

해양 소수력발전용 유도발전기의 최적 무효전력 산정방식에 관한 연구

(A Study on the Optimal Reactive Power Calculation Method of Induction Generator for Marine Small Hydraulic Power)

이원재* · 오용택**

(Won-Jae Lee · Yong-Taek Oh)

Abstract

Since the West Sea experiences a big difference in tides, the output power of the small marine hydroelectric power plant varies with the tide. When an induction generator is used here for small hydroelectric power, the reactive power capacitor should be installed at the generator main bus to compensate for the changes in power. As such, the sizing method for the power compensation of the induction generator is reviewed and an optimal method for compensation is suggested. The self-excitation minimum capacitor capacity method, which prevents high voltages, and the power factor automatic control method, which retains a power factor of greater than 90% are reviewed. The compensation effect of reactive power is confirmed through a case study.

Key Words : Marine Small Hydroelectric Power, Sea Tide, Induction Generator, Self Excitation, Capacitor

1. 서 론

해양 소수력발전소의 발전기로 유도발전기를 사용하는 경우 여자에 필요한 무효전력을 보상하기 위한 커패시터를 설치해야 한다. 서해안은 조수 간만의 차

이가 크기 때문에 해양 소수력발전소의 발전출력은 서해안의 조수에 따라 정격출력이 변화하게 된다. 현재 커패시터 용량산정은 정격부하에서 역률개선에 필요한 무효전력량을 기준으로 산정하므로 조수 간만의 차이에 의해 발전기의 출력변동이 심한 해양 소수력발전소의 유도발전기 커패시터 용량을 산정할 경우 최저부하(약 정격출력의 25%)에서는 분산형 전원 배전계통 연계기술기준에서 요구하는 목표역률 90% 이상 유지하는데 어려움이 있다[1]. 따라서 본 논문에서는 무부하 자화곡선을 이용한 최소 자기여자 용량을 기저 커패시터 용량[2]으로 선정하고, 목표역률이하로 떨어지는 최저부하에서는 최소자승법을 활용한 선형 직선 변형으로 제어 커패시터용량을 선정하여 제어

* 주저자 : (주)삼안 플랜트부 이사
** 교신저자 : 한국기술교육대학교 교수
* Main author : Saman Corp. Chief Engineer of Plant Department
** Corresponding author : Korea University of Technology and Education, Professor
Tel : 02-3424-4495, Fax : 02-3424-4597
E-mail : wjlee@samaneng.com
접수일자 : 2013년 7월 1일
1차심사 : 2013년 7월 29일, 2차심사 : 2013년 8월 3일
심사완료 : 2013년 8월 13일

커패시터를 자동제어함으로써 해양 소수력발전소의 유도발전기 최저부하에서 역률을 90% 이상으로 유지할 수 있는 최적 무효전력 산정방식에 대해 연구하고 사례연구를 통해 효과를 확인하고자 한다.

2. 해양 소수력발전소 유도발전기

최근 발전회사들은 정부의 “신-재생에너지발전의 무비율할당제(RPS)” 이행 기반 구축 및 “저탄소 녹색성장” 정책에 적극 호응하기 위하여 발전소에서 버려지는 냉각수를 재활용한 해양수력발전 개발이 활발히 진행되고 있다. 해양수력 에너지의 종류로는 아래와 같은 에너지 이용방법을 생각할 수 있다[3].

- 가) 조류의 빠른 흐름을 이용한 조류에너지
- 나) 해수의 조석 간만차를 이용한 조력에너지
- 다) 입사하는 파랑에너지를 이용한 파력 에너지
- 라) 화력발전소의 방류수를 이용한 해양 소수력

2.1 화력발전소의 방류수를 이용한 해양 소수력

국내 대부분의 화력 발전소에서 채택하고 있는 해양 소수력 에너지원으로는 화력발전소의 방류수를 이용하는 발전방식을 적용하고 있으며, 이는 발전소의 직접순환방식의 냉각수 취 배수 계통인 접근수로, 취수 구조물(취수펌프), 취수로(순환수관로), 복수기, 배수로(순환수관로), 배수구조물(씰월, 개수로, 암거) 및 방수로로 구성되어 있다. 순환수 관로 말단부에 씰월(Seal Wall)을 설치하여 일정수위 이상을 유지함으로써

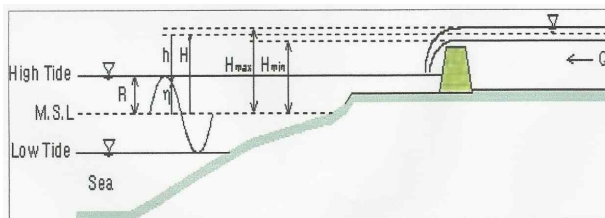


그림 1. 방류수를 이용한 해양 소수력발전 개념도
Fig. 1. Diagram of marine hydroelectric power using effluent

써 순환수 계통의 사이폰을 유지하는 역할을 한다. 씰월의 고정된 표고와 조석에 의한 해수위의 변화에 따라 낙차가 변화한다[3].

낙차의 변화에 따른 이론수력 P는 다음과 같다.

$$P = \rho g Q h \quad (1)$$

여기서 ρ 는 해수밀도, g 는 중력가속도, Q 는 방류량, h 는 낙차이다.

2.2 유도발전기 특성 및 역률개선 필요성

유도발전기는 유도전동기를 그대로 동기속도이상으로 외부로부터 구동시켜 주면 발전기가 된다. 유도발전기는 발전기 내부의 회전자계를 형성하기 위한 여자전류, 즉 무효전력을 외부에서 공급하여야 하며 동기발전기처럼 단독으로 운전은 할 수 없다. 따라서 반드시 다른 전력계통과의 병렬운전을 하여야 한다.

유도발전기를 계통에 병입하는 경우, 회전속도를 동기속도 부근에 맞추어서 병입하지만 발전기 자체는 무여자의 상태이므로 병입시에는 정격전류의 6배 정도의 돌입전류가 흐른다.

유도발전기는 여자에 필요한 무효전력을 계통에서 받기 때문에 유도발전기를 계통에 병입하면 유도발전기의 여자전류에 의해 역률이 저하되므로 역률개선용 커패시터를 병렬로 접속하는 것이 일반적이다. 이 경우에는 자기여자현상에 의한 고전압의 유도에 주의하여야 한다. 발전기의 단자에 커패시터를 접속한 그대로 회전속도를 증속시키면 발전기의 잔류자기에 의해 자기여자를 일으켜 전압을 발생하는 일이 있다. 잔류자기에 의한 전압은 회전속도에 있어서 정격전압의 0.5%~1.0% 정도이지만 커패시터의 용량이 큰 경우는 이 정도의 잔류자기에서도 자기여자에 의한 고전압이 될 뿐 아니라 계통 병입시의 전압위상의 동기검정이 필요하게 된다. 또 커패시터가 접속된 그대로 급한 부하차단을 하게 되고 부하차단 후의 속도 상승으로 주파수가 높아져서 더욱 자기여자가 일어나기 쉬워진다. 그림 2는 유도발전기의 무부하 여자특성곡선

과 커패시터특성의 관계를 표시한다. 이러한 자기여자현상을 방지하기 위해 흔히 커패시터는 발전기 차단기의 계통 측에 설치하거나 또는 커패시터 단독으로 투입, 차단할 수 있게 한다[4].

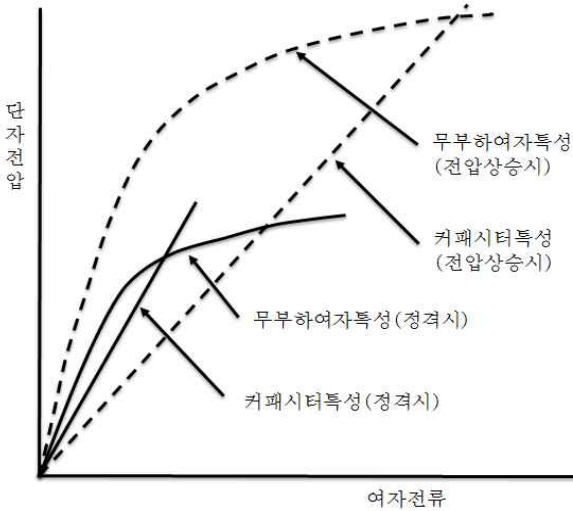


그림 2. 발전기의 무부하 여자특성과 커패시터특성
Fig. 2. Characteristic of no load excitation and capacitor of generator

무효전력 보상용 커패시터를 설치하기 전에는 부하전류가 증가하게 되므로 전압강하, 선로손실, 변압기 손실 등의 문제가 발생한다. 커패시터를 설치하여 역률이 개선된 후에는 부하전류가 감소하게 되므로 발전소 측면에서는 송전선로 굵기의 감소, 송전용 변압기의 용량감소 등의 효과가 있다[1].

화력발전소 방류수를 이용한 해양 소수력 발전방식은 소수력발전소 입구부에 폰드(Pond)를 조성하고 폰드수위와 조석간만 해수면과의 낙차를 이용하여 발전하는 방식이다. 조석간만의 차에 따라 발전기 용량은 정격출력 100%에서부터 25%까지 변화하므로 발전기 역률은 변화하게 된다. 분산형 전원 배전계통 연계기술기준에서 분산형 전원 발전설비의 역률은 계통 연계지점에서 원칙적으로 90% 이상으로 유지하게 되어 있다[5]. 따라서 해양 소수력발전소의 유도발전기는 전체부하구간(정격출력 100%에서부터 25%까지)에서 역률이 90% 이상을 유지하지 못하면 배전계통에 연계할 수 없다.

3. 커패시터 용량 선정

3.1 현재 커패시터 용량 선정 방식

유도발전기의 역률개선용 커패시터 용량 선정에 대한 설계기준 등이 없어 유도전동기의 무효전력 보상용 커패시터 용량 산정방식인 식 (2)를 적용하고 있다.

$$Q = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (2)$$

여기서 Q는 커패시터 용량, $\tan\theta_1$ 는 개선 전, $\tan\theta_2$ 는 개선 후, P는 유효전력이다.

유도전동기의 역률보상은 정격출력을 기준으로 산정하므로 해양 소수력발전소와 같이 발전출력의 변화가 큰 곳에서는 저출력 시 역률이 분산형 전원 배전계통 연계기술기준에서 요구하는 역률 90% 이상을 유지하지 못 할 수 있다. 따라서 전체부하구간을 고려한 최적의 커패시터 용량 선정 방식이 필요하다.

3.2 최적의 커패시터 용량 선정 방식과 역률자동제어방식

역률개선용 커패시터를 유도발전기에 병렬로 접속하는 경우 자기여자현상에 의한 고전압 발생에 주의하여야 한다. 따라서 최적의 커패시터 용량 선정 방식에서 기저 커패시터 용량은 자기여자 최소 커패시터 용량으로 산정하고, 전체부하구간에서 무효전력보상용 커패시터 용량이 역률개선 기준치인 90% 이상을 유지하도록 역률자동제어방식을 적용한다.

3.2.1 무부하 자화곡선을 이용한 최소 커패시터용량 산정

고정자와 회전자 철심이 자기포화로 자화곡선은 비선형적인 형태를 나타낸다. 커패시터 특성은 $V = I \times X_c$ 로 직선의 기울기가 된다.

무부하 전압의 조정은 커패시터 특성의 기울기를 바꾸어줌으로서 이루어진다. X_c 가 커패시터 특성의 기울기이고 $X_c = 1/2\pi f c$ 이므로 커패시터의 용량을 증가시키면 기울기가 줄어들고 전압은 상승한다. 여자곡

선과 커패시터 전압 전류 특성의 교점에서 안정된 자기여자 상태가 된다. 유도발전기 최소 커패시터 용량은 무부하 시험에서 얻을 수 있다[2]. 커패시터의 특성이 자화곡선의 접선이 되는 커패시터의 용량을 임계 용량이라 하고 자기여자 최소 커패시터 용량이 된다.

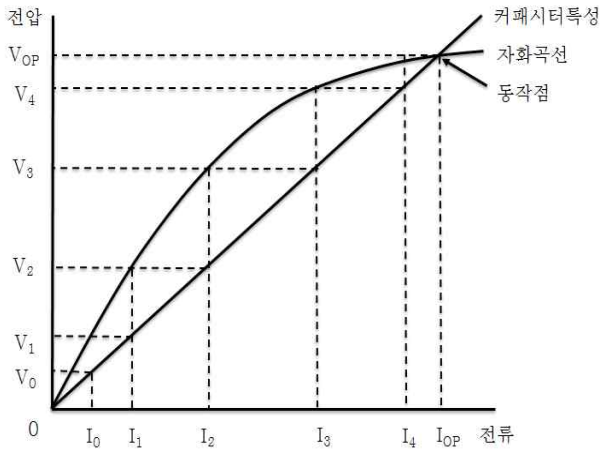


그림 3. 유도발전기 전압확립과정
Fig. 3. Voltage's establishment process for induction generator

3.2.2 절점법을 사용한 자기여자 유도발전기 최소 커패시터용량 산정

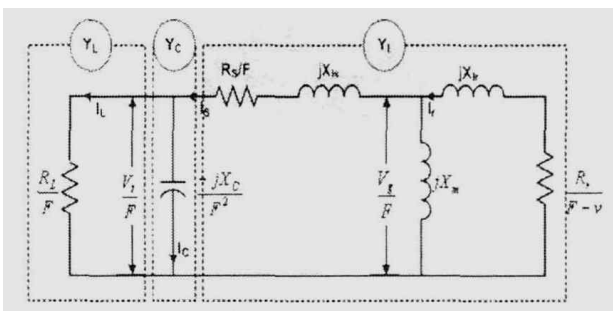


그림 4. 조정된 등가회로
Fig. 4. Modified equivalent circuit

유도발전기 동작에 필요한 최소 커패시터 용량의 식을 얻는 것은 절점법을 사용하였다. 제안된 방식에서 어드미턴스의 실수부는 X_c 의 함수가 없으므로 어드미턴스를 0으로 하여 동일한 값의 동작주파수를 얻을 수 있으며, X_c 값을 계산하기 위해 허수부를 사용한다. 그

림에서 나타난 회로의 단자전압 V_t 에서 절점법을 적용하여 다음과 같은 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{V_t}{a} Y_t = 0 \tag{3}$$

여기서 $Y_t = Y_1 + Y_L + Y_C$, 그리고 어드미턴스의 실수부와 허수부는 $Y_t=0$ 로 얻어진다.

허수부를 통하여 최소의 단자커패시터 식을 구한다.

$$C_{min} = \frac{1}{2} \left(\frac{X_L a}{M_3} + \frac{M_4}{M_1^2 + M_2^2} \right) \tag{4}$$

여기서 계수 M_1, M_2, M_3, M_4 는 다음과 같다.

$$M_1 = R_s R_r - f(f-v)L_1 \tag{5}$$

$$M_2 = R_r f L_3 + R_s(f-v)L_2 \tag{6}$$

$$M_3 = R_L^2 + X_L^2 f^2 \tag{7}$$

$$M_4 = R_r M_2 - L_2 f(f-v)M_1 \tag{8}$$

이다[6-7].

절점법을 사용한 자기여자 유도발전기 최소 커패시터용량 산정방식은 계통과 연계하지 않고 단독운전을 하는 경우에 적용하는 방식이므로 계통에 연계하여 운전하는 해양 소수력발전소의 경우에는 적합하지 않아 본 논문에서는 적용하지 않았다.

3.2.3 최소자승법을 활용한 선형직선 변형

N 회 측정된 측정값 y_1, y_2, \dots, y_n 이 어떤 다른 측정값 x_1, x_2, \dots, x_n 의 함수라고 추정할 수 있을 때, 측정값 y_j 와 함수값 $f(x_j)$ 의 차이를 제곱한 것의 합이 최소가 되도록 하는 함수 $f(x)$ 를 구하는 것이 최소자승법의 원리이다. 다음의 그림에서 표시된 각 점들은 측정값 (x_j, y_j) 이고, 직선 $(x_j, f(x_j))$ 은 최소자승법을 사용해 구한 측정값들의 분포를 가장 잘 나타내는 일차함수이다. 즉 이 함수는 (측정값-함수값)²의 총합(오차의 총합)이 최소가 되는 직선이라고 할 수 있다.

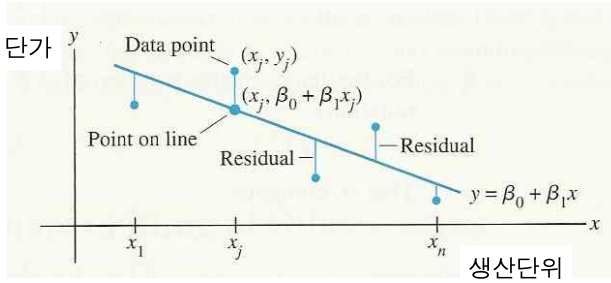


그림 5. 실험데이터의 선형직선 변형
Fig. 5. Linear line approximation of experimental data

최소자승법의 선형직선을 산출하기 위한 선형대수식은 다음과 같다.

$$X \cdot \beta = y \tag{9}$$

여기서

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

$X \cdot \beta = y$ 는 다음과 같이 변형하고,

$$X^T X \beta = X^T y, \quad \beta = (X^T X)^{-1} X^T y \tag{10}$$

식 (9)의 선형대수식을 활용하여 최소자승법의 선형 직선으로 변형할 수 있다[8].

표 1. 커패시터 용량 산정방식 비교
Table 1. A comparison of the capacity sizing method for capacitor

구분	현재 커패시터 용량 산정	최적 무효전력 산정
산정 방식	-정격출력을 기준으로 역률개선용 커패시터 용량 산정	-무부하 자화곡선을 이용한 최소 자기여자 용량을 기저 커패시터 용량으로 산정 -목표역률 90% 이상을 유지하기 위해 역률자동제어방식 적용
특징	-출력변동이 심한 해양 소수력 유도 발전기의 역률은 최저부하에서 목표역률 90% 이상 유지가 어려움 -최소 자기여자 용량보다 큰 커패시터 용량 산정 시 자기여자현상에 의한 고전압 유도도 발전기 사고발생이 우려됨	-기저 커패시터 용량을 최소 자기여자용량 이하로 산정하므로 자기여자현상을 방지함 -역률자동제어방식 적용으로 해양 소수력 유도발전기의 역률은 최저부하에서 목표역률 90% 이상 유지할 수 있음

3.2.4 역률자동제어방식

역률개선용 커패시터를 설치하여 항상 높은 역률을 유지하고 전기설비를 효율적으로 이용하려면 유도발전기의 출력 변동에 맞춰 필요한 진상용량만 공급하도록 커패시터를 자동제어 해야 한다.

유도발전기의 출력이 조석간만 해수면에 따라 변화하므로, 해수면 또는 유도발전기 출력을 입력신호로 하여 역률자동제어가 가능하다. 해수면은 파도 등에 의한 물결로 안정적인 입력신호를 얻을 수 없기 때문에 역률자동제어의 입력신호로 안정적인 값을 얻을 수 있는 유도발전기 출력을 사용한다.

4. 사례연구

본 연구의 사례 연구를 위해 화력 발전소 해양 소수력발전소 기본 설계를 수행한다.

4.1 기본설계 내용

해양 소수력발전소의 주요설비인 수차 형식은 임축 카프란 타입, 정격 출력은 1,615kW, 정격 유효 낙차는 7.493m, 사용 수량은 23.704m³/s이고, 발전기 형식은 유도 발전기, 발전기 출력은 1,550kW이며 수차발전기 설치수량은 3대이다.

발전출력은 다음과 같은 식에 의하여 계산된다.

$$P = 9.8 \times \eta_T \times \eta_G \times \rho \times Q \times H \tag{11}$$

여기서 η_T 는 수차효율, η_G 는 발전기효율, ρ 는 해수 밀도 1.025ton/m³, Q는 유량m³/sec, H는 낙차m이다.

발전출력은 조위의 변화로 최대출력 4,600kW에서 최소출력 1,179kW까지 변화하는 것을 알 수 있다.

유도발전기는 정격출력 1,550kW, 역률 0.81, 효율 0.955이며, 역률을 0.95로 개선하기 위한 커패시터용량은 617kVar로 계산되어 커패시터 용량은 600kVar로 선정하였다[1]. 영흥화력발전소의 소수력 발전기는 3대가 설치되므로 역률개선용 커패시터의 용량은 600kVar×3대=1,800kVar이다[3].

발전기의 출력을 100%, 75%, 50%, 25%로 변화시켰을 때의 종합역률의 변화는 표 2와 같이 변화한다.

조석간만의 차에 의해 발전기 용량이 정격출력의 100%에서부터 25%까지 변화할 때 종합 역률은 0.916에서부터 0.822까지 변화한다. 정격출력의 25%에서 유도발전기의 종합역률은 계통 연계지점에서 원칙적으로 90% 이상으로 유지하게 되어있는 분산형 전원 배전계통 연계기술기준에 부적합하다. 따라서 커패시터 용량 산정에 대한 개선 대책이 필요하다.

표 2. 출력에 의한 역률변화
Table 2. Power factor change by output

출력율 %	100	75	50	25
유효부하 kW	4,787	3,611	2,439	1,272
무효부하 kVar	3,883	3,236	2,806	2,681
커패시터 kVar	1,800	1,800	1,800	1,800
종합역률	0.916	0.926	0.922	0.822

4.2 커패시터 용량 선정 및 기대효과

4.2.1 기저 커패시터 용량(자기여자 최소 커패시터 용량)

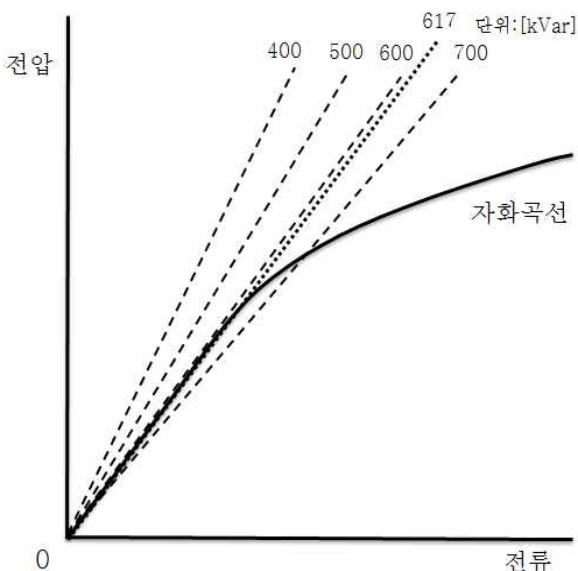


그림 6. 무부하 자화곡선
Fig. 6. No load magnetization curve

유도발전기의 제작사인 현대중공업에서 제출한 그림 6의 무부하 자화곡선(무부하 전류 A 대비 전압 V 변화곡선)에 의하여 자기여자 최소 커패시터 용량은 617kVar로 산정되었다[9]. 유도발전기에 개별로 연결하는 역률개선용 기저 커패시터 용량은 600kVar을 선정할 경우, 전체 역률개선용 커패시터용량은 600×3=1,800kVar이 되며, 유도발전기 출력이 3,861kVA(정격출력대비 60%)까지는 종합역률이 92% 이상 유지하는 것을 알 수 있었다.

4.2.2 제어 커패시터 용량(최소자승법을 활용한 선형직선 변형)

역률자동제어는 정격출력대비 60% 이하에서 역률을 92% 이상 유지하는 것으로 적용되는 것이 효율적임을 알 수 있었다. 역률자동제어시스템은 회로의 전류와 전압신호를 입력으로 받아 개선하고자 하는 목표역률 92% 이상으로 제어하기 위해 배전반 모선에 설치된 커패시터를 용량별로 유도발전기 출력에 따라 투입과 차단을 수행한다. 역률자동제어를 수행하기 위한 제어신호로 유도발전기 출력을 사용한다. 역률자동제어를 위한 커패시터용량은 정격출력대비 60%에서 25%까지의 무효전력의 변화를 최소자승법에 의해 적정한 선형직선을 산출하고 이를 기준으로 부하

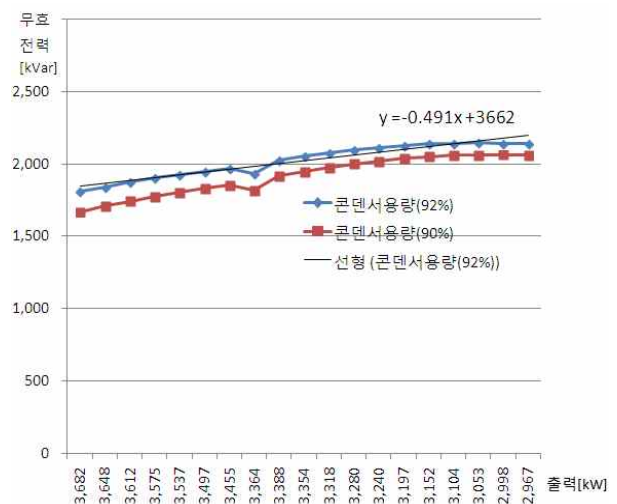


그림 7. 최소자승법 선형직선
Fig. 7. Linear line of least square method

대별로 커패시터용량을 분할하여 적용한다. 3.2.3절의 최소자승법을 활용한 선형직선의 변형에서 식 (9), 식 (10)을 Mathcad를 사용하여 계산하였다.

산출결과는 $y = 3,662 - 0.491 \cdot x$ ($\beta_0 = 3,662, \beta_1 = -0.491$)이며, 최소자승법에 의해 산출한 선형직선을 이용한 최적의 제어 커패시터 용량은 다음과 같다.

표 3. 역률자동제어 커패시터 용량
Table 3. Capacitor on automatic power factor control

출력범위 kW	자동역률제어 커패시터용량 kVar
3,681 ~ 3,575	100
3,574 ~ 3,387	200(100×2)
3,386 ~ 3,239	300(100×3)
3,238 ~ 2,966	400(100×4)

역률자동제어시스템을 적용한 결과는 종합역률은 아래그림과 같이 개선되었다.

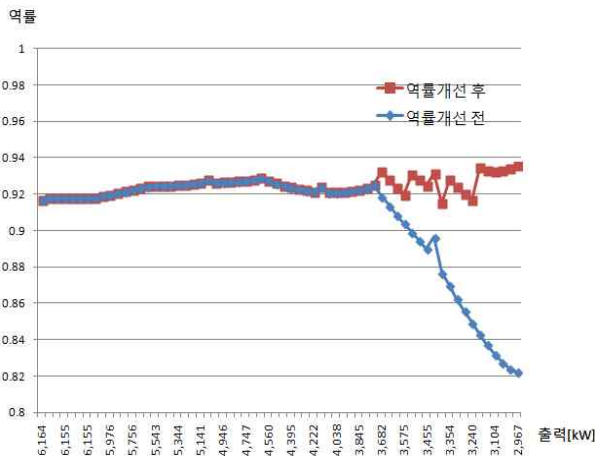


그림 8. 역률개선 결과
Fig. 8. Result of power factor improvement

4.2.3 역률개선에 따른 기대효과

영흥해양 소수력발전소의 송전변압기 용량은 6,000kVA로 선정하였다. 역률개선에 따른 기대효과로는 송전변압기의 용량을 감소할 수 있으므로 표 4에서 보는 바와 같이 역률 93% 이상에서 송전변압기 용

량이 5,000kVA 이하로 감소할 수 있다.

영흥해양 소수력발전소의 송전선로는 22.9kV FR-CNCO-W 60mm² 1C×3가 설치되어 있으며 허용전류는 265A 이다. 유도발전기의 역률 81%에서의 부하전류는 144.7A이고, 유도발전기의 역률을 95% 개선하면 부하전류는 123.3A로 된다. 따라서 역률개선에 의한 송전선로의 굵기는 감소하지 않는 것을 알 수 있다. 송전선로는 한국전력공사 지중배전선로의 최소 굵기인 60mm²를 적용한 것이다. 다만 해양소수력발전소의 용량이 10,000kVA이상이 되면 역률개선에 따라 송전선로의 굵기가 감소된다.

표 4. 역률개선에 따른 송전변압기 용량
Table 4. Power transmission transformer capacity by power factor improvement

역률 %	발전기출력 kW	송전변압기용량 kVA
90	4,650	5,165
91	4,650	5,109
92	4,650	5,053
93	4,650	4,999
94	4,650	4,946
95	4,650	4,894

5. 결 론

본 논문에서 해양 소수력발전소 유도발전기의 무효전력보상용 커패시터의 용량 산정에 대해 고찰해 본 결과, 유도전동기에 준하여 무효전력 보상용 커패시터 용량을 산정하는 경우 유도발전기의 최저출력(정격출력대비 25%)에서는 분산형 전원 배전계통 연계기술 기준에서 요구하는 계통 연계지점 역률을 90% 이상으로 유지하지 못하는 것을 알 수 있었다. 따라서 조수간만의 차에 의해 출력변화가 큰 해양 소수력발전소에 적용하는 유도발전기는 정격출력에서의 무효전력 보상용 커패시터의 용량을 자기여자 최소 커패시터 용량을 기준으로 산정하고, 최저출력에서는 역률자동제어방식을 적용하는 것이 효과적인 것으로 확인되었다.

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2013년도 춘계학술대회에서 발표하고 우수추천논문으로 선정된 논문임.

References

- [1] Won-Jae Lee, Yong-Taek Oh, Myoung-Gon Song, "Optimization of the condenser capacity for improvement of power factor of induction generator at marine hydroelectric power", KIEE Annual Spring Conference 2013, pp. 303-304, 2013. 5.
- [2] T. Chandra Sekhar "Voltage Regulators for Self Excited Induction Generator" TENCON 2004. 2004 IEEE Region 10 Conference, pp. 460-463, 2004.
- [3] KOSEP, Saman Corporation, "Basic design report for marine small hydroelectric of Yeongheung thermal power plant #1, #2", pp. I-1-10, pp. V-37-68, 2009.11.
- [4] Editorial Department, "Everything of industrial generator", The Journal of KEA, pp. 88-93, 1987.11.
- [5] KEPCO, Technical Standard for Distribution System Connection of Distributed Resources, pp. 4-9, 2007.4.
- [6] Young-Rae Cho, In-Jae Maeng, Soo-Hyun Baek, Kwan-Young Lee, Chul-Jin Kim, "A Study on Self-Excited characteristic for stable operation of Three-Phase Induction Generator", KIEE EMECS Annual Fall Conference 2005, pp. 26-28, 2005.10.
- [7] Ali M. Eltamaly, "New Formula to Determine the Minimum Capacitance Required for Self-Excited Induction Generator", IEEE Trans, pp. 106-110, 2000.
- [8] David C. Lay, Linear Algebra and Its Applications, PEARSON, Fourth Edition, pp. 368-370, 2012.
- [9] Hyundai heavy industries corporation, "Specification for induction generator (for marine small hydroelectric of Yeongheung thermal power plant #1, #2)", pp. 21-23, 2011.1.

◆ 저자소개 ◆



이원재(李源宰)

1967년 9월 25일생. 1986년 2월 천안공업대학 전기과 졸업. 2005년 2월 평생교육진흥원 전기공학과 졸업. 2012년~현재 한국기술교육대학교 산업대학원 석사과정. 1989~1995년 한국전력공사 근무. 1995~1998년 정와종합건축사사무소 근무. 1999~2000년 배산엔지니어링 근무. 2000년~현재 (주)삼안플랜트부 이사 근무.



오용택(吳龍澤)

1958년 6월 17일생. 1980년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1982년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1991년 한국전력공사 근무. 1987년 한국전력공사 정보처리과 과장 역임. 1991년~현재 한국기술교육대학교 전기·전자·통신공학부 전기전공 교수. 2007년 호주 퀸스랜드 대학교 방문연구원.