

탄소배출량 저감에 따른 분산전원 효율에 관한 연구

고상현\*, 김진오\*  
한양대학교\*

Study on Distributed Generation Efficiency according to CO<sub>2</sub> Emissions Reduction

Sang-Hyun Ko\*, Jin-O Kim\*  
Hanyang University\*

**Abstract** - 신재생에너지를 내연기관의 연료로 사용했을 때 나타나는 온실가스 감소량 및 디젤연료를 사용했을 때의 효율 비교, 또한 온실가스를 감소했을 때 생기는 탄소배출권으로 얻을 수 있는 경제성을 연구해보고, 다른 분산전원방식인 태양력, 풍력, 연료전지 등을 사용했을 때의 온실가스 감소량 및 효율성을 비교해 본다. 그리하여 앞으로 다가올 탄소배출권 시장 경쟁에서의 가장 효과적인 방법을 모색해본다.

1. 서 론

지구환경보호가 최대 관심사로 떠오른 가운데, 지금 세계는 탄소배출권 획득에 관심이 모아지고 있다. 대기 중의 이산화탄소 등의 온실가스가 지구표면의 온도를 일정하게 유지시켜 왔지만, 이산화탄소 등의 온실가스 배출량이 급격히 증가함에 따라 지구 스스로 자동온도조절 능력을 상실하고 있다. 기후 변화가 생각보다 훨씬 심각하고 지구온난화 현상이 지속 불가한 속도로 진행되고 있는 것이다. 증가하고 있는 온실가스 배출량을 국내정책 및 수단만으로 감축목표를 달성할 경우 경제적 비용이 막대하기 때문에 이를 최소화하기 위한 목적으로 교도의정서를 고안하였는데 그 중 대표적인 것이 배출권거래제도(Emission Trading)이다. 이 거래제도는 온실가스 감축의무가 있는 국가가 당초 감축목표를 초과 달성했을 경우 여유 감축쿼터를 다른 나라에 팔 수 있도록 한 제도로, 반대로 감축목표에 달성에 실패했을 경우 모자란 부족쿼터를 타국가나 시장에서 사서 충당하는 제도이다. 이산화탄소 총 배출량 세계 10위인 우리나라 입장에서 탄소배출권의 구매비용은 높을 것으로 예상된다. 그래서 분산전원방식 및 신재생에너지를 통하여 온실가스를 저감하고, 분산전원방식 사용자 발생할 수 있는 낮은 효율을 신재생에너지로 보완해주는 방안을 검토해본다.[1, 2]

2. 본 론

2.1 분산전원의 종류

현재 상용화되고 있는 분산발전으로는 디젤 및 가스엔진, 마이크로 터빈, 가스터빈, 연료전지, 태양광 및 풍력이 있으나 기술 성숙도, 경쟁 범위 등에서는 차이가 있다. 일반적으로 탄소배출규제의 강화로 지역에 따라서 디젤엔진의 도입은 제약이 받고 있으며, 마이크로 터빈과 연료전지, 태양광 등은 친환경성은 우수하지만 설비비가 고가이다. 현재의 상태에서 환경규제가 강화되고 있는 현실을 감안할 때 소형은 가스엔진, 대형은 가스터빈이 바람직하고, 중형의 경우에는 가스엔진과 가스터빈이 경쟁하고 있다. 그러나 결과는 에너지 절약성, 친환경성, 전력품질, 경제성 등에 의하여 좌우될 것이기 때문에 주어진 여건에 따라서 상호 보완적으로 공존할 가능성이 높다.[3]

2.2 각 분산전원의 탄소배출량 및 효율성

효율 상으로는 디젤엔진이 가장 우수하고 그 뒤로 연료전지, 가스엔진이 그 뒤를 따른다. 태양광발전과 풍력발전은 그 특성상 태양열과 풍력을 이용한 발전기 출력의 불연속성으로 인해 규칙적인 효율을 나타낼 수가 없다. 탄소배출량을 비교해 보면 연료전지가 가장 배출량이 낮고 풍력발전과 태양광발전이 그 뒤를 이어서 탄소배출량이 적게 나타났다. 다만 효율에서 우수함을 보여줬던 디젤엔진이 탄소배출량이 가장 높은 것으로 나타났다.

2.3 신재생에너지 사용시 탄소배출량 및 효율 비교

기존의 분산발전설비들을 이용한다고 가정하고 추가적인 탄소배출량 감소를 목표로 했다. 태양열·풍력 발전이나 수소전지는 현재 상황에서 탄소배출량 수치가 낮으므로 높은 감소율을 보이기 어려우므로 디젤엔진에서 사용하는 화석연료 대신 신재생에너지를 도입했을 때 배출량 변화를 비교해 보았다.[4, 5, 6]

<표 1> 바이오연료의 탄소배출량 비교

연료종류	배출량 (ton/1,000L)	연료종류	배출량 (ton/1,000L)
경 유	3.18	휘발유	2.91
바이오디젤(유채)	0.78	바이오에탄올(옥수수)	1.75
차 이	2.48(78.0%)	차 이	1.16(39.8%)

자료: EIA/USDOE, "Fuel and Energy Source Codes and Emission Coefficients", 2002

<표 2> 혼합비율에 따른 바이오연료의 탄소배출량 저감 효과

바이오디젤			바이오에탄올		
혼합비율	CO2 저감량		혼합비율	CO2 저감량	
BD100	100%	78%	E100	100%	50%
BD20	20%	15.7%	E85	85%	35%
BD5	5%	1.6%	E10	10%	2%

자료: Australian Government Biofuels Taskforce, EPA, Sheenah, J., et al.

2.4 탄소배출량 저감시 경제적 효과

탄소배출량 저감시 그 만큼의 탄소세 지출 비용을 줄일 수 있고, 또한 탄소배출권도 확보 할 수가 있으므로 그에 따른 경제적 효과를 분석해 보았다.[4, 5]

<표 3> 화석연료와 바이오연료 가격 비교

	휘발유(\$/L) (국제가)	바이오에탄올 (\$/L)(브라질)	경유(\$/L) (국제가)	바이오디젤 (\$/L)(EU)
가격(2005년)	0.38	0.30~0.38	0.44	0.65~0.75

주: 해외 운송비, 관세, 세금이 포함되지 않은 가격

자료: 한국석유공사, World Bank, UFOP

목적함수

$$e_{i,total} = \frac{P_i}{E_i \cdot \eta_i} \cdot e_i$$

$$FC_{i,total} = \frac{P_i}{E_i \cdot \eta_i} \cdot \frac{1}{\eta_d} \cdot (CR_a \cdot FC_a + CR_b \cdot FC_b)$$

- E<sub>i</sub> : 연료별 발전량
- e<sub>i</sub> : 연료별 탄소배출량
- e<sub>i,total</sub> : 총 탄소배출량
- P<sub>i</sub> : 발전기별 출력
- η<sub>i</sub> : 발전기별 효율
- η<sub>d</sub> : 신재생에너지 혼합시 변동비율
- FC<sub>a</sub>, FC<sub>b</sub> : 연료비 단가
- FC<sub>i,total</sub> : 총 연료비
- CR<sub>a</sub>, CR<sub>b</sub> : 연료 혼합 비율

첫 번째 함수에서는 총 탄소배출량을 구하기 위한 수식으로, 각 연료의 L당 생산되는 전력을 토대로 각 발전기의 효율을 고려하였다. 두 번째 함수는 총 연료비를 구하는 수식으로, 첫 번째 함수의 고려사항과 신재생에너지를 혼합하여 사용했을 때의 에너지 변동효율 및 연료 혼합비율에 따른 연료비를 고려하였다.

〈표 4〉 사례연구1 결과

	탄소배출권 거래금액 (\$/ton)	배출상한치 (ton)	탄소배출량 (ton)	탄소배출권 구매비용 (\$/ton)	탄소배출권 판매비용 (\$/ton)	연료구입비용 (\$/L)	총지출비용 (\$)
경유	10	574.11	604.33	302.2	0	83618.40	83920.60
	20	574.11	604.33	604.4	0	83618.40	84222.80
	30	574.11	604.33	906.6	0	83618.40	84525.00
	40	574.11	604.33	1208.8	0	83618.40	84827.20
바이오디젤 (혼합5%)	10	574.11	285.12	0	2889.9	91118.22	88228.32
	20	574.11	285.12	0	5779.8	91118.22	85338.42
	30	574.11	285.12	0	8669.7	91118.22	82448.52
	40	574.11	285.12	0	11559.6	91118.22	79558.62

〈표 5〉 사례연구2 결과

	탄소배출권 거래금액 (\$/ton)	배출상한치 (ton)	탄소배출량 (ton)	탄소배출권 구매비용 (\$/ton)	탄소배출권 판매비용 (\$/ton)	연료구입비용 (\$/L)	총지출비용 (\$)
휘발유	10	612.15	651.74	395.90	0	85,106.38	85,502.28
	20	612.15	651.74	791.80	0	85,106.38	85,898.18
	30	612.15	651.74	1,187.70	0	85,106.38	86,294.08
	40	612.15	651.74	1,583.60	0	85,106.38	86,689.98
바이오에탄올 (혼합10%)	10	612.15	220.11	0	3,920.40	94,550.85	90,630.45
	20	612.15	220.11	0	7,840.80	94,550.85	86,710.05
	30	612.15	220.11	0	11,761.20	94,550.85	82,789.65
	40	612.15	220.11	0	15,681.60	94,550.85	78,869.25

2.4.1 사례연구1

효율이 50%인 발전기로 연간 1000MW를 생산하는 기업에게 탄소배출량의 95%만이 배출 상한치로 할당 되었다고 가정하자. 이때 탄소배출량 및 바이오디젤 도입 비용 등을 감안한 경제적인 이익을 비교하였다. 경유의 발열량은 1L=9050kcal, 경유의 탄소배출량과 바이오디젤의 탄소배출저감량은 표1, 표2에 제시된 값을 사용하였고, 연료가격은 표3에 제시된 값(최대값 적용)을 사용하였다.

2.4.2 사례연구2

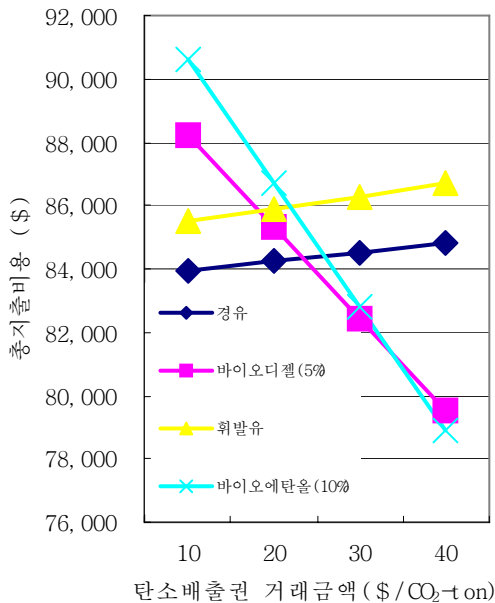
효율이 48%인 발전기로 연간 1000MW를 생산하는 기업에게 탄소배출량의 95%만이 배출 상한치로 할당 되었다고 가정하자. 이때 탄소배출량 및 바이오에탄올 도입 비용 등을 감안한 경제적인 이익을 비교하였다. 휘발유의 발열량은 1L=8000kcal, 휘발유의 탄소배출량과 바이오에탄올의 탄소배출저감량은 표1, 표2에 제시된 값을 사용하였고, 연료가격은 표3에 제시된 값(최대값 적용)을 사용하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 여러 분산발전방식의 효율 및 탄소배출량을 비교해보고 추가적으로 탄소배출량을 감소시킬 수 있는 방안을 모색해 보았다. 그 중에서 다른 분산발전원에 비해 상대적으로 효율은 좋지만 탄소배출량이 많은 디젤엔진방식의 개선 방안을 고려하였다. 기존 화석연료 대신 신재생에너지를 사용하였을 때의 탄소배출량 저감량과 그에 따른 경제적 이익을 분석하였으며, 탄소배출량 저감에 따른 탄소배출권 획득과 신재생에너지를 사용하였을 때와 기존연료를 사용하였을 때의 비용의 변화를 제시하였다. 따라서 본 논문의 결과와 같이 기존의 연료와 비교해 효율면에서도 성능이 좋고, 탄소배출량은 저감할 수 있는 신재생에너지 도입을 체계화하면 탄소배출권 시장에서 탄소세 부과에 따른 비용편익 분석의 유용성을 보다 높일 수 있을 것으로 기대한다.

[참 고 문 헌]

[1] 배정환, “바이오연료의 보급전망과 사회적 비용·편익 분석”, 에너지경제연구원, 2006  
 [2] D. L. Greene, S. Plotkin and K.G. Duleep, “The Potential for Energy-Efficient Technologies to Reduce Carbon Emissions in The United States: Transport Sector”, Energy Conversion Engineering Conference, p2114~2119, 1997  
 [3] 오시덕, “분산전원 기술의 현황과 미래”, 전력전자학회지, 제8권 제6호, p11~15, 2003  
 [4] 강희찬, “한국형 바이오 연료의 가능성 평가 및 시사점”, 삼성경제연구소, 2007  
 [5] 김현진, 강희찬, 박준 “탄소시장의 부상과 비즈니스 모델”, 삼성경제연구소, 제630호, 2007  
 [6] Shankar Karki, Michael D. Mann, and Hossein Salehfar, “Substitution and Price Effects of Carbon Tax on CO<sub>2</sub> Emissions Reduction From Distributed Energy Sources”, Power Systems Conference: Advanced Metering, Protection, Control, Communication, and Distributed Resources, p236~243, 2006



〈그림 1〉 사례연구1-2 결과 그래프