

## 부안정수장 송수펌프의 운영방안에 관한 연구

이중훈\* · 이동원\*\* · 윤영수\*\*\* · 이정우\*\*\*

### 1. 서 론

부안정수장은 부안댐에서 취수한 물을 정수하여 이를 부안군, 고창군, 변산해수욕장 및 새만금 간척지구 등에 생활용수 및 농업용수를 공급하기 위하여 운영되고 있으며, 계획목표연도를 2011년으로 하여 하루 87,000 m<sup>3</sup>/d의 물을 수용가로 공급할 수 있도록 시설 용량을 갖추고 있다. 한편 부안댐 광역상수도는 1998년에 통수를 시작한 이래 2003년 현재는 약 42,300 m<sup>3</sup>/d의 물을 수용가에 공급하고 있다. 이는 현재 전체 시설용량의 1/2 수준만으로 운영되고 있는 것이며 따라서 초기의 실시조건에 비하여 송수펌프의 경우 펌프 모터의 설계시 부하에 비하여 적은 부하로 운영되므로 펌프의 운전점은 최고효율점에서 벗어나 운전되고 있으며 이는 펌프운전에 따른 전력비의 낭비요인으로 일부 작용하고 있다. 또한 송수펌프의 양정은 송수하고자 하는 곳의 양정에 좌우되고 있으며 부안정수장의 경우는 부안방면과 변산관로가 동일한 관로를 이용하는 관계로 상대적으로 용수량이 적은 변산으로의 관로 부하가 송수펌프의 양정을 좌우하는 역할을 하므로 이 역시 운전효율을 저하시키는 요인으로 생각되어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 부안정수장 송수펌프의 운전에 영향을 미치는 인자를 운전일지 등의 기존 운영자료와 현재의 송수시스템을 검토하고, 이를 이용하여 송수펌프에 대한 최적의 운영방법을 찾아보고자 한다.

### 2. 부안정수장 현황

#### 2.1 연혁

\* 금정공업(주) 기술연구원  
 \*\* 한국수자원공사 부안댐사업소  
 \*\*\* (주)휴먼아이티  
 E-mail : jhleemp@chollian.net

가. 조사설계 : '93.10.19~'94.09.30

나. 시설공사

- 부안정수장 : '94.12.30~'98.10.31

- 주산,신림,무장가압장 : '94.12.30~'98.10.30

- 관로 : '94.12.30~'98.04.25

다. 통수개시일 : '98.05.01

#### 2.2 부안정수장의 수리계통도

부안정수장의 송수를 위한 거점을 중심으로 그림 1에 그 계통도를 나타냈다. 부안정수장의 수리계통은 초기에 격포 및 고사포의 소용량 공급라인과 주 공급라인인 부안 및 주산가압장 라인으로 구성되어 있으며, 송수처는 모두 배수지 및 흡수정 등으로 구성되어 직접적인 라인가압은 이루어지지 않고 있다. 또한 계통도에 나타낸 고사포 배수지는 상대적으로 저수위(LWL)가 높아 송수시 압력이 정수장의 저수위와의 차이상으로 유지되어야 송수가 가능한 곳이다.

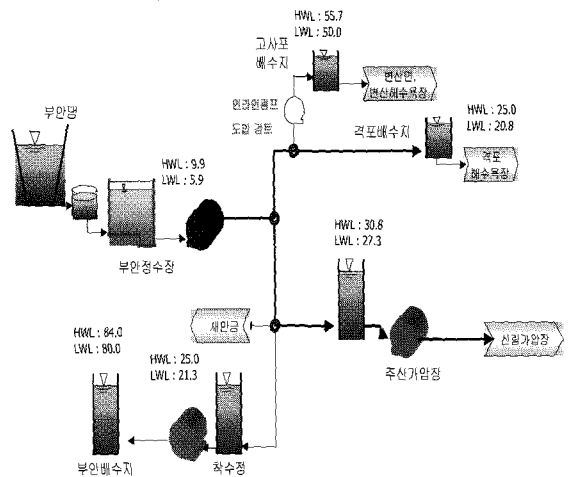


그림 1 부안정수장의 수리계통도

### 2.3 부안정수장의 시설용량

부안정수장의 시설용량 및 그 분배현황을 표 1에 나타내었다. 여기서 변산분기는 격포 및 고사포 배수지로 송수되는 양을 나타내고 있으며 현재 송수량은 계획대비 25% 수준이다. 또한 표 2에는 수도시설치의 용수공급계획을 나타냈으며 초기의 실시 설계시 계획 용수공급량에 비하여 55% 수준을 나타내고 있다.

표 1 시설용량 및 현사용 현황

내용	계획용량 (m <sup>3</sup> /d)	현사용량 (m <sup>3</sup> /d)	계획대비실적 (%)
변산분기	11,100	2,800	25.2
부안	24,700	17,500	70.9
새만금	9,300	0	0
주산가압장	41,600	22,000	52.9
합계	86,700	42,300	48.8

표 2 용수공급계획

년도	용수공급량 (m <sup>3</sup> /d)		실공급량 (m <sup>3</sup> /d)	비고
	일평균	일최대		
1998	45,670	53,100	5,000	
1999	47,140	54,700	30,000	
2000	48,590	56,300	34,000	
2001	56,210	64,800	37,000	
2002	57,250	65,800	37,700	
2003	58,300	67,000	41,574	예측
2004	66,700	77,700	40,500	↓
2005	66,700	79,000	42,000	↓
2006	68,690	80,200	43,500	↓
2007	69,730	81,400	45,000	↓
2008	70,730	82,700	46,500	↓
2009	71,730	83,800	-	
2010	72,690	85,000	-	
2011	73,670	86,700	-	

### 2.4 펌프현황

현재, 부안정수장의 송수펌프는 총 6대이며, 이들은

표 3 송수펌프 현황

구분	호기	유량 (m <sup>3</sup> /h)	양정 (m)	동력 (kW)	비고
송수펌프	#1, #2	724.8	64	261.0	
	#3, #4 #5, #6	666.0	50	261.0	주가동펌프

모두 초기 양정이 78 m로 설계되어 제작되었고, 가동 이후 현재에 이르기까지 용수 수요가 적어 경제적인 운영을 위하여 상대적으로 고 양정인 변산 방면의 송수가 가능한 최소의 양정으로 펌프의 시방점을 변경하여 사용하고 있다.

즉 펌프임펠러를 양정 64 m로 변경 트림(trim)한 펌프 2대와 이를 다시 양정이 50 m로 트림한 펌프 4대를 송수용으로 사용하고 있으며, 시방점의 양정이 50 m에 해당하는 펌프를 주 펌프로 사용하고 있다. 현재의 일간 송수량은 평균적으로 약 40,000 m<sup>3</sup>/d이며 최대 50,000 m<sup>3</sup>/d에 이르고 있다. 따라서 현재 송수펌프는 50 m로 임펠러를 트림한 제품만을 사용하여도 물의 수급에는 문제가 없으나 고사포 배수지라도 송수를 할 필요가 있어 일부의 시간을 할애하여 부득이 부안 방면 밸브를 교축할 필요가 생긴다.

펌프의 성능곡선은 펌프자체의 특성을 대표하는 곡선으로, 부안정수장에 사용되는 송수펌프의 성능은 그 대표로서 #1과 #3 펌프의 성능곡선 만을 발췌해 그림 2와 그림 3에 각각 나타냈다. 여기서 펌프의 운전 시 최고 효율점은 시방점을 기준으로 왼쪽에 위치하고 있음이 특징이다. 이는 시방점보다 높은 양정에서 펌프를 사용할 경우 펌프의 효율이 최대인 상태로 운전이 되며, 이 때의 효율은 85%와 80%에 이른다. 그러나 펌프의 시방점을 기준으로 볼 경우 최근에 측정된 펌프의 효율값은 73%와 71%를 나타냈다.

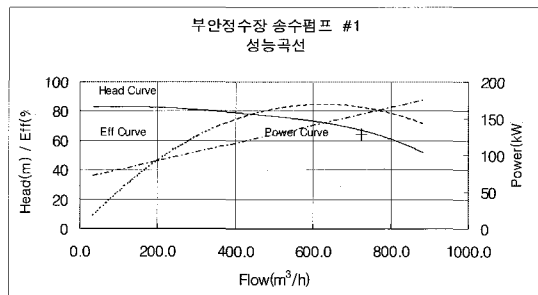


그림 2 송수펌프 #1의 성능곡선

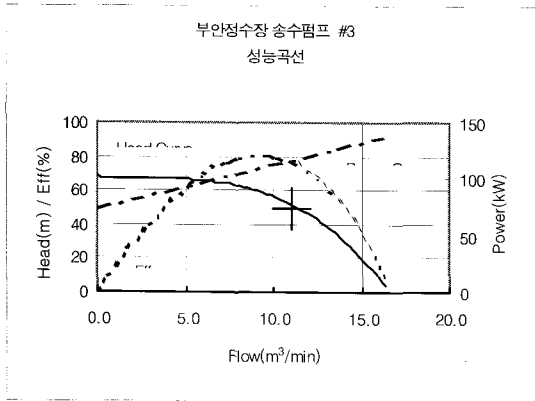


그림 3 송수펌프 #3의 성능곡선

### 3. 운전 자료의 검토

현재 적용되고 있는 운전방법 및 이에 따른 운전 특성을 알아보기 위하여 수자원공사에서 제공한 펌프의 운전일지를 발췌하여 이를 그림 4와 같이 재구성하여 일일운전시간대별 송수량의 변화를 나타내고 일일 운전특성을 확인하였다. 이 때 검토를 위해 사용한 자료는 2002년 7월부터 2003년 7월까지의 운전자료 중에서 취했다. 이 자료를 검토한 결과, 시간당 송수량은 2,000톤 내외로 (이는 일간 40,000~50,000 m<sup>3</sup>에 해당함) 펌프 2대를 주운전 펌프로 하여 운영하고 필요 송수량의 변화에 따라 펌프의 운전 대수를 변경하여 대응 운전을 하고 있음을 알 수 있었으며, 주산과 부안의 유입측 밸브개도를 조절하여 펌프의 송출압을 변화시킬 때, 변산 분기로의 송수량 변화를 확인할 수 있다 (고사포배수지로 송수하기 위해 격포에서의 밸브개도 조절도 있는 듯함). 한편 토출압력이 5 kgf/cm<sup>2</sup> 이상인 경우에 변산 분기로의 송수량은 압력이 4 kgf/cm<sup>2</sup> 이하일 때 송수량의 2배 이상을 나타내고 있으며, 이는 토출압력이 낮을 경우 고사포 배수지로는 송수가 거의 불가능함을 의미한다고 할 수 있다. 또한 변산 분기로의 송수를 위하여 주산 및 부안의 밸브를 교축하는 경우에는 펌프의 가동대수에 비하여 전체의 유량 변화는 크지 않음을 나타내고 있었다.

소비전력과 관련한 자료의 검토를 위해서 2002년 8월 2일의 운전 자료를 참고로 살펴보면 송수량은 시간당 2000~2300 m<sup>3</sup>/h이었으며, 전력은 최저 515 kW, 최고 670 kW를 나타내고 있었다. 이 운전 정보로부터 펌프의 운전대수는 3대와 4대 임을 알 수 있으며 이때

의 소비전력값을 기초로 펌프의 축동력을 구하면, 모터의 효율이 90%이므로 그 값은 각각 154.5와 150.75 kW으로 계산되어진다. 그러나 펌프의 성능곡선을 보면 이에 해당하는 축동력은 약 120 kW에 해당하며, 운전 자료로부터 얻어진 값은 이 보다 25% 정도 높게 나온다. 이는 펌프의 성능곡선이 실제와 차이가 있거나 전력량의 측정값이 다른 오차인자를 포함하고 있을 수 있음을 의미한다.

참고로 그림 5는 하루의 운전자료를, 그림 6은 2002년 7월 한달간의 운전 자료를 펌프의 성능곡선과 함께 표시한 것으로 운전점이 형성되는 하부는 관로저항이 최소일 때에 시스템 커브에 해당하며, 이는 대수제어 및 밸브의 개도조절을 통하여 현 시스템을 제어함을 나타내는 것이며, 운전점의 폭은 전력의 낭비를 간접적으로 시사한다고 볼 수 있으므로, 이를 최소화하는 시스템 변경 및 운전방법의 변경을 통하여 운전 에너지의 절감가능성을 시사하고 있다.

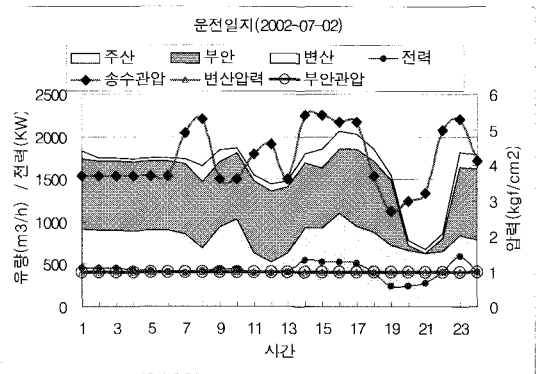


그림 4 운전일지

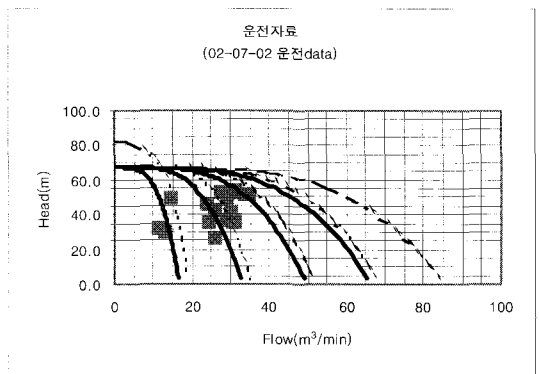


그림 5 운전자료 (일간)

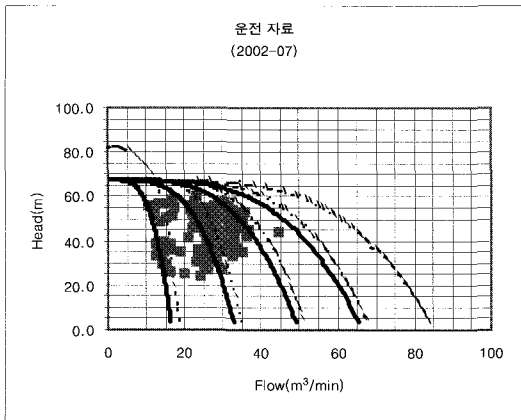


그림 6 운전자료 (월간)

## 4. 시스템 검토 및 분석

### 4.1 부안정수장 송수관련 수리계통분석

부안정수장의 송수계통은 그림 1의 수리계통도에 나타내었다. 부안정수장에서 유입된 물은 송수펌프를 이용하여 크게 변산라인과 부안라인으로 분기되어 송수되고 있으며, 송수펌프를 이용하여 송수된 물은 지자체의 배수지 및 가압장의 흡수정으로 보내진다. 배수지 및 흡수정의 설치 위치는 펌프의 양정 관련요소인 표고로 볼 때 고사포배수지를 제외한 흡수정은 최고수위의 표고가 25~31 m 수준임을 알 수 있으며, 고사포 배수지의 경우는 그 값이 55 m에 이르는 것이 특징이다. 한편 송수관로 설계에 있어서 관경의 결정은 용수공급량을 기준으로 하고 있으며 마찰에 의한 손실수두는 이의 영향을 받고 있다. 또한 전체 시스템에 있어서 요소마다의 실양정 변화가 크면 이 값을 모두 고려한 최대 양정으로 펌프를 선정하는 것이 일반적이다. 이 때 양정이 높은 곳을 기준으로 하여 설정된 송수시스템에 있어서 송수펌프를 가동하게 되면 설계시 실양정이 낮고 대유량으로 고려된 관로의 경우 전체의 송수유량이 감소할 경우 실제의 관로 손실이 적어지게 되어 운전 목표값 이상의 유량이 흐르게 되어 각각의 저항 요소 간에 불균형이 발생하게 되며 이 불균형은 전체 시스템의 정상적인 운전을 어렵게 한다. 부안정수장의 경우 시설용량은 펌프가 모두 가동될 때 87,000 m<sup>3</sup>/d이며, 이를 기준으로 관로의 시방이 결정되었으므로 송수량이 현재처럼 시설용량의 1/2 수준일

경우 주산 및 부안 흡수정간의 관로저항은 설계시의 값 보다 작게 되며, 또한 격포라인에 있어서 격포 배수지와 고사포 배수지간에도 격포 쪽의 실양정이 작아 격포라인으로 공급된 물은 모두 격포배수지로 향하고, 고사포 배수지로는 공급이 될 여지가 없게 될 수도 있다. 현재는 이러한 관로저항의 불균형으로 인하여 송수가 불가능한 문제가 발생하지 않도록 하기 위하여 부안 및 주산 가압장으로 향하는 유로의 밸브개도를 조절하여 고사포배수지로 송수가 가능하게 시설을 운영하고 있다.

### 4.2 부안정수장 송수관로저항분석

펌프의 운영과 관련하여 부안정수장의 관로 시스템에 대한 정량적인 분석이 필요하였고 분석을 위해서는 각각의 관로에 대한 해석과 이들의 조합으로 이루어진 시스템에 대한 해석을 종합적으로 수행할 필요가 있다. 본 검토에 있어서는 배관내의 유량을 변수로 하여 손실계수를 구하고 각각의 관경 및 유량배분방식을 고려하여 직·병렬 조합으로 나타내고 이를 종합함으로써 각각의 관로저항 및 전체 관로저항곡선을 구성하는 방법을 이용하였다.

관로의 저항을 표현하는 방법으로는 아래의 Hazen-Williams와 Darcy-Weisbach의 손실계산공식을 많이 이용한다.

$$h_f = 10.666 C^{-1.85} D^{-4.87} Q^{1.85} L \quad (1)$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

본 과제에서는 관수로의 손실 계산을 위하여 일반적으로 많이 사용되는 Hazen-Williams식을 사용하였으며, 여기서 관로의 평균유속계수 C값은 관내면의 조도에 따라 다른 값을 취한다. 한국 상수도시설기준에 의하면 도복장 강관 신관의 경우 C값은 130정도로 보며, 관굴곡부 손실 및 15~20년 후의 관내부의 손상등을 고려하여 설계할 경우는 그 값을 110~120 수준으로 사용하고, 주철관의 경우 100을 많이 적용하고 있다. 본 부안정수장의 송수관련 관로의 해석에서는 유속계수 C를 주철관을 제외하고는 120을 적용하였으며, 주철관의 경우에는 일괄적으로 100을 적용하였다.

표 4 관로저항 계산을 위한 기초자료

순	구분명칭	E.L (m)	관경 (mm)	노드간 관길이 (m)	관재질	적용C
0	부안정수장	5.9	-	0		기점
1	변산분기	4.9	900	1744	강관	120
2	부안분기	9.6	900	9883	강관	120
3	주산가압장	30.8	700	8350	강관	120
4	고사포분기	11.5	400	8920	주철관	100
5	격포배수지	25.0	350	7152	주철관	100
6	고사포 배수지	55.7	300	500	주철관	100
7	부안가압장흡수정	25.0	600	11792	주철관	100

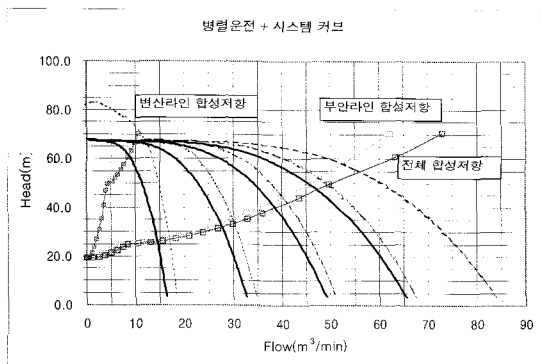


그림 7 관로의 저항 및 펌프성능곡선

그림 7에는 표 4에 나타난 기본적인 자료를 이용하여 계산한 결과를 송수펌프의 유량에 따른 펌프의 운전곡선과 함께 나타냈다. 여기서, 성능곡선을 나타내는 실선은 송수펌프#3~#6 (양정이 50 m인 펌프)을 병렬로 운전할 때의 펌프성능곡선이고, 점선은 #1 또는 #2 (양정이 64 m인 펌프)를 1대 가동하고, 나머지 펌프들을 계속하여 병렬로 운전시킬 때의 성능곡선을 나타낸다.

그림 7에서 펌프의 성능곡선과 합성저항곡선이 만나는 곳은 관로의 밸브 등을 조작하지 않은 상태에서의 펌프 운전점에 해당하며 이를 기준으로 펌프의 운전대수에 따른 유량의 변화를 표 5에 요약하였다.

표 5 운전 대수에 따른 운전점의 변화

운전대수	펌프 양정 (m)	변산 유량 (m³/d)	부안 유량 (m³/d)	총유량 (m³/d)	변산의 비율 (%)
2대	32	4,032	35,568	39,600	10.2
3대	40	5,040	50,400	55,440	9.1
4대	47	5,616	62,784	68,400	8.2

이 결과를 보면 변산방면으로의 유량은 총유량의 10% 수준이며, 4대를 모두 가동했을 경우에도 고사포 쪽으로 송수는 발생하지 않는다. 따라서 이 시스템에서는 고사포방면으로 유량을 발생시키기 위하여 펌프 동작시의 운전점이 양정 50 m가 넘도록 조정할 필요가 있으며, 이에 대한 실현 수단으로서 부안 방향의 관로에 설치된 밸브를 조작하여 부안방향의 저항을 증가시킴으로써 관로 저항곡선을 고양정 쪽으로 이동시켜야만 한다. 이는 고지대에 위치한 고사포 배수지의 경우, 인위적인 밸브의 조작이 없는 경우 현재의 송수량 범위 내에서 자연적인 송수는 불가능하다는 것을 의미하며, 전체적으로 용량대비 10%대의 송수를 위하여 펌프를 필요한 대수보다 더 운전시키는 결과가 되며 이는 에너지 손실의 요인이 되고 있다.

아래의 그림 8은 운전점 자료를 나타낸 것으로 펌프의 토출수두는 60 m까지 이른다. 이는 관로저항곡선이 필요한 수두보다 아래쪽에 위치하므로 송수를 위해서는 관로저항곡선과 토출수두의 차에 해당하는 만큼 밸브를 교축하여야 하며, 이에 따라 2대의 펌프를 운전하는 경우 교축에 의하여 8 m³/min (11,500 m³/d)의 유량이 감소하며, 이는 펌프 1대 운전 값의 80%에 해당하는 유량의 감소를 의미한다. 이러한 운전이 계속될 경우 배관 및 밸브의 수명단축 및 이상을 발생시킬 수 있으며 이와 더불어 필요 송수량을 위해 펌프의 운전대수가 늘어나게 할 수 있고 이는 전력량 상승의 직접요인이 될 수 있다.

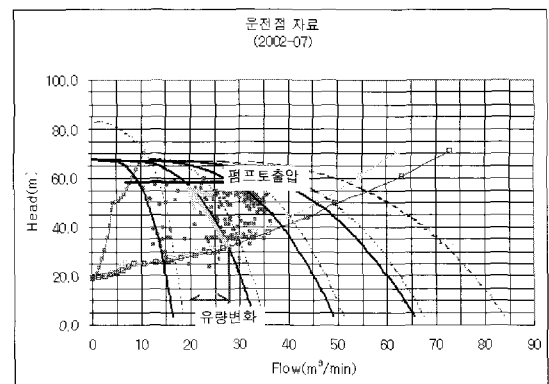


그림 8 부안정수장의 운전자료

### 4.3 밸브의 개도에 따른 전력원단위 영향

밸브의 개도조절이 소비전력에 미치는 정도를 알아

보기 위하여, 밸브 개도조절이 필요하도록 한 원인인 변산 방향의 유량에 대하여 발췌한 자료를 기초로 하여 전력원단위를 계산하였다. 밸브의 개도를 적게 하면 변산 방향의 유량은 상대적으로 증가할 것이므로 전력원단위는 커질 것으로 예상된다. 그림 9는 변산방면으로 유량변화가 있을 경우 전력원단위의 변화를 나타낸 것이다. 이를 보면 유량이 적을 경우 전력원단위가 조금 낮게 나오는 경향이 보이며, 이는 밸브의 개도조절이 어느 정도는 소비전력량의 변화에 기여하였을 것이라 추측을 가능하게 한다. 그러나 본 검토에 있어서 전력원단위의 계산에 사용된 전력량의 산포가 크므로 이를 단정하는 것 또한 어려운 문제이다. 여기에 나타난 산포는 전력량을 순시값을 대표로 취한 것과 유량의 시간에 대한 반응차가 큰 것을 자료로 취함으로써 생긴 것으로 추정된다.

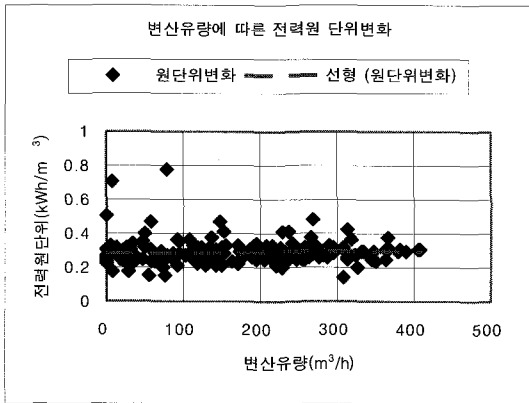


그림 9 전력원단위의 변화 (실측값계산)

## 5. 수리계통의 변경 및 운영방법 검토

### 5.1 수리계통의 변경제한

고사포배수지의 표고는 다른 지역에 비하여 상대적으로 높아, 이 지역의 송수를 위해서는 펌프의 토출압력을 높게 유지할 필요가 있는 반면에 이 때의 유량은 상대적으로 적으므로 이 지역으로 필요량을 송수하면 펌프의 토출압력을 높게 유지할 필요가 없다. 따라서 펌프의 토출압력은 그 크기의 변화 폭이 크므로 펌프의 운전이 불안정하게 되며, 펌프와 배관계통의 부품수명에 좋지 않은 영향을 줄 것으로 추정되므로, 이 지역으로의 송수를 위하여 별도의 인라인펌프를 설치

하는 것을 제안하고자 한다. 이렇게 하였을 경우 전체 운전특성변화는 그림 10과 같이 변화한다.

인라인 송수펌프는 계획 배분량을 일간 5000톤을 고려하는 경우, 라인펌프의 용량은 최대 3.5 m<sup>3</sup>/min이며, 필요한 양정은 고사포배수지와 정수장간의 최대 수두차에서 송수펌프의 양정을 뺀 수두차 (=55.7-5.9-25)를 고려하면 되므로, 최대 25 m의 양정이면 송수가 가능하리라고 판단된다. 이 때의 펌프의 시방은 다음과 같다.

< 펌프시방 >

양정 : 25 m

유량 : 5000 m<sup>3</sup>/일 일 때 3.5 m<sup>3</sup>/min

1700 m<sup>3</sup>/일 일 때 1.18 m<sup>3</sup>/min

동력 : 3.5 m<sup>3</sup>/min 일 때 30 kW

또한, 인라인 펌프를 적용하면 변산 방면의 관로저항곡선이 인라인 펌프로 토출된 용량만큼 관로저항곡선이 우측으로 이동하여 송수펌프 4대를 운영하여 최대 48 m<sup>3</sup>/min (이는 69,120 m<sup>3</sup>/d에 해당)의 송수가 가능하게 시스템이 변경된다.

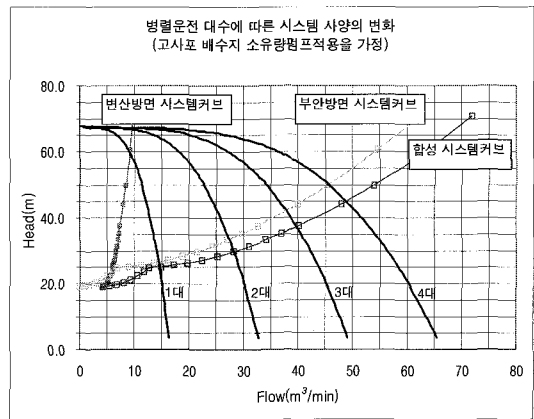


그림 10 고사포배수지 소유량펌프 적용시의 시스템 커브 변화

### 5.2 변속적용시의 성능특성 및 적용의 한계

고사포배수지의 송수를 위하여 별도로 인라인펌프가 적용된 시스템에 펌프의 대수와 속도제어를 하는 경우에 대하여 그 특성곡선을 그림 11과 그림 12에 각각 나타냈으며, 현 수준의 송수량은 40,000~50,000 m<sup>3</sup>/d 수준이다. 용수 계획에 따르면 2010년도에 87,000

m<sup>3</sup>/d에 이를 계획이나 현재의 용수량 및 용수량 증가 수준과 수자원공사 수도경영처의 예측자료를 볼 때 2010년도에 용수량이 하루 60,000 m<sup>3</sup>/d을 넘기기는 어려울 것으로 보인다. 또한 고사포에 별도의 송수펌프를 설치한 시스템의 경우 현재 사용하고 있는 주펌프 4대 만의 운전으로도 송수량이 65,000 m<sup>3</sup>/d을 넘어서고 있으므로, 이후의 소비전력 저감을 위한 검토에서는 이 4대에 대한 조합만을 검토하고자 한다. 이것은 현재의 주 펌프 4대의 조합만으로 대수제어 및 속도제어를 이용하여 송수량을 만족시키는 것이 가능하리라 생각되기 때문이며, 이 때 최적의 조합으로 소비전력을 최저로 하는 운전모드를 찾을 수 있을 것이다. 이하 속도제어의 경우 제어범위는 일반적인 범위인 정상 속도의 70~100%로 하였다.

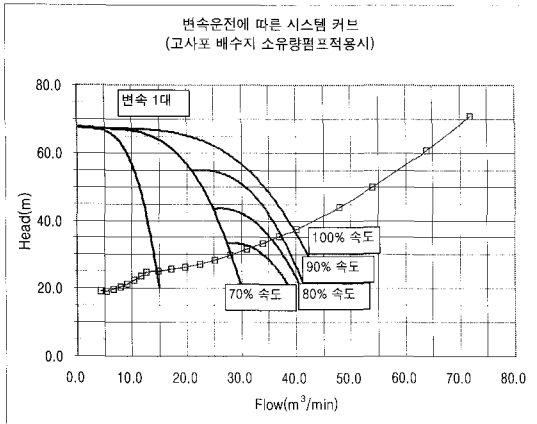


그림 11 2대 정속 + 1대 변속운전

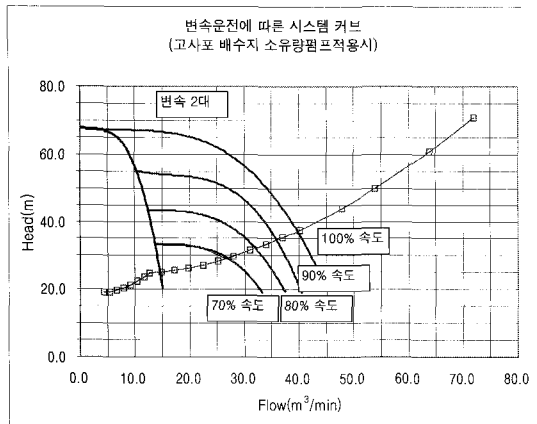


그림 12 1대 정속 + 2대 변속운전

송수펌프에 대하여 변속을 적용할 때의 성능변화는 그림 13과 그림 14에 나타났다. 그림 13은 제작자가 제공한 자료를 기초로 한 그래프이며, 그림 14는 상기의 기의 그래프에 실제의 운전 자료를 이용하여, 자료의 값과 비슷하도록 일정 비율로 조정하여 재구성한 성능 그래프이다. 그래프에서 축동력은 자료 처리를 편리하게 하기 위하여 선형으로 재구성하였으며, 이는 실용상 큰 지장은 없으리라고 생각된다. 또한 펌프의 효율은 동일한 모터를 사용할 경우 무부하 전류 등의 차이에 의하여 효율값에 차이가 존재하나 본 검토에서는

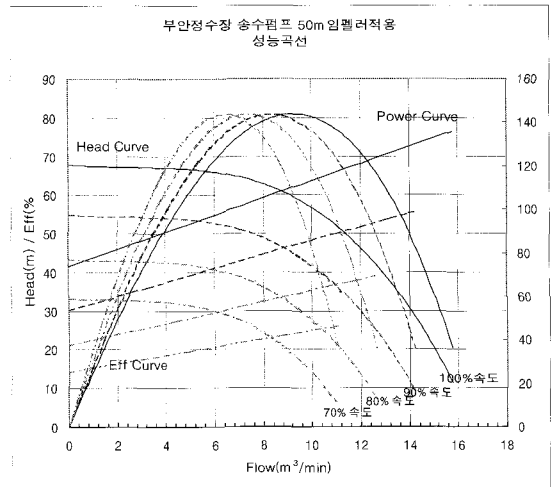


그림 13 펌프의 변속에 따른 성능변화도 (제작자 자료이용)

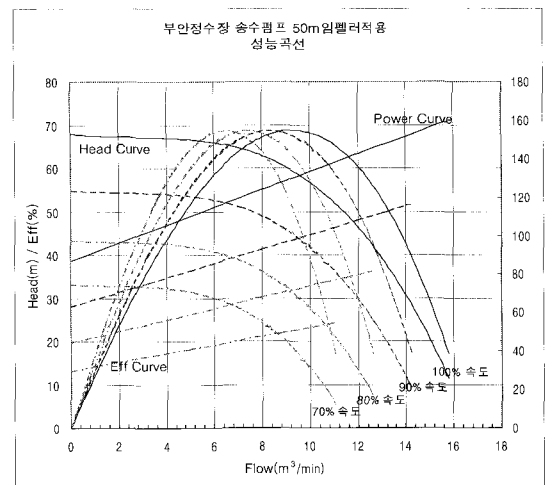


그림 14 펌프의 변속에 따른 성능변화도 (운전자료를 참조하여 변경)

이를 무시하였으며, 변속운전에 있어서 변속의 적용 및 그 적용 방법의 차이에 따른 효율은 현 상황에서 고려하지 않고 100% 전달이 되는 것으로 가정하여 성능변화를 분석하였다. 따라서 이 부분은 적용되는 변속의 방법에 따른 효율을 적용하여 재계산하면 실제의 값에 보다 가까운 예측을 할 수 있다.

### 5.3 대수제어와 변속 운전시 전력량 비교

현재 부안정수장의 실 송수용량은 평균 40,000 m<sup>3</sup>/d 수준이며, 최대 부하는 평균수준에서 12,000 m<sup>3</sup>/d 정도가 더해진 양이 최대부하로 작용하고 있고, 향후 송수량 변화는 크지 않을 것으로 예상된다. 따라서 운전 방식에 따른 전력량의 비교는 송수펌프를 병렬운전 시킬 때 펌프 2대와 3대를 운전하여 얻을 수 있는 송수량에 해당하는 40,000~57,000 m<sup>3</sup>/d 범위에 대하여 펌프 2대는 정속 운전을 시키고 부족한 유량은 송수량에 대한 조절용 펌프로 1대를 변속 운전시키는 경우와 밸브의 개도조절에 의한 방법을 이용했을 경우에 대하여 전력의 변화를 각각 비교해 보았다.

송수펌프 4대를 변경된 시스템에 적용하여 교축 및 변속 운전할 경우의 전력량을 표 6과 표 7에 나타냈으며, 그림 15에 이에 대한 그래프 및 2002년 8월에 발췌한 운전 자료를 함께 나타냈다. 이를 보면 기존의 시스템에서는 동일 송수량에 대하여 펌프를 4대 가동하고 밸브의 개도를 조절하여 목표 송수량을 만족시키도록 하였으나, 변경된 시스템의 경우는 펌프의 가동

은 3대로 충분하며 변속운전을 적용할 경우 전력소비를 더욱 줄일 수 있음을 알 수 있다. 그래프에서 측정값은 운전 자료의 전력값을 의미하고 계산값은 펌프의 성능시험 자료를 이용하여 계산한 값을 의미하고 있으며 이 두 값은 큰 차이가 없으므로 추후의 성능비교 등에 계산값을 이용하여도 예측에는 큰 오차가 없음을 의미한다.

표 6 대수제어 및 밸브 개도조절시의 전력량

유량 (m <sup>3</sup> /d)	양정 (m)	축동력 (kW)	입력 (kW)	전력원 단위	운전 대수
21,326	23.6	133.0	173.9	0.196	1대
21,557	64.7	205.6	268.8	0.299	
29,088	57.7	227.4	297.3	0.245	
36,000	42.7	247.6	323.7	0.216	
40,752	30.3	261.2	341.4	0.201	2대
40,896	59.2	333.0	435.3	0.255	
45,792	54.5	348.0	454.9	0.238	
52,416	45.5	366.0	478.4	0.219	
57,024	37.8	380.4	497.3	0.209	3대
57,312	57.2	452.0	590.8	0.247	
61,430	54.1	464.0	606.5	0.237	
66,816	49.4	480.0	627.5	0.225	
70,416	45.7	490.4	641.0	0.218	4대

표 7 대수제어와 변속운전1대 적용시의 전력량

유량 (m <sup>3</sup> /d)	양정 (m)	축동력 (kW)	입력 (kW)	전력원 단위	운전 대수
21,326	23.6	133.0	173.9	0.196	1대
31,680	26.5	172.5	225.5	0.171	
35,280	28.1	195.0	254.9	0.173	
37,872	29.0	224.0	292.8	0.186	
40,752	30.3	261.2	341.4	0.201	2대
46,224	32.4	298.2	389.8	0.202	
51,264	34.6	327.3	427.8	0.200	
53,856	35.8	361.2	472.2	0.210	
57,024	37.8	380.4	497.3	0.209	3대
59,040	38.3	387.8	506.9	0.206	
64,800	42.0	454.8	594.5	0.220	
70,416	45.7	490.4	641.0	0.218	4대

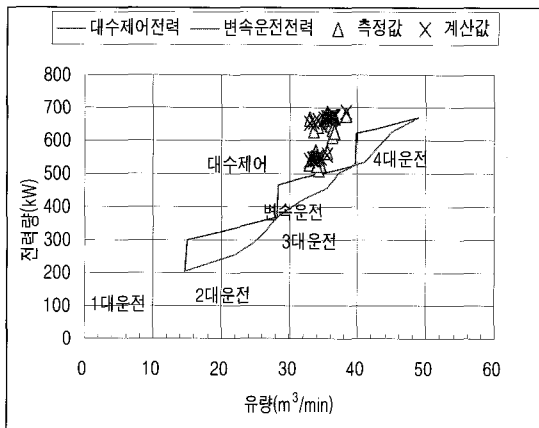


그림 15 운전에 따른 전력량변화



경제성 검토를 하기 위하여 위와 동일한 조건에서의 전력원단위의 평균을 취하면 다음과 같다.

- 현재의 시스템 (기준)

1) 원래의 시스템에서의 전력원단위 :

$$0.292 \text{ kWh/m}^3 \text{ (운전값 평균)}$$

- 시스템을 인라인펌프 설치하는 것으로 변경 시 (인라인펌프의 전력은 30 kW로 계산)

2) 개도조절시 전력원단위 :

$$(500 + 30) / (36.17 \times 60) = 0.244 \text{ kWh/m}^3$$

3) 변속시 전력원단위 :

$$(440 + 30) / (36.17 \times 60) = 0.216 \text{ kWh/m}^3$$

이를 각각의 운전조건에 따른 에너지 절감량을 평균전력비를 적용하여 표 8에 예시하였다.

이를 보면 시스템을 변경한 후 변속에 따른 순수한 전력비절감액은 32,482,166원이다.

또한 전력원단위는  $P_s = 0.002778 \frac{H}{\eta_m \eta_p}$  로 표현

되며 펌프효율과 모터효율이 주어졌을 때 양정에 따른 최소의 전력원단위를 얻을 수 있으며, 본 부안정수장에서는 펌프가 2~3대로 운전될 때의 양정인 30 m와 45 m를 적용하고, 펌프효율을 80%, 모터효율을 90%로 각각 적용하면,

$$\text{최소의 전력원단위} = 0.115 \text{ kWh/m}^3 \text{ (30 m 양정시)}$$

$$0.173 \text{ kWh/m}^3 \text{ (45 m 양정시)}$$

평균 0.144 kWh/m<sup>3</sup>이 된다.

표 8 운전조건별 절감량 예시

평균전력비(적용) = 61.87원/kWh

조건	원단위 (kWh/m <sup>3</sup> )	일간 송수량 (m <sup>3</sup> /d)	일간소비 전력 (kWh)	차이 (kWh)	년간절감액 (원)
1)	0.292	52,084	15,209	0	-
2)	0.244	52,084	12,708	2,500	55,683,713
3)	0.216	52,084	11,250	3,958	88,165,879

이를 보면 현재의 시스템에 고사포배수지로의 송수 라인에 인라인 펌프를 적용하고 변속운전을 적용할 경

우는 밸브 개도운전에 비하여 약 11%의 전력을 저감 할 수 있음을 알 수 있으나, 이 값은 최적의 시스템에 비하여 평균 33% 적은 수준이다. 따라서 시스템의 개선과 더불어 시스템을 구성하는 기본요소에 대한 개선도 또한 필요하다고 할 수 있다. 특히 본 시스템의 경우 초기에 과도한 양정의 펌프를 설정함으로 인하여 실제 사용하는 양정에서는 효율이 낮아졌으며 시스템이 개선된 경우 그 양정이 현 수준보다 더욱 낮아지므로 펌프 운전시의 동작점 효율이 50% 이하가 되는 특이한 현상이 생기게 되었으며, 이는 최적운전을 저해하는 요인이다.

## 6. 맺음말

부안정수장의 펌프 최적운전을 위하여 기존의 운전자료 및 시스템의 특성 등을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 부안정수장의 송수시스템에 따른 전력원단위는 현재의 운영방식의 경우 0.292 kWh/m<sup>3</sup>, 변산라인의 경우 고사포배수지 송수관로에 별도의 인라인 펌프를 설치하고 송수펌프를 1대 변속운전 시킬 경우는 0.216 kWh/m<sup>3</sup>이다.
- 2) 부안정수장의 바람직한 송수 시스템은 고사포배수지를 별도의 인라인 펌프를 설치하여 운영하는 것이며, 이렇게 함으로써 현재와 동일한 방식으로 시설을 운영할 경우 전력량은 16% 정도 개선할 수 있으며 이에 따른 연간 운영비절감액은 약 5,500만원에 이를 것으로 추정된다.
- 3) 송수펌프 중 1대를 변속 운전하는 변속 시스템을 적용할 경우 정수장의 송수펌프는 현재의 양정 50 m 시방의 펌프에 적용하는 것도 충분하며 이는 전력저감측면으로 타당하리라 판단된다.
- 4) 변속시스템을 적용하면 현재보다 연간 약 8,700만원의 운영비용 절감이 가능해짐에 따라 투자비를 약 2.3억원으로 예상할 경우, 투자비를 회수하는데 약 3년 (2년 8개월)이 예상된다.
- 5) 펌프의 운전자료 및 성능곡선을 볼 때, 현재의 부안정수장 송수펌프는 시방점이 대유량 영역에 위치하고 있으며, 저효율로 운전되고 있으므로 펌프부를 변경된 시방에 적합하게 교체하여 펌프효율을 높이는 것도 효과적인 방법이 될 수 있다. 이는 변속의 유무를 떠나 투자비 대비 효과가 높으므로 적용은 빠를수록 좋을 것으로 생각된다.

- 6) 현재의 시스템에 단순한 변속시스템 적용만으로는 소비전력저감을 획기적으로 저감하는 것이 어려우므로 고려하지 않았다.
- 7) 부안정수장의 송수시스템의 변경 및 운전과 관련하여 그 적용순위는 시설 변경의 경우 비용대비 효과를 고려하여 고사포 배수지로는 별도의 인라인 펌프로 운영하는 것을, 펌프의 경우는 운영방향에 따라 변경될 시방점에 최적화된 펌프를 우선 적용하는 것이 바람직하며, 추가의 비용이 발생하나 보다 안정적인 시스템의 유지관리를 위해서는 송수펌프 1대에 부분적인 변속을 채용하기를 추천한다.

## 후 기

본 연구는 한국수자원공사 수도시설치의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) 한국수자원공사, 1994, “부안댐계통 광역상수도사업,” 실시설계보고서.
- (2) 한국수자원공사, 1998, “부안댐계통 광역상수도사업,” 준공보고서.