

이 보고서는 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해 발간한 보고서입니다.

산업테마보고서

 YouTube 요약 영상 보러가기

토양/지하수환경

국내 토양지하수환경 시장은 정체기,
영역 확대를 위한 관점의 전환과 타 산업분야와의 융합이 필요

요약

산업 생태계 분석

업계 환경 분석

기술 심층 분석



작성기관

(주)나이스디앤비

작성자

민지은 책임연구원

- 본 보고서는 「코스닥 시장 활성화를 통한 자본시장 혁신방안」의 일환으로 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해, 한국거래소와 한국예탁결제원의 후원을 받아 한국IR협의회가 기술신용 평가기관에 발주하여 작성한 것입니다.
- 본 보고서는 투자 의사결정을 위한 참고용으로만 제공되는 것이므로, 투자자 자신의 판단과 책임하에 종목선택이나 투자시기에 대한 최종 결정을 하시기 바랍니다. 따라서 본 보고서를 활용한 어떠한 의사결정에 대해서도 본회와 작성기관은 일체의 책임을 지지 않습니다.
- 본 보고서의 요약영상은 유튜브로도 시청 가능하며, 영상편집 일정에 따라 현재 시점에서 미 게재 상태일 수 있습니다.
- 본 보고서에 대한 자세한 문의는 (주)나이스디앤비(TEL.02-2122-1300)로 연락하여 주시기 바랍니다.



한국IR협의회

환경시장에서의 영역 확대를 위한 관점의 전환과 타 산업분야와의 융합이 필요

산업활동과 밀접적인 토양지하수
환경산업은 정책주도 산업이며,
현재 국내시장은 정체기

- ▶ 토양지하수 환경산업은 정책주도 산업으로, 현재 국내시장은 정체기
- ▶ 오염정화시장 기술역량은 선진국의 기술수준에 근접한 단계
- ▶ 토양의 생물자원으로서의 관점 전환 및 타 산업분야의 융합 필요

토양지하수 환경 산업은 정부의 환경규제 법과 정책강화로 시장이 생성되고 견인되었다. 우리나라는 2005년 토양정화업체제를 도입하고 2006년 누출검사 의무화로 정화업체수가 급격하게 증가하였으나, 시장의 한계로 2012년을 정점으로 업체수가 감소 추세이다. 그러나 우리나라는 해외 대비 환경 규제수준이 낮은 편이고, 오염도조사 위반율(오염초과율)이 낮아이는 시장확대의 장애요인이 된다. 한국환경공단이 국가토양오염실태조사와 법정 토양오염조사를 주도적으로 수행하고 있으나, 근본적으로 오염조사 물량이 크지 않으며, 미군 책임완화로 미군부대 토양오염 정화사업 시장마저 위축되어 시장성장전망이 불투명하다. 과거에 토양오염정화 및 복원을 목적으로 본 시장에 진입한 일부 건설업체는 사업부를 철수하거나, 해외 건설사업 및 연구개발 파트의 한 부분 형태로 사업을 유지하고 있는 상황이다.

환경산업통계조사(2018)에 따르면 2017년 토양지하수 환경산업 시장규모는 전체 환경시장 규모인 98조 8,188억 원의 1%가 조금 넘는 9,940억 원이었으며, 글로벌 경기침체 등의 영향으로 2017년도 이후의 정화사업 시장은 마이너스 성장할 것으로 예상되고 있다.

정부지원 R&D이 기업의
기술개발을 주도했으며,
토양 정화기술은
선진국 기술수준의
약 82%

국내 토양지하수 환경사업 관련 기업/기관들은 1999년도 이후 환경부 및 국토교통부 주도의 다양한 R&D 사업으로 기술개발을 이루었다. 과학기술정보통신부에서 발표한 120개 국가전략기술에 대한 ‘2018년도 기술수준평가결과’에 따르면, 우리나라 환경기술수준은 최고기술 보유국 대비 76.6% 수준으로 나타났고, 세부 기술별로 보면 ‘토양·지중 환경오염 관리기술’이 최고기술 보유국(미국) 대비 82.5%로 가장 높게 나타났다.

오염정화 대상에서 부가가치가
있는 생물자원으로서의
관점전환,
ICT/농업/바이오 등 다양한
산업분야와의 융합 필요

그러나 「통합환경관리제도」 시행, 지속적인 토양오염물질 발굴을 통한 규제항목 추가 등 환경규제도 합리화, 구체화 되고 있어, 기존의 측정 및 분석정보를 활용한 지식서비스 시장의 확대 가능성이 있다. 오염화사업 후 안정성 평가, 정화부지의 타 용도로 재활용 가능성 평가, IoT를 활용한 장기간 모니터링 및 구축된 DB를 이용한 예측기술 고도화 기술이 최근 이슈화되고 있고 토양에서 추출한 토착생물을 활용한 자원 활용 가능성이 확인된 바 있다. 이와 같이 생물자원이나 광물자원으로서의 토양산업, 자원으로서의 지하수의 가치를 산정하는 것이 가능하다. 또한 유럽의 사례로 볼 때, 토양의 가치를 평가하는 기준 중, 토양지하수의 오염도를 가치 산정의 요소로 포함하여 환경보전의 의무를 민간 보증·보험으로 제도화하는 방안도 고려할 수 있을 것이다.

I. 산업 생태계 분석

토양·지하수산업의 범위

토양과 지하수는 지표면 아래 공간을 구성하는 두 매체이자 인간생활의 터전이다. 「토양환경보전법」에 따르면 토양오염은 “사업활동 기타 사람의 활동에 따라 오염되는 것으로서 사람의 건강·재산이나 피해를 주는 상태”로 정의된다. 토양은 물과 대기가 달리 유동성이 없으나, 토양 주변을 채우고 있는 지하수의 흐름으로 인해 주변 지하수 및 지표수까지 오염물질이 확산되므로, 토양과 지하수는 불가분의 관계로 기술과 시장을 공유하고 있다.

토양지하수 환경산업의 특징은 비가시성, 연계성, 국지성

토양과 지하수의 오염원인물질은 주로 자연에서 유래하지 않은 물질이며, 오염물질이 확산되어 대기오염 및 수질오염으로 발전할 확률이 크다. 토양과 지하수의 오염의 특징은 환경오염과 달리 눈에 쉽게 보이지 않아 향후에도 잠재적인 오염원으로 작용하며, 오염행위 및 피해발생 시점간 상당한 시차가 있다는 점이다, 또한 피해의 범위가 광범위하며, 지속기간도 긴 편이다. 따라서 한번 오염된 토양, 지하수를 복원하는 정화사업에는 긴 시간과 큰 비용이 소요된다.

[그림 1] 토양 오염의 다양한 경로



*출처: 환경부 홈페이지

인간의 각종 산업활동이 토양과 지하수 오염의 원인으로 작용

토양 및 지하수의 오염원인은 과도한 농약을 사용하는 농업, 축산폐수 무단방류나 불법으로 동물의 폐사체를 매몰하는 축산업, 광산개발, 주유소, 각종 폐기물 및 폐유가 누출되는 주유소·정유소, 군부대 각종 폐기물의 매립 활동, 사격장 폐기물 등이 있다. 따라서 「토양환경보전법」에서는 오염을 유발 가능한 사업장에서는 토양오염조사를 실시하고, 필요시 정화사업을 수행하도록 규정하고 있다.

**토양지하수 정화에는
다양한 기술이
복합적으로 응용**

토양지하수 환경정화 사업은 오염원인자의 행위, 오염의 인식, 오염원인 제거를 위한 적정기술 선택, 정화 사업을 통한 원상태 복구의 단계로 구성된다. 토양지하수 산업에서 활용되는 기술은 크게 오염도 확인을 위한 측정기술, 오염물질 분석기술, 정화 목표수치 이하 수준으로 오염물질의 농도를 저감하기 위한 물리/화학/생물학적 각종 정화기술 및 사후감시·관리할 수 있는 환경모니터링, 감시기술로 크게 나뉜다. 기술의 적용 뿐 아니라 사회 경제적 환경요건에 따라 기술의 매트릭스를 구성하고 최적의 적용기법을 찾아낼 수 있는 노하우도 필요하다. 또한 해당 산업은 요소기술의 성격에 따라 토목, 화학, 생물, 환경, 지리, 전자 및 통신 분야의 다양한 지식과 기술이 복합적이고 집약적으로 응용되는 산업이다.

**토양지하수
정화사업의
밸류체인**

토양오염 정화사업 관련 밸류 체인은 오염도 조사 및 컨설팅 → 토양오염 정화사업 → 토양 최종 수요자로 구성된다. 환경부 등록업체는 오염도 조사, 컨설팅 및 정화사업의 등록업체들이 중복되어 있는 경우가 많으며, 정유회사의 경우 토양정화사업의 수행자이며 동시에 수요자(발주자)가 되기도 한다.

[표 1] 토양지하수 정화 사업 관련 밸류 체인

구분	오염도 조사 및 컨설팅	토양오염 정화사업	수요자
			
업체	국립환경과학원, 에코솔루션, 서울시보건환경연구원 등	자연과환경 , 오이코스, 현대건설, 에코필, 에이치플러스에코 등	국방부, 한국토지주택공사, 지에스칼텍스, 한국농어촌공사 등

* 볼드, 밑줄은 코스닥기업임

* 출처: 한국신용정보원 TDB, 나이스디앤비 재구성

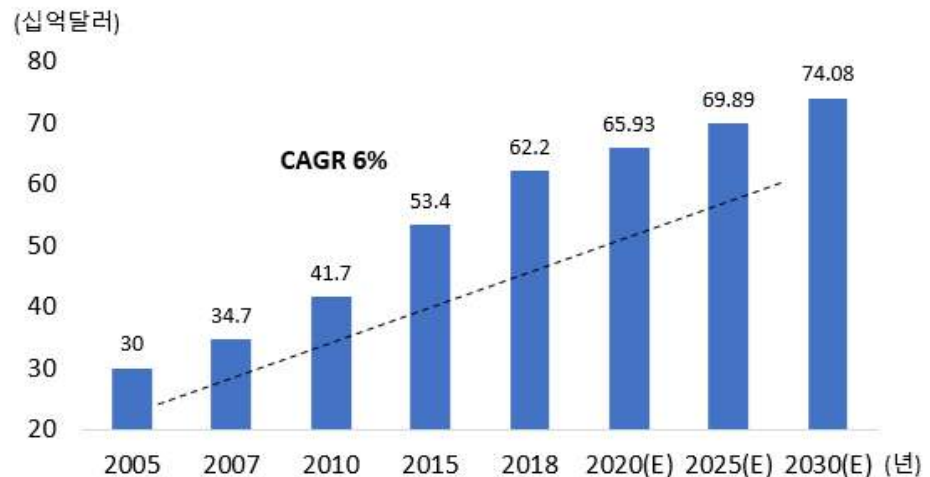
토양지하수 산업에서 활용되는 기술은 크게 (1)오염도 확인을 위한 측정·분석기술, (2)정화 목표수치 이하 수준으로 오염물질의 농도를 저감하기 위한 물리/화학/생물학적 각종 정화기술 및 (3)정화상태의 지속성을 장시간 감시·관리할 수 있는 환경모니터링, 감시기술로 크게 나뉜다.

**세계 환경시장
규모 및
토양지하수산업
시장규모**

환경산업기술원(2019)에 따르면 2018년 기준 세계 환경산업 시장 규모는 1조 2,443억 달러에 달하며, 이는 2020년도 우리나라 정부 예산안(513조 5,000억 원)의 3배 수준의 규모이다. 그러나 세계 환경산업(서비스) 시장에서도 상·하수도 및 폐기물 분야가 전체의 77%를 차지하며, 토양 및 지하수 복원사업은 전체 시장 중 5~8%를 차지하는 수준이다. 지역별 시장규모는 미국 33%, EU(서유럽) 24%, 일본이 13%, 그리고 중동시장이 11% 정도를 차지하고 있다.

이 중 토양지하수분야 시장 규모는 2005년 300억 달러에서 2018년 622억 달러로 성장하였으며, 동일 추세를 가정할 때 2030년에는 741억 달러 시장을 형성할 것으로 전망된다[그림 2].

[그림 2] 세계 토양지하수분야 환경산업 시장 규모

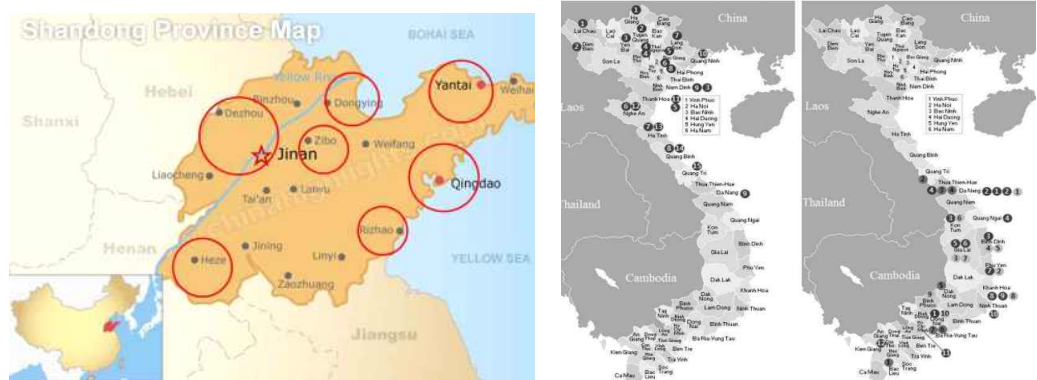


*출처: APEC(2017), 나이스디앤비 재구성

주변 국가의 토양지하수시장 현황

중국 산업정보망에 의하면, 중국은 2012년 50여 개의 토양정화업체를 설립하였고, 2020년 중국 토양정화시장의 규모가 2,199억 위안에 달할 것으로 예측하고 있다. 그러나 이미 2013년 말까지 중국환경산업협회가 파악한 해당 기업의 총수는 이미 300개를 넘었으며 2015년 통계에 의하면 전국에 최소한 500여 개의 관련기업이 존재한다. 우리나라와 실정과 같이 중국에서도 토양정화사업 1개의 사업규모는 비교적 작아, 약 43.75%가 5,000만 위안 이하 규모의 사업이며, 2억 위안 이상 대규모 사업의 비율은 전체 사업 수의 약 19% 이하인 것으로 나타났다.

[그림 3] 중국 산둥성 및 베트남 정화대상 오염부지 현황



*출처: 해외환경통합정보시스템(2019)

베트남의 경우 2005년 산업성장률 10%이상을 기록하였고 경제성장으로 인해 심각한 환경문제에 직면할 것으로 예측된다. 베트남 당국은 다소 늦은 2005년 이후에야 환경산업 현황조사를 착수하였으며, 환경프로젝트의 경우 재정지원은 아직까지 해외의 공적개발원조에 의해 이루어지고 있다. 그러나 관련기술력이 높지 않고 핵심 환경오염제어 설비를 대부분 수입에 의존하고 있는 상황이다.

우리나라 토양지하수 시장은 관련법에 의해 형성

우리나라에서 토양환경에 관한 최초의 입법은 1963년 제정된 「공해방지법」이나 여기서는 토양오염에 관한 사항을 담지 않았고 1970년대까지도 토양오염에 대한 법적 인식이 미흡하였다. 1977년 「환경보전법」 개정에 이르러서야 토양오염물질을 규정하여 토양의 중요성이 부각되면서 「환경정책기본법」을 거쳐, 1995년 「토양환경보전법」이 제정되어, 토양측정망을 운영, 토양오염의 사전예방 및 오염토양 개선 등에 종합적인 관리 개념이 형성되었다. 또한 2005년 「광산피해의 방지 및 복구에 관한 법률」 등이 제정되며 관련 산업이 활성화되었다.

법률상 오염물질 누출가능성이 있는 관련시설의 소유자, 점유자, 운영자에 정화의 의무가 발생

「토양환경보전법」은 2015년까지 총 10차에 걸친 개정으로 우리나라 토양보전기본계획, 토양오염도 측정, 토지 등 수용, 타인토지 출입, 손실보상 등에 대해 규정하고 있다. 토양환경 관련 산업은 세부적으로 토양오염검사, 토양정밀조사, 오염토양정화, 정화검증으로 나뉜다. 지하에 매설된 저장시설 혹은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 자연환경보전지역, 「지하수법」규정에 의한 지하수보전구역, 「수도법」에 의한 상수원 보호구역 등에 의해 지하매설 저장물질의 누출여부를 확인하는 토양오염검사 후 검출된 농도에 따라, 필요시 토양정밀조사를 실시해야 한다. 법에 규정된 토양오염물질에 대해 사람의 건강 및 재산과 동·식물의 오염도에 따라, 시·도지사 또는 시장·군수·구청장을 통해 오염토양의 정화를 명령할 수 있다. 정화책임자는 「지적법」의 토지용도별 오염물질의 농도를 규제수준 이하로 정화할 의무가 발생하며, 토양정밀조사 또는 토양정화에 소요된 비용은 해당 정화책임자에게 구상할 수 있다. 토양은 각종 산업의 기반으로 재산의 큰 부분을 차지하고 있어, 토양오염관리대상시설의 소유자, 점유자, 오염원인자에게는 토양환경오염법의 준수 및 정화사업 여부가 전체사업비의 증가의 요인으로 작용하게 된다.

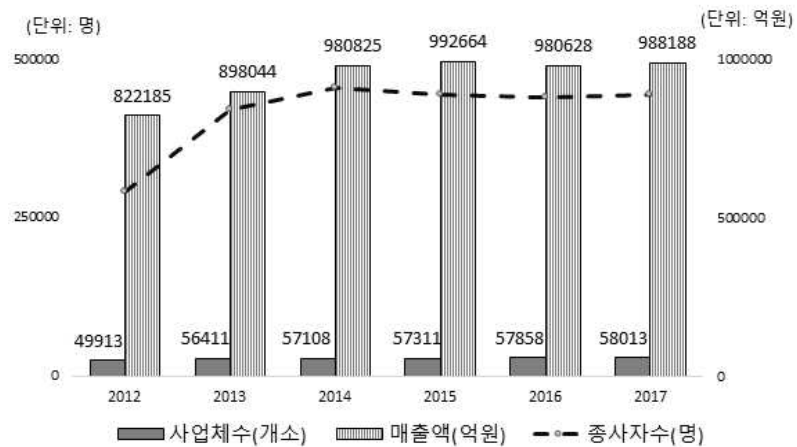
지하수 역시 토양과 마찬가지로 정부 주도로 관리되고 있다. 지하수의 조사, 보전관리, 개발·이용·시공업 및 지하수영향조사의 업무는 국토부 관장이고, 지하수의 수질과 먹는 물 수질기준, 환경기준의 제정이나 지하수오염유발시설의 오염방지 및 수질검사 등의 업무는 환경부에서 관장한다. 민법에 따르면 토지소유권은 토지의 상,하에 미치는 것으로 규정하여 지하수도 토지의 일부로 보므로 지하수 오염도 개선 역시 토지관계자의 재산권에 영향을 미치는 요인이다.

국내 환경산업 시장 중
토양지하수 산업은
1% 미만을 차지

[그림 4]는 매출액 기준으로 본 우리나라 환경산업체의 현황이다. 환경산업을 영위하고 있는 사업체수는 49,913개 소에서 2017년도 58,013개 소로 증가하여 기간 동안 연 평균 3% 증가하였다. 매출액은 2016년 기준 98조원으로 지난 10년간(2006~2016) 연평균 12.9%(CAGR) 성장세를 보였으나, 2016년 이후 성장세가 감소하여 2018년에도 98조원의 수준이다.

국내의 경우, 전체 환경산업 중에서도 주력산업인 자원순환, 물, 지속가능환경·자원 산업이 전체 매출의 75%를 차지하며, 토양지하수 산업이 포함되는 ‘환경복원 및 복구’ 분야는 약 1%를 차지하고 있다.

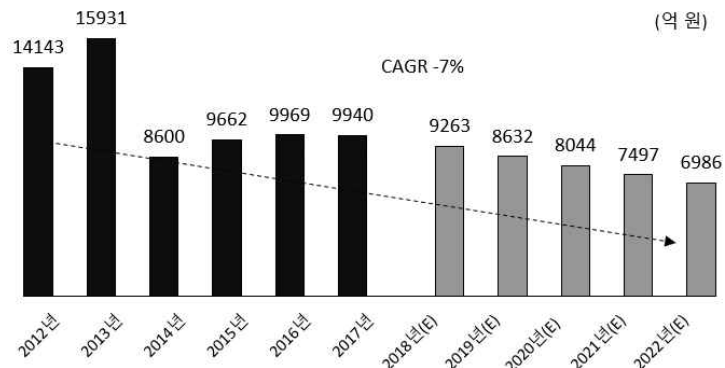
[그림 4] 우리나라 환경산업체 현황 (사업체수, 매출액, 종사자수)



*출처: 환경산업통계조사보고서(2018), 나이스디앤비 재구성

‘환경복원 및 복구’ 분야는 토양, 지표수 및 지하수 관련 제조, 정화서비스, 분석·자료수집 및 평가서비스로 구성되어 있어, 이를 토양지하수 환경산업의 시장으로 해석할 수 있다. 환경산업통계조사(2018)에 따르면 2017년 토양지하수 환경산업 시장규모는 전체 환경시장 규모인 98조 8,188억 원의 1%가 조금 넘는 9,940억 원이었으며, 글로벌 경기침체 등의 영향으로 2017년도 이후의 정화사업 시장은 마이너스 성장을 할 것으로 예상되고 있다.

[그림 5] 토양지하수 환경산업 시장규모 및 전망



*출처: 환경산업통계조사(2018), 나이스디앤비 재구성

**법과 정책에 의해
시장이 형성되고,
정부주도 R&D로
기술개발이 진행**

국내 토양지하수 환경시장은 반환미군기지 오염토양 정화사업 및 남북송유관 정화사업이 시작된 2008년부터 급격히 성장하였으나, 2015년 이후 9,000억 원 후반대의 시장규모에 머물러 있다. 토양지하수 환경산업은 여타 산업과는 달리 환경 규제 등 법적·제도적 장치에 의한 수요 창출이 시장의 규모를 좌우하고 있어, 국가단위 토양오염실태조사, 복원사업 및 비위생 매립시설의 정비 등에 대한 강력한 규제 및 오염원인자의 책임강화가 시장형성에 필수적이다.

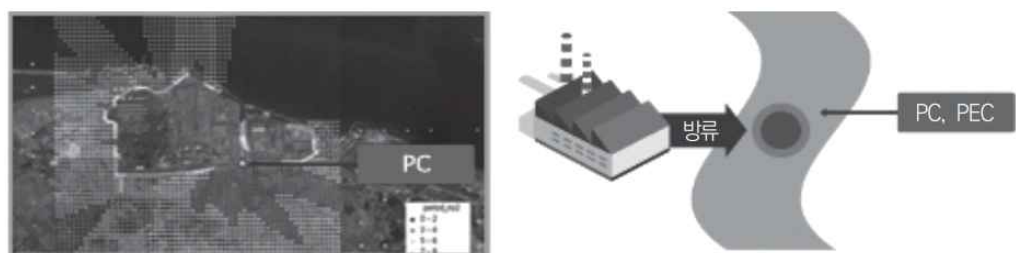
규제에 의한 오염복원의 필요성이 대두되면서, 환경부는 ‘우리나라 토양지하수 환경시장을 국내 기술로 대체할 수 있는 선진국 대비 90%이상 수준의 오염방지기술개발’을 목표로 ‘토양·지하수 오염방지기술개발사업 (Geo-Advanced Innovative Action; GAIA Project)’을 2008~2017년에 걸쳐 추진하였다. 총 1,631억 원(국고 1,397억 원)의 투입을 목표로 2016년도까지 국비 1,307억 원이 투자되었다.

**2017년도부터
시행된
통합환경관리제도로
컨설팅 관련시장
성장전망**

환경부는 기존 배출시설 허가제도의 문제점인 최대 10개가 넘는 배출시설 인허가와 중복허가, 배출구 농도 중심의 획일적 규제 등의 한계를 탈피하고자 기존 6개의 개별 법령, 10개 인허가를 사업장 단위의 「통합환경계획서」로 통합하고 「환경오염시설의 통합관리에 관한 법률」을 제정하였다.

[그림 6]과 같이 기존에는 점오염원으로부터 대기, 하천수 및 토양에 배출 및 방류되는 배출구 방류농도가 규제 대상이었다면, 통합환경관리제도 하에서는 환경으로 배출되는 각종 오염물질에 대해 기존 자연환경의 ‘현황농도’, 배출로 인한 ‘오염기여도’, 이로 인한 ‘예측환경농도’가 각각 산정되어야 한다. 따라서 향후 토양과 지하수의 장래 오염도를 예측하고, 배출영향분석을 시뮬레이션 할 수 있는 오염 측정 및 분석, 모델링을 통한 예측기법 및 이에 대응방안을 마련할 수 있는 토양지하수관련 지식서비스 및 컨설팅 분야가 활성화될 전망이다.

[그림 6] 배출영향분석 체계



구분	개념
기존오염도(BC)	지역 대기에 확산되어 있거나 수용하천에 완전히 혼합되어 있는 오염물질의 현황농도
추가오염도(PC)	배출되는 오염물질 등이 지역대기에 확산되거나 수용하천에 완전히 혼합되었을 때 지역 대기 또는 수용하천에서의 농도 증가량
총 오염도(PEC)	오염물질 등이 배출된 이후 배출시설 주변의 지역대기 또는 수용하천에서 예측되는 농도

*출처: 환경백서(환경부, 2019), 나이스디앤비 재구성

II. 업계환경분석

세계 환경시장 및 업계의 동향

[그림 7]은 ENR(Engineering News Records)의 2016년도 북미 TOP 20개 환경산업체의 업종을 분석한 것으로 컨설팅·조사 분야 업체가 35%, 건설·오염정화관련 업체가 25%를 차지하였으며, 엔지니어링 업체 20%, 환경시설 위탁운영 및 기타분야가 각각 10%를 차지하고 있다. AECON, Arcadis, Jacobs, Tetra tech 및 ERM은 대표적인 글로벌 Top 5의 환경 컨설팅 업체로 컨설팅 업체이면서 토양지하수 복원사업을 수행하고 있다.

[그림 7] 북미 환경분야 상위 20개 업체의 업종 수 분석

(단위: 업체수(%))



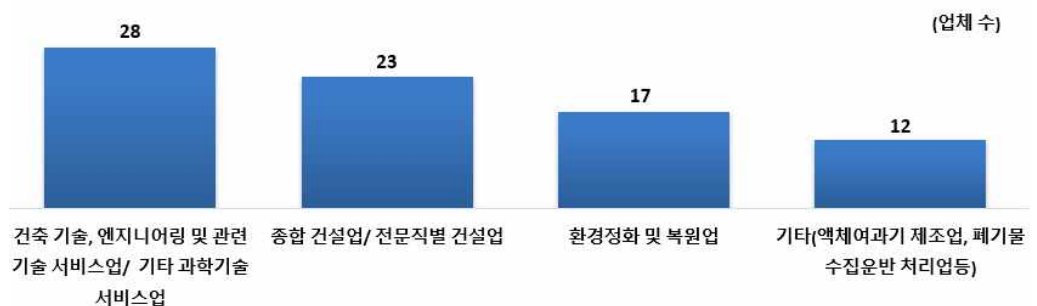
*출처: 나이스디앤비 작성

국내 업체들의 표준산업분류코드별 업체수는 건축기술 엔지니어링, 건설업, 환경정화 및 복원업 순

환경산업통계조사보고서(2018)에 따르면 우리나라 환경관련 산업체 수는 2017년도 기준 772개이며, 환경정화 및 복원업(한국표준산업분류코드 E3900)에 해당하는 전국 사업체 수는 102개 이다.

산업통계와 별도로 환경부에 등록된 ‘토양정화업 및 토양관련전문기관’ 및 ‘지하수정화업’ 등록현황 고시자료에 따르면, 토양오염현황을 조사하는 토양오염조사기관은 법정기관 24개를 포함하여 총 79개 업체이다([그림 8]). 2019년도 환경부 자료에서 토양지하수 관련 산업체 중, 건축기술, 엔지니어링 및 관련기술 서비스업(M7200)에 해당하는 업체는 35%, 종합 및 전문직별 건설업(F4100, F4200)은 29%, 환경정화 및 복원업(E3900) 21% 그리고 폐기물수집운반 처리업 등 기타분야가 15%를 차지하여, 환경정화 및 복원만을 전문으로 하는 기업 개수는 30개 미만이다.

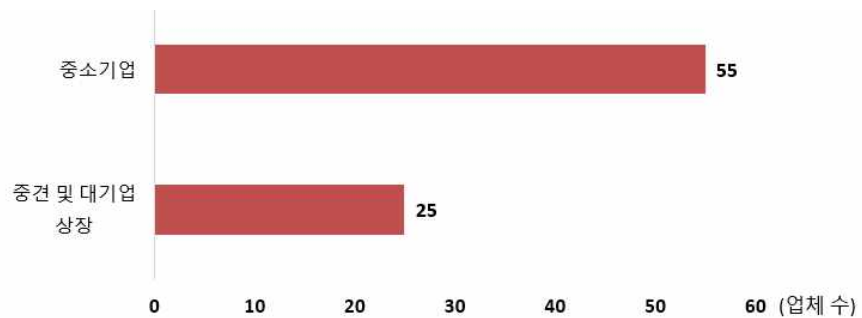
[그림 8] 국내 산업분류별 토양지하수 정화업 등록업체 수



기업형태별로는
중소기업이 약
70%를 차지하여
영세한 기업규모의
양극화 심화

또한 기업형태별로는 중견 및 상장 대기업이 총 25개 업체로 약 32%, 나머지 68%를 중소기업이 차지하고 있다, 중소기업 중 코스닥 상장기업은 자연과환경이 유일하고, 나머지 54개의 중소기업은 비상장 법인 및 개인사업자이다.

[그림 9] 토양지하수 정화업 등록업체의 기업형태



*출처: 환경부(2019), 나이스디앤비 재구성

[표 2] 환경정화 및 복원업을 수행하는 주요기업 매출액

2018년도 매출액	업체
500~1000억 원	에이치플러스에코
100~500억 원	자연과환경, 대일이앤씨, 동명엔터프라이즈, 신대양, 아름다운환경건설
50~100억 원	오이코스, 전테크, 한민, 오대기업, 태림인더스트리
25~50억 원	동우엔지니어링, 티티에스, 누리환경, 한우리환경, 한국환경안전연구소
25억 원 이하	기타

*출처: 나이스디앤비 작성

또한 에이치플러스에코를 제외하고는 토양지하수 복원사업을 영위하고 있는 상위 그룹인 자연과환경, 대일이앤씨, 아름다운환경건설, 에코필 등의 매출액은 연 100~500억 원이하의 수준이며, 25억 원 이하의 경우인 업체도 다수 존재한다.

토양지하수 환경
시장은 2005년 이후
급격히 성장하였으나
현재 시장은
성장정체기

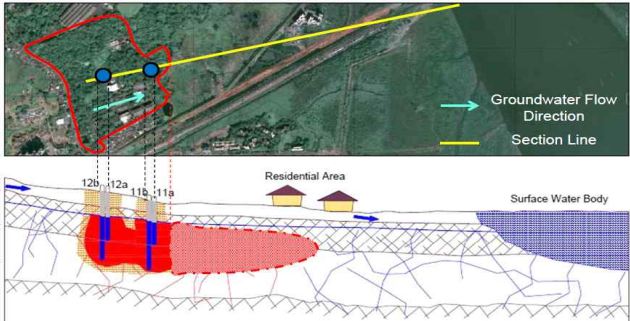
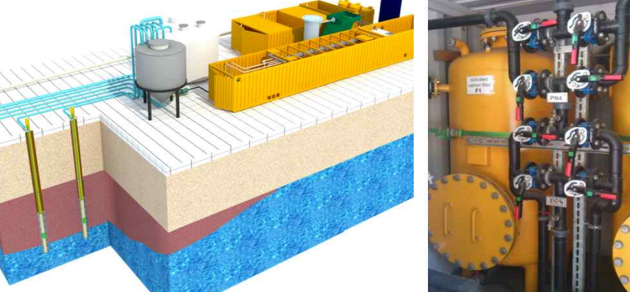
토양지하수 환경 산업은 정부의 환경규제 법과 정책강화로 시장이 생성 및 견인되었다. 우리나라는 2005년 토양정화업체제를 도입하고 2006년 누출검사 의무화로 정화 업체수가 급격하게 증가하였으나, 시장의 한계로 2012년을 정점으로 업체수가 감소 추세이다. 시장에는 정부 주도시장(산업단지, 군부대, 매립지, 광산)과 민간주도 시장(건설사, 정유사)이 있으며 규모로는 민간주도 시장이 70~80%를 차지한다.

그러나 우리나라는 해외 대비 환경 규제수준이 낮은 편이고, 오염도조사 위반율(오염초과율)이 낮아 이는 시장확대의 장애요인이 된다. 한국환경공단과 국가토양오염실태조사와 법정 토양오염조사를 주도적으로 수행하고 있으나, 근본적으로 오염조사 물량(Ton)이 크지 않으며, 미군 책임완화로 미군부대 토양오염 정화사업 시장마저 위축되어 시장 성장전망이 불투명하다. 과거에 토양오염정화 및 복원을 목적으로 본 시장에 진입한 일부 건설업체는 사업부를 철수하거나, 해외 건설사업 및 연구개발 파트의 한 부분 형태로 사업을 유지하고 있는 상황이다.

해외 대표기업 및 사례

[ERM] ERM은 영국 기반의 종합 환경컨설팅 기업으로 엔지니어링 및 환경정화 복원업으로 출발하여 환경, 지속가능성, 사회적 책임을 아우르는 컨설팅 기업으로 변모한 기업이다. 50여 년간 환경, 건강, 안전, 위해도 등의 사회적 영향력을 분석하여 컨설팅서비스를 전 세계에 제공하고 있다. 특히 인도에서는 20년간 3,000개 이상의 현장조사를 실시하였고, 35개의 정화사업을 성료, 15개의 진행중인 복원 프로젝트를 포함하여 총 5,000건의 프로젝트를 수행하였다. 인도에서 수행한 오염현장 부지조사, 오염데이터를 이용한 모델링, 위해도평가, 정화사업을 절차에 따라 수행하였고, 적용된 각각의 정화기술은 오염확산 예측을 위한 모델링, 공기주입, 원위치 산화, 지하수 양수처리 등 다양한 오염물질의 특성에 따라 다양하다.

[표 3] ERM의 주요 적용기술

오염예측 모델링/ 위해성평가	
토양증기추출/ 흡착탑	
In-situ 화학적 산화	
지하수 양수 후 처리	

*출처: ERM(2017)

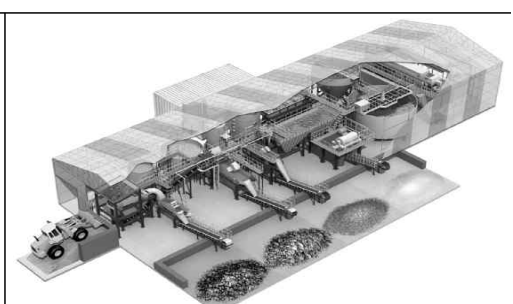
국내 대표기업 및 사례

[자연과환경] 자연과환경은 코스닥상장 중소기업으로, 주요사업은 우수저류조, 환경생태복원사업, 토양지하수정화, 조경 및 환경플랜트사업이다. 동사는 환경정화업을 영위하는 기업 중 대기업을 제외한 유일한 코스닥 상장기업으로 주요사업으로는 [콘크리트 관 및 기타 구조용 콘크리트제품 제조업]을 영위하는 기업이다. 토양지하수정화복원 기업인 에코바이오의 경영권을 취득하며 에코바이오를 동사의 조직으로 편입하며 토양정화 및 환경복원사업도 수행하고 있다. 2017년 말 기준 국방대학교 10,863m²의 토양복원공사, 영천 주유소 토양오염 정화공사, 2015년 김포 A건설 토양오염 정화공사 등 다양한 토양정화사업 수행실적을 보유하고 있다. 동사는 친환경 수질정화 제품인 에코셀 보도블록, 생태블록, 어도블록 등을 제조하고 시공하며, 수처리 플랜트, 지하수 호소정화 플랜트 등 다양한 환경산업을 영위하고 있다.

[에이치플러스에코] 에이치플러스에코는 2000년 설립되어 토양복원 및 누출검사용역, 도장폐수 및 중금속의 수처리 및 바이오·윤활성향상제 생산 판매를 주요 사업으로 영위하고 있는 외감 중소기업이다. GS칼텍스가 대표이사의 특수관계자로서 업계 중 국내 최대의 정유사 및 오염토양 정화실적을 보유하고 있으며, 국내 최대의 군/정부 관련 공사실적도 보유하고 있다. 2018년도 매출액 736억 원으로, 환경정화 및 복원업을 수행하는 기업 중 가장 규모가 큰 기업이다.

[에스케이건설] 에스케이건설은 건축 및 토목공사를 영위하는 대기업으로, 건축 및 토목공사업, 전기공사업, 건설업 등 총 70여 개 사업을 영위하고 있다. 동사는 인프라기술팀과 연구소는 2005년 토양정화업을 등록하여 해당 시장에 참여하였다. 저유소로 사용되다가 미군 유류저장기지로 확장되어 사용된 오염토양을 오염농도별로 토양경작법과 토양세척법을 사용하여 정화사업을 완료하였다. 토양경작법은 에스케이건설이 보유한 1톤 규모의 미생물 배양시설과 토양경작장 비닐하우스에서 이루어졌으며, 토양세척법을 통해 현장에서 오염 토양을 입경별로 분류하여 세척하면서 유류성분을 물로 세척하고, 발생한 세척수는 수처리시스템을 통하여 정화시키고 정화 현장에서 재순환·사용하였다. 정화 대상이 유류오염토양이므로 토양정화작업 중 VOCs(휘발성유기화합물)의 대기 중 배출을 최소화하기 위해 민원방지 및 작업자 안전보호 목적으로 사전안전화공법을 사용하였다.

[표 4] 에스케이건설이 사용한 토양정화용 시설

	
토양경작장 조감도	토양경작을 위한 미생물 배양시설

*출처: 한국지반신소재학회(2010), 나이스디앤비 재구성

국내 기업들의 기술개발 동향

[현대건설] 현대건설은 종합건설업을 영위하는 유가증권상장 대기업으로 연구개발본부 물환경연구팀의 연구개발을 통해 토양환경 정화사업 연구개발 등을 수행하고 있다. 물환경연구팀은 수처리, 해수담수화, 토양정화 등 다양한 분야의 환경관련 기술을 개발하고 있으며, 2000년대 초반부터 광주의 비위생 매립지, 태안 부남호 준설토 공사, 대전 역사 유류오염 토양 등 다양한 토양정화 사업에 참여하였고, 장항제련소 비매입구역 토양정화사업을 2012년부터 2015년까지 3년간 실시하였다. 해당 사업의 노하우를 활용하여 2013년 국내 건설사 최초로 싱가포르 주룽도시공사가 발주한 실증화 R&D 사업인 ‘해안 중금속 오염토양 정화기술 실증’을 제안하였고 수주에 성공하였다. 또한 글로벌 건설사로서의 강점을 최대한 활용하여 쿠웨이트의 ‘유류 오염토양 정화사업’에 참여하기 위한 방안을 모색하고 있어, 세계 토양오염 정화사업 시장의 플레이어로 활동하고 있다. 동사는 유류오염토양 정화 뿐 아니라 중금속, 준금속 및 독성물질로 오염된 토양을 정화하는 기술도 개발하여, 비소로 오염된 토양을 물리적으로 처리하는 공법을 개발하고 환경신기술로 인증받았다(제498호).

[표 5] 현대건설의 토양지하수분야 주요 기술

환경신기술 498호	
기술명	비소오염 사질토양의 물리적 정화를 위한 건식 미세토 분리 기술
기술개요	본 기술은 기존의 습식 토양세척 방법과는 달리 물을 사용하지 않는 건식의 미세토분리 방법을 이용하여 고농도 오염물질이 분포하는 특정크기 범위의 오염토양만을 선별분리함으로써 비소 및 중금속 오염토양의 오염부하를 물리적으로 저감시키는 기술로서, 분상화 효율이 좋은 사질토양에서 최적의 효과를 보이는 기술임. 특히, 물과 화학약품을 사용하지 않아 환경 영향을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라, 공정구성이 간단하여 경제성이 높은 기술임
신기술의 범위	원심력과 충격파쇄를 이용한 사질토양의 분상화(Disintegration) 기술, 차등회전을 이용한 특정입자크기 비소오염토양의 건식선별분리 기술
처리용량	2 ton/hr

*출처: 환경신기술정보시스템, 나이스디앤비 재구성

[에코필] 에코필은 외감 중소기업으로 오염토양/지하수 환경정화, 광해방지, 폐기물, 수처리 및 해양환경분야를 주요 사업으로 하며, 오염토양을 처리하기 위한 반입처리장을 보유하고 있다. 동사는 2011년 쿠웨이트석유회사(Kuwait Oil Company)가 발주한 유전 토양 복원사업에 참여한 유일한 쿠웨이트 환경업체인 NCC와 사업 파트너로 선정되었다. 에코필은 쿠웨이트에서 3년간 다양한 종류의 오염토양을 처리하여 노하우를 보유하고 있다. 또한 중국 충칭시 화학공장 중금속 오염토양 정화사업, 산둥성 산업단지 오염정화사업 및 광둥성 동관시 비위생매립장 악취안정화사업을 수행하였다. 또한 동전기 방식의 미세토양 중금속 처리기술은 환경부 녹색인증을 받았다.

[그림 10] 에코필 토양정화 현장



*출처: 에코필 홈페이지

[신대양] 신대양은 토양사업본부, 해양사업본부, 환경사업본부를 갖춘 외감 중소기업으로 토양지하수정화사업 및 토양평가사업을 영위하고 있다. 동사는 원위치 정화가 불가능한 오염토양을 반출하여 자체 시설에서 정화할 수 있는 반입정화시설을 보유하고 있다. 동사는 토양경작, 토양세척, 화학적 산화, 토양증기추출, 오염확산방지, 열탈착 기술을 보유하고 있으며, 오염현장 상황에 적합한 기술을 적용하여 정화사업을 수행중이다.

[그림 11] 신대양 보유 정화공법



*출처: 신대양 홈페이지

[대일이앤씨] 대일이앤씨는 외감 중소기업으로 환경평가, 토양정화, 지하수정화, 환경플랜트, 토목 및 연구개발을 주요 사업으로 수행하고 있으며, 토양정화를 위한 반입정화시설을 보유하고 있다. 동사는 토양경작법, 열탈착법, 토양세정법, 다중상 추출법 등을 사용하여, 주유소, 군부대 내 오염부지, 각종 사업소 내 오염토양 정화사업을 수행하고 있으며, 환경신기술 427호를 보유하고 있다.

[표 6] 대일이앤씨의 토양지하수분야 주요 기술

환경신기술 427호	
기술명	세립질 유류오염토양의 열탈착 공정에서 분진성형/비접촉 열교환 정화 토양 냉각장치를 이용한 비산먼지 저감 기술
기술개요	열탈착 설비에 분진성형장치 및 비접촉 정화토양 냉각장치를 설치하여 점토질 토양의 열탈착 처리시 다량 발생하는 미세분진의 비산을 제어하여 분진비산 방지시설 건축비를 절감하고, 작업환경을 개선할 수 있을 뿐 아니라 연속 가동율을 높여 장비의 효율을 향상시킨 열탈착 설비
신기술의 범위	- 탈착유증기 처리설비(원심력집진기, 열산화기, 폐열보일러, 열교환기, 여과집진기 등)에 분진 자동배출장치와 분진성형장치를 통해 분진 비산에 의한 2차 대기오염을 방지하고 작업환경을 개선시킨 기술 - 분진을 연속처리하여 열탈착 설비의 연속 가동이 가능하고 설비 가동율을 높여 재가동시 승온에 필요한 연료소비를 절감한 기술 3단 스크류 비접촉식 토양냉각방식으로 고온의 정화토양을 물과의 비접촉으로 냉각시킴으로써, 분진을 함유한 다량의 수증기를 사전에 방지하여, 분진비산 방지설비인 하우스 건축비를 절감할 수 있는 기술 - 비접촉식 냉각방식으로 냉각함으로써 기존 급속냉각방식에서 발생하는 토양막힘 현상을 방지하여 장비고장율을 낮춘 기술
처리용량	30 ton/hr

*출처: 환경신기술정보시스템, 나이스디앤비 재구성

[표 7] 환경부 등록 토양지하수 관련 업체 및 기관

구분	분야	업체
토양	토양정화	현대건설, 티에스케이워터, 코오롱글로벌, 자연과환경 , 아이나환경코리아, 한국종합기술, 포스코건설, 한라오엠에스, 대일이앤씨, 에스케이건설, 에코필, 신대양 등 총 74개
	토양오염조사	한국환경수도연구원, 국립환경과학원, 서울시보건환경연구원, 대구지방환경청 등 총 79개
	누출검사	한국위험물환경기술, 동명엔터프라이즈, 그린비즈, 대경환경연구소 등 총 19개
	위해성평가	한국환경공단, 한국농어촌공사, 경상대학교 부속 농업생명과학연구원 등 총 9개
	토양환경평가	중앙건설턴트, 지우이앤이 등 총 52개
지하수	지하수정화	한국농어촌공사, 롯데건설, 대일이앤씨, 에스케이건설, 현대건설, 에이치플러스에코, 신대양 등 총 62개

*볼드 및 밑줄 친 기업은 코스닥 기업임.

*출처: 환경부(2019, 업종별 중복 등록 포함), 나이스디앤비 재구성

포트폴리오 분석

환경부에 등록된 ‘토양정화업 및 토양관련전문기관’ 및 ‘지하수정화업’ 으로 등록된 기관은 법정기관 포함 79개 업체로 확인되며, 기업체 중에서는 자연과환경이 유일한 코스닥상장사이다. 또한 동일한 사업을 영위하는 현대건설 등 유가증권상장사 및 대기업의 경우 전체 사업 중 토양지하수 관련사업의 매출비중이 미미하여, 유의미한 추가분석이 어려워 포트폴리오 분석을 생략한다.

Ⅲ. 기술 심층 분석

토양정화기술은
오염물질/정화대상
에 따라 구분되며,
생물학적 처리방법,
물리화학적 처리방법,
열적 처리방법으로
나뉜다

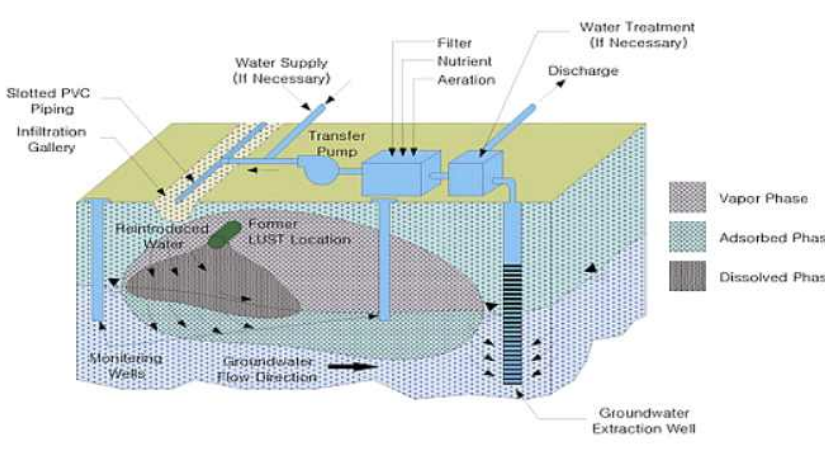
생물학적 처리방법:
생물학적 분해법

토양 및 지하수 오염복원기술은 정화대상 매체(토양, 지하수)의 위치(불포화대, 포화대), 토양(지하수)의 굴착(양수)의 유무(현장내, 현장외) 및 오염물질(고체, 액체 및 기체)에 따른 공정의 원리 등에 따라 여러 가지 기준으로 분류된다.

토양오염 정화기술은 제거대상 오염물질의 종류, 성질에 따라 제거되는 원리가 다르며, 적용하는 공정에 따라 (1)생물학적 처리방법, (2)물리·화학적 처리방법, 그리고 (3)열적 처리방법으로 나뉜다. 또한 정화가 수행되는 위치에 따라 현장내(In-situ, 지중처리) 처리기술과 현장외(Ex-situ, 지상처리) 처리기술로 분류하기도 한다.

생물학적 처리방법은 주로 유류(탄화수소) 등을 포함한 유기오염물질을 분해하는 미생물, 식물의 능력으로 오염물질의 농도를 저감시키는 방법이다. 현장 토양의 토착 미생물의 성장 및 분해조건을 극대화하기 위해 양분, 수분, 공기 등을 공급하거나, 특정 오염물질 분해능력이 뛰어난 미생물을 추가로 주입, 혹은 오염물질을 흡수하는 식물 등을 식재하여 오염물질을 정화하는 기술 등이 있다.

[표 8] 토양 정화기술 : 생물학적 처리방법 (1)

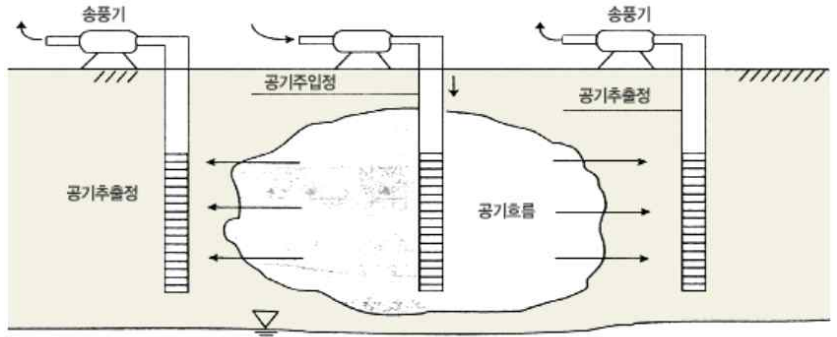
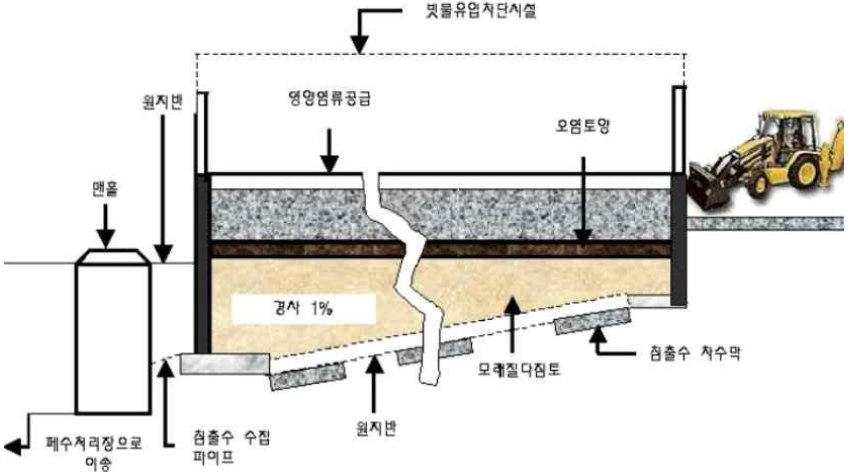
기술명	개요 및 특징
생물학적 분해법	- In-situ기술로 지중의 미생물에 의한 유기오염물질의 분해로 오염된 토양 및 지하수를 처리하는 방법 - 오염부지에 적절한 수의 관정을 오염깊이까지 삽입 후, 오염되지 않은 물에 산소, 질소, 인 등의 영양물질을 섞어 토양에 주입함 

*출처: 토양환경센터, 나이스디앤비 재구성

생물학적 처리방법:
생물학적 통풍법,
토양경작법

생물학적 통풍법은 주로 공기에 의해 휘발되는 휘발성 유기오염물질 등을 제거하고, 공기주입을 통하여 유기오염물질의 생분해를 촉진하는 기술이다. 토양경작법은 오염토양을 넓은 부지에 굴착하여 주기적으로 교반하고 양분, 공기를 공급함으로써 토착미생물에 의한 유기물질의 분해를 극대화하는 기술이다.

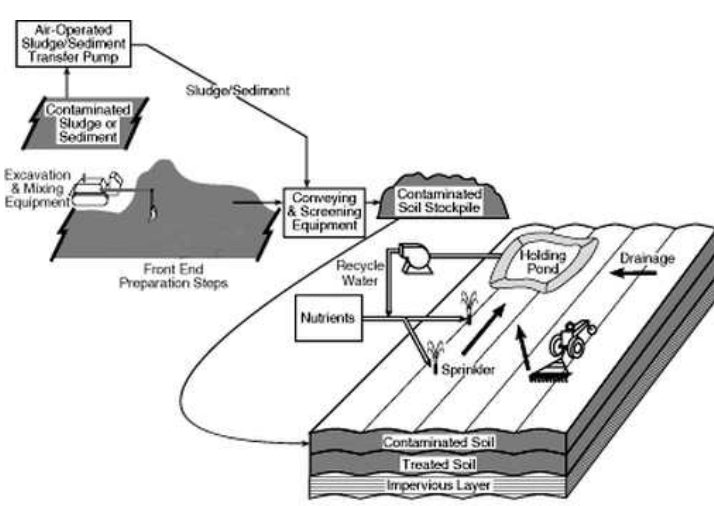
[표 9] 토양 정화기술 : 생물학적 처리방법 (2)

기술명	개요 및 특징
생물학적 통풍법 (Bioventing)	- 토양중 기체상으로 존재하는 휘발성 유기물질을 추출함과 동시에, 토양의 토착 미생물에 영양분을 공급하며, 토양 내 증기흐름속도를 조정하여 미생물이 지중 생분해능을 극대화하는 기술 - 석유화합물류의 유기화합물질에 의해 오염된 토양에 적용 시, 효율성이나 현장 적용성이 우수함 
토양경작법 (Land Farming)	- 오염토양을 굴착하여 지표면에 깔아놓고 주기적으로 교반 및 뒤집어 줌으로써 미생물에 공기를 공급하여, 호기성 생분해조건을 조성하여 유기성 오염물질을 제거하는 방법 - 지중처리기술(in-situ) 대비 처리기간이 절감되나, 처리부지 확보가 필요하고, 하우스 설치 및 이송비용 등으로 처리비용이 증가하는 단점이 있음 

*출처: 토양환경센터, 나이스디앤비 재구성

생물학적 처리방법 :
식물재배 정화법,
퇴비화공법,
자연저감법

[표 10] 토양 정화기술 : 생물학적 처리방법 (3)

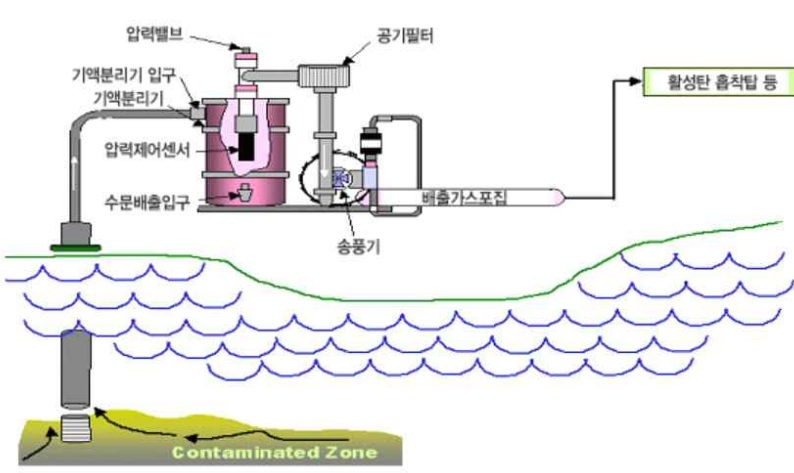
기술명	개요 및 특징
식물재배 정화법 (Phyto-remediation)	- 오염된 토양정화 및 지하수질 복원에 식물을 이용하는 기술로, 정화에 필요한 식물들을 식재 후 식생을 거두어 발생하는 오염물질의 추출, 안정화 등의 원리를 이용하는 방법 - 식물 근권부에서 반응하므로 오염원의 깊이, 식물종, 식물 성장속도, 오염물질의 농도 등을 고려해야함. 물리/화학/열적 처리방법에 비해 경제적이고 2차 부산물 발생이 적어 친환경적이나, 독성물질 처리에 한계가 있고, 기타 공법에 비해 긴 처리기간이 소요됨 
퇴비화공법 (Composting)	- 토양 내 호기성 미생물에 의해 생분해 가능한 물질을 분해하고 토양을 안정화하는 것으로, 호기성 상태 유지를 위한 다량의 공기주입과 50~55℃의 온도유지가 중요한 기술 - 퇴비화공법을 적용하기 위해 전처리로서 오염토양의 굴착, 입자선별 등이 필요하고, 오염토양의 미생물 반응성을 높여주기 위해 입자를 분쇄하거나, 통기성 향상을 위한 개량제 주입, 유기물질 및 외부배양 미생물을 추가로 공급하기도 함 
자연저감법 (Natural Attenuation)	- 다른 적극적인 처리 기술과 달리 휘발, 희석, 생분해, 흡착 등의 자연 반응에 의해 오염물질 농도가 허용기준 이하가 되도록 유도하는 방법 - 현지 부지의 상태, 용도, 처리비용 및 기간 등의 검토가 필수적이며, 지중에서 발생하는 물리, 화학, 생물학적 반응에 대한 평가 및 지속적 모니터링이 필수적임

*출처: 토양환경센터, 나이스디앤비 재구성

물리·화학적 처리방법 :
토양세정법,
토양증기추출법,
토양세척법

물리·화학적 처리방법은 각 오염물질의 물리·화학적 특성을 이용하여 오염물질의 분해, 세정, 흡착, 연소 등을 통해 오염물질을 토양에서 분리시키는 방법이다. 본 방법 또한 원위치(In-situ)/탈위치(Ex-situ)로 적용할 수 있다.

[표 11] 토양 정화기술 : 물리·화학적 처리방법 (1)

기술명	개요 및 특징
토양세정법 (Soil Washing)	- 물 또는 오염물질의 용해도를 증대시키기 위한 첨가제(계면활성제 등)를 함유한 물을 과정을 통해 토양공극 내에 주입하여 토양에 흡착된 오염물질을 탈착시키고 다시 지상으로 추출하여 처리하는 지중처리(In-situ) 기술 - 생분해가 불가능한 중금속에는 적용성이 높으나, 계면활성제의 이동성에 의해 2차오염 발생가능성이 있으며 오염물질의 이동성 증가로 인해 오염물질의 확산을 초래하기도 함
토양증기추출법 (Soil Vapor Extraction)	- 진공추출법이라고도 하며, 불포화 대수층 위해 가스추출정을 설치하여 토양을 진공상태 만들어 토양으로부터 휘발성 및 준휘발성 유기화합물질을 제거하는 지중처리 기술 - 지하저장탱크 지역에서 석유계 중 휘발성/준휘발성 유기화합물질의 농도를 줄이는데 효과적이며, 반면 휘발성이 낮은 난방유나 윤활유 등으로 오염된 처리에는 효율이 낮음 
토양세척법 (Land Farming)	- 토양 내에 적절한 세척제를 주입하여 유기오염물질 및 중금속을 분리하여 처리하는 지상처리(Ex-situ)기술로, 세정제의 종류에 따라 생분해가 어려운 유해화학물질이나 중금속 등을 광범위하게 제거가 가능하며, 토양의 선별공정으로 오염토양의 부피저감이 가능함 - 중금속 오염과 같이 타 공정의 적용이 어려운 오염지역이거나 빠른 시간 안에 긴급히 처리해야 할 경우 유용한 기술

*출처: 토양환경센터, 나이스디앤비 재구성

물리·화학적 처리방법 :
용제추출법,
고형화/안정화법,
동전기법

[표 12] 토양 정화기술 : 물리·화학적 처리방법 (2)

기술명	개요 및 특징
용제추출법 (Solvent Extraction)	- 지상처리 기술로, 추출기 내에서 유기용매와 오염토양을 혼합 및 분리하여 오염물질과 토양, 슬러지 및 퇴적물로부터 오염물질을 분리시키는 기술이며, 오염토양과 추출용매의 접촉을 극대화시킬 수 있는 회전교반장치가 요구됨 - 난분해성 물질을 단기간에 정화하는 데는 매우 효과적인 기술이나, 토양의 수분함량이 높거나 유화제 같은 물질은 공정의 방해요소로 작용함
고형화/안정화법 (Solidification/ Stabilization)	- 오염토양에 시멘트, 슬래그, 석회 등의 고형화제를 첨가하여 토양을 고형화 시켜, 오염물질의 이동성을 물리적으로 저감시키고 화학적으로 용해도를 낮추거나 무해한 형태로 변화시키는 처리기술 - 중금속으로 오염된 지역에 적용하는 데 처리효과가 높고, 처리비용이 저렴하나, 오염물질의 용해도 및 이동도만을 감소시키는 기술이므로, 장기간의 모니터링이 필요한 단점이 있음
동전기법 (Electrokinetic Separation)	- 투수계수가 낮아 적절한 용제 등을 쓸 수 없는 경우, 양/음극의 전기장을 형성하여 이온상태의 오염물질(음이온, 양이온, 중금속 등)의 이동속도를 촉진시켜 포화지역의 오염토를 처리하는 방법 - 일반적으로 소요되는 전기량이 많아 운영비가 높고, 산화환원 반응으로 불필요한 부산물이 생성되기도 하며, 토양 내 수분함량이 10% 미만이면 정화효율이 급격히 감소하는 단점이 있음

*출처: 토양환경센터, 나이스디앤비 재구성

열적 처리방법 :
열탈착법, 소각법,
유리화법, 열분해법

열적 처리방법은 생물학적, 물리·화학적 처리방법으로 제거되기 힘든 유류 등을 열을 가하여 탈착시키는 방법으로 처리 후 토양은 연소된 광물의 형태로 남아 생물학적 제 기능을 하지 못하는 단점이 있다.

[표 13] 토양 정화기술 : 열적 처리방법

기술명	개요 및 특징
열탈착법 (Thermal Desorption)	- 토양을 일정 온도로 가열하여 토양에 흡착된 오염물질을 휘발 및 탈착시키는 지상처리기술로, 직접 연소에 의한 열처리(소각)와 산소가 없는 혐기성 상태에서 가열하여 유기물질을 분해하는 열처리(열분해)로 나뉨 - 고온(400~800℃) 처리법은 모든 오염물질, 저온(400℃ 이하)처리법은 휘발유, 항공유 등의 석유계화합물질에 효과적이며, 처리 후 가스 등 2차 생성물질이 발생으로 가스 후처리장치(연소, 촉매산화, 흡수탑 등)가 요구됨
소각법 (Incineration)	- 적당량의 산소를 가하여 유기물질을 연소하여 제거하는 열적 파괴 공정으로, 871~1,204℃의 고온으로 토양 내 유기물질을 소각하여 이산화탄소, 수증기, 황화수소 등으로 분해함. 일반적인 소각로의 오염물질 제거효율은 99.99%이고, PCB나 다이옥신에 대해서는 99%의 효율을 보임 - 본 방법은 폐기물 처리에 주로 활용되는 기술로서, 토양을 소각 시 미생물 및 유기물질까지 모두 제거되므로 자연 토양으로서의 기능을 상실하게 되어 친환경적인 기술로 볼 수 없음
유리화법 (Vitrification)	- 오염토양을 전기적으로 용융시켜 용출특성이 낮은 결정구조로 만드는 기법으로 오염물질의 이동도를 낮추고 고립화시키는 지중처리(In-situ) 기술 - 다양한 오염물질에 사용이 가능하여 활용도가 높으나, 에너지 비용이 높고, 유리화 공정 중의 방출가스 및 처리 후 발생하는 슬래그를 최종 처분해야 하는 단점이 있음
열분해법 (Pyrolysis)	- 산소가 없는 혐기성 상태에서 열을 가하여 유기물질을 분해시키는 화학적 분해방법으로, 유기물질은 가스상 물질, 유기탄소 및 재료 전환되는 기술 - 열분해법은 열탈착법 및 소각법과 같은 열적 처리기술이므로 기타 열적 처리기술과 유사한 장점 및 제한요인을 갖음

토양오염 정화기술의 특성 비교

생물학적, 물리화학적, 열적 처리방법을 오염현장 적용 가능성·용이성, 부산물 생성여부·성상, 운전비·초기설비투자비 및 정화 소요기간에 대한 특성은 아래 [표 14]와 같다. 정화사업 이후 토지의 용도, 사업의 예산 및 기술적·환경적·사회적 제약사항 등을 종합적으로 고려하여 효율적인 오염정화 방법을 선정해야 한다.

[표 14] 토양지하수 정화기술 특성 비교

		원위치(IN) 탈위치(EX)	단독적용 가능여부	부산물 성상	OPEX(O)/ CAPEX(C)	적용 용이성	정화 소요기간
생물 학 적 처 리 방 법	생물학적분해법	IN	Y	미발생	—	○	○
	생물학적통풍법	IN	Y	미발생	—	◎	○
	토양경작법	EX	Y	미발생	—	◎	◎
	바이오파일법	EX	Y	V	—	◎	○
	식물재배정화법	IN	N	L, S	—	▲	▲
	자연저감법	IN	Y	미발생	O	▲	◆
물리 화 학 적 처 리 방 법	토양세정법	IN	Y	L	O	▲	○
	토양증기추출법	IN	N	L, V	O	◎	○
	토양세척법	EX	N	S, L	O/C	◎	◎
	용제추출법	EX	N	L	O/C	▲	○
	화학적 산화환원법	IN/EX	Y	L, V	O/C	◎	○
	동전기법	IN	N	L	O	▲	○
열 적 처 리 방 법	열탈착법	EX	N	L, S, V	O/C	○	◎
	소각법	EX	Y	L, S, V	O/C	▲	◎
	유리화법	IN	Y	S	C	▲	◎
	열분해법	EX	Y	L, S, V	O/C	▲	◎

EX/IN : 탈위치/원위치

S : Solid

L : Liquid

V : Vapor

◎ : 높음

○ : 보통

▲ : 낮음

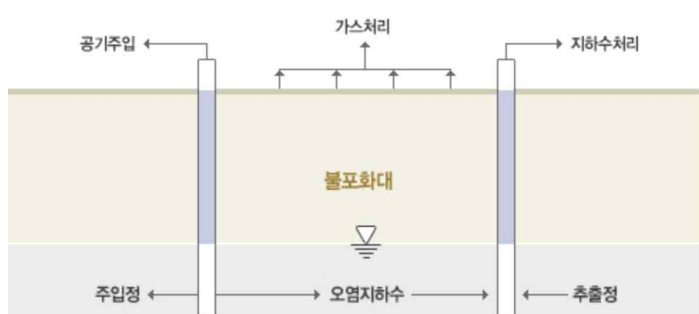
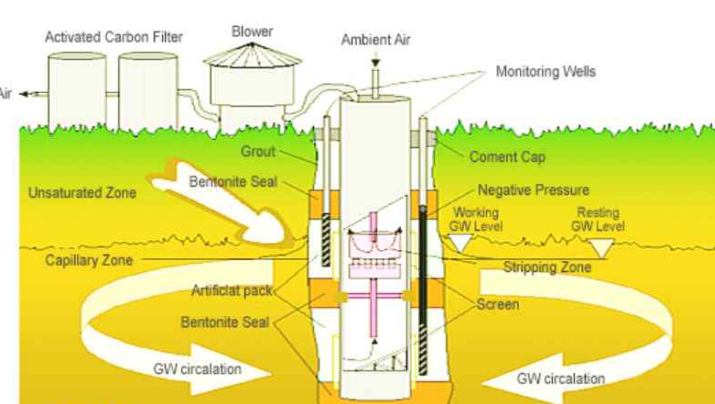
◆ : 비교

*출처: 오염토양 정화방법 가이드라인 (환경부, 2007)

생물학적 처리방법은 비교적 친환경적이거나 오염물질 제거효율이 제한적이며, 정화 소요기간이 긴 편이다. 열적 처리방법은 장치비용이 크고 정화 후 원래 토양의 화학적, 생물학적 특성이 변화하여 친환경적이지 못하다. 또한 물리화학적 처리방법은 2차 처리가 요구되거나 처리를 위해 위험물질을 사용하는 경우가 많다. 최근에는 빠른 정화작업을 위해 탈위치 방식으로 처리하면서 동시에 발생폐기물을 최소화하거나 재이용하는 기술을 적용하여 수행하는 추세이다.

지하수오염 정화기술 : 지하수 정화기술도 토양오염 정화기술과 마찬가지로 오염지역 내에서 처리하는지 (원위치), 혹은 지하수를 외부로 양수한 후 처리(탈위치)하는지에 따라 기술이 구분된다. 또한 물질의 특성에 따라 오염물질을 가스상으로 배출 제거하는지, 추출, 응집 등으로 제거하는 지에 따라 적절한 기술을 선택해야 한다. 오염된 지하수의 탈위치 처리기술은 폐수처리 기술과 원리가 동일하다

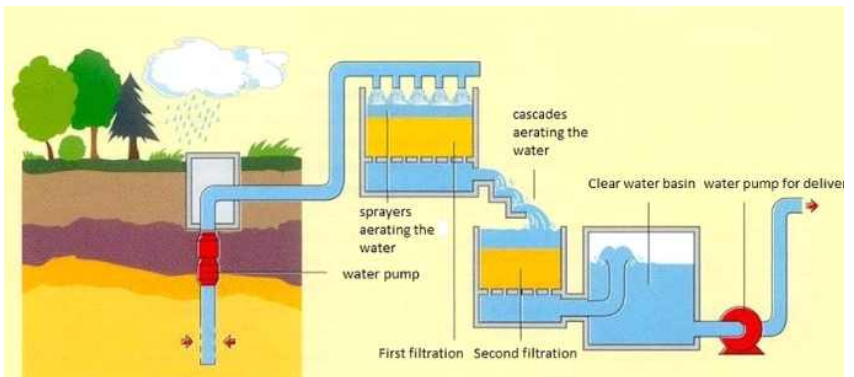
[표 15] 지하수 처리기술 (원위치)

기술명	개요 및 특징
공기살포법 (Air Sparging)	- 포화대수층 내에 공기를 강제 주입하여 휘발성 유기물질, 유류오염 물질을 휘발시켜 제거하는 원리로, 주입된 공기방울이 오염물질을 증기추출배관으로 이동시켜 휘발성 물질이 지상으로 배출 제거됨 - 공기분산이 미미한 통기성의 변화에 민감하므로 주입정과 관측정 사이에 국지적인 공기의 분산이 야기됨 
이중상 추출법 (Dual Phase Extraction)	- 투수계수가 낮거나 불균일 지반 내의 액상, 가스상 오염물질을 동시에 제거하기 위해 진공을 이용하는 기술로, 불균일 토양에서 액체나 가스를 동시에 제거가능한 기술 - 진공상으로 토양 내 증기가 추출되고, 지하수에서 추출된 증기가 대기로 배출 제거되며, 증기/액체의 혼합 오염물질의 경우와 불균일한 점토와 미세입자 많은 토양에서는 처리효과가 떨어짐
진공증기 추출법 (Vacuum Vapor Extraction)	- 공기를 주입해 오염지하수를 부상시켜 후단에 신선한 지하수가 유입시켜 지하수 내의 휘발성 유기물질을 상부에서 수집·처리하는 기술 - 부분적으로 처리된 지하수는 불포화대로 이동하며, 지하수가 내부 처리장치 내에서 순환되어 부분오염물질의 농도를 점차 감소시킴 - 할로겐 휘발성 유기물질, 준휘발성 유기물질 및 유류에 효과적임 

*출처: 토양환경센터, 나이스디앤비 재구성

지하수오염 처리기술 :
탈위치 처리기술

[표 16] 지하수 처리기술 (탈위치)

기술명	개요 및 특징
양수 (Pumping) 후 처리법	- 오염지하수를 양수하여 Packed towers/Diffused/Tray/Spray 등 다양한 폭기(Aeration) 및 탈기(Deaeration) 방식으로 휘발성 오염물질과 공기간의 접촉면을 증대시켜줌으로써 휘발시켜 제거하는 방법 - 수중의 휘발성 유기물질이 분리되고 무기물질에 대해서는 비효율적이며, Henry 상수가 $0.01\text{m}^3/\text{mol}$ 이상인 유기물질은 탈기법에 의한 제거효율이 우수함 

*출처: 토양환경센터, van der Meulen (2013), 나이스디앤비 재구성

토양지하수 정화기술은
최고기술 보유국인
미국과의 기술격차는
작음

과학기술정보통신부에서 발표한 120개 국가전략기술에 대한 ‘2018년도 기술수준평가결과’에 따르면, 우리나라 환경기술수준은 최고기술 보유국 대비 76.6% 수준으로 나타났다. 11개 세부 기술별로 보면 ‘토양·지중 환경오염 관리기술’이 각각 최고기술 보유국(미국) 대비 82.5%로 가장 높게 나타났으며, 기술 격차는 ‘토양·지중 환경오염 관리기술’이 미국 대비 3년의 기술 격차로 가장 격차가 작았고, ‘지능형 자연생태계 보전 및 복원 기술’이 미국 및 EU 대비 6년으로 가장 큰 기술격차를 가진 것으로 조사되었다.

토양지하수 관련
기술·연구동향은
빅데이터 구축,
생물자원으로서의
관리 및 환경보건
분야 등임

환경부와 국토교통부는 그동안 축적된 각종 토양 및 지하수 측정정보를 환경부와 국토교통부에서 토양정보시스템과 지하수측정망시스템을 운영하고 있다. 또한 농촌진흥청에서도 지속적인 식량생산, 종다양성 평가를 위해 농협환경을 위해 토양환경정보시스템을 운영중이다. 현재는 정책을 위한 빅데이터 기반의 새로운 지식서비스 창출을 위한 노력이 연구기관을 중심으로 시작되어, 수집방법 및 활용분야의 체계를 갖추어가는 중이다. 모든 개발산업은 환경에 미치는 영향을 전 분야에서 고려한 저영향개발(Low Impact Development)가 트렌드이며, 이밖에도 오염화사업 후 안정성 평가, 정화부지의 타 용도로 재활용 가능성 평가, IoT를 활용한 장기간 모니터링 및 구축된 DB를 이용한 예측기술 고도화 등도 연구개발되고 있다.

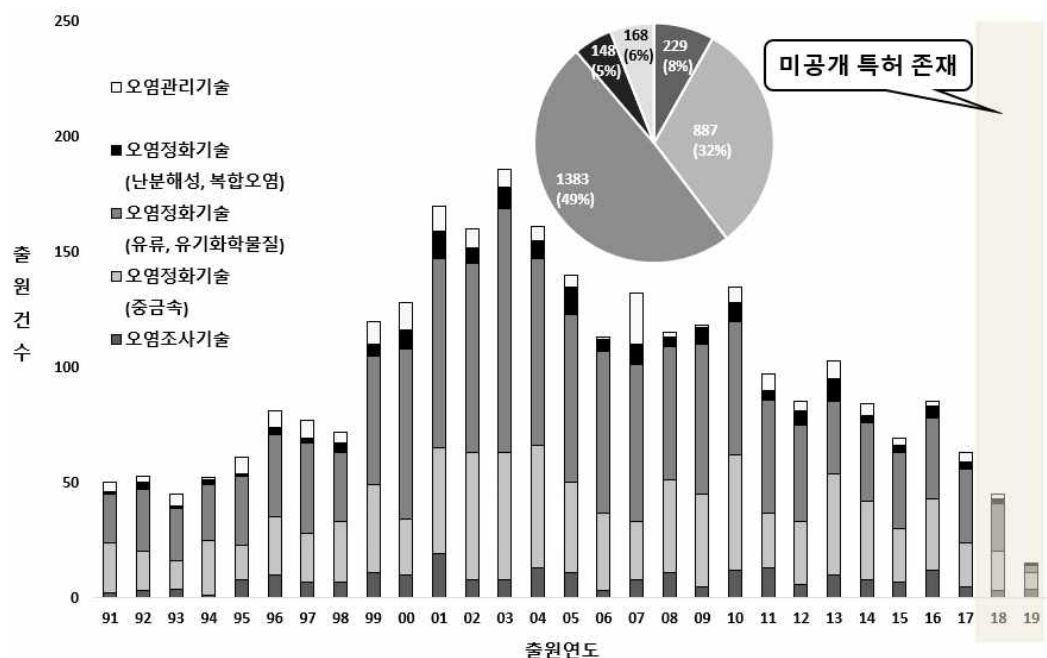
또한 바이오 분석기술의 발달로 토양에서 추출한 유용한 토착생물을 활용한 바이오·농업·환경산업 등의 자원으로서의 등이 가능할 것이며, 이러한 추세가 확산되고 있다. 최근에 킨셀바이오는 토양에서 보툴리누스균을 추출하는 데 성공하였다.

또한 지하수 분야에서는 첨단 분석기술을 바탕으로 한 항생제 내성 수퍼박테리아, 미세플라스틱, 불소, 방사능 물질의 거동 및 환경영향가에 대한 연구가 지속되고 있고 이는 성장하는 환경보건분야 시장과의 연계가능성이 높다. 또한 잠재적 오염 물질 선정 및 물리화학적 특성 정보화, 가축매물지 조기안정화를 위한 특성인자 선정 등 각종 평가지표 개발 등도 지속적인 관심과 수요가 예상되는 연구분야이다.

**오염정화 기술은
2000년대 초
최대출원건수를
기록하고 점차 감소 추세**

토양지하수 환경 분야의 국내 기업 및 기관의 특허동향을 살펴보면 아래와 같다. [그림 12]는 특허들의 연도별, 기술별 출원 동향이다. 전체 출원 건수는 분석구간 초반인 1990년대 초 이후로 증가하여 2003년에 최고치를 기록하고, 이후 점차 출원 건수가 감소하는 추세이다. 2018년과 2019년의 출원은 아직 미공개된 특허들이 존재하여, 향후 추가관찰이 필요할 것으로 판단된다.

[그림 12] 토양지하수 환경 기술의 연도별 특허출원 동향



*출처: 나이스디앤비 자체조사, DB: 윈텔립스 활용

전체 토양지하수 환경 기술을 1)오염조사기술, 2)오염정화기술(중금속), 3)오염정화기술(유류, 유기화학물질), 4)오염정화기술(난분해성, 복합오염), 5)오염관리기술로 구분하였을 때 오염정화기술(유류, 유기화학물질)이 50% 가량을 차지하고, 오염정화기술(중금속)이 25% 가량을 차지하여, 이미 발생한 오염을 정화하는 기술 분야에 연구개발이 치중되어 있음을 알 수 있다. 반면, 오염조사기술, 오염관리기술 등 오염을 미리 방지하거나, 현황을 모니터링, 관리, 및 판단하는 기술은 아직까지 특허출원이 활발하지 않은 것으로 조사되었다.

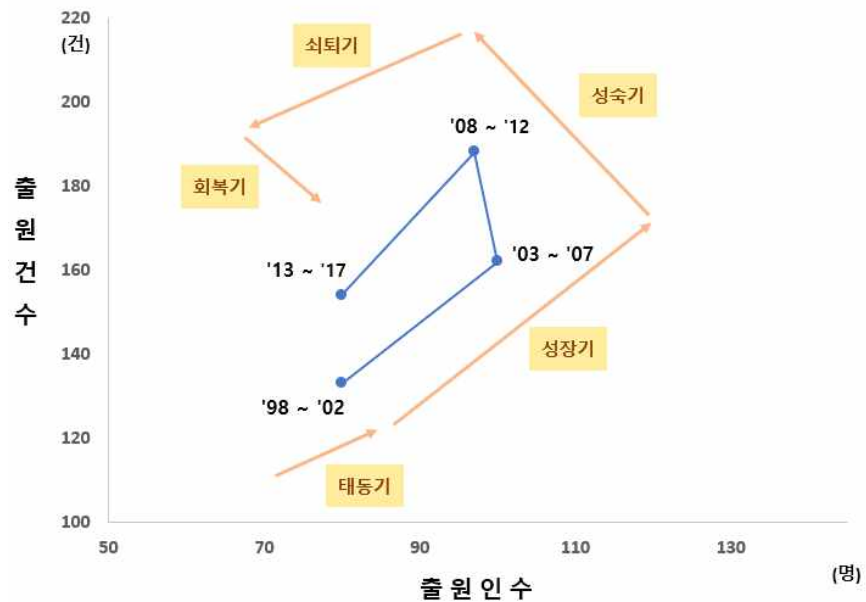
또한 상대적으로 정화가 어려운 난분해성, 복합오염물질을 정화하는 오염정화기술(난분해성, 복합오염) 분야의 경우 중금속이나 유기화학물질을 정화하는 기술분야

출원건수, 출원인수
감소로 기술발전은
쇠퇴기에 진입함

보다 기술발전속도가 상대적으로 느린 것으로 판단된다.

토양지하수 환경 기술과 관련된 특허들을 분석하여 기술시장 성장단계를 [그림 13]에 도시하였다. 1998년 이후의 특허출원들을 대상으로 매 5년을 기준구간으로 잡고 각 구간에서의 특허출원건수와 특허출원인수를 조사하여, 특허출원인수를 가로축, 특허출원건수를 세로축에 나타내었다.

[그림 13] 토양지하수 환경 기술의 기술시장 성장단계



- (태동기) 신기술 출현 단계
- (성장기) 연구개발의 급격한 증가, 경쟁의 격화 단계
- (성숙기) 지속적인 연구개발 활동, 일부 업체의 도태 단계
- (쇠퇴기) 대체기술의 출현, 기술발전의 불연속점 발생 단계
- (회복기) 기술의 유용성 재발견, 대체기술의 쇠퇴 단계

*출처: 나이스디앤비 자체조사, DB: 윈텔립스 활용

**한국특허전략개발원 표준특허 전략맵 참고

국내의 토양지하수 환경 기술의 특허출원은 1998~2002년부터 2003~2007년까지의 구간에서는 특허출원인수와 특허출원건수가 모두 증가하여 기술시장성장단계는 성장기에 있었던 것으로 판단된다.

그러나 2003~2007년부터 2008~2012년까지의 구간에서 특허출원인수는 증가하였으나, 특허출원건수는 다소 감소하여 토양지하수 환경기술이 기술적으로 고도해지고, 연구개발 역량이 부족한 출원인은 시장에서 퇴출되거나, 신규 출원인 진입이 감소하는 성숙기에 있었던 것으로 판단된다.

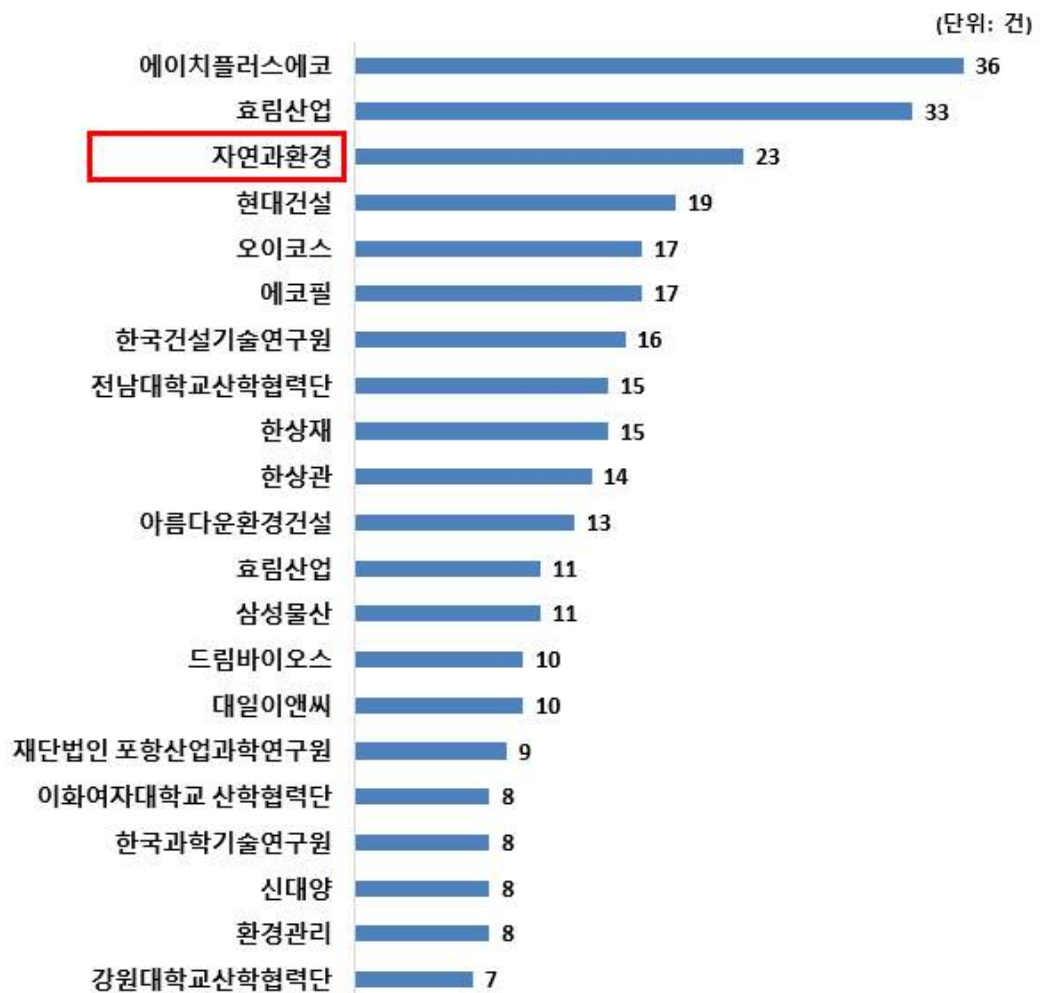
또한, 2008~2012년부터 2013~2017년까지의 구간은 특허출원인수와 특허출원건수가 모두 감소하여 전반적으로 쇠퇴기에 진입한 것으로 판단되며, 이는 산업의 사양화나 글로벌 경제 상황에 의한 산업규모 감소를 의미한다. 한편 오염정화, 관리

및 조사기술에 대해 광범위하게 도식한 것이므로, 과거부터 개발된 오염정화기술 등을 제외한 분야에서 오염관리 등에 ICT 등의 요소기술과 융합된 향후 환경에 요구되는 기술은 성장의 여지가 있다.

대기업보다 우월한
기술적 역량을 확보한
중소기업들이 존재함

[그림 14]는 토양지하수 환경 기술과 관련된 특허들의 주요출원인을 조사한 결과이다. 그래프의 세로축은 주요 출원인, 가로축은 각 출원인별 출원건수를 나타낸다.

[그림 14] 토양지하수 환경 기술의 주요 출원인별 출원건수



*출처: 나이스디앤비 자체조사, DB: 윈텔립스 활용

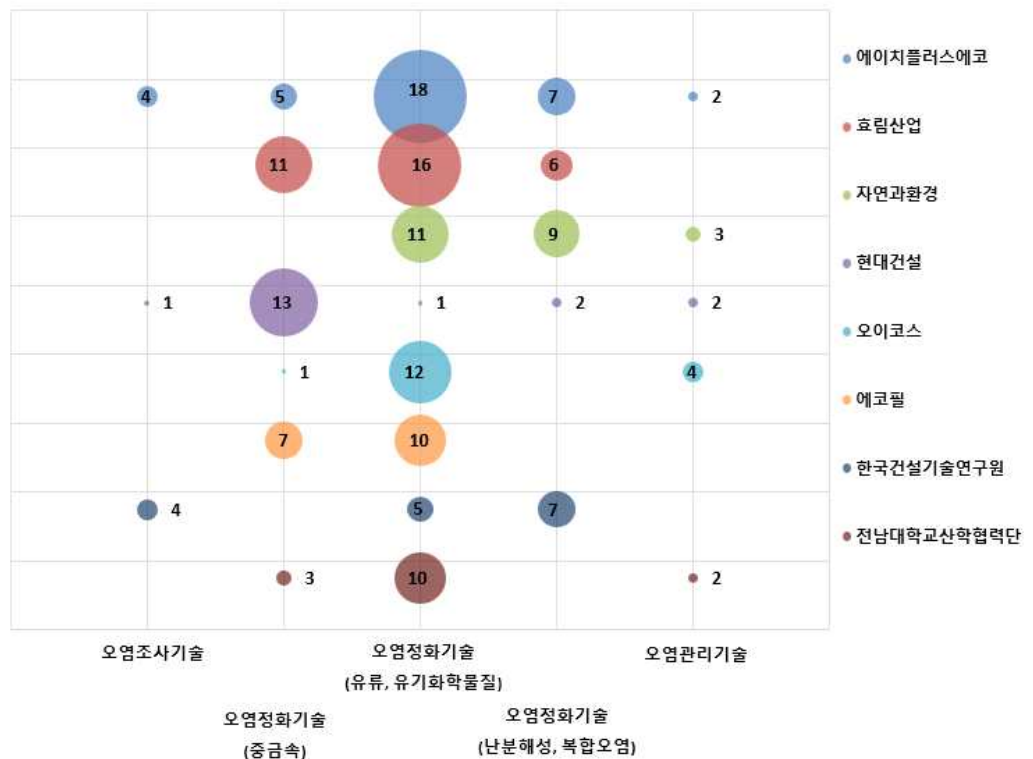
에이치플러스에코나 효림산업과 같이 토양지하수 환경정화 기술 분야에 전문성을 가진 중소기업이 다수의 특허를 출원한 것으로 조사되었다. 코스닥 상장 기업들 중에서는 자연과환경이 유일하게 상위권에 기록되었으며, 현대건설이나 삼성물산과 같은 대기업 규모 건설사들도 주요 출원인에 포함되어있다. 토양지하수 환경 기술 분야는 시장 규모가 크지 않으면서도, 전문성이 요구되어 대기업 계열사들이 관심을 기울이는 분야는 아닌 것으로 판단되며, 상대적으로 기업 규모는 작지만 해당 기술 분야에서 전문성을 축적한 중소기업이라면 충분히 대기업 및 계열사보다 우

오염정화기술은 확보하였으나, 오염조사, 오염관리 분야의 기술역량은 다소 부족함

월한 기술적 역량을 보유하여 시장에 참여할 수 있는 분야로 판단할 수 있다.

[그림 15]는 주요 출원인들이 출원한 특허들을 세부 기술분야에 따라 재분류 하여 분석한 것이다. 그림의 세로축은 주요 출원인, 가로축은 특허가 속한 기술분야를 나타내며, 버블의 중심에 기재된 숫자는 해당 기술분야에서의 출원건수를 나타낸다.

[그림 15] 토양지하수 환경 기술의 주요 출원인별 주력기술



*출처: 나이스디앤비 자체조사, DB: 윈텔립스 활용

주요 출원인으로 나타난 기업들은 오염정화기술(유류, 유기화학물질)분야에 가장 큰 비중을 두고 있다. 그 외에도 효림산업, 현대건설, 에코필 등은 오염정화기술(중금속)분야의 특허를 보유하고 있으며, 에이치플러스에코, 자연과환경, 건설기술연구원 등은 오염정화기술(난분해성, 복합오염)분야의 기술을 보유하고 있다.

주요 출원인들은 오염정화 기술에 비해 상대적으로 오염조사기술 및 오염관리기술에 대해서는 적은 특허만을 보유하고 있다. 이는 오염조사기술 및 오염관리기술의 경우 오염정화기술보다는 상대적으로 기술수준이 높고, IoT 시스템 등과 결합하여 발전할 여지가 많으나, 현재 우리나라의 주요 출원인들은 화학적인 오염정화기법 등에 특허된 중소기업들로, 오염관리 등을 위한 ICT 연동 시스템 등을 개발하기에는 다소 역량이 부족하거나, 아직까지는 시장의 수요가 적은 미성숙 단계이기 때문으로 파악된다.

**시장창출을 위한
기술 융합과 혁신이
필요**

2015년도 환경부 자료에 따르면 토양지하수 환경 산업시장은 환경규제의 불확실성, 규제대상 물질의 부족 등으로 인하여 시장의 성장성이 낮은 분야로 분류된다. 또한 대표적인 환경시설물(대기, 소각, 매립 등) 건설 및 제조시장은 포화에 가까운 상태로 파악되고 있고, 국내외 시장의 변화에 따라 특히 2011년~2012년을 기점으로 일부 엔지니어링 및 기술업체 등은 지속적인 매출하락세 내지 성장보합세를 보이고 있다. 더불어 2019년 정부의 사회간접자본 관련 정부의 예산도 환경관련 부분에서는 하천관리 및 홍수예보 분야에 1조 7,231억 원이 투자되는데 그쳤다.

다만 2013년 개정된 「화학물질등록 및 사용에 관한 법률」과 2015년 「폐기물관리법」 개정 등 신 환경규제의 영향으로 컨설팅이나 조사연구 등이 필요한 환경관련 지식서비스 분야의 시장규모는 다소 활성화될 것으로 전망된다. 이에 더하여 분석측정시장 및 정밀분석 및 데이터의 구축·활용이 가능한 측정시장도 성장할 것으로 예측되고 있다.

환경산업은 비교적 타 산업에 비해 부가가치 창출효과가 낮아 시장에서 금융권이나 투자자의 관심에서 먼 것이 현실이다. 환경산업통계자료에 따르면 토양지하수분야를 주요 사업으로 영위하는 기업 중 상장사는 전무한 실정이다. 전통적으로 물산업에 대한 관심과 시장은 큰 편이고, 최근 미세먼지, 라돈, 살균제성분 가습기세정제 등의 이슈로 대기 및 환경보건 분야에 대해 시장의 관심이 성장하고 있는 정도이다.

정부 주도로는 시장 성장에 한계가 있으므로 산업 분야간 융합 등 발상의 전환이 필요하다. 오염화사업 후 안정성 평가, 정화부지의 타 용도로 재활용 가능성 평가, IoT를 활용한 장기간 모니터링 및 구축된 DB를 이용한 예측기술 고도화 기술이 최근 이슈화되고 있고 토양에서 추출한 토착생물을 활용한 자원 활용 가능성이 확인된 바 있다. 이와 같이 생물자원이나 광물자원으로서의 토양산업, 자원으로서의 지하수의 가치를 산정하는 것이 가능하다. 또한 유럽의 사례로 볼 때, 토양의 가치를 평가하는 기준 중, 토양지하수의 오염도를 가치 산정의 요소로 포함하여 환경보전의 의무를 민간 보증·보험으로 제도화하는 방안도 고려할 수 있을 것이다.