

수처리용 상용 고분자 분리막 제품 기술동향

장 해 남[†]

경남과학기술대학교(GNTECH) 미래융합기술연구소 에너지공학과
(2019년 2월 6일 접수, 2019년 2월 19일 수정, 2019년 2월 21일 채택)

Technology Trend on Commercial Polymeric Membranes for Water Treatment

Haenam Jang[†]

Department of Energy Engineering, Future Convergence Technology Research Institute, Gyeongnam National University of Science and Technology (GNTECH), Junju 52725, Korea

(Received February 6, 2019, Revised February 19, 2019, Accepted February 21, 2019)

요 약: 수처리 분리막 분야에서 고분자는 세라믹과 함께 가장 중요한 소재로 이용되고 있다. 본 총설에서는 이러한 고분자 분리막 소재의 기술동향을 상용화 제품을 중심으로 분석하고자 하였으며, 이를 위하여 수처리 분리막의 종류에 따라 MF (Microfiltration), UF (Ultrafiltration), NF (Nanofiltration)/RO (Reverse Osmosis) 분리막으로 구분하여, 국가별, 소재별, 회사별 고분자 분리막 제품 동향을 살펴보았다. 이를 통하여, 각 분리막 종류별로 주로 사용되고 있는 소재의 종류를 파악할 수 있었으며, 동시에 시장 지배적인 위치에 있는 업체들을 파악하고 이들 업체들이 어떤 소재들로 제품 포트폴리오를 구성하고 있는지 분석할 수 있었다. 이러한 결과들을 바탕으로 각각의 분리막 종류에 따른 소재 시장의 특징을 제시하였으며, 이런 특징을 바탕으로 각 시장에 신규로 진입하기 위한 기술 개발 전략을 제안하였다.

Abstract: In the field of water treatment membranes, polymers are used together with ceramics as the most important materials. In this review, I tried to analyze the technology trends of polymer membrane materials based on commercial products. For this purpose, according to the types of water treatment membranes such as MF (Microfiltration), UF (Ultrafiltration) and NF (Nanofiltration), the trends of polymer membrane products were investigated by countries, materials, and companies. Through this, we were able to classify the types of materials that are mainly used for each type of membrane, and at the same time, identify the companies that are dominant in the market, and analyze which materials constitute the product portfolio. Based on these results, we have presented the characteristics of the material market according to each type of membrane, and proposed a technology development strategy to enter each market based on these characteristics.

Keywords: molecular simulation, molecular dynamics (MD), polymeric membranes, gas separation membranes

1. 서 론

21세기 들어 더욱 심각해지고 있는 기후변화로 인한 기상이변으로 인하여, 가뭄이나 홍수와 같은 자연재해로 인한 식수 부족 현상이 전 세계적으로 확산되고 있다[1,2]. 우리나라도 최근 들어 유래 없는 가뭄으로 인하여 물 부족과 같은 직접적인 피해를 입었을 뿐만 아니라, 가뭄에 동반되는 고온으로 인한 녹조 현상으로 인한 수원지 오염 피해까지 발생함으로써 심각한 위기를 겪은 바 있다. 다행히, 우리나라의 경우 잘 발달된 상수관 등의 상하수 처리 시설 및 기반 시설로 인하여, 식수에 대한 실질적인 피해가 크지는 않았지만 심각한 농업용수 부족 현상을 겪었으며, 무엇보다도 이러한 기상이변이 반복된다면 농업용수/공업용수의 부족뿐만 아니라 실제 식수가 부족해지는 상황 또한 일어날 수 있다는 경각심을 가지게 되었다. 이러한 가뭄으로 인한 수원지 고갈과 홍수로 인한 수원지 오염에 따른 식수 부족 현상 등이 우리나라만이 아닌 전 세계적으로 벌어지

를 겪은 바 있다. 다행히, 우리나라의 경우 잘 발달된 상수관 등의 상하수 처리 시설 및 기반 시설로 인하여, 식수에 대한 실질적인 피해가 크지는 않았지만 심각한 농업용수 부족 현상을 겪었으며, 무엇보다도 이러한 기상이변이 반복된다면 농업용수/공업용수의 부족뿐만 아니라 실제 식수가 부족해지는 상황 또한 일어날 수 있다는 경각심을 가지게 되었다. 이러한 가뭄으로 인한 수원지 고갈과 홍수로 인한 수원지 오염에 따른 식수 부족 현상 등이 우리나라만이 아닌 전 세계적으로 벌어지

[†]Corresponding author(e-mail: jhn@gntech.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0002-7353-4412>)

고 있기 때문에, 수처리 기술의 발전을 통하여 이를 극복하기 위한 노력도 전 세계적으로 일어나고 있다. 특히, 앞서 우리나라의 경우를 언급했듯이, 상하수 처리 시설 등의 수리, 관개 시설이 잘 되어있는 선진국 및 중진국 등에서는 큰 피해까지는 이어지지 않지만, 그렇지 못한 중진국 이하의 국가들에서는 해당국의 국민들의 삶을 위협하는 큰 피해로 이어지기 때문에, 이러한 국가들을 지원하기 위한 노력도 많이 진행되고 있다[3].

이렇게 수처리 기술은 인간의 생존을 위한 기본 요소인 의, 식, 주 중에서도 가장 필수적인 식수 공급을 담당하는 기술이기 때문에, 이미 오래전부터 많은 기술 발전이 이루어지고 있었던 분야 중 하나이다[1,2,4]. 일반적으로 수처리 기술은 인간의 이용을 기준으로 전처리에 해당하는 상수처리 및 후처리에 해당하는 하수처리로 나뉘게 된다. 상수처리는 다시 인간이 이용하는 방식, 즉 음용을 위한 식수, 농업에 이용하는 농업용수, 공장 등에서 이용하는 공업용수 등으로 구분되며, 마찬가지로 하수처리의 경우에도 이용된 방식에 따라 생활하수, 공업폐수 등으로 구분된다[4]. 다만, 이러한 응용 분야가 다르다고 수처리 방식이 항상 서로 다른 것은 아니며, 같은 응용 분야라고 하더라도 서로 다른 기술이 적용되는 경우도 있다. 또한, 해수담수화와 같이 이용 분야를 기준으로 구분하지 않고 수원에 따라서 구분하는 경우도 있기 때문에, 어떤 하나의 기준으로 구분하기는 쉽지 않고, 일반적으로 수자원과 관련된 모든 기술을 수처리 기술로 포함시키고 있으며, 새로운 수자원 공급기술이 개발된다면 그 또한 포함될 수 있는 열린 기술 분야로 볼 수 있다.

수처리 기술은 작게는 가정용 정수기에서부터, 크게는 해수담수화를 위한 거대 규모의 플랜트까지 다양한 규모를 가지고 있다[5,6]. 따라서 사용되는 소재 및 부품의 수가 매우 많으며 종류도 매우 다양하다. 본 논문에서는 이 중에서도 분리막 수처리 공정의 핵심 소재인 분리막의 소재, 특히 상용화 단계에 있는 고분자 소재에 초점을 맞추어 기술동향을 파악하고자 한다. 분리막 소재는 크게 고분자 소재와 세라믹 소재로 나뉘게 되는데, 각 소재별로 명확한 장점과 단점을 가지고 있어 어느 한 소재가 다른 소재를 능가한다고 하기보다는 각 소재의 특성을 필요로 하는 분야에 맞게 발전되어 오고 있다[7]. 우선 고분자 소재의 경우에는 가공성이 용이하다는 것이 가장 큰 강점이라고 할 수 있다. 고분자 제품은 값이 저렴하고 고분자 특유의 탄성 및 인장특성으

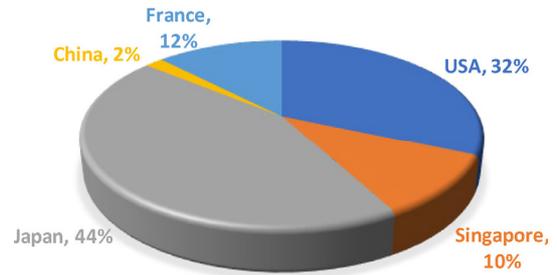


Fig. 1. Analysis of MF commercial membrane trend by countries.

로 인하여 쉽게 휘거나 구부러질 수 있어, 대면적 제조 시에도 부서지거나 하지 않기 때문에 원하는 크기 및 형태로 쉽게 제조가 가능하다. 반면에 기공 특성 등의 제어가 상대적으로 어렵다는 단점을 가지고 있다. 반면에 세라믹 소재의 경우 단단하기는 하지만 고분자 소재에 비하여 상대적으로 쉽게 깨지거나 부분적으로 구멍 등이 발생하기 쉽기 때문에 가공성이 떨어지지만, 섬세한 기공 제어가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 따라서 이러한 소재 특성에 초점을 맞추어 특허[2], 제조기술[8], 공정[9] 등의 관점에서 많은 동향 연구가 진행되어 왔다. 하지만, 상용화 소재에 초점을 맞추어 전체적인 개발 동향을 살펴본 경우는 많지 않았으므로, 2014년도 기준 미국 내 상용화 분리막 제품 동향[10]을 통하여 이를 중점적으로 살펴보고자 한다.

2. 고분자 분리막 소재 기술 동향

2.1. MF 분리막 고분자 소재 기술 동향

MF (microfiltration) 분리막은 기공크기가 0.1~10 μm 범위에 있는 분리막을 지칭하며, 부유입자, 흙, 박테리아 등을 분리할 때 주로 사용하고 있다[2,11]. 따라서 수처리용 막분리 공정에 있어서 가장 큰 기공을 가지고 있는 소재이며, 이러한 기공을 갖도록 하기 위하여 다양한 기술들을 적용하고 있다[11]. Fig. 1은 이러한 MF 분리막 공정에 사용되고 있는 상용막 소재들을 생산하는 국가별 비율을 나타내고 있다[10]. 총 5개의 국가들이 총 57종의 MF 상용 분리막을 생산하고 있으며, 이 중에서 일본이 전체의 44%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 그 다음으로 미국이 32%로 그 뒤를 잇고 있다. 따라서 전통적인 분리막 소재 강국인 일본과 미국이 MF 분리막 시장에서도 역시 주도적인 위치를 차지하고 있는 것이 확인되었으나, 다른 국가들도 점차 제품 범위를 넓히

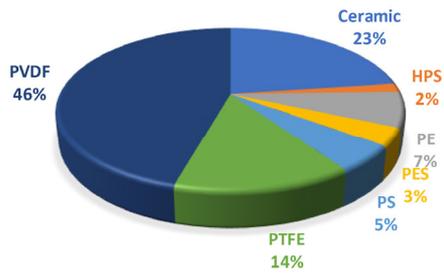


Fig. 2. Analysis of MF commercial membrane trend by materials.

면서 이를 뒤쫓기 위한 시장경쟁이 치열해지고 있는 것을 알 수 있다. 전체 MF 분리막 소재에 있어서는 PVDF (polyvinylidene difluoride)가 46%로 압도적인 비중을 차지하고 있는 것을 볼 수 있다(Fig. 2). PVDF는 대표적인 불화탄소계 고분자 중 하나로서 vinylidene difluoride 단량체의 중합반응을 통하여 제조된다[12,13]. 특히, 고분자로 제조된 이후에는 다른 불화탄소계 고분자와 마찬가지로 매우 낮은 반응성을 보이기 때문에, 용매 및 산 등에 대한 화학적 안정성이 요구되는 많은 분야에 사용되고 있으며, 분리막 소재로서 이는 매우 큰 장점 중 하나이다[12,13]. 또한, 다른 불화탄소계 고분자에 비하여 낮은 밀도를 가지고 있으며 독성이 없다는 등의 여러 가지 강점으로 인하여 MF 분리막 소재로서 절대적인 위치를 차지하고 있다.

그 다음으로 ceramic 제품군이 23%로 뒤를 잇고 있으며, 나머지 군소 고분자 제품군이 시장을 나누고 있다. 이를 고분자 소재로 한정하면, PVDF를 제외한 나머지 고분자 MF 분리막 제품의 수보다 PVDF 제품군의 수가 훨씬 더 많으며, 특히 불화탄소계 주쇄 구조인 PTFE (polytetrafluoroethylene)와 PVDF를 제외한 탄화수소계 및 실록산계 제품군은 다 합하여도 20%가 안되는 낮은 시장 비중을 보여주고 있다.

이를 MF 분리막 소재 회사별 제품 종류의 개수로 살펴보면(Fig. 3), 일반적으로 생각할 수 있듯이 회사별로 주력 소재 제품군을 가지고 있는 경우가 많았다. 특히, 전통적으로 유명하고 많은 제품군을 가지고 있는 회사의 경우 PVDF 계열 소재가 주력인 경우가 많은 것을 알 수 있다. 가장 많은 MF 분리막 제품군을 가지고 있는 Hydranautic&Nitto사의 경우 대부분이 PVDF 소재이며 약간의 PS (polysulfone) 계열 제품군을 생산하고 있으며, GE Power&Water 및 Asahi Kasei사의 경우는 PVDF 계열 분리막 제품군만을 가지고 있었다. 예외적으로

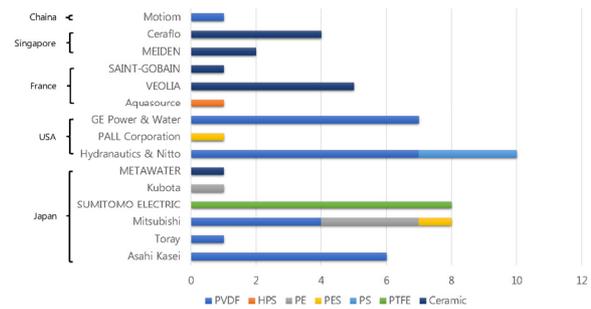


Fig. 3. Analysis of MF commercial membrane trend by companies.

Sumitomo Electric사의 경우는 2위의 제품군 수를 가지고 있으나 PTFE 계열 소재만을 생산하면서 소재면에서 차별화되어 있으며, 특히 마찬가지로 2위의 제품군 수를 가지고 있는 Mitsubishi사의 경우 절반 정도는 PVDF, 나머지는 PE (polyethylene)와 PES (Polyethersulfone)로 다양한 소재 제품군을 가지고 있는 특징을 갖고 있다. 또 다른 특징으로 아직 제품군이 다양하지 않은 군소 회사의 경우 PVDF 이외의 소재를 주력으로 하는 경우가 많으며, 이는 새로운 소재를 통하여 기존의 시장 지배적 소재인 PVDF 제품군과 직접적인 경쟁을 피하면서 자신들만의 소재 특성을 이용하여 틈새를 노리는 전략을 취하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 추가적인 국가별 기술동향 특징을 살펴볼 수 있는데, 일본의 경우 높은 시장 점유율만큼 회사별로 다양한 소재를 생산하고 있으나, 미국의 경우는 주로 PVDF 소재에 주력하고 있는 것을 알 수 있다. 반면에 싱가포르를 세라믹 소재의 제품군을 생산하는 회사 밖에 없으며, 프랑스도 대부분의 제품군이 세라믹 소재에 집중되고 있다.

2.2. UF 분리막 소재 기술 동향

UF (Ultrafiltration) 분리막은 0.01~0.1 μm 범위의 기공 크기를 갖는 분리막을 말하며, 단백질, 바이러스 등을 분리할 때 주로 사용하고 있다[2,9,14]. 이는 MF 분리막 소재에 비하여 작은 기공 범위이며 후술할 NF 분리막에 비해서는 큰, 즉 중간 범위의 기공 크기를 갖는 분리막 소재군이다. UF 분리막 소재들을 생산하는 국가들을 살펴보면(Fig. 4)[10], MF 분리막 소재 생산 국가와는 약간 다른 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 우선, 가장 큰 비율을 차지하고 있는 미국은 총 57%를 차지하면서 MF 분리막의 경우에 비해 더 큰 시장 지배력을 갖고 있는 것을 확인할 수 있다. 반면에, 그 이외

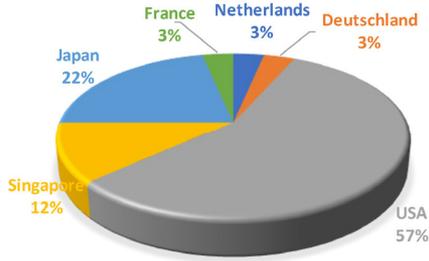


Fig. 4. Analysis of UF commercial membrane trend by countries.

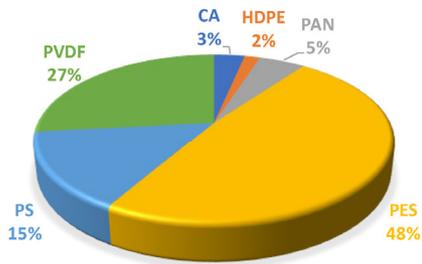


Fig. 5. Analysis of UF commercial membrane trend by materials.

의 국가들은 상대적으로 더 작은 비율을 가지며 시장을 나누고 있는 것을 알 수 있다. 예를 들어, MF 분리막 소재의 경우 가장 비율이 작았던 중국의 경우 겨우 2%에 불과했지만, UF 분리막 소재에서는 프랑스, 네덜란드, 독일이 각각 3%씩을 차지하면서 동률을 이루고 있다. 물론, 여전히 미국과 일본이 전체 시장에서 79%의 압도적인 제품군을 가지고 있지만, 그 이외의 국가들의 비율 차이가 크지 않으므로 새로 진입하는 국가의 장벽도 낮다고 볼 수 있다. Fig. 5의 소재별 제품군 비율을 살펴보면, PES 소재가 48%로 전체 제품군의 절반 가까이를 차지하고 있다. 다만, UF 분리막 소재 제품군에는 세라믹 소재가 없기 때문에, MF 분리막에서 전체 고분자 소재의 60% 가까운 제품군을 갖고 있던 PVDF에 비해서는 낮은 시장 지배력을 가지고 있다고 볼 수 있다. PES는 다른 분리막 소재에 비하여 다소 늦게 개발된 소재임에도 불구하고, 높은 열적 안정성, 우수한 투명성과 난연성을 갖는 엔지니어링 플라스틱 소재 중의 하나로서 널리 사용되고 있다[15,16]. PES는 PS 계열의 고분자로 분류되기 때문에 일반적으로 diphenyl sulfone 모노머가 반복단위 중에 포함되어 있으며, 그중에서도 우수한 내열성과 기계적 특성을 갖고 있어, 충격 강도가 높고 내 화학성이 우수한 것으로 알려져 있다[15,16].

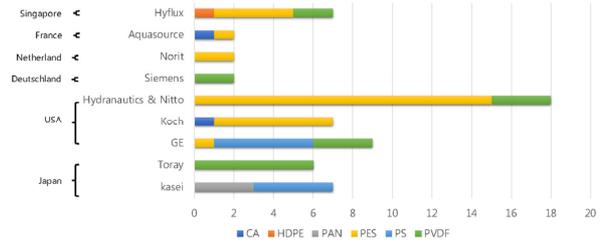


Fig. 6. Analysis of UF commercial membrane trend by companies.

특히, 반복단위 중에 포함된 ether 결합은 용융 시 고분자 체인에 이동성을 부여하여 실제 공정에서 가공성이 좋아 UF 분리막 시장에 널리 사용되고 있다.

그 뒤로는 27%를 차지하고 있는 PVDF와 15%를 차지하고 있는 PS 소재가 그 뒤를 따르고 있으며, 나머지 군소 소재들이 10% 이하를 차지하고 있다. 소재 구조별 특징으로는 불소계 고분자가 압도적인 비율을 가지고 있던 MF 분리막에 비하여 PVDF 27%를 제외하고는 모두 비불소계 고분자인 것이 특징이다. 따라서 구조가 특정되어 구조 변화를 거의 줄 수 없는 PVDF, PTFE 등의 비불소계와 달리, 같은 계열 고분자라 하더라도 다양한 반복단위 구조의 적용이 가능한 비불소계 고분자 소재들의 신규 진입 장벽이 상대적으로 낮을 것으로 판단된다. 특히, 가장 큰 비율을 차지하고 있는 PES의 경우 모노머 설계 및 합성에 따라 다양한 종류를 만들어낼 수 있으므로, 기존 PES의 장점을 살리면서도 특허 등을 피하여 기존 제품의 시장 지배력과 경쟁하지 않으면서 이를 대체 하는 방향으로 시장 전략을 세우는 것이 가능할 것으로 보인다.

Fig. 6을 보면, 회사별 제품 종류의 개수로 파악한 UF 분리막 소재 생산 전략도 MF 분리막에서와 다른 것을 알 수 있다. 앞 절의 MF 분리막 소재의 경우 회사별로 주력 소재 제품군이 명확하게 나타나는 경우가 많았으나, UF 분리막 소재의 경우는 상대적으로 다양한 소재의 제품군을 취급하는 경우가 많았다. Toray사의 경우를 제외하고는 다양한 제품군이 있는 경우 두 종류 이상의 소재를 생산하는 경우가 대부분이며, 군소 제품군을 갖고 있는 업체에서도 이런 경향을 보여주고 있다. 또한, 주력 소재의 경우에도 MF 분리막에서는 전통적으로 유명하고 많은 제품군을 가지고 있는 회사들이 대부분 PVDF 혹은 PTFE 계열 소재였지만, UF 분리막에서는 가장 많은 제품군을 가지고 있는 Hydranautics & Nitto 사에서만 PES를 주력으로 하며, 나머지 2위권 회사들

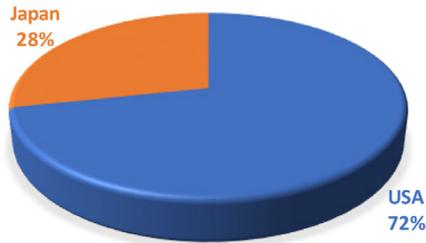


Fig. 7. Analysis of NF commercial membrane trend by countries.

은 PES, PVDF, PS 등 다양한 소재를 주력 제품군으로 하고 있는 특징을 보였다. MF 분리막 소재와 동일한 소재를 UF 분리막에 적용한 기업들은 역시 PVDF를 주 소재로 사용하는 회사들이며, Toray사의 경우 두 경우 모두에서 PVDF만을 소재로 사용하였으며, GE는 UF 분리막에서는 부분적으로 PVDF 소재를 사용하고 있었다. 특이하게도 Hydranautic&Nitro사의 경우는 두 경우 모두 가장 많은 제품군을 보유하고 있으면서도 소재는 서로 겹치지 않았으며, Kasei사와 Aquasource사의 경우에도 서로 다른 소재를 사용하였다. 이는 앞서 언급하였듯이, UF 분리막 소재 시장의 다양성을 나타내고 있는 것으로 판단된다.

2.3. NF 및 RO 분리막 소재 기술 동향

기공크기가 0.001~0.01 μm 인 분리막은 NF (Nanofiltration) 분리막으로 구분하고 다가이온, 유기물을 분리할 때 사용하고 있으며, 0.001 μm 이하의 기공크기를 갖는 분리막은 RO (reverse osmosis) 분리막으로 칭하며 NaCl 등의 이온성 물질이나 중금속 등을 분리할 때 사용한다[2,17]. 일반적으로는 NF와 RO 분리막을 구분해서 따로 사용하나[2], 응용 측면에 있어서는 구조나 제조방법 및 사용법 등이 유사하기 때문에[17], 실제 상용막의 경우 RO 분리막이 NF 분리막 제품군의 한 종류로 포함되어 나오는 경우가 대부분이어서 본 논문에서는 하나로 묶어서 분석하였다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 [10], NF/RO 분리막의 소재 동향은 앞선 MF 및 UF 분리막과 확연히 다른 차이를 보이는데, 미국이 전체 제품군의 72%를 차지하고 있으며, 나머지 28%를 일본이 차지하고 있다. 즉, 전체 제품군의 종류가 200개가 넘는 다양한 NF/RO 분리막을 미국과 일본에서만 공급하고 있는 것이다. 물론, 미국 기업이었던 Nano H₂O가 2014년 5월에 한국의 LG 화학에 인수되기는 했지만, 본 논

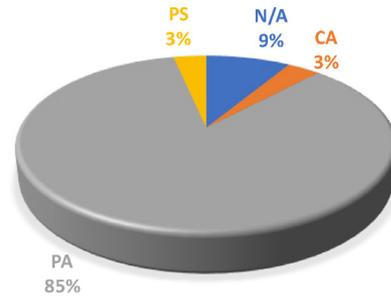


Fig. 8. Analysis of NF commercial membrane trend by materials.

문에서 2014년 이전 자료를 기준으로 삼았으므로 미국 기업으로 분류하였다. 어쨌든 이러한 분석결과는 NF/RO 분리막 시장이 그만큼 진출하기가 쉽지 않다는 것을 보여주고 있으며, 이들 국가 업체들이 그동안 쌓아온 노하우를 극복하기 위해서는 그만큼 충분한 투자가 기술 개발에 투입되어야 한다는 것을 알 수 있게 해준다. 이러한 특징은 NF/RO 분리막 소재 동향을 분석함에 있어서도 관찰된다(Fig. 8). 비록 주력 소재가 존재하지만 그 이외에도 다양한 소재들이 제품화되어있던 MF 및 UF 분리막과 달리, NF/RO 분리막 시장에서는 PA (polyamide) 단일 소재 제품군의 비율이 85%에 이르며, 소재를 정확히 공개하지 않는 제품군의 비율도 9%나 된다. 이러한 현상의 원인은 NF/RO 분리막 소재의 특성에서 기인한다고 볼 수 있다. MF 및 UF의 경우는 기본적으로 기공에 의하여 그보다 큰 입자들이 걸러지는 방식으로 물을 처리하므로, 기공의 제어를 통하여 수처리 특성이 달라지게 되며 제품을 구분하게 된다[11]. 반면에 NF/RO 분리막의 경우 이러한 기공이 나노미터 이하의 크기에 불과하기 때문에 입자가 걸러진다고보다는 크기가 매우 작은 물분자만이 투과하는 것이며, 이 때문에 NF/RO 분리막에서는 기공, 공극 등의 개념이 아닌 염배제율 등과 같은 소재 자체의 특성에 따라 성능이 결정되게 된다[17]. 즉, MF 및 UF 분리막에서는 소재의 특성이 어느 정도 기준을 충족시킨다면 기공 형성 가공과 같은 공정 측면에서 비슷한 성능의 제품을 생산하는 것이 기본적으로 가능하기 때문에 다양한 소재가 적용 가능하지만, NF/RO 분리막에서는 이에 적합한 소재가 개발되지 않는다면 공정 기술만으로 이를 해결하기가 어려운 것이다. 특히, PA의 경우 우수한 염배제율, 투과율 등의 소재 자체의 성능뿐만 아니라 계면 중합을 통하여 얇은 skin layer형성이 가능하다는 공정

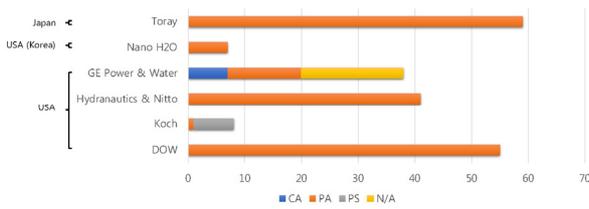


Fig. 9. Analysis of NF commercial membrane trend by companies.

상의 이점으로 인하여, 이를 대체할 만한 소재를 개발하기 매우 어려운 실정이다[18,19]. 따라서 이러한 NF/RO 분리막 소재 시장은 다른 분리막 수처리 분야에 비하여 진입장벽이 매우 높으며, 신기술 개발에 막대한 노력이 들어가는 소재 기술의 측면에서 장기적인 투자가 필요한 분야라고 할 수 있다.

다음으로 회사별 NF/RO 분리막 제품 종류의 개수를 살펴보면(Fig. 9), 일본 Toray사와 미국의 DOW사가 가장 많은 제품군을 보유하고 있으며, 다음으로 Hydranautics&Nitto사가 뒤를 잇고 있으며 이들 모두 PA 소재 제품만을 생산하고 있다. GE사의 경우는 PA 이외에도 CA (cellulose acetate)를 사용하고 있으며, 정확히 소재가 공개되지 않은 제품군도 상당히 많은 비율을 차지하고 있다. Nano H₂O 역시 PA 계열 소재를 사용하고 있으며, 특이하게도 Koch사의 경우는 PS 계열 분리막 소재의 비율이 더 높았다. 여기서도 압도적인 PA 소재 비율을 다시 한 번 확인할 수 있었으며, NF/RO 분리막 소재로 사용 가능한 소재가 얼마나 제한적인지 알 수 있었다.

3. 결론 및 시사점

위에서 살펴본 바와 같이 상용화되어 있는 수처리용 분리막 소재의 경우, MF, UF, NF/RO 등의 분리막 종류에 따른 명확한 경향 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 세 경우 모두 시장 지배적 위치를 갖는 고분자 소재가 존재하였으나, 특히 NF/RO 분리막 소재에서 PA의 비율은 전체 제품군의 85%로 가장 압도적인 것으로 나타났으며, 상위 3사 모두 PA만을 취급하고 있어 소재의 다양성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 반면에 UF 분리막 소재 시장에서는 PES가 높은 비율을 차지하긴 하였으나, 소재의 화학구조적 측면에서는 가장 다양한 제품군을 갖고 있었다. 특히, 많은 회사에서 주력 소재

단독으로 제품군을 형성하는 경향을 갖고 있었는데, 이러한 경향도 UF 분리막 소재 제조사에서 가장 약하게 나타나 같은 회사에서도 다양한 소재를 취급하는 경우가 많았다. MF 분리막 분야 소재 시장은 불소계 고분자 소재가 주를 이루고 있어 소재면에서의 다양성은 UF 분리막에서 보다 다소 부족하지만, 가장 많은 제조사들이 분포하고 있어 매우 치열한 시장 경쟁이 벌어지고 있는 것을 알 수 있었다. 국가별로 살펴보면, 전통적인 수처리 분리막 시장의 양대 강국인 미국과 일본이 가장 점유율을 갖고 있는 것을 다시 한 번 확인할 수 있었으며, 특히 NF/RO 시장은 미국 72%, 일본 28%로 시장을 양분하고 있었다. 수처리 분리막 소재 회사 중, Toray, Hydranautics&Nitto, GE사는 모든 분리막 종류의 시장에 다 진출하고 있으며 동시에 높은 시장 비중을 보여주고 있었다. 이러한 시장 동향은 수처리용 분리막 시장에 신규로 진출하기 위해 어떤 전략을 취해야 하는지를 시사하고 있다. 예를 들어, MF 분리막 시장의 경우 시장 지배적 위치에 있는 회사들의 경우 불소계 소재가 압도적인 비율을 갖고 있지만, 군소 업체의 경우 PVDF 이외의 소재를 사용하는 경우가 많았다. 이는 MF 분리막 시장에 진출하기 위해서는 신규 소재를 개발하여 기존의 시장 지배적 회사의 제품군과 직접적인 경쟁을 피하면서 틈새시장을 노리는 전략이 유효하다는 것을 의미한다. 다양한 소재들이 경쟁하고 있는 UF 분리막 분야의 경우, 다양한 화학구조가 가능한 비불소계 고분자 소재들이 주를 이루고 있어 신규 특허 출원 등이 상대적으로 용이하며, 따라서 신규 소재의 진입 장벽이 세 분야 중 가장 낮을 것으로 판단된다. 반면에 특정 소재 및 회사에 제품군이 집중된 NF/RO 분리막 소재 분야는 그만큼 제품 소재에 대한 기술 장벽이 높다는 것을 의미하며, 결론적으로 신규 시장 진입이 매우 어렵다는 것을 보여주고 있다. 따라서 신기술 개발에 막대한 노력이 들어가는 소재 기술의 측면을 고려하여 그만큼 충분하고 장기적인 투자가 기술개발에 투입되어야 이를 극복할 수 있을 것이다.

감 사

이 논문은 2017년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Reference

1. Y. H. Park and S. Y. Nam, "Characterization of water treatment membrane using various hydrophilic coating materials", *Membr. J.*, **27**, 60 (2017).
2. C. H. Woo, "Research trend of membrane for water treatment by analysis of patent and papers publication", *Appl. Chem. Eng.*, **28**, 410 (2017).
3. KMAC, Sejong Univ., Yooshin Co., "Trend analysis report: Establishment of overseas entry strategy of water treatment industry by target market", p. 139 (2017).
4. J. Lee, J. K. Lee, S. Uhm, and H. J. Lee, "Electrochemical technologies: Water treatment", *Appl. Chem. Eng.*, **22**, 235 (2011).
5. Y. J. Cho and J. W. Rhim, "Cleaning of the waste reverse osmosis membrane filters for the household water purifier and their performance enhancement study", *Membr. J.*, **27**, 232 (2017).
6. H. Jang, D. Kwon, and J. Kim, "Seawater desalination pretreatments and future challenges", *Membr. J.*, **25**, 301 (2015).
7. B. Nicolaisen, "Developments in membrane technology for water treatment", *Desalination*, **153**, 355 (2003).
8. C. O. Park and J. W. Rhim, "Preparation and performance of low pressure PVDF nano-composite hollow fiber membrane using hydrophilic polymer", *Membr. J.*, **28**, 361 (2018).
9. J.-H. Chung, K.-H. Choo, and H.-S. Park, "Low pressure hybrid membrane processes for drinking water treatment", *Membr. J.*, **17**, 161 (2007).
10. KMAC, "Report on overseas entry strategy of water treatment industry (USA, Canada, Colombia, Mexico)" (2017).
11. C.-H. Yun, J.-H. Kim, K. W. Lee, and S. H. Park, "Water treatment application of a large pore micro-filtration membrane and its problems", *Membr. J.*, **24**, 194 (2014).
12. J. W. Lee and S. Y. Nam, "Effect of coagulation heat capacity on the pvdf membrane via TIPS method", *Membr. J.*, **27**, 350 (2017).
13. J. W. Lee and S. Y. Nam, "Effect of heat capacity of coagulant on morphology of PVDF-silica mixture through tips process for the application of porous membrane", *Membr. J.*, **27**, 458 (2017).
14. E. Matthiasson, "The role of macromolecular adsorption in fouling of ultrafiltration membranes", *J. Membr. Sci.*, **16**, 23 (1983).
15. N. Kim and B. Jung, "Study on morphology control of polymeric membrane with clathrochelate metal complex", *Membr. J.*, **24**, 472 (2014).
16. S.-H. Lee, M.-S. Lee, and K.-H. Youm, "Preparation and characterization of mixed matrix membrane consisting of polyethersulfone and ZnO nanoparticles", *Membr. J.*, **26**, 463 (2016).
17. H. Jang, S. Kim, Y. Lee, and K.-H. Lee, "Progress of nanofiltration hollow fiber membrane", *Appl. Chem. Eng.*, **24**, 456 (2013).
18. Y.-N. Kwon, B.-M. Jun, S.-W. Han, N. T. P. Nga, H.-G. Park, and E.-T. Yun, "Chlorine disinfection in water treatment plants and its effects on polyamide membrane", *Membr. J.*, **24**, 88 (2014).
19. B.-H. Jeong, E. M. Hoek, Y. Yan, A. Subramani, X. Huang, G. Hurwitz, A. K. Ghosh, and A. Jawor, "Interfacial polymerization of thin film nanocomposites: A new concept for reverse osmosis membranes", *J. Membr. Sci.*, **294**, 1 (2007).