



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

신재생 하이브리드 발전시스템의  
범용 제어시스템 설계에 관한 연구



濟州大學校 大學院

메카트로닉스공학과

金 柄 奇

2010年 12月

# 신재생 하이브리드 발전시스템의 범용 제어시스템 설계에 관한 연구

指導教授 林 鍾 桓

金 柄 奇

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2010年 12月

金柄奇의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審 查 委 員 長 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

濟州大學校 大學院

2010年 12月

A Study on the Design of a General Purpose  
Control System for a New and Renewable  
Hybrid Generation System

Byung-Gee Kim  
(Supervised by professor Jong-Hwan Lim)

A thesis submitted in partial fulfillment of the  
requirement for the degree of Master of Engineering

Department of Mechatronics Engineering

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2010年 12 月

# 목 차

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| List of Figures .....                | iii |
| List of Tables .....                 | v   |
| SUMMARY .....                        | vi  |
| I. 서론 .....                          | 1   |
| II. 신재생에너지 발전시스템 제어 .....            | 5   |
| 1. 풍력발전시스템 .....                     | 5   |
| 1.1 풍력발전시스템 종류 .....                 | 5   |
| 1.2 요제어 .....                        | 7   |
| 1.3 출력제어 .....                       | 8   |
| 1.4 운전제어 .....                       | 9   |
| 2. 태양광발전시스템 .....                    | 10  |
| 2.1 태양광발전시스템 종류 .....                | 10  |
| 2.1.1 어레이 설치형태에 따른 분류 .....          | 10  |
| 2.1.2 태양전지판의 집광 유무에 따른 분류 .....      | 11  |
| 2.1.3 부하의 종류와 계통선 연계 유무에 따른 분류 ..... | 12  |
| 2.2 태양광발전시스템 제어 .....                | 13  |
| 2.2.1 광센서를 이용한 방법 .....              | 13  |
| 2.2.2 센서와 프로그램을 병행한 방법 .....         | 14  |
| 2.2.3 프로그램을 이용한 태양 위치 추적 방법 .....    | 14  |
| 3. 조류발전시스템 .....                     | 15  |
| 3.1 프로펠러 수차방식 .....                  | 15  |
| 3.2 사보니어스 수차방식(반동형 수차) .....         | 15  |
| 3.3 다리우스형 수차방식 .....                 | 15  |
| 3.4 Cross-flow 수차방식 .....            | 15  |
| 3.5 Voith-Schneider 프로펠러 수차방식 .....  | 16  |
| 3.6 Helical 수차방식 .....               | 16  |
| 4. 증·방전 제어 .....                     | 16  |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| III. 하이브리드 발전장치 제어시스템 설계 ..... | 17 |
| 1. 범용 제어기 설계 .....             | 17 |
| 1.1 설계 내용 및 방법 .....           | 17 |
| 1.1.1 입력부 .....                | 18 |
| 1.1.2 충전부 .....                | 19 |
| 1.1.3 발전제어부 .....              | 21 |
| 1.1.4 부하제어부 .....              | 22 |
| 1.1.5 모니터링부 .....              | 23 |
| 2. 제어기 설계 결과 .....             | 25 |
| 2.1 컨트롤러 외형 .....              | 25 |
| IV. 실험 및 고찰 .....              | 30 |
| 1. 실험장치 구성 및 실험방법 .....        | 30 |
| 1.1 실험장치 구성 .....              | 30 |
| 1.1.1 풍력발전시스템 .....            | 30 |
| 1.1.2 태양광발전시스템 .....           | 32 |
| 1.1.3 조류발전시스템 .....            | 33 |
| 1.1.4 하이브리드 발전시스템 설계 .....     | 34 |
| 1.2 실험방법 .....                 | 35 |
| 2. 제어기 성능실험 결과 .....           | 36 |
| 2.1 풍력발전 .....                 | 36 |
| 2.2 태양광발전 .....                | 37 |
| 2.3 조류발전 .....                 | 39 |
| 2.4 풍력-태양광 발전 .....            | 40 |
| 2.5 풍력-태양광-조류 발전 .....         | 43 |
| V. 결론 .....                    | 45 |
| 참고문헌 .....                     | 46 |

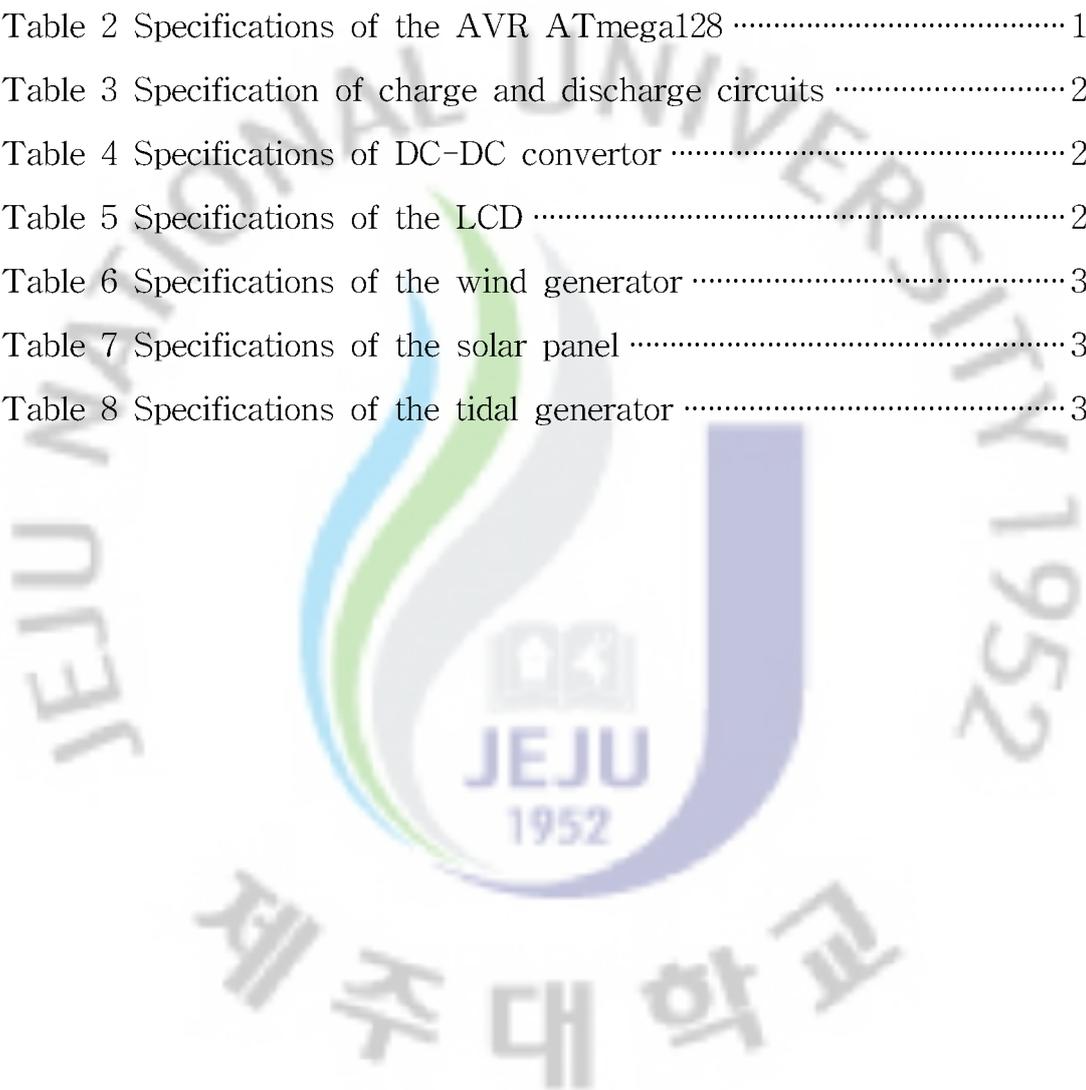
## List of Figures

|  |    |
|--|----|
| Fig. 1 Vertical wind generators .....                      | 5  |
| Fig. 2 A horizontal axis wind generator .....              | 6  |
| Fig. 3 Yaw control system of fan tail type .....           | 7  |
| Fig. 4 Wind turbine system of pitch control type .....     | 8  |
| Fig. 5 Stand-alone PV system .....                         | 12 |
| Fig. 6 Optical sensors for tracking .....                  | 13 |
| Fig. 7 Diagram of controller .....                         | 17 |
| Fig. 8 Controller main screen .....                        | 19 |
| Fig. 9 Diagram of reverse voltage protection circuit ..... | 20 |
| Fig. 10 Screen for selection of generators .....           | 22 |
| Fig. 11 Screen for load control .....                      | 23 |
| Fig. 12 Diagram of sensor input .....                      | 24 |
| Fig. 13 Monitoring of the energy resources .....           | 25 |
| Fig. 14 Monitoring of the power outputs .....              | 25 |
| Fig. 15 Controller drawing .....                           | 27 |
| Fig. 16 Photo of the controller .....                      | 27 |
| Fig. 17 Input terminal for generators .....                | 28 |
| Fig. 18 Output terminal .....                              | 28 |
| Fig. 19 Input terminal for sensors .....                   | 28 |
| Fig. 20 Inside view of the controller .....                | 29 |
| Fig. 21 ARM BOARD .....                                    | 29 |
| Fig. 22 Small wind generator .....                         | 30 |
| Fig. 23 Size of the wind generator .....                   | 31 |
| Fig. 24 Power curve of the wind generator .....            | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Fig. 25 Simulator for wind generation .....                           | 32 |
| Fig. 26 Power efficiency graph of PV .....                            | 33 |
| Fig. 27 3-D configurations of the hybrid generation system .....      | 34 |
| Fig. 28 View of the hybrid generation system .....                    | 34 |
| Fig. 29 Load selection .....  | 35 |
| Fig. 30 Choice of the wind generator .....                            | 36 |
| Fig. 31. Status of wind resources .....                               | 36 |
| Fig. 32 Wind power generation status .....                            | 37 |
| Fig. 33 Choice of the PV .....  | 37 |
| Fig. 34 Status of the PV insolation resource .....                    | 38 |
| Fig. 35 Staus of the PV generation .....                              | 38 |
| Fig. 36 Choice of the tidal generator .....                           | 39 |
| Fig. 37 Monitoring of current data .....                              | 39 |
| Fig. 38. Monitoring of the output power for tidal generator .....     | 40 |
| Fig. 39 Choice of the wind generator and PV .....                     | 40 |
| Fig. 40. Status of the wind and solar resources .....                 | 41 |
| Fig. 41 Monitoring of power output for wind and PV generators .....   | 41 |
| Fig. 42 The wind power cut-out function .....                         | 42 |
| Fig. 43 Stop status of wind power generation .....                    | 42 |
| Fig. 44 Choice of the hybrid generation of Wind and PV and Tide ..... | 43 |
| Fig. 45 Monitoring of wind, PV, tidal resources .....                 | 43 |
| Fig. 46 Monitoring of power output for wind-PV-tidal system .....     | 44 |

## LIST OF TABLES

|  |    |
|--|----|
| Table 1 Classification of wind turbine system .....          | 7  |
| Table 2 Specifications of the AVR ATmega128 .....            | 18 |
| Table 3 Specification of charge and discharge circuits ..... | 20 |
| Table 4 Specifications of DC-DC convertor .....              | 21 |
| Table 5 Specifications of the LCD .....                      | 24 |
| Table 6 Specifications of the wind generator .....           | 30 |
| Table 7 Specifications of the solar panel .....              | 32 |
| Table 8 Specifications of the tidal generator .....          | 33 |



## SUMMARY

Hybrid generation system is the integration of two or more different types of generation systems. Recently hybrid generation system of new and renewable energy is popular because it is much more effective than the individual generation system that uses a single renewable energy source. Furthermore, it is more useful to protect the environmental pollution than any other generation system that uses fossil fuels.

Solar energy has no air pollution and noise, and the energy resources are unlimited. Wind energy can be obtained wherever the wind blows, and maintenance cost is less than that of the other renewable energy. Tidal energy, which usually has high energy density than the other renewable energy, is less influenced by the weather condition.

Hybrid generation technology for stand-alone power generation is still at its initial stages as an energy source because a lot of work is required in the selection of optimum sizing of each energy resource and the control and monitoring of the system. The control and monitoring system should be designed differently according to the kinds of energy resources that constitute the hybrid power generation system. This prevents us from wide spread of various hybrid power generation system.

The purpose of this study is to develop a general purpose controller and monitoring system for various combination of hybrid generation system. The control and monitoring system that can be applied for any combination of wind, PV and tidal energy resources was developed, and the field tests were performed for wind-PV-tide hybrid power generation system. The results have shown that the developed control system can be usefully applied, and hence will contribute to developing various kinds of renewable hybrid generation systems.

## I. 서론

진 세계적으로는 석유자원의 고갈 및 고유가, 기후변화협약 발효에 따른 국제적인 새로운 환경 및 무역질서의 도래, 그리고 중국, 인도 등 거대 개도국의 에너지 수요 폭발 등이 가져올 엄청난 도전에 부딪히고 있다. 우리나라의 경우 현재 막대한 에너지 수입에 따른 무역 수지 악화의 해소와 함께 향후 지속적인 개발에 필요한 에너지원의 확보가 이미 오래전부터 국가적인 문제로 대두되어 있는 실정이다. 또한 기후변화협약 및 교토의정서 등 세계적으로 추진되고 있는 환경규제와 관련한 규약은 제품생산에 있어서 온실가스 배출량을 최소화 하도록 유도하고 있어 에너지 다소비국인 우리나라로서는 국가경쟁력 향상을 위해 환경 친화적인 새로운 에너지원의 독자적 개발이 절실히 요구 되고 있다[1].

이와 같은 심각한 에너지 고갈 문제를 해결하기 위해 태양, 지열, 풍력, 바이오매스 등 다양한 대체에너지에 관한 연구가 수행되고 있다[2]. 이러한 에너지는 지구의 온난화 해소 및 환경 보전에 공헌하고 있으므로 그 중요성이 인식되고 있다 [3,4].

태양광 발전은 화석연료를 사용하는 다른 발전방식과는 다르게 환경 친화적으로 대기오염이나 소음의 발생이 없고, 에너지원이 무한하여 고갈의 염려가 없다는 것이 가장 큰 장점이다. 기술적으로 규모(면적)에 의해 발전량은 변하지만 발전효율은 규모에 관계없이 일정하기 때문에 소규모에서 대규모 부하까지 대응할 수 있고, 특히 발전시간이 침투부하가 걸리는 시간(낮)과 일치하므로 하절기 침투부하를 줄여주는 부가효과가 있다. 또한 태양광이 닿는 곳이면 전기를 필요로 하는 어느 장소에서도 발전할 수가 있고, 소형으로 만들어 휴대할 수도 있으며, 연료의 공급 없이 20년 이상 사용 가능할 뿐만 아니라 운전, 유지관리 및 보수비용의 현저한 감소로 인해 대체 에너지원으로 활발한 연구가 진행되고 있다[1,5].

풍력발전도 마찬가지로 친환경적 에너지원인 바람을 이용하여 발전하며 바람을 이용하기 때문에 바람이 부는 곳은 어디든 사용할 수 있고 다른 에너지에 반해 설치 후 유지비가 거의 필요 없다는 장점이 있다. 지형적으로 해안과 산악지대 등으로 구성된 우리나라의 여건으로는 풍력을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

풍력발전기는 소형과 중대형으로 나누는데 중대형은 피치제어, 전력제어, 요 제어 등 다양한 운전제어와 각종 안전장치가 필요한 시스템이다[6]. 반면에 소형풍력 발전장치는 일반적으로 수동형 요제어를 택하고 있으며 전력제어나 회전수 제어를 수행하지 아니하므로 특별한 제어가 불필요하다.

태양광 발전은 무한정 무공해의 태양 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술이다. 태양광 발전의 효율성을 극대화하기 위하여 태양의 위치를 파악 후 태양 전지를 이동시켜 최적의 발전 위치를 유지시켜 주는 태양위치추적시스템의 강조되고 있다[7]. 태양광발전시스템의 발전량을 증가시키기 위해서는 최대한으로 많은 일사량이 태양전지 표면에 조사되도록 해야 하고, 그러기 위해서는 태양전지 표면이 태양과 항상 수직을 유지하도록 태양광 어레이를 설치하여야 한다. 태양전지를 태양과 수직방향으로 항상 유지하기 위한 태양 추적 방법으로는 광센서를 이용하는 방법과 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램을 이용한 방법, 센서와 프로그램을 병행하는 방법 등이 있다[8].

조류발전은 조류의 흐름이 빠른 곳을 선정하여 그 지점에 수차 발전기를 설치하고, 자연적인 조류의 흐름을 이용하여 설치된 수차발전기를 가동시켜 발전하는 방식이다[9]. 빠른 조류를 이용해 발전하는 방식으로써 강한 유속이 발생하는 지역일수록 유리하다. 발전량은 유속의 3제곱에 비례하므로, 유속을 조금 증폭하더라도 발전량에 큰 영향을 미친다[10].

환경오염과 에너지 자원의 유한성을 극복하기 위하여 개발되고 있는 태양광발전과 풍력발전은 기상조건에 민감한 단점을 가지고 있다[11]. 풍력은 풍속에 따른 변화가 심하고 태양광은 일사량에 따른 발전량의 변화가 심해서, 각각 발전효율이 떨어지는 문제점이 있다. 그래서 풍력과 태양광 하이브리드 발전 시스템의 경우에는 각 단점을 보완하는 시스템을 고려해야 한다. 특히 풍력과 태양광발전은 시간대 및 계절에 따라 발전량에 있어서 상호보완적인 관계가 있어 전체적인 발전량이 평준화되기 때문에 전력저장 설비의 축소화가 기대되어지고, 하이브리드 발전 시스템의 저가화와 다른 설비의 의존도를 줄이는데 기여할 수 있다[4].

신재생 에너지 자원 중 조류 에너지는 친환경적인 에너지로, 그 에너지 변동이 일정하며 다른 형태의 에너지로의 전환이 쉬운 장점을 가지고 있어 미래의 에너지 자원으로써 태양광·풍력과 함께 많은 주목을 받고 있다[12]. 또한, 날씨변화에 따라서 발전량이 민감하게 변화하는 태양 및 풍력에너지에 비해 영향이 거의 없이 발

전이 가능하고 kWh 당 전력생산 비용이 타 발전시스템에 비해 낮으며 풍력에너지에 비해 에너지 밀도가 높아 출력전력이 높다[13].

태양광 발전이나 풍력발전은 무한정하며, 청정발전이라는 장점을 갖고 있는 반면에 일사량, 풍속 등의 기상조건의 변동에 따라 출력이 불안정하다는 단점이 있다. 배터리 등의 에너지 저장 설비가 한 독립형 시스템에 있어서는 저장설비의 용량을 거대화해야하는 시스템 고가화의 원인이 되고 있는데 배터리 충방전 제어기를 가지는 독립형 태양광·풍력 하이브리드 발전시스템은 기상조건의 상호 보완성 때문에 풍력 또는 태양광을 단독으로 이용하는 것에 비해서 배터리 수요를 줄일 수 있으며 자연에너지의 활용도를 높이는 장점이 있다[14].

그러나 이와 같은 신재생 에너지는 그 에너지 밀도가 비교적 낮을 뿐만 아니라 기상조건에 크게 좌우되기 때문에 하나의 신재생 에너지만으로는 신뢰성 있는 전력 공급이 사실상 어렵다. 이를 극복하기 위해 디젤발전장치와 신재생 발전장치를 병행하여 발전하거나 서로 다른 신재생 에너지를 복합적으로 발전하는 하이브리드 발전 시스템이 제안되었다.

1980년경부터 하이브리드 풍력발전시스템에 관한 연구가 많이 진행되고 있는데, 그 중에서도 태양광·풍력은 가장 실용화에 근접하고 있는 대체에너지원이다. 하이브리드 발전시스템은 전력공급이 어렵고 경제적이지 못한 고립된 지역이나 외진 지역의 전력공급원으로 사용하는데 해결책이 된다. 이러한 시스템에는 태양광, 풍력, 소수력과 기존의 발전기를 혼합하여 사용한다.[15]

하이브리드 발전시스템의 중요 요소 기술은 각 발전시스템별 발전장치, 에너지 자원의 현황에 따른 발전형태 조합 선정, 선정된 각 단위시스템의 최적 발전용량설계, 축전시스템 종류 및 용량설계, 단위 시스템 특성에 따른 운전 및 전력제어 및 통합시스템의 운전 및 전력제어를 위한 중앙제어시스템 설계기술, 그리고 각종 운전 및 출력상태 등을 감시하는 원격모니터링 기술 등을 들 수 있다. 이 중에서 발전장치에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있으며, 그 결과 또한 상당한 수준에 이르렀으나, 나머지 기술은 아직까지 체계화되지 못하여 발전용량이나 축전용량이 경험적이나 직관적으로 설계되고 있어 최적의 효율을 달성하지 못하고 있다.

하이브리드 발전시스템의 장점은 전술한 바와 같이 에너지 밀도가 낮은 다양한 신재생에너지의 각 단점을 서로 보완해 줌으로써 에너지공급의 신뢰성을 높일 수 있다는 점이다. 기존 한전 전력망이 이용 가능한 경우에는 풍력이나 태양광 발전시

시스템을 계통선과 연계하여 발전함으로써 기상 의존성 및 낮은 에너지 밀도 등의 단점을 보완할 수 있다. 따라서 하이브리드 시스템은 주로 독립전원용으로 유용하다고 할 수 있다. 이 경우 일반적으로 소형 풍력시스템이 이용되므로 대형시스템에 필요한 복잡한 제어는 불필요할 수 있다.

하이브리드 발전시스템의 효과적인 운영을 위해서 대상 에너지 자원량 및 발전 상태, 그리고 축전 상태 등을 적절히 모니터링 해야 한다. 따라서 하이브리드 발전시스템은 그 발전 조합에 따라 그에 적합한 제어 및 모니터링이 필요하므로 각 발전 조합마다 적합한 제어장치를 따로 설계해야 한다. 이는 지역 특성에 맞는 다양한 조합의 하이브리드 발전장치 개발을 더디게 할 뿐만 아니라 실제 적용을 위한 보급에도 어려움을 주고 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 다양한 조합의 하이브리드 장치에 적용 가능한 범용 제어 및 모니터링 장치를 개발하고자 한다. 이 범용 제어기를 이용하면 쉽게 다양한 신재생 발전장치를 조합하여 최적의 하이브리드 발전시스템을 구성할 수 있어 하이브리드 발전장치의 확대 보급에 크게 이바지할 수 있을 것이다.

## II. 신재생에너지 발전시스템 제어

### 1. 풍력발전시스템

#### 1.1 풍력발전시스템 종류

풍력발전기는 축의 형태에 따라 다리우스형, 사보니우스형 등의 수직축 풍력발전기와 프로펠러형의 수평축 풍력발전기로 구분할 수 있는데, 현재는 수평축 풍력발전기가 그 주류를 이루고 있다.

수평축 풍력발전기는 작은 용량에서부터 큰 대형 용량에 이르기 까지 골고루 만들어 지고 있고 수직축 풍력발전기는 중형급 용량 이하의 풍력발전기에 많이 쓰이고 있다. Fig. 1은 수직축 풍력발전기의 종류를 나타낸다.

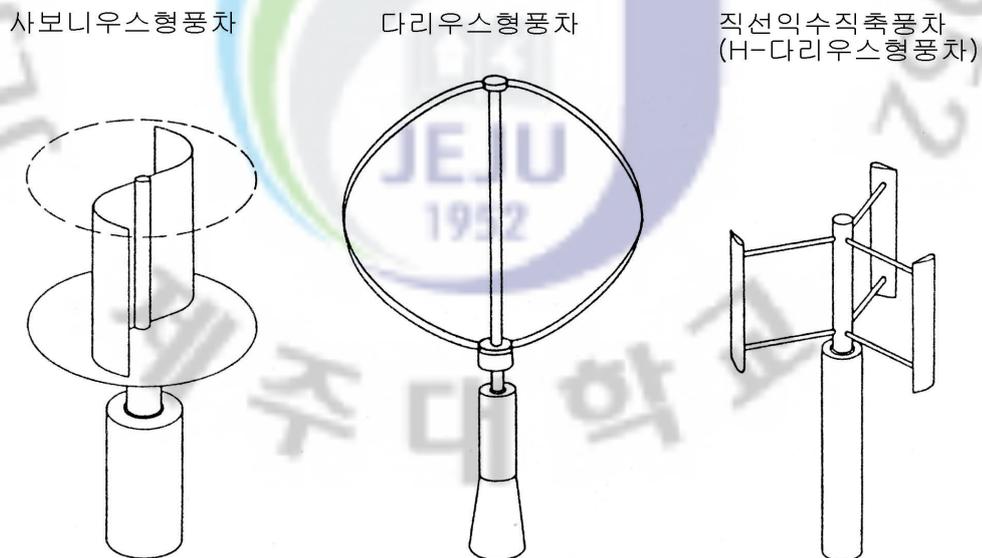


Fig. 1 Vertical wind generators

수평축 풍력발전기에는 예외 없이 날개의 면이 바람이 부는 방향으로 향해 있어야 한다. 이를 가능케 하기 위해 풍력발전기의 몸통을 인위적으로 회전시켜 주던

가, 혹은 꼬리 날개를 이용하여 스스로 날개 면이 바람과 직교되는 방향으로 서도록 하여야 한다. 한편 수직축 풍력발전기에는 날개가 수직축을 중심으로 회전하므로 바람의 방향과 무관하므로 요잉(Yawing)메커니즘이 없다. Fig. 2는 수평축 풍력발전시스템을 나타낸다.



Fig. 2 A horizontal axis wind generator

발전기의 출력을 제어하는 방법으로는 발전기 제어부분과 날개에서 제어하는 두 가지로 나눌 수 있으며, 전자는 예로 권선형 유도발전기를 들 수 있는데, 풍속이 증가하면 발전기의 슬립변화를 통해 출력을 가변 시킴으로써 출력을 제어한다. 후자의 예는 날개의 공기역학적 특성을 이용하여 출력 제어하는 경우인데, 구체적으로 스톨(Stall)제어와 피치(Pitch)제어로 나누어진다.

스톨제어는 정격이상의 과도한 풍속이 불 경우 날개 뒷면에 난류를 발생시켜 날개에 제동을 걸어 주는 방법이며, 피치제어는 날개각을 변화시켜 토크를 제어하는 방식이다. 풍력터빈이 정격출력을 내고 있을 때 풍속이 높아진다면 날개의 피치각을 변화시키되, 토크를 감소시키는 방향으로 피치각을 이동시켜야 하며, 이는 날개가 맞는 영각을 줄여주는 방향으로 날개를 이동시키면 가능하고, 결과적으로 피치각을 증가시키는 방향으로 피치제어를 하여야 한다.

| 구조상 분류<br>(회전축 방향)   | 운전방식   | 출력제어방식   | 전력사용방식   |
|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수평축(HAWT)</li> <li>- 프로펠라형</li> <li>· 수직축(VAWT)</li> <li>- 다리우스형</li> <li>- 사보니우스형</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 정속운전<br/>(fixed rotor speed)</li> <li>- Geared형</li> <li>- Gearless형</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Pitch(날개각) 제어</li> <li>· Passive stall 제어</li> <li>· Active stall 제어</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 계통연계</li> <li>- 유도발전기</li> <li>- 동기발전기</li> <li>· 독립전원</li> <li>- 동기발전기</li> <li>- 유도발전기</li> </ul> |

Table 1 Classification of wind turbine system

### 1.2 요(yaw)제어

바람의 특성은 시간에 따라 풍속도 변하지만 풍향도 수시로 변한다. 따라서 바람방향과 블레이드의 회전방향이 수직이 되도록 Nacelle의 방향을 조절하여 에너지 발생 효율을 극대화하는 것을 요제어라 한다. 요제어는 크게 두가지 방식이 있다. 먼저 소형 풍차의 경우는 풍차 후면에 풍향을 추적하는 팬테일을 부착하여 바뀌는 바람 스스로의 힘에 의해 Nacelle 방향을 제어하는 수동형 제어 방식을 주로 사용한다. Fig. 3은 팬테일 방식을 이용한 풍차의 모습이다.

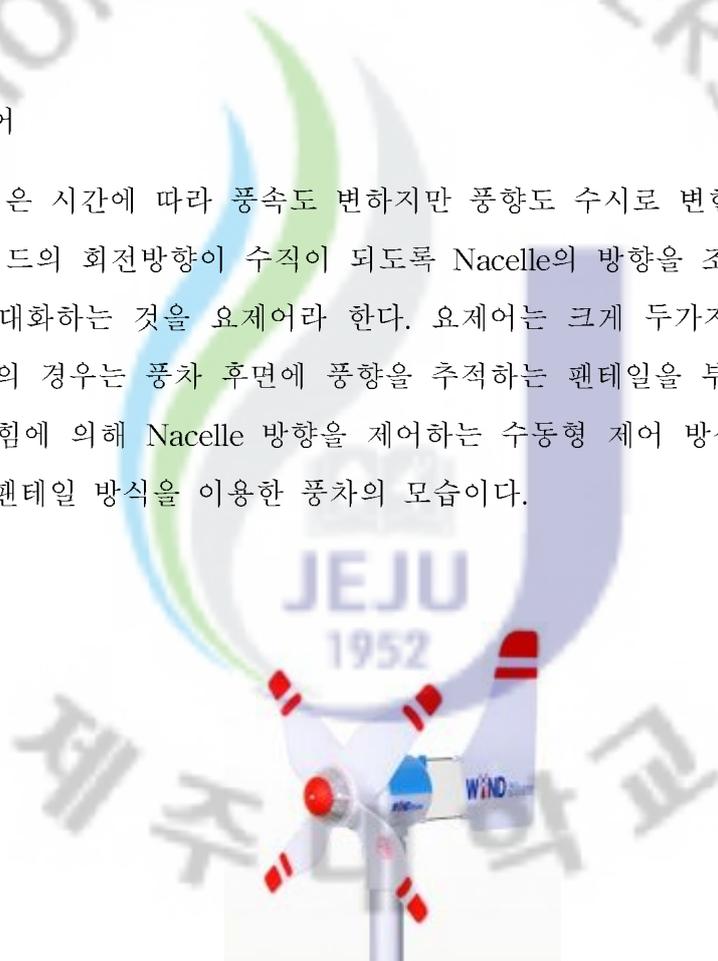


Fig. 3 Yaw control system of fan tail type

반면에 중대형 풍차의 경우는 Nacelle의 무게가 크고 팬테일의 경우 바람의 유동을 변형시켜 효율이 떨어지는 문제가 있기 때문에 능동 요 제어를 한다. 이때 Nacelle의 방향을 조절하기 위하여 적지 않은 전력 소모하게 된다. 거의 모든 요 구

동시시스템은 타워 최상부에 설치된 기어에 들어 있는 로터리 액추에이터로부터 구동되고, 풍향센서로 로터에 상대적인 풍향을 감지하여 요 제어를 한다.

### 1.3 출력제어

풍력발전 시스템의 출력 제어는 피치제어 방식과 스톱(실속)제어 방식이 있다. 피치(pitch)제어 형식은 날개의 경사각 조절로 출력을 능동적으로 제어하며, 경사도 조절장치는 유압으로 작동한다. 가변피치시스템은 블레이드 전체 피치를 제어하여 로터의 효율을 최대 상태로 운전시킬 수 있지만, 허브 구조가 복잡하게 되고 충분한 출력을 대비한 액추에이터 시스템이 필요하게 된다. 또한, 장기간 운전 시 유압 장치실린더와 회전자간 기계적 링크부분이 손상 우려되며, 빠른 풍속변화 시 순간적 피크발생으로 시스템손상이 우려된다. Fig. 4는 피치 제어의 개념이며, 바람 방향에 대해 블레이드의 각을 조절하는 것이다.



Fig. 4 Wind turbine system of pitch control type

실속제어는 가장 간단하고 값이 싼 제어시스템이고, 단순한 허브나 일체형 블레이드를 이용할 수 있고, 파워 액추에이터를 위한 보조기계도 필요없다. 로터 회전수를 독립으로 제어 할 수 없고, 보통 유도 발전기와 조합하여 사용한다. 한계풍속

이상이 되었을 때 양력이 회전날개에 작용하지 못하도록 날개의 공기역학적 형상에 의한 제어로 고효율 발전량생산 및 기계적 링크가 없어 유지보수가 수월하다. 피치 각에 의한 능동적 출력제어는 못하므로 과출력 가능성이 존재하고 제동효율이 좋지 못하며 복잡한 공기역학 설계적용이 필요하다.

#### 1.4 운전제어

풍력발전기 운전에 필요한 제어로서 발전 시작 전 회전 시 속도를 제어, 발전 시작 풍속시 발전 시작 및 발전 차단 풍속에 이르면 발전을 차단하는 제어를 수행한다. 또한 중대형 시스템의 경우 발전 시 시스템에 무리가 가해지는 것을 피하기 위해 정기적으로 소프트 스타트 제어가 필요하며 계통선과 연계 시에 전력제어도 필요하다. 아울러 돌풍 시에는 시스템 보호를 위해 회전자를 정지시키는 브레이크 제어도 필요하다. 한편 소형 풍차의 경우에는 전력제어나 소프트 스타트 제어는 불 필요하며 시스템 보호를 위한 발전 시작이나 발전 차단제어는 필요하다.

## 2. 태양광발전시스템

### 2.1 태양광발전시스템 종류

#### 2.1.1 어레이 설치형태에 따른 분류

태양광 발전시스템은 어레이 설치형태에 따라 추적식 어레이와 반고정형 어레이 및 고정형 어레이로 나뉜다.

추적식 어레이는 태양광발전시스템의 발전효율을 극대화하기 위한 방식으로 태양 직사광선이 항상 태양전지 판의 전면에서 수직으로 입사할 수 있도록 동력 또는 기기조작을 통하여 태양의 위치를 추적해 가는 방식으로 추적방향에 따라 단방향 추적식과 양방향 추적식으로 나누어 생각할 수 있다. 또한 태양을 추적하는 방법에 따라서 감지식, 프로그램 제어식, 혼합형 추적방식을 생각할 수 있다. 그 밖에 태양광선의 집광유무에 따라서 평판형과 집광형 어레이를 생각할 수 있다.

추적 방향에 따라 단방향 추적식과 양방향 추적식으로 나뉘는데 단방향 추적식은 태양전지 어레이가 태양의 한측만을 추적하도록 설계된 방식으로 상·하 추적식과 좌·우 추적식으로 나뉘어진다. 고정형에 비하여 발전량이 증가하나 양방향 추적식에 비하여 발전량이 줄어든다. 양방향 추적식은 태양전지판이 항상 태양의 직달일사량이 최대가 되도록 상·하, 좌·우동시에 추적하도록 설계된 추적장치이다. 설치단가가 높은 반면에 발전량이 고정형에 비하여 연평균 40~60% 가량 증가한다. 주로 제약된 설치면적에서 최대 발전량을 얻는 데에 목적이 있다.

추적방식에 따라서도 감지식 추적법과 프로그램 추적법, 혼합식 추적법이 있는데 감지식 추적법은 태양 추적방식이 감지부를 이용하여 최대 일사량을 추적해 가는 방식으로 감지부의 종류와 형태에 따라서 오차가 발생하기도 한다. 특히 태양이 구름에 가리거나 부분 음영이 발생하는 경우 감지부의 정확한 태양궤도 추적을 기대할 수 없게 된다. 프로그램 추적법은 어레이 설치위치에서 태양의 년 중 이동궤도를 추적하는 프로그램을 내장한 컴퓨터 또는 마이크로프로세서를 이용하여 프로그램이 지시하는 년·월·일에 따라서 태양의 위치를 추적하는 방식이다. 비교적 안정되게 태양의 위치를 추적해 나아갈 수 있으나 설치지역 위치에 따라서 약간의 프로그램 수정이 필수적이다. 혼합식 추적법은 프로그램 추적법을 중심으로 운용되되 설치위치에 따른 미세적인편차를 감지부를 이용하여 주기적으로 수정해 주는 방

식으로 일반적으로 가장 이상적인 추적방식으로 이용되고 있다.

반고정형 어레이는 태양전지 어레이 경사각을 계절 또는 월별에 따라서 상하로 위치를 변화시켜주는 어레이 지지방식으로 일반적으로 사계절에 한번씩 어레이 경사각을 변화시킨다. 이때 어레이 경사각은 설치지역의 위도에 따라서 최대 경사면 일사량을 갖도록 설치한다. 반고정형 어레이의 발전량은 고정형과 추적식의 중간 정도로서 고정형에 비교하여 보통 20% 가량의 발전량 증가를 가져온다.

고정형 어레이는 어레이 지지형태가 가장 값싸고 안정된 구조로써 비교적 원격 지역에 설치면적의 제약이 없는 곳에 많이 이용되고 있으며, 특히 도서지역 등 풍속이 강한 곳에 설치하는 것이 보통이다. 앞서 언급한 추적식, 반고정형에 비하여 발전효율은 낮은 반면에 초기 설치비가 적게 들고 보수 관리에 따른 위험이 없어서 상대적으로 많이 이용되는 어레이 지지방법이다. 국내의 도서용 태양광시스템에서는 이와 같은 고정형 시스템을 표준으로 한다.

#### 2.1.2 태양전지판의 집광 유무에 따른 분류

태양전지변환효율은 일반적으로 어느 한계까지는 태양광선을 집광시켰을 때에 높아진다. 즉 집광 렌즈 등을 사용하여 태양광선을 집광시켜 태양전지에 조사시켰을 때에 보다 높은 발전효율은 기대할 수가 있다. 집광 유무에 따라 평판형 태양전지 모듈과 집광형 태양전지 모듈로 나뉘는데 평판형 태양전지 모듈은 태양전지 모듈이 어떠한 집광형태의 조작성 없이 곧 바로 태양광선에 노출된 형태를 의미한다. 즉 집광이 되지 않는 태양광선을 태양전지에 그대로 입사하는 가장 보편화된 태양전지판이다.

집광형 태양전지 모듈은 프렌넬렌즈 등을 사용하여 태양광선을 집광시킨 뒤에 태양전지에 집광된 빛을 조사시켜 발전하는 태양전지 모듈로써 반드시 집광된 광선이 태양전지 전면에서 입사될 수 있도록 양방향 추적식 어레이로 구성되어야 한다. 일반적으로 고가의 태양전지 재료를 사용하여 제작된 고효율의 태양전지에 많이 이용한다. 집광형으로 설치 시에는 집광율에 따라서 태양전지에서 많은 열이 발생하여 변환효율이 온도상승에 따라 비례적으로 감소하므로 공냉식 또는 수냉식 강제냉각시스템을 부착시켜 온도상승을 막는다. 그러나 아직까지 생산단가가 높고 구조가 복잡하여 아직까지 경제성이 미흡한 것으로 알려져 있다.

### 2.1.3 부하의 종류와 계통선 연계 유무에 따른 분류

부하의 종류와 계통선 연계 유무에 따라 독립형 태양광시스템과 계통선 연계형 태양광시스템으로도 나뉘는데 독립형 태양광발전 시스템은 계통선이 공급되지 않는 산간벽지, 도서지역 등에 전력을 공급하기 위한 시스템으로 주간에 발생시켜 사용하고 남은 전력을 축전지에 저장하였다가 야간에 사용하게 되어있으며, 부하의 종류와 시스템의 구성에 따라 여러 가지 직류부하용과 교류부하용 시스템이 있다.

Fig. 5는 대표적인 독립전원형 발전시스템을 나타낸다.



Fig. 5 Stand-alone PV system

이 시스템은 발전한 전력을 그대로 자가 소비하고, 외부, 즉 상용 전력부터의 전력 보급을 받지 않고 운영하는 자급자족적인 운용 방법으로, 상용 전력과 전기적인 접속을 하지 않은 방식으로 "독립형 전원 시스템" 이라고 불린다.

이 방식은 발전하고 있는 시간대와 전력을 소비하는 시간대에 시차가 있는 경우가 많기 때문에 축전지를 구비하고 있으며, 발전한 전력을 일단 배터리로 축전하고, 필요에 따라 배터리로부터 방전해 전력을 사용하는 형태이다. 소규모인 것부터 대규모인 것까지 다종다양하고, 작은 것으로서는 태양전지를 이용한 탁상계산기나 시계 등도 독립 전원 시스템을 이용한 기기라고 부를 수 있다. 대규모인 것은, 상용 전원이 없는 무 전원 지대의 산장이나 별장, 연구 설비나 방재 설비 등의 전원으로 사용되고 있다. 상용 전원과 무관하기 때문에, 재해 등에 상용 전원이 정전된 때에도 독립해 운용할 수 있다.

계통선 연계형 태양광시스템은 계통선이 공급되는 지역에서 태양전지를 이용하여 주간에 생성된 전력을 아래 그림과 같이 인버터를 통하여 계통선에 연계하여 전

력을 공급하거나 또는 실부하측에 직접 전력을 전달하게 된다. 이때 계통선의 안정을 피하기 위하여 반드시 계통연계 보호장치를 통하여 태양전지에서 발생된 전력이 계통선과 연계되어야 한다.

## 2.2 태양광 발전시스템 제어

### 2.2.1 광센서를 이용한 방법

Fig. 6과 같이 센서에 의한 방법은 4개의 광센서를 이용하여 입사되는 광량을 각기 비교하여 태양의 위치를 추적하는 방식이다.

센서의 구조는 4개의 광센서와 덮개로 이루어지며, 센서와 태양이 법선각도에서 벗어난 경우 광센서들 위에 있는 덮개가 센서의 일부에 그늘을 만들어 4개의 광센서 출력이 달라진다. 이 때 4개의 광센서의 출력이 같아지도록 센서의 위치를 조정하여 주면 센서는 다시 법선 방향에 위치하게 된다.

따라서 센서를 태양전지판 면상에 부착하고 센서가 법선 방향이 되도록 태양광 어레이를 움직여 주면 태양광 어레이를 태양과 법선방향으로 유지할 수 있다. 이 방법은 구성이 간단하고 특별한 연산이 필요 없어 사용이 용의하나, 센서가 외부 환경 변화에 노출되어 있고, 비, 눈 뿐 아니라 먼지 및 낙엽과 같은 이물질에 의해 정상적 동작을 하지 못하고 시스템의 고장원인이 될 수 있으며, 또한 일정시간동안 태양이 나타나지 않아 각도가 너무 많이 벗어난 경우에는 태양을 추적하지 못하는 경우가 발생하기도 한다.

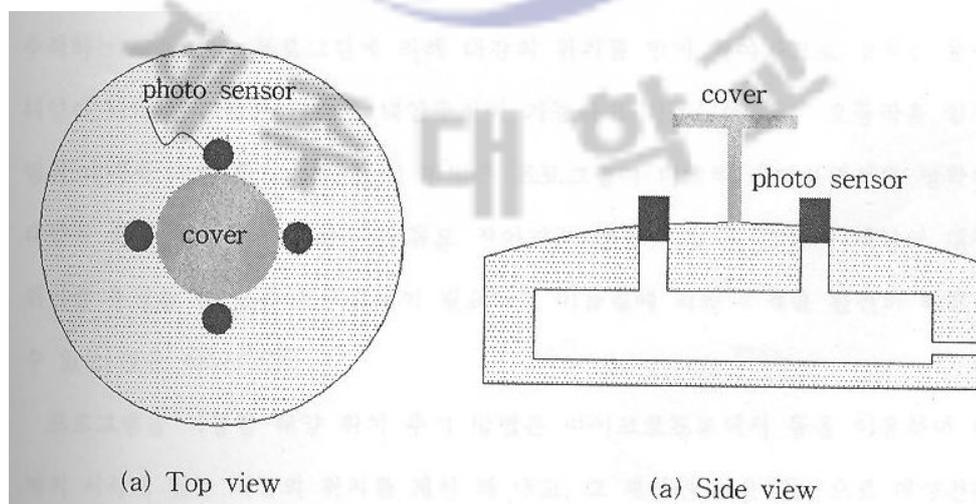


Fig. 6 Optical sensors for tracking

## 2.2.2 센서와 프로그램을 병행한 방법

센서와 프로그램을 병행하는 방법은 센서에 의한 방법의 경우 태양의 일정 각도가 벗어났을 때 태양 추적이 안 되는 점을 보완하기 위해 프로그램에 의해 시간에 따라 태양의 대강의 위치를 결정하고 센서로 정확한 위치를 추적하는 방식이다.

프로그램에 의해 대강의 위치를 먼저 찾아가므로 장시간 동안 태양이 나타나지 않은 경우도 태양추적이 가능하고 이물질에 의한 오동작을 일정범위 내에서 제한할 수 있다.

이 방법은 프로그램이 비교적 간단하면서도 정확한 태양 위치 추적이 가능하고 오류도 적어지는 장점이 있으며, 태양의 대강위치를 추적할 수 있는 프로그램이 필요하고 이물질에 의한 문제를 완전히 해결할 수 있는 것은 아니다.

## 2.2.3 프로그램을 이용한 태양 위치 추적 방법

태양의 위치 추적은 태양전지가 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양까지의 고도와 방위각을 계산해 내는 것으로서, 지구 공전 및 자전 등을 고려하여 태양의 위치를 계산해야하는 천문학적인 지식이 필요하다. 지구는 태양 주위를 약 23.5도 기울어서 회전하므로, 일년 동안의 남중고도가 변화되고 계절이 생기며 태양의 위치 계산이 매우 복잡하다. 실제지구는 고정된 태양을 중심으로 타원형의 궤도를 따라서 공전하며 동시에 약 23.5도의 경사각을 갖는 자전축을 중심으로 하여 회전운동을 한다. 현재 태양전지가 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양의 위치를 계산해 내기 위해서는 지평좌표계와 적도좌표계를 함께 표시하고 지평 좌표계에서 태양의 방위각과 고도를 적도좌표계의 시간각과 적위로 함께 나타내어 태양의 고도와 방위각을 함께 계산할 수 있도록 좌표계를 변환할 필요가 있다. 프로그램을 이용한 태양 위치 추적 방법은 마이크로프로세서 등을 이용하여 현재의 시각에 맞는 태양의 위치를 계산해 내고, 그 계산된 값을 기본으로 태양전지의 방향을 제어하는 방식이다. 태양의 위치 추적은 태양전지가 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양까지의 고도와 방위각을 계산해 낸다.

### 3. 조류발전시스템

#### 3.1 프로펠러 수차방식

이 방식은 배의 스쿠류나 비행기의 프로펠러 형상과 동일한 프로펠러를 이용하여 유체의 흐름에 의한 운동 에너지를 회전에너지로 변환시킨다. 에너지변환 효율은 약 44% 정도로 알려져 있다. 이 방식은 구조가 간단하고 비용이 싸지만 유체의 흐름 방향이 바뀌면 연속적인 효율 극대화를 위해 가변피치 프로펠러나 유니트를 회전시켜야하고 완만한 흐름에 대해 장치의 대형화가 필요한 단점이 있다.

#### 3.2 사보니어스 수차방식(반동형 수차)

이 발전 방식은 로터가 반원 호 모양의 판을 편심 시켜서 구동된다. 부하가 증가하고 회전수가 감소하면 회전력이 커지는 특징이 있어 기동장치로 이용되기도 한다. 에너지변환 효율 20~30%로서 프로펠러 방식보다 떨어진다. 장점으로는 기동 토크가 크고 작은 유속에서도 회전이 가능하며, 전 방향 유향에 한 방향으로만 회전하기 때문에 유체의 흐름에 따라 요 제어가 필요 없다. 단점으로는 대형화에 부적절하다는 것이다.

#### 3.3 다리우스형 수차방식

이 방식은 로터의 형상이 일정한 단면인 날개를 원주 상에 등 간격으로 배치되어 있다. 보통 날개는 3~4개로 구성되며 한 방향으로만 회전하는 양력형 수차이다. 에너지변환 효율은 30~45%로 알려지고 있으며 장점은 구조가 간단하고 날개의 주속도가 유속의 2~3배이라는 것이다. 반면에 단점은 자기 기동성이 부족하며 회전에 의한 맥동 현상이 발생한다는 것이다.

#### 3.4 Cross-flow 수차방식

Cross-flow 수차방식은 가동부분을 가능한 한 줄이고 대칭형 노즐을 단것이 특징이다. 에너지변환 효율 60% 정도로 아주 높은 편이며 장점으로는 정방향과 반대방향의 흐름에 대해서 동일 방향으로 회전한다는 것과 수차 전후의 노즐관축을 일치시킴에 따라 조류에도 적용 가능하다는 것이다.

### 3.5 Voith-Schneider 프로펠러 수차방식

이 방식은 회전원반 주변에 비행기 날개와 유사한 날개를 수직으로 5~8장 붙인 구조를 갖고 있다. 선박의 조타기를 겸한 추진용 프로펠러로서 개발되었는데, 이 원리를 역으로 적용하여 흐름에서 회전 에너지를 얻는 조류발전 방식이다. 장점은 변화하는 유향에 대해 즉각적이고 일정하게 회전가능하다는 것과 날개 전부가 회전력에 기여한다는 것이다. 단점은 대형화를 위한 체계적인 실험연구가 필요하다.

### 3.6 Helical 수차방식

이 방식은 1994-1995년 미국 Northeastern 대학의 Gorlov가 발명한 것으로서 나선형 배열의 축차 날로 구성되어 있다. 에너지변환 효율은 다리우스 수차의 효율에 비해 50% 정도 높다. 장점은 작은 유속에서도 높은 속도로 일정하게 회전하며 유향이 변해도 같은 방향으로만 회전할 뿐만 아니라 회전 시에 진동이 없고 고속 회전 시에도 공동현상이 없으며 작은 유속에서도 작동한다는 것이다.

## 4. 충·방전 제어

단위 발전되는 에너지를 배터리 충전을 위해 가장 효율적이고 적절한 전압으로 안전하게 충전하는 역할을 한다. 동시에 충전된 전력을 부하에 공급하며, 과충전 과방전 차단 기능이 있다. 과충전 시 발생하는 잉여전력을 부하로 직접 연결하여 전력의 방전을 막아준다. 배터리 저전압 보호, 과전압, 과전류 보호, 과열 보호, 역극성 보호, 합선 보호, 낙뢰 등에 의한 서지 전류 보호 기능이 있다. 또한 효율적인 충전을 위해 발전된 전력을 필요에 따라 승압, 강압 및 정전압 등으로 제어하기 위한 컨버터 제어 및 전력제어가 필요하다. 특히 하이브리드 발전의 경우 서로 다른 발전 전력을 동일한 배터리에 충전하기 위해서는 컨버터 제어가 필요하다.

### III. 하이브리드 발전시스템 설계 및 제작

#### 1. 하이브리드 발전 범용 제어기 설계

##### 1.1 설계 내용 및 방법

하이브리드발전 제어기설계는 주로 소형 독립전원용을 대상으로 비전문가가 쉽게 사용할 수 있도록 user interface에 주안점을 두었다. 제어기시스템은 Fig. 7과 같은 구조이며, 크게 입력부, 충전부, 발전제어부, 부하제어부, 모니터링부로 구성되어 있다. 또한 모든 내용은 화면을 터치하면 실행되는 터치패드 형식으로 설계되어 있다.

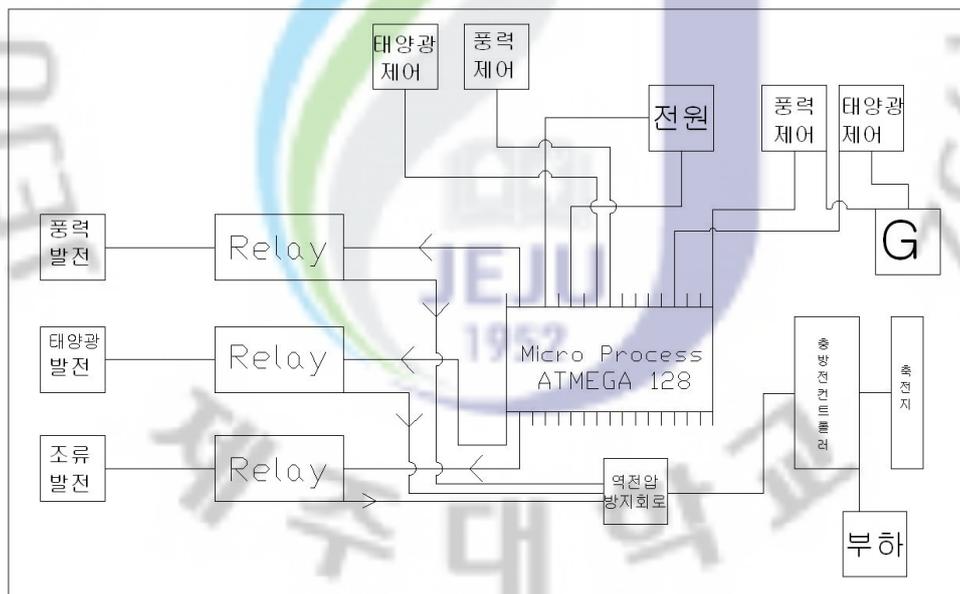


Fig. 7 Diagram of controller

하이브리드 발전 제어기 설계에 있어 메인 프로세서는 ATmega 128 보드를 사용하였다. Table 2는 ATmega 보드의 제원을 나타낸 표이다. AVR ATmega128 보드를 이용한 제어에는 Client의 발전 타입선택, 풍력 및 태양광 발전 제어, 부하의 시간 제어, 모니터링 제어를 실행한다. 각각의 제어에 대한 설명은 아래의 각 Part

별로 자세히 설명되어있다. Fig. 7은 컨트롤러의 메인 회로도로서 ATmega128보드와 릴레이 충방전 컨트롤러, 발전제어단자, 발전입력단자, 부하단자, 역방지회로 등으로 구성되어 있다.

Table 2 Specifications of the AVR ATmega128

| 제품  | 제원               |               |
|---|------------------|---------------|
|  | 모델명              | MAT 120-200   |
|   | 전원사양             | DC 5V         |
|   | 타입               | DIP형식         |
|   | Compiler         | AVR Edit      |
|   | Download Program | Ponyprog 2000 |

### 1.1.1 입력부

입력부는 초기에 사용자가 쉽게 발전타입이나 기타 선택 사양을 입력할 수 있게 설계하였다. 각각의 단위발전은 아래의 Fig. 8과 같이 독립적으로 선택이 가능하며, 두 개 혹은 세 개의 발전이 복합적으로 선택할 수 있다. 즉, 세 개의 발전 타입 중 해당 발전타입을 터치하면 그 복합 형태가 선택되며 선택된 하이브리드 발전형식이 화면에 나타난다.

이와 같은 방식은 사용자가 가장 쉽게 사용할 수 있는 방식이다. 선택된 발전 타입은 주 제어기를 통해 릴레이를 작동시킴으로서 선택된 발전장치가 유효화 된다.

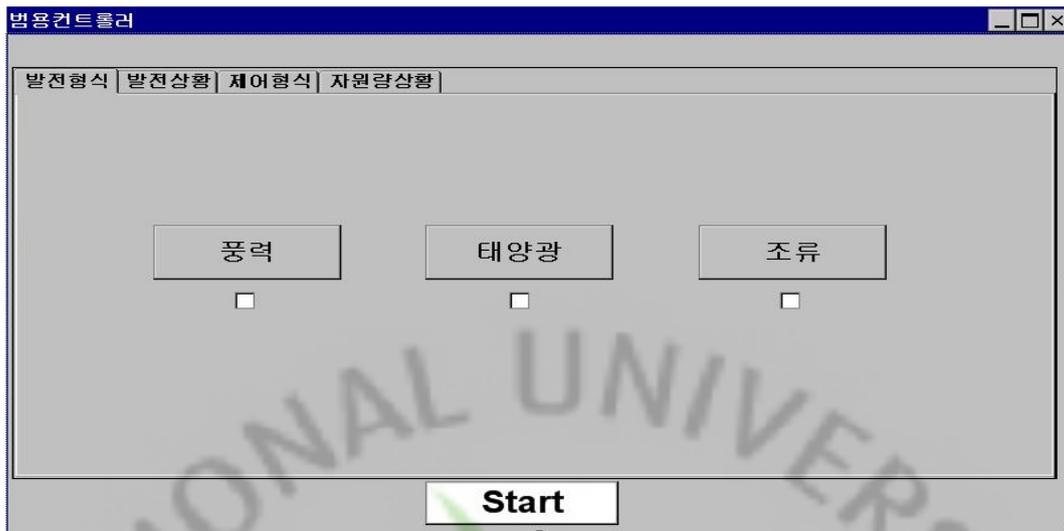


Fig. 8 Controller main screen

Fig. 8은 제어기의 메인 화면으로 사용자에게 의해 다양한 타입의 발전 방식을 선택하는 화면을 나타낸다. 또한 입력부는 풍력과 태양광 발전장치의 제어방식을 선택하는 기능도 추가되어 있다.

### 1.1.2 충전부

발생한 여분의 전력을 배터리에 충전하고 배터리의 과충전과 과방전을 방지하기 위해 풍력발전기, 조류발전기, 태양전지와 배터리 사이에 충전 제어장치를 배치한다. 일반적으로 충전회로는 PWM제어 방식을 이용하며, 발생된 전력의 전압을 배터리 전압에 맞추고, 충전 회로를 고주파 단속적으로 ON-OFF 하여 충전되는 전류량을 조절한다. 충전 제어장치는 발전장치의 최대 동작 시 전류치를 충전할 수 있는 용량인 것을 선정하여야 하며, 효율적인 배터리 충전에는 주위 온도에 의한 충전 전압의 보정이 필요하다. Table 3은 선택된 충전회로 모듈의 제원을 나타낸 표이다. 이는 풍력, 태양광, 조류발전에 의해 생산되는 전력을 정격전압에 맞춰 배터리에 충전시켜주는 역할을 한다.

Table 3 Specifications of charge and discharge circuits

| 제품  | 제원   |                |
|---|------|----------------|
|  | 모델명  | TCN SW         |
|   | 전원사양 | DC 12V 20A     |
|   | 통신방식 | RS232          |
|   | 외부크기 | 170 * 192 * 58 |

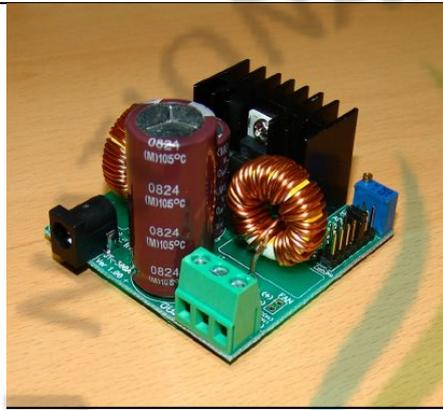
또한 가장 효율적으로 충전하기 위하여 각 단위 발전 타입을 병렬로 충전하는 방법과 각 발전 타입 중 최대전력을 발생하는 발전장치의 전력만을 충전하는 방법이 있다. 병렬로 충전하는 경우 각 발전장치에서 발생하는 전압이 유사한 경우에는 직접적으로 병렬연결을 하여도 되지만 그렇지 아니한 경우는 컨버터를 사용하여 각각의 전압을 조정하여야 한다. 본 제어기에서는 컨버터를 이용하여 각 단위 발전시스템의 전력을 동시에 병렬로 충전하는 방식을 선택하였다. 이 경우 동시에 발전되는 상황에서 높게 생산되는 전력이 역으로 다른 발전기로 흐르는 것을 방지하기 위하여 각각의 발전라인에 역전압방지 회로를 이용하여 이를 방지한다. Fig. 9는 역전압 방지 회로이다.



Fig. 9 Diagram of reverse voltage protection circuit

DC-DC컨버터는 부하로 전달되는 12V이상의 불규칙한 전압을 12V일정하게 만들어 준다. Table 4는 DC-DC컨버터 제원으로 LM2576T-ADJ를 사용한 3A급 스위칭 DC-DC 스텝다운 레귤레이터로서 다양한 출력전압과 정격에 충실한 부품 선정 및 리플감소를 위한 출력 LC필터, 대용량의 출력 캐패시터 등 어떠한 환경에서도 안정된 전원공급이 가능한 레귤레이터이다.

Table 4 Specifications of the DC-DC convertor

| 제품   | 제원      |                      |
|--|---------|----------------------|
|  | 모델명     | JT - 300Ax           |
|  | 종류      | 스위칭 DC-DC 스텝다운 레귤레이터 |
|  | 최대 입력전압 | 40VDC                |
|  | 가변전압    | 1.23 ~ 37VDC         |
|  | 연속최대전류  | 3A                   |
|  | 출력리플    | 10mV미만               |

### 1.1.3 발전 제어부

발전 제어부는 풍력발전제어와 태양광발전제어에 대해 설계를 하였다. 풍력발전제어는 풍속에 따른 블레이드의 고장방지와 발전기의 피로도를 최소화하기 위하여 일정 풍속이상일 경우, 즉 고풍속일 경우 발생하는 전력을 차단하여 블레이드와 발전기의 과부하를 방지한다. 이를 위해 ATmega보드가 풍속센서로부터 실시간 풍속을 입력받아, 일정 풍속 이상일 경우 발전되고 있는 발전기로부터의 발전을 차단한다.

또한 태양광 발전시스템이 태양고도를 추적하는 장치가 있는 시스템일 경우를 대비하여 시간에 따라 태양의 1도 이동에 대하여 하나의 펄스를 출력하는 기능을 선택할 수 있게 설계하였다. 조류 발전장치에 대해서는 전형적인 제어 형태가 아직 정립되지 못하고 있기 때문에 특별히 제어방식을 선택할 수 있도록 설계하지는 않았다. 그러나 필요시 필요한 제어방식만 주어진다면 쉽게 그 기능을 추가 할 수 있다. Fig. 10은 발전제어선택 화면을 표시하여 주고 있다.

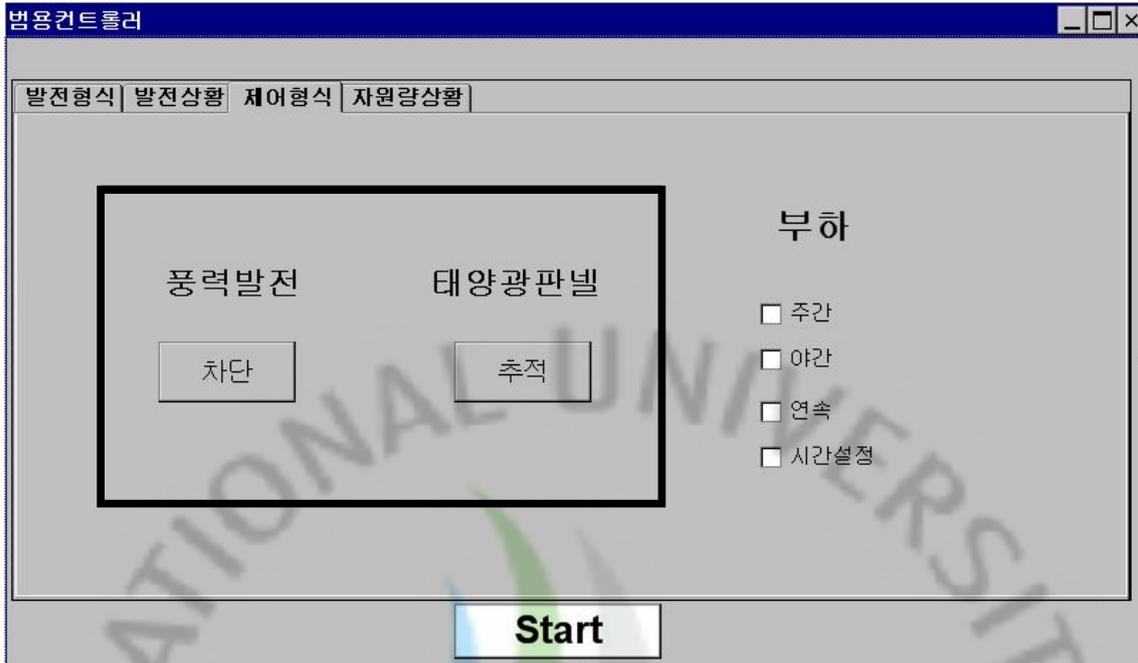


Fig. 10 Screen for selection of generators

#### 1.1.4 부하제어

부하파트에는 주·야간 출력 ON/OFF, 연속 출력 등을 사용자가 쉽게 설정하여 부하 출력을 제어할 수 있게 설계하였다. 부하제어는 부하출력 단자에 릴레이를 설치하고, ATmega를 이용하여 제어한다. ATmega에 타이머가 가능하도록 프로그램을 한 후 주·야간 시간에 맞게 릴레이를 통하여 부하에 전력 공급을 단속한다.

또한 사용자의 시간 선택에 따라 ATmega에서 릴레이에 통전전류 신호를 보내면 충방전 컨트롤러를 통해 부하에 전력을 공급한다. 생산되는 전력은 축전지에 축전되면서 부하에서 전력이 요구되면 부하에 전력이 공급되고, 공급되는 전력보다 생산되는 전력이 많으면 잉여 전력은 축전지에 축전된다. 반대로 생산되는 전력이 부하에서 요구하는 전력보다 낮을 시에는 축전지에서 부족한 전력을 공급받게 된다. 또한 충방전 회로를 이용해 풍력발전, 태양광발전, 조류발전에서 발생하는 이상전압, 대전류 발생하면 현재 충전되고 있는 충전을 통제하여 고장발생을 미연에 방지한다. 작동 시 발생하는 오류에 대비한 Error표시 기능이 있으며, 컨트롤러를 통해 오류가 발생한 발전을 차단한다. Fig. 11은 부하를 제어하기 위한 화면이며, 부하기능에 있어 주·야간 선택, 연속선택, 시간설정 기능이 있다.

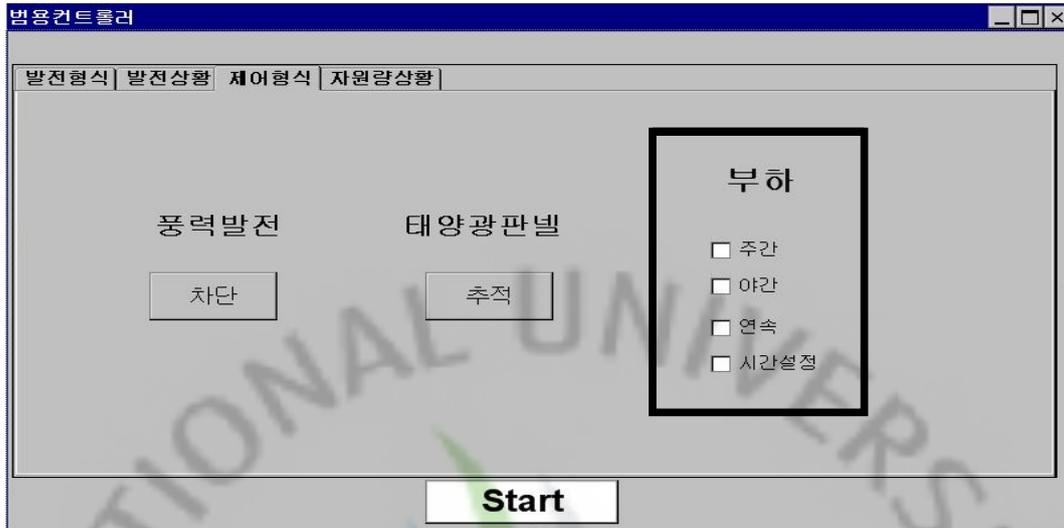


Fig. 11 Screen for load control

#### 1.1.5 모니터링 부

모니터링파트에서는 발전되는 발전량, 자원량에 대한 정보를 모니터링 할 수 있게 설계하였다. 발전기로부터 발전되는 발전량을 LCD화면을 통해 쉽게 확인 할 수 있다. 또한 풍속센서, 유속센서, 일사량센서를 이용하여 현재 에너지 자원량을 모니터링 할 수 있다. 컨트롤러에 설치된 각각의 센서 입력단자로부터 현재의 자원량 상태를 실시간으로 입력받아 LCD화면에 나타내게 된다.

Table 5는 사용된 LCD인 ARM BOARD의 제원을 나타낸 것으로, 발전형식선택, 발전상황, 자원량상황, 제어상황등을 한눈에 볼 수 있다. XWin은 ARM9 임베디드 컨트롤러에 7인치 LCD와 터치스크린을 장착한 모델로 산업용 기기와의 인터페이스를 쉽게 할 수 있는 고성능의 컨트롤러이다.

Table 5 Specifications of the LCD

| 제품  | 제원         |                          |
|---|------------|--------------------------|
|  | 모델명        | JT - 300Ax               |
|   | 프로세서(CPU)  | SAMSUNG S3C2440 - 400MHz |
|   | NAND FLASH | 64M                      |
|   | SDRAM      | 64M                      |
|   | LCD        | 7인치 TFT 16Bit            |
|   | 터치스크린      | 4선식                      |
|   | SD CARD    | 최대 4GB                   |
|   | 운영체제       | Microsoft Windows CE 5.0 |
|   | OS 업데이트    | USB DVICE 포트             |
|   | 제품사이즈      | 184 * 104 * 40           |

Fig. 12는 각종 센서로부터 자원량을 측정하는 회로도이며 Fig. 13는 ARM BOARD를 통해 사용자가 쉽게 볼 수 있도록 설계된 화면이다. Fig. 14은 현재의 에너지 자원량에 따라 발생되고 있는 각 발전장치의 전력을 나타내는 화면으로 실시간으로 발전량을 모니터링 할 수 있다.

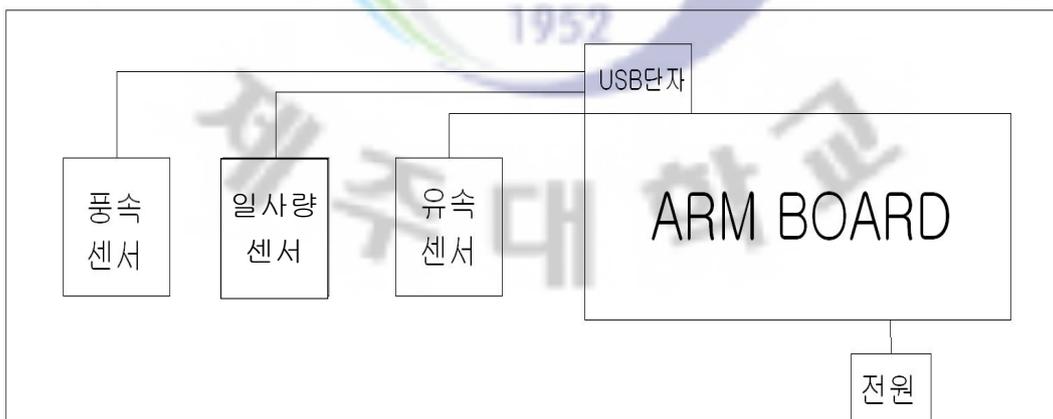


Fig. 12 Diagram of sensor input

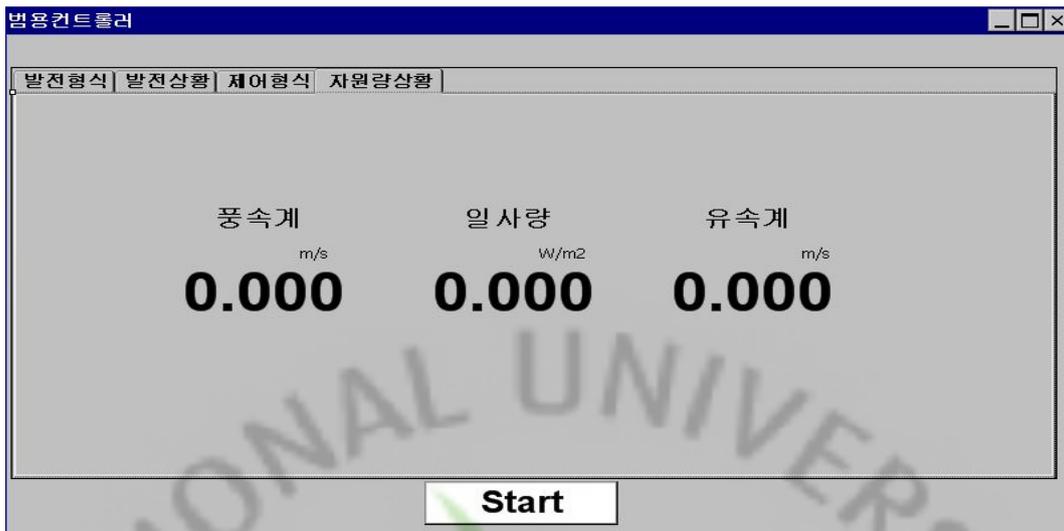


Fig. 13 Monitoring of the energy resources



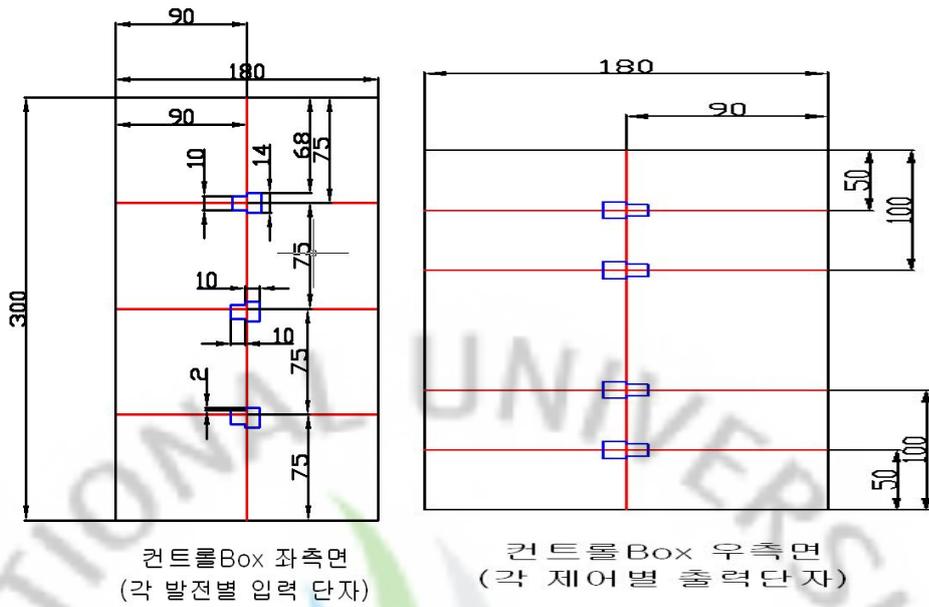
Fig. 14 Monitoring of the power outputs

## 2. 제어기 설계 결과

### 2.1 컨트롤러 외형

Fig. 15은 설계된 제어기의 외형이다. (a)는 제어 박스의 평면도, (b)는 배면도, (c)는 후면, 그리고 (d)는 좌우측면도이다. 단위별 발전단자로부터 입력되는 발전량은 제어회로의 릴레이를 통해 충방전 컨트롤러에 입력된다. 이 때 사용자의 발전량 타입 선택에 의해





(d)우측면 및 좌측면도

Fig. 15 Controller drawing

Fig. 16은 제작된 제어기의 전경을 나타내는데 외부 재질은 아크릴로 되었다. 또한 Fig. 17에서 19은 각각 단자들이 배치된 외형을 보여주고 있다.



Fig. 16 Photo of the controller



Fig. 17 Input terminal for generators



Fig. 18 Output terminal

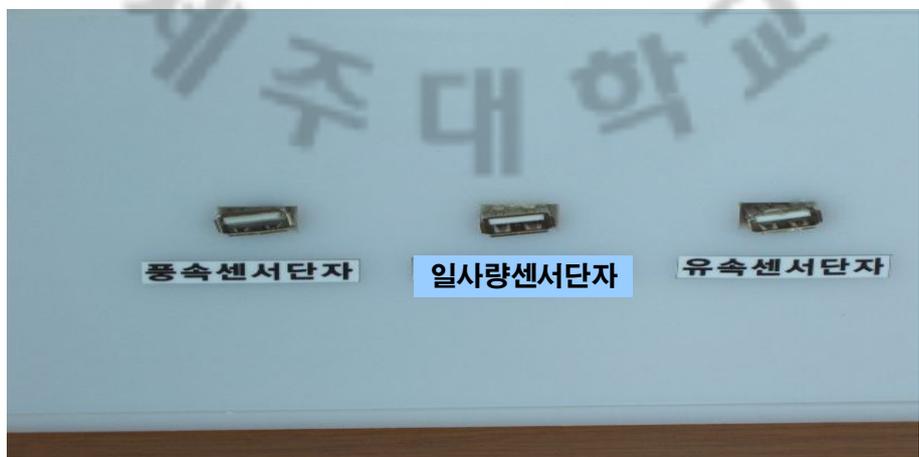


Fig. 19 Input terminal for sensors

Fig. 20은 제어기의 내부전경을 , 그리고 Fig. 21은 모니터링 부인 ARM 보드가 장착된 제어기의 전면부이다.

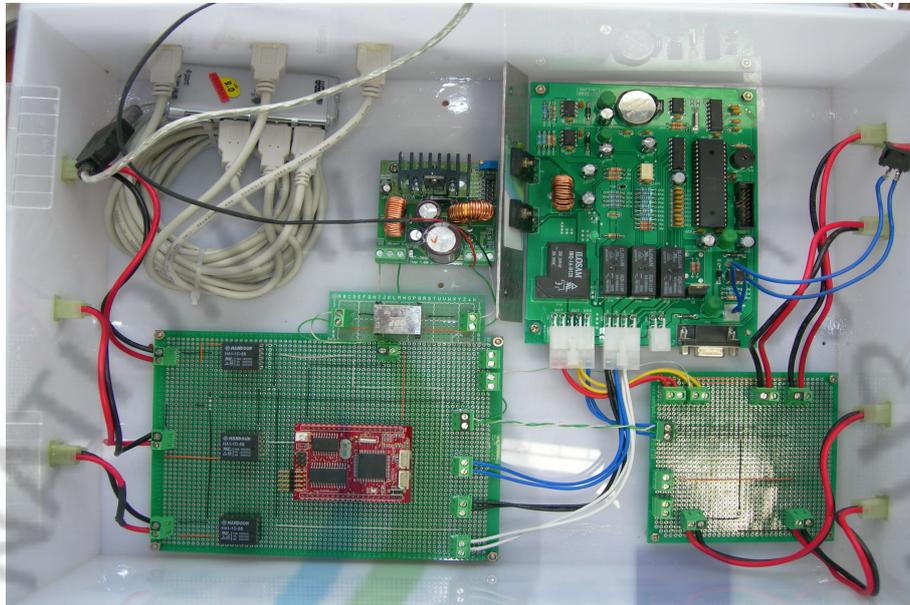


Fig. 20 Inside view of the controller

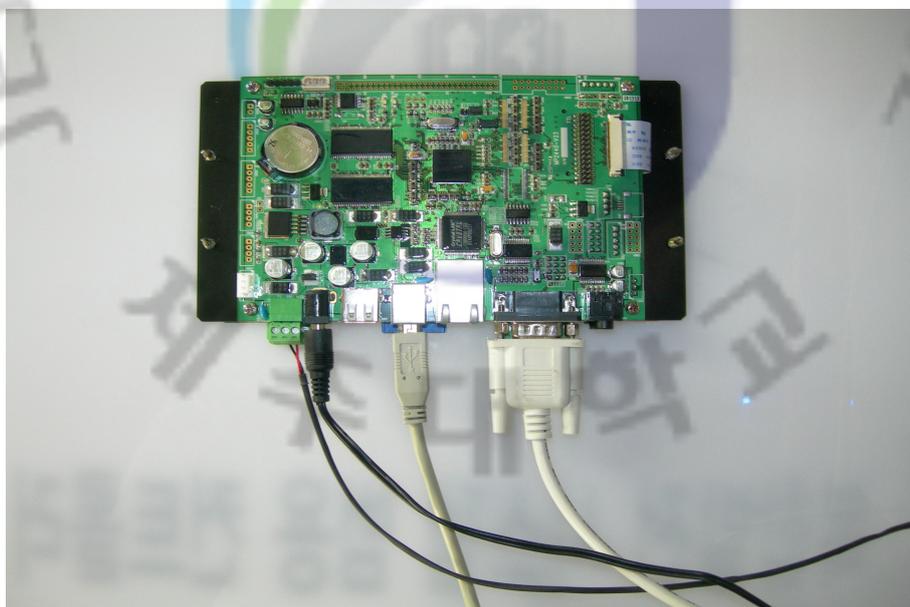


Fig. 21 ARM BOARD

## IV. 실험 및 고찰

### 1. 실험장치 구성 및 실험방법

#### 1.1 실험장치 구성

##### 1.1.1 풍력발전시스템

설치 공간과 실험을 위해 소형 풍력발전기를 선택하였다. 선택된 소형풍력발전기는 Fig. 22와 같으며 그 제원은 Table 6과 같다.

Fig. 23는 풍력발전기의 외형 치수를 나타낸다. 또한 Fig. 24은 제조사가 제공한 출력성능곡선을 나타낸다. 출력성능곡선은 풍속에 거의 비례하는 특성을 보인다.



Fig. 22 Small wind generator

Table 6 Specifications of the wind generator

|         |            |
|---------|------------|
| 프로펠라 직경 | 28cm (4엽)  |
| 출력      | 3W(12m/s)  |
| 발전기     | 동기식(12극)   |
| 기동풍속    | 0.6~0.8m/s |
| 시동풍속    | 1.0m/s     |
| 정격풍속    | 12 m/s     |
| 사용온도    | -20℃~50℃   |
| 중량      | 약460g      |

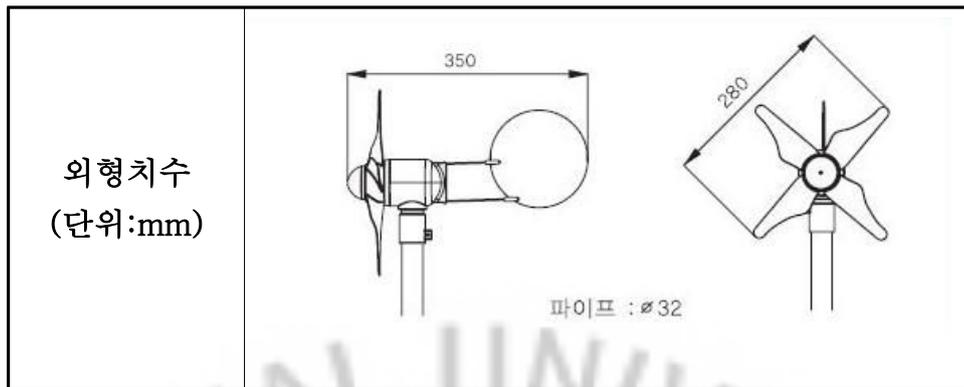


Fig. 23 Size of the wind generator

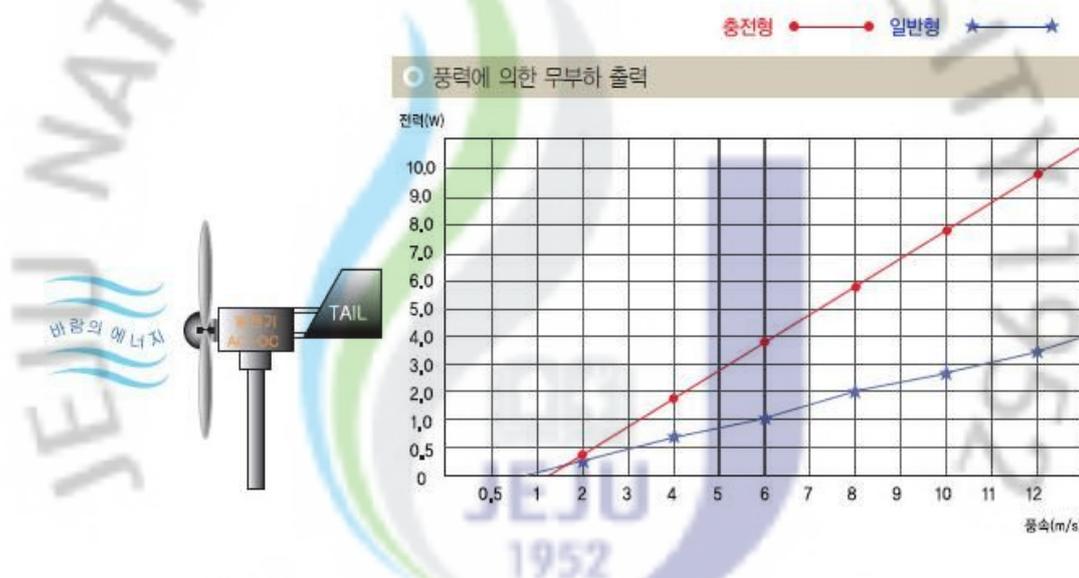


Fig. 24 Power curve of the wind generator

풍력발전기의 성능을 실제 실험으로 그 성능을 확인하기 위하여 Fig. 25와 같이 성능실험을 위한 장치를 제작하였다. 이 장치는 원하는 풍속형태를 입력하면 자동으로 송풍기가 그 풍속을 발생시킬 수 있도록 설계되어 있다.



Fig. 25 Simulator for wind generation

### 1.1.2 태양광 발전시스템

태양광 전지판은 정격발전용량이 30W이며 기타 사양을 Table 7에 나타내었다. Fig. 26은 태양광 전지판의 성능 곡선을 나타낸다. 출력곡선에서 보여 지는 바와 같이 출력은 일사량에 따라 발전량이 증가한다.

Table 7 Specifications of the Solar panel

|       |                   |
|-------|-------------------|
| 규격    | 550*498*25mm      |
| 구분    | 단결정               |
| 무게    | 3.4kg*2EA = 6.8kg |
| 정격용량  | 30W               |
| 최대전류  | 1.72A             |
| 개방전압  | 21.7V             |
| 단락전류  | 1.92A             |
| 최대전압  | 17.5V             |
| 배터리충전 | 12V               |

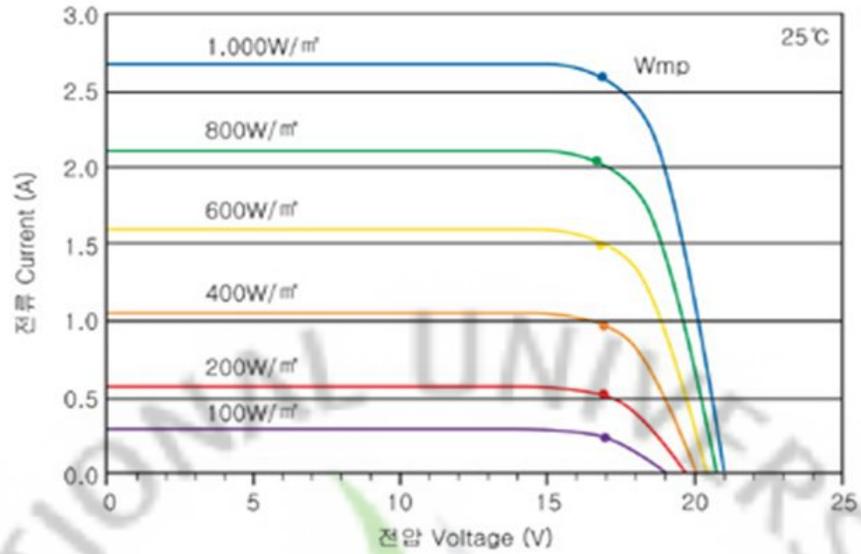


Fig. 26 Power efficiency graph of PV

### 1.1.3 조류 발전시스템

조류발전의 설계는 일반적인 조류의 유속 즉 1~3m/sec임을 감안하여 조류의 입구와 발전면 사이에 단면적의 차를 두어 유속을 증가시키는 방식으로 설계하였다. 전면과 후면의 유속차는 이론적으로는 약 5.5배 정도이나 마찰을 고려할 경우 약 2.5배의 증속 효과를 고려하여 설계하였다. Table 8은 설계 제작된 조류발전기의 제원을 나타낸다.

Table 8 Specifications of the tidal generator

|         |                        |
|---------|------------------------|
| 프로펠러 직경 | 212mm(3엽)              |
| 정격출력    | 120W(4m/s)             |
| 발전기     | 동기식(12극)               |
| 기동유속    | 1m/s(입구) -> 3m/s(프로펠러) |
| 사용온도    | -20℃~50℃               |
| 중량      | 10kg                   |

#### 1.1.4 하이브리드 발전시스템 설계

Fig. 27에서 보이는 바와 같이 하이브리드 발전기 상부에는 풍력발전기와 태양광 발전기를 배치하였고, 풍력발전기의 위치는 전면에 풍속을 저해하는 구조물이 없도록 배치하였으며, 태양광 발전기는 2개 판넬의 사면 경사가 등지도록 배치하여 조류 방향의 변화에 따라 태양에너지를 최적화할 수 있도록 배치하였다.

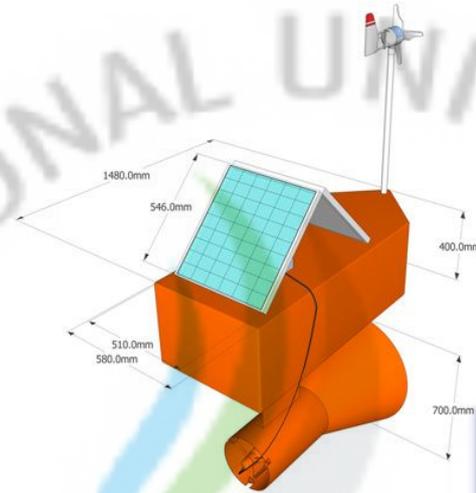


Fig. 27 3-D configurations of the hybrid generation system

하이브리드 발전기에 작용하는 조류는 조석간만의 차이에 의한 조류로서 육지에서는 수직으로 작용하는 것처럼 보이나, 달의 인력에 따라 동서로 1일 4회 180도 변화하면서 흐르는 힘이다. 이 때의 복합부유구조물의 계류 및 앵커는 통상 웨이트 앵커가 되어져야 한다. Fig. 28은 완성된 하이브리드 발전시스템 전경을 나타낸다.



Fig. 28 View of the hybrid generation system

## 1.2 실험방법

이상과 같이 설계된 제어기와 하이브리드 발전시스템을 이용하여 실험을 수행하였다. 실험방법은 Fig. 8에 나타난 바와같이 하이브리드 발전 조합을 임의로 선택하여 수행하였는데, 풍력, 태양광, 조류, 풍력-태양광, 풍력-태양광-조류의 총 5가지 발전 형태에 대해 제작된 제어기를 테스트 하였다.

제어기 성능을 테스트하기 위해서 부하는 따로 시간을 정해두지 않고 Fig. 29와 같이 연속으로 설정하였다.

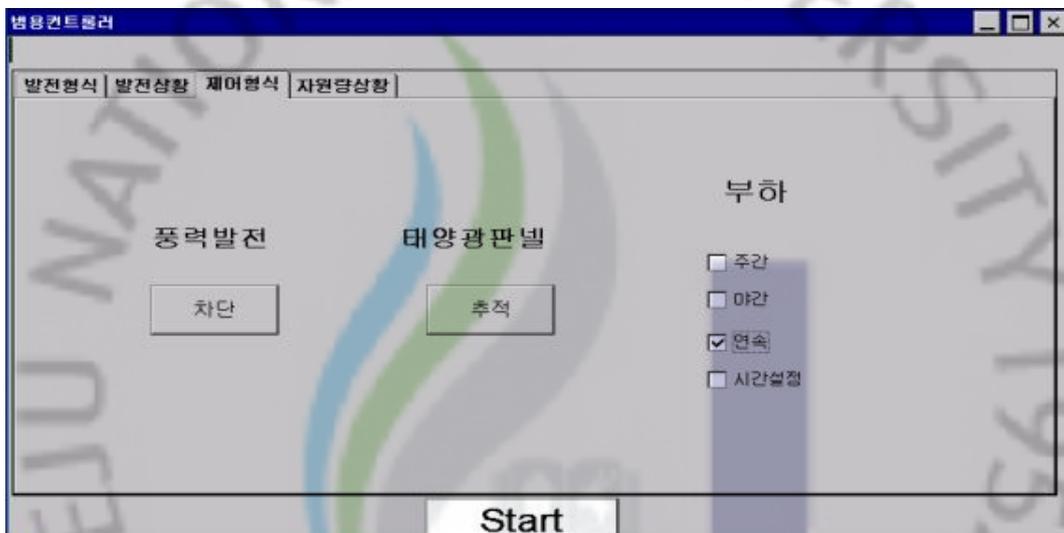


Fig. 29 Load selection

## 2. 제어기 성능실험 결과

### 2.1 풍력발전

Fig. 30과 같이 발전형식을 풍력발전만을 선택하여 테스트 하였다.

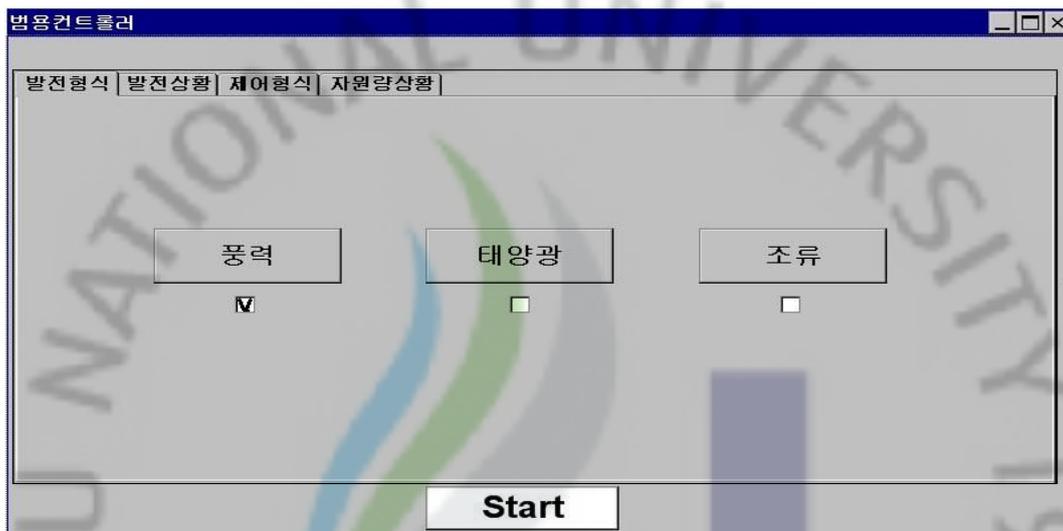


Fig. 30 Choice of the wind generator

아래 풍속자원량 상황이 Fig. 31와 같이 나타나 있다.

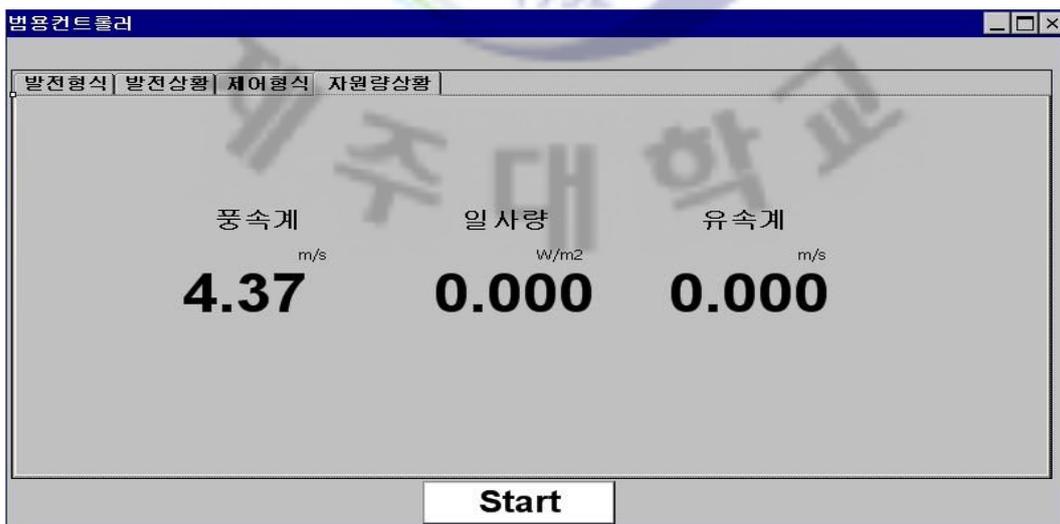


Fig. 31 Status of wind resources

Fig. 32에서 보여진 바와 같이 풍력발전기에 대한 전압 14.3V와 전류 0.04A 및 발전량 0.69W로 결과가 표시되었다. 발전형식을 풍력발전만 선택하였기 때문에 태양광과 조류발전은 데이터 표시가 나타나지 않는다.



Fig. 32 Wind power generation status

## 2.2 태양광 발전

Fig. 33와 같이 발전형식을 태양광 발전만을 선택하여 테스트 하였다.

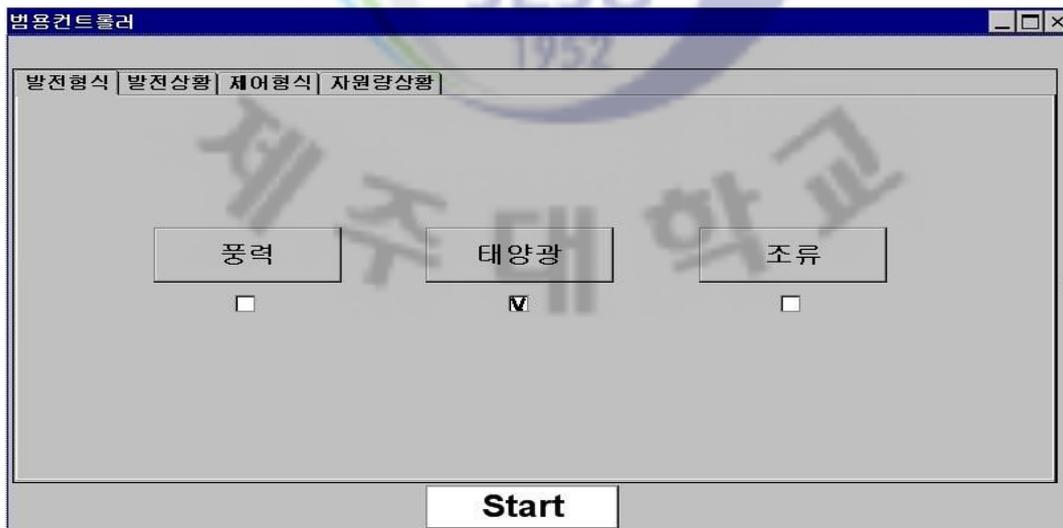


Fig. 33 Choice of the PV

아래 일사량이 47.22 W/m<sup>2</sup> 이었으며 이 자원량이 Fig. 34와 같이 나타났다.



Fig. 34 Status of the PV insolation resource

Fig. 35에서 보는 바와 같이 태양광 발전기에 대한 전압 1.62V와 전류 0.03A 및 발전량 0.05W로 결과가 표시되었다. 발전형식을 태양광 발전만 선택하였기 때문에 풍력과 조류발전은 데이터 표시가 나타나지 않는다.



Fig. 35 Status of the PV generation

### 2.3 조류 발전

Fig. 36와 같이 발전형식을 조류 발전만을 선택하여 테스트 하였다.

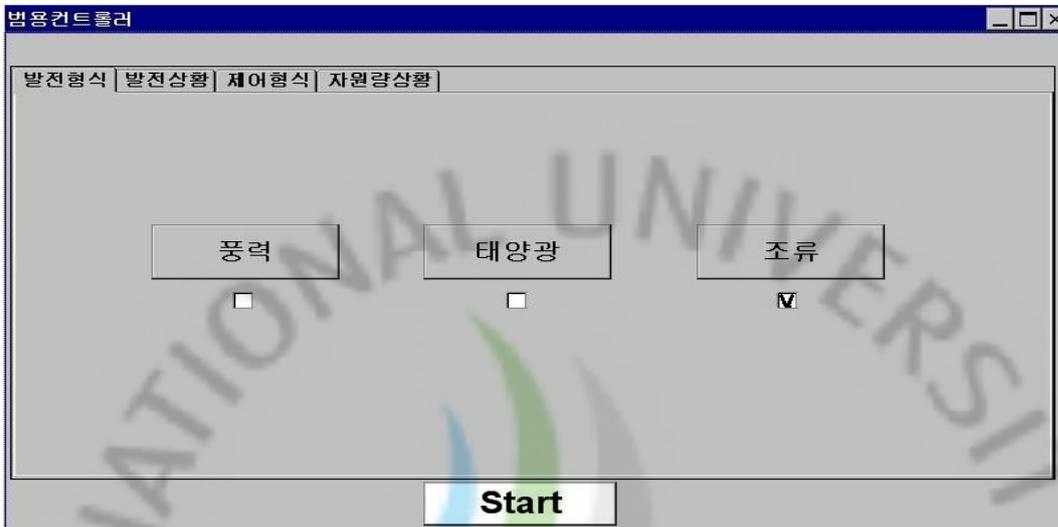


Fig. 36 Choice of the tidal generator

Fig. 37은 유속이 0.5 m/s인 자원량 상황을 나타내고 있다.

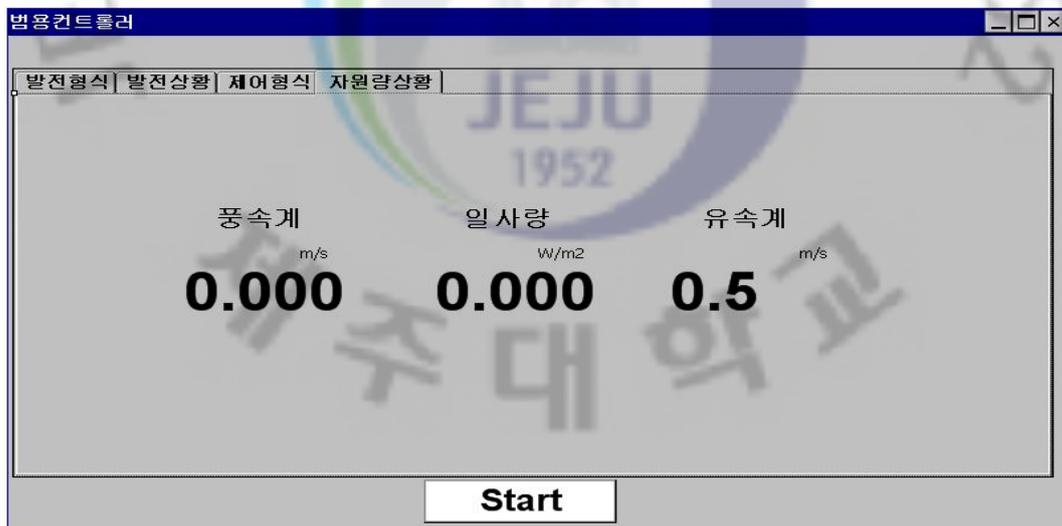


Fig. 37 Monitoring of current data

Fig. 39에서 보는 바와 같이 조류 발전기에 대한 전압 4.9V와 전류 0.12A 및 발전량 0.58W로 결과가 표시되었다. 발전형식을 조류 발전만 선택하였기 때문에 풍력과 태양광 발전은 데이터 표시가 나타나지 않는다.



Fig. 38 Monitoring of the output power for tidal generator

#### 2.4 풍력-태양광 발전

Fig. 39과 같이 발전형식을 풍력과 태양광 발전을 선택하여 테스트 하였다.

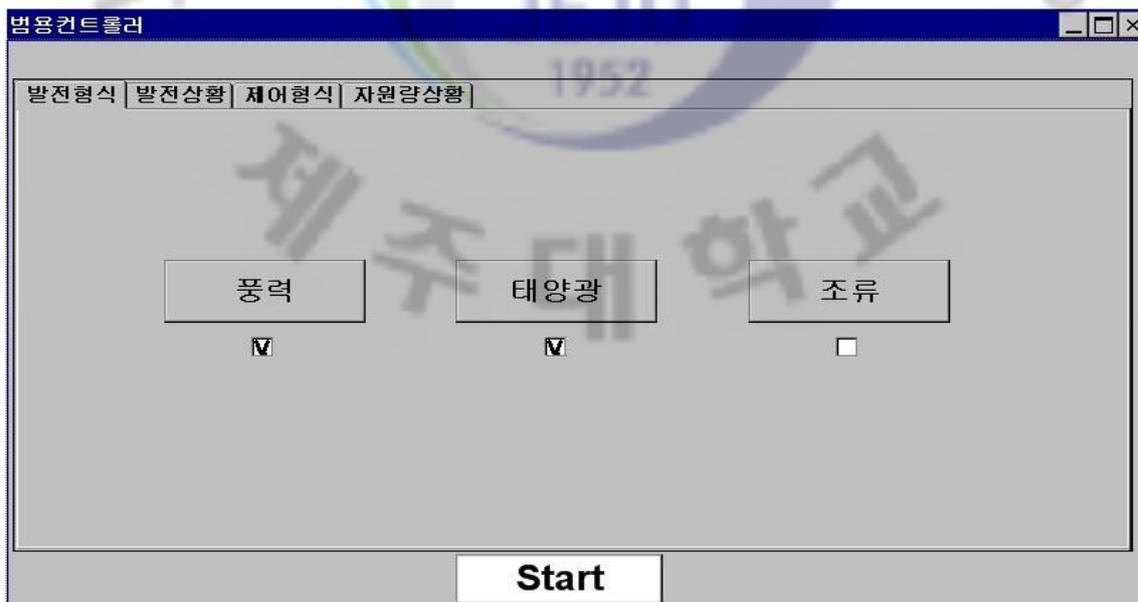


Fig. 39 Choice of the wind generator and PV

Fig. 40과 같이 풍속 3.8 m/s와 일사량 177.7 W/m<sup>2</sup>가 자원량 상황으로 모니터링 되고 있다.



Fig. 40 Status of the wind and solar resources

Fig. 41에 나타낸 바와 같이 풍력 발전기에 대한 전압 13.6V와 전류 0.04A 및 발전량 0.61W로 표시되고 태양광 발전기에는 전압 4.33V와 전류 0.12A 및 발전량 0.52W로 결과가 표시되었다. 발전형식을 풍력-태양광 발전을 선택하였기 때문에 하이브리드 발전의 형태가 나타난다.



Fig. 41 Monitoring of power output for wind and PV generators

풍력-태양광 발전이 진행되는 동안에 강풍 등으로 인한 피해를 방지하기 위해 제작된 풍력차단 기능을 Fig.42과 같이 선택하여 테스트 하였다.

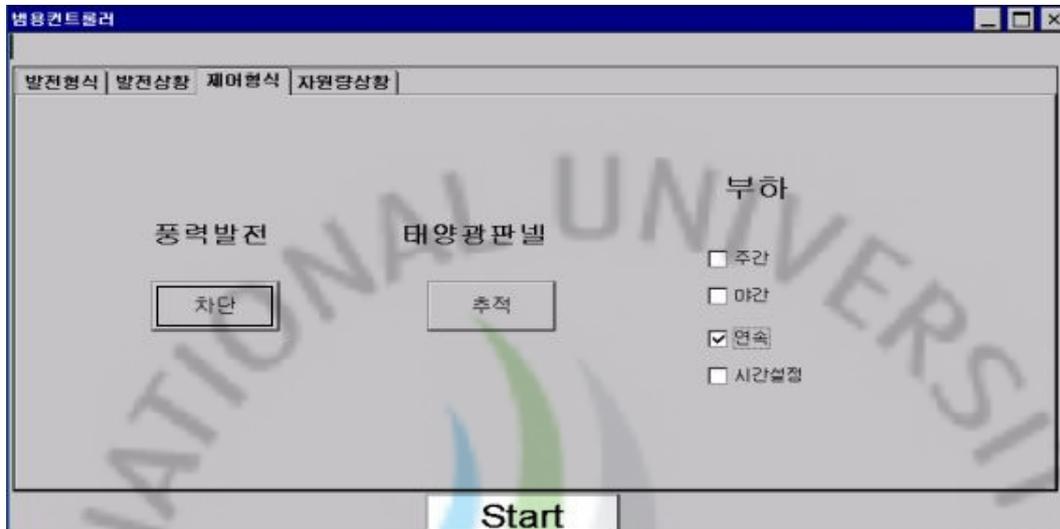


Fig. 42 The wind power cut-out function

Fig. 43에 보여 지듯이 제어형식에서 풍력발전 차단기능을 사용하면 태양광 발전은 그대로 유지되어 발전되지만 풍력발전이 Cut-out 기능을 하면서 전압과 전류 및 발전량이 발생되지 않는다.



Fig. 43 Stop status of wind power generation

## 2.5 풍력-태양광-조류 발전

Fig. 44과 같이 발전형식을 풍력-태양광-조류 발전을 선택하여 테스트 하였다.

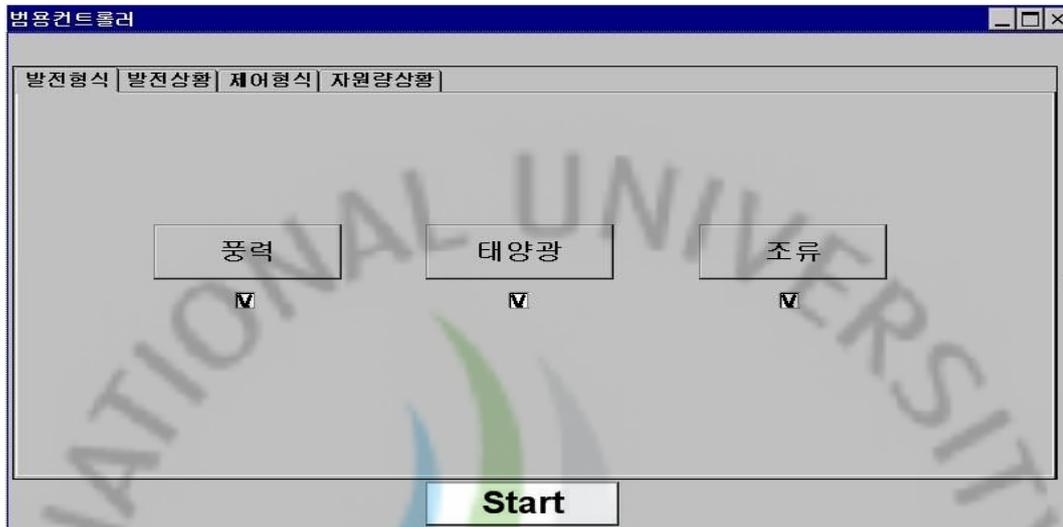


Fig. 44 Choice of the hybrid generation of Wind and PV and Tide

Fig. 45과 같이 풍속 2.5 m/s와 일사량 569.4 W/m<sup>2</sup> 및 유속 0.4 m/s의 자원량 상황이 모니터링 되었다.



Fig. 45 Monitoring of wind, PV, tidal resources

Fig. 46에 보는 바와 같이 풍력 발전기에 대한 전압 7.35V와 전류 0.04A 및 발전량 0.04W로 표시되고 태양광 발전기에는 전압 10.1V와 전류 0.38A 및 발전량 3.87W, 그리고 조류 발전기에서는 전압 4.7V와 전류 0.07A 및 발전량 0.32W로 결과가 복합적으로 표시되었다.



Fig. 46 Monitoring of power output for wind-PV-tidal system

## V. 결론

본 논문에서는 개별적 및 두 가지 이상 서로 다른 형태의 신재생 에너지발전 장치를 서로 병합하여 하이브리드 발전시스템을 구성함으로써 각각의 신재생 발전의 단점을 보완하고 개별 시스템 운영보다 경제적이며 효율적인 시스템을 설계 운영함으로써 신재생 에너지 이용의 효율성과 이용율을 동시에 높이기 위한 범용제어기 설계에 대한 연구를 수행하였다.

그 결과 여러 가지 형태의 하이브리드 발전시스템을 사용자가 쉽게 적용하기 위해 각각 특성 있는 신재생 에너지 발전장치를 개별적으로 사용하거나 서로 다른 2가지 이상의 발전장치를 별다른 수정 없이 쉽게 적용 가능한 범용 제어시스템을 설계하였다. 이 제어시스템은 비전문가도 쉽게 사용할 수 있도록 터치패드 형식의 LCD화면으로 모든 것을 선택할 수 있게 설계되어 있을 뿐만 아니라 에너지 자원량 및 발전상태, 그리고 축전상태 등 다양한 정보를 모니터링 할 수 있게 설계되어 있다.

설계된 제어시스템의 성능을 검증하기 위해 풍력, 태양광, 조류의 하이브리드 발전시스템에 적용하여 에너지 자원량 및 발전상태, 그리고 축전상태 등 설계 실험을 수행하였다. 그 결과 개발된 제어시스템은 다양한 하이브리드 발전시스템에 효과적으로 적용 할 수 있음을 확인하였다. 이와 같은 에너지 자원량 및 발전상태, 그리고 축전상태 등 다양한 정보를 모니터링 할 수 있는 범용제어기의 개발로 인하여 신재생 에너지를 이용한 다양한 하이브리드 발전시스템 개발 및 하이브리드 발전장치의 확대 보급에 크게 이바지할 것으로 기대 된다.

특히 고립 지역이나 전력공급이 어려운 지역에 누구나 쉽게 그 지역 특성을 고려한 최적의 하이브리드 발전조합을 선정하여 제어할 수 있게 됨에 따라 하이브리드 발전시스템의 보급이 크게 활성화 될 것이다. 또한 하이브리드 발전시스템의 상용화 보급을 통해 에너지 고갈 문제 및 탄소배출량을 줄여야 하는 환경문제에도 크게 도움이 될 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 윤경훈, “태양광 기술 현황”, 한국에너지기술연구원 태양전지연구센터, 대전, pp. 2~14, 2004.
- [2] 나계연, 정유근, 신동인, “태양광추적방식에 관한 사례 연구”, 대한건축학회, pp. 895~898, 2007.
- [3] 최정식, 고재섭, 정동화, “태양광 발전 시스템의 추적식 및 MPPT 제어기 개발”, Journal of the Korean Institute of Illumin角度 and Electrical Installation Engineers Vol. 21, No.8, pp. 54~63, 2007.
- [4] 유권중, 송진수, 노명근, 성세진, “태양광·풍력 복합발전 시스템의 최적용량 선정”, 대한전기학회논문집, pp. 1939~1941, 1997.
- [5] 이양규, “태양 위치 추적기를 이용한 독립형 태양광 발전시스템의 효율개선”, 전남대학교 석사학위논문, pp. 1~10, 2003.
- [6] 임중환, 허종철, “피치제어형 풍력발전시스템의 출력제어”, 한국정밀공학회지, 제 20권 제4호, pp.84~91, 2003.
- [7] 안준식, 허남억, 김일환 “태양광 발전을 위한 태양추적시스템 설계”, 정보 및 제어 학술대회 논문집, PP. 330~332, 2006.
- [8] 송도성 “태양광 발전효율 향상을 위한 태양 추적 제어에 관한 연구”, 제주대학교, 2006.
- [9] 양찬조, 조대환, 최민선, 이영호 “조류에너지 실용화 기술 동향”, 한국마린엔지니어링학회 후기학술대회 논문집, PP. 149~150, 2006.
- [10] 조철희, 이강희, 임진영, 채광수 “유입구 덕트설치에 따른 조류발전 성능예측”, 한국해양환경공학회 추계학술대회 논문집, PP. 77~80, 2009.
- [11] 이정일, 서장수, 윤필현, 차인수, “태양광-풍력 복합발전시스템의 출력제어 특성에 관한 연구”, 전력전자학술대회논문집, PP. 933~937, 2003.
- [12] A. G. Bryans, B. Fox, P. Crossley, and T. J. T. Whittaker, “Tidal energy resource assessment for the Irish grid”, Universities Power Engineering Conference UPEC 2004 39th International, vol.2, pp.614~617, 2004.

- [13] 김천규, 강형석, 김영조, 김영석 “조류발전의 MPPT 제어비교”, 대한전기학회 EMCCS학회 추계학술대회 논문집, PP. 114~116, 2008.
- [14] 정용석, 유권종, 강기환, 송진수, 김홍성 “태양광·풍력 복합발전용 PCS시스템 제어특성분석”, 전력전자학술대회, PP. 19~25 1999.
- [15] S. Ashok, "Optimised model for community-based hybrid energy system", Renewable Energy, pp. 1155~1164, 2007.



## 감사의 글

대학원에 입학해 부지런히 공부하여 우수한 논문을 써보리라 다짐하였지만 연구에 대한 방대한 분량은 나의 자신감을 떨어뜨렸고 대학원 학기 중 예전부터 원했던 회사에 취업하게 되어 논문 작성에 대한 마음이 멀어지기도 하였습니다. 하지만 임종환 교수님께서 또 한번의 기회를 허락해 주셨고 다시 한번 노력하여 논문을 완성해 보라며 격려해 주셔서 다행히 졸업을 하게 되었습니다. 대학원 면접을 보며 교수님들께 낮은 학점으로 인해 부끄러운 소리를 들은 것이 엇그제처럼 생생히 기억이 나는데 이렇게 졸업하게 될 줄은 몰랐습니다. 학문, 연구, 공부, 실험 등 저에게 어울리지 않은 듯한 단어들이지만 임종환 교수님께서 대학원에 들어와 공부해보라며 저에게 좋은 기회를 주셨을 때부터 좋은 일들이 많이 생긴 것 같습니다.

대학원에 입학하여 5년 만에 논문을 완성하게 되면서 누구보다도 논문 지도를 매일같이 하여주시고 부족한 저를 믿어주시며 기다려 주신 임종환 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 논문 심사위원으로 수고하여 주시고 저의 논문을 세심히 검토하여 조언해 주셨던 강철웅 교수님과 변영철 교수님께 감사를 드립니다. 그리고 논문 작성에 많은 도움을 준 근현이와 의장이에게 정말 고맙다는 말을 전하며 졸업의 기쁨을 같이하고 싶습니다. 회사에서도 틈틈이 작성할 때마다 어깨를 두드려 주시며 격려해 주신 김성은 팀장님과 영문 작성에 도움을 준 김병훈 차장님, 분주해 보이는 저에게 말도 안하시고 저의 일을 대신 해주셨던 송승원 차장님, 논문 작성하느라 고생이 많으며 맛있는 저녁을 사주신 고종화 과장님과 최만기 대리님께 정말 감사드립니다.

직장과 학교를 오가며 집안일을 거들어주지 못했지만 논문 준비 잘하고 힘내라며 응원해준 아내 지숙이와 매일 아빠를 반겨주는 딸 가은이에게 고맙고 사랑한다고 전합니다.

2010년 12월 논문을 마치며...