



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

경제성 평가에 근거한 하이브리드  
발전시스템의 최적용량 설계에 관한 연구

濟州大學校 大學院

風力特性化協同科程

朴 義 將

2011年 12月



	<p>경제성 평가에 근거한 하이브리드 발전시스템의 최적용량 설계에 관한 연구</p> <p>朴 義 將</p> <p>二〇一 一</p>	
--	--	--



# 경제성 평가에 근거한 하이브리드 발전시스템의 최적용량 설계에 관한 연구

指導教授 林 鍾 桓

朴 義 將

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2011年 12月

朴義將의 工學 碩士學位 論文을 認准함

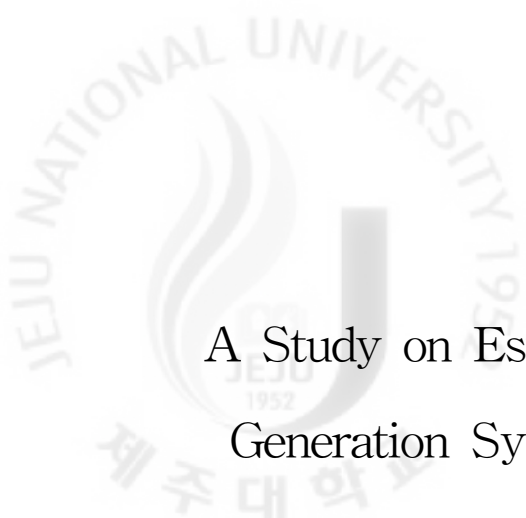
審 查 委 員 長 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

濟州大學校 大學院

2011年 12月

The logo of Jeju National University is a circular emblem. It features a stylized flame or torch in the center, with the year '1952' below it. The text 'JEJU NATIONAL UNIVERSITY' is written in an arc at the top, and '제주대학교' is written in Korean at the bottom.

A Study on Estimating Optimal Capacity of Hybrid  
Generation Systems based on Economic Analysis

Eui-Jang Park  
(Supervised by professor Jong-Hwan Lim)

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

Multidisciplinary Graduate School Program for Wind Energy

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2011年 12月

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
1.1 연구의 배경 .....	1
1.2 연구동향 및 연구목적 .....	3
제 2 장 하이브리드 시스템 .....	5
제 1 절 발전시스템 개요 .....	5
1.1 신재생에너지 기반 하이브리드 시스템 .....	5
제 2 절 하이브리드 시스템의 경제성 분석 .....	6
2.1 비용 .....	6
2.2 온실가스 .....	10
제 3 장 최적 발전시스템 구성 .....	12
제 1 절 시뮬레이션 조건 .....	12
1.1 부하 모델링 .....	12
1.2 하이브리드 시스템 모델링 .....	16
1.3 비용 모델링 .....	22
제 2 절 시뮬레이션 결과 .....	24
2.1 디젤발전시스템 .....	24
2.2 독립운전형 하이브리드 시스템 .....	25
2.3 계통연계형 하이브리드 시스템 .....	32
제 4 장 결론 .....	41
참고문헌 .....	42

## List of Figures

Fig. 1 A Prospect of Potential PV Installation .....	1
Fig. 2 Global Wind Capacity .....	2
Fig. 3 Configuration of Hybrid Systems .....	5
Fig. 4 Configuration of the Hybrid System .....	12
Fig. 5 Normal Load Data .....	13
Fig. 6 Residential Load Data .....	13
Fig. 7 Industrial Load Data .....	14
Fig. 8 Normal Load .....	14
Fig. 9 Residential Load .....	15
Fig. 10 Industrial Load .....	15
Fig. 11 Wind Speed .....	17
Fig. 12 Power Curve of the Wind Turbine .....	18
Fig. 13 Solar Radiation .....	20
Fig. 14 Optimal Result of a Hybrid System(Normal Load) .....	26
Fig. 15 Optimal Result of a Hybrid System(Residential Load) .....	27
Fig. 16 Optimal Result of a Hybrid System(Industrial Load) .....	28
Fig. 17 Net Present Cost of Capital Cost .....	29
Fig. 18 Net Present Cost of Replacement Cost .....	30
Fig. 19 Net Present Cost of O&M Cost .....	30
Fig. 20 Net Present Cost of Components by the Sensitivity Analysis .....	31
Fig. 21 Net Present Cost, Levelized Cost of Energy, Operating Cost by Sensitivity Analysis .....	32
Fig. 22 Net Present Cost at Connection to Grid(Normal Load) .....	33
Fig. 23 Power Transaction at Connection to Grid(Normal Load) .....	34
Fig. 24 Net Present Cost at Connection to Grid(Residential Load) .....	35
Fig. 25 Power Transaction at Connection to Grid(Residential Load) .....	36

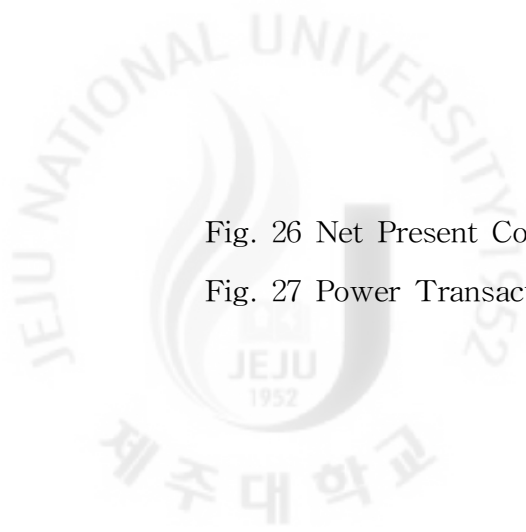


Fig. 26 Net Present Cost at Connection to Grid(Industrial Load) ..... 38

Fig. 27 Power Transaction at Connection to Grid(Industrial Load) ..... 38



## List of Table

Table. 1 Exhausting Substance .....	11
Table. 2 Specifications of Wind Turbine .....	18
Table. 3 Properties of PV Array .....	20
Table. 4 Specifications of Battery .....	21
Table. 5 Costs of Components .....	22
Table. 6 Optimal Combinations .....	22
Table. 7 Cost of Diesel System according to the Load .....	24
Table. 8 Emission according to the Load .....	25
Table. 9 Costs of Optimal Hybrid System(Normal Load) .....	26
Table. 10 Costs of Optimal Hybrid System(Residential Load) .....	27
Table. 11 Costs of Optimal Hybrid System(Industrial Load) .....	28
Table. 12 Result of Sensitivity Analysis for the PV Array(Residential Load) .....	31
Table. 13 Cost of the Optimal Hybrid System(Normal Load) .....	33
Table. 14 The Monthly Power Transaction(Normal Load) .....	34
Table. 15 Cost of the Optimal Hybrid System(Residential Load) .....	35
Table. 16 The Monthly Power Transaction(Residential Load) .....	36
Table. 17 Cost of the Optimal Hybrid System(Industrial Load) .....	37
Table. 18 The Monthly Power Transaction(Industrial Load) .....	39
Table. 19 Emission at Connection to Grid .....	39

## Abstract

Recently, the hybrid generation system has become significant because of the complementary characteristics among the new and renewable energy resources. Hybrid generation system is basically merging systems of two or more different types of generation systems. To use the energy resources of hybrid system more efficiently, the combination and sizing of different types of generation systems that constitute the hybrid system are very important because the energy cost depends on the kinds of new and renewable energy resources. However, the combination and sizing of the hybrid system are performed on the basis of experience and intuition, which is not attained the optimum efficiency.

Since new and renewable energy resources have stochastic behaviour, the major aspects in the design of the hybrid system are the cost of energy as well as the reliable power supply of the consumer under varying atmospheric conditions. In order to use the new and renewable energy resources more efficiently and economically, the design of optimal combination and sizing of hybrid system plays an important role in this respect.

This Thesis presents a simulation results for designing the combination and sizing of hybrid generation system based on economical analysis. The analysis aims at finding the combination and sizing of hybrid system, among sets of system components, that meets the desired system requirements with the lowest value of the energy cost. For this analysis, HOMER(Hybrid Optimization Model for Electronic Renewables) is used to find optimal economical models among various combinations and different sizing of diesel, wind and PV generation systems with battery and grid connection system.

# 제 1 장 서론

## 1.1 연구의 배경

오늘날, 인구는 기하급수적으로 증가하고 필수 물자는 부족해지고 폐기물처리 설비는 불충분하며 비효율적이고 토양, 공기 및 물의 오염은 증가하여 일반인, 과학자, 엔지니어, 정치인 및 그 지역 정부의 관심을 끌고 있다. 물질적인 생활 유형과 산업화로 인해서 에너지 수요는 기하급수적으로 증가하여 그에 따른 환경오염 또한 급속히 증가하고 있다.[1] 전 세계적으로 화석연료의 사용량의 급증으로 발생한 지구 온난화로 인해 전 세계적으로 이상기후의 발생빈도가 증가하고 이로 인해 생태계가 급속히 파괴되고 있기 때문이다. 또한 기후변화협약 및 교토의정서 등 세계적으로 추진되고 있는 환경규제와 관련된 규약은 제품생산에 있어서 온실가스 배출량을 최소화하도록 유도하고 있어서 에너지 다소비국인 우리나라로서는 국가경쟁력 향상을 위해 환경 친화적인 새로운 에너지원의 독자적인 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.[2]

현재 국내 신재생에너지 현황을 살펴보면, 태양광산업은 최근 몇 년 동안 비약적으로 성장하였으나 선진 기술에 비교하였을 때 국내 태양광산업의 기술수준과 제조업에서 국산화율이 낮은 것으로 나타나고 있으며 태양광 수출의 극대화를 위해서 기술개발이 제일 중요하며, 주변 경쟁국과 대등한 경쟁을 위해서 정부의 제도적 지원이 요구되고 있다. Fig. 1은 태양광발전 누적 용량 전망을 나타낸다.

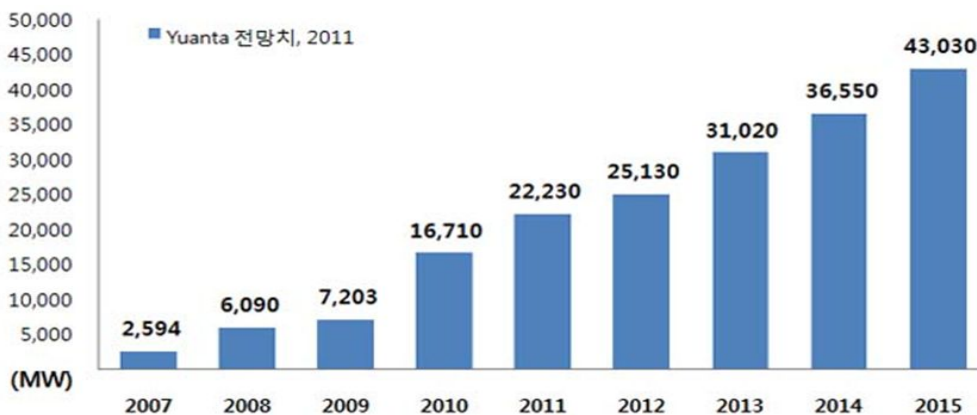


Fig. 1 A Prospect of Potential PV Installation[3]

풍력발전 산업은 세계 풍력발전 설비시장에서 국내 기업의 경쟁력은 아직도 미약한 수준이고 풍력산업 육성을 위한 정책 지원이 부족한 실정이며, 풍력산업으로 얻을 수 있는 부가가치와 고용 창출에 대한 시민들의 인식이 부정적이거나 부족하다. 또한 풍력산업과 관련된 인·허가 절차에 시간이 많이 소요되고 있다. Fig. 2는 전 세계 풍력 누적 용량을 나타낸다.

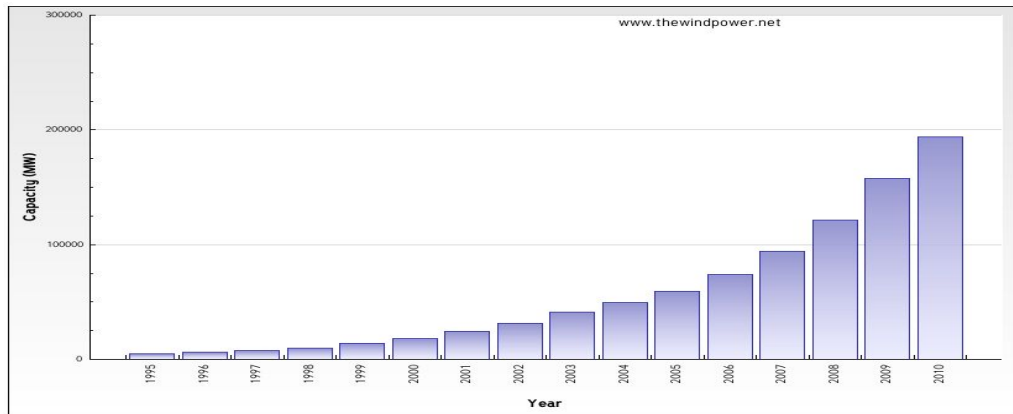


Fig. 2 Global Wind Capacity

연료전지는 다양한 곳에서 사용될 수 있지만 국내의 기술 열세로 인하여 수입에 의존하고 있는 실정이다. 연료전지 산업의 과급효과가 크기 때문에 이 문제를 해결할 지원 정책이 필요한 실정이다.

이러한 상황으로 정부는 2015년까지 총 40조원을 투자하여 세계 5대 신재생에너지 강국으로의 도약을 위한 목표를 세우고 전략적인 연구개발, 사업화, 산업화 촉진 시장창출, 수출산업화 촉진, 기업 성장기반 강화 등 4개의 분야에 11개 세부과제를 추진하기로 하였다. 또한, 태양광산업을 제2의 반도체로 풍력산업을 제2의 조선산업으로 육성하기로 하였으며, 차세대 태양전지 기술 등 10대 원천기술과 8대 부품·소재·장비 개발 및 중소기업의 사업화를 지원하고 테스트 베드 등의 구축과 연구개발을 지원, 해상용 풍력발전기의 개발 및 대규모의 해상풍력단지를 조성하고 신재생에너지 기업 50개 육성을 목표로 삼고 있다.[4]

또한 신재생에너지원을 이용한 발전설비가 확대 보급됨에 따라 막대한 예산이 소요되고, 비용부담주체에 대한 고민 등 보급상 나타날 수 있는 문제가 발생될

것이고 보다 효율적인 사용을 위해서 경제성 평가가 필요하다. 신재생에너지 생산의 특성상 갖게 되는 불확실성이 기존의 전원설비에 어떤 경제적 영향을 미치게 될 것인가의 문제는 매우 중요한 이슈가 될 것이며 시장경제의 측면에서의 관련설비의 생산, 보급을 위한 시장의 형성과 규모, 이에 따른 기술개발의 전망과 단위비용의 변화, 신·재생에너지 확대보급을 위한 사회적 수용성, 지불의사 평가 등이 연구의 대상이 될 것이다.[5] 그러므로 신재생에너지 설비와 하이브리드 시스템의 다양한 최적설계방법과 경제성 평가에 관한 연구는 매우 중요하다고 할 수 있다.

## 1.2 연구동향 및 연구목적

하이브리드 시스템의 에너지원으로는 태양광, 태양열, 풍력, 연료전지, 지열발전, 소수력발전 등 다양한 신재생에너지원을 결합시켜 복합적으로 사용할 수 있으며 사용목적에 따라서 발전 구성비를 적절히 조절하여 최적 발전을 얻을 수 있도록 설계를 해야 한다.[6]

이와 같이 효율성과 경제성을 고려하여 발전 가능성이 있는 신재생에너지 중에서 실용화에 가장 접근해 있는 풍력, 태양광, 태양열, 그리고 조류, 조력, 파력의 해양에너지가 있다. 특정 지역에서의 태양에너지와 풍력에너지, 해양에너지는 서로 보완적인 특성을 갖고 있어 이러한 복합발전시스템을 설계할 경우 비교적 높은 신뢰도의 전력을 공급할 수 있어 이에 대한 연구가 더욱 많은 관심을 받고 있다.[2, 7]

하이브리드 시스템과 관련된 주요한 연구현황은 응용 측면에서 원격지나 전력이 공급되지 않는 지역의 전력공급시스템으로서 단독운전을 전제로 한 부하와 발전의 에너지 수급균형, 시스템의 최적 구성 및 제어에 관련된 측면에서 신재생에너지원을 최대한 이용하는 최대출력 추종제어, 시스템의 비용측면에서 접근하여 배터리 용량의 최적화 등이 주요 연구 대상이다. 백업시스템 용도로써 연료전지, 수차발전기, 플라이휠 등을 적용한 연구 결과가 발표 되고 있고, 국내에서도 도서지역의 독립발전형 시스템의 경제성 평가에 관한 연구가 진행되고 있다.[8]

또한 지역특성에 알맞은 최적의 발전조합과 비용측면에서의 경제성을 판단하기 위해서 LPSP 기술, GA 알고리즘, PSO 알고리즘 등을 이용한 방법이 연구되고 있다.[7]

본 논문에서는 하이브리드 발전시스템을 구성하고 각 발전시스템의 초기비용, 교체비용, 유지보수비용, 효율, 수명과 이자율, 프로젝트 기간을 입력하여 순 현재비용 기반의 최적용량을 산정하였다. 또한 사례 연구로써 일반용, 산업용, 주택용 3개의 부하 변화에 따른 디젤발전시스템, 독립운전형 하이브리드 발전시스템, 계통연계형 하이브리드 발전시스템을 설계하고 태양광 어레이의 초기비용과 교체비용에 따른 민감도분석을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 토대로 어떤 하이브리드 발전시스템이 경제적 타당성이 있는지를 분석하였다.

## 제 2 장 하이브리드 시스템

### 제 1 절 하이브리드 발전시스템 개요

#### 1.1 신재생에너지 기반 하이브리드 시스템

하이브리드 시스템은 다른 방식의 두 가지 이상의 에너지원의 조합을 적용하여 발전하는 시스템을 말한다. 신재생에너지원에는 태양열, 태양광, 풍력, 바이오매스, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지, 연료전지, 석탄액화가스화, 수소에너지가 있다. 신재생에너지 자원을 이용하여 하이브리드 시스템의 연구가 많이 진행되고 있으며 다방면으로 사용이 되고 있다.

대표적인 하이브리드 시스템은 풍력과 태양광 조합 시스템이며, 지구온난화의 주범인 온실가스를 배출하지 않는다. 이 시스템의 대표적인 구성은 Fig. 3과 같다.

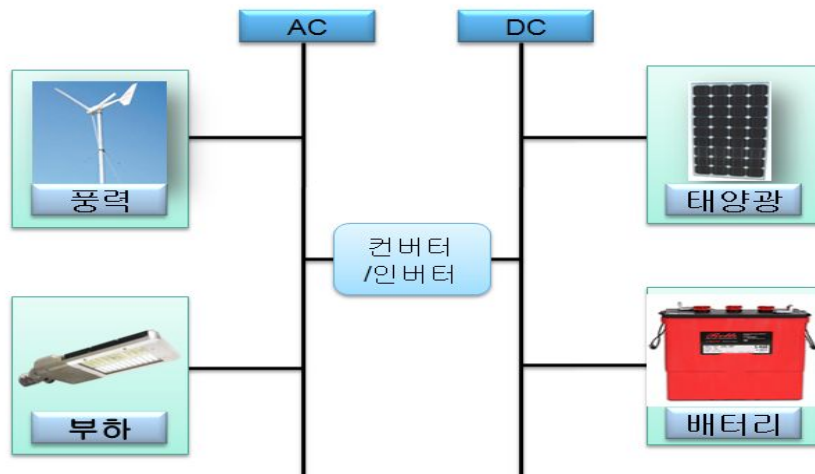


Fig. 3 Configuration of Hybrid Systems

풍력·태양광 하이브리드 시스템은 외부전원의 공급이 되지 못하는 지역에 주

로 적용되어 왔다. 풍력발전과 태양광 발전의 경우에는 다른 신재생에너지에 비해 설치 면적이 적고 설치 시간도 짧다는 장점을 가지고 있다. 소형급 용량으로 부표, 섬, 해안가, 도심 공원의 가로수 전원을 공급하기 위해서 사용되고 있고 건물의 보조 전원으로도 사용되고 있다. 대부분의 도서지역의 경우 디젤발전기를 사용하여 전력을 공급하고 있지만 신재생에너지의 자원이 좋은 지역이 많다. 풍력·태양광 발전과 디젤 발전을 혼용한다면 디젤발전기의 사용을 줄임으로써 온실가스를 절감할 수 있고 충분한 경제성을 갖는 지역이 될 것이다. 이러한 이유로 사전조사를 통해 풍력·태양광 하이브리드 시스템과 디젤 발전을 혼용하여 사용하고 있다.

## 제 2 절 하이브리드 시스템의 경제성 분석

경제성 분석은 공공사업의 비용과 편익을 사회적 입장에서 측정하여 경제적 수익률을 계산하여 계산결과가 타당성이 있는지 없는지의 여부를 결정하는 분석 방식을 말한다. 경제성 분석의 기법에는 순 현재가치, 내부수익률, 투자회수기간 법 등이 있다.[9]

본 논문에서는 하이브리드 시스템의 경제성 평가를 위하여 미국의 국립재생에너지연구소(National Renewable Energy Laboratory, 이하 NREL)에서 개발한 경제성 분석 프로그램인 HOMER(Hybrid Optimization Model for Electronic Renewables)를 사용하였다.[10] 하이브리드 전력시스템의 최적 설계를 위한 프로그램이며 순 현재비용을 사용하여 최적화되는 과정에서 여러 방법으로 화석연료를 사용하는 발전기와 신재생에너지원 발전기들을 비교 분석함으로써 선택된 시스템 구성의 경제성을 비교 분석한다.[11]



## 2.1 비용

경제성 분석을 하기 위해서 각각의 구성품에 대한 비용을 계산한다. 여기서 비용이란, 순 현재비용(Net Present Cost), 발전단가 비용(Cost of Energy), 잔존가치(Salvage Value), 구성품의 초기비용(Capital Cost), 교체비용(Replacement Cost), 유지보수비용(O&M Cost)이다.

### 2.1.1 총 순 현재비용

시스템에서 사용하는 순 현재비용은 프로젝트 기간 동안에 발생하는 모든 비용과 수입을 할인율을 사용하여 미래의 현금흐름을 현재가치화 한 것으로 총비용은 초기 투자(설치)비용, 교체비용, 유지보수비용, 전력망으로부터 전력을 구입하는 비용이 포함되고 수입은 전력망에 전력을 판매함으로써 얻어진 수입을 포함한다. 순 현재비용에서 비용은 양수이고 수입은 음수로 나타내지며, 이는 순 현재가치(Net Present Value)와는 반대된다. 그리고 시뮬레이션에서는 프로젝트 기간 동안 모든 가격이 같은 비율로 상승하는 것으로 가정한다. 순 현재비용은 다음과 같은 식으로 표현된다.[11]

$$\begin{aligned} C_{NPC} &= \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i,N)} \\ &= C_{ann,tot} \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

$C_{ann,tot}$  : 연간 총 총비용

$i$  : 연간 이자율

$N$  : 프로젝트 기간

$CRF()$  : 자본회수율

이다.

### 2.1.2 발전단가 비용

시스템에서 생산된 전기에너지의 kWh 당 평균비용을 발전단가 비용(Levelized Cost of Energy : COE)으로 정의하고 있다. 발전단가 비용은 다음과 같은 식으로 표현된다.[12]

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - c_{boiler} H_{served}}{E_{served}} \quad (2)$$

여기서,

$C_{ann,tot}$  : 시스템의 총 연간비용[\$/yr]

$c_{boiler}$  : 보일러 한계비용[\$/kWh]

$H_{served}$  : 총 열부하[kWh/yr]

$E_{served}$  : 총 전기부하[kWh/yr]

이다.

### 2.1.3 운영비용

운영비용은 연간 발생하는 시스템의 운영비용이다. 운영비용은 다음과 같은 식으로 표현된다.[12]

$$C_{operating} = C_{ann,tot} - C_{ann,cap} \quad (3)$$

여기서,  $C_{ann,tot}$ 은 총 연간비용이고  $C_{ann,cap}$ 는 총 연간 자본비용을 나타낸다.

#### 2.1.4 잔존가치

잔존가치는 프로젝트 기간이 끝날 때 시스템의 구성품에 남아 있는 가치이다.

잔존가치는 다음과 같은 식으로 표현된다.[13]

$$S = C_{rep} \cdot \frac{R_{rem}}{R_{comp}} \quad (4)$$

여기서,  $C_{rep}$ 는 교체 비용이고  $R_{comp}$ 은 구성부품의 수명이다.

$R_{rem}$ 은 프로젝트 기간이 끝날 때까지의 구성품의 남아 있는 수명이며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$R_{rem} = R_{comp} - (R_{proj} - R_{rep}) \quad (5)$$

$R_{rep}$ 는 교체비용 기간이며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$R_{rep} = R_{comp} \cdot INT\left(\frac{R_{proj}}{R_{comp}}\right) \quad (6)$$

여기서,

$R_{proj}$  : 프로젝트 기간[yr]

$INT()$  : 실제숫자를 정수로 만드는 함수

이다.

### 2.1.5 자본비용

자본비용은 프로젝트 초기에 들어가는 구성품의 총 설치비용을 의미하며 이 비용의 소비는 초기에 한번만 발생한다.

### 2.1.6 교체비용

교체비용은 프로젝트 기간 내에 수명을 다한 설비를 교체할 때 소요되는 비용을 의미하며 구성품의 수명이 프로젝트 기간 보다 높거나 같을 경우 교체비용이 발생하지 않는다. 반대로 프로젝트 기간 보다 낮을 경우에는 수명에 따라 교체 횟수가 증가한다.

### 2.1.7 유지보수비용

유지보수비용은 연간 발생하는 설비의 운영과 보수에 관련된 모든 비용을 의미하며 이 비용은 프로젝트 기간동안 매년마다 유지보수비용이 발생한다.

## 2.2 온실가스

휘발유, 디젤, 천연가스, 바이오매스, 프로판가스의 연료를 사용하는 발전기를 사용하여 전기를 생산할 경우 대기오염물질을 배출하게 된다. 배출물질은 지구 온난화의 주범이며 이 배출량은 경제성분석에 사용된다. 배출되는 물질은 Table. 1과 같다.



Table. 1 Exhausting Substance

$CO_2$
$CO$
$UHC_s$
$PM$
$SO_2$
$NO_x$

## 제 3 장 최적 발전시스템 구성

### 제 1 절 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 시뮬레이션을 하기 위해 필요한 연간 부하사용량, 풍력발전, 태양광발전, 컨버터, 배터리의 조합을 모델링 하였다. Fig. 4는 모델링 된 시스템 구성도를 보여준다. 부하의 경우 일반용, 주택용, 산업용 부하등 총 3가지를 사용하였고 부하에 따라, 신재생에너지의 어떠한 조합이 최적인지 분석한다.

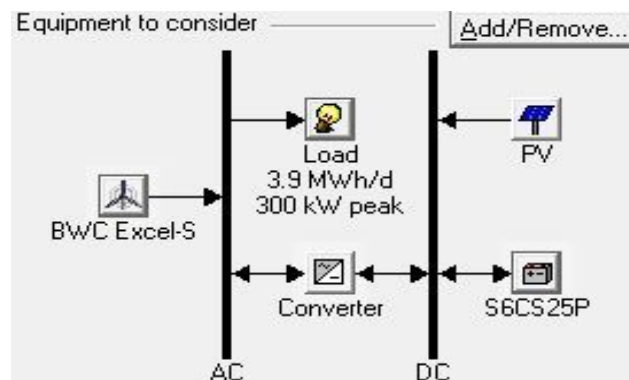


Fig. 4 Configuration of the Hybrid System

#### 1.1 부하 모델링

경제성분석을 위해서는 1년(8760시간)의 부하 사용량을 입력데이터로 입력을 해야 한다. 본 연구에서는 케이스 연구이므로 에너지관리공단의 ‘수용가 부하곡선을 이용한 전력사용 형태분석자료(2004년~06년)’의 일반용, 주택용, 산업용 부하 데이터를 사용하였다. Fig 5, 6 그리고 7은 각 계절별로 용도별 실제부하를 나타낸다. 이 데이터는 대표 월의 실제부하를 한 시간 단위로 평균한 것이다. 이 계절별 실제 부하데이터를 바탕으로 하여 매일 24시간 동안의 순간부하를 1년간 모델링 하였다. 부하 모델링은 HOMER에서 제공하는 Random variability 기능을 사용하여 일별, 시간별 변화치를 입력하여 정규화시킨 후 수행하였다.

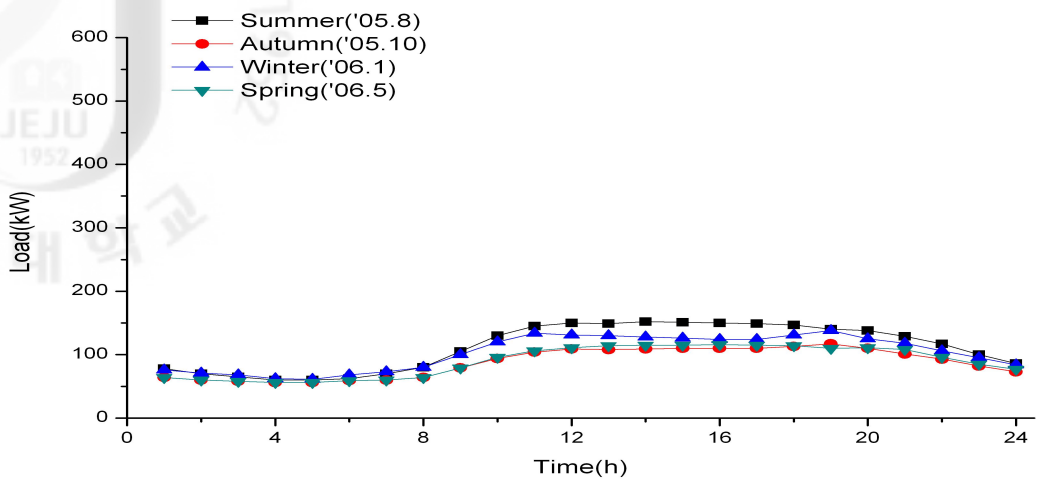


Fig. 5 Normal Load Data

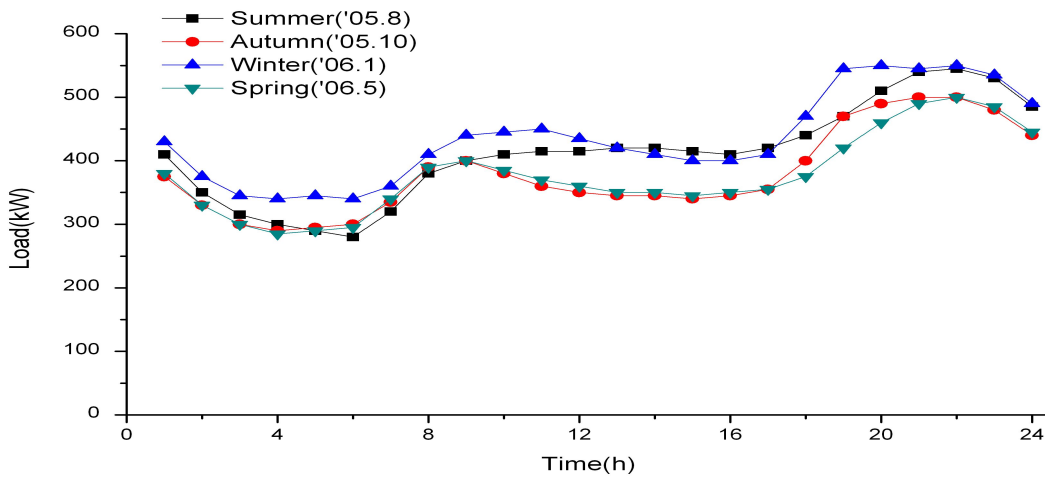


Fig. 6 Residential Load Data

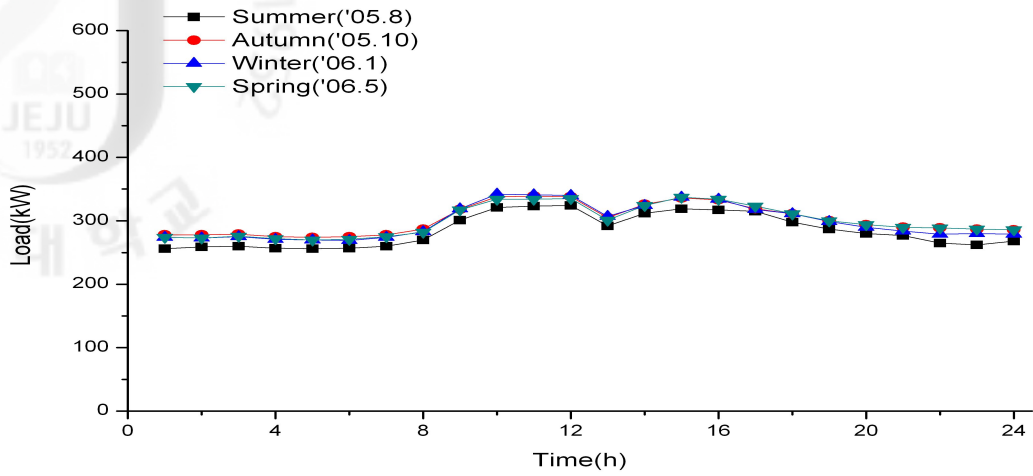


Fig. 7 Industrial Load Data

이와 같은 각 용도별 부하 데이터를 적용하여 모델링 한 연간 부하 데이터는 Fig. 8, 9 그리고 10에 나타냈다.

Fig. 8은 일반용 부하모델로서 부하의 일평균 전력량은 2,395kWh/d, 피크부하는 300kW, 평균부하는 99.8kW, 부하율은 0.333%이다.

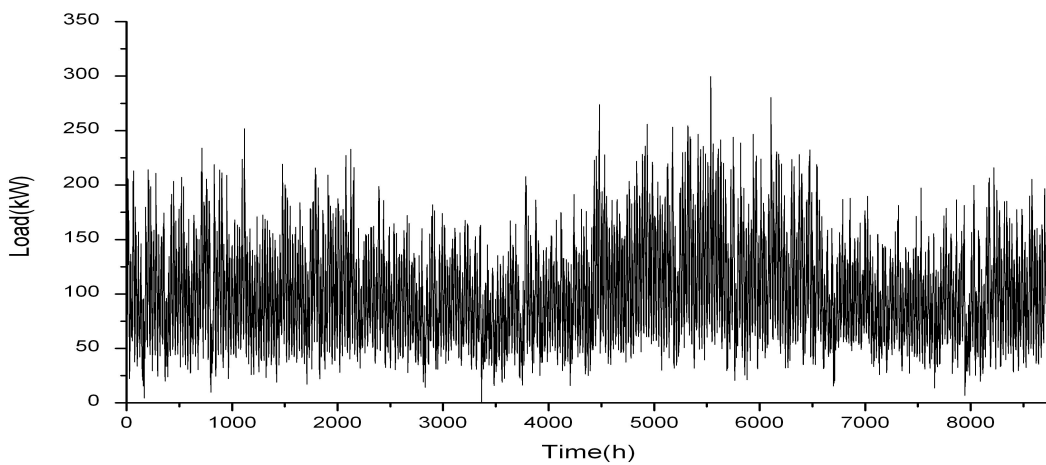


Fig. 8 Normal Load

Fig. 9는 주택용 부하모델로서 부하의 일평균 전력량은 3,852kWh/d, 피크부하



는 300kW, 평균부하는 160kW, 부하율은 0.535%이다.

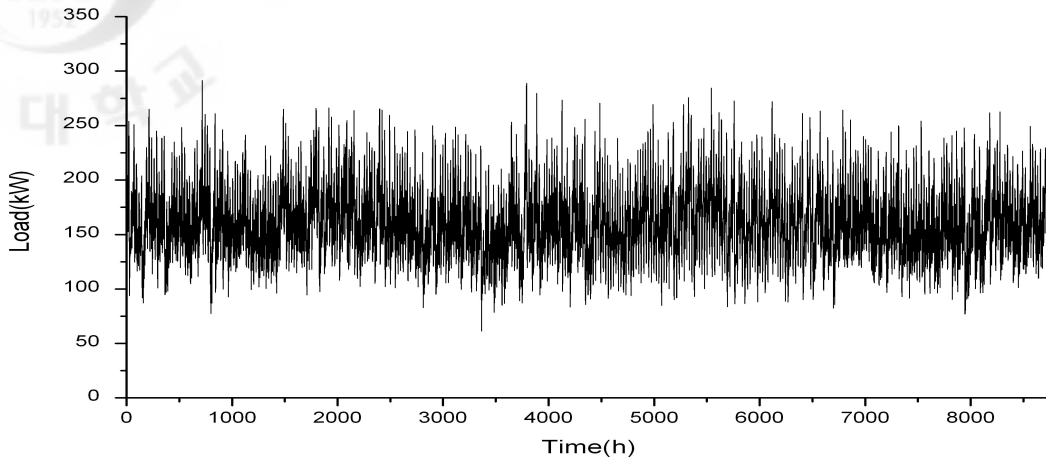


Fig. 9 Residential Load

Fig. 10은 모델링 된 산업용 부하를 나타낸다. 산업용 부하의 일평균 전력량은 4,374kWh/d, 피크부하는 300kW, 평균부하는 182kW, 부하율은 0.608%이다.

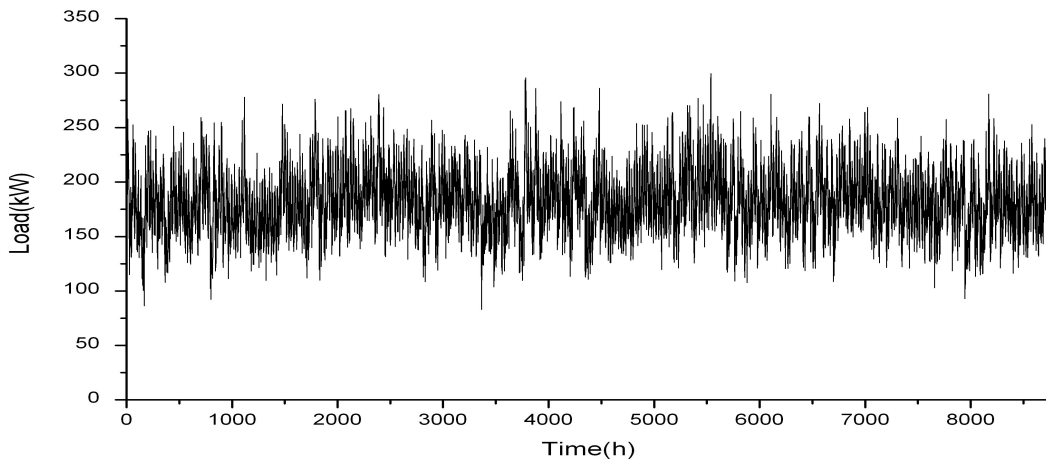


Fig. 10 Industrial Load

## 1.2 하이브리드 시스템 모델링

### 1.2.1 풍력발전 모델링

풍력발전시스템의 경제성을 평가하기 위해서는 1년의 풍속 데이터와 풍력발전기의 모델, 초기투자비용, 교체비용, 유지보수비용, 수명, 허브높이 등이 필요하다. 먼저 풍력발전 출력을 구하는 식은 다음과 같다.

$$P_{WT} = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_P(\lambda, \beta) \quad (7)$$

여기서,

$\rho$  : 공기밀도

$A$  : 로터회전면적

$V$  : 풍속[m/s]

$C_P(\lambda, \beta)$  : 출력계수

이다.

또한 일반적으로 풍속을 측정된 높이와 풍력 터빈의 허브 높이가 다르므로 허브 높이에 따른 풍속을 다음 식을 이용하여 환산한다.

$$U_{hub} = U_{anem} \cdot \frac{\ln(z_{hub}/z_0)}{\ln(z_{anem}/z_0)} \quad (8)$$

여기서,

$U_{hub}$  : 풍력 터빈의 허브 높이에서의 풍속[m/s]

$U_{anem}$  : 풍속계 높이의 풍속[m/s]

$z_{hub}$  : 풍력 터빈의 허브 높이[m]

$Z_{anem}$  : 풍속계 높이[m]

$z_0$  : 표면 거칠기 길이[m]

$\ln()$  : 자연로그함수

이다.

본 논문에서는 특정지역을 지정하여 경제성 평가를 하는 것이 아니므로 풍속 데이터는 HOMER에서 제공하는 샘플 데이터를 사용하였다. 이 데이터의 연간 평균풍속은 6m/s이며, 바람을 측정된 높이는 지상에서 10m 높이에서 측정되었다. Fig. 11은 사용된 풍속 데이터를 나타낸다.

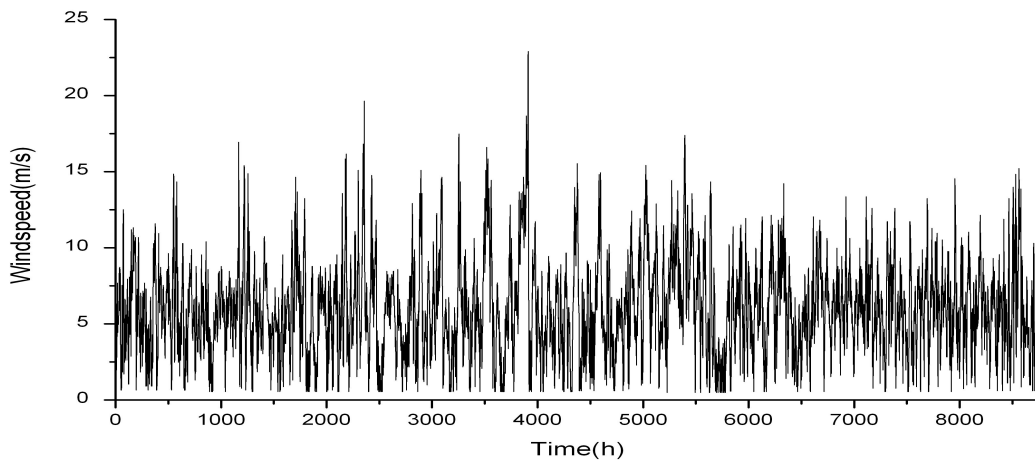


Fig. 11 Wind Speed

본 논문에서는 용량이 10kW인 소형 풍력 발전기를 선택하였다. 풍력발전기의 경우 발전기 대수로서 그 용량을 설정할 수 있는데 용량은 2대부터 100대까지로 설정하였다. 상세한 발전기의 제원은 Table. 2에 나타내었고 풍력발전기의 출력 곡선은 Fig. 12와 같다.

Table. 2 Specifications of Wind Turbine

Model	BWC Excel-S
Size	10kW AC
Manufacturer	Bergey Windpower
Rated speed	12m/s
Type	3 blade upwind
Rotor diameter	7m
Hub height	30m
Lift time	20yr

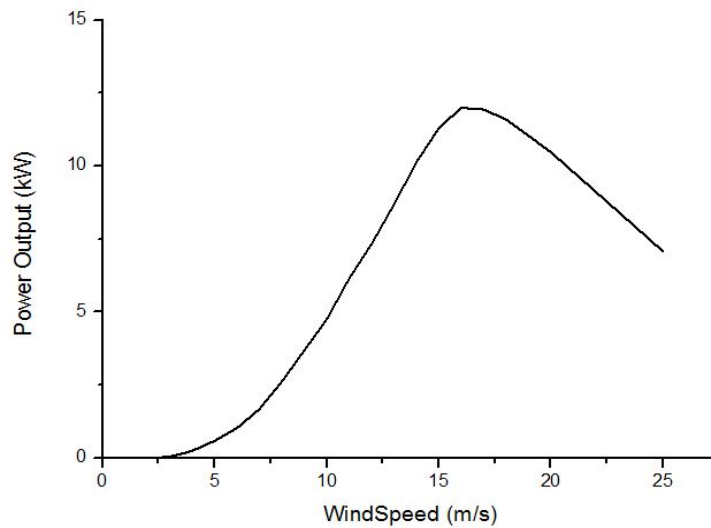


Fig. 12 Power Curve of the Wind Turbine

### 1.2.2 태양광발전 모델링

태양광 출력을 구하는 식은 다음과 같다.[12]

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left( \frac{\overline{G_T}}{\overline{G_{T,STC}}} \right) [1 + \alpha_P (T_c - T_{c,STC})] \quad (9)$$

여기서,

$Y_{PV}$  : PV 어레이의 정격 용량[kW]

$f_{PV}$  : PV 전력감세요소(Derating factor)[%]

$\overline{G}_T$  : PV 어레이의 일사량[kW/m<sup>2</sup>]

$\overline{G}_{T,STC}$  : 표준조건에서의 일사량[1kW/m<sup>2</sup>]

$\alpha_P$  : 온도계수[%/°C]

$T_c$  : PV 셀의 온도[°C]

$T_{c,STC}$  : 표준조건에서의 PV 셀의 온도[25°C]

이다.

여기서 온도의 영향을 고려하지 않는다면 온도계수가 0이 되므로 식이 간단해지며 다음식이 된다.

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left( \frac{\overline{G}_T}{\overline{G}_{T,STC}} \right) \quad (10)$$

일사량 데이터의 경우에는 NASA와 연동되어 위도와 경도, Time zone을 입력하면 직접 NASA 서버에 접속하여 1년간의 위성으로 측정된 일사량과 청명도 데이터를 제공하여 준다. 제공된 연간 일사량은 Fig. 13과 같다. 이 일사량의 연간 평균 청명도는 0.563, 하루 평균 일사량은 5.550(kWh/m<sup>2</sup>/d)이다.

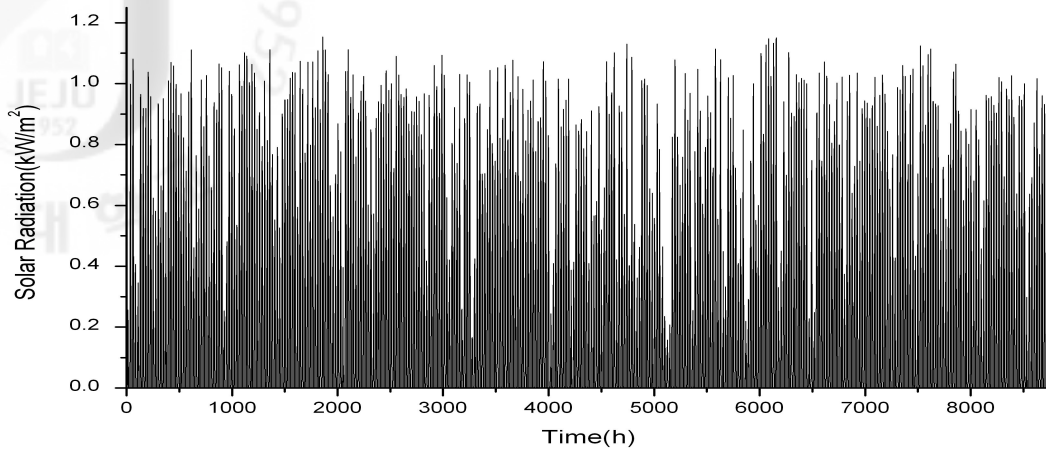


Fig. 13 Solar Radiation

시뮬레이션에 사용된 태양광 어레이의 용량은 20kW부터 선택할 수 있는 것으로 가정하였다. 축적시스템은 사용하지 않는 것으로 가정하고 어레이의 용량 범위는 20kW씩 증가시켜 1,000kW까지로 하였다. Table. 3은 태양광 어레이 특성을 나타낸다.

Table. 3 Properties of PV Array

Properties	Value
Life time(year)	20
Output current	DC
Derating factor(%)	80
slope(degrees)	10
Azimuth(degrees W of S)	0
Ground reflectance(%)	20

Table. 3에서 Derating factor는 PV 어레이를 전체적 손실요소로서 모듈손실, 인버터손실, 케이블 손실, 기타 장비손실 등이 포함된다. Slope는 태양광선과 PV 어레이의 경사를 나타내며 Ground reflectance는 지면 반사율을 나타낸다.

### 1.2.3 축전시스템 모델링

시뮬레이션에 사용된 배터리(납축전지)는 기본적으로 제공하는 배터리 중에서 선택하였다. 배터리는 2열로 구성하였고 배터리의 초기 SOC는 100%, 최소 배터리 수명은 잦은 충·방전이 예상되므로 4년으로 설정하였다.[14] 또한 배터리의 용량은 30개부터 최대 900개까지 고려하도록 설정하였다. 배터리에 대한 상세한 내용은 Table. 4에 나타내었다.

Table. 4 Specifications of Battery

Manufacturer	Rolls/Surette
Nominal capacity	1156Ah
Nominal voltage	6V
Round trip efficiency	80%
Min. state of charge	40%
Float life	12yrs
Lifetime throughput	9,645kWh
Max charge rate	1A/Ah
Max charge current	41A

Table. 4에서 Nominal capacity는 공칭용량, Nominal voltage는 공칭전압, Round trip efficiency는 DC-배터리-DC의 왕복 효율, Min. Sate of Charge는 최소잔존용량(SOC), Float life는 배터리 교체 전까지의 수명, Lifetime throughput는 배터리 교체 전까지 사용할 수 있는 용량, Max charge rate는 최대충전비율, Max charge current는 최대충전전류를 의미한다. 수치는 제조사에서 제공한다.

### 1.2.4 컨버터 모델링

컨버터는 인버터(DC-AC)와 정류기(AC-DC)가 같이 포함된 통합형 시스템이

다. 제품을 따로 선택하지 않으며 비용과 효율, 수명, 용량만을 가정하였는데 인버터와 정류기의 효율은 95%, 수명은 15년, 용량은 50kW부터 500kW까지 범위를 설정했다.

### 1.3 비용 모델링

시뮬레이션에 가정된 각 구성요소들의 비용은 Table. 5와 같다. 순 현재비용의 변수에서 연간이자율(할인율)은 8%, 프로젝트 기간은 25년으로 고려하였다.[15]

각 구성요소들의 비용은 국내에서 정확한 비용을 알 수가 없을뿐더러 공개가 되지 않아 외국자료를 근거로 하여 비용을 가정한다. Table. 6은 최적조합의 변수들이며 이 변수들 중에서 순 현재비용이 가장 적은 것이 최적조합으로 결정된다.

Table. 5 Costs of Components

Components	Capital cost(\$)	Replacement cost(\$)	O&M cost(\$/yr)
Wind turbine	26,000	20,000	100
PV(1kw)	7,000	6,000	20
Battery	1,250	1,110	20
Converter(1kw)	800	750	20

Table. 6 Optimal Combinations

	Wind Turbine (Quantity)	PV array (kW)	Battery (Quantity)	Converter (kW)
1	2	20	30	50
2	4	40	60	100
3	6	60	90	150
4	8	80	120	200
5	10	100	150	250
6	12	120	180	300
7	14	140	210	350
8	16	160	240	400
9	18	180	270	450
10	20	200	300	500
11	22	220	330	





12	24	240	360	
13	26	260	390	
14	28	280	420	
15	30	300	450	
16	32	320	480	
17	34	340	510	
18	36	360	540	
19	38	380	570	
20	40	400	600	
21	42	420	630	
22	44	440	660	
23	46	460	690	
24	48	480	720	
25	50	500	750	
26	52	520	780	
27	54	540	810	
28	56	560	840	
29	58	580	870	
30	60	600	900	
31	62	620		
32	64	640		
33	66	660		
34	68	680		
35	70	700		
36	72	720		
37	74	740		
38	76	760		
39	78	780		
40	80	800		
41	82	820		
42	84	840		
43	86	860		
44	88	880		
45	90	900		
46	92	920		
47	94	940		
48	96	960		
49	98	980		
50	100	1000		

## 제 2 절 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 3가지의 경우를 고려하여 시뮬레이션을 하였다. 먼저 디젤발전기만을 사용하여 발생하는 비용과 디젤발전기가 발생하는 온실가스배출량을 알아본다. 독립형 발전시스템을 시뮬레이션하여 발생하는 비용을 확인하고 디젤발전일 때와 비교한다. 또한, 계통연계형 발전시스템을 시뮬레이션하여 발생하는 비용을 알아본다.

### 2.1 디젤발전시스템

디젤발전기의 용량은 시뮬레이션에 사용된 일반용, 주택용, 산업용 부하의 피크부하가 300kW인 것을 고려하여 350kW 발전기를 사용하였다. 디젤유 가격은 리터당 \$0.8이며 결과는 Table. 7과 같다.

Table. 7 Cost of Diesel System according to the Load

Componets	Capacity (kW)	Net Present Cost(\$)	Levelized Cost of Energy(\$/kWh)	Operating Cost (\$/yr)
Normal load	350	4,653,503	0.499	427,503
Residential load		5,793,573	0.386	534,304
Industrial load		6,196,136	0.364	527,015

Table. 7의 디젤발전시스템의 25년간 순 현재비용은 일반용 4,653,503\$, 주택용 5,793,573\$, 산업용 6,196,136\$이다. 연간 연료소비량은 일반용 463,797 리터, 주택용 597,289 리터, 산업용 644,428 리터가 소비되었다. 연간 발생하는 대기오염물질량은 Table. 8에서 나타내었다.

Table. 8 Emission according to the Load

	Normal Load	Residential Load	Industrial Load
Pollutant	Emission(kg/yr)	Emission(kg/yr)	Emission(kg/yr)
Carbon dioxide	1,221,330	1,572,857	1,696,991
Carbon monoxide	3,015	3,882	4,189
unburned hydrocarbons	334	430	464
Particulate matter	227	293	316
Sulfur dioxide	2,453	3,159	3,408
Nitrogen oxides	26,900	34,643	37,377

시뮬레이션 결과에 따르면 연간 발생하는 대기오염물질은 산업용 부하일 때가 가장 많이 배출되었다. 많이 배출되는 원인은 산업용 부하량이 일반용, 주택용 부하보다 많아 연료를 더 많이 소비하였기 때문에 대기오염물질이 많이 배출되었다.

## 2.2 독립운전형 하이브리드 시스템

독립운전형은 부하 조건을 변수로 하고 풍력, 태양광, 배터리, 컨버터의 구성요소는 고정시켜 구성하여 시뮬레이션 하였다. 그리고 주택용 부하를 사용하여 태양광발전의 초기비용과 교체비용의 민감도분석을 실시하여 가격의 변화를 분석하였다.

### 2.2.1 일반용 부하

Fig. 14에 최적으로 구성된 하이브리드 시스템을 나타내었다. %앞의 숫자는 각 발전기의 선정된 용량(kW)을 나타내는데 풍력발전 5%, 태양광발전 4%, 컨버터 2%, 배터리가 89%를 차지하고 있다.

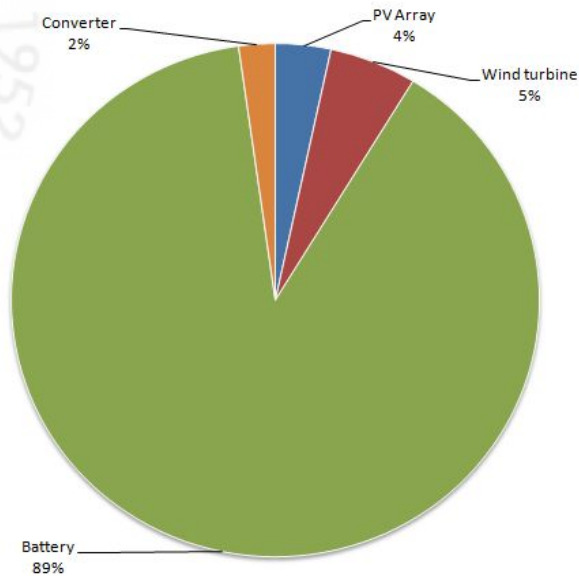


Fig. 14 Optimal Result of a Hybrid System(Normal Load)

일반용 부하의 순 현재비용은 7,809,658\$, 발전단가비용은 0.838\$, 운영비용은 148,917\$이며, Table. 9에 나타내었다.

Table. 9 Costs of Optimal Hybrid System(Normal Load)

Components	Capacity (kW)	Net Present Cost(\$)	Levelized Cost of Energy(\$/kWh)	Operating Cost(\$/yr)
PV	380	7,809,658	0.838	148,917
Wind turbine	600			
Battery	9,993.6			
Converter	250			
Etc	0			

### 2.2.2 주택용 부하

주택용인 경우 최적조합은 풍력 5%, 태양광 5%, 컨버터 2%, 배터리가 88%를 차지하는 것으로 나타내고 있으며 비율은 Fig. 15에 나타내었다.

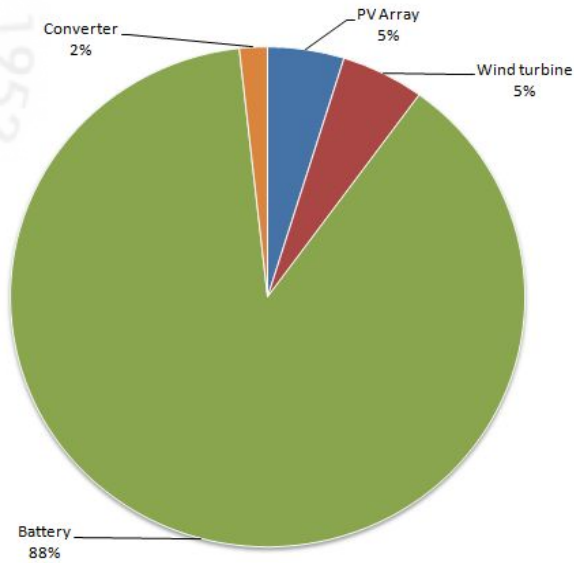


Fig. 15 Optimal Result of a Hybrid System(Residential Load)

Table. 10은 주택용 부하의 결과를 보여주며 순 현재비용은 11,265,552\$, 발전 단가비용은 0.751\$, 운영비용은 119,681\$로 나타났다.

Table. 10 Costs of Optimal Hybrid System(Residential Load)

Components	Capacity (kW)	Net Present Cost(\$)	Levelized Cost of Energy(\$/kWh)	Operating Cost(\$/yr)
PV	680	11,265,552	0.751	119,681
Wind turbine	740			
Battery	12,492			
Converter	250			
Etc	0			

### 2.2.3 산업용 부하

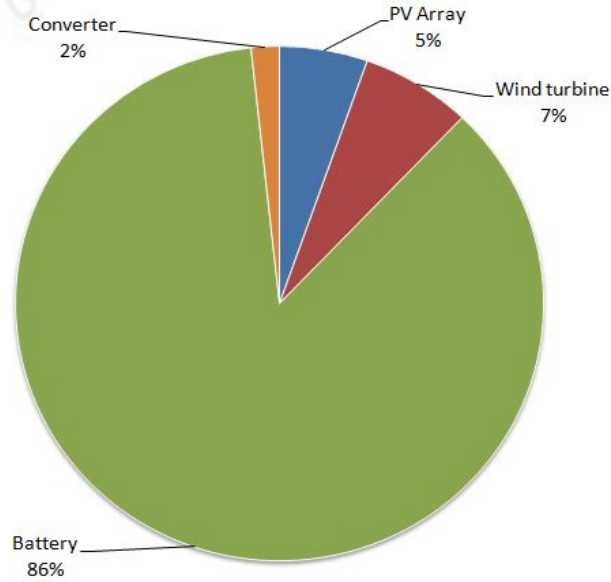


Fig. 16 Optimal Result of a Hybrid System(Industrial Load)

Fig. 16은 산업용의 경우 최적 용량을 나타내며, 풍력 7%, 태양광 5%, 컨버터 2%, 배터리가 86%를 차지하는 것으로 나타내고 있다. Table. 11은 산업용 부하의 결과를 보여주며 순 현재비용은 12,750,214\$, 발전단가비용은 0.749\$, 운영비용은 214,732\$로 나타났다.

Table. 11 Costs of Optimal Hybrid System(Industrial Load)

Components	Capacity (kW)	Net Present Cost(\$)	Levelized Cost of Energy(\$/kWh)	Operating Cost(\$/yr)
PV	780	12,750,214	0.749	214,732
Wind turbine	980			
Battery	12,492			
Converter	250			
etc	0			

이상과 같이 일반용, 주택용, 산업용 부하를 가지고 시뮬레이션 한 결과 일반

용의 순 현재비용이 7,809,658\$ 이었고 배터리의 비율이 일반용, 주택용, 산업용 부하 모두 86%이상 차지하고 있다. 일반용 부하량이 주택용, 산업용 부하량에 비해 낮아 설비용량이 줄어들어 가격이 다른 부하보다 적게 나온 것을 알 수 있다. Fig. 17, 18, 19에 일반용, 주택용, 산업용의 각 초기비용의 순 현재비용, 교체비용의 순 현재비용, 유지보수비용의 순 현재비용을 보여준다. 이 결과에서 알 수 있듯이 산업용 부하가 가격이 높은 것으로 나타났는데 이것은 산업용 부하의 사용량이 높기 때문이다.

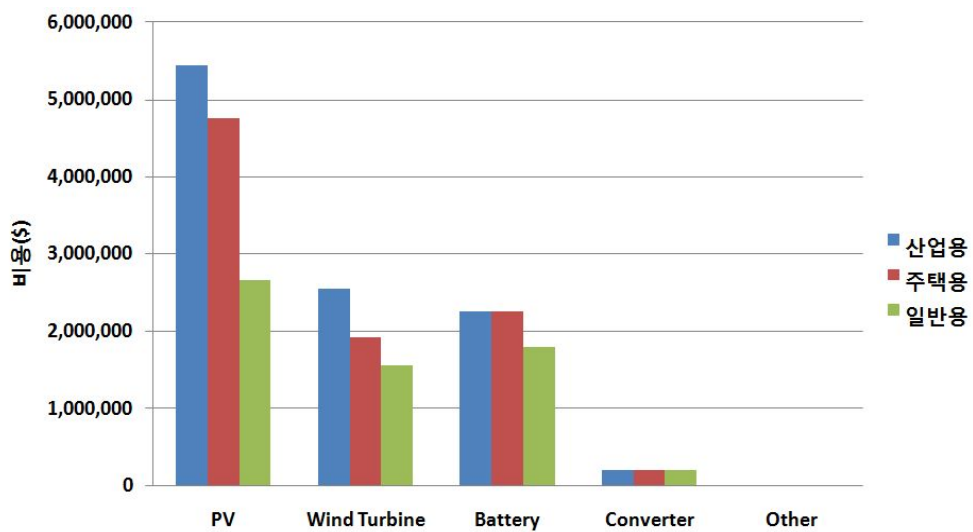


Fig. 17 Net Present Cost of Capital Cost

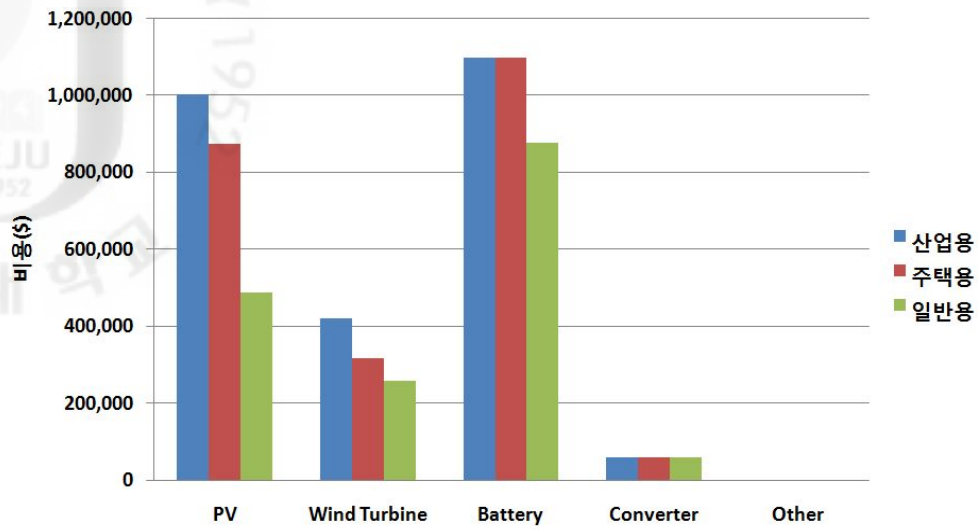


Fig. 18 Net Present Cost of Replacement Cost

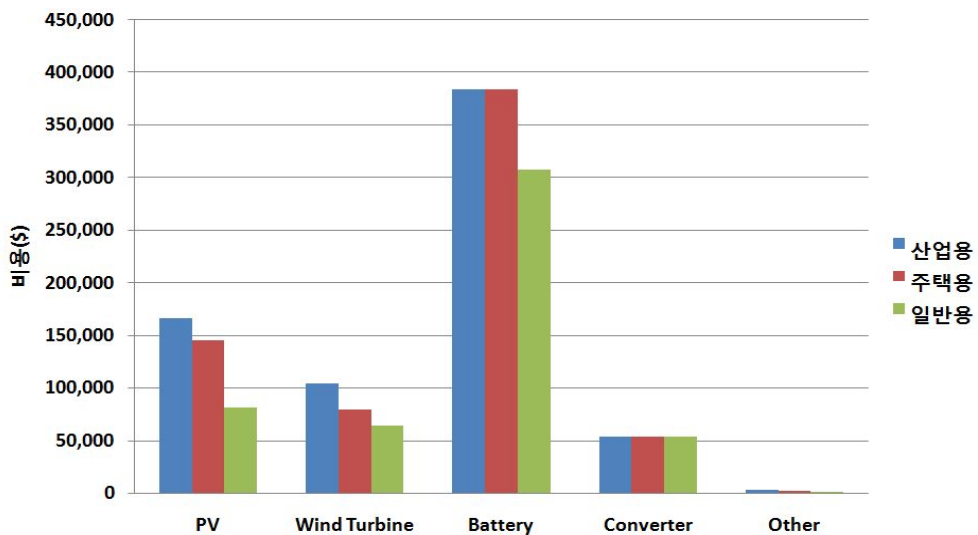


Fig. 19 Net Present Cost of O&M Cost

## 2.2.4 민감도분석

주택용 부하를 대상으로 태양광 어레이의 초기비용과 교체비용이 얼마나 결과에 영향을 주는지를 알아보기 위해서 민감도분석을 수행했다. 민감도분석에 적용된 입력 값은 0.8(초기비용 : 5600\$, 교체비용 4800\$), 0.7(초기비용 : 4900\$, 교체비용 4200\$), 0.5(초기비용 : 3500\$, 교체비용 3000\$)이다. 최적화된 용량은



Table. 12와 같다.

Table. 12 Results of Sensitivity Analysis for the PV Array(Residential Load)

	0.8(5600, 4800)	0.7(4900, 4200)	0.5(3500, 3000)
Components	Capacity(kW)	Capacity(kW)	Capacity(kW)
PV	680	740	740
Wind turbine	740	660	660
Battery	12,492	12,075.6	12,075.6
Converter	250	250	250
Etc	0	0	0

시스템 용량은 민감도가 0.8일 때가 0.7과 0.5보다 풍력과, 배터리 용량이 크다. 0.7과 0.5인 경우에는 시스템의 용량은 같게 나타났다.

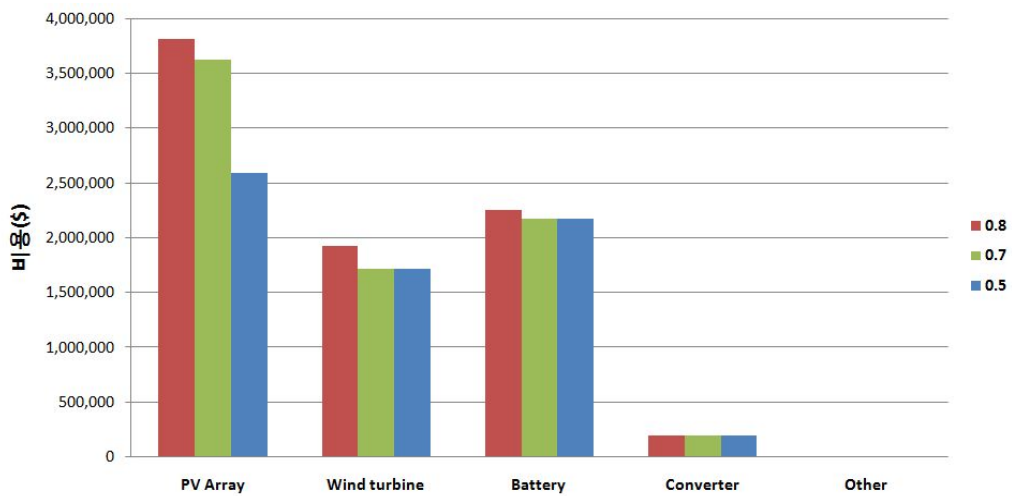


Fig. 20 Net Present Cost of Components by Sensitivity Analysis

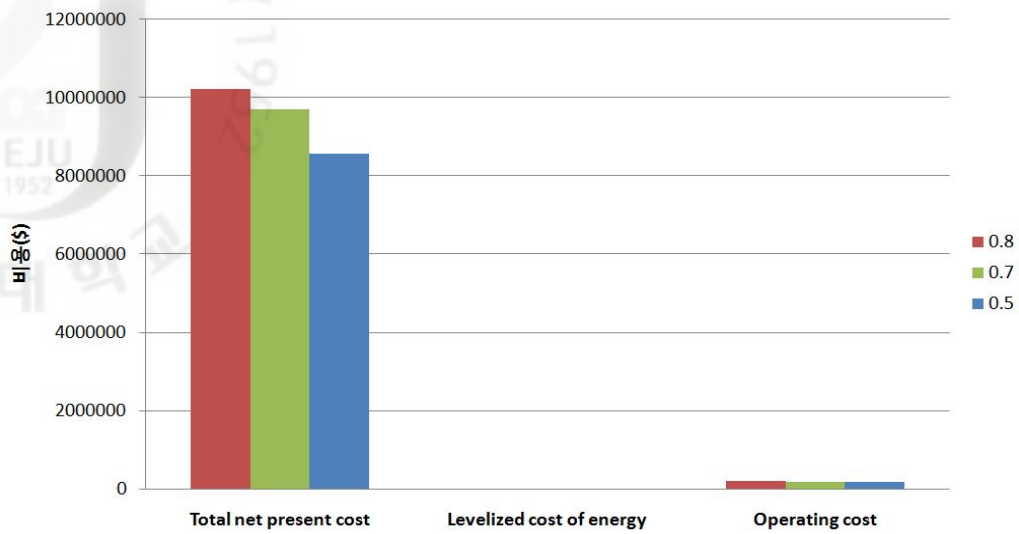


Fig. 21 Net Present Cost, Levelized Cost of Energy, Operating Cost by Sensitivity Analysis

Fig. 20과 21은 각 구성요소별 순 현재비용과 전체 순 현재비용, 발전단가, 운영비용을 보여준다. 분석 결과 민감도가 0.7, 0.5일 때에는 시스템의 용량은 같으나 비용에서 차이가 나는 것을 알 수 있는데, 순 현재비용과 발전량 비용, 운영비가 감소하였다.

## 2.3 계통연계형 하이브리드 시스템

계통연계형 하이브리드 시스템에서는 시간대별 전력요금에 차등요금을 적용하였다. 일반용 부하의 전력판매단가는 0.09(\$/kWh), 주택용 부하의 전력판매단가는 0.09(\$/kWh), 산업용 부하의 전력판매단가는 0.07(\$/kWh)으로 적용하였다. 계통에서 구매 가능한 전력은 300kW로 적용하였다.

### 2.3.1 일반용 부하

독립형 시스템과 달리 계통연계형의 일반용 부하 결과는 용량이 현저히 감소하였고 비용도 마찬가지로 줄어들었다. 용량과 순 현재비용, 발전단가비용, 운영비용은 Table. 13과 같다.

Table. 13 Cost of the Optimal Hybrid System(Normal Load)

Components	Capacity (kW)	Net Present Cost(\$)	Levelized Cost of Energy(\$/kWh)	Operating Cost(\$/yr)
PV	20	1,608,242	0.171	107,285
Wind turbine	80			
Battery	416.4			
Converter	50			
Gird	300			

Fig. 22는 순 현재비용을 용량과 %로 나타내었으며 계통에서 65%나 많은 비용이 발생한 것을 알 수 있다.

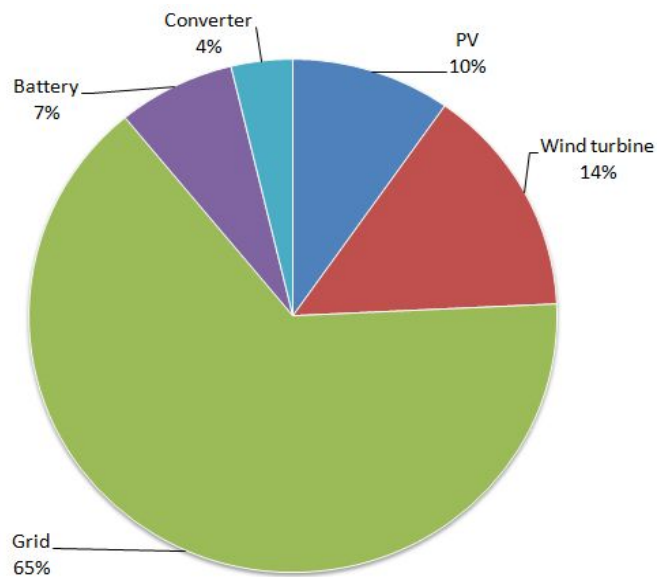


Fig. 22 Net Present Cost at Connection to Grid(Normal Load)

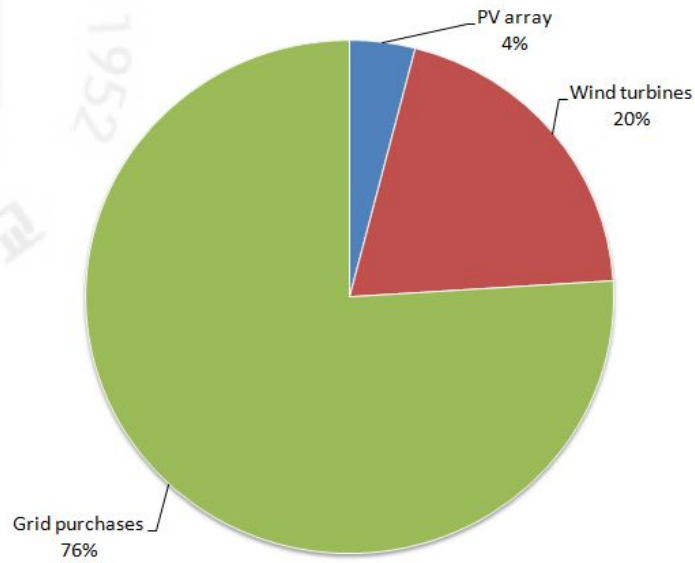


Fig. 23 Power Transaction at Connection to Grid(normal Load)

Fig. 23을 통해서 계통연계시 전체 전력생산량의 76%가 계통에서 전력을 구매한 것을 알 수 있다. 이것은 각 구성요소의 용량이 감소되어 계통에서 구매하는 양이 많아진 것이다.

Table. 14 The Monthly Power Transaction(Normal Load)

Month	Energy	Energy	Net	Peak	Energy	Demand
	Purchased	Sold	Purchases	Demand	Charge	Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	58,562	766	57,797	203	6,373	0
Feb	51,274	290	50,985	225	5,614	0
Mar	64,006	305	63,701	211	7,278	1,049
Apr	48,142	962	47,180	192	5,409	946
May	43,063	1,150	41,913	164	5,427	2,129
Jun	47,462	655	46,806	180	6,095	2,329
Jul	65,939	676	65,262	249	8,582	3,163
Aug	69,953	105	69,848	254	9,211	3,268
Sep	68,010	8	68,002	243	8,957	3,074
Oct	50,111	40	50,071	178	5,703	827
Nov	45,919	434	45,485	178	5,187	712
Dec	57,262	441	56,821	243	6,259	0
Annual	669,703	5,832	663,871	254	80,095	17,496

Table. 14에서는 전력 거래 결과를 보여준다. Energy Purchased는 계통으로부터 구매한 전력량이며 Energy Sold는 계통으로부터 판매한 전력을 보여준다. 일반용 부하일 때 연간 구매 전력량은 669.703kWh이다.

### 2.3.2 주택용 부하

주택용 부하 분석 결과 시스템 용량은 일반용 부하와 비슷한 용량으로 줄어들었다. 용량과 순 현재비용, 발전단가비용, 운영비용은 Table. 15와 같다.

Table. 15 Cost of the Optimal Hybrid System(Residential Load)

Components	Capacity (kW)	Net Present Cost(\$)	Levelized Cost of Energy(\$/kWh)	Operating Cost(\$/yr)
PV	20	2,248,318	0.150	172,118
Wind turbine	60			
Battery	416.4			
Converter	50			
Grid	300			

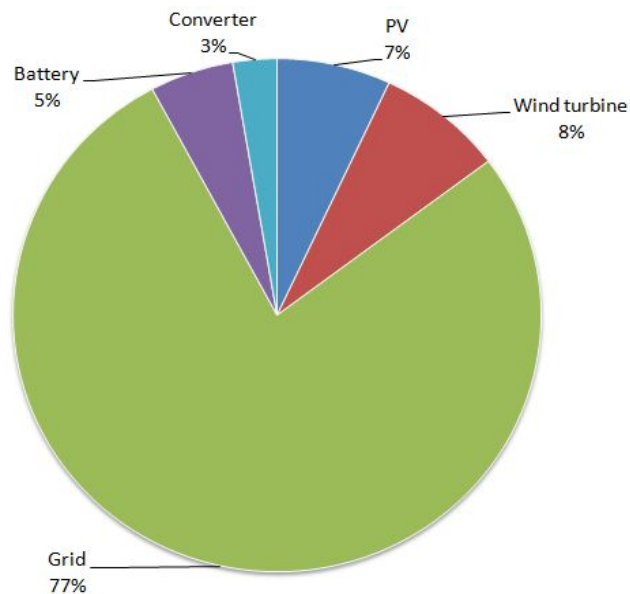


Fig. 24 Net Present Cost at Connection to Grid(Residential Load)

Fig. 24에서 주택용 부하의 순 현재비용은 계통에서 77%나 많은 비용이 발생한 것을 알 수 있다. Fig. 25의 전력 생산 결과에서도 전체 전력 생산량의 88%가 계통에서 구매한 전력이다.

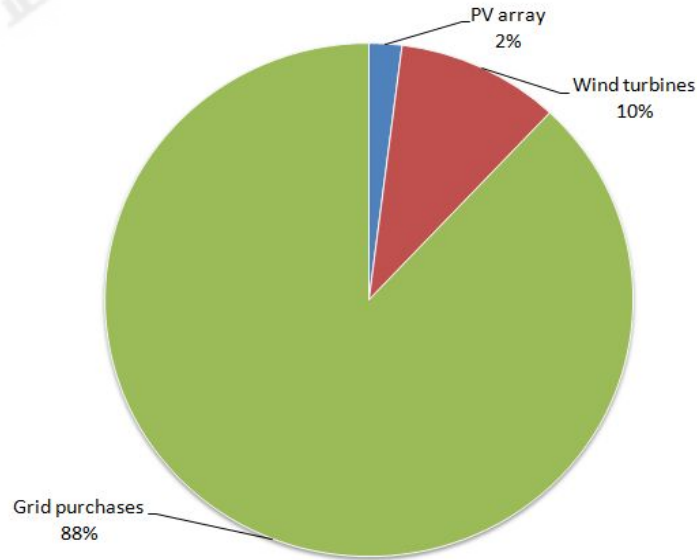


Fig. 25 Power Transaction at Connection to Grid(Residential Load)

Table. 16 The Monthly Power Transaction(Residential Load)

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	109,047	0	109,047	262	11,995	0
Feb	94,961	0	94,961	260	10,446	0
Mar	116,444	0	116,444	261	13,170	1,040
Apr	100,943	0	100,943	266	11,411	969
May	95,024	0	95,024	246	11,871	2,441
Jun	101,271	0	101,271	277	12,712	2,751
Jul	100,662	0	100,662	269	12,760	2,629
Aug	109,390	0	109,390	285	13,885	2,755
Sep	102,032	0	102,032	254	12,957	2,744
Oct	105,413	0	105,413	259	11,901	938
Nov	95,904	0	95,904	246	10,822	886
Dec	108,486	0	108,486	289	11,933	0
Annual	1,239,575	0	1,239,575	289	145,864	17,153

Table. 16에서는 전력 거래 결과를 보여준다. 주택용 부하일 때 연간 구매 전력량은 1,239,575kWh이다. 일반용 부하와 달리 전력을 판매하지 않았다.

### 2.3.3 산업용 부하

산업용 부하 분석 결과 시스템 용량은 다른 부하와 비슷한 용량으로 줄어 든 것을 확인할 수 있었다. 시스템 용량과 순 현재비용, 발전단가비용, 운영비용은 Table. 17과 같다.

Table. 17 Cost of the Optimal Hybrid System(Industrial Load)

Components	Capacity (kW)	Net Present Cost(\$)	Levelized Cost of Energy(\$/kWh)	Operating Cost(\$/yr)
PV	20	2,191,663	0.129	176,553
Wind turbine	20			
Battery	416.4			
Converter	50			
Grid	300			

Fig. 26은 산업용의 순 현재비용을 %로 보여주며, 산업용도 계통으로부터의 비용이 크다는 것을 알 수 있다.

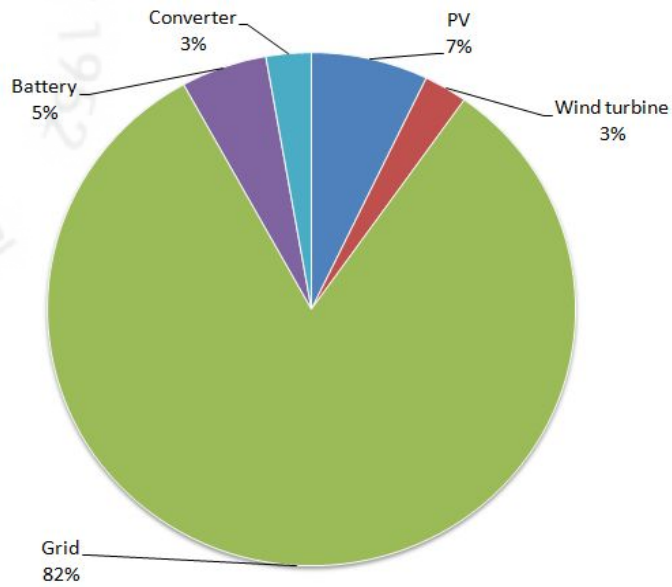


Fig. 26 Net Present Cost at Connection to Grid(Industrial Load)

Fig. 27은 산업용의 전체 전력생산량을 보여준다. 산업용의 경우에 95%나 높은 확률로 계통의 전력을 사용하였으며, 풍력발전이나 태양광발전의 이용이 아주 적다.

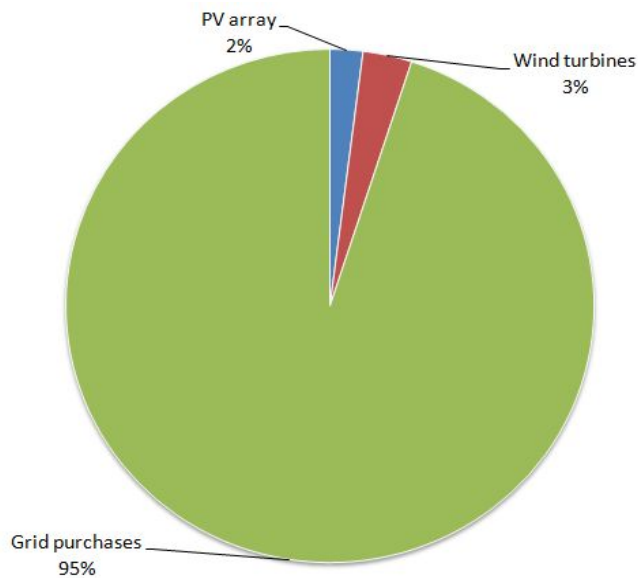


Fig. 27 Power Transaction at Connection to Grid(Industrial Load)



Table. 18 The Monthly Power Transaction(Industrial Load)

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	125,794	0	125,794	256	11,321	0
Feb	109,075	0	109,075	258	9,817	0
Mar	133,068	0	133,068	258	12,465	1,288
Apr	129,339	0	129,339	275	12,099	1,376
May	125,148	0	125,148	237	12,738	3,066
Jun	130,654	0	130,654	289	13,319	3,696
Jul	124,723	0	124,723	273	12,728	3,330
Aug	136,160	0	136,160	290	13,907	3,682
Sep	124,326	0	124,326	260	12,695	3,373
Oct	133,562	0	133,562	254	12,498	1,272
Nov	122,079	0	122,079	238	11,419	1,190
Dec	126,222	0	126,222	288	11,360	0
Annual	1,520,149	0	1,520,149	290	146,365	22,274

산업용 부하의 Table.18의 월별 전력거래 현황에는 주택용과 마찬가지로 전력만 구매 하였고 연간 구매 전력량은 1,520,149kWh이다.

Table. 19 Emission at Connection to Grid

	Normal Load	Residential Load	Industrial Load
Pollutant	Emission(kg/yr)	Emission(kg/yr)	Emission(kg/yr)
Carbon dioxide	419,566	783,411	960,734
Carbon monoxide	0	0	0
Unburned hydrocarbons	0	0	0
Particulate matter	0	0	0
Sulfur dioxide	1,819	3,396	4,165
Nitrogen oxides	890	1,661	2,037

Table. 19에는 계통에서 전력을 구매할 때 생기는 대기오염물질 배출량을 나타낸다. 일반용, 주택용, 산업용의 배출량이며 산업용이 배출량이 많은 것을 알 수 있다.

일반용 부하의 경우에는 전력을 구매하고 판매도 하였다. 주택용 부하와 산업용 부하의 경우에는 전력을 구매만 한 것으로 나타났고 온실가스 배출량은 전력을 계통으로부터 구매한 산업용 부하에서 많이 발생하였다. 이유로는 산업용 부하의 평균 소비량이 많기 때문이며 전력구매량도 95%로 가장 높았다.

일반용, 주택용, 산업용의 시스템의 용량이 작은 이유는 계통연계를 적용 시킬 때 구매할 수 있는 전력량을 300kW를 설정하였기 때문이다. 이 3개의 부하의 최고 피크치는 300kW이다. 계통연계에서 풍력이나 태양광, 배터리의 용량을 확대시키는 것보다 전력을 구매하는 것이 더 비용 측면에서 싸기 때문에 전력 구매량은 높았고 신재생시스템의 용량이 줄어들 수밖에 없다.

## 제 4 장 결론

본 논문에서는 풍력-태양광-축전지 하이브리드 발전시스템을 구성하여 최적조합을 설정하고 경제성 평가에 대한 케이스 연구를 수행하였다. 일반용 부하, 주택용 부하, 산업용 부하를 적용시킨 디젤발전시스템과 독립운전형 하이브리드 발전시스템, 계통연계형 하이브리드 발전시스템을 설계하여 각 시스템에 대한 순현재비용에 따른 최적조합을 산정하고 각 시스템의 경제성 분석을 하였다. 또한, PV 가격에 따른 민감도분석을 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 독립운전형 하이브리드 시스템의 경우 시간마다 소비되는 부하량에 신재생에너지 자원이 상대적으로 낮아 풍력발전, 태양광발전, 축전지의 용량이 급격히 커지게 되고 비용 또한 증가하게 되었다.

(2) 독립운전형 하이브리드 시스템은 순 현재비용이 디젤발전기보다 높지만 운영비와 온실가스 배출량이 적기 때문에 디젤발전기보다 경제성을 갖는 것으로 분석되었다. 또한, 디젤발전기에 사용되는 디젤유 가격이 상승하는 것을 고려한다면 디젤발전기보다(독립형 하이브리드 시스템이) 경제성이 있다.

(3) 태양광 어레이의 초기비용과 교체비용이 변했을 때의 민감도분석을 하여 초기비용과 교체비용이 낮아짐으로써 순 현재비용도 낮아짐을 예측할 수 있었다. 다른 측면에서 민감도분석을 수행한다면 좀 더 정확하고 타당성이 있는 경제성 분석이 가능할 것으로 예상된다.

(4) 풍력-태양광 하이브리드 시스템 외에 풍력-연료전지, 태양광-축전지, 풍력-디젤, 태양광-디젤 등 여러 신재생에너지 조합을 적용해 경제성 분석을 한다면 좀 더 다양한 하이브리드 시스템의 설계가 가능할 것으로 사료된다.

(5) 도서지역이나 하이브리드 복합발전이 필요한 지역에 정확한 된 부하소비량 데이터와 신재생자원량의 상세정보가 이용가능하다면 그 지역에 대한 최적의 하이브리드 발전용량설계 및 경제성 평가를 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] S. Rehman, I.M. El-Amin, F. Ahmad, S.M. Shaahid, A.M. Al-Shehri, J.M. Bakhshwain, A. Shash, "Feasibility study of hybrid retrofits to an isolated off-grid diesel power plant", Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 635-653, 2007.
- [2] 박근현, "신재생 하이브리드 발전시스템의 최적 용량 설계에 관한 연구", 제주대학교, 2011.
- [3] Website for "한국태양광산업협회", <http://kpiaen.com/>
- [4] 원동아, "한·중 신재생에너지 정책 비교와 시사점", 국회예산정책처, 2011.
- [5] 김수덕, "신·재생 에너지의 경제성 평가", KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE, pp.6-25.
- [6] 박세준, 이영, 최용성, 이경섭, "HOMER를 이용한 가정용 태양광-연료전지 하이브리드시스템의 운전 최적화", 전기학회논문지, 2010.
- [7] K.H. Park, C.U. Kang and J.H. Lim, "Optimal sizing of Hybrid Wind-PV-Tide system", studies in computational Intelligence, Springer, pp.209-218, 2011.
- [8] 오용, "태양광/연료전지 하이브리드 시스템의 전기특성과 최적 운전을 위한 경제성 평가에 관한 연구", 동신대학교, 2011.
- [9] 김규태, 안영상, 유일근, "선형계획법을 통한 신재생에너지 경제성분석 방법과 사례", J. of Advanced Engineering and Technology, Vol. 2, No. 4, pp. 289-297, 2009.
- [10] Website for "HOMER", <http://www.nrel.gov/homer/>
- [11] 장하나, 김수덕, "도서지역 신·재생복합 전력시스템 보급 타당성 분석", 지질·환경경제연구, 제 15권, 제 4호, pp. 693-712, 2006.
- [12] HOMER Help, HOMER ver2.81
- [13] TOM LAMBERT, PAUL GILMAN, PETER LILIENTHAL, "MICROPOWER SYSTEM MODELING WITH HOMER", Mistaya

Engineering Inc, National renewable Energy Laboratory.

- [14] Arash Navaeefard, S.M.Moghaddas Tafreshi, Mehdi Derafshian Maram, "Distributed Energy Resource Capacity Determination of a Hybrid Power System in Electricity Market", 25th International Power system conference, 2010.
- [15] M. Shakawate Hossain, M. Maruf Hossain, A.R.N.M Reazul Haque, "Optimization and Modeling of a Hybrid Energy System for off-grid Electrification", IEEE, 2011.

## 감사의 글

대학원을 엇그제 입학한 것 같은데 벌써 2년이란 세월이 흘렀습니다. 2년이라는 시간은 제게 많은 것을 깨닫게 해주었던 시간이 되었던 것 같습니다. 대학원에 입학할 때에는 무엇이든 할 수 있다는 자신감과 초심을 가지고 있었지만, 그 자신감과 초심을 상실하고 능력발휘를 제대로 하지 못한 것들이 너무 아쉽기만 합니다. 그동안 저를 변화할 수 있게 도와주시고 이 논문을 완성하게 될 때까지 도움을 주신 제 주위의 모든 분에게 감사하다는 말씀을 드립니다.

아무것도 모르는 저를 받아주시고 대학원 생활을 잘 마칠 수 있도록 지도를 해 주신 임종환 교수님께 제일 먼저 감사드립니다. 교수님이 가르쳐주신 것 하나 하나 잊지 않고 간직하며 살겠습니다. 졸업논문심사를 맡아주신 강철웅 교수님과 저에게 대학원 입학에 많은 도움과 조언을 해주신 최경현 교수님께 감사드립니다.

풍력특성화대학원을 이끌고 많은 것을 가르쳐주신 허종철 교수님께 감사드리며 행정실 김익선 행정실장님, 이창립 선생님, 김봄술 선생님께 감사드립니다. 그리고 풍력특성화대학원 1기생인 박사과정 혁준이 형, 정우 형, 석사과정 승건이 형, 치훈이 형, 형택이 형, 대영이 형, 경현이 형, 민이 형, 충욱이, 수영이, 명석이, 수형이, 정운이, 석현이, 정민이, 상혁이 2년이라는 시간을 잘 보낼 수 있었던 것은 동기들의 많은 도움이 있었기에 가능했습니다. 또한, 지능로봇연구실의 졸업선배님들, 연구실에서 같이 고생한 덕남이, 수희, 세용이, 준호, 보미, 승현이, 현석이, 유진이, 진이, 고민이 많을 때 많은 조언과 상담을 해주신 과 선배님 근현이 형, 상섭이 형, 정규 형, 연구실 가족이 된 영태 형, 학부생 때에 항상 같이 다니고 함께 고생했던 광표 형과 영봉이형, 과 후배인 승환이, 현진이에게 감사의 마음을 전합니다.

5개월의 짧은 기간 동안 인턴쉽 연구과정을 하면서 제가 발전할 수 있도록 도움을 주신 (사)한국선급 녹색산업기술원의 김만웅 기술원장님, 이경우 팀장님, 류경부 팀장님, 많은 격려와 용기를 북돋워 주신 전기파트의 김미영 박사님, 전기

과트 김거화 연구원님, 김경화 연구원님, 회사에서 후배라고 하나하나 챙겨주신 강문중 선배님과 모든 직원분들에게 감사드리며 (사)한국선급에서 정말 값진 것을 배우고 얻었습니다.

마지막으로 저를 지금까지 뒷바라지해주시고 사랑하고 믿어주신 아버지, 어머니, 누님과 나의 친구님들, 항상 옆에서 힘이 되어준 사랑하는 현지에게 감사의 마음을 전합니다.

2011년 12월 어느날  
논문을 마무리 지으며...