기계 엔지니어가 본 고효율 인버터 적용사례

한용환
(pi314159@unitel.co.kr)
YTO에너지(주)진단기술부 이사 · 유체기계기술사

Pump, Fan, Blower 등의 유체기계는 회전수를 변화시키면 그 유량(또는 풍량), 양정(또는 풍압), 동력이 각각 회전수의 1제곱, 2제곱, 3제곱에 비례한다.《(1), (2), (3)식 참조》

▶(註) 이후 유량 및 풍량은 유량(Q)으로, 양정 및 풍압은 양정(H)으로, 동력은 L로 표기한다.

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{N_2}{N_1} \quad \cdots\cdots (1)$$

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

$$L_2 = L_1 \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \quad \cdots\cdots (3)$$

또, 전동기의 회전수(N)는 (4)식과 같이 전원주파수에 비례한다.

$$N = \frac{120 \times \text{전원주파수(Hz)}}{\text{전동기 극수}} \times (1-S)\,(\text{rpm}) \quad \cdots\cdots (4)$$

▶여기서, S는 전동기의 Slip이며, S=0인 경우는 동기회전수임.

그러므로 인버터를 사용하여 전원주파수를 제어하면 Pump, Fan, Blower 등에서 에너지를 상당히 절감시킬 수 있음에 틀림없다. 그러나 위의 교과서적인 공식들 가운데에는 우리가 간단히 생각하면 안될 부분들이 있다. 필자는 인버터 제조업체의 근무자가 아닌 ESCO업체에 근무하는 기계를 전공한 엔지니어의 입장에서, 인버터의 적용 사례에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

1. 적용 대상

인버터는 고가이므로 에너지절감이 확실히 예상되는 곳에 사용하여야 하며, 또 인버터를 사용하지 아니하고도 에너지절감이 가능한지를 검토하여야 한다.

인버터는 유량, 양정의 변동이 심한 부하로서 밸브(또는 댐퍼)로 유량을 제어하고 있으며, 연간 가동시간이 3,000시간 이상 되는 경우에 검토 · 적용하면 에너지절감 효과를 볼 수가 있다. 그러나 아래의 2.항의 예들은 잘못 적용한 사례이며 신중히 선정할 필요가 있다.

2. 잘못 적용한 사례

1) 초기 설계시의 과대한 여유 또는 설비의 증설 등으로 부하가 변동되어 용량(유량 및 양정)이 크게 되어 있으며 운전점의 변동폭이 적은 경우

인버터를 사용하여도 에너지절감은 가능하나 인버터에 의한 종합효율 저하도 발생[1]하므로, 변경된 운전점에 맞도록 임펠러의 외경 Cutting, 임펠러의 교체 또는 운전점에 맞는 기기로 교체하는 것이 비용도 적게 들고 에너지절감도 더 크다. 또한, 펌프나 송풍기의 성능은 회전수가 크게 변하면 위의 (1)~(3)식의 적용이 곤란해진다.

따라서, KS B 6301(원심펌프, 축류 펌프 및 사류펌프의 시험 및 검사방법)에는 ±20%의 회전수 변화범위 내에서 성능변화를 위의 식으로 환산[2]할 수 있다고 언급하고 있다.
이는 회전수가 크게 변하게 되면 펌프 내의 유동상태가 모두 상사가 되어도, 내부의 수력손실(마찰, 충격, 누설)과 기계적 손실의 전양정 및 축동력에 대한 비율이 변하기 때문이다.

2) 항상 밸브 또는 댐퍼로 유량을 조정한 상태로 고정시켜 사용되는 유체기계 위의 2-1항과 동일함.

3) 전양정에서 실양정이 차지하는 비율이 큰 경우
펌프의 전양정은 실양정과 관로손실의 합이다. 펌프(송풍기도 마찬가지임)는 유량-양정곡선과 저항곡선의 교점에서 운전된다. 따라서 관로의 길이가 짧은 경우에는 전양정의 대부분을 실양정이 차지하게 되어 저항곡선은 거의 수평으로 되며 유량이 변동되어도 전양정의 변화가 거의 없으므로 회전수제어를 하면 양정이 저하되어 양수 불능 상태가 되거나, 운전점의 효율이 최고효율점에서 멀어져 에너지절감을 기대하기 어렵게 된다.

(註) (1) 4.항 참조
(2) 시험에 의하면 회전수변화에 따른 양정의 변화는 비교적 적지만, 효율, 동력 및 NPSH의 변화는 크다.

4) 전양정은 거의 일정하고 유량만 변동되는 경우
실양정이 크고 일정하며 관로가 짧은 경우로 이러한 경우에는 가동익 임펠러를 사용하거나 병렬로 대수제어를 하는 것이 좋다.

5) 유량은 일정하고 전양정이 변동되는 경우
서해안과 같이 해수의 수위 변동에 따른 양정변화가 큰 곳에 사용되는 Pump에서 유량을 거의 일정하게 사용하는 경우에는 회전수를 낮추면 펌프는 최고효율점에서 멀리 떨어진 - 효율이 낮은 -점에서 운전되므로 펌프의 직렬운전 등 다른 방법을 검토해 보아야 한다.

6) 유량을 대수제어로 하고 있는 경우
관로의 길이가 긴 곳에서 유량을 대수제어할 경우 각 운전점은 효율이 좋지 않은 점에서 운전되므로, 인버터에 의한 제어가 이상적이지만, 상기의 (2-3) 및 (2-4)에 해당한 경우가 아닌지 검토해 보아야 한다.

7) 유량이 과대하게 커서 운전 및 정지를 반복하는 경우
요구되는 유량보다 크므로 일정시간 운전 후 정지를 반복하는 경우, 예를 들면 유량에 2배의 여유가 있어 30분 운전 후 30분 정지를 반복하는 경우에 인버터를 적용하면 적용 전에 비하여 30% 정도의 동력으로 충분하다. 그러나 유량 및 양정을 운전점에 맞추어 펌프(또는 송풍기)를 교체하면 25% 정도의 동력이 소비되며, 또한 인버터 비용보다도 저가로 설비교체가 가능할 수 있다.

8) 고압 전동기를 사용하고 있는 경우
고압 인버터는 상당히 고가이므로 유체커플링 등과 경제성을 비교해 보는 것이 좋다.

9) 고수위의 저수조 (예를 들면 정수장 등)에 양수하는 경우
일반적으로 관로의 길이가 길지만 실양정도 크므로 인버터로 제어를 하는 것보다 전력단가가 싼 심야전력(23.20원/kWh)을 이용하는 것이 경제적일 수 있다.

3. 적용 예

흡입Vane으로 제어하고 있는 집진기용 ID Fan을 인버터제어로 변경할 경우에 대하여 검토하고자 한다.

▶Fan : 976m³/min×220mmAq
▶연간 운전시간 : 8,760시간/年(=24시간/日×365日/年)
▶운전조건 : 총운전시간 중 100% 풍량으로 운전하는 시간이 15%, 70% 풍량으로 운전하는 시간이 85%임.
▶전동기의 효율 : 90.5%(55kW-4P-380V)
▶전력단가 : 47.04원/kWh(산업용병고압A선택2 적용)

Fan의 제어방법에 따른 소비동력은 (표1)과 같다.

표1.FAN의 제어방법에 따른 소비동력 비교

단위:KW(입력측의 유효전력)

풍량(%)	흡입Vane제어	인버터제어
50%	37.4	10.5
60%	39.8	17.0
70%	42.9	26.6
80%	46.7	38.9
90%	53.2	54.2
100%	73.6	73.6

(註). 상기의 표1의 값은 지면관계상 계산 결과만을 나타내었음.

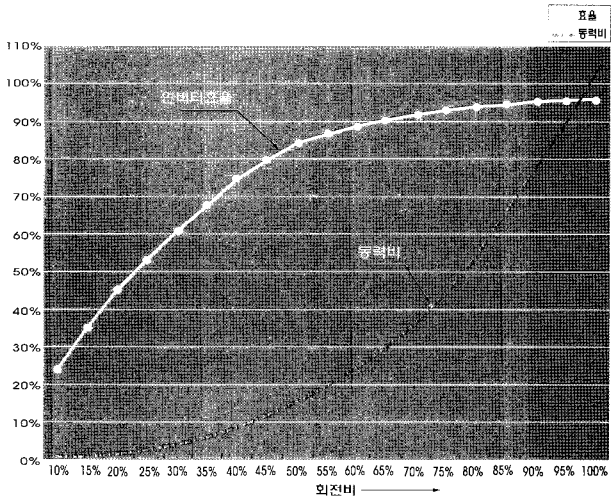
(1) 흡입Damper제어의 경우의 소비동력
연간소비동력=73.6kW×1,314시간+42.9kW×7,446시간=416,144kWh
(2) 인버터제어의 경우의 소비동력
연간소비동력=73.6kW×1,314시간+26.6kW×7,446시간=294,774kWh
(3) 연간전력비 절감금액=(416,144-294,774)kWh/年×47.40원/kWh=5,752,938원/年
(4) 설비투자금액 : 14,000,000원
(5) 투자회수기간=14,000,000원÷5,752,938원/年=2.4年

4. 인버터의 효율

회전비 별 인버터의 효율은 (그림1)과 같다.
(그림1)에서 동력비(%)는 인버터를 사용하지 아니하였을 때의 동력을 100%로 하여 다음의 (5)식으로 계산한 값이다.

$$\text{동력비(\%)} = \frac{(\text{회전비(\%)})^3}{\text{인버터효율(\%)}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5)$$

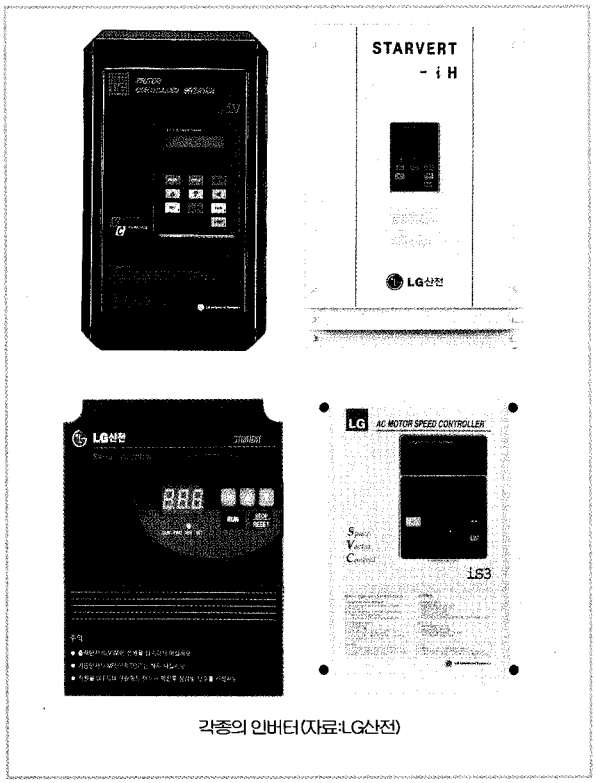
그림1.회전비별 인버터 효율 및 동력비



(註).상기의 회전비 별 인버터효율은 에너지관리공단에서 1999년도에 실시한 GEF운동 마켓세미나 및 ESCO사업설명회시 배포한 자료에서 인용하였음.

5. 인버터의 설비투자비용

인버터의 설비투자비를 인버터System 및 설치공사비로 나누어 표기하면 (표2)와 같다.



각종의 인버터 (자료:LG산전)

6. 결론

에너지절감을 위하여 설비투자를 검토할 경우 일반적으로 설비투자금액의 크기로 결정하는 경우가 많으나 원래의 목적이 에너지절감인 만큼 절감금액을 함께 감안한 투자회수기간이 짧은 것으로 결정하는 것이 가장 효과적인 방안이라 하겠다.

여기에서는 인버터에 의한 에너지절감 사례를 지면관계상 간단히 설명할 수 밖에 없었다.

유체기계의 소비동력은 1.항의 (3)식에서도 알 수 있듯이 회전수의 3제곱에 비례하므로 효율이 높은 인버터에 의한 회전수제어방법은 에너지를 절감시킬 수 있는 가장 좋은 방법이다.

일반적으로 인버터는 전기기기로 구별되어 전기 엔지니어에 의해 상기의 (1)~(3)식 등을 적용하여 대충 검토되는 경우가 많으나, 인버터를 Pump, 송풍기 등 유체기계에 적용할 경우 기계의 특성을 알고 있는 엔지니어에 의하여 제대로 적용하지 아니하면 크게 낭패를 볼 수가 있으므로 전문가에게 의뢰하여야 소기의 목적을 달성할 수 있을 것이다.

표2. 인버터System의 가격 및 설치공사비 (단위:천원)

전압1	전압2	kW	인버터	설치공사
220V	230V	3.7	2,500	500
		5.5	3,500	500
		7.5	5,000	700
		11	5,500	700
		15	6,000	1,000
		19	6,500	1,000
		22	7,000	1,000
		30	7,500	1,500
		37	9,000	1,500
		45	10,000	2,000
		55	11,000	2,000
		75	20,000	2,500
		90	25,000	2,500
380V	480V	3.7	2,500	500
		5.5	3,500	500
		7.5	5,000	700
		11	5,500	700
		15	6,000	1,000
		19	6,500	1,000
		22	7,000	1,000
		30	7,500	1,500
		37	9,000	1,500
		45	10,000	2,000
		55	12,000	2,000
		75	20,000	2,500
		90	25,000	2,500
		110	28,000	4,000
		132	31,000	4,000
		150	35,000	6,000
		200	42,000	8,000
		220	50,000	10,000
		280	60,000	15,000
		375	90,000	20,000
		450	130,000	30,000
		550	200,000	40,000
2,970V	3,630V	150	80,000	15,000
		200	80,000	15,000
		220	80,000	15,000
		280	100,000	25,000
		375	110,000	25,000
		450	180,000	30,000
		550	280,000	35,000
		750	320,000	50,000
		1,100	360,000	60,000
		1,500	450,000	80,000
		2,000	520,000	80,000
		3,000	600,000	100,000
		5,000	1,000,000	150,000
		7,500	1,300,000	150,000
		10,000	1,600,000	200,000
		15,000	2,200,000	250,000
		20,000	3,000,000	300,000
5,940V	7,260V	150	80,000	15,000
		200	80,000	15,000
		220	80,000	15,000
		280	100,000	25,000
		375	110,000	25,000
		450	180,000	30,000
		550	280,000	35,000
		750	320,000	50,000
		1,100	360,000	60,000
		1,500	450,000	80,000
		2,000	520,000	80,000
		3,000	600,000	100,000
		5,000	1,000,000	150,000
		7,500	1,300,000	150,000
		10,000	1,600,000	200,000
		15,000	2,200,000	250,000
		20,000	3,000,000	300,000

(註). 상기의 금액은 에너자관리공단에서 1999년도 실시한 GEF운동 마켓세미나 및 ESCO사업설명회시 배포한 자료에서 인용하였음.