

펌핑시스템 최적화 방안 연구

최승봉, 남진극, 김동진, 강경은, 김종정, 이상배, 박정우
K-water

A study on optimization of Pumping system

Seung-Bong Choi, Jin-Geuk Nam, Dong-Jin Kim, Kyong-Un Kang, Jong-Jung Kim, Sang-Bae Lee, Jung-Woo Park
K-water

Abstract - 원가대비 낮은 전기요금 현실화에 따라 최근 3개년에 걸친 한전의 전력비 인상과 2015년 탄소배출권거래제 전면시행에 따른 추가적인 생산원가 상승요인은 산업현장 전반에 걸친 기업의 경쟁력 약화와 신규 투자의 위축으로 이어질 것으로 예측된다. 이 같은 시장 환경 속에서 생산원가 상승 잠재력 최소화에 도움이 되고자 본 논문을 작성하였다.

본 논문에서는 상하수도 사업장 전력비의 대부분을 차지하는 회전기계(펌핑시스템)의 최적화 방안에 대하여 연구하였으며, 전력사용량 절감을 위한 펌핑시스템 최적화 방안의 일환으로 인버터 최적운전 시뮬레이션 어플리케이션을 적용한 상하수도 사업장 펌핑시스템 특성 해석 사례에 대하여 살펴보고자 한다.

1. 서 론

최근 3년간(2011~2013년) 한전은 산업용 전력요금을 34%인상하였으며, 2013년 기준 산업용 전력요금의 원가대비 요금 현실화율은 96%로 농사용을 제외한 기타종별 대비 여전히 낮은 수치로 요금인상의 잠재적 인으로 작용하고 있다.

<표 1> 우리나라 전기요금 체계 (출처 : 한국전력공사, 2013년기준)

| 종 별 | 적용범위 | 판매단가 | 평균원가대비(%) |
|------------|---------------|---------------|-------------|
| 주택용 | 주거용 | 125.14 | 112.5 |
| 일반용 | 공공,영업용 | 129.75 | 116.6 |
| 교육용 | 학교,도서관,박물관 | 114.15 | 102.6 |
| 산업용 | 광업,공업용 | 106.83 | 96.0 |
| 농사용 | 농업,어업용 | 47.31 | 42.5 |
| 가로등 | 가로,보안등 | 113.30 | 101.8 |

또한 2015년 배출권거래제의 전면 시행에 따른 배출가격을 제6차 전력수급기본계획 수립시 톤당 2.1만원으로 예측하였으며, Point Carbon에 따르면 2020년 한국 배출권가격을 EU의 배출권 가격보다 15배 높을 것으로 예상하는 등 산업현장 전반에 걸쳐 전력사용량에 따른 추가적인 생산원가 부담 가중이 현실화 되고 있다. 미국의 shale Gas 개발 붐과 함께 국제유가는 큰폭으로 하락하였으나, 최근 다시 상승세에 있으며, 1 배럴당 100달러선을 유지할 것으로 예측하는 등 100% 수입에 의존하는 한국의 경우 불안정한 국제유가와 배출권거래제의 전면시행에 따른 추가적인 비용부담, 원가대비 100%이하인 전기요금 현실화율을 고려하면 전기 사용량에 의존하는 산업현장 전반에 걸쳐 생산원가 상승의 잠재적 요소로 작용할 것으로 예측되고 있다. 광역상수도 용수공급을 담당하는 K-water 또한 전력비 인상에 따른 수도물 생산원가 부담이 가중되고 있는 상황이다. 현재 K-water의 전체 전력사용량 중 수도시설의 에너지 사용량이 96%를 차지하며, 취수, 가압장등 펌핑시스템이 전체 전력의 90%이상 차지하는 것으로 나타난다.

본 논문은 상하수도 사업장의 전력 사용량의 대부분을 차지하는 펌핑시스템 최적화를 통한 운영원가 절감에 초점을 두고 실제 상수도 및 하수도 사업장 펌핑시스템 최적화를 통한 원가 절감 사례에 대한 고찰을 통하여 상하수도 사업장 맞춤형 전력비 관리방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 펌핑시스템 최적화를 위한 어플리케이션 도입 필요

현재 회전기계(펌프,송풍기,모터)의 고효율 설비 개발은 일정부분 한계에 직면해 있으며, 노후설비의 고효율설비로의 개체체등 기존의 확일화된 전력사용량 절감 방식으로는 전력사용량 절감 한계에 노출되어 있는 실정이다. 전력사용량 절감을 위한 방안으로는 기존 저효율 설비에 대한 고효율 설비로의 교체와 병행하여 펌프의 운영특성 분석을 통한 최적화된 운영기법 도입을 위한 어플리케이션 개발이 병행되어 설비 효율 향상뿐만 아니라 운영 효율 향상이 수반되어 질 때 전력사용량 절감이 극대화 될 수 있다.

2.2 상하수도 사업장 펌핑시스템의 이해 및 최적화 방안

상수도사업장 및 하수도사업장의 펌핑시스템 최적화를 위해서는 상하수도 사업장의 기본적 특성에 대한 이해가 전제되어야 한다. 상수도사업장의 펌핑시스템은 취수 및 가압장, 정수장의 송수펌프로 구성되어 있으며, 비교적 높은 지대의 배수지나 원거리 광역 수용가에 용수를 공급하기 위한 펌핑시스템으로 대부분 구성되어 있다. 용수 공급 관로 길이 및 유량에 따른 관로의 손실수두의 변화가 발생하며, 이에 따른 펌핑시스템 최적화가 필요할 것이다. 이와 대조적으로 하수도사업장의 경우 마을단위의 소규모 하수처리시설 및 공공하수처리장, 개인하수처리장으로 세분화 되어 위치하며, 비교적 저압정, 근거리의 하수 처리 및 하수처리장 내 유입 하수 이송을 위한 펌핑시스템으로 구성되어 있다. 펌핑시스템이 기본적으로 저압정으로 구성되므로 흡수정의 운영 수위에 따라 펌프의 효율점이 변화하는 점에 착안하여 펌핑시스템을 최적화 할 필요가 있다. 이와 같이 상하수도사업장의 사업장별 펌핑시스템 특성 이해 및 운영 Know-how, 운영 빅데이터 분석을 기반으로 인버터 최적운전 시뮬레이션 어플리케이션을 활용, 기존의 펌핑시스템의 운영 효율을 극대화 하여야 한다.

2.2.1 장거리 관로의 유량에 따른 관로 손실수두 변화

상수도사업장의 가압장 및 취수장등 원거리에 위치한 수용가에 용수를 공급하는 펌핑시스템의 경우 유량 및 관로의 길이에 따라 관로의 손실수두가 변화하며 이에 따라 펌프의 운전점이 변화하게 된다.

장거리 관로의 직관부 손실수두 관계 h_L 은 아래식과 같으며, 유량에 따른 관로의 km^2 손실수두 변화관계는 그림 1과 같다

$$h_L = I \times L \quad (\text{Hazen-William 공식})$$

$$I = 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85}$$

여기서, h_L : 마찰손실수두(m)

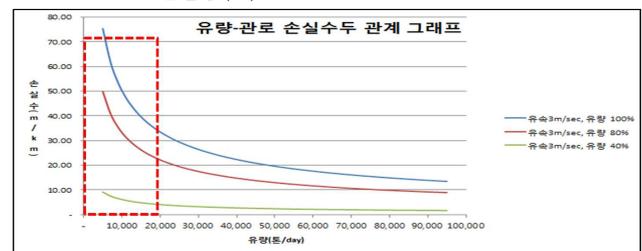
I : 동수구배 (%)

C : 유속계수

D : 관경 (m)

Q : 유량 (m^3/sec)

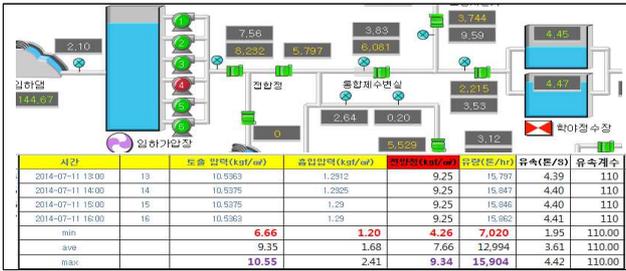
L : 관연장 (m)



<그림 1> 유량-관로 손실수두 관계 그래프($3m^3/sec$)

일반적 펌프 설계시 계획 용수량을 기준으로 펌프의 정격 운전점이 결정되며, <그림 1>같이 2만톤/day이하의 펌핑시스템의 경우 유량에 따른 관로의 손실수두 변화의 폭이 큼을 알 수 있으며, 장거리 용수공급 및 유량변화가 클 경우 펌프의 정격 운전점 보다 낮은 운전점에서 펌프가 비효율적으로 운전됨을 예측할 수 있다. 이와 같이 펌프의 운전점 변화가 큰 펌핑시스템의 경우 운전점 변화에 효율적으로 대처하기 위하여 인버터 설비의 구성이 필요하며, 인버터 최적운전 시뮬레이션어플리케이션을 활용하여 최적운전점을 구한, 펌핑시스템의 운영효율 향상을 기여할 수 있을 것이다. <그림 2>는 실제 00가압장의 유량변화에 따른 펌프 운전양정의 변화를 분석한 자료이며, 00가압장은 원거리(19km)의 정수장에 원수를 공급하는 시설용량 40.7만톤/day의 대규모 가압장으로 유량변화에 따른 펌프의 정격(8.7kgf/cm²)대비 운전압력(4.26~9.34 kgf/cm²)변화가 크게 발생함을 알 수 있으며, 펌프의 운전효율 고려 현재운영시스템에서 전체운영의 42%는 인버터활용 주파수제어로 운영하는 것이 효율

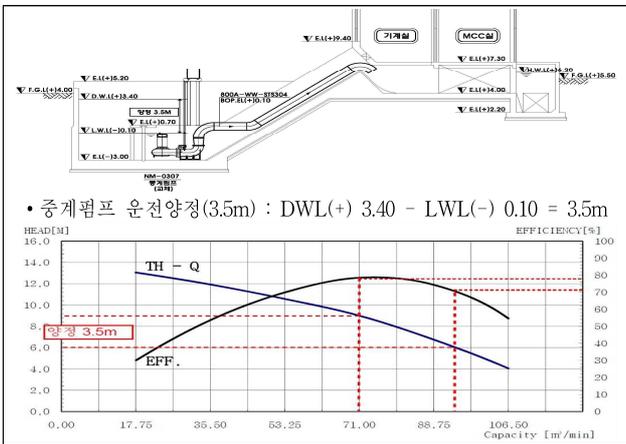
적인 것으로 나타난다. 위와 같이 대응량임에도 원거리 사업장에 유량변동이 큰 경우 관로 손실수두를 고려 펌프의 효율적 운영을 위하여 인버터설비의 구성이 필수적이라 하겠다.



〈그림 2〉 00가압장 유량에 따른 운전입력 변화(2014.05~2014.07)

2.2.2 하수도사업장 흡수정 운영 수위에 따른 펌프 운전점 및 효율 변화

펌프 정격 운전점 설계시 흡수정 LWL(Low Water Level)을 기준으로 전양정이 선정되며, 고양정 펌핑시스템의 경우 흡수정 운전수위에 따른 펌프 운전효율 변화가 미미하나, 하수처리장의 경우 기본적으로 저양정 펌프로 구성되어, 흡수정 운전 수위에 따른 펌프의 운전점 변화가 크다. 이에 따라 펌프가 정격 운전점 아래에서 비효율적으로 운영되는 경우가 많으며, 〈그림3〉은 00하수처리장 중계펌프의 운전점 변화에 따른 펌프효율 변화를 나타낸 그림이다.



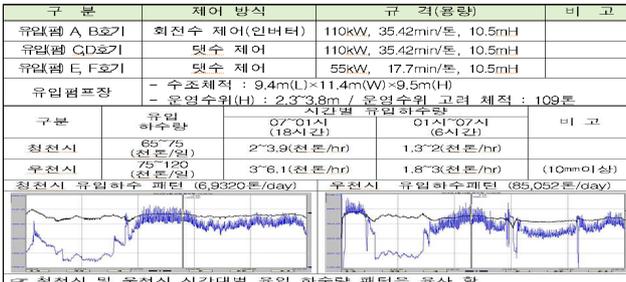
〈그림 3〉 중계펌프 운전양정 변화에 따른 펌프 효율 변화

펌프의 정격은 L.W.L.을 기준으로 9M로 선정되었으나, 흡수정 운영수위에 따라 실제 펌프 운전 양정은 5.5M로 펌프의 효율은 정격대비 약 8% 저하되어 운전됨을 예측할 수 있다. 이와 같이 펌프의 운전점 변화에 따른 효율저하가 5%이상 발생 시 인버터 설비를 구성 최적주파수 제어기를 통하여 운전하는 것이 가장 경제적인 운전 방법이라 할 수 있다.

2.3 인버터 최적운전 시뮬레이션을 활용한 펌핑시스템 최적화 사례

인버터 최적운전 시뮬레이션이란 부하율 및 유속에 따른 유량-관로 손실수두를 정확히 계산 하여 양정을 예측하며, 펌프특성곡선의 해석으로 인버터 주파수변화에 따른 오차범위를 최소화하여 데이터 신뢰성을 확보하고, 주파수변환 모델링에 따른 운전점, 효율, 전력단위, 유량, 최적운전주파수 제어 범위를 예측 운영특성에 맞게 펌핑시스템을 최적화하는 기술이다. 다음은 00하수처리장 유입하수처리를 위한 유입펌프장 펌핑시스템 최적화를 위하여 수처리계통 이해 및 펌프 특성 분석, 유입하수 시간대별, 기후별 패턴 분석을 조합하여 펌프운영효율 극대화를 위한 최적의 운전시스템 구축 사례이다.

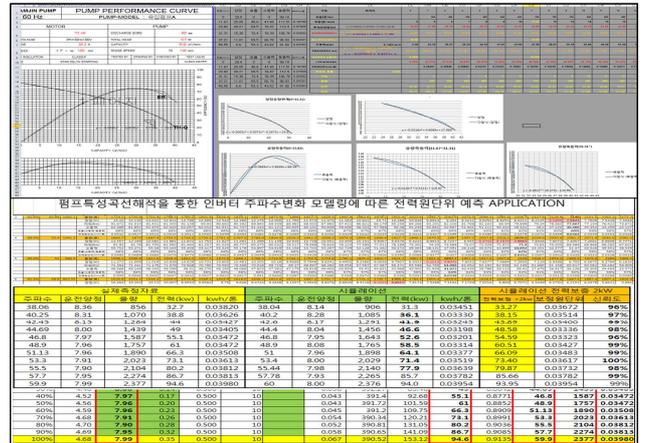
00하수처리장의 주요설비 현황 및 유입하수패턴은〈그림 4〉와 같으며,



〈그림 4〉 00하수처리장 유입펌프장 현황 및 유입하수 패턴

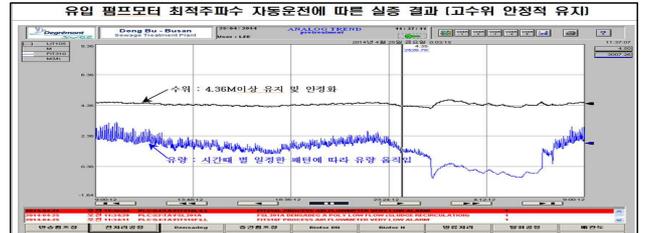
펌핑시스템 최적운전을 위하여 유입하수 패턴 분석과 펌프성능곡선을

해석 최적 주파수 운전범위를 〈그림5〉와 같이 선정 및 실증하였으며,



〈그림 5〉 00하수처리장 펌프성능 곡선 해석 및 최적운전 주파수 코디네이션

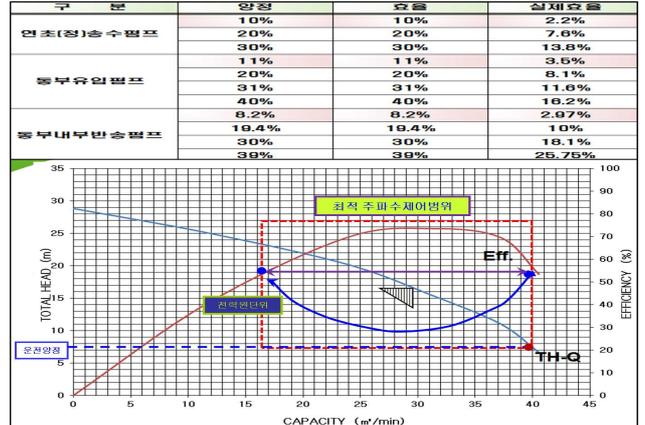
운영프로그램(MMI)를 변경 최적주파수제어로 〈그림 6〉과 같이 고수위 안정적 유지 및 펌핑시스템 운영효율(14%운전효율 향상) 극대화로 연간 약 235,441kwh의 전력사용량 절감 및 23백만원의 전력비 절감을 실현하였다.



〈그림 6〉 유입펌프장 최적주파수 코디네이션에 따른 고수위 안정적 운영

2.4 인버터 최적운전 주파수 변환 모델링을 통한 발전

주파수 변환 모델링을 통하여 〈그림 7〉과 같이 주파수 변환에 따른 양정과 효율은 정비례관계를 형성함을 증명하였으며, 인버터 도입의 효과는 통상적으로 정격 양정 대비 여유율이 15~20%이상 시 발생함을 알 수 있다. 일반적으로 여유율이 10%내 시 실질효율은 2~4%로 인버터 손실 고려 시 효과가 없으며, 최적 주파수제어범위는 운전효율점 이상구간으로 선정하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타난다.



〈그림 7〉 운전점 변화에 따른 효율 변화 관계 및 최적주파수 제어범위

3. 결론

본 논문은 상하수도 사업장 및 넓게는 산업현장 전반에 걸쳐 설비의 운전 특성을 고려한 회전기계 최적제어로 전력사용량을 절감, 생산원가 절감에 이바지 하고자 실제 상하수도사업장에서 적용된 개선 사례를 통하여 고려되어야 할 주요사항을 제시하였으며, 유사 사업의 유용한 자료로 활용 가능 할 것으로 기대한다.

[참고 문헌]

[1] 박한영·김경업, "펌프핸드북", 동명사, 2010