



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

물 재이용을 위한 에너지 자립형
하수처리공정에 관한 연구

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

環境工學專攻

林世澤

2012年 6月

碩士學位論文

물 재이용을 위한 에너지 자립형
하수처리공정에 관한 연구

指導教授 金 鎮 瑾

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

環境工學專攻

林 世 澤

2012年 6月

물 재이용을 위한 에너지 자립형 하수처리공정에
관한 연구

指導教授 金 鎮 瑾

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2012 年 6 月 日

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科 環境工學 專攻

林 世 澤

林世澤의 工學碩士學位 論文을 認准함.

2012 年 6 月 日

委員長 감 상 규 印

委 員 이 호 원 印

委 員 김 진 근 印

A Study on Wastewater Treatment Process Utilizing Self-sufficient Energy for Water Reuse

Lim, Se-Taek

*Department of Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Jeju National University*

Supervised by Professor Kim, Jinkeun

Summary

South Korea, categorized as a water-stressed country by OECD, predicts that it will be hard to secure water resources for the future. It is important to predict water demand, save water and choose water reuse as alternative water resources. Water reuse has been regarded recently as an important water industry both domestically and internationally in terms of securing alternative water resources and reducing water pollution.

This study aims to raise awareness of not only water reuse in sewage treatment plants but also water reuse in small and medium-scale private sewage plants. In this research, a proper method for water reuse, an equipment that meets water quality standards defined by law were investigated through experimentation.

Two experimental systems which composed of A²/O process and MBR,

and MBR and A/O, were chosen for this study to find a proper way to meet a targeted water quality standards for water reuse. In addition, self-sufficient energy system was adopted for the experimental water reuse system. To do this, the study focuses on generating power by a wind-solar hybrid generation system, selecting a battery with proper capacity, and conducting research on an energy management system that can control the energy supply according to the stable and reliable supply system and the importance of loads.

It was revealed that reclaimed water that produced by the experimental equipments can meets the targeted water quality standards for water reuse. It recommends, however, that an in-depth study should be conducted in order to find a way to remove some nutrients that cause eutrophication.

This study also presents a way to operate energy supply systems independently at environmental facilities located in areas where the existing electric power system is not supplied. In an area where the existing electric power system is supplied, the self-sufficient energy supply system can be connected to the existing electric power system, which is economically-efficient.

In conclusion, this study shows there is a possibility of water reuse utilizing an self-sufficient energy supply system. It is expected that water reuse will contribute to securing alternative water resources for the future and reducing water pollution as well as building a low-carbon sustainable environment.

목 차

목차	i
List of Tables	ii
List of Figures	iv
I. 서론	1
II. 이론적 고찰	4
1. 물 재이용 현황 및 계획	4
2. 하폐수 중 오염물질의 제거 및 처리기술	29
3. 에너지 자립화	36
III. 실험장치 및 방법	43
1. 실험장치	43
2. 실험방법	48
IV. 연구결과 및 고찰	51
1. 에너지 자립형 시스템 적용 결과	51
2. 하수처리수의 처리 결과	60
V. 결론	75
참 고 문 헌	78

List of Tables

Table 1. Annual national water reuse plan	5
Table 2. National rain water facilities status	6
Table 3. National gray water facilities status	7
Table 4. National gray water facilities status by usage	8
Table 5. National legal gray water facilities status	9
Table 6. Regional gray water facilities status	10
Table 7. Gray water facilities status by year	11
Table 8. National waste water reusing facilities status	12
Table 9. Sewage water reusing facilities status by year	13
Table 10. Waste water reusing treatment process status	14
Table 11. Waste water reusing facilities status by cost	15
Table 12. International water reuse status by usage	17
Table 13. Water reuse status in U.S.	17
Table 14. Water reuse status in Japan	18
Table 15. Water reuse status in Australia	20
Table 16. Water reuse status in Europe	21
Table 17. European countries' water reuse ratio	21
Table 18. Waste water reuse status in Middle East	22
Table 19. Progress of water reuse technology	24
Table 20. Water reuse treatment processes by usage	25
Table 21. Gray water quality standards with usage by year 2014	26
Table 22. Gray water quality standards with usage after year 2015	27
Table 23. Reuse water quality target by considering the regulations	28
Table 24. Carbon neutralization program for environmental facilities	37

Table 25. Carbon neutralization program by budget	38
Table 26. Energy self-sufficiency plan for waste water treatment plant	39
Table 27. Classification of energy consumption in waste water treatment plant	40
Table 28. Renewable energy status in waste water treatment plant	41
Table 29. Renewable energy supply plan by country	42
Table 30. Specifications of MBR and A/O	45
Table 31. Capacity and energy requirements of MBR and A/O	45
Table 32. Specifications of A ² /O and MBR	47
Table 33. Capacity and energy requirements of A ² /O and MBR	47
Table 34. Water quality analysis of MBR and A/O process	49
Table 35. Water quality analysis of A ² /O and MBR process	50

List of Figures

Figure 1. Schematic of MBR and A/O.	44
Figure 2. Schematic of A ² /O and MBR.	46
Figure 3. Wind turbine output data of one day.	52
Figure 4. Wind turbine output data of one week.	52
Figure 5. Wind turbine output data of seventy days.	53
Figure 6. Photovoltaics output data of one day.	54
Figure 7. Photovoltaics output data of one week.	55
Figure 8. Photovoltaics output data of seventy days.	56
Figure 9. Battery charging and load data of one day.	57
Figure 10. Battery charging and load data of one week.	58
Figure 11. Battery charging and load data of seventy days.	58
Figure 12. Variations of DO on processing steps.	61
Figure 13. Variations of pH on processing steps.	62
Figure 14. Variations of BOD and removal efficiency.	63
Figure 15. Variations of SS and removal efficiency.	63
Figure 16. Variations of T-N on processing steps.	64
Figure 17. Variations of T-P on processing steps.	65
Figure 18. Variations of turbidity on processing steps.	66
Figure 19. Variations of chromaticity on processing steps.	67

Figure 20. Coliform removal during period time.	67
Figure 21. Variations of DO on processing steps.	68
Figure 22. Variations of pH on processing steps.	69
Figure 23. Variations of BOD on processing steps.	70
Figure 24. Variations of SS on processing steps.	70
Figure 25. Variations of T-N on processing steps.	71
Figure 26. Variations of T-P on processing steps.	72
Figure 27. Variations of turbidity on processing steps.	72
Figure 28. Variations of chromaticity on processing steps.	73
Figure 29. Coliform removal during period time.	74

I. 서 론

도시발전과 급속한 산업화로 인하여 생활용수와 공업용수등 물의 수요가 증가되고 있는 반면 수질환경의 오염과 함께 수자원의 고갈로 인하여 용수원의 추가확보는 점차 어려워지고 있는 실정이다. 새로운 용수원으로 개발 가능한 방안으로 지하수 개발, 해수의 담수화, 빗물이용, 중수도를 포함하는 하수처리수의 재이용 방안 등을 들 수 있는데 현 단계에서 빗물이용과 하수처리수의 재이용 방안이 가장 타당성이 있는 것으로 판단된다. 하수처리수는 현재 까지 이용이 보편화되지 않은 중요한 잠재 수자원으로서 종래에는 직접 재이용량이 매우 적었으나, 중수도 원수로서 도시하천의 희석용수, 위락용수, 공업용수, 일반 잡용수 및 공원조경용수 등의 용도로 공급하는 방안에 대한 검토 및 시행 요구가 고조되고 있는 실정이다.

물 재이용은 종래에는 수도법이나 하수도법의 적용을 받고 지방자치정부를 중심으로 조례를 통해서 중수도 등 권고 수준에서 물 재이용에 관한 사업을 시행해 오다가 최근 ‘물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률’을 제정하여 2011년 6월부터 시행하게 되었다. 이를 토대로 환경부에서는 기후변화로 인한 물수급 불균형 문제를 해소하고 지속 가능한 수자원 확보 방안으로서 빗물이용, 중수도, 하폐수 처리수 재이용등 물 재이용 관련 10년 단위의 최상위 정책을 추진하는 물 재이용 기본 계획을 수립하여 2011년부터 2020년까지 시행하여 물 재이용보급 확대를 통한 지역별 건전한 물순환을 구축하며 물 재이용에 관한 산업육성과 기술개발을 통한 새로운 투자사업모델을 제공하여 적극적인 물 재이용 수요처를 발굴하고자 물 재이용 정책을 시행하고 있다. 따라서 향후 물 재이용 분야의 산업이 급성장 할 것으로 예상된다.

하지만, 이에 비하여 물 재이용에 관한 정부차원의 연구개발과 민간 연구개

발은 아직 선진국등 물 재이용 분야 외국에 비하여 미미한 수준이며 지자체에서 운영 중인 홍수대비와 지하수 함양 목적의 빗물저류조 시설을 건설하는 것과, 중대형 하수처리장의 방류수를 재이용하는 단계로서 주로 BTL(build-transfer-lease), BTO(build - transfer - operate)방식 등으로 추진하고 있는 실정이다.

하수처리수의 재이용에 관한 기술로서 기존의 생물학적인 처리방법과 분리막(membrane)의 장점을 결합한 MBR(Membrane Bioreactor, 막생물반응기)은 분리막에 의한 거의 완벽한 고·액 분리가 가능하며, 반응조내에 높은 MLSS 농도를 유지할수 있으며, 높은 미생물 농도와 슬러지 체류시간(SRT)의 증가는 질산화의 효율을 증가시켜 질소제거의 효율을 높일 수 있어 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 안정적인 운전이 가능하며, 슬러지 팽화, pin-point floc 현상 등을 우려할 필요가 없으며 설치면적도 다른 공법에 비해 적은 면적에 콤팩트한 제작 설치가 가능하다는 점 등 다양한 장점을 갖고 있다. 그러나 슬러지의 활동성과 고도처리와 연계시의 인 제거에 커다란 문제점을 일으킬 수 있다. 따라서 MBR 처리방식의 장점을 활용하면서 질수, 인 제거에 크게 활용되고 있는 A/O 또는 A²/O 공정을 혼용하게 되면 하수처리수의 친수용수로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

최근 국가적으로 저탄소의 정책과 함께 환경기초시설에서 발생하는 온실가스를 감축하고 청정 신재생에너지 생산을 확대하여 2020년까지 탄소중립율을 50%까지 끌어 올리기 위해 “환경기초시설 탄소중립 프로그램”사업을 추진하고 있으며, “에너지 자립화 기본계획”을 수행중에 있다. 따라서 처리장치에서 소비되는 전력에너지를 기존의 계통 전력을 이용하는 대신 최근 친환경에너지로 많은 관심을 갖고 있는 풍력, 태양에너지 등을 자체적으로 생산하는 자립형 에너지를 적용하는 방식은 국가에서 추진하는 “에너지 자립화 기본계획”에 부합된다고 판단된다.

본 연구에서는 중소형 하수처리수의 물 재이용에 관한 처리기술로 MBR을

주 공정으로 하고 부영양화의 물질인 질소와 인의 제거 효과를 높이는 고도 처리공정의 방법으로 A/O공정과 A²/O 공정을 혼용하는 방식의 처리장치로 소형 하수처리의 방류수인 유입원수를 처리하여 BOD, SS 제거와 T-N, T-P 및 탁도 색도 등의 측정결과치를 통해 물 재이용에 적정한지를 판단하고자 하였다. 또한 처리장치의 에너지 자립화 방안으로 소요 에너지 규모에 적절한 소형 풍력과 태양광발전장치를 하이브리드 방식으로 설치하고 배터리를 통해 지속적으로 공급 가능한 방식의 전력시스템을 통하여 공급하며 연구를 수행 하였다.

II. 이론적 고찰

1. 물 재이용 현황 및 계획

전 세계적으로 선진국과 물 부족국가를 위주로 대체 수자원 확보를 위해 물 재이용산업이 발전되고 있으며 상수도를 포함한 먹는 물 시장과 하수처리를 포함한 하수도에 이어 물 재이용시장을 제 3의 물 시장이라고 할 정도로 재이용 산업과 시장이 확대되고 있는 추세이다.

또한 국내의 환경부에서는 ‘물 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률’을 토대로 물 재이용 기본계획을 수립하고 2011년부터 2020년까지 지속 가능한 물 재이용 활성화로 친환경 대체용수로 연간 25.4억톤을 확보하기 위하여 빗물이용시설의 보급 확대를 통해 49백만톤, 중수도시설의 활성화를 통해 연간 489백만톤 및 하폐수처리수 재이용사업 확대 추진을 통해 연간 1,977백만톤으로 증가되어 있는 상태이고 지속적으로 물 재이용 산업을 육성하기 위하여 7조 251억원(국비 2조 2,402억원, 지방비 2조 4,445억원, 민간투자에서 2조 3,404억원 확보) 규모의 국내 시장 및 해외진출 기반을 확립하고 있다. Table 1에서 목표연도별 용도별 물 재이용 계획을 나타내었다(환경부, 2011a).

Table 1. Annual national water reuse plan

(unit: $\times 10^6$ m³/year)

단계구분		현재	1단계	2단계	3단계
목표년도		2008	2011~2012	2013~2016	2017~2020
빗 물		0.7	5.2	17.6	48.6
중 수 도		198	256	364	489
공 공 하 수 도	공업용수	15	105	353	507
	농업용수	27	50	85	106
	유지용수	214	279	527	778
	기타도시용수	21	70	125	185
	소 계	277	503	1,090	1,576
	장내용수	401	401	401	401
폐 수		-	-	8	20
총 계		877	1,165	1,881	2,535

1) 국내 물 재이용 현황 및 계획

(1) 빗물 이용

2010년 분석결과 전국적으로 운영중인 빗물이용시설은 총334개소, 저류조 총용량은 3,850,922 m³이다. 제주도의 경우 집중폭우로 인한 주변지역 침수피해 예방과 유실되는 빗물의 지하수 함양을 목적으로 저류조를 건설하고 있으며, 이로 인하여 빗물이용시설 용량이 전국의 97.5%를 차지하게 되었다(환경부, 2011b). Table 2에서 하수도 통계를 토대로 재구성하여 전국의 빗물이용시설 현황을 나타내었다.

Table 2. National rain water facilities status

지 역	개소수(개)	집수면적 (m ²)	저류조용량 (m ³)	연간사용량 (m ³ /년)
전 국	334	1,108,817	3,850,922	4,203,178
서 울	214	-	59,216	72,425
부 산	1	106,029	6,000	75,000
대 구	6	23,179	325	114
인 천	2	24,726	1,123	27,200
광 주	2	7,950	500	-
대전광역시	3	16,489	595	-
울산광역시	2	19,023	1,370	2,920
경 기 도	28	738,473	20,238	33,070
강 원 도	2	30,227	190	19,072
충 청 북 도	2	76,014	180	1,773
충 청 남 도	0	-	-	-
전 라 북 도	10	18,391	1,525	6,639
전 라 남 도	0	-	-	-
경 상 북 도	0	-	-	-
경 상 남 도	34	28,546	4,161	93,970
제 주 도	28	19,770	3,755,500	3,870,995

(2) 중수도 재이용

2010년도 하수도 통계에 따르면 건물시설 등에서 발생하는 오수를 재처리 시설을 통하여 재이용하는 중수도를 설치한 시설물은 전국 299개소이며, 중수 처리시설 용량은 242만9,331 m³/일, 중수사용량은 79만3,067 m³/일로 조사되었다. 중수도 시설물 중 운영되는 시설은 255개소, 미운영 시설은 44개소이며, 2010년 전국평균 가동률은 32.6%로 조사되었다(환경부, 2011b). Table 3에서는 전국의 중수도 시설현황을 환경부의 하수도 통계를 재구성해서 나타내었다.

Table 3. National gray water facilities status

지 역	시설물(개소)			처리용량 (m ³ /일)	중수도사용량 (m ³ /일)	가동률 (m ³ /일)
	계	운영	미운영			
전 국	299	255	44	2,429,331	793,067	32.6
서울특별시	52	39	13	18,031	7,771	43.1
부산광역시	22	20	2	7,117	4,867	68.4
대구광역시	7	7	0	5,780	5,705	98.7
인천광역시	9	9	0	2,460	1,772	72.0
광주광역시	7	7	0	2,040	1,280	62.7
대전광역시	7	6	1	3,286	2,402	73.1
울산광역시	1	1	0	800	276	34.5
경 기 도	68	44	24	100,297	64,557	64.4
강 원 도	9	8	1	21,310	3,485	16.4
충 청 북 도	2	2	0	684	665	97.2
충 청 남 도	16	16	0	216,490	120,100	55.5
전 라 북 도	8	8	0	100,650	62,759	62.4
전 라 남 도	15	15	0	206,046	66,508	32.3
경 상 북 도	45	45	0	126,140	89,422	70.9
경 상 남 도	6	6	0	5,595	1,605	28.7
제 주 도	5	2	3	655	284	43.4
한국수자원공사	20	20	0	1,611,950	359,609	22.3

Table 4에서 전국의 용도별 중수시설 현황을 나타내었으며 전국 중수도 시설의 시설용도별 설치현황을 살펴보면 공장이 116개소, 대규모점포 34개소, 공동주택 29개소 순으로 설치되었으며 대부분 화장실용수 및 공업용수로 사용되고 있다(환경부, 2011b).

Table 4. National gray water facilities status by usage

구분	시설물(개소)						
	계	수세식 화장실용수	조경용수	세차 청소용수	공업용수	발전용수	기타
계	299	163	18	3	101	6	8
공장	116	13	0	1	101	0	1
공공업무시설	21	15	4	1	0	0	1
공동주택	29	26	2	0	0	0	1
교육연구시설	6	4	2	0	0	0	0
대규모점포	34	33	1	0	0	0	0
문화 및 집회시설	16	15	1	0	0	0	0
발전시설	7	1	0	0	0	6	0
방송통신시설	1	1	0	0	0	0	0
분뇨 및 쓰레기처리	3	0	0	0	0	0	3
숙박시설	25	18	5	0	0	0	2
업무시설	27	25	2	0	0	0	0
운수시설	5	3	1	1	0	0	0
의료시설	8	8	0	0	0	0	0
기타	1	1	0	0	0	0	0

중수도의 용도로는 주로 수세식 화장실의 용수로 많이 사용되었으며 다음으로 공업용수, 조경용수의 순으로 나타났다(환경부, 2011b).

Table 5에서는 법적 대상 시설과 그렇지 않은 시설 면적 및 처리용량 중수도이용량의 통계를 나타내었으며 총299개소 중 법정의무 대상시설은 185개소로 조사되었으며, 2008년 185개소에서 2010년 130개소로 축소되었다(환경부, 2011b).

Table 5. National legal gray water facilities status

대상시설		시설현황		
		건축연면적(m ²)	처리용량(m ³ /일)	중수도이용량(m ³ /일)
전 체		46,828,553	2,429,331	793,067
법적 설치 대상	공장	9,068,853	348,495	239,611
	숙박시설 및 대규모점포	2,101,489	8,832	7,064
	기타시설	4,734,099	11,026	3,730
법적설치 미대상		30,924,111	2,060,978	542,661

Table 6에서 지역별 중수도 시설 이용현황을 나타내었다. 서울과 경기도에서 가장 높은 이용률을 나타내었다(환경부, 2011b).

Table 6. Regional gray water facilities status

구분	개소수 (개소)	시설현황		
		건축연면적(m ²)	처리용량(m ³ /일)	중수도이용량(m ³ /일)
전국	299	46,828,553	2,429,331	793,067
서울특별시	52	7,651,916	18,031	7,771
부산광역시	22	2,282,933	7,117	4,867
대구광역시	7	249,984	5,780	5,705
인천광역시	9	462,327	2,460	1,772
광주광역시	7	342,356	2,040	1,280
대전광역시	7	918,367	3,286	2,402
울산광역시	1	168,423	800	276
경기도	68	8,761,125	100,297	64,557
강원도	9	1,122,564	21,310	3,485
충청북도	2	136,301	684	665
충청남도	16	1,578,372	216,490	120,100
전라북도	8	1,260,182	100,650	62,759
전라남도	15	6,901,616	206,046	66,508
경상북도	45	6,586,910	126,140	89,422
경상남도	6	914,422	5,595	1,605
제주도	5	179,643	655	284
한국수자원공사	20	7,311,111	1,611,950	359,609

Table 7에서는 연도별 중수도 시설현황을 나타내었으며 2002년~2010년의 상하수도통계 자료를 활용하여 연도별 변화 추이를 분석하였으며, 분석결과 2002년 중수도 시설은 총 127개소에서 2010년 299개소로 꾸준히 증가되고 있는 것으로 조사되었다(환경부, 2011b).

Table 7. Gray water facilities status by year

구분	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2010년
개소수 (개)	127	140	156	156	204	237	259	299
건축 연면적 (m ²)	20,985,787	26,759,917	27,053,369	32,765,860	33,753,592	36,522,236	42,285,948	46,828,553
처리 시설 용량 (m ³ /일)	1,583,269	1,667,467	1,647,753	1,754,819	1,883,086	1,909,486	2,048,045	2,429,331
중수도 이용량 (m ³ /일)	221,001	255,597	251,080	312,936	460,872	429,166	543,938	793,067

(3) 하수도 재이용

가. 전체 시설현황

2010년 기준으로 하수처리시설 현황을 살펴보면 하수처리시설 용량은 25,095천 m³/일 이고, 이중 하수처리시설의 시설가동으로 처리된 량은 18,756천 m³/일 이며, 이중 하수처리수 재이용시설을 설치하여 장내용수로 이용하는 재이용량은 396,841 m³/일, 장외용수로 활용되는 재이용량은 346,841 m³/일로 조사되어 장내용수 재이용의 비율이 더 높은 것으로 분석되었다. 장외 재이용수는 하천유지용수로 가장 높은 이용현황을 보이고 있다. 지역별로는 대구광역시와 충남 등이 높은 이용률을 보이며 서울, 대전, 제주도등지에서 낮은 이용률을 보인다. Table 8에서 전국의 하수처리수 재이용 시설현황을 나타내었다(환경부, 2011b).

Table 8. National waste water reusing facilities status

구분	시설 용량 (천톤/일)	년평균 유입 하수량 (천톤/년)	하수 처리량 (천톤/일)	하수처리수 재이용현황(천톤/년)								처리수 재이용률 (%)
				합계	장내 용수	장외용수						
						계	장의 중수도	공업 용수	농업 용수	하천 유지용수	장의 기타용수	
전국	25,095	6,845,663	18,756	743,479	396,841	346,638	894	18,790	33,337	241,506	52,111	10.9
서울 특별시	5,810	1,657,240	4,545	47,266	47,142	124	-	-	-	-	124	2.9
부산 광역시	2,082	539,576	1,477	60,972	30,954	30,018	-	-	-	20,276	9,742	11.3
대구 광역시	1,885	424,387	1,163	116,060	45,413	70,647	-	-	-	70,526	121	27.3
인천 광역시	938	250,876	689	55,024	19,526	35,498	553	7,043	551	24,409	2,943	21.9
광주 광역시	720	228,377	625	14,646	3,800	10,846	-	31	-	10,749	66	6.4
대전 광역시	901	205,040	561	2,898	2,898	-	-	-	-	-	-	1.4
울산 광역시	592	173,097	475	10,477	7,755	2,722	-	276	2,366	-	80	6.1
경기도	5,746	1,612,825	4,418	191,745	99,429	92,315	76	8,818	14,612	59,370	9,440	11.9
강원도	618	185,647	507	19,046	16,360	2,686	-	-	3	1,345	1,338	10.3
충청북도	555	162,687	445	17,428	8,576	8,852	-	-	1,186	1,629	6,037	10.7
충청남도	634	176,429	484	51,865	28,537	23,328	-	-	6,280	16,220	828	29.4
전라북도	975	281,114	770	9,414	6,859	2,555	-	279	397	1,039	841	3.3
전라남도	675	155,638	426	28,192	11,397	16,795	265	-	2,216	10,831	3,483	18.1
경상북도	1,315	393,215	1,076	59,686	36,347	23,339	-	2,343	3,431	16,298	1,267	15.2
경상남도	1,452	349,081	955	54,667	27,996	26,672	-	-	2,085	8,816	15,770	15.7
제주특별 자치도	197	50,436	138	4,093	3,850	242	-	-	210	-	33	8.1

나. 연도별 하수처리시설 운영실태조사 자료분석

2000년~2010년까지의 연도별 하수처리수 재이용시설 현황 변화 추이를 보면 2000년 167,436,000 m³/일에서 2010년 743,479,000 m³/일로 증가하였으며, 재이용률도 2000년 2.9 %에서 2010년 10.9 %로 증가하였다. 전국의 하수처리 시설 용량 대비 하수처리수 재이용의 비율을 연도별로 재구성하면 Table 9와 같으며 점차적으로 증가 추세에 있는 것을 알 수 있다(환경부, 2011b).

Table 9. Sewage water reusing facilities status by year

(unit : x 10³ m³/year)

연 도	하수처리량	총 재이용량	장내 재이용량	장외 재이용량	재이용률(%)
2000년	5,774,000	167,436	113,242	54,195	2.9
2001년	5,885,000	173,559	117,600	55,949	3.0
2002년	6,300,000	261,926	193,067	68,859	4.2
2003년	6,419,000	346,247	245,250	100,997	5.4
2004년	6,505,000	359,554	201,609	157,975	5.5
2005년	6,642,000	457,071	230,838	226,233	6.9
2006년	6,405,000	490,866	244,880	245,986	7.7
2007년	6,635,000	641,914	371,980	269,934	9.4
2008년	6,363,000	678,009	401,541	276,478	10.7
2010년	6,845,663	743,479	396,841	346,638	10.9

다. 하수처리 재이용시설 기술현황

국내 하수처리 재이용시설의 처리 기술현황 설문조사결과를 살펴보면 Table 10과 같고 2차 처리수 이후 여과 및 소독하는 방식이 47.4%로 가장 많은 것으로 조사되었으며, 처리방식에는 생물고도처리방식과 막여과장치를 주로 사용하는 것으로 조사되었으며, 소독방식에는 UV소독 방식을 주로 사용하는 것으로 조사되었다. 생물고도처리는 26개소, 기타(답변 없음) 114개소로 조사되었다(환경부, 2011b).

Table 10. Waste water reusing treatment process status

처 리 공 법	개 소 수(개소)	비 율(%)
2차처리후 여과-소독	148	47.4
염소소독	2	0.6
UV소독	9	2.9
오존소독	1	0.3
모래여과	1	0.3
막 여 과	11	3.5
생물고도처리	26	8.3
기타(답변없음)	114	36.5
합계	312	-

라. 하수처리수 재이용 재정지원사업 현황

2006년~2009년까지 29개소의 하수처리수 재이용 국고지원 사업이 농업용수 4개소, 하천유지용수 18개소, 공업용수 2개소, 기타 5개소 등의 재이용 용도별로 구분하여 재이용 재정지원사업이 추진되었다. Table 11에서 연도별 재이용사업 비용을 나타내었다(환경부, 2011b).

Table 11. Waste water reusing facilities status by cost

구분		2006년	2007년	2008년	2009년
전체시설(개소)		6	6	5	12
하수처리시설 설계유량(m ³ /일)		373,000	459,000	186,000	2,007,000
재이용 설계유량 (m ³ /일)		133,200	162,000	83,000	548,700
재이용 용도 (건)	농업용수	1	-	1.5	2
	하천유지	3	4	1.5	9
	공업용수	1	-	1	-
	기타용수	1	2	1	1
재이용 시설비용	전체	663억원	194억원	412억원	1,006억원

국내의 물 재이용에 관한 계획과 현황을 환경부의 자료를 중심으로 재 구성하여 살펴보았다. 중앙정부에서는 법률 제정 시행과 물 재이용 기본계획을 수립하여 점차적으로 재이용을 촉진 육성하는 정책을 펴고 있으며 지방정부도 여기에 꾸준히 이용률을 높이고 있다.

물 재이용에 관한 사례에서 확인하는 것처럼 현재의 물 재이용 시설의 현황은 주로 대형하수처리장의 방류수를 재처리하여 재이용하는 것과 홍수방지와 지하수 함양을 위한 빗물 이용시설을 활용하고 있는 실정이다. 그러나 향후 물 재이용의 중요성이 커지게 될 것이며 대형 하수처리장의 물 재이용은 물론 중소형의 공공하수처리 혹은 개인하수처리시설의 물 재이용의 필요성과 수요가 증대될 것으로 전망된다. 특히 골프장이나 리조트시설 등 지하수를 많이 사용하는 시설에서 미래에는 지하수에만 의존할 수 없을 것으로 판단되며, 결국 물을 재이용하는 것이 지속적이고 중요한 대체 수자원이 될 것으로 판단한다.

2) 외국의 물 재이용 현황

외국의 물 재이용 현황을 보면 선진국인 미국과 일본, 호주, 싱가포르 및 유럽의 독일, 이탈리아, 스페인등지에서 활발하게 진행하고 있으며, 물 부족 현상이 심각한 중동 및 북아프리카 지역 등의 나라에서는 80% 이상의 높은 재이용률을 보이고 있다.

Table 12에서 국가별 용도별 물 재이용 현황을 나타내고 있으며 재이용 용도로는 일본, 미국 플로리다와 캘리포니아 및 호주의 경우에는 도시 관개용수의 활용이 높은 것으로 나타났으며 미국 플로리다와 캘리포니아, 유럽 및 이스라엘 국가들은 지하수 충진을 통한 간접 음용수원 확보, 해수침투 및 지하수위 저하 방지 등의 목적으로도 활발히 사용되고 있다(이호원, 안종호, 2012).

(1) 미국의 물 재이용 현황

미국에서의 하수 재이용은 관개용수로서의 이용 및 간접적인 먹는 물 생산을 위한 재이용 프로젝트 등 다양한 목적으로 시행되고 있다. 즉 지하수가 식수원으로 쓰이고 있기 때문에 물 재이용수의 지하수원 유지를 위한 지하수 충진의 용도로도 쓰이고 있으며 특히 캘리포니아나 플로리다처럼 바다에 인접한 주의 경우 해수 침투로부터 지하수 보호를 위한 목적으로도 겸하여 활용되고 있다(이호원, 안종호, 2012).

Table 12. International water reuse status by usage

구분	재이용량 (백만톤/년)	재이용률 (%)	주요용도(%)				
			공업 용수	농업 용수	하천 및 습지 유지용수	지하수 충진 **	기타 도시 환경용수 ***
한 국	267*(’08년)	4.4*	5	10	77	-	8
일 본	196(’05년)	1.5	10	6	33	-	49.5
싱가포르	138(’10년)	30					
미국 플로리다	919(’08년)	46	14	11	6	13	56
미국 캘리포니아	650(’02년)	10	5	46	4	14	31
호주****	167(’02년)	12	3	83	-	-	14
유럽	963(’02년)	2.4	4	70	5	17	1.6
중동 및 북아프리카	약1,980	20 이상					

* 장내 재이용수 제외

** 간접음용수원 또는 해수침수 및 지하수위 하강 방지 목적

*** 기타 도시환경용수 : 도시관개용수, 경관용수, 친수용수, 화장실용수, 도로 및 가로수 청소용수

**** 용도 구분은 New South Wales 주의 경우임

주) 「물 재이용 기본계획 수립을 위한 연구」(환경부, 2010)에서 조사된 자료를 재구성함.

Table 13. Water reuse status in U.S.

구 분	재이용 용도(%)				
	농업용수 및 관개용수	지하수 충진	공업용수	습지유지 용수	기타
애리조나	67.4	21.0	10.3	0.0	1.4
캘리포니아	78.1	5.7	12.8	0.3	3.2
플로리다	44.8	18.2	7.9	7.0	22.2
텍사스	68.4	7.1	21.0	0.0	3.6

주) 기타 = 주의 관개용수 + 화장실용수 + 그 외

(2) 일본의 물 재이용 현황

일본의 경우 1979년 주로 도시업무용 화장실 세탁용수로 재이용 시범사업이 실시된 이래로 1998년 사용된 재이용수는 연간 약 13만 m³ 수준으로 재이용수의 약 40 % 를 이중배관을 통해 건축물의 화장실 세척용수, 도시조경용수로 사용되고 있다(이호원, 안중호, 2012). 현재 일본의 물 재이용 기술은 주로 MBR을 활용하고 있으며, 3R(Reduce 감량화, Reuse 재사용, Recycle 재활용)의 관점에서 접근이 시도되고 있다. 2010년도 일본의 물 재이용 관련 시장은 약 735억엔 규모로 형성되었으며, 2020년도에는 MBR에 의한 물 재이용등 해외 물재이용 수요 확대까지를 고려하여 2010년도 대비 약 2배로 증가할 것으로 전망한다(한일재단 일본지식정보센터, 2011).

Table 14. Water reuse status in Japan

재이용 용도		처리장수	재이용량 (만톤/일)	비율(%)
화장실용수		43	1.8	3.3
환경 용수	소 계	113	31.6	58.7
	경관용수	87	13.2	24.5
	친수용수	18	- 0.9	1.7
	하천유지용수	8	17.5	32.5
용설용수		35	11.7	21.7
식수대 살수용수		73	0.4	0.7
도로, 가로, 공사현장 청소 및 살수		77	0.1	0.2
농업용수		28	3.2	5.9
공업용수		3	0.8	1.5
사업소, 공장 직접공급		47	4.2	8.0
계		241	53.7	100

(3) 싱가포르의 물 재이용 현황

인구 집약적인 도시국가이자 가용한 자연 수자원이 절대 부족한 싱가포르는 식수의 약 40 % 를 말레이시아에서 수입에 의존하여 양국 간의 물 가격에 대한 물 분쟁이 끊이질 않고 있어 해수담수화 및 물 재이용에 투자를 지속적으로 늘리고 있다. NEWater는 양질의 수질을 얻기 위해 Dual-membrane(Micro filtration과 Reverse osmosis) 및 UV(ultraviolet)공정을 사용하고 있으며 2011년까지 비음용수 용도로 245,000 m³/일 공급을 목표로 하고 있으며, 2012년까지 전체 물 공급량의 약 20 % 를 NEWater(15%) 및 해수담수화(5%)로 충당하려는 목표를 세우고 추진 중이다.

NEWater는 비음용수 용도 이외에 간접적 음용수로 2003년 13,500 m³/일이 저수지 충전 용도로 사용되었고, 간접음용수의 양은 2011년 45,000 m³/일 공급을 목표로 늘릴 계획이다(이호원 안중호, 2012).

(4) 호주의 물 재이용 현황

세계 세 번째로 1인당 연간 물 사용량이 높은 호주(Arris Pty, 2006)의 재이용수는 2001년 1억6,600만 m³ 로 증가하였으며 재이용수의 66%가 농업용수로 사용한다. 하수처리수의 재이용량은 1억6,650만 m³이다.(이호원, 안중호, 2012).

Table 15. Water reuse status in Australia

주 도	재이용률(%)			향후 계획(2003년 당시)
	2001-02	2005-06	2006-07	
Sydney(NSW)	2.3	3.5	4.3	2011년까지 1인당 물소비량 35%감축
Melbourne (Victoria)	2.0	14.3	23.0	2010년 물소비량 15% 감축 2010년 하수처리수 재이용률 20% 증가 (2007년 초기 달성되었음)
Brisbane(QSL)	6.0	4.8	7.2	2010년 재이용률 17% 증가
Adelaide(SA)	11.1	18.1	29.6	2025년 재이용을 30,000m ³ /y(33%)증가
Perth(WA)	3.3	5.3	6.0	2012년 20% 재이용률 증가
Hobart (Tasmania)	0.1	3.1	N/A	물소비량 10% 감축

(5) 유럽의 물 재이용 현황

유럽 국가는 절반 이상이 물 스트레스 국가에 속하며 유럽 국민의 약 70 % 이상이 물 부족 문제에 직면하고 있다. 남유럽과 남동유럽(포르투갈, 스페인, 이탈리아, 그리스, 사이프러스, 이스라엘 등)의 경우 농업용수가 물 사용의 약 45~85 %, 서유럽(독일, 벨기에, 프랑스 등)은 전력 발전수/냉각수, 북유럽은 공업용수가 가장 큰 비율을 차지하고 있다(이호원, 안중호, 2012).

한편 OECD에서는 지난 2011년 10월 프랑스 파리에서 OECD 세계 환경포럼을 통해 "Water : The Environmental Outlook to 2050"를 발표했다. 여기에서 2050년대의 물수요와 물스트레스 및 수질오염, 물공급과 위생등의 주제를 다루었는데 2050년에는 지금보다 물 수요가 55% 증가 할 것으로 전망했으며, 물 점유율(water exploitation rate; 가용 수자원 대비 물 수요량)이 40 %를 초과하면 심각한 물 스트레스 국가로 분류하였으며 우리나라도 수도권에서 이 비율이 40%를 초과되었으며, 벨기에등은 30 % 안팎으로 '보통 수준'의 물 스트레스를 겪는 것으로 조사됐다.

반면, 일본, 미국, 폴란드, 터키, 독일 등은 10~20 %로 물 스트레스가 적었

다. 스위스, 헝가리, 덴마크, 칠레, 호주, 슬로베니아 등은 이 비율이 10 % 미만이어서 ‘물 스트레스가 없는(No stress)’ 국가로 분류됐다. 또한 심각한 물 스트레스를 겪는 인구도 지금의 16억명에서 2050년에는 39억명에 이를 것으로 전망했다(OECD, 2011). 한편 OECD는 지난 2008년 3월 『OECD 환경전망 2030』 발간 이후, 기후변화·물·생물다양성·환경보건 등 4개 분야를 대상으로 『OECD 환경전망 2050』 보고서를 작성해왔다(위터저널, 2012).

Table 16. Water reuse status in Europe

용도별 물사용	국 가
농업용수	Portugal, Greece, Turkey, Spain, Italy, Cyprus
공업용수	Finland, Austria, Ireland, Latvia, Norway, Sweden, Slovak, Rep.
전력발전소/냉각수	Estonia, Lithuania, Bulgaria, Slovenia, Hungary, Germany, Belgium, France, Netherlands, Poland, Romania, Switzerland
공공용수	Denmark, Czech Rep., Malta, UK, Luxembourg

통계에서 보면 유럽의 경우 재이용수 대부분이 농업용수(70%)로 사용되며 지하수 충전용으로 약 17 %의 재이용수가 사용되었다(이호원, 안중호, 2012).

Table 17. European countries' water reuse ratio

국가명	Conventional water for Irrigation(A)	Reclaimed water for Irrigation(B)	(B/A)x100
	Mm ³ /yr	Mm ³ /yr	%
Spain	21,512	267	1.24
Cyprus	174	1.4	0.8
Malta	12	2.3	19.2
Israel	880	280	31.82
Portugal	8,814	5	0.06
France	3,916	6.73	0.17
Italy	20,015	204	1.02

(6) 중동 및 북아프리카

중동 및 북아프리카 지역의 대부분 국가들은 제한적인 강수량, 잦은 가뭄, 도시집중화 및 인구증가 등으로 심각한 물 부족 문제에 직면하고 있다. 이중 많은 국가들이 급격한 인구증가로 인해 재생 가능한 수자원량이 1000 m³/capita/yr 로 물 기근 국가에 속하며 2050년에는 100 m³/capita/yr 에 이를 것으로 예측된다.

이지역의 나라들은 폐수처리수의 70 % 이상을 재이용하며 주로 농업용 관개용수, 조경용수, 지하수 충전용수로 사용되고 있는 반면, 환경유지용수, 산업용수, 화장실 세척용수로는 드물게 사용되고 있다(이호원, 안중호, 2012).

Table 18. Waste water reuse status in Middle East

국가명	년 도	폐수 발생량	폐수처리수량(A)	폐수재이용량(B)	폐수처리수 재이용률(%)
		[Mm ³ /yr]	[Mm ³ /yr]	[Mm ³ /yr]	(B/A)x100(%)
알제리	2004	600-700	66	-	-
바레인	1996	84-103	56	9-15	16-27
이집트	2000	1955	940	700	74
이란	1999	1859	219	154	70
이라크	1999	-	425	-	-
요르단	2002	180	82	70	85
쿠웨이트	1997	179	103	80	78
레바논	1997	165	4	2	50
리비아	1999	546	40	40	100
모로코	2000	550	40	38	95
오만	2001	78	37	26	70
팔레스타인	2002	50	-	4	-
(가자지구&웨스트뱅크)					
카타르	2001	110	43	34	79
사우디아라비아	2000	845	674	217	32
시리아	2000	785	370	370	100
튀니지	2003	2240	187	43	23
아랍에미리트	1999	500	193	185	96
예멘	2000	74	34	6	18

한편, UN의 발표에 따르면 지난 한 세기동안 인구는 두배로 증가한 반면 물의 사용량은 6배나 늘었다고 한다. 급속한 도시화, 인구집중, 이상기후에 따른 가뭄이 전 세계적인 물 부족을 가중시키고 있어, UNESCO는 “물도 기후 변화나 환경문제처럼 세계적인 협력과 과학적인 접근이 필요하다”고 촉구하고 있다.

이렇듯 세계인구 및 물 수요는 급격하게 증가하고 있으나, 지구 전체의 가용 수자원량은 변함이 없어서, 1인당 사용 가능한 물의 양의 감소 및 물과 관련된 환경피해는 갈수록 가속화 될 것으로 전망되고 있으며 우리나라처럼 식량 및 에너지등을 외국에 크게 의존하고 있는 국가의 경우 물 부족이 더욱 심화 될 수 있어 물 재이용등을 통한 대체 수자원의 확보가 필요하다(김진근, 2012).

3) 물 재이용 기술 현황

(1) 물 재이용 기술의 발전

Table 19에서 물 재이용의 발전을 세대별로 나타내었으며 물 재이용기술은 초창기의 기본적인 방법의 1세대 재이용에서 공법의 개발과 함께 관련되는 설비의 발전을 이루면서 2세대의 및 3세대 물 재이용 단계를 거쳐 현재는 음용수로도 가능할 만큼 처리기술과 시설이 발전하였으며 대표적으로 싱가포르의 Newater의 경우 음용수 수준의 재이용수를 생산하여 교육 목적 등으로 활용하고 있다(한국환경기술인연합회, 2011).

Table 19. Progress of water reuse technology

1 st Generation	2 nd Generation	3 rd Generation	4 th Generation
<ul style="list-style-type: none"> · 하수처리장 처리수 · 처리수를 골프장 등 관개용수로 이용 	<ul style="list-style-type: none"> · 물재생시설 · 재생용수용 관로로 배급수 · 오접방지 프로그램 · 공공교육 프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> · 맞춤형/분산형 물 재생시설 · 용도별맞춤형 재생용수 보급 · 용도별분리관로 	<ul style="list-style-type: none"> · 음용수용 재이용수 생산시설 · Singapore Public Utilities Board (Newater)

(2) 물 재생 공정별 이용용도

용도별로 물 재생 처리공정을 분류하여 Table 20에 표시하였으며 간접 재이용수와 인체에 직접적 영향을 주는 재이용수 및 고도 재이용수로 구분하여 처리 정밀도를 달리하여 각각 여과방법 및 소독방법 등을 응용 조합하여 경제성과 효율성 등을 분석하여 처리 방법을 선정하게 된다(환경부, 2011a).

Table 20. Water reuse treatment processes by usage

구분	세부구분	처리방법 (예시)
범용 재이용수	청소용수	모래여과
	도시조경용수	모래여과
	친수용수	모래여과+활성탄
	하천유지용수	모래여과, MF
	관개용수	모래여과, MF
인체접촉 및 직접 영향 재이용수	인체접촉세척용수	MF+R/O 생물반응조 내 침지막 +R/O
	직접관개용수	MF + R/O 이상
고도환경용수	습지용수	모래여과+활성탄, MF + R/O 생물반응조 내 침지막 + R/O
	지하수 충전	모래여과+활성탄, MF + R/O 생물반응조 내 침지막 + R/O
	음용수자원보충	MF + R/O 생물반응조 내 침지막 + R/O
공업용수		6가지 조합 모두 가능

4) 물 재이용의 수질기준

(1) 물 재이용에 관한 법적인 수질기준

본 연구에서는 하수처리의 방류수를 원수로 하여 재처리하여 재이용수로 활용하는데 있어서 조경용수 및 생태연못 등의 친수용수로 활용할 수 있는지의 적정성과 방법에 중점을 두어 연구하게 되었으며 ‘물 재이용 촉진 및 지원에 관한 법’에서 제시하는 적정한 용수의 기준을 아래 Table 21 및 22에 나타내었다.

기준에서는 2015년 이전과 이후부터 적용되는 기준이 구분되어 있으며 특히 2015년부터는 조경용수에서 염화물농도의 기준이 추가되고 친수용수에서 결합잔류염소농도가 추가되고 있으나 본 연구에서는 생략하였으며 친수용수의 BOD농도가 2015년부터 3 mg/L로 적용되는데 본 연구에서는 1차적으로 5 mg/L로 목표를 설정하였다. 추후 그 부분에 관한 연구가 추가되어야 할 것이다.

Table 21. Gray water quality standards with usage by year 2014

구분	수세식 화장실용수	살수용수	조경용수	세차·청소 용수
총대장균군수 (개/100mL)	불검출	불검출	불검출	불검출
결합잔류염소 (mg/L)	0.2 이상	0.2 이상	-	0.2 이상
외관	이용자가 불쾌감을 느끼지 않을 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 않을 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 않을 것	이용자가 불쾌감을 느끼지 않을 것
탁도 (NTU)	2 이하	2 이하	2 이하	2 이하
생물화학적 산소요구량 (BOD)(mg/L)	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하
냄새	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
색도(도)	20 이하	-	-	20 이하
화학적 산소요구량 (COD)(mg/L)	20 이하	20 이하	20 이하	20 이하

비고

1. 총대장균군수, 결합잔류염소, 탁도, 냄새는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제6호에 따른 먹는물 공정시험기준에 따라 검사해야 한다.
2. 생물화학적 산소요구량, 수소이온농도(pH), 색도, 화학적 산소요구량은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제5호에 따른 수질오염물질 공정시험기준에 따라 검사해야 한다.

Table 22. Gray water quality standards with usage after year 2015

구분	도시재이용수	조경용수	친수용수	하천유지용수	습지용수	공업용수
총대장균군수 (개/100mL)	불검출	200 이하	불검출	1000 이하	200 이하	200 이하
결합잔류염소 (mg/L)	0.2 이상	-	0.1 이상	-	-	-
탁도 (NTU)	2 이하	2 이하	2 이하	-	-	10 이하
부유물질 (SS)(mg/L)	-	-	-	6 이하	6 이하	-
생물화학적 산소요구량 (BOD)(mg/L)	5 이하	5 이하	3 이하	5 이하	5 이하	6 이하
냄새	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것
색도 (도)	20 이하	-	10 이하	20 이하	-	-
총질소 (T-N)(mg/L)	-	-	10 이하	10 이하	10 이하	-
총인 (T-P)(mg/L)	-	-	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하	-
수소이온농도 (pH)	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
염화물 (mgCl/L)	-	250 이하	-	-	250 이하	-

비고

1. 항목별 수질검사 방법은 다음과 같다.

- 가. 총대장균군수, 부유물질(SS), 생물화학적산소요구량(BOD), 색도, 총질소(T-N), 총인(T-P), 수소이온농도(pH), 염화물은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제5호에 따른 수질오염물질 공정시험기준에 따라 검사해야 한다. 다만, 총대장균군수는 최적확수(最適確數) 시험법 또는 막여과 시험법으로 하고, 부유물질(SS)은 유리섬유 거름종이법으로 해야 한다.
 - 나. 결합잔류염소, 탁도, 냄새는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제6호에 따른 먹는물 공정시험기준에 따라 검사해야 한다.
2. 공업용수의 수질기준은 산업용수로 사용하는 경우에 적용하며, 다회순환냉각수, 공정수(工程水), 보일러용수 등은 수요처와 협의하여 수질을 정할 수 있다.

(2) 본 연구에서 목표한 수질기준

‘물 재이용촉진 및 지원에 관한 법’에서 정한 재이용수의 적정기준을 토대로 본 연구에서 수행하여야할 재이용수 수질 목표치를 설정하여 적정 목표치를 Table 23에 나타내었다. 본 연구에서는 물 재이용수의 활용에 관하여 조경용수의 재이용에 목표를 갖고 그 기준에 만족하는 처리에 중점을 두고 연구를 진행하였으나 2015년부터 제시되고 있는 친수용수로 재이용수를 사용하기 위한 점도 고려하여 연구를 진행하였다.

Table 23. Reuse water quality target by considering the regulations

수질측정항목	단위	적정 수질 기준		목표치
		조경용수	친수용수	
BOD	mg/L	5	3	5 이하
SS	mg/L	-	-	5 이하
대장균군수	개/mL	불검출	불검출	불검출
탁도	NTU	2	2	2 이하
색도	도	10	10	10 이하
DO	mg/L	-	-	-
pH		5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
T-N	mg/L	-	10	20이하
T-P	mg/L	-	0.5	2이하

2. 하폐수 중 오염물질의 제거 및 처리기술

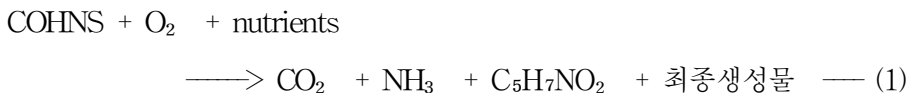
1) 오염물질의 제거

(1) 유기물의 제거

수질의 유기물오염도는 인위적 영향을 중심으로 평가하게 되었고, 인위적 유기물오염원의 대부분은 비교적 분해가 쉬운 유기물이 많이 포함되어 있는 가정하수로 구성되어 있다. 이러한 원인으로 하천의 유기물오염도 평가는 측정이 어려운 자연기원의 난분해성보다는 쉽게 분해되는 인위적 유기물오염을 평가하는 방법인 BOD가 채택되었고 국내에서도 BOD, COD가 수질오염의 기준이 되었다.

호기성 상태에서 유기물질의 전환은 산화와 내생호흡을 통해 식(1)과 (2)와 같이 미생물에 의한 활성슬러지의 분해에 의하여 이루어진다(김승건, 2012).

산화와 합성 :



내생호흡 :



혐기성 소화와 산화 공정은 폐 슬러지와 고농도 유기성 폐기물의 처리를 위해 주로 사용된다. 특히 혐기성 소화 공정은 낮은 미생물 생성율과 메탄형태의 에너지를 유기성 기질의 생물학적 전환으로 회수할 수 있는 장점이 있다. 총괄적인 혐기성 산화 과정은 가수분해, 발효 및 메탄생성의 3 단계로 이루어진다.

가수분해와 발효에 관하여는 비메탄성 미생물 그룹은 통성 그리고 절대 혐기성 박테리아로써 *Clostridium spp.*, *Peptococcus anaeroblls*, *Lactobacillus*, *Actinomyces* 등이 있다. 또한 메탄 생성에 관하여는 미생물은 절대 혐기성 생물로서 *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus*, *Methanotrix* 등이 있다(김승건, 2012).

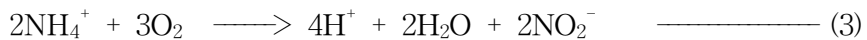
(2) 질소, 인의 제거

가. 질소의 제거

하폐수내에 존재하는 질소는 대부분 암모니아와 유기성질소 형태로 존재하게 되는데 유기질소는 미생물에 의해 가수 분해되어 암모니아성 질소로 분해된다. 질소가 제거되는 질산화(Nitrification) 반응은 암모니아성질소(NH_4^+)가 질산화 미생물에 의해 아질산성 질소(NO_2^-)와 질산성질소(NO_3^-)로 전환되는 것을 말한다.

질산화 반응은 식(3) 및 (4)와 같이 나타난다.

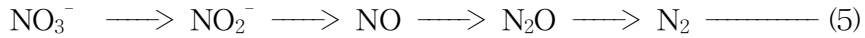
호기성조건하에서



질산화가 일어나기 위해서는 호기성 조건으로써 DO농도가 충분히 유지되어야 한다. 한계 용존산소(DO)는 2 mg/L 이상이며 pH 또한 5이하가 되면 *Nitrosomosnas*의 활성화가 저하되는 것으로 보고되어 있다.

탈질산화 반응(denitrification) 은 미생물이 무산소(anoxic) 상태에서 호흡을 위하여 산소대신 NO_2^- , NO_3^- 등을 최종 NO , N_2O , N_2 로 환원시키는 과정을 말한다. 이때 박테리아는 유기탄소를 에너지원으로 사용하게 되며 질산염은 미생물에 의하여 전자수용체로 사용하게 된다. 용존산소가 충분한 상태에서는 산소를 최종 전자수용체를 사용하게 되지만 산소가 부족하거나 없는 상태에서는 NO_2^- , NO_3^- 등을 전자수용체로 사용하게 된다. 탈질화 반응에 관여하는

미생물은 *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus* 등이며 식(5)와 같은 반응식으로 나타낼수 있다(김승진, 2012).



나. 인의 제거

인은 주로 필수 영양물질로 광합성 조류의 성장을 자극하여 하천 및 호소등의 친수용수의 부영양화를 촉진하는 영양염류로 작용한다. 따라서 부영양화에 민감한 호소등의 친수공간에 하폐수를 방류 할때는 인의 제거가 필수적이며 인의 제거를 위한 추가시설이 필요하다. 인의 제거방법은 크게 화학적인 방법과 생물학적인 처리방법으로 나눌수 있다. 1980년대 이전에는 화학적인 처리방법을 주로 많이 사용하였다. 그 후로 생물학적인 처리방법의 연구가 많이 진행되어 왔으며 화학적 처리시 발생하는 비용의 증가 및 슬러지 처리등의 문제로 인하여 화학적 처리대신 생물학적인 처리방법이 대안으로 여겨지고 있다(박노연, 2004).

생물학적인 처리방법에 있어서 인은 정인산(orthophosphorous)과 다중인산(polyphosphorous) 그리고 미생물의 세포 내 유기물로 저장되어 제거된다. 일반적인 미생물 세포 내 인의 함량은 질소함량의 1/5정도이나 환경조건에 따라 질소함량의 1/7~1/3까지 변화한다(Tchobanoglous 등, 1997).

① 생물학적 인의 제거원리

인은 모든 세포가 필요로하는 영양물질로 아데노신 삼인산(ATP), 핵산(DNA, RNA), 세포막 인지질의 중요 성분이다(Bouw 등, 1989). 생물학적인 처리공정에 있어서 폐수에 포함된 인은 미생물 세포 내에 저장되며 슬러지를 폐기함으로써 제거된다. 이 경우 생물학적으로 처리되는 인의 90% 가 정인산염에 해당된다.

생물학적인 인의 제거는 박테리아가 세포 내에 다중인산염의 형태로 다량

의 인을 저장할 수 있기 때문에 가능하다. 혐기성 조건에서 인 제거 박테리아 (phosphorous accumulating organisms, PAOs)는 발효에 의해 생성된 단순기질을 세포 내 저장산물로 동화시키며 그 과정에서 인의 용출이 일어난다. 특히 호기성 조건에서 세포 내의 저장산물이 산화되어 에너지가 생성되며 세포 내 다중인산염의 저장이 증가한다(Sedlak, 1991).

② 인 저장 미생물

모든 종속영양 미생물이 다중인산염 및 PHB를 합성하여 생물학적인 제거에 이용할 수 있는 것은 아니다. Fuhs 와 Chen 은 인 제거 미생물이 슬러지 안에 존재할 경우에만 인의 제거가 가능하다고 하였다(Fuhs 등, 1975). 그들은 활성슬러지법을 사용하여 혐기/호기 조건하에서 실험을 하였는데 실험결과 미생물에 의한 인의 과잉 섭취 반응은 일어나지 않았다. 그 이유는 슬러지 내에 주로 zoogloea와 같은 미생물과 여러종의 *Pseudomonas*, *Flavobacterium spp*, 등 인 제거에 관여하지 않는 미생물이 분포하고 있었기 때문이다.

생물학적인 인 제거에 관여하는 미생물은 Bio-P 혹은 Poly-P 미생물이라 하며 이 같은 미생물을 선택적으로 배양하기 위해서는 Bio-P 미생물에게 우호적인 환경을 만들어 주어야 한다(Sedlak, 1991).

호기 상태에서 Bio-P 미생물은 PHB를 가수분해 및 산화하며, 이때 발생한 에너지가 Bio-P 미생물의 성장에 필요한 에너지 공급원으로 사용된다. 이러한 이유로 반응조가 빈 영양상태 일지라도 Bio-P 미생물이 다른 미생물에 비하여 잘 성장하여 우점종을 이룰 수 있게 된다(Gardy 등, 1999).

과거에는 Bio-P 미생물이 *Acinetobacter*라는 한가지 속에 속하는 것으로 여겨졌다. 그러나 현재는 *Acinetobacter*가 Bio-P 미생물의 단지 한 속에 불과하며 경우에 따라 가장 유력한 속은 아니라는 것이 밝혀졌다. Bio-P 미생물의 종류에는 *Acinetobacter* 외에도 *Calcaoceticus*가 있으며 이는 인의 과잉섭

취에 주로 관여한다. *Pseudomonas*, *Cepacia* 역시 인 제거에 관여하는 미생물이며 *Pseudomonas*와 *Aeromonas*는 무기인을 축적할 수 있을 뿐 아니라 탈질에도 관여한다. 이 외에도 생물학적인 인 제거 공정에서 관찰된 미생물로는 *Bacillus megaterium*, *Aerobacter aerogene*, *Pseudomonas fluorescens*, *Proteusvulganis*, *Flavobacterium aquatile*, *Glutamicum* 등이 있다. 또한 특정 Bio-P 미생물의 경우 NO_x 가 존재하는 무산소 상태에서도 인의 섭취를 할 수 있음이 밝혀졌다(Rensink 등, 1997).

이중 *Acinetobacter sp.* 는 최근까지 알려진 대표적인 인 제거 미생물로 Fuhs 와 Chen(1975)에 의해 세상에 처음 알려졌다. 이 미생물의 크기는 약 1~1.5 μm 인 Gram 음성균으로 모양은 짧고 통통하여 쌍을 이루거나 짧은 사슬형 이다. 또한 호기 조건에서 무기인을 축적할 수 있고, 혐기조건에서는 각종 유기산을 섭취하여 PHB를 주로 합성하며, 주로 인 제거 폐수처리장이나 토양에 서식한다. *Acinetobacter*의 인용출과 비성장율(μ_{max}), pH 및 온도와의 관계를 조사한 연구결과에 의하면 μ_{max} 는 15d^{-1} 이고 생산계수(Y)는 0.37 정도이다(Chang 등, 1996).

2) 처리기술

(1) MBR 공정

전통적인 생물학적 방법의 하수처리 공정에서는 호기성 생물반응조에서 하수중의 유기물과 영양염류를 섭취하여 활성화된 미생물을 침전조에서 슬러지 형태로 침전시킨 후 침전된 슬러지를 처리된 물과 분리해서 제거한다. 이때 처리공정의 운전상태에 따라 자주 발생하는 슬러지의 팽화(sludge bulking) 및 핀블럭(pin-point floc) 현상 등에 의해 침전성이 떨어질 경우 유출수의 수질을 유지하기 어렵게 되고 슬러지를 침전시키기 위해 많은 시간이 소요된다.

침전조에서 중력침전이 갖고 있는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 도입

된 것이 분리막에 의한 여과를 이용하는 MBR이다(염경호 등, 2011). 특히 기존의 생물학적인 처리방법과 분리막(Membrane)의 장점을 결합한 형태의 MBR 처리방식은 기존의 생물학적 처리공법보다 다양한 장점을 갖고 있다. 분리막에 의한 거의 완벽한 고·액 분리가 가능하며, 반응조내에 높은 MLSS 농도(5,000~15,000 mg/L)를 유지할수 있으며, 높은 미생물 농도와 슬러지 체류시간(SRT)의 증가는 질산화의 효율을 증가시켜 질소제거의 효율을 높인다.

MBR의 장점은 무엇보다 안정적인 운전이 가능하다는 점이며 슬러지 팽화, pin-point floc 현상 등을 우려할 필요가 없으며 설치면적도 다른 공법에 비해 적은 면적에 콤팩트한 제작 설치가 가능하다는 점 등 다양한 장점을 갖고 있다. 다만, 아직은 분리막의 가격이 일반화 되지 않아서 초기 설비투자비가 많이 든다는 점과 막오염으로 인한 주기적인 관리가 반드시 필요하다는 점 등이 단점으로 작용하고 있다.

또한 MBR은 높은 MLSS에 의한 슬러지 체류시간이 증가하면 수리학적 체류시간(HRT)이 짧아져서 부지면적이 줄어들 수 있는 장점이 있으나 슬러지의 활동성(Activity)과 고도처리와 연계시의 인 제거에 커다란 문제점을 일으킬 수 있다. 긴 SRT는 미생물의 활동성을 저하시켜 처리수질이 악화될 우려가 있으며, 질산화 측면에서는 SRT를 길게 운영하는 것이 유리하지만 짧은 SRT를 요구하는 인 제거 관점에서는 불리하다는 단점이 있다.

MBR의 이러한 장단점을 고려하여 탁도와 세균까지도 제거할 수 있으며 중수로의 물 재이용 수질을 보증하고 신뢰할 수 있는 점과 무엇보다도 물 재이용의 이용 목적에 따라 다양한 형태의 분리막을 채용할 수 있는 점으로 인하여 분리막을 이용한 MBR 처리방식을 활용하였다.

(2) A/O 공정

A/O 공정은 생물학적으로 인을 제거하기 위한 가장 기본적인 공정으로, 하폐수중의 탄소유기물 산화와 인의 혼합 제거에 사용된다. 이는 혐기성반응조

와 호기성반응조로 조합된 단일슬러지 부유성장 처리공법으로, 반송 슬러지는 유입폐수와 혼합되어진다. 혐기성에서 인이 용출되고 일부 BOD가 제거되며, 호기성에서 인은 미생물에 흡수되어 슬러지로 제거된다. 호기성반응조에서 적절한 체류시간을 유지하면 질산화도 가능하나 슬러지 반송시 혐기성반응조로 NO_x가 유입되면 인제거 능력이 저하된다. 유출수내의 인농도는 주로 유입폐수내의 BOD와 인의 비에 달려있는데 BOD와 인의 비가 20:1이상이면 유출수내 용존성인의 농도를 1 mg/L이하로 유지가능하다고 알려져 있다.

(3) A²/O 공정

A²/O 공정은 A/O 공정의 변형으로써 탈질을 위한 무산소반응조가 있는 것이 A/O공정과 다르다(박상찬 등, 2007). 무산소반응조에서는 용존산소는 없지만 호기성 영역의 질산화된 혼합액을 반송함으로써 질산성질소 또는 아질산성질소 형태로 화학적으로 결합한 산소가 유입된다. 이 반응조에서는 내부반송수내 NO_x를 탈질제거하여 반송슬러지에서 혐기조로 유입되는 NO_x의 양이 최소화되며 인을 섭취하는 미생물에 의해 과잉 섭취된 인은 혐기성조에서 방출되어 제거된다. 유출수내 인농도는 여과 없이 2 mg/L이하로 유지 가능하며, 유입수내 BOD/T-P비가 높은 조건에 적용이 유리하다.

3. 에너지 자립화

지구 온난화로 인한 기후변화 등 환경문제의 심각성으로 인해 전 세계적으로 에너지 생산을 위하여 사용되는 화석연료 소비를 억제하려는 국제 협약이 진행되고 있으며, 정부에서도 저탄소 녹색의 지속가능한 정책을 펼치고 있으며 이는 정책으로만이 아닌 실생활에서 이루어져야할 중요한 과제라 판단되며, 친환경 에너지의 개발과 활용은 우리에게 커다란 과제로 다가온다.

친환경에너지는 적극적인 연구개발도 중요하지만 우리의 실생활에서 에너지 절약과 함께 기존의 에너지 의존도를 줄일 수 있는 자립형 에너지 활용이 중요한 사안이라고 판단된다. 현재의 신재생에너지와 같은 친환경에너지의 효율이나 경제성은 아직 화석연료 에너지에 비해 현저하게 낮다고 볼 수 있다. 그렇지만 국가의 공공시설 등을 우선적으로 특히 환경시설을 통하여 친환경 에너지를 통한 에너지 자립화를 실현해 나가는 길이 결국 친환경에너지의 효율개선과 화석에너지에 의존하지 않고도 인류가 사용할 수 있는 에너지원이나 방식의 발명을 앞당기는 길이라고 판단되며 이러한 연구는 더 많이 지속되어야 할 것으로 사료된다.

환경부에서 하수처리시설의 에너지 자립화 기본계획을 세우고 추진하고 있는 것과 함께 앞으로 중요산업으로 떠오르게 될 물 재이용 분야에서도 에너지 자립화 정책이 실현될 것으로 기대하며 본 연구에 에너지 자립형식을 도입하게 되었다.

1) 국내의 에너지 자립화

최근 신재생에너지 지원정책에 힘입어 태양광과 풍력, 지력 등 다양한 방식의 신재생에너지 활용과 함께 전 세계적으로 국가 차원에서 친환경에너지의 활용이 급속히 발전하여 활용되고 있으며, 정부도 환경부에서 하수처리시설의 ‘에너지 자립화’기본계획 및 ‘환경기초시설 탄소중립 프로그램’을 통하여 하수처리시설은 물론 모든 국가 환경기초시설에서 에너지 자립을 위한 정책을 추

진한다(환경부, 2012).

제주특별자치도에서도 ‘탄소없는 섬 제주 2030(Carbon Free Island Jeju by 2030)’ 계획을 통하여 2030년에는 기존의 화석연료 에너지에 의존하지 않고 100% 신재생에너지를 통한 에너지 자립을 선언하고 있다.

(1) 환경기초시설 탄소중립 프로그램

환경부는 환경기초시설 탄소중립 기본계획으로 2020년 환경기초시설 탄소중립을 50 % 달성을 목표로 Table 24와 같이 총 3단계로 구성하여 현재 1단계 시행중에 있다.

한편, 탄소중립이란 온실가스를 직,간접적으로 저감하여 온실가스 배출을 줄이는 행위를 말하며 직접 저감은 공정개선, 에너지 효율개선, 가스 포집 등을 통해 직접적으로 발생량을 감소시키게 되며 간접저감은 화석연료를 대체하는 산림조성 등을 통해 간접적으로 발생량을 상쇄시키는 것이다(환경부, 2012).

Table 24. Carbon neutralization program for environmental facilities

환경기초시설 탄소중립을 50% 달성	3단계(2017~2020)
	에너지 생산 및 에너지 절감사업 완료 환경기초시설 유희부지 활용 신·재생에너지 보급사업 약 4% 달성 - 폐자원 및 바이오매스(44.0%), 하수처리시설 에너지 자립화(2.2%) - 환경기초시설 태양광 설비 보급(3.8%) 달성
환경기초시설 탄소중립을 37% 달성	2단계(2014~2016)
	에너지 생산 및 에너지 절감사업 단계적 확대 환경기초시설 유희부지 활용 신·재생에너지 보급사업 확대 - 폐자원 및 바이오매스(33.3%), 하수처리시설 에너지 자립화(2.2%) - 환경기초시설 태양광 설비 보급(1.5%) 확대
환경기초시설 탄소중립을 29.8%달성	1단계(2011~2013)
	에너지 생산 및 에너지 절감사업 도입 환경기초시설 유희부지 활용 신·재생에너지 보급 시범사업 도입 - 폐자원 및 바이오매스(27.3%), 하수처리시설 에너지 자립화(2.1%) - 환경기초시설 태양광 설비 보급(0.4%)

또한 Table 25과 같이 ‘11~20년간 총 5조 3,563억원의 예산을 투입하여 2020년에는 연간 36만톤의 온실가스 감축과 565 GWh의 청정에너지 생산, 환경기초시설의 환경개선 및 교육시설 제공 등으로 주민편익 증대를 통해 환경기초시설의 인식을 바꿀 수 있을 것으로 사료된다.

Table 25. Carbon neutralization program by budget

(unit: x 10⁴ CO₂ ton, x 10⁸ won)

대책		1단계 (2011~2013)	2단계 (2014~2016)	3단계 (2017~2020)	누계
폐자원 및 바이오매스 에너지대책 기본계획	감축량	267.8	59.1	105.1	432
	예산	21,680	4,092	4,090	29,862
하수처리시설 에너지 자립화 기본계획	감축량	20.9	0.7	-	21.6
	예산	4,274	415	415	5,104
환경기초시설 신재생에너지보급계획	감축량	2.5	11.2	22.5	36.2
	예산	1,966	6,681	9,950	18,597
누적 탄소중립율(%)		29.8	37	50	

(2) 하수처리시설 에너지자립화 기본계획

또한 환경부에서는 하수처리시설의 에너지 자립화 기본계획을 수립하여 진행 중에 있다. 하수처리시설의 소비전력은 국내 연간 총전력 사용량의 0.5%를 차지하나, 에너지 자립률은 0.8%에 불과한 실정이다. 이는 시설확충과 처리효율을 높이기 위한 신기술을 도입하였으나 에너지 효율성에 대한 고려는 미흡한 것으로 물 재이용 분야에서도 이와 같은 현상이 발생할 것으로 판단되며 하수처리시설의 에너지 자립 계획을 바탕으로 배경을 살펴보고 물 재이용 시설을 신규 혹은 증설할 경우 에너지 자립에 대하여도 함께 고려하여야 할 것이다. 에너지 자립율은 하수처리시설에서 연간 전력사용량 대비 신·재생

에너지 생산을 통한 전력이용량과 에너지절감량 합계의 비율을 말한다(환경부, 2010).

가. 에너지 자립화 기본 계획

하수처리시설의 에너지 자립화를 위한 기본 계획을 수립하여 2030년에는 하수처리시설의 에너지 자립율을 50% 이상으로 목표를 설정하여 총 343개소의 하수처리장의 에너지 자립도를 단계별로 도입하여 목표에 달성할 계획을 수립하였다. 이를 위하여 단계별로 추진대책을 실행하는 추세이다.

또한 에너지 이용·생산 사업 확대 추진을 위해 ‘하수처리시설 에너지 잠재력 지도’를 작성하여 하수처리장별로 이용 가능한 에너지 잠재력의 종류·양, 지역내 수요자·공급자의 현황, 규모 등을 정하여 추진하고 있으며, Table 26에서 단계별 하수처리장 에너지 자립화 추진계획을 나타내었다(환경부, 2010).

Table 26. Energy self-sufficiency plan for waste water treatment plant

구 분	소화가스	소수력	풍 력	태양광	목표자립율 (누적 %)
1단계(2010~2015)	26개소	7개소	10개소	14개소	18
2단계(2016~2020)	-	-	33개소	60개소	30
3단계(2021~2030)	-	-	-	270개소	50
합계	26개소	7개소	43개소	344개소	50

이와 같이 정부에서 시도하는 에너지 자립화정책과 함께 지방자치정부와 공공기관 및 민간사업자들도 에너지 자립형 사업에 관심을 갖고 추진하고 있다. 농진청에서는 전북김제에 에너지 자립형 녹색마을을 추진하여 진행중에 있으며 서울 마곡지구 개발사업에는 난방에너지 자립형 아파트 단지를 구상

하며 용역중이며 다양한 분야에서 에너지 자립화 계획을 추진중에 있다.

나. 하수처리시설 에너지자립화 운영현황

전국 357개 하수처리장에서 2,382만 톤/일의 하수처리시설('07년말기준)중에서 65개소에 소화조가 설치되어 있으며, 이중 57개소에서는 소화조를 운영하고 있다.

국내소화조의 효율은 유입수질 저하, 운영·관리미숙 등으로 인해 미국 등 선진국의 1/4 수준으로 에너지이용률이 미미한 상태이다. 소화조의 에너지 이용률은 소화조 설비를 통해 생산되는 바이오매스 에너지의 이용율(혹은 가동율)을 의미한다(환경부, 2010).

다. 하수처리시설 에너지소비현황

'07년말 현재 전체 하수처리시설에서 연간 395,121 TOE 에너지를 소비하며, 이중 전력사용량이 전체소비의 98.6% 차지하며 하수 처리량당 전력원 단위는 0.29 (KWh/m³), 제거 BOD당 전력원 단위는 2.353 (KWh/kg·BOD) 이고 하수처리시설 전체전력 사용량 중 생물반응조의 포기조·송풍기에서 40.1%를 차지하고 펌프동력으로 21.3%를 소비한다(Table 27). 한편, TOE(Tonnage of Oil Equivalent)는 석유 1톤을 연소할 때 발생하는 에너지를 1석유환산톤이라고 정의한다(환경부, 2010).

Table 27. Classification of energy consumption in waste water treatment plant

구분	포기조 송풍기	유입 펌프	슬러지 탈수처리시설	슬러지 이송펌프	방류 펌프	소화조 가스교반기	기타
비율(%)	40.1	21.3	6.4	6.6	2.3	1.4	23.9

라. 하수처리시설 신·재생에너지도입현황

'07년말 현재 하수처리시설의 에너지 자립률은 0.8%이고 16개 처리시설에서 신·재생에너지설비 운영현황은 Table 28과 같다(환경부, 2010).

Table 28. Renewable energy status in waste water treatment plant

처리 시설명	시설 용량 (천톤/일)	전력 사용량 (MWh/년)	전력 생산량(MWh/년)					자립율 (%)
			소계 (19개소)	소화가스 발전(6개소)	소수력 발전(5개소)	풍력 발전(1개소)	태양광발전 (7개소)	
합계(%)			14,998	13,065 (0.72%)	809 (0.04%)	3 (0.00%)	1,120 (0.06%)	0.8
서울 중랑*	1,710	129,925	-	-	-	-	-	-
서울 탄천	1,100	65,256	2,605	2,605 (가스엔진, 연료전지)	-	-	-	4.0
서울 서남	2,000	131,313	4,400	4,400 (가스엔진)	-	-	-	3.4
서울 난지	1,000	58,517	2,306	2,306 (가스엔진)	-	-	-	3.9
부산 수영	550	24,357	2,276	2,276 (가스엔진)	-	-	-	9.3
대구 신천	680	38,757	906	-	347	-	559	2.3
울산 온산	150	9,245	44	-	-	-	44	0.5
경기 부곡	10	2,645	52	-	-	-	52	1.9
경기 벽제	30	2,223	6	-	-	-	6	0.3
경기 석수	300	19,933	177	-	177	-	-	0.9
강원 춘천	150	11,930	146	-	-	-	146	1.2
충북 제천	70	3,995	933	789	-	-	144	23.7
충남 천안	150	17,147	219	-	219	-	-	1.2
충남 아산	63	7,479	54	-	54	-	-	0.7
경남 진해	60	5,136	185	-	12	2,920	170	3.5
제주 제주	130	2,461	690	690	-	-	-	28.0

* '04년 이 후 소화가스 발전기를 비상발전기로 사용('10년 재도입예정)

2) 국외의 에너지 자립화

기후변화 가속화로 전 세계에 기상이변, 재해 등의 빈도도 가속화되고 있어 이를 위해 전 세계는 CO₂ 배출량 감소를 위한 방편으로 Table 29와 같이 신 재생에너지 비중을 증가시키고 CO₂ 발생량을 낮추는 목표를 설정하고 신재

생에너지 산업육성 정책을 시행하고 있으며, 2,430억불('10)의 세계시장규모를 가지고 있다. 이는 10년 내 자동차, 조선, 화학 산업과 같은 주력산업으로 자리매김할 것으로 사료된다. Table 29에 세계 주요 국가별 에너지 자립화 계획을 나타내고 있다(환경부, 2012).

Table 29. Renewable energy supply plan by country

국 가	목 표
E U	2020년까지 신재생에너지 비중 20% 목표 CO ₂ 배출량 및 에너지 소비량 20% 감축
일 본	2020년까지 신재생에너지 비중 10% 목표 CO ₂ 배출량 25% 감축
덴마크	2020년까지 신재생에너지 비중 10.9% 목표 2025년 미국전력 소비의 25% 신재생에너지 공급
미 국	2020년까지 신재생에너지 비중 30% 목표 에너지자립국가 및 세계1위 풍력 대국부상
중 국	2020년까지 신재생에너지 비중 15% 목표

본 연구에서는 위에서 살펴본 것과 같이 환경기초시설의 탄소중립 프로그램 실행 및 하수처리시설의 에너지 자립화를 비롯한 여러분야에서 에너지 자립화를 위한 계획을 수립하고 시행하는 것과 함께 물 재이용 분야에서도 같은 정책과 노력이 있어야 될 것으로 사료된다. 본 연구에서는 태양광과 풍력 발전을 이용한 하이브리드 방식의 에너지 자립형에 관하여 연구하였으며 특히 계통전력이 송전되지 않는 지역인 도서지역이나 중산간 등지에서도 물 재이용 활용시스템 등 관련 환경시설에서도 독립적으로 운영 가능한 방법을 연구하고자 하였다.

Ⅲ. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

본 연구에서는 중소규모의 공공, 개인 하수처리시설의 방류수를 재이용하는 방안을 연구하고자 하였으며 하수처리수의 방류수를 원수로 유입하여 MBR을 주 공정으로 하고 A/O와 A²/O의 고도처리 공정을 결합한 혼용 공정으로 고도처리기능과 여과기능을 갖춘 연구장치를 제작하여 물을 처리하는 연구를 수행하였으며 물 재이용조에서 인공연못을 만들어서 조경용수 및 친수용수로 활용하여 재이용하기 위한 적절한 수질의 처리 방안을 연구 하였다.

중소형의 하수처리시설의 방류수 기준은 BOD와 SS에서 10~20 mg/L로, 하수도법에서 정한 방류수질의 항목과 기준이 년도 별로 추가, 강화되고 있으며 그 기준을 적용 여부에 따라 T-N, T-P를 제거하는 고도처리기능을 갖추어 설계되어있는 곳과 그렇지 않은 곳이 혼재되어 있다. 또한 탁도 및 색도 pH 등은 적용되지 않은 상태로 설치되어 있어서, 이러한 하수처리의 방류수를 재이용하기 위해서는 각각의 시설별로 방류수를 측정 분석하여 거기에 적합한 형태의 물 재이용을 위한 처리공정 및 장치를 적절하게 선택하여 적용할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 물 재이용이 가능한 기준을 만족하는 탄소 유기물 제거와 함께 총 부유성물질 및 총인 총질소를 제거하는 고도처리 및 탁도와 색도까지 고려한 처리시스템을 고안하여 실험하게 되었다.

1) MBR과 A/O를 결합한 공정

탄소 유기물인 BOD와 부유물질 SS 제거와 질소 및 인의 제거는 물론 물 재이용을 위한 기준을 만족하기 위한 탁도와 색도까지 고려한 방법으로 하수 처리의 공정으로 처리장치를 MBR과 응용된 형태의 A/O 공정을 결합하여 설계·제작 하여 연구하게 되었다. 또한 연구장치에서 소비되는 에너지를 자립형 에너지 시스템으로 적용하기 위한 장치로 소형풍력과 태양광 발전장치를 구성하여 자립형의 에너지 공급장치를 제작 설치하여 연구하였다. 또한 계통과 연계하지 않고 독립적이면서, 안정적으로 전력을 공급 가능한 관리시스템을 연구하였으며 이를 위하여 저장용 배터리를 구비하여 날씨등의 외부 영향에 의한 전력 에너지공급의 안정성과 신뢰성을 높이는 방법과 함께 소비전력 대비 자립형에너지의 설비의 최적화(최소화)를 위한 방법을 연구하고자 하였다. Fig. 1에 처리공정과 함께 자립형 에너지 공급장치를 표시하였다.

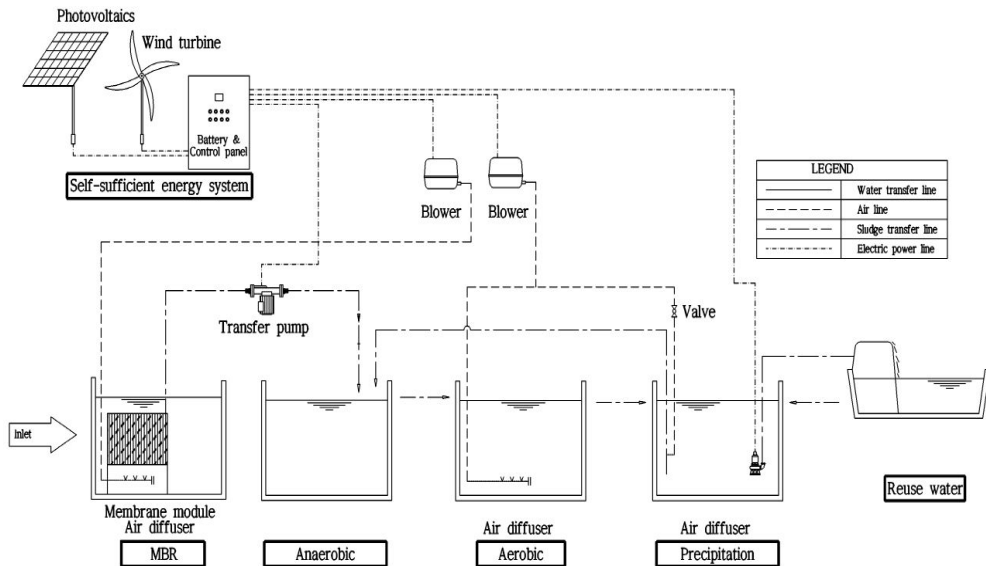


Figure 1. Schematic of MBR and A/O.

Table 30에서는 Fig. 1의 실험 장치에 대하여 단위공정별로 기능을 설명하고 있다.

Table 30. Specifications of MBR and A/O

구분	설 명
MBR	하수처리의 방류수를 유입하여 분리막을 통하여 여과하고 침전으로 이송한다. 폭기를 실시하여 호기성 조건으로 운전한다.
Anaerobic	혐기조건으로 운전하여 폭기조에서 질산화되어 반송된 혼합액을 탈질소화반응을 유도하여 질산성 질소를 질소가스로 제거시켜 대기중으로 방출한다. 인제거 미생물의 과잉섭취된 인의 추출을 유도한다.
Aerobic	폭기를 통한 산소를 공급하여 질산화 반응을 유도한다. 인처리 미생물의 인과잉 섭취 반응을 유도한다.
Precipitation	유입된 처리수를 중력식 침전으로 최종 침전함과 동시에 외부 물 재이용 용도로 사용하기 위해 최종적으로 보관하며 재이용조로 방류한다.
Reuse water	재 처리된 물을 조경용수나 인공연못등의 친수용수로 활용하는 수조를 설치하여 물을 재이용한다.

또한 처리공정에서 소비되는 전력 에너지의 소요량을 산출하여 아래 Table 31에 나타내었다.

Table 31. Capacity and energy requirements of MBR and A/O

처리 용량	공정구분	규격	사용장치	사용 전력량(Watt hour)	총전력량 (Wh/Day)
5 m ³ /d	MBR Process	Φ1,500×2,000	Blower 22W×1ea Pump 150W×1ea Pump 200W×2ea	22W×20h=440Wh(폭기) 150W×2h=300Wh(원수유입) 200W×2h=400Wh(흡입) 200W×0.1h=20Wh(역세정)	2,960Wh/ Day
	A/O Process	Φ1,500×3,250	Blower 45W×1ea Pump 150W×1ea	45W×20h=900Wh (폭기, 반송) 150W×6h=900Wh (처리수 이송 및 재이용)	

2) A²/O와 MBR을 결합한 공정

앞의 첫 번째 연구장치에서는 MBR조를 앞단에 설치하여 탄소유기물인 BOD를 제거하는데 중점을 두었으나 탄소유기물이 너무 낮은 상태에서 A/O 공정으로 유입될 경우 낮은 C/N비가 되어서 고도처리의 한계를 나타낼 것으로 판단되어, 두 번째 실험에서는 앞단 공정에 A²/O 공정을 이루고 MBR조를 후단에 위치시켜 제거 효율을 비교하고자 하였다.

Fig. 2는 두 번째 연구장치인 A²/O 공정과 MBR공정을 결합한 형태로 제작된 연구장치의 처리공정도를 나타내고 있으며 호기성조와 MBR조에는 간헐적으로 폭기를 실시하여 산소를 공급하였으며 분리막으로는 중공사막을 사용하여 막오염에 대비한 역세척을 할 수 있는 구조로 제작되었다. 또한 처리장치에 공급하는 자립형 에너지 공급장치를 함께 표시하였다.

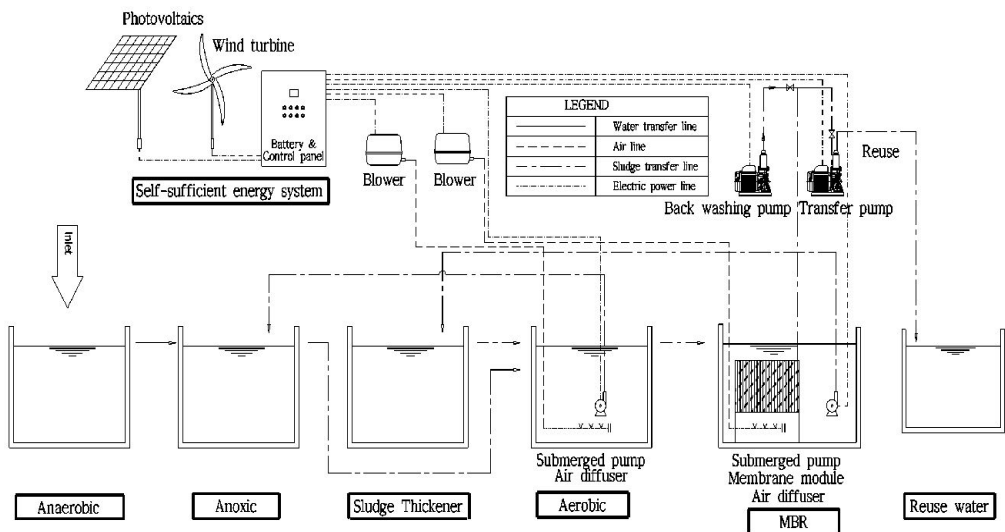


Figure 2. Schematic of A²/O and MBR.

Table 32에서 각 단위 공정에 대한 설명을 하였다. 혐기조와 무산소조 및 MBR조를 포함한 호기성조를 구성하여 전체적으로 A²/O 공정에 가깝게 공정을 구성하였으며 과잉 섭취되어 방출된 인을 축적할 수 있는 인저장조를 두어 인의 제거를 고려한 고도처리공정을 실현하였다(한라산업개발, 제주대학교, 2012).

Table 32. Specifications of A²/O and MBR

단위공정	기 능 설 명
Anaerobic	하수처리 방류수가 유입되어 유입수의 쉽게 분해 가능한 유기물을 이용하여 인의방출 유도과 탈질소화 반응을 유도한다.
Anoxic	폭기조에서 질산화된 혼합액을 탈질산화반응을 통하여 질산성 질소를 질소가스로 제거시켜 대기중으로 방출한다. 인의 과잉섭취한 미생물의 인의 추출을 유도한다.
Sludge thickener	폭기조에서 과잉섭취로 침전된 인슬러지를 반송하여 3개월이상 저장, 수거한다.
Aerobic	미생물에 의한 인과잉 섭취 반응을 일으켜 인저장조로 반송하는 역할, 질산화미생물에 의한 질산화 반응을 유도한다.
MBR	용존상태의 오염물질이 결합, 응집, 중축합반응에 의해 침강이 용이한 Floc을 형성하게 된다. 또한 산화, 소화 등 신진대사활동에 의한 처리기능을 동시에 수행하고 침지된 멤브레인을 통해 펌프를 이용해 처리수를 배출한다.
Reuse water	재 처리된 물을 조경용수나 인공연못등의 친수용수로 활용하는 수조를 설치하여 물을 재이용한다.

아래 Table 33서는 연구장치에서 소비되는 소요전력을 산출하여 표시하였으며 공급하기 위한 발전장치는 첫 번째 실험과 같으며 여기서는 생략하였다.

Table 33. Capacity and energy requirements of A²/O and MBR

처리 용량	공정구분	규격	사용전력장치	사용 전력량(Wh)	총전력량 (WH/Day)
8 m ³ /d	A ² /O 와 MBR 공정	Φ2,000× L3,000	Blower 22W×1ea Blower 45W×1ea Pump 150W×4ea Pump 200W×2ea	45W×20h=900Wh(폭기) 22W×20h=440Wh(폭기) 150W×2h=300Wh(원수유입) 150W×4h=600Wh(활용펌프) 150W×2h=300Wh(반송) 200W×2h=400Wh(흡입) 200W×0.1h=20Wh(역세정)	2,960Wh/ Day

2. 실험방법

중소형의 하수처리시설의 방류수 기준은 BOD와 SS에서 10~20 mg/L로, 개정 하수도법의 적용 여부에 따라 T-N T-P 제거의 고도처리기능을 갖추어 설계되어있는 곳과 그렇지 않은 곳이 혼재되어 있다. 또한 탁도 및 색도 pH등은 적용되지 않은 상태로 설치되어 있어서, 이러한 하수처리의 방류수를 재이용하기 위해서는 각각의 시설별로 유출수를 측정 분석하여 거기에 적합한 형태의 물 재이용 처리장치를 적절하게 선택하여 적용할 필요가 있다.

1) MBR과 A/O의 결합 공정

첫 번째 연구장치로 MBR과 A/O를 결합한 공정을 통하여 실험을 하였으며, 물 재이용의 수질 기준으로 목표한 각 항목별로 측정하기 위한 채수 위치와 측정방법을 Table 34 에 나타내었으며 DO, pH 및 탁도 색도는 측정기를 이용하여 직접 측정하였으며 BOD, SS 및 T-N, T-P, 대장균군은 전문 측정기관에 의뢰하였다.

Table 34. Water quality analysis of MBR and A/O process

항목	시료채취	측정방법	측정회수
BOD	- Raw water - Effluent of precipitation	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 4회
SS	- Raw water - Effluent of precipitation	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 4회
T-N	- Raw water - Effluent of precipitation	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 3회
T-P	- Raw water - Effluent of precipitation	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 3회
DO	- Raw water - Effluent of anaerobic - Effluent of precipitation - Reuse water	자가측정 측정기:DO-31P (TOADKK)	1회/3일 3개월간
pH	- Raw water - Effluent of anaerobic - Effluent of precipitation - Reuse water	자가측정 측정기:HM-31P (TOADKK)	1회/3일 3개월간
탁도	- Raw water - Effluent of anaerobic - Effluent of precipitation - Reuse water	자가측정 측정기:TCR-30 (UINS)	1회/3일 3개월간
색도	- Raw water - Effluent of anaerobic - Effluent of precipitation - Reuse water	자가측정 측정기:TCR-30 (UINS)	1회/3일 3개월간
대장균	- Raw water - Effluent of precipitation	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 3회

2) A²/O와 MBR의 결합 공정

두번째 실험은 A²/O와 MBR을 결합한 공정으로 첫 번째 실험에서 했던 항목을 똑같이 실험하였으며, 변경된 단위 공정에 따라 시료를 채수하는 위치를 달리하였으며 시료채취 위치와 측정방법 등을 Table 35에 표시하였다.

Table 35. Water quality analysis of A²/O and MBR Process

항목	시료채취	측정방법	측정회수
DO	- Raw water - Effluent of MBR - Reuse water	자가측정 측정기:DO-31P (TOADKK)	1회/1주 3개월간
pH	- Raw water - Effluent of MBR - Reuse water	자가측정 측정기:HM-31P (TOADKK)	1회/1주 3개월간
BOD	- Raw water - Effluent of MBR - Reuse water	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 3회
SS	- Raw water - Effluent of MBR - Reuse water	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 3회
T-N	- Raw water - Effluent of MBR - Reuse water	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 3회
T-P	- Raw water - Effluent of MBR - Reuse water	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 3회
탁도	- Raw water - Effluent of MBR - Reuse water	자가측정 측정기:TCR-30 (UINS)	주 1회 3개월간
색도	- Raw water - Effluent of MBR - Reuse water	자가측정 측정기:TCR-30 (UINS)	주 1회 3개월간
대장균	- Raw water - Effluent of MBR - Reuse water	측정전문기관에 의뢰	월 1회 총 3회

3) 자립형 에너지 측정방법

시스템을 운전할 때 필요한 전력량을 산출하고 에너지관리시스템(EMS)을 고안하고 제작하여 태양광발전과 풍력발전기의 생산전력량과 배터리 및 부하에서 사용되고 있는 전압 전류 전력량을 일정시간 간격으로 측정하여 데이터 베이스를 작성하고 모니터링하여 상시 확인 가능하도록 하였다.

또한 저장된 데이터를 그래프로 표현하였으며 그래프의 표현은 풍력발전기와 태양광발전장치에서 발전되는 전압 전류 전력량을 1일, 1주일 및 70일 단위로 측정하였으며, 배터리와 함께 부하에서 사용되는 전압 전류 전력량을 또한 1일, 1주일 70일 단위로 측정하여 모니터링 하였으며 전압 전류 및 전력의 변화 패턴을 그래프로 나타내었다.

IV. 연구결과 및 고찰

1. 에너지 자립형 시스템 적용 결과

본 연구에서는 물 재처리 장치를 운전하는데 필요한 전력량을 산정하고, 필요한 전력을 공급하기 위하여 하이브리드 발전방식으로 태양광과 풍력발전기를 설치하여 생산전력량을 측정하고, 배터리 및 부하에서 실제 사용되는 전력량을 측정 분석하였다. 데이터 측정 수집 분석방법으로 EMS(Energy Management System)을 설치하여 활용하였으며 전압과 전류 전력량의 데이터를 분단위 간격으로 수집 측정하고 모니터링하는 방법과 함께 각각의 특성에 대하여 그래프로 표현하였다.

1) 소형풍력 발전 전력생산 데이터

현장에 설치된 소형풍력 발전의 경우 태양광발전이 주간에만 생산되는 전력의 단점을 보완하는 기능을 할 수 있으나 바람에너지의 특성상 변동폭이 크게 나타남을 확인할 수 있었다. Fig. 3는 소형풍력발전의 1일 전압[V], 전류[A], 전력[W]을 나타내며 오전 1시부터 전력이 생산되며 오후 12이후 부터는 전력생산이 약해지는것을 확인할 수 있다. 1일동안의 그래프는 EMS 출력 데이터를 시간별로 평균치를 산출하여 24시간동안 막대그래프로 표현하였다.

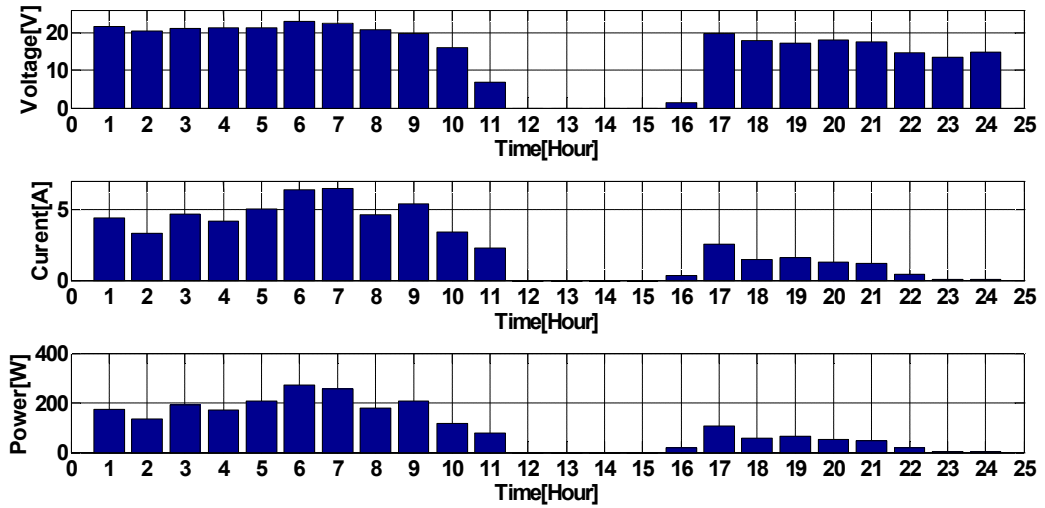


Figure 3. Wind turbine output data of one day.

Fig. 4는 일주일동안의 출력을 나타내고 있으며 바람에너지의 상태에 따라 출력의 변동이 크게 나타남을 알 수 있다. 일주일간의 그래프와 70일간의 그래프는 데이터량이 많아 꺾은선 그래프 형태로 표현하였다.

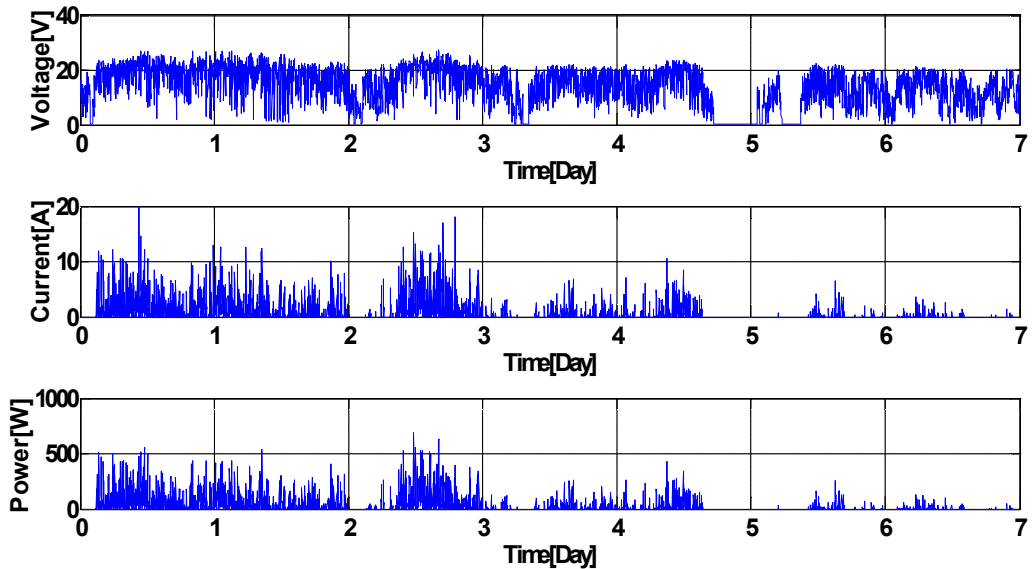


Figure 4. Wind turbine output data of one week.

Fig. 5는 소형 풍력발전의 70일에 대한 출력을 나타내었다. 데이터에서 보는 것처럼 소형풍력 발전의 경우 일기에 따라 변동폭이 다소 심하여 안정적인 신뢰성은 떨어지는 것으로 나타났으며, 이를 보완하기 위하여 태양광 발전과의 하이브리드 연계가 필요함을 알 수 있다.

풍력발전은 바람의 에너지를 운동에너지로 변환시켜서 발전하는 것으로 대체적으로 발전기의 효율을 고려하면 바람에너지의 40%정도가 풍력에너지로 이용되며 바람의 세기가 불연속적으로 나타나기 때문에 연속적으로 계속 사용하기가 어렵다는 단점이 있다. 하지만 지속적으로 기술이 발전되어 설치비용이 점차 감소되며 설치비용이 태양광 발전의 1/5정도로 경제성을 갖추기 시작했다. 본 연구에서는 소형 풍력발전을 통하여 진행하였으나, 10 W 정도의 Micro급에서 2 MW 에 이르는 대형 발전기까지 다양한 종류가 개발되어 있으며 점차 대형화하며 경제성을 확보하는 것으로 나타나 있다(정대원, 2011).

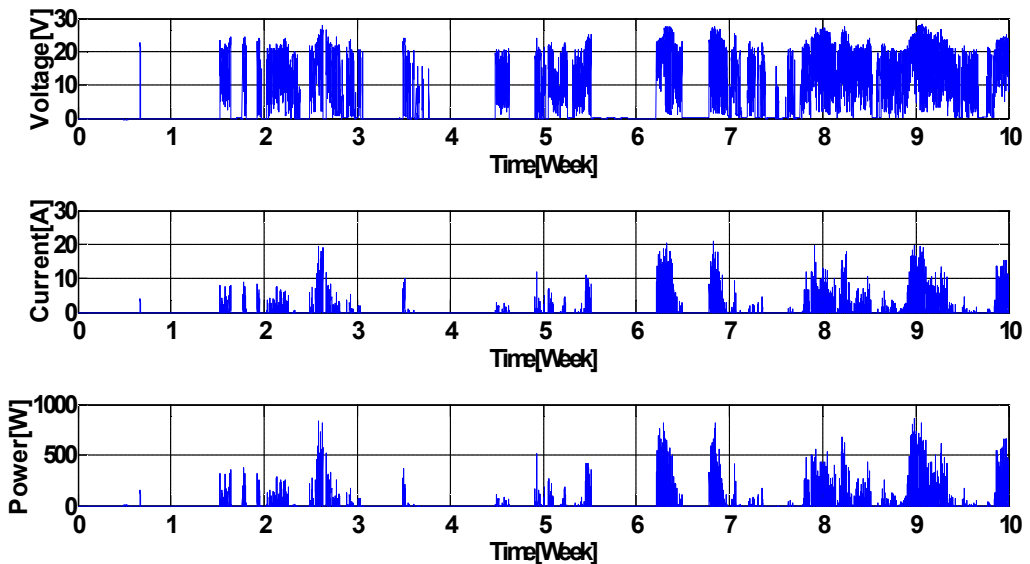


Figure 5. Wind turbine output data of seventy days.

2) 태양광 발전 전력생산 데이터

태양광 발전은 주간에 발전할 수 있는 발전원으로 안정적인 전력생산은 가능하나 설치공간이나 야간 전력생산이 불가능한 단점이 있으므로 독립형 발전의 경우 소형 풍력등과 하이브리드로 구성하여 사용하게 되며 1일 태양광 발전 특성을 Fig. 6에 나타내었다. 08시부터 전력 생산이 시작되어 낮에 태양의 세기에 따라 생산전력량이 변화하는 것을 볼 수 있으며 18시 이후에는 점차 약해져서 전력생산이 중단됨을 알수있다. 1일의 태양광의 출력데이터는 역시 막대그래프로 표현하였다.

태양광 발전산업은 1990년대 중반을 전환으로 급속도로 증가하고 있으며 IEA(국제에너지기구)의 PVPS 자료에 따르면 2008년 현재 전세계적으로 14,000 MW 의 태양광발전 용량이 설치되어 있는 것으로 나타났다(송승호(역), 2011).

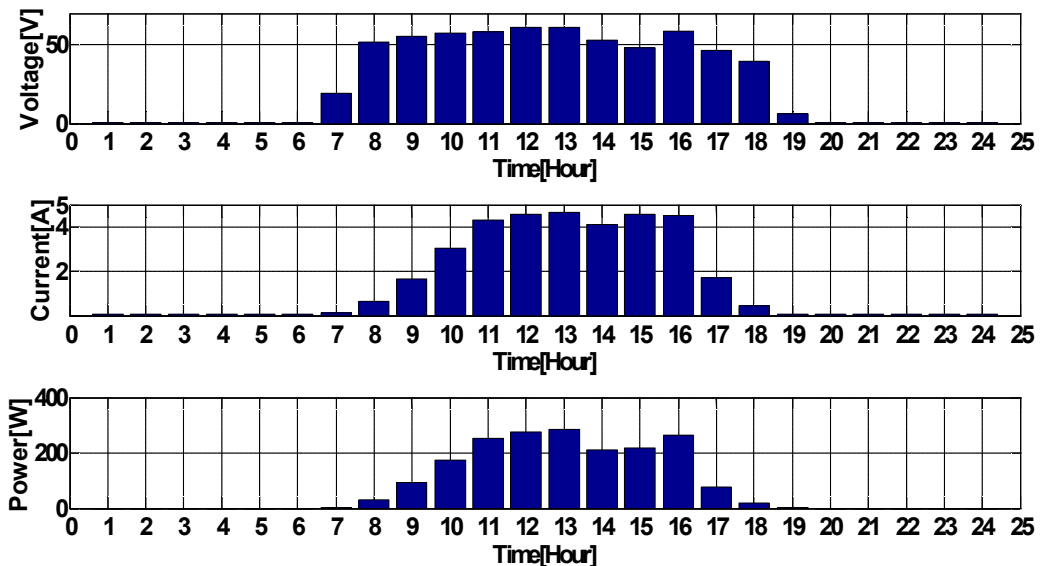


Figure 6. Photovoltaics output data of one day.

Fig. 7과 Fig. 8은 일주일과 70일에 대한 각각의 태양광 발전 특성을 나타내었으며 태양광발전의 경우 일정한 패턴으로 전력이 생산되고 있으며 주간에는 비교적 신뢰성이 있는 것으로 판단된다. 태양광발전의 장점은 공해가 없고, 계통연계가 쉬우면서 독립형으로 가능하며, 유지보수가 용이하다는 것이다. 반면에 전력생산량이 일조량에 의존하고, 설치 장소가 한정적이며, 아직은 효율이 높지 않기 때문에 초기 투자비와 발전단가가 높은 단점이 있다(Kai Takaaki 등, 2011). 하지만 연구개발을 통해 효율이 높은 태양전지를 개발하고 있어 경제성을 갖는 제품이 나올 것으로 전망한다. 그래프 중에서 출력의 변화가 생기는 부분은 흐린날 구름과 비의 날씨 영향으로 볼 수 있다.

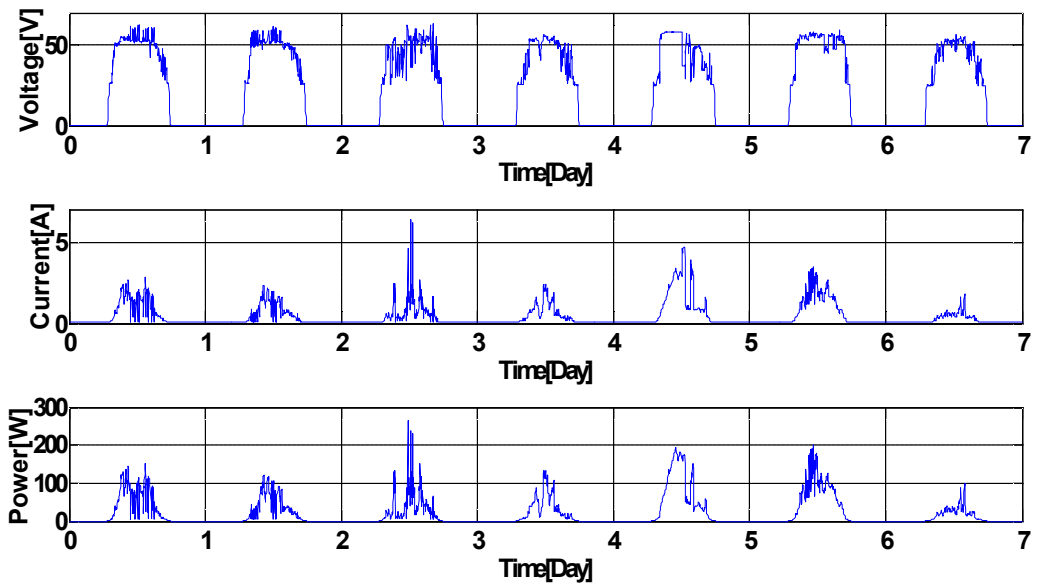


Figure 7. Photovoltaics output data of one week.

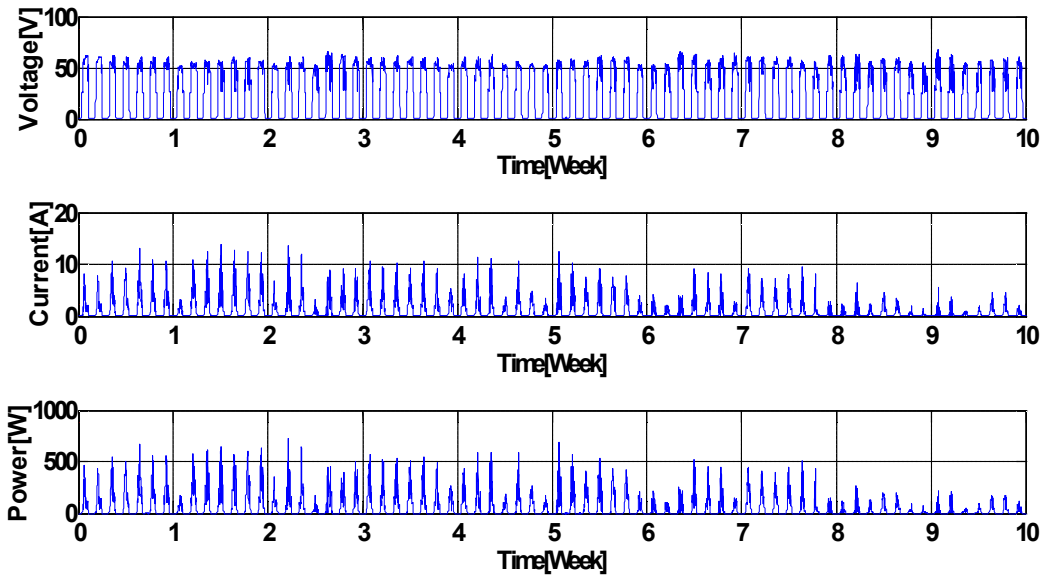


Figure 8. Photovoltaics output data of seventy days.

태양광은 주간과 야간의 차이가 뚜렷하게 나타났으며 주간에는 비교적 안정적인 발전의 신뢰도를 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.

3) 배터리 충전 및 부하사용 데이터

신재생에너지를 사용한 발전의 경우 기후 변화에 따른 출력특성 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. Fig. 9은 배터리의 1일 전력상태를 나타내었으며 소형풍력과 태양광 발전에서 생산된 전력으로 충전이 되고 전류의 특성과 전력 사용량의 그래프를 통해 부하 사

용을 확인할 수 있다. EMS의 데이터를 시간당 평균값을 산출해서 막대그래프를 표현하였다. 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.

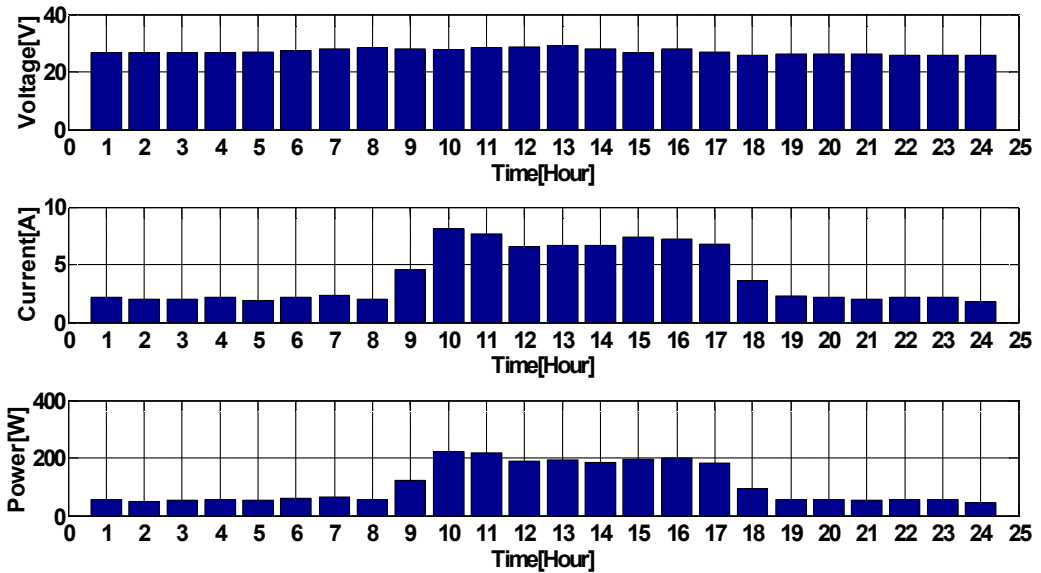


Figure 9. Battery charging and load data of one day.

Fig. 10과 Fig. 11은 각각 일주일과 70일에 대한 배터리 충전과 부하 사용 특성으로 일정한 패턴으로 충전과 부하사용이 이루어짐을 확인할 수 있다. 여기서 태양광발전에서 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.

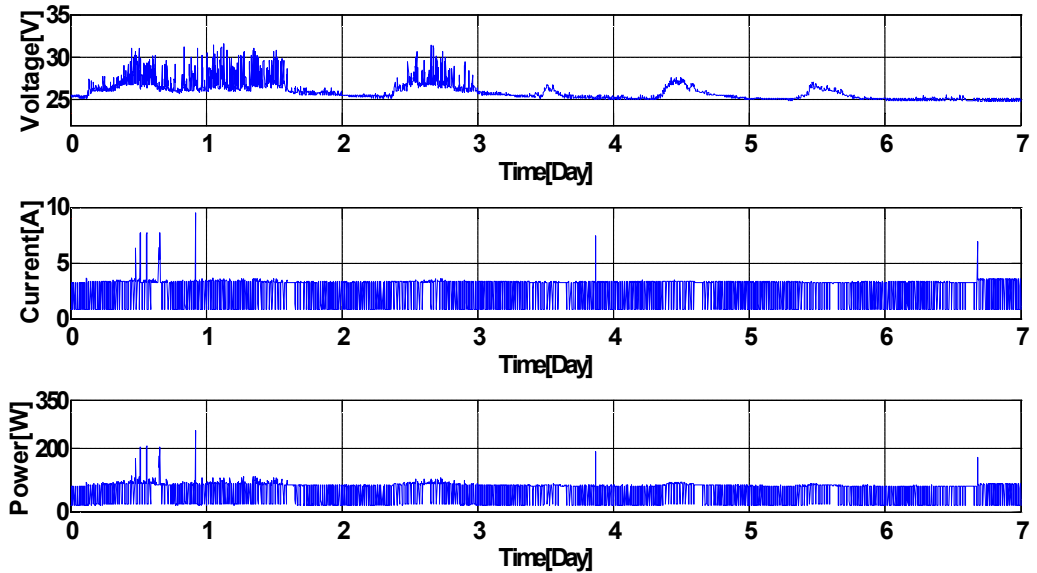


Figure 10. Battery charging and load data of one week.

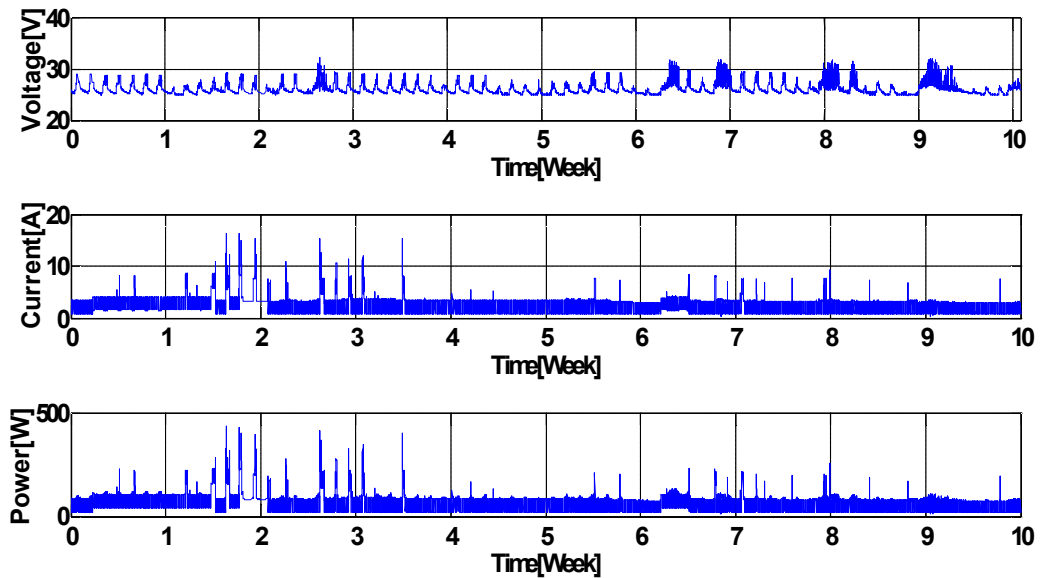


Figure 11. Battery charging and load data of seventy days.

본 연구에서 연구 장치의 소요전력량을 하루 2,950Wh 로 산정하였으며 이는 시간당 평균 123W의 소요전력으로 환산된다. 자립형의 발전 장치로는 태양광 발전장치로 800W 를 소형 풍력 발전 장치로 1KW 의 설비를 설치하여

연구하였으며, 이론적으로 풍력과 태양광의 발전량은 태양광이 800W(설비용량) x 0.2(효율) x 10 시간 = 1,600Wh/day, 풍력이 1,000 W(설비용량) x 0.15(효율) x 24 시간 = 3600Wh/day, 이를 합하면 5200 WH/day 가 산출되고 계산했던 장치에서의 소요전력을 공급하고 남는 전력량이다.

배터리용량은 24V 로 1,000Ah 를 설계하여 설치하였다. 이것은 이론적으로 정격이 24V, 123W인 전력기계를 사용할때 195시간(1,000Ah/(123Wh/24V))을 사용할 수 있는 배터리 용량이다. DC-AC 인버터를 설치하여 AC 220 V로 부하에 공급하는 것으로 환산하면 109Ah(1,000Ah x (24V/220V))가 되고, 이것은 이론적으로 정격전압이 220V이고 정격전력이 123W 인 전력기기를 사용할 경우 역시 195시간(109Ah/(123W/220V))의 사용가능 시간이 산출된다.

이것은 인버터 및 배터리와 전력계통의 손실을 반영하지 않은 이론적 수치이며, 손실을 감안하여 효율을 적용하면 사용가능 시간은 줄어들게 되며, 효율을 대략 0.5로 반영한다면 약 98시간을 사용할 수 있는 용량이며, 이는 4일의 보정일수로, 이론적으로 4일간 일기가 좋지 않고 바람이 불지 않아도 배터리를 통하여 시스템을 가동할수 있는 계산치 이다. 하지만 연구초기에 계획했던 소요 전력량보다 실제로 펌프의 가동시간이 적게 사용되었으며 펌프의 가동시간 축소 등 부하량보다 배터리의 용량이 충분하게 설계된 것으로 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 컨트롤러를 통하여 과충전 방지로 전력생산 충전은 자동으로 멈추도록 제어되었으며 남는 전력은 전등부하등을 통해 소비하였다. 따라서 기존 계통전력이 공급되지 않는 도서지역이나 산간등지에서의 에너지 자립형의 방식을 독립형으로 적용하는 방법으로 가능한 결과를 얻게 되었다. 그러나 남는 전력을 활용하는 방안과 에너지 자립형의 설비를 최적화(최소화)하기 위해서는 기존의 계통전력이 존재하는 곳에서는 기존의 계통전력과 연계하는 방식의 에너지 자립형의 전력공급 방식을 적

용하는 것이 경제적이다 판단된다.

그리고 기후를 고려할 경우 제주도의 경우를 예로 들면 5월경부터 10월까지 태양에너지가 꾸준한 신뢰성을 보이다가 11월부터는 날씨가 좋지 않아 태양광 발전이 저조하며, 이에 반해 풍력은 11월부터 더욱 좋아지며 4월경까지 좋은 풍력 에너지를 나타낸다. 그래서 에너지 자립의 전력 공급방식으로 하이브리드 발전방식이 보다 안정적인 신뢰성을 확보할 수 있다고 판단된다.

2. 하수처리수의 처리 결과

1) MBR과 A/O를 결합한 공정

MBR과 응용된 A/O공정을 후처리 공정으로 구성하여 연구 실험하였으며 MBR 반응조에서 BOD, SS등의 처리 효율은 높게 나타났으며, A/O Process를 통해 질소와 인의 제거를 목표로 하였으나, 인의 제거효율은 비교적 양호하였으나 질소의 제거효과는 적었으며, 각각의 수질기준 항목별로 그 결과값을 그래프를 통하여 표현하였다.

(1) 용존산소(DO)

Fig. 12에서 DO 측정값을 나타내었다. MBR조와 Aerobic tank는 주기적으로 시간을 설정하여 폭기를 하여서 Aerobic의 조건으로 운전하였으며 혐기성조는 Anaerobic조건으로 운전하였다. 호기성조와 혐기성조의 DO값의 차이를 확인할 수 있으며, 또한 결과에서 보듯이 재이용조의 DO값이 현저하게 높게 나타나고 있다. 이것은 재이용조에서 녹조 현상으로 인해 녹조류의 광합성 작용으로 인한 것으로 판단된다.

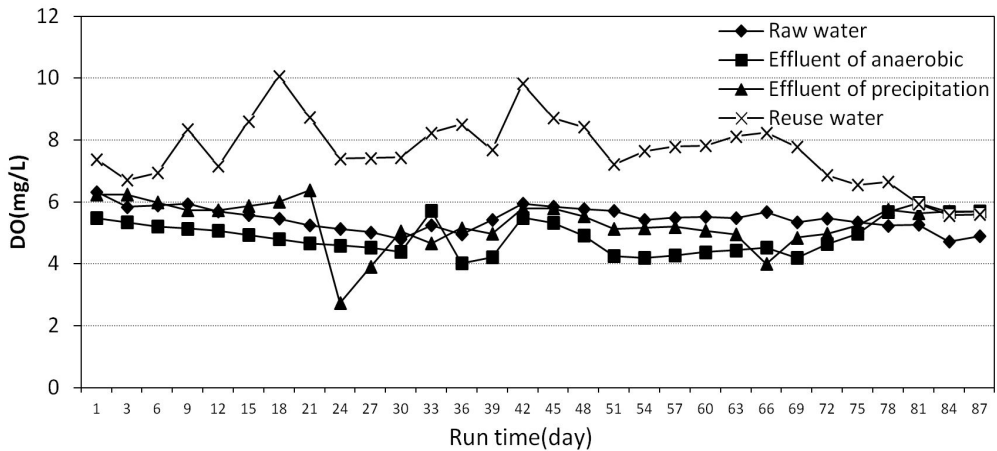


Figure 12. Variations of DO on processing steps.

(2) 수소이온농도(pH)

Fig. 13에서 pH 측정값을 나타내었다. Arrhenius에 의하면 염기는 pH의 상승으로 염기성이 되는데 수용액속의 수산화이온(OH⁻)농도를 증가시키는 물질로 정의되며(감상규, 조은일, 2010), 재이용수로 사용하기 위한 pH농도의 기준은 5.8~8.5로 제시되고 있으며 재이용조로 유출되기 전단계인 Aeration tank에서의 pH농도는 대략 7.5~8.5로 나타나고 있으며, pH 농도 역시 큰 변화가 없다가 재이용조에서 크게 상승되는 것을 알 수 있다. 원인은 역시 녹조류의 번식으로 인한 pH의 상승으로 판단되며, 일반적으로 수생식물의 광합성은 물에 녹아있는 탄산을 이용하여 물과 태양에너지에 의하여 유기물을 합성하고 산소를 방출한다. 그 과정에서 OH⁻를 수중에 방출하기 때문에 pH는 상승하는 것으로 나타나 있다. 따라서 pH와 용존산소는 동일하게 변화를 하고 탄산은 정반대로 변화한다.

녹조류의 번식 원인은 역시 질소와 인등의 부영양화 물질에 의한 부영양화 현상으로 유입수의 처리를 통하여 질소와 인을 제거하였으나 제거효율이 높지 않고 재활용조의 물의 순환이 더디고 햇빛이 차단이 되지 않는데 원인이 있는 것으로 판단된다.

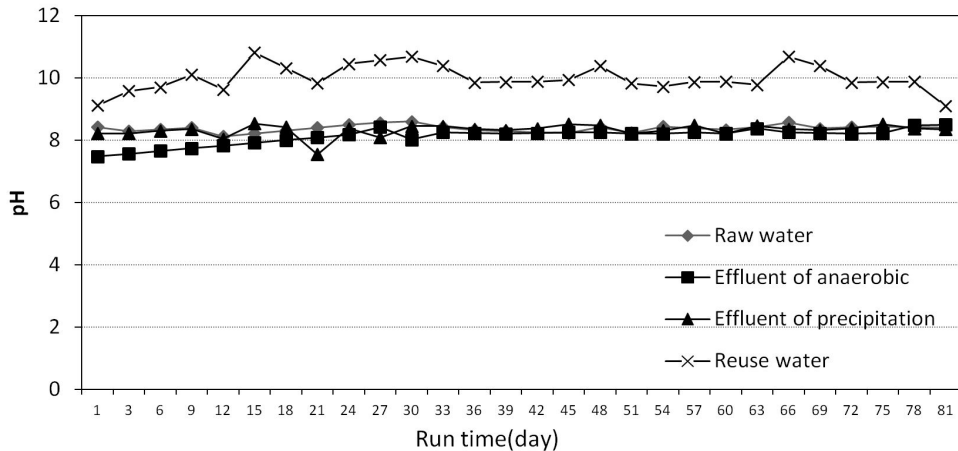


Figure 13. Variations of pH on processing steps.

(3) BOD(Biochemical Oxygen Demand)

Fig. 14에서 BOD의 측정값과 제거율을 표현하였다. 유입원수의 BOD 측정값과 Precipitation tank 에서는 처리된 물의 BOD 측정값을 나타내고 있으며 제거율을 표현하였다. 그림에서 보는 바와 같이 처음에는 제거 효과가 다소 낮게 나타났으나 시간이 경과할수록 높은 제거율을 나타냈으며 이는 생물학적인 처리공정에서 나타나는 일반적인 사항으로 판단된다.

하천수의 경우 BOD 1 mg/L 이하이면 1급수로 여과 등 간이정수 처리후 상수로 사용할 수 있고 3 mg/L 이하이면 2급수로 침전여과 등에 의한 일반적 정수처리 후 사용 가능한 물이며 5 mg/L 이하이면 3급수로 전처리 등을 거친 고도정수 처리후 상수로 사용할수 있는 물이다. 처리되지 않은 하·폐수는 BOD 100 mg/L 이상이고(감상규 조은일, 2010), 하수처리를 통해 1차 처리된 방류수는 지역별 수질등급에 따라 다르나 대개 10~20 mg/L 이다. 물 재이용 규정에서는 이러한 하수처리수의 방류수를 재처리하여 조경용수나 친수용수 등으로 이용하려는 것이다. 실험 결과 재이용수의 BOD 기준이 5 mg/L이하인 점을 고려할 때 재이용수로 활용하는데 적절한 값이다.

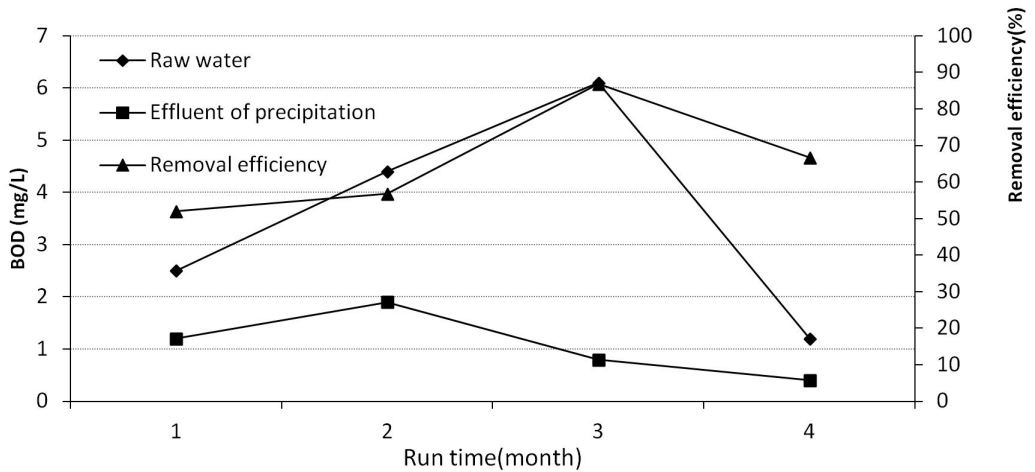


Figure 14. Variations of BOD and removal efficiency.

(4) SS(Suspended Solids)

Fig. 15에서는 SS의 측정값을 나타내었으며 BOD의 제거효과와 거의 흡사한 그래프를 보였으며, 유입원수와 처리된 물의 SS 값과 제거율을 표현하였다. 조경용수나 친수용수에 관한 재이용수의 수질기준은 설정되었지 않으나 조경용수로 재이용하는데 걱정할 것으로 사료된다.

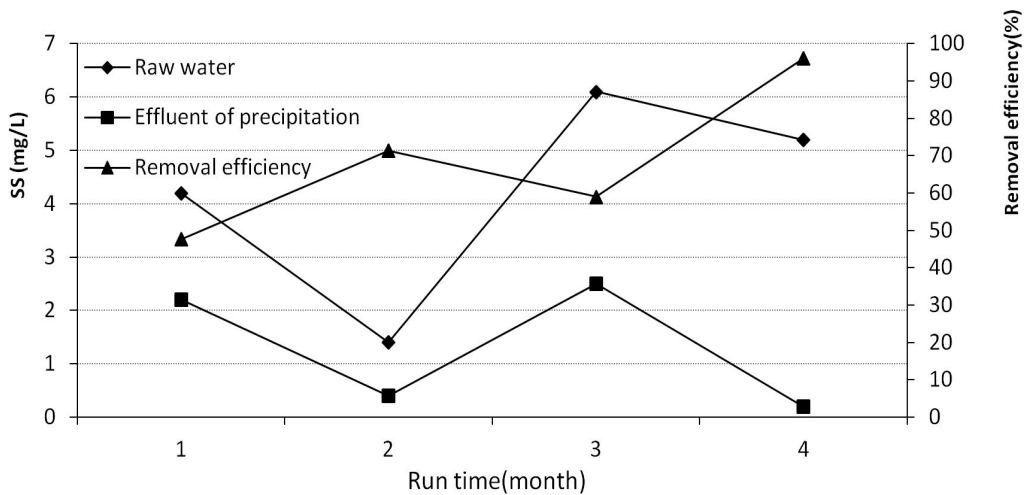


Figure 15. Variations of SS and removal efficiency.

(5) 총질소와 총인

총질소의 처리결과를 Fig. 16에 나타내었으며, 유입원수의 값과 처리수의 총질소 측정값을 나타내었다. 조경용수의 총질소의 기준은 없으나 친수용수의 기준이 2015년부터 10 mg/L 이하인 점을 고려하면 기준치보다 다소 높은 값이며 이에 대한 장치의 개선연구가 있어야 할 것이며, 적절한 질산화가 일어날려면 C/N비가 적정값 이상이 되어야 하는데 여기서는 BOD가 낮아 탄소유기물의 농도가 낮은 것으로 판단되며 너무 낮은 C/N비가 형성되어 질산화반응이 저조하여 질소제거의 효율이 떨어지는 것으로 해석된다. 한편, C/N 비는 처리대상물질내의 탄소원 / 질소원 으로 표시되며 COD/TN 혹은 BOD/T-N 으로 표기하기도 한다. 대개 하수처리의 경우 C/N 비가 일정값 이상 유지되어야 탈질효과를 높여서 처리효율을 높일수 있다.

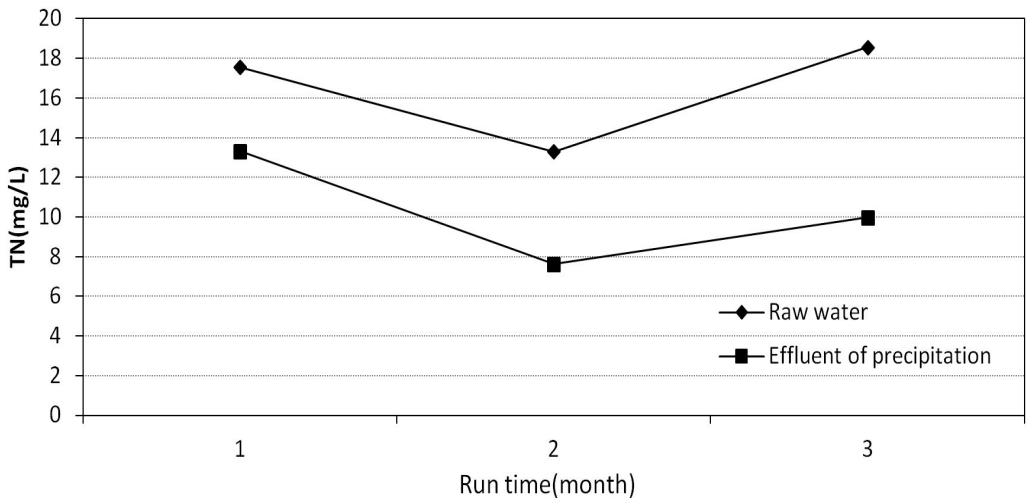


Figure 16. Variations of T-N on processing steps.

Fig. 17에서는 총인의 측정값을 표시하고 있으며 유입원수의 총인값과 처리수의 총인 측정값을 나타내고 있다. 조경용수의 총인의 기준은 없으나 2015년부터 적용되는 친수용수로서의 기준이 0.5 mg/L인 점을 고려한다면 총인은 보다 정밀한 처리를 요구하며 이는 녹조류의 번식 원인이 특히 인성분에 의한

것으로 본 연구 장치로는 측정 결과만을 볼 때 미흡한 것으로 나타나며 제거 효율을 높이기 위한 개선방법을 연구해야 할 것으로 사료되며, 특히 인의 제거는 화학적인 방법을 병행해야만 요구하는 적정기준 이하로 제거될 것으로 판단된다.

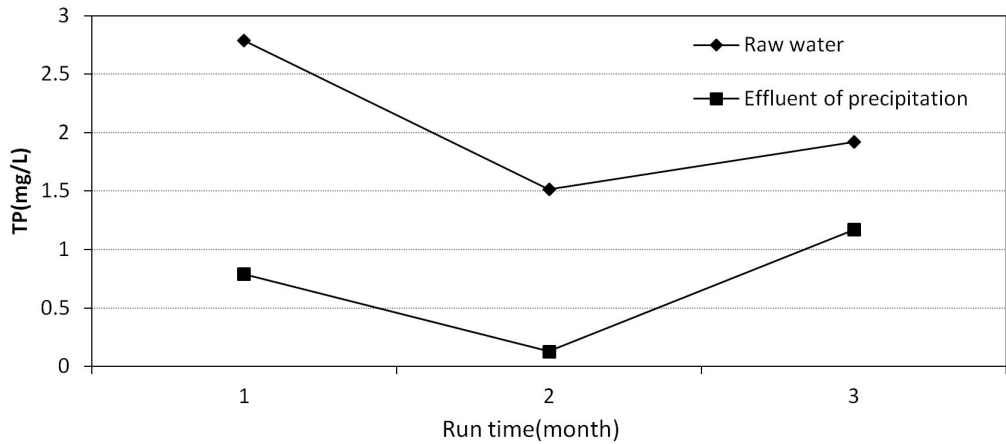


Figure 17. Variations of T-P on processing steps.

(6) 탁도와 색도

Fig. 18에서 탁도의 측정값을 표현하였고 유입원수와 혐기성조 및 호기성조에서의 탁도 측정값과 함께 재이용조에서의 탁도 측정값을 나타내었다. 탁도는 물속에서 빛의 투과를 방해하는 부유성 물질의 양을 말하며 시료수에 의하여 흡수되는 빛의 양으로 계산되며 수중 부유물질 농도의 증가는 탁도를 증가시키고 투명도는 감소시킨다.

조경용수의 탁도 기준치는 2 NTU 이하이다. 재이용에는 만족하는 결과가 나왔다. 하지만 재이용조에서의 탁도값은 현저하게 높게 나타나는 현상을 확인할 수 있으며 역시 녹조류의 번식에 의한 것으로 판단되며 조경용수의 재이용에는 문제가 없으나 친수용수 등으로 활용하기 위해서는 녹조류의 번식을 억제 할 수 있는 연구가 필수적으로 병행되어야 할 것으로 판단된다.

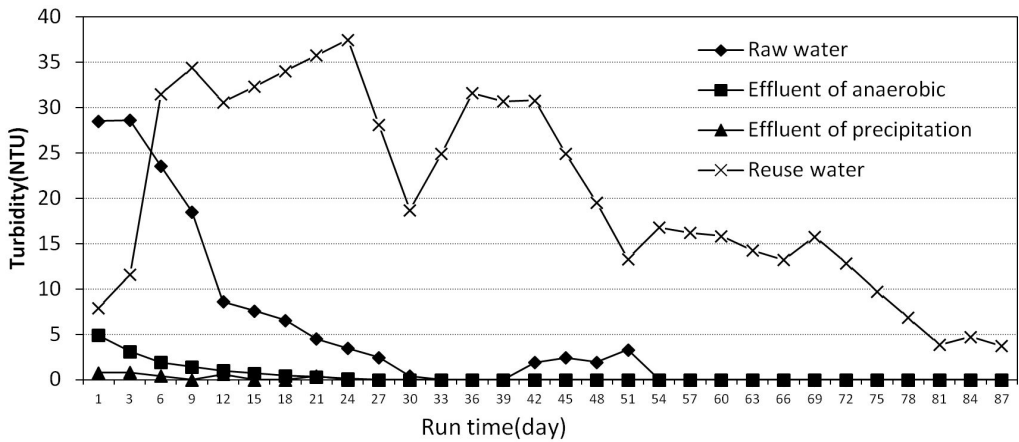


Figure 18. Variations of turbidity on processing steps.

Fig. 19에서는 색도의 측정치를 나타내었다. 처리과정을 통해 부유물질이 제거되면서 탁도와 함께 색도 역시 현저하게 감소되고 재이용수로써 조경용수의 기준치는 없으며 친수용수의 기준치가 10도 이하인 점을 고려해도 적절한 수치를 만족함을 알 수 있다. 다만 재이용조에서의 색도는 식물성 플랑크톤인 녹조류의 번식으로 인해 높게 나타나는 것을 실험을 통해 알 수 있으며 실제 육안으로도 녹조류의 번식을 확인할 수 있었으며 녹조류의 번식을 억제할 수 있는 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

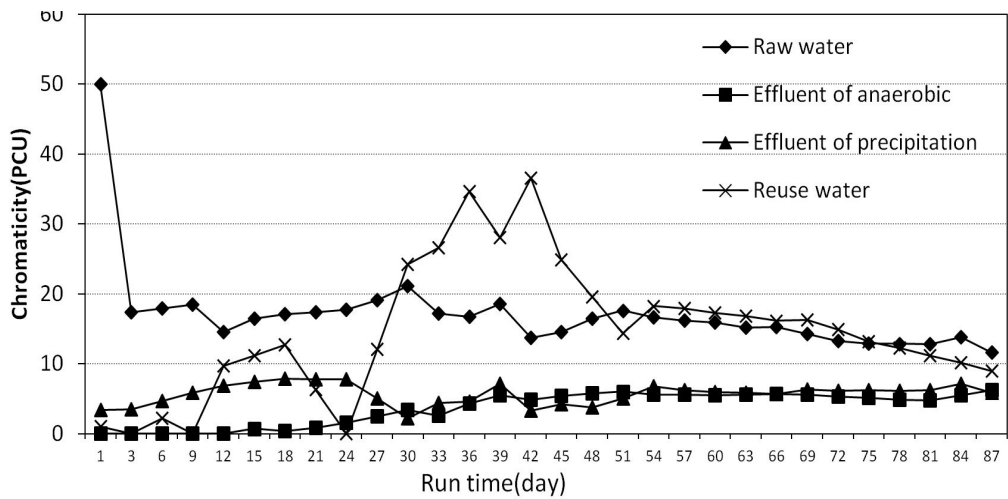


Figure 19. Variations of chromaticity on processing steps.

(7) 대장균군

조경용수나 친수용수로서 이용하기 위해서는 대장균군은 불검출 되어야 하는데 아래 Fig. 20에 나타낸 대장균군의 실험 측정치는 30개/mL 이하로 나왔다. 소독 공정을 두지 않은 관계로 대장균군의 검출이 있는 것으로 사료되며 염소소독이나 UV소독 공정을 통하여 대장균군의 문제는 해결될 것으로 판단된다.

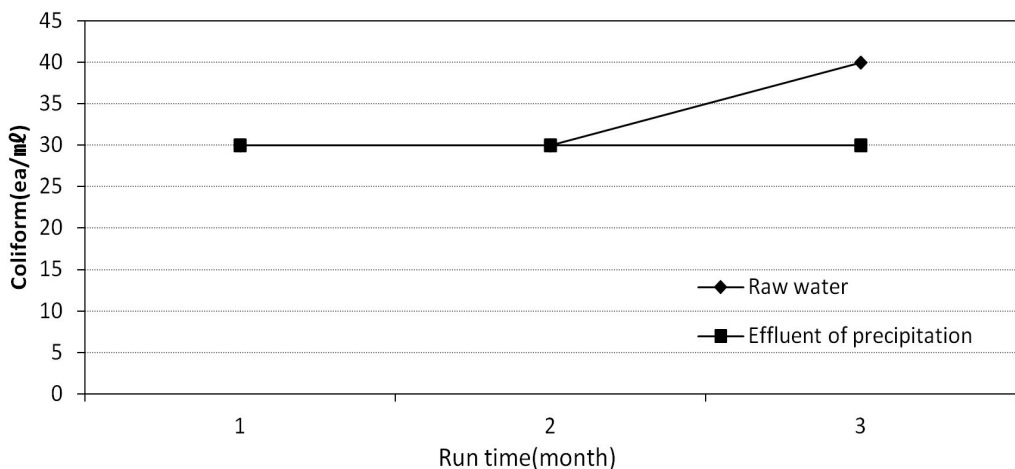


Figure 20. Coliform removal during period time.

2) A²/O와 MBR을 결합한 공정

첫 번째 실험에서 MBR조와 A/O공정의 처리조를 결합한 형태의 공정을 통하여 실험을 하게 되었는데 탄소 유기물의 처리는 비교적 양호한 것으로 나타났으나 질소와 인성분의 유기물의 제거는 둔화되는 것으로 나왔으며 이로 인한 재이용조에서의 부영양화에 의한 녹조의 문제가 대두되었다. 두 번째 연구에서는 공정의 조합을 고도처리공정 개선을 위해 전처리공정으로 A²/O를 두고 다음 공정으로 MBR조를 결합시킨 일체형의 구조로 제작하여 실험을 통해 변화 값을 측정 하였다.

(1) 용존산소(DO)

Fig. 21에서 두 번째 실험에서의 DO값의 변화를 나타내고 있다. 첫 번째 실험에서와 같이 본 실험에서도 용존산소의 변화는 비슷한 결과가 나왔다. 재이용조의 용존산소 농도가 높게 나타난 것은 역시 재이용조에서의 녹조류의 번식에 의한 것으로 판단된다. 다만 첫 번째 실험에서는 재이용조의 DO값이 현저하게 높게 나타났으나 두 번째 본 실험에서는 약간의 차이를 보였다. 그것은 두 번째의 막일체형 고도처리 공정에서 녹조류의 번식이 줄어든 결과로 해석된다.

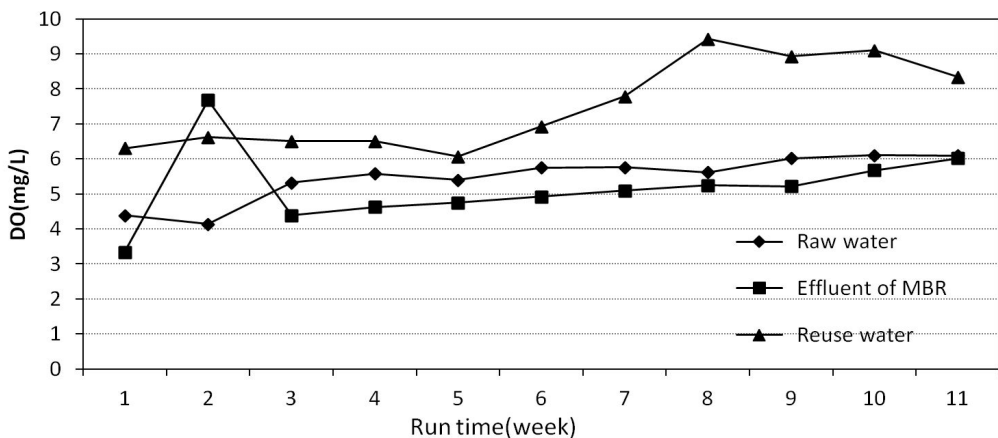


Figure 21. Variations of DO on processing steps.

(2) 수소이온농도(pH)

위 Fig. 22에서는 두번째 실험에서의 pH를 나타내고 있다. pH 역시 DO와 비슷한 결과를 나타내었으며 pH 값은 대개 7.5에서 8.3사이로 나타나 재이용수로서의 법적 이용기준이 조경용수 및 친수용수가 5.8~8.5인 점을 볼 때 적절한 수치로 판단된다. 다만 재이용조의 pH가 다른 조에서의 농도보다 높게 나타났으나 첫 번째 실험에서처럼 현저한 차이를 나타내지는 않았으며 첫 번째 실험보다 녹조류의 번식이 줄어든 결과로 부영양화 물질인 질소와 인의 성분이 줄어든 결과로 해석된다.

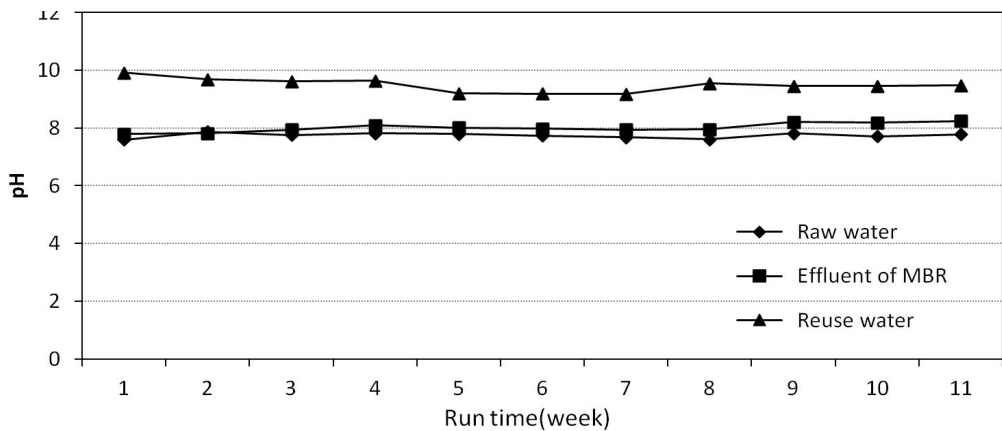


Figure 22. Variations of pH on processing steps.

(3) BOD(Biochemical Oxygen Demand)

Fig. 23에서는 두번째 실험에서의 BOD 측정치를 나타내었다. BOD의 측정장치를 갖추지 못한 관계로 타 기관에 측정 의뢰를 해야 하는 이유로 측정횟수가 많지 않은 점과 BOD의 측정결과 값을 얻는데 일정기간이 소요된다는 점으로 인해 측정치의 신뢰도를 높게 보장할 수는 없었다. 하지만 대체적으로 처리된 물과 재이용조의 BOD는 현저하게 낮은 값을 보이고 있으며 MBR조의 분리막을 통해 처리될 경우 BOD값은 5이하의 값을 나타내고 있으며 조경용수나 친수용수로서의 기준치에 적절하며 현저하게 제거되는 것을 확인할 수 있다.

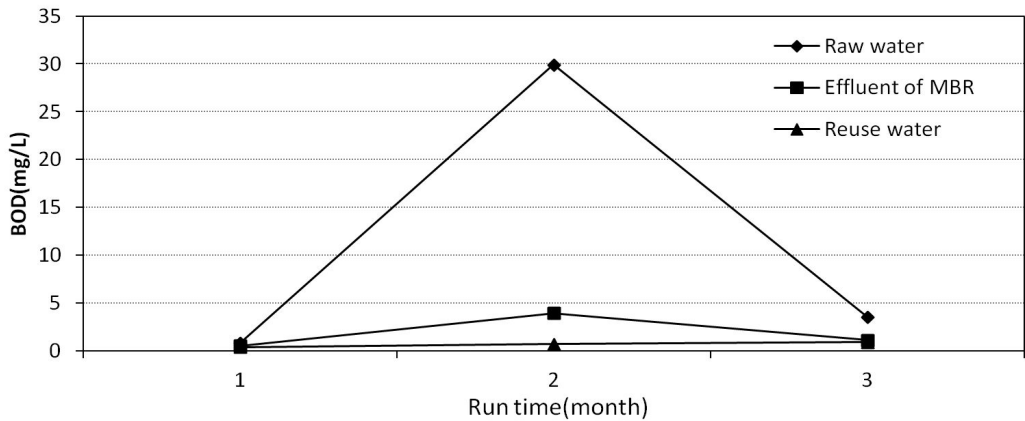


Figure 23. Variations of BOD on processing steps.

(4) SS(suspended solids)

Fig. 24에서는 SS의 제거상태를 나타내었다. SS는 BOD와 같은 변화의 곡선을 그릴 것으로 예측했고 비슷한 결과를 나타내었다. 하지만 2회차 측정값은 의외의 결과 값을 나타내었으며, 역시 측정회수를 더 늘려서 빈도수를 많이 해야만 보다 신뢰성 있는 결과를 도출할 것으로 판단되며, 실제로 처리수를 육안으로 확인할 경우 지하수와 구분하기 어려울 정도로 부유물질은 적은 것으로 확인된다.

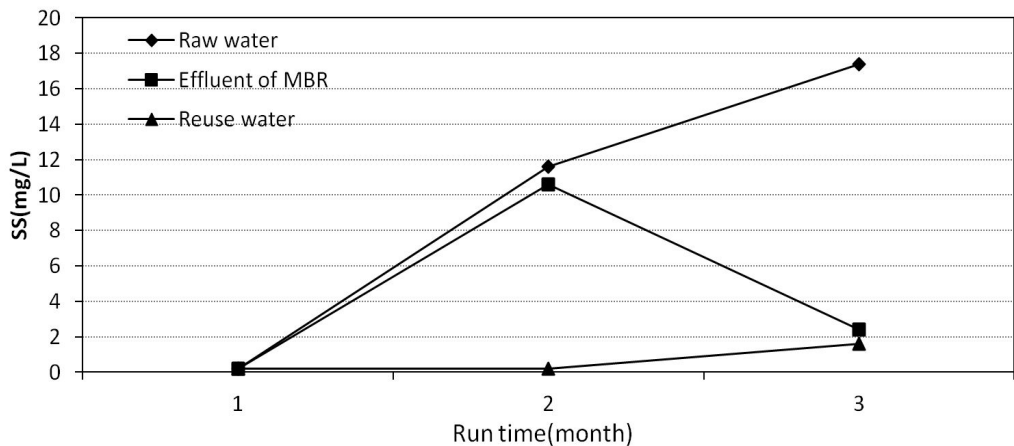


Figure 24. Variations of SS on processing steps.

(5) 총질소와 총인

아래 Fig. 25에서는 총질소의 측정값을 나타내었다. 위의 결과에서 질소가 20 mg/L 안팎으로 나타났으며 첫 번째 실험과 비슷한 결과의 측정값이 나타났으며 조경용수로서의 재이용에는 문제가 없겠으나, 친수용수로 활용하기에는 기준치보다 높게 나타났으며, 2015년부터 적용되는 친수용수의 법적인 기준치를 고려한다면 질소의 제거효율을 위한 장치의 개선이 있어야 할 것으로 사료되며, 다만 재이용조의 값은 그보다 낮은 값으로 나타났다. 이는 재이용조의 녹조식물에 의한 질소성분의 소모가 일어난 것으로 추측된다. 전체적으로 측정 빈도가 적은 점은 아쉬운 것으로 생각된다.

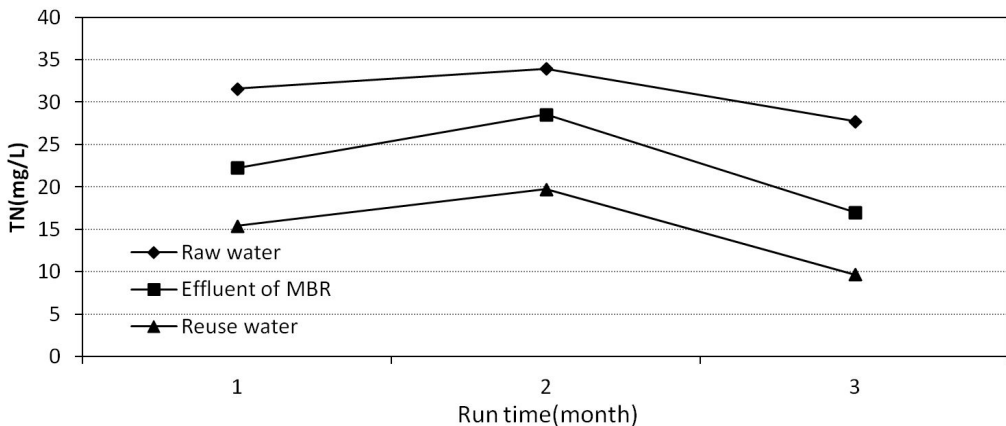


Figure 25. Variations of T-N on processing steps.

아래 Fig. 26에서 총인의 측정 결과를 나타내었다. 총인 역시 조경용수로 재이용에는 적절한 수치이며 친수용수로서는 기준치를 초과한 수치여서 친수용수 재이용을 위해서는 시설장치의 개선이 요구되며, 특히 총인의 처리는 생물학적인 방법만으로는 다소 한계가 있는 것으로 해석되는 부분이며, 시설개선을 통한 연구가 더 진행되어야 할 것이며 화학적인 방법을 함께 병행한다면 보다 인의 처리 효율은 개선될 것으로 사료된다.

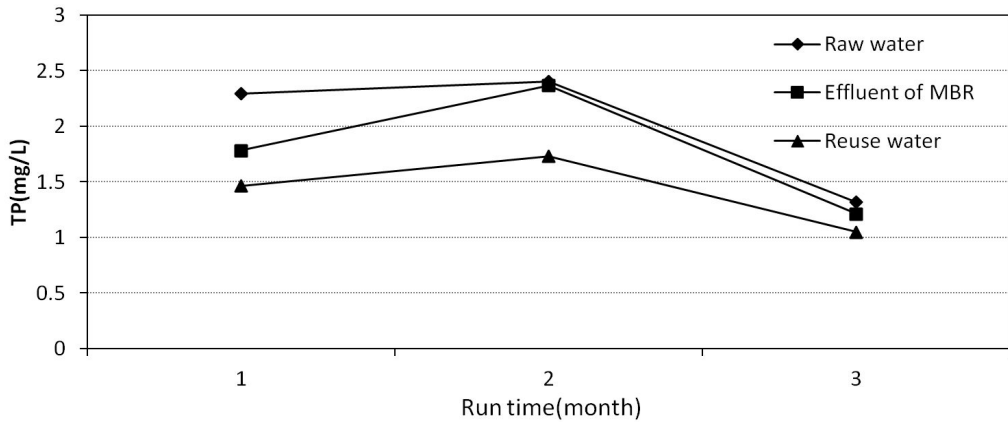


Figure 26. Variations of T-P on processing steps.

(6) 탁도와 색도

Fig. 27에서 탁도의 값을 나타내었으며 첫 번째 실험에서 보인 탁도의 측정값은 불규칙적인 값을 나타내었는데 두 번째의 실험에서의 탁도 측정값은 비교적 규칙적인 값을 나타내었으며 총부유성물질의 처리효율이 안정적인 것으로 해석된다. 이번 실험도 역시 재이용조에서의 측정값이 높게 나타났는데, 이것은 재이용조의 녹조식물에 기인되는 것으로 판단되며 질소와 인의 처리에 한계를 보인 것으로 판단되며 녹조류의 번식은 역시 문제점으로 남겨진다.

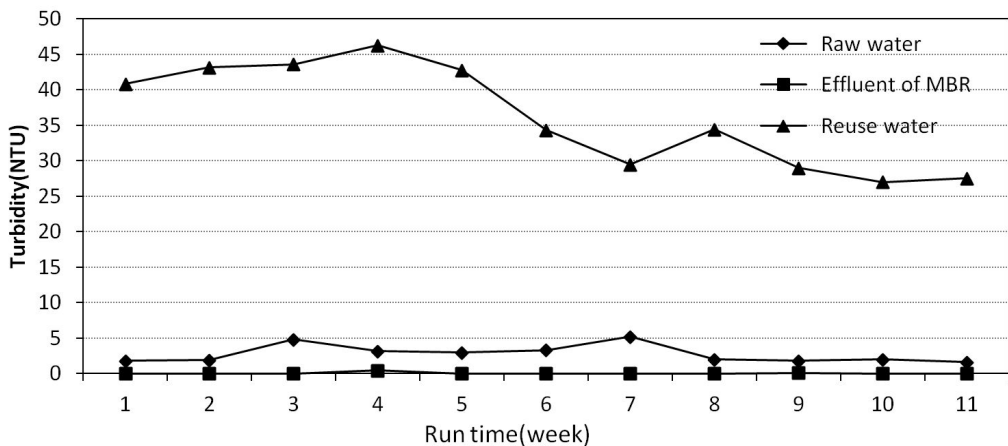


Figure 27. Variations of turbidity on processing steps.

아래 Fig. 28에서 나타난 색도의 측정값에서 MBR조를 통해 처리된 물의 색도는 기준치인 10보다 낮은 비교적 안정된 값을 나타내었다. MBR공정을 거친 처리수의 색도는 조경용수나 친수용수의 색도 기준치보다 월등히 낮은 값으로 실제로 분리막을 통해 여과된 물을 비이커에 떠서 살펴보면 일반적인 지하수와 육안으로는 구분하기 어려울 정도로 맑게 보였다.

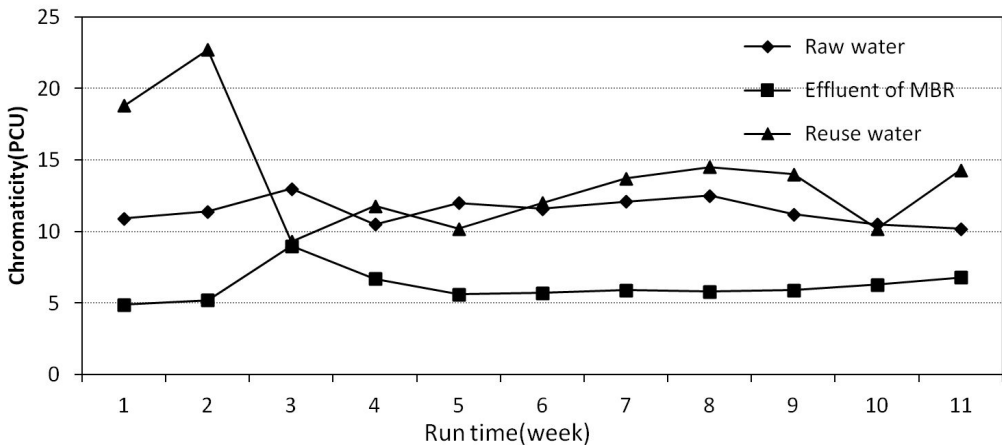


Figure 28. Variations of chromaticity on processing steps.

(7) 대장균군

아래 Fig. 29에 나타난 대장균군의 측정 의뢰 결과 30 개/ml 이하로 나타났 으며 조경용수나 친수용수로 활용하기 위해서는 불검출 되어야 하며 염소소 독이나 UV소독공정 등 이용용도 및 경제성 등을 고려하여 적절한 소독공정 을 추가하여 대장균군의 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

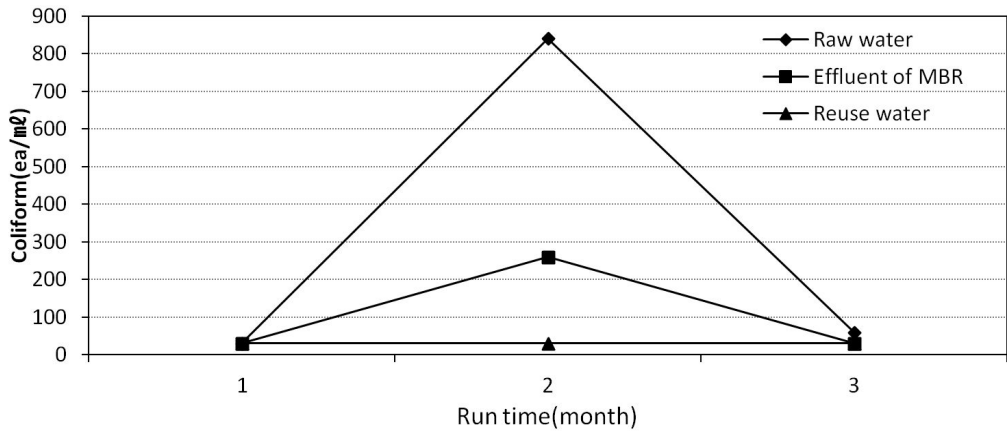


Figure 29. Coliform removal during period time.

두 번의 실험을 통하여 A/O 및 A²/O의 공정과 MBR을 결합한 방법으로 재이용수로 활용 가능한 방법을 실험하였으며, 전체적으로 연구 측정결과를 보면 BOS, SS 및 탁도, 색도 등은 잘 처리되어 조경용수로 활용하는데 적절한 측정결과가 나왔으며 pH 또한 기준치에 적정하였다. 그러나 부영양화의 물질인 총질소(T-N)와 총인(T-P)의 측정값은 조경용수로서 이용하는 데는 문제가 없겠으나 친수용수 등으로 이용하기 위하여는 미흡한 것으로 나왔으며, 그 결과로 재이용조의 녹조류의 번식이 있었다. 이를 해결하기 위해서는 질소의 경우 C/N 비를 높여줄 수 있는 방법의 공정개선을, 총인의 경우 생물학적인 공정개선 방법과 화학적인 방법등을 고려한 개선방법을 찾아야 할 것으로 판단되었다.

V. 결 론

중소규모의 공공하수처리시설 혹은 개인하수처리시설의 방류수를 재처리하여 조경용수와 친수용수 등으로 재이용하기 위한 하수처리공정으로 MBR을 주공정으로 하고 A/O와 A²/O공정을 결합한 형태의 두 가지 방법으로 수행하였으며, 또한 처리장치의 에너지 자립화 방안으로 소요 에너지 규모에 적정한 소형 풍력과 태양광발전장치를 하이브리드 방식으로 설치하고 배터리를 통해 지속적으로 공급 가능한 방식의 전력시스템을 통하여 공급하며 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. MBR과 A/O를 결합한 공정 실험에서 BOD, SS, 탁도 및 색도는 조경용수의 처리기준에 적정한 재이용수를 얻을 수 있었으나, 부영양화의 영양물질인 질소와 인의 제거는 미흡한 것으로 측정되었으며, 그 결과 재이용조의 녹조류의 번식은 녹조류의 광합성작용으로 인해 DO 와 pH 측정치가 현저하게 높은 값을 나타내 보였다. 재이용조로 유출되기 전 처리수의 탁도와 색도는 낮은 값으로 기준치에 적정하였으나, 재이용조에서는 녹조류의 번식으로 인해 수치가 상승하였다. 따라서 조경용수로 활용하는 데는 문제가 없을 것으로 판단되나, 친수용수 등 보다 엄격한 수준의 재이용수로 사용하기 위하여서는 질소와 인의 영양물질의 제거에 관하여 보다 심도 있는 연구를 통해 제거방법을 개선해야 할 것으로 판단되었다.

2. A²/O와 MBR을 결합한 공정에서도 역시 비슷한 결과가 나왔으며 전체적인 측정치를 그래프로 나타낸 결과에서 다소 안정된 변화곡선을 나타내었으나, 재이용조에서 여전히 녹조현상이 나타났으며 부영양화의 원인인 총질소와 총인의 처리는 미흡한 것으로 도출되어 해결해야할 숙제로 남았다. 질소제거

의 경우 C/N비의 개선방법을 연구하여 이를 보완할 수 있는 방법을 연구하면 될 것으로 판단되며, 총인의 경우 생물학적인 처리방법에만 의존할 경우 제거에 한계가 있을 것으로 사료되며, 화학적인 방법을 병행하는 등의 다양한 공정의 개선방법을 찾아 보완해야 될 것으로 판단된다.

3. 자립형 에너지의 적용에 관한 연구에서는 설계에서 예상 치로 설정하였던 에너지 사용량이 다소 과다하게 설정되었고 실제 연구장치에서 사용된 부하가 예상했던 것보다 적게 사용되어 충분한 자립도를 나타내었다. 에너지 자립을 위해서는 본 연구에서처럼 하이브리드 발전장치를 설치할 경우 지역적 기후특성을 고려하여 더욱 최적화된 설비투자로 좋은 에너지 자립을 실현해야 할 것으로 판단된다. 제주도의 기후를 예로 든다면 5월부터 10월까지 양질의 햇빛 에너지를 얻을 수 있는 것으로 나타났으며 11월부터 다음해 4월까지는 햇빛이 약하고 흐린날이 많아 좋은 햇빛 에너지를 기대하기 힘들 것으로 판단되며, 소형 풍력의 경우 이와 반대로 11월부터 다음해 3, 4월경까지 양질의 풍력 에너지를 얻을 수 있었다. 그래서 소형 에너지 자립형의 장치를 설계한다면 한가지의 에너지만을 활용하는 것 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 사용의 최적화와 함께 중요도를 고려한 부하제어를 한다면 에너지 자립형의 물 재이용을 실현할 수 있으리라 기대한다.

또한 기존 계통전력이 공급되지 않는 지역에서도 물 재이용등의 시설에 자립형 에너지 적용방법이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 기존의 계통전력이 공급되고 있는 지역에서는 경제성을 고려하는 설비의 최적화를 위하여 기존 계통전력과 연계하는 방식이 유리할 것으로 판단된다. 다만, 제도적인 면에서 현실적으로 낮게 책정된 전기요금체계 역시 에너지자립에는 부정적인 요인으로 작용할 것으로 판단되며 보다 적극적인 제도개선과 실천이 뒷받침된다면

에너지 자립형 전력 공급장치를 통해 정부의 환경기초시설 탄소중립 및 에너지자립화 정책과 함께 실효를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 정부 혹은 지방자치단체 주도의 대형하수처리장의 방류수를 재이용하는 것은 물론 민간부문에서도 물 재이용에 관한 중요성을 확산시키고 실제로 기존의 상수도 및 지하수에 의존하던 물 사용을 재이용을 유도하는 인식의 변화를 기대하며 중소형의 하수처리시설의 물 재이용을 활성화할 수 있는 공정의 연구와 함께, 에너지 자립의 적용에 관하여 가능성과, 물 재이용을 비롯한 환경시설에서 저탄소의 생활화를 실현할 수 있는 방법을 제시하고자 연구하였으며, 결론적으로 본 자립형 에너지를 적용한 물 재이용에 관한 연구를 통해 수질환경보존과 대체 수자원 확보는 물론 환경 시설에서의 에너지 자립도를 높이는 방향으로 나아가는 실천이 이루어지길 기대한다.

참 고 문 헌

- 감상규, 조은일, 2010, 물화학 및 분석, 제주대학교 제주물산업인재양성센터, pp. 106~136.
- 김승건, 2012, 침지형 평막결합 연속회분식 반응기를 이용한 폐수처리, 제주대학교 대학원 박사학위 논문, pp. 7~12.
- 김진근, 2012, 상수처리공학, 도서출판 신우, pp. 7~12.
- 박노연, 2004, 활성슬러지공정을 이용한 하수내 질소와 인의 생물학적 제거, 연세대학교 대학원 박사학위논문, pp. 19~23.
- 박상찬, 권재혁, 박상숙, 연익준, 오홍일, 이규성, 이병찬, 조용진, 2007, 환경장 치설계, 동화기술, pp. 67~85.
- 송승호(역), 2011, 태양광·풍력발전과 연계기술, 성안당, p. 12
- 염경호, 신용철, 이호원, 2011, 분리막을 이용한 수처리, 제주물산업인재양성 센터, pp. 208~212
- 위터저널, 2012, 한국, 심각한 물 스트레스 국가로 분류, (주)물사랑신문사, 2012년 4월호.
- 이호원, 안중호, 2012, 물의 재이용, 도서출판 누리, pp. 27~94, pp. 174~181.
- 정대원, 2011, 풍력발전시스템 설계기술실무, 문운당, pp. 1~4.
- (사)한국환경기술인연합회, 2011, 물순환 재이용 전문가 양성과정 교육교재, 서울, pp. 460~466.
- (주)한라산업개발, 제주대학교, 2012, 친환경 물 재이용 처리시스템개발 최종 보고서, pp. 1~33.

- 한일재단 일본지식센터, 2012, 일본의 물 재이용시스템 시장의 현황 및 미래 전망, pp. 1~2.
- 환경부, 2010, 에너지자립화 기본계획, pp. 1~16.
- 환경부, 2011a, 물 재이용 기본계획(2011~2020), pp. 2~41.
- 환경부, 2011b, (2010)하수도통계, pp. 1157~1226.
- 환경부, 2012, 환경기초시설 탄소중립 설명회자료(기본계획), pp. 7~24.
- Bouw E.M., Boekestein A. and Deinema M., 1989, Quantitative X-ray microanalysis of volutin granules in *Acinetobacter*, *Ultramicroscopy*, 27(2), 199.
- Chang W.C., Chiou R.J. and Ouyang C.F., 1996, The effect of residual substrate utilization on sludge settling an enhanced biological phosphorus removal process, *Water Sci. Technol.*, 3(1-2), 425~430.
- Fuhs G.W. and Chen M., 1975, Microbial basis for phosphate removal in activated sludge process for the treatment of wastewater, *Micorob. Ecol.*, 2, 119~120.
- Gardy Jr. C.P.L. and Lim H.C., 1999, *Biological wastewater treatment*, Marcel Dekker Inc., New York, Basel and Hong Kong.
- OECD, 2011, *Water : The Environmental Outlook to 2050*, p. p3~6
- Rensink J.H., Ven J.V.D., Pamelan G.V., Fedder F. and Major E., 1997, The modified renphosystem: a high biological nutrient removal system, *Water Sci. Technol.*, 35(10), 137-146.
- Sedlak R.I., 1991, *Phosphorous and Nitrogen Rmoval from Municipal Wastewater*, 2nd Ed., The Soap and Detergent Association, Lewis

Publishers, New York, N.Y.

Tchobanoglous G., Bulrton F.L. and Stensol H.D., 2003, Wastewater Engineering, McGraw Hill Inc., New York, N.Y.

감사의 글

환경분야의 산업계에서 일하고 있지만 환경인의 한사람으로 자긍심이 부족했던 나에게 환경공학 석사과정과 논문 작성을 통해 환경에 관한 진지한 관심과 열심을 갖고 공부하며 연구하는 자세로 임할수 있는 자긍심을 갖게 되었으며, 이와 함께 아직 환경에 대한 무지와 이론적인 지식의 빈약함을 깨달았습니다.

먼저 논문작성에 대한 어려움으로 고민할때 선뜻 지도를 맡아주시고 긍정적으로 이끌어 주시며 시작과 마무리를 할 수 있도록 도와주신 김진근 지도교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 학부시절 환경을 전공하지 않아 환경공학 대학원 과정에 진학할 용기가 없었는데 시작하도록 계기를 만들어 주시고 과정을 이끌어주신 감상규교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 논문의 완성도를 위하여 함께 애쓰신 이호원교수님께 깊이 감사드립니다.

대학원 전 과정을 통해 환경에 관한 지식과 인간적으로 성숙할 수 있도록 지도해 주신 허철구교수님 이기호교수님 조은일교수님 존경하며 감사를 드립니다. 에너지 분야의 지도와 기술개발을 함께 도와주신 김호찬교수님과 논문 작성까지 친절하게 도와주신 부창진박사님께 감사를 드립니다. 산학협력을 도와주시고 풍력에너지에 관한 정보를 제공해주신 허종철교수님께 감사를 드립니다.

기술개발을 함께하고 논문작성을 도와준 회사동료 장유진과장에게 감사를 드립니다. 또한, 함께 수학한 동기 학우들과 선후배님들, 학창시절의 친구들 그리고 권오규 교수님과 은사님들이 그리워지며 감사를 드립니다.

평생에 큰 은혜를 베풀어주신 부모님과 장인 장모님 그리고 형제자매들께 논문을 통해 더욱 감사를 드립니다. 무엇보다도 평화롭게 항상 따듯한 조력자가 되어준 아내 박미령에게, 그리고 채희 채준에게 고마움을 전하며 기쁨을 함께합니다.

“No Pain! No Glory!”라고 하였던가요? 논문을 시작하기 전에는 어렵게 느껴졌는데 작성 과정을 지나고 보니 모두 필요한 과정이었으며 논문작성을 망설이는 분들께 시작하시길 권합니다.

우리시대의 환경은 고난의 시대를 지나고 있는 것 같습니다. 이제 환경인의 한사람으로서 환경의 중요성을 배우고 지속가능한 환경을 꿈꾸며, 작고 빈약한 논문이지만 모든 분들께 진심으로 감사드리며 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.