

레이더강우 자료 활용 증진을 위한 표출 및 분석 프로그램 구현

노희성

한국건설기술연구원 국토보전연구본부

Implementation of a Display and Analysis Program to improve the Utilization of Radar Rainfall

Hui-Seong Noh

Department of Land, Water and Environment Research, KICT, Goyang 10223, Korea

[요 약]

최근 집중호우 등 기상으로 인한 재해가 증가함에 따라 수문기상, 방재분야에서 레이더를 이용한 기상 및 재해예측에 대한 관심이 증대되고 관련연구가 활발히 이루어지고 있다. 환경부 등에서는 레이더 네트워크를 전국적으로 구축·운영함에 따라 레이더의 활용성이 강조되고 있지만, 레이더자료를 활용하고자 하는 실무자 및 연구자들은 레이더자료의 특성을 이해해야하고 레이더자료 형식(UF)의 변환과 보정에 시행착오를 경험하고 있다. 이에 본 연구에서는 UF형식의 레이더자료를 이미지 및 텍스트파일(ASCII file)로 생성할 수 있도록 JAVA 언어를 이용한 GUI방식의 레이더자료를 표출 및 분석 프로그램(RaDAP; Radar Display and Analysis Program)을 개발하였다. 본 프로그램을 이용하여 원하는 레이더강우 자료를 도출하고 이를 이용한 분석을 수행하는데 필요한 소요시간을 최소화 할 수 있어 다양한 분야에서 레이더자료의 활용성을 높이는 데 기여할 것으로 예상된다.

[Abstract]

Recently, as disasters caused by weather such as heavy rains have increased, interests in forecasting weather and disasters using radars have been increasing, and related studies have also been actively performed. As the Ministry of Environment(ME) has established and operated a radar network on a national scale, utilization of radars has been emphasized. However, persons in charge and researchers, who want to use the data from radars need to understand characteristics of the radar data and are also experiencing a lot of trials and errors when converting and calibrating the radar data from Universal Format(UF) files. Hence, this study developed a Radar Display and Analysis Program(RaDAP) based on Graphic User Interface(GUI) using the Java Programming Language in order for UF-type radar data to be generated in an ASCII-formatted image file and text file. The developed program can derive desired radar rainfall data and minimize the time required to perform its analysis. Therefore, it is expected that this program will contribute to enhancing the utilization of radar data in various fields.

색인어 : 레이더, 레이더강우, UF 자료, GUI 프로그램, 수문기상

Key word : Radar, Radar Rainfall, Universal Format Data, GUI Program, Hydrometeorology

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.7.1333>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 June 2018; Revised 15 July 2018

Accepted 25 July 2018

*Corresponding Author; Hui-seong Noh

Tel: +82-31-910-0548

E-mail: huiseongnoh@kict.re.kr

I. 서론

최근 이상기후로 인한 국지적 집중호우가 빈번하게 발생함에 따라 홍수로 인한 인명 및 재산 피해가 지속적으로 발생하고 있다. 이에 홍수 등과 같은 수재해 예측 및 대응을 위하여 수문 기상 및 방재분야에서는 최근 레이더 및 인공위성 등 새로운 원격탐사기술(Remote Sensing Technology)을 이용하여 추정된 강우자료에 대한 관심이 증대되고 있으며, 높은 시·공간적 해상도의 강우정보를 연속적으로 제공할 수 있다는 장점을 가진 레이더자료의 활용성 측면이 부각되고 있다[1].

수문기상학적 측면에서 레이더자료 활용은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째는 강우현황을 분석하여 표출하는 일반적인 레이더 영상자료이며, 둘째는 수문학적 해석을 위한 격자형 레이더강우분포 자료이다[2]. 그러나 레이더자료를 처음 접하는 해당분야의 실무자 및 연구자들은 환경부, 기상청 등 레이더 운영기관에서 제공하는 레이더자료의 형식(UF data; universal format data) 및 레이더특성에 익숙하지 않아 레이더자료 표출 및 변환, 보정과 관련하여 다양한 시행착오를 경험하게 된다. 특히 수문분야에서는 GIS(geographic information system)프로그램이 용 빈도가 높고 대부분의 수문해석 프로그램 입력자료가 텍스트파일(ASCII file)의 형태로 이루어져 있어, 레이더강우 입력자료의 생성 및 활용에 많은 시간이 소요되어 활용하기 까지 많은 어려움이 있는 실정이다. 이러한 이유로 과거 수문분야에서는 레이더자료를 연계한 형태의 해석모형 및 시스템을 구축하였으나[3][4], 해당 모형 및 시스템에만 적용될 수 있는 한계점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 레이더자료를 더 쉽고 정확하게 활용하기 위한 프로그램의 필요성이 제기됨에 따라, 레이더자료를 사용하고자 하는 실무자 및 연구자를 위하여 직관적이고 편리한 GUI(graphical user interface)를 통해 레이더자료를 표출 및 분석 프로그램(RADAP; Radar Display and Analysis Program)을 개발하였다. 본 논문의 구성은 제 2장에서 레이더의 현황 및 관측 특성에 대하여 설명하고, 제 3장에서는 본 논문에서 개발한 프로그램의 구성 및 각 기능, 결과에 대해서 설명한다. 마지막으로 제 4장에서 결론 및 향후연구에 대해 소개한다.

II. 레이더 개요 및 기본이론

2-1 국내 레이더 운영현황

1969년 관악산 기상레이더가 최초 도입 된 후, 국내에는 다양한 레이더가 관측목적에 따라 부처별로 도입·운영되고 있다. 그림 1과 같이 환경부 한강홍수통제소에서는 수문관리 및 홍수예보를 위해 2009년 최신 S-밴드 이중편파레이더 도입을 시작으로 총 7대(설치 중 3대)의 강우레이더 네트워크를 구축·운영 중에 있으며, 그림 2와 같은 레이더영상을 제공하고 있다[5].

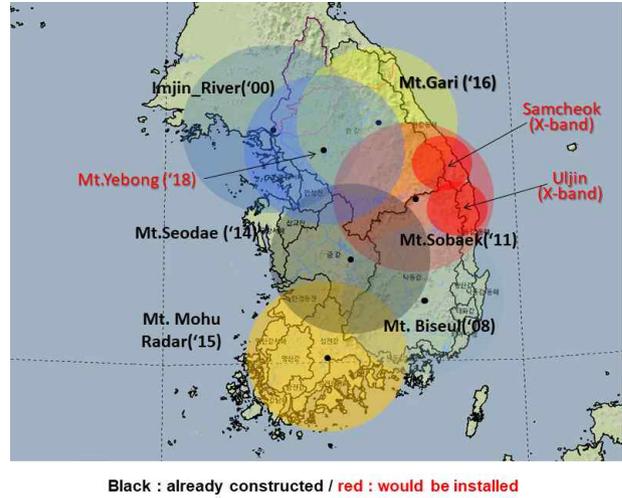


그림 1. 환경부 레이더 네트워크
Fig. 1. Radar Networks in Ministry of Environment

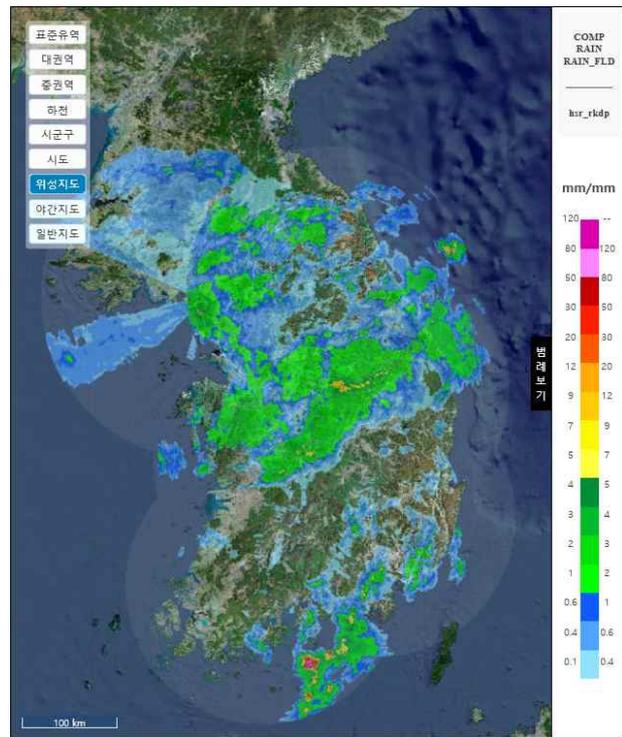


그림 2. 환경부 레이더 영상(2018-07-09 11:40)
Fig. 2. Radar Image on 1140 KST 09 July 2018.

기상청 기상레이더센터에서는 기상감시 및 예보를 위하여 11대의 레이더 네트워크를 구축·운영 중에 있으며, 국방부 공군에서는 군항공기의 이·착륙 지원을 목적으로 9대의 레이더를 운영 중에 있다. 그 밖에도 한국항공우주연구원(KARI) 및 한국건설기술연구원(KICT)에서도 독자적인 레이더를 가동하고 있다. 이처럼 다양한 기종 및 목적에 따른 국내 레이더의 하드웨어적 인프라는 상당한 수준에 올라서 있지만, 레이더 품질

관리 및 강수측정, 레이더활용 기술의 향상은 미흡하다는 지적이 있다. 본 연구에서 개발한 RaDAP 프로그램은 국내 레이더 기술의 발전 및 활용에 기여할 수 있다.

2-2 레이더 관측

1) 레이더 관측 방법 및 영상의 종류

레이더는 그림 3(a)와 같이 송신기에서 전파를 대기 중으로 발사하여 강수입자(비, 눈, 구름 등)에 부딪혀 되돌아온 강수 신호의 강도 및 방향 등을 안테나(빔)가 360° 회전하면서 관측 전략에 따라 안테나의 고도각을 변경(예: -0.5, 0.0, 0.5, 0.8, 1.2, 1.6°) 하며 관측한다. 그림 3(b)과 같이 Sweep자료는 임의의 고도각에서 방위각을 따라 360° 회전하여 얻어진 자료를 나타내며, 레이더 볼륨 (Radar Volume Scan) 자료는 여러 개의 Sweep 자료를 포함한다. 하나의 Sweep은 여러 개의 Ray를 포함하며, Ray는 레이더가 360° 회전하는 동안 하나의 방위각에서 생성된 자료이다. 보통 레이더자료에는 6 ~ 11개의 Sweep이 포함되며, 하나의 Sweep은 360개의 Ray를 포함한다. 이렇게 관측된 레이더 볼륨 자료를 가공하여 레이더 프로덕트인 PPI, CAPPI 자료를 생성하고 레이더강우량으로 계산한다. 즉, 레이더 볼륨 자료를 Sweep 별로 직교좌표계의 자료로 변환하면 PPI 자료를 생성할 수 있으며 고도별(예: 1.0, 1.5, 2.0, 3.0km)로 직교좌표계의 자료로 변환하면 CAPPI 자료를 생성할 수 있다.

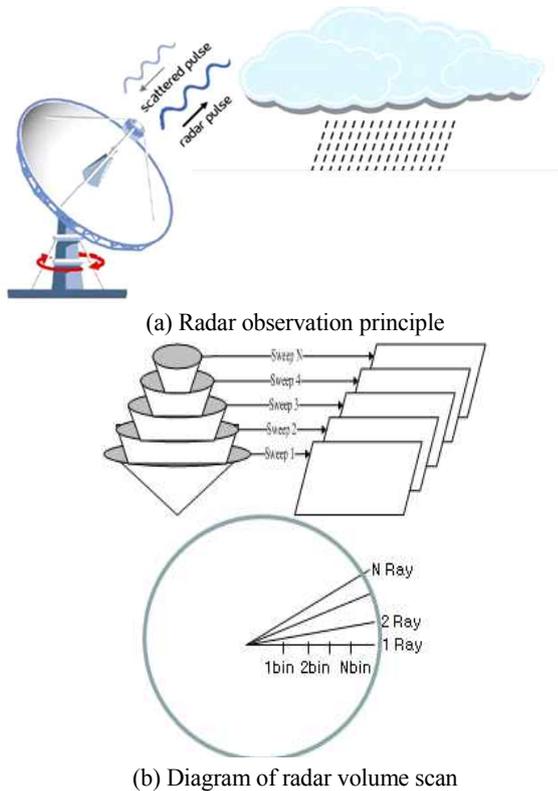


그림 3. 레이더 관측 개념
Fig. 3. Radar Observation Concept

2) 레이더 관측자료 및 특성

레이더는 파장에 따라 S-band, C-band, X-band, K-band로, 레이더 구분에 따라 일반레이더(1세대), 도플러레이더(2세대), 편파레이더(3세대)로 나눌 수 있다. 현재 강우 및 기상레이더는 전 세계적으로 편파레이더가 대부분 활용되고 있으며, 편파레이더는 단일편파와 이중편파로 다시 구분 지을 수 있다. 국내의 경우 환경부 강우레이더는 이중편파레이더(S-band, X-band)로 구성되어 있으며, 기상청 기상레이더는 단일편파 및 이중편파레이더(S-band, C-band)가 함께 사용되고 있다.

단일편파레이더는 수평파만을 송신하여 수신되는 에너지를 분석하여 강우구름의 위치와 이동상태, 강우강도 등을 감시, 추적한다. 단일편파레이더를 통해 관측된 자료는 수평반사도(Z_h), 도플러속도(V), 스펙트럼폭(W), 신호품질지수(SQI) 등이 있으며, 이 중 수평반사도 자료가 강우량 추정에 이용되고 있다.

이중편파레이더는 전파를 수직과 수평으로 동시에 송신하고 되돌아오는 전파를 수신하여 목표물의 특성이나 크기 등에 대한 정보를 얻어 대기 중의 기상 현상을 정확하게 파악할 수 있으며, 단일편파레이더와 달리 이중편파레이더는 수평편파와 수직편파간의 수신신호의 차이를 분석하여 강우의 모양, 종류, 형태 등을 산출할 수 있다. 이중편파레이더 관측변수들은 수평·수직반사도(Z_h, Z_v), 차등반사도(Z_{DR}), 차등위상차(Φ_{DP}), 비차등위상차(K_{DP}), 교차상관계수(ρ_{HV}) 등이 있으며, 이들 중 수평반사도만이 기존의 단일편파레이더의 강우추정용으로 관측할 수 있는 유일한 변수이다[6]. Table 1은 레이더에서 산출되는 관측자료를 나타낸다.

표 1. 레이더 기본관측자료
Table 1. Measurements of parameters in the radar signal

Parameter	Description
V	Doppler velocity.
W	Linear channel Doppler spectrum width.
Z_h (dBZ)	Horizontal Reflectivity corrected for clutter.
dBT	Total log channel reflectivity (not clutter corrected).
SQI	Signal Quality Index.
Z_{DR}	Differential Reflectivity
ρ_{HV}	Cross-correlation between H and V
Φ_{DP}	Differential Phase Shift
K_{DP}	Specific Differential Phase Shift
L_{DR}	Linear Depolarization Ratio
HClass	Hydrometeor Classification

3) UF자료의 특징

레이더자료 형식 중 UF자료는 환경부, 기상청 그리고 공군을 비롯한 국내의 여러 기관에서 사용 중인 대표적인 레이더자료형식으로, 1980년대 하나의 볼륨관측자료 저장을 목적으로 미국 국립기상연구소(NCAR; The US National Center for Atmospheric Research)에서 개발되었다. 각 레이더에서 관측된 실시간 자료가 레이더별 관측시스템을 거쳐 UF자료 형태로 생성되며, 사용자에게 제공되어 활용되고 있다. 그러나 1장에서 언급한 바와 같이 레이더 및 UF자료를 처음 접하는 사용자는 자료의 구조를 파악하기 어렵고, 사용자가 원하는 형태의 레이더강우자료로 재생산하기가 쉽지 않다.

UF자료는 하나의 파일에 전체 레이더 볼륨 스캔을 저장하는 형태로 구성되어 있으며, 헤더와 자료를 순차적으로 반복하여 저장한다. 모든 헤더정보는 각 Ray에 대해 중복 저장되어 필요 이상의 저장 공간을 차지하기 때문에 자료저장의 효율성이 떨어진다는 일부 단점이 있지만, 국내의 여러 기관에서 사용하기 때문에 호환성 측면의 장점이 있다.

Table 2는 일반적인 UF자료의 구조를 보여주고 있으며, 헤더와 자료를 순차적으로 반복 저장하는 모습을 확인할 수 있다. 필수헤더(Mandatory header)는 레이더 자료의 필수 저장 항목들을 정의하며, 위·경도, 해발고도, 레이더 명과 같은 레이더의 특성, 각 Sweep번호, 각 Ray번호, 고도각, 방위각 등의 정보를 포함하고 있다. 선택적헤더(Optional header)는 사용자가 필요하다고 판단하는 항목을 추가적으로 저장할 수 있는 헤더이지만, 현재 국내의 레이더 자료에서는 거의 사용하지 않는다. 자료 헤더(Data header)는 자료의 종류 및 각 자료의 저장된 위치 등 실제 자료에 접근하기 위한 필수 항목들을 포함하는 헤더이다. 필드헤더(Field header)는 실제로 파일에 저장된 자료에 관한 정보를 포함하는 헤더이며, 레이더 모멘트자료(Moment data)와 하드웨어 정보를 일부 포함하고 있지만 그 종류에는 한계가 있다.

표 2. UF자료의 구조
Table 2. UF Data Structure

Type	Data Size
ray size	4 Bytes
<uf_mandatory_header2>	45 Words
<uf_optional_header>	0 or 12 Words
<uf_data_header2>	3 + 2N Words
<uf_field_header2>#1	19 or 21 or 25 Words
data from field #1	M Words
<uf_field_header2>#2	19 or 21 or 25 Words
data from field #2	M Words
...(repeats for each data type)...	
ray size	4 Bytes

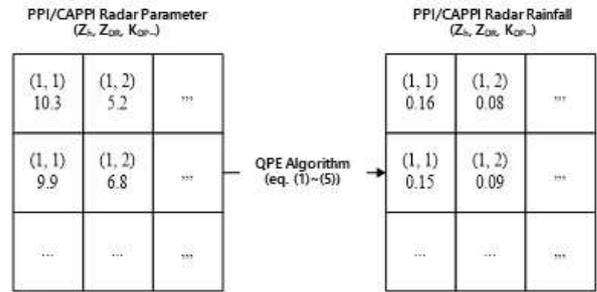


그림 4. 레이더 강우량 산정 과정
Fig. 4. Rainfall Calculating from Radar Parameters

4) 레이더 강우자료의 산출

레이더 강우량은 PPI 및 CAPPI 자료 별로 산출할 수 있으며, 정량적 강우량 추정(QRE; Quantitative Rainfall Estimation) 알고리즘을 이용하여 강우량으로 산출한다. QRE 알고리즘은 강우시스템(강우유형) 및 지역, 레이더 종류(밴드 등)에 따라 매우 다양하며, 본 연구에서 개발한 RaDAP 프로그램에서는 $R(Z_h)$, $R(Z_h, Z_{DR})$, $R(Z_{DR}, K_{DP})$, $R(K_{DP})$ 와 같이 다양한 관측변수들 간의 관계를 적용할 수 있도록 하였다. 레이더자료를 이용한 강우량 산출은 그림 4와 같이 각 좌표계(격자)별 레이더 관측변수 값을 Eq. (1)~(5)와 같은 QRE 알고리즘(강우량 변환식)을 적용하여 구할 수 있다. Eq. (1)~(5)는 레이더 관련 기존 연구들에서 일반적으로 레이더강우 추정 시 적용 및 분석되고 있는 대표적인 QRE 알고리즘이다[7][8][9][10][11].

$$R(Z_h) = 3.65 \times 10^{-2} \times Z^{0.625} \tag{1}$$

$$R(Z_h) = 1.70 \times 10^{-2} \times Z^{0.714} \tag{2}$$

$$R(Z_h, Z_{DR}) = 0.0067 \times Z^{0.927} \times Z_{DR}^{3.43} \tag{3}$$

$$R(Z_h, Z_{DR}) = 0.00746 \times Z^{0.945} \times Z_{DR}^{4.76} \tag{4}$$

$$R(Z, Z_{DR}, K_{DP}) : \text{JPOLE} \tag{5}$$

$$\cdot R(Z_h) = 1.70 \times 10^{-2} \times Z^{0.714} \tag{5a}$$

$$\cdot R(K_{DP}) = 44.0 |K_{DP}|^{0.822} \text{sign}(K_{DP}) \tag{5b}$$

$$\text{if } R(Z_h) < 6 \text{ mm/h} : R = \overline{R(Z_h)} / f_1(\overline{Z_{DR}})$$

$$\text{if } 6 \leq R(Z_h) < 50 \text{ mm/h} : R = \overline{R(K_{DP})} / f_2(\overline{Z_{DR}})$$

$$\text{if } R(Z_h) \geq 50 \text{ mm/h} : R = \overline{R(K_{DP})}$$

$$(R(Z_h) = 1.70 \times 10^{-2} \times Z^{0.714}, f_1(\overline{Z_{DR}}) = 0.4 + 5.0|\overline{Z_{DR}} - 1|^{1.3},$$

$$f_2(\overline{Z_{DR}}) = 0.4 + 3.5|\overline{Z_{DR}} - 1|^{1.7}, \overline{Z_{DR}} = 10^{0.1 Z_{DR}(\text{dB})})$$

본 연구에서는 레이더자료의 정확도를 개선하기 위하여 지상강우를 이용한 레이더보정(RAR; Radar Adjustment Rainfall) 강우자료를 산정할 수 있도록 하였으며, 역거리 가중(IDW; Inverse Distance Weighted) 보정기법을 적용하였다. IDW를 이용한 보정기법은 Eq. (6)과 같이 지상관측 강우량과 레이더관측 강우량의 비율(G/R비)을 IDW 보정기법을 적용하여 레이더 격자 크기만큼 보정 인자 $\tilde{F}(x)$ 를 생성한다.

$$\tilde{F}(x) = \frac{\sum_{i=0}^N w_i(x) F_i}{\sum_{i=0}^N w_i(x)} \quad (F_i = \frac{G_i}{R_i}, w_i = \frac{1}{d(x, x_i)^{-2}}) \quad (6)$$

$$\tilde{R}(i, j) = R(i, j) \times \tilde{F}(i, j) \quad (7)$$

IDW 보정기법을 적용할 때 원 거리의 영향력을 고려할 수 있도록 하였으며, 보정 강우량(\tilde{R})은 Eq. (7)과 같이 같이 레이더추정(QRE)강우량 격자에 보정인자 $\tilde{F}(x)$ 을 곱하여 구한다.

III. 레이더자료 표출 및 분석 프로그램 개발

3-1 프로그램 개발환경 정보 및 입출력자료

본 연구에서 개발한 RaDAP 프로그램은 JAVA 언어(lib; hsqldb, ini4j-0.5.2-jdk14, smartcalendar)를 이용하여 개발되었으며, Windows 사용자의 편의를 위해 실행파일 형태로 제공한다. 입력파일은 레이더자료인 UF자료와 ASCII형식의 지상관측소 정보(Gage Info)파일 및 지상관측소 강우량(Gage Rain) 파일, 유역 shape 파일이 디렉터리 지정을 통해 입력된다. 유역 shape 파일은 zip으로 압축된 형태로 압축 파일 안에는 dbf, shp, shx의 세 가지 파일이 존재해야 하며, 압축 파일명과 동일한 이름을 가져야 한다. 프로그램 실행 결과파일로는 다양한 강우영상을 표출하는 GeoTIFF형식의 이미지 파일과 Binary 및 Ascii형식의 레이더 및 유역별 레이더추정(QRE)강우량 및 레이더보정(RAR) 강우량 파일을 생성하게 된다.

3-2 프로그램 구성 및 환경설정

1) 프로그램의 구성

본 연구에서 개발한 RaDAP 프로그램은 ① 인쇄 및 저장, 종료 등 기본적인 파일 메뉴 ② 환경설정 및 실행을 위한 프로세스 메뉴 ③ PPI, CAPPI 자료에 따른 실행결과 파일(UF, QRE, RAR, Basin)을 이미지 형태로 보여주는 보기 메뉴 ④ 프로그램 사용자 설정을 위한 도구 메뉴로 구성되어 있다(Table 3).

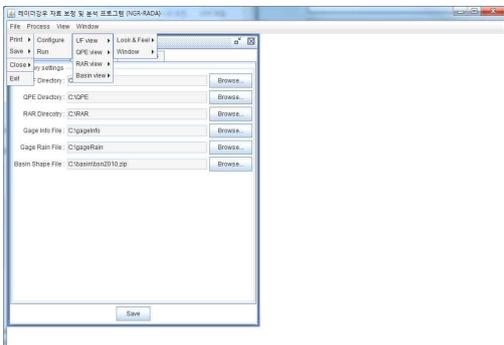


그림 5. 프로그램 시작화면 및 메뉴(GUI)
Fig. 5. Program start screen and menu(GUI)

표 3. 디렉터리 및 메뉴 구성

Table 3. Configuration Directory and Menu

1st menu	2nd menu	3rd menu
File	Print	Print All Window
		Print Active Window
	Save	Save All Window
		Save Active Window
	Close	Close All Window
		Close Active Window
Process	Exit	
	Configure	
	Run	
View	UF View	UF PPI View
		UF CAPPI View
		UF QRE View
	QPE View	QPE PPI View
		QPE CAPPI View
		QPE RAR View
	RAR View	RAR PPI View
		RAR CAPPI View
		RAR Basin View
	Basin View	QPE PPI Basin View
		QPE CAPPI Basin View
		RAR PPI Basin View
Window	Look & Feel	Swing/Metal
		CDE/Motif
		Windows
	Window	Arrange All
		Cascade
		Vertical
		Horizontal

또한, RaDAP 프로그램은 사용자 요구분석을 통하여 최소한의 필요한 기능으로만 구성하였으며, 그림 5와 같이 심플하고 직관적인 GUI 메뉴 구성이 될 수 있도록 하였다.

2) 프로그램의 환경설정

RaDAP 프로그램의 환경설정은 ① 입-출력파일을 지정하는 디렉터리 환경설정 ② 생성하고자 하는 레이더자료의 격자 크기(km), PPI 고도각(degree) 및 CAPPI의 고도(Km), QRE 알고리즘의 변수값 등을 입력하는 QRE 환경설정 ③ 지상관측소 강우량(Gage Rain)파일의 단위시간, RAR 강우자료 생성 시 레이더우량의 한계값 및 G/R비 적용한 한계값, IDW 보정기법 적용 시 거리의 영향력 한계값을 입력하는 RAR 환경설정 ④ 분석하고자 하는 자료의 시작시간과 종료시간, 생성될 자료의 종류(QRE, RAR) 프로덕트의 종류(PPI, CAPPI)를 설정하는 실행 환경설정으로 나뉜다. 모든 환경설정을 완료 후 Run Button을 클릭하면 실행 및 결과가 나타난다. 특히 사용자가 원하는 형태의 레이더강우 자료를 생성하는데 분석시간을 최소화하고자 실행 환경설정(④)을 상세하게 구분하였으며, 그림 6은 각 환경설정의 화면을 보여준다.

3-3 프로그램 실행 결과

RaDAP 프로그램의 실행 결과는 그림 7과 같다. 그림 7(a)

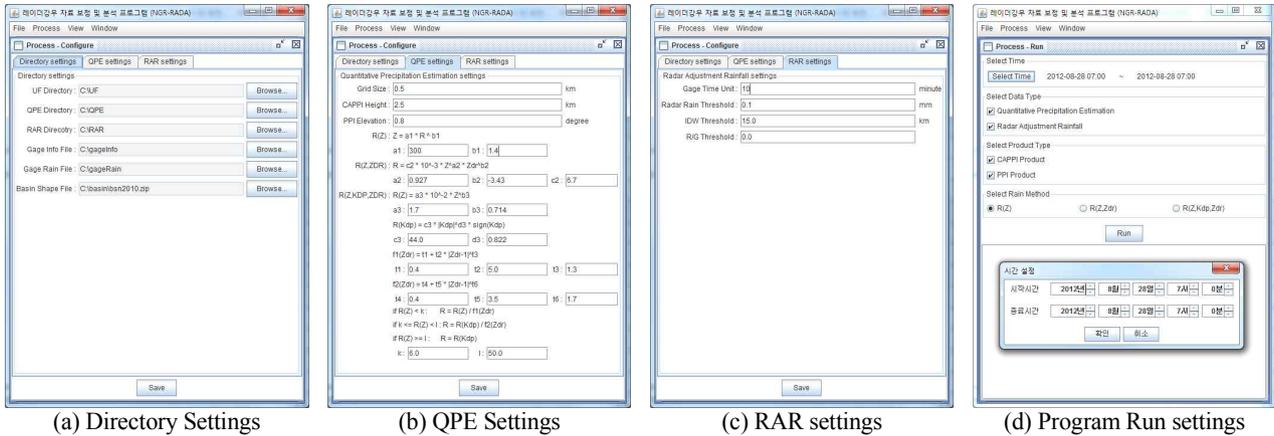


그림 6. 프로그램 환경설정
Fig. 6. Program preferences

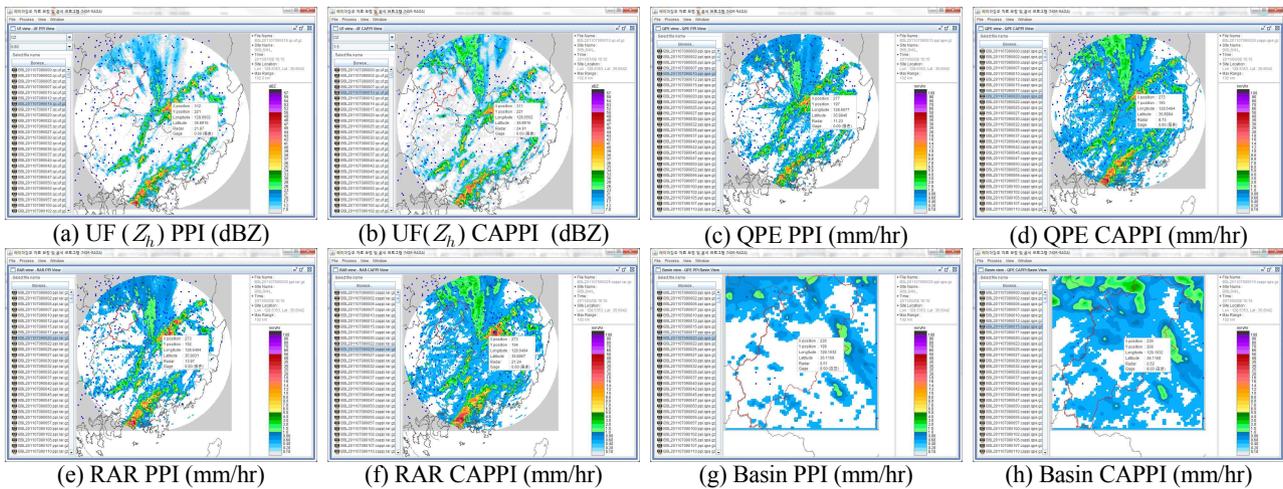


그림 7. 프로그램 실행결과 및 표출
Fig. 7. Displaying program execution result

및 7(b)는 레이더 UF자료로부터 표출한 PPI 및 CAPPI 형태의 수평반사도(Z_h)자료를 예로 나타낸 것이며, 다른 레이더산출변수인 차등반사도(Z_{DR}) 및 비차등위상차(K_{DP})도 표출이 가능하다. 그림 7(c)~7(f)는 PPI 및 CAPPI 형태의 레이더추정(QRE)강우량 및 레이더보정(RAR) 강우량을 나타내고 있으며, 그림 7(g) 및 7(h)는 PPI 및 CAPPI 형태의 분석대상 유역에 대한 강우량을 각각 나타낸다. 그림 7에서 표출되는 모든 출력자료는 이미지 형태뿐만 아니라 Binary 및 Ascii 형태의 파일로도 저장된다.

앞서 1장에서 언급한 바와 같이 레이더자료 활용은 크게 강우현황을 분석하여 표출하는 레이더 영상자료와 수문학적 해석을 위한 격자형 레이더강우량 분포자료로 구분할 수 있다고 하였다. 프로그램 실행 결과에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 개발된 RaDAP 프로그램은 레이더자료의 두 가지 활용 측면을 모두 만족시킬 수 있기 때문에 폭 넓게 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 최근 활용성이 요구되는 레이더자료를 사용자가 더 쉽고 정확하게, 분석시간을 최소화 하기 위한 레이더자료를 표출 및 분석 프로그램 RaDAP을 구현하였다.

개발된 프로그램의 사용성 및 신뢰성 확보를 위하여 레이더자료 사용자들을 대상으로 활용분야, 자료형태, 보정기법 등 충분한 요구분석을 통하여 레이더자료를 활용의 저해요인을 파악하였으며, 프로그램에서 꼭 필요한 기능은 포함하고 사용자 중심의 심플하고 직관적인 GUI 구성에 초점을 두고 개발하였다. 본 연구를 통하여 개발된 프로그램은 관련분야 실무자 및 레이더자료 초급 사용자 교육에 충분히 사용할 수 있을 것으로 예상되며, 이러한 사용자의 피드백을 통하여 프로그램의 개선이 필요하다.

향후, 본 연구에서 개발된 프로그램을 레이더자료 활용 측면에서 거의 마지막 단계라고 할 수 있는 레이더강우 예측(QRF)영역으로 확장할 수 있는 방안을 마련하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B127555-02).

참고문헌

- [1] H. S. Noh, J. S. Lee, N. R. Kang, D. R. Lee, H. S. Kim and S. J. Kim , “Long-Term Simulation of Daily Streamflow Using Radar Rainfall and the SWAT Model: A Case Study of the Gamcheon Basin of the Nakdong River, Korea,” *Advances in Meteorology*, Vol. 2016, pp. 1-12, 2016.
- [2] Borga, M, “Accuracy of radar rainfall estimates for stream flow simulation,” *Journal of Hydrology*, Vol. 267, Issues 1 -2, pp. 26-39, October 2002.
- [3] B. S. Kim, J. B. Hong, H. S. Kim and S. Y. Yoon, “Development of Flash Flood model Using Digital Terrain Analysis Model and Rainfall RADAR : I . Methodology and Model Development,” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 27, No. 2B, pp. 151-159, March 2007.
- [4] Y. T. Heo, J. H. Park, W. Y. Park and K. S. Ryu : Stability of Distributed Flood Model Using Radar rainfall and Development of Integrated GUI System, Korea Water Resources Corporation, Final Report WROC-09-01 , 2009.
- [5] Han River Flood Control Office. Radar data [Internet]. Available : <http://www.hrfco.go.kr/sumun/radarTile.do>.
- [6] H. S. Noh, Accuracy Evaluation and Hydrological Applicability of Gauge and Radar Rainfall Considering Wind Effect, Ph.D. dissertation, The graduate school, Inha University, 2015.
- [7] Marshall, J. S., and W. M. Palmer, “The distribution of raindrops with size.” *J. Meteor.*, Vol. 5, No. 4, pp. 165-166, 1948.
- [8] Ryzhkov, A., Giangrande, S.E., and Schurr, T.J, “Rainfall Estimation with a Polarimetric Prototype of WSR-88D.” *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 44, No. 4, pp. 502-515, 2005.
- [9] Bringi, V.N., and Chandrasekar, V, “Polarimetric Doppler weather radar: Principles and Applications.” *Cambridge University Press*, New York, pp. 634, 2001.
- [10] Brandes, E. A., G. Zhang, and J. Vivekanandan, “Comparison of polarimetric radar drop size distribution retrieval algorithms.” *J. Atmos. Oceanic Technol., AMS*, Vol. 21, pp. 584-598, 2004.
- [11] Ryzhkov, A., Giangrande, S.E., and Schurr, T.J, “Rainfall

Estimation with a Polarimetric Prototype of WSR-88D.” *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 44, No. 4, pp. 502-515, 2005.

노희성(Hui-Seong Noh)



2011년 : 한경대학교 대학원(공학석사)
2015년 : 인하대학교 대학원 (공학박사
-수자원/지형정보)

2007년~2008년: 한국시설안전공단 시설안전네트워크연구단
2015년~현 재: 한국건설기술연구원 국토보전연구본부
※관심분야 : 수재해, 레이더영상처리, 머신러닝(딥러닝),
데이터마이닝, 사물인터넷(IoT) 등