

취수펌프에서의 캐비테이션 분석에 관한 연구

김용열*, 차인호*, 이제균*, 권기범*, 이종익*, 김한일**

A Study on the Analysis of Cavitation in Intake Pump

kim yongyeol*, cha inho*, lee jegeun*, kwon gibum*, lee jongik*, kim hanil**

Key words: Cavitation(캐비테이션), vortex(와류), Double Suction Pump(양흡입펌프), Intake Pump(취수펌프)

abstracts

Intake pump for waterworks is badly damaged by a small amount of cavitation because of variable water quality and severe operation conditions. In general, the required NPSH for reduced cavitation can be provided by inlet condition, supply air, change pump and inducer. But once the pump has been built and installed there is little that can be done to reduce cavitation damage. In this study, we analysed the cavitation of paldang intake pump and intended to avoid the same phenomena.

1. 서론

상수원수를 공급하는 취수펌프는 다양한 원수수질과 가혹한 가동조건으로 인하여 작은 이상현상에도 큰 피해를 일으킬 수 있다. 심각한 문제를 일으킬 수 있는 이상현상으로 캐비테이션을 들 수 있는데 캐비테이션이 발생하면 펌프의 성능저하, 펌프 손상 등의 영향이 있기 때문에 흡입조건 개선, 공기유입, 펌프 교체, 인듀서 설치 등을 이용하여 캐비테이션 발생을 방지하고 있다.

본 연구에서는 팔당취수장 펌프에서 발생하고 있는 캐비테이션의 원인분석을 실시하였으며, 해결방안을 강구하여 향후 같은 현상이 재발하는 것을 방지하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. 캐비테이션 현상

유체가 넓은 유로에서 좁은 곳으로 고속으로 유입될 때, 또는 벽면을 따라 흐를 때 벽면에 요철이 있거나 만곡부가 있으면 흐름은 직선적이 못되며, 고속만곡부에서 저압이 되고, 압력이 그 수온의 포화증기압보다 낮아지면 캐비테이션이 발생한다. 또 수중에는 압력에 비례하여 공기가 용입되어 있는데 저압으로 되면서 이 공기가 물과 분리되어 캐비테이션으로 나타난다. 캐비테이션으로 인하여 생긴 기포는 고압의 영역에 이르렀을 때 갑자기 파괴되어 다시 수중으로 소멸되는데, 기포가 파괴될 때에는 심한 충격을 동반하고 소음과 진동을 초래한다. 이와 같은 충격 때문에 벽면은 침식(侵蝕)하게 된다. 펌프에 있어서의 캐비테이션은 여러 곳에서 발생하는데, 가장 문제가 되는 곳은 것입구 부근에 발생하는 것으로 펌프의 성능을 저하시키고, 소음과 진동을 수반하며 임펠러를 손상시키는 것이 일반적이다[1][2][3].

2.2 캐비테이션과 유입각

펌프에서 가장 효율이 좋은 정격점에서는 회전차날개 입구에서의 유체 입사각과 날개각이 일치하도록 설계한다. 즉 입사각과 날개각의 차인 α 가 0° 일 때, 날개 입구에서 충돌없이 유입되어 효율 좋게 설계유량을 토출한다[4][3].

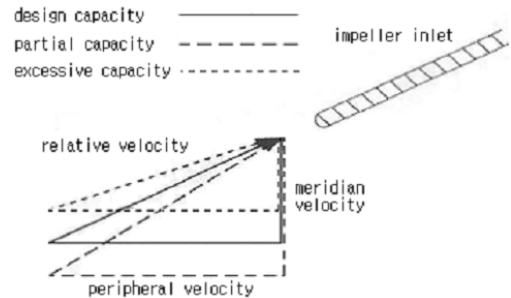


Fig. 1 Inlet angle by flow rate[4].

날개각에 대하여 유입각이 시계방향이면 +, 반시계방향이면 -로 가정할 때, Fig. 1에서와 같이 설계유량보다 많은 유량이 흐르는 $\alpha < 0^\circ$ 에서는 날개 압력면에, 설계유량보다 적은 유량이 흐르는 $\alpha > 0^\circ$ 에서는 날개 부압면에 캐비테이션이 발생할 수 있다.

또한 임펠러의 날개각이 작으면 특정유량에서 필요흡입수두를 특이하게 증가시키는데[2], Fig. 2의 $\alpha=12^\circ$ 이상에서는 회전차입구측에서 역류가 발생하고, 캐비테이션이 발생하기 시작할 때 필요흡입수두도 증가하고 있음을 보여주고 있다[4]. 일반적으로 취·송수펌프를 설계할 때는 목표연도를 정해놓고, 목표연도에 만족하도록 전양정을 결정하기 때문에 목표연도 유량이하로 물을 송수할 때는 전양정이 정격양정보다 작아서 토출밸브를 교축하지 않으면 과잉유량 영역에서 운전되기 때문에 “Fig. 3”에서의 압력면에서 캐비테이션이 발생하여 “Fig. 4”와 같은 손상이 발생하는 것이 일반적이다.

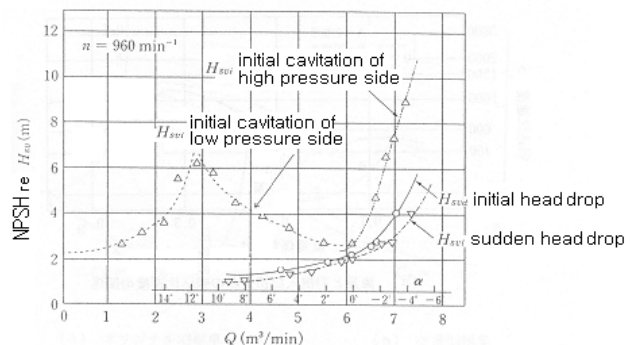


Fig. 2 NPSHre of cavitation conditions[4]

* 한국수자원공사 팔당권관리단 yykim@kwater.or.kr

** 한국수자원공사 안동권관리단 hanahana@kwater.or.kr

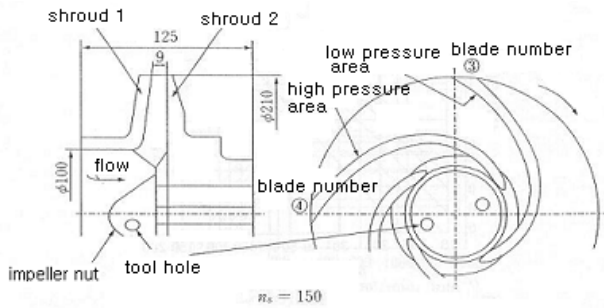


Fig. 3 Shape of impeller[4]



Fig. 4 Impeller damaged by cavitation at excessive capacity

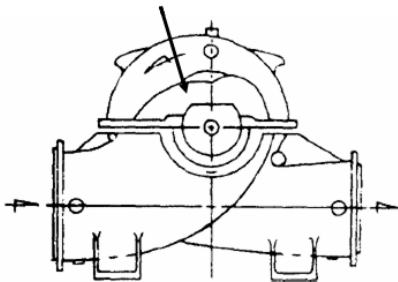


Fig. 5 Example of pitting of the baffle in the suction nozzle

2.3 과도한 선회류에 의한 캐비테이션

양흡입 볼류트 펌프 케이싱의 흡입 볼류트 끝에는 과도한 선회류 발생을 억제하기 위하여 Fig. 5의 내부에 Fig. 6과 같이 선회방지(baffle)장치가 설치되어 있다. 유체가 임펠러로 유입되기 전에 과도한 선회류가 발생하면 캐비테이션이 발생하여 선회방지장치에 손상을 가하고, 다시 임펠러날개의 부압면에 충돌하여 날개에 손상을 가할 수 있다[2].

3. 캐비테이션 발생현황

3.1 팔당취수장 펌프의 개선내역

팔당2취수장의 펌프는 1989년부터 양정 : 80.5/81m, 유량 : 193m³/min/216m³/min으로 운영하다 취수량의 감소와 운전방법 변경으로 운전양정이 감소하여 2000년에 에너지절감사업(ESCO)으로 기존의 고양정펌프(80.5/81m)를 모터 및 케이싱은 기존 것을 그대로 사용하고, 임펠러만 교체하여 유량은 동일하나 전양정이 73m인 펌프로 재탄생하였다. 변경 후 캐비테이션이 발생함에도 불구하고 특이하게 효율 92%의 우수한 성능을 발휘하였다. 그 후 캐비테이션이 심해지면서 캐비테이션 특유의 소음진동, 급격한 효율저하 및 침식이 진행되어 Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 손상이 발생하여 임펠러의 육성용접을 겸한 펌프의 분해점검보수를 2회/년 씩 실시해서 사용해도 임펠러의 일부가 떨어져나가



Fig. 6 Casing damaged by cavitation



Fig. 7 Impeller damaged by cavitation

는 등 Fig. 7과 같은 사항이 빈번하고 있는 실정이다. 현재 효율은 80%정도까지 하락하였고, 정격유량 216m³/min 정격양정 73m 펌프가 전양정 70m에서 운전해도 유량이 202m³/min밖에 출되지 못하고 있다.

3.2 캐비테이션 발생현황

일반적으로 취수펌프에서는 전력원단위 저하운전을 실시하므로 과잉유량영역에서 운영되어 Fig. 4와 같이 압력면에서 손상이 발생하나 팔당2취수장의 펌프에서는 Fig. 7과 같이 부압면 및 Fig. 6과 같이 케이싱의 선회방지장치(baffle)에서도 발생하고 있어 특이현상으로 취급할 만하다. 일반적으로 펌프에서 캐비테이션이 발생하면 효율이 급저하되기 때문에 발주 시방서에 캐비테이션에 대하여 제한을 두지 않아도 펌프효율검사에서 불합격되므로 문제가 발생하지 않았으나 팔당2취수장 펌프는 제작설치 초기에도 캐비테이션이 발생함에도 불구하고 효율이 정상적인 펌프보다 더 우수하여 감독자가 문제점을 조기에 인식하여 하자처리 또는 재제작 등의 조치를 취하기 어려운 실정이었다.

Table 1 Comparisons of high head pump versus low head pump

	High head pump	Low head pump(ESCO)	general value
Impeller outlet angle (β_2)	$\approx 30^\circ$	$\approx 25^\circ$	$25 \sim 30^\circ$
angle (α)	$\approx 0^\circ$	$\approx 12^\circ$	0°
inlet angle(β_1)	$\approx 23^\circ$	$\approx 11^\circ$	
Total head(m)	80.5(81)	73	
Capacity (m ³ /min)	193/216	193/216	
Impeller out diameter	1350/1350	1180/1220	
Impeller width	650/650	745/745	
Initial efficiency	90%	92%	90%
NPSHav	13.0 m	13.0 m	

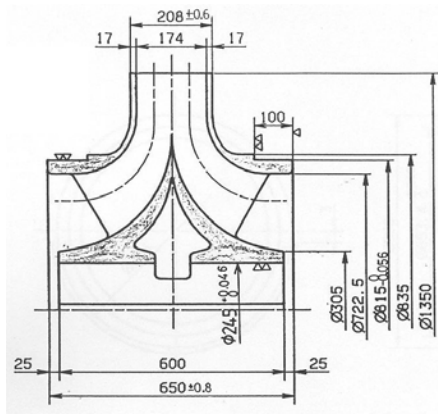


Fig. 8 Impeller of high head pump

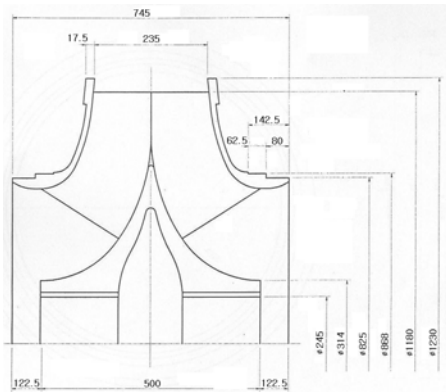


Fig. 9 Impeller of low head pump

3.3. 기존 펌프와 비교

에너지절감사업을 통하여 저양정 펌프로 재탄생한 펌프와 기존 고양정 펌프의 차이점을 Table 1과 같이 정리하였다. 차이점으로는 출구각이 약 25°로 기존의 약 30°와 차이가 있고, 유입각이 기존의 임펠러 날개각 약 23°와 같게 케이싱이 제작되었다면 저양정 펌프의 임펠러는 유입각 약 23°와 날개각 약 11°의 차인 약 12° 만큼 작게 제작되었다고 볼 수 있다. Fig. 8, Fig. 9에 고양정 펌프와 저양정 펌프의 임펠러를 나타내고 있다. 선회방지장치와 임펠러와의 사이가 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

4. 캐비테이션 발생원인 분석

4.1 유입각 증가에 기인한 캐비테이션

펌프에서 가장 효율이 좋은 정격점에서는 유입각과 임펠러 날개각이 일치하는 $\alpha = 0^\circ$ 로 제작하여 물이 충돌없이 유입되어 손실이 최소가 되도록 설계한다. 이 상태가 Fig. 10에서 임펠러 날개 ①번인 기존의 펌프상태이다. 에너지절감사업을 하면서 기존의 펌프에서 케이싱은 그대로 사용하고 임펠러만 교체하여 전양정 81m 펌프를 73m로 변경하였다. 이 과정에서 시설용량을 변경할 수 없어 토출유량을 기존 펌프 유량으로 결정함으로써 임펠러의 유입각도가 변경되어 임펠러 날개 ②와 같이 제작된 것이다. 따라서 변경된 펌프에서는 정격운전시에도 부분유량 영역에서 운전되도록 설계가 되었다.

따라서 정격유량 유입각으로 유입된 물은 날개각이 큰 날개 ②에 도착하고 선단에서 유속이 증가하면서 캐비테이션이 발생한 후 후단에서 파괴되면서 임펠러의 부압면에 손상을 가한다.

고양정 운전으로 토출유량이 적어지면 역류에 의한 캐비테이션이 발생하면서 케이싱의 선회방지장치(baffle)에 손상을 가하는 것으로 분석된다. 손상된 팔당2취수장의 저양정 펌프 임펠러를 Fig. 7에 나타내었다. 이와 같이 손상이 심각한 것은 유입각과 날개각의 차가 +12°로 Fig. 2에서 비교할 때, 정격유량의 50%에

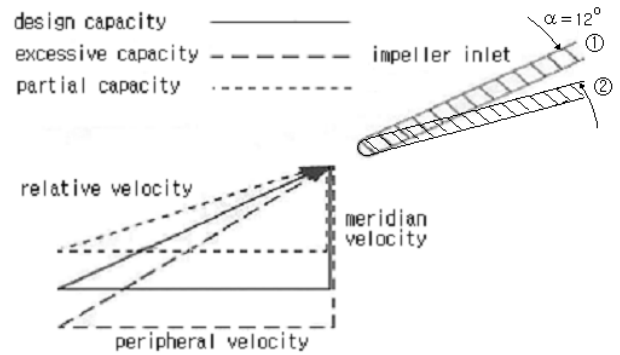


Fig. 10 Inlet angle by modified impeller[4]

서 운전되는 것과 같은 정도의 과도하게 작은 각도로 제작되었기 때문에 역류에 의한 캐비테이션으로 선회방지장치와 부압면에 손상이 발생하는 것으로 분석된다.

4.1. 과도한 선회류에 기인한 캐비테이션

팔당2취수장에 설치된 펌프 흡입볼류트 케이싱의 볼류트 끝에는 Fig. 6과 같이 과도한 선회류 발생을 억제하기 위하여 선회방지(baffle)장치가 설치되어 있다. Fig. 8에 나타난 기존의 고양정 펌프 임펠러와 선회방지장치 사이의 간격은 25mm였으나 Fig. 9에 나타난 저양정 펌프 임펠러는 기존의 펌프 케이싱을 그대로 사용하면서 임펠러만 신규 제작하여 임펠러와 선회방지장치의 간격이 75mm로 커졌다. 이 커진 간격 때문에 흡입 볼류트를 통하여 유입된 물의 선회류가 급격히 증가하여 캐비테이션으로 성장하고 선회방지장치에 손상을 가한 후 다시 임펠러의 부압면을 타격함으로써 손상이 발생하고 있는 것으로 분석된다.

4.3 고찰

팔당2취수장의 펌프에서 발생하고 있는 캐비테이션은 손상면적이 넓고, 깊지 않으며 선회방지장치까지 손상을 입히는 점으로 볼 때 위에서 설명한 세 가지 형태가 복합적으로 발생하는 것으로 판단된다.

첫째 흡입관으로 유입된 물이 선회방지장치와 임펠러사이의 과도한 간격으로 인하여 급격한 선회류가 발생하면서 압력이 저하되었고, 둘째 설계유량을 만족시키기 위하여 임펠러의 유입각도를 작게 제작함으로써 운전유량에서 필요흡입수두가 특이하게 증가하여 펌프 임펠러 부압면의 압력이 더욱 감소하여 캐비테이션으로 성장하였으며, 셋째 설계유량을 만족시키기 위하여 임펠러 날개각을 과도하게 줄임으로써 저유량 영역에서 운전하는 조건으로 역류에 의한 선회방지장치와의 충돌로 인한 캐비테이션이 발생한 것으로 분석된다. 이는 케이싱과 임펠러의 제작업체가 다른 상황에서 케이싱의 수리특성을 무시하고 임펠러를 제작한데서 기인한다고 할 수 있다.

특이하게도 제작설치 초기에는 시방서 상의 효율인 90% 이상을 만족하였지만 설치 첫해에 급격하게 하락하고 그 후로는 점차적으로 하락하여 운영이 되다가 손상부위가 떨어져 나가면서 다시 급격히 하락하는 형태를 취하고 있다. 임펠러의 손상이 심하여 2년에 1회씩 분해점검보수를 하도록 규정되어 있는 펌프를 1년에 2회씩 분해점검보수를 실시하여 사용하고 있다. 임펠러 손상부위의 육성용접을 포함한 분해점검보수 후 발란싱을 실시하여 사용하는 것이 기본이나 현장 발란싱이 곤란하여 실시하지 못함으로써 질량불평형에 의한 진동이 유발되기도 한다.

4.4 해결방안

문제의 임펠러를 그대로 사용하면서 문제를 해결하려면 케이싱의 구조를 변경하는 방법이 있는데, 케이싱은 구상후연구철을

주물로 제작하여 변경이 불가능하므로 추가로 구조를 변경하는 것은 어렵고, 펌프를 교체하던가, 임펠러를 케이싱에 맞는 제품으로 재설계하여 제작하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 팔당2 취수장 펌프는 이미 내용년수 15년이 지났고 효율도 제작당시보다 10%정도 감소되어 신규로 제작설치하는 것이 타당할 것으로 판단되었다. 취수펌프의 경우에 설치, 운영하는 전체 비용 중에 평균적으로 95%가 운전 전력요금이고 펌프가 차지하는 설비비는 4%에 불과하므로 투자비 회수가간을 감안하여 조속히 교체를 하는 것이 전력요금 절감에 유리하다.

펌프를 신규 제작할 때 이러한 캐비테이션이 발생하는 것을 인식하는 방법으로는 효율분석, 소음 및 진동이 있고, 제작설치 후에는 효율분석 및 펌프 임펠러 손상을 측정하는 방법이 있다.

6. 결론

팔당2취수장 펌프에 에너지절감사업을 실시하면서 펌프임펠러 교체시 케이싱과 불일치로 발생한 캐비테이션의 원인을 분석하였다. 팔당2취수장에서 발생하고 있는 특이 캐비테이션은 급격한 선회류에 의해 발생하는 캐비테이션과 유입각과 날개각의 차를 과대하게 제작했기 때문에 발생한 역류와 필요흡입수두의 급격한 증가에 기인하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 특이 캐비테이션에 의한 피해를 최소화하는 방법으로는 펌프를 교체하는 방법이 제시되었다. 제작설치시 인식할 수 있는 효율분석, 소음 및 진동과 제작설치 후 인식할 수 있는 효율분석 및 펌프 임펠러 손상을 측정하면 이와 같은 특이 캐비테이션에 의해 발생하는 피해에 대처할 수 있을 것으로 본다. 향후과제로는 문제점을 갖고 설치된 펌프에 대하여 교체를 하지 않고 해결하는 방법까지 연구를 계속하여 이러한 문제점으로 괴로움을 겪고 있는 운영자의 애로사항을 해결하고자 한다.

참고문헌

- [1] 하재현, 손병진, 유체기계(1981), 보문당.
- [2] A. J. Stepanoff, Flow Pumps(1957), John Wiley & Sons Inc.
- [3] David Japikse, William D. Marscher, Raymond B. Furst, Centrifugal Pump Design and Performance(1996), Concepts ETI, Inc.
- [4] 加藤洋治, 캐비테이션 기초와 최근의 진보(1999), 진서당.
- [5] 효성중공업, 효성펌프편람, 효성중공업.
- [6] Igor J. Karassik, William C. Krutzsch, Warren H. Fraser, Joseph P. Messina, PUMP HANDBOOK(1986), McGRAW-HILL.
- [7] Ronald L.Eshiemann, Vibration Institute(2000), NADA S&V.
- [8] Kubota Pump Hand Book, Kubota technical manual.
- [9] 大橋秀雄, 강신영, 유체기계(1989), 회중당.
- [10] S.C.Li, Cavitation of Hydraulic Machinery(2000), Imperial College Press.