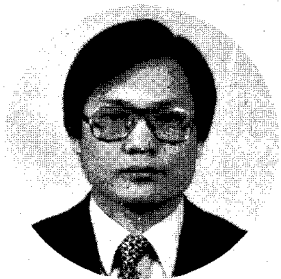


美國의 淸淨石炭 活用技術 現況 및 우리의 對應 方案



先進國에서는 公해물질을 배출하지 않는 淸淨燃料로의 전환기술의 개발이나 工程效率의 향상을 통하여, 산성비의 원인을 제거하고 이산화탄소의 절대배출량을 감소시키려는 연구가 시도되고 있다. 따라서 우리나라에서도 石炭活用 技術開發에 대한 장기적인 연구계획 수립 및 효율적인 지원체제가 요구된다.

孫 宰 翼

韓國動力資源研究所
에너지環境硏究部長

1. 序 論

경제 발전에 따라 化石燃料의 사용량이 증가하면서 황산화물과 질소산화물의 배출증가에 따른 산성비의 피해와 이산화탄소에 의한 지구의 溫室效果에 대한 인식이 고조되고 있다. 이에 따라 先進國에서는 公해물질을 배출하지 않는 淸淨燃料로의 전환기술의 개발이나 工程效率의 향상을 통하여, 산성비의 원인을 제거하고 이산화탄소의 절대배출량을 감소시키려는 연구가 시도되고 있다.

石炭을 사용할 때 장해요인으로는 公害問題, 탄종별 이용성과 기술성이 부족한 것이지만, 전세계에 고루 분포되어 있는 안정된 에너지 공급원으로서의 장점이 있다. 美國에서는 1985年 캐나다와 조인한 산성비에 의한 북미지역의 산림피해를 줄이기 위한 실천방안으로서 연방정부가 자금을 지원하여 商業化를 위한 實證實驗을 추진하기로하고 50억불의 자금을 비축하고, 1987年 3月 이중 25억불을 公해물질을 저감할 수 있는 혁신적인 石炭利用 기술개발에 투자하기로 하였다. 이에 따라 美

國에서는 Clean Coal Technology Demonstration Program(CCTDP)을 수립하여 수행하고 있는데, 이 계획은 현재 石炭 利用技術의 개념정립단계에서 2010年代 상업화를 위한 교량역할을 하는것으로, 직접 상업화에 따른 위험부담을 감소시키고자 한다. 이 계획의 파급효과는 美國의 산성비 정책의 초석, 전력장기수급계획, 안정된 에너지 공급원의 확보와 國際市場에 plant수출 및 석탄수출의 경쟁력 강화에 의한 石炭 活用の 증대를 꾀하고 있다. 美國 DOE에서는 27억불의 자금을 투자하여 CCT-I부터 CCT-V까지 단계별로 1992년까지 과제를 선정, 지원할 계획이며, Project가 완결되는 年度는 1990년부터 2000年代 까지이다.

Clean Coal Technology Program이 주로 상업화에 주안점을 둔 반면, Coal Technology R & D Program에 의해서는 基礎研究를 지원하고 있다. 따라서 Coal Technology R & D Program을 통해서 유망한 技術의 개념정립이 이루어지면, CCT Program에 의해 상업화에 필요한 실증실험을 하는 研究支援體制가 구축된 셈이다.

2. Clean Coal Technology Demonstration Program의 概要

지원대상기술에는 熱效率 향상을 통한 이산화탄소의 발생량을 감소시킬 수 있는 공정, 공해배출을 억제하는 신 연소기술, 이들 技術의 경제적인 조업을 할 수 있는 技術이 포함되며, 기존 설비에 저렴한 시설을 보수하여 공해저감을 기하거나 燃料의 형태를 전환시키는 방법도 포함된다.

이와 관련된 技術은 크게 Repowering, Retrofit 및 石炭轉換技術로 구분할 수 있다. Repowering 기술은 기존 발전설비의 대부분을 대체하는 技術로서, 상당한 배출저감, 출력증가, 설비의 壽命延長과 전체 效率向上에 목적을 두고 있으며, 유동층 연소와 석탄가스화를 기본으로 한 복합발전(Combined Cycle)기술이 있다. 유동층 연소는 가압 유동층, 순환유동층 및 가압 순환유동층이 있다.

Retrofit技術은 기존의 화력발전소의 설비중 일부를 교체하거나, 설비를 추가하거나 새로운 燃料를 사용하여 공해물질의 저감을 기하는 기술로서, 연소전, 연소상태 변경 및 배가스 처리기술로 나눌 수 있다. 연소전의 전처리기술은 石炭을 정제함으로써 公害物質을 제거하는 기술이며, 燃燒狀態의 변경에 의한 공해물질저감 기술은 연소기의 변형이나, Burner의 개량, 석회석의 주입과 가스에 의한 재연소를 통하여 공해물질을 저감시키는 技術을 말한다. 연소후의 公害物質 저감기술은 연소기 다음에 배가스처리시설이나 흡착제를 주입하여 배가스중에 포함된 황산화물 및 질소산화물을 흡착과 환원등의 방법으로 제거하는 기술이다.

石炭의 轉換技術은 공해물질이 적고 사용하기 편리한 액체나 기체 연료로 전환함으로써 사용시 발생하는 公害物質을 저감시키는 방법이다. 이 技術로는 Mild Gasification, Underground Coal Gasification, 石炭의 간접 및 직접 액화법, Coal/oil Coprocessing 등이 있다.

Clean Coal Technology Demonstration Program의 財源은 美國 政府와 참여기업체가 공동으로 부담하며, 政府의 지원금이 50%를 넘을 수 있다. 年度別 政府의 투자계획은 <표-1>에 보인 바와 같

<표-1> Outline of Clean Coal Technology Program Budget

(Million \$)

	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	계
CCT-I	99.4	149.1	149.1					397.6
CCT-II			50	190	135	200		575
CCT-III					575			575
CCT-IV						600		600
CCT-V							600	600
	99.4	149.1	199.1	190	710	800	600	2747.6

다. 이 계획은 石炭을 사용할 때 발생하는 公害物質을 최소화하고 향후 상업화할 경우에 필요한 설계, 건설 및 운전자료의 획득을 위한 실증실험에 목적을 두고 있다.

CCT-I에서 소요되는 총 자금은 政府에서 3억9천만불을 지원하고 참여기업에서 8억3천만불을 투자하여, 政府和 民間投資의 비율은 32:68%이다. CCT-II에서 정부가 투자할 예산은 5억7천5백만불이며 88년부터 91년까지 연차적으로 지원하며, 총 事業資金은 13억5천만불로 政府에서 40%를 지원한다. 따라서 Clean Coal Technology Demonstration Program에 소요되는 실제 연구 예산은 <표-1>에 나타난 금액의 2배 이상이 될 것이다.

3. Clean Coal Technology의 開發技術

CCT-I은 51개의 제출된 과제중 13개가 선정되었다. 과제들은 PEIS(Programmatic Environmental Impact Statement)에 입각하여 부지선정에서부터 고체폐기물의 처리문제, 생태계에 미치는 영향과 經濟·社會적으로 미치는 영향까지 철저히 검토된 후 선정되었다. 技術評價基準은 향후 제시될 공해치 요구를 접했을 때 현재의 技術이 어느 정도 수용할 수 있는가와 CO₂배출량, 고체 폐기물의 량과 처리문제를 고려하는 技術의 性能, 效率, 信賴性과 조업의 유연성 및 공해 저감률이 복합적으로 적용된다. 선정된 과제는 石炭活用 技術로 환경문제를 해결할 수 있는 공해저감 技術의 타당성을 입증하고 상업화에 필요한 자료축적

을 목적으로 한다.

CCT-II는 출력증가, Retrofit 및 기존설비의 현대화를 기할 수 있는 과제를 접수하였으며, 신청된 과제는 55개이었다. CCT-I 과 같이 PEIS에서 주변 환경에 미치는 영향을 철저히 조사한 후 經濟性과 商業化 가능성을 판단기준으로 하여 이중 16개를 선정하였다. CCT-II는 1989년부터 수행되어 상당수 과제가 착수되었으나, 아직 계획 일정과 지원금 상환일정등에 대하여 협의중인 것도 있다. CCT-III는 황산화물과 질산산화물의 제거율과 경제성에 선정기준을 두고 있으며, 高效率技術과 경제적이고 효과적으로 公害物質을 제거할 수 있는 기술에 주력하고 있다. CCT-III는 47개 신청과제중 1989년 12월에 13개가 선정되었다.

Clean Coal Technology Program I, II 및 III에서 선정된 研究技術들에 대하여 각 과제의 特徵을 분류하여 서술하기로 한다.

가. Repowering 技術

Repowering은 공해저감, 효율향상 및 시설의 수명을 연장시킬 수 있는 새로운 개념의 石炭利用技術로 유동층 연소와 가스화를 통한 복합발전이 있다. 석탄연소발전소를 Repowering할 경우 석탄처리설비등 대부분의 장치들을 그대로 사용하므로 일종의 發電所의 수명 연장기술로 보아도 무방하다.

Circulated Fluidized Bed Combustor(CFBC) ; Clean Coal Technology Demonstration Program에서 수행되고 있는 순환유동층과 관련된 과제는 Nucla, Colorado와 Nichols, Texas에 설치 운전되고 있는 과제가 각각 CCT-I 과 CCT-II 지원하에 수행되고 있다. CFB Steam Generator가 發電所 규모에서 경제적 타당성과 환경물질 저감효율 및 조업상의 신뢰성과 유연성등을 평가하고자 하는데 목적이 있다. CCT-I 으로 Nucla에서 수행하고 있는 技術은 Colorado-Ute Electric Association에서 주도하여 110MW 규모로 수행되고 있으며, Nichols에서 수행하고 있는 CFBC는 Southwestern Public Co.가 Texas에 250MW급 실증용 공장을 계획하고 있다. 이 기술은 循環部分과 流動層으로 구성되어 있으며, 循環部에서 미반응 석

탄이 순환됨으로서 높은 연소효율을 얻고, 流動層에서 石炭이 석회석과 같이 주입되어 유황성분을 제거하여 석회석의 이용율을 높이는 기술이다.

이 技術은 연소로에 석회석을 첨가하는 상압 유동층으로서 발생하는 SO₂를 황화칼슘으로 전환하는 工程이다. 연소온도가 낮아 회재의 용융문제가 없으며, 기존 미분탄 보일러와 비교하여 SO₂의 배출을 90-95%, NO_x의 배출은 80%까지 감소시킬 수 있다. 첨가시키는 칼슘의 量은 石炭에 함유된 유황의 量에 따라 변화하는데 칼슘과 유황의 원자비가 1.5일 때 황성분 제거효율이 90%이었다. 고체 폐기물 生成量은 石炭消費量이 같은 기존 공정보다 1.5-2배이나, 이들은 매립용으로 이용할 수 있으며, 건축재 및 비료로의 사용도 가능하다. 순환 유동층의 설치로 效率이 향상되어서 15%의 증설효과가 기대된다.

Pressurized Fluidized Bed Combustor (PFBC) ; 연소기 내부의 압력을 6-15 기압으로 유지하기 때문에 유동층의 높이가 높아질 수 있고 긴 체류시간을 갖는다. 따라서 열 전달계수의 향상과 燃燒效率 및 흡착제의 이용율을 증가시킬 수 있다. 이 技術은 Ohio Power Co.와 American Electric Power Service Corp.이 CCT-I 과 CCT-II의 지원계획에 의해 Brilliant, Ohio와 New Haven, West Virginia에 각각 70MW 규모 및 330 MW 규모를 설치하여 實證實驗을 수행할 계획이다. 고압 유동층은 연소된 가스로 Gas Turbine Generator를 운전하고, 발생하는 Steam으로 Steam Generator를 가동시키는 複合發電(Combined Cycle)方法을 사용한다. 이 방법은 연소후 처리에 의한 황제거 장치비를 줄일 수 있으며, SO₂의 제거율은 90-95%, NO_x의 제거율은 0.3 lb/million Btu 정도를 기대할 수 있을 것으로 예측된다. NAPAP(National Acid Precipitation Assessment Program)의 보고에 의하면 NO_x의 제거율이 80-90%까지 제거된 적도 있었다. 이 技術의 長點은 다양한 탄종을 사용할 수 있으며 고유황 石炭의 이용도 가능한 것이다. 이 기술의 도입은 熱效率 向上에 의해 40%의 증설효과가 기대된다.

Alma Pressurized Circulated Fluidized Bed Combustor(PCFBC) ; CCT-III 지원 계획에 의해

고압유동층의 長點인 연소된 가스로 Gas Turbine 을 가동시키는 고압유동층과 석회석의 利用率과 熱効率을 증진시킬 수 있는 순환 유동층의 장점을 이용한 가압순환 유동층이 Dairyland Power Cooperative에 의해 수행될 예정이다.

Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC); 이 기술은 먼저 石炭을 가스화 장치에서 연료가스로 전환하고 연료가스를 정제하여 분진등 입자를 제거한 후 Gas Turbine에서 發電하고, 정제된 가스를 燃燒裝置에서 연소시키며 여기에서 생성된 증기는 Steam Turbine Generator를 가동시킨다. 이 기술은 기존의 같은 용량기준 미분탄 보일러보다 40%의 고체폐기물의 量을 감소시킬 수 있으며, 99%의 SO₂와 80%의 NO_x를 제거할 수 있다. 이 기술에 의한 증설 효과는 230%이다. CCT-I에서 Appalachian IGCC 및 Clean Energy IGCC사업이 선정되었다. 그런데 Appalachian IGCC 事業은 數地選定過程에서 주 정부의 허가를 받지 못하여 그 계획을 취소하였다. Clean Energy IGCC에서 사용하는 가스화 장치는 IGT의 U-gas 석탄가스화 공정(Fluidized Bed Gasifier)을 사용하며, Zinc-ferrite Sulfur 除去工程에서 고온 상태로 분진을 제거한다. Foster Wheeler Power System에서 44MW 규모로 연구하고 있다. Combustion Eng.에서 연구하는 IGCC Repowering 技術은 65MW 규모로 2단 분류층(Two-Stage Entrained Bed) 석탄 가스화장치를 이용하며, 석회석을 주입하여 SO₂를 제거하고, 고온가스 정제 및 분진정제기를 갖고 있다. CRSS Capital Inc.가 CCT-III의 계획으로 수행할 복합가스화 發電에서 사용하는 가스화 裝置는 Lurgi- 고정층 반응기를 사용하며 공기를 산화제로 사용한다.

나. Retrofit Technology

기존의 石炭使用 설비중 일부를 개조하거나 환경규제설비를 설치하는 방법으로 앞으로 강화될 환경규제치를 충족시켜줄 수 있는 기술이다. 이 기술은 NSPS(New Source Performance Standards)의 요구 만족도와 技術의 性格에 따라 1) NSPS Capable(SO₂와 NO_x를 모두 제어) 2) Partial NSPS Capable(SO₂ 또는 NO_x중 하나만 제어

하는 기술) 및 3) 기타연료로 전환하는 기술로 구분하며, 技術의 適用位置에 따라 연소전, 연소중 및 연소후 기술로 구분한다. Retrofit 기술은 각각의 기술을 개별적으로 적용할 수 있으며, 다른 기술과 조합하여 적용할 수도 있다.

1) 연소전 정제기술(Pre-Combustion Cleaning)

石炭을 정제하여 發熱量을 증가시키고 황성분의 함량을 저감시키는 기술이다. Clean Coal Technology계획에 포함된 연소전 정제기술은 다음과 같다.

Advanced Coal Cleaning; CCT-I 계획하여 Western Energy Co.에서 수분이 많은 저품위탄을 정제하여 수분함량 1%미만, 황성분 0.3%이하, 發熱量은 33%까지 증가시키는 Thermal Coal Cleaning 工程이다. 50Ton/hr 규모로 Montana의 Colstrip에서 수행하고 있다.

Clean Coal Combustion; CCT-I의 資金支援으로 Combustion Eng.사가 기존 보일러에 정제 석탄을 사용하는 實證事業이다. Electric Power Research Institute(EPRI)에 의해 지원되고 있는 Coal Cleaning Program의 계속과제이다. 연소에 사용될 石炭은 중간 정도의 정제와 고온도 정제를 사용할 계획이며, Tangential Firing 및 Wall Firing 200MW급 보일러에 시험될 계획이다.

OTISCA Fuel; Ultra-Clean Coal/Water Slurry (Otisca Fuel)의 生産, 貯藏, 輸送 및 활용의 타당성을 연구하는 과제이다. 이 공정의 핵심은 Otisca-T 工程이며, 입자의 표면특성의 차이를 이용한 선택적인 응집법으로 정제를 수행하며 가교용 매로 Pentane을 사용하여 石炭의 회수율 95% 이상, 회분제거율 90%를 나타낸다. 사용한 Pentane은 99.5% 이상 회수되어 재 사용된다. 실증되는 공장의 규모는 OTISCA Fuel의 生産量이 40,000 Ton/year이다.

2) 연소중의 技術(Combustion Modification)

연소기의 개량, 석회석의 주입 및 연소조건을 변경하므로써 연소시 발생되는 황산화물과 질소산화물의 排出量을 줄이는 기술로 다음과 같은 事業이 Clean Coal Technology의 지원하에 진행되고 있다.

Advanced Cyclone Combustor; 수평형 Cyclone

연소기로 Coal Tech Corporation에서 수행하며, 회분의 90%를 연소기에서 배출시키고, NO_x는 100 PPM水準, SO₂는 90%까지 저감시킬 수 있는 기술이다. 30MMBtu/hr의 버너를 기존 표준버너와 代替할 계획이며 보일러의 외부 벽에 설치한다. 石炭과 석회석, 공기가 혼합되면서 연소되고 회분은 용융된 상태에서 제거된다. NO_x는 초기 연소영역에서 산소결핍상태에서 조업하여 제어하고 추가 산소가 후 燃燒領域에 주입되어 완전 연소시킨다.

Advanced Slagging Combustor ; 본 과제의 목적은 TRW Inc.에서 産業用 규모로 개발한 Slagging Combustor를 發電所 규모에 적용이 가능한지 실증하는 것이다. TRW Inc.에서 개발한 이 기술은 수평형 Cyclone 연소기와 유사하며, 石炭과 흡수제(석회석)와 공기를 혼합하여 연소시키고 연소가스가 보일러로 들어가기 전에 石炭의 회분 성분은 연소로내 기류의 遠心分離效果에 의해 용융 Slag로 제거된다. 이 상태를 유지시키기 위하여 사용되는 석탄의 회분의 함량은 5% 이상이어야 하며, 모든 석탄에 적용 가능하다.

Healy Co - Generation ; CCT - III의 계획하에 Alaska, Healy에 계획하고 있는 이 事業은 TRW Inc.에서 개발한 Slagging Combustor와 열회수장치로 구성되어 있다. 이 장치는 고온 및 저온 公害防止施設을 보유하고 있다.

Limestone Injection Multi-Stage Burner (LIMB) ; Babcock & Wilcox Co.에서 開發한 技術로 건식 흡착제를 보일러의 상단부에 주입시키고 SO₂를 흡착한 입자들은 전기집진기 및 여과포에서 회수한다. SO₂의 제거와 전기집진기의 효율을 증가시키기 위하여 건식 흡착제를 덕트부분에 추가 주입하거나 수증기를 주입한다. 집진장치가 이 기술의 投資費중 50%를 차지한다. 발생되는 SO₂와 NO_x의 60% 제거를 목표로 150MW 規模로 실험하고 있다. CCT - III 지원하에 LIFAC North America사에서 수행할 기술인 석회석을 연소기 상부에서 주입하고 최적 황성분 제거를 위하여 연소된 가스를 가습화하는 技術은 이 방법과 유사하다.

LNS(Low NO_x/SO_x) Burner for Cyclone-Fired Boiler ; TransAlta Resources Investment

Corp.에서 CCT - II로 진행중이며, 현재 있는 33 MW 規模의 Cyclone Boiler에 LNS Burner를 設置하여 사용중에 있으며, 기본적으로 3段階로 연소가 일어나게 設計된 Entrained Flow Slagging Combustor이다. 1단에서는 황성분을 제거하고, 2단에서는 NO_x의 환원 그리고 3단에서 과잉공기에 의한 완전연소가 일어나게 되어있으며, 비산재의 80% 정도를 제거한다. 황성분은 석회석 주입에 의해 포집하고, 고정된 황은 Molten Slag 形態로 제거된다. 이 LNS Burner를 사용할 경우 SO_x 및 NO_x의 배출을 90% 이상 줄일 수 있다.

Advanced Tangentially Fired Combustor ; Southern Company Services에서 CCT - III로 3가지의 NO_x 저감기술을 180MW 보일러에 실증하는 것이다. 첫번째 技術은 Advanced Over-Fire Air (AOFA)기술로 공기가 미분탄과 함께 주입되어 燃燒되고, 燃燒層 상부에서 과잉공기를 주입함으로써 고온 화염에서 발생하는 Thermal NO_x생성을 억제하는 기술이다. 두번째 技術은 Low-NO_x Concentric Firing System(LNCFS)으로서 燃料과 공기의 흐름을 각각 접선방향이 되도록 배열한 것인데 NO_x의 저감 및 연소로 표면의 슬래깅현상을 줄일 수 있다. 세번째 기술로는 AOFA 및 LNCFS 기술을 조합하여 NO_x의 發生을 줄이는 기술이다.

Advanced Wall Fired Combustor ; Southern Company Services에서 CCT - II의 지원하에 Advanced Over Fire Air(AOFA)技術, Low NO_x Burner 및 이 두기술의 조합에 의해 NO_x를 제거하는 기술을 500MW 規模에서 실증하는 事業이다. AOFA기술과 Low NO_x Burner를 도입하여 제거하는 NO_x의 量은 기존의 난류 혼합버너와 比較하여 50-60%를 더 제거할 수 있다.

Coal Reburning in Cyclone Fired Boiler ; Babcock & Wilcox Co.에서 CCT - II 계획하에 수행하고 있는 技術로 보일러의 상부에 연료를 재 주입하여 NO_x의 分解를 유도하기 위해 산소결핍영역으로 조절하는 기술이다. 100MW 規模의 보일러에 적용하고 있다. 이 과제의 目的은 50% 이상의 NO_x저감 가능성과 Cyclone Combustor의 운전상에 문제점 유무를 검증하는 것이다.

Low NO_x Cell Burner ; 이 버너는 낮은 화염은

도를 유지하기 위해 燃料과 공기의 혼합을 점차적으로 증진시킴으로써 NO_x 發生量을 감소시킨다. 이 方法은 燃料/공기비를 크게함으로써 燃料중 질소의 산화를 감소시킨다. Pilot-Scale Test에서는 Cyclones 연소기를 제외한 다른 Boiler(Tangentially, Wall Fired with Circular Burners, Wall-Fired with Cell Burners)에서는 성공적으로 완수되었다. NO_x 除去率은 60%이며, 모든 設備에 전반적으로 이용 가능하다. Babcock & Wilcox Co. 에서 CCT-III로 수행할 Low- NO_x Cell Burner計劃은 기존 보일러에 설치되어 있는 표준 Nozzle의 교체와 실증실험이다. 개발된 Burner는 밀집된 배열과 燃料과 순간적인 공기의 혼합이 가능하여 열방출 속도가 빠르도록 개량되었다. 또 CCT-I에서 수행되는 Gas Reburning/Sorbent Injection技術과 병행하여 Wall-Fired Boiler에 Low- NO_x Burner를 設置하여 수행될 계획이다.

Gas Reburning & Low NO_x Burners ; Energy & Environmental Research Corp. 에서 CCT-III計劃하에 수행하는 과제로서 172MW 發電所에 실증할 계획이다. 이 기술에 의한 SO_2 , NO_x , 분진 및 이산화탄소의 排出量은 각각 75, 20, 20 및 8% 가량 낮출 수 있을 것으로 추정된다.

Down-Fired Low- NO_x Burner ; Public Service Co. of Colorado에서 Denver에 있는 火力發電所에 설치하려는 이 계획은 CCT-III로 진행되고 있으며, 추가로 NO_x 와 SO_2 를 제거하기 위하여 요소(urea)와 건조된 흡착제를 주입한다.

3) 배가스 處理技術(Post-Combustion)

배가스에 포함된 SO_2 및 NO_x 를 제거하기 위하여 흡착제 첨가나 반응기에서 환원시키는 方法이 있으며 덕트에서 배가스를 處理하는 방법과 진보된 가스세정기를 이용한 방법이 있다.

Gas Reburning/Sorbent Injection ; NO_x 를 제거하기 위해 개발한 기술이며, 배가스 處理技術중의 하나이다. 燃料중 일부를 주 연소영역에서 우회시켜 NO_x 가 질소화합물로 환원되는 영역에 주입한다. 燃料중 15-20%를 재연소영역에 주입하는데 재연소용 燃料의 질소 함유량이 NO_x 의 저감율에 영향을 준다. 천연가스를 재연소연료로 사용하였을 경우, NO_x 의 저감율은 60% 정도이며 SO_2 의 배

출과 회분의 排出量을 20% 가량 減少시킬 수 있다. 기름이나 石炭을 재연소 燃料로 사용하면 NO_x 除去率은 감소하고 비산재중 탄소함량이 증가하며, 질소가 적게 포함된 기름을 재연소 燃料로 사용하였을 경우 NO_x 의 50%가 환원된다. 가스를 재연소연료로 사용할 경우에는 Wall-Tangential Boiler, Cyclone-Fired Boilers에 적용 가능하다. 이 기술을 도입하려면 보일러 최상단에 있는 버너와 보일러 출구사이에 적당한 공간이 필요하다. Energy & Environment Research Corp에서 CCT-I으로 80MW의 Tangential Firing보일러, 117 MW의 Wall Firing 보일러 및 40MW의 Cyclone Firing 보일러에 적용하는 이 事業은 재연소시 황산화물을 저감시키기 위하여 흡착제를 주입하며, 50%의 황을 제거한다.

SOX-NOX-ROX Box Flue Gas Cleanup ; Babcock & Wilcox사가 CCT-II로 수행하는 課題로 연소가스중 SO_2 , NO_x 및 분진을 하나의 고온 여과포에서 정제하는 기술이다. SO_2 는 칼슘이나 나트륨 화합물을 투입하여 제거되며, NO_x 는 선택적인 환원촉매하에서 암모니아를 주입하여 제거된다. 분진은 고온에서 견디는 Ceramic Bag에서 집진된다. 한개의 單位工程으로 모든 오염물질 제거하므로 부지와 建設費를 절감할 수 있다. SO_2 제거율 50%, NO_x 제거율 90%이며, 분진은 99% 이상 제거될 것으로 기대된다.

WSA-SNOX Flue Gas Cleaning ; Combustion Engineering社에서 CCT-II로 35MW 規模로 수행하며, 여과포에서 분진을 제거하고, 원하는 反應溫度까지 가열하면서 소량의 암모니아를 첨가한다. NO_x 는 촉매 반응기에서 질소와 증기로 轉換되고 그후 가스는 SO_2 반응기를 통과하면서 SO_3 로 전환되고 물에 흡수되어 황산으로 회수된다. SO_2 와 NO_x 의 90%를 제거할 수 있다. 흡착제를 사용하지 않기 때문에 고체폐기물이 생성되지 않는다.

Selective Catalytical Reduction(SCR) ; Southern Co.의 CCT-II 계획으로 7.5MW 規模로 진행되는 과제로서 NO_x 제거만을 목적으로 한다. 이 設備은 반응이 일어나기 적당한 온도를 갖는 Economizer와 Air Preheater 사이에 설치한다. 먼저 암모니아가 배기가스와 혼합된 후 촉매반응기

에서 NO_x가 원소 질소와 물로 환원된다. NO_x의 除去率は 80% 정도이며, 經濟性은 촉매 수명에 의해 좌우된다. 저유황 성분의 석탄연소장치에 적합하며, Economizer 등의 既存設備를 이용하면서 이 기술을 도입하려면 흐름의 변경과 추가 배관공사가 필요하다. SO₂를 저감시키기 위한 FGD System과 병행하여 사용할 수 있다.

Advanced Limestone Scrubber FGD ; 500MW 規模에서 Mitsubishi의 Wet Limestone FGD技術의 타당성을 연구하는 과제이다. 기존의 보일러에 배가스를 처리하는 흡착공정을 설치하는 기술이다. Pure Air사에서 수행할 이 기술은 배가스와 석회석 분말을 향류흐름에 의하여 흡착시키는 방법이며, 기존 商業用 FGD System에서 생산되는 석고 生産費의 50% 정도로 석고를 생산한다. SO₂의 90% 제거가 목적이다.

Chiyoda Thoroughbred-121 Flue Gas Desulfurization(CT-121) ; Southern Company Services, Inc.에서 개발한 工程으로 CCT-II 계획하에 100MW 規模로 진행중이다. 석회석에 의한 탈황, 산화 그리고 석고의 결정화 공정이 Jet Bubbling Reactor(JBR)로 불리우는 한개의 반응기에서 모두 진행된다. 석고의 스케일 생성을 최소화하고 吸收劑의 효과를 최대화하기 위하여 약산성의 분위기하에서 조업한다. 산화시킬 공기는 JBR하부에서 주입하고 SO₂를 제거하기 위하여 빠른 산화가 필요하다. JBR의 反應條件은 낮은 pH, 충분한 공기, 적절한 혼합 및 황산염의 농도를 매우 낮게 유지함으로써 순수한 석고를 생성할 수 있다. 이 工程은 SO₂만 제거할 수 있는 기술로 SO₂ 제거율은 90%이며, 분진은 99.7%까지 제거할 수 있다.

Post Combustion Sorbent Injection ; Combustion Engineering社에서 CCT-II計劃하에 진행되는 기술로 180MW規模의 보일러에서 SO₂의 배출을 50%이상 저감시키기 위해 3가지의 흡착제 주입기술을 적용하는 것이다. 이 技術은 배가스중의 SO₂가 칼슘과 反應하여 황산염상태로 전환하여 비산제와 함께 분진제거장치에서 회수되며, NO_x 제거는 Low-NO_x Burner를 부착하여 쉽게 제거할 수 있다. 적용할 3가지 기술은 In-Duct Injection, In-Duct Spray Drying과 Convective Pass

Injection 方法이다.

Gas Suspension Absorption Flue Gas Desulfurization(FGD) ; Airpol Inc.에서 Spray Dryer方式을 대체할 계획하에 CCT-III로 수행할 계획이다. 이 方法은 연소가스가 유동화된 석회석 입자층을 지나면서 SO₂가 접촉되어 흡착된다. 이 기술은 기존의 10MW의 Spray Dryer工程을 대체할 예정이며, 90%의 SO₂를 제거할 것으로 기대된다.

Confined Zone Dispersion Flue Gas Desulfurization(FGD) ; Bechtel Corp.에서 CCT-III계획하에 진행하는 과제로 석회를 분무시키는 기술이다. 이 技術에 의한 SO₂의 除去率は 50%이며, 40%의 NO_x도 제거할 수 있다. 이 기술을 적용하기 위하여 긴 체류시간이 필요하며, 이를 위하여 직선의 덕트는 Multi-Bend Duct로 교체되어야 한다.

NOXSO FGD Cleanup ; MK-Ferguson Co.에서 商業化하기 위한 실증용으로 115MW 規模로 계획되고 있다. 이 工程은 대기중으로 방출되는 배가스중 SO₂를 97%, NO_x를 70% 제거할 것이다. 배가스는 재생가능한 흡착제를 사용하며, 고체 폐기물이나 폐수가 없고, 원소 황이 부산물로 얻어진다.

다. 石炭轉換技術(Coal Conversion Technology)

石炭轉換技術을 이용하여 石炭으로 부터 산업부분, 상업부분, 민간부분 및 수송부분에 사용되는 액체연료 및 기체연료를 생산할 수 있다. 이 기술에는 Coal-oil Coprocessing, Underground Coal Gasification, 石炭의 가스화에 의한 가스 생성후 액화하거나 Methanol을 제조하는 간접 액화법 및 Mild Gasification등이 있다.

Prototype Commercial Coal/oil Coprocessing ; Ohio Ontario Clean Fuels, Inc.에서 CCT-I으로 수행하고 있으며 생성유는 보일러 연료로 직접 사용될 수도 있으며, 기존 정유공장에 보내 처리할 수도 있다. Ebullated-Bed 技術을 이용하여 石炭과 저질 잔사유를 처리하여 깨끗한 연료를 생산하는 공장을 12,280barrel/day 規模에서 실증하는 과제이다. 이 기술은 石炭 직접액화법과 달리 석탄은 원유중의 중질유분과 Slurry化 된다. 이 工

程의 장점으로는 순환용매를 사용하지 않고 증질유를 사용하기 때문에 용매의 성분이 일정하다. 수소 소비량이 적으며, 액화유의 순환이 불필요하여 투자비가 직접 액화법보다 적다. SO₂의 제거율은 90%이며 질소는 80%를 제거한다. 증질유분중에 포함되어 있는 중금속成分的 95% 이상이 미반응 석탄 및 회분에 함유되어 제거되는 長點이 있다. 용매로는 Crude Oil, Oil Shale, Tar Sand와 상압 및 진공 잔사유를 사용할 수 있다.

Underground Coal Gasification ; Energy International, Inc. 가 Wyoming의 Rawlins부근에 계획하고 있는 工程으로, 지하의 탄층에 공기와 수증기를 보내 탄층에서 石炭이 가스화되는 公정으로 石炭이 소모되면서 연료가스가 발생한다. 이 기술은 채탄하기 어렵게 매장된 石炭에 적용할 수 있는 기술로 石炭이 소모됨에 따라 공동이 발생한다. 石炭층에 이르는 산소를 포함하는 가스의 주입과 가스화된 기체를 생성물로 포집하는 管이 필요하다.

Coal Gasification Methanol Process ; Fischer-Tropsch반응기에서 일산화탄소와 수소를 촉매존 재하에서 반응시켜 액화유를 생성하는 工程으로 Gasoline, Jet Fuel 및 Methanol등을 제조하는 公정이다. Air Product에서 CCT-III로 수행될 公정은 Great Plains Gasification Plant에서 石炭 가스화에 의해 생성되는 합성가스중 10%를 Methanol製造에 사용할 계획이다. 생성된 Methanol은 보일러, Turbine 및 輸送燃料로 시험될 예정이다. 가스화중에 황의 대부분이 원소황 또는 황산으로 전환되며 질소화합물은 가스화 장치에서 주로 암모니아 형태로 생성되며 쉽게 회수되어 비료로 사용될 수 있다.

Mild Gasification ; 石炭의 처리를 낮은 온도에서 처리하는 가스화의 熱分解와 유사하며 생성물은 石炭 액화유, 가스 및 Char로 구성된다. Encoal Corp.에서 CCT-III로 수행되며, 생성된 Char는 황화광 성분의 황과 회분을 제거하기 위하여 더 처리되어야 한다. 이 方法에 의하여 황 및 질소 성분은 90% 정도 제거된다. Char의 정제에 의해 회분을 99%까지 제거할 수 있다.

라. 産業體 利用技術

石炭을 발전에 이용하는 기술은 아니지만, 石炭의 사용량이 많은 工程에서 公해물질을 제거함으로써 Clean Coal Technology 계획에 포함되어 있는 Project들은 다음과 같다.

Coal Waste Recovery ; United Coal Co.가 Monclo 石炭 폐기장에서 미분, 저유황 石炭을 회수하는 技術로서 CCT-I의 지원하에 385 Ton/day 規模로 수행하고 있다. 폐기처리되는 石炭은 수송되어 Micro Bubble Flotation에 의하여 회수되며, 회수된 石炭은 수분 7.7%까지 건조되며, 저회분, 저유황인 입상형태로서 분진의 발생을 방지할 수 있다.

Cement Kiln Gas Cleaning ; Passamaquoddy Tribe에서 CCT-II로 수행하고 있다. Cement Kiln에서 石炭이 연소되면서 발생한 Gas는 집진 후, 열교환기와 결정화기에서 300°F에서 130°F로 냉각되며 Kiln Dust Slurry에서 95%의 SO₂가 제거된다. 274 Ton of Coal/day 規模로 진행되고 있다.

Coke Oven Gas Cleaning ; Bethlehem Steel Corp.에서 CCT-II로 수행하고 있다. 石炭이 건류되면서 수소, CO, CH₄, 탄화수소 및 Tar등이 發生되며, 배기가스는 Sulfur Recovery System에서 암모니아용액에 흡수되고 이 용액은 농축된 H₂S, NH₃ 및 HCN으로 Stripping되며, H₂S는 SO₂로 산화되고 최종적으로 Claus Plant에서 처리되어 원소황을 얻는다. 石炭의 공급속도는 5,687 Ton/day 規模이다.

Granulated Coal in Blast Furnace ; Bethlehem Steel Corp.에서 CCT-III로 72個月의 기간에 걸쳐 수행하는 公제로 환원제로 사용되는 Coke대신 石炭을 사용하는 기술이다. 이는 燃料로 사용되는 천연가스 및 기름대용으로 石炭을 사용할 계획이다.

4. 環境問題

DOE에서는 石炭使用技術이 環境보호법(National Environmental Protection Act)에서 제시한 환

경요구를 충족시킬 수 있으며, 아울러 石炭 使用량이 증대될 수 있도록 장기적인 계획하에 Clean Coal Technology Demonstration Program을 수행하고 있다. 제출된 과제 선정은 이 기술의 商業化에 의한 석탄사용이 環境에 미치는 영향을 최소화할 수 있는가와 석탄 사용량의 증대와 향후 새로운 환경규제치를 어느 정도 만족시킬 수 있는가 등을 기준으로 하였다. 이를 위하여 과제가 선정되기 전 선정된 공정이 環境에 미치는 影響分析(Programmatic Environmental Impact Analysis ; PEIA)을 수행하였다. 이 분석은 CCT 계획을 수행할 때에 대기, 수질에 미치는 영향 및 고체 폐기물이 環境에 미치는 영향과 생태학적인 면과 아울러 經濟的, 社會的으로 미치는 영향을 분석하는 것이다. 과제의 선정후에도 產業界 참여자가 환경감시계획(Environmental Monitoring Plan)을 수행하도록 요구하고 있는데, 이 계획은 실증용 공정을 수행함에 따라 環境에 관련된 기술적인 중요사항을 탐지하여 弘報하는 Program이며, 목적은 環境特性과 Clean Coal Technology의 관련시설, 공정 및 활동등의 잠재력을 확립하기 위하여 수행하며, 당 기술을 복제할 때, 기술의 信賴性, 評價 및 환경저감에 대한 자료를 제공하는 것이다.

시설을 대체하거나 설치함으로써 公害物質을 저감시키기 위한 固定投資費와 운전비의 증가에 따라 발전비 증가요인이 되며, 또 고체폐기물의 처리에 의한 추가비용도 발전원가 증가요인이다. 석탄청정기술에 대한 연구가 성공적으로 수행되어 商業化가 이루어졌을 때 각 기술의 公害物質 제거율과 그에 따른 투자비 및 발전원가상승을 비교하면 複合發電이나 유동층등 Repowering技術의 고정 투자비는 기존의 설비에 부수장비만을 설치하거나 배가스처리하는 것보다 \$500-900/Kw 비싼 것을 보였으며, 배가스 세정기를 사용하는 방법이나 Coal Slurry를 사용하는 방법은 발전원가 상승이 기타 공정에 비해 상당히 높음을 보인다. 또한 Gas Reburning技術의 운전비는 가스 연료비가 추가되고, 연료비의 가격이 비싸다. 그렇다고 石炭을 사용하면 NO_x의 제거율이 낮아지게 되므로 NO_x의 제거율을 높이기 위하여 운전비의 上昇要因이 있다.

이 기술들의 개발이 순조롭게 진행되었을 경우 商業化시기에 관한 예측은 각 기술에 따라 2000年에서 2010年에 이를 것으로 예상된다. Clean Coal Technology Demonstration Program의 성공적인 수행결과 자료축적에 의한 商業化가 이루어져 일반적으로 보급되는 시기는 실증실험후 10年 이상의 세월이 소요될 것으로 예측되었다. 앞으로 청정석탄연료를 사용할 수 있는 시기는 2000年代初부터 가능하리라 보이며, 2010年代에는 전세계적으로 보급되리라 展望된다.

5. 結 論

Clean Coal Technology Program의 최종목적은 石炭 사용시 公害物質 배출을 최소화하여 석탄의 활용을 증대시키고자 하는 것이다. 에너지源의 80% 이상을 해외에 의존해야 하는 우리나라 실정에서 석탄은 세계적으로 골고루 풍부하게 분포되어 매장되어 있기 때문에 供給面에서 가장 안정적인 에너지源이다. 그러나 公害問題가 해결되지 않으면 석탄의 활용에는 한계가 있다. 그동안 국내의 環境問題는 비교적 심각한 편이나 경제 성장의 그늘에 가려져 公害물질을 제거하기 위한 설비투자 및 기술개발 투자는 저조하였다. 그러나 經濟成長을 계속해야 하는 개발도상국으로서 에너지의 수요증가에 따라 石炭 使用量의 증가는 불가피하며 環境오염원의 증가요인을 안고 있다.

美國石炭의 CCT 추진체계는 기술적인 부분의 피츠버그 에너지기술센터(PETC)에서 주관하며 예산은 미국 에너지省(DOE)에서 맡고 있는데 이 중 業體가 50% 이상을 부담하고 있다. 日本은 신에너지 개발기구(NEDO)에서 신에너지 기술개발을 위한 선샤인프로젝트(Sunshine Project)를 지난 74년부터 수행중인데 石炭에너지 分野에 74-88년까지 1조9천9백36억엔을 투자했다. 이는 日本의 총에너지 기술개발 투자비의 50.9%를 차지하고 있다. 日本의 '선샤인'개발 체계는 통상성과 과기청 및 관련기구들이 협력하여 NEDO에 보조하며, NEDO는 이를 民間企業에 위탁 개발하는 시스템을 갖추고 있다.

國內研究現況을 살펴보면 그동안 韓國科學技術

研究院에서 가정용연료 및 산업용 연소기술을 연구했으나, 지난 80년이후 부터는 韓國動力資源研究所가 석탄의 생산 및 활용기술 전반에 관한 연구를 활발하게 추진해 오고 있다. 지금까지 나타난 國內研究開發의 문제점은 가정용 연료인 무연탄 관련연구의 중점수행으로 수입유연탄 活用研究가 부진했으며, 정부에서 필요로 하는 정책적 현안문제의 과제화로 지속적이며 체계적인 연구가 수행되지 못해 기술축적이 미약한 상태이다.

또한 산업체의 環境分野 관심부족 및 研究開發 투자미흡으로 범국가적인 연구수행체제가 결여되어 있는 것도 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점들을 극복하기 위해서는 첫째, 産·學·研에 있는 풍부한 인력의 효율적 활용은 물론 정부출연연구소를 주관으로한 學界 및 企業研究所間의 유기적 협조체제 강화와 연구업무 분담이 이루어져야 하며 전문인력으로 구성된 研究委員會를 구성하고 중점기술분야에 대한 분석 및 조직적 수행체제의 지원, 과제선정 및 사업지원에 있어서 政府, 産業體, 研究機關간의 유기적인 협력관계등이 절실하다.

둘째, 에너지 關聯技術開發에는 장기간의 막대한 연구비 투자가 필요하므로 초기단계에는 정부의 적극적인 지원이 필요한 반면 파이롯 및 실증실험 단계에는 상당부분의 民間投資가 선행되어야 실질적인 事業目標을 달성할 수 있다는 점에서 정부의 참여 기업체에 대한 세제·금융상의 혜택, 우수인력 보강등의 지원이 뒤따라야 할 것이다.

셋째, 목적 지향적인 장기적인 研究開發 투자가 필요하며 실용화 되어있는 선진국 技術의 과감한 도입 및 국제 공동연구수행으로 국내조기 실용화 추진이 필요하다.

앞에서 본 바와 같이 선진국에서는 이미 개발된 기술의 실증실험을 통한 상업화에도 장기적인 투자를 하고 있음을 알았다. 따라서 우리나라에서도 石炭活用 技術開發에 대한 장기적인 연구계획 수립 및 효율적인 지원체제가 요구된다.

효율적인 石炭活用技術은 대형/복합기술이므로 先進技術의 도입 및 기존기술의 효율적인 적용을 위해서도 우리의 독자적인 研究開發能力을 제고시켜야 할 것이다.

