



홍수도달시간과 임계지속시간의 개념 비교(Ⅲ)

심재현 (국립방재연구소 방재연구원)

조원철 (연세대학교 토목공학과 교수)

· 차 례 ·

1. 머리말
2. 홍수도달시간에 대한 고찰
 - 2.1 유역반응시간의 개념
 - 2.2 유역반응시간의 개념확립
 - 2.3 홍수도달시간 공식 검토
 - 2.4 홍수도달시간 공식의 표준화
 - 2.5 비교고찰
3. 임계지속시간에 대한 고찰
 - 3.1 임계지속시간의 개념
 - 3.2 임계지속시간의 기준별 특성분석
 - 3.3 임계지속시간의 개념 표준화
 - 3.4 비교고찰
4. 실제 유역에의 적용
 - 4.1 적용 유역특성
 - 4.2 홍수도달시간 적용결과
 - 4.3 임계지속시간 적용결과
 - 4.4 비교고찰
5. 결 론

4. 실제 유역에의 적용

본고에서는 기존의 최종 협의를 마친 재해영향평가서들을 살펴보고 이 중에서 임계지속시간의 개념을 적정하게 나타낸 여러 평가서 중 하나의 사례를 기준으로 그 내용을 적용하였다.

4.1 적용 유역특성

대상 유역은 재해영향평가제의 대상사업중 산지개발사업으로서 총 유역면적은 854,983m²이며, 개발사업지구내 능선에 의해 I, II 유역으로 구분하였다. 사업의 구체적인 내용으로는 스키장과 골프장 사업을 위한 체육시설과 숙박시설을 가진 레저타운이며, 사업지구의 유역도를 그림으로 나타내면 아래의 그림과 같다.

4.2 홍수도달시간 적용결과

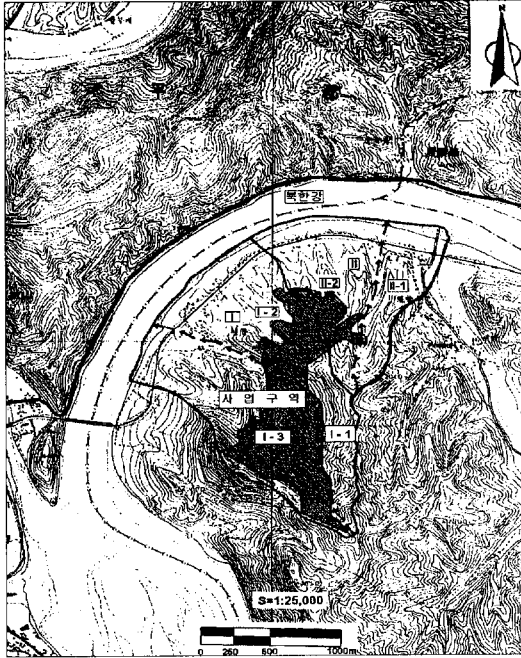
해당 유역에 대한 기존의 홍수도달시간을 적용한 결과는 아래의 표와 같으며, 본 사업구간에 대해 소유역별 홍수도달시간을 산정하기 위하여 대상유역을 2개의 소유역으로 세분하고 세가지 공식을 적용하였으며, Rziha공식에 의한 결과가 가장 짧게 나타났으며, Kerby공식에 의한 결과가 가장 크게 산정되었다.

그러나 실제 대상지역이 산지임을 감안할 때 자연하천에 적용가능한 Rziha공식이나 Kerby공식에 비해 Kirpich공식이 타당하다고 판단되어 유출모형에 적용되는 도달시간을 Kirpich공식에 의한 결과를 사용하였다.

또한 사업지구에 대한 설계호우는 개발중과 개발후의 상태가 개발이전의 상태를 유지해야 한다는 재해영향평가제의 취지에 맞추어 농업용 시설의 최대 설계빈도인 50년으로 설정하였다.

4.3 임계지속시간 적용결과

전술한 바와 같이 임계지속시간은 대상 수공구조물의 목적에 따라 변화될 것으로 예상되므로, 유출량의 재해영향저감대책인 저류지와 방류공의 설계기준을



〈그림 1〉 적용 대상사업지구 유역도

설정하기 위한 총유출량과 첨두유량에 대해 각각 임계지속시간을 설정하여 비교하였다.

가) 지속시간별 총우량의 산정

임계지속시간을 결정하기 위해서는 설계빈도의 강우강도식을 강우의 지속시간에 따라 변화시키면서 첨두유량이 최대가 되는 지속시간을 파악하는 작업이

표 1. 전체유역에 대한 도달시간 산정결과

	유로연장 (km)	경사	도 달 시 간		
			Rziha공식	Kirpich공식	Kerby공식
I 유역	2.564	0.129	7.30	18.06	32.09
II 유역	1.548	0.110	4.85	13.02	28.20

표 2. 임계지속시간 산정을 위한 지속시간별 총우량

강우강도식	지속시간별 총우량(mm)									
	단기간	10분	20분	30분	40분	50분	1시간	2시간	3시간	4시간
$\frac{441.69200}{\sqrt{t}-0.84021}$		31.70	40.53	47.63	53.69	59.07	63.96	87.34	105.36	120.58
$\frac{405.9536}{t^{0.47680}}$		147.16	159.52	171.06	181.93	192.24	211.49	229.25	261.46	303.93

필요하며, 강우의 지속시간에 따른 총강우량을 산정하여야 한다.

다음의 표는 해당 사업의 설계빈도인 재현기간 50년의 강우강도식을 적용한 지속시간별 총우량을 나타낸 것이다.

임계지속시간을 산정하기 위해 사용한 강우의 지속시간은 아래와 같으며, 지속시간 6시간을 기준으로 분리하여 유도한 확률강우강도식을 적용한 결과이다.

나) 지속시간별 유효우량의 산정

설정된 지속시간별 총우량이 해당 유역에서 발생하였을 경우 유출량에 직접적으로 기여하는 유효우량(effective rainfall)을 산정하기 위하여 전술한 바 있는 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service)의 유효강우량 산정법을 사용하여 지속시간별 유효우량을 구하였으며, 그 결과는 아래의 표와 같다.

표의 내용은 유효우량의 변화에 직접적인 영향을 미치는 인자는 토지이용도이므로, 개발 전, 중, 후의 토지이용도를 고려하여 설계빈도 50년의 강우에 대한 유효우량을 산정한 것이다.

다) 유출모형에의 적용결과

이와 같이 산정된 유효우량을 Huff의 4분위중 해당 사업지역내 강우사상 중 가장 발생할 확률이 높은 제2분위를 적용하여 지속시간내에서 강우를 분포시켰으며, 강우-유출모형 중 가장 큰 값을 보이고 있는 것으로 나타난 SCS의 합성단위도법에 적용하였다.

산정된 수문곡선 중에서 재해영향평가제에서 가장 중요한 설계인자인 첨두유량과 총유출량을 개발 전, 중, 후와 강우의 지속시간에 따라 비교한 것이 아래의 표이다.

특히 첨두유량과 총유출량의 비교표에서 해당 지속시간이 개발 전, 중, 후의 최대치를 나타내는 지속시간임을 나

타내기 위하여 강조표시를 하였다.

4.4 임계지속시간의 설정

본 적용사업에 대해서 임계지속시간을 개발사업으로 인하여 증가하는 총유출량의 저류효과를 최대화하는 강우의 지속시간과 방류공의 설계기준이 되는 침투유량이 최대로 나타나는 강우의 지속시간을 분리하여 계산, 비교하였다.

가) 방류공 설계기준을 위한 임계지속시간의 산정

침투유량의 지속시간별 변화를 파악하기 위하여 18개 지속시간에 대한 침투유량의 변화를 소유역별로 아래의 그림과 같이 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 지속시간 10분에서부터 침투유량은 증가하다가 어느 순간부터 감소하기 시작하고 있으며, 이때 최대 침투유량을 보이는 지속시간이 임계지속시간(critical duration)이 된다. 이러한 결과 방류공의 설

계를 위한 임계지속시간은 소유역별로 다음과 같이 산정되었다.

나) 저류지 용량 설계기준을 위한 임계지속시간의 산정

개발사업으로 인하여 증가하는 유출량에 대처하기 위한 시설이 저류지인데, 저류지의 용량이 클수록 유출증가량에 대한 대처효과는 크다. 그러나 유출총량에 대한 지속시간별 비교표에서 알 수 있는 바와 같이 강우의 지속시간이 클수록 유출증가량은 커지므로 임계지속시간에 대한 설정 기준이 변화될 필요가 있다.

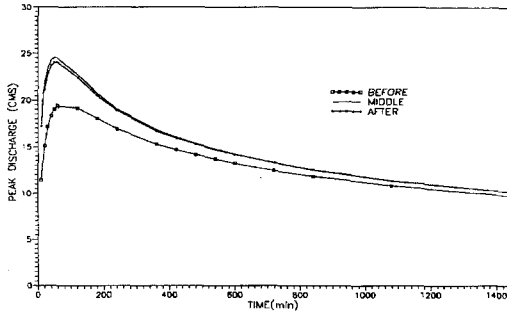
따라서 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 등의 기존의 연구에서 사용한 기준을 활용하여 임계지속시간을 설정하였는데, 이때 사용한 기준은 강우의 지속시간별로 발생 총

표 3. 임계지속시간 산정을 위한 지속시간별 토지이용도별 유효우량

구 분	지속시간별 총우량(mm)									
	단기간	10분	20분	30분	40분	50분	1시간	2시간	3시간	4시간
소 유 역	개발전	11.27	17.73	23.35	28.35	32.92	37.16	58.12	75.00	89.41
	개발중	15.65	23.08	29.34	34.82	39.76	44.30	66.46	83.87	98.69
	개발후	15.22	22.58	28.78	34.22	39.13	43.65	65.73	83.08	97.87
I	장기간	6시간	7시간	8시간	9시간	10시간	12시간	14시간	18시간	24시간
	개발전	114.93	126.90	138.12	148.72	158.80	177.68	195.14	226.91	268.93
	개발중	124.75	136.93	148.31	159.06	169.26	188.33	205.95	237.96	280.22
	개발후	123.90	136.06	147.43	158.17	168.36	187.42	205.03	237.02	279.26
소 유 역	단기간	10분	20분	30분	40분	50분	1시간	2시간	3시간	4시간
	개발전	11.37	17.87	23.51	28.52	33.10	37.35	58.43	75.24	89.67
	개발중	14.53	21.75	27.87	33.24	38.10	42.58	64.51	81.78	96.53
	개발후	14.26	21.43	27.51	32.86	37.70	42.16	64.03	81.27	95.99
II	장기간	6시간	7시간	8시간	9시간	10시간	12시간	14시간	18시간	24시간
	개발전	115.21	127.19	138.41	149.02	159.10	177.98	195.45	227.23	269.25
	개발중	122.48	134.61	145.97	156.68	166.86	185.90	203.49	235.45	277.66
	개발후	121.92	134.04	145.38	156.09	166.26	185.29	202.87	234.82	277.02

표 4. 강우의 지속시간에 따른 침투유출량의 변화

구 분	지속시간별 침투유량(CMS)									
	단기간	10분	20분	30분	40분	50분	1시간	2시간	3시간	4시간
소 유 역	개발전	11.44	15.15	17.19	18.35	19.01	19.37	19.16	18.04	19.94
	개발중	17.86	21.79	23.48	24.25	24.50	24.48	22.69	20.71	19.09
	개발후	17.19	21.00	22.86	23.68	23.98	24.00	22.37	20.47	18.90
I	장기간	6시간	7시간	8시간	9시간	10시간	12시간	14시간	18시간	24시간
	개발전	15.29	14.69	14.16	13.67	13.24	12.48	11.84	10.83	9.72
	개발중	16.84	16.06	15.37	14.77	14.24	13.33	12.58	11.41	10.17
	개발후	16.70	15.94	15.27	14.68	14.15	13.26	12.52	11.36	10.13
소 유 역	단기간	10분	20분	30분	40분	50분	1시간	2시간	3시간	4시간
	개발전	8.08	10.20	11.21	11.68	11.68	11.93	11.24	10.35	9.60
	개발중	11.19	13.23	14.02	14.25	14.23	14.09	12.67	11.42	10.46
	개발후	10.91	12.97	13.78	13.93	14.03	13.91	12.56	11.34	10.39
II	장기간	6시간	7시간	8시간	9시간	10시간	12시간	14시간	18시간	24시간
	개발전	8.55	8.18	7.86	7.57	7.32	6.88	6.51	5.93	5.31
	개발중	9.16	8.72	8.34	8.01	7.71	7.21	6.80	6.17	5.49
	개발후	9.12	8.68	8.30	7.97	7.68	7.19	6.78	6.15	5.47



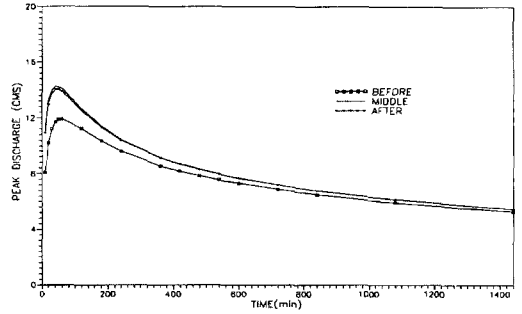
〈그림 2〉 지속시간에 따른 개발전, 중, 후 침투유량의 변화(소유역 I)

유출량에 대한 개발사업으로 인하여 증가하는 최대유량의 저류비이다.

이 기준을 사용하기 위하여 개발중과 개발전의 총 유출량의 차를 개발사업으로 인하여 증가하는 최대유량으로 설정하였고, 발생 총유출량은 개발중의 경우에 대한 총유출량을 기준으로 설정하였다.

이러한 최대유량의 비에 대한 설계강우의 지속시간 별 변화를 파악하기 위하여 18개 지속시간에 대한 비율의 변화를 아래의 그림과 같이 나타내었다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 지속시간 10분에서 소유역 I, II 모두 저류비를 최대로 갖고 있음을 알 수 있다. 따라서 저류지 설계를 위한 임계지속시간은



〈그림 3〉 지속시간에 따른 개발전, 중, 후 침투유량의 변화(소유역 II)

소유역 I, II에서 모두 10분임을 알 수 있다.

4.5 임계지속시간에 대한 적용결과 분석

위와 같은 산정과정을 통하여 얻어진 임계지속시간 중 저류비에 따른 임계지속시간은 10분으로 유역의 특성과 규모 등을 고려할 때 침투유량이 지나치게 과소산정된다고 파악되어, 침투유량에 대한 임계지속시간을 중심으로 계산된 수문특성과 비교하였다.

즉, 침투유량의 최대치를 보이고 있는 소유역 I에 대한 지속시간 1시간(개발전), 50분(개발중), 개발후(1시간)과 소유역 II에 대한 지속시간 1시간(개발전), 40분(개발중), 50분(개발후)을 각 경우에 대한 임계지속시간으로 설정하여 총유출량과 침투유출량을 비교하였으며, 그 결과는 아래의 표와 같다.

표 5. 강우의 지속시간에 따른 총유출량의 변화(단위: m³)

	개발전		개발중		개발후	
	소유역 I	소유역 II	소유역 I	소유역 II	소유역 I	소유역 II
10분	24221.34	13213.62	33680.70	16884.00	32442.48	16603.92
20분	38142.18	20817.54	49743.04	25292.70	48295.21	24950.16
30분	50266.44	27426.41	63103.69	32399.29	61848.73	32003.46
40분	60917.22	33147.72	74853.18	38667.25	73506.61	38221.02
50분	70752.43	38545.38	85432.68	44359.20	84013.20	43897.31
1시간	79745.57	43460.82	95179.31	49500.00	93736.81	49022.81
2시간	124974.00	67972.14	142768.50	75006.54	141150.40	74455.02
3시간	160990.00	87502.67	180132.10	95086.98	178437.90	94461.86
4시간	191924.10	104291.10	211962.80	112270.70	210152.20	111594.10
6시간	246814.80	133908.30	267919.60	142421.60	266037.60	141782.00
7시간	272425.30	147847.70	294140.70	156425.00	292242.20	155849.40
8시간	296544.60	161000.30	318529.60	169721.70	316633.30	168983.80
9시간	319394.20	173254.70	341502.10	182184.10	339688.20	181439.80
10시간	341038.60	184943.10	363494.60	193916.70	361549.30	193251.40
12시간	381521.00	206942.20	404549.60	216207.90	402569.60	215530.00
14시간	419009.60	227316.30	442159.90	236396.30	440195.00	235762.90
18시간	487090.60	264198.30	511139.60	273719.70	509071.30	273068.30
24시간	577574.90	313101.60	601503.80	322831.80	599675.20	321985.40

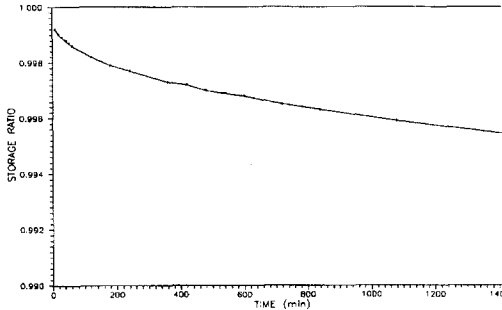
4.6 비교고찰

위의 표에서 알 수 있는 바와 같이 임계지속시간과 기존의 지속시간을 적용한 경우의 수문특성은 침투유량과 총유출량의 측면에 따라 상이한 결과를 보이고 있다.

즉, 침투유량의 측면에서는 기존

표 6. 방류공 설계를 위한 임계지속시간

	개발전	개발중	개발후
소유역 I	1시간	50분	1시간
소유역 II	1시간	40분	50분



〈그림 4〉 지속시간에 따른 저류비의 변화(소유역 I)

의 지속시간을 적용한 경우가 임계지속시간을 적용한 경우에 비해 개발전과 개발중의 차이가 크게 나타났으며, 총유출량적인 측면에서는 임계지속시간을 적용한 총유출량이 기존의 지속시간을 적용한 경우에 비해 크게 나타났다.

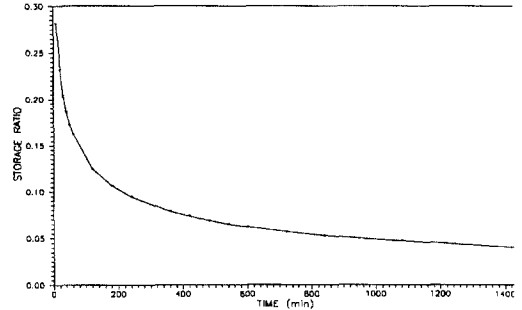
따라서 해당지역에 대한 최종 평가서에서는 두 가지 적용결과를 검토하여, 개발사업에 의한 재해위험성의 증가를 개발이전의 상태로 유지해야 한다는 재해영향평가제의 취지를 기초로 하여, 가장 크게 나타난 재해위험성을 재해저감시설의 설계기준으로 설정하였다.

표 7. 임계지속시간을 적용한 경우의 소유역별 수문특성

	개발전	개발중	개발후	최대위험성
첨두유량 (CMS)	19.37	24.50	24.00	5.13
총유출량 (m ³)	79,745	85,432	93,736	13,991
첨두유량 (CMS)	11.93	14.25	14.03	2.32
총유출량 (m ³)	43,460	38,667	43,897	5,230

표 8. 기존의 지속시간과 임계지속시간을 적용한 수문특성 비교

		개발전	개발중	개발후	최대위험성	비 고
소유역 I	첨두유량 (CMS)	15.15	21.79	21.00	6.64	기존 지속시간 적용 임계 지속시간 적용 기존 지속시간 적용 임계 지속시간 적용
	첨두유량 (CMS)	19.37	24.50	24.00	5.13	
	총유출량 (m ³)	38,142	49,743	48,295	11,601	
	총유출량 (m ³)	79,745	85,432	93,736	13,991	
소유역 II	첨두유량 (CMS)	9.37	12.48	12.13	3.11	기존 지속시간 적용 임계 지속시간 적용 기존 지속시간 적용 임계 지속시간 적용
	첨두유량 (CMS)	11.93	14.25	14.03	2.32	
	총유출량 (m ³)	17,193	21,339	20,923	4,146	
	총유출량 (m ³)	43,460	38,667	43,897	5,230	



〈그림 5〉 지속시간에 따른 저류비의 변화(소유역 II)

이를 위해 기존의 홍수도달시간을 강우지속시간으로 설정한 경우와 임계지속시간을 강우지속시간으로 설정한 두 가지 경우에 대해 첨두유량 및 총유출량의 변화를 개발 전, 중, 후에 대해 비교하였다.

따라서 해당 평가서에서는 두 가지 경우의 측면을 고려하여 방류공의 설계에는 기존의 지속시간에 따른 첨두유량의 차를 대처할 수 있도록 계획하고, 증가하는 유출량에 대해서는 임계지속시간을 적용한 결과를 저류지의 용량설정 기준으로 활용키로 하였다.

그러나 이러한 설정은 가장 치수방재적으로 위험한 상황에 대한 가상결과에 적용하기 위한 내용이며, 실제적으로는 비록 기존 홍수도달시간 공식에 의해 나타난 첨두유량이 임계지속시간의 개념을 도입한 결과보다 크더라도 임계지속시간을 적용한 결과를 첨두유량과 총유출량에 함께 적용토록 하는 것이 적절하다고 판단된다.

5. 결론

이상과 같이 전 3편에 걸친 내용은 홍수도달시간 공식의 재정립과 임계지속시간의 개념 소개 및 실유역에서의 적용으로 구분할 수 있으며, 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 기존의 홍수도달시간 공식들을 여러 참고문헌을 조사하여 비교, 검토한 결과 국내외 서적중 오류가 있었으며, 이들을 원전을 중

심으로 재정립하였다.

2) 임계지속시간의 개념은 첨두유량의 최대치 설정 또는 총유량의 최대치 설정기준 또는 저류비 설정기준에 따라 달라지며, 이중 치수방재적인 차원에서는 첨두유량 최대치 개념을 사용하는 것이 적절하다.

3) 대부분의 경우 홍수도달시간을 기준으로 유출수 문곡선을 산정하는 것보다는 임계지속시간의 개념을 가지고 유출수문곡선을 산정하는 것이 합리적이며, 대부분의 경우 홍수도달시간에 비해 임계지속시간이

약간씩 지속시간이 큰 것으로 나타나고 있다.

4) 임계지속시간을 파악하기 위해서는 최대 10분 간격의 지속시간 변화를 주어 적절한 임계지속시간을 파악하는 것이 적절하다고 생각된다.

5) 향후 국내에서도 국내 유역특성을 고려한 대표 단위도가 작성되어야 하며, 이를 기준으로 임계지속시간의 개념을 도입할 때 적절한 유출특성이 구현될 것으로 판단된다. ●

〈참 고 문 헌〉

- 심재현, 김지태, 이재준, 이정식 (1998). 방재조절지의 설계지침 개발(Ⅰ), 연구보고서 NIDP-97-03, 국립방재연구소, pp.153~155.
- 이재준, 이정식, 전병호, 이종태(1993). "우수관거 설계를 위한 계획 강우의 임계지속시간 -서울지역을 중심으로-". 한국수문학회지 제26권, 제2호, pp.49~57.
- 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남(1993). "유수지 설계를 위한 계획 강우의 임계지속시간 -서울지역을 중심으로-". 한국수문학회지 제26권, 제1호, pp.115~124.
- 윤용남 (1994). 공업수문학. 청문각, pp.282~284.
- Akan, A.O. (1993). Urban stormwater Hydrology -A Guide to Engineering Calculations-. Technomic Publishing Co. Inc., pp.77~82.
- Bedient, P.B. and Huber, W.C. (1988). Hydrology and Floodplain Analysis. Addison Wesley Publishing, pp.345~348.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill, pp.500~501.
- Chen, C.N. and Wong, T.S.W. (1993). "Critical Rainfall Duration for Maximum Discharge from Overland Plane". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119(9), pp.1040~1045.
- Chen, C.N., Wong, T.S.W. (1994). "Critical Rainfall Duration for Maximum Discharge from Overland Plane : Closure". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 120(12), pp.1484~1486.
- Debo, T.N. and Reese, A.J. (1995). Municipal Storm Water Management. CRC Press, Inc., p.212.
- Hall, M.J., Hockin, D.L., and Ellis, J.B.(1993). Design of Flood Storage Reservoirs. CIRIA and Butterworth-Heinemann Ltd.
- Meynink, W.C. (1976). "Critical Duration of Rainfall for Flood Estimation". Water Resources Research, Vol.12, No.6, pp.1209~1214.
- Schmid, B.H. (1997). "Critical Rainfall Duration for Overland Flow From An Infiltrating Plane Surface". Journal of Hydrology, Vol.193, pp.45~60.
- U.S. Soil Conservation Service (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55. pp.3-1~3-5.