

# 오 · 폐수의 질소, 인 제거기술과 상수원 관리 대책

Removal Nitrogen & Phosphorus in wastewater and reservoir protection



**조 현 구**  
 환경부 한강환경감시대장  
 환경부 토양관리과, 수질제도과, 평가분석과, 토양보전과 서기관 역임



**임 우 혁**  
 환경부 한강환경감시대총괄계장  
 건국대 환경공학과 동대학원 환경공학과 수질오염방지전공(석사)

## 전 체 목 차

1. 서 론
2. 국내 수질오염원별 특성
  - 2-1 오염원 및 오 · 폐수처리현황
  - 2-2 산업폐수
  - 2-3 축산폐수
  - 2-4 기타
  - 2-5 팔당호 및 잠실상수원 수질현황
  - 2-6 갈수기 한강수계 상수원 수질오염도 현황
3. 우리나라의 총인 총질소 규제 및 외국의 현황
4. 질소와 인의 제거방법
  - 4-1 질소의 제거원리
  - 4-2 인의 제거원리
  - 4-3 일반적인 질소, 인 처리방법과 효율
5. 생물학적 영양성분 제거공정
  - 5-1 생물학적 질소제거 공정
  - 5-2 생물학적 인제거 공정
  - 5-3 생물학적 질소, 인 동시 제거공정
6. 국내 질소, 인의 제거기술 현황
7. 상수원 관리대책
  - ◇팔당호 관리대책
  - ◇잠실수중보 관리대책

중영양상태에서 부영양상태로 진행되고 있다.

질소나 인 등의 영양염류가 호소로 유입되면 조류의 과잉번식을 유도하고 용존산소가 고갈되어 호소의 수질이 악화되어 각종 용수원으로서 가치를 상실하게 됨에 따라 수자원 확보라는 차원에서 양적, 질적인 심각한 문제에 봉착하게 된다.

현재 국내에서 운영중이거나 건설중인 환경기초시설의 대부분이 활성슬러지법을 기초로한 2차 처리시설로 유기물만 주로 제거되고 있으며, 질소, 인 등의 영양성분은 미처리된 채 방류되고 있어 3차 고도처리의 필요성이 제고되어 왔으나, 이에 대한 기술개발은 국내 일부연구소 및 대학에서 기초연구에 불과한 실정이다.

따라서 정부에서는 '96. 1. 1부터 수질환경보전법에 총인과 총질소의 방류수 수질기준을 명시하여 규제하고 또한 환경기초시설의 투자 확대 및 과학 기술 선도기술개발사업(G-7 PROJECT)중 환경공학기술 분야에 오 · 폐수 탈질, 탈인기술개발을 착수하는 등 국내 호소 및 주요상수원의 수질 보전을 위한 노력을 계속하고 있다.

## 1. 서 론

우리나라 상수원은 대부분 하천을 막아 만든 다목적댐으로 조성된 인공호로 수리학적 체류시간이 길고 주변에 상존하는 오염원들로부터 질소, 인 등 영양성분이 유입되어 상수원의 절반이상이 이미

## 2. 국내 수질 오염원별 특성

○수질오염의 배출원으로는 크게 점오염원과 비점오염원으로 나눌 수 있으며 점오염원은 산업

폐수, 도시하수처리장, 가축사육장, 위생매립장 등이고 비점오염원으로는 자연림지역, 비료나 농약을 사용하는 논 밭 등으로서 아래 그림과 같은 발생경로를 거치며 가장 많은 것이 생활하수이다.

(수질오염물질의 발생경로)

구분	수질오염원	배출물질	강·호수
비점오염원	산림	농약, 비료, 유기물질	↓ 수질오염 ↓ 희석,부영양화 ↓ 침전 ↓ 산화 ↓ 환원
	농경지	농약, 비료, 유기물질	
	도로	유류성분, 탄화수소	
	가두리양식장	사료찌꺼기, 어분, 어체	
	낙시 기타	음식찌꺼기, 쓰레기	
점오염원	가정, 사무실	생활하수, 분뇨, 합성세제	
	공장, 사업장	화학물질, 중금속, 유기화학물질	
	축산시설	축산폐수, 가축분뇨	

2-1 오염원 및 오·폐수처리현황

○팔당특별대책지역 및 한강상수원의 오·폐수발생량은 총 391천m<sup>3</sup>/일로서 생활하수 284천톤(72%), 산업폐수 100천톤(26%), 축산폐수 6.7천톤(2%)이며 하수처리현황은 <표 1>과와 같다  
○분뇨의 발생량은 대략 1Lpcd로서 전국적으로 '97년말 기준 약 46,872톤/일이며, 수거식이 약

16%인 7,563톤/일이며 나머지 84%인 39,309톤/일은 수세식 변소에서 하수화 되고 있으며 분뇨의 오염도는 <표 3>과 같이 생활하수에 비하여 오염도가 상당히 높다.

<표 3> 분뇨 오염도현황

항 목	CODcr	BOD	SS	T-N	T-P
분뇨의 오염도 (단위:ppm)	65,000	20,000	35,000	5,000	1,000

2-2 산업폐수

○산업폐수의 유량과 오염물의 농도는 공장의 규모, 생산제품의 종류, 관리상태, 노동자의 근무태도 등에 따라 크게 변하므로 단적으로 표현하기는 어려우나 생산제품의 종류에 따라 함유하는 오염물질의 종류가 주로 결정된다.

○국내 산업폐수 발생량은 '97년말 현재 3만7천여 업체에서 406만여톤이 발생하여 그중 261만여톤을 방류하여 생활하수 배출량에 비해 16.0% 정도이나 업종별 원단위 조사 결과 총질소 제거 효율이 0~58%, 총인 제거효율은 약38.4~86%정도로 처리수의 부하량은 상당히 높게 나타난다.

<표 1>오염원 현황

'97년말 기준

지역	오염원	발생량계	생활계		산업계		축산계	
			인구	발생량	업소수	발생량	마리수	발생량
계		390,970	1,021,539	284,164	793	100,077	소 : 75,073 돼지: 341,831	6,729
팔당특별 대책지역		205,019	531,179	142,634	510	56,533	소 : 57,067 돼지: 321,242	5,852
한강 상수원		185,951	508,360	141,530	283	43,544	소 : 18,006 돼지: 20,589	877

<표 2>환경기초시설 확충

(단위 : 톤/일)

지역	종류	계		하수		분뇨		축산		간이오수	
		개소	용량	개소	용량	개소	용량	개소	용량	개소	용량
계		55	320,380	20	314,500	12	745	13	2,395	10	2,740
팔당특별 대책지역		51	160,140	19	154,500	9	505	13	2,395	10	2,740
한강 상수원		4	160,240	1	160,000	3	240	-	-	-	-

\* 하수처리장 20개소 등 총 55개 환경기초시설이 가동중임

〈표 4〉 업종별 폐수배출 원단위

업종	구분	BOD	COD	T-N	T-P	업종	구분	BOD	COD	T-N	T-P
종이제조 시설	원폐수부하량	224	112	7.13	0.48	가죽 및 모피 제조시설	원폐수부하량	6,348	6,084	450.74	26.07
	처리수부하량	63	50	7.13	0.29		처리수부하량	310.92	170.13	279.7	6.46
	처리효율	71.88	5536	0	39.58	처리효율	95.1	97.2	37.9	75.22	
식품 제조시설	원폐수부하량	2,421	725	13.37	13.81	섬유 제조시설	원폐수부하량	987	929	103.4	11.25
	처리수부하량	12.88	24.09	17.87	11.87		처리수부하량	116	183	35.6	3.45
	처리효율	99.47	96.68	33.66	85.95		처리효율	88.25	80.3	65.49	69.33
음료 제조시설	원폐수부하량	164	574	37.76	17.22	가공금속 장비 제조시설	원폐수부하량	288	81.3	51.99	21.46
	처리수부하량	13.4	21.9	15.86	7.34		처리수부하량	16.6	18.9	35.74	11.47
	처리효율	61.83	96.18	58.0	57.38		처리효율	94.24	76.75	31.26	46.55

2-3 축산폐수

○육류소비의 증가에 따라 팔당특별대책지역 및 한강상수원 유역의 가축사육두수도 계속 증가하는 추세로 환경부 통계에 의하면 '97년말 현재 소·말 75,073두, 돼지 341,831두를 사육하고 있으며, 축산폐수의 수질은 가축의 종류와 사육방법, 사료의 종류, 축사의 청소방법 등에 따라 결정된다.

○다음 표들은 가축의 오염부하량 원단위 및 축산폐수의 총질소 총인의 배출원단위를 나타낸 것이다.

〈표 5〉 가축의 오염부하량 원단위

(단위 : g/두 일)

가축/항목		BOD	SS	T-N	T-P
소	한우	640	3,800	128	72
	젖소	170	4,345	126.5	187
돼지		125	356	20.4	16.8
가금		12.5	18	0.36	0.78
말		640	3,800	128	72

〈표 6〉 축산폐수 발생량 및 배출원단위

구분	폐수배출량 및 농도(mg/l)					배출원 단위(g/두·일)			
	발생량(l)	BOD	SS	T-N	T-P	BOD	SS	T-N	T-P
한우	33	2,900	1,230	446	60	95.7	40.6	14.7	2.0
젖소	40	2,790	1,270			111.6	50.8	7.8	2.4
돼지	12.5	2,510	1,660	445	150	34.1	20.8	5.6	1.9
말	33	2,900	1,230	446	60	95.7	40.6	14.7	2.0

2-4 기타

○토지이용에 따른 경우 유출수의 총인 총질소 부하량 및 내수면 양식업에 의한 총질소 총인 부하량은 〈표 7〉과 같다.

〈표 7〉 오염부하량

구분/항목	BOD	SS	T-N	T-P	단위
전	7.1	7.59	2.33	0.17	kg/km <sup>2</sup> ·일
답	5.12	4.41	2.33	0.17	
임야	0.96	1.26	0.55	0.013	
대지	87.59	227.73	0.759	0.027	
기타	0.96	1.26	0.759	0.027	
가두리양식	86.0	150.0	10.52	5.37	g/km <sup>2</sup> ·일
유수식양식	38.4	68.7	5.15	0.978	

2-5 팔당호 및 잠실상수원 수질현황

○현재 팔당호의 수질 상태는 〈표 8〉과 같으며 이보다 더욱 악화된다면 각종 용수원으로서의 기능을 하지 못할 것으로 우려되며 팔당호 수질 오염도는 '92년 BOD 1.1mg/l에서 매년 높아져 '95년 1.3, '96년 1.5로 매년 증가추세였으나,

'98년 1.5mg/l로 수질이 안정되고 있으며 북한강, 남한강의 경우 '96년 이후 오염이 감소되고 있는 추세이나 왕숙천의 경우 크게 개선되지 않고 있는 실정으로, 팔당댐 방류량과 왕숙천의 영향을 받는 잠실의 경우 또한 크게 개선되지 않은 실정이다.

○부영양화의 오염요인인 총질소와 총인은 <표 8>과 같이 '99. 4월 현재 팔당호와 잠실상수원이 각각 5급수의 수질기준인 2.485mg/l와 2.490mg/l로 나타났으며, 총인은 3급수의 수질기준인 0.040mg/l와 0.037mg/l로 나타나 우선 부영양화 오염요인 저감대책수립이 시급한 것으로 나타나고 있다.

<표 8> 팔당호 및 잠실상수원 수질등급

항 목	단 위	팔 당 호		잠 실 상수원	
		99년4월 수질등급	99년4월 수질등급	99년4월 수질등급	99년4월 수질등급
수소이온 농도	pH	8.5	-	8.7	-
용존 산소량	mg/l	12.1	1급수	9.2	1급수
BOD	mg/l	1.9	-	2.7	2급수
COD	mg/l	3.1	3급수	4.4	-
SS	mg/l	6.5	3급수	6.4	1급수
대장균수	MPN/100ml	46	1급수	300	2급수
총질소	mg/l	2.485	5급수	2.490	★5급수수준
총인	mg/l	0.040	3급수	0.037	★5급수수준

★잠실수중보는 일반적으로 호소로 보지 않지만, 보를 막음으로써 물의 흐름이 느려지기 때문에 질소, 인에 의한 조류발생과 이로 인한 BOD 상승이 발생함

2-6 갈수기 한강수계 상수원 수질오염도 현황

※ 갈수기간 - 전년('97. 11 ~ '98. 3)  
금년('98. 11 ~ '99. 3)

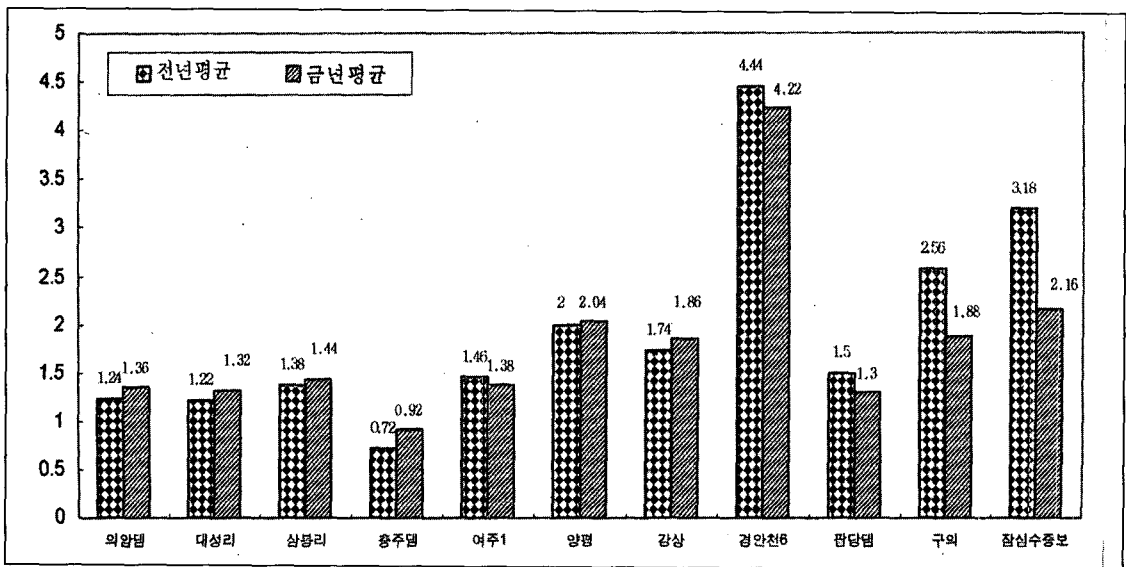
<표 9> 수질측정망 주요지점 (BOD)

(단위 : mg/l)

의암댐	대성리	삼봉리	홍주댐	여주1	양평	강상	경안천6	팔당댐	구의	잠실 수중보
1.36 (1.24)	1.32 (1.22)	1.44 (1.38)	0.92 (0.72)	1.38 (1.46)	2.04 (2.0)	1.86 (1.74)	4.22 (4.44)	1.30 (1.50)	1.88 (2.56)	2.16 (3.18)

※ 자료 : 환경부 수질측정망 분석자료

( )로 전년 동월 수치임.



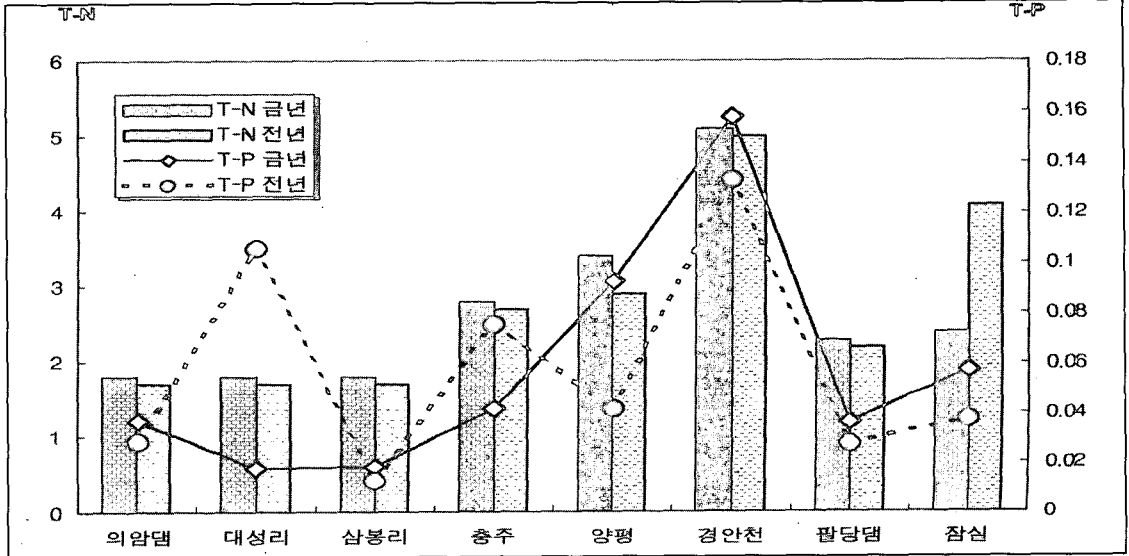
(그림 1) 상수원 수질(BOD) 오염 전년대비 변화

<표10> 갈수기 주요지점 영양염류 현황

(단위 : mg/l)

구분	의암댐	대성리	삼봉리	충주	양평	경안천	팔당댐	잠실
T-N	1.8 (1.7)	1.8 (1.7)	1.8 (1.7)	2.8 (2.4)	3.4 (2.9)	5.1 (5.0)	2.3 (2.2)	2.4 (4.1)
T-P	0.036 (0.028)	0.017 (0.105)	0.018 (0.012)	0.041 (0.075)	0.092 (0.041)	0.158 (0.133)	0.036 (0.027)	0.057 (0.037)

\* ( )는 전년 동월 수치임.



(그림 2) 갈수기 주요지점 영양염류 현황

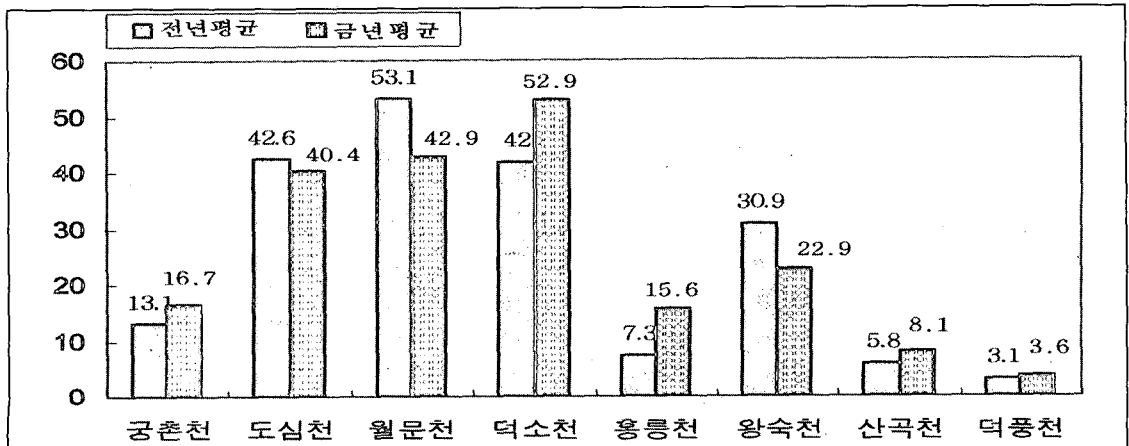
<표11> 팔당하류 지류천 수질현황 (BOD)

(단위 : mg/l)

궁촌천	도심천	월문천	덕소천	홍릉천	왕숙천	산곡천	덕풍천
16.7 (13.1)	40.4 (42.6)	42.9 (53.1)	52.9 (42.0)	15.6 (7.3)	22.9 (30.9)	8.1 (5.8)	3.6 (3.1)

\* 자료 : 서울시 수도기술연구소

( )는 전년 동월 수치임.



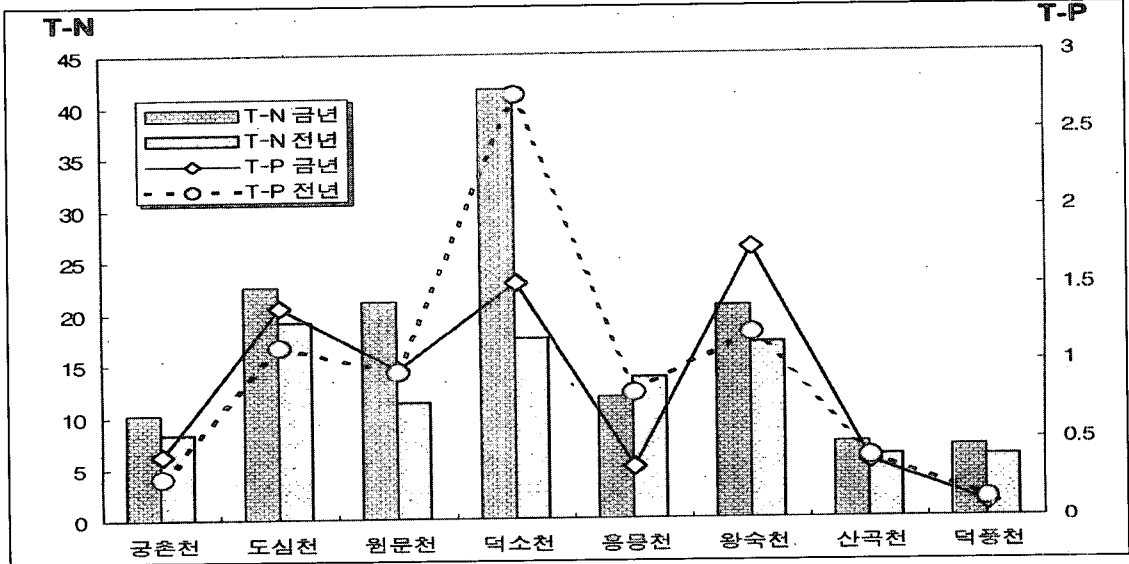
(그림 3) 팔당하류 지류천 BOD 전년대비 변화

〈표 12〉 팔당하류 지류천 영양염류

(단위 : mg/l)

구분	공촌천	도심천	월문천	덕소천	홍릉천	왕숙천	산곡천	덕풍천
T-N	10.3 (8.4)	22.6 (19.2)	21.1 (11.4)	41.6 (17.5)	11.8 (13.7)	20.5 (17.0)	7.2 (6.0)	6.8 (5.9)
T-P	0.417 (0.272)	1.367 (1.114)	0.966 (0.950)	1.521 (2.734)	0.334 (0.808)	1.742 (1.192)	0.366 (0.396)	0.087 (0.116)

※ ( )는 전년 동월 수치임.



(그림 4) 팔당하류 지류천 영양염류 현황

[ 댐 수리수문 현황 ]

〈표 13〉 댐 방류량

댐명	방류량(CMS)					
	평균	'99. 3	'99. 2	'99. 1	'98. 12	'98. 11
소양댐	83.2 (55.6)	84.0 (60.5)	80.7 (55.1)	57.5 (56.2)	151.7 (47.2)	42.3 (58.9)
충주댐	76.9 (64.9)	66.6 (85.4)	70.8 (50.1)	70.3 (53.8)	72.4 (70.2)	104.3 (5,941.5)
팔당댐	130.5 (161.1)	153.0 (187.0)	148.1 (126.3)	136.1 (162.7)	36.8 (202.9)	178.6 (126.8)

※ ( )는 전년 동월 수치임.

※ 충주댐의 방류량 평균중 전년 수치는 '97.11월을 제외한 4개월의 평균임.

〈표14〉 강수량 현황

댐명	강수량(mm)					
	계	'99. 3	'99. 2	'99. 1	'98. 12	'98. 11
소양댐	110.0 (187.1)	44.8 (31.1)	6.2 (12.6)	0.7 (11.7)	15.8 (109.6)	42.5 (22.1)
충주댐	86.5 (226.4)	39.2 (25.4)	1.3 (9.9)	2.0 (23.0)	31.0 (39.6)	13.0 (128.5)
팔당댐	89.4 (218.7)	49.6 (47.8)	6.8 (26.9)	2.0 (10.4)	11.7 (98.0)	19.3 (35.6)

※ ( )는 전년 동월 수치임.

【수질오염도 및 수리수문 분석】

(1) 갈수기 한강수계 주요지점 수질오염도 현황

○BOD는 전년 동기간 비교시 대부분의 지점에서 전년과 비슷한 수준이나 경안천6지점(광동교)과 하류지역인 팔당댐, 구의, 잠실수중보지점은 감소현상을 보였으며 이는 팔당댐 방류량이 전년도에 비해 약 50CMS 증가되어 하천유지 용수량 200CMS에 접근되어 갈수현상이 감소된 것으로 사료됨.

○강상지점이 전년도 동기간보다도 높은 것은 이 지역이 축산농가가 많아 초기강우량 증가에 의해 유기물 유출이 증가된 것으로 사료되며,

○영양염류 인 T-N, T-P는 전 지점에서 전년도보다 높게 나타나고 있는데 이는 금년 강수량이 전년 동기간보다 상대적으로 적은 결과라고 판단됨.

○팔당하류 지류천 수질현황은 지점별로 변동추세에 차이가 있으나 대부분의 지점에서 가뭄이 지속됨에 따라 유량이 감소하여 수질이 다소 악화되는 경향을 나타내고 있으며 특히 덕소천과 홍릉천은 인근 대단위 아파트 건설로 인한 인구 밀집화와 구리하수처리장으로 유입되는 차집관거 공사가 2~3년 지연되고 있어 큰 문제점으로 대두되고 있음.

○팔당댐을 제외한 상류댐은 강수량은 감소하였으나 방류량이 증가하여 수질오염도 개선에 영향을 미친 것으로 보임.

(2) 댐 방류량 및 강수량

○북한강수계인 소양댐은 방류량의 경우 83.2CMS로 전년 동기간 55.6CMS에 비해 27.6CMS 증가하였으나 수계지역의 강수량은 110mm로 오히려 전년 동기간에 비해 77.1mm 감소한 상대적 기후 특징을 나타내고 있음

○남한강수계인 충주댐은 방류량의 경우 76.9CMS로 전년 동기간 64.9CMS에 비해 12CMS 증가하였으나 강수량은 86.5mm로 전년 동기간에 비해 139.9mm 감소하여 전년의 38% 수준을 기록함.

○한강본류에 영향을 미치는 팔당댐의 경우 방류량은 동기간중 130.5CMS로 전년 동기간의 161.1CMS에 비해 30.6CMS 감소하였고 강수량도 89.4mm로 전년의 218.7mm보다 129.3mm감소하여 전년의 40.9% 수준에 불과함.

3. 우리나라의 총인, 총질소 규제 및 외국 의 현황

○우리나라는 '96년 1월 1일부터 환경부장관이 정하여 고시하는 특정호소 등의 지역에 대해서 총질소 총인의 폐수 배출허용기준을 다음 표와 같이 정하여 규제하고 있다.

○그러나 일반적인 도시하수중의 질소의 농도(15~50mg/l) 및 인의 농도(5~15mg/l) 보다도 배출허용기준이 높아 실효성이 없는 문제와 반대로 하수처리장 유입수농도가 수처리효율 및 기술측면에서 너무 낮아 우리실정에 적용가능한 실용기술개발이 필요한 실정이다.

〈표 15〉 배출허용 기준 (단위 : mg/l)

구분	1일 폐수배출량 2,000㎡ 이상			1일 폐수배출량 2,000㎡ 미만			T-N	T-P
	BOD	COD	SS	BOD	COD	SS		
청정 지역	30	40	30	40	50	40	30 이하	4 이하
가 지역	60	70	60	80	90	80	60 이하	8 이하
나 지역	80	90	80	120	130	120	60 이하	8 이하
특례 지역	30	40	30	30	40	30	60 이하	8 이하

○호소수의 부영양화는 주로 과다한 질소와 인의 존재에 의해서 발생하게 되는데 우리나라 상수원은 대부분 하천을 막아 만든 다목적댐으로 조성된 인공호로 수리학적 체류시간이 길고 주변에 상존하는 오염원들로부터 질소, 인 등의 영양성분이 유입된 실정이다.

○이러한 오염요인에 따라 舊 환경보전법 시행령에서 89년 1월부터 호소수의 수질관리를 위해

질소, 인을 선진외국의 수준으로 엄격하게 수질 환경기준으로 추가 설정하였으나 국내 주요호소 절반이상이 중영양화상태에서 부영양화상태로 진행되고 있어 현실정을 고려하여 <표16>과 같이 환경정책기본법 시행령을 개정('93.12. 31) 하여 기준치를 완화하였다.

<표 16> 호소수에 대한 총질소·총인 수질기준 (단위: mg/l)

항목 등급	I	II	III	IV	V
총질소	<0.2 (0.1)	<0.4 (0.2)	<0.6 (0.4)	<1.0 (0.6)	<1.5 (1.0)
총인	<0.010 (0.005)	<0.030 (0.010)	<0.050 (0.030)	<1.100 (0.050)	<0.150 (0.100)

\* ( )는 舊 환경보전법 시행령에서 '89.1.1이후부터 적용한 수질환경기준치임.

<표 17> 환경기초시설 방류수 수질기준 (단위: mg/l)

구 분	BOD	COD	SS	T-N	T-P
분뇨종말처리시설	30	-	30	60이하	80이하
축산폐수공동처리시설	30	-	30	60이하	80이하
하수종말처리시설	20	40	20	60이하	80이하
폐수종말처리시설	30	40	30	60이하	80이하

O이에 비하여 외국에서 정하고 있는 처리수의 질소와 인의 기준은 <표 18>과 같이 규제가 필요한 지역은 우리나라 보다 훨씬 강한 기준을 정하고 있으며, 또한 처리수의 질소, 인의 규제는 일률적인 기준에 의하지 않고 방류수역의 특성에 따라 총량적인 개념을 근본으로 하여 기준이 정해지고 있는 것을 알 수 있다.

<표 18> 외국의 질소와 인의 방류수 기준 예 (단위: mg/l)

지 역	T-N	T-P
한국	60	8
핀란드	15	0.5
덴마크	8~12	0.3~0.5
남아프리카	10	1.0
호주	5~10	1.0

지 역	T-N	T-P
스위스	-	1.0
일본		
가스미가우라(호북)	12	0.3
가스마가우라(수향)	15	0.4
비파호	10	0.5
하마마쯔	5	1.0
네덜란드	10~15	1~2
스웨덴	-	1.0
노르웨이	-	0.3~0.4
독일	10~15	0.5~1.0
미국		
오대호지역	3.2~19.3*	1.0
플로리다	3	1.0
포토맥강 하류	-	0.2~1.0
Susquehanna 강하류	-	2.0
워싱턴 D.C	-	0.23
Reno-sparks	-	0.5
Lake-Tahoe	-	1.0

\* 암모니아성 질소만 규제

O우리나라의 수질보전대책은 이제까지 BOD제거에 주안점을 두어 왔다. 그러나 호소, 수원지 등의 보전을 위해서는 질소, 인 등 영양물질에 대한 규제를 강화하고, 각종 폐수처리시스템의 질소, 인 제거 기술의 개발 및 시설보급이 필수적으로 요구되는 시기가 되었다.

O이에 따라 정부 및 기술개발메이커의 수질보전을 위한 노력과 주민의 환경보전에 대한 관심이 한층 강화되는 때이다

#### 4. 질소와 인의 제거 방법

##### 4-1 질소의 제거원리

O폐하수로 유입되는 질소는 암모니아와 같은 무기물 형태와 요소, 단백질 등과 같은 유기물의 형태로 존재하게 된다. 질소는 생태계의 필수 영양소이나 과량이 방출될 경우 수중에 조류증식에 의한 부영양화가 발생되어 수질오염을 유발하게 되고 질산화 과정에서 용존산소를 고갈시키는 등의 수중생태계 파괴로 자연환경에 악영향을 미치게 된다. 기존에 개발된 질소제거방법



은 물리 화학적 제거방법과 생물학적 제거방법으로 나눌 수 있다.

○ 물리 화학적 제거 방법

- 일반적으로 생물학적 질소제거가 효율적이긴 하지만 특별한 경우 물리 화학적 처리가 더욱 경제적인 경우가 있으며 대표적인 방법으로 Breakpoint Chlorination, 암모니아 Stripping, 이온교환법 등이 있다.

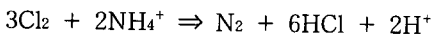
○ 생물학적 제거 방법

- 단백질, 요소와 같은 유기물의 형태와 암모니아와 같은 무기물형태로 존재하는 질소원중에서 유기질소는 미생물에 의해 암모니아로 분해되고 분해된 암모니아는 미생물의 증식에 필요한 영양소로 흡수되거나 에너지원과 전자 수용체로 사용되어 질소가스로 제거한다.

○ 물리화학적 제거 방법

- Breakpoint Chlorination

- 폐하수의 암모니아성 질소가 염소와의 화학적 반응을 통하여 질소가스로 제거되는 공정으로 암모니아 농도를 100%가깝게 제거할 수 있는 방법이지만 폐하수내의 유기질소와 질산성 질소가 포함되어 있을 경우에는 제거 효과가 미미하며, 아래 식과 같이 산성화합물이 생성되므로 Lime등의 중화제 투입이 필요하다.



- 이론적으로는 pH 6~7에서 반응이 15초 정도에 완료된다고 하나 실제로는 다른 Chlorine demand를 제거하는 등의 이유 때문에 길게는 2시간이 소요될 수 있으므로 폐수의 특성에 따라 적절한 접촉시간을 보장해야 한다.

- 암모니아 Stripping

- 유입하수의 pH를 10-11이상으로 높인 후 수중의  $NH_4^+$ (암모늄이온)을  $NH_3$ (암모니아)분자형태로 변형시킨후 Air Stripping으로 공기와 접촉시켜 제거하는 방법이다.
- 본 공정은 유기질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 제거 효율이 낮으며 동절기에는 처리 효율의 저하로 운전상의 어려움과 Air Stripping

탑내에 탄산칼슘의 scale이 생성되는 단점이 있다.

- 이온교환법

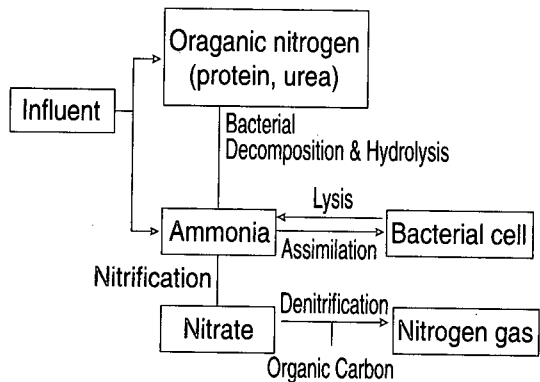
- 폐하수중 암모늄염을 선택적으로 치환하는 특성이 강한 Clinoptilolite colum을 통과 시킴으로써 암모늄이온을 제거하는 방법이다. 본 공정은 동절기에도 사용이 가능하며 암모니아의 제거 효과는 90%이상으로 높으나 유기질소, 아질산성 질소, 질산성 질소 등은 처리되지 않는 단점이 있다.

- 이 외에도 용해성 고형물질을 제거하는 방법인 전기투석법과 역삼투압법 등이 있다.

○ 생물학적 제거 방법

- 생물학적 2차 처리방법은 BOD나 SS 처리도를 향상시키는데 주안점을 둔 공정으로 질소의 제거 효율이 낮다. 질산화과정에서 일부 질소가 미생물의 세포로 동화되고 이를 잉여슬러지로 제거함으로써 질소제거 효과가 나타나게 되며 총질소 제거율이 10~20%정도로 미미하다. 따라서 활성슬러지공법을 일부 변형한 질소제거공정이 연구개발되어 사용되고 있다.

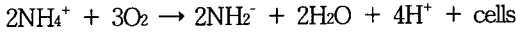
<미생물의 동화작용에 의한 질소제거>



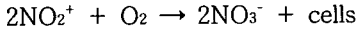
- 질산화(Nitrification)

- 호기성상태에서 암모니아가 Nitrosomonas와 Nitrobacter에 의해 아질산을 거쳐 질산으로 산화되는 과정으로 아래와 같이 표현된다.

*Nitrosomonas*



*Nitrobacter*



- 질산화 미생물의 활동은 여러종류의 화학물질에 의해 저해를 받으며 <표 19>는 활성슬러지 질산화공정에 영향을 미치는 산업체에서 많이 사용하는 물질과 각 물질들이 약 75%의 저해 영향을 미치는 농도를 나타낸다.

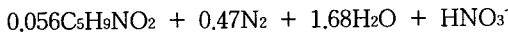
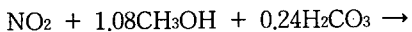
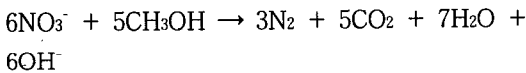
<표 19> 산업체에서 많이 사용하는 활성슬러지 질산화에 영향을 미치는 물질

물 질	농도(mg/l)*
Acetone	2,000.0
Carbon disulfide	35.0
Chloroform	18.0
Ethanol	2,400.0
Phenol	5.6

\* : 75% 저해하는 농도

- 탈질(Denitrification)

- 미생물이 유기물을 분해할 때 산소대신 Nitrate를 Final Electron Acceptor로 사용하면서 Nitrate가 질소가스로 변화되는 것이 탈질반응이다. 탈질반응은 유기물의 분해반응이기 때문에 탄소원이 필요하며 탄소원으로는 Methanol이 주로 사용되고 진행되는 반응은 다음과 같다.



- 탈질반응은 탄소원의 종류에 따라 탈질률이 달라지며, 호기성 상태에서는 탈질률이 미미한 것으로 보고되고 있으며 특히 DO농도가 1.0mg/l 이상이면 탈질을 무시하는 것이 보통이다.

4-2 인의 제거 원리

○폐하수내 유입되는 인의 형태는 ortho-인산염, poly-인산염, 유기인산염의 형태로 존재하며 이

들은 용해성인과 불용성인으로 분류된다. 용해성인은 미생물 성장에 필수 영양소로 흡수 제거되나 그 제거량은 건조중량으로 2% 정도이므로 제거되는 양이 적다. 그러나 혐기성 상태에서 호기성 상태로 변화시켜줌으로써 미생물에 의한 인의 과잉섭취를 유도하고 이를 폐기 시킴으로써 인을 제거하는 공정이 실용화되고 있다.

○물리화학적 제거방법 : 인은 주로 생활하수, 농업배수, 비료공장등의 폐하수로부터 발생되며, 직접적인 발생원으로 인체 폐기물, 음식물찌꺼기, 가정용세제, 상업용세척제 및 세탁화합물 등을 들 수 있다. 물리화학적 제거방법으로는 금속염에 의한 응집침전법, Lime을 이용한 제거방법 등이 있다.

- 금속염에 의한 응집침전법

- 응집침전법은 알루미늄염과 철염을 첨가하여 불용성 인산염을 생성시켜 제거하는 방법으로 많이 사용되는 알루미늄염으로는 Alum, Sodium aluminate등이 있고 철염으로는 염화제1철, 염화제2철, Ferrous sulfate 등이 주로 사용된다. 이들 금속염은 폐하수의 알칼리도를 소모하여 침전을 형성하므로 알칼리도가 낮은 경우에는 처리상 문제점이 있다.

- Lime을 이용한 제거

- 금속염에 의한 응집침전법과 마찬가지로 최초 침전지 또는 최종침전지의 유출수에 Lime을 첨가함으로써 인을 제거하는 방법이다. Low lime system은 pH 9.5이하에서, High lime system은 pH 11.3이상에서 인을 제거한다. 그러나 Lime의 양이 폐하수내의 인의 양에 의해 결정되는 것이 아니라 총알칼리도에 의해 결정되므로 고가의 처리비용과 다량의 슬러지 발생이 문제가 될 수 있다.

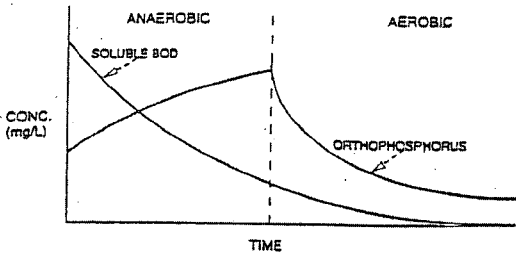
○생물학적 제거 방법

- 1965년 Levin과 Shapiro는 미국 콜롬비아지역의 활성슬러지 처리장으로부터 생물학적 인제거가 증진되는 것을 관찰한 후 인의 과잉섭취(Luxury Uptake)란 용어를 처음 사용하게 되

었다. 즉, 혐기성 상태에서 균체중의 유기물 저장과 동시에 인의 방출이 시작되고 호기성 상태에서 균체증식과 폴리인산을 축적하면서 일부의 인이 제거된다. 인의 제거에 관련된 세균은 Acinetobacter, Aeromonas, Pseudomonas 등으로 균체내에서 폴리인산을 축적하여 인이 제거되고 인의 방출은 미생물들이 유기물을 섭취해서 PHB(Poly-β-hydroxy butyrate)나 글루코겐 등과 같은 물질 축적시 필요한 에너지원으로 폴리인산을 가수분해 할 때 일어나게 된다. 인의 과잉섭취를 이용한 혐기-호기공법은 Phoredox공정을 시발로 Bardenpho, UCT등의 공정이 개발되었다.

- 인제거 원리

- 생물학적 인제거의 기본원리는 인의 제거에 관련된 균체들이 호기성 상태에서 다중인산염의 형태로 인을 과잉섭취하여 저장하며, 혐기성 상태에서 단순한 효소기질을 제거할 수 있는 능력을 가지고 세포안에 저장생물로 동화하여 인을 방출하게 된다. 다음 그림은 Phoredox system의 혐기성과 호기성지역에서 용해성 BOD (SBOD)와 Orthophosphorus(Pi) 거동의 전형적인 형상을 +보여주고 있다.



< 생물학적 인제거의 기본개념 >

- 균체내에 인을 과잉으로 섭취하는 메카니즘은 다음 2가지가 제안되어 왔다.

① 과잉섭취(Luxury uptake)

인 이외의 영양염류 등이 공급되지 않으면 균체의 분열이 중지되고 핵산의 합성이 정지되기 때문에 Poly-P kinase의 작용에 의하여 Poly-P가 세포내에 축적되는 현상

② Poly-P overplus

인 결핍상태에 있는 경우 Poly-P kinase의 활성이 10배 정도까지 높아져 공급되어진 인이 급격히 균체내에 Poly-P로서 축적되는 현상  
 • 그러나 이들 설명은 충분하지 않고 현재는 Poly-P가 가수분해할 때 생기는 높은 에너지가 세포로부터 인의 방출 및 세포내 인의 과잉 축적에 크게 기여하고 있다는 설이 주류를 이루고 있다. <표 20>은 생물학적 인제거 과정을 단계적으로 설명한 것이다.

<표20> 생물학적 인제거 단계

단 계	반 응
혐기성단계 1. Fermentation 2. 인의 방출	• SBOD가 SCFA로 변화됨(임의성미생물) • SCFA가 세포내로 이송 • 인의 방출 • SCFA는 PHB로 변화되어 축적
호기성 단계 1. 인의섭취 2. 새로운 세포의 합성	• PHB가 산화 • 인의 용액으로부터 제거됨 • 인의 풍부한 세포의 형성
인의제거 1. 슬러지 폐기	• 슬러지 폐기에 의한 인제거

<표 21> 일반적인 질소, 인 처리방법과 효율

방 법	제거효율(%)	
	질소	인
공기폭기법(Air stripping)	80~98	-
생물학적 질소의 탈질화 (Biological nitrification-denitrification)	60~95	-
전염소처리법(Break point chlorination)	80~95	-
조류제거법(Algae harvesting)	50~50	다량
표준활성슬러지법(Conventional activated sludge)	30~50	10~30
이온교환법(Ion exchange)	80~92	86~98
전기화학처리법(Electrochemical treatment)	80~85	80~85
전기투석법(Electrodialysis)	30~50	30~50
역삼투압법(Reverse osmosis)	65~95	65~95
증류법(Distillation)	90~98	90~98
토양살포법(Land application)	다량	60~90
화학침전법(Chemical precipitation)	-	88~95
화학침전 및 여과흡착법(Chemical precipitation with filtration)	-	95~98

## 5. 생물학적 영양성분 제거공정

○생물학적 영양성분 제거공정의 효시는 1914년 Arden과 Lockett에 의해 개발된 Fill and draw 방식의 활성슬러지 공정이었다. 그러나 이 방법은 폐수의 연속주입에는 부적합하여 1919년 Josbolten에 의해 연속주입이 가능한 활성슬러지 공정이 처음 개발되었으며, 1940년 Eckenfelder와 McKinney에 의해 이론적체계가 마련된 연속 완전혼합형 반응조가 출현함으로써 다량의 폐수처리가 가능하게 되었다. 이후 활성슬러지법을 일부 변형한 표준활성슬러지법, 장기폭기법 등과 활성슬러지공정에 혐기성 및 무산소공정을 적절히 조합한 Az/O, Five-Stage Bardenpho, VIP등의 여러공정들이 실용화되어 폐수처리에 사용되고 있으며 기존에 개발된 질소, 인제거의 여러공정은 다음과 같다.

### 5-1 생물학적 질소제거 공정

○폐하수중의 질소를 제거하기 위해서는 질산화와 탈질소화가 모두 필요하며 이 반응들을 위한 공정들은 침전조 수에 따라 Single sludge process, Dual sludge process, Triple sludge process로 구분되며 이외에도 4단 Bardenpho process등이 있다.

#### - Single sludge process

- 단일 슬러지 공정은 침전조가 하나이며, 질화균들과 탈질화균들이 공존하므로 탈질화균들이 산소에 노출되지 않도록 Baffle을 사용하거나 또는 가가 다른 반응조에서 진행시킨다.
- 이 공정의 특징은 탈질반응에 필요한 탄소원(Methanol)을 외부에서 공급함으로써 발생하는 비용을 줄이기 위해 폐수에 기 존재하거나 미생물이 분해될 때 생성되는 탄소원을 사용하는 것이다.

#### - Dual sludge process

- 이단 슬러지 공정은 첫번째 반응조에서 유기물의 제거와 질산화반응을 진행시키고 침전조를 거쳐 두번째 반응조에서 탈질소화를 진행

시키는 공정이다.

- 이 공정은 Triple 슬러지 공정에 비해 적은 양의 슬러지가 생성되므로 침전조용적을 줄일 수 있다. 탈질소화를 위한 두번째 반응조에 미생물의 고착화를 이용해서 반응조내의 미생물 농도를 증가시키고 질소 제거율을 향상시키며 반응기의 부피를 줄일 수 있는 Fixed bed, Fluidized bed, RBC(Rotating Biological Contactor)등의 여러가지 형태의 반응기도 사용할 수 있다.

#### - Triple sludge process

- 삼단 슬러지 공정은 유기물, 암모니아, 질소산화물을 각각의 반응조에서 제거하는 공정이다. 이 공정에서는 질산화 반응에 대한 유기물질의 영향을 줄이기 위해 유기물을 제거하는 반응조와 질산화조를 분리시킨 것으로 각각의 반응조에 최적의 조건을 유지시킬 수 있으므로 최대의 효율을 얻을 수 있어 공정의 안정도가 높은 반면 여러개의 반응조를 필요로 하는 단점이 있다.

#### - Four-stage Bardenpho process

- 4단 Bardenpho 공정에서는 폐수와 반응슬러지가 두번째 반응기(혐기성조)에서 반응된 질소산화물이 포함된 혼합물과 함께 첫번째 반응기(호기성조)로 유입되고 여기에서 위에서 언급한 두가지 탄소원을 이용하여 탈질 반응이 진행된다. 첫번째 반응기를 통과한 암모니아는 두번째 반응기에서 질산화를 거쳐 산화되며 첫번째 반응기에서 생성된 질소가스는 이곳에서 제거된다. 또다시 혐기성조 및 호기성조를 거쳐 잔류 질소원이 제거된다.

#### - Oxidation ditch process

- Oxidation ditch는 한 반응조에서 질산화와 탈질소화를 진행시키는 Loop형태의 반응조로서 폐수가 혐기성지역과 호기성지역을 통과하면서 유기물과 질소원이 제거된다. 이 공정은 탈질소화 반응을 1회 일으키므로 질소제거율이 Four-stage Bardenpho 공정에 비해 낮다.
- 이외에도 Semi-plus/CSTR을 이용한 공정,

두 반응조에서 Cyclic aeration을 이용한 공정 등이 있다.

5-2 생물학적 인 제거 공정

O인을 제거하기 위한 생물학적 공정으로 대표적인 것은 Phostrip, A/O공정, SBR등이 있다. 이 외에도 이들 공정을 변형하여 설계된 공정들도 있으며 공정의 선택 기준은 BOD/P이 비율이 20이하이면 유입수에 BOD양에 비교적 영향을 받지 않는 Phostrip공정이 사용되며 20이상이면 다른 공정을 선택하여 이용할 수 있다.

- Phostrip process

- 1965년에 Levin에 의해 개발된 공정으로 생물학적 방법과 화학적 방법을 조합한 공정이다.
- 폭기조에서 인을 과잉섭취한 미생물을 침전조에서 분리한 후 일부를 탈인조에서 8~12시간 혐기성상태를 유지시켜 세포외로 방출된 인을 Lime으로 침전시켜 제거한다. 또한 침전조에서 분리된 슬러지의 일부를 폐기함으로써 인

을 제거한다.

- 이 공정의 장점은 유입수의 BOD부하에 큰 영향을 받지 않고 유출수중 인의 농도를 1ppm 이하로 유지할 수 있다는 것이며 상당량의 인이 Lime슬러지로 제거되어 인을 과잉으로 함유하는 슬러지보다 처리가 용이하다.
- 또한 Lime주입량이 Alum이나 금속염과 달리 인의 양보다는 알카리도에 의하여 결정되고 탈인조 상등액이 총 유입 하수량에 비해 아주 적으므로 인을 침전시키기 위해 소요되는 Lime의 양은 순수화학적 처리방법보다 적어약품비가 절감된다.

- A/O process

- 비교적 단순한 A/O공정은 유입수와 침전조에서 반송된 슬러지가 먼저 혐기조로 유입되고 여기에서 탈인균들이 발효생성물을 섭취함과 동시에 인을 방출한 후 호기성조에서 인을 과잉 섭취한다. 여기서 발생한 슬러지를 침전조에서 분리하여 일부를 폐기함으로써 인을 제

<표 22> 생물학적 인 제거 공정의 장점과 단점

공정	장점	단점
A/O	①다른 공정에 비해 비교적 간단하다. ②폐슬러지는 3~5%정도의 비교적 높은 인이 함유되어 있어 비료로써의 가치가 있다. ③수리학적 체류시간이 비교적 짧다. ④인 제거 효율의 저하가 용납되는 경우에는 완벽한 질산화를 달성할 수 있다.	①고농도의 질소와 인을 동시에 제거하는 것은 불가능하다. ②동절기 저온에서 처리상태가 불확실하다. ③높은 BOD/인 비율이 필요하다. ④호기성 세포증식기간이 감소하여 고품의 산소공급장치가 필요하다. ⑤공정상의 유연성이 제한되어 있다.
Phostrip	①현존하는 활성슬러지 시설공정을 통해 쉽게 합성된다. ②공정에 유연성이 있다 : 인 제거 공정은 BOD/인 비율에 영향을 받지 않는다. ③미국에서 다수 설치했음. ④주로 사용되고 있는 화학침전보다 약품 사용량이 상당히 적다. ⑤오르토(또는 정)인산염의 농도가 1.5mg/l 이하인 배출수를 확실하게 얻을 수 있다	①인 침전물에 석회수를 첨가하여야 한다. ②마지막 정화과정에서 인의 방출을 막기 위해 혼합용액중에 더 많은 용존산소가 요구된다. ③인 제거를 위해 추가적인 탱크설비가 필요하다. ④석회 스케일이 끼는 것이 유지관리상 문제점이 될 수 있다.
Sequencing batch reactor	①질소와 인 제거를 겸비하여야 할 때 매우 유연한 공정이다. ②작동이 간단하다. ③수리학적인 유체의 변동(급변)에 의해 잘 씻겨나가지 않는다.	①유량이 작은 경우에만 적합한 공정 ②여분의 단위공정이 필요 ③자료의 이용상 설계에 제한이 있다. ④유출수의 수질은 용의를 얼마만큼 잘 분리하였는가에 좌우된다.

거하고 나머지는 반송한다.

- 이 공정은 비교적 짧은 고형물 체류시간을 가지며 다른 공정에 비해 높은 유기물 부하조건 하에서 운전이 가능하고 슬러지의 발생량이 많은 편이다.
- 본 공정의 인 제거율은 과량의 인을 함유하는 슬러지 폐기량에 따라 달라지게 되므로 시스템내 슬러지 체류시간(SRT)이 중요한 변수로 작용하게 된다.
- 한편 방류수에 함유된 부유물질(SS) 역시 인을 다량 함유하고 있으므로 일반적인 인의 방류기준을 만족하기 위해서는 방류수의 여과장치가 필요하다
- Sequencing Batch Reactor(SBR)
  - 최근 공정제어 기술의 발달과 함께 많은 연구가 진행되고 있는 SBR공정은 반응조에 유입된 하수를 혐기성 상태에서 교반하여 발효반응과 함께 탈인균의 인 방출을 유도하고 호기성 상태에서 인을 과잉 섭취하게 한 후 침전, 배수 과정을 통해 슬러지 및 처리수를 배출한다.
  - 앞에서 인을 제거하기 위한 생물학적 공정으로 Phostrip, A/O 공정, SBR에 관한 특성 및 설계조건 등에 대하여 언급한 바 있다. (설계조건 지면상 생략) 이들 공정은 유입수의 탄소농도, 인의 농도등에 따라 차이가 있고 각공정의 선정에 여러가지 장단점을 가지고 있으므로 선정에 유의가 필요하다.

5-3 생물학적 질소, 인 동시 제거공정

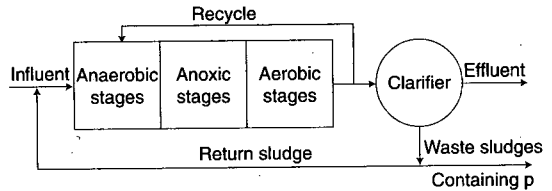
○ 생물학적 질소, 인 동시 제거 공정으로 대표적인 것으로는 A<sub>2</sub>/O, Five-stage bardenpho process, UCT, VIP 등이 있다.

- A<sub>2</sub>/O 공정

- A<sub>2</sub>/O 공정은 기존의 A/O공정의 혐기성조와 호기성조 사이에 Anoxic조를 첨가하여 질소 산화물과 인 등을 동시에 제거하는 공정으로 반송 슬러지의 질소산화물(NO<sub>3</sub>)의 함량을 감소시켜 탈인과정에서의 질소산화물의 영향을

줄일 수 있다. 호기성조로 부터 탈질소조의 순환은 대개 유입수의 100-300%에 달하며 인 제거율은 A/O공정에 비해 떨어지나 40-70%의 질소를 제거 할 수 있다.

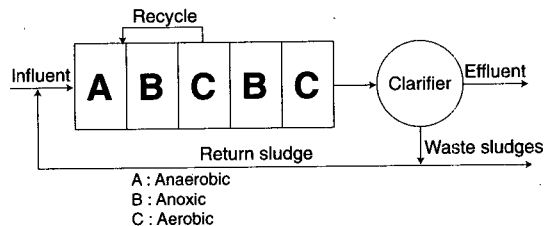
- 다음 그림은 이 공정의 개요도이다.



〈A<sub>2</sub>/O 공정〉

- Five-stage Bardenpho process

- A/O, A<sub>2</sub>/O공정들과는 대조적으로 낮은 유기물 부하에서 질소제거의 효율을 높이기 위해 설계된 것으로 기존의 Bardenpho 공정에 혐기성조를 첨가해 인을 제거할 수 있게 만든 공정이다
- 처리공정은 유입수와 반송슬러지가 혼합되어 혐기성조에서 발효반응과 인의 방출이 진행되고 내부에서 반송된 혼합액과 함께 첫번째 탈질소조에서 공정내부에서 발생된 질소산화물의 70%정도가 용해성 BOD와 함께 제거된다.
- 다음 호기성조에서 BOD, 암모니아, 인이 제거되고 두번째 탈질소조에서 미생물이 분해되어 생성된 탄소원을 이용하여 탈질소의 반응이 일어난다.
- 다음 그림은 이 공정의 개요도이다.



〈Five-stage Bardenpho 공정〉

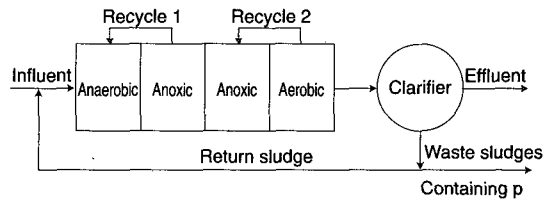
- UCT process

- 남아프리카 케이프타운대학에서 개발된 Bardenpho 공정을 변형시켜서 만든 공정으로

본 공정은 반송된 슬러지가 혐기성조 대신에 탈질소조로 유입되므로 혐기성조에서 미생물의 인 방출에 대한 질소산화물의 영향을 줄일 수 있다.

- 질소산화물들이 혐기성조에 있으면 탈질균들과 탈인균들 사이에 탄소원인 BOD를 위해서로 경쟁을 하기 때문에 탈인균들의 인 방출이 감소한다. 탈질소조로부터 혐기성조로 혼합물의 반송은 혐기성조의 BOD를 보충하기 위한 것이지만 호기성조로부터 탈질소조로 혼합물을 반송할 때는 질소산화물이 혐기성조로 유입될 가능성이 있다.
- 이를 보완하기 위한 변형 UCT공정은 두 개의 탈질소조를 두어 첫 번째조는 반송 슬러지의 질소산화물을 줄이고 두 번째조는 호기성조로부터 혼합물을 받아 공정전체의 질소제거를 높이기 위해 설계되었다.

• 아래 그림은 이 공정의 개요도이다.



(UCT 공정)

- VIP process

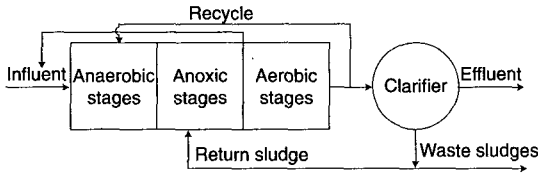
- VIP공정은 앞에서 언급된 UCT공정과 유사하나 UCT공정에 비해 고율의 운전을 위해 개발되었다.
- 본 공정은 Active biomass의 양을 증가시켜 운전함으로써 인제거 효율을 높임과 동시에 반응조의 용량을 감소 시킬 수 있는 것에 중점을 두었으며, 또한 혐기성, 무산소, 호기성 각 반응조에 완전 혼합조를 2개이상 직렬로

(표 23) 질소, 인 제거 공정의 장단점

공정	장점	단점
A <sub>2</sub> /O	①슬러지는 비교적 고농도의 인을 함유(3-5%)하며 비료로 사용할 수 있다. ②A/O공정보다 탈질률이 높다	①낮은 온도에서의 성능은 조작상태가 불확실하며, A/O공정보다 복잡하다
Bardenpho	①다른 생물학적 인제거 공정을 보다 슬러지 발생이 적다 ②A <sub>2</sub> /O공정의 ①와 같음 ③대부분의 다른 공정들보다 총질소 제거율이 높다. ④알칼리도는 재생으로 추가적인 알칼리제 첨가량이 필요없거나 감소한다. ⑤남아프리카에서 광범위하게 사용되며 실질적인 자원을 이용할 수 있다	①내부 사이클이 커서 펌프 동력과 유지관리의 비용증가 ②미국의 일부지역에서만 활용 ③화학적 첨가량이 불확실하다 ④A <sub>2</sub> /O공정보다 반응기 용적이 크다 ⑤초기과정에서는 질소와 인의 제거 공정능력이 감소된다. ⑥높은 BOD/P율이 요구 된다 ⑦공정 조작에 있어 온도 효과는 잘 알려지지 않았다
UCT	①혐기조로 재순환은 질산염을 제거하고, 혐기성균이 있는 혐기조에서 더 좋은 인 제거 환경을 만든다 ②Bardenpho 공정 반응기 보다 용적이 작다	①미국에서는 사용되지 않는다. ②Bardenpho공정 ①과 같음 ③Bardenpho공정 ②과 같음
VIP	①혐기조로 질산염의 재순환은 산소 요구량과 알칼리 소비를 줄인다 ②혐기조로 혐기조배출물의 재순환은 호기조에 질산염 축적을 줄인다 ③연중 발생하는 인의 제거와 계절적인 요인이 많은 질소 제거에 적합하다	①Bardenpho공정 ①과 같음 ②저온에서는 질소 제거 능력이 떨어진다 ③미국에는 가동 설비가 거의 없다

연결하도록 설계하여 반응기의 Plug-flow 특성을 적용할 수 있게 하였다.

- 따라서 호기성 조건의 완전혼합조중의 첫번째 반응조에서 유기물의 잔류량이 증가되어 인 제거효율을 증대시킬 수 있는 공정이다.
- 다음 그림은 이 공정의 개요도이다.



< VIP 공정 >

6. 국내 질소, 인등의 제거 기술 현황

○국내 폐하·수에 대한 생물학적 질소 인 제거에 대한 기술개발은 일부 기업들이 90년대 들어 소규모의 Pilot plant로 연구, 운전하면서 기존 외국의 공정의 적용 및 보완 등 기술개발을 힘쓰고 있으며 팔당상수원 특별대책지역내에 대표적으로 (주)대우의 DNR공정, 삼성의 DeN & P 공정 및 금호건설(주)의 KIDEA 공정 및 (주)한미 자연정화 처리공정(HBR)등이 있으나 지면상 공정의 개요 및 특징은 생략하고 국내 질소, 인제거 공정도입 개선공정을 비교하면 <표 24>과 같다.

<표 24> 국내 질소·인 제거공정

공법		DNR	De N&P	PL II	간헐방류식 장기포기공정	바실러스균을 이용한 질소·인 제거기술	KSBNR
항목	기 원	MUCT+VIP가 개선된 공정	A/O, A <sub>2</sub> /O 개선공정, MLET	개선된 Phostrip Process	호주, DPWS(1965)의 IDEA	Bacillus균의 우점배양	A/O 개선공정
	제거효율(%) 질소·인	65~85 75~85	Medel II data 50* 70* -14* 93*	65 80~90	평균 70% 이상 75~85	90 80	80 70
수처리공정	생물학적	질소·인	질소·인	질소·인	질소·인	질소·인	질소·인
	화학적		외부탄소원 공급	외부탄소원 공급		미생물 활성촉진제	
슬러지처리공정	내부순환	포기조→무산소조	MLE에서 적용	포기조→탈진조	×	포기조	반응조
	슬러지반송	침전조→1차 혐기조	MLE, De N&P 공정에 적용	침전조→탈진조	×	침전조→혐기성소화조	침전조→반응조
	슬러지처리조건	혐기	혐기	혐기	혐기	혐기	혐기
	반응조 구성	5단계 공정	6단계 공정	6단계 공정	단일반응조	5단계 공정	단일반응조+침전조
	기존시설에서의 적용(개선)	Pilot Plant 운영 (실증 Plant 적용)	Pilot Plant 운영	용문하수처리장 실증 Plant 적용	Pilot Plant 운영		Pilot Plant 운영 (오·폐수용)



7. 상수원관리 대책

팔당호 등 한강수계 상수원 수질개선 특별종합대책 중심으로

팔당호 관리대책

1. 현황 및 전망



가. 영양염류 발생 및 배출현황

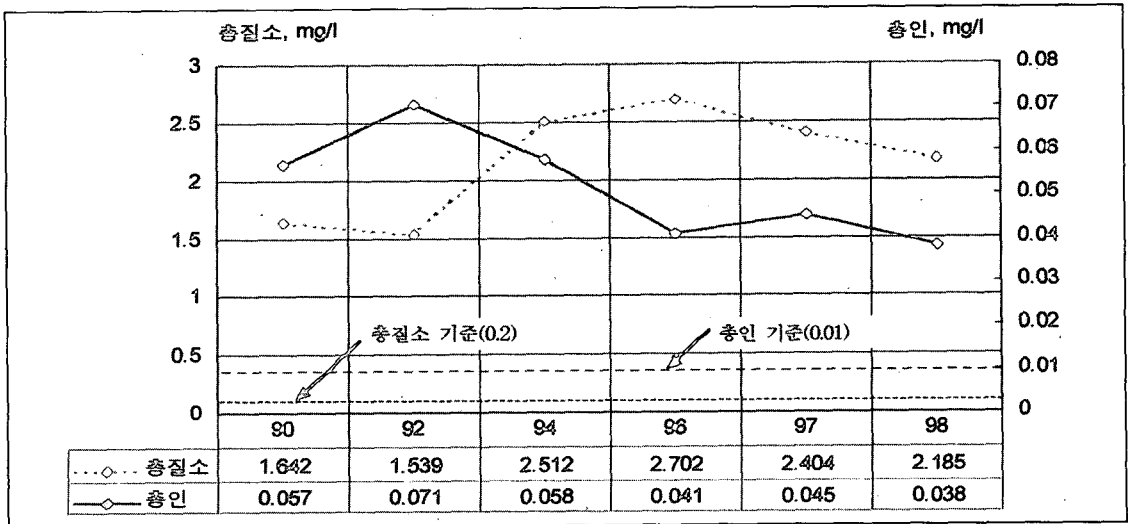
○질소의 발생은 토지, 생활하수, 축산의 순으로 많이 발생되며 인의 발생은 생활하수, 토지, 축산의 순으로 많이 발생.

〈표 25〉 영양염류 발생 및 배출현황

구분	계	생활계	산업계	축산계	토지	양식장	
T-N	발생	77,817	29,236	4,130	12,089	31,297	1,065
	배출	65,426	18,564	3,304	11,196	31,297	1,065
T-P	발생	8,461	2,784	1,185	1,916	2,205	371
	배출	7032	1,677	1,007	1,772	2,205	371

나. 팔당호의 영양상태

○'98년의 경우 총인과 총질소가 감소추세에 있음.  
○'97년의 경우 총인과 총질소의 비율이 53.4로 총인이 지배적인 요소이며, 중영양상태에 있음.



〈표 26〉 호소의 환경기준(생활환경형목)

(단위 : mg/l)

구분	pH	COD	SS	DO	T-P	T-N	대장균군수(MPN/100ml)
1등급	6.5~8.5	10이하	10이하	7.5이상	0.010이하	0.200이하	50이하
2등급	6.5~8.5	30이하	50이하	50이상	0.030이하	0.400이하	1,000이하
3등급	6.5~8.5	60이하	150이하	50이상	0.050이하	0.600이하	5,000이하
4등급	6.0~8.5	80이하	150이하	20이상	0.100이하	1.0 이하	-
5등급	6.0~8.5	100이하	쓰레기 등이 떠있지 않을 것	20이하	0.150이하	1.5 이하	-

주) 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7미만인 경우에는 총인의 기준을 적용하지 아니하며, 그 비율이 16이상 경우에는 총질의 기준을 적용하지 아니함.

〈표 27〉 호소의 영양상태 판정기준

영양상태	총인(T-P)	총질소(T-N)
극빈영양	< 0.005	< 0.2
중빈영양	0.005 ~ 0.01	0.2 ~ 0.3
중영양	0.01 ~ 0.03	0.3 ~ 0.5
중부영양	0.03 ~ 0.10	0.5 ~ 1.5
부영양	> 0.1	> 1.5

다. 영양염류 증가전망

- '97 대비 2005년에는 총질소는 0.7%, 총인은 0.8% 증가.
- 인구 및 산업 등에 의해 증가할 것으로 전망됨.

〈표 28〉 연도별 영양염류 증가전망

구분	계	생활계	산업계	축산계	토지	양식장	
T-N	1997	77,817	29,236	4,130	12,089	31,297	1,065
	2002	110,868	31,718	4,271	12,089	31,372	31,418
	2005	82,486	33,362	4,552	12,089	31,418	1,065
	%	0.7	1.7	1.2	0	0	0
T-P	1997	8,461	2,784	1,185	1,916	2,205	371
	2002	8,753	3,021	1,225	1,916	2,220	371
	2005	8,999	3,177	1,306	1,916	2,220	371
	%	0.8	1.7	1.2	0	0.1	0

2. 팔당호 부영양화 방지대책

가. 질소, 인 처리시설 확충

- 팔당호권역내의 46개 하수처리장(737천톤/일)에 질소, 인 처리시설 보강
- 모든 분뇨처리시설 및 축산폐수공동처리시설은 질소, 인 처리시설 의무화

나. 질소, 인 배출기준 강화

- 하수처리장 및 오수정화시설의 질소, 인 방류수 기준을 현행 질소 60ppm, 인 8ppm에서 각각 20ppm과 2ppm으로 강화
- 분뇨처리시설 및 축산폐수공공처리시설의 질소, 인 방류수 기준을 현행 질소 120ppm, 인 16ppm에서 각각 60ppm과 8ppm으로 강화
- 팔당호권역내에 위치한 폐수배출시설(1~4종사 업장)에 대해서는 총인, 총질소 배출허용기준을 적용
- 팔당호권역 전역이 2002년부터 청정지역으로 변경됨에 따라 총인, 총질소의 기준도 강화
- \* 질소 60ppm, 인 8ppm → 질소 30ppm, 인 4ppm

다. 비점오염원에 의한 질소, 인 감축

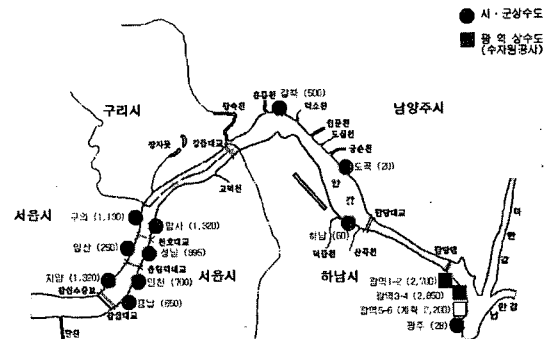
- 하천부지내의 경작은 유기질 비료를 사용하는 경우에만 허용
- 특별대책지역내 경작은 환경농업형태로 전환
- 도시유출수에 의한 질소, 인 저감을 위해 저류지 설치
- 수변녹지대를 조성하여 강우유출에 수반되는 지면의 질소, 인 저감

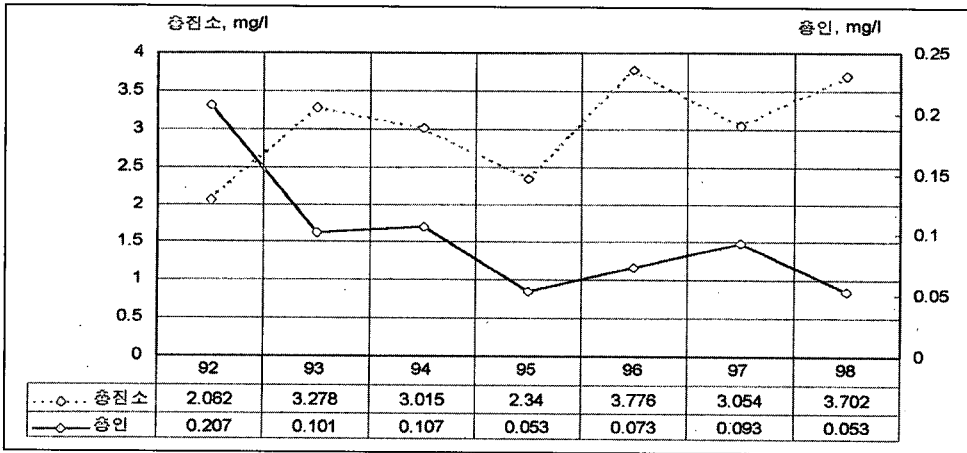
라. 호소내 수질관리대책

- 녹조 방지대책
  - 인공 수초섬에 의한 영양염류 저감
  - 조류제거선을 이용한 조류제거
- 수초 및 쓰레기 관리대책
  - 팔당호 내의 수초를 사멸기에 수확, 처분하여 수초가 사멸·분해할때 용출되는 유기물과 영양염류를 호수내에서 제거하는 한편, 강우시 상류로부터 유입되는 쓰레기를 수거처리.
- 퇴적물 관리대책
  - 보다 정밀하고 과학적인 조사결과와 경제적 타당성 등을 종합적으로 고려하여 준설사업 추진 여부 결정
  - '99년중 퇴적물준설 타당성 조사(환경부)후 매 3년 주기로 퇴적물 변동상황 및 수질영향 조사
  - ※ 준설사업 시기는 외부오염원에 대한 통계가 상당수준에 이른후에 결정

잡설수중보 관리대책

■ 수도권 취수장현황(단위:천톤/일)





(잠실수중보의 영양염류 농도추이)

1. 관리의 필요성

- 잠실수중보는 일반적으로 호소로 보지 않지만, 보를 막음으로써 물의 흐름이 느려지기 때문에 질소, 인에 의한 조류발생과 이로인한 BOD상승이 발생함.
- 암사지점이후 특별한 오염원이 없는데도 암사지점과 잠실지점이 수질이 BOD 0.6ppm씩 차이나는 것은 질소, 인에 의한 상승으로 볼 수 있음.
- 따라서 BOD삭감대책만으로는 잠실상수원의 수질을 개선하는 데에는 한계가 있음.
- 잠실수중보의 영양염류농도는 호소평가기준에 따르면 중부영양 내지 부영양 상태에 있음.

2. 영양염류 부하 발생현황 및 전망

- 인구 및 산업증가에 따라 총인 및 총질소가 약 20%가 증가될 것으로 예상됨.

3. 관리대책

- 가. 하수관거 정비 및 질소, 인 처리시설 설치
- 잠실수중보 영향권역은 도시화지역으로 서울시(강동구, 광진구, 송파구), 구리시, 하남시, 남양주시등 영향권내 도시의 하수관거정비가 최우선적으로 정비되어야 함.
- 아울러 상기 도시의 하수처리장은 질소, 인 처

리시설을 갖추어야 함.

<조치사항>

- '99상반기까지 하수관거정비 세부계획을 수립하고, 2002년까지 관거정비 추진(서울시, 구리시, 하남시, 남양주시)
- 2002년까지 하수처리장에 질소, 인처리시설 설치(구리시·남양주시)
- 2002년까지 장자못 정화대책 추진

나. 수변오염원 관리강화

- 하천부지 경작제한
- 왕숙천등 잠실영향권내 유입하천의 하천부지 경작은 잠실수중보 영양염류 증가에 직접적인 영향을 미치므로 하천부지 경작실태를 조사하여 경작 제한 방안 강구.

(팔당호등 한강수계 상수원수질개선 특별종합대책)

현 재	미 래
○하수처리율 52%	○하수처리율 81.6%
○수변 집중개발	○수변구역지정 및 녹지조성
○수변산림 훼손	○보안림 지정, 수원함양
○배출농도 및 건축면적 규제	○오염총량규제
○무질서한 지역개발	○환경친화적 지역개발
○부분적 지원(수도사업자 출연금)	○대대적 상류지원(물이용 부담금)
○16개기관 분산관리	○한강수계전담관리
○팔당호 수질 BOD 1.5ppm(Ⅱ급수)	○팔당호 수질 BOD 1.0ppm(Ⅰ급수)