

가압형 미세여과장치의 전과정평가를 이용한 수질개선효과 분석

Water Quality Improvement impact analysis using life cycle Assessment
of pressurized microfiltration device

황윤빈¹, 박기학¹, 강헌²

¹(주)에코피엔지, ²수원대학교 환경에너지공학과

Yun-Bin Hwang¹, Ki-Hak Park¹, Hun Kang²

¹Eco P&G, ²Dept. of Environmental energy Engineering, Suwon University

사단법인 한국전과정평가학회
The Korean Society for Life Cycle Assessment

가압형 미세여과장치의 전과정평가를 이용한 수질개선효과 분석

황윤빈¹, 박기학^{1*}, 강현²

¹주에코피엔지, ²수원대학교 환경에너지공학과

Water Quality Improvement impact analysis using life cycle Assessment of pressurized microfiltration device

Yun-Bin Hwang¹, Ki-Hak Park^{1*}, Hun Kang²

¹Eco P&G, ²Dept. of Environmental energy Engineering, Suwon University

Abstract

This study is aim to improve the water quality using pressurized microfiltration device which is changed from square to circular shape and to analyze the environmental effects of the production and operation steps. This study analyzed the environmental impacts that occurred from production to purification in pressurized filtration equipment using Life Cycle Impact Assessment method. The target of the analysis is a pressurized circular filtration device(K-WHEEL F1200), which is an improvement device of the conventional square filtration device. As a result of the Life Cycle Assessment, the eutrophication index was analyzed 5.43E+03 kg PO₄³⁻ in circular type and 7.92E+03 kg PO₄³⁻ in square type. Also, improvement effect of water quality in circular filtration device was 3% better than the square filtration device and comparing the eutrophication removal amount of raw water and filtration devices, Electricity(0.034 kW) was used less when removing 1kg of eutrophication in circular type. In the future, in order to cope with climate change and to secure and manage stable water resources, more researches and developments for additive microfiltration equipment may be done.

Keywords: LCA(Life Cycle Assessment), Pressurized Microfiltration device, Water Treatment

1. 서론

세계 인구 증가 및 산업화에 의한 기후변화는 남극의 오존을 감소시키고 대기 중의 이산화탄소를 증가시켜 지구온난화를 일으키고 있으며, 다양한 환경문제가 발생하고 있다. 기후변화에 의해 발생하는 물 부족과 물 관련 재난·재해 문제는 물 문제의 심각성을 증대시키고 있을 뿐만 아니라 가뭄, 태풍, 홍수의 경우 수해지역은 각종 병균으로 오염되어 전염병을 일으킨다. 이러한 수인

* 교신저자: 박기학 대표, (18323) 경기도 화성시 봉담읍 와우안길 17 제1공학관 201호, Tel: 031-220-2146, Fax: 031-220-2533, Email: parkihak@naver.com

성 전염병은 오염된 물로 전파되어 2차적인 재해를 야기한다. 따라서 깨끗한 물을 확보 할 수 있는 수처리 기술의 중요성이 확대되고 있는 실정이며, 수처리 기술의 개발은 지속적으로 연구개발이 이루어지고 있다. 본 연구에서 분석 대상인 가압형 미세여과장치는 여러 가지 수 처리 장치 중 여과장치 시스템으로서 다양한 원수를 정화할 수 있으며 비상급수시설로서의 사용과 재해발생지역의 수인성 전염병을 예방하기 위한 생활용수를 공급할 수 있다. 가압형 미세여과장치는 액체 펌프 또는 압축공기를 사용하여 대기압 이상의 압력을 원액 측에 걸어주어 여과하는 방식으로, 여과 과정에서 다공성 매질인 사각여과포에 규조토, 제올라이트, 산성백토, 활성탄 등의 여재를 흡착시켜 여과를 위한 필터막으로 활용한다. 본 연구에서는 사각여과포를 이용하는 사각여과장치(K-TOP F120)의 개선을 위하여 여과장치를 사각에서 원형으로 재설계한 원형여과장치를 비교 분석할 것이다.

본 연구에서는 사각여과장치(K-TOP F120)를 원형여과장치(K-WHEEL F120)으로 개선하면서 분석된 수질측정결과를 전과정평가 기법을 이용하여 수질 개선효과를 부영양화지수로 나타내었다. 또한 기후변화를 대응하기 위한 기술로서 지구온난화에 영향을 얼마나 주는지 알아보기 위해 사각·원형여과장치의 생산단계와 운영에서 수질 정화단계까지 환경영향분석과 에너지사용량을하고자 한다.

2. 가압형 미세여과장치의 개요

2.1 가압형 여과장치에 대한 기술

가압형 여과란 액체 펌프 또는 압축공기를 사용하여 대기압 이상의 압력을 원액 측에 걸어 주어 여과하는 방식으로, 여과 과정에서 다공성 매질인 여과포에 규조토, 제올라이트, 산성백토, 활성탄 등의 여재를 흡착시켜 여과를 위한 필터(막)로 활용한다.

막여과는 분리막을 화학반응이나, 모양변화를 수반하지 않고 압력차로서 물을 막에 통과시킴으로써 현탁물질이나 콜로이드를 물리적으로 분리하는 공정이다. 막여과 고도정수처리는 막여과를 핵심단위공정으로 분리막의 성능향상 및 제거능 보완을 위한 전처리 및 후처리 공정이 조합된 정수처리기술이다.

2.1 사각여과장치(K-TOP F120)의 기술과 성능

수영장에서 가장 보편적으로 사용되는 다층복합여과기는 여러 층의 적재층을 통하여 여과되는 방식이나 크기에 비해 여과능력이 떨어져 수질관리에 어려움을 겪었으나, 본사에서 개발한 K-TOP F120 여과기는 가압필터 여과방식으로 특히 규조토 여과포의 여과능력, 여과용량이 뛰어나 보다 수처리가 용이하게 되었다.

기술적 측면으로 여과효율이 기존보다 월등히 향상되어졌는데 이는 단계별 여과포에 여재(규조토)를 분말상태로 투입하여 보다 신속한 여재의 교체 및 처리를 가능케 하기 때문이다. 그리고 중력식 방식이 아닌 가압식인 순환 펌프를 통해 보다 대량의 폐수를 신속히 처리할 수 있다. 또한 역세척에 관하여 기존의 적층방식은 역세척을 하게 되면 여재가 서로 혼합되어 여과효율이 떨어진다는 단점이 있었으나 K-TOP F120은 물의 방향을 반대로 하여 고정된 여과포에 도포된 여재와 이물질이 함께 역세척되어 슬러지로 배출함에 따라 기존의 문제였던 역세척 효율의 향상을 도

모할 수 있게 되었다.

기존의 방식의 다양한 여재를 적층하는 것과 달리 K-TOP F120방식은 여과관에 단계별 여과포를 고정하고 여재를 투입하여 도포하는 방식이다. 또한 기존의 중력여과방식과는 다르게 순환 펌프를 통해 가압식으로 여과를 하는 원리가 이와 다른 점이다.

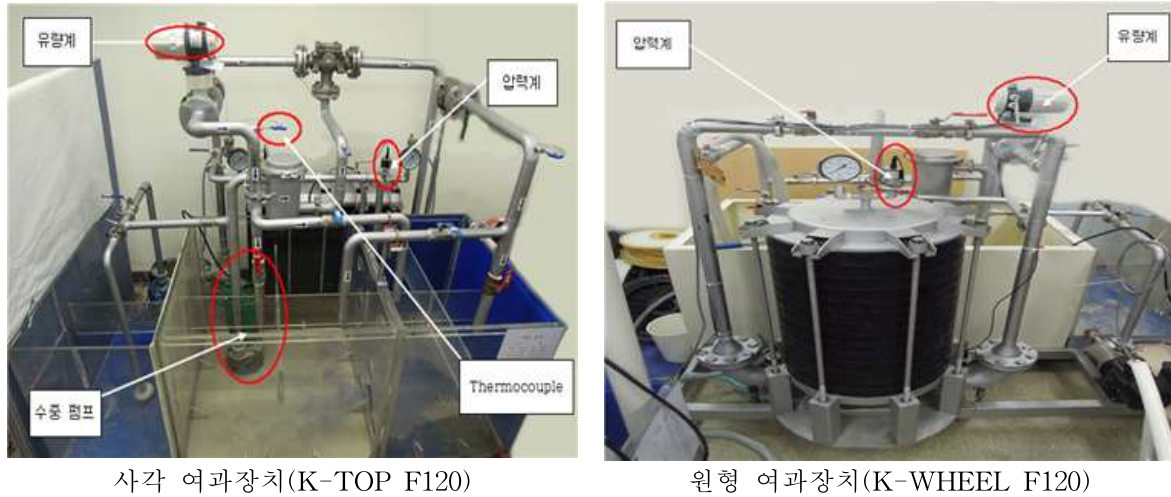


Figure 1. 가압형 미세여과장치의 개선 전 · 후

2.2 원형여과장치(K-WHEEL F120)의 개선방향

원형여과장치(K-WHEEL F120)는 중앙을 통해 원수가 공급되고, 외측 가장자리 사방을 통해 여과수가 배출되는 원형의 형태로 설계 및 개발하였다. 또한 여과재의 도포가 균일하게 이루어지고, 역세척 시 이물질의 탈 리가 용이하도록 외측이 중앙부보다 더 높게 경사지도록 하였다.

3. 연구방법

3.1 연구범위

가압형 미세여과장치 시스템은 여과장치와 펌프, 집수정으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 원형여과장치의 수질개선효과를 기후변화 대응한 기술로써 환경영향지수를 분석하기 위한 것으로 생산단계에서는 펌프와 집수정의 제작은 시스템 경계에서 고려하지 않았다. 단, 수처리를 위해서는 펌프의 가압이 필요하기 때문에 소요된 펌프의 전기는 운영 경계에 포함하였다. 생산단계에서의 전과정평가는 가압형 여과장치만을 실시하였으며, 운영단계 및 수질개선효과는 사각여과장치와 원형여과장치의 수질 분석을 동일한 원수로 각각 수행하여 SS, BOD, COD, T-P, T-N, 탁도를 분석하였다. 전과정영향평가 방법은 영향평가방법목록 중 수질개선효과를 보기 위하여 부영양화 결과값을 비교하였으며, 이때 특성화 방법론은 산자부에서 만든 방법론을 적용하였다. 산자부 부영양화범주의 출처는 Heijung et al, 1992 이다.

3.2 기능 단위 및 시스템경계

가압형 미세여과장치의 처리용량은 1200m³/d이며 10년 가동을 고려하여 기능단위는 원수 4,380,000ton 처리이며, 기준 흐름은 원수 4,380,000톤이다. 여과장치는 수처리 인프라 시설로써 제작단계와 운영단계로 크게 나눌 수 있으며, 시스템 경계는 여과장치의 제작에서부터 정화단계까지를 고려하였다.



Figure 2. 시스템 경계 설정

3.3 생산 단계 투입물

사각·원형 여과장치의 생산 단계에서 사용되는 부품 구성은 필터, 필터고정부품(엘레멘트후레임, 여과기헤드), 물흐름 제어장치(밸브, 패럴류), 배관, 배관부속재(플랜지, 패킹), 볼트·너트, 와셔로 구성되어 있다. 사각 여과장치와 원형 여과장치의 투입되는 자재의 양은 같으며, 투입되는 자재는 스테인리스 파이프, 복합PP, 아연도금, 청동주물, 폴리에스테르로 전체 질량의 100%를 포함하였으며, 각 자재 별로 재질과 수량을 파악 후 전과정평가를 수행하였다.

3.5 운영 단계 및 수처리 결과

가압형 미세여과장치의 펌프 운영은 하루에 10시간씩 가동하여 10년 동안 운영한 것으로 가정하였으며, 여과장치 운영에 필요한 역세척과 유지관리에 들어가는 원부자재를 고려하여 분석하였다. 여과장치 개선으로 인한 수질개선효과는 Table 1과 같이 원수에 대한 수질(BOD, COD, T-N, T-P)과 정수의 수질을 각각 환경부의 전과정평가 프로그램인 TOTAL을 사용하여 환경영향을 평가하였다. 생산단계에서 발생하는 환경영향범주 중 부영양화 결과값에 사각여과장치에서 원형여과

장치로 개선하면서 발생하는 수질개선효과, 즉 부영양화 결과값을 합하여 가압형 미세여과장치가 가동하면서 발생하는 환경영향을 분석하였다.

Table 1. 원형 여과장치와 사각여과장치의 수질테스트 결과

항목	원형 여과장치			사각 여과장치		
	원수	정수	제거율	원수	정수	제거율
탁도(NTU)	18	2	0.889	18	4	0.778
COD(mg/L)	7.3	4	0.452	7.3	4.9	0.333
BOD(mg/L)	3.2	1.2	0.625	3.2	1.3	0.604
SS(mg/L)	12.8	0.8	0.938	12.8	0.9	0.927
T-P(mg/L)	0.04	0.01	0.750	0.04	0.01	0.750
T-N(mg/L)	5.8	2.6	0.552	5.8	3.9	0.333

4. 전과정평가 수행

4.1 생산 단계 전과정영향평가

여과장치의 생산 단계에 대한 전과정평가를 수행 한 결과 다음 Table 2와 같이 특성화 결과 값이 나타났다. 사각 여과장치와 원형 여과장치에 투입되는 자재의 양이 같으므로 전과정평가 수행 결과는 동일하게 나타났다. 전과정평가의 특성화 값은 산자부의 방법론을 활용하여 부영양화, 지구온난화를 중심으로 환경영향 범주를 산출하여 분석을 진행하였다. 지구온난화 결과값은 1.25E+03 kg CO₂ - eq, 부영양화 결과값은 4.22E-01 kg PO₄³⁻ -eq으로 나타났다.

Table 2. 사각·원형 여과장치의 생산 단계 특성화 결과

환경영향범주명	결과	단위
자원고갈(ADP)	4.48E+02	1/yr
산성화(AP)	2.89E+00	kg SO ₂ - eq.
부영양화(EP)	4.22E-01	kg PO₄³⁻ -eq.
지구온난화(GWP)	1.25E+03	kg CO₂ - eq.
인체독성(HTP)	2.31E+03	kg 1,4 DCB -eq.
오존층고갈(ODP)	3.78E-04	kg CFC 11 - eq.
광화학산화물 형성(POCP)	5.48E-01	kg ethylene -eq.
생태독성(TETP)	5.95E+00	kg 1,4 DCB -eq.

4.2 운영 단계 전과정영향평가

원형 여과장치와 사각 여과장치의 운영 단계에 대한 특성화 결과는 아래의 Table 4와 같다. 여과장치의 운영 단계에는 원수와 정수의 수질 분석값(BOD, COD, T-N, T-P)을 전과정평가 프로그램에 입력하여 각각 분석을 실시하였다. 아래의 표에서 시간적 경계는 같기 때문에 부영양화 지수를 제외한 영향범주의 값은 같게 나타났고, 부영양화범주는 수질분석 값에 따라 원형 여과장치의 원수는 7.88E+04 kg PO₄³⁻-eq, 정수는 5.43E+03 kg PO₄³⁻-eq, 사각 여과장치의 정수는 7.92E+03 kg PO₄³⁻-eq로 원형 여과장치가 사각 여과장치보다 부영양화지수가 적게 나타났다.

Table 3. 원수의 특성화 결과 및 원형/사각여과장치의 정수 특성화 결과

환경영향범주명 (특성화)	원수	원형 여과장치의 정수	사각 여과장치의 정수
부영양화 (kg PO ₄ ³⁻ - eq)	7.88E+04	5.43E+03	7.92E+03

4.3 전과정 수질개선(특성화 결과 비교) 및 에너지 사용량 효과분석

사각 여과장치에서 개선한 원형 여과장치의 수질개선효과를 분석하기 위해, 생산단계의 부영양화 지수와 각각의 여과장치를 거치기 전·후의 수질 영향이 포함된 운영단계의 부영양화 지수를 아래의 Figure 3에 나타내었다. 여과장치의 생산 단계에서 발생하는 부영양화 지수는 4.22E-01 kg PO₄³⁻ - eq이며, 수처리 전의 원수는 7.88E+04 kg PO₄³⁻ - eq, 원형 여과장치를 거친 정수는 5.43E+03 kg PO₄³⁻ - eq, 사각 여과장치를 거친 정수는 7.92E+03 kg PO₄³⁻ - eq으로 나타났다. 원형 여과장치가 사각 여과장치보다 부영양화지수가 낮은 것은 장치 개선으로 인해 오염물질 제거율이 높기 때문인 것으로 나타났다.

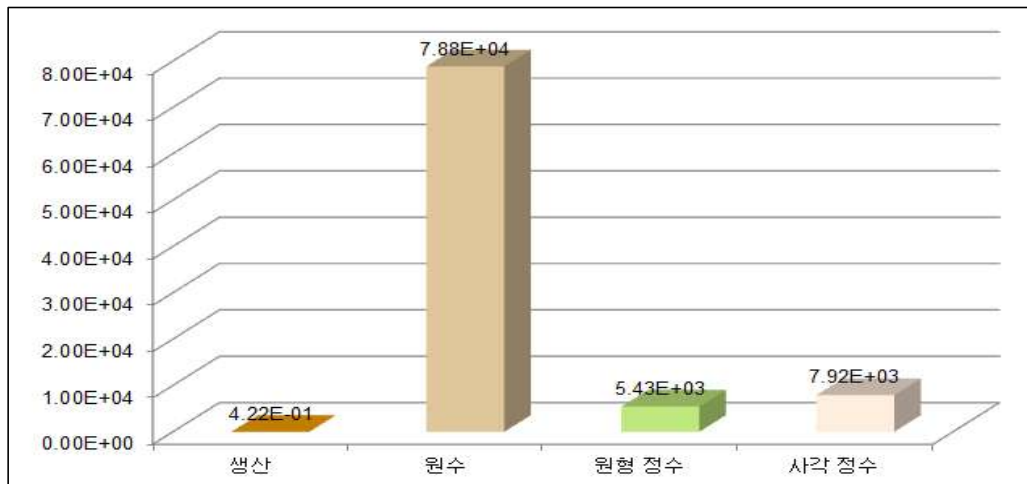


Figure 3. 사각·원형 여과장치의 부영양화범주 특성화결과 비교 분석

가압형 미세여과장치를 가동하면서 얻어지는 환경영향은 아래의 Figure 4와 같이 수질 정화하기 전보다 사각 여과장치는 90%의 제거 효과를 보였으며, 원형 여과장치(K-WHEEL F120)는 93%의 제거효과로 수질개선효과가 3%더 좋은 것으로 나타났다.

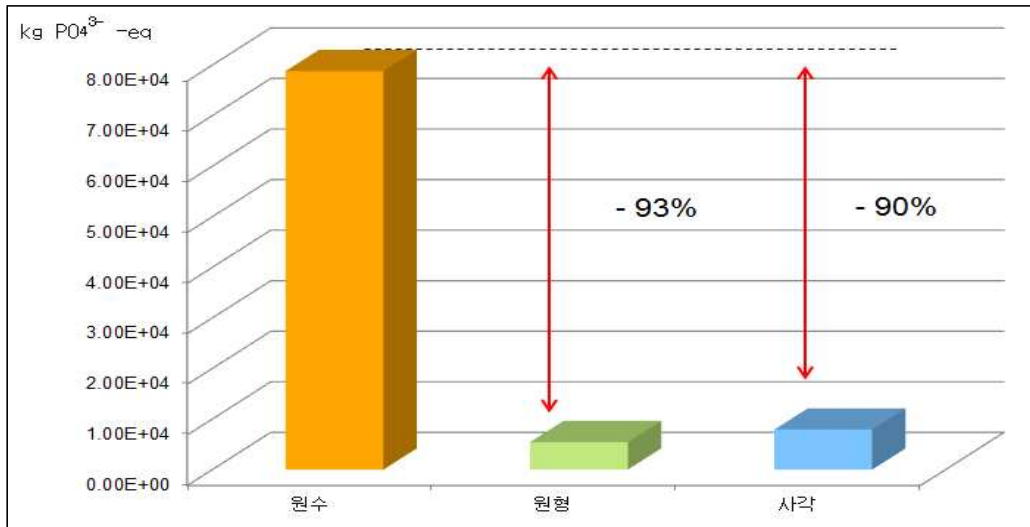


Figure 4. 원형 여과장치와 사각 여과장치의 수질개선효과 분석(특성화/부영양화)

전과정평가 수행으로 얻어진 부영양화지수 1kg 제거 당 에너지 사용량과 발생하는 온실가스 배출량을 Table 4와 같이 분석하였다. 원형 여과장치는 부영양화 1kg 제거할 때 사용되는 전기사용량은 0.995kw 이며, 사각 여과장치는 1.029 kw로 원형 여과장치의 에너지 사용이 0.034kw 적은 것을 알 수 있었다. 또한 이를 kg CO₂ 로 환산하였을 때 원형은 0.493 kg CO₂ / kg PO₄³⁻-eq , 사각은 0.509 kg CO₂ / kg PO₄³⁻-eq 의 값이 나타났다. 즉, 원형 여과장치가 사각 여과장치보다 0.016 kg CO₂ / kg PO₄³⁻-eq 적게 배출되었으며, 사각 여과장치보다 원형 여과장치가 에너지사용과 온실가스 배출량이 적은 것으로 나타났다.

Table 4. 원형/사각 여과장치의 부영양화 1kg 당 전기사용량

• 전기사용량	73000 kWh	
• 부영양화 제거량 = 원수 - 정수 • 부영양화 1kg 제거 당 전기사용량 = 전기/부영양화지수	원수	78,830 kg PO ₄ ³⁻ -eq
	원형정수	5,430 kg PO ₄ ³⁻ -eq
	사각정수	7,917 kg PO ₄ ³⁻ -eq
• 원형 여과장치의 부영양화 제거량	73,400 kg PO ₄ ³⁻ -eq	
• 사각 여과장치의 부영양화 제거량	70,913 kg PO ₄ ³⁻ -eq	
• 부영양화 1kg 제거 당 전기사용량	원형	0.995 kWh / 1 kg PO ₄ ³⁻ -eq
	사각	1.029 kWh / 1 kg PO ₄ ³⁻ -eq
• 부영양화 1kg 제거 당 발생하는 온실가스배출량	원형	0.493 kg CO ₂ / 1 kg PO ₄ ³⁻ -eq
	사각	0.509 kg CO ₂ / 1 kg PO ₄ ³⁻ -eq

4. 결론

본 연구는 가압형 미세여과장치의 전과정평가 기법을 적용하여 장치의 생산 단계에서부터 운영하고, 수처리를 통해 제거되는 오염물질량을 부영양화지수로 도출하여 장치 개선을 통해 얻어지는 수질개선효과를 얻었다. 또한 원형 여과장치와 사각 여과장치의 정화능력을 실험한 결과 원형 여과장치의 COD, BOD, T-P, T-N의 제거율은 각각 45.2%, 62.5%, 75.0%, 55.2%였으며, 사각 여과장치의 제거율은 각각 33.3%, 60.4%, 75.0%, 33.3%로 원형 여과장치의 제거율이 더 좋은 것을 알 수 있었다. 여과장치의 생산단계와 정화단계까지 전과정평가를 수행한 결과, 여과장치의 생산단계에서 발생하는 지구온난화 결과 값은 $1.25E+03 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ 이었으며, 부영양화 결과 값은 $4.22E-01 \text{ kg PO}_4^{3-}\text{-eq}$ 로 나타났다. 원수의 부영양화지수는 $7.78E+04 \text{ kg PO}_4^{3-}\text{-eq}$ 로 나타났으며, 원형여과장치를 통해 $5.43E+03 \text{ kg PO}_4^{3-}\text{-eq}$, 사각여과장치를 통해 $7.92E+03 \text{ kg PO}_4^{3-}\text{-eq}$ 의 값이 나타났다.

본 연구를 통해 원형여과장치가 사각여과장치보다 수질개선효과가 3% 더 좋게 나타났으며, 생산단계에서 발생하는 환경영향보다 수질정화를 통해 기여되는 환경효과가 더 크다는 것을 알 수 있었다. 또한 원수와 각 여과장치의 부영양화 제거량을 통해 원형 여과장치가 사각 여과장치보다 부영양화 1kg을 제거할 때 전기 0.034kw가 적게 사용함을 알 수 있었으며, kg CO_2 로 환산하였을 때 원형 여과장치가 사각 여과장치보다 $0.016 \text{ kg CO}_2 / \text{kg PO}_4^{3-}\text{-eq}$ 적게 배출되었으며, 사각 여과장치보다 원형 여과장치가 에너지사용과 온실가스 배출량이 적은 것으로 나타났다. 향후 기후 변화에 대응하고 친환경적이며 안정적인 수자원 확보 및 관리가 가능하기 위해서 가압형 미세여과장치에 대한 더 많은 연구와 개발이 이루어져야 할 것이다.

6. 사사

본 연구는 국토교통부의 국토교통과학기술진흥원에 지원을 받아 “국토교통기술사업화(16TBIP-C111190-01-000000)”을 통해 수행되었으며 연구에 힘써주신 관계자분들에게 감사드립니다.

7. 참고문헌

1. 한국수출입은행, 국내 물산업의 해외진출 전략, 2014
2. 서울산업통상진흥원, 가압필터 여과장치의 성능개선 및 시장다변화 전략 컨설팅, 2010
3. 케이원에코텍(주), 가압필터여과방식을 이용한 고효율 미세여과장치, 2010
4. 케이원에코텍(주), 가압형 고효율 미세여과장치, 2012