



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

분산형전원을 위한 허브변전소
계량방식 개선에 관한 연구

濟州大學校 産業大學院

風力工學科

夫 豪 峻

2015 年 6 月

분산형전원을 위한 허브변전소 계량방식 개선에 관한 연구

指導教授 金世鎬

夫 豪 峻

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2015 年 6 月

夫豪峻의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ①

委 員 _____ ①

委 員 _____ ①

濟州大學校 産業大學院

2015 年 6 月

목 차

그림 목차	ii
표 목차	iii
SUMMARY	iv
I. 서 론	1
II. 분산형전원 허브변전소 건설 및 운영 현황	3
2.1 분산형전원 허브변전소 배경 및 필요성	3
2.2 행원풍력발전단지 운영현황	8
2.3 동북·북촌풍력발전단지 건설현황	9
III. 분산형전원 송·수전 계량방식의 현행 제도 및 문제점	13
3.1 분산형전원 송·수전 계량방식에 대한 현행 제도	13
3.2 제주지역의 분산형전원 송·수전 계량방식 현황	14
3.3 분산형전원 송·수전 계량방식에 대한 문제점 분석	15
IV. 허브변전소 계량방식 개선 방안	17
4.1 모자계량방식 검토	17
4.2 22.9 kV 전용선로 공동이용 계량방식 검토	21
4.3 154 kV 전용선로로 공동이용 계량방식 검토	26
4.4 계량방식 개선 방안	31
V. 결 론	39
참 고 문 헌	40
감사의 글	41

그림 목차

그림 1 제주도 Carbon Free Island Jeju by 2030 계획	4
그림 2 제주도 해상풍력발전 보급 목표	4
그림 3 제주도 육상풍력발전단지 현황	5
그림 4 행원풍력발전단지 전력계통도	9
그림 5 동북·북촌풍력발전단지 송전계통도	10
그림 6 김녕풍력발전단지 송전선로 현황	11
그림 7 동북·북촌풍력발전단지 허브변전소 계통도	12
그림 8 한국전력 변전소 내부 행원풍력 수전용 계량설비	15
그림 9 한국전력 변전소 내부 행원풍력 전력량계 파손	16
그림 10 변압기설비 공동이용 방식	17
그림 11 행원풍력발전단지 기존 계량방식	19
그림 12 행원풍력발전단지 모자 계량방식	20
그림 13 행원풍력발전단지 전용선로 공동이용에 따른 계통도	22
그림 14 행원풍력발전단지 계량방식 모델 I	23
그림 15 행원풍력발전단지 계량방식 모델 II	24
그림 16 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 모델 I	27
그림 17 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 모델 II	28
그림 18 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 모델 III	29
그림 19 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 모델 IV	31
그림 20 행원풍력발전단지 계량방식 개선 모델 I	33
그림 21 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 개선 모델 I	35
그림 22 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 개선 모델 II	36
그림 23 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 개선 모델 III	38

표 목차

표 1 송·배전용 전기설비 이용규정의 발전소 접속설비 기준	6
표 2 한전 제주본부 분산형전원의 연계현황	6
표 3 송·배전용 전기설비 이용규정의 발전소 접속선로 기준	7
표 4 송전선로 공사비 비교	7
표 5 행원풍력발전단지 현황	8
표 6 동북·북촌풍력발전단지 현황	10
표 7 분산형전원의 계량점 위치	13
표 8 제주지역의 분산형전원 송전계량기 위치	14
표 9 제주지역의 분산형전원 수전계량기 위치	14
표 10 분산형전원의 계량설비	16
표 11 행원풍력발전단지 공급인증서 현황	19
표 12 행원풍력발전단지 수전전력 비교	25
표 13 전용선로 및 변압기 공동이용에 따른 계량방식 개선방안	32

A Study on the Improvement of the Metering Method for Distributed Resources in Hub Substation

Ho-Jun Bu

Department of Wind Energy Engineering

Graduate School of Industry

Jeju National University

Supervised by professor Se-Ho Kim

Summary

In this thesis, the necessity of hub-substation to vitalize and expand the distributed resources has been raised and also investigated the present condition of Haeng-won wind farm where has been being operated and Dong-bok·Buk-chon wind farm where has been being under construction, now.

Furthermore, the existing system, which is concerned with the metering method of hub-substation for distributed resources, has been compared with the metering equipment and the present condition in Jeju, in order to draw the problem of the existing system.

In addition, the necessity of upgrading the metering method for distributed resources has been purposed, and the problem has been found and the improvement plan has been also proposed from the following next two examples.

The first one is that the case of 22.9 kV exclusive line which is used communally. the second one is that is the case of 154 kV transformer and exclusive line which are used communally.

At the conclusion of this thesis, the necessity of supplement and modification in the metering method of the existing system has been synthetically asserted.

I. 서 론

정부는 입지·환경 문제로 시설 확대에 어려움을 겪고 있는 대규모 집중식 발전설비 공급 방식에서 탈피하여 발전량의 15% 이상을 분산형전원으로 공급함으로써 발전시장에도 중소·중견기업 참여 기회가 확대되어 새로운 시장을 창출하기 위해 분산형전원 활성화를 계획하였다[1]. 또한 제주도는 제주의 좋은 자원을 이용하여 에너지 자립과 ‘탄소 없는 섬 제주’를 목표로 2030년까지 약 2.3 GW의 풍력발전설비 및 100 MW의 태양광 설비 등 신·재생에너지설비를 통해 전력을 공급할 예정이다[2].

한국전력 제주지역본부의 분산형전원 연계 현황에 따르면 현재 제주지역의 전력계통은 22.9 kV 배전선로 및 변전소 용량이 포화되어 계통연계에 어려움이 있다[3]. 하지만 전력 공급설비는 주민들에게 혐오, 위해 설비로 잘못 인식되어 전력 공급설비 건설 반대 등 집단민원이 지속적으로 증가하는 추세이다. 또한 지방자치단체는 주민들의 지가 하락 등을 우려한 민원을 의식하여 전력설비 건설에 필요한 각종 인허가를 지연 또는 거부하고 있고 이로 인한 전력설비 건설 지연에 따른 전력 공급 차질이 우려되고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 한국전력에서는 전력 공급능력은 기존 변전소의 2배로 증대되고 부지면적은 1.4배 정도 밖에 소요되지 않는 대용량 허브(Hub)변전소를 개발하였다[4].

신·재생에너지설비를 포함한 분산형전원의 확대를 위해 대용량 허브변전소를 제주도 전력계통 실정에 맞게 적용할 필요가 있고 이에 전용선로 및 변압기 등을 공동으로 이용하는 분산형전원 허브변전소의 역할이 대두되었다. 특히 제주에너지공사는 제주 동쪽 지역의 분산형전원 활성화를 위해 국내 최초로 동북·북촌 풍력발전단지 변전소를 분산형전원 허브변전소로 건설하였다[5]. 그러나 분산형전원 허브변전소가 처음 시도되면서 계량방식에 대한 문제점이 나타났고 허브변전소 운영에 큰 장애요인이 되고 있다. 하지만 지금까지 계량에 관한 문제점은 불평형 전류에 의한 154 kV 수전설비 및 분산형 전원의 수전전력 계량 오차에 관한 문제점만 제기되었다[6][7].

본 논문에서는 현행 제도의 계량방식에 대한 문제점과 개선방안에 대해 다루

고자 한다. 2장에서는 분산형전원 허브변전소 건설 및 운영 현황에 대해 서술하였고, 3장에서는 분산형전원의 계량방식에 대한 현행제도의 문제점을 검토하였다. 4장에서는 분산형전원 허브 변전소의 계량방식에 대해 몇 가지 사례를 통해 개선방안을 도출하였고 마지막으로 5장에서는 이 논문의 종합적인 결론을 제시하였다.

II. 분산형전원 허브변전소 건설 및 운영 현황

제주지역의 풍부한 자원을 이용하여 풍력발전설비 및 태양광발전설비 같은 분산형전원이 빠르게 증가하고 있지만 발전설비를 연계하는 배전선로와 변전소 용량의 포화로 어려움이 있다. 이에 전용선로 및 변압기 등을 공동으로 이용하는 분산형전원 허브변전소가 대두되고 있고 현재 건설 및 운영되고 있는 허브변전소의 현황에 대해 알아보하고자 한다.

2.1 분산형전원 허브변전소 배경 및 필요성

1) 제주지역의 분산형전원 확대 계획

제주도는 2030년까지 제주의 모든 에너지를 신·재생에너지로 대체하고, 모든 자동차를 전기자동차로 대체하는 ‘Carbon Free Island Jeju by 2030(탄소 없는 섬 제주)’ 계획을 추진하고 있다.

그림 1은 제주도의 스마트그리드 계획을 단계별로 표시하였다. 1단계로 스마트그리드 실증 단지 완성, 가파도의 탄소 없는 섬 등을 통해 시범모델을 구축하였고, 이어 2단계로 2020년까지 스마트그리드, 전기자동차, 신·재생에너지를 활용하여 탄소 없는 섬 기반을 구축할 예정이다. 3단계로 2030년까지 화석연료 사용 없는 세계적 녹색도시를 구현하여 탄소 없는 섬 조성을 마무리하겠다는 목표이다.

신·재생에너지는 환경과 경관 등을 고려하여 태양광 100 MW, 육상풍력 350 MW을 추진하고, 해상풍력은 그림 2와 같이 1단계로 2019년까지 1 GW를 설치하여 전력 공급의 50%를 충당하고 2단계로 2030년까지 1 GW를 추가 설치해 전력 공급의 100%를 충당하겠다는 계획을 세웠다[2].

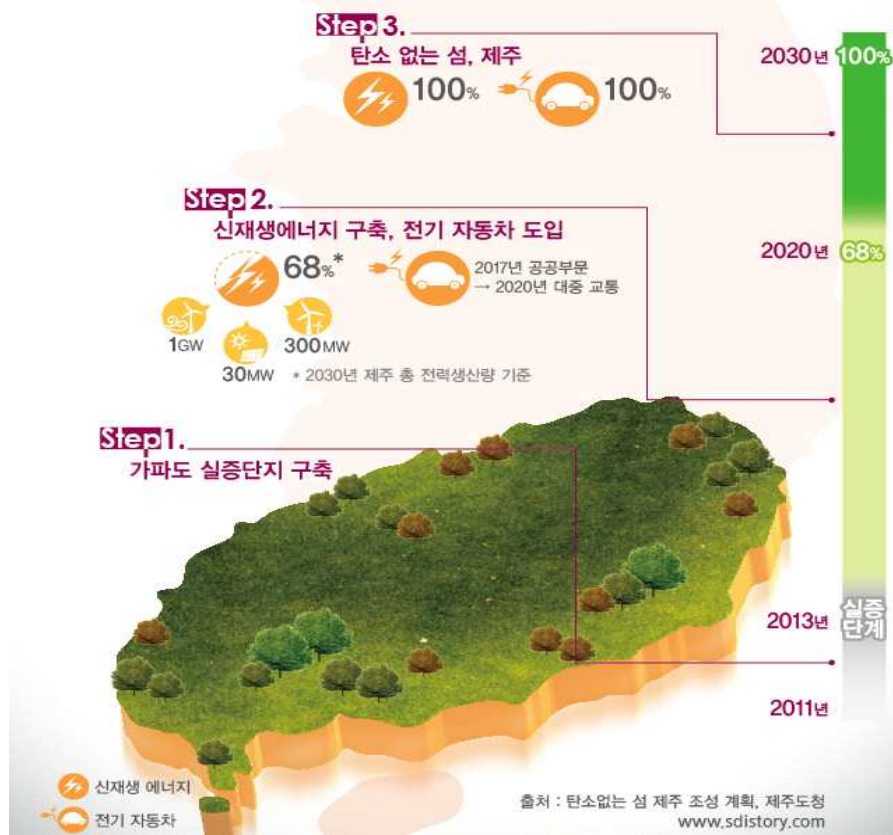


그림 1 제주도 Carbon Free Island Jeju by 2030 계획

1단계('19까지) ▶ 1GW			2단계('30까지) ▶ 1GW	
1차 ('11~'16)	350MW	상업화 시범사업 추진 해상풍력 국산화 인증·실증	저장장치·기술개발 등 감안	◆ 해상풍력발전 ⇨ 전력공급 100% ⇒ 생산 5,782천MWh, 수요 5,297천MWh ◆ 해상풍력 TSP 수출기반조성 ◆ 청정환경보전·미래성장동력 확보
2차 ('14~'19)	650MW	상업화 확산 전지역 확산 해상풍력 국산화 수출	별도계획 수립	
◆ 해상풍력발전 ⇨ 전력공급 50% ⇒ 도내 연간전력 생산 2,891천MWh, 수요 4,886천MWh ◆ 풍력의 공공자원관리 기본 틀 제시·정착				

그림 2 제주도 해상풍력발전 보급 목표

2) 제주지역의 분산형전원 전력계통 현황

제주지역의 풍력발전 및 태양광발전 설비용량이 빠르게 증가함에 따라 한국전력 배전선로 및 변전소 용량이 포화되어 22.9 kV로의 계통연계가 사실상 불가능하게 되었다[3].

제주지역의 육상풍력 발전단지 현황을 그림 3에서 보여주고 있다. 2015년 4월 가시리풍력(30 MW)이 공식적으로 상업운전을 시작하였고 김녕풍력(30 MW)과 동북·북촌풍력(30 MW)이 상업운전 준비 중이다.

분산형전원을 한국전력 계통에 접속하기 위해서는 “송·배전용 전기설비 이용 규정”에 따라 발전소 접속설비 기준의 접속 가능 용량이 확보되어야 한다[8]. 변압기 용량별 접속 가능 용량을 표 1에서 보여주는데 변압기 3 bank 45/60 MVA 기준으로 75 MW까지 접속이 가능하고, 변압기 2 bank 45/60 MVA 기준으로 50 MW까지 접속이 가능하다[8].

제주특별자치도 “풍력발전 사업 허가 및 지구 지정 등에 관한 조례”에 소규모 풍력(3 MW 이하)을 제외하고는 20 MW 이상으로 설치하게 되어 있다[9]. 하지만 표 2에서 보는 것과 같이 제주지역의 분산형전원 연계현황을 보면 22.9 kV 선로를 이용하여 전력계통에 연계할 수 있는 곳은 한라변전소 외에는 없다[3].



그림 3 제주도 육상풍력발전단지 현황

표 1 송·배전용 전기설비 이용규정의 발전소 접속설비 기준

154 kV 변전소		접속가능 최대용량 (MW)
변압기 대수별	변압기 용량별 (MVA)	
변압기 3~4대(bank)	45/60	75
	30/40	45
변압기 2대(bank)	45/60	50
	30/40	30

표 2 한전 제주본부 분산형전원의 연계현황

변전소	주변압기 용량(MVA)	주변압기 누적용량(kW)	변전소 누적용량(kW)	비고 (2015.1.29. 기준)
한림C/C	#4(30/40)	18,000	37,763	한경풍력 탐라해상
	#5(30/40)	19,763		한경풍력
한림S/S	#1(45/60)	26,737	39,277	탐라해상
	#2(45/60)	12,540		
조천S/S	#1(45/60)	28,781	49,470	해상실증단지
	#2(45/60)	20,689		김녕실증단지
안덕S/S	#1(45/60)	10,060	31,029	
	#2(45/60)	20,969		
한라S/S	#1(45/60)	13,275	21,386	
	#2(45/60)	8,111		
표선S/S	#1(45/60)	24,978	49,873	가시리풍력
	#2(45/60)	24,895		태양광
성산S/S	#1(45/60)	27,140	72,110	행원풍력
	#2(45/60)	24,970		
	#3(45/60)	20,000		성산풍력

3) 분산형전원 송·변전설비 구축

30 MW 풍력발전을 한국전력 계통에 접속하기 위해서 송전선로를 한국전력 변전소까지 구축하여야 하며, 표 3은 발전소 최대 송전용량에 따른 접속 선로 기준을 보여 준다[8]. 최대 송전용량 30 MW 기준으로 보면 154 kV 송전선로 2회선(1회선 가능)이나 22.9 kV 전용선로 2회선 이상으로 접속이 가능하다.

제주특별자치도 “풍력발전 사업허가 및 지구지정 등에 관한 조례”에 풍력발전 허가 기준을 보면 송전선로를 지중화 하게 되어 있다[9]. 송전선로에 따른 공사비용을 표 4에 비교했는데 최대 10배 이상 차이가 나는 것을 알 수 있다. 또한 지중선로 공사를 위해 도로를 따라 설치하게 되면 도로굴착 등으로 인한 교통 혼잡 및 소음 피해가 발생하고 전기 설비를 기피 시설로 인식하여 변전소 건설 반대로 인한 공사 지연이 우려된다. 이처럼 접속 용량 한계의 기술적인 문제와 공사비 증가, 주민수용성 등 여러 가지 장애요인을 해결하기 위해서는 분산형전원 허브 변전소가 필요하다.

표 3 송·배전용 전기설비 이용규정의 발전소 접속선로 기준

발전소 최대송전용량	접 속 선 로
20 MW ~ 500 MW 이하	1) 154 kV 송전선로 2회선 2) 발전사업자가 희망하고 계통에 문제가 없을 경우에는 1회선으로 구성 가능 3) 40 MW 이하로서 22.9 kV 전압으로 공급하는 고객은 22.9 kV 전용선로 2회선 이상

표 4 송전선로 공사비 비교

선 로	전 압(kV)	케이블	회 선	공사비(km당)
가공	22.9	ACSR 240 mm ² × 3C	2	1.2억원
지중	22.9	CNCV 325 mm ² × 3C	2	6억원
지중	154	XLPE 600 mm ² × 3C	1	12억원

2.2 행원풍력발전단지 운영 현황

행원풍력발전단지는 1998년 8월 600 kW 2기를 설치하고 국내 최초로 상업운전을 시작하여 지금까지 총 18기가 설치되고 4기가 철거되어 현재 14기가 운전 중이다. 행원풍력발전단지의 발전설비 현황을 표 5에서 보여 주고 있으며 제주에너지공사 소유의 발전기와 제주특별자치도청의 소유의 발전기가 같은 전용선로를 이용하는 것을 알 수 있다. 이는 제주지역의 전용선로를 공동으로 이용하는 첫 사례라 할 수 있겠는데, 그 배경에는 한국전력 계통의 배전선로 누적 연계 용량이 포화로 접속이 불가능 하게 되어 전용선로를 공동으로 이용하는 협약을 체결하고 2014년 2월부터 행원풍력 전용선로를 이용하여 상업운전을 시작하게 되었다.

그림 4는 행원풍력발전단지의 전력계통을 보여 주고 있으며 제주특별자치도청의 연안풍력17호기가 행원풍력발전단지 전용선로에 접속되어 있는 것을 알 수 있고 행원풍력발전단지에서 한국전력 성산변전소까지 약 25 km 전용선로(ACSR 160 mm² × 3C) 1회선으로 구축되어 있다.

표 5 행원풍력발전단지 현황

소유	설비용량(준공년도)		규모	계통
제주에너지공사	12기	660 kW×5기('01~03년)	11,450 kW	성산S/S 풍력D/L 전용선로
		750 kW×4기('00~02년)		
		1,500 kW×1기, 2,000 kW×1기('12년)		
		1,650 kW×1기('13년)		
제주특별자치도청	1기	3,000 kW×1기('14년)	3,000 kW	
제주대학교	1기	660 kW×1기('99년)	660 kW	성산S/S 만장D/L 배전선로
합계	풍력발전기 14기		15,110 kW	

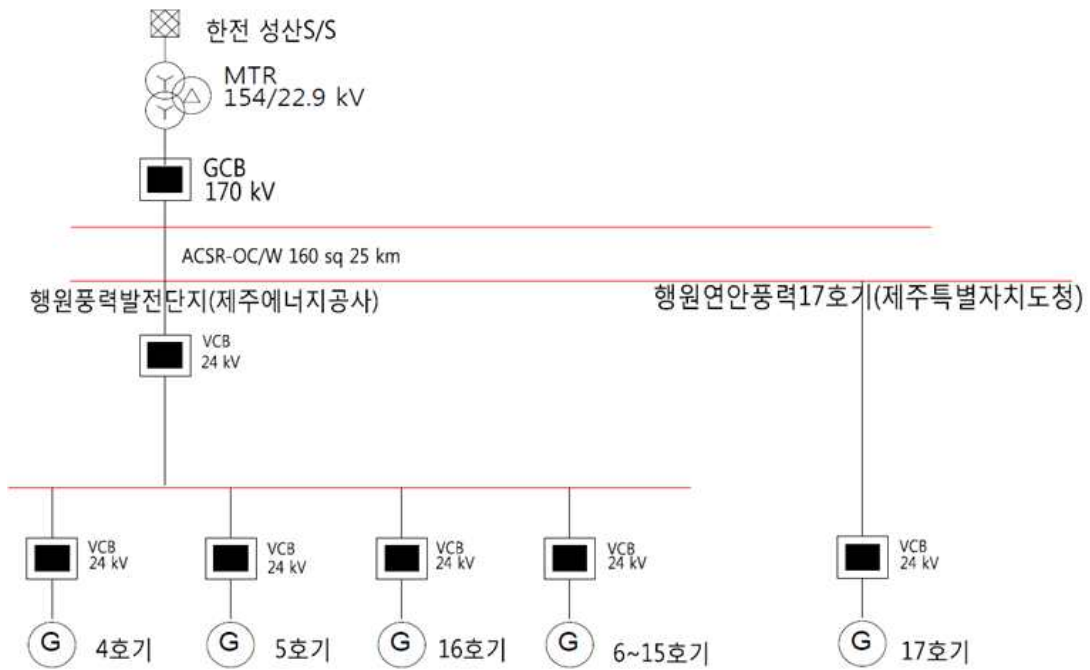


그림 4 행원풍력발전단지 전력계통도

2.3 동북·북촌풍력발전단지 건설현황

동북·북촌풍력발전단지는 2014년 8월에 착공하여 2015년 6월에 준공이 계획되어 있고, 설비용량은 2 MW 15기로 총 30 MW의 발전단지이다. 동북·북촌풍력발전단지는 국산풍력발전기로 구성되어 풍력발전단지의 건설·운영을 통하여 Track Record를 확보함으로써 수출 전진기지로서의 역할을 수행할 수 있도록 조성되고 있다.

동북·북촌풍력발전단지 현황에 대해서 표 6에 송전분야와 발전분야로 구분하여 나타내었다. 특히 제주도의 분산형전원 허브변전소 활용 시책에 맞춰 동부지역의 분산형전원 계통연계에 중심점 역할을 수행하기 위해 변압기 3 bank가 가능하게 설계되었고 1차로 1 bank에 80/100 MVA 변압기를 설치하였다.

동북·북촌풍력발전단지의 송전계통도를 그림 5에서 간단하게 나타냈는데 조천변전소까지 약 1.77 km를 154 kV XLPE 1200 mm² 1회선으로 연결되어있고 조천변전소는 제주화력발전소와 성산변전소에 연계되어있다.

표 6 동북·북촌풍력발전단지 현황

구 분	주 요 내 용
사 업 명	· 동북·북촌풍력발전단지 조성사업
사 업 자	· 제주에너지공사
주요설비	<ul style="list-style-type: none"> · 간선전압 : 3상 154 kV 60[Hz] · 전용선로 : 동북·북촌풍력 T/L (지중) · 송전용량 : 조천변전소 ~ 동북·북촌풍력 변전소 154/22.9 kV 80/100 MVA(ONAN/ONAF) · 변압기 제작사 : 효성중공업
	<ul style="list-style-type: none"> · 간선전압 : 3상 22.9 kV 60[Hz] (지중) · 전력용량 : 2 MW 15기 총 30 MW · 발전기 제작사 : 한진산업

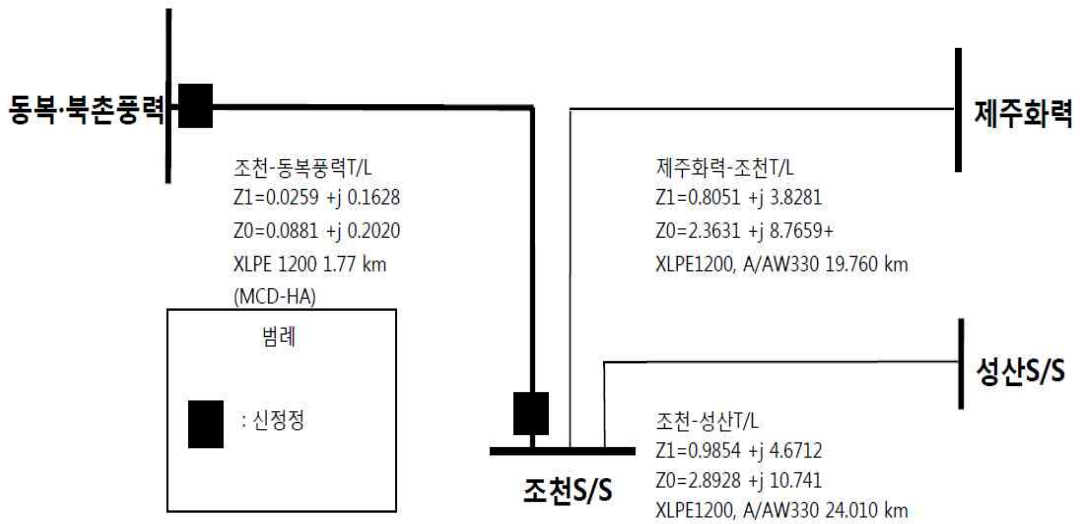


그림 5 동북·북촌풍력발전단지 송전계통도

동북·북촌풍력발전단지 인근의 김녕풍력발전단지(30 MW)가 한국전력 조천변전소에 연결하기로 설계되었지만 조천변전소 인입 라인에 지하매설물과 주변 도

로 개축으로 인해 도로굴착 허가가 나지 않아 지중선로 공사가 불가능하였다 [10]. 이에 김녕풍력에서는 동북·북촌변전소에 연결하기 위해 개발사업 변경허가를 승인받고 제주에너지공사와 허브변전소 공동이용을 위한 업무협약을 체결 예정이다.

그림 6은 김녕풍력발전단지가 동북·북촌풍력발전단지의 변전소로 접속했을 때의 송전선로 현황이며 김녕풍력발전단지에서 동북·북촌변전소까지 약 11.3 km를 22.9 kV 지중선로를 이용하여 접속하였다.

동북·북촌변전소의 계통도를 그림 7에서 보여 주고 있으며 변전소 내에 있는 154 kV 변압기 2차 측 22.9 kV 분기 VCB(Vacuum Circuit Breaker)에 각 발전단지가 접속되어 있고 분산형전원의 추가 접속을 대비해 예비 VCB를 설치하였다.



그림 6 김녕풍력발전단지 송전선로 현황

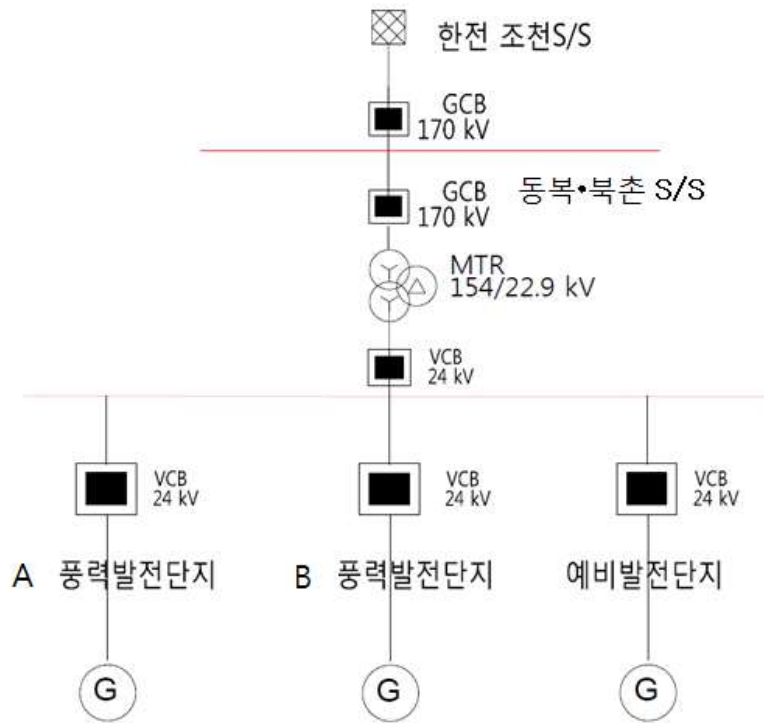


그림 7 동북·북촌풍력발전단지 허브변전소 계통도

Ⅲ. 분산형전원 송·수전 계량방식의 현행 제도 및 문제점

분산형전원의 계량방식에 대한 현행 제도와 실제 계량방식과는 많은 차이점이 있으며 각 사업자마다 계량점 위치가 다르다. 이번 장에는 제주지역의 분산형전원 계량방식과 현행 제도를 비교해보고 문제점을 알아본다.

3.1. 분산형전원 송·수전 계량방식에 대한 현행 제도

현행 제도의 계량방식에 대한 내용 중 가장 중요한 요소는 계량점의 위치이다. 계량점 위치에 따라 송전 손실 및 변압기 손실이 좌우되기 때문이다. 전력거래소의 “전력시장운영규칙”을 보면 계량점은 계량이 이루어지는 지점으로서 주변압기 고압 측의 한 지점이며, “송·배전용 전기설비 이용규정”의 접속점을 원칙으로 한다고 되어 있다 [11].

한국전력의 “송·배전용 전기설비 이용규정”을 보면 접속점에 대한 정의를 접속설비와 고객 측 전기설비가 연결되는 지점이라고 되어 있고 “분산형전원 배전계통 연계기준”에는 접속설비와 분산형전원 설치자 측 전기설비가 연결되는 지점이며 한전계통과 구내계통의 경계가 되는 책임한계점으로서 수급지점이라고 되어 있다[8][12].

표 7은 현행 제도에서의 송전과 수전의 계량점의 위치를 나타내었는데, 발전설비를 22.9 kV 배전선로와 접속하였을 때는 한전 배전선로 인입점이며 22.9 kV 전용선로로 한국전력 변전소와 접속하였을 때는 전용선로 말단 지점이다. 또한 154 kV로 접속하였을 때는 154 kV 변압기 1차 측에서 전용선로 말단 지점이다.

표 7 분산형전원의 계량점 위치

전압(kV)	계통연계	수전 계량점	송전 계량점
22.9	배전선로	배전선로 인입	배전선로 인입
22.9	전용선로	전용선로 말단	전용선로 말단
154	전용선로	154 kV 1차 측 전용선로 말단	154 kV 1차 측 전용선로 말단

3.2 제주지역의 분산형전원 송·수전 계량방식 현황

실제 계량기 설치 사례를 보면 현행 제도와는 맞지 않는 경우가 많이 있는 것을 알 수 있다. 제주지역의 분산형전원의 송전계량기의 위치를 표 8에서 나타내었고 수전계량기의 위치를 표 9에서 나타내었다. 배전선로와 접속된 분산형전원은 규정에 맞게 설치되었지만 전용선로로 접속된 분산형전원은 규정과 다르게 설치된 것을 알 수 있다.

표 8 제주지역의 분산형전원 송전계량기 위치

발전단지	설비용량 (MW)	계통연계 (kV)	계량점 (실제)	계량점 (규정)
행원풍력	14.45	전용22.9	전용선로 인입	전용선로 말단
가시리 국산화풍력	15	전용22.9	전용선로 인입	전용선로 말단
가시리풍력	30	전용154	전용선로 인입	전용선로 말단
신창풍력	1.7	배전22.9	배전선로 인입	배전선로 인입
김녕풍력	1.5	배전22.9	배전선로 인입	배전선로 인입
한경풍력	21	전용22.9	전용선로 인입	전용선로 말단
성산풍력	20	전용22.9	전용선로 인입	전용선로 말단
삼달풍력	30	전용154	전용선로 인입	전용선로 말단

표 9 제주지역의 분산형전원 수전계량기 위치

발전단지	설비용량 (MW)	계통연계 (kV)	계량점 (실제)	계량점 (규정)
행원풍력	14.45	전용22.9	전용선로 말단	전용선로 말단
가시리 국산화풍력	15	전용22.9	전용선로 인입	전용선로 말단
가시리풍력	30	전용154	전용선로 인입	전용선로 말단
신창풍력	1.7	배전22.9	배전선로 인입	배전선로 인입
김녕풍력	1.5	배전22.9	배전선로 인입	배전선로 인입
한경풍력	21	전용22.9	전용선로 말단	전용선로 말단
성산풍력	20	전용22.9	전용선로 인입	전용선로 말단
삼달풍력	30	전용154	전용선로 인입	전용선로 말단

3.3 분산형전원 송·수전 계량방식에 대한 문제점 분석

“송배전용 전기설비 이용규정”에 따라 계량점을 한전 접속설비와 고객 측 전기설비가 연결되는 지점으로 봤을 때 계량점은 한전 변전소 내부에 위치해 있어야 하고, 그러기 위해서는 한전에서 계량설비를 설치할 수 있는 장소를 제공해 주어야 한다[8]. 그리고 계량설비의 관리책임은 분산형전원 사업에게 있어 상시 유지관리할 수 있게 출입이 자유로워야 하지만 한국전력 변전소는 국가 보안 시설로 지정되어 있어 출입이 쉽지 않다.

그림 8은 실제 행원풍력의 수전계량설비가 한국전력 변전소 내부에 설치되어 있는 사진이며, 그림 9는 한국전력 변전소 내부에 설치된 계량설비가 유지관리가 어려워 파손된 사진이다.

계량설비는 표 10과 같이 계기용변성기(MOF), 전력량계, 모뎀으로 구성되어 있고 안정적인 계량을 위해서는 계량설비를 보호 할 수 있는 보호 장치 및 개폐장치가 필요하다. 전력시장운영규칙에 따라 20 MW 초과하는 발전기는 주 계량설비와 별도로 비교 계량설비를 설치해야 한다[11]. 이런 계량설비를 한국전력 변전소 내부에 설치하기 위해서는 분산형전원 사업자 당 부지 면적이 약 24 m²에서 32 m² 정도 필요하고 이는 변전소 내부 여유 부지가 확보되었을 때 가능하다.



그림 8 한국전력 변전소 내부 행원풍력 수전용 계량설비



그림 9 한국전력 변전소 내부 행원풍력 전력량계 파손

표 10 분산형전원의 계량설비

	수전 계량설비	발전 계량설비	보호설비	배전반 수량 (면적)
20 MW 이하	계기용 변성기, 전력량계, 모뎀	계기용 변성기, 전력량계, 모뎀	개폐기 또는 차단기	3 EA (약 24 m ²)
20 MW 초과	계기용 변성기, 전력량계, 모뎀	계기용 변성기(주,비교), 전력량계, 모뎀	개폐기 또는 차단기	4 EA (약 32 m ²)

이처럼 현행제도에서 규정하고 있는 계량점의 위치는 배전선로에 연계한 소규모의 분산형전원만 가능하고 전용선로를 이용하는 대규모 분산형전원은 쉽지 않다. 이런 문제는 사업계획 시 송·수전 설계에 혼란이 일어날 수 있고 특히 계량점의 위치에 따라 송전손실이 발생되어 사업자 간 형평성 논란이 야기될 수 있다.

IV. 허브변전소 계량방식 개선방안

전용선로 및 변압기를 공동으로 이용하기 위해서는 계량점의 위치를 분산형전원 구내로 변경하고 계량방식을 송전전압(22.9 kV와 154 kV) 별로 다각화하는게 필요하다.

4.1. 모자계량방식 검토

1) 변압기설비 공동이용 방식과 모자(母子)계량방식

대부분의 계량방식은 단방향 또는 양방향 계량설비 하나로 계량하고 있다. 다만 수전에 한해서 “전기공급약관”의 변압기 공동이용 공급조건을 보면 대표(모) 고객의 전기계기는 수전변압기 1차 측에 설치하며, 공동이용(자) 고객의 전기계기는 같은 변압기 2차 측 단자에서 인출한 배선과 각 설비와의 접속점으로 하게 되어 있다[13]. 대표(모) 고객의 사용전력량은 종합계기(모 계량기)에 시현된 사용 전력량에서 공동이용(자) 고객의 전기계기에 시현된 사용 전력량을 차감하여 산정하고 공동이용(자) 고객은 공동이용(자) 고객의 전기계기에 시현된 사용 전력량을 산정한다.

그림 10은 2 이상의 전력이나 2 이상의 사용자가 변압기를 공동으로 사용하는 구조를 나타내었다.

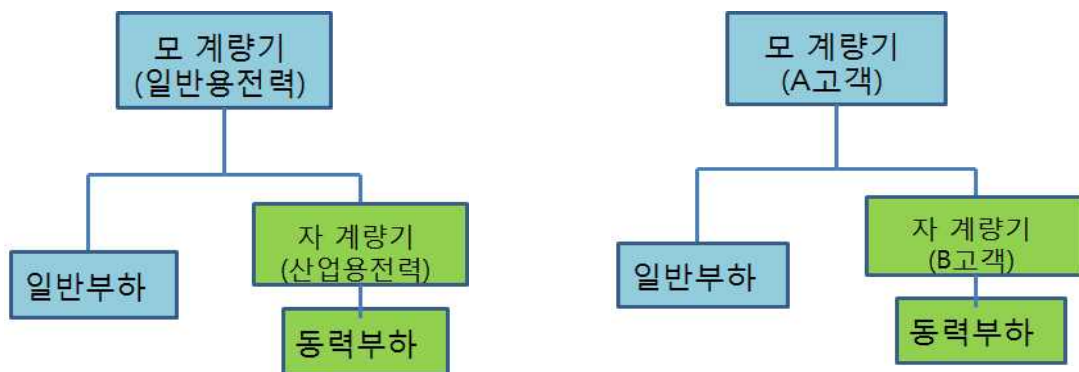


그림 10 변압기설비 공동이용 방식

사례 1) 같은 건물에 2 이상의 전력 사용 시(일반용 전력 + 산업용 전력)

- 일반부하 수전량 = 모 계량기(전체 수전량) - 자 계량기(동력부하 수전량)
- 동력부하 수전량 = 자 계량기(동력부하 수전량)

사례 2) 같은 건물에 2 이상의 고객 사용 시(건물주 A 고객, 세입자 B 고객)

- A 고객 수전량 = 모 계량기(전체 수전량) - 자 계량기(B 고객 수전량)
- B 고객 수전량 = 자 계량기(B 고객 수전량)

이러한 변압기설비 공동이용 방식을 통상 모자(母子)계량방식이라 하는데 수전뿐만 아니라 송전 계량방식에도 적극 도입 할 필요가 있다. 특히 분산형전원 허브 변전소는 전용선로 및 변압기를 공동으로 이용하기 때문에 모자계량방식을 상황에 따라 적절하게 이용하면 계량에 대한 많은 문제점을 해결할 수 있다.

2) 분산형전원의 모자(母子)계량방식 적용 사례

“신·재생에너지 공급의무화제도 관리 및 운영지침”에 신·재생에너지 공급인증서(REC : Renewable Energy Certificate) 발급대상 조건을 보면 공급인증서는 “전기사업법” 제2조제4호에 따른 발전사업자의 신·재생에너지 설비 중 2012년 1월 1일 이후 상업운전을 개시 한 신·재생에너지설비에 대해서 발급이 가능하다[14][15].

표 11은 행원풍력발전단지의 발전기별로 준공연도를 비교하고 공급인증서 발급이 가능한지에 대해 표시 하였다. 행원풍력 4, 5, 16호기는 2012년 이후에 준공되어서 공급인증서 발급이 가능한 발전기였지만 발전단지 내 선로를 같이 사용하면서 별도 계량이 불가능하다.

공급인증서를 발급받기 위해서는 “공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙”에 따라 공급인증서 발급대상 설비 기준에 따라 동일 발전소 내 설비에 대해 복수의 조항이 해당되는 경우 각 발전설비에 대하여 발전용 계량설비를 각각 설치함이 원칙이다[16]. 따라서 4, 5, 16호기에 대해 각각 별도의 계량이 필요하였고, 특히 4, 5호기는 “신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 기준”에 따라 신·재생에너지 지방보급사업 지원으로 설치된 발전기로 총 사업비에 지원금 비율에

따른 공급인증서는 국가로 발급되어 단독 계량이 필요했다[15].

그림 11은 행원풍력발전단지의 기존 계량방식을 보여 주는데 각각의 분기선이 모선으로 모여 계량되고 있다.

표 11 행원풍력발전단지 공급인증서 현황

소유	설비용량(준공년도)	공급인증서	
제주에너지공사	12기	660 kW×5기('01~03년)	불가
		750 kW×4기('00~02년)	불가
		2,000 kW(4호기)×1기('12년)	가능
		1,50 kW(5호기)×1기('12년)	가능
		1,650 kW(16호기)×1기('13년)	가능

사례 1) 행원풍력발전단지 기존 계량방식

- #1 송전계량기 값 = 전체 발전량(실선 표시)
- #4, 5, 16호기 발전량 = 계량 불가
- #1 수전계량기 값 = 전체 수전량(점선 표시)

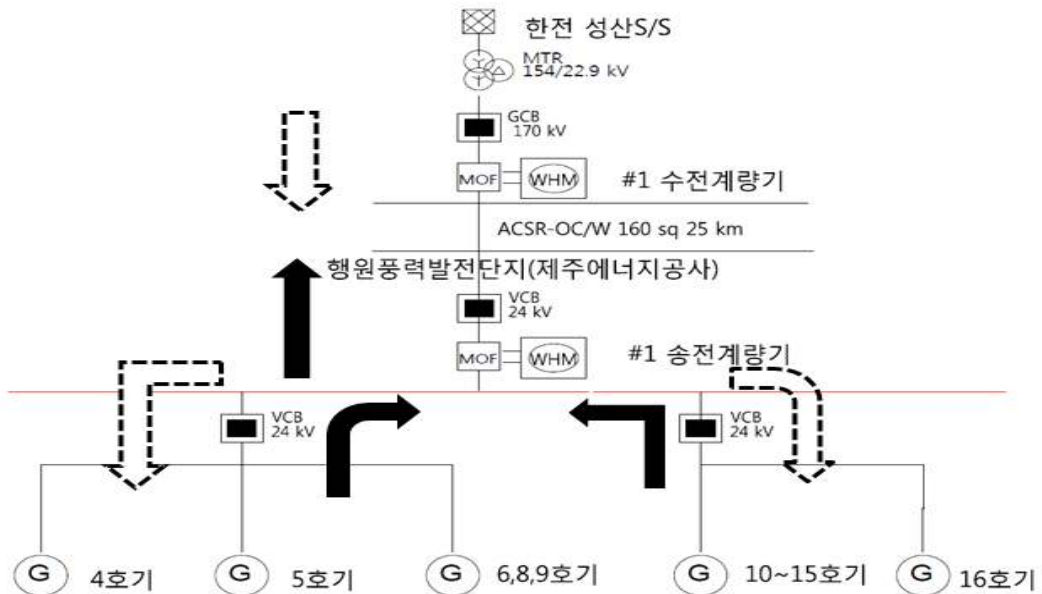


그림 11 행원풍력발전단지 기존 계량방식

공급인증서 발급을 위해 전력거래소에 모자계량방식을 요청했고, 협의 끝에 2013년 10월 풍력발전설비로는 처음으로 모자계량방식을 발전(송전) 계량시스템에 도입했다.

그림 12은 모자계량방식을 도입한 행원풍력발전단지 계통도로 기존 선로를 그대로 사용 하면서 공급인증서 발급이 가능한 4, 5, 16호기 전단에 계량설비를 설치하고 계량하였다.

사례 2) 발전계량 방식 → 모자계량 방식

- 모 계량기 → #1 송전계량기, 자 계량기 → #4, 5, 16 송전계량기
- 공급인증서 발급이 불가능한 9기(6~15호기) 발전계량 값 (모 계량 값)
= #1 송전계량 값 - (#4 + 5 + 16) 송전계량 값
- 4호기 송전계량 값 = #4 송전계량 값
- 5호기 송전계량 값 = #5 송전계량 값
- 16호기 송전계량 값 = #16 송전계량 값

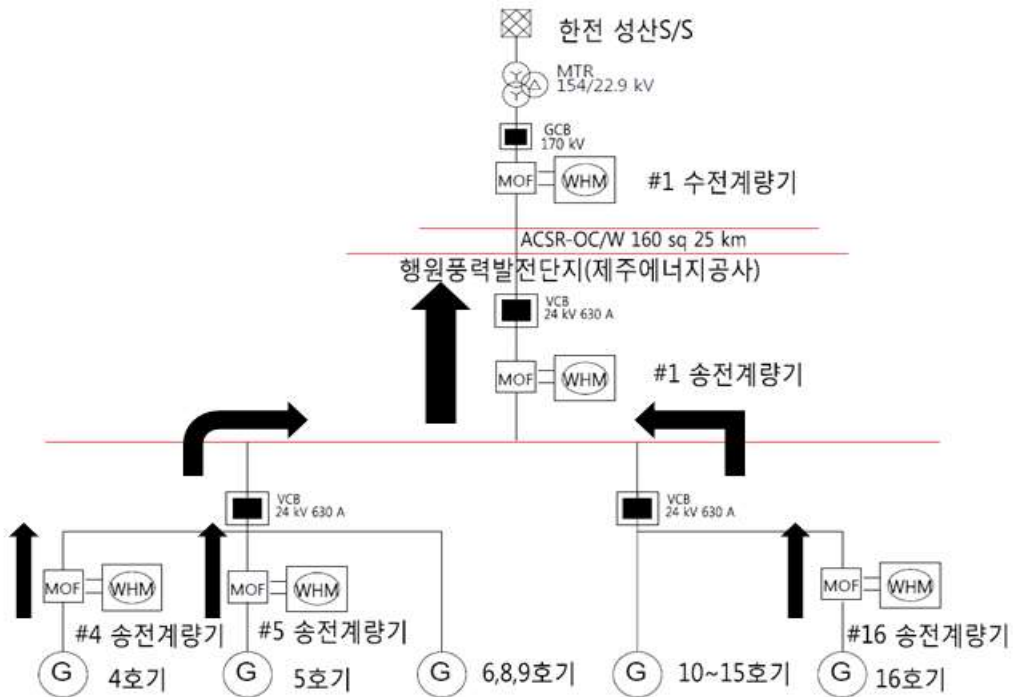


그림 12 행원풍력발전단지 모자 계량방식

4.2 22.9 kV 전용선로 공동이용 계량방식 검토

22.9 kV 전용선로를 2 이상의 다른 사업자가 공동으로 이용하면서 발생할 수 있는 계량방식에 대한 문제점을 행원풍력발전단지 사례를 들어 검토해 보았다.

1) 22.9 kV 전용선로 공동이용에 따른 계량방식 적용 사례

그림 13은 제주도청 소유의 행원연안풍력17호기(3,000 kW 1기)가 행원풍력발전단지 전용선로를 공동으로 이용하면서 수전계량을 모자계량방식으로 적용한 사례이다. 행원풍력발전단지의 #1 수전계량기(모 계량기)가 한국전력 성산변전소 내부에 있기 때문에 각 사업자의 수전전력을 계량하기 위해서는 모자계량방식이 필요하다.

사례 1) 수전계량 방식 → 모자계량 방식

- 모 계량기 → #1 수전계량기
- 자 계량기 → #2 수전계량기

1-1) 행원풍력발전단지(제주에너지공사) 수전계량 값

$$= \#1 \text{ 수전계량기 값} - \#2 \text{ 수전계량기 값}$$

1-2) 연안풍력17호기(제주도청) 수전계량 값

$$= \#2 \text{ 수전계량기 값}$$

사례 2) 발전계량 방식

- 모 계량기 → #1 송전계량기
- 자 계량기 → #4, 5, 16 송전계량기

2-1) 행원풍력발전단지(제주에너지공사) 발전계량 → 모자계량방식

$$\begin{aligned} & \cdot (6\sim 15\text{호기}) \text{ 발전계량 값} = \text{모 계량 값} \\ & = \#1 \text{ 송전계량 값} - \#(4 + 5 + 16) \text{ 송전계량 값} \end{aligned}$$

$$\cdot 4\text{호기} \text{ 송전계량 값} = \#4 \text{ 송전계량 값}$$

$$\cdot 5\text{호기} \text{ 송전계량 값} = \#5 \text{ 송전계량 값}$$

$$\cdot 16\text{호기} \text{ 송전계량 값} = \#16 \text{ 송전계량 값}$$

2-2) 연안풍력17호기(제주특별자치도청) 송전계량 값 = #17 송전계량 값

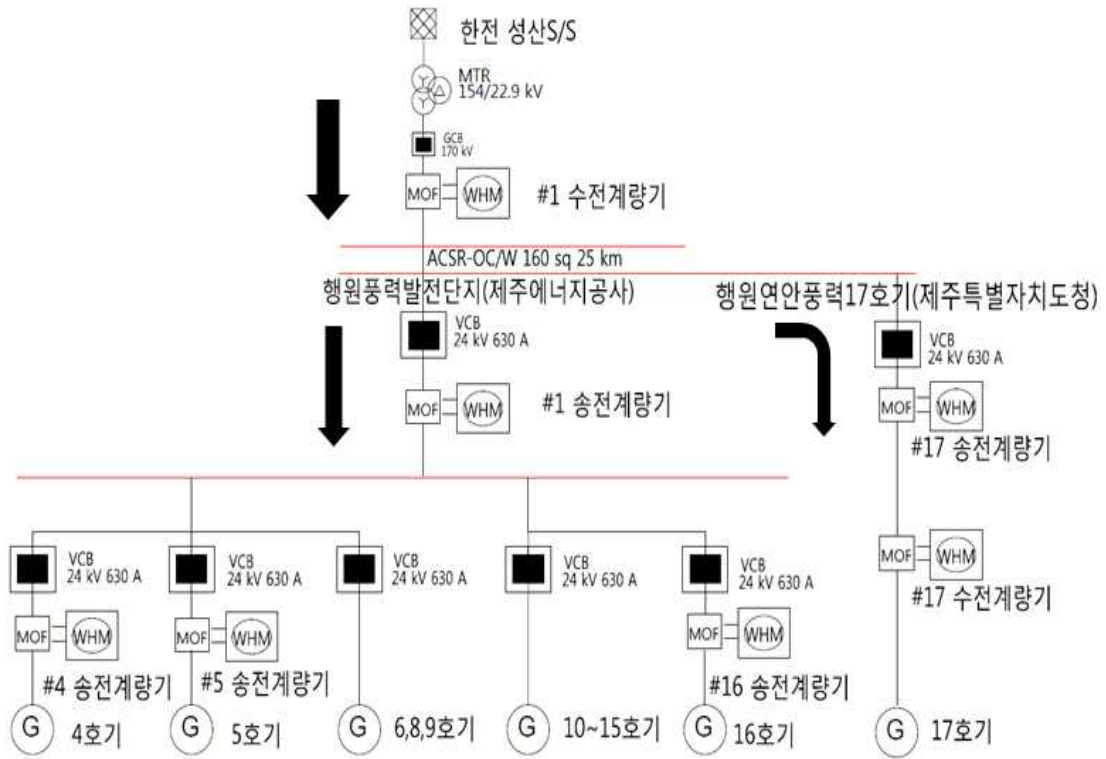


그림 13 행원풍력발전단지 전용선로 공동이용에 따른 계통도

2) 22.9 kV 전용선로 공동이용에 따른 계량방식 문제점

발전계량 값은 22.9 kV 전용선로를 공동으로 이용했을 때나 모자계량방식으로 했을 때는 문제가 되지 않는다. 하지만 수전계량 값은 한 사업자(행원풍력발전단지)가 발전을 하고 다른 사업자(연안풍력17호기)가 수전을 받을 때 문제가 생긴다.

그림 14는 행원풍력 2 MW 발전(#1 송전계량기 기준), 연안풍력17호기 0.1 MW 수전 시 조류에 흐름을 보여주고 있다. 행원풍력과 연안풍력17호기는 배전선로(22.9 kV 전용선로) 인입점에서 분기되어 있는데 행원풍력에서 2 MW 발전을 하면 연안풍력17호기에서 수전 받는 전력을 제외하고 배전선로(전용선로)를 통해 한국전력 변전소로 송전하고 있다. 사례 1)에서 보는 것과 같이 발전계량에는 문제가 없지만 수전계량에는 오류가 생기는 것을 알 수 있다.

사례 1) 행원풍력 2 MW 발전, 연안풍력17호기 0.1 MW 수전 시
(선로 및 기타 손실 무시)

1-1) 발전계량 값

- 행원풍력 발전계량 값 = 2 MW(#1 송전계량기 기준)
- 연안풍력17호기 발전계량 값 = #2 송전계량기 값 = 0 MW

1-2) 수전계량 값

- 연안풍력17호기 수전계량 값 = #2 수전(자)계량기 값 = 0.1 MW
- #1 수전(모)계량기 값 = 0 MW
- 행원풍력 수전계량 값 = #1(모) - #2(자) 수전계량기 값
= (0 - 0.1) MW = - 0.1MW로 수전계량 오류

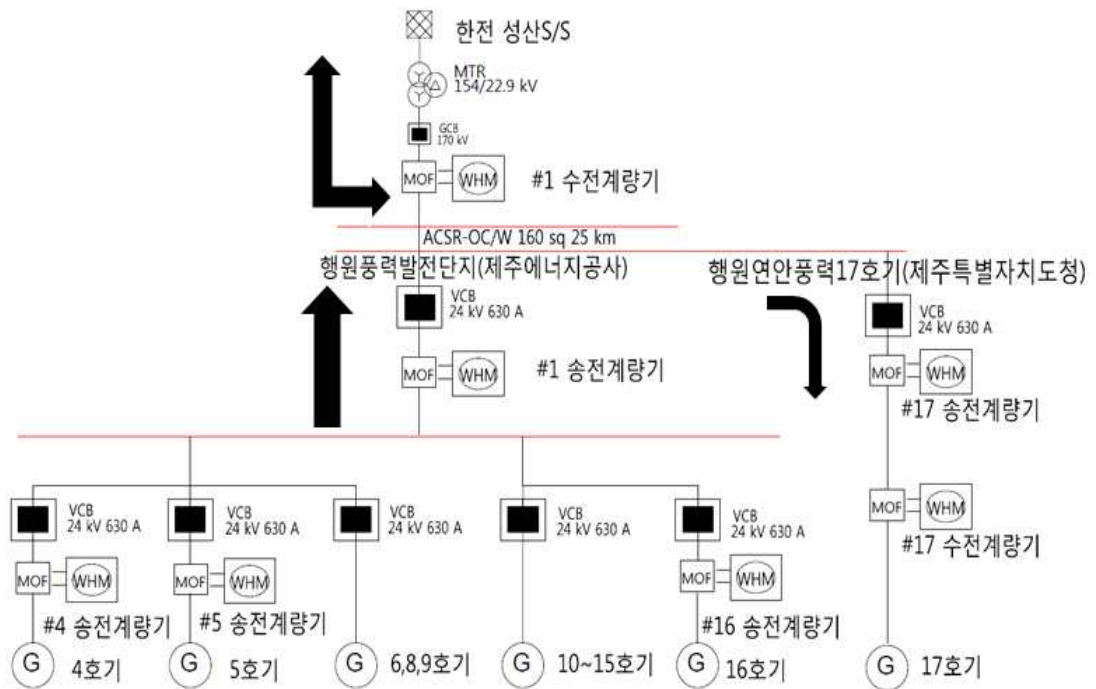


그림 14 행원풍력발전단지 계량방식 모델 I

그림 15는 사례 1) 과는 반대로 행원풍력은 0.1 MW 수전을 받고 연안풍력17호기는 2 MW(#2 송전계량기 기준) 발전을 할 때 조류에 흐름을 보여준다. 사례 1) 과 마찬가지로 연안풍력17호기가 발전을 하면 행원풍력에서 수전을 한 전력량을

제외하고 배전선로(전용선로)를 통해 송전한다.

사례 2) 행원풍력 0.1 MW 수전, 연안풍력17호기 2 MW 발전 시

(선로 및 기타 손실 무시)

2-1) 발전계량 값

- 행원풍력 발전 계량 값 = 0 MW
- 연안풍력17호기 발전계량 값 = #2 송전계량기 값 = 2 MW

2-2) 수전계량 값

- 연안풍력17호기 수전 계량 값 = #2 수전(자)계량기 값 = 0 MW
- #1 수전(모)계량기 값 = 0 MW
- 행원풍력 수전계량 값 = #1(모) - #2(자) 수전계량기 값
= (0 - 0) MW = 0 MW로 수전계량 오류

사례 2)도 1)과 같이 발전계량에는 문제가 없지만 수전계량에서는 오류가 생기는 것을 알 수 있다.

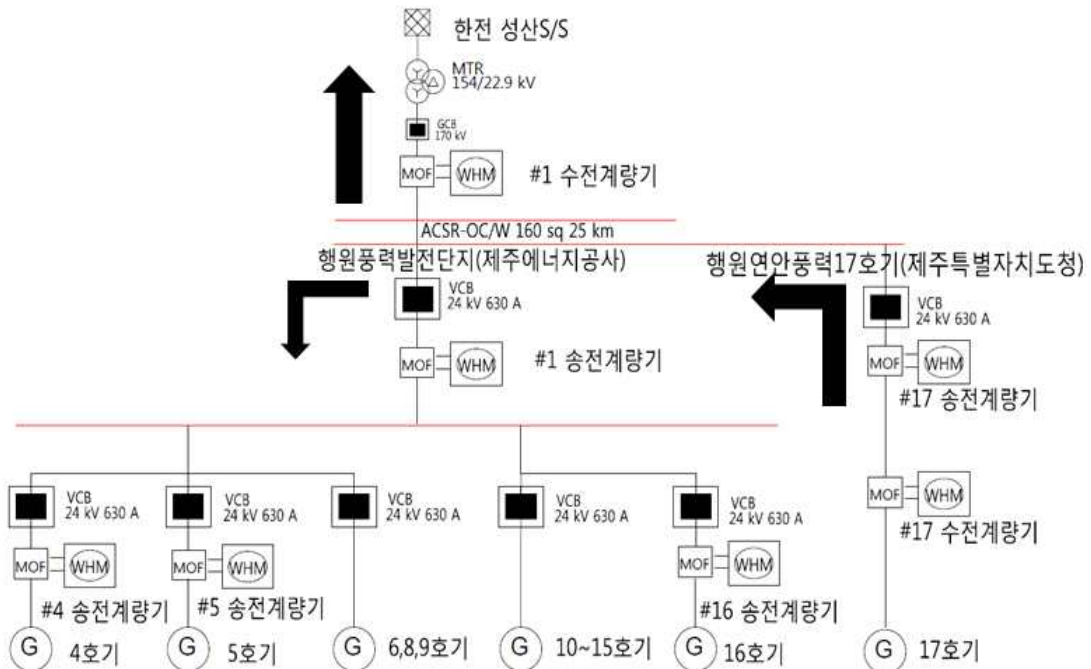


그림 15 행원풍력발전단지 계량방식 모델Ⅱ

표 12는 행원풍력발전단지의 2013년, 2014년 수전전력량을 비교해 본 것이다. 2014년 2월 연안풍력이 상업운전을 시작 한 후 행원풍력의 수전전력량이 급격히 감소하는 것을 알 수 있고, 이는 사례 1) 과 2)에서 제시 한 것처럼 계량에 의한 오류임을 알 수 있다. 특히 계량기의 연결된 발전설비가 1기 일 때 고장 등으로 인해 정지 시 많이 발생하고, 풍력인 경우 이용률이 높은 겨울철에는 수전전력 차이가 적고 이용률이 낮은 여름철 저 풍속일 때 수전전력이 가장 크게 차이나는 것을 알 수 있다. 만약 행원풍력발전단지 전용선로를 태양광발전설비와 공동으로 이용할 경우 태양광발전설비 특성상 풍력과는 반대로 이용률이 높은 여름철에는 수전전력 차이가 적고 이용률이 낮은 겨울철에는 수전전력 차이가 클 것이다.

표 12 행원풍력발전단지 수전전력 비교

	행원풍력 수전전력량(kWh)		연안풍력 수전전력량(kWh)	행원풍력 수전전력량 차
	2013년(A)	2014년(B)	2014년	A-B(kWh)
1월	3,312	3,312	-	0
2월	3,816	720	1,296	-3,092
3월	5,616	2,088	2,352	-3,528
4월	4,032	1,752	552	-2,280
5월	6,048	1,392	2,064	-4,656
6월	9,432	1,920	3,192	-7,512
7월	9,648	2,568	3,408	-7,080
8월	15,840	1,824	1,992	-14,016
9월	8,208	2,520	2,856	-5,688
10월	3,456	4,392	5,112	936
11월	2,448	696	2,688	-1,752
12월	1,512	1,512	1,944	0

4.3 154 kV 전용선로 공동이용 계량방식 검토

이번 장에는 154 kV 변압기와 전용선로를 2 이상의 다른 사업자가 공동으로 이용하면서 발생할 수 있는 계량방식에 대한 문제점을 동북·북촌변전소를 모델로 몇 가지 사례를 들어 검토해 보았다.

1) 154 kV 전용선로 및 변압기 공동이용에 따른 계량방식

현행 제도에 맞게 154 kV 1차 측에 송·수전(모) 계량설비를 설치하고 154 kV 2차 측에 송·수전(자) 계량설비를 설치해서 계량 값을 측정해보았다. 송·수전(모) 계량설비는 허브변전소 내부에 설치되어 있어 선로 및 기타 손실은 무시하고 변압기 손실은 0.5%(일정)로 가정하였다.

그림 16은 A 풍력과 B 풍력 모두 수전을 받을 때 조류에 흐름이다. 154 kV 계량방식에서 상 불평형으로 인한 수전계량 오차가 발생하지만 이번 시험에서는 무시하였다[6]. A 풍력에 수전계량기를 모 계량기로 하고 B 풍력에 수전계량기를 자 계량기로 구성하였다.

사례 1) A 풍력 0.4 MW 수전, B 풍력 0.6 MW 수전 시(부하 기준)

(변압기 손실 0.5%, 선로 및 기타 손실 무시)

1-1) A 풍력 수전계량 값

$$\begin{aligned} \cdot \text{모 계량기 값} &= \#1 \text{ 수전계량기 값} = (0.4 + 0.6) \times (1 + 0.005) \\ &= 1.005 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{A 풍력 수전계량 값} &= \text{모 계량기 값} - \text{자 계량기 값} \\ &= 1.005 - 0.6 = 0.405 \text{ MW} \end{aligned}$$

1-2) B 풍력 수전계량 값 = 자 계량기 값 = 0.6 MW

∴ 계량 값의 오류는 발생하지 않지만 A 풍력에서 변압기 손실을 부담해야 한다.

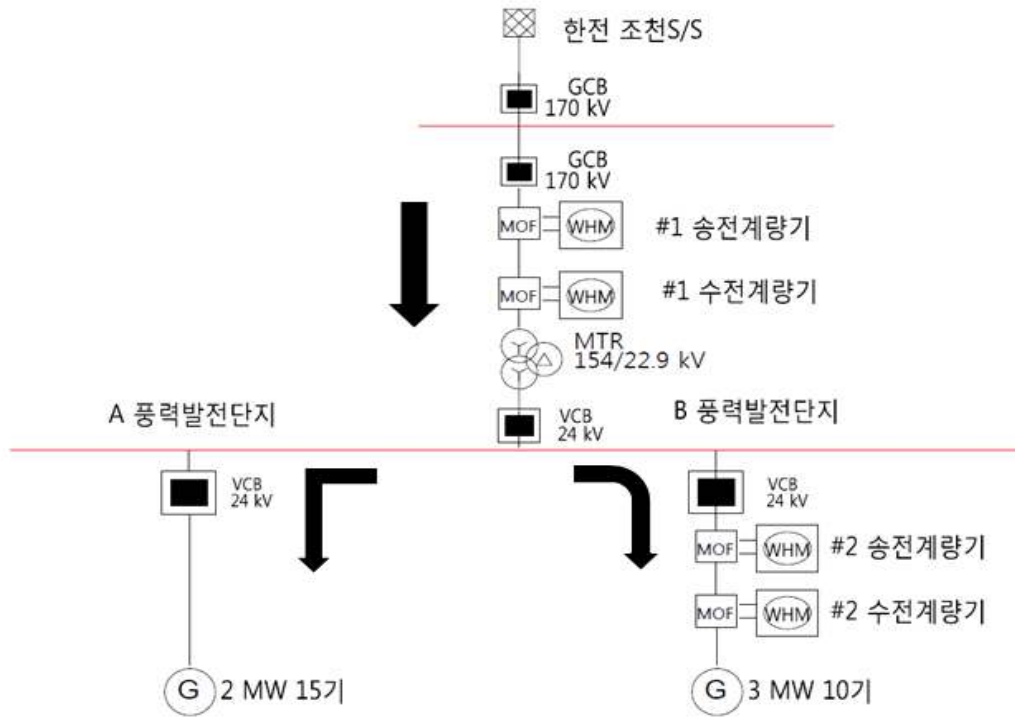


그림 16 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 모델 I

그림 17은 A 풍력과 B 풍력 모두 발전을 할 때 조류에 흐름이다. 사례 2)도 사례 1) 과 마찬가지로 모계량방식으로 A 풍력 송전계량기를 모 계량기로 하고 B 풍력 송전계량기를 자 계량기로 구성하였다.

사례 2) A 풍력 4 MW 발전, B 풍력 6 MW 발전 시(발전 기준)

(변압기 손실 0.5%, 선로 및 기타 손실 무시)

2-1) A 풍력 발전계량 값

$$\begin{aligned} \cdot \text{모 계량기 값} &= \text{\#1 송전계량기 값} = (4 + 6) \times (1 - 0.005) \\ &= 9.95 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{A 풍력 발전계량 값} &= \text{모 계량기 값} - \text{자 계량기 값} = 9.95 - 6 \\ &= 3.95 \text{ MW} \end{aligned}$$

2-2) B 풍력 발전계량 값 = 자 계량기 값 = 6 MW

∴ 계량 값의 오류는 발생하지 않지만 A 풍력에서 변압기 손실을 부담해야 한다.

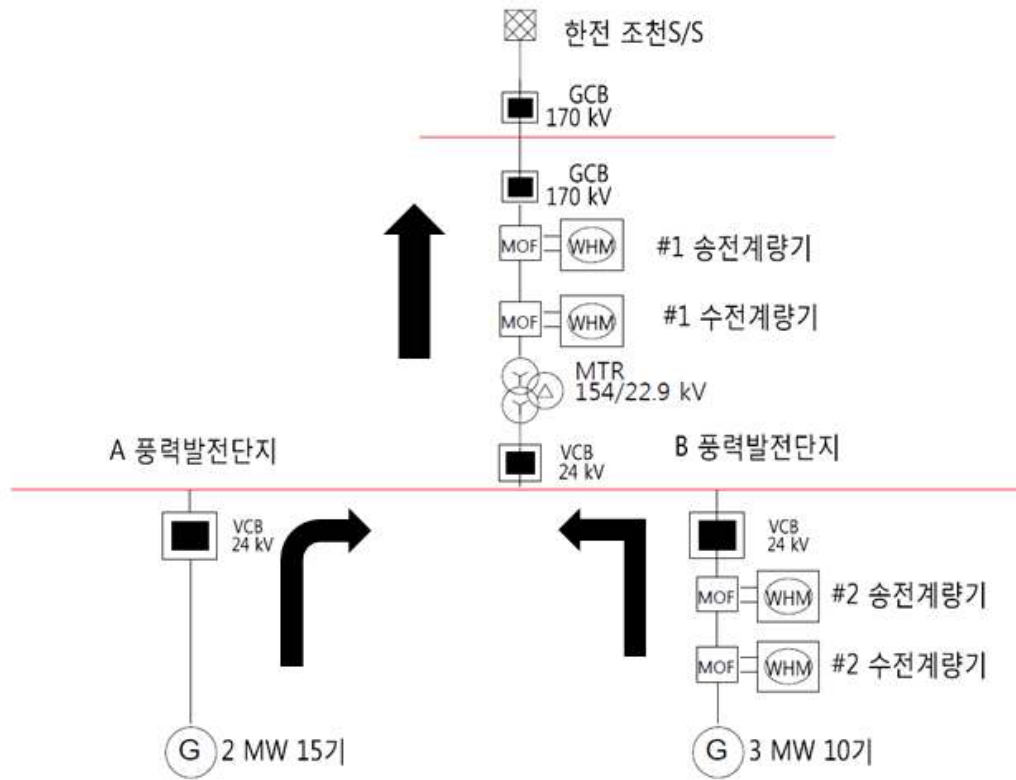


그림 17 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 모델Ⅱ

2) 송전선로 공동이용에 따른 계량방식 문제점

A 풍력과 B 풍력 모두 송전을 할 때나 수전을 받을 때는 계량의 큰 문제가 없다. 변압기 손실에 대한 부담도 각 사업자 간 허브변전소 공동이용 협약 시 인지하여 비용 산출에 대한 협의가 이뤄지면 될 것이다. 하지만 배전선로에서와 마찬가지로 한 사업자는 송전을 하고 다른 사업자는 발전을 할 때 문제가 발생한다.

그림 18은 A 풍력은 4 MW 발전을 하고, B 풍력은 0.4 MW 수전을 할 때 조류에 흐름을 나타낸 것이다. A 풍력에서 발전하는 전력량은 B 풍력에서 수전하는 전력량을 제외하고 #1 송전계량기로 흐른다. 사례 1)에서 보는 것처럼 A 풍력에서 발전 및 수전 시 손실이 발생하는 것을 알 수 있다.

사례 1) A 풍력 4 MW 발전(발전 기준), B 풍력 0.4 MW 수전 시

(변압기 손실 0.5%, 선로 및 기타 손실 무시)

1-1) 발전계량 값

· #1 송전계량기 값 = $(4 - 0.4) \times (1 - 0.005) = 3.582 \text{ MW}$

· A 풍력 발전계량 값 = (#1 - #2)송전계량기 값 = $3.582 - 0$
= 3.582 MW

· B 풍력 발전계량 값 = #2 송전계량기 값 = 0 MW

∴ 계량 값의 오류는 발생하지 않지만 A 풍력에서 변압기 손실 및 B 풍력의 수전전력량을 부담해야 한다.

1-2) 수전계량 값

· A 풍력 수전계량 값 = (#1 - #2)수전계량기 값

= $(0 - 0.4) = 0.4 \text{ MW}$

· B 풍력 수전계량 값 = #2 수전계량기 값 = 0.4 MW

∴ A 풍력에 B 풍력에서 사용한 0.4 MW 수전전력 값이 이중 부과된다.

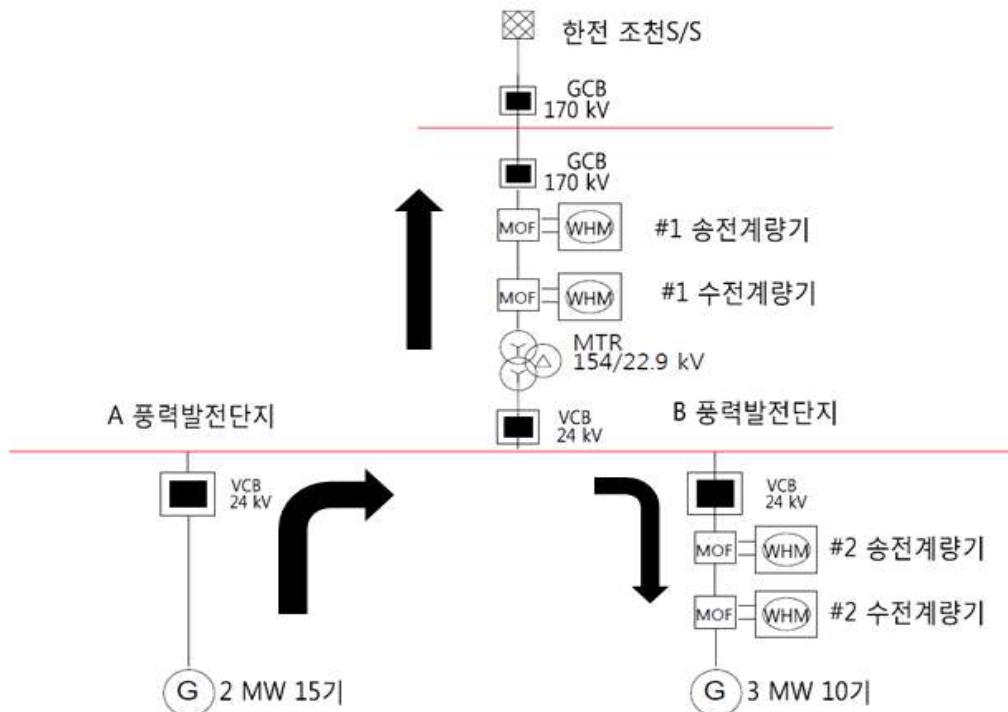


그림 18 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 모델Ⅲ

이번에는 사례 1)과 반대인 경우로 그림 19에서 보는 것과 같이 A 풍력은 0.4 MW 수전을 받고, B 풍력은 4 MW 발전할 때 조류에 흐름이다. B 풍력에서 발전하는 전력량은 #2 송전계량을 지나서 A 풍력으로 흐르고 A 풍력에서 수전하는 전력량을 제외하고 #1 송전계량기로 흐른다. 사례 2)에서 보는 것처럼 발전 및 수전 시 계량의 오류가 발생하는 것을 알 수 있다.

사례 2) A 풍력 0.4 MW 수전, B 풍력 4 MW 발전 시

(변압기 손실 0.5%, 선로 및 기타 손실 무시)

2-1) 발전계량 값

- #1 송전계량기 값 = $(4 - 0.4) \times (1 - 0.005) = 3.582 \text{ MW}$
- #2 송전계량기 값 = 4 MW
- A 풍력 발전계량 값 = (#1 - #2)송전계량기 값 = $3.582 - 4 = -0.418 \text{ MW}$
- B 풍력 발전계량 값 = #2 송전계량기 값 = 4 MW

∴ A 풍력 발전계량 값이 -0.418 MW 나와 오류가 발생한다.

2-2) 수전계량 값

- #1 수전계량기 값 = 0 MW
- #2 수전계량기 값 = 0 MW
- A 풍력 수전계량 값 = (#1 - #2)수전계량기 값 = $(0 - 0) = 0 \text{ MW}$
- B 풍력 수전계량 값 = #2 수전계량기 값 = 0 MW

∴ A 풍력 수전계량 값이 0 MW가 나와 오류가 발생한다.

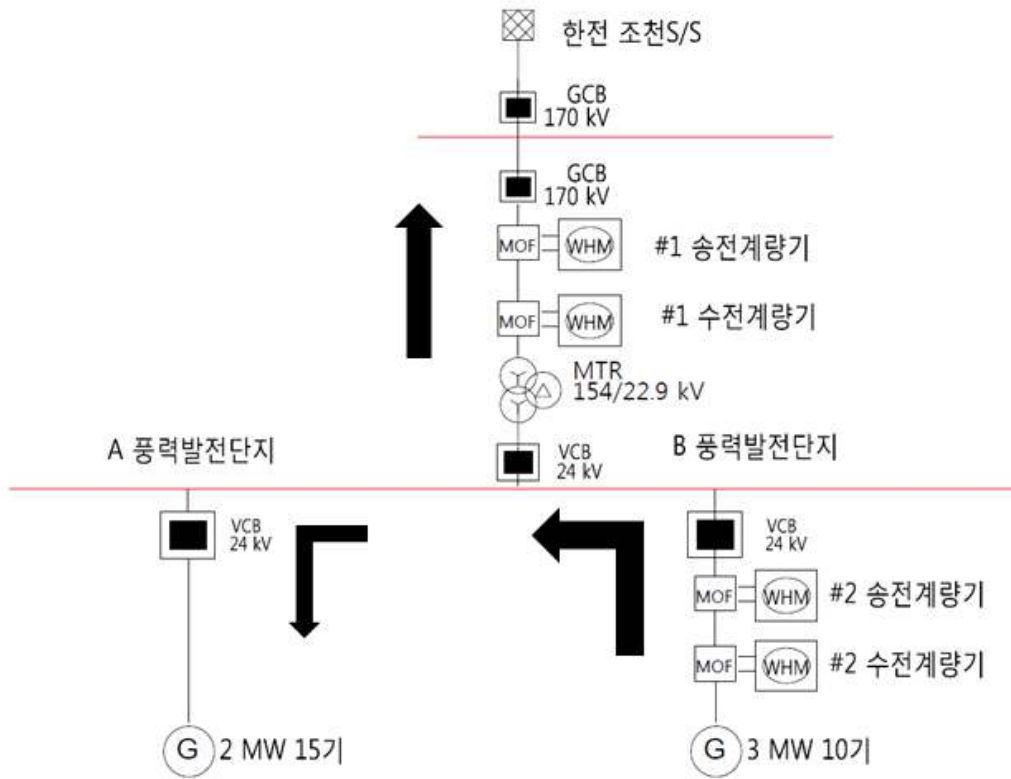


그림 19 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 모델IV

4.4 계량방식 개선 방안

현행 제도에 맞게 계량설비를 설치하고 전용선로 및 변압기를 공동으로 이용했을 때 송·수전계량에서 모두 오류가 발생함을 알 수 있다. 이는 현행 제도에서 규정한 계량점의 위치가 한국전력 배전선로나 송전선로에 접속했을 때를 고려하여 만들어졌고 발전을 위해서 전용선로 등을 공동으로 이용 한 사례가 없어 제도에 반영되지 않는 것이 원인이다. 이를 해결하기 위해서는 표 13과 같이 계량점의 위치를 지금의 접속점에서 한국전력 변전소와 일정한 거리까지 확대하고 발전계량기의 수전계량 값을 이용하여 계량방식을 다각화하면 송·수전계량의 오류를 개선할 수 있다. 그리고 기존 발전설비에 추가적으로 발전기 또는 ESS(Energy Storage System) 등을 설치하여 REC 발급을 위해 계량이 필요할 때 모자계량방식을 도입하면 별도의 선로공사 없이 REC 발급이 가능해진다.

표 13 전용선로 및 변압기 공동이용에 따른 계량방식 개선방안

현행 제도	문제점	개선 방안
수전 시 변압기 공동이용에 따른 계량방식 존재	발전 시 전용선로 및 변압기 공동이용에 따른 계량방식 없음	발전 계량방식 다각화 필요
계량점은 주변압기 고압측 접속점	규정상 한전변전소 내부에 위치 유지관리 어려움 사업자별로 계량점 위치 상이	일정한 거리 내에서 계량점 위치 변경
REC 발급을 위해 단독 계량 필요	REC 발급을 위해 추가적인 선로 공사 필요	모자계량방식 도입

1) 22.9 kV 전용선로 공동이용 계량방식 개선 방안

22.9 kV 전용선로 계량방식을 개선하기 위해서는 수전계량점을 전용선로 말단에서 전용선로 인입점 하단으로 위치 변경이 필요하다.

그림 20은 #1 수전계량기 위치를 한국전력 변전소 내부에서 행원풍력발전단지 안으로 변경했을 때 한 사업자는 수전을 받고 다른 사업자는 발전을 할 때 조류의 흐름이다. 사례 1)과 2)에서 보는 것처럼 송·수전전력량이 정상으로 계량되고 있고, 행원풍력과 연안풍력17호기는 한국전력 배전선로에 접속한 것 같은 형태가 되어, 각각의 사업자는 송·수전계량에 간섭이 일어나지 않는다. 단, 선로손실 및 전용선로에 불평형으로 인한 수전계량의 오류는 무시하였다[7].

사례 1) 행원풍력 0.1 MW 수전, 연안풍력17호기 2 MW 발전 시(실선 표시)

(선로 및 기타 손실 무시)

1-1) 발전계량 값

- 행원풍력 송전계량 값 = #1 송전계량기 값 = 0 MW
- 연안풍력17호기 송전계량 값 = #2 송전계량기 값 = 2 MW

1-2) 수전계량 값

- 연안풍력17호기 수전계량 값 = #2 수전계량기 값 = 0 MW
- 행원풍력 수전계량 값 = #1 수전계량기 값 = 0.1 MW

사례 2) 행원풍력 2 MW 발전 , 연안풍력17호기 0.1 MW 수전 시(점선 표시)

(선로 및 기타 손실 무시)

2-1) 발전계량 값

- 행원풍력 송전계량 값 = #1 송전계량기 값 = 2 MW
- 연안풍력17호기 송전계량 값 = #2 송전계량기 값 = 0 MW

2-2) 수전계량 값

- 연안풍력17호기 수전계량 값 = #2 수전계량기 값 = 0.1 MW
- 행원풍력 수전계량 값 = #1 수전계량기 값 = 0 MW

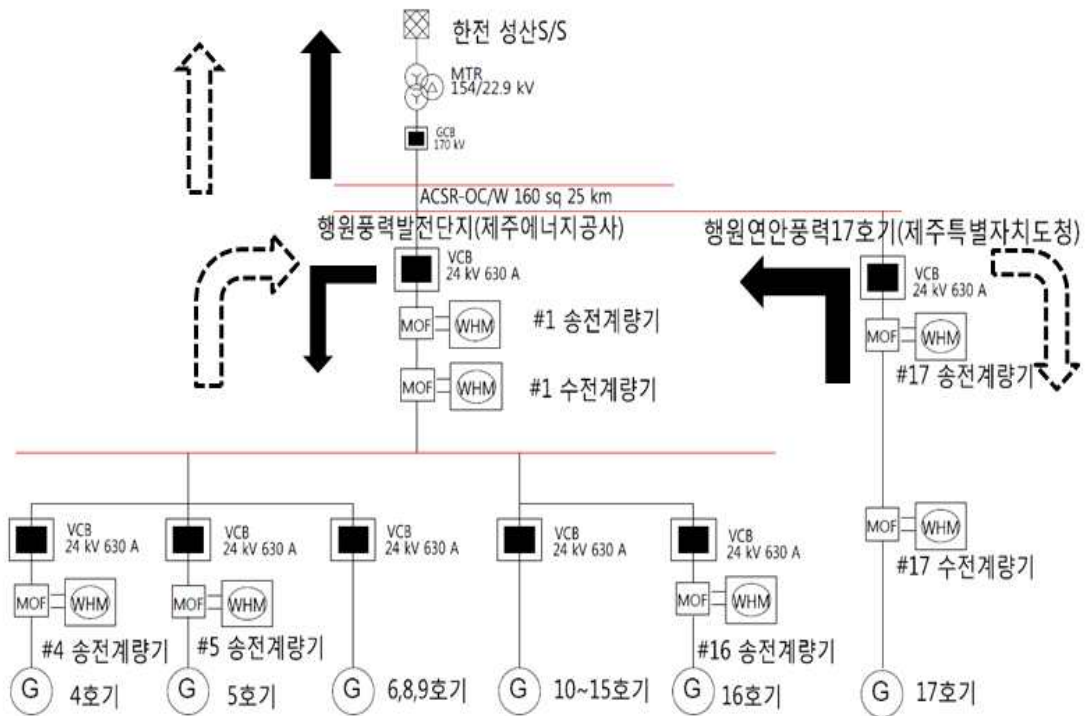


그림 20 행원풍력발전단지 계량방식 개선 모델 I

2) 154 kV 전용선로 공동이용 계량방식 개선 방안

154 kV 전용선로 및 변압기를 공동으로 이용했을 때는 송·수전계량 모두 오류가 발생함을 알 수 있고 이를 해결하기 위해서는 22.9 kV 전용선로 공동이용 계량방식 개선 방안과 같이 계량점의 위치 변경이 필요하다. 또한 계량방식을 다

각화 하면 허브변전소에 연결된 선로를 이용하여 인근의 소규모 풍력이나 태양광 등을 접속 시킬 수 있다.

그림 21은 송·수전계량기를 154 kV 변압기 1차 측에서 2차 측 각 사업자 분기점 하단으로 위치를 변경했을 때 한 사업자는 수전을 받고 다른 사업자는 발전을 할 때 조류에 흐름을 나타냈다. 사례 1)에서 보는 것처럼 송·수전계량 값 모두 정상이고 사례 2) 일 때도 결과는 같다.

사례 1) A 풍력 4 MW 발전, B 풍력 0.4 MW 수전 시(점선 표시)

(변압기 손실 0.5%, 선로 및 기타손실 무시)

1-1) 발전계량 값

· A 풍력 발전계량 값 = #1 송전계량기 값 = 4 MW

· B 풍력 발전계량 값 = #2 송전계량기 값 = 0 MW

1-2) 수전계량 값

· A 풍력 수전계량 값 = #1 수전계량기 값 = 0 MW

· B 풍력 수전계량 값 = #2 수전계량기 값 = 0.4 MW

사례 2) A 풍력 0.4 MW 수전, B 풍력 4 MW 발전 시(실선 표시)

(변압기 손실 0.5%, 선로 및 기타손실 무시)

2-1) 발전계량 값

· A 풍력 발전계량 값 = #1 송전계량기 값 = 0 MW

· B 풍력 발전계량 값 = #2 송전계량기 값 = 4 MW

2-2) 수전계량 값

· A 풍력 수전계량 값 = #1 수전계량기 값 = 0.4 MW

· B 풍력 수전계량 값 = #2 수전계량기 값 = 0 MW

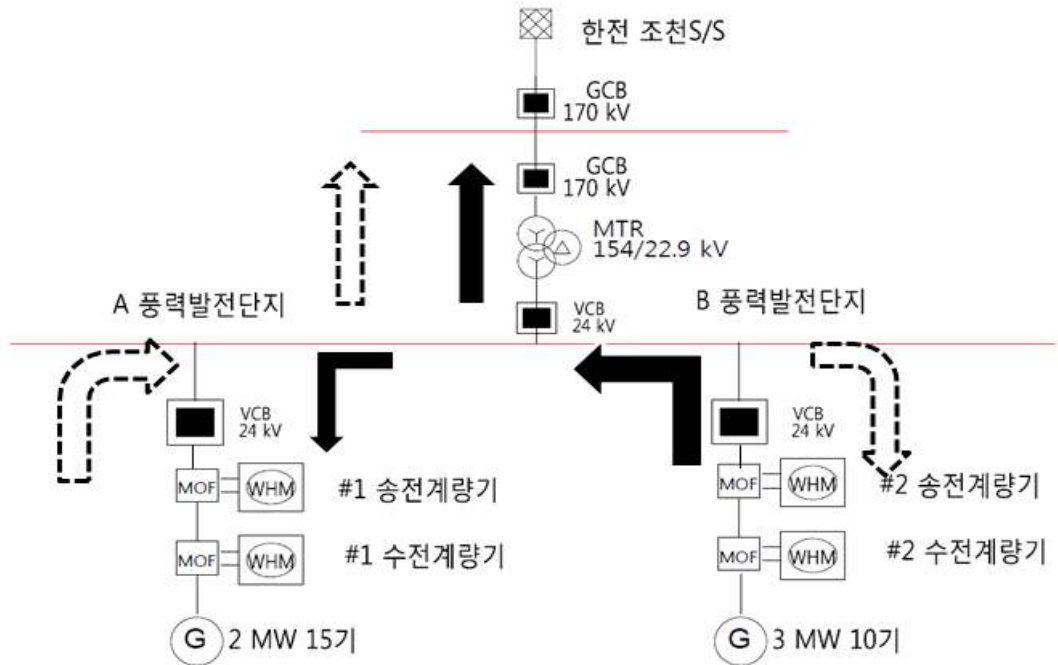


그림 21 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 개선 모델 I

발전용 전력량계는 양방향으로 계량이 가능해 전력량계로부터 취득하는 계량데이터는 순방향(송전) 유효전력량, 역방향(수전) 유효전력량, 지상 무효전력량, 진상 무효전력량으로 구분되며 발전뿐만 아니라 수전계량도 할 수 있다. 이 수전계량 값을 이용하면 송전계량의 오류를 개선할 수 있다.

사례 3)은 B 풍력발전단지 선로를 이용하여 C 풍력(3 MW 1기)이 접속했을 때의 사례이다. 발전용 전력량계에서 수전 받는 전력량을 계량하여 #2 송전계량기에 합해주면 한 사업자가 발전하고 다른 사업자가 수전을 받을 때 계량의 오류를 개선할 수 있다. 사례 3)과 4)의 예시를 들어 계통도 모델을 만들고 검토해보았다.

그림 22는 A 풍력과 B 풍력은 발전을 하고 C 풍력이 수전을 받을 때 계통도 모델인데 송·수전 계량 값 모두 정상이다.

사례 3) A 풍력 2 MW 발전, B 풍력 4 MW 발전, C 풍력 0.4 MW 수전 시
(변압기 손실 0.5%, 선로 및 기타손실 무시)

- #1 송전계량기 값 = 2 MW
- #2 송전계량기 값 = 3.6 MW
- #3 송전계량기 값 = 0 MW
- #3 송전계량기 수전계량 값 = 0.4 MW

3-1) 발전계량 값

- A 풍력 발전계량 값 = #1 송전계량기 값 = 2 MW
- B 풍력 발전계량 값
= (#2 - #3) 송전계량기 값 + #3 송전계량기 수전계량 값
= (3.6 - 0) + 0.4 = 4 MW
- C 풍력 발전계량 값 = #3 송전계량기 값 = 0 MW

3-2) 수전계량 값

- A 풍력 수전계량 값 = #1 수전계량기 값 = 0 MW
- B 풍력 수전계량 값 = #2 수전계량기 값 = 0 MW
- C 풍력 수전계량 값 = #3 수전계량기 값 = 0.4 MW

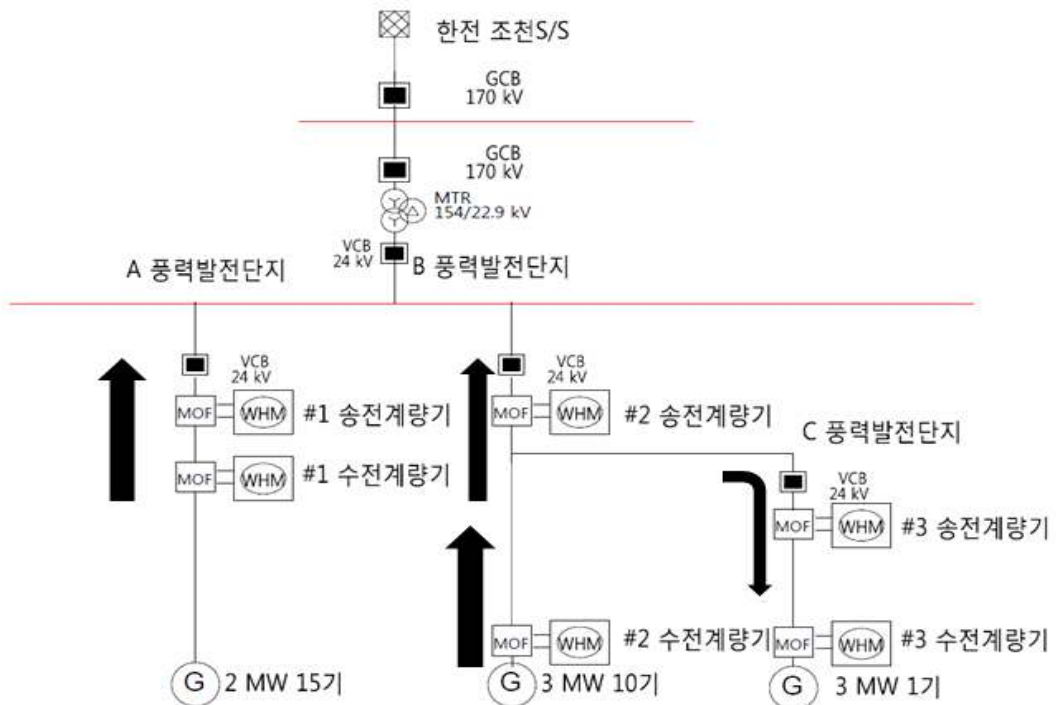


그림 22 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 개선 모델 II

그림 23은 A 풍력과 B 풍력은 수전을 받고 C 풍력이 발전을 할 때 계통도 모델이다. 사례 3)과 마찬가지로 발전용 전력량계에서 수전 받는 전력량을 계량하여 #2 송전계량기에 합해주면 송·수전 계량 값 모두 정상이 된다.

사례 4) A 풍력 0.4 MW 수전, B 풍력 0.4 MW 수전, C 풍력 4 MW 발전 시
(변압기 손실 0.5%, 선로 및 기타손실 무시)

- #1 송전계량기 값 = 0 MW
- #2 송전계량기 값 = 3.6 MW
- #3 송전계량기 값 = 4 MW, #3 송전계량기 수전계량 값 = 0

4-1) 발전계량 값

- A 풍력 발전계량 값 = #1 송전계량기 값 = 0 MW
- B 풍력 발전계량 값
= (#2 - #3) 송전계량기 값 + #3 송전계량기 수전계량 값
= (3.6 - 4) + 0 = - 0.4 MW (0 MW로 인식)
- C 풍력 발전계량 값 = #3 송전계량기 값 = 4 MW

4-2) 수전계량 값

- A 풍력 수전계량 값 = #1 수전계량기 값 = 0.4 MW
- B 풍력 수전계량 값 = #2 수전계량기 값 = 0.4 MW
- C 풍력 수전계량 값 = #3 수전계량기 값 = 0 MW

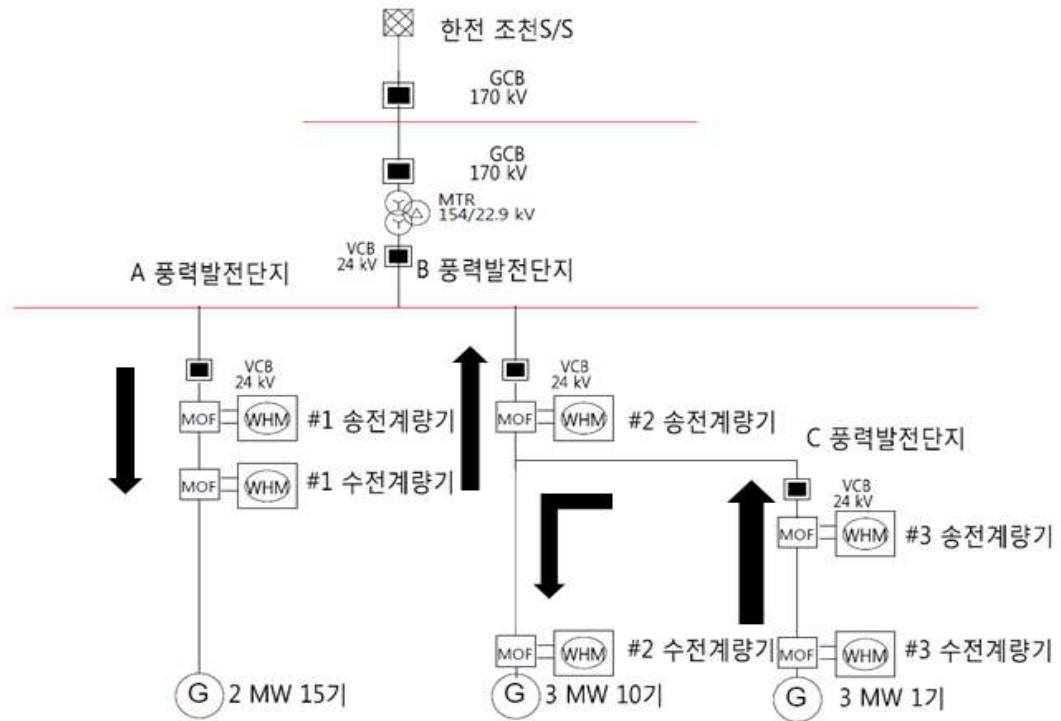


그림 23 동북·북촌풍력발전단지 계량방식 개선 모델 III

V. 결 론

본 논문에서는 분산형전원 확대를 위해 허브변전소 계량방식에 대해 고려해야 할 사항들에 대해 기술하였다. 현재 국내 계량방식에 대한 규정은 발전사업자가 한국전력의 송·배전선로를 이용할 경우에 맞춰 만들어져 있다. 즉 분산형전원을 한전 배전선로에 접속하였을 경우 계량에 아무런 문제가 되지 않으며 계량점도 접속점인 발전단지 내에 있어 선로손실을 부담하지 않는다. 하지만 한전의 배전선로 및 변전소 용량의 포화로 분산형전원을 한전 계통에 연계하기 위해서는 별도의 전용선로를 구축하여 한전 변전소에 직접 접속해야 한다. 이럴 경우 계량점의 위치가 전용선로 말단으로 되어있어 변압기 및 선로손실을 부담해야 하는 상황이며 그마저도 분산형전원 마다 계량점의 위치가 제각각으로 각 사업자간 형평성의 문제를 야기할 수 있다.

분산형전원 허브변전소를 공동으로 이용하기 위한 계량방식을 요약하면 다음과 같다.

1) 계량점의 정의를 접속점으로 제한하기보다는 접속점으로부터 일정한 거리 이내로 확대하면 송전손실을 한전 및 사업자가 같이 부담하게 할 수 있고 분산형전원 허브변전소에 접속할 수 있는 루트가 다양해진다.

2) 계량점 위치 변경과 더불어 모자계량방식등 계량방식을 다각화하면 분산형전원 허브변전소의 배전선로를 한전 배전선로와 같은 기능으로 확대할 수 있다.

이상과 같은 결과를 도출해보면 분산형전원 허브변전소의 계량방식에 대한 규정을 보완·수정하고 한국전력과의 보호협조 등 기술적인 시스템이 구축된다면 분산형전원 허브변전소가 송전뿐만 아니라 부하를 수용할 수 있는 배전변전소 역할도 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 산업통상자원부, “제2차 국가에너지기본계획”, 2014. 1.
- [2] 제주특별자치도, “탄소없는 섬 제주”, 2014. 9.
- [3] 한국전력 제주지역본부, “제주본부 분산형전원 연계현황”, 20015. 1.
- [4] 변해완, 백승도, 구본우, 허용호, 신복현, “부하밀집지역 전력공급을 위한 허브(Hub)변전소 개발”, 대한전기학회 하계학술대회, pp.36-37, 2006. 7.
- [5] 제주특별자치도, “신·재생에너지의 원활한 전력계통 접속을 위한 허브변전소 건립방안 조사”, 2014. 2.
- [6] 김준오, 이건행, 이흥호, “154 kV 수전설비의 계량방식”, 대한전기학회 하계학술대회, pp.515-517, 2002. 7.
- [7] 신동열, 박용우, 차한주, “분산형 발전고객의 OCGR오동작 및 과부족 계량에 대한 사례연구”, 대한전기학회 하계학술대회, pp.1349-1355, 2008. 8.
- [8] 한국전력, “송·배전용 전기설비 이용규정”, 2014. 8.
- [9] 제주특별자치도, “풍력발전 사업허가 및 지구지정 등에 관한 조례”, 2013. 7.
- [10] 국토교통부, “도로법 시행령: 제24조”, 2015. 1.
- [11] 한국전력거래소, “전력시장운영규칙”, 2015. 3.
- [12] 한국전력, “분산형전원 배전계통 연계기준”, 2015. 4.
- [13] 한국전력, “전기공급약관”, 2015. 4.
- [14] 산업통상자원부, “신·재생에너지 공급의무화제도 관리 및 운영지침”, 2014. 9.
- [15] 산업통상자원부, “전기사업법: 제2조”, 2015. 1.
- [16] 신·재생에너지센터, “공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙”, 2015. 3.
- [17] 산업통상자원부, “신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정”, 2015. 2.

감사의 글

대학교를 졸업하고 8년 만에 대학원에 입학하여 대학 신입생처럼 들뜬 마음으로 대학원 생활을 시작 한지 어느새 2년 6개월이라는 시간이 흘러 졸업논문을 작성하게 되었습니다. 논문을 시작하고 완성하게 될 때까지 도움을 주신 모든 분들께 감사하다는 말씀을 전하고 싶어 이 글을 씁니다.

우선 석사과정 동안 부족한 저를 아낌없는 격려와 가르침으로 이끌어 주시고 논문 작성에 많은 조언과 지도를 해주신 김세호 교수님께 진심 어린 감사드리고 부족한 논문을 세세하게 검토하고 심사해 주신 김호찬 교수님, 김호민 교수님께도 감사드립니다. 매 학기 좋은 내용으로 수업해 주신 풍력공학과 교수님들과 행정실 선생님들께도 다시 한번 감사의 말씀드립니다. 그리고 논문 작성하면서 고생한 같은 연구실 동기이자 전력분야 선배이신 좌길훈 기술사님, 김희권 차장님 많은 도움받게 되어 감사드립니다. 그 외 대학원 선·후배님들께도 감사드리며 좋은 인연 평생 갖고 가도록 하겠습니다.

대학원 수장을 배려하고 지원해주신 제주에너지공사 이성구 사장님께 깊은 감사드리며 제가 얻은 지식과 경험을 바탕으로 제주에너지공사 발전에 도움이 되도록 노력하겠습니다. 그리고 절 항상 믿고 응원해주신 사업운영부 고승훈 부장님 이하 모든 직원분들께 감사드리고, 특히 논문 작성에 도움을 주신 임경은 대리, 양성준 대리, 김동완 선임연구원 고맙습니다.

마지막으로 못난 아들이자 사위인 저를 챙겨주시고 헌신적인 사랑을 주신 부모님과 장인·장모님 그리고 대학원 핑계로 가정에 충실하지 못해도 참고 이해해 준 세상에서 제일 예쁜 아내 김래희와 잘 놀아주지도 못하고 늦게 오는 아빠에게 항상 최고라고 말해주는 착하고 예쁜 딸 부지예에게 미안하고 사랑한다는 말을 전합니다.

이외에 제가 미처 언급하지 못한 많은 분들께도 감사하다는 말씀드리며, 석사과정 교육을 통해 얻은 지식과 논문을 작성하면서 얻은 연구결과를 통해 많이 부족하지만 제가 몸담고 있는 제주에너지공사와 제주대학교 그리고 제주지역의 발전에 도움이 되도록 노력하겠습니다.

2015년 6월
부호준 올림