

주덕가압장 변속시스템 적용에 관한 연구

권명래* · 김남곤** · 이준성** · 김진만***

1. 연구개요

가압장 건설 후 연도별 용수 배분계획과 실제 배분량의 차이로 인해 펌프의 운전점이 당초 예상했던 시방점을 벗어나서 운영되고 있어 저효율·고비용의 상황이 일어날 수 있는 것이 현실이다. 따라서 현장에서 운영 중인 펌프의 운전현황과 부하의 변동상황, 생산량의 대응방법, 조합운전의 운영상태, 관압의 변화량 등을 조사하여 시스템의 낭비 요소를 찾아내고 효율적인 운전방안과 에너지 절감 가능성에 대해 검토를 실시하고자 한다. 특히 변속시스템의 적용 가능성을 중점 검토하고 경제성을 검토하였다.

2. 기초자료조사

2.1 시설공사연혁

- 충주취수장 시설공사: 94.12.12~98.12.17
- 정수장, 가압장, 관로시설공사: 95.9.4~2001.4.30
(충주정수장, 주덕,금가,살미,상모가압장, 관로공사)
- 통수개시일: 2000.6.30

2.2 수용가 용수수요 현황 및 계획

용수수요 현황 및 계획 (최근의 단기계획)과 용수수요량 산정자료 (당초의 장기계획)는 표 1과 표 2와 같다. 표에서도 알 수 있듯이 계획배분량이 250,000 m³/d이고 현재 송수하고 있는 용수공급량이 44,520 m³/d로서 17.8%의 가동률을 보이고 있다. 또한 충주댐 관리단 용수배분 계획을 살펴보았을 때 용수배분 계획의 50%정도 물량을 보낼 수 있는 시기는 2007년 도가 되어야 가능할 것 같다.

* (주)터보엔에스

** 한국수자원공사 충주권관리단

*** 한국수자원공사 수도시설처

E-mail : hecoses@chol.com

표 1 용수수요 현황 및 계획 (최근의 단기계획)

단위: m³/d, 계획대비율: %

구분	배분계획량		현재		2004		2005		2006	
	계획량	절유율(%)	계획량	비율(%)	계획량	비율(%)	계획량	비율(%)	계획량	비율(%)
합계	250,000	100	44,520	17.8	47,503	19	54,726	21.9	61,510	24.6
충주시	110,000	44	4,350	4	6,000	5.5	9,200	8.4	12,300	11.2
소계	110,000	44	4,350	4	6,000	5.5	9,200	8.4	12,300	11.2
음성군	54,000	21.6	20,000	37	20,990	38.9	23,450	43.4	25,510	47.2
진천군	31,000	12	1,800	5.8	2,450	7.9	2,950	9.5	3,400	11
증평출장소	20,000	8	8,700	43.5	7,845	39.2	8,155	40.8	8,465	42.3
괴산군	72,000	29	2,700	37.5	3,118	43.3	3,171	44	3,235	44.9
이천시	16,000	6.4	4,200	26.3	3,400	21.2	3,900	24.4	4,500	28.1
안성시	10,000	4	3,500	35	3,700	37	3,900	39	4,100	41
소계	138,200	55.3	40,900	29.6	41,503	30	45,526	32.9	49,210	35.6
예비량	1,800	0.7								

주) 2003.8.7 주덕가압장 생산량 36,348 m³/d의 실적임.

표 2 용수수요량 산정자료 (당초의 장기계획)

단위: m³/d

구분	02	03	04	05	06	07	2010	2011
총계	129,514	150,335	168,157	185,978	217,410	224,946	247,714	255,690
충주시	72,606	82,929	90,253	97,576	110,000	126,880	126,880	131,500
소계	72,606	82,929	90,253	97,576	110,000	126,880	126,880	131,500
음성군	20,916	24,212	27,508	30,804	38,000	39,400	43,760	45,200
진천군	13,875	18,656	23,438	28,219	34,100	35,280	38,820	40,000
증평출장소	10,438	11,129	11,819	12,510	13,200	13,420	14,080	14,300
괴산군	4,332	4,799	5,266	5,733	7,500	7,500	7,500	7,500
이천시	4,039	4,529	5,020	5,510	7,910	8,326	9,754	9,990
안성시	2,664	3,423	4,182	4,941	5,700	5,800	6,100	6,200
소계	56,264	66,748	77,233	87,717	106,410	109,726	119,834	123,190
최근수요계획		40,900	41,503	45,526	49,210	(54,863)		
대비율(%)		61.3	53.7	51.9	46.2	(50)		
제천시	643	657	672	686	1,000	1,000	1,000	1,000

2.3 주덕가압장 시설현황

충주권관리단 내 주덕가압장의 시설현황은 표 3과 같다.

표 3 주덕가압장 시설현황

가압 펌프장	RC조, 연면적: 931.48 m ²
가압 펌프	형식: 양흡입 벌류트 펌프
	규격: Q= 28.95 m ³ /min x 73m x 4대 Q= 14.40 m ³ /min x 66m x 2대
	전동기: 3Ø 3.3 kV 640 kW x 4대 3Ø 3.3 kV 335 kW x 2대
크레인	더블거더 호이스트 크레인(1대)
규격	10 ton, span: 7.5 m, 양정: 8 mH, 주행: 43 mH
수전 설비	22.9 kV 3상 2회선
변전설비	위치: 옥내 주변압기: 22.9 kV/3.3 kV 3 Ø 2500 kVA 2대 (몰드)
3.3 kV 수배전 설비 및 기동반	3.3 kV 수전반: 2면 고압기동반: 4면, 저압기동반: 1면, 현장조작반: 6면

2.4 펌프시방 및 운전현황

펌프시방 (양흡입 단단 벌류트형)과 운전현황을 표 4와 표 5에 정리하였다.

표 4 펌프시방 (양흡입 단단 벌류트형)

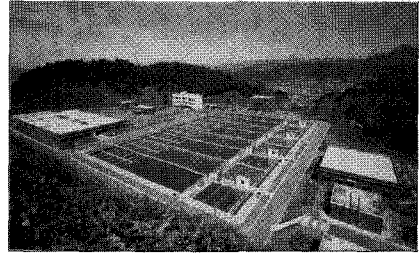
구분	호기	유량 (m ³ /h)	유량 (m ³ /d)	양정 (m)	효율 (%)	동력 kW(HP) x p	비고
주펌프	1~4	1,734	41,616	73	76	640(850) x 4	00년 효성
보조 펌프	5~6	864	20,736	66	72	335(450) x 4	00년 효성

표 5 운전현황

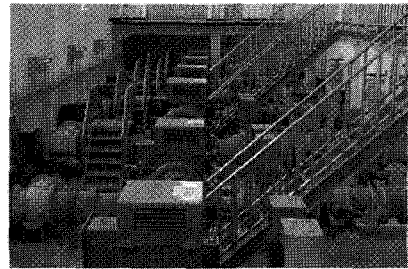
1일 평균 운전 대수	가동 호기	1일 평균 가동 시간	1일 송수량 변화 범위 (m ³ /h)	1일 양정변화 범위 (토출압) (m)	평균 원 단위 (kWh/m ³)	1일 평균 on/off (회수)	비고
주펌프:1	1~4	24시간	900~	110~	0.2558	3~4	무인 자동인라인
보조: 1~2	5, 6	19	2400	130			

2.5. 현장조사 내용요약

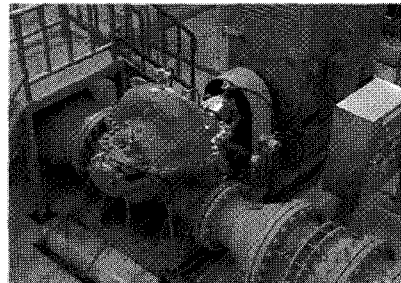
충주권 관리단의 운전현황을 조사하기 위해 현장 방문 시 촬영된 사진들은 그림 1에 나타내었다.



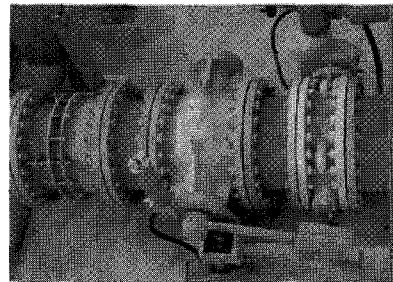
(a) 충주정수장 전경



(b) 주덕가압장 펌프



(c) 주덕가압장 펌프



(d) 주덕가압장 체크밸브

그림 1 현장조사시 촬영된 충주권관리단 펌프관련 사진첩

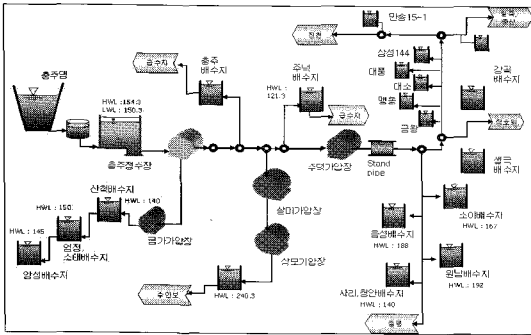


그림 2 충주권관리단의 펌프설비 전, 후단 수리계통도

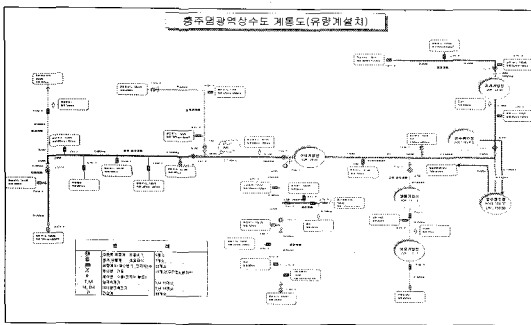


그림 3 충주댐 광역상수도 계통도

또한 펌프설비 전, 후단 수리계통도와 충주댐 광역상수도 계통도를 그림 2와 그림 3과 같이 정리하였다.

2.6 주덕가압장 송수펌프의 성능곡선도

주덕가압장 주 송수펌프와 조절용 송수펌프의 성능곡선도는 그림 4 및 그림 5와 같다.

2.7 주덕가압장 실시설계 내용요약

당초 실시설계 내용은 아래와 같이 분리송수였으나 실제의 설비는 진천과 증평이 통합된 송수라인이며 펌프대수와 용량도 감소하였다. 충주댐계통 광역상수도 사업의 시설용량은 250,000 m³/d이다. 그러나 주덕가압장의 실시설계 세부내용을 보았을 때 용량은 143,600 m³/d이며, 공급지역은 음성군, 증평출장소, 진천군, 괴산군, 안성군, 이천군이며 진천군 지역과 증평, 괴산지역을 별도 송수라인으로 구분하여 송수계획이 되어 있으며 이를 표 6에 정리하였다. 또한 펌프계획은 총 8대이며 주덕가압장은 인라인(In-line) 가압식 펌프장이므로 별도로 흡수정을 설치하지 않고 펌

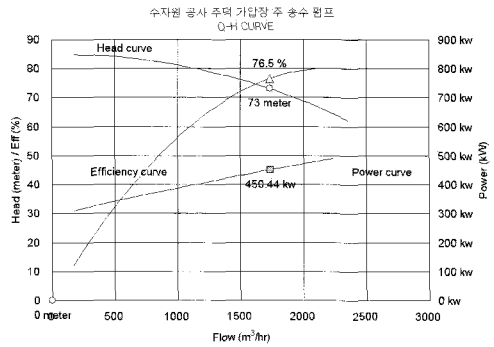


그림 4 주덕가압장 주 송수펌프 성능곡선도

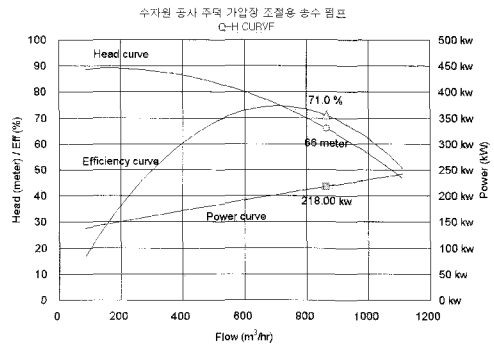


그림 5 주덕가압장 조절용 펌프 성능곡선도

표 6 펌프 계획 개요

구분	진천방면		증평, 괴산방면	
	주펌프	조절용 펌프	주펌프	조절용 펌프
1. 형식	양흡입 벌류트형	양흡입 벌류트형	양흡입 벌류트형	양흡입 벌류트형
2. 유량 (m ³ /d)	47,000	23,500	24,800	12,400
(m ³ /min)	32.7	16.4	17.2	8.6
3. 양정 (m)	83	83	96	96
4. 효율 (%)	80	79	76	74
5. 축동력 (kW)	553	381	354	182
6. 보타동력 (kW)	640	335	410	210
7. 수량(대)	3	1	3	1
상용	2	-	2	-
예비	1	1	1	1

프 흡입용 강관을 펌프장 외측에 관경 1,350 mm로 설치하도록 되어있다.

3. 주덕 가압장 세부 운전현황

3.1 개요

수자원공사 충주권관리단의 주덕가압장에는 1,734 m³/h 용량의 주 송수펌프 4대와 864 m³/h의 조절 펌프 2대가 설치되어, 설계 송수량이 최소 145,000 m³/d 로 추정되나, 2002년 1월부터 10월까지의 평균 송수량은 37,500 m³/d이고 현재는 약 40,000 m³/d로 설계 송수량의 30% 미만이다. 따라서 펌프의 설계 양정 대비 필요 양정에도 여유가 있으므로 가변속으로 운전 적용가능성이 높은 것으로 생각되고 이로 인한 에너지 절약이 예상된다.

그러나 충주권 관리단에서는 저부하에 따른 저효율 운전을 보완하고자 다양한 노력을 기울였으며, 심야 전력을 활용한 배수지 운영 및 조절 펌프의 저양정, 대유량 운전과 주 송수펌프의 전력절감을 위하여 예비(standby)용 조절펌프까지 나머지 한대의 조절펌프와 함께 병렬운전을 하는 등 다양한 펌프 조합의 대수 제어운전을 통하여 실질적으로 많은 에너지 절약운전을 하여 온 것으로 판단된다.

3.2 주덕 가압장의 운전 실태

현재 소비전력과 가변속 개선 투자 후 소비전력과의 정확한 비교를 위해서는 2002년 1월 1일 이후의 매 시간마다 측정된 모든 운전자료를 비교 검토하여야 하나, 자료가 방대하므로 우선 매월 1일의 운전 자료를 표본 조사하였다.

그림 6과 같이 1월 1일 운전에 대한 그림에서 보는 바와 같이 주덕가압장은 중평계통의 수요에 대하여 새벽 0시부터 아침 8시까지 조절펌프 (#6) 1대만 운전하였고, 이후 예비용 조절펌프 1대를 병렬운전하며, 대수제어운전을 하여 최대한의 에너지 절약운전을 하였다. 밤 9시 이후 주 송수펌프 1대를 약 3시간 운전하였다. 그림 7과 같이 2월도 1월과 비슷한 운전 양상을 보이며, 다만 주 송수펌프의 가동시간이 좀 길었고, 대수제어 변환을 위한 모터 가동정지가 많았다.

그림 8과 같이 3월1일의 운전일지도 특이한 사항은 없으며, 피크타임(peak time) 때 1번과 4번의 주 송수펌프 2대를 교대로 단독 운전하였으며 나머지 시간

은 주로 조절용 펌프 2대를 단독이나 병렬 운전하였다. 그림 9와 같이 4월의 운전일지를 보면 농업용수 공급을 위해 가장 유량이 많이 필요한 날이었으며, 2번, 4번 주 송수펌프 2대를 지속적으로 운전하여 필요량을 송수하였다(일상적인 운전은 아닌 것으로 판단됨). 그림 10과 같이 5월의 운전일지를 보면 새벽 0시부터 조절펌프 2대를 대수제어 운전하였으며, 5번 주 송수펌프는 밤 10시 후 잠깐 운전하였다. 그림 11과 같이 6월의 운전일지를 보면 유량증대시 1번, 3번의 주 송수펌프를 주로 운전하였으며, 수요량이 적은 새벽과 한낮에 조절펌프를 운전하였다. 그림 12와 같이 7월의 운전일지를 보면 심야 전력 활용을 위하여 새벽 시간과 밤 시간에 주 송수펌프를 운전하고, 조절펌프는 낮 시간에 2대를 병렬 운전하였다.

8월의 운전일지를 보면 그림 13과 같이 주 송수펌프와 조절펌프가 각각 1일 3회 기동정지하며 대수제어운전을 하여 에너지 절약운전을 하였다. 9월의 운전일지를 보면 그림 14와 같이 1대의 주 송수펌프가 2580 m³/h(정격 1734 m³/h 대비 149%)을 송수하며 저양정 고유량 운전하였다(2차 자료는 흡입압은 5.8~6.0 kg/cm², 토출압 10.6~12.5 kg/cm²). 10월의 운전일지를 보면 그림 15와 같이 수용가로부터의 수요량의 증가로 점점 주 송수펌프의 운전시간이 길어졌음을 알 수 있다(2차 자료의 흡입압은 5.9~6.0 kg/cm², 토출압 10.7~13.7 kg/cm²). 11월의 운전일지를 보면 그림 16과 같이 유량의 변화가 심하여 그에 따라 조절용 펌프 운전과 주 펌프 운전으로 수요량을 조정하였고, 흡입압은 6.0 kg/cm²로 일정하게 나타났다. 그림 17과 같이 12월의 운전일지를 보면 유량의 변화량에 조절용 펌프의 대수제어로 대응하였으며 조절용 펌프 2대 이상의 유량에서는 주 펌프를 운전하였다.

그림 18과 같이 2003년도 1월1일은 주펌프, 조절용 펌프의 변환운전과 대수제어의 변화가 많은 날이었으며 유량의 변화량이 극심하였다. 또한 그림 19와 같이 2003년도 2월1일도 유량의 변화량이 많고 펌프의 기동빈도 또한 많게 나타났다. 그림 19와 같이 2003년 3월1일 운전은 유량의 변화가 거의 없었으며 조절용 펌프 2대가 장기간 연속적으로 운전되었다. 2대 운전시 유량 1800 m³/h, 1대 운전시 약 1000 m³/h 가량이 송수되었음을 알 수 있다.

주덕가압장 변속시스템 적용에 관한 연구

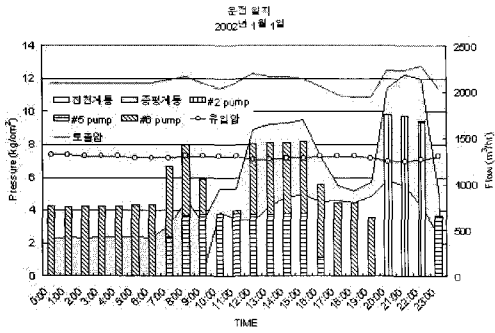


그림 6 2002년 1월 운전일지

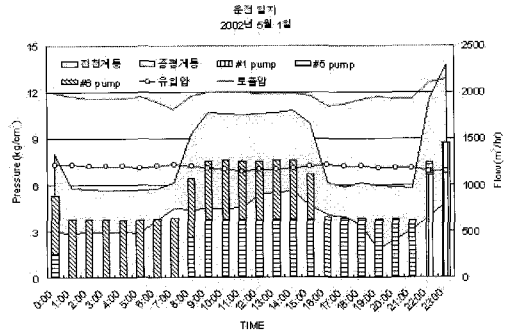


그림 10 2002년 5월 운전일지

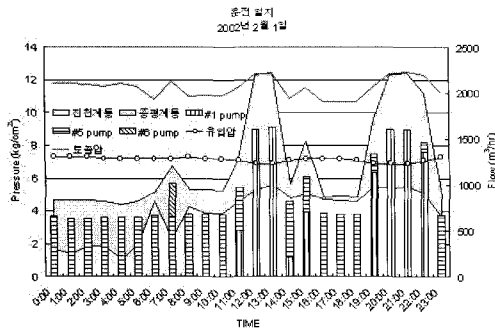


그림 7 2002년 2월 운전일지

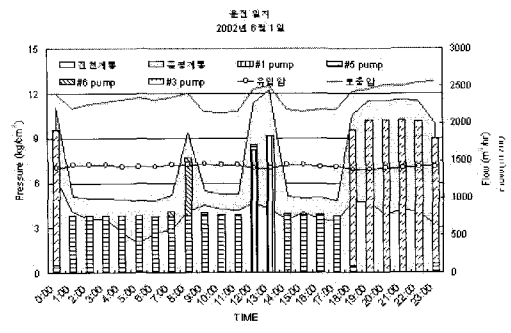


그림 11 2002년 6월 운전일지

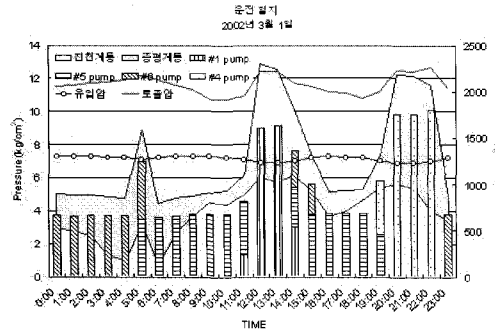


그림 8 2002년 3월 운전일지

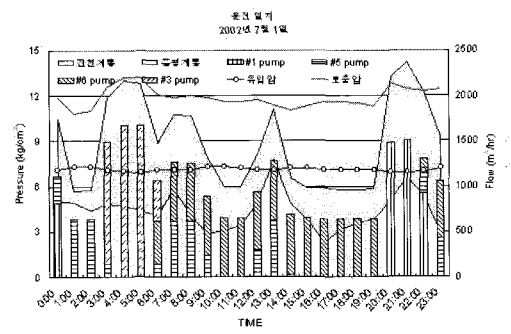


그림 12 2002년 7월 운전일지

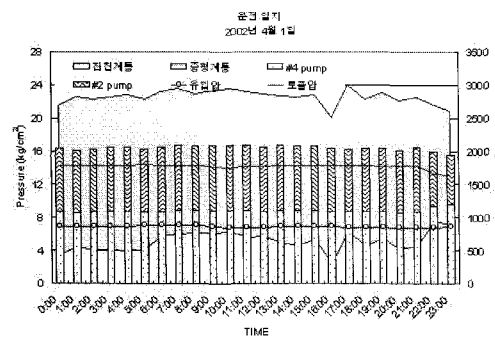


그림 9 2002년 4월 운전일지

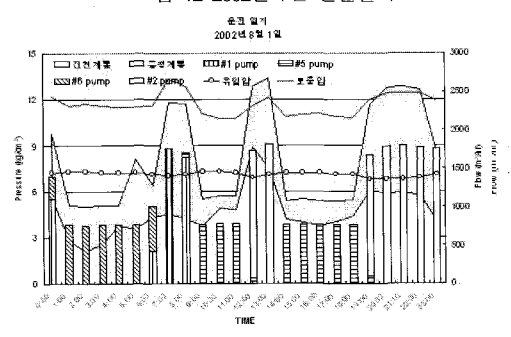


그림 13 2002년 8월 운전일지

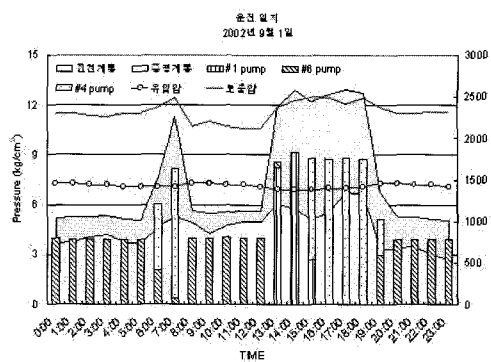


그림 14 2002년 9월 운전일지

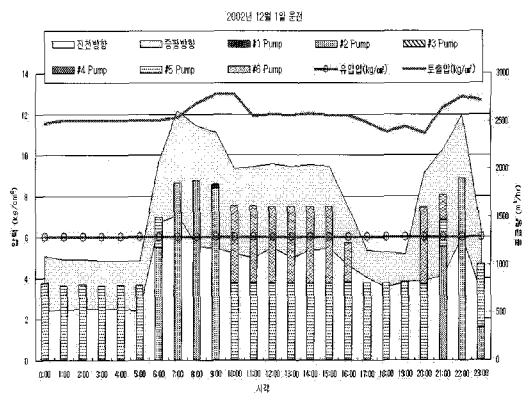


그림 17 2002년 12월 운전일지

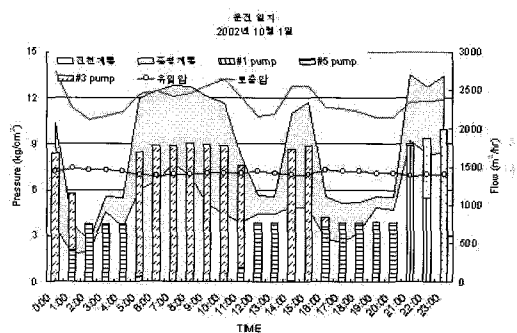


그림 15 2002년 10월 운전일지

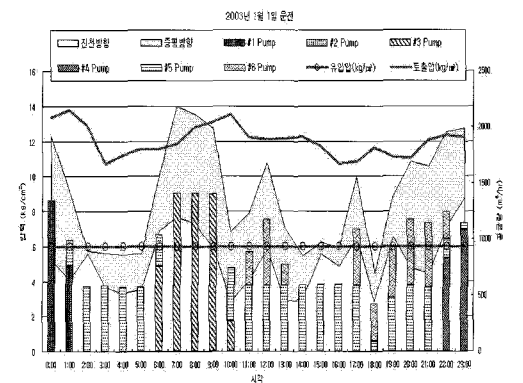


그림 18 2003년 1월 운전일지

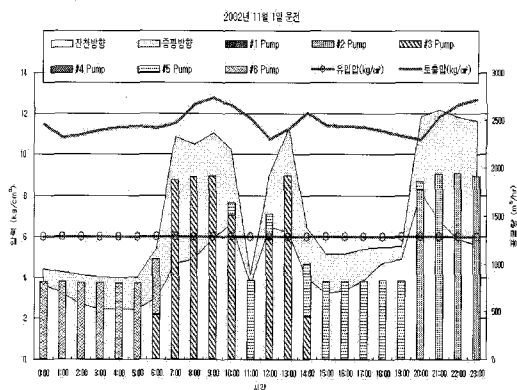


그림 16 2002년 11월 운전일지

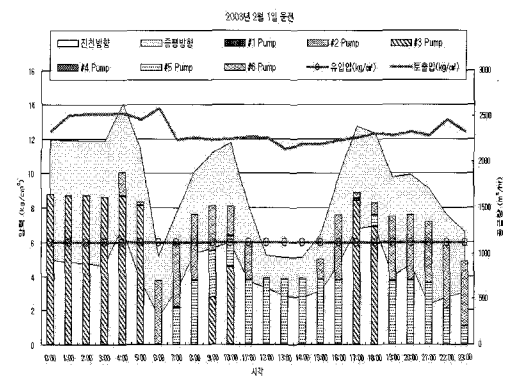


그림 19 2003년 2월 운전일지

주덕가압장 변속시스템 적용에 관한 연구

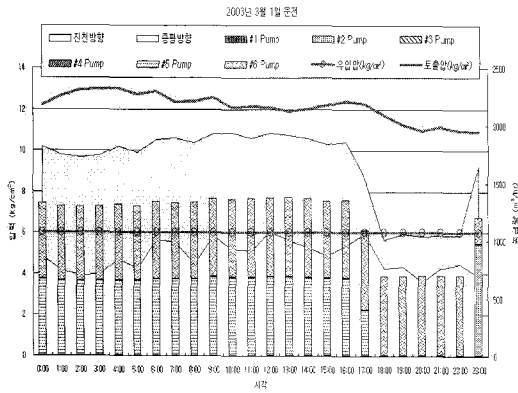


그림 20 2003년 3월 운전일지

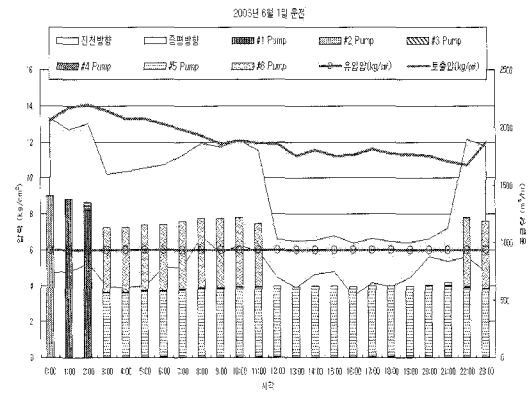


그림 23 2003년 6월 운전일지

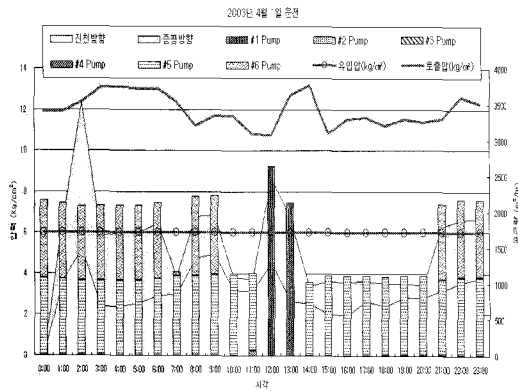


그림 21 2003년 4월 운전일지

그림 21과 같이 2003년 4월1일 운전 또한 펌프의 대수운전에 비해 유량의 변화가 크게 나타났으며 (00:00~04:00) 2003년 5월1일 운전은 그림 22과 같이 유량의 변화량이 크게 나타났고 이에 따른 펌프의 기동빈도도 많이 나타났다. 2003년 6월1일 운전을 그림 23와 같이 살펴본다면 펌프의 기동빈도도 적고 유량의 변화량도 많지 않아 대체로 안정적인 펌프운전 양상이 나타났음을 알 수 있다.

이를 자세히 조사하기 위하여 그림 24과 표 7과 같이 호기별 운전비율과 호기별 운전시간 매월 1일 기준으로 12개월 동안을 조사하여 나타내었다.

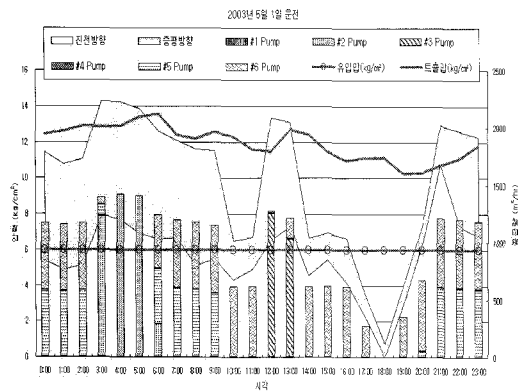


그림 22 2003년 5월 운전일지

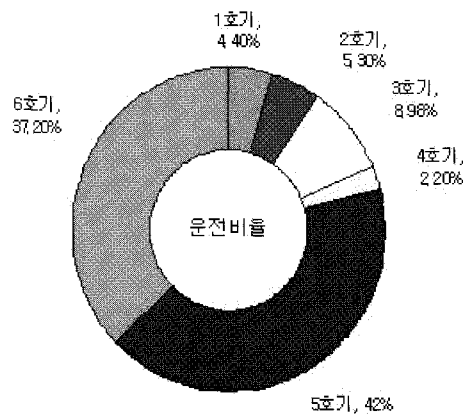


그림 24 호기별 운전비율

표 7 호기별 운전시간 (매월 1일 기준 12개월)

단위: min, %

구분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기	계
7월	187	0	184	0	473	900	1,744
8월	164	373	0	0	493	401	1,431
9월	128	0	0	314	0	989	1,431
10월	95	0	569	80	621	0	1,365
11월	0	234	356	0	436	404	1,430
12월	0	325	0	0	1,116	474	1,915
1월	95	0	224	85	963	388	1,755
2월	0	0	507	0	773	707	1,987
3월	0	39	0	0	1,055	1,400	2,494
4월	111	0	0	0	1,321	722	2,154
5월	0	183	96	0	600	1,035	1,914
6월	175	0	0	0	1,264	661	2,100
계	955	1,154	1,936	479	9,115	8,081	21,720
점유율	4.4	5.3	8.9	2.2	42	37.2	100
	20.8%			79.2%			

3.3 운전 현황 내용 요약

3.3.1 유량 평균값

2003년 7월 이후의 운전상황도 지금까지와 비슷한 상황이라 판단되며 2002년 7월부터 2003년 6월까지의 매월 1일 송수량을 그림 25와 표 8에서 본다면 일평균 38,077 m³/d이며 양정 평균 차압은 5.94 kg/cm²이다.

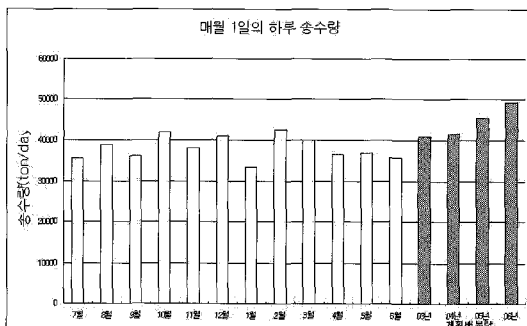


그림 25 매월 1일의 하루 송수량

표 8 매월 1일의 유량 차압

m³/d, kg/cm²

02년 유량, 차압	7월 1일	8월 1일	9월 1일	10월 1일	11월 1일	12월 1일	년평균 유량
	35,573	38,727	36,182	42,107	38,139	41,033	
	5.6	(11.7)	5.7	5.9	5.5	5.9	
03년 유량, 차압	1월 1일	2월 1일	3월 1일	4월 1일	5월 1일	6월 1일	양정
	33,499	42,506	39,867	36,533	36,997	35,850	
	6.0	6.4	6.1	6.0	6.0	6.2	5.94

3.3.2 펌프 호기별 운전시간

펌프 호기별 운전시간을 보면 5, 6호기의 조절펌프 운전비율이 79.2%로 의존도가 높았으며 주펌프인 1~4호기의 운전비율은 20.8%로 저조하였다.

3.3.3 유량의 변화량

2002년 7월부터 2003년 6월까지 매월 1일의 유량 변화량을 진전방향과 증평방향으로 각각 그림 26과 같이 그래프로 표현하여 보았다.

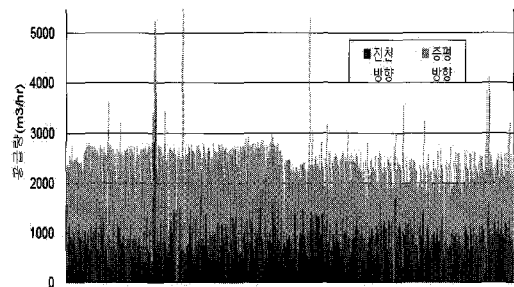


그림 26 02년 7월부터 03년 6월까지 매월 1일의 유량의 변화량

3.3.4 2002년 송수펌프의 양정과 소비동력 변화

2002년도 1월부터 10월까지의 매 1일의 매시간 운전일지를 검토하여보면 2002년 평균 송수량 38,400 m³/d의 같은 송수량에서도 차압은 날짜와 시간에 따라 1 kg/cm²의 차이가 났으며, 이때의 소비동력도 약 100 kW의 차이가 있음을 그림 27과 같이 확인할 수 있다. 이는 각 운전자의 특성과 주 송수펌프와 조절펌프의 병렬운전대수 조합의 차이와 각 분지관으로의 송수조건 (배수지와 수위높이 (실양정 변화)와 송수관

로의 길이차이 (손실양정변화)에 따라 상당한 소비동력의 차이가 있음을 알 수 있다.

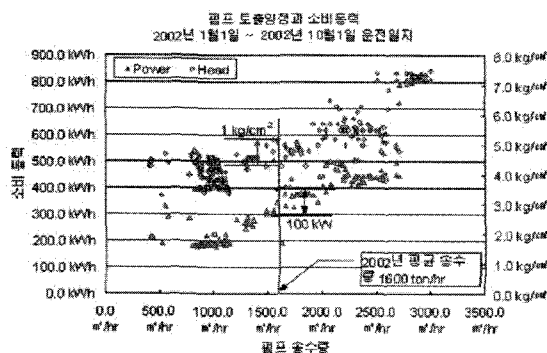


그림 27 펌프토출량정과 소비동력

3.3.5 유량과 동력, 흡토출 압력의 차압

그림 28은 2002년 7월부터 2003년 6월까지의 일차별 유량과 동력, 흡토출 압력의 차압을 가변속으로 가정하여 개략적으로 플로팅 하였으며 일부 이상 값들이 나타나고 있어 원인조사결과 흡입측의 압력 (7, 8월)과 전류치의 기록 차이로 생각된다.

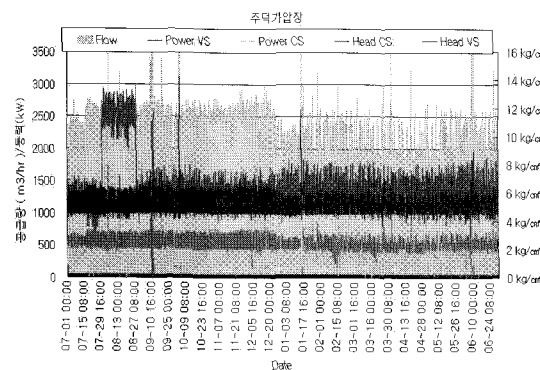


그림 28 유량과 동력, 흡토출 압력의 차압

4. 주덕가압장 변속시스템 적용검토

4.1 운전현황분석

2002년 7월부터 2003년 6월까지 유량과 양정의 운전실적과 보조펌프와 주펌프의 성능을 그림 29에 표시하였다.

이 그래프에서 보면 유량 1,000 m³/h의 그룹은 보조펌프 1대 운전시이고 유량 1,850 m³/h의 그룹은 보조펌프 2대 운전시임을 알 수 있다. 또 유량 2,400 m³/h의 그룹 부분은 주펌프 1대 운전시이다. 그 이상의 유량에서는 주펌프 1대와 보조펌프 1대의 운전범위이다.

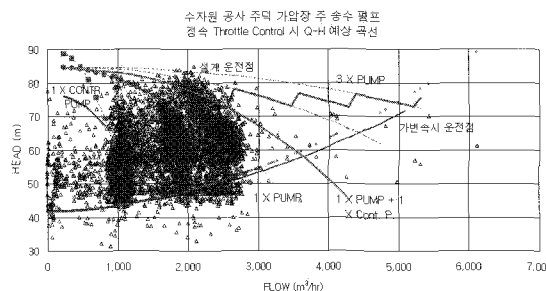


그림 29 정속 throttle control시 Q-H 예상곡선

상기 그림에서 보면 동일 유량에서 양정의 차가 심하다는 것이다. 설계시 예상한 시스템 저항 곡선보다 높은 점에서 운전됨은 물론이고 설계 유량보다도 훨씬 적은 30%정도의 유량이 송수되고 있음에도 토출압이 크다는 것이다. 이것을 단순히 대수 조정 시 일어나는 일시적인 현상으로 보아야 할 것인지 혹은 실양정이 흡토출측의 조건 때문에 변하는 것인지 판단하기 힘든 사항이나 현장의 확인결과 유량은 시간별 평균치가 기록되고 양정은 어느 시점의 순시치가 기록되므로 차이가 날 수 있으며 증평계통으로 송수시 각 배수지의 수위차이 때문에 변화와 상승의 영향이 있을 수 있다. 즉 실양정의 변화와 서로 다른 배수지로의 송수조건에 따라 손실양정의 변화에 따라 달라지는 것으로 판단된다.

본 주덕가압장은 토출측의 여러 가지 조건 때문에 (토출측의 각 분지관의 고저와 길이가 다르고 각 배수지의 수위가 서로 상이함) 부하변동이 심한 것을 알 수 있고, 이는 변속시스템의 적용가능성도 크다는 것을 알 수 있지만 과연 기준점을 어떻게 정할 것인가가 중요하다. 그래서 유량의 범위와 양정의 범위를 어떻게 결정할 것인가에 대해서는 관리단측과 협의를 하였으며 또한 펌프의 운전점은 밸브개도에 의하지 않고 (100% open) 시스템 저항에서 정하여 진다는 것을 확인하였다.

2002년 7월부터 2003년 6월까지의 유량, 양정 운전점과 주 펌프에 대한 병렬운전합성곡선 및 당초에 제

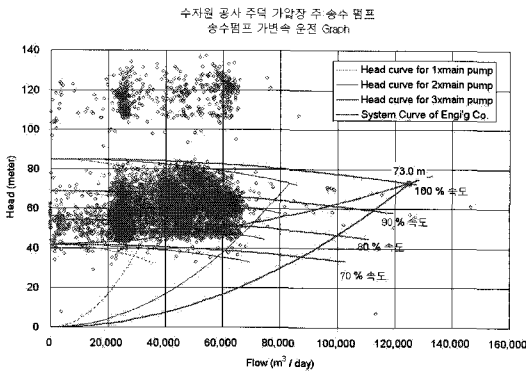


그림 30 송수펌프 가변속 운전그래프

시된 저항곡선과 현 운전점에서 주 펌프의 변속범위 곡선을 그림 30에 함께 나타내었다 (양정이 100~130 m로 표시된 부분은 운전일지상에 흡입압이 0 kg/cm²로 표시되어서 나타난 현상이므로 잘못된 부분임).

이와 같이 부하변동이 심할 경우 일반적으로 기존의 정속펌프를 변속시스템으로 전환시키는 방안이 경제적인 때가 많다. 변속시스템을 채택하는 경우 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 송수펌프의 기동, 정지시 기동전류 및 수격작용을 경감시킬 수 있고 부드러운 운전에 따라 기계설비의 수명을 더욱 늘릴 수 있는 부수적인 효과가 얻어진다. 그러나 그것이 최대의 효과를 얻기 위해서는 과연 필요한 유량과 양정은 얼마이며 어느 정도의 변화 폭을 가져야 하는 것을 정하는 것이 중요하다 하겠다.

이를 위해 좀더 세부적인 운전패턴을 조사하여 본 결과 진천계통으로 송수가 되고 1000 m³/h 가량의 유량 송수시에는 조절펌프 1대가 운전되며 그 점유율이 11시간/일로서 약 46%가 되며 중평계통의 수요가 있고, 유량의 증가에 따라 조절펌프 2대가 운전되는 시간이 7시간/일로서 약 29% 유량이 더 필요하며, 주펌프 1대 운전이 필요한 시간은 5시간/일 21%이며, 조절펌프 1대와 주펌프 1대가 동시에 운전되는 경우는 1시간/일 가량으로 그 운전비율은 5% 미만이다. 이를 요약하면 다음 표와 같다.

그림 31과 같이 운전일지상의 소요동력과 제작사 성능곡선도 상의 동력을 나타내어 보았다. 그런데 그 그래프에 명기한 바와 같이 의문점이 발견되었다. 유량, 양정, 전류 값에 이상이 없다면 변속시스템의 적용 필요성은 없는 것이다. 현재 소비동력은 모터효율 95%, 역률

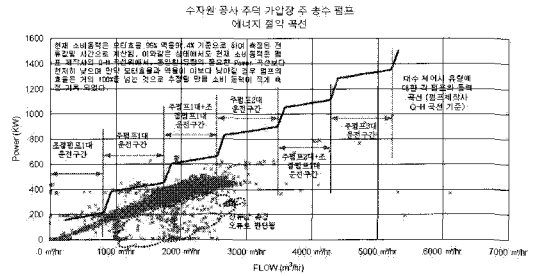


그림 31 송수펌프 에너지 절약곡선

91.4% 기준으로 하여 측정된 전류값 및 시간으로 계산된다.

표 9 유량에 따른 운전 경향과 운전점유율

유량 (m ³ /h)	운전경향	운전점유율 (%)	비고
1 약 1,000 정도	조절펌프 1대 운전	46	저양정 대유량점 운전
2 약 1,850 정도	조절펌프 2대 운전	29	
3 약 2,400 정도	주펌프 1대 운전	21	
4 약 2,500 이상	주+조절 1대 운전	4	

이와 같은 상태에서도 현재 소비동력은 펌프 제작사의 성능곡선 위에서 동일한 유량의 필요한 동력 곡선보다 현저히 낮으며 만약 모터 효율과 역률이 이보다 낮아질 경우 펌프의 효율은 거의 100%를 넘는 것으로 추정될 만큼 소비 동력이 적게 측정 기록되었다. 이는 운전일지상의 기록치가 유량은 시간별 평균치이고 양정과 전류치는 어느 시점의 순시치가 기록된 것으로서 서로의 상관 관계가 맞지 않는 것으로 판단된다.

실제로 주덕가압장 펌프는 수자원공사가 보유 중인 YATESMETER에 의해 펌프성능의 정밀진단자료를 검토하여 본 결과 실제 펌프의 소요동력은 제조사가 제시한 소비동력 곡선보다는 약간 상회하는 곡선을 이루고 있으며 이는 효율저하도 있음을 알 수 있다. 조절펌프는 효율 2~3% 저하, 주펌프는 효율변화량이 거의 없으나 실운전점이 대유량점에서 운전되므로 효율이 좋은 점에서 운전되는 것으로 나타났다.

4.2 변속시스템 적용 검토

주덕가압장 계통의 송수관로는 여러 지역의 배수지로 용수를 공급하도록 되어 있으며 그 결과 송수펌프

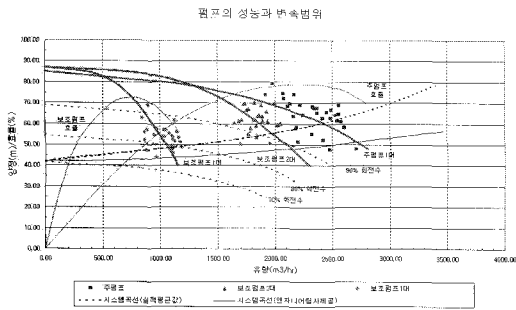


그림 32 펌프성능과 변속범위의 관계

의 운영은 수수지역의 용수 수요량에 따라 운전대수를 조절하는 방법으로 하고 있으며 용수의 수요가 주야간 또는 시간대별로 변하고 있어 송수펌프는 빈번하게 기동 및 정지를 반복하고 있어 변속시스템의 적용 가능성이 크게 느껴진다.

각 펌프의 예상 운전점은 그림 32과 같이 보조펌프 1대 운전시 유량 1000 m³/h 정도, 양정 48 m 정도로서 대유량, 저양정 운전으로 저효율 점에서 운전하며, 주펌프는 1대 운전시 2300 m³/h×63 m 정도로서 저양정 운전이지만 오히려 효율은 정격점보다 좋은 점에서 운전되고 있는 것으로 판단된다. 또한 변속시스템 적용 시에는 현재의 운전효율이 대체로 양호한 주 펌프에 적용하며 변속범위는 다음 그림에서와 같이 100%에서 75% 정도까지가 된다. 해당 유량에 대한 양정은 최근의 운전경향에서 나타난 값으로 표 10과 같이 조사되었다.

5. 변속시스템 적용시 경제성 검토

5.1 현재펌프의 운전경향과 원단위 검토

주덕가압장은 설계 송수량이 145,000 m³/d나 현재는 약 40,000 m³/d로 설계 송수량의 30% 미만으로 운

표 10 운전경향으로부터 도출된 해당유량에 따른 양정범위

	유량 (m ³ /h)	양정범위 (m)	비 고
1	1,000	40~45	양정은 토출측 통합관압에서 측정된 자료이며 펌프장내 배관손실은 감안되지 않은 것임.
2	1,850	50~54	
3	2,400	56~60	

영되고 있으며 조절용 펌프 2대의 운전 비율이 80% 정도이고 주펌프 1대의 운전비율이 20%정도이다. 1일의 운전 경향과 일평균 생산량, 소요동력 예상 계산치는 표 11과 같다. 또한 변속시스템 적용시 에너지 절감예상량은 표 12와 같다.

변속범위는 약 75%까지이며 변속시의 펌프 운전점은 펌프특성과 예상관로 저항곡선과의 교점으로 표시되며 그때의 사양으로 소비동력을 계산하였다. 변속과 정속의 소비동력 절감량의 기준은 동일유량 생산시를 기준으로 하였으며 주펌프 1대로 대응하여 왔던 사양 범위에서는 변속시스템 적용시 발생하는 전달효율(95%~98%) 만큼의 손실 때문에 변속시스템을 거치지 않는 정속 운전으로 계산하였으며 각 유량별 운전시간은 현재와 동일하게 적용하였다. 해당유량에 대한 양정은 최근 경향에서 나타난 값을 적용하였다.

표 11 1일의 운전 경향과 일평균생산량, 소요동력 예상계산치

No.	유량 및 양정 평균	운전 대수	예상 효율	일평균 운전 시간	일평균 생산량 (m ³)	소요 동력 예상 (kW)	kWh/m ³	
1	1,000m ³ /h x 55m	조절 1대	62%	9시간 (38%)	9,000	2,169	0.241	
2	1,850m ³ /h x 60m	조절 2대	65%	9시간 (38%)	16,650	4,175	0.251	
3	2,300m ³ /h x 63m	주 1대	79%	5시간 (20%)	11,500	2,491	0.217	
4	2,300m ³ /h 이상, 양정 65m	조절1 + 주1	74%	1시간 (4%)	2,400	573	0.239	
합 계				일	24시간 (100)	39,550	9,408	0.238
				월	30일	1,186,500	282,240	0.238
주덕가압장제공사료				월평균		1,181,366	284,421	0.241

- 주) ① 예상 효율은 운전양정 감안하여 현운전펌프의 효율을 예측함.
 ② 운전 경향으로 예측한 유량과 동력 원단위가 실적치와 유사함.
 ③ 이 표의 결과로 보면 운전일지상의 전력량은 어느 정도 오류가 있는 것으로 판단됨.

표 12 변속시스템 적용시 에너지 절감 예상량

NO.	변속범위 (rpm)	유량 (m ³ /h)	양정 (m)	소비동력 (kW)	절감량 (kW)	비고
1	77%(1348)	1,000	45	1,485	684	ηp=78% ηc=95%
2	90%(1575)	1,850	54	3,296	879	
3	100%(1750)	2,300	63	2,491	0	ηp=79%
4	정속, 단독	2,400	60	573	0	
합 계			일	7,845	1,563	61.87 원/kWh
			년	2,824,200	562,680	34,813 천원

변속시스템 적용시 예상 에너지 절감량은 년 약 34,813천원의 절감이 예상되나 변속시스템의 투자비용이 1.2~1.5억이라면 투자비 회수기간이 3.5~4.5년이라는 긴 시간이 예상된다.

이와 같이 투자회수기간이 긴 사유는 현 운전유량이 설계유량의 30% 미만이고 향후 5년 후에도 50%를 넘지 않기 때문으로 생각되며 이를 채택하는 경우 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 송수펌프의 기동, 정지시 기동전류 및 수격작용을 경감시킬 수 있고 부드러운 운전에 따라 기계설비의 수명을 늘릴 수 있는 부수적인 효과가 있다.

5.2 변속시스템 적용 이외의 에너지 절감 방법 검토

주덕 가압장은 배수지 급수방식이고 향후 5년간도 유량의 소요가 급격히 증가되지 않기 때문에 시스템에 다소 무리는 있으나 현재의 운영 방법과 같이 심야 전력을 이용한 배수지 운영 및 아주 효율적인 대수 제어를 하는 조건에서는 조절용 펌프를 고효율 펌프로 대체하는 것도 에너지 절감의 효과를 크게 얻을 수 있을 것이다. 조절용 펌프 운전시에는 양정의 여유가 있기 때문에 현재와 같이 대유량, 저양정의 시방을 만족하고 효율이 상승된 (10~15%) 펌프로 교체시의 에너지 절감 예상량은 원단위 예상값 및 일생산량이 약 15%이상 향상될 것으로 예상된다.

표 13과 같이 조절용 펌프를 현재의 양정을 기준으로 고효율 펌프로 교체를 가정했을 경우의 표 14와 같이 유량과 에너지 절감 예상량을 살펴보았다. 개선

된 펌프로 교체시 예상절감금액은 연간 약 34백만원이 예상되고 조절펌프 2대의 투자비용예산은 약 7천만원으로 투자회수 기간은 약 2년으로 예상된다(펌프는 φ350×250, 4P).

표 13 개선펌프사양과 소비동력

No.	유량 및 양정	운전 대수	예상 효율	동일유량 생산시 운전시간	소요동력 예상(kW)	kWh/m ³
1	1,450m ³ /h × 51m	조절 1대	84%	6.2시간	1,483	0.165
2	2,400m ³ /h × 60m	조절 2대	82%	7시간	3,340	0.199

표 14 절감비교표

구분	생산량 (m ³ /d)	효율(%)	소요동력 (kW)	kWh/m ³	전력료 (원)
기존펌프	25,650	62~65	6,344	0.247	392,503
개선펌프	25,650	82~84	4,823	0.188	298,399
개선효과	동일	+19~20	▲1,521	0.059	▲94,104

주) 전력료 : 61.87원/kWh로 계산

년간절감량 : 94,104원/일×30일×12개월=33,877,440원

표 15 절감비교표

No	유량 및 양정	운전시간	운전 대수	일평균 생산량 (m ³)	증가량 (m ³)
1	1,450 m ³ /h×51 m	9시간	조절 1대	13,050	4,050
2	2,400 m ³ /h×60 m	9시간	조절 2대	21,600	4,950
계		18시간		34,650	9,000

조절용 펌프를 새로운 펌프로 교체를 하고 현재와 동일한 시간을 운전하였다 가정하면 유량증가량은 약 9,000 m³/d가 되며 전체 일생산량은 약 48,550 m³/d로서 향후의 배분량 증가에도 대응이 가능하기 때문에 배분량 증가에 따른 유량증가 표 15와 같이 예상할 수 있다.

이 증가량을 금액적인 효과로 계산하여보면 약 32 백만원/년의 효과가 예상된다 (배분계획량 감산 상기 유량의 80%적용 7,200 m³/d × 30일 × 12개월 × 0.2 kWh/m³ × 61.87원/kWh = 32,073,408원/년).

5.3 변속시스템 적용에 따른 장점

주덕가압장의 용수공급현황과 시스템을 심층적으로 고려하고 현재 충주권관리단의 운영상태를 감안하여 보았을 때 에너지 절감을 가져올 수 있는 방법은 조절용 펌프를 고효율 펌프로 교체하여 대수제어운전하는 방법과 주 펌프에 변속시스템(유체커플링)을 적용하는 2가지 방법이 도출되었다. 고효율 펌프 적용에 따른 대수제어 운전방안은 변속시스템 도입에 비교할 수 없이 시설투자비가 적게 들고 투자회수기간이 짧다는 장점이 있다. 그러나 금전적인 면인 투자회수기간보다는 먼저 주덕가압장에서 고려해야 될 점은 적은 용수량에 따른 주덕가압장 내 송수펌프의 잦은 기동과 정지로 인한 설비의 안정성과 수격작용 등으로 인한 유지관리기간의 증가이다.

따라서 이러한 단점을 보완하면서 에너지를 절감할 수 있는 방법은 위에서 검토하였듯이 변속시스템을 도입하는 것이다. 이는 수격작용을 경감시킬 수 있고 부드러운 운전에 따라 기계설비의 수명을 늘릴 수 있는 부수적인 효과를 기대할 수 있고, 병렬 교체운전을 적게 하므로 안정적인 유량과 양정을 유지할 수 있다. 또한 밸브 및 관련 배관 기기의 조작이나 충격없이 원격 기동과 정지 및 교체 운전이 가능하다.

6. 맺음말

- 1) 주덕가압장은 설계 송수량이 145,000 m³/d이나 현재는 약 40,000 m³/d로 설계송수량의 30% 미만으로 운영되고 있으며 향후 5년 후에도 계획배분량의 40% 수준으로 예상되고 있다.
- 2) 총 6대(주펌프 4대, 조절펌프 2대)의 펌프가 설치되어 있으며 현 소요량의 저하로 조절펌프 2대가 80%, 주펌프 1대가 20%의 비율로 운전되고 있다. 펌프의 운전경향은 조절펌프 1대 운전이 46%, 조절펌프 2대 운전이 29%, 주펌프 1대 운전이 21%, 주펌프와 조절펌프 1대씩 조합운전은 5% 미만이다.
- 3) 운전자료를 기초로 보면 부하변동이 심하여 변속시스템의 적용 가능성은 충분하다. 단 투자비용대 회수기간이 길게 느껴진다.

- 4) 조절용 펌프는 현재 정격 시방보다 대유량 저장정에서 운전되고 있어 저효율점에서 운전되므로 전체 월단위 0.238 kWh/m³보다 높게 나타나고 있다(1대 운전시 0.241 kWh/m³, 2대 운전시 0.251 kWh/m³).
- 5) 주덕가압장 현장의 설치조건, 운영방법과 이에 따른 투자비용의 세부적인 사항을 검토 후 최적의 변속시스템을 결정하여야만 한다. 대용량·고전압(640 kW, 3300 V)인 시스템을 가지고 있는 주덕가압장은 가격적인 측면과 검증된 신뢰성 측면에서 보았을 때 인버터를 적용하는 것보다는 유체커플링 방법을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.
- 6) 변속시스템을 주펌프 1대에만 적용하여 조절펌프 1대 또는 2대 운전시의 용수량을 만족시키는 방법(1안)과 주펌프 1대를 정속 운전하고 조절펌프 1대 또는 2대를 병렬 운전하는 방법(2안)이 가능한데 이 때 운전효율이 62~65%인 조절펌프를 운전효율 82~84%인 조절펌프로 교체하는 것을 제안한다. 1안을 적용하면 기동시의 흡입측 압력변화와 잦은 온오프로 인한 시스템의 무리한 운전을 완화시킬 수 있는 장점이 있다. 이 경우 변속시스템은 인버터 방식보다는 유체커플링 방식을 적용하는 것이 경제적인 측면과 시스템의 신뢰성을 확보할 수 있게 될 수 있을 것이다.
- 7) 현장 개선시 예상되는 효과는 다음과 같다.

표 16 현장개선시 예상되는 효과

적용방법	적용효과	예상투자비용	절감예상금액
1안, 변속시스템	부하변동 대응과 안정적 운전	1.2~1.5억원	35백만원/년
2안, 성능개선(조절펌프)	현 사양에 최적인 펌프로 교체	0.7억원	34백만원/년

주) 2안의 절감량은 에너지 절감량의 효과이고, 유량·증가의 효과도 약 32백만원/년 예상됨.

후 기

본 연구는 한국수자원공사 수도시설처의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.