

膜 : 수처리 공정의 새로운 전환

제 2 부 - 막과 정수처리

글 __ 이정학 교수/ 박병규 서울대학교 응용화학부



최근 우리나라에서 수처리(음용수, 오폐수 포함)분야에서 막분리 공정에 대한 관심이 비등하고 있다. 신기술의 등장은 기존 기술의 보완내지는 대체를 통하여 자동화, 경제성, 처리수질, 제어방식 등에서 큰 변화를 줄 것임에 틀림이 없다. 그러나 모든 신기술이 다 그러하지만 막분리기술도 그 정체를 바로알고 현명하게 채택 활용해야지 과도한 기대감이나 불필요한 저항감에서 신기술의 장점을 살리지 못하면 큰 손실이 아닐 수 없다. 본 난에서는 독자들의 수처리용 막분리기술에 대한 이해를 돕기 위하여 앞으로 3회에 걸쳐 1회: 막과 막분리 공정의 기본 설명, 2회: 막과 정수처리, 3회 막과 오/폐수처리의 순으로 연재할 것이다. 독자들의 이해를 돕기 위하여 평이한 용어와 문장을 쓰려고 노력하였으며 3회의 연재가 이 기술의 정체를 파악하는데 도움이 되길 기대한다.

1. 정수처리 분야에서 막분리 공정 도입의 필요성

1.1 정수처리공정의 자동화 및 원격조정의 필요성

지방상수도나 광역상수도에서 물의 생산원가를 낮추기 위해서는 자동화가 요구된다. 또한 간이상수도 등의 소규모 정수시설은 관리인력의 부족과 관리자의 전문성 결여로 정수시설의 효율적 관리가 미흡한 것이 현재 우리나라의 실정이다. 따라서 정수장의 자동화 및 원격조정을 통하여 소수의 전문가가 다수의 정수시설을 안전하게 운전하는 것이 시대적 요청이다. 이에 적합한 기술로 막분리 공정을 제일 먼저 꼽을 수 있다. 막분리 공정을 이용한 정수처리 공정을 실제로 도입하여 먹는 물을 공급하고 있는 선진국에서도, 이러한 자동화와 원격제어가 막분리 공정을 도입하게 되는 가장 중요한 이유로 들고 있다[1].

1.2 수질의 악화

원수도 수질이 날로 악화되어, 기존의 정수처리 시설만으로는 안심하고 먹을 수 있는 먹는 물의 생산이 그 한계를 드러내고 있다. 각종 산업의 발달로 새로운 유해물질들이 배출되고 있으며, 의학

및 분석기기의 발달로 이러한 물질들이 인간이나 환경에 얼마나 유해한가가 속속 밝혀지고 있다. 그러나 기존의 정수처리 공정은 응집, 침전, 여과, (염소)소독으로 구성되어 있어, 주요 처리 대상이 현탁물질과 염소소독에 의해 불활성화되는 병원성 미생물에만 국한되어 있다. 특히 1993년 미국 Milwaukee, 그리고 1996년 일본의 Ogose Town에서 크게 이슈화된 크립토스포리디움(Cryptosporidium), 그리고 이와 함께 지아디아(Giardia)와 같은 원생동물(기생충) 등은 염소소독에 의해 불활성화되지 않는다. 그러나 막분리 공정은, 정밀여과나 한외여과 공정만으로도, 이들을 포함한 대부분의 병원성 미생물을 확실하게 제거하여 주며, 이에 따라 염소요구량도 줄여주어 소독부산물의 생성가능성도 낮춰주는 장점이 있다. 그리고 나노여과나 역삼투막 등은 농약성분이나 환경호르몬 등 미량 유기물과 중금속까지 제거하여 준다. 원수의 수질에 따라 적절한 막을 선택한다면, 안정적이고 높은 수질의 먹는 물을 생산할 수 있는 것이다.

1.3 환경규제의 강화

국제적으로도 먹는 물의 수질 기준을 강화하고 있는 추세이며, 우리나라도 최근 먹는 물 수질 기준의 항목을 47개 항목에서 55개 항목으로 확대하였다[2]. 주요 항목을 보면 다음과 같다.

예1) 병원성 미생물 관리강화(분원성대장균군·대장균 신설, 총대장균군 강화) - 2002.6.21

→ 총대장균군 수질분석결과 양성 반응이 나타날 경우 분원성대장균군 또는 대장균 항목 중 택일하여 분석

예2) 소독부산물질 관련기준 확대시행(클로랄하이드레이트 등 5종 신설)

→ 시행시기 : 시설용량이 1일 10만톤 이상인 정수장 - 2003.1.1
시설용량이 1일 10만톤 미만인 정수장 - 2004.7.1

예3) 유해영양물질 기준 합리화(1,2-디브로모-3-클로로프로판 신

설, 말라티온사제)

예4) 병원성미생물 제거를 위한 정수처리기준 제정·시행

→ 시행시기 : 바이러스(99.99%제거) : 2002.8.1, 지아디아(99.9%제거) : 2004.7.1

현재 우리나라가 당면하고 있는 이러한 물 문제 - i) 자동화/원격 조정의 필요 ii) 원수 수질의 악화, iii) 환경규제의 강화 - 는 21세기를 바라보며 산업발전과 삶의 질적 향상을 위하여 우리가 해결해야 될 큰 과업중의 하나이다. 선진국에서 80년대 후반기부터 실용화된 막분리 공정의 도입은 이러한 문제들에 대처할 수 있는 하나의 좋은 방안이 될 수 있을 것이다.

2. 막분리 정수처리 공정

2.1 막분리 단독 공정

막분리 공정 자체로 정수처리 공정을 구성하는 경우 일반적으로 다음의 그림 1과 같다.

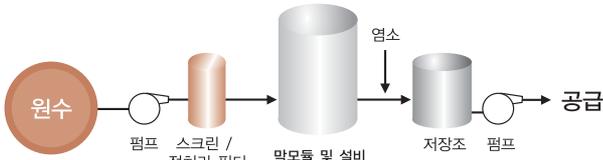


그림 1) 막분리 정수처리 공정의 구성

기본적인 구성은 위에서 크게 벗어나지 않는다. 병원성 미생물은 막여과에 의해 제거되며, 염소는 배수지나 배관 등에서 발생할 수 있는 오염에 대비하여 잔류염소를 유지하기 위함이다. 막모듈과 그 설비는 막의 종류와 모듈 형태, 그리고 운전 방식 등에 따라 크게 달라진다. 지표수, 지하수 등 원수의 종류와 그 원수에 존재하는 오염물의 종류에 따라, 막세공 또는 분획분자량에 따른 막의 종류를 선정한다. 다음으로 막모듈은 막의 종류와 막모듈 형태에 따른 장단점을 고려하여 선정한다(지난 호 참조). 막모듈의 형태에 따라 막 힘형/십자흐름형, 침지형/분리형 등의 운전 방식을 선택할 수 있으며, 이에 따라 막설비에 순환펌프 또는 흡입펌프 등이 추가된다. 이러한 막모듈과 운전 방식 등의 선정과 막여과 설비의 설계 및 구성에 따라 전체적인 막분리 정수처리 공정의 효율과 설치 및 운전 비용 등이 크게 변하며, 심지어 막분리 공정 도입의 성패가 좌우되기도 한다. 따라서 모든 경우에 적용이 가능한 정수처리용 막분리 시스템의 표준형을 제시하는 것은 막분리 시스템을 지나치게 단순화

하여 생각한 것으로서 바람직 하지 않다. 다만 이와 같은 선정 및 설계 과정에서 파일럿 테스트를 반드시 거쳐 실제 플랜트 설치 후의 문제점을 최소화하고 전체 공정을 최적화하는 것이 가장 중요한 기준이 될 것이다.

2.2 막분리 혼성 공정

막분리 공정의 장점 중 하나는 다른 공정과의 혼성(hybrid)이 수월하다는 것이다. 막분리 단독공정만으로 처리수를 생산하면 더 많은 에너지가 필요하며 막오염이 더 빠르게 진행되는 경향이 있다. 따라서 막분리 단독공정만으로 원하는 수질을 얻는 것보다, 다른 물리화학적 수처리 공정과 결합함으로써, 같은 수질의 처리수를 얻으면서 더 높은 운전 성능을 얻는 것이 현명한 방법일 것이다.

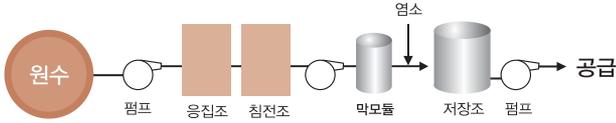
1) 응집-막분리 혼성 공정

응집 공정은 기존 정수처리 공정에서 주로 현탁물질 제거를 목적으로 사용되어 온 공정으로, 미량 유해 물질이나 병원성 미생물의 제거는 미흡하다. 그러나 기존의 응집조나 침전조에 막분리 공정을 적용할 수 있어 시설 대체가 용이하고, 염소 소독 과정에서 발생하는 소독 부산물의 전구체인 자연산 유기물을 효과적으로 제거할 수 있어 처리수의 수질 향상을 기대할 수 있다. 또한 현탁물질과 유기물의 제거는 막오염의 완화로 이어져 전체적인 공정 효율이 향상될 수 있다. 이러한 면에서 응집-막분리 혼성 공정은 향후 실제로 이용할 가능성이 높다고 하겠다. 응집-막분리 혼성공정에 대해 좀 더 설명하자면 다음과 같다.

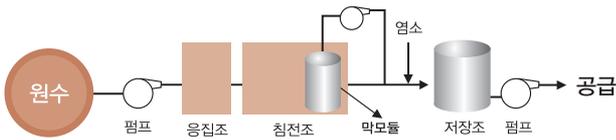
— 응집공정과 막분리 공정을 결합할 경우 침지형 여과 방식을 많이 채택한다. 이는 침지형 분리막 모듈이 응집조나 침전조에 바로 적용하기가 용이하기 때문이다(그림 2-ㄴ). 따라서 침지형으로 많이 이용되고 있는 정밀여과나 한외여과 중공사막을 적용하는 경우가 많다.

— 응집공정을 막분리 공정과 결합할 경우 기존의 방식과 반드시 동일한 방법으로 응집 할 필요는 없다. 기존의 정수처리 공정에서는 응집제와 원수를 급속혼화한 뒤 완속교반을 통하여 응집 플록의 크기를 되도록 크게 함으로써 뒤이을 침전공정에서의 침전성을 높여 여과 공정에서의 부하를 줄인다. 그러나 막분리 공정에서는 침전공정이 없이 바로 여과를 수행할 수도 있다(그림 2-ㄷ). 따라서 완속교반은 침전성을 높이기 위한 것이 아니라 여과 성능을 향상하기 위한 목적으로 사용되어야 한다. 여과성능이 좋다면 완속교반을 실시하지 않고 급속 교반만 실시할 수도 있다. 이러한 경우들에서도 그림 2-ㄱ/그림 2-ㄴ과 같이 분리형과 침지형 운전방식 중 하나를 택할 수 있다. 또한 응집-막분

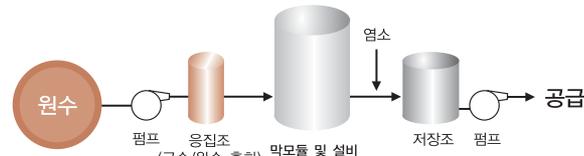
리 혼성공정 중 가장 단순화한 경우로서 응집조 없이 원수 라인에 응집제를 바로 주입하여 혼화만 하고 교반을 생략할 수도 있다(그림 2-ㄷ). 응집조도 필요없게 되어 부지면적이 최소화될 수 있다. 다만 응집의 효율이 어느 정도이며 막여과 성능이 얼마나 향상되는지가 관건이다.



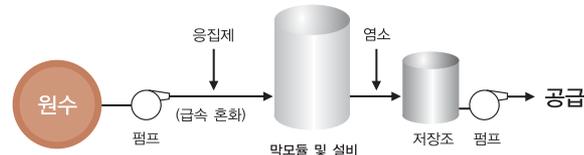
(가) 응집 - 침전 - 막여과(분리형)



(나) 응집-침전-막여과(침지형)



(다) 응집-막여과(분리형/침지형 중 선택 가능)



(ㄷ) 응집-막여과(응집조 없음)

그림 2) 응집-막분리 혼성 공정의 예

— 응집제를 주입함으로써 막오염이 줄어들어 처리수 생산량(플럭스)가 증가하는 것을 다음과 같이 여과저항 모델로 설명해 볼 수 있다.

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_t}$$

$$R_t = R_m + R_c + R_f$$

J : 플럭스(flux)

ΔP : 막간차압(transmembrane pressure)

μ : 점도(viscosity)

R_t : 총 여과 저항(total membrane resistance)

R_m : 분리막 고유의 저항

R_c : 분리막에 쌓인 케이크층의 저항

R_f : 분리막에 흡착한 막오염물질에 의한 저항

우선 응집 공정은 막에 흡착할 수 있는 유기물을 제거하여 줌으로써 R_f 를 줄여준다. 따라서 이러한 면에서 응집 공정이 막여과 성능을 향상시키게 된다. 한편 R_c 에 대해 살펴보면 응집제를 주입하고 침전과정 없이 바로 여과할 경우에는 부유물질의 총량(즉 농도)이 증가하여 분리막에 쌓이는 케이크의 양이 증가하게 된다. 따라서 다음에서 C가 증가하는 것이므로 R_c 가 증가하는 요인이 발생한 것이다.

$$R_c = \alpha C V t$$

α : 케이크층 비저항(케이크 단위질량당 저항)

C : 부유고형물질의 농도

V : 여과수의 누적부피

t : 여과 시간

그러나 대부분의 경우 응집에 의해 생성된 플록은 케이크층의 비저항 α 값이 원래보다 크게 낮아진다. 비저항 값은 케이크 층의 공극과 케이크를 형성하는 입자의 크기등과 관련이 있는데, 응집을 실시할 경우 공극과 입자의 크기가 커져 비저항 값이 낮아지는 것이다. 이에 따라 C가 증가하더라도 α 가 크게 낮아져 R_c 는 결국 작아지게 된다. 결국 응집에 의해 일반적으로 R_f 와 R_c 가 낮아져 여과 성능이 향상되게 된다. 응집조건에 따라서는 C의 증가에 비하여 α 의 감소가 작아 결국 R_c 가 오히려 증가하는 경우도 있을 수 있다. 현탁 물질이 많거나 유기물 농도가 높아 막오염이 심하고, 또 소독 부산물의 발생이 우려되는 경우, 응집-막분리 혼성 공정은 좋은 대안이 될 것이다.

2) 활성탄-막분리 혼성 공정

정밀여과나 한외여과 공정을 주로 이용하는 응집-막분리 혼성 공정은, 위에서 언급한 바와 같이, 현탁물질의 제거나 자연산 유기물의 제거만 이루어진다. 저분자량의 유기물이나 중금속, 영양 성분, 혹은 최근 이슈가 되고 있는 환경호르몬 등을 제거하기 위해서는 나노여과 이상의 막분리 공정이 요구된다. 그러나 나노여과, 역삼투막 공정은 높은 압력이 필요하여 운전 에너지비용이 많이 든다. 염분, 경도나 질산성 질소 등 이온성 물질이 문제가 되는 경우가 아니면, 활성탄-막분리 혼성 공정으로 위와 같은 미량 유기오염물이 문제가 되는 원수를 처리하는 것이 좋은 방안이다.

— 활성탄-막분리 혼성 공정이라 할 때에는 입상 활성탄보다는 주로 분말 활성탄을 이용하는 경우를 지칭한다. 이는 입상 활성탄을 이용할 경우에는, 흡착탑에서의 흡착 공정과 막분리 공정이 각각 개별적인 공정으로서 단지 연속적으로 연결되는 것에 불과하기 때문이다. 분말 활성탄을 이용할 경우 막분리 설비에 직접 투입하는 것이 가능하다. 이와 같이 두 공정이 직접적으로 결합되면, 오염물 제거에 의한 수질 향상뿐 아니라 분리막 표면에서의 활성탄의 역할에 따라 막오염 완화 효과가 상승될 수 있으며 부지면적도 크게 증가하지 않는다.

— 분말 활성탄과 막분리 공정을 결합할 때 분리형(그림 3-ㄱ)과 침치형(그림 3-ㄴ)이 가능하다. 분리형의 경우 농축수를 흡착조에 보내기도 하고, 순환 라인을 형성하여 순환시키기도 한다. 또한 활성탄 흡착조 없이 순환라인에서 체류시간을 이용하여 흡착이 일어나도록 할 수도 있다(그림 3-ㄷ).

— 최근에는 활성탄이 미량유기물뿐만 아니라 자연산 유기물을 제거하는데 효과적이라는 보고가 많다. 따라서 소독부산물의 양도 줄어들 수 있고, 막오염에도 긍정적인 영향을 주게 된다. 그러나 역으로 활성탄 입자가 막오염에 악영향을 끼칠 수 있다는 보고도 있기 때문에 주의하여야 한다[3].

— 활성탄은 물에 균일하게 용해되는 것이 아니라 입자형태로 부유하게 된다. 이것은 밸브나 펌프의 작동에 영향을 끼칠 수 있어 수처리 시스템을 설계하는데 있어 난점으로 작용한다. 따라서 이러한 문제가 발생하지 않도록 설계하는 것이 중요하다.

3) 기타 혼성 공정

그밖에 원수 중의 오염물에 따라 고도 산화, 화학 침전, 촉매 등 다양한 물리화학적 수처리 공정과의 혼성공정이 가능하다. 나노여과나 역삼투막 공정의 경우에는 전처리로서 정밀여과나 한외여과 공정을 사용하는 등, 막분리 공정끼리 결합하기도 한다. 나노여과나 역삼투막 공정의 막오염 경향이 정밀/한외여과 공정보다 크기 때문이다. 전처리로서의 정밀여과나 한외여과 공정을 적절히 선택하고, 나노여과나 역삼투 공정의 농축수를 전처리 공정에 순환시키는 등의 방법으로 전체 공정의 효율을 높일 수 있다.

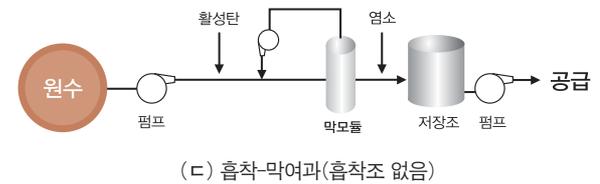
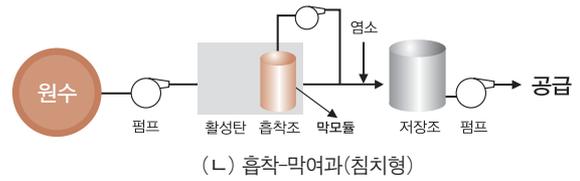
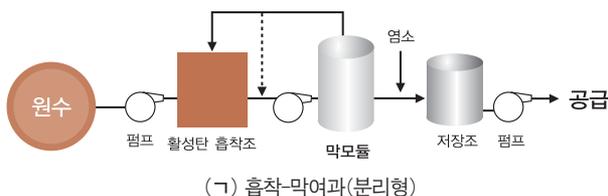


그림 3. 활성탄-막분리 혼성 공정

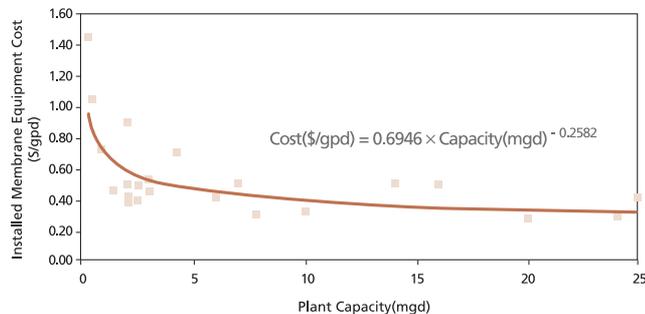
3. 막분리 정수처리 공정의 경제성

3.1 설치 비용

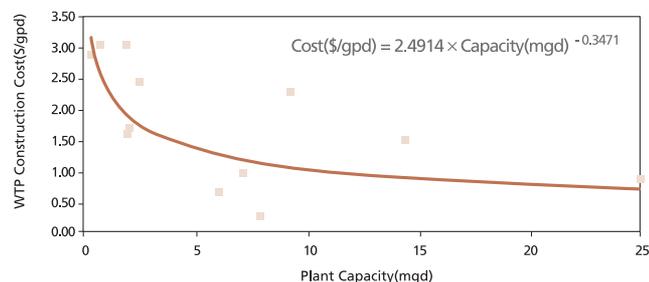
막모듈의 비용은 막면적에 비례하여 증가하는데, 필요 막면적은 처리수량, 플럭스(Flux) 등 설계치에 따라 달라진다. 플럭스를 높게 설계하면 같은 양을 처리하는데 필요한 막면적이 줄어드나 막오염의 부담이 커진다. 막 모듈의 형태, 종류와 제조사에 따라 차이가 난다. 또한 막의 교환비용도 중요하다. 대부분의 제조사들이 막모듈의 교환주기를 5년정도로 제시하고 있다[1]. 그러나 원수의 조건이나 설계 조건, 운전의 효율성, 막세척 회수 등에 따라 큰 차이가 난다. 그 밖에도 펌프, 블로어, 세척 방법과 장비, 각종 계측기, 자동화 제어설비, 탱크 등 공정을 구성하는 각종 부품의 사양에 따라 다르게 된다. 이러한 막설비만의 비용은 그림 4-ㄱ과 같다. 이것은 미국에 실제로 설치된 막분리 정수처리 플랜트의 자료들을 수집하여, 약 85LMH(L/m²hr)를 기준으로, 처리용량에 따라 도시한 것이다[1]. 이를 보면 2mgd(약 7,600톤/일) 이상에서는 규모의 경제성이 점차 줄어들어, 규모가 커져도 단위 설비 비용이 크게 줄지 않음을 알 수 있다. 이것은 총 막분리 설비비용 중 막모듈의 비용이 차지하는 비율이 커지기 때문이다. 기술의 발전과 제조사간의 경쟁으로 막모듈의 가격은 계속적으로 하락하고 있는 추세이므로, 막분리 공정의 경쟁력은 점차 커진다고 할 수 있다. 막설비와 전후처리 시설 및 토목 공사까지 포함한 총 막분리 정수처리 플랜트의 비용은 그림 4-ㄴ과 같다. 이를 보면 전체적으로 하나의 추세선에 근접하지 않고 그림 4-ㄱ보다 더 흩어져 있음을 알 수 있다. 이것은 원수의 수질에 따라 각기 다른 전처리 공정들을 설치하였기 때문이다. 이것은 막분리 설비 자체의 설계도 중요하지만, 막오염을 줄이고 전체적인 공정의 효율을 높이기 위해 전처리 공정이나 기타 추가 공정을 어떻게 구성하고 하는가도 중요하며, 아직 이에 대한 체계나 가이드라인이 명확하지 않음을 시사한다.

3.2 운전 및 유지 비용

막분리 공정의 주요 운전 및 유지비용은 막교환 비용, 화학약품비용, 에너지 비용, 인력비용 등이다. 인력비용을 제외하고는 모두 플랜트 용량에 거의 비례한다[1]. 인력비용은 플랜트 용량이 커져도 크게 증가하지 않는데, 그 이유는 막분리 공정이 자동화와 원격모니터링 및 제어 등이 수월하기 때문이다. 물론 전처리 공정이 추가되어 완전 자동화가 어려울 경우 이에 대한 관리인력이 필요할 수 있으나, 전체적으로 막분리 공정을 정수처리에 도입할 경우 인력비용은 확실히 감소하게 된다. 막오염이 심화되면 오염된 막을 세척하는데 드는 화학약품비용뿐 아니라 같은 유량을 생산하기 위해서는 더 많은 압력이 요구되어 운전에너지비용도 증가한다. 또한 잦은 화학세척으로 막교환주기가 짧아져 막교환비용도 증가하게 된다. 설계시 플럭스를 낮게 설정하고 막면적을 늘임으로써 막오염을 완화하여 막오염이 진행되었을 때의 여러 가지 비용을 줄일 수도 있다. 그러나 막모듈의 비용이 그만큼 증가하여 초기 설치비용이 증가한다. 결국 막오염을 어떻게 제어하는가가 전체 막분리 정수처리 공정의 운전 및 유지 비용, 또 나아가 설치비용까지 포함한 전체적인 경제성을 좌우하는 중요한 열쇠가 되는 것이다.



(ㄱ) 막분리 설비 비용



(ㄴ) 막분리 정수처리 플랜트 설치 비용

그림 4) 막분리 정수처리 플랜트의 설치 비용[1]

※ mgd×3.8 ~천톤/일

\$/gpd×20~천원/(톤/일) (단 1,200원/\$일때)

4. 막분리 정수처리 공정 운전시 유의할 점

4.1 막 파손 검사(membrane integrity test)

막분리 공정은 이와 같이 정수처리 공정에 도입되어, 높은 처리수 수질과 안정성, 경제성, 자동화/원격제어의 편리성 등을 바탕으로 기존의 정수처리 공정을 훌륭히 대체할 것으로 기대된다. 그런데 중요한 것은 막이 손상이 되어 단 한 곳이라도 결함이 생길 경우, 막은 더 이상 제역할을 하지 못하며, 심지어 매우 큰 사고로까지 번질 수 있다. 예를 들어 단 몇 마리의 크립토스포리디움이 유출된다면, 후단의 잔류염소 유지를 위한 염소 공정으로는 불활성화되지 않을 것이며, 배수지나 배관에서 증식하여 각 가정으로 확산되는 일이 발생할 수 있는 것이다. 그래서 주기적인 막모듈의 파손 검사가 매우 중요하다. 가장 기본적인 테스트는 압축공기등을 이용하여 어느 압력까지 가압(pressure-hold test)하거나, 반대로 감압을 막모듈에 적용하여(vacuum-hold test), 압력 변화를 체크하는 것이다. 또한 한쪽은 공기 한쪽은 물을 채워 공기가 막을 통해 반대쪽으로 전달되는 미세한 유속을 측정하여 검사하는 방법(diffusive airflow test)도 있다. 그러나 이러한 검사방법은 운전 중에는 할 수 없으며, 주기적으로 운전을 중지하고 체크하여야 한다. 만약 운전중 이미 결함이 발생하였고 이를 그 당시 체크할 수 없다면 병원성 미생물이 유출되는 것을 막을 수 없다. 따라서 최근에는 입도계수기(particle counter)나 탁도계를 이용하여 온라인으로 파손여부를 검사하는 방법이 사용되고 있다. 둘다 수분 내지 수십 분 이내에 파손된 곳으로 빠져나온 오염물을 검출할 수 있는 능력이 있다. 그러나 탁도계의 경우, 파손된 곳이 극히 일부분이어서 유출된 오염물의 양이 매우 작거나 다른 처리수에 의해 크게 희석되면 검출하기 힘들다.

이에 따라 처리수 전체에 대해 체크하는 것이 아니라, 개별 막모듈마다 탁도계를 설치하거나, 각각의 모듈에서 번갈아 가며 샘플을 탁도계로 보내어 체크하는 것이 필요하다. 그러나 이렇게 하더라도 원수의 탁도 자체가 낮을 경우 알아내기 힘들다. 처리수의 탁도는 낮으나 일부의 병원성 미생물은 유출될 수 있으며, 이것이 관망이나 배수지 등에서 증식할 경우 사고가 발생하게 된다. 입도계수기의 경우는 탁도보다는 훨씬 민감하게 파손여부를 체크할 수 있다. 대부분의 입도계수기는 2μm 이상 어떤 경우에는 1μm 이상의 입자부터 그 수를 측정할 수 있으므로, 대부분의 병원성 미생물의 유출을 체크할 수 있게 된다. 그러나 여전히 희석에 의해 감지하지 못하는 경우가 발생할 가능성은 배제할 수 없다. 또한 이러한 입도계수기는 바이러스를 체크하는 수준까지는 힘든 것이 사실이다. 최근에는 파손시 물의 흐름변화에 의한 음파를 체크하거나, 병원성 미생물과 크기가 유사한 무해한 입자

를 주기적으로 원수에 주입하여 처리수를 입도계수기로 체크하는 방법 등이 개발되고 있다. 막분리 공정을 정수처리공정에 도입하고 운영함에 있어 이러한 막의 파손을 온라인으로 체크하는 방안을 사전에 마련하는 것은 무엇보다 중요하다 하겠다.

4.2 농축수 및 세척수의 처리

막분리 공정에서 농축수(retentate)는 기본적으로 원수중에 있는 물질들만으로 이루어져 있으며 그 농도가 높아진 것으로 볼 수 있다. 세척수는 물리적 세척과 화학적 세척시 발생한다. 물리적 세척시에는 막표면에 쌓여 있거나 막세공을 막고 있는 오염물질이 털려 나오는 것이므로 농축수와 유사하게 생각할 수 있다. 단, 역세척시에는 미생물에 의해 막이 손상되는 것을 막기 위해 염소를 추가하는 경우도 있다. 가장 문제가 되는 것은 화학적 세척이다. 원수와 막의 종류에 따라 다르나, 화학적 세척제에는 구연산, 가성소다, 계면활성제, 효소, 차아염소산 성분 등이 들어 있어 주의가 요구된다.

이러한 농축수나 세척수를 처리하는 방안은 여러 가지가 있다. 기준에 부합할 경우 지표수나 바다에 그대로 방류하는 방법, 하수관망이나 직접설치한 배관을 통하여 하수종말처리장으로 보내어 처리하는 방법, 기존의 정수장에 응집 침전물을 처리하는 방법과 유사하게 탈수 후 고체 폐기물로 반출하는 방법 등이 우선 고려대상이다. 농업용수나 기타 용수(화장실 용수, 냉각수 등)로 재사용하는 방법이 있으나 우리나라의 정수장 부근에서 그 수요가 많지 않을 것으로 보인다. 처리가 어려운 경우 외국에서는 DWI(Deep Well Injection)등의 방법도 많이 사용되나 우리나라의 실정에는 부합되지 않는다.

이와 같은 처리 방법에서 고려되어야 할 가장 중요한 항목은 환경에의 영향과 비용이다. 둘은 상충되는 것이 대부분일 것이므로, 다음의 사항들을 참고하여 최선책을 마련하여야 한다.

—— 원수의 종류 : 농축수는 위에서 언급한대로 원수중의 물질들이 농축된 것이다. 원수 중 오염물질의 종류에 따라 농축된 오염물질의 유해정도가 다르겠지만, 배출허용기준이나 방류수수질 기준 등에 부합된다면 쉽게 처리할 수 있다.

—— 전처리의 종류 : 전처리 과정에서 응집이나 활성탄, 산화제, 촉매 등을 사용하였다면 이를 고려하여야 한다. 응집 공정의 경우 부유물질의 농도가 그리 높지 않아 방류수 수질 기준에 부합된다면 그대로 방류하고, 그 농도가 높다면 응집 플록을 모아 탈수 시켜 고형폐기물로 반출하는 방법이 좋을 것이다. 활성탄 공정의 경우도 응집공정과 유사하게 생각할 수 있다. 그러나 유해물질을 다량 흡착하였을 경우 주변의 농도에 따라 탈착할 가능성도

있으므로 주의하여야 한다. 다른 전처리 공정을 사용하였다면 그 유해성을 평가하여 자체 처리과정을 거치거나 전문 업체에 보내는 것이 좋다.

—— 세척방법 : 물리적 세척수의 경우 농축수와 유사하게 생각할 수 있으며, 화학적 세척수의 경우에는, 어떤 경우 pH만을 조절하여 방류기준에 부합되도록 할 수도 있으나, 계면활성제나 효소 등의 성분이 많다면 하수종말처리장으로 보내어 생물학적으로 처리하는 방법을 적용하는 것이 적합할 것으로 보인다.

—— 막의 종류 : 농축수나 세척수 처리에 있어 또 한가지 고려해야 할 사항은 막의 종류이다. 막의 세공이나 분획분자량에 따라 막에 의해 처리된 오염물질의 종류가 다른데(지난 호 참조), 이것이 고스란히 농축수와 세척수에 포함되게 된다. 예를 들어 정밀여과 공정의 농축수에는 주로 입자성 물질들만 있으나 역삼투 공정의 농축수에는 염분 등 이온성 물질의 농도가 매우 높다. 이러한 사항을 고려하여 처리 방안을 마련하여야 한다.

—— 배출량 : 농축수나 세척수 처리 방안을 모색함에 있어 간과하기 쉬운 중요한 사항은 배출량이다. 우리나라 방류수수질 기준도 그 배출량에 따라 허용 농도가 다른 것을 알 수 있다. 농축수나 세척수의 오염 농도가 높다고 해도 그 양이 작다면 희석 비율이 커지므로 비교적 쉽게 처리할 수 있으나, 양이 많은 경우는 그렇지 않다. 이것은 결국 막분리 정수처리 플랜트의 규모와 직결된 것이다. 소규모의 막분리 정수처리 플랜트를 건설할 때와 달리, 대규모의 막분리 정수처리 플랜트를 건설할 경우에는 위의 여러 가지 사항을 검토하고, 또한 파일럿플랜트 운전시의 농축수와 세척수를 분석하여 그 처리방안을 확실히 마련해 두어야 한다. 또한 같은 플랜트 규모라 해도 막세척 주기에 따라 배출량이 크게 달라진다. 따라서 막오염을 완화하여 세척주기를 길게하는 것이 배출량 감소의 지름길이다. ☺

참고 문헌

- 1) S. J. Duranceau, Membrane Practices for Water Treatment, AWWA, Denver, 2001.
- 2) 2003년도 먹는 물 수질관리 지침, 환경부, 2003.
- 3) C. Lin, Y. Huang and O. J. Hao, Ultrafiltration Processes for Removing Humic Substances : Effect of Molecular Weight Fractions and PAC Treatment, Water Research, 33(5), 1252-1264, 1999.