

# 지표면유출 해석방법이 도시 유역의 홍수량 산정에 미치는 영향

## Effects of Calculation Method of Surface Runoff on the Estimation of Flood in Urban Drainage Basin

이종태\* · 윤세의\* · 김정환\*\*

Lee, Jong Tae · Yoon, Sei Eui · Kim, Jung Hwan

### Abstract

The effects of the calculation method of surface runoff on the estimation of flood in urban drainage basin were analyzed in this study. In comparing with surface runoff methods, RUNOFF, ILLUDAS, SBUH and RRL were investigated. To route the flow in sewer/conduits EXTRAN was applied. The Kings Creek and Gray Haven drainage basin's measured data of rainfall and runoff were used in comparing the computed results. The results show that the greatest effect factor on surface runoff in urban small area is the concentration time. The results estimated by each model which are composed with EXTRAN show that the scheme for surface runoff gives considerable effect on the flood hydrograph in urban drainage system. RUN-EX method gives the most similar simulation results among the surface runoff models, and is more applicable for paved and unpaved basins than others.

### 요 지

본 연구는 도시 배수구역에서 지표면유출과 우수로의 홍수추적 과정을 통하여 홍수량을 산정하는데 있어서, 지표면유출 해석방법이 결과치에 미치는 영향을 분석하였다. 지표면유출 해석이론의 비교연구를 위해서는 RUNOFF, ILLUDAS, SBUH, RRL 등의 해석모형들을 사용하였으며, 배수관망내 흐름 해석에는 EXTRAN을 사용하였다. 가상 및 실측 경우, 유출량자료가 있는 유역에 대하여 각각 유출해석을 실시하였다. 각 도시 소배수구역의 유출모형에 의한 결과는 도시홍수량 산정에 상당한 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다. 지표면유출 해석 결과치에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 도달시간으로 판단되었다. 적용 모형 중 RUN-EX(RUNOFF-EXTRAN)법이 포장, 비포장유역의 해석에 모두 적합하였으며, 다른 모형들에 비해 실측치에 가장 근사하였다.

### 1. 서 론

도시 배수유역에서의 유출해석을 실시함에 있어서

\* 정희원 · 경기대학교 토목공학과 교수  
\*\* 경기대학교 토목공학과 대학원

계산결과치에 가장 크게 영향을 주는 요소들로서는 소배수구역 분할, 수로·관로 흐름해석의 기본방정식, 연산기법, 지표면유출 해석방법 등이다. 이 중 지표면유출 방법은 강우를 배수체계에 도입하는 가장 중요한 관건이다.

도시 강우-유출해석모형에 관한 연구는 도시화의 규모 및 속도가 급격히 증가하는 1960년대에 이르러서 활발하게 진행되었다. 1962년 영국 도로시험연구소의 Watkins는 도시 우수관망 설계를 위한 RRL 모형을 개발하였다. 이 모형은 우수관망에 직접 연결된 불투수구역으로부터의 유출만을 고려하였으며, 지표면유출 해석방법에는 단위도법을 적용하였다.<sup>(7)</sup> 한편 1964년 미국 토양보존국에서는 유출량 자료가 없는 미계측지역인 경우에 유역의 토양특성, 식생피복 상태 등의 자료로부터 초과강우량을 산출할 수 있는 SCS법을 개발하였다. Terstriep과 Stall 등<sup>(8)</sup>은 RRL 모형의 단점을 보완한 ILLUDAS 모형을 개발하였다. 이 모형의 기본적인 해석방법은 RRL과 같으나, 녹지와 배수로에 직접 연결되어 있지 않은 비포장지역의 유출도 해석을 할 수 있도록 하였다. 1975년에는 도시 홍수량을 소형 전자계산기로 계산하기 위해 유역추적의 개념을 사용하는 SBUH(Santa Barbara Urban Hydrograph Method) 모형이 제안되었다.<sup>(9)</sup> 한편, 1971년 EPA의 지원하에 Metcalf and Eddy사는 Florida 대학 및 W.R.E와의 공동연구로 도시유역에서 강우·유출 전반의 과정을 모의할 수 있는 SWMM 모형을 개발하였으며, 1981년에는 수공구조물로 인한 월류, 배수, 압력류 등의 수리학적 계산이 가능한 EXTRAN 블록이 SWMM 모형에 추가되었다.<sup>(6)</sup>

국내의 도시유출에 관한 연구는 주로 외국에서 개발된 기존 유출모형의 적용성 평가와, 우리나라의 강우특성과 배수유역의 특성치를 도입하는 문제를 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있으며, 하수도, 도시하천, 우수지·배수펌프장의 설계에 활용되고 있다.

본 연구에서는 지표면유출 해석방법이 배수시스템에 대한 유출해석 결과치에 미치는 영향을 중점적으로 검토함으로써, 합리적인 지표면유출 해석모형의 선택을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

지표면 유출 해석방법들의 특성을 비교 검토를 위하여 국내에서 사용되고 있는 SWMM의 RUNOFF, ILLUDAS, SBUH 및 RRL 모형 등을 선택하였다. 각 모형에 의한 지표면 유출계산 결과치는 전 배수구역에 대한 소배수구역으로부터의 유입량 자료로 사용하였다.

전 배수시스템에 대한 배수관망의 유출해석은

EXTRAN에 의해 실시하였으며, 이와 연계되는 지표면유출 모형의 선택이 배수시스템의 하류 및 주요 지점의 유출양상 및 홍수량에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

## 2. 지표면유출 해석 모형

본 연구에서는 각 유출모형들의 이론적 배경을 간단히 열거하였으며, 가상 유역에 대한 각 모형의 계산 결과치들인 침투유량, 도달시간, 총유량 등에 관하여 비교 검토하였다.

### 2.1 RUNOFF

SWMM<sup>(2)</sup> 모형의 초기연산과정에서는 강우로 인한 지표면 유출과 수질변화를 모의하며, 계산된 지표면유출 수문곡선은 다른 블록에서의 유입량자료로 사용된다.

RUNOFF는 운동파(Kinematic wave)공식을 사용하여 소유역에서의 유출을 계산하므로 소유역의 특성들을 적절히 재현할 수 있도록 주의하여 분할 또는 합성한다. 여기서는 도달시간을 유로길이와 초과강우량의 함수로 보아 식 (1)과 같이 표현하였다.

$$t_c = \left( \frac{L}{a \cdot i^{m-1}} \right)^{1/m} \quad (1)$$

식 (1)에서  $t_c$ 는 도달시간(sec),  $L$ 은 소유역 유로길이(m),  $i$ 는 초과강우량(m/s),  $a$ ,  $m$ 은 운동파식의 계수이다.

RUNOFF는 자연 배수유역을 등가의 직사각형 유역으로 단순 가정하여 유출해석을 한다. 이 때 유역폭의 결정은 매우 중요하며, 유역의 형상과 배수관로의 형상 등에 따라 결정한다. 실제로 이들 값을 결정함에는 연구자의 주관을 배제하기 어려우므로 신중을 요한다.

지표면 유출해석을 위한 기본 차분방정식은 다음과 같다.

$$\frac{d_2 - d_1}{\Delta t} = i + WCON \cdot \left( d_1 + \frac{d_2 - d_1}{2} - d_p \right)^{5/3} \quad (2)$$

여기서,  $d$ 는 각 시간대에서의 수심,  $\Delta t$ 는 연산시간 간격,  $WCON = [- (W \cdot S^{0.5}) / (A \cdot n)]$ 은 유역면적( $A$ ), 유역폭( $W$ ), 경사( $S$ ), 조도계수( $n$ )로 구성되는 유역

특성인자,  $d_p$ 는 지면 저류깊이이다. 식 (2)는 Newton-Raphson 방법을 이용하여 풀며,  $d_2$ 가 계산되면 순간유출량이 결정된다. RUNOFF는 ILLUDAS에서와 같은 시간면적법을 사용하나, 연산시간을 임의로 조절할 수 있으며, 도달시간 산정에 있어서 강우강도가 고려되고 있다.

## 2.2 ILLUDAS

ILLUDAS에서는 배수유역을 지표상태에 따라 직접연결 포장지역, 직접연결되지 않은 포장지역, 유출에 기여하는 직접연결 비포장지역, 유출에 기여하지 않는 비포장지역 등 4가지로 나누어 각 유역 특성에 따라 고려되는 손실량을 보정한 후 유출해석을 한다. 도달시간 산정공식으로는 포장유역에서 Manning식을 비포장유역에서는 Izzard식을 사용한다.

유역내 투수유역과 불투수유역의 유로길이가 결정되면 도달시간공식에 의해 계산된 값으로 유로길이를 따라 유역을 소구역들로 분할한다. 도달시간으로 분할된 소구역에서 단위 연산시간당 강우에 대한 유출수문곡선을 구한 후, 유출부에 도달할 때까지 각 소구역에서의 유출수문곡선을 중첩하는 시간면적법을 사용하여 지표면유출 수문곡선을 구한다.

## 2.3 SBUH

SBUH<sup>(3)</sup>에서는 배수유역을 포장지역과 비포장지역으로 나누고, 강우량으로부터 순간유출수문곡선을 구하여 이를 가상의 저수지를 통하여 추적하는 유역추적의 개념을 사용함으로써 유출량을 계산한다. 포장지역에 내린 강우는 전부 유출에 기여하는 것으로 가정한다. 비포장지역에 내린 강우는 손실량을 보정한 유효강우로부터 구한 순간수문곡선을 유입수문곡선으로 보며, 지체시간이 유역의 도달시간과 같다고 가정하여 유출수문곡선을 추적한다. 순간수문곡선은 다음의 식 (3)으로부터 구한다.

$$H(t) = 0.2778 \cdot \frac{\text{Rain}(t) \cdot A}{\Delta t} \quad (3)$$

여기서, H는 순간수문곡선의 종거(cms), Rain은 유효강우량(mm), A는 유역면적(km),  $\Delta t$ 는 연산 단위시간(hr)이며, 지표면유출 추적공식은 식 (4)와

같다.

$$Q(t) = Q(t-1) + K(H(t-1) + H(t) - 2Q(t-1)) \quad (4)$$

여기서, K는 추적계수(=  $\Delta t / (2t_c + \Delta t)$ ),  $t_c$ 는 도달시간(hr), Q(t)는 시간 t에서의 유출량(cms)이다. SBUH 모형에서 유출에 영향을 미치는 요소로는 도달시간( $t_c$ )이나 이 모형에서 특별히 제안된 산정식이 없으므로 본 연구에서는 Kirpich식을 사용하였다.

## 2.4 RRL

소유역의 배수구조물과 도시유역 배수관거의 설계유량 산정에 널리 사용되고 있는 RRL에서의 지표면 유출의 기본방정식은 다음과 같다.

$$Q_j = 0.2778 \sum_{i=1}^j C_{j+1-i} A_{j+1-i} R_i \quad (5)$$

식 (5)에서 Q는 유출수문곡선의 종거(cms), R은 손실을 고려한 우량주상도의 종거(mm/hr), A는 시간 구간별 면적(km<sup>2</sup>), j는 각 연산시간 구간을 나타낸다.

RRL모형에서는 집수유역이 비교적 작은 불투수 지역내에 일정한 강우강도가 도달시간 보다 오래 지속되면 침투유량은 도달시간 이후부터 강우강도에 유역면적을 곱한 값과 같다는 것을 기본가정으로 하였다. 이 때 도달시간은 Jens와 Mcpherson의 식을 사용한다.<sup>(7)</sup> 비포장유역에서의 침투, 저류 등으로 인한 손실은 감소계수(유출계수)를 곱하여 보정한다.

## 2.5 모형간 지표면유출 특성 비교

앞 절에 기술한 각 지표면유출 해석방법간의 차이점을 비교하기 위해 적용방정식, 도달시간산정, 유효우량, 지표면 분류 등의 항목들을 정리하면 다음의 표 1과 같다.

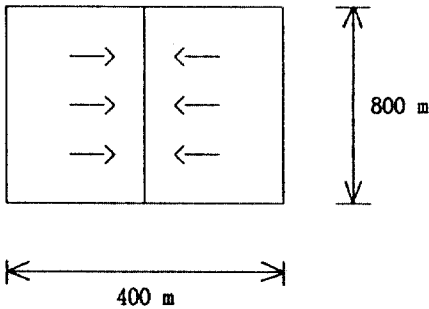
표에서와 같이 각 모형들은 유출수문곡선의 해석에 있어서 대부분 시간면적법을 사용하고 있다. 유출모형들 중 RUNOFF는 지표하(地表下)흐름의 추적이 가능하며, 적용강우에 있어서 복합·이동 강우를 모의할 수 있다.

본 연구에서 선택한 각 유출모형들을 실제 배수유역에 적용하기에 앞서 가상의 단순 배수구역(그림 1)에 적용시켜 각각의 유출특성을 비교검토하였다.

표 1. 지표면 유출모형들의 비교

항목	모형	RUNOFF	ILLUDAS	SBUH	RRL
• 해석방법	시간면적법	시간면적법	시간면적법	유역추적법	시간면적법
• 도달시간 투수지역	Kinematic	Manning		*	*
불투수지역	Kinematic	Izzard			Jens 등
• 요철저류	○	○		×	*
• 지표하추적	○	×		×	×
• 침 투	Horton	Horton		Horton	SCS
• 강 우	설계, 실측 복합, 이동	설계, 실측		설계, 실측	설계, 실측

○: 가능, ×: 불가, \*: 해당/특정사항 없음



유역면적 : 16 ha  
 유역경사 : 2%  
 포장유역 저류량 : 2.5 mm  
 비포장유역 저류량 : 5.0 mm

그림 1. 가상의 배수유역

가상유역에 Huff 제2분위 분포로서 10 mm의 강우가 25분간 지속되는 강우사상을 적용하였다. 지표면이 전부 포장된 경우와 비포장된 경우로 각각 구분하여 유출해석을 실시한 결과는 표 2, 3과 같다.

배수 지표면이 전부 포장인 경우에 있어서의 유출해석을 실시한 결과 RUNOFF, ILLUDAS 및 RRL의 결과치는 첨두유량에서 비슷한 값을 나타내었다. 첨두유량의 도달시간은 RUNOFF와 ILLUDAS가 유사하였고, SBUH와 RRL이 유사하였다. SBUH에서의 첨두유량 값은 타 모형의 것에 비해 작게 산출되었으나, 포장유역에서의 유출율을 100%로 가정하였기 때문에 총 유출량은 다소 크게 산출되었다.

표 2. 가상 배수유역에서 유출해석 결과(포장)

항목	도달시간 (min)	첨두유량 (cms)	총유출량 (m <sup>3</sup> )
모형			
RUNOFF	18.00	26.66	39400.00
ILLUDAS	19.00	26.67	39594.00
SBUH	26.52	21.15	40000.00
RRL	27.00	25.79	39610.00

표 3. 가상 배수유역에서 유출해석 결과(비포장)

항목	도달시간 (min)	첨두유량 (cms)	총유출량 (m <sup>3</sup> )
모형			
RUNOFF	24.00	26.35	37600.00
ILLUDAS	36.00	6.42	37481.00
SBUH	26.52	16.59	31364.00

또한 지표면상태가 유출에 미치는 영향을 검토하기 위해 전 배수역이 비포장인 경우 지표면을 SCS 토양 분류법에 따라 C형, 토양의 초기, 종기침투능 값을 사용하여 유출계산을 실시하고 그 결과를 포장의 경우와 비교하여 보았다.

비포장유역에서 RUNOFF는 도달시간이 길어졌으며 첨두유량은 감소하는 경향을 보였다. ILLUDAS의 경우 도달시간과 첨두유량의 크기에 큰 차이가 발생하였다. 이는 비포장유역에서의 도달시간 값이 과대하게 산출되므로 시간면적법을 사용하는데 있어서 분할된 배수구역의 단위 연산시간당 유출량

이 작아지기 때문인 것으로 보인다. 따라서 ILLUDAS는 불투수면적비가 15% 이상인 유역에 적용하도록 제안되고 있다. SBUH는 도달시간이 포장, 비포장유역에서 모두 일정한 것으로 나타났으며, 이것은 SBUH 모형이 유역추적의 해석방법을 사용하기 때문인 것으로 판단된다. RRL의 경우에는 완전비포장유역에의 유출계수의 선택 및 그 결과의 객관적인 비교에는 무리가 있으므로 제외하였다.

이상은 가상 유역에서의 지표면 유출해석을 각 모형에 의해 실시한 결과로서 적용대상 유역의 형상, 경사, 지표면상태, 강우분포 등에 따라 각 모형에 의한 결과치간의 상대적 크기에 변화가 예상되므로 보다 다양한 유역 및 강우에 대한 적용연구가 추가로 필요하다.

### 3. 우수관망의 흐름 해석

배수시스템내 임의의 시간과 위치에서의 유량과 수심을 계산하기 위해서는 개수로/관수로 등으로 유입되는 각 지표면유출 모형으로부터의 유도된 유입수문곡선을 내부경계조건으로하여 동력학(dynamic) 방정식을 사용하여 추적하는 EXTRAN<sup>(6)</sup>을 사용하였다. 이 모형은 합류·분류 시스템으로 구성되는 도시배수유역의 유출현상을 모의할 수 있으며, 자연수로와 같은 임의 단면의 수로도 사다리꼴의 형태로 근사시켜 계산한다.

EXTRAN은 기본방정식으로서 1차원 부정류 점변류방정식(St.Venant식)을 사용하며, 수치해법으로 양해법(Explicit Method)을 사용하였다. 연산시간 간격은 시스템내에서 가장 짧은 수로/관로를 통과하는 파속의 크기를 고려하여 결정된다. 본 모형에서는 배수시스템을 관로부(Link)와 연결부(Node)로 구성하며(그림 2), 기존의 유출모형이 관망형태를 수지상 형태로 한정된 점을 보완하여 루프형 배수관망에서도 사용 가능하도록 하였다. 또한 웨어, 오리피스, 펌프 등의 수리구조물로 인한 축방류 유입, 부분적인 압력류 등을 계산할 수 있도록 하였다(김정환, 1994).

관거내의 흐름해석은 관로부와 연결부에 각각 운동량방정식과 연속방정식을 교대로 적용하여 시간 t에 대한 유량 Q, 수위 H, 흐름단면적 A 등을 산정하게 된다. 관로에 대해서는 x방향에 관한 운동

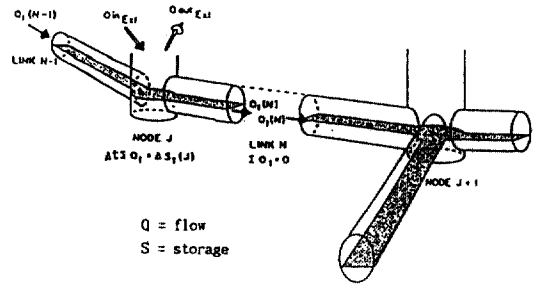


그림 2. 관망의 구성도

량방정식으로부터 식 (6)이 사용된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_t - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

위 식을 차분화하면 EXTRAN에서 사용되고 있는 다음의 차분방정식이 된다.

$$Q_i + \Delta t = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V|} Q_i + 2\bar{V} \left[ \frac{\Delta A}{\Delta t} \right]_i \Delta t + \bar{V}^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - g\bar{A} \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \quad (7)$$

여기서,  $\bar{V}$ ,  $\bar{R}$ ,  $\bar{A}$ 는 가중평균 값이다.

### 4. 도시 배수시스템에 대한 적용

본 연구에서는 각 모형을 실제 배수유역에 적용함으로써 지표면유출해석 방법이 우수관망 하류의 홍수량에 미치는 영향을 비교 검토하였다. 적용대상 배수유역으로서는 실측된 강우, 유출량 자료<sup>(4)</sup>가 있는 (1) Kings Creek, (2) Gray Haven의 두 유역을 선정하였다.

#### 4.1 Kings Creek 배수유역

Kings Creek 배수유역은 미국 Florida주 Dade지역에 위치하며 대부분 아파트지역으로 구성되어 있다. 유역면적은 0.06 km<sup>2</sup>이며, 불투수면적 비율은 70.7%이다. 투수유역은 잔디와 초목으로 구성되어 있어 침투율이 매우 낮다(그림 3).

그림 4는 Kings Creek 유역의 소유역에 각 지표면유출 모형들을 적용시켜 구한 소유역의 유출수문곡선들을 관로에 대한 유입량 자료로 사용하여

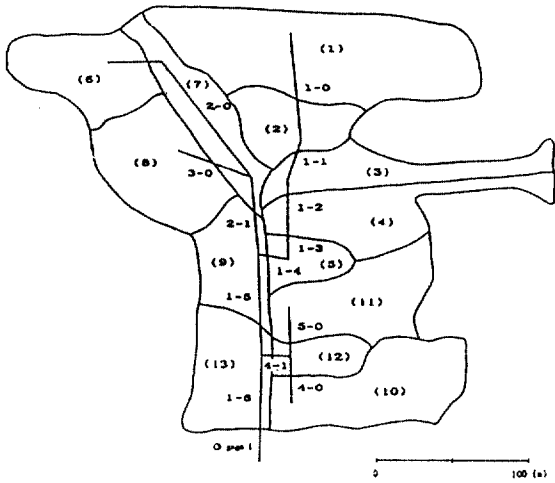


그림 3. Kings Creek 배수유역도

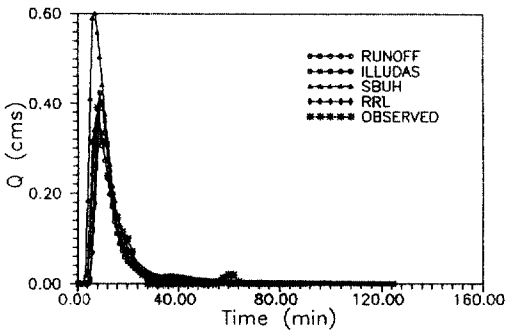


그림 4. 지표면유출모형과 EXTRAN에 의한 유출수문 곡선(KingsCreek)

표 4. 모형의 구성에 따른 유출해석 결과비교

모형	항목	도달시간 (min)	첨두유량 (cms)	총유출량 (m <sup>3</sup> )
RUN-EX		8.00	0.36	234.40
ILL-EX		9.00	0.42	216.60
SBU-EX		7.00	0.60	352.70
RRL-EX		9.00	0.40	206.80
ILL-ILL*		10.00	0.28	155.00
실측치		8.00	0.39	242.00

\*ILL-ILL는 ILLUDAS로 지표면, 관거추적한 결과임

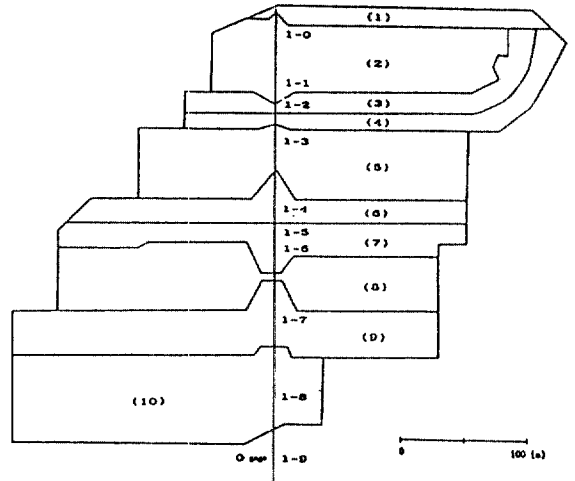


그림 5. Gray Haven 배수유역도

EXTRAN으로 배수관거의 흐름을 추적한 유출수문 곡선이다.

각 지표면유출 모형과 EXTRAN 블럭을 연계시켜 계산한 결과를 정리하면 표 4와 같다. 각 유출 모형들 중 RUNOFF와 EXTRAN을 결합한 RUN-EX (SWMM)의 결과치가 타 모형들 보다 실측치를 정확하게 재현하는 것으로 나타났다. ILLUDAS의 지표면 유출해석 블럭과 EXTRAN을 결합한 ILL-EX는 해석 전과정을 ILL-ILL(ILLUDAS)로 수행한 경우 보다 첨두유량과 총유출량에 있어서 실측치에 보다 근사하였다. ILL-ILL에 의한 결과치는 첨두유량에 있어서 타모형과 상당한 차이를 보여주었다. 총유출량에서 SBUH와 EXTRAN을 결합한 SBU-EX의 값은 타 모형에 비해 크게 계산되었으며, RRL과 EXTRAN을 결합한 RRL-EX는 작게 산출되었다.

#### 4.2 Gray Haven 배수유역

Gray Haven 배수유역은 미국의 Maryland주 Baltimore 지역에 위치하며 대부분 아파트지역으로 구성되어 있다(그림 5). 유역면적은 0.094 km<sup>2</sup>이며 불투수면적 비율은 52%이다.

Gray Haven 유역에서 (1) 1963년 6월 5일 (2) 1963년 6월 10일 두 강우에 대하여 유출해석을 실시하였으며 그 결과는 그림 6 및 그림 7과 같다.

표 5에 의하면 RUN-EX에 의한 결과치가 타 모형들 보다 첨두유량 및 도달시간 등에 있어서 실측치를 정확하게 재현하는 것으로 나타났다.

Gray Haven 배수유역에서 두 번째 강우사상에 대한 유출해석을 실시한 결과는 표 6과 같다. 이 결과치에서도 표 5에서와 같이 RUN-EX에 의한 지표면유출 해석 결과치가 타 모형 보다 실측치를

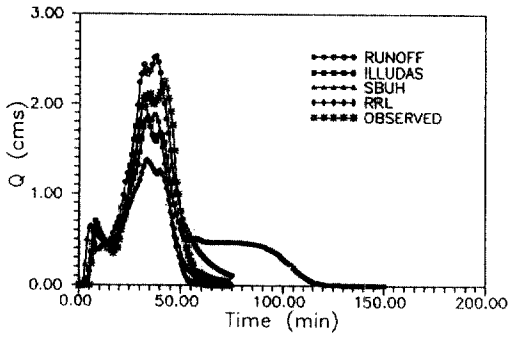


그림 6. 지표면유출모형과 EXTRAN에 의한 유출수문 곡선(Gray Haven 1)

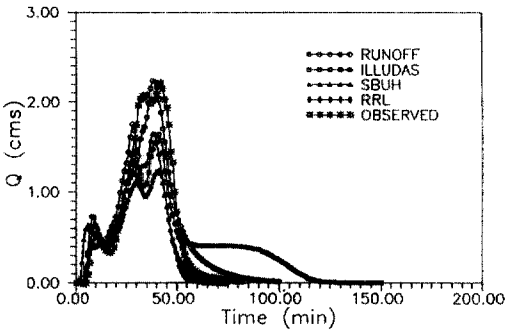


그림 7. 지표면유출모형과 EXTRAN에 의한 유출수문 곡선(Gray Haven 2)

표 5. 모형의 구성에 따른 유출해석 결과의 비교(63/6/5)

항목 모형	도달시간 (min)	첨두유량 (cms)	총유출량 (m <sup>3</sup> )
RUN-EX	38.00	2.53	4093.00
ILL-EX	34.00	1.82	4286.00
SBU-EX	32.00	2.05	3016.00
RRL-EX	34.00	1.37	2232.00
ILL-ILL	34.00	1.87	4201.00
실측치	41.00	2.26	3566.62

정확하게 재현하는 것으로 나타났다. 특히, SBUH 모형의 경우 Kings Creek와 Gray Haven 지역의 유출해석 결과를 비교하여 본 결과 배수유역내 투수면적이 차지하는 비율에 따라 첨두유량과 총유출량에서 큰 편차를 나타내었다. 그림 6, 7에서 ILL-ILL의 경우 유출수문곡선의 후미 부분이 길어지는 것은 투수유역 면적이 크고, 도달시간 계산치가

표 6. 모형의 구성에 따른 유출해석 결과의 비교(63/6/10)

항목 모형	도달시간 (min)	첨두유량 (cms)	총유출량 (m <sup>3</sup> )
RUN-EX	38.00	2.24	3696.00
ILL-EX	41.00	1.64	3824.00
SBU-EX	38.00	1.65	2623.00
RRL-EX	41.00	1.23	2099.00
ILL-ILL	40.00	1.65	3723.00
실측치	42.00	2.21	3485.00

과대하게 산정되었기 때문인 것으로 판단된다.

## 5. 분석 및 고찰

본 연구에서 사용한 RUNOFF, ILLUDAS, SBUH 및 RRL 모형 뿐만 아니라, 대부분의 유출모형에서 사용되고 있는 지표면유출 해석 방법은 유역추적법과 시간면적법이며 이 두가지 해석방법의 기본적인 원리는 유사하다고 볼 수 있다. 대체로 유역추적법은 개략적인 유출량산정에 사용되고 있으며, 대다수의 유출모형들은 임의의 시간까지의 유출량을 누가하여 유역출구에서의 유출량을 산정하는 시간면적법을 사용하고 있다.

지표면유출 해석 방법의 기본적인 원리는 거의 유사함에도, 각 모형에 의한 유출 특성치에 차이가 발생하는 가장 큰 원인은 도달시간의 산정방식이라고 판단된다. 시간면적법은 유역의 크기가 작고, 균등한 경우에는 어느 정도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있으나, 유역면적이 크고 여러가지 다른 특성을 지닌 요소들로 구성되어 있는 경우에는 누적오차로 인해 실제 유출 현상을 재현하기가 힘들다. 그러므로, 여러가지 수리, 수문학적 인자들을 고려할 수 있으며, 포장, 비포장 모든 유역에 적용이 가능하며, 보편적으로 사용할 수 있는 도달시간 산정방식이 필요하다 하겠다.

본 연구에서 지표면유출 해석에 사용한 4가지 모형들 중 RUNOFF에서 도달시간 산정방법으로 사용되고 있는 운동파식은 강우강도가 도달시간에 미치는 영향을 고려할 수 있으며, 포장, 비포장 유역에서의 적용이 가능하고, 유역분할에 있어서도

표 7. ILL-ILL과 ILL-EX의 유출해석 결과(Kings Creek)

모형	지표면유출 (m <sup>3</sup> )	총유출량 (m <sup>3</sup> )	총저류량 (m <sup>3</sup> )
ILL-ILL	217.45	155.10	62.35
ILL-EX	217.45	216.58	0.87
실측치	-	242.00	-

사용자가 원하는 정도로 세밀하게 분할하여 유출 해석을 할 수 있음으로 다른 모형들에서의 산정방법보다 합리적인 것으로 판단된다. 실제 배수유역에 적용하여 본 결과 표 4, 5, 6에 나타난 바와 같이 RUNOFF의 계산결과는 다른 모형들의 것들보다 실측치에 근사하고 있음을 알 수 있었다.

국내에서 널리 사용되고 있는 모형 중의 하나인 ILLUDAS 모형은 배수유역내 불투수면적이 15% 이상인 유역에 적용되어야 한다는 제한을 가지고 있다. 큰 배수유역내에서 소유역들 중 비포장 구역의 비중이 큰 경우에는 소유역 유출에 대한 연산치의 오차가 누적되어 전체 유출에 큰 차가 발생하는 경우가 있는데, 이것은 비포장구역의 도달시간 계산치가 크게 산출되기 때문인 것으로 판단된다.

ILLUDAS의 하수관거 홍수량 추정방법은 관로내 적은 저류량이 발생할 경우에는 저류량을 손실량으로 간주하므로 표 7의 Kings Creek 유역에서와 같이 적은 양의 강우일 경우에는 강우의 대부분이 유출되지 않고 저류되어 결과적으로 손실 처리되는 것으로 나타났다. 따라서, 강우의 양이 적은 경우 또는 배수관망의 크기가 큰 경우에 ILLUDAS 모형의 유출결과가 실측치 보다 적을 것으로 판단된다. 한편, EXTRAN에서는 관망 연결부의 표고와 하류부 연결관로와의 물넘이 턱을 설치하면, 연결부내에 저류가 발생하며, 유출에 있어서 손실량으로 처리된다. 그러나, 본 연구에서는 물넘이 턱이 설치되어 있지 않은 것으로 가정하여 유출해석을 실시하였다.

## 6. 결 론

지표면유출 모형들에 관한 기본적인 특성과 해석 방법을 검토하고, 가상 배수유역 및 실제 배수유역에서 유출해석을 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 지표면유출 모형들의 기본적인 해석 방법은

SBUH 모형을 제외하고는 시간면적법을 사용하였으며 유출에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 도달 시간으로 판단되었다.

2) 가상의 배수유역에 각 지표면 유출모형들을 적용시켜 본 결과 비포장유역에서의 도달시간은 RUNOFF와 ILLUDAS가 유사하게, SBUH와 RRL이 유사하게 나타났으며, 비포장유역인 경우에는 ILLUDAS에서의 도달시간 계산 결과치가 큰 것으로 나타났고, SBUH 모형은 포장, 비포장유역이 모두 일정하였다. RUNOFF의 Kinematic Wave 공식은 포장, 비포장 모든 유역의 유출해석에 적합하였다.

3) Kings Creek와 Gray Haven 배수유역에서 각 지표면유출 모형과 EXTRAN을 결합하여 각각 유출해석을 실시한 결과 RUNOFF와 EXTRAN을 결합한 RUN-EX(SWMM)가 다른 모형들보다 실측치를 잘 재현하였다.

4) 각 지표면유출 모형의 선택에 따른 전체 배수유역에서의 하류단 유출수문곡선에는 상당한 편차가 발생하였다.

5) 포장지역의 면적이 크면 SBUH는 유출량의 과대에 주의하여야 하며, ILLUDAS는 비포장유역의 면적이 큰 경우에 도달시간이 과대하게 산출되는 경우가 발생할 수 있으며, 침투홍수량은 과소하게 계산된다. 또한 배수관망의 길이가 긴 경우에는 저류손실량의 계산에 주의해야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김정환, 도시유역에서 강우-유출해석을 위한 SWMM 모형의 연구, 경기대학교 석사학위 논문, 1994.
2. Huber, W.C. at al., Storm Water Management Model, Ver. 4, Part A: User's Manual, EPA, 1988.
3. James, M. and Stubchaer, F., "The Santa Barbara Urban Hydrograph Method", National Symposium on Urban Hydrology and Sediment Control, University of Kentucky, 1975.
4. Maksimovic, C. and Radojkovic, M., *Urban Drainage Modelling*, Pergaman, 1986.
5. Maksimovic, C. and Radojkovic, M., *Urban Drainage Catchments*, Pergaman, 1986, pp. 61-69, 105-124.
6. Roesner, L.A. et al., Storm Water Management Model Ver. 4, Part B: Extran Addendum, EPA, 1988.
7. Stall, J.B. and Terstriep, M.L., "Storm Sewer De-



sign an Evaluation of the BRRL method”, Prepared for the Office of Research and Monitoring of the U.S. EPA, 1972.

8. Terstriep, M.L. and Stall, J.B., “The ILLUDAS Ur-

ban Drainage Area Simulator”, ILLUDAS, Bull, 58, 90pp, Ill. State Water Surv., Urbana, 1974.

(接受：1994. 4. 18)