

수도사업장 펌프모터의 변속시스템 최적 적용에 관한 연구보고서

유체기계공업학회 펌프분과 · 한국수자원공사

1. 서 론

수도사업장의 펌프장을 건설 후 년도별 물배분 계획과 실제 배분량의 차이로 인해 펌프모터의 가동이 과도운전점(저양정 대유량, 고양정 저유량)에서 운영됨에 따라 효율 저하 및 임펠러 침식, 균열 등 기기손상 외에 과도한 전력비, 유지관리비 등이 소요되고 있는 것이 현실이다. 따라서 2003년 7월 한국수자원공사에서는 이런 단점을 대표적으로 나타내고 있는 5개 사업장(부안정수장, 주남가압장, 주덕가압장, 사천정수장, 자양취수장)을 선정하여 본 분과에 변속시스템 최적 적용에 관한 방안을 제시할 것을 요청하였다.

이에 본 분과에서 상기 5개의 사업장을 방문하여 기존 펌프설비의 운영자료를 조사·분석하였고, 조사 자료에 따라 펌프모터 운영시스템의 효율적인 운영방안을 수립할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 분석자료를 이용하여 현재 시스템에서 변속시스템의 적용이 가능한 가를 검토하였다. 더 나아가 위에 언급한 5개 사업장의 분석결과로부터 새롭게 건설될 사업장에도 변속시스템의 적용에 관한 기준을 설정할 수 있는 자료를 제시하였다. 따라서 본 해설에서는 이 영역의 우수한 결과를 요약하여 해설하고자 한다.

2. 본 연구과제의 개요

2.1 연구목적

본 연구에서는 5개의 사업장(부안정수장, 주남가압장, 주덕가압장, 사천정수장, 자양취수장)을 대상으로 현재 기존 펌프설비의 운영자료를 조사·분석하여 펌프 모터 운영시스템의 효율적인 운영방안을 수립할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 더 나아가 이로부터 현재 시스템에서 변속시스템으로 적용이 가능한 가를 검토

하고, 이에 대한 대안을 제시하였다. 또한, 새롭게 건설될 사업장에도 손쉽게 적용이 가능하도록 변속시스템 적용에 관한 설계 및 유지관리 기준을 수립하였다.

2.2 연구의 기본 방향

본 연구의 기본방향은 연구목적에 맞추어 다음과 같이 설정하였다.

- 수도사업장별 운영환경에 맞는 안정적인 용수공급
- 효율적인 펌프모터 운영으로 전력비 등 비용 절감
- 최적의 변속시스템 적용으로 설비투자 효율 극대화
- 신규사업장 및 기존 사업장 변속시스템 적용시 설계·시공 및 운영관리 기준 수립을 위한 업무 표준화

2.3 연구내용

2.3.1 기초조사

- 수도사업장 준공 이후 용수공급량 변화추이 분석 및 향후 용수수요 예측을 위한 기초자료 조사
- 펌프설비 전·후단 수리계통도 조사분석
- 수도사업장 펌프모터 운전자료(2002년 1년간) 정리, 조사 및 분석
- 변속시스템 기설치 운영 사례 조사, 분석(운영방법, 적용효과등)
- 국내외 변속시스템 적용과 선진기술 적용 사례 조사(인버터, 유체커플링 외)

2.3.2 용수공급량 변화에 따른 최적 운전방안 수립

- 용수공급량 변화에 따른 주펌프 및 조절용 펌프

의 적정 운영방안

- In-Line 또는 자동운전 등 펌프 운영방법별 최적 운전방안
- 펌프모터 on/off제어 및 밸브개도 조절이 관로 등의 설비에 미치는 수리적 영향 분석
- 펌프 최적운전을 위한 임펠러 컷팅시 경제성 검토 및 컷팅 포인트 선정

2.3.3 용수공급량 변화에 따른 변속시스템 적용성 검토

- 용수공급량 변화에 따른 변속시스템 도입의경제성 검토, 분석
- 변속시스템 적용시 최적의 변속범위 결정
- 펌프모터 속도제어가 관로 등 설비에 미치는 영향 분석

2.3.4 최적의 변속시스템 적용 방안

- 변속시스템별 설치환경, 운영조건, 경제성 비교 분석
- 수도사업장 변속시스템별 적용성 비교분석

2.3.5 변속시스템 적용에 관한 설계 및 유지관리 기준

- 변속시스템 도입에 의한 비용절감 등 경제성 검토 기준 수립
- 수리계통 및 용수수요 변화에 따른 변속시스템 적용 기준 수립
- 변속시스템 적용에 관한 적절한 설계 및 유지관리 기준 수립

2.4 연구방법

운영자료의 조사·분석을 위해 5개 사업장들을 방문하여 각 펌프장에서 관리하고 있는 운전일보, 기기이력카드 등과 수자원공사에서 발간하는 월보 및 년보와 각 단계별 실시계획보고서 및 준공도서를 수집하여 통계 처리하였다.

용수공급량 변화에 따른 변속시스템 도입의 경제성(전력비, 유지관리비) 검토, 변속시스템 적용시 최적의 변속범위 결정(속도제어 펌프 댓수 결정 등), 펌프모터 속도제어가 관로 등 설비에 미치는 영향 등을 운영자료를 통해 분석하였다.

2.5 연구진 구성

본 연구의 연구진은 유체기계공업학회 펌프분과의 운영위원을 기준으로 본인의 의사에 따라 표 1과 같이 결정되었다. 표 1과 같이 본 연구에 참여한 연구진중 책임연구원 3명, 연구원 5명, 연구보조원 5명이고 3명의 보조원과 함께 연구를 수행하였다.

3. 기초조사

3.1 조사대상

한국수자원공사에서 관리하고 있는 전국 광역상수도의 취수펌프장, 가압펌프장 및 정수장 송수펌프장 한국수자원공사에서 관리하고 있는 전국 광역상수도의 취수펌프장, 가압펌프장 및 정수장 송수펌프장 중 양정 및 유량변화가 과대한 사업장, 양정 및 유량변화가 심하고 In-Line 또는 자동운전으로 안정적인 설비 운영이 필요한 사업장과 그리고 변속시스템을 기설치 운영하고 있는 사업장으로 표 2와 같이 구분하여 조사대상을 결정하였다.

표 1 본 연구에 참여한 연구진 명단

참여구분	소속	직위	성명
책임 연구원	유체기계공업학회 서울대학교	회장 교수	강신형
	송실대학교	교수	서상호
	한국산업기술대학교	교수	김경엽
연구원	(주)한국종합엔지니어링	이사	박종문
	한국해양대학교	교수	이영호
	중소기업진흥공단	실장	김성원
	시립인천전문대학	교수	노형운
	(주)터보엔에스	대표이사	권명래
연구 보조원	주식회사 한돌펌프	대표이사	이봉주
	(주)휴먼아이티	기술교문	이정우
	효성에바라	과장	전상규
	금정공업(주)	연구소장	이종훈
	(주)택지산업	대표이사	김종수
보조원	(주)한국종합엔지니어링	대리	최성일
	송실대학교	학부과장	남택중
	송실대학교	학부과장	최진용

표 2 운영자료 조사를 위한 대상

구분	관리단	펌프장
양정 및 유량변화가 과대한 사업장	부안권 관리단	부안정수장
	창원권 관리단	주남가압장
양정 및 유량변화가 심하고 In-Line 또는 자동운전으로 안정적인 설비 운영이 필요한 사업장	충주권 관리단	주덕가압장
	사천권 관리단	사천정수장 (삼천포계통)
변속시스템 기 설치 운영 사업장	일산권 관리단	자양취수장

표 3 부안정수장 송수펌프 현황

시설 용량 (m ³ /일)	펌프					모터			
	용도	호기	유량 (m ³ /일)	양정 (m)	형식	제작사	동력 (Hp)	극수 (P)	제작사
부안 정수장 87,000	송수	#1,2	17,395	78 (64)	양흡입	효성	350	4	효성
		#3,4, 5,6	15,984	78 (50)	양흡입	효성	350	4	효성

* 주) () 값은 임펠러 커팅 후의 양정을 나타냄

표 4 주남가압장 신관계통 가압펌프 현황

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
유량	55,000m ³ /일 (2,292 m ³ /h)		55,000m ³ /일 (2,292 m ³ /h)		27,500m ³ /일 (1,145m ³ /h)	
양정	당초	78m	78m	78m	78m	78m
	개량	72m	72m	68m	78m	72m
	현재	72m	72m	68m	78m	72m
	임펠러외경	615mm		610.1	628	405mm
펌프형식	양흡입펌프 HDR 400-620A				HDR 300-400A	
지름	500A×400A				350A ×300A	
전동기출력	1000HPx6p				500HPx4p	
수량	4 대(1대예비)				2 대	
설치년도	1993년				1993년	
제작사	효성				효성	

3.2 사업장 별 시설현황

3.2.1 각 사업장 송수펌프 현황

각 사업장의 송수펌프의 현황은 표 3~표 7까지 정리하였다. 자세한 내용은 연구보고서를 참조하기 바란다.

3.2.2 수도사업장 펌프모터 운전자료 분석

가. 부안정수장

현재의 운전방법에 따른 소비전력 및 운전 특성을

표 5 주덕가압장의 펌프시방

구분	호기	유량 (m ³ /h)	유량 (m ³ /일)	양정 (m)	효율 (%)	동력 kW(Hp)xp	비고
주펌프	1~4	1,734	41,616	73	76	640(850)x4	00년 효성
보조 펌프	5~6	864	20,736	66	72	335(450)x4	00년 효성

표 6 삼천포계통 I 단계 송수펌프 현황

시설 용량 (m ³ /일)	호기	펌프		모터		펌프 형식	제작사
		유량 (m ³ /h)	양정 (m)	동력 (kW/hp)	극수 (P)		
37,070	#1,3	516	50	150(200)	4	양쪽흡입 원심펌프	효성
	#4,5	516	50	110(150)	4	양쪽흡입 원심펌프	효성
	#2	402	50	95(130)	4	한쪽흡입 원심펌프	효성

주) 상용 : 주펌프(Large Pump) 3대

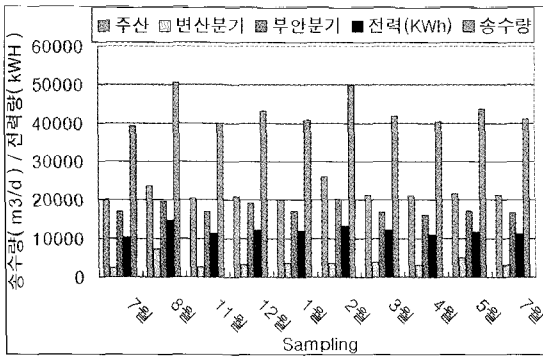
표 7 자양취수장 취수펌프 현황(양흡입 단단 벌루트 형)

구분	호기	유량 (m ³ /min)	유량 (m ³ /일)	양정 (m)	효율 (%)	동력 (HP)	제작사
주펌프 (고양정)	1,6	46.30	66,672	82.0	80	1200	이천
주펌프 (저양정)	2~5	65.00	93,600	55.0	76	1200	이천

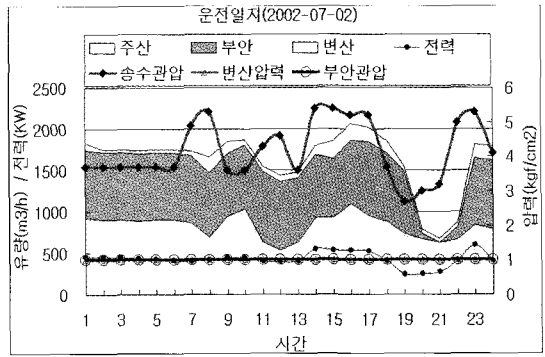
알아보기 위하여 한국수자원공사에서 제공한 운전일지를 발췌하여 운전특성을 아래의 그림 1과 같이 나타냈으며, 그 대상은 2002년 7월부터 2003년 7월까지의 운전자료 중에서 매월 하나씩 모두 10개였다.(나머지 그림은 연구보고서 참조). 이 자료를 살펴보면 시간당 송수량은 2,000m³ 내외로(이는 일간 40,000~50,000m³에 해당함), 펌프의 대수를 변경하며 운전하기도 하고, 주산과 부안의 유입측 밸브를 조절하는 것으로 변산 분기로의 송수량을 조절하는 것을 알 수 있다. 자료를 보면 토출압력이 5kgf/cm² 이상인 경우에 변산 분기의 송수량은 압력이 4kgf/cm² 이하일 때 해당하는 송수량의 2배 이상이 되며, 이는 토출압력이 낮을 경우는 고사포 배수지로는 송수가 불가능함을 의미한다고 할 수 있다.

나. 주남가압장

운전자료는 현장에 설치된 유량계와 수위계 및 압력계의 데이터를 반송정수장 운영실에서 원격검침으로 수집되었다. 운전 자료의 수집기간은 2002년 7월 2일



(가) 1년동안 운전현황



(나) 2002년 7월 달 운전일지

그림 1 부안정수장 운전일지에 따른 운전자료 분석

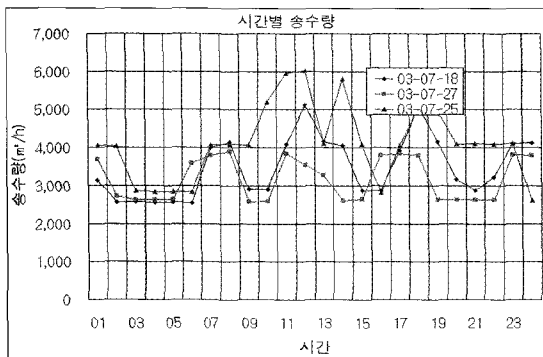


그림 2 주남가압장 신관계통의 시간별 송수량 현황

부터 2003년 7월 29일까지 약 1년간의 자료를 정리하였으며 2002년 12월의 자료는 데이터가 신빙성이 없고 불규칙하여 본 연구에서는 적용하지 않았다.

신관계통 주남가압장의 운전자료로부터 송수량을 계산하였다. 한일합섬 계통의 계획 송수량은 30,000 m³/일 (1,250 m³/h)인데 최대 송수유량이 981 m³/h로 나타난 것은 아직 계획수량까지 도달하지 않았음을 의미하고 반송정수장의 계획유량이 120,000 m³/일 (5,000 m³/h)인데 비해 7,163 m³/h로 나타난 것은 유량계의 오차로 생각된다. 운전자료에 따르면 한일합섬으로의 송수량 평균은 631 m³/h이고 반송정수장으로 유입된 평균유량은 3,315 m³/h로 나타났다. 운전자료로부터 2003년 7월의 날짜에 시간별 송수량을 검토한 결과를 다음 그림 2에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 오전 10시부터 오후 3시까지 송수량이 많고 그 다음은 오후 6시~7시에 송수량이 많았다가 오후 8시부터는 일정하고 새벽 2시에서 6시까지 송수량이 적게 나타났다.

주남가압장 흡수정의 설계 수위와 운전 수위는 설계

최고 수위가 6.0m, 평균수위가 5.50m이나 실제 운전 최고 수위가 4.9m, 평균운전수위가 4.14m로 나타난 것은 흡수정 수위계의 위치가 흡수정 바닥 (EL=1.50)을 0으로 교정되어 나타난 현상으로 생각된다. 흡수정 바닥을 고려한 교정 수위를 고려하면 최고수위가 6.4m, 최소수위가 1.52m 이 때 평균수위는 5.65m로 나타나서 설계수위보다 조금 높게 운전되고 있음을 알 수 있다. 주남가압장 신관계통의 펌프 토출측 말단은 반송정수장의 착수정까지이나 관로상 최고 수위는 제 5터널에서 나타난다. 또한 제 5터널은 가로 2.5m, 세로 2.5m의 수로터널이며 착수정은 폭 4m, 길이 6.8m, 높이 3.5m의 철근콘크리트 구조물이다. 따라서 가압장 관로에서의 실양정은 제 5터널 수위와 펌프흡수정 수위로 정하였다. 그러나 제5터널의 운전수위는 알 수가 없어 설계 수위로 검토하였다.

$$\text{최대실양정} = 67.75 - 3.00 = 64.75 \text{ m}$$

$$\text{최소실양정} = 66.75 - 6.00 = 60.75 \text{ m}$$

운전일지에는 펌프 토출측의 주 배관 압력만 표시되어 펌프의 전양정을 다음과 같이 계산하였다.

각 월별 송수량의 값을 평균한 결과 한일합섬으로의 송수량은 평균 631 m³/h이며 반송정수장으로 유입된 유량은 3,315 m³/h로 나타났으며 이 둘을 합한 신관계통 송수량 평균은 3,947 m³/h (94,728 m³/일)으로 기록되었다. 이때의 평균 전양정은 68m가 되었다.

다. 주덕가압장

한국수자원공사 충주권 관리단의 주덕가압장에는 1734 m³/h 용량의 주송수 펌프 4대와 864 m³/h의 조절 펌프

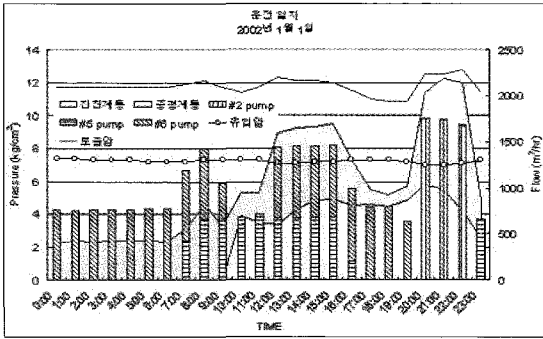


그림 3 주덕가압장 시간별 송수량 현황

2대가 설치되어 있어, 설계송수량이 최소 145,000 m³/일로 추정되나, 2002년 1월부터 10월까지의 평균 송수량은 37,500 m³/일이고 현재는 약 40,000 m³/일로 설계 송수량의 30% 미만이다. 따라서 펌프의 설계 양정 대비 필요 양정에도 여유가 있으므로 변속시스템으로 운전시 많은 에너지 절약이 예상된다.

그러나 충주권 관리단에서는 저부하에 따른 저효율 운전을 보완하고자, 다양한 노력을 기울였으며, 그림 3과 같이 심야전력을 활용한 배수지 운영 및 조절 펌프의 저양정, 대유량 운전과 주 송수 펌프의 전력절감을 위하여, Standby용 조절 펌프까지 나머지 한대의 조절 펌프와 함께 병렬운전을 하는 등 다양한 펌프 조합의 대수 제어운전을 통하여 실질적으로 에너지 절약 운전을 하여 왔다.

운전자료를 분석하기 위하여 2002년 1월부터 2003년 6월까지의 18개월 중 매달 1일 운전자료를 분석하였다. 그림 3은 18개월 동안의 1개월만 나타낸 것이며 자세한 것은 연구보고서를 참조바란다. 그림 3은 주덕가압장은 증평 계통의 수요에 대하여 새벽 0시부터 아침 8시까지 조절 펌프(#6) 1대만 운전하였고, 이후 standby용 조절 펌프 1대를 병렬운전하면서, 대수 제어운전을 하여 최대한의 에너지 절약운전을 하였다. 이후 밤 9시 이후 주 송수 펌프 1대를 약 3시간 운전하였다.

라. 사천정수장

삼천포 계통 송수펌프의 운전현황을 조사하기 위하여 사천권 관리단에서 제공한 반년(2001.2~2001.7) 동안의 정수장 운영일지를 토대로 송수펌프 1~5호기의 평균운전시간을 분석하였다. 분석결과를 살펴보면 주 펌프 중 4호기는 일평균 20시간 이상 운전되고 있는 반면, 5호기는 1시간도 채 운전되지 않고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 조절펌프인 2호기는 일평균 11시간

이상 운전되어 상당한 운영부하(operation load)가 걸리고 있는 것으로 나타났다.

삼천포계통 송수펌프의 운전현황을 보다 세밀히 조사하기 위하여 일주일 동안 연속적으로 송수펌프를 운영한 실적을 시간대별로 정리하였다. 주 펌프 1호기는 일주일에 한 번 5시간 50분 동안 운전되었으며, 5호기는 전혀 운전되지 않은 반면에, 4호기는 금요일부터 다음 주 월요일까지 72시간 동안 연속·운전된 것으로 기록되었다. 주 펌프 3호기와 조절펌프 2호기는 용수공급량과 수요량의 균형을 맞추기 위하여 하루에 한차례 이상씩 기동·정지(on/off)된 것으로 나타났다. 또한, 용수의 수요가 증가하는 아침 7시부터 저녁 8시까지의 시간대에는 2, 3, 4호기 펌프 3대로 병렬·운전하는 경우가 많았고, 용수 수요가 감소하는 심야 시간대에는 펌프 1대만을 운영하였다. 이러한 운영 방법은 수년간의 펌프장 운영실적 및 운전자의 경험을 바탕으로 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

한편, 사천권 관리단에서는 충무계통과 삼천포계통의 송수펌프를 구동하는데 소요된 전력량을 따로 기록하지 않고, 두 계통으로 공급된 정수에 대한 원단위 전력량을 통합·관리해 왔다. 이에 따라 삼천포계통의 송수펌프장에 대한 원단위 전력량을 별도로 산출하기가 매우 어려웠다. 또한, 지자체에서 관리하고 있는 배수지들의 수위나 유입밸브의 운영에 관한 자료가 확보되어 있지 않아서 시스템 저항곡선을 추정하기도 곤란한 상황이었다. 2단계는 운전자료가 없어 운전자료를 분석하지 못하였다.

마. 자양취수장

자양취수장의 운전현황을 분석하기 위하여 운전일지 자료 중 2002년 8월 1일부터 2003년 7월 31일 까지의 1년간의 자료를 정리하였다. 최근 1년 동안 자양취수장에서 취수한 취수량을 그림 4에 나타내었다. 취수장의 시설용량은 266,500 m³/일이나 년 평균으로 보면 시설용량의 약 61% 정도인 162,393 m³/일을 펌핑하고 있다.

취수펌프의 1년간 운전 시간을 살펴보면 고양정 펌프인 1호기와 6호기는 현재 전혀 운전하지 않고 있는 상태이며, 저양정 펌프 중에서도 인버터가 설치되어 있는 2호기와 5호기를 상대적으로 많이 운전하였음을 알 수 있다.

주관압력이 5kgf/cm² 정도가 되는 경우에는 펌프가 2대운전 중인 경우이며, 2.5kgf/cm² 정도인 경우에는 펌프가 1대 운전 중인 경우이다. 또한, 주관압력이 4kgf/cm² 인

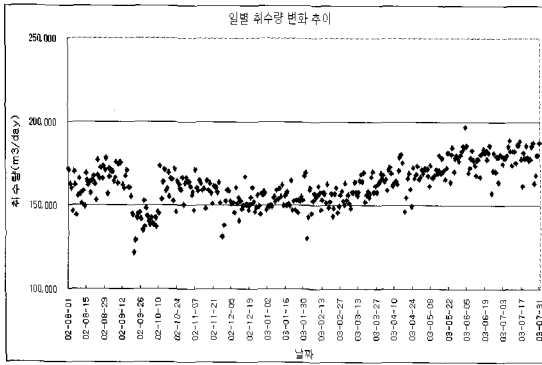


그림 4 자양취수량 일별 취수량 변화 추이

경우는 인버터 운전을 하는 경우로서, 2003년 1월 초 순과 2월, 3월, 4월 중점적으로 인버터 운전이 이루어졌음을 알 수 있다.

4. 펌프모터의 최적 운전방안 수립에 대한 결과

4.1 펌프모터의 최적 운전방안 수립

상수도 시설기준에 따라 오랫동안 펌프를 시설변경 없이 사용하려고 하다보니 부득이하게 여유량이 상당히 포함된 설계가 되고, 그 결과로 인하여 실제 운영 시에는 운전범위를 상당히 벗어나거나, 토출밸브를 조정하여 손실이 많이 발생된 운전을 하게 된다. 펌프설비의 운전방식을 결정할 때에는 에너지를 염두에 두고 설비의 규모, 토출유량의 변동폭 등을 감안하여 대수 제어, 밸브개도제어, 각종 방식에 의한 회전속도제어나 임펠러의 커팅 등 모든 각도에서의 검토를 하였다.

분석결과를 살펴보면 자양취수장의 경우 관로 저항 곡선이 급상승하는 손실헤드형이고 현재 2대 병렬 운전일 때가 최상의 운전 조건이기 때문에 장래 수요 수량이 늘어날 경우에 동일 용량의 펌프를 1대 더 추가하더라도 유량 증가의 효과가 거의 없을 뿐더러 저유량 저효율 지점에서 운전되므로 펌프 수명 및 에너지 절약 면에서 매우 불합리하다.

In-line 형태의 가압장인 주덕가압장의 운전현황을 살펴보았을 때 인라인 가압장을 설치하는 경우 흡입쪽에 분기되는 곳이 있다면 유량을 동등하게 분배하던가, 독립라인으로 분리하는 것이 바람직하다. 또한 관로손실이 큰 경우(자양취수장)는 정속운전보다는 변속운전을 하는 것이 많은 에너지 절감을 가져옴을 확인하였다.

밸브의 개도조절(부안정수장)에 따라 전력원단위가

변화하는데 밸브의 개도를 적게 하면 변산 방향의 유량은 상대적으로 증가할 것이므로 유량이 커짐에 따라 원단위전력량이 커지고 있다. 이를 보면 유량이 적을 경우 상대적으로 원단위전력량이 낮게 나오는 경향이 보이며, 이는 밸브의 개도조절이 어느 정도는 소비전력량의 상승에 기여하였기 때문이다.

임펠러 커팅 방법은 본 연구의 대상인 5개 사업장 모두 임펠러를 커팅하였기 때문에 변속펌프 적용에 상관없이 펌프의 운전을 최적으로 하기 위하여 반드시 고려해야 할 사항으로 판단된다.

4.2 최적의 변속시스템 적용 방안

4.2.1 부안정수장

양정 및 유량변화가 과대한 사업장인 부안정수장의 변속시스템을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 최적의 운전방안

- 1) 고사포배수지에 별도의 인라인 펌프를 반드시 설치하고,
- 2) 기 설치된 78m의 고양정 펌프를 50m 양정의 펌프로 변경하고
- 3) 2)의 펌프에 변속(인버터)시스템을 펌프 1대에 적용하는 것이 타당하다.

나. 변속시스템 설치시 경제성 검토

- 1) 인라인 펌프(고사포배수지)의 설치와 기 설치된 고양정펌프 대신에 양정 50m의 펌프로 변경하면 기존 펌프 시스템보다 전력량을 16% 정도 절감할 수 있으며 이를 연간 운영비 절감액으로 환산하면 약 5,500만원(0.292 kWh/m³→0.244 kWh/m³) 이 된다.
- 2) 변속시스템을 적용하면 연간 약 3,200만원(0.244 kWh/m³→0.216 kWh/m³)의 운영비용을 추가적으로 절감할 수 있다.
- 3) 변속시스템을 적용하면 현재보다 연간 약 8,700만원의 운영비용 절감이 가능해짐에 따라 약 2.3억원(변속시스템 : 1.5억원 + 인라인가압장 : 0.8억원)의 투자비를 회수하는데 약 3년(2년 8개월) 밖에 걸리지 않을 것으로 사료되므로 이 사업장의 경우 인라인 펌프(고사포 배수지)와 변속시스템 1대를 적용할 것을 제안한다.

4.2.2 주남가압장

용수공급량이 변경되어 펌프의 운전점이 달라진 신관계통 주남가압장에 대하여 운전자료를 기준으로 변속시스템의 적용성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 최적의 운전방안

- 1) 신관계통 주남가압장의 관로저항곡선은 실양정(64.75m)에 비해 손실양정(약13m)이 현저히 적고 변속 운전 범위도 100%에서 85%정도로 적게 나타났다. 또한 대형 및 소형 펌프의 대수 조합 운전 결과와 같이 펌프 성능곡선도에서 밸브의 교축 범위가 작아 펌프 운전이 무리가 없는 것으로 나타났다. 따라서 이 가압장의 펌프는 대소 용량의 펌프를 이용한 대수제어운전으로 운영하는 것이 적절한 것으로 판단된다.
- 2) 현재 사용하고 있는 펌프는 임펠러 컷팅을 통하여 정격양정을 78m, 72m, 68m의 3가지로 조정하여 사용하고 있다. 용수수요량이 시설용량인 200,000 m³/일(8,333m³/h)에 도달 할 경우에는 임펠러 컷팅을 하지 않은 정격 양정 78m용 임펠러를 사용하는 것을 제안한다.
- 3) 직결식 변속펌프로 계획된 신설가압장에서 용수 50,000m³/일을 구관계통의 진해시 관로로 송수하는 경우는 대형펌프 1대의 용량이 55,000m³/일이고 적정운전 범위가 정격용량의 80~110%이며 변속펌프를 적용하더라도 변속범위는 최소 85% 정도 이므로 변속펌프로 교체하지 않더라도 용수공급량에 대응이 용이할 것으로 사료된다.

나. 경제성 검토

변속시스템을 적용할 경우 용수 공급량에 따라 차이가 있지만 전체 유량범위에서 0.019 kWh/m³의 전력원단위를 절감할 수 있다. 그러나 시설용량인 200,000 m³/일(8,333m³/h)일 때는 0.009 kWh/m³의 전력원단위 절감 효과(약 3천만원)가 있으나, 변속시스템(유체커플링 또는 인버터) 적용 시 투자비가 약 3~4억원이 소요되어 시설자금을 회수하는데 장기간이 소요되고 임펠러를 78m용으로 교체 할 경우 오히려 정속펌프로 운전하는 경우의 원단위가 더 유리하다.

4.2.3 주덕가압장

양정 및 유량변화가 심하고 In-line 또는 자동운전

으로 안정적인 설비운영이 필요한 사업장인 주덕가압장의 변속시스템을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 최적의 운전방안

변속시스템을 주펌프 1대에만 적용하여 조절펌프 1대 또는 2대 운전시의 용수량을 만족시키는 방법(1안)과 주펌프 1대를 정속운전하고 조절펌프 1대 또는 2대를 병렬운전하는 방법(2안)이 가능한데 이때 운전효율이 62~65%인 조절펌프를 운전효율 82~84%인 조절펌프로 교체하는 것을 제안한다.

1안을 적용하면 기동시의 흡입측 압력변화와 잦은 on/off로 인한 시스템 의 무리한 운전을 완화시킬 수 있는 장점이 있다. 이 경우 변속시스템은 인버터 방식보다는 유체커플링방식을 적용하는 것이 경제적인 측면과 시스템의 신뢰성을 확보할 수 있게 될 수 있을 것이다.

나. 경제성 검토

- 1) 변속시스템(유체커플링)을 적용하는 1안의 경우에는 연간 절감예상금액이 35백만원인데 비해 투자비가 1.2~1.5억원이 되어 투자회수 기간이 약 4년 이상 소요된다.
- 2) 운전효율이 높은 조절펌프를 이용하는 2안의 경우는 연간 절감예상금액이 34백만원인데 비해 투자비는 1안의 경우보다 약 절반인 7천만원이 되어 투자회수 기간을 1안에 비해 약 2년 줄일 수 있다.

이상과 같이 두가지 방안을 검토하더라도 투자회수 기간이 5년미만이므로 어떤 방법이라도 투자효과가 있다.

4.2.4 사천정수장

가. 1단계 단일 관로 운영시 운영방안

- 1) 삼천포 계통 I 단계 송수펌프실은 계획설계유량의 62.5% 정도로 운영되고 있기 때문에 송수펌프의 병렬운전대수로 제어하는 방법이 합리적인 것으로 판단된다.
- 2) 지자체와 잘 협력하여 주요 배수지의 수위를 모니터링 할 수만 있다면 심야 전력을 이용하여 전력원단위를 현저히 줄일 수 있을 것으로 사료된다.
- 3) 삼천포 계통 송수펌프실의 주요개선 제안사항으로서 주 펌프를 교대로 운전하는 방안, 기존의

에어챔버를 급수탱크로 활용하는 방안 그리고 조절 펌프(2호기)의 시설보완 방안 등을 제안한다.

나. 2단계 단일 관로 운영시 운영방안

남강댐 계통 광역상수도 II단계 사업으로 완공된 저양정 계통 송수펌프는 통수 초기년도에 남해 계통으로만 3,000~6,600m³/일 정도의 매우 적은 용수를 공급할 예정이므로 소유량·저양정 펌프를 보완·설치하는 방안을 제안한다.

다. 통합운영시 운영방안

- 1) II단계 저양정 계통의 주펌프를 변속 시스템으로 전환시켜 에너지를 절약하고 수도시설의 유연성 및 안정성을 확보하는 것이 합리적이다.
- 2) 그러나, 남해계통 급수신청량과 11월말 통수되는 하동계통 및 통영·고성계통에서 공급되던 서포계통을 II단계 관로에서 공급함으로써 12월부터 평균 10,000m³/일로 유량을 공급할 것으로 계획하고 있고 점차적인 유량증가를 고려하였을 때 당분간은 밸브개도조절에 따른 운전으로 효율저하가 불가피하나, 조절펌프만으로 운전하는 것이 타당하다고 판단된다.

4.2.5 자양취수장

변속시스템이 기 설치되어 있는 자양취수장의 운영 현황을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 급수인구의 증가에 따라 취수량의 증가가 불가피한 상황이나, 현재 설치된 저양정 펌프는 9,000m³/h 이상을 공급할 수 없기 때문에 저양정 펌프를 양정이 82m인 고양정 펌프로 교체하여야 한다. 이 경우, 현재 인버터가 설치된 펌프 2대 외에 추가로 다른 펌프 1대에도 변속시스템(인버터 또는 유체커플링)을 도입하여 정속펌프와 변속펌프를 병렬운전하는 것이 더욱 경제적인 운전방안이다. 10,000m³/h 이상의 용수를 공급하는 경우에는 정속펌프 3대를 병렬운전하여 양정이 76m가 되는 점에서 운전하는 것이 운전효율면에서 효과적일 수 있다.
- 2) 수충격 현상에 따른 펌프 및 설비의 보호를 위해서는 펌프 정지시 밸브의 폐쇄시간을 수충격의 영향이 없도록 하는 스텝 제어 등 밸브 폐쇄시간

의 연장 등이 필요하며, 향후 고양정 펌프로 변경하여 운전하는 경우에는 반드시 사전에 수충격 현상에 대하여 철저한 검토를 수행하여 시스템의 안정성을 확보할 것을 제안한다.

나. 경제성 검토

정속펌프를 1대 운전하고 변속시스템을 기 적용한 2대의 펌프와 변속시스템을 1대 추가하여 3대를 변속운전하면 용수공급량이 208,000m³/일일 때 연간 약 2억 1천만원의 비용절감 효과가 있다. 이 경우 변속시스템으로 인버터 1대를 추가하면 투자비는 기 투자된 5억 4천만원과 보완투자비 5천만원외에 약 2억 8천만원이 더 추가된 8억 7천만원의 투자비가 예상되며 1년의 감가상각을 고려하면 3.8년 이내에 투자비 회수가 가능하다.

5. 변속시스템 적용에 관한 설계 및 유지관리 기준

에너지를 절약하기 위하여 변속시스템인 유체커플링이나 인버터를 임의의 선정기준 없이 선정하여 설치한다면 이는 혹을 때리고 하다 붙이는 꼴이 될 수도 있다. 왜냐하면 일단 변속시스템은 유체커플링과 달리 매우 고가이고, 가압장 및 취수장의 형태에 따라 오히려 변속시스템을 사용하지 않는 것이 더 경제적일 수 있기 때문이다.

따라서 기존의 기초조사 자료를 활용하여 다양하게 변하는 펌프의 운전조건에 따른 각각의 효율변화를 분석하고 설계시의 정격양정과 현장에서 운전하고 있는 운전양정에 대하여 최근 수년간의 동력비를 계산하여 비교함으로써 경제성을 검토하여야 하고, 또한 수리계통 및 용수수요 변화에 따른 변화를 고려하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 초보자들이나 현장 담당 운영자들이 최적의 운전을 수행할 수 있도록 그림 5와 같이 변속시스템 적용에 관한 설계 기준과 유지관리 기준을 제시하였다.

6. 맺음말

본 분과에서 상기 5개의 사업장을 방문하여 기존 펌프설비의 운영자료를 조사·분석하였고, 조사자료에 따라 펌프모터 운영시스템의 효율적인 운영방안을 수립할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 분석자료를 이용하여 현재 시스템에서 변속시스템의 적용이 가능한

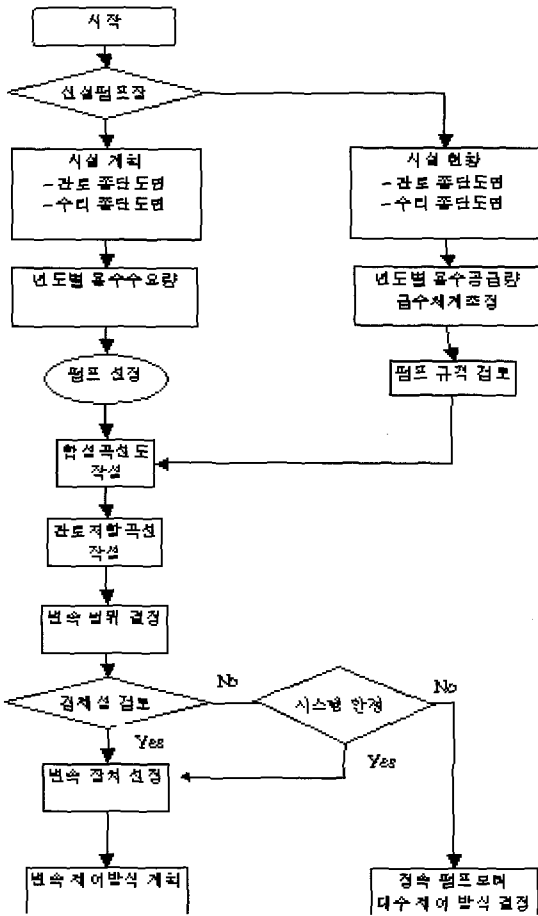


그림 5 변속시스템 적용에 관한 설계 흐름

가를 검토하였다. 더 나아가 위에 언급한 5개 사업장의 분석결과로부터 새롭게 건설될 사업장에도 변속시제안을 다음과 같이 제시하였다.

- 부안정수장 : 고사포배수지에 별도의 인라인 펌프를 반드시 설치하고, 기 설치된 78m의 고양정 펌프를 50m 양정의 펌프로 변경하고 변속(인버터) 시스템을 펌프 1대에 적용
- 주남가압장 : 현재 시스템의 운영이 주어진 조건에

따라 최적으로 운전되고 있으므로 변속시스템 적용 불필요

- 주덕가압장 : 변속시스템을 적용한다면 기동시의 흡입측 압력변화와 잦은 on/off로 인한 시스템의 무리한 운전을 완화시킬 수 있으며 이 경우 변속시스템은 인버터 방식보다는 유체커플링방식을 적용 필요
- 사천정수장 : II단계 저양정 계통의 주펌프를 변속 시스템으로 전환시켜 에너지를 절약하고 수도시설의 유연성 및 안정성을 확보하는 것이 합리적이다.
- 지양취수장 : 9,000m³/h 이상을 공급할 수 없기 때문에 저양정 펌프를 양정이 82m인 고양정 펌프로 교체하여야 한다. 이 경우, 현재 인버터가 설치된 펌프 2대 외에 추가로 다른 펌프 1대에도 변속시스템(인버터 또는 유체커플링)을 도입하여 정속펌프와 변속펌프를 병렬운전

또한, 신설가압장 및 정수장에 변속시스템을 적용하기 위한 기준을 마련하였기 때문에 그 절차대로 수행한다면 초보자도 쉽게 변속시스템의 적용여부를 결정할 수 있을 것이다.

보고서 뒤부분에 변속시스템 유지관리기준을 유체커플링과 인버터로 나누어 정리하였기 때문에 적용하고 있는 그리고 새롭게 적용될 변속시스템을 정확하게 유지관리함으로써 그 효과를 극대화 할 수 있다.

본 연구의 대한 결과를 축약하여 본문에 정리하여 보았지만, 지면의 한계로 인하여 연구목적에 맞는 연구결과를 이해하기 위해서는 부족한 것이 많다. 따라서 궁금한 점이 있는 경우에는 유체기계공업학회 펌프분과로 문의하기 바란다.

후 기

본 연구는 한국수자원공사 수도시설처의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.