

**친환경 유기랭킨사이클 발전시스템  
기술시장 전망**

2016. 10

이 동 원

# 차 례

I. 미활용에너지 .....	1
1. 미활용에너지란? .....	1
2. 대표적 미활용에너지 산업폐열 .....	2
II. 버려지는 저온 폐열을 이용하는 기술, ORC .....	5
1. ORC 발전이란? .....	5
2. ORC 발전시스템의 필요성 .....	7
3. ORC 발전시스템 확대 적용의 장애물 .....	9
III. 수요 창출을 위한 ORC 기술개발 방향 .....	12
1. 기존 시스템과의 연계를 통한 ORC 발전시스템 기술개발 .....	12
2. 경제성 확보를 위한 요소기술 개발 .....	16
3. ORC 특허출원 동향 .....	18
IV. 저온 폐열을 이용한 ORC 시장의 성장 .....	23
1. ORC 발전 시장 개요 .....	23
2. 폐열회수 시스템 시장 동향 .....	24
3. ORC 발전시스템 시장 동향 .....	27
4. ORC 발전시스템 핵심 플레이어 .....	30
5. 중소기업의 시장 진입 방안 .....	33
V. 기술사업화를 위한 제언 .....	34
참고문헌 .....	37

## 표 차례

표 1 미활용에너지 종류.....	1
표 2 ORC 발전시스템 주요 구성 요소.....	6
표 3 주요 기업의 ORC 발전시스템 비용.....	10
표 4 ORC 발전을 통한 회수 가능한 열원.....	12
표 5 주요 기업의 팽창기 개발 동향.....	17
표 6 분석 대상 특허.....	18
표 7 대상기술 관련 핵심특허 리스트.....	21
표 8 ORC 발전시스템 시장 촉진/저해 요인 분석.....	24
표 9 세계 산업별 폐열 회수 시스템 시장 규모 및 전망.....	26
표 10 2015년 설치가 확정되거나 계획된 ORC 발전시스템 프로젝트 현황.....	29
표 11 ORC 시스템 주요 업체.....	32

## 그 립 차 례

그림 1 하수열 재활용 시스템 개념도.....	2
그림 2 시멘트 공정에서의 폐열발전(Waste Heat Recovery Power Generator) 개요	3
그림 3 복합화력발전에 활용되는 배열회수보일러.....	3
그림 4 ORC 발전 구성도 및 운전선도.....	5
그림 5 세계 폐자원 에너지화 시장규모(2010~2016년).....	8
그림 6 중앙집중형과 분산발전 방식 차이 .....	8
그림 7 신재생에너지와 ORC 시스템의 조합.....	9
그림 8 태양열과 ORC 발전시스템 조합.....	13
그림 9 지열발전과 ORC 발전시스템 조합.....	14
그림 10 바이오매스 연소와 OCR 발전시스템 조합.....	15
그림 11 여러 종류의 팽창기.....	16
그림 12 주전열면 열교환기.....	17
그림 13 세계 ORC 발전시스템 관련 특허 출원 동향.....	18
그림 14 국가별 출원 동향.....	19
그림 15 기술수명주기상 위치.....	20
그림 16 ORC 발전시스템 산업구조도.....	23
그림 17 응용분야별 폐열 회수 시스템 시장 .....	25
그림 18 폐열회수 시스템의 응용분야별 전망.....	25
그림 19 폐열회수 시스템 지역별 시장 전망(2013년~2018년) .....	26
그림 20 응용분야별 세계 ORC 발전시스템 시장 현황.....	27
그림 21 국가별 ORC 발전시스템 설치 현황.....	28
그림 22 폐열 활용 산업분야.....	29
그림 23 주요 업체 시장 점유 현황(2016년).....	30
그림 24 터빈 팽창기가 적용된 Turboden사 1MW급 ORC 시스템.....	31
그림 25 (주)삼영이엔지 ORC 시스템.....	31
그림 26 ORC 시스템 관련 학술활동 빈도.....	34
그림 27 디젤 자동차 엔진과 ORC 발전시스템 조합.....	35
그림 28 ORC 시스템 용량별 팽창기 적용 현황.....	35

# I . 미활용에너지

## 1. 미활용에너지란?

최근 에너지 자원, 온실가스 배출 등과 관련한 국제적 분쟁과 규제가 심화되고 있으며, 에너지 자원이 부족하고 막대한 양의 에너지를 수입에 의존하는 국내 현실을 고려해 볼 때, 에너지의 효율적 이용은 국가 경쟁력 향상과 직결되는 중요한 문제로 대두되고 있다.

온실가스의 대부분이 에너지 사용의 결과로 발생하므로, 기후변화협약에 대응하기 위해서는 근본적으로 에너지절약 및 고효율화 달성을 통한 에너지 사용량 절감 방안을 마련해야 한다. 선진 각국에서는 장기적인 안목에서 풍력, 태양에너지, 연료전지 등 신재생에너지 사용의 확대를 통하여 온실가스를 근본적으로 배출하지 않는 방안과 더불어 현실적인 온실가스 감소를 위하여 에너지 절약사업과 효율향상 위주의 정책을 병행하여 정책을 추진하고 있다.

하지만 국내에서는 태양광, 풍력, 수력, 연료전지 등 대표적인 신재생에너지 분야에 대해서는 다양한 정책적 지원, 지원사업과의 연계 등으로 필요성에 대한 인식이 매우 높지만, 기술적 한계로 버려지는 에너지를 활용하는 기술에 대해서는 아직 체계적인 정책적 지원이나 산업계의 관심이 비교적 높지 않은 실정이다.

표 1 미활용에너지 종류

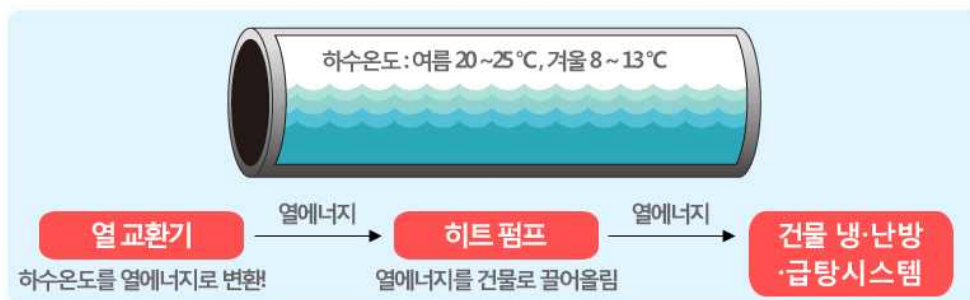
구분	에너지원	온도	에너지 공급 안정성
온도차 에너지	지열	계절에 따라 대기온도보다 높거나 낮을 수 있음	항상 이용 가능
	해수		
	하천수		거의 대부분 이용 가능
	호수		
재활용 에너지	하수	연간 대기온도보다 높으며, 100℃를 초과하는 경우도 있음	시스템 작동시 거의 이용 가능
	지하철폐열		
	변전소폐열		
	발전소 폐열		
	폐기물 소각열		
산업체 폐열			

: 도시지역 미활용 에너지의 타당성에 관한 사례분석(2013), 재정리

미활용에너지(Unused Energy)란 인간의 생활 또는 생산활동을 위해 사용하는 에너지 중 경제적 가치나 기술적 이용 방법의 한계로 회수되지 못하고 자연계로 돌아가는 에너지인 “도시폐열”과 자연 상태의 태양열 에너지를 저장하고 있는 해수, 하천수, 지열 등 자연에너지 중 활용이 가능한 온도차 에너지 등을 의미한다.

이 중 도시폐열은 쓰레기 소각장, 하수처리장, 변전소, 발전소와 시멘트, 화학플랜트 등 산업체로부터 버려지고 있는 각종 폐열(Waste Heat)이 있으며, 온도차 에너지는 수온이 평균적으로 하절기에는 대기온도보다 낮고, 동절기에는 대기온도보다 높은 해수, 하천수 등이 있다.

그림 1 하수열 재활용 시스템 개념도



: 한수원블로그(blog.khnp.co.kr), 한국수력원자력, 2015

이처럼 우리의 생활주변에 다양한 형태로 존재하는 미활용에너지는 기존 발전시스템에 사용되는 화석자원 같은 에너지원(Energy source)보다 품질이 비교적 낮은 에너지원이기 때문에 경제성이 떨어져서 아직 활용도가 높지 않은 실정이며, 특히 선진국에 비해 국내 기술경쟁력은 낮은 수준으로 정부의 미활용에너지 활용 정책 지원과 더불어 많은 연구개발이 진행되어야 할 분야 중 하나이다.

## 2. 대표적 미활용에너지 산업 폐열

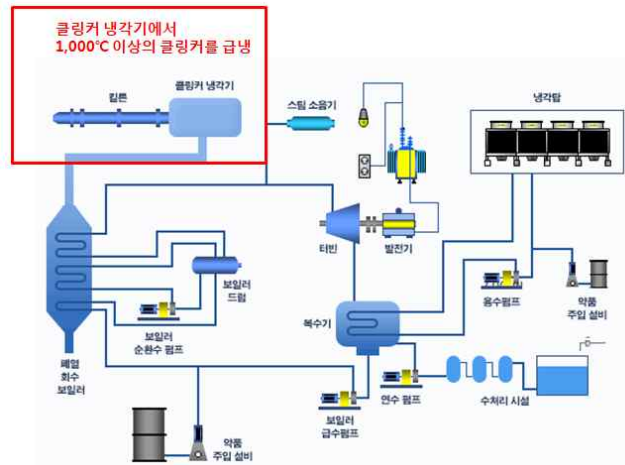
일반적으로 재활용 되지 않고 버려지는 산업 폐열(Waste heat)은 연소장치, 용해로 등 산업공정이나 전기장치, 원동기 등을 가동하면서 발생하는 회수하지 못하는 열을 의미하며, 미활용에너지로서 저등급 에너지(Low grade energy)에 해당한다고 볼 수 있다.

하지만 모든 산업 폐열은 버려지는 것이 아니라 철강, 시멘트, 석유화학, 정유 등 많은 에너지가 투입되는 산업에서는 부산물로 발생하는 양질의 고온 폐열은 현재 다양한 형태로 회수되어 재활용되고 있다.

대표적으로 1,400℃의 고온소성 공정이 필요한 시멘트 제조 공정에서는 소재를 급냉시키는 냉각기에서 발생하는 폐열을 이용하여 증기터빈을 가동시켜 전력과 증

기를 생산하여 이를 제조 공정에 재투입하여 에너지를 절감하고 있다. 이와 같은 산업용 폐열 활용 시스템은 특히 생산공정에서 양질의 폐열이 발생하는 소각설비, 제철설비 및 석유화학 공정 중 황산 생산공정 등 발열반응이 포함된 설비에 적용되고 있다.

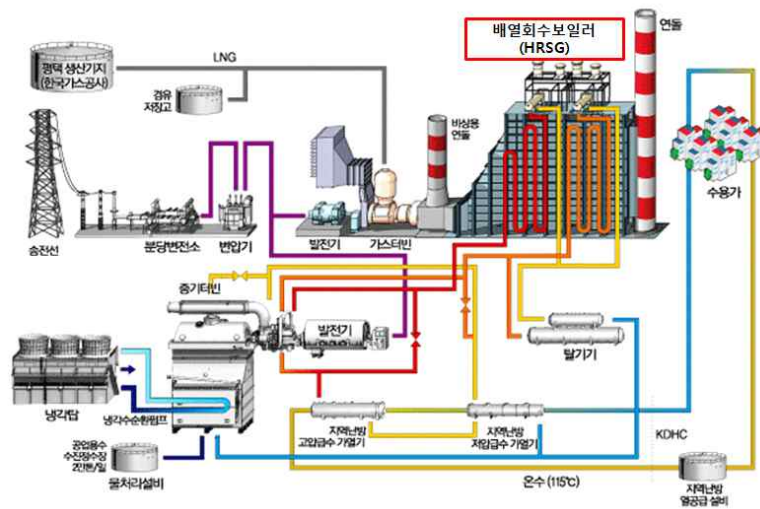
그림 2 시멘트 공정에서의 폐열발전(Waste Heat Recovery Power Generator) 개요



: 효성중공업

복합화력발전소에서도 배열회수보일러(HRSG, Heat Recovery Steam Generator)를 적용하여 가스터빈 구동시 배출되는 고온의 배기가스를 회수하여 열교환기를 통하여 다시 고온 고압의 증기를 생산하고 이를 다시 증기터빈을 구동시켜 발전하고 동시에 온수를 공급하는 시스템으로 대표적인 폐열 회수 시스템을 이용하고 있다.

그림 3 복합화력발전에 활용되는 배열회수보일러



이처럼 산업체의 다양한 폐열원의 특성에 따라 여러 종류의 폐열회수 시스템이 적용될 수 있다. 산업현장에서는 주로 연소배가스, 응축수 및 폐온수로부터 폐열을 회수하는 기술이 적용되고 있으며, 열원에 종류에 따른 경제적 타당성이 폐열회수 시스템을 도입하는 기준이 되고 있다.

고온의 폐열은 효율적인 설비 운영 및 에너지 절감 효과가 크기 때문에 관련 산업계에서 많이 활용되고 있지만, 300℃ 이하의 중저온 폐열은 대부분 버려지고 있는 실정이다. 하지만 환경문제, 화석에너지 절감 등 글로벌 환경 이슈에 대응하기 위해서는 경제성 있는 저온 폐열 회수 기술의 개발이 필요한 실정이다.



## II. 버려지는 저온 폐열을 이용하는 기술, ORC

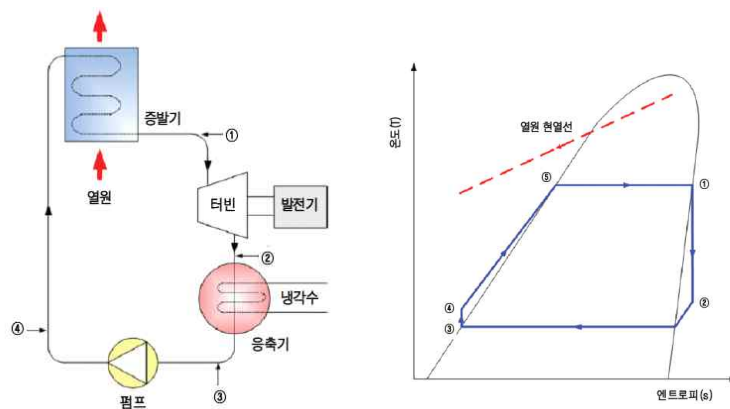
### 1. ORC(Organic Rankine Cycle, 유기랭킨사이클) 발전이란?

현재 많이 활용되고 있는 폐열회수발전 시스템의 경우 고온의 폐열을 이용하기 때문에 일반적인 증기터빈을 활용한 전력생산이 가능하지만, 대부분 버려지는 70~300℃ 수준의 중저온 폐열은 일반적인 증기터빈이 작동유체로 사용하는 물을 이용할 경우 시스템 효율이 저하되어 경제성이 없어 적용이 어렵다.

이러한 중저온의 폐열을 효과적으로 활용하기 위한 방안으로서 유기랭킨사이클(Organic Rankine Cycle, ORC) 발전이 부각되고 있다. ORC 발전은 기존 랭킨사이클이 작동유체(주로 물)가 증발기를 통과하면서 고압화된 후 터빈을 회전시켜 발생되는 축동력을 전기에너지로 변환시키는 원리와 동일하다. 하지만 일반적인 랭킨사이클이 작동유체로서 물을 사용하는 것과 달리 ORC 발전시스템에서는 낮은 에너지 열원에서 작동해야 하므로 프레온 계열의 냉매 또는 프로판 계열의 탄화수소계 물질 등이 적용되는 것이 차이점이다.

ORC 발전시스템은 저온열원을 이용하여 고급에너지인 전기를 생산할 수 있다는 점과 오염물질 및 온실가스가 방출되지 않아 친환경적이며, 시스템 구성이 간단하고 설계 및 유지보수가 상대적으로 용이하다는 장점을 갖고 있다.

그림 4 ORC 발전 구성도 및 운전선도



: 유기랭킨사이클 발전 기술, 기계저널, 2009

일반적인 ORC 발전시스템은 펌프, 증발기(열교환기), 팽창기 그리고 응축기로 구성되어 있으며, 이상적인 사이클의 각 과정은 펌프에서의 압축 과정, 증발기에서의 흡열 과정, 터빈에서의 팽창 과정, 응축기에서의 방열 과정으로 구성된다.

표 2 ORC 발전시스템 주요 구성 요소

구성 요소	역 할
작동유체	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 할로젠화 탄화수소계 화합물/이소부탄 등 유기 화합물 적정한 증기압의 유지되고 밀도가 크며, 열전달 특성이 우수할 뿐만 아니라, 사용온도 범위 내에서 화학적인 안정성과 열분해가 없고, 독성이나 위험성이 없음.</li> <li>○ 톨루엔, 프로리놀85(F-85) 작동온도가 200℃ 이상인 경우 열안정성이 높아 많이 사용</li> </ul>
증발기	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 외부로 부터 열에너지를 공급받는 역할을 하며 주로 판형 열교환기가 사용</li> <li>○ 증발기에서 작동유체의 열교환이 일어나 저온, 고압 액체 상태의 작동유체가 증발기 통과 후 고온, 고압 기체 상태로 변화</li> </ul>
팽창기	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ORC 시스템에서의 팽창기는 일반적인 화력 발전시스템의 터빈과 같은 역할을 수행</li> <li>○ 고압 기체 상태의 작동유체 열에너지가 팽창기 로터를 회전시켜 운동에너지로 변환한 후 저압의 기체 상태로 팽창기를 빠져 나감</li> <li>○ 팽창기는 ORC 발전시스템의 효율향상에 큰 영향을 주는 핵심 부품으로 터빈타입, 스크류 타입, 스크롤 타입, 베인 타입, 피스톤 타입 등이 있음.</li> </ul>
발전기	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 팽창기 회전축에 연결된 발전기는 팽창기의 축회전 토크 및 회전수에 따라 발전량이 변함.</li> <li>○ 수십~수백 kW를 생산하는 발전기의 경우 노이즈 제거를 위해 정류기 등을 복합적으로 사용</li> </ul>
응축기	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 작동유체로부터 얻은 에너지를 방출하기 위한 것으로 수냉식, 공랭식 냉각타워가 일반적으로 사용됨.</li> <li>○ 팽창기를 나온 저압의 작동유체는 응축기를 거치는 과정에서 기체 상태에서 액체 상태 변함.</li> </ul>
펌 프	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저온 저압의 작동유체를 고압으로 올려주는 역할</li> </ul>

ORC 발전시스템 관련 기술개발은 저온 열원에서 높은 성능을 구현할 수 있는 에너지 효율을 향상시키는 기술과 다양한 열원에 적용할 수 있는 응용분야를 확대하는 방향으로 진행되고 있다.

ORC 발전시스템의 성능 향상에서는 팽창기 설계 혹은 작동유체의 물질구성, 처리 등에 따른 기술과 증발기, 응축기에 사용되는 열교환기 관련 기술 등이 있으며, 연료전지, 태양열, 지열 발전시스템 및 내연기관 자동차의 연비향상 등 다양한 응용분야로의 확대를 위한 신기술 개발이 진행되고 있다.

## 2. ORC 발전시스템의 필요성

### 가. 글로벌 환경규제에 대응하기 위한 고효율 발전기술

온실가스의 대부분이 에너지사용의 결과로 발생하므로, 기후변화협약에 대응하기 위해서는 근본적으로 에너지절약 및 고효율화 달성을 통한 에너지사용량 저감 방안을 마련해야 한다. 선진 각국에서는 장기적인 안목에서 태양에너지, 풍력에너지 등 신재생에너지 사용의 확대를 통하여 온실가스를 근본적으로 배출하지 않는 방안과 더불어 현실적인 온실가스 저감을 위하여 에너지절약 사업과 효율향상 위주의 정책을 병행하여 정책을 추진하고 있다. 따라서 고효율 소형 열병합 발전, 저온 회수 발전시스템 등 기존 발전시스템의 효율을 극대화 할 수 있는 기술의 수요도 증가하고 있다.

특히 에너지 자원이 부족하고 막대한 양의 에너지를 수입에 의존하는 국내 현실을 고려해 볼 때, 에너지의 효율적 이용은 국가 경쟁력 향상과 직결되는 중요한 문제로 대두되고 있다.

국내의 경우 제조업 부문이 국가 총 에너지 소비량의 55% 정도를 차지하는 특수성을 지니므로 이 부문에서의 에너지 효율 향상은 타 분야에 비해 보다 큰 파급 효과를 보일 것이다. 국내 제조업 부문은 소비하는 에너지 총량의 약 5%를 폐열로 배출하며, 이 중 약 86%정도가 300~500℃의 배기가스로 배출된다.

저온을 이용할 수 있는 ORC 발전시스템은 중저온 폐열을 회수하여 발전이 가능한 기술로 1961년 이스라엘의 엔지니어에 의해 개발된 이래로 미국 및 유럽의 일부 선진국에서는 이미 오래 전부터 연구개발을 시작하여 현재 상용화를 활발히 진행하고 있는 중이다. 산업 부문에 의존도가 큰 국내의 현실을 고려했을 때 유기랭킨사이클을 이용한 폐열 회수 열병합 발전 기술개발은 산업 분야의 에너지 효율 향상 및 온실가스 저감에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

### 나. 급증하는 에너지 소비에 대응

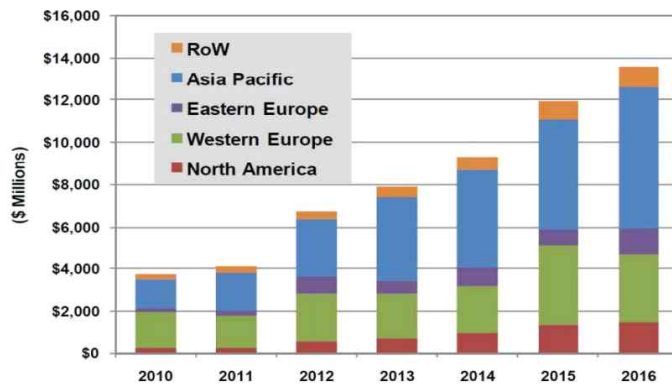
중국 등 신흥 개발국을 중심으로 급격한 공업화에 따른 에너지 소비의 급증으로 에너지 공급 부족 현상이 발생하고 있으며, 원유, 석탄 등 화석연료 사용에 의한 온실가스 배출에 대해 국제적인 규제 정책이 심화됨에 따라 유기성 폐기물 에너지 자원화에 대한 수요도 증가하고 있다.

세계에너지전망(IEO) 2011년 자료에 따르면 2035년 에너지 수요는 2008년 대비 53% 증가할 것이라는 예측을 하고 있다. 이러한 에너지 수요 증가 추세에도 지속 가능한 환경을 유지하기 위해서는 버려지는 에너지를 회수하여 활용하는 기술이 적극 활용되어야 한다.

특히 200℃ 이하 저온 폐열에너지는 전체 산업용 열 생산량의 50% 이상을 차지

할 정도로 매우 풍부하기 때문에 에너지 재활용 기술의 열공급원으로 활용이 가능하다. 따라서 대표적인 저온 열에너지 회수 기술로인 유기랭킨사이클, 초임계 랭킨 사이클, Kalina사이클, 스텔링 엔진, 열음파 엔진(TAE), 역브레이튼 사이클(IBC) 등 다양한 기술의 개발의 필요성이 대두되고 있다.

그림 5 세계 폐자원 에너지화 시장규모(2010~2016년)

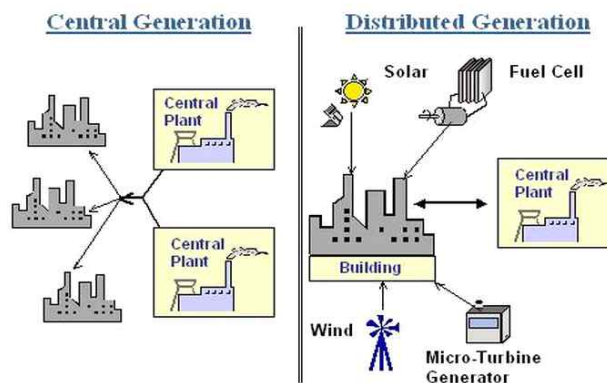


: Pike Research, 2010

#### 다. 분산발전의 수요 증가

최근 들어서 전력이송으로 인한 손실을 최소화하고 분산된 전력 및 에너지 수요에 대응성이 높은 분산발전시스템(Distributed Generation)에 대한 관심이 높아지고 있다. 분산발전이란 전력 수요자 인근지역에 설치 가능한 소규모 발전 설비를 이용하여 수요자에게 필요한 전력을 전량 공급하거나 이미 사용중인 중앙 집중식 전력 공급 체계의 단점을 보완하기 위한 용도로 적용 가능한 발전방식이다.

그림 6 중앙집중형과 분산발전 방식 차이



자료 : 이코노미플러스 2009년 3월호

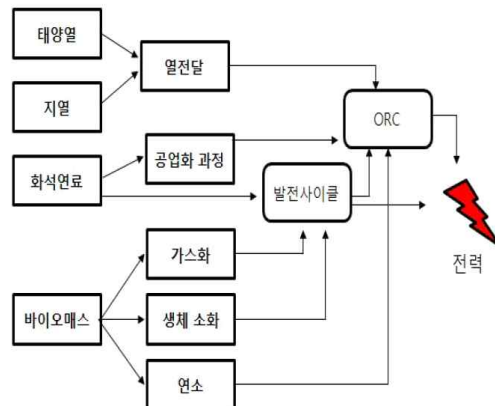
이러한 분산발전 시스템으로 대표적인 것이 열병합발전, 마이크로 가스터빈, 연료 전지 발전시스템 등이 있으며, 신청기술이 적용되는 중소형 ORC 발전시스템과 연계한 하이브리드 형태의 발전시스템을 구축하여 에너지 효율을 극대화 할 수 있다.

#### 라. 기존 신재생에너지와의 조합으로 발전 효율 향상

화석에너지를 대체하기 위한 태양열, 풍력, 연료전지 등 신재생에너지 개발이 국가적인 과제로 부각되고 있으며, 신재생에너지의 확대를 위해 다양한 제도적, 경제적 인센티브도 많이 주어지고 있다.

신청기술이 적용될 ORC 발전시스템의 경우 특히 선진국을 중심으로 지열, 태양열 발전시스템과 연계하여 에너지 효율을 향상시킨 사례가 많이 보고되고 있으며, 최근 연료전지(SOFC 등)와 연계한 발전시스템도 연구가 시작되고 있는 추세로 신재생에너지의 발전 효율을 극대화할 수 있다는 측면에서 유기랭킨사이클 발전기술의 수요도 증가할 것으로 판단된다.

그림 7 신재생에너지와 ORC 시스템의 조합



: KISTI Kosen Report, 2012

### 3. ORC 발전시스템 확대 적용의 장애물

#### 가. ORC 발전시스템의 경제성

ORC 발전시스템 시장 확대에 있어 가장 큰 문제점은 초기 설치비용 문제이다. 특히 산업용 발전시스템을 구축할 경우 ORC 발전시스템 자체가 전체 발전소 설치비용의 50%를 차지하기도 한다.

기본적으로 ORC 발전시스템을 구성하기 위해서는 폐열을 회수하는 열교환기, 응

축기, 펌프와 실제 발전기를 구동시키는 팽창기 등이 필요하며, 이 중 팽창기의 경우 전체 시스템 제조비용의 20%를 점유하고 있다.

ORC 발전시스템의 경우 폐열 및 신재생에너지를 에너지원으로 사용하지만 일반적인 발전시스템에 비해 투자회수시간도 비교적 많이 필요하기 때문에 설치에 따른 정부의 정책적 지원 및 인센티브가 필요한 실정이다.

대표적인 ORC 발전시스템 개발사인 Pratt & Whitney사의 ORC 발전시스템은 kW당 1,000달러에서 2,000달러 정도 수준이며, 기존 발전시스템과의 통합 및 설치비용은 시스템 가격의 50~150% 수준으로 발전 용량 대비 비용이 많이 소요되기 때문에 시스템 제조 및 설치와 관련된 기술혁신을 통해 초기 비용 절감이 필요하다.

표 3 주요 기업의 ORC 발전시스템 비용

기업	시스템 용량(kW)	단가(유로/kW)
Turboden (Pratt & Whitney)	500	1,900
	1,000	1,350
	2,000	950
Tri-O-Gen	150	3,000
EEP-Europe	55	1,820
	250	1,320

: Turn waste heat into electricity, IFEST, 2010

#### 나. 다양한 열원, 발전 용량에 대응할 수 있는 기술력의 한계

ORC 발전시스템의 경우 바이오매스, 지열, 산업폐열 등 다양한 열원을 이용하여 1kW에서 MW급까지 폭 넓은 범위의 발전 용량의 구현이 요구되고 있다. 따라서 발전 용량과 열원에 따라 가장 효율적인 시스템 구성이 필요하며, 특히 실제 운동 에너지를 발생시키는 팽창기의 경우 발전 용량별로 가장 효율적인 기술의 적용이 필요하고, 저온의 열원에서 가장 효율적인 열교환이 될 수 있는 최적의 기술도 필요하지만, 아직 경제성 있는 최상의 시스템 효율을 가진 ORC 발전시스템 설계 기술은 아직 정립되지 않은 실정이다.

#### 다. 국내 ORC 발전시스템 서플라이체인 부재

ORC 발전시스템은 펌프, 열교환기, 응축기, 팽창기 등의 다양한 부품으로 구성되며, 개별 구성요소가 시스템 효율에 영향을 미치기 때문에 팽창기의 효율 향상만으로 전체 시스템의 효율을 향상시키기가 쉽지 않다.

따라서 전체 발전시스템의 효율 향상을 위해서는 전체 시스템 설계, 핵심 요소

부품의 설계 등 전체 시스템 관점에서의 기술적 협력이 필요하다. 펌프만 하더라도 10bar 이상의 압력이 작용할 경우 성능 및 내구성이 문제될 수 있으며, 다양한 열원에 대응하기 위한 열교환기 성능 향상 기술 및 작동 유체 선정 등 다양한 기술이 조화를 이루어야 전체 ORC 발전시스템의 성능 향상을 기대할 수 있다.

국내에서는 한국에너지기술연구원, 한국기계연구원 등 출연연구기관을 중심으로 관련 기술에 대한 연구가 진행되고 있을 뿐, 아직 ORC 발전시스템 분야를 주도할 만한 대표적인 시스템 개발 기업이 없기 때문에 시스템 개발을 위한 컨소시엄의 부재로 인한 경쟁력 있는 기술 개발에 어려움을 겪고 있다.

따라서 효율 향상을 위한 ORC 발전시스템의 개발을 위해선 산학연 그리고 펌프, 증발기, 응축기 등 관련 업체의 컨소시엄의 구성과 유기적인 협력을 통한 기술개발이 필요한 실정이다.

### Ⅲ. 수요 창출을 위한 ORC 기술개발 방향

#### 1. 기존 시스템과 연계를 통한 ORC 발전시스템 기술 개발

ORC 발전시스템은 제철, 제강 등 철강공장, 제지 공장, 섬유, 식품 가공 공장, 쓰레기 소각장, 열병합발전소, 선박 배기가스(Green Ship)의 미활용 열에너지를 활용하여 발전이 가능하다. 특히 ORC 발전시스템은 저온의 열원을 이용할 수 있다는 장점을 갖고 있어 다른 발전시스템에 비해 응용분야가 넓고, 기존 발전시스템의 하부 사이클(Bottoming cycle)로 적용하여 전체 발전시스템 효율을 향상시킬 수 있는 장점을 갖고 있다.

표 4 ORC 발전을 통한 회수 가능한 열원

열원의 상태	열원의 종류
기체상태 열원	내연기관(디젤엔진, 가스터빈)의 배기가스
	금속(철) 용광로의 배기가스
	시멘트, 유리 산업에서 비금속 용광로 배기가스
	쓰레기 소각로(산업 또는 민간)의 배기가스
액체상태 열원	정유공장의 고열 액체유동
	산업공정에서 냉각수
	왕복동형 엔진의 냉각수
기상에서액상으로 응축하는 열원	정유공장에서 액화공정 중의 유체
	제작 공정 중 발생하는 증기의 액화과정
	산업공정에서 기화된 냉각수의 액화과정

: 동국ENC, 중저온 ORC 발전 설비, 2011

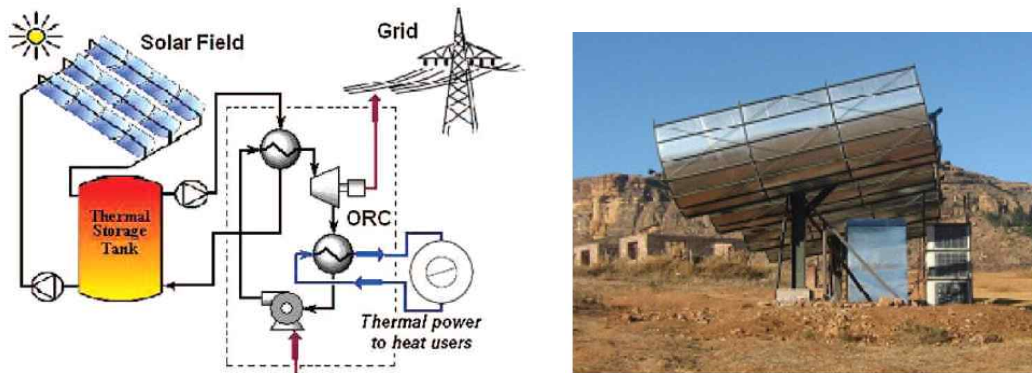
특히 산업현장에서는 많은 양의 열에너지가 액체나 기체 형태로 버려지고 있다. 이와 같이 버려지는 열에너지는 재사용하는 것이 경제적이지만 같은 시설에서의 재사용은 불가능하고 열에너지를 다른 곳으로 수송하는 것은 재사용보다 더 비싼 비용이 들기 때문에 경제성이 떨어지게 된다.



### 가. 태양열과 ORC 결합

태양열을 기존의 발전시스템에 적용하기 위해서는 고온, 고압의 증기가 필요하며, 경제성을 가지려면 30~80MW의 전력용량을 생산할 수 있어야 한다. 전형적인 태양열 증기 시스템은 50MW의 전력을 생산하기 위해 2km<sup>2</sup>의 PTC(Parabolic Trough Collector, 집광판) 면적이 필요하지만, ORC 발전시스템을 이용할 경우 1MW의 전력생산에 필요한 PTC 면적은 약 0.01km<sup>2</sup> 만으로 가능하다. ORC 발전시스템은 태양열 발전시스템에 비해 비교적 낮은 압력에서 유기 액체를 직접 가열할 수 있으며, 낮에는 태양열로부터 열원을 저장탱크에 저장했다가 밤이 되면 이 열원을 사용하여 지속적인 발전이 가능하다는 장점이 있다.

그림 8 태양열과 ORC 발전시스템 조합



: A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of lowgrade heat for power generation

또한 태양열 집열 관련 기술발전에 따라 진공튜브(Evacuated tube)에 대한 개발이 진전되면서 작동유체의 온도를 최고 185℃ 까지 끌어올릴 수 있게 되어 ORC 발전시스템의 적용 시 매우 적절한 열원으로 활용이 가능해 지고 있다.

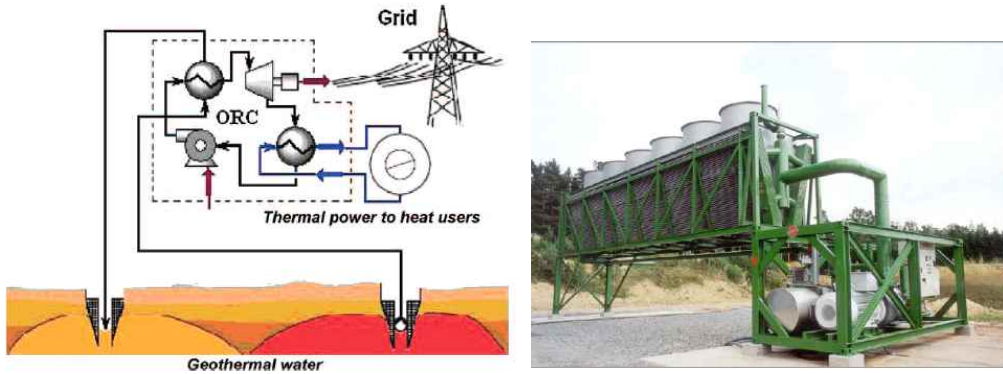
### 나. 지열 에너지와 ORC 결합

지열 에너지는 온도 200℃ 이상의 지하수와 같이 증기가 포함되어 있다면, 터빈을 돌리는 증기로 바로 사용이 가능하다. 하지만 온도가 낮거나 증기를 바로 사용할 수 없을 경우에는 유기랭킨사이클을 이용한 지열에너지의 결합이 이루어져야만 효율적인 발전이 가능하다.

세계 지열 발전소 중에 ORC 기술을 사용하는 발전소는 32%이며, 372MW를 생산하고 있다. 대표적인 사례로 독일 Neustadt-Glewe에서는 98℃의 지하수를 사용하여 210kW의 전기를 생산하고 있다.

지열 에너지는 일반적으로 최고 온도가 100℃이므로 저온을 이용하기 위한 다양한 작동유체가 연구되고 있으며, ORC와 VAC(Vapor Absorption Chiller)를 사용하여 응축온도를 낮춰 전력 생산성을 약 9%까지 향상시킬 수 있다.

그림 9 지열발전과 ORC 발전시스템 조합



: A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of lowgrade heat for power generation

#### 다. 가스터빈과 ORC 결합

고성능의 가스터빈엔진과 유기랭킨사이클의 조합은 같은 성능의 가스터빈과 일반적인 랭킨사이클의 조합에 비해 약 3% 정도 우수한 성능을 보인다. ORC 발전시스템과 결합된 가스터빈엔진의 경우 가스터빈으로 유입되는 온도 요구조건이 낮기 때문에 NO<sub>x</sub> 감소나 유지비를 감소시킬 수 있는 장점을 갖고 있다.

#### 라. 차량용 내연기관과 ORC 결합

유기랭킨사이클 기술을 이용하면 자동차의 내연기관 냉각시스템이나 연소가스로부터 소비되는 열원을 재사용할 수 있다. 내연기관의 배기 열원을 유기랭킨사이클에 사용하여 재생 사용할 경우 전체 연료의 에너지 전환 효율은 7% 정도 증가하며, NO<sub>x</sub>나 CO<sub>2</sub>와 같은 배기가스 방출량은 18% 정도 감소시킬 수 있다.

#### 마. 연료전지와 ORC 결합

연료전지와 유기랭킨사이클에 대한 연구는 활발하지 않은 편이나, 연료전지가 배출하는 열원을 유기랭킨사이클의 작동유체를 가열하는 데 사용하는 방법이 연구되고 있다. 발전용 연료전지는 600~1,000℃의 고온의 열이 생성되며 이 열의 일부는 가습장치에서 사용되고 나머지 약 300~450℃의 열은 배기가스로 버려지고 있다. 따

라서 대기로 버려지는 이 배기가스 열을 회수하여 고급 에너지인 전기를 생산하면 연료전지의 전력생산량과 에너지효율을 높일 수 있다.

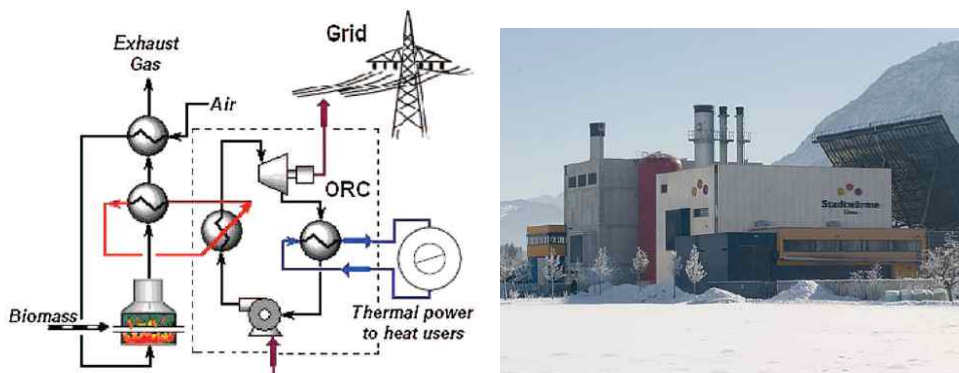
미국 Fuel Cell Energy(FCE)사는 Bridgeport Fuel Cell Park에 연료전지를 연계한 ORC 발전을 추진 중이며, 현재 2.8MW 발전기 총 5대를 통하여 14MW 급 시스템을 건설하였다. 국내에서는 (주)누리텍이 “발전용 연료전지 연계 10kW급 유기랭킨사이클(ORC) 시스템 접목기술개발 및 실증”과제를 통하여 용융탄산염을 전해질로 사용하는 연료전지인 MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell)와 ORC 시스템을 결합하는 연구를 진행하였다.

### 바. 바이오매스와 ORC 결합

최근 바이오매스 연소열을 사용한 ORC 발전시스템 기술 개발에 힘입어 0.2~2MW급의 중형 발전시설이 약 140대 이상이 전세계적으로 운영되고 있다.

이 시스템의 경우 기체화된 바이오매스는 내연기관을 통해 1차 전력 발전이 이루어지며, 내연기관을 통한 배기연소 가스가 열원이 되어 유기랭킨사이클에 다시 사용됨으로써 2차 전력 발전으로 전력 생산량은 증가하게 된다. 응축과정에서 생기는 잔류 열원은 지역 난방이나 온수 등으로 사용되고 있다.

그림 10 바이오매스 연소와 ORC 발전시스템 조합



: A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of lowgrade heat for power generation

태양열 발전, 지열발전, 바이오매스 연소 발전, 자동차 배기가스 폐열회수 등 다양한 분야로 ORC 발전시스템의 적용이 확대될 것이며, 경제적 요인으로 인해 버려졌던 저온의 산업폐열을 회수할 수 있는 기술로 다양한 분야에 활용이 가능하다고 판단된다.

## 2. 경제성 확보를 위한 요소기술 개발

현재 ORC 발전시스템은 초기 설치 비용 등 경제성 문제로 인해 어느 정도 실익이 예상되는 중대형 발전시스템에 한해서 부분적으로 적용되고 있다. 따라서 ORC 발전시스템의 초기 설치 비용에 큰 영향을 주는 핵심부품의 가격을 줄일 수 있는 기술의 개발이 선행 경우, ORC 발전시스템을 이용한 미활용 에너지 활용 발전의 수요는 가파르게 늘어날 것으로 기대된다.

중소기업의 경우 ORC 발전시스템의 전체 설계 능력을 바로 개발하기 보다는 핵심 요소기술 개발을 선행하여 단계적 기술진입을 시도하는 것이 유리할 것이다.

### 가. 팽창기

ORC 발전시스템에 있어서 직접적인 운동에너지를 발생시키는 팽창기는 전체 시스템 효율 향상에 있어 중요한 핵심 요소이다. ORC 발전시스템의 효율 향상을 위해 다양한 팽창기 기술이 개발되고 있다.

그림 11 여러 종류의 팽창기



팽창기의 경우 일반 축류, 원심 터빈 방식의 터보형 팽창기보다는 용적형인 스크롤식, 사판식, 로터리 베인-사판식, 로터리 베인식 팽창기의 채용이 확대되는 추세이다. 용적형 팽창기는 유량변화에 대한 효율 변화가 완만하다는 장점을 갖고 있어 중·소용량 시스템에 적합하다.

그 중 사판식의 경우 고온, 고압, 고폭창비에도 적합하여 저온팽창기로 사용이 가능하므로 자동차의 폐열 회수용 분야에 많이 사용되고 있고, 스크롤식의 경우 고효율, 소형, 경량, 저소음, 저진동 등의 장점이 있으며, 기존의 스크롤 압축기를 그대로 팽창기에 적용가능하기 때문에 소형 열병합 발전 등의 분야에 활용되는 추세이다.

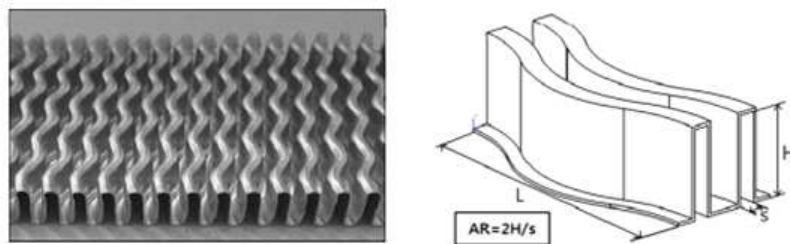
표 5 주요 기업의 팽창기 개발 동향

기업	개발 방향
Air Qquared	- 1~10kW 시스템에 스크롤 팽창기 적용하여 효율 향상 연구 - 차량용 스크롤 압축기를 스크롤 팽창기로 전환하는 연구 진행
Verdicorp	- 기존의 압축기 기술을 터보팽창기로 개발
Pratt & Whitney (Turboden)	- 터보냉동기를 원심 임펠러와 연결하여 ORC발전 시스템에 적용 - 0.5~15MW 규모의 대형 발전시스템에 축류터빈(Axial Turbine)를 적용하여 효율 향상
ElectraTherm	- 스크루 타입 팽창기 개발
Tri-O-Gen	- 원심임펠러를 통해 175kW 규모 시스템 개발 성공

## 나. ORC용 열교환기

증발기, 응축기에 사용되는 열교환기는 저온의 열원을 활용할 경우 작동유체와 열원의 온도차가 감소하므로 체적이 과도하게 커질 수 있다. 따라서 최근에는 마이크로 가스터빈에 적용되던 주전열면 형태의 열교환기를 적용하려는 시도가 나타나고 있다.

그림 12 주전열면 열교환기



: 유기랭킨사이클을 위한 주전열면 열교환기의 채널 종횡비에 따른 유동 및 열전달 특성, 국민대 성민제

이 열교환기는 얇은 금속판으로 주름진 형태의 작은 채널을 구성하여 설계된 것으로서 유용성면에서 우수한 것으로 평가되고 있다. 특히, 열전달 특성과 관련하여 주름비, 꺾임각, 종횡비의 설계조건이 큰 영향을 미치고 있어 이에 대한 연구가 이루어지고 있다.

그 밖에도 콤팩트하고, 저압에서 사용되며, 낮은 온도차에서도 열교환이 가능한 판형 열교환기 외에도 고온, 고온에 사용되거나 사이즈가 크고 무거운 다관식(Shell & Tube 방식)을 결합한 Plate & Ring 타입의 용접식 열교환기도 ORC 분야로의 응용이 시도되고 있다.

### 3. ORC 특허출원 동향

ORC와 관련된 특허를 2016년 9월까지 출원·공개된 한국, 일본, 유럽, 미국의 공개특허 및 등록특허를 분석대상으로 관련 특허를 조사, 분석하였다. 검색 DB는 웹스(www.wipson.com)를 활용하였으며, 검색건수와 중복, 노이즈를 제거한 최종 분석대상 건수는 총 508건으로 다음과 같다.

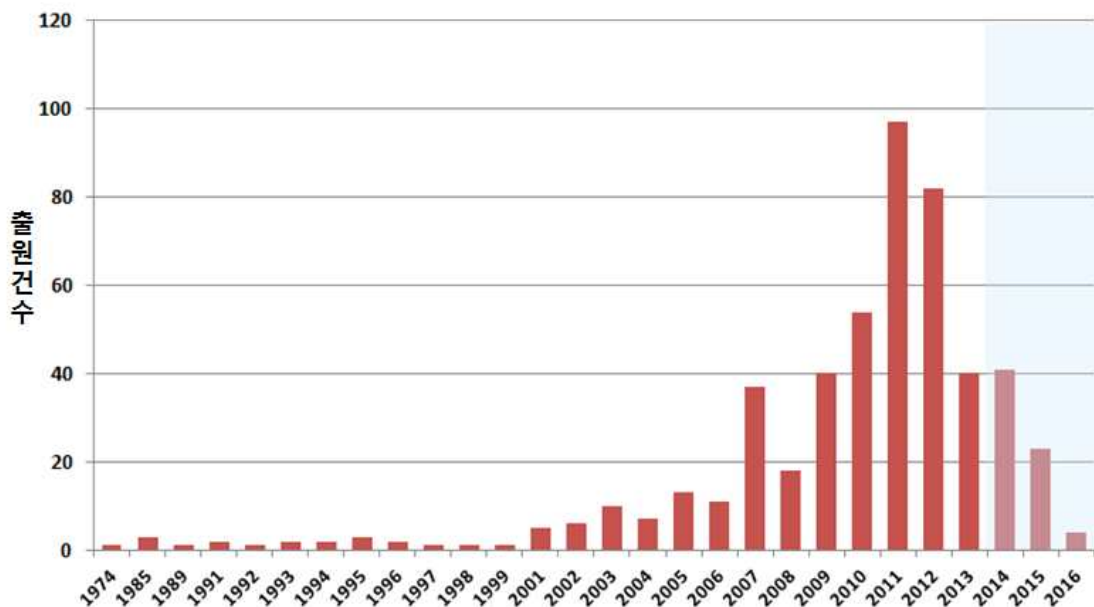
표 6 분석 대상 특허

검색식	최종 분석대상 건수			
	한국	일본	미국	유럽
((organic adj rankine) (유기 adj (랭킨 랭킨 랭킨 냉매 랭킨)) and (발전 or 폐열 or 회수 or (연료 adj 전지) or generat* or (waste adj heat) or recover*))).key.	121	34	253	100

#### 가. 연도별 출원 동향

분석 대상국인 한국, 일본, 미국, 유럽의 주요 4개국에서 대상기술과 관련한 연도별 특허출원 동향을 살펴보면 다음과 같다.

그림 13 세계 ORC 발전시스템 관련 특허 출원 동향



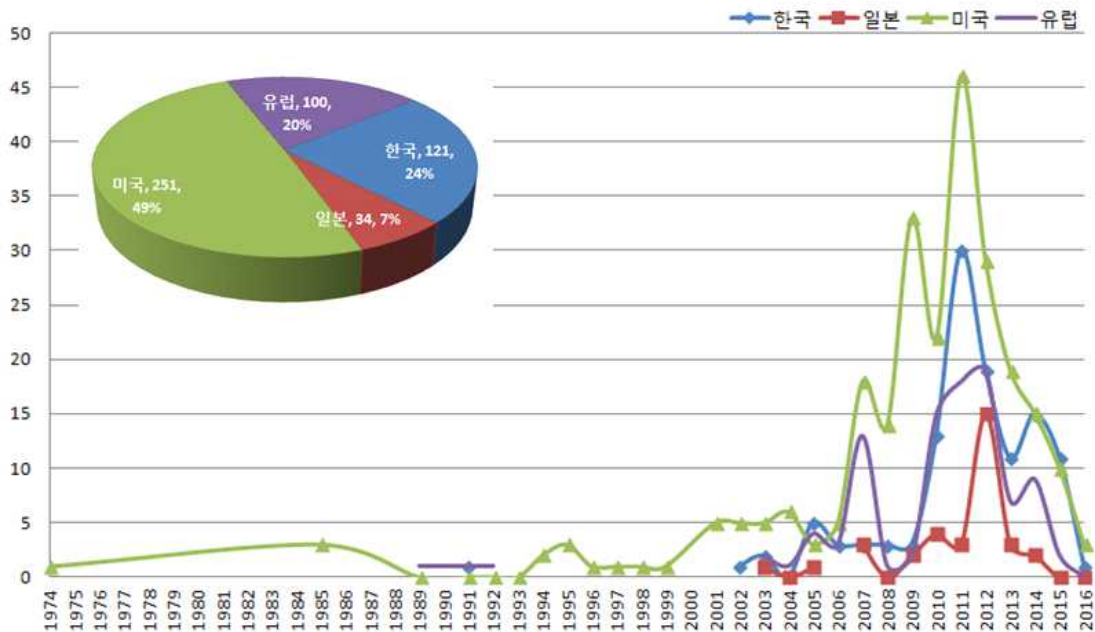
그림에서 음영이 있는 2014년부터 현재까지의 경우 각 국가에서 일반적으로 출원 시점으로부터 일정기간 이후에 특허가 공개되는 점을 감안한 특허의 분석구간을 나타낸 것이며, 이 구간내에는 미공개 특허가 존재하고 있으므로 이 부분을 고려해야 한다. 아울러 향후 지속적인 특허 모니터링을 통해 변화추이를 지속적으로 파악할 필요가 있다.

1974년 관련 특허가 최초로 출원되기 시작한 이후 2000년대 초·중반까지는 출원 실적이 다소 부진하였으나, 이후에는 증가세를 보이고 있는 것으로 나타났으며, 2000년대의 경우 연도별로 소폭의 증가세를 보인 바 있으며, 특히 2007년 이후 최근까지 7~8년간 급격한 증가세를 나타내고 있어, 현재 성장기에 있는 기술분야임을 알 수 있다.

### 나. 국가별 출원 동향

분석 대상국인 4개국(한국, 미국, 일본, 유럽)에 대한 국가별 출원동향을 살펴보면, 전체 출원특허 중 약 49%가 미국에서 출원되고 있어 가장 활발한 연구와 특허활동이 이루어지고 있다고 판단된다. 그 뒤로는 한국특허가 약 24%를 차지하고 있으며, 유럽특허 20%, 일본특허 7% 등의 순을 보이고 있다.

그림 14 국가별 출원 동향



최대 출원국인 미국은 출원이 시작된 1974년 이후 출원건수가 지속적으로 증가하는 상황이다. 국내 특허는 1991년 출원이 시작된 이후 2002년까지 출원이 이루어지지 못하였으며, 이후 2000년대 중반부터 출원건수가 급격히 증가하는 추세를 보이

고 있어 최근 ORC 발전시스템 기술과 관련한 연구개발 활동이 활발한 것으로 보인다. 유럽과 일본의 경우에도 2000년대 중·후반부터 전반적으로 출원건수가 증가하는 추세이다.

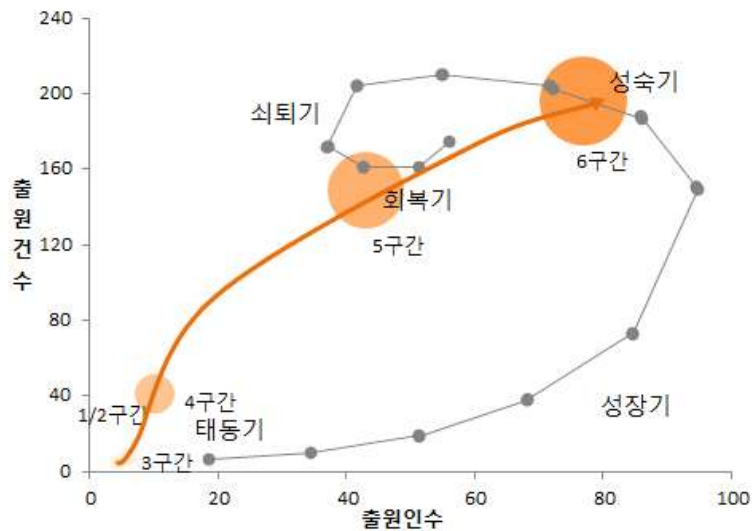
즉 신재생 에너지, 친환경 에너지 및 기존 에너지 활용에 대한 효율향상에 대한 전세계적인 수요로 인해 ORC 발전시스템 관련 기술의 연구개발이 2000년대 중·후반부터 본격적으로 진행되고 있다고 판단된다.

#### 다. 기술수명주기

ORC 발전시스템에 대한 전체 출원실적을 토대로 기술수명주기상 위치를 파악하고 각 국가별로 성장단계를 분석함으로써 기술개발 동향을 파악하였다.

기술수명주기 분석은 출원건수와 출원인수 변화의 상관관계를 통해 ORC 발전시스템 관련 분야의 기술적 위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로 전체 출원 중 최근의 출원동향을 6개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인수 및 출원건수를 나타내어 특허 출원동향을 통한 기술의 위치를 살펴보았다. 각 구간은 1구간(1990년 이전), 2구간(1991~1995년), 3구간(1996~2000년), 4구간(2001~2005년), 5구간(2005~2010년), 6구간(2011~2015년)으로 나누어 정리하였다.

그림 15 기술수명주기상 위치



분석 결과 ORC 발전시스템은 현재 기술주기상 위치가 4구간(2001~2005년)까지 태동기를 거친 이후 6구간(2011~2015년)까지 성장기가 이어지고 있는 것으로 분석되었다.



## 라. 특허 기술 동향

ORC 발전시스템 관련 기술 동향 분석 내용을 고려하여 세계 각국의 특허 분석을 통해 파악된 대상 특허들 중 핵심기술을 포함하고 있다고 판단되는 주요 특허를 도출해 보았다.

표 7 대상기술 관련 핵심특허 리스트

	출원번호	출원일	출원인	발명의 명칭	상태
KR	2013-0042348	2013.04.17	한국에너지기술연구원	유기 랭킨 사이클 시스템과 그 제어 장치 및 제어 방법	등록
KR	2013-0030173	2013.03.21	주식회사 누리텍	용융탄산염형 연료전지용 유기 랭킨 사이클	등록
KR	2011-0088457	2011.09.01	한국지역난방공사	저온 폐열 및 흡수식 냉동기를 이용한 ORC 열병합 시스템	등록
KR	2011-0070241	2011.07.15	한국에너지기술연구원	유기 랭킨 사이클 발전 시스템	등록
KR	2011-0070242	2011.07.15	한국에너지기술연구원	연료전지를 이용한 유기 랭킨 사이클 발전 시스템	등록
US	2012-237571	2014.06.26	EI DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY	Process and Compositions for Organic Rankine Cycle for Generating Mechanical Energy form heat	공개
US	2012-489288	2012.06.05	General Electric Company	Heat Recovery Using Organic Rankine Cycle	공개
US	2008-045454	2008.03.10	ORMAT Technologies Inc.	Direct heating organic Rankine cycle	등록
US	2007-740473	2012.03.14	United Technologies Corporation	Integration of an organic rankine cycle with a fuel cell	공개

분석 대상 특허의 핵심내용을 정리해보면, 폐열회수에 따른 ORC 발전시스템으로서 ① 태양열, 지열, 연료전지 등과 결합함으로써 기존 산업현장 외에 추가적인 폐열원을 개발하는 기술, ② 터빈의 구동에 의해 발전이 이루어진 후 전력생산부에 전력 변환기를 2중으로 설치하여 일정 수준의 전력을 효율적으로 공급하는 기술, ③ 2단 흡수식 냉동기로 냉수를 응축기의 냉각수로 공급하여 배기단의 온도를 낮추는 기술이 있으며, ④ 기액분리기를 증발기와 터빈사이에 설치하여 포화증기 상태의 유기 작동유체를 안정적으로 공급하는 기술로 효율을 향상하며, ⑤ 작동유체의 누출여부를 감지하여 안전사고 및 유출에 따른 비용증가를 미연에 방지하고, ⑥ 작동 사이클의 효율을 높여 전체 시스템의 효율을 끌어올리기 위해 작동유체의 성분

을 다양하게 활용하며, ⑦ 플레이트 혹은 원통 다관형 구성 등의 열 교환기 구성을 최적화하는 방법으로 파울링을 최소화 하는 등의 기술이 출원 특허의 주요 내용이다.

신규사업 또는 R&D과제로 ORC 시스템 및 관련 요소 기술개발을 추진하는 중소기업의 경우, 상기 분석된 특허 동향의 핵심 내용을 파악한 후 기술개발의 방향 설정에 활용하는 전략이 필요하다.

## IV. 저온 폐열을 이용한 ORC 시장의 성장

### 1. ORC 발전 시장 개요

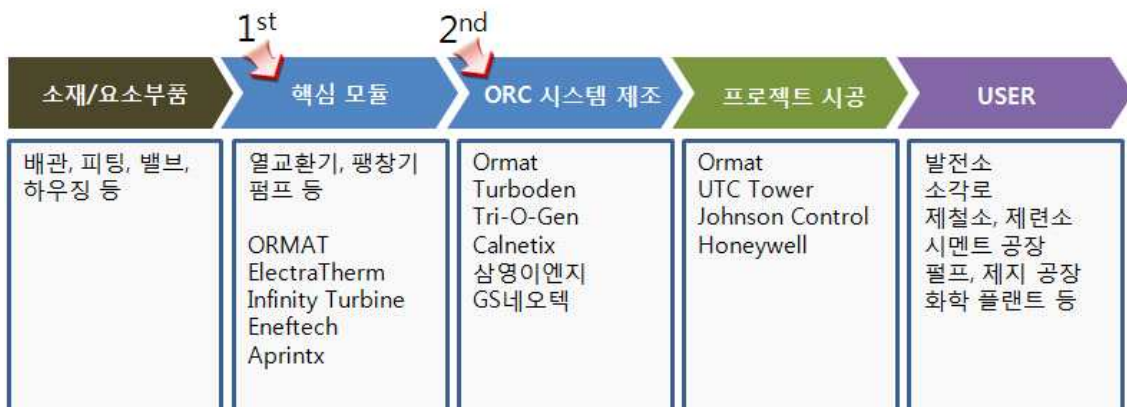
폐열회수 발전(Waste Heat Recovery Power Plant)은 용해로, 소각로, 시멘트 제조, 화학 공정 등에서 발생하는 폐열가스를 열원으로 폐열회수 보일러를 설치, 발생된 증기를 이용하여 증기터빈을 구동, 전력을 생산하는 발전방식이다.

일반적인 폐열회수 발전시스템은 증발기를 통과하면서 고압이 된 증기가 터빈을 회전시킬 때 발생하는 축동력을 전기에너지로 변환하며 물을 작동 유체로 사용하기 때문에 고온 폐열에 대해서는 효율적인 작동유체이나, 폐열의 온도가 중저온인 경우 시스템 효율 저하로 인해 경제성이 낮아지는 단점이 있다. 그러나 중저온 열원 환경에서 작동유체로 유기화합물을 사용할 경우 효율 향상이 가능하게 되며, 이와 같이 유기화합물을 사용하는 발전시스템을 ORC 발전시스템이라고 한다.

ORC 발전시스템은 제철, 제강 등 철강공장, 제지 공장, 섬유, 식품 가공 공장, 쓰레기 소각장, 열병합발전소, 선박 배기가스의 미활용에너지를 비롯하여 기타 에너지 다소비 산업체의 미활용열에너지를 활용하여 발전이 가능하며, 저온의 열원을 이용할 수 있다는 장점을 갖고 있어 다른 발전시스템에 비해 응용분야가 넓은 장점을 갖고 있다.

하지만 ORC 발전시스템의 초기 설치 비용 문제로 인해 경제적 이익이 예상되는 중대형 발전시스템을 중심으로 적용되고 있지만, 강화되는 환경규제 등을 해결하기 위한 미활용에너지 활용 기술의 수요는 계속 증가할 것으로 예상된다.

그림 16 ORC 발전시스템 산업구조도



ORC 발전시스템 밸류체인은 소재, 요소부품 업체, 열교환기, 팽창기 제조업체, ORC 발전시스템 제조업체, 프로젝트 시공사, 발전전력을 이용하는 이용자로 구성된다. 각종 기계요소 부품 등을 공급하는 금속/비철금속산업, 기계부품산업, 전기전자 부품산업 등으로 규정할 수 있고, 전방 산업은 유기랭킨사이클 발전산업, 폐열발전을 활용하는 제철, 제강, 시멘트, 제지, 소각로 등 산업 폐열이 다량 발생하는 산업군으로 규정지을 수 있다.

표 8 ORC 발전시스템 시장 촉진/저해 요인 분석

촉진요인	저해요인
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 절약 방안 제공</li> <li>- 에너지 공급 단가 상승에 대응</li> <li>- 공해물질, 온실가스 저감을 통한 환경정책 대응 가능</li> <li>- 저품질 저온 열원을 이용할 수 있는 열회수 기술 발전 (고효율 열교환, 작동유체 등)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐열회수 시스템의 경우 긴 투자 회수 기간 필요</li> <li>- 저온 열원을 사용함에 따른 시설 초기 투자 비용 과다</li> </ul>

ORC 발전시스템과 관련된 산업은 고객의 주문에 의해 생산되는 수주 산업의 특징을 지니고 있으며, ORC 발전시스템은 사용처의 환경에 따라 필요한 증기의 온도 및 압력이 달라 표준화가 어려우므로 시스템 제조기업의 자체 설계 능력이 가장 중요한 요소가 될 수 있다.

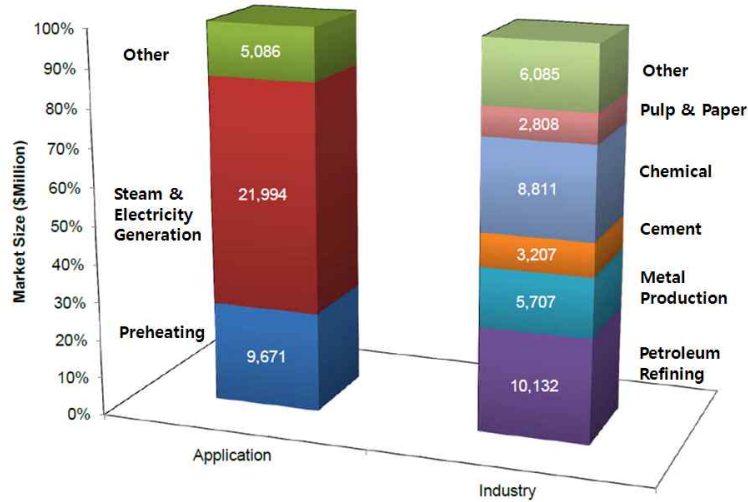
ORC 발전시스템은 지열, 태양열, 바이오매스 등 신재생에너지의 열원을 이용하여 전기에너지를 생산, 공급하는 시스템으로 전기 생산 원가를 절감하고, 산업공해물질, 이산화탄소 및 기타 온실가스가 대기로 방출되는 것을 막는 효과가 있으므로, 에너지원의 확보와 환경오염 문제를 동시에 해결할 수 있는 산업분야로 정부의 환경 정책에 많은 영향을 받는 대표적인 산업이다.

## 2. 폐열회수 시스템 시장 동향

2014년 발행된 Markets and Markets사 보고서에 의하면 세계 폐열회수 시스템 시장규모는 2012년 기준으로 약 367억 5천만 달러로 추정된다. 산업별로는 석유 정제 산업이 약 101억 3,200만 달러로 가장 큰 규모이며, 화학 산업 약 88억 1,100만 달러, 금속 제조 산업 약 57억 700만 달러, 시멘트 산업 약 32억 700만 달러, 종이 및 펄프 산업 약 28억 800만 달러, 기타 산업 약 60억 8,500만 달러 순의 시장규모

를 보였다.

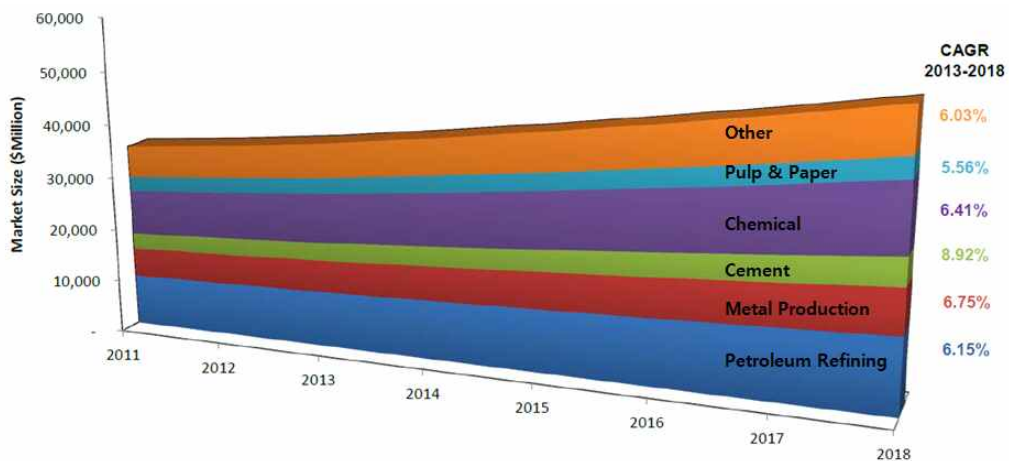
그림 17 응용분야별 폐열 회수 시스템 시장



: Waste Heat Recovery Systems Market - Global Trends & Forecast to 2018, marketsandmarkets, 2014

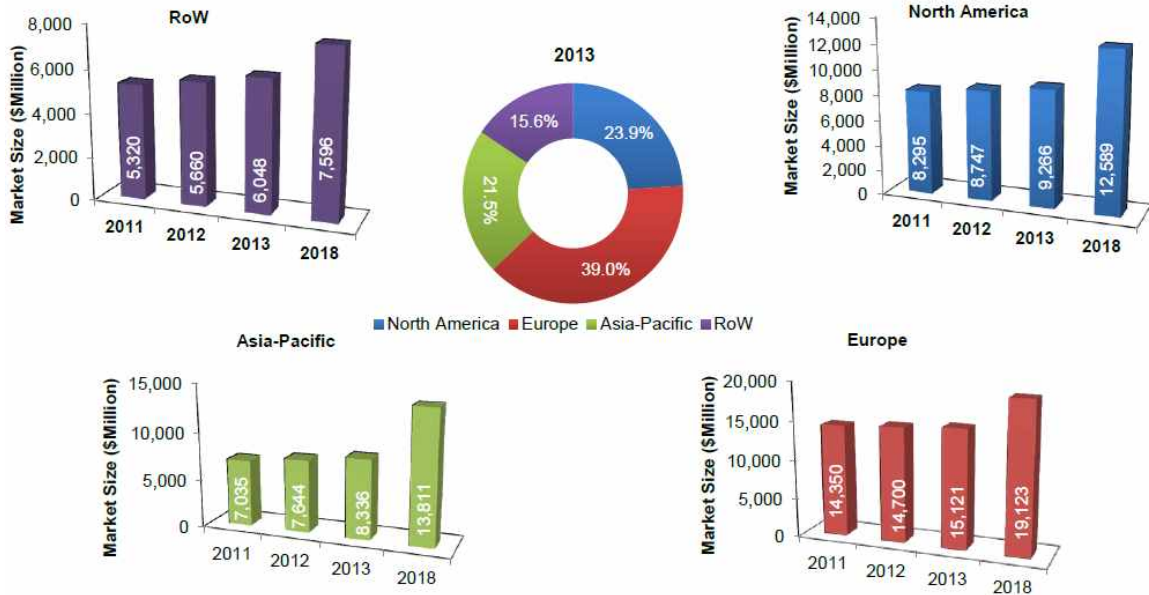
2018년까지 산업별 연평균성장률은 시멘트 산업이 8.92%로 가장 높은 성장률을 보일 것으로 보이며, 철강 등 금속 제조 산업이 6.75%, 화학 산업이 6.41%, 석유 정제 산업이 6.15%, 기타 산업이 6.03%, 종이 및 펄프 산업이 5.56%의 성장이 예상된다.

그림 18 폐열회수 시스템의 응용분야별 전망



자료 : Waste Heat Recovery Systems Market - Global Trends & Forecast to 2018, marketsandmarkets, 2014

그림 19 폐열회수 시스템 지역별 시장 전망(2013년~2018년)



: Waste Heat Recovery Systems Market - Global Trends & Forecast to 2018, marketsandmarkets, 2014

세계 폐열 회수 시스템 시장 규모는 2011년 350억 달러에서 2013년 387억 7,130만 달러 규모를 기록하였으며 이후 연평균 6.5%의 성장률로 성장하여 2018년에는 약 531억 2,000만 달러 규모가 될 것으로 전망된다.

표 9 세계 산업별 폐열 회수 시스템 시장 규모 및 전망

(단위: 백만 달러)

산업	2011년	2012년	2013년	2018년	CAGR(13~18)
석유 정제	9,693.5	10,131.5	10,650.1	14,350.5	6.1
금속 생산	5,411.5	5,707.0	6,051.2	8,386.7	6.7
시멘트	2,981.9	3,207.4	3,440.9	5,274.7	8.9
화학	8,374.5	8,811.2	9,319.9	12,709.4	6.4
제지 & 펄프	2,695.9	2,807.7	2,918.7	3,824.8	5.6
기타	5,842.6	6,085.2	6,396.4	8,573.9	6.0
합계	35,000.0	36,750.0	38,771.3	53,120.0	6.5

: Waste Heat Recovery Systems Market - Global Trends & Forecast to 2018, marketsandmarkets, 2014

폐열 회수 시스템 시장을 산업별로 살펴보면, 석유 정제 산업이 가장 높은 점유율을 보이고 있다. 석유 정제 산업에서의 폐열회수 시스템 시장 규모는 2013년 106억 5,010만 달러 규모에서 연평균 6.1%의 성장률로 2018년에는 약 143억 5,050만 달러 규모가 될 것으로 전망되며, 석유 정제 산업의 점유율은 2012년 27.6%에서 2018년 27.0%로 예상된다.

하지만 대부분의 폐열회수 시스템 시장은 고온 폐열원을 이용한 예비가열 시스템

(Preheating)이나 발전시스템이 대부분을 점유하고 있으며, 아직 300℃ 이하의 저온 폐열의 경우 활용도가 매우 낮은 실정이다.

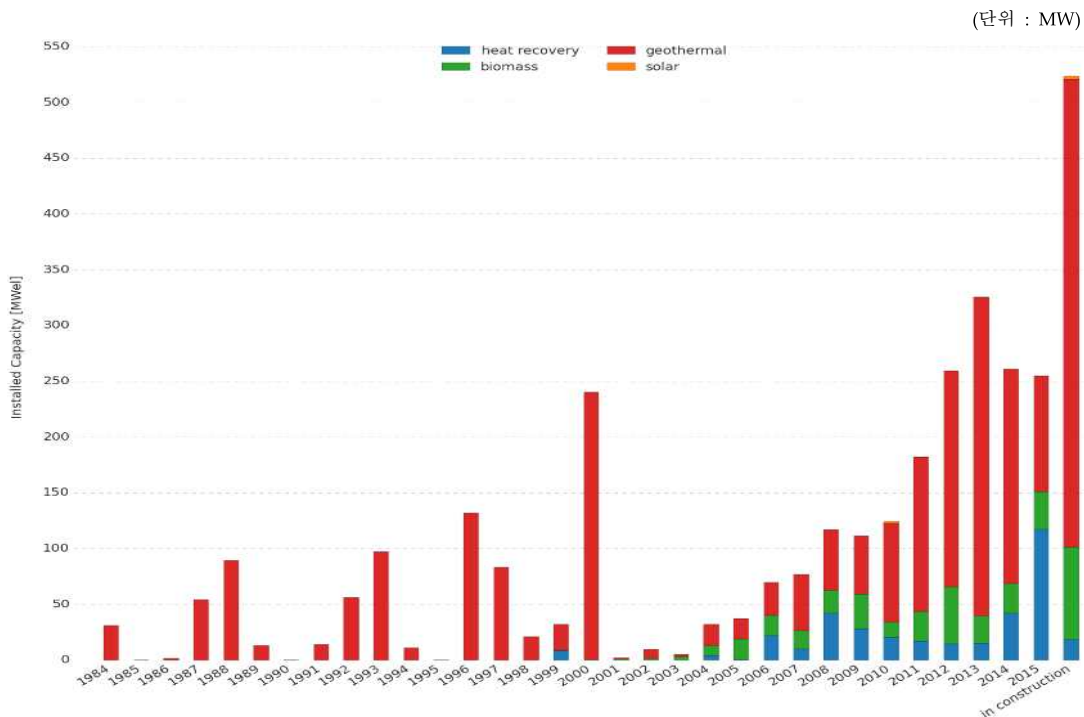
### 3. ORC 발전시스템 시장 동향

#### 가. 세계 시장

폐열회수 발전 방식에는 다양한 방식들이 있으나, 중저온 폐열회수 발전시스템에는 ORC 방식이 주로 이용되고 있다. 프랑스 ORC 제조 메이커인 Enertime 프로젝트 매니저 Thomas Tartière의 분석에 따르면 2016년 초를 기준으로 세계 ORC 발전시스템의 발전용량은 2,749MW 수준이고, 총 563개 정도가 설치되었다. (단 시험실 단위 시스템과 50kW 이하의 시스템은 제외) 또한 75개처 523.6MW 규모의 ORC 발전시스템 구축이 계획되고 있다.

지금까지 설치된 ORC 발전시스템 중에서 지열(Geothermal)을 이용한 시스템이 76% 이상을 점유하고 있으며, 그 다음이 바이오매스를 이용한 시스템으로 약 10.7%, 그리고 2010년 이후 지속적인 성장을 하고 있는 폐열 이용(Heat Recovery) 시스템의 경우 발전분야(가스터빈 및 일반 디젤 발전 포함)가 약 8.5%, 그리고 기타 산업 폐열을 이용하는 시스템이 4.2%를 차지하고 있다.

그림 20 응용분야별 세계 ORC 발전시스템 시장 현황

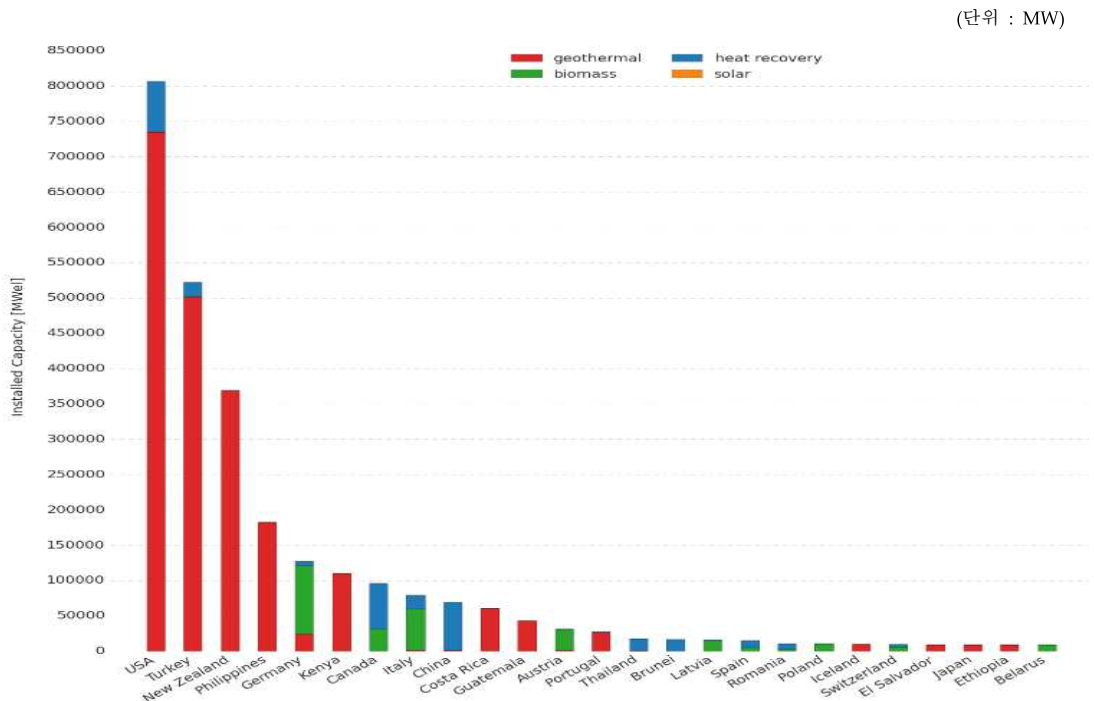


: <http://orc-world-map.org/analysis.html>, Enertime Project Manager Thomas Tartière, 2016년 초 기준

그림에서 보는 것처럼 ORC 발전시스템 시장은 2004년부터 안정적인 성장을 하고 있으며, 2013년 약 325MW 규모로 가장 많은 ORC 발전시스템이 설치되었으며, 이후 매년 250MW 이상의 시장이 형성되어 있음을 알 수 있다.

따라서 전체 폐열회수 시스템 시장의 성장률(연 평균 6.5%)을 기준으로 보수적인 관점에서 ORC 발전 시스템의 시장 규모를 예측해 보면 ORC 발전시스템의 경우 2015년 2,749MW 규모에서 2018년까지 누적 발전용량 기준으로 최소 3,600MW 규모의 시장이 될 것으로 예상된다.

그림 21 국가별 ORC 발전시스템 설치 현황



: <http://orc-world-map.org/analysis.html>, Enertime Project Manager Thomas Tartièrre, 2016년 초 기준

ORC 발전시스템 국가별 설치 현황을 살펴보면, 풍부한 지열을 이용할 수 있는 미국, 터키, 뉴질랜드, 필리핀 4개국이 가장 큰 시장을 형성하고 있다. 발전소 및 산업용 폐열을 회수하는 ORC 발전시스템의 경우 미국과 캐나다 그리고 중국이 가장 큰 시장을 형성하고 있으며, 국내 시장은 매우 미미한 수준으로 판단된다.

글로벌 ORC 발전시스템 시장은 풍부한 지열을 이용하여 경제성을 충분히 확보할 수 있는 일부 국가를 제외하면, 아직 시장이 크게 성장하고 있는 상황은 아니지만, 현재 설치가 진행 중인 프로젝트와 설치가 결정되거나 계획 중인 프로젝트의 수를 살펴 볼 때 지속적인 성장을 할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 아직 유럽과 북미 지역을 중심으로 시장이 형성되어 있으며, 아시아 지역에서는 필리핀과 중국이 상대적으로 수요가 많은 편이다.



표 10 2015년 설치가 확정되거나 계획된 ORC 발전시스템 프로젝트 현황

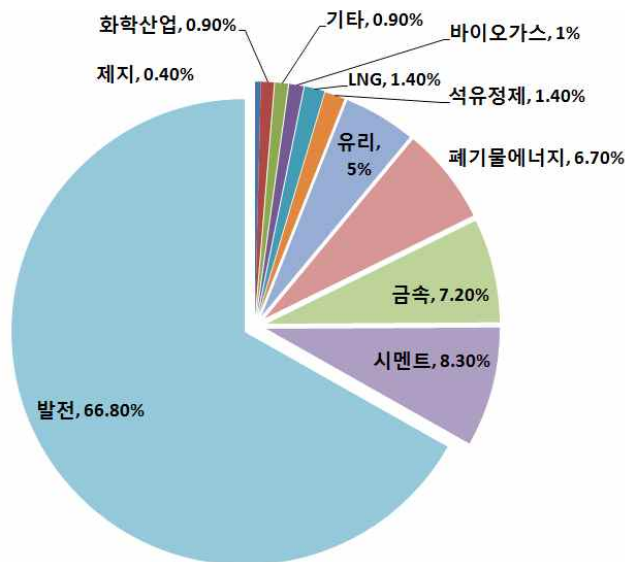
국가	지열	바이오매스	폐열	태양열	소계
		23건	3건	3건	29건
터키	9건	2건	1건		12건
영국		7건	3건		10건
러시아		4건	2건		6건
중국	1건		4건		5건
스위스		5건			5건
일본	3건		1건		4건

: <http://orc-world-map.org/analysis.html>, Enertime Project Manager Thomas Tartière, 2016년 초 기준

#### 나. 산업 폐열활용 ORC 발전시스템 시장

국내 ORC 시스템 시장은 아직 걸음마 단계에 불과한 실정으로 시장 규모를 추정하기도 어려운 실정이다. 또한 세계 시장에서도 대부분 풍부한 지열이나 바이오매스를 이용하는 ORC 발전시스템이 전체 시장의 87% 이상을 점유하고 있기 때문에, 국내에서 관심을 많이 가지고 있는 미활용에너지인 산업용, 발전용 폐열을 이용하는 ORC 시스템 시장은 전체 시장의 12.7% 수준으로 매우 적은 편이다

그림 22 폐열 활용 산업분야



자료 : <http://orc-world-map.org/analysis.html>, Enertime Project Manager Thomas Tartière, 2016년 초 기준

그러나 세계 시장에서 발전 및 산업용 폐열을 이용하는 ORC 발전시스템은 2016년 초까지 총 349.1MW 규모이며, 현재 18.5MW 규모의 10개 프로젝트가 진행되고 있다.

전체 폐열 회수 시장에서 ORC 발전시스템 시장은 성장 초기 단계이고, 특히 산업용 폐열회수 ORC 발전시스템은 이제 막 기술적인 검증단계인 프로토타입 단계를 통과했다고 볼 수 있다.

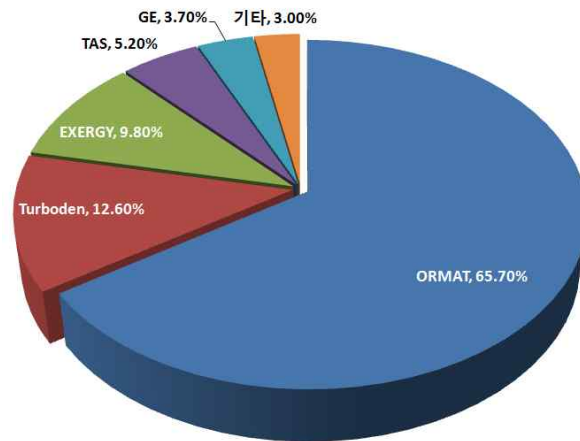
따라서 향후 지속적으로 시장이 성장할 가능성이 매우 높은 분야이며, 발전 부분을 제외하면, 시멘트 제조, 금속 제조, 소각열 등 폐기물 에너지, 유리 제조, 석유정제 등에서 많은 수요가 발생할 것으로 예상된다.

우리나라는 총 에너지 사용량의 55%가 산업부문에 소비되고 있으며, 포스코, SK에너지, GS칼텍스, 에쓰오일, 쌍용양회 등 10대 에너지 다소비 기업들이 총 에너지의 12.8%를 소비하고 있다. 따라서 ORC 발전시스템을 이용할 수 있는 산업군이 잘 형성되어 있기 때문에 산업현장에서의 미활용에너지인 저온 폐열회수 시장이 성장할 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

#### 4. ORC 발전시스템 핵심 플레이어

세계적으로 ORC 발전시스템 시장의 주요 참여업체로는 Ormat, Turboden (Pratt&Whitney), EXERGY, Maxxtec/Adoratec, GMK, TAS Energy, Tri-O-Gen, ElectraTherm, Calnetix(GE) 등이 있다.

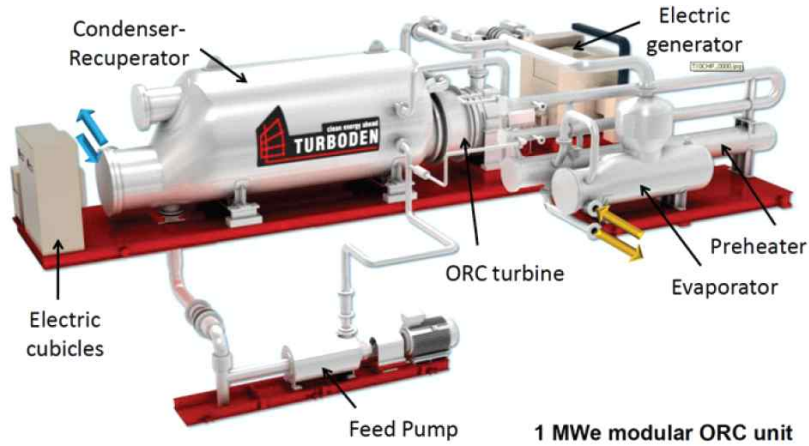
그림 23 주요 업체 시장 점유 현황(2016년)



: <http://orc-world-map.org/analysis.html>, Enertime Project Manager Thomas Tartière, 2016년 초 기준

미국의 ORMAT사는 ORC 발전시스템의 선두주자이나, 기술 유출을 우려해 오직 턴키방식으로만 설계와 시공을 하고 있으며, 그 규모를 살펴보면 전 세계 71개국 설치, 총 발전용량 1,800MW 규모의 시장을 차지하고 있는 것으로 알려져 있다. 미국의 Ormat, 이탈리아의 Turboden, EXERGY 3개사가 50kW급 이상 ORC 발전시스템 세계 시장의 거의 90%를 점유하고 있는 상황이다.

그림 24 터빈 팽창기가 적용된 Turboden사 1MW급 ORC 시스템

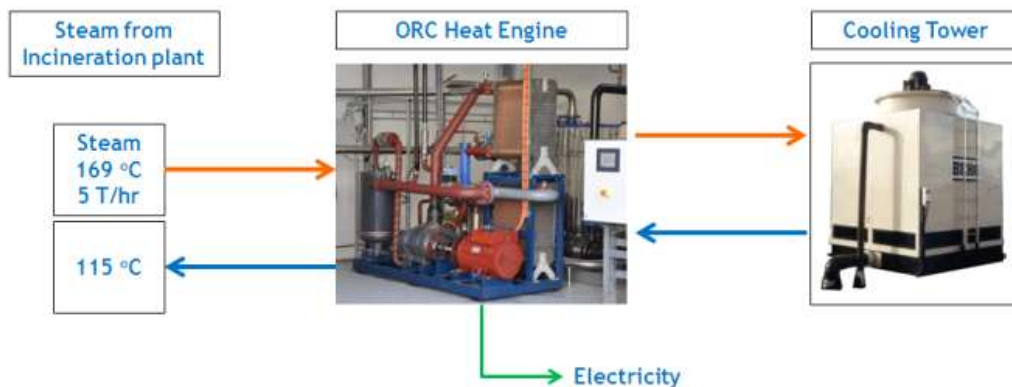


: [www.turboden.eu](http://www.turboden.eu)

국내에서는 현재까지 독자적 수준의 설계 기술을 확보한 ORC 발전시스템 제조 기업이 없는 것으로 파악되었으며, 몇몇 중소기업들은 해외의 전문 기업으로부터 ORC 시스템을 수입하여 설치 시공을 하고 있는 것으로 파악된다.

최근 경북에 위치한 자동차 부품업체인 (주)우신산업이 스크롤 팽창기를 적용한 10kW급 ORC 시스템 개발에 대한 연구를 진행하고 있는 것으로 알려져 있으며, 경기도에 위치한 클린룸, 공기조화기 전문기업인 (주)삼영이엔지는 오스트레일리아의 gT-Energy Technologies사의 기술을 도입하여 455kW급 ORC 발전시스템을 출시하였다. 또한 (주)삼천리ES는 Turboden사의 기술을, GS네오텍은 독일 듀어사의 기술을 도입하였다.

그림 25 (주)삼영이엔지 ORC 시스템



자료 : (주)삼영이엔지

표 11 ORC 시스템 주요 업체

회사명	제품사양
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications: Geothermal, Industrial Waste Heat</li> <li>• Power range: 200KWe - 72MWe</li> <li>• Heat source temp: 150° - 300° C</li> <li>• Installations: 75+</li> <li>• Working Fluid: n-pentane</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications: Geothermal, Biomass, Solar Thermal, Industrial Waste Heat</li> <li>• Power range: 600 KWe - 11MWe</li> <li>• Heat source temp: 100 - 300° C</li> <li>• Installations: 250+</li> <li>• Working Fluid: OMTS, Solkatherm</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications: Biomass, Industrial Waste Heat</li> <li>• Power range: 300 KWe - 2.4MWe</li> <li>• Heat source temp: &gt;260° C</li> <li>• Installations: 50+</li> <li>• Working Fluid: OMTS</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications: Geothermal, Biomass, Solar Thermal, Industrial Waste Heat</li> <li>• Power range: 50 KWe - 2MWe</li> <li>• Heat source temp: 120° -350° C</li> <li>• Installations: 10</li> <li>• Working Fluid: GL160 (GMK patented)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications: Geothermal, Solar Thermal, Industrial Waste Heat</li> <li>• Power range: 1 MWe - 20MWe</li> <li>• Heat source temp: 100 - 250° C</li> <li>• Installations: 5</li> <li>• Working Fluid: R134A and R234FA</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications: Biomass, Industrial Waste Heat</li> <li>• Power range: 60 - 165KWe</li> <li>• Heat source temp: &gt;350° C</li> <li>• Installations: 15+</li> <li>• Working Fluid: Toluene based</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications: Geothermal, Biomass, Industrial Waste Heat</li> <li>• Power range: 35 - 65 KWe</li> <li>• Heat source temp: 88 - 116 ° C</li> <li>• Installations: 5+</li> <li>• Working Fluid: HFC-245fa</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications: Geothermal, Biomass, Solar Thermal, Industrial Waste Heat</li> <li>• Power range: 125 KWe</li> <li>• Heat source temp: 120 ° C</li> <li>• Installations: 3+</li> <li>• Working Fluid: R245fa</li> </ul>

: Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL), “Thermal Efficiency from Organic Flash Cycle Market Assessment Report”, 2012

## 5. 중소기업의 시장 진입 방안

ORC 발전시스템은 에너지 절약 메커니즘 제공, 전 세계적인 에너지 절약 규제 시행에 따라 수요가 지속적으로 증가할 것이 예상되지만, 미국의 ORMAT, Pratt & Whitney와 유럽의 Turboden(2009년 Pratt & Whitney와 합병) 등이 ORC 발전시스템 시장의 80% 이상을 선점하고 있어 신규업체의 시장진입장벽이 높은 편이다.

국내에서는 현재까지 독자적 수준의 설계 기술을 확보한 ORC 발전시스템 제조 기업이 없지만, 몇몇 중소기업들은 해외의 전문 기업으로부터 ORC 발전시스템을 수입하여 설치 시공을 하고 있는 실정이다. 따라서 독자적인 설계 및 제작 기술 때문에 해외 공급자의 조건에 종속적인 상황이다.

핵심 모듈인 팽창기의 경우도 유럽, 미국, 일본에서는 상당히 산업화가 되어 있으나, 국내에서는 아직 상용화 개발을 완료하지 못하여 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

하지만 국내 중소기업이 발전시스템과 관련된 요소기술의 수준이 높은 국내 산업 환경을 충분히 활용할 경우 열교환기, 팽창기 등 핵심 모듈 제조 분야에 우선 진출이 가능할 것으로 보이며, 향후 ORC 발전시스템 제조 분야로도 진출이 가능할 것으로 판단된다.

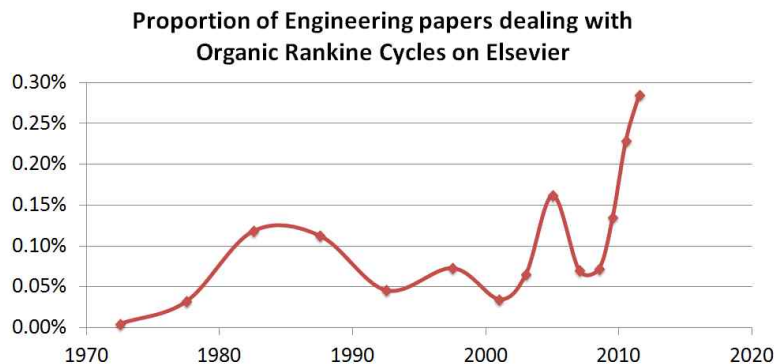
아직 ORC 발전시스템과 관련된 국내 기술 수준이 세계적 기업과는 어느 정도 수준차가 존재하기 때문에 연구기관 및 기업간 협력을 통한 연구개발을 진행해야 할 것으로 보인다.

## V. 기술사업화를 위한 제언

유기랭킨사이클(ORC) 발전시스템은 1960년대 개발된 기술이지만, 아직까지 경제성 등의 문제로 인해 연구개발이나 산업화가 활발히 이루어지고 있지 않았다. 그러나 최근 환경규제 강화 및 에너지 고갈 등을 해결하기 위해 신재생 에너지 개발뿐만 아니라 기존 시스템의 에너지 효율을 극대화 하는 기술에 대한 수요가 증가하고 있으며, 앞서 폐열회수 시스템 시장 및 ORC 발전시스템 시장의 전망을 분석해 본 결과 시장성장의 잠재력이 매우 큰 분야인 것을 알 수 있다.

또한 전 세계적으로도 ORC 발전시스템에 대한 연구활동이 활발히 이루어지고 있기 때문에 저비용, 고효율 기술개발도 많은 발전이 있을 것으로 기대되므로, 기술적 한계로 인한 시장 성장의 제약은 조만간 해소될 것으로 예상된다.

그림 26 ORC 시스템 관련 학술활동 빈도



: The Potential of the ORC Technology for Waste Heat Recovery in The UE, 2012

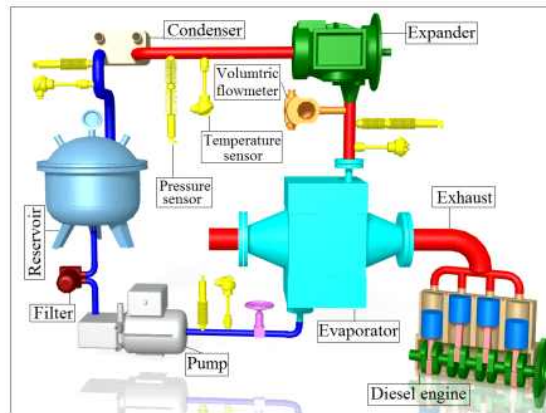
국내에서는 ORC 발전시스템과 관련된 독자 기술을 보유한 기업이나 연구기관이 없는 실정이고, 일부 팽창기, 열교환기 등에 대한 부분적인 기술 개발이 추진되고 있으며, 기업체에서는 해외 선진사의 기술을 도입하여 이를 사업화하는 수준으로 아직 시장이 형성되지 않은 것으로 판단된다.

물론 세계 시장도 아직 성장 초기 단계이며, 특히 산업 폐열을 이용한 ORC 발전시스템의 경우 걸음마 단계에 불과하기에 아직 많은 기회가 있다고 할 수 있다. 하지만 국내 중소기업이 엔지니어링 기술과 팽창기 등 핵심부품 설계 및 제조기술이 종합적으로 필요한 ORC 발전시스템 분야에 바로 진입하기는 어려운 것이 현실이다. 따라서 ORC 발전시스템의 핵심 부품인 팽창기, 열교환기 분야의 기술확보를 통해 ORC 발전시스템 서플라이체인에서 부품을 공급하는 후방산업으로 먼저 진출하

는 것이 유리할 것이다. 이를 위해서는 한국에너지기술연구원, 한국기계연구원, 인천대학교 등과의 협력을 통해 요소기술 및 엔지니어링 기술개발을 추진하는 것이 효과적일 수 있다.

그리고 국내 기업은 ORC 발전시스템 시장에서 후발주자인 만큼, 기존 글로벌 기업들이 경제성을 이유로 아직 진출하지 않은 니치마켓을 타겟으로 기술개발을 진행해야 성공적인 시장진입이 가능할 것으로 보인다. 따라서 50kW급 이하의 소형 ORC 발전시스템, 내연기관 자동차의 연비향상을 위한 ORC 시스템, 분산발전을 위한 마이크로 열병합발전 등에 활용될 기술을 타겟으로 기술개발을 진행하는 것이 유리할 것이다.

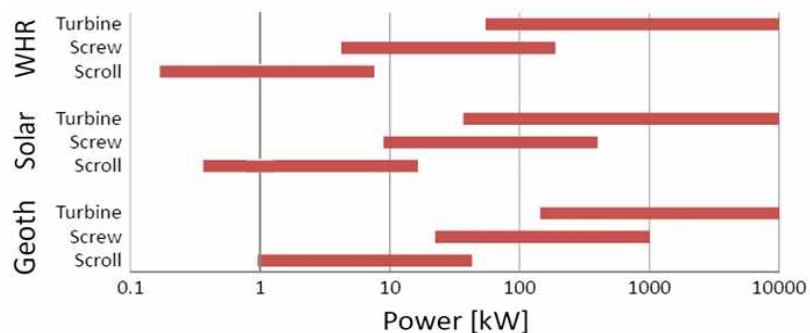
그림 27 디젤 자동차 엔진과 ORC 발전시스템 조합



: Performance Analysis of the Vehicle Diesel Engine-ORC Combined System Based on a Screw Expander, 2014

요소 기술로는 소형 시스템에 효율이 높다고 알려져 있는 스크롤 타입의 팽창기, 부식환경에 강한 열교환기 기술 등도 검토해 볼 필요가 있다. 스크롤 팽창기의 경우 밸브가 필요 없고 부품 개수가 적으며 비용이 낮다는 이유로 소규모 전력시스템의 팽창기로 많이 적용되고 있으며, 스크롤 압축기를 변형하여 만든 팽창기를 이용한 연구도 많이 진행되고 있다.

그림 28 ORC 시스템 용량별 팽창기 적용 현황



: Techno-economic survey of organic rankine cycle systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013

또한 최근 국내에서도 미활용에너지 활용을 위한 실증사업이 시도되고 있어 정책적 지원도 기대할 수 있다. 한전전력연구원에서는 2016년에서 2018년까지 3년에 걸쳐 디젤발전기의 배기가스와 냉각수 등 80~100℃ 범위의 중저온 폐열을 이용해 발전 출력 10kW, 열효율 9% 등의 성능을 갖춘 ORC 발전시스템 개발을 시작하였고, 2017년부터 한전이 전북 위도에서 운영 중인 내연발전기를 대상으로 실증을 거쳐 산업폐열이 발생하는 국내 업체 등에 확대 적용을 추진할 계획으로, 국내에서도 ORC 발전시스템 시장이 확대될 수 있는 다양한 시도가 계속 진행될 것으로 판단된다.

국내에서도 다양한 환경 정책 등으로 인해 지속적인 ORC 발전시스템 시장의 성장이 예상되므로, 요소기술을 중심으로 선제적인 기술확보를 통해 관련 시장의 성장 초기 단계부터 전문기업으로의 이미지 확보도 필요할 것으로 보인다.



## <참고문헌>

1. 도시지역 미활용 에너지의 타당성에 관한 사례분석, 한국생태환경건축학회, 2013
2. 미활용에너지 이용현황, 대한설비공학회, 2002
3. 전력발전을 위한 저온 열원 특성에 따른 유기 랭킹 사이클의 기술적, 경제적 시장 리뷰, KOSEN Expert Review, 2012
4. 제4차 신·재생에너지 기본계획, 산업통상자원부, 2014. 09.
5. 온실가스감축기술 전략로드맵, 한국에너지기술평가원, 2011
6. 중·저온폐열이용ORC 발전시스템, (주)삼영이엔지, 2012
7. 유기랭킨 사이클 발전 기술, 기계기술 Vol 40, No.9, 2009
8. 유기랭킨사이클(ORC)을 위한 주전열면 열교환기의 채널 중형비에 따른 유동 및 열전달 특성, J. Comput. Fluids Eng., 2013
9. 중저온 ORC 발전설비, 동국ENC, 2011
10. Waste heat recovery systems market-global trends & forecast to 2018, MarketsandMarkets, 2014
11. Turn waste heat into electricity, IFEST, 2010
12. Waste heat recovery organic rankine cycles in sustainable energy conversion: A state of the art review, JMES, 2013
13. A technical, economical and market review of organic rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation, Renewable and sustainable energy reviews, 2012
14. Operation optimization of an organic rankine cycle(ORC) heat recovery power plant, Applied thermal engineering, 2011
15. The Potential of the ORC technology for waste heat recovery in The UE, 2012
16. Performance analysis of the vehicle diesel engine-ORC combined system based on a screw expander, 2014
17. Techno economic survey of organic rankine cycle systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013
18. <http://orc-world-map.org/analysis.html>