

논유출 특성을 고려한 홍수분석 시스템 개발

Development of Flood Analysis System(FAS) based on runoff characteristics of paddy basin

김 현 영(농진공) · 황 철 상(농진공) · 강 석 만(농진공) · 이 광 야^{*}(농진공)
Kim, hyun·young · Hwang, cheol sang · Kang, seok·man · Lee, kwang ya

Abstract

The existing flood runoff models, Complex Hydrograph and HEC-1, have some problems which do not properly represent runoff characteristics on the Korean paddy basin and their basin slopes. In this study, FAS(Flood Analysis System) was developed in order to supplement those problems, which was built calibrating runoff curve number for paddy basin and applying basin slopes to classify 5 levels. And also the FAS can synthesize the flood hydrographs of subbasin and analyze flood routing along a stream. To verify the applicability of the FAS, the computed flood hydrographs were compared with the observed hydrographs from the four watersheds. In the small basin smaller than 10km², the results of the FAS did not completely agree with the observed ones due to concentration time delay of paddy storage effect while in the medium and large size basin showed good agreements between the observed and computed ones. Therefore, it was concluded that the FAS could be applied for the flood analysis of Korean watershed which was characterized by paddy storage effect.

I. 서론

농업생산기반조성사업에서 중추적 역할을 하는 수리시설물 설계의 가장 중요한 변수는 설계홍수량이다. 설계홍수량은 첨두홍수량과 홍수 Hydrograph의 합리적인 홍수분석을 통하여 산정되는 것으로 수리시설물의 규모 결정에 가장 큰 영향을 미치게 된다. 현재 실무에서 사용되는 홍수분석 방법으로는 HEC-1과 Complex Hydrograph방법을 들 수 있다. 이들 방법들은 미계측 유역에서 단위도를 이용하여 홍수유출량을 산정하는데 우리나라 유역의 중요한 특징중 하나인 논 유출을 고려하지 않고 있으며, 첨두홍수량에 직접 영향을 미치는 유역의 경사도 인자를 고려할 수 없는 단점이 있다(김현영, 1990).

따라서 한국적 지형의 특징인 논유역의 유출을 고려할 수 있고, 사용자의 적용성을 증대시키기 위해 FAS(Flood Analysis System)를 개발하였다. FAS는 입·출력자료의 DB(Data Base)를 기초로 하여 일관된 홍수분석 절차에 따라 대상유역을 논유역과 일반유역(임야나 밭, 논 등이 혼재하는 유역)으로 구분하여 홍수유출량을 산정하며, 필요에 따라서 홍수의 추적과 합성을 거쳐 정확한 홍수유출량을 산정할 수 있는 종합 홍수분석 전산시스템으로서 수리시설물의 계획과 설계 및 유지관리에 활용이 가능하다.

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

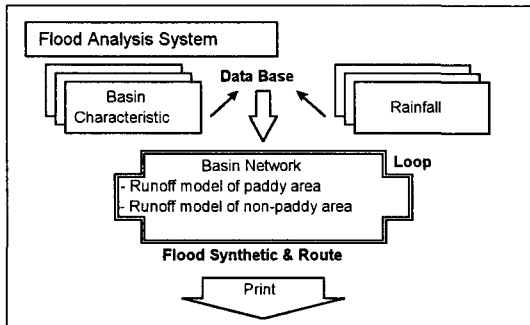
II. 시스템의 구축

1. 기본 시스템의 구성

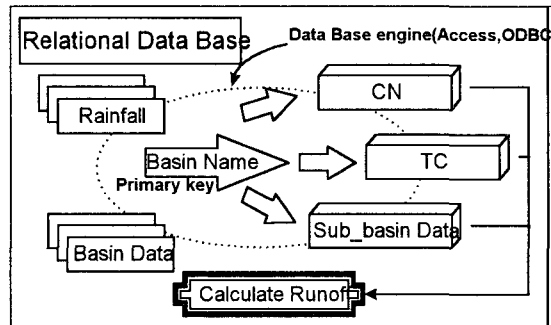
FAS는 <Fig. 1>에서 보는 바와 같이 크게 자료 DB와 수문모형으로 구성된다. 자료 DB에는 유역특성자료 DB, 강우자료 DB 및 출력자료 DB가 있으며, 수문모형은 논(paddy)유역의 홍수유출량 모형과 일반(non-paddy)유역의 홍수유출량 모형이 있다.

2. Data Base 구축

FAS의 입·출력자료는 모두 DB로 관리한다. 이것은 자료의 보존적 측면과 설계변경에 따른 작업 효율성의 제고 및 설계의 신뢰도 향상을 가능케 한다. DB는 관계형 DB를 사용하며 그 구조는 <Fig. 2>에서 보는 바와 같다.



<Fig. 1> Data Flow Diagram(DFD) of FAS



<Fig. 2> Data Base Structure of FAS

3. 홍수유출모형의 구축

가. 논유역의 홍수유출 모형

논으로 구성된 유역의 홍수 유출은 초기손실과 후기유출 및 배수로에서의 저류등으로 인하여 일반유역의 유출특성과는 매우 다르다. 이러한 논유출 특성을 규명하기 위하여 전북 진안에 순수한 논유역으로만 이루어진 곳에 시험포장을 설치하고 1994~1997년까지 3개년 동안 홍수유출량을 측정하여 논의 유출기구를 밝혀거나 배수개선 사업시 배수로 망(Network)의 정확한 설계를 위해 논유역의 유출량을 단일필지의 논과 배수로의 유출량으로 구성하여 연속방정식에 기초한 저류방정식을 간략화시켜 작성한 상세모형과 통상적인 논유역의 홍수유출량을 산정하기 위해 SCS의 유효우량산정을 위한 유출곡선지수 CN을 90으로 보정된 값을 적용하고, 모형의 입·출력자료를 강우량, 유역면적, 유달시간만 입력하므로 매우 간단하게 모형을 운영할 수 있는 광역모형 등 2개의 논유출 모형을 개발하였다.

나. 일반유역의 홍수유출량 모형

논유역이 아닌 산지와 밭이 혼재하는 일반유역의 홍수유출량을 산정하기 위하여 미국 농무성 SCS에서 개발되어 현재 국내 실무에서 널리 사용중인 삼각단위도법을 수정 보완하여 FAS의 일반유역 홍수유출량 모형으로 구축하였다. FAS에 구축된 이 모형은 당초 SCS의 개발이론에 맞추어 유역특성에 따른 단위도를 <Table 1>와 같이 5개로 구분하고 홍수유출량의 계산시간 간격을 유달시간의 함수가 되도록 함으로써 우리나라의 유역특성이 정확히 반영될 수 있도록 하였다.

<Table 1> Peak discharge and base length of unit hydrograph by hydrological condition of runoff basin

Basin characteristics	Peak discharge	Base length	Remark
Mountain area(impervious zone)	$q_p = \frac{0.258 A Q}{t_p}$	$t_b = 2.15 t_p$	$q_p = m^3/s$ $A : km^2$ $Q : 1mm$ $t_p : hr$
Mountain area(pervious zone)	$q_p = \frac{0.233 A Q}{t_p}$	$t_b = 2.34 t_p$	
Moderate slope area	$q_p = \frac{0.208 A Q}{t_p}$	$t_b = 2.67 t_p$	
Low hill area	$q_p = \frac{0.167 A Q}{t_p}$	$t_b = 3.27 t_p$	
Plain & swam area	$q_p = \frac{0.125 A Q}{t_p}$	$t_b = 4.30 t_p$	

다. 유역계획

유역계획은 유역 Network 및 강우자료를 처리하는 두 개의 Procedure로 구성된다. Network Procedure는 소유역의 구분, 홍수유출량의 산정과 합성/추적지점 선정 등 소유역 구성에 따른 분석계획을 수립한다. 강우자료 Procedure는 홍수유출량 산정에 필요한 강우분포율과 설계강우량을 제공한다. 이는 기왕의 연도별 최대 강우량과 IDF곡선(건설부,1988)으로 작성된 DB로부터 추출하여 Gumbel 방법으로 설계강우량을 빈도분석하고 시간적 분포는 FAUST(김현영, 1990)에서 사용된 방법으로 SCS 삼각단위도의 T_p (침투유량 발생시간)를 중심으로 시간분포를 재배치하여 수문모형의 입력자료로 이용하게 된다.

4. 서브시스템의 알고리즘

가. 유출곡선지수(CN)

LAG방법에 의해 유달시간을 산정할 경우와 일반유역 홍수유출량 산정시 잉여강우량을 계산하기 위하여 필요로 되는 CN값은 유역내 토양균별, 수문학적 조건별, 토지이용 종류와 방법에 대한 각각의 세부 유출곡선지수를 구하여 유역면적에 의한 가중평균치를 사용한다.

나. 유달시간(TC) 산정

TC는 SCS, Kripich, Rziha, Kerby, Kravan의 산정공식을 사용하며 사용자의 선택에 따라 산정공식이 호출되어 유로장과 표고를 가지고 계산하게 된다.

다. 설계강우량 및 강우분포율

설계강우량 및 강우분포율은 앞서 유역계획에서 언급한 바와 같다.

라. 홍수 합성/추적

유역 Network에 따라 홍수유출 모형에 의하여 산정된 홍수유출량을 필요에 따라 합성하고 추적하는 모듈이며 홍수유출량의 합성/추적 과정은 다음과 같이 3 가지로 구분된다.

첫째 방법은 유역 Network 상의 홍수유출량 산정지점에서 소유역의 홍수가 발생시간의 차이가 없이 직접 합성되는 경우이다. 둘째 방법은 비교적 하도구간이 짧은 경우에 적용하는 경우로서 홍수가 하류로 전달될 때 하도의 홍수전과 속도만큼 지체되어 합성되는 방법이다. 셋째 방법은 상류에서 하류로 Muskingum법에 의해 홍수를 추적한 후 합성하는 방법이다.

마. 출력

유역 Network에 따라 산정되고 합성/추적된 홍수유출량은 유역명과 소유역명 또는 산정지

검 이름을 가지고 기본자료와 홍수수분곡선 두 가지로 출력된다.

III. 적용성 검토

1. 대상유역

FAS의 적용성을 검토하기 위하여 실측 홍수유출량자료를 보유하는 경기도 안산시의 반월과 광주군의 도척 및 전라북도 정주시 동진강의 신태인과 전주시 만경강의 대천 등 4개의 유역을 대상으로 FAS에 의한 계산치와 실측치간을 비교하고 또한 지금까지 사용해 오던 기존의 Complex hydrograph법에 의한 계산치도 비교 고찰하였다.

<Table 2> Hydrological characteristics of study basin

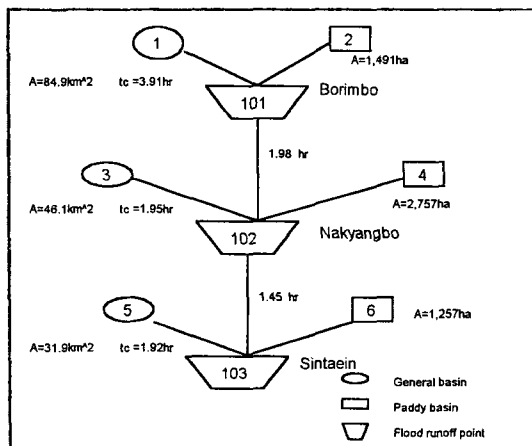
Name	Area(km ²)	Length of basin(km)	Shape factor	CNIII	TC(hr)	Slope of basin	Management Agency
Banwol	2.72	3.8	0.19	88	1.5	Moderate	SNU
Docheok	5.89	3.8	0.45	82	0.9	Mountain	"
Sintaein	218.00	27.5	0.28	89	7.4	Low hill	RDC
Daecheon	809.15	44.6	0.42	89	16.0	Moderate	"

SNU : Seoul National University

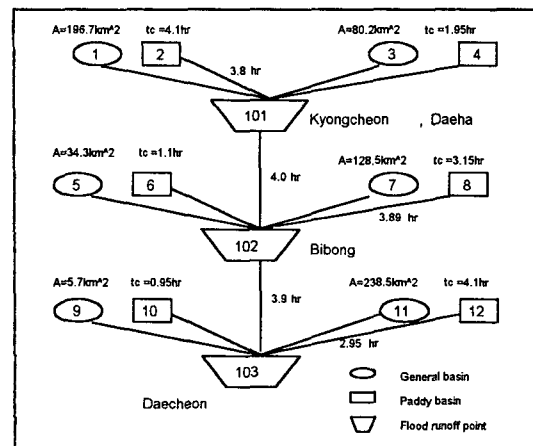
RDC : Rural Development Corporation

대상유역의 실측 홍수유출량 자료로서 반월의 경우는 1986. 7. 16일 강우량 32.1mm에 의해 발생한 홍수유출량자료를 선정하였고, 도척은 1985. 10. 12일 강우량 113.5mm에 의한 자료를, 신태인은 '84. 9. 2일 강우량 113.7mm의한 자료를, 대천은 1985. 7. 7일 강우량 105.2mm에 의한 자료를 대상으로 하였다. 이때의 선행강우조건은 모두 AMCIII로 조사되었다.

FAS의 적용성 검토를 위해 선정된 각 대상유역을 여러개의 집수단위로 논유역과 일반유역을 구분하고 이들을 하천유출순서에 따라 유역계획을 통하여 유역망(Network)을 작성하였다. 그 중 대천과 신태인 지점의 하천망은 <Fig. 3>과 <Fig. 4>에서 보는 바와 같다.



<Fig. 5> Basin network at Sintaein



<Fig. 6> Basin network at Daecheon

2. FAS의 적용

가) 홍수유출량 산정

선정된 4개의 대상유역에 대해 FAS를 이용하여 홍수유출량을 산정하고 실측자료와 비교하였다. 또한 지금까지 널리 사용되어 오던 Complex hydrograph방법에 의해 산정된 홍수유출량도 동시에 비교하였다. 그 결과를 요약하면 <Table 3>에서 보는 바와 같다.

반월유역의 경우 계산값이 실측값에 비해 오차가 크며, 도척유역의 경우도 마찬가지로 실측치와의 오차는 역시 크게 나타나고 있다. 두 유역의 홍수유출량은 추정 모형간에는 상당히 접근 하는 데 비해 실측치와는 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 두 유역이 모두 작은 규모의 소유역이기 때문에 모형에서는 강우에 의한 반응이 민감한 데 반해 실제의 유역은 그렇지 못한 경우로서 유달시간이나 유출곡선지수의 추정이 적절하지 못한 경우라고 풀이된다.

신태인과 대천유역의 경우는 첨두홍수량의 실측치가 각각 377.6m³/s과 1,168.1m³/s 인데 비하여 추정치는 FAS가 387.4m³/s과 1,087.3m³/s, Complex Hydrograph가 461.5m³/s과 830.7m³/s로 나타나므로서 두 유역 모두 FAS가 Complex Hydrograph 보다 실측에 매우 잘 접근하고 있음을 볼 수 있다.

이것은 각 유역의 규모가 각각 218.0km², 809.15km²의 일반적인 배수개선 대상유역에 비취볼 때 중·대규모로서 Complex Hydrograph은 단일유역 개념으로 전체유역을 하나로 간주하여 홍수를 산정하는 데 비하여 FAS는 전체유역을 여러개의 집수단위로 소유역을 구분하여 합성/추적하므로서 실제유달시간의 개념이 모형에 충분히 고려된 것으로 판단되며, 또한 논과 일반유역을 구분하고 유역경사도를 5가지로 구분하여 적용함으로서 유역의 특성을 잘 표현할 수 있었기 때문으로 풀이된다.

<Table 3> Comparison of observed and computed flood runoff

Name	Observed Data		Computed by FAS			Computed by Complex Hydrograph		
	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	RE(%)	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)	RE(%)
Banwol	5.40	0.53	4.63	1.47	177	5.19	1.78	235
Docheok	6.10	11.77	4.59	43.72	271	4.72	44.12	275
Sintaein	15.00	377.60	15.00	387.46	2.6	10.50	461.53	22.2
Daecheon	13.00	1,168.1	16.50	1,087.3	6.9	18.10	830.88	28.8

RE : Relative Error

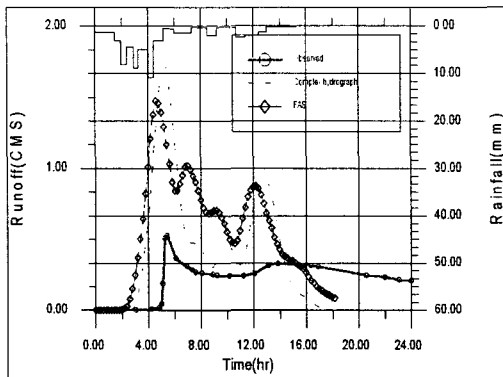
<Fig. 7>, <Fig. 8>, <Fig. 9> 및 <Fig. 10>은 각각 반월, 도척, 신태인, 대천의 실측홍수량 Hydrograph와 모형에 의해 추정된 홍수유출량 Hydrograph를 비교 도시한 것이다.

나) 매개변수의 보정에 의한 홍수분석

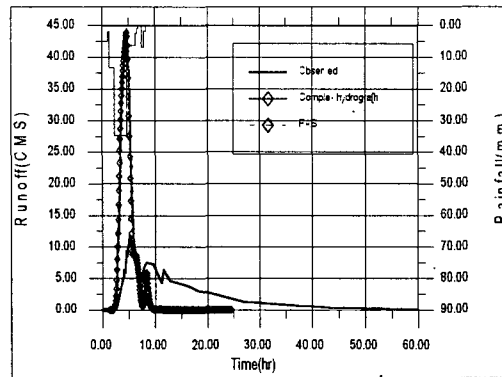
앞의 홍수유출량 산정에서 살펴본 바 유역규모가 중·대규모인 신태인과 대천 유역의 실측 홍수유출량은 FAS에 의한 계산치와 거의 일치하였으나 소규모 유역인 반월과 도척유역의 실측 홍수유출량은 계산치와 큰 차이를 보였다. 따라서 여기서는 반월과 도척 유역에 대하여 TC와 CN을 매개변수로 FAS의 보정을 수행하고 홍수유출량을 산정, 고찰하였다.

반월유역의 경우는 TC를 1.5hr에서 2.0hr로, CN값을 88에서 70, 68, 65로 보정하고, 도척 유역의 경우는 TC를 0.9hr에서 4.5hr로, CN값을 82에서 70, 65로 보정하여 홍수유출량을 산

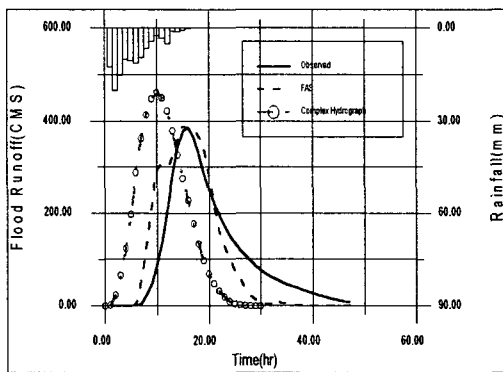
정하고 실측치와 비교하였다. 그 결과 <Table 4>에서 보는 바와 같이 반월유역의 경우는 CN 값이 65이고 TC 2.0hr일 때가 계산치가 실측치에 가장 접근하며, 첨두홍수량의 상대오차나 유출율의 경우도 각각 0.92와 33.1%로서 가장 접근했다. 도척유역의 경우는 CN값이 65이고 TC가 4.5hr일 때가 실측치와 계산치가 가장 접근하며 첨두유출량의 상대오차도 0.96으로서 가장 적고 유출율은 29.3%를 나타냈다.



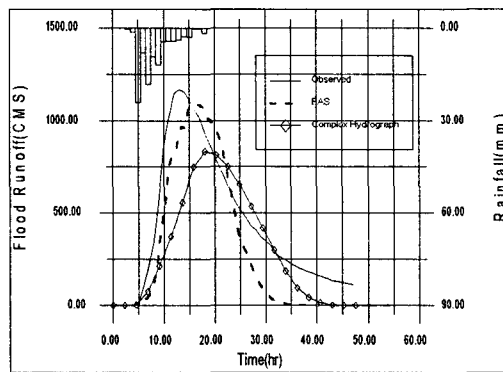
<Fig. 7> Observed and computed hydrographs at Banwol



<Fig. 8> Observed and computed hydrographs at Docheok



<Fig. 9> Obs. and com. hydrographs at Sintaein



<Fig. 10> Obs. and com. hydrographs at Daecheon

<Table 4> Calibration result of FAS at Banwol and Docheok

Name	Calibration parameter	Tp(hr)	Qp(m ³ /s)		Relative error(%)	Runoff ratio(%)
			Observed	FAS		
Banwol	TC 2.0, CN 70	7.20	0.529	0.634	19.8	36.1
	TC 2.0, CN 68	7.20		0.614	16.1	35.8
	TC 2.0, CN 65	7.20		0.485	8.3	33.1
Docheok	TC 4.5, CN 70	5.38	11.770	15.28	29.8	36.9
	TC 4.5, CN 65	6.58		11.26	4.3	29.3

IV. 요약 및 결론

우리나라 유역의 대표적 특성인 논 유역의 홍수유출 특성을 고려한 홍수분석시스템을 개발하고 실측자료에 의해 검증하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

① FAS는 논유역의 홍수유출량 산정모형과 일반유역의 홍수유출량 산정모형, 이들의 추적·합성 모형 및 입·출력자료의 DB로 구성하여 집수유역 단위의 소유역이 여러개로 구성되는 유역망(Network)에 따라 논유역과 일반유역을 구분하여 홍수유출량을 산정하고 하천에 연하여 합성·추적이 일괄처리 되도록 하였다.

② FAS의 적용성을 검토한 결과 유역면적이 약10km² 이하의 소규모일 때는 유역내 논이 차지하는 비율에 따라 홍수유출 양상이 크게 달라지며, 실측치에 비해 첨두홍수량이 크고 기저시간이 짧게 나타나는 경향이 있었다.

③ FAS를 이용하여 소규모 유역의 홍수분석시 유역내 논이 차지하는 비율이 30% 미만일 때는 유달시간(TC)은 계산시간의 4~5배로 적용하고, 유출곡선지수(CN)는 AMCⅡ의 조건으로 적용한 경우와 논이 차지하는 비율이 30% 이상일 때 TC는 논에서의 지체시간을 고려하여 계산치에 0.5~1.5시간을 더하고 CN은 AMCⅡ조건을 적용한 결과 실측치와 유사한 홍수수문곡선을 얻을 수 있었다.

④ 중·대규모 유역인 경우 본 FAS의 결과가 실측치에 잘 접근하였으므로 홍수분석에 유용하게 적용할 수 있는 것으로 판단된다.

⑤ 향후 이 시스템은 배수문 조작과 배수의 영향도 고려할 수 있도록 추진되어야 한다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 1988, 한국확률강우량도의 작성, 한국건설기술연구원
2. 권순국, 고덕구, 1988, 산지 소유역의 홍수유출 예측을 위한 모의 발생 수문모형의 개발, 한국농공학회지 30(3), 58-68
3. 김현영, 1990, FAUST에 의한 홍수분석, 농업진흥공사
4. 박승우, 임상준, 서영제, 1997, 논이 유출곡선번호 연구, '96분과위원회 연구과업 보고서, 한국수자원학회 학술 및 기술위원회, 4-1~4-22.
5. 안상진, 이은한, 1986, 미계측 소하천유역의 합성단위도 유도, 한국수문학회지, 1986. 6
6. 이순혁, 1983, 강우-유출해석의 기초와 응용(Ⅱ), 한국농공학회지, 제25권 제1호
7. 이홍래, 이종국, 서병하, 1989, 설계홍수량 산정을 위한 합성단위유량도의 개발, 한국수자원학회지 22(4)
8. 한국지방행정연구원, 1996, 강우에 의한 유출량 산정모형
9. French, R.H, 1985, Open channel hydraulics, McGraw-Hill
10. Hjelmfelt, A.T., 1991, Investigation of curve number procedure, ASCE, J. Hydr. Eng., 117(6), 725-737.
11. Hoggan, D .H., 1989, Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics, McGraw-Hill Book, 55
12. Hydrologic Engineering Center, HEC-1, 1990, Flood Hydrograph Package, U.S. Army corps of Engineers