

자본회수계수를 고려한 고효율 생산설비의 경제성분석

(Economic Analysis of High-Efficiency Production Facilities using Capital Recovery Factor)

박형준* · 정찬수

(Hyung-Joon Park · Chan-Soo Chung)

요 약

제조업에서 생산설비에 사용되는 중요한 에너지원 중 하나는 전력에너지이며, 에너지 다소비 업종의 생산설비 즉, 플랜트에서는 사용하는 에너지의 절감과 효율 운전은 매우 중요한 관심사항이다. 본 논문에서는 생산 플랜트의 한 공정에서 가장 빈번히 사용되는 유도전동기를 모델로 하여 실제 진단, 계측을 통하여 측정값을 얻고, 기존의 운전 중인 설비들을 고효율 기기로 교체하였을 경우의 경제성을 분석하였다. 이를 위해서 현재 운전 중인 설비와 고효율설비로 교체하였을 경우에 대하여 각각 설비들의 연간 운전비용과 자본회수계수에 의한 연간 투자비용을 계산하였고, 이를 합산한 연간 총 운용비용을 비교하여 고효율설비의 경제적 타당성을 입증하였다.

Abstract

This paper is about the economic analysis of the replacement of electric facilities in the production facilities. As the interest of energy is increasing, the efficiency of facilities become more important. So, in this paper, we diagnosed facilities, especially electric motors, in the plant and calculated the operating efficiency, power loss with the load factor. And when we replace these facilities into high-efficiency motors, we also calculated new energy efficiency, energy loss and economic analysis through capital recovery factor. As a result, we economically proved that using high-efficiency motor is more beneficial than using non-high-efficiency motors in the model process.

Key Words : Efficiency, Electric Energy, Capital Recovery Factor, Voltage unbalance, Production Facilities

1. 서 론

최근의 에너지에 대한 관심은 대체에너지와 고효

율 설비에 대한 관심과 사용을 증대시키고 있다. 이는 에너지의 주요 소비 주체인 산업계 스스로의 필요성 뿐 아니라, 특히 정부차원의 고효율기기 인종 정책과 장려정책 등에 의해 산업계에서 기존 설비들에 대한 효율개선과 고효율 설비로의 교체에 대한 큰 자극이 되고 있다. 고효율 설비로 교체하였을 경우의 경제적 이득과 개선된 에너지 효율을 산정하기 위하여는 대상을 선정하여야 하는데, 가정용의 경우

* 주저자 : 숭실대학교 전기공학과 박사수료
Tel : 02-817-0004, Fax : 02-817-7661
E-mail : hpark@ssu.ac.kr
접수일자 : 2007년 6월 15일
1차심사 : 2007년 6월 21일
심사완료 : 2007년 6월 29일

자본의수계수를 고려한 고효율 생산설비의 경제성분석

에 사용주체의 수가 매우 많고, 개별관리가 어려운 단점이 있는 반면, 산업용 설비는 설비가 집중되어 있고 효율과 에너지 사용의 감시, 통계 및 분석이 용이하다는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 운전 중인 생산설비에서 내에서 고효율설비 사용 시의 경제성을 분석한다.

생산설비에서의 에너지 절감과 효율운전을 위한 가장바람직한 사항은 각종 설비의 도입 시부터 적절한 용량의 고효율 설비를 도입하여 운전이 이루어져야 하지만, 생산설비의 건설 시의 운전조건과 실 운전시의 조건이 바뀔 수 있고, 설비의 증설, 유지보수, 폐기 등의 상황이 발생하므로, 실제로는 생산설비 건설 시에는 운전시의 변경상황을 고려한 건설을 하기 어려운 것이 업계의 현실이다. 따라서 이미 운전 중인 일반 설비의 운전현황과 효율을 파악하고, 고효율 설비로의 교체 시의 소요비용과 예상효과를 검토하는 과정이 필요하다. 그 과정은 설비의 종류에 따라 매우 다양하고, 광범위하다.

2. 본 론

2.1 유도전동기의 효율

다양한 플랜트마다 수많은 다양한 생산설비들이 존재하고 있지만, 생산설비 중 가장 대표적인 설비는 3상 유도전동기(이하 전동기)이다. 전동기는 회 전력을 직접 얻기 위하여 단독 운전되는 경우도 있으나, 주로 전동기-펌프, 전동기-송풍기 등의 조합 형태로 다른 설비를 운전시키기 위한 구동원으로 사용된다. 전동기의 효율분석방법은 우선, 관리자가 몇몇 중요한 자료를 측정하여 운전일지에 기입하고 간단히 계산하면 되는데, 계산식은 항상 동일하므로, 간단한 프로그램을 작성하여서 결과를 만들 수도 있다. 또한 전동기 출력력에 적절한 값들을 대입하여 출력, 효율 등을 계산할 수 있다[1-2].

전동기의 효율은 정격 전압, 전류, 용량으로 계산이 가능한데, 이는 전동기의 효율운전 여부와 관계 없이 전동기의 정격을 파악함으로써 가능하다. 그러나 실제 운전시의 효율은 다르다. 즉 운전 시에는 각 조건에 따라서 정격과는 다른 전압, 전류, 용량으로

운전하게 되므로 반드시 전동기의 운전 중에 전압, 전류, 역률 등을 측정하여 해당 전동기의 운전시의 용량과 부하율 등을 계산해야 한다. 일반적인 생산 설비에서는 생산품이 변경되지 않는 한 전동기는 비교적 장시간 연속 운전을 하는 경우가 대다수이므로 정상 운전 상태에서 해당 전동기에는 일정한 전압, 전류가 유지된다고 볼 수 있다. 운전시의 전동기 운전용량을 계산하면, 이미 알고 있는 제작사의 정격 용량과 비교하여 전동기의 정격용량 대비 백분율을 계산할 수 있다. 이를 부하율이라고 하며 경우에 따라서 때때로 현장에서는 용량부하율이라고도 불린다[1-5].

그림 1은 전동기의 부하에 따른 효율특성의 예이다. 효율특성곡선은 전동기의 종류별, 부하별 다소 차이가 있으나 보통 아래 그림과 유사한 모양을 갖는다. 보통 유도전동기에서의 최대 효율은 정격부하의 3/4부하일 때 정도인데 이 값도 제조사별, 제작용량별로 다소 차이를 갖으며, 전(Full)부하일 때는 효율이 이보다 약간 작은 경우가 보통이다. 부하율이 낮아지게 되면 전동기의 운전효율은 저감하는데, 50[%]이하의 부하율에서 저감하기 시작하여 약 1/4 부하 이하로 운전하게 될 때에는 효율은 매우 낮아지게 된다.

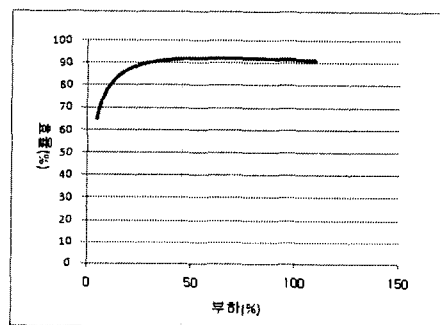


그림 1. 전동기의 효율특성곡선의 예
Fig. 1. The efficiency characteristic curve of Motor

전동기는 운전 시에 동손, 철손, 기계손, 표류부하 손등의 손실에 의해서 효율이 저하되는데, 보통 동손에 의한 손실이 가장 크고 철손, 기계손 등의 손서로 크기가 작아지는 것으로 이해되고 있으며, 제조

사가 제공하는 정격들을 파악한다면, 대략적인 효율 특성을 파악할 수 있다[6-7].

전동기의 효율을 계산할 때 전압불평형률이 함께 고려되기도 하는데, 이는 전압불평형률이 설비의 온도상승과 손실증가를 야기하기 때문이다. 또한 전압 불평형률에 의한 전동기의 손실증가율은 전압불평형률의 크기 따라서 전압불평형률의 자승에 비례하는 정도로 알려져 있다. 따라서 전압불평형률이 클 수록 그에 따른 손실은 무시할 수 없으며, 운전효율의 계산에 포함시켜야 한다. 전압불평형률은 여러 가지로 정의되는데 대표적으로는 정상전압에 대한 역상전압의 비율로 정의된다. 또한 평균 상전압(또는 선간전압)에 대한 최대 전압편차로 정의되기도 한다. 이를 식으로 표현하면 다음 식 (1)과 같다[8, 10].

전압불평형률 =

$$\frac{\text{평균 상(선간)전압으로부터 최대 전압편차}}{\text{평균 상(선간)전압}} \times 100 \quad (1)$$

이와 유사하게 전류불평형률도 평균전류에 대한 최대전류편차로 정의할 수 있다. NEMA 등의 규격에서 전압불평형률은 1[%]를 넘지 않는 것이 권고되며, 5[%]이상일 때는 전동기를 사용하지 말 것을 권고하고 있다. 또한 전압불평형률이 1[%]이상일 때는 설비보전 등을 통해서 그 값을 저감시키는 것을 추천하고 있다[8]. 또한 측정된 3상전류 값을 적용하여 식 (1)과 유사하게 전류불평형률을 계산할 수도 있다. 일반적으로 전류불평형률은 전압불평형률에 비해 6에서 10배 정도 큰 것으로 알려져 있으며 경우에 따라서 설비의 보전여부를 판단할 때 전압불평형률의 보완적 요소로 고려되기도 한다. 전압불평형률이 비교적 적은 경우에도 전류불평형률이 큰 경우가 존재하며 이 경우 선로나 설비의 보전이 필요하다고 판단할 수 있다.

2.2 공정에서 설비의 계측 및 계산

본 논문에서는 각 전동기마다 정격, 전압, 전류를 파악 및 계측하여 운전효율을 구하고 전동기들의 불평형률을 계산하였다. 다음 표 1에는 편의상 3상 평

균전압, 평균전류만을 표현하였으며 기타 계측 및 계산 값들의 전체 결과를 보여 준다. 본 논문에서는 편의상 계측시간 현재, 해당 공정에서 운전 중인 전동기중 소용량의 전동기를 제외한 특정 용량이상 대표적인 전동기 9기에 대하여 계측 및 계산하였다. 예를 들어 본 공정에서 1번 전동기는 부하율 58.7[%]로 운전 중인데 이때의 전동기의 효율은 91.7[%]이다. 따라서 손실전력은 약 5.4[kW]로 계산된다. 이와 같은 과정을 운전 중인 모든 전동기에 적용하여, 본 공정의 전력에너지의 효율과 손실전력을 계산할 수 있다.

표 1. 전동기 계측 및 계산 값

Table 1. The calculation of motors on the process

번 호	정격 및 계측 값(평균)				계산 값				
	정격 용량 [kW]	전부하 효율 [%]	계측 전압 [V]	계측 전류 [A]	입력 [kW]	부하율 [%]	운전 효율 [%]	손실 전력 [kW]	출력 [kW]
1	110	93.0	396.6	125.3	64.6	58.7	91.7	5.4	59.2
2	55	91.7	444.8	35.5	19.7	35.8	90.0	2.0	17.7
3	55	91.7	445.9	35.2	19.3	35.1	89.8	2.0	17.3
4	45	91.7	445.5	38.7	18.8	41.8	90.8	1.7	17.1
5	30	90.2	447.5	23.6	11.2	37.2	87.1	1.4	9.8
6	37	91.7	361.4	29.9	13.1	35.4	88.6	1.5	11.6
7	37	91.7	356.1	26.0	10.1	27.3	86.4	1.4	8.7
8	30	90.2	387.6	26.2	12.6	42.2	88.0	1.5	11.1
9	11	87.5	407.0	13.6	7.4	67.0	87.3	0.9	6.5
계	410				176.8			17.8	159.0

단, 정격전압은 모두 440(V)

표 1의 전체를 요약하면, 본 공정의 전체 전동기들의 정격용량은 410[kW]이고 전체 사용 중인 부하용량은 약 177[kW]이고 각 전동기들의 해당 설비비용에서 손실전력의 합은 약 17.8[kW]이고 이에 따른 전체 전동기들의 운전 효율은 약 90[%]로 산정된다. 표 1에는 편의상 3상 전압, 전류의 평균값만을 기입하였으며 각 상 전압에 의해 계산한 전압불평형률을 적시하지 아니하였지만, 각 상 전압으로 계산한 전압불평형률은 모든 전동기에서 0.3[%]이하로 계산되었다. 이는 규격(NEMA)의 권고 값 1[%]이내를 충분히 만족하며 전압불평형률에 의한 손실전력은

자본회수계수를 고려한 고효율 생산설비의 경제성분석

수십 와트 미만으로서 운전효율계산에 거의 영향을 미치지 못하였다. 따라서 전체 전동기들의 효율은 전체 부하용량과 전체 손실전력에 의하여 약 89[%]로 산정되었으므로 전력 단가를 60.25[원/kWh]라 하고 본 설비가 연간 330[일](연간 운전시간 7,920[시간]) 가동되는 설비라고 할 때, 이 전체 전동기들에서 발생하는 연간 손실 금액은 8,494[천원]에 이른다 [9-10].

다음의 표 2는 위 표 1의 현재 사용 중인 전동기 대신에 동일 용량의 고효율 전동기를 사용할 경우 예상 되는 운전 효율과 손실전력을 정리한 표이다. 고효율 설비는 효율이 높으므로 일반설비와 동일 출력을 내기 위하여 필요한 전력이 적다. 따라서 표 2는 표 1에서 이미 계산한 공정 내에서 운전 중인 일반 전동기들의 실제 출력전력을 이용하여, 고효율전동기가 일반전동기와 동일한 출력을 낼 때의 입력, 손실전력 등을 계산한 것이다. 이 경우에도 표 1의 계산의 경우와 마찬가지로 교체하려고 하는 국내 한 제조사의 개별 고효율 전동기의 정격효율에 의해 파악한 효율특성으로 각각 운전효율과 손실전력을 계산하였다. 따라서 표 2의 상황은 실제 계측상황이 아니므로 계측 값은 존재치 아니한다.

표 2. 동일 용량의 고효율 전동기 계산 값
Table 2. The calculations of high-efficiency motors which have the same capacities in the table 1

번호	고효율 전동기 정격			계산 값			출력 (kW)
	용량 (kW)	전부하 효율 (%)	3/4 부하 효율 (%)	입력 (kW)	운전 효율 (%)	손실 전력 (kW)	
1	110	95.4	95.5	62.1	95.3	2.9	59.2
2	55	95.0	95.2	18.8	94.0	1.1	17.7
3	55	95.0	95.2	18.4	93.9	1.1	17.3
4	45	95.0	95.2	18.1	94.4	1.0	17.1
5	30	94.1	93.6	10.9	90.2	1.1	9.8
6	37	94.1	93.6	12.9	89.8	1.3	11.6
7	37	94.1	93.6	9.9	87.5	1.2	8.7
8	30	94.1	93.6	12.2	91.1	1.1	11.1
9	11	92.4	93.4	6.9	93.7	0.4	6.5
계				170.3		11.3	159.0

단, 정격전압은 모두 440(V)

표 1과 표 2의 결과를 비교하면 동일 공정의 전동기들을 고효율설비로 교체하였을 경우 손실전력의 절감량은 약 6.5[kW]이다. 이 손실 절감 전력은 작은 량처럼 보이지만 연중 지속적으로 운전하는 생산설비에서는 그 누적량이 매우 크게 되며, 이에 대하여 2.4절에서 자세하게 다룬다.

전동기 제작시의 용량(전동기 명판 기재)과 전동기의 사용 용량을 계측하여 비교함으로써 현재 사용 중인 전동기의 적정운전 여부를 판단할 수 있다. 이에 따라서 현재 사용 중인 전동기의 유지 보수 계획, 나아가서 향후 전동기 교체시의 새로운 전동기의 용량을 결정하는 기준을 제시할 수 있다. 표 1에서 볼 수 있는 것처럼 플랜트에서는 전동기의 정격용량과 운전용량의 차이가 큰 경우가 많으므로 이 경우 전동기들은 유지, 보수, 교체 계획이 반드시 필요하다고 볼 수 있다. 하지만 거의 대다수의 경우, 위에서 계산한 연간 손실금액을 모두 없앨 수는 없으므로, 일반적으로 설비이용률이 약 50[%]이상이라면 무난한 운전 상태로 판단하기도 한다. 필요에 따라서 좀 더 자세한 계산을 위해서는 전동기 각상의 직류성분, 고조파왜곡 등을 계측 또는 계산하여 운전 중인 전력설비의 효율운전, 유지 보전 등의 여부를 평가하고 국제규격을 만족하는가를 비교 판단하기도 한다.

2.3 자본의 미래가치와 자본회수계수

본 논문에서 예를 들고 있는 생산설비의 공정에서는 이미 살펴본 바와 같이 약 17.8[kW]의 전력손실이 발생한다. 손실 값이 매우 크지는 않지만 본 설비의 특성상 연중 계속해서 일일 3교대로 생산설비가 가동 중이므로 이 손실전력량은 무시할 수 없는 에너지가 된다. 따라서 향후에 설비의 유지, 보수 또는 전동기의 교체 시에 기존의 일반 전동기 대신 고효율 전동기를 사용하게 되면 손실전력이 감소하여 경제성 측면에서 유리하게 되며, 이에 대한 판단이 필요하다. 이는 단순히 고효율 전동기의 초기 투자비용이 설비의 사용에 따른 손실전력량 절감에 의해서 몇 년 후에 회수되는 가에 대한 것뿐 아니라, 이율을 고려한 현 투자비용을 미래가치로 환산하는 과정을 포함해야 한다.

경제성 분석과 관련하여, 회계학이나 경제성공학 등에서 널리 사용되고 있는 가장 기본적인 관계식 중의 하나는 이자율과 시간과의 관계를 정하는 것이다. 즉 설비의 교체를 위해서 사용한 현재의 투자비용과 미래의 특정한 시점의 투자비용이 서로 같다고 하더라도 실질적으로 두 금액은 현재의 이자율과 시간 차이 만큼 서로 다른 크기의 금액으로 판단할 수 있다. 이를 현재금액의 미래가치라고 하며, 또 그 반대관계는 미래금액의 현재가치라고 불리는데, 이 두 관계는 서로 역관계에 있으며 이를 표현하면 다음 식 (2), (3)과 같다[11].

$$\text{현재가치} = \text{미래가치} \times (1+i)^{-N} \quad (2)$$

i : 이율[%]
 N : 계산기간[년]

$$\text{미래가치} = \text{현재가치} \times (1+i)^N \quad (3)$$

i : 이율[%]
 N : 계산기간[년]

그렇다면 설비 교체를 위해서 현재 투자한 금액은 교체한 설비의 사용기간 동안 얼마만큼의 투자비로 환산하여 고려할 수 있는가에 대한 고찰이 필요하다. 왜냐하면 위 식 (2)와 (3)에서 설명한 것처럼 현재 투자비용은 미래에는 다른 크기의 가치이며 이를 설비의 총 사용기간에 따라서 균등하게 나누어서 표현해야만 당해 연도의 환산 투자비용을 계산할 수 있기 때문이다. 이를 자본회수계수(CRF : Capital Recovery Factor)라고 한다[11].

$$\text{연간 소요 금액} = \text{현재금액} \times \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \quad (4)$$

i : 이율[%]
 N : 계산기간[년]

식 (4)에서 자본회수계수는 현재금액과 곱해지는 대괄호[]내의 값이다[3]. 이는 은행에서 기간 N 년 동안, 이율 i 로 현재금액을 빌렸을 때 매년 은행에 갚아야 하는 금액을 계산하는 것과 동일한 개념이다. 즉 현재의 설비 투자비용은 결국 설비의 사용기간 동안 모두 없어지는데(사용기간 종료 후 설비의 잔존가치가 없을 경우), 이를 연간으로 환산하여 당해

연도의 투자비용으로 환산할 수 있다는 것이다. 예를 들어 현재의 투자비용 10,000[천원]으로 배전급변압기를 구입하여 20년간 사용하고(20년 후 변압기의 잔존가치는 없음) 이율이 5[%]로 고정 값일 때, 자본회수 계수를 고려한 20년 동안 연간 소요금액은 위 식 (4)에 의해 802[천원/년]이다.

2.4 고효율 설비의 경제성

전 절에서 살펴본 것과 같이 고효율설비로의 교체에 필요한 투자비용은 해당 설비의 사용기간 동안 환산하여 분배해야만 연간 투자비용이 계산되는데, 따라서 본 생산설비의 전동기가 어느 기간 정도 사용되는가가 중요한 사항이다. 그러나 전동기의 수명은 운전 환경 조건에 따라 매우 편차가 크므로 명확한 해답은 어렵다. 하지만 일반적으로 전동기의 수명을 결정하는 가장 중요한 요소는 사용온도, 정확하계는 권선온도로 알려져 있다. 즉 권선온도가 10[°C] 상승할 때 절연수명이 1/2로 감소하고 따라서 전동기의 수명도 대략 1/2로 감소하는 것으로 알려져 있다. 또한 전동기의 절연등급에 따른 예상수명 곡선으로부터 대략적인 수명을 판단할 수 있다[12]. 본 논문에서 계측한 전동기의 실제 운전 환경 조건은 생산설비에서의 건조공정과 그 전후 공정이므로 주위온도를 고려한 권선온도를 140[°C]로 고려하였다. 또한 절연등급은 F종이므로 예상수명곡선으로부터 전동기의 평균 연속운전수명을 약 60,000시간(약 7.5년) 정도로 산정하고 투자비용의 이율을 년 5[%]라고 할 때 고효율 전동기들에 대한 자본회수계수를 사용하여 연간 소요금액을 계산하였다[12]. 본 공정에서 계산한 전동기가격의 전체 합은 일반형일 때 21,680[천원]이고 고효율형일 때 30,950[천원]으로 초기 투자비용의 차이는 9,342[천원]으로 가정하였다.

다음의 표 3에서 본 논문의 모델 공정에서 이미 설치되어 운전하고 있는 전동기와 동일 용량의 고효율 전동기의 손실, 효율, 연간 투자비용, 전력사용에 따른 연간 운전비용을 비교하였다. 표 3의 투자비용은 전동기의 초기 구입 시의 가격을 식 (4)의 자본회수계수를 적용하여 예상수명을 7.5년으로 환산한 경우

자본회수계수를 고려한 고효율 생산설비의 경제성분석

의 연간 소요금액이다. 또한 전체 비용을 바탕으로 하여 본 공정의 투자비용을 포함한 단위 전력당 당 비용을 계산할 수 있고, 공정에서 사용 중인 전동기를 고효율전동기로 모두 교체하였을 경우 경제적인 최소한의 운전시간을 구할 수 있다.

표 3. 기존전동기와 고효율전동기의 비용비교
Table 3. The cost comparison between general motors and high-efficiency motors with considering CRF

번호	정격		일반 전동기				고효율 전동기			
	용량 [kW]	입력 [kW]	운전 효율 [%]	투자 비용 [천원 /년]	운전 비용 [천원 /년]	입력 [kW]	운전 효율 [%]	투자 비용 [천원 /년]	운전 비용 [천원 /년]	
1	110	646	91.7	987	30,826	62.1	95.3	1,126	29,642	
2	55	19.7	90.0	514	9,400	18.8	94.0	620	8,985	
3	55	19.3	89.8	514	9,210	18.4	93.9	620	8,791	
4	45	18.8	90.8	408	8,971	18.1	94.4	465	8,644	
5	30	11.2	87.1	240	5,344	10.9	90.2	294	5,184	
6	37	13.1	88.6	274	6,251	12.9	89.8	334	6,164	
7	37	10.1	86.4	274	4,820	9.9	87.5	334	4,745	
8	30	12.6	88.0	240	6,012	12.2	91.1	294	5,814	
9	11	7.4	87.3	75	3,531	6.9	93.7	96	3,310	
계		176.8		3,526	84,365	170.3		4,183	81,280	
				87,891				85,463		

2.2절에서 고려한 것처럼 전력 단가를 60.25[원 /kWh]라 하고 본 설비가 연간 330[일] 가동되는 설비라고 가정하면 연간 운전시간은 7,920[시간]이다. 예를 들어 1번 전동기의 경우 운전 중인 일반 전동기의 경우 환산 투자비용이 987[천원/년], 운전비용이 30,826[천원/년]으로 총 운용비용이 31,813[천원/년]이지만, 고효율 전동기일 때는 환산 투자비용이 1,126[천원/년], 운전비용이 29,642[천원/년]으로 총 운용비용이 30,768[천원/년]이므로 약 1,045[천원/년]의 총 운용비용이 절감된다. 따라서 이 금액이 전동기의 사용기간인 7.5년 동안 지속적으로 절감된다고 볼 수 있다. 표 3의 전체적인 결과로써 기존의 전동기의 경우의 총 운용비용은 87,891[천원/년]이고, 고효율 전동기의 경우 85,463[천원/년]으로 운용비용

이 약 2,428[천원/년] 절감된다고 판단된다. 본 논문에서는 운전비용과 전동기 초기 투자비용 외에 설치, 수리 및 각종 보전비용은 고효율인 경우에도 동일하다고 가정하여 운용비용의 계산에서 제외하였다.

또한 본 논문의 전동기에서 연간 운전시간이 길면 길수록 고효율 전동기의 절감량이 증가하므로 경제적인 이득이 증가한다. 따라서 연간 운전시간이 변화할 때의 총 운용비용을 비교해 보면, 전동기들이 연간 약 1,650[시간]이상 운전할 때에만 고효율전동기에서의 연간 총 운용비용이 더 경제적인 것으로 판단되었다. 본 공정은 상시 운전되는 공정이므로 필요한 최소한의 운전시간을 충분히 상회하기 때문에 고효율기기로 설비 교체시의 충분한 경제성을 갖추었다고 판단된다.

3. 결 론

본 논문에서는 설비(특히 전동기)를 고효율 설비로 바꾸었을 때 경제적 이득을 손실전력량과 투자비용의 자본회수계수를 고려하여 계산하였다. 이를 위하여 한 생산설비에서 운전 중인 전동기들의 계측값으로 전동기의 사용전력과 손실을 계산하였고, 이 설비들을 고효율 전동기로 교체 시의 증가한 투자비용을 연간 투자비용으로 환산하고, 손실저감에 따른 사용전력요금의 절감액도 연간 환산하여 공정전체의 연간 총 운용비용을 간략하게 계산하였다.

예로 든 공정에서 운전 중인 일반 전동기의 연간 운용비용은 투자비용 3,526[천원/년], 운전비용 84,365[천원/년]으로 총 운용비용은 87,891[천원/년]이었으나, 이를 모두 고효율 전동기로 교체하였을 경우는 투자비용 4,183[천원/년], 운전비용 81,280[천원/년]으로 총 운용비용은 85,463[천원/년]으로 감소되며 전동기가 운전되는 기간 동안 총 운용비용 2,428[천원/년]이 절감된다. 따라서 향후 본 공정에서 전동기 교체 시에는 반드시 고효율 전동기로 교체하는 것이 경제적이라고 판단되며, 이 계산과정은 향후 타 플랜트의 고효율기기 교체시의 경제성분석에도 동일하게 적용 가능한 것으로 판단된다.

References

- [1] 박형준, 정찬수 외, "플랜트의 에너지 효율산정에 관한 연구", 한국 조명전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp. 329 - pp. 333, 2006.
- [2] 박형준, 정찬수, "생산설비에서 에너지효율 선정", 한국 조명전기설비학회 논문지, 2007. 07.
- [3] 新 전기설비 기술계산 핸드북 제2판, 도서출판 의제, 1999.
- [4] 한국전기공사협회, "전기 용어 사전", 2007.
- [5] Turan CÖnen "Electric Power Distribution System Engineering", McGraw-Hill Book Co., 1986.
- [6] 현대중공업, web site 內 기술자료, <http://hyundai-elec.com/new/kor/costomer>.
- [7] SADC Industrial Energy Management Project, "Module 6 Electric Motors".
- [8] P. Pillay, M. Manyage, "Definitions of Voltage Unbalance", IEEE Power Engineering Review, May 2001.
- [9] 한국전력공사 "한국 전력 통계", p.134, 2006년판.
- [10] U.S. Department of Energy, "Eliminate Voltage Unbalance", Motor system tip sheet #7, Sep. 2005.
- [11] 박찬석, 김규태, 최성호 "경제성공학", 영지문화사, 2004.
- [12] 효성중공업, web site 內 기술자료 <http://motor.hyosung.co.kr>.
- [13] U.S. Department of Energy, Fact sheet, "Determining Electric Motor Load and Efficiency".

◇ 저자소개 ◇

박형준 (朴亨俊)

1969년 9월 26일생. 1992년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 박사수료. 1994-2000년 (주)효성중공업연구소 책임연구원보. 현재 플랜트 컨설턴트로 활동 중.

E-mail : hpark@ssu.ac.kr

정찬수 (鄭讚壽)

1949년 8월 10일생. 1972년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1980년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학부 교수.

E-mail : chung@ssu.ac.kr