

〈論 文〉

雨水管渠 設計를 위한 計劃降雨의 臨界持續期間
 - 서울 地域을 中心으로 -
 Critical Duration of Design Rainfall for the Design of
 Storm Sewer in Seoul

李 在 浚*, 李 正 植*, 全 炳 浩**, 李 鍾 泰***
 LEE Jae Joon, LEE Jung Sik, JUN Byong Ho and LEE Jong Tae

Abstract □ A hydrological method is performed to determine the critical duration of design rainfall for the design of storm sewer in Seoul. To seize the effect of the duration and the temporal distribution of the rainfall to the peak discharge of the storm sewer, the Huff's quartile method is used as a temporal pattern for the design rainfall of any durations (9 cases for 20~240 min.) with 10 years return period. The critical duration of design rainfall is determined as the duration which maximizes the peak discharge. This study is applied to 18 urban drainage systems in Seoul. The ILLUDAS model is applied to runoff analysis, and the result shows that the duration which maximizes peak discharge is 30, 60 minutes generally. The relation diagram between peak discharge for the critical duration and watershed area is prepared for the design of storm sewer.

요 지 : 본 연구는 하수관거 설계시, 계획강우의 임계지속기간을 결정하기 위한 것으로서, 지속기간내의 시간적 강우분포형은 Huff의 4분위법에 의하였으며, 20분~240분 의 9개의 지속기간을 10년 빈도강우에 대하여 검토하였다. 본 연구에서는 서울시 관내의 18개 유수지 배수구역을 대상으로 해석을 시도하였으며, 유출해석을 위하여 ILLUDAS 모형을 이용하였다. 하수관거의 설계수문량 기준이 되는 첨두유출량을 최대 발생시키는 계획강우의 임계지속기간은 대체로 30, 60분으로 판단되었다. 계획강우의 시간적 분포형별로 임계지속기간을 설정할 수 있도록 첨두유량-유역면적-임계지속기간의 관계도를 제시하였다.

1. 서 론

도시지역에서의 호우로 인한 배수계통은 농촌이나 임야지역에 비해 보류력이 약하여 지표면 유출량이 크고, 첨두홍수 도달시간이 단축되는 등의 도시지역에서의 유출특성을 보인다. 따라서 도시화가 되기 이전에 부설된 하수도계통은 도시화로 인하여 통수능에 과부하가 걸리게 될 수도 있으며, 하류로부터의 배수위 상승으로 역류현상이 하수도 기관으

로 과급되어 제내지의 우수배제 불량으로 인한 침수피해를 초래시키기도 하므로 우수관거의 합리적 설계 및 개량, 유지관리는 매우 중요한 과제이다.

우수관거의 계획 및 설계는 하수도 시설기준 등에 근거하여 이루어지고 있으나, 계획강우의 적정 빈도 및 지속기간의 결정기준에 관하여서는 아직 충분한 이론적, 경험적인 바탕을 갖지 못하고 있는 실정이다.

계획강우의 지속기간의 결정에 관하여서는 우수 시설을 위한 계획강우의 지속기간 결정을 위하여

* 정회원, 금오공과대학 토목공학과 교수
 ** 정회원, 육군사관학교 토목공학과 교수
 *** 정회원, 경기대학교 토목공학과 교수

저류비의 개념을 도입하는 방안을 제시한 연구(이종태, 1992)가 있으나, 우수관거에 대하여서는 그 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 서울시 관내의 18개 배수구역을 대상으로 계획강우의 지속기간을 20~240분 까지 9개의 지속기간으로 하고 각 지속기간내의 시간적 강우분포형을 Huff의 4분위법으로 분포시켜 지속기간에 대한 첨두유량의 변화를 검토함으로써 임계지속기간을 결정하는 방법을 제시하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 기존의 도시유역에서 그 적용성이 입증된 ILLUDAS 모형을 이용하여 유출해석을 실시하였다.

2. 계획강우(Design Rainfall)

계획강우는 보통 ① 재현기간, ② 지속기간, ③ 강우량 또는 강우강도의 시간적 분포 등의 성분으로 기술된다. 일반적으로 중 소규모 수공구조물 설계를 위한 계획강우는 재현기간으로 표현되며, 산정된 유출량이 강우와 같은 재현기간을 갖는다고 가정하고 있다.

계획강우는 강우강도-지속기간-생기빈도와 깊은 관계를 가지고 있으며, IDF곡선으로부터 재현기간별 강우량을 추정할 수 있다. 하수도 시설을 위한 계획강우의 재현기간은 국내의 경우, 「하수도 시설기준」(건설부, 1980)에서 재현기간 5~10년으로 규정하고 있다. 그러나 검토대상지역의 특성에 따라 확률년수를 조정할 수 있으며, 중요한 시설에 대해서는 확률년수를 크게 취하는 것도 권장하고 있다. 서울시에서는 현재 위에서 언급한 기준을 준수하는 것을 원칙으로 하여, 하수도 지선의 경우 5년, 간선에서는 10년 빈도의 계획강우강도를 택하고 있다(서울시, 1984, 1991). 기타 국내 대도시에서 채택하고 있는 확률년은 부산 울산시에서 30년, 마산시에서 20년 등으로 서울시의 10년 빈도 보다 높게 책정되어 있으나 강우강도의 면에서는 큰 차이가 없다.

미국의 경우, 주거지역에서의 하수도 계획에는 5년, 고도로 개발이 집중된 중요지역에 대해서는 10~50년의 빈도를 택하고 있다(WPCF and ASCE, 1970). 영국에서는 시가지의 중심지역에서 10~25년, 홍수가 발생했을 때 재산손실이 큰 지

역에서는 5년, 기타 대부분의 하수도 계획에서는 1~2년 빈도를 택하고 있다(NERC, 1975). 일본의 경우, 東京에서는 50mm/hr를 기준으로 삼고 있는데 이는 5년 빈도에 해당되며, 오오사카와 요코하마에서는 60mm/hr 로서 빈도는 10년 내외이다(日本河川協會, 1986).

도시지역에서의 내배수처리 시설물의 설계는 재현기간에 따른 계획강우량을 설정하여 이루어지고 있고, 설계빈도는 배수시설의 중요도에 따라서 결정되고 있다. 따라서 하수관거, 배수문, 유수지 및 배수펌프장 등의 각 시설물에 따라서 그 기준치가 다르나, 계획강우에 대한 유출해석은 공통적인 사항이므로 배수시설에서의 설계기준은 우선 계획강우를 중심으로 검토되어야 한다.

계획강우의 재현기간이 결정되면 IDF곡선으로부터 지속기간에 대한 계획강우량을 얻을 수가 있으나, 국내의 현행 하수도 시설기준에는 계획강우의 지속기간에 대한 기준은 모호하거나 미흡한 실정에 있다.

강우의 시간적 분포는 강우강도, 강우지속기간과 더불어 유출현상에 큰 영향을 준다. 유출의 관점에서 볼 때, 도달시간이 짧은 유역의 경우 첨두유량은 강우용적 보다는 첨두강우강도에 의해 결정되고, 도달시간이 긴 유역의 경우는 첨두강우강도보다는 강우용적에 의해 결정되는 경향을 보인다. 도시 배수구역 같이 유역면적이 작고 도달시간이 짧은 경우에 첨두유량은 첨두강우강도와 깊은 관련이 있다는 것은 계획강우의 시간적 분포가 중요한 인자임을 의미한다. 그러나 해당 지속기간에 대해 IDF곡선으로 부터 구해진 강우량은 지속기간내의 시간적 분포성을 고려하지 않았기 때문에 도달시간에 따른 첨두유량의 변화를 해석할 수 없으므로 해당지속기간내에서의 적절한 강우의 시간적 분포에 대한 연구가 필요하다. 현재 국내의 경우, 대부분의 설계실무자들은 강우 시간분포를 Mononobe식에 의하여 전방위, 중방위, 후방위 등으로 배열하는 방법에 의존하고 있다. 국내 주요지점에서의 강우의 시간적 분포에 관한 연구로서는 서병하, 김남원 등에 의해 Keifer와 Chu방법(1957), Huff방법(1967), Pilgrim과 Cordery방법(1975), Yen과 Chow방법(1980) 등을 적용한 연구결과(한국건설기술연구원, 1989)가 보고되어 있으며 앞으로

이에 대한 지속적연구와 활용이 기대된다.

3. 임계지속기간의 결정

IDF곡선에서 계획강우를 얻고자 할 때 지속기간의 결정은 중요한 사항이 되며, 이 때 사용되는 계획강우의 적절한 지속기간을 임계지속기간이라 한다. 계획강우로부터 예측되는 유역의 첨두유량 및 유출수문곡선은 강우의 지속기간에 따라 변할 것이므로 배수시스템에 가장 큰 부하를 야기시키는 지속기간을 임계지속기간으로 선택하는 것이 합리적이라고 판단된다.

지금까지 도시 하수도 설계에 있어서 유출계산에 가장 많이 사용되고 있는 방법은 합리식으로서, 이 방법에서는 유역에서의 집중시간 즉, 유역의 가장 먼 지점에서부터 출구까지의 도달시간이 그 유역의 임계지속기간으로 사용되어 왔다. 그러나 합리식의 경우, 적용범위의 제한성, 임계지속기간으로 사용되는 적절한 도달시간의 산정 문제, 유출해석결과로서 첨두유량만이 얻어지고 유출수문곡선은 구할 수 없으므로 인해 유수지 및 배수펌프장 시설로서 내수배제를 계획하는 경우에는 계산결과치의 적용이 불가능하다. 따라서 실무에서는 유출해석법으로 하수도계획에서는 합리식, 유수지계획에서는 RRL법이 별도로 각각 이용되어 왔다. 이와 같이 합리식에 의한 하수관거 설계와 RRL법에 의한 유출수문곡선으로 유수지·배수펌프장 시설을 각각 계획할 경우, 유역출구(유수지 유입구)에서의 유출해석 결과치에 차이가 발생하게 되어 설계유출량 선택에 혼돈을 가져오기도 한다. 특히 도시유역에서는 포장지역에서의 유출이 녹지지역에서의 유출을 훨씬 초과한다면 유출량을 최대로 하는 임계지속기간은 전체유역의 도달시간보다 작게 될 것이므로, 녹지지역으로부터의 도달시간과의 차이를 고려하여 적정 임계지속기간을 결정해야 하는 문제가 남는다. 미국에서는 ILLUDAS 모형을 이용하여 각기 규모가 다른 유역크기를 가진 4개의 도시배수구역을 대상으로 하여 지속기간과 유출량과의 관계를 분석하였다. 그림 1은 유역면적이 1.17~21.5km²인 4개의 배수구역에서 첨두유량에 대한 지속기간의 영향을 나타낸 것으로서 최대 유출량을 보

여주는 임계지속기간으로 1시간이 사용될 수 있음을 보여주고 있다. 이 해석에 사용된 계획강우는 5년 빈도 강우로서 시간분포는 Huff의 제1분위 분포형(1st Quartile Pattern)을 사용하였다.

그림에서 보면 Boneyard Creek과 Third Fork 배수구역에서는 지속기간 1시간이 명백한 임계지속기간임을 보여주고 있으며, Crane Creek과 Wingohocking 유역에 대해서는 지속기간 30분인 경우가 1시간의 경우보다 첨두유량이 더 크나 그 차이는 미미한 정도이므로 일반적으로 1시간의 임계지속기간을 제안하고 있다.

최근에는 국내에서도 녹지지역과 배수시스템에 직접 연결되지 않은 포장지역의 영향을 고려하지 않은 RRL 법의 문제점을 개선한 ILLUDAS 모형을 이용한 하수도 설계가 활발히 이루어지고 있으므로(서울시, 1988) ILLUDAS 모형을 이용한 서울지역에서의 하수관거 및 유수지 배수펌프장 설계를 위한 계획강우의 임계지속기간 결정에 관한 연구는 중요한 의미를 갖는다.

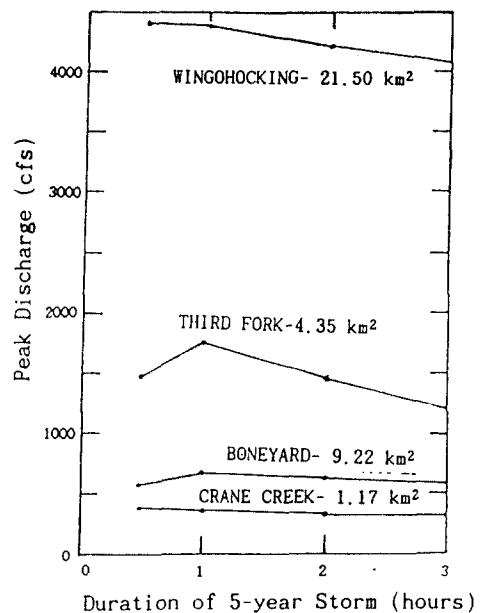


그림 1. 지속기간에 따른 첨두유량의 변화(미국)

하수도시설은 홍수로 인하여 최대의 부하가 걸리는 상황에서 그 안전도가 보장되도록 설계되어야 하며, 하수관거는 배수구역에서의 예상되는 침투유출량을 원활히 소통시킬 수 있도록 설계되어야 한다. 따라서 하수관거에 대한 임계지속기간의 결정 기준으로 유출해석의 결과에서 얻어지는 침투유출량의 크기가 최대가 되는 지속기간을 택한다.

ILLUDAS 모형으로 부터 지속기간의 변화에 따라 위험부하가 최대로 되는 임계지속기간을 결정하기 위하여 계획강우의 재현기간을 10년, 시간적 분포형은 서울지방에서의 Huff의 네가지 강우분포형을 각 지속기간별로 적용하여 분석하기로 한다.

4. 해석대상 내배수 시스템 현황

4.1 배수구역

서울시의 1991년 현재 하수관거 총연장은 9, 215km로서 99%의 하수도 보급율을 나타내고 있으며 이에 대한 배수기능의 평가와 배수능력의 관리 및 개선이 지속적으로 이루어져야 한다.

본 연구에서는 계획강우의 임계지속기간을 결정하기 위한 일련의 해석을 위하여 18개 배수구역을 검토 대상 배수구역으로 택하였으며, 유역의 특성이 유출현상에 미치는 복합특성을 고려하기 위하여 각 특성별로 다양한 범위의 배수구역을 선정하였다 (표 1).

그림 2는 서울시 관내의 57개 배수구역에 대한 주하수관거 연장과 Horton의 유역형상계수를 도시

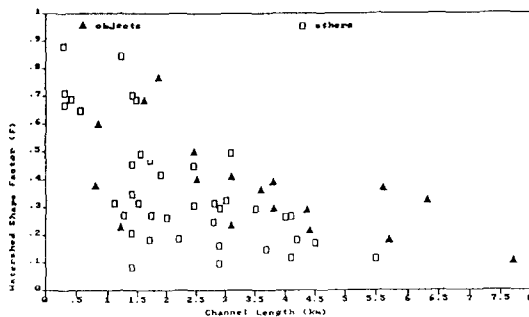


그림 2. Horton의 유역형상계수와 주하수관거 연장 (서울, 57개 배수구역)

한 것으로서 해석대상으로 선정한 18개 배수구역 (그림에서 삼각형 표시)을 포함하고 있다. 그림 2에서의 우수배수구역은 유역면적의 범위가 0.24~12.70km²정도, 주하수관거 연장은 0.3~7.8km정도이며, Horton의 유역형상계수 또한 광범위한 특성을 보여주고 있다.

4.2 본 해석에 사용한 계획강우

서울지방의 확률강우강도식으로는 그동안 많은 식들이 제안되었으나 본 연구에서는 1987년과 1990년의 두차례에 걸쳐 대홍수를 유발시켰던 강우사상을 포함하여 다시 산정된 「하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서」(서울시, 1991)의 강우강도식을 사용하였다.

상기 보고서에 의하면, 1954년 부터 1990년 까지의 서울측후소 자기우량기록지로 부터 지속기간

표 1. 검토대상 배수구역의 제원

배수구역	유역면적 (ha)	관로연장 (km)	유역형상계수 (F)
독도 (DS)	465.0	3.60	0.3558
자양 (JY)	412.8	4.40	0.2132
옹봉 (EB)	42.2	0.84	0.5938
금호 (KH)	174.2	1.60	0.6805
마포 (MP)	299.6	2.46	0.4951
합정 (HJ1)	24.0	0.80	0.3750
신정 1 (SJ1)	1,269.5	6.30	0.3198
신정 2 (SJ2)	592.3	7.70	0.0999
개봉 (GB)	1,142.0	5.60	0.3642
구로 1 (KR1)	32.2	1.20	0.2236
잠원 (JW)	247.3	2.50	0.3958
양재 (YJ)	540.0	4.35	0.2854
잠실 1 (JS1)	562.2	3.80	0.3892
잠실 2 (JS2)	390.0	3.10	0.4058
성내 1 (SN1)	220.0	3.10	0.2289
성내 2 (SN2)	574.6	5.70	0.1769
탄천 (TC)	421.0	3.80	0.2916
암사 (AS)	260.2	1.85	0.7603

()내는 영문표기 약자

별 매년 최대강우량을 적출하고, 표 2와 같이 강우 지속기간 120분을 기준으로 단시간 및 장시간으로 구분하여 확률강우강도식을 유도 제시하였다. 서울지방의 확률강우강도식은 단시간에서는 Japanese형을 보이고 있고, 장시간에서는 Sherman형을 보이고 있다.

표 2. 본 연구에서 사용한 서울지방의 확률강우강도식

재현기간	구분	단시간(t≤120분)	장시간(t≥120분)
		강우강도(mm/hr)식	강우강도(mm/hr)식
10년		$\frac{595.5}{\sqrt{t+0.693}}$	$\frac{1,088.2}{t^{0.641}}$

또한, 계획강우에 대한 임계지속기간을 시행착오의 계산과정을 통하여 결정하기 위해 표 3과 같이 20~240분 범위의 9개 지속기간들을 선정하였다.

계획강우의 지속기간내의 시간적 분포형으로는

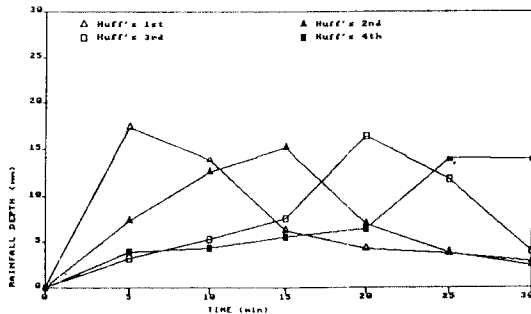


그림 3. 지속기간 30분, 10년빈도 계획강우 시간적 분포(서울)

한국건설기술연구원(1989)의 「지역별 설계강우의 시간적 분포」에 수록된 서울지방에 대한 Huff방법의 연구결과를 이용하였다. 본 해석에 사용된 지속기간별 시간적 분포형의 예로서 지속기간 30분에 서의 시간분포는 그림 3과 같다.

표 3. 재현기간 10년인 확률강우량

지속기간(분)	20	30	60	90	120	150	180	210	240
강우량(mm)	38.4	48.3	70.6	87.7	102.2	115.0	126.6	137.3	147.2

5. 결과해석

5.1 침투유량

지속기간 하수관거 설계시에는 침투유출량이 설계수분량이 되므로, 각 검토대상 유역의 배수관거 시스템에 지속기간을 달리한 계획강우를 적용하여 그 유출을 해석하였다.

20분~240분 범위의 지속기간을 가진 10년 빈도의 서울지방의 계획강우를 Huff의 4가지 시간적 분포형에 따라 배분하고 유출해석모형 ILLUDAS에 적용하여 그 유출해석 결과를 얻었다. 그림 4a~4d는 18개 배수구역에 적용하여 얻어진 각 시간적 분포형에 따른 침투유량 결과를 배수면적의 크기를 고려하여 두개의 그림으로 각각 나누어 도시한 것이다.

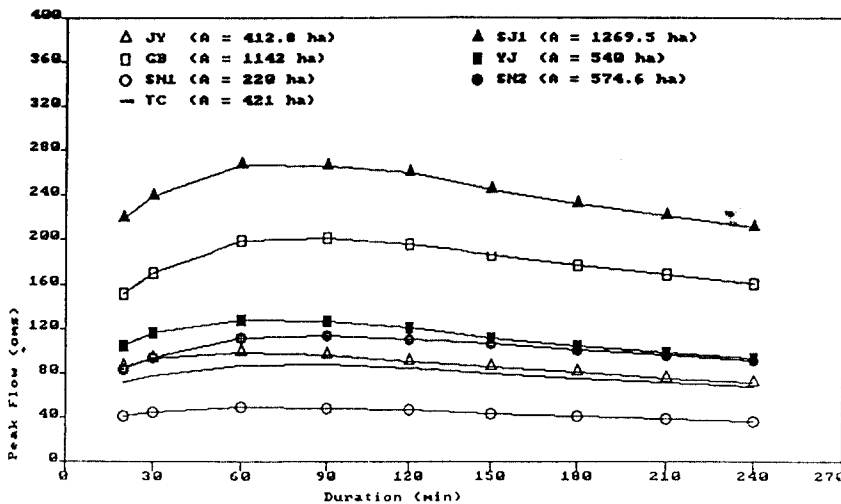


그림 4a(1). Huff의 제 1분위 분포형의 지속기간에 따른 침투유량

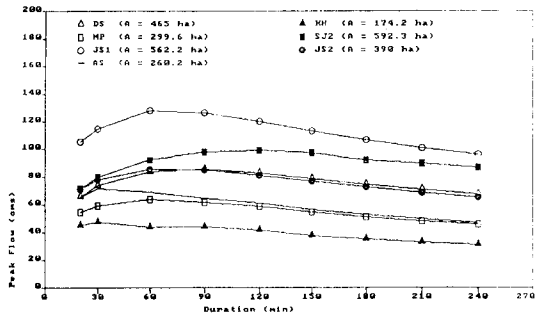


그림 4a(2). Huff의 제 1분위 분포형의 지속시간에 따른 첨두유량

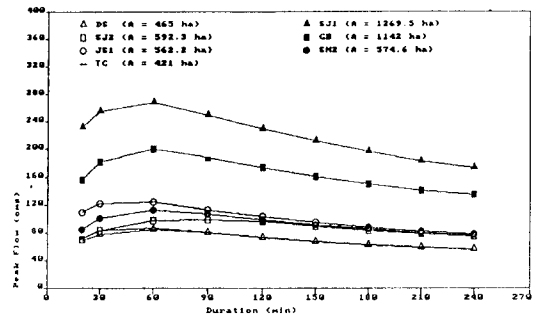


그림 4b(1). Huff의 제 2분위 분포형의 지속시간에 따른 첨두유량

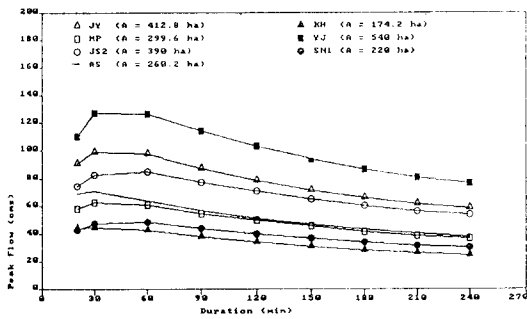


그림 4b(2). Huff의 제 2분위 분포형의 지속시간에 따른 첨두유량

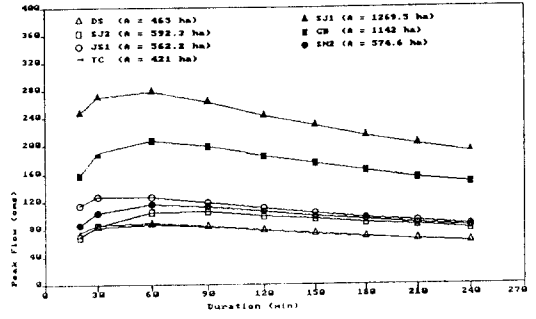


그림 4c(1). Huff의 제 3분위 분포형의 지속시간에 따른 첨두유량

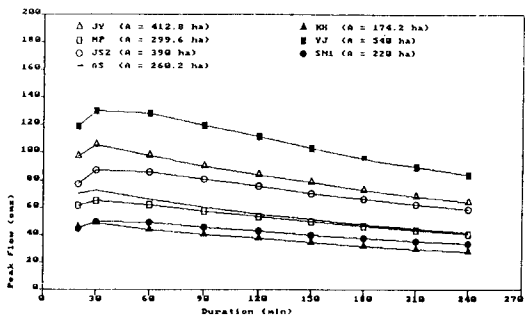


그림 4c(2). Huff의 제 3분위 분포형의 지속시간에 따른 첨두유량

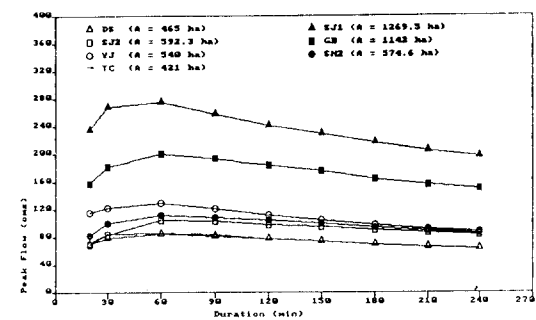


그림 4d(1). Huff의 제 4분위 분포형의 지속시간에 따른 첨두유량

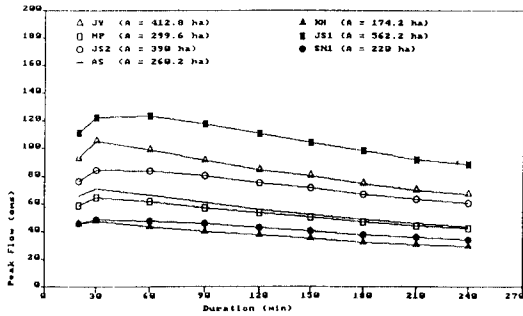


그림 4d(2). Huff의 제 4 분위 분포형의 지속시간에 따른 첨두유량

그림 4a~4d의 결과에서 가장 큰 첨두유량을 보이는 지속시간은 대체로 30분과 60분이며, 시간적 분포에 따른 결과를 보면 제 1, 3분위 분포형이 제 2, 4분위 분포형에 비해 첨두유량이 크게 나타났으며, 제 1분위 분포형은 다른 분포형에 비해 최대첨두유량을 발생시키는 지속시간이 길어지는 특징을 보이고 있다.

이상의 결과에서 미루어 보아 하수관거 설계시의 임계지속시간은 30~60분의 범위에 있음을 추정할 수 있다.

5.2 첨두유량-유역면적

그림 4a~4d에서 강우의 시간적 분포형에 따라 얻어진 임계지속시간의 첨두유량을 해당 18개 유수지의 배수구역면적에 대하여 도시해 본 결과 그림 5a~5d를 얻었다.

Huff의 제 1분위 분포형 계획강우인 경우, 대체로 유역면적이 3.0km² 이내에서는 30분, 2.0~6.0km²에서는 60분, 4.0km² 이상에서는 90분의 임계지속시간을 보여주고 있다(그림 5a). Huff의 제 2분위 분포형 계획강우인 경우, 대체로 유역면적이 6.0km² 이내에서는 30분, 2.0~13.0km²에서는 60분의 임계지속시간을 보여주고 있으며(그림 5b), Huff의 제 3분위 분포형 계획강우에서는, 대체로 유역면적이 6.0km² 이내에서는 30분, 4.0~13.0km²

에서는 60분의 임계지속시간을 보여주고 있다(그림 5c). 또한, Huff의 제 4분위 분포형 계획강우에서는 대체로 유역면적이 5.0km² 이내에서는 30분, 4.0~13.0km²에서는 60분의 임계지속시간을 보여주고 있다(그림 5d).

위의 각 그림에서는 18개 각 배수구역에서의 결과치를 임계지속시간에 관한 포락선으로 구획함으로써 첨두유량-유역면적-임계지속시간의 관계성을 보여주고 있다. 전반적으로 첨두유출량은 집수면적에 비례하는 양상을 보이고 있으며, 동일 집수면적에서 지속시간이 짧을 수록 큰 첨두유량을 보여 주고 있다. 또한 유역면적이 클수록 임계지속시간은 길어지는 경향을 보여준다. 그러나 동일한 집수면적에서도 유역의 특성에 따라 그 임계지속시간은 포락선으로 구분되어지는 서로 다른 영역의 값을 갖게됨을 볼 수 있다. 검토대상 유역이 어느 영역의 지속시간에 해당될 것인지에 대한 연구는 앞으로 보다 깊이있게 연구되어야할 과제이다.

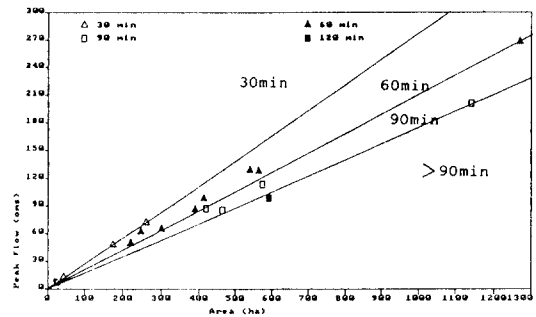


그림 5a. 임계지속시간에 대한 유역면적-첨두유량 관계 (제 1분위분포형)

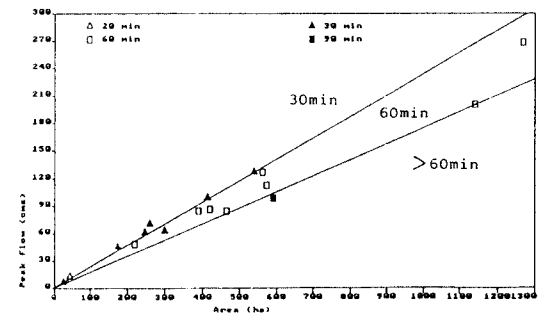


그림 5b. 임계지속시간에 대한 유역면적-첨두유량 관계 (제 2분위분포형)

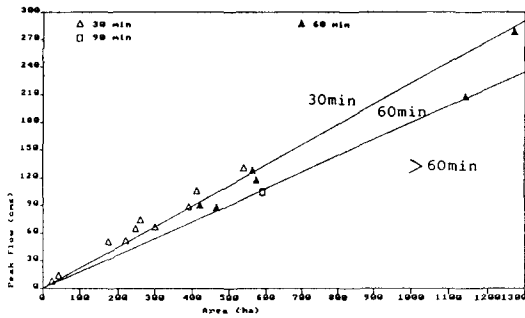


그림 5c. 임계지속시간에 대한 유역면적 - 첨두유량 관계(제 3분위분포형)

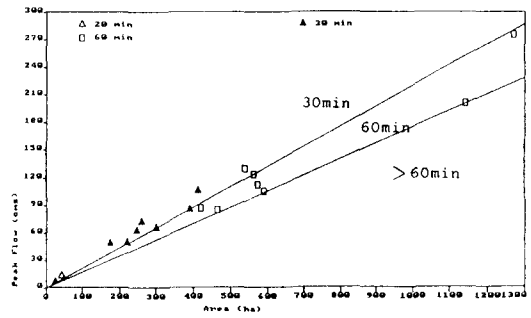


그림 5d. 임계지속시간에 대한 유역면적 - 첨두유량 관계(제 4분위분포형)

6. 결 론

본 연구는 하수관거 설계시, 계획강우의 임계지속시간을 결정하기 위한 것으로서, 지속시간내의 시간적 강우분포형은 Huff의 4분위법에 의하였으며, 20분~240분 까지 9개의 지속시간에 대하여 검토하였다. 본 연구에서는 서울시 관내의 18개 우수지 배수구역을 대상으로 검토하였다. ILLUDAS 모형에 의하여 강우의 지속시간별, 시간적 분포형별로 수치실험한 결과 가장 큰 첨두유량을 보이는 지속시간은 대체로 30분과 60분이었으며, 제 1, 3분위 분포형이 제 2, 4분위 분포형에 비해 첨두유량이 컸다. 제 1분위 분포형은 다른 분포형에 비해 최대첨두유량을 발생시키는 지속시간이 길어지는 특징을 보이고 있다.

이상의 결과에서 하수관거 설계를 위한 서울지방에서의 임계지속시간은 30분과 60분으로 추정할 수 있으며, 하수관거 설계시 계획강우의 시간적 분포형별 임계지속시간의 결정에 참고할 수 있도록 첨두유량 - 집수면적 - 임계지속시간의 관련도를 제시하였다.

참 고 문 헌

1. 건설부(1980), 하수도 시설기준.
2. 서울특별시(1984), 하수도 정비기본계획 보고서.
3. 서울특별시(1988), '87 수해백서 보고서, 서울특별시 한국수문학회.
4. 서울특별시(1991), 하수도 기본계획 재정비 보고서.
5. 서울특별시(1991), 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구 보고서.
6. 이 종태(1992), 우수지의 수문·수리 설계 및 운영 기법의 표준화(도시홍 수재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발), 한국과학재단 (KSEF 90-07-00-05).
7. 한국건설기술연구원(1989), 지역별 설계강우의 시간적 분포, 한국건설 기술연구원, 서울.
8. 日本河川協會(1986), 流域貯留施設等 技術指針(案).
9. Huff, F. A.(1967), "Time distribution of rainfall in heavy storms," *Water Resources Research*, Vol. 3, No.4, pp.1007-1019.
10. Keifer, C. J. and H. H. Chu(1957), "Synthetic storm pattern for drainage design," *Jr. of the Hydraulics Div., ASCE*, Vol.83, No.HY4, pp.1~25.

11. Natural Environmental Research Council (1975), *Flood Studies Report Vol. 1 -Hydrological Studies*, Whitefriars Press, London.
12. Pilgrim, D. H. and I. Cordery(1975), "Rainfall temporal patterns for design floods," *Jr. of the Hydraulics Div., ASCE*, Vol.101, No.HY1, pp.81~95.
13. Terstriep, M. L. and J. B. Stall(1974), *The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS*, State Water Survey Division, Urbana.
14. WPCF and ASCE(1970), *MOP/9 Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers*, Lancaster Press, Lancaster.
15. Yen, B. C. and V. T. Chow(1980), "Design hyetographs for small drainage structures," *Jr. of the Hydraulics Div., ASCE*, Vol.106, No.HY6, pp.1055~1076.

〈접수 : 11월 6일〉