

논문 2004-41TC-8-18

기상레이더에서의 이상에코에 관한 연구

(A Study on Abnormal Echoes in a Meteorological Radar)

허택산*, 강봉수**, 김홍수***

(Taik-san Heo, Bong-soo Kang, and Heung-soo Kim)

요약

본 논문에서는 레이더 빔의 이상 전파를 유발시키는 기상 조건을 규명한다. 과대 굴절이나 덕트를 발생시키는 기상 조건의 분석을 위하여 2000년부터 3년간 관측된 한반도의 서해와 남해의 기상 데이터를 이용한다. 고도의 증가에 따른 대기 굴절 지수를 계산하고, 굴절 지수가 매우 낮은 고도에서의 기온과 습도의 변화를 고찰한다. 비정상적인 전파에 의한 레이더 에코는 대기 굴절 지수가 $-150/\text{km}$ 인 고도에서 나타났으며, 그 고도에서는 급격한 습도의 감소와 함께 기온 역전 현상이 수반되었다.

Abstract

The aim of this paper is to find the weather conditions which make the abnormal propagation of a radar beam. In order to analyze the weather conditions which cause superrefraction or ducting, the meteorological data of the west sea and the south sea of Korea are classified which are observed during three years from 2000. Atmospheric indexes of refraction with increasing altitude are calculated and the rate of variation of temperature and humidity at the altitude where the index is very low are observed. It is found that unwanted radar echoes by anomalous propagation are showed up only when the atmospheric indexes of refraction at a altitude is less than $-150/\text{km}$ and the reverse layer of temperature appears with a sudden drop of humidity at the altitude.

Keywords : superrefraction, duct, indexes of refraction

I. 서론

기상레이더는 비, 눈, 구름의 이동상황 그리고 돌풍이나 태풍의 진로 등 기상정보를 정확하게 관측하고 예보하기 위해 사용되고 있다. 레이더는 1930년대에 군사적인 목적으로 개발되어 그 후 1950년대 후반에 이르러 기상레이더로서 가동되기 시작하였으며, 1970년대에는 레이더의 에코 신호를 처리하는데 컴퓨터를 이용하게 됨으로서 디지털로 처리하는 획기적인 발전을 이루게 되었다. 이로 인하여 도플러효과를 이용한 레이더가 출

현하게 되었으며, 1980년대에 이르러서 레이더 에코 자료 처리를 완전히 자동화함으로써 모든 기상 데이터의 실시간 처리가 가능하게 되었고 기상 데이터 또한 강우 강도에 따라 색상으로 구분 표시함으로써 더욱 쉽게 판정할 수 있게 되었다. 기상레이더는 주로 강수현상을 관측하게 되는데 어떤 기상 조건하에서는 이상 탐지 현상이 발생한다. 레이더의 전파전파에 영향을 주는 요인은 대기의 기온 역전현상 때문에 생기는 라디오덕트와 불필요한 레이더 에코(echo)로서 발생하는 클러터(clutter)현상이 있다^[3]. 이는 해상 관측소가 없는 지역에서의 강수유무의 확인을 어렵게 한다.

본 논문에서는 2000년부터 2002년까지의 제주의 고산과 백령도 레이더 사이트에서 측정된 기상 자료로부터 한반도의 서해상과 남해상에서 발생한 이상에코 현상의 발생 시기와 빈도를 구한다. 이것으로부터 봄철의 기상데이터를 중심으로 이상에코에 대한 특성을 해석한다. 고층 대기의 기상 자료를 분석하여 대기 상태에 따

* 정희원, 기상청 제주 공항기상대
(KMA Jeju Airport Weather Station)

** 정희원, 제주대학교 통신공학과
(Dept. of Telecomm. Eng., Cheju Nat'l Univ.)

*** 정희원, 제주대학교 통신컴퓨터 공학부
(Faculty of Telecomm. & Computer Eng., Cheju National University)

접수일자: 2003년10월13일, 수정완료일: 2004년8월2일

른 굴절을 지수를 계산하고 고도에 따른 온도와 습도의 변화 정도를 해석하여 이상에코의 원인인 덕트의 발생 조건을 규명한다.

II. 기상자료분석

이상에코현상의 발생조건은 여러 요인이 있으나 주로 일정 고도의 대기에서 상층부가 하층부보다 고온이고 급격한 습도의 감소가 나타날 때이다. 이 경우에는 수정굴절을 M곡선이 급격하게 감소하여 굴절률의 역전층이 만들어진다.

본 논문에서는 표 1 제원의 기상레이더에 의해 관측 되어진 240km범위의 레이더 합성영상과 위성 합성영상을 비교하여 강수현상이 없는 날 중에서 고산 및 백령도 기상대를 중심으로 이상에코현상이 나타난 날을 조사하였다. 또한 조사된 날의 고층기상자료를 분석하였다.

이 고층기상자료는 고산기상대와 백령도기상대에서 1일 2회(09시, 21시) 기압, 기온, 습도 등의 센서를 장착한 라디오존데를 비양하여 대기권 약 35km까지의 대기를 관측하여 지상으로 송신한 자료이다. 대기선도는 기온과 노점온도를 고도별로 나타내므로 대기의 연직구조를 알 수 있다. 또한 굴절률과 굴절지수를 산출하여 과대굴절현상에 의해 이상에코현상이 발생하는 특징을 분석하였다.

1. 기상분석

표 2에는 고산기상대의 2000년에서 2002년까지의 날씨변화에 따른 일 수를 나타내었다. 강수 일 수는 매년 128~139일 정도로 년 중 35%가량이 비가오는 날이며, 맑거나 구름조금 끼는 날은 년 중 39%로 나타났다. 이 중 이상에코현상이 나타난 날은 35일로, 맑거나 구름조금 낀 날씨의 8.3%가량으로 나타나고 있다. 이때, 맑은 날은 하늘을 전천 10할로 분류하여 구름이 2할 이하, 구름조금은 구름이 3~5할, 구름 많음은 구름이 6~8할, 흐린 날은 9~10할로 분류하였다.

표 3에는 백령도기상대의 관측 시작 년도인 2001년에서 2002년까지의 기상현상일 수를 나타내었다. 강수 일 수는 99일과 90일로 나타났다.

표 4에는 2000년부터 2002년까지 우리 나라 서해상과 남해상에서 매일 09시의 레이더 합성영상을 분석하여 이상에코현상이 나타난 횟수를 나타내었다. 표 4에서 나타나있듯이 이상에코는 주로 봄철에 많이 나타나고 있다. 그 이유는 봄철에 많이 나타나고 있는 고온건조한 양자강기단이 한랭한 서해상의 수면위로 이동하여 온난 건조한 대기가 습하게 변질되어, 기온역전에 의한 습도의 급격한 변화에 따른 대기의 굴절률 변화가 심하게 나타나기 때문이다.

2. 대기상태 분석

대기상태를 분석하기 위해 그림 1에서 그림 3에 이상현상이 없는 날과 이상현상이 있는 날에 대한 레이더

표 1. 레이더 제원
Table 1. Spec. of Radar.

해당 레이더 사이트		고 산, 부산	백령도	
송신기	출력관	Magnetron	Klystron	
	주파수(MHz)	5,340	5,637	
	Peak power(KW)	250KW	250KW	
	Pulse width	short	0.83 μ s	1 μ s
		long	2 μ s	2-10 μ s
	PRF	short pulse	1,180Hz	250~2,000Hz
		long pulse	250Hz	250~2,000Hz
점유주파수 대역폭		약10.75MHz	8MHz	
수신기	Dynamic range	80dB	80dB	
	중간주파수	30MHz	20MHz	
안테나	안테나 직경	3.6m	4.3m	
	Beam width	1.2°	1°	
	안테나 이득	43dB	44dB	

표 2. 현상일수(고산)(일)

Table 2. The number of days in each phenomena(Gosan)(day).

구분 년 월	2000					2001					2002				
	맑음	구름 조금	구름 많음	흐림	강수	맑음	구름 조금	구름 많음	흐림	강수	맑음	구름 조금	구름 많음	흐림	강수
1	1	3	4	23	16	1	3	11	16	15	7	3	10	14	14
2	1	10	6	12	8	1	7	7	13	10	9	10	4	5	6
3	8	9	7	7	9	4	9	8	10	8	5	9	5	12	10
4	5	9	5	11	9	9	9	5	7	9	2	4	5	19	13
5	6	9	5	11	11	1	9	6	15	10	3	4	2	22	14
6	4	3	1	22	16	-	4	6	20	16	6	5	7	12	7
7	1	12	6	12	8	4	9	7	11	11	1	2	10	18	17
8	1	17	3	10	17	1	14	7	9	14	4	6	5	16	16
9	4	9	4	13	13	9	9	5	7	6	9	11	5	5	6
10	4	7	7	13	9	6	9	7	9	9	7	9	4	11	7
11	7	8	6	9	7	8	9	8	5	9	5	7	9	9	11
12	7	9	10	5	5	-	5	6	20	16	2	3	6	20	18
계	49	105	64	148	128	44	96	83	142	133	57	73	72	163	139

표 3. 현상일수(백령도)(일)

Table 3. The number of days in each phenomena(Baekryeongdo)(day).

구분 년 월	2001					2002				
	맑음	구름 조금	구름 많음	흐림	강수	맑음	구름 조금	구름 많음	흐림	강수
1	1	8	12	10	17	6	9	10	6	6
2	3	13	6	6	4	9	11	3	5	-
3	6	11	8	6	6	11	7	8	5	8
4	6	12	4	8	2	8	12	4	6	8
5	9	8	6	8	5	11	5	3	12	7
6	5	5	5	15	13	10	6	5	9	9
7	4	6	5	16	17	1	8	6	16	17
8	8	8	9	6	6	2	5	9	15	11
9	12	9	5	4	6	9	8	7	6	4
10	7	14	2	8	6	3	11	11	6	8
11	12	9	8	1	8	1	11	13	5	7
12	5	5	17	4	9	1	12	5	13	5
계	78	108	87	92	99	72	105	84	104	90

표 4. 이상 에코 현상이 나타난 날(일)

Table 4. The number of days in the abnormal echo(day).

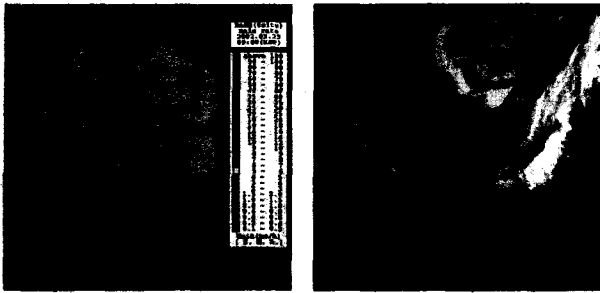
년 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
2000	-	-	3	5	4	3	-	-	-	-	-	-	15
2001	-	-	-	3	5	3	-	-	-	-	-	-	11
2002	-	-	1	2	1	4	-	-	1	-	-	-	9

합성영상과 위성 합성영상을 각각 나타내었으며, 그 날의 고층기상자료로부터 높이에 따른 굴절률과 기온변화, 고도에 따른 굴절지수 그리고 고도에 따른 기온과 노점온도의 변화를 그래프로 나타내었다.

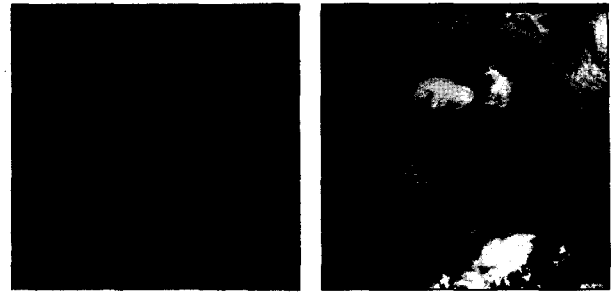
가. 맑은 날 이상에코 현상이 없는 경우

그림 1은 2002년 3월 23일 사례로 그림 1(a)의 레이

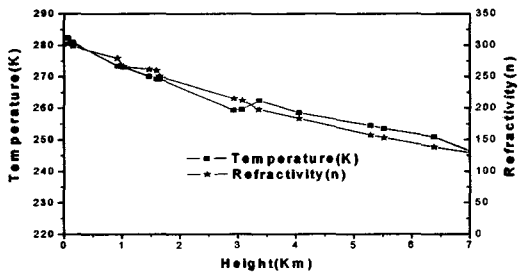
더 영상에는 서해상과 남해상을 중심으로 강수에코 및 이상에코가 전혀 나타나지 않고 있음을 보이고 있으며, 또한 그림 1(b)의 위성 합성영상에서 구름이 없는 날임을 확인할 수 있다. 그림 1(c)에서는 고도에 따른 기온과 굴절률의 변화를 나타내고 있다. 고산기상대의 고층기상자료에서 굴절지수를 그림 1(d)에 나타내었으며, 대기상태를 그림 1(e)에 나타내었다. 굴절지수의 변화를



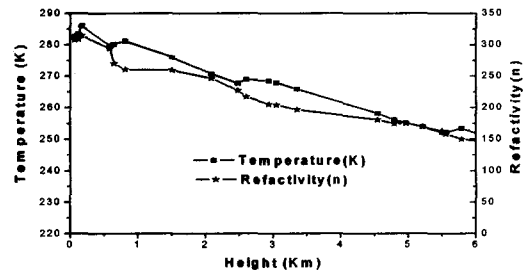
(a) 레이더 영상 (a) Radar image.
(b) 위성 영상 (b) Satellite image.



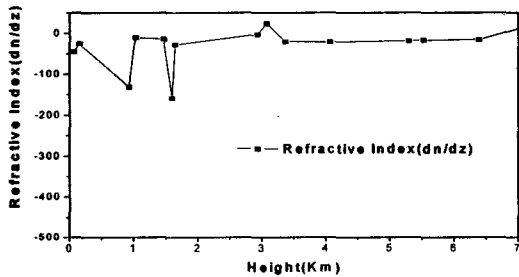
(a) 레이더 영상 (a) Radar image.
(b) 위성 영상 (b) Satellite image.



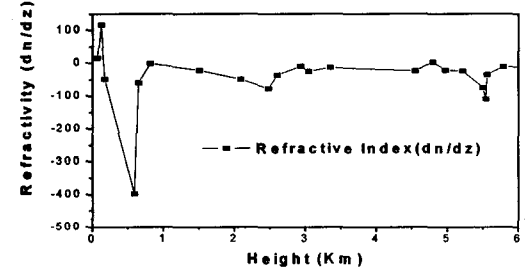
(c) 고도에 따른 온도 및 굴절률 (c) Temperature and refractivity according to height.



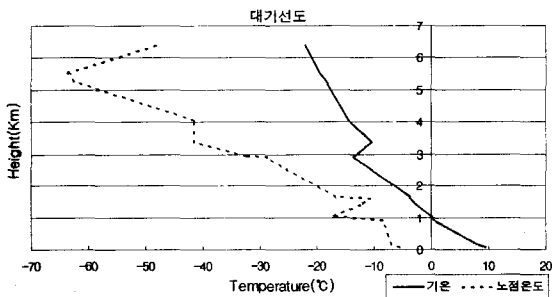
(c) 고도에 따른 온도 및 굴절률 (c) Temperature and refractivity according to height.



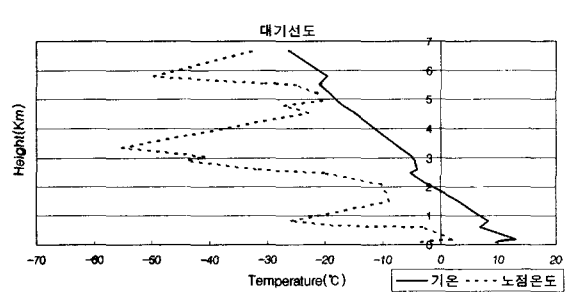
(d) 고도에 따른 굴절 지수 (d) Refractive index of height.



(d) 고도에 따른 굴절 지수 (d) Refractive index of height.



(e) 대기선도 (e) Sounding of temperature and dewpoint temperature.



(e) 대기선도 (e) Sounding of temperature and dewpoint temperature.

그림 1. 2002.3.23 0900KTC의 경우
Fig. 1. Case of 0900KTC 23 March 2002.

그림 2. 2000.3.18 0900KTC의 경우
Fig. 2. Case of 0900KTC 18 March 2000.

고도별로 살펴보면 925m에서 굴절지수가 -131/km로 다소 낮게 나타나고 있지만, 그림 1(e)에서 그 지점의 습도는 감소하고 있으나 기온역전은 나타나지 않고 있

다. 1598m에서 굴절지수는 -158/km로 낮게 나타나고 있으나 기온변화의 뚜렷한 역전현상은 나타나고 있지 않고, 습도의 변화 또한 작게 나타나고 있다. 그리고

2930m의 대기층의 기온은 -13.7°C 로 -10.5°C 인 3365m까지 3.2°C 상승함으로써 기온역전이 일어나고 있으나, 습도의 변화는 계속 일정하게 감소하면서 과소굴절을 나타내고 있다. 이 날의 기상을 살펴본 결과 굴절지수가 변화하고 있으나 3개 고도에서 온도와 습도의 변화가 덕트를 형성하는 조건에는 만족하지 못하므로 이상에코가 발생하지 않았다.

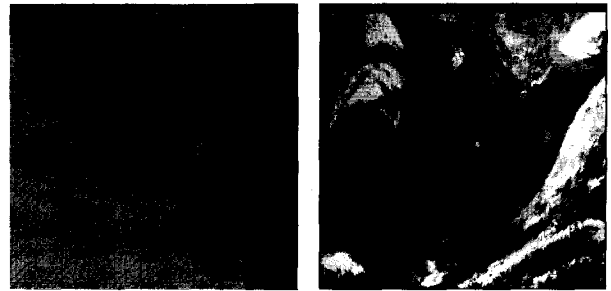
나. 맑은 날 하층에 의한 이상에코현상이 있는 경우

그림 2는 2000년 3월 18일의 기상자료로서 그림 2(a)의 레이더 합성영상에서 동경 126° 에서 127° 와 북위 33.5° 에서 34.5° 사이에서 에코가 나타나고 있다. 그림 2(b)에서는 제주도 남쪽에서 중국 화남지방까지 길게 두터운 구름이 끼어 있고 제주도 북서쪽으로 낮은 구름이 나타나고 있으나 비구름은 아닌 것으로 판단되어 그림 2(a)의 레이더에코는 이상에코로 판단된다. 그림 2(c)에서는 기온과 굴절률의 변화를 나타내고 있다. 이 날 고산기상대의 고층기상자료에 의한 굴절지수를 그림 2(d)에 나타내었으며 대기전도를 그림 2(e)에 나타내었다. 그림 2(e)에서 기온역전현상이 171m, 589m, 5540m에서 발생하고 있으며, 또한 습도도 감소하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그림 2(d)에서 굴절 현상은 589m, 2480m, 5540m층에서 발생되고 있으며 589m층에서 굴절지수가 $-398/\text{km}$ 로 과대굴절현상이 나타나고 있다. 따라서 위에서 분석한 대기 상태들을 고려하였을 때 589m층에서 이상에코현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

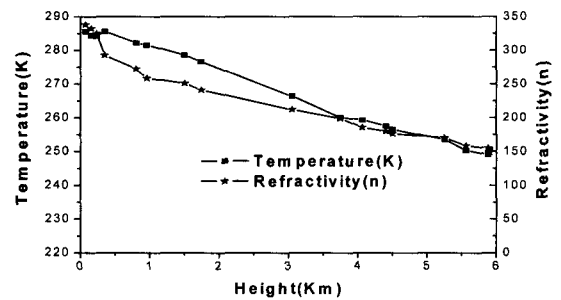
다. 맑은 날 상층에 의한 이상에코현상이 있는 경우

그림 3은 2000년 4월 17일의 기상자료로서 그림 3(a)의 레이더 합성영상에서 동경 124° 에서 127° 와 북위 31° 에서 34° 사이에서 폭넓게 에코가 나타나고 있다. 그림 3(b)에서 위성 합성영상을 분석했을 때 서해상과 남해상에는 맑은 날씨를 보이고 있다. 따라서 레이더 합성영상에서 나타나고 있는 에코는 이상에코로 판단된다. 고산기상대의 고층기상자료를 분석해 보면, 그림 3(e)의 229m대기층과 5880m에서 기온역전현상이 나타나고 있으며 습도는 두 층 모두에서 감소하고 있다.

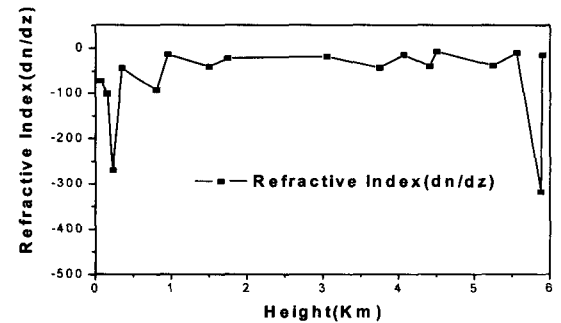
그림 3(d)에서 229m에서 굴절지수는 $-270/\text{km}$ 이며, 5880m의 대기층에서 굴절지수는 $-317/\text{km}$ 으로 2개층 모두에서 굴절지수가 $-150/\text{km}$ 보다 낮게 나타나면서 이상에코현상이 나타날 조건을 만족하고 있다.



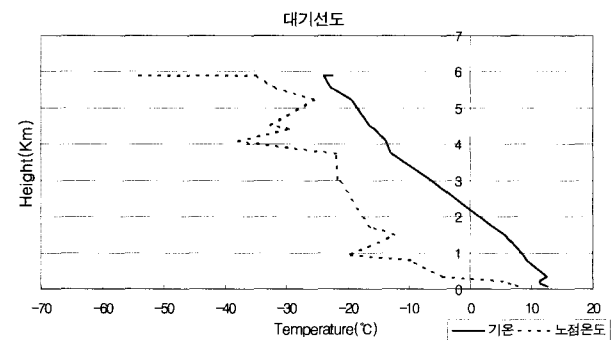
(a) 레이더 영상 (b) 위성 영상
(a) Radar image. (b) Satellite image.



(c) 고도에 따른 온도 및 굴절률
(c) Temperature and refractivity according to height.



(d) 고도에 따른 굴절 지수
(d) Refractive index of height.



(e) 대기전도
(e) Sounding of temperature and dewpoint temperature.

그림 3. 2000.4.17 0900KTC의 경우
Fig. 3. Case of 0900KTC 17 April 2000.

III. 결 론

레이더 사이트에서 고도각이 0도이면 레이더 빔이 정상적으로 240km를 진행하게 되는 경우 3~4km높이의 강수를 탐지하게 된다. 그러나 기상의 이상 조건에 의해 덕트가 발생하여 더 먼 곳의 물체를 탐지하거나 빔이 과대굴절되어 빔 방향이 아래쪽으로 휘어 해수면을 탐지하게 되면 이상에코를 나타내게 되어 강우 관측에 어려움을 준다. 본 논문에서는 우리 나라 기상레이더에서 관측되는 이상에코의 발생 원인에 대해 연구하였다.

2000년부터 3년간의 기상 자료로부터 맑은 날을 중심으로 레이더 합성 영상과 위성 합성 영상을 조사하여 한반도의 서해상과 남해 상에 발생한 이상에코 현상의 발생 빈도를 조사하였다. 그 결과 주로 봄철에 집중적으로 발생함을 알 수 있었고, 이것으로부터 봄철의 기상 데이터를 중심으로 이상에코에 대한 특성을 해석하였다. 고산기상대와 백령도기상대에서 관측된 고층 대기의 기상 자료를 분석하여 대기 상태에 따른 굴절률 지수와 고도에 따른 온도의 변화 및 습도의 변화 정도를 그래프로 표현하여 이들의 상관 관계로부터 덕트가 발생하게 되는 필요충분 조건을 제시하였다. 여러 사례로부터 이 필요충분 조건은 굴절률 지수가 $-150/\text{Km}$ 이상이어야하고, 기온의 역전층이 생기면서 습도의 급격한 감소 현상이 함께 수반되어야 함을 규명하였다.

기상레이더로 강수를 탐지하는데 있어 레이더 빔의 과대굴절로 인하여 지형 에코가 탐지되었을 경우, 레이더 변수설정에서 움직이지 않는 지형에코는 알고리즘에 의해 제거되지만 바다에서 반사되어 탐지되는 에코는 이동하는 성분이 있기 때문에 제거되지 않고 에코로 표시된다. 따라서 레이더 영상에서 해상의 해수면으로부터 반사되어 나타나는 에코와 덕트에 의한 에코는 제거되지 않으므로 고층 기상 관측자료를 정확히 분석하여 레이더 영상에서 나타나는 에코가 강수에코인지 이상에코인지를 정확히 판단하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

- [1] A. Farina, *Antenna-Based Signal Processing Technique for Radar Systems*, Artech House, Boston London, Chapter 1, Chapter 3, pp.1~12, pp.59~94, 1992.
- [2] Merrill I. Skolnik, *Introduction to Radar*

Systems, 1970.

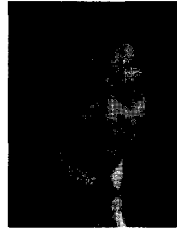
- [3] O. Sasaki and T. Akiyama, "Studies on Radio Duct Occurrence and Properties", *IEEE Trans. Antennas Propagations*, Vol., AP-30, No.5, 1982.
- [4] Peebles. Peyton Z., *Radar Principles*, 1988.
- [5] Rinehart. Ronald E., *Radar for Meteorologists*, 1997.
- [6] Saunders. Peter M, F. Claude Ronne, "A Comparison between the Height of Cumulus Clouds and the Height of Radar Echoes Received from Them", *Journal of Applied Meteorology*, 1, pp.296~302, 1962.
- [7] 기상청, 고층기상월보, 2000~2002.
- [8] G. V. Trunk, "Radar Properties of Non-Rayleigh Sea Clutter", *IEEE Trans. Aerospace Electronic Systems*, Vol. AES-8, No.2, 1972,
- [9] J. L. Eaves, E. K. Reedy, *Principles of Modern Radar*, Van Nostrand Reinhold Company Inc, Chapter 3, 11, pp.51~71, pp.343~367, 1987.
- [10] 장재성, "S-Band 레이더에서의 기상변화에 따른 전파전파 특성에 관한 연구", pp.56~74, 1993.
- [11] 고흥진, "S-밴드 레이더에서의 덕트와 클러터 현상에 관한 연구", 1993.
- [12] 이상설, 안테나 및 전자파 전파, 형설출판사, 1991.
- [13] 이상설, 레이더 공학, 보성문화사, 1997.

저 자 소 개



허택산(정회원)
1988년 제주대학교 통신공학과
(공학사).
2004년 제주대학교 대학원 전자
전기공학과(공학석사).
1988년~현재 기상청 근무.

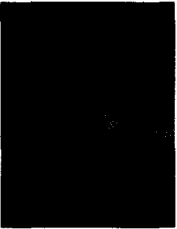
<주관심분야: 안테나 및 전파전파>



김홍수(정회원)
1978년 한양대학교 전자통신
공학과(공학사)
1980년 한양대학교 대학원
전자통신공학과(공학석사)
1990년 한양대학교 대학원
전자통신공학과(공학박사)

1987년~현재 제주대학교 통신컴퓨터공학부
통신공학 전공 교수

<주관심분야: 전자파 산란, 안테나 설계 >



강봉수(정회원)
1996년 명지대학교 전자공학과
(공학사).
2002년 제주대학교 대학원
통신공학과(공학석사).
2004년 제주대학교 대학원
통신공학과(박사수료).

<주관심분야: 안테나 및 전파전파, 전자파 수치해
석, 안테나 설계>

