

대형펌프장 고압(6.6kV) 인버터 적용방안 연구

김태욱*, 강경은*
K-water(한국수자원공사)*,

A Study on the Application of High Voltage Inverter System(6.6kV) at Large Pumping Station

Tea-Og-Kim*, Kyong-Eun Kang*,
K-water*,

Abstract - 본 논문에서는 대형펌프장 펌프 소비동력을 절감하고 효율적인 펌프설비 운영을 하기위하여 펌프설비의 설계용량보다 저유량을 공급시에 현재의 밸브 교축운전으로 인한 강제유량조절 운영방식과 펌프의 회전수를 낮추고 밸브에 발생하는 손실수두를 최소화 할 수 있는 인버터시스템 운영방식을 비교하여 에너지절감 및 효율적인 운영방법을 연구분석 하였다.

Full Open할 경우(2대운전) 펌프 성능곡선도상에서 송수량 약 13,300 m³/h, 양정 72 m에서 운전될 것으로 예상되나 이 경우 소비동력은 약 3,080 kW이며 전동기의 과부하로 운전이 불가능하다.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

경북 안동시 임하면에 위치한 임하가압장은 '01년도에 준공된 사업장으로 임하댐을 취수원으로 하고 있으며 만성적인 용수부족을 겪고 있는 경북 동부지역과 급호강 하천유지용수를 공급하는 가압장으로서 영천댐수위에 따라 용수공급량을 가변적으로 운영하고 있으며, 영천댐 수위상승시 적은유량 공급에 따라 설계최대부하 조건보다 낮은수두에서 운영함으로써 펌프케비테이션 및 과부하 발생으로 이를 방지하기 위하여 밸브토출밸브를 강제로 교축(Throttling)하여 양정과 유량을 조절하고 있다

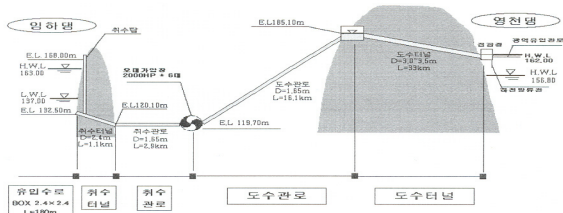
2. 본 론

2.1 임하가압장 시설현황

<표 1> 임하가압장 시설현황

구분	내용	구분	내용
시설용량	407,000(m ³ /일)	수전용량	9,000(kW)
펌프용량	2,000(hp)	전동기	1,500(kW)×6대
양정	87(m)	정격전압	6.6(kV)
유량	4,242(m ³ /hr)	극수	6

2.2 영천도수로 계통도



<그림 1> 영천도수로 계통도

2.3 가변속 장치(V.V.V.F) 선정 기준(조건)

- (1) 펌프 가압설비의 부하특성 에 충족
- (2) 우리나라의 고조파 관리기준(IEEE-519, 1992)
- (3) 순간 부하 변동에 고속으로 대응 능력
- (4) 과 부하율
- (5) 상위 System Interface
- (6) 사용 온도
- (7) 인버터로 부터 모터까지 거리 연장

2.4 에너지 절감방안 검토

2.4.1 현재 운전상태

(1) Valve 교축 운영 및 전동기 과부하 운전현황
현재 운영방식은 펌프의 대수제어 및 Valve의 교축 방식을 채택하고 있으나 수요량 변화가 적어 운전 댓수 변동없이 Valve를 교축제어 하여 운영하고 있다. V/V개도 24.2~27.1%에서는 밸브 교축 손실양정이 약 25m가 발생되고 있다. 현재 상태에서 V/V를

2.4.2 개선 방안

V/V를 Full Open한 상태에서 가변속 제어장치를 이용하여 밸브에서 발생하는 손실을 최소화시키는 유동적인 방법과 회전차 외경을 절삭(Trimming)하여 현 운전사양에 알맞도록 하는 고정적인 방법이 있으나 회전차 외경절삭의 경우 장기적으로 수요량 변동시에 적절한 대응이 불가능할 뿐만 아니라 펌프 운전효율이 저하되는 문제점이 있으므로 본 제안서에서는 가변속 제어장치를 검토하였다.

2.4.3 절감 원리

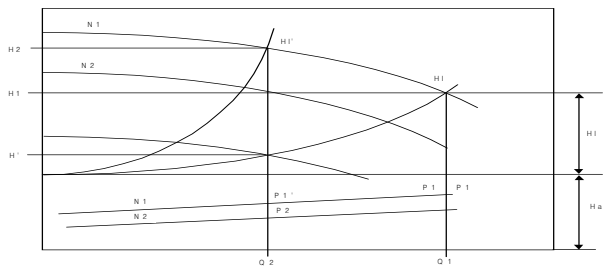
(1)인버터에 의한 에너지 절약운전의 원리

전동기로 구동하는 부하(펌프)는 일반적으로 회전수에 따라 토오르가 변하며 전동기의 출력은 다음의 식으로 계산할 수 있다. 펌프의 경우, 전동기의 출력 P = 0.163 × H × Q ÷ η (kW) (H : 전양정 (m), Q : 유량 (m³/min), η : 펌프·모터의 효율) 약 24~27%의 개도율로 운전하면 Valve에서의 교축손실이 발생 되어 인버터를 사용하여 회전수를 줄이면 100%의 개도에서 운전이 가능하여 Valve 교축에 따른 전력손실을 줄일 수 있고, 향후 다양한 수요변화에 따라 유량조절이 가능하다

(2) 회전수 제어와 밸브 제어의 비교

펌프의 사양을 결정하는 주요 제원은 전양정 H (m)와 유량(토출량) Q로서 Q는 최대사용정격으로 결정되나 전양정은 전양정 H (m) = Ha + Hl = (Hd + Hs) + Hl

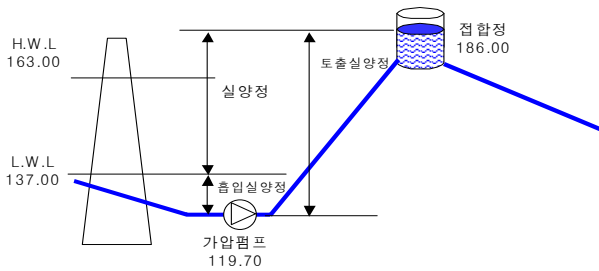
여기서 Ha ; 실양정 (토출하는 수위와 흡입하는 수위의 차)
Hd : 토출측 실양정
Hs : 흡입측 실양정
Hl : 관로, 밸브 등의 의한 손실수두



<그림 2> 밸브제어 시 유량 - 양정 곡선도

펌프의 운전점은 밸브 전개 시에는 펌프의 정격 회전수에서의 Q-H 특성곡선과 Hl과의 교점의 유량 Q1에서 압력 H1이 나타나는 운전이 된다. 그리고 밸브를 제어하여 유량을 Q2로 하면 관로 저항곡선은 Hl'로 되어 그 때의 펌프 양정은 H2로 상승하게 된다. 이 때 펌프의 축동력은 정격 회전 시의 Q-P(축동력)커브에 따라 Q가 Q1에서 Q2로 감소한 부분만 약간 감소한다. 유량 Q2에서 펌프 필요압력은 관로저항곡선 Hl'과의 교점 H1로 H2-H1는 Valve교축으로 인한 손실양정이 된다. 따라서 운전이 가능한 최소의 양정으로 펌프의 성능곡선도 상에서 가장 효율이 높은 점에서 운전하는 것이 가장 이상적이라 할 수 있다.

(3). 실 양정계산

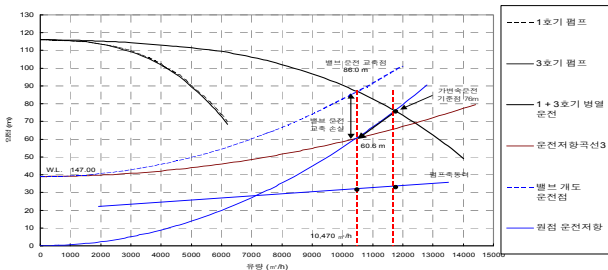


〈그림 3〉 펌프실양정 계산

펌프 실양정 = 펌프의 토출 실양정 - 펌프의 흡입 실양정 (m)
 입하가압장의 경우에는 토출 측 바닥이 EL 183.00 m이지만 취수시에는 바닥인 EL 183.00 m에서 3m 정도 수위를 유지하고 있어 토출측 수위는 EL 186.00 m로 계산한다. 또한 흡입실양정은 입하댐의 수위에 따라 변동되므로 입하댐의 수위 분포도에 따라 흡입 양정을 구하고 그에 따른 실양정을 계산한다.

2.4.4 가변속(인버터 시스템) 운전 시 소요전력 계산

아래 그림은 실양정이 39m일 때 10,470m³/h에서 86.0m로 운전하고 있는 펌프의 운전특성을 나타내고 있다. 밸브를 전개하고 운전한다면 밸브의 교축손실이 없어지고 관로저항과 실양정을 포함하여 60.6m 정도에서 운전하게 된다. 가변속 운전할 경우 Q-H 선도 상의 76m 양정이 60.6m로 이동하게 된다.



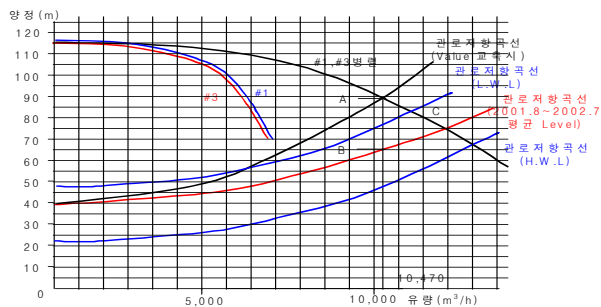
〈그림 4〉 실양정시 펌프운전특성도

2.4.5 에너지 절감량 및 절감금액(년기준)

〈표 2〉 #1, #3 펌프 병렬운전 DATA

수위 (EL,m)	실양정 (m)	호 기	흡입측 압력(m)	토출측 압력(m)	속도 수 두차(m)	전양정 (m)	
154.1	186.0	31.9	1	30.5	116.1	1.4	87.0
			3	30.1	112.1	1.6	83.5
유량 (m ³ /h)	수동력 (kw)	전력 (kw)	P&M 종합효율	전동기 효율(%)	펌프 효율(%)	V/V 개도율	원단위 (kw/m ³)
5,160	1,219	1,411	86.4	96.4	89.6	28.2	0.2736
5,310	1,204	1,440	83.6	"	86.8	26.2	0.2712
10,470	2,424	2,851	85.0	"	88.2		0.2724

(1) 절감전력 산출



〈그림 5〉 현재의 운전점과 인버터 운전시 운전점과의 비교

위의 그래프에서 보면, '06.8~'10.7월의 입하댐 평균수위를 기준하였을 경우는 관로저항곡선과 #1, #3호 병렬운전시의 Q-H 곡선과의 교점은 C Point로서 현재의 운전유량인 10,470 m³/hr 의 경우 관로저항곡선과 B Point에서 교차하는데 이때의 운전양정은 약 60.6m가 된다. 또한 현재의 운전방식으로 VALVE를 교축하면 관로저항 곡선의 기울기가 변하여 #1, #3 호 병렬운전시의 Q-H 곡선과의 교점은 A Point로 변하게 되며 이때의 운전양정은 약 86.0m가 되고 이때의 펌프 효율은 88.2%이다.

(2) 이론적 에너지 절감량 계산

A Point : Value를 교축하지 않을 경우 C Point에서 운전이 되어야 하나 Value를 교축하여 현재 운전되는 점

$$Q = 10,470\text{m}^3/\text{H}, H = 86.0\text{m}, \text{Eff} = 88.2\%$$

B Point : 정속 1187rpm의 펌프 특성을 Inverter로 속도제어를 하여 이 Point를 지나는 특성으로 변환시킬 예정인 점

$$Q = 10,470\text{m}^3/\text{H}$$

$$H = 60.6\text{m} \text{ 여기서 } Q = Q^1 \times \frac{n}{n^1}$$

$$H = H^1 \times \left(\frac{n}{n^1}\right)^2$$

공식을 이용하여 1,187rpm의 펌프특성곡선상의 점을 찾으면 1,060rpm시에 Q = 11,724m³/H, H = 75.9m로서 이때의 효율은 84%가 된다. 따라서 단순절감전력은 A, B Point에서의 사용전력의 차이므로

$$\frac{0.163 \times \frac{10,470}{60} \times 86.0}{0.882 \times 0.964} - \frac{0.163 \times \frac{10,470}{60} \times 60.6}{0.840 \times 0.964}$$

$$= 2,877.0\text{kW} - 2,125.1\text{kW}$$

$$= 751.9\text{kW가 된다.}$$

여기서 인버터를 사용할 경우 Inverter System 효율을 고려하면 B Point의 사용전력은

$$\frac{2,125.1\text{kW}}{0.957} = 2220.6\text{kW}$$

따라서 2,877.0kW - 2220.6kW = 656.4kW

그러나 입하댐 수위에 따라 실양정 이 변화되므로 보다 정밀한 절감량을 산정하기 위하여 Inverter를 사용할 경우를 입하댐 수위변화에 따른 실양정 변화에 따라 Simulation 한 소비전력은 다음과 위 같다.

〈표 3〉 실양정 변화에 따른 펌프 1대당 인버터시스템 소비전력

실양정(m)	소비 전력(kW)	부하율(%)	시스템 효율(%)	INV. 전력(kW)	가동 시간(년)	단위절감량(kW)	총절감량(kWh/년)
34	1565.2	87.1	95.5	1082	203	355.9	72,081
36	1512.4	87.9	95.6	1075	338	362.9	122,495
38	1509.0	88.8	95.7	1104	1,283	334.5	429,070
40	1504.0	89.6	95.8	1130	608	308.0	187,146
42	1501.0	90.5	95.8	1159	68	278.6	18,809
44	1498.3	91.3	95.9	1188	68	249.6	16,851
합계	1,510(평균)				6,076	317.5(평균)	1,934,544

2.4.6 기대효과 및 경제성 검토

(1) 에너지 절감률

평균소비전력 1,510kW에 대한 평균단위 절감전력 317.5 kW로 계산하면 절감률은: (317.5 kW ÷ 1,510 kW) × 100% = 21.02(%)

(2) 에너지 절감량

펌프 1대당 인버터 절감전력 × 펌프 일 평균 가동대수
 1,934,544 kWh/대.년 × 2대 = 3,869,088 kWh/년

(3) 에너지 절감금액

년간 전력 절감량 × 전력 단가(2010년기준 기본요금 포함)
 = 3,869,088 kWh/년 × 70.63 원/kWh = 273,273 (천원)

(4) 투자비용

Inverter for 1,500 kW, 6.6 kV 고압 Direct Type
 2 대 = 550,000 × 2 = 1,100,000천원

(5) 투자비 회수기간

1,100,000천원 ÷ 273,273천원/년 = 4.026 년

3. 결 론

입하가압장의 최근 5년간 가압장 설비운영현황을 분석한 결과 하절기에 입하댐 및 영천댐에 많은 강우량으로 인한 수위상승으로 펌프가동율은 시설용량 대비 약 52%정도 운영을 하고 있다. 하절기에 적은 용수공급으로 인한 펌프설비의 과부하 및 캐비테이션 방지를 위하여 강제적인 밸브교축운전을 함으로써 발생하는 펌프설비의 비효율적인 운전을 방지하고자 고압인버터를 적용하여 에너지 절감 및 효율적인 펌프운영을 실시 하는것이 타당하다고 사료된다.

〔참고 문헌〕

- [1].효성EBARA, “효성펌프 편람” “1989”
- [2].최남섭, “고전압대전력 응용을 포함하는 새로운 멀티레벨 전압원 인버터에 모델링 해석및 PWM제어” “1994”