

반도체 생산용 초순수 제조공정의 농축수 재이용에 따른 온실가스 발생량 평가에 관한 연구

한종민*, 정진도, 김산
호서대학교 에너지·기후융합기술학과

A Study on the Estimation of the GHGs Emissions to the Reuse of De-ionized Water Production Process in Semiconductor Factory

Jong-Min Han*, Jin-Do Chung, San Kim

Department of Energy & Climate Convergence Technology, Hoseo University

요약 21세기에 들어서면서 기후변화로 인한 환경변화가 심각해짐에 따라 온실가스 배출에 대한 관심이 높아지고 있다. 우리나라의 기온은 1904년 이후 2000년까지 약 1.5℃ 상승하였으며, 기후가 아열대 특성을 나타내는 것으로 조사되었다. 이에 따라 홍수 및 가뭄 등의 발생횟수가 증가하여 인간이 활용할 수 있는 용수가 매년 감소하고 있으며, 상수도 사용에 대한 비용은 매년 상승하고 있어 평소 버려지는 폐수의 재이용은 불가피한 상황에 직면해 있다. 본 연구는 반도체 공정에 투입되는 초순수 제조과정에서 발생하는 농축수를 재이용시스템을 설치하여 6개월간 운전한 월별 자료를 활용하여 온실가스 발생량 및 절감방안 등에 대하여 조사하였다. 조사결과 상수도 공급량은 월 평균 약 2,767m³의 절감 효과가 있음을 알 수 있었다. 온실가스 발생량은 물재이용시스템의 전기사용량으로 인해 월 평균 약 1,329.07 kg-CO₂ 추가발생 하였지만, 상수도 사용량 절감에 따른 월 평균 918.64 kg-CO₂ 감축량을 반영하면, 월 평균 410.43 kg -CO₂의 온실가스가 증가됨을 알 수 있었다. 물재이용시스템의 일부 공정을 개선한다면 온실가스 발생량은 증가가 아닌 월 평균 254.41 kg -CO₂로 절감됨을 확인할 수 있었다.

Abstract In the 21st century, human beings are becoming increasingly concerned about greenhouse gas emissions as the environment changes due to climate change become serious. The temperature of Korea has risen by approximately 1.5 °C from 1904 to 2000, and the climate is changing gradually to a subtropical climate. As a result, the frequency of floods and droughts increases, so that the water available to humans is decreasing every year, and the cost of using city water is rising every year. The reuse of wastewater that is normally abandoned is inevitable. This study examined the monthly data for 6 months of operation by installing a reuse system of concentrated wastewater (Re R/O System) that is generated during the process of manufacturing de-ionized water (DI-Water System) used in semiconductor processing. As a result of the survey, the city water supply saved approximately 2,767 m³ per month. The average annual greenhouse gas emissions was 1,329.07 kg-CO₂ per month due to the electricity consumption of the water reuse system. On the other hand, because of the reduction in city water supply, the average monthly average of 918.64 kg-CO₂ was reduced, and the greenhouse gas emissions were increased to 410.43 kg-CO₂ per month. If it improves some processes in the water reuse system, the amount of greenhouse gas emissions can be reduced by an average of 254.41 kg-CO₂ per month.

Keywords : De-Ionized Water, Re R/O System, Reuse Water, Concentrated Wastewater, Greenhouse Gas

*Corresponding Author : Jong-Min Han(Heseo Univ.)

Tel: +82-10-3468-3176 email: hjm7946@naver.com

Received June 8, 2018

Revised (1st July 4, 2018, 2nd July 11, 2018)

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

1. 서론

1.1 연구배경

현대사회는 문명과 과학기술 등의 발달로 인해 유익한 삶을 사는 반면, 기후변화로 인한 환경변화가 점점 심각해지고 있다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) 2014년 종합보고서에 따르면, 인위적으로 배출된 온실가스(Greenhouse gases : GHGs)의 양은 관측 이래 최고 수준이며, 대기와 해양의 온도 및 해수면이 상승하고 있으며, 빙하의 양이 감소하고 있다[1]. 우리나라도 기후변화로 인한 기온 상승의 영향을 받고 있다. 우리나라의 기온은 1904년 이후 2000년까지 약 1.5℃ 상승하였으며[2], 기후가 아열대 특성을 나타내는 것으로 조사되었다[3]. 이에 따라 홍수 및 가뭄 등의 발생횟수가 증가하여 인간이 활용할 수 있는 용수가 매년 감소하고 있으며, 상수도 사용에 대한 비용은 매년 상승하고 있어 평소 버려지는 폐수의 재이용은 불가피한 상황에 직면해 있다. 전국 기상청 76개 강우측정지점의 1시간 최대 50mm 이상 및 1일 최대 300mm 이상의 집중호우 발생횟수(1900~2011년)를 보더라도 Fig. 1과 같이 집중호우 발생빈도는 집중적으로 증가하고 있음을 알 수 있다[4].

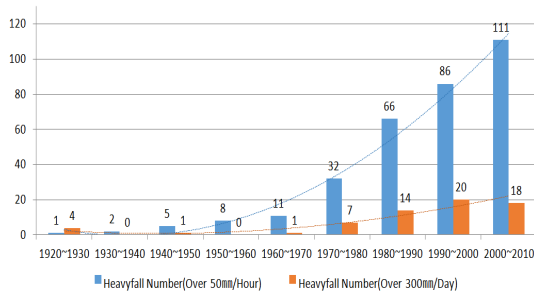


Fig. 1. Number of the Korean heavy rainfall by year

상수 사용량은 계속 증가하고 있으며, 생활하수 및 공장용 폐수 또한 날로 증가하고 있어, 상수 사용량의 절감과 하천수의 오염을 감소하기 위한 중수도 시설의 중요성이 대두되고 있다. 그리고 국내 몇 개의 공공기관과 공동주택 등에서 중수도 시설을 설치하여 운영하고 있지만, 중수도 시설의 설계 자료 등의 부족으로 과다설계, 원수인 배수량 부족 등의 원인으로 중수도 시설의 가동률이 저하되어 정상적으로 운영되지 못하고 있다.[5] 이런 이유들로 인해 국내의 중수도 시설의 설치 및 운영관

리에 대한 체계적인 데이터 관리가 필요한 실정이다.

국토교통부 자료[6]에 따르면 2014년 기준 전국의 공공하수처리시설은 597개소이며, 연평균하수처리량은 6,997,533.9천m³/년, 처리수 재이용률은 13.5%로 나타났다. 또한 공공하수처리수 재이용량은 942,880천m³/년이며, 재이용량은 경기도가 224,871천m³/년(연평균 하수처리량 : 1,678,142천m³/년, 재이용률 13.4%)으로 가장 많았고, 재이용률은 충청북도가 39.0%로 가장 높게 나타났다.

Fig. 2는 한국환경공단에서 제시한 자료[7]를 인용한 자료로써 하수처리수의 재이용량(률)에 대한 연도별 추이를 나타낸 것이며, 매년 재이용량(률)은 증가하는 추세이다.

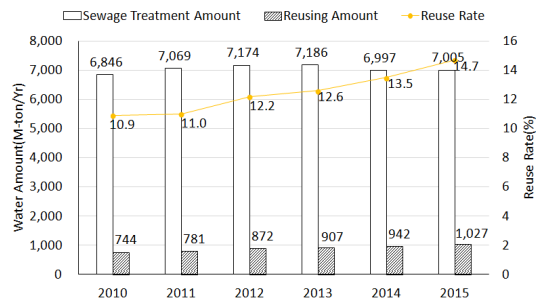


Fig. 2. Reused water volume(rate) of public sewage treatment facility by year in South Korea

물의 재이용은 비용적인 측면뿐만 아니라 폐수를 재이용량만큼 상수원 공급에 소요되는 전력소비가 감소되므로 온실가스발생량 감축효과도 기대할 수 있다. 특히 기업의 생산 활동이 온실가스의 주요 배출원이라는 점에서 기업은 온실가스 감축 정책이나 규제에 직접적으로 노출될 수밖에 없으며, 이는 기업의 경제활동을 위축시키는 요인으로 작용함으로써[8] 적극적인 대응이 더욱 요구된다. 따라서 기업은 온실가스 배출량 감축을 위해 적극적이고 다양한 대응이 필요하다.

1.2 연구목적

본 연구는 물(폐수) 재이용에 관한 적극적인 대응의 일환으로 반도체 제조공장인 A社의 DI(Deionized)-Water System에 추가로 물 재이용시설인 Re R/O(Revers Osmosis) System을 적용함에 따른 환경적 편익과 경제적 편익 등의 실효성을 알아보고자 하였다. 본 연구대상인 A社는 「산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률」

제2조 제1호의 공장[9]으로서 1일 폐수배출량이 1천500 세제곱미터 미만으로 중수도 의무설치 대상[10]은 아니나, 수자원 보호 및 경제성과 환경성 등의 유익한 장점을 고려하여 설치·운영하고 있었다.

2. 연구방법

2.1 DI Water 생산량 분석

2.1.1 연구대상지 공정설명

충남 천안시에 위치한 천안 A社의 부지면적 및 연면적은 각각 약 13,945 m², 약 12,963 m²이고, 건축면적은 6,572 m²이었다. 본 연구 대상인 DI-Water System의 면적은 365 m²이며, 이는 건축면적의 5.6%에 해당한다. DI-Water System의 DI Water는 상수도를 유입원수로 하여 진처리 필터를 거쳐 R/O Membrane, EDI Unit, 후처리 필터 등의 흐름으로 생산된다. R/O System에서 발생하는 농축수를 재이용하기 위해 Re R/O System을 추가 설치하여 운영하고 있었다.

2.1.2 Re R/O System 생산량 분석

Re R/O System을 적용했을 때와 적용하지 않았을 때의 생산량 비교를 위해 필요한 단계이며, 생산되는 DI Water의 양과, R/O 농축수재이용률, Re R/O 농축수의 양 등을 분석하였다.

Re R/O System 생산량 분석에 활용되는 자료는 펌프 유량, DI Water 생산량, Re R/O 생산수량, Re R/O 농축수량 등이며, 본 연구에서는 2017년 9월부터 2018년 2월까지 6개월간 Data를 분석하였다. Fig. 3은 Re R/O System을 적용한 후의 DI-Water System의 개략도를 나타낸 것이다.

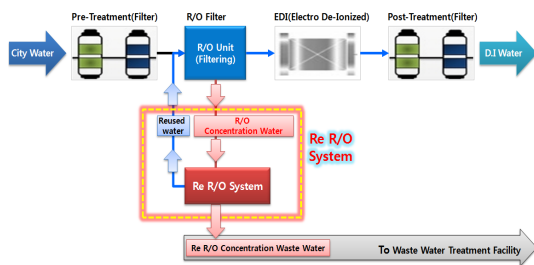


Fig. 3. Flow schematic of the DI-Water System(added Re R/O System)

2.2 전력소비량 분석

전력소비량 분석을 위하여 전력검침 자료를 활용할 계획이다. 연구대상인 A社는 기기별로 적산전력계가 부착되어 있지 않고, DI-Water System과 Re R/O System 단위, 각각 적산전력계가 부착되어 통합관리하고 있다. 본 연구에서는 2017년 9월부터 2018년 2월까지 6개월간 DI-Water System과 Re R/O System의 전력소비량을 분석하였다. Table 1.은 R/O 농축수(폐수)의 재이용을 위해 가동되는 주요 설비별 전력소비량을 나타낸 것이다.

Table 1. Power consumption list of the Re R/O System

Equipment List	Quantity (ea)	Power Consumption (kw)
Feed pump	1	3
High pressure pump	1	3
Total	2	6

2.3 온실가스 발생량 및 절감량 분석

2.3.1 온실가스 배출계수의 적용

온실가스 배출량 산정을 위해 고려되어야 할 배출인자와 배출계수는 수도에 관한 배출계수와 전기에 관한 배출계수가 있다. 이들의 배출계수는 “「환경부고시 제 2018-26호 탄소포인트제 운영에 관한 규정」 제3장 배출계수 및 기준사용량 산정, 제10조 온실가스 배출계수”[11]에 명시된 값을 사용함으로써 설명력을 높이고자 하였다. 탄소포인트제에서 제공하는 배출계수를 사용하였기 때문에 온실가스 발생량은 CO₂만 계산하였다. 참고로 본 연구 대상지인 A社는 온실가스 목표관리제 및 배출권 거래제 대상기업이 아니므로 IPCC 가이드라인에서 제공하는 온실가스 배출계수를 사용하지 않았다.

2.3.2 온실가스 배출량 산정방법

본 연구에 적용할 온실가스 산정방법과 배출계수는 Table 2.과 같다. 온실가스 발생량 및 절감량 산정식에 사용된 온실가스 배출계수는 전력 0.424kg-CO₂와 수도 0.332 kg-CO₂이다. 또한 Re R/O System의 설계용량은 6.5m³/Hr이고, 설계상 전력 소비량 6kwh이다. 산정식은 Tier 1.을 적용하였으며, 수도절감량과 전력소비량은 6개월간의 실측 데이터를 활용하였다.

Table 2. Calculation methods of GHGs emission quantity

Division	Calculation Method
GHG Variation rate of Re R/O Production Water	$(\frac{A \times EF_{water}}{6.5m^3/hr \times 24hr \times 30day}) \times 100$
GHG Variation rate of Re R/O Power Consumption	$(\frac{B \times EF_{power}}{6kwh \times 24hr \times 30day}) \times 100$
Design Capacity of Re R/O Production Water	$6.5m^3/hr \times 24hr \times 30day$
Design Capacity of Re R/O Power Consumption	$6kwh \times 24hr \times 30day$

A : Re R/O Production Water
 B : Re R/O Power Consumption
 EF_{POWER} : 0.424 kg-CO₂/kwh
 EF_{WATER} : 0.332 kg-CO₂/m³
 6.5m³/hr : Re R/O Unit Design Capacity
 6kwh : Re R/O System Pump 2EA * 3kwh

2.3.3 온실가스 배출량 비교

DI-Water System에서 Re R/O System을 적용했을 때와 적용하지 않았을 때, 다음의 Case별 온실가스 배출량의 변화를 비교분석하였다.

2.3.3.1 Case I(전기사용량 기준 비교)

Re R/O System 적용 전, 후에 사용된 전력소비량에 대한 온실가스 발생량을 kg-CO₂/kwh로 환산하고, Re R/O System의 추가에 따른 월별 온실가스 발생량을 산정·비교하였다.

2.3.3.2 Case II(Re R/O 생산수량 기준 비교)

Re R/O System 적용 전, 후에 생산된 DI Water 생산량에 대한 온실가스 발생량을 kg-CO₂/m³로 환산하고, Re R/O System의 추가에 따른 월별 온실가스 발생량을 산정·비교하였다.

2.3.3.3 Case III(설계용량/실측용량 기준 비교)

본 Case에서는 첫 번째로 연구기간의 매 월별 소비된 전력소비량과 설계용량 대비 생산량의 온실가스 발생량을 계산한다. 두 번째로는 연구기간의 매월별 Re R/O System에서 추가로 생산된 DI Water 생산량을 설계용량 대비, 생산량의 온실가스 감축량을 산출한다. 세 번째로는 전력소비량의 온실가스 발생량의 평균값과 DI Water의 온실가스 감축량 평균값을 상호 비교·분석하였

다. 이에 따라 A社의 DI-Water System과 Re R/O System의 추가설치에 따른 온실가스 감축여부 및 향후 감축가능여부를 파악하였다.

2.4 비용분석

Re R/O System 적용 전의 상하수도 이용에 따른 발생비용과 Re R/O System 적용에 따른 절감비용을 비교하여 최종 발생하는 비용정도를 분석하였다. 비용분석은 「천안시 물의 재이용 촉진 및 지원 조례」 제9조[12]에 근거로 계산하였다.

2.5 장래 예측 분석

Re R/O System의 추가 설치로 인한 장기적인 측면의 효과를 파악하고 추정하기 위하여 연구기간의 자료를 기본으로 회귀직선식을 도출하고, 이를 통해 향후 2년, 5년, 10년 후의 온실가스 변화량에 대한 효과를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Re R/O System 적용 전·후 생산수량 분석

Table 3.은 Re R/O System의 적용 전·후에 따른 DI Water 생산량 및 생산비율을 비교한 것으로써 Re R/O System의 적용하기 전의 DI Water 생산량은 연구기간 평균 약 5,361.67m³이고, 적용한 후에는 연구기간 평균 약 8,128.67m³로 약 2,767.00m³가 증가되었고, 비율로는 Re R/O System 적용 전(연구기간 평균 약 61.96%)에 비해 Re R/O System 적용 후(연구기간 평균 약 93.38%)에는 연구기간 평균 약 32.03%정도 증가한 것으로 분석되었다.

Table 3. Comparison of total DI Water production quantity before/after applying Re R/O system

Division	Production Quantity (m ³)			
	Period	Before	After	Variation
2017	9	4,951.00	7,293.00	▲2,342.00
	10	5,242.00	7,892.00	▲2,650.00
	11	5,312.00	8,052.00	▲2,740.00
	12	5,822.00	8,922.00	▲3,100.00
2018	1	6,360.00	9,540.00	▲3,180.00
	2	4,483.00	7,073.00	▲2,590.00
Avg.		5,361.67	8,128.67	▲2,767.00

3.2 전력소비량 분석

Re R/O System을 적용하지 않았을 때 연구기간 평균 전력소비량은 약 38,000.00kwh이었고 Re R/O System을 적용하였을 때 전력소비량은 연구기간 평균 약 3,135.08kwh 증가한 약 41,134.58kwh로 나타났다. 이는 Re R/O System 적용하지 않았을 때보다 적용했을 때 연구기간 평균 8.22%가 증가한 수준이며, 월별 Re R/O System 적용 전·후 전력소비량 비교는 Table 4.과 같았다.

Table 4. Comparison of total power consumption before/after applying Re R/O system

Division		Power Consumption (kwh)		
Period	Before	After	Variation	
2017	9	36,000.00	38,661.60	▲2,662.60
	10	38,000.00	40,699.10	▲2,699.10
	11	38,000.00	40,887.00	▲2,887.00
	12	39,000.00	42,914.80	▲3,915.80
2018	1	41,000.00	44,761.40	▲3,761.40
	2	36,000.00	38,883.60	▲2,884.60
Avg.		38,000.00	41,134.58	▲3,135.08

3.3 온실가스 발생량 분석

3.3.1 Case I (전기사용량 기준 비교) 분석

Table 5.은 132Re R/O System 적용 전·후에 사용된 월별 전력소비량에 대한 온실가스 발생량을 산정한 것으로 Re R/O System 적용 전의 온실가스 발생량은 연구기간 평균 약 16,112.00 kg-CO₂이고, Re R/O System 적용 후의 온실가스 발생량은 연구기간 평균 약 17,441.06 kg-CO₂이며, Re R/O System의 적용으로 약 1,329.06 kg-CO₂의 온실가스 발생량이 더 증가되었다.

Table 5. Comparison of GHGs emission quantity by power consumption before/after applying Re R/O system

Division		GHGs Emission Quantity (kg-CO ₂)		
Period	Before	After	Variation	
2017	9	15,264.00	16,392.52	▲1,128.52
	10	16,112.00	17,256.42	▲1,144.42
	11	16,112.00	17,336.09	▲1,224.09
	12	16,536.00	18,195.88	▲1,659.88
2018	1	17,384.00	18,978.83	▲1,594.83
	2	15,264.00	16,486.65	▲1,222.65
Avg.		16,112.00	17,441.06	▲1,329.06

3.3.2 CaseII(Re R/O 생산수량 기준 비교) 분석

Table 6.은 Re R/O System 적용으로 R/O 농축수의 재이용되고, 그 양만큼 상수도 사용량이 감소됨에 따른 온실가스 절감량을 산정한 것으로, Re R/O System 적용 전의 온실가스 발생량은 연구기간 평균 약 1,091.17 kg-CO₂이고, Re R/O System 적용 후의 온실가스 발생량은 연구기간 평균 약 172.53 kg-CO₂이며, Re R/O System의 적용으로 약 918.64 kg-CO₂의 온실가스가 절감되었다.

Table 6. Comparison of GHGs reduction quantity related saving city water before/after applying Re R/O system

Division		GHGs Reduction Quantity Related Saving City Water (kg-CO ₂)		
Period	Before	After	Variation	
2017	9	982.72	205.18	▼777.54
	10	1,049.12	169.32	▼879.80
	11	1,110.21	200.53	▼909.68
	12	1,163.33	134.13	▼1,029.20
2018	1	1,266.91	211.15	▼1,055.76
	2	974.75	114.87	▼859.88
Avg.		1,091.17	172.53	▼918.64

3.3.2 CaseIII(설계용량/실측용량 기준 비교) 분석

Table 2.의 산정방법으로 Case I 과 Case II의 결과를 단순 비교평가하면 DI-Water System에 Re R/O System을 추가 적용하였을 때 Table 7.와 같이 온실가스가 연구기간 평균 약 410.43 kg-CO₂가 추가로 발생하는 것으로 평가되었다.

Table 7. Evaluation of GHGs change of DI-Water System after applying Re R/O system

Division		Change of GHGs after Applying Re R/O System (kg-CO ₂)		
Period	Case I (Power)	Case II (Water)	Variation (Case I - II)	
2017	9	1,128.52	777.54	▲350.98
	10	1,144.42	879.80	▲264.62
	11	1,224.09	909.68	▲314.41
	12	1,659.88	1,029.20	▲630.68
2018	1	1,594.83	1,055.76	▲539.07
	2	1,222.65	859.88	▲362.77
Avg.		1,329.07	918.64	▲410.43

Table 8.에 나타난 바와 같이 이론적 설계용량만을 고려한 온실가스 발생량의 비율로 계산하면 전기소비량(온실가스 발생량)이 생산수량(온실가스 절감량)보다 277.92 kg-CO₂로 높게 나타났고, 실제발생량은 연구기간 평균 약 410.43kg-CO₂로 설계용량(발생량) 보다 약 132.50 kg-CO₂만큼 높게 나타났다. 하지만 공정을 개선하였을 때는 약 254.41 kg-CO₂ 만큼 감축효과가 나타났다. 이는 온실가스 발생량보다 절감량이 커지는 효과를 의미하였다.

Table 8. Comparison of design capacity and operation capacity before/after improvement in Re R/O system

Division	GHG (kg-CO ₂)		
	Case I (Power)	Case II (Water)	Rate (Case I - II)
Design Capacity	1831.68	1553.76	▲277.92
Operation Capacity (Before)	1329.07	918.64	▲410.43
Operation Capacity (After)	664.54	918.64	▼254.10

Re R/O System의 유입원수인 R/O 농축수는 콘크리트 지하저수시설에 저장되고, Feed 펌프로 끌어올려져 마이크로 필터(Micro Filter : 1μm)를 거친 후 High Pressure 펌프의 힘으로 Re R/O Membrane으로 유입된다. 이때 R/O 농축수 지하저수시설의 콘크리트 구조물을 FRP 구조물로 재질을 변경한다면 후단의 마이크로 필터의 사용의미가 없어지게 되고, 따라서 Feed 펌프의 제거가 가능하다. 이에 따라 DI-Water System의 최종 온실가스 발생량 및 절감량에 대하여 재평가하면 연구기간 평균 약 664.53 kg-CO₂의 절감효과가 있을 것으로 판단되었다.

3.4 비용분석 결과

Re R/O System 적용에 따른 중수도 재이용으로 기대되는 비용 편익 효과는 크게 상수도비용 감소, 중수도 사용량에 대한 세액 감면, 하폐수처리 원인자 부담금 납부유예 및 폐수 배출량 감소 가능 등이었다. Table 9.는 Re R/O System 적용 후의 연구기간 월별 상하수도 요금 절감 및 감면내역을 나타낸 것으로 연구기간 내 월 평균 약 7,387,403원의 비용이 절감됨을 알 수 있었다.

Table 9. Reduction cost of city water and sewerage after applying Re R/O System

Division		City Water Cost Reduction (KRW)	City Water Cost Exemption (KRW)	Sewerage Cost Reduction (KRW)	Sewerage Cost Exemption (KRW)
2017	9	2,995,310	1,005,950	1,826,760	365,352
	10	3,397,250	1,140,651	2,067,000	413,400
	11	3,514,700	1,180,012	2,137,200	427,440
	12	3,984,500	1,337,454	2,418,000	483,600
2018	1	4,088,900	1,372,441	2,480,400	496,080
	2	3,536,350	1,179,631	2,020,200	455,840
Avg.		3,586,168	1,202,690	2,158,260	440,285
Total		7,387,403			

3.5 장래 예측 결과

Re R/O System의 추가 설치로 인한 장기적인 측면의 효과를 파악하고 추정하기 위하여 연구기간의 자료를 기본으로 회귀직선식을 도출하고, 이를 통해 향후 2년, 5년, 10년 후의 온실가스 변화량에 대한 효과를 분석하였다.

3.5.1 온실가스 발생량 및 절감량 예측

3.5.1.1 Re R/O 온실가스 누적절감량 예측

Fig. 4는 Re R/O System의 적용에 따른 온실가스 누적 절감량에 대하여 장래 예측한 결과로서 Re R/O 온실가스 누적 절감량에 대한 직선회귀식의 R 제곱 값이 0.9989로 설명력이 매우 높은 것으로 나타났다.

Fig. 5은 연구기간의 Re R/O 온실가스 누적 절감량을 통해 얻어진 직선회귀식(Fig. 4)을 활용하여 향후 2년차, 5년차, 10년차 장래 예측 한 결과로서 각각 약 282,931 kg-CO₂, 1,746,740 kg-CO₂, 6,958,193 kg-CO₂ 순으로 나타났다.

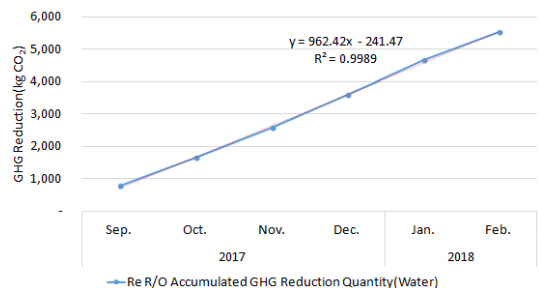


Fig. 4. Regression line equation for accumulated GHGs reduction quantity of Re R/O System

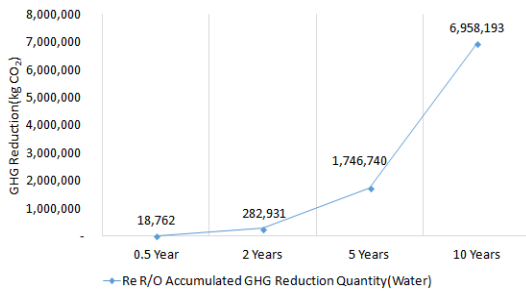


Fig. 5. Future prediction result for accumulated GHGs reduction quantity of Re R/O System

3.5.1.2 Re R/O 온실가스 누적발생량 예측

Fig. 6은 Re R/O System의 적용에 따른 온실가스 누적 발생량을 이용하여 직선회귀식의 R 제곱 값을 산출한 것으로, 값은 0.9960이었다.

Fig. 7은 연구기간의 Re R/O 온실가스 누적 발생량을 통해 얻어진 직선회귀식(Fig. 6)을 활용하여 향후 2년차, 5년차, 10년차 장래 예측 한 결과로서 각각 약 411,535 kg-CO₂, 2,550,884 kg-CO₂, 10,175,256 kg-CO₂ 순으로 나타났다.

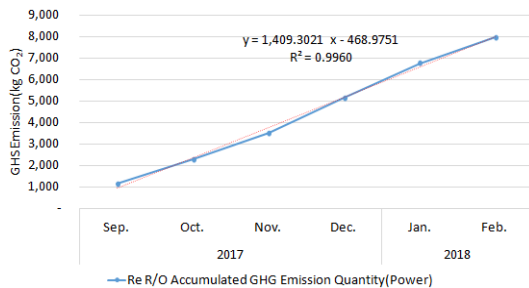


Fig. 6. Regression line equation for accumulated GHGs emission quantity of Re R/O System

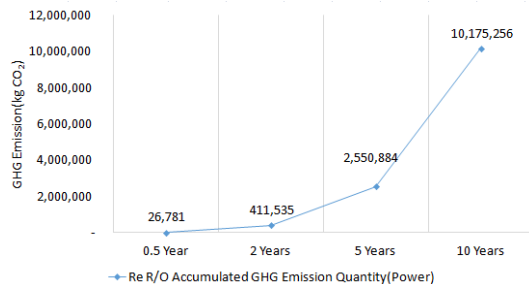


Fig. 7. Future prediction result for accumulated GHG emission quantity of Re R/O System

4. 결론

본 연구는 반도체 제조공정에 요구되는 DI Water를 생산하기 위한 DI-Water System에서 폐수로 처리되어 지던 R/O 농축수를 Re R/O System을 통해 재이용함으로써 DI Water 생산량, 전력소비량, 온실가스 발생량 및 절감량 등을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Re R/O System을 통해 R/O 농축수를 월 평균 약 84.2%를 재이용이 가능함을 확인하였고, DI-Water System만을 단독으로 운영할 때보다 월 평균 약 2,767m³의 상수도 공급량을 절감할 수 있었다.
- 2) Re R/O System 적용으로 종전보다 전력소비량은 월 평균 3,134.6 kwh 증가해 약 8.2% 증가한 결과를 나타내었다.
- 3) Re R/O System 전력소비에 의한 온실가스 배출량 1329.07 kg-CO₂와 R/O농축수 재이용량에 의한 온실가스 절감량 918.64 kg-CO₂를 비교한 결과 전력소비에 의한 온실가스 배출량이 월 평균 약 410.43 kg-CO₂ 만큼 더 크게 나타났다. 그러나 콘크리트재질의 저수시설을 FRP 재질로의 변경 등 일부 공정개선을 할 경우 Feed 펌프 1식을 제거할 수 있어 전력소비에 의한 온실가스 배출량을 약 50.0% 감소시킬 수 있었다. 따라서 공정설계 시 온실가스 감소인자들에 대한 면밀한 검토의 필요성을 재확인할 수 있었다.
- 4) Re R/O System의 2년간 초기 투자·운영비 약 90,000,000원에 대한 손익분기점은 2017년 요금 기준으로 약 12개월로 매우 우수하게 나타났다.

References

- [1] IPCC, Fifth Assessment Report(AR5), <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>, (accessed June., 01, 2017)
- [2] W. T. Kwon, "Current Status and Perspectives of Climate Change Sciences", *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol.41, No.2-1, pp.325-335, 2005.
- [3] Y. A. Kwon, W. T. Kwon, K. O. Boo, Y. Choi, "Future Projections on Subtropical Climate Regions over South Korea Using SRES A1B data", *Journal of the Korean Geographic Society*, Vol.42, No.3, pp.355-367, 2007.
- [4] Ministry of Environment, Establishment of guideline for the flood respond sewage simulation, pp.20-21, 2011.
- [5] T. I., Kim, A Study on Installation & Evaluation of Water-reuse Facilities, Korea National Housing

Corporation, pp.1-22, 1995.

- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea's water resources as statistics, pp.365-389, 2016
- [7] Korea Environment Corporation, www.keco.or.kr, Sewer policy support, 2016.
- [8] S. H. Lee, "Survey on the response of domestic emission trading system to the target companies", *The Korean Society of Climate Change Research*, pp.141, 2016.
- [9] Ministry of Government Legislation, Industrial Cluster Development and Factory Establishment Act., pp.1, 2018.
- [10] Ministry of Government Legislation, Act on the reuse of water and support., pp.3, 2018.
- [11] Ministry of Government Legislation, Carbon regulations on the operation of the points system, pp.3, 2018.
- [12] Cheonan-City, Water Reuse Promotion and Support Ordinance in Cheonan-City, 2015.

김 산(San Kim)

[정회원]



- 1992년 2월 : 강원대학교 환경학과 (이학석사)
- 1998년 2월 : 강원대학교 환경학과 (이학박사수료)
- 2004년 2월 : 호서대학교 환경공학과 (공학박사)
- 2006년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 환경바이오연구센터 교수

<관심분야>
환경, 대기

한 종 민(Jong-Min Han)

[정회원]



- 2007년 2월 : 호서대학교 대학원 환경공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 대학원 에너지기후융합기술학과 (공학박사 재학 중)

<관심분야>
환경공학

정 진 도(Jin-Do Chung)

[정회원]



- 1985년 2월 : 충남대학교 대학원 기계공학과(공학석사)
- 1990년 2월 : 충남대학교 대학원 열유체공학과(공학박사)
- 1996년 9월 : Kanazawa Univ. 환경공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 환경공학과 교수

<관심분야>
환경공학