

지하공간 침수해석모형과 연계한 도시침수해석 통합모형

Integration Model for Urban Flood Inundation Linked with Underground Space Flood Analysis Model

이 창 희* / 한 건 연**

Lee, Chang Hee / Han, Kun Yeun

Abstract

An irregular cell-based numerical model was developed to analyze underground space flooding. In this model, the flow characteristics in underground space were computed by link-node system. Also, the model can simulate the underground flood flow related to the influence of stairs and wall-structures. Empirical discharge formula were introduced to analyze weir-type flow for shopping mall, and channel-type flow for subway railroad respectively. The simulated results matched in reasonable range compared with the observed depth. The dual-drainage inundation analysis model and the underground space flood analysis model were integrated using visual basic application of ArcGIS system. The developed model can help the decision support system of flood control authority for redesigning and constructing flood prevention structures and making the potential inundation zone, and establishing flood-mitigation measures.

keywords : Underground space flooding, Link-Node, Dual-Drainage, Channel-type flow, Weir-type flow

요 지

비정형격자 기반의 수치해석모형을 이용하여 지하공간침수해석모형을 개발하였다. 본 모형은 지하공간의 흐름 특성을 link-node 시스템에 의해 해석하고, 계단 및 벽구조물 등의 지하공간 구조물 배치 영향을 고려한 침수해석을 수행할 수 있다. 흐름은 두가지로 구분하며, 하나는 두 개의 인접한 격자가 지하공간에서의 지하철 노선에 해당되어 수로형 흐름을 나타내는 경우이고, 다른 하나는 지하공간에서의 지하철 노선 이외의 지점 및 지하상가 등으로 물이 확산되는 위어형 흐름인 경우이다. ArcGIS 시스템의 Visual Basic Application을 이용하여 Dual-Drainage 침수해석 모형과 지하공간침수해석 모형이 통합하였다. 개발된 통합모형은 홍수관계기관이 침수 발생이 예상되는 지점에서 홍수피해 방지를 위해 배수시스템의 용량에 대한 재설계 혹은 확장 등과 같은 대책을 수립하는데 도움을 줄 수 있고, 침수위험지도작성 및 홍수경감대책을 수립하는데 이용될 수 있다.

핵심용어 : 지하공간침수, Link-Node, Dual-Drainage, 수로형 흐름, 위어형 흐름

* 서울시정개발연구원 디지털도시부 초빙부연구위원

Associate Research Fellow, Dept. of Digital City, Seoul Development Institute, Seoul 137-071, Korea
(e-mail: changhee@sdi.re.kr)

** 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수

Pfor., Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea
(e-mail: kshanj@knu.ac.kr)

1. 서 론

도시지역에서 침수된 유량은 낮은 지역으로 흘러가 건물 지하실, 지하철, 그리고 지하상가로 유입되어 심각한 침수피해를 입힐 수 있다. 도시지역에서 지하공간은 지하철, 지하상가, 지하차도, 지하변전소 등 다양한 목적으로 이용되고 있다. 하지만, 집중호우로 인해 종종 지하공간에 설치되는 전기 시설이 침수되어 도시기능을 마비시키기도 하고, 지하에 있던 사람이 지상의 침수상황에 대한 정보를 알지 못하여 미쳐 밖으로 나오지 못하거나, 지하로 침수된 물의 수압으로 문을 열지 못해 위험한 상황에 처하게 된다. 이러한 도시지역에서의 침수 피해를 방지하기 위한 대책을 수립하기 위해서는 지표침수과정, 지하공간 침투경로, 지하공간침수에 대한 통합 분석이 필요하다.

일본의 경우 Tachi et al.(2000)은 지하공간에서의 홍수위험도 평가를 실시하였고, Inoue and Toda (2005)는 홍수 위험도를 산정하고 침수해석을 실시하는 등과 같이 지하공간침수에 대한 연구가 많이 수행되고 있는 중이며, 지하공간 침수방지대책의 기준이 되는 침수예상지도 작성 및 지하공간에서의 유입유량의 거동을 예측할 수 있는 수치해석 기법의 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 또한, Toda et al.(2000, 2004a, 2004b)은 지하공간 침수과정을 측정하기 위한 실험장치를 설치하고 실험결과와 수치 모형과의 비교 검증에 수행하였고, 복잡한 구조를 이루는 지하공간에 대한 침수해석을 실시한 바 있다.

국내에서는 서울특별시(2001)에서 지하철 7호선 고속터미널역 침수원인을 조사하고 대책안을 수립하기 위한 연구를 수행하였고, 행정자치부(2004)에서는 지하공간의 침수방지대책에 관한 연구를 통해 국내의 침수피해 실태조사 및 원인분석, 지하공간의 침수방지대책에 대한 국내의 자료를 조사하고 지하공간의 침수방지대책안과 침수방지대책을 위한 제도 및 법령 개선 등의 연구가 이루어졌다. 서울시정개발연구원(2005)에서는 서울시 지하공간 침수방지대책에 관한 연구를 통해 지하공간 침수 현황 및 원인을 분석한 바 있다. 그러나, 아직까지 수리학적인 이론을 기반으로 하여 지하유입유량의 전파속도, 침수범위, 침수심 등의 침수상황을 해석할 수 있는 모형이 전무한 상황이다.

본 연구에서는 지하공간 침수해석에서 지하공간의 배치상태, 출입구의 위치 및 폭 등의 지하구조물 배치를 잘 반영할 수 있는 비정형격자기반의 지하공간 침수해석모형을 개발하였다. 또한, 지표침수유량의 지하공간 유입으로 인한 지하공간 침수를 고려하기 위해 지표침

수해석모형인 Dual-Drainage 침수해석모형(이창희 등, 2006a)과 통합하였다. 본 연구의 침수해석통합모형은 GIS기반에서 통합되었으며, 이를 이용하여 지표 및 지하공간에 대한 침수과정을 분석할 수 있도록 구성하였으므로 침수재난관리시스템을 효과적으로 운용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 지하공간 침수해석모형의 개발

본 연구에서는 link와 node로 구성된 개개의 요소가 해당지점을 대표하도록 구성되는 비정형격자기반의 지하공간침수해석 모형을 개발하였다. 또한, 비정형격자 침수해석모형의 적용성을 검증하기 위해 일방향 경사유역에 대해서 적용하여 해석해와 비교하였고, 실제 유역에 대해서는 DEM기반의 침수해석모형 적용결과(이창희 등, 2006b)와 비교하였다.

2.1 기본 방정식

비정형격자에서의 침수해석을 위해 link와 node로 구성된 개개의 요소가 해당지점을 대표하도록 구성된다. Node는 폐합된 도형으로 이루어진 개개의 격자가 이에 해당되며, node와 관련된 변수는 유량, 수위, 그리고 표면적이다. Link는 각 격자의 경계면, 혹은 node의 중심간의 길이에 해당되며, 유량을 전송하는 통로와 같다. 각 격자에서의 수위와 격자간에 이동되는 유량은 연속방정식과 운동방정식에 의해 산정된다.

특정 격자에서의 연속 방정식은 다음과 같다.

$$A_{si} \frac{dH_i}{dt} = Q_{in} + \sum_k Q_{i,k}(H_i, H_k) \quad (1)$$

여기서, A_{si} 는 격자 i 의 표면적, Q_{in} 는 외부유입량, $Q_{i,k}$ 는 격자 i 와 k 사이의 이동되는 유량, t 는 시간, H 는 수심이다.

식에서 $Q_{i,k}$ 가 양수이면 유량이 격자 k 에서 격자 i 로 이동되는 것을 의미하고, 음수이면 격자 i 에서 격자 k 로 흐른다는 것을 의미한다. Eq. (1)에서 유량 $Q_{i,k}$ 는 Fig. 1과 같이 두 가지 흐름으로 구분되는데 하나는 두 개의 인접한 격자가 지하공간에서의 지하철 노선에 해당되어 수로와 같은 흐름을 나타내는 경우이고, 다른 하나는 지하공간에서의 지하철 노선 이외의 지점 및 지하상가 등으로 물이 확산되는 경우이다. 전자인 경우 격자들간의 수리학적 관계가 수로형이 되고, 후자인 경우 격자들의 수리학적 관계는 위어형이 된다.

인접한 두 격자인 i 와 k 의 수위를 각각 H_i 와 H_k 라

로 명명하고, $H_i < H_k$ 인 경우 두 인접한 격자간의 이동되는 유량은 수로형인 경우 다음과 같이 계산한다 (Yang and Tsai, 2000).

$$Q_{i,k} = \Phi(\overline{H_{i,k}}) \sqrt{|H_k - H_i|} \quad (2)$$

여기서, Φ 는 유량계수 $\left(= \frac{A(H)R(H)^{2/3}}{n\sqrt{\Delta x}} \right)$, $\overline{H_{i,k}}$ 는 $\alpha H_k + (1-\alpha)H_i$, α 는 가중인자이다.

두 인접한 격자간의 이동 유량은 위어형인 경우에는 자유월류위어와 수중위어로 구분하여 다음과 같은 식을 이용한다 (Yang and Tsai, 2000).

· $(H_i - H_w) < \frac{2}{3}(H_k - H_w)$ 인 경우
: 자유월류위어(free overflow weir)

$$Q_{i,k} = \mu_1 L_w \sqrt{2g} (H_k - H_w)^{3/2} \quad (3)$$

· $(H_i - H_w) \geq \frac{2}{3}(H_k - H_w)$ 인 경우
: 수중위어(submerged weir)

$$Q_{i,k} = \mu_2 L_w \sqrt{2g} (H_k - H_w)(H_k - H_i)^{1/2} \quad (4)$$

여기서, L_w 는 경계면 유효폭, H_w 는 경계면 최고표고, μ_1 는 유량계수(0.36~0.57), μ_2 는 유량계수 (2.598 μ_1)이다.

2.2 모형의 검증(가상유역)

Fig. 2와 같이 길이 50 m 경사 0.01, Manning의 조도계수 0.015로 가정하고, 강우강도 30mm/hr로 10분간 지속된 강우에 대하여 적용하였다. 유역의 초기수심은 0m이며 30분 동안 수행하였다. 모의결과는 Fig. 3과

같이 운동과 방정식의 해석해와 비교 되었다. Fig. 3(a)는 수로형인 경우의 계산 결과이며 Fig. 3(b)는 위어형인 경우에 대한 계산 결과이며, 모의결과는 해석해와 잘 일치함을 보여준다.

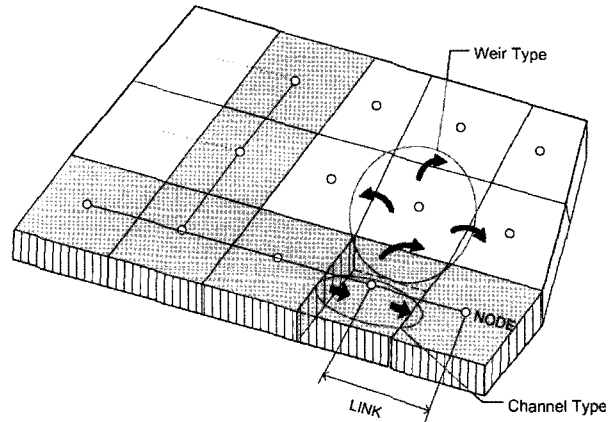


Fig. 1. Conceptual Diagram for the Unstructured Grid of the Proposed Inundation Analysis Model

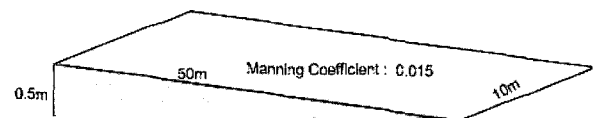


Fig. 2. Single Flow Directional Hypothetical Basin

2.3 모형의 검증(실제 유역)

본 모형을 이용하여 실제유역에 대해 지표류 해석을 실시하였다. 대상유역은 DEM기반 침수해석모형을 수행(이창희 등, 2006b)한 바 있는 도립 배수구역에 대해서 적용하였다. SWMM 모형을 이용하여 배수시스템에서 월류되는 유량을 산정하였고, 월류유량이 전파되어 가는 과정을 DEM기반 침수모형과 비정형격자기반 침수모형에 대해서 각각 적용하고 결과를 비교하였다. 비

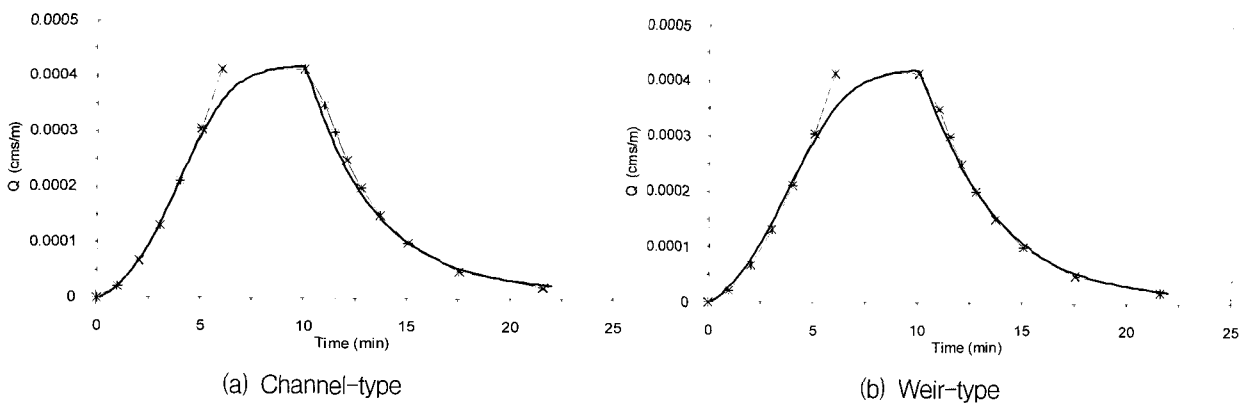


Fig. 3. Verification Results for the Hypothetical Basin

정형격자 기반 지표 침수 과정을 해석하기 위해서 먼저 수로형과 위어형 흐름으로 구분하였다. 도시지역에서 침수유량은 도로를 따라 전파되어 가면서 주변 거주지 및 상가로 침수피해를 일으키게 되므로 도로변을 따라 흐르는 흐름을 수로형으로 가정하였고, 도로변에서 주변 거주지 및 상가로 침수가 확산되는 위어형 흐름으로 가정하였다. Fig. 4에서 두 모형을 비교해 본 결과 침수범위와 침수심은 비교적 일치함을 확인할 수 있었다.

2.4 지하공간 침수해석 및 GIS기반 모형의 통합

본 연구에서는 앞서 가상구역 및 실제 구역에 대한 지표류 해석결과를 바탕으로 한 비정형격자기반의 침수해석모형을 이용하여 지하공간의 침수해석을 수행하였다. 또한, GIS기반에서 배수시스템과 연계하여 지표침수해석을 수행하는 Dual-Drainage 침수해석모형과 지하공간침수해석을 모의 할 수 있는 도시지역 침수해석

통합모형을 구축하였다. 이를 통해 도시구역의 침수발생 시간과 침수범위, 침수심 등을 계산하고, 발생된 침수유량의 지하공간으로 유입되는 물의 경로 및 유입량을 산정할 수 있으며, 지하공간으로 들어온 유량에 대해서는 지하공간 침수상태를 계산할 수 있다.

GIS기반에서 Dual-Drainage 침수해석모형과 지하공간 침수해석 모형이 통합된 도시침수해석 통합모형을 구축하기 위해서 ArcGIS 및 ArcView에서 Visual Basic과 Avenue를 이용하였다. 그리고, 배수시스템에서의 유출 수문해석 및 수리해석을 위한 입력자료, Dual-Drainage 지표 침수해석을 위한 입력자료, 지하공간 침수해석을 입력자료에 대한 변환시스템을 구축하고, 모의수행결과를 GIS를 통한 분석을 수행할 수 있도록 구축하였다. 본 모형의 구축과정에서 생성된 입력자료는 기타 수문모형 적용에 활용될 수 있고, 기타 수문모형을 이용한 결과를 이용하여 침수해석을 수행할 수 있도록 구성하였다.

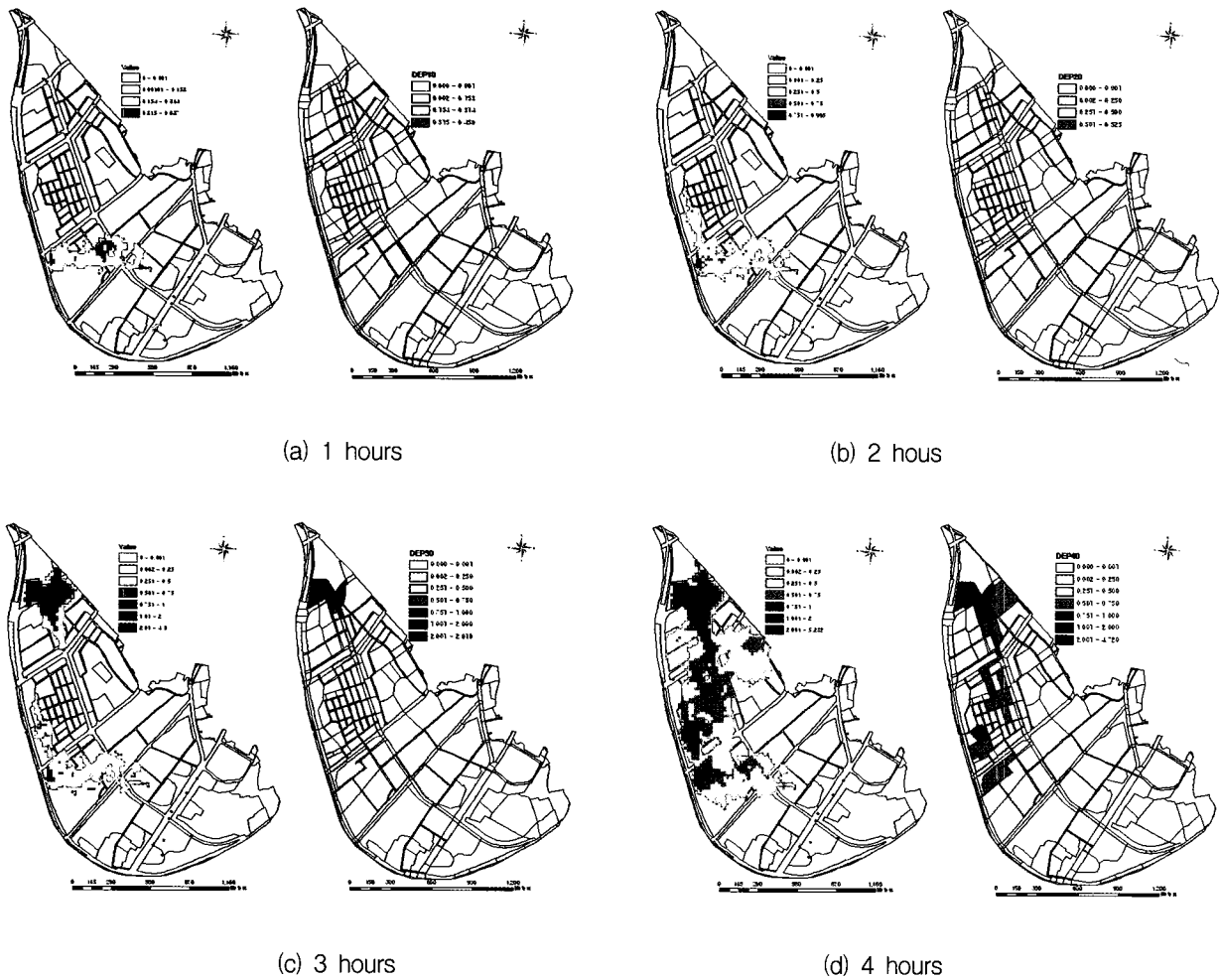


Fig. 4. Application Results of the Proposed Inundation Analysis Model on the Urban Area

3. 모형의 적용

Dual-Drainage 침수해석모형과 지하공간 침수해석모형의 통합모형을 이용하여 배수시스템과 연계한 도시침수해석과 지하공간침수해석을 동시에 수행하였다. 본 모형의 적용을 위해 반포 배수구역에 대해서 Dual-Drainage 침수해석모형을 적용하였고, 지하철 내부공간도면 자료가 비공개 자료인 관계로 서울 지하철의 "A"역의 자료를 바탕으로 가상의 지하공간을 구성하여 모의를 수행하였다.

3.1 대상지점 현황

반포 배수구역은 배수면적이 약 370ha이고, 전체적으로 대부분 지역이 평지로 남측으로는 우면산(EL. 290m)이 있고, 한강과 접하는 넓은 평지 위에 도시개발이 이루어진 지역으로, 아파트단지, 단독주택지, 학교 및 상업지구 등이 분포하고 있고, 서쪽으로는 반포 주공아파트, 북쪽으로는 한강, 동쪽으로는 경부고속도로 및 신사동 일대를 포함한다. 반포 빗물펌프장은 반포유수지와 함께 유입되는 우수 및 하수를 반포천으로 강제배제시키는 시설을 갖추고 있어 이 일대의 침수방지 기능을 하고 있다.

반포배수구역내 과거 침수피해는 주로 하수관거 용량 부족 및 유수지의 상승으로 발생하였다. 특히, 지난 2001년에는 Fig. 5와 같이 7월 14일 16:20시경부터 강우가 내리기 시작하여, 그날 자정 무렵인 23:30시부터 익일 아침 06:00시까지 호우가 집중되었다. 이로 인해 고속버스터미널 주변에 침수가 발생되었고, 침수유량으로 인한 지표수가 센트럴시티 주차장을 통해 Auto Mall 및 지하철 7호선 고속터미널역의 침수피해를 발생시켰다(한국수자원학회, 서울특별시, 2002).

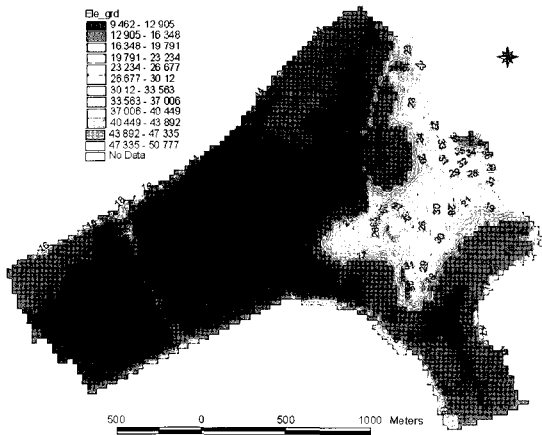


Fig. 6. DEM

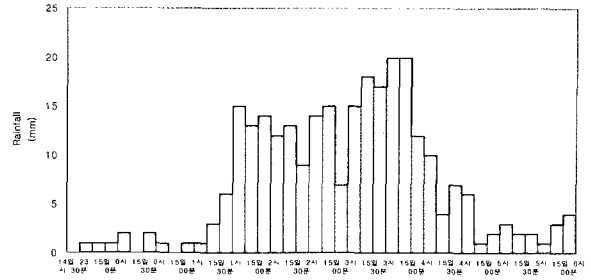


Fig. 5. Hyetograph

3.2 Dual-Drainage 침수해석 결과

Fig 6은 1:1,000 수치지도를 이용하여 추출된 대상구역의 30m 해상도의 DEM이다. 모형 적용을 위한 구역의 배수 계통도는 Fig. 7과 같다.

2001년 7월 14일 23시 20분부터 Dual-Drainage 침수해석을 수행하였고, 적용 결과는 Fig. 8과 같다. 최대 침수지역에 대해서는 Fig. 9와 같이 2001년 홍수에 대해서 작성된 침수흔적도와 비교하였다.

모의 결과의 검증을 위해 침수흔적도의 침수면적인 A_{obs} 와 모형으로부터 해석된 침수면적인 A_{cal} 의 비교(Bates, 2000)로 이루어졌고 다음 식을 이용하였다.

$$Fit(\%) = \frac{A_{obs} \cap A_{cal}}{A_{obs} \cup A_{cal}} \times 100 \quad (5)$$

모형의 적합도는 52%로 계산되었는데, 이는 인접배수구역의 배수시스템에서 처리되지 못한 홍수량의 유입으로 인해 상류지점에서 침수가 발생했기 때문이다. 그러나, 반포 배수구역의 영향만을 고려한 경우, 즉 인접배수구역의 배수시스템이 홍수량을 모두 배수할 수 있는 용량을 갖추고 있어 상류지점의 침수가 발생하지 않은 것으로 본다면 74%의 적합도를 가지게 되었다.

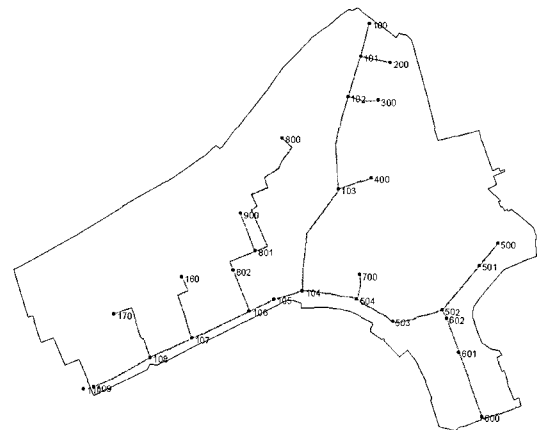


Fig. 7. Drainage Network System

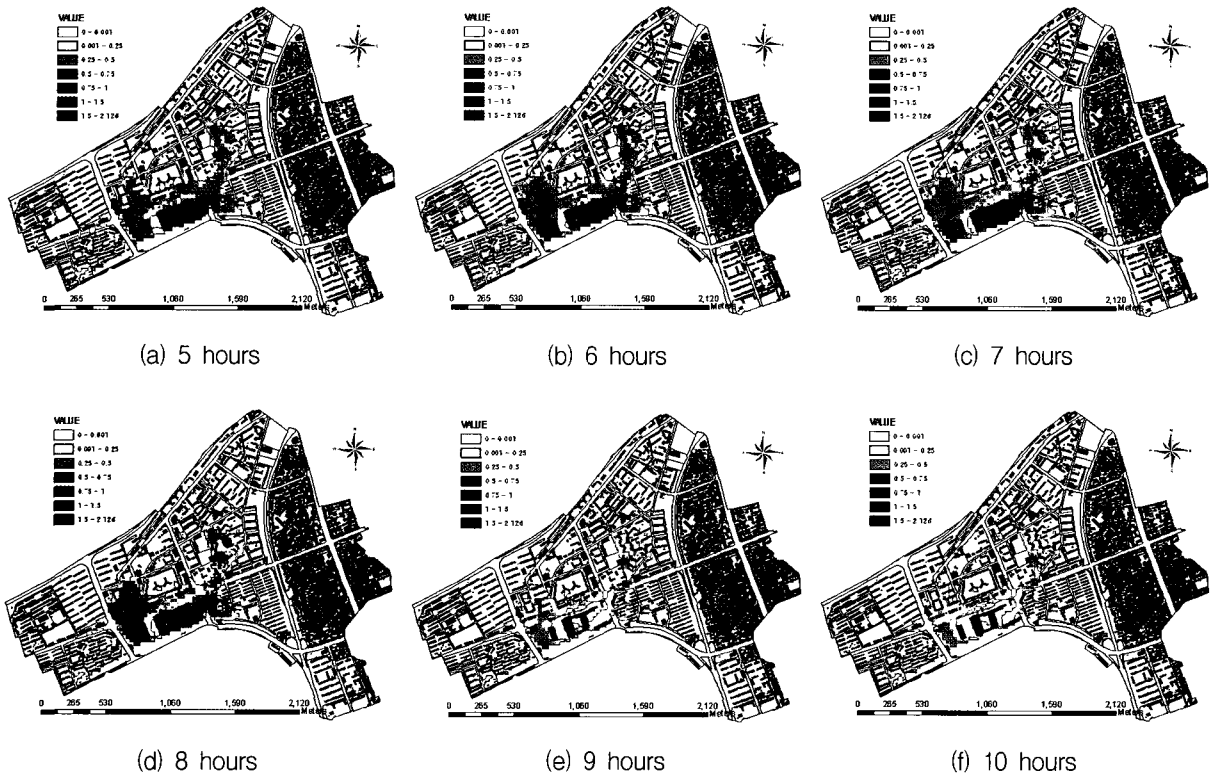


Fig. 8. Results for the Inundation Analysis

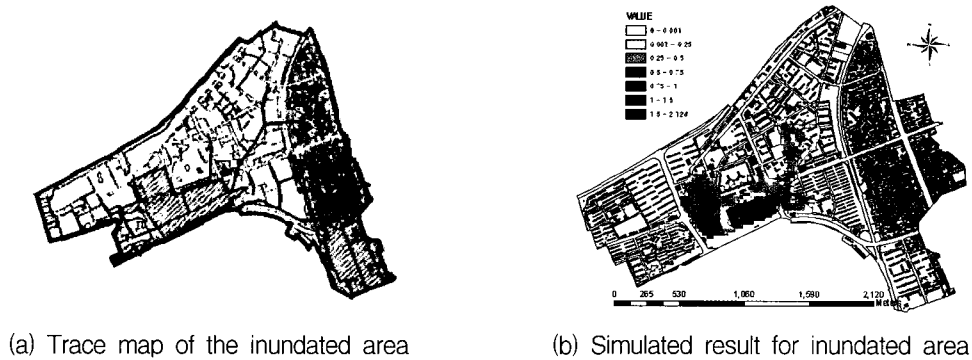


Fig. 9. Comparison between Simulated and Observed Result

3.3 지하공간 침수해석

지하공간에 대한 침수해석 모형의 적용을 위해 서울 지하철 "A"역의 자료를 바탕으로 Fig. 10과 같은 지하공간을 구성하였다. 대상 구역은 지하 3층으로 구성되고 지하 1층은 지하 상가, 지하 2층은 매표소로, 지하 3층은 승강장과 지하철 노선으로 구성하였다. 지하 1층에서는 유입된 침수유량은 지하구조물의 영향이 없이 전파되어 나가는 것으로 가정하였고, 지하 2층인 경우 매표소와 지하공간 시설 관리를 위한 공간들 간에 격벽과 같은 흐름 장애물이 설치되어 있는 것으로 가정하였다. 지하 3층인 경우 중앙을 승강장으로 두었고, 양쪽면에 지하철이 지나가는 노선이 있는 것으로 구성하였다.

Fig. 11과 같이 앞서 Dual-Drainage 침수해석모형을 이용하여 모의된 결과를 바탕으로 지하공간의 유입유량을 계산하였다. 각 층의 유입 유량은 계단을 통해 다른 층으로 전달되는 시간이 수초에 불과하므로 지표면에서 지하 1층으로 유입되기 직전의 수심을 이용하여 산출된 유량은 동일 시간대의 지하 1층의 유량 경계조건으로 이용되었고, 이와 마찬가지로 방법으로 지하 2층과 지하 3층의 유입유량이 산정되었다.

지하공간 유입부에 30cm 높이의 방수판이 설치되어 있는 것으로 가정하였고, 침수심이 방수판을 월류할 때 지하공간으로 물이 유입되는 것으로 가정하였다. 지하공간으로 유입되는 유량 산정공식은 일본의 국토 기술정책 종합연구소에서 제시된 Eq. (5)를 이용하였다.

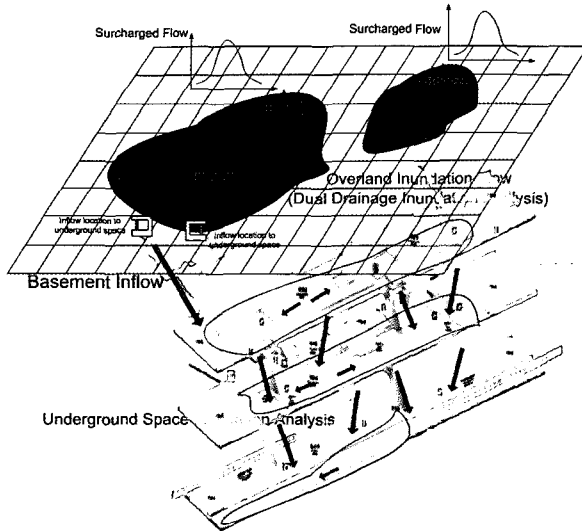


Fig. 10. Description of the Target Area in the Basement

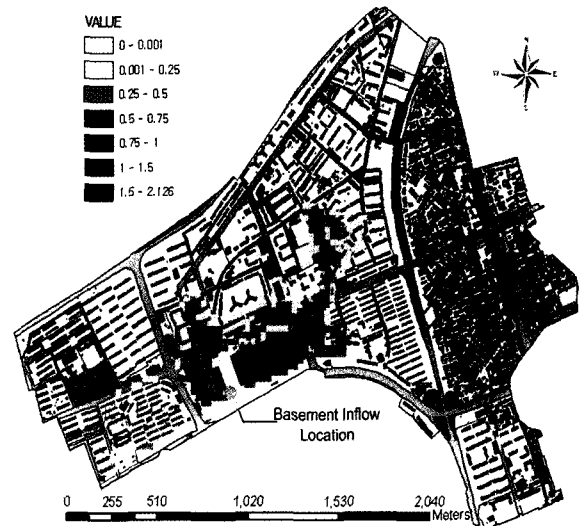


Fig. 11. Inflow Location of the Inundated Discharge to the Basement

Table 1은 지하공간으로 유입되기 직전의 시간별 침수심 자료와 지하공간으로 유입되는 시간별 유량을 나타낸다.

$$Q_t = 1.59L_w H(t)^{1.65} \quad (5)$$

여기서, L_w 는 유입구폭(m), $H(t)$ 는 t 시각에서의 지하공간 출입구에서의 월류되는 높이(m), $Q(t)$ 는 t 시각에서의 지하공간의 유입량(m^3/s)이다.

Fig. 12는 지하 1층에서의 침수모의를 위해 구성된

격자가 된다. 유입유량은 지하 1층내부로 전파되며 일부 유량은 지하 2층으로 유입되게 된다. 격자번호 448, 594, 494, 627, 501, 634, 471, 601은 지하 2층으로 유입되기 직전의 격자번호에 해당되며, 이들 지점에서의 수심은 Fig. 13과 같다. Fig. 13에서 지표침수유량이 유입되는 지점에서 가까운 격자번호 448과 594에서 모의시간 4시간 46분이 경과하면서 물이 유입되기 시작하였으며, 물이 유입된 후 14분이 경과한 후 0.2m의 수심을 넘어섰고, 모의시간 6시간 8분이 지나서 최대 0.3m 침수심을 나타내었다.

Table 1. Variation of the Inundated Depth at the Basement Inflow

Simulation time	Flood depth(m)	Inflow depth(m)	Inflow (m^3/s)
4 hours	0	0	0
4 hours 50 minutes	0.301	0.001	0
5 hours	0.771	0.471	1.836
6 hours	0.985	0.685	3.407
7 hours	0.907	0.607	2.791
8 hours	0.661	0.361	1.184
9 hours	0.350	0.050	0.045
10 hours	0.1	0	0

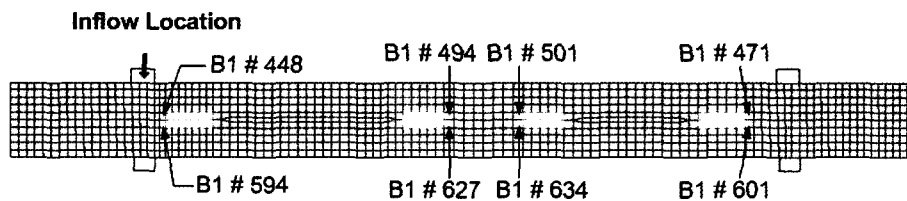


Fig. 12. Grid for the 1st Floor Basement

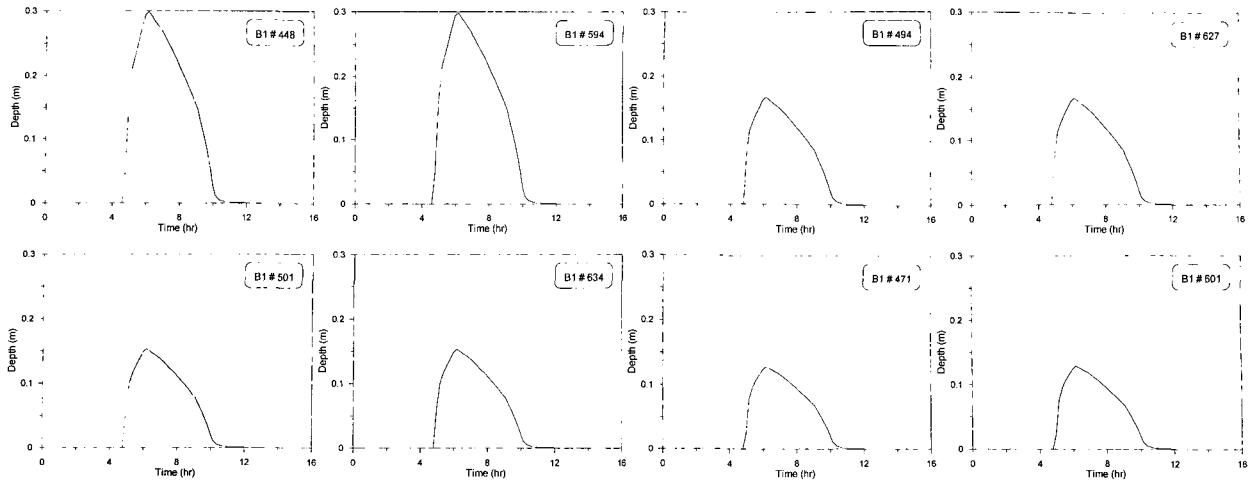


Fig. 13. Hourly Depth Variation at the Control Points of the 1st Floor Basement

Fig. 14는 지하 2층에서의 침수모의를 위해 구성된 격자이고, Fig. 15는 대표소를 포함한 지하철 및 지하시설 관리를 위해 설치된 공간들 간의 벽 구조물을 나타낸다. 격자번호 379, 507, 402, 545, 409, 523, 426, 511은 지하 3층으로 유입되기 직전의 격자번호에 해당되며, 이들 지점에서의 수심은 Fig. 16과 같다. 격자번호 379와 507에서 지하 1층에 물이 유입되기 시작하는 시간과 거

의 동일한 시간에 물이 유입되었으며, 모의시간 6시간 11분에 최대 0.14m 침수심을 나타내며 시간이 경과되면서 지하 3층으로 유입되어 침수심이 줄어들게 된다.

지하 2층에서부터 유입된 침수된 유량은 지하 3층 승강장 및 철로로 전파된다. Fig. 17은 지하 3층 지하철 승강장에서 침수모의를 위해 구성된 격자이며, 좌측에서 우측방향으로 0.001의 경사를 이루고 있고, 승강장

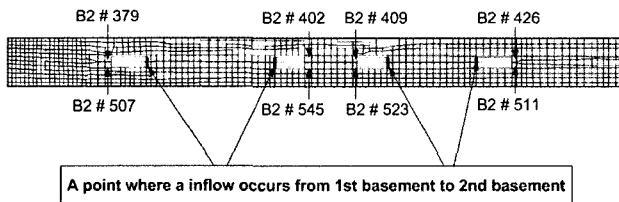


Fig. 14. Grid for 2nd Floor Basement

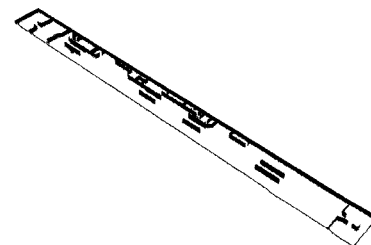


Fig. 15. Structural View of the 2nd Floor Basement

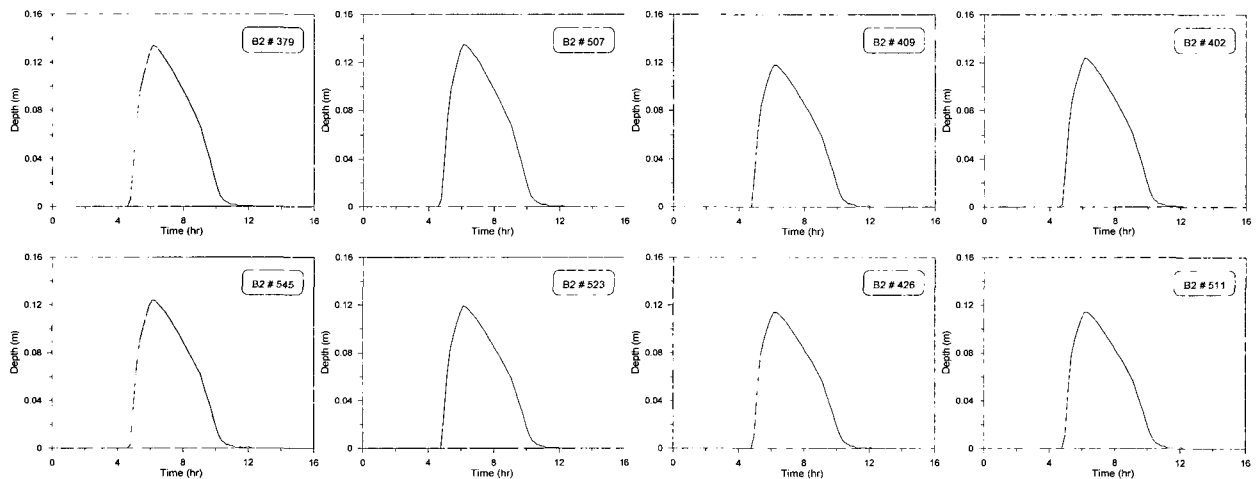


Fig. 16. Hourly Flow Depth Variation at the Control Points of the 2nd Floor Basement

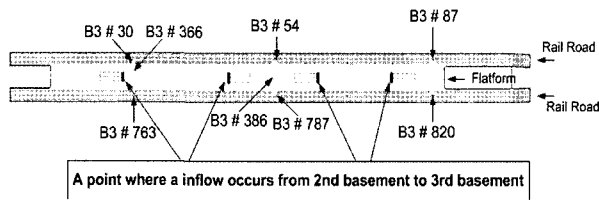


Fig. 17. Grid for 3rd Floor Basement

과 철로간의 바닥표고는 1.2m 차이가 나도록 구성하였다. Fig. 18은 지하 3층에서 모의된 결과를 임의 지점인 격자번호 30, 54, 87, 366, 386, 763, 787, 820 지점에서 시간별 침수심을 나타낸다. 최대 침수심은 모의시간 6시간 20분에 최대 0.16m의 침수심을 나타내었고, 시간이 경과되면서 오른쪽 경사방향으로 물이 배수되었다.

지하공간을 비정형격자기반의 모형으로 구성하여 다양한 지하공간 형태를 반영할 수 있는 본 모형은 GIS 도구와의 연계를 통해 다양한 결과를 도출할 수 있다. Fig. 19는 지하공간에서의 침수과정 및 아래층으로 배수되는 과정을 모든 층에 대해 주요 시간대 별로 3차원으로 도시한 것이다.

모형의 적용에 있어 지하철 내부공간도면 자료가 비공개 자료인 관계로 대상 지역에 대한 지하공간의 배치 현황과 표고 자료가 담긴 도면을 획득하지 못하여 지하공간에 대한 입력자료를 구축하기 위한 각층별 형상을 가정을 통해 구축하였다. 침수유량이 여러지점에서 지하공간으로 유입되지만 도로변의 지하철입구로만 유입되는 것으로 가정하였고, 가상자료로 구축된 지형으로 인해 침수해석에서 실제 침수 상황과 비교를 하지 못하였다.

그러나, 본 모형을 이용한 지하공간에 대한 적용에 앞서 DEM기반 침수해석모형과 비교를 통해 모형의 적용성을 검증하였고, 지하공간 침수해석모형은 비정형

격자를 이용한 해석을 수행하므로 다양한 지하공간의 형태를 반영할 수 있고, 각 층별 침수과정을 분석할 수 있도록 하였으며, 지하공간의 내부에 설치된 벽 구조물로 인해 흐름에 장애가 발생하는 것을 반영할 수 있도록 구성하였다. 또한, Dual-Drainage 침수해석모형과 지하공간 침수해석모형과 연계를 하였고, 지하공간으로 침투되는 지점의 침수심을 이용하여 산정된 지하공간으로의 유입량을 이용하여 지하공간의 침수해석을 수행할 수 있도록 구성하였다.

이를 통해 육상에서의 침수해석 뿐만 아니라 지하공간에서의 침수해석 과정을 정밀하게 계산하여 홍수 취약 지점에 대하여 보완하고, 지하공간을 포함한 도시지역의 침수방지를 위한 대책 수립에 활용되어 지하철, 지하상가, 지하공동구등의 구조물을 설치하는 기준을 마련하고, 지하공간에서의 대피체계 수립 방안을 마련하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

3.4 비교검토 및 고찰

본 모형의 적용성을 검증하기 위해 가상구역에서 운동과 방정식의 해석해와 비교 검증을 수행하여 결과가 일치됨을 확인하였고, 도립배수구역에 대하여 적용성이 충분히 검증 되어진 DEM 기반 침수해석 모형과 비교를 통해 침수범위와 침수심이 잘 일치되는 것을 확인할 수 있었다.

각 격자의 표고값은 격자를 이루는 폐합도면내의 표고값들을 평균한 값으로 지정되므로 균일한 격자 크기로 구성되는 DEM기반 침수해석모형과 다양한 크기의 격자로 구성되는 비정형격자기반 침수해석모형은 격자의 표고값에 따라 흐름방향 및 전송유량이 차이가 날 수 있다. 그러므로, 모의 구간을 link와 node로 구성하는 비정형격자기반 모형을 이용하여 지표류 침수해석을

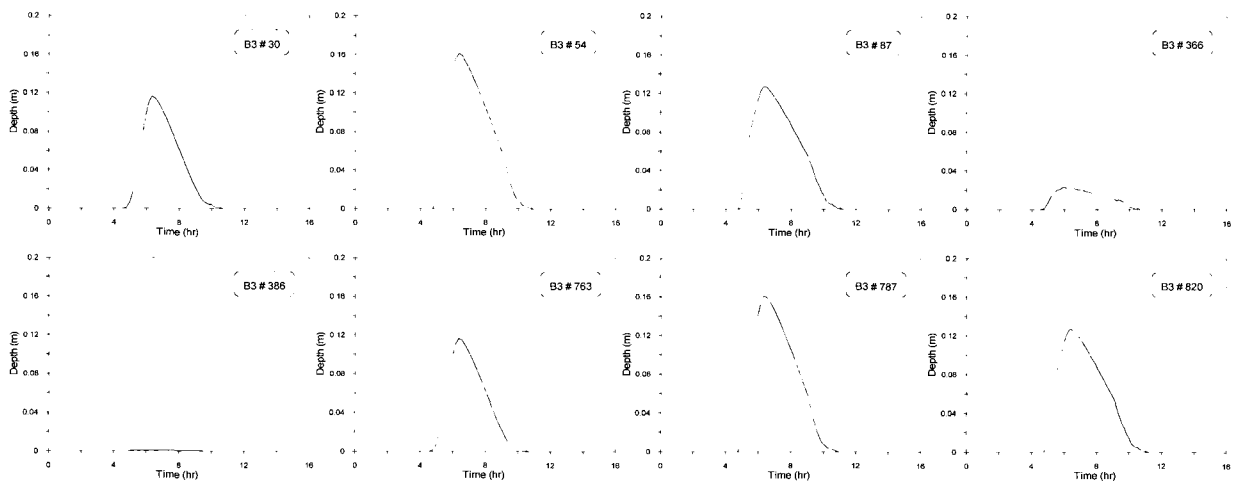


Fig. 18. Hourly Flow Depth Variation at the Control Points of the 3rd Floor Basement

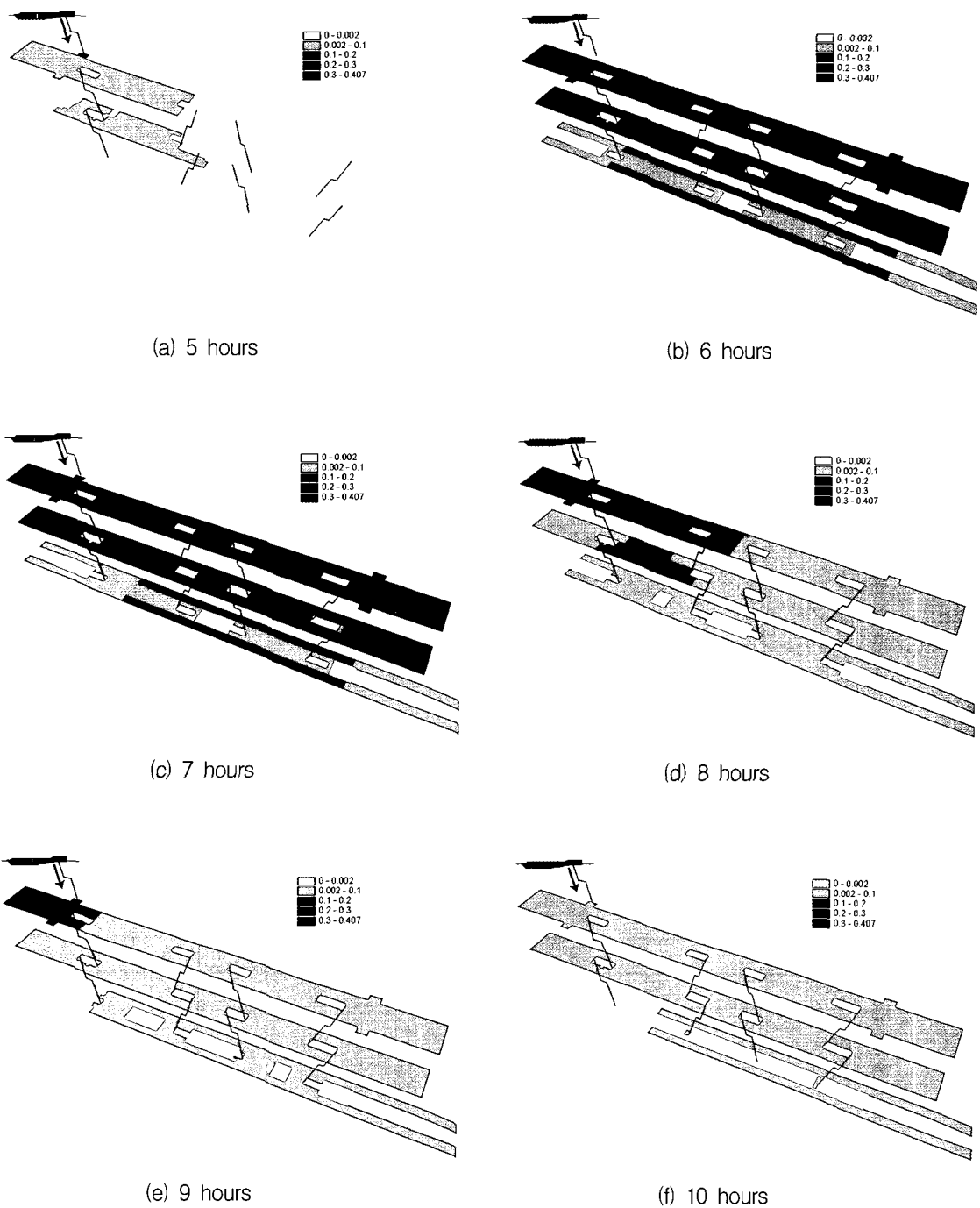


Fig. 19. Variation of Inundated Depth for Individual Basement Floors

수행하는 경우 격자를 구성할 때 유량 전과과정에서의 지역적 특성을 잘 반영할 수 있는 격자를 생성하도록 주의가 요구된다.

비정형격자기반 침수해석모형은 DEM기반의 침수해석모형보다 격자수가 상당히 줄어들어 계산시간에 있어서 큰 개선효과를 볼 수 있었고, 지표면과 달리 지형이 비교적 일정경사를 가지며, 출입구의 위치 및 폭 등 지

하공간 구조물의 배치상태가 일정하지 않아 수직적인 지형형상보다도 수평적인 지형형상에 대한 고려가 요구되는 지하공간에 대한 적용에는 DEM기반의 침수해석모형보다 비정형격자기반의 침수모형의 적용이 바람직한 것으로 판단된다.

지표침수해석으로 지하공간으로의 유입구로 지정된 격자에서 계산된 수심을 이용하여 지하공간으로 유입되

는 유량을 산정하였고, 각 층에서의 시간별 침수과정을 모의하였다. 지하구조물의 배치상황을 고려할 수 있도록 비정형격자기반 침수모형으로 구축된 지하공간 침수 해석 모형과 GIS도구를 이용하여 시간별 침수현황을 각 층별로 3차원으로 도시할 수 있도록 구성하여 지하공간 침수상황을 시각적으로 파악되었다. 지하공간의 침수의 경우 지형의 기복이 없고, 경사가 완만하여 지하공간으로 일단 물이 유입되기 시작하면 침수유량이 짧은 시간에 지하공간 전체로 전파되었고, 지하 1층의 경우 지하공간 전체가 10여분이 지나서 0.2m의 수심을 나타내는 등 지하침수의 경우 물이 유입된 후 대응 시간이 매우 짧다는 것을 확인 할 수 있었고, 더 큰 호우로 인한 침수시 심각한 피해가 발생할 수 있음을 알 수 있었다.

그러므로, 효과적인 지하공간의 침수해석 및 침수대책을 수립하기 위해서는 지하공간만을 이용한 침수해석을 수행하기 보다는 지표침수해석과 통합되어 지하공간으로의 유입지점과 유입시간에 대해 같이 해석되어야 하겠다.

4. 결 론

본 연구는 도시침수해석 모형 개발에 관한 연구로써 본 연구의 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 지하공간 침수해석을 위해 비정형격자기반 침수해석 모형 개발하였다. 복잡한 지하구조물의 영향을 반영 되도록 구성하였고, 복층으로 구성된 지하공간에 대한 침수해석을 수행할 수 있도록 개발하였다.
- 2) 비정형격자기반 침수해석모형의 적용성을 검증하기 위해 가상유역 및 지표침수에 대하여 DEM기반 침수해석모형과 비교하였다. 이를 바탕으로 지하공간에 적용하여 각 층의 주요지점에서 시간별 침수심의 변화를 산정하고, 각 층의 침수심을 동시에 분석할 수 있도록 개발하였다.
- 3) Dual-Drainage 침수해석모형과 지하공간 침수해석 모형의 통합모형 개발로 배수시스템과 연계한 도시 침수해석모형과 지하공간침수모형이 함께 도시침수 상황을 분석함으로써 지하공간 침수방지대책 계획수립에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) GIS기반에서 운용되는 도시침수해석 통합모형을 개발하였다. 자료구축 및 실행, 결과분석을 위한 자동화를 구현하고, 침수상황의 시간별 진행과정에 대한 분석시스템을 구축함으로써 도시홍수에 대한 침수위험지점 파악 및 주민대피지도 구축 등에 활용될 수

있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

- 서울특별시 (2001). **지하철 7호선 고속터미널역 침수 원인 조사 및 대책(안) 수립**.
- 한국수자원학회, 서울특별시 (2002). **2001 수해백서**, pp. 1:3-1:10.
- 서울시정개발연구원 (2005). **서울시 지하공간 침수방지대책에 관한 연구**.
- 이창희, 한건연, 노준우 (2006a). "Dual-Drainage 개념에 의한 도시침수해석모형의 개발." **대한토목학회 논문집**. 제26권, 제4B호, 대한토목학회, pp. 379-387.
- 이창희, 한건연, 최규현 (2006b). "SWMM을 연계한 DEM기반의 도시침수해석 모형." **한국수자원학회 논문집**. 제39권, 제5호, 한국수자원학회, pp. 383-394.
- 행정자치부 (2004). **지하공간의 침수방지대책에 관한 연구**.
- Inoue, K. and Toda, K. (2005). "Flood hazard and inundation analysis." *Flood Risk Simulation*, Edited by Mascarenhas, F.C.B., Toda, K., Miguez, M.G. and Inoue, K., WIT Press, Southampton, Boston.
- Tachi, K., Kaneki, M., and Takedomi, K. (2002). "Risk Assessment of Underground Space Inundation.", *The 2nd Workshop on the Development of Integrated Disaster Reduction Systems for Compound Urban Floodings*, Otaru, Hokkaido, Japan, pp. 17-18.
- Toda, K., Inoue, K., Maeda, O., and Tanino, T. (2000). "Analysis of overland flood flow intrusion into underground space in urban area.", *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, Japan. Vol. 18, No. 2, pp. 43-54.
- Toda, K., Kuriyama, K., Oyagi, R., and Inoue, K. (2004a). "Inundation Analysis of Complicated Underground Space.", *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, Japan. Vol. 22, No. 2, pp. 47-58.

Toda, K. (2004b). "On flood inundation analysis in underground space.", *The 3rd seminar on the technology of disaster management on urban flood*, Korea, Seoul, pp. 179-196.

Yang, C.R., and Tsai, C.T. (2000). "Development of a GIS-Based Flood Information System for

Floodplain Modeling and Damage Calculation." *Journal of the American Water Resources Association*, AWRA, Vol.36, No.3, pp. 567-577.

(논문번호:07-06/접수:2007.01.24/심사완료:2007.03.28)