

고효율 인버터의 확산모형 및 회피비용 분석에 근거한 적정지원금 산정

백정명¹ 이병하 김정훈 황성욱 원종률
인천대 홍익대 안양대

Determination of a proper subsidy based on analysis of diffusion model and avoided cost of high efficiency inverters

Jung-Myoung Baek¹, Byung Ha Lee, Jung-Hoon Kim, Sung-Wook Hwang, Jong-Ryul Won
University of In-Cheon Hong-Ik University An-Yang University

Abstract - 전 세계적으로 에너지 소비가 지속적으로 증가하고 BRICs 국가들의 경제 발전으로 인하여 빠르게 에너지가 감소하고 있다. 또한 에너지후협약에 따른 온실가스 감축에 대해 관심이 증가되고 있는 가운데 에너지효율을 높이기 위한 노력이 증가되고 있다. 고효율 인버터는 에너지절감 가능부하 전동기에 인버터를 설치하여 회전속도를 감소시킴으로써 소요 동력이 회전수의 3승에 비례해서 감소해 에너지를 크게 절감할 수 있는 기기이다.

본 연구에서는 고효율 인버터의 확산모형과 인버터 설치시 회피비용에 근거하여 적정한 지원금 산정 방안을 분석하여 제시한다.

1. 서 론

인버터는 3상 유도전동기의 속도를 제어하는 장치로서 공장 자동화에 있어 핵심제품이다. 현재 각종 생산 설비와 공조 설비에 많은 인버터가 사용되고 있다. 또한 인버터는 에너지 절약 분야에도 사용되고 있다.

고효율 인버터는 에너지절감 가능부하 전동기에 인버터를 설치하여 회전속도를 제어함으로써 전력소비를 절감하는 기기이다. 계절과 시간 혹은 생산 상황에 따라 부하가 변동하여 줄어드는 경우 전동기의 회전수 제어를 수행하여 회전수를 줄여주면 소요 동력이 회전수의 3승에 비례해서 감소해 에너지를 크게 절감할 수 있게 되고, 결과적으로 에너지 효율을 높이는 역할을 한다. 최근 2,3년간 공장자동화 분야의 수요가 제자리걸음을 하고 있는 반면 에너지 절감 분야는 매년 2배 성장률을 나타내고 있어, 고효율 인버터에 대한 관심도 높아지고 있다. 현재, 고효율 인버터 보급을 확산시키기 위하여 고효율 에너지기자재로 인증된 고효율인버터를 설치하는 고객에게 전력산입기반금으로 절감전력 kw당 19만원의 보조금을 지원하고 있다. 특히, 에너지 절감 분야에 공급되는 인버터는 수익성이 높은 고효율, 대용량 제품이어서 앞으로 관련 시장을 이끌어가는 주력 제품으로 부상할 전망이다.

2. 본 론

2.1 Bass 확산모형에 의한 고효율 인버터의 보급 추정

고효율 인버터의 확산 동향을 예측하기 위하여 Bass 확산 곡선을 사용하고, 장려금 지원제도 제도가 다양하게 변하여 온 것을 반영하여 혁신계수 β 가 변하는 것으로 모델링을 하여 아래의 식을 제안하였다. 모방계수 q 는 일정하다고 가정하였다.

$$N(t) = m \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p(t)} e^{-(p+q)t}} \quad (1)$$

$$p = (p_0 + a \cdot \ln A) (1 - \exp(-\frac{B_{lim}}{b})) \quad (2)$$

$$q = q_0 \quad (3)$$

$$0 < p, 0 < q, 0 < p+q \leq 1 \quad (4)$$

ln 자연로그

exp 지수함수

a, b 상수

B_{lim} 지원 상한액

$$A = \frac{\text{기존가격}}{\text{기존가격} - \text{리베이트}}$$

$a = 0.00037, b = 24400000, p_0 = 0.00001, q_0 = 0.569$ 의 값이 적용되었다.

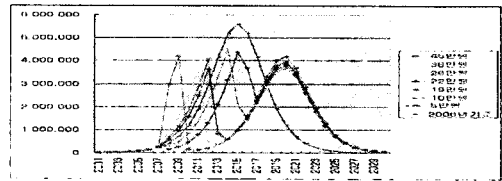


그림 1. 개별적으로 퍼크치에 도달하였을 때 지원금을 중단한 경우 분포확산 모형

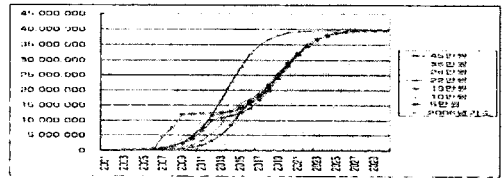


그림 2. 개별적으로 퍼크치에 도달하였을 때 지원금을 중단한 경우의 누적 확산 모형

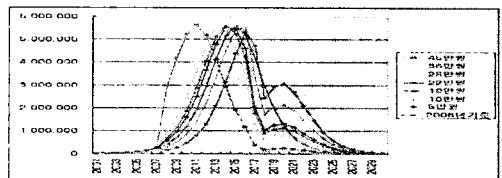


그림 3. 10년간 지속적으로 지원금을 지급하고 중단한 경우 분포확산 모형

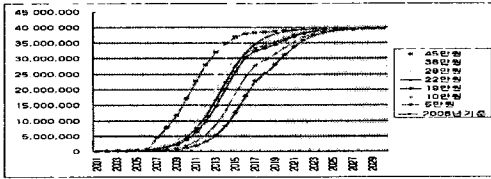


그림 4. 10년간 지속적으로 지원금을 지급하고 중단한 경우 누적확산 모형

결과를 통해 알 수 있는 것은 지원단가를 현재보다 감소시킬 경우 보급량이 분포곡선의 피크치에 도달하여 지급을 중단한 다음 보급량이 급격히 떨어지는 정도가 지원단가를 늘려주는 것보다 더 적게 떨어진다. 이것은 잠재 시장에서 보급량의 급감으로 받는 충격이 더 적다는 의미로 좋은 특성이다.

그리고 분포곡선의 피크치에 도달하는 것과 상관없이 10년간 지속적으로 지원금을 지급하다가 중단하는 경우 현재보다 지원금을 증가시킬 때 훨씬 빨리 보급이 이루어진다 하지만 현실적으로는 예산 부족으로 어렵다. 때문에 지원 단가를 낮추고 확산모형의 피크치에 도달하기 전에 지원금을 점차 축소하여 중단하는 것이 현실적으로 가장 효과적인 것으로 판단된다.

2.2 회피비용 분석

<캘리포니아 표준테스트 프로그램>

● 내용 - 에너지절약과 부하관리제도 운영시 사용하는 프로그램으로 전력회사, 참여자, 비 참여자, 총자원의 4개 평가요소 편익/비용을 분석하여 지원금 수준 결정에 활용

● 평가방법

- 4개 평가요소의 편익/비용 지수가 1이상이면 제도시행 여건 충족
- 비참여자(RIM) 테스트는 리베이트 지급으로 비참여자가 받는 영향도로 순편익값이 최대가 되도록 지원금 수준을 결정하는 것이 효과적임

2.2.1 인버터 회피비용 분석

에너지절약과 부하관리제도 운영시 전력회사, 참여자, 비 참여자, 총자원의 4개 평가요소의 편익/비용을 분석하여 지원금수준 결정에 활용하는 프로그램인 캘리포니아 표준테스트 프로그램을 사용하여 고효율 인버터의 회피비용 분석과 함께 경제성 분석을 수행한다.

보급된 고효율 인버터의 평균 용량은 약 30 kW인 것으로 나타났으므로 근사적으로 이를 기준으로 하여 적용한다. 30kW 인버터 설치비용은 4,824 천원으로 현재 보조금 지급 수준인 절감전력 kW당 19만원 지급은 인버터 설치비용의 약 40%의 수준에 해당한다.

(1) 인버터 보급시 발전량 및 부하 절감
30kW 인버터 1대의 보급시 발전량 및 부하 절감량은 아래와 같다.

(가) 발전량 절감

- 고효율 인버터 평균부하 : 30kW
- 인버터 설치시 평균부하 : 19.8kW (평균부하*(1-절감율) : 34%)
- 절감부하 : 10.2kW
- 연간 전력 절감량 : 38,301kWh (10.2kW*3,755h)
- 연간 사용 시간 : 3,755h (산업용 전동기 보급 실태 조사 분석 2002. 12 산자부)
- 발전량절감 : 38,301kWh/(1-0.07014) = 41190 kWh/년

$$\text{평균손실률} = [(\text{송배전손실률} + \text{소내전력율(LNG)} - (\text{송배전손실률} * \text{소내전력율})) : 0.05 + 0.0212 - (0.05 * 0.0212)] = 0.07014$$

(나) 인버터시스템에 의한 계통부하 절감

$$= [10.2\text{kW}/(1-0.07014)] * 0.55 = 6.033\text{kW}$$

- 철두시 수용율 : 55% (전동기 보급실태조사 자료활용 산출)

(2) 인버터 보급시 회피비용

캘리포니아 표준테스트의 전력회사, 참여자, 비참여자, 총자원의 4개 평가요소의 편익/비용의 분석에서는 인버터의 보급대수에 따른 변화가 없으므로 인버터 보급대수는 중요하지 않다. 그러나 회피비용의 전체 양을 추론하기 위하여 아래에서는 30kW 인버터 20,000대의 보급을 가정하고 계산한다.

(가) 설비회피 비용

- 1대당 설비회피비용 = kW당 회피비용 * 절감전력
= 207,141원/kW * 6.033kW = 1,249,681원
- 발전 : 115,221 원/kW, 송배전 : 77,810 원/kW, 배전 : 14,110원/kW
- 경제수명 : LNG 30년, 송배전 30년
- 현재가치로 환산한 회피비용 : 1,249,681원/대 * 8.559 * 20000대 = 213,920백만원
- 연금현가계수

$$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0.08)^{15} - 1}{0.08(1+0.08)^{15}}$$

회사측 : 8.559, 수용가측 : 7.606

-할인율 : 한전 8%, 수용가 10%, 인버터수명 : 15년

(나) 연료회피비용

- 연간 연료회피비용 : 102.946원/kWh * 41190 kWh/년 * 20000 = 84,807백만원/년
- 연료비 : 102.946원/kWh(2007년 LNG 연료비 단가)
- 현재가치로 환산한 회피비용 : 84,807백만원 * 8.559 = 725,862 백만원

(3) 인버터 보급시 지원금액, 요금 및 기기설치 비용

- (가) 지원금액 : 30kW 인버터 설치비 * 40% * 20000 대 = 4,824 천원 * 0.4 * 20000 = 38,592백만원
- 설치비 : 4,824 천원 (2006년 기준 설치단가)

(나) 요금수입 감소

- 연간요금 수입감소액 : 41190 kWh/년 * 62.24원/kWh * 20000 = 51,273 백만원/년
- 요금단가 : 62.24원/kWh(2007년 산업용평균단가)
- 15년간 요금감소 현재가치
- 한전수입감소 : 51,273 백만원/년 * 8.559 = 438,848 백만원
- 수용가요금감소 : 51,273 백만원/년 * 7.606 = 389,982 백만원

(다) 수용가 기기설치비용 (30kW용 인버터1Unit, 1제어판넬 기준)

- 설치비 : 4,824 천원 * 20000대 = 96,480백만원 (2006년 기준 설치단가)

(4) 비용편익 분석

전력회사, 참여자, 비참여자, 총자원의 4개 평가요소 편익/비용을 분석하여 4개 평가요소의 편익/비용 지수가 1 이상이면 제도시행 여건은 충족된다. 위의 분석 내용을 종합 정리하여 표로 나타내면 아래 <표 4.3.31>과 같다. 고효율 인버터의 설치비용이 감소하고 있으며 전기요금과 연료비는 상승하고 있으므로 고효율 인버터의 경제성은 매우 높아 졌다. 가장 낮은 값인 비참여자의 편익/비용 지수가 1.96이 나오고, 전력회사와 참여자의 편익/비용 지수가 4.0 이상의 높은 값이므로 단순 경제성 평가에서 보면 현 지원 수준이 상당히 높은 것으로 분석된다.

표 1. (a) 인버터의 비용 편익 분석

구분	UC	P	RIM	TRC	
전력회사	회피비용	213,920	-	939,782	939,782
	기기비용	-	-	-	-
	관리비용	-	-	-	-
	리베이트	38,592	38,592	38,592	-
	수입감소	-	-	438,848	-
참여자	기기비용	-	96,480	-	96,480
	요금	-	389,982	-	-
	감소	-	-	-	-
총편익(B)	213,920	428,574	939,782	939,782	
총비용(C)	38,592	96,480	477,440	96,480	
순편익	175,328	332,094	462,342	843,302	
B/C	5.54	4.44	1.96	9.74	

(b) 항목별 적용사항

구분	UC (전력회사)	P (참여자)	RIM (수용가영 향도)	TRC (총자원)
총편익(B)	설비회피비	리베이트+ 참여자요금 감소	설비회피비 +연료회피비	설비회피비 +연료회피비
총비용(C)	리베이트	참여자 기 기비용	리베이트+ 요금감소	참여자 기 기비용

위의 단순 경제성 평가에서는 현 수준의 보조금 지급으로 이득이 아주 많은 것으로 평가되고 있고, 실제 보조금 액수가 높은 것은 사실이므로 보조금을 낮추는 것은 타당한 것으로 판단된다. 그러나 경제성 평가에서 고려하지 못하는 부분으로서 인버터의 주파수를 50Hz와 55Hz로 고정시킴으로써 본래 고유의 인버터 기능에 제한을 가하기 때문에 큰 불편함을 감수한다는 점이다. 이 점을 경제성 평가에서는 고려할 수 없다. 또 효율 개선 대상 기기인 팬이나 펌프의 모터에 비하여 인버터가 몇 배로 비싸다는 점도 단순한 경제성 평가만으로는 선뜻 고효율 인버터 보급이 확산되기 어려운 점이 있다. 따라서 보조금은 줄이더라도 어느 정도의 보급이 확산될 때까지는 고효율 인버터의 보조금 지급이 이루어져야 한다.

경제성 평가의 결과는 아래의 <표 2>와 같다.

표 2. 인버터의 개선 방안 요약

비용회 수 기간	B/C 테스트 결과	보급곡 선 위치	장려금 지원수 준	최저효 율제 도입시 점	기타 문제점
1.3년	RIM=1.9 6, P=4.4 4	초기	감액필 요	2014년	대용량 위주 보급과 고조파 문제

3. 결 론

단순 경제성 평가에서는 인버터의 주파수를 50Hz와 55Hz로 고정시키는 불편함의 제약을 고려할 수 없고, 효율 개선 대상 기기인 모터에 비하여 인버터가 몇 배로 비싸다는 점 때문에 단순한 경제성 평가만으로는 선뜻 고효율 인버터 보급이 확산되기 어려운 점이 있다. 따라서 보조금은 줄이더라도 어느 정도의 보급이 확산될 때까지는 고효율 인버터의 보조금 지급이 이루어져야 한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-150) 주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, 전동기 보급실태조사, 1994
- [2] 에너지관리공단, 산업용전동기의 보급실태 조사분석, 2002
- [3] 한국전력공사, 고효율기기 가이드북, 2006