

【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【참조번호】	9906
【출원구분】	특허출원
【출원인】	
【명칭】	주식회사 에이치엔티
【특허고객번호】	1-2019-076290-1
【출원인】	
【명칭】	한국환경공단
【특허고객번호】	1-2010-003517-7
【대리인】	
【명칭】	특허법인 주원
【대리인번호】	9-2008-100161-7
【지정된변리사】	김인배, 김정식
【포괄위임등록번호】	2023-040318-2
【발명의 국문명칭】	가압식 분리막 유지관리 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체
【발명의 영문명칭】	Pressurized separation membrane maintenance system, method, and recording medium recording a computer readable program for executing the method
【발명자】	
【성명】	김대현

【성명의 영문표기】 KIM, Dae Hyun
【주민등록번호】 700719-1XXXXXX
【우편번호】 42691
【주소】 대구광역시 달서구 본리서5길 27, 305호

【발명자】

【성명】 장지웅
【성명의 영문표기】 JANG, Ji Ung
【주민등록번호】 771010-1XXXXXX
【우편번호】 42927
【주소】 대구광역시 달성군 다사읍 서재로24길 29, 101동 605호

【발명자】

【성명】 정인식
【성명의 영문표기】 JUNG, In Sik
【주민등록번호】 821126-1XXXXXX
【우편번호】 42922
【주소】 대구광역시 달성군 다사읍 세천로 187, 108동 1706호

【발명자】

【성명】 김영노
【성명의 영문표기】 KIM, Yeong Noh
【주민등록번호】 880102-1XXXXXX
【우편번호】 42995
【주소】 대구광역시 달성군 현풍읍 테크노북로4길 11, 101동 407호

【발명자】

【성명】 국미경
【성명의 영문표기】 GUK, Mi Kyung
【주민등록번호】 791215-2XXXXXX
【우편번호】 42927
【주소】 대구광역시 달성군 다사읍 서재로24길 29, 101동 605호

【발명자】

【성명】 구정은
【성명의 영문표기】 GU, Jung-Eun
【주민등록번호】 750612-2XXXXXX
【우편번호】 43010
【주소】 대구광역시 달성군 구지면 국가산단북로34길 10, 307동 201호

【발명자】

【성명】 양광환
【성명의 영문표기】 YANG, Kwanghwan
【주민등록번호】 800219-1XXXXXX
【우편번호】 07062
【주소】 서울특별시 동작구 여의대방로10길 100, 102동 1002호

【발명자】

【성명】 이민기
【성명의 영문표기】 LEE, Minki

【주민등록번호】 931117-1XXXXXX
【우편번호】 50425
【주소】 경상남도 밀양시 점필재로 65, 101동 1303호
【출원언어】 국어
【심사청구】 청구

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1711150825
【과제번호】 2020-DD-UP-0348
【부처명】 과학기술정보통신부
【과제관리(전문)기관명】 연구개발특구진흥재단
【연구사업명】 지역의 미래를 여는 과학기술 프로젝트
【연구과제명】 취수원 생태계 고도화를 위한 스마트 수처리 산업 육성
【기여율】 1/1
【과제수행기관명】 (주)에이치엔티, 한국환경공단
【연구기간】 2020.06.12 ~ 2024.12.31

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 특허법인 주원 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원
【가산출원료】 35 면 0 원
【우선권주장료】 0 건 0 원

【심사청구료】	9	항	625,000	원
【합계】	671,000원			
【감면사유】	소기업(70%감면)[1], 공공연구기관(50%감면)[1]			
【감면후 수수료】	268,400 원			
【수수료 자동납부번호】	551-021656-04-011			
【첨부서류】	1.기타첨부서류[개별위임장(한국환경공단)]_1통			

1 : 기타첨부서류

[PDF 파일 첨부](#)

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

가압식 분리막 유지관리 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체 {Pressurized separation membrane maintenance system, method, and recording medium recording a computer readable program for executing the method}

【기술분야】

【0001】 본 발명은 수처리 관련 기술에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 막여과 공정에 사용되는 가압식 분리막의 유지관리 관련 기술에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0003】 막여과 공정은 다공질의 물리적 경계를 통해 대상물질을 선택적으로 투과시켜 효과적으로 제거할 수 있으며, 병원성 미생물의 탁월한 제거 능력으로 새로운 정수기술로 인정받고 있다. 또한, 시설의 집적화와 확장의 용이성으로 고도처리 공정에 이용되고 있으며, 원격 모니터링 및 자동화 운전이 가능하다.

【0004】 따라서 막여과법은 장치의 단순화 및 운전의 자동화, 수질의 고품질화가 가능한 공법으로 점차 도입이 증가되는 추세이다. 막여과 공정은 안정적인 수질을 확보할 수 있는 공법으로 최근 활성화되고 있는 물 재이용 공정에 주요 공법으로 활용되고 있다.

【0005】 또한, 막여과 공정은 크기 배제에 의한 바이러스를 포함하는 오염된 미생물과 고형물을 제거할 수 있는 능력이 있기 때문에, 먹는물 공급과 재이용수 생산 등에 만족하는 효과적인 수단이다. 게다가 기존의 폐수 재이용 공정과 비교하여 작은 공간과 최소한의 화학약품을 필요로 한다.

【0007】 운영 플럭스를 포함하는 막성능을 제어하는 몇 가지 주요 운영조건에는 역세척 간격과 응집과 같은 전처리 공정 등이 있다. 더욱이, UF/MF 생산능력은 공급수에 존재하는 고형물과 유기물 및 미생물 오염 물질의 대량 적재로 인해 막 오염으로 인해 크게 저하될 수 있다.

【0008】 정수·폐수 처리공정에 막여과 공정을 적용하면, 기존 수처리 공정에 비해 간단한 흐름 구성, 안정적인 처리수질 확보, 잉여 슬러지 생산 감소, 슬러지 침전 문제없이 높은 생물학적 농도유지 등 여러 이점이 있다. 그러나 운영기간이 증가함에 따라 막 오염으로 인해 잦은 막 세척과 막 교체의 필요성으로 운영비용을 증가시켜 막여과 공정이 보다 광범위하고 대규모 시설에 적용에 어려움이 있다.

【0010】 막여과는 원수의 성상, 여과수량, 제거 대상 물질 등에 따라 막의 종류, 기공크기, 소수성/친수성 등의 소재와 형태를 선정하여 사용하게 된다. 정밀여과(MF, Microfiltration)와 한외여과(UF, Ultrafiltration)막은 원수의 성상에

따라 입자물질, 탁도, 미생물 및 용존 물질의 제거에도 매우 높은 신뢰성을 제공하는 효율적인 처리기술로 인식되고 있으며, 정밀여과와 한외여과로 제거되지 않는 용존 유기, 무기물질은 나노여과(NF) 또는 역삼투막(RO)을 이용하여 제거할 수 있다.

【0011】 정밀여과와 한외여과막은 나노여과와 역삼투막의 전처리 공정에 필수적으로 적용되는 공정이며 정수·하수·폐수처리 등 매우 광범위하게 이용되고 있으며 그 활용도도 점차 증가하고 있다.

【0013】 분리막을 이용한 수처리 공정은 다른 여과공정에 비해 약품 사용량이 적고 타공정에 비해 적은 부지면적이 소요된다는 장점이 있다. 이러한 분리막 공정에서의 문제점은 원수 중의 오염물질이 분리막 표면이나 막세공에 침적되어 막오염이 발생되고 이로 인해 막세공이 막혀 투과유속(flux)과 성능(탁도제거율, 염제거율 등)이 저하되므로 주기적인 세정을 통해 성능을 회복시켜 주어야 한다.

【0014】 막오염은 일반적으로 공급수 수질과 운전조건에 의해 결정되어지며, 역세척(Backwashing), 공기세정(Air flushing, Aeration)과 같이 물리적 세정으로 성능 회복이 가능하면 가역적 오염이라 하고, 유지세정(CEB, Chemical Enhanced Backwash) 또는 고농도의 화학약품을 이용한 화학세정(CIP, Clean-in-Place)으로만 성능회복이 되는 것은 비가역적 오염이라 한다.

【0015】 입자 농도는 총 부유 고형물(TSS)로서 여과 주기 동안 막 플럭스를 비례적으로 감소시키고 막 투과 압력(TMP)을 증가시키는 것으로 나타났다. 비가역적 파울링은 더 높은 TSS 농도에서 널리 퍼지게 되는데, 여기서 막에 대한 더 높은 TSS 부하는 물리적 세척에 의해 완전히 제거되지 않았다. 게다가, 작은 입자들은 큰 입자들보다 더 낮은 전단력 때문에 더 끈질기게 막 표면에 달라붙는 것으로 밝혀졌다.

【0017】 막오염의 원인은 크게 1) 무기 파울링/스케일링(scaling), 2) 유기물 흡착(유기 파울링), 3) 입자 침적(입자/콜로이드 파울링), 4) 미생물 부착 및 성장(바이오 파울링)으로 구분할 수 있으며, 이들 오염물질들이 막표면에 강하게 결합되거나 축적되어 발생하는 것으로 알려졌다.

【0018】 막 오염에 영향을 미치는 주요 요인으로는 막 특성(예: 기공 크기, 접촉각 및 제타 전위), 공급수 특성(예: 공급수 유형, 오염 물질의 친수성 및 분자량 분포), 전처리(예: 산화 및 응집 공정) 및 운전 조건(예: 투과와 세척 매개변수) 등이 있다.

【0020】 성능 회복을 위해 분리막은 물리세정과 화학세정을 진행하여 오염 물질을 제거하게 된다. 물리세정은 역세척(Backwashing), 공기세정(Air flushing, Aeration), 세정(Rinse, 원수 이용) 등으로 구분할 수 있으며, 화학세정은 저농도

의 화학약품을 이용한 유지세정(CEB, Chemical Enhanced Backwash), 고농도의 화학
 약품을 이용한 화학세정(CIP, Clean-in-Place) 방법이 있으며, 세정시기는 주로 운
 영자의 경험에 의해 판단하여 시행되고 있다.

【0021】 그러나 국내 현장인력의 고령화와 저출산, 현장 근무에 대한 거부감
 으로 수처리시설의 운영관리 인력이 감소하고 있으며, 전문성과 풍부한 경험을 가
 진 현장 인력채용에 어려움을 겪고 있다.

【선행기술문헌】

【특허문헌】

【0023】 (특허문헌 0001) KR 101299165 B1

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

【0024】 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서,
 전문성과 풍부한 경험을 가진 현장 인력 없이도 수처리에 사용되는 가압식 분리막
 의 유지관리를 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 해 주는 시스템 및 방법을 제공
 하는 것을 목적으로 한다.

【과제의 해결 수단】

【0026】 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 가압식 분리막 유지관리 시스템은 가동시간 측정부, 막간차압 산출부, 세정방법 판단부, 및 세정부를 포함한다. 가동시간 측정부는 수처리용 가압식 분리막의 여과주기별 가동시간을 측정하고, 막간차압 산출부는 측정된 가동시간을 이용하여 가압식 분리막의 막간차압을 산출하고, 세정방법 판단부는 산출된 막간차압을 이용하여 가압식 분리막의 세정방법을 판단하며, 세정부는 세정방법에 따라 가압식 분리막을 세정한다.

【0027】 이와 같은 구성에 의하면, 수처리에 사용되는 가압식 분리막의 여과주기에 따른 적합한 세정방법을 자동으로 판단함으로써, 전문성과 풍부한 경험을 가진 현장 인력 없이도 가압식 분리막의 유지관리를 보다 효과적으로 수행할 수 있게 된다.

【0029】 이때, 막간차압 산출부는 $y = a \ln x + b$, R^2 의 수학식에 의해 상기 막간차압을 산출하고, y 는 상기 막간차압(TMP(bar)), x 는 상기 가동시간, a , b , R 은 미리 설정된 상수일 수 있다. 이와 같은 구성에 의하면, 시스템의 특성을 반영한 수학식을 이용하여 가압식 분리막의 막간차압을 보다 효과적으로 산출할 수 있게 된다.

【0031】 또한, 가압식 분리막 유지관리 시스템은 가압식 분리막에 대해 측정된 데이터를 이용하여 a , b , R 을 설정하는 상수 설정부를 더 포함할 수 있으며, 상

수 설정부는 가압식 분리막의 유입원수의 유입압력과 여과수의 유출압력을 측정하는 측정부, 유입압력과 유출압력으로부터 막간차압을 산출하고, 동일한 여과주기에 대해 산출된 막간차압으로부터 a , b , R 을 산출하는 상수 산출부를 포함할 수 있다. 이와 같은 구성에 의하면, 측정된 데이터를 이용하여 가압식 분리막의 막간차압을 산출하기 위한 수학적식을 구성할 수 있게 된다.

【0033】 또한, 세정방법 판단부는 막간차압의 최대값을 이용하여 분리막의 세정방법을 판단할 수 있고, 막간차압의 최소값을 이용하여 분리막의 세정방법을 판단할 수 있으며, 막간차압의 최대값과 최소값의 차이를 이용하여 분리막의 세정방법을 판단할 수도 있다.

【0035】 아울러, 상기 시스템을 방법의 형태로 구현한 발명과 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체가 함께 개시된다.

【발명의 효과】

【0037】 본 발명에 의하면, 수처리에 사용되는 가압식 분리막의 여과주기에 따른 적합한 세정방법을 자동으로 판단함으로써, 전문성과 풍부한 경험을 가진 현장 인력 없이도 가압식 분리막의 유지관리를 보다 효과적으로 수행할 수 있게

된다.

【0039】 또한, 시스템의 특성을 반영한 수학적식을 이용하여 가압식 분리막의 막간차압을 보다 효과적으로 산출할 수 있게 된다.

【0041】 또한, 측정된 데이터를 이용하여 가압식 분리막의 막간차압을 산출하기 위한 수학적식을 구성할 수 있게 된다.

【도면의 간단한 설명】

【0043】 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가압식 분리막 유지관리 시스템의 개략적인 블록도.

도 2는 막모듈과 동작조건의 상세를 도시한 표.

도 3은 실험 설정의 개략도.

도 4는 MF막 시스템의 공정도.

도 5는 CEB 조건의 표.

도 6은 파일럿-스케일 MF 막 플랜트의 사진.

도 7은 공급 수질의 표.

도 8은 CEB 및 역세에 따른 막여과유속 및 탁도제거율을 도시한 도면.

도 9는 CEB₁, CEB₄, CEB₈ 이전 TMP의 변화를 도시한 도면.

도 10은 CEB 주기에 의해 나누어진 막여과 사이클에 따른 막간차압(TMP)의 변화, 여과주기내 ((A)TMP_{max}, (B)TMP_{min}, 및 TMP_{max}와 TMP_{min}의 차)를 도시한 도면.

도 11은 도 9의 (A), (B), (C)로부터 CEB₁(A), CEB₄(B), CEB₈(C) 이전 여과주 기상의 TMP 변화의 추세선을 도시한 도면.

도 12는 CEB 주기에 따라 나누어진 막여과 사이클에 따라 식 (4)에 기반한 gradient a, intercept b, 결정계수 R² 의 변화를 도시한 도면.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0044】 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

【0045】 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가압식 분리막 유지관리 시스템의 개략적인 블록도이다. 도 1에서, 가압식 분리막 유지관리 시스템은 가동시간 측정부(110), 막간차압 산출부(120), 세정방법 판단부(130), 세정부(140), 상수 설정부(150)를 포함하며, 상수 설정부(150)는 다시 측정부(152), 및 상수 산출부(154)를 포함한다.

【0047】 가동시간 측정부(110)는 수처리용 가압식 분리막의 여과주기별 가동시간을 측정하고, 막간차압 산출부(120)는 측정된 가동시간을 이용하여 가압식 분리막의 막간차압을 산출한다.

【0048】 이때, 막간차압 산출부(120)는 $y = a \ln x + b$, R^2 의 수학적식에 의해 상기 막간차압을 산출하고, y 는 상기 막간차압(TMP(bar)), x 는 상기 가동시간, a , b , R 은 미리 설정된 상수일 수 있다. 이와 같은 구성에 의하면, 시스템의 특성을 반영한 수학적식을 이용하여 가압식 분리막의 막간차압을 보다 효과적으로 산출할 수 있게 된다.

【0050】 세정방법 판단부(130)는 산출된 막간차압을 이용하여 가압식 분리막의 세정방법을 판단한다. 이를 위해, 세정방법 판단부(130)는 막간차압의 최대값을 이용하여 분리막의 세정방법을 판단할 수 있고, 막간차압의 최소값을 이용하여 분리막의 세정방법을 판단할 수 있으며, 막간차압의 최대값과 최소값의 차이를 이용하여 분리막의 세정방법을 판단할 수도 있다.

【0052】 세정부(140)는 세정방법에 따라 가압식 분리막을 세정하고, 상수 설정부(150)는 가압식 분리막에 대해 측정된 데이터를 이용하여 a , b , R 을 설정한다.

【0053】 이를 위해, 측정부(152)는 가압식 분리막의 유입원수의 유입압력과 여과수의 유출압력을 측정하고, 상수 산출부(154)는 유입압력과 유출압력으로부터 막간차압을 산출하고, 동일한 여과주기에 대해 산출된 막간차압으로부터 a , b , R 을 산출한다. 이와 같은 구성에 의하면, 측정된 데이터를 이용하여 가압식 분리막의 막간차압을 산출하기 위한 수학적식을 구성할 수 있게 된다.

【0055】 보다 상세하게 설명하자면, 본 발명에서는 파일럿 플랜트를 구축하여 분리막 공정주기 내 역세에 따른 막차압 변화를 통해 분리막 상태를 진단 평가함과 동시에 화학세정 방법과 주기를 제시함으로써 분리막 공정의 자동제어를 위한 운전기준을 제시하고자 한다.

【0057】 실험 방법

【0059】 1. MF 분리막 모듈 및 실험 장치

【0060】 MF 분리막은 0.1 μ m 의 pore size를 가진 PVDF 재질(시노펙스)의 복합막을 사용하였다. 분리막은 직경 89 mm, 길이 1197 mm 막모듈 2개로 막면적은 각 모듈당 10m²의 막면적을 가진 중공사막을 사용하였으며, 유입원수는 중공사의 외부에서 내부(outside-in mode)로 여과되는 방식으로 운전되었다. 도 2는 막모듈과 동작조건의 상세를 도시한 표이다.

【0061】 분리막은 가압식 전량여과 방식(Dead-end filtration)을 적용하였으며, 장치구성도는 도 3에서 나타내었다. 도 3은 실험 설정의 개략도이다. 유입 원수는 MF 분리막 전처리로 Auto strainer를 사용하여 조대입자를 제거하였으며, 유입유량을 일정하게 유지하였다. 탁도계, 온도계, pH meter를 설치하여 유입원수와 생산수의 수질을 자동측정하였으며, 자동측정된 데이터는 현장 제어기기

(Programmable Logic Controller, PLC)를 통해 SCADA시스템으로 전송되어 자동저장되었다.

【0063】 2. 분리막 운전 방식

【0064】 분리막 공정은 도 4에서 나타낸 것처럼 여과, 공기세정, 역세, 배수, 플러싱을 1 주기(cycle)로 하여 반복 진행되었다. 도 4는 MF막 시스템의 공정도이다. 30회 공정이 반복된 후 CEB(Chemical Enhanced Backwash)가 진행되었으며, TMP 가 1.5bar 이상인 경우 CIP(Clean-in Place)를 시행하였다. CEB 공정은 도 5에서 나타내었으며, 알칼리 세정 후 산세정을 시행하였다. 알칼리세정은 300 mg/L NaOCl과 125 mg/L NaOH를 사용하였으며 산세정은 1500 mg/L Citric acid를 사용하였다. 도 5는 CEB 조건의 표이다.

【0065】 본 발명에 사용된 데이터 확보 기간은 15일 정도이며 분리막 운전 초기에서 CIP 시행 전 CEB 8회를 시행하는 동안 데이터를 분석하였다. 유입유량은 시간당 2 m³ 이었으며, 회수율은 약 98~99%였으며 8회차에서 회수율이 98% 정도로 나타났다. 본 발명에 사용된 실험장치는 도 6에서 나타내었다. 도 6은 파일럿-스케일 MF 막 플랜트의 사진이다.

【0067】 3. 분리막 성능 평가 방법

【0068】 MF분리막은 도 6에서 보이는 것처럼 가압식 시스템으로 운전하였으며, 2개의 모듈에 2m³/hr의 유량이 유입되도록 하였다. 분리막 성능은 막여과유속(Flux), 막간차압(Trans-membrane Pressure, TMP), 탁도제거율 등을 통해 평가하였다.

【0069】 막여과유속은 여과면적과 시간당 생산수량으로 나타내는 지표로 막의 여과 성능을 나타낼 수 있으며 식(1)을 이용하여 계산하였다.

【0070】

$$\text{【0071】 } Flux (L/m^2 hr) = \frac{V(L)}{A (m^2) \times t(hr)} \quad \dots \text{식(1)}$$

【0072】 V : 여과량 (L), A: 여과면적(m²), t: 여과시간(hr)

【0074】 탁도 제거율은 유입원수의 탁도와 생산수의 탁도를 비교하여 제거된 비율을 나타내며 식(2)와 같이 계산하였다.

$$\text{【0076】 } Turbidity\ rejection(\%) = \left(1 - \frac{Permeate\ concentration}{Feed\ concentration}\right) \times 100 \quad \dots \text{식(2)}$$

【0078】 막간차압(Trans-membrane Pressure, TMP)은 유입원수의 유입압력과 막을 지나 생산되는 여과수의 압력 차이로 막의 오염정도를 나타내는 지표로 사용되며 식(3)과 같이 계산되었다.

【0080】 $TMP(\bar{)} = P_f - P_p$... 식(3)

【0081】 P_f : 유입수 압력, P_p : 여과수 압력

【0083】 4. 분리막 표면 및 수질 분석

【0084】 분리막은 막오염 발생 전과 후를 비교하기 위해 ZEISS사의 Merlin Compact 모델 주사전자현미경(Field Emission-Scanning Electron Microscopy, FE-SEM)을 이용하여 분리막 표면과 단면을 분석하였다. 분리막은 단면 측정을 위해 액체질소에 20초가량 침지시켜 얼린 후 커팅하여 사용하였다. 막표면의 원소 조성의 변화를 측정하기 위해 SEM에 부착된 EDS(Electron Dispersion x-ray Spectroscopy)를 이용하였다.

【0085】 유입원수는 국가물산업클러스터 실증플랜트의 하수처리수의 원수를 사용하였으며, 실증플랜트의 하수처리공정은 유량조정조를 지나 각각 500m³/hr 처리용량의 1계열과 2계열로 나뉘어 처리되고 있다. 1계열은 일차침전지 - 생물반응조(A20) - 이차침전지 - 총인처리 - 여과시설 - 소독 공정으로 되어 있으며, 2계열은 생물반응조(A20+MBR) - 총인처리 공정으로 되어 있다.

【0086】 처리된 하수처리수는 처리수조를 통해 본 실험 장치로 이송되어 원수로 사용되고 있으며, 원수 수질은 수질공정시험기준에 의해 분석되었으며 그 값은 도 7에 나타내었다. 도 7은 공급 수질의 표이다.

【0088】 실험결과 및 고찰

【0090】 1. MF 분리막의 성능평가

【0091】 MF 분리막의 성능은 막여과수량(flux)과 탁도제거율을 고려하여 주로 평가하는데 2개의 막모듈을 이용하여 유입유량 시간당 2 m³을 전량여과하였다. 여과공정은 여과, 공기세정, 역세, 배수, 세정 순서로 시행하였으며, 30회 여과 후 CEB를 시행하였다. CEB를 총 8회 수행하면서 분리막의 성능을 분석하였다. 본 발명에서는 CEB 시행 시기를 CEB_n(n=CEB 횟수)으로 표시하였다.

【0092】 도 8에서는 CEB 1차, 4차, 8차 시행 전 막여과유속(Flux)과 탁도제거율을 비교하였다. 도 8은 CEB 및 역세에 따른 막여과유속 및 탁도제거율을 도시한 도면이다. 막여과유속(Flux)의 경우 CEB₁, CEB₄, CEB₈ 시행 전 각각 84~89, 77~87, 73~86 L/m²hr의 범위로 시간이 지남에 따라 최대 flux와 최소 flux의 범위가 점차 증가하는 것으로 나타났다.

【0094】 이는 공정주기가 반복되면서 공기세정과 역세에 의한 막여과유속의 회복률이 감소하여 나타나는 것으로 판단되며 30회의 여과주기 후 시행하는 CEB에 의해서도 막여과유속의 회복률이 시간에 따라 점차 감소하는 것으로 판단된다.

【0095】 또한, 탁도제거율의 경우 7차 CEB 전에는 98~99 %의 성능을 보였으나 이후에는 95%까지 감소하였고 탁도제거율의 변동폭(fluctuation)이 증가하는 경향을 보였다. 이러한 분리막 성능변화 변동폭이 증가하는 8차 CEB전까지의 막간차압(TMP)을 분석하였다.

【0097】 2. 운전시간에 따른 분리막 막간차압

【0098】 분리막 여과공정은 여과와 역세척이 반복적으로 수행하면서 분리막 표면의 오염을 제거하여 성능을 회복시킨다. 역세와 같은 물리적 세정으로 제거되는 오염은 가역적인 오염으로 정의되며, 약품을 사용하여 제거하는 오염은 비가역적인 오염으로 정의될 수 있다.

【0099】 역세척은 침전물이 막 표면에 침적되어 가역적인 오염이 발생하였을 때 비가역적인 막오염으로 진행하지 않도록 예방하거나 저감시키기 위한 물리세정 방법이다. 역세척을 통해 화학세정 주기나 막의 수명을 연장할 수 있으며, 이로 인해 막의 성능과 약품 사용량을 절감 할 수 있다.

【0100】 여과로 인해 막표면에 오염물질이 쌓임에 따라 막여과수량이 감소하고 막차압이 증가하게 되는데 역세척 후에는 가역적인 오염이 제거됨에 따라 막여과수량과 막차압이 일부 회복된다. 반복적인 여과공정으로 막표면에 비가역적인 오염이 쌓이면서 저농도의 화학약품을 사용한 유지세정(CEB)를 시행하여 일부 비가역적인 오염을 제거하여 성능을 회복시킨다.

【0102】 본 발명에서는 MF 분리막을 가압식, 전량여과 방식으로 30분 여과 후 공기세정과 역세를 진행하였으며, 30회 순환 반복된 후에 CEB를 진행하여 CEB횟수 증가와 그에 따른 막차압 변화를 분석하였다.

【0103】 도 9에서는 CEB 시행 횟수(CEB₁, CEB₄, CEB₈)를 기준으로 분리막의 막간차압(Trans-membrane Pressure, TMP)을 구분하여 나타내었다. 도 9는 CEB₁, CEB₄, CEB₈ 이전 TMP의 변화를 도시한 도면이다. 9의 (A)에서 알 수 있듯이 초기 CEB₁ 전에는 약 1.2 bar에서 시작한 TMP는 CEB₄시행 전에 1.4 bar까지 증가하였으며 (도 9의 (B)), CEB₈시행 전에는 1.5 bar까지 증가하였다(도 9의 (C)).

【0105】 TMP는 MF 공정에서 투과 flux와 탁도제거율 외에 분리막 fouling을 예측할 때 가장 대표적인 인자(parameter)이다. CEB주기를 기준으로 TMP의 최대·최소값 변화와 그 차이를 도 10에 나타내어 CEB 주기 증가에 따른 막간차압(TMP) 변화 경향을 분석하였다. 도 10은 CEB 주기에 의해 나누어진 막여과 사이클에 따른 막간차압(TMP)의 변화, 여과주기내 ((A)TMP_{max}, (B)TMP_{min}, 및 TMP_{max}와 TMP_{min}의 차)를 도시한 도면이다.

【0106】 여과주기내 TMP_{max}를 비교해 보면 여과주기 증가와 함께 점차 증가하였으며, TMP_{min}은 대체로 증가하는 추세를 보였으나 CEB₅ 이후에는 여과주기에 따른 TMP_{min} 값이 뚜렷한 증가나 감소의 경향을 보이지는 않았다. 또한, CEB주기를 기준으

로 TMP의 최대·최소값 변화($TMP_{max}-TMP_{min}$)를 비교하면 CEB₁, CEB₄, CEB₈에서 각각 평균 0.046, 0.097, 0.147 bar로 점차 TMP변화폭이 점차 증가하는 경향을 보였다.

【0108】 여과 동안 유입수내 입자상 물질, 즉 TSS(Total suspended solids)는 분리막의 flux를 감소시키고, 막간차압(TMP)을 증가시킨다. 여과주기가 증가하면서 더 많은 TSS가 쌓이게 되는데 이는 물리적 세정으로 완전히 제거되지 않는다. 그 이유는 분리막의 pore size 보다 작은 입자들은 전단력(shear force)이 큰 입자보다 작아 물리적 세정에 의해 완전히 제거되지 않고 표면에 쌓이면서 케익층(cake layer)을 형성하게 되고 pore 내벽에 쌓이면서 pore blocking을 일으키게 된다.

【0109】 이렇게 막 표면 위의 쌓인 오염물질의 분자간(inter-molecular), 분자내(intra-molecular) 힘이 오염물질 간의 응집을 가속화시키는데, 이로 인해 flux와 탁도 제거율에 영향을 미치고, 긴시간 표면 위 오염물질의 응집(compression)과 pore blocking이 지속되면 비가역적인 오염이 상대적으로 빠르게 발생하게 된다.

【0110】 도 10에 나타난 바와 같이 여과주기가 증가할수록 TMP_{min} , TMP_{max} , $TMP_{max}-TMP_{min}$ 가 증가하는 것은 물리적 세정시 완전히 제거되지 않은 입자상 물질이 반복적으로 남게 되어 비가역적인 오염을 증가시켜 막의 성능 회복률이 점차 감소하여 나타난 것으로 판단할 수 있다.

【0112】 도 9와 도 10에서 나타낸 바와 같이 여과주기와 CEB 주기가 증가하면서 한 주기내 TMP 변화폭이 증가하는 경향과 TMP_{\min} , TMP_{\max} , $TMP_{\max}-TMP_{\min}$ 가 점차 증가하는 것을 확인하였다.

【0113】 이러한 경향을 분석하기 위해 도 9에서 각 CEB 주기내 대표적인 여과주기로 (a), (b), (c) 구간을 선정하고 각 구간에서 TMP 변화에 가장 부합하는 추세선을 구하였다. 그 결과 자연로그함수가 가장 적합한 것으로 나타났으며, 도 9의 (A), (B), (C) 구간의 추세선을 수식과 함께 도 11에 나타내었다. 도 11은 도 9의 (A), (B), (C)로부터 $CEB_1(A)$, $CEB_4(B)$, $CEB_8(C)$ 이전 여과주기상의 TMP 변화의 추세선을 도시한 도면이다.

【0115】 도 11에서 나타낸 추세선은 식(4)와 같이 나타낼 수 있으며, 도 9의 각 $CEB_1(A)$, $CEB_4(B)$, $CEB_8(C)$ 주기내 (a), (b), (c)지점을 각각 도 11의 (a), (b), (c)에 나타내었으며 각 추세선의 기울기(a), y절편(b), 결정계수(R^2)의 변화를 분석하였다.

$$\text{【0117】 } y = a \ln x + b, R^2 \quad \dots \text{ 식(4)}$$

$$\text{【0118】 } y : \text{TMP(bar)}, x : \text{time}, R^2 : \text{결정계수}$$

【0120】 도 11에 나타낸 추세선을 보면 CEB주기를 기준으로 점차 a , b , R^2 값이 점차 증가하는 것을 확인할 수 있다. a 값은 역세 직후의 TMP 경향을 확인할 수 있는 값으로 CEB 주기가 증가할수록 역세 후 초기 TMP가 급속하게 증가하는 경향을 나타내며, b 값은 역세 후 또는 CEB 후에 회복되는 막간차압을 나타내는 것으로 CEB 주기가 증가와 함께 증가하는 것으로 나타낸다.

【0121】 또한, R^2 값은 한 주기 내에서 막간차압의 경향과 추세식이 얼마나 부합하는지 유사도를 판단할 수 있는 결정계수(coefficient of determination)로 “1”에 가까워지면 시간에 따른 막간차압 변화와 추세식이 잘 부합한다는 것을 알 수 있다.

【0122】 이러한 경향을 좀 더 구체적으로 살펴보기 위해 주기별 a , b , R^2 값을 분석하였고 도 12의 (A), (B), (C)에 식(4)에 의한 CEB주기별 a , b , R^2 변화를 여과주기에 따라 나타내었다. 도 12는 CEB 주기에 따라 나누어진 막여과 사이클에 따라 식 (4)에 기반한 gradient a , intercept b , 결정계수 R^2 의 변화를 도시한 도면이다.

【0124】 도 12의 (A)는 식(4) a 값의 변화를 나타낸 것으로 CEB 증가와 함께 점차 증가하는 경향을 보였으며, CEB₇ CEB₈에는 튀는 값을 보이기도 하였다. a 값은 역세후 초기 TMP 증가 경향을 확인할 수 있는 값으로 CEB횟수 증가와 함께 역세후 초기 TMP가 더 급속하게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

【0125】 도 12의 (B)는 식(4)의 b 값의 변화를 나타내는 값으로 역세 후 또는 CEB 후 회복되는 막간차압의 회복정도를 나타내고 있다. 이 값은 여과주기 증가 및 CEB 횟수 증가에 따라 막간차압 회복률의 감소나 증가하는 경향을 뚜렷하게 보이지는 않았으나 CEB주기내에서 여과주기 증가와 함께 b 값이 조금씩 증가하는 경향을 보여 물리적 세정인 역세후에서 막간차압의 회복률이 점차 감소하는 것으로 판단된다. 이는 막표면과 오염물질간 응집력이 저농도의 화학약품을 이용한 CEB세정과 물리적세정(역세)에 따라 달라지는 것으로 판단된다.

【0127】 도 12의 (C)는 식(4)의 R^2 값 변화를 나타낸 것으로 CEB₁ ~ CEB₈ 주기에 따라 각각 0.4077 ~ 0.8630, 0.4358 ~ 0.9017, 0.8447 ~ 0.9157, 0.8642 ~ 0.9593, 0.7480 ~ 0.9628, 0.7212 ~ 0.9680, 0.7794 ~ 0.9732, 0.8000 ~ 0.9828 범위였으며, 평균은 0.7225, 0.8037, 0.8793, 0.9137, 0.9183, 0.9347, 0.9433, 0.9555로 나타났다.

【0128】 초기 CEB주기에서는 낮은 평균과 범위를 보여주다가 CEB횟수 증가와 함께 점차 증가하는 경향을 보였다. 결정계수(R^2)는 실제 값과 예측값 사이에 얼마나 일치하는지 보여주는 값으로 운전 초기에는 식(4)의 추세선이 실제 값과 일치하지 않는 것을 나타내며 CEB횟수가 점차 증가할수록 추세선과 실제 막간차압이 부합하여 최대 0.9828까지 증가하였다.

【0130】 본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야할 것이다.

【부호의 설명】

【0132】 110: 가동시간 측정부

120: 막간차압 산출부

130: 세정방법 판단부

140: 세정부

150: 상수 설정부

152: 측정부

154: 상수 산출부

【청구범위】

【청구항 1】

수처리용 가압식 분리막의 여과주기별 가동시간을 측정하는 가동시간 측정부;

상기 가동시간을 이용하여 상기 가압식 분리막의 막간차압을 산출하는 막간차압 산출부;

상기 막간차압을 이용하여 상기 가압식 분리막의 세정방법을 판단하는 세정방법 판단부; 및

상기 세정방법에 따라 상기 가압식 분리막을 세정하는 세정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 가압식 분리막 유지관리 시스템.

【청구항 2】

청구항 1에 있어서,

상기 막간차압 산출부는 $y = a \ln x + b$, R^2 의 수학식에 의해 상기 막간차압을 산출하고, y 는 상기 막간차압(TMP(bar)), x 는 상기 가동시간, a , b , R 은 미리 설정된 상수인 것을 특징으로 하는 가압식 분리막 유지관리 시스템.

【청구항 3】

청구항 2에 있어서,

상기 가압식 분리막에 대해 측정된 데이터를 이용하여 상기 a, b, R을 설정하는 상수 설정부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 가압식 분리막 유지관리 시스템.

【청구항 4】

청구항 3에 있어서, 상기 상수 설정부는,

상기 가압식 분리막의 유입원수의 유입압력과 여과수의 유출압력을 측정하는 측정부;

상기 유입압력과 유출압력으로부터 막간차압을 산출하고, 동일한 여과주기에 대해 산출된 막간차압으로부터 상기 a, b, R을 산출하는 상수 산출부를 포함하는 것을 특징으로 하는 가압식 분리막 유지관리 시스템.

【청구항 5】

청구항 4에 있어서,

상기 세정방법 판단부는 상기 막간차압의 최대값을 이용하여 상기 분리막의 세정방법을 판단하는 것을 특징으로 하는 가압식 분리막 유지관리 시스템.

【청구항 6】

청구항 4에 있어서,

상기 세정방법 판단부는 상기 막간차압의 최소값을 이용하여 상기 분리막의 세정방법을 판단하는 것을 특징으로 하는 가압식 분리막 유지관리 시스템.

【청구항 7】

청구항 4에 있어서,

상기 세정방법 판단부는 상기 막간차압의 최대값과 최소값의 차이를 이용하여 상기 분리막의 세정방법을 판단하는 것을 특징으로 하는 가압식 분리막 유지관리 시스템.

【청구항 8】

가압식 분리막 유지관리 시스템에 의해 수행되는 가압식 분리막 유지관리 방법으로서,

수처리용 가압식 분리막의 여과주기별 가동시간을 측정하는 가동시간 측정 단계;

상기 가동시간을 이용하여 상기 가압식 분리막의 막간차압을 산출하는 막간차압 산출 단계;

상기 막간차압을 이용하여 상기 가압식 분리막의 세정방법을 판단하는 세정방법 판단 단계; 및

상기 세정방법에 따라 상기 가압식 분리막을 세정하는 세정 단계를 포함하는

것을 특징으로 하는 가압식 분리막 유지관리 방법.

【청구항 9】

청구항 8의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체.

【요약서】**【요약】**

가압식 분리막 유지관리 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 기록 매체가 개시된다. 가압식 분리막 유지관리 시스템은 가동시간 측정부, 막간차압 산출부, 세정방법 판단부, 및 세정부를 포함한다. 가동시간 측정부는 수처리용 가압식 분리막의 여과주기별 가동시간을 측정하고, 막간차압 산출부는 측정된 가동시간을 이용하여 가압식 분리막의 막간차압을 산출하고, 세정방법 판단부는 산출된 막간차압을 이용하여 가압식 분리막의 세정방법을 판단하며, 세정부는 세정방법에 따라 가압식 분리막을 세정한다.

【대표도】

도 1

【도면】

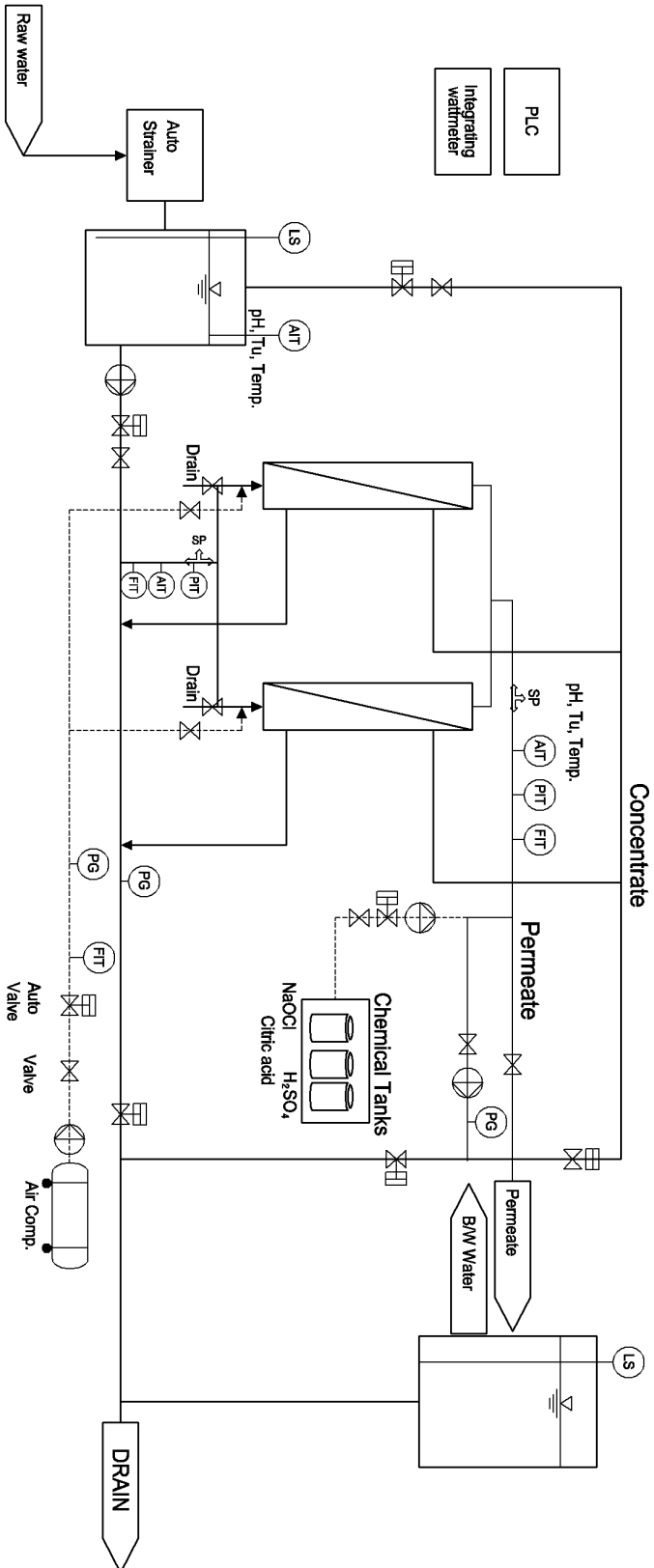
【도 1】



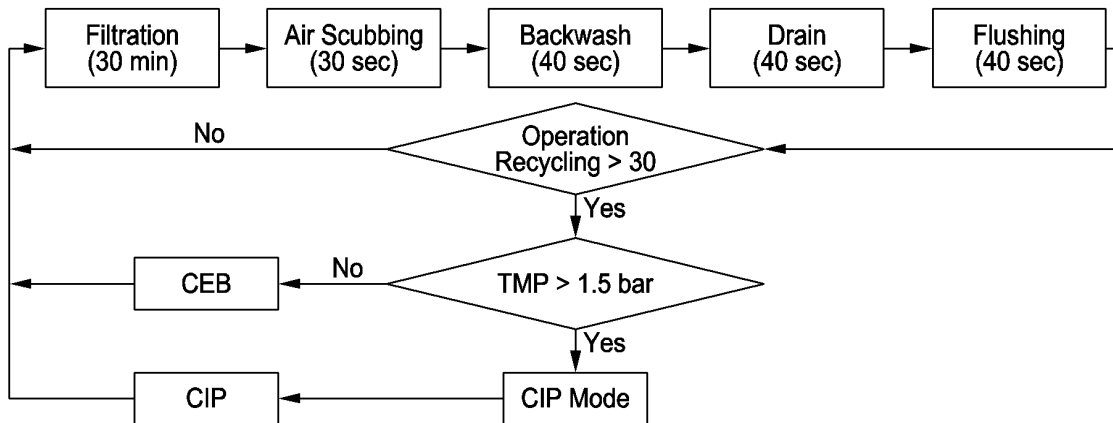
【도 2】

<i>Index</i>	<i>Specifications</i>
Material	PVDF (Poly(vinylidene fluoride))
Membrane type	Pressurized Hollow Fiber Membrane
Pore size (μm)	0.1
OD/ID (mm)	1.4 / 0.8
Module size (mm)	89(\varnothing), 1197(L)
Membrane effective area (m^2)	10 / module, 2 module
Flux range	30 ~ 100 LMH
Applicable pH	1 ~ 12
Filtration mode	Dead-end mode
Flow direction	outside-in
Operating Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	< 40 $^{\circ}\text{C}$
Typical Pressure (kgf/cm^2)	< 1.5

【도 3】



【도 4】



【도 5】

<i>Cleaning</i>	<i>Chemical conditions</i>
1 st cleaning	NaOCl (300mg/L), NaOH (125mg/L)
2 nd cleaning	Citric acid (1500mg/L)

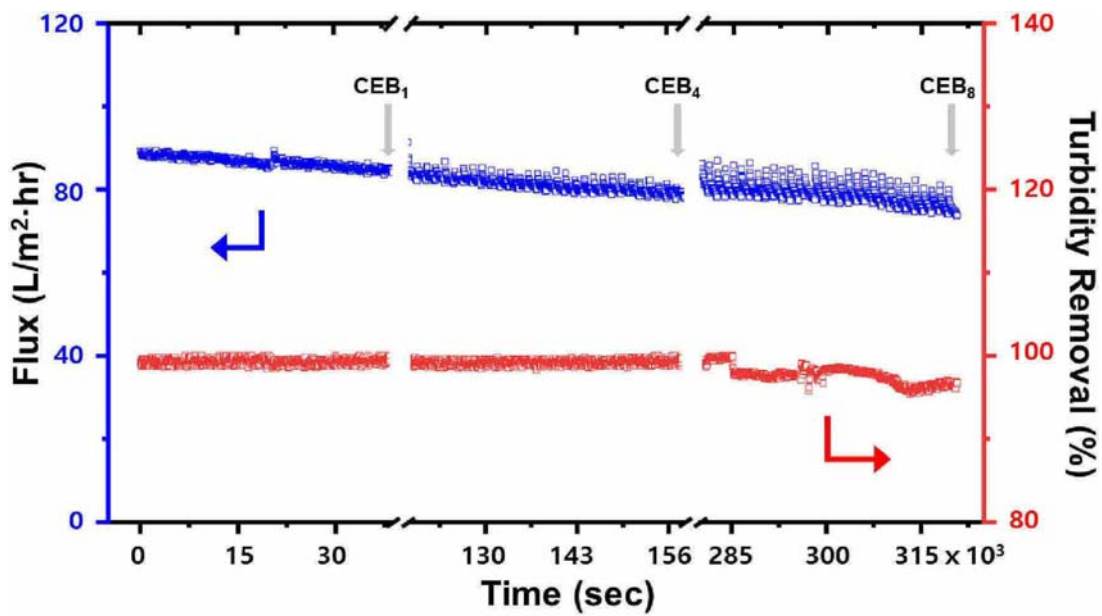
【도 6】



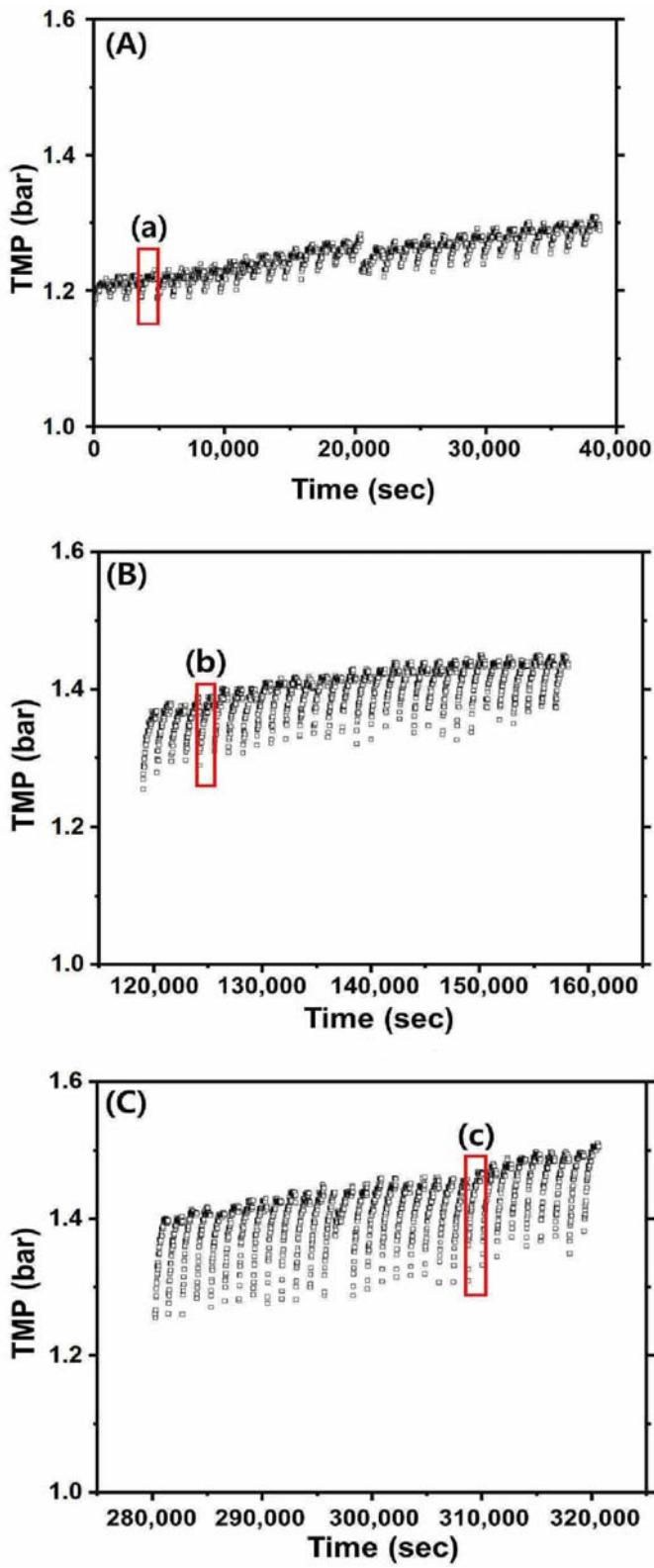
【표 7】

Parameters	SS	COD _{Mn}	TOC	TN	TP	SO ₄ ²⁻	PO ₄ -P
value (mg/L)	0.7	6.1	5.0	8.23	0.157	117.1	0.080
Parameters	Ca	Mg	Al	Cu	Zn	Mn	Fe
value (mg/L)	36.1	7.64	0.3	N.D	0.009	0.004	0.007

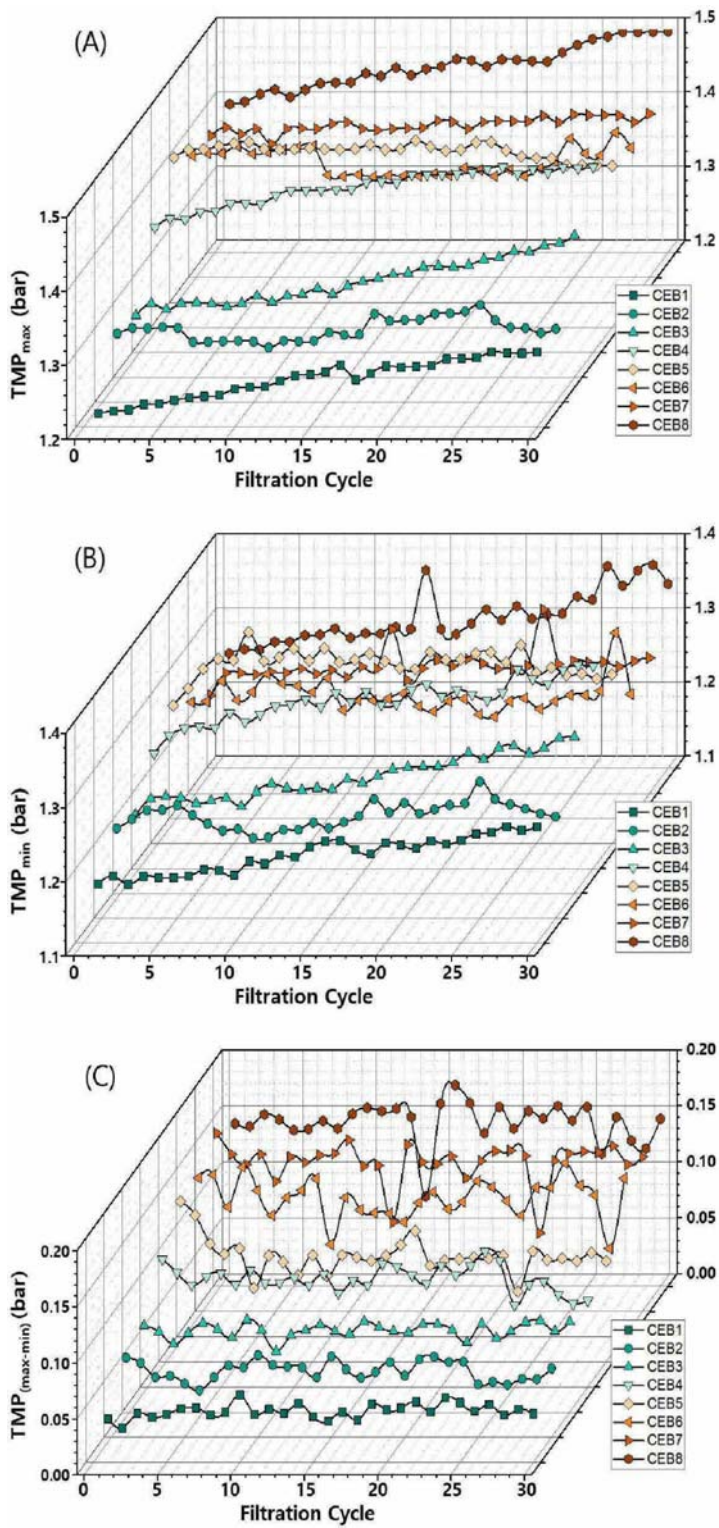
【표 8】



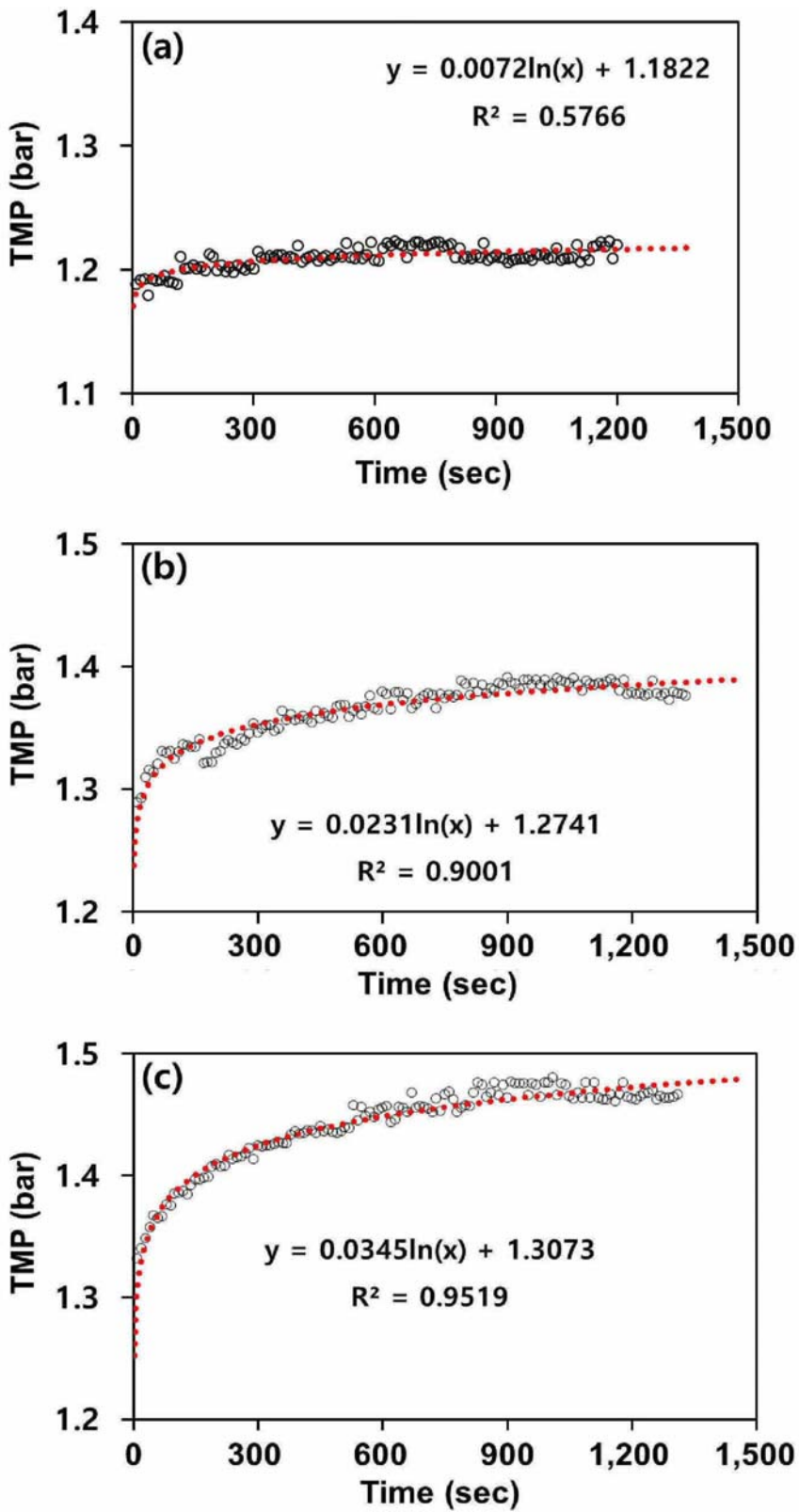
【표 9】



【도 10】



【도 11】



【도 12】

