

환경공학기술분야를 중심으로

(3)



신응배

한양대 토목·환경공학과 교수

목 차

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

5-1 기술 현황

지하수/ 토양은 오염물질에 노출될 경우 비가시적이며, 복잡다양한 구조를 가지는 지반특정상 오염범위 및 오염정도에 대한 모니터링 및 오염물질의 거동 예측이 어려울 뿐만 아니라 회식에 의한 자정작용을 기대할 수 없으므로 인위적인 정화조치가 반드시 수반되어야 하는 환경매체이다. 그럼에도 불구하고 여타 환경매체(대기, 지표수 등)에 비하여 안전하다는 인식에 의해 상대적으로 소홀히 다루어져 온 것이 사실이다. 최근 산업화가 급속도로 진전됨에 따라 유해성, 독성화학물질이 자연계로 대량 유입되면서 부존 자원으로서의 지하수/ 토양의 안전성에 대한 문제가 제기되고, 실제 오염사건이 빈번히 발생되어 사회문제화됨으로써 선진국을 중심으로 오염 지하수/ 토양의 정화기술에 대한 연구가 활발

히 진행되고 있는 실정이다.

미국 환경청(U.S. EPA)에서는 '87년 한 해동안 환경내로 방출되는 독성화학물질의 양을 산정하기 위하여 피고용인 수가 10인 이상인 19,000개소의 산업시설을 대상으로 조사한 결과 지표수계 430만톤, 도시하수처리장 86만톤, 매립지 122만톤, 지하수 굴착정 145만톤, 부지의 처리 및 처분시설 118만톤으로 독성물질의 노출량이 집계된 바 있으며(20), 여기서 전체독성화학물질 노출총량 중 상당 부분이 지하수 및 토양계내로 유입됨을 알 수 있다. 이와 같은 오염의 심각성을 고려하여 우선적으로 처리되어야 할 국가우선순위목록(National Priority List)에 올라 있는 오염부지만 '91년 현재 1,200여개소이며, 잠재오염부지로 32,000여개소가 선정되어 있다. 또한 미국 전역에서 7백만개 이상의 지하저장탱크(underground storage tank, UST)에서 누출이 발생되는 것으로 보고된 바 있다(21).

'70년대 이후 환경오염방지에 관심을 가져온 우리나라에서도 선진국에서의 양상과 마찬가지로 주로 수질 및 대기정화에 주력해 왔으며, 최근 들어 폐기물 처리에 관심을 기울이고 있으나 토양/ 지하수오염에 대해서는 아직까지 실태조차 제대로 파악되지 않고 있는 실정이다. 그러나 이미 매립지 침출수에 의한 주변 환경오염, 지하수정 오염으로 인한 청색증 및 피부병 유발 등 일련의 토양/ 지하수 관련 사고들을 통하여 우리나라 토양/ 지하수 오염의 심각성이 직간접적으로 나타나고 있다. 따라서 더 이상의 오염이 확산되지 않도록 하고, 기

존의 오염 토양/ 지하수를 적절히 정화하기 위한 다양한 정화기술들의 검토·도입 및 연구·개발이 필요하다.

5-2 적용가능 기술

위해성 화학물질에 의한 토양 및 지하수 오염이 확산됨에 따라 오염부지에 대한 정화의 필요성이 증가하게 되었고, 이에 따라 다음과 같은 다양한 정화기술들이 선진국을 중심으로 이미 개발되었거나, 개발 진행중에 있다. 이러한 기술들중 대부분은 본문 4장 “유해폐기물저감 및 처리기술”에서 제시한 분류방식에 포함되므로 이를 참조하기 바라며, 본 장에서는 오염토양 및 지하수에 대한 정화기술을 개략적으로 소개하고자 한다(표 5-1~5-3 참조).

- 1) 생물학적 처리기술(표 5-1 참조).
- 2) 물리·화학적 처리기술(표 5-2 참조).
- 3) 열적 처리기술(표 5-3 참조).

표 5-1. 오염부지 정화기술-생물학적 처리기술

기술명	적용매체	공정개요
Biodegradation	▶ in-situ ▶ soil	water-based solution을 오염토양내로 순환시킨으로써 토착미생물의 활성을 자극하여 유기물 분해능을 증대시킨다. 생분해도 및 토양으로부터의 오염물질 흡수능력을 증대시키기 위하여 영양물질, 산소 및 기타 첨가제가 사용될 수 있다.
Bioventing	▶ in-situ ▶ soil	오염된 불포화 토양에 대하여 강제적으로 공기를 주입하여 산소농도를 증대시킴으로써, 미생물의 생분해능을 증진시키는 기술을 말한다.
White Rot Fungus	▶ in-situ ▶ soil	White rot fungus는 lignin 분해효소와 wood-rotting 효소작용에 의하여 다양한 종류의 유기오염물을 분해시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다. 지중 및 생물반응기에서의 시험이 수행된 바 있다.
Co-Metabolic Processes	▶ in-situ ▶ groundwater	Methanotrophic biological degradation을 증진시키기 위하여 지하수내로 메탄과 산소가 용해된 물을 주입하는 방법이다.
Nitrate Enhancement	▶ in-situ ▶ groundwater	미생물에 의해 유기오염물질을 생물학적으로 산화시키기 위하여 대체 전자 수용체로서 nitrate를 오염된 지하수내로 통과시키는 방법이다.
Oxygen Enhancement with Air Sparging	▶ in-situ ▶ groundwater	압력을 가지는 공기를 지하수위 하부에 주입하여 용존산소 농도를 증가시킴으로써 천연 발생 미생물에 의한 유기오염물질의 생분해 속도를 증진시킨다.

기술명	적용매체	공정개요
Oxygen Enhancement with Hydrogen Peroxide	▶ in-situ ▶ groundwater	희석된 과산화수소 용액을 오염된 대수층내로 통과시켜 지하수내 용존산소 농도를 증대시킴에 따라 미생물에 의한 유기오염물질의 호기성 생분해 속도를 증진시킨다.
Composting	▶ ex-situ ▶ soil	오염토양을 굴착하여 bulking agent 및 나무조각, 동식물 폐기물과 같은 유기성 토지개량제를 혼합해 줌으로써 공극과 유기물 함량을 증대시켜 분해시킨다.
Controlled Solid Phase Biological Treatment	▶ ex-situ ▶ soil	굴착된 토양을 토질개량제와 혼합시켜 침출수 집수시설 및 폭기시설이 갖추어진 처리용 ब्ल릭 상부에 펼쳐 놓고 생분해시키는 공정을 말하며, 생분해도 증진을 위하여 수분, 열, 영양물질, 산소, pH가 인위적으로 조절된다.
Landfarming	▶ ex-situ ▶ soil	오염토양을 굴착하여 지표면에 깔아 놓고 정기적으로 뒤집어줌으로써 공기를 공급해 주는 호기성 생분해 공정을 말한다.
Slurry Phase Biological Treatment	▶ ex-situ ▶ soil	굴착된 오염 토양을 물 및 기타 첨가제와 적절히 혼합해 줌으로써 slurry 상태로 만들어 반응기 내에서 생물학적 방법으로 처리한 다음 탈수시켜 처분한다.
Bioreactors	▶ ex-situ ▶ groundwater	양수된 오염지하수를 접촉성장 또는 부유성장 생물 반응기내에서 미생물과 접촉시켜 제거하는 방법이다.

비고: 본 표는 참고문헌(22)을 바탕으로 재작성한 것임.

표 5-2. 오염부지 정화기술-물리·화학적 처리기술

기술명	적용매체	공정개요
Pneumatic Fracturing	▶ in-situ ▶ soil	투수계수가 낮고 파양암화된 오염지반에 인위적인 틈을 만들어 압축공기를 주입함으로써 여타 지중 정화기술 적용시 오염물 처리 및 추출 효율을 증대시킨다.
Soil Flushing	▶ in-situ ▶ soil	오염물 용해도를 증대시키기 위한 첨가제를 함유한 물 또는 순수한 물을 토양 및 지하수에 주입함으로써 오염토양지역내의 지하수위를 상승시킨다. 이때 오염물질은 지하수내로 침출되며, 그 후 추출되어 처리된다.
Soil Vapor Extraction	▶ in-situ ▶ soil	압력 및 농도구배를 형성하기 위하여 추출점을 굴착하여 진공 상태로 만들어 줌으로써 토양내의 휘발성 오염물질을 휘발·추출하는 기술로서, 오염물질은 배출가스 처리공정에서 처리된다. In situ soil venting, in situ volatilization, enhanced volatilization 또는 soil vacuum extraction으로도 불린다.
Solidification/Stabilization (S/S)	▶ in-situ ▶ soil	오염물질을 물리적으로 안정한 상태의 물질내에 구속시키거나 (solidification), 안정화제를 첨가하여 화학반응에 의해 오염물질의 이동성을 감소시키는(stabilization) 방법이다.

기술명	적용매체	공정개요
Air Sparging	▶ in-situ ▶ groundwater	포화대 내에 공기를 강제 주입하여 오염물질을 휘발시킴으로써 제거한다.
Directional Wells (enhancement)	▶ in-situ ▶ groundwater	수직 굴착으로는 오염물질에 대한 접근이 용이하지 않은 지반구조일 경우 수평 또는 일정 각도를 가지도록 굴착하는 기술을 말한다.
Dual Phase Extraction	▶ in-situ ▶ groundwater	투수계수가 낮거나, 불균일한 지반내의 액상 및 가스상 오염물질을 동시에 제거하기 위하여 고도의 진공을 걸어주는 기술을 말한다.
Free Product Recovery	▶ in-situ ▶ groundwater	양수(적극적 방법) 또는 집수시스템(수동적 방법)에 의해 지반내의 불용성 액상 유기오염물을 회수하는 공정이다.
Hot Water / Steam flushing / Stripping	▶ in-situ ▶ groundwater	휘발성 및 준휘발성 오염물질을 기체화 하기 위하여 대수층내로 스팀을 강제주입하는 기술로서, 대수층 상부의 불포화 토양으로 이동된 증기화된 오염물질은 증기추출법으로 제거·처리된다.
Hydrofracturing (enhancement)	▶ in-situ ▶ groundwater	투수성이 낮거나, 파인압밀된 지반에서 주입정을 통하여 물을 고압으로 주입함으로써 균열을 발생시키고, 생성된 균열은 다공성 매체로 채움으로써 bioremediation 기술 및 양수기술을 적용할 때 운전효율을 증진시킬 수 있다.
Passive Treatment Walls	▶ in-situ ▶ groundwater	Chelators, sorbents, 미생물 등을 다공성 매체 내에 포함하고 있는 반응성 막을 부지내에 수직으로 설치하여 물은 통과시키고 지하수내 오염물질은 차단하는 기술을 말한다.
Slurry Walls	▶ in-situ ▶ groundwater	Slurry로 채워진 수직 치수벽을 설치하여 오염된 지하수를 상수원 또는 비오염 지하수와 단절시키는 방법이다.
Vacuum Vapor Extraction	▶ in-situ ▶ groundwater	공기가 주입되어 추출정 내의 오염 지하수를 부상시킴으로써 그 뒤를 이어 연속적으로 지하수가 유입될 수 있도록 한다. 일단 추출정 내부로 유입되면, 오염 지하수내의 VOCs는 공기방울로 이동하여 부상하며, 이를 증기추출법에 의해 상부에서 수집하여 처리한다.
Chemical Reduction / Oxidation	▶ ex-situ ▶ soil	굴착된 오염물질을 산화/ 환원반응을 이용하여 안정화, 고정화시켜 무독성 또는 저독성 화합물로 전환시키는 기술을 말한다. 산화제로는 ozone, hydrogen peroxide, hypochlorite 그리고 chlorine dioxide가 일반적으로 널리 사용된다.
Dehalogenation (Base-Catalyzed Decomposition)	▶ ex-situ ▶ soil	PCBs와 같은 유기염소화합물로 오염된 토양을 굴착하여 체로 거르거나, 잘게 부순 다음 NaOH와 같은 촉매제와 혼합, 로터리 반응기 내에서 330°C 이상으로 가열하여 탈할로겐화하거나 부분적으로 휘발시킨다.
Dehalogenation (Glycolate)	▶ ex-situ ▶ soil	할로겐화 방향족 화합물에 alkaline polyethylene glycol(APEG)을 혼합, 처리용기내에서 가열하여 탈할로겐화함으로써 독성을 제거한다.
		오염 토양을 굴착하여 토양 입자 표면에 부착

기술명	적용매체	공정개요
Soil Washing	▶ ex-situ ▶ soil	원 유·무기성 오염물질을 세척액으로 분리시켜 이를 토양내에서 농축·처분하거나, 재래식 폐수처리방법으로 처리한다.
Soil Vapor Extraction	▶ ex-situ ▶ soil	오염 토양을 굴착하여 지상에 방치한 채 증기추출관을 그 내부에 설치하여 진공을 걸어줌으로써 오염물을 휘발시켜 추출·처리한다. 지중 SVE와 비교해 볼 때 추출관 설치 비용이 높고, 지하수위에 의한 제한요소가 제거되며, 침출수 집수가 가능하고, 모니터링이 용이하다는 장점이 있는 반면, 굴착에 소요되는 비용으로 인해 전체비용이 증가되는 단점이 있다.
Solidification / Stabilization (S/S)	▶ ex-situ ▶ soil	처리공정은 지중 S/S 기술과 동일하나, 지상 S/S 기술은 처리후 물질에 대한 처분작업이 필요하다. 주요 처리대상물질은 방사성물질을 포함하는 무기성 오염물질이다.
Solvent Extraction	▶ in-situ ▶ soil	오염 토양을 추출기내에서 solvent와 혼합시켜 용해시킨 후 분리기에서 분리하여 처리 또는 재사용한다.
Air Stripping	▶ ex-situ ▶ groundwater	양수된 오염 지하수를 packed towers, diffused aeration, spray aeration 등의 다양한 폭기법에 의해 공기를 주입하여 휘발성 오염물질과 공기간의 접촉면적을 증대시켜 증으로써 휘발·제거하는 방법이다.
Filtration	▶ ex-situ ▶ groundwater	양수된 오염 지하수를 다공성 매체를 통과시켜 고형물을 분리하는 기술로서, 중력 또는 여과매체 사이의 압력차에 의해 구동력을 얻는다.
Ion Exchange	▶ ex-situ ▶ groundwater	오염물질과 교환매체(exchange media) 간의 양이온 및 음이온을 교환시켜줌으로써 지하수 내 이온물질을 제거하는 방법으로서, 주로 용존 금속성 물질 및 방사성 물질과 nitrate, ammonia, nitrogen, silicate가 본 기술에 의해 제거된다.
Liquid Phase Carbon Adsorption	▶ ex-situ ▶ groundwater	양수된 지하수를 활성탄을 포함하는 일련의 칼럼내로 통과시켜 용존 유기오염물질을 흡착·제거하는 기술로서 포화된 탄소(saturated carbon)의 교체 및 재생이 주기적으로 수행되어야 한다.
Precipitation	▶ ex-situ ▶ groundwater	용존 오염물질을 불용성 고형물로 변형, 침전시킨 다음 여과 등의 고·액 분리공정에 의해 제거하는 방법으로서 대부분의 경우 pH 조절제 및 화학적 침전·응집제가 첨가된다.
UV Oxidation	▶ ex-situ ▶ groundwater	양수된 지하수에 자외선을 방사함으로써 지하수 내 유기물 및 폭발성 물질을 제거하는 공정이다.

비고: 본 표는 참고문헌(22)을 바탕으로 제작성한 것임.

표 5-3. 오염부지 정화기술-열적 처리기술

기술명	적용 매체	공정 개요
Thermally Enhanced Soil Vapor Extraction	▶ in-situ ▶ soil	휘발성 물질의 이동성을 증진시키고, 추출이 용이하도록 하기 위해 증기 및 뜨거운 공기를 주입하거나, 전기 또는 무선주파수에 의해 가열해주는 기술을 말하며, SVE와 마찬가지로 배출가스 처리공정을 포함한다.
Vitrification	▶ in-situ ▶ soil	본 기술은 전기적으로 오염토양 및 슬러지를 용융시킴으로써 용출특성이 매우 적은 결정구조로 만드는 방법이다.
High-Temperature Thermal Desorption	▶ ex-situ ▶ soil	폐기물 내의 수분 및 유기오염물질을 휘발시키기 위하여 315~538℃로 가열하며, 가스처리시스템으로 이동되어 처리된다.
Hot Gas Decontamination	▶ ex-situ ▶ soil	오염된 장비 및 물질에 대하여 일정 시간동안 온도를 상승시켜, 이로부터 발생한 가스성분내의 모든 휘발성 오염물질을 후연소 시스템(afterburner system) 내에서 처리한다.
Incineration	▶ ex-situ ▶ soil	산소가 존재하는 상태에서 871~1,204℃의 고온으로 유해성 폐기물 내의 유기오염물질을 소각 분해시킨다.
Low-Temperature Thermal Desorption	▶ ex-situ ▶ soil	폐기물 내의 수분 및 유기오염물질을 휘발시키기 위하여 93~315℃로 가열하며, 가스처리시스템으로 이동되어 처리된다.
Open Burn/Open Detonation (OB/OD)	▶ ex-situ ▶ soil	OB 시스템에서는 화약 및 폭약류에 대하여 화염, 열, 파장에 의해 외부에서 점화되어 소각 대상물질의 자체적인 특성에 의해 소각이 유지되며, OD 시스템은 마찬가지로 화약 및 폭약류에 대하여 초기 폭발에 의해 연속적으로 폭발, 제거하는 공정이다.
Pyrolysis	▶ ex-situ ▶ soil	산소가 없는 상태에서 열에 의해 유기물을 분해시키는 방법으로서, 이때 유기물질은 가스상 물질과 fixed carbon 및 ash를 포함하는 고형 잔류물(coke)로 전환된다.
Vitrification	▶ ex-situ ▶ soil	굴착된 오염토양 및 슬러지를 전기적으로 용융시킴으로써 용출특성이 매우 적은 결정구조로 만드는 방법이다.

비고: 본 표는 참고문헌(22)을 바탕으로 제작성한 것임.

6. 대기오염 방지분야

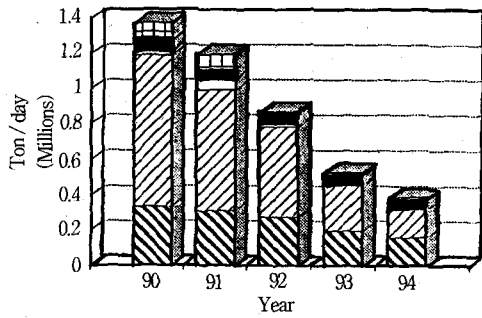
대기오염물질 발생원은 자연발생원과 인위적 발생원으로 나눌 수 있다. 인위적 발생원은 다시 점오염원, 면오염원, 선오염원으로 나눌 수 있고, 점오염원은 발전소, 소각로, 대규모 공장과 같이 하나의 시설에 대량의 오염물질이 발생하는 경우이고, 면오염원은 주택과 같이 일정한 면적내에서 소규모의 발생원이 다수 모여 오염물질을 발생시키는 것을 말하며, 선오염원은 자동차와 같이 도로를 중심으로 대기오염을 야기시키는 경우

에 해당된다. 최근 5년간 각 대기오염물질 발생원별 배출량 변화추이를 살펴보면 그림 6-1과 같다.

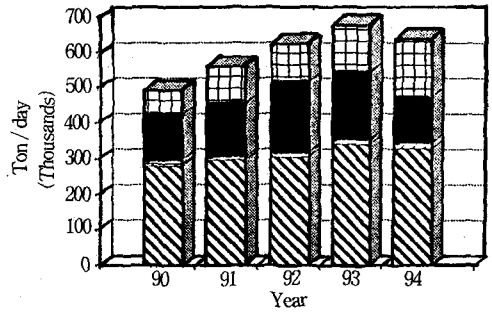
여기서 대기오염물질의 농도는 오염배출량, 기상조건, 지역적인 조건 등에 따라 다양하게 나타남을 알 수 있다. 그림 6-1(e)에서 볼 수 있듯이 '90년부터 '94년까지 5년동안 대기중으로 배출되는 오염물질의 총배출량에는 큰 변화가 없으나, 오염물질 및 배출원에 있어서는 다소 변화가 있으며 이에 대응하여 대기오염방지 대책이 수립되어야 할 것이다. 그림 1(a)와 같이 난방부분에 있어서는 각 오염물질별로 감소하는 추세를 보이고 있으며, 특히 도시가스 등의 대체연료사용으로 아황산가스가 급격한 감소하는 현상이 나타났다. 그림 1(b)와 같이 산업부분에 있어서는 전체적으로 증가하는 추세이며, 특히 이산화질소의 증가폭이 크게 나타나 이에 대한 대책이 요구된다. 그림 1(c)에서는 수송부분을 나타내었으며, 역시 이산화질소의 증가폭이 크므로 디젤자동차에 의한 대기오염이 심화되고 있는 것으로 보인다. 그림 1(d)의 발전부분에서는 TSP 및 아황산가스가 증가함을 알 수 있으며, 따라서 화력발전소에서 배출되는 대기오염물질 방지를 위한 대책이 마련되어야 할 것이다.

표 6-1. G-7 Project내 대기오염 방지기술 관련 연구과제(2)

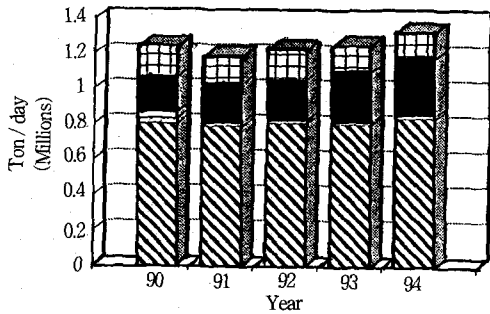
분야	중과제명	연구목표	세부과제명
대기오염 방지기술	배연탈황·탈질기술	▶ 화력발전소용 습식배연탈황 및 산업용 중·대형 보일러용 반건식 배연탈황 기술개발	발전 및 산업용 배연탈황기술
		▶ 고효율 배연탈황·탈질 동시 처리시스템 개발	배연탈황·탈질 동시처리 기술
	디젤자동차 배출가스 저감기술	▶ CNG 전소엔진 및 혼소장치 실용화 개발 ▶ CNG 촉매 및 여과장치 개발·실용화	디젤엔진의 CNG 전환기술 개발 디젤입자상물질 여과장치 실용화 디젤엔진 촉매개발
대기오염 측정장비기술	▶ 대기오염을 종합 감시하는 계속시스템 개발	대기오염 감시 및 종합관리 시스템	
	▶ 대기오염 계측기기 국산화 기술개발	대기오염 계측기기 개발 대기(굴뚝)오염 계측기의 국산화 개발	
지구환경 보전기술	지구 규모 대기환경 기초 및 기반기술	▶ 동북아시아 지역의 환경오염 문제를 효과적으로 해결·대처할 수 있는 기본자료 확보	산성비 감시 및 예측기술 개발 기후변화 예측기술
	은실기체 제어 및 이용기술	▶ 이산화탄소의 고정화를 통한 이산화탄소 배출량 감소 및 재자원화	지구대기 조성 변화감시 이산화탄소의 화학적 및 생물학적 고정화 이산화탄소 제어기술



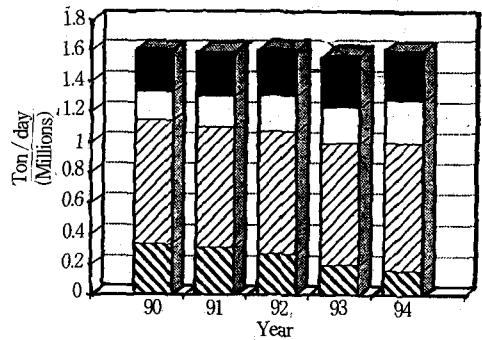
(a)



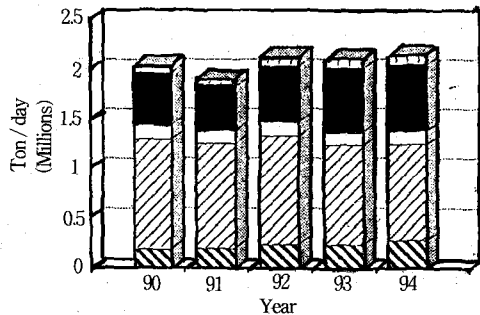
(d)



(b)



(e)



(c)

(a) 난방부문, (b) 산업부문, (c) 수송부문, (d) 발전부문, (e) 전부문

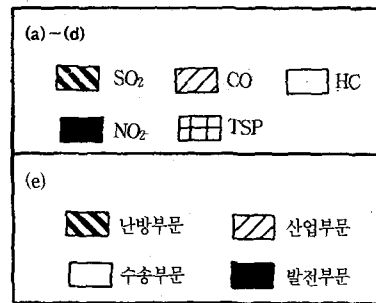


그림 6-1. 최근 5년간 발생원별 대기오염물질 배출량(15, 23, 24)

국내에서 G-7 Project 산하의 대기오염 방지기술과 관련하여 현재 연구가 진행되고 있는 과제들은 표 6-1 과 같다.

또한 점오염원과 선오염원 중심으로 최근의 대기오염 방지시설의 특징을 살펴보면 표 6-2와 같다.

표 6-2. 대기오염방지시설의 종류 및 특징(25~29)

발생원	방지시설	특 징	
		장 점	단 점
		▶ 설치비 저렴 ▶ 고온가스의 처리가 가능	▶ 분진 포집 효율이 낮음(10% 이하일 경우)

발생원	방지사설	특 징	
		장 점	단 점
점	원심력 집진 시설	▶압력 손실 적음(수층의 2~6인치 범위내) ▶건설포집 및 계진 가능 ▶조대 입자 처리에 적당 ▶운전 비용 저렴	▶습한 분진 취급이 곤란 ▶분진량과 유량의 변화 민감
	세정 집진 장치	▶미세분진의 포집효율 높음 ▶2차 분진 처리 불필요 ▶고온, 고압가스 취급 가능(가스 폭발 위험 감소) ▶분진 및 가스(특히 습한 가스) 동시처리 가능 ▶일부 처리 부분에서 가스는 고압으로 됨 ▶설치비 저렴(폐수처리 미설치시) ▶설치 공간이 적음 ▶부식성 가스, mist 환수 가능	▶Bed 및 plates의 plugging 초래 ▶폐수 처리 문제 대두 ▶습한 부산물의 회수 및 2차 오염 가능 ▶건설보다 습식 시스템에서 부식 문제 대두 ▶압력 손실 및 동력 높음 ▶건설 interface에서 고행화 문제 ▶관리 유지비 높음 ▶장치의 부식 및 침식 가능 ▶냉각기의 동결 문제
	오염원	▶분진 포집 효율 높음 ▶분진량이 변동에 비교적 둔감 ▶출구의 공기는 에너지 보전의 측면에서 염소내에서 재순환될 수 있음 ▶포집된 물질들은 건식으로 회수 가능 ▶폐수방류, 수질오염, 액체결빙 문제 없음 ▶부품의 부식 및 산화문제 없음 ▶고전압 위험 없음 ▶관리 유지가 용이함 ▶1mm 이하 분진 및 가스 오염물질의 고효율 포집을 위한 섬유 또는 전처리된 파립상 여포 사용 가능	▶고온(100~450°C) 처리시 특정 장치 필요 ▶포집된 분진 제거 또는 누출 감소를 위한 특정 여포 필요 ▶산화되기 쉬운 분진이 포집될 경우 화재 및 폭발 위험 ▶관리 유지비 높음(백외 교체 등) ▶고온, 산·알카리성 분진·가스 처리시 수명 단축 ▶습한 물질, 습기의 농축, 흡착 성분은 여포의 crusty caking이나 plugging의 발생 또는 특정 시설 필요 ▶관리 유지 인력에 대한 호호보호장치 필요 ▶압력손실은 중간 정도 ▶여과 속도에 민감
	여과 집진 시설	▶압력 손실이 비교적 낮음 ▶부식성 공기 처리에 FRP 사용 가능 ▶Mass-transfer 효율을 높일 수 있음 ▶시설의 높이, packing의 형태, plates의 수의 증가로 유량 개선 가능 ▶설치비 저렴 ▶설치 공간이 적음 ▶가스 및 분진 동시 처리 가능	▶폐수오염 문제 대두 ▶포집 물질이 습함 ▶Bed 및 plate의 plugging 초래 ▶FRP 사용시 온도에 민감 ▶관리 유지비 높음
오염원	▶가스 흡수 장치	▶압력 손실이 비교적 낮음 ▶부식성 공기 처리에 FRP 사용 가능 ▶Mass-transfer 효율을 높일 수 있음 ▶시설의 높이, packing의 형태, plates의 수의 증가로 유량 개선 가능 ▶설치비 저렴 ▶설치 공간이 적음 ▶가스 및 분진 동시 처리 가능	▶FRP 사용시 온도에 민감 ▶관리 유지비 높음

발생원	방지사설	특 징	
		장 점	단 점
선	삼원촉매 (휘발유 자동차)	▶배출가스중에 함유한 CO, HC를 산화시켜 CO ₂ 와 H ₂ O로 정화하고 NOx는 질소로 정화시키기 위해서 재순환 장치를 사용함	▶정확한 이론 공연비등이 전제되어야 하므로 기술적인 뒷받침이 요구됨 ▶정지 수명이 짧음
	산화촉매, 여과장치 및 NOx 촉매 (디젤자동차)	디젤자동차는 입자상 물질이나 NOx가 다량 배출되므로 엔진개량, 고압연료분사 및 배출가스 재순환이 요구되며, 오염물질의 최대한 줄이기 위해서는 후속적인 산화 촉매나 여과장치가 요구됨	
	대체연료 자동차	대체연료로 천연가스, 알코올, 전기를 들 수 있으나 전기자동차의 경우 대부분 화석연료를 사용하여 발전을 하는 상황에서는 사전에 대기오염 발생에 미치는 영향에 대해서 충분한 평가가 전제되어야 할 것임	
기타	소각, 흡수 및 흡착, 여과 등에 의한 대기오염물질 제거는 제2의 수질오염이나 대기오염을 유발시킬 수 있으므로 흡수나 흡착된 대기오염물질을 생물학적 처리와 연계하여 처리하는 방법이 강구되고 있으며, 흡수나 흡착과정에서 일부 VOC 물질의 용해도가 낮으므로 실리코오일 등 고비점 물질을 혼합하여 용해도를 증가시키고, 생물학적처리를 하는 방법이 연구되고 있다. 또한, 소각에 의해서 부차적으로 발생하는 재가오염물질을 줄이기 위해서 thermal plasma 공정이 활발하게 연구되고 있다.		

7. 결 론

이상과 같이 영역별 환경공학 기술들을 전체적으로 간략히 살펴보았다. 이 중에는 이미 국내에서도 개발되어 현장에서 적용되고 있는 기술과, 아직까지 개발되지는 않았으나 시급히 개발되어 국산화되어야 할 기술 그리고 향후 보다 심도있는 검토작업을 통하여 도입 및 개발이 추진되어야 할 기술들이 포함되어 있다.

국제적인 기술장벽이 보다 두터워지고 높아만 가는 상황에서 경쟁력 있고, 효율적인 기술을 도입 또는 개발하는 것은 환경공학자들의 지상과제일 것이다. 그러나 이와 함께 기존에 이미 개발되어 현장에서 적용되고 있는 소위 low-technology들을 충분히 우리 실정에 맞도록 소화하여 적절히 운영함으로써 공정의 최적화를 이끌어내는 것이 무엇보다도 선행되어야 할 기술적 과제라고 생각된다.

참고문헌

1. Tchobanoglous, G. and F. L. Burton, Waste-water Engineering : Treatment, Disposal and Re-

국제적인 기술장벽이 보다 두터워지고 높아만 가는 상황에서 경쟁력 있고, 효율적인 기술을 도입 또는 개발하는 것은 환경공학자들의 지상과제일 것이다. 그러나 이와 함께 기존에 이미 개발되어 현장에서 적용되고 있는 소위 low-technology들을 충분히 우리 실정에 맞도록 소화하여 적절히 운영함으로써 공정의 최적화를 이끌어내는 것이 무엇보다도 선행되어야 할 기술적 과제라고 생각된다.

- use, 3rd ed., McGraw Hill(1991)
2. '96 환경산업총람, 환경관리연구소(1996)
 3. 김동문, 김수생, 수질오염방지기술 폐수처리, 동화 기술(1985)
 4. 환경처, 수환경정책자료집(1994)
 5. W. Wesley Eckenfelder, Jr., Industrial Water Pollution Control, 2nd ed., McGraw-Hill(1989)
 6. 신용배, 지하하수터널과 CSOs, 대한토목학회지, 제 43권, 제3호, pp. 116-117(1995.6)
 7. 신용배, 합류식하수관 월류수와 방류선 수질관리, 수도지 제69호, 한국수도협회, pp. 47-58(1994.9)
 8. U.S. EPA, Environmental Progress and Challenges, EPA / 230-07-88-033(1988)
 9. U.S. EPA, CSO Control Policy(1994)
 10. U.S. EPA, Draft Combined Sewer Overflows -Guidance for Nine Minimum Controls(1994)
 11. Water Environment Technology, WEF, Vol. 4, No. 9(1992)
 12. U.S. EPA, Need Survey Report to Congress, Assessment of Needed Publically Owned Wastewater Treatment Facilities in the U.S., EPA / 430 / 09-89-005(1989.2)
 13. 고도산업사회의 음용수 수질기준에 관한 연구, 진로 건설(주)(1995.10)
 14. 이태관, 국내 고도정수처리 기술의 향후 방향, 첨단 환경기술, 제2권 제7호, 환경관리연구소, pp. 7-17 (1994.7)
 15. '95 환경백서, 환경부(1995)
 16. 고도정수처리 시스템개발, 한국건설기술연구원 (1993)
 17. U.S. EPA, Technology for Upgrading Existing or Designing New Drinking Water Treatment Facilities(1990)
 18. U.S. EPA, Solidification / Stabilization and its Application to Waste Materials, EPA / 530 / R-93 / 012, Risk Reduction Engineering Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, OH(1993)
 19. 신용배, 폐기물량 저감과 자원회수를 위한 산화환원 침전기술, 환경관리공단, 환경오염방지기술세미나, pp. 53-74, (1993.11.10)
 20. John T. Cookson, Jr., Bioremediation Engineering : Design and Application, McGraw-Hill, Inc. (1995)
 21. Edited by K.H. Baker, D.S. Herson, Bioremediation, McGraw-Hill, Inc. (1994)
 22. DOD Environmental Technology Transfer Committee, Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, 2nd Ed., EPA / 542 / B-94 / 013(1994)
 23. '93 환경백서, 환경부(1993)
 24. '94 환경백서, 환경부(1994)
 25. 조강래, 구내 자동차 배출가스 저감대책 및 기술개발현황, 첨단환경기술, 제4권, 제4호, pp. 2-11(1996)
 26. 조강래 등, 디젤자동차 입자상물질 여과장치의 성능 저하 및 재생기술개발, 환경부(1995)
 27. 조강래 등, 디젤자동차 입자상물질 여과장치 개발 (I ~ III), 과학기술처(1993)
 28. Parkins, H.C., Air Pollution, Aerospace and Mechanical Engineering Department, University of Arizona, (1974)
 29. Oder and Volatile Organic Compound Emission Control for Municipal and Industrial Treatment Facilities, Cooperating Orgaization Florida Water Environmental Association, April 24-27 (1994)