

수도사업장 전력용 케이블 굵기 선정에 따른 경제성 분석 모의

최형철, 장정호, 이광호

한국수자원공사 수자원연구원 설비에너지연구소

Simulation For Economic Analysis Concerning The Power Cable Sizes For Water Treatment Plants

Hyung Cheol CHOI, Jeong ho Chang, Kwang Ho Lee

KOWACO Korea Institute of Water and Environment Water Facility & Energy Research Center

abstract - 최근에 국제유가의 급상승과 코토의정서 발의에 따른 대외적인 환경여건 변화로 인해 국내에서는 재생에너지 보급사업 및 에너지절감기술 관련 정책과 신기술이 활발히 추진되고 있다. 본 논문에서는 전기설비간의 주 동맥인 케이블 선정에 있어 케이블 굵기를 달리 하는 조건에 따라 전력손실량 변화의 실험값을 모의시험장치를 이용하여 취득하였고 이를 비교분석함으로써 케이블 부문에서 에너지절감의 이론적 근거를 실증하였다. 또한, 수자원공사 수도사업장 중 취수장 전력시스템을 모델로 전력계통해석프로그램(PTW)을 이용하여 케이블 굵기 변화에 따른 전력손실량 변화를 모의하고 경제성분석을 통해 기존 케이블의 굵기 선정 방법을 재 고찰하고자 한다.

1. 서 론

최근의 수도사업장 전기부문 에너지 절감은 고효율전동기 및 인버터, 고효율변압기를 적용하는 경향이 주류를 이루고 있다. 수도사업장에서 에너지 절감을 위한 이론적 접근은 전력시스템에서 발생하는 손실을 최소화하는데 있다. 수도사업장에서 발생하는 전력손실 부문의 종류를 나열하면 옥외변전소인 경우 코로나 손, 변압기손, 케이블 손, 전동기에서 발생하는 기계적 손실 및 고조파에 의한 전력손실, 전동기 기동시 발생하는 전압강하에 의한 전력손실 등이 있다. 이 중에서 가장 많은 부분을 차지하는 것은 변압기 손으로 변압기에서 발생하는 손실은 크게 철손, 동손으로 대별 할 수 있으며, 제작업체의 지속적인 연구개발 노력으로 손실이 상당부분 절감되는 효과를 거두고 있다. 수도사업장에서 물을 생산하는데 생산비용에 상당부분이 에너지 비용으로 소요되고 있으며, 이를 개선하기 위한 노력으로 수 십년 동안 에너지절감을 위한 많은 기법이 적용되어 신규로 에너지 절감기법을 발굴하는 데는 한계에 이르고 있다. 본 논문에서는 수도사업장에서 접근이 가능한 에너지 절감 방안으로 케이블에서 발생하는 손실 중 손실량이 가장 큰 케이블 도체손을 저감하는 방안에 대해 케이블 굵기에 따른 저항변화의 이론적 원리를 근거로 하여 실험실의 모의시험장치를 이용하여 실측자료를 취득하였으며, 또한, 전력계통해석프로그램(PTW)의 모의과정 등을 통해 에너지 절감 부문의 효과를 분석하고 검증하여 신 개념의 에너지절감방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 케이블 손실의 종류

2.1.1 도체손

저항손 P_c 는 도체의 가닥수를 n , 저항을 $R[\Omega/km]$, 전류를 $I[A]$ 라 하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_c = nRI^2 [W/km]$$

이것은 전력용 케이블의 손실 중에서 가장 크며, 케이블의 허용 전류를 결정하는 가장 중요한 요인 중의 하나이다.

2.1.2 유전체손

케이블의 절연물 속에서 생기는 손실을 유전체손이라 한다. 전력 케이블의 작용 정전 용량을 $C[\mu F/km]$, 선간 전압을 $V[kV]$, 주파수를 $f[Hz]$ 유전체의 손실각을 δ 라 하면, 유전체손 $P_d [W/km]$ 는 도체 하나에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

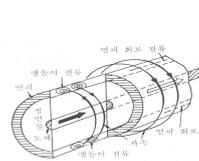
$$P_d = 2\pi f C \left(\frac{V}{\sqrt{3}}\right)^2 \tan\delta [W/km]$$

즉, 유전체손은 전압의 제곱에 비례하므로 사용 전압 10[kV] 이

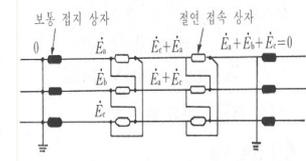
하에서는 무시해도 되나 그 이상의 전압에서는 무시할 수 없는 양이 된다. 유전체손은 시간이 흐르면 절연체의 열화에 의하여 증가하는 경향이 있어 유전체손의 크기에 따라 절연 상태를 판단할 수 있다.

2.1.3 차폐손

교류 부하 전류가 도체에 흐르게 되면 자속이 발생하고, 이 자속이 차폐층과 쇄교하면 새로운 유기 기전력이 생성되어 전류로 나타나게 된다. 그림1과 같이 전자 유도 법칙에 의한 유도 전류가 차폐층에 흐르면 차폐층에 맴돌이 전류 및 저항손이 발생하게 된다. 일반적으로, 3심 케이블에서는 3상전류의 벡터 합에 의해 유기 기전력이 그다지 문제가 되지 않았지만 단심 케이블 3가닥을 나란히 설치하는 경우에는 상당히 큰 값이 될 때도 있다. 차폐 손을 줄이기 위해서는 그림2와 같이 적당한 간격으로 차폐층을 절연하고 크로스 본드(cross bond) 접지를 하든지, 접지용 변압기를 사용해서 차폐층에 접지한다. 접지용 변압기는 정상시의 작은 맴돌이 전류에 대해서는 어느 정도 높은 리액턴스를 나타내지만, 고장시의 맴돌이 전류에 대해서는 자기 포화에 의하여 리액턴스가 감소한다



<그림1> 차폐손 발생원리



<그림2> 크로스본드 설치개념

2.2 케이블관련 에너지 절감 시험

2.2.1 개요

전력 모의시험장치를 이용하여 모터와 차단기간 케이블 굵기를 달리하여 에너지를 저감할 수 있는 시험을 수행하였다. 이론적 접근은 케이블의 굵기는 굵을수록 저항이 작아지므로 전류를 많이 보낼 수 있다. 수식으로 표현하며 $R = \rho \frac{\ell}{A}$ ($R \propto \frac{1}{A}$)이 된다. 즉, 전선이 굵을수록 전선의 저항은 작아진다. 케이블에서 발생하는 손실 중 가장 크기가 큰 도체손($P_c = nRI^2 [W/km]$)을 경감시키면 케이블에서 발생하는 손실을 줄일 수 있다. 그 방안으로 케이블의 굵기를 굵게 하면 된다. 따라서, 케이블 굵기별 도체손에 따른 전력손실량과 케이블 설치비용을 비교하여 에너지절감 효과를 검토하고 분석하였다.

2.2.2 시험방법

모터와 차단기간에 접속하는 케이블의 굵기(8,14,25mm)를 달리하여 4시간 동안 운전을 하여 소요전력량을 측정하였다. 케이블 굵기는 동일한 조건을 만족하기위해 10(m)로 하였고, 전동기는 3상 220(V) ,1.5(kW)를 사용하였다.



<그림3> 전력모의시험장치



〈그림4〉 모터케이블 접속 및 케이블 재단

2.2.3 측정자료

(1) 8㎜ 케이블 운전시험(시간 : 4h 실험실 온도 : 19℃)

〈표 1〉 8(㎜) 케이블 운전시험 결과

시간		1	2	3	total
1H	AP[KWh]	0.75	0.67	0.79	2.21
2H	AP[KWh]	1.5	1.35	1.57	4.42
3H	AP[KWh]	2.24	2.02	2.36	6.62
4H	AP[KWh]	2.99	2.69	3.14	8.82



〈그림 5〉 전력품질 시험장치로 계측한 전력량 값

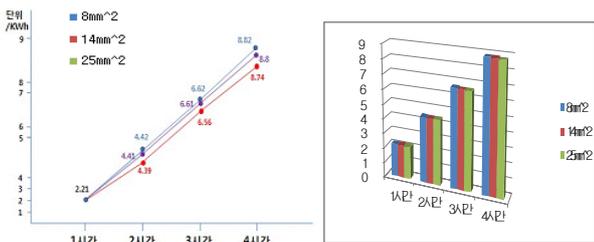
상기와 같은 동일한 방법으로 14㎜, 25㎜ 케이블 운전시험을 시행하여 측정 자료를 확보하였다.

2.2.4 측정결과

케이블 굵기를 달리하여 시험한 결과 8㎜에서 소비되는 4시간 평균 전력량은 2.205(kWh)이고 14㎜에서 소비되는 4시간 평균 전력량 2.2(kWh)이며, 25㎜에서 소비되는 4시간 평균 전력량 2.185(kWh)이다. 이 결과는 케이블의 굵기를 달리 하였을 때 케이블의 도체손이 변화하여 전력손실량이 감소됨을 입증하고 있다. 이 결과 값을 1개월, 1년 단위로 전력량과 전력요금으로 환산하였다. 단, 전력요금은 일반용(을) 전기 고압B 선택1 전력요금단가의 평균값을 적용하였다.

〈표 2〉 케이블 별 운전시간에 따른 전력량 값 결과

케이블 크기에 따른 전력값 비교 결과				
	1시간	2시간	3시간	4시간
8㎜	2.21	4.42	6.62	8.82(kWh)
14㎜	2.21	4.41	6.61	8.8
25㎜	2.21	4.39	6.56	8.74



〈그림 6〉 케이블 굵기에 따른 전력량 값 비교 결과

가. 1개월 단위로 전력량을 환산한 경우

- (1) 8㎜ 케이블 전력량
2.205(KW)× 24×30=1,587(kWh)×64.5(원/kWh)=102,361(원)
- (2) 14㎜ 케이블 전력량
2.2(KW)× 24×30=1,584(kWh)×64.5(원/kWh)=102,3168(원)
- (3) 25㎜ 케이블 전력량
2.185(KW)× 24×30=1,573(kWh)×64.5(원/kWh)=101,458(원)

나. 1년 단위로 전력량을 환산한 경우

- (1) 8㎜ 케이블 전력량
2.205(KW)× 24×365=19,315(kWh)×64.5(원/kWh)=1,245,869(원)
- (2) 14㎜ 케이블 전력량
2.2(KW)× 24×365=19,272(kWh)×64.5(원/kWh)=1,243,044(원)
- (3) 25㎜ 케이블 전력량
2.185(KW)× 24×365=19,140(kWh)×64.5(원/kWh)=1,234,568(원)

2.3 경제성분석

2.3.1 8㎜, 14㎜케이블 경제성 분석

8㎜, 14㎜ 케이블의 1년간 전력량 절감액은[표3]과 같이 2,825(원)이며 8㎜, 14㎜ 케이블 가격은 [표4]에서와 같이 16,760(원) 차이가 발생한다.

따라서, 예를 들어 종전에 8㎜로 설치된 케이블을 14㎜로 한 단계 올려 설계하여 초기 투자비를 증액시켰을 경우 순익분기점은 6년이고 여기에 인건비 및 이자상각비를 가정하더라도 11년 이후면 에너지저감효과가 있다고 볼 수 있다. 케이블수명을 25~30년 이라하면 19(년)×2,825(원/년)=53,675(원)의 전력요금 절감효과가 있다.

8㎜로 포설된 전동기 1대운전시 1년간 전력요금 1,245,869(원)이라하면 에너지저감비용 53,675(원)/1,245,869(원)일 때 4.31(%)의 전력요금을 절감할 수 있다. 즉 연간 전력비 대비 0.14(%) 절감효과가 있는 것으로 계산된다. 이 계산치는 케이블 노후화에 따른 손실율은 계산조건에서 제외하였다.

2.3.2 8㎜, 25㎜케이블 경제성 분석

8㎜, 25㎜ 케이블의 1년간의 전력량 절감액은 [표3]에서와 같이 11,301(원)이며 8㎜, 25㎜ 케이블 가격은 [표4]에서와 같이 37,370(원) 차이가 발생한다.

따라서, 예를 들어 종전에 8㎜로 설치된 케이블을 25㎜로 두 단계 올려 설계하여 초기 투자비를 증액시켰을 경우 순익분기점은 3.3년이고 여기에 인건비 및 이자 상각비를 가정하더라도 6년 이후면 에너지저감효과가 있다고 볼 수 있다. 케이블수명을 25~30년 이라하면 24(년)×11,301(원/년)=271,224(원)의 전력요금 절감 효과가 있다.

8㎜로 포설된 전동기 1대운전시 1년간 전력요금 1,245,869(원)이라하면 에너지저감비용 271,224(원)/1,245,869(원)일 때 21.77(%) 전력요금을 절감할 수 있다. 즉 연간 전력비 대비 0.73(%) 절감효과가 있는 것으로 계산된다. 이 계산치는 케이블 노후화에 따른 손실율은 계산조건에서 제외하였다.

〈표 3〉 케이블 굵기에 따른 전력요금 절감액

케이블 굵기	전력요금	차액	비고
8㎜	1,245,869		
14㎜	1,243,044	2,825	8㎜,14㎜ 차액 비교
25㎜	1,234,568	8,476	14㎜,25㎜ 차액 비교

〈표 4〉 케이블 굵기 별 가격비교

케이블 굵기	케이블 가격(원)	차액	비고
8㎜	31,290		
14㎜	48,050	16,760	8㎜, 14㎜ 차액 비교
25㎜	68,660	20,610	14㎜, 25㎜ 차액 비교

2.4 전력계통해석프로그램(PTW)을 이용한 케이블 굵기별 모의시험

수자원공사 팔당취수장의 전력시스템을 모델사업장으로 선정하여 PTW를 이용 변압기에서 전동기로 접속된 케이블의 굵기를 달리하는 조건으로 전력손실량 변화량 자료를 모의하여 각 조건별 자료를 취득하고 개략적인 경제성 분석을 시행하였다.

