

# 해양에너지 기술동향과 전력변환 기술

박 정 우

(한국전기연구원 산업전기연구단 책임연구원)

## 1. 서론

조류력, 조력, 파력, 소수력 등 해양에너지로부터 얻을 수 있는 신재생에너지는 지속 가능하고 재생 가능한 환경친화적인 청정에너지로서 화석에너지 고갈과 UN의 기후변화협약에 따른 국제적인 환경규제의 강화로 인해 향후 주요한 에너지원으로 부상할 전망이다. 특히 해양에너지에 대한 부존량을 살펴보면 조류에너지는 진도 주변의 해역에서 약 360만 kW가 되고, 조력은 650만 kW, 파력은(동해안 후포 연안) 20만 kW가 되는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 해양수산부에서는 Ocean Korea 21에서 2010년까지 조류, 조력, 파력에너지로부터 870MW의 전력을 생산하며, 2단계 (2011-2020)까지는 1,620MW를, 그리고 3단계(2021-2030)까지는 2,640MW의 전력을 생산한다는 계획으로 해양에너지 개발사업이 진행되고 있다.

이러한 국내외 정책변화에 전력전자 기술을 접목할 수 있는 기회를 높이고자 해양에너지에 대한 기술동향을 분석하고 전력품질을 개선하기 위해 적용되고 있는 전기적인 에너지변환 기술에 대해 고찰하고자 한다. 전력전자 분야에서 요구받고 있는 에너지변환 기술에 대한 이해를 돕기 위해 권선형유도발전기와 동기발전기에 대해서 선행 연구한 결과를 제시하였다.

청정하고 비교갈성인 해양에너지로부터 상업성 있는 에너지를 생산하기 위한 품질향상 연구가 지속적으로 요구되며, 발전단가를 낮추어 경제성을 높이기 위한 신기술 수요가 태동되고 있으므로 해양에너지 분야의 혁혁한 기술발전을 위해 새로운 가능성을 비춰주는 계기가 되었으면 한다.

## 2. 해양에너지 기술동향

### 2.1 조류발전

조류발전이란 유속이 빠른 곳에 수차발전기(터빈)를 설치

해 발전하는 것을 말하는 것으로, 자연적인 조류 흐름을 그대로 이용한다는 점에서 댐에 바닷물을 가둬다가 흘러보내면서 낙차를 이용해 터빈을 돌려 전기를 만드는 조력발전과 구분된다. 이러한 조류발전은 저수지를 확보하기 위한 댐을 필요로 하지 않으며, 선박 운항에 제한을 주지 않고 환경친화적이라는 장점이 있으나 수중에 건설해야하는 구조물 공사를 피하기 어려우며 유속에 의한 운동에너지를 전기에너지로 변환할 때 경제성을 갖기 위해서는 유속이 매우 빠른 지형조건을 필수로 요구하며 부존 에너지량이 풍부하기 위해서는 유량이 풍부한 지역이 필수적이기 때문에 특정 지역에 한정된다는 단점도 있다.

국내에는 울돌목을 비롯하여 장죽수도, 맹골수도 지역이 최상의 후보로 조사된 바 있으며, 울돌목에는 1963년에 벌써 타당성을 확인해 보고자 하는 시도가 있었으며, 1986년에는 해양연구소에서 울돌목 주변해역에 대한 조류발전 가능성을 조사한 기록을 가지고 있다. 그리고 2002년도에는 조류발전기를 실용화하기 위하여 울돌목에 15kW급 시험발전기를 설치하여 현재까지 운전 중에 있는데, 한국해양연구원에서 해양 구조물 설치와 터빈제작에 기여하였고, 전기적인 에너지 변환 부분에 대해서는 한국전기연구원에서 담당하였다.

조류발전 후보지로 가장 주목을 받고 있는 울돌목의 조류자료를 보면, 표층부근(해저로부터 25m 수심)에서의 평균유속은 약 5노트(2.73(m/s))이며 순간최대 유속은 약 12.5노트(5.98(m/s))이다. 그리고 20년 평균 풍속은 2.1(m/s)이며 최대풍속이 22.7(m/s)인 입지 조건을 가지고 있다. 2006년도까지 1,000kW급 조류발전기를 시범적으로 가동할 수 있도록 1,000kW 권선형유도발전기용 전력변환장치를 한국전기연구원에서 개발 중에 있으며 2,000kW까지 발전설비를 구축할 수 있도록 하는 구조물 공사가 한국해양연구원에서 진행하고 있다. 향후 2010년도까지는 100,000kW급의 상업용 조류발전소를 상용화한다는 장기적인 계획을 가지고 국외보

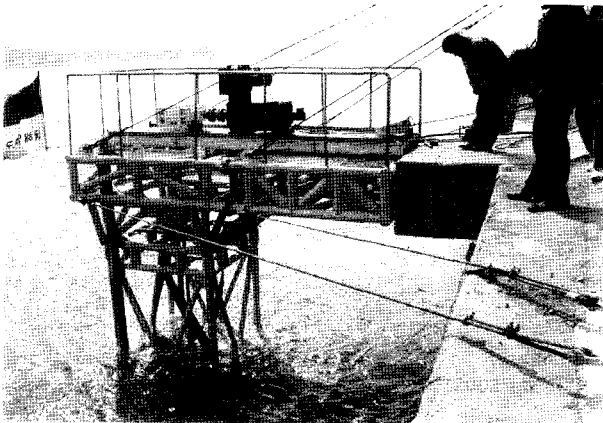


그림 1. 조류력으로 발전되는 조류발전기(15kW, 울돌목, 2002)

표 1. 조류발전소 연구사례

국 가 명	상 황	연 도
노르웨이	Kvalsundet 설치중, 300 kW/대	2002년~
미국	Maine주에 Gorlov 터빈을 적용한 시험조류발전소 가동중	2000년~
브라질	아마존강에 Gorlov 터빈을 적용한 시험 조류발전소 건설중	2000년~

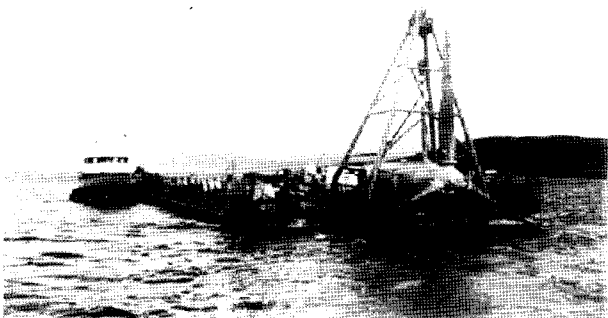


그림 2. Hammerfest Strøm AS에서 설치 중인 조류발전기

다도 국내에서 더 활발하게 연구되고 있는 분야이다.

국외에서의 동향을 살펴보면, 국외에서도 상업 발전소로 발전되고 있는 곳은 아직 없으나 미국의 알렉산더 고를로프 박사(미국 노스이스턴대학 명예교수)에 의해서 종래의 다리우스 터빈(에너지 전환효율 23%)보다 효율을 50% 개선한 나

선형 터빈(헬리컬 터빈·에너지 전환효율 35%)을 발명하면서 관련기술을 진일보시키면서 나선형 터빈을 적용한 시범 조류발전소가 가동 중인 곳이 있으며, 풍력발전기용 터빈을 사용하여 조류발전을 상용화 하고자 하는 시도가 진행 중인 사례를 표 1에 나타내었으며 그림 1에는 Hammerfest Strøm가 Kvalsundet에 설치중인 조류발전기 설치 사진을 나타내었다.

## 2.2 조력발전

조력발전이란, 조석을 동력원으로 하여 해수면의 상승하강 현상을 이용하여 전기를 생산하는 발전방식으로 일정중량의 부체(浮體)가 받는 부력을 이용하는 부체식과, 조위(潮位)의 상승하강에 따라 밀실에 공기를 압축시키는 압축공기식과, 방조제를 축조하여 해수저수지 즉, 조지(潮池)를 형성하여 발전하는 조지식(潮池式)으로 나눌 수 있다. 그러나 오늘날의 실용화된 조력발전방식은 모두 조지식으로, 조차가 큰 하구나 만에 방조제를 설치하여 조지를 만들고 외해수위와 조지내의 수위차를 이용하여 발전을 하게 된다. 조력발전방식은 일반적으로 조지의 수에 따라 단조지식(單潮池式)과 복조지식(復潮池式)으로 또는 조석의 이용횟수를 따라 단류식(單流式)과 복류식(復流式)으로 나누고 있다.

조력발전은 조수(潮水) 간만(干滿)의 수위차를 이용한 수력발전방식이므로 간만의 차가 심한 곳이 입지조건이 좋다고 할 수 있는데, 우리나라의 황해와 영국해협, 그리고 아이리시해의 연안에 분포되어 있다. 조력발전은 발전을 하는 지점이 결정되면 그 지점에 있어서 조위(潮位)의 변화를 예측할 수 있다는 점은 장점이나 얻어지는 유효낙차가 적고, 또한 조위의 변화가 연간을 통하여 균일하지 않으며, 조위가 일정한 시간대에서는 발전할 수 없다는 문제점들이 있다.

현재 캐나다, 중국, 프랑스, 구소련 등에서 조력발전소를 건설해 활용하고 있으며, 우리나라를 비롯해 조력발전이 가능한 지역을 보유하고 있는 미국, 호주, 인도 등의 국가에서도 조사 작업이 한창이며 개발 사례를 표 2에 나타내었다. 80년대 중반에 완성된 캐나다의 아나폴리스 조력발전소는 20MW급 대형발전소이며, 조수 간만의 차이가 13.5m나 되는 서프랑스 브레타뉴 지구의 랑스강 하구에서 발전되는 조류발전소는 1967년 6월에 완성한 것으로 10MW 발전기 24대를 하구에 댐에 설치하여 240MW 용량을 발전하고 있다.

우리나라의 경기만 일대도 세계적으로 드문 조력발전소의 입지조건을 갖춘 곳으로 1986년 영국의 공식조사 결과에 따르면 가로림만에 조력발전소를 지을 경우 시설용량이 40MW까지 가능한 것으로 판명되기도 했다.

또한, 수자원공사에서 시화호에 대한 조력발전소 타당성을 분석한 바에 따르면 시화해역은 조석간만차가 커서(평균대조차 : 약 7.9m) 조력발전에 유리하며, 종전에 완공한 시화방

표 2. 조력발전소 사례

국가명	발전 용량	상 황	연도
프랑스	24만 kW	랑스 조력발전소 운영중	1966~
캐나다	2만 kW	Annapolis 시험 조력발전소 가동중	1984~
러시아	1500만 kW	백해연안에 조력발전소 건설추진	1985~
영국	860만 kW	Severn만 조력발전소 기본설계완료	1989
인도	90만 kW	Kachchh만에 조력발전소 기본설계완료	2000
중국	52만 kW	낙청만에 조력발전소 건설계획 추진 중	2000

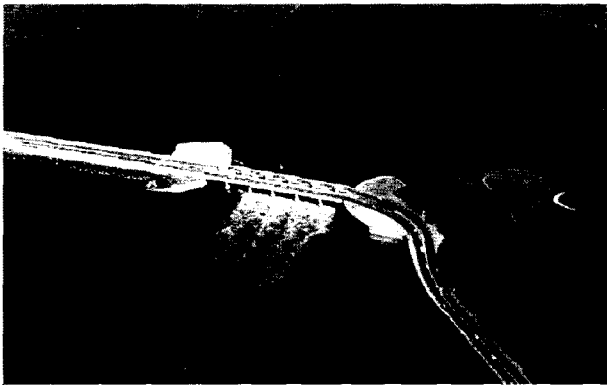


그림 3. 프랑스 랑스 조력발전소

표 3. 해양에너지 개발 계획 (단위 : MW)

구분	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12
시화호	-	-	-	240	240	240	240
가로림만	-	-	-	-	-	480	480
울돌목	1	1	1	1	91	91	91
합계	1	1	1	241	331	811	811

조제를 이용함으로써 조력발전소 총건설비중 토목공사비 비율 약 40%를 차지하는 방조제 건설비용을 절감할 수 있고, 시화 배수갑문 쪽 수심이 10~12km로 깊어 항만수로 준설비용이 거의 들지 않으며, 시화호의 총수면적 56 km<sup>2</sup> 중 인공습지 및 담수호 면적을 뺀 32km<sup>2</sup>의 해수호를 조력발전소에 활용할 수 있는 입지 조건으로 말미암아 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 이에 따라 경기도 안산시 대부동 시화방조제 작은가리섬에 평균낙차 5.64 m의 조력을 이용한 단류식 발전시설 12기(기당 2만1,000kW)를 설치하여 총 발전용량 25만

2,000kW급을 건설하는 시화호 조력발전소 건설사업이 2003년 5월 20일에 입찰공고가 발표되었고 금년 12월 중에는 실시설계 적격자가 선정되도록 일정이 추진되고 있다. 실시설계 적격자가 선정되면 2004년부터 실시설계와 공사를 병행하게 되며 2009년경에 공사가 완료될 계획으로 추진되고 있다. 그리고 48만kW의 가로림만 조력발전소가 추진되면 관련 기술개발에 많은 수요가 발생할 것으로 예상된다. 해양에너지 개발을 위해 해양수산부에서 계획하고 있는 장기일정을 표 3에 나타내었다.

### 2.3 파력발전

파력발전은 바람 등 기상현상에 의해 지속적으로 공급되는 파도(파랑에너지)를 이용하여 해상 또는 해안절벽에 구조물을 설치하여 전기를 생산하는 방식이다. 설치방식에 따라 크게 부체식과 고정식으로 구분되는데 입력에너지의 크기나 운동효율, 시설주변의 환경 면에서는 부체식이 유리하고, 방파제와 같은 연안구조물과의 겸용이 용이하고 추출된 에너지의 수송 측면에서는 고정식이 유리한 특징이 있다.

파력발전장치에 대한 연구는 주로 영국, 노르웨이, 스웨덴 같은 북유럽과 일본에서 행해져 왔으며, 영국의 경우 부체식의 공기터빈방식에 대한 연구가 많고 일본에서는 고정식 파력발전장치가 주로 연구되고 있으며, 에너지변환방법은 기계적 또는 수력터빈 방식이 대부분이다.

현재 개발 중인 파랑에너지 변환장치 중 비교적 높은 효율을 보여주는 장치로는 Nodding Duck, Contouring Raft, Oscillating Water Column(진동수주), 카이메이의 파력발전선 시스템을 들 수 있다.

Nodding Duck은 한쪽 끝이 뾰족한 비대칭형 캠들이 긴 원주에 부착된 형태로 파의 진동에 따라 캠이 상하로 부분 회전운동을 하여 캠 내부에 설치된 압력펌프를 움직여서 터빈을 회전시키는 시스템이다. 개발 초기에는 원주와 캠의 상대운동으로부터 에너지를 흡수하는 형태였으나 이후 캠 내에 자이로스코프를 설치, 에너지를 발생시키는 형태로 발전되었다.

Contouring Raft는 강체의 부체를 힌지로 연결, 파의 진동을 부체가 흡수하여 힌지를 움직이고 힌지펌프로 해수를 끌어 올림으로써 터빈을 회전시키는 방식이다. 당초에는 Pontoon 3개에 두 개의 힌지형으로 고안되었으나 그 후 두 개의 Pontoon에 한 개의 힌지로도 높은 흡수효율이 얻어짐이 밝혀졌다.

진동수주시스템은 측면에 개구부를 가지는 공기실에 해수를 끌어들이어 공기실내 물기둥의 진동으로 공기터빈을 회전시키는 방식이다.

일본 카이메이의 파력발전시스템도 그 원리는 진동수주시스템과 동일하나 다만 개구부가 바닥에 있다. 일본해양과학

기술센터(JAMSTEC)의 Mighty Whale은 부유식 방파제 형태로 구조물 전면의 파랑에너지를 흡수하여 발전을 함으로써 동시에 배후 해역에서는 정온 효과를 얻는 다목적 파력발전 장치로서 발전에는 진동수주시스템 원리를 이용하였다.

파랑에너지를 효과적으로 이용하기 위해서는 에너지변환효율의 향상문제 이외에도 파랑의 불규칙성에 따른 불규칙적인 출력을 평활화와 연속화해야 하는 문제가 있다. 파랑은 시시각각으로 다른 파고, 다른 주기로 몰려오기 때문에 이로부터 얻어지는 에너지도 시간에 따라 변동이 있게 되며 따라서 이를 원동기와 송전체계로 직접 연결할 수는 없는 것이다.

출력의 평활화와 연속화를 얻기 위한 방법으로는 연안에서 파랑수렴장치를 이용하여 고낙차 발전을 하는 방법, 또는 다량의 파력 발전장치를 파랑의 진행방향으로 나열시켜 파의 위상차를 이용함으로써 회수에너지의 평활화를 꾀하는 방법, 또는 대형의 회전속도 조절바퀴(flywheel)를 이용하여 기계의 회전수가 상승할 때 그 상승률을 작게 유지함으로써 에너

지출력의 평활화를 얻는 방법, 또는 파랑에너지로써 유체압을 만들어 이를 탱크에 저장, 평활한 압력조건하에서 원동기를 구동하는 방법, 또는 파랑에너지를 공기, 물 등의 압력유체로 전환하여 이를 저장탱크에 축적, 압력을 평활화하면서 원동기를 구동하는 방법 같은 여러 가지가 연구되고 있다.

파력발전에 대해서는 영국이 가장 앞서있으며, 그 중에서 영국의 Wavegen사는 웰즈터빈을 활용한 75kW급 실험을 기초로 하여 500kW급 연안고정식 파력발전장치(LIMPET500)를 개발하여 실험실 실험을 수행한 바 있으며, 상용화 모델로서 2MW급(OSPREY2000) 파력발전장치 및 파력과 풍력을 조합한 3.5MW(WSOP3500) 발전장치를 제안하고 있다. 이에 대한 사진을 그림4와 그림5에 나타내었다. 또한 2MW급 부유식 파력발전장치(HYDRA)도 연구 중에 있는 것으로 알려지고 있다.

우리나라는 제주지역이 최적지인데 잠재 파력자원은 198만KW로 평가되고 있다. 파력 발전을 실용화하기 위해 해양연구원에서는 65kW급 원주형 부유식 파력발전장치 개발한 개발 사례가 있으며, 해양수산부에서도 150W급 부이용 파력발전기 및 500kW급 상용화 파력발전기 시제품 개발하고 해상 풍력의 복합이용기술을 개발하기 위하여 2010년까지 총 123억원의 연구개발비를 투입할 계획이기 때문에 이 분야에 대한 전력전자 기술이 많이 필요한 상황으로 판단된다.

### 3. 신재생에너지 개발을 위한 전기적 에너지변환기술

에너지원의 종류에는 조류력, 조력, 파력, 해상풍력 등 서로 다른 특성을 가지고 있지만 전기적인 품질 측면에서 본다면 한결같이 일정하지 않은 입력 조건으로 말미암아 불균일한 에너지 형태로 획득된다는 점에서 공통점이 있다. 이러한 저품질 에너지를 계통에서 요구하는 정전압·정주파수 특성을 갖는 고품질 에너지로 변환하고 전송해 주기 위한 전력변환 기술이 필요하다.

전력변환기술 이외에도 터빈과 증속기어의 유무에 따른 시스템 구조에 대한 것도 큰 영역으로 분류될 수 있다.

터빈에 대한 부문은 조류발전, 조력발전, 그리고 파력발전 에 따라 현재는 서로 다른 형태를 가지며 과도기적인 기술단계에 있지만 고효율 특성을 갖는 방향으로 지속적인 연구가 진행될 것으로 판단된다. 또한 증속기어가 있는 유도발전기를 적용하는 발전 시스템은 전기적인 에너지 효율은 다소 떨어지는 단점이 있으나 발전기에 직접적인 충격을 받지 않도록 하는 장점이 있으며 입지 조건에 따라 변동되는 터빈의 정격속도 변동에 대해서도 발전기는 동일하게 사용할 수 있는 장점이 있다. 그리고 증속기어가 없이 터빈과 발전기가 직결 구동되도록 설계하게 되면 에너지 전달 효율을 5% 이상 높일



그림 4. Wavegen의 2MW 파력발전소 (Prototype, 진동수주)

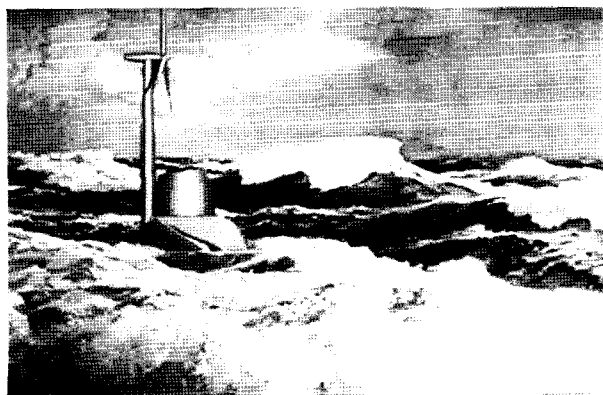


그림 5. Wavegen의 3.5MW 파력발전소(Prototype, 파력발전:2MW, 풍력발전:1.5MW)

수 있으나 적용 범위가 좁아지는 단점도 있다. 이와 같이 터빈과 시스템 구조에 대한 것도 매우 중요하지만 전력전자 영역에서 중요하게 다루는 것은 적합하지 않다고 판단된다.

전력전자 부문에서 다룰 수 있는 전기적인 에너지 변환 부

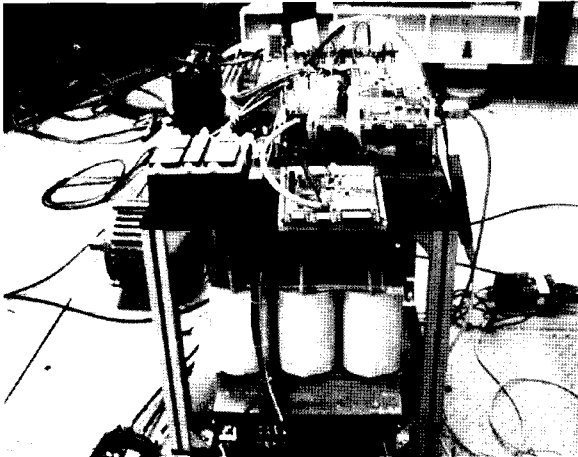


그림 6. 조류발전용 권선형유도발전기 제어를 위한 10kW 전력변환 장치 시제품

문이 신재생에너지 분야에서 기여할 수 있는 공통된 기술로 판단된다. 대표적인 기술로는 동기발전기와 유도발전기(권선형유도발전기)에 대한 유효전력제어, 무효전력제어, 역률제어, 최대에너지 회수를 위한 지령치 선정기법, 전력변환장치

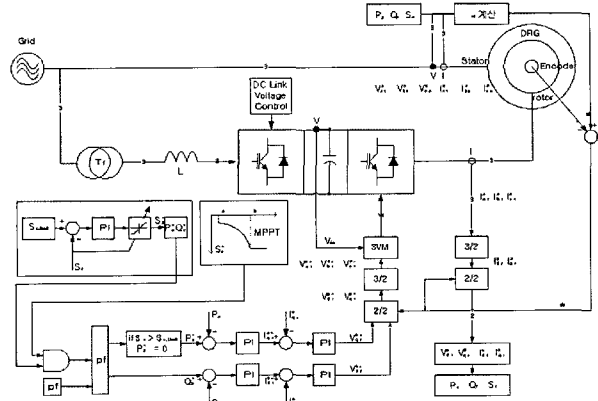
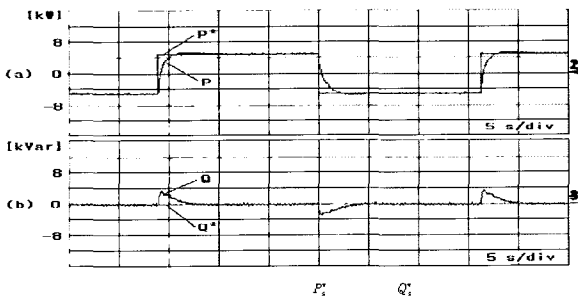
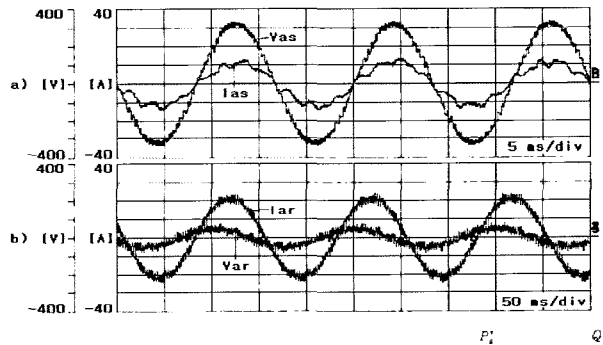


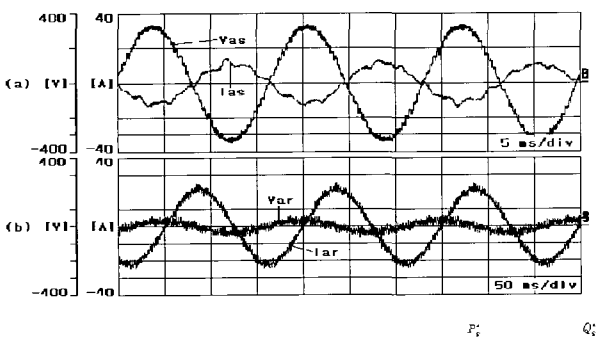
그림 7. 피상전력을 고려한 DFIG의 유효전력·무효전력 전력제어기



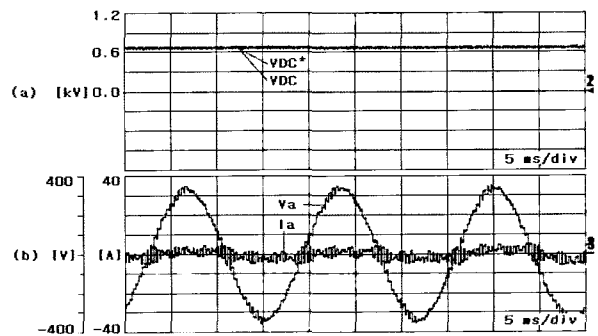
㉓ stator power control char. ( $P_s^* = \pm 5(kW)$ ,  $Q_s^* = 0(kVar)$ )



㉔ phase voltage and current char. of the stator and rotor at the  $P_s^* = 5(kW)$  and  $Q_s^* = 0(kVar)$



㉕ phase voltage and current char. of the stator and rotor at the  $P_s^* = -5(kW)$  and  $Q_s^* = 0(kVar)$



㉖ Converter side phase voltage and current at the  $P_s^* = 5(kW)$ ,  $Q_s^* = 0(kVar)$ , and  $VDC^* = 650(V)$

그림 8. 슬립속도 영역 내에서 제어되는 DFIG의 유효전력·무효전력 전력제어 특성

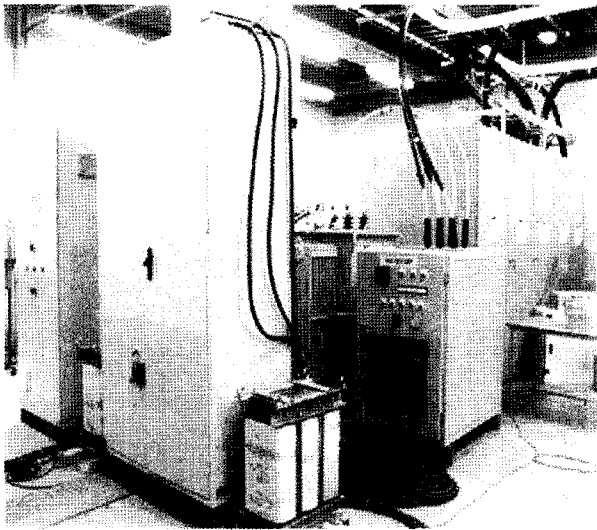


그림 9. 풍력발전용 동기발전기 제어를 위한 750kW 전력변환장치 시제품 (전력변환장치, 승압변압기, 계통연계 보호장치, 모니터링장치)

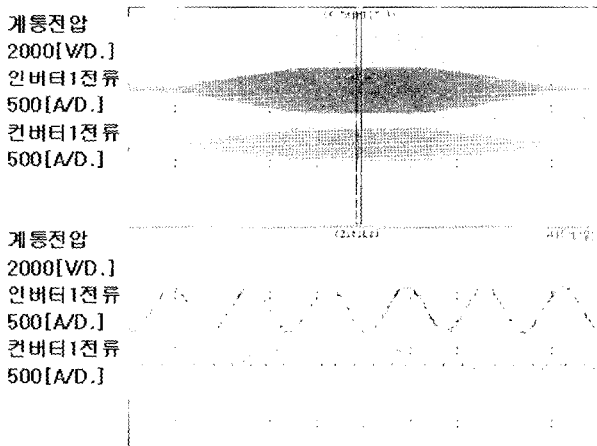


그림 10. 발전기 속도에 따른 AC/DC/AC 변환장치의 입·출력 전압 및 전류파형

용량을 고려한 제어기법, 에너지 회수 영역 확대기법 등으로 분류할 수 있다. 그 외에 육지에서 30km 이상 멀리 떨어져서 발전하게 되는 경우에 고려해 볼 수 있는 직류송전 방식을 전제로 한 전력변환장치의 토폴로지 및 제어기법에 대한 것이 있으며, 계통에 대해 무시할 수 없을 만큼 큰 에너지를 주입하는 경우에 발생할 수 있는 계통의 불안정성을 회피하도록 신재생 에너지를 관리하는 farm-제어 기술, 그리고 발전기 진단기법과 고장허용제어(fault tolerant control) 부문에 대한 연구가 필요한 시점이다.

해양에너지를 개발하기 위해 적용되는 발전시스템과 풍력 발전기를 개발하기 위한 발전시스템의 종류가 많지만 전력전

자 측면에서는 권선형유도발전기가 적용된 시스템과 동기발전기가 적용된 시스템으로 구분하는 것이 가능하다. 따라서 전력전자 분야에서 요구되는 기술을 예시하기 위해 권선형유도발전기(Doubly-fed Induction Generator : DFIG)와 동기발전기에 대해서 연구되었던 시제품과 실험파형을 제시하였다.

DFIG에 대한 유효전력제어와 무효전력제어, 전력변환장치 용량을 고려한 제어기법, 에너지 회수 영역 확대기법, 그리고 역률제어 특성을 갖는 전력변환장치 시제품을 그림 6에 제시하였다. 또한 제어기 구조와 DFIG의 고정자의 유효전력제어 및 무효전력제어, 그리고 역률제어 대한 특성을 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 그림 7의 제어기는 DFIG의 회전자측 피상전력을 고려하여 전력변환장치의 용량에 맞도록 발전기의 운전시점과 운전 영역을 결정하여 사용할 수 있는 장점이 있으며 역률 조정으로 운전영역을 확대할 수 있는 장점을 갖는 제어기이다.

그리고 동기발전기용 750kW 전력변환장치 시제품을 그림 9에 나타내었으며, 축 속도를 순차적으로 증가 - 유지 - 감소 모드로 운전하는 경우, 3상 AC/DC/AC 전력변환장치의 직류 링크단과 계통 사이에서의 역률 1 제어 특성(발전기와 직류링크 전압 사이에서의 역률 역시 1로 제어 됨), 발전기 축에 걸린 에너지를 회수하여 계통으로 주입하는 제어가 원활히 제어 되는 특성을 그림 10에 나타내었다.

#### 4. 맺음말

해양에 부존되어 있는 조류력, 조력, 그리고 파력발전에 대한 기술동향을 분석함으로써 신재생에너지 속에서 해양에너지가 발전될 방향을 전망해 볼 수 있도록 하였다. 그리고 전력전자 분야에서 기여할 수 있는 전력품질 개선과 안정도 향상을 위한 소요 기술을 정리한 후 연구사례를 들어 제어특성을 예시하였다.

신재생에너지에 대해 목표로 설정되어 있는 2006년까지의 3%, 2011년까지의 5%를 도달하기 위해서는 해양에너지 개발 분야에서도 많은 R&D 수요가 창출될 것으로 판단되는 계기가 되었으면 한다.

#### 참고문헌

- (1) 에너지자원기술개발사업 기술연구회 (해양에너지기술연구회)보고서, 2003.
- (2) 울돌목 조류발전용 구조물 기본설계 경과보고서, (주)한아엔지니어링, 2003.
- (3) 해양에너지실용화 기술개발 보고서, 한국해양연구원, 2003.

- [4] 750kW급 풍력발전시스템의 제어 및 계통연계장치개발 보고서, 한국전기연구원, 2003.
- [5] 조류발전용 500kW급 전력변환장치개발 보고서, 한국전기연구원, 2003.
- [6] [http://www.kordi.re.kr/chongseo/vol6/6\\_3\\_2\\_3.asp](http://www.kordi.re.kr/chongseo/vol6/6_3_2_3.asp)
- [7] <http://www.momaf.go.kr/news/focus/031118/>
- [8] S. Muller, M. Deicke & Rik W. De Doncker, Doubly-Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines, IEEE, 2002.
- [9] P. Pena, J. C. Clare, G. M. Asher, Doubly Fed Induction Generator using Back-to-Back PWM Converters and its application to Variable Speed Wind-Energy Generation. IEE. Proc-Electr. Power Appl. Vol. 143, No. 3, May, 1996.
- [10] S. Muller, M. Deicke, Rik W. De Doncker, Adjustable Speed Generators for Wind Turbines based-on Doubly-Fed Induction Machines and 4-Quadrant IGBT Converters Linked to the Rotor, IEEE, 2000.
- [11] A. Tapia, G. Tapia, J. X. Ostolaza, Reactive Power Control of a Wind Farm made up with Doubly Fed Induction Generators(I), IEEE, 2001.

### 〈저 자 소 개〉



#### 박정우(朴正雨)

1963년 2월 5일생. 1986년 충남대학교 공대 전자공학과졸업(학사). 1988년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2000년 경북대학교 전기공학과 졸업(박사). 1988년~현재 한국전기연구원 책임연구원, 분산전원용 전력변환기술팀장.