

하수처리비용을 감안하고 7Q10과 저수량에 기초한 영산강 수질관리방안 연구

Water Quality Management of the Youngsan River based on the 7Q10 and Q275 considering Wastewater Treatment Cost

조재현^{1,*} · 유태종²

Cho, Jae-Heon^{1,*} · Yu, Tai-Jong²

1 관동대학교 건설환경시스템공학부

2 광주대학교 토목환경공학과

(2002년 7월 28일 접수, 2002년 12월 6일 최종수정논문 채택)

Abstract

Present condition of the Youngsan River pollution is serious. Concentrations of organic materials and nutrients are high and algal bloom takes place frequently. The pollution is mainly caused by domestic wastewater input from urban areas like Kwangju and Naju City.

In this study, 6 times of water quality surveys were done for mainstream and tributaries. Delivery ratios of each tributaries are calculated with the water quality and flow data. With Arc/View GIS, sub-basin are divided and pollution loads are estimated. These data are used for water quality modeling.

River quality improvement effects are analysed with 5 scenarios including process upgrade of present WWTPs and construction of new WWTPs. These scenarios are applied for the Youngsan River based on the 7Q10 and Q275. And total wastewater treatment cost in the basin is analysed for each scenario.

Key words: Arc/View GIS, Water quality modeling, 5 scenarios, 7Q10, Q275, Wastewater treatment cost

주제어: 지리정보시스템, 수질모델링, 5시나리오, 7Q10, 저수량, 하수처리비용

1. 서론

우리나라 4대강의 하나인 영산강 중하류부는 현재 수질이 심각하게 오염되어 있다. 이지역 하천수의 유기물질농도도 높고, 특히 영양물질의 농도가 높아서 수중조류가 과다 증식하고 있다. 이렇게 영

산강 수질이 악화된 주된 원인은 광주시와 나주시를 비롯한 중하류부 도시지역의 생활하수가 과다하게 유입되었기 때문이다.

영산강 수질관리를 위해서 본 연구에서는 1999년 10월부터 2001년 6월까지 6차에 걸쳐서 영산강 유역 전체를 대상으로 수질조사 및 유량조사를 실시

*Corresponding author Tel: +82-33-670-3354, Fax: +82-33-670-3369, E-mail: jhcho@kwandong.ac.kr (Cho, J.H.)

하였다. 수질조사 지점은 본류 12개 지점과 지천 33개 지점을 대상으로 하였다. 본류 3개 지점과 각 지천에서 수질조사도 병행하였다. 이 자료를 바탕으로 각 지천의 유달률을 산정하였고, Arc/View GIS를 이용해서 소유역을 구분하고, 배수구역별 오염부하량을 산정하였다. 이들 결과는 수질모형의 적용시 활용되었다.

광주하수종말처리장을 비롯한 유역내 각 하수처리장에서 성능개선(upgrade)과 하수처리장 신설을 포함한 5가지 시나리오를 설정해서 영산강 수질개선 효과를 검토하였다. 미하수처리지역의 하수처리장 신설계획에는 Arc/View를 이용해서 도출한 100 × 100m의 격자별 오염원 현황정보를 활용하였다. 하수처리비용 규모가 큰 것을 고려해서 기존 처리장의 성능개선 공정별 하수처리비용합수를 도출하고, 각 시나리오별 유역내 하수처리비용을 검토하였다. 또한 영산강의 수질관리방안 수립시 외국에서 주로 쓰이는 7Q10과 환경부의 수질오염총량관리제의 저수량을 기준수량으로 두어 비교분석하였다.

2. 연구방법

2.1. 하천수질조사와 수질모형의 대상구간

영산강 본류와 지천을 대상으로 99년 10월부터 2001년 2월 현재까지 6차에 걸쳐 수질조사를 하였다. 영산강 본류의 수질조사지점은 담양, 우치, 광주1, 광주2, 광산, 나주, 영산포, 함평, 무안1, 영산호1, 영산호2, 영산호3의 12개 지점이다. 그외 지천과 하수처리장 방류수의 33개 지점에 대해서도 조사하였다. 황룡강1,2,3지점, 지석천1,2지점, 광주천 4개 지점, 함평천1,2지점, 고막원천1,2지점, 증암강, 화순천, 영암천, 삼포천, 풍영정천, 오례천, 개천, 취암천, 평립천, 장성천, 만봉천, 망월천, 대초천, 문평천에 대해 수질조사를 하였고, 광주하수처리장 방류수도 조사하였다. 수질조사 대상 항목은 BOD, DO, pH, 수온, SS, COD, NH₃-N, NO₃-N, Org-N, PO₄-P, Org-P, Chl-a 등이다. 수질조사와 병행해서 본류 3개 지점과 각 지천에서 유량조사를 하였다.

영산강의 소유역까지 고려한 종합적 수질관리를 위해 영산강을 36개 소유역으로 분할하였다. 소유

Fig. 1. Sub-basins of the Youngsan River.

역의 분할을 위해서 Arc/View GIS를 이용해서 유역 경계를 설정하였고, 본류와 황룡강, 지석천, 광주천 등의 하천과 행정구역을 감안해서 소유역이 결정되었다. Arc/View를 이용해서 산출된 영산강의 전체유역면적은 3,374km²이다. 영산강 유역도는 Fig. 1과 같다.

본 연구에서는 영산강 상류인 담양군 금월교부터 하구언까지의 114km와 황룡강, 지석천, 광주천을 대상으로 모델링을 실시하였다. 황룡강은 장성댐 직하 지점부터 본류 합류점까지, 지석천은 화순군 능주교로부터 본류합류점까지, 광주천은 방학교지점부터 본류 합류점까지 대상으로 하였다. 하천의 수리적 특성과 수질을 감안하여 본류구간은 13개의 reach로 나누고, 각 element는 1km 간격으로 하였다. Fig. 2는 QUAL2E모형의 구간분할을 나타내고 있다.

2.2. 유달률조사

1999년 10월부터 각 지천의 하단부에서 계절별 1

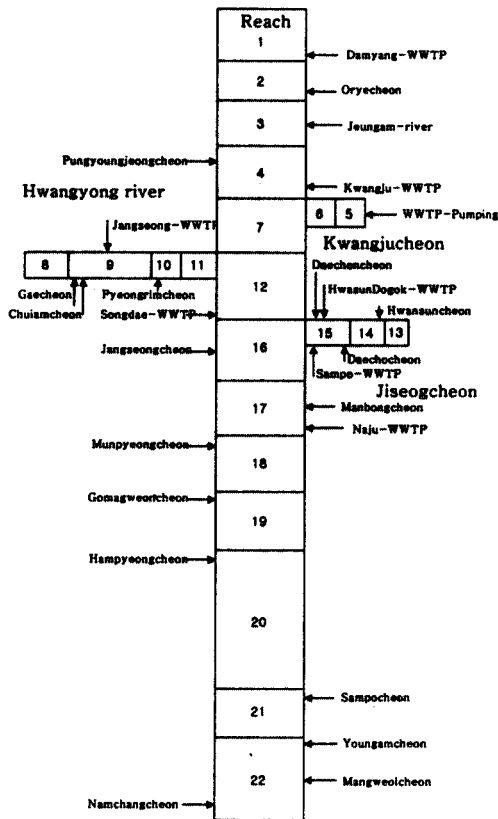


Fig. 2. Schematic diagram for water quality modeling.

회 조사한 수질조사 결과로부터 소유역별 유달부하량을 계산하였다. 이렇게 계산된 유달부하량과 앞서 계산된 소유역별 배출부하량(조재현 등, 2001)을 이용해서 소유역별 BOD, TN, TP에 관한 유달률을 산출하고, 계절별로 조사된 유달률을 평균하여 소유역의 평균유달률을 산출하였다. Table 1은 영산강 유역내 각 지천의 평균 유달률을 나타내고 있다. 풍영정천은 TN유달률이 1.0보다 크고, BOD와 TP의 유달률도 다른 지역보다 큰 것으로 나타나서 시가지 지역과 공업지역의 하폐수가 하수종말처리장으로 수송되지 않고 일부가 하천으로 흘러 들고 있음을 알 수 있다.

2.3. 보정 및 검증

모형의 보정에는 1999년 10월 27-29일의 본류와 지천의 수질조사 결과를 이용하였다. 영산강의 갈수기가 5, 6월에 주로 나타나므로 수질모형의 검증

Table 1. Delivery ratios of tributaries.

Tributary	BOD(%)	TN(%)	TP(%)
Jeungam-river	6.0	43.5	8.3
Pungyoungjeongcheon	23.0	138.4	63.5
Hwangyong-river	7.0	42.4	9.7
Oryecheon	11.7	105.8	31.1
Gaecheon	1.9	7.7	2.9
Gomagweoncheon	6.1	79.7	10.2
Hampyeongcheon	2.8	26.2	2.3
Sampocheon	4.1	51.8	8.9
Youngamcheon	5.3	33.8	21.5
Jiseogcheon	8.4	53.5	9.6
Chuiamcheon	3.9	13.4	3.0
Pyeongrimcheon	4.2	9.1	4.7
Jangseongcheon	10.4	120.7	8.8
Manbongcheon	20.8	73.0	39.8
Mangweolcheon	3.9	19.3	5.4
Daechocheon	2.7	8.4	4.7
Munpyeongcheon	3.1	18.4	3.4
Hwasuncheon	6.7	29.4	5.9
Mean	7.3	48.6	13.5

은 5월의 상황으로 수행하였다. 2000년 5월 수질조사 당시에는 시점이 갈수기였고 농업용수 필요량의 증가로 영산강 각 지천의 물이 보에 의해 인위적으로 조절되어 수량이 불규칙적이어서 모형의 입력자료로 활용할 수 없었다. 검증시 본류 수질자료는 1995년부터 2000년까지의 최근 6년간 환경부에서 측정된 5월 수질자료를 이용하였다. 검증시 지천유량은 나주지점에서 5월에 측정된 일유량의 중앙값(median)을 이용해서 비유량을 구한 다음 이 비유량으로 각 지천의 유량을 산정하였다. 이 유량과 각 지천 유역의 배출오염부하량으로부터 각 지천의 수질을 산정하였다.

영산강 수리제원은 수위-유량곡선과 유속-유량곡선을 이용해서 계산되었다. 하구언을 제외한 구간은 영산강의 하천단면자료와 Manning공식을 이용해서 수위-유량곡선과 유속-유량곡선을 만들었다. 하구언 주변의 하류부는 수위와 유량과의 사이에 회귀분석을 해보았으나 상관성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 하구부의 수위는 연간 평균치를 적용하고, 유량변화에 따라 유속이 직선적으로 변화하는 것으로 가정하여 rating-curve를 적용하였다.

수질모형의 보정과 검증은 Arc/View상에서 수질

조사지점도의 도형정보와 유입오염정보를 이용해서 이루어졌다. 1999년 10월의 측정치로 보정한 결과를 도시한 것은 Fig. 3과 같고 검증결과는 Fig. 4와 같다. 그림에서는 환경부의 6년간 10월 측정치의 범위와 평균값 그리고 본 연구의 측정치를 표시하였다. 영산강의 가장 중요한 오염원인 광주하수종말처리장은 광주천 유입 직전에 영산강에 직접 흘러 들고 있다. BOD, TN, TP의 보정과 검증 결과에서 보듯이 광주하수종말처리장의 방류수 유입지점에서 각각의 계산치와 측정치값이 큰 폭으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 그 이후 자정작용과 희석

작용으로 인해 점차 BOD, TN, TP가 낮아지고 있다. 저질산소요구량(SOD)은 실측자료로부터 광주하수종말처리장 방류수 유입 직후 구간에 최대치인 2.3g/m².day를 적용하고 보와 하구언 등의 정체 구간에 0.7-1.9g/m².day의 값을 적용하였다(유태종 등, 2001). 인과 질소의 용출률도 실측결과를 활용했으며, 암모니아성질소(NH₃-N)의 저질로부터의 용출은 광주하수종말처리장 방류수 유입 직후 구간에 131.5g/m².day 영산호구간에 10.0g/m².day를 적용했고, 인산염인의 용출은 광주하수종말처리장 방류수 유입 직후 구간에 5.0g/m².day 영산호구간에

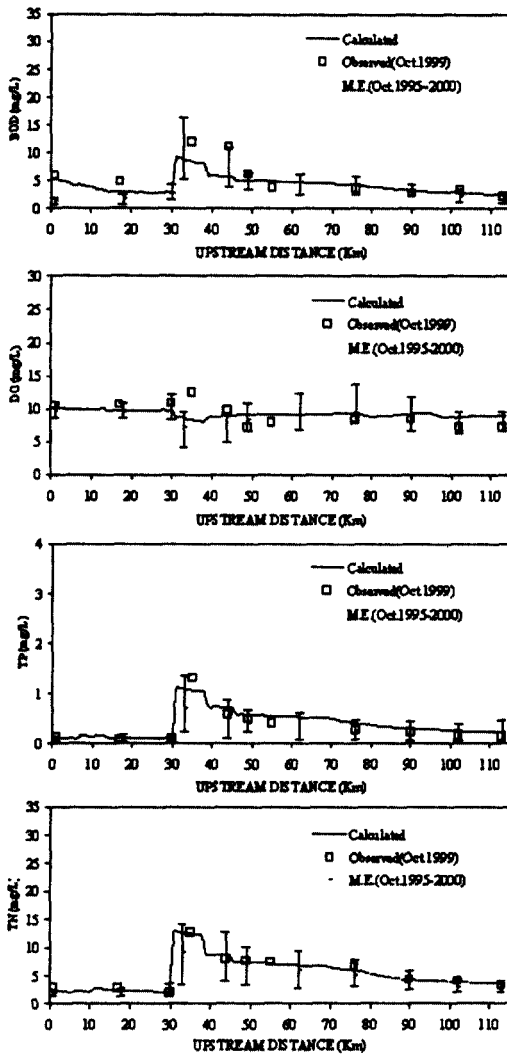


Fig. 3. Calibration results of the water quality model.

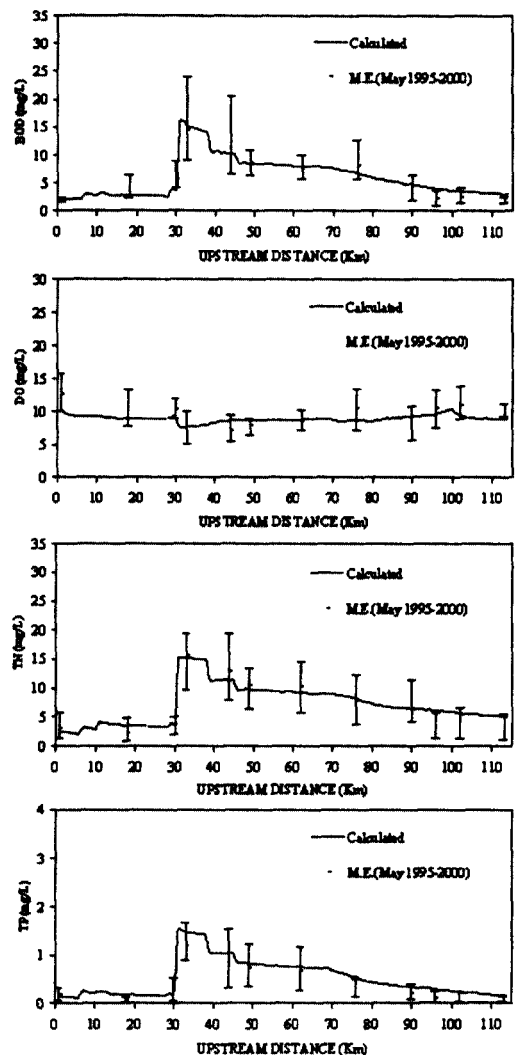


Fig. 4. Verification results of the water quality model.

Table 2. Constants used in the water quality model.

Parameter	Used value
Carbonaceous deoxygenation coefficient (day ⁻¹)	0.001-0.2
BOD settling rate(day ⁻¹)	0-0.2
Hydrolysis rate of organic-N to ammonia (day ⁻¹)	0.02-0.05
Organic-N settling rate (day ⁻¹)	0.1-0.2
Biological oxidation rate of NH ₃ to NO ₂ (day ⁻¹)	0.3
Biological oxidation rate of NO ₂ to NO ₃ (day ⁻¹)	1.0
Decay rate of organic-P (day ⁻¹)	0.01
Organic-P settling rate (day ⁻¹)	0.1-0.2
Maximum growth rate of algae (day ⁻¹)	3.0
Respiration rate of algae (day ⁻¹)	0.1
Half saturation constant for nitrogen (mgN/L)	0.02
Half saturation constant for phosphorus (mgP/L)	0.005

1.0g/m²·day를 적용하였다. 보정과 검증시 각종 상수값은 Thomann and Mueller(1987)과 Bowie(1985)의 자료를 참고하였으며 본 연구에서 적용된 값은 Table 2와 같다.

2.4. 기준수량

지역하수처리의 수질관리계획 수립에는 7Q10 갈수량을 기준으로 하였다. 영산강 유역의 나주수위 관측소에서 1963년부터 1999년까지 자료중 결측자료가 많은 년도를 제외한 31년 동안의 일별 수위자료를 이용해서 7Q10 갈수량을 도출하였다. 이 수위 자료에 건설부에서 작성한 수위-유량곡선을 적용해서 나주지점의 일별 유량자료를 만들고, Fig. 5와 같이 빈도해석을 한 결과 1.545m³/sec의 연간 7Q10 유량을 산출하였다.

광주시의 상수도 취수원은 영산강유역이 아닌 동북호와 주암호이기 때문에 나주지점의 유량에서 광주시 상수도생산량을 제외한 만큼이 영산강유역만의 실질적인 7Q10유량이 된다. 광주시 상수도생산량을 제외한 나주지점의 일유량을 이용해서 산출한 7Q10유량으로 수질관리계획 수립시 각 지천의 갈수량을 계산하였다.

7Q10과 동일한 자료로 년도별 Q275를 도출하였고, 이를 바탕으로 평균저수량을 산출하여 수질관리계획에 적용하였다. 계산된 평균저수량은 11.327 m³/sec이다.

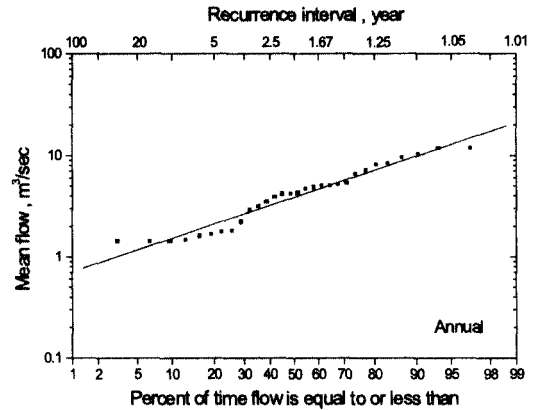


Fig. 5. Low flow frequency curve for 7Q10.

2.5. 영산강유역내 하수처리 현황

영산강유역에는 광주, 나주, 송대 등 13개 하수종말처리장이 가동 중이다. 광주, 송대, 나주하수종말처리장은 활성슬러지법(activated sludge)으로, 담양, 함평, 영암하수종말처리장은 산화구법(oxidation ditch)으로, 장성, 화순, 산포, 공산, 무안, 일로하수종말처리장은 회전원판법(RBC)으로 하수처리를 하고 있다. 광주하수종말처리장에서는 증암강 지역에 위치해 있는 쓰레기매립장의 침출수와 광주 분뇨처리장에서 수집한 분뇨를 하수와 함께 병합처리를 하고 있다. 장성하수종말처리장은 장성분뇨처리장의 분뇨와 장성군 쓰레기매립장의 침출수를 병합처리하고 있다. 나주, 화순, 담양 하수종말처리장에서는 지역내 분뇨처리장의 분뇨를 병합처리하고 있다. 유역내 하수종말처리장 현황은 Table 3과 같다. Arc/View에서 작성한 기존 처리시설의 하수처리구역 현황은 Fig. 6과 같다.

2.6. 지역하수처리방안과 하수처리비용

영산강 수질에 큰 영향을 미치는 오염원은 광주하수종말처리장으로서 시설용량이 60만톤/일이며, 광주천이 합류되기 직전의 영산강 본류에 방류된다. 영산강 상류지역은 오례천, 증암강, 풍영정천 유역에서 유입되는 오염부하의 영향을 크게 받아서 수질이 악화되어 있다. 영산강 중하류 구간에는 광주하수종말처리장 방류수의 영향을 크게 받고 있다.

본 연구에서는 영산강 중하류 수질에 결정적인

Table 3. Existing wastewater treatment plants in the Youngsan River basin

WWTP	Capacity (10 ³ m ³ /day)	Treatment type	Completion year	Inflow water quality (mg/L)			Effluent water quality (mg/L)		
				BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
Kwangju	600	Activated sludge	97	118.5	31.7	3.0	8.92	21.72	2.09
Songdae	60		98	49.4	18.7	1.8	4.87	17.31	1.53
Naju	22.5		94	51.4	19.6	2.2	6.27	19.0	2.15
Damyang	7	Oxidation ditch	99	62.7	29.4	5.6	10.19	12.88	1.33
Hampyeong	9		99	21.7	9.3	1.1	5.65	4.36	0.52
Youngam	5.5		99	32.7	26.2	8.6	4.43	8.68	9.35
Jangseong	11	Rotating Biological Contactor	99	119.0	15.3	2.2	7.98	10.08	0.68
Hwasun	11		99	77.6	25.1	2.6	9.51	17.15	1.37
Sanpo	3.5		98	42.4	22.1	2.2	5.25	16.78	1.63
Gongsan	3.5		99	52.3	22.0	2.2	5.12	15.31	1.52
Muan	4.5		99	20.5	15.6	1.7	6.41	10.34	0.69
Illo	3		99	21.3	15.8	1.7	6.41	10.26	0.69

은 하수가 처리되지 않고 유입되어서 영산강 상류부 수질악화의 원인이 되고 있는 영산강 상류 지역에 하수처리장의 신설을 검토하여 영산강의 수질개선 효과를 평가하고자 한다. Arc/View GIS 상에서 grid별 인구분포와 유역도, 하천도, 고도정보 등을 이용해서 Fig. 6과 같은 영산강 상류부 5개소의 계획하수처리시설의 처리구역도를 작성하였다. 이들 처리시설의 용량은 Table 4와 같다.

지역하수처리의 첫째 방안은 기존의 하수처리장이 정상적으로 현재 처리방식에 의해 가동될 때의 결과이다(시나리오 1).

지역하수처리의 둘째 방안은 영산강 상류지역의 기존 담양하수종말처리장은 처리구역을 확장하여 처리용량을 늘리되 현재대로 산화구법에 의한 처리를 하고, 5개소의 계획 하수종말처리장에서는 보편적인 공법인 활성슬러지법으로 처리를 하는 것으로 가정하였다. 광주하수처리장은 기존대로 활성슬러지법에 의한 처리(시나리오 2)를 하거나 활성슬러지법과 응집침전, 급속사여과의 조합공정(시나리오 3), 활성슬러지법과 응집침전, 급속사여과 그리고 활성탄흡착의 조합공정(시나리오 4), VIP법(시나리오 5)으로의 upgrade를 가정하였다.

광주하수처리장은 표준활성슬러지법, 담양하수처리장은 산화구법으로 건설되어 있으므로 개조의 용이성과 하수처리장의 건설비와 유지관리비의 비용

Fig. 6. Service areas of existing and planned WWTPs.

영향을 주는 광주하수종말처리장의 upgrade를 검토하고, 현재 담양하수처리장만 운영되고 있어서 많

Table 4. Treatment efficiency of existing and planned WWTPs

WWTP	existing/ planned	Capacity (10 ³ m ³ /day)	Treatment type	Treatment efficiencies (%)		
				BOD	TN	TP
Kwangju	existing	600	A.S.	88	20	33
			A.S.+coagulation+filter.	95	58	91
			A.S.+coagulation+filter.+adsorp.	98	64	93
			VIP	88	65	80
Damyang	existing	7	Oxidation ditch	84	56	76
			Oxidation ditch +coagulation+filter+adsorp.	95	74	90
Geumseong	planned	0.65	AS	88	20	33
Daejeon	planned	0.9				
Mujeong	planned	1.1				
Goseo	planned	1.7				
Jinweon	planned	1.1				

Table 5. Wastewater treatment cost function for each process

Treatment type	Construction cost (1999)	O&M cost (1999)
1. A.S.	$3596.4 \times Q^{0.622}$	$43.08 \times Q^{0.848}$
2. A.S.+coagulant addition	$4172.2 \times Q^{0.609}$	$56.42 \times Q^{0.886}$
3. A.S.+coagulant addition+filter.	$5370.62 \times Q^{0.595}$	$59.37 \times Q^{0.886}$
4. A.S.+coagulant addition+filter.+adsorp.	$7201.3 \times Q^{0.649} \cdot (5-3)$	$156.32 \times Q^{0.942} \cdot (5-3)$
5. A.S.+coagulation+filter.	$5916.34 \times Q^{0.621}$	$63.85 \times Q^{0.886}$
6. A.S.+coagulation+filter.+adsorp.	$7201.3 \times Q^{0.649}$	$156.32 \times Q^{0.942}$
7. Oxidation ditch	$6444.6 \times Q^{0.5938}$	$269.7 \times Q^{0.3986}$
8. Oxidation ditch+coagulant addition	$6444.6 \times Q^{0.5938} \cdot (2-1)$	$269.7 \times Q^{0.3986} \cdot (2-1)$
9. Oxidation ditch+coagulation+filter.	$6444.6 \times Q^{0.5938} \cdot (5-1)$	$269.7 \times Q^{0.3986} \cdot (5-1)$
10. Oxidation ditch+coagulant addition+filter.	$6444.6 \times Q^{0.5938} \cdot (3-1)$	$269.7 \times Q^{0.3986} \cdot (3-1)$
11. Oxidation ditch+coagulation +filter.+adsorp.	$6444.6 \times Q^{0.5938} \cdot (6-1)$	$269.7 \times Q^{0.3986} \cdot (6-1)$
12. Oxidation ditch+coagulant addition+filter.+adsorp.	$6444.6 \times Q^{0.5938} \cdot (3-1) \cdot (6-5)$	$269.7 \times Q^{0.3986} \cdot (3-1) \cdot (6-5)$

*Q: Capacity of WWTP (10³m³)

자료가 충분한 지를 따져서 수질관리계획의 각 시나리오에서 적용한 계획처리효율은 **Table 4**와 같다. 처리효율은 환경부의 자료(환경부, 1996), Metcalf & Eddy(1991)과 Klemetson and Grenny (1976) 그리고 Biswas(1997)의 자료를 참고하여 작성되었다. 이 연구에서 적용된 upgrade공정별 하수처리비용함수식은 물가지수를 고려해서 작성하였고 **Table 5**와 같다(건설부, 1988; Metcalf & Eddy, 1991; Klemetson and Grenny, 1976). 하수처리비용은 기존 처리 방식 그대로 운용할 때는 추가건설비가 들지 않는 것으로 계산하고 성능개선시에는 추가비용에 대해서 년차등가액을 산출하고 유지관리

비용을 합해서 연간 하수처리비용으로 계산하였다. 신설처리장에 대해서는 총건설비에 대한 년차등가액과 유지관리비를 합산하여 연간 처리비용을 산출하였다.

3. 결과토의

Fig. 7, 8은 앞에서 설명한 시나리오에 따라 기존 하수종말처리장을 upgrade하고 하수종말처리장을 신설할 때의 시나리오별 영산강 수질분포를 보여주고 있다. 이때의 영산강유량은 7Q10 갈수량과 저수량으로 각각 적용되었다.

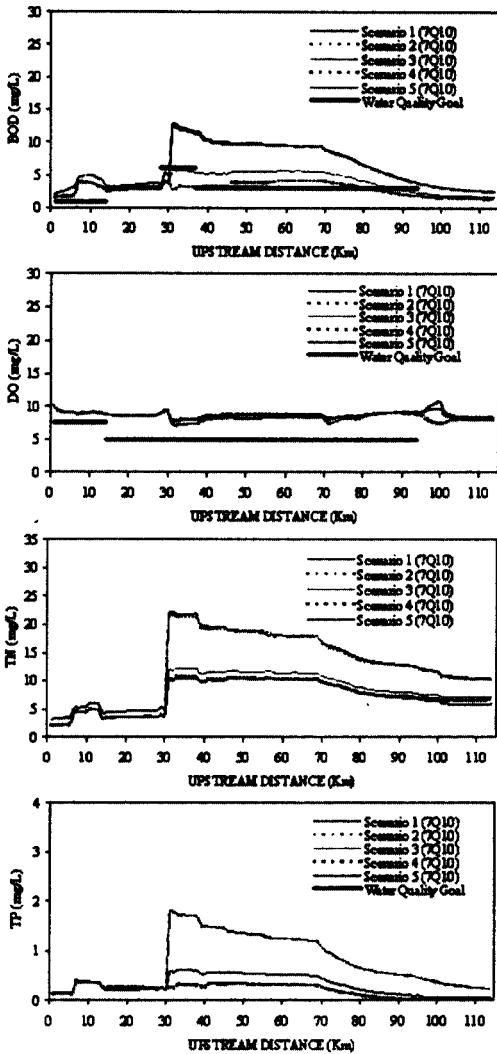


Fig. 7. Water quality distribution of the Youngsan River for each scenario (7Q10).

Fig. 7에서 보는 바와 같이 7Q10 갈수량의 하천 수량 조건에서 광주와 담양 그리고 기타 하수처리장에서 현재와 같이 활성슬러지법과 산화구법 등의 2차 처리를 할 때(시나리오 1)의 BOD분포를 보면 광주하수처리장 방류수 유입전 영산강 상류부의 BOD가 하천수질환경기준 3등급(BOD 6mg/L) 정도 밖에 되지 않고, 광주하수처리장유입 이후 구간에는 하천수질기준상 등급 외의 수질을 보인다(환경부, 1999).

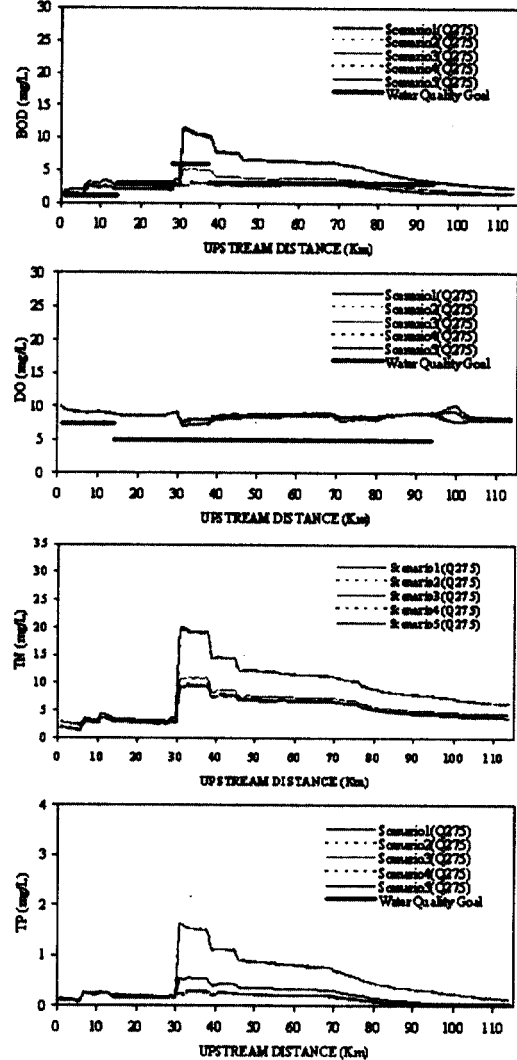


Fig. 8. Water quality distribution of the Youngsan River for each scenario (Q275).

광주하수처리장 유입전의 영산강 상류구간에 5개소의 하수처리장을 신설하여 활성슬러지법에 의한 2차 처리를 하고 광주하수처리장에서는 기존의 활성슬러지법에 의한 처리를 하는 시나리오 2의 경우, 영산강 상류구간에는 유량이 적기 때문에 처리장 신설에 따른 BOD 감소 효과가 나타나고 있으나 광주처리장 방류수 유입후 구간에는 상대적으로 큰 하류유량으로 인해 영산강 상류 하수처리장 신설의 효과가 미미하다. 그러나 광주하수처리장에서 시나리오 3, 4와 같이 고도처리를 할 때 광주처리장 방

Table 6. Total wastewater treatment cost for each scenario

WWTP	Annual Cost (Million Won)				
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Existing WWTPs	19,552	19,552	48,802	118,334	23,043
Planned WWTPs	-	2,605	2,605	2,605	2,605
Total	19,552	22,157	51,407	120,939	25,648

류수 유입 후 하류구간의 BOD는 기존 활성슬러지 공법과 비교할 때 큰 폭으로 감소되고 있다. 시나리오 5에서는 VIP공법의 BOD제거효율이 활성슬러지공법과 비슷하기 때문에 시나리오 2와 같은 패턴을 보인다.

저수량을 기준수량으로 할 때는 광주하수처리장 유입전 상류부 BOD가 7Q10기준시보다 크게 낮아져서 상류부에 계획처리장을 신설시에는 하천수질환경기준 2등급(BOD 3mg/L)을 만족시킨다. 광주하수처리장 방류수 유입직후에는 하수처리장 방류수량이 하천수량에 비해 워낙 크기 때문에 7Q10 적용시와 별차이가 없다. 하류로 흘러감에 따라서 유입수의 수량이 많아지기 때문에 희석효과에 의해 저수량 적용시의 BOD가 크게 낮아지는 경향을 보인다. 시나리오 1, 2, 3에서는 처리장 방류수보다 수질이 양호한 황룡강과 지석천이 유입되는 지점에서 본류수질이 크게 개선되고 있다.

저수량 적용시 시나리오 1과 같이 유역내 각 하수처리장에서 현재와 같이 활성슬러지법과 산화구법 등의 2차 처리를 할 때 광주하수처리장 방류수 유입전 영산강 상류부의 BOD가 하천수질환경기준 2등급 정도이고, 광주하수처리장유입 직후 구간에는 하천수질기준상 등급 외의 수질을 보이고, 하류구간에는 3등급 정도를 유지할 수 있어서 환경부의 수질목표에 크게 미달한다. 시나리오 2에서는 현재대로 처리하는 시나리오1과 영산강수질의 차이가 별로 없다. 시나리오 4에서는 광주하수처리장 방류수유입후 하류구간의 BOD가 수질목표 3mg/L를 만족시킬 수 있고, 상류부에도 BOD 1mg/L의 목표는 달성하기 어렵지만 3mg/L의 수질목표는 달성가능하다. 시나리오 3의 경우에는 BOD 6mg/L의 3등급 수질을 영산강 전 구간에서 유지 가능하다.

DO의 경우 모든 시나리오에서 하천수질환경기준

2등급(DO 5.0mg/L)을 만족하고 있다. TN의 경우는 BOD와 비슷한 경향을 보이고 있다. 광주하수처리장에서 고도처리를 해도 TN의 제거효율이 높지 않기 때문에 광주처리장 방류수 유입후 하류구간의 TN농도가 여전히 높게 나타난다. 다만 시나리오 3, 4, 5에서는 고도처리의 효과가 나타나 시나리오 1, 2보다는 확연히 낮아진다. 저수량과 7Q10유량의 결과를 비교하면, 광주하수처리장 합류직후에는 하수처리장 방류량이 워낙 많기 때문에 비슷한 분포를 보이거나 하류와 상류구간에는 희석효과에 의해 TN농도가 전반적으로 크게 낮아진다.

TP의 경우 시나리오 3, 4, 5와 같은 고도처리에 TP의 처리효율이 높기 때문에 광주처리장 방류수 유입후 하류구간의 TP농도가 크게 개선된다. TP농도도 하류와 상류구간에는 희석효과에 의해 전반적으로 크게 낮아진다. 한편 활성슬러지공법에 고도처리공법을 추가한 시나리오 3과 4에서는 7Q10과 Q275 공히 하류의 영산호 구간의 TP농도가 환경부의 수질목표인 호수수질환경기준 2등급(0.03mg/L)을 만족시킨다.

영산강유역에 적용된 시나리오별 총년간 하수처리비용 계산결과는 Table 6과 같다. 저수량 적용시 시나리오 3의 경우에는 영산강 전역에서 수질기준 3등급을 달성할 수 있고 이때 하수처리비용은 현재대로 처리하는 시나리오 1에 비해 약 2.6배의 비용이 든다. 수질기준 2등급으로 낮추려면 시나리오 4의 고도처리를 광주하수처리장에서 해야 되고 이때 연간 처리비용은 시나리오 1에 비해 약 6.2배가 된다. VIP공법 적용시는 비용 증가에 비해 TN과 TP가 크게 개선되어 영산호의 조류발생을 억제하는데 효과적일 것으로 판단된다.

4. 결론

저수량을 기준수량으로 할 때는 광주하수처리장 유입전 상류부 BOD가 7Q10기준시보다 크게 낮아져서 상류부에 계획처리장을 신설시에는 하천수질 환경기준 2등급을 만족시킨다. 광주하수처리장 방류수 유입직후에는 하수처리장 방류수량이 하천수량에 비해 워낙 크기 때문에 7Q10 적용시와 별 차이가 없다. 하류로 흘러감에 따라서 유입수의 수량이 증가되어 희석효과로 인해 저수량 적용시의 BOD가 크게 낮아지는 경향을 보인다.

저수량 적용시 시나리오 1, 2, 5에서는 광주하수처리장 방류수 유입직후 BOD농도가 등급외의 수질을 보인다. 활성슬러지법과 응집침전, 급속사여과 그리고 활성탄흡착의 조합공정인 시나리오 4에서는 영산강 전구간에서 하천수질환경기준 2등급을 만족시킨다. 반면 시나리오 3에서는 광주하수처리장 방류수 유입후 중류구간의 BOD가 수질환경기준 3등급을 만족시키는 정도이나 상류와 하류에서는 2등급기준을 유지한다. TN과 TP의 경우에 저수량과 7Q10유량의 결과를 비교하면, 광주하수처리장 합류직후에는 하수처리장 방류수량이 워낙 많기 때문에 비슷한 분포를 보이거나 하류와 상류구간에는 희석효과에 의해 TN과 TP농도가 전반적으로 크게 낮아진다.

시나리오별 하수처리비용을 비교하면 시나리오4가 시나리오 3보다 수질개선효과가 크지만 하수처리비용을 감안할 때 시나리오 3의 고도처리를 하는 것이 영산강 수질관리를 위한 적절한 대안으로 판단된다.

기준수량으로 7Q10과 저수량을 각기 적용했을 때 광주하수처리장 방류수 유입직후를 제외한 전 구간에서 영산강 수질에 큰 차이가 있다. 따라서 우리나라의 실정에 비추어 수질관리의 기준수량으로 저수량을 적용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-1999-00296)지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 건설부 (1988) 하수도정책방향연구, pp. 141-159.
- 유태종, 박정주, 조재현 (2001) 영산강의 SOD측정 및 특성연구, *상하수도학회지* 15(2), pp. 147-155.
- 조재현, 유태종, 박동진 (2001) Arc/View GIS를 이용한 영산강유역의 환경정보 데이터베이스 구축, *상하수도학회지* 15(2), pp. 103-114.
- 환경부 (1996) 하폐수종말처리장 방류수수질기준 설정에 관한 연구, pp. 337-353.
- 환경부 (1999) 환경통계연감.
- Biswas, H. (1997) Technical guidance manual for developing Total Maximum Daily Loads, Book 2:Streams and rivers, Part1: Biochemical oxygen demand/Dissolved oxygen and nutrients/Eutrophication, pp. A-5~A-16, U.S. EPA 823-B-97-002.
- Bowie, G.L.(1985) Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling, pp. 90-365, U.S. EPA/600/3-85/040.
- Brown L.C. and Barnwell T.O. Jr. (1987) The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual, EPA/600/3-87/007, Athens: US EPA.
- Klemetson, S.L. and Grenny, W.J. (1976) Physical and Economic Parameters for Planning Regional Wastewater Treatment Systems, *Journal WPCF*, 48(12), pp. 2690-2699.
- Metcalf & Eddy (1991) Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, 3rd ed., pp. 691-695, McGraw-Hill, New York.
- Thomann, R.V. and Mueller, J.A. (1987) Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, pp. 423-437, Harper & Row, Publishers, New York.