

## 대전 노은·관저지구 개발에 의한 유출 변화 분석

정동국\*, 한영만\*\*, 이범희\*\*\*

### 1. 서론

불투수 면적비의 증가와 관거의 설치, 그리고 복개된 하천과 같은 도시화 현상으로 인하여 유역의 총 유출용적 및 첨두 유출량이 증가하게 된다. 따라서 도시유역 하천 하류부에서 홍수가 빈번하게 일어나게 되며 도시화 현상으로 인하여 변화되는 유출특성은 다음의 그림 1과 같이 간략하게 나타낼 수 있다. 그러므로 도시유역에서의 수문해석시 신속하고도 정확한 유출해석이 필요하며 도시의 개발계획시 개발 전·후의 유출양상과 개발유역의 특성을 살펴보는 것이 매우 중요하다.

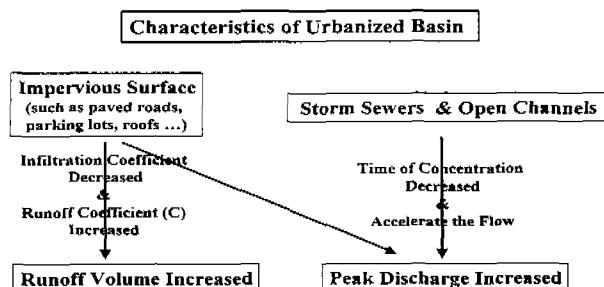


그림 1 도시화현상으로 인한 유출특성 변화

기존의 연구에서는 시험 유역을 중심으로 모형을 검증한 후 적용하였으나, 본 연구에서는 실제 유역에 직접 모형을 적용하였다. 따라서 모형의 검증 없이 연구가 진행되었으며 대신에 결과 값의 객관성을 부여하기 위하여 현재 국내에서 많이 이용되어지고 있는 ILLUDAS와 SWMM 모형을 이용하였다.

유역의 특성을 살펴보기 위하여 도달시간이 각기 다른 대전시의 노은·관저 두 개의 유역을 선정하여 적용하였으며, 실제 유역에의 적용을 위하여 1:5000 지형도와 우수계획형면도를 이용하여 수문자료를 추출하였다. 따라서 실제의 소유역자료 및 관거자료를 이용하였으며, 강우자료는 대상유역의 관측자료가 미미한 관계로 강우는 설계강우를 고려하였다. 강우 설계시 5년, 10년, 20년의 확률년수를 적용하였으며, 도시의 개발 전·후의 유출양상을 비교하기 위하여 자연하천유역의 수문모형인 HEC-1 모형(HEC, 1990)을 추가로 모의하였다.

\* 한남대학교 토목환경공학과

\*\* 삼호 컨설턴트

\*\*\* 배재대학교 토목환경공학과

## 2. 도시유출모형의 기본이론

ILLUDAS모형은 전체유역을 직접연결 포장유역, 간접연결 포장유역, 투수유역 및 유출에 기여하지 않는 유역의 4가지로 구분하여 해석하는 모형이다. 먼저 전체유역을 몇 개의 소유역으로 구분하는데 있어서 관의 설치지점 혹은 주요 간선관거의 합류지점을 기준으로 하여 소유역을 구분하고, 이처럼 구분된 각 소유역별로 포장유역과 투수유역의 유출량을 계산하여 수문곡선을 합성함으로써 소유역별 유출수문곡선을 구하며 이를 관로를 통해 추적 합성하고 유역 말단부에서의 총 유출수문곡선을 구하게 된다.

SWMM 모형은 도시유역내에서 강우사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질에 대한 지표면 및 지표하흐름, 배수관망에서의 유출량추적, 저류량산정, 오염물질의 처리와 비용계산 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이다. SWMM 모형의 기본적 성격은 다음과 같이 정리될 수 있다. 적용가능대상유역은 도시유역, 인위적 배수계통을 갖는 소유역 등이다. 시간적 특성은 단일, 연속 강우에 의한 계산이 가능하며, 강우간격은 임의로 설정할 수 있다. 연산시간간격은 강우사상에 대해 임의조절이 가능하다. 공간적 특성은 소배수유역에서 큰 배수유역까지 적용이 가능하다. 배수유역은 최대 200개의 소유역, 수로와 관로로 구성될 수 있고 배수유역은 합성 또는 분리가 가능하다.

## 3. 모형의 적용 및 결과분석

### 3.1 대상유역의 개황 및 특성

실제 유역에의 적용은 그 유역의 특성을 살펴보는 일이 매우 중요하며 유역의 특성을 살피기 위해서는 유출의 특성을 좌우하는 입력자료들을 여러 측면에서 접근해야 한다. 이 중 유역의 도달시간은 강우-유출 모의에서 첨두시간에 매우 밀접하게 관련되어 있는 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 제일 먼저 유출양상에 관계하는 도달시간을 상대로 서로 다른 도달시간을 가진 두 개의 유역을 선정하였다. 선정한 시험유역은 노은1 유역과 관저2 유역으로서 각각의 도달시간은 약 40분과 20분으로 추정된다. 먼저 노은1 유역은 금강 제 1 지류인 갑천 유역의 한 배수분구로서 대규모 아파트 단지와 단독주택단지, 교육시설 및 공공시설물, 상가지역 등으로 불투수면적 비율이 약 50.6%에 달하며 면적이 약  $2.87\text{km}^2$  (286.69 ha)이다. 1/1200의 노은1 지구 우수계획평면도(한국토지공사, 1997)에 의하면 우수관거에 의한 유출은 유역의 상방향과 좌방향으로부터 주로 하방향과 우방향으로 이루어진다.

관저2 유역은 대규모 아파트 단지, 상가지역 그리고 도로정비 등으로 평균 불투수율이 66.2%에 달하며 유역의 면적은  $0.78\text{km}^2$ (78.18ha)이다. 이 중 개발지구내 면적은 58.44ha이며 지구외 면적은 19.74ha에 달한다. 우수관거에 의한 유출은 주로 서방향에서 시작하여 동쪽과 남쪽으로 이루어진다. 이렇게 이루어진 유출은 금강 제 1지류인 유등천으로 배출되며, 이 관저2 유역이 노은1 유역과 비하여 특기할 만한 사항은 노은1 유역의 배수관망도는 최종 유출이 한곳에서 이루어지지만 관저2 유역의 배수관망은 유출이 4곳에서 이루어진다는 것이다. 이것은 계획개발 당시, 유역의 특성 때문에 4곳으로 방류하게끔 설계가 이루어졌기 때문이며 본 연구에서는 모두 각각 유출을 모의하였다. 아래의 그림 2와 그림 3에 각각 노은1 유역과 관저2 유역의 배수 유역도, 배수관망도, 그리고 유역의 특성과 관망도에 따른 소유역 분할도 등을 담았다.



그림 2 노은1 유역의 배수계통도

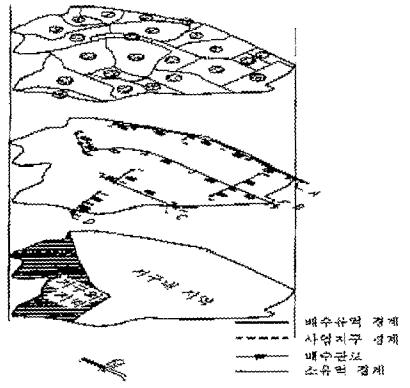


그림 3 판저2 유역의 배수계통도

### 3.2 설계강우의 산정

대전광역시(1992)는 '대전광역시 하수도정비 기본계획'에서 방재적인 측면으로 강우강도가 가장 높게 나타난 Talbot형 강우강도공식을 채택하여 사용하고 있다. 본 연구에서도 최근에 기상이변 등의 현상으로 인하여 국지적 집중호우가 자주 발생하는 점과 더불어 연구의 일관성을 유지하기 위하여 마찬가지로 Talbot형 강우강도공식을 고려하였다.

강우강도는 강우지속시간이 증가함에 따라 감소하므로 지속시간은 가능하면 짧아야 한다. 그러나 만약 지속시간이 유역의 도달시간보다 짧으면 배수면적의 일부분만이 유출에 기여하게 되므로 배수면적 전체가 유출에 기여하기 위해서는 가장 짧은 지속시간이 도달시간과 같아야 한다(한국수문학회, 1993). 도달시간은 강우에 의하여 발생된 지표수가 하수관거로 유입되는 유입시간과 하수관거를 유하하는데 소요되는 유하시간을 합한 것으로 본 연구에서는 유속을 관거의 최적유속인 1.0~1.5m/sec로 가정하고(대전광역시, 1999), 이 유속을 관거구간거리로 나누어 유하시간을 산출하였다. 이러한 과정에 의하여 산출된 노은1 유역의 도달시간은 평균 38분으로서 40분에 약간 못 미치는 값이 산출되며 판저2 유역의 도달시간은 평균 23분으로서 20분을 약간 상회하는 것으로 나타났다. 그러나 두 유역 모두 대전광역시의 서남부 생활권으로서 서로 근접한 지역이므로 같은 강우를 갖는다고 판단되어 도달시간을 충분히 고려할 수 있도록 60분 지속시간을 갖는 설계강우를 고려하였다.

우수유출량 산정을 위한 확률년수를 건설부제정 "하수도 시설기준"(건설부, 1988)에 따라 간선 하수관거는 10년, 지선하수관거는 5년 확률빈도를 적용하였다. 이 확률년수는 첨두유출 및 유출 용적을 증가시킨다. 최근의 이상 수문현상으로 국지적 호우 집중현상이 자주 일어나는 바 확률년수 5, 10년 외에 20년의 확률년수를 추가로 적용하였다. 대전지방의 Talbot형 강우강도 공식으로부터 5, 10, 20년의 확률년수에 대하여 중앙집중형 강우분포법을 적용하였다.

### 3.3 소유역 입력자료와 관망자료

유역은 먼저 항공사진 또는 지형도를 이용하여 배수구역의 경계를 설정하고, 배수구역도로 역의 관로 형태와 설치위치 등을 구성한 후, 지적도와 토양도 등으로 소유역의 토지 이용상 토양의 특성, 행정구역 등의 자료를 기초로 유역을 분할하게 된다. 본 연구에서는 소유역

를 산출하기 위하여 1/5000 지형도와 우수계획평면도(1/1200)(대한주택공사, 1993; 한국토지공사, 1997) 등을 이용하여 노은1 유역은 27개 소유역으로, 관저2 유역은 23개의 소유역으로 분할하였다. 또한 관거자료는 대전 노은지구 택지개발사업 기본계획 및 기본설계(한국토지공사, 1997)의 우수계획평면도와 관저지구 택지개발사업 상세계획도(대한주택공사, 1993)의 우수계획평면도를 주로 참고하였다.

### 3.4 적용결과

전술한 바와 같이 노은1 배수유역과 관저2 배수유역에 대하여 ILLUDAS 모형과 SWMM 모형의 RUNOFF 블록을 적용하였으며 노은1 배수유역의 유출수문곡선과 총유출용적은 각각 다음의 그림 4, 5와 같다. 개발전의 유출양상과 개발후의 유출양상을 비교하기 위하여 HEC-1 모형을 사용하여 계산된 개발전 유출량 및 유출용적과 비교하였다. 관저2 유역은 도시개발계획시 관거를 통한 배수를 한 곳에 집중하지 않고 4군데로 방류하게 되어 있어 유역전체의 유출수문곡선과 총유출용적을 구할 수 없었다. 그러나 대신에 A, B, C, D 4곳에서의 유출수문곡선을 구하여 SWMM 모형과 ILLUDAS 모형의 계산값을 비교하였다.

먼저 그림 4를 살펴보면, ILLUDAS 모형과 SWMM 모형 모두 대체적으로 수문곡선의 유형이 매우 비슷함을 볼 수 있었다. 다만 근소한 차이로 ILLUDAS 모형의 값이 SWMM 모형의 첨두유출값에 비하여 약간 크게 산출되었다. 강우가 시작한 후 약 35분 경에 첨두유출이 이루어졌고, 60분 경에서 유출은 급격히 감소하여 100분 경에는 거의 유출이 이루어지지 않았다. HEC-1 모형에 의한 개발 전의 유출양상을 살피면 첨두홍수량  $85.492 \text{ CMS} (\text{Opt. } 35 \text{ min})$ 과  $60.079 \text{ CMS} (\text{Opt. } 30 \text{ min})$ ,  $44.000 \text{ CMS} (\text{Opt. } 70 \text{ min})$ 이다. ILLUDAS(SWMM) 모형에 의해 계산된 첨두홍수량  $85.5(80.9) \text{ m}^3/\text{sec}$ 에 비하여 매우 작은 값을 보였고 또한 첨두유출에 도달하는 시각은 70분 경으로 개발 후의 시각보다 약 35분 뒤쳐진 값을 보였다. 도시의 개발로 인하여 지표면의 피복은 유역의 유출계수를 증가시키는 효과를 가져오는데 이는 첨두유출뿐만 아니라 총 유출용적 또한 증가하게 되며, 이는 그림 5에 잘 나타나 있다.

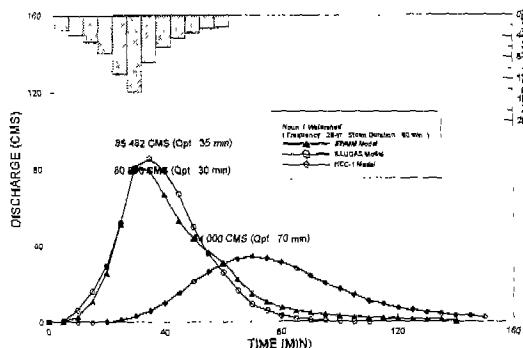


그림 4 노은1 유역의 유출수문곡선

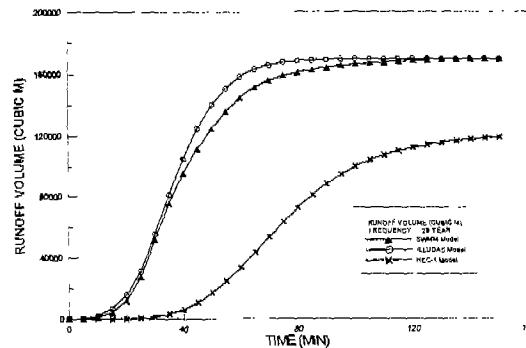


그림 5 노은1 유역의 총 유출용적

도시의 개발전과 개발 후의 유출양상을 손쉽게 비교할 수 있도록 첨두유출량과 첨두유출량 도달시각 그리고 총 유출용적 등 3가지 측면에서 빈도별로 표 1에 정리하였다. ILLUDAS와 SWMM 모형에 의한 5, 10, 20년 빈도의 유출용적 값은 유출용적이 증가되면서 조금씩 다른 양상을 보이나 총 유출용적 값은 빈도별로 거의 일치함을 볼 수 있었으며, 개발전 HEC-1 모형에 의한 첨두 유출값은 개발 후에 비하여 40.8~45%, 총 유출용적 값은 17.6~20.3% 적게 산출되었다.

즉, 첨두유출 발생시각의 감소와 첨두유출량 및 유출용적의 증가가 뚜렷하여 도시 개발 전·후의 유출양상이 크게 변화됨을 보여주고 있다.

표 1 노은1 유역의 개발전·후 유출양상 비교

	빈도 (year)	개발전		개발후	
		HEC-1	ILLUDAS	SWMM	SWMM
첨두 유출량 (m <sup>3</sup> /sec)	5	24.0	64.9	63.2	
	10	31.0	78.8	75.2	
	20	34.0	85.5	80.9	
첨두 유출량 도달시각 (min)	5	70	35	35	
	10	70	35	30	
	20	70	35	30	
총 유출용적 (m <sup>3</sup> )	5	87300	130590	131710	
	10	108900	157300	157420	
	20	118800	169520	169580	

또한 노은1 유역에서 관거 A, B, C 점에서의 유출수문곡선을 ILLUDAS와 SWMM 모형으로 모의한 결과는 다음의 그림 6과 같다. 먼저 노은1 유역의 관거 A, B, C 점에서의 빈도별 유출양상을 살펴면, 총 유출수문곡선과 마찬가지로 ILLUDAS 모형과 SWMM 모형의 첨두유출량, 첨두량 도달시각 등의 모든 계산값은 비교적 일치함을 볼 수 있었다. 다만 노은1 유역의 관거 중 몇 군데에서 Surcharge flow가 발견되었는데, 이는 모형에 적용하기 위하여 배수관망도 중 지름 1m 이하의 관망을 고려하지 않아서 작은 지름을 가진 관로로의 흐름이 고려되지 않았고 맨홀로의 흐름이 집중되는 현상이 일어나 Surcharge flow가 발생된 것으로 사료된다. 이로써 Surcharge flow를 해석할 수 있는 SWMM 모형의 첨두유량이 ILLUDAS 모형에 비하여 작게 나온 것으로 추측할 수 있었다. 그러나 두 모형 모두 높은 강우강도를 갖는 강우강도식을 적용하였음에도 불구하고 대체적으로 발생한 유출량을 무리없이 배출하는 것으로 보아 양 유역의 배수관망 설계는 양호한 것으로 판단되었다.

그림 7에서 나타난 관저2 유역의 유출수문곡선을 살펴보면 두 모형의 계산값이 매우 근접함을 알 수 있다. 이는 유역면적이 매우 작음으로써, ILLUDAS 모형과 SWMM 모형의 강우-유출 모의시 사용된 입력자료의 오차가 거의 없었기 때문이라 사료되며, 노은1 유역과는 조금 다르게 매우 균소하지만 SWMM 모형의 첨두치가 ILLUDAS 모형의 값에 비하여 높게 나타난 경우도 있는데, 그것은 유역 형상에 대한 두 모형의 해석방법(유역폭 등의 고려)의 차이라 생각된다.

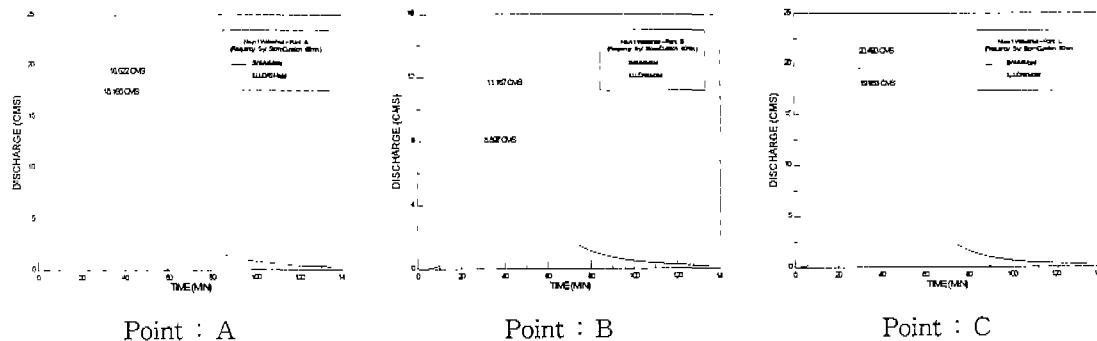


그림 6 노은1 유역의 5년 빈도 유출수문곡선

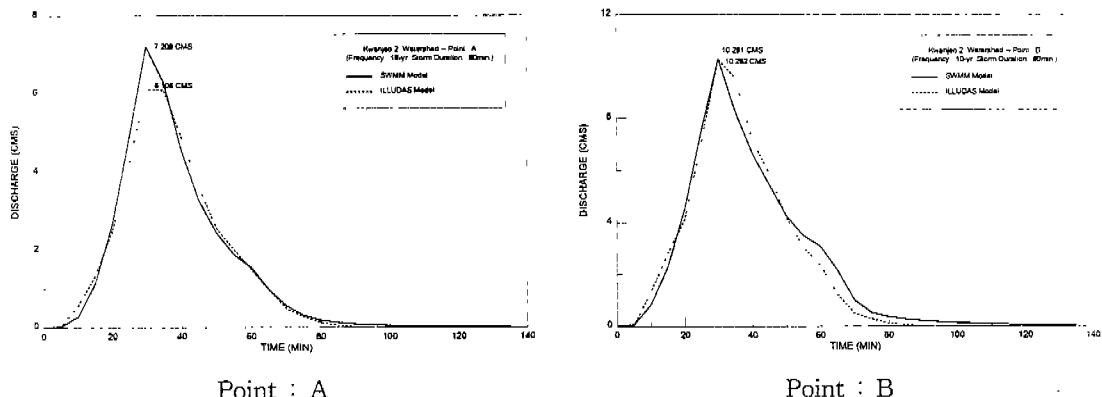


그림 7 관저2 유역의 10년 빈도 유출수문곡선

#### 4. 결론

- 1) 도시의 개발 전·후의 유출양상을 살펴보면 첨두유출량은 약 41~45% 정도의 증가율을 보였으며, 총유출용적은 18~20% 정도의 증가율을 보였다. 또한 첨두유량 발생시각은 35~40분이 단축됨으로서 첨두유량 발생시각의 감소와 첨두유출량 및 유출용적의 증가가 뚜렷하여 개발 전·후의 유출양상이 크게 변화됨을 볼 수 있었다.
- 2) 도달시간이 상이한 노은1 유역과 관저2 유역에 적용시킨 결과, 첨두유출 발생시각이 30~35분 경으로 유사하게 모의됨에 비추어 유역형상 등의 특성으로 인한 점도 있겠으나 이는 두 유역에 같은 강우의 지속시간 60분을 적용하였기 때문이라 판단된다. 따라서 도시개발유역의 설계강우 작성시, 그 유역의 도달시간에 맞게 강우의 지속시간을 산정하여 적용하면 보다 정확한 유출해석을 할 수 있을 것으로 기대된다.
- 3) 두 모형 모두 높은 강우강도를 가지는 강우강도식(Talbot형)과 배수관망 설계빈도인 5년, 10년 빈도 외에 20년빈도를 가지는 강우에도 대체적으로 발생된 유출량을 무리없이 배출하는 것으로 보아, 양 유역의 배수관망의 설계는 양호하게 이루어진 것으로 판단되었다.

#### 참고문헌

1. 건설부, (1988). 수자원 관리기법 기술개발 연구조사 제 2권, 한국 확률강우량도.
2. 대전광역시, (1992). 대전광역시 하수도정비 기본계획.
3. 대전광역시, (1999). 대전광역시 하수도정비 기본계획 변경보고서.
4. 대한주택공사, (1993). 대전 관저지구 택지개발 상세설계.
5. 한국수문학회, (1993). “2. ILLUDAS모형”, 제1회 수공학 워샵, pp. 1~41.
6. 한국토지공사, (1997). 대전노은지구 택지개발사업 기본계획 및 기본설계.
7. HEC, (1990). HEC-1 Flood Hydrograph Package User's Manual Ver. 4.0, Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers.