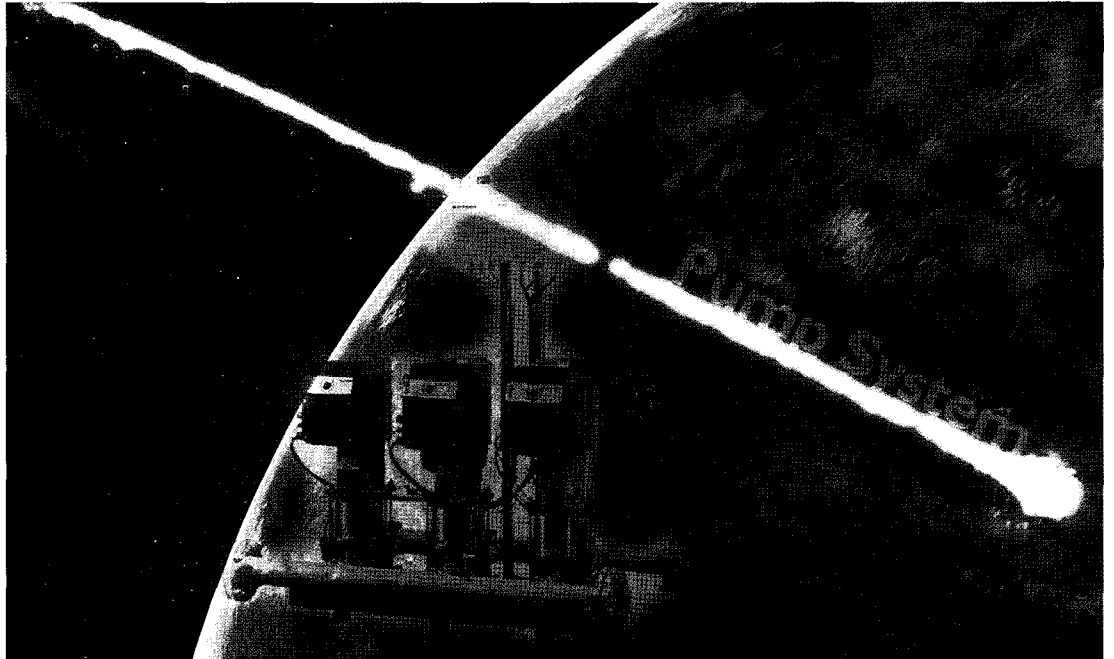




이상수 대표이사
(주)에스코프로
sangsoo@esco-posco.co.kr



1 서론

펌프는 다양한 종류와 넓은 적용성으로 주설비 또는 보조설비로써 산업 전반에 폭넓게 사용되고 있다. 펌프는 구입비나 관리비보다 운영비가 대부분을 차지하는 에너지다소비 설비중의 하나이나, 초기 도입 시 부하에 부적절한 펌프를 선정하거나, 매개 유체상태의 불량, 또는 장기간 사용으로 인한 효율저하로 인하여 최고 운전점을 벗어나 운전되는 경우가 많다. 국내 산업 에너지 사용량 중 펌프가 사용하는 에너지가 20%를 상회하는 만큼 펌프가 최적으로 운전되도록 유지하는 것은 에너지절약 및 경제적 관점에서 매우 중요하다.

펌프 성능 및 운전상태를 파악하기 위한 진단에 있어서 전통적인 수력학적인 방법은 오리피스, 피토투브, 노즐, 또는 초음파유량계 등을 사용하여 유량을

측정하고, 펌프를 지나는 유체의 압력상승과 동력을 측정한다. 이상적인 계측기 선정과 측정을 통하여 펌프의 성능을 파악할 수도 있으나 대부분의 현장에서 운영중인 펌프에 있어서는 계측기를 규정에 맞게 설치하기 곤란하여 신뢰성 있는 결과를 기대하기 어렵다. 또한 펌프는 단독으로 운전되는 경우보다 다수의 펌프가 병렬로 연결되어 운전되는 경우가 대부분으로 펌프 개별 또는 상호간에 미치는 영향을 측정하기가 여간 까다롭지 않으며 펌프마다 유량계를 설치하는 것 또한 비경제적이라 하겠다.

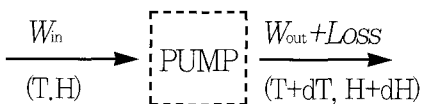
이에 반하여 최근 펌프를 지나는 유체의 온도상승을 이용하여 펌프상태를 진단하는 열역학적 펌프 진단방법이 국내에 소개되고 자체 개발이 이루어져 앞으로 펌프 설계, 유지, 관리와 관련하여 기술적인 진보와 함께 에너지절감 노력에 많은 기여를 하게 될 것으로 기대한다.

2. 본론

(1) 펌프효율 측정이론

펌프시스템을 그림과 같이 입, 출구를 가진 정상상태 단열 개방시스템으로 단순화하여 열역학 1법칙을 적용하면, 펌프에 입력되는 일(W_{in})은 유효출력일(W_{out})과 손실($Loss$)의 발생으로 나타난다.

$$W_{in} = W_{out} + Loss$$



유효출력일(W_{out})은 질량유량(Q)과 양정(H)의 곱으로 표시되며, 펌프 내 유동손실은 온도상승으로 나타난다. 열역학적인 방법으로 펌프 전후의 온도상승(dT)과 전양정 상승량(dH)을 측정하여 펌프효율(E_p)을 계산하고, 모터의 입력 전력(W_{in}) 측정과 모터효율(E_m)을 결정하게 되면 질량유량(Q)을 구할 수 있게 된다.

$$W_{in} = (g \times H \times Q) / (E_p \times E_m)$$

$$E_p = 1 / (1 + (dT \times Cp)) / (g \times dH)$$

$$Q = (W_{in} \times E_p \times E_m) / (g \times dH)$$

전통적인 수력학적 방법은 유효출력(W_{out})을 측정하는 것인데 반하여 열역학적 방법에서는 손실($Loss$)을 측정함으로써 효율을 구하게 되는 것이 가장 큰 차이점이다. 따라서, 열역학적 방법에서는 정확한 성능 평가를 위해서 정밀한 온도 측정이 가장 중요하다고 하겠다. 일반적인 펌프의 유동손실에 의한 온도 상승량은 수십 mK 정도이므로 1/1000 K 정도의 온도측정이 가능하여야 일반적인 오차범위 이내의 정확한 효율을 구할 수 있다.

또한 베어링의 마찰열과 실링의 마찰열의 영향, 대기온도의 영향은 미미하나 특별한 경우 이러한 외란의 영향을 무시할 수 없는 경우도 나타난다.

(2) 개발배경 및 국내외 기술동향

펌프를 구동하는데 사용되는 에너지는 국내 전력에너지 사용의 약 20% 정도 차지하는 만큼 에너지절감이 절실히 요구되고 있으며, 펌프는 최초 구입비나 정비비보다 운영비 즉, 전력에너지가 대부분을 차지하며, 약 10년의 수명을 가지는 펌프의 경우 총 유지비 중 전력비가 약 95%를 차지한다. 또한 초기 설비 구성 시 유량 설정의 과다한 설계 여유와 펌프 제작사의 공급 여유율로 인하여 실제 펌프 운전점이 BEP 대비 평균 12.5~20% 효율이 저하된 상태에서 운전하는 경우가 많다. 또한 운전 측면에서 볼 때, 다수펌프의 병렬 운전시 개별펌프의 성능을 알 수가 없어서 필요 이상의 펌프를 가동하는 등 비정상 운전이 이루어지는 경우가 종종 발생한다.

이러한 상황임에도 불구하고 국내에서는 최근까지 펌프효율을 측정하기 위한 전문 진단시스템이 없어서 에너지낭비 요인 분석이 미미하여 에너지절감 여지를 방치하고 있으나, 일부 대용량 펌프를 사용하는 업체를 시작으로 진단의 필요성을 점차 느끼고 있다. 하지만 국내에 소개되고 있는 외국 장비들이 고가로 인하여 쉽게 활용되지 못하고 있는 것이 현실이다.

특히, 설비운영상 중요한 펌프이거나 펌프시스템이 대용량인 경우 상시 효율 및 성능을 감시하여 성능저하를 감지하고 고장이 나기 전에 보수계획을 세우며, 사전예방에 의한 고장방지로 비가동 시간을 줄이기 위하여 실시간 감시 시스템이 요구된다.

열역학적 측정방법을 활용한 펌프효율 측정은 1963년에 온도를 1/1000Ks까지 측정 가능토록 함으로써 가능성을 이미 확인 하였으나 1981년에 이르러 영국에서 최초로 상용화를 실현하였다. 계측기기의 상용화 이후 현재까지 유럽을 중심으로 펌프 관리 및 효율개선 사업에 활용되고 있으며 2002년 독일의 Stoffel 등은 현장의 축류펌프에 대하여 정비 전후의 펌프효율 상승 효과를 검증하는 등 그 실효성이 입증되어 왔다. 최근에는 이동식 포터블 장비에 의한 개별펌프 진단과 더불어 다수의 펌프를 실시간 관리해주는 관리시스템 적용이 확대되고 있으며 온라인으로 관리를 대행해주는 사업이 각광을 받고 있다.

최초로 상용화 한 영국을 시작으로 호주, 남아프리카공화국에서도 측정기술을 개발, 운용하고 있으며, 국내에서는 90년대 말에 측정기술이 소개된 이래 최근 자체 개발을 완료하기까지 관련 기술의 빠른 발달과 보급으로 관심이 고조되고 있으며, 대용량 펌프를 사용하는 사업장을 중심으로 많은 관심을 보이고 있다. 일부 설비에서는 개발시스템을 적용하여 상당한 에너지절감효과를 얻고 있다.

(3) 펌프효율 측정장치의 개발

우리경제가 80년대까지 고도성장을 이루면서 양적인 증가를 추구하였지만 에너지관리 측면에서 본다면 향후에는 효율적 관리에 초점을 두어야 할 상황이다. 특히 에너지 소비 설비 중 하나인 펌프에 대하여 볼 때, 앞 절에서 언급한 바와 같이 펌프의 효율적 관리 필요성은 느끼나 국내 전문 관리시스템의 부재로 에너지절감의 기회를 미룰 수밖에 없었던 것이 현실이었다.

이에 따라 펌프효율 측정기술 개발의 필요성을 산업자원부에 제안하여 2003년, 국가 에너지절감기술개발과제로 선정되어 개발을 착수하게 되었다. 2004년 초, 시스템 개발을 마치고 고압펌프에 시범으로 설치하여 활용 중에 있으며 개별펌프의 진단 수요도 점차 증가하고 있다. 개발 시스템은

개별펌프의 진단은 물론 다수의 병렬펌프에 있어서 운전변화에 따른 펌프들의 상호 관련성을 비교, 평가하기에 아주 유용한 것으로 인식되고 있다.

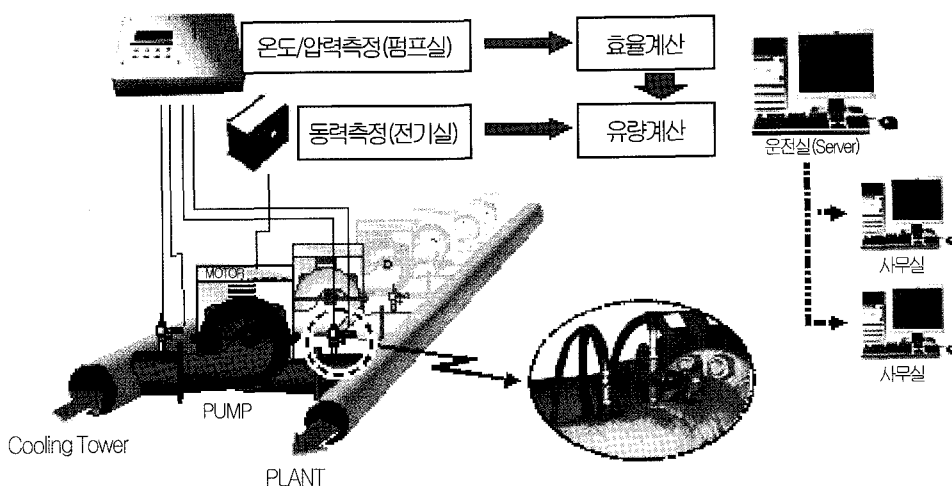
(4) 적용사례

최근 효율측정시스템의 개발을 마치고 대용량 고압수 펌프, 대용량 급수 펌프 등을 위주로 다양하게 적용 중에 있다.

2004년 6월, 포스코 광양제철소의 제품표면 스케일제거용 고압수 펌프 6대(2,000kW 4대, 3,400kW 2대)에 펌프진단관리시스템을 설치하여 실시간으로 상태를 모니터링하고 있으며, 약 한 달 간에 걸쳐 운전특성 및 펌프 성능을 분석하였다. 분석 결과로부터 개선방안을 도출하여 적용한 결과 연간 6억 원의 전력에너지를 절감하게 되었다.

또한 발전소 컨덴서로 공급되는 냉각수용 펌프 측정을 실시하였는데 병렬운전하는 8대의 펌프를 동시에 측정하였으며 부하 변화에 따라 펌프 개별 또는 펌프 상호간 미치는 영향을 파악하였다.

이 외에도 전기로 및 집진기의 냉각수 공급용 펌프, 수처리 공정의 이송펌프, 상수도 급수펌프에 대하여 개별 또는 병렬펌프 동시진단을 실시한 바가 있으며, 측정기기의 운용 측면에 있어서도 상당한 기술과 경험을 축적하게 되었다.



[그림 1] 펌프효율 관리시스템

(5) 펌프효율 측정기술의 상용화 및 그 적용의 한계

열역학적 효율측정 방법은 기존의 유량계로 측정할 경우에 요구되는 배관경의 5~10배의 직관이 필요하지 않고 유로의 저항을 주지 않는 등 간편하게 측정이 가능하나 그 원리에서 알 수 있듯이 정확한 온도 측정이 가장 중요한 요인이라고 할 수 있다. 그러나, 펌프 운전시 유동손실에 해당하는 에너지가 모두 펌프를 지나는 유체로 전달된다고 할 수는 있으나 양정이 아주 낮은 경우에는 온도상승이 미미하여 온도 측정 오차가 결과값의 오차에 크게 영향을 미치게 되며, 통상 전 양정 20m 이하에서는 적용이 곤란한 것으로 알려져 있다.

또한 다양한 외부 요인으로 인하여 측정하고자 하는 온도의 진실된 값을 측정하지 못하는 경우도 발생한다. 예를 들면, 베어링 마찰열의 전달로 인한 유체온도 상승, 실링에 의한 마찰열, 그리고 주변 온도에 따라 펌프 케이싱을 통한 외부로의 또는 외부로부터의 열전달이 발생하게 되며, 이때 측정하고자 하는 유동손실에 해당하는 온도상승의 값에 영향을 미칠 수가 있다. 따라서 이 측정방법으로 모든 펌프에 대하여 효율의 절대값을 구하기에는 약간의 무리가 따른다고 볼 수 있다.

하지만, 동일 펌프에 대하여 시간의 경과에 따른 효율의 변화를 분석할 경우, 다수의 병렬펌프에 있어서 펌프간의 효율의 비교, 또는 운전부하의 변화에 따른 효율값의 추이를 비교 분석하는데 있어서는 상당히 유용하다고 본다.

실제 펌프의 운전에서 노후 펌프의 교체, 펌프의 증설로 인한 운전부하의 변동, 장기간 사용에 따른 성능저하, 공정의 변화에 따른 급수량의 변화 등으로 인한 펌프의 운전점 변화가 발생하게 되며 이 경우 상태변화 전후를 분석하여 최적 운전점을 재설정하는데 있어서는 상당히 유용하게 활용할 수 있다.

(6) 펌프효율 측정기술의 응용분야

이 기술은 용이한 적용성으로 인하여 다양하게 응용할 수 있다. 이동식 포터블 측정기기의 경우 기본적인 측정항목인 펌프의 효율과 유량 측정이 가능하지만 측정 결과의 누적 관

리가 여의치 않으므로 활용범위의 한계가 있다고 보여진다. 이에 반하여 중요하고 대형인 펌프시스템의 경우 관리시스템을 설치하여 실시간으로 데이터를 저장, 분석하게 되면 그 활용 방법에 따라 광범위하게 사용되어진다.

운전 측면에서 볼 때, 일반적으로 펌프 설치 후 설계 대비 효율 평가가 가능하며, 운전 중 실시간 효율, 유량 파악이 가능하다. 이를 통하여 펌프시스템의 최적 운전조건을 도출하여 공정의 변화에 대하여 경제적인 운전을 실현할 수 있다.

유지, 보수, 관리측면에서 볼 때, 주기적인 데이터 분석을 통하면 장시간 사용에 따른 열화상태를 파악할 수 있어 돌발 사고 예방 및 정비시점 예측이 가능하며, 정비나 교체 후 그 개선 효과 검증에 유용하게 활용 가능하다. 최근 들어 체계적인 에너지비용 및 정비비를 절감하기 위하여 6시그마를 활용하는 경우가 많은데 데이터의 비교, 분석에 유용하게 활용되어진다.

3. 결론

현재 펌프는 재료나 설계기술의 발달로 펌프 자체의 효율 상승의 여지는 미미하다고 인식되고 있으며, 펌프 자체보다는 현장에서 어떻게 사용되는지 여부가 더욱 중요하다고 여겨진다. 또한 오래 전 설계되고 사용되어 온 펌프들에 있어서는 운전조건 변화, 장기사용에 의한 열화 등으로 효율이 저하되어도 계측기기, 특히 유량계를 규정에 맞게 설치하기가 곤란하고, 또한 여러 대의 펌프가 병렬 또는 직렬운전될 때 각각의 운전 상태를 평가하기가 어렵고 비경제적이다. 따라서 에너지절감과 고장에 대한 예지기능의 필요성을 점차 느끼고 있다.

열역학적 펌프효율 측정방법은 현장 적용성이 우수하고 신뢰도가 높아 펌프의 개별성능 평가, 최적 운전방향 제시와 함께 에너지절감 노력에 상당한 기여를 할 것으로 예상된다.