

연직바람 관측장비를 위한 지형 클러터 방지 펜스 설계

Design of Ground Clutter Prevention Fences for Radar Wind Profiler

정우재* · 이종철** · 전정익*** · 이형기***

* 주저자 : 광운대학교 전자융합공학과 박사과정

** 교신저자 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

*** 공저자 : (주)국동통신 연구소 수석연구원

WooJae Jung* · JongChul Lee* · JungIk Jeon** · HyeongKi Lee**

* Dept. of Electronic Convergence Engineering, Kwangwoon University

** R&D Lab of Kukdong Telecom CO.,Ltd., Korea

† Corresponding author : Jong Chul Lee, jclee@kw.ac.kr

Vol. 21 No.6(2022)
December, 2022
pp.241~249

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.6.241>

Received 13 October 2022
Revised 24 October 2022
Accepted 28 October 2022

© 2022. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요약

본 논문에서는 연직바람 관측장비에 적용한 지형 클러터 방지 펜스 설계에 대하여 논한다. 연직바람 관측장비를 위한 클러터 펜스의 핵심 설계 포인트는 측면에서 들어오는 비기상 클러터를 제거하여 수신신호의 품질을 향상시켜 연직바람 관측장비의 신뢰도를 높이기 위함이다. 이를 위해 본 논문에서는 연직바람 관측장비 주위에 메탈라스 메쉬망으로 구성된 클러터 방지 펜스를 제안하고, 모의시험을 통해 안테나 위상중심, 하단펜스의 길이와 높이, 상단펜스의 높이 및 기울기를 설계하였다. 설계된 클러터 방지 펜스와 256 능동위상 배열 안테나를 기초 자료로 활용하여 설계된 클러터 방지 펜스의 유무에 따라 $\pm 90^\circ$ 방향의 사이드로브가 약 30dB 이상 감소되는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 설계된 클러터 방지 펜스는 3D 모델링을 통해 제작하였고, 현재 운용되고 있는 연직바람 관측장비에 적용하여 안테나 측면($\pm 90^\circ$)에서 약 20dB이상의 클러터 차폐 성능을 확인하였다.

핵심어 : 지형 클러터 방지 펜스, 연직바람 관측장비, 사이드로브, 차폐 성능

ABSTRACT

This paper discusses the design of a ground clutter prevention fence for a radar wind profiler (RWP). The design point of the clutter fence is to improve the quality of the received signal by removing the non-weather clutter coming from the side. In this paper, a clutter prevention fence composed of a metallash mesh around the RWP is proposed, and the phase center of the antenna, the length, and height of the down fence, and the height and slope of the top fence through M&S are designed. The designed ground clutter prevention fence and 256 active phase array antennas were used as basic data. The effectiveness of the design was confirmed by a simulation. The side lobe in the $\pm 90^\circ$ direction was reduced by more than 30dB depending on the presence or absence of the designed ground clutter prevention fence. The fence was manufactured by 3D modeling, and the clutter shielding performance of approximately 20dB or more on the side of the antenna ($\pm 90^\circ$) was confirmed by applying it to the currently operated RWP.

Key words : Ground clutter prevention fence, RWP, Sidelobe, Shielding performance

I. 서 론

연직바람 관측장비 (RWP, Radar Wind Profiler)는 고출력 RF 신호를 송출하여 저층 (400m 이하)에서 고층 (10Km)까지의 기상현상 (바람 및 강우 등)에 의해 반사되는 신호를 수신한 후 기상관측 신호처리 알고리즘을 사용하여 고도별로 방향 및 세기를 실시간으로 측정하는 펄스 도플러 레이더로 대기 경계층 고도, 운동량 속도, 강수 구조 등 동적 대기 현상 정보를 파악하기 위해 사용되는 장비이다.

256 능동위상배열 방식을 적용하여 개발된 본 연직바람 관측장비는 총 5개의 빔에서 (10~20도 기울어진 동, 서, 남, 북 및 연직방향) 관측된 시선속도를 이용하여 VZ(연직방향 시선속도), VE(동쪽방향 시선속도), VW(서쪽방향 시선속도), VS(남쪽방향 시선속도), VN(북쪽방향 시선속도)를 측정하고 이를 통해 고도별 동서 성분(u), 남북성분(v), 연직성분(w)의 바람자료를 산출하는 5-Beam DBS (Doppler Beam Steering/Swing) 방식이 적용되었다.

연직바람 관측장비에서 DBS (Doppler Beam Steering/Swing) 기술의 적용은 바람 자료를 산출하고자 하는 고도에서 안테나 방사 영역에 대해 수평방향으로 일정하다는 전제하에 3개의 방향 또는 5개의 방향으로 안테나 빔을 형성하여 대기의 기상현상 등에 의해 반사되는 신호를 분석하여 시선속도를 측정하고 이를 벡터 연산으로 계산하여 수평 및 연직 풍속값을 얻는다. 천정각(θ)과 방위각(ϕ)으로 운영되는 DBS 방법의 전파 빔에서 측정된 시선속도는 식 (1)과 같다(Cheong et al., 2008).

$$V_r = u \sin\theta \sin\phi + v \sin\theta \cos\phi + w \cos\theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

V_r : 시선속도, θ : 천정각, ϕ : 방위각

u : 수평바람 동서성분, v : 수평바람 남북성분, w : 연직바람 풍속 (청천시)

3개의 빔을 사용하는 방식은 대류나 강수현상으로 수평바람이 균질하지 않을 경우 연직 성분의 시선속도의 오차에 의해 정확하지 않은 바람 정보가 산출된다. 반면에 5개의 빔을 사용하게 되면 수평바람이 균질하지 않을 경우에도 식 (2)에서처럼 연직성분의 시선속도가 수평성분의 바람 자료에 영향을 주지 않으므로 높은 품질의 바람자료를 산출할 수 있다. <Fig. 1>은 5-Beam DBS 방식의 기본 원리를 도시하였다(Ahoro et al., 2005).

$$u = \frac{V_{rB} - V_{rW}}{2\sin\theta}, v = \frac{V_{rN} - V_{rS}}{2\sin\theta}, w = \frac{V_{rB} + V_{rW}}{2\cos\theta} = V_{rZ} \quad \dots\dots\dots (2)$$

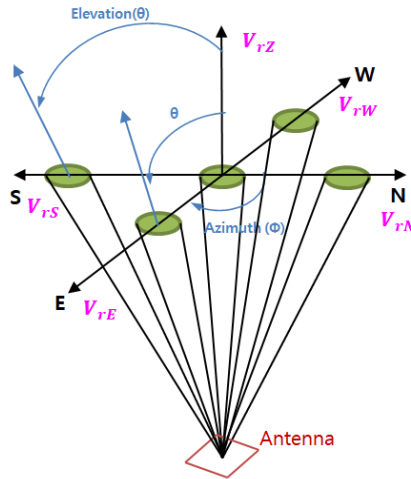
V_{rZ} : 연직방향 시선속도

V_{rN} : 북쪽방향 시선속도, V_{rS} : 남쪽방향 시선속도, V_{rB} : 동쪽방향 시선속도, V_{rW} : 서쪽방향 시선속도

연직바람 관측장비를 통한 바람 자료 산출의 정확성에 영향을 주는 또 다른 요인은 자동차, 산, 건물 등의 물체에 부딪혀 산란하여 들어오는 지형 에코이다. 이 클러터는 청천일 때, 즉 대기 굴절률 변동이 매우 약해서 안테나의 주 빔에서의 신호가 매우 약하고 사이드 로브를 통해 수신되는 신호의 세기가 클 때 자주 발생하게 된다. 연직바람 관측장비의 고도는 전파를 방사하고 수신되기까지 걸린 시간으로 결정된다. 따라서 이러한 그라운드 물체들이 관측고도의 거리와 상응하게 존재하면 지형 에코에 의한 신호가 관측되어 그 고도에서 품질이 좋은 바람자료를 산출할 수 없다(Heo, 2004; Barton, 1985).

지형 에코는 경사빔의 방향을 조절하여 반대 방향에 지상의 물체등을 최소화하여 효과적으로 억제할 수

있다. 그러나 수평으로 넓은 범위에 존재하게 되면 이 방법으로 지형 에코를 억제하기는 어렵다. 이러한 경우에는 안테나 지반을 절구 모양으로 깊게 파고 안테나를 설치하면 지형 에코 제거에 효과적이지만 막대한 공사 비용이 유발된다. 따라서 안테나 주위에 클러터 차폐막을 설치하여 지형 에코의 영향을 최소화하는 방법이 널리 이용된다(Heo, 2004).



<Fig. 1> Principle of 5-Beam DBS

본 논문에서는 256배열 기반의 연직바람 관측장비를 통해 산출되는 바람 자료의 정확성 확보를 위해서 수신되는 바람장 및 기상 신호 이외에 자동차, 산, 건물 등의 물체에 의해 레이더의 측면에서 형성되는 비기상 에코 (지형 에코)에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 지형 클러터 방지 펜스의 설계, 제작, 측정결과를 제시하고자 한다.

II. 256 능동위상배열 안테나

256배열 능동위상배열 기반의 연직바람 관측장비는 256개의 L-Band 다이폴로 구성되어 있고 안테나의 이득은 29dBi 이상, 1개의 고정빔 (연직방향)과 4개의 성형빔 (동, 서, 남, 북 방향)이 요구된다. 또한 중심주파수(1.29GHz)에서 방위각 및 고각 방향으로 최대 +/-20°의 빔 조향각이 요구되므로 안테나 배열 간격은 식 (3)에 의해서 그레이팅 로브가 발생되지 않는 163mm로 설정하였다. 설정된 배열 간격에서 얻을 수 있는 3-dB 빔폭은 식 (4)에 의해 약 4.53°로 계산된다. 식 (5)를 통해 안테나의 빔 조향을 위한 안테나 방사 소자의 위상차를 계산할 수 있다.

$$D \leq \frac{\lambda_h}{1 + \sin\theta_m} \dots\dots\dots (3)$$

$$\theta_{3dB} = \sin^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi D} \left(-\alpha \pm \frac{2.782}{N} \right) \right] \dots\dots\dots (4)$$

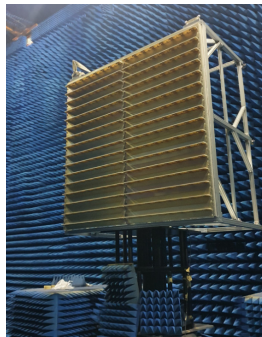
$$\Delta\phi = \frac{360^\circ \cdot D \cdot \sin\theta_m}{\lambda} \dots\dots\dots (5)$$

D : 배열간격, λ_h : 최대주파수, θ_m : 최대 빔 조향각, N : 배열수, α : 위상차

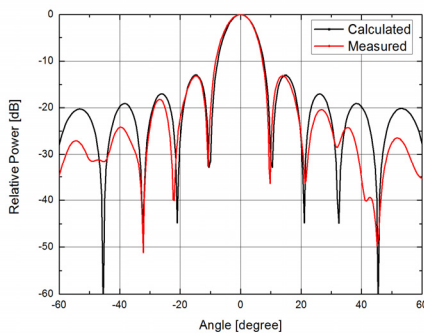
<Table 1>은 256 배열안테나의 규격을 나타내었고 <Fig. 2>는 제작된 256 능동위상 배열안테나의 형상을 도시하였고, <Fig. 3>은 제작된 256 능동위상 배열안테나의 수직 및 수평 방향 방사 패턴이다. 이 배열안테나의 방사 패턴은 지형 클러터 방지 펜스를 설계/제작을 위한 기초자료로 활용하였다.

<Table 1> Specification of array Antenna

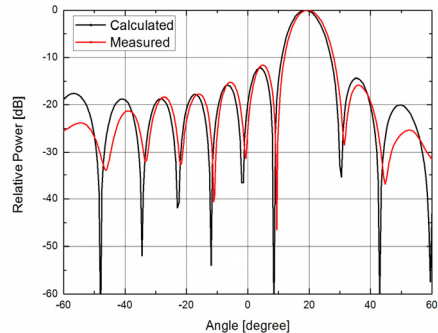
	Specification	Remark
Frequency	1.29GHz	
Array Number	256EA	16EA×16EA
Gain	29dBi Min.	
3-dB Beam width	5° Max.	
Number of Beam	5EA	
Beam Tilt Angle	±20° Max.	



<Fig. 2> Manufactured RWP Antenna



(a) Bore-Sight Beam (EL/AZ)

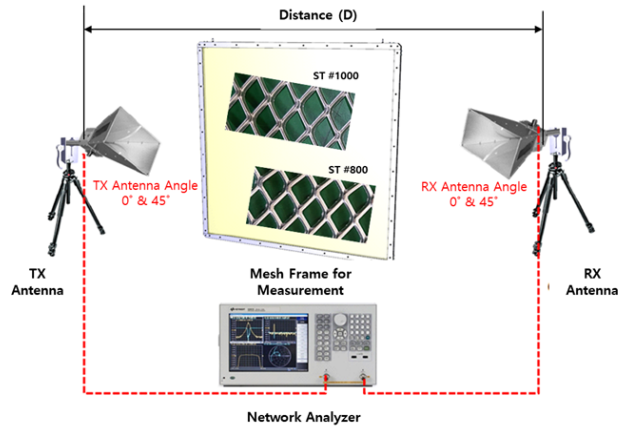


(b) Azimuth direction beam tilt(+20°)

<Fig. 3> Radiation Pattern of Manufactured RWP Antenna

Ⅲ. 지형 클러터 방지 펜스 설계

클러터 방지 펜스에 있어서 가장 중요한 파라미터인 격리도 확보를 위해 전체 형상 및 용도, 크기 등을 고려하여 2종 (ST #800, ST #1000)의 메탈라시 메쉬에 대한 성능을 비교하였다. ST #800은 스텐리스 재질로 SWD (Short Way of Diamond)와 LWD (Long Range of Diamond)는 각각 12mm, 24mm 이고 연직바람 관측장비의 동작주파수 1.29GHz 기준으로 약 0.27λ , 0.55λ 이다. ST #1000은 철 재질로 SWD와 LWD는 각각 10mm, 20mm 으로 약 0.23λ , 0.46λ 이다. <Fig. 4>는 두 종류의 메탈라시 메쉬 구조의 격리도를 측정하기 위한 구성도를 도시하였다. <Table 2>는 두 종류의 송신 및 수신 안테나 사이의 거리에 따른 메탈라시 메쉬 구조의 격리도 측정결과를 설명하였다. 격리도 개선 값은 메탈라시 메쉬 구조를 설치하지 않았을 때를 기준으로 계산하였다. <Table 2>의 측정결과에 따라 제안한 지형 클러터 방지 펜스는 상대적으로 더 우수한 성능을 나타내는 ST #800 메탈라시 메쉬 구조를 적용하였다.

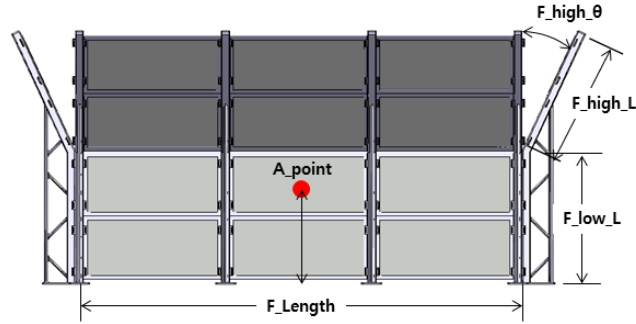


<Fig. 4> Configuration for Isolation Measurement

<Table 2> Metallas Isolation Measurement Results

Antenna Angle	TX ANT, RX ANT = 0°		TX ANT, RX ANT = 45°	
ST #1000	D=50mm	≤34.98 dBc	D=50mm	≤21.32 dBc
	D=300mm	≤35.43 dBc	D=300mm	≤25.98 dBc
	D=780mm	≤29.61 dBc	D=780mm	≤22.37 dBc
ST #800	D=50mm	≤36.19 dBc	D=50mm	≤25.59 dBc
	D=300mm	≤41.91 dBc	D=300mm	≤30.05 dBc
	D=780mm	≤33.64 dBc	D=780mm	≤266.66 dBc

선정된 메탈라시 메쉬 구조를 적용하여 클러터 방지 펜스 설치시 연직바람 관측장비의 전기적 성능을 저해하지 않는 범위 내에서 설계하기 위한 파라미터는 <Fig. 5>에 정의하였다. 설계 파라미터는 연직바람 관측장비에 적용된 256 능동위상 배열안테나를 기준으로 위상 중심 (A_Point), 하단펜스의 길이(F_Length), 하단펜스의 높이(F_Low_L) 및 상단펜스의 높이(F_High_L), 상단펜스의 기울기(F_High_θ)이다.

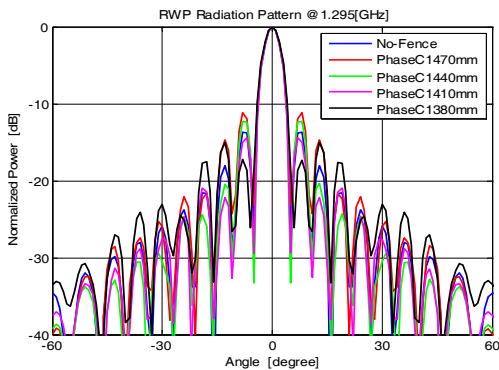


<Fig. 5> Parameters of Clutter Fence

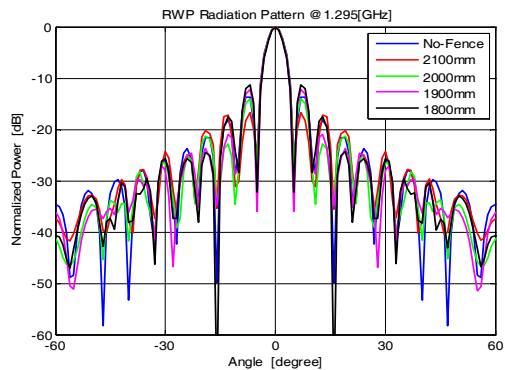
각각의 파라미터에 따른 해석은 CST사의 MWStudio의 Integral Equation Solver Method를 이용하여 결과를 도출하였다. <Fig. 6>은 안테나 위상 중심의 높이에 따른 방사 패턴의 사이드로브 해석 결과를 도시하였다. 파라미터 해석 범위는 1380mm ~ 1,470mm 이고 1410mm에서 전체적으로 우수한 사이드로브 개선 효과를 가진다. <Fig. 7>은 안테나 위상 중심의 높이 1,410mm를 고려하여 하단 펜스의 높이를 2,000mm로 고정하고 상단 펜스의 높이에 따른 방사 패턴의 사이드로브 해석 결과를 도시하였다. 파라미터 해석 범위는 1,800mm ~ 2,100mm 이고 하단 펜스의 높이와 같은 2,000mm에서 우수한 사이드로브 개선 효과를 얻을 수 있다.

<Fig. 8>과 <Fig. 9>는 각각 하단 펜스의 길이 및 상단펜스의 기울기에 따른 안테나 광각 (70° ~ 90°)에서의 방사 패턴의 사이드로브 해석 결과를 도시하였다. 안테나 광각에서 사이드로브 개선 효과는 하단 펜스의 길이가 5,100mm, 상단펜스의 기울기가 20도일 때 가장 우수한 해석 결과를 얻었다.

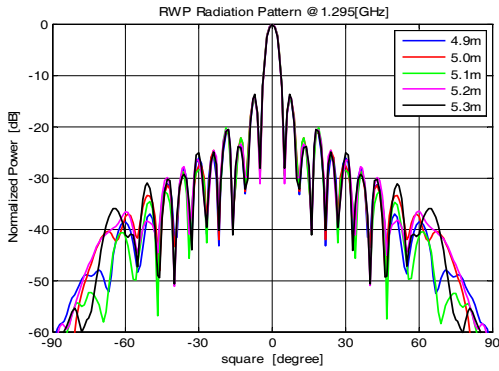
<Table 3>는 해석 결과를 바탕으로 클러터 방지 펜스의 최종 설계 파라미터 값을 제시하였다. <Fig. 9>는 ST #800 메탈라스 메쉬 구조와 <Table 3>에 제시된 파라미터를 적용하여 클러터 방지 펜스의 유/무에 따른 방사패턴 시뮬레이션 해석 결과이다. 미적용 클러터 방지 펜스의 배열안테나를 기준으로 안테나의 이득은 약 1dBi 증가, 빔폭과 1st 사이드로브의 변화는 거의 발생하지 않으며, ±90방향의 사이드로브는 약 -30dBc 이상 개선되는 것을 확인하였다.



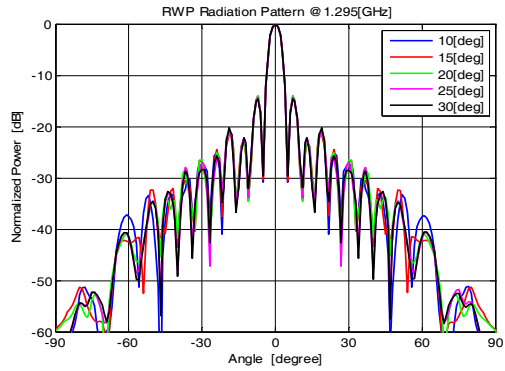
<Fig. 6> Radiation Pattern by Phase Center



<Fig. 7> Radiation Pattern by Up-fence Height



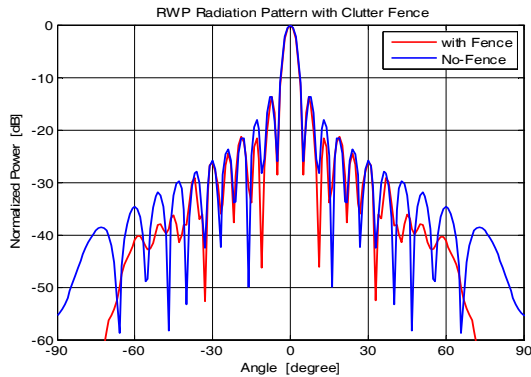
<Fig. 8> Radiation Pattern by Fence Length



<Fig. 9> Radiation Pattern by Up-fence Angle

<Table 3> Design Parameters of Clutter Fence

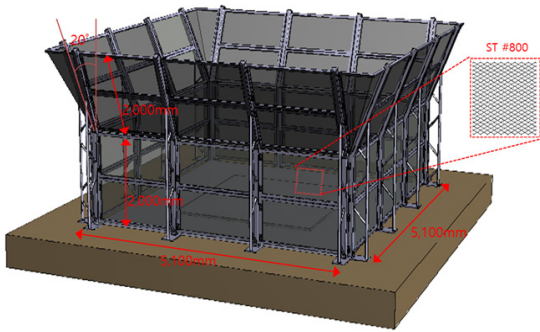
Parameter		Value	Remark
Clutter Fence	F_Length	5100mm	Square
	F_high_θ	20°	
	F_high_L	2000mm	
	F_low_L	2000mm	
	A_Point	1410mm	PhaseC.



<Fig. 10> RWP Radiation Pattern with Clutter fence

IV. 지형 클러터 방지 펜스 제작 및 시험

<Fig. 11>은 설계된 지형 클러터 방지 펜스를 제작하기 위한 3차원 모델링을 도시하였다. 5.1×5.1× 2.0 m 하단 펜스 위에 20° 기울어진 2m 길이의 상단펜스를 설계하여 제작하였고 <Fig. 12>는 3차원 모델링을 바탕으로 제작된 클러터 방지 펜스를 도시하였다.



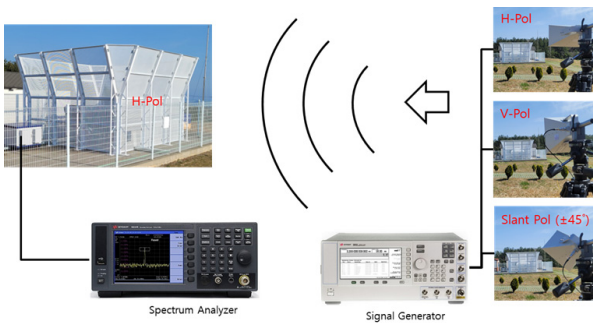
<Fig. 11> Modeling of Clutter Fence



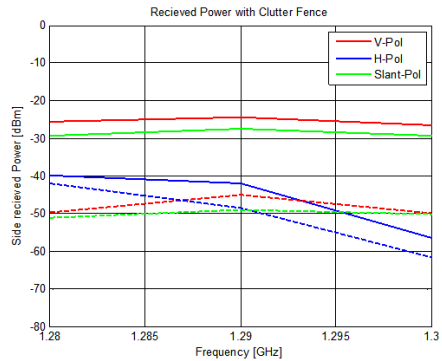
<Fig. 12> Manufactured Clutter Fence

<Fig. 13>은 제작된 지형 클러터 방지 펜스의 유/무에 따른 연직바람 관측장비 측면 (90° 방향)에서 격리도를 측정하기 위한 시험 구성도를 나타내었다. 클러터 방지 펜스 내부는 수직편파를 가지는 혼 안테나를 설치하고 클러터 방지 펜스 외부에는 클러터 방지 펜스와 약 10m 거리에 혼 안테나를 설치하였다. 클러터 방지 펜스 외부에 설치된 혼 안테나는 신호 발생기에서 생성된 클러터 모의 신호를 편파 (0°, 45°, 90°)에 따라 안테나의 방향을 변경하면서 클러터 방지 펜스 내부 혼 안테나를 통한 수신 레벨을 측정하였다. 측정결과 클러터 방지 펜스의 차폐율은 클러터 방지 펜스가 없을 때 기준으로 약 20dBc 이상 개선되었다. <Fig. 14>에 클러터 모의 신호의 편파에 따른 측정결과를 도시하였다.

안테나의 측면에서 20dBc 이상의 클러터 차폐 특성을 가지는 지형 클러터 방지 펜스는 현재 속초에 설치되어 있는 연직바람 관측장비에 적용되어 운용중에 있다.



<Fig. 13> Test Configuration



<Fig. 14> Measurement Result

V. 결 론

본 논문에서는 RWP의 측면 방향 비기상 클러터를 제거하고 우수한 품질의 신호를 수신하기 위한 클러터 방지 펜스의 개발에 대해 구체적으로 기술하였다. 개발 완료한 클러터 방지 펜스는 RWP 안테나의 전기적 성능의 저해 없이 안테나의 측면에서 약 20dBc 이상의 클러터 차폐 개선 효과를 가지는 것을 확인하였고, 이는 연직바람 관측장비의 효율적인 운용을 위한 클러터 방지 펜스 설계를 위한 원천기술을 보유하였음을

의미한다. 본 논문에서 제시한 클러터 펜스는 향후 유사한 목적의 기상 레이더 혹은 우주 통신용 시스템 및 우주 감시 레이더 등에 응용이 가능할 것이고 특히, 현재 개발을 진행하고 있는 이동형 연직바람 관측장비를 위한 소형/경량 지형 클러터 방지 펜스에 적용될 수 있다.

REFERENCES

- Ahoro, A., Takahisa, K., Gage, K. S., Carter, D. A., Hartten, L. M., Clark, W. L. and Masato, F.(2005), "Evaluation of Three-Beam and Four-Beam Profiler Wind Measurement Techniques Using a Five-Beam Wind Profiler and Collocated Meteorological Tower", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 22, no. 8, pp.1167-1180.
- Barton, D. K.(1985), "Land clutter models for radar design and analysis", *Proceedings of the IEEE*, vol. 73, no. 2, pp.198-204.
- Cheong, B. L., Palmer, R. D., Yu, T. Y., Yang, K. F., Hoffman, M. W., Frasier, S. J. and Lopez-Dekker, F. J.(2008), "Effects of Wind Field Inhomogeneities on Doppler Beam Swinging Revealed by an Imaging Radar", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 25, no. 8, pp.1414-1422.
- Heo, B. H.(2004), *Wind profiler and atmospheric sounding*, Hongneung Science Publisher, pp.79-84.