

EAP를 이용한 청정 에너지 수확 기술 개발

Energy Harvesting Technologies Using EAP

IT-에너지 융합부품소재 특집

목 차

- I . 기술개요 및 활용분야
- II . 국내외 연구 동향
- III . 특허 현황 분석 및 예상 시장
- IV . 시사점 및 제언

김성현 (S.H. Kim)	유 · 무기나노복합소재팀 책임연구원
이수재 (S.J. Lee)	유 · 무기나노복합소재팀 책임연구원
윤두협 (D.H. Yoon)	유 · 무기나노복합소재팀 책임연구원
양용석 (Y.S. Yang)	유 · 무기나노복합소재팀 선임연구원
문제현 (J.H. Moon)	유 · 무기나노복합소재팀 선임연구원
임상철 (S.C. Lim)	유 · 무기나노복합소재팀 선임연구원
박진아 (J.A. Park)	유 · 무기나노복합소재팀 Post-Doc.
김진식 (Z.S. Kim)	유 · 무기나노복합소재팀 선임연구원

화석연료를 개발함에 따라 인류는 과거보다 풍요한 물질문명을 누리게 되었으나 그 부작용으로 지구 온난화라는 현실적 재난에 직면해 있다. 점점 뜨거워지는 지구를 식히기 위해 세계적으로 당장 시급한 대책은 화석연료의 생산, 수송 및 소비에 있어서 효율을 높이고, 에너지를 절약함으로써 온실가스를 감축하는 것이다. 하지만 궁극적으로는 신재생 에너지와 같이 온실가스를 배출하지 않는 지속 가능한 에너지를 사용함으로써 청정한 미래형 산업 시스템이 이루어야 한다. 에너지의 해외의존도가 97%에 육박하고 있는 우리나라의 입장에서 세계적으로 연평균 전력발전량의 약 20%를 담당하고 있는 수력, 풍력, 조력 발전은 에너지 자급에 의한 수급 안정성 확보 측면에서 중요한 의미를 가진다. 특히, 화력 및 원자력과 비교할 때 환경에 대한 영향이 거의 없는 청정한 에너지로서 개발이 유망한 에너지이다. 대규모 수력발전은 대형 댐의 건설로 인한 환경·생태적 문제점이 있을 수 있으나, 풍력과 조력발전은 상대적으로 환경에 미치는 영향이 작은 편이다. 본 보고서에서는 최근 연구되고 있는 신재생 에너지 중 전기활성 고분자(EAP)를 이용하여 조력이나 유력, 풍력을 이용하여 청정 에너지를 생산할 수 있는 방법에 대하여 논하고자 한다.

I. 기술개요 및 활용분야

화석연료를 개발함에 따라 인류는 과거보다 풍요한 물질문명을 누리게 되었으나 그 부작용으로 지구 온난화라는 현실적 재난에 직면해 있다. 점점 뜨거워지는 지구를 식히기 위해 세계적으로 당장 시급한 대책은 화석연료의 생산, 수송 및 소비에 있어서 효율을 높이고, 에너지를 절약함으로써 온실가스를 감축하는 것이다. 하지만 궁극적으로는 신재생 에너지와 같이 온실가스를 배출하지 않는 지속 가능한 에너지원을 사용함으로써 청정한 미래형 산업 시스템이 이루어져야 한다.

신재생 에너지 가운데 하나인 수력과 풍력, 조력은 국내의 풍부한 자원을 바탕으로 과거부터 관심을 받아왔으나 화석연료에 비해 상대적으로 낮은 경제성이나 하천에 미치는 환경·생태적 영향 등의 이유로 개발이 활성화되지는 못하였다. 그러나, 최근 기후변화협약(1992)이나 교토의정서(1997) 채택 등으로 온실가스 감축문제가 국제적인 이슈가 되면서 신재생 에너지 중에서도 탄소배출량이 거의 없는 풍력과 조력 발전에 대한 관심이 점차 증대되고 있는 상황이다.

청정 에너지의 또 다른 분야인 원자력의 경우, (주)JCO나 몬주의 사고를 계기로 원자력발전

한 사회의 비판이 거세지고 있으며 대규모 전원의 장래가 불투명해지고 있다. EU(대표적으로, 독일)에서 볼 수 있듯이 국제적으로도 장기적으로는 원자력발전을 감소시켜 나갈 동향이다.

제1차 석유파동 이후 정부는 1974년 “수력 개발 입지 및 자원조사”, 2003년 “대체에너지 개발 및 이용/보급촉진법 시행규칙 개정”에 이르기까지 지속적으로 대체에너지 원천인 신재생 에너지 개발에 필요한 관련 법안과 계획들을 수립하고 시행하고 있는 상황이다[1]. 그러나, 점차 높아지는 환경수요는 대규모의 수력발전에 비해 상대적으로 환경영향이 작은 MPG 시스템을 이용한 도입에도 문제 제기를 하기 시작하였으며, 정부의 자금지원에 의존한 ‘비싼’ 전력생산을 회의적 시각으로 바라보는 측면도 존재한다. 재생가능하고 환경적으로 ‘무공해 에너지’라는 신재생 에너지의 장점을 살리기 위해서는 이같은 부정적 시각들을 불식시킬 필요가 있으며, ‘온실가스 감축’이라는 환경적 의제는 EAP의 지속가능하고 친환경적 이미지를 잘 대변할 수 있을 것이다. <표 1>에 EAP를 이용한 신재생 에너지와 다른 청정 에너지의 가격과 효율의 비교표를 나타내었다.

EAP를 이용하여 생산하고자 하는 신재생 에너지의 에너지원은 사람이나 동물의 일반적인 움직임들부터 자연계의 풍력, 조수력, 또는 파력으로서, 그

<표 1> EAP를 이용한 신재생 에너지와 다른 청정 에너지의 가격과 효율의 비교[2]

	Output capacity per unit(kW)	Utilization rate(%)	Annual output per unit(kWh)	Installation cost per unit(yen)	Number of units	Required investment (yen)	Required area
Atomic power	1 million	80	70 billion	360 billion	1(Std.)	360 billion	
Solar power	Commercial use	300	320,000	300 million	21,875	7 trillion	Approx. 67 km ² 1,500 times the area of Tokyo Dome
	Domestic use	3.5	3,700	3 million	1,900,000	6 trillion	
Wind power	1,000	20	1,750,000	2.5 billion	4,000	1 trillion	Approx. 248 km ² 5,500 times the area of Tokyo Dome
Current wave-power(UK)	750	70	1,510,000	480 million	6,600	3.2 trillion	Approx. 799 km ² 18,000 times the area of Tokyo Dome
EPAM wave-power	2	70	12,300	620,000	570,000	353.4 billion	

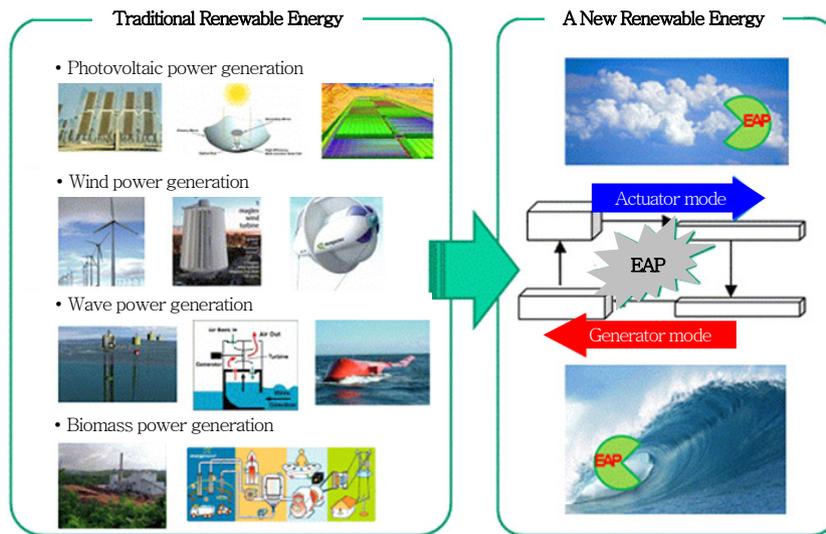
에너지원이 오염 물질을 배출하지 않는 청정 에너지이며, 또한 지구상의 어디에나 존재하는 무한 에너지라는 점에서 그 개발 가치가 더욱 높다고 할 수 있다. (그림 1)에 EAP를 이용한 신재생 에너지 개발의 개념도를 나타내었다.

또한, EAP를 이용한 에너지 생산은 비가 오는 날 뿐만 아니라 야간에도 에너지 생산이 가능하며, 반드시 태양을 향해야 하는 태양 전지의 설치상의 약점을 보완할 수 있다. EAP와 태양전지의 특성 차이를 (그림 2)에 나타내었다.

EAP는 전기적인 자극을 가하면 기계적인 움직임을 얻을 수 있고, 기계적인 자극이 주어지면 전기를 얻을 수 있는 소재로서 EAP 액추에이터는 차세대 스마트 액추에이터로서 최근 주목을 받고 있으며,

역-액추에이터 모드를 사용할 경우 기존의 에너지 변환소자(전자기소자, 압전소자)들에 비해 훨씬 큰 에너지를 얻을 수 있다. 기존의 에너지 변환 소자의 에너지 밀도가 약 0.05 J/cc를 넘지 못하나 현재 연구에서 사용되는 EAP 소자들은 0.4 J/cc로써 기존의 전자기소자 및 압전소자를 이용한 마이크로 발전기에 비해 저단가, 저소음, 연성 및 다접목성 등의 많은 장점을 가지고 있어 다방면에 이용 가능하며 우수한 성능을 가진다.

EAP 중에서도 가장 상용화에 근접해 있는 dielectric elastomer에 관한 연구는 최근에 매우 활발하게 진행되고 있는 분야 중의 하나이며, 기존의 에너지 변환소자에 비해 큰 전기기계적 효율, 빠른 반응속도와 마찬가지로 큰 에너지 밀도와 변형을 나



(그림 1) EAP를 이용한 신재생 에너지 개발의 개념도

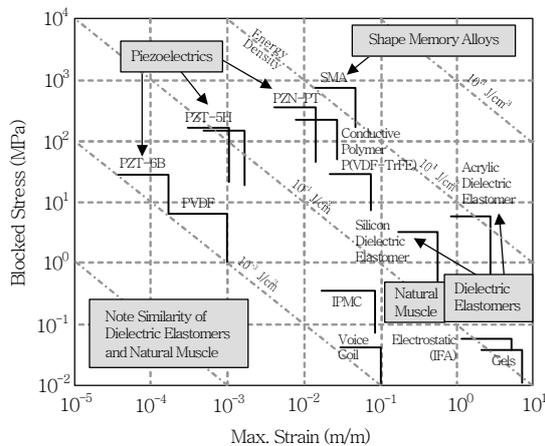
	태양전지	EAP(MPG)
에너지원 (변환 효율)	태양 열/빛 → 청정, 무한 (20~50 W/m ² , 10% 효율 가정)	바람, 파도 → 청정, 무한 (파도: 20 W, 군화: 5~10 W, 인공근육: ~kW)
설치장소	태양이 보이는 곳(남향)	바람, 파도가 이는 곳(바다, 사방)
발전조건	일조 시간대(야간, 비)	바람, 파도가 이는 때(항시)
소재	일부 개발된 상태(효율 낮음)	일부 연구 단계(개발이 필요)

(그림 2) EAP를 이용한 신재생 에너지와 태양전지기술의 장단점 비교

타내므로 linear actuator, diaphragm pumps, rotary motors, and haptic display 등과 같은 다양한 종류의 액추에이터 개발을 가능케 한다. 또한, dielectric elastomer가 generator로서 활용될 때 큰 에너지 밀도, 큰 효율, 큰 변형 특성을 보이므로 존재하는 기술로 만들 수 없는 새로운 형태의 반영구적인 power generating system을 개발하는 데 활용될 수 있다. (그림 3)에 EAP와 경쟁기술 간의 특성 분석결과를 나타내었다.

EAP 인공근육을 비롯하여 인공심장, 스마트 피부, 초정밀기계, 센서/액추에이터, 개인군사 장비의 발전기, 의료용 로봇, 우주항공분야, 연료전지, 펌프 등의 여러 분야에 적용이 가능하기 때문에 최근 전세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, EPA를 이용한 power generation 기술 개발은 세계적으로 새로이 태동하는 단계에 있으며, EAP를 이용한 MPG 기술은 미래의 자연·청정에너지 수확을 위한 한 기술 축이 될 것으로 전망된다.

향후 민수 및 군수용으로 상용되기 위해서는 발전소자 선정 기술, EAP 설계 기술, 발전소자 가공 기술, 마이크로 발전 기술, 에너지 변환 기술 등 많은 해결과제들이 선재해 있으며, 이러한 기술들이 해결되면 미래 MPG 분야에 새로운 자리매김을 할 것으로 판단된다.



(그림 3) EAP(또는 Dielectric Elastomer)와 기존 경쟁 소자의 특성 비교 차트[3]

II. 국내외 연구 동향

1. 국내 연구 동향

국내의 연구는 압전효과 보다 그 반대개념인 역 압전효과를 이용하여 산업계에 응용하는 연구가 주를 이루고 있고 발전기의 개념은 매우 초보적인 단계에 있으며, 한국기계연구원, 한국생산기술연구원, 인하대학교, 한국과학기술원, 서강대학교 및 서울대학교 등에서 압전식 에너지 수확을 위한 재료 연구, 진동 발생장치를 구현하는 연구, 최적의 에너지 변화기술을 위한 회로 연구들이 이루어지고 있다.

건국대학교의 AMRC 센터에서는 생체 및 근육의 작동원리를 구현할 수 있는 인공근육형 작동기를 개발하는 것을 목표로 하여 압전세라믹 작동기와 EAP형 작동기를 연구하고 있으며, 곤충 날개 구조를 공학적으로 모방한 인공근육 제작에 적용할 예정이다.

최근에 Hanson Robotics와 KAIST가 EAP 재료를 사용하여 Albert Hubo의 artificial face를 공동으로 제작하였다.

EAP를 이용한 신재생 에너지 개발 분야에서 국내의 기술은 압전소자 보다 더 늦게 연구가 진행되어 미국, EU 및 일본에 비해 크게 뒤떨어져 좀 더 활발한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료되며, 동국대학교, 인하대학교, 기능성 고분자 신소재 연구센터 및 재활연구소에서 EAP 재료에 대한 연구와 응용분야에 대한 연구가 진행중이다.

국내에서는 EAP power generation 분야에 대한 연구는 아직 시작되고 있지 않았거나, 연구 태동기에 있다.

2. 국외 연구 동향

미국, 영국, 프랑스 및 일본 등의 선진국가들은 MPG 뿐만 아니라 다양한 형태의 에너지 수집에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 미국의 경우 “에너지 생산과 저장” 분야에 있어 2006년도에 이미 10억 달러 이상의 연구비를 지원하고 있다.

기능성 고분자(EAP)는 정전기력에 의해 구동되는 액추에이터 소재로서 미국의 SRI International사에서 1991년 이후 개발을 시작한 이래 많은 연구자들에 의해 개발되어 왔으며, 인공근육을 비롯하여 인공심장, 스마트 피부, 초정밀기계, 센서/액추에이터, 개인군사 장비의 발전기, 의료용 로봇, 우주항공 분야, 연료전지, 펌프 등의 여러 분야에 적용이 가능하기 때문에 최근 전세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있다.

EAP 중에서도 가장 상용화에 근접해 있는 dielectric elastomer에 관한 연구는 최근에 매우 활발하게 진행되고 있는 분야 중의 하나이다. 미국의 SRI International사에서 변형률이 200~300% 이상이 되는 액추에이터를 실리콘이나 우레탄 고분자 등을 이용하여 개발한 시제품이 보고되고 있으며, 최근 Artificial Muscle Inc.(AMI, California, USA)사를 통해 상용화 제품 개발을 시작하였다.

국외 선진국에서는 수 년 전부터 EAP 소재를 사용하여 센서나 액추에이터 개발 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, EAP를 이용한 power generation 기술 분야는 세계적으로 새로이 태동하는 단계에 있다. (그림 4)에 EAP를 이용한 여러 가지 활용 분야를 나타내었다.

본 보고서와 관련한 연구는 미국의 NASA가 주도적인 역할을 하고 있으며, DARPA에서 자체적인

자가 발전 시스템이 요구되는 개인 군사 장비의 구동용으로 사용하기 위해 연구 진행중이며, 신발, 군낭 및 팔, 다리 등에 부착하여 최대 10 W의 전력을 얻은 결과가 보고되고 있다. 또한 EAP 엔진은 무소음 및 저중량의 특성을 가지고 있어 고공정찰을 담당하는 무인 항공기에 적용 가능하며, UTIAS에서 연구중에 있다.

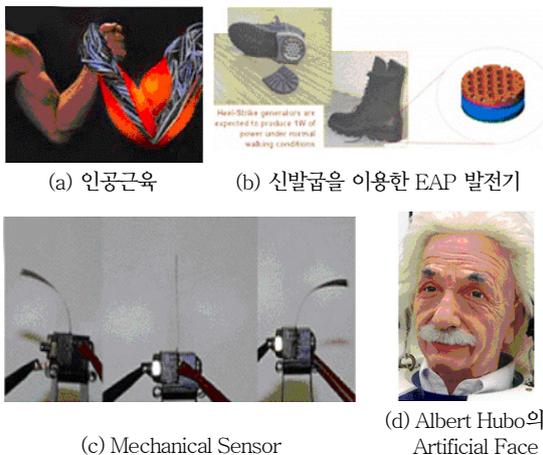
SRI와 Hyper Drive사에서는 파력을 이용한 EAP의 에너지 발생 원리를 확인하기 위한 연구가 이미 수행되었으며, 현재 EAP이 실제적인 활용을 위한 실험은 진행중에 있다. 또한 실험결과를 바탕으로 EAP를 사용한 파력으로 수확한 에너지 단가가 7.5~10 \$/kWh인 것으로 평가된다. 2007년 8월 SRI에 의해 navigation buoy에 탑재된 prototype EAP 전력 발생기를 개발하였으며, 2009년 상용화를 목표로 개발중에 있다.

SRI 이외에도 미국의 MIT, GeorgiaTech, Denmark의 RISO 대학, Canada의 Toronto 대학, 영국의 Leed 대학 등 이에 관해서 연구를 수행하고 있는 기관이 급속하게 증가하고 있으며, 매년 새로운 아이디어와 이를 구현한 사례가 발표되고 있어 머지않은 장래에 dielectric elastomer를 이용한 제품이 출현될 전망이다.

영국의 경우는 Southhamton 대학을 중심으로 총 9개 컨소시엄 형태로 “Piezoelectric 및 Electromagnetic Energy Harvesting”에 관한 VIBES 프로젝트를 수행중에 있다.

일본의 경우 일본 통산성(Ministry of International Trade & Industry)에서는 프론티어 사업을 통하여 “첨단 구동기/센서용 유기재료의 개발”을 지원한 바 있으며, 일본화학기술혁신연구소는 미국 NASA와 공동으로 MUSES-CN 사업을 통하여 EAP에 관한 기술을 국가 전략사업으로 연구하고 있다.

전기적으로 자극을 받게 되면, 형태를 바꾸는 고분자에 기반한 액추에이터, 모터, 발전기와 같은 새로운 운동 발생 장치들이 상업화에 다가서고 있는 추세이다. 일본 오사카의 Eamex사가 개발한 로봇 물고기(헤엄치는 물고기)는 어떤 기계적 요소도 갖



(a) 인공근육 (b) 신발굽을 이용한 EAP 발전기
(c) Mechanical Sensor (d) Albert Hubo의 Artificial Face

(그림 4) EAP 재료를 이용한 연구사례들

고 있지 않으며, 모터도 없고, 구동축도 없고, 기어도 없고, 심지어 배터리도 갖고 있지 않는 신형 개량 전기활성 고분자(EAP)에 기반한 최초의 상업적 산물을 선보였다.

EAP을 이용한 power generation은 미래의 자연·청정에너지 수확을 위한 유망 기술이 될 것으로 전망하고 있으며, 선진국의 연구자들은 활발히 연구 활동을 하고 있다.

Ⅲ. 특히 현황 분석 및 예상 시장

1. 제안 분야에서의 중요 핵심요소 기술 분석

기존의 화석 연료는 연소에 의해 발생한 오염물질의 배출로 인해서 기후 변화 등 환경 문제를 일으키며, 이것은 아주 중대한 국제적 문제가 되고 있다. 반면에, 태양 전지를 통한 에너지 생산은 일조시간과 일조조건에 매우 의존적이기 때문에 설치 장소와 발전 조건에 상당한 제약을 준다. 제안하는 기술은 기존의 화석 연료를 통한 에너지 생산 방식의 문제점을 개선하고, 또한 새로운 대체 에너지로 널리 인정된 태양 에너지 전환 방식의 취약점을 보완할 수 있는 기술이다.

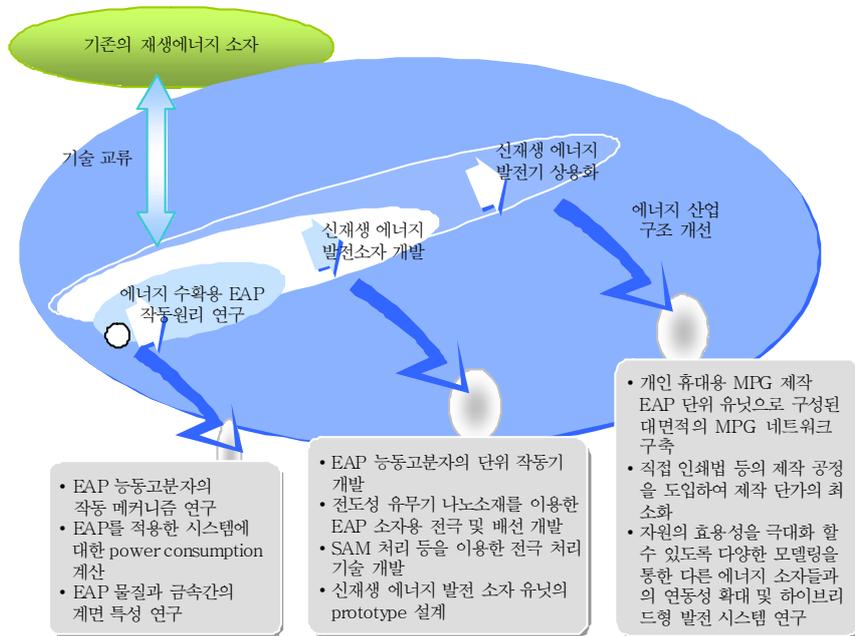
본 기술은 EAP 재료에 자극(진동 혹은 movement 에너지)을 가하면 에너지가 발생하는 원리를 이용한 것으로, 대상체의 움직임이나 풍력, 조수력 또는 파력 등을 이용하여 전기 에너지를 생산하는 것으로, 비가 오는 날 뿐만 아니라 야간에도 에너지 생산이 가능하며, 또한 반드시 태양을 향해야 하는 태양 전지의 설치상의 약점을 보완할 수 있다. 특히 파력, 풍력, 강, 개울 등에 설치함으로써 자연 경관을 훼손하지 않는다는 장점을 가진다. EAP 발전기와 타 발전 기술과의 비교 결과를 <표 2>에 정리하였다.

Micro-scale power generation 분야에서는 개인 휴대 장비 전력 공급을 위한 착용 또는 휴대 가능한 발전 소자와 가정용, 산업용의 개별 건축물 내에 센서의 전력 공급을 위한 소형 에너지 변환 시스템에 적용이 가능하다. Macro-scale power generation 분야에서는 풍력 또는 파력 등을 이용한 산업용 에너지 생산 파운드리(foundry)와 산업용 전력 공급을 위한 에너지 저장 및 전송 시스템 개발이 가능하다.

(그림 5)는 EAP를 이용한 신재생 에너지 개발에 있어서의 핵심요소 기술을 도식화한 것으로 고효율 EAP 신소재 개발, 전도성 유무기 복합 소재 개발, EAP 발전기의 구조 설계 및 제작, 에너지 수확을 위

<표 2> EAP 발전기 기술과 타 기술과의 비교

발전기 응용	경쟁기술	EAP(or Dielectric Elastomer)		비고
		장점	단점	
엔진 발전기	전자석	<ul style="list-style-type: none"> 고에너지 밀도 저가격 저속도 구동 고온도 작동 	작은 엔진에 대해 전자 회로 가격과 무게	전자회로는 큰 엔진 응용에서는 문제가 되지 않음
구두 발전기	전자석 압전성	<ul style="list-style-type: none"> 고에너지 밀도 저가격 경량 좋은 기계적 부하와 매칭 	전자석 구동보다 전자 회로가 복잡	Heel 크기의 소자에서 0.8 J 발생
무선센서를 위한 파생에너지 수확	전자석 압전성	<ul style="list-style-type: none"> 이용할 수 있는 에너지원과의 좋은 기계적 부하 매칭으로 인해 설계 간단 저가격 재생가능 	전자회로 가격	전선이 없어 저가격이 가능하나 현재 전력원이 제한되어 있음
파와 바람 에너지	전자석	<ul style="list-style-type: none"> 좋은 기계적 부하와 매칭 저가격 	효율적인 변환을 위해 큰 변형 모드가 요구됨	



(그림 5) EAP를 이용한 신재생 에너지 개발에서의 핵심요소 기술

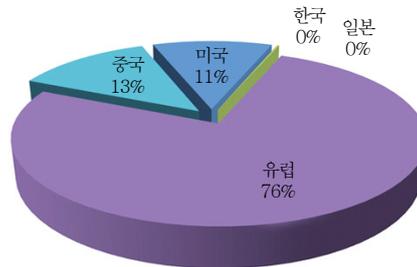
한 전자회로 설계 및 제작, 대량생산을 위한 제작 공정 기술 및 발전 시스템 등에 대한 연구개발이 필요하다. (그림 5)에 EAP를 이용한 신재생 에너지 개발에서의 핵심요소 기술을 나타내었다.

2. 특허 맵 분석

• 국내외 특허 현황

본 분석에서는 ElectroActive Polymer를 이용한 Micro & Macro power generation 기술을 포함하는 (특허 검색어: (polymer, organic, soft, electroactive polymer, electro active) and (generation, generator, harvest, creat) and (energy, power, electric)) 기술을 분석 대상으로 하였고, 1974.1.~2008.5.까지 출원 공개된 한국, 일본, 유럽 및 미국 공개 2002~2008.5.까지 등록된 미국 등록 특허를 분석 대상으로 하였다.

전세계 ElectroActive Polymer 기술에 대한 특허는 미국, 유럽, 중국 및 일본에서 총 1,099건이 출원된 것으로 나타났다. 연도별 동향을 살펴볼 때, 전반적으로 각국 모두가 증가하는 추세인 반면, 일본

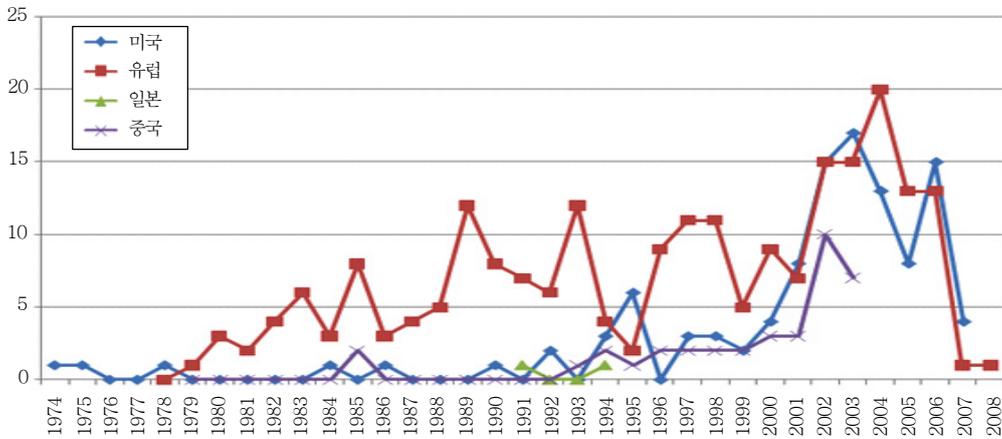


(그림 6) 전세계 ElectroActive Polymer 점유율별 특허 동향

의 경우는 이와 관련된 특허가 아주 미비하다. 특히, 한국의 경우에는 관련된 유사 특허가 전혀 검색되지 않았다. (한국 특허 검색어: (polymer, organic, soft, electroactive polymer, electro active) and (generation, generator, harvest, creat) and (energy, power, electric)) 검색된 결과를 (그림 6)과 (그림 7)에 개괄적으로 나타내었다.

일본에서는 2건으로 가장 적게 특허출원된 반면, 유럽에서는 832건으로 가장 많은 특허가 출원되었고, 뒤이어 중국에서 141건, 미국에서 124건이 각각 출원되었다.

유럽에서의 특허출원 동향을 살펴볼 때, 유럽에



(그림 7) 전세계 ElectroActive Polymer 특허 동향

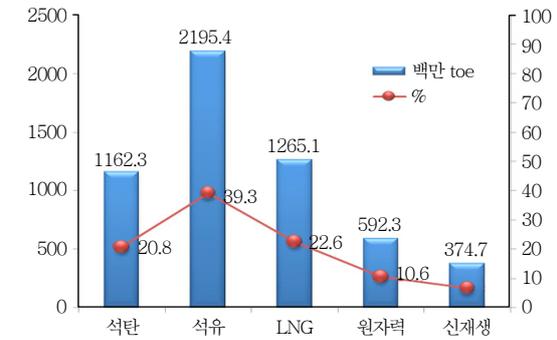
서는 1970년대부터 ElectroActive Polymer를 이용한 여러 가지 센서, actuator, generator 등의 연구가 진행되었던 것으로 나타났다.

3. 예상 시장

• 현 시장 분석(국외)

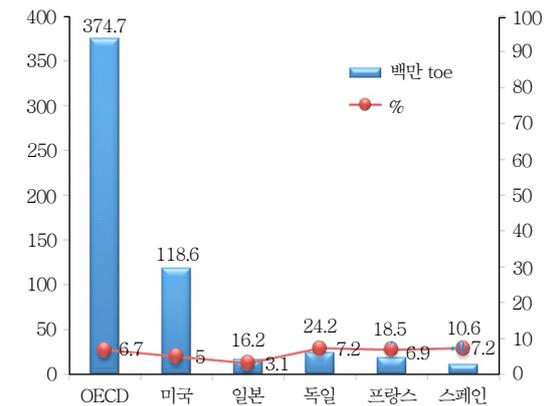
본 기술은 아직 연구단계에 있으므로, 이러한 기술을 이용한 시장은 아직 형성되어 있지 않다. 그러나 본 기술은 대체에너지 분야에서 풍력이나 파력 등을 이용하는 분야를 대체할 수 있다. KPMG International의 시장 동향 분석에 따르면, 2010년의 재생 및 대체 에너지 분야 중 세계 태양광 에너지 시장 규모는 360억 달러로, 풍력 에너지 시장규모는 400억 달러로 예상된다[4].

Morgan Stanley 2007년 10월의 발표에 따르면, 2030년 세계 재생 에너지 시장은 1조 달러로 성장할 것으로 예측하였다[5]. DEWI 2008년 통계에 따르면, 2007년 세계 풍력 에너지 시장의 규모는 220억 유로로 집계되었다. 2008년 IEA에서 발표한 Energy balance of OECD countries 자료에 따르면, 2007년 기준 OECD 국가의 총1차 에너지공급(TPES)에서 신재생 에너지가 차지하는 비중은 6.7%로 374.7백만 toe에 해당하며, 2000년대에 들어와서 독일 등 유럽 국가를 중심으로 꾸준히 상승



<자료>: IEA, Energy balance of OECD countries, 2008.

(그림 8) OECD의 에너지원 공급 비교



(그림 9) 주요국의 신재생 에너지 공급 비교[6]

하였다(2000년 6.2%, 2007년 6.7%)(그림 8), (그림 9) 참조.

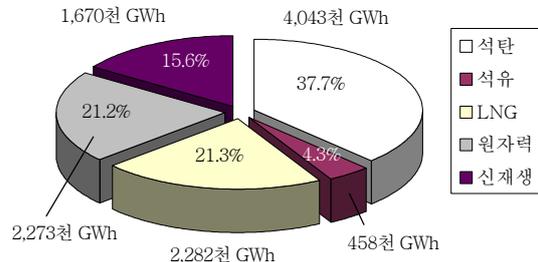
2007년 기준의 신재생 에너지의 에너지원별 석

유 환산 공급 비중에서 보면, 바이오(50.0%)와 수력(29.0%)이 약 80%를 차지하며, 지열(8.5%), 폐기물(8.1%), 풍력(3.4%), 태양열(0.9%)의 순을 나타내었다(바이오와 수력에는 기존의 임산자원 및 대형댐의 이용이 포함되어 있다. 풍력이나 태양열/광, 해양/조력/파력의 비중은 낮은 수준임).

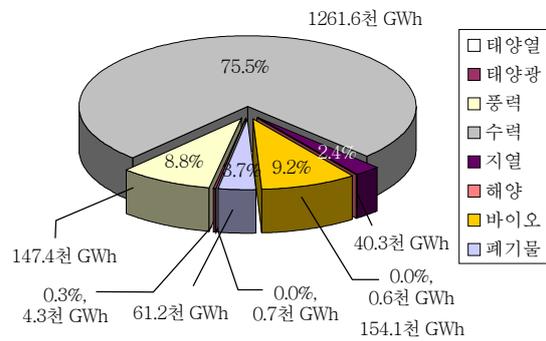
최근 대형댐 및 조력 발전소 등의 건설에 대한 생태계 파괴 가능성이 대두됨에 따라 비중이 감소 추세인 반면, 상대적으로 기술·자본 집약적인 태양광 및 풍력에 대한 관심 집중으로 비중이 크게 증가 추세이다(1995~2007년간 에너지원별 연평균 공급 증가율을 보면 태양광 43.2%, 풍력 28.4% 태양열 6.9%, 폐기물 3.1%, 바이오 2.4%, 지열 0.9%, 해양 -0.8%, 수력 -0.3% 임). 2007년 기준으로 OECD 전체 발전량의 15.6%에 해당하는 167만 GWh가 신재생 에너지를 이용한 전력생산으로, 석탄(37.7%), LNG(21.3%), 원자력(21.2%) 보다 낮으나, 석유(4.3%) 보다 크게 높다.

신재생 에너지원별 발전량을 비교해보면 수력(75.5%)을 제외할 경우, 바이오(9.2%) 다음으로 풍력(8.8%)이 비중을 나타내어, 지열(2.4%) 보다 높다. 빠르게 성장하고 있는 분야는 태양광 및 풍력을 이용한 발전설비 분야로, 수력을 제외한 신재생 에너지의 발전설비 증가율은 1995~2007년 중 연 25% 수준이다(태양광 41.7%, 풍력 28.0%. 태양광 및 풍력 발전 부분에서는 독일이 세계 선두). 신재생 에너지 관련 투자는 최근 전세계적으로 높은 증가추세이다(2004년 332억 달러, 2007년 1484억 달러). 전세계 투자액의 77.9%를 차지하는 OECD 국가에서 에너지원 별로 풍력(43.5%), 태양열/태양광(23.8%), 바이오 연료(16.5%)에 대한 투자 비중이 높다(그림 10), (그림 11) 참조).

에너지원 분야별 세계 시장 주도국을 보면, 풍력 발전은 독일, 미국, 덴마크, 스페인 등의 상위 6개 기업이 세계시장의 76%를 차지, 바이오 연료의 경우 미국, 브라질의 기업이 세계 바이오 연료 생산의 90% 점유, 태양광은 독일, 일본 기업이 세계 시장 주도하고 있으며, 중국기업이 빠르게 시장에 진출하



(그림 10) OECD 전체 신재생 에너지 발전량 비교[6]



(그림 11) 신재생 에너지별 발전량 비교 분석[6]

고 있다. 환경 규제 강화와 고유가의 지속에 따라 세계 각국에서 신재생 에너지 기술의 개발 및 보급에 대한 정책 마련과 이의 강화에 노력하고 있다.

IV. 시사점 및 제언

에너지의 해외의존도가 97%에 육박하고 있는 우리나라의 입장에서 세계적으로 연평균 전력발전량의 약 20%를 담당하고 있는 태양에너지, 수력, 풍력, 조력 발전은 에너지 자급에 의한 수급 안정성 확보 측면에서 중요한 의미를 가진다. 특히, 화력 및 원자력과 비교할 때 환경에 대한 영향이 거의 없는 청정한 에너지로서 개발이 유망한 에너지이다. 그러나, 단위출력 당 투자비용이 다른 에너지원에 비하여 높고 대수력 발전에 비해서도 더 많이 소요되는 것으로 알려져 있다. 위와 같은 이유로 신재생 에너지에 대한 연구는 순수 민간에 의해 개발되기 보다는 정부주도의 조사 및 연구와 법적 지원책에 의한 투자 지원으로 개발되어져 왔다.

그러나 신재생 에너지에 관한 연구는 대부분 태양광에 집중되고 있는 경향이 있다. 태양광의 미래 가치는 크다. 그러나 태양광 에너지연구에 집중함과 동시에 이외의 에너지 분야에도 연구를 병행하여 우리나라만의 고유한 에너지 확보 전략을 구출하여야 할 것이다. 이러한 노력을 통하여 틈새의 황금시장 개척이 가능해질 것으로 생각된다.

● 용어해설 ●

EAP(ElectroActive Polymer, 전기 활성 고분자): 전기장이 가해지면 모양이 바뀌는 고분자. 이러한 특성을 이용하여 actuator나 sensor를 만들 수 있다. 반대로 형상을 바꾸어도 전기 에너지가 발생하므로 발전기로도 활용이 가능하다.

Actuator: 전기장을 가하여 길이의 변화를 일으키는 기계적 변위 전자소자

Dielectrics: 전기장을 인가하면 전기적 분극을 일으키는 물질들의 총칭

Elastomer: 물리적 힘에 의하여 탄성 변위를 하는 물질의 총칭

약어 정리

EAP	ElectroActive Polymer
MPG	Macro & micro Power Generation
SRI	Stanford Research Institute
UTIAS	University of Toronto Institute for Aerospace Studies
VIBES	Vibration Energy Scavenging

참고 문헌

- [1] 한국환경정책·평가연구원, 2006.
- [2] M. Waki et al., Except for the EPAM wave-powered generator data, all data were obtained from Website of the Ministry of Economy, Trade and Industry in Japan Electric Power from Artificial Muscles, IEEE, pp.1-3.
- [3] DARPA and SRI International
- [4] KPMG International, <http://www.kpmg.com/>
- [5] Morgan Stanley, <http://www.morganstanley.com/>
- [6] IEA, Energy balance of OECD countries, 2008.