

우리나라 적합 하수도시설 및 관리방안

이 상 은

한국건설기술연구원 부원장

Appropriate Sewerage Systems for Korea

Sang Eun Lee

Vice President, Korea Institute of Construction Technology

Abstract

Since the first sewage treatment plant was constructed in 1976, the sewerage systems of Korea have been rapidly expanded. As of the end of 1991, 22 sewage treatment plants with total capacity of 5.4 million tons/day are in operation which is equivalent of 33% total daily sewage generation. Total extension of sewer 39.534 km in 1990 which is 55% of the target extension for the year 2001.

However, the most sewage treatment plants employ activated sludge process which may not be suitable for medium and/or small scale plants. The poor existing sewer systems do not effectively collect and transport sewage to adversely affect the function of sewage treatment plant.

To select the appropriate treatment system, the cities are classified into 3 categories such as large and medium size inland cities, small size cities and coastal cities.

Considering the criteria suggested during this study, appropriate treatment processes were selected for each category. Conventional activated sludge process and step aeration process were found to be the most appropriate for big inland cities while biological nutrient removal processes should be considered for the cities discharge the effluent to lakes or reservoirs.

RBC or Oxidation Ditch process might be appropriate for the medium size cities while

several processes which do not require skilled operation and maintenance were suggested for the small cities. Ocean discharge after primary treatment can be considered for some east coast cities.

Appropriate methodology to rehabilitate the existing sewers and strategy to convert combined sewer system to separate sewer system were proposed.

This paper also include the appropriate management system for industrial wastewater, sludge and nightsoil.

I. 서 언

우리나라 최초의 하수종말처리장은 1976년 가동이 시작된 용량 15만 m³/일 규모의 청계/중랑 하수처리장이며 최초의 근대식 하수관거는 1910년에 서울에 건설된 6.8km 정도의 관거를 들고 있어 우리나라의 하수도는 매우 짧은 역사를 갖고 있다. 그러나, '80년대에 들어서 환경보전에 대한 관심이 높아지면서 하수도 관련사업이 급격히 증가되었고 '91년 말 현재 총 20개 도시에 22개소의 하수처리장이 완료되어 가동중에 있어 하수처리율로 환산한 하수도 보급률이 33%에 달하고 있다. 그러나, 대도시와 공업도시를 우선으로 하여 건설되어 온 하수처리장은 일부 하수처리용량이 백만톤을 초과하는 처리장을 포함하는 대규모 시설로 건설해 왔는데 처리장의 보급 확대를 위주로 추진해 와 시설의 최적화는 고려되지 못한 것이 사실이다. 따라서, 현재 가동중인 하수처리장의 거의 모두가 표준활성슬러지법을 주처리공정으로 하고 있어 지역특성이나 규모에 따른 최적화를 이루지 못하고 있다. 대도시와 공업도시의 하수처리장 건설이 거의 완료됨에 따라 앞으로는 수질 보전 측면에서 중요한 중소도시를 대상으로 하수처리장

을 확대 건설해야 하는 것을 고려할 때 경제적으로나 기술적으로 적합한 처리방법을 강구하는 것은 매우 중요하다고 볼 수 있다.

더우기 하수관거는 보급률은 53%에 달하고 있으나 이 중 오수관거는 9%에 불과하여 발생하는 하수를 합류식 우수관거를 통해 처리장으로 수송하고 있어 관거 불량에 따른 하수의 수집 및 수송 문제가 발생하며 막대한 예산을 투입한 하수처리장의 효율적인 운전엔 큰 영향을 미치는 사례가 많아 하수관거의 합리적인 정비 및 건설이 필요하게 된다. 따라서 본 고에서는 우리나라의 특성에 적합한 하수처리시설과 하수관거의 정비 및 시설계획의 합리적인 방안을 제시하고자 한다.

II. 하수도 시설 현황

'91년 말 현재 건설이 완료되어 가동중인 하수처리장은 20개 도시의 22개소로 이들의 시설현황은 Table 1과 같다. 이 Table 1과 같이 22개 하수처리장 중 2차 처리를 시행하는 처리장 17개소 중 14개소가 표준활성슬러지법으로 대부분을 차지하고 장기폭기법의 3개소가 있을 뿐이다. 또한 현재 1차 처리시설만을 갖춘 3개 처리장도 2차

Table 1. 가동중인 하수종말처리장 현황

(’91년도 말)

처 리 도시명	처리장명	처리 용량 (천톤/일)	사업기간	총사업비 (백만원)	처리방법	방류수역
20 개 도시	(22 개소)	5,400	’70~’91	833,163		
서울시	중 랑	1,210	’70~’91	172,790	활성오니	중 랑 천
(하남시)	탄 천	500	’83~’87	61,066	"	탄 천
(광명시)	안 양 천	1,000	’84~’87	53,200	1차 침전	안 양 천
	난 지	500	’84~’87	31,600	"	한 강
부산시	수 영	230	’83~’88	50,100	활성오니	수 영 만
	장 립	300	’86~’90	95,600	"	낙 동 강
대구시	달 서 천	250	’83~’88	32,600	"	달 서 천
인천시	가 좌	190	’87~’91	56,709	"	서 해 안
광주시	광 주	300	’85~’91	73,314	"	영 산 강
대전시	대 전	150	’83~’89	32,500	"	감 천
의정부시	의 정 부	60	’83~’90	10,720	"	중 랑 천
과천시	과 천	30	’83~’86	9,100	"	양 재 천
안산시	안 산	121	’81~’86	18,305	1차 침전	서 해 안
구리시	구 리	50	’83~’89	12,619	활성오니	왕 속 천
춘천시	춘 천	75	’85~’89	25,770	"	의 압 호
청주시	청 주	150	’87~’91	40,325	"	미 호 천
청원군	문 의	1	’85~’90	2,000	"	대 청 댐
전주시	전 주	100	’83~’86	11,625	"	전 주 천
북면	화순북면	2	’86~’89	1,400	"	동 북 댐
경주시	경 주	25	’77~’78	1,944	장기폭기	형 산 강
구미시	구 미	124	’81~’86	28,076	"	활성오니
응촌면	울 주	32	’87~’88	11,800	"	화 야 댐
	(응촌)					

처리로서 표준 활성슬러지법을 계획하고 있으며 3개 도시에 건설된 장기폭기법 또한 활성슬러지법의 하나라는 점을 고려하면 국내 하수처리장의 대부분이 활성슬러지법이라는 한가지 방법을 사용하고 있다는 것을 알 수 있다. 지금까지 대도시와 공업도시 중심으로 하수처리장이 건설되어 왔다는 점에서 이와 같은 현상이 어느 정도 설득력이 있었다고 보나 향후 중소도시나 특수지역 등의 하수처리장의 건설에는 보다 합리적인 처리방법의 도입이 필요할 것이고 대규모 처리시설의 경우에도 경제적인 처리방법이

선정되어야 할 필요가 있다고 본다.

우리나라에서 하수도보급률 등 하수도에 관한 자료가 체계적으로 정리되기 시작한 것은 건설부에서 하수도 통계가 발간되기 시작한 1980년 이후라고 볼 수 있는데 Table 2는 건설부의 하수도 통계를 이용하여 과거 10년 간의 하수관거 보급실적을 나타낸 것이다.

’90년 말 현재 개거, 측구 등을 포함한 하수관거 시설연장은 39,534 km로서 이 중 91%인 36,080 km가 우수거, 9%인 3,443 km가 오수거로 보급되어 있다. 이는 ’80년 말 전

체 시설연장 16,344 km, 우수거 16,182 km, 오수거 162 km와 비교해 볼 때 우수거 1.2 배, 오수거 20.2 배, 전체 1.4 배의 관거연장이 늘어난 것으로 분류식 하수도의 보급과 함께 오수거 보급이 증가하고 있음을 알 수 있으나 아직도 오수거의 보급은 절대적으로 낮은 형편이다.

또한 2001년 계획연장대비 '90년 말 시설연장 보급실적은 전체 하수관거의 경우 55%, 우수거 72%, 오수거 16%로서 우수거에 비해 오수거 보급률이 매우 낮게 나타났다. 오수거의 보급실적이 낮은 이유는 오수거의 보급이 낙후된 이유도 있으나 그 보다

는 아직도 장래 분류식으로 계획된 미개발지가 많이 남아 있기 때문이며 이에 비해 우수거는 합류식 지역의 개발지내에 포설되어 있기 때문에 오수거에 비해 상대적으로 보급률이 높다.

또한 Table 2에서와 같이 '90년 말 전체 시설연장 39,534 km의 64%인 24,100 km, 우수거 연장의 75%인 21,043 km만이 암거(矩形渠)와 관거(圓形渠)로 암거(closed conduit)화 되어 있고 나머지 35%인 13,432 km는 U형 측구 등 개거로 구성되어 있어 아직도 우리나라 하수도는 U형 측구 등 불완전한 관거 체계의 구성률이 높은 것으로 나

Table 2. 연도별 하수관거 보급실적('80~'89)

년 도	하 수 관 거			오 수 관 거				
	계획관거	시설연장	보급률	계획연장	시설연장	보급률	암 거	관 거
1980	28,955,649	16,182,043	55.9	772,684	162,136	20.9		162,136
1981	30,809,314	17,751,293	57.6	591,092	216,466	36.6		216,466
1982	30,309,279	19,304,936	63.6	1,731,705	244,209	14.1		244,209
1983	33,261,569	20,762,978	62.4	1,566,717	286,910	18.3		284,910
1984	57,225,760	27,436,712	47.9	11,293,555	1,065,247	9.8	90,738	974,509
1985	64,816,619	30,419,920	46.9	17,645,577	1,469,194	8.3	113,271	1,355,923
1986	67,027,276	32,383,473	48.3	19,130,192	1,877,279	9.8	228,900	1,648,379
1987	69,283,488	34,288,096	49.5	20,556,859	2,209,078	10.7	288,683	1,920,395
1988	69,939,115	35,692,340	51	20,909,577	2,414,673	11.5	109,013	2,305,660
1989	70,749,825	37,532,499	53	21,338,506	3,057,136	14.3	298,193	2,758,943

년 도	우 수 관 거								
	계획관거	시설연장	보급률	암 거	관 거	개 거	LU형측구	U형측구	기 타
1980		16,182,043		1,344,891	8,403,814	791,914	2,737,137	2,057,710	846,577
1981	30,287,022	17,534,827	57.9	1,429,130	9,052,928	854,095	2,951,760	2,275,774	971,150
1982	28,577,574	19,060,726	66.6	1,518,814	9,853,899	885,532	3,358,751	2,393,612	1,050,118
1983	31,694,852	20,476,068	64.6	1,646,090	10,704,782	934,877	3,875,611	2,327,381	987,327
1984	45,932,205	26,371,465	57.4	2,479,636	13,013,583	1,844,835	4,202,222	3,802,656	1,028,533
1985	47,171,042	28,950,726	61.4	2,702,937	14,447,196	2,006,618	4,367,931	4,296,141	1,129,903
1986	47,897,076	30,506,442	63.7	2,810,012	15,401,628	2,130,177	4,533,378	4,500,303	1,130,944
1987	48,726,629	32,079,016	65.8	2,906,121	16,360,671	2,167,765	4,780,304	4,699,227	1,164,928
1988	49,029,538	33,277,667	67.9	3,049,740	17,121,264	2,177,926	4,937,923	4,812,220	1,178,594
1989	49,141,319	34,475,363	70.2	3,205,344	17,837,816	2,183,975	5,128,241	4,921,462	1,198,525

Table 3. 도시규모별 장래 하수배제방식 계획

(단위 : 도시수)

구 분	하수도 정비 계획 수립 년도									
	계	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91.4
시 급	69(38%)	1	12	37	5	6	1	3	2	2
읍 급	103(56%)	-	4	24	7	32	3	4	28	1
면 급	10(6%)	1	-	1	-	4	2	-	2	-
계	182(100%)	2	16	62	12	42	6	7	32	3
분류식	66(36%)	1	5	19	2	19	3	3	12	1
합류식	62(34%)	-	7	25	2	12	1	3	12	-
합병식	43(23%)	-	4	17	8	4	-	1	7	2
미 확인	12(7%)	1	-	1	-	7	2	-	1	-

타나고 있다. 따라서 상당수의 합류식 도시에서는 아직도 U형 측구 등 불완전한 관거 체계를 이용하여 오수를 배제하고 있으며, U형 측구 등 개거형태의 관거는 분뇨의 직투입 등 원활한 오수수송이 불가능할 뿐만 아니라 악취 등의 문제를 안고 있기 때문에 현대식 하수도로 보기에 무리가 있다. 또한, 국내의 합류식 하수도는 개거의 의존도가 높아 오수의 원활한 수송이 어려워 합류식 하수도라기 보다는 우수배제형 하수도라는 표현이 더 적절하며, 생활환경 개선이나 오염물질의 원활한 수송을 위해서도 개거형태의 하수도는 암거형태의 관거로 개수되어야 하는 실정이다.

Table 3은 '91년 4월 현재 하수도 정비 기본 계획이 수립된 183개 시, 읍, 면의 장래 하수배제방식 계획을 요약한 것으로 자료가 확인된 171개 도시의 하수배제방식을 검토한 결과 합류식이 62개 도시, 분류식이 66개 도시, 합병식이 43개 도시로서 64%인 109개 도시가 장래 하수배제방식으로 분류식(일부 분류식 포함)을 채택하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 '90년도 하수도 통계에 의하면 전국 249개 시, 읍 중에서 분류식

관거가 보급된 도시는 모두 48개 시읍이며 나머지 201개 도시는 분류식 관거가 전혀 없는 합류식 하수도로 되어 있는 것으로 나타났다.

분류식 관거가 보급된 48개 도시 가운데에서도 도시전체의 하수관거 체계가 전반적으로 분류식에 가깝게 정비된 도시는 안산시, 동광양시, 과천시, 경주시, 창원시 등 5개 시에 불과하며 나머지 도시는 대부분 합류식에 일부 분류식 지역이 합병된 합병식 관거체계를 유지하고 있어 분류식 관거의 보급이 계획에 비하여 늦어지고 있다.

III. 적합 처리시설의 선정

하수처리시설은 먼저 방류수역의 수질과 용수 이용상의 기준에 의하여 정해진 허용 오염부하량으로부터 필요한 처리 효율을 결정한 다음, 이를 만족시키는 여러가지 대안들 중 지역특성별로 처리규모, 입지조건, 유지관리의 용이도 등을 고려하여 적절한 기준을 설정하고 이 기준에 의해 대상지역에 가장 적합한 방식을 선택하도록 한다.

1. 지역특성별 분류

처리시설의 선정을 위해서는 자연조건과 사회, 경제적 지역특성을 우선적으로 고려하여야 한다. 즉 도시지역은 처리규모가 크고 수량과 수질변동은 작지만 운전 초기에 유입하수량과 처리능력에 차이가 생기기 쉽고, 읍·면 등의 규모가 작은 경우는 수량과 수질변동이 클 가능성이 많으며 이 경우 처리시설의 유지관리에 영향을 미치게 된다. 또, 방류수역의 용수이용현황과 용지의 확보문제와 고도처리의 필요성 등에 따라서 처리시설 선정에 차이가 있다. 따라서 우리나라 도시들의 하수발생량과 입지적 위치 및 사회적 조건을 고려하여 Table 4 와 같이 그 특성별로 내륙도시, 소규모 읍·면, 해안도시의 세가지 형태로 구분하였다.

2. 적정 처리등급의 선정

처리시설 선정에 있어 가장 먼저 검토해야 할 사항은 계획 방류수질 기준을 만족하는지의 여부이며, 이를 위해 방류수역 수질 기준 및 용수 이용상의 편익이용 등을 고려하여 대상지역의 특성에 따라 그 지역의 처리등급을 결정해야 한다.

국내의 하천은 하류로 내려오면서 대도시

및 중소도시와 위성도읍의 인구밀집 지역에서 배출되는 생활하수와 공장폐수에 의하여, 특히 수질오염이 심각한 지천들의 유입에 따라 본류에서의 수질이 악화되고 있는 실정이다. 이에 따라 국내 내륙하천 방류도시 하수처리의 처리정도는 처리장 유입 하수의 BOD 가 약 200mg/l일 때 방류수 수질기준 20~30 mg/l를 만족하기 위해 85% 이상의 처리율이 요구되며 이 정도의 처리를 위해서는 최소한 2차 처리를 목표로 하여야 한다.

또한 대규모의 댐에 의하여 형성된 저수지는 특히 상수원으로 사용되고 있는 경우가 많아 상수원의 수질오염 방지를 위해 엄격한 수질기준을 적용하여야 하며 특히 폐쇄성수역에서 유발되기 쉬운 부영양화 현상은 국내 여러 호소에서 이미 나타나고 있는 실정으로 주요 상수원과 부영양화가 우려되는 폐쇄성수역에 인접한 내륙도시들은 장래 거의 모두 질소와 인 등의 영양물질 제거를 할 수 있는 3차 처리가 필요한 것으로 예상된다. 따라서 지역특성과 방류수역 편익이용에 미치는 영향과 수질 현황에 의하여 85개의 시, 읍 면에 대해 지역별 처리등급을 Table 5 와 같이 분류하였다.

Table 4. 지역특성별 분류

구분	특성
내륙도시	<ul style="list-style-type: none"> · 계획하수량이 50,000톤/일 이상인 대도시 · 방류수역이 내륙하천 · 계획처리 하수량이 30,000톤/일 정도의 중소도시
소규모 읍, 면	<ul style="list-style-type: none"> · 계획처리 하수량이 10,000톤/일 미만인 농촌, 산촌에 준하는 읍, 면 · 상수원의 부영양화 우려지역은 특수지역으로 분류
해안도시	<ul style="list-style-type: none"> · 동해안 방류도시: 수심이 깊고 해수의 혼합에 제한이 없음 · 서해, 남해안 방류도시: 수심이 얕고 해수의 혼합이 제한되는 내수만이 많음

Table 5. 지역특성별 처리등급 분류

도시 형태	처리등급	특 성	대 상 도 시	도시수
내륙 대도시 및 중소도시	2차 처리	- 방류수역 수질오염이 심각한 지역 - 상수 및 농업·공업용수 이용에 직접 또는 간접으로 영향을 미치는 지역 - 방류수역이 위락용으로 이용되는 지역	서울, 대구, 안양, 성남, 부천 청주, 대전, 전주, 의정부, 과천, 광명, 원주, 태백 이리, 정주, 남원, 진주, 경주, 구미, 영주, 영천, 김천, 짐촌, 상주, 김해, 안산, 동두천, 구리, 충주, 안동	30
	2차 또는 3차	- 방류수역이 상수원으로 이용되는 호소에 직접 방류하거나 영향을 미치는 지역 - 장래 부영양화 우려가 있는 폐쇄성 수역에 인접하여 특히 영양물질의 제거가 요구되는 지역	춘천, 송탄, 평택, 나주, 제천, 광주, 공주, 온양, 천안, 수원	10
내륙 소규모 읍, 면	2차 처리	- 내륙도시 2차 처리등급과 거의 유사한 특성을 가지는 읍, 면	동부, 경산, 온산, 신탄진, 홍천, 왜관, 조치원, 밀양, 부곡	9
		- 전형적인 시골지역에서 방류수질이 아주 높게 요구되지 않는 지역	보은, 함양, 무주, 영동, 화순온천	5
	3차 처리	- 방류수역이 상수 및 농업·공업용수 원인 폐쇄성 수역으로 높은 처리수질 및 영양물질의 처리까지 고려해야 하는 지역	광주, 용인, 양평, 예산, 단양, 옥천, 문의, 이천, 거창, 용춘	10
해안 도시	2차 처리	- 방류해역의 수심이 얇고 회석이 제한되는 내수만 인접지역 - 수질오염이 심화되고 있는 지역으로 수자원 보호, 관광특성이 있음	부산, 인천, 순천, 군산, 목포, 여수, 여천, 포항, 마산, 창원, 진해, 충무, 삼천포, 울산, 제주, 서귀포, 대천, 광양	17
	1차 처리	- 방류해역 수심이 깊고 외만으로 바로 노출되어 해안방류가 가능한 지역	강릉, 속초, 동해, 삼척	4

3. 적합 처리시설의 선정기준

하수처리 방식의 선정에 있어서 특히 중요하게 고려해야 하는 기준을 지역특성별로 다음과 같이 구분하였다.

1) 내륙도시 하수처리시설 선정기준

내륙도시의 하수처리시설은 처리용량이 크기 때문에 용지의 확보가 용이하지 않은 도시의 인구밀집 지역에 알맞게 가능한 축소된 형태의 처리방식이 요구되며, 기본적으로 방류수질 기준을 만족하면서 가장 경제

적인 처리시설의 선택이 적합하다. 따라서 내륙도시에 적용할 수 있는 처리방식들 중에서 다음과 같은 두 요소만을 고려하여 적합한 처리시설을 선정하도록 한다.

- 처리수질 기준 만족의 가능성 및 위생성

- 경제성

2) 소규모 읍, 면 하수처리시설 선정기준
소규모 읍, 면 지역은 다양한 지역특성을 가지고, 또 방류수질 기준을 충분히 기술의

Table 6. 소규모 처리시설의 선정기준

번호	선정기준	상대적비중
1	계획방류수질기준 만족도 및 위생성	1.0
2	경제성	1.0
3	유지관리의 용이성	0.7
4	슬러지 처리의 간편성	0.7
5	유입하수량 및 수질변화에 대한 대응성	0.4
6	고도처리의 가능성 및 중축의 용이성	0.2

축적이나 하수처리장의 유지관리를 위한 기술자의 확보가 어렵기 때문에 가능한 한 유지관리가 쉬운 처리방법을 선정하는 것이 바람직하다. 또한 하수발생량의 변화가 크기 때문에 소규모 읍, 면 지역의 처리시설 선정 기준은 고려해야 할 여러 요소를 Table 6 과 같이 상대적인 중요도에 따라 비중을 다르게 주어 고려하였다.

3) 해안도시 하수처리시설 선정기준

해안도시에 대해서는 먼저 해양의 지형과 해류, 용수이용 특성을 고려하여 해양 방류 가능성을 고려할 수가 있으므로 다음과 같은 세가지 요소를 선정기준으로 설정하였다.

- 해양방류 가능 여부
- 방류해역 수질오염에 미치는 영향
- 경제성

4. 지역별 적합 처리시설의 선정

1) 내륙도시

도시 하수처리에 적용할 수 있는 여러 유형의 하수처리 방식들 중 처리정도가 2차 처리 이상으로 방류수 수질기준을 만족하면서 처리용량 50,000톤/일 이상의 도시에 가능한 방식을 고려대상으로 선정하였다. 비교 검토된 대상 처리방식은 다음과 같다.

- 표준활성 슬러지법

- 계단식 포기법
- 장시간 포기법
- 살수여상법
- 회전원판(RBC)법
- 호기성 라-군

각 대안들이 모두 처리기준을 만족시킬 것으로 보이거나 살수여상, RBC와 폭기식 라군법 등은 부지확보와 동절기의 동결문제 등 때문에 고려대상에서 우선순위가 낮으며 표준활성슬러지법, step aeration 법의 경제성을 비교한 결과 step aeration 법이 표준활성슬러지법에 비해 약 62%의 총투자비 절감효과가 있어 step aeration 법을 적합처리 방법으로 제외하였다.

한편 내륙 공업도시의 경우는 산업폐수가 유입되어 저해물질에 의한 영향이나 고농도 폐수에 의해 유입수의 BOD가 일반하수보다 높아질 가능성이 있어 활성슬러지법에 접촉산화법, media 등 사용하는 방법을 실험연구와 경제성 분석에 의해 선택할 수도 있다. 지역에 따라 영양물질의 제거가 필요한 지역에서는 많은 처리비용을 필요로 하는 3차 처리를 시행하기 보다는 Bardenpho, A/O, Phostrip Process나 최근 개발된 P/C process 등 2차 처리 시설을 개량하여 생물학적으로 영양물질을 제거하는 방법을

사용하는 것이 바람직할 것이다.

발생하수량이 10,000~50,000 톤/일 인 용량이 비교적 낮은 경우는 RBC 나 Oxidation Ditch 등 작은 규모에 적합한 시설을 사용하는 것이 바람직한데, 이 방법은 운전조건을 조정하면 영양물질의 제거효과도 얻을 수 있을 것이다.

2) 소규모 읍, 면

계획 처리수량 10,000 톤/일 미만의 전형적인 농촌형 읍, 면 지역에 적용 가능한 처리방식에 대하여 앞에서 언급한 소규모 읍, 면 하수처리시설 선정기준과 Matrix 를 구성하여 각 방식별 적용기준의 중요도에 따라 비중을 두어 각 기준별로 우수 : 5 점, 양호 : 4 점, 보통 : 3 점, 불량 : 2 점, 아주나쁨 : 1 점으로 배점을 한 뒤 합계가 총 20 점 만점에 15 점 이상인 방식들을 소규모 읍, 면의 적합처리방식을 선정하기 위한 대안으로 다음과 같이 선정하였다.

- 장시간 포기법
- 계단식 포기법
- 회분식 활성슬러지법
- 회전원판법
- 라-군
- 산화지
- 토양처리법
- 살수여상법

위의 대안 중에서 적합한 처리시설은 지역 특성에 따라 선정되어야 하나 인구가 밀집된 지역은 Oxidation Ditch 법이나 SBR 법을 고려할 수 있겠고, 인구가 분산되고 하수도 보급률이 낮은 지역은 토양처리 등과 합병식 정화조를 부락단위로 설치하는 것이 바람직하며, 처리효율이 약간 떨어져도 온도

가 따뜻한 지역에서는 살수여상법의 사용도 가능할 것이다.

3) 해안도시

국내 해안도시는 그 입지적 특성에 따라 두가지 경우로 구분하여 고려할 수 있다. 즉 내수만 또는 하구에 인접한 경우와 외만으로 직접 연결된 경우로 전자는 주로 서해안 및 남해안에 위치한 도시에 해당되며, 후자는 동해안에 위치한 도시들이다.

특히 우리나라의 서해, 남해안은 연안의 굴곡이 심하고 수심이 비교적 얇기 때문에 해양에 방류된 하수의 회석이 제한되기 쉬워 해양방류의 효과를 기대하기 힘들며 또 이들 해역은 수산양식장 및 관광용으로 이용되는 곳이 많기 때문에 해양방류 시스템을 적용했을 때 인근 해역에 오염문제를 유발시킬 우려가 있다. 따라서 이러한 해역에 인접한 도시의 하수처리는 역시 내륙도시와 같이 최소한 2차 처리가 요구되어 내륙도시와 동일한 처리시설을 채택하는 것이 적합한 것으로 사료된다. 그러나 동해안에 인접한 몇몇 도시는 방류해역이 외만으로 바로 연결되어 있고 수심이 깊어 그 특성상 해양방류 시스템의 적용이 가능한 것으로 판단된다.

이와 같이 해역의 특성 및 수산자원 이용상의 문제를 고려하여 해양방류의 가능성 여부에 따라 다음과 같은 세가지 대안을 설정하였다.

- 2차 처리후 해양방류(관거연장 1000 m)
- 1차 처리후 해양방류(관거연장 3000 m)
- 예비처리후 해양방류(관거연장 3000 m)

각 대안들의 경제성만을 비교하면 2차 처리보다는 1차 또는 예비처리후외만으로

해양방류하는 것이 경제적인 것으로 나타났으며, 유지관리비 역시 대안 1에 비해 대안 2와 3이 훨씬 낮고, 에너지 소비도 아주 낮은 것으로 되어 있다. 한편, 1차 처리와 예비처리에 의한 해양방류 시스템을 비교하면 예비처리 시스템이 훨씬 경제적이거나 예비처리는 Fig. 1에서 나타낸 Milliscreen 같은 장치에 의하여 부유성 물질이나 그리스 등을 걸러내는 효과가 있을 뿐 침전성 물질의 처리효율은 아주 낮다. 또한 Milliscreen은 미국, 뉴질랜드 등지에서 개발된 시설로 적용시 수입에 의존해야 하는 문제가 있기 때문에 현재 국내에서 설계 및 시공 기술이 확립되어 있는 1차 처리시설을 채택하는 것이 유리하며, 해양방류가 가능한 지역에 대해서는 1차 처리에 의한 해양방류가 적합한 것으로 사료된다.

5. 슬러지 처리·처분 방안

하수처리장 건설과 운영이 분격화되면서 부산물로 발생하는 막대한 양의 슬러지의 처리와 처분이 큰 문제가 되고 있다. Table 7은 연도별 슬러지 발생량을 예측한 것으로 슬러지의 처리는 기술개발에 의해 어느 정도 해결된다해도 처리된 슬러지의 최종처분은 폐기물의 재이용이라는 측면에서 앞으로 계속 연구가 진행되어야 할 것이다. 슬러지 최종처분 방안으로는 육상과 해안 매립방안과 해양투기 외에 순환이용형 처분방안으로서 퇴비화와 건설자재화 등의 방안이 고려될 수 있다고 본다.

국내 설정에 적합한 처리, 처분방안을 역시 대규모와 중소규모처리장으로 구분하여 보았는데 대규모의 경우는 복잡한 슬러지 처리방안의 사용이나 고도의 기술을 요하는

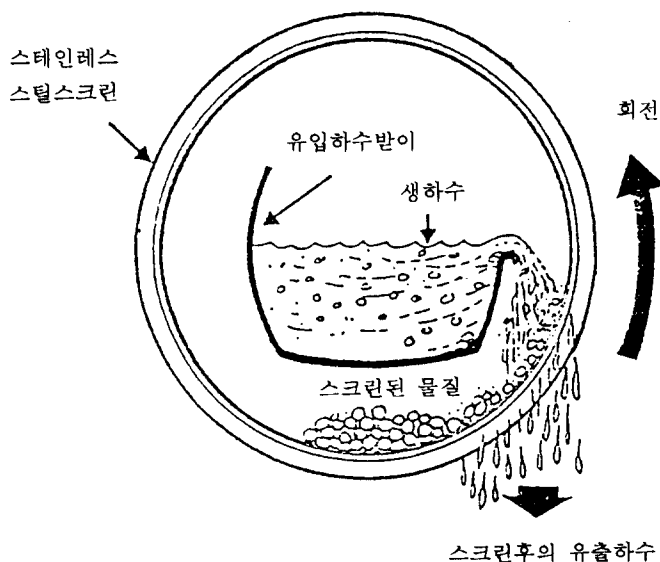


Fig. 1. contra-shear Milliscreen 장치의 개념도

Table 7. 연도별 슬러지 발생량 예측

구 분	단 위	1991	1996	2001
하수처리 용량	천톤/일	11,185	15,545	19,935
슬러지 발생량	톤/일	4,744	6,819	8,433

처분방안 즉, 퇴비화, 소각 또는 고형화 방안 등의 사용이 가능하고 서해안에 위치한 도시의 경우 해안매립을 고려할 수 있다. 중소규모의 처리장은 농지환원을 우선적으로 고려해볼만 하며 몇개의 처리장이 공동으로 슬러지를 광역처리, 처분을 하는 방안이 더 경제적이 될 수도 있어 연구해 볼 필요가 있다.

IV. 하수관거 정비방향

1. 하수배제 방식 현황과 문제점

우리나라 도시의 하수배제 방식은 과천, 안산, 경주, 창원 등 계획도시가 분류식으로 서울 등 일부도시가 분류식이 포함된 합류식 즉, 합병식으로 되어 있으며, 나머지 도시는 우수와 오수를 동시에 수송하는 합류식으로 되어 있다. 그러나 대부분의 도시가 계획적인 관거 보급 정비보다는 지역개발과 병행하여 관거를 증설해 왔으며 우수수송보다는 우수배제를 우선하였으므로 인근 하천 및 수역으로 하수를 방류하도록 되어 있는 실정이다. 그러나 최근 하수처리장의 가동과 함께 기존의 합류식 관거는 하수 수송체계에 있어 많은 문제점을 드러내고 있으며 이중 대표적인 문제점을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 유속저하로 인한 침전성 물질 퇴적 및 처리장 유입 하수농도 감소
- (2) 우기시 침전 퇴적물의 유출로 인한 하천수질 악화 및 충격부하로 인한 하수

처리장 운전 효율 감소

- (3) 분류식 하수도 적용시 기존의 U형 측구, 개거의 개량에 따른 공사비 증가
- (4) 기존의 하수천을 복개하여 차집거 또는 간선관거로 사용하는 경우 자연수, 지하수 유입으로 인한 수질저하 및 수량증가

국내에 적합한 하수배제 방식은 각 지역의 조건이 모두 상이하므로 각 지역의 관거 보급률, U형 측구 및 기존관거의 재이용 가능성과 기존시가화 지역의 분류화 가능성을 검토하는 한편 관거 공사비 뿐만 아니라 그 지역의 강우특성, 즉 월별 강우량 분포, 강우강도 등도 조사하여 공사 후 관거 활용 후까지 검토함으로써 경제적이고 합리적인 하수배제 방식이 선정되어야 할 것이다.

현행 하수도 시설기준에는 분류식을 원칙으로 하고 있으며 방류수역 수질보전 대책이 수립되어 있거나 노후도시 등 불가피한 경우 합류식을 허용하고 있으나 대부분의 도시가 시설기준에 따라 분류식을 채택하고 있다. 그러나 기존 합류식 지역의 분류식화는 기술적 경제적 타당성이 적으므로 지형 및 관거조건 등 각 도시의 특성을 충분히 감안하고 기개발지의 관거활용을 최대한 활용할 수 있도록 분류식으로 일원화되어 있는(불가피한 경우 합류식도 허용됨) 현행 기준을 분류식과 합병식으로 이원화하는 것이 바람직하다고 판단된다.

또한 각 지역의 관거 상태에 따라 불완전

분류식이 국내에 적용 가능성이 있는 합리적이고 경제적인 하수배제 방식이 될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 장래 적합관거 계획

장래 적합관거 계획은 Fig. 2와 같은 방법으로 산출하였다. 장래하수도 증가 인구가 관거단위를 이용하여 단계별 장래 관거 소요연장을 산출하고 처리장과의 연관성을 검

토하여 반드시 건설되어야 할 관거연장을 산출한 후 처리장 건설시기 등을 감안하여 연도별 관거 신설계획을 수립하였다. 또한 장래 하수도 인구는 Fig. 3과 같은 방법으로 산출하였으며 분류식 관거 인구는 2001년에는 1,060 만인으로 80% 정도 증가될 것으로 예상되며 합류식과 분류식의 인구비는 91:9에서 2001년에는 70:30이 될 것으로 예상하였다.

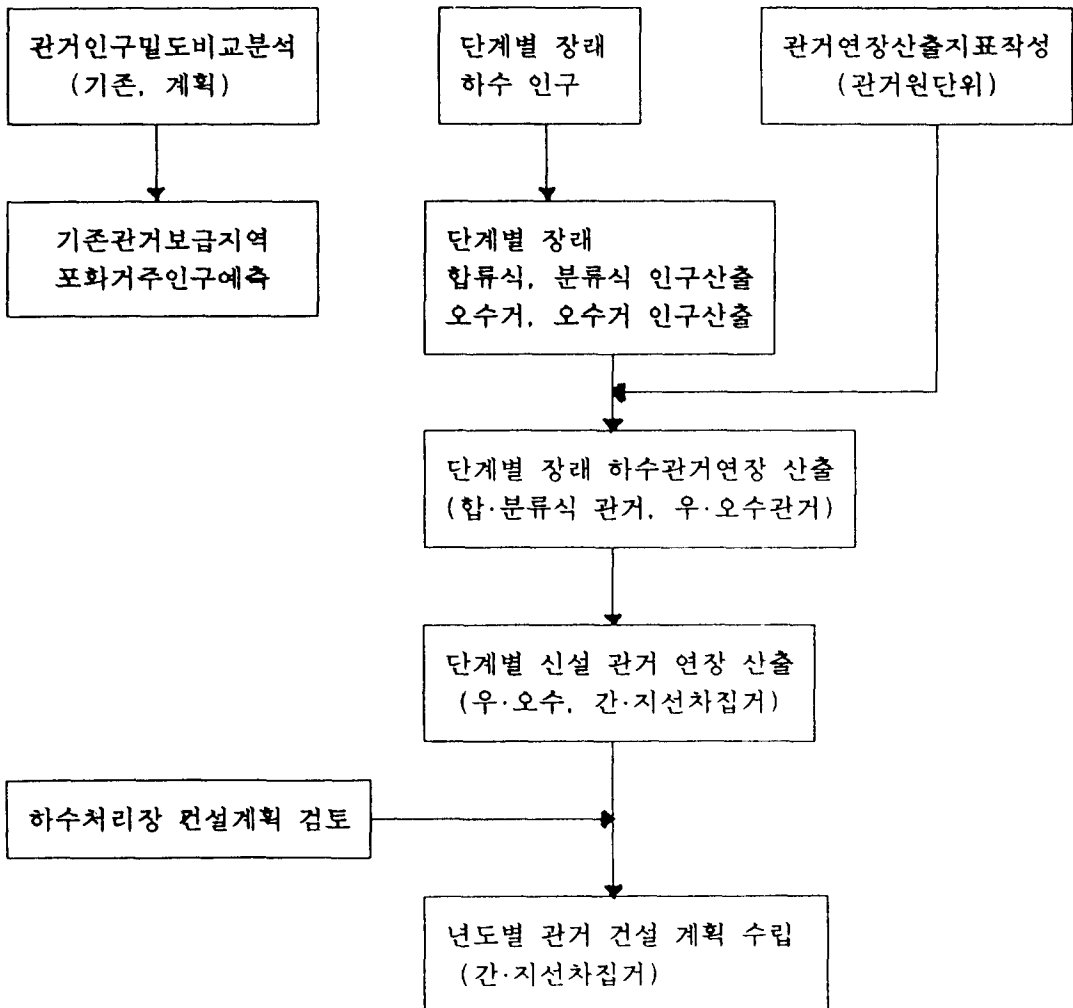


Fig. 2. 국내 적합관거 계획 수립 계통도

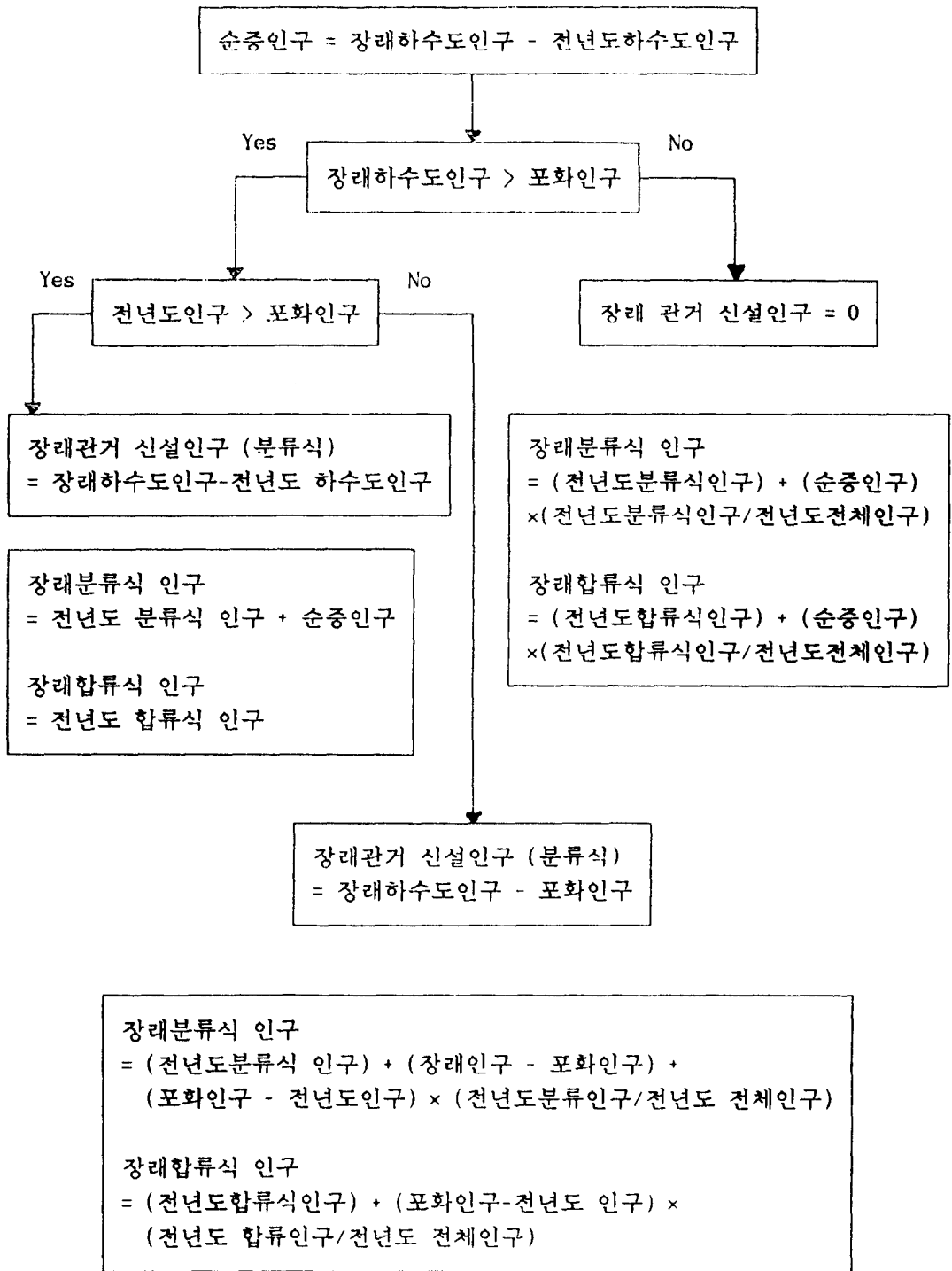


Fig. 3 장래 합류식, 분류식 인구 산출 계통도

V. 산업폐수와 분뇨 관리 방안

1991년 말 현재 전국 폐수 배출량은 약 8,107천톤/일인데 이 중 공업단지로부터 배출되는 폐수의 양이 전체의 양 80%에 해당되며 폐수의 처리가 하수처리장의 건설에 비해 일찍 시행되어 많은 산업체들이 하수처리장에 의존하지 못하고 각자 단독처리를 하거나 비슷한 업종이 공동처리를 하고 있는 실정이다. 그러나 하수처리장 건설이 본격화 되면서 하수종말처리장이 건설되는 도시에서는 발생하는 산업폐수들을 하수처리장에서 도시하수와 합병처리하도록 유도하고 있으나 성상이 다양하고 저해물질을 함유할 수 있는 산업폐수를 도시하수처리장에서 처리하는데 있어서는 처리장의 시설을 보호하기 위한 조치가 필수적이다.

따라서 본 장에서는 도시하수처리장에서 산업폐수를 적절히 관리하는 방안을 제시하였고 역시 하수처리에 비해 먼저 시행되어 온 분뇨의 처리와 관리도 하수처리장의 본격가동과 더불어 적절한 관리와 처리방안이 마련되어야 할 것으로 판단되어 이에 대한 방안을 제시하였다.

1. 하수종말처리장과 산업폐수관리

하수종말처리장이 건설되어 있는 도시에서의 산업폐수 처리는 하수처리장에서의 합병처리, 공단 산업폐수의 공동처리와 개별처리 등 3가지 방안을 고려할 수 있는데 산업폐수의 유량이 전체 폐(하)수 발생량의 50% 이하이고 저해요인이 없는 경우는 하수종말처리장에서 합병처리하도록 유도하고, 50%를 초과하는 경우는 산업폐수만을 공동

처리하는 방안이 바람직하나 산업폐수가 생분해가 가능한 유기폐수로 구성된 경우는 폐수의 양이 많아도 하수종말처리장에서 합병처리가 가능하다.

하수종말처리장 처리구역내에 위치하는 산업체 중 단일 산업체에서 배출하는 폐수의 양이 총 폐(하)수 발생량의 30%를 초과하는 경우이거나 생물학적 처리방법에 적합하지 않은 성분이나 저해물질을 함유하는 경우는 개별처리를 하는 것이 유리하다. 이 경우 처리수 배출 기준은 하수종말처리장의 기준에 준해서 적용하거나 처리량의 용량을 고려한 총량규제를 해야만 한다.

2. 합병처리에 따른 관리방안

하수종말처리장에서 산업폐수를 도시하수와 합병처리하는 경우는 하수처리장의 운영주체, 배출업소와의 사이에 하수처리장의 시설을 보호할 수 있는 규제조치가 마련되어야 한다.

하수처리장의 운영주체는 환경처에서 정하는 수질기준을 반드시 만족시켜야 할 뿐만 아니라 이를 위한 적절한 처리효율을 유지할 수 있도록 유입폐수를 관리해야 하고 처리비용을 분담시킬 수 있는 적절한 비용분담 방안이 마련되어야 한다.

배출업소와 하수처리장 운영주체와의 사이에 맺어지는 규제조치는 하수처리장에서 배출업소에 배출허가를 해주는 Permit System에서 해야 하고 이에 따른 수질 감시제도와 전처리 기준 등이 처리장의 처리능력과 지역적인 조건 등을 감안하여 작성되어야 한다. 전 처리기준은 중금속 등의 독성물질 처리기준 뿐 아니라 처리용량을 고려한

BOD와 SS 처리기준도 정해져야 하며 농도 규제와 총량규제를 병행하여 초과시 벌과금을 부과하도록 해야 한다.

3. 분뇨의 관리방안

하수도 정비가 진행되고 처리장의 운전이 본격화 된 경우의 분뇨처리 및 관리는 하수처리장과 연계시켜 적절한 방안을 강구해야 하며 이를 위해 다음과 같은 방안을 제시한다.

- (1) 하수처리구역의 지역에서는 당분간 현재의 정화조를 계속 활용해야 할 것이나 목적하는 처리효율을 얻지 못하고 있는 혐기성처리 위주의 정화조와 분뇨처리 시설에 대한 시설기준과 유지관리 지침 등에 대한 보완이 요구된다.
- (2) 하수처리구역내에서는 모든 하수처리장이 분뇨를 직접 하수관거에 투입하는 것을 전제로 설계되었으나 관거의 불량으로 분뇨의 직투입이 어려운 상태이다. 따라서 관거가 완전히 정비되기까지는 분뇨처리장을 하수처리장과 연계운전시키도록 해야 한다. 관거정비가 완료되는 시점에서는 분뇨정화조를 폐쇄시키고 분뇨를 하수관거에 직접 방류하도록 하며 이 경우 기존의 분뇨처리장도 폐쇄시키거나 또는 하수처리장의 슬러지 처리시설로 활용하는 방안을 고려하는 것이 바람직하다.

VI. 결 언

하수도 사업의 역사가 짧은 국내 하수도 시설의 현황과 계획을 검토함으로써 문제점들을 파악하고 적합처리시설, 산업폐수 및 분뇨관리, 하수관거정비에 관한 기본방향을 제시하였다. 외국의 기술에 의존하여 짧은 기간내 많은 사업을 시행함에 따라 기술적인 검토가 충분히 이루어지지 못한 상태로 여러가지 문제점들을 발견하였으며 이들을 보완 개선해 나갈으로써 보다 효율적인 하수도 사업이 시행될 수 있을 것이다. 그러나 본 논문에서 제시된 방안들은 전국적인 관점에서 방향을 제시한 것으로 각 지역에 따라서 특수조건들을 감안하여 보다 상세한 조사분석이 시행되어야 하고, 특히 적합처리시설의 선정은 본 논문에서 제시한 방안을 기본으로 하여 pilot plant 등의 실험을 통해 이루어져야 한다.

참고문헌

- 1) 건설부, "하수도 정책방향 연구", 1988.
- 2) 건설부, "하수도 시설정비를 위한 조사 연구", 1991.
- 3) 환경처, "환경백서", 1991.
- 4) 환경청, "농촌 소규모 취락지역 오수처리시스템 개발사업", 1989.
- 5) 한국건설기술연구원, "소도시 및 읍면 인구밀집 지역의 최적 소규모 하수처리시스템 개발에 관한 연구", 1988.
- 6) Sang Eun Lee et al, "Enhancement of Phosphorus and Nitrogen Removal with a side stream biological nutrient

- removal process" 3rd IAWPRC Regional Conference, Asian Waterqual '91, 1991.
- 7) Sang Eun Lee et al, "Rehabitation of Sewer System in Metropolitan Seoul" 2nd WEF Asia/Pacific Rim Conference on water Pollution Control, 1992.
- 8) R.C. Palange and A. Zavala, "Water Pollution Control-Guidelines for Project Planning and Financing" World Bank Technical Paper No. 73, 1987.