

# 도시지역의 침수위 산정에 관한 사례연구

## A Case Study on the Estimation of Flooded Depth in Urban Areas

○양현모\*, 최영욱\*, 심명필\*\*

### 1. 서론

침수는 외수의 범람에 의한 외수침수와 내수배제불량으로 인한 내수침수로 나뉜다. 내수침수는 호우로 인한 내수의 정체로 침수가 발생할 수 있으며, 또한 하수관로의 단면부족 및 유지상태불량 등으로 인해 일정지역에서 일시적인 국부침수가 일어나기도 한다.

본 연구에서는 실제로 발생한 침수사례를 중심으로 하수관로의 단면부족 및 인위적인 차단벽이 형성되어 국부적으로 내수침수가 발생한 경우의 침수위 산정방법에 대하여 고찰하였다. 또한, 모형을 이용한 유출분석이 실제상황을 어느 정도 근사하게 모의할 수 있는지에 대하여 검토한 후, 인위적인 차단벽이 있는 경우와 없는 경우로 구분하여 침수위를 산정하여 보았다.

### 2. 침수사례 개요

1997년 8월 4일 인천광역시 남동구 간석 1동 일대에 일최대 260.8 mm, 2시간 최대 136.0 mm라는 집중호우가 발생하였다. 이로 인하여 하수관거 (BOX형; 3.0×1.6m×2련)의 용량을 초과한 우수가 하수관거로 미처 배수되지 못하고 노면상에 지체 및 저류되어 저지대 가옥이 오전 11:00~12:00까지 1시간 정도 침수되는 사고가 발생하였다.

그림 1은 침수지역 현황을 나타내며, 점선으로 표시된 구역이 침수범위를 표시한다. 사고당시 피해발생지역과 인접한 인천지하철 1호선 1-11공구 공사현장에서 하수관거를 매달기 위한 복공덕이 도로면보다 1.462 m 높게 설치되어 인위적인 차단벽(이하 복공덕) 역할을 하였다. 이로 인하여 노면배수가 원활히 이루어지지 않아 일부피해가 가중되었다.

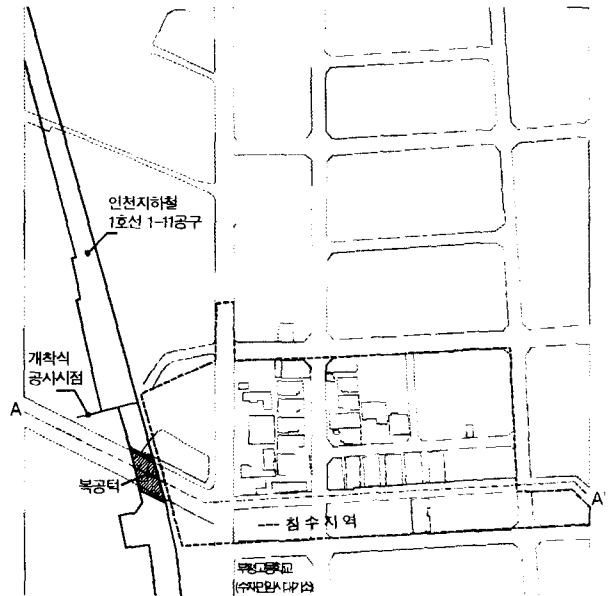


그림 1. 침수가속 및 침수지역 현황

\* 인하대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

\*\* 인하대학교 공과대학 토목공학과 교수

당시 인천기상청 자기우량 기록지로부터 10분 간격으로 구분한 강우분포양상은 그림 2와 같다.

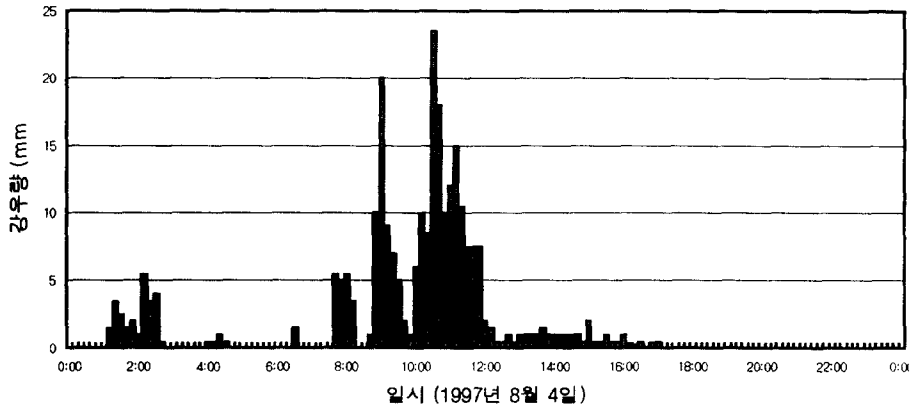


그림 2. 인천축후소 1997년 8월 4일 강우량

### 3. 유역특성 및 모형의 적용

#### 3.1 유역분할과 지표면표고 분석

인천광역시 남동구 간석 1동인 침수지역은 가좌배수지역의 최상단인 간석(1) 배수분구에 해당하였으며, 침수지역 상단유역을 포함하여 유역을 분할하였다. 유역 총면적은 133.384 ha (약 403,486 평)으로, 인천시청 주위의 상업지역을 제외하고는 전 유역이 대체로 주거지역이었으며, 포장지역의 비율도 89.9%로 전형적인 도시유출이 발생하며, 유출율도 높을 것으로 예상되었다.

수치고도자료(Digital Elevation Model; DEM)는 인공위성영상, 항공사진영상 및 수치지도 등을 통하여 구축할 수 있다. 본 연구에서는 항공사진측량 현황도(1:1,200) 및 공공하수관망도(1:500)를 근거로 AutoCAD상에서 Digitizing 작업을 하여 수치고도자료(DEM)를 구축하였고, 추후 실제측량을 통하여 보완하였다. 이 수치고도자료로부터 WMS(Watershed Modelling System) ver 5.0을 이용하여 고도값이 변하는 지점을 연속적인 삼각형의 형태로 연결한 불규칙삼각망(Triangulated Irregular Network; TINs)형태의 수치고도자료를 제작하였다.

WMS의 DEM자료로부터 등고선도를 추출한 결과 EL 9.3 m까지의 지표면 표고에서 면적 1,605.2 m<sup>2</sup>, 체적 163.47 m<sup>3</sup> 정도의 저류지(pond)가 발생하는 것으로 파악되었다. 이 pond지역은 만약 집중호우시 우수관거의 통수능에 제한되어 우수관거를 통한 우수배제가 이루어지지 않는 경우는 복공덕 유·무에 상관없이 침수가 발생할 것으로 예상되었다.

#### 3.2 모형의 적용

내수침수로 인한 침수위 산정은 복공덕이 있는 경우와 복공덕이 없는 경우로 구분하여 산정하여 보았다. 복공덕이 있는 경우는 우수관거의 통수능 해석, 지체량 및 유출수문곡선 계산에 가장 적합하며, 실제 구비가능한 자료 및 검증상의 문제를 고려하여 ILLUDAS모형을 선택하였다. 복공덕이 없는 경우는 지체량의 지표면 흐름해석을 위하여 2차원 부정류 해석을 실시하면 좀 더 정확한 결과를 얻을 수도 있으나, 도시유역의 유출해석의 특성, 자료의 미비 등의 문제로 현실적으로

어려우며, ILLUDAS 모형에서 산출한 지체량 및 지체수문곡선을 근거로 북공터 앞쪽의 한 단면을 기준단면으로 정하고 저류지 해석을 통하여 최대침수위를 산정하였다.

### 3.3 북공터 유무에 따른 침수위 산정

북공터가 있는 경우와 없는 경우를 구분하여 침수위를 산정하여 봄으로써 자연재해와 인재의 비중 즉, 북공터가 침수에 미친 영향이 어느 정도인지를 추정할 수 있다.

#### (1) 북공터가 있는 경우

ILLUDAS를 통하여 모의된 강우·유출 모의 결과 간석 1동 456-9번지 부근 간선관 거에서 지체가 발생하였으며, 그 지체량은 약 11,762 m<sup>3</sup> 정도로 예상되었다. 그 지체량을 지표면 표고 분석결과와 비교하여 보면, 약 EL 10.3~10.4 m에 해당하여 실제 침수 상황과도 거의 유사하게 일치하였다.

북공터 앞쪽의 한 단면(그림 3의 B-B' 단면, EL 9.3 m)을 기준지점으로 정하고 그 지점의 최고침수위를 살펴보면 그 침수위는 약 1.0 m 정도의 값을 보여준다. 그림 3은 당시의 실제 침수지역과 ILLUDAS 모형의 모의결과를 비교한 것이다.

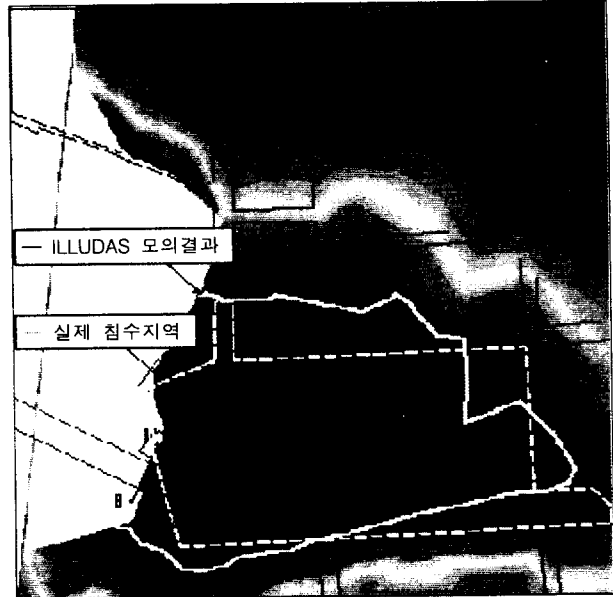


그림 3. 침수구역 상황도

#### (2) 북공터가 없는 경우

우수관거를 통할수 없는 지표면 유출은 배수구역내의 복잡한 가옥과 도로망의 구조 및 암거의 연결로 일반적인 홍수터의 부정류 해석은 어려우므로, 저류지 해석을 통하여 수위 변화를 모의하였다. 저류지 해석을 위해서는 저류지로의 유입수문곡선(침수지역의 지체수문곡선), 유출구의 단면형상, 수위-침수량 관계 등이 필요하다.

앞절에서 설명하였듯이 ILLUDAS 모의 결과, 지체량은 11,762 m<sup>3</sup> 정도 였다. 각각의 관거 유입 구에서의 지체는 유입수문곡선의 침투유입량 전후에 발생하게 되므로, 유입수문곡선의 침투부분에서 각각의 관거의 지체량을 분리시키 합성하면 그림 4처럼 되며, 그 값은 관거의 통수능을 초과하여 발생하는 각 관거의 지체수문곡선으로 생각할 수 있다. 그림 4의 지체수문곡선은 간석 1동 저지대의 저류지 해석에 있어서 유입수문곡선으로 볼 수 있으며, 지체수문곡선의 침투값은 10.789 m<sup>3</sup>/sec, 그 지체량은 약 11,840 m<sup>3</sup>이다.

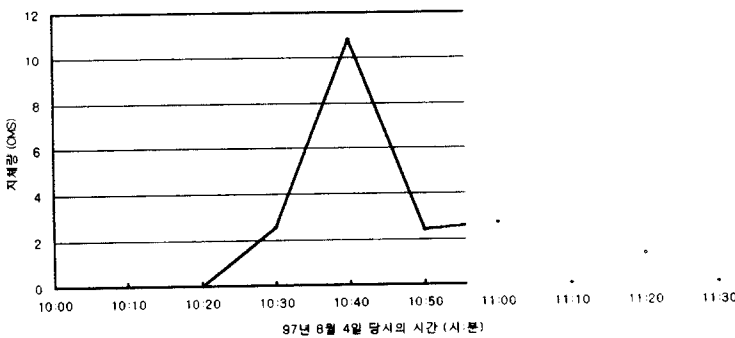


그림 4. 간석 1동 저지대로 유입되는 지체수문곡선의 총합

저류지로의 유입량을  $I$ , 저류지로부터의 유출량을  $Q$ 라 하고 저류량을  $S$ 라고 하면, 저류방정식은 식 (1)과 같이 표시할 수 있다.

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \quad (1)$$

만약 복공턱이 없는 경우라면, 간선관거의 용량부족으로 지체된 물은 간석 1동 저지대로 유입되고, B-B' 단면(그림 3 참조)을 통하여 흘러내려가게 된다. 그림 4의 시간대별 지체량이 간석 1동 저지대에 유입되기 시작하면, 일정한 시점까지는 수위만 상승하다가 EL 9.3 m를 넘어서는 시점부터는 침수지역의 수위와 유출 단면의 지표면 표고와의 차이에 의해 지표면 유출량이 결정되고, 다음 단계에서는 유입량과 유출량에 의하여 새로운 수위가 결정된다. 식 (1)을 차분식으로 표시하면,

$$S_{i+1} = S_i + \frac{I_i + I_{i+1}}{2} \Delta t - \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \Delta t \quad (2)$$

여기서,  $\Delta t$ 는 추적기간이며, 시간  $i$ 에서의 값들은 알고 있으므로 미지수는  $S_{i+1}$ 과  $Q_{i+1}$ 이 된다. 저류지에서의 지표면 유출은 수위와 최저 지표면 표고와의 함수이고, 수위는 수위( $H$ )-침수량( $S$ ) 관계곡선에서의 함수식  $H = f(S)$ , 또는 보간법으로 구할 수 있다. 침수량은 식 (1) 및 (2)에서의 저류량과 같은 의미이다. 또한,  $\Delta t$ 시간이 지난 후의 유출용적은 시산법에 의하여 구할 수도 있으나,  $\Delta t$ 를 작은 값으로 설정하여  $Q_i \Delta t$ 를 이용하였다. 여기서,  $Q_i$ 는 B-B' 단면을 기준으로 Manning 공식을 통해 계산된다.

$\Delta t$ 의 결정은 단위시간 동안 수위를 일정하게 두고 유출용적을 구하므로 계산결과에 영향을 미칠 수 있다. 모의 결과에 의하면  $\Delta t$ 가 10초 이하에서는 결과값의 큰 차이를 나타내지 않았다. 일련의 프로그램을 실행한 결과, 지표면 유출을 통하여 간석 1동 저지대에 발생하는 최고수위는 EL 9.58 m로 추정되었으며, 그림 3의 B-B' 단면(지표면 표고 EL 9.30 m)을 기준으로 본다면 28 cm 정도이다. 시간별 침수위의 변화를 살펴보면 그림 5와 같다.

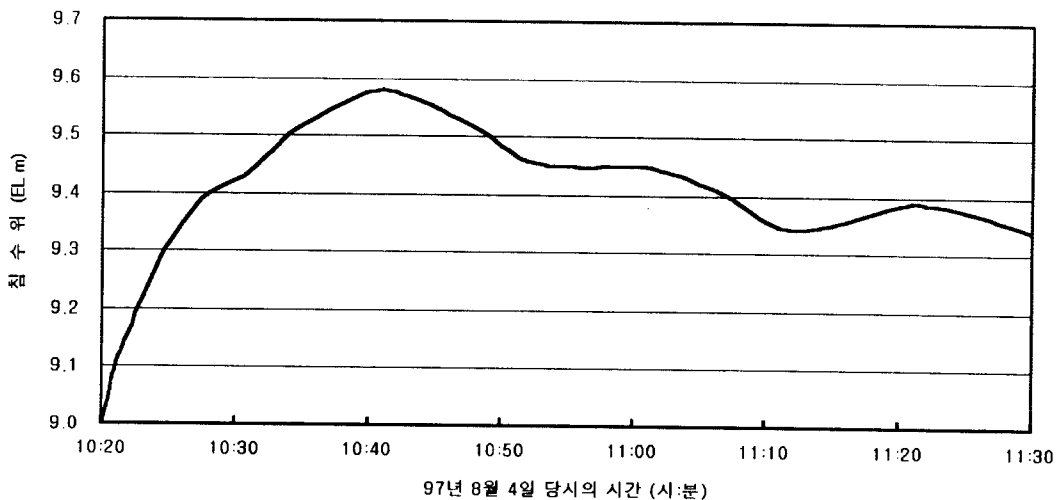


그림 5. 시간대별 침수위의 변화 (복공턱이 없는 경우)

#### 4. 결과치의 비교

복공턱이 있는 경우는 ILLUDAS모형을 이용하여 구한 결과를 실측 침수위와 비교하여 검증하였다. 복공턱이 없는 경우는 ILLUDAS 모형을 이용하여 지체량을 추정한 후 저류지 해석을 통하여 침수위를 산정하였고, 그 결과치를 비교하면 표 1과 같다. 복공턱이 없는 경우를 살펴보면, 침수위는 복공턱이 있는 경우 대비 28 % 정도이며, 침수면적 및 침수량의 경우는 약 30 % 및 11 % 정도이다. 복공턱 유·무에 따른 침수위를 비교하여 보면 그림 6과 같다. 그림 7은 복공턱 유·무에 따른 침수구역 상황도를 보여준다.

표 1. 복공턱 유·무에 따른 결과치의 비교

구 분	복공턱이 있는 경우	복공턱이 없는 경우	비 고
모 의	ILLUDAS 모형	저류지 해석	
침 수 위	EL 10.30 m	EL 9.58 m	
B-B' 단면 기준 침수위	1.00 m	0.28 m	그림 3 참조
침 수 면 적	20,339.0 m <sup>2</sup>	6,286.2 m <sup>2</sup>	30.9 %
침 수 량	10,731.3 m <sup>3</sup>	1,194.9 m <sup>3</sup>	11.1 %
가중치 (%)	100 %	28.0 %	

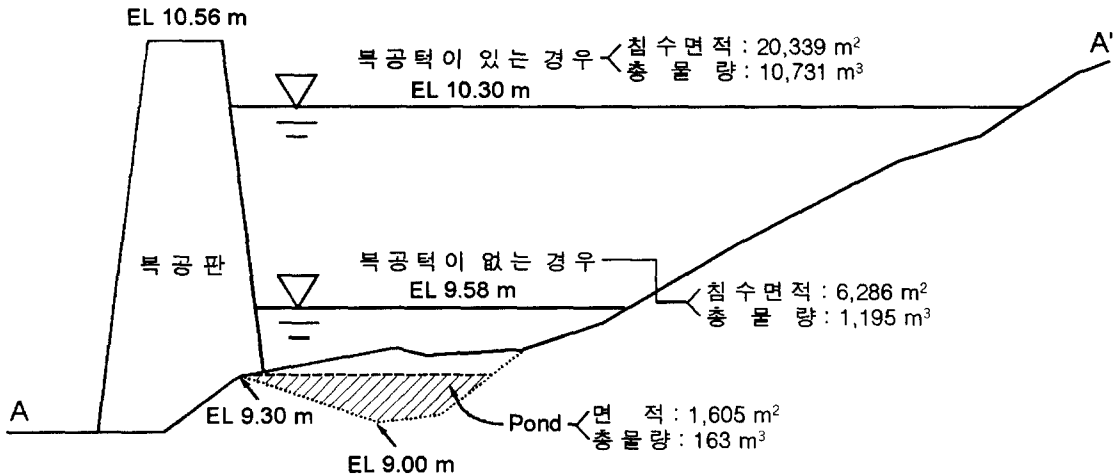


그림 6. 복공턱 유·무에 따른 침수위의 비교 (A-A'; 그림 1 참조)

#### 5. 결 론

이미 발생한 폭우와 침수로 인한 피해원인을 명확히 규명하고 가리는 일은 쉬운 일이 아니라고 할 수 있다. 이는 도시지역의 호우시의 유출특성은 복잡할 뿐만 아니라 검증된 자료가 부족하기 때문이다. 본 연구의 목적은 유출분석을 통하여 복공턱 설치 유·무에 따른 침수위 추정에 있었으며, 더 나아가 수리·수문학적으로 판단 또는 분석하기 위한 자료를 수집하여 차후 방재연구에 도움을 주는데 있다 할 수 있겠다.



그림 7. 복공터 유·무에 따른 침수구역 상황도

인천광역시 남동구 간석 1동의 1997년 8월 4일 침수피해의 경우는 하수관로의 단면 부족 및 인위적인 차단벽(복공터) 형성이 주된 원인이 되어 내수배제불량에 의한 일시적인 국부침수가 일어난 경우이며, 복공터로 인하여 침수피해가 가중되었다고 할 수 있다.

만일 복공터가 없을 경우라면 당연히 침수피해는 줄어들었을 것이다. 모의 결과에 의하면 현재의 배수암거의 통수능을 넘는 집중호우에 의해 몇 개 지점에서는 유출지체량이 발생하고, 결과적으로 일부지역은 침수가 예상되었다. 복공터가 침수에 미친 영향은 침수위를 기준으로 검토한 결과 침수피해의 72% 내외라고 예상된다.

## 6. 참고문헌

- (1) 서규우·허준행·조원철(1997. 3), “도시하천유역 저지대 택지개발로 인한 침수영향분석”, 대한토목학회논문집, Vol 17, No II-2, pp 137~146.
- (2) 인천광역시(1990), 인천광역시 공공하수관망도 (1:3,000).
- (3) 인천광역시(1992), 인천광역시 항공사진 측량현황도 (1:1,200).
- (4) 건설도서 편집부(1991), 도로토공 배수공지침, 도서출판 건설도서.
- (5) Douglas C. Noel & Michael L. Terstriep (1985), ILLUDAS Ver 2.10, Illinois State Water Survey.
- (6) John R. Sheaffer, et al.(1982), Urban Storm Drainage Management, Marcel Dekker, Inc, pp. 185~205.
- (7) Ronald E. Bartlett(1977), Surface Water Sewerage, Applied Science Publishers Ltd, pp. 38~48.