



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

풍력발전시스템 증가에 따른
제주 전력계통 특성 해석



濟州大學校 大學院

電氣電子工學科

高 成 旻

2006年 12月

풍력발전시스템 증가에 따른 제주 전력계통 특성 해석

指導教授 金 世 鎬

高 成 旻

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2006年 12月

高成旻의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2006年 12月

Characteristic Analysis according to
Wind Generation System Increase in
Jeju Power Network

Seong-Min Ko
(Supervised by professor Se-Ho Kim)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF
ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2006. 12.

목 차

LIST OF FIGURES	i
LIST OF TABLES	ii
SUMMARY	iv
I. 서 론	1
II. 본 론	3
2.1 제주 전력계통 현황 및 전망	3
2.2 해석모델	5
2.3 풍력발전의 점유대별 운전특성 분석	10
III. 결 론	29
참 고 문 헌	30

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Jeju power system	4
Fig. 2 CPAAUT block diagram	8
Fig. 3 System frequency(59.76Hz – 59.9Hz)	12
Fig. 4 Active power of HVDC	13
Fig. 5 Active power & reactive power of Hanju transmission line	13
Fig. 6 154kV bus voltage of Sungsan substation	13
Fig. 7 System Frequency(58.17Hz)	22
Fig. 8 154kV bus voltage of Dongjeju substation	22
Fig. 9 Active power & reactive power of Jeju transmission line	23
Fig. 10 Active power & reactive power of Hansung transmission line	23
Fig. 11 Active power & reactive power of Namwon transmission line	24
Fig. 12 154kV bus voltage of Sungsan S/S (SC off)	24
Fig. 13 154kV bus voltage of Sungsan S/S (SC on)	25
Fig. 14 Active power & reactive power of Hansung transmission line	25
Fig. 15 154kV bus voltage of Jocheon S/S (SC on)	26
Fig. 16 154kV bus voltage of Sungsan S/S (SC on)	26

LIST OF TABLES

Table 1	Forecasting of wind power increase	5
Table 2	Generator data in Jeju power system	6
Table 3	Forecasting of load increase	7
Table 4	Generator dynamic model	7
Table 5	UFR load shedding in Jeju network	9
Table 6	Power flow (2007, load 297MW, HVDC bipole, wind power 100%)	11
Table 7	Power flow (2007, load 297MW, HVDC bipole, wind power 70%)	12
Table 8	Frequency fluctuation(2007, load 297MW)	12
Table 9	Power flow (2007, load 567MW, HVDC bipole, wind power 100%)	14
Table 10	Power flow (2007, load 567MW, HVDC bipole, wind power 70%)	15
Table 11	Frequency fluctuation(2007, load 567MW)	15
Table 12	Power flow (2008, load 313MW, HVDC bipole, wind power 100%)	16
Table 13	Frequency fluctuation(2008, load 313MW)	16
Table 14	Power flow (2008, load 597MW, HVDC bipole, wind power 100%)	17
Table 15	Power flow (2008, load 597MW, HVDC bipole, wind power 70%)	18
Table 16	Frequency fluctuation(2008, Load 597MW)	18

Table 17 Frequency fluctuation(2009, load 328MW)19
Table 18 Frequency fluctuation(2009, load 654MW)21



SUMMARY

Recently, the renewable energies are being interested and developed to solve the shortage of fossil resources and the environmental problems. Comparatively speaking with fossil resources, the most of the renewable resources such as photovoltaic and fuel cell are economically poor as yet.

However many of the wind power have been operated and come into wide use in EU. Based on the development of large capacity wind generator, the economic assesment of the wind power is highly valued. After all, now in these days, the large wind power is widely spread all over the world.

It is accelerated to build the large capacity generator of the wind power. When the penetration of wind power is low, influences of the wind energy on the power system may be trivial. However when the penetration of wind energe increases, its influence is not limited to the small network but starts to influence the whole system.

According to wind power generation increase, the wind-generated power will constitute a noticeable percentage of the total electrical power demand consumed in Jeju. This indicates that the wind is becoming a major factor in electricity supply and in balancing consumer demand with power production. A major barrier to the integration of wind power into the grid is its variability.

This paper presents the network operation characteristic analysis according to occupation of wind power generation and the influence analysis of Jeju power system connected with wind generation.

I. 서 론

산업혁명에 따른 산업활동으로 인한 온실가스 배출량 증가는 지구의 기후 시스템에 영향을 미쳐 지구를 둘러싼 대기층의 “온실효과”로 지구 온난화 문제를 야기 시키고 있다. 이러한 기후변화는 개별 국가의 문제가 아니라 전 지구적 차원의 공동 대응이 필요하다는 인식하에 교토의정서를 채택하면서 국제적 이슈로 떠오르게 되었고, EU를 비롯한 선진 각국에서는 사회 인프라 등에 적극적으로 활용하거나 에너지 절약, 친환경적인 건축물 건설 및 재생에너지 개발, 산업, 에너지, 폐기물 처리개선을 촉진하고 2010년 이후를 대비한 연구개발 확대 등을 적극적으로 추진하고 있다.

풍력발전시스템은 국제 환경의 변화 및 유가 상승과 경제성 및 기술의 성숙도로 인해 에너지 산업에서 세계적으로 가장 빠르게 성장하는 분야가 되었다. 최근 10년간 설치 용량이 10배 이상 증가하여 이미 2003년 세계 전력수요의 0.49%(82.24TWh)를 차지하고 있으며 2012년 4.11%, 2020년 11.98%, 2030년 20.14%로 급신장할 전망이다.[1] 현재 독일은 전력수요의 약 6%, 덴마크는 18% 수준에 이르고 있으며 풍력발전 선도국가에서는 풍력발전설비 도입 의무화, 투자에 대한 안정된 수익보장 및 전력시장의 장애요인 제거 등의 정책적인 지원으로 보급확대를 추진하고 있다.

국내에서는 1990년 초에 대학과 연구원을 중심으로 기초 및 소형풍력시스템에 대한 연구를 시작하여 1990년대 중반부터 본격적으로 기술개발이 진행되고 있으며 2005년 기준 90,015kW가 설치되어 가동 중이며 2006년에 준공예정을 포함하여 풍력발전의 발전설비용량이 211,715kW에 이를 예정으로 총 발전설비용량 65,764MW의 약 0.32%를 차지한다. 2006년 현재 운전되고 있는 주요 발전단지는 제주 행원, 제주 한경, 전북 새만금, 경북 포항, 강원도 대관령 등이 대표적인 곳으로 상업용 발전이 이루어지고 있다.[2]

국내 풍력발전시설은 대부분 외국에서 도입, 설치됨으로써 건설단가가 선진국의 1.6배 이상 높아 확대보급에 장애가 되었으나 제2차 국가에너지 기본계획에 따라 제정된 “신에너지 및 재생에너지 개발 이용보급 촉진법” 등에 의거해 대

체에너지를 이용해 생산된 전기의 우선 구매 및 차액보존제도의 도입으로 풍력 발전의 건설이 용이하게 되어 자치단체나 공기업 등에서 상업용으로 풍력발전소를 건립하였으며 추가 건설을 계획하고 있다. 또한 분산형 전원개발을 촉진하기 위하여 구역전기사업제도를 시행하고 있으며 비교적 소용량의 발전기를 이용하여 전기를 생산, 전력거래소를 통하지 않고 특정한 공급 구역내의 소비자에게 직접 전기를 원활하게 공급하기 위해 분산형 전원 계통연계 기술기준(안)이 고시되었다.[3]

현재 제주지역 풍력설비의 총 용량은 19MW로서 제주도내 발전설비 용량 564MW의 3.4%로 2006년 최대수요 514MW의 3.69%에 해당하며 북제주군 행원 풍력단지의 상업화 성공에따라 지속적인 풍력발전소 건설이 계획되고 있다.

건설예정인 풍력설비가 예정대로 모두 건설된다면 2008년에는 총 80MW 정도의 풍력설비가 운전되어 제주지역 발전설비용량 826MW의 9.6%, 2008년 예상최대수요 597MW 의 13.4%에 달하게 된다. 또한 2010년에는 총 146.7MW의 풍력설비가 가동된다면 2010년 예상최대수요 656MW 의 22.3%에 달하게 된다.

제주도의 경우 풍력설비의 용량점유율은 3% 정도, 발전량 점유율은 평균 1.22%로서 전력계통 운영에 큰 영향을 나타나고 있지 않지만 향후 건설예정인 풍력단지가 계획대로 모두 건설되면 100MW 이상의 풍력설비가 운영되어 전력계통에 미치는 영향을 미칠 가능성을 배제할 수 없다.

본 논문에서는 풍력설비 증가에 따른 제주 전력계통 운영상의 문제점이 예상되는 현 시점에서 PSS/E 소프트웨어를 이용하여 제주지역의 2007년부터 2010년까지 풍력증가량을 예상하고, 그 해의 부하용량을 고려한 계통을 구성하여 각 년도별 중부하시 경부하시의 풍력발전설비의 점유대별(100%, 70%, 50%) 조류계산과 풍력발전단지의 탈락, 송전선로 고장, 일반발전기 탈락의 경우와 같은 상정사고를 통하여 계통주파수, 송전선로의 과부하 및 무효전력 조절과 전압안정도를 분석함으로써 풍력발전의 증가에 따른 제주계통에 미치는 영향을 분석 하였다.

II. 본 론

2.1 제주 전력계통 현황 및 전망

제주 전력계통은 육지 전력계통과 해저케이블인 연계선으로 연결되어 있으나 이는 HVDC(High Voltage Direct Current)로 제주 전력계통은 육지 전력계통과는 독립적으로 한국전력거래소 제주지사에 의해 운영되고 있다.

제주계통은 내륙에 비해 발전설비 규모가 작고 전력소비량도 작은 편이지만 발전, 송전, 배전, 판매 등 모든 전력계통 요소를 다 갖추고 있으므로 전국 계통의 축소판이라고 할 수 있다.

제주 전력계통의 부하구성은 공장부하가 상대적으로 적고 주택 및 상업용, 관광산업용 부하 점유율이 높아 최대전력수요 기록시간이 21~24시에 발생하여 주로 낮 시간대에 발생하는 육지전력계통과 달리 야간에 발생하는 특징을 가지고 있다.

제주도는 우리나라 최남단에 위치한 화산섬이며 태풍의 길목으로 태풍피해와 염해 피해가 극심한 지역이고, 연평균 1,800mm의 국내 최대강수량과 낙뢰가 심한 지역적 특성 때문에 자연재해에 의한 전력계통의 고장이 빈번하게 발생하고 있다.

2006년 현재 제주지역 발전설비 용량대비 공급능력은 564MW 이며 현재 제주지역 전력수급의 중추적인 역할을 하고 있는 HVDC는 정상적인 계통상황시 최대로 150MW로 제주 전력수요의 50%를 기준으로 운전되어 연평균 제주 전력수요의 약 40%를 담당하고 있다.

제주지역에서 발전기 전력공급 우선순위는 발전 연료비 순위로 결정되는데 발전연료비가 가장 저렴한 제주 내연 #1호기와 남제주 내연 #1~4호기, 연계선 등이 기저부하를 담당하고 있으며, 제주T/P #2, 3호기가 연계선과 함께 기저부하 일부분 및 변동부하를 담당하고 있다. 겨울, 여름철의 전력수요 증가 시에는 제주T/P #1호기, 남제주T/P #1, 2호기가 추가로 운전된다. 여름철 최대전력수

요 발생 시기와 일일 첨두부하담당 발전기로는 한림복합 가스터빈 #1, 2호기와 스팀터빈, 제주화력 가스터빈 #3호기가 있다.[2]

최근에는 75MW 급 제주T/P #2, 3호기를 비롯하여 100MW 급 남제주T/P #3, 4호기 등 제주 전력계통 규모에 비해 단위기 용량이 큰 전원설비가 들어서고 있어 고용량 단위기 한대의 고장이 전력계통에 미치는 영향이 클 수밖에 없는 문제점을 내포하고 있다.

제주도는 대부분 고가의 석유연료를 사용하는 석유화력 발전설비를 운영하고 있으며 최근에는 풍력발전, 매립지가스발전 등 계통운영에 기여효과가 작은 신재생에너지 발전원 건설이 증가되고 있다.

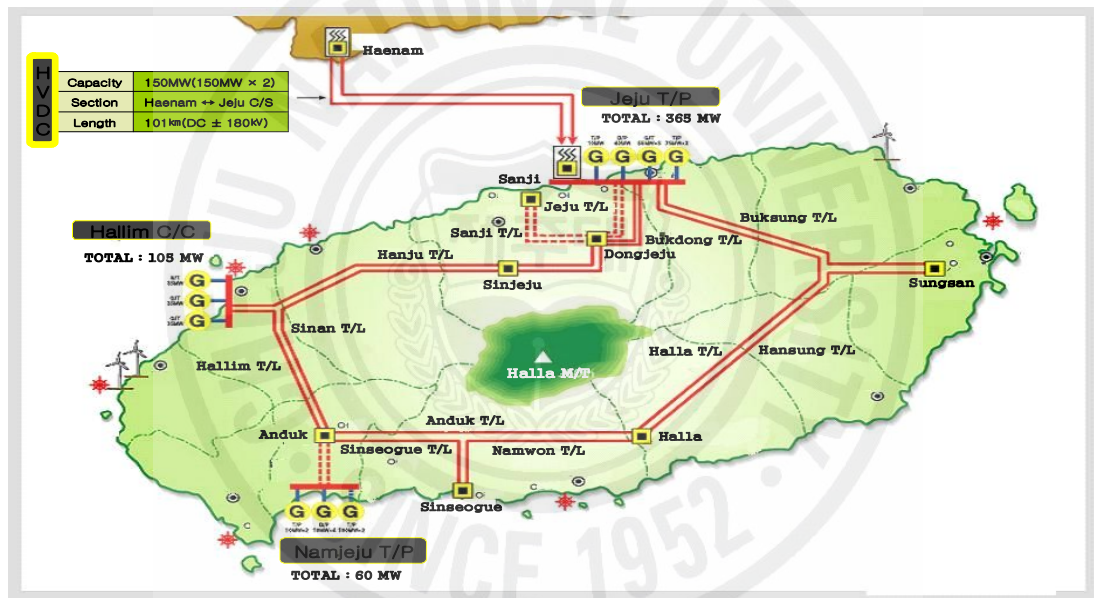


Fig. 1 Jeju power system

2006년 9월 현재 제주지역의 주송전선로는 154kV의 이중 환상망 구조로 되어 있어 있으며 제주지역의 3개 발전소 및 7개 변전소를 잇는 송전선로는 19개 구간 총 연장 362km 에 이른다.

그리고 2006년 현재 제주지역 풍력설비의 총 용량은 19MW 로서 제주도내 발전설비용량 564MW의 3.4%, 2006년 최대수요 514.6MW 의 3.69%에 해당한다.

향후 전망되는 풍력발전의 건설계획은 각 기관별로 약간의 차이를 보이므로 본 논문에서는 제주도청에 신청중이거나 신청 예정인 자료를 바탕으로 풍력발전의 증가를 예상하여 Table 1에 나타내었으며 예정대로 건설된다면 2010년에는 146.7MW의 풍력발전설비가 운전되어 예상되는 최대수요 656MW의 22.3%에 달하게 된다.

Table 1 Forecasting of wind power increase [unit: MW]

year Substation	2006	2007	2008	2009	2010	Sum
Sungsan S/S	Hangwon [10]	Nansan [14.7] Sinsan [12]	Sungsan [20]	-	-	56.7
Hallim S/S	Hankyung [6]	Hankyung [14]	-	Sammu [30]	-	50
Jocheon S/S	-	-	-	Woljung [4]	Woljung [36]	40
Sum	16	40.7	20	34	36	146.7

2.2 해석모델

풍력발전 증가에 따른 계통운영 특성 연구를 하기 위해 현재 제주계통에 66kV에서 154kV로 승압하는 조천변전소와 남제주 기력 3, 4호기가 포함된 제주지역의 전력계통을 구성하여 증가하는 풍력발전기들을 추가하면서 계통을 구성하였다.

1) 조류해석을 위한 계통 모델

조류해석을 위한 PSS/E 입력데이터를 RAW 데이터라 하며 Table 2에 발전기 명 및 연결모선, 최대 및 최소 발전량을 나타내었다.

HVDC 모델은 PSS/E 에서 제공하는 Two - Terminal DC Line 모델을 선택하여 데이터를 입력하였으며 Swing Bus 로는 해남의 호남 #2G(27272)을 선택하였고 제주의 Swing Bus는 제주계통 부하조건이나 발전력 배분에 따라 달라지므로 발전력 여유를 고려하면서 선택하였다.[7]

계통의 부하는 2007년도부터 2010년까지의 전력거래소에서 예상하는 최저부하 최대부하 두 가지 경우에 대하여 모델링 하였으며 발전력 배분기준을 적용하여 각 사례를 검토하였다. 2007년부터 2010년까지의 예상부하를 Table 3에 표시하였다.

Table 2 Generator data in Jeju power system

Generator Name	Bus	No.	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qmax (MVAR)	Qmin (MVAR)
Jeju T/P #1	20121	1	10	6	5	-3
Jeju T/P #2	20122	1	75	45	35	-25
Jeju T/P #3	20123	1	75	45	35	-25
Jeju G/T #1(동기조상기)	20125	1			35	-18
Jeju G/T #2(동기조상기)	20126	1			35	-18
Jeju G/T #3	20126	2	40	17	20	-18
Jeju D/P #1	20127	1	40	28	19.6	-19.6
Jeju D/P #2	20128	1	40	28	19.6	-19.6
Hallim G/T #1	20166	1	35	20	17	-14
Hallim G/T #2	20167	1	35	20	17	-14
Hallim S/T	20168	1	35	20	17	-14
Namjeju T/P #1	20171	1	10	6	4.70	-3
Namjeju T/T #2	20171	2	10	6	4.70	-3
Namjeju T/P #3	20172	1	100	50	35	-25
Namjeju T/P #4	20173	1	100	50	35	-25
Namjeju D/P #1	20176	1	10	6	4.70	-2.6
Namjeju D/P #2	20176	2	10	6	4.70	-2.6
Namjeju D/P #3	20178	1	10	6	4.70	-2.6
Namjeju D/P #4	20178	2	10	6	4.70	-2.6

Table 3 Forecasting of load increase

[Unit: MW]

Load \ year	2007	2008	2009	2010
Maximum	567	597	625	654
Minimum	297	313	328	343

2) 동적모의 발전기 모델

동적모의를 위해 사용된 발전기, 여자기, 조속기 모델명들을 다음 Table 4에 나타내었으며 제주 G/T#1과 제주 G/T#2 발전기들은 동기조상기로 사용되므로 조속기 모델을 제거하여 사용하였다.

Table 4 Generator dynamic model

Name	Bus	No.	Generator	Exciter	Governor
Jeju T/P #1	20121	1	GENROU	SCRX	TGOV1
Jeju T/P #2	20122	1	GENROU	EXAC2	IEEEG1
Jeju T/P #3	20123	1	GENROU	EXAC2	IEEEG1
Jeju G/T #1(동기조상기)	20125	1	GENROU	IEEEX2	
Jeju G/T #2(동기조상기)	20126	1	GENROU	IEEEX2	
Jeju G/T #3	20126	2	GENROU	IEEEX2	GAST
Jeju D/P	20127	1	GENSAL	EXST1	IEEEG1
Hallim G/T #1	20166	1	GENROU	EXPIC1	GAST
Hallim G/T #2	20167	1	GENROU	EXPIC1	GAST
Hallim S/T	20168	1	GENROU	EXPIC1	TGOV1
Namjeju T/P #1	20171	1	GENROU	SCRX	TGOV1
Namjeju T/T #2	20171	2	GENROU	SCRX	TGOV1
Namjeju T/P #3	20172	1	GENROU	EXAC2	IEEEG1
Namjeju T/P #4	20173	1	GENROU	EXAC2	IEEEG1
Namjeju D/P #1	20176	1	GENSAL	SCRX	TGOV1
Namjeju D/P #2	20176	2	GENSAL	SCRX	TGOV1
Namjeju D/P #3	20178	1	GENSAL	SCRX	TGOV1
Namjeju D/P #4	20178	2	GENSAL	SCRX	TGOV1
Hanam	27271~2	1	GENCLS		

PSS/E에서는 HVDC와 유도전동기 등의 동적모의를 위하여 CLOAD4를 이용한 컴파일 모델이 있다. HVDC 모델은 기존에는 CDC4 모델이나 CDC6 모델을 사용한 실적이 많고 제어기 신호모델로서는 SQUAUX, 그리고 SQUAUX 보다 간단한 CPAAUX 제어기 모델을 주로 사용하여 왔다. CDC6 모델은 기존의 CDC4 모델의 제어방식을 포함하고 있으며 송전선로에서 채용하고 있는 보호방식이 추가된 모델이다. CDC6 모델과 CPAAUX 모델을 이용하여 동적모의를 하기 위해서는 CPAAUX 의 출력을 CDC6 의 입력으로 CDC6 에서 호출되는 CONEC 에서 VAR 의 상태변수를 추가한 후 CLOAD4를 이용하여 컴파일해야 하며 다이내믹 데이터가 추가되거나 변경되는 경우마다 컴파일을 해야 하는 불편함이 있다.[8]

PSS/E 30 버전부터는 HVDC 모델로 CDC6T 모델과 제어기 모델로는 CPAAUT 모델을 사용함으로써 컴파일없이 사용하는 것이 가능하다.

그래서 본 논문에서는 CDC6T 모델과 제어기 모델로는 CPAAUT 모델을 사용 하였고 제어기의 CPAAUT 모델의 블록 다이어그램을 Fig. 2에 나타내었다.

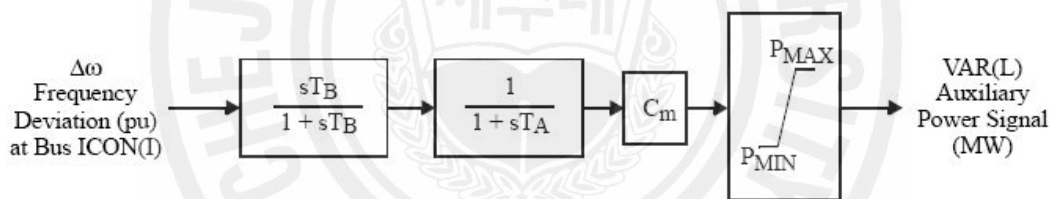


Fig. 2 CPAAUT block diagram

3) 풍력발전기 모델

PSS/E에서 제공되는 WTG(Wind Turbine Generator) 모델은 CLOAD4를 이용한 컴파일 모델로 제공되는 풍력발전기 모델로 GE사의 1.5MW용량의 GE15와 3.6MW용량의 GE36 모델, Vestas사의 660kW용량의 V47모델 그리고 1.8MW용량의 V80모델 등이 있다.

GE사의 풍력발전기 모델은 아직 일반화되어 있지 않은 DFIG모델을 사용하는 풍력발전기이므로 GE사의 발전기 모델은 제외하고 Vestas사의 660kW 용량의 V47모델, 1.8MW 용량의 V80 모델을 제주계통에 연계하여 본 논문에서 사용하였다. 660kW 용량의 V47모델은 현재 제주 행원풍력발전단지에 설치되어 있는

발전기와 동일한 것으로 행원풍력발전단지는 V47 모델로, 다른 풍력발전단지는 V80 모델을 사용하였다.

4) 계통주파수 및 154kV 모선전압 유지범위

(1) 계통주파수

현재 우리나라의 계통주파수 조정 및 유지범위는 전기사업자는 전력거래소의 급전지시에 따라 발전력 조정 등의 방법으로 계통주파수를 평상시 $60 \pm 0.2\text{Hz}$ 의 범위 이내로 유지하여야 하고 다만, 비상 상황의 경우에는 $62\text{Hz} \sim 57.5\text{Hz}$ 범위 내에서 유지할 수 있다고 한다고 정하여져 있다.

그리고 계통주파수가 일정범위 이하로 내려갈 경우 UFR 부하차단방식을 이용하여 계통주파수를 유지하고 있다.

중전까지의 제주계통 UFR 부하차단 방식은 HVDC 2회선 동시고장(제주계통 수요의 50%)을 고려하여 부하차단방식이 수립되어 있었으나, 최근에 HVDC 2회선 및 발전기 1기 추가 탈락고장이 발생하여 제주도 전계통 정전이 발생한 사례가 있었다. 이에 따라 UFR 부하차단 방식을 재 조정하여 보호 범위를 확대하였으며 그 내용을 Table 5에 나타내었다.

Table 5 UFR load shedding in Jeju network

Step	Before			After		
	Tap (Hz)	Load shedding (%)	Time (Hz)	Tap (Hz)	Load shedding (%)	Time (Hz)
1	59.0	10	10	59.2	10	10
2	58.8	10	10	59.0	10	10
3	58.4	10	10	58.6	10	10
4	58.0	10	6	58.4	10	6
5	57.6	6	6	58.0	7	6
6				57.6	5	6
계		46			52	

(2) 154kV모선전압 유지범위

154kV 계통은 부하수준 및 계통구성 상황에 따라 중부하시, 부하변동시, 경부

하시로 구분하여 정함을 원칙으로 하며, 부하대별 전압조건목표는 다음과 같다.

- 중부하시 : 160 ± 4kV
- 부하변동시 : 157 ± 4kV
- 경부하시 : 156 ± 4kV

2.3 풍력발전의 점유대별 운전특성 분석

풍력발전의 점유대별 운전특성 분석을 위하여 2007년부터 2010년까지 연도별 풍력발전 증가를 예상하고 각 사례를 연도별로 풍력발전의 100% 운전, 70% 운전, 50% 운전 또한 연계선 2회선 정상운전, 연계선 1회선 운전, 연계선 정지 등 3가지로 분류하여 시뮬레이션을 수행하였으며 각 사례의 조류계산 결과 및 풍력발전단지 탈락 시 영향에 대하여 분석하였다. 또한 운전특성 분석 시 부하조건은 연도별 최대부하와 최소부하에 고려하였다. 연계선 2회선 운전인 경우는 연계선 수전용량을 150MW로 운영하며 1회선 운전인 경우 1회선 용량이 150MW이지만 갑작스런 사고에 대비하여 수전량을 50MW로 조정하여 검토하였다.

풍력발전이 100% 출력을 내는 경우는 태풍이나 강풍을 동반한 경우에 해당하는 흔하지 않은 경우지만 겨울철에는 발생 가능한 출력이기 때문에 풍력발전량의 100% 출력을 고려하였으며 50% 이하는 발전량이 적어 고려대상에서 제외하였다.

그리고 연계선 정지중에는 발전기중 속응성이 좋은 한림 복합화력 발전기를 우선순위로 선정하고 타 발전기는 발전력 배분 순서에 맞춰 부하에 대응하도록 하였다.

1) 2007년 풍력설비 56.7MW 연계시 운전특성

(1) 최소부하 297MW

성산변전소에 36.7MW와 한림변전소에 20MW의 풍력발전을 연계하여 HVDC를 2회선, 1회선 그리고 HVDC가 없는 경우 각각에 대해 풍력설비를 100%, 70%, 50%로 운전하면서 조류계산을 수행한 결과 과부하나 전압범위를 초과한 모선이 없는 것으로 나타났으며 HVDC 2회선 운전중 풍력설비 100%와 70% 운전중의 154kV 모선 전압과 풍력발전단지가 연계된 변전소와 연결된 선로의 유,

무효전력을 Table 6, 7에 나타내었다.

두 변전소에 연계된 풍력발전단지가 운영하던 중 동시에 모두 탈락되는 경우 계통주파수는 모두 부하차단이 동작하는 59.2Hz 이상에서 하락하다 회복함을 알 수 있으며 주파수의 변화를 Table 8에 나타내었다. 또한 한림변전소와 신제주간의 선로 조류가 적어짐을 알 수 있고 154kV 모선 전압은 일시 동요한 후 안정적으로 된다. HVDC 2회선 풍력설비 100%운전인 경우의 계통주파수를 Fig. 3, HVDC의 유효전력 변화를 Fig. 4, 한림변전소와 신제주변전소간의 선로 유, 무효전력을 Fig. 5, 성산변전소의 154kV 모선전압을 Fig. 6에 나타내었다.

Table 6 Power flow(2007, load 297MW, HVDC bipole, wind power 100%)

Section		Branch		Bus(154kV)	
From	To	P(MW)	Q(MVAR)	V(kV)	V(P.U)
Jeju TP	-	-	-	158.39	1.0285
Dongjeju S/S	-	-	-	158.38	1.0284
Sinjeju S/S	-	-	-	157	1.0254
Hallim S/S	Sinjeju S/S	-14.3	-3.0	157.48	1.0254
	Anduk S/S	-8.3	-8.4		
Anduk S/S	-	-	-	158.05	1.0261
Namjeju TP	-	-	-	157.63	1.0236
Sinseogwi S/S	-	-	-	158.02	1.0261
Halla S/S	-	-	-	157.7	1.024
Sungsan S/S	Halla S/S	3.0	-6.9	157.12	1.0202
	Jocheon S/S	-10.2	-5.0		
Sanji S/S	-	-	-	158.40	1.0285
Jocheon S/S	-	-	-	157.51	1.0228

Table 7 Power flow(2007, load 297MW, HVDC bipole, wind power 70%)

Section		Branch		Bus(154kV)	
From	To	P(MW)	Q(MVAR)	V(kV)	V(P.U)
Jeju TP	-	-	-	158.36	1.0283
Dongjeju S/S	-	-	-	158.36	1.0283
Sinjeju S/S	-	-	-	157.88	1.0255
Hallim S/S	Sinjeju S/S	-15.5	-3.1	157.41	1.0222
	Anduk S/S	-13.5	-8.1		
Anduk S/S	-	-	-	158.0	1.0260
Namjeju TP	-	-	-	158.04	1.0262
Sinseogwi S/S	-	-	-	157.60	1.0234
Halla S/S	-	-	-	157.68	1.0239
Sungsan S/S	Halla S/S	-1.3	-6.5	157.02	1.0196
	Jocheon S/S	-16.7	-4.3		
Sanji S/S	-	-	-	158.37	1.0284
Jocheon S/S	-	-	-	157.46	1.0224

Table 8 Frequency fluctuation(2007, load 297MW)

HVDC	Bipole			Monopole			Stop		
	100%	70%	50%	100%	70%	50%	100%	70%	50%
Occupation of wind power generation	100%	70%	50%	100%	70%	50%	100%	70%	50%
Frequency (Hz)	59.76	59.86	59.89	59.78	59.85	59.83	59.29	59.59	59.72

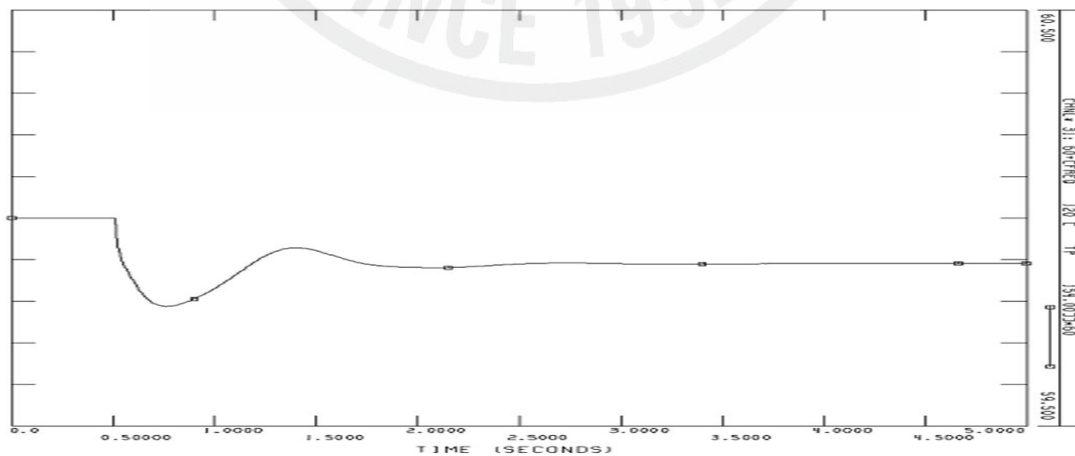


Fig. 3 System frequency(59.76Hz – 59.9Hz)

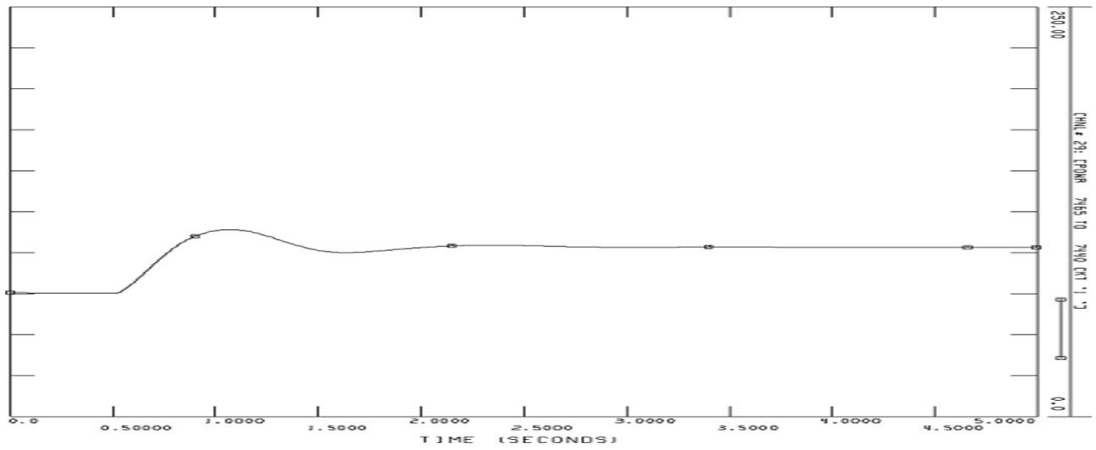


Fig. 4 Active power of HVDC

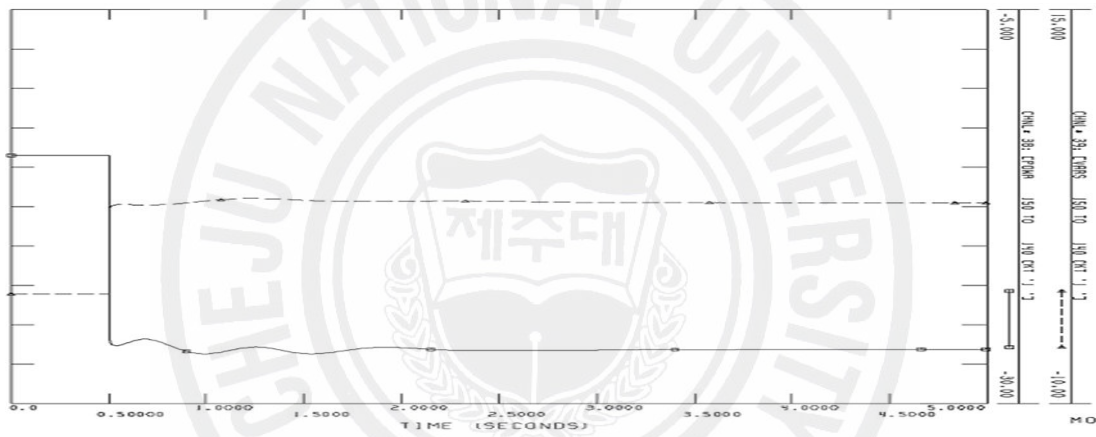


Fig. 5 Active power & reactive power of Hanju transmission line

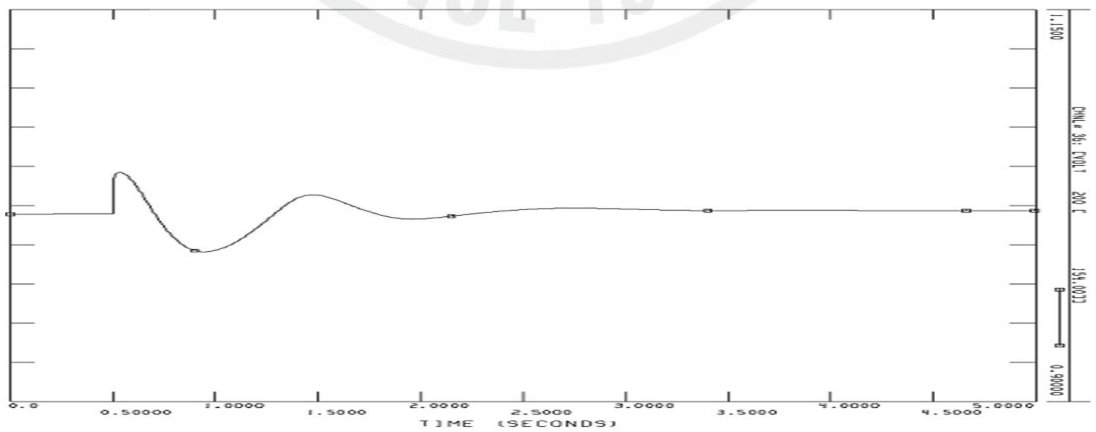


Fig. 6 154kV bus voltage of Sungsan substation

(2) 최대부하 567MW

2007년 예상되는 최대 부하풍력발전용량 56.7MW를 성산변전소에 36.7MW와 한림변전소에 20MW를 연계하여 HVDC를 2회선, 1회선 그리고 HVDC가 없는 경우 각각에 대해 풍력설비를 100%, 70%, 50%로 운전하면서 조류계산 및 풍력발전 탈락에 대해 분석하였다.

조류계산결과 154kV 모선전압들이 대부분 낮게 나타나므로 변전소에 연결된 SC(Static Condenser)를 투입하여 무효전력을 공급한 결과 과부하나 전압범위를 벗어나지 않았으며 HVDC 2회선 운전중 풍력설비 100%와 70%운전중의 조류계산 결과를 Table 9, 10에 나타내었다.

Table 9 Power flow(2007, load 567MW, HVDC bipole, wind power 100%)

Section		Branch		Bus (154kV)	
From	To	P(MW)	Q(MVAR)	V(kV)	V(P.U)
Jeju TP	-	-	-	159.13	1.0333
Dongjeju S/S	-	-	-	159.01	1.0326
Sinjeju S/S	-	-	-	158.75	1.0308
Hallim S/S	Sinjeju S/S	25.0	8.4	159.44	1.0354
	Anduk S/S	-20.3	-2.9		
Anduk S/S	-	-	-	159.85	1.0380
Namjeju TP	-	-	-	159.99	1.0389
Sinseogwi S/S	-	-	-	158.93	1.0320
Halla S/S	-	-	-	159.19	1.0337
Sungsan S/S	Halla S/S	-5.9	-7.3	159.38	1.0349
	Jocheon S/S	-8.1	-6.9		
Sanji S/S	-	-	-	158.98	1.0323
Jocheon S/S	-	-	-	158.84	1.0314

두 변전소에 연계된 풍력단지 두 곳을 탈락시켰을때의 계통주파수는 부하차단이 동작하는 59.2Hz 이상임을 알 수 있으며 Table 11에 나타내었다.

Table 10 Power flow(2007, load 567MW, HVDC bipole, wind power 70%)

Section		Branch		Bus(154kV)	
From	To	P(MW)	Q(MVAR)	V(kV)	V(P.U)
Jeju TP	-	-	-	157.49	1.0227
Dongjeju S/S	-	-	-	158.79	1.0311
Sinjeju S/S	-	-	-	158.73	1.0307
Hallim S/S	Sinjeju S/S	21.3	8.6	157.59	1.0233
	Anduk S/S	-23.1	-2.9		
Anduk S/S	-	-	-	158.0	1.0260
Namjeju TP	-	-	-	158.26	1.0277
Sinseogwi S/S	-	-	-	157.49	1.0027
Halla S/S	-	-	-	157.15	1.0205
Sungsan S/S	Halla S/S	-8.9	-7.0	157.54	1.0230
	Jocheon S/S	-15.9	-6.1		
Sanji S/S	-	-	-	157.08	1.0200
Jocheon S/S	-	-	-	157.35	1.0217

Table 11 Frequency fluctuation(2007, load 567MW)

HVDC	Bipole			Monopole			Stop		
	100%	70%	50%	100%	70%	50%	100%	70%	50%
Occupation of wind power generation									
Frequency (Hz)	59.8	59.89	59.93	59.82	59.82	59.9	59.55	59.7	59.78

2) 2008년 풍력설비 76.7MW 연계시 운전특성

(1) 최소부하 313MW

성산변전소에 56.7MW와 한림변전소에 20MW의 풍력발전을 연계하여 HVDC를 2회선, 1회선 그리고 HVDC가 없는경우 각각에 대해 풍력설비를 100%, 70%, 50%로 운전하면서 조류계산을 수행한 결과 과부하나 전압범위를 초과한 모션이 없는 것으로 나타났으며 HVDC 2회선 운전중 풍력설비 100% 운전중의 조류계산결과를 Table 12에 나타내었다.

Table 12 Power flow(2008, load 313MW, HVDC bipole, wind power 100%)

Section		Branch		Bus (154kV)	
From	To	P(MW)	Q(MVAR)	V(kV)	V(P.U)
Jeju TP	-	-	-	157.97	1.0258
Dongjeju S/S	-	-	-	157.94	1.0256
Sinjeju S/S	-	-	-	157.39	1.0220
Hallim S/S	Sinjeju S/S	-13.3	-2.9	156.98	1.0193
	Anduk S/S	-10.1	-8.8		
Anduk S/S	-	-	-	157.56	1.0231
Namjeju TP	-	-	-	157.61	1.0234
Sinseogwi S/S	-	-	-	157.19	1.0207
Halla S/S	-	-	-	157.30	1.0215
Sungsan S/S	Halla S/S	10.6	-7.7	156.82	1.0183
	Jocheon S/S	3.8	-6.8		
Sanji S/S	-	-	-	157.95	1.0257
Jocheon S/S	-	-	-	157.13	1.0203

그리고 풍력발전단지를 동시에 탈락 시켰을때의 계통주파수는 연계선 정지중 풍력설비 100%운전일때를 제외하고는 계통주파수가 59.2Hz 이상으로 이상이 없었으며 Table 13에 나타내었다.

연계선 정지중 풍력설비 100%운전중 풍력을 탈락시켰을 때 59.14Hz로 떨어져 부하차단 1단계가 동작하여 주파수가 회복하며 한림변전소에 연결된 풍력단지(20MW)를 먼저 탈락시키고 2초 후에 성산변전소에 연결된 풍력단지(56.7MW)를 탈락시키면 주파수는 59.18Hz로 떨어져 동시 탈락과 마찬가지로 부하차단 1단계가 동작하여 주파수 회복을 한다.

그러나 성산변전소의 풍력을 먼저 탈락시키고 2초후 한림변전소의 풍력을 탈락시키면 주파수는 59.23Hz로 떨어져 부하차단 없이 주파수가 회복한다.

Table 13 Frequency fluctuation(2008, load 313MW)

HVDC	Bipole			Monopole			Stop		
	100%	70%	50%	100%	70%	50%	100%	70%	50%
Occupation of wind power generation									
Frequency (Hz)	59.71	59.8	59.85	59.67	59.75	59.89	59.14	59.41	59.62

(2) 최대부하 597MW

2008년도 제주지역 발전기들의 공급능력은 HVDC를 제외하고 580MW 정도 이므로 597MW의 최대 부하에 연계선 정지시 풍력발전에 대한 예비력이 전혀 없어 분석이 불가하여 제외한다.

풍력발전용량 76.7MW를 성산변전소에 56.7MW와 한림변전소에 20MW를 연계하여 HVDC를 2회선, 1회선운전 각각에 대해 풍력설비를 100%, 70%, 50%로 운전하면서 조류계산을 수행한 결과 154kV 모선전압들이 대부분 낮게 나타나므로 변전소에 연결된 SC를 투입하여 무효전력을 공급한 결과 과부하나 전압 범위를 벗어나지 않았으며 HVDC 2회선 운전중 풍력설비 100%와 70% 운전중의 조류계산 결과를 Table 14, 15에 나타내었다.

Table 14 Power flow(2008, load 597MW, HVDC bipole, wind power 100%)

Section		Branch		BUS(154kV)	
From	To	P(MW)	Q(MVAR)	V(kV)	V(P.U)
Jeju TP	-	-	-	158.30	1.0279
Dongjeju S/S	-	-	-	158.14	1.0269
Sinjeju S/S	-	-	-	157.76	1.0244
Hallim S/S	Sinjeju S/S	31.1	11.2	159.05	1.0328
	Anduk S/S	-6.5	2.8		
Anduk S/S	-	-	-	159.09	1.0331
Namjeju TP	-	-	-	159.28	1.0343
Sinseogwi S/S	-	-	-	157.75	1.0243
Halla S/S	-	-	-	158.01	1.0261
Sungsan S/S	Halla S/S	2.9	-7.7	158.49	1.0292
	Jocheon S/S	4.7	-9.0		
Sanji S/S	-	-	-	158.10	1.0266
Jocheon S/S	-	-	-	157.86	1.0251

Table 15 Power flow(2008, load 597MW, HVDC bipole, wind power 70%)

Section		Branch		BUS(154kV)	
From	To	P(MW)	Q(MVAR)	V(kV)	V(P.U)
Jeju TP	-	-	-	158.20	1.0273
Dongjeju S/S	-	-	-	158.02	1.0261
Sinjeju S/S	-	-	-	157.72	1.0241
Hallim S/S	Sinjeju S/S	17.5	8.4	158.54	1.0295
	Anduk S/S	-18.8	-1.4		
Anduk S/S	-	-	-	158.88	1.0317
Namjeju TP	-	-	-	159.09	1.0330
Sinseogwi S/S	-	-	-	157.55	1.0231
Halla S/S	-	-	-	157.82	1.0248
Sungsan S/S	Halla S/S	-0.2	-6.5	158.23	1.0275
	Jocheon S/S	-8.3	-7.1		
Sanji S/S	-	-	-	157.98	1.0258
Jocheon S/S	-	-	-	157.70	1.0240

그리고 풍력발전단지를 동시에 탈락시켰을 때 HVDC에서 탈락한 용량만큼을 흡수하므로 계통주파수는 부하차단 동작없이 안정하게 회복하며 그 내용을 Table 16에 나타내었다.

Table 16 Frequency fluctuation(2008, Load 597MW)

HVDC	Bipole			Monopole		
	100%	70%	50%	100%	70%	50%
Occupation of wind power generation	100%	70%	50%	100%	70%	50%
Frequency (Hz)	59.79	59.86	59.89	59.74	59.82	59.85

3) 2009년 풍력설비 110.7MW 연계시 운전특성

2009년도까지 풍력의 예상증가량은 110.7MW이며 성산변전소에 56.7MW, 한림변전소에 50MW, 조천변전소에 4MW를 연계하여 분석하였다.

(1) 최소부하 328MW

앞의 1), 2)와 같은 방식으로 조류계산한 결과 과부하 및 154kV 모선전압이

범위를 벗어나지 않음을 알 수 있었다.

풍력발전단지를 탈락시켰을때의 계통주파수를 Table 17에 나타내었으며 연계선 정지중 풍력설비 100%운전인 경우 세 곳의 풍력단지를 탈락시켰 경우에는 계통의 발전여유력이 부족하여 부하차단이 동작이 일어나지만 한 곳만을 탈락시켰을때는 발전기들이 탈락한 용량만큼 흡수하므로 부하차단이 동작하지 않았으며 두 곳씩 탈락되었을경우 주파수는 59.26까지 저하하다 회복하므로 부하차단이 동작하지 않았다. 70%운전인 경우 세 곳을 탈락시키면 부하차단이 일어나지만 성산과 한림변전소의 풍력단지를 2초 간격을 두고 탈락시키면 주파수는 59.22Hz까지 저하하다 회복하므로 부하차단이 일어나지 않는다.

Table 17 Frequency fluctuation(2009, load 328MW)

HVDC	Bipole			Monopole			Stop		
	100%	70%	50%	100%	70%	50%	100%	70%	50%
Occupation of wind power generation									
Frequency (Hz)	59.46	59.55	59.7	59.6	59.66	59.78	58.45	58.78	59.43

(2) 최대부하 625MW

2009년도 제주지역 발전기들의 공급능력은 HVDC를 제외하고 620MW 정도이므로 625MW 의 최대 부하에 연계선 정지시 풍력발전에 대한 예비력이 전혀 없어 분석이 불가하여 제외한다

앞의 1), 2)와 같은 방식으로 조류계산한 결과 154kV 모선전압이 대체로 낮게 나타나 변전소의 SC를 투입하여 무효전력을 공급하므로 범위를 벗어나지 않는다.

그리고 풍력발전단지 세 곳을 탈락 시킬경우 HVDC에서 변화량을 대부분 흡수하므로 주파수 문제는 발생하지 않는다.

4) 20010년 풍력설비 146.7MW 연계시 운전특성

2010년도 풍력의 예상 증가량은 146.7MW이며 성산 변전소에 56.7MW, 한림 변전소에 50MW가 조천 변전소에 40MW를 연계하여 분석하였다.

(1) 최소부하 343MW

앞의 1), 2)와 같은 방식으로 조류계산한 결과 과부하 및 154kV 모선전압이 범위를 벗어나지 않았다.

HVDC 2회선 운영에 풍력설비 100%운전중 풍력발전단지 세 곳을 탈락시켰을 때 계통주파수는 59.1Hz로 떨어져 부하차단 1단계가 동작하여 회복하지만 두 단지만 탈락되었을 때 HVDC에서 변화량을 흡수하여 주파수의 문제는 발생하지 않았다.

그리고 HVDC 1회선 운영에 풍력설비 100%운전중 풍력발전단지 세 곳을 탈락시키면 부하차단이 동작하지만 두 단지만 탈락되었을경우는 HVDC에서 변동분을 흡수하므로 주파수가 59.65Hz까지 저하하다 회복한다.

연계선 정지로 풍력설비 100%로 운전하는 경우에는 한 곳의 풍력단지만이 탈락되었을 때 부하차단이 일어나지 않았고, 70%로 운전하는 경우는 두 곳의 풍력단지가 탈락된 경우에 주파수가 59.21Hz로 부하차단이 동작하지 않았다.

(2) 최대부하 654MW

2010년도 제주지역 발전기들의 공급능력은 HVDC를 제외하고 620MW 정도이므로 625MW 의 최대 부하에 연계선 정지시 풍력발전에 대한 예비력이 전혀 없어 분석이 불가하여 제외한다

앞의 1), 2)와 같은 방식으로 조류계산한 결과 154kV 모선전압이 대체로 낮게 나타나 변전소의 SC를 투입하여 무효전력을 공급하므로 범위를 벗어나지 않았다.

그리고 풍력발전단지 세 곳을 탈락시킬경우 HVDC에서 변화량을 대부분 흡수하므로 주파수 문제는 발생하지 않았고 그 때의 주파수를 Table 18에 나타내었다.

Table 18 Frequency fluctuation(2009, load 654MW)

HVDC	Bipole			Monopole		
	100%	70%	50%	100%	70%	50%
Occupation of wind power generation						
Frequency (Hz)	59.51	59.70	59.80	59.62	59.75	59.82

4. 상정사고해석을 통한 전압안정성 해석

풍력발전이 연계된 제주 계통의 상정고장시의 무효전력 수급이나 전압안정성 문제를 분석하기 위하여 2007년부터 2010년까지 각 년도별 최대 및 최소 부하에 대하여 남제주기력 발전기를 상시 투입 발전기로 선택하여 해석 계통을 구성하였다. 구성된 계통에 대해 HVDC선로 2회선 정상운전과 연계선 정지중의 두 경우에 대하여 다음과 같은 상정사고를 모의하였다.

- 제주에서 동제주 변전소간 송전선로의 1회선 및 2회선 탈락
- 제주에서 한라 변전소간의 송전선로 탈락
- 제주에서 조천 변전소간의 송전선로 탈락
- 제주에서 한라 변전소간의 송전선로와 제주에서 조천 변전소간 송전선로의 2회선 탈락
- HVDC 2회선 정상운전 시 2회선 탈락

위의 각 상정사고에 대해 계통주파수, 154kV 모선전압 그리고 선로의 과부하 등을 모의 분석하였다.

1) HVDC 2회선 정상 운전 중 HVDC 탈락

2007년부터 2010년까지 예상되는 최대, 최소부하에 대해 각 년도별 예상되어지는 풍력발전증가량을 고려하여 계통에 연계하고 HVDC가 150MW 로 운전하던 중 HVDC 2회선이 탈락하는 사고를 모의하였다.

해석 결과 2007년부터 2010년 까지 모든 경우에 대해 최저부하 시 2회선 150MW 용량의 탈락에 대응할 수 있는 제주도내 발전기 여력이 부족하여 계통

주파수가 58.1~58.2Hz 정도로 하락하였으며 UFR 부하차단 4단계가 동작한 후 주파수가 회복하였다. 또한 선로의 과부하 문제는 발생하지 않았지만 변전소의 154kV 모선전압들은 잠시 동요하다 이전 전압보다 높은 161~163kV 정도로 나타나고 있다.

최대부하의 경우에도 2회선 150MW 용량의 탈락에 대응할 수 있는 제주도내 발전기 여력이 부족하여 계통주파수가 58.8~58.8Hz 정도로 저하되다가 UFR 부하차단 2단계가 동작한 후 주파수가 회복되었으며 각 변전소의 154kV 모선전압들은 잠시 동요하다 이전 전압보다 약간 높은 160~161kV 정도로 나타나고 있다.

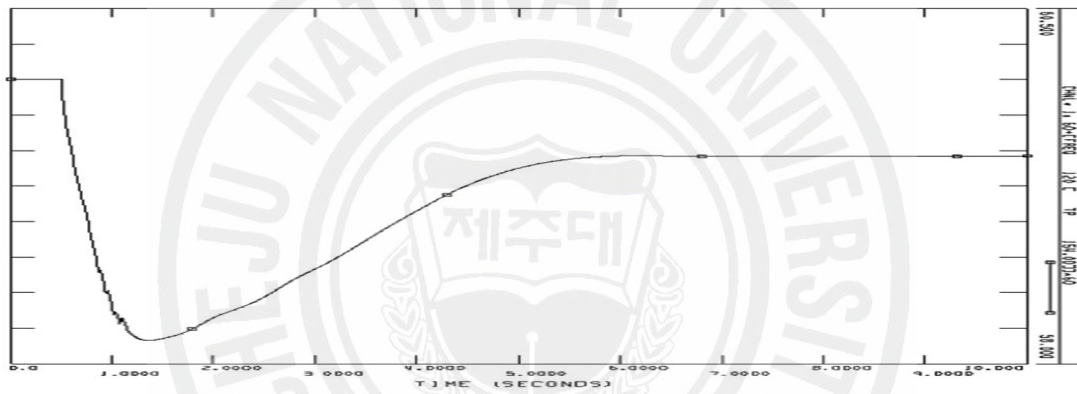


Fig. 7 System Frequency (58.17Hz)

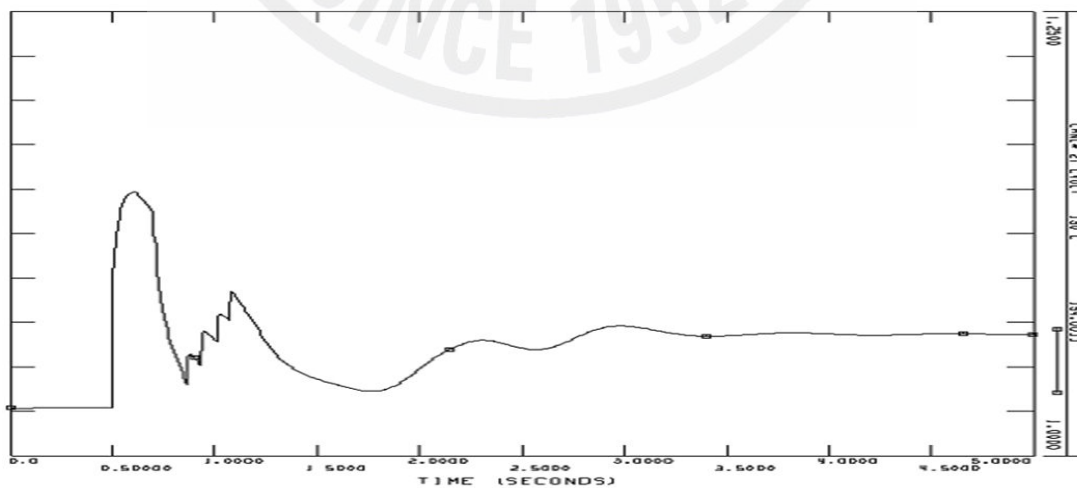


Fig. 8 154kV bus voltage of Dongjeju substation

2) 제주에서 동제주 변전소간의 송전선로 1회선 및 2회선 탈락

제주와 동제주 변전소간의 송전선로는 가공선로 2회선과 지중선로 2회선이 설치 운영되고 있으므로 송전선로의 1회선 및 2회선의 탈락사고에 대한 모의결과는 선로 1회선이나 2회선 탈락 시 나머지 다른 선로에서 흡수하므로 특별한 문제가 발생하지 않았다.

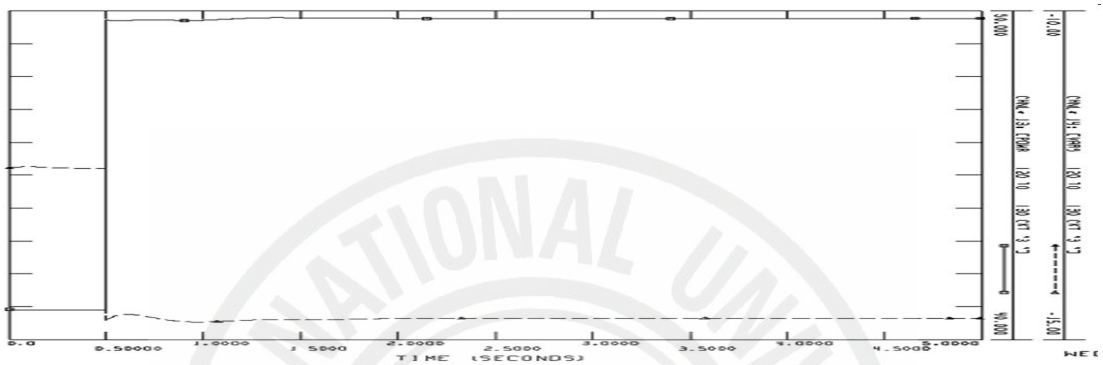


Fig. 9 Active power & reactive power of Jeju transmission line

3) 제주에서 한라 변전소간의 송전선로 탈락

제주에서 한라 변전소간의 송전선로 탈락의 경우에는 한라변전소의 부하가 그다지 크지 않으며 한라변전소와 연결된 안덕, 신서귀변전소는 남제주발전소와 한림발전소가 근접하게 연결되어 있고 성산변전소는 제주에서 조천변전소를 거치는 선로로 연결되어 있으므로 제주에서 한라변전소간의 송전선로 조류는 그다지 크지 않다. 송전선로 탈락의 경우에는 전압이나 과부하 문제는 발생하지 않았다.

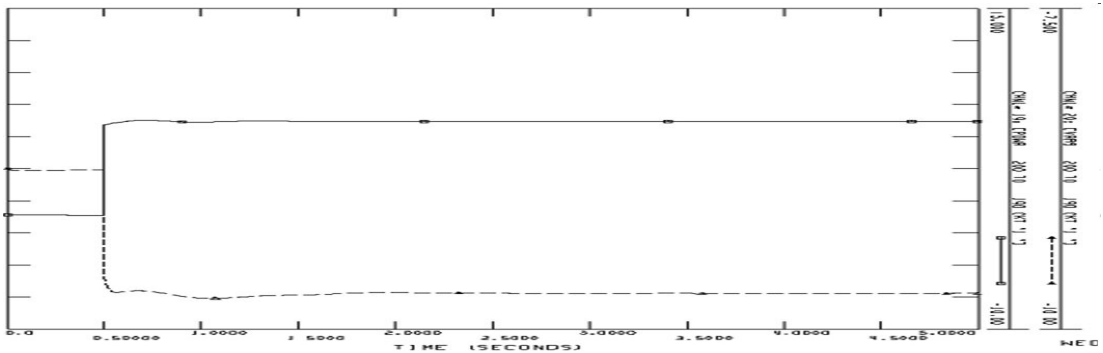


Fig. 10 Active power & reactive power of Hansung transmission line

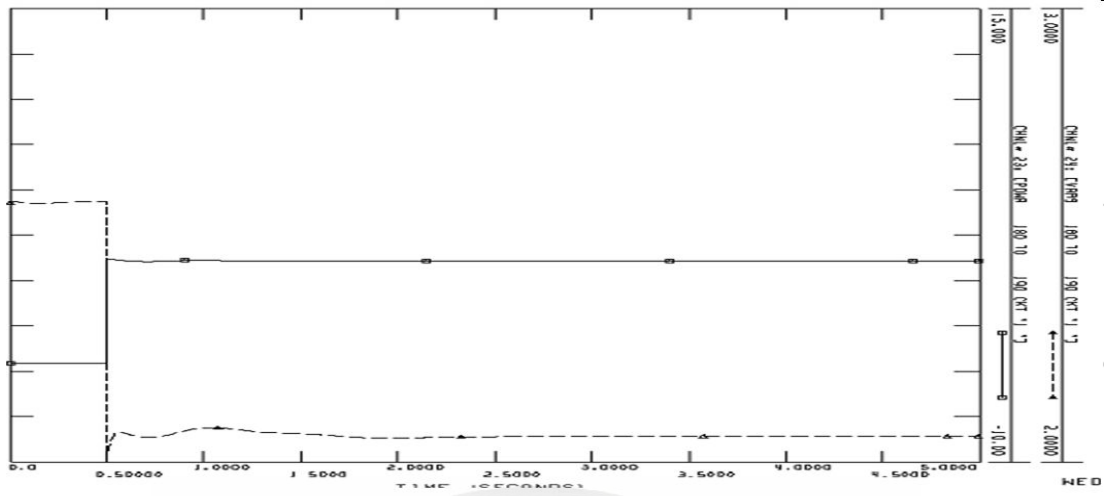


Fig. 11 Active power & reactive power of Namwon transmission line

4) 제주에서 조천변전소간의 송전선로 탈락

풍력발전이 연계된 2007년부터 2010년까지의 최대, 최소부하에 HVDC 2회선 운전, 그리고 HVDC가 정지 중인 경우에 대하여 제주에서 조천변전소간의 송전선로 탈락 사고에 대하여 모의하였다.

HVDC 2회선 정상운전의 모의 결과 각 년도별 최대, 최소부하에서 사고 발생 후 조천과 성산변전소의 154kV 모선전압이 낮아지게 되며 각 변전소에 설치된 무효전력 보상기인 SC를 투입한 결과 전압이 유지범위 안으로 회복하게 된다.

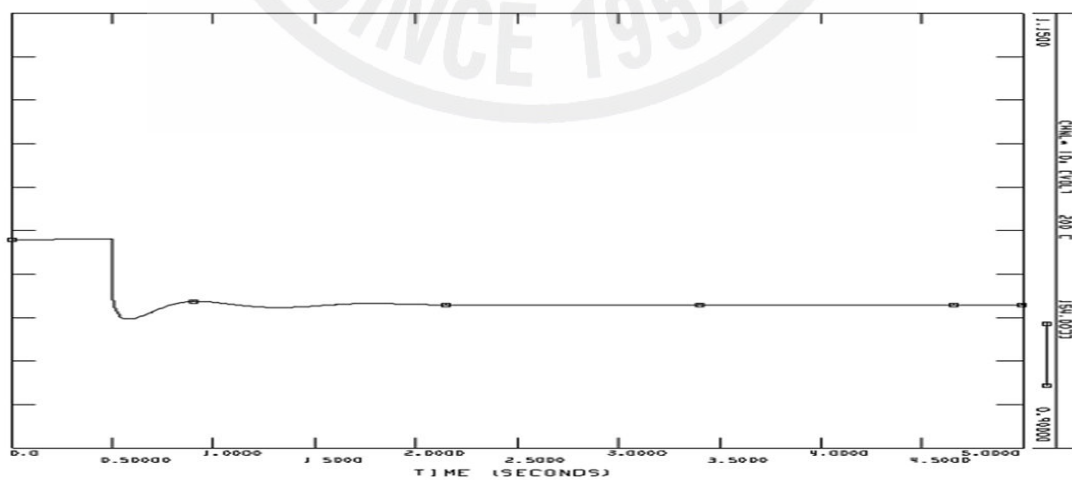


Fig. 12 154kV bus voltage of Sungsan S/S (SC off)

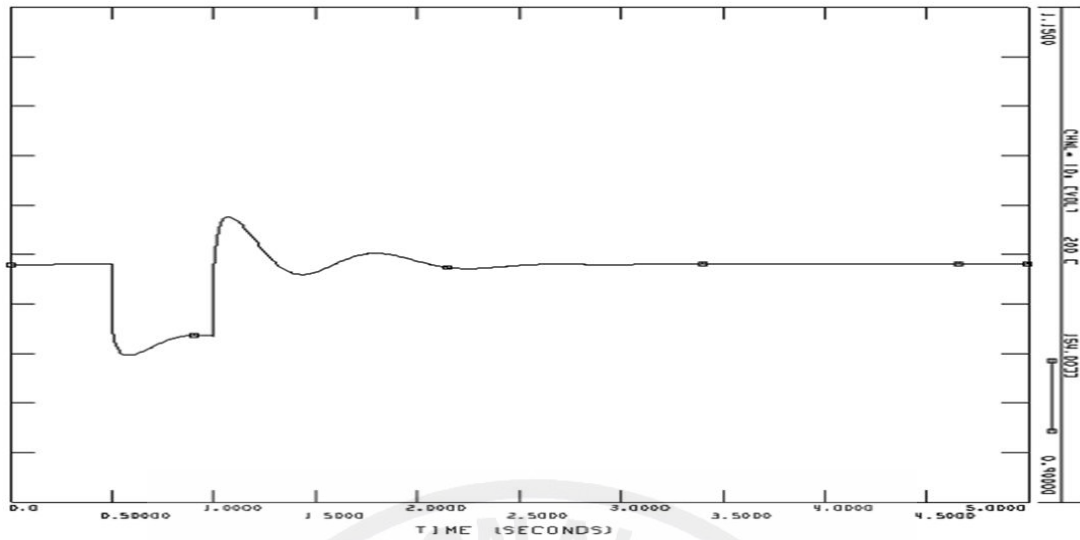


Fig. 13 154kV bus voltage of Sungsan S/S (SC on)

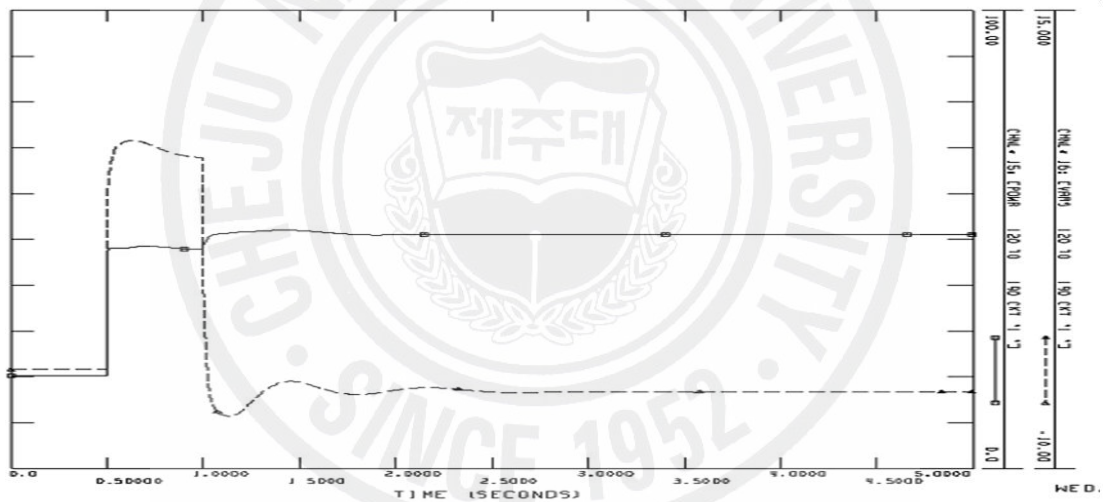


Fig. 14 Active power & reactive power of Hansung transmission line

그러나 2009년과 2010년 최대부하의 경우 선로탈락 후 모선 전압이 스윙을 계속하다가 안정은 하지만 조천과 성산변전의 모선전압이 낮아진다. 정상운전 시에 SC들이 모두 투입되었으므로 새로이 조천변전소에 10MVAR의 SC를 투입한 결과 전압이 유지범위 안에서 안정하게 되었다.

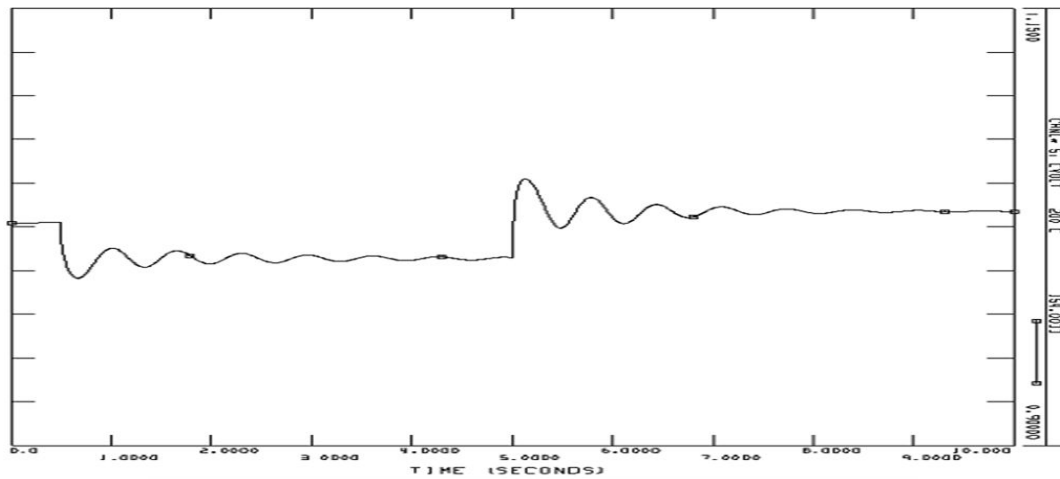


Fig. 15 154kV bus voltage of Jocheon S/S (SC on)

2010년 풍력설비 146.7MW 가 연계되고 최소부하의 경우 HVDC 수전량을 150MW로 하여 운영하다 제주에서 조천간의 송전선로를 탈락시켰을 때 모선전압이 안정되지 않고 불안정하게 스윙을 계속하였으며 HVDC 수전량을 50MW로 줄이고 남제주기력 발전기 2기를 투입하여 선로를 탈락시킨 결과 스윙을 하다가 안정이 되지만 성산과 조천변전소의 전압이 낮아지므로 성산변전소의 SC 10MVAR를 투입한 결과 전압이 유지범위 안에서 안정하게 된다.

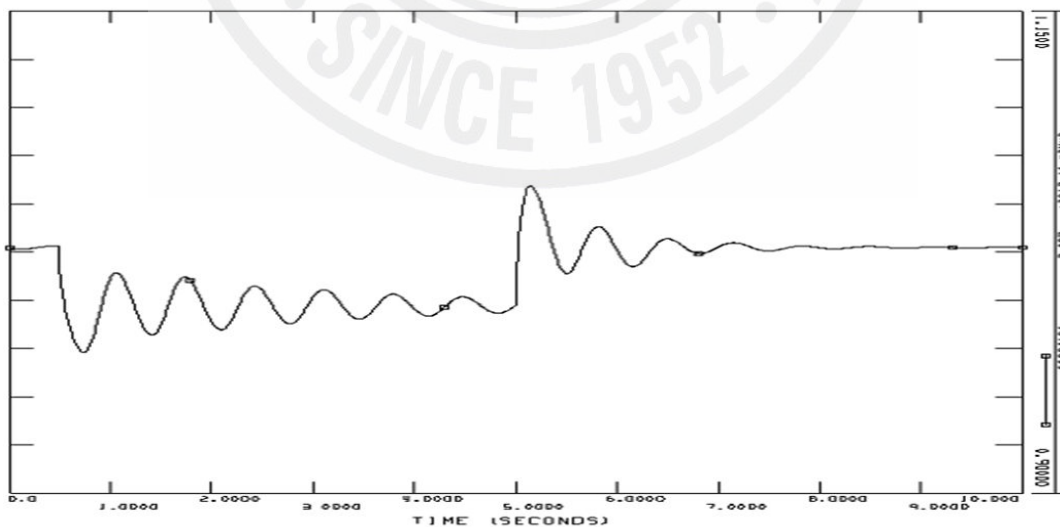


Fig. 16 154kV bus voltage of Sungsan S/S (SC on)

HVDC가 정지 중일 경우 계통운영시에는 부하나 풍력발전의 변동에 신속하게 대응할 수 있는 전원이 없기 때문에 제주지역의 발전여유력을 높이기 위하여 속응성이 좋은 한림복합화력발전기들을 우선순위로 선정하고 다른 발전기들은 최소발전으로 운전하도록 하여 모의하였다.

모의 결과는 HVDC 정상운전과 유사하였으며 각 년도별 최대, 최소부하에서 선로 탈락 후 조천과 성산변전소의 154kV 모션전압이 낮아져서 각 변전소에 설치된 무효전력 보상기인 SC를 투입한 결과 전압이 유지범위 안으로 회복하게 되었다.

5) 제주에서 한라변전소간의 송전선로와 제주에서 조천변전소간 송전선로의 2회선 탈락

2007년부터 2010년까지의 최대, 최소부하에 대해 HVDC 2회선 운전과 HVDC가 정지 중인 경우에 대하여 제주에서 한라변전소간의 송전선로와 제주에서 조천변전소간 송전선로의 2회선 탈락 사고에 대하여 모의하였다.

모의 결과 위 사례의 제주에서 조천변전소간 송전선로 탈락의 경우와 유사하였으며 HVDC 2회선 정상운전인 경우와 HVDC 정지 중인 경우 모두 각 년도별 최대, 최소부하에서 사고 발생 후 조천과 성산변전소의 154kV 모션전압이 낮아지게 되며 각 변전소에 설치된 무효전력 보상기인 SC를 투입한 결과 전압이 유지범위 안으로 회복하게 된다.

2009년과 2010년 최대부하의 경우 선로 탈락 후 모션 전압이 스윙을 계속하다가 안정은 하지만 조천과 성산변전의 모션전압이 낮아진다. 정상운전 시에 SC들이 모두 투입되었으므로 새로이 조천변전소에 10MVAR의 SC를 투입한 결과 전압이 유지범위 안에서 안정하게 되었다.

풍력발전이 연계된 제주계통에 대하여 송전선로 탈락의 상정사고를 통해 주파수와 과부하 여부, 전압안정성에 관하여 모의한 결과는 다음과 같다.

- HVDC가 2회선으로 정상운전 되다가 2회선 모두 탈락되는 경우 투입되는 발전기가 달라져 최대부하인 경우에는 UFR 부하차단 2단계 동작, 최소부하인 경우에는 UFR 부하차단 4단계가 동작하게 된다.

- 제주에서 동제주 변전소간의 송전선로 탈락은 가공과 지중 2회선으로 구성 되어 있어 계통에의 영향은 거의 없는 것으로 해석된다.
- 풍력발전단지가 증가할 것으로 예상되는 성산과 조천 변전소 인근의 송전선로 탈락은 모선전압에 영향을 미치게 되므로 조천변전소에 무효전력 보상기인 SC(Static Condenser)를 설치할 필요가 있다.
- 경부하시에 풍력발전량이 커지는 경우 남제주발전소 기력 #3, 4 호기의 상시 투입여부를 고려해야 한다.
- 상정사고 모의는 풍력발전의 특정 출력에 대해 해석한 것으로 부하나 풍력발전 출력변동 등을 고려하여 연계선 수전량과 투입 발전기의 조합을 신중하게 검토하여야 할 것이다.



Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 풍력발전의 최적지인 제주지역에 지속적으로 풍력발전단지가 건설될 것으로 예상되므로 2007년부터 2010년까지 증가할 것으로 예상되는 풍력발전단지들이 계통에 연계되었을 때 풍력발전의 점유대별운영특성을 분석과 상정사고 해석을 통해 풍력발전이 증가함에 따른 제주 전력계통의 영향을 해석하였고 그 결론은 다음과 같다.

정상적인 운전의 경우 150MW, 비상 시 300MW 까지 실시간으로 전력공급조정이 가능한 HVDC가 정상적으로 운전되는 경우 풍속의 변화에 따라 많이 변화하는 풍력발전설비의 출력변동이나 계통사고에 의한 발전기 탈락에 따른 출력변동은 HVDC 여유용량 안에서는 충분히 수용될 수 있다.

HVDC 고장 또는 예방정비를 위하여 운휴중인 기간에는 갑작스런 계통사고에 신속히 대응할 수 있도록 속응성이 좋은 제주내연 #1호기, 한림복합화력, 제주 가스터빈 등을 운전 예비력 또는 대기 예비력으로 우선 운영하여야 할 필요가 있다.

풍력발전설비 용량이 증가할 경우 풍력발전단지가 동시에 모두 탈락하게 되면 제주 계통에 부하차단이 발생할 우려가 있으므로 태풍이나 낙뢰 등 탈락 가능성이 있는 경우 풍력발전단지별로 적당한 시차를 두어야 한다.

풍력발전단지가 계속해서 증가할 것 예상되는 성산과 조천 변전소 인근의 송전선로 탈락은 모선전압에 영향을 미치게 되므로 조천변전소에 무효전력 보상기를 설치하여 모선전압을 보상할 필요가 있다.

HVDC가 정상 운전 중이지만 풍력발전설비의 출력이 HVDC 여유용량을 초과할 경우에는 제주지역 발전기를 투입시켜 운전예비력을 증대시키거나 풍력발전단지가 동시에 탈락되지 않도록 대책을 세워야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Wind Force 12, European Wind Energy Association, Greenpeace, BTM Consult Aps. 2004
- [2] 한국전력거래소, “신재생에너지 전원접속에 따른 계통영향분석 및 운영방안 연구 “ 2006
- [3] 대한전기학회, 전기의 세계 2003
- [4] Gillian Lalor, Alan Mullane, Mark O'Malley, "Frequency Control and Wind Turbine Technologies", IEEE Transaction On Power System, Vol. 20, No. 4, pp 1905~1913 2005,
- [5] Gillian Lalor, Julia Ritchie, Shane Rourke, Damian Flynn and Mark J. O' Malley, "Dynamic Frequency Control with Increasing Wind Generation"
- [6] Johan Morrn, Sjoerd W.H. de Haan, Wil L. Kling and J.A.Ferreira, Fellow, "Wind Turbines Emulating Emulating Inertia and Supporting Primary Frequency Control", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.21, No.1, pp 433~434 2006
- [7] 한국전력거래소, “교직연계계통의 안정운용을 위한 협조제어 및 보호기술 향상 연구” 2002
- [8] 한전전력연구원, “3/5세대 HVDC 제어기 개발 연구보고서” pp 113~123 2004,

감사의 글

대학원 생활이 그리 길지 않다던 선배들의 말을 실감하지 않았었는데 2년이라는 시간을 보낸 지금에서는 그 말들이 몸으로 느낄 수 있을 정도로 머릿속을 맴도는 것 같습니다. 지나버린 시간이 아직도 배움이 부족한 저에게는 너무나 짧게만 느껴지지만 앞으로 사회로 나아가 생활하게될 저에게는 대학원에서 배웠던 지식과 경험들이 인생의 소중한 밑바탕이 될 것이라고 믿고 있으며 이러한 기회를 놓치지 않고 경험할 수 있게 해준 주위의 모든 이들에게 진심으로 감사드립니다.

그동안 부족한 학생을 성심껏 지도해 주시고 항상 따뜻한 격려와 많은 가르침을 주신 김세호 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 대학원 생활동안 항상 옆에서 지켜보시며 열심히 하라는 충고와 조언, 그리고 격려를 아끼지 않으신 좌중근 교수님, 오성보 교수님, 이개명 교수님, 김일환 교수님, 김호찬 교수님 다시한번 감사드립니다. 그리고 어려운 가운데서도 많은 관심과 조언을 해주신 전력거래소의 김영환 과장님, 장시호 과장님 감사드립니다.

함께 2년동안 연구실에서 함께 고생하면서 지내온 재현이형, 연구실 선배로서 항상 도움을 청하면 거절하지 않는 경운이형, 익준이형에게 고마운 마음을 전합니다. 그리고 항상 옆 연구실에서 바쁜 박사과정 가운데서도 부탁하면 한걸음에 달려와 도움을 주신 창진이형 고맙습니다. 또 대학원 생활에서 많은 부분을 챙겨준 문태경, 이상민, 문원실, 조교선생님 그리고 같은 동기로 큰 힘이 되어준 백훈이와 정보게도 고마움을 전합니다.

끝으로 항상 뒤에서 격려와 헌신적인 사랑으로 지켜봐 주신 부모님과 사랑하는 동생에게 깊은 감사를 드리며, 저의 오늘이 있기까지 많은 도움을 주신 주변의 모든 이들에게 감사의 마음과 함께 이 논문을 드립니다.

대학원 과정이 배움의 끝이 아니라 앞으로 나아가기 위한 바탕이라 생각하며 앞으로도 더 높은 곳으로 비상할 수 있는 사람이 되도록 항상 노력하겠습니다.

2006년 12월
고성민 배상