

# 단기 예측강우를 활용한 유출량 예측 활용

## Application on the Coupled Short-Term Precipitation-Stream Flow Forecast

윤원진\* , 김진훈\*\* , 배덕효\*\*\*

Won Jin Yun , Jin Hun Kim , Deg Hyo Bae

---

### 요 지

본 연구에서는 기상 수치모델의 예측강우량을 활용하여 단시간 하천유출량을 계산할 수 있는 기상-수자원 연계기법을 개발하였다. 이를 위해 기상청의 RDAPS 강수자료와 수자원공사의 치수모델인 KOWACO 모델을 통해 소양강댐 상류유역의 댐유입량을 계산하고 그 정확도를 분석하였다. 대상 사례기간인 2003년 7월 18일부터 2003년 7월 24일까지 RDAPS 강우예측자료의 정확도를 평가한 결과, RDAPS 및 AWS MAP 사이의 정성적 평가에서 매우 우수한 정확도를 보이고, 수자원 측면에서 필요한 정량적 성격을 어느 정도 충족시키는 것으로 나타났다. RDAPS-KOWACO 연계 모형의 하천유출량 계산에서도 그 정확도가 비교적 높은 것으로 검토되어 현재의 하천 유출량 예측에서 기상 수치예보자료의 활용성은 매우 높은 것으로 사료된다.

**핵심용어:** 기상-수자원 연계기법, 단시간 예보, RDAPS 모델, KOWACO 모델

---

## 1. 서 론

홍수 재해를 사전에 방지하고, 상류유역에서의 댐유입량을 사전에 예측하기 위한 기존의 홍수예측 시스템은 강우 실측치를 모형의 입력자료로 사용하여 홍수유출을 계산하였다. 따라서 돌발홍수와 같은 악기상 조건에서 실측 강우사상을 활용하기에는 시간적 한계성이 따른다. 이와 같은 상황에서 정확한 기상예보를 활용한 기상-수자원 연계기법을 개발하여 홍수예경보 시스템에 활용한다면 악기상 감시예측기술의 향상과 더불어 재해 방지차원에서 매우 유용한 방안이 될 것이다. 이러한 목적으로 선진국에서는 기상-수자원 연계기술을 이용한 수문분석 시스템을 개발하여 미래에 발생할 유출량 및 댐유입량 예측을 단기, 중기 및 장기에 걸쳐 수행하고 있다. 하지만 국내 실정은 기상 및 수자원 전문가들이 독립적으로 실무 및 연구분야에 종사하고 있어 이들 연계기술 개발에 매우 미흡한 실정이다.

본 연구의 목적은 기상자료의 수자원 연계기법 개발의 일환으로 기상청의 단기 수치예보자료인 RDAPS (Regional Data Assimilation Prediction System) 강수자료를 활용하여 저류함수법에 기초한 수자원공사의 KOWACO 모델을 통해 소양강댐 상류유역의 댐유입량을 계산하고 그 정확도를 분석하는데 있다. 이는 기상-수자원 연계기술 개발에 중점을 두고 시도하는 제반연구로써 수자원 전문가 입장에서 기상 수치자료의 특성을 분석하고 수자원 분야에 이용될 수 있도록 자료의 정확도 분석 및 활용성을 제공하는데 그 의의를 둘 수 있다.

## 2. RDAPS 수치예보 모델

---

\* 세종대학교 토목환경공학과 석사과정(E-mail : ywonjin@nate.com)

\*\* 세종대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail : jhcnu@chol.com)

\*\*\* 세종대학교 수운연구소·토목환경공학과 부교수(E-mail : dhbae@sejong.ac.kr)

기상청에서 생산하는 지역적(regional), 고해상도 단기 예측모델인 RDAPS는 PSU/NCAR MM5 (Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research Mesoscale Model version 5) V2.11과 V2.12(Grell 등, 1995)로부터 응용된 형태이다. RDAPS는 기상청 슈퍼컴퓨터(NEC SX5/12A)에서 매일 두 번(00, 12UTC) 연산을 수행하며, 191×171×33의 격자시스템에서 평면격자 간격은 30km이다(Kwon 등, 2002).

MM5와 같은 기상 수치모델은 대기가 만족하는 질량 보존(대기, 수분), 에너지 보존, 운동량 보존(x, y, z 방향) 및 이상기체 상태방정식과 같은 물리법칙을 이용하여 대기의 상태를 수식화 한다. 이렇게 수식화된 방정식들은 7개의 연립 편미분방정식으로 존재하므로 3차원 격자점에서 이에 대한 해를 찾는 것은 난해한 작업이다. 따라서 이러한 기본 방정식들은 여러 가정을 통해 단순화 하고, 단순화된 방정식들은 수치해석으로 근사해를 구하게 된다(건교부, 2003).

RDAPS의 예보 영역은 동아시아 지역이며 30km 격자간격으로 191 × 171 개의 격자수로 이루어져 있다. 격자점의 시작점은 좌측 최하단으로 위치는 위도 12.269°N 경도 102.477°E 이다. 자료의 생산은 하루 2번으로 00UTC와 12UTC이며, 3시간 간격의 예보자료로 총 48시간 예보자료를 포함하고 있다.

RDAPS를 통해 생산되는 변수는 표 1에 제시된 바와 같이 총 12가지이다. 일반적으로 변수명에 sfc가 붙은 것은 지표에서의 변수값을 나타내고, prs가 붙은 것은 3차원 자료로 고도별 등압면에서의 변수값을 나타낸다. 예를 들어 APCPsfc는 지표 누적강수량을 나타내며 RDAPS 예보자료는 3시간 간격이므로 3시간 동안의 누적강수량을 나타낸다.

강수량의 단위로 사용되는 kg/m<sup>2</sup>은 일반적으로 강수량을 나타내는 단위인 mm와 같다. HGT는 지오폠펠셀 고도를 나타내는 것으로 주어진 등압면에서의 고·저기압의 분포를 나타내는데 사용된다. 등고도면에서는 기압을 사용하여 고·저기압의 분포를 나타내듯이 등압면에 대해서는 지오폠펠셀 고도를 사용하여 고·저기압의 분포를 나타낸다. MIXR은 수증기 혼합비를 나타내는 것으로 혼합비란 대기 중의 단위 부피당 수증기와 건조공기의 비로 계산된다. 즉, 수증기의 양을 나타내는 것이므로 대기의 습한 정도를 나타낸다. PRMSmsl은 평균 해수면 고도에서의 기압을 나타낸다. TMP는 기온을 나타내고, UGRD와 VGRD는 동서방향과 남북방향의 바람을 나타낸다.

표 1. RDAPS 생산 자료의 변수 종류

변수명	설명	차원	X	Y	Z	단위
APCPsfc	누적 강수량	2	191	171	1	kg/m <sup>2</sup>
HGTsfc	지표 지오폠펠셀고도	2	191	171	1	gpm
HGTprs	지오폠펠셀고도	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	지표 기온	2	191	171	1	K
TMPprs	기온	3	191	171	24	K
UGRDsfc	지표 동서방향 바람	2	191	171	1	m/s
UGRDprs	동서방향 바람	3	191	171	24	m/s
VGRDsfc	지표 남북방향 바람	2	191	171	1	m/s
VGRDprs	남북방향 바람	3	191	171	24	m/s

### 3. KOWACO 유출모델

한국수자원공사의 KOWACO 모델은 기본적으로 저류함수법(Storage Function Method, SFM)을 근간으로 소유역 유출, 하도 홍수추적(flood routing), 저수지 운영 모델, 강우 결측치 보완, 예측 강수량 시간분포 등 일련의 수문현상을 모의할 수 있는



그림 1. KOWACO 모형의 적용순서

모델의 집합이다. KOWACO모형의 적용순서는 그림 1과 같으며, 강우량 및 손실우량 산정, 소유역 유출량 계산, 하도추적, 강우예측, 저수지 운영 모듈 등을 통해 최종적으로 상류유역의 유출량을 계산하고 댐 방류량 까지 계산할 수 있도록 구성되어 있다. 이와 같은 시스템은 현재 한강유역을 비롯하여 4대강 수계까지 그 운영체제가 확대되어 한반도내 주요 수계에 적용되고 있다.

#### 4. 사례연구

##### 4.1 대상유역 선정

단기 기상-수자원 연계기법의 활용성을 검토하기 위해 그 대상유역을 그림 2와 같이 2,703km<sup>2</sup>의 유역면적을 갖는 소양강 댐 상류 유역을 선정하였다. 소양강은 총 유로연장이 166.2km로써 한강수계를 형성하는 북한강의 최대 지류이며 인북천 및 내린천의 두 지류로 구성되어 있다. 소양강은 오대산(EL. 1,563m) 부근에서 발원하여 남으로 유하하다가 춘천시 남북방에서 북한강과 합류한다. 소양강댐 상류유역에는 유량관측을 위한 3개의 수위관측소(인북천, 내린천, 양구)와 소양강댐 지점이 존재하며, 강우관측을 위한 20개소의 기상청 자동기상관측소(AWS)가 존재한다. 또한 그림 2의 포인트는 대상유역의 RDAPS 격자점을 나타낸 것으로 소양강 유역에 영향을 미치는 격자수는 9개로 분석되었다.

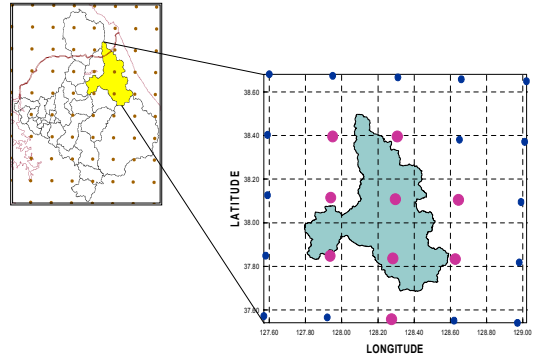


그림 2. 대상유역 RDAPS(30km) 격자점

##### 4.2 RDAPS 예측강우의 정확도 평가

본 연구에서 사용된 RDAPS 예측자료의 사례 기간은 2003년 7월 18일부터 2003년 7월 24일까지이며, 이 기간동안 실측 총 강우량은 169.17mm로 관측 되었으며, 댐 유입량 침투유량은 3,080cms로 검토되었다. 과거 관측기록을 조사한 결과 그다지 크지 않은 강우-유출 사상으로 판단되며, 전반기에는 작고 후반기에는 큰 강우-유출 사상이 두 번 나타나는 사례이다.

RDAPS 예측자료의 수문학적 정확도를 평가하기 위해 RDAPS 및 AWS 관측강우로 소양강 상류 유역의 평균강우량(MAP)을 비교·분석하였다. 그 결과 RDAPS 예측강우는 강수의 유무를 정확히 반영하는 측면에서 정성적으로 매우 높은 정확도를 가지고 있었고 시간대별 강수량의 정량적 측면에서도 몇몇 경우를 제외하고는 대체적으로 우수한 결과를 나타내었다. 본 계산결과로부터 RDAPS 예측강우의 정확도를 평가하기 위해 RDAPS 및 AWS의 통계치를 계산하여 표 2에 나타내었다. 계산결과에서와 같이 RDAPS 및 AWS MAP 사이의 상관계수는 2003.07.19.00, 2003.07.21.00 UTC의 계산결과를 제외하고 0.60~0.99의 범위를 보이며, 이에 상응하는 평균제곱오차는 0.0619~5.1627mm의 범위를 나타내고 있어 수자원 측면에서 필요한 정량적 성격을 어느 정

표 2. RDAPS 예측강우 및 AWS 관측강우 통계특성치

예측 기준시간 (UTC)	예측/관측	평균 (mean)	표준편차 (S.D.)	상관계수 (cc)	평균제곱오차 (rmse)
2003.07.18.00	RDAPS	1.9855	2.4763	0.9250	2.0240
	AWS	1.9007	4.0807		
2003.07.18.12	RDAPS	0.5153	0.7561	0.8226	0.4691
	AWS	0.4702	0.8041		
2003.07.19.00	RDAPS	0.7106	0.7544	0.2295	1.0305
	AWS	0.2666	0.7544		
2003.07.19.12	RDAPS	0.6524	0.9420	0.8784	0.5558
	AWS	0.3493	0.9472		
2003.07.20.00	RDAPS	0.8098	1.5548	0.6271	5.1627
	AWS	2.5275	5.6905		
2003.07.20.12	RDAPS	4.7120	6.9507	0.7707	4.8136
	AWS	5.7306	6.9420		
2003.07.21.00	RDAPS	6.0338	7.6353	0.2743	8.8929
	AWS	7.5025	6.8919		
2003.07.21.12	RDAPS	6.2250	6.9848	0.7954	4.6269
	AWS	7.1726	7.1640		
2003.07.22.12	RDAPS	0.4587	1.0838	0.9925	3.6038
	AWS	1.7903	4.4217		
2003.07.23.00	RDAPS	0.0635	0.1602	0.6054	0.1286
	AWS	0.0590	0.1130		
2003.07.23.12	RDAPS	0.0505	0.1120	0.8466	0.0619
	AWS	0.0439	0.1102		
2003.07.24.00	RDAPS	0.3362	0.7729	0.9251	0.7330
	AWS	0.0439	0.1102		
2003.07.24.12	RDAPS	0.1087	0.2586	0.8723	0.1822
	AWS	0.0479	0.1093		

도 충족시키는 것으로 판단된다.

#### 4.3 RDAPS-KOWACO 결합

본 절에서는 상술한 바와 같이 RDAPS의 강우예측 결과로부터 KOWACO 모델의 유출량 예측결과를 분석하였다. 매번 계산 시작시간에는 초기 유출량 값이 KOWACO 모델에 입력되어 선행 토양조건을 고려해 주도록 계산하였다.

특정 유역에서 KOWACO 모델을 사용하여 유출량을 계산하기 위해서는 모형에 포함된 유역 및 하도의 매개변수(저류함수의 유역특성변수  $K$ , 저류함수의 지수승  $p$ , 유역의 지체시간  $T_l$ , 일차 유출률  $f_l$ , 포화우량  $R_{sa}$ , 하도특성변수  $K'$ , 하도의 지수승  $p'$ , 하도의 지체시간  $T_l'$ )를 과거의 강우 및 수위자료로부터 추정하여야 한다. 매개변수 추정방법으로는 해석적 방법, 최적화 및 경험적 방법 등이 존재하지만, 본 연구는 하천유출량 예측의 현실적 측면에서 예측강우의 활용성을 검토하고자 하기 때문에 현재 실무에서 사용 중인 매개변수를 기본으로 대상 강우-유출 사상에 적합한 최적의 매개변수를 수동보정방법으로 추정하여 사용하였고 표 3에 사용한 매개변수를 나타내었다.

표 3. 소양강댐유역의 KOWACO 매개변수

유역번호	$K$	$p$	$T_l$	$f_l$	$R_{sa}$	하도번호	$K'$	$p'$	$T_l'$
1	48.55	0.50	2.41	0.50	14.00	1	12.97	0.60	0.05
2	49.14	0.29	1.25	0.50	14.00	2	18.10	0.60	0.05
3	54.92	0.27	1.66	0.50	14.00	3	24.30	0.60	0.08
4	56.03	0.26	1.21	0.50	14.00	4	6.64	0.60	0.02
5	54.57	0.27	1.74	0.50	14.00	5	36.35	0.60	0.12
6	54.36	0.27	0.95	0.50	14.00	6	57.07	0.60	0.21
7	58.27	0.25	0.39	0.50	14.00				
8	52.81	0.28	1.13	0.50	14.00				
9	42.97	0.32	1.62	0.50	14.00				

이상과 같은 관측자료 및 RDAPS 예측자료를 활용하여 소양강댐 상류유역에 대한 RDAPS-KOWACO 유출량 예측을 수행하였다.

통상 KOWACO 모형을 수행하기 위해서는 과거 실측자료와 예측자료가 필요하다. 과거 실측자료로는 강우관측자료, 수위관측자료 및 댐방류량자료 등이 필요하며, 예측자료로는 강우총량(mm), 강우지속시간(hour) 및 강우분포자료가 사용된다. 본 절에서는 이와 같은 자료 중

RDAPS 자료로부터 예측강우자료를 분석하여 입력한 경우 어느 정도까지 유출해석에 기여할 수 있는지 검토하였다. 예측강우가 계산 시작시간부터 비교적 잘 분포된 2003.07.21.12 UTC 적용사례를 선택하여 총 강우량과 지속시간을 결정하였고, 분포형 7가지에 대해 그림 1과 같이 적용하였다. 이때 사용된 예측 총강우량은 99.66mm이고 지속시간은 36시간으로 입력하였다. 이들의 소양강댐 유입량 예측결과는 총 7가지 분포형 중 4가지 경우인 감소형(Decrement), 증가형(Increment), 증가 후 감소형(In/Decrement), 균등형(Rectangular)을 그림 3에 나타내었고, 표 4에 이들에 대한 통계 특성치를 모두 제시하였다. 통계치의 경우 감소형의 상관계수는 0.86이고 rmse는 711.47cms로 본 강우사상에 대한 결과가 가장 좋지 않았으며, 증가 후 감소형의 상관계수는 0.98 rmse는 581.198cms로 가장 근접한 결과가 계산되었다. 따라서 분포형의 선택에 따라 동일한 강우라 하더라도 유출에 미치는 영향이 매우 크게 작용하였다. RDAPS 자료의 활용은 예측강우의 강우총량, 지속기간뿐만 아니라 강우분포형태를 판단할 수 있으므로 이와 같은 분포형 선택에 있어 객관적 자료를 제시할 수 있으리라 사료되며 이로부터 예측 유출량을 산출하여 활용한다면 보다 객관적이고 정확한 평가가 가능하리라 판단된다.

표 4. 예측강우 분포형에 따른 예측 유입량 통계특성치

분포형	cc	rmse (cms)	revd (%)	분포형	cc	rmse (cms)	revd (%)
증가형	0.83	746.56	-53.9	감소-증가형	0.86	754.06	-52.5
감소형	0.86	711.47	-45.9	후반부 집중형	0.92	671.86	-52.5
증가 후 감소형	0.98	581.19	-48.6	전반부 집중형	0.95	669.58	-48.8
균등형	0.98	641.04	-50.9	-	-	-	-

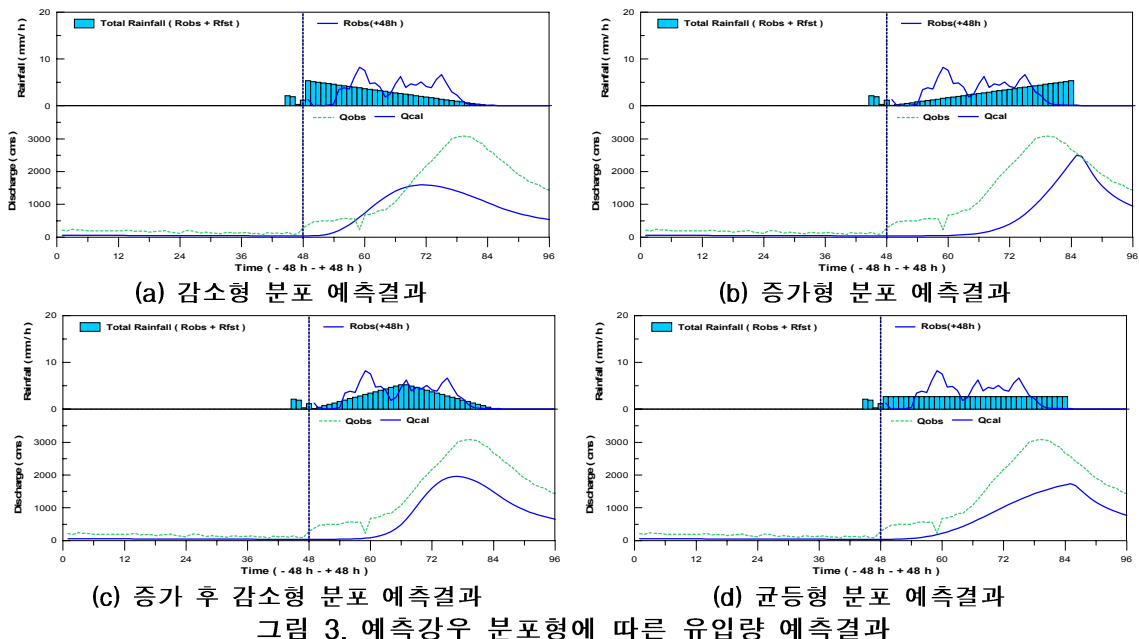


그림 3. 예측강우 분포형에 따른 유입량 예측결과

## 5. 결론

본 연구는 RDAPS-KOWACO 모형의 연계방안을 모색하고 예측강우가 미치는 유출량을 산정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

대상 사례기간인 2003년 7월 18일부터 2003년 7월 24일까지 RDAPS 강우예측자료의 정확도를 평가한 결과 RDAPS 및 AWS MAP 사이의 상관계수는 0.60~0.99의 범위를 보이며, 이에 대응하는 평균제곱오차는 0.0619~5.1627mm의 범위로 나타났다. 이러한 결과는 정성적 측면에서 매우 우수한 정확도를 보이고, 정량적 측면에서도 강수총량이 1mm 이상인 시간대를 기준으로 그 평균제곱오차가 강수총량에 비하여 4.0~12.8% 범위를 보이고 있어 수자원 측면에서 필요한 정량적 성격을 어느 정도 충족시키는 것으로 사료된다.

강수총량과 지속시간을 이용하여 분포형으로 분석한 RDAPS-KOWACO 결합의 사례는 중앙분포형일 경우 상관계수가 0.98, 평균제곱오차가 581.19cms, 유출용적 상대오차가 -48.6%로 가장 실측값에 근접한 경우를 보였다. 이러한 결과는 대상시간에 대한 예측강우의 총량과 지속기간뿐만 아니라 강우분포의 합리적 결정이 하천유출량 예측 정확도의 성패를 좌우하는 것으로 예측강우의 총량과 지속시간의 정보를 RDAPS 예측 결과로부터 산출하여 유입량 예측에 활용한다면 보다 객관적이고 정확한 평가가 가능하리라 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-3-1)에 의해 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사 (2003). 수계별 계절예측강우의 댐운영 적용방안 연구.
2. 배덕효 (1997). “저류함수법을 이용한 추계학적 실시간 홍수예측모형 개발.” 한국수자원학회논문집, 제30권, 제5호, pp. 449-457.
3. Kwon, H. J., Won, S. H., Ahn M.-H., Suh, A.-S. and Chung, H.-S. (2002). “GFDL-Type Typhoon Initialization in MM5.” *Mon. Wea. Rev.*, Vol 130, pp. 2966-2974.