \frac{EA_{1,2}}{Z_{1,2}} \right) C_1 + \left(-Q_{2,3} + V_2 k - \frac{EA_{1,2}}{Z_{1,2}} - \frac{EA_{2,3}}{Z_{2,3}} \right) C_2 \\ & + \left(\frac{EA_{1,2}}{Z_{2,3}} \right) C_3 = -W_2 - G_2 \\ & \vdots \\ & \left(Q_{50,51} + \frac{EA_{50,51}}{Z_{50,51}} \right) C_{50} + \left(-Q_{51,52} + V_{51} k - \frac{EA_{50,51}}{Z_{50,51}} \right. \\ & \quad \left. - \frac{EA_{51,52}}{Z_{51,52}} \right) C_{51} = -W_{51} - G_{51} - \frac{EA_{51,52}}{Z_{51,52}} C_{52} \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)을 다시 정리하면 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} a_{1,1} C_1 + a_{1,2} C_2 & = F_1 \\ a_{2,1} C_1 + a_{2,2} C_2 + a_{2,3} C_3 & = F_2 \\ & \vdots \\ & \vdots \\ a_{50,49} C_{49} + a_{50,50} C_{50} + a_{50,51} C_{51} & = F_{50} \\ a_{51,50} C_{50} + a_{51,51} C_{51} & = F_{51} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 다시 정리하면, 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} a_{1,1} & = -Q_{1,2} + V_1 k - \frac{EA_{0,1}}{Z_{0,1}} - \frac{EA_{1,2}}{Z_{1,2}} \\ a_{1,2} & = \frac{EA_{1,2}}{Z_{1,2}} \\ F_1 & = -Q_{0,1} C_0 - \frac{EA_{0,1}}{Z_{0,1}} C_0 - W_1 - G_1 \\ & \vdots \\ & \vdots \\ a_{51,50} & = Q_{50,51} + \frac{EA_{50,51}}{Z_{50,51}} \\ a_{51,51} & = -Q_{51,52} + V_{51} k - \frac{EA_{50,51}}{Z_{50,51}} - \frac{EA_{51,52}}{Z_{51,52}} \\ F_{51} & = -W_{51} - G_{51} - \frac{EA_{51,52}}{Z_{51,52}} C_{52} \end{aligned} \quad (5)$$

그리고 식(5)는 식(6)과 같은 tridiagonal matrix 형태로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ \vdots & & & \\ \vdots & & & \\ 0 & & 0 & a_{50,49} & a_{50,50} & a_{50,51} \\ 0 & & 0 & a_{51,50} & a_{51,51} & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ C_{50} \\ C_{51} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ F_{50} \\ F_{51} \end{bmatrix} \quad (6)$$

3. 수질조사 및 용출실험

3.1 수질조사

하천수질은 하천유량의 증감, 오염부하량의 증감, 하상퇴적, 오니의 용출, 수온이 계절적 변화에 따라 크게 달라지게 된다. 이와 같은 하천수질의 변화특성을 파악하기 위해 기존의 수질측정성적을 분석하였다. 울산지역 환경보존협의회는 '90년 2월부터 매년 수차례씩 비정기적으로 태화강 상류에 위치한 댐과 하천의 주요지점에 대한 수질조사를 실시하여왔다. 조사내용은 COD

를 비롯한 일반항목 9개와 Cd를 비롯한 중금속 8개 항목이다. 이는 태화강 수질보전을 위한 기초 자료로 활용될 수 있겠으나, 수위 또는 유량을 동시에 측정하지 않은 관계로 모형을 이용한 분석과 예측에는 이용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 유량 및 수위변화에 따른 현재의 수질상태를 파악하기 위해 유량, 수위 및 수질에 대한 측정을 2회 실시하였으며, 기존의 자료는 참고 자료로 활용하였다.

3.2 태화강 퇴적토의 산소요구량(Sediment Oxygen Demand)실험

SOD(Sediment Oxygen Demand)란 퇴적물 산소요구량으로서 퇴적물내의 유기물의 산화에 관여한다. 하천, 호수등의 바다에는 외부에서 유입되는 입자상 물질(썩은 나뭇잎, 유기물이 풍부한 부식된 토양)이 있으며 폐수내 입자들은 유기물질이 풍부한 퇴적물을 형성한다. 이렇게 쌓여진 유기물들의 산화는 퇴적물 산소요구량을 발생시킨다. 퇴적물의 산소요구량을 측정하기 위하여 공정시험법상의 측정방법인 COD(화학적 산소요구량)실험을 선택하였다.

퇴적토의 준설을 통하여 태화강에 수질을 개선하기 위해서는 퇴적토의 준설 깊이 및 정도에 따른 효과를 추정하는 것이 필요하지만 정확한 값을 산정할 수는 없다. 그러나 퇴적토내에 포함되어 있는 유기물질 등의 부식에 따른 산소요구량(SOD)을 이용하여 퇴적토의 오염정도 및 분해정도(용출효과)를 간접적으로 파악할 수 있다. 준설 깊이에 따른 용출의 개선효과와 퇴적토의 준설량을 추정하기 위해서는 일정한 퇴적토의 깊이에서의 용출량을 산정하여야 한다. 이와 같은 관점에서

태화강 내에 오염원이 유입되고 있는 지점중 대표적인 4개 지점을 선정하여 보링을 실시하였으며, 특정한 깊이에서 추출된 시료에 대해 산소요구량실험을 실시하였다. 보링을 실시한 4개 지점은 무거천이 태화강으로 유입되는 지역, 태화교 상류 대규모 하수관거 유입부의 상류 및 하류지역, 그리고 동천이 태화강으로 유입되는 지역이다. 시료채취는 상·하부층으로 나누어 실시하였고, 상부층은 0~0.5m 위치에서 하부층은 0.5~1m 지점에서 이루어졌다. 실제 실험에 사용된 시료의 양은 340g이며 보링 추출물로부터 시료채취 당일부터 실험을 실시하였다.

3.2.1 SOD 실험 방법 및 결과

용출실험은 동일한 형태의 크기와 모양을 갖추고 있는 지름 9cm의 원통형 플라스틱 통으로 이루어졌다. 먼저 시료 8개를 각 통 안에 넣은 후 증류수 1L를 천천히 교란되지 않도록 넣고 증류수에 대한 COD실험을 실시하였다. 매일 같은 시각에 시료 상부층의 물에 대하여 COD실험이 이루어졌으며 수질실험을 위해 배출된 물은 동일량의 증류수로 다시 채워졌다. 실험은 동일하게 일주일간 이루어졌으며 대기와 접하지 않도록 랩으로 덮어두었다. 실험결과는 표 1과 같고 그림 4에 각 시료별 농도 변화를 도시하였다. 그림 4에 나타난 바와 같이 약 3일이후부터는 COD의 농도변화가 거의 일정하고 안정화된 것을 알 수 있다.

따라서 COD농도 변화가 안정된지 2일후인 5~7일 동안의 농도변화의 평균치를 택하여 저질토의 SOD로 결정하였으며, 그 성과는 표 2와 같다.

표 1. 지점별 용출 COD량 변화

단위 : [mg/ℓ]

경과일 \ 시료	1지점		2지점		3지점		4지점	
	상부층	하부층	상부층	하부층	상부층	하부층	상부층	하부층
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	16.4	13.4	14.4	10.4	7.4	6.4	11.9	6.4
2	0.8	0.7	1	2.1	0.6	0.3	1.4	1.9
3	1.2	0.68	0.85	2.35	0.52	0.6	1.38	1.46
5	0.45	0.42	0.55	0.41	0.32	0.3	0.46	0.2
6	0.35	0.4	0.55	0.35	0.72	0.36	0.6	0.46
7	0.35	0.38	0.55	0.33	0.52	0.38	0.52	1.16

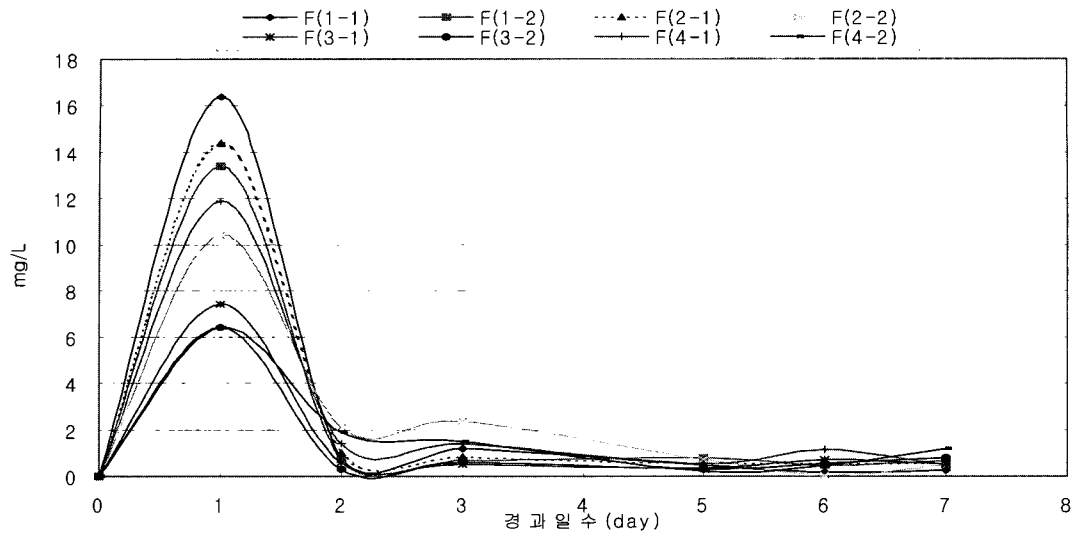


그림 4. 각 시료별 COD 농도변화

표 2. 단위변환 후 SOD

단위 : [mg/l/kg]

	무거천합류 후	로얄예식장 배수장 유입전	로얄예식장 배수장 유입후	동천유입전	비고
상부	1.324	1.618	0.941	1.353	5일째
	1.029	1.618	2.118	1.765	6일째
	1.029	1.618	1.529	1.529	7일째
평균	1.127	1.618	1.529	1.549	
하부	1.235	2.059	0.882	0.588	5일째
	1.176	1.029	1.647	1.353	6일째
	1.118	0.971	2.353	3.412	7일째
평균	1.176	1.353	1.627	1.784	

3.2.2 용출량 추정

표 2는 채취된 하상토 중량 1kg과 두께 3cm의 시료로부터 용출된 COD농도이다.

각 지점의 상·하부층에 대한 5~7일의 SOD값의 평균치를 사용하여 하천구간별 하상토의 SOD를 계산하면 표 3과 같다.

그러나 퇴적토의 채취와 SOD 실험과정에서 발생하는 재료의 교란으로 인해 용출량이 과다하게 발생할 수 있으므로 이를 보정해줄 필요가 있다. 실험오차의 보정을 위해 보정계수는 1/3을 사용하였으며, 표 3에 이를 적용한 결과는 표 4와 같다.

한편, 퇴적토의 준설깊이에 따른 수질개선 효과를 검

토하기 위해서는 퇴적토 깊이에 따른 용출효과를 추정하여야 한다. 표 4에 나타난 바와 같이 퇴적토의 상부층과 하부층에서의 용출되는 SOD의 값이 거의 일치하고 있다. 그러나 실제 퇴적토층에서 0~0.5m 깊이에서의 용출량과 0.5~1.0m 깊이에서의 용출량은 다르게 나타나므로 0.5~1.0m 깊이에서의 용출량은 0~0.5m 깊이에서의 용출량의 약 60% 정도로 추정하였다. 그 이유는, 퇴적된 시기에 따라 퇴적된 오염물질의 분해 진행도가 다르기 때문이다. 따라서 퇴적토 깊이에 따른 SOD는 표 5와 같다. 또 용출효과는 퇴적토 깊이에 따라 다르게 나타나므로 퇴적토 0.5m깊이에서는 전체 용출량의 50%, 퇴적토깊이 0.5~1.0m에서는 30%, 그리

표 3. 퇴적토의 SOD 농도

단위 : [kg/ℓ]

	무거천합류 후	로얄예식장 배수장 유입전	로얄예식장 배수장 유입후	동천유입전
상부층	1.624	2.329	2.202	2.231
하부층	1.694	1.948	2.344	2.569

표 4. 보정된 퇴적토의 SOD 농도

단위 : [kg/ℓ]

	무거천합류 후	로얄예식장 배수장 유입전	로얄예식장 배수장 유입후	동천유입전
상부	0.541	0.776	0.734	0.744
하부	0.565	0.649	0.781	0.856

표 5. 퇴적토 깊이에 따른 SOD 농도

단위 : [kg/ℓ]

	무거천합류 후	로얄예식장 배수장 유입전	로얄예식장 배수장 유입후	동천유입전
상부	0.824	1.101	1.125	1.172
하부	0.565	0.649	0.781	0.856

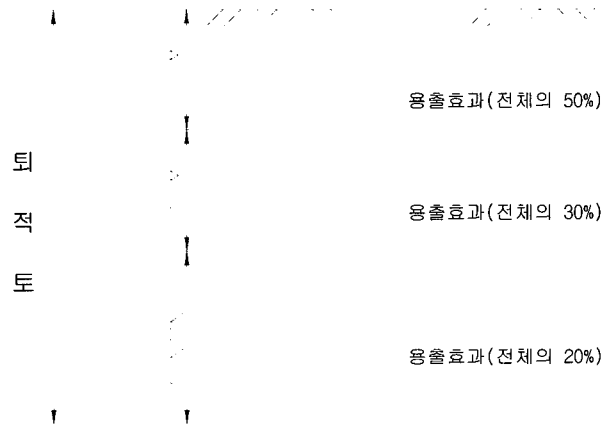


그림 5. 퇴적토 깊이에 따른 용출효과 모식도

고 1.0m이하에서는 나머지 20%가 퇴적되는 것으로 가정하였으며, 그림 5와 같다.

4. 모델의 검증

4.1 기준유량결정

하천수질의 오염정도는 하천수량의 크기에 따라 좌

우된다. 즉 하천으로 유입되는 오염물질이 다소 많더라도 강우 등에 의한 하천수량이 풍부하게 되면 오염농도가 묽어지거나 희석되며, 하류로 이송되는 효과도 증가하므로 하천수질은 비교적 좋은 상태를 유지할 수 있게 된다. 이와 같은 형상은 올해 잦은 강우로 인한 낙동강 하류 및 태화강의 개선된 수질에서 확인할 수 있다. 태

화강의 수질은 태화강으로 유입되는 하천수량에 크게 좌우되므로 정확한 하천수량을 파악하는 것은 매우 중요한 인자가 된다.

1999년 실측에 의해 개발한 삼호 및 병영 수위관측소의 수위-유량곡선식과 수위관측기록을 이용하여 본 연구의 수질예측모의에 필요한 갈수량, 저수량 및 평수량을 결정하였으며, 그 성과는 다음 표 6과 같다. 표 6의 평균 갈수량, 평균 저수량 및 평균 평수량은 수위기록 중 최근 8년 치의 평균수위에 대한 유량을 의미한다.

그리고 1999년 9월 13일, 2000년 1월 29일 수질측정시에 삼호 및 병영수위관측소의 수위를 관측하였으며,

그 성과는 표 7과 같다. 표 7의 계산유량은 전술한 삼호 및 병영수위관측소의 수위-유량곡선식을 이용하여 산정한 성과이다.

4.2 모형의 검증

분석구간내 실측수질자료, 각 지천 및 배수장으로부터 유입되는 유입수의 실측수질자료, 그리고 수질측정시에 관측된 수위 및 유량자료성표를 이용하여 수질예측모형인 식 (6)에 대한 최적화기법을 활용하였다. 분석은 COD에 한정하여 실시하였다. 모형의 최적화에 있어서 무거천, 명정천 및 여천배수장은 현재 차집 되

표 6. 기준유량 성과

단위 : [m³/s]

지점 \ 유량	평균 갈수량	평균 저수량	평균 평수량	비 고
삼 호	2.49	6.06	12.95	'99 수위-유량곡선식 이용
병 영	0.07	0.13	0.19	〃

표 7. 실측수위 및 유량

지점 \ 수위 및 유량	실측수위(m)	계산유량(m ³ /s)	측정일자
삼 호	0.48	8.00	1999. 9.13
	0.31	1.90	2000. 1.29
병 영	0.42	0.17	1999. 9.13
	0.48	0.05	2000. 1.29

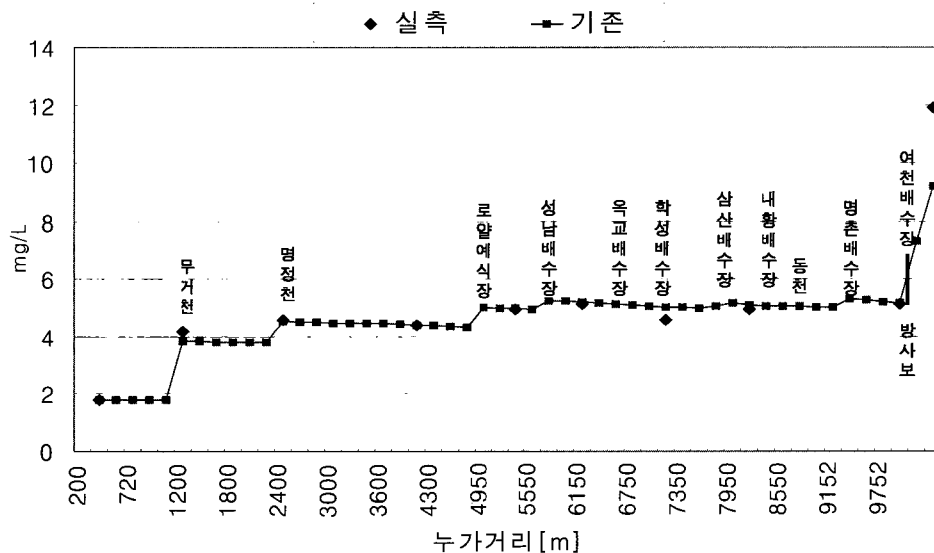


그림 6. 실측치를 이용한 해석모형의 검증

지 않으므로 COD에 대한 차집율을 0%로 하였고, 그 외 로얄예식장을 비롯한 각 지천 및 배수장에서 유입되는 COD는 현 차집율 40%±10%를 적용하였다.

모형의 최적화 성과는 그림 6과 같으며, 실측치와 비교할 때 전 구간내의 COD변화를 적절하게 반영하고 있는 것으로 판단된다. 그림 6에서 “기준”은 각 지천 및 배수장 등에서 현재의 유입량 및 차집정도에 따른 COD의 농도를 나타낸다.

5. 하천유량별 준설정도에 따른 수질예측

대상하천 구간내 수질변화의 주된 요인은 하상퇴적토에 침전된 생활하수 등에 의한 오염물질의 용출량과 각 지천 및 배수장으로 유입되는 생활하수 등이다. 퇴적물 준설의 필요성 및 준설시 영향을 고찰하기 위하여 저질로부터 용출 및 기타 오염유발원인을 오염부하량으로 간주하였으며, 퇴적물 준설에 의하여 오염부하량이 줄어드는 것으로 가정하였다. 현재의 차집율상태에서 하상도 준설에 의한 오염부하량 감소와 그에 따른 수질개선효과를 갈수량, 저수량 및 평수량의 하천유량에 대해서 검토하였다.

5.1 하상준설정도에 따른 유량별 수질변화

하상준설에 따른 태화강 연구 구간내의 수질개선효과를 검토하기 위해 현재의 차집율 40%에 대한 하상준

설정도별 수질개선효과를 검토하였다.

태화강 삼호지점의 갈수량 Q=2.49m/s와 주요지천인 동천지점의 갈수량 Q=0.07m/s(합계 2.56m/s)에 대해 하상준설정도에 따른 오염부하량 감소율(50%, 80%, 100%)별 수질개선효과를 검토하였으며, 그 결과는 그림 7과 같다. 그림 7에서 보이는 바와 같이 1999년 기준 차집율 40% 상태에서, 준설에 따른 오염부하량 감소율이 50%, 80% 및 100%일 때 로얄예식장 부근의 COD농도가 11.3ppm에서 각각 10.3ppm, 9.7ppm 및 9.3ppm으로 개선되는 것으로 나타났으며, 방사보 상류에서의 COD농도는 17.1ppm에서 각각 15.0ppm, 13.8ppm 및 12.9ppm으로 COD농도가 개선되는 것으로 나타났다.

분석대상 하천구간내 삼호지점의 저수량 Q=6.06m/s와 주요지천인 동천지점의 저수량 Q=0.13m/s(합계 6.19m/s)에 대해 하상준설정도에 따른 오염부하량 감소율(50%, 80%, 100%)별 수질개선효과를 검토하였다. 준설에 따른 오염부하량 감소율이 50%, 80% 및 100%일 때 로얄예식장 부근의 COD농도가 6.1ppm에서 각각 5.7ppm, 5.4ppm 및 5.2ppm으로 개선되는 것으로 나타났으며, 방사보 상류에서의 COD농도는 9.2ppm에서 각각 8.2ppm, 7.6ppm 및 7.2ppm으로 COD농도가 개선되는 것으로 나타났다.

삼호지점의 평수량 Q=12.95m/s와 주요지천인 동천

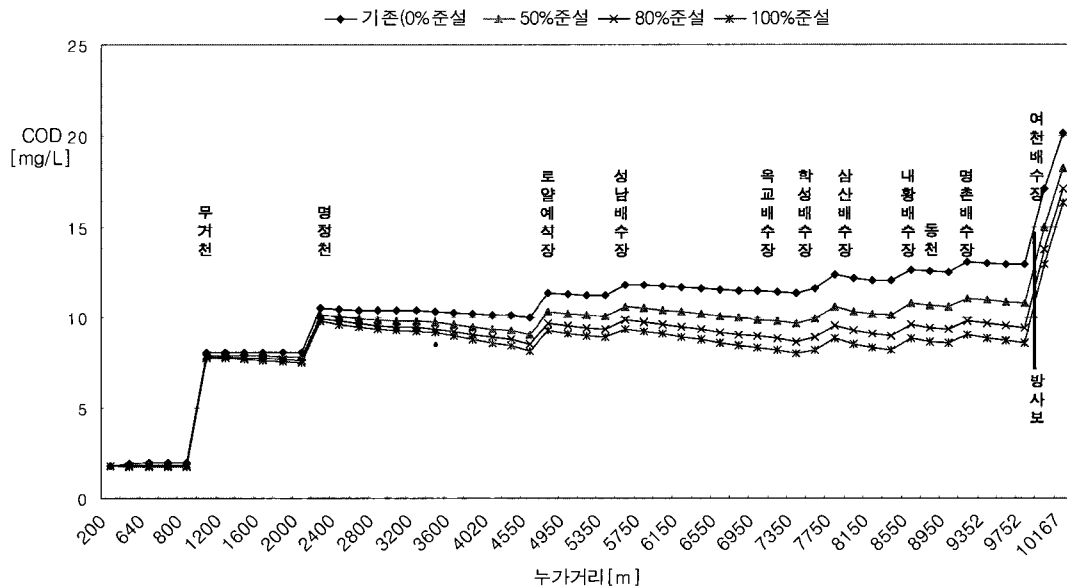


그림 7. 준설에 따른 COD 변화량(갈수량 2.56m³/s)

표 8. 준설정도에 따른 유량별 수질개선 비율

단위 [%]

누가거리	50%준설			80%준설			100%준설		
	갈수량	저수량	평수량	갈수량	저수량	평수량	갈수량	저수량	평수량
200	0.99	0.41	0.19	1.58	0.66	0.31	1.97	0.82	0.39
400	3.61	1.55	0.73	5.78	2.47	1.18	7.22	3.09	1.47
640	6.53	2.89	1.39	10.44	4.62	2.22	13.05	5.77	2.78
720	6.73	2.98	1.44	10.76	4.77	2.30	13.46	5.96	2.87
800	7.11	3.16	1.53	11.37	5.06	2.44	14.21	6.32	3.05
1000(무거천)	2.01	1.54	1.06	3.21	2.47	1.70	4.01	3.09	2.12
1200	2.10	1.62	1.11	3.37	2.59	1.78	4.21	3.24	2.22
1400	2.37	1.82	1.25	3.79	2.91	2.00	4.74	3.64	2.50
1600	2.76	2.13	1.46	4.42	3.40	2.34	5.53	4.25	2.92
1800	3.19	2.46	1.69	5.11	3.93	2.71	6.39	4.91	3.38
2000	3.78	2.90	2.00	6.04	4.65	3.21	7.56	5.81	4.01
2200(명정천)	3.45	2.81	2.07	5.53	4.50	3.31	6.91	5.63	4.13
2400	3.99	3.24	2.39	6.38	5.19	3.82	7.97	6.49	4.77
2600	4.54	3.69	2.72	7.26	5.90	4.35	9.08	7.38	5.43
2800	4.99	4.05	2.98	7.98	6.48	4.77	9.98	8.10	5.97
3000	5.20	4.21	3.11	8.31	6.74	4.97	10.39	8.43	6.21
3200	5.38	4.36	3.22	8.61	6.98	5.15	10.77	8.73	6.43
3400	5.78	4.68	3.46	9.25	7.49	5.53	11.57	9.37	6.91
3600	6.37	5.15	3.81	10.20	8.24	6.09	12.74	10.30	7.62
3810	7.02	5.67	4.19	11.23	9.07	6.71	14.04	11.34	8.39
4020	7.58	6.11	4.53	12.13	9.77	7.24	15.16	12.22	9.05
4300	8.20	6.59	4.89	13.11	10.55	7.83	16.39	13.19	9.78
4550	9.29	7.46	5.54	14.86	11.93	8.87	18.58	14.91	11.09
4750(로얄예식장)	9.01	7.45	5.70	14.41	11.92	9.12	18.01	14.90	11.40
4950	9.56	7.89	6.04	15.30	12.62	9.67	19.12	15.77	12.08
5150	9.98	8.21	6.30	15.96	13.14	10.07	19.95	16.43	12.59
5350	10.36	8.52	6.53	16.58	13.63	10.45	20.73	17.04	13.07
5550(성남배수장)	10.25	8.52	6.60	16.39	13.62	10.56	20.49	17.03	13.20
5750	10.70	8.87	6.88	17.11	14.19	11.01	21.39	17.74	13.76
5950	11.19	9.27	7.19	17.91	14.83	11.51	22.38	18.53	14.38
6150	11.69	9.66	7.50	18.70	15.45	12.00	23.37	19.32	15.00
6350	12.20	10.06	7.82	19.51	16.10	12.51	24.39	20.12	15.64
6550	12.73	10.48	8.15	20.36	16.77	13.05	25.46	20.96	16.31
6750	13.19	10.85	8.44	21.11	17.35	13.51	26.38	21.69	16.89
6950	13.64	11.20	8.73	21.82	17.92	13.96	27.28	22.40	17.45
7150	14.12	11.58	9.03	22.60	18.53	14.45	28.25	23.16	18.06
7350(옥교배수장)	14.65	12.00	9.36	23.45	19.20	14.98	29.31	24.00	18.73
7550	14.68	12.12	9.53	23.49	19.39	15.24	29.37	24.24	19.05
7750(학성배수장)	14.25	11.96	9.54	22.80	19.14	15.26	28.50	23.92	19.07
7950(삼산배수장)	14.89	12.47	9.94	23.83	19.95	15.91	29.79	24.93	19.89
8150	15.37	12.83	10.24	24.59	20.54	16.39	30.74	25.67	20.48
8350	15.76	13.14	10.49	25.22	21.02	16.78	31.53	26.28	20.98
8550(내황배수장)	14.96	12.72	10.30	23.93	20.35	16.48	29.92	25.44	20.60
8750(동천)	15.42	13.08	10.59	24.68	20.93	16.95	30.84	26.16	21.18
8950	15.77	13.35	10.81	25.23	21.36	17.30	31.53	26.70	21.62
9152(명촌배수장)	15.42	13.19	10.76	24.67	21.10	17.22	30.84	26.37	21.52
9352	15.90	13.56	10.72	25.44	21.70	17.39	31.81	27.13	21.84
9552	16.43	13.98	10.67	26.30	22.37	17.58	32.87	27.96	22.18
9752	16.85	14.31	10.63	26.97	22.89	17.73	33.71	28.61	22.46
9967(여천배수장)	12.14	11.16	8.71	19.42	17.86	14.53	24.28	22.32	18.40
10167	9.38	9.10	7.36	15.01	14.57	12.27	18.76	18.21	15.54

지점의 평수량 Q=0.19m³/s(합계 13.14m³/s)에 대해 하상준설정도에 따른 오염부하량 감소율(50%, 80%, 100%)별 수질개선효과를 검토하였다. 그 결과 현재의 차집율 상태에서 준설에 따른 오염부하량 감소율이 50%, 80% 및 100%일 때 로얄예식장 부근의 COD농도가 3.9ppm에서 각각 3.6ppm, 3.5ppm 및 3.4ppm으로 개선되는 것으로 나타났으며, 방사보 상류에서의 COD농도는 5.3ppm에서 각각 4.9ppm, 4.5ppm 및 4.3ppm으로 COD농도가 개선되는 것으로 나타났다.

5.2 하상준설정도에 따른 유량별 수질개선 비율

연구대상 구간의 하상준설정도에 따른 수질개선을 유량별로 비교 함으로서 계획단계에서 계절별 수질개선을 간접적으로 판단할 수 있는 근거를 제시할 수 있다. 유량별 수질개선 정도를 분석하기 위해 준설정도에 따라 모의된 COD 농도와 준설이 되지 않은 현 상태의 COD 농도의 백분율을 계산하여 유량별로 비교하여 표 8에 나타내었다. 표 8에 나타난 바와 같이 상류에 비해 하류의 수질개선 비율이 증가하는 것을 알 수 있다. 반면, 오염물의 부하량이 비교적 많은 무거천이 유입되는 지점에서서는 7.11%에서 2.01%로, 여천배수장 지점의 경우 16.85에서 12.14로 수질개선 비율이 감소하며, 부하량이 적은 지류의 유입 또는 오염물이 유입되는 지점에서서는 준설로 인한 수질개선 비율의 감소폭이 작게 나타나고 있다. 또한 동일한 준설정도에 대해 유량별 수질개선 비율은 무거천 합류지점의 경우 각각 2.01%, 1.54% 및 1.06%이며, 명촌 배수장 지점의 경우 15.42%, 13.19% 및 10.76%로서 유량이 증가할수록 수질개선 비율은 감소한다.

6. 결론

- (1) 시추성과에 따르면, 도시하천으로 유입된 오염물질은 유사와 함께 여름의 풍수기를 제외한 갈수기 및 평수기 동안 각 하천구간내의 수리학적 특성에 따라 하상에 퇴적 및 하류이송이 반복된 관계로 심도별로 일정한 특성을 나타내지 않는다.
- (2) 분석대상 도시하천구간에서 현재 도시하수 차집율 40% 상태에서 퇴적토 준설에 따른 오염부하량 감소율이 50%, 80% 및 100%일 때, 갈수량 시에는 각각 0.0~2.1ppm(0.99~15.76%), 0.0~3.3ppm(1.53~26.30%) 및 0.0~4.2ppm(1.97~33.71%) 정도, 저수량시에는 0.0~1.0ppm

(0.41~14.31%), 0.0~1.6ppm(0.66~22.37%) 및 0.0~2.1ppm(0.82~28.61%) 정도, 그리고 평수량시에는 0.0~0.5ppm(0.19~10.67%), 0.0~0.8ppm(0.31~22.89%), 0.0~1.0ppm(0.39~22.46%) 정도의 수질개선효과가 있는 것으로 나타났다.

- (3) 오염된 하상퇴적토의 준설은 유량이 작은 갈수기 시 수질개선효과가 큰 반면, 도시하수가 유입되는 지점에서는 준설에 따른 수질개선효과가 상쇄되는 것으로 나타났다. 따라서 차집관개 매설을 우선적으로 실시하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

- 삼성건설주식회사(1995) 낙동강 오니준설에 따른 수질개선 연구. 삼성건설.
- 백경원, 김상호, 한건연, 송재우(1995), "QUAL2E에 의한 한강 하류부에서의 수질해석", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제15권, 제2호, pp.451-461.
- 이병호, 조홍제, 이상배, 류범수(1996), "낙동강 준설토의 오염물질 용출 특성과 이용방안에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제16권, 제2호, pp.399-409.
- 진경수, 이길성(1993), "QUAL2E 모형의 한강수계 적용", 한국상하수도학회지, 한국상하수도학회, 제6권, 제2호, pp.43-56.
- 조홍제, 한건연, 김상호(1996), "낙동강 하류부에서의 오니준설에 따른 수질영향 분석", 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제29권, 제3호, pp.177-186.
- 한건연, 송재우, 김상호, 백경원(1995), "한강하류부에서의 총질소와 총인에 대한 수질모의", 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제27권, 제1호, pp.53-67.
- 속초시(1995). 청초호 퇴적물 준설사업 실시실계보고서. 속초시
- Lorenzen, M.W., Smith, D.J. and Kinmel, L.V.(1976), *A long term phosphorus model for lakes: Application to White Lake Washington. Model Biochemical Processes in Aquatic Ecosystems*. Ann Arbor Science, pp.75-91.
- Thomann, R.V. and Mueller, J.A.(1987), "*Principles of surface water quality modeling and control*", Harper and Row.
- Eric Stern, Joseph Olha, Audrey A. Massa and

Bryce Wisemiller(1994), "Recent Assessment and Decontamination Studies of Contaminated Sediments in the New York/New Jersey Harbor." *Dredging '94. Proceedings of the Second International Conference on Dredg*

ing and Dredged Material placement, ASCE, pp.457-467.

(논문번호:01-078/접수:2001.11.28/심사완료:2002.02.20)