

인버터 DSM 프로그램의 경제성평가

이학주\* 권성철\* 최병윤\* 이승윤\*\*  
 \* 한전 전력연구원 \*\* 한전 수요관리실

Economic Analysis of Inverter DSM Program for Inverter

Lee HakJu\* Kwon SeongChul\* Choi ByoungYun\* Lee SeungYun\*\*

\* KEPRI (Korea Electric Power Research Institute) \*\* KEPCO (Korea Electric Power Corporation)

**Abstract** - The electric demand increase, financial need for new power plant constructions and environmental problem have led to search for more efficient energy production and energy conservation technology. To minimize the construction of power plants and reduce total power consumption include installation of inverters to motors used for pumps and fans. However, the high price of inverters is the biggest obstacle to their wide use. Accordingly, to maximize the effect of energy saving by the expanded use of inverters, governmental economic support as well as the analysis of energy saving effect. This paper presents the cost-effectiveness analysis for DSM program evaluation and case study to analyze inverter DSM program.

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{N_2}{N_1} \tag{1}$$

$$H_2 = H_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \tag{2}$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \tag{3}$$

또, 전동기의 회전수(N)은 식(4)와 같이 전원주파수에 비례하게 된다.

$$N = \frac{120 \times f [Hz]}{p [극수]} \times (1-s) [rpm] \tag{4}$$

따라서 인버터를 이용하여 전원주파수를 제어하면 펌프, 블로어, 팬의 에너지를 절감할 수 있다.

1. 서 론

수요예측과 관련된 불확실성의 증대, 전원 입지난의 가중, 장기 전원계획상의 설비 확충에 따른 막대한 자금 소요 및 환경문제에 의해 에너지의 효율적인 이용과 전력수급 안정화가 국가적인 에너지정책에 있어 시급한 과제로 제기되고 있다. 전력산업의 경제, 사회적인 변화로 전력수급계획에서 공급측 관리에 의한 공급력 확보보다는 수요관리 자원의 중요성이 크게 부각되고 있다.

국내 소비전력의 60%를 전동기 부하가 점유하고 있고, 제조 및 생산용 전력의 66%를 소비하는 전동기의 에너지 절감이 필수적이다. 2승저감 부하는 부하용량의 시간적 변화에 대응하여 전동기를 가변속 제어하는 것이 적극적인 절감방안이나 초기 투자비에 대한 부담감과 관련기술 및 홍보부족에 의해 보급률이 극히 저조할 뿐만 아니라 수용가가 신뢰하고 설비투자를 할 수 있을 만한 국가적인 표준규격도 정립되어 있지 않은 상황에서 인버터의 확대보급에 의한 에너지 절감효과를 극대화하기 위해 인버터 기술규격 및 평가기술 기준은 물론 확대보급을 위한 정부 주도하의 지원프로그램을 구축하여 인버터의 국내 기술력 향상, 전력사용자의 합리적인 전력수요 절감을 유도하며 전력회사 측면에서는 전월설비 투자규모 축소 및 전력공급 비용 절감에 의한 경영효율 증진을 기대할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 인버터 확대보급 사례연구를 통하여 2승 저감도모크 부하 유도전동기의 가변속제어에 의한 에너지 절감을 위해 인버터 확대보급 DSM 프로그램의 비용효과 분석모형을 구성하고, 캘리포니아 표준평가방법에 의한 비용효과분석 및 민감도 분석에 의해 지원금의 적정 수준을 제시하였다.

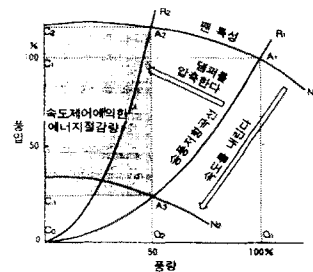
2. 인버터에 의한 에너지 절감원리

식(1)~식(3)과 같이 펌프, 팬, 블로어의 유체기계는 회전수를 변화시키면 유량(풍량:Q), 양정(풍압:H), 소요동력(P)은 각각 회전수의 1제곱, 2제곱, 3제곱에 비례한다.

2.1 팬부하의 에너지 절감

[그림1]는 2승저감 부하인 팬의 풍압-풍량 특성곡선이다. 그림에서 팬의 동작점은 송풍저항곡선 R<sub>1</sub>과 팬의 특성곡선 N<sub>1</sub>의 교점 A<sub>1</sub>이 된다. A<sub>1</sub>은 100% 풍량(정격)시 동작점을 표시하고 있으며, 동력은 풍량과 풍압의 곱에 비례하므로 C<sub>0</sub> Q<sub>1</sub> A<sub>1</sub> C<sub>1</sub>으로 둘러싸인 면적이 된다. 풍량을 50%로 제어하기 위해 댐퍼를 닫으면 송풍저항곡선은 R<sub>1</sub>에서 R<sub>2</sub>로 변화하여 동작점은 A<sub>2</sub>로 이동한다. 이때의 소요동력은 C<sub>0</sub> Q<sub>2</sub> A<sub>2</sub> C<sub>2</sub>의 면적이 된다.

인버터로 제어할 경우 팬의 특성이 N<sub>1</sub>에서 N<sub>2</sub>로 변화하므로 동작점은 A<sub>3</sub>로 이동하게 되어 소요동력은 C<sub>0</sub> Q<sub>2</sub> A<sub>3</sub> C<sub>3</sub>가 된다. 여기서, 면적의 차 C<sub>2</sub> A<sub>2</sub> C<sub>3</sub> A<sub>3</sub>가 절감할 수 있는 에너지에 해당된다.



[그림1] 팬의 풍량-풍압 특성

3. DSM 프로그램의 분석

3.1 고효율기기 보급 프로그램 분석방법

수요관리제도의 선정은 제도의 시행에 따른 비용과 편

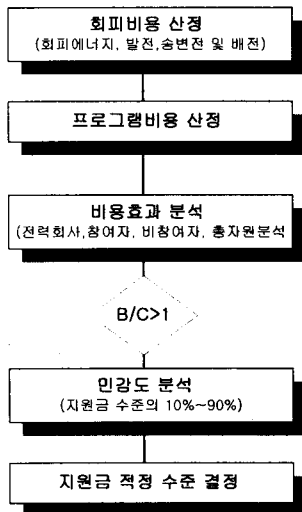
익의 영향을 분석하여 선정하여야 한다. DSM 프로그램의 비용효과 분석에 있어 "캘리포니아 표준테스트(California Standard Test)"가 미국을 중심으로 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 캘리포니아 표준평가방법은 참여자 비용은 고려하지 않고 전력회사의 비용측면만을 고려하는 전력회사 비용테스트(UC Test), 프로그램의 참여자 관점에서 프로그램 시행에 따른 직접비용과 편익을 비교함으로써 참여 동기를 부여하는 참여자 테스트(P Test), DSM 프로그램으로 인한 비참여자의 관점을 심사하는 수용가 영향도 테스트와 참여자 및 비참여자의 종합적인 효과를 측정하는 총자원비용 테스트(TRC Test)로 구성되어 있으며, 각각의 편익-비용요소는 <표1>과 같다.

<표 1> 표준평가 테스트별 구성요소

		UC	P	RIM	TRC
전력회사	회피비용	+		+	+
	기기비용	-		-	-
	프로그램 관리비용	-		-	-
	인센티브/리베이트	-	+	-	-
	요금수입 감소			-	
참여자	기기비용		-		-
	요금지불 감소		+		

(+) : 편익, (-) 비용

[그림2]는 고효율기기 보급 프로그램의 경제성평가 절차로 캘리포니아 표준평가방법을 사용한다. 회피에너지, 발전, 송변전 및 배전비용을 산정하며, 인센티브는 수용가 투자비용의 일정비율 지급을 전제로 하여 지원금 적정 수준을 결정한다.

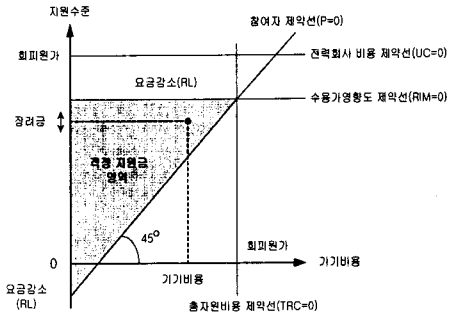


[그림2] 고효율기기 프로그램 분석절차

[그림3]는 프로그램 추진비용과 전력회사 기기비용을 "0"으로 가정한 네가지 비용효과 테스트의 상호관계를 나타내고 있다. 어두운 부분이 네가지 비용효과 테스트를 모두 만족하는 영역이므로 이는 전력회사 입장에서 고효율기기 보급을 위해 지급하는 인센티브 또는 리베이트 등의 수요관리비용 투자한도 범위이며, 참여자의 입장에서는 참여자 한계선의 첫부분에 해당하는 경우 참여하는 것이 경제적이다. 특히, 수용가 영향도 테스트의 편익/비용이 "1"보다 적게되면 장기적으로 에너지 공급비용 증가에 따른 요금인상이 불가피하게 된다.

### 3.2 인버터 DSM 프로그램의 비용효과

본 논문의 수요관리 자원은 2층 저감 토오크 부하에 적용된 7.5~55kW의 산업용 유도전동기의 가변속제어를 위한 인버터 시스템이다. 그러나 인버터는 사용자의 운전패턴, 부하특성에 따라 다르고, 같은 부하특성이라도 운전시간대 및 업종에 따라 소비전력 및 전력사용량이 다양하여 보급 시나리오의 구성과 경제성평가에 어려움이 있으므로 본 논문에서는 인버터의 최대출력주파수를 50[Hz]와 55[Hz]로 제한하여 기준절감율을 <표2>와 같이 산정하여 경제성평가를 수행하였다.



[그림3] DSM 비용효과 테스트의 상호관계

<표 2> 인버터 최대출력주파수별 전력절감율

기준주파수	제한주파수	전력절감율	소요전력
60[Hz]	50[Hz]	37.8%	$(\frac{f}{F})^{2.6} = (\frac{N}{N'})^2$
	55[Hz]	20.2%	

고효율기기 보급 프로그램은 피크부하 및 에너지 절감에 기여하므로 전력회사 회피비용 산정에 있어 발전설비 수명을 25년, 설비예비율 17% 및 소내소비율(=0.0212), 송변전 및 배전 손실율(=0.05)을 고려하여 피크부하용 LNG 복합발전을 적용, 회피송변전 및 배전비용은 부하 증분 평균송배전비용을 산정하는 평균증분비용(AIC)방식을 이용하여 산정하였으며 <표3>과 같다.

<표 3> 회피비용 (LNG 복합)

발전	송변전	배전	1kW당 회피연료비
115,211원/	77,810원/k	14,110원/k	44.2원/kWh

경제성평가에 이용될 것을 위한 전력회사 및 수용가의 할인율과 연금현재가계수는 <표4>와 같다.

<표 4> 할인율과 연금현재가계수

구분	할인율	연금 현재가계수
전력회사	8%	8.559
참여자	10%	7.606

가중평균용량 18.77kW 인버터의 보급 수량은 수용가 부담 기기비용의 20%를 전력회사가 특별지원금으로 지급한다는 가정하에 식(5)의 Lawrence-Lawton 확산함수를 이용하여 추정하였다. <표5>는 확산함수 파라미터이다.

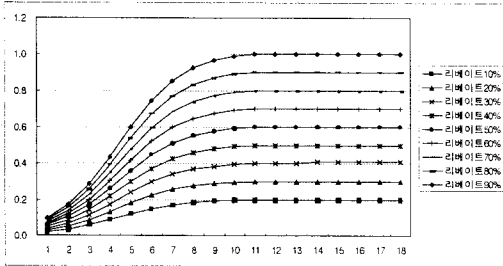
$$S(t) = \frac{1+P}{1 + \frac{1}{P} e^{-R(t+\tau)}} - P \quad (5)$$

여기서,  $S(t)$  : t년도에 누적된 채택 규모  
 $P$  : 초기시장 파라미터 (0.1~1%)  
 $R$  : 확산율  
 $v$  : 시장성속도

<표 5> 확산합수 파라미터

확산율	초기치	정보과급효과	시장성속도
0.65	0.003	0	3

[그림4]는 인버터의 리베이트 수준과 채택율을 고려한 확산합수의 형태로 리베이트와 채택율의 관계는 일반적인 추세를 반영하였다.



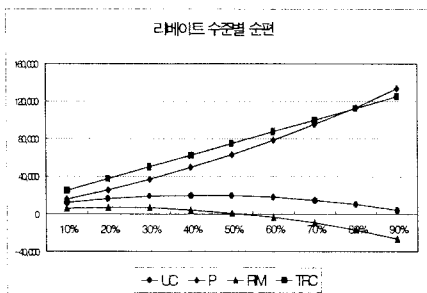
[그림4] 리베이트와 채택율을 고려한 확산합수

[표6]은 2001년 3,036대의 인버터 보급을 가정, 리베이트를 수용가 기기비용의 20%로 가정한 경우의 비용-편익 요약이다. 4가지 테스트 모두 편익/비용이 "1"을 초과하여 인버터 DSM 프로그램이 경제적 효과가 있음을 보여주고 있다.

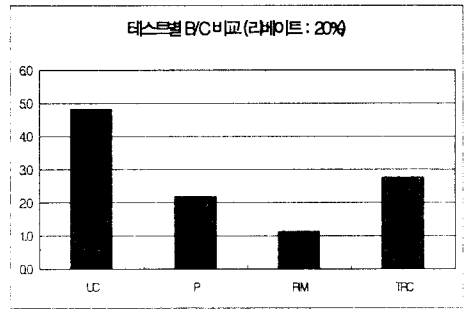
<표 6> 비용-편익 요약

(단위: 백만원)				
전력회사	회피비용	20,319	58,509	58,509
	기기비용	-	-	-
	관리비용	-	-	-
	인센티브	4,221	4,221	4,221
수입감소	수입감소	-	47,331	-
	기기비용	-	21,104	21,104
참여자	요급감소	-	42,061	-
	총 편익	20,319	46,262	58,509
총 비용	4,221	21,104	51,552	21,104
순 편익	16,098	25,178	6,957	37,405
B/C	4.81	2.19	1.13	2.77

적정 지원금 수준을 결정하기 위해 수용가 기기비용의 10~90%까지 리베이트 수준을 변화시켜 민감도 분석을 한 결과수용가 기기비용의 20%를 리베이트 수준으로 설정한 경우 RIM 테스트의 순편익이 최대가 된다. 리베이트 수준을 증가시키면 P 및 TRC 테스트의 순편익이 증가하나 전력회사의 수입감소에 대한 보상을 위해 UC 테스트의 회피비용은 회피설비비용만을 고려하였으므로 50%수준에서 순편익이 최대가 된다.



[그림5] 리베이트 수준별 순편익



[그림6] 비용/편익 (20% 리베이트)

[그림5]와 [그림6]의 민감도 분석결과에서와 같이 2001년 3,036대의 인버터가 보급을 위해 전력회사가 수용가 기기비용의 20%를 리베이트로 제시하는 경우 프로그램의 경제적 효과가 양호하여 프로그램을 통해 기보급과 확산을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

<표 6> 리베이트 적정 수준

절감전력 kW당 지원금액	지원금액 수준	
	총투자비	인버터Unit
198천원	20%수준	50%수준

[표 6]은 본 논문의 시산결과로 제시한 인버터 적정 지원금 수준이다.

전력회사의 지원금 수준 결정은 수용가영향도 (RIM) 테스트를 기준으로 전력회사가 편익을 극대화하는 수준에서 손실을 최소화하는 수준까지 지원하는 방법이 가능하다. 따라서 인버터 DSM프로그램의 리베이트 수준이 수용가 기기 비용의 20~50% 범위를 기준으로 하는 것이 바람직하다. 또한, 정확하고 신뢰성 있는 지원범위 설정을 위해 비용지표에 대한 다양한 변동폭 설정과 조합을 통해 민감도 분석하고 이를 기반으로 확고한 지원금 수준을 설정할 수 있을 것이다.

#### 4. 결 론

본 논문은 2층 저감 토오크 부하용 유도전동기를 인버터에 의해 가변속제어함으로써 수용가의 합리적인 전력소비 창출과 동시에 에너지 절감효과에 의한 전력수요 관리를 위하여 캘리포니아 표준평가방법에 의해 인버터 DSM 프로그램의 비용효과를 분석, 적정 지원금 수준을 제시하였다. 향후 정확하고 신뢰성이 확보된 DSM 효과 분석을 위해서는 분석기법 및 시행에 대한 지속적인 연구를 병행하여 우리실정에 적합한 DSM프로그램 개발, 절차와 기법의 정립, 데이터의 구축과 분석 및 전산모형 개발 등의 연구가 활성화 되어야 할 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 한전 전력연구원, "전동기 가변속제어용 인버터 시험 및 평가기술 기준 연구", 2001
- [2] 한국전기연구소, "수요관리제도의 지원금 수준 적정성 연구", 1999.
- [3] 박종진, "DSM 프로그램의 비용효과 분석 및 적용", 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp.692~694, 1996
- [4] 김봉진, 이상우, 박수익, 박연홍 "국내 천연가스 수요관리의 경제성 분석 : 고효율 가스보일러 도입 사례연구", 한국에너지공학회 논문지, 제7권 1호, pp.1~6, 1998.