

# 제주도 화산도서에서 도시화유역 내수처리시스템 설계를 위한 유출특성분석

## A Runoff Characteristics Analysis for the Design of Interior Drainage Systems at Urbanization Catchment in the Cheju Volcanic Island

김 성 원\* · 안 승 섭\*\* · 이 중 석\*\*  
Kim, Sung Won · Ahn, Seung Seop · Lee, Jeung Seok

### Abstract

This study has an object to evaluate runoff characteristics with ILLUDAS model and SWMM owing to each rainfall distribution type of Huff's quartile and each rainfall duration time of 30, 60, 120 and 180 minutes. As a result of this study, Type- I Extreme (T1E) rainfall distribution pattern with Huff's 2nd quartile is adequate for Cheju volcanic island. To decide optimal rainfall duration, time of concentration and critical duration should be compared and analyzed each other. In this study, 30 and 120 minutes were suggested to optimal duration time of A and B study basins. It is concluded that the magnitude of peak runoff discharge is maximum with Huff's 4th quartile, and that of total runoff volume is maximum with Huff's 4th quartile for ILLUDAS model and with Huff's 1st quartile for SWMM. As rainfall duration time increasing with same return period for ILLUDAS model and SWMM, the ratio of peak runoff discharge is increasing. Also in case of total runoff volume, volume by SWMM is less than by ILLUDAS model as to variation ratio of total runoff volume in A and B study basin.

Therefore, the results of this study can be used as basic data in determining adequate rainfall duration time and rainfall distribution type and used for urban drainage systems analysis and design at small urbanization catchment in Cheju volcanic island.

\* Colorado State University, Post-doc, Fellow,  
USA

\*\* 경일대학교 공과대학

키워드 : ILLUDAS, SWMM, 설계강우량, 체현기간,  
화산도서, 첨두홍수량, 임계지속시간, 총유출  
제적, 첨두발생시간

## I. 서 론

도시구역에서 호우로 인한 유출과정은 강우로부터 시작하여 침투, 지표면유출, 우배수관거를 통한 홍수파의 흐름 그리고 구역의 말단부에 존재하는 유수지로의 유입 및 도시하천으로의 유출로 나눌 수 있다. 1960년대 이후로 급격한 인구의 증가와 공업화·산업화·도시화의 영향으로 도시로의 인구집중 및 가구수의 증가, 상가면적의 확대 등으로 인하여 도시지역은 자연하천유역과는 상이한 유출특성을 가지게 된다. 한편 도시화 및 산업화에 따른 도시 기반시설 및 기본계획들이 사전에 짜임새 있게 미래지향적으로 설계되지 못하고 서민층의 주택 및 상가들이 상대적으로 지가가 낮은 하류부의 하천 저지대에 조성이 되면서 홍수터 잠식 및 불투수면적이 증가하여 도시하천의 하류부에서는 이전에 비해 상대적으로 적은 호우에도 도시홍수피해가 더욱 우려되는 현실이다. 이처럼 도시화 현상이란 인구의 증가에 따른 불투수표면으로 덮인 지역의 비율이 증가되어지는 현상으로 설명할 수 있으며, 자연하천유역과는 상이한 유출현상을 가지게 된다. 이와같은 변화는 생활용수량을 비롯한 각종 소비수량을 증대시킨과 아울러 기후의 변화, 불투수지역의 증대, 표면 조도계수의 감소, 자연보유력의 감소, 홍수 지체시간의 감소, 유출량의 증가, 기저유출의 변화, 수질의 악화 그리고 침투능 및 증발산량의 감소 등과 같은 수문현상의 변화를 초래한다. 도시구역의 유출해석에 관한 외국의 연구로는 Kuichling(1899)<sup>21)</sup>는 인구가 집중된 지역에서의 강우와 하수유량과의 관계에 관한 연구에서 합리식에 의한 방법을 제시하였으며, Horner & Flynt(1936)<sup>17)</sup>에 의해 소유역에서의 강우-유출 관계라는 연구에서 단위유량도법의 활용을 시도하였으며, Izzard(1946)<sup>20)</sup>는 개발지역의 지표면유출에 대한 해석에 관한 연구가 있었다. 특히 Terstriep & Stall(1974)<sup>22)</sup>에 의해 도시지역의 유출해석은 물론 배수관망의 설계 및 평가를 위하여 ILLUDAS model을 개발하여 보급한 이후로 Huber & Dickinson(1988)<sup>18)</sup>에 의해

SWMM (Storm Water Management Model)이 개발되어 보급되면서 활발한 연구가 진행중에 있다. 또한 국내의 연구로는 윤용남(1992)<sup>10)</sup>등이 도시홍수 재해방지를 위하여 내수처리 시스템분석 및 설계기법의 개발을 통하여 기존의 도시유출모형들의 유역적용에 대한 타당성을 검토하였으며, 서병하(1989)<sup>7)</sup>등은 도시소규모 단지 의 우수유출량산정기법에 관한 연구에서 ILLUDAS model 및 ILSD model의 적용성을 검토하였다. 또한 이순탁(1989)<sup>11,12)</sup>은 포항제철 홍수대비조사연구를 통하여 포항제철내의 홍수유출 및 배수처리시스템해석을 위하여 ILLUDAS model을 적용한 바 있으며, 서규우(1996)<sup>4)</sup>등은 강우분포특성에 따른 유출변화특성에 관한 연구를 통하여 ILLUDAS model과 SWMM을 적용하여 분석하였으며, 서규우(1996)<sup>5)</sup>등은 도시구역개발에 따른 도시하천에서의 유출량 및 도달시간 변화에 관한 연구에서 ILLUDAS model의 불투수면적변화에 따른 유출특성분석을 하였다. 그리고 김성원(1998)<sup>3)</sup>등은 도시 소하천 개발에 따른 유출변화량의 모의기법에 관한 연구에서 SWMM의 불투수면적변화에 따른 도시하천의 내수배제설계에 관해 분석하였으며, 많은 과학자들에 의해 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제주도 화산도서구역에서 도달시간이 서로다른 두 개의 도시하천 배수유역을 선정하여 도시화유역 내수처리시스템 설계를 위하여 강우분포형과 강우지속시간에 따른 유출특성을 분석하여 기본자료를 제공하는 것을 본 연구의 목적으로 하고 있다.

## II. 적용모형이론

본 연구에서는 강우의 시간적 분포특성과 강우지속시간에 따른 유출특성을 분석하기 위하여 도시유출 모형중에서 기왕의 연구에 의하여 국내에서 그 적용성을 인정받은 바 있는 ILLUDAS (Illinois Urban Drainage Area Simulator) model과 SWMM(Storm Water Management Model)을 적용하였으며, 그 기본이론은 다음과 같다.

## 1. ILLUDAS model

1974년 Terstriep & Stall에 의해 처음 개발되어 1984년, 1986년에 개정된 모형이다. 이 모형의 기본개념은 RRL방법과 같으나, 포장유역 및 투수유역의 유출량을 소유역별로 각각 구한후 이를 합성하여 수문곡선을 얻으며, 이 수문곡선을 관거를 따라 추적·합성하여 유역 말단부에서의 총 유출수문곡선을 구하게 된다. 관의 설계를 위하여 모형을 적용할 경우에는 각 지점에서의 관의 직경을 모형에서 결정할 수 있으며 또한 각 지점에서의 관거 합류점의 저류용량을 고려 할 수도 있다. 이 모형은 유역을 직접연결포장유역, 간접연결포장유역, 직접연결투수유역 및 유출에 기여하지 않는 유역의 4가지로 구분하여 각각에 따라 손실량과 흐름상태를 구분 해석하도록 되어 있으며, 모형의 계산절차는 먼저 대상유역의 구분 및 소유역별 입력자료의 결정, 포장유역의 유출량 계산, 투수유역의 유출량 계산, 수문곡선의 합성 및 관로를 통한 추적순으로 이루어져 있다. 모형을 적용하기에 앞서 전체유역을 몇 개의 소유역으로 구분하며, 이때 관을 설계코자 하는 지점 혹은 주요 간선관거의 합류지점을 기준으로 하여 소유역을 구분한 후, 각 소유역별로 포장면적 및 투수유역의 유출량을 계산하여 수문곡선을 합성함으로써 소유역별 유출수문곡선을 산정하며, 이를 관로를 통해 추적합성하여 유역말단부에서의 총 유출수문곡선을 구하게 된다.

## 2. SWMM

1971년 미국 EPA(the U.S. Environmental Protection Agency)의 지원아래 Metcalf & Eddy사가 Florida 대학 및 W.R.E.와의 공동연구로 개발한 SWMM은 이후 Huber et al(1988)에 의해 개정되어 도시유역 하수시스템내의 유량과 수질을 모의 할 수 있도록 하였다. SWMM은 도시유역내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에서의 유출량 추적, 저류량 산정, 오염물질의 처리

와 비용계산등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이며, SWMM은 특히 인위적인 배수관거를 갖고있는 도시 소유역에 적용성이 좋은 것으로 나타나고 있다. 모형의 특성을 살펴보면, 우선 시간적 특성에서 단일강우나 연속강우에 대해 계산이 가능하며 강우의 시간간격은 임의로 선정이 가능하며, 공간적 특성을 살펴보면 소규모 배수유역에서 대규모 배수유역까지 적용이 가능하다. 또한 배수유역의 합성 및 분리가 가능하며 유출현상은 강우와 응실로 발생하는 것으로 보며 지표면유출은 비선형 저류방정식을 사용한다. 침투량의 산정은 Horton 또는 Green-Ampt 공식을 사용하며, 수로 및 관로에 대해 RUNOFF 블록은 비선형 저류방정식, TRANSPORT 블록은 Kinematic 방정식, EXTRAN 블록은 Dynamic 방정식과 연속방정식을 사용한다. 저류추적법은 수표면이 평행하다고 가정된 수정 Pulse방법을 사용한다.

## III. 적용유역 특성자료

### 1. 설계강우량의 산정

본 연구대상유역은 제주도 북제주군 구좌읍 세화·송당지역의 송당천유역(14)으로서, 설계강우량을 산정하기 위하여 먼저 제주도전역을 Thiessen 가중치법에 의해 유역을 분할하고, 제주도전역의 4개 자기강우관측소인 제주고층, 제주, 서귀포 및 성산포강우관측소의 지속시간별 강우자료를 한국 건설기술연구원의 수자원연구실에서 강우자료를 수집하였으나, 제주고층의 경우는 강우자료가 1988년 이후부터, 나머지 강우관측소는 1981년 이후부터의 자료가 보관되어 있어 적정 설계강우량 산정에 필요한 최소 30년간의 자료로는 부족한 실정이므로, 나머지 분석에 필요한 자료는 기상년보에서 강우관측소별로 1일 연최대 발생일을 미리 조사한 후 그 시간 전후의 자기기록지를 입수하였으며, 이와 동일한 스케일로 지속시간을 그려서 작성한 투사지를 이용하여 지속시간별로 연최대 강우량을 발췌하여 부족한 자료를 보완하였다. 따

Table 1. Design storm for duration and return period analysis in Cheju Island by the Type-I Extreme

(Unit : mm)

Duration(min) \ Return Period(year)	30	60	120	180	240	360	480	720	1440
2.33	30.8	45.3	67.3	80.2	95.3	114.6	129.8	150.9	188.1
5	40.9	58.8	89.2	109.5	128.0	153.2	174.7	204.2	257.4
10	49.1	69.9	107.0	132.4	154.7	184.5	211.2	247.6	313.9
20	56.6	80.4	124.1	150.8	180.2	214.6	246.3	289.2	368.0
30	60.8	86.5	133.9	167.5	194.9	232.0	266.5	313.1	399.1
50	66.0	94.1	146.2	180.4	213.2	253.6	291.7	343.0	438.1
80	69.4	101.0	157.5	192.1	230.1	273.4	314.7	370.4	473.7
100	72.7	104.3	162.8	201.3	238.0	282.8	325.7	383.4	488.7
150	76.3	110.3	172.5	213.9	252.5	299.8	345.5	406.9	521.2

Table 2. Thiessen weighted factor and characteristics of rainfall gauge station in Cheju Volcanic Island

Rain Gauge Station	Location		Rain Gauge	Thiessen Factor	Basin Area (km <sup>2</sup> )
	Longitude(E)	Latitude(N)			
Cheju	126° 32'	33° 31'	Self-Recording	0.284	518.23
Seoguipo	126° 34'	33° 14'	Self-Recording	0.264	481.74
Seongsanpo	126° 55'	33° 27'	Self-Recording	0.270	492.69
Cheju Kocheung	126° 10'	33° 17'	Self-Recording	0.182	332.11

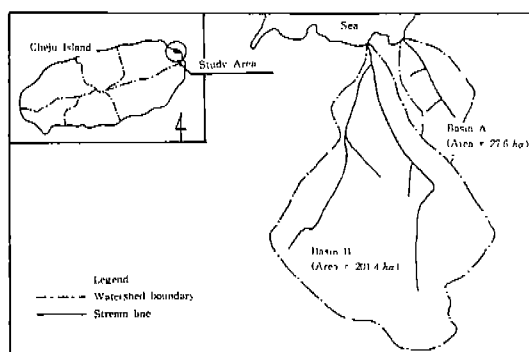


Fig. 1. Location map of Study area

라서 본 연구에서는 각 강우관측소에서 연간 지속 시간별 최대치 강우자료를 이용하여 수문자료 해석에 적합하다고 알려진 Slade, Gumbel-Chow, IWAI, 2 Parameters Log-normal, 3 Parameters Log-normal, Type-I Extreme, Pearson Type-III, Log-Pearson Type-III의 8가지 확률분포형을 적용하여 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정하고, 각 확률분포형의 매개변수 적합성을 조사하

였으며,  $\chi^2$ 검정, Kolmogorov-Smirnov 검정 등으로 적합도검정을 실시하였다. 이와같은 단계를 거쳐서 각 강우관측소별 Thiessen 가중치를 고려한 유역평균확률강우량을 각 지속시간별로 분석결과 제주도 전역에 대한 최적분포형으로 Type-I Extreme 분포형으로 나타났으며, 이에 따른 재현기간(2.33, 5, 10, 20, 30, 50, 80, 100, 150년)별 설계강우량을 산정한 결과, Table 1과 같았다. Fig. 1은 제주도유역을 Thiessen Polygon에 의해 분할한 강우관측망도를 포함한 분석대상유역을 나타낸 것이며, 강우관측소별 Thiessen가중계수와 현황을 나타내면 Table 2와 같다.

## 2. 설계강우량의 시간적분포

일반적으로 설계강우량의 재현기간은 배수시설의 중요도에 따라 결정되고 있으며, 하수도 지선의 경우 5년, 간선에서는 10년 빈도의 강우를 채택하고, 우수지 및 배수펌프장의 경우에는 10~20년 빈도를 사용하고 있다.<sup>1,2)</sup> 한편 설계강우량의

지속시간은 설계홍수량을 최대로 하는 지속시간으로 유역에 따라 적용하여야 하나, 국내 하수도시 설계기준에서는 우수지, 배수펌프장 등의 설계시 강우지속시간은 보편적으로 120분을 적용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 도시수문량해석에서 가장 적절하다고 조사된 120분 지속시간을 비롯하여 30분, 60분 및 180분으로 결정하였으며, 강우의 시간적 분포형은 과거 강우사상의 통계적 특성값을 고려하는 Huff's 4분위법<sup>19)</sup>을 사용하였다.

본 연구에서는 제주도 고층관측소의 25개의 단시간 호우사상과 제주, 서귀포, 성산포관측소에서 각각 40개의 단기간 호우자료를 수집하여 분석한 결과 제주도 도시유역에서는 Huff's의 4분위 중 2분위에 해당하는 강우분포가 35%로 가장 많았으며 이를 제주도에서의 적정 시간분포형으로 결정하였으나, 기존의 배수처리유역과는 판이하게 다른 화산도서유역에서의 유출특성임을 고려하여 본 연구에서는 4가지 분포형에 대해 모두 적용을 하여서 각 분포형별로 유출변화양상을 분석하고자 한다. 다음 Fig. 2는 제주도 화산도서의 Huff's의 2분위에 의한 무차원 우량분포도를 나타낸 것이 다.

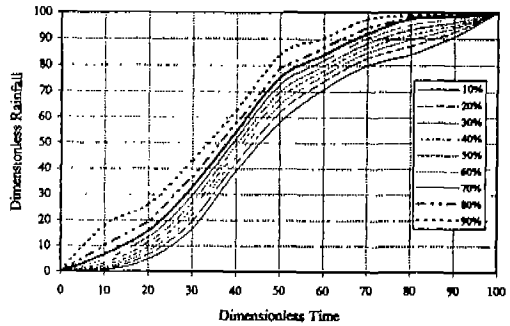


Fig. 2. Huff's 2 rainfall distribution type in Cheju volcanic island

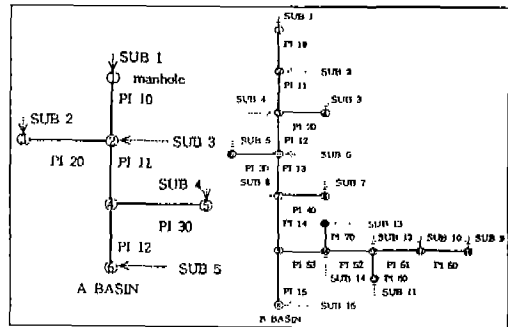


Fig. 3. Pipe network schematic diagram of Cheju urban catchment(A, B basin)

### 3. 유역현황 및 배수체계

본 연구대상유역인 제주도 북제주군 구좌읍 송당천유역에서 우수배제시설 검토지역의 수문학적 특성을 분석하기 위하여 대상유역내의 지형특성을 고려한 결과 A(면수동), B(통항동), C(중앙동), D(전항동)의 4개의 유역배수시스템을 구성하였으나, 그 중 배수처리시설이 잘 구성되어 있고, 유역의 개발유역면적과 개발유역형상이 상이한 A(면수동), B(통항동)유역을 연구대상유역으로 선택하였으며, Fig. 3는 A, B유역의 배수시스템 구성도이며, Table 3은 A, B유역의 배수체계현황이다.

### 4. 지질 및 유출특성

제주도는 한반도와는 전혀 다른 지질구조를 가진 현무암질용암류와 화산쇄설물로 이루어진 화산도로서, 화산지형의 특색이 뚜렷한 지질구조를 형

Table 3. Drainage system data of Cheju urban catchment(A, B basin)

	A	B
Basin area(ha)	27.6	201.4
Channel length(m)	855	3,600
Channel slope	0.009	0.015
Soil group	A Type	A Type
Sub-basin	5	15
Upper drainage pipe	φ 450mm	□0.4×0.5m
Lower drainage pipe	φ 600mm	□2.0×1.5m

성하고 있다. 본 연구대상유역인 송당리유역의 지질은 침상장석감람석현무암(FOB)과 비현정질현무암(APB)분포지대로서, 침상장석감람석현무암은 장석과 감람석의 반정을 함유하는 치밀한 암석으로 암석표면에는 주상절리가 잘 발달되어 있으며,

다공질이고 기공이 크며 투수성이 양호한 암질로서 곳에따라 다양한 변화를 나타내는 특징을 갖고 있고, 비현정질현무암은 비현정질이고 다공질이며 길쭉한 기공 및 투수성이 양호한 암질로서의 특징을 갖고 있다. 따라서 이러한 지질 및 투수특성 때문에 제주도 도서유역에서의 하천유출의 기본자료인 하천유출량 측정자료가 전무하기 때문에 제주도의 유출특성에 대한 수치계산은 현재로는 거의 불가능한 실정이다. 그리고 기저유출에 대해서는 기본암의 투수성 때문에 육지부의 일반하천과는 상당히 다른 조건을 갖고있어 기저유출 측정은 매우 어렵고, 한국수자원공사(1993)<sup>15)</sup>의 제주도 수자원 종합개발계획수립보고서에 의하면 제주도의 직접유출은 호우시의 경우 700m 이상의 고지대에서 유출량이 급격히 상승하는 것으로 나타났으나 유하도중 지하로 침투하여 하천하류에서의 유출량은 상당히 감소하는 것으로 나타나고 있다. 그러므로 본 연구에서는 실측유출량자료에 의한 매개변수의 검정이 없는 관계로 인하여, 모형 매개변수결정에 있어서 ILLUDAS model에서 제시된 매개변수중 토양형의 종류를 SCS의 토양분류에 의하여 침투율이 매우 높고, 유출율이 매우 낮은 진흙, silt가 거의 없는 깊은 모래층 또는 자갈층의 토양인 Type A형으로 선택하였으며, 선행토양함수조건(AMC)는 AMC-I의 상태를 선택하였고, 녹지지역의 초기손실량을 8.0mm, 포장지역의 초기손실량을 4.0mm로 결정하였다. 또한 SWMM에서는 초기침투능을 254.0mm/h, 중기침투능을 25.4mm/h, 손실저류깊이를 투수지역은 8.00mm, 불투수지역을 4.00mm로 결정하였다.

#### IV. 모형의 적용 및 비교분석

##### 1. 모형의 적용

도시유역에서의 수문학적 해석은 주로 유출해석 결과에 따른 대상유역의 우수관거의 설계, 우수지의 용량결정, 펌프의 용량결정등을 들 수 있으며, 여기에는 총유출체적, 침투유출량, 수문곡선의 형태 등이 설계의 기준이 된다.<sup>9)</sup> 본 연구에서는 제

주도 도서유역의 도시소유역인 송당천유역의 A, B배수시스템에서 도시유출모형인 ILLUDAS model과 SWMM을 적용하기 위하여, Huff's의 4분위법에 의해서 설정된 강우분포형을 이용하여 재현기간과 강우지속기간에 따른 침투유출량, 총유출체적 및 침투발생시간을 산정하였다. 같은 재현기간에 대하여 강우의 분위별로 침투유출량의 크기는 강우지속기간 30분, 60분, 120분 및 180분에 있어서 A유역은 ILLUDAS model 및 SWMM에서 침투유출량의 차이는 거의 없으나, B유역은 SWMM이 ILLUDAS model보다 평균적으로 10% 정도로 침투유출량이 높게 산정되었으며, Huff's의 4분위의 값이 가장 높게 산정되었다. 또한 총유출체적의 크기는 강우지속기간 30분, 60분, 120분 및 180분에서 모형별로 각 분위에 따라 약간의 차이는 있으며, ILLUDAS model에서는 A, B유역에서 Huff's의 4분위의 총유출체적이 가장 높게 산정이 되었고, SWMM에서는 Huff's의 1분위에서 총유출체적이 가장 높게 산정이 되었다. 또한 각 지속기간별로 SWMM은 ILLUDAS model과 비교하여 A유역은 유사한 값을 산정하였으나, B유역에서는 총유출체적이 SWMM이 높게 산정되었다. A유역의 경우는 침투유출량과 총유출체적에 있어서 ILLUDAS model과 SWMM이 거의 비슷한 결과치를 나타내었는데, 이는 A유역이 B유역에 비해 유역면적이 상대적으로 작아서 수문모형이 침투유출량 및 총유출체적에 미치는 영향을 정확하게 분석하지 못한 것으로 사료된다. 또한 침투발생시간은 지속기간 및 재현기간별로 SWMM이 ILLUDAS model보다 각 분위별로 침투발생시간이 적은 것으로 분석되었으며, A, B유역의 Huff's의 4분위에 대해서 강우지속기간과 침투유출량이 발생하는 침투발생시간이 동일한 것으로 분석되어서, A, B유역의 Huff's의 4분위에 대한 강우지속기간은 임계지속기간으로 선정할 수 있다. 따라서 본 연구에서 ILLUDAS model과 SWMM을 적용하여 분석한 결과중에서 지속기간별 최대 침투유출량이 산정된 A유역은 30분 지속기간, B유역은 120분 지속기간에 대해 정리하면 Table 4(a)~(b)와 같

Table 4(a). Result of runoff analysis at A drainage basin in Cheju Volcanic Island

Return Period(year) \ Duration(min)		ILLUDAS(30min)				SWMM(30min)			
		Huff's 1	Huff's 2	Huff's 3	Huff's 4	Huff's 1	Huff's 2	Huff's 3	Huff's 4
2.33	Qp (m <sup>3</sup> /s)	2.74	4.18	4.21	4.77	3.67	4.71	4.35	5.76
	Qt (m <sup>3</sup> )	3,311	3,386	3,336	4,611	3,620	3,580	3,580	3,500
	Tp(min)	8.8	16.3	25.0	30.0	2.5	12.5	17.5	30.0
5	Qp (m <sup>3</sup> /s)	3.96	5.59	5.61	6.43	4.86	6.03	5.54	7.49
	Qt (m <sup>3</sup> )	4,611	4,598	4,598	4,661	4,840	4,830	4,840	4,770
	Tp(min)	8.8	16.3	25.0	30.0	2.5	12.5	17.5	30.0
10	Qp (m <sup>3</sup> /s)	4.88	6.88	6.73	7.69	5.61	7.09	6.49	8.93
	Qt (m <sup>3</sup> )	5,661	5,649	5,649	5,661	5,750	5,730	5,730	5,680
	Tp(min)	8.8	16.3	25.0	30.0	2.5	12.5	17.5	30.0
20	Qp (m <sup>3</sup> /s)	5.74	7.78	7.77	8.95	6.59	8.02	7.41	10.13
	Qt (m <sup>3</sup> )	6,586	6,574	6,698	7,478	6,830	6,790	6,830	6,740
	Tp(min)	8.8	16.3	25.0	30.0	2.5	12.5	17.5	30.0
30	Qp (m <sup>3</sup> /s)	6.06	8.37	8.30	9.59	7.16	8.67	7.90	10.91
	Qt (m <sup>3</sup> )	7,123	7,098	7,753	8,458	7,340	7,320	7,280	7,240
	Tp(min)	8.8	16.3	25.0	30.0	2.5	12.5	17.5	30.0
50	Qp (m <sup>3</sup> /s)	6.58	9.03	9.06	10.45	7.72	9.33	8.56	11.71
	Qt (m <sup>3</sup> )	7,724	8,259	9,162	9,722	7,970	7,950	7,940	7,900
	Tp(min)	8.8	16.3	25.0	30.0	2.5	12.5	17.5	30.0
80	Qp (m <sup>3</sup> /s)	7.02	9.60	9.55	11.02	8.15	9.73	8.95	12.24
	Qt (m <sup>3</sup> )	8,174	9,064	10,023	10,511	8,400	8,370	8,390	8,310
	Tp(min)	8.8	16.3	25.0	30.0	2.5	12.5	17.5	30.0
100	Qp (m <sup>3</sup> /s)	7.45	10.17	10.13	11.66	8.57	10.26	9.46	12.90
	Qt (m <sup>3</sup> )	8,573	9,891	10,886	11,383	8,820	8,790	8,810	8,740
	Tp(min)	8.8	16.3	25.0	30.0	2.5	12.5	17.5	30.0

다. 또한 다음 Fig. 4(a)~(d)는 본 연구대상유역인 A, B유역에서 Huff's의 4분위에 대한 재현기간별 유출수문곡선을 나타낸 것으로서 대체적으로 지속기간 및 재현기간에 대해서 거의 비슷하게 나타내고 있어서 두 모형의 유출량산정이 적정한 것으로 판단된다.

## 2. 강우특성변화에 따른 유출영향분석

본 연구에서는 ILLUDAS model과 SWMM에 의한 유출결과에서 A, B유역의 적정 강우분포형으로 선정된 Huff's의 2분위값과 침투유출량의 산

정에서 상대적으로 크게 산정된 Huff's의 4분위값을 비교하기 위하여 각 지속기간별로 Huff's의 2분위값을 기준으로 4분위값에 대한 침투유출량의 크기비율  $Q_p$  (%)을 산정하였으며, 총유출체적의 산정에서는 각 지속기간별로 Huff's의 2분위 값을 기준으로 ILLUDAS model에서 상대적으로 크게 산정된 4분위 값과 SWMM에서 상대적으로 크게 산정된 1분위값에 대한 총유출체적의 크기비율  $Q_t$  (%)을 산정하였다. 분석결과에 의하면 침투유출량의 경우는 강우지속기간이 증가함에 따라 ILLUDAS model과 SWMM에서 Huff's의 4분위

Table 4(b). Result of runoff analysis at B drainage basin in Cheju Volcanic Island

Duration(min) Return Period(year)		ILLUDAS(120min)				SWMM(120min)			
		Huff's 1	Huff's 2	Huff's 3	Huff's 4	Huff's 1	Huff's 2	Huff's 3	Huff's 4
2.33	Qp (m <sup>3</sup> /s)	3.89	4.75	4.47	6.04	8.85	10.39	10.07	11.27
	Qt (m <sup>3</sup> )	14,116	14,071	14,093	14,118	44,500	43,000	39,800	33,200
	Tp(min)	15.0	55.0	80.0	120.0	15.0	50.0	75.0	120.0
5	Qp (m <sup>3</sup> /s)	5.22	6.30	5.97	7.88	10.49	11.41	11.22	12.56
	Qt (m <sup>3</sup> )	19,000	19,042	18,976	19,058	81,500	76,100	71,600	69,700
	Tp(min)	15.0	55.0	80.0	120.0	15.0	50.0	70.0	120.0
10	Qp (m <sup>3</sup> /s)	6.35	7.58	7.17	9.61	11.59	12.24	12.00	13.57
	Qt (m <sup>3</sup> )	22,969	22,990	23,035	25,778	95,500	91,900	85,800	79,200
	Tp(min)	15.0	55.0	80.0	120.0	10.0	50.0	70.0	120.0
20	Qp (m <sup>3</sup> /s)	7.43	8.83	8.25	11.72	12.29	13.02	12.79	14.58
	Qt (m <sup>3</sup> )	26,850	26,805	30,321	46,518	105,000	101,000	95,800	88,700
	Tp(min)	15.0	55.0	80.0	120.0	10.0	50.0	70.0	120.0
30	Qp (m <sup>3</sup> /s)	7.85	9.52	9.35	12.91	12.67	13.48	13.20	15.18
	Qt (m <sup>3</sup> )	28,924	28,946	45,144	61,276	110,000	106,000	102,000	94,300
	Tp(min)	15.0	55.0	80.0	120.0	10.0	50.0	70.0	120.0
50	Qp (m <sup>3</sup> /s)	8.70	10.34	10.00	14.72	13.24	14.03	13.75	15.87
	Qt (m <sup>3</sup> )	31,688	36,418	65,374	80,775	117,000	113,000	110,000	103,000
	Tp(min)	15.0	55.0	85.0	120.0	10.0	50.0	70.0	120.0
80	Qp (m <sup>3</sup> /s)	9.34	11.19	10.81	15.43	13.81	14.54	14.26	16.56
	Qt (m <sup>3</sup> )	34,917	50,623	84,115	97,845	124,000	120,000	116,000	110,000
	Tp(min)	15.0	55.0	85.0	120.0	5.0	50.0	70.0	120.0
100	Qp (m <sup>3</sup> /s)	9.81	11.59	11.03	15.92	14.01	14.77	14.49	16.88
	Qt (m <sup>3</sup> )	41,445	57,299	93,076	105,949	126,000	123,000	119,000	113,000
	Tp(min)	15.0	55.0	90.0	120.0	5.0	50.0	70.0	120.0

값과의 차이를 나타내는 침투유출량 크기비율이 증가하는 것으로 분석되었으며, 총유출체적의 경우는 A, B유역에서 ILLUDAS model은 크기비율의 변화가 최대 100% 이상으로 나타났으나, SWMM은 강우지속시간에 따른 크기비율의 변화가 적은 것으로 분석되었다. 본 분석의 예를 들면 재현기간 20년의 경우 강우지속시간 30분, 60분, 120분 및 180분에 대하여 침투유출량의 크기는 A, B유역에서 ILLUDAS model은 18.57, 21.93, 30.24 및 36.50%와 12.12, 15.27, 34.22 및 59.92%로 증가하고, SWMM에서는 20.01, 22.59, 23.20 및 23.50%와 8.34, 10.05, 10.81 및 12.02%로 증가하였

으나, 총유출체적의 크기는 ILLUDAS model에서는 A, B유역에서 각각 30 및 150%, SWMM에서는 각각 1 및 6% 내외에서 변화하고 있음을 알 수 있다. 따라서 도시화유역에서의 강우지속시간으로 대도시의 경우 하천시설기준에 120분으로 결정되어 있는것과 비교할 때 유역면적과 유역형상 개발에 따라 적정 강우지속시간과 강우분포형을 선정할 때 매우 유의하여야 함을 알 수 있다. 또한 도시화유역에서 통상적으로 적용되고 있는 강우지속시간의 기준인 120분은 유역면적에 따라 임계지속시간을 산정치 못하는 경우에도 적용이 되 간은 이들간의 상관관계를 정확히 분석한 후에 해



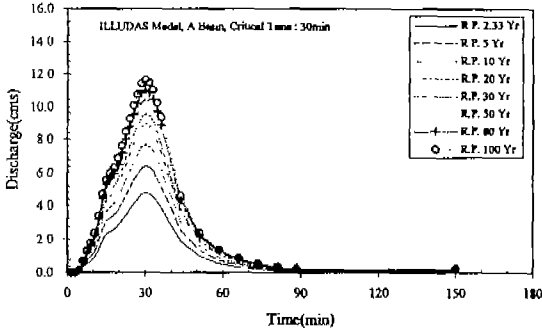


Fig. 4(a). Hydrograph by ILLUDAS model  
(A basin, Critical Time : 30min)

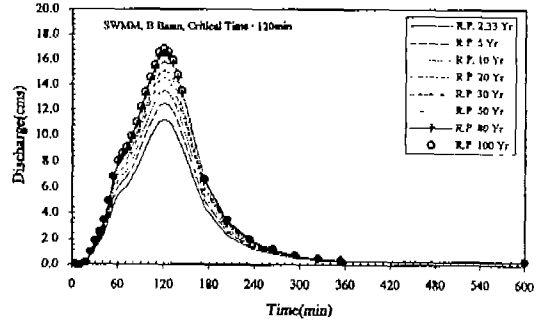


Fig. 4(d). Hydrograph by SWMM  
(B basin, Critical Time : 120min)

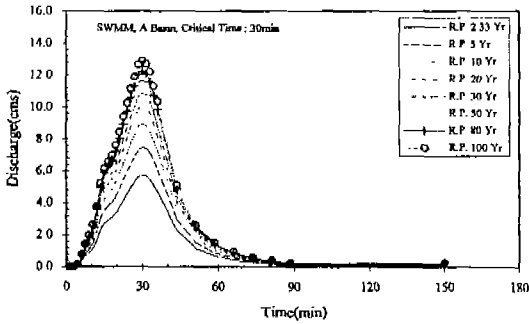


Fig. 4(b). Hydrograph by SWMM  
(A basin, Critical Time : 30min)

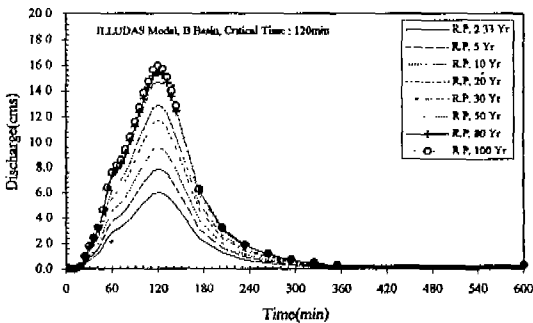


Fig. 4(c). Hydrograph by ILLUDAS model  
(B basin, Critical Time : 120min)

당지역에 적정한 강우지속기간과 강우분포형을 선정하여야 한다. Fig. 5(a)~(d)는 A, B유역의 지속기간에 따른 침투유출량의 변화양상을 나타내기 위하여 최대침투유출량을 나타내는 Huff's의 4분위의 값을 적용하여 모형별로 분석한 것이며, Table 5(a)~(b)는 A, B유역의 ILLUDAS model과 SWMM의 강우분포형과 강우지속기간변화에 따른 침투유출량의 크기비율과 총유출체적의 크기비율을 산정한 것이다.

### 3. 기존연구결과와의 비교검토

제주도 도서유역에서 도시화유역 내수처리시스템 설계를 위한 유출특성 분석결과를 기존의 연구결과와 비교하여 검토해보면 먼저 강우량의 경우 제주도 도서유역에서는 20년 빈도, 강우지속기간 120분에 대해 확률강우량은 124.1mm로 산정되었고, 수도권지역에서는 빈도별 확률강우량은 이원환(1980)13)과 서울특별시(1987)<sup>8)</sup>에 의해 강우강도식이 제시되었으며, 20년 빈도의 강우지속기간 120분에 대한 확률강우량의 경우 각 확률강우강도식에 의해 102.8mm와 125.9mm로 산정되었다. 그리고 강우분포형의 경우 제주도 도서유역은 본 연구에 의하여 Huff's의 2분위값이 가장 많았으며, 수도권지역에서도 서병하(1989)<sup>6)</sup>등에 의하여 Huff's의 4분위중 2분위에 해당하는 강우분포형이 가장 많은 것으로 분석되었다. 또한 침투능 매개변수의 선정 및 침투유출량의 분석에서 서규우

고 있으나, 이는 유역의 특성을 정확히 반영하지 못하는 한계가 있다. 그러므로 수문해석이나 설계 과정에서 선택할 강우의 시간적 분포형과 지속기

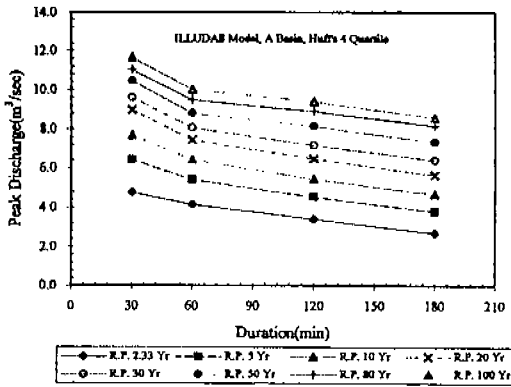


Fig. 5(a). Peak discharge variation by ILLUDAS model (A basin, Huff's 4)

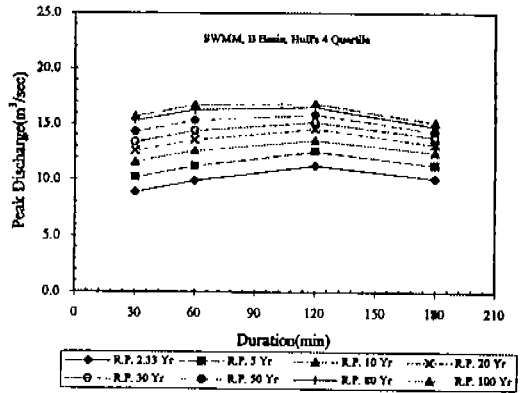


Fig. 5(d). Peak discharge variation by SWMM (B basin, Huff's 4)

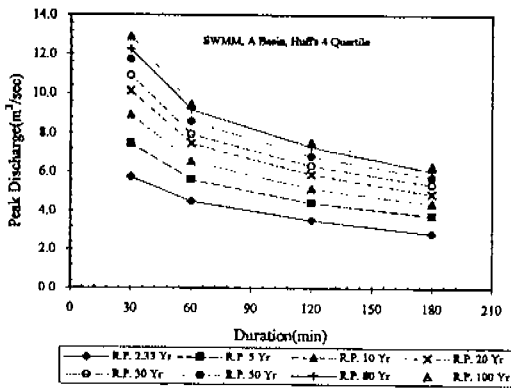


Fig. 5(b). Peak discharge variation by SWMM (A basin, Huff's 4)

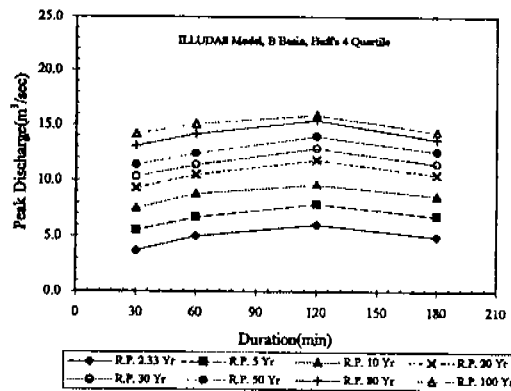


Fig. 5(c). Peak discharge variation by ILLUDAS model (B basin, Huff's 4)

(1997)는 ILLUDAS model의 경우는 토양형은 SCS토양형 중에서 Type C형 및 선행토양 함수조건은 AMC-III를 선정하였으며, SWMM의 경우는 손실저류깊이를 투수유역은 4.0mm, 불투수지역은 2.0mm로 선정하여 분석한 경남 Y 택지개발지구에서의 유역면적 293.00ha에 있어서 Huff's의 2분위에 대한 재현기간 100년의 침투유출량의 경우 ILLUDAS model은 약 68.3cms, SWMM은 약 90.6cms로 분석되었으며, 본 연구의 제주도 도서유역에서는 ILLUDAS model의 경우는 토양형은 SCS 토양형 중에서 Type A형 및 선행토양 함수조건은 AMC-I을 선정하였으며, SWMM의 경우는 손실저류깊이를 투수유역은 8.0mm, 불투수지역은 4.0mm로 선정하여 분석한 201.40ha의 결과인 ILLUDAS model은 약 15.9cms, SWMM은 약 16.9cms로 산정되어 유역면적에 비교하여 제주도 도서유역의 침투유출량이 상당히 적게 산정되는 것으로 분석되었다.

## V. 결 론

본 연구에서는 제주도 북제주군 구좌읍 세화-송당유역에 1997년 8월 3일 폭우로 인하여 가옥침수, 도로유실, 농경지침수, 유실 등 많은 피해가 발생하였다. 따라서 본 홍수의 분석과 이러한 홍수피해를 최소화하기 위한 재해방지의 일환으로

제주도 화산도서에서 도시화유역 내수처리시스템 설계를 위한 유출특성분석

Table 5(a). Runoff ratio calculation due to rainfall duration variation & return period(ILLUDAS model)

Return Period(year)		Duration (min)	A (Basin)				B (Basin)			
			30	60	120	180	30	60	120	180
2.33	Qp(%)	18.22	21.43	26.13	27.50	11.22	15.14	25.46	27.08	
	Qt(%)	0.23	1.21	0.44	0.50	0.29	1.22	0.33	0.64	
5	Qp(%)	17.34	19.51	28.15	28.86	12.31	16.34	25.10	26.97	
	Qt(%)	0.00	0.00	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.95	
10	Qp(%)	18.23	21.19	28.29	30.64	10.23	13.18	26.79	41.57	
	Qt(%)	0.28	0.30	2.43	8.55	0.21	0.31	12.13	43.32	
20	Qp(%)	18.57	21.93	30.24	36.50	12.12	15.27	34.22	59.92	
	Qt(%)	1.45	2.19	14.02	19.27	10.11	17.43	73.54	99.36	
30	Qp(%)	19.02	22.83	32.98	45.80	13.22	15.85	35.53	45.90	
	Qt(%)	2.34	9.71	21.58	28.84	23.11	50.73	111.69	144.99	
50	Qp(%)	19.01	22.60	40.83	50.53	14.34	19.28	42.90	43.32	
	Qt(%)	7.22	17.57	26.37	27.41	23.48	91.88	121.80	111.98	
80	Qp(%)	20.90	22.85	42.44	55.56	16.43	23.61	33.11	37.81	
	Qt(%)	13.24	22.49	24.40	24.16	45.33	107.94	93.28	83.07	
100	Qp(%)	22.12	25.86	45.11	54.91	15.34	19.49	25.16	29.69	
	Qt(%)	12.11	21.24	23.63	21.43	35.49	94.56	84.91	66.87	

Table 5(b). Runoff ratio calculation due to rainfall duration variation & return period(SWMM)

Return Period(year)		Duration(min)	A (Area)				B (Area)			
			60	60	120	180	60	60	120	180
2.33	Qp(%)	21.22	23.54	26.35	27.56	6.24	8.41	11.56	11.89	
	Qt(%)	0.00	0.00	0.25	0.10	3.23	13.97	33.04	48.25	
5	Qp(%)	20.12	22.77	23.13	24.44	5.32	7.85	8.92	10.08	
	Qt(%)	0.00	0.00	0.00	0.75	1.32	5.43	13.83	17.81	
10	Qp(%)	20.03	22.70	22.72	22.75	6.58	9.11	9.98	10.90	
	Qt(%)	0.12	0.12	0.00	0.00	0.02	0.27	3.92	4.55	
20	Qp(%)	20.01	22.59	23.20	23.50	8.34	10.05	10.81	12.02	
	Qt(%)	0.20	0.20	0.66	0.54	0.00	2.07	3.96	5.66	
30	Qp(%)	20.01	22.42	23.73	23.92	8.55	10.33	11.59	12.63	
	Qt(%)	0.95	0.95	0.00	0.00	0.00	1.77	3.77	5.22	
50	Qp(%)	21.11	23.19	23.70	24.00	9.35	11.11	11.95	13.12	
	Qt(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.69	3.54	4.92	
80	Qp(%)	21.13	23.22	23.77	24.77	9.53	11.50	12.31	13.93	
	Qt(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	1.94	3.33	4.69	
100	Qp(%)	21.15	23.27	24.14	25.18	9.92	11.69	12.74	14.33	
	Qt(%)	0.00	0.00	0.50	0.40	0.45	2.00	2.44	3.73	

개발유역면적과 개발유역형상이 상이하여 도달시간이 서로다른 두 개의 배수유역에 대해 침투능을 비롯하여 지질구조가 기존의 지역과 전혀다른 화산도서의 도시소유역 유출해석을 위하여 기존의

도시홍수 유출모형중에서 미국 및 국내에서의 적용을 통하여 검증받은 ILLUDAS model과 SWMM을 이용하여 Huff's의 4분위법에 의한 강우분포형과 30분, 60분, 120분 및 180분의 4가지

강우지속기간별로 나누어서 8가지의 재현기간에 대해서 도시유출해석을 통하여 화산도서유역에서 우수처리시설, 하수처리시설 및 수해방지대책의 수립시에 있어서 기본자료로 제공하는 것을 본 연구의 목적으로 하고 있다. 따라서 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 제주도 도서유역의 강우특성분석을 위하여 제주도 전역을 Thiessen망을 구축하여 4개 소유역으로 분할하였으며, 강우의 시간적분포는 Huff's의 4분위법을 이용하여 분석한 결과 Huff's의 2분위법이 가장 적절한 분포형으로 분석되었다. 또한 연최대치 시강우자료의 빈도분석결과 제주도의 확률분포형은 Type- I Extreme 분포형이 가장 적합한 것으로 분석되었다.

2) 도시유출모형인 ILLUDAS model과 SWMM을 이용하여 Huff's의 4분위법과 강우지속기간에 따른 유출해석의 결과 A유역은 침투유출량 및 총유출체적의 산정에 두 모형의 큰 차이는 없으나, B유역은 SWMM이 ILLUDAS model보다 높게 산정되었으며, 최대 침투홍수량에 대한 최적지속기간은 A유역은 30분, B유역은 120분 지속기간으로 분석되었다.

3) Huff's 강우분포형의 변화에 따른 침투발생시간을 산정한 결과 Huff's 4분위값에 의해 산정된 값은 강우지속기간과 침투발생시간이 동일 한 것으로 분석되어 본 연구에서는 임계지속기간으로 설정할 수 있다.

4) 침투유출량의 산정에서는 ILLUDAS model과 SWMM에서 강우지속기간이 증가함에 따라 침투유출량 크기비율이 A, B유역에서 증가하는 것으로 나타났으며, 총유출체적의 산정에서는 A, B유역에서 SWMM이 ILLUDAS model보다 강우지속기간에 따른 크기비율의 변화가 적은 것으로 분석되었다.

그러나 본 연구에서는 실측유출량자료를 이용한 ILLUDAS model과 SWMM에 대한 제주도 도서유역에서의 매개변수 검정결과가 없으므로, 본 분석의 결과를 이용한 내수처리시스템 설계를 위해서는 실측유출량자료와의 검토를 통한 모델의 신

뢰성을 검정하여야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 건설부, 1992, 하수도 시설기준.
2. 건설부, 1993, 하천시설기준.
3. 김성원, 조정석, 1998, 도시 소하천 개발에 따른 유출변화량의 모의기법에 관한 연구, 한국환경과학회 논문집, 제 7권, 제 4호, pp. 451 ~ 459.
4. 서규우, 박문형, 이동진, 조원철, 1997, 도시화 유역에서의 강우특성변화에 따른 유출영향분석, '97년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 244 ~ 249.
5. 서규우, 배덕효, 심재현, 이재준, 1996, 유역개발에 따른 도시하천에서의 유출량 및 도달시간 변화에 관한 연구, 한국수자원학회지, 제 29권, 제 3호, pp. 207 ~ 216.
6. 서병하, 김남원, 1989, 지역별 설계강우의 시간적분포, 연구보고서, 89-WR-111, 한국건설기술 연구원.
7. 서병하, 전병호, 이흥래, 김형우, 1989, 도시소규모 단지의 우수유출량 산정기법에 관한 연구, 연구보고서, 한국토지개발공사.
8. 서울특별시, 1988, '87 수해백서 보고서, 한국수문학회.
9. 원석연, 윤용남, 1993, 도시유역의 홍수량산정을 위한 도시유출모형 연구, 대한토목학회 논문집, 제 13권, 제 5호, pp. 135 ~ 146.
10. 윤용남, 전병호, 이종태, 1992, 도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템분석 및 설계기법의 개발, 연구보고서, KOSEF 90-0700-05, 한국과학재단.
11. 이순탁, 1989, 포항철강 홍수대비 조사연구, 연구보고서, 포항철강공업관리공단.
12. 이순탁, 안승섭, 1990, 도시유역에서 우수유출에 관한 연구( I ), 영남대학교, 공업기술연구소 연구보고, 제 18권 제 2호.
13. 이원환, 1980, 도시하천 및 하수도 개수계획상

- 의 계획강우량설정에 관한 추정계획적 해석, 대한토목학회지, 제 28권, 제 4호, pp. 85~96.
14. 제주도청, 1997, 폭우피해지역(구좌읍) 항구대책 연구.
  15. 한국수자원공사, 1993, 제주도 수자원 종합개발계획수립보고서.
  16. Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., 1988, Applied hydrology, McGraw-Hill Book Co.
  17. Horner, W.W. and Flynt, F.L., 1936, Relation Between Rainfall and Runoff from Small Urban Areas, Trans. ASCE, 20, No. 140.
  18. Huber, W.C., and Dickinson, R.E., 1988, Storm Water Management Model Version 4.0 Part A: User's manual, EPA/600/3-88/001a, Envir. Protection Agency.
  19. Huff, F.A., 1990, Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois, State of Illinois, Water Survey, ISWS/CIR-173/90, Circular 173.
  20. Izzard, C.F., 1946, Hydraulics of runoff from developed surfaces, Proceedings 26th Annual Meeting Highway Research Board, V.26, 129~146.
  21. Kuichling, E., 1899, The relation Between the Rainfall and the Discharge of Sewers in Populous Districts, Trans. ASCE, 20.
  22. Terstriep, M.L. and Stall, J.B., 1974, The Illinois Urban Drainage Area Simulator - ILLUDAS, Bulletin 58, State Wat. Surv., Urbana, Illin.
  23. Singh, V.P., 1995, Computer models of watershed hydrology, Water Resources Publications Co.