

환경자원의 자정능력 선용을 통한 경제적 하천 수질관리

Economic Management of River Water Quality
by Utilization of Self Purification—An Environmental Resource.

具 滋 公*
Koo, Ja Kong
이 병 국**
Lee, Byung Kuk

Abstract

The object of this study was to evaluate the management alternatives with respect to the attainable water quality and total cost (construction + O & M cost) in order to devise a reasonable water quality management system. Joong Ryang-cheon stream located Seoul, Korea was taken as the study area, and dissolved oxygen concentration as the water quality index. Water quality simulation model QUAL2E and linear programming optimization technique were used for scientific and rational analyses. It was assumed that the improvement of water quality could be obtained by the treatment of major point sources where imaginary treatment plants were constructed. And by this, the relationship between total cost of the treatment plants and the stepwise improvement of water quality was studied. The result showed that 3.5mg/l of DO (=dissolved oxygen) level at best could be attained in Joong Ryang-cheon stream during summer. When the DO standard was set 3.0mg/l in the severely polluted regions, more than 5.0mg/l of DO level can be achieved by the construction of 4 treatment plants. Also, the cost comparisons showed that the uniform treatment method is economically inefficient (₩24.8×10⁸) in comparison with the least cost method (₩22.9×10⁸), and there is little difference between the least cost method and the zoned treatment method (₩23.0×10⁸) that is regarded as more equitable, which shows the characteristics of this basin.

요 지

합리적인 수질관리를 위하여 여러가지 수질관리정책들을 수질과 비용의 측면에서 평가하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다. 연구의 대상지역은 서울동북부의 중량천유역으로 하였으며, 용존산소를 수질지표로 하였다. 과학적인 분석을 위하여 수질예측모형인 QUAL2E와 최적화기법의 하나인 선형계획법을 사용하였다. 중량천에 가상의 처리장을 설치하여 점오염원을 처리함으로써 수질을 개선하도록 하였으며, 수질기준의 변화에 따른 유역내 처리장의 총비용을 검토하였

* 정희원 · 한국과학기술원 토목공학과 조교수, 환경공학

** 정희원 · 한국건설기술연구원 환경연구실 연구원

다. 연구결과에 의하면 여름기간에 중랑천에서 유지할 수 있는 용존산소량(DO)은 3.5mg/l 정도였다. 그러나 오염이 심한 지역의 수질기준을 3.0mg/l로 고정할 경우, 그 외의 지역에서는 4개의 처리장을 설치하여 5.0mg/l 이상의 DO도 유지시킬 수 있었다. 처리장간의 평등성에 따른 정책비교에 의하면, 균등처리(UT)인 경우(W24.8×10⁸)가 최소비용(LC)의 경우(W22.9×10⁸)보다 더 많은 처리비용이 소요되었다. 그리고 LC보다 더 공평한 방법인 지역별 균등처리(ZUT)의 경우(W23.0×10⁸)는 거의 차이가 없어, 적은 비용의 증가로도 평등성(Equity)을 높일 수 있는 중랑천의 지역적 특성을 발견하였다.

1. 서 론

합리적인 수질관리를 위해서는 환경자원의 하나로 인식되는 하천의 자정능력을 최대한 이용하고, 처리장간의 처리율의 차이에 따른 불평등의 해소와, 현실적인 수질기준의 설정이 이루어져야 한다. 이러한 사항들을 해결하기 위하여 수질예측모형과 최적화기법이 많이 사용되고 있으나^(13,14,15), 우리나라에서는 수질예측과 도식화

의 단계에^(1,2,3) 있으며, 이들 모형의 응용에 대한 연구가 많지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수질예측모형의 결과를 최적화기법에 이용하여 경제적인 수질관리의 기틀을 마련하는데 그 목적이 있다.

수질예측에는 QUAL2E⁽⁴⁾를 사용하였으며, 최적화기법으로는 선형계획법을 사용하였다. 자료는 1982년부터 1984년에 걸쳐 국립환경연구소에서 조사한 중랑천유역 수질환경조사 보고서⁽⁵⁾와 한국건설기술연구원에서 1984년부터 1985년에 걸쳐 조사한 폐수처리시스템 개발현황 조사연구⁽⁶⁾의 처리장건설비용의 결과를 이용하였다.

2. QUAL2E를 이용한 중랑천의 수질분석

2.1 중랑천유역의 개황

중랑천유역은 그림 1과 같이 서울동북부와 경기도 일원에 걸쳐 있다. 본류구간은 31.6km이며 유역면적은 239km²이고, 유역인구는 유동인구를 포함하여 198만여명으로써 92.3%가 서울지역에 거주하고 있다. 유입되는 폐하수는 57만톤/일로써, 139개소 폐수배출업소에서의 4만톤(7%)과 가정하수의 53만톤(93%)이다.⁽⁵⁾

2.2 QUAL2E에 필요한 자료와 기존자료의 가용도

QUAL2E는 기존의 QUAL2모형을 개인용 컴퓨터인 IBM-PC/XT 또는 /AT에서 사용할 수 있도록 개정된 1차원 수질예측모형이다. QUAL2E에 필요한 자료는 농도자료, 수리자료 및 반응계수에 대한 것으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 자료의 제약때문에, 예측대상항목을 용존산소(DO)와 생화학적산소요구량(BOD)으로 하였다.

중랑천 조사보고서에는 그림 1과 같이 지천에 12개, 본류에 11개의 시료채취지점이 있으며, 매년 1월에서 10월까지 월별로 19개 수질

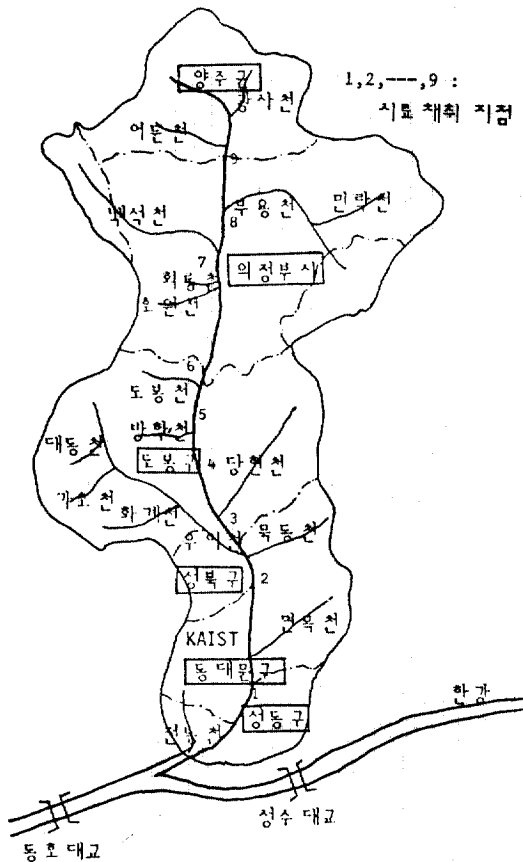


그림 1. 중랑천 유역도

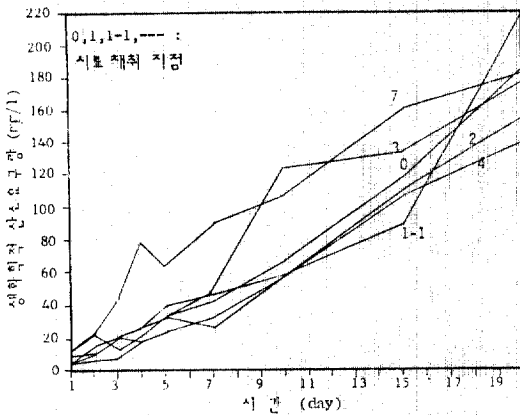


그림 2. K_1 의 산정을 위한 BOD vs. 시간 곡선

오염 항목의 농도와 염록소 a (chlorophyll a) 및 조류에 대한 측정자료 등이 수록되어 있다. 또한 수리자료는 1982년에 본류에서 7지점, 1983년에는 본류에서 7개와 지류에서 4개, 1984년에는 본류에서 1개와 지류에서 4개지점에서 측정되어 있다. 그러나 본류와 지류가 함께 측정된 연도가 없고, 연속적 측정이 아닌 단 1회의 측정뿐이어서 물수지균형(Water Balance)을 맞추는 것이 어려운 실정이었다.

반응계수에 대한 자료는 탈산소계수(K_1)가 0.193/day(base e)로 구해져 있으나, 시간과 산소소모량의 관계를 도식해 보니 그림 2와 같이 BOD 분해율이 1차가 아니라 0차에 가까운 것으로 판단되었다.

따라서 K_1 은 문헌⁽⁷⁾으로부터 K_1 과 유량에 대한 관계식을 이용하여 구하였다. 제폭기계수(K_2)는 QUAL2E에서 사용할 수 있는 8가지 선택식중에서 수리 및 유량자료의 범위에 맞는 O'Conner & Dobbins의 식과 Owen의 식을 하류와 상류에 사용하여 구하였다.

2.3 모형화(modeling)과정과 미비자료의 가정

중량천의 본류구간은 경기도 양주군 석우리가 근원지이나, 앞에서 언급한 바와 같이 유량에 대한 측정자료가 없어서 양주군 경제인 방어벽 옆을 시발점으로 하였다. 대상구간은 한강합류 지점까지 약 30km로 하였으며, 수리학적으론 유사한 구간(reach)은 중량천의 짧은 유허거리,

적은 유량, 높은 오염도때문에 Reach의 길이가 길면 급격한 농도변화의 예측이 어려우므로, 16개로 세밀히 나누었고, 계산을 위한 소구간(element)의 길이는 0.5km로 하였다.

중량천으로 유입하는 지천과, 중량천 오염에 영향이 큰 것으로 판단되는 중량천내 산업폐수량의 95%이상을 차지하고 있는 유량이 600톤/일 이상인 산업폐수를 점오염원들로 하여 모형화한 결과, 점오염원은 모두 16개가 되었다.

측정시기와 장소가 같지 않은 유량자료를 이용하기 위하여 강우량과 유량과의 관계를 비교하였다. 이에 의하면 강우량과 유량은 일정한 비를 가졌다. 따라서 1983년 8월은 유량이 많은 때여서 최악인 조건이 아니지만 자료가 부족하여, 본류구간의 유량자료가 있는 83년 8월을 기준으로 하여 '84년과 그 외의 지천의 유량을 '83년 8월의 상태로 측정하여 사용하였다. 또한 본류의 두 측정지점 사이의 유량의 차이가 점오염원에 의한 유량보다 부족할 경우에는, 부족량을 비점원에 의한 유량으로 간주하여, 측정지점 사이의 reach들에 지역의 특성을 보아 지천을 포함하는 reach일 경우에는 분배량이 많도록 적절히 분배하였다.

각 점오염원과 비점오염원의 농도는 다음과 같이 정하였다. 점오염원중 지천에 의한 것은, 지천의 측정지점의 농도자료를 이용하였다. 산업폐수에 의한 점오염원의 농도는 각 폐수배출업소의 처리방법에 따라 처리된 후 배출되는 처리수의 농도로 하였으며, 배출원 카드의 업종에 따라 문헌의⁽⁸⁾ 자료를 이용하였다. 비점오염원의 농도는 측정치가 없었으므로, 지하수와 유사한 것으로 가정하여, Freeze(1979)⁽⁹⁾의 책에서와 같이 BOD는 1~10mg/l, DO의 경우는 0~2mg/l로 하였으며, 지천에 가까운 곳일 경우에는 지천의 농도를 고려하여 가정하였다. 이상과 같이 하여 중량천을 모식화한 개요도는 그림 3과 같다.

2.4 최종 보정(calibration)결과

예측치와 관측치가 근사하도록 시행착오에 의하여 최종보정된 결과는 다음과 같다. 유량은 총 245만톤/일중에서 점오염원이 30%, 비점오염이 70%였으며, 최종 BOD 부하량은 총 추정

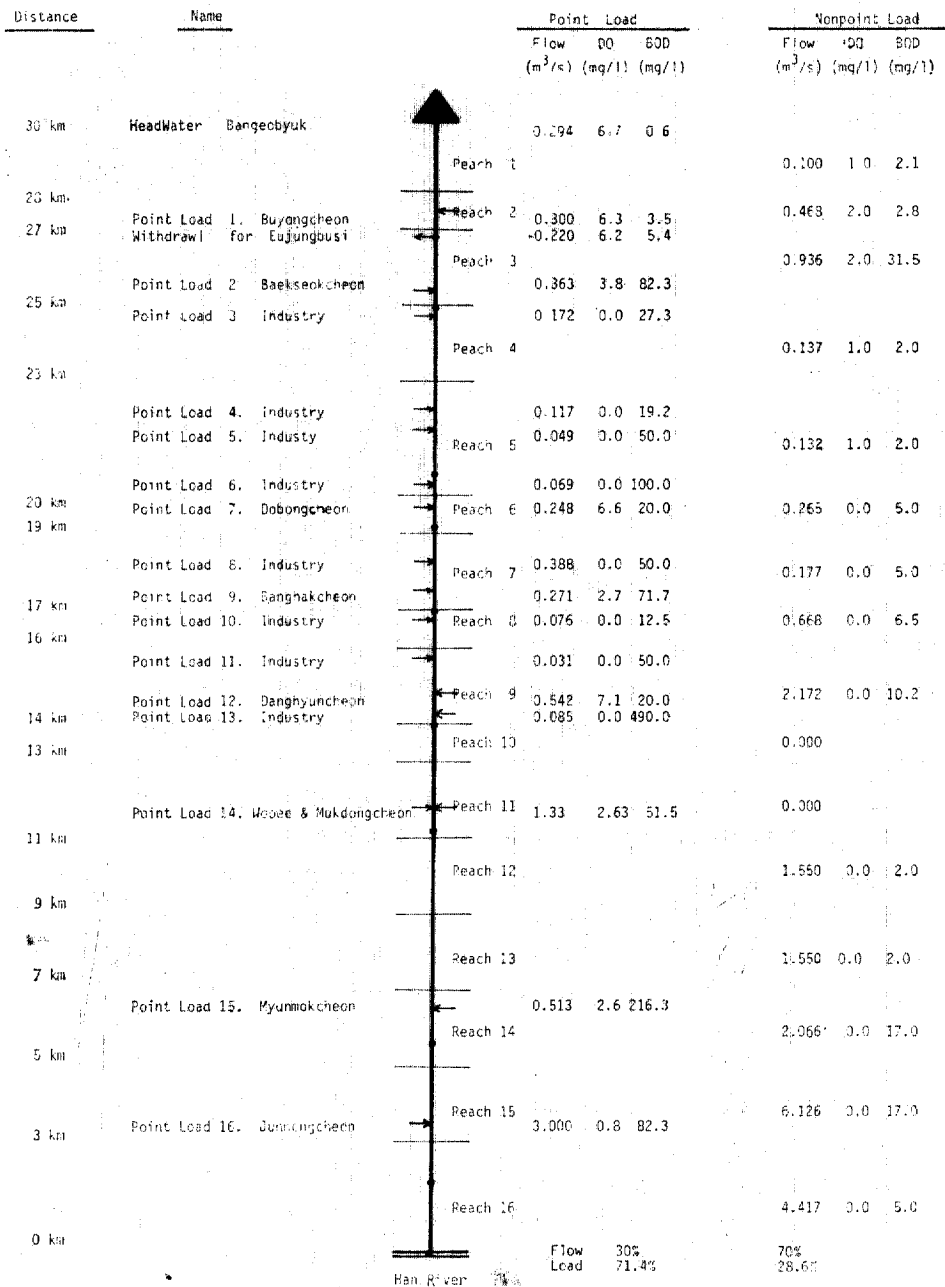


그림 3. QUAL2E를 사용하기 위한 증량천의 모식화

부하량이 68.84톤/일으로써 지천이 61.7%, 비점원이 28.6%, 산업폐수가 9.7%로써 가정하수가 증량천을 오염시키는 주원인임을 알 수 있었다. 반응계수는 밑에 e일 때 평균하여, K₁이 2.88/day, K₂가 23.18/day로 일반하천보다 높게⁽¹⁰⁾

나타났다. 예측결과에 의하면 외정부시의 하수를 방출하는 백석천 하류에서는 BOD의 실측값(63.3mg/l)이 예측치에 비하여 2배이상 높았고, 그림 4에서와 같이 도봉천 부근(20km)에서는 DO의 실측값이 8.4mg/l인데 예측치는 5mg/l

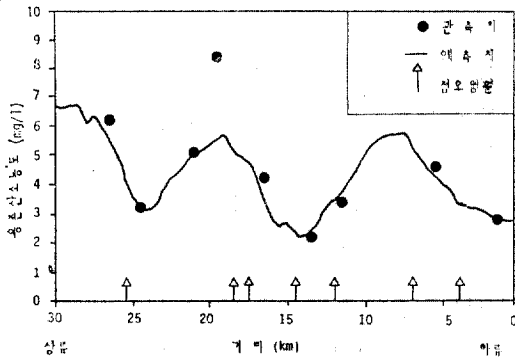


그림 4. 용존산소농도의 예측치와 관측치의 비교 (August, 1983)

정도로 낮아서 이들 지점에서의 보정은 불가능하였다.

3. 선형계획법을 이용한 총폐수처리비용의 최소화

3.1 QUAL2E의 수질예측 결과를 이용한 용존산소 감소량의 계산

BOD와 DO만을 고려한 관계식이 1925년 Streeter-Phelps에 의해 유도된 이래 현재까지 여러 수질예측모형이 개발되어 왔다. 이 식은 1차원 편미분방정식으로 정상상태일 경우에는 1차원 상미분방정식이므로 중첩(principle of superposition)이 가능하다.

각각의 점오염원에 의한 하류에서의 DO 감소량을 구하기 위해, 각각의 점오염원에 의한 하류에서의 DO 농도를 구하였다. 다음에 이들을 갖고 점오염원의 BOD 부하가 없는 상태의 DO 농도로부터 빼서 각각의 점오염원에 의한 하류에서의 용존산소감소량을 구하였다.

3.2 중량천유역 가상처리장들의 총비용 최소화모형

현재 중량천에는 하류에 중량천과 청계천 하수처리장이 있고, 분뇨처리장이 건설중이다. 그러나 이들만으로는 현재의 수역별 수질환경기준 3등급(DO=5mg/l)에도 미치지 못하는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 각 점오염원에 폐수처리장이 있다고 가상하여, 주어진 수질기준을 유지하는데 필요한 전체 처리장에서의 총비용을

최소화하는 모형을 세웠다.

수질기준의 변화에 따른 최소처리비용의 변화를 알 수 있도록, 다음과 같이 수식화 하였다. 목적함수는 처리율에 따른 처리장들의 처리비용의 총합으로 하고, 제약식들은 처리장 하류의 각 검사점에서의 용존산소 기준농도를 유지해야 하는 것과, 처리장 처리율의 하한과 상한으로 하였다.

이상의 조건으로 선형인 모형을 세우면 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m (UC_i(E_i - 0.3) + FC') \dots\dots(1)$$

$$\text{Subject to } BKGDO_j - TDOD_j +$$

$$\sum_{i=1}^m E_i \cdot DOD_{ij} \geq STD_j, \quad j=1, \dots, n \dots\dots(2)$$

$$0.3 \leq E_i \leq 0.95 \dots\dots(3)$$

여기서

i = number of treatment plant

$i=1, \dots, m$

j = number of checking point

$j=1, \dots, n$

$u=i$ which is located nearest upstream of j

UC_i = unit cost of plant i

E_i = removal efficiency of plant i

$BKGDO_j$ = DO concentration at j without point BOD load

$TDOD_j$ = total DO deficit at j with all point BOD load

DOD_{ij} = DO deficit at j by the BOD load from i

STD_j = DO standard at j

LB_i = lower bound of removal efficiency of plant i (=0.3)

UB_i = upper bound of removal efficiency of plant i (=0.95)

FC' = cost at removal efficiency 0.3

위의 모형에서 식(1)은 총처리비용에 대한 것이다. 본 연구에서는 처리율에 따른 비용자료를 구하지 못하여, 처리장에서 E_i 에 따른 연속적인 운전이 가능하다고 가정하였다. 또한 단위처리비용 UC_i 는 그림 5와 같이 E_i 에 따른 C_i 가

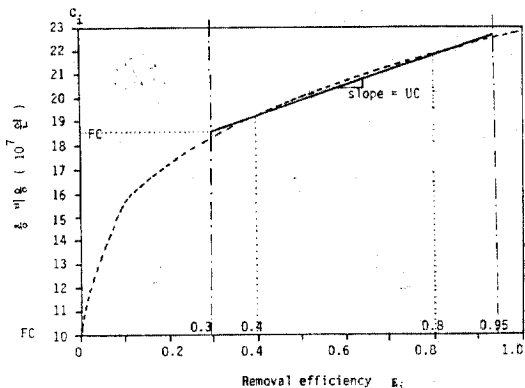


그림 5. 비용곡선의 선형화

비선형이므로 원래 곡선의 값에 근사하도록 E_i 가 0.4인 점과 0.8인 점을 이어 선형화하였다. 처리비용은 초기투자비용의 연간상환비와 유지관리비용의 합으로 하였으며, 연이율은 10%, 내구연한은 20년으로 하였다.

식(2)는 수질기준의 유지에 대한 것으로, DOD_{ij} 는 점오염원 i 에서 배출되는 BOD 부하에 의한 하류의 검사점들 j 에서의 DO 감소량을 의미하는 것이다.

따라서 제약식(2)는 점오염원에 의한 영향이 없을 경우의 DO 농도인 $BKGDO_j$ 에서 현재의 배출농도를 E_i 만큼 처리하고 난 뒤의 BOD 배

출에 의한 j 에서의 DO 감소량을 뺀 것이, j 에서의 용존산소농도 기준보다 커야 한다는 것을 의미한다. 표 1은 각 오염원에 의한 하류에서의 용존산소감소량이다.

식(3)은 처리장에서의 현실성을 고려한 것으로 최소처리율 LB_i 를 0.3, 최대가능처리율 UB_i 를 0.95로 하였다.

4. 최소처리비용모형의 응용

본 연구에서는 16개의 점오염원들중에서 0.4 mg/l 이상의 용존산소감소를 일으키는 7개에 대하여 가상의 처리장을 설정하였으며, 검사점은 2km마다 1개씩 있는 것으로 하였다. 선형모형의 해는 IBM-PC에서 쓰이는 LINDO/PC Package를 사용하여 구했다.⁽¹¹⁾

4.1 동일 수질기준 설정시의 최소처리비용과 최적 처리율 그리고 용존산소 기준농도의 관계

최적화기법을 이용하여 구해진 처리율에 의하여 각 처리장의 운전율 지시할 경우, 각 처리자에게 주어진 처리율의 차이가 크면 처리자의 불평이 커진다. 이와 같은 불평을 해소하려면 근거자료의 수집과 모델의 정확도를 높이기 위하여 행정 및 재정상의 어려움을 겪게 된다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 처리율의 차이, 즉 처리자간의 평등성(equity)에 따른 수질관리방법을 다음과 같이 나누어 적용하였다.

표 1. 용존산소감소량

Element j	Point Load i						
	#2	#8	#9	#13	#14	#15	#16
12	1.480	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	1.320	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.930	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	0.510	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	0.500	0.510	0.390	0.000	0.000	0.000	0.000
32	0.370	0.440	0.390	0.140	0.000	0.000	0.000
36	0.300	0.390	0.380	0.490	0.000	0.000	0.000
40	0.130	0.190	0.190	0.360	0.360	0.000	0.000
44	0.060	0.090	0.100	0.240	0.410	0.000	0.000
48	0.060	0.080	0.080	0.220	0.420	0.370	0.000
52	0.050	0.080	0.080	0.210	0.380	0.500	0.000
56	0.030	0.050	0.050	0.140	0.260	0.380	0.220
60	0.030	0.050	0.050	0.130	0.250	0.390	0.420

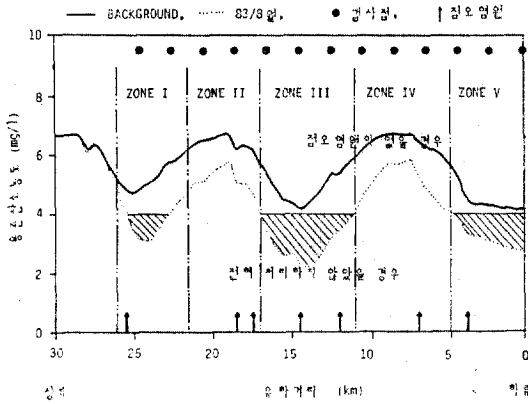


그림 6. 중량천의 점오염원과 용존산소농도곡선

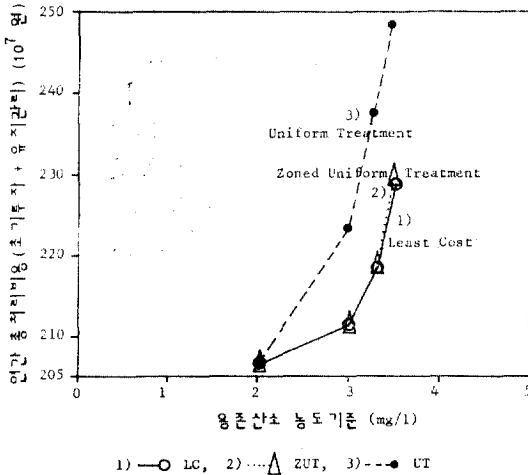


그림 7. LC, ZUT, UT의 비용점토

첫째, 전 유역내의 모든 처리장에서 동일한 처리율로 처리하게 하는 방법(uniform treatment method: UT), 둘째, 대상유역을 몇개의 구간으로 나누어 같은 구간에서는 동일처리율로 처리하게 하는 방법(zoned uniform treatment: ZUT), 셋째, 최적처리율로 서로 상이한 처리율로 처리하게 하는 방법(least cost method: LC)으로 나누어 동일수질기준을 설정할 경우에 적용하였으며, 이러한 관리방법간의 평등성은 LC→ZUT→UT의 순으로 증가한다.

그림 6은 점오염원에 의한 부하가 없을 때의 DO 농도곡선과 1983년 8월에 예측된 DO 농도

곡선이며, 그림의 zone들은 위의 ZUT의 경우에 해당하는 것이다.

이상과 같은 평등성에 따른 방법간의 비용비교는 그림 7과 같다.

4.2 차등 수질기준 설정시의 TC*와 E_i* 및 용존 산소농도기준의 관계

그림 6에서 알 수 있듯이, 비점원오염원의 효과적인 처리가 이루어지지 않는다면, 점오염원의 처리만으로는 수역별 수질환경기준 3등급을 유지하는 것이 불가능하다. 따라서 오염이 심하

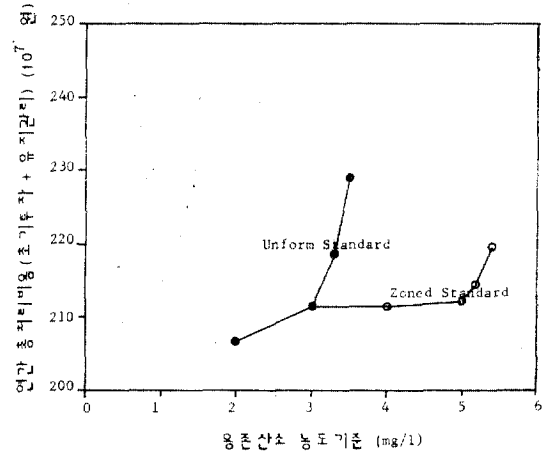


그림 8. 용존산소농도의 변화에 따른 동일수질기준 설정시와 구간별 수질기준 설정시의 비용비교(7개 처리장)

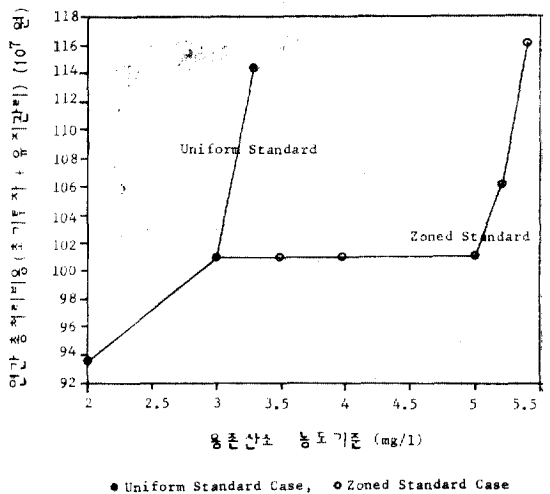


그림 9. 용존산소농도의 변화에 따른 동일수질기준 설정시와 구간별 수질기준 설정시의 비용비교(4개 처리장)

여 수질기준의 유지가 어려운 구간은 수질기준을 유지가능한 수준으로 낮게 설정한다면, 다른 구간에서의 수질기준을 높게 유지할 수 있을 것이다. 이에 대한 효과를 알아보기 위하여 DO 예측치가 4mg/l 이하인 구간들(그림 6의 ■친 부분)의 용존산소농도기준을 3mg/l로 고정하고 다른 구역에서의 용존산소농도기준을 변화시키면서 유지가능한 용존산소농도기준과 E_i^* , TC^* 의 관계를 검토하였다.

그림 8은 처리장이 7개일 때, 동일수질기준과 지역별 수질기준의 설정을 하였을 때의 최소비용 및 최저처리율에 대한 것이고, 그림 9는 처리장이 4개일 때의 결과이다.

5. 고 찰

중량천의 유량은 상류에서 2.5 만톤/일, 하류에서 245 만톤/일로써 변화가 매우 커서, 상류에서는 작은 오염부하에도 수질이 급격히 변화하는 양상을 보인다. 따라서 수질자료와 수리자료가 함께 측정된 자료가 없어서 수질예측에 어려움이 있었으며, 이로 인한 오차가 있었을 것이다. 특히 비점원에 의한 유량이 전체의 70% 이상을 차지하여, 이에 의한 오염의 영향이 커서 점오염원을 고려하지 않을 경우에도 DO가 3mg/l 이하로 떨어지는 구간도 있는데, 이는 주로 하수의 직접적인 방류에 의한 것으로 보인다.

수질을 예측한 결과, 의정부시의 하수처리인 백석천 하류에서 예측 BOD가 관측치보다 1/2 이상 작았는데, 이는 부근의 미군주둔부대에서의 분뇨방출에 의한 것으로⁽¹²⁾ 사료된다. K_1 이 2.88/일로 일반하천보다 높게 보정된 이유는 하상물질과 침전에 의한 BOD 감소율을 모두 포함시켜 보정했기 때문이고, K_2 가 23.18/일로 높은 것은 중량천의 단면이 작아서 유량에 비하여 수심이 낮기 때문인 것으로 사료된다. 이상에서의 결과들은 모두 83년 8월의 상태에 국한된 것이며, 유량자료의 부족으로 검증은 불가능하였다.

선형모형의 목적함수에 쓰였던 비용자료는 원래 유량이 적고 오염도가 높은 산업폐수에서 적용되고 있는 것이어서, 유량이 많고 저농도인 지천의 점오염원인 생활하수에 적용하는 것은 문제점이 있으나, 유량과 부하량에 대한 비용곡

표 2. 유지가능한 용존산소농도와 비용 비교

용존산소농도기준	단일 농도기준				지역별 기준	
	LC	UT	ZUT	LC4	LC	LC4
DO, STD(mg/l)	3.5	3.5	3.5	3.0	5.4	5.2
비용(10 ⁴ 원)	22.9	24.8	23.0	10.1	21.9	10.6

선이 구해져 있는 유일한 국내자료라는 면에서 무리하게 사용하였다. 또한 선형모형에서, 각 처리장들의 처리율을 연속적으로 변화시키면서 운전하는 것은 불가능하므로 역시 문제점이 있을 것이다. 그러나 현재 중량천구역에는 처리장이 더 필요하므로 본 연구결과를 참고하여 E_i^* 인 처리효율을 가지는 처리장을 건설한다고 보면 의미가 있을 것이다.

중량천구역에서 최소처리비용모형을 선형화하여 적용해 본 결과는 표 2와 같다.

이에 의하면 중량천 전구간에 걸쳐 동일한 용존산소농도기준을 설정할 경우, 7개의 처리장을 건설할 때 유지가능한 용존산소농도기준은 LC, UT, ZUT의 경우 모두 3.5mg/l였으며, 비용은 UT는 LC의 경우보다 1.9억원이 더 소요되었고 ZUT는 LC와 거의 차이가 없었다. 처리장을 4개 건설할 경우에는 DO를 3.0mg/l 이상 유지하는 것이 불가능하였으며, 비용은 7개의 처리장을 건설하는 것보다 12.79억원이 덜 소요되는 것으로 나타났다. 전 구간에 걸쳐 동일한 용존산소농도기준을 설정하지 않고 구간별로 상이한 용존산소농도기준을 설정한 경우의 결과는 다음과 같다. 7개의 처리장을 건설한 경우는 5.4mg/l, 4개의 처리장을 건설한 경우는 5.2mg/l의 DO를 유지할 수 있었다. 이때 소요되는 비용은 동일한 용존산소농도기준 설정시와 비교하여 큰 차이가 없었다. 따라서 용존산소농도기준을 구간별로 유연성있게 유지하면 처리장을 4개 건설할 경우, 경제적인 이점과 용존산소농도기준의 상승이 가능하다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

중량천을 대상으로 QUAL2E를 이용하여 수질을 예측하고, 이를 이용하여 평등성에 따라 정책을 변경하였을 때(LC→ZUT→UT)의 최소

비용의 변화와 수역별 수질기준의 변화에 따른 유지가능한 용존산소농도기준과 그때의 비용변화를 추정하여, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 이 결과는 1983년 8월에 대한 것이다.

(1) 오염이 심하여 회복이 불가능한 구간의 용존산소농도기준을 3.0mg/l로 낮게 유지하고 그 외의 지역은 높게 설정할 경우에 4개의 처리장만 건설하여도 5.0mg/l 이상의 DO를 유지할 수 있었다.

(2) 현재 중량천의 상태로는 용존산소농도 기준이 전구간에 동일하게 설정될 경우, 7개의 처리장을 세운다고 해도 DO를 3.5mg/l 이상 유지할 수 없었다.

(3) 비용면에서 LC와 ZUT는 차이가 거의 없었으나, LC와 UT는 큰 차이를 보였다.

(4) 중량천에는 비점원오염에 의한 부하량이 30%나 되고 유량은 70%를 차지하여 이에 대한 오염감소대책이 있어야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과에 의하면, 수질관리는 공간적인 고려, 즉 하천의 구간별 관리를 통하여 더 경제적으로 이루어질 수 있다. 이 외에도 하천에서의 오염이 문제시되는 기간과 그 외의 기간을 구분하여, 계절적인 고려를 한 수질관리가 함께 이루어지는 것이 바람직할 것이다.

참 고 문 헌

1. 신응배 외 8인, 대기, 수질 환경관리 전산모델 연구 1, 2차, BSE6115(2)-2134-6, 한국과학기술원 환경공학연구소, 1982, 1984.
2. Office of Environment, *Han River Basin Environmental Master Plan Project*, 1983.

3. Chung, Yong, "Interactive Water Quality Simulation of the Han River Using Computer Graphics," *KOREA-US Seminar on Urban/Regional/Transportation Development Planning and Environmental Management*, 1985.
4. Brown, Linfield C., and Barnwell, Thomas O. Jr., *Computer Program Documentation for the Enhanced Stream Water Quality Model QUAL 2E*, EPA/600/3-85/065, 1985.
5. 서윤수의 6인, 중량천 유역 수질환경 조사, 국립환경연구소, 1982, 1983, 1984.
6. 이상은 외 4인, 폐수처리 시스템 개발현황 조사 연구, 한국건설기술연구원, 1984, 1985.
7. Barnwell, Thomas O., Jr., et al., *Rates, Constants, and Kinetics Formulation in Surface Water Quality Modeling 2nd ed.*, EPA/600/3-85/040, 1985.
8. 최의소, 조광명, 환경공학, 청문각, 서울, 1981.
9. Freeze R. Allan, *Groundwater*, Prentice-Hill, 1979.
10. 서윤수 외 6인, 주요 공단지역의 수질총량규제에 관한 연구(I), 국립환경연구소, 1985.
11. Schrage, Linus, *LINDO/PC Manual*, 1981.
12. 한상욱, 환경청 수질보전국장 면담에서, 1986.
13. Thomann V. Robert, *Systems Analysis and Water Quality Management*, McGraw Hill, 1972.
14. Haith, A. Douglas, *Environmental Systems Optimization*, John Wiley & Sons, 1982.
15. O'Neil, B. William, "Transfer Discharge Permit Trading Under Varying Stream Conditions; A Simulation of Multiperiod Permit Market Performance on the Fox River, Wisconsin," *Water Resources Research*, Vol. 19, No. 3, pp. 608~612, 1983.

(接受: 1986. 11. 10)