

## Development of the Water Treatment System with High Performance Electromagnetic Field

李 龍 根<sup>†</sup>  
(Yong-Geun Lee)

**Abstract** -This paper presents the water treatment system with high performance electromagnetic field for a good quality of water. The electromagnetic field water treater consists of a solion, a solion body, and a high voltage converter. The high voltage converter is controlled by PWM current controller. The high voltage converter of 13W is designed for an isolation operation amp, an isolation current detector, and an over current protector. Using the high voltage PWM converter, the system with the proposed electromagnetic field water treater can be controlled easily. Simulation and experimental results show the effectiveness of the system strategy proposed for the scale rejection.

**Key Words** : electromagnetic field water treatment system, PWM current controller, high voltage converter

### 1. 서 론

중전의 용수 살균 수단으로는 화학약품(치아염소산소, 염소 등)을 투입하여 소독하였으나, 이러한 화학약품의 투입은 약품 투입의 번거로움, 설비수명단축, 2차 오염유발, 주변 환경의 악화, 수영장의 경우 탈색, 피부염 등을 유발하는 등 신체 유해성 및 환경적 문제점을 갖고 있다. 또한, 주요 살균 대상인 레지오넬라균은 전염병 예방법에 의하여 제 3군 법정 전염병으로 지정(2000년 1월 12일 법률 제6162호 공포)되어 있고, 습식 냉각탑에서 비산되는 미세 물방울에 균이 포함되어 다중 이용시설에서는 그 감염 위험이 가공할만한 냉방병으로 널리 알려져 있다. [1-5]

따라서 본 연구에서는 수용가에 양질의 용수를 제공하기 위하여 고성능 전자장 수처리 장치를 개발함으로써 용수를 사용하는 냉난방 설비, 냉·온수 설비 및 각종 열교환 설비에 적용하여 살균효과를 극대화하고 스케일(Scale) 방지 및 제거, 부식 및 적수(赤水)방지, 이끼 생장을 억제하고자 한다.

제안된 용수처리 방식은 용수에 직접 미소전류를 흘려 전자를 공급하는 방식으로 고전압을 가해서 전계를 형성시키면 자유전자가 방출되어 스케일을 형성하는 양이온 입자들이 전기적으로 중화되어 안정화되고, 운동에너지가 증가하여 기존 스케일의 결정 화합물을 파괴하고, 제거하므로 스케일 형성을 방지할 수 있다.

개발된 시스템은 관공서, 공공기관, 군사시설, 민간부문, 고

층 아파트, 일반소형 건물 및 단독 주택 등 용수를 사용하는 냉난방 설비, 냉·온수설비 및 각종 열 교환설비 등에 적용할 수 있다.

본 연구 개발에서는 수용가에게 양질의 용수를 공급하고, 에너지 절감효과를 갖는 전자장 수처리 시스템을 개발하고, 이의 타당성은 실험을 통하여 시스템의 성능을 확인하였다.

### 2. 전자장 수처리 시스템

#### 2.1 전자장 수처리 시스템의 원리

제안된 용수처리 방식은 솔리온(Solion)과 고압컨버터를 이용하여, 용수에 직접 수 mA의 미소전류를 흘려 전자를 공급하는 방식으로, 용수에 고전압을 가해서 전계를 형성시키면, 자유전자가 방출되어 스케일을 형성하는 양이온 입자들이 전기적으로 중화되어 안정화된 상태로 유지된다. 또한 방출된 자유전자에 의하여 운동에너지가 증가하고, 수소교결합(Hydrogen Bridge Bond)력이 약화되어, 표면장력 감소와 PH 상승 등 기존 스케일의 결정화합물을 파괴하여 스케일을 제거하고, 추가 스케일 형성을 방지하도록 한다.[6]

일반적으로 부식은 산화환원반응이며, 전기적으로는 전자를 주고 받는 과정을 말한다. 즉 금속원자가 전자를 잃어버리는 것을 부식이라 하므로, 용수에 많은 자유전자를 인가하는 조건을 만들면, 금속원자가 전자를 잃지 않으므로 부식 과정을 제거할 수 있다.[13]

또한 용수 속에 많은 자유전자를 공급하게 되면, 콜로이드 영역이 파괴되어 운동에너지가 증가되고, 물의 점도가 낮아지며, 표면장력이 약화되는 등의 현상으로 이와 관련된 에너지 절감효과가 발생된다.

<sup>†</sup> 교신저자,正會員 : 仁荷工業專門大學 電氣情報科學科 副教授  
E-mail : leeyong@inhac.ac.kr  
接受日字 : 2005년 7월 25일  
最終完了 : 2005년 8월 12일

## 2.2 솔리온 시스템

솔리온(solion)은 용액 중에 이온의 이동을 이용하여, 이를 검출하는 검출증폭장치로 본 전자장 수처리 방식에 사용된 솔리온의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1과 같이 솔리온은 고압을 인가하는 조인트 박스와 유체 입출구, 중심부에 +전극의 금속도체와 -전극인 원통형 외형 Body로 구성되어 있다.

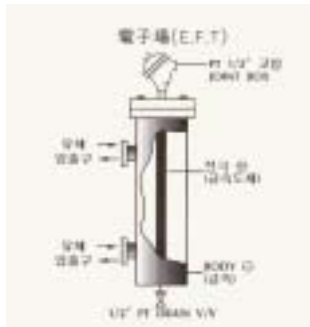


그림 1 솔리온의 구조  
Fig. 1 The structure of solion

## 2.3 전자장 수처리 장치의 구조

수처리 장치는 자유전자가 방출하도록 용수에 직접 DC 1,300V의 전압 및 2~4mA의 미소전류를 흘리면 스케일을 형성하는 양이온 입자들이 전기적으로 중화되어 안정화된 상태로 유지된다. 솔리온과 고압 컨버터를 이용한 전자장 수처리 시스템의 구조는 그림 2와 같다. 전자장 수처리 장치는 냉온 급수계통, 증기보일러, 냉수 및 온수 순환계통, 냉각수 계통, 수영장, 목욕탕, 수산양식장과 같은 각종 Pool 계통 등에 설치 가능하다.

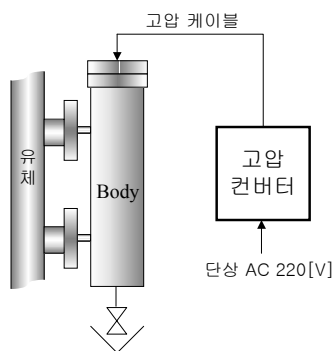


그림 2 전자장 수처리 시스템  
Fig. 2 The electromagnetic field water treater system

## 2.4 전자장 수처리용 고압 컨버터

### 2.4.1 고압 컨버터 모의 실험

전자장 수처리용 고압 컨버터를 설계하기 위하여 그림 3과 같이 승압 1,300V DC 링크 회로를 설계하였으며, 이의 동작 신호는 PSIM 소프트웨어를 이용하여 다음의 결과를 얻었다.[7] 그림 3의 회로에서 각 부분의 전압과 전류파형은 그림

4에서 그림7과 같다. 그림 3에서 다이오드의 직렬연결은 다이오드 실체사양과 다이오드의 내압을 고려하여 설계한 것이며, 콘덴서의 직병렬 연결은 출력되어지는 고압의 원활한 평활을 고려하여 설계한 것이다. 그림 4에서 입력된 전압은 정류회로 및 평활회로를 거쳐 그림 7과 같이 직류 1,500V를 얻을 수 있으며, 이때 흐르는 전류는 2mA의 미소전류가 흐르는 것을 볼 수 있다.

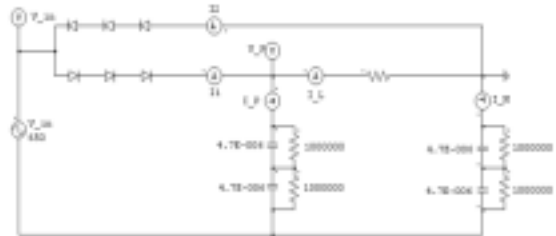


그림 3 승압 DC 링크 회로  
Fig. 3 Boosting DC link circuits

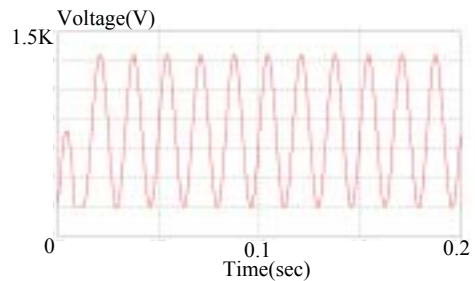


그림 4 1차 입력 전압파형  
Fig. 4 Primary input voltage waveform

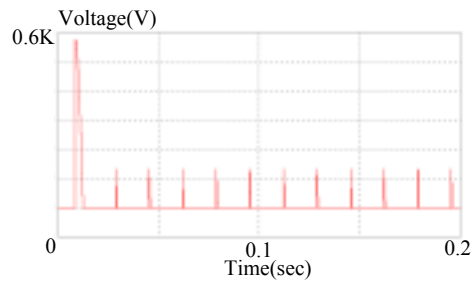


그림 5 다이오드 입력 전압파형  
Fig. 5 Input voltage waveform through Diode

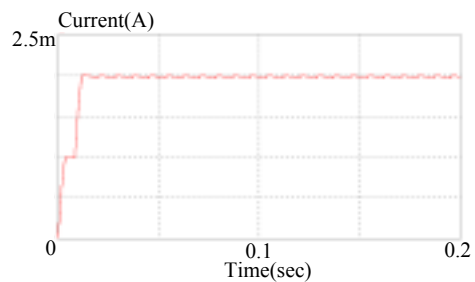


그림 6 부하전류파형  
Fig. 6 Load current waveform

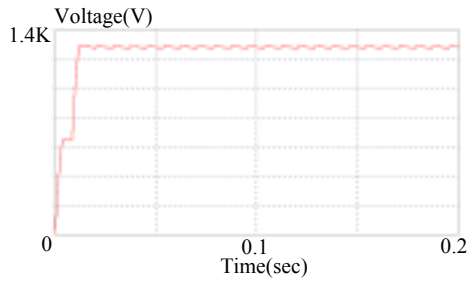


그림 7 2차 출력 전압파형  
Fig. 7 Secondary output voltage waveform

2.4.2 고압 컨버터 기능 및 제어

전자장 수처리용 고압 컨버터는 PWM 스위칭 방식을 이용한 전류제어 방식을 적용하였다. 1,300V로 승압된 2차 전압은 스위칭 소자를 직렬로 연결한 후 스위칭 소자를 PWM 전류제어하는 방식으로 다음과 같은 특징을 갖고 있다.[8-12]

- 1) 전원이 인가되면 입력된 전압과 병렬로 연결된 전원 표시등을 점등한다. 이는 전원이 인가되었는지를 확인할 수 있다.
- 2) 전원이 인가된 후 솔리온에 물이 통과되면, 솔리온 내의 물은 부하로서 동작되기 때문에, 출력회로에서 부하전류를 검출하여 전원 표시등을 점등한다.(그림 8)
- 3) 콘덴서 방전 후 초기 전원을 인가할 때 발생하는 큰 돌입전류를 제한하여 시스템을 안정화시킨다.(그림 9)
- 4) 출력된 전류를 검출하여 피드백한 후 이를 제어하므로써 출력전류가 외부 부하변동 및 온도변화에 매우 견실한 특성을 갖는다.
- 5) 전류제한이 정확하며, 온도변화에 따른 저항 변동율을 측정하여 제한온도범위에서 동작하도록 한다.
- 6) 출력된 전류를 피드백하여 PWM 제어를 하므로 전류제어가 정확하다. (그림 10)
- 7) PWM 제어의 캐리어 주파수가 50KHz 이상의 매우 높은 고주파이므로 이를 콘덴서에 의해 평활 시킨 전압 및 전류의 리플은 매우 적으므로 출력 전압 및 전류 변동율이 작다.
- 8) 스위칭 소자가 고주파 스위칭을 하므로 이에 따른 노이즈 영향 및 내구성을 고려한다.

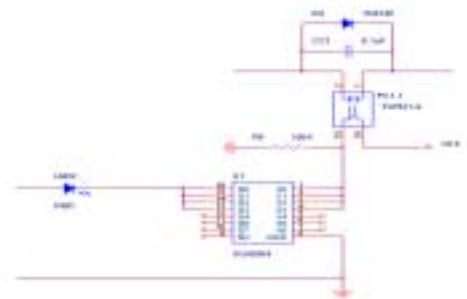


그림 8 솔리온에 용수 통과시 램프 점등 회로  
Fig. 8 Lamp lighting circuit when the water flows through the solion.

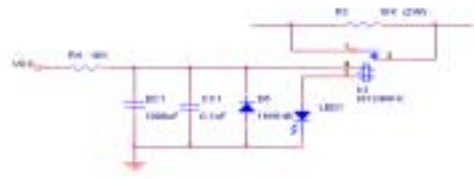


그림 9 돌입전류 제한 회로  
Fig. 9 Limit protection circuit for the inrush current



그림 10 PWM 스위칭 방식을 이용한 전류제어 회로  
Fig. 10 PWM current control circuit

2.4.3 고압 컨버터 실험

전자장 수처리용 13W급 고압 컨버터를 그림 8~그림10과 같이 설계 제작한 후 각각의 출력 특성을 살펴보았다. 그림 11은 트랜스포머를 통하여 승압시킨 1차입력, 2차출력 전압파형이다. 그림 12와 그림13은 돌입전류 제한용 회로를 통과한 후 부하 시 초기 피크(Peak) 전류를 그림 9와 같이 릴레이를 통해 일시 절연하는 동작이 제대로 동작하고 있음을 볼 수 있으며, 시스템의 내구성 향상을 확보할 수 있으리라 본다. 그림14와 그림15는 각각 2mA와 4mA의 지령전류에 추종하는 입력전압, 출력전압, 출력전류를 나타내고 있다. 전류 파형에서 볼 수 있듯이 PWM 전류제어에 의해 전류 리플이 거의 없이 양호하게 출력되고 있음을 볼 수 있으며, 출력전압은 제안된 정류회로와 평활회로에 의해서 전압 변동율이 0.5%이내의 매우 평활된 DC 전압으로 출력되고 있음을 알 수 있었다.

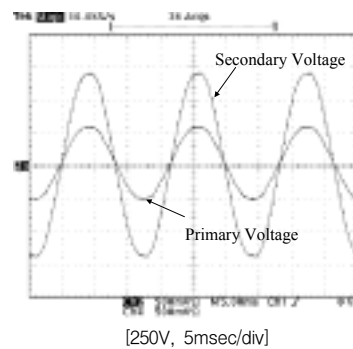


그림 11 1차 입력 및 2차 출력 전압  
Fig. 11 Primary input and secondary output voltages

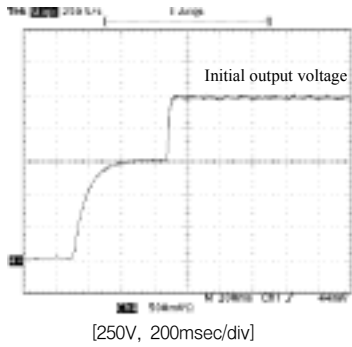


그림 12 부하시 초기 출력전압  
Fig. 12 Initial output voltage with a load

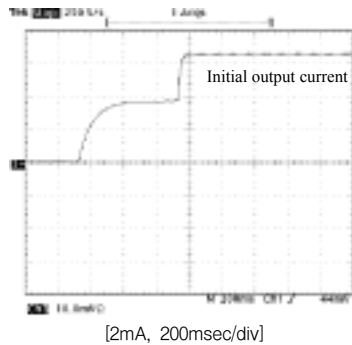


그림 13 부하시 초기 출력전류  
Fig. 13 Initial output current with a load

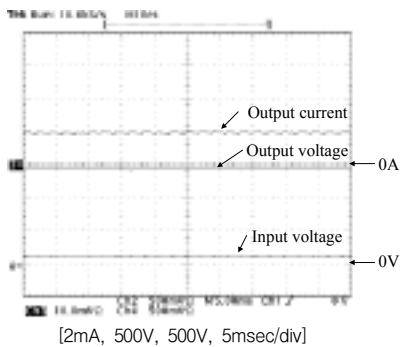


그림 14 입력전압, 출력전압, 출력전류  
Fig. 14 Input voltage, output voltage, and output current

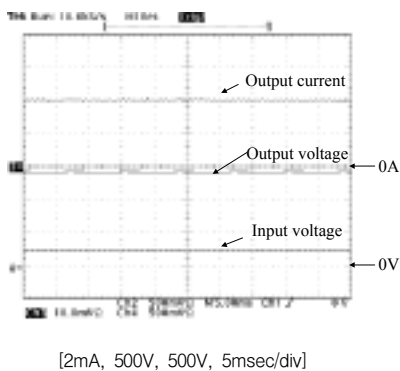


그림 15 입력전압, 출력전압, 출력전류  
Fig. 15 Input voltage, output voltage, and output current

## 2.5 전자장 수처리 장치 시스템 제작 및 성능 실험

그림 16은 수처리용 고압 컨버터 장치, 그림 17은 전자장 수처리 시스템을 나타내고 있다. 그림 18-①은 개발한 시스템으로 수처리하지 않은 용수를 급수한 배관 내부이고, 그림 18-②, ③은 개발된 시스템으로써 수처리한 용수를 급수한 배관 내부를 나타낸 것이다. 그림 18-②, ③와 같이 고성능 전자장을 갖는 수처리 시스템을 이용하여 용수를 급수한 결과 설치 30일과 60일 후에는 많은 양의 스케일이 제거되었음을 알 수 있다.



그림 16 고압 컨버터  
Fig. 16 High voltage converter



그림 17 전자장 수처리 시스템 설치 사례  
Fig. 17 The establishment case of the electromagnetic field water treater system



그림 18 전자장 수처리 시스템 성능  
①설치전 ②설치30일 ③설치60일  
Fig. 18 The performance of the electromagnetic field water treater system  
①before ②after 30 days ③after 60day

### 3. 결 론

화학약품으로 처리되는 종전의 용수 살균 수단은 주변의 환경을 악화시키고, 양질의 용수를 얻기에 많은 어려운 점을 갖고 있다. 이를 극복하기 위하여 개발된 전자장을 갖는 수처리 시스템은 돌입전류 제한 회로에 의한 시스템의 안정성을 확인 할 수 있었으며, PWM 선형 피드백 전류제어 방식에 의해 외부 부하변동 및 온도변화에 매우 견실한 안정하고 평활된 전류를 확보할 수 있었고, 정류회로 및 평활회로를 통해 전압변동율이 0.5% 이내의 매우 평활된 DC 1,500V를 출력함을 알 수 있었다. 또한, 개발된 시스템을 설치하여 용수를 배관에 급수한 결과 많은 양의 스케일이 제거되었음을 확인 할 수 있었다.

본 연구 개발에서는 관공서, 공공기관, 군사시설, 민간부문, 고층 아파트, 일반소형 건물 및 단독 주택 등 용수를 사용하는 냉난방 설비, 냉·온수설비 및 각종 열 교환설비 등의 수송가에 양질의 용수를 제공하기 위하여 고성능 전자장 수처리 장치 개발함으로써 스케일 방지 및 제거, 부식 및 적수(赤水)방지, 이끼 및 스라임 생장을 억제할 수 있도록 하였다. 이의 타당성은 실험을 통하여 시스템의 성능을 확인하였으며, 이 결과 에너지 효율향상 및 유지비 절감, 설비의 수명연장, 수질의 개선, 효율적인 수처리 관리 등이 가능할 것으로 예상되었다.

### 참 고 문 헌

- [1] 수자원환경편집국. 정수 수처리 신기술, 봄여름, 1999
- [2] 성낙창, 폐수처리장치 유지와 관리, 신광문화사, 2000
- [3] 박중운, 물리 화학적 수처리 원리와 응용, 지샘, 1998
- [4] 옥치상, 수질측정 및 수처리 실험, 지구문화사, 1998
- [5] 이문호, 생물학적 수처리 기술, 환경관리연구소, 2001
- [6] 이규성, 수처리공학, 형설출판사, 2001
- [7] 서영주, 전력전자공학(PSPICE 와 PSIM 시뮬레이션 중심의), 통일출판사, 2002
- [8] J.Holtz, "Pulsewidth Modulation - A survey," IEEE-PESC Conf., pp.11-18, 1992
- [9] Hart, Daniel W., Introduction to Power Electronics, Prentice Hall, 1997
- [10] Mohan, Ned, Undeland, Tore M., Robbins, William P., Power Electronics, John Wiley & Sons Inc., 2002
- [11] Rashid, Power Electronics : Circuits, Devices and Applications, Prentice Hall, 2003
- [12] Jacob, J. Michael, Power Electronics : Principles and Applications, Delmar, 2001
- [13] Hayt, William H., Buck, John A., Engineering Electromagnetics, McGraw-Hill, 2000

### 저 자 소 개



이 용 근(李 龍 根)

1960년 11월 6일생. 1985년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1989년 미국 University of Missouri-Columbia 전기공학 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(공학). 1995. 3 - 현재 인하공업전문대학 전기정보과학과 부교수.

Tel : 032)870-2196

E-mail : leeyong@inhatic.ac.kr