

설계홍수량 산정에 따른 임계지속시간의 적용성에 관한 연구

A Study on the application of Critical Rainfall Duration for the Estimation of Design Flood

장 성 모* / 강 인 주** / 이 은 태***
Chang, Seong Mo / Kang, In Joo / Lee, Eun Tae

:: Abstract ::

In recent, the critical rainfall duration concept is widely used but we do not have understandable criteria yet. However, the critical rainfall duration is usually calculated considering concentration time, runoff model using effective rainfall, and unit hydrograph for the estimation of design flood. This study is to derive the regression equations between the critical rainfall duration and hydrologic components such as the basin area, slope, length, CN, and so on. We use a GIS tool which is called the ArcView for the estimation of hydrologic components and the HEC-1 module which is provided in WMS model is used for the runoff computation. As the results, the basin area, basin slope, and basin length had a great influence on the estimations of peak runoff and critical rainfall duration. We also investigated the sensitivities for the peak runoff and critical duration of rainfall from the correlation analysis for the involved components in the runoff estimation.

Keyword: Critical rainfall duration, Design floods, Probability rainfall, Concentration time

:: 요 지 ::

임계지속시간의 산정은 유효우량 산정과 단위 유량도 및 강우분포를 이용한 유출모형 그리고 도달 시간등을 고려하여 산정하도록 되어 있으나 기저유출에 대한 자료가 절대적으로 부족하여 SCS 유효우량 선정법과 빈도 분석을 통한 확률강우량과 단위도법을 이용한 방법을 사용하고 있다. 최근의 수문실무에 있어서 설계홍수량의 산정에 있어서 임계지속시간의 개념이 사용되고 있으나 명확한 기준이 없어 무작위적으로 사용되고 있는 실정이다.

* 정회원·(주)건일엔지니어링·공학석사E-Mail: lordchang@hanafos.com

** 정회원·(주)건일엔지니어링 상무이사·공학박사E-Mail: ij_kang@yahoo.co.kr

*** 경희대학교 토목건축공학부 교수·공학박사E-Mail: etlee@khu.ac.kr

따라서 본 연구는 치수목적의 설계홍수량 산정에 있어서 여러 가지 수문학적인 인자에 따른 임계지속시간의 변화를 파악하여 적용성을 알아보고 이에 맞는 회귀식을 산출하여 수문인자에 따른 편차를 정량화하여 실무의 수문설계에 적용이 용이하도록 하는데 목적이 있다. 본 연구에서 유역특성인자와 CN값 산정에는 GIS프로그램인 ArcView를 이용하여 산출하였으며 유출계산은 WMS Model에서 제공하는 HEC-1 Module을 이용하여 본 연구를 시행하였다. 또한 확률강우량의 재현기간, 강우의 시간적 분포특성, 유역의 모양 및 토지이용 특성과 도달시간의 변화에 따른 임계지속시간의 변동 추이를 살펴보고 이를 정량적으로 분석하여 각 인자간의 상관관계를 알아보았다. 그 결과를 살펴보면 형상계수, 유역평균고도, CN값은 침투 유출량 및 임계지속시간 산정에 있어 그다지 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으며 유역면적, 유역경사, 하천연장에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 상관계수의 산정결과 재현기간과 강우분포에 대해서는 침투 홍수량이, 도달시간과 선행토양함수조건에 대해서는 임계지속시간이 좀 더 영향을 받는 것으로 나타났다.

핵심용어: 임계지속시간, 설계홍수량, 확률강우량, 도달시간

1. 서 론

임계지속시간에 관한 연구는 주로 침투 유출량에 대한 연구가 주를 이루고 있다. Meylink와 Cordery(1976)의 단위 유량도를 이용한 임계지속시간 연구와 Serphenson과 Meadows(1986), Chen과 Wong(1994)의 운동과 이론을 이용한 임계지속시간 유도, 그리고 Schmid(1997)의 비선형적인 유출현상 해석을 통한 임계지속시간 산정등의 연구가 비교적 오래 전부터 수행되어온 외국에 비해 국내는 '90년대초부터 본격적으로 이루어졌으며 그중 설계강우에 의해 발생하는 유출량이 강우의 시간적 분포에 따라 변화되는 점을 고려하여 기존의 홍수도달시간을 설계 강우의 지속 기간으로 설정하는 고전적인 개념에서 벗어나 설계하고자 하는 수공구조물의 특성에 따른 설계유출량을 파악하고자 하는 개념(심재현 등, 1998)과 수문요소별로 임계지속시간에 대하여 민감도분석을 수행한 성과(문장원 등, 2002)들을 찾을 수 있다. 하지만 이러

한 성과들은 임계지속시간과 이로써 산정되는 계획홍수량에 있어서 어떤 수문요소가 얼마만큼의 영향을 갖는지에 대한 명확한 지표를 제시하지 못하고 있다.

본 연구에서는 임계지속시간에 영향을 미치는 지형학적인 특성을 규명하고 이들 지형학적 특성들과 임계지속시간이 어떤 함수관계가 있는가를 규명함으로써 임계지속시간 산정에 관한 방법을 제시하는데 있다. 이들 지형학적인 인자들로는 유역면적, 하도길이, 유역경사, 형상계수, 하도경사 등이 있으며 이들을 대상으로 임계지속시간과의 상관관계를 도출하는데 본 연구의 목적이 있다. 따라서 임의의 대상지역에 대하여 유역별 특성을 분석하고 인자별 상관관계 분석을 통하여 임계지속시간의 산정에 신뢰성을 부여하고자 하였다. 본 연구에서 사용된 임계지속시간의 결정방법은 각각의 강우 지속기간을 변화시켜 유출계산을 시행한 후 최대값을 보이는 지속기간을 임계지속시간으로 결정하는 방법을 사용하였으며 유역인자 계산에는 WMS Model을 사용하였으

며 유출계산에는 WMS Model에서 제공하는 HEC-1 Module을 이용하였다.

2. 유역의 수문지형학적 특성인자 결정

본 연구는 남한강 수계 1차 지류인 양화천 유역의 9개 지점을 대상유역으로 선정하여 지형학적인 인자를 구해내었으며 대상유역의 유역특성인자는 Arc-View 3.2a 와 WMS 6.1을 연계하여 산출해 내었다.

2.1 강우자료의 구축 및 검증

양화천유역에 대한 강우자료를 구축하기 위하여 유역내 강우관측소로부터 강우자료를 구하고, 이에 대한 적절한 확률분포형을 결정하기 위해 Gamma분포형, Gumbel분포형, GEV 분포형, Log-normal분포형, Log-Gumbel분포형, Log-pearson TypeIII분포형, Weibull 분포형 등의 확률분포형에 대한 적합성 검토 결과 Gumbel분포형이 최적의 확률분포형으로 채택되었고 이에 대한 확률강우량을 면적우량으로 환산하기 위해 “1999년도 수자원 관리기법개발연구조사보고서(건교부)”에 제시된 방법에 의해 면적우량 환산계수를 얻어내고, 이에 확률강우량을 곱하여 면적우량을 산출하였다. 이렇게 계산된 재현기간별 지속

기간별 확률강우량을 시간분포시키기 위하여 이천지방의 Huff - 무차원 우량주상도를 회귀곡선으로 재결정하여 산출된 회귀식에 적용하여 Huff의 각 분위별 시우량을 결정하였다.

2.2 유역특성인자의 산출

유역특성인자를 산출하기 위하여 국립지리원에서 발행한 1:25000 축척의 수치지도로부터 양화천 유역의 DEM을 구축하였고 이를 이용하여 각 소유역의 지형학적 특성인자를 결정하였다.

또한 유역의 유출곡선지수(CN)를 산정하기 위하여 개략토양도를 이용하여 토양종류에 대한 토양레이어를 구축하고, 위성영상자료의 영상분류를 통하여 토지이용 레이어를 구축하였다. 이들 자료를 오버레이시켜 각 소유역별 유출곡선지수를 산정하였다. 다음은 양화천유역 각 지점의 유역특성인자를 나타내고 있다.

2.3 유출량 및 임계지속시간의 산출

유출량을 산정하기 위하여 WMS Model을 이용하여 산출한 유출곡선지수로부터 각각의 선행함수 토양조건을 적용시켜 각각의 도달시간 공식에 맞추어 유출량을 산정한 후 이들 유출량중 가장 값이 큰 침투유출량이 나타난

표 1. 면적평균우량

	면적평균우량 (mm)								비고
	30분	1시간	2시간	3시간	6시간	12시간	18시간	24시간	
2년	12.39	33.57	47.24	55.73	77.94	110.48	128.39	143.03	
3년	14.07	38.60	53.36	62.11	88.13	129.63	151.42	170.39	
5년	15.98	44.10	60.24	69.06	113.66	147.65	173.77	201.78	
10년	18.35	51.05	68.53	77.13	126.88	172.57	208.69	241.69	
20년	20.51	57.67	76.18	84.87	134.35	196.23	240.03	281.11	
30년	21.92	61.37	80.64	94.41	143.87	209.70	256.59	304.07	
50년	23.47	66.09	86.20	97.87	149.78	226.89	276.35	333.70	



그림 1. 소유역의 유역인자

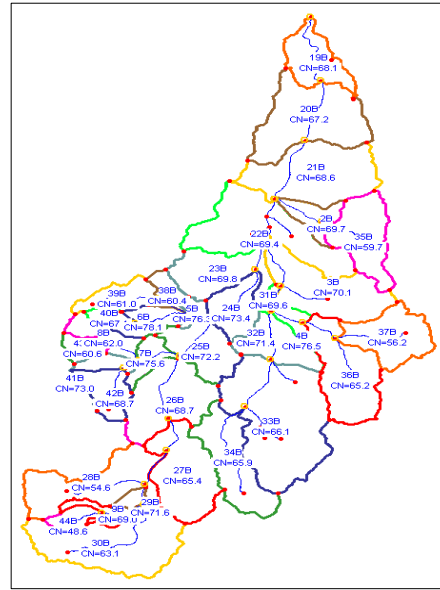


그림 2. 소유역별 유출곡선지수

지속시간을 임계지속시간으로 산정하였다. 유출량을 구하여 본 결과 강우의 시간분포는 Huff의 3분위, 선형 토양함수는 AMC-III조

건, 그리고 도달시간은 Kraven공식, Clark법을 적용시켰을 때 가장 큰 첨두 유출량이 발생하는 것으로 나타났다.

표 2. 홍수량 산정방법에 따른 첨두 유출량과 임계지속시간

양화천		Snyder		SCS		Clark	
		유출량	임계	유출량	임계	유출량	임계
AMC3	50년빈도	1126.58	18	1124.91	18	1371.19	15
	30년빈도	1030.16	18	1029.01	18	1264.43	24
	20년빈도	952.04	18	950.88	18	1135.12	15

표 3. 50년 빈도의 첨두 유출량과 임계지속시간

양화천	50년 빈도	Huff1		Huff2		Huff3		Huff4	
		유출량	임계	유출량	임계	유출량	임계	유출량	임계
AMC3	Kirpich	908.79	25	1010.93	25	1059.74	19	1080.5	25
	Kraven	1218.72	25	1323.34	15	1371.19	15	1366.09	25
	Rziha	1214.44	25	1318.65	15	1367.22	15	1364.01	25

표 4. 30년 빈도의 첨두 유출량과 임계지속시간

양화천	30년 빈도	Huff1		Huff2		Huff3		Huff4	
		유출량	임계	유출량	임계	유출량	임계	유출량	임계
AMC3	Kirpich	811.7	26	908.09	25	956.95	18	977.57	25
	Kraven	1087.84	25	1187.61	15	1236.38	15	1264.43	24
	Rziha	1084.28	25	1183.66	15	1232.97	15	1261.74	24

표 5. 20년 빈도의 침투 유출량과 임계지속시간

양화천 20년 빈도		Huff1		Huff2		Huff3		Huff4	
		유출량	임계	유출량	임계	유출량	임계	유출량	임계
AMC3	Kirpich	733.33	25	825.67	25	875.25	18	894.87	25
	Kraven	983.6	25	1085.81	15	1135.12	15	1134.49	18
	Rziha	980.62	25	1082.4	15	1132.14	15	1132.33	25

표 6. 유역특성인자 값과 유출량 및 임계지속시간 (50년 빈도)

하천명	유역 면적	유역 경사	형상 계수	유역평균 고도	최대 흐름길이	하천 연장	CN값	침투 유출량	임계 지속시간
양화천	183.82	0.0600	2.45	77.63	5.08	29.81	82.69	1371.19	900min
매류천	8.66	0.0708	3.22	77.33	4.05	3.30	80.71	170.30	120min
대신천	58.53	0.0632	3.01	79.73	5.29	13.95	83.39	621.48	720min
안금천	16.81	0.0969	5.11	92.31	4.62	5.33	81.36	228.05	420min
해룡천	9.50	0.0516	3.32	74.45	2.79	4.70	81.39	136.33	360min
대흥천	4.24	0.0430	4.04	75.25	2.98	2.32	85.78	73.19	60min
도리천	10.70	0.0446	3.51	73.81	3.05	3.13	85.77	156.07	360min
초지천	3.84	0.0873	3.19	88.75	2.71	1.94	78.46	66.96	120min
송곡천	4.14	0.1671	4.61	130.54	3.04	4.00	76.08	57.16	120min

표 7. 유역특성인자 값과 유출량 및 임계지속시간 (30년 빈도)

하천명	유역 면적	유역 경사	형상 계수	유역평균 고도	최대 흐름길이	하천 연장	CN값	침투 유출량	임계 지속시간
양화천	183.82	0.0600	2.45	77.63	5.08	29.81	82.69	1264.43	1440min
매류천	8.66	0.0708	3.22	77.33	4.05	3.30	80.71	153.48	120min
대신천	58.53	0.0632	3.01	79.73	5.29	13.95	83.39	567.50	720min
안금천	16.81	0.0969	5.11	92.31	4.62	5.33	81.36	208.79	420min
해룡천	9.50	0.0516	3.32	74.45	2.79	4.70	81.39	125.43	360min
대흥천	4.24	0.0430	4.04	75.25	2.98	2.32	85.78	65.26	120min
도리천	10.70	0.0446	3.51	73.81	3.05	3.13	85.77	143.51	360min
초지천	3.84	0.0873	3.19	88.75	2.71	1.94	78.46	60.49	120min
송곡천	4.14	0.1671	4.61	130.54	3.04	4.00	76.08	51.18	120min

표 8. 유역특성인자 값과 유출량 및 임계지속시간 (20년 빈도)

하천명	유역 면적	유역 경사	형상 계수	유역평균 고도	최대 흐름길이	하천 연장	CN값	침투 유출량	임계 지속시간
양화천	183.82	0.0600	2.45	77.63	5.08	29.81	82.69	1135.12	900min
매류천	8.66	0.0708	3.22	77.33	4.05	3.30	80.71	140.08	120min
대신천	58.53	0.0632	3.01	79.73	5.29	13.95	83.39	524.70	720min
안금천	16.81	0.0969	5.11	92.31	4.62	5.33	81.36	193.20	420min
해룡천	9.50	0.0516	3.32	74.45	2.79	4.70	81.39	116.68	360min
대흥천	4.24	0.0430	4.04	75.25	2.98	2.32	85.78	60.70	120min
도리천	10.70	0.0446	3.51	73.81	3.05	3.13	85.77	133.44	360min
초지천	3.84	0.0873	3.19	88.75	2.71	1.94	78.46	55.36	120min
송곡천	4.14	0.1671	4.61	130.54	3.04	4.00	76.08	46.44	120min

3. 상관관계 분석

3.1 상관관계 분석 방법의 정의

유출량 및 임계지속시간에 영향을 미치는 인자들을 판별하기 위해 민감도 분석을 실시하였으며 민감도 분석에서 정해진 인자를 가지고 상관관계를 분석하였다. 상관관계분석은 측정단위가 서로 다른 두 자료간의 관계를 나타내는 척도로 두 자료집합의 공분산을 각 자료의 표준편차의 곱으로 나누어 그 값을 구한다. 상관분석을 사용하면 두 자료의 범위가 함께 변화하는 정도를 알 수 있다. 즉 한 집합의 데이터 값이 증가하면 다른 집합의 데이터 값도 증가하는지(양의 상관관계수), 두 집합의 데이터 값이 서로 아무 관련이 없는지(상관계수가 0에 가까움)를 알아볼 수 있다. 상관계수 r 은 $-1 \leq r \leq +1$ 의 값을 갖고 측정된 자료가 좌표 상에 정의의 기울기를 갖는 직선에 가깝다면 그 때의 상관계수는 정(+)이고 음의 기울기를 갖는 직선에 가깝다면 음(-)의 상관계수를 갖는다. 그리고 선형의 상관관계를 갖지 않는 경우 상관계수는 0에 가까워진다. 변수간의 상관관계의 계수(r)의 절대값이 1.00이면 완전한 상관관계, 0.99이면 매우 높은 상관관계, 0.70~0.80이면 상관관계가 높다고 말할 수 있으며, 0.50~0.60이면 보통 정도의 상관관계 그리고 0.40이하면 약한 상관관계가 있다고 할 수 있다.

3.2 상관관계 분석 결과

3.2.1 유역인자와 유출량간의 상관계수 산출

유역면적, 유역경사, 형상계수, 유역평균고

도, 하천연장, CN값 등의 지형학적인 인자와 산출된 침투 유출량간의 상관관계 분석을 위하여 상관계수를 산출하여 보면 유역면적과 하천연장이 상관계수가 가장 컸고 나머지 인자들은 상관계수가 0에 가까운 값을 갖거나 음의 값을 갖으면서 0에 가까운 값을 갖는 것으로 나타났다. 아래 표에서 확인할수 있듯이 빈도별로 유역면적은 0.993, 0.993, 0.992로 나타났고, 하천연장은 0.994, 0.995, 0.994의 값을 갖는 것으로 나타났다. 이는 다른 인자들에 비하여 유출량과 유역면적 및 하천연장이 매우 밀접한 상관관계를 갖고 있다는 것을 나타낸다.

3.2.2 유역인자와 임계지속시간간의 상관계수 산출

유역면적, 유역경사, 형상계수, 유역평균고도, 하천연장, CN값 등의 지형학적인 인자와 산출된 임계지속시간간의 상관관계 분석을 위하여 상관계수를 산출하여 보면 유출량과 마찬가지로 유역면적과 하천연장이 상관계수가 가장 컸고 나머지 인자들은 상관계수가 0에 가까운 값을 갖거나 음의 값을 갖으면서 0에 가까운 값을 갖는 것으로 나타났다. 아래 표에서 확인할수 있듯이 유역면적은 0.856, 0.969, 0.864로 나타났고, 하천연장은 0.892, 0.976, 0.899의 값을 갖는 것으로 나타났다. 이는 다른 인자들에 비하여 유출량과 유역면적 및 하천연장이 매우 밀접한 상관관계를 갖고 있다는 것을 나타내며 침투 유출량보다 임계지속시간이 이들 인자의 변화에 더욱 민감한 모습을 보인다는 것을 나타낸다.

표 9. 50년 빈도의 특성 인자간 상관계수 산정 결과

구분	유역 면적	유역 경사	형상 계수	유역 평균 고도	하천 연장	CN 값
	A(km ²)	-	-	(m)	(Km)	-
첨두 유출량	0.993	-0.232	-0.583	-0.251	0.994	0.221
임계지속시간	0.856	-0.280	-0.474	-0.294	0.892	0.305

표 10. 30년 빈도의 특성 인자간 상관계수 산정 결과

구분	유역 면적	유역 경사	형상 계수	유역 평균 고도	하천 연장	CN 값
	A(km ²)	-	-	(m)	(Km)	-
첨두 유출량	0.993	-0.232	-0.582	-0.251	0.995	0.221
임계지속시간	0.969	-0.269	-0.529	-0.278	0.976	0.276

표 11. 20년 빈도의 특성 인자간 상관계수 산정 결과

구분	유역 면적	유역 경사	형상 계수	유역 평균 고도	하천 연장	CN 값
	A(km ²)	-	-	(m)	(Km)	-
첨두 유출량	0.992	-0.234	-0.583	-0.253	0.994	0.225
임계지속시간	0.864	-0.309	-0.472	-0.316	0.899	0.346

표 12. 특성 인자간 상관계수 산정 결과

구분	유역 면적	유역 경사	형상 계수	유역 평균 고도	하천 연장	CN 값
	A(km ²)	-	-	(m)	(Km)	-
첨두 유출량	0.988	-0.231	-0.580	-0.250	0.990	0.221
임계지속시간	0.886	-0.277	-0.485	-0.286	0.908	0.297

4. 결 론

본 연구에서는 임계지속시간과 관련된 여러 가지 매개변수의 가중치를 알아보기 위하여 재현기간, 강우분포형, 선행토양함수조건 및 도달시간별 임계지속시간과 첨두홍수량에 대한 민감도 분석과 상관계수분석을 실시하였고 그에 대한 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

임계지속시간을 산정하여 본 결과 형상계수, 유역평균고도, CN값은 첨두 유출량 및 임계지속시 산정에 있어 그다지 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으며 유역면적, 유역 경사, 하천연장에 큰 영향을 받는 것으로 나

타났다. 또한, 유역면적이 크고 하천연장이 길수록 계산값과 예측값의 오차가 적은 것으로 나타났다. 상관계수의 산정결과 재현기간과 강우분포에 대해서는 첨두홍수량이, 도달시간과 선행토양함수조건에 대해서는 임계지속시간이 좀더 영향을 받는 것으로 나타났다. 이에 보다 합리적인 유역의 임계지속시간 및 첨두홍수량을 결정하기 위해서는 유역의 토양함수상태를 분류하는 기준이 되는 5일 선행 강수량의 정확한 판단과 성수기, 비 성수기의 정확한 구분에 의한 CN의 산정이 가장 중요한 것으로 나타났고 두 번째로 유역의 유로연장과 평균경사를 정확히 고려한 합리적인 도

달시간 산정공식을 사용해야 하고 세 번째로 유역의 강우특성에 맞는 정확한 강우분포형의 사용이 우선이 되어야 할 것이다. 앞으로 연구의 궁극적인 결과로서 동일한 유역에서 각각의 인자들을 변화시켜 침투홍수량 및 임계지속시간에 어떤 영향을 미치는지 분석하여 보고 본 연구에서 알아본 상관계수를 이용하여 각 인자간의 가중치를 이용하여 다변량 상관분석을 통한 중회귀 분석을 실시하면 임계지속시간 산정에 있어서 명확한 지표를 산정할 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

1. 서규우, 조원철(1998) 유역특성 변화에 따른 도시유출모형의 매개변수 민감도 분석(I). 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제31권 3호 pp. 243252.
2. 서규우, 허준행(1998) 유역특성 변화에 따른 도시유출모형의 매개변수 민감도 분석(II). 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제31권 3호 pp. 253267.
3. 심재현, 조원철(1998a) 홍수도달시간과 임계지속시간의 개념비교(1). 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제31권 5호, pp. 115130.
4. 심재현, 조원철(1998b) 홍수도달시간과 임계지속시간의 개념비교(2). 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제31권 6호, pp. 6067.
5. 심재현, 조원철(1998c) 홍수도달시간과 임계지속시간의 개념비교(3). 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제32권 1호, pp. 127132.
6. 건설교통부(2000) 1999년도 수자원관리기법 개발연구조사 보고서.
7. 문장원, 정성원, 김동필(2002) 설계강우의 임계지속시간에 대한 수문요소별 영향 분석. 2002년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집 (I), 한국수자원학회, pp. 8691.
8. Mc Cuen, R.H.(1973) The role of sensitivity analysis in hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, vol 18, pp. 3753.
9. Maylink, W.J.C & Cordery, M.I.(1976) Critical duration of rainfall for flood estimation. *Water Resources Research*, vol 12, No.6. pp. 12091214.
10. Mein, R.G & Brown, B.M(1978) Sensitivity of optimized parameters in Watershed Models. *Water Resources Research*, vol 14, No.2, pp.299303.
11. Burke, C.B & Gray, D.D(1980) Duration and temporal distribution of storms in urban drainage design. *International Symposium on Urban Storm Runoff*.
12. Lemmer, H.R & A, Ramachandra Rao(1983) Critical Duration analysis and parameter estimation in ILLUDAS. *Purdue University Water Resource Research Center*, West Lafayette Indiana.
13. Chen, C.N & Wong, T.S.W(1994) Critical duration for maximum discharge from overland plane. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, vol 119, No.9, pp.10401045.
14. Daniel H. Hoggan(1996) *Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics*. McGraw-Hill.
15. Schmid, B.H(1997) Critical rainfall duration for overland flow from an infiltrating plane surface. *Journal of Hydrology*, 193, pp.4560.