

# KIER의 NOx 및 연소배가스 처리기술 개발현황

민병무\*, 최상일\*

## R&D Status of NOx and Flue-gas Treatment Technologies in KIER

Byoung-moo MIN, Sang-Il CHOI

### ABSTRACT

In Korea, the emission standards for air pollutants will be more tighten from Jan. 2005. Especially, the new emission standards is focused on the nitrogen oxide. From this trend of standards, nitrogen oxide emission is hot issue in energy fields. Also, we have a new environmental problem, the carbon dioxide emission, which are related to the global warming. To solve the environmental problems, we must define the situation of clean-up technologies level in Korea and decide the direction of R&D for flue gas cleaning technologies. Now, this paper discuss briefly on the De-NOx R&D activities and the large scale testing facility for flue gas clean-up technologies in Korea Institute of Energy Research. These discussions are contribute to the increasing of the R&D activities for flue gas clean-up technologies in Korea.

**Key Words** : NOx, Flue-gas, Test Facility,

### 기 호 설 명

KIER ; Korea Institute of Energy Research (한국에너지기술연구원)  
SNCR ; Selective Non-catalytic Reduction (비촉매환원)

ACF ; Activated Carbon Fiber  
CLC ; Chemical Looping Combustion

### 1. 서 론

국민경제 향상에 동반하여 요구되는 삶의 질 개선을 위하여 정부에서는 1980년대 말부터 대기 환경오염 방지를 위한 정책과 기술개발 계획의 추진으로, 화석연료의 연소로부터 배출되는 대기 공해물질을 제거하는 기술기반의 수준이 크게 향상되었다.

그러나, 이러한 결과의 상용화를 위하여 필수적인 기술개발결과의 검증과 실증이 이루어지지 않아 대부분의 상용설비는 외국 기술도입으로 설

치되고 있는 실정이다. 반면, 국내 대기질 향상을 위하여 정부에서는 2005년부터 새로운 대기오염 원 배출기준을 강화하여 입법예고한 상태에 있다. 새로 강화 예고된 대기오염 배출허용기준에서의 초점은 질소 산화물로서 이 배출허용 기준을 만족하기 위한 환경오염 방지설비의 설치가 현재 화력발전소를 비롯한 적용 대상설비에서 진행 중에 있다.

이와 같은 국내의 상황에서 한국에너지기술연구원은 에너지 분야의 환경오염방지를 위한 기술개발을 연구원 발족 시부터 추진하여 왔는데, 근래에 관심이 되고 있는 질소산화물과 관련하여, 연구원 내에서 수행되고 있는 신 기술을 중심으로 현황을 설명하고자 한다.

또한, 국내에서 개발된 소규모 실험장치의 결과를 상업화하기 위하여 정부의 지원으로 추진하

\* 한국에너지기술연구원 청정에너지연구부

† 042-860-3690 / bmmmin@kier.re.kr

고 있는 대규모 연소 배가스 실증실험 설비 설치 계획과 현황에 관하여 소개하고자 한다.

## 2. 오염원 배출량 추이 및 시장상황

### 2.1 오염원 배출량 추이 및 시장상황

국내 경제성장에 따른 대기오염물 배출량의 지속적인 증가하고 있는 상황에서 이를 방지하고, 대기질의 향상 위하여 처리설비의 설치비가 확대되고 있으며, 대기오염물의 배출허용기준도 계속적으로 강화하고 있는데, 이들의 내용은 다음의 <표 1>과 <표 2>에서 제시한 내용과 같다.

Table 1. 대기오염물질 배출량 및 공사실적

구 분		1992	1994	1996	1998	1999	비고
배출량 (천톤)	SO <sub>2</sub>	1,614	1,603	1,500	1,146	951	
	NO <sub>2</sub>	1,067	1,191	1,257	1,084	1,136	
	SPM	392	429	424	420	440	
공사건수 및 금액(억원)		3,183 (3607)	3,234 (3694)	3,273 (5475)	1,935 (9049)	2,265 (7479)	대기 분야

Table 2. 대기환경오염 배출허용농도 규제추이

구 분	배출허용기준		비고
	'99. 1. 1이후	'05. 1. 1이후	
SO <sub>2</sub>	150 ppm	100(80) ppm	( )은 신규시설
NO <sub>2</sub>	400 ppm	150(50) ppm	
SPM	50 mg/Sm <sup>3</sup>	30(20) mg/Sm <sup>3</sup>	
염화수소	50 ppm	30 ppm	

특히, 국내 대기환경 오염방지를 위하여 대기 오염물 배출허용농도를 계속하여 강화되고 있으나, 처리기술의 대부분은 해외의 검증된 기술로 설치되고 있어, 이미 개발된 국산기술의 실증화를 통한 상용화가 매우 시급한 실정이다. 국내의 관련기술 시장의 현황과 전망은 전 세계적으로 환경에 대한 관심이 집중되고 있는 상황에서 지속적으로 증가할 것으로 예측하고 있는데, 이들의 내용은 다음의 <표 3>과 <표 4>와 같다.

Table 3. 국내 환경산업의 시장규모 및 전망

(단위 : 조원)

종 류	1999	2005	2010	연평균성장률(%)	
				'99~'05	'05~'10
환경서비스업	3.9	7.9	13.6	12.5	11.6
환경자원이용업	2.8	6.3	11.9	14.1	13.6
환경설비업	2.2	4.6	6.3	12.7	6.2
합 계	8.9	18.8	31.8	13.1	11.1

자료 : 환경보전협회 ('01. 7. 9), 주) 국립환경연구원, 산업연구원 등의 자료를 근거로 삼성지구환경연구소가 전망

Table 4. 세계 환경산업의 시장규모 및 전망

(단위 : 억\$)

구 분	1999	2005	2010	연평균성장률(%)	
				'99~'05	'05~'10
환경서비스업	2,500	3,340	4,180	4.9	4.6
환경자원이용업	1,270	1,940	2,600	7.3	6.0
환경설비업	1,180	1,660	2,070	5.9	4.5
합 계	4,950	6,940	8,850	5.8	5.0

자료 : 환경보전협회 ('01. 7. 9), EBI, '99/Environmental Business Journal & SRI Consulting, '96, 주) 2005년까지의 전망은 EBJ & SRI 자료를 이용, 2010년까지의 전망은 삼성지구환경연구소에서 추정

Table 5. 주요 설비별 수출입 현황('99)

(단위 : 백만\$)

구 분	수 출	수 입	차이
배기가스처리설비	182	385	- 203
수처리설비	236	872	- 636
폐기물처리설비	255	271	- 16
계	673	1,528	- 855

자료 : 수출입현황 (통계청)

## 3. NOx저감 기술개발 현황

### 3.1 KIER의 NOx저감기술개발 추이

한국에너지기술연구원(KIER)에서의 NOx저감 기술개발은 대개 1990년대 초반 이전에는 주로 외국의 기술개발 현황과 기술특성을 분석하는 Soft-ware적인 조사·분석사업이 주종을 이루고 있었는데, 일부에서는 자동차에서의 질소 산화물 배출저감을 위한 연료의 개발 또는 대체 등과 같은 Hard-ware적 기술개발이 추진이 되었다.

대용량 연소설비와 관련된 NOx저감기술개발은 1990년 중반부터 시작되었다. NOx저감기술개발 초기에는 제거비용이 비교적 안정한 연소과정에서의 질소산화물 제거기술인 2단 연소 및 미분탄용 저NOx버너 등이 개발되었다.

이후로 질소산화물에 대한 대기오염이 환경오염의 문제점으로 제시되면서 보다 적극적인 제거 기술인 연소 배가스 처리기술이 개발되기 시작하였다. 한국에너지기술연구원의 특성 상 기초화학을 기본으로 한 촉매를 이용한 탈질기술보다는 비촉매 탈질기술(SNCR)이 1990년대 후반부터 착수되었다.

근래에는 발전소와 같이 다량의 연소 배가스를 발생하는 설비에 대한 오염방지설비의 단순화와 운전비 및 설치면적의 최소화를 위한 동시제거 기술개발이 추진되고 있으며, 특히, 이산화탄

소와 같은 온실가스 배출규제를 감안한 복합저감 기술이 2000년초부터 추진되고 있다.

한국에너지기술연구원의 이러한 기술개발 추이는 다른 연구기관과도 유사하게 국내외의 기술개발동향, 요구기술과 배출허용기준에 영향을 받은 결과로 판단된다.

이와 같은 기술개발 사업의 추진으로 확보된 기술은 200KW급 Cyclone연소기 및 저 NOx용 미분탄 버너가 개발되었으며, SNCR 및 Plasma 적용기술 기반이 확보되었다. 한국에너지기술연구원에서의 De-NOx 기술개발 추이는 다음의 [Fig. 1]과 같다.

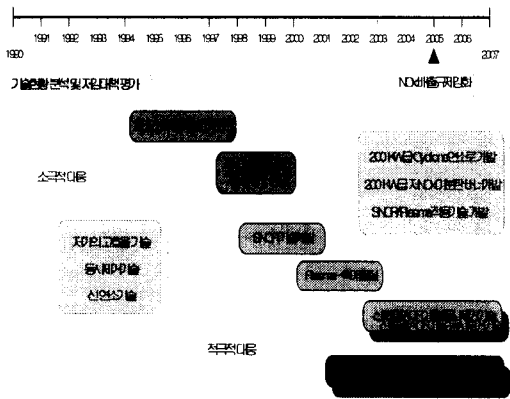


Fig. 1 De-NOx R&D Trend in KIER

2003년 현재 추진되고 있는 기술개발과제는 황산화물과 질소산화물을 동시에 제거하기 위한 “산화제/ACF를 이용한 동시제거기술”과 연소과정에서 발생하는 이산화탄소의 분리공정을 생략할 수 있는 “매체순환식연소기술”개발이 한국에너지기술연구원의 De-NOx기술개발의 주력사업이 되고 있다.

### 3.2 산화제/ACF를 이용한 SOx/NOx 동시 제거기술

이 기술은 산업자원부의 지원으로 2002년부터 2005년까지 추진된 기술개발사업으로 황산화물은 알칼리 반응제(석회석,  $Mg(OH)_2$ )를 이용하여 제거하고, NO는 기능성 산화제( $NaClO_x$  등)와 ACF를 이용하여 수용성이 높은  $NO_2$ 로 산화하여 질산염의 형태로 질소산화물과 황산화물을 제거하는 흡수식 공정이다.

이 기술은 발생된  $NO_2$  및 기능성 산화제의 분해로 발생된  $ClO_2$ 의 유출문제와 질산염의 형태로 황산화물 제거공정으로 유입된  $NO_2$ 로 인한 폐수

중의 총질소분의 제거가 해결되어야 할 문제점으로 제기되고 있으며, 이 기술의 기본적인 개념도는 다음의 [Fig. 2]와 같다.

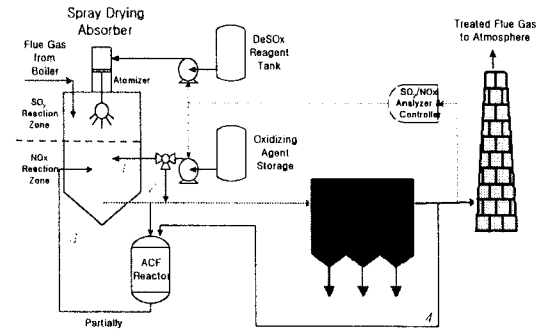


Fig. 2 Semi-drying De-NOx/SOx Removal System

### 3.3 매체순환식 연소기술

화력발전소에서 배출되는  $CO_2$ 를 회수하기 위한 다양한 공정들이 제시되었으나 대부분의 공정들이 매우 고비용 공정이며 에너지 손실도 많은 실정인데, 개략적으로 화력발전소 배출기체에서  $CO_2$ 를 제거하기 위한 공정들의 에너지 손실은 13~37%정도이며,  $CO_2$  회수비용도 공정에 따라  $\$18\sim72/m^3CO_2$  정도로 매우 높은 실정이다.<sup>1,2)</sup>

이러한 문제에 대처할 수 있는 새로운 가스연소 개념으로 매체순환식 가스연소기술(CLC)에 대한 연구가 진행되고 있는데, 매체순환식 가스연소기술의 개념은 한 반응기에서는 산화반응이, 다른 반응기에서는 환원반응(연소반응)이 이루어지며 두 반응기 사이를 금속매체입자(산소공여입자)가 순환하게 된다. 공기반응기(산화반응기)에서는 금속 입자(M)가 공기중의 산소에 의해 산화되어 금속산화물(MO)을 형성하고, 이 금속산화물은 환원반응기로 순환되며, 연료연소기(환원반응기)에서는 금속산화물(MO)입자가 기체연료( $CH_4, H_2, CO$  or  $C_nH_{2n-2}$ )와 반응하여 다시 금속 입자로 환원되면서  $CO_2$ 와  $H_2O$ 만을 생성시키는 원리를 이용하여 이산화탄소의 분리공정을 원천적으로 생략할 수 있어 이산화탄소 분리에너지 절약을 할 수 있는 기술이다.

이 기술은 가장 큰 장점은 산화 반응기에서 금속이 산화될 때 반응기의 온도를  $900^\circ C$  이하로 유지하여 공기 중의 산소와 선택적으로 반응하여 질소 산화물이 생성되지 않는 장점이 있다. 또한, 산화 및 환원 반응기에서 발생하는 열원을 모두 이용할 수 있어 높은 열효율을 나타내고 있는 것이 또 다른 장점으로 부각되고 있는데, 발전시스

템으로 적용하였을 경우 이론적으로는 약 53% 정도의 열효율을 나타내는 것으로 알려지고 있다. 이 기술의 기본개념과 공정의 구성도는 다음의 [Fig. 3]과 [Fig. 4]와 같다.

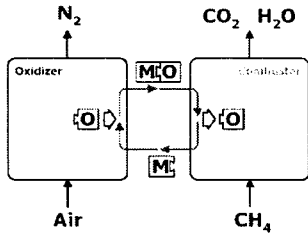


Fig. 3 The Concept of CLC

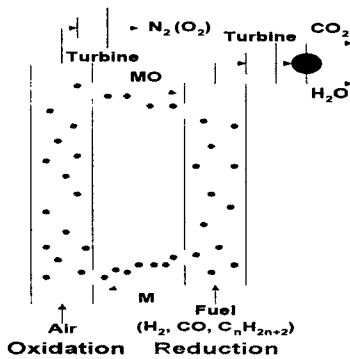


Fig. 4 The System of CLC

이 기술개발 사업은 이미 2001년부터 추진되어 현재 기본기술 확보와 Scale-up을 위한 기술개발이 추진 중에 있다.

### 4. 연소배가스처리기술평가시스템

#### 4.1 평가시스템의 설치배경

연소 배가스 처리기술과 같은 장치위주의 기술개발은 단계적인 기술개발 과정(실험실규모 ⇨ Bench규모 ⇨ Pilot규모 ⇨ 실증 ⇨ 상용화)을 걸쳐 실증 또는 상용화가 추진되는데, 국내의 기술개발은 앞에서 언급한 바와 같은 이유로 인하여 대개 Bench규모이하에서 기술개발이 종료되고 있어, 개발기술에 대한 신뢰성이 확보되지 못하여 개발기술의 상용화가 어려운 것이 기술개발의 문제점으로 지적되고 있다.

특히, Bench규모 이후의 기술개발을 위하여서는 막대한 설비의 투자로 대규모 기술개발비가

소요됨에 따라 민간투자가 어려운 상황이고, 연소 배가스 처리기술 개발은 연소 배가스를 이용하는 기본 시스템과 유사 측정 장비를 이용, 실증하여야 하는 기술적 공통성이 있는 공공성 사업의 특징이 있으므로, 국가차원의 공동 실증설비인 “연소 배가스 처리기술 종합평가 시스템” 구축 필요성에 따라 전문가 집단에 의한 기술지원이 가능한 전문연구기관인 한국에너지기술연구원 에서 정부의 지원으로 본 사업을 추진하게 되었다.

#### 4.2 평가시스템의 구성 및 내용

본 시스템의 공정구성 내용은 다음의 [Fig. 5]에서 보는 바와 같이 7개의 주요요소로 구성되어 있다. 원료 공급시스템에서 공급된 원료는 순환 유동층 연소 및 보일러 시스템에서 연소하여 증기와 배가스를 발생시키고, 발생된 증기는 발전 시스템으로 유입되어 전기를 생산하고, 회수된 증기는 수 처리 및 공급 시스템으로 유입되어 처리과정과 공급시스템을 거쳐 다시 보일러 시스템으로 공급하게 된다.

연소 시스템에서 발생한 배가스는 처리 시스템을 거쳐 오염물질을 제거하거나, 각 대기 오염원별 실험이 가능한 실험동에 공급되어 기술실증에 활용된 후 다시 오염물질을 제거하는 본 설비의 처리공정을 거치도록 되어있다. 연소 보일러와 배가스 처리 시스템에서 발생한 회재의 처리공정은 별도로 구성되어 있다.

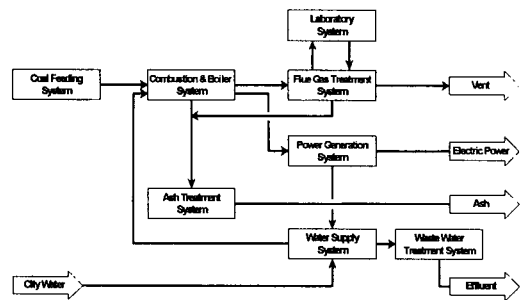


Fig. 5 Configuration of Flue Gas Clean-up Technology Test Facility.

이와 같은 연소 배가스 처리기술 평가시스템의 설비의 내용은 다음의 <표 6>과 같은데, 기본적으로 석탄을 연소하여 배출되는 배가스의 용량은 시간당 10,000Nm<sup>3</sup>이고, 2.0MW급의 발전시스템을 동시에 구축하여 평가 시스템의 소요 전력을 공급하고, 잉여 전력은 한전 계통과 연계하여 매

전이 가능토록 설계되어 있다.

**Table 6.** 종합 평가 시스템의 설치내용

주요시설	내 용
보일러계통	유연탄 연소 순환유동층보일러 1.0ton/hr 이상 x 1기
발전 용량	증기터빈 약2.0MWe 급
배가스 배출량	10,000Nm <sup>3</sup> /hr 이상
배가스 처리설비	처리용량 10,000Nm <sup>3</sup> /hr인 탈황, 탈질, 집진, 황성탄 탑 등
보조설비	수폐수처리설비, 석탄/회저장설비, 석회석 설비, 냉각설비 등
전기,제측설비	변전설비, Control설비 등
건축	설비동과 개방형 실험동 등

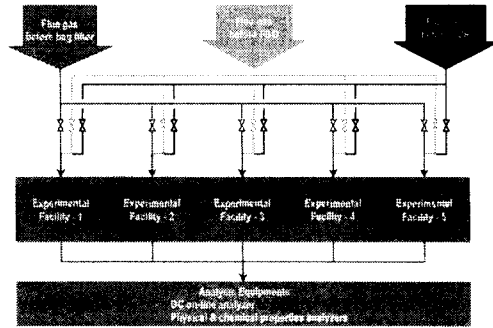
### 4.3 평가시스템의 활용방안

설치될 “연소 배가스 처리기술 종합평가 시스템”의 가장 중요한 역할은 대규모 실제 배가스를 이용한 개발기술의 실증용 공용 설비와 실험공간을 제공하여, 국내 관련기술 수준의 향상과 기술개발기간 단축 및 개발비의 절감이 가능하도록 관련 기관과 업체가 적극 활용토록 할 예정이며 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 활용 대상 기술 ; 탈황, 탈질, 집진, 온실가스, 중금속 및 소각 배가스 유해물질 처리 기술 등의 연소배가스 처리기술
- 설비의 활용계획
  - 국내 대기 환경오염물질 처리기술별 공동 실증시험설비로 활용
    - ↳ 기술개발 기관(사)에 실증설비 제공으로 기술개발비 경감 및 기간 단축
  - 개발된 연소 배출가스 처리기술의 상용화 촉진 설비로 활용
    - ↳ 개발 처리기술에 대한 Non-stop실증 가능
  - 국가의 대형 또는 중·소 단위기술개발계획과 연계하여 실증단계의 실험설비로 활용(환경설비품질인증제와 연계)
    - ↳ 관련 기술 개발 촉진 및 Engineering자료 확보
- 설비의 운영계획 ; 사용자 부담을 원칙으로 하되, 운영비 최소화를 유도하여 사용자에 부담을 경감

위와 같은 활용계획에 맞추어 본 설비에는 약 50평 규모의 오염원별 5개 개방형 실험실

을 설치하여, 국내의 기술개발 관련기관 또는 업체에서 공동으로 활용할 수 있도록 합과 동시에 공통분석 장비를 구비하도록 하였으며, 그 개략도를 [Fig. 6]에 나타내었다.



**Fig. 6** Open Laboratory System

### 4.4 평가시스템 구축사업 향후 추진계획

본 사업은 2002년부터 2005년까지 총 4년의 계획으로 현재 한국에너지기술연구원에서는 연소배가스처리기술 종합평가시스템을 구축하기 위하여 종합평가시스템의 기본 개념 및 적절한 규모 선정을 위한 기술적 검토를 통하여 최종계획을 확정하고, 현재 기본설계와 상세설계 단계에 있다. 올해 하반기에는 상세설계가 완료되어 본격적인 건설공사가 연구원 부지 내에서 착공될 예정에 있다.

3차년도(2004년)에는 종합평가시스템이 설치될 건축물(실험동)을 구축하고 2차년도에 발주한 각종 설비의 시공과 함께 부분적인 시운전을 수행한다. 종합평가시스템의 부대설비를 포함한 모든 기타 설비를 발주하고 시공할 것이다.

4차년도(2005년)는 연소 배가스 분석과 개발기술의 성능을 평가할 수 있는 Gas Monitoring System를 선정하고 구입하여 연소배가스 측정설비를 구축하고, 본 시스템의 종합적인 시운전을 수행하여 사업을 마무리할 계획이다. 이들의 세부적인 추진계획은 다음의 <표 7>과 같다.

특히, 이산화탄소배출규제에 대한 국제적인 여론이 우리나라와 같은 선진 개발도상국에 집중되어 있는 상황에서 이산화탄소를 포함한 연소 배가스처리 기술개발 방향의 전환이 필요한 때이다. 환경오염방지의 근본적인 문제인 경제적 부담문제를 해결하는 것이 작금의 환경기술개발의 최종목표가 된다고 보았을 때, 연소 배가스 관련 오염배출 저감기술의 정성적인 기술개발 방향은 다음의 [Fig. 7]과 같은 방향으로 추진되어야할

것으로 판단된다.

Table 7. 종합 평가 시스템의 설치계획 일정

추진 사항	2002년		2003년		2004년		2005년	
	상	하	상	하	상	하	상	하
1. 기본설계 및 세부추진계획 수립	■							
2. 설비구성 및 감리사선정(ITB작성)	■							
3. 연소설비 발주 및 설치			■					
4. 연소부대설비 및 발전설비 발주, 설치			■					
5. 연소 배출가스 기본처리설비 발주, 설치			■		■			
6. 연소 시스템 및 발전시스템 시운전							■	
7. 실험실 및 시험, 분석장비 발주, 설치					■		■	
8. 종합 시운전 및 시스템 완공								■

이러한 때에 연소 배가스 처리기술 종합평가 시스템"의 구축은 국내 기술수준과 연구 환경 및 환경규제 강화추세 등의 주변여건을 종합하여 효율적이고 효과적인 연소배가스 처리공정의 상용화 개발에 이바지할 것이며, 단기간에 경제적인 기술개발을 통한 기술 자립화, 수입대체효과, 기술수출을 가능하게 하고, 국내에서 운전 중인 기술의 최적화와 문제점해결, 교육을 통하여 기술수준을 향상시킬 수 있는 역할을 담당하게 될 것이다.

### 후기

본 고를 작성하기 위하여 자료를 제공하여 주신 한국에너지기술연구원 청정에너지연구부 진경태, 이형근, 문승현, 김성수, 한근화 박사님께 감사드립니다.

### 참고문헌

[1] Herzog, H. J. and Drake, E. M., "Long-Term Advanced CO2 Capture Options", IEA/93/0E6, IEA Greenhouse Gas R&D Programme, Cheltenham, UK (1993).  
 [2] Mimura, T. H., Shimayoshi, H., Suda, T., Iijima, M. and Mituoka, S., "Development of Energy Saving Technology for Flue Gas Carbon Dioxide Recovery by Chemical Absorption Method and Steam System in Power Plant", *Energy Convers. Mngm.*, 38, S57-S62(1997).

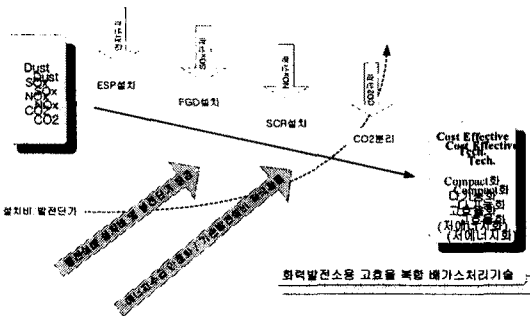


Fig. 7 Future of R&D Work for Flue Gas

## 5. 결 론

한국에너지기술연구원은 국내 에너지분야의 전문 연구기관으로써 신 에너지 개발과 효율적 이용 및 청정화 기술개발을 전담하고 있다.

그간의 기술개발이 선진국의 모방형 기술개발이었다면 지금부터는 기술개발의 자립화가 필요한 변환시점에 있으며 이를 위한 기반구축이 절실한 상태에 있다. 특히, 질소산화물 배출허용기준 강화와 온실가스 배출규제 등에 의한 환경분야의 기술개발이 다른 시각에서 추진되어야 할 때이다.