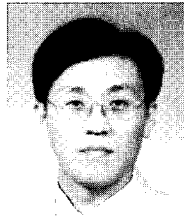


선진국 강우레이더 관측망 및 시스템 특성 소개 (I)



윤 강 훈 | 한국건설기술연구원 수석연구원

현재 세계적으로 다양한 강우레이더들이 사용되고 있으며, 제조회사나 사용기관에 따라 여러 형태를 보이고 있다. 일반적으로 강우레이더는 운영하는 기관에서 요청한 규격에 의거하여 레이더 제조회사들이 장비를 조립하고 테스트 하여 납품한다. 따라서 정형화된 레이더 시스템이 있기도 하지만 대부분의 레이더들은 조금씩의 차이를 가지고 있다.

본 기사에서는 선진 외국인 미국과 일본에서 현재 사용되고 있는 강우레이더 시스템 및 레이더 네트워크를 조사하여 2회에 걸쳐서 기술하고자 한다.

1. 미국 NEXRAD(Next Generation Radar)

WSR-88D(Weather Surveillance Radar-1988 Doppler) 시스템은 미국 상무성, 국무성과 운수성의 공동 노력으로 만들어진 차세대 기상레이더 프로그램의 제작물이다. WSR-88D 시스템은 세 기관의 공동 필요를 충족시켜 주면서 미국 내 및 해외 사이트에 설치되었다. 이 시스템은 도플러 능력과 매우 민감한 수신기 감도를 제공하며 예보자가 악기상 탐지를 개선하여 악기상 경보의 발령이 가능한 기본

관측 자료의 실시간 출력과 유도된 산출물을 제공한다. 악기상 뿐만 아니라 기상현상 분석 및 수문학적 응용 또한 기대되고 있다. WSR-88D 시스템은 변화되고 있는 요구와 기술적인 발전을 충족시키기 위해 운영주기 동안 수정 보완 될 것이며, 실시간 운영으로 이 시스템의 응용에 대한 이해가 개선될 것이다. NEXRAD 기관들은 집중화된 WSR-88D 운영교육을 제공하고 소프트웨어, 유지보수, 공학지원을 제공하기 위해 OSF(Operational Support Facility)를 설립하였다. 다음에는 NEXRAD 프로그램의 개요, WSR-88D 시스템과 WSR-88D를 지원하는 OSF와 이용자의 역할에 대해 조사하였으므로 미국의 기상레이더 활용 현황을 기술하고자 한다.

1.1 NEXRAD 프로그램

NEXRAD 프로그램은 진보된 WSR-88D 시스템을 개발, 조달, 전개, 지원하기 위해 미상무성, 미국무성, 미운수성의 공동노력으로 수행되었다. WSR-88D 시스템은 미국 기상청(NWS), 미공군, 미해군, 항공청(FAA)에서 현재 운영했던 기상레이더를 대체하였다. 미국해양대기청(NOAA) 내에 위치하고 있는

NEXRAD의 JSPO(Joint System Program Office)가 3기관에 대한 NEXRAD 프로그램을 관리하고 있다.

NEXRAD 프로그램의 주요연혁은 표 1과 같다. JDOP(Joint Doppler Operational Project)는 악기상 또는 토네이도성 뇌우를 판정하기 위한 도플러 기상레이더의 실시간 이용을 위해 오클라호마 노만의 NSSL(National Severe Storms Laboratory)에서 1976년에 설립되었다. NWS와 미공군 항공기상서비스 예보자를 포함하여 그 다음 3년 동안의 후속 시험들은 도플러 레이더가 뇌우, 토네이도, 스톱라인 등의 빠르고 정확한 식별을 현저하게 개선하였다는 것을 증명하였다. JDOP 활동과 관련하여 내부기관의 NEXRAD 작업그룹이 기상 서비스와 지원 연구를 위한 FCO(Federal Coordinator Office) 하에 조직되었다. 기상레이더 개발과 계획 활동이 주목적이었던 이 작업그룹은 1979년에 NEXRAD 개념 논문을 발간하였고 NEXRAD 개념 논문은 공동 국가 기상레이더망의 개발, 조달, 운영에 대한 해결방법을 기술하였다. 이 논문은 공동프로그램 관리활동 설립, 기관 책임 정의, 그리고 자세한 프로그램 계획을 설립하였다. NEXRAD JSPO는 개발, 수집, 설치 활동을 수행하기 위해 1979년에 설립되었다.

JDOP 동안 연구자들은 실시간 기상학적 요구를 지원하는 기상분석 모듈을 개발했으며 JSPO가 형성된 후 NSSL에 있는 JSPO 분과인 NEXRAD IOTF(Interim Operational Test Facility)는 실시간 기상분석 모듈을 증명하고 평가할 NEXRAD형 산출물들을 개발했다. IOTF는 기상학적 조건의 변화에서 이 모듈들이 수용될 수 있는지를 평가했으며 NEXRAD 운영 유틸리티의 또 다른 평가는 1983년과 1984년에 보스턴, 매사추세츠 지역에서 수행되었다.

AFOTEC(U.S. Air Force Operational Test and Evaluation Center)는 1986년과 1989년 사이에 NEXRAD 프로그램에 대해 두개의 운영적 시험

및 평가를 처리했다. AFOTEC 참가자들은 경쟁 계약사들에 의해 개발된 평가용 레이더의 효과와 적합함을 평가했으며, 평가 결과는 1990년 1월에 '전공정 생산결정'에 대한 기초를 형성하였고 NEXRAD 계약으로서 UNISYS Corporation이 선택되었다.

WSR-88D 시스템은 원격탐사, 전기적 자료처리 및 많은 표출을 요구하는 미세규모와 중간규모 기상학의 응용에 이용되고 있다. 이러한 특성은 기상예보와 정보결정 처리를 돕기 위해 3기관 이용자에게 개선된 지침을 제공하기 위해 결합되어 있다. WSR-88D 시스템은 추가적인 여러 목적을 수행하는데 큰 가치가 있는 것으로 판단된다.

WSR-88D 시스템은 현대화의 주요 시기인 1990년 가을 오클라호마시에 처음 설치되었고 시스템 설치가 1990년 완성될 때, 약 140개의 WSR-88D 시스템(기상청과 미공군)과 훈련 활동을 지원하기 위한 5개 시스템이 미국 내에 설치되었다. 13개 WSR-88D 시스템은 알래스카, 하와이, 카리비안과 해외 국무성기지에 있는 FAA 사이트에 설치되었다. 따라서 WSR-88D 관측망은 연속적으로 미국 내에 거의 완벽한 레이더 탐지 범위를 제공하고 있다. 관측소

표 1. NEXRAD 프로그램 주요 연혁

1976	JDOP(Joint Doppler Operational Project)
1980	Joint Systems Program 사무소 개설
1982	시스템 정의 제안요구서(RFP) 발표
1984	Raytheon 과 Unisys 가 경쟁회사로 선정
1986	장비제조 제안요구서(RFP) 발표
1988	현업 테스트 및 평가(1)
	Unisys사가 제한적인 생산 계약 체결
	노만에 프로토타입 레이더 설치
1990	현업 테스트 및 평가(2)
	전체 생산 계약
1992	일차 제한 계약분 레이더 설치
	이차 제한 계약분 레이더 설치
1994	일차 전체 계약분 레이더 설치
1996	이차 전체 계약분 레이더 설치

고도 상공 10,000 피트에서 관측망 범위는 저고도 스캔시 차폐를 유발하는 산악지역이 많은 미국의 서부 지역을 제외하고는 거의 연속적이다.

NEXRAD 프로그램 지원하에 OSF는 1988년 오클라호마의 노만에 설치되었다. OSF는 WSR-88D 설치 후 모든 WSR-88D 시스템을 위한 집중화된 레이더기상 컴퓨터 소프트웨어, 유지보수, 공학지원을 제공하고 있다. OSF 운영훈련 분과는 모든 NWS 예보자와 미국무성 운영자를 위한 훈련을 제공한다.

NEXRAD 프로그램을 수행하는 3기관의 주 기능은 WSR-88D 시스템의 운영기간 동안 계속될 것이며, 각 운영기관은 그 기관 통제하에 WSR-88D 장비를 유지하고 운영할 것이다. 미주리, 캔사스시에 있는 NWS 훈련센터는 WSR-88D 시스템을 유지 보수할 NWS 전기 기술자를 훈련하는 반면 미시시피의 키슬러(Keesler) 공군기지에 있는 미국무성 훈련센터는 미국무성과 미운수성의 유지보수를 위해 전직원을 대상으로 훈련하고 있다.

1.2 WSR-88D 시스템 개요

WSR-88D 시스템은 고해상도와 높은 정확도의 반사율, 평균 도플러 속도, 그리고 스펙트럼 폭 자료를 수집 처리하여 출력하며 기본적인 도플러 물리량으로부터 컴퓨터 처리된 알고리즘은 기상학과 수문학적 분석 자료를 산출한다. 스톱 구조와 내부적 처리를 이용자의 기상학적 지식으로 통합했을 때, 산출물이 예보자와 기상 관측자들을 위한 궁극적인 지침을 제공한다. 알고리즘의 산출물은 위협적인 바람 조건의 좀 더 정확한 경고를 감지하고 제공하기 위하여, 또한 파괴적인 홍수와 기타 현상들의 발생 가능한 위험을 평가하기 위하여 현재 가능한 것보다 더 정확한 단기에보를 지원하는 활력 성분이 되고 있다.

그림 1은 WSR-88D 시스템의 주요한 3대 기능적 구성품 즉, RDA(Radar Data Acquisition), RPG(Radar Product Generator), PUP(Principal User Processor)의 관계를 나타내고 있다. 시스템을

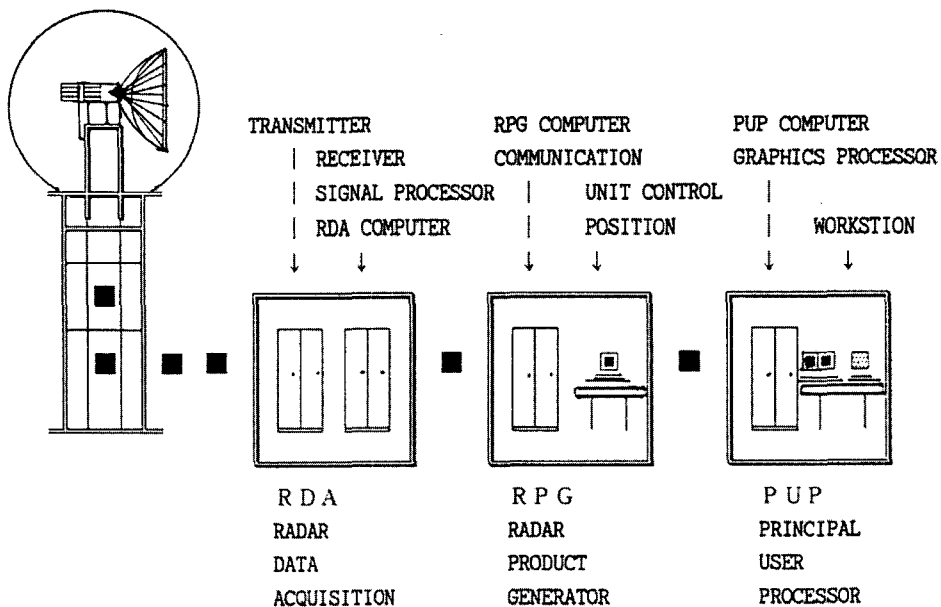


그림 1. WSR-88D 시스템의 주요 구성품

내에서 특히 주목할 것은 각 주요기능 구성품 내에서 컴퓨터가 지배적인 영향력을 가지고 있는 것이다. 레이더가 기상 환경을 계속적으로 스캔하는 것을 빠르게 처리해야 하기 때문에 엄청난 양의 자료를 처리하는 컴퓨터가 필요하다. 컴퓨터는 이 자료의 스트림을 처리하는 기상학적 알고리즘을 실행하며, 그림 2는 RDA로부터 RPG에서 실행되는 알고리즘을 통해 기

상학적, 수문학적 산출물로서 PUP 워크스테이션으로 출력하기 위한 기본자료의 흐름을 묘사하고 있다.

(1) RDA

RDA는 도플러 기상레이더 자료를 포착하고 처리하며 안테나, 페데스탈, 레이돔, 안테나 탑, 클라이스트론 송신기, 수신기, 미니컴퓨터와 신호처리기로 구성된다.

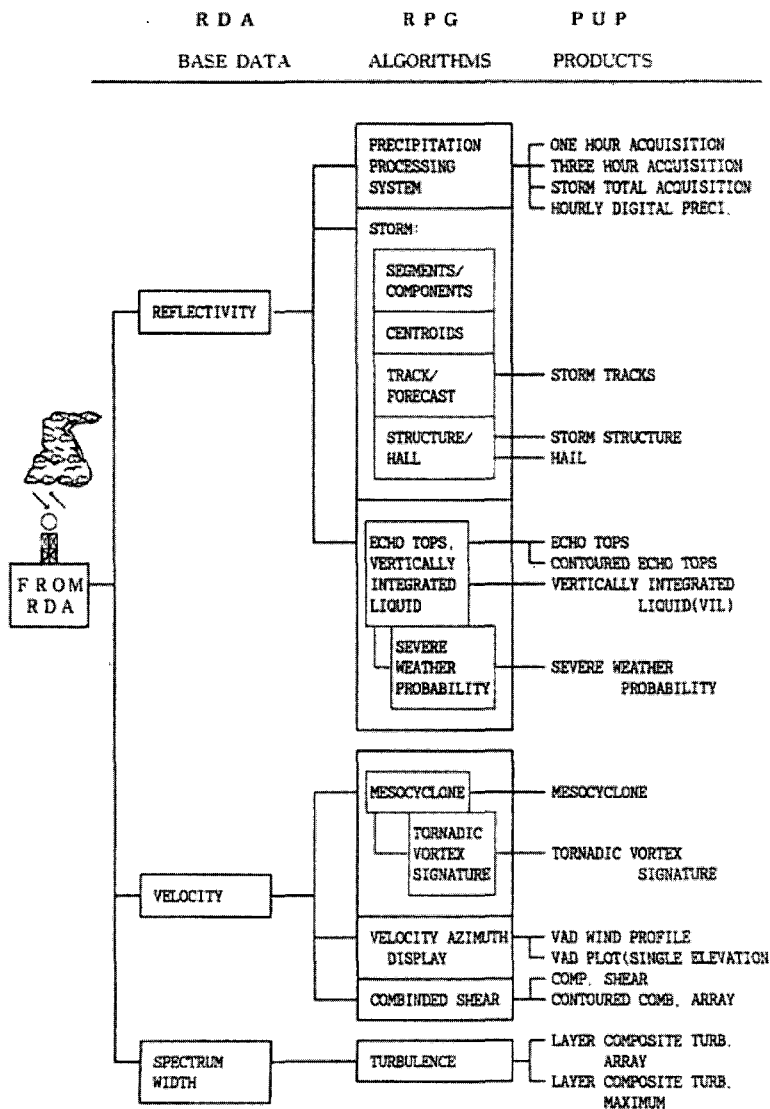


그림 2. 기본 자료의 흐름과 생산 프로덕트

파장 10.0~11.1cm, 주파수 2,700~3,000MHz의 S 밴드 클라이스트론 송신기는 보통 750 KW의 최대출력을 송신하며, 318Hz에서 1,304Hz 사이의 신호반복주파수(PRF) 일 때는 펄스 폭이 1.57 μ s이고, 318Hz에서 452Hz 사이의 신호반복주파수 일 때는 펄스 폭이 4.7 μ s이다. 포물선형 안테나는 직경 8.5 m 이고, 주방사부의 3 dB 빔폭은 약 0.95°이며 주방사부에 대한 첫번째 부방사부의 상대적 크기는 -27 dB이며 송신되는 신호는 선형수평편파를 갖는다. RDA에서 상태 및 제어 처리기는 안테나 스캐닝 패턴, 신호처리, 지형에코 제거, 상태감시, 에러감지, 자동 보정과 기본자료를 기록하기 위한 용량을 제어한다. 시스템은 0.25km 공간 해상도와 0.5 m/s의 속도 해상도에서 평균 도플러 속도와 스펙트럼 폭 자료를 제공한다. 반사도는 1km의 공간 해상도와 0.5 dBZ의 자료 해상도를 갖는다. 이러한 기본자료는 신호 처리기에 의해 디지털 형태로 출력되고, 자료를 정확하게 번역할 시스템 상태 정보를 포함한다. 이러한 자료는 Level- II 자료로서 기록된다.

(2) RDA와 RPG 간의 연결

RDA와 RPG의 연결 구성에는 두 가지 방법이 있다. 하나는 RDA 사이트에 RPG를 배치하는 것이고 또 하나는 예보실에 RPG를 배치하고 예보실에서 가능한 수 마일에 떨어져 있는 다른 위치에 RDA를 배치하는 것으로서 분리 배치를 의미한다. RDA와 RPG는 전이중 통신용 광대역 밴드(1.544Mbit/s) 통신 링크로 연결되어 있다. 함께 배치된 사이트를 위해 RDA와 RPG는 직접 연결하는 것으로 구성되어 있으며 분리 배치된 사이트를 위해서는 상용 T1 라인이나 무선통신 시스템이 광대역 통신 링크를 위해 이용된다.

(3) RPG

RPG는 자료처리의 대부분이 수행되는 곳으로 RDA에서 생성된 기본자료를 기상학과 수문학적 산출물로 변환하기 위한 알고리즘을 수행한다. RPG는 또한 온라인 두 종류의 불륨 관측을 포함한 기본자료와 6시간까지의 산출물 저장, 속도접힘풀기, RDA와 RPG의 제어와 상태감시, 산출물 기록(NWS RPG에서 Level-III 자료) 및 산출물 분배 기능을 제공한다. 운영자는 RPG의 응용 터미널(Unit Control Position, UCP)로부터 RPG와 RDA를 제어한다.

(4) RDA와 PUP 간의 연결

그림 3은 WSR-88D RPG가 가질 수 있는 다수의 연결상태를 나타내고 있다. 31명의 이용자가 동시에 RPG로 연결할 수 있으며 47명까지 확장 가능하다. RPG는 9.6 kbps의 협대역 링크로 전화선 또는 전용

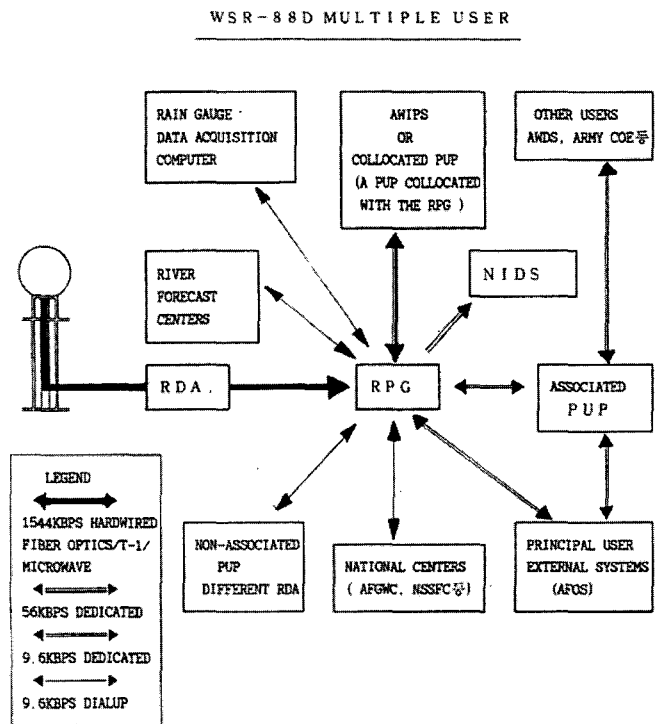


그림 3. WSR-88D RPG 시스템과 주변 장비의 연결상태

연결에 의해 PUP로 연결된다. NWS 사이트에서 RPG와 함께 위치한 PUP는 56 kbps 라인에 의해 RPG로 연결된다. 현대화된 NWS에서 56 kbps 연결은 PUP가 있는 곳에서 워크스테이션이 WSR-88D 자료를 출력할 장소인 AWIPS(Automated Weather Interactive Processing System)가 될 것이다. PUP는 매 볼륨관측을 갱신한 PUP 운영자가 선택한 산출물과 알고리즘 출력물을 수신할 가장 가까운 RDA와 RPG로 일반적으로 연관될 것이다. 추가로 PUP 운영자는 연관되지 않은 PUP로서 비록 국지 RPG 운영자가 RPG로 접근을 통제하지만 일시적 연결을 통해 어떤 RPG로부터도 산출물을 요청할 수 있으며 국립에보센터 레이더 망을 통해 RPG를 연결할 수 있다. WSR-88D 시스템 외부의 강우자료 수집컴퓨터는 강우 누적 산출물 보안을 위해 이용되는 가까운 NWS RPG로 강우누적 정보를 전송한다. NEXRAD외의 기관 이용자는 4개의 NIDS(NEXRAD Information Dissemination Service) 회사 중 하나를 통해 WSR-88D 산출물의 사전 정의된 산출물 일부를 받을 수 있다.

(5) PUP

RPG는 PUP로 산출물을 전송하며 주 RPG는 각 볼륨 관측 동안 연관된 PUP로 20개의 산출물까지 규칙적으로 전송한다. PUP 운영자는 수신된 산출물의 목록을 조정하고, 기본적으로 한 번 부가적 산출물을 요청할 수 있다. PUP는 미니컴퓨터, 시스템 콘솔, 칼라프린터, 그래픽 프로세서, 워크스테이션, 통신시스템으로 구성된다. 하나의 PUP 워크스테이션은 2개의 19인치 칼라 그래픽 모니터, 그래픽 태블릿(tablet)과 픽(puck), 응용터미날을 갖는다. PUP는 산출물을 출력, 가공, 분배, 저장, 시스템 상태를 제어 및 감시하며 PUP 운영자가 선택한 산출물 Level-IV를 기록한다. 칼라그래픽은 반사율, 평균 도플러 속도, 에코탑 고도, 누적 강우량 등의 파라메

타 값을 사전에 정의한 16단계로 표출한다. 산출물들은 이용자가 가능한 많은 정보를 쉽게 비교할 수 있도록 다양한 방법으로 PUP 워크스테이션에 출력되며 PUP 운영자는 출력물을 2, 4 또는 8배로 확대하거나 하나의 스크린에 4종류의 산출물을 출력하고 고 해상도 지도와 다양한 합성을 할 수 있다.

1.3 WSR-88D의 운영

(1) 거리 고려

속도와 스펙트럼 측정에 대한 WSR-88D의 유효 범위는 230km이며, 반사율 측정에 대한 유효범위는 460km이다. 지구 위로 멀리 갈수록 증가되는 빔 폭 때문에 WSR-88D 알고리즘은 관련 기상 현상의 공간규모와 일치된 해상도를 얻기 위해 적절한 자료를 처리하도록 구성되어 있다.

(2) 관측 전략

WSR-88D 시스템은 하루 24시간 운영된다. 기상학적으로 유용한 자료가 맑은 날씨부터 악기상에 까지 다양한 신호가 수신되며, 이를 위한 시스템의 민감도는 충분하다. 안테나는 다양한 고도각에서 360° 회전으로 사전 정의된 순서대로 환경을 스캔한다. 초기의 WSR-88D 시스템은 볼륨관측을 완성하기 위해 5분에서 10분까지 요구되는 4가지 볼륨 관측 전략 중 하나를 수행한다. 산출물들은 각 완성된 볼륨관측 자료로부터 산출될 수도 있고 각 개개 별 방위회전에 대해서도 가능하다. 몇 개의 산출물들은 모든 또는 몇 개의 방위회전으로부터 정보를 이용한다.

(3) 변경가능 파라메타

WSR-88D는 지리학, 기후학과 현지특성 조건들로 변화되는 시스템의 최적화와 다른 기관 운영 요구를 위하여 레이더 조정을 위한 파라메타를 갖는다. 각

WSR-88D 시스템에 적합한 파라메타가 약 11,500개 있으며 각 파라메타들은 기상학, 공학, 실무적으로 목록화 될 수 있다.

- 약 400개의 기상학적 파라메타는 주로 기상학적 알고리즘의 수행을 최적화한다. 메조사이클론 알고리즘과 관련 있는 시어 조건 또는 Z-R 관계의 파라메타는 이러한 파라메타의 예이다.
- 각 WSR-88D 시스템은 레이더의 수행에서 변화를 일으키는 유일한 기능을 포함한다. 약 600개의 공학 파라메타는 기술적 요구를 충족하기 위해 레이더의 성능을 조정한다. 이 파라메타의 대부분은 RDA 내에 있으며, 예로는 클러터 필터링 정하기 위한 것, 통신연결을 만드는 것, 기상학적 알

고리즘에 기초한 범위를 수정하는 것 등이 있다.

- 운영에 적합한 약 10,500개의 파라메타가 있으며, 이는 직접적으로 시스템의 수행에 영향을 주고 간접적으로 기상학 알고리즘과 산출물의 수행에 영향을 준다. 파라메타에 의해 영향을 받는 시스템 기능은 산출물 분배 제어, PUP 칼라 스킴(scheme) 정의, RPG 산출물 생성 우선권 등이 있다.

1.4 WSR-88D 프로젝트

WSR-88D 시스템은 도플러 기상레이더 자료를 처리하기 위해 자동적으로 현업 기상수문관련자에게 제공된다. 산출물은 칼라그래픽 영상, 그래픽 중첩, 숫자 등의 하나 또는 그 이상으로 출력된다. WSR-88D RPG는 기본 레이더자료 산출물과 기상학, 수문학적 알고리즘으로부터 유도된 산출물들을 생성한다. 39개의 다른 기본적 산출물과 산출물들간의 합성물로 이루어진 출력물이 있다. WSR-88D의 기본적 산출물은 표 2와 같다(9월호 계속).

표 2. NEXRAD 프로그램 주요 연혁

Base reflectivity	Combinded moment
Combined shear	Combined shear contour
Composite reflectivity	Composite reflectivity contour
Cross section-reflectivity	Cross section-velocity
Cross section-spectrum width	Echo tops
Echo-tops contour	Hail index
Layer composite	Layer composite
Reflectivity-average	reflectivity-maximum
Layer composite	Layer composite
Turbulence-average	turbulence-maximum
Mean radial velocity	Meso-cyclone
One-hour digital	One-hour precipitation
Precipitation array	accumulation
Radar coded message	Severs weather probability
Severe weather	Severe weather
Analysis-reflectivity	analysis-radial shear
Severe weather analysis-	Storm relative mean radial
Spectrum width	velocity (map)
Spectrum width	-

감사의 글

본 기사는 건설교통부 수자원국의 학술연구용역인 “전국강우레이더 설치 및 홍수예경보시스템개선 기본계획 수립”을 통하여 이루어졌으며, 지원에 감사합니다.

참고문헌

건설교통부(2002), 전국강우레이더 설치 및 홍수예경보시스템개선 기본계획 수립, pp 377-386