

碩士學位論文

풍력발전기 회전자에 의한 전파장애  
현상에 관한 연구

指導教授 金 興 洙



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

111334

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

朴 原 徹

2001

# 풍력발전기 회전자에 의한 전파장애 현상에 관한 연구

指導教授 金 興 洙

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2001年 6月 日



濟州大學校 産業大學院  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY  
電子電氣工學科

提出者 朴 原 徹

朴原徹의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

2001年 7月 日

委員長 이 용 학 (인)

---

委員 임 재 윤 (인)

---

委員 김 흥 수 (인)

---

# 목 차

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>I. 서론</b> .....	<b>2</b>
<b>II. 전파이론</b> .....	<b>4</b>
1. 전자파의 전파현상 .....	4
1) 전파현상 .....	4
2. 전파경로 손실 및 모델 .....	6
1) 자유공간 손실 .....	6
2) 경로손실 모델 .....	7
3) 회절손실 모델 .....	8
3. 반사파에 의한 전파 .....	10
4. 도플러 효과 .....	12
<b>III. 제주도의 풍력발전 현황</b> .....	<b>14</b>
1. 풍력발전기의 시스템 구성 .....	14
1) 회전날개 .....	15
2) 브레이크 시스템 .....	15
3) 구성품의 배열 .....	15
2. 시스템 구성도 .....	15
3. 향후 풍력발전기의 설치 후보지 .....	17
<b>IV. 송수신시스템 및 표본지점</b> .....	<b>18</b>
1. 측정위치 .....	18
2. 수신시스템 .....	20
3. 상용서비스 주파수에 대한 측정 .....	21
4. 자체 송신기에 의한 측정 .....	22

<b>V. 측정 결과 및 고찰</b> .....	<b>23</b>
1. 상용서비스 주파수에 대한 측정결과 .....	23
1) FM방송 신호 .....	23
2) TV방송 7채널 신호(다이폴안테나) .....	27
3) TV방송 7채널 신호(야기안테나) .....	30
4) PCS 신호 .....	34
2. 자체 송신기에 의한 측정결과 .....	37
3. 설문조사결과 .....	41
<b>VI. 결론</b> .....	<b>43</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>44</b>
<b>부록 I. 설문조사서</b> .....	<b>45</b>



# A Study on Effect of Radio Waves by Wind Turbine Rotor

Park Won Chul

Department of Electrical and Electronic Engineering  
Graduate School of Industry  
Cheju National University

Supervised by Professor Heung-Soo Kim

## Abstract

In Jeju, the project, 「Clean·Eneropia·Jeju」, has been planned, so the electric energy by a wind power generator is going to be used for obtaining clean energy which is associated with regional characteristics. First, The wind power generator systems have been built and tested at Haengwon-ri, Pukjeju, then those systems are going to be extended to the whole area. The outward appearance of a system is made up of a pole of 45m of height and a rotator having three wings of 42m in diameter. And the system is designed to rotate 30-times per minute, so it is expected that the system takes a major role as a large reflector for the electromagnetic wave. Since, in the near future, a large number of wind power generator systems will be built, the communication services may be affected by the systems. So the preparations for avoiding the above are needed.

In this paper, the scattering and reflection phenomena of the electromagnetic wave by the operating system at Haengwon-ri are measured and analyzed. And then the countermeasure is worked out on the base of the results. For this, the variations of the electric field intensity of FM, TV broadcasting frequencies, PCS frequency, and random frequency are measured and analyzed. In addition, the inquiry on the locality is made for surveying the actual communication state by the communication devices.

## I. 서 론

제주도의 발전설비는 제주-육지간 계통연계를 감안한 단기 대책을 위주로 전원 개발이 이루어져 소용량, 저효율의 설비가 대다수를 차지하고 있다. 제주도의 경우 타지역에 비해 바람이 많은 특성을 살려 공해가 없는 청정에너지로 개발 공급해 나가기 위하여 풍력발전 시스템을 설치 운영하여 경제성을 확인함으로써 대체 에너지의 보급이 가능하다는 구상을 하게 되었다. 이러한 정부의 의지와 제주도의 지역에너지 사업이 일치되어 1991년 12월에 구상된 「글린·에너지토피아·제주」 계획의 여러 시나리오 중 풍력시스템 위주로 변경되어 1996년도부터 북제주군 구좌읍 행원리에 상업용 풍력발전기가 설치되기 시작하여 1998년 2월에 1, 2호기를 준공하였다.(제주도, 1998) 같은 해 8월에는 한국전력에 계통선을 연결하여 운영을 실시하고 상업운전을 개시하였으며 660KW 및 225KW급 3, 4, 5호기를 증설 착공하여 1999년 3월에 완공하였다. 3, 4, 5호기 준공과 더불어 6, 7호기 증설 실시계획을 착수하였고 2000년 7월에 750KW급 6, 7호가 증설 준공되어 모니터링 시스템 구축이 완료되었으며 2000년 10월에는 8, 9호기 증설 공사가 착공되어 2001년 6월에 준공되었다.

풍력발전은 1997년도에 시작하여 2006년도까지 150MW 건설을 목표로 추진되고 있으며 1단계인 1997년도부터 2002년도까지는 10MW의 행원 풍력발전시범단지 조성을, 2단계인 2003년도부터 2006년도까지는 제주도 전역으로 140MW의 건설을 확대할 계획으로 있다. 이 사업이 예정대로 추진되면 전력 10%이상을 지역에너지로 전환 공급할 수 있는 기반을 구축하고 에너지 대외 의존도 감축 및 청정 지역 환경 보존, 대체에너지 이용 기술 개발 산업 육성 등 지역경제의 활성화 등에 도움이 될 것으로 사료된다. 풍력발전사업 경영을 통한 지방재정 수입을 보면 1998년 8월부터 1999년 12월까지 342백만원의 판매수입을 올렸으며 2000년도 판매 545백만원 등 지금까지 887백만원의 수입을 올렸다. 향후 수입으로는 2001년도 7억(9기), 2002년도 10억(12기) 2003년도 이후에는 매년 12억 이상의(15기) 수입이 예상되고 있다.(제주도, 2000)

제주도 행원리에 설치된 풍력발전 시스템은 45미터의 높이에서 직경 42미터의 3날개 회전자가 분당 30회전하여 전기로 발전하고 있다. 이 회전자가 분당 30회전 함으로서 소음의 발생 요인뿐만 아니라 전파환경에서 전파 장애물로 작용할 가능성이 있으므로 차후 지속적인 풍력발전단지 조성에 앞서 풍력발전단지에서의 전파 특성에 관한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 가시거리 환경에 대한 전파특성을 분석하고 풍력발전단지에서 전자파 전파에 영향을 주는 회전자에 의한 전파특성을 분석한다. 풍력발전단지에서 전파에 영향을 주는 주 요인은 분당 30회전을 하는 직경 42미터의 회전자에 있다. 따라서 회전자의 회전방향과 회전자의 길이에 관련하여 6개의 표본지점을 선정하고 상용서비스와 자체 송신주파수에 대한 전파특성을 분석한다. 회전자가 없는 지점과 표본지점에서 각각 상용서비스의 중심주파수와 인접 주파수에 대한 측정 데이터로부터 주파수간 전계강도를 비교 분석한다. 또한 통신장비 사용에 따른 사용자의 실제 체감상태에 대해 지역주민을 대상으로 설문 조사하여 영향을 분석한다.

본 논문의 구성은 I장에서 제주도의 기후와 환경에 적합한 풍력발전기의 설치 과정과 풍력발전단지에서 전파특성 연구의 필요성과 방향을 제시하고 II장에서는 가시거리 환경과 장애물에 대한 전파모델을 설명한다. III장에서는 제주도의 풍력 발전 현황을 살펴보고, IV장에서는 풍력발전단지에서 회전자를 중심으로 표본지점 선정과 측정방법을 설명한다. 그리고 V장에서는 회전자에 의한 영향을 분석하기 위해 지향성이 다른 야기안테나와 다이폴안테나를 이용하여 회전자와의 각도와 거리에 따른 전파특성을 분석한다. 마지막으로 VI장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 전파 이론

무선통신에서 송신안테나로부터 복사된 전자파 에너지는 여러 전파경로를 통하여 수신안테나에 도달한다. 전파경로는 산, 언덕, 산림지역 등과 같은 자연적인 지형요소와 건물, 대형 광고판 등과 같은 인공구조물에 의해 반사되거나 회절되어 다중경로를 갖게 된다. 안테나에 여기된 전자파 에너지는 송신기지국으로부터 동일한 거리에 있다하더라도 수신 주위환경에 따라 큰 변화를 보인다. 따라서 주위 환경에 따른 전파현상 분석이 필요하다.

### 1. 전자파의 전파현상



전자파의 전파현상은 직접파, 반사파, 회절파로 구분할 수 있다. 반사파는 주로 대지 반사파 성분이며 회절파는 edge의 형태와 수에 따라 여러 가지로 구분할 수 있다. 전파현상을 분석하는 방법에는 크게 두 가지로 분류된다. 하나는 측정 데이터를 근거로 통계학적 방법을 통하여 해당지역의 전파모델을 유도하는 방법이고, 두 번째는 광이론을 이용하여 이론모델을 유도하는 방법이다. 전파경로상의 장애물로 인한 경로길이 차이에 대한 분석은 고려해야할 환경요인이 너무 많으므로 통계학적 개념이 도입되어야 한다.(Lee, 1993)

#### 1) 전파현상

전자파가 장애물을 만났을 때 전파현상을 크게 반사파와 굴절파 그리고 회절파로 분류할 수 있다. 전자파도 파동의 일종이므로 파동의 일반적 성질을 그대로 갖는다고 할 수 있다. Fig. 1과 Fig. 2는 파동의 진행현상 중 반사와 굴절 그리고 회절을 나타낸 것으로 이들 모두가 전자파의 전파에 중요한 역할을 한다.(이상설, 1998)

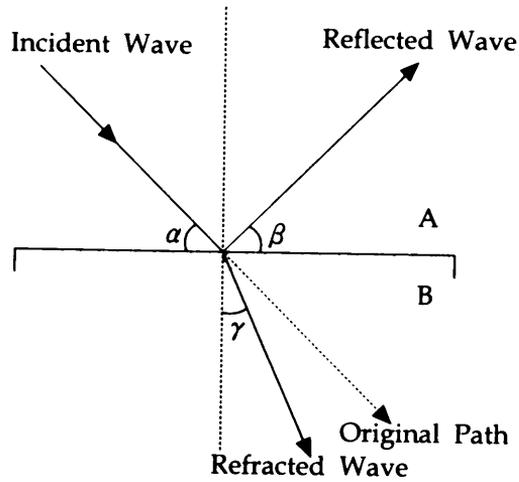


Fig. 1 Reflection and refraction on plane boundary

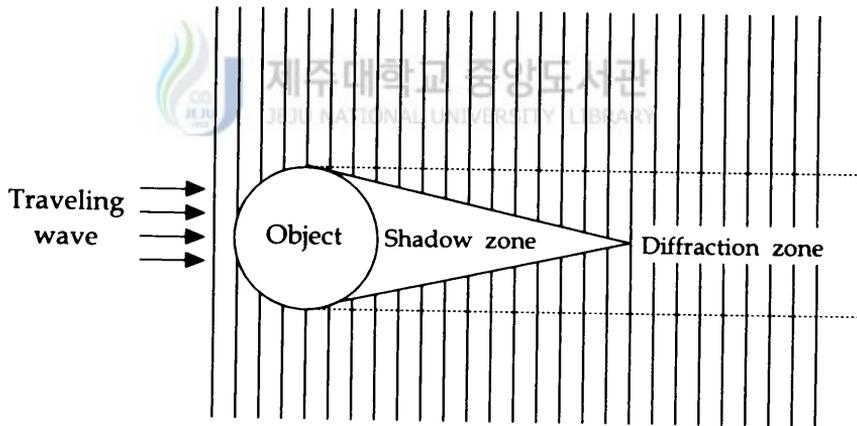


Fig. 2 Diffraction by an object

반사는 빛이 거울에 부딪힐 때처럼 파동이 밀도가 높은 반사 매질에 충돌할 때 일어나는 현상이다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 파동이 밀도가 다른 두 매질의 경계면에  $\alpha$ 의 각도로 입사되면 반사파는 입사각  $\alpha$ 와 동일한 반사각  $\beta$ 로 진행하게 된다.(Harrington, 1961) 굴절은 밀도가 다른 매질로 입사파가 진행하게 될 때 진행속도와 방향이 변화하는 현상이다. 이때 변화하는 양은 두 매질의 밀도 비율에 의해 결정된다. 만일 Fig. 1의 영역 B가 영역 A보다 밀도가 높아진다면 굴절각 역

시 그에 따라 커진다. 전파시스템에서는 밀도가 다른 공기 층이 Fig. 1에 나타낸 두 매질의 경계면이 될 수 있으며, 따라서 반사와 굴절현상이 발생할 수 있다.

회절현상은 Fig. 2에 보여진 것처럼 진행되는 파동이 투과할 수 없는 물체에 부딪혔을 때 발생한다. 이때 물체 뒤쪽의 음영영역은 파동이 물체 주변에서 구부러짐에 따라 원뿔형으로 발생하게 된다. 음영영역과 직접 전파영역 사이를 회절영역이라고 하며, 이 회절영역의 신호강도는 직접 전파영역에서보다 약하다. 한편 다른 물체에 반사된 파가 산란되어 음영영역에 존재할 수 있기 때문에 음영영역의 신호 강도는 0이 되지 않는다. 회절의 정도는 파장과 물체의 크기 및 전자기학적 특성에 의해 결정된다.

## 2. 전파경로 손실 및 모델



전파환경에서 직접파는 자유공간 전계강도 모델을 이용하여 구할 수 있고, 반사파는 대지면의 전기적 특성, 송·수신안테나 높이, 주파수를 고려한 대지면의 반사계수와 전파경로상 지형의 형태 등을 고려하여 구할 수 있다. 그리고 전파경로가 산악이나 풍차, 건물 등과 같은 인공 구조물로 인한 비가시거리 환경일 경우 회절 손실 모델을 이용하여 구할 수 있다.

### 1) 자유공간 손실

자유공간이란 전자파의 측면에서 장애물이 없는 이상적인 공간을 의미하며 전자파가 전파되는 과정에서 흡수와 산란 등에 의한 손실이 발생한다. 이러한 자유공간내의 모든 방향으로 균일한 전자파 에너지를 복사 또는 수신할 수 있는 무손실 등방성(isotropic) 안테나를 거리  $d$ 만큼 이격시켰을 때 수신안테나의 방향으로 이득이  $G_T$ 라고 하면 전력밀도는 다음과 같다.

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \tag{1}$$

유효면적이  $A_e$ 인 수신안테나에서의 유효전력은

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \cdot A_e = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \quad (2)$$

이 되며, 여기서  $G_R$ 은 수신안테나의 이득이다. 따라서 송·수신전력의 비는

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[ \frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (3)$$

되며, Friis 방정식(Parsons, 1992)이라 한다. 식(3)을 자유공간 전파손실  $L_F$ 로 표현하면 다음과 같다.

$$L_F = 10 \log G_T + 10 \log G_R - 20 \log f - 20 \log d + K \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

여기서 K는

$$K = 20 \log \frac{3 \times 10^8}{4\pi} = 147.56 \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

이다. 등방성안테나의 자유공간 경로손실  $L_B$ 은 안테나 이득이 1이므로 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} L_B &= -20 \log (f_{\text{MHz}} \times 10^6) - 20 \log (d_{\text{km}} \times 10^3) + 147.56 \\ &= -32.44 - 20 \log f_{\text{MHz}} - 20 \log d_{\text{km}} \quad [\text{dB}] \end{aligned} \quad (6)$$

자유공간 경로손실인 식(6)을 살펴보면, 거리 d의 자승에 반비례한다. 따라서 거리가 2d가 되면 6dB 감소하고 10d가 되면 20dB 감소한다. 경로손실은 전송 주파수의 자승에 비례하므로 주파수가 2배로 높아지면 손실은 6dB 증가하게 된다.

## 2) 경로손실 모델

장애물에 의해 전파경로가 차단되는 음영영역은 전파가 도달되지 않을 것으로 판단되지만 회절파 및 반사파에 의해 음영영역의 일부까지 도달하게 된다. 이 현상은 모든 주파수에서 발생하지만 상대적으로 낮은 주파수에서 강하게 나타나게 되며 장애물의 형태, 재질, 위치에 따라 다양한 전파특성을 갖는다. 특히, 이동통

신 시스템의 경우 서비스 가능지역을 예측하는 것은 지형의 형태, 도시화의 정도, 안테나의 높이 등과 같은 여러 가지 요소들을 고려해야만 되는 복잡한 문제이다. 따라서 이러한 자연적인 요소와 인공적인 요소들 때문에 정확한 해석은 어렵고, 통계이론을 이용한 근사적 접근방법이 널리 쓰이고 있다.(Lee, 1993) 이동전화의 경우 통화 가능지역이 클수록 좋지만 지형 및 도심지 인공구조물의 영향으로 전파특성 상 전 지역을 통화 가능한 지역으로 만드는 것은 실제로 불가능한 일이다. 따라서 적정한 기지국을 선정하여 음영영역을 줄이고 충분한 수신 전계강도가 유지되도록 송신기의 출력을 조정해야 한다. 송신출력이 적정 수준에 미달되었을 경우 음영영역은 넓어지며, 출력이 클 경우 타 무선국과의 간섭현상이 발생하게 된다. 따라서 효율적인 무선 통신시스템 구축 및 미래 이동통신을 개척하기 위해서는 전파전파 현상의 이론적 분석 및 해석이 이루어져야 한다.

전파경로 손실모델은 전파 통신시스템 설계시 전계강도 예측을 위해 사용되며 자유공간 손실현상에 실제 환경을 반영하기 위한 보정값을 추가하여 변형한 것이 대부분이다. 이러한 예측모델에는 대략적 예측을 위한 단순한 모델로부터 복잡한 계산과 방대한 데이터를 처리해야하는 정밀한 모델에 이르기까지 매우 다양하다.(Parsons, 1992) 따라서 목적에 부합하는 적절한 모델 선택이 중요한 것이라 할 수 있다. 대표적인 손실모델의 형태에는 에글리 모델(Egli, 1957)과 롱리-라이스(Longley와 Rice, 1967), 오쿠무라 모델(Okumura 등, 1968) 등이 있다.

### 3) 회절손실 모델

전파경로에는 하나의 장애물 또는 여러 독립된 장애물이 존재한다. 이러한 장애물에 의해 회절현상이 발생하므로, 구형의 지구 표면 또는 다양한 장애물이 분포해 있는 불규칙한 지형에서 회절에 의한 전송손실을 해석하는 것이 중요하다.

회절손실은 전파경로가 가시선(line of sight)이 아닌 경우에 발생하며, 지구의 굴곡으로 인한 지표 회절과 가시선 내의 장애물에 의한 회절 등이 있다. 일반적으로 마이크로파대 통신에서는 지구표면에 의한 회절과 산악, 건물, 풍차 등에 의한 회절현상을 고려해야 된다. 특히, 건물이나 풍차 등 인공적인 요소에 의해 발생하는 회절현상은 나이프 에지(knife edge)모델로 해석하게 된다. 이러한 나이프 에지

모델은 Fig. 3에서와 같이 장애물이 가시선 위에 있는 경우와 아래에 있는 경우로 구분할 수 있다. 송·수신 경로가 가시선상에 놓일지라도 프레즈넬(fresnel) 영역에 장애물이 존재하면 수신 전계강도는 불안정하게 된다.(Singer, 1994) 장애물이 가시선상으로 접근할수록 이러한 현상은 심해지며 가시선상에 놓일 때 6dB의 회절 손실이 발생한다. 장애물이 가시선상보다 높아질수록 회절손실은 증가하게 되므로 수신신호의 세기는 급격히 감소한다.

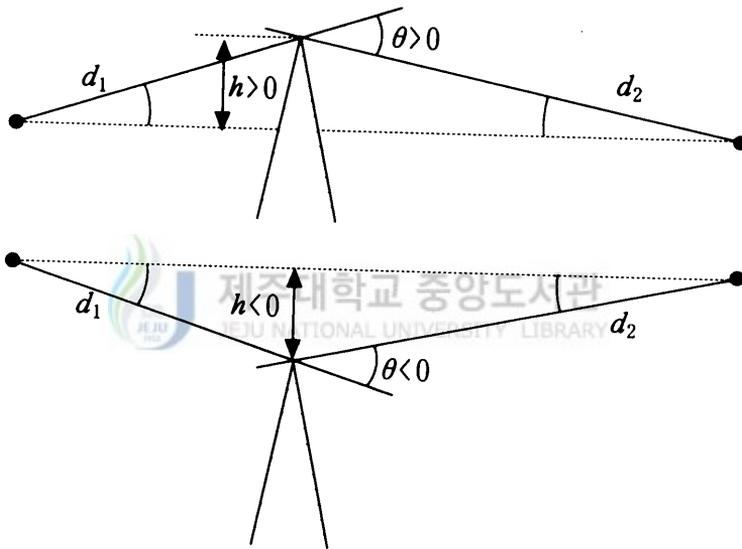


Fig. 3 Knife edge model

나이프 에지에 의한 회절손실의 이론값은 프레즈넬 적분을 통하여 구할 수 있으나 그 과정이 복잡하고, 특히 다중 장애물인 경우에는 이론적 해를 구하기 어려우므로 근사화된 식을 이용하게 된다. 이와 같은 근사식에는 리(Lee, 1975), 디이 고트(Deygout, 1966) 등이 실험에 의해 도출한 것이 있으며, ITU-R(international telecommunication union-radiocommunication)에서는 회절손실  $L(v)$ 을 다음과 같이 권장하고 있다.

$$L(v) = 6.4 + 20 \log [(v^2 + 1)^{1/2} + v] \quad , \text{ 단 } v > -1 \quad (7)$$

여기서  $v$ 는 Fresnel-Kirchhoff 회절계수로 다음과 같다.

$$v = h \left[ 2 \frac{(1/d_1 + 1/d_2)}{\lambda} \right]^{1/2} \quad (8)$$

### 3. 반사파에 의한 전파

반사파는 장애물에 한번 또는 그 이상 반사되어 수신하는 전파로 반사의 분석은 수신점으로부터 기하학적인 반사지점을 결정하는 것이 중요하다. 전파가 반사면에 접촉하는 경우 반사면의 전기적 상수는 반사면의 특성에 따라 다르고 완전 도체가 아닌 경우 완전 반사를 하지 못하고 일부는 침투하여 열에너지로 소모된다. 따라서 반사면의 조건을 고려하여 전계강도를 산출해야 보다 정확한 분석을 할 수 있다. 수신점에서 반사파의 크기는 안테나 지향성, 수신점의 높이, 반사면의 특성과 전파경로의 길이 등에 의존한다.(Maclean와 Wu, 1993)

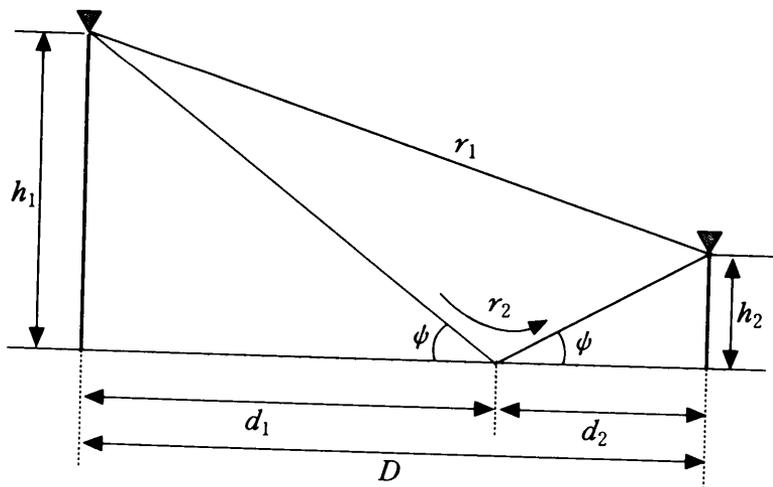


Fig. 4 Propagation paths over a flat plate

Fig. 4는 반사면에 의한 직접파와 반사파의 형태로 나타내었다. 반사표면이 평탄하면서 전파경로가 가시거리인 전파환경에서 반사파가 존재할 때 수신 전계강도는 다음과 같이 직접파  $E_d$ 와 반사파  $E_r$ 의 합으로 구할 수 있다.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_d + \mathbf{E}_r \quad (9)$$

직접파를 기준으로 반사파는 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\mathbf{E}_r = E_r e^{-j\theta} \quad (10)$$

여기서  $E_r$ 은 반사파의 크기이며  $\theta$ 는 직접파와 반사파간의 위상차이다. 그러므로 수신전계  $\mathbf{E}$ 의 크기는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E = \sqrt{E_d^2 + E_r^2 - 2E_d E_r \cos(\theta - \pi)} \quad (11)$$

여기서  $E_d$ 는 직접파의 크기이다. 직접파와 반사파의 실효 반사계수  $\rho_{eff}$ 를 이용하면 식(11)은 다음과 같이 표현된다.

$$E = E_d \sqrt{1 + \rho_{eff}^2 - 2\rho_{eff} \cos(\theta - \pi)} \quad (12)$$

식(12)에서 직접파  $E_d$ 를 자유공간 전계강도  $E_o$ 로 바꾸고 실효 반사계수  $\rho_{eff}$ 를 반사계수  $\Gamma$ 로 놓으면 수신 전계강도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = E_o \sqrt{1 + \Gamma^2 - 2\Gamma \cos(\theta - \pi)} \quad (13)$$

평탄한 반사면의 반사계수는 수평편파와 수직편파에 대해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Gamma_H = \frac{\sin \psi - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \psi}} \quad (14)$$

$$\Gamma_V = \frac{\epsilon_c \sin \psi - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \psi}}{\epsilon_c \sin \psi + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \psi}}$$

여기서 상대 유전상수(relative permittivity constant)  $\epsilon_c$ 는  $\epsilon_r - j60\sigma\lambda$ 이다.  $\psi$ 는

반사면과 전파경로가 이루는 각도이며, 편파특성과 주파수 그리고 반사면의 전기적 특성에 따라 변화한다.

#### 4. 도플러효과(Doppler effect)

기지국의 송신안테나로부터 전송되는 전파는 다중경로를 거쳐 수신안테나에 도달한다. 불규칙한 지형에 의한 다중반사와 수많은 장애물에 의한 회절 및 반사 등에 의해 수신되는 전파는 서로 다른 진폭과 위상을 갖는 여러 파의 합성파가 된다. 수신 합성파의 진폭과 위상 그리고 주파수는 확률 분포로 표현되는 랜덤특성을 갖는다. 실험적으로 측정된 진폭특성은 주로 레일리(Rayleigh)분포를 나타내며 위상은  $0 \sim 2\pi(\text{rad})$ 의 일정한 분포를 보인다. 이와 함께 각 경로를 통해 도달하는 전파들의 시간적 차이에 의해 지연확산(delay spread)현상이 발생하며 이동국이 이동하고 있는 경우에는 도플러효과에 의한 반송주파수 천이도 일어난다.

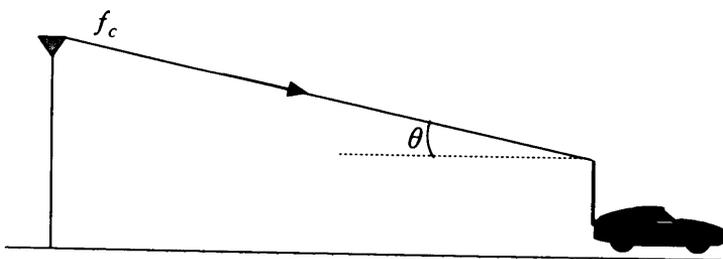


Fig. 5 Doppler effect

Fig. 5에는 기지국으로부터 송신되는 반송주파수가  $f_c$ 이고 이동국이 속도  $v$ 로 수신파의 방향에 대해  $\theta$ 방향으로 움직이고 있는 상태를 표현하였다. 이 환경에서 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = A \exp[j(2\pi f_c t - \beta r \cos \theta)] \quad (15)$$

여기서  $\beta = 2\pi/\lambda$ 이다. 이동국의 이동거리는  $r = vt$ 이므로 식(15)를 다시 쓰면

$$r(t) = A \exp[j2\pi(f_c - \frac{v}{\lambda} \cos \theta)t] \quad (16)$$

가 된다. 따라서 수신되는 신호의 주파수  $f_r$ 는

$$f_r = f_c - f_d \quad (17)$$

가 되며, 여기서  $f_d$ 는 도플러 주파수로 다음과 같다.

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta \quad (18)$$

수신국이 이동하고 있을 경우에는 반송주파수  $f_c$ 에서 도플러 주파수만큼 천이가 일어난다. 다시 말해서 도플러효과(doppler effect)는 송신 신호원과 수신기 사이에 상대적인 움직임이 있을 때 수신기에서 감지되는 전파의 주파수가 송신 기지국으로부터 방사되는 주파수와 달라지는 현상을 말한다. 이때 전파가 발생하는 곳으로 진행하는 이동체는 송신주파수보다 높은 주파수로 수신하게 되며, 그 반대방향으로 진행하는 경우에는 낮은 주파수로 수신하게 된다. 즉, 송신지점에서는 전파의 주파수가 일정할지라도 이동체가 움직임으로써 수신지점에서의 주파수가 일정하지 않으며, 이러한 현상은 이동체의 이동속도가 커질수록 현저하므로 수신 전파의 감쇠가 발생하는 원인 중의 하나가 된다.

특히, 풍력 발전기와 같이 회전하는 물체가 있는 경우 회전자에 의해 발생하는 도플러효과를 고려해야 한다. 풍력 발전기의 회전자는 분당 30회전을 하고 있어 이로 인하여 전자파의 감쇠뿐만 아니라 중심 주파수의 천이가 발생하게 된다.

### III. 제주도의 풍력발전 현황

#### 1. 풍력발전기의 시스템 구성

Fig. 6에는 행원지역 풍력발전기의 외형을 나타내었다. 회전자는 3개의 날개로 구성된 단단한 강철 허브로서, 날개는 일정한 각도로 Fig. 6과 같이 고정되어 있다. 날개를 허브에 부착시킬 때에는 각각의 끝 각을 풍력터빈의 특성과 설치환경에 적합하도록 조정하여 최적화를 시킨다. 풍속이 13~14m/s 이상이 될 때 점차적으로 날개에 나타나는 물리적 공기역학 현상인 스톨링(Stalling)에 의해 전력출력이 통제된다. 이러한 조정방식은 복잡한 유압 및 기계적 상호작용 없이 필요에 따라 순간적으로 통제하는 가장 효과적이고 간편한 방법이다.(쌍용건설, 1999)

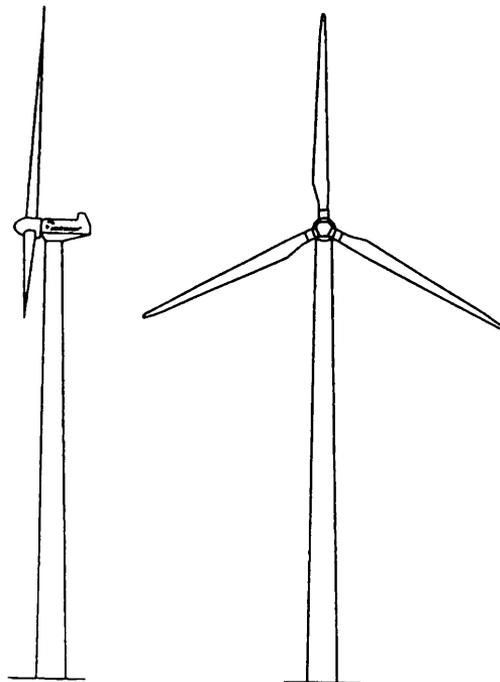


Fig. 6 Illustration of wind turbine

### 1) 회전 날개(Rotor Blades)

회전 날개는 약 23.5m이며 2가지 방식이 있다. 날개의 공통점은 섬유유리재로 되어 있으며 이 섬유유리재는 폴리에스터 활대로 보강되어 있다. 날개의 기초부분(Blade Root)은 일체성형의 강철 바로서 이 부분을 섬유유리재인 실로 감고 고열로 응고시키면서 공기를 넣어주고 다시 섬유유리재를 감으면서 wood-epoxy를 넣어 만들어진다. 이는 대부분이 유리재 대신 폴리에스터와 에폭시 수지가 사용된다. 그러나 날개 표면은 섬유유리재와 에폭시로 되어있다.

### 2) 브레이크 시스템

브레이크 시스템은 안전장치용으로 설계된다. 풍력터빈 조정기가 정지 명령을 내리거나 전기공급이 차단되면 브레이크가 열리고 풍력터빈이 정지된다. 브레이크 시스템은 두 가지 주요소로 이루어진다. 즉 로터축에 위치하는 Blade tip air 브레이크와 기어박스에 위치한 기계식 브레이크가 있다. 각 시스템은 유압 유니트로 동작된다.

### 3) 구성품의 배열

20톤 형태의 풍력터빈은 강도와 내구성의 극대화를 목적으로 특수 설계된 강철구조물인 튜브같은 엔지베드를 기초로 하고있어 모든 피로부하에 20년 이상 견딜 수 있다. 프레임이 앞 머리부분에는 모든 주요 구성품들이 볼트 체결될 수 있도록 견고한 내부 프랜지가 형성되어 있다. 설계에 있어서 모든 주요 구성품들이 너셀과 동일 중심선을 이루며 배열된다.

## 2. 시스템 구성도

Fig. 7에는 행원 풍력발전시스템의 구성도를 나타내었다. Fig. 7에서 ACB는 자동차단기, TR은 480V/22.9KV 풍력발전용 변압기, VCB는 수동차단기, GRID는 계

전기를 나타낸다. 풍력발전시스템은 운전 현황이나 고장 정지의 원인과 현재 상태 등에 대한 정보를 종합적으로 얻어, 이에 대한 적절한 대책을 강구토록 설계되어 있다.

풍력발전시스템의 원격제어 방식은 크게 2가지가 있다. 하나는 전화선과 모뎀을 이용하여 원격지에서도 운전현황을 살펴 볼 수 있도록 하는 방식과 또 하나는 지역망(LAN)을 이용하여 1~2Km 이내의 비교적 근거리에서 통신선로를 이용하는 방식이다. 제주 행원의 풍력발전시스템의 경우 원격지에서 모뎀을 통해 운전상태를 감시할 수 있도록 설계 구성되어 있어 제주시내에서도 제주도청, 제주대학교, 한국에너지기술연구소가 있는 대전이나 혹은 원제작사인 덴마크에서도 상호중복만 되지 않는다면 언제 어디서나 운전상황과 고장, 정지의 원인과 상황에 대한 정보를 얻을 수 있고 지난 기간의 운전실적, 경보기록 및 각종 데이터에 대한 정보도 동시에 얻을 수 있도록 설계되어 있다. 송전형태로는 한전 계통선에 병렬공급 운영되고 있으며 현 발전량으로는 6,000MWh로 현 이용률에 약 20%이며 향후 예상 이용률은 30.4%이다. 가장 보편적인 허브의 높이는 약 46M이며 회전자의 직경은 43~48M이다.(제주도, 2000)

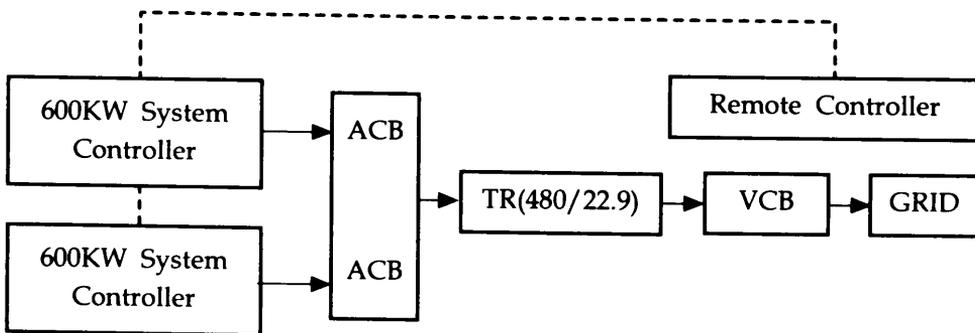


Fig. 7 System block diagram of wind power generator

### 3. 향후 풍력발전기의 설치후보지

Fig. 8에 풍력발전기의 현 설치위치(구좌)와 향후 예정지점(■)을 표시하였다. 현재 북제주군 구좌읍 행원리 풍력발전단지외 에너지기술 연구소가 있는 한림읍 월령리와 중문관광단지 입구에 관광용으로 설치되어 있다. 2000년 2월까지 김녕, 신산, 대유, 하모, 무릉, 광평, 남읍 등 18개 지역에 풍력자원 조사를 실시하였으며 2001년 11월까지 7개 지역에 추가로 타당성 조사를 실시 중에 있다.(제주도, 2000)

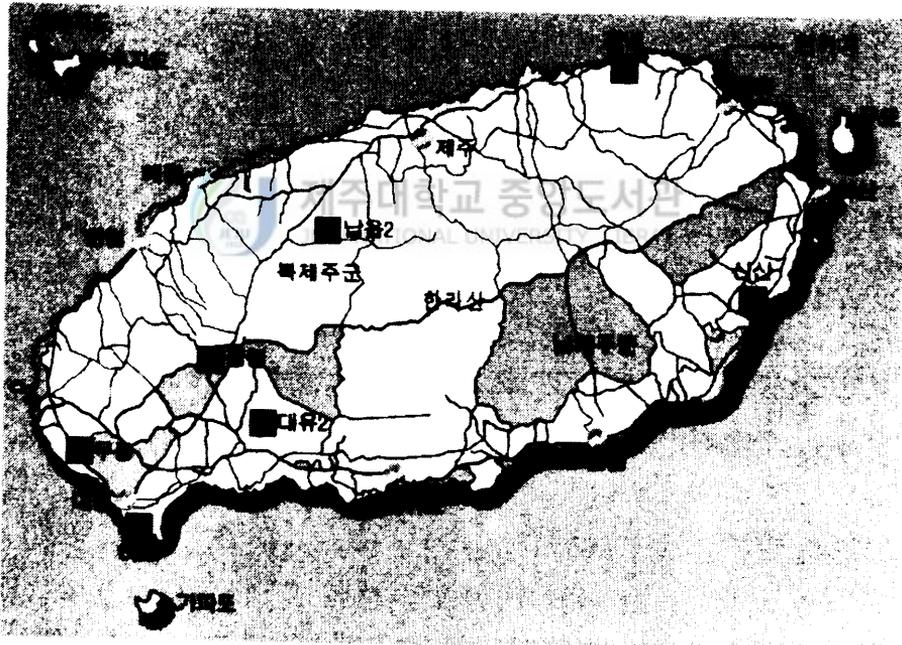


Fig. 8 Building scheme of wind power generator in Jeju

## IV. 송수신 시스템 및 표본지점

전자파의 전파현상에서 수신신호를 감쇠시키는 주된 요인에는 산, 언덕, 수면, 산림지역 등과 같은 자연적인 지형 요소와 건물과 같은 인공구조물 요소가 있다. 송신기지국으로부터 동일한 거리의 전계강도는 전자파 수신 주위환경에 따라 큰 변화를 보인다.

풍력발전기의 회전자는 3날개를 갖고 분당 30회전하기 때문에 대형 반사체로 간주할 수 있다. 이로 인하여 전자파의 감쇠뿐만 아니라 중심 주파수의 천이의 원인이 될 수 있다. 그러므로 풍력발전기의 회전자에 의한 영향 평가는 필요하다.

### 1. 측정 위치



Fig. 9는 축척이 1:25,000으로 행원 풍력발전 시범단지의 지형도를 나타내고 있다. 행원 풍력발전 시범단지는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 제주도 북제주군 구좌읍 행원리와 한동리 서하동 사이의 돌출된 해안가에 위치하고 있으며, 12번 국도가 행원리를 지나고 있고 행원농공단지를 위해 도로가 건설되어 있다. 직경 42m 인 풍력발전기의 회전자에 의한 전자파 반사 및 산란의 영향을 분석하기 위해 Fig. 10과 같이 표본지점을 선정하였으며, 회전자 중심과 측정 지점간의 거리 및 사이 각은 Table 1과 같다. FM과 TV방송, PCS 등과 같은 상용서비스 경우는 각각의 송신소와 기지국을 송신위치로 정하고, 자체 송신시스템에 의한 신호는 회전자의 중심으로부터 약 212m 떨어진 곳에서 송신한다.

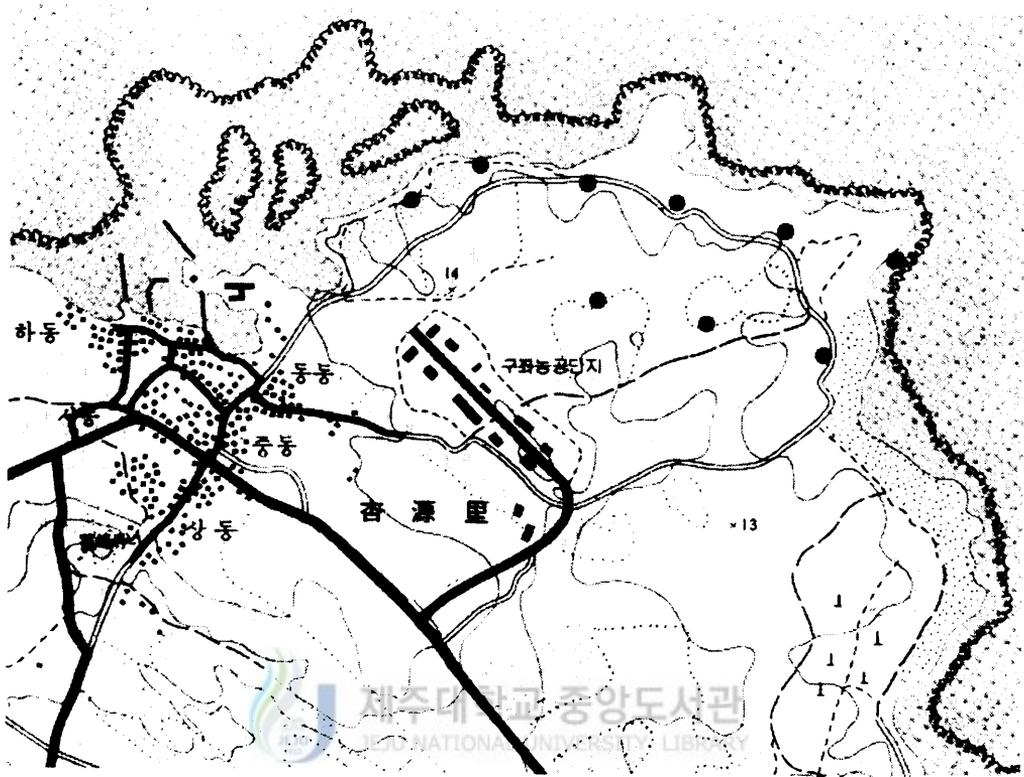


Fig. 9 Location map of wind power generator system in Haengwon

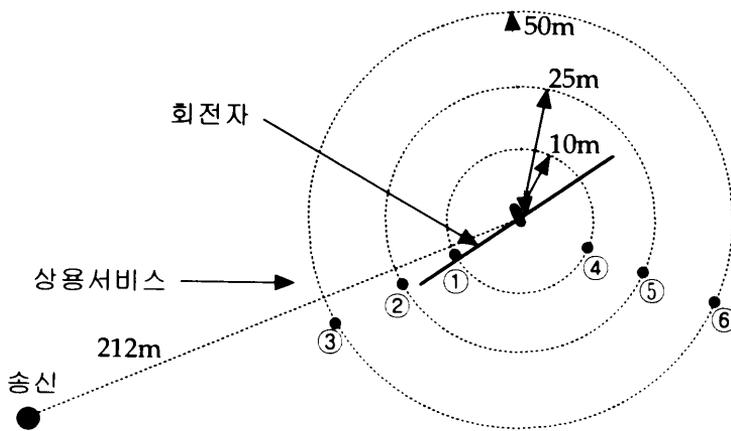


Fig. 10 Sample points for measuring

Table 1 Parameters of sample points

표 본 지 점	1	2	3	4	5	6
거 리	12.4m	26.8m	52.1m	12.0m	27.0m	51.5m
각도(회전자기준)	-1°	-6°	-9°	131°	134°	135°

## 2. 수신시스템

수신시스템은 상용서비스의 신호세기와 자체 송신신호의 세기를 수신하기 위해 Fig. 11과 같이 구성하였고 각각의 장비 제원은 Table 2와 같다. 전원장치는 차량용 배터리와 DC/AC 변환기를 사용하여 전계강도 측정기와 GPIB 외장형 카드 그리고 노트북 컴퓨터에 전원을 공급한다. 노트북 컴퓨터는 전계강도 측정기를 제어하여 연속적으로 수신되는 신호세기를 기록한다.

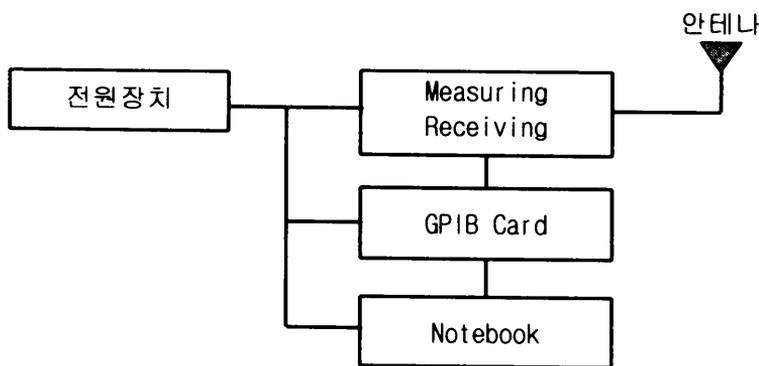


Fig. 11 Receiving system block diagram

수신안테나로는 야기안테나와 다이폴안테나를 사용하였으며 이들 안테나는 지향성이 서로 다르므로 전파되는 방향에 대한 신호의 세기를 분석하는데 이용한다.

다이폴안테나 복사패턴은 수평면에 대해 등방성이고 수직면에서는 72도의 반 전력 빔 폭을 갖고 있어 반사파 혹은 회절파의 입사방향에 따라 수신 전계강도에 영향을 준다.

Table 2 Specifications of receiving system

장 비 명	제 원	
	범 위	전 력
Measuring Receiver	25MHz~3GHz	Max:108dB $\mu$ V/m
Dipole Antenna	520MHz~1000MHz	
Yagi Antenna	174MHz~216MHz	
Notebook Computer	CPU:486	



### 3. 상용서비스 주파수에 대한 측정

측정 주파수는 현재 서비스 중인 FM과 TV방송, PCS의 주파수로 각각의 중심 주파수와 대역폭은 Table 3과 같다. 전계강도 수신기의 신호 대역폭은 120KHz로 설정하여 전계강도를 측정하였다. 각각의 서비스 주파수에 대해 도플러효과를 확인하기 위하여 중심주파수를 기준으로  $\pm 12.5\text{KHz}$ 와  $\pm 25\text{KHz}$ 만큼 이동하였다. 그리고 표본지점에서는 다이폴 및 야기안테나를 사용하여 전계강도를 측정하였다.

Table 3 Frequency and bandwidth of commercial radio

구 분	FM방송	TV방송(음성)	PCS
중심주파수	90.1MHz	179.75MHz	1863.75MHz
채 널 폭	260KHz	1.5MHz	1.25MHz

#### 4. 자체 송신기에 의한 측정

전파 측정을 위한 송신시스템은 풍력발전기의 회전자에 의해 전자파 전파 및 산란의 영향을 자세히 분석하기 위하여 Fig. 12에 보이는 자체 송신 시스템을 구성하였으며 제원은 Table 4와 같다. 전원장치는 600W 발전기를 사용하였으며, 신호발생기로 송신되는 신호는 중심주파수 185.75MHz에 15KHz의 연속신호를 주파수 변조하여 야기안테나에 급전된다. 야기안테나는 주파수 174MHz에서 216MHz까지의 주파수 범위에서 최대 효율을 가진다.

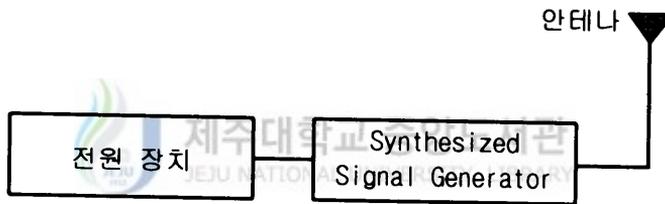


Fig. 12 Transmitting system

Table 4. Specification of transmitting system

명 칭	제 원	
	범 위	전 력
Synthesized Signal Generator	10MHz~2.7GHz	Max 17dBm
Yagi Antenna	174MHz~216MHz	

측정 주파수는 185.75MHz이며, 전계강도 수신기의 신호 대역폭은 15KHz을 설정하여 전계강도를 측정하였다. 송신주파수에 대해 도플러효과를 확인하기 위하여 중심주파수를 기준으로 -5KHz에서 5KHz까지 1KHz씩 이동하면서 전계강도를 반복 수신하였다. 신호를 송신 및 수신할 때의 안테나는 주 빔 방향이 풍력발전기 회전자 중심 방향과 일치하도록 설치하였다.

## V. 측정 결과 및 고찰

풍력발전기가 설치되어 있는 환경에서의 전자파 측정은 현재 서비스하고 있는 신호와 자체 송신한 신호에 대하여 이루어졌다. 각각의 신호 주파수에 대한 측정 데이터의 평균값과 표준편차를 계산하고 이를 토대로 주파수, 거리 그리고 각도에 따라 풍력발전기의 회전자에 의한 영향을 고찰한다.

상용서비스 신호와 자체 송신한 신호를 대상으로 측정한 표본지점은 거리 12m의 표본지점1과 표본지점4, 거리 27m의 표본지점2와 표본지점5 그리고 거리 51m의 표본지점3과 표본지점6이다.

### 1. 상용서비스 주파수에 대한 측정 결과

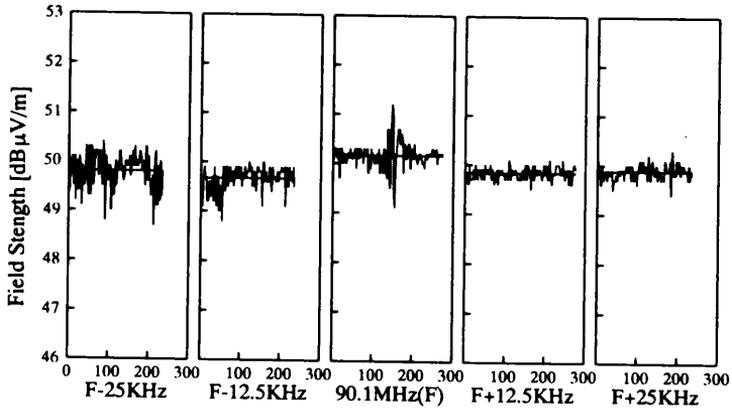


풍력발전기 주변에서 측정한 데이터와 비교해야 할 기준 데이터가 필요하므로 거리가 풍력발전기로부터 500m 떨어지고 장애물이 없는 지점을 기준지점으로 선정하였으며, FM과 TV방송, PCS신호에 대하여 측정하였다.

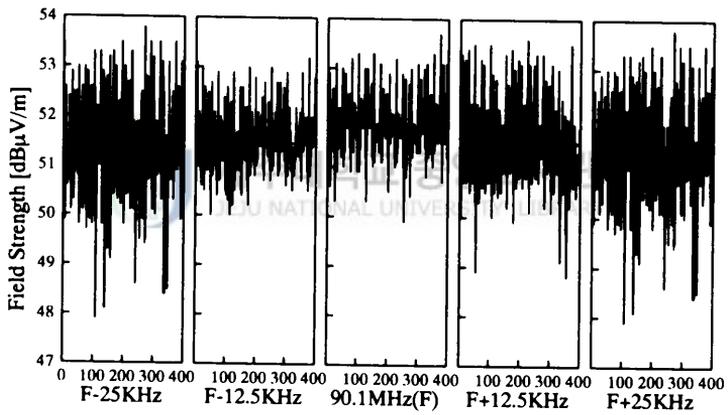
#### 1) FM방송 신호

Fig. 13은 수신주파수가 90.1MHz이고 수신안테나가 다이폴안테나일 때의 표본지점에 대한 전계강도 분포이며 Table 5는 전계강도의 평균과 표준편차이다. 다이폴안테나 복사패턴은 수평면에 대해 등방성이고 수직면에서는 72도의 반 전력 빔폭을 갖고 있어 반사파 혹은 회절파의 입사방향에 따라 수신 전계강도에 영향을 준다.

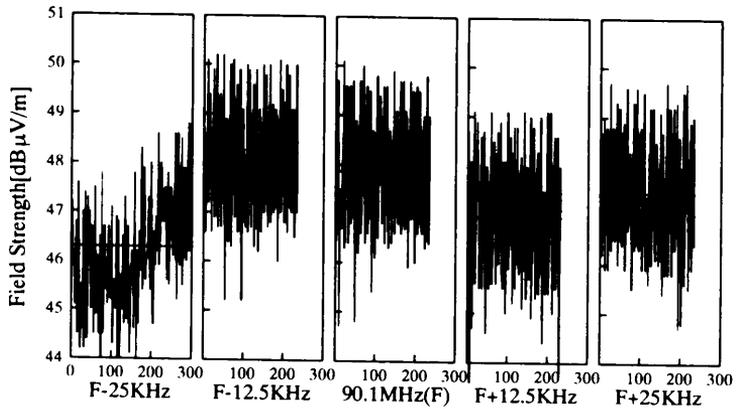
모든 표본지점의 전계강도는 기준지점에서의 값보다 최소 1.4dB, 최대 4.8dB의 변동폭을 보였다. 이는 전파의 경로를 일부 차단하는 장애물이 있는 장소에서 나타나는 일반적인 현상이다.



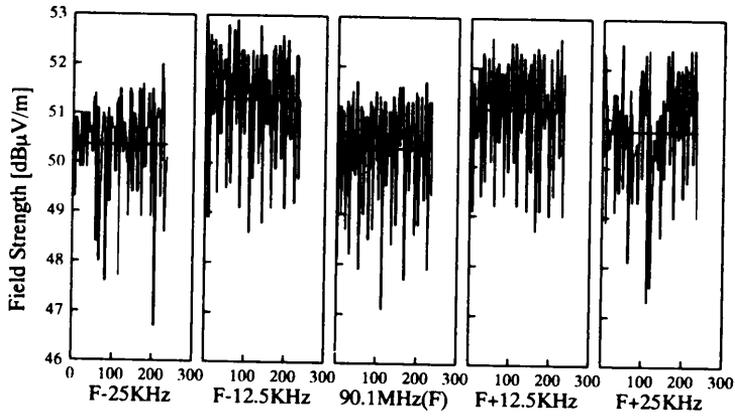
(a) Reference point



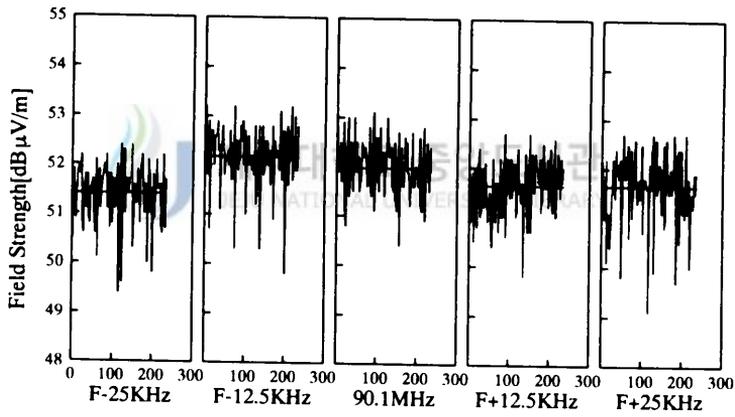
(b) Sample point 1



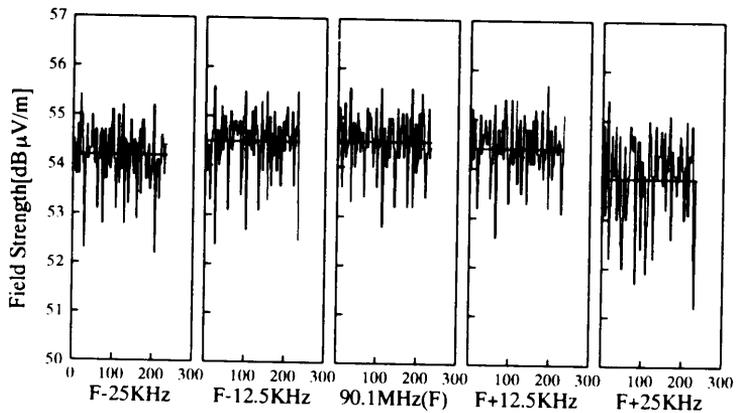
(c) Sample point 2



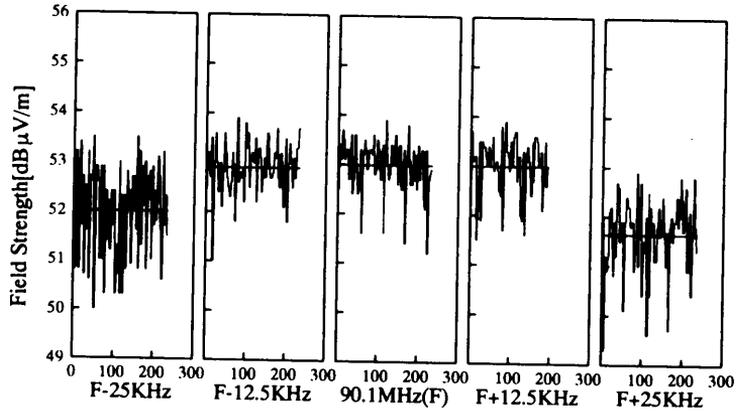
(d) Sample point 3



(e) Sample point 4



(f) Sample point 5



(g) Sample point 6

Fig. 13 Field Strength distribution(90.1MHz)

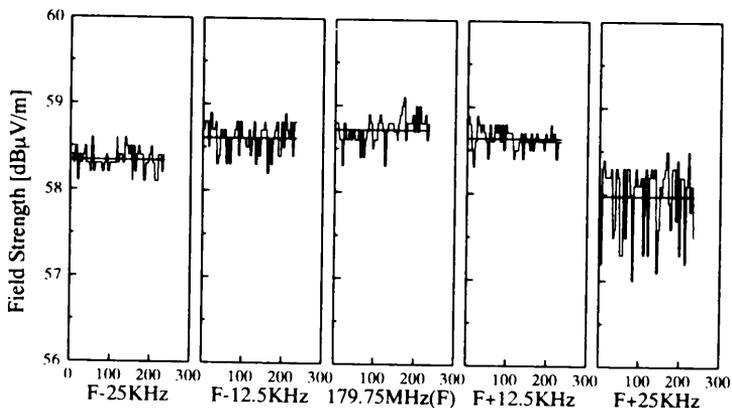
Table 5 Average Field Strength on Fig. 13(unit dB $\mu$ V/m)

위치	구분	평균	표준편차	구분	평균	표준편차
기준	F-25KHz	49.80	0.37	4	51.41	0.62
	F-12.5KHz	49.67	0.24		53.18	0.62
	F=90.1MHz	50.16	0.28		52.98	0.56
	F+12.5KHz	49.83	0.12		52.64	0.57
	F+25KHz	49.88	0.15		52.65	0.71
1	F-25KHz	51.41	0.92	5	54.20	0.66
	F-12.5KHz	51.47	0.80		54.49	0.67
	F=90.1MHz	51.85	0.79		54.52	0.63
	F+12.5KHz	51.52	1.08		54.41	0.62
	F+25KHz	51.32	1.31		53.83	0.92
2	F-25KHz	46.29	1.29	6	51.99	0.94
	F-12.5KHz	48.07	1.31		52.91	0.53
	F=90.1MHz	47.88	1.34		52.99	0.51
	F+12.5KHz	46.96	1.45		53.00	0.62
	F+25KHz	47.48	1.34		51.64	0.74
3	F-25KHz	50.36	1.08			
	F-12.5KHz	51.31	1.22			
	F=90.1MHz	50.34	1.19			
	F+12.5KHz	51.17	1.12			
	F+25KHz	50.75	1.18			

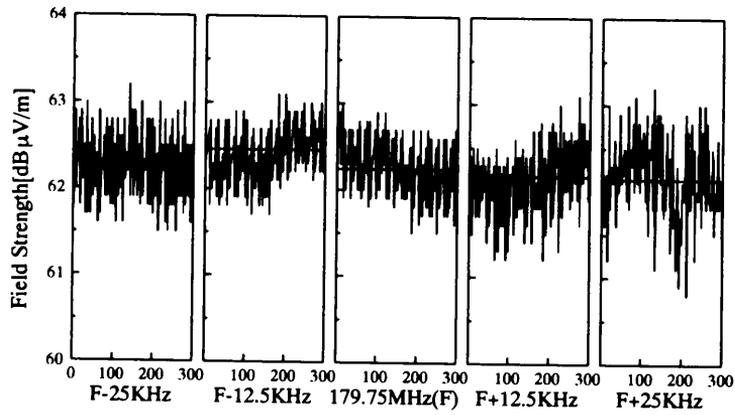
표본지점은 각도에 따라 두 영역으로 구분된다. 표본지점1, 2, 3은 회전면과 동일한 방향으로 위치하며, 표본지점4, 5, 6은 회전면에 대해 약 130도에 분포한다. 각도에 따른 두 영역에 대하여 표본지점의 표준편차는 각각 비슷한 값을 가지고 있어 두 영역으로 구분됨을 확인할 수 있다. 거리에 따른 영향으로 회전면에 위치한 표본지점의 평균은 기준지점과 비슷한 값을 보이나 표준편차는 약 1dB 정도 크다. 또한 회전자의 반경과 동일한 지점인 표본지점2에서의 평균은 가장 작고 표준편차는 크게 나타났다. 회전면에 대해 130도 방향의 표본지점에서는 평균 및 표준편차가 기준지점에 비해 크게 나타났다. 장애물이 없는 지역에서 수신되는 전계강도는 주로 직접파에 의한 것이지만 회전자와 같이 전파에 영향을 주는 요인이 있을 경우는 장애 요소에 의한 반사파와 회절파에 의해 수신 전계강도는 증감이 일어나며 합성신호간의 위상 차이에 의해 변동폭은 달라지게 된다.

## 2) TV방송 7채널 신호(다이폴안테나)

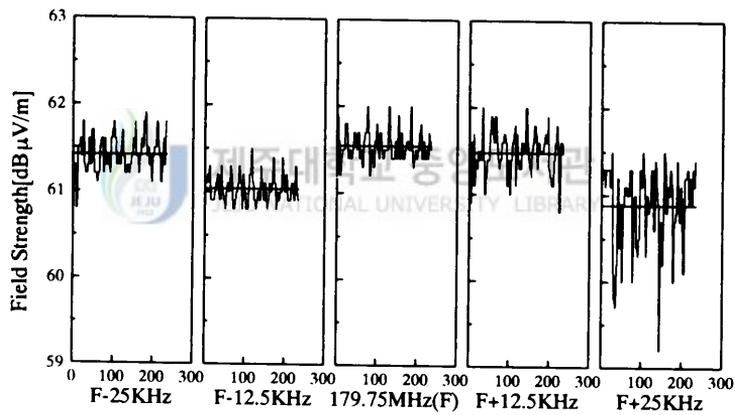
Fig. 14는 수신주파수가 179.75MHz이고 안테나가 다이폴안테나일 때의 표본지점에 대한 전계강도 분포이며 Table 6은 전계강도의 평균과 표준편차이다. 모든 표본지점에서의 표준편차는 기준지점에 비해 약 0.2dB의 차이를 보여 비슷하다. 각도에 따른 표본지점에서의 평균은 130도 방향의 표본지점에서는 약 3dB의 큰 값을 보이며 거리 10m의 표본지점에 대해서는 약  $62\text{dB}\mu\text{V/m}$ 로 비슷하다.



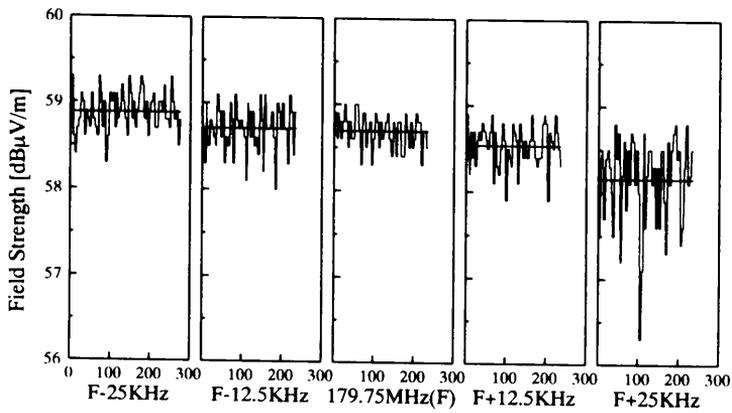
(a) Reference point



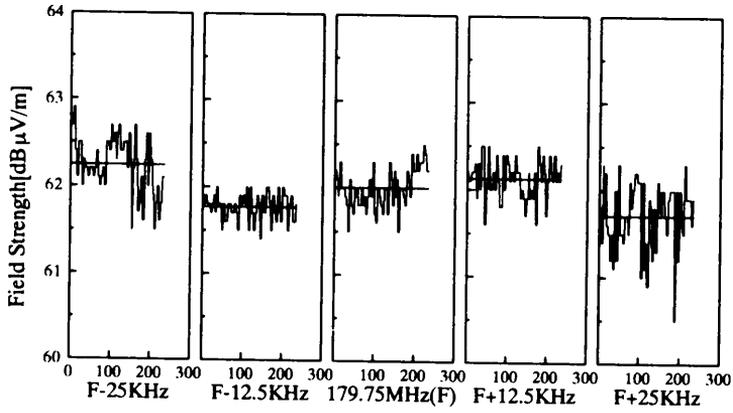
(b) Sample point 1



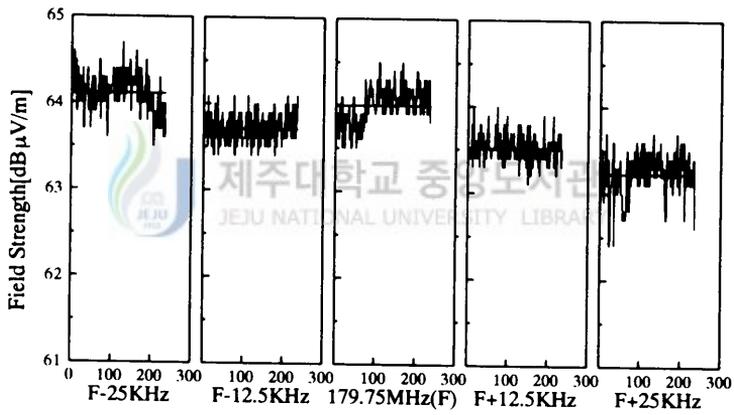
(c) Sample point 2



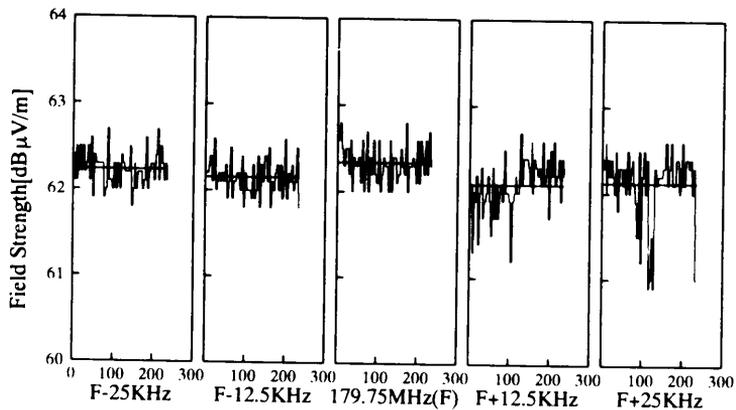
(d) Sample point 3



(e) Sample point 4



(f) Sample point 5



(g) Sample point 6

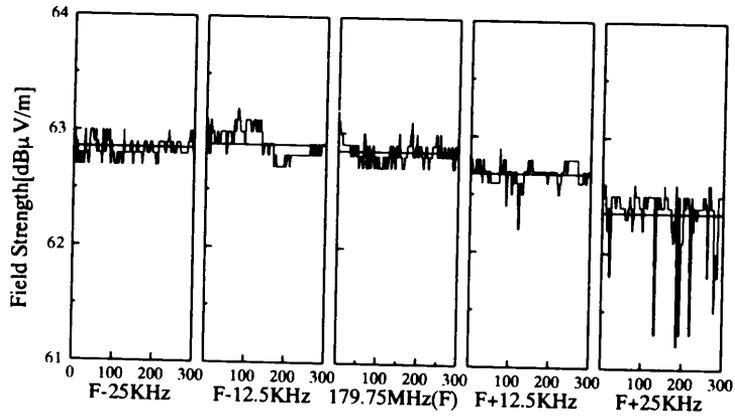
Fig. 14 Field Strength distribution(179.75MHz)

Table 6 Average Field Strength on Fig. 14(unit dB $\mu$ V/m)

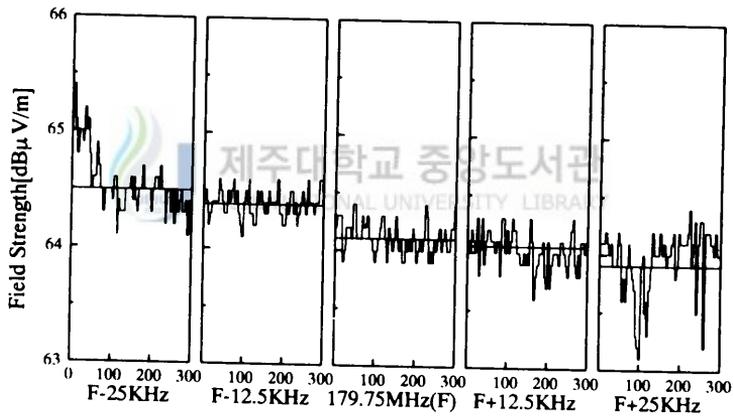
위치	구분	평균	표준편차	위치	평균	표준편차
기준	F-25KHz	58.34	0.12	4	62.25	0.32
	F-12.5KHz	58.61	0.18		61.77	0.15
	F=179.75MHz	58.72	0.16		62.01	0.23
	F+12.5KHz	58.63	0.13		62.13	0.23
	F+25KHz	57.98	0.41		61.71	0.38
1	F-25KHz	62.32	0.42	5	64.12	0.25
	F-12.5KHz	62.46	0.34		63.71	0.19
	F=179.75MHz	62.25	0.36		64.00	0.23
	F+12.5KHz	62.17	0.45		63.52	0.19
	F+25KHz	62.14	0.51		63.23	0.27
2	F-25KHz	61.42	0.21	6	62.24	0.20
	F-12.5KHz	61.04	0.16		62.16	0.21
	F=179.75MHz	61.54	0.18		62.34	0.22
	F+12.5KHz	61.48	0.25		62.09	0.31
	F+25KHz	60.89	0.48		62.12	0.41
3	F-25KHz	58.89	0.23			
	F-12.5KHz	58.71	0.26			
	F=179.75MHz	58.69	0.19			
	F+12.5KHz	58.54	0.25			
	F+25KHz	58.16	0.52			

### 3) TV방송 7채널 신호(야기안테나)

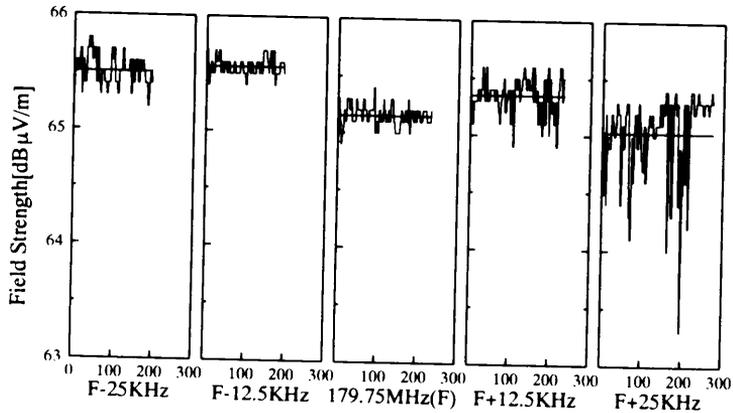
Fig. 15는 Fig. 14의 수신주파수와 같고 수신안테나를 야기안테나로 할 경우의 표본지점에 대한 전계강도 분포이며 Table 7은 측정데이터의 평균과 표준편차이다. 측정데이터의 평균은 모든 표본지점에서 기준지점에 비해 약 2~7dB 정도 크게 나타났고 표준편차는 모든 지점에서 유사한 값을 가졌다. 모든 표본지점의 측정데이터는 Fig. 14의 결과와 다르게 나타났다. 수신안테나로 사용된 야기안테나는 다이폴안테나와 달리 수직면뿐만 아니라 수평면에 대해 지향성을 가지고 있다. 또한 후방의 패턴은 전방에 비해 매우 약하기 때문에 다이폴안테나에 비해 주위 환경에 의한 영향을 적게 받으므로 회전자에 의한 영향이 있음을 확인할 수 있다.



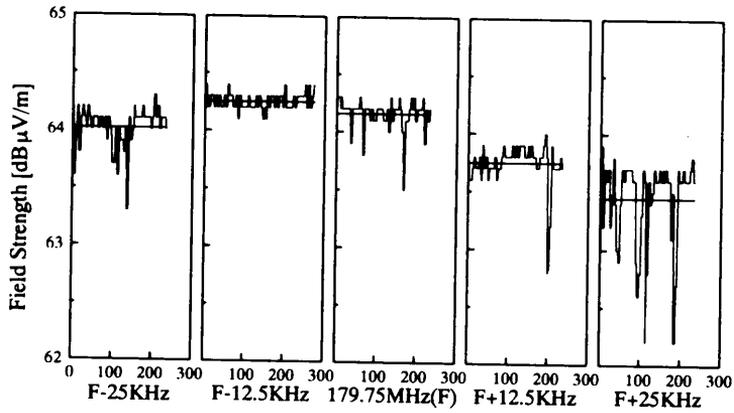
(a) Reference point



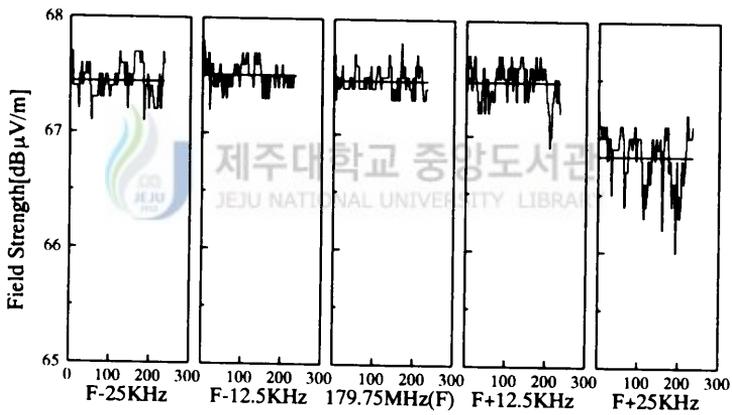
(b) Sample point 1



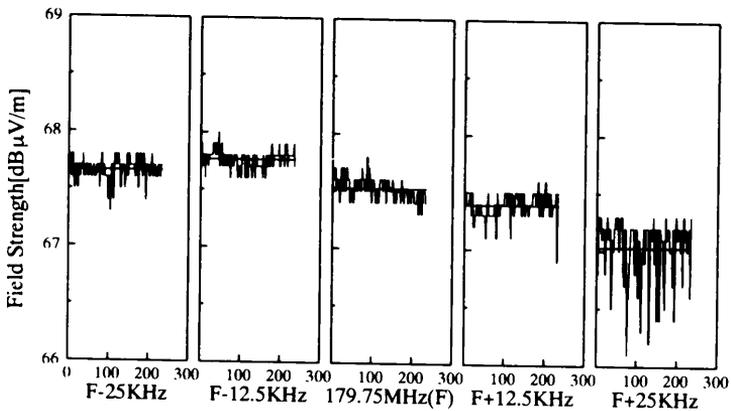
(c) Sample point 2



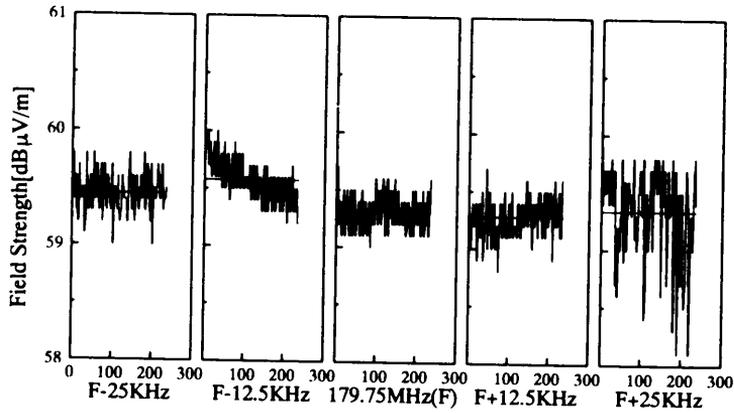
(d) Sample point 3



(e) Sample point 4



(f) Sample point 5



(g) Sample point 6

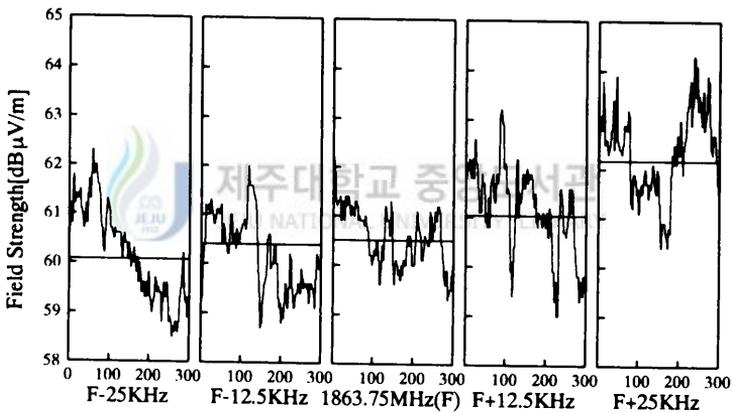
Fig. 15 Field Strength distribution(179.75MHz)

Table 7 Average Field Strength on Fig. 15(unit dBμV/m)

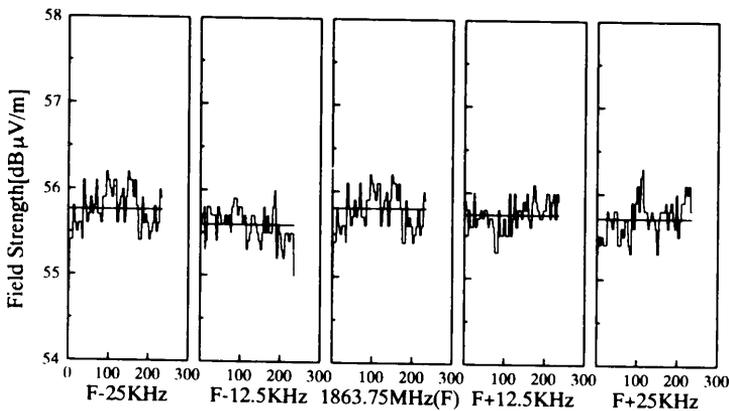
위치	구분	평균	표준편차	위치	평균	표준편차
기준	F-25KHz	62.86	0.09	4	67.44	0.15
	F-12.5KHz	62.89	0.11		67.51	0.12
	F=179.75MHz	62.84	0.11		67.47	0.11
	F+12.5KHz	62.68	0.09		67.47	0.17
	F+25KHz	62.35	0.28		66.83	0.25
1	F-25KHz	64.50	0.24	5	67.66	0.10
	F-12.5KHz	64.38	0.12		67.77	0.08
	F=179.75MHz	64.11	0.14		67.52	0.10
	F+12.5KHz	64.06	0.17		67.39	0.12
	F+25KHz	63.90	0.34		67.03	0.28
2	F-25KHz	65.51	0.14	6	59.45	0.18
	F-12.5KHz	65.56	0.08		59.58	0.19
	F=179.75MHz	65.15	0.10		59.32	0.17
	F+12.5KHz	65.35	0.17		59.28	0.19
	F+25KHz	65.03	0.38		59.34	0.42
3	F-25KHz	64.01	0.18			
	F-12.5KHz	64.25	0.07			
	F=179.75MHz	64.16	0.13			
	F+12.5KHz	63.75	0.19			
	F+25KHz	63.45	0.37			

#### 4) PCS 신호

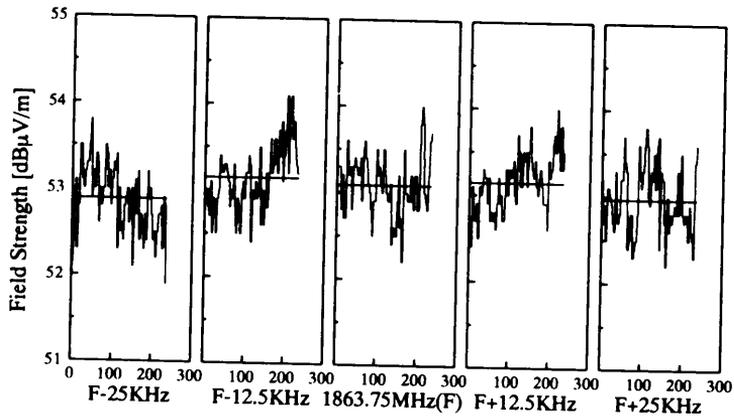
Fig. 16은 수신주파수가 1863.75MHz이고 수신안테나가 다이폴안테나일 때의 표본지점에 대한 전계강도 분포이며 Table 8은 평균과 표준편차이다. 모든 지점에서 전계강도 평균과 표준편차는 기준지점에서의 값과 유사하게 나타났지만 FM과 TV방송 신호에 대한 측정결과와는 달리 모든 지점에서 평균은 대체로 증가하였다. PCS는 방송시스템과는 달리 여러 송신기지국에서 서비스를 제공하고 있다. 여러 기지국에서 송신된 신호들이 합성되어 FM과 TV방송의 측정 신호와는 달리 신호의 변화가 심한 것을 알 수 있다.



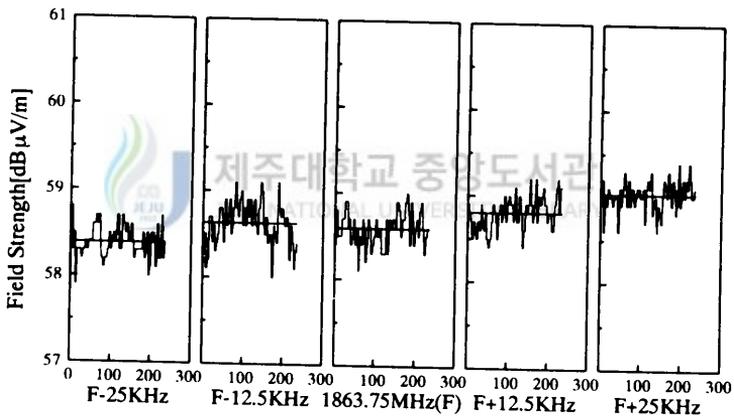
(a) Sample point 1



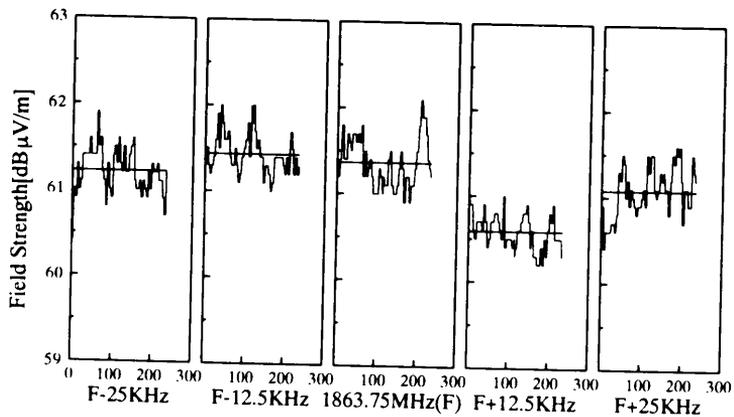
(b) Sample point 2



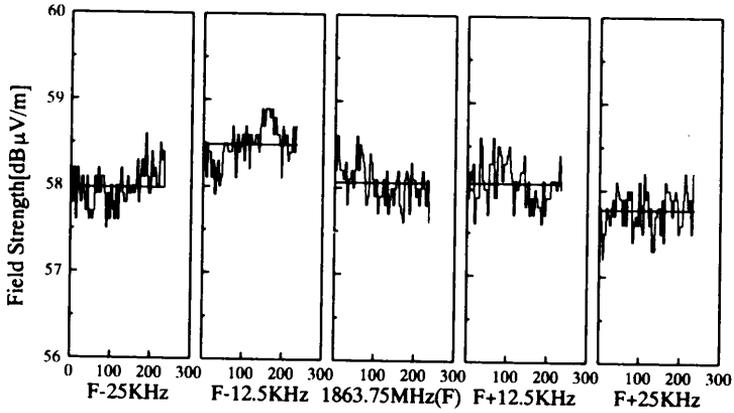
(c) Sample point 3



(d) Sample point 4



(e) Sample point 5



(f) Sample point 6

Fig. 16 Field Strength distribution(1863.75MHz)

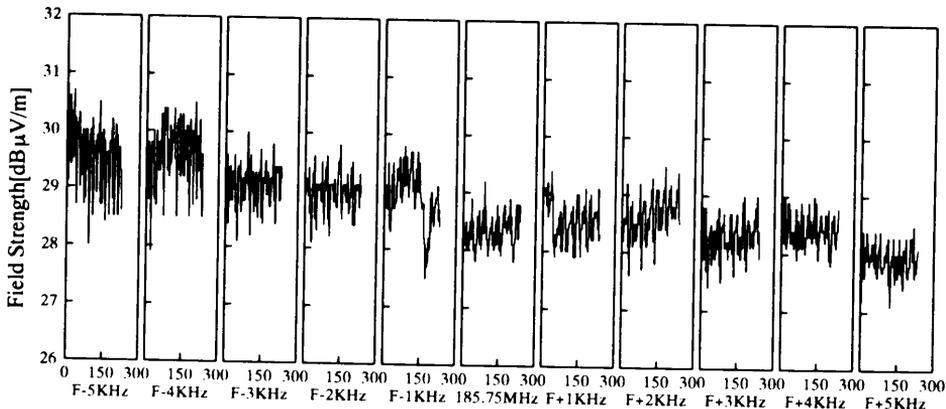
Table 8 Average Field strength on Fig. 16(unit dBμV/m)

위치	구분	평균	표준편차	위치	평균	표준편차
1	F-25KHz	60.08	0.85	4	58.39	0.19
	F-12.5KHz	60.40	0.92		58.63	0.24
	F=1863.75MHz	60.51	0.56		58.59	0.20
	F+12.5KHz	61.04	0.79		58.80	0.19
	F+25KHz	62.18	0.81		59.03	0.17
2	F-25KHz	55.77	0.25	5	61.22	0.25
	F-12.5KHz	55.59	0.19		61.43	0.23
	F=1863.75MHz	55.80	0.18		61.37	0.29
	F+12.5KHz	55.74	0.18		60.59	0.20
	F+25KHz	55.71	0.23		61.08	0.30
3	F-25KHz	52.89	0.38	6	57.98	0.24
	F-12.5KHz	53.15	0.38		58.49	0.23
	F=1863.75MHz	53.08	0.35		58.06	0.23
	F+12.5KHz	53.14	0.34		58.07	0.25
	F+25KHz	52.97	0.39		57.78	0.23

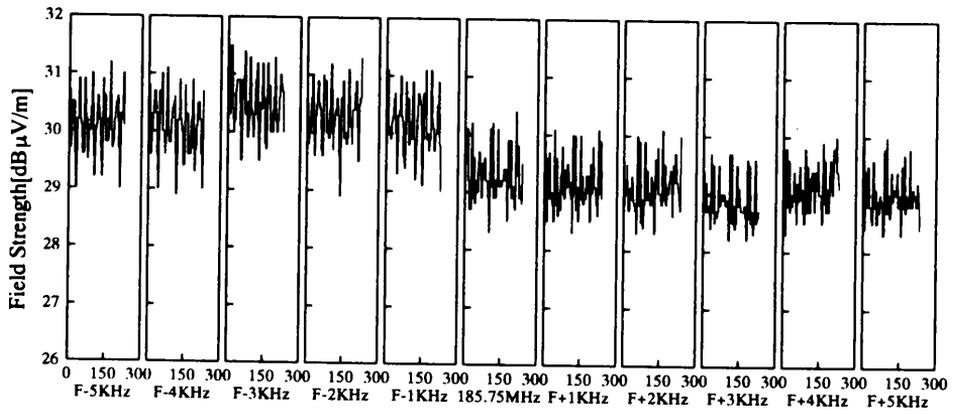
## 2. 자체 송신기에 의한 측정 결과

풍력발전기의 회전자에 의해 전파에 미친 영향을 좀더 자세히 분석하기 위해 자체 송신신호를 발생시켰고 각 표본지점에서 야기안테나의 방향을 회전자 중심을 향하게 하여 11개의 주파수에 대해 전계강도를 측정하였다. 야기안테나의 특성은 수평면과 수직면에 대해 지향성을 갖는다.

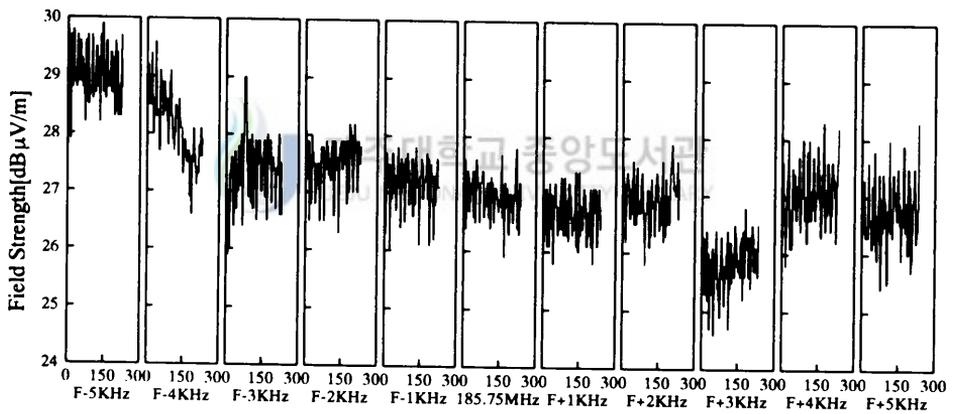
Fig. 17은 자체 송신기로 발생시킨 185.75MHz의 수신주파수에 대해 측정한 전계강도 분포이다. 그리고 Table 9에는 측정된 전계강도의 평균과 표준편차를 표현하였다. 표본지점1, 2, 3의 전계강도 평균은 서로 2dB의 차이를 가지며, 표준편차는 0.3~0.5dB의 적은 변동폭을 보였다. 직접파는 안테나의 후방 특성에 의해 여기되고 회전자에 의한 반사파는 전방 특성에 의해 전계강도에 영향을 주게 된다. 표본지점4, 5, 6의 전계강도 평균은 거리가 짧을수록 상대적으로 작은 값을 가졌고, 표본지점5, 6의 표준편차는 표본지점1, 2, 3의 값과 유사하였다. 표본지점4는 표본지점5, 6에 비해 야기 안테나의 복사패턴이 상대적으로 낮은 부분으로 수신된다. 복사패턴이 약한 부분으로 수신된 직접파와 회전자에 의한 반사파가 합성된 표본지점에서는 큰 표준편차를 보였고, 나머지 표본지점에서는 적은 표준편차를 보였다.



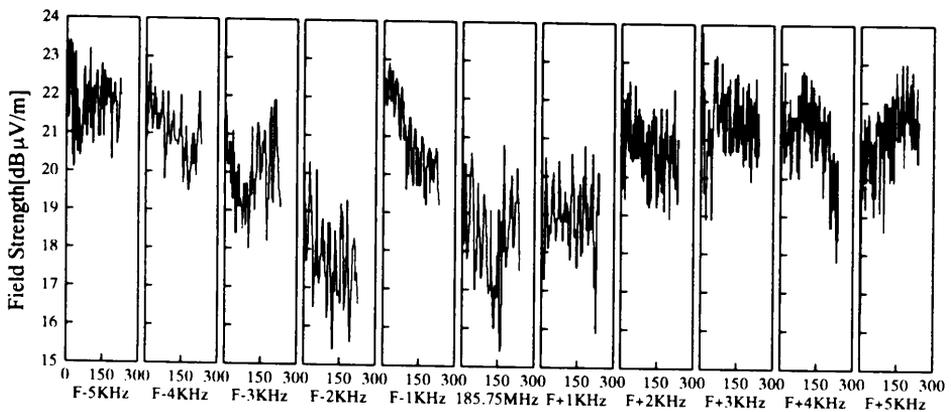
(a) Sample point 1



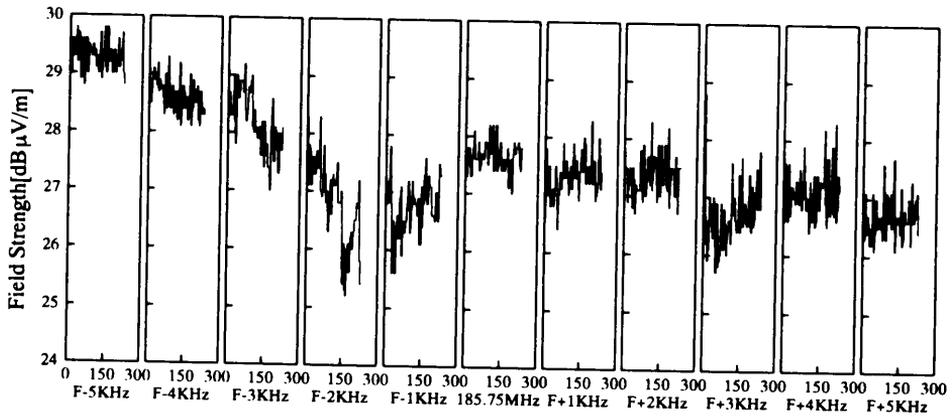
(b) Sample point 2



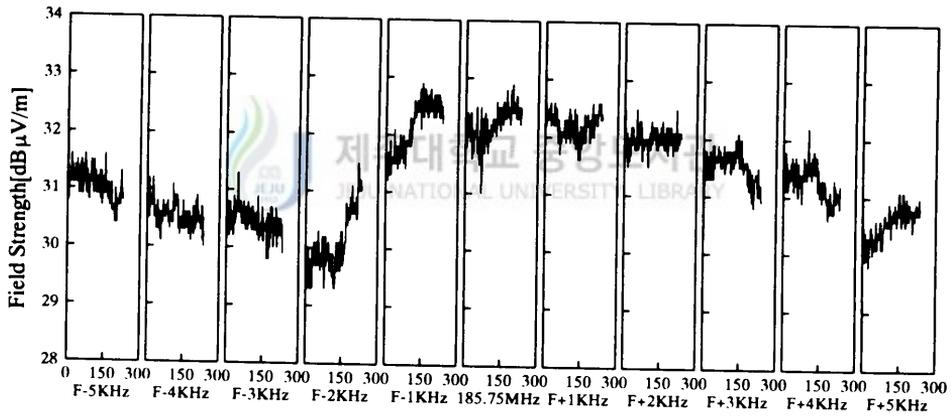
(c) Sample point 3



(d) Sample point 4



(e) Sample point 5



(f) Sample point 6

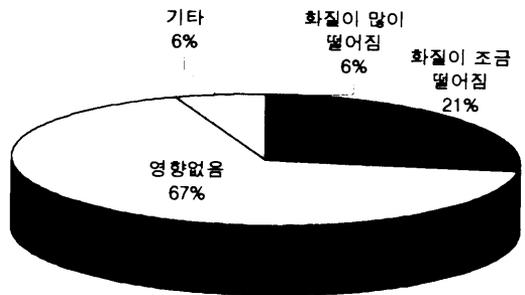
Fig. 17 Field Strength distribution(185.75MHz)

Table 9 Average Field strength on Fig. 17(dB $\mu$ N/m)

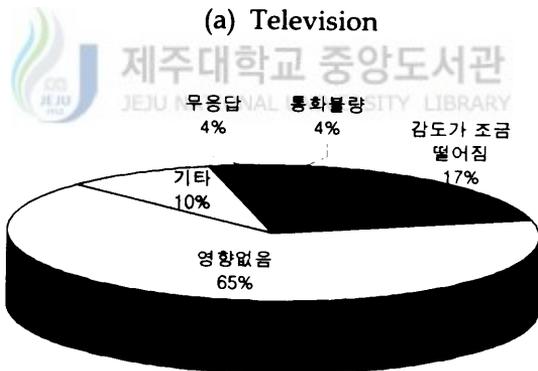
위치	구분	평균	표준편차	위치	평균	표준편차
1	F-5KHz	29.58	0.60	4	21.81	0.78
	F-4KHz	29.57	0.54		21.05	0.74
	F-3KHz	29.06	0.37		19.98	0.94
	F-2KHz	28.96	0.33		17.69	1.15
	F-1KHz	28.90	0.49		20.97	1.02
	F=185.75MHz	28.34	0.28		18.34	1.25
	F+1KHz	28.50	0.50		18.93	0.97
	F+2KHz	28.62	0.38		20.75	0.93
	F+3KHz	28.25	0.47		21.42	0.97
	F+4KHz	28.41	0.29		21.02	1.08
	F+5KHz	27.91	0.28		21.19	0.97
2	F-5KHz	30.14	0.51	5	29.31	0.26
	F-4KHz	30.09	0.53		28.64	0.30
	F-3KHz	30.49	0.48		28.20	0.52
	F-2KHz	30.30	0.48		26.82	0.73
	F-1KHz	30.17	0.50		26.76	0.46
	F=185.75MHz	29.27	0.46		27.65	0.26
	F+1KHz	29.14	0.44		27.33	0.36
	F+2KHz	29.08	0.42		27.36	0.36
	F+3KHz	28.86	0.40		26.69	0.55
	F+4KHz	29.12	0.41		27.09	0.42
	F+5KHz	28.99	0.39		26.68	0.37
3	F-5KHz	29.00	0.46	6	31.05	0.27
	F-4KHz	28.13	0.62		30.56	0.26
	F-3KHz	27.36	0.58		30.43	0.26
	F-2KHz	27.51	0.45		30.09	0.53
	F-1KHz	27.18	0.43		32.13	0.46
	F=185.75MHz	26.98	0.37		32.20	0.32
	F+1KHz	26.66	0.39		32.20	0.23
	F+2KHz	26.95	0.42		31.97	0.23
	F+3KHz	25.83	0.47		31.51	0.29
	F+4KHz	27.05	0.52		31.26	0.31
	F+5KHz	26.70	0.57		30.55	0.29

### 3. 설문조사 결과

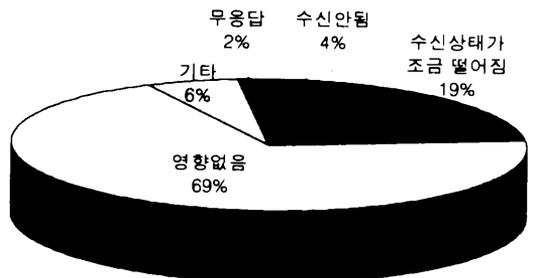
풍력발전 시스템을 설치한 후의 TV, 라디오, 핸드폰 등의 통신장비 사용할 때 실제 체감상태를 확인하기 위하여 지역주민들을 대상으로 설문조사를 실시하였다.



(a) Television



(b) Mobile phone



(c) Radio

Fig. 18 Results of inquiry

설문 대상으로는 인근 행원마을 주민 54명(남28, 여24)을 하였으며 성별, 연령별, 직업별 등 일반사항과 TV 시청 방해도, 휴대폰 통화감도, 라디오 수신상태 등의 사항과 전파방해 시간대별과 계절별 상태 등을 조사하였다. 조사 결과는 Fig. 18에 보이는 바와 같이 약 70%정도가 실제체감 상태에서도 생활에 영향이 없는 것으로 나타났다.



## VI. 결론

제주도 북제주군 구좌읍 행원리에 위치한 직경 42m인 풍력발전기의 회전자에 의한 무선 서비스 신호에 미치는 영향을 확인하기 위하여 풍력발전기가 있는 곳에서 표본지점을 선정하였고 서비스중인 신호와 자체 송신한 신호에 대하여 전계강도를 측정하고 분석을 하였다.

지역주민들이 이용하는 무선을 이용한 통신 서비스로는 라디오방송, TV방송, 그리고 PCS 등이 있다. 이들 무선 서비스 각각의 신호 주파수에 대한 측정 데이터의 평균값과 표준편차를 계산하였으며 이를 토대로 주파수, 거리 그리고 각도에 따라 발전기의 회전자에 의한 영향을 확인하였다.

50m 이내의 회전면과 동일한 방향에서 전계강도는 거리가 짧고 주파수가 높을수록 최대 5dB 이상으로 증가하였다. 그러나 다른 각도에서의 전계강도는 대체로 거리와 주파수에 관계없이 3dB 이상으로 증가하였다. 표준편차는 거리에 관계없이 비슷하나 낮은 주파수일 때 4배 이상으로 증가하였으며 다른 각도에서의 표준편차는 주파수와 거리에 관계없이 비슷하였다. 실험 송신시스템에서 동일 각도일 때의 평균 및 표준편차가 비슷하였지만 다른 각도일 때는 거리가 멀수록 큰 값을 가졌고 표준편차는 짧을수록 크게 증가하였다. 한편 50m 이후 영역에서는 이러한 현상이 거의 나타나지 않고 있어 회전자에 의한 전자파 장애 현상은 거의 없다고 볼 수 있다. 그러나 앞으로 풍력 발전기가 대단위 규모로 건설될 경우 회전자에 의한 영향이 커지게 되며 상호 영향에 의해 장애 현상이 가중될 수 있을 것이다. 한편 지역주민들을 대상으로 한 설문조사에서는 표에 나타난 바와 같이 실제 체감 전파방해 현상은 없는 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- Deygout, J., 1966, Multi knife-edge diffraction of microwaves, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 14, no. 4, pp.480~489
- Egli, J. J., 1957, Radio propagation above 40Mc over irregular terrain, *Proc. IRE*. vol. 45, no. 10, pp.1383~1391.
- Harrington, R. F., 1961, Time-harmonic electromagnetic fields, McGraw-Hill, pp.37~94
- 제주도, 1998, 제주도내 풍력발전단지 종합건설 계획수립에 관한 연구, pp.1~129
- 제주도, 2000, 제주도내 풍력자원 조사에 관한 연구 용역, pp.1~24
- Lee, W. C. Y., 1975, Studies of base-station antenna height effects on mobile radio, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 24, no. 4, pp.252~260
- Lee, W. C. Y., 1993, Mobile communications design fundamentals second, John Wiley & Sons, pp.47~94
- 이상설, 1998, 안테나 및 전자파전파, 형설출판사, pp.25~69
- Maclean, T. S. M., Z. Wu, 1993, Radio wave propagation over ground, Chapman & Hall, pp.63~119
- Okumura, Y., E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, 1968, Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile service, *Rev. Elec. Communication Lab.*, vol. 16, pp.825~873
- Parsons, d., 1992, The mobile radio propagation channel, John Wiley & Sons, New York, pp.36~60
- Rice, P. L., A. G. Longley, K. A. Norton, and A. P. Barsis, 1967, Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits, NBS Tech. Note 101
- Singer, E. N., 1994, Land mobile radio systems, PTR Prentice Hall, pp.192~207
- 쌍용건설, 1999, 제주 풍력발전 실용화사업, pp.1~33

## 부 록 I. 설문조사서

### (풍력발전시스템이 주변환경(마을)관련)

- 본 설문조사는 행원마을에 설치되어 있는 풍력발전 시스템이 설치된 후에 우리가 일상생활에서 사용하고 각종 통신기기(TV, 핸드폰, 무전기, 라디오 등 통신장비)등이 전파방해로 인한 수신상태를 측정하여
- 전파환경이 풍력발전시스템이 설치로 인한 주변환경에 미치는 영향에 대한 연구를 하고자 하오니 성의껏 응답하여 주시기 바랍니다.
- 감사합니다.



## 설 문 서

(설문내용에 대하여 해당되는 번호에 ○표시 또는 √표를 하여 주시고, 필요하면 기술해 주시기 바랍니다.)

### I. 일반사항

1. 귀하의 성별은?

① 남 ②여

2. 귀하의 연령은 ?

① 10대 ② 20대 ③ 30대 ④ 40대 ⑤ 50대 ⑥ 60대 이상

3. 현재 하시는 일은?

① 농어업 ② 서비스업 ③ 제조업 ④ 주부 ⑤ 기타

II. 통신장비의 사용 및 전파방해에 대한 설문

4. 풍력발전기가 설치된 후 TV 시청이 어느 정도 방해가 된다고 생각하십니까?

- ① 화질이 많이 떨어졌다. ② 화질이 조금 떨어졌다.  
③ 별 영향이 없다. ④ 기타

- 기타의견이 있으면 기재하여 주시기 바랍니다.

5. 풍력발전기가 설치된 후 핸드폰(PCS)통화 시 감도는 어떻습니까?

- ① 통화가 불량(안된다)하다. ② 감도가 조금 떨어졌다.  
③ 별 영향이 없다. ④ 기타

- 기타의견이 있으면 기재하여 주시기 바랍니다.

6. 풍력발전기가 설치된 후 라디오 수신시 수신상태에 대하여?

- ① 수신이 안된다. ② 수신상태가 조금 떨어졌다.  
③ 별 영향이 없다. ④ 기타

- 기타의견이 있으면 기재하여 주시기 바랍니다.

7. 풍력발전기가 설치된 후 무전기(TRS, 생활무전기 등) 수신시 수신상태는 ?

- ① 수신이 안된다. ② 수신상태가 조금 떨어졌다.  
③ 별 영향이 없다. ④ 기타

- 기타의견이 있으면 기재하여 주시기 바랍니다.

8. 4, 5, 6, 7항 ①번에 해당사항 중 통신장비 사용 시 전파방해가 된다면 어느 시간대가 방해가 심하다고 생각하십니까

- ① 09:00 - 12:00 ② 12:00 - 17:00 ③ 17:00 - 20:00 ④ 20:00 - 23:00  
⑤ 23:00 - 02:00 ⑥ 기타시간( )

9. 4, 5, 6, 7항 ①번에 해당사항 중 각종 통신장비 사용 시 어느 계절이 방해가 심하다고 생각하십니까

- ① 봄 ② 여름 ③ 가을 ④ 겨울

10. 풍력발전에 설치된 후 소음이 마을(가정)에 미치는 영향은 어느 정도입니까

- ① 심하다 ② 조금 있다. ③ 별 영향이 없다 ④ 기타

III. 기타 풍력발전이 설치된 후에 통신장비 등에 미치는 영향이 있으면 기재하여 주십시오.

## 감 사 의 글

감사합니다

이 작은 결실을 맺기까지 도움을 주신 많은 분들께 감사의 인사를 드리며 석사 과정을 마감코자 합니다.

본 논문이 완성되기까지 여러 가지로 부족한 저에게 심혈을 기울려 지도하여 주신 김홍수 교수님께 깊은 감사를 드리며, 바쁘신 일정에도 불구하고 많은 가르침과 질책으로 보다 좋은 논문이 될 수 있도록 방향 설정을 하여 주신 이용학 교수님, 임재윤 교수님, 문건 교수님, 강진식 교수님께 감사를 드립니다.

바쁜 생활속에서도 각종자료와 논문작성에 많은 도움을 준 홍성욱선생을 비롯하여 내가 필요할 때 여러 가지 도움을 준 안테나공학 연구실의 모두에게 지면을 빌어 고마움을 전합니다.

끝으로 나의 영원한 동반자이며 어려운 여건속에서도 항상 매사에 철두철미하며 내게 항상 용기를 북돋아 주면서 뒤바라지를 하여준 사랑하는 아내 경희와 딸 신영, 하나밖에 없는 나의 영원한 후계자 5대독자 아들 기영이와 아직도 병상에 누워있는 아버님과 함께 이 조그마한 기쁨을 함께 나누고자 합니다.