

수도사업장 펌프모터의 변속시스템 최적 적용



# 자양취수장 변속시스템 검토서

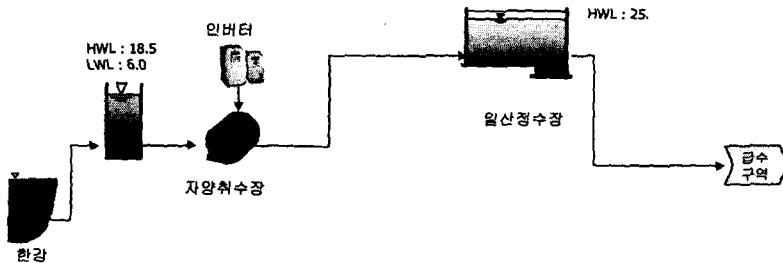
한국수자원공사  
 라병필

수도사업장 펌프모터의 변속시스템 최적 적용



## 용수공급계통

- 1) 시설공사
  - 일산 정수장 : '90. 5. 16 ~ 92. 11. 11. (1단계)
  - '95. 10. 10 ~ 96. 12. 31 (2단계)
  - 자양 취수장 : '89. 12. 31 ~ 92. 9. 27
  - 관      로 : '90. 4. 12 ~ 92. 11. 30
- 2) 통수개시일
  - 1단계 : '92. 7. 12
  - 2단계 : '97. 4. 21



(사)유체기계공업학회 펌프분과

## 시설현황

가압펌프장	부지면적 : 10,867m <sup>2</sup> (3,287평)
취수 펌프 및 권동기	형식: 횡형 양흡입 벌루트 펌프
	규격: Q = 46.3 m <sup>3</sup> /min x 82mH x 2대 Q = 65.0 m <sup>3</sup> /min x 55mH x 4대
	권동기: 3φ, 6.6kV, 1200HP x 6대
천장크레인	형식: 더블거더 호이스트 크레인(1대)
	용량: 100 ton 스팬: 7.5 m 양정: 80 m 수행: 430 m
수전 설비	22.9kV 3상 2회선
변전 설비	위치: 옥내 주변압기: 22.9kV/3.3kV 3φ 2500kVA 2대(클로드)
66 kV 수배전 설비 및 기동반	66kV 수전반: 1면
	고압기동반: 6면 변압기반(600kVA): 2면 직류전원공급설비: 1식 MCC반: 1식 현장조작반: 6면

(사)유체기계공업학회 펌프분과

## 시설현황

펌프 사양(양흡입 단단 벌루트 형)

구분	호기	유량(m <sup>3</sup> / min)	유량 (m <sup>3</sup> /일)	양정 (m)	효율 (%)	동력 (HP)	제조사
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

- 현재 자양취수장에서는 양정이 55m이 저양정 펌프만을 운전하고 있음.

(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 용수 배분 현황 및 현재 배분 현황

계획 배분량(m <sup>3</sup> /day)	용수 공급량(m <sup>3</sup> /day)	비고
250,000 --> 200,000	180,000	97년 변경

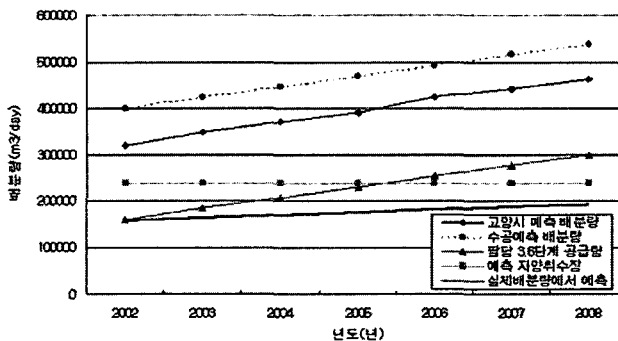
- 2004년 12월 경 파주에 용수 공급 예정임.

(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 용수수요량 수요 조사서

구분	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	비고
총인구	843,800	871,400	898,500	905,000	950,000	960,000	970,000	
급수인구	812,600	845,200	876,300	888,700	936,200	947,700	958,400	
1인 1일 급수량 l	299	309	318	329	337	346	354	
급수량 (m <sup>3</sup> /day)	318,700	347,000	370,300	391,100	424,100	442,210	461,500	

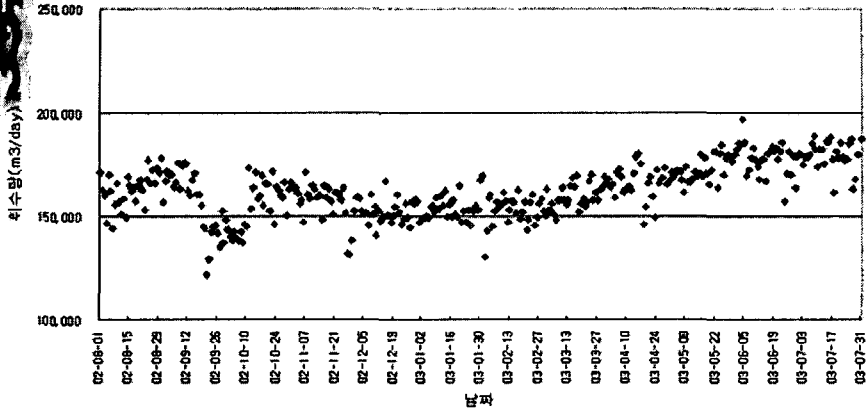


<그림 1> 일산권 관리단 연도별 용수공급량 변화 추이

|학회 펌프분과

## 운전자료 분석(취수량)

일별 취수량 변화 추이

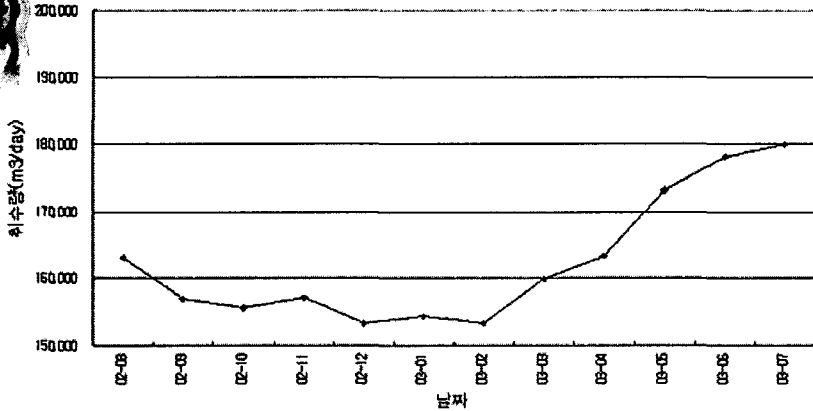


취수장의 시설용량은 250,000m<sup>3</sup>/day이나  
실제용량의 약 65% 정도인 162,393m<sup>3</sup>/day를 펌핑 하고 있다.

(사)유체기계공업학회 펌프분과

## 월평균 취수량 변화 추이

월평균 취수량 변화 추이



일반적으로 유량의 변화 폭이 큰 경우 속도 변환을 하는 경우 에너지 절감 효과가 크다.

(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 펌프운전시간

- 고양정 펌프인 1호기와 6호기는 현재 전혀 운전하지 않고 있는 상태
- 저양정 펌프 중에서도 인버터가 설치되어 있는 2호기와 5호기를 상대적으로 많이 운전하였음을 알 수 있다.

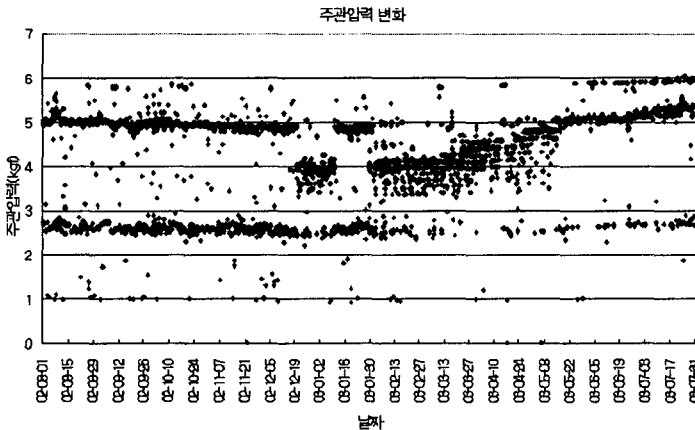
구 분	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
년간 총운전 시간	0	4803	2934	3448	5046	0
일평균 운전시간	0	13:09	8:02	9:26	13:49	0

(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 주관압력변화

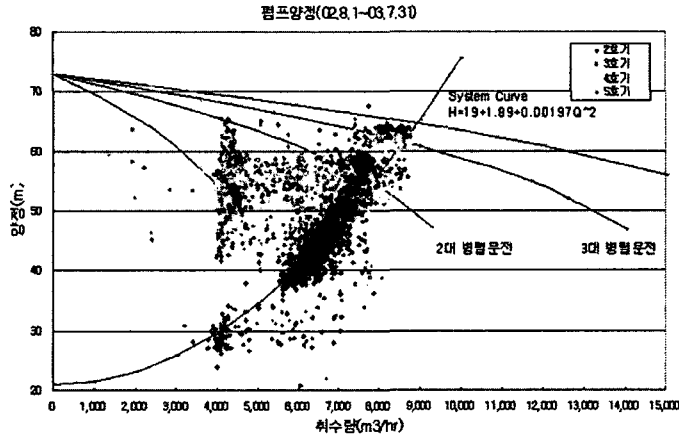
- 주관압력이 5kgf 정도가 되는 경우에는 펌프가 2대운전중인 경우이며 2.5kgf정도인 경우에는 펌프가 1대 운전중인 경우이다.
- 주관압력이 4kgf인 경우는 속도 변화를 하는 인버터 운전을 하는 경우로서 2003년 1월 초순과 2월, 3월, 4월 중점적으로 인버터 운전 함



펌프분과

## 펌프양정 변화

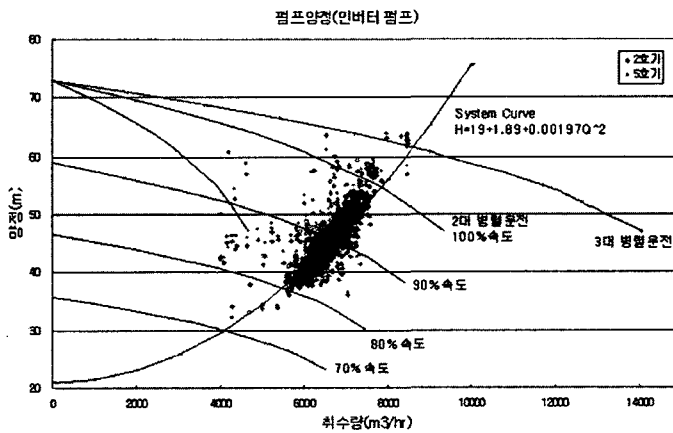
- 운전 양정범위 : 40m에서 60m 사이 (주로 2대 병렬운전)
- 취수량이 4,000m<sup>3</sup>/hr인 경우에는 펌프 1대 단독운전이 이루어 졌으며 8,000m<sup>3</sup>/hr이상의 경우에는 펌프 3대 병렬운전이 이루어 짐
- 운전 자료는 매우 잘 정리되어 운전점이 비교적 관로저항곡선 위에서 움직이고 있음을 확인이 가능하였다.



프분과

## 펌프양정 변화(인버터 적용시)

- 인버터는 정격회전수의 80%이하에서는 거의 운전되지 않았음
- 시스템 곡선으로 추정한 곡선위에서 운전점이 형성됨을 알 수 있다.

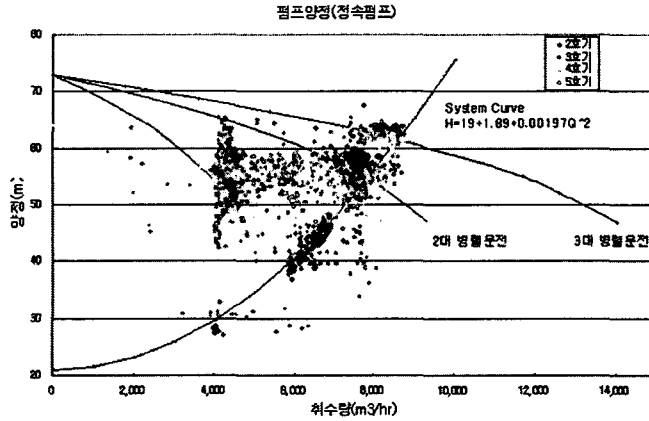


(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 펌프양정 변화(정속펌프만 운전시)

- 인버터 적용시 운전곡선과 차이가 많이 나고 있음을 알 수 있다.
- 인버터 운전의 경우 앞에서 추정한 시스템 곡선을 따라 운전점이 형성됨에 반해 정속운전은 관로저항 곡선을 벗어나 대수제어 운전 및 밸브 조정에 의해 양정이 일정하게 됨을 알 수 있다.

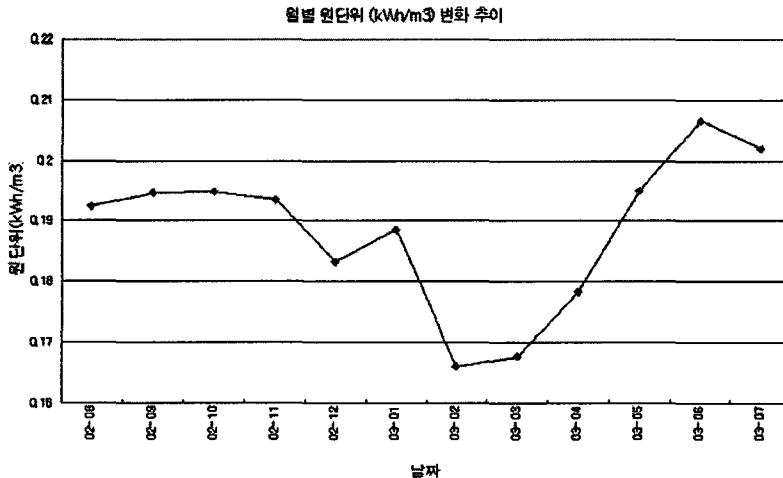


(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 월별원단위 변화 추이

- 인버터를 이용한 운전을 하였던 2월, 3월, 4월에 원단위가 다른 월에 비해 개선되어 경제적인 운전이 이루어졌음을 알 수 있다.



(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 현재 자양취수장의 평가

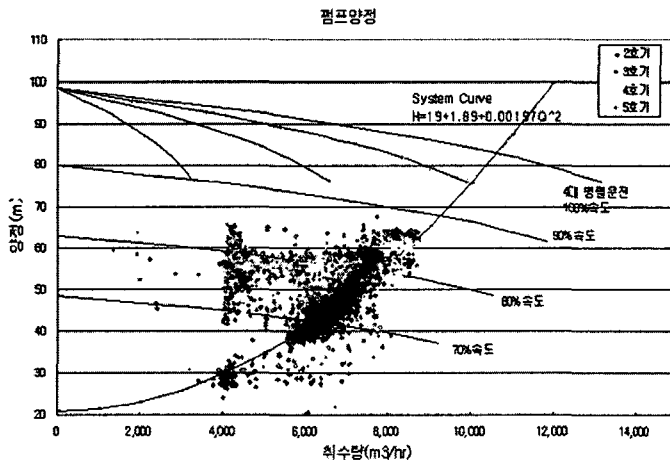
- 자양 취수장은 펌프의 실양정에 비해 손실양정이 매우 큰 펌프장으로서 펌프의 병렬운전에 따른 유량 증가효과는 크지 않다.
- 더구나 현재 설치된 펌프는 55m양정의 저양정 펌프이기 때문에 펌프 4대를 병렬운전하더라도 최대 9,000m<sup>3</sup>/hr이상을 펌핑 할 수 없다.
- 따라서 향후, 취수량을 증가시키기 위해서는 고양정 펌프인 82m펌프로 교체하여 운전하여야 한다.

(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 변속시스템 검토

- 9,000m<sup>3</sup>/hr인 이상 취수할 때 고양정 펌프로 교체시 에너지 절감 효과를 극대화하기 위해서는 고양정 펌프 2대에도 인버터를 장착하여 (기존 인버터 사용여부 검토) 병렬운전을 하면 효과적이다.
- 고양정펌프로 교체시 취수량이 9,000m<sup>3</sup>/hr보다 적어질 경우 변속펌프만 운전하면 된다.



회 펌프분과





## 수충격 검토

자양취수장은 사업검토단계에서 이러한 수충격 현상을 방지하고 안정성을 확보하기 위해 압력챔버의 채택이 검토되었으나, 실시단계에서 보류되었다.

현재 자양취수장에서는 펌프 2대를 운전중 1대를 정지하는 경우 토출밸브를 약 30~40초에 걸쳐 서서히 닫은 후 정지시키고 있는데 이 경우 관압이 상승과 하락을 반복하다 약 10여분 후에 정상적인 관압(약 25kgf)으로 돌아오는 현상이 발생하고 있다. 이때 관압은 1kgf까지 떨어지기도 한다. 따라서 취수량의 증가에 따라 고양정 펌프로 교체하기 전에 반드시 수충격 현상에 대하여 저검토하여 시스템의 안정성을 확보하여야 할 것이다. 일반적으로 펌프의 정지시 폐쇄 시간은 아래와 같이 하는 것이 바람직하다.

$$T > \frac{4L}{a}$$

여기서 T : 밸브 폐쇄 시간

L : 관로 길이 (=35,400m)

a : 압력파 속도 (≈1000m/s)

따라서 자양취수장 펌프의 경우 밸브 폐쇄시간을 최소 140초 이상으로 하는 것이 바람직하다.

(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 맺음말

- 1) 자양취수장은 취수량이 계획수량에 비해 적음에 따라 임펠러를 변경하여 저양정 펌프로 교체함으로써 1차 에너지 절감을 가능하게 하였다. 또한, 취수량의 변동폭이 큼에 따라 그 중 2대의 펌프에 변속 시스템을 도입함으로써 정속 운전시보다 원단위를 절감하여 경제적인 운전이 되었음을 확인할 수 있었다.
- 2) 현재 설치된 저양정 펌프는 9,000m<sup>3</sup>/hr 이상을 공급할 수 없기 때문에 향후 급수인구의 증가에 따라 취수량의 증가가 불가피한 상황이기 때문에 저양정 펌프를 고양정 펌프로 교체하여야 한다.
- 3) 유량이 9,000m<sup>3</sup>/hr 이상 공급시 경제적인 운전을 위해서는 모든 펌프의 양정을 82m로 교체하고 그 중 2대는 변속으로 하여 정속펌프와 변속펌프의 병렬운전하는 것이 더욱 경제적이다.
- 4) 수충격 현상에 따른 펌프의 보호 및 설비의 보호를 위해서는 펌프 정지시 밸브의 폐쇄시간을 140초 이상으로 길게 하는 것이 바람직하며 향후 고양정 펌프로 변경하여 운전하는 경우에는 반드시 사전에 수충격 현상에 대하여 철저한 검토를 수행하여 시스템의 안정성을 확보하여야 할 것이다.

(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 시설현황



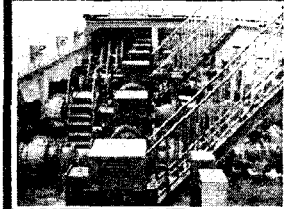
가압펌프장	RC조, 연면적 931.48m <sup>2</sup>
가압펌프	형식: 양유입 프류드 펌프
	규격: Q=28.95m <sup>3</sup> /min x 73mH x 4대 Q=14.4m <sup>3</sup> /min x 66mH x 2대
	전동기: 3φ3.3kV 640kW x 4대 3φ3.3kV 335kW x 2대
크레인	더블거더 호이스트 크레인(1대)
규격	10ton, span 7.5m, 양정 8mH, 주형 4.3mH
수전선비	22.9kV 3상 2회선
변전선비	위치 속내
	주변압기 22.9kV/3.3kV 3φ2500kVA 2대(플트)
3.3kV 수리전 설비 및 기동반	3.3kV 수리반 2면
	교압기동반 4면, 저압기동반 1면
	현장조작반 6면

### 1) 펌프사양(양호입 단단 블류트형)

구분	호기	유량(m <sup>3</sup> /hr)	유량(m <sup>3</sup> /일)	양정(m)	효율(%)	동력kW(Hp) x p	비고
주펌프	1~4	1,734	41,616	73	76	640(860) x 4	00년 호성
보조펌프	5~6	864	20,736	66	72	335(450) x 4	00년 호성

### 2) 운전현황

1일 평균운전대수	가동호기	1일평균가동 시간	1일 승수량변화범위 (m <sup>3</sup> /hr)	1일 양정변화범위 (m)	평균원단위 (kwh/m <sup>3</sup> )	1일 평균on/off (회수)	비고
주펌프:1	1~4	10	900~	110~	0.2558	3~4	무인 자동
보조:1~2	5,6	14	2400	130			인라인



계공업학회 펌프분과

## 수용가 용수수용현황 및 계획(단기)

단위: m<sup>3</sup>/일, 계획대비율: %

구분	배분계획량		현재		2004		2005		2006	
	점유율(%)	대비율(%)	대비율(%)	대비율(%)	대비율(%)	대비율(%)	대비율(%)	대비율(%)		
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								

\* 03.8.7 주덕가압장 생산량 36,348 m<sup>3</sup>/일

(사)유체기계공업학회 펌프분과

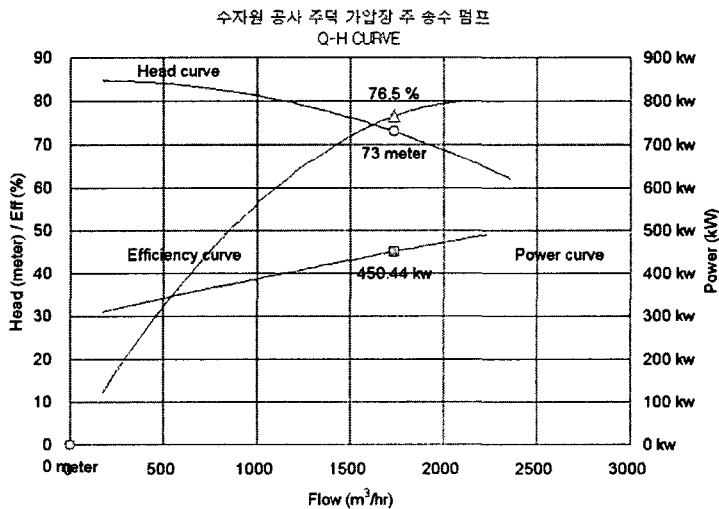
## 용수수용현황 산정자료(전체)

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

(사)유체기계공업학회 펌프분과

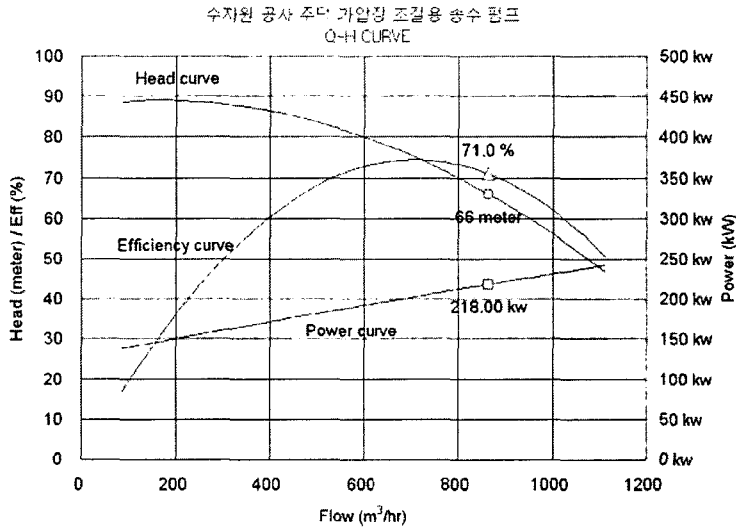
## 펌프성능곡선

### 1) 주 송수 펌프 Q-H CURVE



## 펌프성능곡선

### 2) 조절용 송수 펌프 Q-H CURVE



(사)유체기계공업학회 펌프분과

## 실시설계 내용요약

1) 충주댐계통 광역상수도 사업의 시설 용량 250,000m³/일

2) 주덕가압장

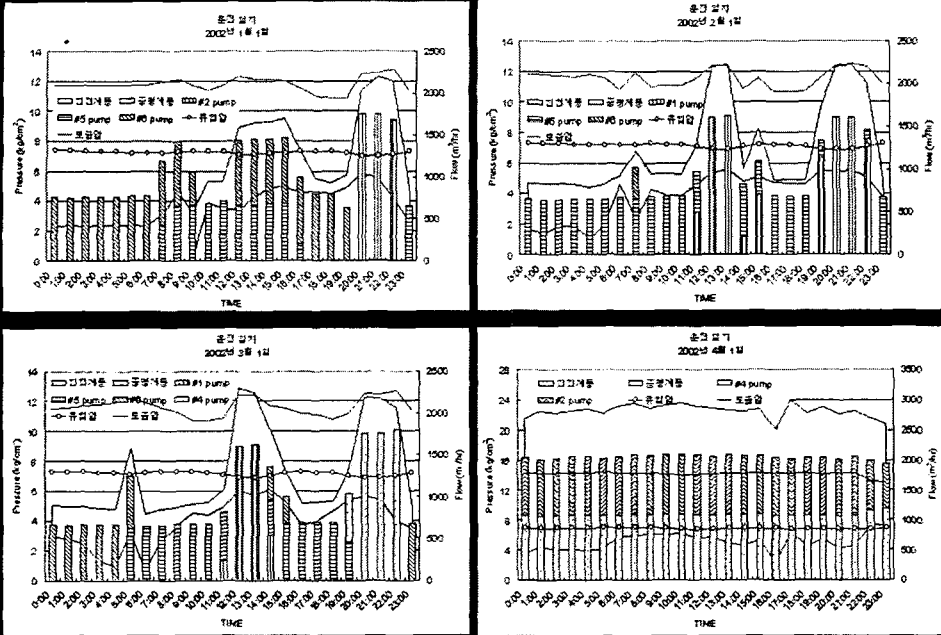
- ① 용량: 143,600m³/일
- ② 공급지역: 음성군, 증평출장소, 진천군, 괴산군, 안성군, 이천군
- ③ 펌프계획은 진천군 지역과 증평, 괴산지역을 구분되어진다.
- ④ 펌프계획개요(총 8대 계획)

구분	진천방면		증평, 괴산방면	
	주펌프	조절용 펌프	주펌프	조절용 펌프
1. 형식	양흡입 볼류드형	양흡입 볼류드형	양흡입 볼류드형	양흡입 볼류드형
2. 유량 (m³/일) (m³/분)	47,000 32.7	23,500 16.4	24,800 17.2	12,400 8.6
3. 양정 (m)	83	83	96	96
4. 효율 (%)	80	79	76	74
5. 축동력 (kW)	553	381	354	182
6. 모터동력 (kW)	640	335	410	210
7. 수량(대)	3	1	3	1
상용	2	-	2	-
예비	1	1	1	1

⑤ 본계획펌프장은 Line 가압식 펌프장이므로 별도로 흡수정을 설치하지 않고 펌프 흡입용 강관을 펌프장 외측에 관경 D=1,350mm로 설치

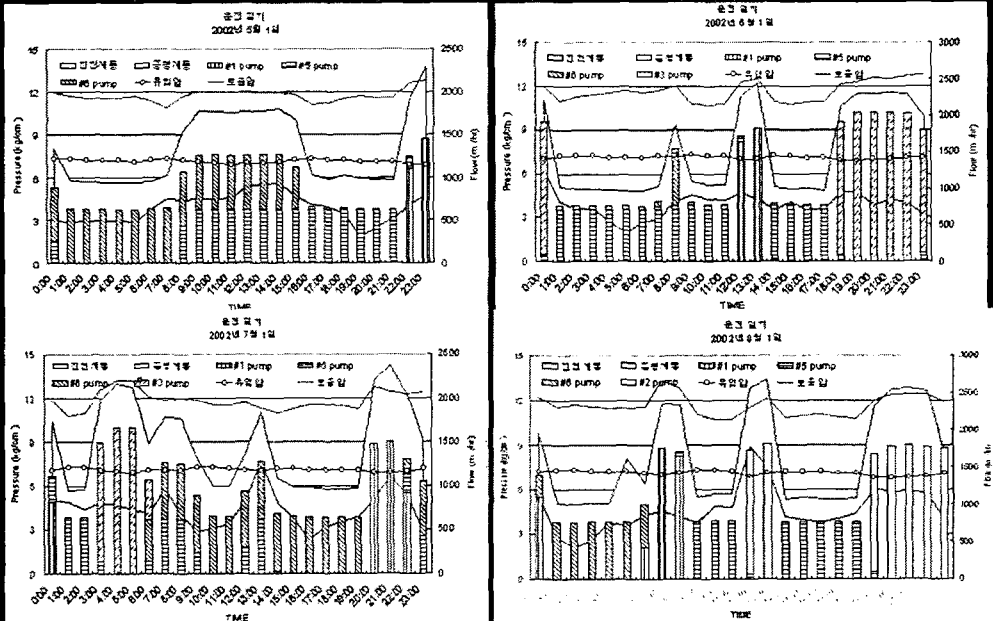
(사)유체기계공업학회 펌프분과

## 주덕 가압장의 2002년 연간 운전 실태(1월-4월)



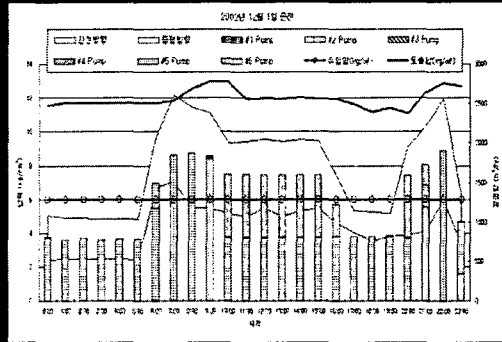
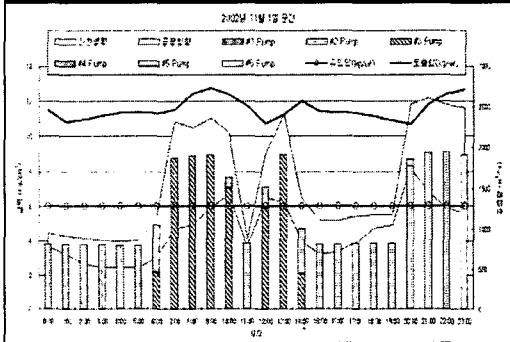
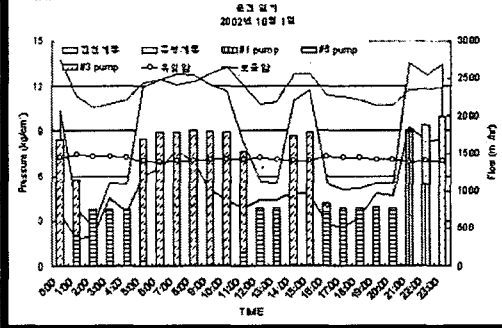
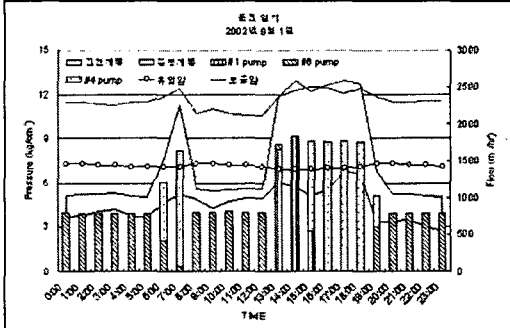
(사)유체기계공업학회 펌프분과

## 주덕 가압장의 2002년 연간 운전 실태(5월-8월)

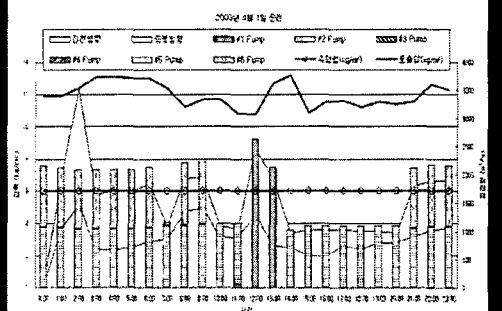
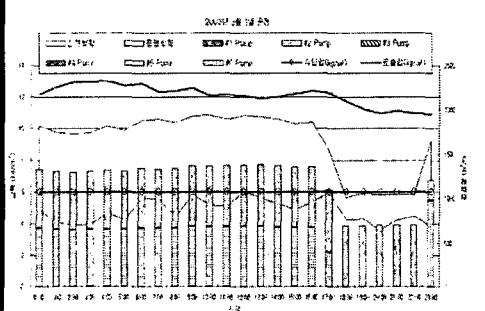
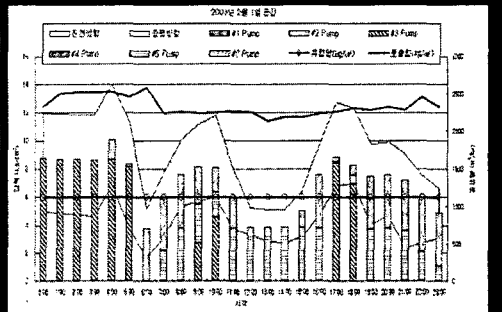
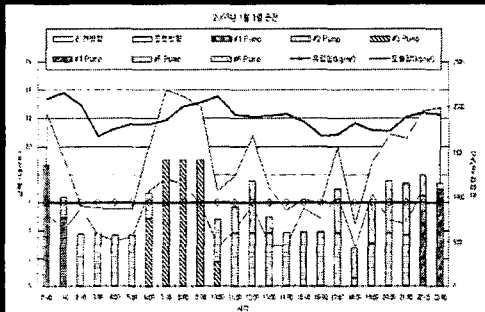


(사)유체기계공업학회 펌프분과

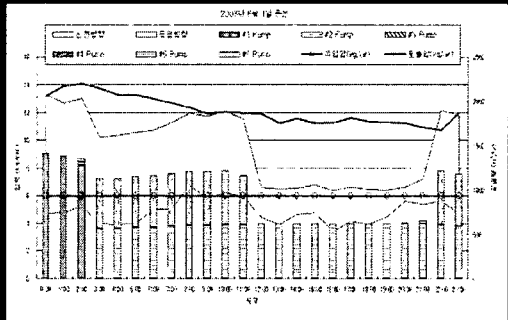
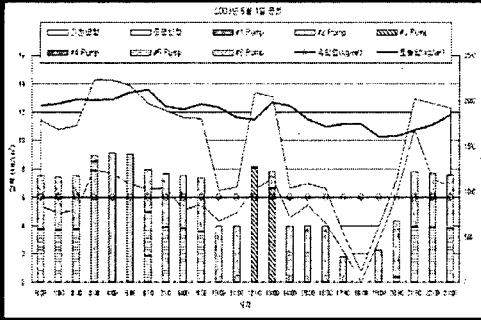
# 주덕 가압장의 2002년 연간 운전 실태(9월-12월)



# 주덕 가압장의 2003년 연간 운전 실태(1월-4월)

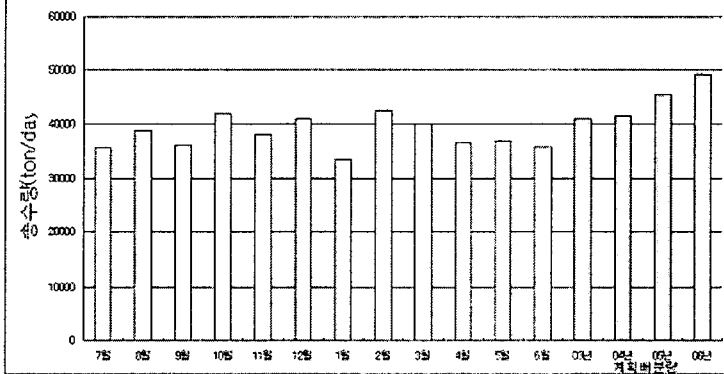


## 주덕 가압장의 2003년 연간 운전 실태(5월-6월)



(사)유체기계공업학회 펌프분과

매월 1일의 하루 송수량

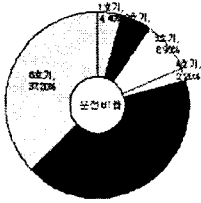


		m³/day, Kg/cm²						
02년 유량 차압	7월 1일	8월 1일	9월 1일	10월 1일	11월 1일	12월 1일	년평균 유량	
	35,573	38,727	36,182	42,107	38,139	41,033		38,077
		5.6	(11.7)	5.7	5.9	5.5	5.9	
03년 유량 차압	1월 1일	2월 1일	3월 1일	4월 1일	5월 1일	6월 1일	양정	
	33,499	42,506	39,867	36,533	36,997	35,850		양정
		6.0	6.4	6.1	6.0	6.0	6.2	5.94

(사)유체기계공업학회 펌프분과



## 펌프 호기별 운전시간

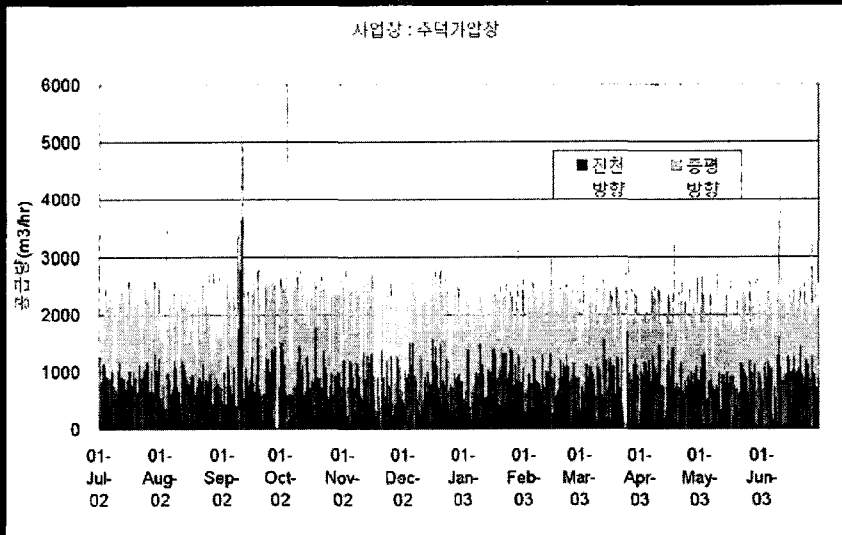


펌프 호기별 운전시간을 보면 5, 6호기의 운전비율이 79.2%로 의존도가 높았으며 주펌프인 1~4호기의 운전비율은 20.8%로 저조하였다.

- 호기별 운전시간 (매월 1일 기준 12개월)

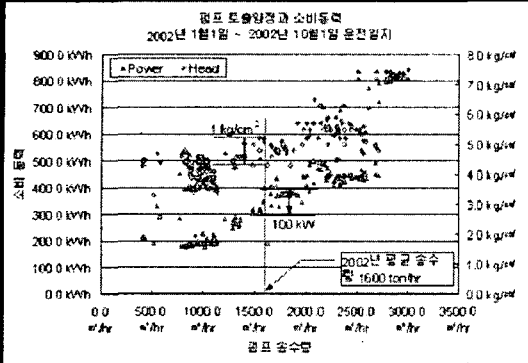
구분	단위: 분						계
	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기	
7월	187	0	184	0	473	900	1744
8월	184	373	0	0	493	401	1431
9월	128	0	0	314	0	989	1431
10월	95	0	589	80	821	0	1385
11월	0	234	358	0	436	404	1430
12월	0	325	0	0	1118	474	1915
1월	95	0	224	85	983	388	1755
2월	0	0	507	0	773	707	1987
3월	0	39	0	0	1055	1400	2494
4월	111	0	0	0	1321	722	2154
5월	0	183	98	0	800	1035	1914
6월	175	0	0	0	1284	881	2100
계	955	1154	1938	479	8115	8081	21720
경유율	4.4	5.3	8.9	2.2	42	37.2	100
	20.8%			79.2%			

## 유량의 변화량



(사)유체기계공업학회 펌프분과

## 펌프의 양정과 소비동력 변화



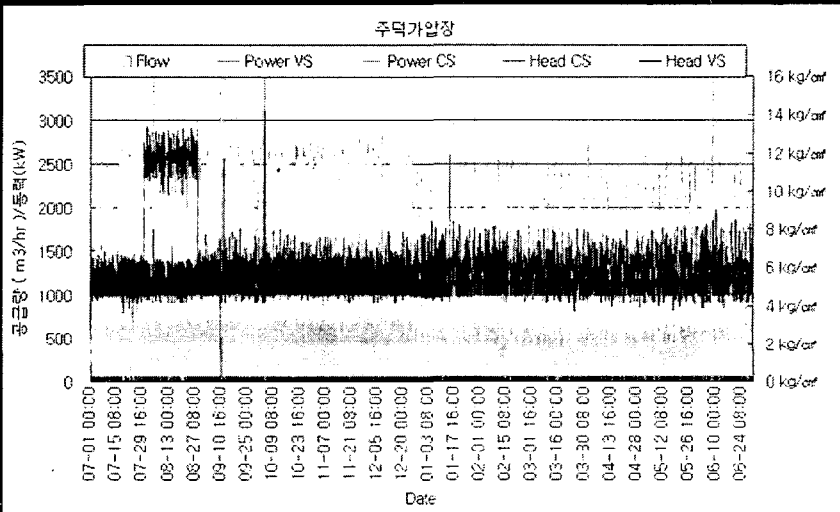
❖ 가변속 운전의 경우, 가변속 유체키플링은 투출측 양정을 Feedback signal로 사용하고, 주 송수펌프를 송수량에 비례하여 가변속하므로, 같은 송수량에 대하여는 항상 같은 동력이 소비되며, 운전자의 운전 특성이나 대수 제어 운전의 차이에 영향 받지 않는다.

❖ 2002년 평균 송수량 1600 ton/hr의 같은 송수량에서도  
 자압의 차이 : 1 kg/cm<sup>2</sup>  
 소비동력의 차이 : 약 100 kW

❖ 각 운전자의 특성과 주 송수펌프와 조절펌프의 병렬운전 대수 조합의 차이에 따라 상당한 소비동력의 차이가 있음을 확인

❖ 같은 송수량에서도 큰 오차를 갖고 있는 실질 소비동력과, 가변속시 예상 에너지 절감량을 비교할 경우, 어떤 시점을 에너지 절약의 비교점으로 선정하느냐에 따라 비교 결과에는 큰 차이가 있다.

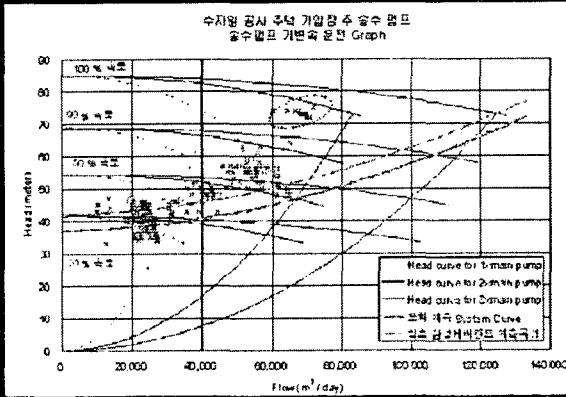
(사)유체기계공업학회 펌프분과



❖ 02년 7월부터 03년 6월 까지의 일차별 유량과 동력, 흡투출 압력의 차압을 가변속을 가정하여 개략적으로 그래프하여 보았으며 일부 이상값들이 나타나고 있어 향후 정밀조사 필요한 사항임.

(사)유체기계공업학회 펌프분과

## 관로저항곡선

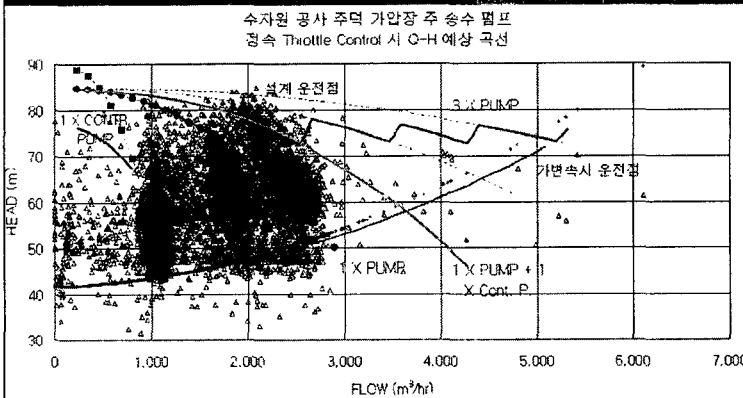


❖ 최종 에너지 절약 제언서에서 예측된 관로 저항곡선은 기본설계시 분석된 것보다 5m 낮게 설정되어 있다.

❖ 이는 기본설계시 고려 되는 여유 양정을 감안할 때 최종 에너지 절약 제언서에서 분석 예측된 저항곡선과 매우 유사한 경향을 보이고 있다.

- ❖ 기본설계시의 관로 저항 곡선보다 높게 운전되고 있음
- ❖ 특히 결선 부분의 식유량 상태에서의 고양정 운전은 2002년 1월 1일의 특수한 운전 조건이었음을 감안하더라도, 진체적인 유량 증가에 따른 필요 양정 증가는 흡입압은 어느 정도 일정한 하더라도 토출측의 배수지 수위가 물의 사용량에 영향을 받아 상승이나 강하하는 것에 기인하는 것이 아닌가 생각된다.

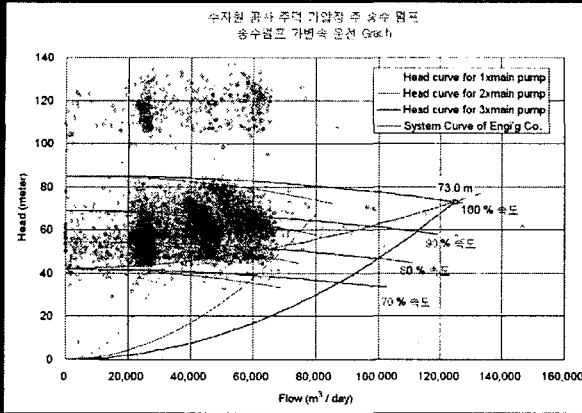
(사)유체기계공업학회 펌프분과



유량 1,000m<sup>3</sup>/hr 자료 :  
보조펌프 1대 운전시  
유량 2,000m<sup>3</sup>/hr의 자료:  
보조펌프 2대 운전시  
유량 2,500m<sup>3</sup>/hr의 자료:  
주펌프 1대 운전시.

- ❖ 동일유량에서 양정의 차가 심하다는 것이다. 설계시 예상한 관로 저항 곡선보다 높은 점에서 운전됨은 물론이고 설계 유량보다도 훨씬 적은 30% 정도의 유량이 송수되고 있음에도 토출압이 크다는 것이다.
- ❖ 이것을 단순히 대수조정시 일어나는 일시적인 현상으로 보아야 할 것인지, 혹은 설양정이 토출측의 조건 때문에 변하는 것인지 판단하기 힘든 사항이다.
- ❖ 이같은 토출측의 여러 가지 조건 때문인지 아니면 인위적으로 대수조정을 많이 해서 그런지 알 수 없으나 부하변동이 심한 것을 알 수 있고 이는 변속시스템의 적용가능성도 크다는 것을 알 수 있지만 과연 기준점을 어떻게 정할 것인가가 중요하다.

(사)유체기계공업학회 펌프분과



❖ 부하변동이 심할 경우 일반적으로 기존의 정속펌프를 변속시스템으로 전환시키는 방안이 경제적인 때가 많다.

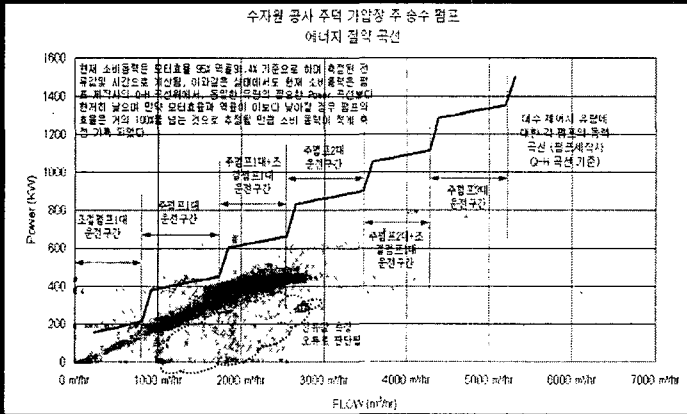
❖ 변속시스템을 채택하는 경우 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 송수펌프의 기동, 정지시 기동전류 및 수격작용을 경감시킬 수 있고 부드러운 운전에 따라 기계설비의 수명을 더욱 늘릴 수 있는 부수적인 효과가 일어난다.

❖ 그러나 그것이 최대의 효과를 얻기 위해서는 과잉 필요한 유량과 양정은 얼마이며 어느 정도의 변화폭을 가져야 하는 것을 정하는 것이 중요하다 하겠다.

(사)유체기계공업학회 펌프분과

### 소요동력과 제작사 성능곡선도 상 동력

- ❖ 유량, 양정, 전류값에 이상이 없다면 변속시스템의 적용 필요성 없다.
- ❖ 현재 소비동력은 모터효율 95%, 역률 91.4% 기준으로 하여 측정된 전류값 및 시간으로 계산됨.
- ❖ 이와 같은 상태에서도 현재 소비동력은 펌프 제작사의 Q-H 곡선위에서, 동일한 유량의 필요한 Power 곡선보다 현저히 낮으며 만약 모터효율과 역률이 이보다 낮아질 경우 펌프의 효율은 거의 100%를 넘는 것으로 추정될 만큼 소비 동력이 적게 측정 기록 되었다.



업학회 펌프분과

# 맺음말

1. 주덕가압장은 설계 송수량이 145,000m<sup>3</sup>/day나 현재는 약 40,000m<sup>3</sup>/day로 설계 송수량의 30% 미만으로 운영되고 있으며 조절용펌프 2대의 운전 비율이 80%정도이고 주펌프 1대의 운전 비율이 20%정도이다.
2. 1일의 운전 경향은 다음과 같다.

	유량 및 양정평균	운전대수	예상 효율	일평균 운전시간	일평균 생산량(m <sup>3</sup> )	소요동력 예상(KW)	KWh/m <sup>3</sup>	
1	1,000 m <sup>3</sup> /hr x 55M	조절펌프 1대	64%	9시간(38%)	9,000	2,097	0.233	
2	1,850 m <sup>3</sup> /hr x 60M	조절펌프 2대	68%	9시간(38%)	16,650	3,987	0.239	
3	2,300 m <sup>3</sup> /hr x 63M	주펌프 1대	75%	5시간(20%)	11,500	2,625	0.228	
4	2,300 m <sup>3</sup> /hr 이상, 양정 65M	조절1 + 주1	70%	1시간(4%)	2,400	605	0.252	
합계				일	24시간(100)	39,550	9,314	0.235
				월	30일	1,186,500	279,420	0.235
주덕가압장제공사료				월평균		1,181,366	284,421	0.241

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

3. 운전자료를 기초로 하여 보면 부하 변동이 심하여 변속시스템의 적용 가능성은 충분하나 현 운전유량이 설계 유량의 30%미만이고 향후 5년후에도 50%를 넘지않기 때문에 투자비용 대비 회수기간이 길다. 그러나 변속시스템을 채택하는 경우 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 송수펌프의 기동·정지시 기동전류 및 수격작용을 경감시킬수 있고 부드러운 운전에 따라 기계설비의 수명을 늘릴수 있는 효과가 있다.
4. 변속시스템 적용시는 주펌프 1대에 적용하고 유량 약 2300m<sup>3</sup>/hr까지는 주펌프 1대의 변속에 의해 필요 수량에 대응하고 그 이상의 유량이 필요할 경우에는 정속 조절펌프 1대와 변속 주펌프 1대가 같이 운전되어야 함.
5. 변속시스템 적용시 예상 에너지 절감량은 동일유량을 송수하고 양정이 약 7m정도 저하되도록 조정한다고 가정하고, 변속시스템의 전달효율의 변화가 없다고 한다면 년 약 2,400만원의 절감이 예상되나 변속시스템의 투자비용이 1.2 ~ 1.5억이라면 투자비 회수 기간이 5 ~ 6년이라는 긴 시간이 걸린다.

에너지 절감량 계산표(예상)

	유량(m <sup>3</sup> /hr)	양정변화	소비동력(일)	절감량(일)	년 절감 예상량
1	1,000	55 → 48M	1,836KW	261KW	1,079KW/일 x 30일 = 32,370KW/월 x 12개월 = 388,440KW/년 x 61.87원 = 24,032,783원
2	1,850	60 → 53M	3,528KW	459KW	
3	2,300	63 → 56M	2,335KW	290KW	
4	2,400	65 → 60M	536KW	69KW	
소계			8,235KW	1,079KW	

6. 단 동일 유량에서 양정 변화가 크게 나타나고 있는 원인을 다시한번 조사해 볼 필요는 있음. - 흡입압 7 ~ 7.2 kg/cm<sup>2</sup>, 토출압 11 ~ 14 kg/cm<sup>2</sup>에 대해서 - 즉 주덕가압장 내에서는 밸브 조정이 없더라도 각 배수·송수 라인의 밸브는 Full로 Open된 있는지, 별도 조정이 있는지 등.
7. 주덕 가압장은 배수지 급수 방식이고 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 얻을수 있을 것이다. 조절용 펌프 운전시에는 양정의 여유가 있기 때문에 현재와 같이 대유량,저양정의 사양을 만족하고 효율이 상승된(10~15%) 펌프로 교체시의 에너지 절감 예상량은 원단위 예상값 및 일생산량이 약 15%이상 향상 예상됨.
8. 조절용 펌프를 현재의 양정을 기준으로 고효율 펌프로 교체를 가정했을 경우의 에너지 절감 예상량은 다음과 같다.

	유량 및 양정	운전대수	예상효율	동일유량생산시 운전시간	소요동력 예상(KW)	KWh/m <sup>3</sup>
1	1,350m <sup>3</sup> /hr x 55M	조절1대	84%	6.5시간	1,561	0.178
2	2,400m <sup>3</sup> /hr x 60M	조절2대	82%	7시간	3,340	0.199

- 1) 현재의 원단위 예상값 0.237KWh/m<sup>3</sup>대비 0.192KWh/m<sup>3</sup>으로 19% 증대.
- 2) 동일유량 25,650m<sup>3</sup>/일 생산시 에너지 절감량은 1.154KW/일로서 연간 415,440KWh로 약 257,000천원의 효과가 예상됨.