

대수 제어 운전의 적용

이봉주* · 강신형** · 서상호***

1. 서 론

펌프 설비를 계획할 때에 펌프의 용량 및 대수의 결정과 병행하여 유량을 조절하는 제어 방식을 검토하게 되는데, 보통 밸브 제어, 대수 제어 및 회전속도 제어가 있으며 보조적으로 필요한 시기에 임펠러를 교환하는 방법을 사용하고 있다. 현재 우리나라의 광역 상수도 설비에서는 수요자의 사용 수량의 변화에 대응하기 위한 방안으로서 회전속도 제어와 더불어 대수 제어 운전을 방식으로 주로 적용하고 있다.

대수 제어 운전 방식은 사용 수량의 변화에 따라 펌프의 운전 대수를 증감하는 방법으로서, 펌프 성능을 수량 변화 범위에 맞추어 펌프 효율이 비교적 양호한 부분에서 운전될 수 있도록 펌프의 대수를 분할하여 펌프의 축동력을 저감시킨다. 여기에는 동일 성능의 펌프를 병렬 운전하는 방법과 성능이 다른 펌프를 번갈아 운전하거나 조합하여 병렬 운전하는 방법이 있다.

현재 광역 상수도에서 동일 성능 펌프의 조합 운전을 하고 있는 자양 취수장의 취수 펌프에 대한 운전 기록을 분석하여 동일 성능 펌프의 대수 제어 운전에 대하여 취수량에 따른 효율성을 분석하여 대수 제어 운전의 적용 방안을 검토하여 보았다.

2. 운전 기록의 분석

현재 적용되고 있는 자양 취수장의 취수 펌프 설비에 대하여 2002년 8월 1일부터 2003년 7월 31일까지 1년간의 운전 기록을 분석하였다. 분석에 사용한 기초 자료는 다음 네 가지이다.

* (주)한돌펌프 대표이사
 ** 서울대학교
 *** 승실대학교
 E-mail : hdpump@komet.net

표 1 펌프 설비 현황

호기	펌프				전동기			
	도출량 (m ³ /d)	양정 (m ³ /h)	양정 (m)	구경 (mm)	제작사	동력 (kW)	극수 (P)	제작사
1, 6	66,672	2,778	82	600×500	이천	900	8	이천
2, 3 4, 5	93,600	3,900	55	600×500	이천	900	8	이천

- 1) 종합 운전 일보
- 2) 펌프 가동시간 월보
- 3) 취수 펌프·모터 운전 일지
- 4) 펌프 2호기~5호기의 성능곡선도 (한 가지)

2.1 가동 펌프 설비의 현황

설치되어 있는 펌프는 양쪽 흡입 원심 펌프 6대로서 그 용량은 표 1과 같다. 초기에는 6대 모두 1호기 및 6호기와 같은 용량이었으나 펌프의 시방 부적합 문제로 인하여 1997년도에 시설 용량 200,000 m³/d를 기준으로 2, 3, 4, 5호기 4대의 펌프의 용량을 변경하여 사용하고 있으며 1호기와 6호기는 사용하지 않고 있다.

2.2 취수량 현황

취수 펌프의 취수량은 종합 운전 일보의 매시간 취수량을 정리하여 그림 1, 그림 2A, 그림 2B에 나타내었다.

- 1) 월평균 1일 취수량은 최대가 2003년 7월에 180,024 m³/d로 시설 용량의 90.0%, 최소가 2003년 2월에 153,210 m³/d로 76.6%에 해당하여 월평균 취수량의 변화는 심하지 않은 편이다.
- 2) 최대 1일 취수량은 2003년 6월에 197,260 m³/d로 변경 시설 용량의 98.6%, 최소는 가동을 하지 않아 취수량이 0인 경우를 제외하면 2003년 4월에 78,330

대수 제어 운전의 적용

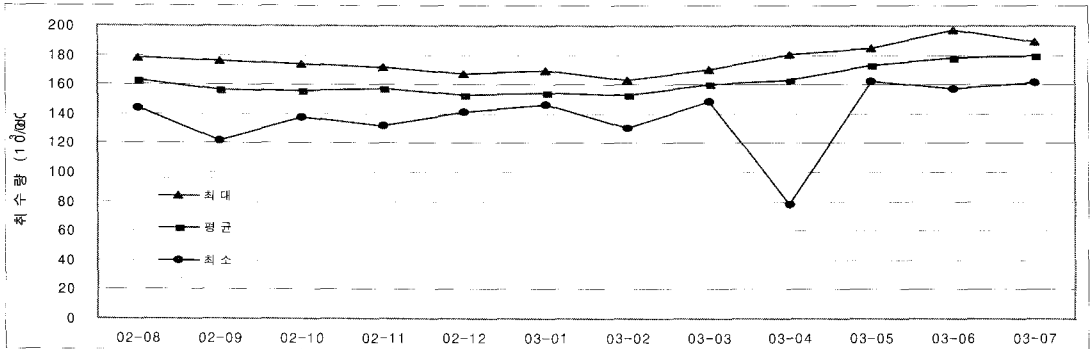


그림 1 월별 1일 취수량(1000 m³/d)

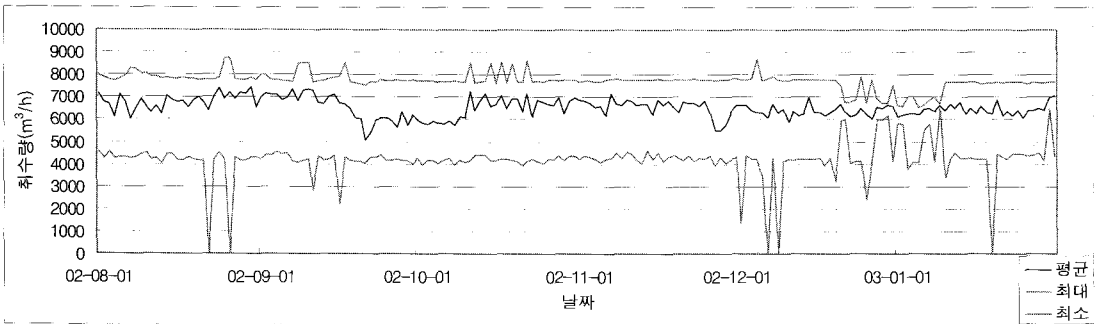


그림 2A 일별 시간당 취수량(m³/h)의 변화 (2002.08~2003.01)

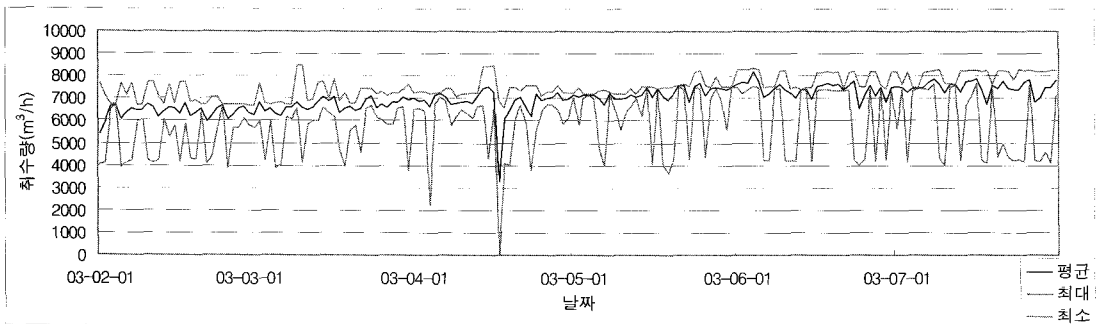


그림 2B 일별 시간당 취수량(m³/h)의 변화 (2003.02~2003.07)

m³/d로 39.2%이고, 연평균 1일 취수량은 162,300 m³/d로 81.2%에 해당한다. 최소가 나타난 4월 17일은 다른 날에 비해 유난히 작는데, 그 이유는 가동 시간이 짧기 때문이다.

3) 월별 시간당 취수량 현황을 나타낸 표 2에서는 펌프가 수요 수량을 감당한 정도를 알 수 있다. 최대

가 2002년 8월에 8,750 m³/h이고, 최소는 가동을 하지 않아 취수량이 0인 경우를 제외하면 2002년 12월에 1,360 m³/h이다. 펌프의 1대 용량에도 크게 못 미치는 수치가 나타난 2002년 9월, 12월 및 2003년 4월은 데이터 기록 시간대의 가동 시간이 1시간보다 훨씬 짧기 때문에 나타난 것이다.

표 2 월별 시간당 취수량 (1000 m³/h)

월 구분	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	연간
최대	8.75	8.54	8.61	7.83	8.67	7.70	7.74	8.50	8.49	8.25	8.33	8.30	8.75
평균	6.79	6.53	6.48	6.54	6.38	6.42	6.38	6.66	6.80	7.21	7.42	7.50	6.76
최소	4.04	2.22	3.93	3.94	1.36	3.41	3.87	3.77	2.23	3.63	4.05	4.04	1.36

4) 그림 2A, 그림 2B의 그래프에서는 매일의 시간당 취수량의 변화를 볼 수 있는데, 2002년 12월부터 변화가 심해지고 있다.

2.3 펌프의 운전 모드

하루 동안의 대수 운전 모드의 변화는 그림 3과 같은 취수 펌프 일일 운전 모드 그림에서 잘 살펴볼 수 있다. 매일 취수량의 변화가 심한 편이기 때문에 이에 대응하기 위해서는 대수 운전 모드의 심한 변화가 필연적이다. 1년간의 분석 내용은 다음과 같다.

2.3.1 운전 현황의 분석

운전 현황을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 동일 용량 펌프 3대를 조합한 병렬 운전이다.
- 2) 연평균 시간당 취수량은 6,766 m³/h로서 펌프 2대를 운전하는 경우의 유량에 해당하며 최대는 8,750 m³/h로서 펌프 3대를 운전하는 경우에 해당한다.
- 3) 펌프의 가동 시간은 표 3에 나타나 있다. 4대 중 2호기 및 5호기가 오래 사용되었는데, 가동 시간은 각각 전체 가동 시간의 29.6%, 31.1%에 해당하고, 3호기의 경우가 가장 짧아 18.0%에 지나지 않는다.

표 3 펌프의 가동 시간 (h)

시간	펌프	2호기	3호기	4호기	5호기	평균
연 가동 시간		4,779	2,909	3,423	5,023	4,034
일평균 가동 시간		13:05	7:58	9:22	13:45	11:03

표 4 펌프의 가동 횟수

월 호기	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	연간
2	12	10	15	5	13	16	19	6	10	5	8	9	128
3	11	17	14	13	19	16	1	3	5	8	6	10	123
4	17	26	18	7	19	30	12	2	3	8	13	12	167
5	11	12	13	17	11	10	14	7	14	7	11	15	142
계	51	65	60	42	62	72	46	18	32	28	38	46	560

4) 펌프의 월별 가동 횟수는 표 4의 내용과 같다. 4호기가 표 3에서 보는 바와 같이 가동 시간이 짧았음에도 불구하고 유난히 가동이 잦았던 것으로 나타나는데 특히 2003년 1월에는 집중적으로 자주 사용되었음을 알 수 있다. 2003년 3월에 가동 횟수가 적은 것은 수요 수량의 변화가 작아 연속 운전이 된 것으로 판단된다.

2.3.2 일일 운전 모드

각 펌프의 운전 기록으로부터 하루 24시간 동안의 운전 모드의 변화를 10분 단위로 정리한 그림의 대표적인 보기를 들면 2002년 12월 27일의 자료인 그림 3이다. 그림에서 운전 모드 난에 나타난 숫자는 운전 펌프 대수를 나타내고 모드 변화 난의 숫자는 가동 호기의 조합을 가리킨다. 하루 중 운전 모드의 변화가 무려 10회나 된다. 수요 변화에 대응하여 대수 운전의 변화가 빈번히 이루어졌음을 알 수 있다. 이를 위해 2호기가 2회, 3호기가 2회, 4호기 및 5호기가 각각 1회씩 가동을 하였다. 펌프 1대 단독, 2대 및 3대를 조합한 병렬 운전이 행해졌다.

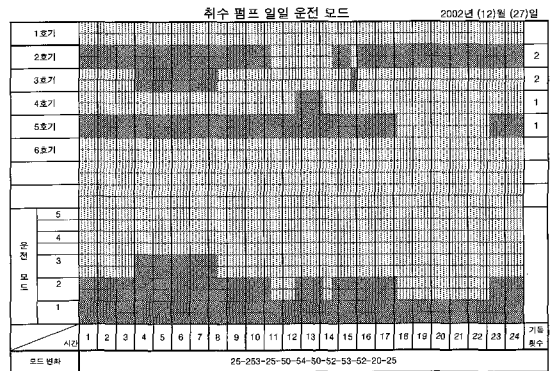


그림 3 일일 운전 모드

3. 펌프 대응도의 분석

1년간의 일일 운전 모드 그림에서 연간 취수량을 1시간 단위로 하여 수량이 큰 순서로 나열하여 그림 4에 나타내었다. 시간별 데이터가 잘못 기록된 2002년 12월 26일은 제외하였다. 세로축은 취수량을 나타내나 편의상 취수량 수치 대신 가동된 펌프의 대수로 대체하였다. 그림에서 알 수 있듯이 2대 병렬 운전 시간이 가장 길어 6,816시간으로 총시간의 78%에 해당하고 3

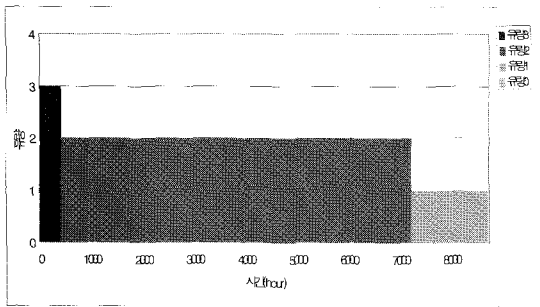


그림 4 펌프의 대응도

대 병렬 운전 시간은 400시간으로 4.6%, 1대 단독 운전은 1,479시간으로 16.9%에 해당한다. 펌프 3대의 병렬 운전으로 잘 감당하고 있음을 알 수 있다.

4. 펌프 병렬 운전의 분석

다음과 같은 조건을 기본으로 하여 병렬 운전 상황을 분석하였다.

- 1) 취수 펌프 일일 운전 모드 그림으로부터 1대, 2대 및 3대 정속 운전의 경우와 2대 변속 운전에 대하여 펌프가 안정적으로 운전된 시간대를 골라 그 때

의 데이터를 사용하였다.

- 2) 펌프의 성능은 실제 성능시험을 거쳐 얻은 성능곡선도가 없으므로 펌프 제조사의 예상 성능곡선도를 그대로 사용하였다.
- 3) 시스템 저항 곡선은 한국수자원공사가 제시한 식 ($H=19+1.89+5.47 \times 10^{-7} Q^2$)을 적용하였다.
- 4) 병렬 운전의 대수 조합을 그래프로 나타내어 펌프의 운전점들을 표시한 것이 그림 5이다. 병렬 운전 시의 펌프의 전양정은 평균값을 취하였다.

위의 내용을 가지고 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 펌프의 양정-유량 곡선은 예상 성능곡선도와 약간의 차이가 있으나 예상과 실제와의 차이 내지는 현장 데이터의 정확도에 기인하는 것으로 생각된다.
- 2) 시스템 저항 손실은 예상 곡선의 값보다 조금 큰 것으로 나타났다. 3대 정속 병렬 운전 및 2대 변속 병렬 운전 때의 토출 밸브의 개도가 100%인 점을 감안하고 펌프의 유량-양정 곡선이 맞다고 전제 하면 2대 병렬 운전 때의 토출 밸브의 개도가 약 58%이나 개도 100% 때와 밸브의 저항 손실이 같다고 간주하여야 하는 모순이 생긴다. 데이터로부터 토출 밸브 100%일 때의 추정된 시스템 저항 곡선의 식은 $H=19+1.89+6.30 \times 10^{-7} Q^2$ 이다.

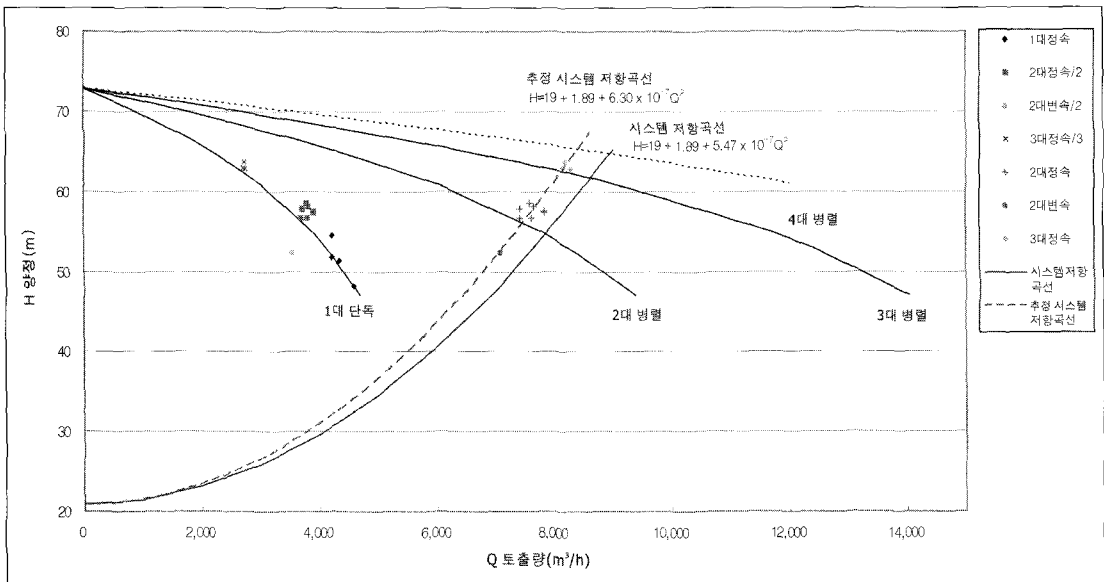


그림 5 펌프의 운전점

- 3) 1대 단독 운전 때는 밸브 개도 30% 정도로 토출량 제어를 하고 있다. 이 때의 펌프 토출량은 4,210~4,710 m³/h, 평균 4,340 m³/h로서 최대일 때 예상 성능곡선도상의 최고 효율점 토출량 3,900 m³/h을 21% 정도 상회하고 있다. 과유량 운전의 위험이 있다.
- 4) 2대 병렬 운전 때의 펌프 1대당 토출량은 정속 운전일 때 3,700~3,925 m³/h, 평균 3,821 m³/h로서 예상 성능곡선도상의 최고 효율점 토출량 3,900 m³/h 부근에서 잘 운전되고 있음을 나타낸다.
- 5) 3대 병렬 운전 때의 펌프 1대당 토출량은 2,670~2,777 m³/h, 평균 2,736 m³/h로서 최대일 때 예상 성능곡선도상의 최고 효율점 토출량 3,900 m³/h의 70.2% 정도이다. 이 때의 펌프 예상 효율은 최고 효율 76% 보다 낮은 71% 정도이다.

5. 분석상의 문제점

- 1) 펌프의 실제 시험을 통해 얻은 성능곡선도 및 전동기의 부하 대 전류를 나타내는 시험성적표가 없어 소비 전력을 계산할 수가 없다.
- 2) 여러 가지 일지에 기록된 데이터는 운전자가 현장에 설치된 감시용 계측기기로 한 것이기 때문에 분석 결과가 정밀한 것이라 하기 어렵다. 계측기의 정밀도를 떠나서도 비슷해야 될 압력이 큰 차이를 보인다든지, 실제 기록된 현장의 데이터가 여러 경우에 있어서 이치에 맞지 않는 경우가 많이 나타났다.
- 3) 사용 중인 펌프 자체가 저효율 펌프이다. 즉, 초기에 설치된 펌프의 케이싱을 그대로 두고 임펠러를 다른 것으로 교체하여 토출량을 40% 정도, 전양정은 33% 정도 작게 시방점을 변경한 것이라 펌프의 토출량이 훨씬 커졌음에도 불구하고 예상 최고 효율은 76%로 초기 펌프의 80% 보다도 낮다.

6. 결론

- 1) 장래 수요 수량이 늘어날 경우에는 그림 3과 같은 그림으로 펌프의 대응도를 검토하여 펌프의 용량 및 대수를 결정하는 것이 바람직하다.
- 2) 시스템 저항 곡선이 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. 오히려 기존 펌프 즉, 현재의 1호기 및 6호기와 같은 펌프의 성능(토출량 2,778 m³/h, 전양정 82 m, 효율 80%)을 토출량 2,000~2,400 m³/h, 전양정 65 m 정도의 성능으로 변경하여 펌프 4대 및 예비 펌프 1대, 총 5대의 대수 제어 운전을 하는 것이 더 적절하다고 예상할 수 있다. 즉, 현재의 펌프 케이싱을 그대로 사용하면서 임펠러만 바꿀지름을 절단하여 교체하는 것으로 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다.

후 기

이 연구는 한국수자원공사 수도시설처의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 환경부, 1997, 상수도 시설기준, 한국수도협회.
- (2) 農業土木事業協會, 最新ポンプ設備工學ハンドブック.