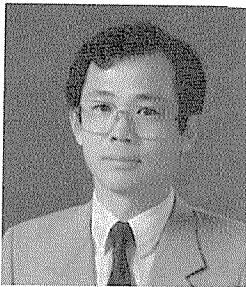


代替에너지資源의 利用現況과 展望



서울産業大學校
教授 鄭光燮

1. 머리글

인류의 존속과 진화를 위해 에너지는 물과 공기와 식량과 더불어 없어서는 안 될 것 중 한가지이다. 이 인간의 생명이라고도 해야 할 에너지를 우리나라는 거의 외국에 의존하고 있다. 게다가 그 중의 대부분을 외국으로부터 수입한 석유와 우라늄에 의존하고 있다. 그러나, 세계 인구증가는 2030년에는 10억명에 도달해 이 인구를 충족시킬 에너지는 석유로 환산해서 230억t에 도달한다고 예측하고 있다. 또한, 인류가 대량으로 소비하는 에너지의 88%를 의존하고 있는 化石燃料은 무한한 것이 아니고 언젠가는 枯渴될 宿命에 있다. 세계적으로 경제상황이 정체하고 있을 때는 석유도 과잉되어 가격이 저렴했기 때문에 에너지에 대한 관심은 대부분 적었다. 그 때문에 석유대체에너지의 개발과 에너지 절약기술의 개발에 종사하고 있는 사람들의 숫자도 감소하고 있다고 할 수 있었다. 그러나, 1973년의 소위 에너지 쇼크와 '89년말부터 시작된 東유럽의 民主化와 소련 사회주의체제의 붕괴로 인해 세계 에너지사정은 크게 변화했다. 또한 '89년에 들어서 地球溫暖化가 세계적 주목을 받고, 석유와 석탄 등 化石原料의 이용을 규제하는 움직임이 급속히 활발하게 전개되고 있다. 이것은 化石燃料의 연소가 한편으로 대기오염·

기후변동을 동반하여, 생물의 생존을 위협하는 것이 염려되고 있기 때문이다. 이들 사정을 반영해서, 최근에는 대체에너지와 에너지절약에 대한 기술이 다시 주목을 받고 있다. 자손에게 풍요로운 생활과 淸淨한 환경을 전해주고 地球環境의 保存이라고 하는 命題를 실천하기 위해서는 하루라도 빨리 化石燃料의존체질로부터 이탈하지 않으면 안된다. 금후의 경제성장과 환경문제를 생각하면 21세기에는 세계에너지源을 현재 주류를 이루고 있는 석유·석탄과 우라늄(원자력)만이 의존할 수 없는 점은 이미 자명한 것이다. 석유와 우라늄에 대신하는 에너지源의 개발은 우리에게 부과된 중요하고도 긴급한 과제이다. 이를 위해서는 자연에너지를 크게 활용하도록 하는 경제사회시스템으로의 전환과 소비하는 측에서의 의식구조의 개혁의 추진 등이 先決되어야 할 것이다.

대체에너지라고 하면 未이용 자연에너지를 포함한 再活用 에너지 등도 내포되므로, 그 전반적인 것을 열거하기에는 너무 광범위할 수 있다. 바꾸어 말하면, 이들을 일일이 열거하여 기술하기에는 그 종류의 방대함은 물론 그 이용형태의 다양성·방법 등도

각각 다르기 때문에 한정된 분량의 Page 범위내에서 이들의 원리와 개발상황 및 장래전망 등을 기술하는 일은 용이한 일이 아니다. 따라서 本稿에서는 대체에너지의 범위를 太陽·風力·水力·地熱 및 海洋에너지로 국한시켜, 이들 각각의 이용현황과 개발동향 및 전망 등을 중심으로 해서 略述하고자 한다.

2. 태양에너지

2-1 國內의 태양열온수기 개발·보급현황

전세계적으로 태양열 이용분야중 개발과 실용화가 가장 잘 되어 보급이 확산된 분야는 태양열 온수급탕시스템이다. 國內의 경우도 태양열 온수급탕 분야는 他 분야보다 개발과 실용화가 꾸준히 진행되어 보급이 확대되고 있다. 國內 태양열 온수기의 연구개발은 한국에너지기술연구소 주도하에 진행되어 왔으며, 상업화를 위한 업체의 연구개발은 미미한 형편이다.

〈표 2-1〉 國內 太陽熱 이용시설 보급현황

구분		년도														계
		'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	
태양열	주 택	4	21	154	247	254	20	22	1	-	30	-	-	-	-	753
	급 탕 시 설	-	76	67	658	171	303	145	365	754	1,095	1,848	2,265	2,963	2,142	12,842
	기 타 급 탕	2	6	30	18	25	17	11	11	4	11	9	16	14	23	197
	-관 사	-	-	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
	-공중목욕탕	-	-	5	2	11	6	1	3	-	5	4	8	-	1	46
	-골 프 장	-	-	1	-	-	2	6	4	3	4	2	3	9	14	48
	-파 출 소	-	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
	-양 계 장	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	2	8	13
	-콘도미니엄	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	-기 타	2	6	14	14	10	8	4	4	2	2	2	4	3	-	75
	소 계	6	103	251	923	450	340	377	377	758	1,136	1,187	2,281	2,967	2,165	13,792
자연형시설	주 택	-	1	1	24	32	10	-	290	-	-	64	-	-	-	594
	학 교 교 실	-	-	33	25	111	100	-	133	366	388	156	99	6	-	1,675
	기 타	-	-	-	-	-	-	-	2	-	10	13	10	2	2	48
	소 계	-	1	34	49	143	110	425	439	366	398	233	109	8	2	2,317
	계	6	104	285	972	593	450	603	816	1,124	1,534	2,090	2,390	2,975	2,167	16,109

에너지연구소는 태양열이용 低溫시스템 개발연구로 태양열 온수기를 기술의 난이도에 따라 Batch형, 자연대류형, 相變化型 시스템을 단계적으로 진행하여 개발을 완료하였다. 국내업체의 규모는 소규모이고, 기술수준은 아직 첨단소재 분야에서는 선진 외국에 비해 낮은 편으로 이 분야의 연구개발은 물론 생산기술의 향상이 보다 필요한 실정이다. 1980년 초에 오일쇼크로 인해 태양열 시스템에 대한 관심과 연구가 크게 각광을 받을때 국내에서는 전문지식이 없는 자격미달인 업체들이 무분별하게 수입판매한 뒤 유가하락으로 인해 거의 모든 업체가 없어져 태양열 온수기의 설치·보수 및 관리가 거의 안되었다. 이후 국민의식이 태양열 시스템 전반에 대하여 부정적인 시각이 팽배해져 태양열 온수기가 국산화된 현재까지도 이같은 영향으로 보급이 보다 활성화되지 못하고 있는 실정이다. 국내 태양열 이용시설의 보급은 1979년부터 시작되어 1986년까지 급격한 등락을 하였으나 정부지원에 힘입어 1987년부터 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 보급현황은 <표 2-1>과 같으며 이같은 보급현황은 보급이 활성화된 일본이나 미국 등에 비하면 아주 저조한 실정이다. 한국에너지기술연구소가 전국 15개소에서 수년간 측정해오고 있는 일사량을 분석해 보면 년평균 일사량은 320만 Kcal/m²로 수백만대가 설치된 일본 중부지방보다 평균일사량이 5% 가량 많은 것을 알 수 있다.

2-2 태양에너지 利用技術의 現況과 展望

2-2-1 太陽熱 利用

태양열을 이용한 Solar System은 크게 나누어 "Passive 형"과 "Active 형"으로 나눌 수 있다. 전자는 기계장치 등을 쓰지 않고, 태양에너지를 실내로 끌어 들여, 벽과 천정의 단열과 창외 이중화 등에 의해 태양열을 유효하게 활용하는 것이다. 후자는 집열기·펌프·축열조를 갖춘 것이며, 가정용 태양열 급탕시스템 등이 열거될 수 있다. 여기에서는 후자의 "Active 형"에 대해서 설명하기로 한다.

태양열 시스템으로서 가장 널리 사용되고 있는 것은 平板型 集熱器이다. 이것은 단열재를 전체적으로 붙인 케이싱, 선택흡수막 또는 흑색도장을 칠한 집열판, 그리고 개구부·창유리 또는 플라스틱 등의 투과재로 구성된다. 이 타입은 구조가 비교적 간단하고, 30~90℃ 전후의 집열온도를 위해 주택용 급탕

과 난방에 사용된다. 한편, 사무소건물·병원 등의 Solar System에서는 급탕·난방 외에 흡수냉동기 등으로 난방도 할 수 있다. 이 경우, 평판형 집열기로는 용량이 부족하기 때문에 高溫集熱이 가능한 진공 유리관형 집열기가 사용된다. 이것은 투명한 유리관 내에 집열판을 수납하고, 유리관내를 진공으로 하여 단열성능을 높게한 것에 의해 60~105℃ 정도의 고온집열이 가능하도록 한 것이다. 또한, 일시뿐 아니라 대기의 열을 이용해 구름낀 날과 비오는 날에도 이용이 가능한 시스템도 연구되고 있다. 이 외에도 근년에는 태양열이 여러가지 구름낀 날과 비오는 날에도 이용이 가능한 시스템도 연구되고 있다. 이 외에도 근년에는 태양열이 여러가지 시스템에서 이용되며 다양화하고 있다. 예를 들면, 海外를 淡水化하는 造水·淡水化 시스템, 소방탱크의 加溫에 태양열을 이용하는 하수처리시스템, 기타 식물공장·목재 건조 시스템 등이 열거될 수 있다.

태양열은 Solar System으로서 재빨리 실용화되었지만, 열에너지로서의 이용이 어렵기 때문에 반드시 널리 보급되고 있다고 말하기는 어렵다. 이 의미에서 다음 절에서 기술하는 太陽光發電과의 병용을 생각하는 것은 태양에너지의 총합적 이용이라는 관점에서 자연적인 흐름이라고 말할 수 있다. 이에 대한 연구 중 한가지가 Hybrid panel의 연구인데, <표 2-2>에 光·熱 Hybrid panel의 원리와 특징을 나타낸다. 이상과 같이, 태양열에 대해서는 안정적인 열량의 확보, 시스템 효율의 향상, 총합 에너지(光·熱) 이용으로 연구가 진행되고 있고, 향후 에너지 분야의 일익을 담당한다고 기대할 수 있다.

다음 Solar System은 10년 이상의 수명이 있고, 투입된 에너지를 회수하는 기간이 약 2년이라고도 말하고 있고, 100℃ 정도 이하의 에너지를 얻기에는 충분하다. 또한, 오늘날 과제로 되어 있는 지구환경 문제로 Close-up되고 있는 CO₂, SO, NOx 등의 발생억제에도 공헌하고 있다고 말할 수 있다. 한편으로는 태양열 시스템이 이제까지의 간단한 에너지 절약기기로서가 아니고, 지구환경문제를 배려한 에너지의 유효이용이라고 하는 관점에서의 재고가 필요하다. 이와 같이 고려한 경우, 공학적으로는 Exergy (유효에너지) 활용시스템의 구축을 의미하는 것으로 되어, 未이용에너지의 활용(자연 에너지 및 도시排熱 등), 열의 Gasket 이용, 복합에너지의 이용, 자

원의 재활용(Recycling) 등이 중요한 포인트로 된다.

을 목표로 해서 추진하고 있는 단계별 세부개발전략을 나타내고 있다.

한편, <표 2-3>은 우리나라에서 태양열이용개발

<표 2-2> 光·熱 Hybrid의 원리와 특징

방 식		원 리	장 점	단 점
액체 집열 방식	平板型	太陽電池에서 전력을 수집하고 電池 下部의 집열기내의 열매체(액체에서 열을 수집한다.	1) 패널구조가 간단 2) 급탕·난방 등의 이용이 용이	1) 액체누설 발생의 가능성이 있다. 2) 누전대책의 필요
	集光型	렌즈 또는 반사경으로 太陽光을 集光하고, 태양전지로 전력수집하고 전지 하부의 집열기에서 열을 수집한다.	1) 적은 太陽電池面積으로 대부분의 전력수집이 가능 2) 高溫集熱이 가능	1) 액체누설·누전대책이 필요 2) 태양추적장치가 필요 3) 散亂光에서는 集光효과가 적다.
공기집열방식 (평판형)		태양전지에서 전력을 수집하고, 전지 하부의 집열기내의 열매체(공기)에서 열을 수집한다.	1) 패널구조가 간단 2) 액체누설과 누전대책이 불필요로 신뢰성이 높다. 3) 열매체 비용이 불필요	1) 공기의 반송동력이 크다. 2) 급탕용으로 사용하기 어렵다.
Spectral Split 방식		Frenel Lens 등으로 모았던 빛을 Filter에 의해 分光하고 태양전지의 光電變換에 관계하는 파장영역만을 照射시켜 發電시킨다. 열은 Filter 자체 또는 Filter에서 반사시켜 集熱한다.	태양전지의 불필요한 온도상승을 방지하고, 고효율의 發電이 가능	Filter의 개발장치의 실용화가 최대의 과제

<표 2-3> 국내 태양열 이용개발의 단계별 세부전략

전단계 (~'91까지 실적)	제1단계 ('92~96)	제2단계 ('97~2001)
<ul style="list-style-type: none"> • 핵심요소기술 <ul style="list-style-type: none"> - 저온집열기 제작기술 - 축열장치 설계기술 • 태양열 이용기술 <ul style="list-style-type: none"> - 온수기 설계·제작기술 - 흡수식 냉난방 적용기술 - 농산물 건조기 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심요소기술 <ul style="list-style-type: none"> - 저가 고효율(60%) 집열기 - 축열장치와 계절 축열기반 • 건물의 태양열 이용기술 <ul style="list-style-type: none"> - 급탕과 난방기술의 상용화 - 채광과 냉난방기술 실용화 • 태양열 산업이용 기반기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심요소기술 <ul style="list-style-type: none"> - 고온 고효율(55%) 집열기 - 계절 축열기술 실용화 • 건물 태양열 복합이용 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 냉난방기술과 빌딩 적용 • 태양열 산업이용 기술 실용화 <ul style="list-style-type: none"> - MW급 태양열발전과 산업 적용

2-2-2 太陽光 利用 및 發電시스템

太陽電池의 역사는 의외로 깊어 1839년 光起電力 효과의 발견(A. H. Becquerel)으로 거슬러 올라갈 수 있다. 1949년에는 오늘날의 태양전지의 기초가 되는 PN접합이론의 발견(W. B. Shockley)이 있었으며, 그 후 1958년에는 미국의 인공위성(Vanguard I)에 태양전지가 탑재되었다. <표 2-4>의 태양전지재료와 그 특징에서 나타난 바와 같이, 태양전지로 사용되는 반도체 재료에는 실리콘(Si)과 비화갈륨(CaAs) 등의 화합물이 있다. 현재, 주류는 실리콘이지만 동일 실리콘에서도 그 제조방법에 의해 單結晶·多結晶·非晶質(Amorphos)이 있고, 각각의 특징을 갖고 있다. 태양전지의 제작방법은 재료에 의해 여러가지 방법이 있다. 단결정 실리콘 태양전지의 제조방법은 원료인 규석으로부터 실리콘 Waper를 만들고 → Waper로부터 Cell을 만든다음 → Cell을 複數로 결집시켜 Module을 만드는 세가지

의 과정으로 이루어 진다.

한편, <표 2-5>의 태양전지의 생산량에서 보여주는 바와 같이, 1992년에 있어 세계 태양전지 생산량은 1985년의 약 2.5배인 57.9MW로 착실한 성장을 나타내고 있다. 이것을 나라별로 살펴보면, 일본 및 미국의 생산량이 전체의 약 1/3 정도를 점유하고, 나머지를 歐洲 諸國에서 차지하고 있다. 또한 태양전지의 종류별로는 단결정 실리콘·다결정 실리콘의 순서로 많고, 각각 전체의 1/3 정도를 차지하고 있다. 일본에서는 1992년 태양전지 생산량이 18.8MW이며, 종류별로는 非晶質 실리콘이 58%를 차지하고, 다음에 단결정 실리콘·다결정 실리콘의 순으로 되어 있는데, 이 중 民生用의 非晶質 실리콘이 큰 Share를 차지하고 있다. 또, 전력용의 결정계 실리콘은 대부분이 수출되고 있기 때문에 일본 국내에서의 전력용으로 사용되는 태양전지는 얼마 안되는 것으로 보고되고 있다.

<표 2-4> 태양전지 재료와 그 특징

		변 환 효 율	신뢰성	기 타	용 도	
태양 전지	실리콘	결정계 { 단결정	◎	◎	풍부한 사용실적	우주용·지상용
		{ 다결정	○	◎	장래의 대량생산에 적합하다	지상용
	화합물	비정질계 (Amorphos) (실리콘, 실리콘 합금)	△	△	螢光燈 아래에서 비교적 좋게 동작	민생용(電卓 등)
		단결정(GaAs계)	◎	◎	무겁고, 깨어지기 쉽다	우주용
		다결정 (CdS, CdTe, CuInSe ₂ 등)	△	△	자원양이 적고 공해물질을 포함하는 것이 있다	민생용

<표 2-5> 태양전지의 생산량

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
일 본	10.3	12.6	13.2	12.8	14.2	16.8	19.8	18.8
미 국	7.7	7.1	8.7	11.3	14.1	14.8	17.1	18.1
유 럽	3.4	4.0	4.5	6.7	7.9	10.2	13.4	16.4
기 타	1.4	2.3	2.8	3.0	4.4	4.7	5.0	4.6
합 계	22.8	26.0	29.2	33.8	40.6	46.5	55.3	57.9

다음에 태양전지 Cell과 태양광 발전시스템의 개발 상황에 대해서 해설한다. 우주용 태양전지는 항상 방사선에 쬐어진다고 하는 환경하에서, 고효율·고신뢰성이 요구된다. 현재 일본의 우주개발사업단(NASDA)에서 인정하고 있는 우주용 단결정 실리콘 태양전지인 경우, 50 μ m의 두께로 변환효율 14.3%인 고효율 Cell이 실용화되고 있다. 더욱 변환효율 17%를 목표로 연구개발을 진행하고 있다. 지상용 태양전지는 Waper의 대형화·고효율화·고신뢰성화·량産化·저가격화가 연구개발의 포인트라고 한다. 그 가운데서 고효율화로서 1992년에는 NASDA가 개발하고 있는 우주용 실리콘 태양전지의 기술을 지상용 태양전지에 응용해, 裏面電界層의 局部的 형성에 의한 電子의 손실 억제와 酸化膜에 의한 裏面의 光反射率의 개선에 의해, 2cm角으로 변환효율 22%인 Cell도 개발되고 있다. 한편, 태양전지를 차세대 전력원으로 사용하기 위해서는 低 Cost화가 불가결 조건이다. 다결정 실리콘 태양전지는 단결정 보다 비교적 低 Cost 제조가 가능하므로, 전력용 태양전지로서 실용화가 주목되고 있다. 그러나, 기관중에 존재하는 결정입계에 의해, 변환효율이 단결정과 비교해 낮고, 고효율화가 연구과제로 되어 있다.

그리고, 오늘날 태양전지를 탑재한 Solar Car가 공해없는 자동차로서 큰 기대가 예견되고 있다. 그러나 이제까지의 Solar Car용 태양전지는 Module의 일부에 Crack이 발생한 경우, 출력이 대폭 Down하는 문제가 있었다. 새롭게 개발된 태양전지 Module은 Cell 1매 1매에 Bypass Diode를 병렬로 접속하는 것에 의해, 影과 Crack에 의한 출력 Down을 최소한으로 억제하는 것이 가능하고, 항상 최고 출력으로 가능시킬 수 있다. 더욱, 표면 안정화막과 微細電極의 채용에 의해 Cell 변환효율 17.1%, Module 변환효율 16.0%의 고효율로 薄型·輕量과 曲面의 설치를 고려한 Flexible한 구조 등의 특징을 갖고 있다.

太陽光發電 시스템으로서, 태양전지는 보수가 간단하므로 일찍부터 독립전원으로서 특징이 평가되어, 灯浮漂와 燈臺 등에 채용되었다. 일본에서 최초로 태양전지가 사용된 예로서, 長崎縣御島에 등대의 電源으로서 해상보안청에 의해 1966년에 당시 세계 최대의 출력 238W의 태양전지가 설치되었다. 현재까지 520개소 이상의 등대 등에서 항로의 안전확보

에 활약함과 함께, 등대의 無人化에 크게 공헌하고 있다. 또한 稚魚를 해역으로 방류해 音과 먹이로 放流魚를 제어관리하는 “해양목장”에 있어서 灯標, 電着魚礁 등의 電源으로서 태양전지가 이용되었다. 디젤 발전기에 비해 유지관리(Maintenance)가 필요없는 태양전지는 水産活動과 각종 해양개발의 에너지源으로서 기대되고 있다. 당초에는 독립전원으로서 사용하기 시작한 太陽光發電시스템이지만, 주택의 지붕 등에 설치한 소규모 분산형 시스템과 대규모 집중형 시스템 등도 개발되고 있다. 또한, 전력회사의 배전선에 접속하는 連繫 시스템도 개발되고 있고 금후의 본격적 도입이 기대된다. 태양전지가 일본에서 일반가정에 최초로 도입된 것으로서 Solar Air-con이 있다. 이 시스템은 “태양전지”와 “가정용 냉난방 Inverter Air-con”, 또 그 兩者를 연결함과 함께 일사량과 에어컨의 소비전력에 맞추어서 태양전지출력을 최대한도로 내는 제어기능 등을 갖는 “Interface 회로”로 된다. 이 시스템에서는 하루중 晴天日에는 Air-con의 소비전력의 약 60% 이상을, 또한 연간에는 평균해서 약 40%를 태양에너지로 공급해 줄 수 있다. Solar Air-con 다음으로 일반가정에 도입이 기대되는 것으로서 주택용 系統 連繫型 太陽光發電 시스템이 있다. 태양광발전은 그 출력이 일기 등에 좌우되므로 안정되게 발전할 수 없다. 또한 發電과 소비의 패턴이 항상 일치하고 있다고도 말할 수 없다. 그래서, 전력회사의 配電線으로 태양광발전시스템을 공급하는 것(系統連系)에 의해, 태양광발전시스템의 발전량이 적은 경우에는 부족분을 전력회사에서 받을 수가 있다. 한편, 發電量이 많은 경우에는 잉여분을 전력회사로 보내는 것(逆潮流), 도 가능하다. 이 시스템의 中核을 구성하는 것이 “系統連系 Inverter”이다. 그 인버터는 태양전지의 직류전력을 교류전력으로 변환해 일반가정내로 전력을 공급함과 함께, 잉여 전력이 있는 경우에는 전력회사로 보내고(逆潮流), 결국 전기를 전력회사에는 물론 일반주택에의 설치를 전제로 해서 개발하고 있으므로, 소형·경량·공간 절약과 더불어, 系統과의 접속시에는 그 안정성과 전력의 품질 그리고 사고시 등의 연계보호기능도 내장하고 있다. 따라서 夏季·晝間의 전력 Peak-cut를 위해서도 금후 이 시스템의 적극적인 도입이 추진되고 있다고 생각된다.

<표 2-6>은 국내 태양광 발전의 개발목표인 低

價 태양전지 국산화, 효율향상과 量産體系 구축 및 이용기술·수요개발·상품화로 보급확대와 수출기여

를 위한 단계적 세부개발 전략을 나타내고 있다.

〈표 2-6〉 국내 태양광발전의 단계별 세부개발전략

전단계(∼'91까지 실적)	제1단계('92∼'96)	제2단계('97∼2001)
<ul style="list-style-type: none"> • 太陽電池 제조기술 <ul style="list-style-type: none"> - 結晶質 Si電池 국산화 (12%, 3500원/WP, 70kW/년) - 新型太陽電池 기반기술 • 太陽光發電 이용기술 <ul style="list-style-type: none"> - 주변장치 국산화 - 島嶼 이용보급 기술확립 - 系統連繫 이용 기반기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 太陽電池 상용화 <ul style="list-style-type: none"> - 低價 高效率 Si電池 量産化 (18%, 2500원/WP, 1MW/년) - 新型太陽電池 효율향상 • 太陽光電池 이용기술 <ul style="list-style-type: none"> - 주변장치 신뢰성 향상 - 系統連繫型 이용기술 실용화 - 複合(Hybrid) 이용기술 	<ul style="list-style-type: none"> • 太陽電池의 상용화 <ul style="list-style-type: none"> - 低價박막태양전지 量産 (12% 이상, 1000원/WP, 5MW/년) • 太陽光發電 활용기술 보급 <ul style="list-style-type: none"> - 주변장치의 低價化 - 分散型發電플랜트 實證운전 • 응용제품 개발 보급

3. 風力에너지

風力에너지(Wind Energy)의 이용은 수천년의 역사를 갖고 있으며, 지구규모에서의 환경문제가 큰 사회적 이슈로 대두되고 있는 요즈음 환경에 알맞는 에너지로서 풍력에너지의 도입이 활발히 이루어지고 있다. 한편으로는 바람(風)은 에너지 밀도가 적을 뿐 아니라 또한, 변동이 심하고 적당한 강도인 경우 이외에는 항상 이용될 수 없는 불안정성 등이 있다. 이에 따라, 에너지 집약형인 현대사회에서 필요로 하는 동력을 실현하기에는 적절하지 못하여 한때는 거의 무시되는 경향도 있었다. 그러나 1970년대의 두번째 걸친 소위 “Oil Shock” 이후, 석유대체 에너지源으로서의 풍력 등 자연에너지의 이용에 관한 연구가 다시 대두되기 시작했다. 더욱, 1980년대에 들어서서 자연에너지의 유효이용에 대한 토의는 활발하여 전 세계적으로 국가적인 요청이 되어왔다. 특히, 국내외적으로 300kW급인 중규모 風力發電 장치는 이미 기술적으로도 실용단계에 도달하고 있으며, 風力發電이 가장 앞선 나라는 미국의 California州로서 1993년말 현재 운전중인 설비용량이 190만kW이다. 한편으로는 유럽제국에 있어서도 각국마다 활발하게 풍력발전의 실용화가 이루어지고 있다. 2000년의 풍력발전규모는 미국에서 600만kW, EC에서 400만kW로 추정되고 있다.

3-1 風力에너지의 開發動向

3-1-1 國內의 風力發電

국내에서 풍력발전연구가 시작된 것은 유류파동이 일어난 1970년대 중반부터이며 1975년도에 한국과학원에서 제작하여 경기도 화성군 엇섬에 설치된 2kW급 풍력발전기가 국내 풍력발전의 효시라고 할 수 있다. 이후 대한항공기술연구소, 한국과학기술연구원과 한국에너지기술연구소 등에서 주로 연구 및 실험을 목적으로 국내에 여러대의 풍력발전시스템을 설치 운영하였는데 국가에서의 풍력발전시스템 설치현황은 〈표 3-1〉과 같다. 국내에서는 1990년도 이전까지 單位電源 공급을 위한 소형의 풍력발전기가 연구개발 및 보급의 주종을 이루었으나, '90년대에 접어들어서는 외국의 풍력발전기술 개발추세에 따라 보다 대형화되고 경제성있는 系統線 連繫用 풍력발전시스템이 연구개발되거나 도입·설치되기 시작하였다. 국내에서는 본 사업의 수행으로 新재생에너지 시범단계에 설치 운영되고 있는 100kW급과 30kW급, 그리고 한국과학기술연구원이 제작한 20kW급 풍력발전시스템이 있으며, 이 이외에 국내에서 현재 試運轉中이거나 가동중인 풍력발전시스템은 1990년도에 (주)한국풍력발전기에서 미국으로부터 도입하여 전라북도 신시도에 건설한 풍력·태양광 디젤복합발전시스템을 구성하는 20kW급 풍력발전시스템, 1992년도에 한국에너지기술연구소에 의해 건설된 제주도 중문관광단지 250kW급 풍력발전시스템, 한국화학

바주식회사가 대체에너지 기술개발사업의 일환으로 제작하여 전라남도 무안군에 설치한 150kW급 다리우스형 풍력발전시스템과 80kW급 Giromill형 풍력발전시스템 등이 있다.

한편, <표 3-2>에는 300kW급 풍력발전과 복합발전 실용화, MW급 풍력발전단지 건설운전을 목표로 해서, 국내에서 추진하고 있는 풍력발전의 단계별 세부개발전략을 나타낸다.

<표 3-1> 국내의 풍력발전시스템 설치현황

년 도	용량(kW)	대수	주관기관	제 작 자	설 치 장 소
'75. 1	2	1	KAIST	KAIST	경기 화성군 잇섬
'75. 2	3	1	KIST	호주, Quirks	제주 북제주군 교대
'76. 1	2	2	KIST	KIST	제주 남제주군 안덕
'76. 3	6	1	KIST	독일, Relite	제주 북제주군 교대
'76.12	2	2	KIST	KIST	제주 남제주군 안덕
'76~77	0.3	5	보령군청	동보전자	충남 보령군 녹도외
'77. 7	3.5	1	KIST	KIST	경기 화성군 잇섬
'77	0.3	4	서산군청	동보전자	충남 서산군 갈월도
'77	0.3	1	서산군청	동보전자	충남 당진군 남지도
'78. 1	2	1	KIST	호주, Quirks	제주 남제주군 상천
'78. 3	3	1	KIST	호주, Quirks	제주 북제주군 교대
'79.12	5	1	KIST/KIER	스위스, Electro	전북 옥구군 죽도
'80. 3	10	1	KIST	독일, MAN	전북 옥구군 개야도
'81. 7	3.75	1	KIST	KIST	경남 김해
'81.11	2	1	KIST	호주, Dunlite	제주시 외도2동
'81.11	2	1	KIST	호주, Dunlite	제주 북제주군 동귀
'82. 4	2	1	KIST	호주, Dunlite	제주 남제주군 신평
'82. 9	5	1	KAIST	스위스, Electro	제주 북제주군 신촌
'82. 9	5	1	KAIST	KAIST	제주 북제주군 신촌
'82.10	2	1	KIER	호주, Dunlite	대전 대덕연구단지
'84. 6	14	1	KAIST	독일, MAN	제주 북제주군 월령
'90. 3	20	1	한국풍력발전기	미국, Jacobs	전북 옥구군 신시도
'92. 7	20	1	KIST	KIST	제주 북제주군 월령
'93. 2	250	1	KIER/관광공사	독일, HSW	제주 서귀포시 중문
'93.10	170	2	한국화이바	미국, floWind 외	강원 평창군 횡계리
'94.12	150	1	한국화이바	한국화이바	전남 무안군
'94.12	80	1	한국화이바	한국화이바	전남 무안군
'94.12	30	2	KIER	독일, HSW	제주 북제주군 월령
'95. 2	100	1	KIER	덴마크, Vestas	제주 북제주군 월령

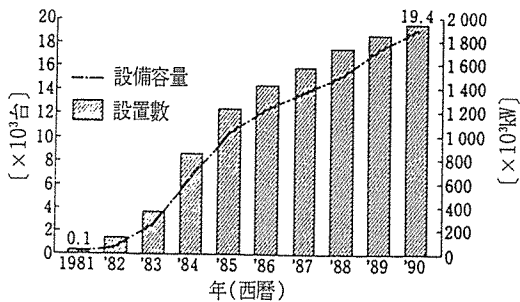
<표 3-2> 國內 風力發電의 단계별 세부개발 전략

전단계(~'91까지 실적)	제1단계('92~'96)	제2단계('97~2001)
<ul style="list-style-type: none"> • 風力資源 조사 - 島嶼, 대관령지역 등 • 20kW 風力發電施設개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 重型 風力發電施設 실용화 - 50~100kW급 개발 • 風力試驗團地(200kW이내 운영) 	<ul style="list-style-type: none"> • 300kW급 發電施設 상용화 • 디젤 등 複合發電施設 실용화 • MW급 風力發電團地 건설운영

3-1-2 海外的 風力발전

(1) 미국

제1차 석유위기를 계기로 미국의 에너지계에서는 풍력기술의 개발에 힘을 주려왔다. 한편, 연방정부는 재생가능에너지의 보급과 국내 에너지의 다양화를 위해 1978년에 PURPA法(공익사업규제 정책법)을 제정하고, 獨立系 發電業者(IPP)의 풍력발전·소수력발전 등 소규모 發電 電力을 지역의 전기사업자가 사는 것을 의무화 했다. PURPA法은 IPP에 의한 열병합발전과 소규모 발전을 추진해서 發電의 자유경쟁화를 지향했고, 그 성과는 해마다 확대됐다. 특히 풍력발전에 관해서 세계에서 가장 실적을 높이고 있는 California州에 있어서, 재생가능에너지 발전이 촉진된 배경으로는 우선 세계우대조치가 있었다. 연방정부의 신에너지 관련투자감세(25%)에 州가 더욱 25% 상승시켰기 때문에 州내외와 국외로부터 IPP가 참가해서 풍력발전사업을 확대한 것이다. (그림 3-1)은 1981년 이래 California州에 있어서 풍력발전의 확대상황을 보여주고 있다. 1992년 현재 同州의 “Wind Farm”에는 19,000대의 풍차가 뿔뿔히 들어서서, 州의 수발전 설비 가운데 풍력설비는 6%를 차지하고 있다. 또한, 최근의 조사에 의하면 미국 중서부지역에는 California州 이상으로 유망한 風況이 예상되고 있으므로, 금후의 Wind Farm 건설은 중서부의 諸州에서 활발하게 전개될 것으로 예상된다. 이미 Iowa·North Dacota·Nebraska 등 중서부 9州에서 합계 25만kW, 더욱 북서부 Washington州에서도 5만kW분의 Wind Farm 건설이 예정되고 있다. 이들 州에서는 California州와 같은 우대정책은 없지만, 풍력발전기술의 향상에 의해 견제성이

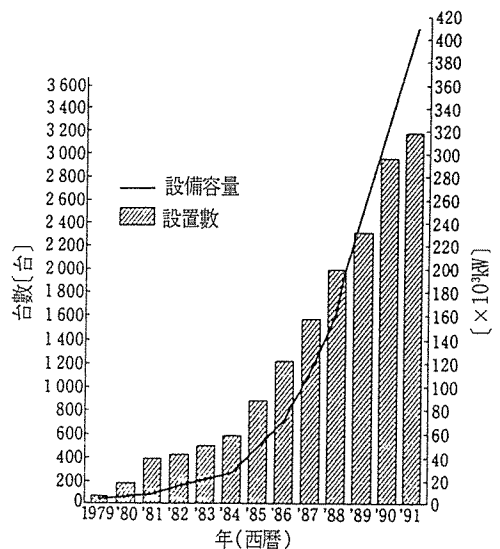


[그림 3-1] 미국 캘리포니아州的 風力발전 推移

더욱 높아진 점, 풍력자원의 부존량의 정확한 추정과 풍차건설을 위한 適地의 선정이 가능하게 된 점이 보급 확대의 배경으로 볼 수 있다.

(2) 유럽諸國

먼저, 덴마크인 경우를 살펴보면, 1891년에 세계에서 최초로 풍력발전이 실용화된 이래, 풍력개발을 끊임없이 계속해 금일에는 풍력발전왕국으로 되어 있다. 1992년의 풍력발전설비는 41만kW로 미국 다음으로 세계 제2위이다. 덴마크의 총발전설비 용량은 870만kW이므로 풍력발전이 4.5%를 차지하는 것으로 된다. 주요 Wind Farm은 13Site에 걸쳐 건설되어 있다. 이 나라의 풍력발전기술의 진보는 놀랄만큼 훌륭해 이 10년간에 에너지 가동효율을 2.5배로 높이고, 고장율은 1/40로 낮아지고 있다. 덴마크에서 풍력발전의 성공은 정부와 전력업계의 풍력발전추진정책에 의한다. 우선, 1976년에 덴마크 전기사업연합회가 민간(IPP)으로부터 전력매입의 우대조치를 규칙화해서 IPP에서 발생한 잉여전력은 공공전력망으로 유입(逆潮流)시켜 바람이 불지 않을 때는 公共電力을 사용할 수 있도록 했다. 다음 1979년에는 정부가 재생가능에너지 투자액에 30%의 보조금을 내는 법률을 시행했다. 이것에 의해 풍차공장은 量産효과에 의해 제조비용을 저하시키고, 더욱 기술개발에 의해 풍차의 효율도 향상되어 發電費用도 저하됐다. 이에 따라 풍력발전시스템의 설치는 (그림 3-2)에 나타낸 바와 같이 계속 증가하고 있다.



[그림 3-2] 덴마크의 風力발전 推移

독일에서는 정부의 연구기술성(BMFT)이 풍력발전의 본격적 추진을 위해 1989년에 “10만kW 풍력발전계획”이라는 슬로건하에서, 5년간에 10만kW의 신규 풍력발전의 실현을 목표로 조성을 개시했다. 이 슬로건에는 민간, 전기사업자 모두가 반향이 커서 900건(풍차 1,300기), 발전합계출력 14만kW分(1기의 평균출력 100kW)의 조성·신청이 있었다. 발전출력의 내역은 민간 82%, 전력회사 18%였다. 독일 전기사업연합의 1990년 예측에 의하면 독일의 풍력발전량은 2005년에 10억kWh로 예상하고 있고, 금후 더욱 활발할 것으로 예상되고 있다. <표 3-3>에는 EC제국의 풍력발전능력의 근년 실적과 장래 예측을 나타낸다.

한편, 영국에서는 풍력자원이 1,850억kWh(年)로 유럽 최대의 풍력자원국이라고 한다. 그 내역은 육상부 450억kWh, Off-shore 1,400억kWh(年)로 산정되고 있다. 이 가운데서 경제적으로 이용가능한 양은 그것의 20% 정도이지만, 그것에서도 同國의 1988년의 연간 발전량 3,082억kWh의 12%에 상당한다. 이 정도로 風力에 혜택을 받고 있음에도 불구하고, 개발이 늦어졌던 同國이지만, 1989년의 전력법의 개정을 기회로 풍력발전의 추진에 여세를 몰아나가게 되었다. <표 3-3>에 나타난 바와 같이 2000년까지 70만kW의 설치가 예상되고 있다.

<표 3-3> EC諸國의 풍력발전

年 國名	1989	1990	1991	1992	2000
덴마크	254	310	360	400	1000
네델란드	38	70	100	130	1000
독일	10	40	100	150	500
영국	6	6	15	25	700
스페인	5	9	25	50	300
벨기에	5	5	6	6	50
이태리	2	4	24	30	300
그리스	1	2	6	12	400
EC 計	320	445	635	803	4,250

이외에도, 네델란드, 스웨덴, 이태리, 스페인 등 기타 歐洲 諸國에서도 계속적으로 풍력발전을 개발하고 있다. 이들 국가에서는 CO₂의 배출량을 삭감하

기 위한 정책의 일환으로서 강력하게 자연에너지의 도입을 도모하고 있는 것이다.

3-2 風力發電 實用化의 課題

풍력발전은 어떤 의미에서 이미 실용화 단계의 문을 넘어선 것으로 평가되고 있지만, 이를 더욱 본격적으로 실용화하기 위해서는 아래와 같은 과제를 극복해야 할 필요가 있다.

① 풍력자원 부존량의 정확한 추정과 풍차건설을 위한 適地의 선정이 필요하다. 歐美와 같은 풍력발전이용 선진국에서는 나라마다 정확한 Wind Atlas를 만들어 두고, “어떤 장소에 어떤 풍차를 건설하면 연간 얼마만큼의 발전량을 기대할 수 있는가?”라는 정보를 풍차를 건설하려는 희망자가 쉽게 입수할 수 있다. 따라서, 우리나라도 보다 세밀한 風況조사 결과에 기초해서 이와 같은 정밀한 Wind Atlas를 작성해야 할 것이다.

② 풍차의 하드웨어와 관련지어 300kW 이하인 중소규모 풍차에 대해서는 제조 및 설치의 표준화와 요소의 모듈화를 시도함과 더불어 운전기술의 확립도 필요할 것이다. 500kW이상인 대형풍차에 관해서는 종래의 유리섬유강화플라스틱 대신에 탄소섬유강화플라스틱 등 가볍고 강인한 날개(Blade) 재료의 채택, 풍차날개의 운전역인 낮은 레이놀즈(Re)數 영역에서도 고성능을 발휘할 수 있는 풍차 Blade 전용날개의 개발, 高性能 低騒音 増速齒車機構의 개발 및 저회전·고성능 발전기의 개발 등이 필요할 것이다.

③ 풍차시스템 운전의 소프트웨어에 대해서는 종래부터 이용된 풍차의 定回轉 운전방식에 대처하고, 변동 입력으로서의 바람의 강도에 따른 可變速 운전방식의 확립도 바람직스럽다. 바꾸어 말하면, 이 방식이 확립된다면 관성이 큰 대형풍차를 일정 회전시키는 강인한 제어는 피하고, 풍속에 따라서 임의의 회전수로 회전시킬 수 있으며, 발전기 출력은 界磁 變調方式 등에 의해 전압변동·주파수변동 등을 電子技術的으로 허용범위내에서 수납할 수 있고 또한 고효율 발전도 가능하게 되는 것이다.

④ 또 한가지 풍력발전의 보급을 방해하고 있는 요인으로 높은 發電費用을 들 수 있는데 이의 극복이 무엇보다도 해결해야 할 시급한 과제일 것이다.

4. 水力에너지

근년에 지구온난화 문제·산성비 등의 지구환경문제가 Close-up되고, CO₂ 등을 발생치 않는 Clean Energy인 水力發電(Hydraulic Power Generation)의 가치가 예상되고 있다. 세계적으로 개발가능한 수력자원의 약 80%는 未開發이며, 이 가운데서 약 2/3는 에너지 수요의 급증이 예상되고 있는 발전도상국에 부존하고 있다. 1차 에너지 공급의 대부분을 해외에 의존하고 있는 우리나라로서는 세계 에너지需給의 안정과 지구환경문제에의 적극적인 공헌을 강구해야 할 것이다. 本稿에서는 大水力보다는 小水力을 위주로 해서 간략히 기술하기로 한다.

4-1 國內 小水力 發電의 開發現況

우리나라에서 수력발전의 시작은 1905년 평북 운산광산에 자가용 수력발전이 설치되면서부터이며, 이후 1912년 원산수력발전이 최초로 설립되어 '85년의 역사를 갖고 있다. 우리나라의 발전설비는 1960년대 초반에는 약 40만kW 정도였으나, 최근에는 2,100만kW에 이르러 불과 25년만에 팔목할 만한 성장을 가져왔다. 국내에서 소수력 자원을 활용코자한 것은 1차 석유파동 이후로서 1978년 강원도 안흥에 설비용량 450kW의 시범 소수력발전소를 건설하여 현재 가동중에 있다. 동력자원부에서는 “소수력 개발 방안(1982. 3)”을 마련하여 민간인에 의한 소수력 개발의 참여를 유도하게 되었다. 또한 에너지 자립도 향상 및 대체에너지 개발을 위해 정부에서는 “대체 에너지 개발 촉진법(1987. 12)” 및 “同法 시행령(1988. 5)”을 제정 공포하고 정부 주도로 대체에너지로서의 소수력 개발에 관한 연구를 적극 지원하게 되었다. 小水力 發電所는 현재까지 12개소

가 가동 및 건설 중이며 설비용량은 25,140kW로써 부존자원의 부족한 조건하에서도 이와 같이 소수력발전이 활발치 못한 이유로는 소수력발전소의 경제성이 취약하였기 때문이었다. 小水力의 大水力에 대한 상대적인 장점을 들면, 비교적 계획·설계 및 시공기간이 짧은 점, 값싼 설비를 포함한 투자비용이 낮은 점, 주위의 인력이나 자재를 이용하여 설치하기가 쉬운 점, 개인이나 기업을 통한 투자참여를 유도하기 쉬운 점, 지역자금의 참여 및 운용을 통한 지역개발효과를 얻기 쉬운 점, 예상치 않은 돌발사고에 대한 유연성이 있는 점, 사회적 이점 환경 피해를 보다 적게 할 수 있는 점 등을 들 수 있다.

소수력 자원의 평가는 1970년대초 1차 석유파동 이후 1974년 과학기술처와 원자력연구소에서 ‘소수력 발전 입지조사’를 수행하였다. 이 당시의 평가는 국내 개발가능 자원량 평가가 목적으로 圖上檢討에 의해 후보지를 선정하여 개발용량을 결정하는 평가였으며 결과는 <표 4-1>에 나타난 바와 같다. 또한 2차 석유파동 이후 소수력 개발의 필요성이 부각되면서 동자부에서 발표한 “소수력 개발 방안”에 의해 일반 개인이나 업체에 의한 소수력 개발 참여를 유도하였다. 이어서, 소수력 부존자원의 재평가·실제 개발위치 및 개발 우선순위를 정하기 위한 타당성 조사연구가 1982년부터 1984년까지 한국동력자원연구소에 의해 수행되었다. 이 조사연구에서는 개발가능 후보지를 圖上에서 추출하여 개발용량을 평가한 후 이 결과로서 개발 가능성이 있는 후보지를 선정하여 현장실측을 수행하고 실측된 자료는 기술적인 계산 및 충분한 검토를 거쳐 개발 용량을 결정하여 각 후보지에 대한 투자비를 계산하고 편익·비용 계산(Benefit-cost Analysis)을 통해 경제성 분석을 수행하였다. 이와 같은 정부의 소수력개발 활성화 방안이 발표된 이후 국내의 건설업체·엔지니어링 회사

<표 4-1> 國內의 小水力 賦存資源量

道 別	地 點 數	총발전용량(kW)	道 別	地 點 數	총발전용량(kW)
경 기	114	23,895	경 남	254	46,943
강 원	869	259,809	전 북	156	27,370
충 북	208	71,835	전 남	106	17,020
경 북	584	110,570	—	—	—
계	—	—	계	2,400	582,509

및 개인 사업자들에 의해 소수력발전소들이 건설되어 운영되고 있으며, 1990년 현재 운영되고 있는 소수력발전소 현황은 <표 4-2>에 나타난 바와 같다. 현재 건설중인 영월(2,800kW)과 덕송(2,000kW)을 포함하면 민간업체에 의한 소수력발전소는 12개소로서 총 설비용량은 25,140kW이고 한개 발전소당 약 2,100kW의 설비용량을 가진다. 發電所의 설비용율은 한전에서 운영하는 4개의 소수력발전소(괴산, 안흥, 추산, 보성강)의 경우는 평균 44.5%이고, 포천 소수력발전소와 정읍 소수력발전소를 제외한 민간 소수력 8개소의 '89, '90년도의 평균 설비용율은 43.4%로서 운영상태는 좋은 것으로 나타났다.

<표 4-2> 國內 小水力 發電所의 설치 현황

발전소명	설치기관	용량 (kW)	운전개시	가동율 (%)
연천	현대건설	6,000	1885. 5	49.5
포천	삼정수력	460	1986. 2	12.3
임기	대동기업	1,100	1986. 3	32.8
정읍	운화산업	2,000	1987. 1	16.2
방우리	서우수력	2,120	1987. 9	49.3
소천	한여울	2,400	1987. 7	53.3
금강	현대건설	1,350	1988. 3	31.3
봉화	현대건설	2,000	1988.11	48.0
단양	현대산업개발	2,100	1988.12	32.2
산내	산내소수력	820	1989. 9	50.5
영월	한국수전	2,800	건설중	
덕송	영동소수력	2,000	건설중	

4-2 國內 小水力發電의 課題와 展望

小水力 發電은 大水力에 비해 경제성이 좋지 않고 국내에서는 아직도 大水力 개발 입지가 산재하고 있

다는 등의 이유로 그동안 개발이 활발치 못하였으나, 1970년대 이후의 두차례 석유파동과 油價의 불안정이 예견되는 등 현 시점에서 他 대체 에너지보다 각광을 받는 사업이라 할 수 있어 이에 대한 재평가가 이루어져 왔다. 정부에서는 대체에너지로서 소수력 자원을 개발하기 위하여 <표 4-3>의 중장기 계획서와 같이 1995년도를 실용화 목표년도로 설정하여 소수력 발전 시스템에 대한 국산화와 표준화를 도모함으로써 보다 경제성있는 시스템 개발을 위해 노력하고 있다. 그러나, 대체에너지로서 소수력 개발을 활성화시키고 경제성있는 시스템으로 유도하기 위해서는 국토와 자원개발이라는 장기적인 안목에서 정책적인 배려가 필요하며, 정부·개발자 및 관련 연구기관 등이 삼위일체가 되어 다음과 같은 사항들을 先決하여야 할 것이다.

① 소수력 자원의 事前 타당성 조사 철저로 자원의 최대활용과 경제성 향상 방안을 강구한다.

② 水車發電 시스템의 국산화·표준화로 투자비 감소, 외화 절감과 국산 부품의 활용으로 유지관리비를 감소시키고, 일체형 자동화 시스템의 개발 및 실용화와 인건비의 경감을 도모한다.

③ 이용 가능한 기존 灌溉用 댐의 小水力 資源化 등을 도모함으로써 공해가 전혀 없는 청정한 에너지로서의 국내 부존자원인 소수력 개발에 총력을 기울인다.

④ 수력발전에 대한 지역주민을 위시한 국민이해를 촉진시키기 위하여, 지역주민을 위시한 국민에 대해서 수력발전의 특징 및 개발의 필요성에 대해 충분히 이해시키는 것이 필요하고, 정부 및 전기사업자를 통한 정보제공 등 홍보활동의 한층 적극적이고 동시에 효율적인 실사가 필요하다. 바꾸어 말하면 수력개발에 대해서 교육관계자에 대해 적절한 정보제공이 이루어짐과 더불어 PR관·發電所 등이 열린 교육의 場으로

<표 4-3> 國內 小水力 發電의 단계별 세부개발전략

전단계 (~'91년까지 실적)	제1단계 ('92~'96)	제2단계 ('97~2001)
<ul style="list-style-type: none"> · 小水力 資源 정밀조사 - 116개소 유망후보지 선정 · 2kW급 低落差 水車 개발 - 落差 2m 이내 	<ul style="list-style-type: none"> · 水準 國産化와 시설 自動化 · 小水力發電 과학적 운영기법 - 시범 小水力發電所 지정 운영 	<ul style="list-style-type: none"> · 小水力發電시설 표준화 - 最適發電方式 설계기술확립 · 最適運營技法 및 生産電力이용 모델의 표준화

서 활용될 필요가 있다. 또한, 국민의 이해를 깊이 함과 더불어 수력발전 관계자의 의욕향상을 시도하는 관점에서 수력개발과 관련된 공로자 표창제도의 창설 등과 같은 제도에 대해서도 검토할 필요가 있다.

⑤ 수력발전 立地地域의 총합적이고 동시에 지속적인 향상·발전을 도모하고, 정부 및 전기사업자에 의한 地域共生型(예를 들면, Community Center 등 생활환경시설, 공원 Camp場 등 관광·문화관련시설의 정비 충실)發電所의 실현 등 지역진흥을 위한 諸 방책의 충실·강화에 대해서 검토할 필요가 있다.

⑥ 수력발전의 개발에 있어 필요한 하천법·삼림법 등 관련 법령에 기초한 제 수속의 한층 원활화를 도모하기 위해, 관계부처를 포함한 총합적인 검토가 이루어질 필요가 있다.

5. 地熱에너지

5-1 地熱發電의 現況과 歷史

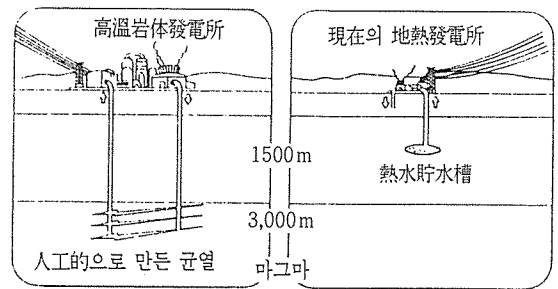
地熱에너지(Geothermal Energy)란 火山으로부터 천연증기를 추출하거나 또는 지하의 高溫岩體로부터 인공적으로 고온 증기를 추출하여 發電에 이용하도록 하는 방법으로서, 전자를 地熱發電(Geothermal Power Generation, 후자는 高溫岩體發電(Hot Dry Rock Power Generation)이라 한다. 地熱에너지가 갖고 있는 특징으로서는 그것이 고갈되지 않는 재생 가능 에너지인 점, 기술적으로도 실용화되고 있고 개발 Risk의 극복과 개발비의 低減 등에 의해 더욱 이용확대를 기대할 수 있는 점, 매연과 분진의 발생이 없고 CO₂ 발생이 적으며 지구환경에 적합한 에너지인 점, 發電 이외에도 熱水의 이용 등에 의해 농업·수산업·임업·관광 등 폭넓은 분야에서 다목적으로 이용할 수 있고, 지역의 진흥 등에도 역할을 맡을 수 있는 점 등을 들 수 있다. 이에 따라, 지열에너지는 에너지의 안정 공급·환경면에서 시대의 요청에 부응하는 Clean Energy이다.

세계에서 최초로 地熱發電이 시작된 것은 1940년 이탈리아에서 천연증기를 이용해서 3/4마력의 발전기를 운전시켜 5개의 電燈을 켜던 것이었다. 세계적으로는 1990년 12월 현재 총 설비용량이 601만kW이

고, 각 나라별로 살펴보면 미국이 284만kW, 필리핀 89만kW, 멕시코 70만kW, 일본 27만kW로 되어 있다.

5-2 高溫岩體發電의 開發動向

고온암체발전은 고온의 岩盤에 물을 주입해서 증기를 추출하여 發電에 이용하도록 하는 방법으로서, 1970년대 초에 미국의 Los Alamos 국립연구소에서 최초로 고안되었다. 同 연구소는 New Mexico州에서 火山의 中腹에 위치해 있고, 땅속에 있는 화산의 열을 이용하는 연구를 생각했다. 그 방법은 (그림 5-1)에 나타난 바와 같이, 우선 지구내부의 고온의 암반을 Boiler대신으로 인공의 틈을 여러 층 갖게 한다. 여기서 물을 주입해서 “燒石에 물”의 원리로 인공적으로 증기를 만들고 發電에 이용한다고 하는 간단한 發電方式이다. 이 방식을 실용화하기 위해서는 고온의 암반을 지표로부터 효율 좋게 탐색하는 기술, 고온의 암반까지 깊게 굴삭하는 기술, 굴삭한 우물의 여러개의 곳에 넓은 틈을 만드는 기술, 연속해서 물을 주입해 증기를 취출하는 기술 등이 필요하게 된다. 이들의 연구는, 미국, 일본, 영국, 독일, 프랑스 등의 선진국이 각각 독자적인 구상으로 진행하고 있다.



[그림 5-1] 地熱發電의 概念圖

일본에서는 고온암체발전연구가 21세기의 Clean Energy 또한 新發電方式의 개발에 연결되는 것으로서 세간의 주목을 모으게 되었다. 그 시초는 1991년 여름, 전력중앙연구소(電中研)가 秋田縣雄勝町에 설치한 실험장에서 지하 1,000m에 있는 230°C의 高溫岩盤속에 동경 Dome 10개분의 넓이에 상당하는 갈라진 틈을 제작하는데 성공한 것이다. 이것에 뒤 이어, 1992년 여름에는 독자적으로 多重 틈 조성법

을 고안하여 세계최초로 도전해 훌륭하게 성공했다. 이것은 CRSP法(Casing Reamer & Sand Plug)으로서, 하나의 구멍으로 깊이를 바꾸어 2개소에 틈을 만드는 방법이다. 1993년 가을에는 보통의 우물로부터 물을 주입해, 고온의 암반에 만든 틈으로 통과시키는 것에 의해 만든 증기를 써서 소규모 發電에도 실현할 수 있으면, 21세기에 대한 이 發電方式의 실용화도 꿈은 아닐 것이다. 세계에서 유수의 화산국인 일본에는 3,000m 정도 굴삭하는 것에 의해 發電에 이용할 수 있는 岩盤온도 300°C 이상의 地點이 200개소 정도 존재하고 있다. 또한, 지하를 1,000m 파면 온도가 평균의 3배인 100°C 이상으로 되는 地熱地域이 일본에 대략 22개소 정도였다. 이들 지역을 깊이 4,000m까지 굴삭해, 그 중 2,000m 이하의 200~400°C인 암반을 이용하는 것으로 해서, 이 암반이 갖는 열에너지를 전기로 환산해 보면, 電中研에서 주최한 試算위원회에서 계산한 결과, 평균온도 300°C인 암반이 1km³ 이면, 15년간 연속해서 4.8만kW의 發電이 가능하다고 한다. 또한, 고온암체발전이 유망한 지역의 면적은 일본 전국에서 약 4,300km²이고, 이것으로부터 發電資源을 계산하면 4.1억kW로 된다. 試算한 자원이 모두 發電에 이용된다고 알려져 있지는 않지만 지하에 매설되어 있는 未利用 에너지 資源으로서의 방대한 것이며, 이것은 현재 일본 총발전 설비용량의 2.4배에 상당하는 것이다.

고온암체발전을 실용화하기 위해서는 많은 기술을 확립하는 것이 필요하다. 주요기술로서는 어디에 고온 암반이 있는가를 상세히 조사하는 기술, 암반중에 인공 틈을 複數層 만드는 기술, 증기가 어느정도 취출되는가를 평가하는 기술 등이 있다. 고온 암반을 찾는 방법으로서, 地中에 전기를 흘려 지하 5,000m까지의 암반상황을 점검하는 기술이 있다. 複數의 틈을 만드는 기술로서, CRSP법이라 부르는 독자적인 방법을 고안해, '91년 '92년에 두번 이 방법을 써서 고온 암반에 多重 틈이 생기는 것을 實證

했다. 생긴 틈의 넓이는 틈이 생길 때 발생하는 작은 음(AE)을 관측해서 해명한다. 이것에 의하면, '91년도의 1,000m의 孔(低)로부터 10,000t의 물을 200기압의 압력으로 주입한 경우에는 北東 方向에 타원형으로 틈이 퍼져, 長徑이 약 1,000m, 短徑이 500m로 되고, 틈면적은 약 50만m²로 되었다. 또한, '92년도에 720m로부터 5,000t의 물을 壓入한 경우에는 東方向으로 틈이 퍼져, 長徑이 800m, 短徑이 400m로 되고, 틈면적은 30만m² 정도였다. 이것이 바로 전술한 CRSP法 이다.

또한 고온암체 발전의 경우 발전에 사용된 熱水는 순환시켜 재이용하지만, 재주입하는 물의 온도는 80~100°C 근처로도 된다. 그래서 電中研의 토목·전기·생물·경제 등 여러분야의 연구자와 4개 전력회사의 기술자로 구성되는 위원회를 만들어 熱水를 지역에서 활용하는 방법을 검토했다. 이 위원회에서는 “21세기의 發電所는 地域과의 共生型이어야 한다”라고 하는 命題下에 “Geothermopia”의 구상을 제안했다. 더욱, 이 理想郷을 창조하기 위한 Idea를 북극·남극·섬에 대해서 통합·제안 했다. 예를들면, 熱水를 이용한 溫水 Pool과 열대 식물원 등의 Leisure Area, 온실농장 등의 생산 Area, 의료 Area, 거주 Area 등을 發電所 주변에 설치한다. 이와 같은 구상이 실현될 수 있으면, 에너지 개발과 지역진흥이 결부된 것으로서 큰 역할을 갖을 것으로 기대하고 있다. 고온 암체발전은 이와 같이 많은 이점을 갖고 있으므로, 세계적으로 서로 경쟁적으로 연구를 진행하고 있다. 각국이 갖는 곤란한 과제를 효율 좋게 해결하기 위해, 國際 高溫岩體發電 Forum이 1991년에 유럽에서 개최되었다. 그때, 제2회를 1993년에 일본, 제3회를 1995년에 미국에서 개최할 것을 결정하였다.

한편 <표 5-1>은 우리나라에서 地熱에너지 이용 기술의 실용화와 高溫岩體 發電의 타당성 등 자원조사의 개발목표를 위한 세부전략을 나타낸 것이다.

<표 5-1> 국내 地熱에너지의 段階別 細部開發 戰略

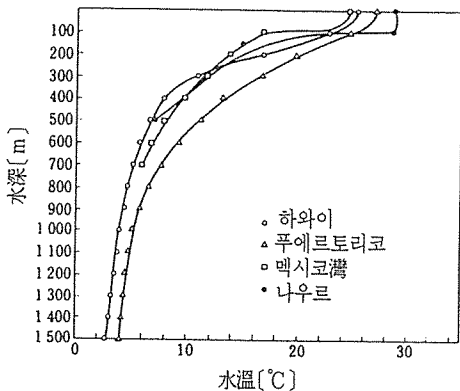
전단계(~'91까지 실적)	제1단계('91~'96)	제2단계('97~2001)
<ul style="list-style-type: none"> · 마산, 창원地域 지역난방이용 地熱資源 조사 	<ul style="list-style-type: none"> · 地熱利用 유망지역 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 熱水溫度 95°C 이상 · 地熱 에너지이용 기반기술 	<ul style="list-style-type: none"> · 地熱利用 유망지역 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 熱水溫度 150°C, 高溫岩 · 地熱에너지 이용 시설

6. 海洋에너지

대체에너지원이라고 하면 주로 태양열·지열·풍력 등이 생각될 수 있지만, 21세기의 에너지源으로서 海洋에너지(Ocean Energy)는 빠트릴 수 없는 중요한 에너지源일 것이다. 해양은 태양에너지의 가장 큰 집열판인 동시에 저장시스템이다. 그 양은 방대하여 이 에너지의 0.1% 만이라도 전력으로 변환할 수 있다면, 현재 전세계에서 사용되는 에너지의 약 5배에 달하는 에너지를 공급할 수 있을 것이다. 海洋에너지에는 해양에서 上下의 온도차에 의한 海洋熱에너지, 波力에너지, 潮力에너지 및 海流에너지가 있다. 이와 같은 해양에너지가 갖고 있는 특징으로서는 그것이 태양에너지와 함께 未이용 자연에너지이며 재생가능하다는 점, 자연환경에 공해를 배출하지 않는 Clean Energy라고 하는 점, 에너지 자원이 풍부하다는 점 등을 들 수 있다. 그러나, 그 반면에 해양에너지는 단위 면적당·당위폭당(波力)·단위 중량당(海洋溫度差 發電)의 에너지 밀도가 적고 또한 해양에너지는 시시각각 또한 시간·월·일에 따라 변동한다는 불리한 점도 갖고 있다.

6-1 海洋溫度差 發電의 원리와 개발동향

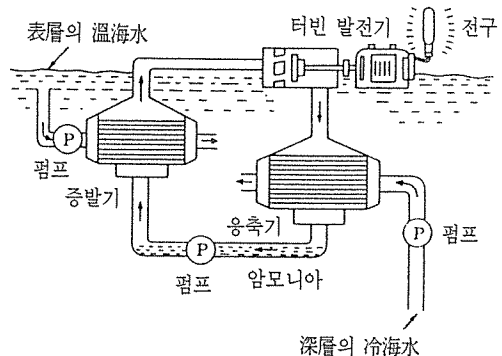
熱帶 및 아열대 지역에서 해양의 上下方向의 해수 온도분포를 측정해 보면 (그림 6-1)에서 보여주는 바와 같이, 상층부에서는 따뜻하여 20~30°C이고, 표면에서 약 700m 깊이인 심층부에서는 차가워서



[그림 6-1] 海水의 온도분포

2~7°C 정도이다. 이 해양 上層部의 溫海水와 深層部의 冷海水와의 온도차에 의한 열에너지를 이용해서 전기에너지를 취출하는 發電시스템을 海洋溫度差 發電(OTEC, Ocean Thermal Energy Conversion)이라 한다.

이 發電方式의 하나인 Close Cycle방식의 원리를 (그림 6-2)에서와 같이 그림에 따라 설명하면, ① 증발기에 작동유체인 암모니아液을 작동유체 펌프로 보낸다. ② 증발기속에는 다수의 가는 관 또는 얇은 판(이들은 전열면이다)이 들어 있기 때문에 그 판의 내측에 해수 펌프로 퍼올린 溫海水를 통과시킨다. 이렇게 하면, 가는 관의 외측에서 암모니아液은 가열되어 비등·증발한다. ③ 증발한 암모니아 증기는 암모니아 터빈으로 들어가서 암모니아 증기의 열에너지를 기계적에너지로 변환해서 암모니아 터빈을 회전시키면서 터빈으로부터 유출한다. 그때, 터빈에 연결된 발전기에 의해 전기에너지가 발생한다. ④ 한편, 터빈을 통과해 나온 암모니아 증기는 응축기로 들어가고, 거기에서 冷海水 펌프에 의해 약 700m 깊이의 층으로부터 퍼올려진 冷海水에 의해 냉각되며 액체 암모니아로 된다. ⑤ 이 액체 암모니아를 작동유체 펌프를 이용해서 다시 증발기로 보낸다. 이 반복을 계속하면, 석유·석탄 및 우라늄을 사용하지 않고 海水로 發電할 수 있는 것이다. 海洋溫度差 發電의 구조는 그림에 나타난 것 외에도 Open Cycle 방식과 Hybrid Cycle이 검토되고 있으며, 최근에는 암모니아와 물의 혼합매체를 이용한 Kalina Cycle이 주목을 끌고 있다.



[그림 6-2] 海洋溫度差 發電의 原理(Close System)

海洋溫度差 發電開發의 歷史는 1881년 프랑스 人 J. D. Arsonval이 고안한 것이 최초이었다. 1881년 이라고 하면, 세계에서 최초의 화력발전소가 생긴 해이기도 하다. 또한, 1883년에는 세계에서 최초인 증기터빈이 스웨덴의 de Laval에 의해 제작되었다. 이와 같이, 1880년대의 發電기술을 유치한 것이었기 때문에 D'Arsonval의 고안은 즉각 실현될 수 있었다. 그후, 역시 프랑스 人 G. Claude가 이것을 실용화하기 위해 1926년부터 1950년까지 각종 실험을 했지만 실패로 끝났다. 1964년에 미국의 앤더슨父子(J. H. Anderson & J. H. Anderson Jr.)는 Claude가 이용한 Open System의 결점을 없앤 새로운 海洋溫度差 發電所를 고안해서 특허(USA P., No. 3312054)를 얻게 되었다. 그후, 1973년의 에너지 Shock 이후, 일본과 미국에서 본격적인 연구가 이루어지게 되었는데 그후의 주요 연구성과를 <표 6

-1>에 열거한다.

한편, 최근에도 잇달아 海洋溫度差 發電의 실험플랜트가 건설되어 실험이 이루어지고 있다. <표 6-2>에 이제까지 건설된 實證플랜트들의 비교를 나타내는데 현재 세계 27개국에서 海洋溫度差 發電을 실용화하고 싶다는 움직임이 있다. 그 중에서 일본·필리핀·미국·대만·프랑스·영국·스웨덴·네덜란드 등은 특히 적극적인 국가들로 알려지고 있다. 그러나 <표 6-2>에서도 알 수 있는 바와 같이 海洋溫度差 發電은 發電만을 목적으로 해서 건설되기 보다는 에너지의 복합적 이용을 도모하는 편이 경제적으로도 유리하다. 이런 관점으로 부터, 深層部 海水를 냉방에 이용하기도 하고 海水의 淡水化와 어패류의 양식에도 이용하도록 하는 시험이 이루어지고 있다. 하와이의 PICHTER, 일본의 高知縣에서도 이들의 실험이 행해지고 있다.

<표 6-1> 海洋溫度差 發電의 開發史

1881年	D'Arsonval(프랑스)이 해양온도차 발전을 고안	1979年	Mini-OTEC(미국)에서 50kW의 발전 성공
1926年	Claude(프랑스)가 실험에 착수	1980年	佐賀대학, 島根縣沖(일본)에서 해상 실험 수행
1933年	Claude(프랑스) 발전소를 建造	1981年	동경전력(일본)에서 120kW의 발전에 성공
1964年	Anderson海中발전소(미국)를 제안	1982年	九州전력, 德之島(일본)에서 50kW의 발전에 성공
1970年	新發電方式調査會(일본)에서 해양온도차발전의 연구성과를 조사	1985年	佐賀대학(일본)에서 75kW 플랜트 완성
1974年	Sunshine계획(일본)에서 해양온도차 발전의 연구 개시	1988年	해양온도차발전소 연구회 발족(일본)
1974年	ERDA계획(미국)에서 개시	1989年	공업기술원전자기술총합연구소, 富山港(일본)에서 3kW의 발전에 성공
1974年	제1회 OTEC회의(미국)	1990年	국제해양온도차발전연구회(IOA) 발족(대만)
1977年	佐賀대학(일본)에서 1kW의 발전에 성공	1993年	하와이에서 210kW Open-cycle System 완성

〈표 6-2〉 海洋溫度差 發電의 實證플랜트

Plant	Mini-OTEC	나우르	德之島	佐賀대학	HELH
국 명	미 국	일 본	일 본	미 국	
실험시기(年)	1978~1979	1982~1984	1982~1984	1985년부터	1993년부터
장 소	하와이	나우르	德之島	伊方里	하와이
정격출력[kW]	50	100	50	75	210
발전소 방식	Float	陸上型	陸上型	陸上型	陸上型
발전소	Close	Close	Close	Close	Open
건설자	Lockheed·Hawaii	TEPSCO/TEPC	九州電力	佐賀大學	PICHTR
溫海水온도[℃]	26.1	29.8	28.5	28.0	26.0
冷海水온도[℃]	5.6	7.8	12.0	7.0	6.0
작동유체	암모니아	R-22	암모니아	암모니아	물
증 발 기	Plate	管	Plate	Plate	접촉식
응 축 기	Plate	管	管	Plate	접촉식
냉수관 길이[m]	645	950	2300		
냉수관 직경[m]	0.61	0.7	0.6	0.4	
正味出力[kW]	18	10	32		40~50

6-2 波力發電의 원리와 개발동향

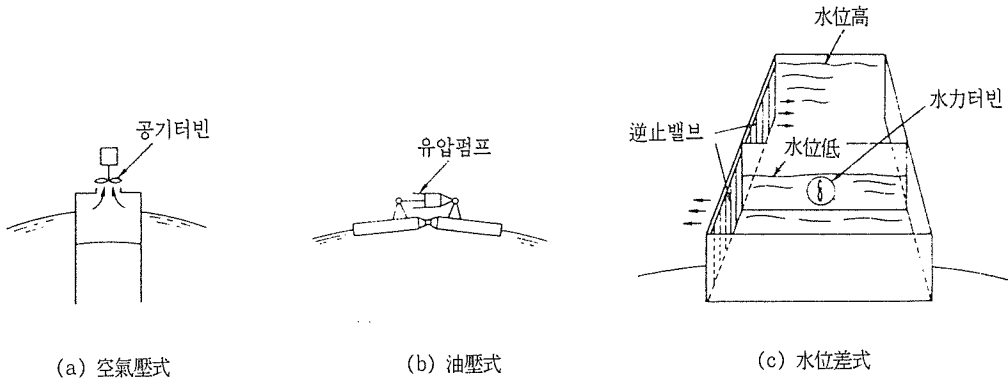
바다의 파도라고 하는 것은 바람이 갖고 있는 에너지가 물에 전달되어 물을 上下로 운동시키기도 하고, 前後로 진동하게 하는 운동의 상태에 의해 형성되는 것이다. 파도를 야기하는 源이 되는 사람은 대기의 공기가 태양에 의해 따뜻해지기도 하고 차가워지기도 하기 때문에 생긴 것이므로 파도도 태양에너지의 일종이라고 한다. 파도 높이는 바람의 상태에 따라 높을 때는 30m에 이르는 것이 있지만, 바람이 없을 때는 0.1m 정도인 것이 보통이다. 波高를 H [m], 周期를 T[s]로 하면, 폭 1m당 波高는 $P=H^2 \cdot T$ [kW/m]의 식으로 계산할 수 있다. 이 식을 써서 波高를 계산하면, 전세계의 波浪에너지(Ocean Wave Energy)의 총량은 27억kW에 달한다고 추정하고 있다. 일본인 경우 바다측 해안에서 10~15kW/m, 태평양 해안에서 10~12kW/m, 태평양 외측에서 80~100kW/m의 波力에너지가 있으며, 일본 해안선의 波浪에너지의 총량은 약 3×10^9 kW로 추측되고 있다. 이와 같은 波浪의 역학적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 방식이 波力發電(Ocean Wave Power Generation)의 원리이다. 이 波力發電 연구의 歷史는 1799년 프랑스에서 개발된 특허로 거슬

러 올라갈 수 있으며, 波力發電의 본격적 연구는 海洋溫度差 發電과 마찬가지로 1973년의 제1차 석유 Shock 이후이다. 그 이후 波力發電과 波浪에너지에 관한 연구와 특허가 수없이 발표되고 있다. 특히 특허는 1987년을 시점으로 일본, 미국, 영국 그리고 서구에서 총 1,000건을 초과하고 있다. 그러나 波力發電의 연구를 최초로 본격적 동시에 계통적으로 시작한 것은 일본의 益田善雄이다. 益田은 1946년부터 지금까지 波力發電의 연구를 하여 수많은 업적을 남기고 있다. 세계의 波力發電에 관한 연구는 益田의 연구를 축으로하여 전개되었다고 해도 과언이 아니다. 益田의 연구는 그의 저서 “일본의 波力發電”으로 정리하고 있는데, 이 책에서는 세계의 波力發電의 歷史도 상세히 정리하고 있으므로 여기에서는 생략한다.

파도가 갖는 역학적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 방법에는 몇가지 인가의 방법이 고려되고 있지만, 이제까지 고안된 것을 살펴보면, 一次 변환장치에 의해 일반 波浪에너지를 공기압·유압·수위차압으로 변환한다. 그리고, 二次 변환장치인 공기터빈·유압모터 또는 수력터빈에 의해 발전기를 회전시켜 發電한다. 그 외에 波浪에너지의 변환방법은 각종의 것이 고안되고 있지만, 이들 중 특히 대표적인 것을

(그림 6-3)에 나타난다. 그림 (a)의 공기터빈식은 파도의 상하운동에 의해 실린더내에 왕복 공기류를 발생시켜 공기터빈을 구동시킨다. 그때, 往復流를 한 방향으로 整流시키기 위해 整流밸브가 이어지고 있다. 유압식의 일례는 그림 (b)에 나타난 형이며, 힌지(Hinge)로 결합된 複數의 脛[뿔목]의 竪대운동에

의해 유압펌프를 구동시키는 것이다. 수위차식의 일례를 그림 (c)에 나타내는데, 이것은 파도의 운동에 의해 貯水地의 2개소의 逆止밸브를 교대로 동작시켜 저수지에서 수위차를 얻고, 수력터빈을 회전시키는 것이다.



[그림 6-3] 波力發電의 原理

波浪에너지의 개발에 특히 열심인 것은 일본·영국·노르웨이·스웨덴·미국이다. 또한 아일랜드·남아프리카·인도·포르투갈에서도 개발이 진행되고 있다. 영국에서는 1975년부터 개발이 개시되었지만, 북서해안의 年평균 波力이 70kW/m라고 하는 조건이기 때문에 波浪에너지 개발은 국가 프로젝트로 격상되어 아주 방대한 자금이 투자되고 있다. 영국에서는 각종 형식의 것이 발명되어 그것에 대해서 기초적 연구로부터 응용적 연구에 이르기까지 폭넓게 이루어지고 있다. 중국인 경우 대륙연안의 해안선이 18,000km에 도달하므로 年평균 波高를 0.7~1m로 하면, 波浪에너지의 총계는 $0.7 \times 1.5 \times 10^8$ kW로 추정된다. 그 때문에 중국에서는 수년전부터 波浪에너지

개발에 열중하고 있으며, 최근 실제의 해상에서 실용화 테스트를 했다.

波力발전의 최대 문제점은 파도의 變動性이다. 이 발전방식을 사용할때는 전압변동·주파수 변동에 어떻게 대응할 수 있는가가 관건이 된다. 그를 위해서는 이 변동을 흡수해서 얻은 蓄에너지시스템의 개발이 필요불가결이다. 이런 蓄에너지 장치의 개발이 이루어지면, 파랑에너지의 有效이용도 꿈은 아니라고 생각할 수 있다.

(표 6-3)은 우리나라에서 海洋에너지의 다목적 이용과 潮力發電施設의 설치운영 기술확립을 목표로 해서 작성한 단계별 세부개발 전략을 나타낸 것이다.

<표 6-3> 국내 해양에너지의 단계별 세부개발 전략

전단계 (~'91까지)	제1단계 ('92~'96)	제2단계 ('97~2001)
<ul style="list-style-type: none"> 海洋에너지 기본자원조사 海洋에너지 발전기술 <ul style="list-style-type: none"> - 100W 波力發電장치 - 200W 海洋溫度差發電장치 潮力發電 건설 타당성조사 	<ul style="list-style-type: none"> 海洋에너지 기본자원조사 海洋에너지 發電기술 <ul style="list-style-type: none"> - 60kW 波力發電장치 개발 - 海洋溫度差發電요소 기술 潮力發電 건설 適地 및 適期 검토 	<ul style="list-style-type: none"> 海洋에너지 다목적 이용기술 <ul style="list-style-type: none"> - 관광, 養殖, 해양구조물 등 連繫 潮力發電施設 건설운영 <ul style="list-style-type: none"> - 200~500MW 發電시설 潮力發電 최적운영기술 개발