

영산강 하류부의 목표수질 달성을 위한 BOD 부하량 삭감방법의 비교

황대호 · 정효준 · 이흥근[†]
서울대학교 보건대학원

A Comparison between Reduction Methods for BOD Loadings to Achieve Water Quality Standards at the End of the Yeongsan River

Dae Ho Hwang, Hyo Jun Jeong and Hong Keun Lee[†]

Graduate School of Public Health, Seoul National University

(Received 10 May 2001 ; Accepted 15 June 2001)

ABSTRACT

The key point in establishing water quality management measures is how to decide the load reduction for pollution sources. This study was performed to compare reduction methods for BOD loadings to achieve water quality standards at the end of the Yeongsan river. The target year is 2006 and 2011 and reduction methods are uniform treatment and treatment by influence rate. Using QUAL2E model, the study was performed under the conditions of establishing and non-establishing the publicly owned treatment works(POTWs). Uniform treatment which allocate the same reduction rate to pollution sources showed that all streams into the river should be applied for the reduction. However, treatment by influence rate which allocate the reduction rate by the order of influence rate showed that achieving target quality might be possible with a few streams for the reduction. But total amount of load reduction of streams was not significantly different from two methods.

Keywords : Yeongsan river, QUAL2E, water quality standard, load reduction, reduction method

I. 서 론

영산강은 유로연장이 138 km로 우리나라 4대 하천 중 가장 짧고, 유역면적은 3,371.3 km²로 가장 작은, 하상계수는 682로 가장 커서 최대 유량과 최소유량의 차가 매우 큰 불안한 하천유형을 띠고 있다.¹⁾ 이러한 수리적인 특징과 광주광역시 등에서 유출되는 각종 오염물질로 인해, 영산강의 수질은 현재는 물론 장래 또한 매우 우려되는 수준이어서 이에 대한 적절한 대책 마련이 시급한 실정이다. 또한, 영산강은 농어촌진흥공사(현 농업기반공사)가 수자원 확보와 간척농지 조성을 위해 강하구에 마련한 영산호에도 가장 많은 영향을 끼치고 있는 것으로 나타나, 현재 부영양화상태에 이른 영산호의 수질관리를 위해서도 적절한 관리대책이 필요할 것으로 보인다.²⁾

하천의 수질관리는, 장래수질을 예측하고, 예측된 장래수질로부터 목표수질을 결정한 후, 목표수질을

달성하기 위해 삭감해야할 부하량을 산정하는 것이 관건이다. 이때 삭감량은 기술적, 경제적, 사회적인 요인들을 고려하여 최적의 방법을 통해 산정되어야 하는데, 특히, 각각의 요소들을 고려하여 최적의 비용-효율적인 대안을 찾아 조합하는 것이 중요할 것이다.^{3,4)} 그러나, 국내에서는 아직 삭감단계에 대한 자료가 부족하여, 최소비용으로 소기의 효율을 달성하기 위한 연구가 미흡한 실정이다.⁵⁾ 따라서, 본 연구에서는 비용보다는 삭감량에 중점을 두어, 영산강의 목표수질 달성에 필요한 삭감량 산정방법을 비교하고 그 차이를 살펴보고자 한다.

II. 연구방법

1. 장래수질예측

본 연구에서는 목표연도를 2006년과 2011년으로 하고 QUAL2E 모형을 이용하여 수질이 가장 나쁜 갈수기의 영산강 수질을 예측하였다. 이때 대상수질항목은 BOD로 하였고, 영산강유역의 각 지방자치단체 등에서 계획하고있는 환경기초시설이 계획대로 설치된 경우와 그렇지 않을 경우로 나누어 예측하였다.

[†]Corresponding author : Graduate School of Public Health, Seoul National University.
Tel:(02) 740-8871, Fax:(02) 762-8760,
E-mail:leehk@snu.ac.kr

본 연구에서는, 영산강에 QUAL2E 모형을 적용하기 위해 반응계수를 보정하고 검증한 이 등⁶⁾의 연구와 2001, 2006, 2011년의 영산강 수질을 예측한 윤⁷⁾과 황 등⁸⁾의 연구결과를 이용하였다.

2. 목표수질달성을 위한 식감량의 산정과 비교
본 연구에서는 영산강의 수질이 하류의 영산호에 미치는 영향을 고려하여 영산강 하류부를 목표지점으로 하고, 목표지점에서의 수질을 하천수질기준 II,

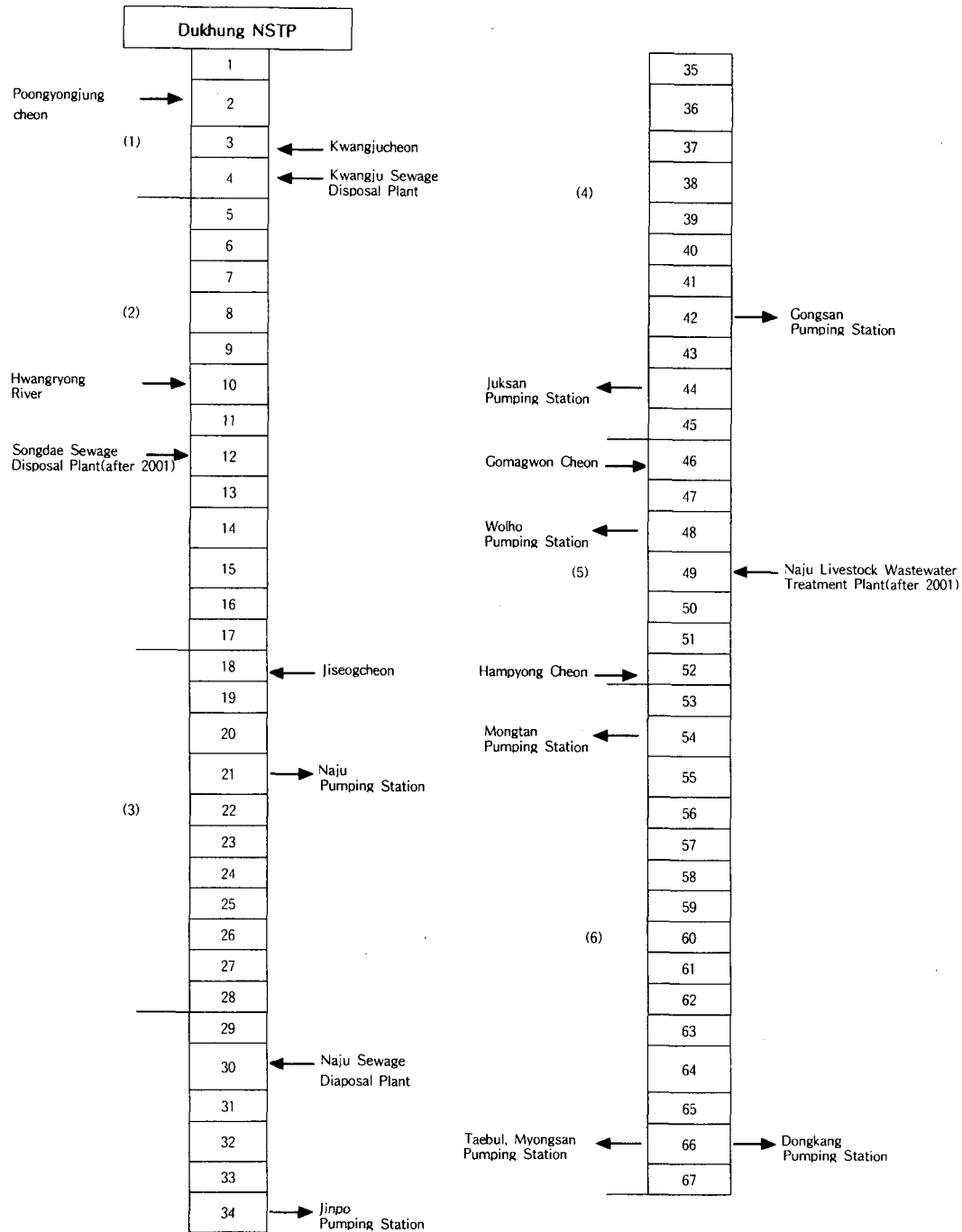


Fig. 1. Network of computational elements and reaches with publicly owned treatment works plans on the Yeongsan river.

Ⅲ, Ⅳ등급으로 하였을 경우, 각각의 목표수질을 달성하는데 필요한 삭감량을 산정하였다. 오염부하량의 삭감은, 영산강으로 유입되는 각 지천에서의 BOD부하량을 대상으로 하였고, 환경기초시설이 설치될 경우와 그렇지 않을 경우로 나누어 실시하였다.

삭감방법은 일정률 삭감법과 영향률에 따른 삭감법을 이용하였다.

1) 일정률 삭감법

이 방법은 삭감하고자하는 대상에 대해 동일한 비율의 삭감률을 적용하는 것으로, 시행하기 용이한 장점 때문에 행정실무에서 많이 채택하고 있는 방법이다.⁵⁾ 본 연구에서는 영산강으로 유입하는 모든 지천의 오염부하량을 대상으로 일정률 삭감법을 적용, 목표수질을 달성하는데 필요한 각 지천의 삭감량을 산정하였다.

2) 영향률에 따른 삭감법

김⁹⁾과 김 등¹⁰⁾은 아래의 식 (1)을 이용하여 호수로 유입되는 하천의 영향률을 계산하였다. 본 연구에서는 식 (1)을 이용하여 영산강으로 유입되는 각 지천이 강 하류부에 미치는 영향률을 계산하고, 그 크기가 큰 지천에서의 오염부하량을 우선적으로 삭감하였다.

목표지점의 수질에 대한 유입지류의 영향률 (%)

$$= \frac{|N-E|}{N} \times 100 \quad \text{식 (1)}$$

여기에서,

N=모든 지류가 유입되는 경우의 목표지점농도
E=각 지류가 유입되지 않는 것으로 가정한 경우의 목표지점농도

각 지천에서 삭감할 수 있는 최대삭감량은 유입하는 부하량의 90%로 하였다. 이 값은 오염물질을 표준화성슬러지공법을 이용하여 처리하는 것으로 가정할 경우, 처리시설이 양호하게 운전될 때의 삭감

률이다.¹¹⁾

Fig. 1은 모형을 적용하기 위한 경계조건으로, 광주 시 서구 덕흥동 위생처리장 용수취단보를 상류단 경계로 하고, 대불, 명산취수장 1 km하류인 무안군 몽탄면 명산리 몽탄대교를 하류단 경계로 하였다. 각하천구간은 수리학적 특성이 유사한 구간별로 대구간을 구성한 후, 이를 구성하는 각 소구간을 1 km 간격으로 하여 6개의 대구간(reach)과 67개의 소구간(element)으로 구분하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 장래수질예측

2006년과 2011년 갈수기의 영산강 수질을 BOD를 중심으로, 환경기초시설을 계획대로 설치할 경우와 그렇지 않을 경우로 나누어 예측한 결과는 Table 1에서 보는 바와 같이 갈수기의 수질이 가장 나빠, 평균 10.17~14.16 mg/l를 나타내었다. 여기에서, 상류는 Fig. 1의 reach 1과 2, 중류는 reach 3과 4, 하류는 reach 5와 6으로 구분하였다.

2. 목표수질달성을 위한 삭감량의 산정

1) 일정률 삭감법

2006년과 2011년 갈수기에 영산강 하류부의 목표수질을 달성하기 위해 각 지천에서 삭감해야할 삭감률을, 일정률 삭감법을 적용하여 산정한 결과는 Table 2와 같다. 환경기초시설을 계획대로 설치할 경우, 하류부의 수질이 Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ등급을 만족시키기 위해서는 2006년에, 81.0, 36.0, 6.0%의 삭감이 필요하고, 2011년에는 86.0, 45.0, 19.0%의 삭감이 필요한 것으로 나타났다. 한편, 환경기초시설이 계획대로 설치되지 않을 경우에는, 2006년 85.0, 48.0, 24.0%의 삭감이, 2011년 89.0, 58.0, 37.0%의 삭감이 각각 필요한 것으로 나타났다.

2) 영향률에 따른 삭감법

각 지천이 하류에 미치는 영향을 파악하기 위해, 식 (1)을 이용하여 지천의 영향률을 계산한 결과는

Table 1. Prediction of BOD concentration in the year of 2006 and 2011 with and without publicly owned treatment works(POTWs) plans (unit : mg/l)

POTWs	year	Dry season				Low flow season				Average flow season			
		Up-stream	Mid-stream	Down-stream	Average	Up-stream	Mid-stream	Down-stream	Average	Up-stream	Mid-stream	Down-stream	Average
with	2006	11.86	9.50	9.16	10.17	8.06	6.52	6.35	6.98	6.75	5.40	5.33	5.83
	2011	13.17	10.57	10.23	11.33	8.96	7.28	7.11	7.78	7.50	6.03	5.96	6.50
without	2006	14.33	11.41	10.89	12.21	9.87	7.91	7.62	8.47	8.25	6.38	6.01	6.88
	2011	16.68	13.20	12.59	14.16	11.49	9.15	8.81	9.82	9.62	7.38	6.95	7.98

Table 2. Reduction rate of BOD loadings to achieve water quality standards in dry season by uniform treatment with and without POTWs

POTWs	Year	2006			2011		
	Grade	II	III	IV	II	III	IV
with	reduction rate(%)	81.0	36.0	6.0	86.0	45.0	19.0
	simulated conc.(mg/l)	3.0	6.0	8.0	3.0	6.0	8.0
without	reduction rate(%)	85.0	48.0	24.0	89.0	58.0	37.0
	simulated conc.(mg/l)	3.0	6.0	8.0	3.0	6.0	8.0

Table 3. The influence rate of each stream into the Yeongsan river and its rank with and without POTWs

streams	with POTWs						without POTWs					
	2006			2011			2006			2011		
	Conc. of End	Influence Rate(%)	rank	Conc. of End	Influence Rate(%)	rank	Conc. of End	Influence Rate(%)	rank	Conc. of End	Influence Rate(%)	rank
(when all Streams are in)	8.37			9.36			9.95			11.50		
HEAD	6.82	18.52	2	7.55	19.34	2	8.31	16.48	2	9.59	16.61	2
Pungyoungjungcheon	8.29	0.96	6	9.26	1.07	6	9.91	0.40	7	11.45	0.43	7
Kwangjucheon	6.39	23.66	1	7.19	23.18	1	6.78	31.86	1	7.52	34.61	1
Kwangju Sewage Treatment Plant	7.64	8.72	5	8.69	7.16	5	9.24	7.14	5	10.92	5.04	5
Hwangryongriver	9.42	12.54	3	10.51	12.29	3	11.20	12.56	3	12.96	12.70	3
Songdae Sewage Treatment Plant	8.41	0.48	8	9.41	0.53	8	-	-	-	-	-	-
Jiseogcheon	9.25	10.51	4	10.28	9.83	4	11.00	10.55	4	12.72	10.61	4
Naju Sewage Treatment Plant	8.38	0.12	10	9.37	0.11	10	9.95	0.00	9	11.50	0.00	9
Komagwoncheon	8.43	0.72	7	9.42	0.64	7	10.03	0.80	6	11.60	0.87	6
Naju Livingstock wastewater Treatment Plant	8.37	0.00	11	9.36	0.00	11	-	-	-	-	-	-
Hampyongcheon	8.39	0.24	9	9.38	0.21	9	9.97	0.20	8	11.52	0.17	8

Table 3과 같다. 각 지천이 하류에 미치는 영향은, 목표연도와는 상관없이, 환경기초시설이 설치될 경우에는, 광주천, HEAD, 황룡강, 지식천, 광주하수처리장, 풍영정천, 고막원천, 송대하수처리장, 함평천, 나주하수처리장, 나주축산폐수처리장의 순서였다. 한편, 환경기초시설이 설치되지 않을 경우에는, 광주천, HEAD, 황룡강, 지식천, 광주하수처리장, 고막원천, 풍영정천, 함평천, 나주하수처리장의 순서로, 전자의 경우와 비슷한 결과를 보였다.

목표지점인 하류에 미치는 영향은, 목표지점에 가까운 지천일수록 클 것으로 예상되었으나 이들 지천

의 부하량이 작아 큰 영향을 주지 못했고 대체로, 강으로 유입되는 오염부하량이 큰 지천일수록 하류에 미치는 영향 또한 큰 것으로 나타났다.

Table 3을 바탕으로, 영향률에 따른 삭감법을 적용하여 목표수질 달성에 필요한 각 지천별 삭감률을 산정한 결과 및 일정률 삭감법과의 비교는 Table 4와 같다. 일정률 삭감법에서는 유입하는 모든 지천에서의 삭감이 필요했으나, 영향률에 따른 삭감법에서는 일부 지천에서의 삭감만으로도 하류의 목표수질을 달성할 수 있는 것으로 나타났다. 주로, 광주천 등 대규모로 오염물질이 부하되는 상류지역에서의 삭감이

Table 4. The result of reduction rate of each stream by two methods to achieve water quality standard with and without POTWs (unit : %)

streams	year	with POTWs						without POTWs					
		Grade II		Grade III		Grade IV		Grade II		Grade III		Grade IV	
		uniform	influence	uniform	influence	uniform	influence	uniform	influence	uniform	influence	uniform	influence
HEAD	2006	81.0	90.0	36.0	0.0	6.0	0.0	85.0	90.0	21.0	21.0	24.0	0.0
	2011	86.0	90.0	45.0	32.0	19.0	0.0	89.0	90.0	57.0	57.0	37.0	0.0
Pungyoungjungcheon	2006	81.0	0.0	36.0	0.0	6.0	0.0	85.0	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0
	2011	86.0	11.0	45.0	0.0	19.0	0.0	89.0	20.0	0.0	0.0	37.0	0.0
Kwangjucheon	2006	81.0	90.0	36.0	86.0	6.0	14.0	85.0	90.0	90.0	90.0	24.0	0.0
	2011	86.0	90.0	45.0	90.0	19.0	45.0	89.0	90.0	90.0	90.0	37.0	0.0
Kwangju Sewage Treatment Plant	2006	81.0	63.0	36.0	0.0	6.0	0.0	85.0	74.0	0.0	0.0	24.0	0.0
	2011	86.0	90.0	45.0	0.0	19.0	0.0	89.0	90.0	0.0	0.0	37.0	0.0
Hwangryong river	2006	81.0	90.0	36.0	0.0	6.0	0.0	85.0	90.0	0.0	0.0	24.0	0.0
	2011	86.0	90.0	45.0	0.0	19.0	0.0	89.0	90.0	0.0	0.0	37.0	0.0
Songdae Sewage Treatment Plant	2006	81.0	0.0	36.0	0.0	6.0	0.0	-	-	-	-	-	-
	2011	86.0	0.0	45.0	0.0	19.0	0.0	-	-	-	-	-	-
Jiseogcheon	2006	81.0	90.0	36.0	0.0	6.0	0.0	85.0	90.0	0.0	0.0	24.0	0.0
	2011	86.0	90.0	45.0	0.0	19.0	0.0	89.0	90.0	0.0	0.0	37.0	0.0
Naju Sewage Treatment Plant	2006	81.0	0.0	36.0	0.0	6.0	0.0	85.0	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0
	2011	86.0	0.0	45.0	0.0	19.0	0.0	89.0	0.0	0.0	0.0	37.0	0.0
Komagwoncheon	2006	81.0	0.0	36.0	0.0	6.0	0.0	85.0	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0
	2011	86.0	0.0	45.0	0.0	19.0	0.0	89.0	90.0	0.0	0.0	37.0	0.0
Naju livingstock wastewater treatment	2006	81.0	0.0	36.0	0.0	6.0	0.0	-	-	-	-	-	-
	2011	86.0	0.0	45.0	0.0	19.0	0.0	-	-	-	-	-	-
Hampyongcheon	2006	81.0	0.0	36.0	0.0	6.0	0.0	85.0	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0
	2011	86.0	0.0	45.0	0.0	19.0	0.0	89.0	90.0	0.0	0.0	37.0	0.0

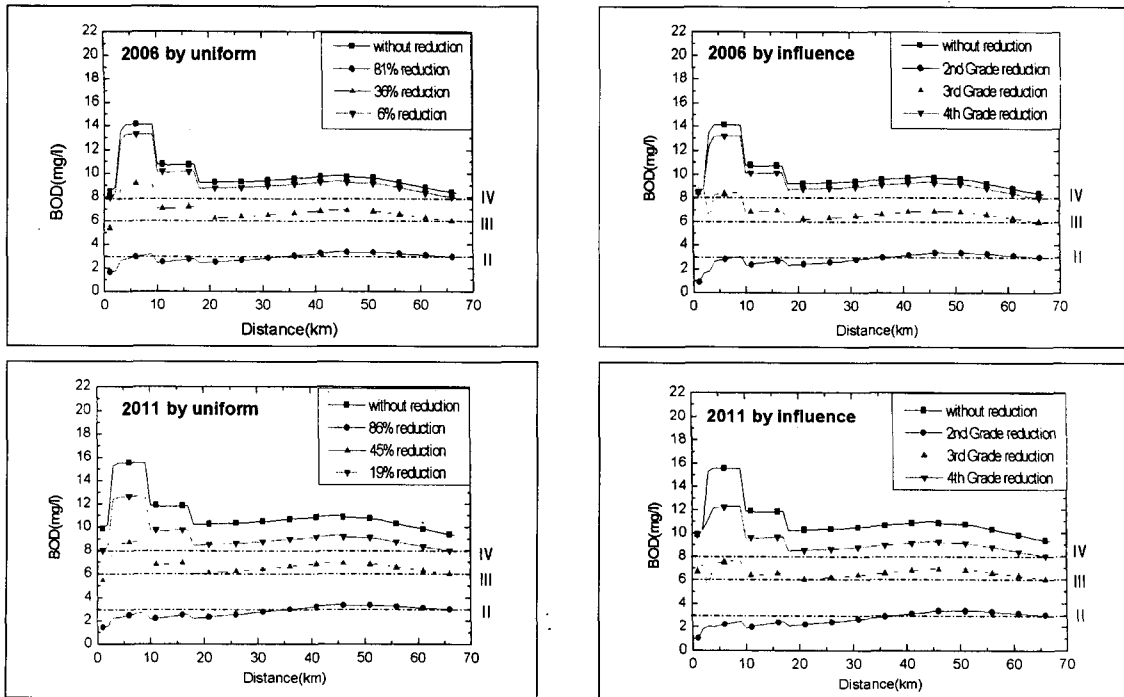


Fig. 2. Simulated BOD concentration trend by two reduction methods with POTWs.

Table 5. The result of reduced loadings of each stream by two methods to achieve water quality standard with and without POTWs (unit : kg/day)

Streams	year	with POTWs						without POTWs							
		Delivered Loadings	Reduced Loadings			Delivered Loadings	Reduced Loadings								
			Grade II uniform influence	Grade III uniform influence	Grade IV uniform influence		Grade II uniform influence	Grade III uniform influence	Grade IV uniform influence						
HEAD	2006	10,554	8,549	9,498	3,799	0	633	0	11,123	9,454	10,011	5,339	2,336	2,669	0
	2011	12,323	10,598	11,091	5,545	3,943	2,341	0	12,904	11,485	11,614	7,485	7,356	4,775	0
Pungyoungjungcheon	2006	1,010	818	0	364	0	61	0	811	689	0	389	0	195	0
	2011	1,162	999	128	523	0	221	0	988	879	198	573	0	365	0
Kwangjucheon	2006	18,607	15,072	16,747	6,699	16,002	1,116	2,605	26,820	22,797	24,138	12,874	24,138	6,437	13,142
	2011	20,609	17,723	18,548	9,274	18,548	3,916	9,274	32,869	29,253	29,582	19,064	29,582	12,161	23,664
Kwangju Sewage Treatment Plant	2006	8,440	6,837	5,317	3,039	0	506	0	9,495	8,071	7,027	4,558	0	2,279	0
	2011	8,572	7,372	7,715	3,858	0	1,629	0	9,495	8,451	8,546	5,507	0	3,513	0
Hwangryong river	2006	2,963	2,400	2,666	1,067	0	178	0	3,479	2,957	3,131	1,670	0	835	0
	2011	3,364	2,893	3,028	1,514	0	639	0	3,904	3,475	3,514	2,264	0	1,445	0
Songdae Sewage Treatment Plant	2006	377	305	0	136	0	23	0	-	-	-	-	-	-	-
	2011	428	368	0	192	0	81	0	-	-	-	-	-	-	-
Jiseogcheon	2006	2,115	1,713	1,903	761	0	127	0	2,461	2,092	2,215	1,181	0	591	0
	2011	2,634	2,265	2,371	1,185	0	501	0	2,798	2,491	2,519	1,623	0	1,035	0
Naju Sewage Treatment Plant	2006	59	48	0	21	0	4	0	9	7	0	4	0	2	0
	2011	59	51	0	27	0	11	0	9	8	0	5	0	3	0
Komagw oncheon	2006	750	608	0	270	0	45	0	750	638	0	360	0	180	0
	2011	818	703	0	368	0	115	0	818	728	736	474	0	303	0
Naju Livingstock wastewater Treatment Plant	2006	6	5	0	2	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
	2011	6	5	0	3	0	1	0	-	-	-	-	-	-	-
Hamgyongcheon	2006	166	135	0	60	0	10	0	249	211	0	119	0	60	0
	2011	199	171	0	89	0	37	0	281	250	253	163	0	104	0
Sum of Loadings	2006	45,048	36,489	36,132	16,217	16,002	2,703	2,605	55,197	46,917	46,522	26,495	26,474	13,247	13,142
	2011	50,194	43,150	42,880	22,578	22,491	9,533	9,274	64,066	57,019	56,960	37,158	36,937	23,705	23,665

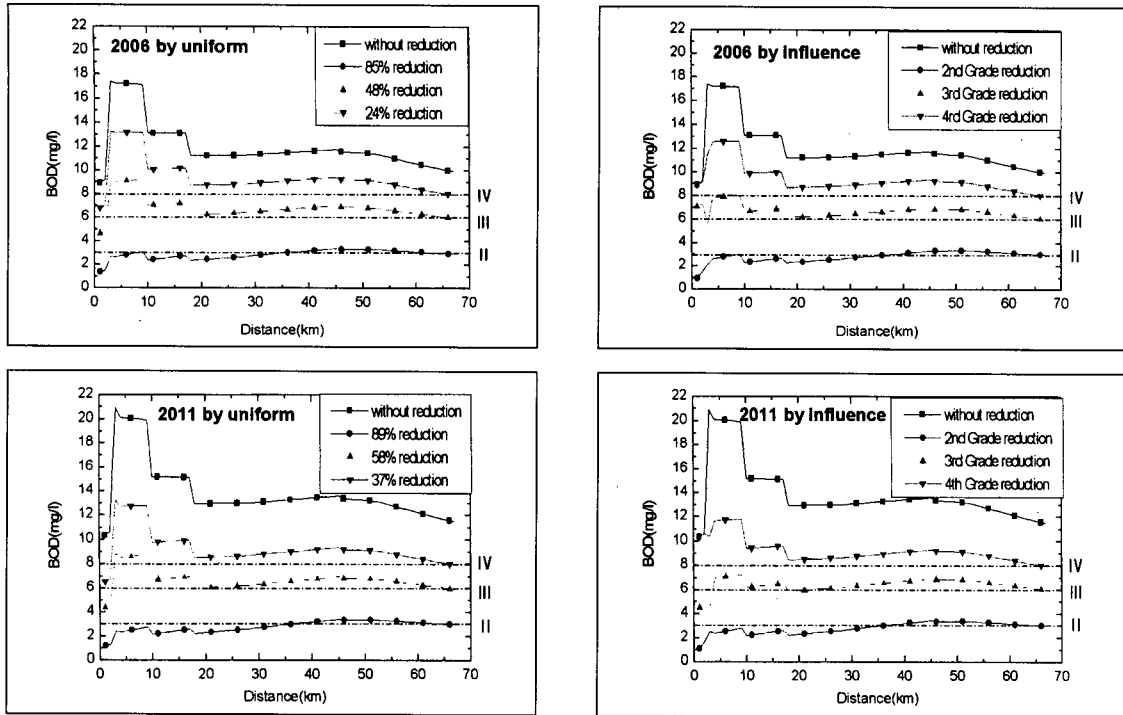


Fig. 3. Simulated BOD concentration trend by two reduction methods without POTWs.

필요한 것으로 보아, 이 지역들에 대한 집중적인 관리 대책이 마련되어야 할 것으로 보인다. Table 4의 결과는, 지천별 삭감계획을 수립하고자 할 때 해당 지역을 선정하는데 참고가 될 수 있을 것으로 보인다.

3. 삭감방법의 비교

위에서 구한 방법별 삭감률을 고려하여 각 지천에서 삭감해주어야 할 삭감량을 산정한 결과는 Table 5와 같다. 결과에서 보는 바와 같이, 목표수질을 달성하기 위해 각 지천에서 삭감해야 할 양은 방법별로 차이가 있었으나, 전체 삭감량에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은, 목표수질 달성에 필요한 전체 삭감량은 일정하지만 각 지천이나 오염원에서 삭감해야 할 양은 방법에 따라 달리 나타날 수 있으므로, 삭감계획 수립에서 관건이 되는 것은 전체 삭감량의 지천 및 오염원별 할당 방법이라는 점을 시사하는 것이라고 볼 수 있다.

일정률 삭감법은 모든 지천 혹은 오염원에 대해 획일적으로 삭감률을 적용하는 것이어서 행정실무 차원에서는 쉽게 적용할 수 있으나 자칫 비효율적인 결과를 초래할 수 있으며, 영향률에 따른 삭감법은 영향이 적은 일부 지천에 있어서는 삭감계획을 수립하지 않아도 되므로 보다 합리적이라 하겠으나, 영향이 큰

지천에 대해서는 최대 삭감률을 적용해야 하는 부담이 따른다는 단점이 있다고 보여진다. 따라서, 보다 효율적인 삭감량 산정을 위해서는 각 지천이나 오염원의 영향률 외에도 기술적, 경제적, 사회적 요인들이 감안되어야 할 것으로 판단된다.

Fig. 2와 Fig. 3은 두 삭감방법을 적용하여 목표수질 달성시, 영산강의 BOD농도 변화를 예측한 것이다.(Fig. 2와 Fig. 3 원편의 II, III, IV는 환경부의 하천수질기준등급을 나타낸다.)

IV. 결 론

영산강 하류부의 수질기준을 달성하는데 필요한 각 지천의 BOD 부하량 삭감방법을 비교하기 위해 일정률 삭감법과 영향률에 따른 삭감법을 적용한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 일정률 삭감법을 적용한 결과, 영산강으로 유입하는 모든 지천에 대한 삭감이 필요했으며 특히, 2011년 환경기초시설이 계획대로 설치되지 않을 경우, II등급 수질을 만족시키기 위해서는 모든 지천에 대해 최대 삭감률 90%에 근접하는 89%까지 부하량을 삭감해 주어야 하는 것으로 나타났다.

2) 영향률에 따른 삭감법을 적용하기 위해 각 지천

이 하류에 미치는 영향률을 산정한 결과, 목표지점에 가까운 지천보다는 대체로 강으로 유입되는 오염부하량이 큰 지천일수록 영향이 크게 나타났다. 이들 지천은 광주천, HEAD, 황룡강, 광주하수처리장, 풍영정천 등 주로 강의 상중류에 위치하고 있으며 따라서, 이 유역에 대한 적절한 관리대책이 수립되어야 할 것으로 보인다.

3) 영향률에 따른 삭감법을 이용하여 목표수질 달성에 필요한 각 지천별 삭감률을 산정한 결과, 일정률 삭감법과는 달리, 영향이 적은 일부 지천에 대해서는 삭감률이 적거나 삭감하지 않아도 되었다.

4) 목표수질 달성을 위한 두 삭감방법을 비교한 결과, 각 지천별로 삭감방법에 따라 삭감량은 차이가 있었으나, 전체 삭감량에는 큰 차이가 없었다. 이것은, 목표수질 달성에 필요한 전체 삭감량은 일정하지만 각 지천이나 오염원에서 삭감해야 할 양은 방법에 따라 달리 나타날 수 있으므로, 삭감계획 수립에서 관건이 되는 것은 전체 삭감량의 지천 및 오염원에 대한 할당 방법이라는 점을 시사해 주고 있다고 볼 수 있다.

위와 같은 결과들은 추가적인 삭감계획이 필요한 지역의 선정과 삭감량의 지역별 할당에 참고가 될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) 농림부 : 영산강지구 담수호 수질관리 대책수립 조사연구(Ⅰ), 27, 1997.
- 2) 김지영 : 영산호의 부영양화 제어를 위한 영양염류 삭감률에 관한 연구, 서울대학교 보건대학원 석사학위논문, 39-42, 2000.
- 3) Douglas A. Haith : Environmental System Optimization, John Wiley & Sons Inc., 41-62, 1982.
- 4) 신성교, 박창길, 이석모 : 최소비용 처리방안에 의한 낙동강의 수질관리, 대한환경공학회지, 18(11), 1303-1312, 1996.
- 5) 농림부 : 영산강지구 담수호 수질관리 대책수립 조사연구, 483, 1999.
- 6) 이홍근, 김현용, 백도현, 윤희선, 이태호 : 영산강에 대한 하천 수질예측모형의 민감도 분석 및 적용성 검토, 한국환경위생학회지, 25(2), 18-25, 1999.
- 7) 윤희선 : 영산강 목표수질을 위한 BOD 오염부하량 삭감, 서울대학교 보건대학원 석사학위논문, 2000.
- 8) 황대호, 김현용, 정효준, 이홍근 : QUAL2E 모형을 이용한 영산강의 장래수질예측 연구, 대한위생학회지, 15(3), 101-119, 2000.
- 9) 김현용 : 팔당호에 대한 WQRRS 모형의 반응계수 검토 및 유입지류로 인한 수질영향, 서울대학교 보건대학원 석사학위논문, 36-48, 1994.
- 10) 김현용, 김지영, 황대호, 백도현, 이홍근 : WASP/EUTRO5 모형을 이용한 영산호 수질에 대한 유입지류 영향의 평가에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 26(3), 15-23, 2000.
- 11) Joseph L. Pavoni, Handbook of Water Quality Management Planning, 163, Van Nostrand Company, 1977.