◎ 특 집

주남가압장 변속시스템 적용에 관한 연구

박종문* · 김인복** · 라병필** · 이영호***

1. 서 론

한국수자원공사에서 운영 중인 창원권관리단의 주남가압장은 낙동강 표류수를 본포취수장에서 취수하여 각 계통별로 가압하는 펌프장으로서 그림 1의 용수 공급계통도에 나타낸 바와 같이 구관계통 (85,000 m^3/d)과 신관계통 (200,000 m^3/d)으로 나뉘어져있다.

구관계통은 진해시 등으로 급수하기 위하여 제2터널과 제3터널을 통과하여 진해시 공단과 석동정수장으로 62,000 m^3/d이 공급되고, 또 제2터널을 통과하기 전에 조선맥주와 김해시 진영읍을 포함한 마산계통으로도 23,000 m^3/d의 용수가 공급되도록 계획되었다.

신관계통 가압장은 가압된 용수가 제5터널을 통과하여 한일합섬 계통으로 80,000 m^3/d을 공급하고 창원 반송정수장에서 120,000 m^3/d을 정수처리하여 창원공단 등으로 용수를 공급하도록 계획되어졌다.

그러나 구관계통에서 마산계통의 용수 수요량이 6,000 m^3/d로 축소되고 진해계통의 용수 수요량이 증가되어 구관계통 가압펌프의 운전점이 변경되었다. 또한 신관계통에서 한일합섬계통의 용수수요량이 30,000 m^3/d로 변경되어 잔여 50,000 m^3/d을 구관계통으로 공급할 수 있도록 도수가압장 신설을 계획하였다.

이렇게 용수 수요량이 변경되면 대용량 펌프와 소용량 펌프의 대수 조합운전으로 수요량을 맞추거나 적정 용량의 임펠러로 교체하여 필요한 사방을 맞추어 운영하여 왔다. 따라서 펌프를 효율적으로 운전하기 위하여 수요량 변화에 따른 변속운전을 검토한다. 본 연구에서는 신관계통의 운전 자료를 기준으로 펌프를 변속운전 하였을 때 시스템의 안정성과 경제성을 검토한다.

* (주)한국종합엔지니어링 기계전기부
** 한국수자원공사
*** 한국해양대학교
E-mail : parkjmun@hanafos.com

2. 시설현황

신관계통의 주남가압장에서 창원 반송정수장까지의 관로 종단도를 그림 2에 나타내었다. 가압장에서 제5터널까지는 직경 1,350 mm의 강관으로 연결되어있고 제5터널은 폭 2.5 m, 높이 2.5 m의 수로 터널이며 반송정수장까지의 자연유하 배관은 1,350 mm에서 1,100 mm로 축소되는 배관으로 구성되어 있다.

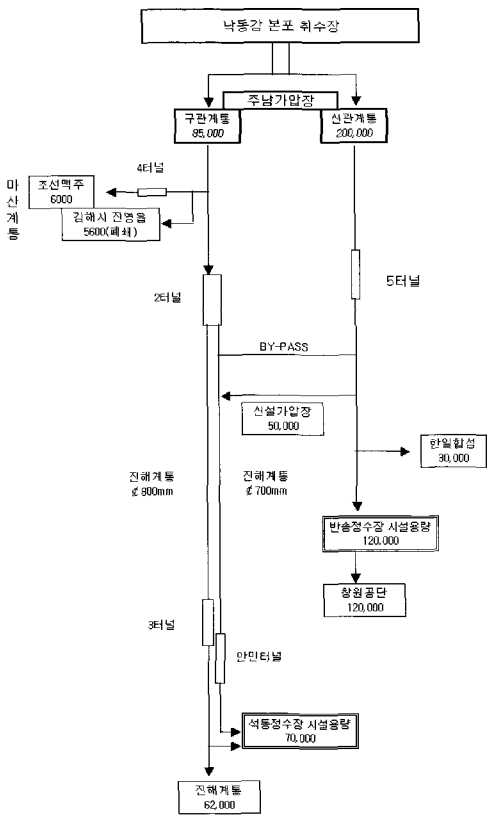

그림 1 용수공급계통도

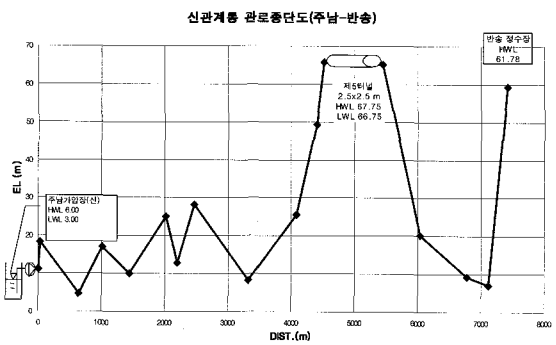

그림 2 신관계통 관로종단도

표 1 신관계통 가압펌프 현황

구 분		1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
유 량		55,000 m^3/d (2,292 m^3/h)		55,000 m^3/d (2,292 m^3/h)		27,500 m^3/d (1,145 m^3/h)	
양정	당초	78 m	78 m	78 m	78 m	78 m	78 m
	개량	72 m	72 m	68 m	78 m	72 m	72 m
	현재	72 m	72 m	68 m	78 m	72 m	72 m
	임펠러 외경	615 mm		610.1	628	405 mm	
펌프형식		양흡입펌프 HDR 400-620A				HDR 300-400A	
구 경		500A × 400A				350A × 300A	
전동기출력		1000 HP × 6p				500 Hp × 4p	
수 량		4 대(1대예비)				2 대	
설치년도		1993년				1993년	
제작사		효성				효성	

신관계통 주남가압장은 시설용량 200,000 m^3/d의 흡수정식 가압장으로 총 6대의 펌프가 설치되었으며 흡수정의 최저수위가 펌프의 임펠러 중심 높이보다 낮아 각 펌프는 진공펌프에 의해서 프라이밍이 되어 기동된다.

펌프장에는 진공펌프가 3.0 m^3/min, 700 mmHg의 규격으로서 예비펌프를 포함하여 2대가 설치되어있고 펌프 모터 및 밸브류의 유지관리를 위하여 10톤 용량의 천정주행 크레인이 설치되었다. 또한 펌프장 바닥의 누수를 배수하고 비상시 침수를 대비하기 위하여 배수용 수중모터펌프가 설치되었다. 각 펌프의 시방은 다음 표 1에 표시하였다.

가압펌프는 55,000 m^3/d 용량의 대형 펌프가 예비기 포함하여 4대, 27,500 m^3/d 용량의 소형펌프가 2대 설치되었다. 대형 펌프의 제1호기 및 2호기는 628 mm의 임펠러 외경을 615 mm로 가공하여 78 m의 양정을 72 m로 조정하여 사용 중이고 제3호기는 610.1 mm로 가공하여 양정이 68 m이며 제4호기는 설계시방인 양정 78 m용으로 운전되고 있다. 소형펌프인 제5호기 및 6호기는 421 mm의 임펠러를 405 mm로 가공하여 78 m의 양정을 72 m로 운전하고 있다.

또한 각 펌프의 성능곡선도를 다음 그림 3~6에 나타내었다.

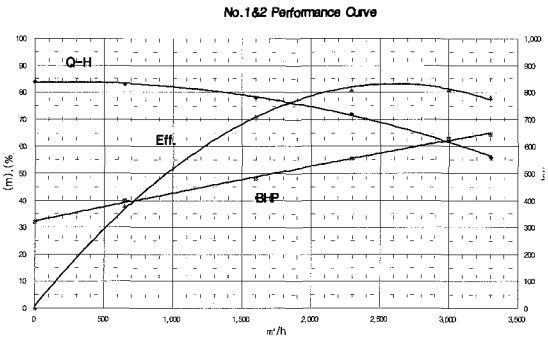

그림 3 제1호기 및 2호기 펌프 성능곡선도

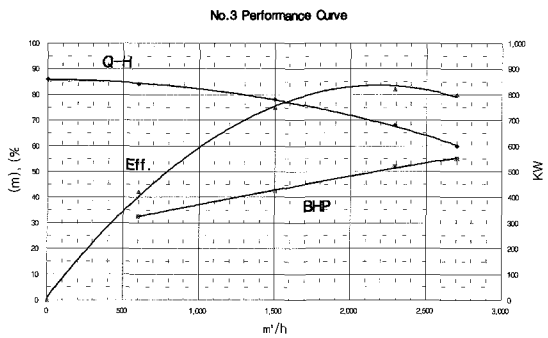

그림 4 제3호기 펌프 성능곡선도

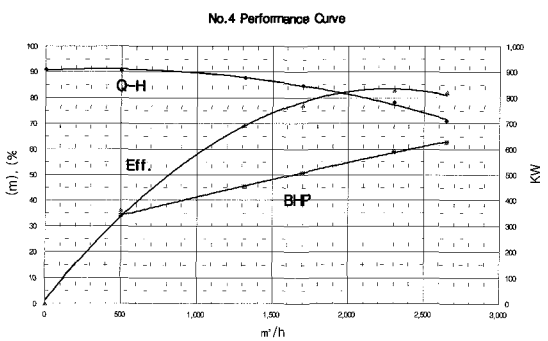

그림 5 제4호기 펌프 성능곡선도

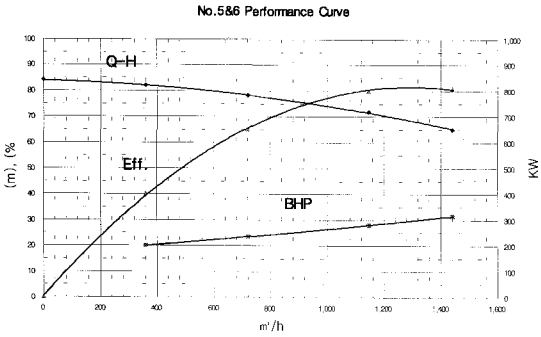

그림 6 제5호기 및 6호기 펌프 성능곡선도

3. 운전자료 검토

운전 자료는 현장에 설치된 유량계와 수위계 및 압력계의 데이터를 반송정수장 운영실에서 원격검침으로 수집되었다. 운전 자료는 2002년 7월 2일부터 2003년 7월 29일까지 약 1년간의 자료를 정리하였으며 2002년 12월의 자료는 데이터가 불규칙하여 본 연구에 적용하지 않았다.

3.1 송수량

신관계통 주남가압장의 송수량에 대한 운전 자료에서 펌프 토출측의 유량계는 1350 mm의 미국 파나메트릭사의 초음파식 유량계로서 10,000 m^3/h의 측정범위와 1.5%의 허용오차를 갖고 있으나 고장이 나서 펌프 토출측 송수량을 직접 측정할 수가 없었다. 그래서 한일합섬 계통의 유량계에서 측정한 유량 값과 반송정수장 원수 유입 유량 값을 더하여 송수량을 계산하였다. 각 송수량의 값을 다음 표 2에 나타내었다.

한일합섬 계통의 유량계는 900 mm 일본 후지사의 초음파식 유량계로서 3,000 m^3/h의 측정범위와 1.5%의 측정 오차를 갖고 있다. 반송정수장 원수 유입 유량계는 펌프 토출측 유량계와 동일한 형식으로 배관 구경이 1,100 mm 이다.

한일합섬 계통의 계획 송수량은 30,000 m^3/d (1,250 m^3/h)인데 최대 송수유량이 981 m^3/h로 나타난 것은 아직 계획수량까지 도달하지 않았고, 반송정수장의 계획유량이 120,000 m^3/d (5,000 m^3/h)인데 비해 7,163 m^3/h로 나타난 것은 유량계의 오차로 생각된다. 운전자료에 따라 한일합섬으로의 송수량 평균은 631 m^3/h이고 반송정수장으로 유입된 유량의 평균은 3,315 m^3/h로 나타났다.

운전자료로부터 2003년 7월 임의 날짜에 시간별 송수량을 검토한 결과를 다음 그림 7에 표시하였다. 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.

표 2 송수량 평균

항 목	신관계통 송수량	한일합섬 유량	반송정수장 유량
최대	8,144 m^3/h	981 m^3/h	7,163 m^3/h
평균	3,947 m^3/h	631 m^3/h	3,315 m^3/h

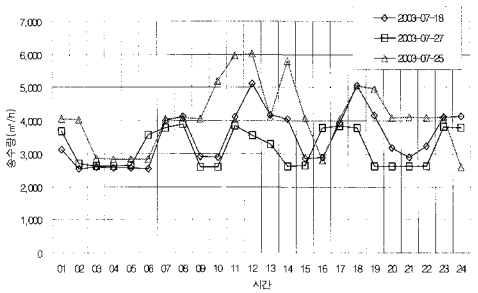

그림 7 시간별 송수량 현황

3.2 흡수정 수위

주남가압장 흡수정의 수위에 대하여 설계 수위와 운전 수위를 표 3에 나타내었다.

설계 최고 수위가 6.0 m, 평균수위가 5.50 m이나 실제 운전 최고 수위가 4.9 m, 평균운전수위가 4.15 m로 나타난 것은 흡수정 수위계의 위치가 흡수정 바닥(EL=1.50)을 0으로 교정 수위를 고려하면 설계수위보다 조금 높게 운전되고 있음을 알 수 있다.

표 3 주남가압장 흡수정 수위

항 목	설계 수위	운전 수위	교정 수위
최고	HWL =6.00 m	4.90 m	6.40 m
최소	LWL=3.00 m	0.02 m	1.52 m
평균	WL= 5.50 m	4.15 m	5.65 m

3.3 토출측 수위

주남가압장 신관계통의 펌프 토출측 말단은 반송정수장의 착수정까지이나 관로 상 최고 수위는 제5터널에서 나타난다. 또한 제5터널은 폭 2.5 m, 높이 2.5 m의 수로터널이며 착수정은 폭 4 m, 길이 6.8 m, 높이 3.5 m의 철근콘크리트 구조물이다. 각각의 설계수위는 표 4와 같다.

표 4 토출측 수위

항 목	5터널 수위	착수정 수위
HWL	67.75 m,	61.78 m
LWL	66.75 m	58.28 m

따라서 가압장 관로에서의 실양정은 제5터널 수위와 펌프흡수정 수위로 정한다. 그러나 제5터널의 운전수위는 알 수가 없어 설계수위로 검토하였다.

최대실양정 = 67.75 - 3.00 = 64.75 m
최소실양정 = 66.75 - 6.00 = 60.75 m

3.4 전양정

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

펌프 흡입 압력 Ps는 다음과 같다.

$$Ps = (WL - COP) + \frac{Vs^2}{2 \cdot g} + Hsl \quad [m]$$

여기서

WL : 펌프 흡수정 수위

COP : 펌프 임펠러의 중심 위치

$\frac{Vs^2}{2 \cdot g}$ = 0.5 m (속도수두)

Hsl = 0.5 m (흡입관 손실 수두)

펌프의 전양정 Ht는 다음 식에 의해 산출하였다.

$$Ht = \frac{(Pd - Ps)}{\gamma} + \frac{Vs^2}{2 \cdot g} \quad [m]$$

여기서

Pd : 토출측 압력

γ : 물의 비중량

3.5 관로저항곡선

신관계통 주남가압장에서 제5터널 입구까지는 ø1,350 mm의 배관 약 4,500 m로 연결되어 있고 제5터널은 2.5 m × 2.5 m의 크기로 928 m의 길이이며 터널 출구에서 ø1,350 mm의 배관이 연결되고 그 이후는 ø1,100 mm의 배관이 반송정수장까지 설치되었다.

운전자료의 분포에 따라 관로저항 곡선을 표시해 보면 유속계수 C=120일 때 가장 잘 일치되는 것을 알 수 있어 관로저항 손실수두는 Hazen-Williams 식으로 하였다.

$$H\ell = 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L \quad [m]$$

여기서

C : 유속계수

D : 배관 직경 (m)

Q : 관내 유량 (m^3/s)

L : 관의 길이 (m)

4. 운전현황 및 분석

4.1 송수량 및 전양정

운전자료를 각 월별 평균으로 구분하여 표 5에 나타내었다.

표 5 송수량 및 전양정 월별 평균

월	한일합섬 유량 (m^3/h)	반송원수 유량 (m^3/h)	신관계통 유량 (m^3/h)	전양정 (m)
2002. 7월 평균	670	3,580	4,250	67
2002. 8월 평균	605	3,553	4,157	67
2002. 9월 평균	719	3,371	4,090	67
2002.10월 평균	730	3,633	4,363	67
2002.11월 평균	767	4,323	5,090	67
2003. 1월 평균	744	3,554	4,298	69
2003. 2월 평균	635	3,302	3,938	69
2003. 3월 평균	585	3,075	3,660	69
2003. 4월 평균	507	3,143	3,649	67
2003. 5월 평균	456	3,029	3,486	66
2003. 6월 평균	602	3,017	3,619	67
2003. 7월 평균	614	3,060	3,674	68
최대값	981	7,163	8,144	75
평균값	631	3,315	3,947	68
최소값	56	415	471	60

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

4.2 용수공급량에 따른 펌프 운전점

펌프의 개별 성능곡선을 이용하여 합성곡선을 작성하고 그 위에 운전 자료의 운전점을 표시하여 그림 8에 나타내었다.

펌프의 시방이 조금씩 다르기 때문에 합성곡선에는 대표적인 펌프를 표시하였다. 즉 제1호기 펌프와 2호기 펌프는 정격유량에서의 양정이 72 m로 동일하여 제 1호기 펌프의 성능곡선을 이용하였고, 제3호기는 양정이 68 m, 제4호기는 78 m로 조정이 되었으며, 소용량의 제5호기와 6호기 펌프는 제5호기 펌프의 성능곡선을 이용하였다.

합성곡선은 대용량인 제1호기 펌프 단독운전일 때 (No. 1), 대용량과 소용량 각 1대씩 운전할 경우 (No. 1+5), 대용량 2대 (No. 1+2)를 운전할 경우, 대용량 2대와 소용량 1대 (No. 1+2+5)운전 할 경우, 대용량 3대 (No. 1+2+3)를 운전할 경우 및 대용량의 예비기를 제외한 모든 펌프 (No. 1+2+3+5+6)를 운전할 경우로 각각 표시하였다.

또한 합성곡선도에 각 운전점을 표시한 결과 주로 대용량 펌프 1대만 운전한 경우, 대소용량 각 1대씩 운전한 경우 (No. 1+5) 및 대용량 펌프 2대를 운전한 경우 (No. 1+2) 및 대용량 펌프 2대와 소용량 펌프 1대가 운전한 경우 (No. 1+2+5)가 그림에서와 같이 분명히 나타난다.

펌프의 대수제어 운전은 그림 8에서와 같이 굵은 청색선을 따라 운전이 되고 펌프의 운전점이 관로저항곡선보다 위에서 형성이 되면 펌프 토출측 밸브의 개도를 조절하게 되어 결국 관로저항곡선에서 운전이 된다.

현재 운전상태에서 평균송수량은 3,947 m^3/h이며 이때의 펌프는 대용량펌프 1대 및 소용량펌프 1대의 운전결과이고 최적의 펌프 양정은 68 m로 나타났다. 이렇게 용량이 다른 대·소 용량의 펌프에 대한 적정 조합운전 방안은 그림 8의 최대 실양정에서의 관로저항곡선과 최소 실양정에서의 관로저항곡선 사이의 운전범위를 갖고 굵은 선으로 표시되는 선을 따라 운전하게 된다.

4.3 용수공급량 변화에 따른 변속시스템 적용성 검토

그림 9는 주남가압장의 시설용량 200,000 m^3/d (8,333 m^3/h)에 대하여 수요처의 유량변화에 따라 펌프를 회전수 제어하는 경우의 예를 나타내었다.

주남가압장 신관계통의 관로저항곡선은 그림과 같이 완만하게 이루어져 있으며 펌프전체를 변속하는 경우에도 회전수 조절 범위는 85% 정도이다.

그림 9에서 나타난 것은 대형펌프 3대 (No. 1+2+3)와 소형펌프 2대 (No. 5+6)가 100% 회전수로 운전되는 합성곡선과 85% 회전수로 운전되는 합성곡선을 표시하였다. 송수량 0에서 최대송수량까지의 관로저항곡선을 따른 변속 범위를 볼 수 있다.

그림에서와 같이 펌프의 Q-H 곡선이 관로저항곡선과 만나는 점을 기준으로 송수량에 따라 펌프의 운전대수를 결정하고 제어할 회전수를 결정하게 된다.

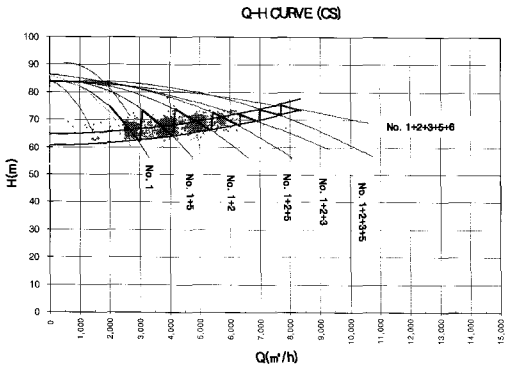

그림 8 펌프 대수제어 운전 합성곡선

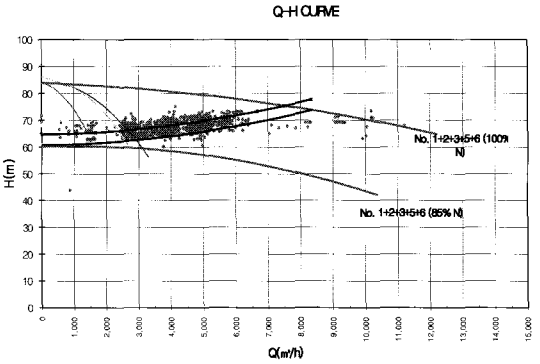

그림 9 변속 펌프의 운전범위

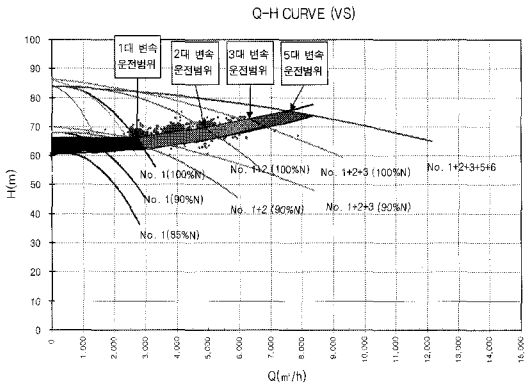

그림 10 변속 펌프 대수별 운전범위

그림 10에는 대형펌프 1대 운전의 변속 범위, 대형펌프 2대의 변속운전 범위, 대형펌프 3대의 변속운전 범위 및 펌프 전체의 변속운전 범위를 표시하였다.

그림에서 송수량이 2,750 m^3/h까지는 대형펌프 1대로 운전하고 5,300 m^3/h까지는 2대, 6,900 m^3/h까지는 3대로 운전을 할 수가 있다. 대형 펌프 1대의 정격유량이 2,292 m^3/h이므로 운전 범위는 120% 정도인 2,750 m^3/h까지 가능할 것이다.

그림 9와 그림 10에 나타나는 바와 같이 관로저항곡선에서 실양정은 64.75 m이며 최대 용수 공급량인 8,333 m^3/h에서의 관로손실양정은 약 13 m이다. 따라서 관로저항곡선이 용수공급량이 증가함에 따라 완만하게 증가되는 추세이고 최소 실양정 60.75 m에서의 관로저항곡선도 서서히 증가하게 되어 밸브를 교축하여도 그 범위가 적게 나타난다.

대형펌프의 성능곡선도에 나타난 송수량 운전범위는 정격 유량의 30~130% 이나 펌프의 효율을 고려한 적정 송수량 범위는 정격유량의 80~110%로 표시된다. 또한 그림 3 펌프 성능곡선도에서 정격 유량 2,292 m^3/h일 때의 펌프 효율이 81%이고 정격 유량의 120%인 2,750 m^3/h일 때의 펌프 효율이 82%로 오히려 좋아졌다가 다시 떨어지는 특성을 갖고 있다. 이것은 정격 유량 부근의 송수량 변화에 대하여 펌프의 효율 변화가 크지 않으므로 밸브 교축 운전을 하여도 큰 무리가 없음을 나타낸다.

4.4 전력원단위 검토

주남가압장의 송수량에 따라 소요되는 전력량을 검토하여 원단위를 산출하였다. 현재 운전되고 있는 방법

표 6 송수량에 따른 전력원단위

송수량 (m^3/d)	송수량 (m^3/h)	시스템양정 (m)	정속 펌프				변속 펌프				차이
			전양정 (m)	효율 (%)	전력량 (kWh)	원단위 (kWh/m^3)	전양정 (m)	효율 (%)	전력량 (kWh)	원단위 (kWh/m^3)	원단위 (kWh/m^3)
0	0	65		0			65	0			
20,000	834	65	74	72	233	0.280	65	76	194	0.233	0.047
27,480	1,145	65	72	80	281	0.245	65	76	267	0.233	0.012
40,000	1,667	65	77	72	486	0.291	65	77	386	0.231	0.060
55,000	2,292	66	72	81	555	0.242	66	77	535	0.233	0.009
60,000	2,500	66	68	82	565	0.226	66	78	578	0.231	-0.005
80,000	3,334	67	72	80	817	0.245	67	77	792	0.238	0.008
100,000	4,167	68	64	64	1,135	0.272	68	77	1,008	0.242	0.030
120,000	5,000	70	74	74	1,362	0.272	70	77	1,235	0.247	0.025
140,000	5,834	71	74	74	1,589	0.272	71	77	1,475	0.253	0.019
160,000	6,667	73	75	75	1,816	0.272	73	76	1,752	0.263	0.010
180,000	7,500	75	76	76	2,043	0.272	75	76	2,027	0.270	0.002
200,000	8,334	78	78	74	2,392	0.287	78	76	2,320	0.278	0.009
					평균	0.265				0.246	0.019

인 대소용량 대수제어 운전 방식은 그림 8과 같이 송수량에 따라 펌프의 운전대수가 결정되고 관로저항곡선의 위 부분에서 형성되는 운전점과 성능곡선도상에 효율로 운전되고 있는 전력량을 계산하여 정속펌프 운전의 전력원단위를 산출하였고, 변속펌프 운전 방식의 검토는 운전점에서의 효율이 펌프 최고 효율이고 다만 변속장치의 전달효율을 95%로 감안하여 전력량을 산출하여 다음 표 6에 나타내었다.

원단위 산출을 위한 송수량은 20,000 m^3/d 단위로 계산하였고 대형 및 소형 펌프 대당 정격 유량을 추가하여 비교하였다. 정속펌프 운전의 전양정은 합성곡선에서 구했고 효율은 대표적인 펌프의 효율을 기준으로 하였다.

정속펌프 운전 시 전력원단위는 송수량에 따라 다르지만 평균 0.265 kWh/m^3이고 변속펌프를 적용할 때의 전력원단위는 평균 0.246 kWh/m^3으로 계산되었다. 따라서 변속펌프를 적용할 때 전체 유량범위의 평균 0.019 kWh/m^3의 원단위 절감효과가 있다.

또한 시설용량인 200,000 m^3/d에 도달할 때는 정속펌프의 소요동력은 2,392 kWh이 되어 전력원단위가 0.287 kWh/m^3이고 변속펌프의 소요동력은 2,320 kWh로서 전력원단위가 0.278 kWh/m^3로 계산되어 전력원단위의 효과는 0.009 kWh/m^3 정도이다. 따라서 년간 전력 절감량은 1,800 kW/일 × 365일 = 657,000 kW정도이다. 그러나 펌프 임펠러를 78 m용으로 교체하면 소요동력은 2,186 kWh이 되어 전력원단위는 0.262 kWh/m^3가 되어 오히려 정속펌프의 원단위가 변속펌프의 원단위보다 더 좋아지게 된다.

실제로 운전 자료에서의 송수량과 측정된 전력량으로부터 산출된 원단위를 그림 11에 표시하였으며 전력원단위의 평균값은 0.229 kWh/m^3로 계산되었다. 이렇게 실제 운전자료에 의한 원단위가 더 좋은 것은 앞절에서 명시한 것과 같이 펌프 성능곡선도에서 정격유량점 보다 큰 유량범위에서 효율이 더 좋아지기 때문이다.

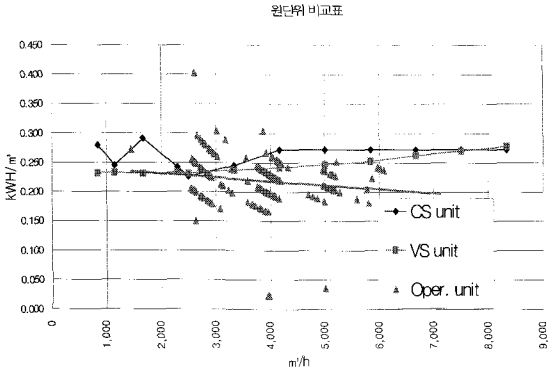

그림 11 원단위 비교표

마름모 모양의 그래프는 정속 대수제어시의 전력원단위이고 네모 모양의 그래프는 변속 펌프 제어시의 전력원단위이며 삼각형 표시는 실제 운전 자료로부터의 전력원단위이다. 정속펌프 대수제어 원단위 그래프에서 볼 수 있듯이 펌프 대수 정격 운전점에서는 효율이 좋아 원단위전력량이 적게 나타났지만 중간의 송수량에서는 높게 나타났다.

또한 변속펌프 적용시 전력원단위는 초기 송수량에서는 적게 나타나지만 송수량이 커짐에 따라 정속펌프 대수제어시의 원단위전력량과 유사하게 나타났다. 실제 운전자료에 의한 원단위는 계산에 의한 원단위보다 좋게 나타나고 있는데 이는 운전 원단위를 좋게 하기 위하여 펌프 운전점을 정격운전점 보다 우측에서 운전하고 있기 때문이다. 즉 펌프의 양정을 낮게 하면서 송수량을 증가시키고 있기 때문이다. 이때에도 그림 3에서 보는 바와 같이 효율은 크게 변하지 않고 있다.

5. 맺음말

(1) 신관계통 주남가압장의 관로저항곡선은 실양정(64.75 m)에 비해 손실양정 (약13 m)이 현저히 적기 때문에 용수공급량에 따라 관로저항곡선이 완만하게 증가하여 변속 운전 범위가 100%에서 85% 정도로 적게 나타난다. 또한 대형 및 소형 펌프의 대수 조합 운전 결과와 같이 펌프 성능곡선도에서 밸브의 교축 범위가 작아 펌프 운전에 무리가 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 가압장의 펌프는 대소 용량의 펌프를 이용한 대수제어운전으로 운영하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

(2) 기존의 펌프는 임펠러 커팅으로 인하여 정격양정이 78 m, 72 m, 68 m의 3가지가 되었다. 이렇게 양정이 서로 다른 펌프를 동시에 운전을 하면 병렬 운전하는 펌프의 합성곡선과 관로저항곡선이 만나는 점에서 운전이 되어 펌프 자체에는 문제가 없으나 용수공급량이 200,000 m^3/d (8,333 m^3/h)에 도달 할 때는 정격양정 78 m용 임펠러로 교체하여야 한다.

(3) 신관 계통 주남가압장 펌프에 변속시스템을 적용할 경우 용수공급량에 따라 차이가 있지만 운영상으로 평균 0.019 kWh/m^3의 전력원단위 절감 효과가 있으나 정속펌프의 대수 제어 범위의 용수공급량에서는 오히려 정속펌프로 운전할 경우의 원단위가 더 유리하다. 변속을 위하여 인버터를 적용할 경우는 고압인버터 제어반 및 변압기반, 냉각장치 등의 설치공간, 유체커플링을 적용할 경우는 펌프와 모터 사이에 유체커플링 설치공간을 확인하여야 한다.

후 기

본 연구는 한국수자원공사 수도시설처의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.