

충남지역 마을하수의 발생 및 처리현황

강방훈 · 김진호^{1)*} · 최철만¹⁾

농업과학기술원 농촌자원개발연구소 농촌환경자원과, ¹⁾농업과학기술원 농업환경부 환경생태과
(2008년 2월 13일 접수, 2008년 3월 14일 수리)

Generation and Current Treatment Status of Sewage at the Rural Village in Chungnam Province

Bang-Hun Kang, Jin-Ho Kim^{1)*}, and Chul-Mann Choi¹⁾ (Division of Rural Environment & Amenity, Rural Resources Development Institute, National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, Suwon 441-853, Korea, ¹⁾Division of Environment & Ecology, National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea)

ABSTRACT: The purpose of this study is to investigate the current status, including the maintenance problems and removal efficiency, of small sewage treatment facilities in Chung-nam province (Asan, Buyeo, and Gongju city). Our results showed that inflow water quality of Asan city was 19.1 mg/L of BOD, 29.0 mg/L of COD, 13.4 mg/L of T-N and 1.5 mg/L of T-P, respectively, which was much higher than any other site. Among the factors known to be an important index of water quality, the SS and BOD removal efficiency was about 70% and 50% respectively. However, the nitrogen removal efficiency was less than 10%. The total removal efficiency of pollutant was 71.1% of SS, 52.6% of BOD, 46.2% of COD, 9.2% of T-P and 4.6% of T-N respectively. Therefore nitrogen removal processes are required to prevent serious eutrophication of small river. Removal efficiency for BOD and SS of high-efficient sewage treatment facilities (STFs) and contact oxidation process was much higher than another process. Performance of these sewage treatment facilities (STFs) is not optimal due to ineffective planning for the inflow water quality. To improve these facilities, it is proposed that a technical expert analysis of water quality at these facilities is periodically required.

Key Words: sewage treatment facilities, rural area, water quality

서 론

현재까지 우리나라 하수도 사업은 주로 도시지역 위주로 이루어져 왔으며, 상대적으로 농어촌 지역은 소외되어져 왔을 뿐 아니라, 농촌의 생활환경개선을 위한 기초시설의 투자 빈약으로 인하여 하수도 보급이 매우 열악하여 오염부하량에 대한 정화능력은 상당히 부족한 현실이다¹⁾. 이러한 현실에서 농촌마을의 각 가정에서 처리되지 않은 채 나오는 가정하수와 단순히 분뇨정화조만 거쳐 나오는 월류수들이 하천이나 유역 근처로 방류되면 결국 심각한 오염에 이르게 된다²⁾. 우리나라의 마을하수도는 지난 1997년부터 관련 법규가 개정되면서부터 공공하수도로서 관리가 되었으나, 현재에는 행정

자치부·농림부·환경부 등에서 추진하는 농·어촌주거환경 개선사업, 농·어촌생활환경정비사업(문화마을 조성사업) 그리고 일반하수도사업을 통하여 추진되고 있다³⁾. 이렇듯 우리나라의 마을하수도는 일원화되지 못한 각 부처별 다양한 사업을 통해서 설치되고 있을 뿐 아니라, 설치 시에도 정확한 설계기준보다는 미흡한 경험에 의존하는 경우가 많다. 현재 대부분의 처리시설에 유입되는 하수량이 시설용량보다 매우 적으며, 유입되는 유기물농도(BOD)는 설계기준치의 50%수준으로 이는 처리효율을 낮추는 등 운영관리 과정에서 여러 가지 문제점을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 농촌 마을에서 발생하는 하수의 수질과 이들의 처리시설 현황 및 각 처리공법별 처리효율에 대한 정확한 실태를 파악함으로써 농촌 마을하수의 효율적인 관리방안을 모색하고자 하였고, 농촌마을 하수정비 사업과 농촌지역 하수정책 수립의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

*연락처:
Tel: +82-31-290-0221 Fax: +82-31-290-0206
E-mail: water@rda.go.kr

재료 및 방법

연구대상

연구대상지역은 충남지역 3개 시군(아산시 5개 지점, 부여군 12개 지점, 공주시 10개 지점)으로, 이 지역 내에서 설치 가동 중에 있는 총 27개의 농촌마을 소규모 하수처리시설을 대상으로 하였고(Fig. 1), 관리실태의 조사는 해당 처리시설을 현장 조사하여 공정을 확인한 후, 가동상태를 점검하였다.

수질분석

농촌에서 발생하는 마을하수 수질의 특성을 파악하기 위하여, 농촌에서 유출되어 마을하수 처리시설로 유입되는 유입수를 채수하여 분석하였고, 마을하수 처리시설의 처리효율의 평가하기 위하여 유출수의 수질을 분석하여, 처리공법별 수처리 효율을 조사하였다. 이를 위한 수질분석은 수질오염공정시험방법⁵⁾에 준하여 실시하였다. 이때 chemical oxygen demand(COD)의 경우 산화제로서 KMnO_4 를 사용하였고, biological oxygen demand(BOD)의 경우 dissolved oxygen(DO) meter(YSI, 5000)를 이용하여 초기에 DO를 측정후 20°C에서 5일간 배양한 후 DO값을 측정하여 그 차이로 나타내었다. 또한 suspended solid(SS)는 유리섬유여지법으로 분석하였고, total nitrogen(T-N) 및 total phosphorus(T-P)는 autoanalyzer(AACS, Bran+rubbe)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

농촌 마을하수의 수질현황

농촌마을에서 발생하는 마을하수의 수질 현황은 마을하수 처리시설의 설계시 매우 중요하다. 금번 연구에서 각 지역별 하수의 수질을 분석한 결과, 아산시 총 5개 지점에서의 하수의 수질은 BOD 19.1 mg/L, COD 29.0 mg/L, T-N 13.4 mg/L, T-P 1.5 mg/L, SS 33.7 mg/L로 조사되었고, 부여군 총 6개 지점에서는 BOD 16.7 mg/L, COD 16.3 mg/L, T-N 7.6 mg/L, T-P 1.2 mg/L, SS 41.7 mg/L로 조사되었으며, 공주시 총 10개 지점에서는 BOD 18.8 mg/L, COD 15.3 mg/L, T-N 12.1 mg/L, T-P 1.5 mg/L, SS 9.9 mg/L로 조사되어 SS를 제외한 다른 수질항목들은 모두 아산시 지역에서 높은 농도로 조사되었다(Table 1). 그러나 이것은 일반적인 도시하수에 비해서 매우 낮은 수준이었으며, 특히 유입수의 BOD 농도는 일반적인 도시하수의 유입수 농도인 150 mg/L⁶⁾ 비해 매우 낮게 조사되었는데, 이는 처리시설 설계시 오수발생량을 일률적으로 설계하여 실질적인 유입량보다 과다한 양을 산정했기 때문인 것으로 생각된다.

오염부하량 원단위 산정

Table 1을 이용하여, 각 지역에서 발생된 오염 원단위부하량을 산정한 결과는 Table 2에 나타내었다.

BOD는 아산시 지역 4.9 gpcd, 공주시 지역 4.3 gpcd,

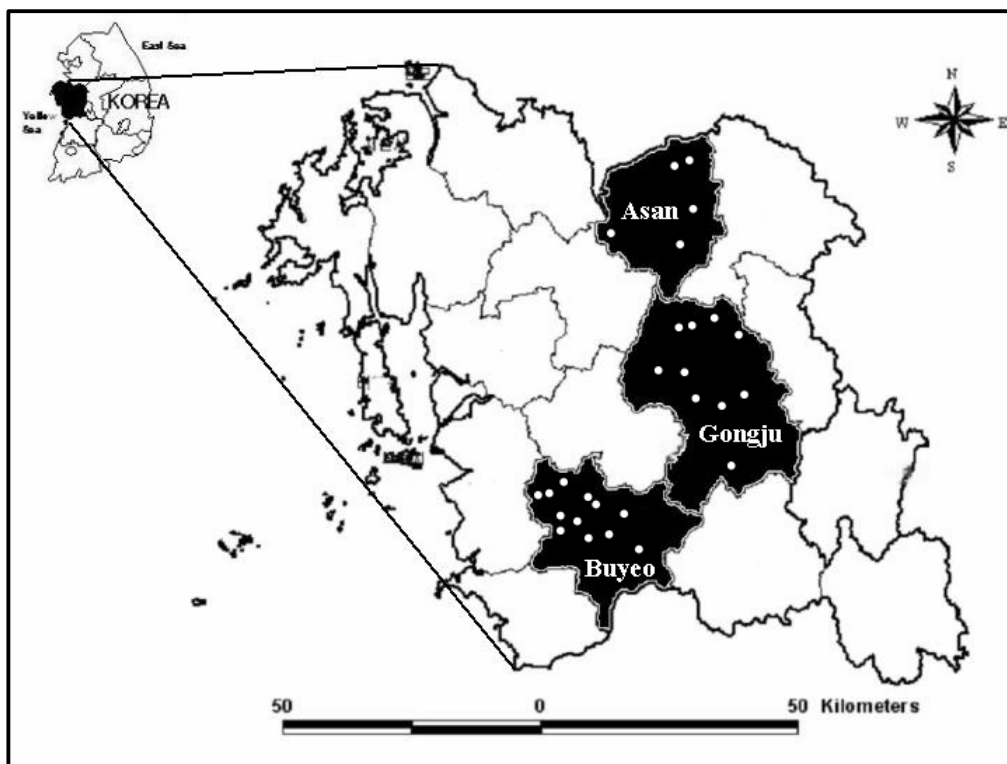


Fig. 1. A map showing the sampling areas for this study.

Table 1. The status of water quality for sewage of the rural villages

(Unit : mg/L)

Sites	BOD		COD		T-N		T-P		SS		
	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	Input	Output	
Asan	1	2.4	1.2	12.0	9.2	15.8	14.4	1.3	1.2	18.2	1.8
	2	27.2	3.6	38.0	8.8	13.5	12.5	1.7	1.4	66.4	4.6
	3	6.0	9.7	31.0	11.6	14.4	7.9	1.9	1.6	44.6	2.7
	4	2.4	1.8	34.0	6.0	10.6	14.4	1.0	1.6	20.0	0.9
	5	57.4	8.5	30.0	6.0	12.5	15.8	1.7	1.8	19.1	3.6
	Avg.	19.1	5.0	29.0	8.3	13.4	13.0	1.5	1.5	33.7	2.7
	S.D.	23.8	3.9	10.0	2.4	2.0	3.1	0.4	0.2	21.4	1.5
Buyeo	1	19.0	18.6	20.0	19.6	7.9	13.8	1.5	1.7	10.0	4.6
	2	20.5	0.6	21.6	7.2	7.1	9.9	2.0	1.4	200.0	8.2
	3	4.2	4.2	5.6	3.6	5.4	5.6	0.3	0.4	10.0	1.8
	4	12.7	0.6	4.4	2.4	3.2	4.2	0.4	0.3	4.6	0.9
	5	19.8	-	20.8	-	11.5	-	1.3	-	8.2	-
	6	23.9	-	25.2	-	10.4	-	1.7	-	17.3	-
	Avg.	16.7	6.0	16.3	8.2	7.6	8.4	1.2	0.9	41.7	3.9
S.D.	7.1	8.6	8.9	7.9	3.1	4.4	0.7	0.7	77.7	3.3	
Gongju	1	24.1	2.4	19.0	8.4	9.8	11.4	1.4	1.1	20.0	1.8
	2	7.2	10.9	12.8	17.4	14.1	13.3	1.5	1.3	10.0	6.4
	3	21.1	8.5	16.2	11.0	10.7	15.2	1.3	1.7	7.3	3.6
	4	11.5	3.6	6.8	3.0	6.1	6.0	0.6	0.6	0.9	1.8
	5	20.3	6.6	15.6	10.0	11.8	13.3	1.4	1.2	19.1	5.5
	6	23.7	7.2	17.8	10.0	14.1	13.3	1.6	1.3	8.2	5.5
	7	17.9	11.5	13.8	18.2	14.4	15.2	1.9	1.6	1.8	1.8
	8	21.8	3.0	16.8	5.8	14.8	15.2	1.8	1.8	10.0	2.7
	9	13.9	-	14.0	-	15.2	-	1.5	-	12.7	-
	10	26.4	-	20.4	-	10.3	-	1.9	-	9.1	-
Avg.	18.8	6.7	15.3	10.5	12.1	12.9	1.5	1.3	9.9	3.6	
S.D.	6.1	3.5	3.8	5.2	2.9	3.1	0.4	0.4	6.2	1.9	

부여군 지역 3.3 gpcd의 순으로 조사되었고, COD는 아산시 지역 11.3 gpcd, 부여군 지역 3.3 gpcd, 공주시 지역 3.2 gpcd의 순으로 조사되었는데, 이것은 가정오수의 오염부하량 원단위 연구에서 산정한 결과인 BOD 68.1 gpcd, COD 102.9 gpcd⁷⁾와 소규모 취락지역에서 오염물질의 원단위를 산정한 결과인 BOD 50 gpcd, COD 84 gpcd⁸⁾에 비해서도 상당히 낮게 조사되었다. 또한 T-N의 경우에도 연구대상지역중 아산시 지역이 4.6 gpcd, 공주시 지역은 2.4 gpcd 그리고 부여군 지역이 1.5 gpcd의 순으로 조사되었고, T-P는 아산시 지역 0.5 gpcd, 공주시 지역과 부여군 지역은 0.3 gpcd로 조사되었는데, 이는 소규모 취락지역에서 조사된 T-N 9.6 gpcd, T-P 1.45 gpcd⁸⁾보다 다소 낮은 것으로 조사되었으며, 주거지역에서 조사한 배출원단위 부하량인 T-N 5.5 gpcd, T-P 1.5 gpcd⁹⁾보다도 낮게 조사되었지만, 도시하수의 원단

위 산정시 제시된 T-N 3.5 gpcd, T-P 0.5 gpcd¹⁰⁾와는 비슷한 결과를 나타내었다.

농촌지역 마을하수 처리시설의 현황

조사대상 마을하수 처리시설의 공법으로는 고효율합병정화조 17개소, 토양피복식 접촉산화법 2개소, 접촉산화법 2개소, A²EBC 2개소, IC/SBR 1개소, KM-SBR 1개소, HBR-II 1개소, 막일체형 고도처리 1개소였다.

아산시에 설치된 마을하수 처리시설의 처리 규모는 30~90 m³/d의 범위였고 평균 60.0 m³/d였으며, 처리방법은 고효율 합병정화조와 IC/SBR 방법이였다. 부여군은 소규모 하수처리시설 12개소를 대상으로 현장조사를 실시하였는데, 마을하수 처리시설의 관리는 자가 측정 대행업체가 1개월에 1회씩 채수하여 분석하고, 부속기계의 가동상태만을 해당 군

Table 2. Unit loading factor for pollutants in the experimental area

(Unit : gpcd)

Sites	Treatment population	Treatment method*	BOD	COD	T-N	T-P	SS
Asan 1	134	H	0.573	2.866	3.772	0.312	4.346
2	301	H	8.133	11.362	4.047	0.522	19.854
3	346	H	1.699	8.780	4.070	0.546	12.632
4	150	H	1.920	27.200	8.474	0.818	16.000
5	280	IC/SBR	11.972	6.257	2.604	0.354	3.984
	Avg.		4.859	11.293	4.494	0.510	11.363
Buyeo 1	187	H	3.800	4.000	1.585	0.295	2.000
2	380	H	4.100	4.320	1.413	0.395	40.000
3	151	H	0.840	1.120	1.082	0.070	2.000
4	244	H	2.540	0.880	0.635	0.358	0.920
5	129	H	3.960	4.160	2.310	0.268	1.640
6	105	H	4.780	5.040	2.070	0.337	3.460
	Avg.		3.337	3.253	1.516	0.287	8.337
Gongju 1	520	S	4.331	3.415	1.756	0.250	3.594
2	371	A ² EBC	0.265	0.472	0.518	0.056	0.369
3	80	C	10.550	8.100	5.357	0.668	3.650
4	160	C	6.253	3.698	3.306	0.302	0.489
5	433	S	5.331	4.097	3.092	0.379	5.016
6	235	H	4.002	3.006	2.374	0.271	1.385
7	128	A	3.881	2.992	3.117	0.404	0.390
8	159	KM-SBR	4.113	3.170	2.785	0.340	1.887
9	258	A ² EBC	0.527	0.531	0.577	0.058	0.481
10	360	HBR-II	3.520	2.720	1.377	0.258	1.213
	Avg.		4.277	3.220	2.426	0.299	1.847

*Treatment method : A, Activated sludge reactor coupled with submerged hollow fiber microfiltration; C, Contact oxidation process; H, High-efficient Sewage Treatment Facility; S, Soil covered contact oxidation process.

청에 보고하고 있는 실정이라 기술적인 관리는 힘든 상황이었다. 또한 시공업체와 설계업체가 달라 직접적인 관리업체의 부재로 인하여 설비의 실효성이 낮은 상태였다. 처리 규모는 23~136 m³/d의 범위로서 평균 54.3 m³/d였으며, 처리 공법은 모두 고효율 합병정화조였다. 공주시의 경우 마을하수 처리시설의 처리방법은 고효율 합병정화조뿐 아니라 토양피복형 접촉산화법, A²EBC법, 막일체형 고도처리법, HBR-II 등으로 아산시 및 부여군과는 달리 여러 형태의 다양한 공법으로 처리하고 있었다. 처리규모는 30~150 m³/d의 범위로서 평균 67.0 m³/d였다.

조사지역별 마을하수처리 효율

Table 3에는 조사대상 마을하수의 지역별 처리효율을 나타내었다. 현행 마을 하수처리시설의 처리기준은 대부분 유기물지표인 BOD(COD)와 SS의 처리효율로 평가하고 있는데, 각 지역별 하수처리효율은 설계기준에 미치지 못하는 수

준인 것으로 나타났다. 상당수의 마을하수처리시설이 80~90%의 처리효율을 보이고 있는 반면, 일부에서 거의 처리가 되지 않는 수준으로 처리수를 방류하고 있는데 기인한 것으로 이는 마을하수처리시설의 관리 소홀에 그 원인이 있는 것으로 보인다.

처리공법별 처리효율

처리공법별 수처리효율은 고효율 합병정화조에서는 BOD 70.7%, SS 56.3%, COD 48.4%, T-P 10.8%, T-N 7.5%의 순으로 조사되었고, 토양피복형 접촉산화법에서는 SS 81.1%, BOD 78.8%, COD 45.8%, T-P 17.7%의 순으로 조사되어 두 처리공법 모두 BOD와 SS의 제거효율이 높았음을 알 수 있었다. 접촉산화법의 경우는 BOD 64.2%, COD 44.0%, SS 25.3%, T-N 7.5%의 순으로 조사되어(Table 4) 다른 처리공법에 비해 조금 낮게 조사되었는데, 이는 오수관거 부실로 인하여 유입수가 처리시설로 정상적으로 유입되지 않았기 때문

Table 3. Comparison of treatment removal efficiency rates by survey sites.

(Unit : %)

Sites		BOD	COD	T-N	T-P	SS
Asan	Min.	25.0	23.3	7.7	9.9	81.2
	Max.	86.8	82.4	45.3	19.4	95.5
	Avg.	49.4	65.0	12.4	8.9	90.8
	S.D	37.8	24.5	18.9	8.8	5.7
Buyeo	Min.	2.1	2.0	-	3.9	54.0
	Max.	97.1	66.7	-	30.9	95.9
	Avg.	48.6	37.5	-	8.7	78.1
	S.D	54.9	26.9	-	14.9	37.1
Gongju	Min.	35.8	32.1	1.3	13.8	32.9
	Max.	90.9	65.5	5.2	19.5	91.0
	Avg.	68.2	48.2	3.9	16.0	50.7
	S.D	17.9	13.0	2.2	2.4	30.7

Table 4. Comparison of treatment removal efficiency rates by Treatment Methods

(Unit : %)

Treatment Methods		BOD	COD	T-N	T-P	SS
High-efficient STF	Avg.	70.7	48.8	7.5	10.8	56.3
	S.D	40.4	26.1	14.6	10.8	32.6
Contact oxidation process	Avg.	64.2	44.0	0.7	-	25.3
	S.D	6.3	16.8	1.0	-	35.8
Soil covered contact oxidation process	Avg.	78.8	45.8	-	17.6	81.1
	S.D	15.9	14.1	-	2.7	14.0

으로 판단된다. 또한 대부분의 처리공법별 영양염류의 제거 효율은 낮게 조사되었는데, 이는 마을하수처리시설의 현장가동효율 실증¹¹⁾에서도 본 연구와 마찬가지로 조사되어 마을하수 처리시설에서의 영양염류 제거효율은 유기물질의 제거효율과는 다른 경향임을 알 수 있었다.

질소의 경우에는 유입수보다 방류수의 농도가 더 높게 조사되었음을 볼 수 있었다. 이는 유기물의 분해과정에서 유기물이 질산화 미생물에 의해 암모니아로 전환되고, NO₂-N에서 NO₃-N으로 질산화과정이 일어나며, 탈질화는 산소가 결핍된 상황에서 유기물의 산화를 위한 전자수용체로서 질산염을 사용할 때 발생한다. 또한 질산염이 질소가스로 환원될 때 비로소 질소제거가 이루어지고 이 때 절대적으로 필요한 것이 과량의 유기물인데 이를 탄소원이라 한다¹²⁾. 질소의 제거가 잘 이루어지기 위해서는 유기물부하가 계획된 부하만큼 유입되어 적합한 C/N ratio를 맞추어 주어야하며, 또한 유입수량이 일정하게 유지되어야 호기성 상황에서 혐기성 반응으로 다시 반응될 수 있고, 그렇지 못할 경우 질산화 미생물의 산소소비가 늘어나고 유기물을 이용해 암모니아로 전환된 후 질산염이 탈질이 되지 못한 채 방류되면 상대적으로 방류수의 질소농도가 높아질 수 있다. 이로 인해 유입수보다 방류수의 질소농도가 더 높게 나타난 것으로 판단된다.

위 결과를 종합해 보면, 현재 가동중인 마을하수 처리시설의 운영은 설계오류 및 유지관리 소홀로 인하여 적절하게 운영되지 못하고 있는 것으로 판단되는데, 이를 해결하기 위해서는 보다 체계적이고 합리적인 설계 및 운영이 필요한 것으로 판단된다. 또한 마을하수 처리시설의 처리공법별로 처리 효율을 볼 때 고효율 합병정화조와 접촉산화법이 BOD와 SS 제거효율이 높았으므로 이러한 점을 고려하여 농촌유역 마을하수 처리시설을 설치하여야 할 것이며, 영양염류의 제거효율은 극히 낮았기 때문에 이를 극대화시켜 처리할 수 있는 고도처리시설의 마련이 요구된다. 그러나 고도처리시설의 대부분이 화학적 처리공정으로 우리 농촌이 현실에 맞지 않을 수 있다. 따라서 농촌에 적합한 식물 등을 통한 한국형 자연정화공법이 연구개발이 시급한 실정이다.

요 약

본 연구는 농촌마을에서 발생하는 마을하수의 수질현황과 마을하수 처리시설에 대한 관리 현황 및 정확한 실태를 파악하고 처리효율을 조사하여 마을하수의 효율적인 관리방안을 모색하며, 농촌마을 하수정비 사업과 농촌지역 하수정책 수립의 활용에 대한 기초자료로서 제공하고자 실시하였는데,

그 결과는 다음과 같다.

1. 마을하수 처리시설에 대한 각 지역별 유입수 수질 분석 결과, 아산시 지역에서의 유입수 BOD와 COD의 평균 농도는 각각 29.0 mg/L와 19.1 mg/L였고, 부여군 지역은 BOD 16.7 mg/L, COD 16.3 mg/L, 공주시 지역은 BOD 18.8 mg/L, COD 15.3 mg/L로 조사되어 아산시 지역에서 유입수의 농도가 가장 높았으나 일반적인 도시하수의 유입수 농도에 비해 매우 낮게 조사되었다.

2. 오염부하량별 원단위는 BOD 3.3~4.9 gpcd, COD 3.2~11.3 gpcd, T-N 1.5~4.6 gpcd, T-P 0.3~0.5 gpcd로 조사되어 도시하수의 오염부하량 원단위 결과보다는 상당히 낮게 조사되었다.

3. 마을하수 처리시설의 처리공법별 제거효율은 고효율 합병정화조와 토양피복형 접촉산화법에서는 특히 BOD와 SS의 제거효율이 높았으며, 접촉산화법의 경우는 다른 처리공법에 비해 조금 낮게 조사되었다.

인용문헌

- Park, E. Y. (1998) Process improvement for efficient operation of small scale sanitary wastewater treatment facility. Master thesis of Gangwon Nat'l Univ., 71.
- Kim, J. H. and Han, J. H. (1999) Development and application of sewer facility management system. Research report, The Institute of Industrial Technology, Kangwon Nat'l. Univ., 19, 279-285.
- Ministry of Government Administration and Home Affairs, Ministry of Agriculture and Forestry and Ministry of Environment. (2004) Revised Total Guideline of Rural Sewage Treatment Facilities Works (in Korean).
- Yi, S. J., Jung, J. G., Lim, B. S. and Huh, J. Y. (2005) Alternatives for optimum installation of rural sewage treatment facilities in Chungchongnam-do Province, *Journal of the Korean Society Water and Wastewater*, 19(4), 462-472.
- Ministry of Environment. (2005) Korean Standard Methods for Water Pollution (in Korean).
- Choi, E. S. (2001) Water supply and sewage engineering. Chongmoongak Pub., 191p (in Korean).
- Jeong, J. K., Cho, K. M. and Kim, N. J. (1986) A study on the unit pollutant loading factors of domestic sewage, *J. of the Korean Society of Water and Wastewater* 8(2), 462-472.
- Shin, E. B., Youn, H. S., Joo, C. J., Yu, D. Y. and Kang, H. M. (1996) Wastewater Generation and Unit Pollutant Emission Factors in Small Community. *Bulletin of Environmental Science, Environmental Engineering Research Science*, Hanyang University, 17, 133-155.
- Lee, J. C., Lee, J. H. and Bang, K. W. (1998) An Investigating Study on Unit Loading Factors of Domestic Sewage at Residential Area, *JOURNAL OF TAEJON NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY* 15(A), 547-559.
- Ahn, S. S. and Park, S. H. (1999) A study on primary unit calculation and control devices for nutrient salts in urban sewage, *RESEARCH REVIEW KYUNGIL UNIVERSITY*, 16(6) : 889-902.
- Lee, C. G. and Lim B. S. (2002) Characteristics and Efficiency of the Small-decentralized Sewage Treatment Facilities in Rural Area, *Journal of the Korean Society Water and Wastewater*, 16(4) : 439-446.
- Ronald L. Droste. (1997) Theory and practice of water and wastewater treatment. John Wiley & Sons Inc.