

X-밴드 이중편파 기상레이더 기본설계 및 성능

I. 서론

급격한 기상 변화로 인한 재해가 한반도에서도 매년 발생하여 국가적으로 수 십조원의 재산 피해를 초래하고 있다.

국내 기상예보는 대형기상레이더(S-밴드, C-밴드) 위주의 예보시스템으로 원거리 관측을 수행함으로써, 지구 곡률효과 및 산악지형이 많은 한국 실정에서 국지적으로 발생하는 호우에 대비하기 위한 저층 관측사각 지대를 해소할 수 있는 소형의 X-밴드 기상레이더의 필요성이 요구되었다.

현재 국내에서 전량 수입에 의존하여 운영 중인 기상레이더로는 기술자립을 할 수 없을 뿐 만아니라, 기상레이더 운용 중 발생한 고장을 해소하기 위해 해외 제작사에 의존하고 있는 실정이다.

국지적(40km 이내)으로 발생하는 기상현상에 대하여 기상자료를 제공하여 위험기상의 감시, 도시 자연재해 예방 및 현업용 대형레이더의 관측사각지대 해소를 위하여, 기상청은 우선적으로 2011년에 지식경제부 IT융합 과제로 “국지성 방재를 위한 소형 X-밴드 이중편파 기상레이더”를 국내의 국방분야에서 다수의 레이더 시스템 개발 실적을 보유한 STX엔진과 레이더 전문 기술을 보유한 참여기업들을 선정하여 2016년에는 국제 경쟁력이 있는 소형 X-밴드

2011년에 지식경제부 IT융합 과제로 “국지성 방재를 위한 소형 X-밴드 이중편파 기상레이더”를 국내의 국방분야에서 다수의 레이더 시스템 개발 실적을 보유한 STX엔진과 레이더 전문 기술을 보유한 참여기업들을 선정하여 2016년에는 국제 경쟁력이 있는 소형 X-밴드 이중편파 기상레이더 독자모델을 확보하게 될 것이다.



신근섭
STX엔진



이중편파 기상레이더 독자모델을 확보하게 될 것이다.

X-밴드 이중편파 기상레이더는 인구밀집지역인 도시 지역과 대형레이더의 관측 사각지대에 활용이 가능한 200W급 반도체 전력증폭기(Solid State Power Amplifier)를 이용한 코히어런트(coherent)기반 펄스 도플러 이중편파 레이더로 시스템 기본설계 내용을 간략히 설명하고자 한다.

II. 본 론

1. 개발목표 및 내용

Solid-state 200W급 출력과 펄스 압축기술을 이용한 X-밴드 이중편파 기상레이더 개발

1.1. 주요 개발 기술

- X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템 설계, 제작 및 시스템 통합(integration) 기술 개발
 - ① 이중편파 기상레이더 시스템 설계 기술
 - ② 코히어런트 펄스압축/확장 기술기반의 송신기, 수신기, 신호처리기 통합
 - ③ 이중편파 자료처리 및 표출 기술 통합
 - ④ 통합 시스템 운영 기술
 - ⑤ X-밴드 기상레이더 네트워크 운영을 위한 인터페이스 설계
- 고속 자료 수신을 위한 안테나 및 스케줄링
 - ① 고속 볼륨주사용 이중편파 스캐닝 안테나
 - ② 고성능 이중편파기 및 안테나 제어기술
 - ③ 적응형(adaptive) 스캔 스케줄링
- Solid state 출력 및 펄스압축 방식의 디지털 송수신기 기술 개발
 - ① 높은 duty cycle의 200W급 Solid State Power Amplifier(SSPA) 송신기
 - ② 고이득, 고안정의 이중편파 송신기 및 수신기
 - ③ 개선된 거리분해능력의 펄스압축 LFM 파형발생기

Solid-state 200W급 출력과 펄스 압축기술을 이용한 X-밴드 이중편파 기상레이더 개발

- ④ 실시간 이중 편파 원시자료(I/Q) 생성기
 - ⑤ 송수신기와 신호처리기간 이중화 광통신 인터페이스
- 실시간 이중편파용 송신 및 수신 신호처리 기술개발
 - ① 이중편파 원시자료(I/Q)를 활용한 모멘트 도출 기술
 - ② 원시자료를 이용한 지형에코 필터링 기술 개발
 - ③ 고품질 이중편파 변수 산출 알고리즘 및 처리기술 개발
 - ④ 이중편파 반사도/차등반사도 보정기술 개발
 - 이중편파 모멘트 자료를 활용한 기상변수 산출기술 및 사용자 중심의 자료처리, 표출 시스템 개발
 - ① 이중편파용 기상정보 산출 알고리즘 및 자료처리 기술
 - ② X-밴드 이중편파 모멘트기반 비강수 에코 제거기술
 - ③ 모멘트/처리자료의 사용자 기반 및 GIS 정보 이용 표출 기술
 - ④ 사용자 중심 기상레이더 운영 기술
 - ⑤ 시스템 감시 및 진단 기술
 - 이중편파 레이더의 보정(calibration) 및 최적 운영 기술 개발
 - ① 이중편파 기상레이더의 보정(calibration) 기술 개발
 - ② 임계변수를 이용한 고품질 이중편파 자료생성 기술개발
 - ③ 스캔 최적화 기술 개발
 - ④ 검증 관측망 구축 및 시험운영
 - ⑤ 개발된 기상레이더 성능 확인(validation) 및 검증
 - ⑥ 개발된 이중편파 알고리즘 및 기상자료 분석 및 검증

2. 연차별 목표 및 내용

X-밴드 소형 이중편파 기상레이더의 개발은 '11년 6월부터 '16년 5월까지 5개 년도에 걸쳐 수행한다. 1차년도는 시스템 설계 파라미터 도출을 통하여 기

〈표 1〉 기상레이더 추진 마일스톤

구분	연차별 연구목표	연차별 연구내용
1차 년도	<ul style="list-style-type: none"> X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템 및 기본 설계 핵심 원천기술에 대한 분석 및 비교 	<ul style="list-style-type: none"> 국외 이중편파 레이더 기술 분석 핵심, 원천기술 확보 대상분야 분석 시스템 기본 설계 핵심 H/W, S/W 설계 50 W SSPA 연구개발
2차 년도	<ul style="list-style-type: none"> 이중편파기, 송수신기, 신호처리기, 기상변수 산출기, 표출기 제작 및 시험 장치별 성능 확인 	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 세부설계 핵심 H/W, S/W 설계 및 제작 100W SSPA 연구개발 360° 스캔안테나 Calibration : Zh(Zv) (1dB, ZDR <0.2 dB
3차 년도	<ul style="list-style-type: none"> 시험용 이중편파 레이더 통합 및 시험 국내 운용 레이더와 비교검증 및 결과분석 	<ul style="list-style-type: none"> 레이더 세부설계 검증 및 보완 H/W, S/W 통합 200W SSPA 연구개발 기상자료 up-date rate (5 min 비기상예코 제거율)80% 시험 및 결과 비교분석
4차 년도	<ul style="list-style-type: none"> Proto-type 레이더 업그레이드 원천 기술 검증/분석 	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 설계 개량 및 안정화 핵심 H/W, S/W 설계 개량/제작 개발 원천 기술 검증 및 분석 기상자료 up-date rate (3 min 비기상예코 제거율)90% 시험 및 결과 비교분석
5차 년도	<ul style="list-style-type: none"> 독자모델 이중편파 레이더 시험 운용/검증 	<ul style="list-style-type: none"> 독자모델 시스템 기술, 운용, 독창성 분석 H/W, S/W 보완 및 통합 개발 원천 기술 검증 및 분석 운용 결과 비교분석

본설계단계인 기본설계검토(Preliminary Design Review)를 수행하며, 2차년도는 상세설계검토(Critical Design Review) 후 서브시스템인 안테나장치, 송수신장치, 신호처리장치, 운영제어/표출분석장치 등을 제작하여 자체성능을 확인한다. 3차년도는 proto type 통합 및 시험을 수행하여 시스템 성능을 검증하는 단계이며, 이를 통하여 시스템 설계 개선사항을 도출하여 proto type을 보완하는 4차년도 업무를 수행한다. 최종 5차년도는 개선된 시제품에 대한 시스템 성능 시험을 수행하여, 독자 모델에 대한 검증을 완료한다. 자세한 연차별 목표 및 연구내용은 〈표 1〉과 같다.

3. 기상레이더 기본 설계 및 성능

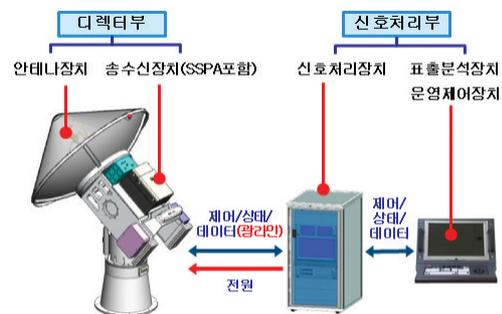
3.1. 시스템 구성

X-밴드 소형 이중편파 기상레이더 시스템은 〈그림 1〉과 같이 안테나장치와 송수신장치로 구성된 디렉터부와 시스템 제어, 신호처리, 자료처리, 표출처리 및 시스템 전원을 공급하는 신호처리부 및 연동케이블 등으로 구성되어 있다.

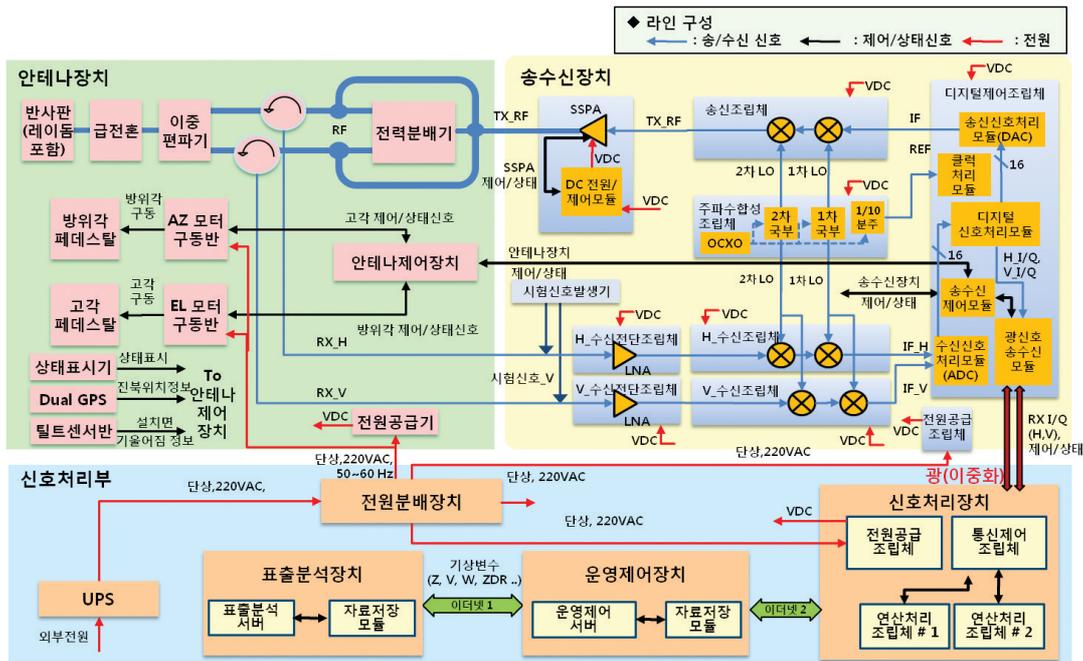
〈그림 2〉는 시스템 블록도로 디렉터부에는 안테나장치와 송수신장치가 구성되고, 신호처리부는 신호처리장치, 표출분석장치 및 운영제어장치가 주요 구성장치로 구성되어 있다.

안테나장치는 송수신장치에서 고풍력 증폭된 RF신호를 단일편파 및 이중편파를 선택 및 송수신을 담당하는 안테나 조립체와 방위각과 고각으로 정밀제어를 통하여 볼륨스캔을 담당하는 안테나 제어 조립체, 제어신호에 의해 고각과 방위각을 구동시키는 안테나 구동 조립체로 구성된다.

송수신장치는 송수신장치 제어, LFM(Linear Frequency Modulation) 신호 생성, 수신된 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하는 ADC(Analog to Digital Converter)로 구성된 디지털제어 조립체, 중간 주파수 신호를 초고주파 신호로 상향변환하는 송신조립체, 수신된 이중편파 혹은 단일편파 신호를 하향변환하는 수신조립체와 시스템 주파수 생성 및 상/하향변환시 국부 주파수를 제공하는 주파수합성조립체, RF신호를 200 W 출력으로 고풍력 증폭하는 SSPA(Solid State Power Amplifier) 등으로 구성된다.



〈그림 1〉 X-밴드 소형 이중편파 기상레이더 시스템 구성



(그림 2) X-밴드 소형 이중편파 기상레이더 시스템 블록도

신호처리부의 신호처리장치와 표출분석장치는 수신된 I/Q 신호로부터 반사도(Reflectivity), 속도(Velocity), 스펙트럼 폭(Spectrum Width) 데이터를 기본으로 하여 기상 신호처리 알고리즘을 적용하여 단일편파 및 이중편파 산출물(Products)을 생성 및 전시하고, 운영제어장치는 시스템의 운영, 제어 및 상태감시를 담당한다.

X-밴드 소형 이중편파 기상레이더 시스템의 주요 특징 중의 하나는 40 km의 탐지거리에 대하여 운영 모드를 구성하여 운용모드별 거리 분해능(Range Resolution)을 10~25 m까지 개선되도록 설계하였다. 또한, 단일편파의 반전력인 이중편파 100W 기준으로 유효탐지거리 40 km 운영이 가능하도록 송수신 손실을 최소화하기 위해 송수신장치를 안테나장치 최근접에 위치하고, 수평편파(H)/수직편파(V) IQ 신호는 광 통신을 통하여 신호처리부에 전달하도록 설계한 것이 주요 특징이다.

3.2. 유효탐지거리 분석

레이더 방정식(양방향 모노스태틱)상의 레이더 수신 전력은 다음과 같다.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma_c}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1)$$

- Pr : 수신전력
- Pt : 송신전력
- Gt : 송신 안테나 이득
- Gr : 수신 안테나 이득
- λ : 파장
- σ_c : 총 RCS(Radar Cross Section)
- R : 표적과의 거리

위의 식(1)에서 송신 안테나와 수신 안테나는 동일하므로, 송신 안테나 이득과 수신 안테나 이득은 동일하므로 아래의 식(2)와 같이 대체된다.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_c}{(4\pi)^3 R^4} \quad (2)$$

여기서 σ_c는 일반적으로 표적탐지를 위한 레이더 유효반사단면적을 말한다. 이는 2D 표적에 대한 정의이므로, 기상 레이더는 볼륨표적 RCS 탐지 개념이 적용되

며 이는 식(3)과 같다.

$$\sigma_c = V_c \eta = V_c \sum_i \sigma_i \quad (3)$$

- σ_c : 총 RCS
- σ_i : 각각의 RCS
- V_c : 레이더 cell의 부피
- η : 각 단위 부피당 RCS

레이더 cell의 부피인 V_c 는 식(4)와 같이 정의된다.

$$V_c = \frac{\pi}{4} (R\theta_B)(R\phi_B) \left(\frac{c\tau}{2}\right) \frac{1}{2\ln 2} \quad (4)$$

- θ_B : 안테나 수평편파 빔폭(3dB 전력)
 - ϕ_B : 안테나 수직편파 빔폭(3dB 전력)
 - τ : 펄스폭 (time)
 - c : 빛의 속도
- 식(4)에서 수평/수직편파의 빔폭은 식(5)와 같이 안테나 이득식으로 대체될 수 있다.

$$G = \frac{\pi^2}{\theta_B \phi_B} \quad (5)$$

위의 식들을 통하여 모노스태틱 양방향 레이더 방정식 식(2)에 식(3)~식(5)를 적용하면 기상 레이더 방정식 식(6)이 도출될 수 있다. 단, 이식에서 레이더 cell의 모든 부분이 균등한 비에 의해 완전히 채워졌다고 가정한다.

$$\bar{P}_r = \frac{P_t G \lambda^2 c \tau}{1024(\ln 2) R^2} \sum_i \sigma_i = \frac{P_t G \lambda^2 c \tau}{1024(\ln 2) R^2} \times \eta \quad (6)$$

위의 식(6)에서 각 단위 부피당 RCS인 η 를 도출하기 위해서는 강우 반사도 상수와 볼륨체적당 강우의 backscatter cross section 식을 도출해야 된다.

반사도 계수(reflectivity factor) Z 의 파라미터는 식(7)과 같다.

$$Z = ar^b \quad (\text{mm}^6/\text{mm}^3) \quad (7)$$

- Z : 반사계수
- a : 파장별 강우형태에 대한 계수
- b : 파장별 강우형태에 대한 계수
- r : 강우율(rainfall rate) (mm/hr)

위 식에서 계수 a 와 계수 b 는 레이더 파장에 의해 결정되며, 층상운(stratiform) 형태의 X-밴드(파장:3.2 cm) 적용시 a 는 200이고, b 는 1.60이 된다. 이 식을 각 단위 부피당 RCS인 η 를 구하는 식 (8)에 적용하면,

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 Z \times 10^{-18} = \frac{r^{1.6}}{\lambda^4} \times 5.7 \times 10^{-14} \quad (8)$$

여기서 $|K|^2$ 은 복소유전율로 강수의 경우는 0.93이며, $Z = 200 \times (r)^{1.6}$ 을 대입하면 식 (8)의 우항과 같이 된다.

식(6)과 식(8)을 통하여 레이더 탐지거리를 산출이 가능하다. 장거리 모드를 기준으로 레이더 탐지거리 산출을 위한 파라미터별 값은 <표 2>와 같다.

식(6)은 탐지거리를 구하는 식(9)와 같이 변환될 수 있다.

$$R = \sqrt{\frac{P_t G \lambda^2 c \tau \eta}{1024(\ln 2) P_r}} \quad (9)$$

<표 2> 기상레이더 설계사양

레이더 파라미터	설계사양 값 (장거리 모드시)	비고
N [ea]	113	누적펄스수
Pt [w]	100	이중편파 기준
G [dBi]	44.5	안테나 이득
λ [m]	0.032	파장
C[m/s]	300,000,000	빛속도
τ [s]	0.0000495	펄스폭
η [m ⁻¹]	4.9954×10^{-7}	$ K ^2 = 0.93, r=4\text{mm/hr}, Z = 200 \times (r)^{1.6}$
k[joules/°K]	1.38×10^{-23}	볼트만 상수
To [°K]	290	절대온도
B [Hz]	6,000,000	수신대역폭
Fn [dB]	3.86	수신기 잡음지수
S/N [dB]	45.879	단일펄스 신호 대 잡음비

여기서 수신전력(Pr)은 최소탐지 신호전력(Smin)을 의미하며 n개의 펄스가 누적된 누적펄스 최소탐지신호는 식(10)과 같다.

$$S_{min} = (kT_o B_n)(F_n) \left(\frac{S_o}{N_o}\right)_{1/n} \quad (10)$$

식(10)의 Smin을 Pr에 대입하면 식(11)이 되고 장거리 모드의 탐지거리가 산출된다.

$$R = \sqrt{\frac{nP_t G \lambda^2 c \eta}{1024(\ln 2)(kT_o B_n)(F_n)(S_o / N_o)}} \quad (11)$$

= 44.265 (km)

도출된 결과는 장거리 모드상에서 유효탐지 거리 40 km 설계사양은 만족시킨다.

3.2 모드별 탐지성능 분석

운영모드별 시스템 파라미터는 <표 3>과 같다.

강우율(rainfall rate)과 탐지거리에 대한 신호 대 잡음비(SNR)를 분석하고자 식(8)을 식(6)에 대입하여 정리하면 식(12)와 같이 된다.

<표 3> 운영 모드별 시스템 파라미터

운용모드	단거리	장거리	비고
송신 출력(W)	단일편파(V or H):200, 동시이중편파:100		SSPA출력단 기준
펄스반복 주파수(kHz)	2.4, 3		Dual PRF 5:4 (가변 가능)
확장 펄스폭 (usec)	1	49.5	
대역폭(MHz)	10	6	
펄스압축비	10	297	
누적펄스(개)	113		
유효탐지거리 (km)	8	40	
해상도 (m)	15	25	
빔폭 (deg.)	1.0		
회전수(RPM)	4		6 RPM 가능
듀티 (%)	최대 15		

$$\begin{aligned} \bar{P}_r &= \frac{P_t G \lambda^2 c \tau}{1024(\ln 2) R^2} \times \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 Z \times 10^{-18} \\ &= \frac{1.2934 \times P_t G \tau}{R^2 \lambda^2} \times 10^{-10} \times |K|^2 Z \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, 펄스폭, 거리, 복소유전율과 반사도를 제외한 계수는 레이더 상수(Radar Constant)라고 하며, 식(13)과 같이 정의한다.

$$C = \frac{1.2934 \cdot P_t \cdot G}{\lambda^2} \cdot 10^{-10} \quad (13)$$

식(12)는 식(14)와 같이 단순화되고, 펄스압축방식의 단일펄스의 신호 대 잡음비는 식(15)와 같이 정의된다.

$$\bar{P}_r = C \cdot \tau_E \cdot Z \cdot |K|^2 / R^2 \quad (14)$$

$$S / N = \bar{P}_r + CR - Noise \quad (15)$$

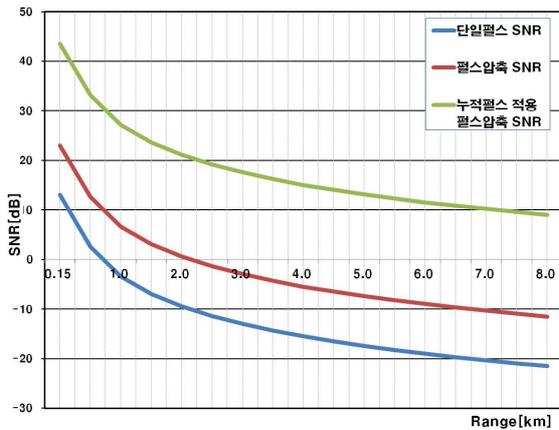
신호 대 잡음비를 구하기 위하여 해당 파라미터를 dB 스케일로 변환하여 도출한 값은 <표 4>와 같으며, 거리(range)는 1~100km 범위이다.

위의 식은 장거리 모드 단일펄스 기준 1~100km의 SNR(Signal to Noise Ratio)값이며, 압축비의 경우는

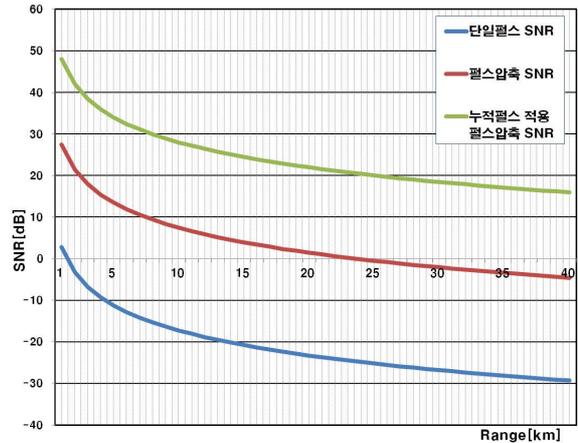
<표 4> 거리별 신호 대 잡음비(SNR)

레이더 파라미터	설계사양 값 (장거리 단일펄스)	dB환산값(10logX)
송신전력(Pt)	200,000mW	$C = \frac{1.2934 \cdot P_t \cdot G \cdot 10^{-10}}{\lambda^2} = 28.53\text{dBm}$
안테나 이득(G)	44.5dBi	
파장(λ)	0.032m	
펄스폭(τ _E)	49.5us	-43.05 dB
복소유전율(K ²)	0.93	-0.31 dB
잡음레벨	-102.34 dBm	-102.34 dBm
거리(R)	1 ~ 100km	30 ~ 50 dB
압축비(CR)	297	24.73 dB
반사도(dBZ)	(r = 0.1 mm/h)	3 dBZ

$SNR[\text{dB}] = C + \tau_E + \text{dBZ} + |K^2| + CR - \text{Noise} - 2R$
 $= 28.53 - 43.05 + 3 - 0.31 + 24.73 - (-102.34) - 2 \cdot (30 \sim 50)$
 $= 115.24 - 2 \cdot (30 \sim 50)$
 $= 55.24 \sim 15.24 \text{ dB (1} \sim 100 \text{ km)}$



〈그림 3〉 단거리 모드에서 탐지거리 대비 SNR값



〈그림 4〉 장거리 모드에서 탐지거리 대비 SNR값

모드별로 10, 297의 압축비에 대해 dB 스케일로 변환시 대략 10, 25dB 정도 SNR이 개선된다.

이 같은 수식을 기초로 하여 모드별로 이중편파의 단일펄스/압축비/누적펄스별로 탐지거리대비 SNR에 대한 도출결과는 〈그림 3〉과 〈그림 4〉에 제시되어 있다.

〈그림 3〉은 단거리 모드 설계사양을 적용하여 거리 변화에 따른 신호대잡음비(SNR)의 예상결과값이다. 기상분야 전문가들의 의견이 반영되어 반사계수 3 dBZ(강우율 0.1mm/h)탐지 수준으로 누적펄스 및 펄스압축이 적용되고, 시스템 손실 및 강우 감쇠까지 고려하여 적용된 결과이다.

〈그림 4〉는 장거리 모드 설계사양을 적용하여 거리변화에 따른 신호대잡음비(SNR)의 예상결과값이다. 단거리 모드와 동일한 반사계수와 누적펄스값이 적용되었다. 다만, 펄스폭과 연관되는 펄스압축비와 탐지거리와 연관되는 강우감쇠는 장거리모드 조건을 반영하였다.

수행하는 과제로서, 5년에 걸친 과제 수행을 통하여 국내 기상 레이더의 독자 모델 개발을 통하여 SSPA, 이중편파 기술 등의 하드웨어 기반 기술 및 기상신호처리 알고리즘, 기상데이터 산출물 도출을 위한 분석기술 등의 소프트웨어 기반 기술을 구현함으로써 기상 레이더 분야의 원천기술 확보라는 목표를 달성하고자 한다.

본 과제는 국내 최초 기상레이더 개발이라는 특성상 기상레이더 비교검증 시험을 통한 성능 검증 및 안정화를 위하여 시스템 시험기간(성능개선을 위한 설계보완 포함)이 계획되어 있다. 이에 따라 성능 검증에 대한 고찰 및 성능입증 방안의 도출이 필요하다.

이 같은 이유로 성공적인 기상레이더 국산화를 위해서는 기상청을 비롯한 유관기관의 자문,

협조 및 지원이 필요하여 운영위원회를 구성하여 운영중에 있다.

국내에서 처음으로 기상레이더 국산화 개발을 수행하는 과제로서, 5년에 걸친 과제 수행을 통하여 국내 기상 레이더의 독자 모델 개발을 통하여 SSPA, 이중편파 기술 등의 하드웨어 기반 기술 및 기상신호처리 알고리즘, 기상데이터 산출물 도출을 위한 분석기술 등의 소프트웨어 기반 기술을 구현함으로써 기상 레이더 분야의 원천기술 확보

III. 결론

STX엔진이 수행하는 X-밴드 이중편파 기상레이더 과제는 국내에서 처음으로 기상레이더 국산화 개발을

참고 문헌

- [1] STX엔진, 지식경제기술혁신사업 제안서(과제명:국지성 방재를 위한 소형(SSPA 200W급) X-밴드 기상레이더 시스템 개발), 2011년 5월



- [2] 지식경제부, '11년 산업융합 원천기술 개발사업 후보과제 세부 기획서(과제명:국지성 기상 예측 정확도 향상을 위한 소형 (Solid-state 200W급) X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템 개발), 2011년 3월
- [3] 광영길, X-밴드 이중편파 기상레이더 시스템 설계 파라미터 분석, 2012년 8월
- [4] Peyton Z. Peebles, JR., Radar Principles, 1998
- [5] David K. Barton, Radar Technology Encyclopedia, 1998
- [6] 이상철, 강정수, 레이더 공학, 1997년 1월
- [7] Richard J. Dovick, Dušan S. Zrnić, Doppler Radar and Weather Observations, 1993
- [8] Masakazu Wada, Fumihiko Mizutani, Development of Solid-State Weather Radar, 2009년 11월



신근섭

1981년 2월 인하대학교 졸업
 2011년 6월~현재 (개발책임) 소형 X-밴드 이중편파 기상레이더 개발(지식경제부 산업융합기술산업원천기술개발사업 (IT융합), 2011. 6~2016. 5)
 2007년 1월~2010년 12월 (개발책임) 함정용 단거리 추적레이더 부체계 개발
 2003년 5월~2008년 6월 (과제책임) 추적레이더 기술도입 생산
 2000년 7월~2002년 10월 (개발책임) 항해용 레이더(SPS-100K) 개발
 1992년 1월~1995년 11월 (개발책임) 전투함용 대함레이더(SPS-95K) 개발

<관심분야>
 레이더 시스템