

碩士學位論文

풍력설비의 제주 전력계통운영에
미치는 영향에 관한 연구



濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

電氣工學 專攻

金 永 煥

2006年 6月

碩士學位論文

풍력설비의 제주 전력계통 운영에
미치는 영향에 관한 연구



濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

金 永 煥

2006年 6月

풍력설비의 제주 전력계통 운영에 미치는 영향에 관한 연구

指導教授 金世鎬

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2006年 6月 26日



濟州大學校 産業大學院

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

電子電氣工學科 電氣工學 專攻

金永煥

金永煥의 工學碩士學位 論文을 認准함

2006年 6月 26日

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

A Study on Influence of Power System Operation
by Jeju Wind Power

Yeong-Hwan Kim

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



제주대학교 중앙도서관

DEPARTMENT OF ELECTRONIC AND ELECTRICAL
ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2006. 6.

목 차

LIST OF FIGURES	i
LIST OF TABLES	ii
SUMMARY	iii
I. 서 론	1
II. 전력계통 및 풍력설비 현황	3
III. 풍력발전 특성별 평가	10
IV. 전력계통 운영에 미치는 영향	17
V. 결 론	29
참고문헌	31



LIST OF FIGURES

Fig. 1	Wind map of Jeju	7
Fig. 2	Utilization coefficient of wind power	8
Fig. 3	Interrelation of wind speed, power output and energy	10
Fig. 4	Monthly wind power output	13
Fig. 5	Proportion of wind power occupation in Jeju	17
Fig. 6	Wind power output proportion forecasting(2008)	18
Fig. 7	Average hourly wind energy production during 2004 in California	21
Fig. 8	Seasonal patterns of wind generation	22
Fig. 9	Frequency of relative production changes related to installed capacities in Jeju	24
Fig. 10	Frequency of relative production changes related to installed capacities for the western part of Denmark	25

LIST OF TABLES

Table 1	Present condition of generation utility in Jeju	5
Table 2	A status and plan of wind turbine	6
Table 3	Monthly wind power output average	12
Table 4	Monthly curtailment cost by wind power plant	14
Table 5	Reductions in emissions from fossil-fired generators	16
Table 6	Wind power output proportion forecasting	19
Table 7	Worst case proportion of wind power output in 2008	27

A Study on Influence of Power System Operation by Jeju Wind Power

Yeong-Hwan Kim

Department Of Electronic And Electrical Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University

Supervised by professor Se-Ho Kim



Construction of wind power plant is increasing rapidly since Jeju is known as the most suitable place regarding wind power plant in Korea. But implementing wind generators inevitably introduce new challenges due to its intermittent nature. These characteristics of wind generation increase uncertainty in relatively small power system operation.

This paper presents study on the characteristics of Jeju wind farms in last two years and influence of Jeju power system operations.

Also it shows the charge proportion of wind generation in Jeju electricity demands, economic effect of energy displacement, effect of emission reductions.

Effective capacity is a measure of a generator ability to deliver power when the grid needs it. It is estimated that the effective capacity of Jeju wind generation as wind power average output in summer peak period and considered operational reserve would be required in response variability of wind power in that time.

Jeju wind power fluctuations are larger than the world average. It is observed that only 41% of the term wind power output doesn't vary compare to world average of 50%, and over 20% of fluctuation changes are 1.3%, compare to world average of 0.1%.

Finally this paper presents the opinions of safe operating on Jeju electric power system with high wind power penetration in the near future.

I. 서론

국제유가가 배럴당 100달러를 넘을 수 있다는 골드만삭스의 2006년 전망, 기후변화협약 도쿄의정서 발효, 이산화탄소 배출권거래제 도입 등과 더불어 풍력 발전은 새로운 에너지원으로 급부상하고 있다.

신 에너지 및 재생에너지 분야에서 가장 실용가능성이 높은 풍력발전은 대용량화와 관련기술의 발전으로 실용화단계를 넘어서 전통적인 에너지원과의 경쟁력을 갖출 것으로 전망되고 있으며, 네덜란드, 독일 등 풍력 선진국을 중심으로 전 세계 풍력발전 보급률이 매년 큰 폭으로 증가되고 있다[1].

풍력설비는 경제성 증진, 환경적 이익, 경쟁연료 단가의 상승 등 여러 가지 이점에도 불구하고, 전력수요의 변화에 따라 발전기 출력조정이 어렵고 바람의 세기 변화에 따라 출력이 수시로 변하는 등 여러 가지 문제점을 내포하고 있다[2].

낮은 풍력보급률 수준에서 풍력은 제로 또는 마이너스 부하로 다루어질 수 있었다. 그러나 높은 풍력설비 보급률은 전통적인 일반 발전기들처럼 확실성을 가지고 발전량을 계획할 수 없기 때문에 높은 풍력보급률을 가진 전력계통의 운영은 전력계통 운영자들에게 새로운 문제에 대한 해결을 요구하고 있다[3].

풍력발전기의 이러한 특성은 소규모인 제주 전력계통에는 더욱 큰 영향을 미치게 되어 전력계통운영자로 하여금 심각한 우려를 갖게 하고 있다. 그러나 제주지역의 풍속자원 조사[4], 풍력발전기 사고발생시 과도안정도 조사[5] 등 몇몇 연구가 이루어지고 있으나 풍력발전의 제주 전력계통에 미치는 영향에 대한 연구는 아직까지 거의 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 지난 2년간의 풍력설비 운영실적을 통하여 제주지역의 풍력설비에 대한 특성별 평가를 실시하고 전력계통 운영에 미치는 영향을 분석하여 향후 풍력설비가 증가되는 제주 전력계통의 안정적인 운영방안을 제시하였

다.

먼저, 제주지역에 운영중인 풍력설비 현황 및 풍력설비 건설 예정현황을 조사하여 현재와 미래의 풍력설비 점유율을 산정하고, 현재 운영중인 풍력단지별 설비이용률 분석을 통하여 향후 제주 전력계통에서의 풍력설비 점유율을 전망하였다.

현재 운영중인 행원, 한경풍력발전단지의 전력생산량을 조사하고 풍력설비에 의한 제주지역 발전기의 대체 발전효과로서 연료비 절감금액, 환경오염물질 감소량을 산정하였으며 제주 전력계통에서의 풍력발전 설비의 발전량 점유율을 조사하여 제주 전력수급 기여도를 분석하고 계절별 풍력발전 기여도를 평가하였다.

또한, 세계 각국의 유효용량 평가방법을 소개하고 풍력발전 점유율이 점점 높아지는 제주지역에서의 풍력설비의 유효용량 산정방안을 제시하였고 풍력설비의 출력제어 불가능 및 변동 특성에 의한 전력품질 및 계통운영에 대한 영향과 변동률을 분석하고 향후, 풍력발전량이 증가된 제주 전력계통에서의 안정적인 전력계통 운영방안을 제시하였다.

II. 전력계통 및 풍력설비 현황

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

제주도는 우리나라 최남단에 위치한 화산섬이며 태풍의 길목으로 태풍피해와 염해 피해가 극심한 지역이고, 연평균 1,836.5mm의 국내 최대강수량과 낙뢰가 심한 지역적 특성 때문에 자연재해에 의한 전력계통의 고장이 빈번하게 발생하고 있다.

2006년도 여름철 제주도의 최대전력사용량은 533MWh로 전망하고 있으며 2005년 평균전력사용량은 343MWh로서 지난 5년간 연평균 8.6%의 전력수요 증가율을 보여 전국에 비해 높은 증가율을 보여주고 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.

1. 전력계통 현황

2006년 4월 현재 제주지역 전력설비용량은 Table 1에서 보는 바와 같이 530MWh이다. 현재 제주지역 전력수급의 중추적인 역할을 하고 있는 고압직류송전설비(HVDC)는 정상적인 계통상황시 150MW 이내, 제주 전력수요의 50% 이내에서 운전되어 연평균 제주 전력수요의 약 40%를 담당하고 있다. 제

주지역에서 발전기 전력공급 우선순위는 발전 연료비 순위로 결정되는데 비교적 발전연료비가 가장 저렴한 제주화력발전소 내연 #1호기와 남제주화력발전소 내연 #1~4호기, 연계선 등이 기저부하를 담당하고 있으며, 제주화력발전소 기력 #2,3호기가 연계선과 함께 기저부하 일부분 및 변동부하를 담당하고 있다.

냉난방 수요로 인한 겨울, 여름철의 전력수요 증가 시에는 제주화력발전소 기력 #1호기, 남제주화력발전소 기력 #1,2호기가 추가로 운전된다. 여름철 최대 전력수요 발생 시기와 일일 첨두부하담당 발전기로는 한림복합화력발전소 가스터빈 #1,2호기와 스팀터빈, 제주화력발전소 가스터빈 #3호기가 있다.

최근에는 75MW 급 제주기력 #2,3호기를 비롯하여 100MW 급 남제주기력 #3,4호기 등 제주 전력계통 규모에 비해 설비용량이 큰 전원설비가 들어서고 있어 단위기 한대의 고장이 전력계통에 미치는 영향이 클 수밖에 없는 문제점을 내포하고 있다.

제주도는 대부분 고가의 석유연료를 사용하는 석유화력 발전설비를 운영하고 있으며, 육지계통에 비하여 소규모 발전설비이다. 1997년부터는 고압직류송전설비에 의하여 육지로부터 전력공급이 이루어지고 있으며, 최근에는 풍력발전, 매립지가스발전 등 신재생에너지 발전원 건설이 증가되고 있다.

2006년 6월 현재 제주지역의 주송전선로는 154kV의 이중 환상망 구조로 되어 있다. 제주지역의 3개 발전소 및 7개 변전소를 잇는 송전선로는 19개 구간 총 연장 362km 이른다.

Table 1 The Present condition of generation utilities in Jeju

Utility / Power Plant		Capacity [MW]	Supply Capacity[MW]		Operation
			Summer	Others	
KOMIPO	Jeju T/P#1	10.0	10.0	10.0	Weekly start stop
	Jeju T/P#2	75.0	79.0	79.0	Always operation
	Jeju T/P#3	75.0	79.0	79.0	Always operation
	Jeju D/P#1	40.0	40.0	40.0	Always operation
	Jeju G/T#3	55.0	43.0	50.0	Charge of daily peak
KOSPO	Namjeju T/P#1	10.0	10.0	10.0	Charge of peak season
	Namjeju T/P#2	10.0	10.0	10.0	
	Namjeju D/P#1	10.0	9.0	9.0	Always operation
	Namjeju D/P#2	10.0	9.0	9.0	Always operation
	Namjeju D/P#3	10.0	9.0	9.0	Always operation
	Namjeju D/P#4	10.0	9.0	9.0	Always operation
	Hallim G/T#1	35.0	32.0	35.0	Charge of daily peak & charge of peak season
	Hallim G/T#2	35.0	32.0	35.0	
Hallim S/T	35.0	31.0	35.0		
KEPCO	HVDC	(150.0)	150.0	150.0	within 150MW & 50% of demand
	Jeju G/T#1 Jeju G/T#2	55.0 55.0	- -	- -	Control reactive power & emergency generator
Total		530.0			

- Power plant construction plan
 - 2006. 9 : KOSPO. Namjeju T/P#3(100MW)
 - 2007. 3 : KOSPO. Namjeju T/P#3(100MW)

2. 풍력설비 현황

2006년 6월 현재 제주지역 풍력설비의 총 용량은 19MW로서 그 현황은 Table 2 와 같다. 이는 제주도내 발전설비용량 548.5MW 의 3.5%, 2005년 최대 수요 478.7MW 의 3.97%에 해당한다. 현재 건설예정인 풍력설비가 모두 건설되는 2008년에는 총 97.7MW 의 풍력설비가 운전되어 제주지역 발전설비용량 827.7MW 의 11.8%, 2008년 예상최대수요 602.1MW 의 16.2%에 달하게 된다.

Table 2 A status and plan of wind turbine

Section		Configuration	Capacity (MW)	Completion date	Company
Present operation	Haengwon	Vestas 600kW×2 Vestas 660kW×7 Vestas 225kW×1 Vestas 700kW×5	9.8	'02. 4	Jeju Gov.
	Shinchang	Vestas 850kW×2	1.7	'06. 3	Jeju Gov.
	Hangyung(I)	Vestas 1,500kW×4	6.0	'04. 3	KOSPO
	Woljung(I)	Vestas 1,500kW×1	1.5	'06. 7	KIER
Total of operating wind plant			19.0	-	-
Const- ruction plan	Nansan	2,100kW×7	14.7	'06. 7	UNISON
	Hangyung (II)	2,500kW×4 2,000kW×2	14.0	'07.10	KOSPO
	Hangyung (off shore)	3,000kW×10	30.0	'07.10	SAMMOO
	Sungsan	2,000kW×10	20.0	'08. 7	KOSPO
Total of construction wind plant			78.7	-	-

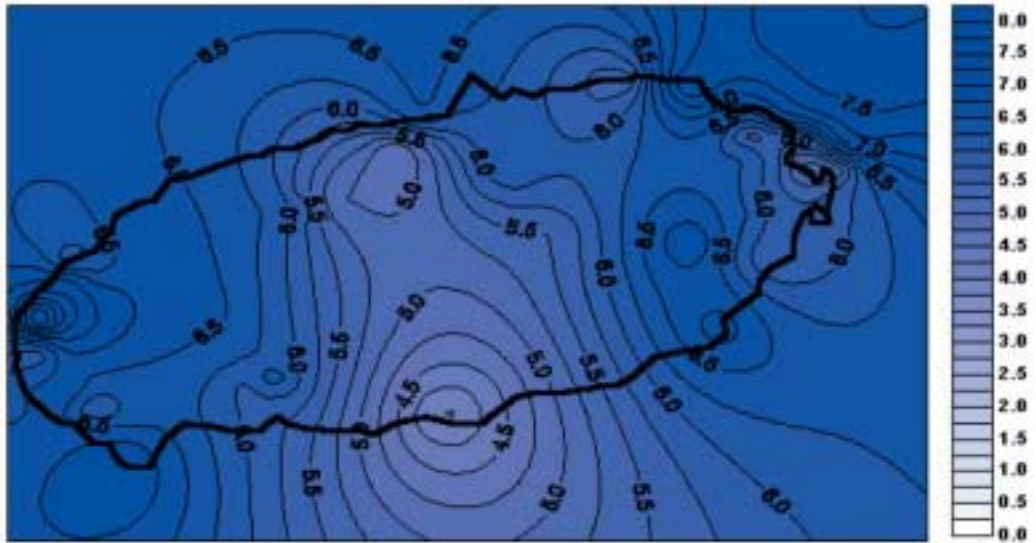


Fig. 1 Wind map of Jeju

Fig. 1 에서 보는 바와 같이 제주도 각 지역의 평균풍속의 분포를 살펴보면 제주도 중앙과 북·남부 지역은 한라산의 영향으로 평균풍속은 4-6m/s 로 낮은 반면 동·서부지역 양단은 평균풍속은 6~7m/s 로 높게 나타나고 있다.

제주지역에서의 풍력발전단지 건설의 최적지는 제주도 동부지역에서는 성산읍, 표선읍 일대, 서부지역에서는 한림읍, 대정읍 지역의 중산간 평원 및 해안 지역이다. 현재, 제주에서 운영중인 행원풍력단지와 한경풍력단지 또한 이 지역에 위치하고 있으며 이들 단지에 이어 향후에도 이 지역에 풍력발전단지가 집중적으로 들어설 것으로 전망된다.

제주지역에서 현재 운영중인 풍력설비의 연평균 이용률은 Fig. 2 에서와 같이 설비용량 9.8 MW 인 행원풍력이 22.4 %, 설비용량 6 MW 의 한경풍력이 32.1 %이다. 1차 조사기간인 2004년 3월부터 2005년 2월까지의 설비이용률은 행원풍력단지가 24.7 %, 한경풍력단지가 27.3 % 였다.

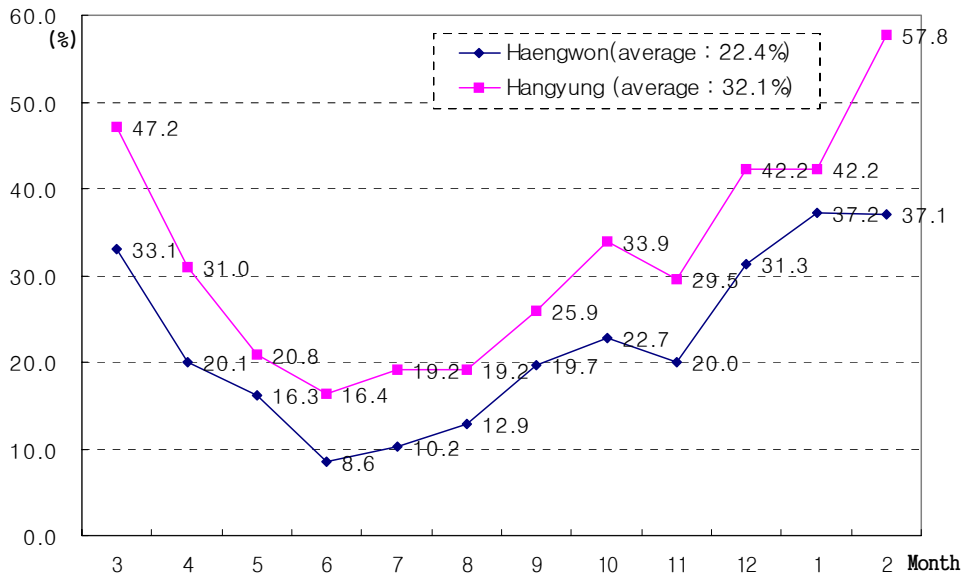


Fig. 2 Utilization coefficient of wind power

행원풍력단지의 경우 2005년에 고장설비의 증가로 2년간 평균 이용률이 현저하게 떨어졌다. 하지만, 환경풍력단지의 경우 2005년 9월부터 12월까지 송전 제약으로 설비용량의 50%인 3MW 이내로 출력제한을 받았음에도 불구하고 32.1%의 높은 이용률을 보여주고 있다.

장기간의 영국의 풍력설비 이용률을 조사한 연구보고서에 의하면 풍력설비 평균 이용률은 27%로 조사되어 약 20%의 덴마크 평균 이용률과 약 15%의 독일 평균 이용률보다 훨씬 높게 나타나고 있다. 이와 같은 높은 이용률은 영국의 섬지역 특성으로 인한 것이다[6].

이외의 세계 각국의 연구보고서에서 풍력설비의 이용률은 20~40%인 것으로 조사되고 있는데, 육상지역(Onshore)의 경우 20~30%, 해상지역(Offshore)의 경우에는 30~40%의 높은 이용률을 보였다[2], [3].

육상지역에 위치한 환경풍력단지의 이용률 32.1%는 매우 높은 편이며 전통적으로 바람 많은 지역으로 알려진 제주도가 실제로도 풍력발전의 경제성이

매우 높은 지역임을 보여주고 있다.

현재 운영중인 풍력단지의 운영실적을 통해서 살펴본 바와 같이 제주지역의 풍력발전단지 설비이용률은 매우 높은 것으로 조사되고 있어서 향후 제주지역에서의 풍력발전소 건설계획은 지속적으로 증가될 것으로 전망되고 있다.



Ⅲ. 풍력발전 특성별 평가

본 장에서는 현재 제주에서 운영중인 행원 및 한경 풍력발전단지에 대한 성능특성, 전력생산량, 경제적 효과, 환경오염물질 감소효과 등 풍력발전 특성별 효과를 분석하였다.

1. 풍력발전기 성능특성

풍력에너지와 전기에너지의 상관관계를 설명하기 위하여 Fig. 3 과 같이 한경풍력설비의 예를 통하여 풍속의 빈도수와 풍력발전기에 의해 생산된 전기에너지, 발전기 출력의 관계를 도시하였다.

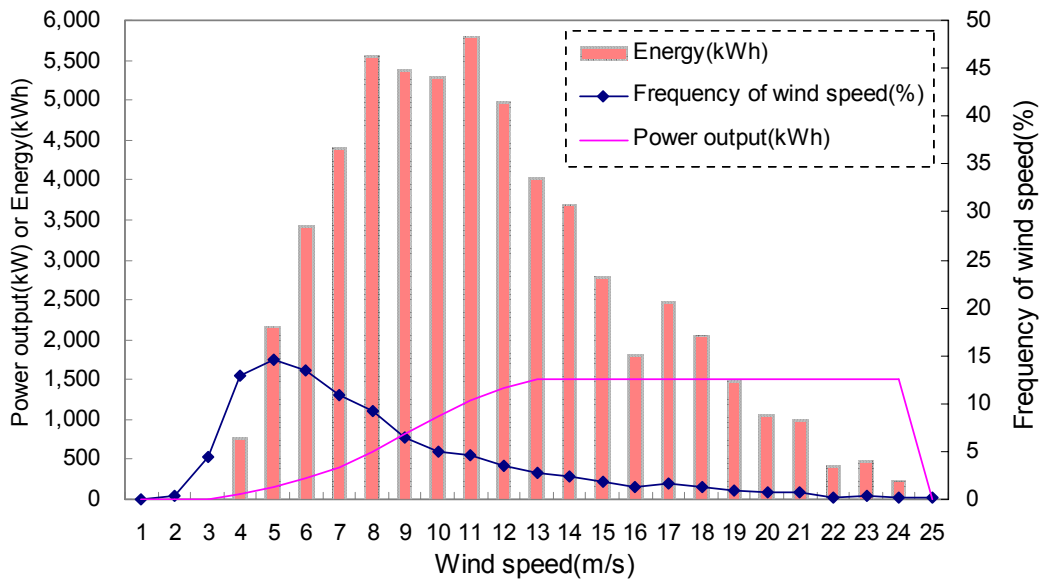


Fig. 3 Interrelation of wind speed, power output and energy

Fig. 3에서 꺾은선그래프는 2001년 1월부터 2005년 12월까지의 5년간의 일일 평균풍속 빈도율(365일:100%)을 나타낸 것이며, 막대그래프는 한경 풍력발전단지에서 의해 생산되는 전력에너지의 양을 나타낸 것이다. 그리고 4m/s에서 서서히 발전량이 증가되어 12~13m/s 사이에서 최대출력인 1,500kW에 도달하는 곡선이 풍속별 풍력발전기 출력량을 나타내는 곡선이 한경풍력발전기 성능곡선이다.

이 풍력발전기의 출력은 낮은 풍속(0~4m/s)에서는 없다가 풍속 4m/s에서부터 풍속의 세제곱 배수로 증가된다. 발전기는 13m/s에서 정점인 1,500kW를 지난 후에 출력 상태를 유지하다가 25m/s에서 안전을 위해 운영을 정지하게 된다. 태풍 등 25m/s이상의 바람이 불 때는 풍력발전기의 파손방지를 위해 팁스포일러(tip spoiler)와 기계적인 브레이크를 이용해 운영을 정지한다. 이때의 풍속을 중단풍속(cut out wind speed)이라고 한다.

바람이 세게 부는 날이 있는가 하면 없는 날이 있고, 바람이 세면서 오랜 시간 동안 부는 날이 있고 바람이 세지만 짧게 부는 날이 있다. 풍력발전에서 중요한 것은 적당히 센 바람이 얼마나 오래 동안 불었느냐 하는 것인데 그 정도를 나타내어 주는 것이 풍속의 빈도수이다. 풍속을 100시간 동안 측정했을 때에, 그 중에 센(예를 들면 풍속 7m/s인)바람이 10시간 동안 불었으면 풍속의 빈도수는 Fig. 3에서와 같이 10%가 된다.

Fig. 3에서 풍속 9m/s인 바람의 빈도수는 약 6.5%이다. 즉 1년 365일 중 약 24일 동안 이런 바람이 분 것이다. 이 풍속에서 얻을 수 있는 에너지는 발전기의 출력(성능곡선에서 880kW)과 시간(시간곡선에서 6.5%)의 곱으로 5,388kWh(%)의 막대그래프이다.

한경지역의 풍력 발전기는 풍속 13m/s 이상에서 최대 출력(약 1,500kW)을 내며 이 때의 풍속을 정격출력풍속(rated wind speed)라고 한다. 하지만 이 풍속에서 최대의 에너지를 얻을 수 있는 것은 아니며 전체 발전량은 풍속의 빈도수에 달려 있다. Fig. 3에서 최대 에너지를 얻을 수 있는 풍속은 8~11 m/s

로 나타나고 있다. 이러한 풍속은 설계할 때 기준이 되는 풍속이기 때문에 설계풍속(design speed)이라고 한다.

Fig. 3 을 이용하여 한경풍력단지에서 1년 동안 생산 가능한 에너지의 총합을 계산해보면 에너지의 양을 나타내는 각각의 막대그래프 값을 일일 발전량으로 환산하기 위해 24시간을 곱하고, 한경풍력단지의 풍력발전기 대수인 4를 곱하여 합하면 20.8GWh이다. 실제로 한경풍력단지가 2005년도 생산한 전기에너지의 총량은 18.7GWh였다.

2. 풍력발전기 전력생산

현재 제주도에서 상업운전중인 행원풍력단지와 한경풍력단지의 전력생산량은 Table 3 과 같다.



Table 3 Monthly wind power output average(2004. 3~2006. 2)

Sec-tion	Month(GWh)												Sum
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
Haengwon	2.41	1.41	1.17	0.60	0.73	0.93	1.38	1.65	1.42	2.27	2.70	2.52	19.19
Hangyung	2.11	1.34	0.93	0.71	0.86	0.86	1.12	1.51	1.27	1.88	1.88	2.33	16.80
Sum	4.52	2.75	2.10	1.31	1.59	1.79	2.50	3.16	2.69	4.15	4.58	4.85	35.99
	9.37			4.69			8.35			13.58			

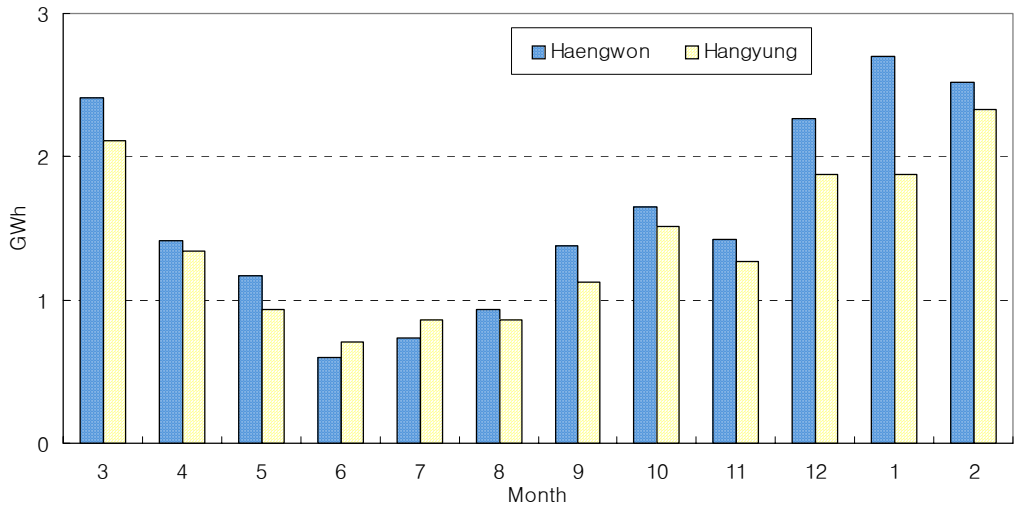


Fig. 4 Monthly wind power output(2005.3~2006.2)

2004년 3월부터 2006년 2월까지 2년 동안 양 발전단지에서 생산된 연평균 발전량은 총 36GWh로서 같은 기간 제주지역 총 수요량 2,853GWh의 1.3%, 제주도내 발전기에 의한 발전량 1,695GWh의 2.2%에 해당된다.

Fig. 4 에서 보는 바와 같이 제주지역 풍력발전량은 하절기보다는 동절기에 훨씬 높은 것으로 나타나고 있다. 계절별로는 겨울(13.58GWh), 봄(9.37GWh), 가을(8.35GWh), 여름(4.69GWh) 순으로 발전량의 차이를 보인다.

제주지역의 연중 전력수요 피크는 냉방부하의 급증으로 여름철인 7, 8월에 발생하는 데 풍력발전기의 전력 생산은 여름철에 오히려 최저 수준으로 떨어지고 여름철 전력수급에 대한 기여도는 상당히 낮은 수준이다.

이에 반하여 겨울철에는 난방부하의 증가로 전년도 여름철 전력수요의 90% 수준에 육박하는 전력수요를 보이며, 바람이 잦고 그 세기가 커지는 겨울철에는 풍력발전기 발전량 또한 크게 높아져 풍력발전기의 출력과 전력수요가 동반상승하는 플러스 효과로 나타났다. 겨울철에는 바람이 세게 불수록 난방부하는 증가하고 풍력발전기 출력 또한 증가하기 때문에 풍력발전기에 의한 겨울철 전력수급의 기여도는 상당히 크다고 볼 수 있다.

3. 풍력설비 운영효과

풍력설비로부터 생산된 시간당 전력량은 다른 전력설비에 의해 생산된 전력량을 대신하는 것을 의미한다. 일반적인 상황에서 풍력은 연료 소비에 바탕을 둔 화력발전을 대신한다[2].

제주 전력계통의 경우에 풍력발전에 의한 전력생산량 증가에 따라 처음에는 연계선의 수전 전력량이 조정되었지만 바로 높은 운영비용을 가지는 발전기의 생산량으로 전이되었다. 결국은 풍력설비가 전력을 생산할 경우의 대부분이 석유를 연료로 사용하는 기력발전기나 **가스터빈발전기에 의한** 전력 생산량을 대체하였다고 볼 수 있다.

Table 4에서는 지난 2년간 행원 및 한경 풍력발전단지의 전력생산량에 의한 제주도 화력발전기들의 대체발전에 의한 연료비 절감액을 나타내었다. 이는 풍력설비의 전력생산량에 석유연료를 사용하는 제주발전설비의 월별 평균연료비를 적용하여 산정한 것이다.

지난 2년간 풍력발전기에 의해 생산된 전력량은 총 71.97GWh이며 제주지역 발전기의 대체발전에 의한 연료비 절감비용은 73.51억원이다. 이 때 kWh당 평균 절감비용은 102원/kWh이다. 현재 발전사업자가 풍력발전기에 의해 생산된 전기를 전력시장에 판매하여 받는 요금은 107.66원/kWh이다.

Table 4 Monthly curtailment cost by wind power plant(2004.3~2006.2)

Sec-tion	Month [million₩]												Sum
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
Haengwon	481	243	210	108	137	175	275	336	300	498	553	494	3,810
Han-gyung	420	230	167	127	161	161	223	309	270	413	386	456	3,323
Total	901	473	377	235	298	336	498	645	570	911	939	950	7,133

전력계통운영에 있어서 풍력설비가 전력을 생산함으로써 에너지 대체에 의한 연료비 절감효과를 가져오는 것이 일반적이지만 풍력발전 설비의 전력생산량에 대한 예측의 어려움과 출력변동의 특성으로 인하여 증가 비용 또한 발생한다.

증가비용에는 풍력발전기가 전력을 생산함에 따라 출력 변동 특성으로 인하여 일반발전기의 출력조정비용, 예비력 비용, 기동 비용, 기력발전기의 최소발전력 유지비용 등이 있을 수 있다.

2006년 4월 현재까지 제주 전력계통운영에 있어서 풍력발전량의 규모는 마이너스 부하로 다루어 별도의 운영발전계획에 포함하고 있지 않을 만큼 작은 것으로 취급되어 풍력발전으로 인한 증가비용을 산정하는 것은 거의 불가능하다.

미국의 전력시장에서 풍력과 관련된 각 연구그룹들이 풍력발전의 출력변동 특성에 따른 증가비용에 관한 연구결과에 따르면 풍력발전의 출력변동성에 의한 증가비용은 무시할 만큼 작진 않지만 대부분의 경우에 에너지 도매가격의 10%를 넘지 않거나 그 보다는 작다는 결론을 내리고 있다[7].

4. 풍력발전에 의한 오염물질 감소량

제주 전력계통에서의 풍력발전은 석유연료를 사용하는 화력발전기로부터의 에너지를 대체함으로써 풍력발전기는 그러한 발전기들로부터의 오염물질을 감소시킨다[1],[2].

제주 전력계통의 각 발전기마다 오염물질 배출량이 달라 정확한 산정을 위해서는 풍력발전기에 의해 대체된 발전력을 구분하는 일일단위의 시뮬레이션이 필요하겠지만, 여기서는 2005년도 풍력설비의 전력생산에 의해 제주기력 #3 호기의 발전량을 대체하였을 경우 오염물질 저감실적을 산정하였다.

Table 5 Reductions in emissions from fossil-fired generators

Section	Emissions [g/MWh]	Wind power output in 2005 [MWh]	Reductions[t]
CO ₂	738,868.4	39,049	53,287.2
SO _x	1,172.2		84.5
NO _x	736.8		53.1

Table 5에서 보는 바와 같이 2005년 풍력발전량 39,049MWh에 의한 오염물질 배출 감소량은 이산화탄소(CO₂) 53,287톤, 황산화물(SO_x) 84.5톤, 질소산화물(NO_x) 53.1톤에 이른다.



IV. 전력계통 운영에 미치는 영향

1. 제주 전력수급 기여도

1) 제주 전력계통에서의 풍력발전량 점유율

지난 2년 동안 풍력설비에 의해 생산된 행원풍력단지와 한경풍력단지의 풍력설비에 의한 발전량 점유율은 Fig. 5와 같이 연평균 1.22%로 나타났다.

특히, 2월에는 양 풍력단지의 높은 이용률(평균 47.45%)과 함께 발전량 점유율 1.99%로 연중 최고치를 기록하였다. 지난 2년간 제주지역의 발전설비용량은 507.0~548.5MW 였으며 행원과 한경풍력단지의 풍력설비용량은 약 16MW로 풍력설비의 용량점유율은 2.9~3.2%였다.

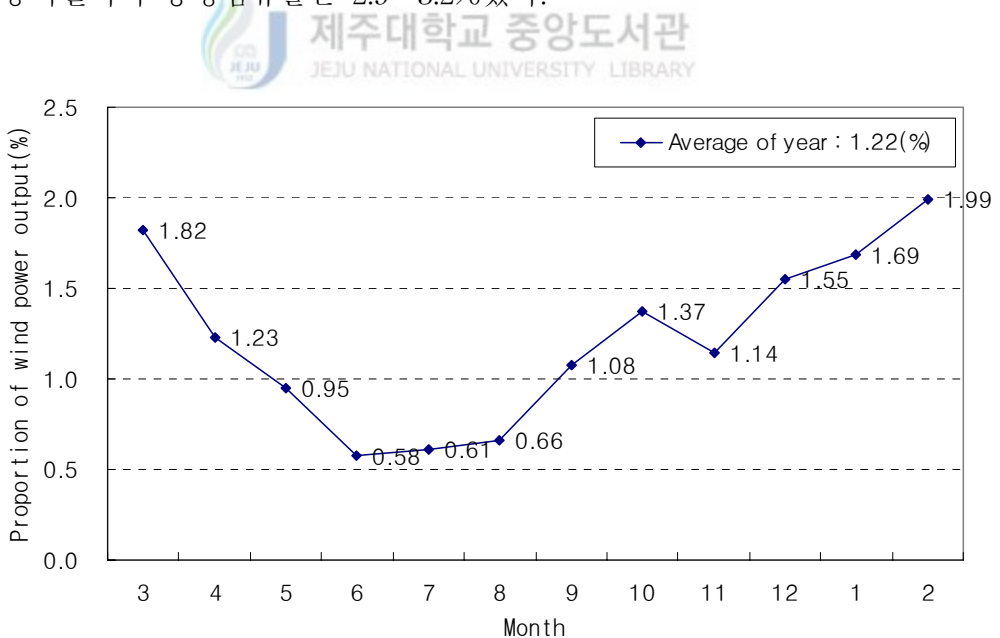


Fig. 5 Proportion of wind power occupation in Jeju(2004.3~2006.2)

현재까지는 풍력설비의 용량점유율이 3% 정도의 낮은 수준이며 발전량 점유율 또한 1~2% 정도의 미미한 점유율을 보여주고 있어 전력계통운영에 큰 영향을 미치지 않아 마이너스 부하로 취급하여도 큰 문제가 되지 않았다.

2) 향후 제주 전력계통에서의 발전량 점유율

현재 계획된 풍력설비들이 건설되는 2008년에는 총 97.7 MW의 풍력설비가 운전되어 제주지역 발전설비용량 827.7 MW의 11.8%에 달하게 된다. Fig. 6은 2008년도 예상 풍력설비 용량을 97.7 MW로 가정하였을 때의 월별 풍력발전량 점유율을 나타낸 것이다.

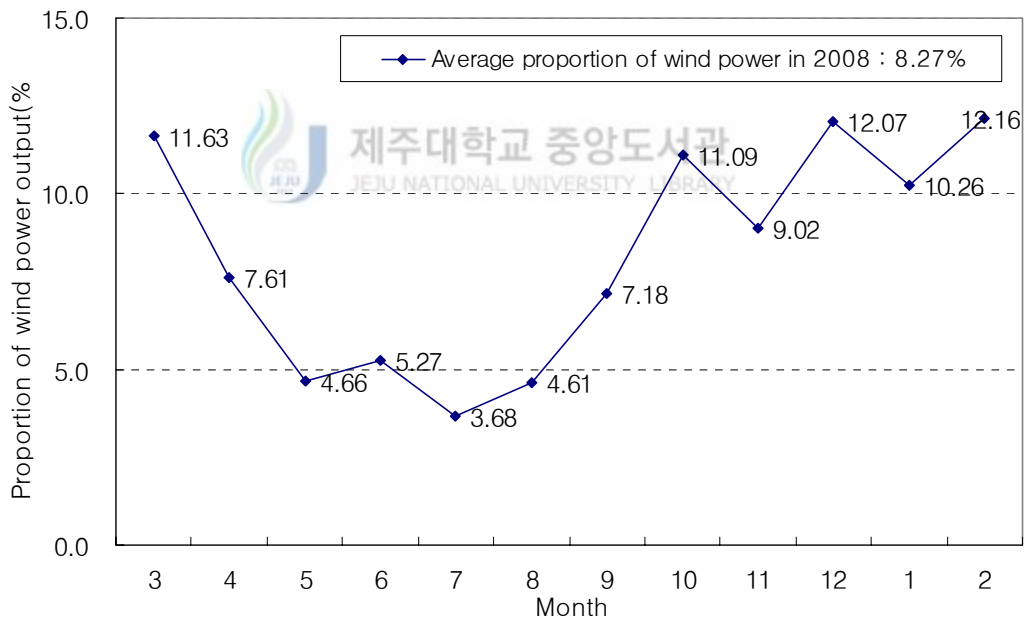


Fig. 6 Wind power output proportion forecasting(2008)

Table 6 Wind power output proportion forecasting(2008.3~2009.2)

Section	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	Sum
Total demand [GWh]	258.6	231.8	230.0	232.5	266.1	274.4	247.1	238.6	244.7	281.4	278.2	253.6	3,037
Wind power output [GWh]	36.8	21.6	13.1	15.0	12.0	15.5	21.7	32.4	27.0	41.6	35.0	37.8	309.7
Proportion	11.63	7.61	4.66	5.27	3.68	4.61	7.18	11.09	9.02	12.07	10.26	12.16	8.27

Table 6 은 2005년 발전량을 기준으로 연간 전력수요증가율을 7%로 가정하여 2008년도 월별 풍력발전량을 예측하여 나타낸 것이다. 풍력발전량 예측은 2008년도 풍력 설비용량을 기준으로 한경풍력발전단지의 2005년도 월별 이용률을 실적을 반영하였다.

풍력설비용량 점유율 11.8%의 제주 전력계통에서 2008년의 풍력발전량 점유율은 연평균 8.27%에 달하게 된다. 즉, 2008년도 예상 연간소비전력 3,037 GWh 중 309.7GWh를 풍력발전기에 의해 공급하게 된다.

2008년도 풍력발전량 점유율은 여름철을 제외하고는 5% 이상의 높은 발전량 점유율을 보이고 있다. 이는 풍력발전기의 전력생산량 증가에 따른 에너지 비용 절감이라는 긍정적 효과가 있긴 하지만 경부하시기에 풍력발전량의 출력이 최대에 도달하면 실시간 운전 점유율이 10%를 상회할 가능성이 높다는 것으로 풍력설비의 출력변동에 대비한 예비력을 운영하는 등의 지금까지와는 다른 전력계통운영계획을 수립하여야 함을 의미한다.

특히, 풍력설비 이용률이 높은 겨울철의 발전량 점유율은 10~12%의 높은 점유율을 보이고 있고 심야 경부하시간(3~5시)에는 20%이상의 높은 점유율에 도달할 수 있는 가능성을 보이고 있어 전력계통운영에 적지 않은 영향을 줄 것으로 판단된다. 또한 연중 저부하시기이면서 바람의 세기와 전력수요가 상반되게 나타나는 4월과 9월에도 7%가 넘는 점유율을 보이고 있다.

이는 적어도 2008년 이후에는 더 이상 풍력발전량을 마이너스 부하로 다룰 것이 아니라 계통운영계획에 포함하여 검토하여야 함을 의미한다.

2. 풍력설비 유효용량 평가

일반적인 발전설비에 대한 용량의 표시는 설비용량과 공급능력으로 나타낸다. 설비용량은 해당 발전설비의 정격출력용량을 나타내는 것이고 공급능력은 외기 온도 등의 외부환경에 의하여 발전기가 실제 출력 가능한 용량을 나타내는 것으로 일반적인 발전기의 대부분이 설비용량에 근접하는 공급능력을 가지고 있다[1].

공급능력을 달리 말하면 시시각각으로 변하는 전력수요에 맞추어 발전기 출력을 조정할 수 있는 발전기의 유효용량이라 말할 수 있다. 공급능력은 중장기 전력수급계획은 물론 일일운영발전계획 수립 시에 중요한 의미를 갖는다. 유효용량이란 계통에서 필요로 할 때 전력이 생산되어지는 발전기의 능력에 대한 척도이다. 특히, 최대수요 기간 동안 가장 중요한 의미를 갖는다[2].

일반적으로 전통적인 발전기는 전력수요 변화에 맞추어 100% 신뢰할 수 있는 공급능력을 갖고 있지만, 풍력설비는 풍속에 의해 절대적으로 영향을 받아 전력수요 변화에 따라 계통에서 요구하는 발전출력을 조정할 수가 없다[6].

기본적으로 풍력설비의 유효용량 값은 '0' 이상이다. 풍력설비에 의한 전력생산량은 전력수요에 따른 공급에 기여하고 있지만 조정이 불가능하고 변동성에 대비한 일반 발전기의 예비력을 필요로 한다[7].

일반발전기의 공급능력구분하여 전력수요에는 기여하는 풍력설비의 유효용량 평가는 분명히 가치가 있는 일이다. 풍력설비에 대해 기대되어지는 용량과 이에 따른 일반발전기의 예비력을 고려한 풍력설비의 유효용량을 검토하여 볼 필요가 있다.

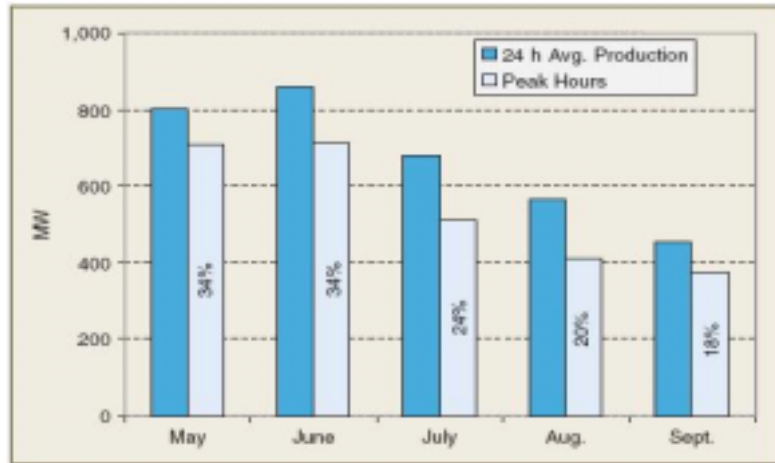


Fig. 7 Average hourly wind energy production during 2004 in California

세계 각국의 풍력관련 연구그룹들은 국가와 지역별로 풍력자원의 특성에 따라 유효용량 평가방법을 달리하고 있다. 미국 캘리포니아 ISO(Independent System Operation)의 워크그룹은 풍력발전의 유효용량을 계산하기 위하여 3년간 5월부터 9월까지 12시부터 18시까지의 풍력발전량을 기초로 하여 산정하였다.

Fig. 7은 캘리포니아 ISO 관할의 2004년도 풍력설비의 시간당 평균생산량을 보여준다. 오른쪽 막대는 풍력설비 전체 가능용량 2,046MW에 근거한 용량비율로서 최대수요시간 동안의 평균 전력생산량을 나타낸다. 풍력설비의 전력생산량 6월 이후에 명백하게 줄어들어 연중 최대전력수요가 발생하는 2004년 9월중 풍력발전량은 18%였다[2].

풍력설비의 유효용량을 산정한 다른 사례는 영국의 옥스퍼드대학 연구보고서로서 계통최대수요 70GW 이고, 일반 발전기 설비용량 81GW, 풍력발전 설비용량 13GW를 보유하고 풍력발전량 점유율이 10%인 영국의 풍력설비 유효용량 산정방법은 다음과 같다. 먼저 13GW의 풍력설비의 평균발전량으로 설비이용률 35%를 적용한 5.3GW를 일반발전기에 해당하는 에너지 생산용량으로 보

았다. 여기에 풍력발전의 출력변동 특성을 반영하기 위하여 설비용량의 17%인 2.3GW를 예비력으로 적용하여 평균발전량 5.3GW 에서 예비력 2.3GW 를 차감한 나머지 3GW(설비용량의 23%)를 유효용량으로 산정하였다. 또한 공급신뢰성을 확보하기 위하여 일반발전기의 운전예비력(spinning reserve)으로 풍력설비용량의 5%인 0.7GW 를 적용하였다[6].

각국의 사례를 고려하여 제주지역 특성에 맞는 풍력설비 유효용량을 평가하여 보면 겨울철에는 바람이 많은 날일수록 풍력발전량이 증가하고 난방전력에 기인하여 전력수요도 증가함으로 풍력설비의 유효용량은 풍력설비의 평균전력량을 상회할 것이며, 여름철에는 바람이 적은 날일수록 풍력발전량은 감소하고 냉방전력으로 인한 수요가 증가함으로 풍력설비의 유효용량은 풍력설비의 평균전력 생산량을 밑돌 가능성이 높다.

제주지역에서의 공급능력 산정에 대한 모든 관점은 최대전력수요 발생시기인 여름철로 집중된다. 그러므로 제주지역 풍력설비의 유효용량 평가방법은 연평균이용률에 풍력발전기 변동량에 대비한 예비력을 반영하는 옥스퍼드 대학의

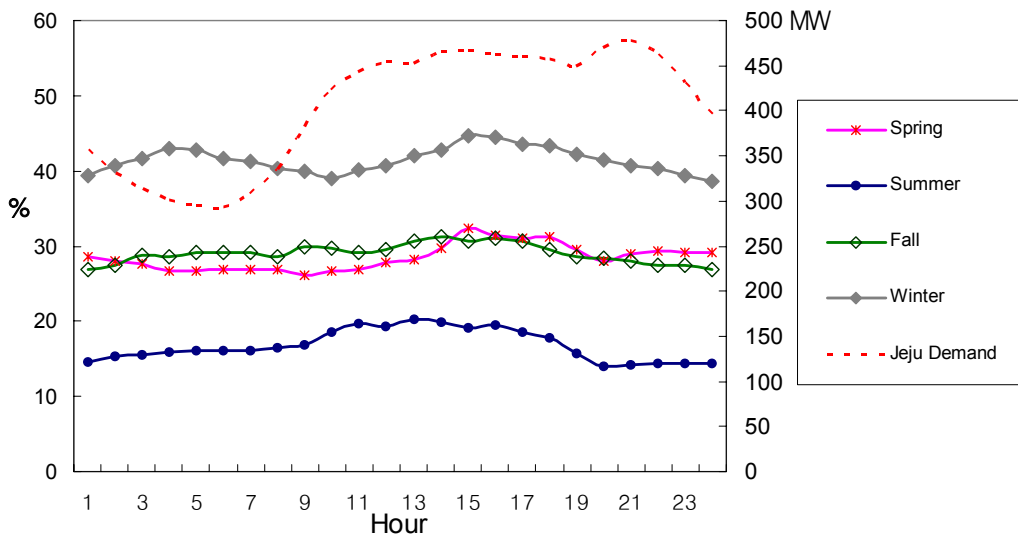


Fig. 8 Seasonal patterns of wind generation

사례를 전적으로 택하기 보다는 최대수요가 발생하는 여름철 평균이용률을 유효용량으로 적용하는 캘리포니아 ISO 연구그룹의 방식을 근간으로 하여 풍력발전기 출력변동에 대비한 운전예비력을 반영하는 옥스퍼드대학 연구보고서의 적용방법을 혼용하였다.

Fig. 8 은 계절별 제주 풍력설비의 시간대별 이용률의 조사하여 풍력발전량의 일일패턴을 알 수 있도록 나타내었다. 여기서 제주 일일수요곡선과 여름철 풍력설비 이용률 곡선을 비교하여 보면 여름철의 최대수요 발생시간(19~21시)의 평균풍력발전량은 약 14%이다. 풍력발전량의 변동특성에 대비하기 위한 풍력설비용량의 5%를 운전예비력으로 제외하면 제주지역의 풍력설비 유효용량은 약 9%에 해당한다.

3. 출력변동에 의한 전력품질 영향

풍력설비는 기동, 정지 또는 출력조정에 대한 급전지시가 불가능하고 출력이 풍속에 따라 수시로 변하는 변동 특성으로 인하여 전력계통 운영자에게 있어 큰 난제로 여겨지고 있다. 풍력발전기의 출력량 예측은 계통운영자에게 가장 어려운 문제이면서 중요한 관심의 대상이다.

Fig. 9 는 16MW 의 행원, 한경 풍력설비가 운영되는 2006년 1월의 제주 전력계통에서의 풍력발전기 출력 변동률의 빈도율 분포를 나타낸 것이다. 10분 평균발전량을 비교하여 설비용량에 대한 출력 변동률을 조사한 결과 전체 조사건수의 41%가 변동이 없거나 $\pm 2\%$ 이내에서 변동하였으며, 조사건수의 약 91.1% 가 10% 이내의 출력 변동률을 보였다. 또한, 측정시간의 98.7%가 20% 이내의 출력변동률을 보인 것으로 조사되었으며 출력변동률이 20% 이상인 경우는 1.3%였다.

다음은 해외 풍력단지의 출력 변동량에 대한 연구결과를 살펴보았다. 뉴욕

ISO는 풍력발전 변동량에 의한 영향이 너무 커서 나머지 발전시스템에 의해 쉽게 흡수될 수 없게 되는 것을 염려하여 뉴욕 ISO는 전체용량 3,300MW에 달하는 풍력설비의 출력변동 특성에 대하여 3년에 걸친 연구 분석을 수행하였다.

뉴욕 ISO의 연구결과에 의하면 시간당 최대 변동량은 1,100MW(33%)까지 이르렀다. 그러나 그러한 큰 폭의 변동량의 경우는 매우 드물었으며 조사대상의 99%가 500MW(15%) 이하에서 변동하였다[2].

두 번째 사례는 2005년 영국의 풍력발전 특성에 대한 연구결과로 영국의 1년간 풍력발전의 시간당 변동량을 조사한 결과 대부분이 풍력발전 설비용량의 $\pm 2.5\%$ 이내였으며 99.98%가 20%이내에서 변동하였다고 분석되었다[6],[9].

Fig. 10은 세 번째 사례로서 2004년 서부 덴마크 계통에서 15분 단위로 일 년에 걸쳐 풍력발전의 변동량에 관한 조사결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 측정시간의 50% 동안에는 풍력 발전량이 전혀 변동하지 않았음을 보여주고

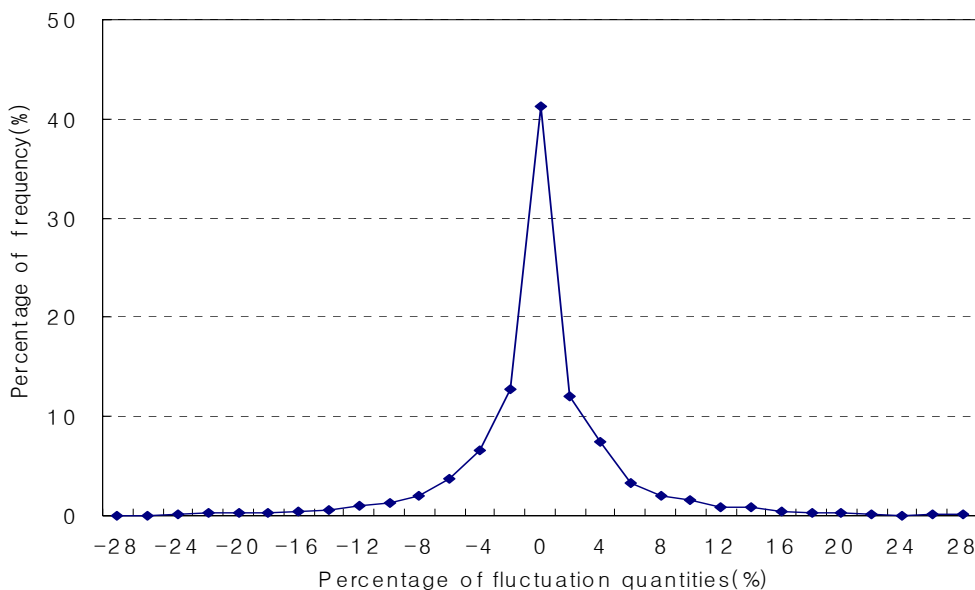


Fig. 9 Frequency of relative production changes related to installed capacities(16MW) in Jeju(in 10min measurements, 2006.1)

있다.

이러한 낮은 변동률의 주된 이유로는 변화하는 풍력의 운동에너지를 회전속도를 일시적으로 저장하여 출력을 어느 정도 유지하여 돌풍을 흡수하기 쉬운 특성을 가진 변속 운전되는 타입의 풍력터빈들이 증가되고 있고, 지형적으로 상당히 넓은 지역에 걸쳐 지형적으로 벌어져 있어서 단기간의 출력동요가 평탄하게 변화되는 효과에 기인하기 때문이다[3].

Fig. 9 에서 Onshore 지역이 Offshore 지역보다 출력변동성이 안정된 이유는 Onshore 지역의 풍력발전기들은 지리적으로 분산되어 있으며 Offshore 지역의 풍력발전기들은 같은 풍속 특성을 갖는 해상의 좁은 지역에 설치되어 있기 때문이다[3].

제주지역의 풍력발전량 변동률 그래프 (Fig. 9)와 덴마크의 풍력발전량 변동률 그래프 (Fig. 10)를 비교하여 보면 제주지역의 풍력발전량 변동 폭이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 제주지역의 풍력발전기가 이와 같이 변동폭이 큰 특성을 갖는 이유는 풍력설비 보급률이 낮을 뿐만 아니라 상대적으로 좁은 지역에

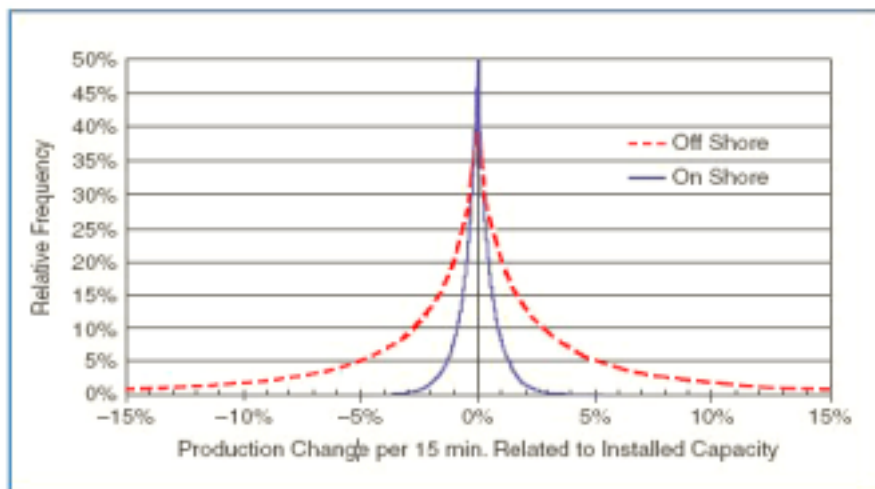


Fig. 10 Frequency of relative production changes related to installed capacities (2,400MW onshore/160MW offshore) for the western part of Denmark (in 15min measurements, 2004)

풍력단지들이 설치되어 동일한 기후의 영향을 받는 데에 기인한다.

향후 제주에는 (주)삼무가 추진하는 한경해상풍력단지(30MW)를 비롯하여 Offshore 풍력단지들이 증가될 것으로 보여 이로 인한 단기적 출력동요가 발생할 가능성이 더욱 높아지고 있다. 최악의 상황에서 이러한 대형단지들의 동시 출력변동은 제주 전력계통 운영에 심각한 문제를 야기할 수 있다.

4. 제주 전력계통의 안정적 운영방안

2006년 4월, 현재까지 풍력설비용량은 17.5 MW로서 예상 최대전력수요 533.0MWh의 3.3%에 불과한 낮은 풍력설비 보급수준으로 이들 설비에 의한 풍력발전량은 마이너스 부하로 다루어도 전력계통을 운영하는 데에 큰 문제가 없었다. 즉, 풍력발전량은 전체 수요량을 감소시키는 작용만 했을 뿐 계통과 계통운영에 주는 영향은 매우 작다고 할 수 있다.

그러나, 2008년도 이후의 제주지역의 풍력설비용량은 97.7MW로 예상되어 2008년 예상 최대전력수요 602.1MWh의 16.2%에 달하게 된다. Table 7에서는 2008년도에 97.7MW의 풍력발전기가 최대출력으로 운전되는 상황을 가정하여 월 평균부하 및 심야 최소부하 시간에서의 풍력발전량 점유율을 나타내었다.

Table 7에서 보는 바와 같이 2008년도에는 풍력설비가 전 출력으로 운전될 경우 평균부하 대비 23%, 최저부하 대비 29.4%를 점유하는 것으로 나타나 풍력발전기에 의한 시간당 점유율이 20%를 상회하는 경우가 매우 빈번해질 것으로 판단된다.

Table 7 Worst case proportion of wind power output in 2008

Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Average Load(MW)	440	431	426	394	379	396	438	452	420	393	416	463	421
Wind power Proportion	21.9	22.3	22.6	24.4	<u>25.4</u>	24.3	22.0	21.3	22.9	24.5	23.1	20.8	23.0
Minimum Load(MW)	385	303	357	319	312	305	322	311	307	307	341	386	330
Wind power Proportion	25.0	31.8	27.0	30.2	30.8	<u>31.5</u>	29.9	30.9	31.3	31.3	28.2	24.9	29.4

높은 풍력설비 보급률 하에서는 풍력설비가 일반적인 발전기들처럼 확실성을 가지고 발전량을 계획할 수 없기 때문에 전통적인 전력계통 운영방법과 달리 풍력발전량에 대한 예측을 반영한 계통운영계획 수립과 운영이 이루어져야 하겠다. 앞에서 살펴본 바와 같이 풍력설비의 출력이 큰 폭으로 변동될 가능성은 우려와 달리 적게 나타나고 있으나 20% 이상의 큰 변동 폭을 보이는 경우도 1.3%에 달한다.

급격한 출력변동의 대표적인 사례가 태풍 내습의 경우이다. 태풍이 풍력발전단지로 접근하면서 풍속은 점차 증가되어 풍력발전량이 증가하다가 풍력발전기의 발전출력 한계풍속(한경, 행원 풍력단지의 경우 4분간 평균풍속 25m/s)에 도달하게 되면 출력은 '0'로 일시에 Cut out 되는 현상이 발생한다. 또한, 풍력발전단지가 연계된 송전선로에 낙뢰나 단락고장 등의 고장상황 발생시에는 다른 전력설비들과 마찬가지로 계통에서 신속하게 분리된다.

풍력발전은 거의 '0'에 가까운 한계가격에 기인하여 최상의 가치 순서를 가지고 있기 때문에 최우선적으로 계통에 연계하게 된다. 그러나 풍력발전기 또한 전력계통의 안정성에 위험요소가 될 경우에는 계통연계 또는 그 출력을 제한할 필요가 있다.

풍력발전기가 전력계통에 연계되어 운전되는 동안에는 풍력발전기의 출력변

동에 대비한 예비력을 갖추고 있어야 한다. 풍력발전기 출력변동에 대한 예비력은 일반 발전기들에 의해야 하는 데 풍력발전기 출력으로 인하여 일반발전기의 최소출력 유지가 불가능하게 될 때에는 일부 풍력발전기의 출력을 제한해야만 할 것이다.

반대로, 충분한 풍력발전 출력 조건이 있음에도 위와 같은 이유로 급전 정지된 경우에, 운전 중인 발전력의 탈락 또는 급증하는 부하 수급을 위하여 또는 10초 이내에 전 출력에 도달할 수 있는 풍력발전기 이점을 활용하는 방안을 적용할 수 있다.

그러므로, 제주 전력계통의 안정적 운영을 위하여 위의 사례들을 반영한 풍력발전량 차단 규정 수립과 관련회사들의 적극적인 협조가 필요할 것이다.

풍력보급률이 증가된 세계 각국의 전력시장에서는 계통운영에서 풍력설비의 불확실성을 줄이기 위한 노력으로 풍력발전사업자로 하여금 풍력예측을 사전에 계획된 풍력발전량에 대해서는 적정가격을 보상하고 계획에 못 미친 발전량에 대해서는 패널티를 부과하는 정책을 적용하고 있다[3].

그러나, 풍력발전이 여러 가지 문제점을 갖고 있다고 하더라도 매일의 운영 발전계획 수립을 위하여 사전에 충분한 검토만 이루어진다면 제주 전력계통에서는 당분간 이러한 문제들이 심각한 영향을 주지는 않을 것으로 전망된다. 제주 전력계통에는 정상 시 150MW, 비상 시 300MW 까지 실시간으로 전력공급 조정이 가능한 고압직류송전설비가 운영되고 있기 때문에 풍력설비에 의한 출력 변동은 충분히 수용될 수 있다.

또한, 고압직류송전설비의 고장 또는 예방정비를 위하여 운휴중인 기간에는 속응성이 좋은 제주내연 #1호기, 한림복합, 제주가스터빈 등을 운전예비력 또는 대기예비력으로 운영한다면 전력계통의 안정적 운영에 큰 문제가 없을 것으로 보여 진다.

V. 결 론

본 논문에서는 지난 2년간의 제주지역의 풍력설비 운영실적 분석을 통하여 다음과 같이 제주 전력계통 운영에 미치는 영향을 검토하였다.

1) 현재 제주지역의 풍력설비용량은 19.0MW로서 2005년의 최대전력수요 478.7MW의 3.97%에 해당된다. 2008년의 예상되는 풍력설비용량은 97.7MW로서 2008년도 최대전력수요 601.2MW의 16.3%이고, 발전량 점유율은 8.27%에 달할 것으로 전망된다.

2) 지난 2년간 제주지역 풍력설비 이용률은 27.2%의 높은 이용률을 보이고 있으며, 풍력설비에 의해 생산된 전력량은 72GWh로 풍력발전 대체에 의한 연료비 절감액은 약 74억원(102원/kWh)이었다.

3) 전력설비의 공급능력은 최대전력수요 발생시기에 가장 밀접한 관련이 있다. 제주지역 풍력설비 유효용량 산정은 최대전력수요 발생시기인 여름철 피크 시간대(19~21시)의 평균이용률 14%와 풍력설비의 출력변동 특성에 대비하기 위한 일반발전기의 운전예비력 5%를 고려하여 산정하였다. 그러므로 제주지역의 여름철 풍력설비 유효용량은 설비용량의 9%에 해당한다.

4) 제주지역 풍력설비에 대한 15분 단위로 기록된 발전량 변동률을 조사한 결과 전체 조사건수의 41%가 $\pm 2\%$ 이내의 출력 변동률을 보였으며 98.7%가 20% 이내였고, 출력 변동률이 20% 이상인 경우는 1.3%였다. 덴마크 풍력설비 변동률 그래프와 비교하면 제주지역의 풍력발전량 변동 폭이 좀더 크게 나타난다. 이는 제주지역의 풍력설비가 상대적으로 좁은 지역에 설치되었고 풍력단지의 수가 많지 않았다는 데에 기인한 것으로 판단되었다.

5) 2008년 이후의 제주 전력계통에는 풍력발전기의 실시간 운전점유율이 평균부하 대비 23%, 최저부하 대비 29.4%에 이르는 상황이 빈번해질 가능성이 있다. 풍력발전이 출력 변동특성에 기인한 여러 가지 문제점을 갖고 있다고 하

더라도 매일의 운영발전계획 수립을 위하여 사전에 충분한 검토만 이루어진다면 제주 전력계통에서는 당분간 이러한 문제들이 심각한 영향을 주지는 않을 것으로 전망된다. 제주 전력계통에는 비상 시 300MW 까지 실시간으로 전력공급 조정이 가능한 고압직류송전설비(HVDC)와 한림복합, 제주가스터빈 등 대기에비력으로 운영할 수 있는 발전설비가 충분히 운영되고 있기 때문에 풍력설비에 의한 출력 변동은 사전 대비에 따라 충분히 수용될 수 있다.

제주 전력계통의 안정적 운영을 위하여 위의 사례들을 반영한 비상시 풍력발전량 차단 규정 수립과 관련회사들의 적극적인 협조가 필요하다.



참고문헌

- [1] Thomas Ackermann, “Wind Power in Power Systems” pp.169~194, 2005.
- [2] Richard Piwko, Dale Osborn, Robert Gramlich, Garry Jordan, David Hawkins, and Kevin Porter, “Wind Energy Delivery Issues : Transmission Planning and Competitive Electricity Market Operation”, 2005.
- [3] Peter Borre Eriksen, Thomas Ackermann, Hans Abildgard, Paul Smith, Wilhelm Winter, JuanMa Rodriguez Garcia, “System Operation with high wind penetration”, 2005.
- [4] 허종철, 제주도, “제주도내 풍력자원 조사에 관한 연구용역”, 2005.
- [5] 양익준, “풍력발전시스템이 연계된 계통의 과도안정성 고찰”, 2005.
- [6] Graham Sinden of the Environmental Changes Institute, University of Oxford, “Wind power and the UK wind resource”, 2005.
- [7] Edger A. DeMeo, William Grant, Michael R. Milligan, and Matthew J.Schuerger, “Wind Plant Integration”, 2005.
- [8] Mark Ahlstrom, Lawrence Jones, Robert Zavadil, and William Grant, “The Future of Wind forecasting and Utility Operations”, 2005.
- [9] Mihael Milligan, Kevin Porter, Brian Parsons, and James Caldwell, “Wind Energy and Power system Operations”, 2002.
- [10] Graham Sinden, “Characteristics of the UK wind resource: Long-term patterns and relationship to electricity demand”, 2005.
- [11] Kris Voorspools, William D’haeseleer, “Impact assessment of using wind power”, 2006.

감사의 글

전력거래소와 제주대학교간의 산학협력, 연구과제 수행을 계기로 업무의 연장선에서, 업무의 내실을 기하고자 하는 마음으로 대학원 등록을 하면서 열심히 해보자 결심하였습니다. 2년 반의 세월이 지난 지금 생각했던 것만큼 실천하지 못한 것이 많습니다. 아직도 부족한 데 그 동안 흐른 시간만이 유일한 졸업자격인 것 같아 그저 부끄러울 따름입니다. 비록, 그 동안 제가 연구하면서 얻은 지식과 이 논문이 여러 가지로 부족함이 많으나 오늘이 있기까지 제가 몸담은 전력거래소에 의해, 전력거래소를 위한 것이 되어야 함을 잊지 않을 것이며 제주대학교와 제주도의 발전을 위하여 연구하고 활용할 것임을 잊지 않겠습니다.

먼저, 여러 가지로 부족한 저를 아낌없는 격려와 가르침으로 지도하느라 애쓰신 김세호 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 다양한 전공분야와 그 외에도 많은 가르침을 주신 좌종근 교수님, 오성보 교수님, 이개명 교수님, 김일환 교수님, 김호찬 교수님께도 감사드립니다. 지사의 발전을 위하여 연구과제와 산학협력 추진을 지시하여 대학원과 인연을 맺게 해주신 김영준 전이사장님, 그리고 이를 적극 뒷받침해주신 최병교 전 제주지사장님, 에너지공학과 정범진 교수님, 이 분들이 계셨기에 오늘의 제가 있었습니다. 감사의 인사를 드립니다. 풍력에 관한한 최고 전문가이신 청정에너지실증연구센터 허종철 교수님! 풍력발전에 대한 여러 가지 조언과 풍속 자료지원에 감사드립니다.

지사특성상 퇴근 후의 시간을 보장하기 어려운 가운데에도 대학원 수강을 배려하고 이해하여 주신 지봉득 전 제주지사장님, 이효상 현 제주지사장님, 최병천 부장님과 현길주 부장님께도 감사를 드립니다. 데이터 분석과 논문 발표준비를 자기 일처럼 도와준 강진영씨, 이윤정씨 너무도 미안하고 뭐라고 감사를 드려야 할지 모르겠습니다. 너무너무 고맙습니다. 항상 옆에서 칭찬과

격려의 말을 해 주신 이경찬 과장님, 문수영 과장님, 김성호 과장님, 장시호 과장님 고맙습니다.

존경하는 산업대학원 선배님이신 김문찬 과장님, 그리고 전력계통연구실 동문 선배님이신 김태익 부장님, 신삼균 과장님, 고석범 과장님께도 감사를 드립니다. 동문수학한 동기이자 형님들인 이상근 과장님, 고성필 선생님, 고영진 선생님, 서로 협력하고 배려함으로 이렇게 같이 졸업할 수 있게 됨을 덕분으로 여기며 감사드립니다. 전력계통연구실의 일반대학원 양익준, 나경윤, 이승호, 고성민, 안재현, 변균익 후배님들, 부족한 저를 도와주심에 감사드리고 평생인연이 될 수 있도록 노력하겠습니다. 박사과정의 부창진 후배님께도 감사드립니다.

마지막으로 하루하루를 전쟁과 같은 삶을 살아가며 기다리던 유일한 지원군마저 오지 않는 배신감을 매일같이 감내해온 위대한 나의 아내 이영선과 아빠와 함께할 시간을 이유도 모른 채 빼앗겨온 지혜, 지은이, 현수, 지수, 정은이!! 사랑하는 나의 가족!! 너무도 미안하고 고맙습니다. 그 소중한 그 시간들을 꼭 되돌려 줄 수 있도록 열심히 노력하겠습니다.

처음으로 공부를 열심히 해 보고 싶다고 생각을 했었는데 막상 시간과 건강이 여의치 않았습니니다. 그러기에 이제 새로운 시작이라고 여기며 풍력에 관한 공부는 앞으로도 계속하고자 합니다. 언제나 말과 생각이 항상 앞서는 저이지만 그래도 세월이 흘러 꼭 찬 사람이 되어 있을 자신을 열심히 꿈꾸겠습니다.

2006년 6월
김영환 배상