

배수용 수중모터펌프의 성능평가방법

허중식*

1. 서 론

펌프는 화학플랜트, 산업기계 등 중화학공업분야는 물론 농업이나 가정에서까지 유체분야의 중요 부속장치로서 널리 사용되고 있다. 펌프 시장은 그 용도에 따라 선박용, 건축설비용, 농공업용, 상하수도용, 제지용, 식료품용, 석유화학용, 발전소용 등으로 분류될 수 있으며, 펌프 구조도 각각의 응용분야에 적합하도록 설계되고 있다.

국내 펌프 중소 제조업체들은 외국 선진업체나 국내 다른 기업의 제품을 모방하여 생산 판매하거나 투자 기업으로서 모회사인 외국 업체의 부품을 수입하여 조립·생산하고 있는 실정이다. 또한 국내 대기업은 그동안 외형 위주의 성장 정책을 추구하여 왔기 때문에 기술 제휴 또는 도면 수입이라는 보다 손쉬운 방법을 통하여 펌프 산업 분야를 확장하였다. 이는 펌프의 국산화를 조기에 실현시키는 방법이 되기는 하였으나 원천기술을 제대로 확보하지 못하고 연구 및 기술 개발도 소홀히 하게 되는 등 선진국으로부터의 기술자립의 길을 비켜 가는 결과를 초래하였다. 따라서 고도의 기술을 필요로 하는 분야의 펌프를 다룰 수 있는 능력의 회사가 많지 않은 실정이다.

최근 이러한 문제에 대한 심각성을 인식함에 따라 몇 년 전부터 국내 펌프 산업과 관련된 연구소, 학계 및 업계에서 펌프의 성능예측 및 유동해석, 펌프의 성능 실험 및 유동가시화, 펌프의 성능평가 및 선정프로그램 개발, 특히 현상(캐비테이션, 수격현상) 등에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 연구개발을 통하여 고효율 및 에너지 절감형 펌프들이 판매되고 있다. 그러나 펌프는 공장 출하 당시의 고유 성능이 현장에서 수년간 사용함에 따라 기계적, 수력학적 성능이

저하되어 개선방안을 찾고 싶지만 이에 대한 정확한 현장 시험평가방법의 부재로 인해 업계에서도 A/S의 판단과 대안 제시에 많은 어려움을 호소하고 있다.

유체기계에 연결된 전체 전동기의 연결부하 중 약 38% 이상을 펌프가 차지하고 있으며, 대부분의 업종에서 펌프가 차지하는 비중이 크게 나타나고 있다. 이와 같이 펌프는 에너지 대량 소비설비의 하나로서, 설치된 기계가 설계된 유량, 즉 최고 효율점에서 운전되도록 기계와 시스템을 매칭하는 것이 매우 중요하다. 설치된 펌프는 수십 년을 수명으로 운전되기 때문에 운전 도중 관로상태가 변하고, 또한 펌프 자체의 성능이 변화하기 때문에 최고 효율점을 벗어나서 운전되는 경우가 많으며, 결과적으로 에너지 소비가 과다하게 되어 불필요한 전력이 소모되고 있는 실정이다. 이러한 경우 운전상태를 실시간 또는 정기적으로 평가하여 펌프가 최적의 상태에서 운전되도록 유지하는 것은 에너지 절약 및 경제적인 관점에서 매우 중요하다.

수중펌프는 육상용 펌프와는 달리 수중에서 운전되기 때문에 절연과 밀폐(밀봉) 등의 문제로 인해 더욱 세심하게 제작되고 시험되어야 한다. 본 특집호에서는 배수용 수중모터펌프에 대한 성능평가방법을 다루고자 한다.

그림 1은 국내 펌프업체에서 적용하고 있는 시험규격을 나타낸 것이다. KS 규격을 가장 많이 적용하고 있으며, ANSI/HI 규격이 18%로서 그 다음을 차지하고 있다.

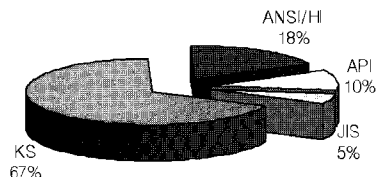


그림 1 펌프성능시험 적용 규격

* 한국기유화학시험연구원 유체기계평가팀

E-mail : jsheo@mpi.or.kr

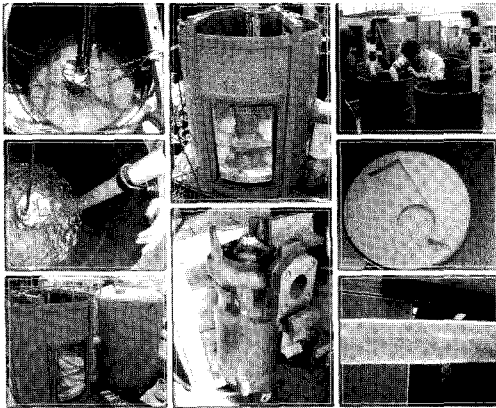


그림 2 수중모터펌프 및 현장설치 사진

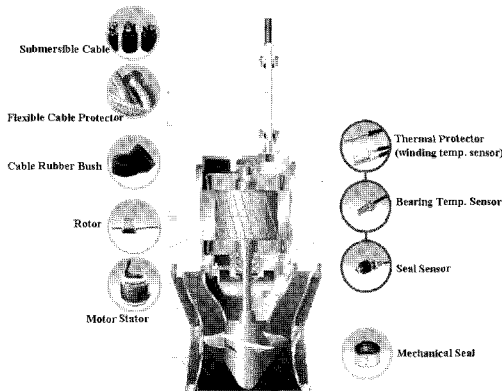


그림 3 수중모터펌프의 내부구조

그림 2는 수중모터펌프 및 현장설치 모습을 보여주고 있으며, 그림 3은 수중모터펌프의 내부구조를 나타낸 것이다.

현재 배수용 수중모터펌프에 대한 국내 시험방법 규격으로는 KS B 6321(배수용 수중모터펌프)이 있으며, 국제 단체규격으로서는 미국 HI(Hydraulic Institute)의 ANSI/HI 11.6(Submersible Pump Tests)이 있다. 본 호에서는 이 두 규격에서 다루고 있는 성능시험방법을 비교, 검토하고자 한다.

2. 성능평가방법 : KS B 6321

KS B 6321은 본체와 부속서로 구성되어 있다. 본체에서는 펌프에 대한 제품규격 및 시험방법에 대한 기술적 내용이 규정되어 있으며, 부속서에서는 펌프와

직결되어 있는 수중모터에 대한 제품규격 및 시험방법에 대해 규정하고 있다.

토출량 및 전양정에 대한 시험은 KS B 6301(원심 펌프, 사류펌프 및 축류펌프의 시험 및 검사방법)을 따르고 있다. 단, 양정 계산시 KS B 6301에서는 관로손실이 계산된 전양정의 0.5 % 이상인 경우에는 손실을 전양정에 더한 값을 펌프의 전양정으로 하고 있으나, 배수용인 경우 통상 압력측정구가 그림 4의 d가 아닌 지상에 있는 관로부분(그림 4 c점)에 위치하며, KS B 6321에서는 관로손실을 무시하는 것으로 규정하고 있다. 그러나 a(수면)에서 c까지의 에너지 균형을 적용할 경우 엄밀하게는 그림 4에서 관로 c-d 부분에서의 관로손실은 반드시 보상되어야 한다. 또한 현장시험시 펌프 출구에서 확대관 및 축소관을 이용하게 되는 경우가 있으며, 이 때에는 확대 및 축소관에서의 부차적 손실을 고려해야 할 것이다.

KS B 6321의 부속서에서는 수중모터에 대한 시험방법을 규정하고 있다. 우선 수중모터펌프의 특수성으로 인해 모터의 내전압 및 절연저항시험을 수행하도록 규정하고 있다. 내전압 시험은 3상인 경우 2×정격전압+1000 V(최저 1500 V), 단상인 경우 2×정격전압+500 V(최저 1000 V)에서 시험하도록 규정되어 있다.

모터의 특성시험은 3상의 경우 단자간 저항시험, 수중에서의 무부하시험 및 구속시험, 저주파 구속시험 등을 수행하여 KS C 4202(일반용 저압 3상 유도전동기) 8.6.1(등가회로법)에 따라 산정하도록 규정하고 있으며(다만, 철손분리법 및 실부하법이 편리한 경우 이것을 따를 수 있다), 단상인 경우에는 실부하법에 따르도록 규정하고 있다.

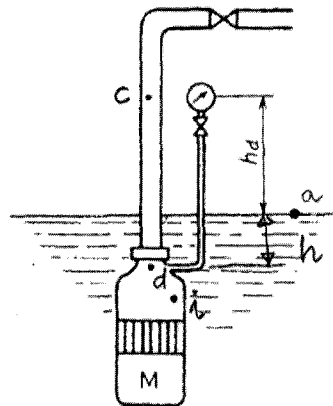


그림 4 수중모터펌프 전양정 시험(KS B 6321)

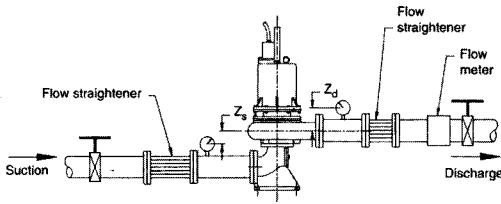


그림 5 Suction throttling NPSH test setup

온도시험은 시험 수조속에서 전동기에 정격 주파수의 정격전압을 가하여 정격출력으로 그 온도상승이 일정하게 되었다고 인정될 때까지 연속부하로 저항법(KS C IEC 60034-1 8.6.2)에 의하여 측정한다. 즉, 시험 시작시와 종료시의 권선저항값을 직접 측정하여 산출한다. 대형 펌프인 경우에는 베어링 주변의 온도, 모터내부의 온도를 실시간으로 모니터링할 수 있도록 제품 출하시 온도 센서를 설치할 수 있다(그림 3 참조).

3. 성능평가방법 : ANSI/HI 11.6

이 규격에서는 펌프의 기본적인 성능시험(토출량 및 전양정)외에 NPSH(Net Positive Suction Head)시험을 추가적으로 규정하고 있다.

기본 성능시험인 경우 수중(wet pit performance) 및 육상(dry pit performance)시험 두 종류를 규정하고 있다. 캐비테이션이 반드시 방지되어야 하는 특수한 경우 또는 입구조건이 캐비테이션 발생 가능성을 포함하는 경우에는 NPSH 시험을 수행해야 하며, 이것에 대한 시험방법을 알아보고자 한다. HI 규격에서는 4가지 시험방법을 규정하고 있으며, 각각에 대하여 간략히 설명하고자 한다.

3.1 흡입 스톱플링(suction throttling)형

그림 5는 입구측에 입구압력 조절을 위한 스톱플링 밸브가 설치되어 있으며, 밸브 출구에서의 난류강도를 줄이기 위한 정류장치(flow straightener)로 구성된다. 이 경우에는 NPSH 값이 대략 3 m 보다 큰 경우에 적절한 방법이다.

3.2 수위 조절(variable lift)형

그림 6은 배수정(sump)으로부터 물이 공급되며, 물의 수위를 조절하는 방법을 이용하여 NPSH 시험을

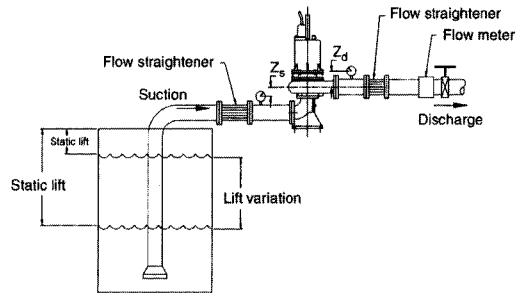


그림 6 Variable lift NPSH test setup

수행한다. 시험 시 수면으로부터의 공기유입을 막아야 하며, 마중물(priming) 장치를 별도로 구비해야 한다.

3.3 순환(closed loop)형 육상시험(dry pit)

그림 7은 물탱크로부터 공급되는 순환식 형태이며, 이 경우 탱크의 수위는 일정하게 유지하면서 물위 공기의 압력을 조절하여 시험을 수행하는 방법이다.

3.4 순환(closed loop)형 수중시험(wet pit)

그림 8은 물탱크내에 수중펌프를 설치하는 방법이며, 이 경우 입구측 배관은 필요치 않게 된다. 3.3의 시험방법과 같이 탱크의 수위는 일정하게 유지하면서

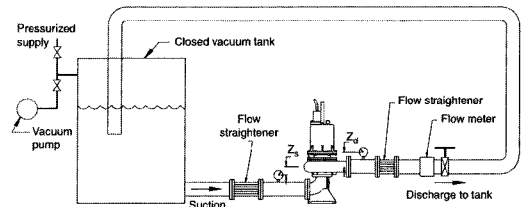


그림 7 Closed loop dry pit NPSH test setup

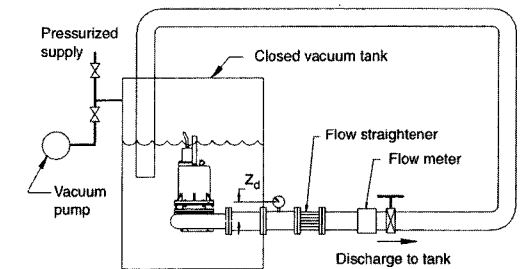


그림 8 Closed loop wet pit NPSH test setup

물위 공기의 압력을 조절하여 시험을 수행한다.

위의 장치를 이용하여 유량을 일정하게 유지하고 $NPSH_{av}(=h_{atm}-h_{vp}+h_s)$ 을 감소시키면서 시험하는 도중 전압정 값이 3 % 떨어지는 지점이 결국 펌프 고유의 $NPSH_{re}$ 값으로 규정된다. 여기서,

$NPSH_{av}$: Available NPSH

$NPSH_{re}$: Required NPSH

h_{atm} : 대기압 수두(atmospheric pressure head)

h_{vp} : 증기압 수두(vapour pressure head)

h_s : 흡입 수두(suction head)

이다.

4. 결론

펌프는 생산공정 및 주택용에 필수적인 기계요소로서 장시간 운전이 요구되며, 운전조건에 따라 펌프효율이 20~90 % 까지 변화한다. 또한 장시간 운전에 따른 회전차 및 케이싱의 침식과 웨어링 링 등의 마모로 인해 효율이 저하된다. 이러한 이유로 인해 펌프 시스템 설계시 과도한 안전율(20~30 %)을 적용하고, 검토 과정에서 안전율(10~20 %)을 추가하고, 제조업체에서 시방점보다 크게(10~20 %) 제작하는 경향이 있다. 제작 당시 수력학적 방법을 활용한 펌프의 효율은 공장에서 출고 전에 시험에 의해 확인이 가능하지만, 일단 현장에 설치하여 운전하게 되면 그 효율의 측정은 쉽지 않다. 현장에 설치되어 가동 중인 펌프의 양정과 입력전기는 측정이 용이하고 그 값도 신뢰성이 있는 반면, 유량측정은 여러 가지 제한이 많으며 수력학적 인 방법을 통한 효율 측정은 그 정확성도 저하된다.

이러한 어려움 때문에 유량을 측정하지 않고 운전

중인 펌프의 효율을 직접 측정할 수 있도록 개발된 방법이 바로 열역학적 측정방법이며 이 측정방법을 향후 표준화하여 활용한다면 다수의 펌프가 병렬로 운전 중일 때, 개별 펌프간의 효율 비교는 물론, 전체 펌프 시스템의 최적 운전 방안을 찾는 데도 크게 기여할 수 있을 것이다.

또한 수중모터시험에 대한 독립된 규격이 없으며, 단지 부속서에서 시험방법에 대한 일부를 규정하고 있는 실정이다. 육상용인 경우에는 전문적인 모터 제조업체로부터 직접 공급받아 펌프에 연결하여 판매되기 때문에 모터 시험성적서에 대한 신뢰도가 높다. 그러나 수중모터펌프인 경우 펌프 제조업체에서 직접 모터를 제조하거나, 기술력이 낮은 영세업체에 주문하는 형태이기 때문에 모터 시험성적서에 대한 신뢰성이 매우 낮은 것이 현실이다. 모터특성시험(동가회로법), 온도상승시험 및 스러스트시험 등에 대한 규정 내용이 명확하지 않아 제조자와 시험자간에 많은 논란이 발생하고 있기 때문에 이에 대한 규격 제·개정이 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- (1) ANSI/HI 11.6, "Submersible Pump Tests," 2003.
- (2) KS B 6301, "원심펌프, 사류펌프 및 축류펌프의 시험 및 검사방법," 2006.
- (3) KS B 6321, "배수용 수중모터펌프," 2005.
- (4) KS C 4202, "일반용 저압 3상 유도전동기," 2003.
- (5) KS C IEC 60034-1, "회전기기 - 제1부 : 정격 및 성능," 2008.
- (6) 박이동, "최신 유체기계," 1996.