

RDAPS 모델의 강수량과 실측강수량의 비교를 통한 적용성 검토**Comparison Study of Rainfall Data Using RDAPS Model and Observed Rainfall Data**

정 창 삼* / 신 주 영** / 정 영 훈*** / 허 준 행****

Jeong, Chang-Sam / Shin, Ju-Young / Jung, Younghun / Heo, Jun-Haeng

Abstract

The climate change has been observed in Korea as well as in the entire world recently. The rainstorm has been gradually increased and then the damage has been grown. It is getting important to predict short-term rainfall. The Korea Meteorological Administration (KMA) generates numerical model outputs which are computed by Global Data Assimilation and Prediction System (GDAPS) and Regional Data Assimilation and Prediction System (RDAPS). The KMA predicts rainfall using RDAPS results. RDAPS model generates 48 hours data which is organized 3 hours data accumulated at 00UTC and 12UTC. RDAPS results which are organized 3 hours time scale are converted into daily rainfall to compare observed daily rainfall. In this study, 9 cases are applied to convert RDAPS results to daily rainfall data. The MAP (mean areal precipitation) in Geum river basin are computed by using KMA which are 2005 are used. Finally, the best case which gives the close value to the observed rainfall data is obtained using the average absolute relative error (AARE) especially for the Geum River basin.

Keywords : RDAPS, conversion of time scale, prediction rainfall, mean areal precipitation (MAP)

요 지

최근 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 기후변화에 따른 국지성 호우의 증가로 피해가 증가하고 있고 그에 따른 대책으로 단기예보의 중요성이 높아지고 있다. 우리나라의 기상청에서는 전국 모형인 GDAPS와 지역 모형인 RDAPS를 이용하여 정량적 예보인 수치 예보를 하고 있다. RDAPS 모델을 이용하여 생성된 자료는 3시간의 누적 강수량으로 48시간에 대한 예측 자료를 12시간 간격으로 00UTC와 12UTC를 생성한다. 본 연구에서는 2005년의 RDAPS의 결과를 9가지의 경우에 대하여 일강수량으로 변환하였으며, 금강유역을 대상으로 면적평균강수량 (MAP)을 산정하였다. 또한, 기상청 강우관측소의 관측강수량과 절대상대오차평균 (AARE)을 산정하여 가장 정확한 변환의 방법을 제시하고 적용성을 검토하였다.

핵심용어 : RDAPS, 일강수량, 예측강수량, 면적강수량

* 교신저자, 인덕대학 토목환경설계과 조교수, 공학박사 (e-mail: csjeong@induk.ac.kr)

Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Civil and Environment Design, Induk University, Seoul 139-749, Korea

** 연세대학교 산업기술연구소 연구원 (e-mail: hyjyshin@gmail.com)

Researcher, Engineering Research Institute, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

*** 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정 (e-mail: yhjung2000@yonsei.ac.kr)

Ph.D. Candidate, School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

**** 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수, 공학박사 (e-mail: jhheo@yonsei.ac.kr)

Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

1. 서론

우리나라에서는 기후변화로 인한 홍수와 그에 따른 피해도 증가로 인하여 예보의 중요성이 높아지고 있으며 중요성 또한 증가하고 있는 실정이다. 원인별 풍수해 피해 발생현황을 분석해 보면 호우에 의한 피해가 전체 풍수해 피해액의 절반을 상회하고 있어 다른 풍수해 예측보다 정확한 호우예측이 필요하다. 그러나 대부분의 집중호우는 예측이 어려운 중규모 이하를 가진 기상현상에서 발생하고 있다(김남욱, 1994; 홍성유, 1992). 고해상도 수치모델에 관한 국내 연구로는 김태국 등(1998)이 미국 오클라호마 대학의 CAPS (Center for Analysis and Prediction of Storm)에서 개발된 ARPS (Advanced Regional Prediction System)를 이용하여 1996년 연천호우사례를 모의하였다. 김용상 등(1998)이 해상도 10 km인 LAPS (Local Analysis and Prediction System) 및 ARPS를 이용하여 1998년 지리산에서 발생한 호우를 모의하였다. 국외의 경우 고해상도 수치모델개발에 의한 사례를 보면 현재 미국에서는 해상도가 수 km인 차기 수치예측모델 개발을 목표로 NCAR (National Center for Atmospheric Research), CAPS 등 여러 기상연구기관의 전문가들이 공동연구 중에 있다. 최준태와 오재호(1999)는 고해상도 수치모델을 이용하여 해양 및 산악 등에 의한 지역 기상 특성 모의 가능성을 연구하고자 제주지역을 선정하여 ARPS를 사용하여 해륙풍의 모의 가능성과 제주도 특유의 강수시스템 모의 능력을 실험하였다. 수공학분야에서 사용가능한 모형 스케일은 중규모 수치모형으로 현재 우리나라에서는 중규모 수치모형으로 Regional Data Assimilation and Prediction

System (RDAPS) 모형을 사용하고 있다. RDAPS 모형의 예측 시계열의 예측시간 단위는 3시간으로 수공학분야에 바로 적용하기에는 문제가 있다. 본 연구에서는 이런 문제를 해결하고자 RDAPS 모형의 예측값을 일강수량으로 변환하는 연구를 진행하였으며, 다양한 변환방법들의 정확도를 비교하였다.

2. RDAPS 모형

2.1 RDAPS 모형의 정의 및 특징

우리나라의 기상청 (KMA, Korea Meteorological Administration)에서는 기상수치예보모델을 적용하여 수치예보를 하며, 전지구 모형으로 Global Data Assimilation and Prediction System (GDAPS)와 지역모형인 RDAPS를 사용하고 있다. 또한 정량적인 수치예보를 위해 해상도가 높은 RDAPS 모델의 결과값을 사용한다. RDAPS는 미국 PSU/NCAR (Pennsylvania State University/ National Center for Atmosphere Research)에서 개발한 MM (Mesoscale Model)을 기반으로 1970년대 태풍 모델인 MM1 (Mesoscale Model version 1), 중규모 모델인 MM4 (Mesoscale Model version 4)와 MM5 (Mesoscale Model version 5)로 개발되었다. 현재 기상청에서 사용하는 지역 및 고해상도 모델 (RDAPS)은 MM5 V2.11과 V2.12이다 (한국수자원공사, 2005).

RDAPS의 동아시아 예보 영역은 30 km 격자간격으로, 197×171개의 격자로 이루어져 있으며 (1,1)에 해당하는 격자점의 위도는 12.269°N, 경도는 102.477°E 이며 24개의 연직층수로 구성되어 있다. 자료의 생산은 하루에 2번

Table 1. Outputs of RDAPS

Code of Output	Output Names(Korean)	Dimension	X	Y	Z	Unit
APCPsfc	누적강수량	2	191	171	1	kg/m ²
HGTsfc	지표 지오폠펜셀고도	2	191	171	1	gpm
HGSprs	지오폠펜셀고도	3	191	171	24	gpm
MIXRsfc	지표 혼합비	2	191	171	1	kg/kg
MIXRprs	혼합비	3	191	171	24	kg/kg
PRMSmsl	해면기압	2	191	171	1	Pa
TMPsfc	지표기온	2	191	171	1	K
TMPprs	기온	3	191	171	24	K
UGRDSfc	지표 동서방향 바람	3	191	171	1	m/s
UGRDprs	동서방향 바람	2	191	171	24	m/s
VGRDSfc	지표 남북방향 바람	2	191	171	1	m/s
VGRDprs	남북방향 바람	3	191	171	24	m/s

00UTC와 12UTC에 3시간 간격의 누적자료를 48시간에 대해서 생성하며 자료 내에 포함된 변수는 총 12가지로 Table 1과 같다. 일반적으로 변수명에 sfc가 붙은 것은 지표에서의 변수값을 나타내고, prs가 붙은 것은 3차원 자료로 24개 등압면에서의 변수값을 나타낸다. 강수량의 단위로 사용되는 것은 kg/m^2 으로 일반적으로 사용되는 강수량을 나타내는 단위인 mm와 같다. HGT는 주어진 등압면에서의 고·저기압의 분포를 나타내는데 사용되고, MIXR은 수증기 혼합비로 대기 중의 단위 부피당 수증기와 건조공기의 비로 계산되며, 대기의 습한 정도를 나타낸다. PRMSmsl은 평균 해수면 고도에서의 기압을 나타내고, TMP는 기온, UGRD와 VGRD는 동서방향과 남북방향으로 바람을 나타낸다.

3. RDAPS 예측강수량의 변환 방법

일강우의 기록시작시간과 기록마감시간은 09시로 RDAPS 자료의 생성시간인 00UTC (09시)와 같다. 현재 사용되고 있는 일 강우자료의 통일성을 위해 RDAPS 자료로부터 생성되는 일 강우자료의 시간은 00UTC로 통일하였다. 시계열 개선을 위한 변환 case로는 총 9개의 case를 적용하였다.

3.1 Case 1

Case 1은 00 (0)UTC (9시)와 12 (0)UTC (21시)에 예보된 자료를 사용하여 일강우를 생성한다. 일강우자료를 00

(0)UTC에 예측된 자료 중 00~12UTC까지 자료를 사용하고, 12 (0)UTC에 예측된 자료 중 12~24UTC에 예측된 자료를 이용하여 생성된다. 00UTC와 12UTC는 관측된 자료 중 가장 최근의 자료를 사용하며, 이에 따라 가장 신뢰도가 높은 자료라 할 수 있다. Fig. 1은 일강수량으로 변환 시 사용되는 자료를 나타낸 그림이다.

3.2 Case 2

Case 2는 00 (0)UTC (9시)에 예측된 자료 중 00~24 UTC까지 예측된 자료를 사용하여 일강우자료를 생성한다. 일반적으로 RDAPS 자료를 일강우로 변환하는 방법이다. Fig. 2는 일강수량으로 변환 시 이용되는 자료를 나타낸 그림이다.

3.3 Case 3

Case 3은 00(-1)UTC의 24~48UTC 자료, 12(-1)UTC의 12~36UTC 자료, 00(0)UTC의 00~24UTC 자료를 사용하여 일강우자료를 생성한다. 각 예보를 일강우자료로 변환하여 평균하여 일강우자료를 생성한다. 각 예보의 정확도가 일정하지 않을 경우 case 3은 case 1과 case 2보다 안정적인 일강우자료를 생성할 수 있다. Fig. 3은 일강수량으로 변환 시 이용되는 자료를 나타낸 그림이다.

3.4 Case 4

Case 4는 00(-1)UTC의 24~48UTC 자료, 12(-1)UTC의 12~36UTC 자료, 00 (0)UTC의 1~24UTC 자료, 12(0)

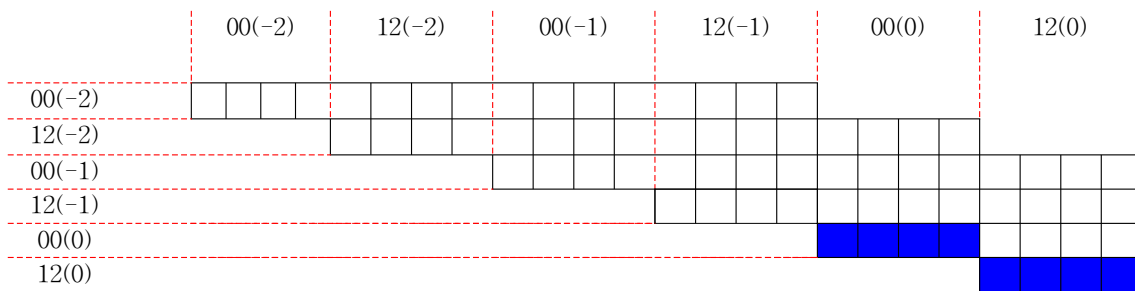


Fig. 1. Schematic Diagram of Case 1

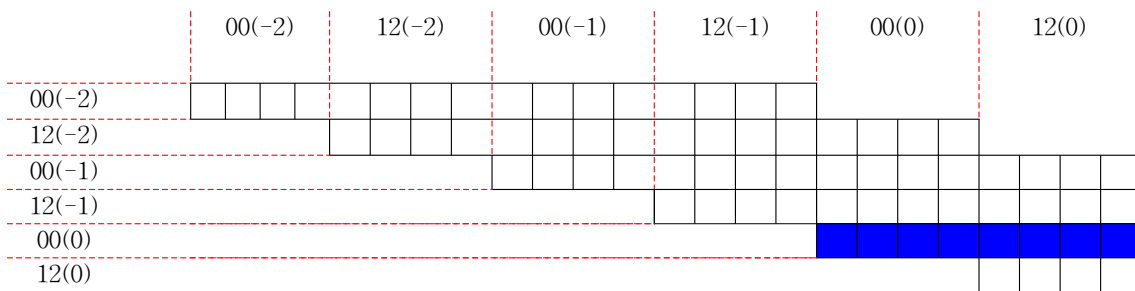


Fig. 2. Schematic Diagram of Case 2

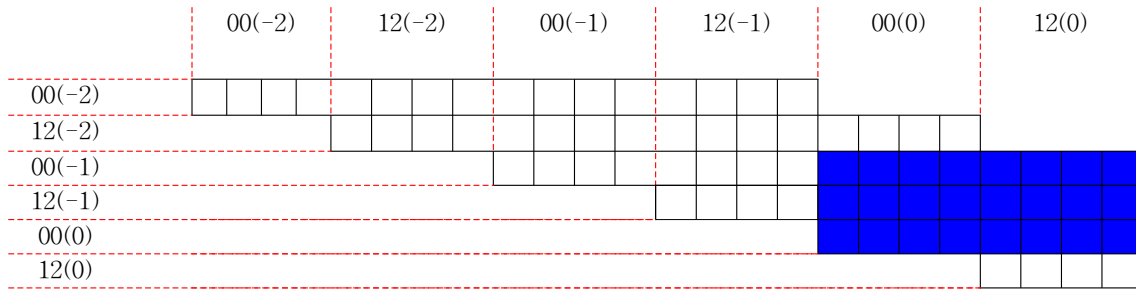


Fig. 3. Schematic Diagram of Case 3

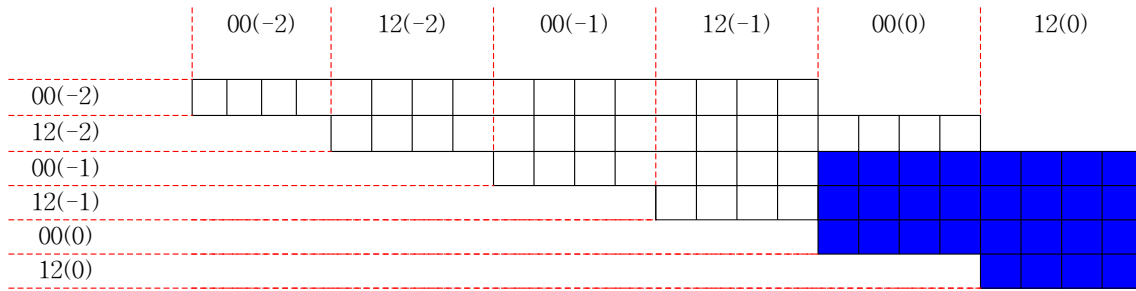


Fig. 4. Schematic Diagram of Case 4

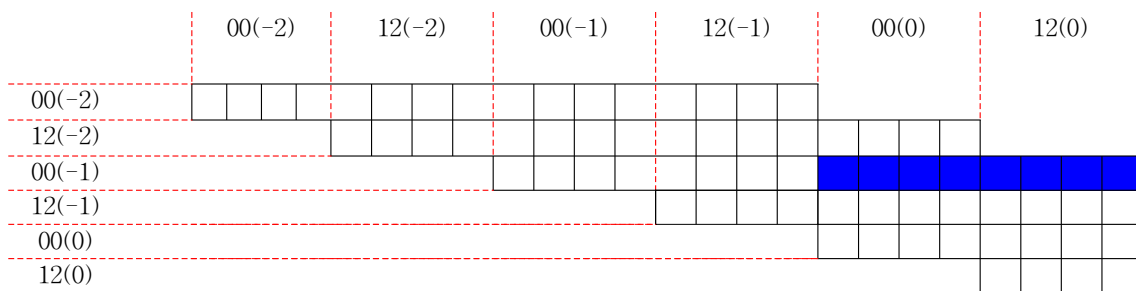


Fig. 5. Schematic Diagram of Case 5

UTC의 00~12UTC 자료를 사용하여 일강우자료를 생성한다. 각 예보를 일강우자료로 변환하여 평균하여 일강우자료를 생성한다. 각 예보의 정확도가 일정하지 않을 경우, case 4는 case 1과 case 2보다 안정적인 일강우자료를 생성할 수 있다. Fig. 4는 일강우량으로 변환 시 이용되는 자료를 나타낸 그림이다.

3.5 Case 5

Case 5는 00(-1)UTC의 24~48UTC 자료를 사용하여 일강우자료를 생성한다. 예측시간으로부터 24시간 정도 후의 자료를 사용하여 앞서 설명한 자료와 달리 보다 긴 예측 시간을 확보할 수 있다. Fig. 5는 case 5에서 사용하는 자료를 나타낸 그림이다.

3.6 Case 6

Case 6은 12(-1)UTC의 12~36UTC 자료를 사용하여 일강우 자료를 생성한다. 예측시간으로부터 12시간정도

후의 자료를 사용하여 보다 긴 예측 시간을 확보할 수 있다. Fig. 6은 case 6에서 사용하는 자료를 나타낸 그림이다.

3.7 CASE 7

Case 7은 00(-1)UTC의 24~48UTC 자료와 12(-2)UTC의 36~48UTC 자료를 사용하여 일 강우자료를 생성한다. 각 예보를 일 강우자료로 변환하여 평균을 하여 일 강우자료를 생성한다. 예측시간으로부터 24시간 정도 후의 자료를 사용하여 앞서 설명한 자료보다 긴 예측 시간을 확보할 수 있다. 또한 각 예보의 정확도가 일정하지 않을 경우 앞서 설명한 case 1과 case 2보다 안정적인 일 강우자료를 생성할 수 있다. Fig. 7은 case 7에서 사용하는 자료를 나타낸 그림이다.

3.8 Case 8

Case 8은 00(-1)UTC의 24~48UTC 자료, 12(-2)UTC의 36~48UTC 자료, 12(0)UTC의 12~36UTC 자료를 사

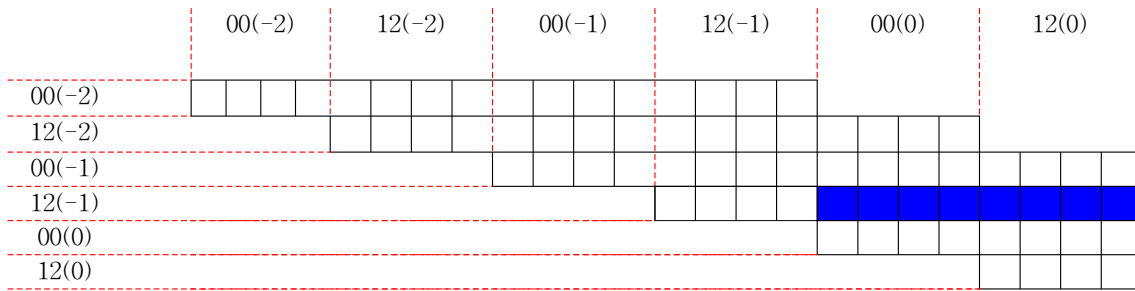


Fig. 6. Schematic Diagram of Case 6

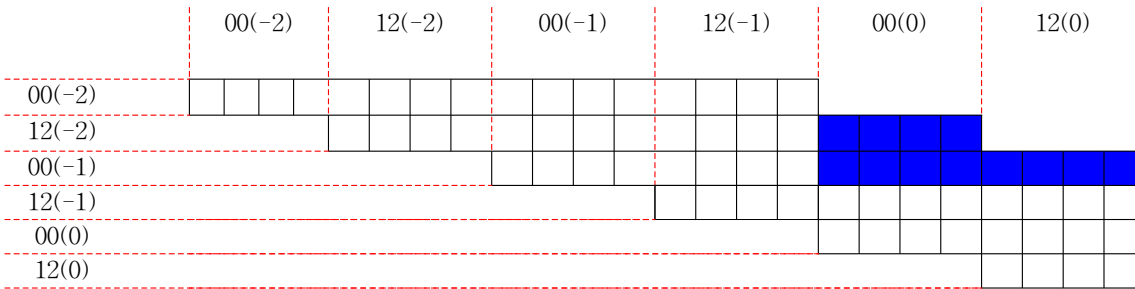


Fig. 7. Schematic Diagram of Case 7

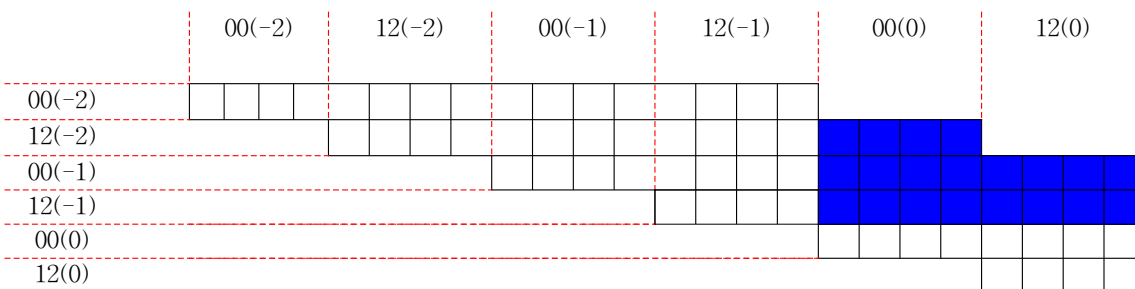


Fig. 8. Schematic Diagram of Case 8

용하여 일강우자료를 생성한다. 각 예보를 일강우자료로 변환하여 평균하여 일강우자료를 생성한다. 예측시간으로부터 12간정도 후의 자료를 사용하여 case 6과 같은 시간대의 자료를 얻을 수 있다. 또한 각 예보의 정확도가 일정하지 않을 경우 위에 case 1, 2, 5, 6보다 안정적인 일강우자료를 생성할 수 있다. Fig. 8은 case 8에서 사용하는 자료를 나타낸 그림이다.

3.9 Case 9

Case 9은 00(-1)UTC의 24~48UTC 자료와 12(-1)UTC의 12~36UTC 자료를 사용하여 일강우자료를 생성한다. 각 예보를 일강우자료로 변환한 후 평균하여 일강우자료를 생성한다. 예측시간으로부터 12시간정도 후의 자료를 사용하여 case 6, case 8과 같은 시간대의 자료를 얻을 수 있다. 또한 각 예보의 정확도가 일정하지 않을 경우 위에 case 1, case 2, case 5, case 6보다 안정적인 일강우자료를 생성할 수 있다. Fig. 9는 case 9에서 사용하는 자료를 나타낸 그림이다.

4. RDAPS 예측값을 이용한 면적평균강수량 (MAP) 산정

4.1 대상구역

대상구역인 금강구역은 총 57개의 강우관측소가 있지만 비교적 정확한 관측값을 보유한 기상청 산하의 14개 지점의 관측 강우량을 사용하였다. 일반적으로 RDAPS 예측값의 정확도를 비교할 시 격자점과 거리가 가장 가까운 관측소의 관측값을 이용하나 본 연구에서는 한 유역을 설정하여 유역의 유출모형에 입력되는 자료의 형태인 면적평균강수량 (MAP)을 계산하여 단기 예측시계열의 정확도를 비교하였다. 금강 유역은 총 14개 소유역으로 이루어져 있으며 Fig. 10은 금강유역의 소유역 현황을 나타낸 그림으로 RDAPS 결과값 격자를 금강유역에 투영한 그림이다. Table 2는 본 연구에 사용된 기상청 산하의 관측소의 제원을 나타낸 것이며 14개의 기상청 관측지점을 금강유역에 대하여 티센방법을 이용하여 면적평균강수량

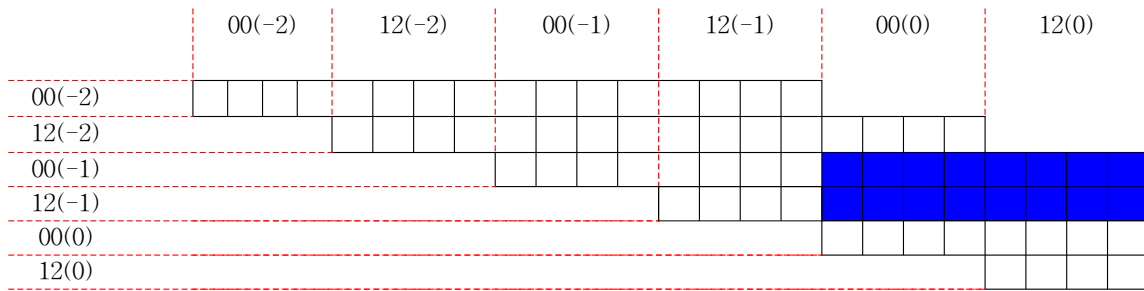


Fig. 9. Schematic Diagram of Case 9

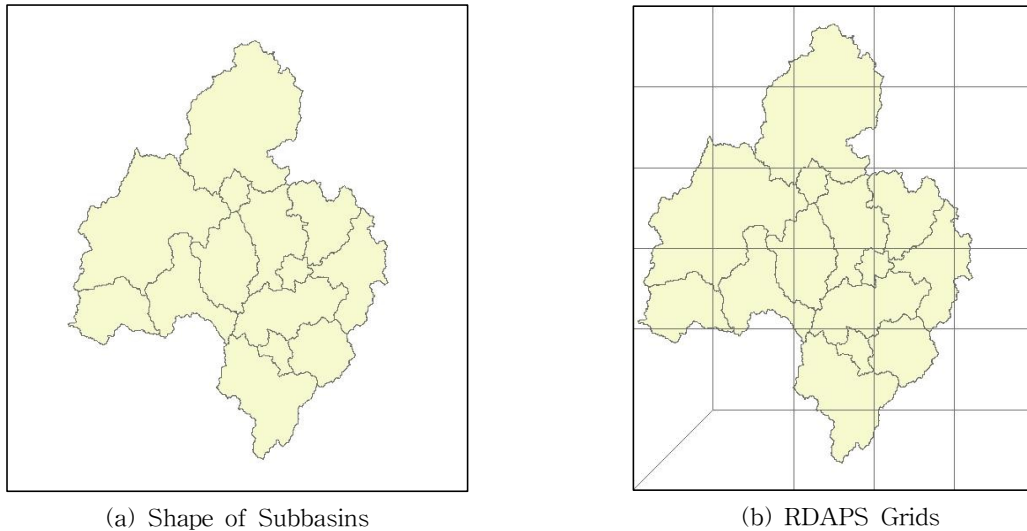


Fig. 10. Subbasins and RDAPS Grids in Geum River Basin

을 계산하였다. RDAPS 결과값의 경우 격자를 유역에 투영하여 면적평균강수량을 산정하였다.

5. RDAPS 예측면적평균강수량과 실측면적평균강수량의 비교

단기 예측 시계열 개선을 위해 2005~2007년까지 자료를 이용하여 자료의 특성에 따른 총 9개의 시계열 변환 방법을 적용해 보았다. 예측값과 관측값의 연 총강수량, 연 총강수량의 절대상대오차, 월별 총강수량의 상대오차를 비교하였다.

5.1 관측면적평균강수량과 예측면적평균강수량의 연강수량의 비교

이 장에서는 2005년~2007년까지의 자료를 이용하여 각 소유역에서 계산된 면적평균강수량을 합하여 금강유역 전체에 대한 단기 시계열 예측에 대하여 비교하였다. Fig. 11은 2005~2007년 금강유역의 관측면적평균강수량(Obs.)과 각 case로 개선된 예측 면적평균강수량을 비교한 그래프이다. Fig 11을 보면 case-7 (C7)이 전년에 걸쳐

Table 2. Applied Rainfall Recording Stations

No.	Station Name (Korean)	TM_X	TM_Y
1	충주	284756.6542	385849.0508
2	청주	239342.1991	348768.2730
3	대전	233325.0650	319079.5606
4	추풍령	289334.4035	302609.0725
5	군산	173393.2224	277007.9193
6	전주	213933.6652	257954.7184
7	이천	242881.6265	418130.1166
8	보은	265711.2063	332109.7061
9	천안	210565.9010	364252.1276
10	보령	160186.9744	314135.7447
11	부여	192821.1268	307962.6012
12	금산	243300.6287	289568.9743
13	장수	247066.5310	239815.5291
14	거창	282421.9600	241715.3700

다른 지점들에 비하여 관측값과 가장 비슷한 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 연총강수량값으로 비교해본 결과 case-7 (C7)이 관측면적평균강수량과 가장 근사한 값을 보이는 것을 확인할 수 있다. Fig. 11을 보면 case-7 (C7)~9 (C9)가 case-1 (C1)~2 (C2)보다 관측값과 비슷한 결과가 나오는 것을 확인할 수 있다. 모형의 입력자료와 예측값 간의 시간간격이 커질수록 모형의 예측 정확도가 낮아 질것이라 예상했지만 시간간격이 일정간격 이상

일 때 예측정확도가 더 높은 것으로 확인되었다.

5.2 관측면적평균강수량과 예측면적평균강수량의 절대상대오차

Fig. 12는 2005년, 2006년, 2007년 금강유역의 각 case로 예측 면적평균강수량의 월별 절대상대오차평균을 비교한 그래프이다. 월별 절대상대오차평균을 비교해본 결과 연 총강수량을 비교한 Fig. 11과는 다른 결과가 나타났

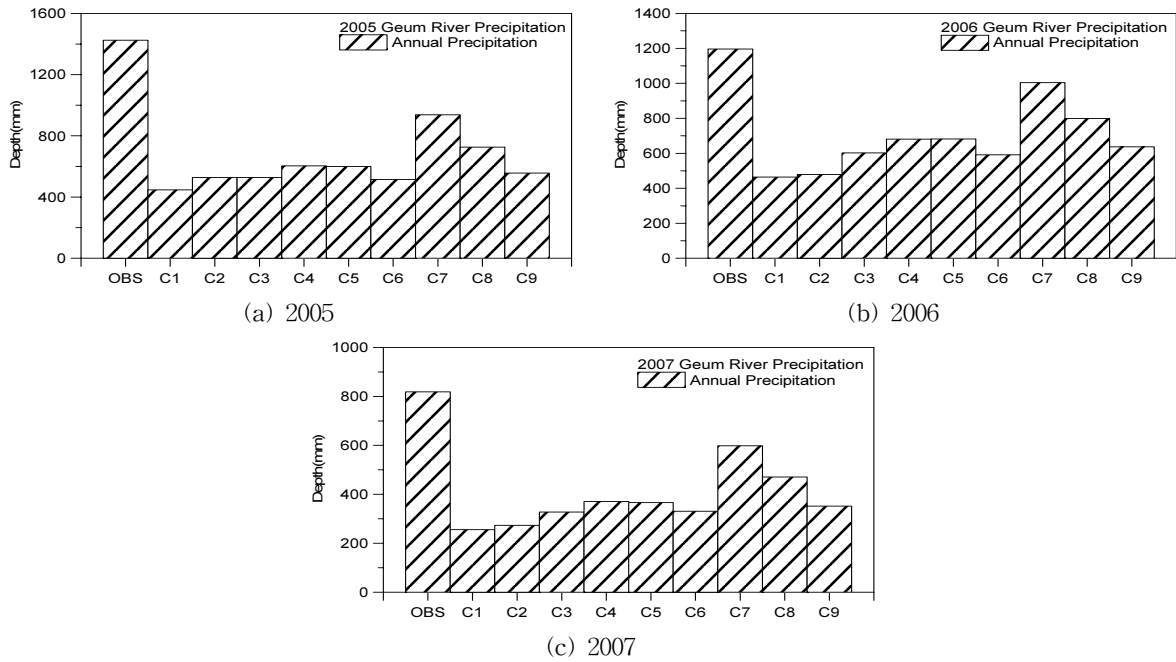


Fig. 11. A Comparison of Observed and Forecasted Annual Precipitation

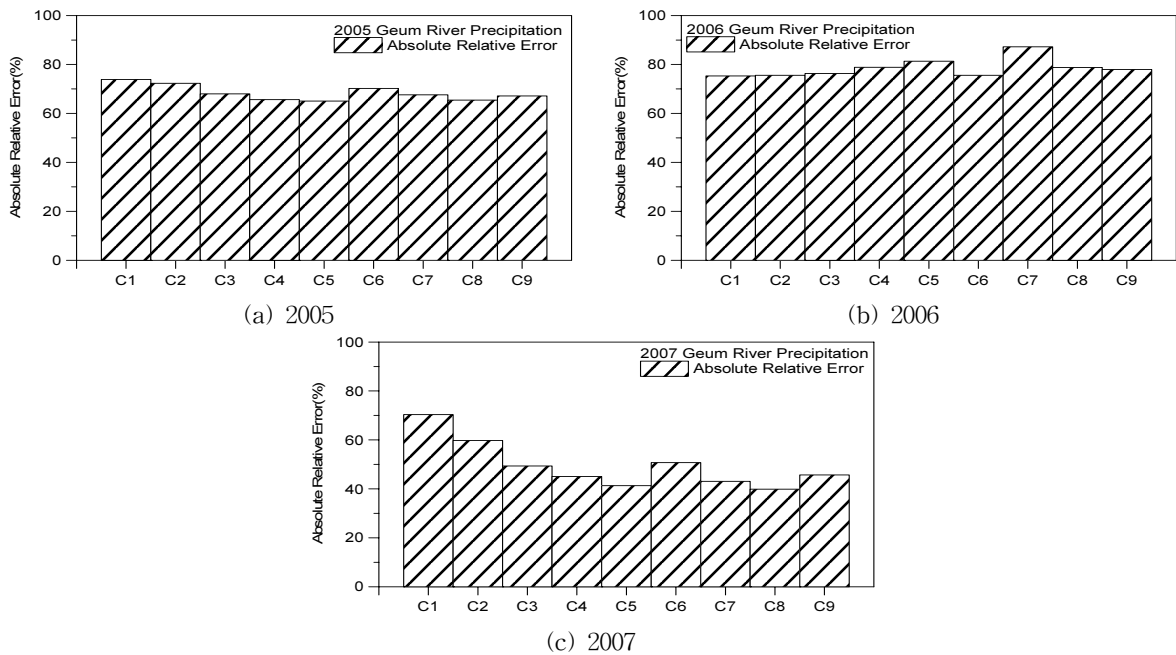


Fig. 12. Absolute Relative Errors of Forecasted Annual Precipitation

다. 총강수량을 비교하였을 경우 case-7 (C7)이 다른 case 들에 비하여 높은 정확도를 보였으나, 월별 절대상대오차를 평균하여 비교해 본 결과 2006년을 제외한 2005년, 2007년에는 case-5 (C5), case-7 (C7), case-8 (C8)이 비교적 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 총강수량적인 측면으로 보았을 때, case-7 (C7)이 가장 높은 정확도를 보였으나 절대상대오차의 평균으로 보았을 때는 case-7 (C7)보다 case-5 (C5)가 더 높은 정확도를 보이는

것을 확인할 수 있다.

5.3 월별상대오차 분석

연총강수량의 정확도와 절대상대오차평균의 정확도가 차이는 이유를 확인하고자 월별 상대오차를 도시하였으며, box-plot을 통하여 월별 상대오차의 분포를 표시하였다. Fig. 13은 2005~2007년 금강유역의 월별 상대오차를 나타낸 그래프이고, Fig. 14는 2005~2007년 금강유역의

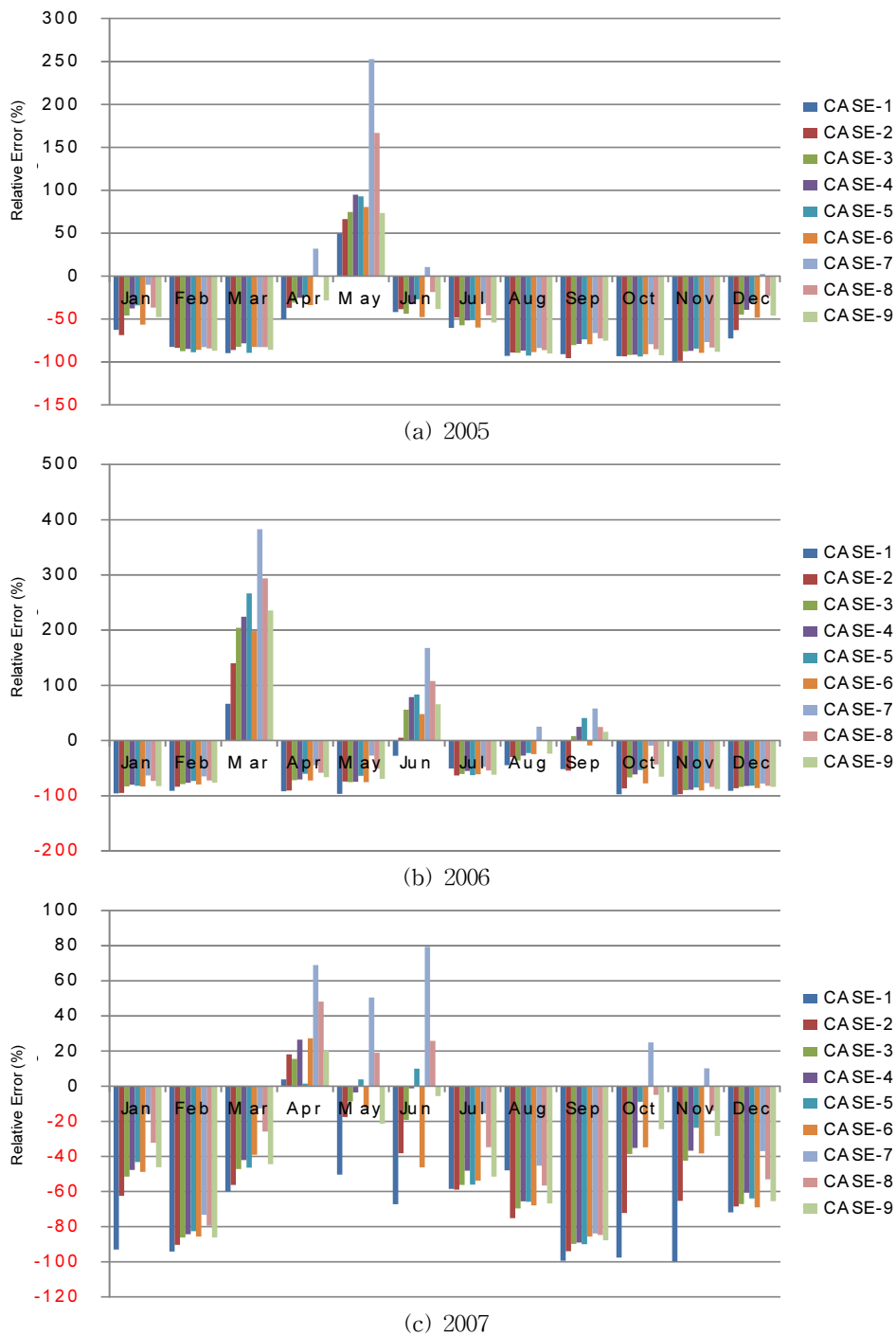


Fig. 13. Relative Errors of Forecast Monthly Precipitation

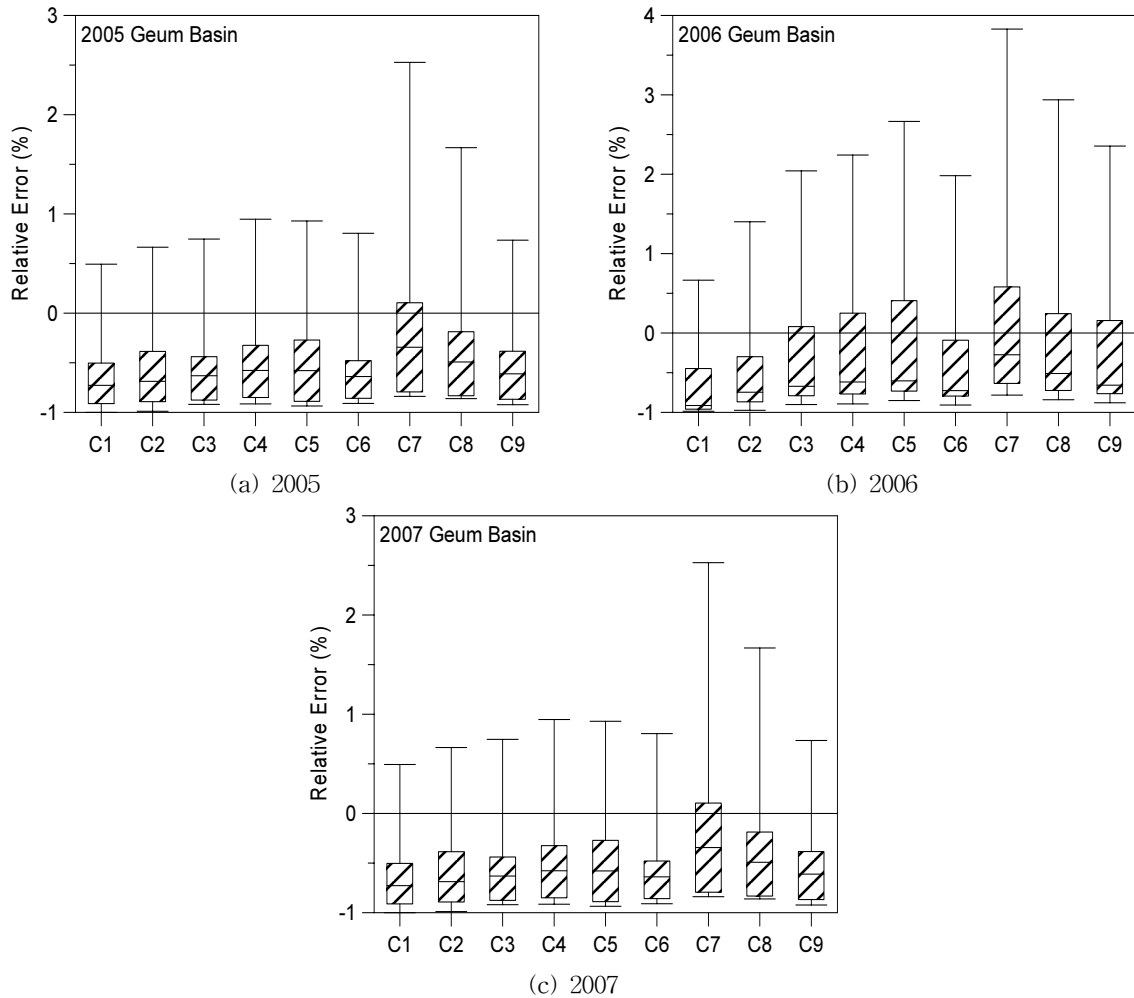


Fig. 14. Box-plots of Relative Error

월별상대오차를 각 case에 대하여 box-plot으로 나타낸 그림이다. Fig. 13 (a)를 보면 5월을 제외한 모든 월에서 각 case들이 과소 예측되는 것을 확인할 수 있다. Case-7 (C7)을 보면 5월에 매우 과대예측되지만 5월을 제외한 다른 월에서 다른 case들에 비하여 정확한 값을 나타내고 있다. Fig. 13 (b)를 보면 3월, 6월, 9월에 과대예측되고 다른 월에서는 과소 추정되는 것을 확인할 수 있다. Case-7 (C7)이 과대예측되는 월에서 다른 case에 비하여 매우 낮은 정확도를 보이나 3월, 6월, 9월을 제외한 다른 월에서는 다른 case들보다 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다. Fig. 13 (c)를 보면 4월에 모든 case에 대하여 과대예측되는 것을 알 수 있다. 2007년에도 과소예측되는 부분에서는 case-7 (C7)이 다른 case들에 비하여 높은 정확도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 그러나 과대예측되는 부분에서 case-7 (C7)은 다른 case들에 비하여 낮은 정확도를 보이는 것을 확인할 수 있다. Fig. 14에서 아래 작은 선은 최소값을 맨 위에 있는 선은 최대값을 나타내며, 가운데 사각형의 맨 아래는 25%의 값을 가운데 선은 50%의

값을 사각형의 맨 위는 75%의 값을 나타낸다. case-7 (C7)을 보게 되면 다른 case들에 비하여 최대값이 굉장히 큰 것을 알 수 있다. 이것은 위에서 그림에서 설명하였듯이 과대 추정되는 월에서 case-7 (C7)이 가장 낮은 정확도를 보이는 것을 나타낸다. 그러나 각 case들의 분포를 확인해 보면 case-7 (C7)의 상대오차가 가장 0에 근접한 분포를 보이는 것을 확인할 수 있다. case-7 (C7)이 과대추정 시 큰 값을 가지나 전체적인 정확도로 보았을 때 case-7 (C7)이 금강유역에 적용하기 가장 적합한 case로 나타났다.

6. 결론

RDAPS 예측값을 일단위로 변환하였다. 일단위 변환 방법으로 총 9가지 방법을 적용하였다. 실험유역을 금강유역으로 하였으며, 2005~2007년까지 RDAPS 예측값과 기상청 14지점의 관측값으로 사용하여 변환 방법에 따른 정확도를 비교하였다.

비교방법으로는 예측연강수량의 총량과 예측월강수량

의 절대상대오차평균을 적용하였다. 예측연강수량의 총량으로 비교해본 결과 case-7이 관측강수량과 근사한 값을 예측하는 것으로 나타났다. 또한 모형의 입력자료와 예측값간의 시간간격이 일정간격 이상일 때 예측정확도가 더 높은 것으로 확인되었다. 예측월강수량의 절대상대오차평균을 기준으로 비교해본 결과 case-5가 case-7과 비교하여 보다 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 총량적으로는 case-7이 잘 맞으나 상대오차를 비교해본 결과 case-5가 더 잘 맞는 것으로 나타났다. 이런 차이의 원인을 확인하고자 월별 상대오차를 도시하여 분석하였다. 분석결과 case-7이 전체적으로 잘 예측하나, 예측값이 안 맞을 경우 관측값과의 차이가 너무나 커 이러한 결과를 나타내는 것으로 확인되었다. 이런 특징을 좀 더 자세히 확인하고자 월별 상대오차를 box-plot으로 도시해본 결과 case-7이 방법들과 비교하여 상대오차의 분포가 넓어서 절대상대오차평균이 큰 값을 보이는 것으로 확인되었다. Case-7이 다른 방법들과 비교하여 상대오차가 0에 가까이 분포하는 것을 확인하였으며, 이 결과를 통하여 금강유역에서는 case-7이 정확한 것을 확인할 수 있었다. 또한 연구 결과 RDAPS 예측값은 전체적으로 과소추정되는 경향이 있는 것으로 확인되었고, 실제 수공시설물 운영 등과 같은 분야에 사용되기 위해서는 과소추정되는 값을 보정하는 연구가 차후에 진행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원 (과제번호: 1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 김남욱 (1994). 1991년 7월21일 수원지방에 집중호우를 일으킨 뇌우의 연구. 석사학위논문, 연세대학교.
- 김용상, 오재호, 이정은, 김태국 (1998). "LAPS/ARPS를 이용한 국지 호우 사례의 분석 및 수치 모의." **한국기상학회 학술대회논문집**, 한국기상학회, pp. 168-177.
- 최준태, 오재호 (1999). "고해상도 수치모델을 이용한 제주 지역 국지강수 예측성 연구." **한국수자원학회 학술발표회**, 한국수자원학회, pp. 52-55.
- 한국수자원공사 (2005). 유역 물 관리 운영 기술 개발.
- 홍성유 (1992). 한반도에서 발생한 집중 호우의 수치모의 실험. 박사학위논문, 서울대학교.

논문번호: 11-017	접수: 2011.02.14
수정일자: 2011.03.07	심사완료: 2011.03.07