

## I. 논단 : 21세기 유망 환경기술의 개발동향과 전망

- 세계 환경기술의 개발동향을 볼 때, VOCs, NOx, CO<sub>2</sub>, SOx, 다이옥신 제거기술 및 가스화용해, 풍력발전, 초순수제조기술 등이 환경규제의 진행과 산업발전의 특성에 맞는 유망 환경기술로 분류됨
  - 지표권 광화학오염의 저감을 위한 규제강화 추세에 따라 VOCs 및 NOx 제거기술의 수요가 증대될 전망이다
  - 다이옥신 제거기술과 가스화용해기술은 2차오염이 발생할 가능성이 있는 기존 환경기술을 보완하거나 대체 가능한 대안기술로 평가됨
  - 지난 세기에 이어 지구온난화 현상은 계속 심화될 전망이고 2008년부터 기후변화협약이 실행됨에 따라 CO<sub>2</sub> 제거기술의 개발 필요성이 커지고 있으며 CO<sub>2</sub> 발생을 원천적으로 방지하는 풍력발전설비 시장은 연평균 20% 이상씩 고성장함
  - 석탄화력발전에 의존한 경제성장과 산성비 피해 심화로 인해 아시아권과 동유럽에서의 SOx 제거기술 수요는 증가할 것임
  - 반도체분야에서의 지속적인 수요와 함께 전력산업과 평판화면 제조분야에서의 신규수요 창출로 인해 초순수제조기술의 수요는 연평균 18.5%씩 성장함
- 최근 환경기술의 성장흐름은 환경규제, 신뢰성, 안전성에 기초를 두고 있는 것으로 파악됨
  - 환경규제 추세와 환경기술의 수요는 불가분의 관계로서 환경규제의 발전방향에 대한 검토, 분석을 통해 미래 수요에 대한 예측이 가능함
  - 환경시장은 proven-technology 위주로 형성되는 경향이므로 우리 나라의 경우에는 선진국에 의해 이미 검증된 기존기술을 환경규제와 소비자의 특성에 맞추어 개량하는 방향으로 기술개발을 추진하는 것이 유리함
  - 시민들의 환경인식 고양과 시민운동의 활성화에 따라 2차오염을 유발하지 않는 완벽한 처리기술의 개발을 위한 노력이 필요함

## 1. 서론

지구환경 보존이라고 하는 화두는 더 이상 명제에 머물지 않고 우리와 자손들을 위해 당장 실행에 옮길 수밖에 없는 당위적인 사명으로 자리잡아 가고 있다. 이는 또한 산업의 글로벌화와 환경위해의 광역화 현상에 따라 특정 지역에만 국한되는 일이 아니고 모든 인류가 추구해야 하는 「인류의 公同善」이라는 인식도 확산되어 가고 있다. 그래서 우리와 20,000 km나 떨어져 있는 머나먼 곳임에도 불구하고 아마존 지역의 열대우림이 파괴되고 있다는 뉴스를 접할 때 예사롭게 생각되지 않는다. 이렇듯 지구환경을 보존해야 한다는 공감대는 이미 전 지구적으로 형성되고 있는데 우리의 환경이 상당히 어려운 지경에 이르렀다는 것을 반증하는 것이기도 하다. 따라서 대부분의 국가는 환경보존과 경제발전을 동시에 달성하기 위한 「지속 가능한 개발」을 국가의 발전전략으로 채택하고 있으며 다자간 국제환경협약이라는 틀을 통해 범지구적인 차원의 동참을 유도하고 있다.

이러한 배경에 힘입어 19세기에 공중위생과 폐기물처리에서 출발한 환경산업은 선진국가를 중심으로 환경보호를 위한 규제기준이 1970년대에 들어 본격적으로 적용되면서 발전하기 시작하였다. 1990년대에는 전세계적인 산업발전과 환경라운드인 다자간 국제협약들이 발효되면서 환경산업의 성장을 가속시켜 1992년도에 2,950억 달러에 이르렀던 세계 환경시장 규모가 1997년도에는 4,730억 달러로 성장해 불과 5년만에 60%에 이르는 고속성장을 구가하게 되었다(EBI, 1999). 최근에는 환경에 유해한 제품뿐만 아니라 생산에서 폐기에 이르는 전과정에서 환경친화적이지 못한 제품도 무역 상에 제한을 두어야 한다는 주장이 제기되는 등 환경보호 대상이 되는 산업활동의 범위가 보다 확대되고 있는 추세이다. 이에 따라 미국 스탠포드연구소, 일본 미쯔비시종합연구소 및 우리 나라 산업연구원 같은 세계 전문연구기관들은 21세기에도 환경산업이 여전히 성장을 거듭할 것으로 공통적으로 예측하고 5대 유망산업군에 포함시키고 있다<표 1>.

< 표 1 > 우리 나라의 산업별 성장 전망(2001~2010년 연평균)

분 야	생물공학	소프트웨어	문화	환경	컴퓨터	반도체	자동차
예상 성장률	23.4%	21.3%	13.7%	13.4%	10.7%	5.5%	2.4%

자료 : 산업연구원, 1999

환경산업은 크게 서비스, 설비, 자원분야로 나누어지는데 규모로 보면 서비스분야가 약 50%, 설비분야가 약 30%의 비중을 보이고 있으나 설비분야의 1997-1998 성장률은 4.4%로서 서비스분야의 0.2%에 비해 훨씬 높은 것으로 알려지고 있다(EBI, 1999). 따라서 수출주도형 산업구조를 갖고 있는 우리 나라도 환경설비시장에서의 점유율을 높이기 위한 범정부적인 노력을 기울이고 있다.

환경분야의 국제적인 조류를 볼 때 환경산업 시장의 성장에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 관련 분야에 대한 규제 시행여부라고 해도 과언은 아니다. 그런데 최근에는 선진국가뿐만이 아니라 개발도상국들 내에서도 환경인식이 급격히 고양됨에 따라 국가간에 유사한 환경법규를 채택하는 경우가 늘면서 바야흐로 환경규범의 전지구적인 표준화가 진행되고 있다. 따라서 환경산업의 발전 양상도 실현시기에서 차이가 날뿐 대개는 선진국가와 비슷한 형태를 띠게 된다. 그러므로 환경산업의 발전단계에서 상위에 속한 국가들의 환경산업기술의 동향을 살펴보면 우리 환경산업의 발전방향을 가늠해 볼 수 있다. 이러한 과정을 거쳐 적용성이나 기술면에서 다양한 특성을 보이는 환경산업분야 중 성장 가능성이 있는 부문을 도출해 낼 수 있다. 선진국가의 환경기술 개발동향 및 시장추세에 기초하여(기준학, 1999) VOCs, NOx, CO<sub>2</sub>, SOx, 다이옥신 제거기술 및 가스화용해, 풍력발전, 초순수제조기술 등을 주목되는 기술로 분류할 수 있었으며 본 고에서는 이들의 개발동향과 전망을 요약해 보고자 하였다.

## 2. VOCs 제거기술

WHO의 비등점에 기초한 분류에 의하면 VOCs (Volatile Organic Compounds; 휘발성유기화합물)란 비등점이 50~240 °C까지인 유기화합물을 가리키는 용어이다. 대표적인 VOCs로는 포름알데히드, 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 트리클로로에틸렌, 디클로로에탄, 이소프로필알코올, 메틸에틸케톤 등이 있다. 이들은 자체적으로 유해성을 띄기도 하며 지표권에서 질소산화물과 함께 오존, PAN (Peroxyacetyl nitrate: 과산화아세틸질산염) 등을 생성시켜 대기환경 내에서 광화학오염을 야기하는 하이테크 오염물질로 알려져 있다.

유럽, 북미, 우리 나라에서는 이미 대기환경의 오존농도를 높이는 요인으로 VOCs와 NOx의 광화학반응을 지목하고 VOCs의 배출량에 대한 규제를 시행하고 있다. 최근 들어서 EU나 미국 EPA는 대도시를 중심으로 계속 증가하고 있는 광화학오염을

줄이기 위해 VOCs의 배출규제를 강화하는 추세이다. 1999년 12월 1일에는 유럽 및 북미 35개 국가의 각료들이 스웨덴의 고텐부르크에 모여 VOCs를 비롯한 장거리 월경성 대기오염물질 규제에 관한 의정서를 채택함으로써 2010년까지 VOCs 배출량을 1990년 기준으로 40%를 줄이기로 하는 등 향후에도 더욱 규제가 강화될 전망이다. 따라서 석유, 유기용제, 도료 등을 이용하는 자동차 도장시설, 드라이클리닝 시설, 목재제품 도장시설이나 화석연료를 연료로 하고 있는 사업장, 자동차 등으로부터의 VOCs 발생<표 2>을 저감하는 효과적인 기술의 필요성이 증대되고 있다.

< 표 2 > VOCs의 주요 발생원

발생원	발생시설	발생원인
석유저장, 출하, 급유시설	콘루프 탱크, 부상지붕형 탱크, 유조선, 탱크화차, 탱크로리, 가솔린 스탠드, 가정용 등유	유입손실, 환기손실, 불특정 손실, 적입시 손실, 지하탱크 손실, 운반·급유시 손실
도료, 용제 사용시설	제조공장, 사업장, 서비스 공장	도장, 인쇄, 금속의 탈지·접착제 도포에 의한 증발 및 드라이클리닝 같은 세탁공정
유기화학제품 제조시설	폴리에틸렌 제조시설, 도료 제조시설	플라스틱, 합성고무, 석유화학계 기초제품의 제조공정, 도료·인쇄 잉크의 제조공정
도장공사	건설공사, 가정	건축물 도장, 가정에서의 도료 이용
매연발생시설	공장, 사업장, 가정, 군소 발생원	오니소각로 등의 소각로, 코크스로, 소결로, 스토브, 가스곤로, 보일러, 흡수식냉온수기, 가스엔진 히트펌프 등으로부터 발생
이동발생원	자동차, 선박, 항공기	운전시, 운항시, 정박시, 급유시에 발생하는 연료증발

(1) 기술개발 동향

VOCs 처리기술은 고농도 배기가스를 정화하기 위한 직접연소설비, 촉매산화설비,

용제회수설비 등을 중심으로 개발이 진행, 보급되어 왔다. 그런데 광화학 옥시던트의 발생을 줄이기 위해 시행되고 있는 최근의 VOCs 규제는 절대량의 감축을 요구하고 있기 때문에 도장이나 인쇄시설 같이 저농도이면서 유량이 큰 배기가스를 배출하는 업종이 주요한 규제대상이 되고 있다. 저농도이며 큰 유량의 배기가스를 처리할 때 종래의 연소법이나 회수법으로 직접 처리하는 경우 설비비 및 운전비가 높아 비경제적이다. 이러한 배경으로 중·저농도 배기가스 처리시장이 규제에 의해서 확대되고 있으며 기술개발도 이에 맞추어 진행되고 있다.

### 가. 연소법

산소를 공급하며 연료를 태움으로써 버너에 화염을 발생시켜 650~800 °C 범위의 비교적 고온에서 VOCs를 연소시켜 제거하는 연소로에서는 배기가스에 포함되는 VOCs 성분에 관계없이 유기성 오염물질을 90% 이상의 고효율로 처리할 수 있는 장점이 있지만, NO<sub>x</sub>가 발생하는 것과 중·저농도에서는 연료비가 많이 소요되는 단점이 있다. 연료비 절감을 위해 Smith, Reeco, Adtec사 등은 열회수를 하면서 연소시키는 축열식 직접연소로(Regenerative Thermal Oxidizer)를 개발하여 보급함으로써 유럽과 미국 등지에서 시장 점유율을 높이고 있다. NO<sub>x</sub>의 생성이 적고 열가의 메탄을 이용할 수 있는 축열식 직접연소로는 대용량의 배기가스 처리에도 적용되고 있다.

그리고 촉매를 사용하여 VOCs의 소각온도를 약 300 °C로 낮추는 촉매산화 장치가 개발되어 추가 연소를 위한 연료 사용량을 대폭 절감할 수 있게 되었다. <표 3>에서 보이는 바와 같이 일반적인 VOCs의 연소온도가 300~700 °C 사이인데 비해 촉매산화온도는 130~330 °C 범위를 보인다. 따라서 낮은 온도에서 VOCs의 산화가 이루어지므로 이러한 촉매산화설비(Catalytic Oxidizer)는 에너지 사용량이 직접연소설비에 비해 적게 소요되는 장점을 갖는다. 이것 외에도 촉매산화법을 적용한 설비는 크기의 소형화가 가능하고 비교적 염가인 특성을 보이고 있어 점유율이 전체 VOCs 제거기술의 약 25%를 차지하고 있다.

촉매산화법은 일본에서 개발된 처리기술이지만, 1990년대 들어 AirProtekt, ICI Katalco, Johnson Matthey사와 같은 유럽과 미주 기업들도 기술개발 및 개량사업을 추진하고 있다. 이 기술의 단점으로는 황산화물이나 먼지로 인해 촉매가 쉽게 손상되거나 촉매 교환비용이 비싼 점 등이 지적되어 왔지만, Johnson Matthey사가 전세계에 납품한 약 500대의 실적에 의하면, 10년 이상 촉매를 교환하지 않고 계속 운전하고 있는 예도 나타나고 있으며, 선두기업들에 의해 기술이 계속 개량되고 있다.

< 표 3 > VOCs 물질의 연소온도와 촉매산화 온도

물질	직접연소	촉매산화	
	연소온도(℃)	산화개시온도(℃)	완전산화온도(℃)
톨루엔	552	160	240
자일렌	482	160	270
페놀	700	180	330
메탄올	464	20	150
부탄올	343	150	250
포르말린	-	40	130
아세톤	650	130	250
MEK	516	145	300
MIBK	-	170	320
초산	427	217	300
암모니아	651	210	240

자료 : “유기용제 규제 동향과 처리기술” (出雲正矩, 「表面」 Vol. 30 No. 10)

또한, 축열연소설비에 촉매를 결합시킨 축열촉매산화설비를 적용하여 저농도, 대용량의 배기가스도 처리가 가능하게 되었다. 이를 이용해 VOCs 농도 1 ppm, 배기가스량 100,000 m<sup>3</sup>/hr의 조건에서도 VOCs에 대한 적정처리가 가능하다.

직접연소기술과 촉매산화기술에서 나타날 수 있는 대표적인 문제점은 <표 4>와 같다.

#### 나. 농축 시스템

동일한 발생량의 VOCs를 처리하는 경우 농도가 낮을수록 배기가스 유량이 증대되기 때문에 산화분해설비나 용제회수설비의 경제성이 떨어진다. 따라서, 저농도이면서 고유량의 특성을 보이는 배기가스로부터 VOCs를 분리하여 적은 유량으로 농축해 소형의 산화분해설비나 회수설비를 통과시켜 경제적으로 처리하는 방법이 개발되고 있다. 대표적으로는 활성탄이나 제오라이트 같은 흡착제를 벌집모양으로 원통에 성형하여 만든 로터를 사용해 연속적으로 배기가스로부터 VOCs를 분리함으로써 적은 유량으로 농축하는 벌집식 농축장치가 많이 활용되고 있다.

< 표 4 > VOCs 제거기술의 문제점 및 대책

처리 방법	문제점		대 책
	발생 요인	결과	
직접 연소	할로겐화 용제의 혼입	유해한 염산, 불산 발생	탈산처리장치의 설치
	중유 연료의 사용	SOx 발생	연료교환, 탈황장치의 설치
	NOx의 발생	NOx 규제치 악화	NOx제어장치, 탈질장치 설치
촉매 산화	할로겐화 용제의 혼입	염산, 불산 발생	탈산처리장치의 설치
		촉매 노화	반응온도 400 °C 이상, 정기적 flushing
	고비점불의 대량 혼입	촉매 노화	정기적 flushing, 전처리촉매
	실리콘 화합물의 혼입	촉매 노화	Dummy 촉매의 설치
	황화합물의 혼입	촉매 노화	반응온도 400 °C 이상, 정기 flushing
	도장 미스트	촉매 노화	< 1 mg/m <sup>3</sup> 이하로 먼지제거

**다. 플라즈마 방전처리**

미국 EPA에서는 강한 전해질을 충전한 충전탑 내에서 플라즈마를 이용해 VOCs를 방전처리하는 기술이 유망하다는 평가결과를 발표하고 있다. 그 원리는 방전된 플라즈마에 의해 생성된 고에너지의 전자를 배기가스에 조사함으로써 대기압 하에서 VOCs 성분의 화학결합을 강제로 끊어주어 O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> 같은 무해한 물질로 변환하는 것이다. 플라즈마에 의한 처리법은 플라즈마의 에너지가 보통 20 eV 이하로 낮기 때문에 방전하는 전극 근처에서만 높은 제거효율을 보이므로 대용량의 배기가스를 처리하는 데에는 어려움이 따른다. 하지만 시설비가 저렴하고 전기만을 에너지원으로 이용하므로 운영비용이 적게 소요되며 저농도 및 고농도의 VOCs도 효과적으로 제어할 수 있는 특징으로 인해 주목받고 있다(한 등, 1997).

**(2) 향후 전망**

현재 진행되고 있는 VOCs 규제경향은 유럽과 미주를 거쳐 중남미나 아시아로 확대될 것으로 전망되므로 VOCs 처리기술 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상된다. 이러한 규제는 광화학오염이 주로 발생하는 대도시를 중심으로 소규모 인쇄시설이나 드라이클리닝시설, 자동차 정비사업장을 대상으로 시행되고 있는 추세이므로 앞

으로 관련 기술은 설비를 소형화하는데 초점을 맞추어 진행될 것이다. 소용량 시설에 요구되는 처리 성능자체는 이미 기술적으로 확립되고 있지만, 설치비 및 운영비를 더욱 줄일 수 있는 방향으로 콤팩트화가 요구된다. 그리고 선진 기업의 경우에는 이미 기초적인 기술력을 갖추고 있으나 VOCs 분해 산물인 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>의 발생, 폐수처리 및 폐활성탄처리 등 2차 환경오염을 방지하기 위한 분야는 아직 미진하다. 따라서 환경보전형의 total 시스템으로서 환경에 안전하게 VOCs를 처리하는 기술의 개발이 필요하다고 판단된다. 주요 VOCs 제거설비 산업체로는 Reeco, Salem, Smith, Monsanto Enviro Chem, Envirotec, Lensi, LTG 등이 있다.

또한, 한편으로 도료 메이커는 VOCs를 포함하지 않는 도료를 개발·판매하기 시작하면서, end-of-pipe 처리뿐이 아니라, VOCs 함유 물질의 사용을 억제하여 원천적으로 VOCs의 발생을 줄이는 사전예방을 통해 대처하는 경향도 나타나고 있다. 이러한 경향은 접착제나 용제에 대해서도 적용되어 VOCs를 포함하지 않거나 혹은 휘발성이 낮은 제품의 개발로 연결될 것으로 보인다. 따라서 VOCs 설비기술의 개발에는 청정도료나 용제의 개발 동향을 반드시 고려해야 한다.

현재 VOCs 제거설비의 주요 수요 분야는 표면도장, 화학, 목공, 전자산업 분야 등으로서 VOCs 규제가 강하게 이루어지고 있는 미국, 유럽국가를 중심으로 시장이 형성되고 있다. 우리 나라의 경우, 1997년부터 특별대책지역인 여천, 울산, 온산 지역을 중심으로 VOCs 규제정책이 시행되었으며 현재 대기환경규제지역으로 규제정책이 확대 시행되면서 수요가 커지고 있다. 울산 지역에만 약 1,000억 원의 투자가 이루어진 것으로 조사되었다(울산상공회의소, 1998). 유럽에서는 독일과 영국이 가장 큰 VOCs 제거설비 시장이지만 새로이 마련된 장거리 월경성 대기오염물질 규제에 의해 수요는 유럽 전역으로 확대될 것이다.

VOCs 제거설비의 시장은 1995년에 전세계에서 10억 달러의 규모를 이루었고 1998년에는 18억6,000만 달러를 기록하였다. 2001년까지 연평균 15%를 상회하는 성장을 지속해 24억1,000만 달러에 이르는 규모로 성장할 것으로 전망된다<표 5>.

< 표 5 > 세계 VOCs 제거설비 시장규모 전망

연도	1995	1998	2001	연평균성장률(%)
시장규모 (백만달러)	1,000	1,860	2,410	15.8

자료 : McIlvaine, 1998



### 3. NOx 제거기술

NOx(질소산화물)는 산업현장에서 연료를 연소하는 공정이나 자동차와 같은 이동배출원으로부터 배출되는 대표적인 대기오염물질의 하나로서 광화학오염을 일으키는 주요인이 되며, 천식 같은 호흡기계통의 장애를 일으키는 원인이 되는 것으로 알려져 있다. 또한, NOx는 SOx와 함께 산성비의 원인물질로 추정되고 있기 때문에 선진국가를 중심으로 1960년대부터 배기가스 규제기준을 마련해 적용하고 있다. 특히, 일본의 경우에는 고정발생원에 적용한 엄격한 규제로 인해 배연탈질설비의 기술력이 뛰어나 현재 제거능력을 85% 정도까지 높인 기술이 상용화 되고 있다.

환경규제를 통해 고정오염원을 꾸준히 관리하여 왔음에도 불구하고 대기 중의 NOx 농도는 거의 일정한 상태를 유지하면서 개선되는 경향을 보이지 않고 있다. 이러한 이유 중의 하나로서 자동차를 비롯한 이동발생원으로부터의 NOx 배출량 증가가 지적되고 있으며, 최근 들어서는 미국 캘리포니아주의 「ULEV」<sup>1)</sup>나 유럽의 「유로III」<sup>2)</sup>와 같이 자동차 배기가스에 대한 규제를 한층 더 강화하는 추세이다.

#### (1) 기술개발 동향

연소에 의해 생성되는 NOx는 연료 중의 질소성분이 연소함에 따라 생성되는 fuel NOx와 공기에 포함된 질소(N<sub>2</sub>)가 고온에서 산화되어 생성되는 thermal NOx로 분류된다. Fuel NOx의 생성을 억제하기 위해서는 연료로부터 질소성분을 제거하고 유기 질소화합물의 함유율이 낮은 연료를 사용해야 한다. 그리고 고정발생원에는 후단에 NOx 제거설비를 장착해 제거해야 한다. 한편, thermal NOx를 억제하는 방법으로는, 연소구역에서 산소 농도를 낮게 유지하는 것, 고온구역에서 연소가스 체류시간을 단축하는 것, 연소온도를 낮게 하고 특히 국소적으로 생성되는 고온영역을 없애는 것 등이 고려되고 있으며, 이를 위한 대처기술로 2단연소법이나 저NOx버너 등이 개발되고 있다. 그러나, 이러한 방법들에 의해서도 thermal NOx를 완전하게 제거하는 것은 불가능하므로 최종적으로는 연소 배기가스로부터 NOx를 제거해야 한다.

배기가스 중의 NOx를 제거하기 위해서 고정발생원에서는 암모니아를 환원제로 하

1) Ultra Low Emission Vehicle의 약자로서 초저공해차를 의미하고 미국 캘리포니아주의 ULEV 배출기준은 탄화수소 0.04 g/mile, 일산화탄소 1.7 g/mile, 질소산화물 0.2 g/mile 등임

2) 2000년부터 적용되는 유럽의 자동차 배출가스 규제안으로서 기준은 탄화수소 0.2 g/mile, 일산화탄소 2.3 g/mile, 질소산화물 0.15 g/mile 등임

는 선택적촉환원법이, 이동발생원인 자동차의 경우에는 3원촉매가 주로 이용되고 있다. 그러나, 암모니아에 의한 선택적촉환원법은 설비에 상당한 비용이 소요되기 때문에 대부분의 개발도상국가에서 배연탈질설비 수요는 크지 않다. 이러한 기술들 외에 전자빔이나 저온플라즈마를 이용해, 발생한 NOx를 분해·제거하는 기술이나 광촉매를 이용해 대기 중에 방출된 NOx를 제거하는 기술개발 등이 진행되고 있다<표 6>.

< 표 6 > 주요 NOx 제거기술

분 류	대책기술
연소시 발생억제	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 2단연소방식</li> <li>. 농담(농도가 진하고 묽음)분리 버너</li> <li>. 자기재순환형 버너</li> <li>. 분할화염형 버너</li> <li>. 연료로내 직접분사</li> <li>. 고온공기연소</li> <li>. 완전예비혼합방식</li> <li>. 매체순환형 연소시스템</li> </ul>
배연탈질	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 암모니아 접촉산화법</li> <li>. 전자 beam 법</li> <li>. 저온 플라즈마 분해</li> <li>. 미세조류 이용</li> </ul>
자동차 배기가스 대책	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 2단연소</li> <li>. 배가스재순환</li> <li>. 신촉매</li> <li>. 전해제거법</li> </ul>
대기 중 NOx 제거	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 광촉매</li> </ul>

**가. 연소제어에 의한 NOx 발생억제**

연소과정에서 발생하는 NOx의 경우에는, 연소시 온도를 낮게 제어하거나 연소시의 산소량을 적게 제어하는 등 두 가지로 접근하여 기술개발을 진행하고 있다. 연소시의 온도를 낮추는 방법으로는 화염과 공기가 접하는 표면적을 넓힌 분할화염형버너를 이용하거나 완전예비 혼합방식 등이 있고, 연소시의 산소량을 적게 하는 방법으로는 고온공기 연소, 재연소 방식, 완전예비 혼합방식, 자기 재순환형 버너 등을 들 수 있다<표 7>.

< 표 7 > 연소제어에 의한 고정발생원 NOx 제거기술

기술방식	저온연소	저산소연소	개요
분할화염형 버너	○		네 개의 노즐로부터 화염을 방출함으로써 화염이 공기와 접촉하는 표면적을 넓혀 저온에서 연소시키는 기술
농담분리 버너		○	화염의 농도가 높고 낮은 것을 분리하여 연소할수 있는 버너를 사용함으로써 공기비를 크게하여 산소량을 저감시키는 기술
자기재순환형버너	○	○	보일러 내에서 연소된 후의 공기를 재차 버너에 흡입하여 연소하는 기술로서 연소한 공기는 산소농도가 낮고 저온에서 연소
재연소방식		○	석탄연소로의 상단에 천연가스를 공급하는 재연소로를 설치하고 산소 부족상태를 유지하여 연소로에서 배출된 NOx의 산소분자와 천연가스가 결합할 수 있도록 재연소함으로써 질소만 배출 되게 하는 기술
고온공기연소		○	공업로나 보일러 안으로 1000 ℃ 이상의 고온 공기를 고속으로 보내어 그 기류 안에 연료를 투입하는 기술로서 공기에 약 25% 포함되어 있는 산소량을 10% 이하로 감소시켜 연소함으로써 NOx의 발생을 저감
완전예비 혼합방식	○	○	순간적으로 공기로만 연소시켜 산소의 공급량을 최소화하는 기술로서 불꽃을 작게 함과 동시에 불꽃의 온도를 1300 ℃로 낮추고, 2차공기를 이용하지 않는 특성을 보이며 산소의 공급량을 더욱 줄이면 배출가스의 NOx도 비례해서 감소

한편, 이들과는 전혀 다른 접근방법으로 저공해형 연소시스템을 실현하고자 하는 매체순환형 연소시스템에 대한 연구도 진행되고 있다. 매체순환형 연소시스템은 1980 년대에 독일에서 실용화 가능성을 보여준 신연소 시스템으로서 연소반응을 산화공정과 환원공정의 두 가지로 분리한 뒤 금속입자를 순환시킨다. 산화공정에는 공기를, 환원공정에는 연료를 투입함으로써 산화공정에 유입된 금속을 금속산화물로 산화시키고 이를 다시 환원공정으로 보내 연료를 이용하여 금속으로 환원시키는 방식이다. 공기와 연료를 혼합시키지 않기 때문에 연료를 태울 때 금속산화물이 환원되면서 배

기가스 중의 오염원을 물과 이산화탄소로 분해해 배출하므로 기타 다른 유해물질이 배출되지 않는다. 또한 배기가스를 냉각하는 것만으로도 이산화탄소를 회수할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 이 시스템의 성공 여부는 효율성 높은 금속입자의 개발에 달려 있으며, 이러한 금속입자의 개발에 관심이 집중되고 있다.

#### 나. 자동차 배기가스 대책기술

자동차 배기가스 중의 NOx를 저감하는 기술은 제거효율이 높은 촉매의 개발에 집중되고 있다. 이와 함께 지구온난화 문제를 해결하기 위한 방안으로 자동차의 연비 향상이 큰 과제가 되고 있다. 단기적으로는 공기가 과잉으로 유입된 상태에서 연료를 연소시키는 「린번」 방식이 주요하게 적용될 것으로 보이며, 이에 따라 「린번」 연소 방식에 적절한 촉매도 개발되었다. 또한, 엔진 시동시 낮은 온도에서도 반응을 시작하는 촉매의 개발이 진행되어 왔으며, 점차 실용화 되기 시작하고 있다. 새로운 가능성을 가진 기술로는 산화세륨계 세라믹과 3원기능촉매를 결합하여 고체 전해질형 반응기를 구성하고 여기에 전류를 흐르게 하는 방식이 개발되고 있다. 이 방식에서는 배기가스 중의 NOx가 제거되는 것과 동시에 수증기가 전기분해 되면서 발생한 수소가 추가로 NOx를 질소로 환원시키는 현상도 확인되었으며, 이 두 가지 효과로 거의 100%에 가까운 NOx 제거를 실현할 수 있는 가능성을 갖는다고 말하고 있다.

#### 다. 배기가스처리 관련 신기술

종래에 적용되고 있는 암모니아 접촉환원법 이외에 개발되고 있는 새로운 배기가스 NOx 처리기술로는 전자빔(Electron Beam)을 이용하는 기술, 미세 해초류를 이용하는 기술, 저온 플라즈마를 이용하는 기술 등이 있다.

전자빔 배기가스 처리기술은 전자빔을 배기가스에 조사하여 SOx, NOx를 황산암모니아와 질산암모니아로 변환시키는 기술로서 현재 주로 이용되고 있는 습식탈황과 건식탈질배연 처리기술에 비하여 폐수처리가 필요 없고 탈황·탈질이 동시에 이루어지며 부산물을 질소비료로 이용할 수 있는 장점을 갖고 있다. 이밖에도 운영비용을 기존설비에 비해 10~20% 절감할 수 있다. 현재 기술개발 단계를 넘어 상용화 단계에 이르고 있다.

방전 플라즈마를 활용하여 고에너지의 전자를 배기가스에 조사하여 NOx를 거의 완전히 분해하는 특성을 갖는 기술로서 저온 플라즈마 처리기술이 개발되고 있다. 전

극의 한쪽 방향은 슬형태로 하고 반대방향에는 rod 전극에 유전체로서 소다유리를 부착한다. 대기압 상태에서 공기 플라즈마를 발생시키면서 질소산화물이 함유된 배기가스를 유입하여 처리를 하는데 가스의 분해율이 매우 높은 특성을 보인다. 현재 기초연구단계를 넘어 상용화를 위한 연구과정에 있다.

생물이용 배기가스 처리기술은 미세조류(해초류)를 배양하는 시스템으로 개발된 수직형의 반응기에다 조류를 배양한다. 조류의 활동을 배가하기 위해 백색광을 조사하고 배기가스를 반응기에 통과시킬 때, 조류가 배기가스 중의 NO<sub>x</sub>를 광합성에 활용토록 해 NO<sub>x</sub>를 제거하는 방식이다. 아직은 기초연구단계에 머무르고 있으나 설비비 및 운영비용을 혁신적으로 낮출 수 있기 때문에 주목을 받고 있다.

## (2) 향후 전망

산성화 및 광화학오염의 주요인인 NO<sub>x</sub>를 저감하기 위해 지금까지 수행된 NO<sub>x</sub> 대책은 규모가 큰 고정발생원을 대상으로 배연탈질설비를 장착하는 방식이었다. 그러나, 고정발생원 대책 중심의 정책으로는 NO<sub>x</sub> 농도의 개선효과가 크게 나타나지 않고 있는 상황을 고려할 때 향후에는 이동발생원(가솔린차, 디젤차, 선박 등)에 대한 규제가 강화될 것으로 예상된다. 그러므로 이동발생원에 설치가 가능하도록 설비를 컴팩트하게 디자인 하는 것이 필요하다. 또한 이동발생원의 경우 환경규제를 만족할 수 없다면 제품의 판매가 거의 불가능해지므로 이를 위한 적절한 환경기술 개발의 중요성은 크게 증대될 것으로 보인다.

또한, 고정발생원에 적용 가능한 배연탈질설비를 위한 고효율 촉매개발을 위한 경쟁과 연소상황에 따른 최적연소제어기술의 개발을 위한 노력들이 계속 진행될 것이다.

## 4. 이산화탄소 저감기술

지구온난화 문제에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데 1997년 12월에는 교토에서 기후변화협약 3차 당사국회의가 개최되었고, EU 8%, 미국 7%, 일본 6% 등 온실효과를 일으키는 이산화탄소, 메탄, 염화불화탄소류 등의 가스 감축율을 정한 의정서가 채택되었다. 지구온난화 문제는 일상의 국민생활, 경제활동으로부터 불가피하게 발생하는 문제이다. 향후 인구증가와 에너지 소비증대, 선진국 생활형태로의 변화 등을

고려하면 더욱 심각해질 것으로 예상된다. 이러한 지구환경 문제 해결에는 전지구적인 규모의 대응이 요구되고 국제적 합의에 바탕한 세계 수준의 사회, 경제적인 정책 실행이 필요하다. 더불어 혁신적인 기술개발에 의한 방지기술의 도입도 불가결한 것으로 보인다.

### (1) 기술개발 동향

탄소세의 도입이나 CO<sub>2</sub> 배출비율이 낮은 천연가스로 연료자원을 새로 바꾸는 등 정책면에서의 대책이 검토되는 한편, 기술면에서는 CO<sub>2</sub>를 3,700 m 이상의 심해에 액체 상태로 투기하여 수용하는 화학공학적 방법, 광합성을 촉진시켜 식물로 고정시키는 생화학적 방법 그리고 수소화하여 유용한 화합물로 재생시키는 촉매화학적 방법 등이 구체적으로 연구되고 있다.

에너지 사용에 따라 야기되는 CO<sub>2</sub> 배출을 억제하기 위해서는 첫째, 1차에너지 투입량을 가능한 한 줄여 나가는 것과 둘째, 투입되는 에너지의 종류를 가능한 한 CO<sub>2</sub> 배출량이 적은 에너지로 전환해 가는 것이 필요하다. 그 때문에 에너지 변환·이용효율을 높이는 에너지절약 방안의 추진과 함께 석유·석탄을 대신하는 대체에너지 기술과 이의 원활한 보급을 위한 기술개발이 요구된다. 그러나 현재 탄소성분이 적은 천연가스의 가용 자원량은 100조 m<sup>3</sup>에 지나지 않고, 만약 이로써 석탄을 대체하게 되면 천연가스 자원은 2015년경에는 고갈될 것으로 추정된다. 그러므로 이 방안에 의해서는 지구온난화 문제가 근본적으로 해결될 수 없다.

CO<sub>2</sub> 배출을 억제할 수 있는 또 하나의 방법으로서 발생한 CO<sub>2</sub>를 회수하는 방법이 고려되고 있다. CO<sub>2</sub>를 가역적으로 회수하는 기술은 비교적 용이한 기술이다. 그러나, 회수시스템을 적용할 때 최대의 문제점은 회수한 CO<sub>2</sub>의 처리문제이다. 회수한 CO<sub>2</sub>가 단기간에 환경으로 재방출되면 지구온난화 대책으로는 무의미한 것이 되므로 적어도 신에너지로의 전환기까지 반세기 정도는 보존할 수 있어야 한다. 이러한 이유로 향후 기대되는 기술로서는 CO<sub>2</sub> 회수, 고정, 이용기술을 꼽을 수 있다.

#### 가. CO<sub>2</sub> 분리·회수기술

CO<sub>2</sub>의 분리·회수 기술 중 화학흡수법, 물리흡수법, 흡착법, 막분리법, 산소연소법 등이 주요하게 추진되고 있는 CO<sub>2</sub> 기술부문이다.

화학흡수법은 CO<sub>2</sub>를 상압, 30~50 °C에서 알칼리 아민용액에 화학적으로 흡수시킨

뒤 흡수액을 100~120 °C로 가열하여 CO<sub>2</sub>를 분리하는 기술이다. 이 방법은 상압조건 하에서 적용할 수 있고 대용량화가 비교적 용이하고 H<sub>2</sub>S, CO 등 산성가스의 제거도 가능한 장점을 갖고 있다. 하지만 흡수액의 부식성이 높고 재생시 다량의 열에너지가 소요되며 산화물에 의해 흡수액이 노화되기 때문에 정밀탈황이 필요하다. 이밖에도 흡수액이 비교적 고가인 점도 단점에 포함되나 천연가스 정제에 이미 적용되는 등 실용화 단계에 이르고 있다.

고압, 저온에서 메탄올과 폴리에틸렌글리콜 흡수액에 CO<sub>2</sub>를 물리적으로 흡수(용해)시킨 뒤 감압·가열에 의해 CO<sub>2</sub>를 분리시켜, 흡수액을 재생하는 물리흡수법은 가압, 저온조건 하에서 CO<sub>2</sub>를 흡수하는데 적합하다. 이는 비교적 용이하게 대용량화 할 수 있으며 H<sub>2</sub>S, CO 등 산성가스의 제거도 가능하다. 또한 아민법에 비하여 소요 열량이 적고 흡수액의 부식성이 낮을 뿐만 아니라 황산화물에 의한 흡수액 노화현상 역시 느리게 진행되는 특징을 보인다.

흡착법은 제올라이트와 활성탄(분자 시브) 미세공의 선택흡착성을 이용하여 CO<sub>2</sub>를 물리화학적으로 흡착시키는 기술이다. CO<sub>2</sub>를 탈착시키는 방법에는 압력을 변화시키는 PSA (Pressure Swing Adsorption)법, 온도를 변화시키는 TSA (Temperature Swing Adsorption) 법 및 양쪽을 조합한 PTSA법이 있다. 흡착법의 특징으로는 조작, 보수가 용이하고 고순도 CO<sub>2</sub>를 얻을 수 있고 이미 대용량을 요하는 실증플랜트에 적용된 사례가 적지 않은 것을 들 수 있다. 하지만 회수율이 낮기 때문에 2단 이상으로 흡착해야 하며 탈황, 탈질, 탈수 등에 관한 전처리가 필요하다. TSA법의 경우에는 열전달에 시간이 많이 소요되기도 한다.

셀룰로스 아세테이트, 폴리술폰 등의 고분자막에 대해 CO<sub>2</sub>의 용해확산 속도가 큰 것을 이용하여 CO<sub>2</sub>를 선택적으로 분리하는 막분리법은 공정이 비교적 간단한 장점이 있으나 배기가스를, 상온에서 압력을 17~135 기압까지 높여 처리해야 한다. 그리고 아직 대용량에 적용한 사례가 적고 회수율이 낮기 때문에 2단 이상으로 공정을 확장해야 한다. 내구성도 막 재료에 따라 차이가 나고 분리막이 매우 비싼 것도 단점이 되고 있다. 불순물이 많이 함유된 배기가스를 처리할 수 있는 분리막 재료를 개발하기 위한 노력이 진행되고 있다.

산소연소법은 기존의 공기연소 대신 순산소를 이용하여 연소함으로써 배기가스로부터 고농도의 CO<sub>2</sub>를 그대로 회수하는 방법이다. CO<sub>2</sub>가 함유된 배기가스의 일부는 미분탄반송용 가스 및 산소회석용 가스로 재순환하여 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 분위기에서 재연소시켜

CO<sub>2</sub>의 농도를 높인다. 배기가스 내의 황산화합물 불순물의 영향을 고려할 필요가 없기 때문에 석탄을 연료로 하는 보일러에 적용 할 수 있고 용량을 비교적 용이하게 높일 수 있다. NO<sub>x</sub> 발생량이 크게 줄어들고 2차연소에 의해 배기가스 배출량이 적어지므로 보일러의 효율이 향상되며 또한 배기가스량 저감으로 인해 보일러 배연처리 설비를 소형화할 수 있고 처리동력의 저감도 가능한 특성을 보인다. 그렇지만 산소를 제조하는데 큰 동력이 필요하고 아직은 새로운 연소시스템이기 때문에 신뢰성 및 안전성에 대해서 보다 추가적인 검토가 필요한 상태이다.

**나. CO<sub>2</sub> 저장기술**

분리, 회수된 CO<sub>2</sub>의 저장기술에는 해양처리 및 지중처리가 연구되고 있다. 해양처리는 해수에 고농도의 CO<sub>2</sub>를 직접 방류하는 방법 혹은 드라이아이스로서 투기하는 방법, 수화물로서 투기하는 방법 등이 검토되고 있다. 또한, 지중처리는 기존의 가스전이나 유전에 CO<sub>2</sub>를 가스상태로 압력을 가해 투입하는 방법이 연구되고 있다. 가능한 저장고 중에서 해양저장이 가장 용량이 크지만 단기간 내의 효용성은 가스전이나 유정이 더 뛰어난 것으로 알려지고 있다. 그러나 우리 나라의 경우에는 가스전이나 유정과 같은 저장고가 없는 상태이므로 저장능력이 1,400~27,000 GtC<sup>3)</sup>에 이르는 해양투기나 90~2,700 GtC으로 추정되는 대수층 저장방안을 고려할 필요가 있다<표 8>. 최근에는 일본, 미국, 캐나다와 ABB 등이 주체가 되어 심해에 투기하는 방안이 구체화되고 있으며 올해에는 파일롯 플랜트가 하와이 근처 해안에 설치될 예정으로 있다. 하지만 이러한 저장기술들은 실용화에 이르기까지에는 상당한 시간이 필요할 것이다.

< 표 8 > 이산화탄소 저장고별 저장능력

저장소	저장능력(GtC)	인간의 활동에 의한 연간 CO <sub>2</sub> 배출량(GtC/y)
심해	1,400 - 27,000	5.6 - 8.6
대수층	90 - 2,700	
채굴 끝난 가스전	140 - 300	
채굴 끝난 유정	40 - 200	

자료 : IPCC, 1996; Freund, 1998

3) Giga Ton Carbon의 약자로서 탄소량 기준으로 10억톤을 의미



### 다. CO<sub>2</sub> 유효이용기술

분리, 회수된 CO<sub>2</sub>를 저장하지 않고 자원으로써 유효하게 이용하는 방법도 연구되고 있다. <표 9>에 연구 중에 있는 유효이용방법을 나타내었지만 대부분 기초연구단계에 머물고 있으며 처리 가능량이 제한되어 있기 때문에 실제 CO<sub>2</sub>를 저감하는 효과는 크지 않을 것으로 보인다. 하지만 폐기물을 새로운 자원으로 재이용한다는 측면에서는 바람직한 방안으로 평가된다.

### (2) 향후 전망

CO<sub>2</sub>를 저감하는 최첨단 기술을 살펴보면 실용화까지 극복해야 하는 많은 과제를 안고 있다. 더구나 연구가 진전됨에 따라, 앞에서 말한 개별기술뿐이 아니라, 다양한 분야의 기술이 종합적으로 적용되어야 하는 특성을 갖고 있다. 현재 국제연구기관, 각국 정부연구기관, 대학 등의 공공 연구 기관이 중심이 되어 여러 방면에서 연구를 진행하고 있고, 에너지 관련 기업(석유, 가스, 전력)이나 대규모 플랜트 메이커 등도 장래를 대비한 CO<sub>2</sub> 대책 기술개발에 나서기 시작했다. 2010년경에는 제 1세대의 CO<sub>2</sub> 회수·고정기술이 실용화 될 수 있을 것으로 보고 있다.

기후변화협약에 따라 2008년부터 2012년에 걸쳐 CO<sub>2</sub>를 감축해야 하는 의무감축국이 유연성체제(Flexibility Mechanism)에 의한 감축분을 제외하고 실질적으로 감축해야 하는 CO<sub>2</sub>량은 0.4 GtC으로 추정되며 이의 처리비용은(Herzog, 1997)은 500억 달러에까지 이를 것으로 전망된다. 이는 이산화탄소 저감기술을 개발해야 하는 당위성을 말해주는 자료이다. 결국 이산화탄소 분리·회수 및 저장기술을 개발함으로써 우리는 21세기 초반에 불어닥칠 기후변화협약에 따른 산업성장의 장애요인을 회피할 수 있는 수동적인 혜택과 함께 능동적으로 새로운 시장을 적극 개척해 나아갈 수 있는 기회를 얻을 수 있을 것이다.

## 5. 다이옥신 제거기술

다이옥신류는 유기염소화합물의 생산과정이나 폐기물 소각과정 등에서 비의도적으로 생성되는 화학물질로서 여러 종류의 발생원을 갖고 있다. 그 독성이 매우 강하기 때문에 선진국가들은 이미 1980년대 후반부터 다이옥신류의 배출기준을 설정해 엄격한 관리를 시행하고 있다<표 10>. 우리 나라에서도 도시쓰레기 소각로 배출가스 중에 함유된 다이옥신의 농도가 높아 큰 사회문제가 되고 있다.

< 표 9 > 연구 중인 CO<sub>2</sub> 유효이용기술

CO <sub>2</sub> 유효이용기술	공정	비고
접촉 수소화	상온 200~400 ℃, 상압~100 atm 정도의 조건 하에서 촉매로 CO <sub>2</sub> 와 H <sub>2</sub> 를 반응시켜, 알코올과 탄화수소 같은 유용한 물질로 전환한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cu/Zn 촉매에 의한 메탄올 합성은 에너지 손실이 적기 때문에 유망함</li> <li>• 안정적인 가격의 수소 확보가 필요</li> </ul>
전기화학환원	전기분해에 의해 용액으로 용해된 CO <sub>2</sub> 를 알코올, 탄화수소 등으로 변환한다. 루테튬 전극에 메탄올 등이 선택적으로 생성된다는 점에서 연구성과가 나타나고 있다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고효율로 선택성이 있는 좋은 전극 재료의 개발이 필요</li> <li>• 소비전력의 저감 불가</li> </ul>
광전기 화학환원	전기화학적 환원과 동시에 반응이 일어나지만 전극으로 GaP, SiC 등의 반도체를 사용하며 이 반도체 전극에 빛을 조사하여 발생하는 광기전력에 의해 CO <sub>2</sub> 의 변환을 일으키는 변환반응에 대해 연구가 진행되고 있다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전환효율이 비이상적으로 작음</li> </ul>
광학고정	광촉매와 광증감체에 의해 광에너지를 흡수하여 에너지 레벨이 높은 전자상태를 만들어 이 전자를 이용, CO <sub>2</sub> 를 환원하여 탄화수소류를 합성한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전환효율이 비이상적으로 작음</li> </ul>
인공광합성	미생물의 광합성에 의해 CO <sub>2</sub> 로부터 알코올, 탄화수소, 당, 유기산, 단백질 등을 합성한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고효율로 선택성이 높은 미생물 연구가 필요</li> </ul>
화학합성고정	촉매를 활용하여 CO <sub>2</sub> 를 원료로 고분자화합물질을 합성한다. CO <sub>2</sub> 를 모노머의 하나로 활용해 카보네이트를 합성하는 기술은 실현되고 있다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대량의 CO<sub>2</sub> 처리는 곤란</li> </ul>
CO <sub>2</sub> 분해	산소가 부족한 마그네타이트 촉매를 이용하여 수소와 반응시켜 CO <sub>2</sub> 를 탄소로 환원하는 접촉분해법과 전자선, γ선을 조사하여 CO <sub>2</sub> 를 분해하는 고에너지법 등이 연구되고 있다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기초연구 단계</li> <li>• 다량의 CO<sub>2</sub>를 처리하지 못함</li> </ul>

< 표 10 > 선진국의 소각시설 다이옥신 배출 기준

	독일 (1993)	네델란드 (1993)	스웨덴 (1991)	미국 (1993)	캐나다 (1992)	일본 (1993)
폐기물발생량 (천ton/년)	43,500	12,000	3,200	207,000	23,200	50,300
폐기물소각량 (천ton/년)	11,000	2,800	1,700	32,900	1,200	38,000
폐기물소각률(%)	25	23	55	16	5	74
직접매립율(%)	45	50	27	62	84	15
폐기물 소각시설수 (개소)	53	11	21	148	17	1854
시설당 폐기물소각량 (천ton/시설/년)	208	255	81	223	71	20
다이옥신 배출기준치 (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)	0.1 (O <sub>2</sub> =11%)	0.1 (O <sub>2</sub> =11%)	신설 : 0.1 기준 : 0.1 ~2.0 (O <sub>2</sub> =10%)	신설:0.14 ~0.21 (O <sub>2</sub> =7%)	0.14 (O <sub>2</sub> =11%) (Ontario주)	신설:0.1~5.0 기설:1.0~10 (O <sub>2</sub> =12%)
기준치 설정년도 (년)	신설1991 기준1996	신설1998 기준불명	신설1986 기준불명	신설1995	신설1995 기준불명 (Ontario주)	신설1997 기준1997

(1) 기술개발 동향

소각과정에 적용 가능한 다이옥신 제거기술은 완전연소기술과 함께 폐가스처리를 위한 최신기술로서 입자상 물질제거를 위한 백필터, 흡착을 위한 활성탄 등의 이용, 탈취효과를 갖춘 촉매분해기술, 산성가스 제거를 포함한 폐가스 scrubber 등의 기술을 이용하는 것이다. 이 중에서도 다이옥신류의 흡착제거, 폐가스의 촉매분해에 관한 기술 개발이 각광을 받고 있다. 또한, 폐기물을 소각하지 않고 RDF<sup>4)</sup>화 하거나 가스 화용해로에서 처리함으로써 발생하는 다이옥신을 농도를 영에 접근시킬 수 있는 기술도 실용화되고 있다.

4) Refuse Derived Fuel의 약어로 폐기물에서 수분·불연물을 제거하고 남은 가연물에 첨가제를 넣어 일정형상으로 제조한 연료임

### 가. 저온집진

다이옥신류 제거에 저온집진이 효과적으로 사용되고 있으며, 기술개발이 비교적 많이 진행되었으므로 이미 다양하게 보급돼 활용되고 있다. 백필터만 단독으로 사용하여도 200 °C 이하에서 90% 이상의 다이옥신 제거효율을 얻을 수 있으며, 저온이 되면 97~98% 라는 높은 제거효율을 얻을 수 있다는 보고도 있다. 최근에는 일반적으로 180 °C 이하에서 운영하고 있다.

### 나. 다이옥신류 흡착제거

백필터를 이용하는 방법은 다이옥신류의 제거에 유효하지만, 제거효율이 분진의 입도분포나 질에 좌우되기 때문에 완전하지만은 않다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 백필터 전단부에 분말활성탄을 붙여넣거나, 활성탄 혹은 활성코크 흡착탑을 함께 사용하는 것이 일반적인 경향이다. 분말활성탄을 붙여넣게 되면, 운전관리에 따라 제거율이 변화하기도 한다. 흡착탑을 병용하는 경우에는 제거율 자체는 분말활성탄 투입시 얻을 수 있는 최고 제거율과 같은 정도이지만 처리조건에 영향을 받지 않고 높은 제거율을 유지할 수 있다는 특징을 보인다. 분말활성탄의 투입량은 0.1~0.5 g/m<sup>3</sup> 정도가 일반적이지만, 0.03~0.05 g/m<sup>3</sup> 정도의 투입량에서도 상당한 제거효과를 얻을 수 있다.

분진 제거 후에 배기가스를 활성탄 흡착제의 충전층을 통과시켜 다이옥신류를 흡착·제거하는 방법은 확실한 다이옥신 제거방법으로서 유럽에서 많이 이용되고 있다. 배기가스 처리온도가 낮을 때 흡착제거 효과가 크게 되지만 저온부식이 염려되기 때문에 130~180 °C 정도로 운전하는 경우가 많다.

0.1 ng-TEQ/m<sup>3</sup>N을 기준으로 정한 독일에서는 1995년까지 기존시설의 개선책으로 보수한 43개 시설에 대해 조사한 결과, 분말활성탄을 투입한 비율이 53%, 활성탄 흡착탑을 적용한 비율이 13%로 전체의 약 ⅔가 활성탄계의 흡착매체를 이용한 배기가스 처리 방법을 적용하였고 나머지는 촉매를 이용한 산화법을 적용한 것으로 나타났다.

분말활성탄의 투입량은 100 t/일 용량의 소각로에서 약 50 kg/일이므로 일본에 있는 2,000개소의 소각로를 통해 50억엔에 해당하는 활성탄시장이 형성된 것으로 추정된다. 일본의 활성탄 판매업체 중에서 특히 적극적인 업체는 쿠리타 공업, 미즈비시 화학, 에바라, 유니치카, 쿠라레화학 등이다.

**다. 촉매처리**

다이옥신은 유기물이기 때문에 촉매연소에 의한 산화분해가 가능하다. NOx 제거용 SCR촉매는 유기물에 대해서도 산화촉매로 작용하기 때문에 다이옥신의 분해에도 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 연소촉매 같은 산화촉매도 다이옥신의 분해에 유용하며, 전용 촉매에 의한 처리도 개발되기 시작하였다. 그렇지만 NOx 제거촉매가 설치되어 있는 경우를 제외하고는, 촉매반응탑을 추가해야 하므로 고비용을 피할 수 없다는 문제점을 안고 있다.

**(2) 향후 전망**

수년간에 걸친 기술의 진전에 따라 연속운전시 로에서의 다이옥신 대책은 거의 완료되었다고 생각해도 좋을 것이다. 향후 대책 마련이 필요한 대상은 노후된 로 외에 준연속로, 기계화 회분식로 등 100 t/일 이하의 중소형 로가 중심이 된다. 기존에 설치된 로의 다이옥신 대책이 필요한 지방자치단체 중에서 상당수가 1~2년 이내에 운영 중인 소각로의 개량을 검토하고 있다는 보고가 있다. 일시적 현상일 수는 있지만 종래의 소각로 기초설비의 개량과 비교해 수배 규모의 시장이 형성될 전망이다. 향후 중요한 개선사항은 전기집진기를 백필터로 바꾸는 것과 2차 연소공기에 대한 특성 등 최적의 연소조건을 정립하는 문제이다.

< 표 11 > 선진국 산업체에서 개발 중인 다이옥신 제거기술

제거기술 분야		환경산업체
소각로 개량, 연소개선		미츠비시중공업, 일본삼텍크, 히타치 조선, 토다 공업, 히타치 제작소, 산코산업, 삼고, 제네랄 기술연구소, 다쿠마
배기 가스 · 배연 처리	집진제거	일본 스피들, 마루베니, 아르바리·캐나다사(캐나다)
	흡착제거	능광석회공업(菱光石灰工業), 다쿠마, 쿠리타 공업, 유니치카, 미츠비시 화학, 스미토모중기계공업, 다케다약품공업, 쿠라레화학, 코베제강소, 에바라, WKR(독일), AEA(오스트리아), 머크환경테크닉(독일), 노릿트사(네델란드)
	촉매처리	밥콕히타치, 에바라, 니혼쇼쿠바이
소각재, 비산재처리		미즈이 조선, MMT(미국)

이후의 다이옥신 농도의 저감계획에는 재나 배기가스 처리방법이 중요하게 다루어질 것으로 전망되고 이를 위한 기술개발이 현재 활발하게 진행되고 있다. 기술개발에 참여하고 있는 산업체는 집진기업체, 화학업체, 폐기물처리플랜트 업체 등이다<표 11>. 이들은 대개 백필터, 활성탄 등에 의한 흡착제거시스템과 산화촉매 개발에 적극적인 노력을 기울이고 있다. 또한, 폐기물처리플랜트 업종의 경우에는 선진국의 모든 업체가 다이옥신 저감기술의 개발에 주력하고 있다.

## 6. 가스화용해기술

가스화용해기술은 열분해와 재용해를 조합한 기술이다. 공정을 개략적으로 살펴보면, 먼저 밀폐한 용기에서 거의 무산소상태를 유지하며 폐기물에 열을 가하여 화학반응을 일으킨다. 이 공정을 열분해라고 부르는데 열분해된 폐기물은 열분해가스가 되고 가스화 되지 않는 것은 탄화한 잔사(char) 형태로 바뀐다. 생성된 열분해가스와 잔사를 용해로에 투입한 뒤 회분을 용해해서 슬래그화 하면 공정이 끝나게 된다. 이 기술의 특징으로는 폐기물 반응속도를 완화시켜 열분해함으로써 배기가스 처리효율이 높아지고 배기가스량이 대폭적으로 저감되므로 배기가스 처리장치를 소형화할 수 있으며, 고온연소에 의해 다이옥신을 완전분해할 수 있을 뿐만이 아니라 열분해에 의해 생성된 가스와 잔사를 이용해 25~30% 효율로 쓰레기발전이 가능하므로 폐기물이 갖고 있는 방치된 에너지를 더욱 유효하게 이용할 수 있다는 점을 들 수 있다. 이밖에도 유가물인 금속을 산화되지 않는 상태로 회수할 수 있어 물질 재사용이 가능하며 회분을 용해해서 슬래그로 만들거나 무공해처리를 할 수도 있다.

### (1) 기술개발 동향

가스화용해기술은 외열킬른식, 유동상식, 샤프트로식의 세 가지 형태로 나누어진다. 각 방식은 각각의 장점·단점을 가지고 있으며, 현시점에서는 어느 형태가 미래의 주류 방식이 될 지에 대해 명확하게 판단하기 어렵다.

#### 가. 외열킬른식

로터킬른형의 로를 사용해 투입물을 간접가열하면서 열분해 하는 방식으로 독일

의 지멘스방식이 대표적이다. 간접가열의 열원으로는 배기가스 공정으로부터 회수한 열을 순환시켜 이용한다. 유동상식과 비교할 때 킬른이 설치 면적을 많이 차지한다는 단점이 있지만 열분해 반응속도가 느린 성분이나 폐기물의 칼로리량 변동이 큰 물질에도 이용하기 쉽다는 장점을 가지고 있다.

#### 나. 유동상식

유동상식은 로 내에서 폐기물의 일부를 스스로 연소시키면서 열분해 하는 방식으로 이 기술을 개발하는 업체가 가장 많다. 킬른방식과 비교해 열분해 반응속도가 빠르고, 설치면적은 작은 편이지만, 폐기물 칼로리량의 변동에 적응하기 어려운 단점을 나타낸다.

#### 다. 샤프트로식

용광로 형식의 샤프트로 기술을 응용한 것으로 신일본제철과 일본강관(NKK)에서 개발되고 있다. 1개의 로에서 폐기물의 가스화와 용해를 동시에 수행할 수 있기 때문에 설비를 콤팩트하게 구성할 수 있다는 장점을 지닌다. 환원제로 코크스를 사용하고 로내를 고온상태로 유지할 수 있지만, 코크스를 이용하기 때문에 발생하는 운전비용이 높은 단점을 갖고 있다.

유럽을 중심으로 자원·에너지의 재활용에 대한 요구가 높아지면서, 1970년대에 붐을 이루었던 가스화용해기술이 다시 눈길을 끌기 시작했다. 1990년대에 들어서면서 폐기물량의 증가, 최종처리 장소의 부족, 다이옥신 방출 등이 사회문제로 확산되었고 폐기물의 조성에서 플라스틱의 비율이 증가해 고칼로리화 되어 가스화용해기술을 적용할 수 있는 기본적인 여건이 형성되었다. 현재는 독일을 중심으로 실증실험이 진행된 상태이고 상업용 플랜트의 수주도 시작되고 있다<표 11>.

가스화용해기술을 도입하고 있는 주요 산업체는 독일의 지멘스사, PKA사, 이탈리아의 Thermo-Select사 등이 있다. 이들 기업은 이미 파일럿 플랜트에서 실증실험을 진행하였으며 상업플랜트도 수주하고 있다. 일본에서도 약 20개 업체가 가스화용해로를 개발하는 계획을 진행하고 있다. 이중 1991년에 독일의 지멘스사와 기술제휴를 실시하여 가스화용해기술을 도입한 미츠이조선이 개발경쟁에서 선두를 달리고 있다.

< 표 11 > 주요 산업체별 가스화용해기술 개발 동향

기업 이름		플랜트 특징	실적
이탈리아	Thermo-Select	열분해로에서 발생하는 가스는 가스개질로에서 천연가스와 함께 가연성 가스로 개질되고, 가스엔진 발전에 이용되고 있다. 열분해로에서 발생하는 탄화물은 산소주입과 고온처리에 의해 2000 °C까지 상승하고, 용융 슬래그로 바뀐다. 1톤당 처리비용은 연간 20만톤 규모에서 200 DM, 운전비용이 1/3, 원가가 약 2/3 정도 소요된다. 산소와 천연가스를 사용하기 때문에 운전비용은 높은 편이다.	독일 국내 2개소에서 플랜트 건설
프랑스	테이도	킬른식의 열분해 가스화로에서 폐기물을 간접 가열하고, 가연가스를 발생시킨다. 일본 일립제작소가 테이도사의 기술을 도입해 일본 내에서 가스화 용융로를 개발	파일롯 플랜트에서 4000시간 이상 운전
독일	PKA社	열분해에 의해 생성되는 가스의 개질에는 코크스가 이용되고, 개질된 가스는 열분해 공정 및 가스엔진 발전의 연료로 재이용된다. 용융로에서는 93%의 산소가 사용되고 있고, 발생한 가스량을 적게 하기 위해 칼로리를 낮게 조절한다. 용융분해 후의 잔사를 가스화하고 있는 점이 PKA사의 독자적인 방식이다.	독일 파덴부르덴 부르크주에 실증 플랜트 설치
독일	그루프와데社	갈탄으로부터 연료가스와 합성가스를 생산하는 일일 생산량 수백톤 규모의 상업용 가스화로를 취급하고 있고, 도시쓰레기, 폐플라스틱, 하수오니, 자동차 슈레더 먼지 등 각종 폐기물을 대상으로 가스화로를 운영하고 있다.	독일, 핀란드, 스페인에 상업용으로 가스화로를 납품
독일	DBI-R&A社	독일 연료연구소와 PKA사의 합병에 의해 산업폐기물 열병합발전 프로젝트를 수행. 슈레더 먼지와 자동차 도장공장의 산업폐기물, 자동차 슈레더 먼지와 농약을 투입한 플라스틱을 처리하고 있다. 열분해 가스화 용융로의 기본적인 원리는 PKA사 기술을 이용하고 있다. 처리비용은 1톤당 500~1,200 DM 정도 소요된다.	독일 삭센주에 실증 플랜트 설치

미츠이조선은 1994년 9월 요코하마시에 20 t/일의 실증플랜트를 설치하여 약 2년 동안 요코하마시와 실증운전을 공동수행한 연구결과를 이용해 기술평가서를 취득해 공인을 받았다. 미츠이조선의 가스화용해 공정은 다음과 같이 구성된다.



거의 무산소 상태에서 열분해 드럼 내로 150~200 mm 정도로 파쇄한 폐기물을 투입 → 열분해 드럼을 약 450 °C 정도의 저온으로 간접가열하면서 약 1시간 동안 서서히 열분해 → 열분해 드럼에서 꺼낸 잔사를 용해로로 보내기 전에 불연물 분별공정에서 철이나 알루미늄 등을 분리, 제거 → 철이나 알루미늄을 분별 회수한 뒤 1 mm 이하로 분쇄하여 열분해 가스와 함께, 선회식 고온연소 용해로에 보내고 낮은 공기비에서 연소함 → 로 내는 1,300 °C의 고온이 되고, 회분은 용해된 상태의 슬래그로서 배출 → 용해로에서 나오는 고온의 배기가스는 공기가열기를 통과시켜 열을 회수하고 이를 열분해 드럼 내의 가열관에 보내 열원으로 재이용

## (2) 향후 전망

산업체별 추진동향을 볼 때 개발이 진행되고 있는 외열킬른식, 유동상식, 샤프트로식 등 세 가지의 가스화용해로 방식 중 어느 것이 가장 많이 보급될지는 현재로서는 판단하기 어려우나 수 년 내에 결과가 나타날 것으로 기대된다. 기술 개발에 있어서 향후 과제는 용해로의 형태에 따라 차이가 있지만 공통적으로 운영비용 절감과 열량 제어에 의해 안정한 상태에서 용해시키는 기술의 개발이 요구되고 있다.

다이옥신 규제에 의해 소각로 건설이 규제를 받게 됨에 따라 소각로의 수요 증가가 주춤해지고 있고 일부 소각로 업체는 소각로의 수요가 감소될 것으로 전망하고 있다. 또한 일본이 태국에 대외경제원조자금을 지원해 건설 중에 있는 소각로에 대해 그린 피스가 반대입장을 표명하는 등 소각기술을 환경오염기술로 인식하는 경향이 일어나고 있다. 그리고 일반 폐기물뿐만 아니라 슈레더 더스트 등 높은 칼로리를 갖는 산업 폐기물 처리에 응용이 가능하고 유해물 배출량이 소각기술에 비해 매우 적다는 점 등으로 인해 가스화용해로에 대한 관심은 높아질 것으로 판단된다.

## 7. 기타 유망기술

### (1) 탈황설비기술

탈황설비는 발전소에서 가장 많이 활용되고 있으며 이 분야에서의 투자 규모는 계속 늘어날 것으로 보인다. 1997년도에 900개 이상의 보일러에 장착돼 32억9,000만 달러에 이르렀던 연간 시장 규모는 2006년에 1,600개 이상의 보일러에 설치되어 60억

달러 이상 규모로 신장할 것으로 전망되고 있다<표 12>. 전세계 탈황설비시장의 규모는 1997년 이후 30억 달러 이상을 기록하면서 연평균 7%대로 성장하고 있는데 이는 대기오염방지설비의 연평균 성장률인 4%에 비해 두 배 정도 높은 것이다.

< 표 12 > 세계 탈황설비시장 규모 전망

연도	1997	1998	2001	2006	연평균성장률(%)
시장규모 (백만달러)	3,290	3,570	4,480	6,050	7.0

자료 : McIlvaine, 1998

현재로서는 유럽시장이 가장 큰 규모이나 미국에서의 투자규모 상승률이 높기 때문에 2006년에는 24억5,000만 달러에 이르러 유럽시장을 제치고 제일 큰 시장으로 부상할 것이지만 탈황설비를 필요로 하는 시설의 약 3/5 정도만 설비가 장착될 것으로 보여(McIlvaine, 1998) 탈황설비에 대한 수요는 끊이지 않을 것으로 보인다.

중국은 빠른 경제 발전으로 인해 산업계에서의 수요가 큰 반면에 경제규모에 대비한 환경시설 투자가 미진했다. 탈황설비의 경우에도 향후 수요가 매우 커서 아시아에서 가장 큰 탈황설비의 수요국으로 자리잡고 있다. 탈황설비와 관련한 아시아 시장에서는 우리 나라, 일본, 대만 순으로 중국의 뒤를 잇고 있다.

전기를 생산하는데 석탄화력에 의존하는 인도네시아, 필리핀, 크로아티아 등 대부분의 개발도상국가들과 함께 산성비의 피해를 많이 보고있는 동유럽국가들은 대기질과 보건증진을 위해 탈황설비에 대한 투자를 계속 높이고 있으므로 앞으로도 유력한 구매국이 될 것이다.

여러 탈황방식 중에서 습식석회석 방식이 가장 많이 적용되고 있으며 건식석회 방식이나 습식석회 방식이 그 뒤를 잇고 있다. 해수를 이용한 세정방식도 인도, 대만, 중국 등을 중심으로 활용도가 높아질 것으로 전망하고 있다(McIlvaine, 1998). 암모니아와 촉매를 이용하는 방식은 앞의 방식들보다는 작지만 여전히 시장에서 일정 부분을 차지할 것으로 보인다.

설비 가격이 대개 프로젝트당 5,000만 달러 이상이 되므로 규모가 큰 대형업체들이 탈황설비 시장에서 높은 점유율을 보이고 있다. 대표적으로 ABB, Bobcock & Wilcox, Mitsubishi, Chiyoda, Lurgi/Lentjes, General Electric 등이 탈황설비의 중요한 공급자들이다.

**(2) 풍력발전기술**

근래 들어 청정 에너지원에 대한 관심이 고조되면서 재생 가능한 에너지원의 대표격으로 풍력발전기술이 개발되고 있다. 풍력발전은 가격이 상승할 염려도 없고 연료 공급에 문제가 발생할 가능성도 없는 청정에너지원으로서 각광을 받고 있다.

풍력발전 설비시장은 현재 유럽을 중심으로 형성되고 있으며 최근 크게 확장되고 있는 추세이다. 1997년에는 전세계적으로 1,560 MW가 설치되었고 현재 7,000 MW에 해당되는 설비가 설치 중에 있다. 1993년에 8억 달러에 그쳤던 풍력발전 시장 규모는 연평균 20%가 넘는 높은 성장을 유지함으로써 1997년에는 20억 달러 규모로 성장하였고 1999년에는 26억 달러까지 이를 것으로 전망되었다<표 13>.

< 표 13 > 세계 풍력발전설비 시장규모 전망

연도	1993	1995	1997	1999	연평균성장률(%)
시장규모 (백만달러)	800	1,500	2,000	2,600	21.7

자료 : EBJ, 1998

풍력발전은 장착된 풍차를 이용해 바람에너지를 기계의 운동에너지로 변환시켜 발전을 하는 설비로서 개발역사가 깊기 때문에 다양한 종류가 제공되고 있다. 현재 발전용으로 주로 보급되는 것은 프로펠러형 풍차이다.

독일과 덴마크가 시장을 주도하고 있는데 덴마크의 경우에는 2005년까지 풍력발전 비중을 35%까지 높이는 목표를 추진하고 있으며 같은 기간 동안에 네덜란드 역시 전체 발전량 중에 10%를 풍력발전에 의해 조달할 계획으로 있다. 일본의 경우에는 유럽과 비교해 도입 속도가 느려 1998년에야 20 MW를 기록하였으나 1996년에 약 10 MW에 불과했던 수준을 기준으로 보면 신장률은 대단히 높은 수준이다.

엔지니어링 기술의 진보와 설계기술의 최적화를 통해 kWh 당 발전비용이 1980년에는 40 센트 이상이였지만 현재는 10 센트 이하로 낮아져 가격경쟁력이 커지고 있다.

덴마크의 Vestas 사가 가장 높은 점유율을 보이고 있는데 1996, 1997년 연속 3억 달러의 매출을 기록하였다. 그밖에 미국의 Kenetech, Zond Systems, 덴마크의 NEG Micon, Bonus, 독일의 Enercon, 스페인의 Made 사 등이 풍력발전 설비분야에서 상위에 들고 있는 산업체들이다.

**(3) 초순수제조기술**

초순수를 이용하는 산업은 다양하지만 설비특성은 비슷한 경우가 대부분이다. 초순수는 전력산업에서는 보일러의 급수로 이용되고 반도체 분야에서는 칩을 세정하는데 사용되고 있다. 약품산업에서는 인체에 투여되는 약제의 용매로서 활용되고 있다. 최근에는 평면화면 제조공정과 미세전자기계 분야에서의 용도도 늘어나고 있다.

반도체 분야가 초순수제조시설을 가장 많이 활용하였고 규모의 성장 역시 가장 빠른 속도를 기록하였지만 1997년 이래로 반도체산업 분야에서의 사용이 정체된 반면에 전력산업에서는 급성장하고 있다. 현재는 전력부문에서 필요로 하는 초순수설비에 관한 장치 및 약품 구매를 위한 지출규모가 약 10억 달러로서 반도체부문과 대등한 수준에 이른 것으로 보인다. 약품제조와 생물공학 분야에서의 신장도 전체 시장의 빠른 성장을 촉진하고 있다. 세계시장 규모를 보면 1996년에 13억7,000만 달러에서 2001년에는 32억 달러로 연평균 18% 이상 성장할 것으로 전망되고 있다<표14>.

< 표 14 > 세계 초순수설비 시장규모 전망

연도	1996	1997	1999	2001	연평균성장률(%)
시장규모 (백만 달러)	1,370	1,518	2,548	3,200	18.5

자료 : McIlvaine, 1997

반도체 부문에서 보이는 두 자리 숫자의 성장은 반도체 칩의 수요 증가만이 아니라 안전과 환경에 대한 배려와 차세대 칩을 생산하는데 보다 높은 순도의 용수가 필요하였기 때문이다. 아시아 지역에서는 일본과 우리 나라를 중심으로 반도체 산업에 대한 투자가 위축되면서 이 분야에서의 초순수설비 수요도 증가세를 멈추고 있다.

그렇지만 전력산업에서는 급수와 관 세정에 이용될 초순수설비를 중심으로 투자가 증가하고 있다. 특히 이 부문에서는 아시아에서의 구매가 다른 지역에 비해 매우 활발한데 2001년에는 4억 달러에 이를 것으로 전망되며 초순수설비에 이용되는 분리막과 이온교환수지를 교체하는데 따른 시장도 2001년에는 3억 달러 이상으로 커질 것으로 보인다(McIlvaine, 1997).

초순수설비 시장이 급격히 커지고 있는 것은 주요 부문에서 새로운 용도로 초순수가 활용되고 있기 때문이다. 대표적으로 평면화면 제조분야는 새롭게 등장하였지만

초순수를 사용하는 주요 소비처로서 자리를 잡고 있다. 현재 이 산업은 일본과 우리나라에서만 활성화 되고 있지만 미국과 여타 아시아 국가에서도 관련 산업이 증대될 것으로 보여 향후 초순수설비 수요 역시 이러한 지역을 중심으로 빠르게 신장될 것이다.

초순수설비 업체는 전세계적으로 300개가 넘는데 대부분 상당한 매출을 기록하고 있고 이윤도 많이 남기고 있다. 미국의 U.S. Filter사가 가장 강력한 공급자이지만 Ionics, Glegg, Christ 등이 주요 공급자로서 활약하고 있다. 1998년에 미국은 전체 설비 공급부문에서 39%의 점유율을 기록해 가장 컸으며 일본은 23%의 점유율을 보여 세계에서 두 번째로 많은 초순수설비를 공급하였다. 독일, 캐나다 기업들도 비교적 높은 점유율을 나타내고 있다.

초순수설비에 사용되는 역삼투 부분과 기기구조 분야에서는 미국 기업들의 경쟁력이 가장 큰 것으로 평가되고 있다.

## 8. 결론

1990년대 후반 들어 경제성장률을 앞지르기 시작한 환경시장의 성장률은 21세기 초반에도 계속 상승세를 탈 것으로 전망되지만 우리 나라와 같이 내수기반이 취약한 입장에서는 국내시장만으로는 환경산업이 발전해 나갈 수 없다. 따라서 해외로 눈을 돌려 해외시장을 적극 개척해야 한다.

이와 같은 목표를 갖고 세계 환경규제의 진행방향과 산업발전 특성에 부합하는 유망기술인 VOCs, NOx, CO<sub>2</sub>, SOx, 다이옥신 제거기술 및 가스화용해, 풍력발전, 초순수제조기술의 동향을 살펴본 결과 첫째, 지표권에서 발생하는 광화학오염 작용을 줄이기 위한 위한 규제가 강화되면서 VOCs 및 NOx 제거기술의 수요가 늘어날 것이고 둘째, 다이옥신 제거기술과 가스화용해기술은 2차오염을 일으킬 가능성이 있는 기존 환경기술을 보완하거나 대체가 가능한 것으로 평가할 수 있고 셋째, 지난 세기에 이어 지구온난화 현상은 계속 심화될 전망이고 2008년부터 기후변화협약이 실행됨에 따라 CO<sub>2</sub> 제거기술의 개발 필요성이 커지고 CO<sub>2</sub> 발생을 원천적으로 방지하는 풍력발전설비 시장은 연평균 20% 이상씩 고성장하고 있으며 넷째, 아시아 지역의 석탄화력발전이 의존한 경제성장과 유럽지역의 산성비 피해가 심각해지면서 아시아권과 동유럽에서의 SOx 제거기술 수요는 증가할 것으로 전망되었고 다섯째, 반도체분야의 계속되는 성장과 함께 전력산업과 평판화면 제조분야에서의 신규수요 창출로 인해

초순수제조기술의 수요는 연평균 18.5%씩 고성장할 것으로 예상되었다.

그리고 이러한 동향 분석을 통해 환경기술이 나타내고 있는 최근의 특성을 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째로 환경규제의 진행추세가 환경기술의 개발방향을 설정하는데 중요한 역할을 한다는 것이다. 최근 들어 지표권에서 오존이 과다하게 생성되는 광화학오염이 잦아지자 각 국가의 환경당국은 유발요인이 되는 NO<sub>x</sub>와 VOCs의 배출량(혹은 농도)을 규제하는 법규를 제정해 대처함으로써 이들을 저감하거나 제거하는 설비기술들이 각광을 받게 된 것이 좋은 사례이다. 그러므로 기술개발의 방향을 설정하기에 앞서 국가와 세계적인 환경규제의 추세에 대한 면밀한 검토와 분석이 선행되면 미래 수요에 대한 예측이 가능하다.

둘째는 환경시장은 아직도 보수적이어서 proven-technology 위주로 시장이 활성화되고 있다는 점이다. 가스용해로기술은 기존 소각기술에 비해 뛰어난 여러 가지 장점을 갖고 있으며 이미 실증실험도 이루어진 상태이지만 아직 저변이 넓어지지 못하고 있다. 그리고 우리 나라의 경우 신기술을 장려하기 위해 여러 가지 인센티브를 제공하는 제도를 시행하고 있는데 이는 역설적으로 신기술이 환경시장에서는 활발히 거래되지 않는다는 사실을 의미한다. 따라서 최신기술이라고 무턱대고 받아들이거나 개발에 착수하여서는 어려움에 빠질 가능성이 높다. 특히 자원과 재원이 풍족하지 못한 우리 나라의 경우에는 오히려 선진국들에 의해 이미 검증된 기존기술을 규제의 특성 및 소비자의 요구에 맞추어 개량하는 방향으로 기술의 진보를 이루어내는 것이 유리할 것으로 판단된다.

셋째는 2차오염을 유발할 수 있는 환경기술은 지속적인 호응을 얻지 못한다는 것이다. 일본, 스위스, 우리 나라와 같이 국토면적이 좁은 국가들을 중심으로 쓰레기 처리방안으로 활용해 온 소각기술은 최근 들어 다이옥신 등의 유해화학물질을 배출할 수 있다는 것이 알려지면서 지역주민들의 반대에 부딪혀 소각로의 입지선정이 안되거나 설혹 소각로가 건설되었다 하더라도 가동에 매우 큰 어려움을 겪고 있다. 일본은 대외경제원조자금으로 태국에 소각로를 건설 중에 있는데 2000년 2월초에 그린피스는 이를 환경오염기술을 수출하는 행위라고 규정해 반대운동을 벌여 나아갈 입장을 분명히 밝혔다. 환경 NGOs들의 정치·사회적인 영향력이 커지고 있는 추세에 비추어 이들의 이러한 입장표명은 환경시장에도 적지 않은 영향을 끼칠 것으로 전망된다. 그러므로 비용이 추가로 소요되더라도 2차오염이 유발되지 않는 청정처리기술의 개발을 추진해야 한다.

그러므로 환경시장에 보다 용이하게 진입할 수 있는 환경기술 분야를 도출하기 위해서는 이와 같은 사항들이 경제성이나 기술적인 타당성과 함께 종합적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

### < 참고문헌 >

- 기준학, “우리 나라 환경설비기술의 수출경쟁력 평가와 유망시장 분석”, 「환경설비산업의 수출경쟁력 제고 및 청정생산 육성방안」 제 3장, 현대환경연구원, 1999.
- 산업연구원, “한국경제의 중장기 비전”, 공청회자료, 1999.
- 울산상공회의소, “휘발성유기화합물(VOC) 규제 유보 건의서”, 1998.
- 한화진, 이영수, 윤정임, “VOCs 방지기술 현황 및 적용사례”, 한국환경정책·평가연구원, 1997.
- EBI, *The U.S. Environmental Industry and Global Market (Supplementary data)*, Environmental Business International Ltd., 1999.
- EBJ, *Renewable Energy & Distributed Power*, Environmental Business Journal XI(3), 1998.
- Freund, P., *Abatement and Mitigation of Carbon Dioxide Emissions from Power Generation*, the Power-gen 98 Conference, Milan, 1998.
- Herzog, H., E. Drake, E. Adams, *CO<sub>2</sub> Capture, Reuse, and Storage Technologies for Mitigating Global Climate Change*, U.S.A. Department of Energy, DE-AF22-96PC01257, 1997.
- IPCC, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996.
- McIlvaine, *Homepage* <http://www.mcilvainecompany.com>, McIlvaine Company, 1998.
- McIlvaine, *World Ultrapure Water Markets 1997-2001*, McIlvaine Company, 1997.

기준학(환경경영개선팀 수석연구원, hiemjhki@shinbiro.com)

본 연구는 산업자원부 청정생산기술개발사업의 일부 지원으로 수행되었습니다.