



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0130006
(43) 공개일자 2016년11월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 65/10 (2006.01) B01D 65/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B01D 65/10 (2013.01)
B01D 65/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0061630
(22) 출원일자 2015년04월30일
심사청구일자 2015년04월30일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
부경대학교)
(72) 발명자
김수한
부산광역시 해운대구 대천로103번길 9 207동 30
4호 (좌동, 대림2차아파트)
(74) 대리인
조영현

전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 분리막 이상상태 실시간 감지방법

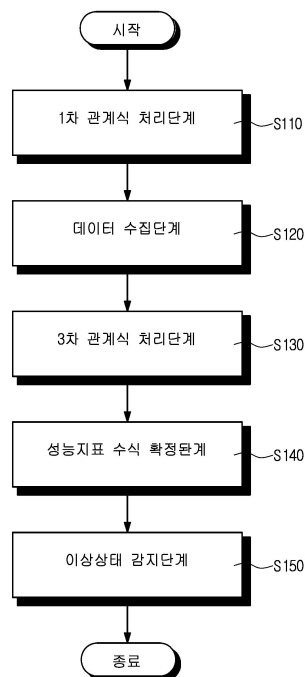
(57) 요약

본 발명은 분리막 이상상태 실시간 감지방법에 관한 것으로서, 본 발명에 따른 분리막 이상상태 실시간 감지방법은 분리막의 삼투압 관계식 및 온도보정계수 관계식이 미정계수를 포함하는 식으로 각각 정리된 1차 관계식을 수식 저장부가 입력받아 저장하는 1차 관계식 처리단계; 상기 1차 관계식 및 상기 분리막의 이상상태가 없는 조건

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

S100



하에서 수집되어 운전 데이터 저장부에 저장된 운전 데이터를 수식 처리부가 제공받아, 상기 분리막의 성능지표인 2차 관계식에 대입하여 3차 관계식을 도출하는 3차 관계식 처리단계; 상기 3차 관계식으로부터 최소자승법을 이용하여 미정계수 결정부가 상기 미정계수를 결정하여, 상기 성능지표 수식을 확정하는 성능지표 수식 확정단계; 및 미정계수가 결정된 상기 성능지표 수식을 반영하여 기준시부터 실시간 감지시점까지의 성능 데이터를 이상상태 감지부가 성능 데이터 저장부로부터 제공받으며, 상기 이상상태 감지부는 상기 기준시부터 실시간 감지 시점까지의 전체 성능 데이터 집단과 실시간 감지 시점을 포함하는 최근 시점의 연속 성능 데이터 집단을 각각 표본집단으로 설정하여 t 검정을 통하여 상기 분리막의 이상상태를 감지하는 이상상태 감지단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 의하여 분리막의 종류 및 운전 조건 등이 변화되는 현장에서 분리막에 파울링 등의 이상상태가 발생한 시점을 실시간으로 감지할 수 있는 분리막 이상상태 실시간 감지방법이 제공된다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 FIP-B088104-01-000000

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 플랜트연구사업

연구과제명 정삼투-역삼투 융합 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 효림산업(주)

연구기간 2014.12.04 ~ 2015.05.03

명세서

청구범위

청구항 1

분리막의 삼투압 관계식 및 온도보정계수 관계식이 미정계수를 포함하는 식으로 각각 정리된 1차 관계식을 수식 저장부가 입력받아 저장하는 1차 관계식 처리단계;

상기 1차 관계식 및 상기 분리막의 이상상태가 없는 조건 하에서 수집되어 운전 데이터 저장부에 저장된 운전 데이터를 수식 처리부가 제공받아, 상기 분리막의 성능지표인 2차 관계식에 대입하여 3차 관계식을 도출하는 3차 관계식 처리단계;

상기 3차 관계식으로부터 최소자승법을 이용하여 미정계수 결정부가 상기 미정계수를 결정하여, 상기 성능지표 수식을 확정하는 성능지표 수식 확정단계; 및

미정계수가 결정된 상기 성능지표 수식을 반영하여 기준시부터 실시간 감지시점까지의 성능 데이터를 이상상태 감지부가 성능 데이터 저장부로부터 제공받으며, 상기 이상상태 감지부는 상기 기준시부터 실시간 감지 시점까지의 전체 성능 데이터 집단과 실시간 감지 시점을 포함하는 최근 시점의 연속 성능 데이터 집단을 각각 표본집단으로 설정하여 t 검정을 통하여 상기 분리막의 이상상태를 감지하는 이상상태 감지단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 분리막 이상상태 실시간 감지방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 2차 관계식은, 상기 분리막의 보정 생산수량 관계식과 보정 염투과율 관계식인 것을 특징으로 하는 분리막 이상상태 실시간 감지방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 2차 관계식은, 상기 분리막의 보정 차압, 막 저항, 보정 투수율, 보정 염제거율, 보정 생산수 농도 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 분리막 이상상태 실시간 감지방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 보정 생산수량 관계식은 다음의 수학적식인 것을 특징으로 하는 분리막 이상상태 실시간 감지방법.

$$Q_{PS} = \left(\frac{\left[P_{fs} - \frac{\Delta P_{fbs}}{2} - P_{ps} - \pi_{fbs} + \pi_{ps} \right] (TCF_a)}{\left[P_{fa} - \frac{\Delta P_{fba}}{2} - P_{pa} - \pi_{fba} + \pi_{pa} \right] (TCF_s)} \right) (Q_{pa})$$

여기서, Q_{ps} 는 보정 생산수량이고 Q_{pa} 는 측정 생산수량이며, P_{fs} 는 기준 압력이고 P_{fa} 는 측정 압력이며, ΔP_{fbs} 는 기준 차압이고 ΔP_{fba} 는 측정 차압이며, P_{ps} 는 기준 생산수 압력이고 P_{pa} 는 측정 생산수 압력이며, π_{fbs} 는 기준 원수 삼투압이고 π_{fba} 는 측정 원수 삼투압이며, π_{ps} 는 기준 생산수 삼투압이며 π_{pa} 는 측정 생산수 삼투압이며, TCF_a 는 기준 온도 보정 계수이며, TCF_s 는 측정 온도 보정 계수이다.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 보정 염투과율 관계식은 다음의 수학적식인 것을 특징으로 하는 분리막 이상상태 실시간 감지방법.

$$\%SP_s = \left[\frac{Q_{pa}}{Q_{ps}} \right] \times \left[\frac{STCF_a}{STCF_s} \right] \times \%SP_a$$

여기서, $\%SP_s$ 는 보정 염투과율이고 $\%SP_a$ 는 측정 염투과율이며, Q_{ps} 는 기준 생산수량이고 Q_{pa} 는 측정 생산수량이며, $STCF_a$ 는 측정 염투과율 온도 보정계수이고 $STCF_s$ 는 기준 염투과율 온도 보정계수이다.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 1차 관계식 중 삼투압 관계식은 다음의 수학적식인 것을 특징으로 하는 분리막 이상상태 실시간 감지방법.

$$\pi = (\alpha C + \beta)(\gamma T + \delta)$$

여기서 π 는 상기 1차 관계식 중 삼투압 관계식이며, α , β , γ , δ 는 미정계수이며, C 는 이온 농도, T 는 절대온도이다.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 1차 관계식 중 온도 보정계수는 다음의 수학적식인 것을 특징으로 하는 분리막 이상상태 실시간 감지방법.

$$TCF = \exp \left[a \times \left(\frac{1}{(T+273)} - \frac{1}{298} \right) \right]$$

$$STCF = \exp \left[b \times \left(\frac{1}{T+273} - \frac{1}{298} \right) \right]$$

여기서 TCF 는 투수율에 대한 온도 보정계수, $STCF$ 는 염투과율에 대한 온도 보정계수, a , b 는 미정계수, T 는 절대온도이다.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 3차 관계식 처리단계는, 수온과 플럭스 및 회수율을 변동시키며 반복 실험하여 온도, 압력, 유량, 수질 실험 데이터를 수집하여 상기 운전 데이터 저장부에 저장하는 것을 특징으로 하는 역삼투막 세정시기 예측방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 분리막 이상상태 실시간 감지방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 분리막에 파울링 등의 이상상태가 발생한 시점을 실시간으로 감지할 수 있는 분리막 이상상태 실시간 감지방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전 세계적인 인구증가와 산업의 발달로 인한 오염의 확산으로 2025년이 되면 거의 모든 국가들이 용수 부족을 겪게 되며, 그 중 절반의 국가들은 수자원 확보에 있어서 심각한 위기를 맞을 것으로 예상된다.

- [0003] 용수의 수요량이 증가하고 수자원도 한정되어 있는 상황에서 하·폐수의 재이용 및 해수 담수화 기술 등의 수처리 공정에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 수처리 공정은 정밀여과(MF : microfiltration) 공정, 한외여과(UF : ultrafiltration) 공정, 정삼투(FO : Forward Osmosis) 공정, 역삼투(RO : Reverse Osmosis) 공정, 막증류(MD : Membrane Distillation) 공정, 압력지연삼투(PRO : Pressure Retarded Osmosis) 공정 등이 있다.
- [0004] 상술한 공정들은 분리막을 이용하여 수처리를 하는 막공정 기술로서, 이러한 막공정에서 가장 중요하게 고려해야 할 사항은 막 여과 후 막 표면에 남은 물질들로 인해 원수의 흐름을 저하시키고 막을 오염시켜서 공정의 생산성을 감소시키는 파울링 현상의 제어이다.
- [0005] 파울링 제어를 실패하면 분리막의 오염으로 인해 막 수명이 줄어들게 되고 생산수는 감소하게 된다. 감소한 생산수를 증가시키기 위해서는 압력을 증가시켜야 하나, 압력을 증가시키면 에너지 비용이 증가하는 문제점이 있다.
- [0006] 분리막의 성능은 수량과 수질 측면에서 각각 투수율과 염투과율(다만 MF,UF의 경우는 염 제거능력이 없으므로 염투과율이 항상 100%임)로 나타내며, 파울링이 발생하면 투수율은 하락, 염투과율은 증가하게 된다. 그러나, 파울링이 발생하지 않더라도 수온이나 원수의 이온 농도가 변화하면 투수율과 염투과율이 변화하게 되므로, 투수율과 염투과율이 변화되는 경우 파울링에 의한 것인지 수온에 의한 것인지 명확하게 알 수 없는 문제점이 있다.
- [0007] 따라서, 순수하게 파울링에 의해서만 일어나는 성능 변화를 파악할 필요가 있으며, 이를 위해 ASTM에서 "ASTM D4516-00 : Standard Practice Standizing Reverse Osmosis Performance Data"를 통해 투수율과 염투과율에 대한 표준화 경험식을 제안하였고, 이는 역삼투 플랜트 현장에서 널리 사용되고 있다. 이 외에도 다양한 경험식이 현장에서 사용되고 있다.
- [0008] 그러나, 종래의 경험식은 현장에 따라 달라지는 원수 및 분리막의 특성을 모두 반영할 수 없기 때문에, 표준화 시 오차를 증가시킬 우려가 있다. 또한, 막투과 플럭스에 영향을 주는 삼투압은 막 표면 이온 농도에 의한 삼투압으로서 농도분극의 영향이 존재하는데, 농도분극은 막의 종류 및 운전 조건에 따라 달라지기 때문에 각 현장의 원수와 분리막의 특성을 반영한 수식을 적용하지 않으면 오차가 크게 발생하는 문제점이 있다. 오차가 큰 표준화 경험식을 활용해서 역삼투 플랜트 내 분리막의 투수율과 염투과율을 모니터링하면 정작 파울링 등 문제 상황이 발생한 시점을 정확하게 예측할 수 없게 되고, 이로 인해 적절한 분리막의 세정이나 교체 시기를 놓쳐 생산수 수질의 악화나 운전 비용의 증가와 같은 문제를 야기하게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 따라서, 본 발명의 목적은 이와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 분리막의 종류 및 운전 조건 등이 변화되는 현장에서 분리막에 파울링 등의 이상상태가 발생한 시점을 실시간으로 감지할 수 있는 분리막 이상상태 실시간 감지방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기 목적은, 본 발명에 따라, 분리막의 삼투압 관계식 및 온도보정계수 관계식이 미정계수를 포함하는 식으로 각각 정리된 1차 관계식을 수식 저장부가 입력받아 저장하는 1차 관계식 처리단계; 상기 1차 관계식 및 상기 분리막의 이상상태가 없는 조건 하에서 수집되어 운전 데이터 저장부에 저장된 운전 데이터를 수식 처리부가 제공받아, 상기 분리막의 성능지표인 2차 관계식에 대입하여 3차 관계식을 도출하는 3차 관계식 처리단계; 상기 3차 관계식으로부터 최소자승법을 이용하여 미정계수 결정부가 상기 미정계수를 결정하여, 상기 성능지표 수식을 확정하는 성능지표 수식 확정단계; 및 미정계수가 결정된 상기 성능지표 수식을 반영하여 기준시부터 실시간 감지 시점까지의 성능 데이터를 이상상태 감지부가 성능 데이터 저장부로부터 제공받으며, 상기 이상상태 감지부는 상기 기준시부터 실시간 감지 시점까지의 전체 성능 데이터 집단과 실시간 감지 시점을 포함하는 최근 시점의 연속 성능 데이터 집단을 각각 표본집단으로 설정하여 t 검정을 통하여 상기 분리막의 이상상태를 감지하는 이상상태 감지단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 분리막 이상상태 실시간 감지방법에 의해 달성된다.
- [0011] 여기서, 상기 2차 관계식은, 상기 분리막의 보정 생산수량 관계식과 보정 염투과율 관계식을 포함하는 것이 바람직하다.
- [0012] 여기서, 상기 2차 관계식은, 상기 분리막의 보정 차압, 막 저항, 보정 투수율, 보정 염제거율, 보정 생산수 농

도 중 적어도 하나를 포함하는 것이 바람직하다.

[0013] 여기서, 상기 보정 생산수량 관계식은 다음의 수학적식인 것이 바람직하다.

$$Q_{ps} = \frac{\left[P_{fs} - \frac{\Delta P_{fbs}}{2} - P_{ps} - \pi_{fbs} + \pi_{ps} \right] (TCF_a)}{\left[P_{fa} - \frac{\Delta P_{fba}}{2} - P_{pa} - \pi_{fba} + \pi_{pa} \right] (TCF_s)} (Q_{pa})$$

[0014]

[0015] 여기서, Q_{ps} 는 보정 생산수량이고 Q_{pa} 는 측정 생산수량이며, P_{fs} 는 기준 압력이고 P_{fa} 는 측정 압력이며, ΔP_{fbs} 는 기준 차압이고 ΔP_{fba} 는 측정 차압이며, P_{ps} 는 기준 생산수 압력이고 P_{pa} 는 측정 생산수 압력이며, π_{fbs} 는 기준 원수 삼투압이고 π_{fba} 는 측정 원수 삼투압이며, π_{ps} 는 기준 생산수 삼투압이며 π_{pa} 는 측정 생산수 삼투압이며, TCF_a 는 기준 온도 보정 계수이며, TCF_s 는 측정 온도 보정 계수이다.

[0016] 여기서, 상기 보정 염투과율 관계식은 다음의 수학적식인 것이 바람직하다.

$$\%SP_s = \left[\frac{Q_{pa}}{Q_{ps}} \right] \times \left[\frac{STCF_a}{STCF_s} \right] \times \%SP_a$$

[0017]

[0018] 여기서, $\%SP_s$ 는 보정 염투과율이고 $\%SP_a$ 는 측정 염투과율이며, Q_{ps} 는 기준 생산수량이고 Q_{pa} 는 측정 생산수량이며, $STCF_a$ 는 측정 염투과율 온도 보정계수이고 $STCF_s$ 는 기준 염투과율 온도 보정계수이다.

[0019] 여기서, 상기 1차 관계식 중 삼투압 관계식은 다음의 수학적식인 것이 바람직하다.

$$\pi = (\alpha C + \beta)(\gamma T + \delta)$$

[0020]

[0021] 여기서 π 은 상기 1차 관계식 중 삼투압 관계식이며, α , β , γ , δ 는 미정계수이며, C 는 이온 농도, T 는 절대온도이다.

[0022] 여기서, 상기 1차 관계식 중 온도 보정계수는 다음의 수학적식인 것이 바람직하다.

$$TCF = \exp \left[a \times \left(\frac{1}{(T+273)} - \frac{1}{298} \right) \right]$$

[0023]

$$STCF = \exp \left[b \times \left(\frac{1}{T+273} - \frac{1}{298} \right) \right]$$

[0024]

[0025] 여기서 TCF 는 투수율에 대한 온도 보정계수, $STCF$ 는 염투과율에 대한 온도 보정계수, a , b 는 미정계수, T 는 절대온도이다.

[0026] 여기서, 상기 3차 관계식 처리단계는, 수온과 플럭스 및 회수율을 변동시키며 반복 실험하여 온도, 압력, 유량, 수질 실험 데이터를 수집하여 상기 운전 데이터 저장부에 저장하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

- [0027] 본 발명에 따르면 분리막에 파울링 등의 이상상태가 발생한 시점을 실시간으로 감지할 수 있는 분리막 이상상태 실시간 감지방법이 제공된다.
- [0028] 또한, 다양한 플랜트 현장 조건에 대응하여 현장 맞춤형 성능 표준화 수식이 도출되므로, 이상상태가 발생한 시점을 우수한 신뢰도로 감지할 수 있다.
- [0029] 또한, 파울링 등의 이상상태 시작 시점 또는 이상상태 초기 상태에 유지세정을 실시하거나 분리막을 교체하는 등, 조기 문제 대응을 통해 분리막 플랜트의 유지관리 최적화를 도모할 수 있다.
- [0030] 또한, 분리막 플랜트의 유지관리 최적화를 통하여 상대적으로 낮은 압력 하에서 운전이 가능하므로 전력 소모량이 낮다.

도면의 간단한 설명

- [0031] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 분리막 이상상태 실시간 감지방법의 개략적인 순서도이며,
 도 2는 도 1의 분리막 이상상태 실시간 감지방법의 블록도이며,
 도 3은 경험식을 사용한 경우 역삼투막의 성능 측정 그래프이며,
 도 4는 역삼투 플랜트 운전 중 보정 생산수량을 나타낸 그래프이며,
 도 5는 역삼투 플랜트 운전 중 보정 염투과율을 나타낸 그래프이며,
 도 6은 도 1의 분리막 이상상태 실시간 감지방법의 이상상태 감지단계에서 t 검정에 의하여 세정시기를 도출한 개략적인 그래프이며,
 도 7은 도 1의 분리막 이상상태 실시간 감지방법의 분리막의 이상상태 발생시점과 이상상태 감지시점을 비교하는 개략적인 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 일실시예에 따른 분리막 이상상태 실시간 감지방법에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0033] 본 발명에 따른 분리막 이상상태 실시간 감지방법은 역삼투 공정을 예로 들어 설명하나, 반드시 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0034] 역삼투법(Reverse Osmosis)은 물은 투과하지만 물속에 녹아있는 염분 등은 투과하지 않는 반투막을 이용하여 수처리하는 방법이다. 삼투압은 반투막을 사이에 두고 농도가 낮은 수용액에서 높은 수용액으로 물이 이동할 때 생기는 압력인데, 역삼투법은 삼투압보다 높은 압력을 가하여 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물을 이동시키는 방식이며, 이때 사용하는 분리막을 역삼투막이라고 한다.
- [0035] 역삼투막은 공정 중 오염되는 파울링 현상이 발생한다. 파울인 현상은 막 세공보다 크기가 큰 입자들이 막 표면에 모여서 층을 형성함으로써 플럭스를 저감시키는 케이크 형성(cake formation)과, 막 세공과 크기가 비슷하거나 작은 입자들이 세공의 내부에 끼어서 막 자체를 오염시키는 막 오염(membrane fouling)이 있다.
- [0036] 본 발명에서의 이상상태란 정상적인 상태에서 투수율과 염투과율의 자연적인 변동이 발생하는 경우 즉, 삼투압이나 온도의 변화에 의한 투수율과 염투과율의 변동이 아닌, 파울링이나 분리막의 손상에 의한 변동의 발생을 의미하며, 본 발명은 이러한 이상상태의 발생시점을 실시간으로 감지하는 분리막 이상상태 실시간 감지방법에 관한 것이다.
- [0037] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 분리막 이상상태 실시간 감지방법의 개략적인 순서도이며, 도 2는 도 1의 분리막 이상상태 실시간 감지방법의 블록도이다. 도 1을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 분리막 이상상태 실시간 감지방법(S100)은, 1차 관계식 처리단계(S110)와, 데이터 수집단계(S120)와, 3차 관계식 처리단계(S130)와, 성능지표 수식 확정단계(S140) 및 이상상태 감지단계(S150)를 포함한다.
- [0038] 1차 관계식 처리단계(S110)는 1차 관계식을 수식 저장부(도 2 참조)가 입력받아 저장하는 단계이다. 1차 관계식은 분리막의 성능 지표인 보정 생산수량과 보정 염투과율 등을 산출하기 위한 기초 관계식이며, 본 발명에서 1

차 관계식은 삼투압 관계식과 온도보정계수 관계식으로 구비된다.

[0039] 상술한 바와 같이, ASTM에서는 현장에서 쓰이는 경험식으로서 삼투압 표준화 수식을 제시하였으며 이는 다음과 같다.

$$\pi_{fb}(kgf/cm^2) = \frac{0.002654c_{fb}(273+T)}{(1000-0.001c_{fb})}$$

[0041] 이 외에도,

$$\pi_{fb}(kgf/cm^2) = \frac{0.03851c_{fb}(273+T)}{14.22334(1000-0.001c_{fb})}$$

[0043] 등의 표준화 수식이 있다.

[0044] 여기서, π_{fb} 는 원수의 삼투압이며, c_{fb} 는 원수의 이온 농도, T는 절대온도이다.

[0045] 그러나, 이러한 경험식들은 현장의 특성이 반영되지 않는 문제점이 있다. 도 3은 경험식을 사용한 경우 역삼투막의 성능 측정 그래프이다. 도 3을 참조하면, 역삼투막의 성능 지표가 역삼투막에 이상상태가 있는 경우와 없는 경우의 구분이 명확하지 않으므로 이상상태가 있는지 여부 및 발생시점을 정확하게 알 수 없는 문제점이 있다.

[0046] 따라서, 본 발명에서는 현장의 조건을 반영하여 삼투압과 온도보정계수를 적용할 수 있도록, 수식 저장부가 분리막의 삼투압 관계식 및 온도보정계수 관계식이 미정계수를 포함하는 식으로 각각 정리된 1차 관계식을 입력받아 저장한다.

[0047] 본 실시예에서 1차 관계식 중 삼투압 관계식은 다음과 같다.

$$\pi = (\alpha C + \beta)(\gamma T + \delta)$$

[0049] 여기서 π 는 상기 1차 관계식 중 삼투압 관계식이며, α , β , γ , δ 는 미정계수이며, C는 이온 농도, T는 절대온도이다.

[0050] 다양한 현장의 조건을 반영하여 최적의 삼투압을 결정할 수 있도록 삼투압 관계식은 미정계수를 포함한다.

[0051] 한편, 본 실시예에서 1차 관계식 중 온도보정계수 관계식은 다음과 같다.

$$TCF = \exp\left[a \times \left(\frac{1}{(T+273)} - \frac{1}{298}\right)\right]$$

$$STCF = \exp\left[b \times \left(\frac{1}{T+273} - \frac{1}{298}\right)\right]$$

[0054] 여기서 TCF는 투수율에 대한 온도 보정계수, STCF는 염투과율에 대한 온도 보정계수, a는 온도에 따른 물의 투과율에 관련된 미정계수, b는 온도에 따른 이온의 투과율에 따른 미정계수, T는 절대온도이다.

[0055] 정리하면, 1차 관계식 처리단계(S110)는, 기존의 삼투압 경험식 등을 상술한 미정계수를 포함하는 삼투압 관계식과 온도보정계수 관계식으로 각각 정리된 1차 관계식을 수식 저장부가 입력받아 저장하는 단계이다.

[0056] 데이터 수집단계(S120)는 1차 관계식 도출단계(S110)에서 도출된 삼투압 관계식과 온도보정계수 관계식의 미정계수를 결정하기 위한 운전데이터를 운전 데이터 저장부(도 2 참조)가 수집하여 저장하는 단계이다.

[0057] 데이터 수집단계(S120)에서는 파울링이 일어나지 않는 조건의 운전 데이터를 수집하며, 실제 플랜트의 운전 데

이터를 수집하는 것이 가장 바람직하다.

[0058] 그러나, 빠른 파울링 발생 등으로 파울링이 일어나지 않는 조건의 운전 데이터를 충분히 수집하기 어려운 경우에는 원수의 이온농도, 온도, 압력, 유량 등 운전조건을 실제 현장의 변동 범위 안팎으로 변화시키는 소규모 실험 등을 실시하여 생산수의 이온농도, 유량, 원수 압력 등의 결과값을 얻는 것이 바람직하다.

[0059] 구체적으로, 현장 조건과 유사한 이온농도, 온도, 압력, 유량, 플럭스, 회수율 등을 설정하고 실제 플랜트에 적용된 분리막 엘리먼트를 이용하여 소규모 수처리 실험을 한다. 본 실시예에서 실험 조건은, 플럭스 범위는 15~30LMH 이며, 원수 수온 범위는 2~30이며, 엘리먼트당 회수율 범위는 7~15%인 것으로 한다. 원수는 파울링 가능성을 낮추기 위해 초순수와 현장 플랜트의 역삼투 농축수를 여과한 용액을 혼합하여 사용한다. 상기 소규모 수처리 실험에서, 농축수는 원수탱크로 순환시키며, 생산수는 별도의 탱크로 보낸다. 한편, 파울링을 최소화하도록 총 운전시간을 가능한 한 짧게 실험을 하는 것이 바람직하다.

[0060] 3차 관계식 처리단계(S130)는, 1차 관계식 처리단계(S110)에서 도출된 삼투압 관계식과 온도보정계수 관계식의 미정계수를 결정하기 위하여, 3차 관계식을 도출하는 단계이다.

[0061] 3차 관계식은 수식 처리부(도 2 참조)가 수식 저장부로부터 1차 제공받은 1차 관계식과 운전 데이터 저장부로부터 제공받은 운전 데이터를 2차 관계식에 대입하여 도출된다.

[0062] 본 실시예에서는 분리막의 성능을 측정하기 위한 지표인 2차 관계식으로서 보정 생산수량과 보정 염투과율을 이용한다. 그러나, 반드시 이에 제한되는 것은 아니며, 분리막의 성능을 측정할 수 있는 성능지표로서, 보정 차압, 막 저항, 보정 투수율, 보정 염제거율, 보정 생산수 농도 등을 이용할 수도 있다. 즉, 분리막의 성능을 측정할 수 있는 기존의 당업자에게 인식된 성능지표라면 제한되지 않고 선택하여 사용할 수 있다.

[0063] 도 4는 역삼투 플랜트 운전 중 보정 생산수량을 나타낸 그래프이다.

[0064] 보정 생산수량은 수온과 삼투압의 변화에 의한 역삼투 분리막 투수율 변화를 보정한 성능 지표를 의미한다. 도 4를 참조하면 시간이 지날수록 보정 생산수량이 감소함을 알 수 있으며, 2차 관계식으로서 보정 생산수량의 감소는 파울링 등에 의해 분리막이 이상상태에 있는 것을 의미한다.

[0065] 보정 생산수량(Normalized permeate flow rate)은 다음의 수학적식으로 정의한다.

$$Q_{PS} = \left(\frac{\left[P_{fs} - \frac{\Delta P_{fbs}}{2} - P_{ps} - \pi_{fbs} + \pi_{ps} \right] (TCF_a)}{\left[P_{fa} - \frac{\Delta P_{fba}}{2} - P_{pa} - \pi_{fba} + \pi_{pa} \right] (TCF_s)} \right) (Q_{pa})$$

[0066]

[0067] 여기서, Q_{ps} 는 보정 생산수량이고 Q_{pa} 는 측정 생산수량이며, P_{fs} 는 기준 압력이고 P_{fa} 는 측정 압력이며, ΔP_{fbs} 는 기준 차압이고 ΔP_{fba} 는 측정 차압이며, P_{ps} 는 기준 생산수 압력이고 P_{pa} 는 측정 생산수 압력이며, π_{fbs} 는 기준 원수 삼투압이고 π_{fba} 는 측정 원수 삼투압이며, π_{ps} 는 기준 생산수 삼투압이며 π_{pa} 는 측정 생산수 삼투압이며, TCF_a 는 기준 온도 보정 계수이며, TCF_s 는 측정 온도 보정 계수이다.

[0068] 도 5는 역삼투 플랜트 운전 중 보정 염투과율을 나타낸 그래프이다.

[0069] 보정 염투과율은 수온과 삼투압의 변화에 의한 역삼투 분리막 염투과율 변화를 보정한 성능 지표를 의미한다. 도 5를 참조하면 시간이 지날수록 보정 염투과율이 증가함을 알 수 있으며, 2차 관계식으로서 보정 염투과율의 증가는 파울링 등에 의해 분리막이 이상상태에 있는 것을 의미한다.

[0070] 보정 염투과율(Normalized salt passage)은 다음의 수학적식으로 정의한다.

$$\%SP_s = \left[\frac{Q_{pa}}{Q_{ps}} \right] \times \left[\frac{STCF_a}{STCF_s} \right] \times \%SP_a$$

[0071]

[0072] 여기서, $\%SP_s$ 는 보정 염투과율이고 $\%SP_a$ 는 측정 염투과율이며, Q_{ps} 는 기준 생산수량이고 Q_{pa} 는 측정

생산수량이며, $STCF_a$ 는 측정 염투과율 온도 보정계수이고 $STCF_s$ 는 기준 염투과율 온도 보정계수이다.

- [0073] 또한, 상술한 바와 같이 보정 생산수량과 보정 염투과율 외에도 보정 차압, 막 저항, 보정 투수율, 보정 염제거율, 보정 생산수 농도 등을 이용할 수 있다. 여기서, 보정 차압은 막의 유입부와 유출부의 압력차를 수온, 유량 등의 인자를 통해 보정하여 파울링을 정량화하는 성능지표이고, 막 저항은 수온, 압력, 삼투압 등의 인자를 통해 막과 막에 오염된 파울링 층이 물을 잘 통과하지 못하게 저항하는 정도를 정량화하는 성능지표이며, 보정 투수율은 상기 보정 생산수량을 압력 또는 초기 생산수량에 대한 비율 등으로 나타낸 성능지표이며, 보정 염제거율은 상기 보정 염투과율의 반대되는 개념으로 (100-보정 염투과율(%))과 같이 계산할 수 있으며, 보정 생산수 농도는 보정 염투과율에 기준 원수농도를 곱하여 얻을 수 있는 성능지표이다.
- [0074] 정리하면, 3차 관계식은 수식 처리부가 수식 저장부로부터 제공받은 미정계수를 포함하는 1차 관계식과 운전 데이터 저장부로부터 제공받은 운전 데이터를 상술한 2차 관계식에 대입함으로써 도출된다.
- [0075] 성능지표 수식 확정단계(S140)는 1차 관계식 처리단계(S110)에서 도출된 삼투압 관계식과 온도보정계수 관계식의 미정계수를 결정하여 성능지표 수식을 완성하는 단계이다. 즉, 보정 생산수량과 보정 염투과율 또는 보정 차압, 막 저항, 보정 투수율, 보정 염제거율, 보정 생산수 농도 중 적어도 하나로 이루어지는 2차 관계식에 미정계수를 포함하는 1차 관계식과 운전 데이터가 대입되므로, 3차 관계식은 미정계수를 포함한다. 성능지표 수식 확정단계(S140)는 3차 관계식의 미정계수를 결정함으로써 성능지표 수식을 완성하는 단계이다.
- [0076] 데이터 수집단계(S120)에서 수집된 데이터는 파울링이 일어나지 않는 조건에서 얻어진 것이므로 삼투압 관계식과 온도보정계수 관계식을 통해 도출되는 3차 관계식은 이론적으로는 항상 일정한 값을 가져야 하나, 현실적으로는 값들이 변동을 하게 된다. 따라서, 성능지표 수식 확정단계(S140)는 이러한 변동폭을 최소화하는 삼투압 관계식의 미정계수 α , β , γ , δ 와, 온도보정계수 관계식의 a , b 를 결정한다.
- [0077] 구체적으로, 미정계수 결정부(도 2 참조)는 3차 관계식인 보정 생산수량과 보정 염투과율 각각의 평균과 표준편차로부터 최소자승법을 이용하여 미정계수 α , β , γ , δ 및 a , b 를 결정한다.
- [0078] 이에 따라, 분리막의 종류 및 운전 조건 등이 변화되는 현장의 특성이 반영되 분산이 최소화되는 분리막의 성능지표가 현장 맞춤형 성능 지표 수식으로서 도출된다.
- [0079] 이상상태 감지단계(S150)는 이상상태 감지부가 성능 데이터 저장부로부터 제공받은 분리막 플랜트의 성능 데이터로부터 분리막의 이상상태를 감지하는 단계이다.
- [0080] 먼저, 성능 데이터 저장부(도 2 참조)는 실시간으로 계측된 운전 데이터를 상기 미정계수가 결정된 3차 관계식 즉, 현장 맞춤형 성능 지표 수식을 통해 계산한 성능 데이터(보정 생산수량, 보정 염투과율, 보정 차압, 보정 염제거율 등)를 실시간으로 저장한다.
- [0081] 이상상태 감지부(도 2 참조)는 성능 데이터 저장부로부터 기준시부터 실시간 감지 시점까지의 분리막 성능 데이터를 제공받아, 기준시부터 실시간 감지 시점까지의 전체 성능 데이터 집단과 실시간 감지 시점을 포함한 최근 연속 성능 데이터 집단을 각각 표본집단으로 하여 t 검정을 수행함으로써 이상상태를 감지한다. 여기서, 최근이란 실시간 감지 시점으로부터 소정시간 역산한 것을 의미하며, 소정 시간은 수일 또는 수시간 등 역삼투 플랜트 현장에 따라 적절하게 선택하여 사용할 수 있다. 또한, 기준시간 역삼투막에 파울링 등의 오염이 없는 초기 상태에서 운전을 한 시점이며, 구체적으로 분리막을 교체하거나 세척한 직후의 운전 시점을 의미하고, 실시간 감지 시점은 분리막의 이상 상태 여부를 실시간으로 판단하는 각각의 시점을 의미한다. 또한, 기준시부터 실시간 감지 시점까지의 전체 성능 데이터 집단은 기준시부터 실시간 감지 시점까지의 모든 성능 데이터가 포함된 집단(도 6에서 Group A)을 의미하고, 실시간 감지 시점을 포함한 최근 연속 성능 데이터 집단은 실시간 감지시점을 기준으로 한 최근 연속 성능 데이터를 포함한 집단(도 6에서 Group B)을 의미한다.
- [0082] 본 발명에서 t 검정(t -Test)은 $\mu_A = \mu_B$ 라는 귀무가설(Null hypothesis)를 택한다. 여기서 μ_A 와 μ_B 는 각각 두 표본집단의 평균이다. 즉, 기준시의 데이터의 평균과 기준시부터 일정시간 지난 시점까지의 데이터의 평균이 동일하다는 귀무가설을 채택한다.

[0083] 본 발명에서 t 검정의 공식은 다음과 같다.

$$t = \frac{(\overline{X_A - X_B}) - (\mu_A - \mu_B)_0}{s(\overline{X_A - X_B})}$$

[0084]

[0085] 여기서, t는 t 분포이며, $(\overline{X_A - X_B})$ 는 두 표본 집단 간 평균 차이이며, $s(\overline{X_A - X_B})$ 는 두 표본집단 평균 차이에 대한 표준오차이다.

$$s(\overline{X_A - X_B}) = \sqrt{\frac{\sigma_A^2}{m} + \frac{\sigma_B^2}{n}}$$

[0086] 따라서, 이다. 여기서 m, n 은 각 표본집단의 크기이며, s_A , s_B 는 각 표본집단의 분산이다.

[0087] 한편, $(\mu_A - \mu_B)_0$ 는 귀무가설에서 정한 기준시의 데이터의 평균과, 기준시부터 일정시간 지난 시점의 데이터의 평균의 차이로서 이 값은 항상 0이 된다.

$$t = \frac{(\overline{X_A - X_B})}{\sqrt{\frac{\sigma_A^2}{m} + \frac{\sigma_B^2}{n}}}$$

[0088] 위 내용을 정리하면, 이다.

$$df = \frac{\left(\frac{\sigma_A^2}{m} + \frac{\sigma_B^2}{n} \right)}{\frac{(\sigma_A^2/m)^2}{m-1} + \frac{(\sigma_B^2/n)^2}{n-1}}$$

[0089] 한편, 자유도(Degree of Freedom)는 이며, 위 자유도 하에서 소정의

유의수준 이하인 경우 귀무가설은 기각된다. 즉, $\mu_A < \mu_B$ 가 된다.

[0090] 도 6은 도 1의 분리막 이상상태 실시간 감지방법의 이상상태 감지단계에서 t 검정에 의하여 이상상태를 감지한 개략적인 그래프이며, 도 7은 도 1의 분리막 이상상태 실시간 감지방법의 분리막의 이상상태 발생시점과 이상상태 감지시점을 비교하는 개략적인 그래프이다.

[0091] 도 6을 참조하면, 기준시의 데이터와 기준시부터 일정시간 지난 시점의 데이터의 t 검정을 수행하여

$\mu_A < \mu_B$ 가 되는 시점이 파울링 등 이상상태가 감지되는 시점임을 알 수 있으며, 도 7을 참조하면 실제 이상상태의 발생시점과 이상상태의 감지시점이 유사함을 알 수 있다.

[0092] 따라서, 본 발명에 의하면, 분리막의 종류 및 운전 조건 등이 변화되는 현장에서 분리막에 파울링 등의 이상상태가 발생한 시점을 실시간으로 감지할 수 있는 분리막 이상상태 실시간 감지방법이 제공된다.

[0093] 본 발명의 권리범위는 상술한 실시예에 한정되는 것이 아니라 첨부된 특허청구범위 내에서 다양한 형태의 실시예로 구현될 수 있다. 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술

분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 변형 가능한 다양한 범위까지 본 발명의 청구범위 기재의 범위 내에 있는 것으로 본다.

부호의 설명

S100 : 분리막 이상상태 실시간 감지방법

S110 : 1차 관계식 처리단계 S120 : 데이터 수집단계

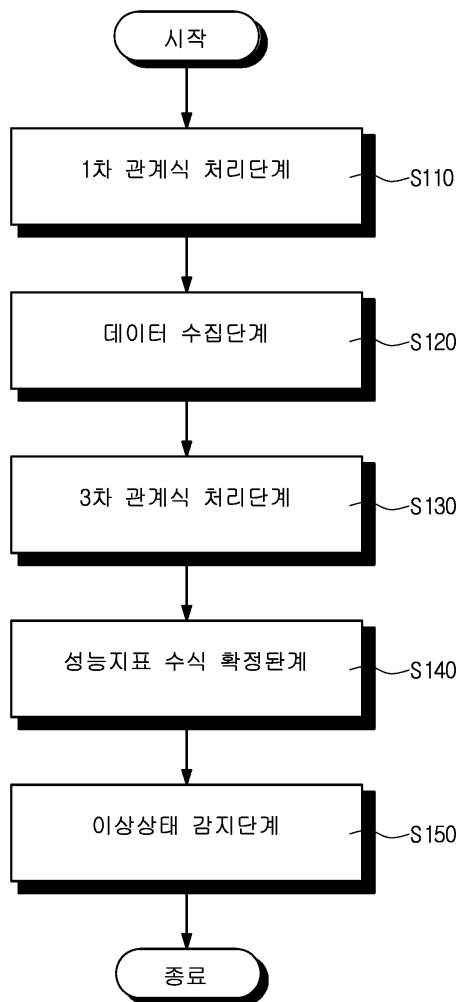
S130 : 3차 관계식 처리단계 S140 : 성능지표 수식 확정단계

S150 : 이상상태 감지단계

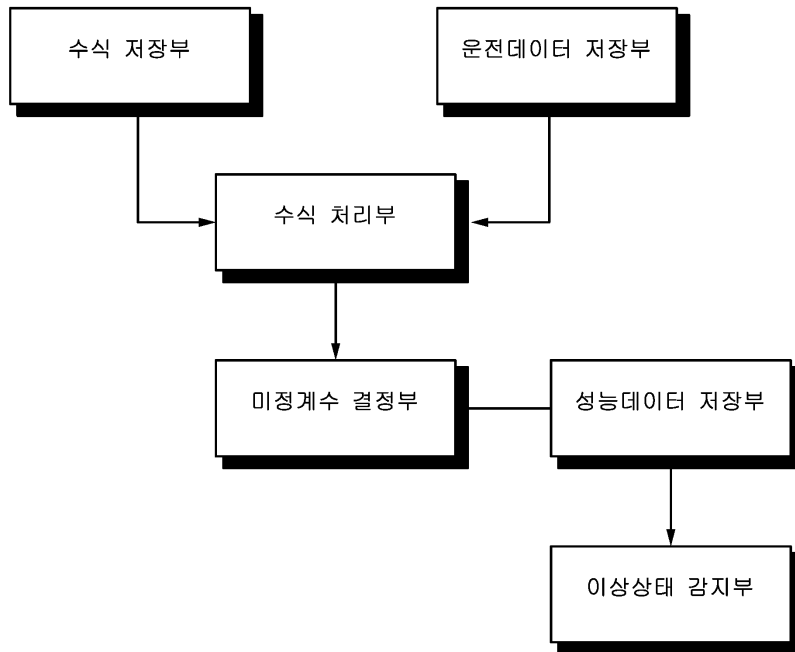
도면

도면1

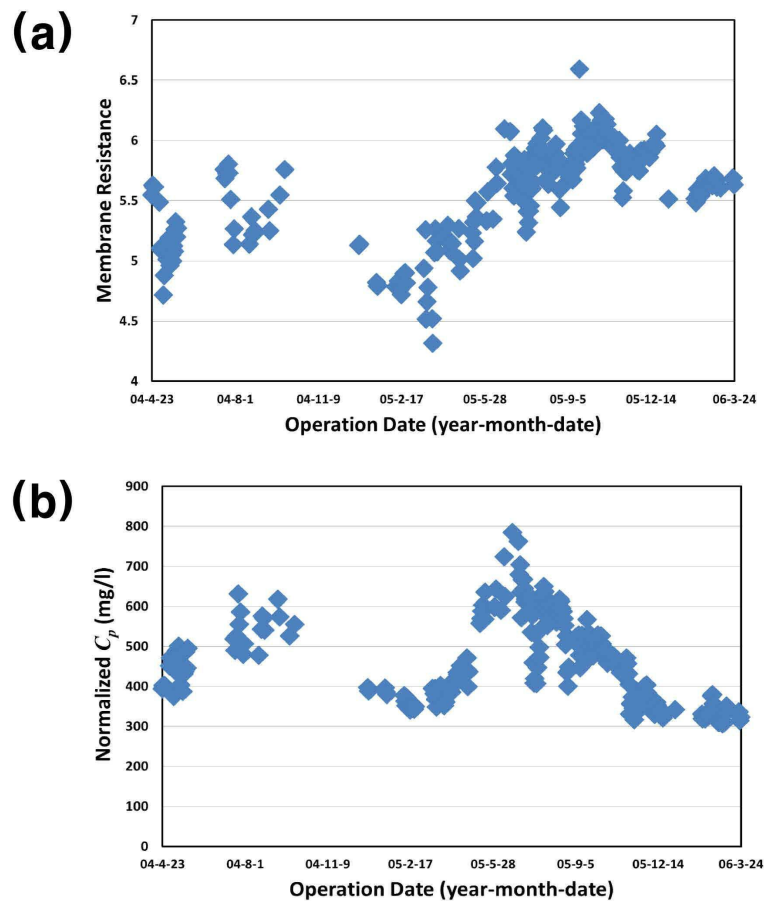
S100



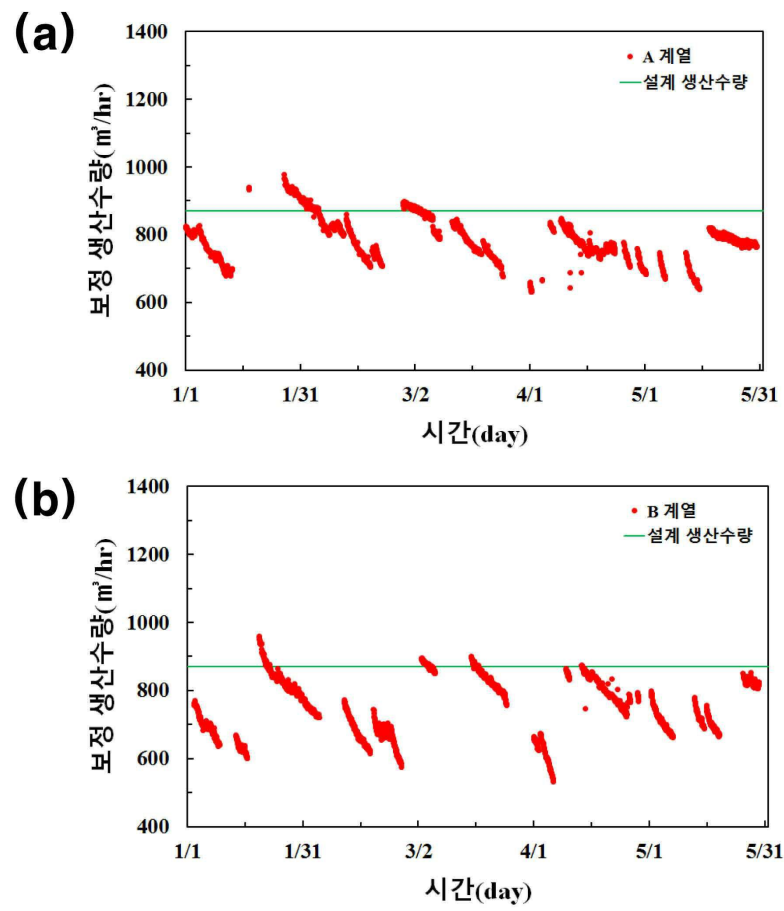
도면2



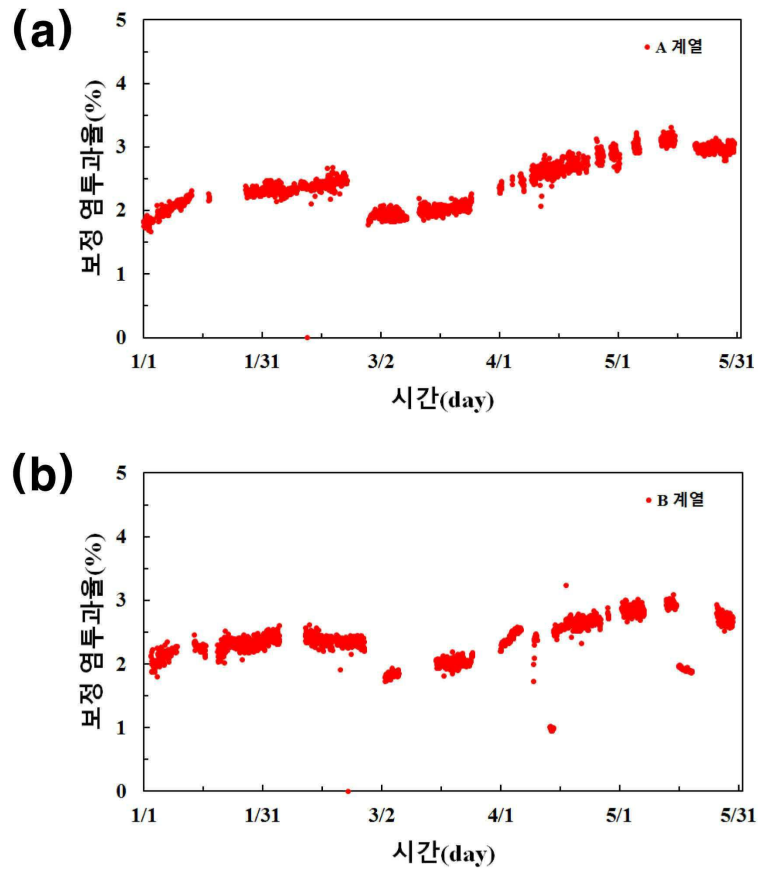
도면3



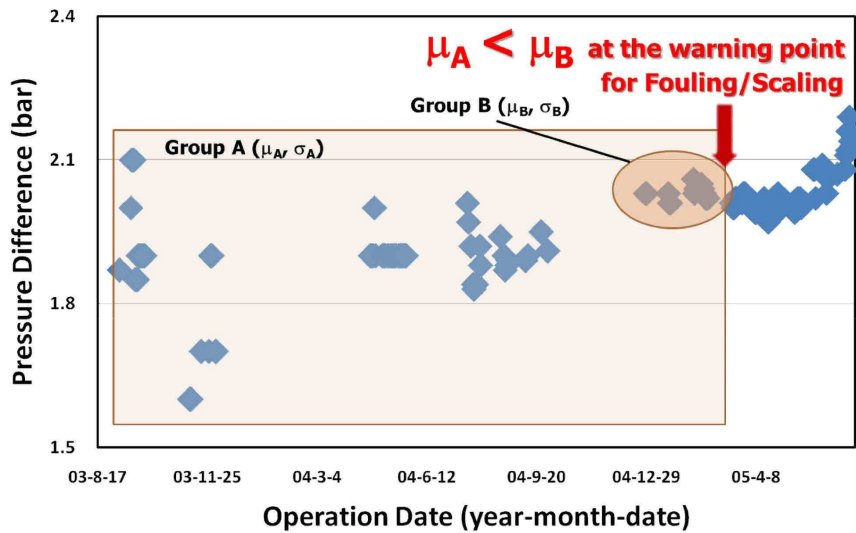
도면4



도면5



도면6



도면7

