KEITI
Vol.38
2021년 3월 3주차

중국환경산업 주간기술동향

수오염방지

<KEITI 중국사무소 차목승 연구원>

수처리 분야의 한외여과막 응용방식 소개

▶ 개요

환경보호 문제는 지난 2012년 11월 중국 공산당 제18회 전국대표대회(中国共产党第十八次全国代表大会)에서 발표된 <인류 운명공동체(人类命运共同体)>에서 이념이 제시되었고, 그후 생태문명과 도시건설(生态文明城市建设)이 강화되면서 점차 사회 전반에 걸쳐 관심이 증가하게 되었다.

그 중 수자원을 보호하는 것은 인류 사회와 생명체를 유지하기 위해 가장 중요한 요소이다. 따라서 최근 수자원을 보호하고, 오염문제를 효율적으로 처리 가능한 기술 중 하나인 한외여과막(超滤膜, ultrafiltration membrane)[1]을 통해 수처리 분야에 어떻게 적용되고 있는지 알아보고자 한다.

일반적으로 한외여과막을 이용할 경우, 오염된 수체에서 바이러스, 콜로이드(胶质, colloid)[2], 부유물 등을 효과적으로 걸러내 수자원 보호 목적을 달성할 수 있다.

특히 한외여과막은 전통 생물법(生物法), 졸겔법(溶胶凝胶法, Sol-gel method)[3] 응집침전법(混凝沉淀法, coagulating sedimentation method)[4] 등 기술 대비 처리효율이 높고, 적용범위가 광범위하다. 또한 에너지 소모도 감소시킬 수 있다.

따라서 본 기술동향은 한외여과막을 적용하기 위해 각 수처리 분야(음용수처리·해수담화·오수처리·화학섬유 폐수처리 등)의 특징은 어떻게 되는지 살펴보고자 한다.

▶ 한외여과막 기술원리 및 주요특징

1) 기술원리

막을 이용한 분리기술 중 하나로 액체의 압력을 통해 저분자 상태의 용질(溶质, solute)[5]과 용제(溶剂, Solvent)[6]를 한외여과막에서 우선적으로 걸러내 비교적 높은 분자량을 가지는 불순물을 액체로부터 분리하는 것이다.

---

1) 한외여과막(超滤膜, ultrafiltration membrane) : 한외여과막은 정밀여과막과 역삼투막의 중간 정도에 해당하며 반투막을 이용하여 용액에 존재하는 화합물의 크기에 따라 분리하는 방법이다. 대상물질의 분자 크기가 0.005~0.5μm(300~500,000 Dalton) 정도를 분리한다. 한외여과막은 역삼투막처럼 극히 작고 치밀한 미세공극이 아니며, 다공성 정밀여과막처럼 세공을 현미경으로 관찰할 수 있는 크기도 아닌 중간적 공극인 10~500Å 범위의 세공 크기를 갖고 있다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*

2) 콜로이드(胶质, colloid) : 미립자가 기체 또는 액체 중에 분산된 상태로 되어 있는 전체이다. 보통의 분자나 이온보다 크고 지름이 1nm~1000nm 정도의 미립자가 기체 또는 액체 중에 분산된 상태를 콜로이드 상태라고, 콜로이드 상태로 되어 있는 전체를 콜로이드라고 한다. 생물체를 구성하고 있는 물질의 대부분이 콜로이드이다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*

3) 졸겔법(溶胶凝胶法, Sol-gel method) : 알콕시드 등을 가수분해하여 얻어지는 졸에서 겔을 거쳐 유리나 무기 산화물 분체를 조제하는 방법이다. 졸을 탈수·탈용매한 후, 용기에 넣고, 기판에 도포하여 섬유상으로 방사(紡糸)하는 등의 방법으로 건조 겔로 하여 이것을 소결한다. 졸겔법의 장점은 종래 법으로는 얻을 수 없는 화학조성의 것이 얻어지고, 원자의 오더로 균질한 고체가 얻어지며, 고순도의 것이 얻어진다. 입자 형태를 제어할 수 있는(초미립자의 작성), 비교적 저온의 공정 등이다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*

4) 응집침전법(混凝沉淀法, coagulating sedimentation method) : 용액에 물리화학적인 조작을 가해 미세입자를 합체성장시켜 침전제거하는 고액분리방식이다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.16.검색)*

5) 용질(溶质, solute) : 용매에 용해하여 용액을 만드는 물질이다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*

6) 용제(溶剂, Solvent) : 하나의 용액에서 그 용액을 만들기 위한 물리적 조작(용해, 추출, 흡수, 세정 등)의 대상이 되는 성분, 즉 녹인 성분을 용질이라 하고 이것에 대해 용질을 녹이는 데 사용한 성분을 용제라고 한다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*

ⓒ2021, KEITI, All Rights Reserved.

그렇기 때문에 한외여과막 기술의 주요 핵심은 오수를 정화하는 여과필터이며, 이와 더불어 한외여과막 표층(面层, surface course)[7]에 있는 일부 화학원소의 정전기 상호작용(静电作用, electrostatic interaction)[8] 등을 이용하여 오염물질을 제거하기도 한다.

2) 주요특징

한외여과막은 정밀여과막(Micro-Filtration membrane), 나노여과막(Nano-Filtration membrane) 사이에 있는 막 분리 기술로 물리화학적(내열성, 약제내성[9] 등) 성질이 강하다. 일반적으로 한외여과막의 공경은 0.002~0.1μm로 정밀여과막(공경 0.1~10μm) 보다 공경 크기가 작아 미세 오염물질을 처리하는데 용이하다. 또한 오수에 대한 분리·정화·농축이 뛰어나고, 불순물을 제거하기 때문에 정밀여과막보다 처리효과가 우수하다. *[정밀여과막·나노여과막 관련 p.5 참고]*

한외여과막은 전통적인 생물법, 졸겔법, 응집침전법 등 기술에 비해 오수에 있는 미세 세균과 조류(藻类, algae)[10]에 있는 유해생물을 효과적으로 소멸시키기 때문에 처리효율이 높다. 또한 수질오염 정화에 대한 요구사항을 보장한다. 특히 약품의 사용량이 낮기 때문에 수자원 정화 과정에서 2차 오염을 유발하지 않는다. 아울러 한외여과막은 설비에 있는 '열림(打开)'과 '일시중지(暂停)' 2가지 버튼을 이용하여 오염물질을 정화하기 때문에 조작이 간편하다.

여과필터에 산성과 알칼리성 성질이 안정적으로 분포하고 있기 때문에 다양한 산업에서 한외여과막을 이용하여 오수처리가 가능하다. 이밖에 고온에 강한 성질을 가지고 있어 150°C 이상 여과 온도에도 견딜 수 있다. 그렇기 때문에 수자원에 있는 유해물질에 대한 살균효과가 뛰어하고, 오수에 있는 콜로이드, 바이러스 등을 분명하게 제거하여 정화효율이 높다.

현재 중국 수자원은 오염이 심각하고, 수중식물과 조류 등에 미세 세균이 많다. 따라서 한외여과막을 사용하면 이러한 미세 세균을 박멸하고, 유기물질을 효과적으로 제거할 수 있기 때문에 최근 오수처리 분야에서 응용범위가 갈수록 확대되고 있는 추세이다.

표 1. 한외여과막 기술원리 및 주요특징

구분	내용
기술원리	· 여과필터를 이용한 분리기술 중 하나로 액체의 압력을 통해 저분자량의 용질·용매를 한쪽 필터에서 반대편 필터로 운반하여 필터 안에서 비교적 높은 분자량을 가지도록 하여 불순물을 액체로부터 분리함
주요특징	· 전통적 생물법, 졸겔법, 응집침전법 등 대비 높은 처리효율 및 수질정화 요구사항 보장 · 설비의 조작이 간단함 · 화학적 성질이 우수하며, 산성과 알칼리성 성질이 안정적으로 분포하여 응용범위가 광범위함 · 고온에 강한 성능으로 수자원의 살균효과 및 콜로이드, 부유물 등 제거 우수

자료 : 북극성수처리망 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 작성

7) 표층(面层, surface course) : 아스팔트 포장의 최상부층으로 교통 하중을 분산하여 하부에 전하는 구실 외에 안전하고 쾌적한 주행을 할 수 있도록 적당한 미끄럼 저항성과 평탄성이 요구된다. 일반적으로 치밀하고 불투수성이지만 기능을 부가한 배수성 포장도 있다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*

8) 정전기 상호작용(静电作用, electrostatic interaction) : 화학결합과 이온결합으로 형성하는 본질이며, 정전 인력(引力)과 정전 척력(斥力)을 포함한다. 이온결합은 원자의 득실 후 생성되는 음양 이온 간 정전기를 작용하여 형성된 화학결합이다.

9) 약제내성(耐药性, drug resistance) : 균이 약물에 대하여 가지는 저항현상이다. 세균이 각종 약제에 대하여 저항성이 강한 균주(菌株)로 변했을 경우에 그 세균은 내성 또는 약제내성(藥劑耐性)을 가졌다고 한다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*

10) 조류(藻类, algae) : 물속에서 생활을 하는 단순한 형태의 식물분류군이다. / 출처 : *네이버 지식백과 발췌(2021.3.16.검색)*

ⓒ2021, KEITI, All Rights Reserved.

▶ 한외여과막을 사용하기 위한 각 수처리 분야 특징

1) 음용수처리(饮水处理)

급격한 도시화로 인해 도시 인구가 많아지면서 음용수 공급을 보장하는 것은 도시 발전을 결정하는 중요한 문제이다.

이에 따라 물 사용량과 오수(폐수 포함) 발생량이 증가하여 도시의 수자원 재이용율 향상과 오수 배출 감소가 시급한 과제이다. 특히 중국은 담수(淡水, freshwater)[11] 자원이 많이 부족하기 때문에 수자원 정화에 대한 수요가 갈수록 높아지고 있다. 그렇기 때문에 수자원 중의 유해 물질과 불순물 함량을 낮추기 위해 보다 높은 수준의 정화기술을 요구하고 있다.

한외여과막의 특징(물리화학적 성질과 분리기능)에 따라 고온에 강하며 약품에 대한 저항력이 높다. 또한 산성과 알칼리성의 성질도 안정적으로 유지하기 때문에 유해물질이나 부유물 등을 효과적으로 제거하게 된다. 이로 인해 도시에 안전한 식수를 공급할 수 있다.

2) 해수담수화

전 세계적으로 담수는 굉장히 부족한 편이지만, 해수 자원(海水资源)은 지구의 약 71%를 차지하고 있어 매우 풍부하다. 이에 해수담수화 처리는 부족한 담수 문제를 해결할 수 있는 중요한 방법 중 하나이다.

동 방법은 해수 자원을 직접적으로 음용할 수 있는 담수로 정화하는 복잡하고 장기적인 과정이다. 특히 과학기술의 빠른 발전에 따라 중국 해수담수화 기술은 점차 성숙되고 있다.

예를 들어, 전기삼투기술(电渗技术)을 이용하면 단번에 바닷물을 담수화할 수 있지만, 에너지 소모량이 매우 크다. 반면에 한외여과막은 비교적 강한 분리효율을 통해 해수담수화 과정에서 발생하는 역삼투(反渗透, reverse osmosis)[12] 문제를 효과적으로 제어한다. 또한 해수담수화의 효율성 향상과 에너지 소모를 감소시킬 수 있다. 이로 인해 향후 한외여과막을 이용하여 해수담수화에 적용시키는 응용범위가 확대될 것으로 전망된다.

3) 생활 오수처리(生活污水处理)

앞서 언급한 도시화 문제로 인해 음용수 등 수자원은 부족해지고, 반대로 오수 배출량은 급증하고 있다. 따라서 많은 양의 오수를 어떻게 처리할지가 중요한 문제이다.

도시 오수는 배출량이 많고, 수체에 지방류 물질(脂肪类物质), 유기물질, 질병을 유발하는 미세균 등을 대량 함유하고 있다. 이로 인해 주변 생태환경과 주민의 건강에 심각한 영향을 미치기 때문에 반드시 오수처리 후 배출해야 한다.

11) 담수(淡水, freshwater) : 염수에 대응하여 염분의 함유량이 적은 보통의 육수이다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*
12) 역삼투(反渗透, reverse osmosis) : 역삼투는 삼투압보다 높은 압력을 가할 때, 용액으로부터 순수한 용매가 반투막을 통해 빠져 나오는 현상이다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*

ⓒ2021, KEITI, All Rights Reserved.

이에 한외여과막을 이용하여 수체 중에 있는 유기물질과 미세 세균을 분리하여 오수를 정화할 수 있다. 또한 도시 오수 중 총인(TP), 총질소(TN), 염소이온, 화학적 산소요구량(COD), 총용존 고형물(溶解性总固体, total dissolved solids)[13] 등을 여과필터를 통해 처리하기 때문에 유출수는 균일하고 안정적으로 배출이 가능하다.

4) 화학섬유 폐수처리

화학섬유 공업폐수는 다양한 성분을 함유하고 있는 것이 특징이다. 특히 염료폐수는 배출량이 많고, 농도·색도·독성물질 함량이 높아 관리하기 어려운 공업폐수 중 하나이다.

라놀린(羊毛脂, lanoline)[14] 폐수는 화학섬유 공업에서 오염이 가장 심한 폐수이며, 부유물·유기물질·합성세제 등 다양한 성분이 대량으로 포함되어 있다. 따라서 전통적인 방식으로 처리하기에 쉽지 않기 때문에 한외여과막과 전처리 기술 등을 결합하여 처리하고 있다.

표 2. 한외여과막 응용방식

구분	특징
음용수처리	· 담수자원이 부족하기 때문에 순수 수자원에 대한 수요가 높음. 이에 따라 불순물과 유해물질을 감소시킬 수 있는 높은 수준의 정화기술 요구 · 한외여과막은 고온에 강하고 약품에 대한 저항력이 높은 특징으로 음용수 처리에 다양하게 적용 가능
해수담수화	· 일반적으로 전기삼투기술을 이용하여 바닷물을 담수처리 가능함. 하지만 에너지 소모량이 많음 · 한외여과막의 강한 분리성질을 이용하여 역삼투 문제를 효과적으로 제어가능함. 아울러 해수담수화의 효율성 제고 및 에너지 소모 절감 가능
오수처리	· 도시 오수는 배출량이 많고 수체에 유기물질, 불순물, 오염물질 등 다양하게 존재하고 있어 반드시 오수처리 후 배출해야함 · 한외여과막을 이용하여 수체에 있는 다양한 오염물질 등을 제거하여 유출수가 안정적인 배출이 가능함
화학섬유 폐수처리	· 염료폐수는 배출량이 많고 농도, 색도, 독성이 높아 관리하기 어려운 폐수로 전통적인 방법으로 처리하기 쉽지 않음 · 가장 오염이 심각한 라놀린 폐수처리를 위해 전처리기술과 한외여과막 등을 결합하여 폐수 중의 가치 있는 자원을 회수함

자료 : 북극성수처리망 자료를 바탕으로 KEITI 중국사무소 작성

▶ 시사점

이와 같이 담수자원을 보장하는 것은 인류의 생존을 유지하는 기본 요소 중 하나로 사회·경제 발전에 비교적 큰 영향을 미치므로, 이를 어떻게 해결하느냐가 중요하다.

한외여과막은 물리화학적 반응과 분리효과가 뛰어나 비교적 고온에 강하고, 약품에 대한 저항력이 높다. 아울러 안정적인 산성과 알칼리성 성질을 보장하여 오수 중의 부유물, 유기물질, 바이러스 등 제거에 우수한 효과를 보이고 있다. 따라서 향후 그 응용범위가 더욱 다양하게 적용될 것으로 전망된다.

출처 : 북극성수처리망(2021.3.12.발표), http://huanbao.bjx.com.cn/news/20210312/1141308.shtml, 2021.3.16.접속
북극성수처리망(2019.4.4.발표), http://huanbao.bjx.com.cn/news/20190404/973052.shtml, 2021.3.16.접속

※ 기술용어 번역·해석이 일부 상이할 수 있으니 반드시 중문본을 확인하시기 바랍니다.

13) 총용존 고형물(溶解性总固体, total dissolved solids) : 시료 물을 거름종이로 거른 액 가운데서 물을 제외한 나머지 부분이다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.15.검색)*
14) 라놀린(羊毛脂, lanoline) : 모방적의 제조과정에서 생기는 부산물 양모지의 22~25% 함수물이다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2021.3.16.검색)*

ⓒ2021, KEITI, All Rights Reserved.

▶ (참고자료) 막기술의 응용방법 및 주요특징

일반적으로 막기술은 정밀여과막(微濾膜, Micro-Filtration membrane), 한외여과막(超濾膜, Ultra-Filtration membrane), 나노여과막(纳濾膜, Nano-Filtration membrane), 역삼투막(反渗透膜, Reverse Osmosis membrane) 기술 등을 결합하여 사용하고 있다.

<표 3. 막기술 주요특징>

구분	분획분자량(Dalton)[15]	주요 특징
정밀여과막 (MF)	>100,000	· 공경 0.1~10μm 크기의 고체 미립자와 미세 세균을 걸러냄 · 타 막기술 대비 오염물질 제거 효과 비교적 높고 응용범위 또한 광범위함
한외여과막 (UF)	10,000~100,000	· 공경 0.002~0.1μm이며, 오수처리 효과가 높음 · 타 막기술 대비 고체 불순물 분리시켜 세균, 조류 미생물을 효과적으로 소멸시키고 산화제로 생장속도를 제어 가능함
나노여과막 (NF)	100~1,000	· 공경 0.001~0.002μm이며, 한외여과막과 역삼투막의 단점 보완 · 분리성이 좋고 작동압력이 낮아 화학공업폐수를 자원화 처리 가능하며, 처리후 재이용이 가능
역삼투막 (RO)	>100	· 공경 0.0004~0.0006μm이며, 주로 선택적 삼투방식 적용 · 막분리 과정은 삼투, 역삼투, 삼투평형 3단계로 진행

자료 : 중국오수처리공정망 자료 KEITI 중국사무소 재구성

1) **(정밀여과막)** 일반적으로 정밀여과막(Micro-Filtration membrane)의 원리는 주로 미세한 구멍으로 여과시키는 패턴이며, 체구멍(sieve aperture, 筛孔)을 이용하여 공업폐수에 있는 0.1~10μm 크기의 고체 미립자와 미세 세균을 걸러낸다. 또한 동 기술은 타 막기술에 비해 오염물질 제거 효과가 비교적 높아 반도체 공업폐수처리 등 광범위하게 적용되고 있다.

   정밀여과막 기술은 생산원가를 낮춰 기업에 경제성 효과를 제공하며, 처리효과 또한 분명하게 나타나고 있다. 그 외, 정밀여과막 기술의 응용방식은 유기물과 무기물에 따라 구분되며, 또한 생물처리 기술과 유기적 결합을 통해 오수처리 효율을 더욱 향상시킬 수 있다.

2) **(한외여과막)** 정밀여과막 기술과 비교하였을 때, 한외여과막(Ultra-Filtration membrane) 기술의 공경은 0.002~0.1μm로 크기를 더 작게 하여 미세 오염물질을 걸러낼 수 있다.

15) 분획분자량(MWCO, molecular weight cutoff) : 한외 여과막이 가지고 있는 물질의 여과 성능을 나타내는 지표값으로 단위는 달톤(Dalton)이다. 여과막 내의 세밀한 구멍의 크기를 직접 측정하기 어렵기 때문에 전문적인 장비를 이용하여 측정한 다음, 이를 분자량의 크기로 나타낸다. 그러나 시험 조건에 의해서 측정값이 변할 수 있기 때문에 여과막의 절대적인 성능을 나타내는 것은 아니다. / *출처 : 네이버 국어사전 발췌(2020.8.31.검색)*

ⓒ2021, KEITI, All Rights Reserved.

공업폐수에 대해 분리, 정화, 농축을 통해 오수 중의 고체 불순물을 분리시켜, 오수처리 효과가 정밀여과막보다 우수하다.

또한 타 막기술에 비해 오수에 있는 미세 세균과 조류(藻类, algae) 미생물을 효과적으로 소멸시키고 산화제를 이용하여 미생물의 생장속도도 제어할 수 있다. 물의 탁도(浊度, turbidity)[16]를 낮춰 오수처리의 효율을 높일 수 있다.

3) **(나노여과막)** 공업에서 배출하는 오수를 처리하기 위해 주로 사용되는 막기술인 한외여과막과 역삼투막의 단점을 보완한 기술이 나노여과막(Nano-Filtration membrane)이다.

동 기술의 공경은 0.001~0.002μm이며, 오수에 대한 분리성이 좋고, 작동 압력이 낮아 공업폐수에 대한 자원화 처리가 가능하다. 또한 응용과정에서 공업폐수의 3차 처리에 효과적이며, 이를 통해 배출표준에 부합할 수 있고 아울러 오수의 재이용이 가능한 특징이 있다.

4) **(역삼투막)** 기술의 응용원리는 주로 물을 용매로 하여 선택적 삼투방식을 이용하며, 일반적으로 공경은 0.0004~0.0006μm이다.

공업폐수에서 이온이나 소분자 물질의 기계적 절류(截留, interception)[17]를 통해 분리, 정화하며, 액체 혼합물을 분리할 때에는 막의 양쪽에 존재하는 정적(静态) 압력이 추진력으로 사용된다.

막분리를 완료하는 과정은 전통적인 기술에 비해 삼투, 역삼투, 삼투평형(渗透平衡, osmotic equilibrium)[18] 3단계로 진행된다.

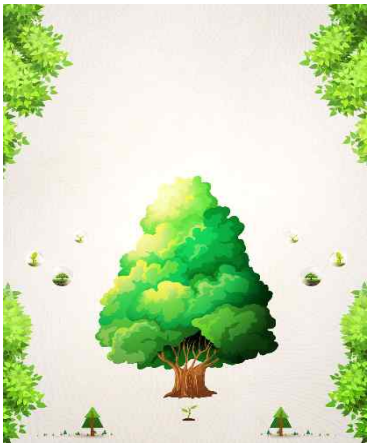
함수(咸水)와 정제수(纯净水)의 경우, 삼투 구간은 일반적으로 정제수가 함수의 방향으로 흘러가면서 함수의 농도가 점차 낮아지는 것을 의미한다.

반면에 역삼투 구간은 함수가 정제수로 스며드는 과정을 통해 함수의 농도가 낮아지는 것을 뜻한다. 일정 시점이 지난 후, 정제수의 농도가 함수 농도보다 높아지면, 함수가 다시 반대 방향으로 스며들게 되면서 삼투평형을 진행하고, 이때 역삼투막을 이용해 정제수와 함수를 분리시켜 양쪽의 농도를 동일하게 한다.

출처 : KEITI 중국사무소 주간기술동향 Vol.15(화학공업 폐수처리에 응용되는 막기술 소개) 발췌(2020.9.1.배포)

16) 탁도(浊度, turbidity) : 물 속에 현탁하는 불순물에 의해 물이 흐려진 정도를 나타내는 척도를 뜻한다. / 출처 : *네이버 지시백과 발췌(2020.8.31.검색)*
17) 절류(截留, interception) : 딴 곳으로 보내거나 보내야 할 자금·물자 또는 인원을 도중에서 차단하여 억류하다. / *출처 : 네이버 국어사전 발췌(2020.8.31.검색)*
18) 삼투평형(渗透平衡, osmotic equilibrium) : 삼투현상에 의해 막의 양쪽의 농도가 균형을 이룬 상태이다. / *출처 : 네이버 지식백과 발췌(2020.8.31.검색)*

ⓒ2021, KEITI, All Rights Reserved.



중국환경산업 주간기술동향

발행

2021년 3월 16일 KEITI 중국사무소

기획총괄

▶ 박재현 소장(korea@keiti.re.kr)

주저자

▷ 차목승 연구원(cms0522@keiti.re.kr)

공동저자

▷ 윤영근 연구원(ygyin0919@keiti.re.kr)
▷ 김종균 연구원(jaykim@keiti.re.kr)
▷ 임승택 연구원(stlim@keiti.re.kr)
▷ 성소묘 연구원(miao2013@keiti.re.kr)

중국환경산업 주간기술동향은 매주 화요일 발행됩니다.
문의 : +86-10-8591-0997~8

ⓒ2021, KEITI, All Rights Reserved.