

환경공학기술분야를 중심으로

<1>



신응배

한양대학교 토목·환경공학과 교수

— 목 차 —

1. 서론
2. 오·폐수처리분야
3. 정수처리분야
4. 유해폐기물 감량화 및 처리분야
5. 지하수/토양정화분야
6. 대기오염방지분야
7. 결 론

· 폐수처리, 정수처리기술, 유해폐기물감량화 및 처리 기술, 오염 지하수/토양 정화기술 그리고 대기오염 방지기술 분야로 나누어 각 분야에서의 국내 오염현황 및 기술개발 현황을 요약하고, 이미 개발된 또는 개발중인 선진기술을 검토함으로써 향후 국내 환경기술 발전 방향을 모색하고자 한다.

2. 오·폐수처리분야

2-1 고도하수처리 기술

1) 기술현황

고도하수처리란 재래식 2차 처리 후 잔존하는 부유물질과 용존물질 제거에 필요한 추가적인 처리로 정의할 수 있다(1). 이러한 물질에는 유기물, 부유물질 그리고 칼슘, 마그네슘, 질산염, 인산염과 같은 단순한 무기이온들이나 그 수가 급격히 증가되고 있는 복잡한 합성 유기물들이 포함된다. 이중 수서생물의 성장을 촉진함으로써 호소의 부영양화 및 해역의 적조현상을 유발하는 질소, 인과 같은 영양염류는 '60년대 중반 이후 전세계적으로 지속적인 관심사가 되고 있으며, '80년대 이후에는 인간 및 수서생물에 위해성을 가지는 것으로 알려진 독성물질과 난분해성 물질의 처리기술이 급격히 발전하고 있는 추세이다.

우리나라의 경우 상수원수 취수원의 대부분을 표면수(하천 59%, 호소 32%)에 의존하고 있으며, 그 대부분이 주변 유역에 산재되어 있는 오염원에서 발생하는

1. 서론

오늘날 환경문제가 세계기후의 온난화, 오존층의 파괴, 사막화의 진행, 해양오염의 확산 등 국제적인 양상을 보임에 따라 전세계적으로 환경문제를 기술적으로 해결하려는 노력은 날로 첨예화·고도화되어 가고 있다.

개발도상국에서 선진국으로의 연결선상에 위치한 우리나라의 경우 국민들의 생활수준이 향상되어감에 따라 보다 쾌적한 환경을 바라는 욕구가 증대되고, 이에 따라 환경문제 해결을 위한 기술적, 행정적, 법적 노력이 꾸준히 경주되고 있는 것은 사실이다. 그러나 여전히 국민의 기대에 부합되지 못하고 있으며, 특히 환경공학 기술분야는 후진성을 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 환경공학기술영역을 크게 오

유기물과 질소, 인 등의 영양염류의 유입으로 오염이 심화되고 있는 실정이다. 특히 수도권 광역상수도의 원수로 사용되는 팔당호의 경우 중영양화를 지나 부영양화가 진행되고 있어 수도권 주민의 건강에 매우 심각한 위협이 되고 있다(표 2-1 “우리나라 주요호소의 연평균 영양상태” 참조). 참고적으로 현재 환경부 주관하의 선도기술개발사업(일명, G-7 Project)에서 축산폐수 및 일반하수와 관련하여 추진중인 연구과제는 아래 표 2-2와 같다.

표 2-1. 우리나라 주요호소의 연평균 영양상태('93년말 현재)

구분	Vollenwelder 기준 (우리나라 기준)		USEPA 기준	Calson 기준		
한강	팔당호	중부영양	부영양	부영양		
	소양호	중영양	중영양	부영양		
	의암호	중영양	중영양	빈영양		
	춘천호	중영양	중영양	빈영양		
낙동강	안동호	중영양	중영양	빈영양		
	진양호	중영양	중영양	빈영양		
금강	대청호	중영양	중영양	빈영양		
영산강	영산호	중부영양	부영양	빈영양		
기타	아산호	부영양	부영양	중영양		
	삼교호	부영양	부영양	중영양		
영양상태 관정기준	지표	총인 (mg/l)	총질소 (mg/l)	엽록소-a (mg/m ³)	투명도 (Secchi disk depth, m)	영양상태지수 (Trophic State Index, TSD) 총인으로 산정
	극빈영양	<0.005	<0.2	빈영양	빈영양	빈영양
	빈중영양	0.005~0.01	0.20~0.40	<7	>3.7	<40
	중영양	0.01~0.03	0.30~0.65	7~12	2.0~3.7	40~60
	중부영양	0.03~0.10	0.50~1.50	부영양	부영양	부영양
	부영양	>0.1	>1.50	>12	<2.0	>60

비고: ▶ Calson 관정기준의 TSI 산출공식

$$TSI = 10 \left(6 - \frac{1n \frac{48}{T - P(mg/m^3)}}{1n2} \right)$$

표 2-2. G-7 Project내 분뇨·축산폐수 및 일반하수 관련 연구과제(2)

분야	중과제명	연구목표	세부과제명
수질오염 방지기술	오·폐수 처리기술 ('94 착수)	▶ 오·폐수 탈질· 탈인기술의 실용화	기존 하수처리장의 영양소 제거공정기술
			Zeolite를 이용한 질소·인 동시제거 공정
		▶ 오·폐수 처리시 스템의 팍키지화	Side Stream을 이용한 질소·인 제거 프로세서
			농어촌형 오·폐수 탈질·탈인 장치
			기존 분뇨처리장을 이용한 분뇨·축산 폐수의 탈질·탈인 기술
			소규모 오·폐수 처리 팍키지화 기술

2) 영양염류 제거기술

영양염류의 관리기법에 있어서 미처리 하수의 특성, 기존 하수처리장의 종류, 그리고 요구되는 영양염류의 제거정도를 정하는 것이 매우 중요하다. 다양한 처리기술이 물리적, 화학적, 그리고 생물학적 반응을 이용하여 처리설비로부터 배출되는 영양염류의 양과 형태를 제한하거나 조절하는데 사용되며, 이를 정리하면 아래와 같다.

① 질소 제거공정

폐하수로 유입되는 질소는 암모니아와 같은 무기물 형태와 요소, 단백질 등과 같은 유기물의 형태로 존재하게 된다. 질소는 생태계의 필수영양소이나 과량이 방출될 경우 수중에 조류증식에 의한 부영양화를 유발하게 되고, 질산화과정에서 용존산소를 고갈시키는 등의 수중생태계 파괴로 자연환경에 악영향을 미치게 된다.

기존에 개발된 질소제거방법으로는 파괴점 염소주입, 암모니아 스트리핑, 이온교환법 등의 물리·화학적 처리방법과 단백질, 요소와 같은 유기물 형태와 암모니아와 같은 무기물 형태로 존재하는 질소원중에서 유기질소는 미생물에 의해 암모니아로 분해되고 분해된 암모니아는 미생물의 증식에 필요한 영양소로 흡수되거나 에너지원과 전자수용체로 사용되어 질소가스로 제거되는 생물학적 처리방법이 있다(표 2-3 참조).

표 2-3. 질소제거공정

분류	처리공정	공정개요
물리· 화학 적 처리	파괴점 염소주입	폐하수의 암모니아성 질소가 염소와의 화학적 반응을 통하여 질소가스로 제거되는 공정으로 암모니아 농도를 100% 가깝게 제거할 수 있는 방법이지만, 폐하수의 유기질소와 질산성 질소가 포함되어 있을 경우 제거효과가 미미하며, 산성화합물이 생성되므로 lime 등의 중화제 투입으로 인한 운전비용이 과다하고, 방류수의 염소독성 제거를 위한 탈염소화 단계가 필요한 단점이 있다.
	암모니아 스트리핑	유입 폐하수의 pH를 10~11 이상으로 높인 후 수중의 암모늄이온(NH ₄ ⁺)을 암모니아(NH ₃) 분자형태로 변형시킨 후 탈기공정(air stripping)으로 공기와 접촉시켜 제거하는 방법이다. 본 공정은 유기질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 제거효율이 낮으며, 동결기에는 처리효율의 저하되며, 탈기탑내에 탄산칼슘의 스케일(scale)이 생성되는 단점이 있다.
	이온교환법	폐하수중 암모늄염을 선택적으로 치환하는 특성이 강한 Cl ⁻ iminopolite column을 통과시킴으로써 암모늄이온을 제거하는 방법이다. 본 공정은 동결기에도 사용이 가능하며, 암모니아의 제거효과는 90% 이상으로 높으나, 유기질소, 아질산성 질소, 질산성 질소는 처리되지 않는 단점이 있다.
	기타 방법	이외에도 물리·화학적 질소 제거방법에는 전기투석법과 역삼투법 등이 있다.

분류	처리공정	공정개요
생물학적 처리	Single Sludge Process	침전조가 1개이며, 질화균들과 탈질화균들이 공존하므로 탈질 화균들이 산소에 노출되지 않도록 baffle를 사용하거나, 각각 다른 반응조에서 진행시킨다. 이 공정의 특징은 탈질반응에 필요한 탄소원(methanol)을 외부에서 공급함으로써 발생하는 비용을 줄이기 위해 폐수에 기존재하거나 미생물이 분해될 때 생성되는 탄소원을 사용하는 것이다.
	Dual Sludge Process	본 공정은 첫번째 반응조에서 유기물의 제거와 질산화반응을 진행시키고 침전조를 거쳐 두번째 반응조에서 탈질소화를 진행시키는 공정이다. Triple sludge process에 비해 적은 양의 슬러지가 생성되므로 침전조 용적을 줄일 수 있다. 탈질소화를 위한 두번째 반응조를 위해 미생물의 고착화를 이용해서 반응 조내의 미생물 농도를 증가시키고 질소제거율을 향상시키며 반응기의 부피를 줄일 수 있는 Fixed bed, Fluidized bed, RBC 등의 여러가지 형태의 반응기도 사용할 수 있다.
	Triple Sludge Process	유기물, 암모니아, 질소산화물을 각각의 반응조에서 제거하는 공정이다. 질산화 반응에 대한 유기물결의 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	본 공정은 폐수와 반응슬러지가 두번째 반응기(aerobic조)에서 반응된 질소산화물이 포함된 혼합물과 함께 첫번째 반응기(anoxic조)로 유입되고 여기에서 위에서 언급한 두가지 탄소원을 이용하여 탈질반응이 진행된다. 첫번째 반응기를 통과한 암모니아는 두번째 반응기에서 질산화를 거쳐 산화되며 첫번째 반응기에서 생성된 질소가스는 이곳에서 제거되며, 또 다시 anoxic/aerobic조를 거쳐 잔류질소원이 제거된다.
Oxidation Ditch Process	산화조(oxidation ditch)는 한 반응조에서 질산화와 탈질소화를 진행시키는 loop 형태의 반응조로서 폐수가 anoxic 지역과 aerobic 지역을 통과하면서 유기물과 질소원이 제거된다. 이 공정은 탈질소화 반응을 1회 일으키므로 질소제거율이 Bardenpho process에 비해 낫다. 이외에도 semi-plug/CSTR을 이용한 process, 두 반응조에서 cyclic aeration을 이용한 process 등이 있다.	

② 인 제거공정

인 또한 질소와 마찬가지로 부영양화 유발물질로서 주로 생활하수, 농업배수, 비료공장 등의 폐하수로부터 발생되며, 직접적인 발생원으로 인체폐기물, 음식물찌꺼기, 가정용 세제, 상업용 세척제 등을 들 수 있다. 인 제거방법 역시 물리·화학적방법과 생물학적 방법으로 구분할 수 있다. 물리·화학적 방법으로는 금속염에 의한 응집침전법, lime을 이용한 제거방법 등이 있으며, 혐기성 상태에서 호기성 상태로 변화시켜줌으로써 미생물에 의한 인의 과잉섭취(luxury uptake)를 유도하고 이를 폐기시킴으로써 인을 제거하는 다양한 생물학적 처리공정이 실용화되고 있다(표 2-4 참조).

③ 질소·인 동시 제거공정

질소·인 동시제거를 위하여 혐기성, 무산소, 그리고 호기성 반응조를 적절히 혼합 배치한 다양한 생물학적 공정이 개발되고 있다.

그 대표적인 것으로는 A₂/O process, five-stage Bardenpho process, UCT process, VIP process 등이 있다(표 2-5 참조).

표 2-4. 인 제거공정

분류	처리공정	공정개요
물리·화학적 처리	금속염에 의한 응집침전법	응집침전법은 알루미늄염과 철염을 첨가하여 불용성 인산염을 생성시켜 제거하는 방법으로서 주로 사용되는 알루미늄염으로 alum, sodium aluminate 등이 있고, 철염으로는 염화제2철, 염화제3철, ferrous sulfate 등이 주로 사용된다. 이들 금속염은 폐하수의 알칼리도를 소모하여 침전을 형성하므로 알칼리도가 낮은 경우에는 처리상 문제점이 있다.
	Lime을 이용한 제거방법	금속염에 의한 응집침전법과 마찬가지로 최종 침전지 또는 최종 침전지의 유출수에 lime을 첨가함으로써 인을 제거하는 방법이다. Low lime system은 pH 9.5 이하에서, high lime system은 pH 11.3 이상에서 인을 제거한다. 그러나 lime의 양이 폐하수 내 인의 양에 의해 결정되는 것이 아니라, 총알칼리도에 의해 결정되므로 고가의 처리비용과 다량의 슬러지 발생이 문제가 될 수 있다.
생물학적 처리	A/O Process	미국 Air Products and Chemicals 회사에 의해 개발된 비교적 단순한 공정으로 유입수와 침전조에서 반응된 슬러지가 먼저 혐기조로 유입되고 여기에서 탈인균들이 발효생성물을 섭취함과 동시에 인을 방출한 후 호기성조에서 인을 과잉섭취한다. 여기서 방출한 슬러지를 침전조에서 분리하여 일부를 폐기함으로써 인을 제거하고 나머지는 반응한다. 본 공정은 비교적 짧은 고형물 체류시간을 가지며 다른 공정에 비해 높은 유기물 부하조건하에서 운전이 가능하고 슬러지의 발생량이 많은 편이다.
	Phostrip Process	'65년 Levin에 의해 개발된 공정으로 생물학적 방법과 화학적 방법을 조합한 공정이다. 폭기조에서 인을 과잉 섭취한 미생물을 침전조에서 분리한 후 일부를 탈인조에서 8~12시간 혐기성 상태를 유지시켜 세포외로 방출된 인을 lime으로 침전시켜 제거한다. 또한 침전조에서 분리된 슬러지의 일부를 폐기함으로써 인을 제거한다. 본 공정의 장점은 유입수의 BOD 부하에 큰 영향을 받지 않고 유출수중 인의 농도를 1mg/l 이하로 유지할 수 있다는 것이며, 상당량의 인이 lime 슬러지로 제거되어 인을 과잉으로 함유하는 슬러지보다 처리가 용이하다. 또한 lime 주입량이 alum이나 금속염과 달리 제거될 인의 양보다는 알칼리도에 의하여 결정되고, 탈인조 상등액이 총유입 하수량에 비해 아주 적으므로 인을 침전시키기 위해 소요되는 lime의 양은 순수 화학적 처리방법보다 적어 약품비가 절감된다.
	SBR	최근 많은 연구가 진행되고 있는 SBR 공정은 단일반응조를 상요한다. 반응조에 유입된 하수를 혐기성 상태에서 교반하여 발효반응과 함께 탈인균의 인 방출을 유도하고 호기성 상태에서 인을 과잉 섭취하게 한 후 침전, 배수과정을 통해 슬러지 및 처리수를 배출한다.

표 2-5. 질소·인 동시 제거공정

분류	처리공정	공정개요
생물학적처리	A ₂ /O Process	기존의 A/O 공정의 혐기성조와 호기성조 사이에 anoxic조를 첨가하여 질소산화물과 인 등을 동시에 제거하는 공정으로 반응 슬러지와 질소산화물(NO ₃)의 함량을 감소시켜 탈인과정에서 질소산화물의 영향을 줄일 수 있다. 호기성조로부터 탈질소조로의 순환은 대개 유입수의 100~300%에 달하며 인제거율은 A/O 공정에 비해 떨어지나 40~70%의 질소를 제거할 수 있다.
	Five-Stage Bardenpho Process	A/O, A ₂ /O 공정들과는 대조적으로 낮은 유기물 부하에서 질소제거의 효율을 높이기 위해 설계된 것으로 기존의 Bardenpho 공정에 혐기성조를 첨가해 인을 제거할 수 있게 만든 공정으로 Elmco Process Equipment 회사에 의해 개발되었다. 처리공정은 유입수와 반응슬러지가 혼합되어 혐기성조에서 발효반응과 인의 방출이 진행되고 내부에서 반응된 혼합액과 함께 첫번째 탈질소조에서 공정 내부에서 발생된 질소산화물의 70% 정도가 용해성 BOD와 함께 제거된다. 다음 호기성조에서 BOD, 암모니아, 인이 제거되고, 두번째 탈질소조에서 미생물이 분해되어 생성된 탄소원을 이용하여 탈질소화 반응이 일어난다. 두번째 호기성조는 침전조에서 혐기성 상태가 된 미생물로부터 인이 방출되는 것을 막는다.
	UCT Process	Bardenpho process를 변형시켜서 만든 공정으로 South Africa에 있는 University of Capetown에서 개발되었다. 본 공정은 반응된 슬러지가 혐기성조 대신에 탈질조로 유입되므로 혐기성조에서 미생물의 인 방출에 대한 질소산화물의 영향을 줄일 수 있다. 질소 산화물이 혐기성조에 있으면 탈질균들과 탈인균들 사이에 탄소원인 BOD를 위해 서로 경쟁하기 때문에 탈인균들의 인 방출이 감소한다. 탈질소조로 부터 혐기성조로 혼합물의 반송은 혐기성조의 BOD를 보충하기 위한 것이지만, 호기성조로부터 탈질소조로 혼합물을 반송할 때는 질소산화물이 혐기성조로 유입될 가능성이 있다. 이를 보완하기 위한 변형 UCT 공정은 두개의 탈질소조를 두어 첫번째조는 반응 슬러지의 질소산화물을 줄이고 두번째조는 호기성조로 부터 혼합물을 받아 공정 전체의 질소제거를 높이기 위해 설계되었다.
VIP Process	VIP 공정은 앞에서 언급된 UCT 공정과 유사하나 UCT 공정에 비해 고율의 운전을 위해 개발되었다. UCT 공정은 10~30일의 미생물 체류시간을 위해 설계한 반면 VIP 공정은 5~10일의 미생물 체류시간으로 설계되었다. 본 공정은 active biomass의 양을 증가시켜 운전함으로써 인 제거 효율을 높임과 동시에 반응조의 용량을 감소시킬 수 있는 것에 중점을 두었다. 또한 VIP 공정은 혐기성, 무산조, 호기성 각 반응조에 완전혼합조를 2개 이상 직렬로 연결하도록 설계하여 반응기의 plug-flow 특징을 적용할 수 있게 하였다. 따라서 호기성 조건의 완전혼합조 중의 첫번째 반응조에서 유기물의 잔류량이 증가되어 인 제거효율을 증대시킬 수 있는 공정이다.	

등의 유해성 물질이 다량 함유되어 있는 것이 특징이며, 업종에 따라 그 성상이 매우 상이하고 복잡하며, 배출량의 변화가 심하므로 특정한 산업폐수를 처리하기 위한 처리기술은 매우 다양한 형태 및 조합으로 적용되고 있다. 다음 표 2-6, 2-7은 관련업종별 주요 발생 오염물질을 나타낸 것이다.

우리나라의 경우 '93년 현재 산업폐수 배출업소수는 20,241개소로 '86년도의 7,900개소에 비해 2.6배 증가하였고, 폐수배출량도 2,731,000m³/day에서 6,412,000 m³/day로 2.4배, 배출부하량은 BOD 기준으로 1,073 ton/day에서 2,269ton/day로 2.1배 증가하였다(4).

표 2-6. 업종별 주요 오염물질 발생형태 1(3)

오염물질	관련업종	광업	제조업	비철금속공업	금속표면처리공업	기계제조공업	식유제품공업	화학비료공업	합성수지공업	유지공업	도료·염료공업	약품공업	중이·벌크공업	피혁제조공업	섬유공업	식품공업	전력	추진	기타
	이연		○										○	○					
알루미늄			○																
안티몬			○	○															
암모니아성질소			○				○	○	○										
색																			
계면활성제				○	○	○	○	○	○										
카드뮴			○																
크롬·크롬산				○	○	○	○												
부유물질		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
시안화합물		○	○																
수은		○																	
슬러지		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
철		○	○																
동		○	○																
납		○																	
니켈		○	○																
파나리니움																			
비소		○																	
pH		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
페놀류		○																	
불소																			
방사선물질																			
붕소																			
망간		○	○																
유기물																			
유기인화합물																			
유분																			
황산		○	○																
인산																			

2-2 산업폐수 처리기술

1) 기술 현황

산업폐수는 산업계의 폐수배출시설로부터 배출되는 폐수로서 일반적으로 오염물질의 농도가 높고, 중금속

표 2-7. 업종별 주요 오염물질 발생형태 II

오염물질	업종	양분류의 발생업종	자동차산업	사탕수수제조산업	음료수제조	과일·야채산업	축산업	농업	비료산업			관유리, 시멘트, 석회, 석고, 석면산업			제분업	무기화학·알칼리·염소제조업	피혁산업	유기화학업	금속표면처리업	유기화학공업	석유정제공업	합성수지공업	펄프·제지산업	전력	제철·철강업	섬유공업
									질소비료산업	인산비료산업	판유리	시멘트·석회·석고	소면													
Temperature			○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○				○			○	○	○	
pH	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
TDS	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
TS							○							○	○											
Acid / Alkalinity			○							○		○			○	○									○	
Turbidity			○	○				○								○				○		○				
Color			○	○	○	○		○							○	○				○		○			○	
Odor																				○						
Foam			○	○																						
Hardness															○											
SS / VSS	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Settleable Solids			○	○												○										
Oil & Grease	○	○	○	○					○						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
BOD ₅		○	○	○	○	○	○		○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
COD		○			○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
TOC					○	○	○							○	○				○	○		○				
Refractory Org.																							○			
Total Coliforms			○	○												○						○				
Fecal Coliforms					○	○																○				
Cl ⁻		○						○	○						○						○			○	○	
SO ₄ ²⁻		○							○	○	○				○						○	○			○	
CrO ₄ ⁻											○	○	○										○			
NO ₃ ⁻		○							○	○												○				
PO ₄ ³⁻						○			○							○							○			
SO ₃ ²⁻																						○				
F	○								○						○											
SiO ₂															○											
T-P	○	○		○	○			○		○					○				○	○	○	○	○	○	○	
CN		○													○				○	○	○	○		○	○	
T-N			○	○			○	○		○					○				○	○	○	○	○	○	○	
NaCl																○										
NH ₃		○							○								○			○	○	○		○	○	
Mercaptans																					○	○				
Org-N & Urea									○												○					
S ²⁻																					○				○	
Zn		○							○		○	○	○							○	○		○	○	○	
Cu		○								○											○		○			
Ni		○																								
Cr		○							○		○				○	○					○			○	○	
Cd		○																								
Ee		○							○	○	○	○			○					○			○	○	○	
Sn		○									○														○	
Ag											○															

오염물질	전 중 금속 비금속	전 금속 비금속	자 동 차 산 업	사 탕 수 수 제 조 산 업	에 리 카 본 산 업	과 일 · 야 채 산 업	축 산 업	나 유 업	비 료 산 업		관 유 리, 시 멘 트, 석 회, 석 고, 석 면 산 업			제 분 업	무 기 화 학 · 알 칼 리 · 염 소 제 조 업	피 혁 산 업	유 기 화 학 · 유 기 합 성 · 유 기 화 합 공 업	금 속 표 면 처 리 공 업	석 유 정 제 정 공 업	합 성 수 지 공 업	펄 프 · 제 지 산 업	전 력	제 철 · 철 강 업	선 유 업			
									질 소 비 료 산 업	인 산 비 료 산 업	파 우 리	시 멘 트 · 석 회 · 석 고	섬 면														
Hg																											
Pb			○												○						○						
Ti															○												
Al			○												○												
As															○												
Heavy Metals																		○	○			○				○	
Cl ₂			○																								
B															○												
Ca										○	○																
U											○																
Phenol			○	○											○					○	○	○	○		○	○	
Chlorinated Org.															○												
Organic Chloride																					○						
Synth Resin													○														
Aromatics															○							○					
Toxicity								○								○						○					
Toxic materials				○	○																	○	○				○

한편, 현재 G-7 Project에서 산업폐수 처리기술과 관련 하여 추진중인 연구과제는 아래 표 2-8과 같다.

표 2-8. G-7 Project내 산업폐수처리 관련 연구과제(2)

분 야	중과제명	연구목표	세 부 과 제 명
수질오염 방지기술	산업폐수처리 및 재이용기술	▶ 유형별 종합처리 시 스템 개발 및 폐수 재이용기술 개발 ▶ 미량유해성분, 제거 기술 및 무방류 시스 템 개발	난분해성 폐수의 종합처리시스템 개발
			중금속함유 폐수의 처리 및 회수 기술
			고농도 유기폐수처리기술
			생산공정수 재이용기술 폐수처리장 운전제어 및 자동화 기술

2) 산업폐수의 효율적 관리방안

산업폐수를 경제적이고 효율적으로 관리하기 위하여 고려되어야 할 사항들을 살펴보면 아래와 같다.

① 제조공정 개선에 의한 폐수량의 감소

제조공정을 합리화함으로써 산업폐수의 농도 및 수량을 최소화하여 처리·처분을 용이하게 한다.

② 유용물질의 회수

생산에 이용된 원료, 약품 등 유용물질을 회수하면, 경영 합리화와 폐수처리·처분도 동시에 달성 가능하다.

③ 폐수의 재사용

오늘날 산업에 있어서 용수는 중요한 자원이므로 처리수 재사용 시스템을 개발하여 배출되는 처리수량을 감소해야 한다.

④ 폐수의 균등화(Equalization)

연속적으로 이어지는 처리 과정에 최적의 조건을 유지하기 위해 폐수량과 농도의 변동을 최소화하도록 조절하기 위하여 가장 효율적인 수단이 처리시스템 선단에 균등조를 설치하는 일이다. 산업폐수의 경우 균등조의 필요성은 다음과 같은 점에서 절대적이다(5).

▶ 생물학적 공정에 가해지는 충격 방지를 위하여 유기물 농도 변화폭을 낮춤.

▶ 중화에 필요한 화학약품 소요량을 최소화하거나 적절한 pH 조절을 가능케 함.

▶ 물리·화학적 처리 공정에 유입되는 흐름의 급격한 변동(flow surge)의 최소화와 필요 화학약품 투입량을 투입기가 감당할 수 있게 함.

- ▶ 생산공정이 운행하지 않을 때에도 생물학적 공정에 지속적인 적절한 먹이 공급
- ▶ 하수처리장 유입폐수의 부하를 균일하게 배분
- ▶ 고농도의 독성물질이 생물학적 처리장으로 유입되는 것을 방지

⑤ 폐수의 분배방류

산업폐수를 균등화한 후 도시하수 또는 하천의 유량에 따라 하수관거나 하천에 분배 방류한다.

⑥ 계속적인 모니터링

때때로 공정에 이상이 생겨 원료가 폐수로 유출된다든지 폐수처리 자체의 부정확으로 인하여 수역을 오염시켜 경제적 손실이 일어날 수 있으므로 폐수 및 방류수의 지속적인 모니터링이 필요하다.

2-3 CSO 관리기술

합류식하수관거체계(CSSs: Combined Sewer Systems)는 두가지의 목적을 단일관으로 달성하도록 건설된다. 가정하수(수세화장실에서 위생하수 포함), 산업폐수 및 상업폐수를 연속된 관으로 하류의 처리장으로 운반하는 것이 첫째요, 우수시 유역내 지표유출수를 집수하여 운반하는 것이 그 두번째이다. 우기의 지표유출수는 그 양이 많으므로 모든 우수를 하수처리장으로 유도하여 처리할 수 있도록 처리장을 건설하는 것은 비경제적이므로 일부만 차집된다. 합류계통 하류의 간선 또는 주간선하수거에 특수한 우수토실(Regulator)을 설치하여 일정량 차집관거의 용량 및 처리장용량 이상의 물은 차집관거로 유입하지 않도록 조절하고 있어 차집되지 못한 폐수는 직접 방류선 수체(하천, 해양, 저수지 등)로 유출하게 된다. 이와 같은 유출수를 합류식하수거 월류수 즉, CSOs(Combined Sewer Overflows)라 한다(6).

이때 CSOs와 함께 미처리 방류되는 오염물질의 농도는 특정 도시의 지표면의 개발의 정도, 토지이용 양상, 시가지 청결정도, 강우강도 및 강우지속시간 등에 따라 크게 차이가 있으며, 강우시작과 함께 유출되는 초기유출수(first flush)에 일반적으로 고형물(TS, TVS, SS, VSS)이 건기 순수하수의 두배 이상의 오염도를 나타내고 있으며(7), 유량을 감안할 때 오염물의 질량면에서 방류선수체에 미치는 영향은 지대하다. 미국 환경청의 한 보고서에 의하면 CSOs는 유기물, 박테리아, 영양물질, 암모니아, 탁도, 총용존성고형물, 독성물질 등 산성폐수를 제외한 모든 오염물을 포함하고 있음이 발표된 바 있다(8).

이와 같은 오염물질을 함유하고 있는 합류관거 월류수로 인한 수질오염영향을 합리적으로 관리하지 않는 한 자연수계의 수질을 보호, 보전하지 못한다고 결론을 내리고 합리적 관리계획을 서둘러 수립하고 있으며(9, 10), 향후 20년간 16조원(20b. USD)이 소요될 것으로 추정하고 CSOs 관련 수질오염관리정책을 강력히 추진하고 있다(11, 12). CSOs의 관리에 적용되고 있는 여러 가지 정책 및 처리 기술을 정리하면 아래 표 2-9와 같으며, 표 2-10에서는 대표적인 물리적 처리기술과 그 효율을 비교하였다.

표 2-9. CSOs 관리 정책 및 처리 기술(7)

1. 오염 발생원 관리(BMP)	<ul style="list-style-type: none"> • 유출량 억제 • 오염물 유출 억제 	<ul style="list-style-type: none"> -투수계수 조정 -쓰레기 관리 -토사 유출 관리 -건기 하수도 청소
2. 하수 관망 계통 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 분류식 관망으로 전환 • I/I 관리 	<ul style="list-style-type: none"> • 우수 토실 개선 및 변형 • 원격 조정 시스템으로 전환
3. 저류 방법	<ul style="list-style-type: none"> • In-Line 저류 • 지상 유수지 저류 • Off-Line 저류 	<ul style="list-style-type: none"> -고무댐 -Gate 조정 -저류 탱크 러군 저류 -심층 지하 터널 저류 -In-receiving water flow balance method
4. 물리적 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 침전 • DAF(공기부상) • 스크린 	<ul style="list-style-type: none"> • 여과 • 와류 농축
5. 생물학적 처리	• 일반적 공정	
6. 물리·화학적 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 화학적 침전 분리 • 화학적 침전 여과 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 흡착 • 자력 분리
7. 살균	• 화학적 살균 • 광조사 살균	

표 2-10. Comparison of Physical Treatment System

Physical unit process	Percent reduction						Average cost (\$ / MGD)
	Suspended solids	BOD ₅	COD	Settleable solids	Total phosphorus	Total Kjeldahl nitrogen	
Sedimentation without chemicals	20-40	30	34	90-95	20	38	23000
Chemically assisted	68	68	45	-	-	-	23000
Swirl concentrator	20-40	20-60	-	50-90	-	-	4500
Screening	10-90	10-50	22	10-95	13	16	19000
Dissolved air flotation ^b	45-85	30-80	55	95 ^c	55	35	34000
High rate filtrations ^d	50-80	20-55	40	55-95	50	21	58000

비고 : a. ENR 2000.

- b. Process efficiencies include both prescreening and dissolved air flotation with chemical addition.
- c. From pilot plant analysis.
- d. Includes chemical addition.