

## Efficiency evaluation of MBR, A/O processes utilizing self-sufficient energy

### 에너지 자립형 MBR, A/O 공정의 효율 평가

Setaek Lim<sup>1,2</sup> · Jinkeun Kim<sup>1\*</sup>

임세택<sup>1,2</sup> · 김진근<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>제주대학교 환경공학과 · <sup>2</sup>(주)한라산업개발

**Abstract :** A pilot plant (Q=5 m<sup>3</sup>/d) study was implemented for small and medium sized personal wastewater treatment plant effluent to evaluate MBR and A/O processes utilizing self-sufficient energy composed of wind and solar energy. The removal efficiencies of BOD, SS, turbidity and color were sufficient for legal water quality standards for gray water. However, those of nitrogen and phosphorus could not meet legal regulations which suggested that further removal of those contaminants were needed for reuse of the treated water.

Self-sufficient energy rate was 100 % for the pilot plant due to excessive design capacity. In this research, wind and solar energy system was applied considering geological characteristics, which significantly improved energy self-sufficiency. Substantial improvement on energy self-sufficiency can be obtained by optimized investment and operation at a full scale wastewater treatment plant.

**Key words :** MBR, A/O, Self-sufficient Energy, Water Reuse, Wastewater

**주제어 :** MBR, A/O, 에너지 자립, 물 재이용, 하수

## 1. 서론

최근 급속한 도시화 및 산업화로 인하여 생활용수와 공업용수의 수요는 증가하는 반면 수질오염과 함께 신규 용수원의 추가확보는 점차 어려워지고 있는 실정이다. 새로운 용수원으로 지하수 개발, 해수 담수화, 빗물 이용, 중수도를 포함한 하수처리수의 재이용 등을 들 수 있다. 하수처리수는 잠재 수자원으로서 과거에는 직접 재이용량이 매우 적었으나 최근에는 물 재이용 기술을 적용하여 도시하천의 유지용수, 위락용수, 공업용수,

일반 잡용수 및 조경용수 등으로 공급하는 사례가 증가하고 있다. 물 재이용 기술은 최근에 경제성 높은 미래 수자원 확보 기술로 대두되고 있다 (Lee et al., 2012)

물 재이용은 수도법이나 하수도법의 적용을 받고 지방자치단체에서는 조례를 통해서 관련 사업을 시행해 오다가 2011.6월부터 '물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률'이 시행됨에 따라 보다 체계적인 추진이 가능해졌다. 이를 토대로 환경부에서는 기후변화로 인한 물수급 불균형 문제를 해소하고 지속 가능한 수자원 확보 방안으로서 빗물 이용, 중수도, 하폐수 처리수 재이용 등 물 재이용 관련 10년 단위의 최상위 정책인 물 재이용 기

\* Received 16 July 2014, revised 09 June 2014, accepted 11 June 2014.

\* Corresponding author: Tel : +82-64-754-3448 Fax : +82-64-725-2483 E-mail : kjinkeun@jeju.ac.kr

본 계획을 수립하였다. 정부에서는 물 재이용 확대를 통해 지역별 건전한 물순환 체계를 구축하고 물 재이용에 관한 산업육성과 기술개발을 위해 많은 노력을 하고 있다(MOE, 2014).

그러나, 물 재이용에 관한 정부 및 민간 차원의 연구개발은 아직 선진국에 비하여 미흡한 수준이다. 최근 물 재이용과 관련해서 홍수대비와 지하수 함양 목적의 빗물 저류조 설치와 중대형 하수 또는 폐수처리장의 방류수를 재이용하는 사례가 증가하고 있으며, 사업시행은 주로 BTL(build-transfer-lease), BTO(build-transfer-operate) 방식 등으로 추진하고 있다.

하수처리수의 재이용에 관한 기술로서 생물학적인 처리방법과 분리막의 장점을 결합한 MBR(Membrane Bio-reactor)은 상당한 수준의 고액 분리가 가능하다. 또한, 반응조내의 높은 미생물 농도와 슬러지 체류시간의 증가는 질산화 효율을 높일 수 있는 것으로 알려져 있다. 더불어 안정적인 운전이 가능하며, 슬러지 팽화, pin-point floc 현상 등을 우려할 필요가 없으며 설치면적도 다른 공법에 비해 적어 콤팩트한 제작 설치가 가능한 장점도 있다. 그러나 인 제거에는 한계가 있으므로, MBR 처리방식의 장점을 활용하면서 질소, 인 제거에 활용되고 있는 A/O 공정을 결합하게 되면 하수처리수의 재이용 공정에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다(Lim et al., 2012; Lee et al., 2012; Tchobanoglous et al., 2004).

한편, 정부는 2020년까지 탄소중립율을 50%까지 끌어 올리기 위해 환경기초시설 탄소중립 프로그램 사업을 추진하고 있으며, 에너지 자립화 기본계획도 시행 중에 있다. 하수처리장에서 소비되는 전력에너지를 기존의 계통 전력만을 이용하는 대신 풍력, 태양에너지 등을 이용하여 자체적으로 전력을 생산하는 자립형 에너지를 적용하는 방식은 국가에서 추진하는 에너지 자립화 계획에 부합된다고 할 수 있다.

본 연구에서는 중소규모의 공공, 개인 하수처리시설의 방류수를 재처리 한 후 용수로 이용

하는 방안을 연구 하였다. 이를 위해 중소형 하수처리수의 물 재이용에 관한 처리기술로 MBR을 주 공정으로 하고 질소와 인의 제거 효과를 높이는 고도처리 방법으로 A/O 공정을 결합한 pilot plant를 설치 운영하였다. 이를 통해 개인 하수처리시설의 방류수를 처리하고 BOD, SS, T-N, T-P, 탁도 및 색도 등의 제거율 평가 후, 중수도의 용도별 수질기준과 비교하여 물 재이용에 적합한지를 검토하였다. 또한 처리장치의 에너지 자립화 방안으로 실험장치에 필요한 에너지 규모에 적절한 소형 풍력과 태양광 발전장치를 하이브리드 방식으로 설치하고 배터리를 통해 지속적으로 동력 공급이 가능한 방식의 전력시스템을 통하여 에너지 자립 정도를 평가하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에서는 개인 하수처리시설의 방류수를 재처리 한 후, 조경용수 등으로의 적용성 검토를 위하여 BOD, SS, T-N, T-P 제거는 물론 탁도와 색도 제거까지 고려하여 MBR과 A/O 공정을 결합하여 시설용량 5 m<sup>3</sup>/d 규모의 pilot plant를 제작하여 연구를 수행하였다.

또한, 자립형 에너지 공급 시스템 구축을 위해 연구장치에 소비되는 에너지를 소형풍력과 태양광 발전장치로 구성하여 공급하였으며, 기존의 전력 계통과 연계하지 않고 독립적이며 안정적인 전력 공급 시스템 구축을 위해 저장용 배터리를 구비하였다. 이를 통해 전력 에너지 공급의 안정성과 신뢰성을 높이고 소비전력 대비 자립형 에너지 설비의 최적화 및 최소화를 위한 방법을 연구하였다. Fig. 1은 실험장치의 개요도를 나타내며, MBR에서는 유입된 개인 하수처리시설 방류수를 분리막을 통하여 오염물질을 제거하고, 폭기를 실시하여 호기성 조건으로 운전되었다. Anoxic조에서는 MBR에서 질산화되어 이송된 혼합액을 탈질반응 시키며, 인제거 미생물

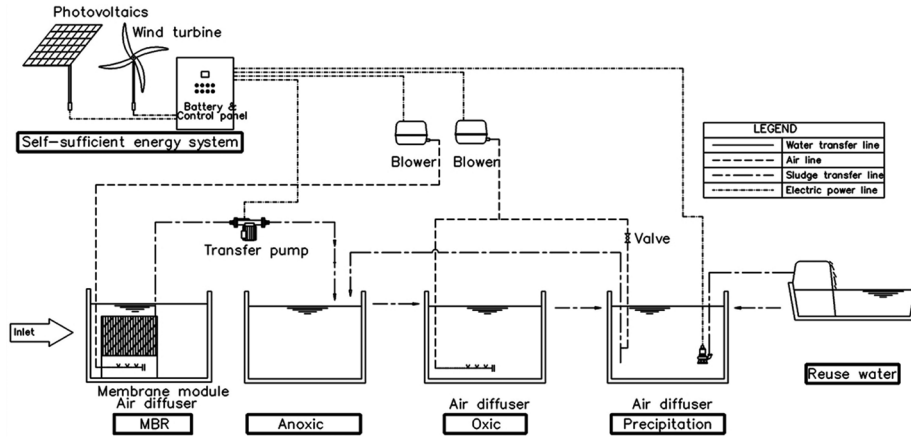


Fig. 1. Schematic of a pilot plant ( $Q=5 \text{ m}^3/\text{d}$ ).

Table 1. Specifications and energy requirements of MBR and A/O

Process	Dimension(mm)	Equipment	Power supply
MBR	$\phi 1,500 \times 2,000$	Blower 22 W $\times$ 1ea. Pump 150 W $\times$ 1ea. Pump 200 W $\times$ 2ea	22 W $\times$ 20 h=440 Wh 150 W $\times$ 2 h=300 Wh 200 W $\times$ 2 h=400 Wh 200 W $\times$ 0.1 h=20 Wh
A/O	$\phi 1,500 \times 3,250$	Blower 45 W $\times$ 1ea. Pump 150 W $\times$ 1ea.	45 W $\times$ 20 h=900 Wh 150 W $\times$ 6 h=900 Wh

의 과잉섭취된 인의 추출을 유도하였으며, oxic 조에서는 질산화 및 인과잉 섭취 반응을 유도하였다.

또한, 처리공정에서 소비되는 전력 에너지의 소요량을 산출하여 아래 Table 1에 나타내었다.

## 2.2 수질 및 전력시스템 분석

중소형 하수처리시설의 방류수 수질 기준은 BOD와 SS의 경우 10 ~ 20 mg/L 범위이며, 하수도법의 적용 여부에 따라 지역별로 T-N, T-P 기준이 상이하다. 또한 개인 하수처리시설의 방류수를 재처리한 후 중수도로 사용하기 위해서는 이용 용도별로 적용되는 수질기준도 상이하다. 본 연구에서는 pilot plant의 개별 공정별로 BOD, SS, T-N, T-P, pH, 탁도, 색도 등 주요 수질항목에 대한 처리효율을 평가하였다. 수질분석은 수질오염 공정시험법(MOE, 2012)과 Standard Methods(APHA et al., 2012)에 근거하여 실시하였다.

또한, 물 재처리 장치의 운전에 필요한 전력량을 산정하고, 필요한 전력을 공급하기 위하여 하이브리드 발전방식으로 태양광과 풍력 발전기를 설치하고 생산전력량을 측정하여 배터리 및 부하에서 실제 사용되는 전력량을 측정 분석하였다. 데이터 수집 및 분석을 위해 EMS(Energy Management System)를 설치하여 활용하였으며 전압, 전류, 전력량의 데이터를 분단위로 수집 측정하고 각각의 특성에 대하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수질 평가

#### BOD

Fig. 2는 유입원수의 BOD 측정값과 침전조에서 처리된 물의 BOD 측정값을 나타내고 있으며 제거율도 표현하였다. 운영초기의 BOD 제거율은 50 % 수준으로 다소 낮게 나타났으나 가동 3개월 후에 측정된 결과에서는 약 85 % 수준

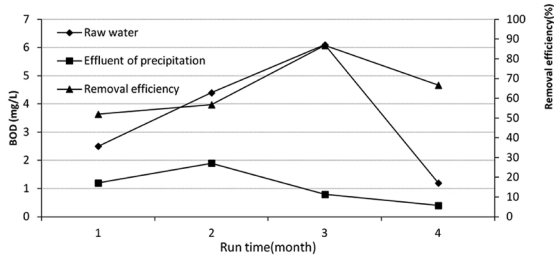


Fig. 2. Variations of BOD and removal efficiency.

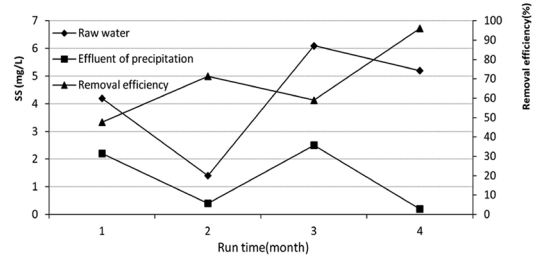


Fig. 3. Variations of SS and removal efficiency.

으로 향상되었다. 시간이 경과할수록 높은 제거율을 나타냈으며 이는 생물학적인 처리공정에서 나타나는 일반적인 사항으로 판단된다. 처리수의 BOD는 실험하는 4개월 동안 모든 시료에서 2 mg/L 미만으로 조사되었다.

일반적으로 처리되지 않은 하수의 BOD는 100 mg/L 이상이고, 생물학적 하수처리 후의 방류수 BOD는 지역별 수질기준에 따라 다르나 대개 10 ~ 20 mg/L 이하이다. 본 연구에서는 이러한 개인 하수처리시설의 방류수를 재처리하여 중수도로서 조경용수나 친수용수 등으로 이용하려는 것이다. 2014년까지 적용되는 수세식 화장실용수, 살수용수, 조경용수, 세차·청소용수의 BOD 기준은 10 mg/L 이하이고, 2015년 이후 적용되는 기준이 대부분 5 mg/L 이하(친수용수의 경우 3 mg/L 이하)인 점을 고려할 때(MOE, 2014), pilot plant에서의 실험 결과는 중수도로 재이용하는데 적절한 것으로 판단된다.

### SS

Fig. 3은 SS의 측정값과 제거율을 나타내고 있으며, BOD의 제거효과와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 중수도 수질기준에서 조경용수나 친수용수에 관한 재이용수의 SS 수질기준은 없으나, pilot plant 처리수에서의 SS는 항상 3 mg/L 이하로 검출되어 조경용수로 재이용하는데 적절한 것으로 판단된다. SS의 초기 제거율은 실험장치 가동 초기에는 50 % 수준이었으나, 실험장치의 운영이 안정화됨에 따라 가동 4개월째에는 95 % 이상의 높은 제거율을 나타내었다.

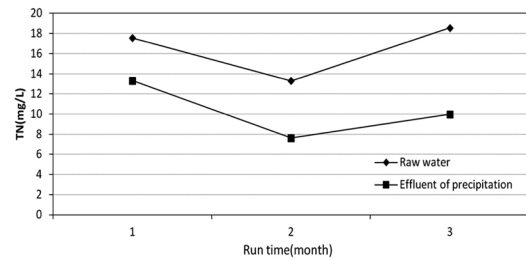


Fig. 4. Variations of T-N.

### T-N, T-P

유입원수와 침전조 유출수의 총질소(T-N) 측정값을 Fig. 4에 나타내었다. 2014년까지 적용되는 중수도 수질기준에는 T-N, T-P 항목이 없으나, 2015년부터 적용되는 중수도 수질기준에 의하면 친수용수, 하천용수, 습지용수에 대하여 T-N은 10 mg/L 이하, T-P는 0.5 mg/L 이하로 유지하도록 규정하고 있다. Pilot plant 운영 초기 침전조 유출수의 T-N 농도는 13 mg/L 이었고, 운영 3개월째도 10 mg/L 수준으로 나타나 2015년부터 적용되는 T-N 수질기준을 고려할 경우 다소 높아 안정적인 시설 운영을 위해서는 장치 및 공정에 대한 개선이 필요하다. 일반적으로 적절한 질산화가 일어나려면 탄소원/질소원의 비인 C/N비가 적정값 이상이 되어야 하는데 pilot plant에서는 탄소원인 BOD가 너무 낮음으로 인해 질산화 반응이 저조하여 질소 제거의 효율이 떨어지는 것으로 추정된다. 또한 수온이나 용존산소 조건, 탈질반응 등에 대한 추가 검토도 필요한 것으로 판단된다.



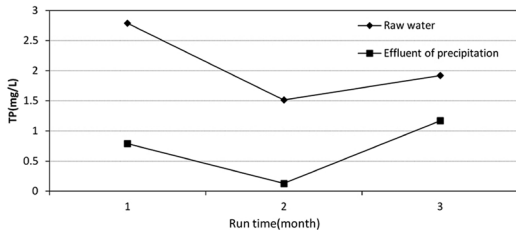


Fig. 5. Variations of T-P.

Fig. 5는 유입원수와 침전조 유출수의 총인 (T-P) 측정값을 나타내고 있다. 현재는 조경용수의 T-P 관련 수질기준은 없으나 2015년부터 적용되는 친수용수, 하천유지용수, 습지용수에 대한 T-P 기준이 0.5 mg/L인 점을 고려한다면 T-P는 보다 높은 수준의 처리가 요구된다. 이는 조류의 주요 성장 제한인자가 인 성분이고, 본 pilot plant의 운영 결과만을 볼 때 T-P의 제거율이 미흡하므로 인 제거효율을 높이기 위한 시설 및 운영 개선이 필요하다. T-P의 제거율을 향상시키기 위해서는 A/O 공정의 최적화와 더불어 응집처리를 포함한 화학적인 방법에 대한 추가 검토도 필요할 것으로 판단된다.

#### 탁도와 색도

Pilot plant에서의 유입원수와 무산소조 및 호기성조에서의 탁도 측정값과 함께 재이용조에서의 탁도 측정값을 Fig. 6에 나타내었다. 탁도는 물속에서 빛의 투과를 방해하는 입자성 물질의 정도를 표현하며, 시료수에 의하여 흡수되는 빛의 양으로 계산되고 수중 부유물질 농도의 증가는 일반적으로 탁도를 증가시키고 투명도를 감소시킨다.

조경용수의 법적인 탁도 기준은 2 NTU 이하로서 pilot plant 운영결과는 재이용에 만족하는 수준으로 나왔다. 하지만 MBR+A/O 공정으로 처리된 물을 저장하는 재이용조에서의 탁도 값은 침전조의 유출수에 비해 현저하게 높았으며, 이는 조류의 번식에 의한 것으로 판단된다. Fig. 4, 5에 제시된 바와 같이 영양염류인 T-N, T-P의 제거가 불충분해서 조류가 대량 번식하고 이로 인해 탁도가 증가하는 현상으로 추정된

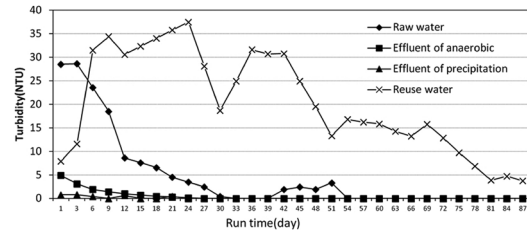


Fig. 6. Variations of turbidity.

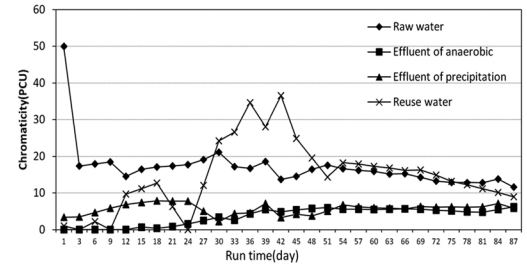


Fig. 7. Variations of color.

다. 조경용수로의 재이용에는 큰 문제가 없으나 친수용수 등으로 활용하기 위해서는 조류의 번식을 억제 할 수 있는 추가적인 개선이 필요할 것으로 판단된다.

한편, Fig. 7은 색도 변화를 나타낸다. 처리 과정을 통해 부유물질이 제거되면서 탁도와 함께 색도 역시 현저하게 감소되었다. 2014년까지 적용되는 중수도 수질기준에는 색도 항목이 포함되어 있지 않으나, 2015년 이후에 적용되는 중수도 수질기준에서는 용도별로 도시재이용수, 하천유지용수는 20도 이하, 친수용수는 10도 이하이며, 조경용수, 습지용수, 공업용수의 경우에는 따로 규정하고 있지 않다. 친수용수의 법적 수질기준이 10도 이하인 점을 고려해도 pilot plant 운영결과는 적절한 수치를 만족함을 알 수 있다. 다만 재이용조에서의 색도는 조류의 번식으로 인해 높게 나타나는 것을 육안으로도 쉽게 확인할 수 있었다. 따라서, 조류의 번식을 억제할 수 있는 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

### 수소이온농도(pH)

재이용수로 사용하기 위한 pH 기준은 모든 용도별 구분에 있어서 5.8 ~ 8.5이다. Fig. 8에 표시된 바와 같이, 재이용조로 유출되기 전 단계인 oxic tank에서의 pH는 대략 7.5 ~ 8.5로 나타나고 있으며, pH 역시 큰 변화가 없다가 재이용조에서 크게 상승되는 것을 알 수 있다. 원인은 재이용조에서 조류의 번식으로 인한 pH의 상승으로 판단된다. 일반적으로 수생식물의 광합성은 수중의 용존 탄산을 이용하여 유기물을 합성하고 산소를 방출하며, 이 과정에서 pH가 상승한다.

조류의 과도한 번식은 질소와 인 등의 부영양

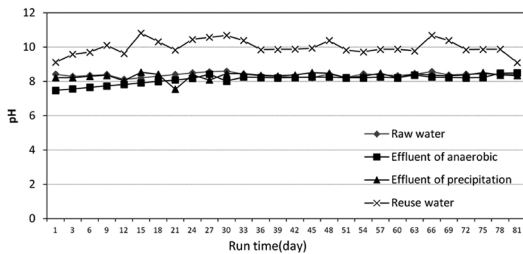


Fig. 8. Variations of pH.

화 물질에 의한 것으로 판단되며, A/O 공정을 통해 질소와 인을 일부 제거하였으나 제거효율이 높지 않고 재활용조의 물 순환이 더디고 햇빛이 차단이 되지 않은 것이 주요 원인으로 판단된다.

### 3.2 에너지 자립형 시스템 효율 평가

#### 풍력 발전

Pilot plant에 설치된 소형 풍력 발전의 경우 태양광 발전이 주간에만 전력을 생산하는 단점을 보완하는 기능을 할 수 있으나 바람 에너지 특성상 변동폭이 크게 나타남을 확인할 수 있었다. Fig. 9는 소형 풍력 발전의 1일과 1주일간의 전압[V], 전류[A], 전력[W]을 나타낸다. 1일간의 경향을 평가하면, 오전 1시부터 전력이 생산되며 오후 12시 이후에는 전력생산이 약해지는 것을 확인할 수 있다. 1일 동안의 그래프는 EMS 출력 데이터를 시간별로 평균치를 산출하여 24시간 동안 막대그래프로 표현하였다. 한편, 1주일 동안의 출력을 분석한 결과 바람에너지의 상태에 따라 출력의 변동이 크게 나타남을 알 수 있다.

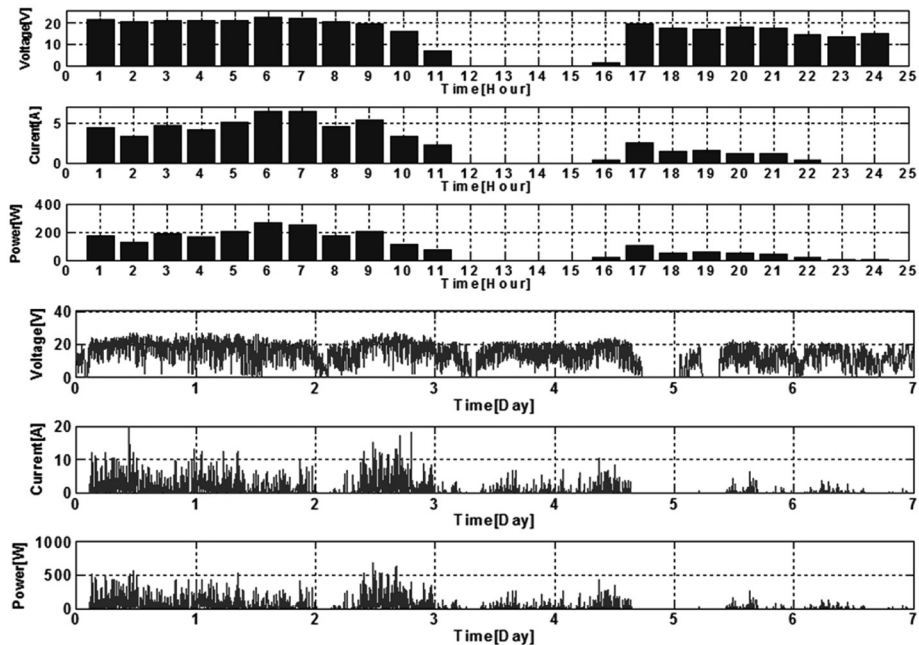


Fig. 9. Wind turbine output data of one day(top) and one week(bottom).

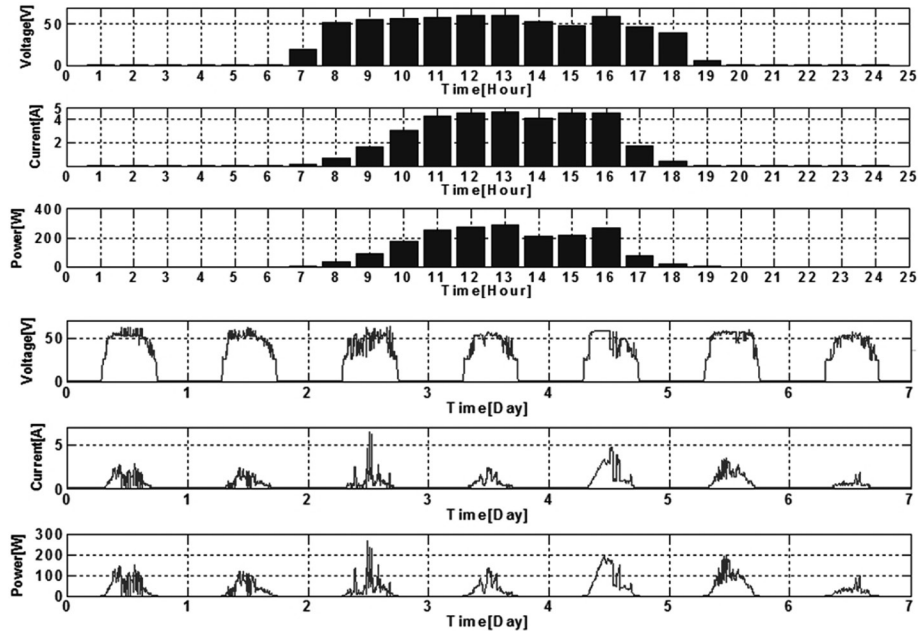


Fig. 10. Photovoltaics output data of one day(top) and one week(bottom).

풍력발전은 바람 에너지를 운동 에너지로 변환시켜서 발전하는 것으로 일반적으로 발전기의 효율을 고려하면 바람 에너지의 40% 정도가 풍력 에너지로 이용되며 바람의 세기가 불연속적으로 나타나기 때문에 연속적인 사용이 어렵다는 단점이 있다. 하지만 지속적으로 기술이 발전되어 설치비용이 점차 감소되어 태양광 발전의 1/5정도로 경제성을 갖추기 시작했다. 본 pilot plant에서는 소형 풍력 발전을 통하여 연구를 진행하였으나, 최근의 풍력 발전기는 10 W 정도의 Micro급에서 2 MW 에 이르는 대형 발전기까지 다양한 종류가 개발되어 있으며 점차 대형화되고 경제성이 향상되는 추세이다(Jung, 2011).

#### 태양광 발전

태양광 발전은 주간에 발전할 수 있는 발전원으로 안정적인 전력생산은 가능하나 야간 전력생산이 불가능한 단점이 있으므로 독립형 발전의 경우 일반적으로 풍력 등과 하이브리드로 구성하여 사용하게 된다. 1일 및 1주일간의 태양광 발전 특성을 Fig. 10에 나타내었다. 1일간의 경향을 분석하면 오전 8시부터 전력 생산이 시작되

어 낮에 태양의 세기에 따라 생산 전력량이 변화하는 것을 볼 수 있으며 18시 이후에는 점차 약해져서 전력 생산이 중단됨을 알 수 있다. Fig. 10에서 출력의 변화가 생기는 부분은 흐린 날 발생하는 구름과 비의 영향으로 볼 수 있다.

1주일 동안의 태양광 발전 특성을 분석한 결과 일정한 패턴으로 전력이 생산되고 있으며 주간에는 비교적 발전의 신뢰성이 있는 것으로 판단된다. 태양광 발전의 장점은 공해가 없고, 계통 연계가 쉬우면서 독립형으로 설치 및 운영이 가능하며, 유지보수가 용이하다는 것이다. 반면에 전력 생산량이 일조량에 의존하고, 설치 장소가 제한적이며, 아직은 효율이 높지 않기 때문에 초기 투자비와 발전단가가 높은 단점이 있다. 태양광 발전산업은 1990년대 중반을 전환으로 급속도로 증가하고 있으며 국제에너지기구(IEA)의 자료에 따르면 2008년 기준으로 전세계적으로 14,000 MW의 태양광발전 용량이 설치되어 있는 것으로 나타났다(Song, 2011).

태양광은 주간과 야간의 차이가 뚜렷하게 나타났다며 주간에는 비교적 안정적인 발전의 신

회도를 나타내고 있으며 풍력발전과 함께 하이브리드 방식을 채택하고 소요전력량 대비 배터리의 용량만 적절하게 선정한다면 독립적인 에너지 자립을 통해 안정적인 물 재이용 장치를 운전할 수 있을 것으로 판단된다.

**배터리 충전 및 부하 사용**

신재생 에너지를 사용한 발전의 경우 기후 변화에 따른 출력 특성 변화가 크기 때문에 배터리의 용량선정에 따라 안정적인 전력관리가 결정될 수 있으며 배터리의 용량선정 및 성능이 시스템의 안정과 신뢰도에 중요한 요소가 된다. 저장된 전력은 인버터를 통해 AC방식으로 부하에 공급될 수 있다. 배터리의 1일과 1주일간의 전력상태를 EMS 데이터의 시간당 평균값을 바탕으로 Fig. 11에 나타내었다. 그래프에서 보이는 것처럼 실험을 위해 펌프를 가동하는 낮 시간에 주로 높은 전력 사용량을 보이고 펌프의 가동이 없는 시간에는 브로워 가동으로 인한 전력만을 소비하고 있음을 알 수 있다.

1주일에 대한 배터리 충전과 부하 사용 특성을 분석한 결과 일정한 패턴으로 충전과 부하사

용이 이루어짐을 확인할 수 있다. 여기서 태양광 발전에서 공급되는 전력에 비해 소형풍력이 공급하는 전력에 의해 특성 패턴의 변동률이 크게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 태양광에 비해 소형 풍력의 전력생산 패턴이 변동률이 큼을 의미한다.

한편, pilot plant에서 사용되는 소요 전력량을 하루 2,950 Wh 로 산정하였으며 이는 시간당 평균 123 W의 소요전력으로 환산된다. 자립형의 발전 장치로는 태양광 발전장치로 800 W 소형 풍력 발전 장치로 1 KW의 설비를 설치하였으며, 이론적으로 풍력과 태양광 발전량은 태양광이  $800 \text{ W(설비용량)} \times 0.2(\text{효율}) \times 10 \text{ 시간} = 1,600 \text{ Wh/day}$ , 풍력이  $1,000 \text{ W(설비용량)} \times 0.15(\text{효율}) \times 24 \text{ 시간} = 3600 \text{ Wh/day}$ 이므로, 이를 합하면 5200 Wh/day로 산출되었다. 이는 당초 pilot plant 운전에 필요한 전력으로 산정된 소요전력을 공급하고 남는 전력량이다.

배터리 용량은 24 V, 1,000 Ah로 설계하여 설치하였다. 이는 효율을 대략 0.5로 반영한다면 약 98시간을 사용할 수 있는 용량으로 4일간

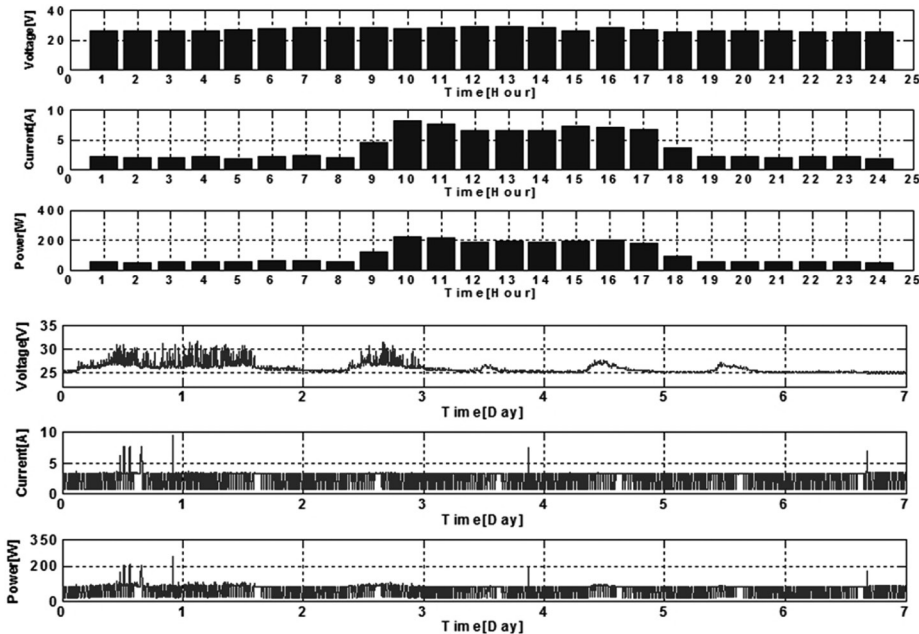


Fig. 11. Battery charge and load data of one day(top) and one week(bottom).



흐리고 바람이 불지 않아도 배터리를 통하여 시스템을 가동할 수 있는 계산치이다. 하지만 연구초기에 계획했던 소요 전력량보다 실제로 펌프의 가동시간이 적어 실제 부하량 대비 배터리의 용량이 과다하게 설계된 것으로 나타났다. 실험기간 동안 기존의 계통전력을 사용하지 않고 전량 하이브리드 자립형 에너지 전력공급 장치로 연구를 진행할 수 있었으며 에너지 자립률은 100 %를 기록했다.

배터리의 상태가 만충전일 경우는 태양광과 풍력발전의 제어장치를 통하여 과충전 방지로 전력 충전은 자동으로 멈추도록 제어되었으며 남은 전력은 전등 부하 등을 통해 소비하였다. 따라서 기존 계통전력이 공급되지 않는 도서, 산간 지역에서 에너지 자립형의 방식이 적용 가능할 것으로 판단된다. 본 연구가 수행된 제주도의 기후를 예로 든다면 5월부터 10월까지 양질의 태양 에너지를 얻을 수 있으나 11월부터 다음해 4월까지의 햇빛이 약하고 흐린 날이 많아 충분한 태양 에너지를 기대하기 힘들다. 소형 풍력의 경우 이와 반대로 11월부터 다음해 3, 4월까지 양질의 에너지를 얻을 수 있었다. 따라서 소형 에너지 자립형의 장치를 설계한다면 단일 에너지 보다는 태양광과 풍력의 두가지 에너지를 하이브리드 방식으로 연결하여 공급하는 것이 에너지 자립에 유리한 것으로 판단된다. 또한 부하관리 방식으로 부하제어를 통하여 에너지를 필요로 하는 장치의 에너지 사용 최적화와 함께 중요도를 고려한 부하제어를 한다면 에너지 자립형의 물 재이용 시설의 최적 운영이 가능하리라 판단되며, 추후 이에 대한 경제성 검토도 요구된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 물 재이용을 위해 에너지 자립형 하수 재처리 공정을 설치하고 중소규모의 공공하수처리시설 혹은 개인하수처리시설의 방류수를 재처리하여 조경용수와 친수용수 등으로

재이용하는 방법을 연구하였다. MBR과 A/O 공정을 결합한 형태의 하수처리 pilot plant를 설치하고 풍력과 태양광을 이용한 에너지 자립형 시스템을 적용하여 하수처리 효율과 에너지 자립도를 평가하였다.

MBR과 A/O를 결합한 공정 실험에서 BOD, SS, 탁도 및 색도는 조경용수의 처리기준에 적정한 재이용수를 얻을 수 있었다. 그러나 질소와 인의 제거는 미흡한 것으로 측정되었으며, 그 결과 재이용조에서 조류 번식으로 인해 탁도, 색도 및 pH가 현저하게 높은 것으로 조사되었다. 따라서 조경용수로의 활용에는 큰 문제가 없으나, 하천 유지용수 등으로 사용하기 위해서는 추가적인 영양물질의 제거가 필요한 것으로 판단된다.

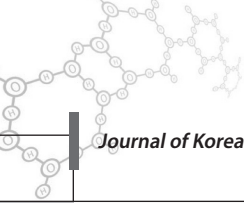
자립형 에너지의 적용에 있어서는 pilot plant에서 사용된 부하가 설계값보다 적어 충분한 자립도를 나타내었다. 본 연구에서는 지역적 기후 특성을 고려하여 풍력+태양광의 하이브리드 발전장치를 설치할 경우 에너지 자립도를 상당 부분 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었으며, 최적화된 설비투자를 할 경우 실규모의 하수처리장에서도 에너지 자립도를 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 사 사

이 논문은 2014학년도 제주대학교 학술진흥 연구비 지원사업에 의하여 연구되었습니다.

#### 참고문헌

- APHA, AWWA, WEF (2012) Standard Methods for the Examination Water and Wastewater, 22nd Ed.
- Halla Industry Development and Jeju National University (2012) Final report on eco-friendly water reuse treatment system development.
- Kim, S. (2012) Wastewater Treatment Using Submerged Flat Membrane Coupled Sequenc-



- ing Batch Reactor, Jeju National University, Ph.D. Dissertation.
- Lee, T. Kim, Y. Ham, S. Hong, S. Park, B. Shin, Y. and Jung, I. (2012) Development of PTFE Membrane Bio-reactor(MBR) for Integrating Wastewater Reclamation and Rainwater Harvesting, *J. of Korean Society on Water Environment*, 28(2) 269-276.
- Lim, S. (2012) A Study on Wastewater Treatment Process Utilizing Self-sufficient Energy for Water Reuse, Master thesis, Jeju National University.
- MOE(Ministry of Environment) (2012) Drinking Water Quality Testing Process.
- MOE (2014) [www.me.go.kr](http://www.me.go.kr).
- Song, S. (2011) Solar, wind generation and combined technology, Sungandang.
- Sung, D. (2011) Practical design technology for wind generation system, Moonwoondang.
- Tchobanoglous, G. Bulrton, F.L. and Stensel, H.D. (2004) *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, McGraw Hill Inc., New York, N.Y.