

낙동강 하류부에서의 오니준설에 따른 수질영향 분석 Water Quality Impact Assessment Due to Dredging in the Downstream of the Nakdong River

趙 弘 濟* · 韓 健 淵** · 金 相 浩***
Cho, Hong Je · Han, Kun Yeun · Kim, Sang Ho

Abstract

QUAL2E model was applied to assess the water quality variations due to dredging of the bottom deposit in the downstream of the Nakdong River. A varied-flow analysis was performed for the reach of Namji to Nakdong Estuary to estimate the hydraulic parameters. BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) method was applied to determine the optimum reaction parameters and model verification was performed based on these. Water quality modeling of dredging effects for BOD and DO in the reach was performed under low and average flow conditions and alternatives. It revealed that dredging had significant effects on the improvement of water quality in the reach.

요 지

낙동강 하류부에서의 오니준설에 따른 수질영향분석을 위해서 QUAL2E 모형에 의한 해석을 실시하였다. 남지에서 하구인 구간에 대해서 다양한 유량조건에 대한 수리학적 부동류 해석을 실시하였다. 최적의 반응계수 추정을 위해서 BFGS 기법에 의한 해석을 실시하였고, 이것을 기초로 모형의 검증을 실시하였다. 낙동강 하류부의 오니 준설에 따른 주요 지점별 BOD 및 DO에 대한 수질개선 효과를 저수량, 평수량 그리고 대안조건에 대해서 실시하고 그 결과를 제시하였는데 하상오니의 제거가 수질개선에 미치는 효과는 비교적 큰 것으로 나타났다.

1. 서 론

낙동강 유역에서는 금호강을 비롯한 중, 상류부에서의 다양한 종류의 오염물질이 다량으로 유입되고 이것이 하류부에 퇴적되어 수질오염 및 생태계에

* 울산대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수
*** 경북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

악영향을 미치고 있다. 하상의 퇴적물에는 각종 유기물 및 농약오염물, 독성오염물이 포함되어 있어 이의 효과적인 제거를 통하여 상수원수 등의 각종 용수의 수질 개선을 도모할 수 있을 것이다. 낙동강 유역에서의 하상의 오염 퇴적물의 발생 원인으로서는 수리화적인 토사 이동과 함께 중, 상류부에서 유입된 산업폐수나 도시하수에서의 연속적인 배출, 농업용수 등에 의한 유출수, 사고 등에 의한 독성화학물의 우발적인 배출에 따른 오염물의 침전을 들 수 있다.

실제로 1991년 페놀 배출, 1993년 기름 유출에 따라 대구, 부산지역에 공급되던 상수원의 오염을 일으켜 사회적으로 큰 문제를 야기한 바 있고, 갈수 및 저수시에는 하천 유량의 절대적인 부족 및 각종 유해 오염물의 유입에 따라 수돗물 오염과동이 연례적으로 발생하고 있는 실정이다.

낙동강 하구부는 하구언 설치에 따라 유속이 크게 감소되고, 수심이 증가됨으로 인하여 토사의 퇴적이 활발하게 나타나고 이와 동반된 토사내의 오염퇴적물(汚泥)의 증가가 상수원수에 대한 위해성과 부영양화 현상 등의 발생을 가속화 시키고 있어 오니의 제거와 이에 따른 수질개선 효과를 적극적으로 검토할 필요성이 증대되고 있다(Thomann과 Mueller, 1987). 특히 낙동강 하류부에서는 하천으로부터 상수 용수를 취수하여 음용수로 사용하고 있기 때문에 적절한 수질을 갖춘 수원의 확보는 부산, 경남지역에서는 사회적으로 큰 관심을 집중시키고 있다. 하상의 오니제거에 대한 수질해석을 위해서 오니제거 이전의 수질특성을 파악하고, 하천

및 하구부에서의 하상오염원을 포함한 최적반응계수를 추정하였고, 오니제거 이후의 수질개선 효과가 다양한 유량조건 및 대안조건에 대해서 정량적으로 검토하였다.

선정된 모형은 그 적용성이 널리 인정된 미국 EPA의 QUAL2E(Brown과 Barnwell, 1987)로 하였고, 용존산소와 생화학적 산소요구량 등에 대한 실측자료를 중심으로 모형의 보정과 검증을 실시하였고 유량 등급별 대안별 오니준설에 따른 수질개선 효과를 검토하였다. 국외에서 QUAL2E 모형의 실제유역에 대한 적용 및 검증은 McCutcheon(1982), Koenig(1986) 등의 연구가 있으며 국내에서의 연구는 전경수와 이길성(1993), 백경원 등(1995) 및 한건연 등(1995)이 있다.

2. QUAL2E 모형의 적용

2.1 대상하천의 개요

본류 및 주요지류에 대한 오염현황도 조사를 위해서 낙동강 환경관리청, 수자원공사, 부산시 및 경상남도 자료 등을 활용하였다(환경통계연감, 1995). 조사시기는 '94년 1월로 부터 '95년 5월에 이르는 월별 수질측정자료를 활용하였다.

본류의 남지, 신촌, 하남, 삼랑진, 물금, 월포, 구포, 하구언 1, 2, 3등의 10개 지점과 계성천, 광려천, 밀양강, 화포천, 양산천등 5개의 지류에서의 수질측정 자료를 활용하였다(그림 1 참조).

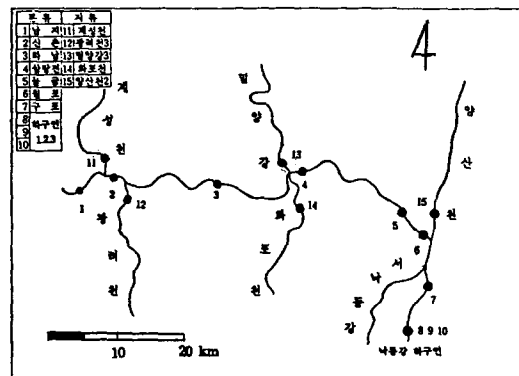


그림 1. 조사대상 유역도

2.2 수리학적 영향인자 분석

적용대상 구간으로는 낙동강 하류부를 선정하였는데 그림 1에서와 같이 남강합류 하류부인 남지에서 낙동강 하류부에 이르는 83.5 km 구간으로 208개의 하도단면자료를 사용하였다. 하도단면자료는 건설부의 낙동강 하천정비 기본계획보고서(1991~1993)로부터 수집하였다.

대상하천은 전체구간을 그림 2에서와 같이 구간거리 0.5 km의 element 167개로 구성하고 다시 167개의 element를 지류 유입지점 등을 고려하여

동일 구간내에서는 수리학적으로 유사한 특성을 갖도록 12개의 구간으로 구분하였다. 본류부로 유입되는 지천에 대한 하도단면 자료가 불충분하므로 계성천, 광려천, 밀양강, 화포천, 양산천 등의 지천은 점오염원으로 유입되는 것으로 하였고, 칠서, 물금, 매리, 창암, 하남 등의 취수장에서의 용수취수량도 고려하였다.

하천의 수리학적 부등류 해석을 위해서 HEC-2 모형을 적용하였다(HEC-2 User's Guide, 1994). HEC-2는 표준축차법에 의한 1차원 에너지방정식의 해석에 의해 부등류 해석을 실시하게 된다. 표준축차법에 의한 1차원 에너지방정식은 식 (1), (2)와 같다.

$$Z_2 - Z_1 + \frac{1}{2g} [a_2 V_2^2 - a_1 V_1^2] = h \quad (1)$$

$$h = L\bar{S}_1 + C \left[\frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right] \quad (2)$$

여기서 Z_2 와 Z_1 은 각각 상, 하류단면의 수위, a_2 와 a_1 은 상, 하류단면의 에너지 보정계수, V_2 와 V_1 은 상, 하류단면의 평균유속, g 는 중력가속도, h 는 에너지손실, L 은 하도 구간거리, \bar{S}_1 는 마찰경사, C 는 하도단면의 확대 또는 수축에 따른 손실계수이다.

상류단인 남지에서의 유량과 하구둑에서의 수위 자료를 기초로 하도내 각 지점에서의 수심, 통수단면적, 유속, 경심 등의 자료를 해석한 후, 그 결과를 구간별로 회귀분석하여 표 1에서와 같이 QUAL2E에서 적용되는 수리학적 변수인 a , b , α , β 를 산정하였다.

3. 모형의 보정 및 검증

낙동강 하류부와 같이 오염원과 취수장이 하천에 연하여 공존하는 곳에서는 이들 오염물질이 하천에 유입되고 하류로 운송되어 가는 과정은 매우 복잡한 기구를 가진다. 수질변동의 1차원적 특성을 파악하기 위해서 실측자료를 중심으로 모형의 보정과 검증 실시하였다. 각 반응계수가 모형에 의한 계

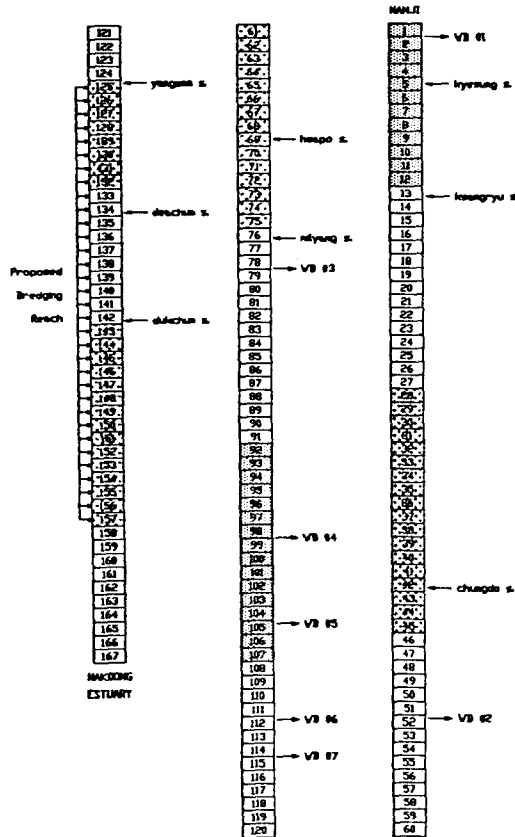


그림 2. QUAL2E를 위한 대상하천의 구성도

표 1. QUAL2E의 해석을 위한 수리학적 영향인자

구간 번호	유속계수		수심계수	
	a	b	α	β
1	.0002	.9786	7.8744	.0044
2	.0004	.9894	11.6207	.0038
3	.0004	.9469	8.9671	.0054
4	.0003	1.0402	10.1718	.0049
5	.0004	1.0044	12.1247	.0050
6	.0005	.9984	10.3621	.0079
7	.0006	.9947	8.5854	.0111
8	.0016	.9356	4.5914	.0473
9	.0064	.7441	2.9727	.1212
10	.0365	.5605	3.6928	.2328
11	.0691	.5226	1.3428	.2568
12	.0142	.7132	5.0565	.1447

(주) 유속계수와 수심계수는 각각 $U=aQ^b$, $h=a'Q^{\beta}$ 식의 계산을 위한 계수임.

산결과에 미치는 영향을 파악하여 추정대상 반응계수를 결정하기 위해서 민감도 분석을 실시하였다 (한건연 등, 1995). 기존에 조사된 연구자료 (Bowie 등, 1985) 및 QUAL2E의 사용설명서 (Brown과 Barnwell, 1987) 상에서의 상한치와 하한치를 설정하였고, 상한치가 하한치의 10배 이상인 경우에는 이들의 기하평균치를, 그 이하인 경우에는 산술평균치를 기준치로 설정하였다. 계산된 민감도 값이 0.1보다 작은 경우에는 해당 반응계수의 민감도는 작은 것으로 고려하여 최적반응계수 산정에는 포함시키지 않았다.

민감도 분석 결과, 반응계수에 민감한 수질인자로서는 BOD, DO 등으로 나타났다. BOD 및 DO는 BOD의 탈산소계수 k_1 , 침전에 의한 BOD의 제거율 계수 k_3 , 하상 산소요구를 계수 k_4 에 민감하였고, 총질소와 총인의 경우 이들의 각 구성성분에 대한 민감도는 크게 나타났으나, 전체적인 민감도는 비교적 작게 나타났으며, 자료의 제약상 조류의 농도는 고려하지 않았다.

3.1 최적 반응계수의 도출

낙동강 하류부에서 BOD, DO 등에 대한 최적반응계수를 도출하기 위하여 다음과 같은 최적화기법

을 사용하였다.

(1) k_1, k_3, k_4 의 초기 가정치 $k_1^{(0)}, k_3^{(0)}, k_4^{(0)}$ 를 산정한다.

(2) QUAL2E를 수행하여 각각 BOD 및 DO의 농도 C_1, C_2 에 대한 $e_1^{(0)}, e_2^{(0)}$ 를 산정한다.

$$e_1^{(0)} = \frac{O_1 - C_1}{C_1}, \quad e_2^{(0)} = \frac{O_2 - C_2}{C_2} \quad (3)$$

여기서, α_i : 관측치, c_i : 계산치, $e_i > 1$ 인 경우는 이상치로 간주한다.

(3) $k_1^{(0)}, k_3^{(0)}, k_4^{(0)}$ 의 변동에 따른 $e_1^{(0)}, e_2^{(0)}$ 의 변동치를 계산한다.

$$a_{11} = \frac{\Delta e_1}{\Delta k_1}, \quad a_{21} = \frac{\Delta e_1}{\Delta k_3}, \quad a_{12} = \frac{\Delta e_2}{\Delta k_1}, \quad a_{32} = \frac{\Delta e_2}{\Delta k_4} \quad (4)$$

여기서, Δk_i 는 k_i 에 대하여 10%씩 증분시키며, Δe_i 는 Δk_i 변동에 따른 오차변동량이다.

(4) $e_1^{(1)}, e_2^{(1)}$ 을 다음과 같이 계산한다.

$$e_1^{(1)} = e_1^{(0)} + (k_1^{(1)} - k_1^{(0)})(a_{11})^{(0)} + (k_2^{(1)} - k_2^{(0)})(a_{21})^{(0)}$$

$$e_2^{(1)} = e_2^{(0)} + (k_1^{(1)} - k_1^{(0)})(a_{12})^{(0)} + (k_3^{(1)} - k_3^{(0)})(a_{32})^{(0)} \quad (5)$$

(5) 제곱오차를 계산하고 k_1, k_3, k_4 의 제약조건에 대하여 최적화를 실시한다.

$$\text{Minimize } S = \{(e_1^{(i)})^2 + (e_2^{(i)})^2\} \quad (6)$$

subject to

$$k_1^l \leq k_1 \leq k_1^u$$

여기서, $i=1, 3, 4$ 이며, 위첨자 l 은 하한치, u 는 상한치를 나타낸다.

(6) 최적화기법의 하나인 BFGS(Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) 기법에 의하여 $k_1^{(i)}, k_3^{(i)}, k_4^{(i)}$ 를 계산한다.

(7) $\{(e_1^{(i)})^2 + (e_2^{(i)})^2\}$ 값이 전단계의 계산치와 비교하여 허용한계내에 들면 계산을 종료하고, 허용한계 밖이면 새로이 추정된 $k_1^{(i)}, k_3^{(i)}, k_4^{(i)}$ 의 값으로 (1)~(7)의 계산을 반복수행한다.

3.2 BFGS 기법의 적용

수질모형의 적용시 입력자료와 매개변수가 불확실하여 모형에 의한 계산치와 실측치가 일치하지 않는 문제가 발생하는데, 이 경우에 발생하는 오차를 합리적으로 처리해야 할 필요가 있다. 이를 위해서 매개변수의 최적화 작업이 필요하며, 이는 매개변수의 적정범위 내에서 식 (6)과 같은 계산치와 실측치의 편차의 최소화 과정으로 수행된다 (Mays와 Tung, 1992).

최소화 과정은 초기 추정치로부터 최적조건이 만족될 때까지 반복적으로 계산이 수행되어 해석한다.

$$\text{Minimize } S = f(x) = f(x_1, x_2, x_3) \quad (7)$$

여기서, S 는 오차의 합이고, x_1, x_2, x_3 는 각각 반응계수 k_1, k_3, k_4 를 나타내고 있다. 최소값을 찾기 위한 탐색방향은 식 (8)과 같이 기술될 수 있다.

$$x_{k+1} = x_k + \beta_k d_k \quad (8)$$

k 는 계산반복횟수, d_k 는 탐색방향, β_k 는 계산단계의 크기이다. 식 (8)의 탐색방향을 결정하기 위한 방법으로는 최대경사법, 공액경사법, Newton 방법, quasi-Newton 방법 등이 있다. 이 중 Newton 방법의 기본원리는 함수 $f(x)$ 를 Taylor 급수 전개식으로부터 탐색방향을 구할 수 있는데 식 (9)와 같이 기술된다.

$$x_{k+1} = x_k - H^{-1}(x_k) \nabla f(x_k) \quad (9)$$

Newton 방법은 다른 계산 알고리즘에 비하여 수렴성은 좋으나 각 반복 계산단계에서 역 Hessian 매트릭스를 구하는 과정이 매우 복잡하므로 이를 피하기 위해서 quasi-Newton 방법을 적용한다. 역 Hessian 매트릭스를 계산하지 않고 근사적인 역 Hessian 매트릭스를 이용하여 구하는 방법 중 가장 정교한 방법이 BFGS의 방법이다 (Press 등, 1992 ; Vanderplaats, 1984).

BFGS 기법에서 탐색방향의 보정을 위한 식은 식 (10)과 같다.

$$G_k = G_{k-1} - \left[\frac{G \Delta g \Delta n^T + \Delta n \Delta g^T G}{\Delta n^T \Delta g} \right]_{k-1} \\ \left[\left(1 + \frac{\Delta g^T G \Delta g}{\Delta n^T \Delta g} \right) \frac{\Delta n \Delta n^T}{\Delta n^T \Delta g} \right]_{k-1} \quad (10)$$

여기서 G 는 Hessian 매트릭스의 inverse 값, n 은 매개변수의 벡터, g 는 경사벡터, Δ 는 두개의 반복 계산간의 차이값으로서 $\Delta g = g_k - g_{k-1}$ 이다. 따라서, BFGS 기법에 의한 탐색방향의 보정치는 식 (11)과 같이 기술된다.

$$x_{k+1} = x_k + G_k \nabla f(x_k) \quad (11)$$

3.3 모형의 보정 및 검증

모형의 보정과 검증을 위하여, '94년 1월에서 '95년 5월 까지의 낙동강 환경관리청, 수자원공사, 부산시 및 경상남도 등에서 측정된 자료를 수집하여 활용하였다. 즉, 본 연구에서는 '94년 4월 수질

측정 자료를 사용하여 QUAL2E 모형의 매개변수를 최적화기법에 의해서 추정하였고, 그 밖의 월에 대한 다양한 유량 및 수질조건에 대하여 적용함으로써 모형의 검증 실시하였다. 표 2는 모형보정을 위해 사용된 '94년 4월의 상류단 및 지류, 용수 취수 등의 수질 및 수량자료이고, 그림 3은 각각 94년 4월의 BOD, DO에 대한 모형의 보정결과이다.

그림에서 보는 바와 같이 모형의 계산치는 그 중단형상에 있어 실측치와 비교하여 잘 일치되고 있음을 알 수 있었다. BFGS 기법에 의한 BOD와 DO의 계산오차 $\Sigma(e_1^2 + e_2^2)$ 는 표 3에서 보는 바와

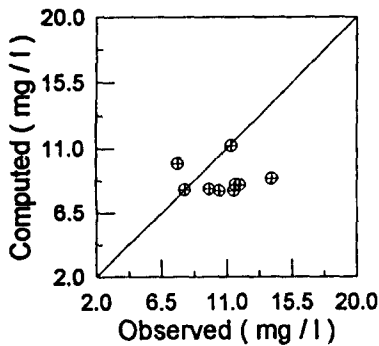
같이 6~8 구간에 대해서 0.366, 9~12 구간에 대해서 0.248 으로서 각각 2~3회 반복계산 후 계산을 마칠 수 있었다.

모형의 검증은 모형의 보정시 적용된 4월의 유량조건과 유사한 크기를 가지는 6월과 7월에 대해서 수행되었다. 그림 4와 그림 5는 각각 '94년 6월과 7월에 대한 DO와 BOD의 검증결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 모형에 의한 계산치와 실측치와의 상관도는 비교적 잘 일치되고 있음을 보여 주고 있다.

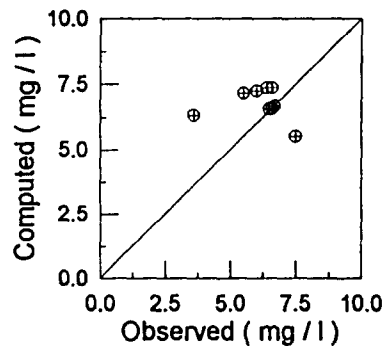
표 2. 모형의 보정을 위한 입력자료

Name	Type*	Reach-Element No.	Flow (m ³ /sec)	Temp (°C)	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
Jindong	HW	1-1	134.1	18	11.3	6.6	4.603	0.186
Chilseo	W	1-2	-5.208					
Kyesung-chun	I	1-5	0.497	15	8.4	10.2	6.364	0.082
Kwangryo-chun	I	2-1	0.703	17	6.0	3.7	5.048	0.145
Hwapo-chun	I	5-9	0.615	15	6.3	12.3	12.569	1.209
Milyang-gang	I	6-1	6.824	16	10.0	1.5	2.001	0.028
Wondong	W	7-14	-5.208					
Meari	W	8-5	-12.211					
Mulgeum	W	8-8	-9.259					
Yangsang-chun	I	9-1	1.083	18.0	11.8	19.7	13.656	0.543

(주) HW=Headwater I=Inflow W=Withdrawal



(a) DO

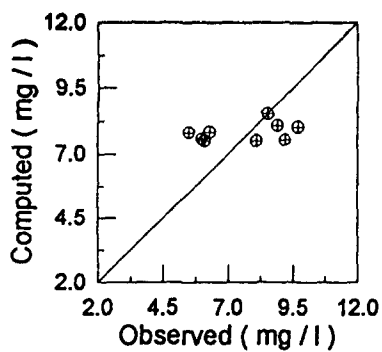


(b) BOD

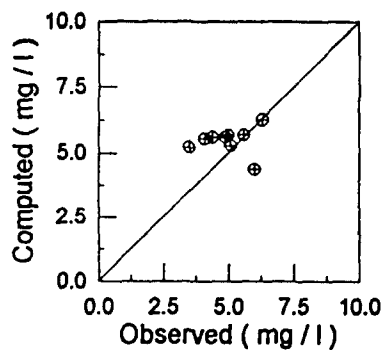
그림 3. 모형의 보정결과 ('94년 4월)

표 3. 최적 반응계수의 추정

< 6 ~ 8 구간 >				
Iteration	k_1	k_3	k_4	$\Sigma(e_1^2 + e_2^2)$
0	0.200	-0.350	0.500	0.501
1	0.150	-0.200	0.421	0.382
2	0.145	-0.214	0.587	0.367
3	0.145	-0.212	0.500	0.366
< 9 ~ 12 구간 >				
Iteration	k_1	k_3	k_4	$\Sigma(e_1^2 + e_2^2)$
0	0.200	-0.350	0.500	0.412
1	0.180	-0.300	0.850	0.304
2	0.200	-0.320	0.800	0.248
3	0.200	-0.320	0.800	0.248

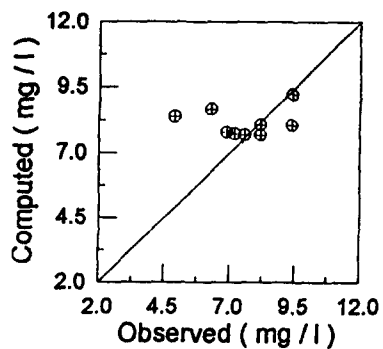


(a) DO

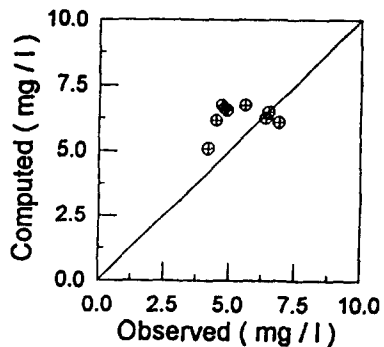


(b) BOD

그림 4. 모형의 검증결과 ('94년 6월)



(a) DO



(b) BOD

그림 5. 모형의 검증결과 ('94년 7월)

4. 오니준설에 따른 수질영향 분석

4.1 대상유량의 선정

모형의 보정과 검증과정을 통하여 도출된 최적반응계수의 조건을 기초로 하여 상류부 남지에서의 다양한 유량조건하에서 하상준설에 따른 수질개선의 효과를 검토하였다. 상류부 남지지점에서의 유량분석 결과(한국수문조사년보, 1981-1994), 갈수량 조건인 44.3m³/sec를 적용할때 주요 취수장에서 취수량이 32m³/sec로 취수영향이 과다하게 나타나 적절한 수질예측결과의 도출이 어려울 것으로 판단되었다. 따라서, 저수량 및 평수량 조건인 각각 91.2m³/sec와 167.6m³/sec에 대해서 수질영향 분석을 실시하였다.

하상 준설에 따라 낙동강 하구부로부터 20.5km 구간에서의 하상 산소요구량, 하상 암모니아성 질소 요구량, 하상 용존인 요구량 등이 더 이상 존재하지 않는 것으로 고려하였고, 생화학적 산소요구량의 경우도 하상을 통한 오염물의 수체내로의 부상이 더 이상 존재하지 않는 것으로 고려하여 해석하였다. 또한 하상준설 후 주요지류를 통한 오염물의 낙동강으로의 유입이 50% 감소하였을 때의 조건(대안조건)에 대해서도 저수량과 평수량 조건하에 수질영향을 검토하였다.

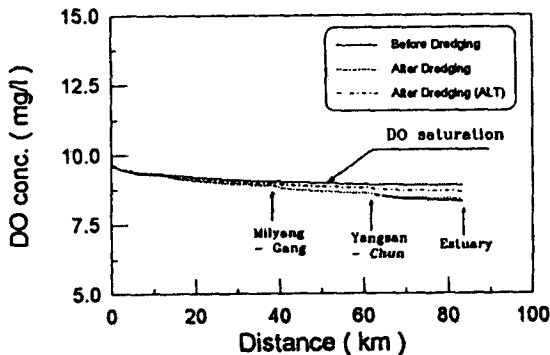


그림 6. 하상준설에 따른 DO의 종단형상 (저수량조건)

4.2 수질영향 분석

그림 6~그림 7은 저수량 조건하에서의 DO와 BOD의 종단형상을 준설이전, 준설이후 및 대안조건에 대해서 도시한 것이고, 그림 8~그림 9는 평수량 조건하에서의 DO와 BOD의 종단형상을 도시한 것이다. 그림 10~그림 11은 용존산소의 포화농도에 대한 용존산소의 부족량을 각 유량조건 및 준설조건하에서 도시한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 하상준설에 따라 양산천 합류부 이후로부터 시작하여 하구언에 이르는 구간에서의 DO 농도는 점진적으로 증가되고 BOD 농도는 점진적으로 감소되어, 수질이 크게 개선되고 있음을 확인할 수 있었고, 지류에서 오염부하가 삭감되어 하천의 정화가 이루어진 경우에는 그 개선효과가 더욱 뚜렷하게 나타났다.

저수량 조건하에서의 양산천 합류부에서 하구언까지의 DO의 농도는 준설이전에 7.81~8.14mg/l로 나타났으나 준설이후에는 7.95~8.15mg/l로 나타났고, 준설이후 대안의 경우 8.27~8.39mg/l로 나타나 수질개선 효과가 뚜렷하였다. 저수량 조건하에서의 이 구간에 대한 BOD의 농도는 준설이전에 6.10~6.46mg/l로 나타났으나 준설이후에는 5.06~6.03mg/l로 나타났고, 준설이후 대안의 경우 4.81~

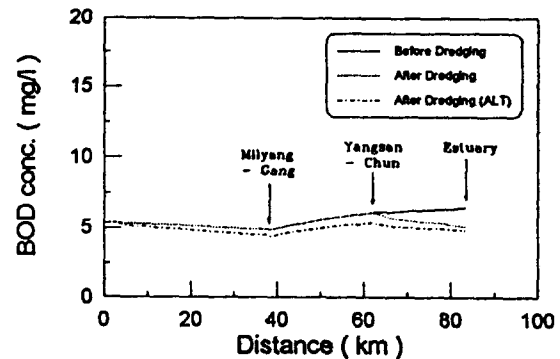


그림 7. 하상준설에 따른 BOD의 종단형상 (저수량조건)

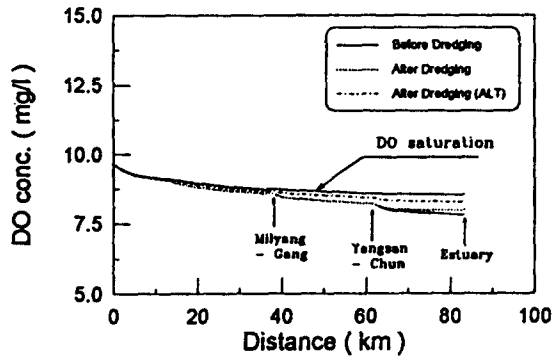


그림 8. 하상준설에 따른 DO의 종단형상 (평수량조건)

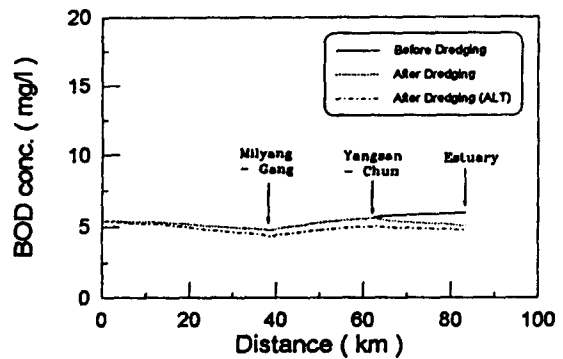


그림 9. 하상준설에 따른 BOD의 종단형상 (평수량조건)

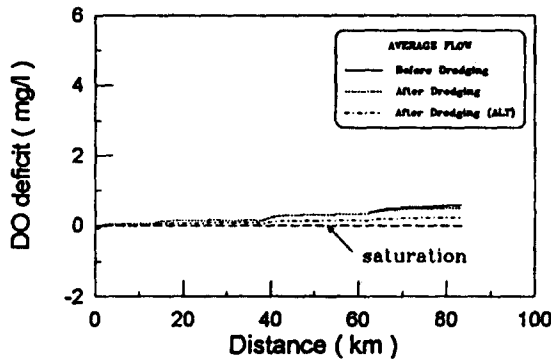


그림 10. 하상준설에 따른 용존산소 부족량 (저수량조건)

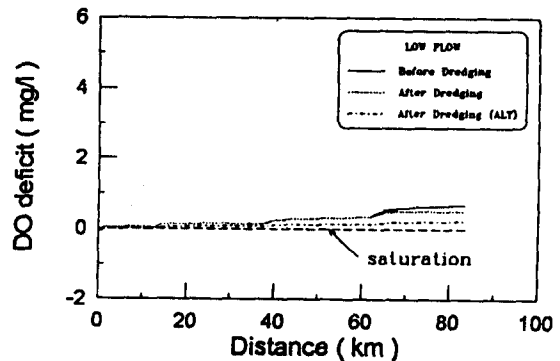


그림 11. 하상준설에 따른 용존산소 부족량 (평수량조건)

5.30mg/l로 나타나 수질개선 효과가 뚜렷하였다.

평수량 조건하에서의 양산천 합류부에서 하구언 까지의 DO의 농도는 준설이전에 8.30~8.56mg/l로 나타났으나 준설이후에는 8.40~8.57mg/l로 나타났고, 준설이후 대안의 경우 8.66~8.76mg/l로 나타났다. 평수량 조건하에서의 이 구간에 대한 BOD의 농도는 준설이전에 5.65~5.97mg/l로 나타났으나 준설이후에는 5.08~5.60mg/l로 나타났고, 준설이후 대안의 경우 4.78~5.04mg/l로 나타나 수질개선 효과가 뚜렷하였다.

1987년도 낙동강 하구언의 완공후 상당량의 오니가 퇴적물의 형태로 하상에 넓게 분포되어 있으므로 하상퇴적물의 적절한 제거없이 일반적인 수질

관리 대책인 하수처리장 및 분뇨처리장의 신설 및 중설만으로는 수질개선의 큰 효과를 기대하기는 어려울 것으로 사료되었다. 또한, 하상에서의 각종 오염물의 퇴적이 질소, 인 및 독성오염물의 오염도 증가를 일으키고, 질소와 인의 오염도 증가는 조류의 과도성장 등 부영양화의 직접적인 원인이 되므로 하상오니의 제거는 선진국에서 이미 경험한 바와 같이 매우 시급한 현안문제가 되었다.

5. 결 론

(1) 낙동강 하류부는 하구언 설치에 따라 유속이 크게 감소되고, 수심이 증가됨으로 인하여 토사

의 퇴적이 활발하게 나타나고 이와 동반된 토사내의 오염퇴적물(汚泥)의 증가가 상수원수에 대한 위해성의 발생을 가속화 시키고 있어 오니의 제거와 이에 따른 수질개선 효과를 양산천 합류부에서 하구언 지점까지에 대해서 검토하였다.

(2) 저수량 조건하에서 DO의 수질개선 효과는 준설이전과 비교하여 준설이후의 경우 0.01~0.14mg/l, 준설이후에 지류를 통한 오염부하 50% 삭감시인 대안의 경우 0.25~0.46mg/l에 달하는 수질개선 효과가 있을 것으로 나타났다. 평수량 조건하에서 DO의 수질개선 효과는 준설이후의 경우 0.01~0.14mg/l, 대안의 경우 0.20~0.36mg/l에 달하는 것으로 나타났다.

(3) 저수량 조건하에서의 BOD의 수질개선 효과는 준설이후의 경우 0.07~1.40mg/l, 준설이후에 지류를 통한 오염부하 50% 삭감시인 대안의 경우 0.80~1.65mg/l에 달하는 수질개선 효과가 있을 것으로 나타났다. 평수량 조건하에서 BOD의 수질개선 효과는 준설이후의 경우 0.05~0.89mg/l, 대안의 경우 0.61~1.19mg/l에 달하는 것으로 나타났다.

(4) 향후 하상의 오니제거에 따른 수질 영향을 더욱 정확하게 파악하기 위해서는 하천 및 하구부에서의 보다 체계적인 수질 분석을 통하여 질소, 인, 조류, 부영양화 및 각종 독성오염물 등의 많은 수질 오염인자에 대한 정확한 반응계수를 추정하여야 하겠다. 또한 오니제거 이후의 수질개선 효과 및 오니준설 작업에 대한 수질영향 평가가 더욱 다양한 유량조건 및 대안조건에 대해서 1차원, 2차원 및 다차원 수질 모델링 기법을 통해서 철저히 규명되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

Bowie, G.L. et al. (1985). "Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling," 2nd ed., EPA/600/3-85/040, US EPA.

Brown, R.T., and Barnwell, T.O. (1987). "Computer program documentation for the enhanced stream water quality model QUAL2E and QUAL2E-UNCAS." EPA/600-3-87/007, US Environmental Protection Agency.

HEC-2 User's Guide. (1994). Haestad Methods.

Koenig, M. (1986). *Withlacoochee River-QUAL2E model calibration from Clyatville, GA to Ellaville, FL*. US EPA, Region IV, Environmental Services Division, Athens, GA.

Mays, L.W., and Tung, Y.K. (1992). *Hydrosystems engineering and management*. McGraw-Hill.

McCutcheon, S.C. (1982). "Evaluation of selected one-dimensional stream water quality models with field data." *Open File Report 82-851*, US Geological Survey.

Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., and Flannery, B.P. (1992). *Numerical recipes*. Cambridge University Press.

Thomann, R.V., and Mueller, J.A. (1987). *Principles of surface water quality modeling and control*. Harper and Row.

Vanderplaats, G.N. (1984). *Numerical optimization technique for engineering design*. McGraw-Hill.

낙동강 하천정비 기본계획, 보완 II,III. (1991-1993). 건설부.

백경원, 김상호, 한건연, 송재우. (1995). "QUAL2E에 의한 한강 하류부에서의 수질해석." 대한토목학회논문집, 제15권, 제2호, pp. 451-461.

전경수, 이길성. (1993). "QUAL2E 모형의 한강수계 적용." 한국상하수도학회지, 제6권, 제2호, pp. 43-56.

한건연, 송재우, 김상호, 백경원. (1995). "한강하류부에서의 총질소와 총인에 대한 수질모의." 한국수자원학회지, 제27권, 제1호, pp. 53-67.

한국수문조사년보. (1981-1994). 건설부.

환경통계년감. (1995). 환경부.

(접수: 1996년 1월 4일)