

8. 분리막 관련 외국의 최신 기술 동향

한림대학교 환경생명공학과 교수 박진용

1. 화학약품 미사용 초순수 제조 기술

미국의 정수 및 오폐수 처리 회사인 Ionics (Massachusetts, Water town) 사는 이온교환 재생 화학약품의 사용 없이 초순수를 생산할 수 있는 공정으로 DeltaFlow 2.0 시스템을 제시하였다. 이 시스템은 역삼투막, 탈가스화 작용을 하는 GTM막, EDI막 등 3가지 막분리 기술을 사용하여 공간적인 효율을 극대화 하도록 설계 되어 있다. 1997년 처음으로 보급되기 시작한 DeltaFlow 시스템은 현재 세계적으로 40개가 넘는 정수 공장에서 운영 중이며, DeltaFlow 2.0 시스템은 기존 시스템에 비해 수처리 효율상 큰 진보를 가져올 것으로 보인다.

DeltaFlow 2.0은 용존산소의 농도를 5 ppb 미만으로 하는 용수를 생산하는데, 보다 크고 효율적인 접촉 장치를 갖도록 설계된 새로운 GTM 모듈 설계를 갖는 것이 특징이다. 또한 혼합층 (Mixed bed) 이온교환공정이 필요 없을 정도로 성능이 향상된 역삼투 분리막과 EDI 시스템을 갖추고 있다. DeltaFlow 2.0은 기존 시스템에 추가 부탑이 가능하도록 제공되어지기도 하며, 혹은 단독으로 전체 시스템 기능을 발휘할 수 있도록 제공되어지기도 한다. Ionics사에 의하면 이 새로운 수처리 시스템은 안전기술 (Secure Tech) 프로그램을 제공함으로써, 설계자 직접 운전 (BOO, build-own-operate)으로 원하는 생산수량과 수질로 조정이 가능하도록 공급되어질 것이라고 발표하였다.

2. Millipore사의 분배 (dispensing) 시스템

Millipore Corporation (미국, Massachusetts)사는 Aerta DS1로 명명된 액체분배 (liquid dispensing) 시스템 사업에 착수하였다. 이 시스템은 단일 헤드 액체 충전 장치 (single head liquid filling unit)이라 불리는 미리 조립된 일회용 무균 모듈을 장착하고 있으며, 충전량과 용도에 따라 생명공학 분야에서 무균주사제용과 제약 분야에서 고전적인 약품 생산용 두 가지로 설계되었다.

이 시스템은 새로 신약 시험과 투약 임상 실험, 소규모의 생산 공정 개발 이용에 적합하다. 또한 이 시스템은 분당 최고 40호 정도 충전이 가능하며, 비록 작은 용량이지만 0.2~10 mL의 용량을 균일하게 분배할 수 있다. 무균 보증과 조작자의 안전을 강화하기 위하여 모든 부품들은 미리 조립된 상태로 공급되어 진다. 즉 이 시스템은 독성 및 유전자 요법 제품으로 사용될 수 있다. 또한 일회용 모듈은 자동멸균기 및 현장 증기(steam-in-place), 현장 정화 (clean-in-place) 등 여러 제균 방법으로 인한 수고를 줄일 수 있는 장점을 갖고 있다. 이 장치는 수동 충전이 용이하며 기존의 충전 라인에 추가하거나, 새로운 충전 라인을 가동하는 것도 가능하다.

3. Sanitaire사의 2단계 (dual-stage) 분리막 생물반응기 (MBR, Membrane Bioreactor) 시스템

Sanitaire사 (미국, Wisconsin)는 자사의 분리막 생물반응기 (MBR) 시스템을 공공용수 및 하수, 산업폐수 처리 적용에 혁신적인 시스템이라고 발표하였다. 이 2단계 시스템은 산기식 공기 주입법과 생물학적 처리법을 사용하며, 침지형 한외여과를 거치는 시스템으로 이루어져 있다. 이러한 복합 공정은 운전비용의 절감과 하수 방류가 가능한 수질을 확보할 수 있게 해준다.

중공사형 한외여과막은 상층부가 자유 부상 (free-floating) 상태로 침지되어진다. 또한 단일 폐쇄 중공사(single-ended fiber) 설계는 단의 말단 부위의 오염물 축적을 방지하여 분리막 운전 효율을 향상시키고 오염을 저하시키는 특성을 가지고 있다. 고형물에 의한 막오염을 최소화함으로써 총 경비 절감이 발생하게 되는데, 이는 산기식 공기 주입과 막여과 시스템을 최적화하여 막오염이 최소화되고 그 결과 수처리에 소모되는 에너지 소비 및 화학약품 사용량이 감소하게 된다. 즉, 공기 주입 시스템은 고형물에 의한 막오염을 줄여주는 효과적인 방법이다.

Sanitaire사의 MBR 시스템은 지자체의 생활하수 및 산업폐수에 적합하게 설계되었으며, 이 시스템의 적용으로 우수한 방류 수질의 하수 처리가 가능할 뿐 아니라 물의 재이용에도 적용하는 것이 가능하다. Sanitaire사는 MBR 및 드럼 여과기 (drum filter), 연속 회분식 반응기 (sequencing batch reactor) 등을 포함하는 다양한 생물학적 폐수처리 시스템을 제공하는 회사이다.

4. USFilter사의 실험실용 초순수 제조 시스템

USFilter사 (미국, Pennsylvania)는 실험실용 초순수 시스템인 Purelab Classic 사업에 착수하였다. 회사의 발표에 따르면 연구실에서 사용되는 18.2 M Ω cm의 초순수를 제조할 수 있는 경제적이면서도 고기능을 갖춘 시스템의 제품을 공급할 수 있게 되었다.

USFilter사는 실험실용 초순수 제조 장치로 4가지 모델을 출시하였다. Classic DI, 자외선 살균기능을 갖춘 Classic UV, 한외여과 기능을 갖춘 Classic UF, 그리고 자외선 살균과 한외여과 기능을 함께 갖춘 Classic UVF가 출시된 모델들이다. 각각의 제조 장치들은 분당 1.5 L의 초순수를 생산할 수 있는 성능을 갖추고 있다. 정밀 공정 (Micro Process)에 기반을 둔 제어장치와 결합으로 지속 가능하고 신뢰성 있는 생산수질을 확보할 수 있다. USFilter사의 발표에 의하면 Purelab Classic 시스템은 정수 시간이 다소 오래 걸리는 단점은 있으나, 초순수의 수질에 관해서는 신뢰할 수 있다고 밝히고 있다.

이 초순수 제조 장치는 전자 화면을 통하여 실시간 수질 평가가 자동 관측 및 제어 되는 기능을 포함하고 있다. 또한 미량의 세균 번식을 방지하는 재순환 장치가 간헐적으로 작동하여 초순수 상태를 유지할 수 있는 기능을 가지고 있는 것이 특징이다. 수질 변화에 따른 시정각 경보 장치를 가지고 있으며, 카트리지가 형태로 탈부착이 용이하고 미생물 성장에 대한 살균 장치를 포함하고 있다.

이 장치는 2004년 세계 최대의 환경 관련사업 회사 중 하나인 지멘스의 자회사인 Veolia Environment에 공급 계약을 체결하였으며, 시스템과 유틸리티 (Utility), 서비스, 제품 등과 함께 지방 공공 수처리 기관의 상하수도 및 산업계 수처리 등에 적용되어질 전망이다.

5. Koch Membrane System (KMS)사의 Targa-10 UF cartridge와 분리막 보존 신용액

KMS (미국, Massachusetts, Wilmington)은 공업용수 수처리 분리막 Targa-10 UF cartridge를 공급하고 있는데, 분리막을 장기간 보관하는데 사용할 수 있는 Kochkleen MSS라는 보존 용액을 개발하였다.

Targa-10 중공사 카트리지는 25 cm (10 inch) 지름의 모듈로 기존의 20 cm (8 inch) 카트리지도보다 약 60% 이상의 처리수를 생산함으로써, 사용자

측면에서 비용 절감에 큰 기여를 할 수 있는 제품이다.

KMS PSF는 세척 과정 중에 넓은 범위의 pH (1.5~13), 고농도의 염소 (200 ppm 내외)에서 안정성을 갖는 장점을 지닌 polysulfone 재질의 분리막이다. 이 분리막은 카트리지로 사용함으로써 시스템의 크기를 크게 줄일 수 있다. 이렇게 축소된 시스템은 좁은 공간에 설치가 가능하며, 다층으로 쌓을 수 있어서 설치비를 줄일 수 있다. 또한 모듈의 크기가 커져서 단일 모듈 처리 용량이 증가하게 되었으며, 이는 시스템 내의 연결 배관에 관련된 경비 및 유지 관리비를 감소시켜 준다. 이 카트리지 여과기로 탁도 0.1 NTU, SDI 1.0~3.0 수준의 처리수를 얻을 수 있어 여과 성능이 우수하며, 나권형 역삼투 분리막 설비의 전처리 공정으로 적용하는 것이 이상적이다.

Kochkleen MSS는 음이온 계면활성제와 유기산을 적당한 배합 비율로 혼합하여 만든 용액이다. 이 용액은 특히 무기물 스케일 형성을 제어하는데 탁월한 효과가 입증되었으며, 막 표면의 전해질 균형을 유지시키는 특성을 가지고 있다. 이 계면활성제는 유기산이 막표면에 침투하는 것을 도와주는 기능을 하며, 유기산은 분리막을 저장하는 동안 공극의 막힘 현상을 막아준다. KMS사에 의하면 이 보존 용액은 세척시 세정 속도가 신속하기 때문에, 정상 가동을 위한 세정 순환 시간을 단축시키고 세정에 사용되는 물의 양을 감소시키는 결과를 가져온다고 설명하고 있다. 이 용액은 식품산업 및 유제품 가공, 음료수 제조, 공업용 폐수처리 등의 일반적인 분리막 전반에 적용이 가능하다. 또한 역삼투막 및 한외여과막, 정밀여과막 등 분리막의 종류나 나권형 및 중공사형, 관형, 평막형 등의 모듈 형태에 따른 구분없이 사용이 가능하다. 특히 인 성분을 함유하지 않은 용액이므로 식품산업 공정에 적용될 수 있다. 부식성에 대해서도 거의 문제를 일으키지 않아, 스테인레스 304 및 316, 알루미늄, 대부분의 고무와 플라스틱에 대해서도 안정성을 가진 용액이다.