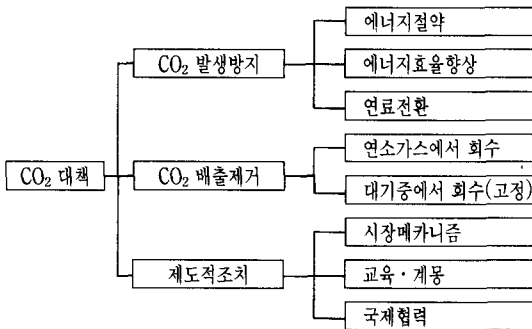


일본 전기사업의 CO₂ 대책비용 비교

대기중에 배출되는 이산화탄소배출량 삭감문제가 최근 선진공업국에서 중요한 과제로 대두되고 있다. 현재까지 많은 이산화탄소 배출 대책안이 제시되었으며 그중 일부는 몇몇 나라에서 이미 상용화된 것도 있다. 여러가지 대책별로 경제적 영향에 대하여 검토한 결과와 일본 전기사업이 취하여야 할 바람직한 대응 방안이 무엇인가에 대하여 검토한 내용의 요지를 살펴본다.

경 위

일본에서의 과거의 GNP와 에너지 소비량, 이산화탄소 배출량 및 GNP단위당 탄소배출량의 증가추세를 살펴보면 두차례의 석유위기를 거치면서 CO₂ 배출량이 안정된 추세를 보였으나 1986년 석유가격이 현저하게 하락한 후에 다시 증가되기 시작하였다. 1973년 이래 GNP단위당 CO₂배출량이 꾸준히 감소되었으며, 에너지 소비절약과 연료전환이 배출량감소에 기여하였다. 1992년에는 1973년수준에 비하여 GNP단위당 에너지 소비량과 에너지소비 단위당 CO₂배출량이 각기 37%와 11% 감소되었다. 에너지원 다변화를 지향하는 정책적인 영향에 의하여 배출량 감소현상이 더욱 촉진되었다.



<그림 1> CO₂ 대책

일본 전기사업자도 역시 에너지원을 다변화 하기 위한 노력을 계속하여 왔다. <그림2>는 발전용 에너지원의 연도별 변화 추세이다.

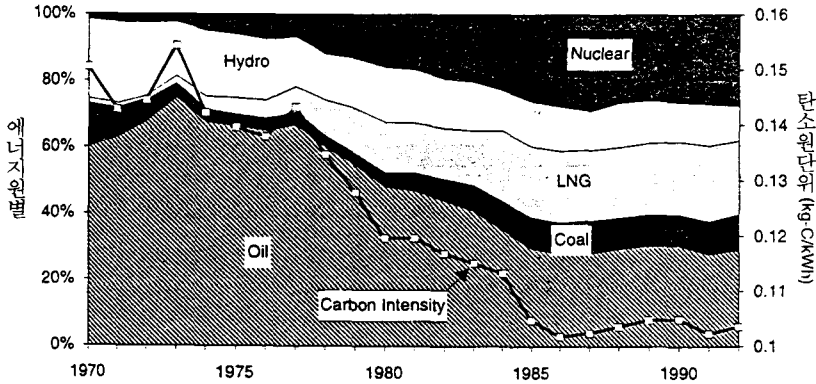
원자력과 액화천연가스(LNG)의 비율이 크게 증가되었다. 이러한 발전연료의 다원화에 따라서 발전 전력량 단위(kwh)당 CO₂배출량으로 표시되는 발전 계통의 탄소원단위가 낮아져, 1992년도 탄소원단위는 1970년 수준의 약 2/3정도로 떨어졌다. 화력발전소의 발전효율 향상도 낮은 탄소원단위를 실현하는데 기여하였다. <그림3>은 1990년도 여러 선진공업국의 탄소원단위를 비교한 것이다. 일본의 화력발전소 탄소원단위가 가장 낮는데, 이것은 일본의 화력발전소 발전 효율이 이들 국가중에서 가장 높고 CO₂ 배출량이 가장 적다는 것을 의미한다. 복합사이클 발전시스템을 신속하게 도입한 것이 이러한 효율개선에 주된 기여를 하였다.

과거 20년간 전력수요가 거의 GNP에 비례하여 증가하여 1992년도 발전전력량은 1970년 수준의 2.6배로 증가하였으나, 1992년도의 발전에 따른 CO₂ 배출량은 전체적으로 1970년 수준에 비하여 70%증가하는데 그쳤다.

CO₂삭감대책 비용

1. 에너지 절약

에너지절약은 좁은 의미에서 “운전중인 에너지를 아끼는 것”이라고 정의할 수 있다. 사용하지 않을 때 기기 스위치를 끄거나 승용차 대신 대중교통수단을 이용하는 것이 그 예이다. 에너지절약은 서비스 수준의 저하를 수반할 수도 있다. 에너지절약을 하기 위한 노력과 관련되는 사업자 손실비용을 정확하게 산출하기는 곤란하지만, 탄소세의 부수효과로서 에



〈그림 2〉 발전연료 다원화와 탄소원단위

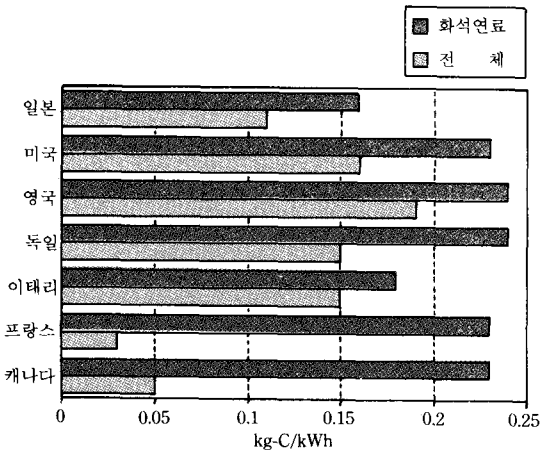
너지절약 목적을 실현할 수 있다.

즉 에너지절약 비용이 일부 탄소세 코스트중에 포함되어 있다고 생각한다.

2. 에너지 효율개선

지난 20년간의 에너지효율 개선은 주로 제조업 분야에서 실현되었다. 제조업 분야가 에너지 가격이 가장 민감하고 에너지절약기술에 관한 충분한 정보를 갖고 있기 때문에 제조업종이 미래에도 중요한 역할을 할 것으로 생각된다. 〈그림 4〉는 1990년도 제조업종의 에너지절약 가능성을 표시한 것이다. 각 단계별로 환산 연료가격과 각 기술별 절약가능성을

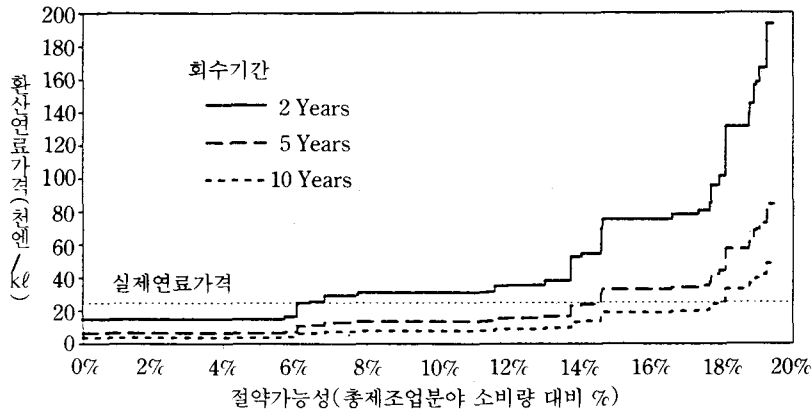
보여주고 있다. 환산연료 가격이 실제연료 가격보다 낮을 경우에는 각 기술별 투자액을 이 그림에 표시된 회수기간 내에 회수할 수 있다. 설비수명년수가 보통 10년이기 때문에 에너지소비를 경제적인 방법으로 18% 줄일 수 있다. 우리는 이러한 에너지 소비량 감소에 의해서 별도 부담없이 CO₂배출량을 확실하게 줄일 수 있다. 그러나 특히 미래의 연료가격이 불확실할 때에는 경영자의 생각이 보수적이다. 그 결과 실제 투자액이 아주 제한된다. 미쓰하시등(1993)이 일본제조업체의 과거 투자행태를 조사한 결과 회수기간이 2년이내인 경우에만 실제로 투자하고 있음을 알게 되었다. 이러한 투자기준을 생각한다면 제조업 분야 에너지소비량의 6%만이 절감될 것이다. 전기사업자가 발전효율을 개선하는 첩경은 복합사이클 시스템을 보급하는 것이며, 이 시스템에 대한 추가 투자 비용은 설비수명기간내에 회수될 수 있다. 그러나 제조업 분야의 에너지 절약기술과 달리 이 시스템은 신규발전소가 필요하거나 기존 발전소를 개체할 경우에만 채택할 수 있다.



〈그림 3〉 1990년도 발전계통 탄소원단위

3. 연료전환

탄소배출이 적은 에너지원으로 전환하는 것은 CO₂배출을 줄이는 효과적인 방안의 하나이다. 각 연료별 설비 비용과 열효율이 동일할 경우에 CO₂삭감 비용은 연료가격과 탄소함량의 차이를 비교하여 쉽



〈그림 4〉 1990년도 제조업분야 에너지절약 가능성

게 산출할 수 있다. 예를들면 석탄에서 석유로 전환하는데 따른 삭감비용 AC는 다음과 같이 산출한다.

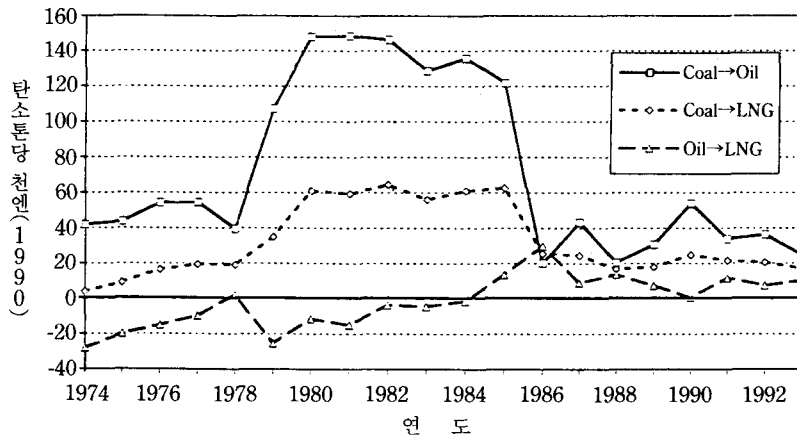
$$AC \text{ 석탄} \rightarrow \text{석유} = \frac{P_{\text{석유}} - P_{\text{석탄}}}{C_{\text{석탄}} - C_{\text{석유}}}$$

여기서 P와 C는 각기 석탄과 석유의 연료가격과 탄소함량이다. 〈그림5〉는 CIF에너지가격에 의거한 탄소삭감비용의 변화추세를 표시한 것이다.

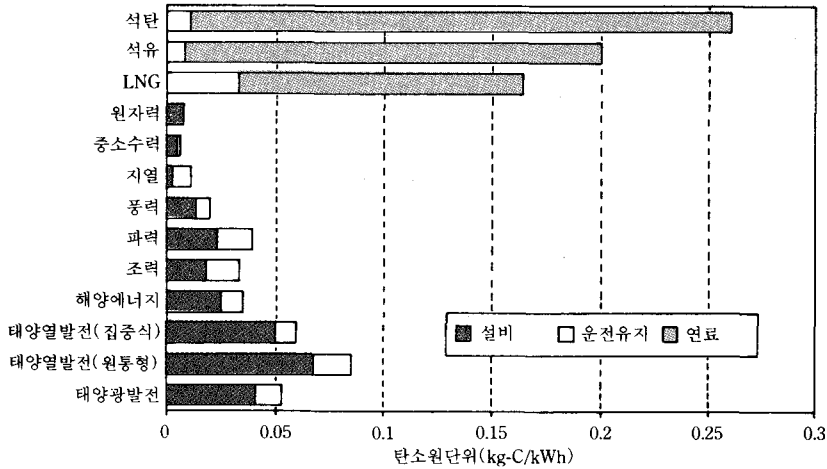
1986년이래 석탄에서 석유로 가장 비싼 연료전환을 하는데 따른 탄소삭감비용은 탄소 톤당 4만엔 수준이었다. 통상 석탄설비가액이 보다 고가이고 열효율이 다른 연료의 경우보다 낮은 것은 탈황설비가 석탄연소장치에 부착되어야 하기 때문이다. 설비가

액을 석탄가격을 인상하는 것과 같다고 생각한다면 석탄에서 다른 연료로 전환하는 비용이 약간 더 낮게 된다.

재생가능에너지는 비록 설비의 건설과 운전유지 과정에서 CO₂가 배출되기는 하지만 제3의 유리한 방안이다. 우찌야마(1992)는 추가적인 CO₂배출량을 감안할지라도 재생가능에너지가 CO₂배출 삭감에 효과적이라는 점을 계산하였다. 그러나 재생가능에너지의 가장 큰 문제는 그 비용이다. 대체로 화석연료와 재생가능에너지간의 CO₂배출량의 차이는 kwh당 0.2kg이기 때문에, 재생가능에너지에 의하여 탄소 톤당 5만엔 비용으로 CO₂배출량을 삭감할 수 있다



〈그림 5〉 연료전환에 의한 CO₂삭감 비용



〈그림 6〉 발전소 종별 CO₂배출량(수명기간 : 30년)

할지라도 재생가능에너지 코스트 허용 마진은 kwh 당 10엔에 불과하다. 수력과 지력의 경우를 제외 하고는 이러한 마진이 극히 박하다. 가장 유망한 재생 가능에너지라고 하는 태양광발전도 가장 낙관적으로 시나리오를 예상하는 경우에도 이번 세기내에 이러한 목표에 도달하지 못할 것이다.

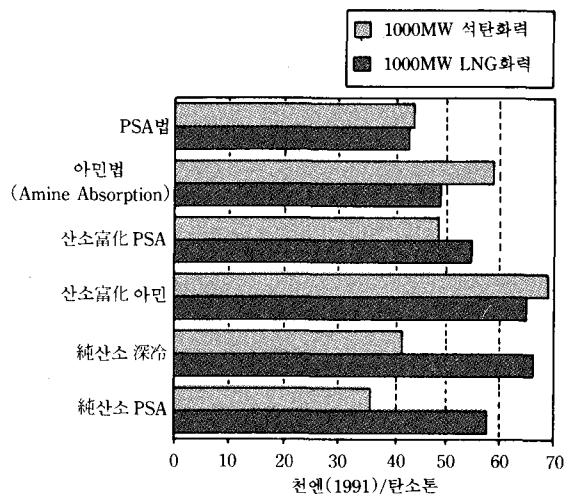
4. 이산화탄소 배출가스의 제거

배기가스중의 CO₂가스를 제거하는 것은 기술적으로 가능하다. 혼도(H.Hondo) (1990)가 CO₂대책기술 별 비용을 비교분석 하였다(그림 7). CO₂가스를 배기가스에서 회수하여 이를 깊은 해저에 저류(貯留) 시키는데 소요되는 비용을 석탄화력은 탄소톤당 36~69천엔, LNG화력은 43~66천엔으로 각기 산정하였다. 이러한 비용은 다른 대책비용에 비하여 고가이며, 더욱이 처리된 CO₂의 환경영향은 미지의 상태이다.

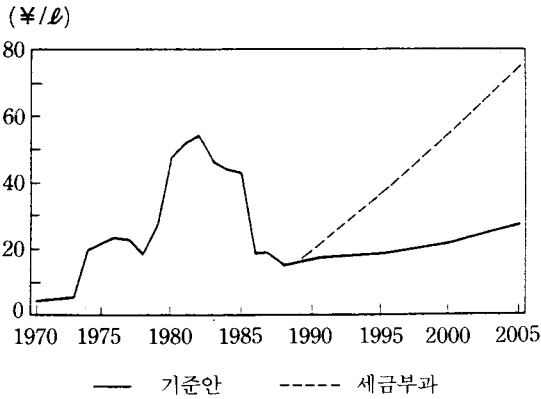
대기중에서 CO₂가스를 제거하는 가장 보편적인 방법은造林(afforestation)이다. 미국의 한 전력회사는 새로 건설하는 석탄화력발전소에서 배출되는 CO₂가스를 상쇄하기 위하여 과테말라에 이미 조림을 시작하였다.

모든 나무는 안정상태에 이를 때까지 10내지 30년간 계속하여 CO₂가스를 흡수 한다. 조림비용은 열대지방과 북미에서는 헥타르당 \$400~\$900, 일본에서는 헥타르당 2백만엔, 또는 탄소톤당 \$10와 탄소톤당 2만엔이 각기 소요된다.

그러나 일본에서의 조림은 매력적인 안이 되지 못하기 때문에 국제적인 협력을 통해서 저렴한 토지를 이용할 수 있으면 조림이 가장 경제적인 방안



〈그림 7〉 배기가스중 CO₂제거비용



〈그림 8〉 원유가격(명목)

이 될 것이다.

다른나라의 조립도 토지이용이 제약되기 때문에 보상방안을 강구하여야 할 것이다.

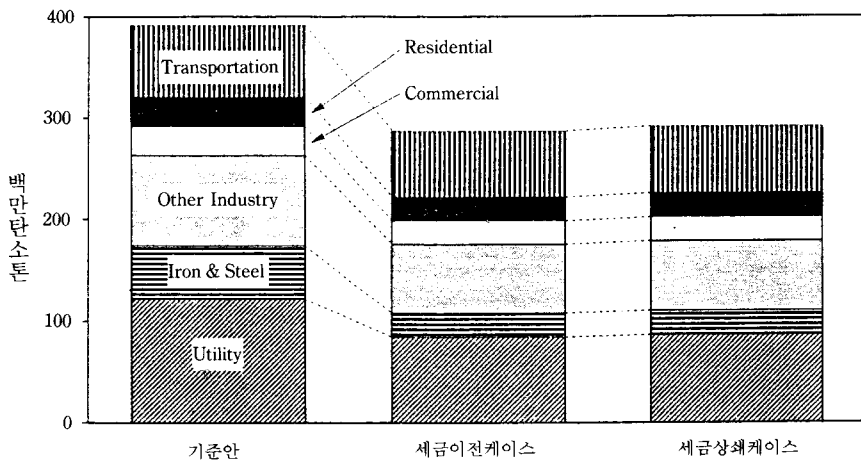
5. 탄소세

탄소세는 CO₂가스배출을 줄이기 위한 경제적인 유인의 하나로서 CO₂삭감효과의 유무는 전적으로 시장 메카니즘에 달려있다. 연료별 탄소함량을 기준하여 부과되는 세금은 소비를 줄이고 보다 깨끗한 에너지원으로 전환하는데 강력한 인센티브를 제공한다.

CO₂가스배출은 SO_x나 NO_x와 같이 연료연소방법에 따라서 좌우되는 것이 아니기 때문에 탄소세징수 비용은 무시할 수 있다. 더욱이 일본에서 소비되는 화석연료는 대부분 수입되기 때문에 탄소세는 수입 관세와 같이 쉽게 징수할 수 있다. 탄소세의 “진정한” 효과는 경제내부적인 세수입의 환류작용과 밀접한 관계가 있다. 따라서 순경제 비용 개념(net economic cost)으로 평가하여야 한다.

일본에서의 CO₂배출가스를 안정시키는데 소요되는 경제비용을 전력중앙연구소(CRIEPI)의 중기경제 예측시스템 모델을 이용하여 분석하였다. 이 시스템은 4개의 下位 계량경제 모델, 즉 세계에너지 모델, 복수분야 모델, 에너지경합 모델 및 9개지역 모델 등으로 구성되어 있다. 이 시스템을 이용하여 세계에너지 가격을 비롯해 일본의 지역경제에 이르기까지 다양한 정보를 광범위하게 예측하고 있다.

기준안 예측에 의하면 1988년 내지 2005년의 GNP와 에너지수요 및 CO₂배출량의 연평균 증가율은 각기 3.7%, 2.1%와 1.8%이다. 이러한 기준안 예측을 근거로 하여 2005년의 CO₂배출량을 1988년 수준으로 억제하기 위한 탄소세 도입을 가정하였다. 탄소세는 1990년에 도입하고 세율은 그 효과를 증진시키기 위하여 점차 증가된다. 세수입의 처분방법



〈그림 9〉 2005년 CO₂배출량

〈표 1〉 탄소세의 비용효과

	세금이전케이스	세금상쇄케이스
A. 실질GNP손실(조엔)	-37.7(-6.2%)*2	-30.0(-4.9%)
2005년	-310.6(-4.0%)	-230.6(-3.0%)
1990-2005간 누계	(-0.4%, 연간)	(-0.3%, 연간)
B. CO ₂ 삭감(백만톤)		
2005년	104.1(26.6%)	99.825(5%)
1990-2005간 누계	985.1(17.7%)	939.0(16.3%)
C. 세금수입(조엔)*1		
2005년	11.9	12.0
1990-2005간 누계	118.2	119.0
D. 종량탄소세수입 (천엔/톤)		
2005년	114	120
1990-2005간 누계	120	127
E. CO ₂ 삭감단위당 국민경제비용 (천엔/톤)		
2005년	362	301
1990-2005간 누계	315	246

*1 도매물가지수기준 감가(1980년 실질가액)

*2 기준케이스와의 차이율

은 세금이전(tax removal case)과 세금상쇄 (tax offset case)두가지 케이스를 예상하고 있다. tax removal case에는 세금수입이 일본경제 내부에서 순환하지 않으며, tax offset case의 경우에는 세금수입이 소득세 중 상당액을 감세하여 상쇄하게 된다.

이러한 목표를 달성하기 위하여 1990년에 탄소톤당 4천엔의 탄소세를 도입하여 2005년에 64,000엔에 달하기까지 매년 4천엔씩 증액한다. 탄소세로 인하여 2005년의 석유가격이 기준안 예측치보다 2.8배 높은 수준까지 인상된다.(그림 8)

세금으로 인한 CO₂배출가스 삭감효과는 〈그림 9〉와 같다. 탄소세는 철강산업으로 하여금 석탄의 연료전환이 곤란하기 때문에 철강생산 자체를 줄이도록 강제하게 될 것이다. 거시경제적인 탄소세의 영향은 〈표1〉에 요약된 바와 같다. 1988년에서 2005년까지의 실질 GNP의 평균성장률이 tax removal case와 tax offset case 별로 각기 매년 0.4% 및 0.3%씩 감소된다. 탄소삭감 단위당 GNP손실은 탄소

톤당 25만엔(tax offset case 누계평균)내지 36만엔 (tax removal case, 2005년도)에 이를 것이다.

결론 : 일본 전기사업자는 어떻게 대처하여야 하는가?

CO₂가스배출을 경제적이고도 현저하게 삭감할 수 있는 뚜렷한 대책은 없으며, 전기사업자가 취할 수 있는 방안도 제한되어 있다. 각 CO₂삭감대책의 특성과 그 장단점을 고려할 때에 발전효율향상과 연료전환이 아직도 일본 전기사업자가 취할 수 있는 최우선과제라고 생각된다. 최근 예측에 의하면 이러한 노력의 결과로 2010년에는 발전에 따른 탄소원단위를 현재 수준보다 25% 줄일 수 있다. 그 이상의 삭감이 필요하면 재생가능에너지의 집중적인 도입과 조림 (afforestation)을 하여야 한다.

CO₂가스배출을 계속하여 삭감하는 한편 전기사업자가 배출가스에서 CO₂가스를 제거하는데 경제성이 있는 기술을 개발하고 처리된 CO₂의 환경영향을 알 수 있도록 노력하는 것이 중요하다.

경제에 미치는 영향이 크기 때문에 탄소세는 CO₂ 가스 배출삭감 보다는 다른 대책 수행자금을 조달하기 위하여 도입되어야 한다. 탄소세의 세율이 높으면 에너지다소비 산업의 해외이전을 촉진하게 되는데, 최악의 경우에는 지구촌의 CO₂가스배출량은 감소되지 않을 수 있다는 점이 우려된다.

에너지효율을 제고하기 위한 다른 제도적인 대책의 도입 가능성도 검토하여야 한다. 현행과 같은 투자보수율 규제 제도하에서는 일본의 전기사업자가 에너지 효율이 좋은 기기 개발을 자발적으로 권장하려 하지 않을 것이다. 전기사업자와 수용가가 에너지효율이 좋은 기기를 보급함으로써 혜택을 공유할 수 있는 새로운 규제제도가 필요하다.

(Yutaka Nagata, 일 CRIEPI 연구원, 94.10.27 에너지경제연구원 주관 국제워크숍 발표자료) (KJ)