

파랑에너지의 고도이용 기술



김 현 주
(KIMM 해양기술연구부)

'81-'85 부경대학교 해양공학과(학사)
'85-'87 부경대학교 해양공학과(석사)
'88-'95 부경대학교 해양공학과(박사)
'95-현재 한국기계연구원 선임연구원



홍 석 원
(KIMM 해양기술연구부)

'73-'77 서울대학교 조선공학과(학사)
'77-'79 서울대학교 조선공학과(석사)
'84-'88 미국 Michigan대 응용역학과(박사)
'79-현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서론

최근 화석에너지의 고갈에 따른 대체에너지 개발이 강조되고 있으며 그 소모에 따른 CO₂의 발생 및 지구온난화 문제등으로 청정에너지의 개발이 요망되고 있다. 해양에너지인 파랑, 조석, 해류, 온도차 등은 청정한 자연에너지이며, 그 가용량도 인류가 쓰기에 부족함이 없기 때문에 주목을 받고 있는 중요한 에너지 자원이다. 이러한 해양에너지 이용기술은 다각적으로 연구되어 다양한 에너지 변환시스템이 개발되어 왔으며 이미 실용화된 것도 있다.

우리나라에서도 정부주도하에 대체에너지 개발사업이 추진되어 왔으며 해양에너지로서는 조석발전, 파력발전 및 온도차발전에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 하나가 파랑에너지 이용기술이며, 60kW급 파력발전장치를 목표로 개발 중에 있다. 그러나 이들 시스템은 경제적 척도로 평가할 수 없을 정도로 중요한 인류 삶의 질 및 생존환경과 관련한 청정에너지 기술임에도 불구하고 현재의 경제성 평가방법이 시설비와 관리비 투자에 대한 출력 생산성만을 고려하고 화석에너지에 의한 환경오염 피해보상 및 자연환경에 대한 손실은 고려하지 못하고 있기 때문에 경제성이 없는 것으로 받아들여져 실용화된 경우는 많지 않다. 미래 수요기술로 평가되고 있는 파랑에너지 이용기술은 상용전원의 공급을 위한 송전시설비가 많이 드는 낙도나 기왕 계획된 시설에 적은 투자로 에너지 변환장치를 부가할 수 있는 경우 실현 가능성은 낮지 않은 것으로 생각된다.

파랑에너지의 실용화를 위해서는 파랑에너지 취득 및 변환시스템의 효율성뿐 만 아니라 취득 에너지 특성에 적합한 시스템의 개발이 필요하다. 이는 가용자원의 평가 및 분포 특성을 기초로 한 개발 및 이용 계획의 수립으로부터 적절한 고효율 변환시스템의 개발 및 지역 특성에 맞는 이용형태의 개발 등을 통하여 실현될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 연안자원의 종합 이용 및 개발을 목표로 한 파랑에너지 고도이용기술에 대한 전개발향을 체계적으로 검토해 보고자 한다. 이를 위한 기초적 연구로서 한국 연안의 해역별 파랑에너지 가용량을 평가하고, 시공간적 분포 및 변동 특성을 정리하고자 한다. 파랑에너지 분포특성을 기초로 파랑에너지의 이용을 위한 에너지 변환장치 및 이용시스템에 대한 현황을 논의하고, 파랑에너지 이용상의 문제점들을 살펴 봄으로써 이용형태의 개발 및 파랑에너지 취득·변환시스템의 다목적화를 통한 고도이용 방안을 고찰해 보고자 한다.

2. 한국 연안의 파랑에너지 가용량 평가

2.1. 심해파 에너지 부존량

심해파의 에너지 부존량은 british maritime technology의 global wave statistics 자료와 해양수산부의 장기파랑 수치해석 추정치를 사용하여 산정하였다. Global wave statistics 자료는 동해, 남해, 서해에 대한 전년 및 계절별 평균 유의파고 및 주기로서 정리되어 있으며, 해양수산부 자료는 우리나라 연근해 심해파에 대한 10년간의 해석결과가 월별 평균 유의파고 및 주기로 정리되어 있다. Global wave statistics 자료를 이용한 해역별 파랑에너지 이용가능량과 계절적 변동 특성을 해석한 결과 동해에는 평균 11 kW/m, 남해에는 16 kW/m 그리고 서해에는 10 kW/m의 wave power가 부존하고 있는 것

으로 나타났다. 남해의 wave power가 높은 이유는 남해안의 파랑자료는 우리나라 남해 뿐 아니라 일본의 동해인 태평양 연안의 파랑자료도 포함되어 있기 때문이었다.

연안으로 입사해 오는 연근해 심해파 에너지 부존량을 장기파랑해석자료를 이용하여 평가하였다. 동해, 남해, 서해를 각 10개 해역으로 구분하여 평균 에너지 분포량을 산정하였으며, 그 결과를 그림 1)에 정리해 놓았다. 그림에 나타난 것처럼 동해에는 1.79-6.96 kW/m, 남해에는 1.54-5.25 kW/m, 서해에는 1.00-4.13 kW/m의 wave power가 분포하고 있으며, 평균 부존량을 격자점을 중심으로 한 구간별 거리에 대한 분포량으로 산정하여 집계한 결과 한국 연안의 파랑에너지 부존량은 평균 4.7 GW (제주 포함시 5.6 GW)에 달하는 것으로 나타났다. 이는 우리나라 평균 전력사용량 21 GW (1996년 기준)의 22% (제주 포함시 26%)에 달하는 량이다. 한편, 대표적인 해역의 월별 평균 wave power 분포량을 그림 2)에 나타내었으며, 계절적 변화가 심함

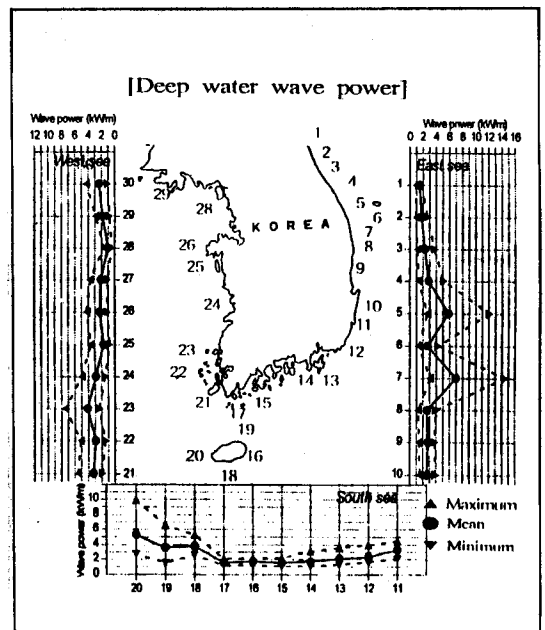


그림. 1. 한국연안 심해파 wave power의 분포특성

을 알 수 있다. 동해 및 서해는 동절기에, 남해는 하절기에 파랑에너지가 집중하고 있는 것을 알 수 있다.

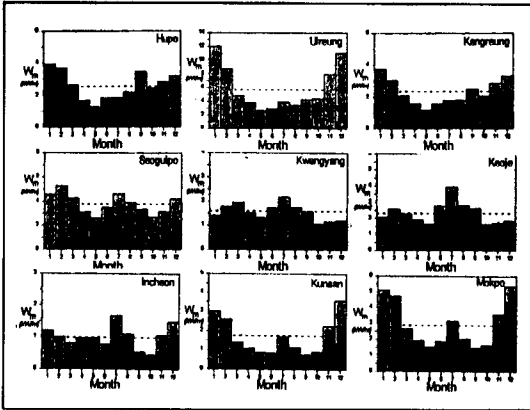


그림 2. 심해파 wave power의 월별 변동특성

2.2. 천해파 에너지 부존량

연안 파랑관측소로 부터 측정된 관측자료를 대상으로 천해파 에너지 부존량을 산정하였다.

Wave power 계산은 대표파의 천수변형을 고려하여 산정하였다. 천해파 에너지 부존량 평가는 '74~'82의 경우 천해파 영역에서 관측된 결과이며, '90~'94의 자료에서는 관측소에 따라 심해파에 해당하는 경우도 있었다. 산정결과를 그림 3)에 나타내었으며, 동해, 남해, 서해에 각각 평균 1~3 kW/m, 0.5~4 kW/m, 0.5~2 kW/m의 wave power가 부존하고 있는 것으로 나타났다. 계절적 변동특성은 그림 4)에 나타낸 것과 같이 심해파의 경우와 유사한 변동 특성을 보였다.

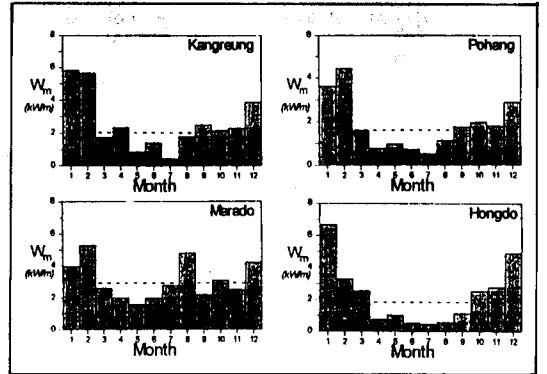


그림 4. 천해파 wave power의 월별 변동특성

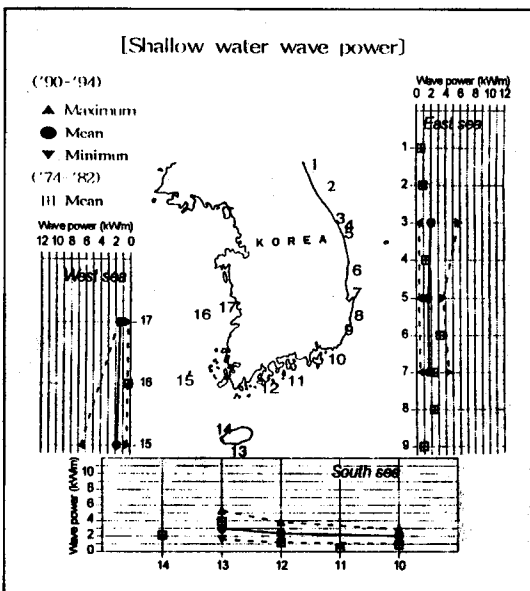


그림 3. 한국연안 천해파 wave power의 분포 특성

3. 파랑에너지 이용기술의 현황 및 문제점

3.1. 파랑에너지 취득 및 이용시스템

파랑에너지의 이용은 파랑이 가진 에너지를 인류가 생존 및 생활하기 위한 에너지원으로서 사용하는 것을 의미한다. 파랑에너지는 발전, 해수교환 촉진 및 DO공급에 의한 해역환경개선, 육상수조식 양식산업 및 제염을 위한 용수공급 등에 이용될 수 있으며 장치 다양한 활용처가 등장할 것으로 생각된다. 이를 위해서는 그림 5)에 나타낸 것과 같이 다양한 에너지 취득(변환)-저장-공급-이용시스템이 필요하며 실용화를 위해서는 각 단계의 장치효율을 높이는 것과 변환단계를 줄이는 노력이 필요하다. 따라서 파

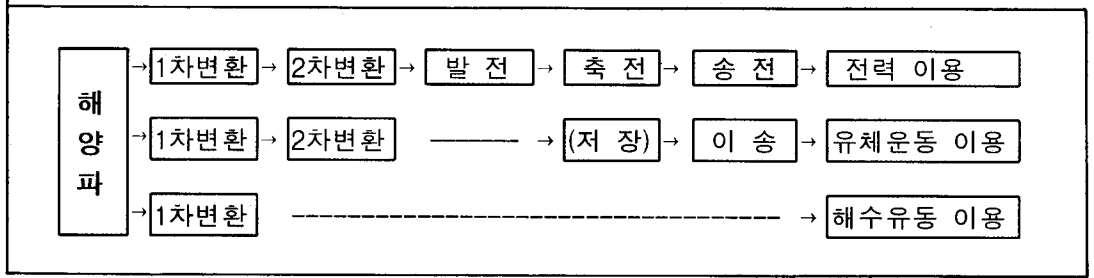


그림 5. 파랑에너지 변환과정

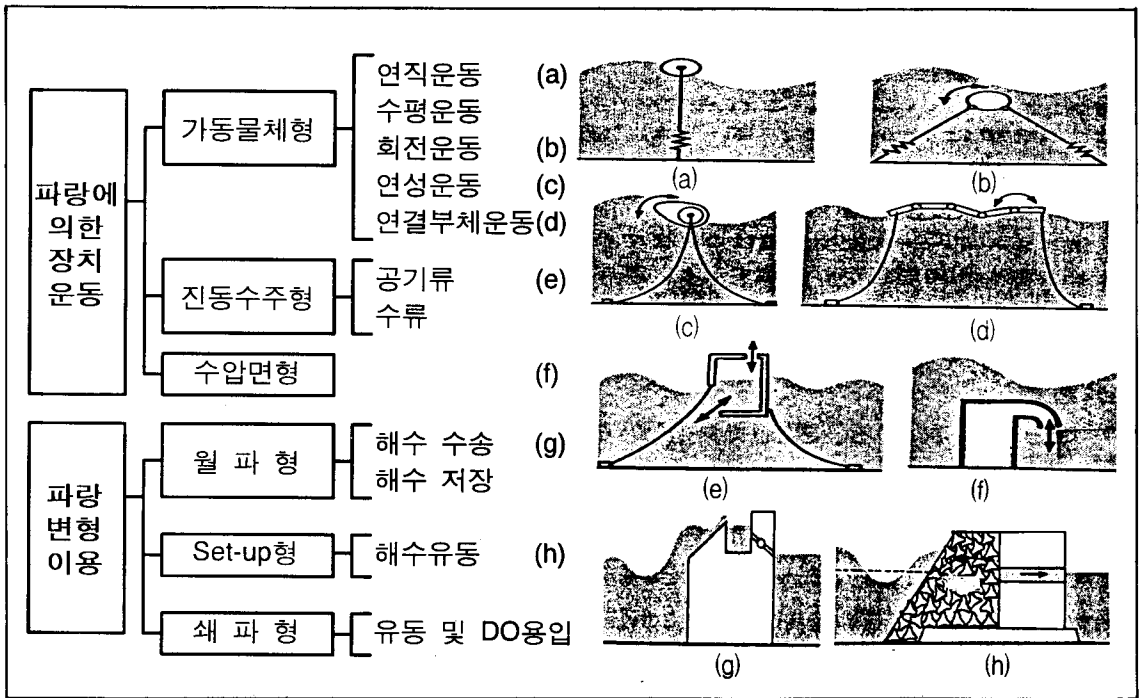


그림 6. 파랑에너지 1차변환장치의 분류 및 예

랑에너지의 이용형태를 고려하여 적절한 변환시스템을 강구하는 것이 바람직하다. 이를테면 항내 수질개선을 위한 해수교환 축진을 목표로 할 경우, 파랑으로부터 발전한 전기를 이용하여 수중모터 등으로 해수교환을 촉진시키는 방법은 에너지 효율이 떨어질 뿐 아니라 비용면에서도 불리하다. 따라서, 해수교환형 방파제를 이용한 해수교환축진이 바람직하다.

한편, 그림 5)의 1차변환(역학적 에너지)장치는 그림 6)과 같이 분류할 수 있다. 1차변환장치는 “파랑에 의한 장치의 운동을 이용하는 방법”과 “파랑변형에 따른 수리특성을 이용하는 방법”으로 대별할 수 있다. 전자는 파랑에 의해 동요하는 가동물체의 운동(연직, 수평, 회전, 연성, 연결부체)에너지, 구조물 내부의 수주운동에 의한 유체운동에너지, 수압면의 운동에너지 등

을 이용하는 방법이고, 후자는 해안으로 진행되는 파랑의 변형특성에 의해 급경사 구조물이나 지형을 넘어가는 월파에 의한 해수수송, 또는 이를 저장하여 이용하는 월파형, 파랑제어구조물에 의한 파랑에너지 감쇠 또는 쇄파에 따른 평균수위 상승에 의한 위치에너지로 부터 해수유동을 유발시키는 set-up형, 자연해빈 또는 구조물과의 상호작용에 의한 쇄파결과 용입되는 DO를 통해 해역환경을 개선시키는 쇄파형 등이

있다.

이러한 과정을 통하여 다양한 파랑에너지 취득이용 시스템이 개발되어 있으며, 대표적인 예를 고정식 파력발전시스템 (그림 7) 및 부유식 파력발전시스템(그림 8)으로 분류하여 정리하였다. 또한, 최근 제안되고 있는 파랑에너지를 이용한 환경개선시스템과 수산 증·양식시스템의 예를 그림 9)와 그림 10)에 각각 나타내었다.

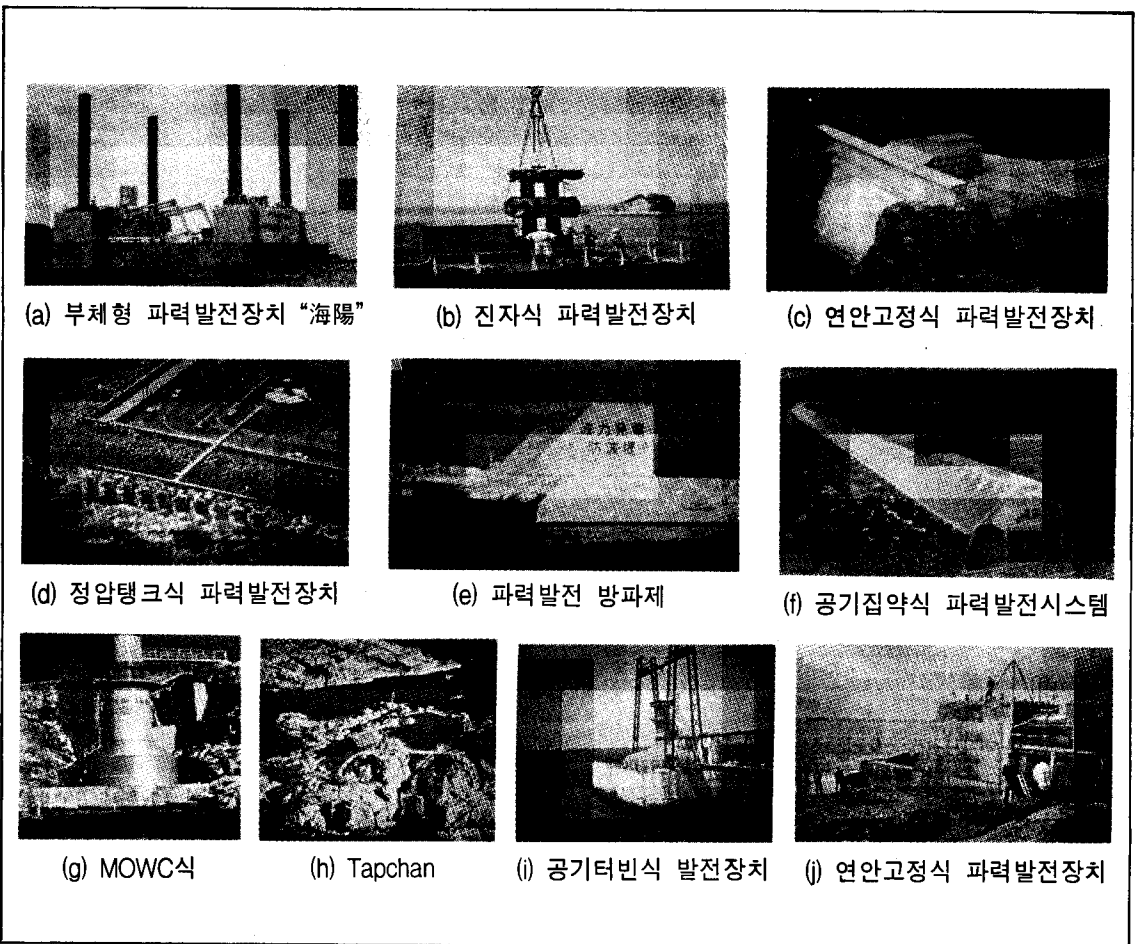


그림 7. 고정식 파력발전시스템의 예^[4]



그림 8. 부유식 파력발전시스템의 예^[2,4,9]

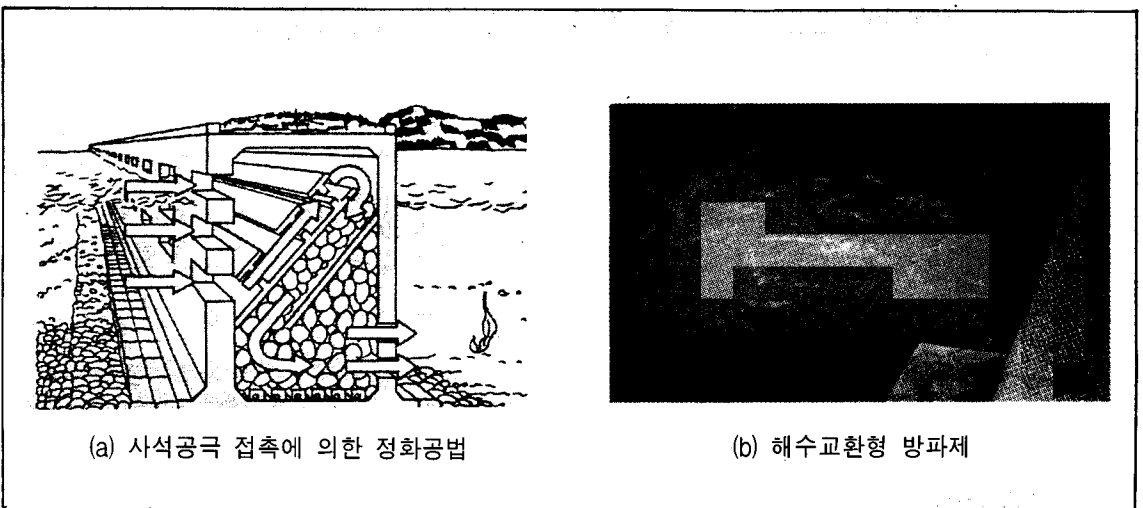


그림 9. 파랑에너지를 이용한 해양환경개선 시스템^[4]

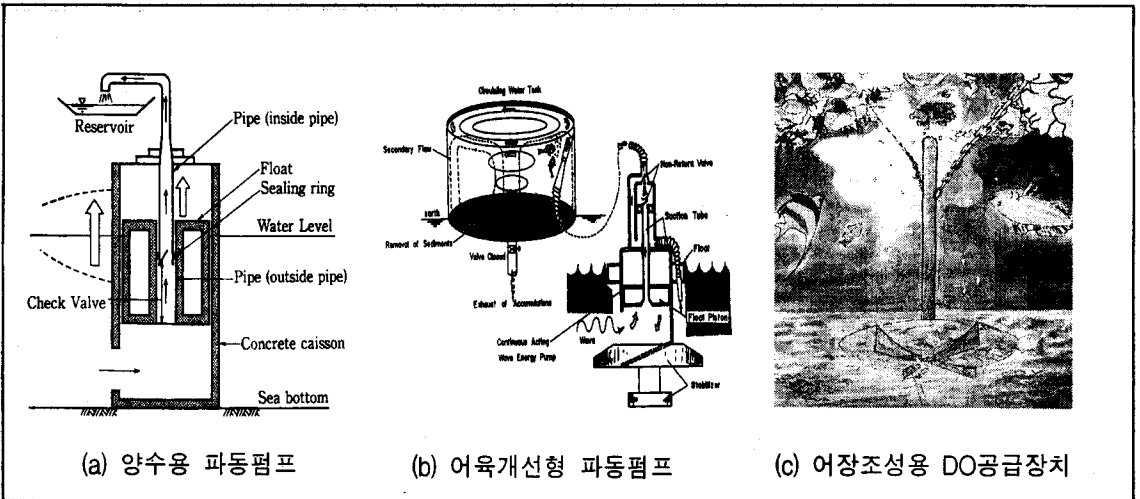


그림 10. 파랑에너지를 이용한 수산 증·양식시스템^[4,5,7]

표 1. 종래 개발된 파랑에너지 이용시스템 및 출력 특성^[2~13]

개발국가	명칭 또는 형식	출력 (unit당)	시설 제원	수심	비 고
한 국	부유식 원주형 발전장치	60 kW	φ13m, 14m	30m	'98부터 울산주전에서 실험 예정
노르웨이	Tapchan(월파 저수식)	350 kW	50m ²		인도네시아 1000kW급 가동중
	MOWC(다중공진 공기터빈식)	500 kW	8500m ²		통가 2000kW급 플랜트 계획
영 국	지형이용형 공기터빈식	75 kW			150 kW급으로 개발 계획
	NEL OWC(수주진동식)	4.7 kW	263m	21m	부채식: 14.4kW/263m
		14.4 kW	64m	21m	고정식: 4.7 kW/64m
	Bellpost OWC(수주진동식)	4.8 kW	φ30m	34m	기초부 직경 65m
	Bristall cylinder	4.8 kW	φ16m, 100m		
스웨덴	Horse pump식	수 kW급			
인도	고정형 공기터빈식	150kW	17m×23m		
일본	부채형 파력발전장치“海陽”			10m	1984.8부터 沖繩縣에서 실험
	진자식 파력발전장치				1983년부터 北海道에서 실험
	연안 고정식 파력발전장치	11 kW			
	정압탱크식 파력발전장치	30 kW			
	파력발전방파제	30 kW			
	공기집약식 파력발전시스템	60 kW			
	고정식 등대형 파랑발전장치	130 kW			
	파력발전장치“海明”				'88부터 酒田항에서 실험
	다목적파력발전장치	125 kW			鶴岡由良에서 '78,'79,'85에 실험
	“Mighty whale”				'98부터 三重縣에서 실험 예정
	항로표지용 파력발전기	100 W			일본에서 수천대 가동중
	BBDB(후면곡부덕트부이)	5 kW			중국과 합작 개발중

그림 7)~10)에 나타난 파랑에너지 이용시스템의 특성, 출력, 설치 또는 실험실시험 등에 대한 개요를 표 1)에 정리하였다. 표에서 파랑에너지 이용시스템은 100W로부터 2MW까지의 다양한 출력 시스템으로 연구개발되고 있으며, 다양한 변환장치로서 구현되고 있음을 알 수 있다. 또한, 대부분이 실내 실험을 통해 개발된 후 현장실험을 통해 검증은 거쳤거나 계획하고 있는 상태에서 실용화된 경우는 항로표지용 파력발전장치 등에 국한되고 있음을 알 수 있다. 따라서 파랑에너지의 실용화에 대한 문제점을 조망하고 대책을 정리함으로써 고도이용을 위한 기초를 제공하고자 한다.

3.2. 파랑에너지의 이용상 문제점

파랑에너지를 취득하고 이용하기 위한 다양한 원리, 장치 및 시설들이 연구되어 왔다. 이들은 이용형태에 따라 효용이 인정되어 실용화되기도 하였고, 경제성이 나아지기를 기다리는 결과들도 있다. 그러나 에너지자원의 한계성과 지구환경보전의 관점에서 실용화가 강조되고 있으며, 실용화를 위해서는 현 단계에서의 문제점을 조망하고 해결하는 노력이 필요하다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1) 취득에너지의 이용지까지의 거리

파랑에너지를 이용할 만한 곳은 개방성 연안역이나 에너지가 집중되는 곳 등이 고려될 수 있다. 해안 고정식의 경우 육지내 이용지와 거리가 멀지 않을 수도 있으나, 국지적으로 파랑이 거친 곳은 거주지나 산업용지로 사용되지 않으므로 이송시설을 위한 비용이 증대될 수 있다. 해안과 떨어진 경우 이안형 고정식 또는 부유식을 생각할 수 있고, 이안형 고정식의 경우 1/100경사 해변에서 수심 5~15m까지의 수평거리는 0.5~1.5km, 이안형 부유식의 경우 1/100경사 해변에서 수심 15m이상까지의 수평거리는

1.5km 이상이 된다(울산 주전의 경우 수심 20~25m까지의 수평거리가 1~1.5km). 이러한 이격거리는 에너지 이용 비용을 결정하는 요소의 하나이므로 현재의 경제성 평가 관점에서는 기존 에너지에 비해 경제성을 잃게하는 요소가 될 수도 있다.

2) 가용 에너지량의 규모에 따른 제약

파랑에너지 이용시스템은 실용화된 100W급 파력발전부이로부터 수 MW급 발전시스템이 제안되어 있고, 한국기계연구원에서는 60kw급 파력발전장치를 개발하고 있다. 이는 온도차발전장치(수 MW에서 수천 MW급), 조석발전장치(수십 MW에서 수천 MW급), 해류발전장치(수십 MW에서 수천 MW급) 및 조류발전장치(수 MW에서 수백 MW급)에 비하여 낮고, 넓은 범위에 분포해 있다. 종래 개발된 파랑에너지 이용시스템의 출력특성은 표 1)을 참고할 수 있다. 따라서 수요 규모가 큰 경우에는 이들 시스템의 복수배열이 필요하며, 건설비용을 고려하여 경제 효과를 최대화하는 규모의 개발과 평가가 요구된다.

3) 에너지 취득량의 변동성

자연 에너지는 대부분 시간적, 장소적 변동성이 크기 때문에 에너지 취득시스템의 가동을 및 에너지 이용시스템의 효율화를 생각하지 않으면 안된다. 조석이나 조류의 경우 반일 또는 1일 주기로 변동하며, 해류나 온도차는 비교적 변화가 적지만 표층수온은 계절에 따라 변화하는 특징을 보인다. 그러나 파랑은 시시각각 변화하여 시간단위로 부터 주단위, 월단위, 계절단위로 변동하는 특징을 지닌다. 따라서, 변동을 허용하는 시스템을 강구해야 하며 그에 따른 시스템의 복잡화도 회피할 수 있도록 되어야 한다.

4) 제한적인 이용 형태

대부분의 해양에너지 이용방안은 화석에너지

에 대한 대체에너지로서 전력을 공급하는 것이었다. 그러나 전술한 바와 같은 문제를 고려하면 이용적지, 이용형태에 부합되는 에너지 변환 및 이용시스템이 중요하다. 해수정화나 양식장 해수공급을 위한 파력발전 및 펌프 구동이나, 외딴 양식장이나 낙도에 상용 전원을 공급하는 것은 에너지 이용효율을 저하시킬 뿐 아니라 경제성이 떨어지게 된다.

4. 파랑에너지의 고도이용 및 실용화 방향

파랑에너지 이용을 위한 다양한 에너지 취득, 저장, 이용 시스템이 개발되어 왔으나 전술한 바와 같이 취득에너지의 이용지까지의 거리, 가용에너지의 규모, 에너지 취득량의 변동성 및 이용형태의 단순화 등과 관련한 문제들이 산재해 있다. 이로 부터 자연에너지의 개발 및 이용 확대와 환경친화적 연안역 개발 및 생산성 향상을 위한 파랑에너지 이용기술의 문제점을 해결해 나가는 과정으로서 파랑에너지 고도이용 개념 및 실용화 방안을 정리해 보고자 한다.

4.1. 파랑에너지 집중 및 고효율 변환시스템

그림 1) 및 3)에서 본 것처럼 우리나라 연안역의 심해파 에너지 부존량은 1.0~6.7 kW/m이

며 평균 2.4kW/m로 생각할 수 있어 일본의 평균 6.0kW/m에 비해 낮은 편이다. 평균출력 1~2MW급이 실용가능한 규모라는 생각을 받아들인다면 416~833m의 파랑에너지를 취득할 수 있는 장치의 설계가 필요하며 에너지 변환효율에 따라 그 길이는 연장될 것이다. 따라서 파랑에너지 취득장치를 위한 막대한 비용이 소요되며, 배후 연안역의 이용계획 및 여건에 따라 다목적 시설로서 설계할 경우 경제성 평가는 달라지겠지만 파랑에너지 이용만을 고려하면 경제성이 낮아진다.

이를 해결하기 위해서는 파랑에너지 분포량이 많은 해역을 적지로서 선정하고 국지적 자연지형에 의한 파랑에너지가 집중되는 곳을 선택하는 것 뿐만 아니라 인공적으로 파랑에너지가 모일 수 있도록 집중시키는 방안을 생각할 수 있다. 파랑에너지의 집중은 파랑의 변형특성을 적극적으로 이용하는 방안으로서 반달모양, 삼각판 등의 수중 구조물을 이용한 집파시스템으로 연구되고 있다. 그림 11)의 (a)에 반달모양의 수중판에 의한 파랑에너지 집파현상을 나타내었으며 입사파 제원 및 파향에 따른 적정구조 및 규모의 최적화연구가 필요하다. 또한 이러한 집파시스템의 집파기구를 능동형으로서 개발하는 방안도 장차 고려되어야 할 것이다.

파랑에너지를 기계에너지 또는 전기에너지로



그림 11. 파랑에너지 집중 및 취득시스템^[4,13]

변환시키는 다양한 시스템들이 제안되어 왔으며 이들은 입사파 에너지의 규모 및 파 주기에 따라 변환 효율이 달라지는 것으로 평가된다. 1차 변환장치의 고파랑시에는 수주진동식이 효과적이나 저파랑시에는 가동물체식(전자판식)이 효과적인 것으로 알려져 있다. 또한 공기 흐름으로 에어터빈을 가동시키는 경우와 유압 변동으로 유압모터를 가동시키는 경우에 따라 출력특성은 달라지는 것으로 알려져 있다. 따라서 파랑에너지를 높은 효율로 변환시킬 수 있는 고효율 파랑에너지 변환장치의 개발이 요망되며 그림 11)의 (b)에 나타낸 웰스터빈은 왕복류의 공기흐름을 일방향 회전운동으로 변환시키는 에어터빈의 하나이다.

4.2. 파랑에너지 저장시스템의 개발

파랑에너지의 분포는 공간적 변동성 뿐 아니라 시간적 변동성을 가진다. 그림 2) 및 4)에 나타낸 것처럼 우리나라 연안에서는 계절적 변동이 뚜렷하여 파랑에너지의 실용화를 위해서는 출력의 안정화가 필요하다. 해양에너지를 평활화하여 유효하게 이용하기 위한 방안의 하나로서 에너지 저장기술을 생각할 수 있다. 지금까지 개발된 저장방법은 전자에너지, 화학에너지, 역학에너지 등의 형태로 저장하는 것이다. 이들은 축전(전지), 압축공기 등으로 저장되며 시스

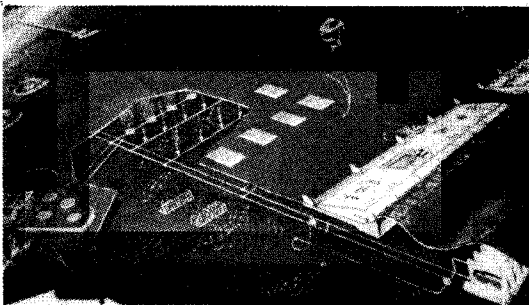


그림 12. 압축공기 저장에 의한 다목적 파랑 이용 시스템^[6]

템 효율은 55~80% 정도의 수준이다. 전지는 자동차 배터리충전 등에 사용 가능하며, 압축공기는 에어터빈의 구동에 의한 발전, 에어레이션, 기포펌프 등으로 직접 이용할 수 있다. 축전기술은 파랑에너지를 비롯한 대부분의 해양에너지 실용화를 위한 요소기술이며, 자연에너지의 복합화를 위한 중요한 역할을 할 것으로 생각된다. 압축공기의 저장은 정압화를 통한 발전효율의 안정화와 직접이용을 위한 저장수단으로 평가된다. 양식장의 환경관리를 위한 압축공기 저장 및 공급시스템의 한 예를 그림 12)에 나타내었다.

4.3. 파랑에너지의 현장 이용시스템 구축

파랑에너지의 취득은 지형특성상 파랑에너지가 모여드는 돌출된 해안이나 단애와 같이 육지에 연한 곳이나 방파제를 설치할 필요가 있을 정도의 파랑이 내습하는 곳 또는 파랑에너지의 취득이 가능한 연안역에서 이루어질 수 있다. 대부분의 경우 이러한 파랑에너지 취득장소는 가정용 및 산업용 에너지 수요(소비)지와 가깝지 않다. 이처럼 에너지 취득장소와 수요지가 가깝지 않으면 실용화가 쉽지 않다.

이에 대한 방안으로서는 직접이송, 간접이송, 현장사용 등의 방안을 생각할 수 있다. 직접이송 방법은 전력의 경우 전선으로 송전하는 방법이며, 압축공기나 유동을 사용할 경우 파이프라인으로 이송시키는 방안이다. 간접이송 방법은 다른 에너지 물질(수소 또는 암모니아 제조)로 변환시켜 수송시키는 방법이다. 현장사용 방법은 파랑에너지 취득장소에 인접한 수산 증·양식시설이나 해상플랜트에 전기나 동력으로 공급하는 방법이다. 즉, 육상으로부터 전기에너지를 송전해 오기가 쉽지 않거나 비용이 많이 드는 경우의 이안형 해상플랜트나 수산시설의 경우 이들 시설에 현장에서 에너지를 취득할 수 있는 시스템을 설치하여 사용하는 방안이며 해양관광

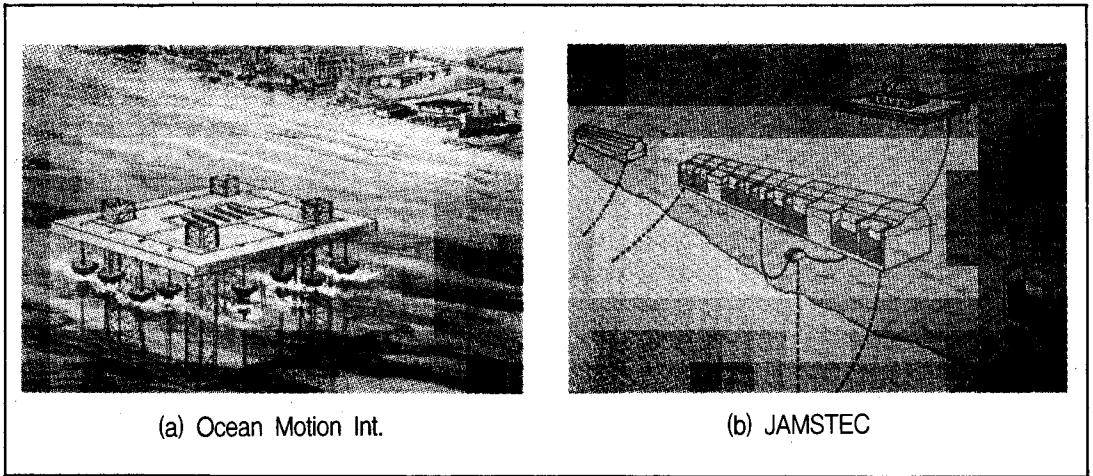


그림 13. 해양산업 및 레크레이션 지원형 파랑이용시스템^[6,12]

시설의 하나로서 해중분수대 등이 제안된 바 있다. 그림 13)의 (a)에 고정식 해상플랜트의 기초부에 파랑에너지 취득시스템을 설치할 수 있는 경우를 소개하였고, 해양레크레이션을 위한 에너지를 현장파랑으로부터 추출하는 경우를 (b)에 소개하였다.

4.4. 복합 해양에너지 이용시스템 구축

다양한 파랑에너지 취득시스템이 개발되어 있으나 그 출력이 그다지 높지 않으며, 파랑에너지의 출현특성에 따른 출력에너지의 변동성도 큰 편이다. 수요량에 따라 파랑에너지 변환장치를 병렬 설치하여 기대출력에 맞출 수도 있지만 경제적인 문제를 고려하여야 한다. 따라서, 출력이 낮은 경우 보완할 수 있는 방안으로서 복합 해양에너지 이용시스템을 생각할 수 있다. 이는 대상해역의 가용 자연에너지를 통합적으로 취득, 저장하고 이용하는 방법으로 생각할 수 있다. 예를 들면 파력발전장치의 상부에 태양전지를 부가한다든가 풍력발전을 병행하는 방법을 생각할 수 있다. 또한, 항내 해수교환을 위하여

조류에 의한 해수교환과 파랑에 의한 해수도입을 통합시키는 방안도 생각할 수 있다. 또한, 방파제형 파력발전장치 주위의 연안류를 이용한 해류발전 등을 생각할 수 있다. 그 예로서 일정 연안역에서 파력발전, 풍력발전을 이용한 수산 및 바이오매스 생산시스템의 예를 그림 14)에 나타내었다.

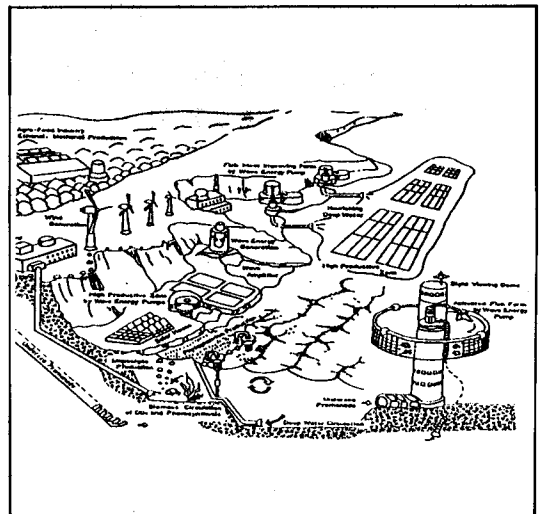


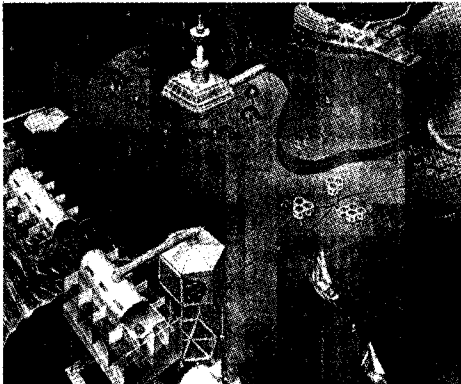
그림 14. 복합 청정에너지 이용시스템^[11]

4.5. 파랑에너지 이용형태의 다양화를 통한 실용화 방안

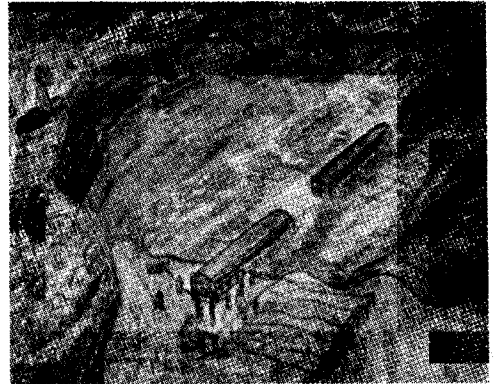
파랑에너지의 이용은 파력발전을 위주로 집약적인 발전을 이루어 왔으며, 이에 대한 실현성 평가가 주종을 이루어 왔다. 대부분의 파력발전 시스템은 현재의 경제성 평가기준하에서 경제성을 인정받지 못하고 있으며, 미래수요기술로서 기술체계화 과정에 있다. 한편, 산업 발달에 따른 생활수준의 향상 및 여가 선용을 위한 다양한 요구가 제기되고 있으며, 이에 대응하기 위한 다양한 해양시설과 에너지가 요구되고 있다.

따라서 파랑에너지 및 취득시설을 이러한 수요에 부응할 수 있도록 개발하는 것은 파랑에너지 이용시스템의 실용화를 위한 중요한 방안이다. 해양레크레이션 및 수산양식 활동을 위한 해역 정온화시설로서 파랑에너지 취득시설을 활용하는 방안이 검토될 수 있으며, 한 예로서 그림 15)의 (a)에 수산 증·양식장 지원형 파랑에너지 이용시스템을 나타내었다. 그 외에 월파형 파력발전시스템에서 양수된 해수의 낙차를 이용하여 발전을 하면서 그 해수는 양식 또는 제염 공장에 공급하는 방법, 어초기능을 겸한 파랑에너지 집중시설화 및 해저 압축공기저장시설의

어초기능화 등의 복합기능화를 생각할 수 있다. 항만 및 연안(내만)역의 오염 심화에 따른 환경 개선시스템이 요구되고 있으며, 다양한 대책 및 방안이 연구되고 있다. 그 중, 파랑에너지를 이용한 연안역의 외력환경 및 생태환경 개선시스템이 연구되고 있으며 그 개념을 그림 15)의 (b)에 도시하여 보았다. 그림의 파랑에너지 고도이용 시스템은 파랑에너지 흡수구조물, 공기방파제, 에어레이터로 구성된다. 파랑에너지 흡수구조물은 말뚝 고정식 방파제로서 그 자체가 입사파를 제어할 뿐 아니라 공기방파제 및 에어레이터를 위한 에너지를 취득하는 기능을 가진다. 공기방파제는 기포공급에 따른 연직순환류에 의한 입사파와의 상호작용으로 파랑에너지를 변형 및 감쇄시키는 기능시스템이다. 에어레이터는 배후 정온해역에 기포를 공급하여 해수교환 촉진 및 DO공급을 통하여 생태환경을 개선하고 생산성을 향상시키는 기능시스템이다. 부가적으로 압축공기 저장구조물, 산기관 및 산기통, 말뚝 기초력 증대 및 세굴방지 구조물을 어초성을 가지게 하여 연안역의 적정 생태계 제어를 통한 환경조화성을 높히도록 한다. 이를 위해 파랑에너지 흡수구조물의 안정성 및 파랑에너지 취득 기능성 극대화 기술, 공기방파제 시스템의 실현



(a) 수산 증·양식지원형 파랑에너지 이용



(b) 해역환경개선형 파랑에너지 이용

그림 15. 다목적 파랑에너지 이용시스템^[16]

및 소파성능 향상기술, 환경개선을 위한 에어레터 실현 및 성능향상 기술이 정립되어야 할 것이다. 또한, 대상 해역의 외력환경 및 생태환경에 대한 변화 관측·해석·평가기술의 정립이 뒷받침되어야 한다.

5. 결론

해양파 에너지의 고도이용과 연안자원의 효율적인 개발을 위한 기초적 연구로서 한국 연안의 파랑에너지 분포특성을 살펴보고, 기술 현황 및 활용방안에 대해 고찰하였다. 우리나라 연근해의 심해파 에너지는 동해에 평균 1.8-7.0 kW/m, 남해에 평균 1.5-5.3 kW/m, 서해에 평균 1.0-4.1 kW/m의 wave power가 부존하고 있는 것으로 나타났다. 이들은 계절적 변화가 심하여 동해 및 서해는 동절기에, 남해는 하절기에 큰 에너지가 집중되고 있는 것으로 나타났다. 따라서, 한국연안의 파랑에너지 가용량은 평균 4.7 GW에 달하는 것으로 평가된다.

이러한 파랑에너지를 활용하는 것은 화석에너지의 고갈에 따른 대체에너지 개발과 화석연료의 소모에 따른 지구온난화 예방 등을 위하여 중요한 에너지 이용기술이다. 따라서 파랑에너지 실용화를 위한 기술의 개발 및 체계화가 절실히 요구되고 있다. 여기서 파랑에너지 이용·개발에 대한 현황을 조사하여 문제점을 정리함으로써 실용화를 위한 기초를 제공하고자 하였다. 조사 결과, 항로표지용 파력발전장치(100w 급)와 같이 실용화된 경우도 있으나 대부분이 실용화되지 못한 미래대비기술로 자리하고 있는 것으로 생각되었다. 대부분의 파랑에너지 이용시스템이 실용화되기 어려웠던 원인은 파랑에너지 및 이용시스템 자체의 문제와 이용방안에 대한 미개발이었던 것으로 생각되었다. 즉, 1) 파랑에너지의 가용 규모가 작은 것에 의한 제약, 2) 입사파 에너지의 시간적 변동성, 3) 에너지

취득지와 사용지의 이격에 따른 문제 및 4) 획일적인 이용방안에 대한 경제성 평가 등으로 생각되었다.

파랑에너지의 실용화를 위한 방안으로서 상기 문제들을 해결하는 방안은 다음과 같이 정리할 수 있다. 1) 가용에너지의 제약적 규모 문제를 해결하기 위해서는 파랑에너지 집중시스템에 의한 파랑에너지의 취득량 증대 및 변환시스템의 효율성 제고를 위한 고효율 변환장치의 개발 등이 필요하다. 2) 입사파 에너지의 변동성을 해결하기 위해서는 에너지 저장기술의 개발 및 체계화가 필요하다. 3) 에너지 취득 및 사용장소의 이격문제를 해결하기 위해서는 2)의 저장기술 또는 이송기술의 개발이 필요하며 해상플랜트 등의 현장 사용방안이 강구되어야 한다. 4) 대부분의 파랑에너지 이용시스템은 파력발전용 목표로 한 것이나 에너지의 용도 또는 목적에 따라 파랑에너지의 변환단계를 줄이고 직접 사용할 수 있는 이용형태를 개발함으로써 경제성을 확보하고 실용화를 할 수 있을 것으로 생각된다. 이로 부터 낙도 및 등대용 파력발전시스템, 해양정온화구조물을 이용한 파랑에너지 취득시스템, 파랑에너지를 이용한 수산 증·양식시스템, 파랑에너지를 이용한 해양레크레이션 시스템 및 파랑에너지를 이용한 연안역 환경개선시스템 등의 파랑에너지 고도이용기술이 실현되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 김현주, 김선경, 최학선 (1997): 파랑에너지 해석 및 가용량 평가. 한국해양공학회 춘계학술발표논문집.
- [2] 홍석원 등(1994, 1995): 해양에너지 이용 파력발전 (60kW) 장치 개발(I,II). 한국전력.
- [3] 近藤倣郎(1996): 海洋エネルギー-變換システム. 第24回水工學關する夏期研修講義集,B-5.

- B.5.1 -B.5.17.
- [4] 近藤倣郎(1996): 海洋エネルギー-利用技術. 上北出版, 185p.
- [5] 川口勝之, 植木弘信 (1991): 波動ポフ式高生産海域造成システム. Proc. of 3rd Ocean wave utilization. 37-46
- [6] 土木學會 (1990): 波エネルギー利用技術の現状と將來展望. 219p.
- [7] 小松利光 (1995): 波浪エネルギー利用した水位差獲得と水質浄化のための基礎的研究. 文部省科學研究報告書. 7.
- [8] British Maritime Trchnology(1986): Global Wave Statistics. 661p.
- [9] Clive, G-P. (1979): Development of wave energy in the UK. Proc. of Wave energy utilization. 190-203.
- [10] Funakoshi, H., M. Ohno, S. Takahashi and K. Oikawa (1993): Present situation of wave energy conversion systems. J. of Civil Eng. in Japan. 108-134.
- [11] Gawaguty, K. and H. Ueki (1991): Marine zone systems of higher productivity using natural energy. Proc. of ISOPE, 356-363.
- [12] Houser, D.F. (1995): The wave of the future. Proc. of 2nd European wave power conf., 65-68.
- [13] Takahashi S. et al.(1987): Variation of wave power extraction due to incident angle and directional wave spreading. J. of Port and Harbour Res. Inst. 26(1),3-39.