creative commons

COMMONS DEED

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

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000267198

2019年 2月
碩士學位論文

소수력기반 마이크로그리드 실증연구

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

金 在 馹

2019年 2月 碩士學位論文

소수력기반 마이크로그리드 실증연구

金 在 馹

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

소수력기반 마이크로그리드 실증연구

Micro-grid empirical study based
on small hydrograph

2019年 2月 25日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

金 在 馹

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

소수력기반 마이크로그리드 실증연구

指導敎授 曺 錦 培

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2018年 10月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

金 在 馹

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

金在馹의 碩士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 敎授 김 남 훈 印

委 員 朝鮮大學校 敎授 최 연 옥 印

委 員 朝鮮大學校 敎授 조 금 배 印

2018年 11月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<목 차>

ABSTRACT
Ⅰ. 서 론 ····· 1

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 2
A. 소수력 발전 ····· 2
1. 소수력 발전의 정의 ····· 2
2. 소수력 발전의 방식 ····· 3
3. 소수력 발전의 현황 ····· 5
B. 소수력 발전의 보급 및 정책 ····· 10
1. 국외 소수력 발전 보급현황 ····· 10
2. 국내 소수력 발전 보급현황 ····· 11
3. 소수력발전의 지원정책 ····· 12

Ⅲ. 실험 및 결과고찰 ····· 14
A. 실험 계획 ····· 14
1. 현장 타당성 검토 ····· 14
2. 전력품질 평가 및 분석 ····· 15
3. 소수력 발전 기본설계 ····· 18
B. 실험 및 결과고찰 ····· 21
1. 사이트 구축 및 시험 ····· 21
2. ESS 용량 평가 및 선정 ····· 24
3. BMS 개발 및 배터리 충방전 제어 알고리즘 개발 ····· 28
4. DC Link 구축 및 연계 기술 개발 ····· 30
5. 친환경 마이크로 ESS 설계 및 시작품 제작 ····· 34

Ⅳ. 결 론 ····· 36
참고문헌

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표목차>

표 1. 국가별 소수력의 구분 ····· 3
표 2. 소수력의 설비용량에 따른 분류 ····· 3
표 3. 세분화한 소수력의 출력규모에 따른 분류 ····· 4
표 4. 소수력의 낙차에 따른 분류 ····· 4
표 5. 전력품질 측정 ····· 15
표 6. 전력분석 결과(주중) ····· 16
표 7. 전력분석 결과(주말) ····· 17
표 8. 종합 전력 분석 결과 ····· 17
표 9. 소수력발전 기본설계 총괄표 ····· 20
표 10. 발전기 전력품질 측정 개요 ····· 22
표 11. 발전기 전력품질 사례 해석 ····· 23
표 12. 종합 전력 분석 결과 ····· 23
표 13. 리튬이온전지 사양 ····· 27
표 14. 3상 AC-DC 컨버터 시뮬레이션 설정 ····· 31
표 15. DC-DC 컨버터 시뮬레이션 설정 ····· 32

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<도목차>

그림 1. 소수력발전 타당성 검토 흐름도 ····· 14
그림 2. 전력품질 평가 위치 선정 ····· 15
그림 3. 수차형식 선정 도표 ····· 18
그림 4. 발전기 모형 및 관로공사 ····· 21
그림 5. 수차의 성치 및 모형 ····· 21
그림 6. 측정 장비 및 측정 ····· 22
그림 7. 전력품질 평가 위치(발전기 및 부하) ····· 22
그림 8. 개발시스템(ESS) 구성도 ····· 24
그림 9. 24시간동안 배터리 SOC 예상(정상 가동시) ····· 26
그림 10. BMS의 주요 기능 ····· 28
그림 11. CC-CV 충전 알고리즘 ····· 29
그림 12. CC-CV 충전 알고리즘 특성 ····· 30
그림 13. 3상 AC-DC 컨버터 시뮬레이션 회로(PLECS) ····· 31
그림 14. AC/DC 컨버터 시뮬레이션 결과(무부하 상태) ····· 31
그림 15. AC/DC 컨버터 시뮬레이션 결과(부하 운전) ····· 31
그림 16. AC-DC 컨버터 프로토타입 제작 ····· 32
그림 17. DC-DC 컨버터 시뮬레이션 회로도 ····· 32
그림 18. DC-DC 컨버터 시뮬레이션 결과 (무부하,DCM) ····· 33
그림 19. DC-DC 컨버터 시뮬레이션 결과 (CCM) ····· 33
그림 20. DC-DC 컨버터 내부 시험용 시작품 ····· 33
그림 21. 컨버터 다이오드 ····· 33
그림 22. ESS 연계 마이크로·피코 소수력발전 계통도 ····· 34

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Micro-grid empirical study based on small hydrograph

Jea il, Kim
Advisor : Prof. Geum Bae Cho, Ph. D.
Electrical Engineering Technology Convergence
Industrial Technology Convergence
Graduate School of Chosun University

DC electricity causes air pollution, and energy generation causes air pollution. The other one is applicable in the fields of hot water of hydroelectric power plants, water pipes, factory cooling water, circulation water of pumping stations, and so on.

Currently, small hydro power generation has an operating rate of more than 50% and is more efficient than solar power generation efficiency (12~17%) and wind power generation efficiency (25~30%). In particular, when we look at the weights of supply certificate of renewable energy, the weight of hydroelectric power reflecting small hydroelectric power is 1.0, compared with that of solar power generation because the weight of PV power is 0.7~1.5. However, small power generation is an excellent method because it can account for the peak load of the power system due

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

to the load variation because short maneuverability and short power adjustment time can be considered. In addition, economic feasibility can be secured by increasing the utilization rate of small hydro power generation by solving environmental factors, accessing technology, and integrating energy system. In this paper, the ultimate goal is to develop and demonstrate a micro-hydraulics-based micro grid based on village enterprises. In order to achieve this goal. It is expected that further opportunities will be opened in the future if we present the technology and Track Record of small hydropower generation field and ESS field and present an eco-friendly and economically viable empirical model through this study. It is expected that this project will contribute greatly to the activation of the local economy through the development of eco-friendly energy technology and the tourism resources of the construction system.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅰ. 서 론

소수력 발전은 화석연료 사용으로 인한 대기오염과 이산화탄소 배출문제, 원자력 발전의 방사능 위험이나 폐기물 문제 등에 있어서 자유로운 청정에너지이다. 또한 농업용 저수지 낙차, 하수종말처리장, 화력발전소 온배수, 수도관로, 공장 냉각수, 양어장 순환수 등 다양한 분야에 적용가능하다.

현재 소수력 발전은 약 50% 이상의 가동률을 보이고 있으며, 태양광 발전의 효율(12~17%)이나 풍력발전의 효율(25~30%)보다 고효율이다. 특히, 신재생 에너지의 공급인증서 가중치를 살펴보면, 소수력 발전이 반영된 수력발전의 가중치는 1.0인데 비하여 태양광 발전 가중치가 0.7~1.5의 가중치를 가지기 때문에 태양광 발전과 비교해 다소 경제성이 낮다. 하지만 소수력 발전은 짧은 기동성, 짧은 출력조정시간이 고려가능하기 때문에 부하변동에 따른 전력계통의 첨두부하를 담당할 수 있어 우수한 방식이다. 또한 환경요소의 해결이나 기술접근성, 에너지 시스템의 접목으로 소수력발전의 가동률을 늘린다면 경제성이 확보될 수 있을 것으로 보인다.

본 논문에서는 마이크로소수력 기반 마이크로그리드를 개발 및 실증하는 것을 최종 목표로 하며, 이 목표를 달성하기 위한 준비 단계로서 마이크로소수력 기반 마이크로그리드의 운용 알고리즘 개발 및 시작품 개발을 목표로 하여 기술개발을 진행하고자 한다.

또한 본 연구를 통해 소수력발전분야와 ESS분야의 기술력 및 Track Record를 확보하여 친환경, 경제성 확보된 실증 모델을 제시한다면 앞으로 더 많은 기회가 열려있을 것이라 기대하고 있다. 그리고 친환경 에너지 기술개발과 구축 시스템의 관광 자원화를 통해 지역 경제를 활성화 시키는 것에도 많은 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅱ. 이론적 배경

A. 소수력 발전

1. 소수력 발전의 정의

수력발전(hydropower generator)은 설비용량 3000 [kW]를 기준으로 일반수력(hydropower)과 소수력(small-hydropower)으로 구분된다. 대체에너지개발 및 이용·보급촉진법에 따라 설비용량 3000 [kW] 이하를 소수력으로 구분한다. 또한 2003년도에 동법이 개정되어 설비용량 10000 [kW] 이하를 소수력으로 변경하였고, 2005년도에 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법이 개정되어 수력설비용량 기준을 삭제하였다. 수력발전의 연구개발 및 보급대상은 주로 발전설비용량 10000 [kW] 이하를 대상으로 하며, 신재생에너지공급의무화제도(RPS)는 수력발전 중 설비용량 5000 [kW] 이하만 지원된다.

수력발전은 물의 중력으로 수차발전기를 회전하여 전기에너지를 발생시키는 원리이다. 수력발전은 높은 곳에 위치한 하천이나 저수지의 유량(Q)을 유도해 위치에너지를 증가시킨 낙차(H)를 이용하여 수차에 회전력을 발생시키며 수차와 직결된 발전기에서 전기 에너지로 변환해 전력을 생산하는 방식이다. 낙차(H)란 상부에서 하부로 이용 가능한 최대 수직거리를 말하며, 손실로 인한 감속낙차를 정격낙차(Net Head)라 한다. 유량(Q)이란 초당 지나치는 물의 양(㎥/sec)을 말하며, 수차를 회전시키는 물의 유량이 많거나 낙차가 클수록 발전 설비용량은 커지며 전력량도 그만큼 많아지게 된다. 수력발전의 출력공식은 다음 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$P[kW] = 9.8 \times Q[m^3/\sec] \times H[m] \times \eta \qquad (식\ 1)$$

여기서, P : 수력전력, Q : 사용수량, H : 유효낙차, η: 종합효율(수차효율×발전효율)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 소수력 발전의 방식

a. 소수력 발전의 기준

소수력을 구분하는 기준은 표 1에서와 같이 국가별로 상이하지만 대부분의 국가에서 소수력은 신재생에너지에 포함되어 있다. 국가별 소수력의 설비용량 기준은 중국, 미국, 캐나다, 일본 순으로 광범위하게 설치 및 운영되고 있지만, 현재 국내에서는 활발하게 이루어지고 있지 않은 실정이다.

표 1. 국가별 소수력의 구분

기 준 [kW]	국 가
≤ 50	캐나다, 중국
≤ 30	브라질, 미국, 베트남
2 ~ 2.5	인도
2.1 ~ 20	칠레
≤ 15	그리스, 아르헨티나
≤ 10	핀란드, 스페인, 노르웨이, 프랑스, 포르투갈, 스위스
≤ 5	독일

b. 국내 소수력 발전의 분류

소수력은 설비용량에 따라 세분하기도 하지만 낙차에 따라 저낙차, 중낙차, 고낙차로 구분하며, 발전방식에 따라 수로식, 댐수로식, 댐식, 유역변경식 등으로 분류되기도 한다. 표 2는 설비용량에 따른 분류를 나타내었고, 표 2는 세분화된 출력규모에 따른 분류를 나타내었다. 표 3에는 낙차에 따른 분류를 나타내었다.

표 2. 소수력의 설비용량에 따른 분류

기 준 [kW]	분 류
100 kW 미만	Micro hydropower
100 ~ 1,000 kW	Mini hydropower
1,000 ~ 10,000 kW	Small hydropower

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 3. 세분화한 소수력의 출력규모에 따른 분류

기준(kW)	분류
1000,000kW 이상	large hydropower
10,000kW~100,000kW	medium hydropower
1,000kW~10,000kW	small hydropower
100kW~1,000kW	mini hydropower
5kW~100kW	micro hydropower
5kW 이하	pico hydropower

표 4. 소수력의 낙차에 따른 분류

기준(m)	분류
2 ~ 20 m	저낙차(low head)
20 ~ 150 m	중낙차(medium head)
150 m 이상	고낙차(high head)

c. 소수력의 발전방식

소수력의 발전방식을 구분해보면 수로식 소수력 발전, 댐식 소수력 발전, 터널식 소수력 발전으로 구분할 수 있다.

수로식 소수력 발전소란 하천을 따라 완만한 경사의 수로를 설치하고 하천의 급경사나 굴곡 등을 이용하여 낙차를 얻어내는 방식으로 일반적으로 수로식은 하천경사가 급한 중·상류에 적합한 방식이고, 댐은 월류식으로 채택하는 경우가 많다. 또한 수로식 소수력 발전소는 구배가 1/200 이상의 하천 상류부에 설치되고 댐식과는 다른 것은 유량을 일정량만큼 저장하고 물이 취수구에서 수로를 통해 발전소 내에 유입하는 형태로 홍수 시 물을 월류시키는 댐이 채택되는 상례이므로 하천상류부의 소 계곡에 적합하다.

일반적인 수로식 소수력 발전소의 경로는 댐 취수구-침사지-수로-수조-수압-관로-발전소-방류수 순이다. 자연 유하식 발전은 기존의 유로로부터 짧은 구간, 짧은 시간 동안에만 유로를 변경하기 때문에 환경적인 측면이나 다른

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

용도로 쓰이는 용수와의 마찰을 피할 수 있는 장점을 가졌다.

댐식 소수력 발전은 주로 댐에서 낙차를 얻는 방식으로 발전소는 댐에 인접하게 건설되며, 하천경사가 완만한 중·하류의 유량이 풍부한 곳이 지리적으로 유리하다. 댐 높이가 낮고 하폭이 매우 큰 경우, 댐의 구조 및 강도를 충분하게 고려해야 하며, 저수지의 방류조절을 이용해야 연속적으로 에너지를 얻을 수 있다. 댐식 발전소는 하천의 범람정도와 댐 지점 상류의 농경지, 가옥의 수몰 등을 충분히 고려해 댐 높이가 결정되어야 한다. 또한, 하천의 구배가 완만하고 유량이 풍부한 지점을 택하거나 낙차가 크고 하천의 수위변동이 심한 지역을 택한다. 댐 높이가 낮고 하폭이 매우 큰 경우 발전소가 댐과 동일 선상에 건설되기도 한다. 이러한 경우에 발전소의 용기 관계 비용은 절약될 수 있으나 댐의 구조 및 강도가 충분히 고려되어야 한다. 일반적인 댐식 소수력 발전의 경로는 댐-취수구-수압관로-발전소-방수로 순이다.

터널식 소수력 발전소는 댐식과 수로식이 혼합된 방식으로 자연낙차를 크게 얻을 수 있고 하천의 형태가 오메가(Ω)형태인 곳에 적합하며 댐은 일반적으로 월류식으로 한다. 터널식 소수력 발전은 지하터널로 수로를 만들어 높은 낙차를 얻을 수 있는 곳에 설치하기 때문에 수로식 소수력 발전소를 변형한 것이라 할 수 있다. 현재 국내 터널식 소수력 발전소의 6개가 오메가(Ω)형 발전소이며, 경로는 댐-취수구-터널수로-수조-수압관로-발전소-방수로 순이다.

3. 소수력 발전의 현황

a. 기술 개발 현황

선진국의 정부들은 두 차례의 석유파동 이후 수력 기술개발에 집중적으로 투자해 1990년 초 낙차와 유량에 따라서 표준범위에 적합한 수차를 표준화하였다. 또한 대량생산에 의해 수차 건설비용을 절감되어 경제성이 크게 향상되었고, 가능한 자원개발이 강력하게 지원되고 있는 상황이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

수력발전은 다른 신재생에너지와 비교해 개발 역사가 오래되었고 가동실적 또한 많아 축적된 기술력도 높다. 신재생에너지원 중에서 수력발전은 에너지 변환 효율이 가장 뛰어나며, 지속적인 기술개발이 이루어진다면 발전효율이 3% 정도 더 높아질 것으로 전망된다.

1차 석유파동 이후에 신재생에너지 개발의 필요성을 절감한 정부는 수력발전 기술개발을 추진하여 소수력 개발 입지조사와 시범 소 계곡발전소의 연구조사 설계를 수행하였다. 소수력에 대한 관심은 2차 석유파동 이후 더욱 고조되며 소수력발전 개발방안을 마련하여 민간자본을 통한 소수력 발전소 건설을 장려하였으며, 이와 병행해 소수력 개발에 수반되는 기술적인 부분에 관한 연구를 지원하기 시작했다.

수차는 수차 본체, 유압장치, 입구밸브, 운전제어 장치, 소내 배수장치 등으로 구성되어 있다. 국내에서 운영 중인 대수력 발전기의 경우에 대부분이 외국산이며, 소수력 발전기의 경우에는 국산수차를 선정하여 사용중이다. 최근 건설되고 있는 대부분의 소수력 발전소는 국내에서 제작된 수차를 채택하여 사용하고 있다. 수차의 일부 형식은 중소기업에서 설계기술 및 제작기술의 국산화와 실증이 완료되어 보급되고 있다. 선진국의 경우는 수차형식에 따라 상이하지만, 수차효율은 약 88%~92%의 효율을 가지도록 설계해야하며, 대형 수차는 소형 수차에 비교해 효율이 상대적으로 높다.

수력발전은 소형 수차개발 및 발전 기술개발, 자동화·무인화 기술이 주를 이루고 있다. 소수력 기술은 자원조사 및 활용기술, 성능평가 및 현대화 기술, 계통보호 및 자동화 기술, 발전설비 국산화와 표준화기술로 분류할 수 있다. 무인화설비나 계통보호 관련기술은 2003년부터 개발되었으며 2007년도에 실증사업을 통하여 실증연구가 진행되었다.

b. 해외 기술 현황

일본의 신재생에너지 총 발전량은 413,493 [GWh]로 과거에 비해 4.8% 증가할 것으로 예상된다. 신재생에너지 발전원 중 수력발전이 차지하는 비중이

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

58.8% 정도로 절반 이상을 차지하며, 20.7%로 바이오연료가 뒤를 잇고 있다.

과거와 비교해 발전량 증가가 두드러진 신재생에너지원은 태양광·태양열 및 폐기물에너지이며 각각 45.6%, 39.0%로 발전량이 증가할 것으로 예상된다. 그러나 지열과 바이오연료의 발전량은 다소 감소할 것으로 예상된다.

수력발전 비중이 가장 높은 중국의 경우에는 Xiluodu 발전소가 상업발전을 시작해 9.2 [GW] 용량의 발전설비가 운영되고, 준공 후 총 시설용량 13.86 [GW]가 운용되고 있다. 이 발전소는 Three Gorges 발전소(중국), Itaipu 발전소(브라질)에 이어서 세계에서 세 번째로 큰 발전소다. 중국의 수력발전에 대한 투자는 200억 달러를 초과하고 있고, 중국의 업계는 아프리카 및 동남아시아를 중심으로 해외 진출에 적극 나서고 있다.

터키의 경우에는 지속적으로 증가하는 전력수요에 대처하기 위한 방법으로 수력개발의 확대를 증가시키고 있으며, 약 2 [GW]개발 이후 2.9 [GW]의 추가 개발을 진행해 총 설비용량 22.5 [GW]가 운영되고 있다. 수력발전을 통해 59.2 [TWh] 용량의 전력을 생산하는 등의 수력설비 용량을 기준으로하면 세계 10위권의 국가에 해당되는 수치이다. 브라질은 30 [MW] 이하 소규모 발전소 264 [MW]를 포함해 1.53 [GW] ~ 2 [GW]를 개발해 최소 85.7 [GW]를 보유중에 있다. 이 중 Jirau와 Santo Antonio 발전소의 경우에는 브라질 수력개발을 대규모 댐식 발전소에서 수로식 발전소로 변경하는 과정을 실증하고 있으며, 민원이 발생 가능한 지역의 토지 이용을 줄이고 수력개발의 지속성을 증가시키기 위한 결과로 볼 수 있다.

베트남은 1.3 [GW]를 개발해 총 14.2 [GW] 용량의 설비를 운영 중에 있고, 최근 급격하게 수력자원을 개발해 오고 있으나 Song Tranh 2 댐이 지진으로 인한피해를 입어 기존의 댐 시설 안전성을 평가하는 등의 신규 건설 요구가 증가하고 있다.

인도는 25 [MW] 이상 규모인 0.6 [GW]를 포함해 0.8 [GW]를 설치하였고, 러시아는 3.2 [GW]를 설치하였다. 이중 0.7 [GW]는 기존 노후발전시설을 현대화하여 사용한 것이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

수력설비 용량은 이전보다 크게 증가하였으나, 최근 들어 몇몇 주요 국가에서는 과거 대비 신규 건설이 감소하였다.

Alstom의 신규 건설은 점차적으로 감소할 것으로 예상되나, 기존 설비들의 현대화 요구는 지속적으로 증가할 것으로 예측된다.

중국의 Dongfang 회사는 약 28.6 [%] 증가한 4.2 [GW]를 건설하였다. 특히 Xiluodu 발전소에 770 [MW] 용량의 발전기를 설치하였으며, Harbin은 약 3.7 [%] 감소한 3.2 [GW]를 건설하고 있다. 최근 수차발전기 제조사들은 800 [MW]이상 발전기를 개발하는 등의 새로운 기록을 세우고 있으며, 브라질의 사례에서와 같이 발전소 건설 유형도 저수지식에서 수로식으로 변모해가고 있다. 이러한 세계적인 기술개발 트렌드의 일환으로 다양한 유량변화에 적용할 수 있는 수차 개발도 진행되고 있다.

c. 국내 기술 현황

수차개발의 경제적인 측면은 개발지점의 조건에 따라 다른데 낙차가 높고, 연중 이용 가능한 수량이 풍부하며 개발 규모가 크면 높게 나타난다. 이와 반대로 낙차가 적고 개발규모가 작을수록 경제성은 확보되지 않는 특징이 있다. 현재까지 국내는 외국의 수차제작 기술에 의존해 왔다. 그러나 정부가 국산화 기술개발 의지를 다지고 국가 R&D 방식 등의 다양한 방식을 통해 수차제작 기술의 국산화와 원천기술을 확보하는데 노력중이다. 또한, 수차의 성능향상을 위해 수자원공사 연구원에 수차성능 시험센터를 설치해 그동안 외국 기술에 의존해 온 성능시험을 국내에서 가능하게 되었는데 이는 수차 효율 향상에 기여할 것으로 예상된다. 이러한 국가의 노력으로 국내수차를 적용한 수력발전소가 증가하고 있고, 수차의 효율 또한 외국 수차효율인 80%~90%에 근접하게 기술력이 향상되었다. 그동안 발전기의 효율향상, 표준화, 소형화에 대한 기술개발은 거의 이루어지지 않고 있었으나, 선박용 발전기나 디젤발전기 등의 산업용 발전설비를 국산화 개발로 인해 발전기 기술은 많은 기술적 성과를 확보하고 있다. 현재 소수력 발전소에 사용하고 있는 유

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

도발전기의 제작기술은 선진국들과 비교해 동등한 수준이거나 더 높은 수준에 도달한 상태다. 그러나 개발지점에 의한 주문 생산에 의존한 중·소형 발전기는 기술력이 다소 낮은 편이다. 소수력 발전기술은 주문에 의한 설계제작을 하기 때문에 보급이 활성화되지 않은 상황에서 효율을 향상하기 위한 기술개발 부분은 상대적으로 낮다.

국내에서는 소수력 개발에 따른 인·허가의 어려움이나 정부의 기준가격 지원제도 및 한전의 송배전선로 연계 제한 등으로 인해 설비용량 3,000 [㎾] 이하로 개발되고 있기 때문에 소수력은 주로 유도발전기를 채용되고 있다. 유도발전기 제작은 베어링을 제외하고 90% 이상이 국산화된 추세이나, 국산 발전기는 외국산에 비해 고정자 권선절연, 효율 등이 다소 미흡하다.

국내에서 운영 중인 소수력 발전기에는 주로 유도발전기와 동기발전기가 사용되며, 발전기 150기 중 동기발전기는 21기이고, 유도발전기는 138기가 운용중이다. 또한 국산 발전기는 110기가 설치되 국산 점유율은 69% 이상을 차지하고 있다. 설치운영 중인 발전기의 대부분은 국내 기술로 설계 제작된 제품이지만 표준화가 되어 있지 않았고 현장의 필요조건에 따라 설계 제작되어 있기 때문에 고효율을 보장하기 위한 제반여건이 다소 미흡한 실정이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 소수력 발전의 보급 및 정책

1. 국외 소수력 발전 보급현황

해외 수력 발전설비는 개발 역사가 오래되었기 때문에 기존에 설치된 발전설비(874 [GW])의 성능을 개선하는 방법과 신규 수력을 개발하는 두 가지 형태로 진행되고 있다. 여전히 화석연료의 사용이 지배적이지만, 60개국 이상의 국가가 자국의 전력수요 절반이상을 수력발전을 이용해 충당하고 있고, 화석연료의 가격 상승과 지구온난화로 인한 CO_2억제 정책으로 인해 수력발전설비의 투자가 급격히 증가하고 있는 추세이다. 해외 수력발전의 설비용량과 수력발전량 현황으로 봤을 때, 수력발전이 많이 보급되어있는 국가는 지리적으로 수자원이 풍부한 국가로 중국, 미국, 캐나다, 브라질, 일본, 인도, 러시아, 노르웨이 등의 나라에서 수력발전의 이용이 활발하게 개발되고 이용되고 있다. 특히 급격한 경제개발을 진행 중인 중국은 가장 많은 수력에너지를 이용하는 국가로서 세계 설치용량의 24%를 차지한다. 수력발전 설비용량 면에서 살펴보면 가장 큰 상위 5개국은 중국, 미국, 캐나다, 브라질, 러시아로 중국은 수력발전 용량이 213,400 [MW]로 세계 1위이며, 2020년까지 수력발전 용량을 3,000 [MW] 추가 보급할 계획이 있다. 캐나다는 한때 세계에서 수력발전량이 가장 높은 국가였지만 최근 몇 년 중국, 미국, 브라질에 추월당해 현재 4위에 올라있다. 북유럽의 경우에 풍부한 수자원을 가지고 있어 이를 이용한 수력발전 개발이 많이 이루어져 총 발전설비용량(31,438 [MW]) 대비 수력발전설비용량(29,973 [MW])이 약 95.3%를 점유하고 있고, 총 발전량(117.9 [TWh]) 대비 수력발전량(124.4 [TWh])은 94.8%로 국가의 대부분의 전력은 수력발전으로 인해 공급되고 있다. 동남아시아의 경우에 인도, 베트남, 태국 등 신흥 공업국 중심의 전력수요가 공급을 초과하고 있고, 전력이 부족한 부분을 미얀마, 라오스 등에서 전력구매를 하고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

파키스탄과 같은 상대적으로 수력자원이 풍부한 국가들은 수력개발에 적극적으로 참여하고 있는데, 전 세계적으로 개발 완료된 수력발전은 2011년을 기준으로 약 874 [GW](연간발전량 : 3,229 [TWh])다. 추가적으로 개발 잠재력은 수력자원이 풍부한 아시아가 가장 크며 그 다음으로는 남미가 크다.

국외의 소수력 발전 보급현황을 살펴보면 중국의 경우에 한국과 비교하여 약 232배, 미국 43배, 일본 약 22배에 많은 소수력을 이용하고 있는 것으로 조사되었다. 우리나라는 터키의 175 [MW]와 비슷한 수준인 159 [MW]로 세계적으로 보았을 때 비교적 낮은 보급률을 보이고 있다. 따라서 국내의 소수력 발전에 의한 전력생산의 보급 및 확대가 필요할 것으로 보인다.

2. 국내 소수력 발전 보급현황

국내의 소수력 발전의 경우 약 108개소에 설비용량은 159.4 [MW]이며, 연간 발전량은 약 662 [GWh]의 전력을 생산 중이다. 세부적으로 살펴보면 한국수자원공사 42개소, 민간 발전사업자 23개소, 한국전력공사 및 발전회사 17개소, 한국농어촌공사 13개소, 지자체 13개소(하수종말처리장 6개소, 정수장 4개소, 하천 3개소) 등의 108개소가 운영 중에 있다. 이는 발전설비용량이 1개소 당 약 1,476 [kW]에 해당되는 수준이고, 발전량만으로 살펴보았을 경우 1개소 당 약 6.12 [GWh/년]을 생산한 수치이다.

현재 국내 상황을 보면 일반 하천을 이용한 소수력발전의 보급 활성화에는 한계가 있으나, 미활용 되고 있는 소수력발전의 개발 적지를 찾아내는 것도 하나의 대안이 될 수 있다. 발전소 방류수나 소하천의 하천유지용수, 상수도의 배수지나 가압장 및 하수처리장, 양어장의 순환수, 방류수 등은 낙차는 높지 않으나 일정한 유량을 확보 가능하기 때문에 가동율이 높은 지점에 발전소 건설이 가능 할 것으로 보인다. 경제성이 부족하여 개발이 부족했지만 최근 수차기술 개발과 정부의 보급 확대정책 등이 뒷받침되고 있어 민원발생 우려가 적은 기존시설물을 이용한 소수력 개발은 경제적으로 우수하다는 타당성이 입증되고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 소수력발전의 지원정책

a. 국외 지원정책

덴마크의 경우 1993년 'Biomass agreement'를 발표한 후 다양한 정책들을 통하여 재생에너지 보급을 지원해 왔다. 탄소세(carbon tax)와 녹색세(green tax) 등을 도입해 신재생에너지의 보급 여건을 조성하고 있으며, 신재생에너지 보급에 대한 보조금과 세제 혜택, 넷 미터링 제도(net metering) 등을 통해 신재생에너지 보급을 장려하고 있다. 2011년에는 "Energy Strategy 2050" 발표를 통해 2050년까지 화석연료의 사용을 0으로 줄이겠다고 발표하였다. 덴마크는 2020년까지의 에너지, 기후 관련 정책 프레임, 2050년까지의 에너지 관련 개요를 제시하는 Energy Agreement를 발표하였다. 여기에서는 2020년까지 전체 전력사용량의 50%를 풍력으로 대체하겠다는 목표를 제시하였다. 구체적인 실행목표에는 1,500 [MW] 규모의 해상풍력 발전설비 설치와 1,800 [MW] 규모의 육상·풍력 발전설비 설치, 또 태양광·파력 등의 신재생에너지 발전설비 개발·보급에 125 백만 크로네 투자할 것으로 발표하였으며, 지열 펌프 등 재생에너지 이용 열 생산 기술 개발·보급에 35백만 크로네 투자 등을 발표하였다. 그리고 신재생에너지의 효율적 이용에 대한 투자를 증가시키기 위하여 2020년까지 1년에 500백만 크로네 수준의 보조금 지급 계획을 발표하였다.

b. 국내 지원정책

현재 국내의 에너지 정책 문제점은 사회·경제적 요인을 고려한 낮은 가격 정책을 유지하면서 특정에너지원의 전력 편중현상이 심화되고 있다. 특히나 전기의 편중은 다양한 문제점을 초래하였는데, 생산 공급 과정에서 전환손실 발생, 전력 공급시설 부족으로 수급 불안, 발전설비 확충 등은 환경오염이나 주민갈등을 유발시키고 있다. 성과위주의 정책목표 중에 신재생에너지의

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2012년 보급률은 2.75 [%]로 계획한 수치와 비교해 85 [%]의 성과에 불과하였으며 향후 목표달성을 위한 구체적인 방안의 마련이 요구되는 시점이 이르렀다. 현재 재원마련 방안 등과 같은 현실적인 정책이 마련되지 않는다면 신재생에너지의 보급 확대는 기대하기 어려운 상황에 놓여있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅲ. 실험 및 결과고찰

A. 실험 계획

1. 현장 타당성 검토

공해가 없는 청정에너지인 소수력 발전은 1천5백[MW] 정도의 국내 부존량이 있으며 일반하천, 농업용 보, 수도관로, 폐광 용출수, 양어장의 순환수, 기존 발전수의 냉각수 등 미활용 소수력 자원을 이용할 수 있는 개발지점은 매우 다양하다. 댐식을 이용한 소수력 개발은 님비현상이나 환경단체의 반발 등의 문제가 있으나 소하천에서 하천유지용수와 관개용수 등으로 이용하면서 관광자원을 개발하면 지역경제에 도움을 줄 수 있으므로 경제적 타당성만 확보되면 개발이 필요하다. 그래서 최근에는 민원의 우려가 없는 기존 시설물을 이용한 소수력 개발이 추진되고 있다.

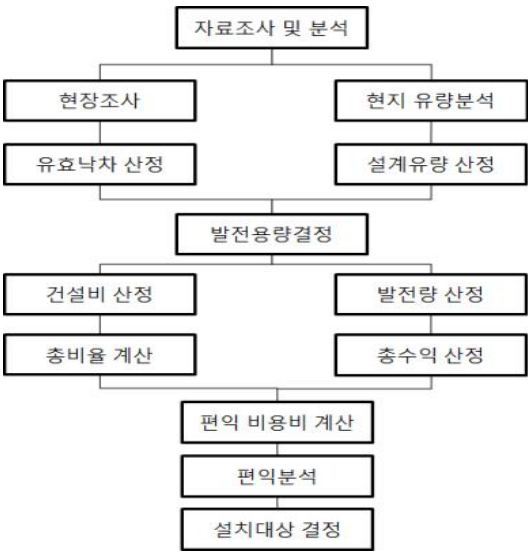


그림 1. 소수력발전 타당성 검토 흐름도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 전력품질 평가 및 분석

선정된 현장 사이트의 초기 전력 품질을 평가하기 위하여 표 5와 같은 장비와 분석 프로그램을 이용하여 그림 2에 나타낸것과 같이 발전기와 부하의 전력품질 평가를 위치를 선정 하였다. 표 6에서 표 8까지는 전력 시험 분석과 종합적인 분석 결과를 나타내고 있다.

표 5. 전력품질 측정

측정장소	선정된 현장 사이트
측정장비	DEWE-5000, Data Acquisition Device
분석 프로그램	DEWETRON Power Monitoring Tool Dewetron Soft 7.0.1
부하용량[kW]	계약전력 3kW, 급수 부하 8kW(2kW * 4EA)
측정시간	5일간

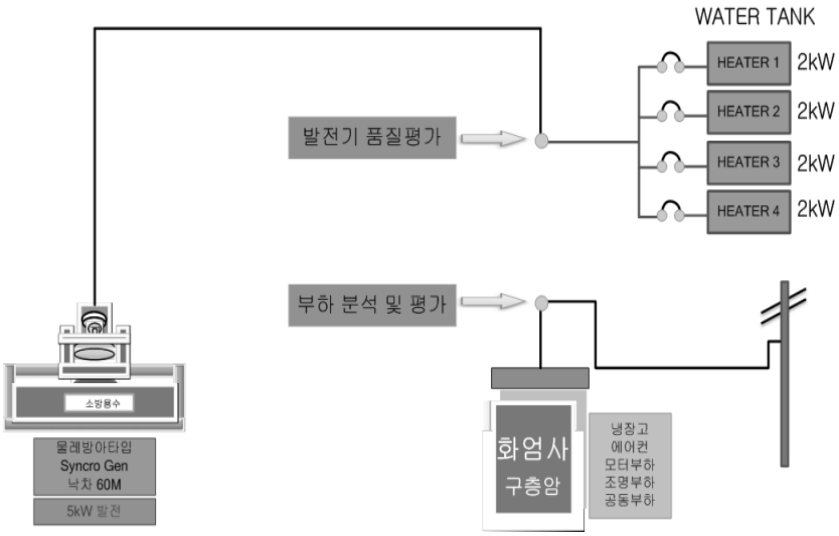


그림 2. 전력품질 평가 위치 선정

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 6. 전력분석 결과(주중)

횟수	측정그래프	결과
1회차		□ 전압분석 결과(V) - 평균 223(V) □ 전류분석 결과 - 평균 6.3(A) □ 전력분석 결과 - 평균 1.2(kW)
2회차		□ 전압분석 결과 - 평균 226(V) □ 전류분석 결과 - 평균 6.1(A) □ 전력분석 결과 - 평균 1.3(kW)
3회차		□ 전압분석 결과 - 평균 227(V) □ 전류분석 결과 - 평균 6.3(A) □ 전력분석 결과 - 평균 1.4(kW)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 7. 전력분석 결과 (주말)

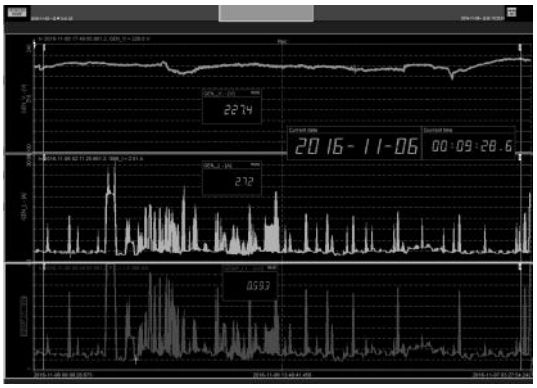
날짜	측정그래프	결과
4회차		□ 전압분석 결과 - 평균 226(V) □ 전류분석 결과 - 평균 7.2(A) □ 전력분석 결과 - 평균 1.7(kW)
5회차		□ 전압분석 결과 - 평균 221(V) □ 전류분석 결과 - 평균 6.2(A) □ 전력분석 결과 - 평균 1.6(kW)

표 8. 종합 전력 분석 결과

구분	내용	분석결과
전압	- 평균 222(V)	- 전력 품질 IEEE519 전압 기준 만족
전류	- 평균 3.4(A)	- 일부 구간 기준용량 초과함
전력	- 평균 1.4(kW)	- 03 : 00 ~ 04 : 00 구간 30분 동안 매일 4.5kW 사용 - 평균적으로 급성부하는 없음 - 계약전력(3kW) 초과하여 새벽 시간 사용 - 요일별 부하 특성은 미약하며, - 히터 사용시 일부 급격한 부하변동 발생

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 소수력 발전 기본설계

소수력 발전소의 기본설계를 하기 위해서는 사용수량, 유효낙차, 발전용량에 적합한 수차의 형식 및 대수 그리고 발전기의 형식 및 단자전압을 선정해야 한다.

a. 수차 선정

수차는 그림 3과 같이 유량 및 낙차 조건에 따라 수차 모델이 표준화되어 있다. 본 과제에서는 일반적 수차형식 선정표를 근거하여 각 실증사이트에 적합한 수차를 선정하였다.

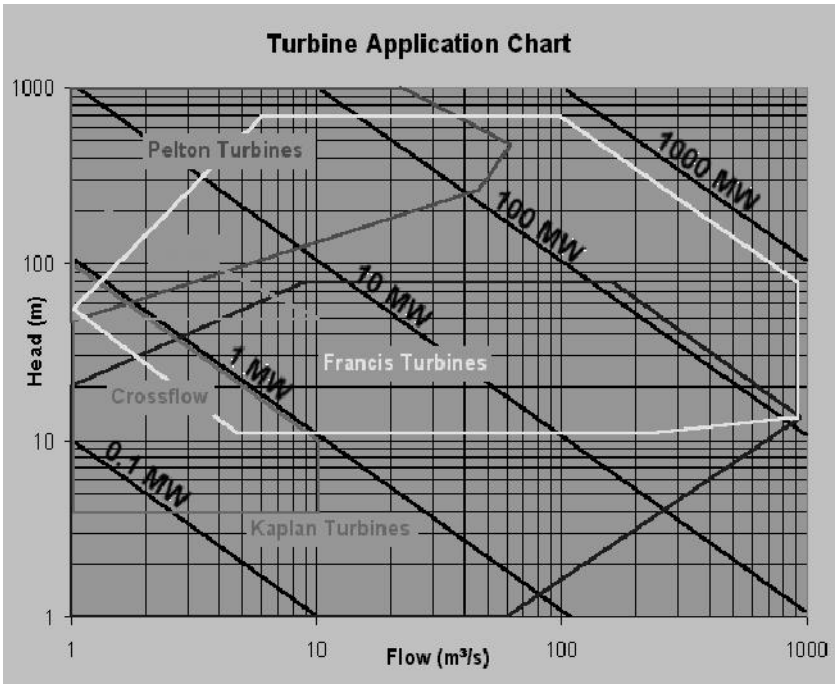


그림 3. 수차형식 선정 도표

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

b. 발전기 선정

1) 발전기 형식

사이트 1구역은 송전말단지역에 인접하고 산간벽지의 격리된 발전 장소라는 특징이 있고, 발전기의 구조적인 측면과 운전의 안전성 및 경제성을 모두 고려해보면 동기발전기가 유리할 것으로 판단하여 선정하였다.

사이트 2구역은 발전기의 구조적인 측면과 운전의 안전성 및 경제성을 고려할 때 효율 및 전기적인 성능은 다소 떨어지나 견고하고, 운전이 간단하며, 저렴한 유도발전기가 유리할 것으로 판단하여 선정하였다.

2) 단자 전압 선정

수차발전기의 적정 단자전압은 일본의 자료와 제조사의 규칙을 참고하면 250kW 미만의 발전기는 200V가 적정하나 이를 적용하기에는 우리나라의 실정에 맞지 않아 발전기 단자전압은 표준 3상 저압인 380V로 결정하였다.

c. 발전기 구조물

사이트 1구역은 기존의 발전용수 유입관로를 사용하여 공사비용을 절감한다. 격리된 장소에 발전소가 위치할 예정이며 역률 개선이 필요할 것으로 예상이 된다. 이에 단독으로 정비된 아크릴 박스를 현장에 위치하도록 하였다. 사이트 1구역은 지정장소에 수차, 발전기, 제어계통 등 소수력 발전의 주 설비를 배치하고 발전소의 관로는 기존의 생활용수 유입관로를 사용하여 공사비용을 절감한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

d. 소수력발전 기본설계

표 9. 소수력발전 기본설계 총괄표

구 분	단 위	소수력 발전 사이트	
		사이트 1구역	사이트 2구역
수차의 선정	형식	펠톤+물레방아	반키(크로스플로우)
	ea(대수)	1	1
발전기 선정	형식	동기발전기	유도발전기
	kw(용량)	10	20
단자 전압 선정	V(전압)	표준 3상 저압 380V	표준 3상 저압 380V

표 9는 수차선정, 발전기 선정, 발전소 구조물 계획을 검토한 결과이며 지속적인 현장 적용 검토하여 설치 하였다.

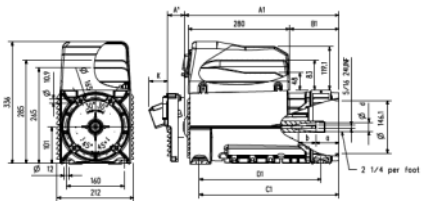
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 실험 및 결과고찰

1. 사이트 구축 및 시험

a. 현장 개요

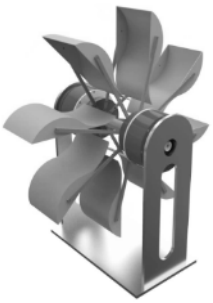


(a)발전기 모형(동기 발전기)

(b)관로 공사(정비)

그림 4. 발전기 모형 및 관로공사

(a)주변 인근 용수 흐름



(b)수차 모형

(c)설치, 발전기 및 수차

그림 5. 수차의 성치 및 모형

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

측정 장비

전력 부하 데이터 측정

그림 6. 측정 장비 및 측정

b. 발전기 성능평가

발전기 전력품질을 평가하기 위해 발전기 출력단에 전력품질 분석 장비를 설치하였다.

표 10. 발전기 전력품질 측정 개요

측정장소	사이트 1구역, 발전기 출력점
측정장비	DEWE-5000, Data Acquisition Device
분석 프로그램	DEWETRON Power Monitoring Tool Dewetron Soft 7.0.1
부하용량[kW]	계약전력 3kW, 급수 부하 8kW(2kW * 4EA)

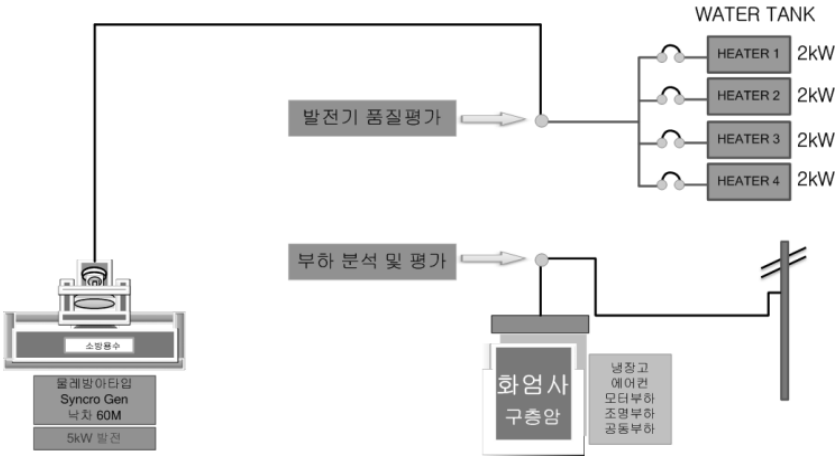


그림 7. 전력품질 평가 위치(발전기 및 부하)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 11. 발전기 전력품질 사례 해석

구 분	시험조건	분석내용
CASE 1	1kW * 1 히터(저항부하)	- 전압, 주파수
CASE 2	2kW * 1 히터(저항부하)	- 전류, 역률, 전력 등
CASE 3	2kW * 2 히터(저항부하)	- 시험시간 5분
CASE 4	2kW * 3 히터(저항부하)	- 유량
CASE 5	2kW * 4 히터(저항부하)	- 히터는 단상부하

c. 종합분석 결과

표 12. 종합 전력 분석 결과

구 분	내용	분석결과
전압	CASE 1 323 V CASE 2 310 V CASE 3 303 V CASE 4 277 V CASE 5 144 V	부하 변동에 따라 기준치(342~418V) 대역폭에 미달됨
전류	CASE 1 3.82 A CASE 2 4.5 A CASE 3 4.47 A CASE 4 4.85 A CASE 5 6.25 A	부하 투입시 전류의 값은 지속적으로 증가하였으나 CASE 3, 4에서 투입 부하대비 상승률이 적은 것으로 나타남
전력	CASE 1 1.22 kVA CASE 2 1.2 kVA CASE 3 1.22 kVA CASE 4 1.65 kVA CASE 5 1.02 kVA	부하 투입시 전류의 값은 CASE 3에서는 상승률이 적게 나타났으며, CASE 4에서는 감소함
주파수	CASE 1 48 Hz CASE 2 45 Hz CASE 3 34 Hz CASE 4 34 Hz CASE 5 27 Hz	부하 변동에 따라 기준치(0.2Hz) 대역폭에 미달됨
종합 - 발전기의 전압 및 주파수 변동폭이 크게 나타났고, 기준값에 비해 낮게 나타남 - 향후 유량 및 발전기 튜닝을 통하여 개선과 ESS(DC LINK)를 이용한 전압평준화 및 주파수 개선예정 [주파수 및 전압 기준 : 관련 기준 송배전 전기설비 이용기준 제 39조, 전기설비기술기준 제19조 적용]		

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. ESS 용량 평가 및 선정

a. 마이크로·피코 소수력 기반 ESS 시스템 구성

ESS는 이차전지(Battery), BMS(Battery Management System), 인버터(inverter/PCS) 등으로 구성되는데 개발 시스템은 여기에 신재생에너지인 마이크로·피코급 소수력발전이 추가되며 이를 모니터링·통신·제어하는 EMS를 통해 운용 및 관리할 계획이다. 구축할 시스템이 소용량이어서 배터리는 친환경적이며 높은 변환 효율을 가진 리튬이온전지를 채택하였다.

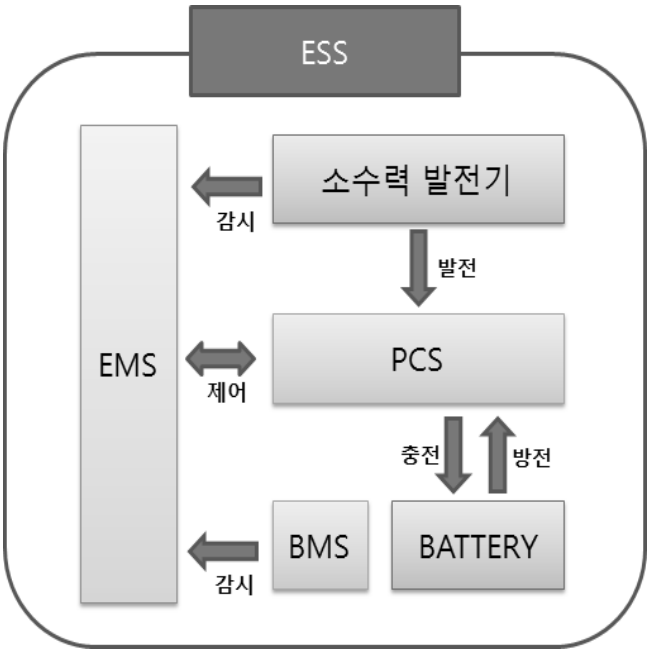


그림 8. 개발시스템(ESS) 구성도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

b. 실증사이트의 적정 ESS 용량 선정

본 과제에서는 ESS를 이용하여 수요자 에너지 관리에 활용함으로써 계통 전원 공급 없이도 장시간 전기에너지를 공급할 수 있는 하이브리드 전원 시스템을 구현하는데 목적이 있으며 따라서 상용전원의 수전을 최소화하면서 실증사이트의 부하에 전력을 충분히 공급할 수 있도록 소수력발전과 배터리 용량을 선정하였다. 소수력발전 설계 내용을 정리하면 1사이트의 발전용량은 3kW, 설비 이용률은 90%로 예상되었다. 소수력발전은 특성상 시간별 발전량 편차가 크지 않으므로 지속적으로 2.7kW의 발전을 한다고 일단 가정한다. 부하 평균은 1.4kW이고 데이터를 참고하면 평상시에는 ESS 없이도 소수력발전만으로 부하 공급이 가능하며 최대부하가 발생하는 시간대에서만 ESS를 방전하여 전력을 공급하면 될 것으로 판단된다.

설치할 ESS는 소용량이고 배터리 방전이 3시~4시 사이에 하루에 한번 수행되고 나머지 시간동안 0.1C로 충전하는 것으로 충방전 cycle 관리가 이루어질 것으로 예상된다. 또한 평소 배터리의 사용량이 많지 않을 것으로 예상되고, 정기점검 및 비상상황 등 에서만 일시적으로 ESS가 한계까지 동작하게 될 것으로 추정되므로 SOC 한계는 최대한 폭넓게 정하는 것이 타당하다 생각된다. 따라서 배터리 SOC 한계는 최소 20%에서 최대 95%로 결정하였고, 실제 사용할 수 있는 용량은 배터리 용량의 75%가 된다.

부하대비 전력예비율을 계산을 하면 ESS 시작품의 배터리 용량은 7.04kWh로 부하대비 전력예비율은 7.04kWh × 75% ÷ 10kWh = 52.8%로 계산된다.

실제로는 소수력발전이 지속적으로 2.7kW를 공급할 수 있다고 판단하고 있으므로 약 30분 간의 피크부하 3kWh(30분간 평균 6kW)가 발생할 때 소수력발전이 1.35kWh(2.7kW 30분)의 에너지를 공급하므로 배터리에서 공급해야 하는 방전량은 1.65kWh이다. 즉 소수력발전기가 정상적으로 동작하는 동안에는 배터리 용량 중 24%만 사용하여도 충분하며, 일반적인 상황에서는 배터리

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

SOC를 30% ~ 70% 구간에서 운용하고 소수력발전기가 정기점검 등으로 가동을 안 하는 상황에서만 20~95% 사이에서 동작하도록 운용할 것이다.

시제품 제작에 사용될 배터리는 타보스사의 리튬이온전지 2개를 직렬로 연결하여 사용하기로 결정하였다. 이 배터리의 공칭에너지는 3,520Wh로 2개를 직렬연결하여 7.04kWh의 용량을 갖는 ESS를 우선 구축하기로 하였다.

본 논문에서 부하대비 전력예비율은 50%로 정하였으므로 일단 목표는 충족하는 것으로 사료된다.

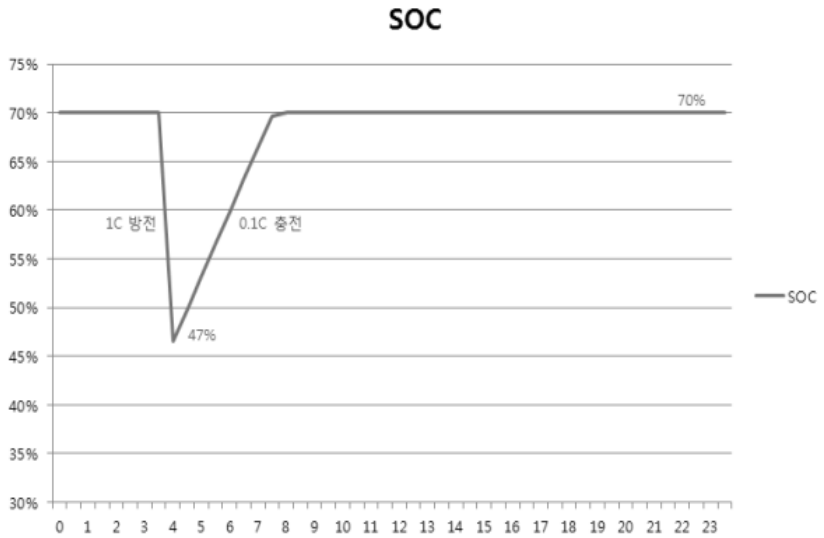


그림 9. 24시간동안 배터리 SOC 예상(정상 가동 시)

PCS의 용량은 소수력발전량과 배터리 출력으로 결정된다. 기본적으로 배터리는 부하가 피크일때 모자라는 만큼만 방전하는 식으로 관리할 것이기 때문에 소수력발전량 + 배터리 방전량 = 최대부하량이 된다. 전력품질 분석에서 최대 4.8kW의 부하가 관측되었으므로, 5.5kW급 인버터를 사용하기로 결정하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 13. 리튬이온전지 사양

모델명		TB19-LM-200V-17AH
리튬전지셀 종류		Middle Rate(5C) LG화학 리튬이온 2.9Ah/cell
공칭	공칭전압	203V
	공칭전류용량	17.4Ah
	공칭에너지	3,520Wh
전압 범위	과전압 BMS 차단전압	238V
	최대전압 (충전최대전압)	235.2V
	권장최소전압	168V
	저전압 BMS 차단전압	140V
방전 전류	정격	43A 이하
	순시최대	80A 이하(1.5초간)
충전 전류	정격	최대 17A 이하
크기		19“ 2U, D=550㎜
무게		24kg
기대 수명		3,000~4,000 Cycle
사용온도 조건		-20℃ ~ 60℃
통신방식		CAN, RS232C
충전방법		정전압(CV)+정전류(CC)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. BMS 개발 및 배터리 충방전 제어 알고리즘 개발

배터리 관리 시스템의 주요 역할은 배터리의 상태를 실시간으로 모니터링하여 최적의 조건으로 사용할 수 있도록 제어하고 배터리의 SOC 및 교체시기를 예측하여 관리에 활용하여 시스템의 신뢰성 및 안전성을 확보하는 것으로서 크게 상태 감시부, 알고리즘 연산부, 명령 제어부, 보호 회로부, 통신부로 나눌 수 있다. 상태 감시부에서는 배터리 셀 및 전체 배터리의 안정적인 운영을 위해 셀의 전압, 전류, 온도 등을 측정하며, 알고리즘 연산부에서는 SOC(State of Charge)와 SOH(State of Health) 및 셀 밸런싱(Cell Balancing) 알고리즘을 연산한다. 명령 제어부에서는 셀 밸런싱이나 보호 기능을 수행하기 위하여 스위치에 제어 신호를 보내는 기능을 담당하고, 보호 회로부에서는 과전압과 과전류를 감시하고 차단하는 기능을 담당한다. 그리고 통신부에서는 마스터(Master)와 슬래이브(Slave)간에 CAN(Controller Area Network) 통신을 하거나 마스터에서 외부의 기기로 RS-232 통신 등을 할 수 있도록 구성된다. 시작품 제작에 사용할 타보스社의 배터리 트레이에는 기본적인 BMS회로를 내장하고 있다.

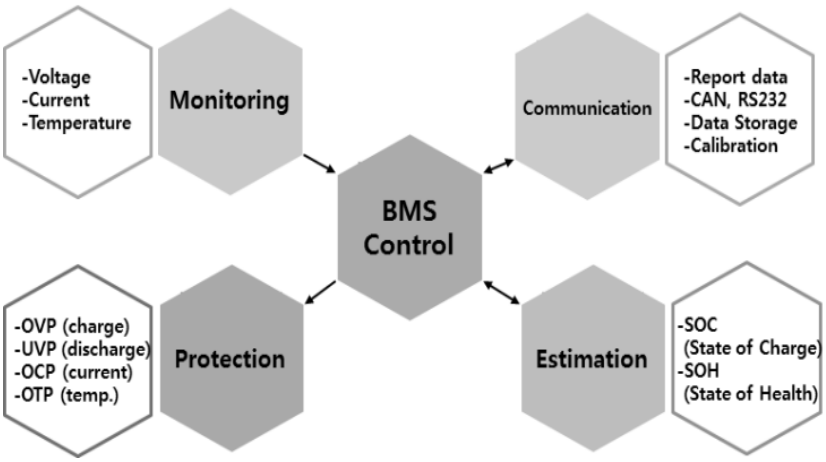


그림 10. BMS의 주요 기능

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

배터리 충전 알고리즘은 크게 정전압 충전, 정전류 충전, 정전류-정전압 충전으로 구분할 수 있다. 정전류 충전은 배터리가 충전될 때까지 정전류로 충전하는 방법으로 짧은 시간 내에 배터리를 충전하는데 유리하지만 거의 만충이 되면 충전 효율이 나빠지고 충전 시간을 정확하게 설정하지 않으면 과충전 문제가 발생할 수 있다. 정전압 충전은 설정된 전압으로 일정하게 유지되도록 충전하는 방법이지만 초기에 배터리 전압이 낮으면 과전류가 발생할 가능성이 있고 충전시간이 많이 길어질 수 있다. 정전류-정전압 충전 방법은 배터리를 안정적으로 충전하기 위해 일반적으로 적용되는 충전 알고리즘으로 추정된 SOC를 이용하여 일정 구간까지는 정전류로 배터리를 충전하다가 정전압 모드로 변경하여 정전압으로 배터리를 충전하는 방법이다. 하지만 충전 모드가 변경되는 시점에서 과도 상태가 발생할 수 있는 문제가 있다.

따라서 배터리를 효율적으로 충전하기 위해 그림 11과 같이 정전압 충전 제어와 정전류 충전 제어를 혼합한 정전류-정전압 충전 알고리즘을 개발하고 제어 SW를 개발하였다. 정전류 모드에서 일정한 전류로 설정한 SOC까지 충전이 되며 SW 셋팅에 따라 배터리의 충전 속도를 빠르게 할 수 있다. SOC가 설정값 이상으로 올라가게 되면 정전압 모드가 되고 충전 전류가 급속하게 줄어들게 되어 효과적인 충전이 가능하다. 이 충전 특성을 그림으로 나타내면 그림 12와 같다.

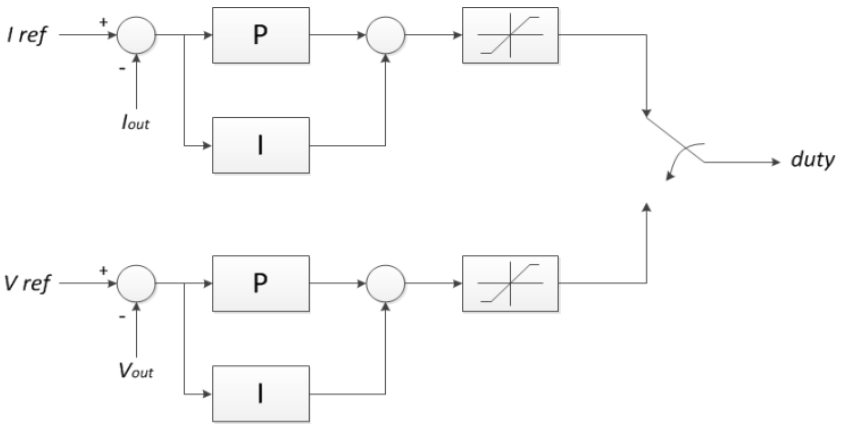


그림 11. CC-CV 충전 알고리즘

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

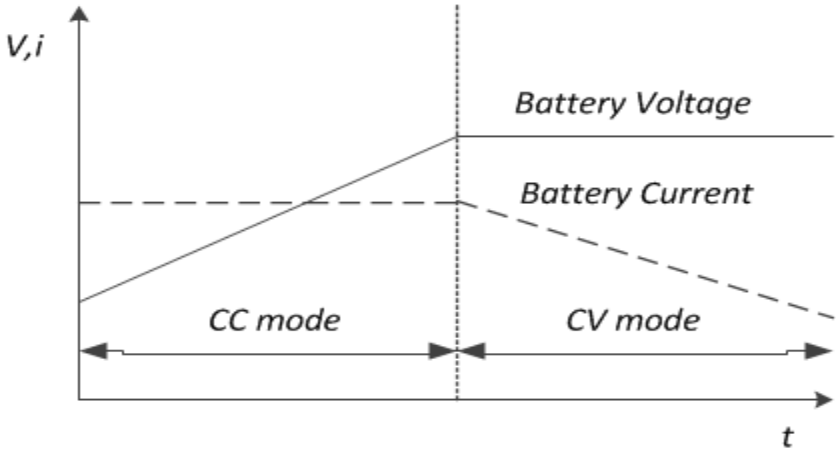


그림 12. CC-CV 충전 알고리즘 특성

위의 정전류-정전압 충전 알고리즘은 정전류 모드에서 정전압 모드로 변환되는 구간에서 과도 구간이 발생할 위험성이 있다. 과도 상태를 제거하기 위해 모드가 변경될 때 일정 시간동안 듀티를 일정하게 유지하는 구간을 두고, 투입되는 제어기의 출력을 보상하면 시스템의 안정적인 운용이 가능하다고 생각된다.

4. DC Link 구축 및 연계 기술 개발

a. 3상 AC-DC 컨버터 설계

소수력발전기의 교류전력을 직류전력을 변환하기 위한 AC-DC 컨버터는 아날로그 방식으로 설계하였다. 개발 초기에는 PWM 방식을 우선 고려하였으나 소수력 발전기의 전압 및 주파수가 일정치 않고 계속 변동하는 등 위상 검출이 어렵고 제어가 쉽지 않을 것으로 판단되어 일단 보류하였다. 설계 단계에서 시뮬레이션 툴을 이용하여 모의하고 그 결과를 토대로 소자를 선정하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

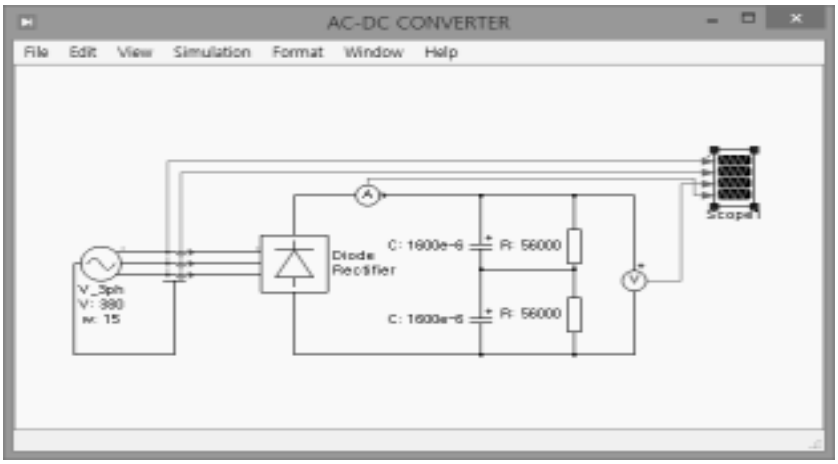


그림 13. 3상 AC-DC 컨버터 시뮬레이션 회로(PLECS)

표 14. 3상 AC-DC 컨버터 시뮬레이션 설정

입력전압	3ϕ380 [V]
출력전압	무부하 650 [V], 부하 560 [V]
출력전류	무부하 0 [A], 부하 8.2 [A]
발전기 주파수	15 [Hz]

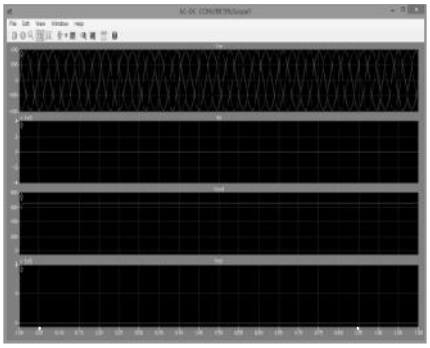


그림 14. AC/DC 컨버터 시뮬레이션 결과(무부하 상태)

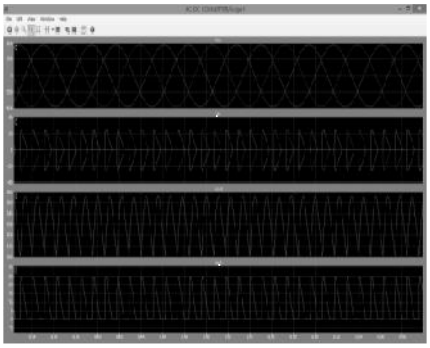


그림 15. AC/DC 컨버터 시뮬레이션 결과(부하 운전)

그림 16에서처럼 설계 단계에서 시뮬레이션을 통해 검증하고 프로토 타입을 제작하여 실험하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

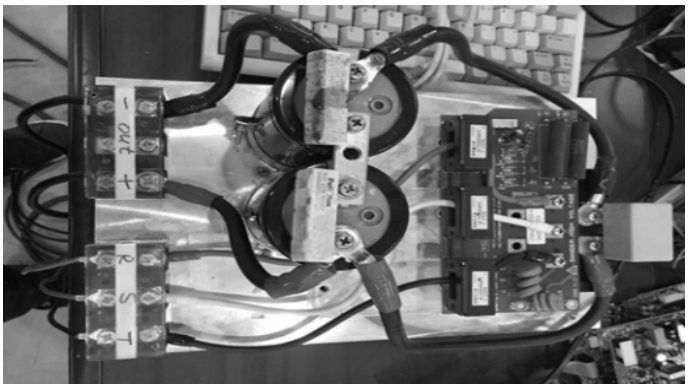


그림 16. AC-DC 컨버터 프로토타입 제작

b. DC-DC 컨버터 설계

AC-DC 컨버터의 출력 전압을 배터리 및 인버터의 입력범위에 맞게 조절하기 위한 DC-DC 컨버터를 개발하였다. 기본적인 설계는 시뮬레이션을 선행하여 계산 값을 이용하여 소자를 선정하였고, 입력은 설계한 AC-DC 컨버터의 출력에 맞추어 시뮬레이션을 진행하였다.

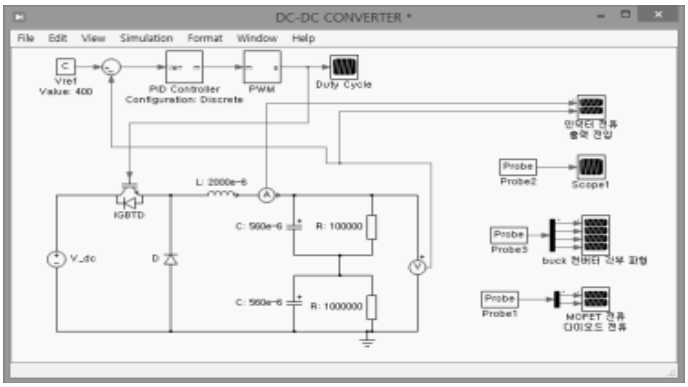


그림 17. DC-DC 컨버터 시뮬레이션 회로도

표 15. DC-DC 컨버터 시뮬레이션 설정

입력전압	560 ~ 650 [V]
출력전압	무부하 525 [V], 부하 400 [V]
출력전류	무부하 0.8 [A], 부하 12.5 [A]
스위칭 주파수	20 [kHz]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

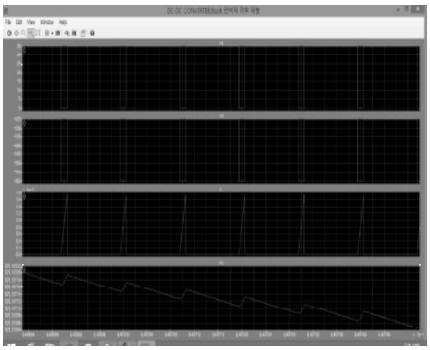


그림 18. DC-DC 컨버터
시뮬레이션 결과 (무부하, DCM)

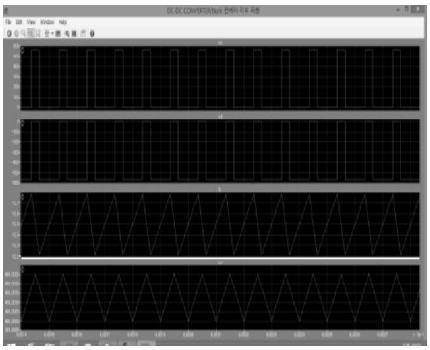


그림 19. DC-DC 컨버터
시뮬레이션 결과 (CCM)

컨버터 시뮬레이션 결과를 보면 출력전압이 무부하 조건(DCM)에서는 일정하게 제어되지 않는다. 이 경우 컨버터의 IGBT, 다이오드의 손상을 가져올 수 있고 컨버터 출력단의 배터리에 악영향을 줄 가능성이 있으므로 인덕터 최소 리플 전류 값을 유지시켜줄 필요가 있다. 따라서 회로에 더미 저항을 추가하여 선택적으로 on/off 하여 컨버터가 계속 CCM 모드로 동작할 수 있도록 제어한다.

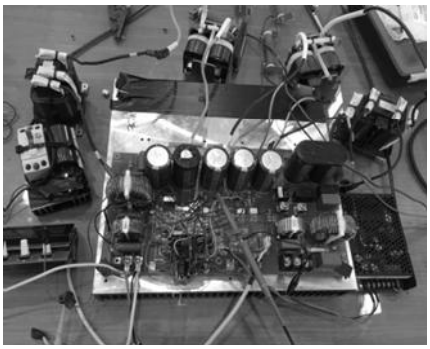


그림 20. DC-DC 컨버터 내부
시험용 시작품

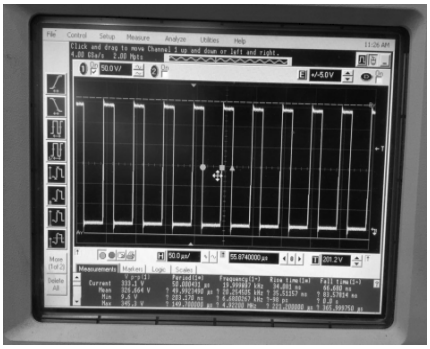


그림 21. 컨버터 다이오드
펄스 파형

MICROCHIP사의 16bit CPU를 선정하여 제어보드를 제작하였으며 PID제어, CC-CV 충전, 소프트 스타트 등은 SW로 구현하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5. 친환경 마이크로 ESS 설계 및 시작품 제작

ESS 연계 마이크로·피코 소수력 발전 시스템은 발전기, 정류기(AC/DC), 컨버터(DC/DC), 인버터(DC/AC), ESS, LPMS(Local PMS)로 구성된다. LPMS는 발전기의 상태 즉 유량, 유속, 온도, 진동 등을 감지하여 실시간으로 가동상태를 체크하여 상위 관리시스템 및 사용자에게 전달하여 이상상황에 대하여 체크가 가능하도록 설계하였다. 그리고 발전기의 출력 주파수가 60Hz인 경우 im-pro를 연결하여 전압, 전류, 전력을 센싱할 수 있도록 설계하였다. 정류기는 디지털 제어가 아닌 아날로그 브릿지 정류로 설계를 하였는데, 이는 발전기의 주파수가 시시각각 달라지는 문제가 있어 PWM 제어로 설계를 하게 될 경우 발전기 주파수의 변화 때문에 정상적인 동작을 못하여 고장 원인이 될 수 있기 때문에 아날로그로 설계를 하였다. LPMS는 발전기, 인버터, DC-LINK, ESS 의 상태를 지속적으로 감지하여 MODBUS로 전송시켜 준다. 이상상황이 발생하거나 아니면 ESS의 충전 및 방전을 지속적인 계통 감시를 통하여 출력 전력을 조절하여 이상적인 전력을 공급할 수 있다.

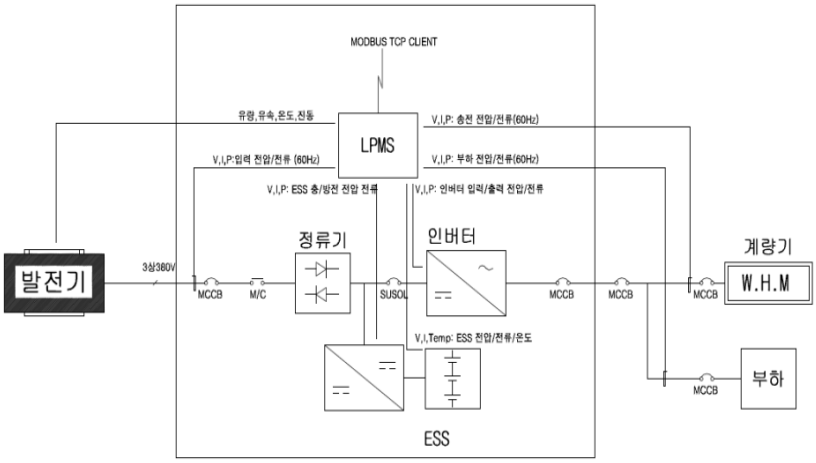


그림 22. ESS 연계 마이크로·피코 소수력발전 계통도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 22는 사이트 1구역에 설치할 ESS 연계 소수력 발전 계통도이다. ESS 판넬은 인버터, ESS, SIMON TOUCH, DC-LINK로 구성이 되는데, ESS의 경우 서랍형으로 설계하여, 간편하게 추가 증설이 가능하도록 설계하였다. 또한 이상 발생 시 보호 기능을 위한 차단기와 항온항습 기능 등이 있으며, DC-Link를 Rack 타입으로 케이스를 설계하여 조립과 연결이 간편하도록 설계를 하고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅳ. 결 론

본 논문은 마이크로소수력 기반 마이크로그리드를 개발 및 실증하는 것을 최종 목표로 하였으며, 목표를 달성하기 위해 준비 단계로서 마이크로소수력 기반 마이크로그리드의 운용 알고리즘 개발 및 시작품 개발을 통해여 기술개발을 진행하였다.

먼저 관련기관의 협조를 받아 실증 예상 지역을 답사하여 사이트 1 구역과 사이트 2구역을 실증 후보지로 선정하고 지형 조사 및 유량 분석 등을 통해 현장 사이트에 대한 타당성 검토를 거친 후 두 곳을 실증사이트로 결정하였다. 실증사이트의 부하패턴 및 전력품질 분석을 통해 수차 형식 및 발전기 용량을 결정하고 설계 및 제작하였으며, 그에 따른 ESS 용량을 결정하고 AC/DC 컨버터 및 양방향 DC/DC 컨버터의 설계 및 ESS 시작품을 제작하였다. 또한 소수력 기반 마이크로그리드의 EMS 구축을 위한 알고리즘을 개발하였다.

실증 지역의 소수력발전 자원(유량, 유속 등)과 부하 패턴 등의 조사는 충분한 시간을 갖고 진행되어야 함에도 서둘러 진행되어 많은 부분을 간접적인 데이터를 통해 추정할 수밖에 없었으며, 이는 발전기/ESS 시작품 개발에서도 제품의 Spec.을 결정하는데 어려움을 가져왔다.

본 연구를 통해 소수력발전분야와 ESS분야의 기술력 및 Track Record를 확보하여 친환경, 경제성 확보된 실증 모델을 제시한다면 앞으로 더 많은 기술개발이 이루질 것으로 보인다. 또한 본 연구를 통해 친환경 에너지 기술개발과 구축 시스템의 관광 자원화를 통해 지역 경제 활성화에도 큰 기여를 할 수 있을 것이라 생각한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

[1] R. J. Hill, " Electric traction and DC traction motor drives", Electric Railway Traction, pp 35~90, 1986

[2] J. Allan, C. A. Brebbia, "Railway System and Management", Computation Mechanics Publications, pp393~495, 1996

[3] R. Kadhim, W. S. Chan, J. Allan, "Sub-Station Uncharacteristic Harmonics Study on a D.C. Supplied Railway using a Computer Based Model", COMPRAIL '92, pp.3~14, 1992

[4] J. Allan, C. A. Brebbia, "Railway technology and Environment", Computation Mechanics Publications, pp139~187, 1996

[5] G. Digby, D. B. Hewings, "Simulation of Voltage Controoled Traction Rectifiers on a Medium Voltage AC Distribution System", COMPRAIL, pp.27~38, 1992

[6] A. Piccolo, "Substation automation and control in railway networks, Computation Mechanics Publications, pp.127~138, 1996

[7] J. D. Glover, A. Kusko, S. M. Peeran, "Train Voltage Analysis for AC Railroad Electrification", IEEE, IASS:ISA, pp207-216, 1982

[8] R. J. Hill, "On-Line Simulation of Voltage Regulation in Autotransformer-Fed AC Electric Railroad Traction Networks", IEEE Transactions on vehicular Technology, Vol.42, No.3, pp365~372, August, 1993.

[9] Mochinaga, Y., Hisamizu, Y., Takeda, M., Miyashita, T., Hasuike, K., "Static power conditioner using GTO converters for AC electric railway", Power Conversion Conference, pp.641-646, 1993

[10] Hirakawa M., Eguchi N., Yamamoto M., "Self-commutated SVC for electric railways", Power Electronics and Drive Systems,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Proceedins of 1995 International Conference, pp.732~737, 1995.

[11] Kawahara K., Hase S.I., Mochinaga Y., "Compensation of voltage drop using static VAr compensator at sectioning post in AC electric railway system", Power Conversion Conference - Nagaoka 1997, Proceedings of the 1997 v.2 , pp.955~960, 1997

[12] KAWAHARA Keiji, HISAMIZU Yasuji, HASE Shin-ichi, "Development of Static Var Compensator for San-yo Shinkansen", Quarterly reports v.41 no.4 , pp.148 - 153 , 2000

[13] Chu Wen-Shyan, Gu Jyh-Cherng, "A new hybrid SVC scheme with Scott transformer for balance improvement", Rail Conference, 2006. Proceedings of the 2006 IEEE/ASME Joint 2006 , pp.217~224 , 2006

[14] Ma Jianzong, Wu Mingli, Yang Shaobing, "The application of SVC for the power quality control of electric railways", Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN '09. International Conference on 2009 Apr., pp.1~4 , 2009

Collection @ chosun