

분리막 및 슬러지 처리와 고도처리 기술·장비를 포함한 하·폐수 처리기술의 특허 조사·분석을 통한 기술개발 동향

유 호 식·김 지 태[†]

경기대학교 환경에너지공학과, 하·폐수고도처리기술개발사업단
(2017년 9월 12일 접수, 2017년 9월 28일 수정, 2017년 9월 28일 채택)

Trends of Technology Development through Investigation and Analysis of Domestic Patent Related to Wastewater Treatment Technology including Membrane, Sludge Treatment and Advanced Treatment Technology and Equipment

Ho Sik Yoo and Ji Tae Kim[†]

Department of Environmental & Energy Engineering, Kyonggi University, Suwon 16227, Republic of Korea
R&D Center for Advanced Technology of Wastewater Treatment and Reuse, Suwon 16227, Republic of Korea

(Received September 12, 2017, Revised September 28, 2017, Accepted September 28, 2017)

요 약: 하·폐수 처리 기술은 종래 단순 오염물질 처리에서 에너지 및 자원 절약형의 고도처리 기술로 발전되고 있으며, 공공 수역으로의 오염 물질과 유독 물질 배출을 최소화하고 설치·운영의 효율성을 높이기 위해 IT 및 BT와 같은 다양한 기술을 접목한 융합형 기술로 진화하고 있다. 국내 하·폐수 처리기술의 발전 추이를 살펴보기 위해 등록된 특허기술을 수집·조사하여 연도별·부문별로 분류하여 분석하였다. 본고에서 2010년~2017년 5월 간의 관련된 특허 등록 내용을 생물학적·물리화학적 처리공정, 장치 및 기기, 소재·제재, 슬러지처리, 분리막, 공정제어기술 등 10개 분야의 42개 세부 영역으로 나누어 추세를 분석했다. 총 3,356건의 특허가 등록되었으며 2013년에 638건으로 최고치를 기록한 이후 다소 감소하여 연간 3~400여 건을 유지하고 있다. 등록된 특허 총 건수는 아직 다른 국가에 비해 적지는 않으나 공정 제어 및 기기 분야, 신개념 처리 기술과 같이 세계 시장을 선도할 수 있는 첨단 기술의 특허는 타 분야에 비해 미흡한 것으로 나타났다.

Abstract: Wastewater treatment (WWT) technology has been developing from simple pollutant treatment to energy and resource-saving advanced technology, and various technologies combined with IT and BT are developed to minimize the amount of pollutant and toxic substance discharge to the public water areas and to improve operational efficiency. To examine the development trend of domestic wastewater treatment technology, the registered patent technologies were surveyed, classified and analyzed by year and sector. This paper considers the status of patent registration related to WWT from 2010.1 to 2017.5 in terms of the number of specific technical areas, and the trends are analyzed based on the 10 categorization field such as biological and physicochemical treatment process, equipment and device, material, sludge treatment, membrane, process control and 42 specific technical areas. A total of 3,356 patents have been registered since 2010, and the number of patents has been decreasing since the peak at 2013 and maintains 3~400 per year. The total number of patents has not yet been less than other countries, but the number of patents of more advanced technologies, which can lead the global market, such as process monitoring, new concept processing and equipment technologies is still insufficient compared to developed countries.

Keywords: Patent analysis, Wastewater treatment technology patent, biological wastewater treatment, physical and chemical wastewater treatment, membrane technology

[†]Corresponding author(e-mail: jtkim221@kgu.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0001-5020-7956>)

Table 1. Category of Wastewater Treatment (WWT) Technology Patents (10 Fields)

Field No.	Technology field Name
1	Biological treatment process and system technology
2	Physicochemical treatment process and system technology
3	Equipment and device manufacturing technology
4	Filtration equipment and applied process technology
5	Sludge treatment technology
6	Anaerobic treatment technology
7	Basic substance for WWT such as raw material, chemicals, microbe
8	Membrane material and module
9	Operation and maintenance technology of membrane applied WWT system
10	Measurement, control and evaluation technology

1. 서 론

우리나라는 지난 40여 년간 하·폐수 처리시설을 급속히 확충되면서 수질오염물질의 처리기술도 크게 발전하여 전통적인 하·폐수 처리기술 수준은 선진국과 대등한 것으로 평가되고 있다. 21C들어 선진국을 중심으로 기후변화와 물 부족 현상, 에너지난에 대응하고 청정 수자원을 확보하기 위해 전통적 처리기술을 업그레이드한 고효율 처리기술을 꾸준히 개발하고 있다. 영양물질과 미량유해물질 제거, 유효자원 회수를 위해 고도처리 기술을 기반으로 에너지절감 및 방류수 수질개선 효과를 극대화하는 첨단기술을 지향하고 있는 것이다. 수처리 기술은 전체 공정 및 시스템 기술을 기반으로 단위 장치·기기 및 소재 기술이 효과적으로 조합되어야 하며 아직까지 핵심 공정 및 장치기술은 주요 선진국의 기술 수준에는 미흡한 실정이다[1].

국내 하·폐수 처리시장은 공공 하수처리시설은 물론 산업폐수 처리시설도 대부분 구축되어 신규 투자 제한적이다. 그러나 기존 처리시설의 운영 효율성은 제고의 여지가 많고 해외 시장이 큰 폭으로 성장하고 있으므로 국내 기업들이 지속적으로 성장하기 위해서는 유해물질 및 독성물질 처리를 위한 초고도 처리기술, 맞춤형 재이용기술, 에너지 및 유효자원의 절감·회수 기술을 유기적으로 연계한 선진형 고도처리 기술 확보가 요구되고 있다[2].

이러한 국내외 여건을 감안하여 2010년 이후 국내 하·폐수 처리기술 관련한 특허 등록 내용을 수집하여 연도별, 세부기술 영역별로 분류한 후, 이를 토대로 국

내 신기술 개발의 주요 내용과 추세를 분석하고자 한다. 향후 이번 연구 결과를 토대로 주요 선진국의 기술 개발 추이와의 비교·분석을 통해 국내 기술의 취약 분야와 보완 방안을 분석하고자 한다.

2. 연구 절차 및 방법

하·폐수 처리기술과 관련된 특허의 수집·분석을 위해 다음과 같은 절차와 방법으로 연구를 수행하였다. 먼저 1단계로 특허청에서 제공하는 키프리스(KIPRIS) 특허정보검색서비스에서 2010년~2017년 5월까지 7년 여 간의 하수 및 폐수 처리기술과 관련된 특허를 발췌하였다. 기본적으로는 물, 하수, 폐수와 관련된 특허 전체를 발췌하기 위하여 “하수처리(Sewage Treatment)”, “폐수처리(Wastewater Treatment)”를 키워드로 검색한 후 하·폐수 처리기술과 관련된 특허만을 발췌하였다. 이 과정에서 IPC (International Patent Classification) 분류표를 참고하였으며 이 중 C색션(화학 및 야금)의 C02 (물, 폐수, 하수 또는 오니의 처리) 세부분야를 중점 분석하였다. 도출된 특허 중에 상수(정수) 또는 해수 담수화, 유기성폐기물 분야와 중복되는 특허의 경우 하·폐수를 특허 기술 적용 대상에 명기한 특허는 포함하였다. 동일 기술로 등록된 유사한 특허(예 : 한 개는 장치, 한 개는 공정)의 경우는 대표특허 한 개만 포함하였으며 선박평형수(발라스트) 처리기술과 공정 중 악취제거기술은 하·폐수 기술개발 추세를 분석하기에 부적합하여 제외하였다.

2단계로 도출된 전체 특허를 Table 1과 같이 10개 분

Table 2. The Number of Patents Related to WWT Technology (2010~2017.5)

Field	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
1	42	58	48	54	40	22	33	9	306
2	47	53	53	94	62	40	65	15	429
3	62	97	121	126	85	67	78	39	675
4	39	25	41	51	37	41	29	9	272
5	84	62	76	111	88	54	70	29	574
6	31	35	29	38	27	16	20	7	203
7	19	23	38	52	42	25	26	15	240
8	10	18	30	39	61	50	26	24	258
9	24	41	31	43	56	38	31	13	278
10	7	13	20	30	20	18	8	5	121
계	366	425	487	638	518	371	386	165	3,356

1) Statistics for 2017 are 5 months by May.

야로 구분하였다(Table 1). 하·폐수 처리공정이 대부분 복합적으로 구성되므로 특정 분야로 분류하기 어려운 경우가 많으나, 핵심기술이 포함된 분야로 분류하는 것을 원칙으로 하였다. 예로서 생물학적 반응조 기술이 핵심이고 침전기술 등 통상적인 물리적 처리기술이 포함된 경우는 생물학적 처리기술[분야 1]로 분류하였으며, 화학적 처리기술이 핵심이고 공정 전단에 기존의 생물학적 처리공정이 포함된 경우는 화학적 처리기술[분야 2]로 분류하였다. 여과기술은 물리화학적 처리기술의 하나로 [분야 2]로 분류할 수도 있으나 특허건수가 많고 적용 범위도 다양하여 [분야 4]로 별도 분류하였다.

3단계로 10개 분야를 기술 영역에 따라 세부분야 42개로 재분류하였으며(분야별 2~6개), 분야별, 세부분야별 특허등록 기술에 대한 건수와 주요 내용을 종합하고 연차별 추이를 분석하였다.

3. 연구결과

3.1. 총괄

2010년~2017년 5월까지 7년 여 간의 하·폐수 처리 기술 관련 특허는 총 3,356건으로 나타났으며 연도별로는 2013년에 638건으로 가장 많은 건수를 기록한 이후 다소 감소하여 2015년 371건, 2016년 386건의 등록 건수를 보이고 있다(Table 2)(Fig. 1). 이는 신규 처리시설 투자가 축소되고 기존시설의 개선 공사로 제한적이어 국내 기술 수요시장이 축소된 점과 지난 20여 년간 특허가

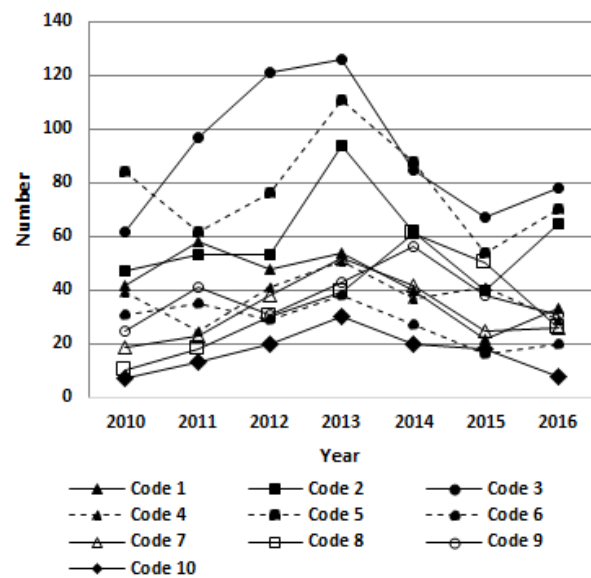


Fig. 1. The trend of registered patents related to WWT technology (2010~2016).

꾸준히 출원되어 세부기술의 특허 영역이 점점 줄어드는 점에 기인하는 것으로 분석된다. 분야별로는 처리공정 개선을 통해 경제성을 확보하고 영양물질 등을 고도 처리하는 [분야 1/2 (처리공정)], 처리시스템에 사용되는 각종 장비·기기 개발이 포함된 [분야 3 (장치)], 해양투기 금지 이후 중요성이 높아진 [분야 5 (슬러지 처리)], 하·폐수 재이용과 안전한 수질 확보에 장점을 지닌 [분야 8/9 (분리막)]에서 상대적으로 많은 특허가 등록되었다. 처리공정의 경우 생물학적 처리[분야 1]보다는 여과[분

Table 3. Name and Examples of Specific Field [Field 1]

No.	Specific Field	Example technologies
10	Improvement of biological treatment process (BTP)	- Reactor improvement of operation and structure - Energy saving/Sludge reduction process - Application of granule sludge process
11	Utilization of plants and soil	- Use of wetland, aquatic plant, algae - Use of soil humus, shell, artificial light - Micro-algae culture process
12	Combination of biological and physico-chemical treatment processes	- The main process includes physicochemical technology based on BTP
13	Specific wastewater treatment technology (WWTT)	- BTP for livestock WW, food waste leachate, landfill leachate, oily WW and specific WW such as 1-4dioxane, acid-alkalic WW and perchlorid
14	Specialized technology for nutrient removal	- Removal of nitrogen, ammonia and nitrite nitrogen components
15	BTP using carrier	- Use of biofilm carrier and biofilm membrane

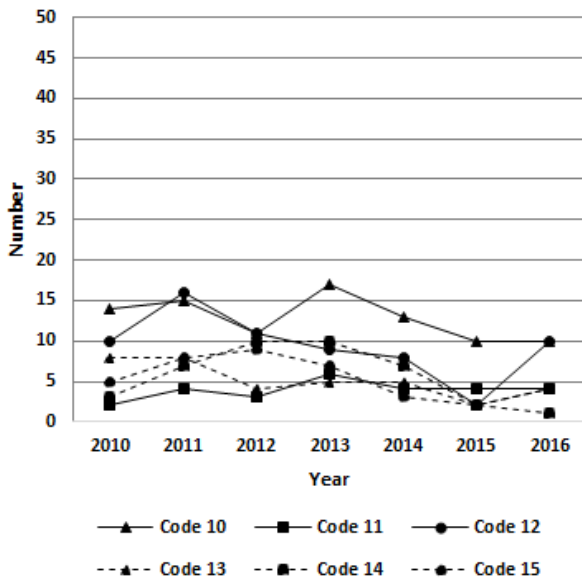


Fig. 2. The trend of registered patents in [Field 1].

야 4], 분리막기술[분야 8/9]을 포함한 물리화학적 처리 [분야 2]와 관련된 특허가 많았으며, 이는 기존의 생물학적 처리공정에 다양한 전·후단 처리공정이 조합되는 기술이 중점 개발되고 있음을 나타내는 것으로 분석된다. 하·폐수 처리시설에 대한 중점 투자 영역이 선진국과 같이 신규 건설보다는 기존 처리시설에 대한 개량 소요로 서서히 전환되고, 슬러지처리, 하·폐수 재이용 및 에너지 자립기술 등이 요구되고 있음을 고려할 때 특허 내용 역시 이러한 국내 시장 수요가 반영되고 있음을 알 수 있다. 당분간 국내 하·폐수 처리시장 수요시장과 대 상기술에 큰 변화가 없을 것으로 전망되므로 이러한 분야별 기술개발 추세가 유지될 것으로 예상된다.

3.2. 생물학적 처리공정 및 시스템기술[분야 1]

생물학적 처리공정기술 [분야 1]은 6개 세부분야로 분류하였고 기술 범위가 광범위하여 세부분야별로 중복되는 경우가 많았으며 핵심기술에 따라 분류하였다 (Table 3). 특히 내용 중 생물학적 처리기술과 물리화학적 처리기술이 동시에 포함된 경우는 (12)로 분류하였다. 담체를 적용한 생물학적 처리공정 기술의 경우는 세부분야(15)로, 담체 자체를 개발한 특허는 (75)로 분류하였다.

이 분야의 특허 건수는 총 308건으로 연도별로는 2012년~2014년간 상대적으로 많은 특허를 보이고 있으며 이후에도 20건 이상씩 꾸준히 등록되고 있다(Fig. 2). 세부 분야별로 보면 생물학적 처리공정(10)에서 91건으로 가장 많았으며 주요 기술은 반응조의 구조 개선과 산기량 조정, 폭기장치 및 교반시스템 개선, pH 조절, 반송슬러지 유입제어 등을 통한 생물반응조 개량기술과 운영기술 개선이 주를 이루고 있고, 공정 개선을 위한 에너지절감 및 슬러지 저감을 기술적 효과로 제시하고 있으며 활성슬러지보다 처리효율과 침강성이 우수한 것으로 알려진 호기성 그레놀슬러지 공정기술도 포함되어 있다[3-5]. 식물 및 토양 등 자연환경 이용 기술분야(11)에는 인공습지, 수생식물, 해조류 이용, 토양부식질, 패각이용 기술과 함께 LED 광조사 등 인공빛 이용기술이 포함되어 있다. 생물학적 및 물리화학적 복합처리기술 분야(12)와 영양물질 제거 특화기술(14)은 실질적 기술내용에서 중복되는 경우가 많으나 세부분야(14)에는 질소 및 암모니아, 아질산성질소 제거 특화기술과 고농도 유기성폐수의 영양물질 제거기술임을

Table 4. Name and Examples of Specific Field [Field 2]

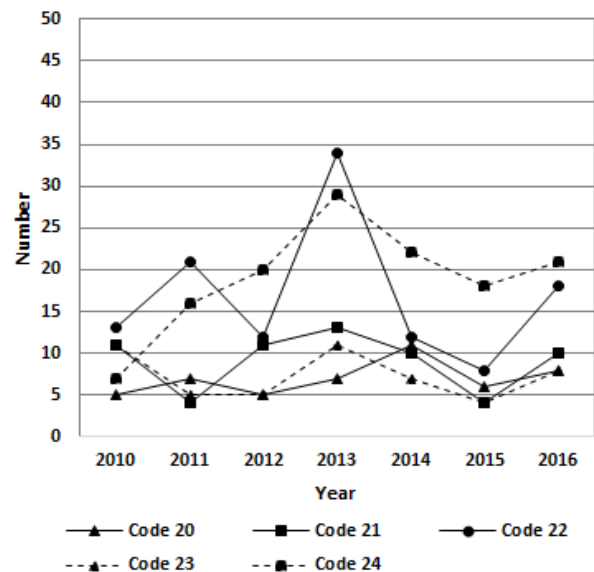
No.	Specific Field	Example technologies
20	Process technology combined with physical and chemical treatment technology (PCTP)	- Combined process of codes 21, 22, 23 and 24 - Chemical agglomeration (22) + ozone oxidation (23) - Flotation separation (21) + electrolysis (24)
21	Physical treatment technology	- Adsorption, distillation, vaporization, membrane distillation crystals - Technology using nanoparticles or microbubbles - Flotation separation, cyclone
22	Chemical treatment technology	- Chemical coagulation, neutralization, degassing, oxidation and reduction - Ion exchange (using magnetic material etc.)
23	Advanced oxidation process (AOP)	- Application process of ozone oxidation - UV, electron beam, photocatalyst tech.
24	Electrochemical treatment technology	- Electrolysis, electrocoagulation, electroadhesion - Magnetic separation and attachment - Microbial fuel cell, plasma technology - CDI (Capacitive deionization)

특허명에 명시한 경우로서 별도 분류하였다. (12)와 (14)를 합치면 총 112건으로 영양물질 제거를 위한 처리 기술이 [분야 1]의 주요 개발대상 기술임을 알 수 있다. 특정폐수 처리기술(13)에는 축산폐수, 음폐수 탈리액 및 폐유수 처리, 산/염기성폐수, 퍼클로이드, 1-4다이옥산 등을 대상으로 한 생물학적 처리기술로서 특허에 대상 물질이 명시되어 있다. 영양염류 제거효율이 우수하고 경제성이 좋은 것으로 알려진 담체 적용 기술(15)의 경우[6-7], 담체 자체를 개발한 경우는 (75)로 분류하고 여기에는 담체를 적용한 생물학적 처리공정 기술을 분류하였으며 39건으로 특화된 기술로써 꾸준히 등록되고 있다. [분야 1]은 하·폐수 처리공정에서 가장 기본적인 영역임에도 지속적인 등록 추세를 보이는 것은 기존 공정기술의 경제성과 운영효율을 높이기 위한 기술개발이 지속적으로 진행되고 있음을 나타낸다.

3.3. 물리화학적 처리공정 및 시스템기술[분야 2]

[분야 2]는 5개 세부분야로 분류하였고 생물학적 처리기술의 특허내용이 함께 포함된 경우는 [분야 1]의 세부분야(12)로 분류하였다. 물리적 처리기술과 화학적 처리기술의 경계가 모호한 경우에는 핵심기술에 따라 분류하였으며 고도산화처리기술(AOP)의 경우 개발 수요가 많으므로 별도로 분류(23)하였다(Table 4). 여과장치가 포함된 복합공정의 경우에 여과장치 및 공정이 특허내용의 핵심인 경우는 [분야 4]에 포함하였다.

이 분야의 특허 등록 건수는 429건으로 연간 50~60건 정도를 나타내고 있으나 2013년에만 특이하게 94건

**Fig. 3.** The trend of registered patents in [Field 2].

을 나타냈다. 당시 처리시설 내에 총인처리시설이 보강되면서 이와 관련된 기술이 다수 포함되는데 기인하는 것으로 분석된다. 세부분야별로는 화학적 처리기술(22)이 121건, 전기화학 처리기술(24)이 139건으로 [분야 2]의 60% 이상을 차지하고 있다(Fig. 3). 물리·화학적 처리 결합기술 분야(20)에는 화학응집 + 오존산화/활성탄, 부상분리 + 전기분해, 약품투입 + 광촉매 등과 같이 화학처리와 물리적 처리공정을 결합한 기술로 주로 생물학적 처리공정 후단에 고도처리용으로 적용되는 기술들이 등록되었다. 물리적 처리기술 분야(21)에는 전통적

Table 5. Name and Examples of Specific Field [Field 3]

No.	Specific Field	Example technologies
30	Pre-treatment device applied in the wastewater inflow stage	- Adulteration, scum removal and screen - Oil removal and separation, flow control - WW conveying and distributing device
31	Primary and final precipitation tank technology	- Precipitation tank and apparatus - Water collecting and overflow WW treatment
32	Equipment for Chemical treatment process	- Coagulant mixing and distribution - Polymer dissolving device
33	Reactor related equipment	- Aeration tank and device, DO regulator - Micro-bubble generating device - Various reactors: continuous reactor etc.
34	Device for AOP and electrochemical treatment	- Ozone supply and contact device - Electrolysis, plasma, photocatalytic reaction - UV reactor, Capacitive deionization device
35	Solid-liquid separator and agitator	- Agitator, condenser - Solid-liquid separator: floating separator - Decanter, dissolved air floating device (DAF)

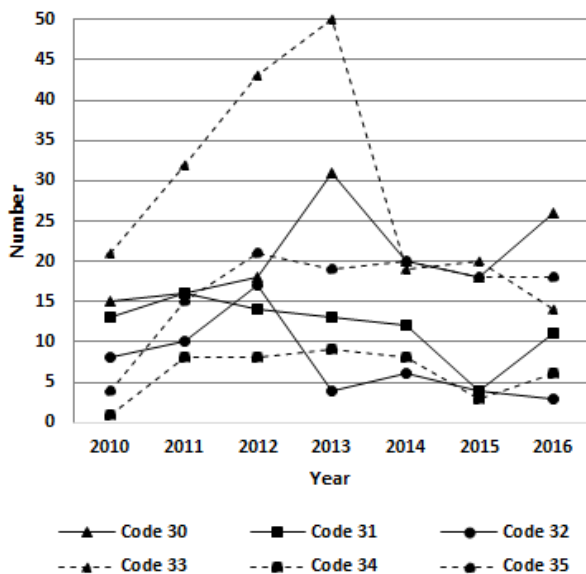


Fig. 4. The trend of registered patents in [Field 3].

인 침전, 흡착, 기화, 증발, 버블발생 및 이용기술 외에, 막증류결정, 스트루바이트 생성기술(MAP) 등이 포함되어 있다. 화학적 처리기술 분야(22)에는 화학약품을 이용한 응집, 중화, 상화/환원, 탈기 기술과 자성체 및 제올라이트를 이용한 이온교환기술, 용융결정화 기술 등이 있다. 총인 고도처리를 위한 응집제와 공정 개발이 활성화되어 2013년에 34건으로 최고치를 보였으며[8], (20)에 분류된 조합기술에도 총인처리기술이 상당수 포함되어 있다. 고도산화기술(23)에는 오염물질을 산화시키는 OH

라디칼을 생성하기 위해 오존, UV, 과산화수소 등을 적용하는 다양한 기기 및 공정 기술과 광에너지에 의해 산화작용을 촉진시키는 광촉매 이용기술 등이 포함되어 있다[9]. 주로 오존접촉기술을 중심으로 매년 5~10건씩 꾸준히 등록되고 있으며 방류수질 개선효과를 극대화하는 기술로 평가된다. 전기화학기술 분야(24)에는 전기분해 및 응집, 전기투석, 전기흡착, 자기분리, 플라즈마 기술 외에도 미생물을 이용하여 오염물질을 제거하면서 전기를 생산하는 미생물 연료전지 기술, 하수 재이용을 위한 탈염기술로 주목받는 축전식 탈염공정 등이 포함되어 있으며[10-11], 경제성이 부족하여 현장에서의 실용성이 떨어지는 것으로 인식되고 있음에도 지속적으로 20여 건씩 등록되고 있는 것은 미래형 기술로서 하·폐수처리 분야에 접목되고 있음을 나타낸다.

3.4. 장치·기기 제조기술[분야 3]

[분야 3]은 6개 세부분야로 분류하였다. 장치·기기 기술은 결국 처리공정에 적용되므로 [분야 1]이나 [분야 2] 기술의 개발 목적과 본질적으로 유사하나 공정의 핵심기술로 장치·기기 기술의 중요성이 강조되고 있으므로 별도로 구분하였다. 반응조 관련장치(33)에 포함된 기포발생장치는 (35)의 부상분리장치와 대부분 결합되어 사용되므로 중복되는 경우가 많으므로 발생장치 자체를 특허 등록한 것으로 한정하였다. 교반기는 슬러지 처리기술 [분야 5]의 공정에 포함되는 경우도 있으나 교반기만을 특허 등록한 경우는 (35)로 분류하

Table 6. Name and Examples of Specific Field [Field 4]

No.	Specific Field	Example technologies
40	Filtration equipment and material technology	- Filter, filter cloth, filtration column - Filter media system such as granular filtering material, activated carbon, etc. - Cleaning and operating tech. of equipment
41	BTP combined with filtration device	- Filtration devices in BTP
42	PCTP combined with filtration device	Chemical coagulation process with filtration device

였다(Table 5).

이 분야에는 총 675건이 등록되어 10개 분야 중 가장 많은 건수를 나타냈으며 연도별로는 2012년~2013년에 최고치를 보였고 이후로도 매년 70~80건 정도 지속적으로 등록되고 있다(Fig. 4). 전처리장비(30)와 반응조 관련장치(33)의 건수가 363건으로 절반 이상을 차지하고 있어 장치기술이 결국 처리공정 효율 제고와 직결됨을 알 수 있다. 세부분야별로는 전처리장치(30)에서는 부유물 및 협잡물 제거장치와 유수분리장치, 침전장치(31)에서는 침전조의 구조개선을 통한 처리효율 향상기술, 화학적 처리 장치(32)의 경우는 화학제제를 공급하는 다양한 용해 및 공급장치가 다수를 차지하고 있다[12]. 반응조 관련장치(33)에는 공정효율 제고를 위한 핵심기술로서 특허건수도 203건으로 가장 많은 건수를 나타냈으며 연속식 반응기 및 바이오리액터 등 각종 반응기, 산기장치와 미세기포 발생장치 등이 포함되어 있다. 고도산화 및 전기화학장치(34)의 경우는 오존공급 및 접촉장치, 전기분해장치, 광촉매 및 UV 반응장치, 축전식 탈염장치가 포함되어 있으며 고액분리기(35)에는 부상분리장치 DAF, 디캔터 등 고액분리 장치와 교반기, 응축기 등이 포함되어 있다. 장치·기기는 공정의 부품과 같아 처리기술의 국산화에 중요한 분야이고 국제경쟁력을 갖기 위해서는 필수적인 요소라는 측면에서 특허가 다수 등록되고 있는 것은 바람직한 현상이다. 국내 공정 엔지니어링 기술이 발전되면서 실질적으로 처리효율을 제고할 수 있는 내부 고효율 장치 개발에 대한 관심이 높아지고 있음을 알 수 있다.

3.5. 여과장치 및 적용공정 기술[분야 4]

[분야 4]는 3개 세부분야로 분류하였다(Table 6). 여과장치는 물리적 처리기술로 [분야 2]에 포함할 수도 있으나 건수가 많고 전·후처리 공정으로 적용성이 넓어 별도로 분류하였다. 동일한 기술의 여과장치가 상수(정수) 분야에도 적용 가능하므로 광의의 수처리 기술

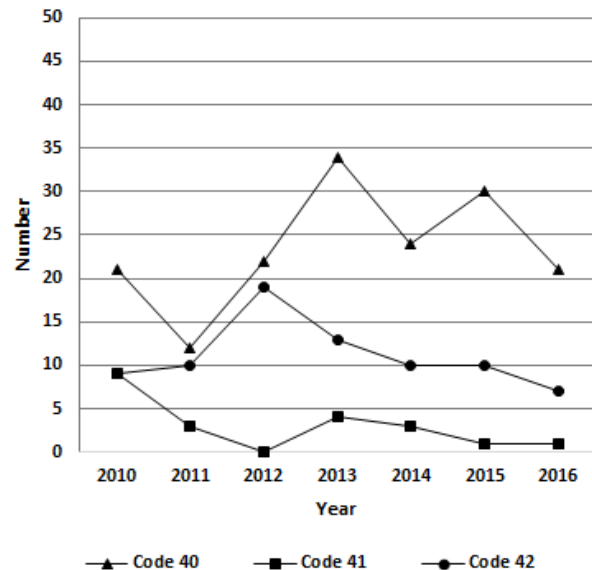


Fig. 5. The trend of registered patents in [Field 4].

로 볼 수 있으며 여기서는 정수용으로 명기된 특허는 제외하였다. 예로서 여과지나 여과사 관련기술은 정수에 대부분 적용되므로 제외하였다. 여과장치를 적용한 공정기술의 경우 분류가 모호하기는 하나, 여과장치가 부수적으로 적용된 경우는 [분야 1] 또는 [분야 2]의 해당 세부분야에 포함하였고 (41)과 (42)에는 여과장치가 핵심 공정으로 적용된 경우이다. 여재(media)는 세부분야(73)으로 분류하였으나 여재와 여과장치가 결합된 경우는 세부분야(40)으로 분류하였다. 필터프레스를 포함한 탈수여과장치는 세부분야(51)로 분류하였다.

이 분야에는 총 274건이 등록되었으며 단위 공정임에도 불구하고 많은 특허가 등록되고 있는 것은 여과장치를 주공정의 형태와 관계없이 필요한 위치에 폭넓게 적용할 수 있기 때문이다(Fig. 5). 연도별로 2012년과 2013년에 다소 많기는 하나 매년 30~50건 내외로 큰 변화가 없으며 세부분야별로는 여과장치 자체(40)에 대한 특허가 172건으로 대부분이었으며 특화된 구조와

Table 7. Name and Examples of Specific Field [Field 5]

No.	Specific Field	Example technologies
50	Sludge collection and pretreatment tech.	- Collector, mechanical/chemical pretreatment - Sludge settling and feeder device
51	Dewatering/Concentrating device and process	- Belt press, filter press, screw presses, etc. - Concentrating device and dewatering agent
52	Drying apparatus and process	- Sludge dryer - Cake molding machine
53	Sludge separation, transfer, discharge, removal device	- Separation device, flotation and recovery device - Crushing (grinding) and mixing device
54	Supplemental sludge treatment	- Microbial treatment, liquefaction treatment - Thermal hydrolysis, ozone treatment - Sludge agglomeration, cooling sorting

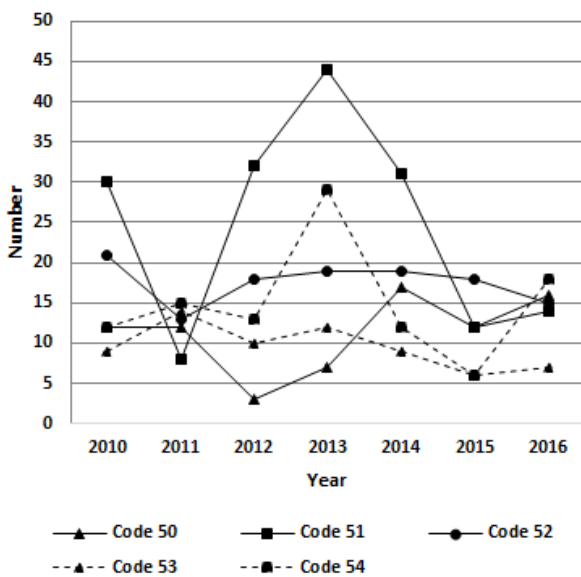


Fig. 6. The trend of registered patents in [Field 5].

자기세정 방식 등 다양한 운영기술을 제시하고 있다 [13]. 여과장치 적용 공정기술 중에는 생물학적 처리공정과와의 조합(41)보다 물리화학적 처리공정과와의 조합기술(42)이 상대적으로 많았으며, 이는 화학적 처리공정 후단에 부유물질 제거를 위해 적용하는 공정기술이 다수 등록되었기 때문이며 여과장치의 세정방법 등 유지관리 기술도 다수 포함되어 있다.

3.6. 슬러지 처리기술[분야 5]

슬러지 처리기술 [분야 5]는 5개 세부분야로 분류하였으며 슬러지 처리단계별로 수집단계(50), 탈수단계(51), 건조단계(52), 이송 및 배출단계(53) 슬러지 가공처리 단계(54)로 구분하였다(Table 7). 슬러지의 재이용

을 위한 비료화, 탄화, 연료화, 고형화기술(고화제 포함) 등은 제외하였으며 재이용을 위한 처리 이전 단계까지와 최종처리를 위한 가공기술을 포함하였다. 각 단계별로 중복되거나(예 : 탈수와 건조가 동시에 발생), 단계별 기술이 복수로 포함된 경우(예, 탈수기술과 농축기술, 이송기술과 가공기술 등)에는 핵심 기술이 포함된 세부분야로 분류하였다. 슬러지 가공처리는 발생한 슬러지의 최종 처분을 위한 각종 생물학적, 물리화학적 처리기술을 의미하며 혐기성 소화기술은 [분야 6]으로 별도 분리하였다. 슬러지 수집부터 가공처리까지 전체 슬러지 처리공정이 특허대상인 경우는 세부분야(54)로 분류하였다.

이 분야에는 총 574건이 등록되었다. 슬러지 가공 후 재이용하는 연료화, 비료화 기술 등을 제외했음에도 타 분야에 비해 많은 특허가 등록되었으며 연차별로는 2013년에 117건으로 최고치를 기록하였다(Fig. 6). 이는 슬러지의 해양투기 금지 이후에 슬러지 처리비용이 크게 증가한 반면 오랜 기간 수처리 기술에 비해 슬러지 처리기술 개발이 미흡하였기 때문인 것으로 분석된다. 세부분야별로는 탈수(51)과 건조(52) 기술이 310건으로 절반을 넘고 있어 주요 기술개발 분야로 나타났으며 최종 발생량(케익)을 줄이기 위한 가공처리기술(54)이 106건으로 그 다음 비중을 차지하고 있다. 슬러지 처리기술은 단계별로 농축 및 탈수(51), 안정화 및 개량(54), 건조(52) 기술이 핵심이고 수집·전처리(50)와 분리·제거(53) 기술이 부수기술로 볼 수 있다[14-15]. 세부분야(50)에는 슬러지 수집기, 침전·공급장치, 제거장치가 주를 이루었고, 세부분야(51)에는 전통적인 기계적 압력을 이용한 탈수기술 외에 전기탈수(electro-dew-

Table 8. Name and Examples of Specific Field [Field 6]

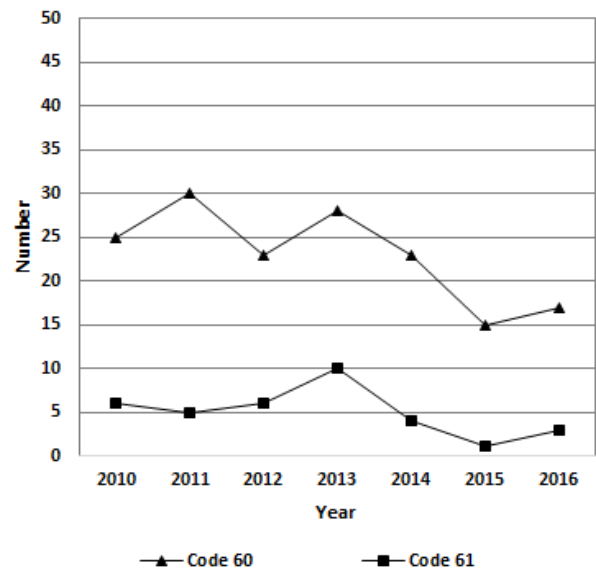
No.	Specific Field	Example technologies
60	Anaerobic digestion technology	- Anaerobic digester and digestion process
61	Anaerobic WWT and aerobic digestion technology	- Anaerobic WWT - Membrane-combined anaerobic treatment

atering) 등의 다양한 탈수기술이 나타났다[16], 건조기술(52)에는 전통적인 직접 건조 외에도 마이크로파, 열매체유 이용 등 에너지효율을 제고하는 간접 건조기술도 다수 개발되어 등록되었다[17]. (53)에는 슬러지의 분리·제거 및 파쇄, 배출기술 등이 포함되어 있다.

3.7. 혐기성 처리기술[분야 6]

혐기성 처리기술 [분야 6]은 2개 세부분야로 분류하였다(Table 8). 혐기성 소화기술은 전처리 기술과 소화기술로 구분할 수 있으나 통상 일체형으로 결합하여 운영되므로 모두 세부분야(60)에 포함하였으며 세부분야(61)에는 혐기성 소화기술 외에 모든 혐기성 수처리 기술과 호기성 소화기술(발효 포함), 분해소멸기술 등을 포함하였다. 혐기성 소화기술은 슬러지만 아니라 기타 유기성 폐기물(축산분뇨, 음식물쓰레기 등)에도 적용할 수 있으며, 특히 기술의 적용 대상물질을 특별히 한정된 경우를 제외하고는 분석대상에 포함하였다. 혐기성 소화공정은 슬러지의 전처리, 소화조, 후처리 공정을 대부분 포괄하므로 바이오가스 생산 측면에서 보면 증산기술, 정제기술, 활용기술로 세분할 수 있는데 여기서는 슬러지 처리기술이라는 측면에서 정제 및 활용기술은 제외하였다[14].

이 분야에는 총 203건이 등록되었으며 2013년에 38건으로 다소 많기는 하나 연도별로 큰 변동폭 없이 20~30건 내외가 등록되었다(Fig. 7). 슬러지 소화공정(60)에 166건이 등록되어 대부분을 차지하였다. 국내 슬러지 소화시설이 수년 전부터 본격적으로 확충되고 있음을 감안할 때 상당수의 특허기술이 실용화 단계로 접어든 것으로 분석되고 향후 에너지자립 측면에서 하·폐수 처리시설의 소화시설이 확충될 것으로 예상되어 지속적인 기술개발과 특허 등록이 예상된다. 혐기성 소화기술 외에 호기성 소화기술과 혐기성 수처리기술이 포함된 (61)도 신개념 기술이라 할 수 있는 전혐기성 처리기술, 막결합형 처리기술 등을 포함하여 건수는 적으나 꾸준히 등록되고 있다[18].

**Fig. 7.** The trend of registered patents in [Field 6].

3.8. 소재·제재·미생물 등 원료물질[분야 7]

하·폐수 처리용 소재기술 [분야 7]은 하·폐수 처리공정에 적용되는 각종 촉매, 소재, 제재, 원료, 화학약품, 담체, 미생물 등을 대상으로 포함하였고 4개 세부분야로 분류하였다(Table 9). (73)에는 여재 및 담체 자체의 제조기술을 포함하였으며 이를 적용한 공정기술의 경우는 [분야 1] 또는 [분야 2]에 분류하였다.

이 분야에는 총 240건의 특허가 등록되었으며 타 분야와 유사하게 2013년에 52건을 정점으로 다소 감소하였으며 2015년 이후 20여 건 이상을 유지하고 있다(Fig. 8). 세부분야별로는 제재·조성물 분야(72)가 120건으로 절반을 차지하고 있으며 2012년~2013년 최고치를 기록한 이후에도 매년 10건 이상 지속적으로 등록되고 있다. 촉매·전극분야(70)의 경우 아직 경제성이 부족하다는 인식에도 불구하고 2013년 이후 지속 등록되고 있으며 이는 전기화학적 처리기술 개발과 연관되는 것으로 분석된다. (70)에는 수처리용 각종 전극과 광촉매를 비롯한 촉매물질, (71)에는 바실리스균, 종속영양 박테리아 등 미생물 제재와 배양기술, (72)에는 응집

Table 9. Name and Examples of Specific Field [Field 7]

No.	Specific Field	Example technologies
70	Catalyst and electrode	- Electrodes and electrode modules - Photocatalyst and nanocapsules
71	Microbiological culture related technology	- Specific microorganisms - Microbial activator and culture method
72	Various materials and compositions used for WWT	- Chemical neutralizing agents and flocculants - Adsorbents and adsorption material - Activated carbon, charcoal powder
73	Media and carrier	- Carrier, carrier housing and unit - Other microorganism fixing media

Table 10. Name and Examples of Specific Field [Field 8]

No.	Specific Field	Example technologies
80	Membrane material and manufacturing	- Membrane material and surface modification - Membrane manufacturing equipment
81	Membrane module and assembly(unit)	- Modules, cartridges, assemblies, elements - Membrane supporter, frame, unit, module skid

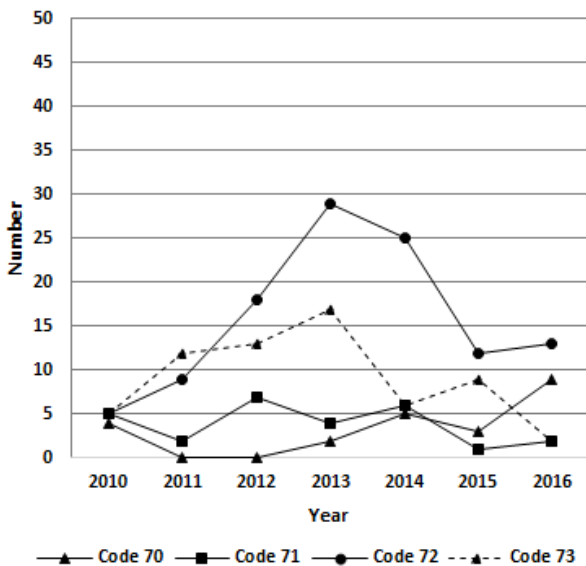


Fig. 8. The trend of registered patents in [Field 7].

제, 중화제 등 화학약품과 흡착용 소재, 중금속처리 조성물, 외부탄소원 조성물 등이 포함되어 있고 (75)에는 담체 소재와 하우스, 유니트 기술이 등록되었다.

3.9. 분리막 소재 및 모듈[분야 8]

분리막 소재 · 모듈기술 [분야 8]은 분리막 소재 및 제조(80), 모듈(81) 등 2개 세부분야로 분류하였다(Table 10). 분리막 자체는 하 · 폐수 처리 분야뿐 아니라 타

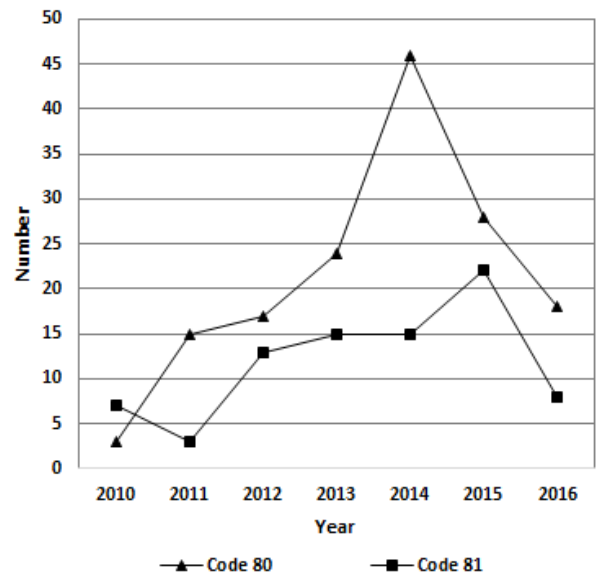


Fig. 9. The trend of registered patents in [Field 8].

분야에도 적용할 수 있는 범용화 기술로서 여기서는 적용 대상에 수처리 용도를 포함한 특허를 발체하여 분석하였다. 소재 및 제조(80) 기술의 경우 적용 대상이 광범위하나, 모듈 및 조립체(81)는 주로 수처리 분야에 적용하기 위해 개발된 기술이다.

이 분야의 특허는 총 258건으로 2010년 10건에 불과하였으나 2014년에는 61건으로 크게 증가하였다(Fig. 9). 대체수자원을 확보하기 위해 하 · 폐수 재이용이 확대되

Table 11. Name and Examples of Specific Field [Field 9]

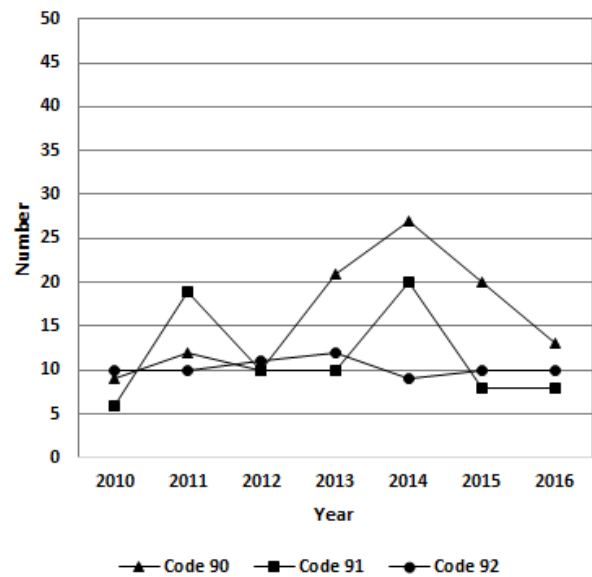
No.	Specific Field	Example technologies
90	Maintenance and operation technology of membrane	- Cleaning, fouling reduction - Prevention of clogging and regeneration
91	Membrane tech. in the biological treatment process	- Membrane bioreactor (MBR) - Retentate treatment
92	Membrane tech. in the physico-chemical treatment process	- Membrane applied process combined with chemical agglomeration

고 안정적인 처리수질 확보를 위한 고도처리 기술이 확산되면서 국내 관련 기업들이 선진국의 분리막 소재와 모듈을 모방하는데서 벗어나 독자적인 설계·제조 기술을 확보하는 추세인 것으로 분석된다. 세부분야별로는 소재·제조 분야(80)가 151건, 모듈기술(81)이 83건이다.

3.10. 분리막 장치의 운전·세정 및 적용공정 기술[분야 9]

분리막 운영·관리기술 [분야 9]은 3개 세부분야로 분류하였다(Table 11). 운영, 유지 및 운전기술(90)은 멤브레인 성능에 가장 중요한 요소인 파울링 저감과 관련된 기술로서 세정기술과 약품 및 공기 제어 등 운전기술을 포함하고 있다[19]. 생물학적 처리공정과 결합된 공정기술(91)은 반응조 개선과 MBR 기반의 처리기술이 주를 이루었고 물리화학적 처리공정과 결합된 기술(92)은 응집공정 등 화학적 처리기술과 결합된 경우가 다수였다[20]. 실제 시설에는 방류수질을 고도화하기 위해 대부분 생물학적 공정과 전기분해, AOP 공정 등 물리화학적 처리공정과 결합되고 MF, UF, RO 등 다양한 분리막을 조합한 공정이 많이 적용된다[21-23]. (91)과 (92)에는 이러한 다양한 조합 기술이 포함되어 있으며 핵심 기술이 적용되는 공정을 기준으로 분류하였다.

이 분야는 278건이 등록되었고 세부 영역별로는 유지·운전기술 분야(90)이 112건으로 가장 많았다(Fig. 10). 연도별로는 2014년이 56건으로 가장 많기는 하나 큰 변화 없이 매년 30건 이상씩 지속적으로 등록되고 있다. [분야 9]와 소재·모듈기술인 [분야 8], 분리막 제어기술(100)과 합하면 분리막 관련 특허는 총 552건으로 전체 특허 중 16%를 차지하고 있으며 타 분야와 달리 지속적인 증가 추세를 보이고 있어 향후 점유 비율이 더욱 높아질 전망이다. 분리막 적용공정은 상대적으로 안정적인 방류수질을 담보할 수 있고 재이용 수질 확보가 용이하나 아직까지는 설치·운영비가 상대적으로 고가라는 인식이 있으므로 향후 처리효율 향상을 기

**Fig. 10.** The trend of registered patents in [Field 9].

반으로 경제성으로 제고하는 방향으로 MBR을 포함한 분리막 적용 처리기술 개발이 촉진될 것으로 보여[21] 특허도 지속적인 증가세를 보일 것으로 예상된다.

3.11. 측정·제어 및 평가기술[분야 10]

하·폐수 처리공정에 사용되는 각종 측정 및 제어기술 [분야 10]은 6개 세부분야로 분류하였다(Table 12). 세부분야별로 보면 분리막 제어기술 분야(100)의 경우 성능 확보를 위한 막오염 측정과 모듈 시험기술, 세정 효과 진단 기술 등이 주를 이루고 있다[24-25]. 분리막 공정은 유입수질, 수온과 플럭스 등의 조건에 따라 분리막 오염 양상이 달라지므로 이에 적절히 대처하는 기술이 주요 제어기술로 나타나고 있다. 수질측정 및 모니터링기술 분야(101)에는 하·폐수 처리시설에서의 수질측정기기, 반응조 모니터링, 약품주입량 측정 기술 등이 포함되어 있다. 공정제어기술 분야(102)에는 IT 기술과 접목한 폭기동력 등 에너지 제어기술, 수질 모니

Table 12. Name and Examples of Specific Field [Field 10]

No.	Specific Field	Example technologies
100	Membrane related measurement and control technology	- Measurement of membrane pollution index - Membrane module test method and device - Cleaning diagnostic device
101	Measurement of water quality and operation factor monitoring technology	- Water quality measurement (T-P, T-N, etc.) - Reactor monitoring and measurement - Coagulant dosage optimizer
102	Treatment process control and operation	- Energy and aeration control - Chemical coagulation process control - Integrated automatic operation system
103	Process performance evaluation, process diagnosis	- Wastewater treatment performance test - Process diagnosis and evaluation
104	Eco-toxicity	- Toxicity evaluation using microorganisms - Ecotoxicity detection
105	Sludge treatment process related measurement and control	- Digester control and biogas prediction - Sludge sedimentation measuring device

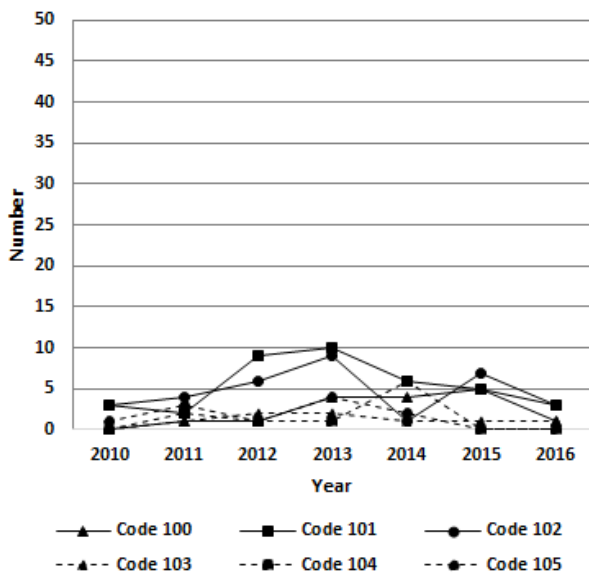


Fig. 11. The trend of registered patents in [Field 10].

터링을 기반으로 한 원격제어 및 자동운전기술 등이 포함되어 있다[26-27]. 성능 평가 및 진단기술 분야(103)에는 하·폐수 처리시설의 성능평가와 공정진단 기술이 주를 이루고 있으며, 생태독성 관련기술(105)은 평가기술로 보아 이 분야에 포함하였으며 기존의 물벼룩 외의 유글레나속 미생물 등 신규 독성평가 생물종과 독성탐지 기술 등 신개념 기술이 등록되었다. 슬러지 관련 계측기술(106)은 [분야 5]와 중복되는 경우도 있으나 제어기술이 핵심인 경우는 여기에 포함하였으며 주

로 소화조 제어, 소화가스 예측, 슬러지침강 측정 기술인 것으로 나타났다.

이 분야에는 총 120건이 등록되어 타 분야에 비해 적은 건수를 나타냈다(Fig. 11). 세부분야별로는 수질측정과 운영인자 모니터링기술이 포함된 (101)에 38건, 공정제어 기술(102)에 33건이 등록되어 절반 이상을 차지하였다. 연도별로 보면 2013년에 30건으로 최고치로 나타낸 이후 감소되고 있다. 이 분야에서는 각종 제어장치나 시스템에 대한 특허 요인이 많을 것으로 예상됨에도 전반적으로 타 분야에 비해 등록 건수가 적은 것은 국내 기업들의 기술력이 취약함을 반영하고 있으며 선진국과의 기술 경쟁을 위해서는 필수적으로 강화되어야 할 분야이다.

4. 결 론

특허 기술의 질적 수준을 객관적으로 평가하기는 용이하지 않으나 특허 등록 추세를 분석하여 주요 기술개발 대상 아이템을 분석하였다. 2010년 이후 국내 하·폐수 처리기술 분야에서 등록된 총 3,356건의 내용과 등록 추이는 아래와 같은 시사점을 나타내고 있다.

첫째, 국내 특허 등록 건수는 2012년~2013년을 피크로 이후 다소 감소하였고 2015년 이후 350~400건을 유지하는 추세이다. 기본적인 처리기술들의 특허가 상당수 누적되어 신규 특허 대상기술이 감소하는 측면도 있으나, 국내 하·폐수 처리시설이 대부분 완비되어 신

규 투자 수요가 감소하고 기존시설의 개선 필요성이 적어 기술 수요가 감소하는 것이 주요 요인으로 보인다. 공공부문의 경우 총인처리시설에 투자한 이후 하수처리 시설에 대한 투자 수요가 감소하고 있으며 산업폐수 역시 최근 10여 년간 방류수기준 강화 등 투자요인이 없어 기존 시설을 보수하는 수준의 수요를 보이고 있다.

둘째, 10개 기술 분야별로 분석한 결과 공정기술의 경우 영양물질 제거를 위한 고도처리기술[세부분야 12, 14, 20, 22], 장치·기기 기술[분야 3], 분리막 관련 기술[분야 8, 9]이 큰 비중을 차지하고 지속적인 증가 추세를 보이는 반면, 공정 제어기술[분야 10]은 건수도 적고 증가 추세도 보이지 않고 있어 취약한 분야로 분석된다. 이 중 장치 기술과 관련된 특허 건수가 많은 것은 공정기술의 기초가 된다는 점에서 바람직한 것으로 평가되는 반면, 선진국 기술을 따라잡기 위해 필수적인 공정 모니터링 및 제어기술 특허가 적고 에너지절감형 기기를 조합한 통합운영 관리기술이나 선진국에서 개발하거나 상용화된 특수미생물 처리기술, 혐기성 처리 기술 등 기존 처리기술을 뛰어넘는 첨단기술 건수가 적은 것도 미흡한 부분이다.

셋째, 규제기준이 강화되어 투자 수요가 증가되는 분야에서 특허 등록 건수가 증가함을 알 수 있다. 화학적 처리기술 및 여과기술이 총인처리시설 신규 투자에 비례하여 증가하였고 또한 하·폐수 재이용 추세에 맞춰 분리막 관련 특허가 전반적으로 증가 추세를 보이고 있으며 슬러지 해양투기 금지 조치와 더불어 슬러지 처리 기술 역시 증가하였다.

넷째, 하·폐수 처리기술 특허 등록 건수는 개략적으로 비교해 볼 때 선진국에 비해 적지 않은 것으로 나타나 국내 기업이나 연구기관의 기술개발이 아직까지 활발히 진행되고 있음을 알 수 있다. 향후 국내 수요시장이 확대되고 기술역량이 보다 업그레이드되면 국내 기업들이 해외시장에서도 선진국 선도 기업들과 경쟁할 수 있는 기술력을 확보할 것으로 예상되며, 이를 위해 국내 수질기준의 강화, 기존 시설의 고도화 등 시설투자 확대, 해외시장 진출 지원정책 등을 보다 강화할 필요가 있다.

감 사

본 연구는 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업으로 지원받은 과제임(과제번호 : 2016001410001).

Reference

1. D. I. Oh, J. S. Choi, M. S. Yoon, and S. I. Kim, "The trends of future-oriented sewage treatment system technologies", The report of technological trends, pp. 3-9, KEITI (Korean environmental industry and technology institute), Seoul (2011).
2. J. T. Kim, H. Y. Hwang, B. P. Hong, and H. S. Byun, "The background and direction of R&D project for advanced technology of wastewater treatment and reuse", *Membr. J.*, **21**, 283 (2012).
3. H. G. Kim, D. H. Ahn, E. H. Cho, H. Y. Kim, H. Y. Ye, and J. S. Mun, "A study on the biological treatment of RO concentrate using aerobic granular sludge", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **38**, 80 (2016).
4. M. H. Halim, A. Anuar, S. Azmi, N. Jamal, N. Wahab, Z. Ujang, A. Shraim, and M. Bob, "Aerobic sludge granulation at high temperatures for domestic wastewater treatment", *Bioresource Technol.*, **185**, 445 (2015).
5. J. M. Lee, J. H. Choi, W. I. Lee, G. D. Kim, and T. H. Chung, "A study on characteristics of aerobic granule in sequencing batch reactor", *Proc. of Joint Autumn Conference*, Kor. soc. of water and wastewater and Kor. soc. of water environ., Seoul, pp. A-111 (2006).
6. C. S. Cho and S. H. Lee, "Biological nutrient removal using porous media", *J. Digital Policy & Management*, **11**, 238 (2013).
7. S. H. Park, D. J. Kang, K. S. Yang, S. B. Jeon and K. J. Oh, "Efficiency of nutritive salts removal and algae growth inhibition using a fibrous carrier", *Clean Technol.*, **21**, 258 (2015).
8. S. K. Lee, M. S. Park, S. J. Yeon, and D. H. Park, "Optimization of chemical precipitation for phosphate removal from domestic wastewater", *J. Kor. Soc. Water and Wastewater*, **30**, 664 (2016).
9. G. Y. Lee, J. C. Kim, J. H. Lim, J. W. Lee, J. M. Park, S. H. Lee, J. K. Nam, and Y. W. Lee, "Study of inorganic photocatalyst media for reused wastewater", *J. Kor. Soc. on Water Environ.*, **31**, 42 (2015).

10. Y. D. Lim, K. S. Shin, J. H. Kim, S. K. Park, and E. Y. Song, "Study on total dissolved solid removal and fouling of capacitive deionization process for wastewater treatment", *Proc. of Joint Spring Conference*, Kor. soc. of water and wastewater and Kor. soc. of water environ., Seoul, pp. 706 (2014).
11. B. G. Kim and H. S. Kim "Future technology to produce energy simultaneously with wastewater treatment : Microbial Fuel Cell(MFC)", *Water for future*, **47**, 10 (2014).
12. I. S. Oh and B. S. Kim, "Development of eco-friendly automatic dissolving system for emulsion polymer", *J. Kor. Soc. of Mechanical Technol.*, **17**, 184 (2015).
13. S. Y. Mo, P. E. Lee, B. S. Kim, and T. J. Lee, "A study of sewage treatment using self-cleaning filtration unit", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **38**, 309 (2016).
14. C. Y. Lee, W. J. Chung, and J. T. Kim, "A Study on the development trends of wastewater sludge treatment technology". *J. Kor. Geo-Environmental Soc.*, **17**, 6 (2016).
15. J. K. Bae, B. T. Kim, J. I. Kim, J. H. Park, I. K. Ching, C. I. Park, D. J. Kim, H. D. Bae, and K. J. Na, "The disposal and recycling method of sewage sludge", pp. 96-252, Environmental Management Corporation, Seoul, (2005).
16. A. Mahmoud, J. Olivier, J. Vaxelaire, and A. Hoadley, "Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering", *Water Research*, **44**, 8 pp. 2381-2407 (2010).
17. S. J. Baik, I. S. Han, S. M. Hong, and S. H. Kang, "Research on drying characteristics of sewage sludge by indirect heating device using thermal oil", *J. Kor. Soc. of Waste Management*, **31**, 575 (2014).
18. G. Skouteris, D. Hermosilla, P. Lpopez, C. Negro, and A. Blanco, "Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: A review, *Chem. Eng. J.*, **198**, 139 (2012).
19. J. W. Park, H. J. Park, M. H. Kim, Y. K. Oh, and C. H. Park, "A study on fouling characteristics and applicability of fouling reducer in submerged MBR process", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **35**, 371 (2013).
20. S. H. Hyun, E. D. Kim, S. K. Hong, W. Y. Ahn, S. K. Yim, and G. T. Kim, "Treatment of secondary municipal wastewater by submerged hollow fiber MF membranes for water Reuse", *J. Kor. Soc. of Water and Wastewater*, **19**, 48 (2005).
21. I. H. Cho and J. T. Kim, "Trends in the technology and market of MBR for wastewater treatment and reuse and development directions", *Membr. J.*, **23**, 39 (2013).
22. S. G. Kang, H. G. Lee, J. W. Kim, and K. B. Han, "Application of microfiltration and reverse osmosis system to sewage reuse for industrial water", *Membr. J.*, **12**, 151 (2002).
23. Y. J. Choi and K. H. Lee, "Advanced treatment of sewage and wastewater using an integrated membrane separation by porous electrode-typed electrolysis", *Membr. J.*, **22**, 96 (2012).
24. B. Marrot, A. Barrios-Martinez, P. Moulin, and N. Roche, "Industrial wastewater treatment in a membrane bioreactor: A review", *Environ. Progress*, **23**, 59 (2004).
25. K. T. Park, J. W. Park, J. H. Park, H. S. Kang, J. H. Kim, and H. S. Kim, "Evaluation of membrane fouling by MBR operation conditions in MBR-RO", *J. Kor. Soc. of Water and Wastewater*, **30**, 546 (2016).
26. Y. H. Yoon, J. S. Ji, J. R. Park, and T. Y. Lee, "The study on improving method of high efficient management of wastewater treatment plant by the integrated control system", *Proc. of Spring Conference*, *Kor. Soc. Environ. Eng.*, pp. 1555, Seoul (2005).
27. Y. W. Kim, I. S. Seo, H. S. Kim, and J. Y. Kim, "Assessment on economies-environmental affect of smart operation system(SOS) in sewage treatment plant", *J. Environ. Impact Assessment*, **22**, 582 (2013).