

총 설

특허 및 논문 분석을 통한 축전식 탈염(CDI) 기술 연구

손원근 · 김태일 · 한혜정 · 강경석[†]

(주)시온텍
305-500 대전시 유성구 용산동 530
(2011년 2월 1일 접수, 2011년 2월 24일 채택)

The Study of Capacitive Deionization Technology by the Analysis of Patents and Papers

Won Keun Son, Tae Il Kim, Hye Jung Han and Kyung Seok Kang[†]

Siontech Inc. 530 Yongsan-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-500, Korea
(Received 1 February 2011; accepted 24 February 2011)

요 약

축전식 탈염(CDI)은 높은 비표면적을 갖는 전극에 전기화학적 원리로 이온을 흡착하여 제거하는 기술이다. CDI 기술은 낮은 전위에서 작동하기 때문에 에너지 소비가 작고, 전극을 재생할 때 산, 염기 혹은 염을 사용하지 않기 때문에 환경친화적인 기술이다. 본 연구에서 우리는 CDI 기술의 동향을 알아보기 위해 특허와 논문을 조사했다. 데이터베이스는 WIPSA와 Scopus를 사용하여 얻었으며 전극기술, 모듈기술 및 응용기술에 따라 조사되었다. CDI의 기술 동향은 연도별, 국가별, 출원인별, 기술별로 조사되었다.

Abstract – Capacitive deionization(CDI) is an ion removal technology that employs the basic electrochemical principle of absorbing ions in high surface area electrode. CDI technology reduce power consumption because it operates at lower electrode potential(about 1~2 V). Also, it is an environmentally friendly technology because no acid, base, or salts are required to generate the surface. In this study, we searched the patents and papers to investigate the trend of CDI technologies. Database was collected from WIPSA and Scopus site and was investigated according to electrode, module and application technology of CDI. The technology trend of CDI was analyzed based on patent application year, countries, main applications and technologies.

Key words: Capacitive Deionization, Electric Adsorption and Desorption, Desalination, Patents and Papers Analysis

1. 서 론

온실가스 문제 해결에 대한 관심이 고조됨에 따라 전 세계적으로 에코 테크놀로지 개발과 상용화에 대한 노력이 가시화 되고 있다. 특히 이상기후에 따른 가뭄 문제로 음용수에 대한 중요성이 대두되면서 탈염기술에 대한 연구가 많이 추진되고 있다. 탈염기술은 보일러 수 제조, 초순수 제조, 발전소의 냉각수, 지하수 중의 환경오염물질 제거 등 다양한 산업공정에서 광범위하게 요구되는 기술이다[1,2].

화석연료의 수급 불균형으로 세계 에너지 가격이 급등하는 상황에서 에너지 자원이 부족한 우리나라에서 에너지 문제를 해결할 수 있는 방안은 지속가능한 대체 에너지원의 확보와 함께 기존의 산업 공정들을 에너지 저감형 기술로 전환하는 것이 절실히 요구되며 탈염기술에서도 에너지를 획기적으로 절감할 수 있는 새로운 개념의 기술 개발이 요구되고 있다.

현재 탈염기술 중에서 이온성 물질을 제거하는 방법으로 이온교환법이 널리 사용되고 있다. 이 방법은 대부분의 이온성 물질들을 효과적이면서도 경제적으로 분리할 수 있다는 장점을 갖고 있지만 이온교환이 완료된 수지를 재생하는 과정에서 다량의 산, 염기, 또는 고농도의 염 폐액이 발생한다는 큰 단점을 갖고 있다[3]. 이온교환법 이외에도 역삼투막법[4,5], 전기투석법[6] 등의 분리막 기술이 적용되고 있지만 이들 공정들은 막의 주기적인 교체, 막 오염으로 인한 처리수의 급격한 감소, 운전과정에서 에너지 소모가 증가하는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 새로운 탈염기술로서 전기화학적 방법을 이용한 축전식 탈염(capacitive deionization, CDI) 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[7-12].

CDI 기술은 기존의 흡착과 이온교환기구에 전기적인 구동력이 부가된 기술로서 전극전위를 변화시킴으로써 흡착과 탈착을 가역적으로 수행할 수 있는 탈염기술이다. 또한 CDI 기술은 전위를 인가했을 때 전극표면의 전기 이중층에서 전기적인 인력에 의한 이온들의 흡착 반응을 이용하기 때문에 낮은 전위(약 1~2 V)에서 작동하고 그 결과 에너지 소비량이 다른 분리 공정에 비해 월등히 낮아 저에너지 소모

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: kskang@siontech.com

[‡]이 논문은 KAIST 입전기 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

형 차세대 탈염기술로 평가되고 있다. 이러한 기술적, 경제적 장점에도 불구하고 CDI 기술에 대한 적용이 미흡한 이유는 전기흡착에 대한 연구가 비교적 최근에 시작되었으며 이온의 제거효율이 높지 않고, 제어기술에 대한 경험부족으로 쉽게 적용할 수 없었기 때문으로 생각된다.

그러므로 본 논문에서는 축전식 탈염기술에 대한 특허와 논문의 분석을 통해 기술동향을 파악하고자 하였다.

2. CDI 기술의 원리

축전식 탈염기술은 전기흡착 기술의 일종으로 전극에 전위를 인가했을 때 전극 계면에 형성되는 전기 이중층에서의 흡착반응을 이용하여 이온성 물질을 제거하는 기술로 Fig. 1에 나타내었다.

CDI 전극은 Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 비표면적이 넓은 활성탄소 전극을 사용하고 있으며, 약 1.4 V의 직류전원을 인가하면 물속에 용존되어 있는 양이온은 음전극의 탄소표면에 흡착되고 음이온은 양전극의 탄소표면에 흡착되어 제거되는 기술로 전기투석과 근본적으로 다른 새로운 탈염기술이다.

전극 표면에 포화흡착을 하게 되면 더 이상 이온을 흡착할 수 없어 재생을 하게 되며, 이때 전극을 단락(Short)시키거나 역 전위를 인가하게 된다. Fig. 2(b)에 나타난 바와 같이 전극에 이온들을 흡착하고 있으므로 단락을 하게 되면 내부 전위에 의해 이온들이 탈착하게 되며, 또한 역 전위를 인가하게 되면 쉽게 탈착한다.

CDI 기술에서 음극에 양이온을 선택적으로 통과시킬 수 있는 양이온교환막을 사용하고 양극에 음이온을 선택적으로 통과시킬 수 있는 음이온교환막을 사용하게 되면 전극의 효율을 향상시킬 수 있다.

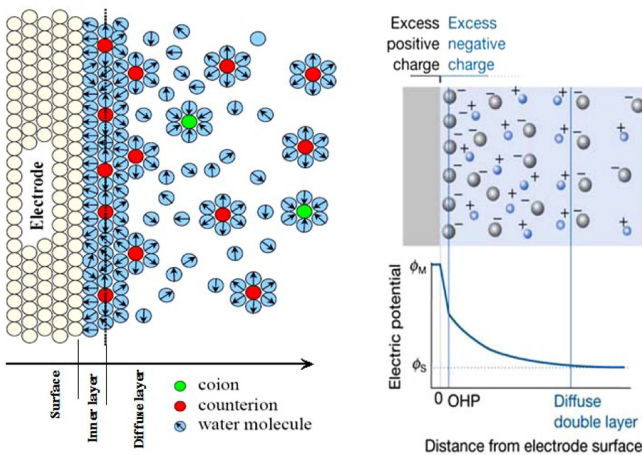


Fig. 1. Electrical Double layer formation by coupling between electrode and ions.

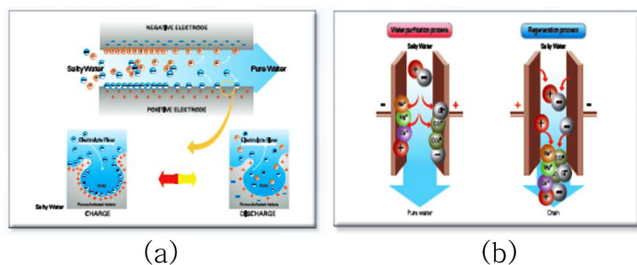


Fig. 2. The principle of capacitive deionization.

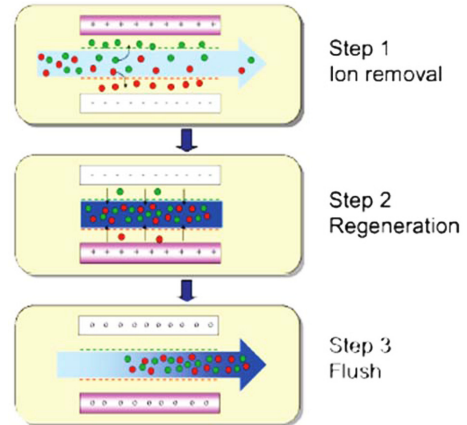


Fig. 3. CDI process.

이는 전극이 포화 흡착된 후 재생할 때 역전위에 의한 탈착된 이온들이 반대전극에 흡착되는 것을 이온교환막이 막아주기 때문에 완벽한 재생이 가능하므로 전극의 효율이 향상되게 된다.

CDI 기술의 운전공정은 3단계로 나누어 설명할 수 있다. 첫 번째는 흡착단계로 전극에 전위를 인가했을 때 이온들을 포함하고 있는 물이 이온교환막 사이를 통과하는 동안 이온들은 반대전하를 갖는 활성탄소 전극에 흡착되어 저장되는 단계를 말하고 두 번째는 재생 단계로 역 전위를 인가하게 되면 활성탄소 전극에 흡착된 이온들이 탈착하게 되며 세 번째는 배출단계로 재생하는 동안 분리막 사이로 탈착된 이온들을 배출하는 단계로 구성되어 있으며, Fig. 3에 나타내었다.

CDI 기술은 재생할 때 화학약품을 사용하지 않기 때문에 2차 오염물질을 발생하지 않고, 전기적인 조작에 의해 쉽게 흡탈착을 할 수 있기 때문에 공정운전이 쉬운 특징을 갖고 있다.

3. 기술 검색대상 및 분석기준

3-1. 특허 및 논문 검색대상

CDI 기술 관련 특허와 논문을 분석하기 위하여 관련된 모든 특허와 논문을 검색하여 분석하는 것이 이상적이지만 모든 것을 수집하는 데는 한계가 있으므로 우선자료의 검색 범위를 설정할 필요가 있다. 본 논문에서는 2010년 2월까지의 기간에 등록 또는 공개된 특허와 발표된 논문을 수집 대상으로 하였으며 Table 1과 같은 검색 DB를 사용하여 진행하였다. 논문은 Scopus DB를 사용하였으며 특허는 Wips DB를 사용하여 한국, 미국, 일본, 유럽연합, PCT 특허로 제한하였다. 본 연구에서는 검색된 특허와 논문의 초록 및 요약문을 검토하여 선정된 특허 85건과 논문 110건을 대상으로 분석하였다.

특허의 경우 출원 후 1년 6개월 이후에 공개되는 특허제도의 특성상 2008년도부터 미공개특허가 존재하므로 분석결과의 유효기간은 2007년까지로 볼 수 있다.

Table 1. Main content of Patent and Paper analysis

	Patent	Paper
Database Program	Wips	Scopus
Analysis Data	85	110
Analysis period	~2010. 02	

Table 2. Classification of CDI technology

Technology	Classification	Technical Description
CDI technology	Electrode	Electrode production technology-Electrode production, Reforming, Active material
	Module	Module Design
	Applications	Water Softener, Desalination unit, Device applications such as white appliances, etc.

3-2. 데이터 구축

DB구축은 CDI 기술과 관련된 키워드의 조합으로 조사되었으며, Table 2와 같이 전극기술, 모듈기술, 응용 기술 등 3개의 기술 분야로 나누어 분석하였다. 기술 간의 중복은 최대한 배제하였으며 집중적으로 언급된 기술을 기준으로 분류하였다.

4. CDI 기술 관련 특허 및 논문의 동향 분석

4-1. 연도별 동향

CDI 기술의 연도별 특허출원건수 및 연도별 논문건수를 Fig. 4에 나타냈다.

1992년 CDI 기술 관련 논문이 처음으로 발표되었으며 1993년 특허가 처음으로 출원되었다. 2000년대 이후 특허 출원건수 및 논문 발표건수가 증가하는 경향을 보이며 본격적인 특허활동 및 논문활동이 이루어진 것으로 나타났으며 2007년부터 큰 폭으로 증가한 것으로 나타나 최근구간에서 급격한 성장세를 보이는 것으로 판단된다.

특허 출원 초기인 1993년~1999년까지 California 대학은 CDI 기술에 관한 특허 11건을 지속적으로 출원한 것으로 나타났다. 가장 활발한 특허활동을 보인 2007년의 경우 한국의 삼성전자가 9건의 특허를 집중적으로 출원한 것으로 나타났다. 2008년 이후 구간에서 특허수가 감소하는 경향을 보이는 것은 미공개 또는 심사 중인 데이터에 의한 것으로 판단되며 이를 감안한다면 특허출원은 지속적으로 증가세를 보일 것으로 예상된다.

논문 발표 초기인 1995년~1998년까지 미국의 Lawrence Livermore National Lab은 8건의 논문을 발표한 것으로 나타났으며 가장 최근구간인 2009년 이후 발표된 논문을 살펴보면 이스라엘의 Bar-Ilan 대학과 한국의 공주대학교 등의 논문발표건수가 높은 것으로 나타났다.

4-2. 국가별 동향

Fig. 5는 특허의 출원인 국적별 특허출원건수 및 논문의 저자 국적별 논문 건수를 나타낸 그래프이다.

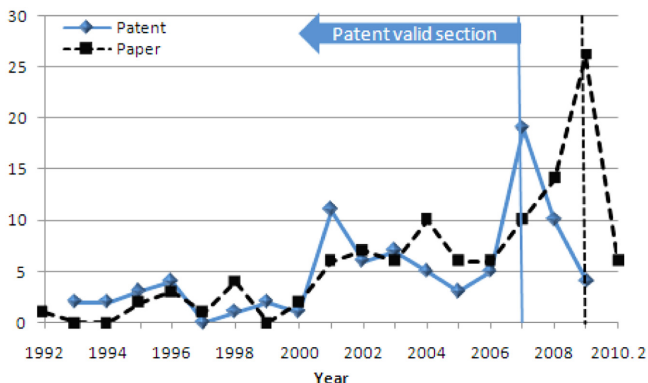


Fig. 4. Trend of the applied patents & paper by the year.

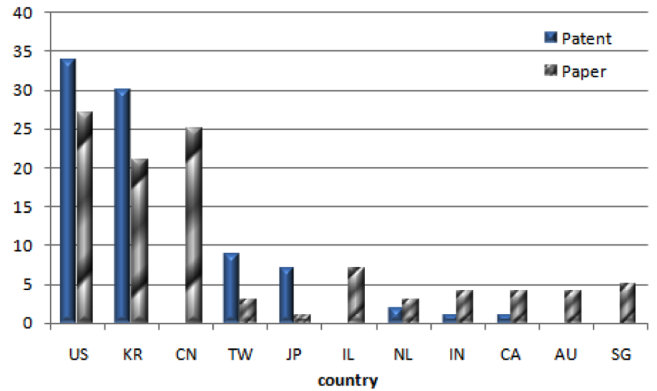


Fig. 5. The numbers of patent & paper by the country.

미국이 특허와 논문 모두에서 가장 높은 점유율을 보이며 특허가 34건으로 39.1%의 점유율을 논문이 27건으로 22.5%의 점유율을 보이고 있다. 한국은 2위로 나타나며 특허와 논문이 각각 30건, 21건으로 미국과 양적인 측면에서는 격차가 크게 나타나지 않고 있는 것으로 나타났다. 중국은 논문발표만이 조사되었는데 이는 분석대상국가가 미국, 일본, 한국, 유럽연합 PCT로 한정되어 자국 내 특허활동은 배제된 결과이다. 대만, 일본이 CDI 관련 10건 내외의 특허출원을 하였다.

일본에 비하여 미국과 한국의 특허 및 논문 활동이 두드러지는 것으로 나타났으며 중국의 논문건수가 25건으로 나타나 CDI 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 것으로 판단된다.

4-3. 주요 출원인

Fig. 6은 특허와 논문으로부터 도출된 주요 출원인 & 저자소속기관(top 10) 현황을 나타낸 그래프이다.

California 대학이 특허 15건, 논문 1건으로 가장 많은 실적을 발표하였으며 그 뒤로 삼성전자가 특허 12건, 논문 1건으로 나타났다.

상위 10위 중 한국국적 소속이 5개 기관(삼성전자, KIST, 한국전력공사, 공주대학교, 한국원자력연구소)로 나타나 이들 기업 및 대학, 연구기관들이 CDI 기술을 주도하고 있는 것으로 판단된다. 미국국적 소속으로는 California 대학 외 2개 기관(Lawrence Livermore National Lab., ABB Power T&D), 이스라엘국적 소속으로는 Bar-Ilan 대학, 중국국적 소속으로는 East China Normal 대학이 주요출원인 & 기관으로 파악된다.

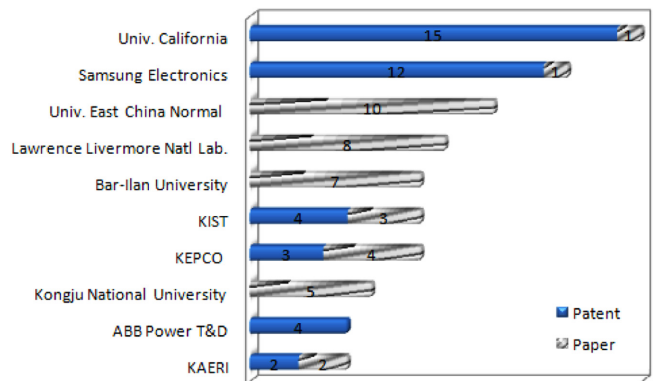


Fig. 6. The numbers of patent & paper by major applicants & affiliation.

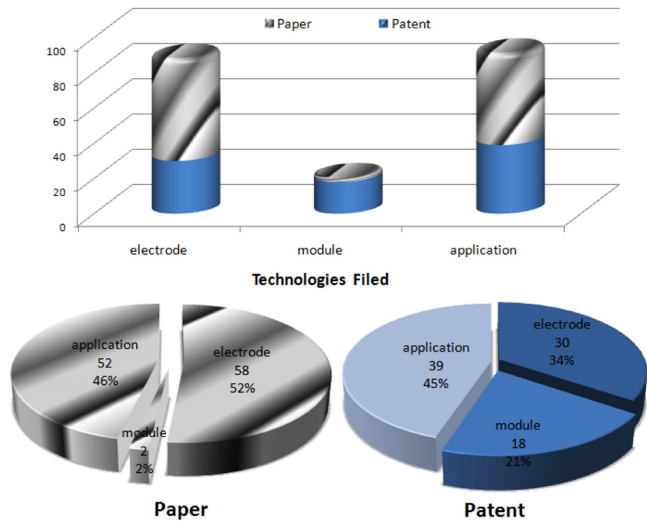


Fig. 7. The numbers and percentage of Patent & Paper for detailed technologies.

4.4. 기술별 동향

Fig. 7는 CDI 분야의 특허 및 논문의 기술별 건수 및 점유율을 나타낸 그래프이다.

특허 및 논문의 기술별 건수를 살펴보면 응용기술이 91건으로 가장 많았으며 전극제조 기술이 88건, 모듈관련 기술은 20건으로 나타났다.

특히의 경우 응용 기술이 45%(39건), 전극제조 기술이 34%(30건), 모듈기술이 21%(18건) 순으로 나타났으며 논문은 특허와 달리 전극제조 기술이 52%(58건)로 과반 수 이상을 나타내며

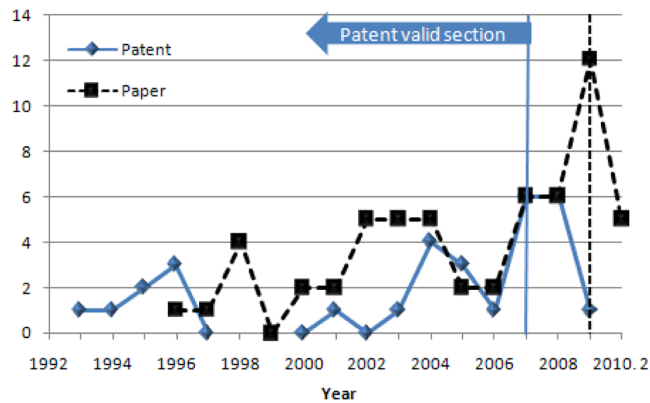


Fig. 8. The patent & paper trends for electrode technologies of CDI.

Table 3. Electrode technology analysis by major applicants & affiliation

Applicant(Organization)	Patent	Paper	Electrode material
Univ. California	5	1	Carbon foam, Aerogel microsphere
Univ. East China Normal		6	Carbon nanotube/nanofiber composites
Samsung Electronics	4	1	Carbon nanotube, Polyimide based carbon nanofiber, Conducting agent electrode
KIST	3	1	Carbon aerogel-silicagel composites
KEPCO	2	2	Carbon aerogel, Ion exchange membrane coated active carbon
Univ. Bar-Ilan		4	Activated carbon, Nanoporous carbon
Lawrence livermore national lab.		4	Carbon aerogel
Yonsei University		4	Carbon aerogel, Carbon aerogel-silica gel
Kongju National University		3	Activated carbon, Ion exchange membrane coated carbon electrode

응용기술 46%(52건), 모듈기술은 2%(2건)의 점유율을 차지하고 있다.

4-1. 전극제조 기술

Fig. 8은 CDI분야 중 전극제조기술의 특허출원건수 및 연도별 논문건수를 나타낸 것이다.

전극제조 기술은 2000년 이후부터 본격적으로 성과가 나타나고 있으며 특히 논문의 경우 2007년 이후의 건수가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 특허의 경우 매년 5건 안팎으로 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

Table 3은 전극제조 기술의 주요출원인(기관)의 특허 및 논문 건수와 각 기관에서 연구하는 전극소재를 나타낸 것이다.

4-2. 모듈 제조기술

Fig. 9은 CDI분야 중 모듈제조기술의 특허출원건수 및 연도별 논문건수를 나타낸 것이다.

모듈제조 기술의 특허동향을 살펴보면 2001년 4건으로 가장 많은

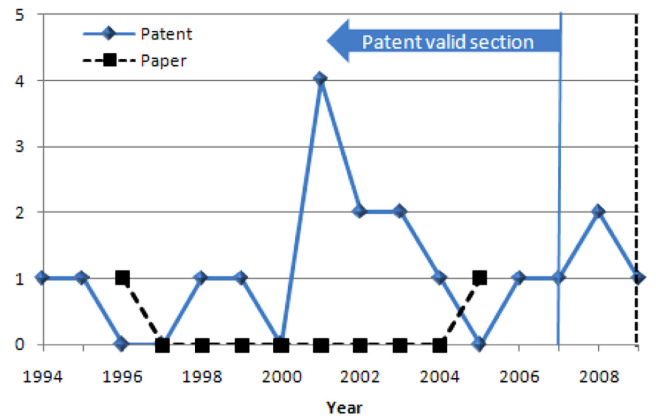


Fig. 9. The patent & paper trends for module technologies of CDI.

Table 4. Module technology analysis by major applicants & affiliation

Applicant(Organization)	Patent	Paper
University of California	7	
Lih-Ren, Shiue	2	
ABB Power T & D	2	
Samsung Electronics	1	
Siontech	1	
University of Pretoria		1
Lawrence livermore nati. lab.		1

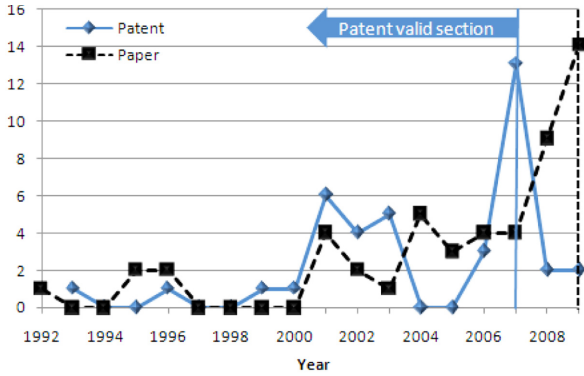


Fig. 10. The patent & paper trends for application technologies of CDI.

특허가 출원되었으며 이후 서서히 감소하다가 최근 들어 다시 소폭 증가하는 추세를 보이고 있다. 논문의 경우 1996년과 2005년에 각각 1건씩의 발표된 것으로 나타났다.

Table 4는 모듈 제조기술의 주요출원인(기관)의 특허 및 논문 건수를 나타낸 것이다.

Table 5. Application technology analysis by major applicants & affiliation

Applicant(Organization)	Patent	Paper	Technical Details
Samsung Electronics	8		Water softener
Univ. East China Normal		5	Electrosorptive desalination
Lawrence Livermore National Lab.		4	Removal of NH_4^+ and ClO_4^- ions from water, Deionization of NaCl and NaNO_3 solutions
KEPCO	1	2	Desalination
Univ. of California	3		Desalination
Luxon Energy Devices	3		Desalination
Univ. Bar-Ilan		3	Deionization using Double layer or single layer porous electrodes
Centre of Excellence for Sustainable Water Technology		3	Desalination
Univ. Singapore		3	Brine treatment

4.3. 응용 기술

Fig. 10은 CDI분야 중 응용기술의 특허출원건수 및 연도별 논문 건수를 나타낸 것이다.

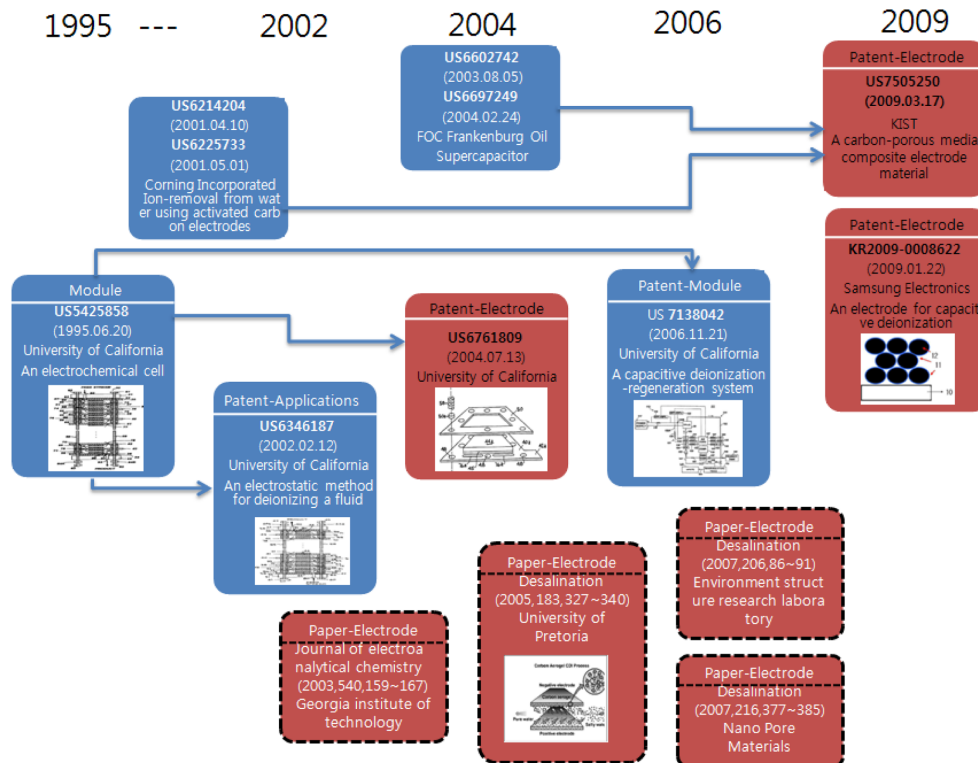
특허동향을 살펴보면 2001년~2003년 구간에서 15건의 특허를 출원하였으나 2004~2005년 한건의 특허도 출원하지 못한 것으로 나타났다. 그러나 2007년 13건의 특허를 출원한 것으로 나타났다. 논문의 경우 2007년 까지 5건 이하였으나 이후 증가세를 보이며 2009년 14건을 발표하였다. 응용기술은 특허와 논문 모두 2000년대 이후 증가추세를 보이고 있으며 최근 증가추세가 두드러지고 있다.

Table 5는 응용 기술의 주요출원인(기관)의 특허 및 논문 건수와 각 기관에서 연구하는 세부기술내용에 관하여 나타낸 것이다.

5. CDI 기술 관련 특허 및 논문의 심층 분석

5-1. 기술 흐름도 분석

Fig. 11은 기술적 중요도를 기준으로 선별된 주요특허와 주요논문, 미국특허의 citation(인용/피인용)을 분석하여 기술적 인용도가 높은



특허들을 기준으로 하여 기술 흐름도로 나타낸 것이다.

2003년 Georgia institute of technology에서 발표된 논문[13]은 전기흡착용 활물질로서 카본에어로겔을 Cyclic voltametry법을 이용하여 전기화학특성 분석을 수행하여 용액의 농도, 전위주사속도 및 기공의 크기분포에 따른 특성 변화를 해석한 것이다.

2005년 Pretoria 대학에서 발표한 논문[14]은 지지체, 활물질, 도전체를 포함한 활물질 층으로 구성된 전극제조기술에 관한 것이다. 여기서 지지체는 카본페이퍼, 카본펠트, 카본클로스, 금속 폼, 속 페이더, 금속 펠트, 금속클로스 중 선택되고, 활물질로는 카본에어로겔이 사용되는 것을 특징으로 한다.

2007년 Environment structure research에서 발표한 논문[15]은 활물질, 바인더(PTFE), 도전성 카본블랙을 사용하여 탄소전극을 제조 기술에 관한 내용을 포함한다.

Nano pore materials사에서 발표한 논문[16]은 전극저항이 낮고 비표면적이 넓은 카본 전극제조 기술에 관한 것으로 활성탄을 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE 바인더)를 사용하여 바인딩하거나, 레조시놀포름알데히드(Resorcinol formaldehyde) 수지를 탄화시킨 후 복잡한 건조공정을 거쳐 판상으로 제조하는 것을 특징으로 한다.

한국과학기술연구원의 US7505250[17]은 Corning incorporated사의 물의 탈이온화를 위한 활성탄 전극에 관한 특허[18]와 FOC (Frankenburg oil 사)의 나노공극의 탄소입자를 포함하는 슈퍼커패시터용 전극에 관한 특허[19]를 인용하였으며 탄소 전극 활물질 5~95 중량% 및 다공성 지지체 5~95 중량%를 포함하는 탄소-다공성 지지체 복합 전극 재료에 관한 내용을 포함하고 있다. 여기에서 다공성 지지체는 실리카젤, 점토, TiO₂, Al₂O₃, SiO₂, BaTiO₃, 다공성 고분자 및 이들의 혼합물중 선택되고 탄소 전극 활물질이 활성 탄소, 카본 에어로겔, 탄소 나노 튜브, 탄소 나노 섬유 및 이들의 혼합물중 선택 되는 것을 특징으로 한다.

삼성전자의 KR0008622[20]은 활물질, 물에 분산 가능한 폴리우레탄 및 도전체를 포함하는 전기 흡착 탈이온 장치용 전극에 관한 특허로 활물질은 활성탄, 카본나노튜브(CNT), 메조포러스 카본(mesoporous carbon), 활성탄소 섬유, 흑연 산화물, 금속 산화물 및 그 복합물 중 선택되고 물에분산 가능한 폴리우레탄은 폴리올, 디이소시아네이트계 화합물 및 분산제를 반응하여 얻어진 폴리우레탄 프리폴리머를 중화제 및 사슬연장제를 반응하여 얻어진 결과물이며 폴리테트라메틸렌에테르글리콜 또는 폴리프로필렌글리콜과, 이소포론디이소시아네이트 또는 수소첨가 MDI(hydrogenated 4,4-diphenyl methane diisocyanate)의 반응으로 얻어진 것을 특징으로 한다.

California 대학의 US6761809의 특허[21]는 집전 가능한 구조적 지지멤버, 지지멤버 표면에 형성된 전도성 레이어, 지지멤버와 접촉하는 시트의 총면적보다 작은 면적을 포함하는 접촉부에서 전도성 레이어에 고정된 전기흡착 시트를 포함하는 전기화학 탈이온 시스템의 전극에 관한 특허[21]로 지지멤버는 전극을 통한 세 번째 흐름을 허용하기 위하여 하나 이상의 구멍을 포함하는 것을 특징으로 한다. 이 특허가 인용한 특허[22]를 살펴보면 1995년에 용량성 탈이온, 전기화학적 정제 및 전극 재생을 위한 장치에 관한 특허인 것을 알 수 있다. 전기화학셀, 셀의 말단 플레이트, 전극, 절연층으로 구성되어 있으며 전극에는 비표면적 및 흡착능이 높은 전기 흡착매체를 포함하고 있는 것으로 특징으로 하는 이 특허를 인용한 특허[23]가 계속해서 출원되고 있으며 이는 CDI관련 분야에서

California 대학이 꾸준하고 지속적인 연구개발을 진행하고 있는 것으로 판단된다.

6. 결론 및 향후의 전망

최근 CDI 기술의 특허 및 논문 동향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 1990년대 중반 이후 본격적인 특허와 논문실적이 발표되고 있으며 2000년대 이후 증가하는 경향을 보이며 전체 건수가 특허 80여 건, 논문 120여건 정도로 현재 발전기에 막 진입한 것으로 판단된다.
 - (2) 국가별로는 미국이 주도하고 있으며 큰 차이를 두지 않고 한국이 뒤따르고 있다. 한국은 미국에 비해 늦게 연구개발이 진행되고 있으나 최근 구간에서의 성장률은 미국을 앞서고 있다.
 - (3) 주요 출원인으로는 California 대학, 삼성전자, East china normal 대학, Lawrence Livermore national lab., Bar-lian university, KIST, 한국전력공사 등으로 조사되었다.
 - (4) 기술별로는 전극제조 기술과 응용기술이 높은 점유율을 보이며 한국은 전극제조기술, 응용기술, 모듈 순으로 조사되었다.
 - (5) 전극제조 기술은 한국과 미국이 주도적이며 주요출원인에 의해 Carbon aerogel, Active carbon, Carbon nanotube, Carbon nanofiber 전극 및 Ion exchange membrane 포함 전극, Conducting agent 포함 전극에 대한 특허와 논문 발표가 있다.
 - (6) 2000년대 들어서면서 응용기술의 특허 및 논문발표 실적이 증가하고 있으며 최근 급격한 증가율을 보이고 있다. 미국과 한국이 주도하고 있으며 연수기, 폐액 탈염장치, 담수화 장치 등에 대한 특허가 출원되고 있다.
 - (7) 출원인 수 또한 40여개 기관으로 매우 적게 나타나므로 원천 기술에 대한 선점이 비교적 어렵지 않을 것으로 판단된다.
- 현재 CDI 기술은 정수 및 연수분야에 대한 응용기술이 나오고 있으며, 초순수 제조나 공업용수 재활용분야에 대한 적용기술이 개발 될 것으로 예상된다. 또한 특정이온의 선택성 전극이나 제거효율이 우수한 전극의 개발을 통해 해수로부터 유가자원 회수나 해수의 담수화 등 다양한 수처리 산업분야에 응용될 수 있을 것으로 전망한다.

감 사

본 연구는 2009년도 지식경제 기술혁신사업에 의하여 수행한 대덕특구 전문클러스터 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Shin, C. H. and Johnson, R., "Development and Module Design of a Novel Membrane Process for the Removal of Chlorine and Its Associated Forms from Wastewater," *J. Ind. Eng. Chem.* **15**, 613-617(2009).
2. Lee, J. Y., Kwon, T. S., Baek, K. and Yang, J. W., "Adsorption Characteristics of Metal Ions by CO₂-fixing *Chlorella* sp. HA-1," *J. Ind. Eng. Chem.* **15**, 354-358(2009).
3. Helfferich, F., "Ion Exchange," Dover Publications, Inc., New York (1992).
4. Younos, T., "Emerging Threats to Drinking Water Quality," *Renewable Resources Journal*, **23**(2), 6-12(2005).

5. Mulder, M., "Basic Principles of Membrane Technology," Kluwer Academic Publishers, Boston(1996).
6. Strathmann, H., Ion-Exchange Membrane Separation Processes, Elsevier, Amsterdam(2004).
7. Korea patent KR0442773, "Desalination System and Regeneration Method by Electrosorption;" (2004).
8. Han, Y., Quan, X., Chen, S., Wang, S. and Zhang, Y., "Electrochemical Enhancement of Adsorption Capacity of Activated Carbon Fibers and Their Surface Physicochemical Characterizations;" *Electrochim Acta*, **52**, 3075-3081(2007).
9. Koresh, J. and Soffer, A., "Double Layer Capacitance and Charging Rate of Ultramicroporous Carbon Electrodes;" *J. Electrochem. Soc.*, **124**, 1379-1385(1977).
10. Mitani, S., Lee, S. I., Yoon, S. H., Korai, Y. and Mochida, I., "Activation of Raw Pitch Coke with Alkali Hydroxide to Prepare High Performance Carbon for Electric Double Layer Capacitor;" *J. Power Sources*, **133**(2), 298-301(2004).
11. Shiraisgi, S., Kurihara, H., Shi, L., Nakayama, T. and Oya, A., "Electric Double-Layer Capacitance of Meso/Macroporous Activated Carbon Fibers Prepared by the Blending Method I. Nickel-Loaded Activated Carbon Fibers in Propylene Carbonate Solution Containing LiClO₄ Salt;" *J. Electrochem. Soc.*, **149**(7), 855-861(2002).
12. Kim, Y. J., Horie, Y., Matsuzawa, Y., Ozaki, S., Endo, M. and Mildred, S. D., "Structural Features Necessary to Obtain a High Specific Capacitance in Electric Double Layer Capacitors;" *Carbon*, **42**, 2423-2432(2004).
13. Yang, K. L., Yiacoumi, S. and Tsouris, C., "Electrosorption Capacitance of Nanostructured Carbon Aerogel Obtained by Cyclic Voltammetry;" *J. Electroanalytical Chem.*, **540**, 159-167(2003).
14. Welgemoed, T. J. and Schutte, C. F., "Capacitive Deionization Technology (TM): An alternative desalination solution;" *Desalination*, **183**, 327-340(2005).
15. Park, K. K., Lee, J. B., Park, P. Y., Yoon, S. W., Moon, J. S., Eum, H. M. and Lee, C. W., "Development of a Carbon Sheet Electrode for Electrosorption Desalination;" *Desalination*, **206**, 86-91(2007).
16. Jung, H. H., Hwang, S. W., Hyun, S. H., Lee, K. H. and Kim, G. T., "Capacitive Deionization Characteristics of Nanostructured Carbon Aerogel Electrodes Synthesized Via Ambient Drying;" *Desalination*, **216**, 377-385(2007).
17. United States patent US7505250, "Carbon-porous Media Composite Electrode and Preparation Method Thereof;" (2009).
18. United States patent US6225733, "Supercapacitor and a Method of Manufacturing Such a Supercapacitor;" (2001).
19. United States patent US6697249, "Supercapacitor and a Method of Manufacturing Such a Supercapacitor;" (2004).
20. Korea patent KR0008622, "Electrode for Capacitive Deionization, Manufacturing;" (2009).
21. United States patent US6761809, "Alternating-polarity Operation for Complete Regeneration of Electrochemical Deionization System;" (2004).
22. United States patent US5425858, "Method and Apparatus for Capacitive Deionization, Electrochemical Purification, and Regeneration of Electrodes;" (1995).
23. United States patent US7138042, "Alternating-polarity Operation for Complete Regeneration of Electrochemical Deionization System;" (2006).