

다양한 탄종 연소에 따른 석탄화력 보일러 연소장애 및

연소현안에 대한 대처방안 연구

김 춘 근*†

A Study on Combustion Troubles, Issues and Countermeasures in the Coal Fired Power Plant Boilers with Various Coals

Chunkun Kim*†

ABSTRACT

Various kinds of coals are supplied for coal fired power plants as the coal market situations are fluctuated with the high prices of oil and coals over the world.

The quality of coal is decreasing as coal consumption increased and some specifications of coals are out of boiler design criteria. It could make combustion troubles such as coal clogging, spontaneous combustion, coal firing in the coal handling equipments, ash slag and clinker issues, etc.

This paper covers combustion troubles, issues and countermeasures in the biggest coal fired power plant in Korea.

Key Words : Combustion troubles, issues, countermeasures, Coal fired power plants

기 호 설 명

SDCC : Submerged Drag Chain
Conveyor
Pyrite : Foreign materials in coal

Spillage : Not ground coal out of mills
Slag : Soft ash deposit on tubes
Clinker : Hard ash deposit on tubes

1. 서 론

최근 중국 경제의 급성장으로 인한 석탄소요 증가와 세계 석탄시장 여건변화 등으로 인하여 공급되는 석탄의 품질이 매우 多樣해지면서 보일러 설계범위를 벗어나는 고회발분 아역청탄 계열의 저품위탄 공급이 지속적으로 증가추세이다.

이에 따라 분탄 또는 젖은 탄으로 인한 석탄 이송과정에서 막힘현상, 고회발분탄 장기저장에 따른 자연발화, 저회용점탄 연소에 따른 클링커 발생 및 재열증기온도 저하, 낮은 분쇄성 석탄의

분쇄과정에서 미분기 화재 등 다양한 연소장애와 석탄재 매립처리 용량 부족 등이 대두되고 있다.

이러한 연소장애 현상은 석탄 수급변화에 따라 국내 대부분 석탄화력발전소에서 공통적으로 대두되고 있는 현안사항으로 이 문제를 어떻게 잘 극복하고 연소장애 현상을 최소화하느냐가 발전소의 안정적인 운영에 중요한 관건이 되고 있다.

고유가 지속과 중국 경제성장에 따른 에너지 사용량 급증 등 세계 석탄시장 수급여건으로 석탄 구매자보다 공급자가 주도권을 갖게 되면서 석탄 종류가 다양해지고 품질이 저하됨에 따라 발생하는 연소현안문제에 대하여 국내 800MW급 대용량 석탄화력발전소 현장에서 경험하고 개선한 사례를 중심으로 살펴보고자 한다.

* 한국남동발전(주) 영흥화력본부

† 연락처, chunkun@kosep.co.kr

2. 석탄 수급현황

2.1 세계 석탄 수급현황

최근 2000년대에 들어서면서 세계 에너지 수요가 꾸준히 늘고 있으며 특히 중국은 경제 성장률이 10%가 넘는 고성장을 하면서 2003년부터 석탄 수요 급증과 석탄가격 상승의 견인차 역할을 하면서 세계 석탄시장이 크게 변하고 있다.

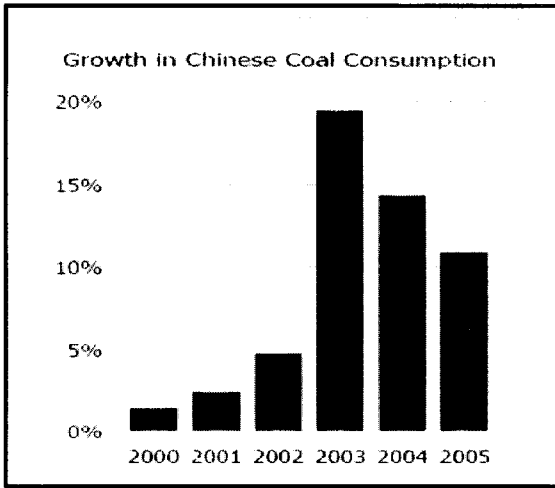


Fig. 1 중국 석탄수요 증가율

이에 따라 Oil, Gas, 석탄 등 대부분의 에너지 가격이 크게 상승하고 있으며 연료비가 발전원가의 60% 이상을 차지하고 있는 발전회사들은 원가절감을 위하여 저렴한 연료구매에 모든 역량을 기울이고 있으며 연료비 절감은 값싸고 다양한 석탄 구매로 이어지고 있다.

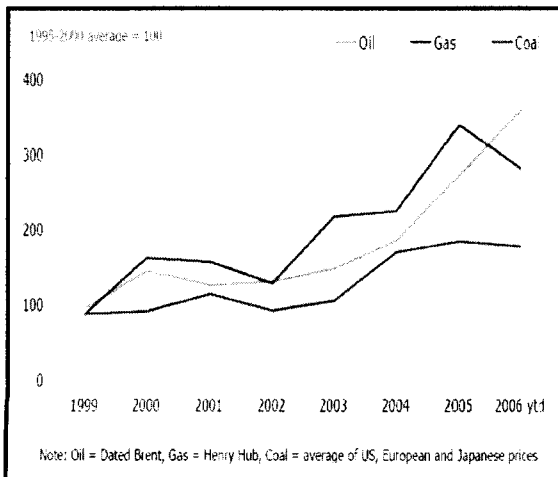


Fig. 2 세계 에너지 가격 상승 추이

세계 석탄수출 물량은 주요 3개 국가인 호주, 인도네시아와 중국이 60% 이상을 차지하고 있으며 최근 중국은 자국 내 소비증가에 따라 수출을 줄이고 있어 국제시장에서 석탄 수입은 주로 호주와 인도네시아에 의존해야 하는 형편이다.

한편 자원빈국으로서 석탄 수입 주요 3개 국가는 일본, 한국, 대만으로 세계 석탄 수출량의 약 80% 이상을 수입하여 사용하고 있다.

Table 1 세계 석탄 수출입 현황

Top Coal Exporters (2004e)		
	Total	Steam
Australia	219 Mt	107 Mt
Indonesia	107 Mt	90 Mt
PR China	86 Mt	80 Mt
South Africa	67 Mt	64 Mt
Russia	65 Mt	51 Mt
Colombia	52 Mt	51 Mt
USA	43 Mt	19 Mt
Canada	27 Mt	1 Mt
Kazakhstan	22 Mt	22 Mt

Top Coal Importers (2004e)		
	Total	Steam
Japan	183 Mt	97 Mt
Rep of Korea	79 Mt	58 Mt
Chinese Taipei	60 Mt	53 Mt
Germany	39 Mt	32 Mt
UK	36 Mt	30 Mt

2.2 국내 발전용 석탄 수급현황

국내 5개 발전회사 중 1개 회사에서 2005년도 수입한 석탄은 1,340만 톤으로 호주(46%)와 인도네시아(39%)에서 85% 이상을 수입하였다.

그 중에서 대용량 석탄화력발전소의 2005~2006년도 상반기까지 석탄 시용실적을 살펴보면 연간 30개 이상 탄종으로 557만 톤 중 역청탄이 68%이고 고휘발분 아역청탄이 32%로 아역청탄 공급량이 늘고 있다. 또한 저회유점탄이 19%로 아역청탄 물량 과다로 인한 자연발화, 석탄계통 막힘현상 문제와 저회유점탄 증가로 인한 클링커 발생 등 연소장애 현상이 발생하고 있다.

Table 2 800MW급 화력발전소 석탄수급현황

구분	물량 (톤)	비율 (%)	비고
역청탄	3,810,000	68.4	휘발분<36%
아역청탄	1,760,000	31.6	휘발분>36%
저회유점탄	1,070,000	19.2	회유점<1,200℃
계	5,570,000		

3. 연소장애 현상 및 대처방안

3.1 석탄 저장 및 이송과정의 문제

3.1.1 자연발화

고휘발분탄 수급이 증대됨에 따라 저탄장에서 장기보관 시 자연발화가 종종 발생되고 있으며 특히 겨울철에 수분이 많은 고휘발분 아역청탄 계열의 석탄에서 자연발화가 자주 발생한다.

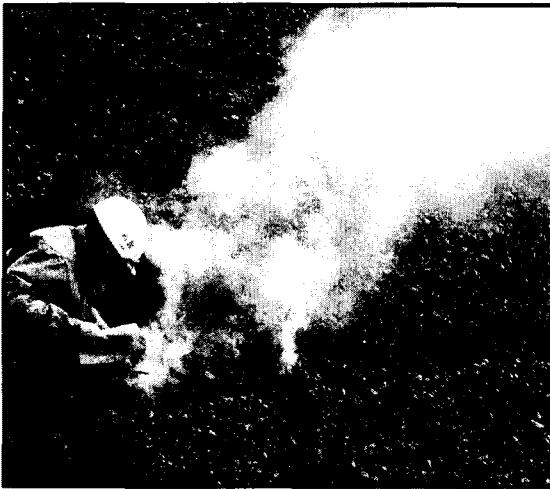


Fig. 3 저탄장 내 자연발화

석탄의 저장 중 자연발화 예방대책으로 우선적으로 자연발화 가능성이 높은 석탄은 조기에 소진하여야 하며 저장기간이 최대한 2~3개월 이상 장기저장이 되지 않도록 해야 한다.

또한 자연발화 가능성이 높은 석탄은 저장 중

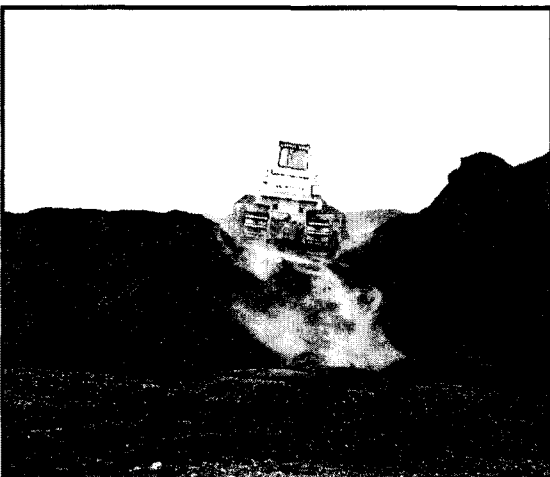


Fig. 4 자연발화 예방 압탄 및 이탄작업

에 주기적으로 석탄더미 온도 상승을 측정 기록하고 온도가 상승되면 즉시 壓炭과 移炭을 하여 석탄더미 내 온도상승 방지를 통한 자연발화를 예방하여야 한다.

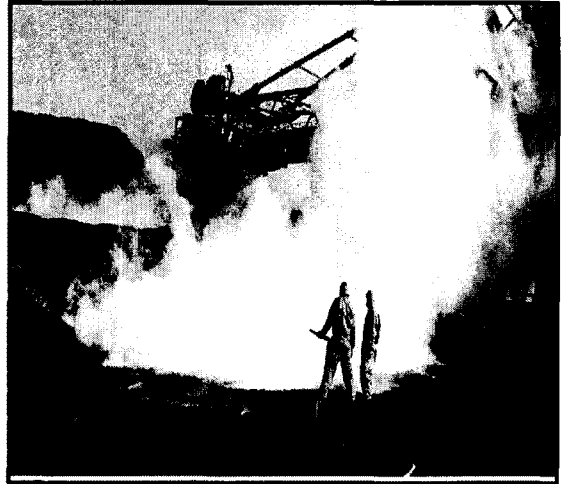


Fig. 5 자연발화 지점 소화작업

3.1.2 이송계통 막힘

근래 공급되는 석탄 중 일부는 채탄 및 선별과정에서 입도가 작은 가루탄이 많이 함유되어 2mm 이하의 미세한 석탄입자가 20~30% 이상으로 많고 점결성이 있는 경우 석탄 이송계통에서 막힘현상이 발생할 가능성이 높다.



Fig. 6 석탄 이송계통 막힘 해소작업

특히 비가 올 경우 가루탄이 젖기 되고 석탄 이송 계통 내벽에 부착하여 성장함으로써 석탄 하역, 상탄 및 급탄계통 막힘으로 인한 석탄 이송계통 운영에 막대한 지장을 초래할 수 있다.

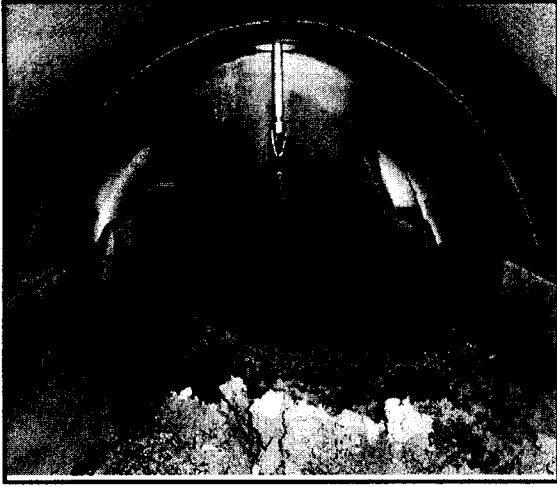


Fig. 7 석탄 저장조 하부 막힘현상

석탄 막힘방지를 위하여 가루탄이 많은 석탄은 가능한 비를 맞지 않도록 하고, 이송 시 입자가 굵은 석탄과 혼탄하여 이송과정에서 막힘현상을 최소화 한다.

또한 석탄 이송계통에서 막힘현상이 자주 발생하는 곳에 Magnetic Hammer나 Air Blaster 등 충격을 주어 막힘을 해소할 수 있는 장치를 설치하여 막힘현상을 완화할 수 있다.

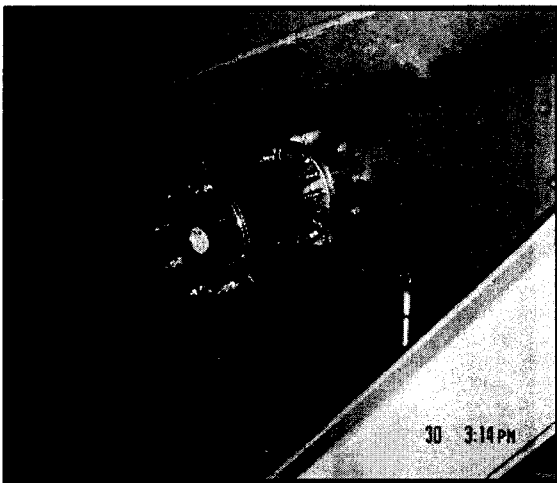


Fig. 8 Magnetic Hammer 설치

석탄의 막힘으로 인한 이송장애를 최소화하기 위하여 가장 중요한 것은 동일 탄종일지라도 선적항 또는 공급 시기에 따라 점결성, 분탄정도

- * Magnetic Hammer: 전자석을 이용한 전자석 충격기
- * Air Blaster: 압축공기를 이용한 공기식 충격기

등 특성이 다를 수 있으므로 석탄이 입하되면 곧바로 현장 간이시험(Spot Test)을 실시하여 적절한 상대성을 갖고 있는 석탄과 적정 혼탄 비율을 선정하여 이송하고 연소해야 한다.

3.2 석탄 분쇄 및 연소과정의 문제

3.2.1 미분기 화재

휘발분이 높은 석탄은 저탄장에서 자연발화 가능성이 높을 뿐만 아니라 석탄 분쇄설비인 미분기에서 화재 가능성도 높다.

특히 총수분이 높은 탄은 석탄 건조를 위하여 미분기 입구 공기온도가 상승하게 되어 그 온도가 고휘발분탄의 착화온도(280~300℃)에 근접하게 되면 미분기 내부 화재 가능성이 높아진다.

또한 분쇄성이 낮은 석탄의 경우 보일러 요구 조건인 급탄량에 따라 미분기로 석탄이 유입되나 분쇄되지 않은 석탄은 미분기 내에 정체되면서, 일부는 미분기 입구 공기 Duct 내부에 쌓이게 되고 200℃ 이상의 석탄 이송용 고온 공기와 지속적인 접촉으로 건조되고 착화하게 되어 미분기내 화재를 유발한다.

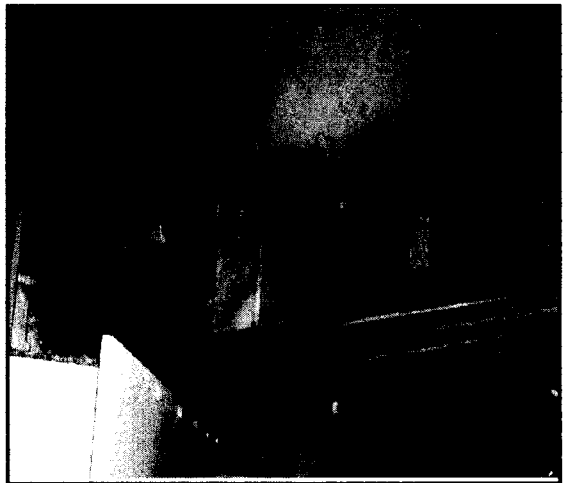


Fig. 9 미분기 내부 화재로 Duct 소손

미분기 내 화재는 심각한 설비 화재로 확대될 수 있으므로 매우 엄격한 운전기준을 준수해야 하며 우선적으로 총수분이 많은 고휘발분 석탄 연소 시 미분기별 혼탄비율을 가능한 50% 이하로 낮게 유지하여 근본적으로 미분기 화재 가능성을 낮추어야 한다.

고휘발분탄 혼탄 시에는 미분기 입구 온도를 석탄 착화온도(280~300℃)보다 낮은 250~260℃

이하로 엄격하게 유지해야 하며 특히 비가 올 경우 젖은 탄으로 인하여 미분기 입구 온도가 상승할 경우 미분기 출구온도 설정치를 낮추어 미분기 입구 공기온도의 과도한 상승을 예방하여 미분기내 화재를 방지해야 한다.

또한 분쇄성이 낮은 석탄의 경우 분쇄되지 않은 석탄이 미분기 입구 Duct에 퇴적될 경우 휘발분과 상관없이 미분기 내 화재가 발생할 수 있으므로 미분기 하부로 배출되는 Pyrite 또는 Coal Spillage 발생량 추이감시에 철저를 기하고 석탄 이송용 공기량 증가 또는 급탄량 감소 등 운전방법을 변경하여 Duct에 석탄이 퇴적되지 않도록 세심한 주위를 기울여야 한다.

한편 미분기 화재 발생 시 조기에 감지할 수 있도록 Duct 내부 온도감시설비와 살수설비 등을 설치하여 화재발생 초기에 화재를 진압하여 설비손상을 최소화하는 설비개선도 필요하다.

3.2.2 클링커(Clinker) 생성

석탄 수급이 다양해지면서 보일러 설계조건을 벗어나는 항목 중 회용점이 낮은 석탄 공급량 증대로 인하여 보일러 내부에서 클링커 생성, 부착 및 낙하로 인한 연소장애 문제가 최근 심각하게 대두되고 있다.

낮은 발열량, 과도한 총수분과 휘발분 등은 관련 항목에 대한 상대적인 석탄을 적정 비율로 혼탄함으로써 연소장애를 최소화할 수 있으며 황함량 및 회분함량도 상대적으로 낮은 석탄과 혼탄함으로써 환경기준을 준수할 수 있다.

그러나 회용점이 낮은 석탄 연소 시 발생하는 클링커 문제는 혼탄으로 해결할 수 없는데 이는 회용점이 낮은 석탄의 석탄재가 노내 고온부에서 용융하여 전열면에 부착하여 성장하는 한편, 회용점이 높은 석탄의 석탄재는 노내에서 용융하지 않고 대부분이 보일러에서 배출되기 때문에 회용점이 낮은 석탄은 회용점이 높은 석탄과 혼탄하더라도 완벽하게 연소장애를 피할 수 없는 문제점이 있기 때문이다.

이러한 이유로 낮은 회용점탄 혼소율 증대는 최근 대부분의 석탄화력 보일러 운전 시 공통적으로 나타나는 연소장애 중 하나로 석탄 보일러

운영상 큰 문제점으로 부각되고 있다.

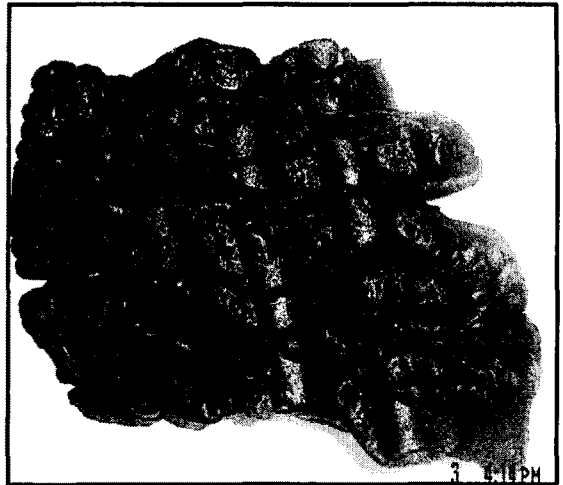


Fig. 10 저회용점탄 연소 시 생성된 클링커

한편 보일러 내부에서 생성된 클링커는 전열면에 부착하여 성장하다가 자중에 의해 하부로 낙하하게 되는데 크고 경질성인 클링커가 낙하할 경우 노내압 변동으로 인한 보일러 운전상태의 불안정 또는 보일러 하부 튜브손상을 초래할 수 있다.

또한 클링커가 일시에 대량 낙하할 경우 회처리설비 운전부하를 증가시켜 회처리설비를 정지시키거나 고장을 일으키는 경우가 있어 이로 인한 발전출력 감발이나 발전정지까지 초래하는 경우가 종종 있다.



Fig. 11 회처리계통 장애를 초래하는 클링커

* Pyrite:석탄에 혼입되어 있는 이물질로 분쇄되지 않고 배출되는 나무, 돌, 철판 등

* Coal Spillage:석탄 중 분쇄되지 않고 배출되어 에너지 손실이 되는 작은 석탄 덩어리

낮은 회용점 석탄 연소에 따른 보일러 내 클링커 생성 문제를 해결하는 방안으로 클링커 생성을 억제하고 생성된 클링커 형상을 개선하는

첨가제를 주입하는 방안이 최근 대용량 석탄화력을 중심으로 적극적으로 시도되고 있다.

최근 국내에서 적용되기 시작하고 있는 클링커 방지제로 불리는 첨가제는 마그네슘과 구리의 질산화물(MgCuNO₃)로서 수용액 상태로 보일러 내부로 주입되어 석탄재와 반응하여 클링커 생성 억제 및 형상 개선 역할을 하고 있다.

보일러 클링커 방지제 주요성분과 역할은 아래 표와 같으며 첨가제 중 마그네슘(Mg)은 석탄재 중 실리카(SiO₂) 또는 알루미나(Al₂O₃)와 결합하여 회용점이 높은 물질로 전환함으로써 회용점을 상승시키는 효과가 있다.

Table 3 클링커 방지제 주요성분과 역할

성분	주요역할	비고
Mg	회용점 상승	%
Cu	탄소 연소촉매 역할	%
NO ₃	산소제공 및 클링커 다공화	%

주) Mg+SiO₂ → Mg₂SiO₄(회용점 1,910℃)
Mg+Al₂O₃ → MgAl₂O₄(회용점 2,015℃)

또한 삼산화질소(NO₃)는 클링커 내부로 산소를 공급하여 다공화함으로써 경질성 클링커를 연질성 또는 다공성 클링커로 전환시키는 역할을 하여 클링커가 크게 성장하지 않고 주기적으로 자중에 의해 낙하할 수 있도록 하는 역할을 하는 것으로 평가되고 있다.

국내 최대 용량 800MW급 석탄화력발전소에서 최초로 석탄화력 보일러에 클링커 방지제를 적용하기 위하여 사전 검토 후 시험계획을 수립하고 시험한 결과를 살펴 보겠다.

우선적으로 질산염 형태인 클링커 방지제의 보일러 및 관련설비에 대한 부식성 여부를 시험하였으며 부식에 매우 약한 알루미늄 작업대 표면에 약품을 도포하여 시험한 결과 부식성이 전혀 없어 클링커 방지제를 보일러 내부로 주입해도 설비 부식문제가 없을 것으로 판단된다.

이는 클링커 방지제가 수용성 질산염이나 안정화된 염(Salt) 상태로 존재하기 때문에 용액 중 해리도가 낮아 탄소강이나 알루미늄에 대한 부식성이 없는 것으로 보인다.



Fig. 12 클링커 방지제 부식시험

클링커 방지제 적용 시 보일러 정지상태에서 튜브 전열면에 초기도포를 하는데 이는 보일러 내부에서 생성되는 클링커가 튜브 등 전열면에 부착하는 것을 최소화 하고 부착된 클링커가 쉽게 떨어질 수 있도록 보일러 점화전에 클링커 부착성이 높은 과열기와 버너 상부 튜브 표면의 Ash를 제거하고 클링커 방지제를 초기도포한다.

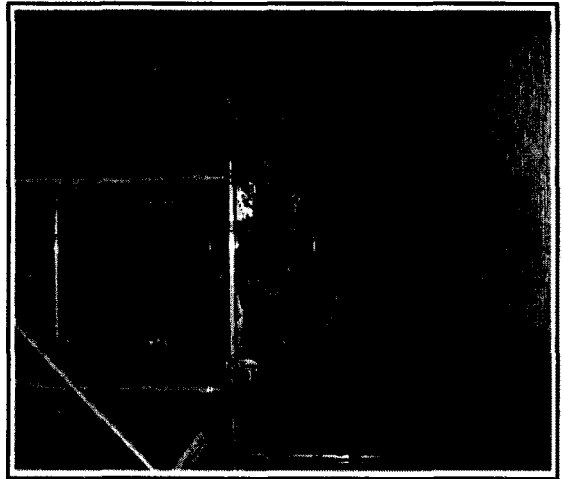


Fig 13 클링커 방지제 초기도포

보일러 정상운전 중에는 1,200℃ 이하의 저회용점탄 연소 시 클링커 방지제를 주입하며 주입량은 석탄 회용점과 혼소율에 따라 다소 다르나, 주로 버너 상부와 과열기 하부로 나누어 일일 100~200kg을 1회 주입하고 있고, 튜브 전열면 Ash 퇴적상태에 따라 주입량을 조절하고 있으나 지속적으로 석탄 회용점에 따른 탄종별 클링커 방지제 주입농도 최적화 시험 및 연구가 필요하다고 본다.



Fig. 14 클링커 방지제 정상 주입

클링커 주입시험 결과 확인된 클링커 방지제 역할 중 가장 큰 효과는 경질성 클링커를 다공화하여 클링커가 크게 성장하기 전에 주기적으로 낙하시켜 대형 클링커 낙하로 인한 보일러 노내 압 변동 또는 튜브손상 등 연소장애 현상을 사전에 예방할 수 있다는 점이라 할 수 있다.

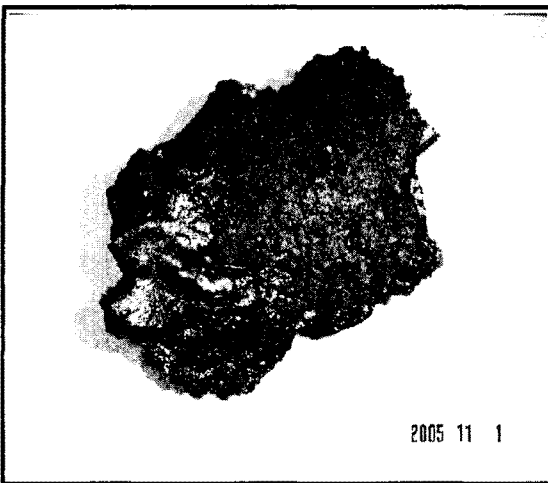


Fig. 15 클링커방지제 미주입-경질성 클링커

클링커 방지제는 최근 2005년도 말 국내 대용량 석탄화력발전소에서 현장 적용시험을 거쳐 그 효과를 상당 부분 확인하고 지속적으로 적용하고 있으며 국내 다른 석탄화력발전소에도 확대 적용 중에 있다.

보일러 클링커 방지제는 다양한 탄종 연소에 따른 연소장애를 극복할 수 있는 성공적인 사례로서 앞으로 다른 연소장애 문제도 개선할 수 있는 방안을 적극적으로 모색한다면 연소기설

개발을 통한 다양한 석탄수급에 따른 안정적인 연료 확보와 연료비 절감에도 기여할 수 있다고 본다.

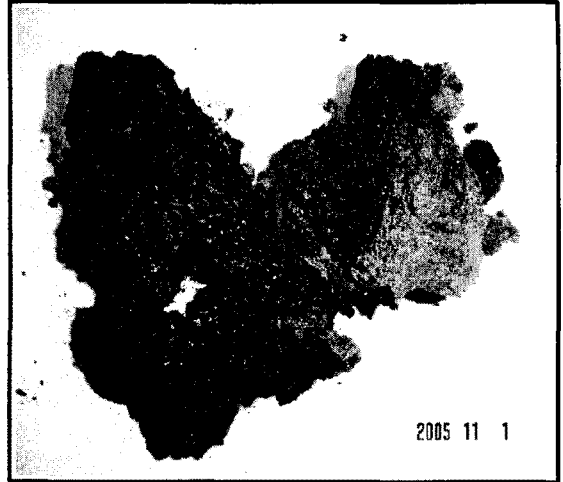


Fig. 16 클링커방지제 주입-다공성 클링커

또한 낮은 회용점탄 연소 시 보일러 내 고온부인 과열기 튜브 전열면에 부착하여 성장하는 연질성 석탄재 덩어리인 Slag로 인하여 열전달 효율이 저하되는 문제가 발생하면서 과열기 또는 재열기 온도 저하로 인한 보일러 효율 저하를 조래할 수 있다.

이러한 경우에도 클링커 방지제를 주입하여 주기적으로 Slag를 제거함으로써 Slag가 Clinker로 성장하는 것을 방지하고 열전달 방해요소인 Slag를 지속적으로 제거해 줌으로써 전열효율을 높이는 데도 기여할 수 있다.

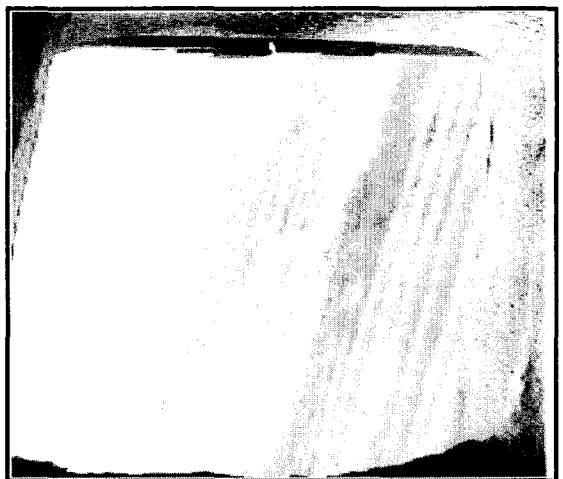


Fig. 17 클링커방지제 미주입-두꺼운 Slag

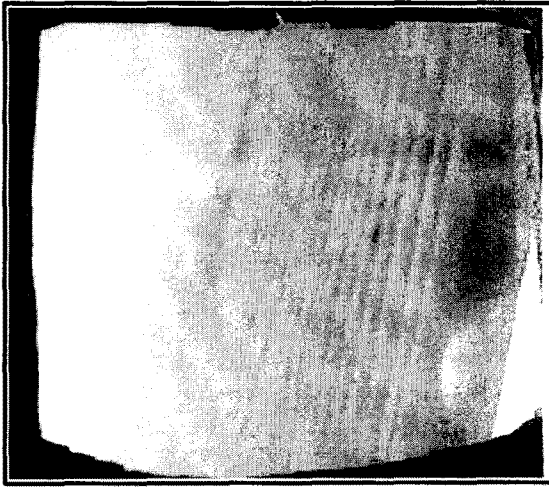


Fig. 18 클링커방지제 주입-얇은 Slag

그러나 클링커 방지제 주입으로 경질성 클링커 생성으로 인한 연소장애 현상을 많이 감소할 수 있으나 클링커 방지제 주입이 모든 클링커 문제를 완벽하게 해결하는 것은 아니고 연소장애를 상당히 완화한다는 점에서 주기적인 노내 점검과 탄종별 최적 주입량 조절과 주입위치 변경 등 지속적인 개선 노력이 필요하겠다.

클링커 방지제의 지속적인 주입으로 회유점이 낮은 석탄 혼소율을 30~50%까지 확대 적용함으로써 다양한 석탄수급에 따른 경제성 확보와 연소기술 확보 측면에서 상당한 연소장애 개선 사례로 저회유점탄을 연소하는 많은 보일러에 좀 더 적극적으로 확대 적용할 필요가 있다고 본다.

3.3 석탄재 再燃焼 기술

3.3.1 석탄재 처리현황

대용량 석탄화력 보일러는 대량의 석탄을 연소하여 증기를 생산하는 만큼 많은 양의 석탄재 발생이 불가피하다.

대부분의 석탄화력발전소는 대용량의 석탄재 매립장을 확보하고 있으나 기존 발전소 부지 내에 추가로 발전소를 증축함에 따라 발전설비 경제수명 기간 동안 사용할 매립장 용량이 부족한 실정이다.

따라서 석탄재 재활용을 확대하기 위하여 모든 석탄화력발전소가 석탄재 재활용을 위하여 부단

히 노력하고 있으며 飛灰(Fly Ash)는 레미콘 원료 등으로 60~80% 이상 재활용하고 있으나 회처리장 주요 매립대상인 底灰(Bottom Ash)는 아직까지 획기적인 재활용 방안이 없다.

Table 4 800MW급 발전소 석탄재 현황

2005. 1~2006.6

(단위 : 톤)

구 분	비회	저회	계
발생량	577,000 (100%)	115,000 (100%)	692,000 (100%)
재활용	334,000 (57.9%)	6,000 (5.2%)	340,000 (49.1%)
매립량	243,000 (42.1%)	109,000 (94.8%)	352,000 (50.9%)

대부분의 석탄화력발전소에 발생하는 저회는 회처리장에 매립하고 있으며 이에 따른 회처리장 사용기간이 발전소 경제수명에 미치지 못함에 따라 최근 대용량 석탄화력발전소에서 국내 최초로 시도하고 있는 저회 재연소를 통한 회처리장 수명 연장과 저회 중 미연분을 열량으로 회수하고 회분은 비회로 전환하여 재활용하고 있는 사례를 살펴보고자 한다.

3.3.2 석탄재 재연소 방법

일반적으로 석탄화력 보일러에서 발생하는 저회는 석탄 중 회분을 10%, 회분 중 비회를 85%, 저회를 15%로 기준할 경우 석탄 사용량의 약 1.5% 정도가 발생하며 800MW 급 대용량 석탄화력 1개 호기의 경우 하루에 약 100톤 정도의 저회가 발생되고 있다.

800MW급 대용량 석탄화력 보일러에서 배출되는 전형적인 저회 특성을 살펴보면 열량이 석탄의 30% 수준으로 상당히 높다. 이는 저회 중에 미연분이 10~13%로 비회(미연분 2~4%)에 비해 높고 미분기에서 발생하는 Pyrite가 혼입 처리되는 공정상 타 발전소에 비해 높은 편이다.

또한 회분이 50% 이상이며 수분이 석탄에 비해 다소 높으나 저회 특성상 저회를 석탄과 섞어 보일러로 재순환하여 재연소하더라도 별 문제가 없으며 특히 석탄량의 1.5%라는 양적인 측면에서도 별 문제가 없을 것으로 보인다.

* 대용량 석탄화력 보일러 석탄소비량 : 800MW 급 석탄화력발전소 연간 약 400만 톤 석탄 소비
* 발전소 경제수명: 대부분 30년을 기준함

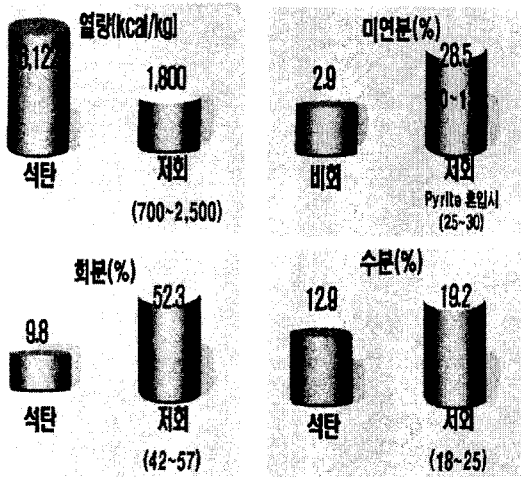


Fig. 19 저회 성상표

저회는 보일러 하부 회처리설비(SDCC)에서 이송설비인 Conveyor를 거쳐 회처리장으로 이송되면 이송된 저회는 볼도저 등을 통해 회처리장 내부 물속으로 매립 처리된다.

저회 재연소를 위하여 매립 처리되기 전 저회를 저탄장으로 이송하여 석탄과 함께 혼탄하여 미분기를 거쳐 보일러로 이송하여 재연소한다.

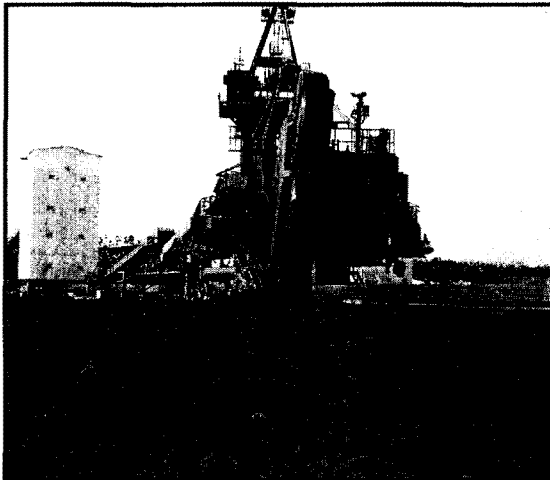
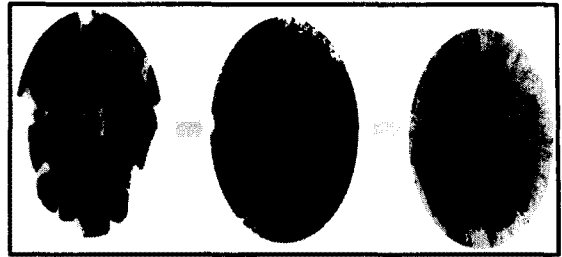


Fig. 20 저회 상탄 과정]

재연소 후 저회 중 미연분은 상당부분이 재연소하여 보일러 열 흡수로 회수되고 회분은 비회로 전환되어 집진설비에서 포집되어 정제회 과정을 거쳐 레미콘 원료로 매각처분하게 된다.



석탄 → 저회 → 비회

Fig 21 저회 재연소 과정]

3.3.3 석탄재 재연소 결과분석

저회를 재연소 후 전환되는 상태를 보면 비회로 전환이 가장 많은 41%이며 다음은 연소되어 열량으로 회수되는 부분이 22%, 19%는 수분으로 증발되고 17% 정도는 저회로 다시 배출된다.

Table 5 저회 재연소 시험결과

시험일자		06.02		06.03	평균	
		16~20	23~27	9~13	톤	%
연소 전	미연분(%)	25.2	27.2	33.2	28.5	
	사용량(톤)	1,003	891	266	720	100
연소 후	연소	393	388	114	298	22.2
	비회	205	137	30	124	41.4
	수분	191	170	52	138	19.2
	저회	214	196	70	160	17.2

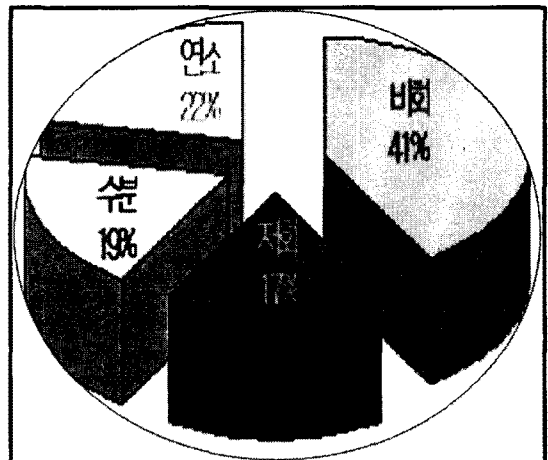


Fig. 22 저회 연소 후 항목별 전환율

* SDCC:침적식 저회이송설비(Submerged Drag Chain Conveyor)

저회 재연소 시험결과 호기당 일일 발생량인 100톤 정도를 전량 재연소할 수 있으며 원활한 저회 상탄을 위하여 소형 저회 상탄설비를 갖추어 지속적으로 저회 재연소를 통한 에너지 이용 극대화를 기할 수 있겠다.

저회 재연소에 따른 설비상 문제여부를 확인하기 위하여 보일러 및 관련설비 공급사 합동으로 정기 예방정비기간에 설비 내부점검결과 별다른 특이사항은 발견하지 못하였으며 저회 재연소로 인한 설비상 문제점은 없는 것으로 확인되었다.

저회 재연소에 따른 연소성과 보일러 종합효율 측면에서 고찰해 보면 비회와 저회 미연분은 별로 차이가 없으나 다소 감소되었으며, 이는 저회 재연소 시험 중 연소성이 고려된 혼탄에 따른 것으로 저회 재연소와는 무관한 것으로 판단된다.

또한 보일러 종합효율은 저회 재연소와 무관해야 하나 저회 중 미연분이 재연소함에 따라 회처리장에 폐기되는 열량을 회수한다는 측면에서 종합효율에 증가요인으로 계산하면 소폭 증가하게 된다.

Table 6 저회 재연소 전후 연소성 비교

구 분	시험 전	저회 연소시험				시험 전후 차이
	2/28 ~3/8	2/16 ~2/20	2/23 ~2/27	3/9 ~3/13		
종합효율 (%)	39.97	40.45	40.02	40.18	0.25%p ▲	
미연분 (%)	비 회	3.3	2.3	2.2	3.5	0.63%p ▼
	저 회	13.2	12.5	11.1	13.5	0.83%p ▼

- 주 1) 종합효율 : 석탄 공급열량에서 저회의 열량 제외하고 계산한 효율
- 2) 미연분 : 저회 재연소로 인하여 회분증가에 따른 연소성 저하보다 석탄 자체의 연소성에 좌우함

일반적으로 석탄 중 회분함량 증가는 전기집진기의 효율을 저하시킬 수 있으므로 저회 재연소에 따른 집진성을 분석한 결과 전기집진기 출구 먼지 농도는 다소 감소하였으며, 이는 시험기간 중 집진성을 고려한 혼탄으로 인하여 적정 집진성을 유지한 것으로 보이며 저회 재연소에 의한 집진성 저하 문제는 별로 크지 않는 것으로 판단된다.

Table 7 저회 재연소와 전기집진기 먼지농도

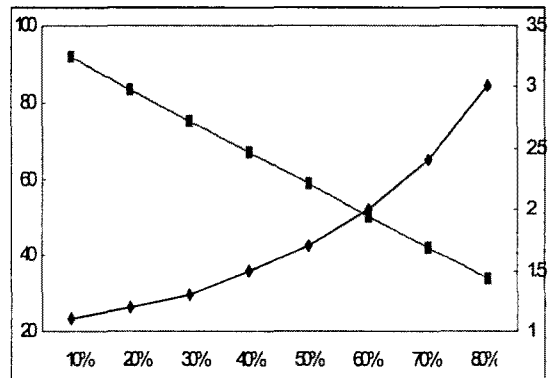
구 분	시험 전	저회 연소시험				시험 전후 차이
	2/28 ~3/8	2/16 ~2/20	2/23 ~2/27	3/9 ~3/13		
출력 (MW)	778	775	760	775	-	
먼지 (mg /Sm')	EP Out	34.9	24.6	34.2	30.5	5.13%p ▼
	Stack	8.4	3.2	11.3	8.8	0.63%p ▼

3.3.4 회처리장 사용기간 연장

보일러에서 발생되는 저회 수량을 기술적으로 재연소할 수 있으나 석탄취급설비 정비, 석탄 하역 또는 상탄 시 설비운영상의 제약 등을 고려하여 연간 저회 재연소율을 60%로 산정할 경우 저회 발생률은 약 50% 수준으로 감소하게 되고 이로 인하여 매립량의 대폭적인 감소로 회처리장 사용기간이 15년에서 30년으로 2배 이상 증가할 수 있게 된다.

Table 8 저회 재연소율과 회처리장 사용기간

저회 재연소율(%)	50	60	70	80
저회 발생률(%)	58.6	50.3	42.0	33.8
회처리장 수명	1.7배	2.0배	2.4배	3.0배



- 주) 회처리장 사용기간 산출
- 저회 재연소율 60% 기준
- 저회 발생률 : $60 \times 17.2/100 = 10.3 \%$
- 저회 매립률 : $10.3 + 40 = 50.3\%$
- ☞ 회처리장 사용기간 : $100/50.3 \approx 2$ 배 (800MW급 4개 호기 기준 : 15→30년)

4. 결론

에너지를 거의 전량 수입에 의존하고 있는 우리나라는 한정된 에너지를 어떻게 하면 효율적으로 사용하여 에너지 이용률을 극대화하느냐가 에너지 관련업계의 지속적인 숙제이다.

고유가에 따라 상당한 부분을 석탄에너지가 담당하고 있는 점을 감안해 볼 때 우리나라의 전력생산의 40% 이상을 차지하고 있는 석탄화력 보일러의 다양한 탄종에 대한 최적 연소기술 개발은 발전회사의 경쟁력 확보에 지름길이라 할 수 있다.

최근 중국경제 급성장과 세계 석탄시장 여건 변화로 석탄의 품질이 저하되고 있고, 다양한 종류의 석탄이 공급되고 있으며 이로 인하여 보일러 설계범위를 벗어나는 석탄 연소 시 발생하는 여러 가지 연소장애 현상과 연소 현안에 대하여 현장 경험사례를 중심으로 살펴 보았다.

석탄 이송계통과 급탄계통의 막힘현상은 총수분이 많은 粉炭이 석탄이송설비 내면에 부착 성장하여 막히는 문제로 분탄은 가능한 비에 젖지 않도록 하고 입도가 굵은 탄과 혼탄함으로써 상탄 및 급탄계통의 막힘성을 최소화 한다.

고휘발분 아역청탄 계열의 석탄은 장기저장 중 자연발화될 소지가 많으므로 가능한 조기에 연소하고 저탄장내 석탄더미 온도를 주기적으로 측정하여 온도 상승 시 壓炭 또는 移炭을 하여 자연 발화를 예방해야 한다.

미분기내부 화재는 착화온도가 낮은 아역청탄 계열의 석탄의 분쇄도가 낮아 미분기 입구 Duct 등에 석탄이 쌓일 경우 건조 후 착화되어 화재로 확대되므로 분쇄성이 낮은 아역청탄의 경우 급탄량을 줄이고 미분기 입구온도를 낮게 유지하여 미분기 내 화재를 예방해야 한다.

화용점이 낮은 석탄은 노내에서 클링커가 생성 부착하여 성장 후 낙하하면서 튜브손상, 회처리설비 고장, 노내압 변동 등을 유발함으로써 보일러 운전의 불안정을 초래할 수 있으므로 가능한 보일러 설계기준(1,200℃) 이상의 석탄을 사용하고 부득이 낮은 화용점탄 혼소 시에는 노내 튜브 전열면의 Slag 또는 Clinker의 부착·성장 상태를 면밀히 감시하여 클링커 방지제를 적절히 주입함으로써 클링커로 인한 연소장애를 최소화 해야겠다.

한편, 대부분의 석탄화력발전소가 안고 있는 연소현안으로 석탄재 매립장 부족 문제를 해결하기 위하여 저회의 재이용률을 획기적으로 증가시켜야 하나, 저회가 상당한 미연분과 수분 등을 함유하고 있어 저회를 다른 용도로 직접 재활용하기 어려운 점을 감안하여, 저회를 보일러로 이송하여 재연소함으로써 저회 발생량을 대폭 줄여 나가야겠다.

저회를 재연소할 경우 저회 발생량이 50% 이하로 감소함으로써 회처리장 사용기간을 늘려 추가의 회처리장 증축에 따른 해양 생태계 파괴를 예방하고 막대한 비용이 수반되는 회처리장 증축비를 절감할 수 있고, 저회 중 미연분인 열량을 회수하고 회분은 비회로 전환하여 부가가치를 높여 레미콘 원료로 재활용함으로써 석탄 에너지 이용 극대화를 도모할 수 있다.

세계적인 석탄수요 증가와 석탄 시장 여건변화로 인하여 다양한 탄종 연소가 불가피함에 따라 기존 사용 중인 클링커 방지제 효과제고를 위한 기술축적, 최적 혼탄프로그램 및 연소 Simulator 개발 등 석탄 연소기술 개발 연구에 산·학·연합동의 공동노력이 더욱 필요하다고 본다.

후 기

국내 최대용량 800MW급 석탄화력에서 경험하고 개선해 나가고 있는 다양한 탄종 연소에 따른 연소장애 현상과 연소현안에 대한 개선사례를 현장 경험사례 중심으로 고찰하였으며 앞으로 석탄화력 보일러 설계 및 운영에 다소나마 도움이 되는 자료로 활용될 수 있기를 바란다.

참고문헌

- [1] WEC, "World Energy Council", London, January 2005
- [2] 한국발전교육원, "연소관리 실무", 2002
- [3] 한국남동발전(주), "2005년도 종합경영실적 분석", 2006
- [4] 전력연구원, "전력기술동향", 2005
- [5] 에너지경제연구소, "2006년도 에너지 수요 전망", 2006