

자가 발전 시스템을 갖춘 고전압 전기장 수질개선 장치 개발 Water Quality Improvement System Using High Voltage Electric Field with Self-Generation System

강래윤* · 강철웅***†

Rae-Yun Kang* and Chul-ung Kang***†

(Received 12 February 2015, Revision received 09 March 2015, Accepted 09 March 2015)

Abstract: The occurrence of algae caused by eutrophication of fresh water is a pollution source to destroy the aquatic environment. When the high voltage electric field is applied in the water, When a high voltage is applied to the electric field in the water, the algae can be broken the balance of cell membranes, and is dead. In this paper, we develop a water quality improvement system for generating an electric field having a higher energy than the zeta potential when a high voltage is applied to 4,000V. To ensure the mobility of the water quality improvement system, we designed the PV generation system using the optimal size technique that is based on the model of power lack ratio. By evaluating the output characteristics of the water quality improvement system, power generation characteristics of the PV generation system, and battery charging characteristics, we can show that the proposed system can be applicable to the water quality improvement system inhibiting the growth rate of the algae in the fresh water.

Key Words : PV generation system, Optimal size design, High voltage electric field, Water quality improvement, Power lack ratio

1. 서 론

댐, 호수, 저수지와 같은 담수호는 농업용수, 생활용수 등의 용수공급원이며 생태계적으로도 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나 흐르지 못하고 정체되는 경우 유기물이 유입되며 자정능력이 상실되고, 차츰 유기물들의 영양분이 많아지는 부영양화가 진행된다. 부영양화의 진행은 용존 산소량(DO)의 감소와 생화학적 산소 요구량(BOD)의

증가로 이어지며 계절에 따라 녹조류, 남조류, 규조류가 발생된다. 또한 용존 산소의 부족으로 물고기 등 호소내 생물의 폐사로 이어져 수생 생태계가 파괴되는 악순환이 반복된다.¹⁾

호소의 자정능력을 유기하기 위하여 수질개선·유지기술이 필요하며 그 기술로는 인공 식물섬 등 자연요소의 이용, 응집여과, 자외선과 오존을 이용한 여과, 화학 약품과 미생물을 이용한 방법 등이 있으며 이러한 방법의 연구가 지속적으로

*** 강철웅(교신저자) : 제주대학교 메카트로닉스공학과
E-mail : cukang@jejunu.ac.kr Tel : 064-754-3714

*강래윤 : 제주대학교 메카트로닉스공학과

*** Chul-ung Kang(corresponding author) : Department of Mechatronics Engineering, Jeju National University.
E-mail : cukang@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3714

*Rae-Yun Kang : Department of Mechatronics Engineering, Jeju National University.

진행되고 있다.^{2,3,4)} 그러나 이러한 방법은 효율의 문제, 수처리 적용범위와 처리용량, 화학 약품 사용으로 인한 부가적인 오염의 위험이 생긴다.

본 논문에서는 기 개발된 수질개선·유지기술 사용으로 인해 발생할 수 있는 부가적인 오염의 위험을 회피하기 위하여 고전압 전기장 수질개선장치를 개발하였다.^{5,6)} 수질개선 장치에서 발생시킨 고전압 전기장은 제타전위보다 큰 에너지를 인가하며 그로 인해 조류의 세포막 균형을 깨뜨려 조류를 사멸시킨다. 수질개선장치의 이동성 확보와 수처리 영역을 확대하기 위하여 부유식 구조를 가지고 있으며, 에너지 고립지역에서 원활한 전기 에너지 공급을 위하여 자가발전 시스템을 갖추고 있다. 자가발전 시스템은 태양광을 이용하며 일일 소비전력, 평균 일조시간, 부조일 수를 고려하여 발전의 크기를 결정하는 최적용량을 산출하였으며, 축전시스템은 최소 충전량과 부하 등을 고려하여 배터리 용량을 산출하였다.^{7,8,9,10)}

수질개선장치는 태양광 시스템을 통해 생산된 전기에너지로 +극과 -극의 대전을 일으켜 부영양화를 조래하는 조류(녹조)의 세포막을 파괴하여 세포의 붕괴를 일으키는 역할을 통한 수질개선을 하며, 다량의 호소수를 자연적 유동에 의해 처리하기 위하여 3중의 판 형태로 설계하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 고전압 전기장 수질개선장치에 대한 구성을 소개하며, 장치의 구동을 위한 제어기, 고전압 컨버터의 설계와 출력 특성을 검토한다. 제 3장에서는 자가발전 시스템으로 설계할 태양광 발전 시스템에 대한 모델링을 소개한다. 제 4장에서는 태양광 발전 시스템에 대한 최적용량 설계기법에 대하여 소개하고, 태양광 발전시스템에 대한 설계사항을 산출하여 일사량 변화에 따른 발전량과 배터리 충전량 특성에 대하여 검토한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 고전압 전기장 수질개선 장치

본 논문의 수질개선장치는 넓은 호소 수역의 조류현상을 제어하기 위하여 넓은 판식으로 구성

된 -극과 +극의 전극을 Fig. 1과 같이 설계하였으며, 태양광 발전시스템으로부터 생산된 전기를 이용하여 +극과 -극에 고전압의 전기를 가함으로서 고+전압의 정전계가 생산되며 이때, 생산된 정전계 내부에 호소수가 존재할 경우 호소수 내부의 조류의 세포막을 파괴하여 조류의 사멸을 유도한다.

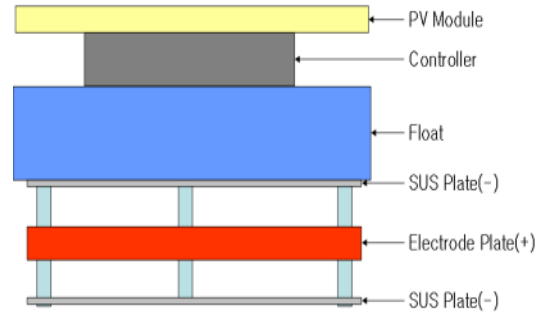


Fig. 1 Configuration of water quality improvement system

고전압 전기장 수질개선 장치의 발전시스템과 고전압컨버터를 제어하기 위한 블록 다이어그램은 Fig. 2와 같다. Fig. 2의 제어기는 ST사의 STM32F103VCT6 마이크로프로세서를 탑재하고 있고, 고전압컨버터로 PWM 신호를 출력하기 위하여 Texas Instruments사의 UC2526A를 탑재하고 있다.

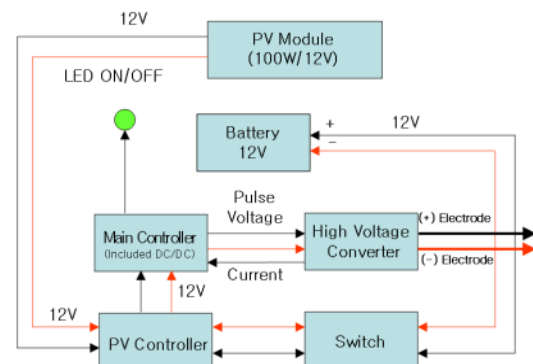


Fig. 2 Block diagram of water quality improvement system

Fig. 2의 태양광 발전 제어기로 입력되는 DC 12V는 태양광 전지 모듈에서 생산된다. 태양광 발전 제어기는 부하의 작동여부, 배터리의 충전상태에 따라 태양광 전지 모듈에서 생산된 전력을 Fig. 2의 제어기 또는 배터리로 분배한다. 제어기는 DC 12V 입력을 DC 5V로 출력하고, DC 5V는 다시 DC 3.3V로 변환하여 전원이 필요로 하는 적재적소에 공급한다. 또한 제어기는 고전압 컨버터를 제어하기 위하여 PWM 모듈을 탑재하고 있다. 제어기의 마이크로프로세서는 출력 전류를 피드백하여 PWM 제어를 함으로서 전류 제어를 정확하게 할 수 있으며, PWM 제어의 캐리어 주파수가 40KHz 이상의 매우 높은 고주파에서도 전압 및 전류의 리플은 매우 적어지게 되고 출력 전압 및 전류 변동률이 적다. 이때, FET 스위칭 소자가 고주파 스위칭을 함으로서 이에 따른 노이즈 영향 및 내구성을 고려하여 설계하였다. Fig. 3은 고전압 전기장 수질개선 장치의 실제 모습이다.



Fig. 3 Installation of water quality improvement system

Fig. 1의 평판형 전극에 고전압의 전기에너지를 인가하여 전기장을 발생시키기 위해서는 고전압 컨버터는 트랜스 1차 전압을 24V, 2차 전압을 4,000V로 승압한다. 고전압 컨버터의 전압 승압에는 Fig. 4의 코크로프트 울튼 회로를 응용하여 Fig. 4와 같이 승압 4,000V 링크회로를 설계하였다. 고전압 컨버터의 동작을 확인하기 위하여 PSPICE의 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을

실시하였다. Fig. 5는 시뮬레이션 결과의 출력 전압과형으로 설계조건을 만족하고 있다.

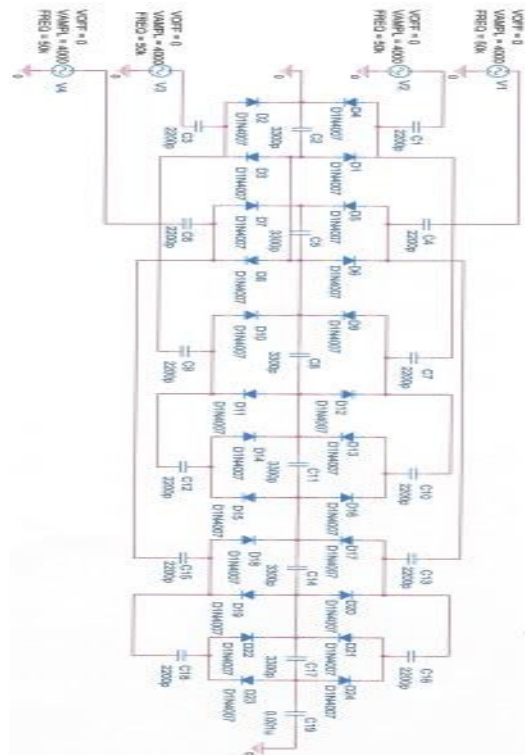


Fig. 4 Voltage multipliers circuit of Cockcroft walton

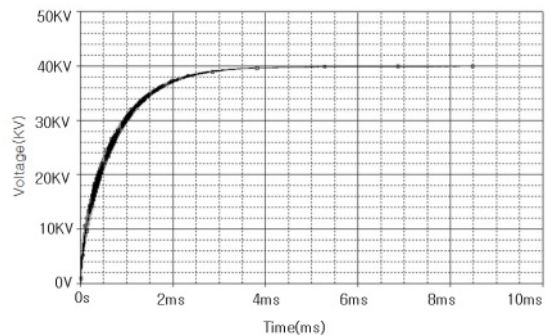


Fig. 5 Output characteristics of voltage multipliers using Cockcroft Walton iircuit

3. 태양광 발전 시스템 모델링

태양광 발전 시스템은 태양광전지모듈과 인버

터, 충전을 위한 배터리로 구성되며, 태양광 전지 모듈의 용량(P_{PV})은 다음과 같다.

$$P_{PV} = P_n \times D(W) = \frac{E \cdot D}{\eta \cdot T_{avg}} \quad (1)$$

여기서, P_n 은 발전 필요량, E 는 부하 소비전력, D 는 부조일수, η 은 발전효율, T_{avg} 평균 일조시간이다.

태양광 전지모듈을 통하여 생산된 전기를 저장하기 위한 배터리의 축전 용량 설계에서 매순간 배터리의 상태는 시간 $t-1$ 에서 t 동안의 이전 충전상태, 발전상태, 부하상태 등에 관계되며, 충전과정동안 PV의 총 발전량이 부하요구량보다 크면 시간 t 에서 가용 배터리 충전량은 다음과 같다.

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1)(1-\sigma) + (E_{PV}(t) - \frac{E_L(t)}{\eta_{inv}})\eta_{bat} \quad (2)$$

여기서, $C_{bat}(t)$ 는 시간 t 에서의 사용가능한 배터리 충전량, η_{bat} 는 배터리 효율, σ 는 배터리 자가 방전율, $E_{WG}(t)$ 는 PV에서 발생한 에너지, $E_L(t)$ 는 시간 t 에서 요구되는 부하전력, η_{inv} 은 인버터의 효율이다.

4. 태양광 발전 시스템 및 출력특성

태양광 발전 시스템은 1일 부하 전력량 (120W/Day) 와 부조일 수를 고려하여 용량을 설계하였다. 날씨의 영향을 많이 받는 태양광발전의 경우 흐린 날, 비오는 날 등의 부조일에도 예비전력 공급이 가능하도록 설계하였다. 본 논문에서 결정한 부조일 수는 5일이다. 배터리 최대방전 허용률은 태양광 발전 제어기에서 임의로 제어가 가능한 것이기 때문에 임의의 값으로 설정하였으며, 인버터의 경우 본 시스템은 DC로 발전하여 부하에 그대로 DC로 공급되므로 인버터가 불필요하여 1로 가정하였다. 전력부족률은 0으로 설정하였는데 태양광 발전 시스템은 외부 전원의 도움 없이 단독으로 부하에 항상 충분한 전력을 공급할 수 있음을 나타낸다. 전력 부족률은 다음과 같다.

$$P_{LP}(t) = P_{load}(t)\Delta t - (P_{tot}(t)\Delta t + C(t-1) - C_{min})\eta_{inv} \quad (3)$$

여기서 P_{load} 는 총 전력과 부하 전력 요건이며 $P_{load}(t)\Delta t$ 는 전체 부하요구전력, 마지막 항은 부하에 의하여 소비되는 전력을 나타낸다.

Table 1은 고전압 전기장 수질개선 장치의 자가 발전 시스템으로 탑재한 태양광 발전 시스템의 최적용량 설계에서 적용한 용량설계 파라미터를 보여주고 있다.

Table 1 Design parameters of PV generation system

Design parameters	Design Val.	Reference Val.	
Inverter efficiency	1	Less than 1	
PV power generation efficiency	0.87	Normal efficiency	
Battery	Discharge rate	0.00058%/h 0.14%/day	
	Charge efficiency	0.7	0.65-0.85
	Max. allowable discharge rate	0.2	User definition
Power shortage rate	0	-	
Load	120W	-	

이와 같이 부하 전력, 부조일 수 및 각종 파라미터를 기준으로 전력부족률=0 조건을 만족하기 위한 결과로 가장 보편적으로 생산 공급되는 100W급 태양광 전지 모듈을 선정되었다. 태양광 발전 시스템은 단결정 독립형을 기준으로 설계하였으며, Table 2는 태양광 발전 시스템에 대한 최적용량설계 결과를 보여주고 있다.

Table 2 Design result of PV generation system

Type	Unit size	Total size	Specifications
PV	100W	100W	-
Battery	5Wh	600W	DC12V, 50A

태양광 발전 시스템의 출력특성을 분석하기 위하여 일정한 위치에서 일사량 데이터를 측정하였다. Fig. 6은 제주의 8월중 3일간(8.5일 13시~8.8일

12시)의 일사량 데이터이며, 오전7시부터 일사량의 값이 측정되기 시작하여, 오후 7시까지 데이터 값을 얻을 수 있었다. 100W 태양광 전지 모듈을 같은 장소에 설치하여 태양광 발전 시스템의 발전량 및 배터리 충전량을 측정하였다. Fig. 7은 태양광 발전 시스템의 발전량을 나타내고 있다. 태양광 발전 시스템은 일사량 변화에 추종하는 발전 성능을 보여주고 있으나, 일반적인 태양광 발전 효율 0.87을 만족하는 성능은 얻을 수 없었다. Fig. 8은 태양광 발전 시스템의 배터리 충전상태를 나타낸 것이다. 태양광 발전 시스템에서 생산되는 전력은 고전압 전기장 수질개선 장치의 부하요구량보다 크고 배터리가 최대로 충전된 상태에서는 부하에 사용되지 않는 전력은 그대로 버려지고 있다.

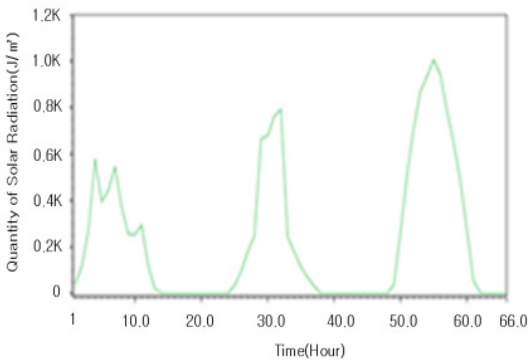


Fig. 6 Hourly insolation changes

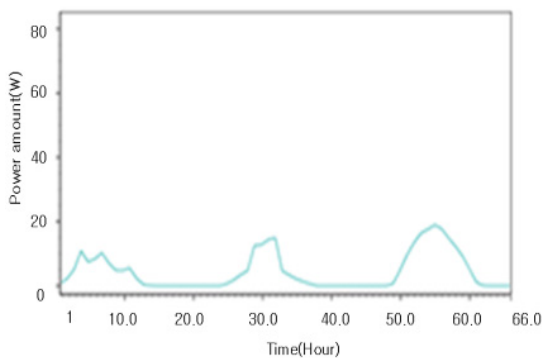


Fig. 7 Power amount of PV generation

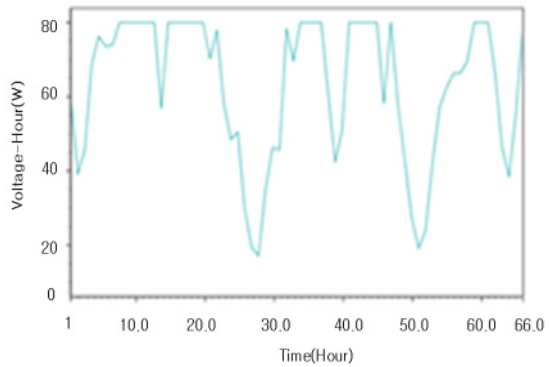


Fig. 8 Battery charging status

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 수질개선 방법을 이용하였을 때 발생할 수 있는 2차 오염원을 발생시키지 않는 담수화에 적용 가능한 수질개선 기술로 이용할 수 있는 고전압 전기장 수질개선 장치를 개발하였다.

수질개선 장치의 이동성을 높이기 위해 태양광을 이용하는 자가발전 시스템을 설계하여 수질개선 장치에 탑재하였다. 태양광을 이용하는 발전 시스템의 발전성능은 일사량에 깊은 관계를 가지고 있으나, 일정기간동안 발전에 필요로 하는 에너지원(태양광)을 얻을 수 부조일에도 지속적으로 수질개선 장치를 작동시킬 수 있는 성능이 필요하다. 고전압 전기장 수질개선이 5 부조일동안 지속적으로 가동할 수 능력을 갖춘 태양광 발전 시스템의 최적 용량설계 결과를 도출하였다.

대조군과 실험군에 대한 고전압 전기장 수질개선 장치의 성능실험에서 완전히 클로로필-a 조류로 인한 부영양화를 억제할 수는 없었지만 대조군보다 현저히 저하된 증식속도를 보여주는 것으로 보아 고전압 전기장 수질개선 장치가 클로로필-a 조류를 증식을 억제하는데 효과가 있는 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 2014학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에서 지원하여 연구되었음.

References

1. K. S. Lee, K. S. Yoon, H. J. Kim, 2003, “A Program of Water Quality Management for Agricultural Reservoirs by Trophic State”, Korean Journal of Environmental Agriculture, Vol. 22, No. 2, pp. 166-171
2. M. K. Kang, G. W. Shin, H. S. Park, T. S. Kim, S. I. Lee, 2014, “The Performance for the Lanthanum-Zeolite Composite for the Eutrophication Prevention”, Journal of the Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 36, No. 3, pp. 203-213.
3. Y. Y. Kim, D. G. R, 2004, “Assessment of Wastewater Treatment Efficiency by Water Surface Contacting Cover System on Aeration Tank”, Journal of the Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 26, No. 4, pp. 417-421.
4. S. G. Kim, Y. G. Son, 2014, “Basic Study on the Design and Optimization of Sonochemical Water/Wastewater Treatment Processes”, Journal of the Korean Wetlands Society, Vol. 16, No. 2, pp. 205-212.
5. S. M. Kang, S. J. Park, W. J. Kim, I. S. Chang, J. H. Lee, 2005, “Sterilization Experiment by High-Voltage Pulsed Electric Fields”, Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 36, No. 3, pp. 206-213
6. H. K. Lee, M. H. So, 2000, “Effect of Impulse Voltage Waveform on Electrical Sterilization by High Voltage Pulsed Electric Fields”, Journal of the Korean Society for Food Engineering, Vol. 4, No. 3, pp. 136-140.
7. I. H. Hwang, E. H. Kim, K. S. Ahn, 2011, “A Study on the Optimal Design of Large-Scale Photovoltaic Array”, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 1, pp. 8-14.
8. S. S. Jung, 2014, “A Study on the Benefit-Cost Analysis of Photovoltaic System in the Greenhome”, Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 3, pp. 112-117.
9. K. H. Park, C. U. Kang, G. M. Lee, J. H. Kim, 2011, “Design of Optimal Combination for New and Renewable Hybrid Generation System”, Communications in Computer and Information Science, Vol. 266 pp. 189-198.
10. I. Y. Kong, 2014, “A Study on the Load Forecasting Methods of Peak Electricity Demand Controller”, Institute of Embedded Engineering of Korea, Vol. 16, No. 2, pp. 205-212.