

격자형 건물 일반화가 도시 주거지 빗물 유출경로의 연속성에 미치는 영향*

전가영¹ · 하성룡^{1*}

Effect of Building Generalization in a Lattice Cell Form on the Spatial Connectivity of Overland Storm Waterways in an Urban Residential Area*

Ka-Young JEON¹ · Sung-Ryong HA^{1*}

요 약

도시표면의 건물정보는 빗물의 유출경로이며 또한 격자기반의 수치해석을 위한 빗물흐름과 건물 외곽을 구분하는 경계조건에 해당한다. 경계조건인 건물자료의 왜곡 최소화는 수치해석 결과의 사실성 확보를 위한 필수적 과정이다. 격자기반의 래스터 전환은 건물자료의 왜곡을 유발하기 때문에 왜곡의 정도를 완화시키기 위한 전처리로 건물 일반화가 필요하다. 본 연구의 목적은 건물 일반화가 일반주거지역의 빗물 유출경로 연속성에 미치는 영향을 분석하고 적절한 일반화 임계값과 수치해석 격자크기를 제시하고자 한다. 빗물 유출경로 연결성 평가를 위한 설명변수로는 일반화 임계값과 수치계산 격자크기를 사용하는 한편 종속변수로는 격자망의 단절 개수와 단절면적을 사용했다. 적절한 격자크기와 일반화 임계값 선정은 임의 격자크기와 임계값을 적용한 일반화 결과로부터 산출된 건물면적 변화율과 단절 면적 변화율 각각을 비교하고 크기가 가장 낮은 것으로 하였다. 적정 임계값과 격자크기 범위는 각각 3m와 5×5m~10×10m 이었다. 이를 적용한 결과 건물면적 증가율은 5%이하 그리고 단절면적 감소율은 94.4%이상이었다. 대상지 토지용도를 구분한 건물 일반화 모의 결과, 아파트 단지인 3종의 건물면적과 빗물 유출경로 연결성은 임계값 10m이하에서 크게 변하지 않았다. 한편 개별 주택인 2종 지역에서는 임계값 3m와 격자크기 5×5 m을 적용한 모의결과는 단절면적의 감소와 양호한 유출경로 연결성을 보였다.

주요어 : 건물 일반화, 격자크기, 강우유출, 경로 연결성, 토지 용도지역, 지리정보시스템

ABSTRACT

The space between urban buildings becomes a waterway during rain events and requires

2017년 2월 1일 접수 Received on February 1, 2017 / 2017년 3월 11일 수정 Revised on March 11, 2017 / 2017년 3월 14일 심사완료 Accepted on March 14, 2017

* 본 논문은 2014년도 충북대학교 학술 연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

¹ 충북대학교 도시공학과 Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

* Corresponding Author E-mail : simplet@chungbuk.ac.kr

a boundary condition in numerical calculations on grids to separate overland storm flows from building areas. Minimization of the building data distortion as a boundary condition is a necessary step for generating accurate calculation results. A building generalization is used to reduce the distortion of building shapes and areas during a raster conversion. The objective of this study was to provide the appropriate threshold value for building generalization and grid size in a numerical calculation. The impact of building generation on the connectivity of urban storm waterways were analyzed for a general residential area. The building generalization threshold value and the grid size for numerical analysis were selected as the independent variables for analysis, and the number and area of sinks were used as the dependent variables. The values for the building generalization threshold and grid size were taken as the optimal values to maximize the building area and minimize the sink area. With a 3 m generalization threshold, sets of 5×5 m to 10×10 m caused 5% less building area and 94.4% more sink area compared to the original values. Two sites representing general residential area types 2 and 3 were used to verify building generalization thresholds for improving the connectivity of storm waterways. It is clear that the recommended values are effective for reducing the distortion in both building and sink areas.

KEYWORDS : *Building Generalization, Grid Size, Overland Runoff, Spatial Connectivity, Land Use Category, Geographic Information System*

서론

최근 집중호우로 인한 도시 침수 위험성과 그 관리에 대한 사회적 관심은 커지고 있다. 도시 강우유출수로 인한 침수의 양상은 지형, 지표 피복 및 투수도시에서의 빗물 유출은 도시 지면 위 건물들 사이의 공간(골목, 도로, 공유지, 공원 등)을 통해서 이뤄진다. Park *et al.*(2015)은 도심의 지표면 우수유출량 추적을 위해서는 도시 토지이용특성과 건물의 공간배치 정보 등을 고려한 빗물 유출경로를 파악할 필요가 있음을 지적하고 이때 도시 표면의 건물과 도로 등은 우수유출의 경로를 정의하는 경계조건이 됨을 강조했다. Cho *et al.*(2010)은 건물의 영향을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 영향을, Lee *et al.*(2014)은 지표 건물이 도시구역의 침수특성에 미치는 영향을, 그리고 Horvitt and Bates(2011)이 언급한 바와 같이 도시 표면의 2차원 동적 우수유출량을 수리학적 기본 방정식을 이용하여 모의하게 되며 이때 지표면을 격자망으로 구분하고 수치해석을 통하여 해

를 구한다. Jin(2015)은 도시 표면의 정교한 LiDAR 계측자료를 기반으로 건물 일반화가 강우 유출에 따른 2차원 도시침수규모와 공간적 분포 특성의 관계를 분석하였다. 지면의 건물들은 빗물이 지면과 접하여 이동하는 공간의 표고보다 높은 고도를 유지하며 유출통로의 연속된 경계면을 형성하게 된다. 수치해석 측면에서 볼 때 건물과 빗물 유출경로는 흐름방향으로 존재하는 하나의 통합된 빗물 유출의 하도단면 역할을 한다. 따라서 평면 격자기반의 수치해석에서 건물정보는 빗물 흐름의 경계조건에 해당하므로 건물의 형상은 격자기반의 공간정보, 즉 래스터 자료로 전환되어만 해석모형의 경계조건 입력 자료로 사용될 수 있다. 벡터기반의 다수의 연속된 선으로 이뤄진 다각형의 독립된 객체로 정의된 건물자료가 동일한 규격의 격자들이 모여 하나의 연속된 공간으로 바뀌는 래스터전환은 그 과정 중에 건물형상과 면적 등의 왜곡이 발생한다. Li *et al.*(2004)는 Gestalt 이론에 근거하여 자동화된 건물 일반화 방법을 적용을, Lee and Han(2007)는 도시지역의 홍수 범람해석의 정확도 향상을 위하여 지표 건물

TABLE 1. Areal distribution of the use district

Use district	Area(km ²)	Share ratio(%)
General residential area 1	1.85	10.14
General residential area 2	7.62	41.75
General residential area 3	5.41	29.64
Semi-residential area	0.31	1.70
Manufacturing area	0.18	0.99
Business area	0.92	5.04
Green area	1.96	10.74
Sum	18.25	100

의 적절한 처리의 중요성을, 그리고 Droppova (2011)은 ArcGIS기반의 건물 일반화과정을 적용할 때 소거, 단순화, 통합화 간의 순서조합 적용이 매우 중요함을 지적했고 Schubert and Sanders(2012)은 도시침수모델 성과에 미치는 건물처리의 중요성을 언급하였다. 따라서 본 연구의 목적은 건물 일반화가 일반주거지역의 빗물 유출경로 연속성에 미치는 영향을 분석하고 적절한 일반화 임계값과 수치해석 격자크기를 제시하고자 한다.

연구 방법

1. 대상지

본 연구의 대상지 면적은 표 1과 같이 총 18.25km²으로 서울특별시 양천구, 강서구, 구로구에 걸쳐 위치하며 주거 및 상업용 건물이 밀집한 구릉 지형 저지대로 오금·목동 빗물펌프장 배수권역에 속한다. 수치지도를 활용한 표고 및 경사를 볼 때 대상지 우측 목동과 오금지역은 상대적으로 낮은 표고와 경사를 지닌다. 대부분은 일반주거지역이고 좌측지역에 1층 및 2

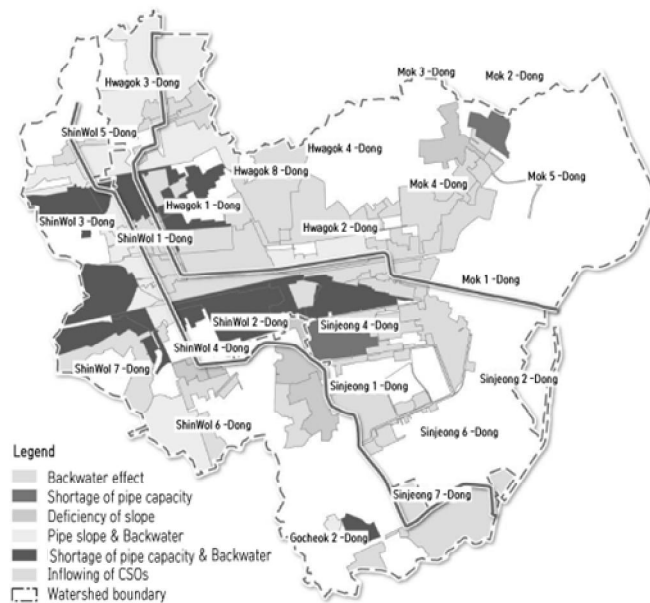


FIGURE 1. Primary causes of the inundation by heavy precipitation(Source: Seoul Metropolitan Government, 2012)

중 일반주거가 밀집되어 있고 우측은 고층아파트인 3중 일반주거지역이 위치한다. 2010~ 11년 집중호우로 대규모의 침수피해가 있었고 지역의 수해관리를 위한 항공 LiDAR 측량성과가 이뤄진 지역이다. 그림 1에서 보듯이 침수는 주로 좌측 지역인 신월 5동, 화곡동 일대의 발생했고 우수관거의 통수능력 부족과 완만한 저지대 경사 등의 영향으로 침수면적이 유역의 좌측 지역으로 확대한 이력이 있다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 용도지역상 일반주거 지역의 서울시 조례인 표 2 건축물 규제기준이 적용되어 좌측 지역은 4층 이하, 건폐율 60%, 용적률 150% 이하의 건물이 주로 분포한다. 따라서 건물 개체면적은 작고 건물간의 간격도 좁아 재래식 건물배치특성을 보인다. 반면 우측 지역은 18층 이상, 건폐율 50~60% 이하, 용적률 200~250%의 고밀도 고층 건물이 배치되어 건물 개체면적이 넓고 건물간의 간격도 상대적으로 넓다.

2. 건물 일반화와 임계값

건물 일반화는 ArcGIS가 제공하는 그림 2의 소거, 단순화, 통합 기능을 활용한다. 대상지 건물자료는 벡터형식의 DBM(Digital Building Model)자료를 사용했다. 건물 일반화의 임계값은 해당 건물정보의 최대허용 크기를 의미한다. 소거는 제거 대상이 되는 건물의 최소면적, 그

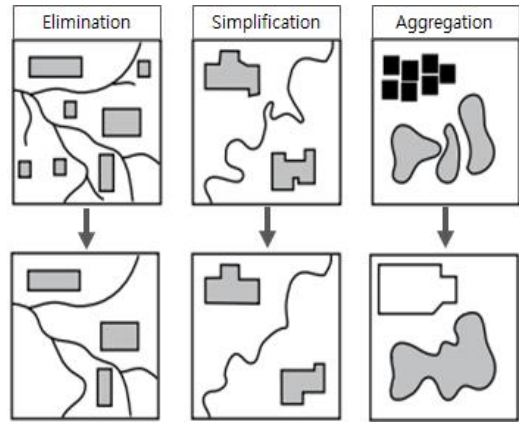


FIGURE 2. ArcGIS building generalization functions (Source: ESRI, 1996)

리고 단순화는 최소면적 및 건물 외곽선의 요철의 한계, 그리고 통합은 건물간의 최소거리를 제약한다. 건물 일반화 임계값은 건물형태, 건물간격, 도로 폭과 형상 및 면적 등 속성의 변화를 유발한다. 따라서 건물 일반화 임계값은 대상지 면적, 건물의 형태 등을 고려하여 적절한 규모로 적용되어야 한다.

대상지 일반주거지역 건물계원 등을 분석한 결과 대상지 건물의 최소면적은 50m²이고 75m² 이하의 건물의 점유율은 10.9%였다. 건물 일반화 임계값에 대한 기존 연구결과를 고려하여 표 3과 같이 소거기능의 최소면적은 50m²이다. 과도한 통합 임계값 적용은 주변 건물들을 통

TABLE 2. Developable density and building height restriction system of Seoul Metropolitan Government

Restriction factor	GRA* 1	GRA 2	GRA 3	S-RA**	B-A***
Building height	4F	18F	-	-	-
Building coverage ratio(%)	60	60	50	60	60
Floor area ratio (%)	150	200	250	400	800

*GRA : General Residential Area **S-RA : Semi-Residential Area ***B-A : Business Area

TABLE 3. Thresholds of a building generalization applied in this study.

Case	Aggregation	Simplification
81	Detached distance : 0~50m Min. area of a house: 50m ² Min. area of a hole: 1,000m ²	Tolerance : 0~50m Min. area of a house: 50m ²

합하여 큰 하나의 건물로 되면서 건물 내부에 맹지가 생길 수 있어 맹지의 최소허용면적은 1,000m²로 반영했다. 또 단순화 및 통합 임계값의 범위는 건물의 특성인자(건물 간격과 폭, 법정 도로기준 등)를 고려 0~50m 범위로 한다. 임계값 적용을 위한 순서와 적정 임계값 규모를 결정하기 위하여 임계값 변화에 따른 건물 속성변화를 파악하기 위한 모의를 실시했다. 통합 및 단순화 일반화 임계값 조합은 0m, 1m, 3m, 5m, 7m, 10m, 20m, 30m, 50m의 9개로 하고, 우선 소거기능을 DBM자료에 적용하여 50m² 이하 면적의 건물은 소거했다. 단순화-통합 순으로 벡터기반의 '일반화된 건물정보' 를 모의했다.

3. 격자기반 일반화된 DSM자료 모델링

도시 표면의 2차원 동적 우수유출 모의는 수리학적 기본방정식의 수치해석으로 가능하다. 이때 수치해석의 대상인 공간은 격자망으로 나뉘어져 강우유출수가 이동의 경로로 이용되는 속성을 지닌 격자와 물이 지면과 접하는 빈 바닥격자와 건물로 채워진 격자로 구분된다. 빗물의 2차원 공간 유출은 물이 지면과 접하는 격자의 표고와 그 주변을 둘러싼 건물격자의 고도와 최대경사를 따라서 이동한다.

본 연구에서 사용하는 고도자료는 DEM(Digital Elevation Model)로 1×1m 격자기반의 레스터자료인 한편 대상지 일반화된 건물정보는 건물높이 정보를 지닌 벡터자료이다. 따라서 먼저, 일반화된 건물정보를 1×1m 격자기반 레스터자료 격자기반 건물자료로 전환해 격자기반 일반화된 DSM자료를 만든다. 한편, 빗물 유출해석 모의에 필요한 적정 수치계산 격자의 크기는 대상지의 지형 및 지표조건 그리고 유출유량 등에 의해서 결정된다. 따라서 적정 격자크기는 빗물 유출경로가 단절되지 않고 연속성을 유지해야 한다. 단절을 최소화시킬 수 있는 격자크기의 선택이 필요하다. 이를 위해 격자크기 6가지 3×3m, 5×5m, 7×7m, 10×10m, 20×20m, 30×30m을 일반화된 건물정

보 대안에 적용하여 격자기반 일반화된 DSM자료를 만든다. 특히 건물 일반화 적용전의 건물자료를 '참조자료' 라고 정의하고 본 연구에서는 기 언급된 '1×1m 격자기반의 일반화된 DSM자료' 중 건물 일반화기능(소거, 단순화, 통합) 임계값의 영향이 없는 임계값(0m, 0m, 0m) 조합이 적용된 유일한 자료를 참조자료로 한다. '대안자료' 는 참조자료를 제외한 나머지 격자기반 일반화된 DSM자료를 의미한다.

빗물 유출경로는 ArcGIS의 하천망의 추출 절차에 따라 유출의 흐름방향(flow direction)기능과 누적격자수(flow accumulation)기능을 이용하여 추출한다. 이때 격자기반 일반화된 DSM자료를 우수 유출경로 추출을 위한 지표 고도정보로 사용한다. 이상적으로 추출된 유출경로(하천망)는 상류에서부터 대상지의 최하지점의 격자까지 단절되는 격자가 없이 연결되어야한다. 그러나 건물 일반화 임계값의 수준에 따른 격자고도의 변화, 벡터기반 건물의 레스터 변환에 따른 건물 형상변화 특히, 건물의 높이와 면적, 주변 건물과의 이격 등으로 상류방향 격자의 고도가 해당격자의 고도보다 낮은 경우에 흐름의 '단절'(Sink)이 발생한다. 본 연구에서는 건물일반화 임계값조합과 격자크기 적용에 의한 빗물 유출경로연결성의 평가를 위한 변수로는 격자망의 단절 개수와 단절면적을 사용한다.

4. 색인지도를 이용한 평가표본의 추출

대상지 내 용도지역상 주거지 유형에 따른 연결성 단절의 특성을 평가하기 위하여 일반주거지역 용도구분을 기준으로 건물정보를 수집하여 40×40 행렬로 '표준 시료수집 대상지' 공간면적 2.00874 ha(20,087.4m²) 크기의 격자망 색인지도(index map)를 구축한다.

결과 및 고찰

1. 건물 일반화 조합 적용 결과

그림 3은 건물 일반화의 소거 임계값을 벡터기반 건물자료에 적용하여 작성한 벡터기반

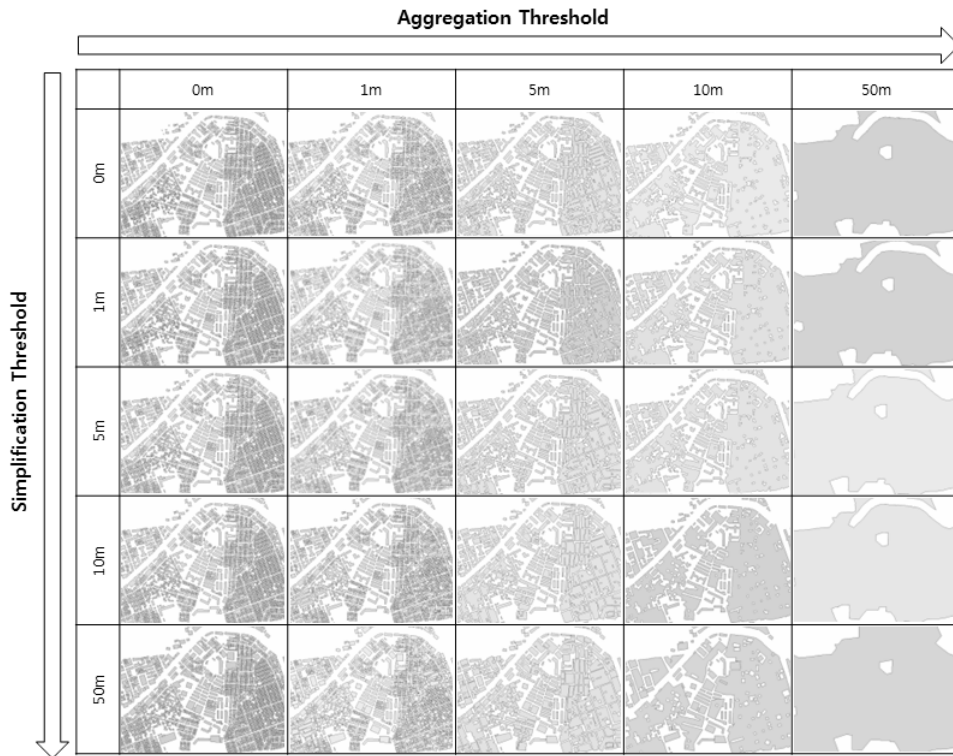


FIGURE 3. Effect of the buildings generalization on the shape and area of buildings on the basis of vector modeling

‘일반화된 건물정보’이다. 횡축과 종축은 통합기능과 단순화기능의 임계값이다. 좌측 맨 위는 통합기능과 단순화 기능 임계값이 모두 ‘0’ m 인 경우로 일반화 임계값이 건물의 개수, 형상, 크기에 영향을 미치지 못하는 ‘참조자료’에 그 외의 조합은 ‘대안자료’에 해당한다. 그림에서 통합기능 임계값 10m과 50m 경우를 비교하면, 10m 임계값 적용에는 대부분 도로로 인해 분리되었으나 임계값을 50m로 증가시키면 대상지 건물들이 하나의 거대한 건물로 통합되어 형상과 면적이 변화함을 알 수 있다. 한편 그림 4는 DEM과 DBM을 통합하여 대상지의 격자기반 일반화된 DSM자료를 만든 단계별 성과를 제시한 것이고 그림 5는 일반주거지 제3종 용도지역을 대상으로 격자크기변화에 따른 흐름방향 분석 결과이다.

2. 격자규모가 건물 총 면적변화에 미치는 영향

그림 6(a)는 벡터기반의 DBM자료를 사용하여 건물 일반화 임계값 적용이 총 건물면적에 미치는 영향을 모의한 결과이다. 총 건물면적은 통합 및 단순화 기능 임계값의 증가에 동반되어 증가했다. 통합 임계값 0m, 단순화 임계값 50m 조합을 대상지에 적용한 결과, 총 건물면적은 554.5 ha이었다.

이는 통합과 단순화 임계값을 모두 0m로 한 ‘참조자료’ 건물면적 489.7ha에 비해 64.8ha (13.2%)가 증가된 결과이다. 한편, 통합 50m과 단순화 0m의 조합을 적용하면 총 건물면적이 1,326.3ha로 참조자료 건물면적에 비하여 836.6ha(170.8%) 증가한다. 따라서 일반화에 따른 총 건물면적 변화는 통합 임계값 크기에 매우 민감하게 반응한 한편, 단순화 임계값 변

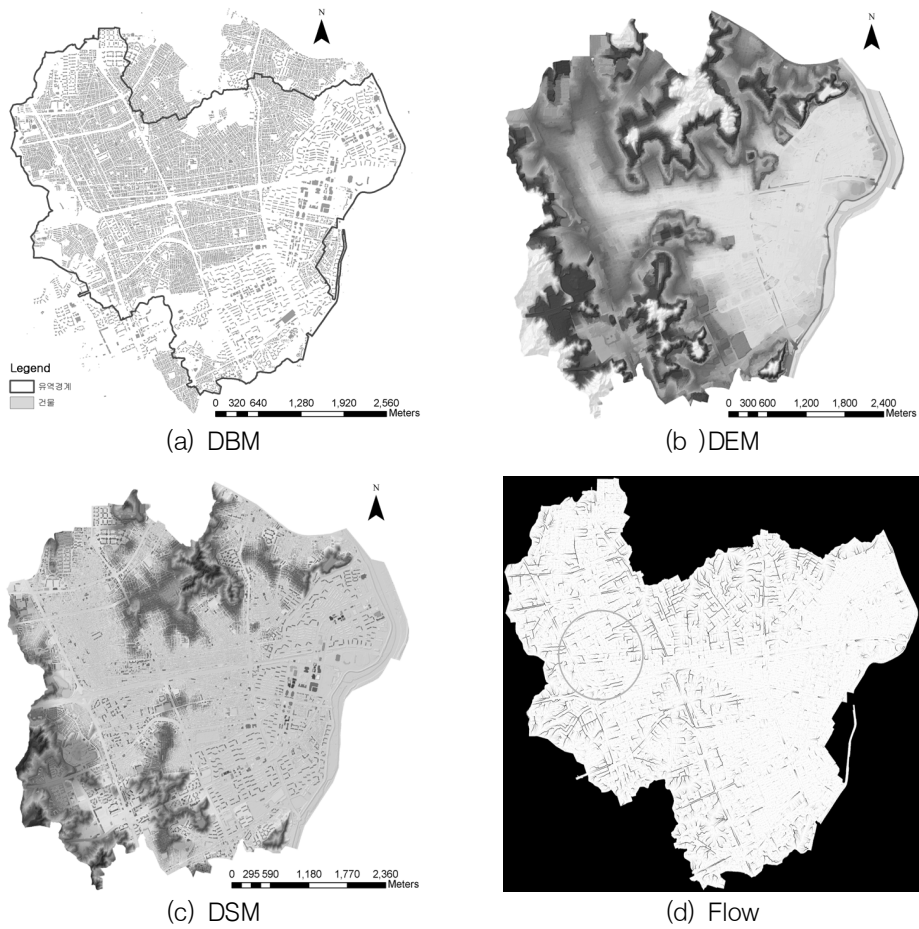


FIGURE 4. Data processing to develop the DSM for a building generalization application

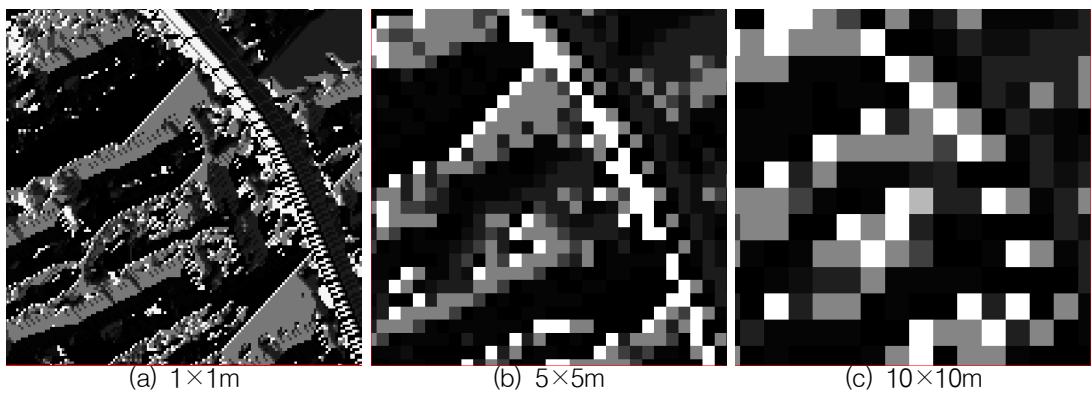
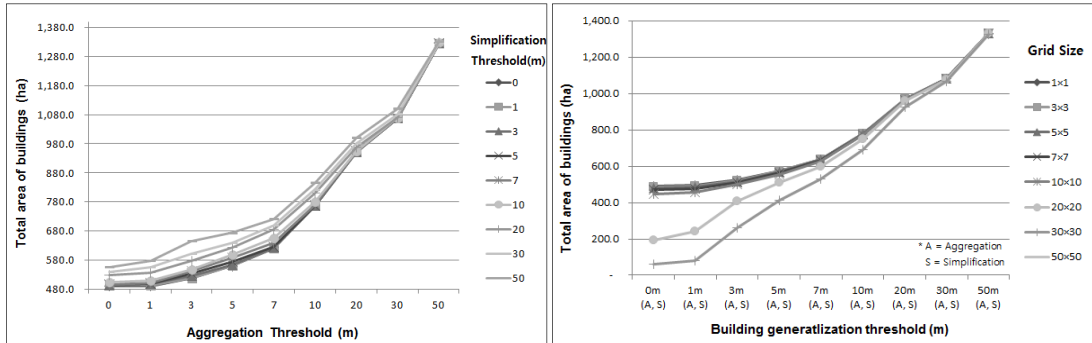


FIGURE 5. Flow direction with grid size in the use district GRA 3



(a) Effect of the building generalization thresholds on a total building area

(b) Effect of a grid size on the total area of buildings

FIGURE 6. Effect of the building generalization and the grid size on the building area

화에는 상대적으로 둔감한 반응을 보였다. 이하 분석에서는 단순화 임계값은 통합 임계값과 같은 값을 적용하여 일반화를 수행했다. 예로 통합 임계값 10m인 경우 단순화 임계값도 10m로 하여 두 임계값 조합의 표기는 10m(A,S)로 한다. 표 4는 격자기반 일반화된 DSM자료를 이용하여 격자의 크기가 총 건물면적에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 이 자료로 산정된 참조자료 건물면적은 489.1ha로 벡터자료기반 건물 면적 489.7ha에서 0.6ha가 레스터변환으로 감소되었다. 이하에서는 참조자료를 489.1ha으로 한다. 표에서 임계값 조합 1m(A,S)일 때, 격자가 1×1m~10×10m로 증가하면 건물면적이 493.5ha에서 455.7ha로 37.8ha 감소하고 면적감소율은 7.7%이었다. 격자크기를 10×10m에서 20×20m로 증가시키면 212.7ha의 건물면적이 감소되어 면적 감소율이 46.7%에 이른다. 또 30×30m로 증가하면 61.5ha로 감소하여 면적 감소율은 74.6%로 커졌다. 격자크기가 10×10m 이상이 되면 총 건물면적의 감소율은 약 50% 이상으로 급하게 감소함을 알 수 있다. 한편 임계값 조합 7m(A,S)의 경우, 격자가 1×1m에서 10×10m로 증가하면 건물면적이 12.2ha 감소하고 면적감소율은 1.9%이었다. 격자크기를 10×10m에서 20×20m로 증가시키면 26.3ha의 건물면적이 감소되어 면적 감소율이 4.2%에 이른다. 임계값 조합 1m(A,S)을

기준으로 임계값 7m(A,S)과의 상대적인 총 건물면적 감소율을 비교하면, 격자 1×1m에서 10×10m로 한 경우에 총 건물면적 감소율 차는 7.7%가 1.9%로 약 4배 감소했으며 격자 20×20m~30×30m로 커지면 총 건물면적 감소율 차는 74.6%에서 11.4%로 약 6.5배 줄었다.

그림 6(b)에서 보듯이 동일한 규모의 격자크기에서 일반화 임계값 조합규모가 커질수록 총 건물면적은 커지는 한편, 모든 임계값 조합에서 격자크기가 커질수록 총 건물면적은 감소함을 알 수 있다. 한편 50m(A,S) 경우, 적용된 모든 격자크기에서 총 건물면적 변화의 폭은 최소 1,327.5ha~최대 1,330.8ha의 근소한 3.3ha 차이로 수렴하고 있다. 20×20m 이상의 격자와 3m(A, S)이하의 임계값이 조합된 경우 총 건물면적은 참조자료 면적 489.1ha보다 작아져 61.5ha~405.5ha로 감소한다.

3. 우수유출 경로 연결성 평가

빗물의 흐름방향 분석결과를 토대로 격자크기와 임계값 조합에 따라 발생되는 유출경로의 연결성 단절정도를 파악하기 위하여 단절 개수와 단절면적 산정하고 그 결과를 표 5와 그림 7에 정리하였다. 표 5에서 격자크기 1×1m와 임계값 0m(A,S) 조합은 건물 일반화의 영향이 없는 경우를 나타내는 참조자료이다. 그림 7의

범례에서 원 자료(raw data)와 1×1m 격자의 조합이 참조자료에 포함된 단절 개수와 단절 면적은 각각 36,333개와 23.08 ha임을 알 수 있다. 전술한 표 4의 참조자료 총 건물면적이 489.1ha인 점을 고려하면, 단절면적 23.08ha

는 참조자료기준 건물면적의 약 4.7%가 단절된 것을 알 수 있다. 이는 벡터기반의 건물 DBM 자료를 1×1m 격자기반의 레스터자료 전환하는 과정에서 발생된 왜곡이다. 따라서 레스터 전환에 따른 단절된 면적을 감소시키기 위한

TABLE 4. Effect of the building generalization threshold(m) and the grid sizes on the total area of buildings(ha)

Grid (m)	Sets	The number of building meshes(EA) and the total area of buildings(ha)								
		0m(A,S)	1m(A,S)	3m(A,S)	5m(A,S)	7m(A,S)	10m(A,S)	20m(A,S)	30m(A,S)	50m(A,S)
1×1	Mesh No.	4,891,066	4,935,013	5,248,590	5,742,958	6,386,016	7,790,234	9,672,554	10,825,494	13,307,888
	BLD Area	489.1	493.5	524.9	574.3	638.6	779.0	967.3	1,082.5	1,330.8
3×3	Mesh No.	540,236	544,636	579,808	636,302	708,645	865,035	1,074,587	1,202,695	1,478,684
	BLD Area	486.2	490.2	521.8	572.7	637.8	778.5	967.1	1,082.4	1,330.8
5×5	Mesh No.	192,440	194,595	206,598	227,776	254,224	311,004	386,648	432,893	532,324
	BLD Area	481.1	486.5	516.5	569.4	635.6	777.5	966.6	1,082.2	1,330.8
7×7	Mesh No.	96,139	97,495	104,221	115,261	129,092	158,460	197,179	220,819	271,570
	BLD Area	471.1	477.7	510.7	564.8	632.6	776.5	966.2	1,082.0	1,330.7
10×10	Mesh No.	44,534	45,570	49,966	55,510	62,643	77,242	96,520	108,102	133,078
	BLD Area	445.3	455.7	499.7	555.1	626.4	772.4	965.2	1,081.0	1,330.8
20×20	Mesh No.	4,821	6,074	10,137	12,757	15,003	18,787	23,941	26,946	33,248
	BLD Area	192.8	243.0	405.5	510.3	600.1	751.5	957.6	1,077.8	1,329.9
30×30	Mesh No.	683	905	2,886	4,562	5,887	7,686	10,294	11,844	14,750
	BLD Area	61.5	81.5	259.7	410.6	529.8	691.7	926.5	1,066.0	1,327.5

* BLD area: the total area of buildings (ha)

TABLE 5. Sink counts(EA)and total area of sinks(ha)

Grid (m)	Sets of threshold	The number of sinks(EA) and the total area of sinks(ha)								
		0m(A,S)	1m(A,S)	3m(A,S)	5m(A,S)	7m(A,S)	10m(A,S)	20m(A,S)	30m(A,S)	50m(A,S)
1×1	Sink No.*	36,333	34,436	26,180	19,641	15,222	9,720	5,886	4,375	2,500
	Sink Area	23.08	22.63	20.67	18.58	16.71	13.86	12.13	12.47	7.28
3×3	Sink No.	10,280	10,186	7,920	6,218	5,000	3,280	2,028	1,606	1,034
	Sink Area	3.65	3.62	3.14	2.73	2.39	1.94	1.59	1.45	0.97
5×5	Sink No.	4,688	4,681	4,105	3,368	2,903	1,997	1,268	1,036	685
	Sink Area	1.47	1.46	1.34	1.19	1.09	0.88	0.71	0.61	0.46
7×7	Sink No.	2,683	2,684	2,566	2,231	2,029	1,448	947	771	497
	Sink Area	0.91	0.91	0.87	0.80	0.75	0.63	0.56	0.50	0.39
10×10	Sink No.	1,213	1,261	1,473	1,529	1,446	1,004	692	552	367
	Sink Area	0.34	0.35	0.39	0.40	0.38	0.29	0.25	0.22	0.19
20×20	Sink No.	121	153	354	543	575	436	309	275	204
	Sink Area	0.04	0.05	0.10	0.13	0.14	0.11	0.08	0.08	0.08
30×30	Sink No.	14	17	97	217	269	229	178	157	142
	Sink Area	0.004	0.005	0.03	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04

* Sink No.: The counts sinks(EA) / Sink area: The total area of sinks(ha)

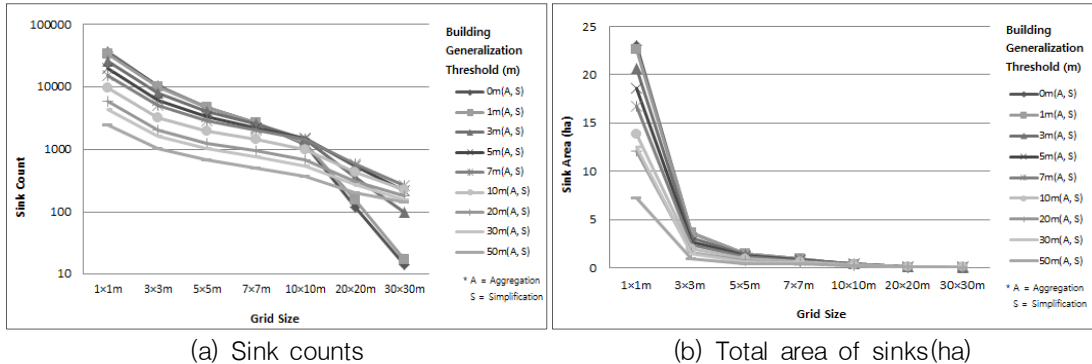


FIGURE 7. Results of the number of sinks and the area of sinks

절차로서 적절한 임계값과 격자크기 조합의 선택이 요구된다.

그림 7(a)은 격자크기 증가에 따른 단절 개수변화를 확인한 결과이다. 단절 개수는 격자크기가 커질수록 감소하지만 격자크기가 같을 경우에는 일반화 임계값의 증가에 따라서 감소하게 된다. 예로 격자크기가 3×3m와 임계값 1m(A,S)조합은 단절 개수 10,186개와 단절면적 3.6ha이었다. 격자크기를 고정시키고 일반화 임계값만을 50m(A,S)로 증가시키자 단절 개수와 단절 면적은 각각 90%와 74%까지 감소하였다. 한편, 격자크기를 10×10m 그리고 임계값을 1m(A,S)로 적용한 결과, 단절면적은 0.35ha로 격자크기 3×3m경우의 단절면적 3.6ha의 10분의 1수준으로 대폭 감소했다. 또한 격자크기를 10×10m으로 고정하고 일반화 임계값만을 50m(A,S)로 키워서 적용한 결과는 단절면적을 더욱 감소시켜 하여 0.35ha의 약 46%가 감소된 0.19ha로 나타났다. 그림 7(b)에서 격자크기 증가에 따른 단절면적의 변화는 단절 개수의 변화와 유사한 경향을 지닌다. 이상의 결과들로부터 적절한 규모의 격자선택과 건물 일반화 임계값의 적용은 참조자료가 지닌 단절 개수 및 단절면적을 감소시키는데 매우 유효한 수단임을 확인할 수 있다. 따라서 건물 일반화 과정은 우수 유출경로 연결성 개선을 위한 필수적인 절차로 판단된다. 즉 격자기반의 건물 일반화를 적용한 빗물 유출경로연결성 확

보는 적정 격자크기와 건물 일반화 임계값 조합의 선정으로부터 시작되어야 함을 알 수 있다.

따라서 이상적인 적정한 규모의 격자크기와 임계값 조합선정은 건물 일반화 임계값 적용에 의한 총 건물면적 변화(참조자료 면적에 대비된 면적변화율)가 최소화되고 격자망 단절면적의 최소화가 동시에 만족되는 수준에서 이뤄져야 한다. 하지만 도시 2차원 빗물유출해석을 위한 모의에서 수치해의 안정성 등을 고려할 때 5×5m 전후 수준의 격자크기가 적절한 규모로 적용한 사례 등을 반영하여 표 6과 같은 분석을 통하여 적정 일반화 임계값과 격자크기를 도출하였다. 표 6은 일반화 임계값과 격자크기의 변화가 유출경로의 연결성 단절정도에 미치는 영향의 정도를 파악하기 위하여 총 건물면적 증가율과 단절 면적 감소율을 산정한 결과이다. 표에서 (5) 총 건물면적 증가율 계산은 (1)로 표시된 참조자료의 면적 489.1ha을 가지고 임계값 적용으로 변화된 (3) 총 건물면적을 제한 결과를 다시 (1)의 489.1ha로 나눠줌으로서 이뤄졌다. 한편 표의 (6) 총 단절 면적 감소율 계산은 단절의 참조자료인 (2)의 203.8ha로 (4) 총 단절 면적을 제외한 결과를 (2)의 23.8 ha로 나눈 결과이다.

표 6에서 보듯이 임계값 3m(A,S)조합의 경우, 격자크기가 5×5m로 적용되면 총 건물면적 증가율은 5.6%로 총 단절면적 감소율은 94.4%에 도달했으며 동일한 임계값에서 격자

TABLE 6. Building area increasement rate(%) and sink area decrease rate(%)

*1 BLD-Gen-Threshold	*2 Ref. 1×1m		5×5m				7×7m				10×10m			
	(1)	(2)	(3)	(4)	*3 (5)	*4 (6)	(3)	(4)	(5)	(6)	(3)	(4)	(5)	(6)
	BLD area (ha)	Sink area (ha)	BLD area (ha)	Sink area (ha)	BLD. area up (%)	Sink area down (%)	BLD area (ha)	Sink area (ha)	BLD. area up (%)	Sink area down (%)	BLD area (ha)	Sink area (ha)	BLD. area up (%)	Sink area down (%)
0m(A,S)	489.1	23.8	481.1	1.47	-1.6	93.8	471.1	0.91	-3.7	96.2	445.3	0.34	-9.0	98.6
3m(A,S)	524.9	20.7	516.5	1.34	5.6	94.4	510.7	0.87	4.4	96.6	499.7	0.39	2.2	98.4
5m(A,S)	574.3	18.6	569.4	1.19	16.4	95.0	564.8	0.80	15.5	96.6	555.1	0.40	13.5	98.3
7m(A,S)	638.6	16.7	635.6	1.09	30	95.4	632.6	0.75	29.3	96.8	626.4	0.38	28.1	98.4
10m(A,S)	779.0	13.9	777.5	0.88	58	96.3	776.5	0.63	58.8	97.4	772.4	0.29	58.0	99.0

*1 BLD-Gen-Threshold.: Building Generalization Threshold

*2 Ref : Reference data that represents the original areas of buildings and sinks developed in study site.

*3 Total building area (ha) reduction rate in % is calculated by the equation of $(5)=((1)-(3))/(1)$

*4 Total sink area (ha) reduction rate in % is calculated by the equation of $(6)=((2)-(4))/(2)$

크기만을 7×7m로 키우자 총 건물면적 증가율은 4.4%로 총 단절면적 감소율은 96.6%로 변화되었다. 격자크기만을 더 증가시킨 10×10m의 적용에서 총 건물면적 증가율은 2.2%이고 이때 총 건물면적은 참조자료(489.1ha)보다 증가한 499.7ha가 되었고, 총 단절면적 감소율은 98.4%였다. 이때 총 단절면적은 참조자료(23.8ha)보다 크게 감소한 0.39ha로 평가되었다. 참고로 격자크기 10×10m가 적용된 결과는 본 연구에서 도출된 모든 결과들 중에서 가장 적절한 수준의 임계값과 의 건물면적 증가율과 단절면적 감소율을 기록한 최대와 최소 비율에 해당한다. 이상의 결과로부터 건물 일반화 임계값 3m(A,S)에서 격자크기가 7×7m~10×10m의 경우, 총 건물면적 증가율은 5% 이내로 그리고 총 단절면적의 감소율을 96.6% 이상으로 확보가 가능한 것을 확인할 수 있다. 또한 공간 해상도가 높은 5×5m 격자를 적용할 경우, 10×10m 격자크기의 적용에 비하여 총 건물면적 증가율이 3.4% 더 증가되고 총 단절면적 감소율도 4.0% 감소되는 결과를 발생한다. 그러나 이 정도의 차이는 총 건물면적과 빗물유출경로 연결성의 수준을 참조자료 대비 5% 이하에 해당하는 수준이다.

하지만, 건물 일반화 임계값을 5m(A,S) 수준으로 증가시켜 적용할 경우, 격자크기 5×5m를 적용되면 총 건물면적 증가율은 16.4%로 전술

한 3m(A,S) 조합과 격자크기 5×5m의 적용결과인 총 건물면적 증가율 5.6%의 약 2.9배 증가하여 건물정보의 왜곡을 더 심화시킨 것을 알 수 있다. 같은 임계값과 격자크기 조건에서 총 단절면적 감소율 또한 95.0%로 3m(A,S) 조합과 격자크기 5×5m의 적용결과인 94.4%에 비하여 총 단절면적 감소율이 약 0.6% 감소하여 빗물 유출경로 연결성은 악화되었다.

이상의 검토로부터 건물 일반화 임계값 조합의 적절한 수준은 건물 일반화 임계값 3m(A,S)과 격자크기 5×5m~10×10m 수준에서 총 건물면적 증가율 약 5% 이하 그리고 총 단절면적 감소율 약 95% 이상을 담보할 수 있음이 확인된다.

4. 주거지 유형별 빗물 유출경로의 공간연속성 파악

그림 8은 연구방법에서 언급한 격자망 색인 지도를 사용하여 제 2종 일반주거지역의 표준시료 채취 대상지(면적 2.00874ha, 색인기호 K16)에 1×1m 격자기반으로 건물 일반화 임계값 조합이 적용된 결과이다. 그림 8(a)는 임계값 0m(A,S)으로 일반화의 영향이 없어 표준시료 면적 2ha 전역에서 단절이 있고 유출경로는 큰 도로에서 만 존재한다. 그림 8(b)은 임계값 3m(A,S)가 적용되어 그림 8(a)에 비해 건물 개수가 줄고 개체면적은 커졌다. 표준시료 면적

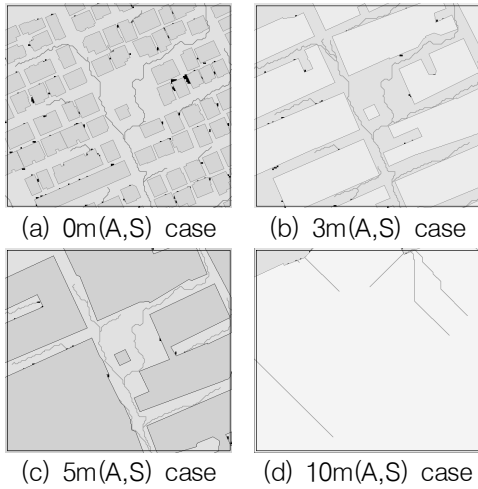


FIGURE 8. Results from BGTs* on the 1×1m at K16(GRA** 2)

BGTs*: Building generalization thresholds
 GRA**: General Residential Area

2ha 내에서 단절개수는 줄었으나 단절은 규모가 작은 건물 주위에 집중되는 분포를 보였다. 그림 8(c)은 임계값 5m(A,S)로 건물개체 면적이 크게 증가하면서 단절개수와 면적은 더욱 감소했다. 건물사이로 빗물 유출경로가 확인된다. 그림 8(d)은 임계값 10m(A,S)을 적용한 결과인데 실제 건물크기에 비해 큰 통합 임계값이 적용되어 지나치게 개체건물면적이 커지고 도로 폭을 초과해 도로가 건물에 통합되어진 된 결과를 초래했다. 건물위에 유출경로가 생성되는 등 임계값 적용이 적절치 못했던 것을 시사한다.

한편, 그림 9는 제3종 일반주거지역(고층아파트)의 표준면적 색인기호 AA26의 건물자료를 격자규모 1×1m로 건물 일반화시킨 결과이다. 그림 9(a)은 임계값 0m(A,S)이 적용되어 건물개수, 형상과 면적변화는 없고 표준면적 내 다수의 단절 지점이 존재하지만 일반주거지역 2종의 K16 지점 그림 8(a)과는 상이하게 건물사이로 공간으로 빗물 유출경로가 잘 발달되어 있다. 이는 표준면적 AA26지역은 일반주거지역 3종(대형 고층아파트 단지)에 위치한 것에 기인한 결과로 판단된다. 임계값 7m(A,S)

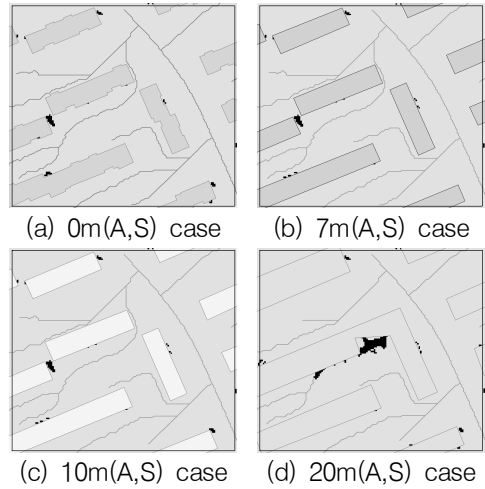


FIGURE 9. Results from BGTs on the 1×1m at AA26(GRA 3)

과 10m(A,S)의 경우, 그림 9(b)과 9(c)에서 보듯 동일수준의 단절면적과 빗물 유출경로 연속성이 확보되어 있다. 하지만 그림 9(d)은 건물간의 거리를 제약하는 임계값 범위를 초과하도록 임계값 20m(A,S)조합을 적용한 결과로 건물형상이 크게 왜곡되고 단절면적의 급격한 확장이 확인되며 결과적으로 유출경로의 대규모 단절이 발생됐다.

그림 10은 그림 8의 표준면적 대상지 K16과 같은 제2종 일반주거지역에 5×5m 격자기반으로 건물 일반화 임계값 조합이 적용된 결과이다. 그림 10(a)은 임계값 0m(A,S)으로 일반화의 영향은 없으나 단위 격자면적이 25배(5×5m) 커져서 단일 건물면적은 커진 것을 확인할 수 있다. 따라서 단절개수는 1×1m 격자기반의 그림 8(a)보다 줄었으나 단절장소의 단절면적은 크게 증가했고 빗물 유출경로연속성은 상당부분 개선된 것을 확인할 수 있다. 그림 10(b)은 임계값 3m(A,S)가 적용되어 그림 10(a)에 비해 건물 개수가 줄고 개체면적은 커졌다. 표준시료 면적 2 ha 내에서 단절개수 및 면적은 크게 감소되었다. 그림 10(b)와 (c)로부터 임계값 조합이 3m(A,S)에서 5m(A,S)로 커짐에 따라 유출경로의 연속성은 개선되었다.

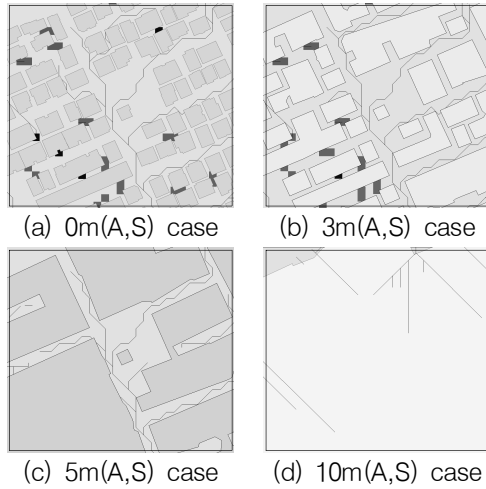


FIGURE 10. Results from BGTs on the 5×5m at K16(GRA 2)

그러나 10m(A,S)에서는 격자크기와 임계값의 동시 증가에 따라서 건물개체의 크기가 매우 확대되고 건물 지붕에 빗물 유출경로가 생성되는 왜곡이 발생했다.

한편 그림 11은 표준면적 대상지 AA26로 제3종 일반주거지역에 5×5m 격자기반으로 건물 일반화 임계값 조합이 적용된 결과이다. 그림 11(a)은 임계값 0m(A,S)이 적용되어 건물 개수, 형상과 면적의 변화는 없었으나 1×1m 격자기반의 그림 9(a)보다 단절개수와 면적이 대폭 감소하였다. 단절개수는 한곳에 불과 했으며 빗물 유출경로도 잘 발달된 것을 확인할 수 있다. 건물 일반화 임계값이 7m(A,S)과 10m(A,S)에서는 점차 유출경로의 개선이 있었다. 20m(A,S)조합에 이르러서는 1×1m 격자의 경우와 같이 건물형상이 크게 왜곡되고 단절면적의 급격한 확장이 확인되며 결과적으로 유출경로의 대규모 단절이 발생했다.

이상의 관찰로부터 일반주거지 용도 유형별 건물 일반화 임계값과 격자크기 변화가 총 건물면적과 빗물 유출경로의 연속성에 미치는 영향은 다음과 같이 정리된다. 일반주거지 2종 K16(GRA 2)의 경우, 임계값이 5m(A,S)이상 일 때 단일 건물의 크기가 크게 증가했고 단절

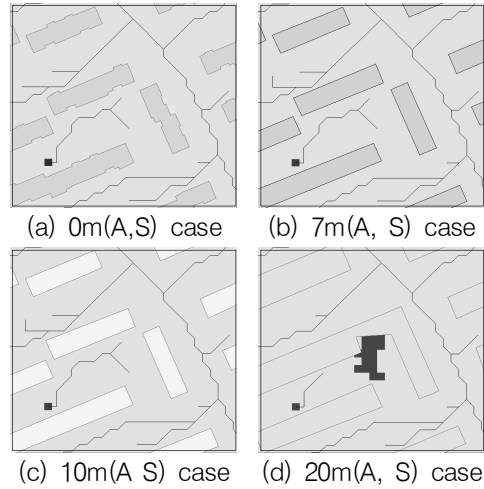


FIGURE 11. Results from BGTs on the 5×5m at AA26(GRA 3)

개수와 단절 면적은 감소하였다. 이로 인하여 빗물유출 연결성은 개선된 반면 유출경로 형상의 단순화가 심화되었다. 한편, 아파트 단지인 3종 AA26(GRA 3)의 경우, 임계값의 크기 10m(A,S) 이하에서 건물면적과 빗물 유출경로의 공간 연속성은 크게 변화지 않았다. 한편 2종의 지역 K16에서 격자크기 1×1m과 5×5m 적용에 따른 건물면적의 왜곡과 빗물유출 경로 연결성을 비교해 볼 때 5×5m 격자를 적용한 결과는 단절면적의 감소와 유출경로의 연결성에서 양호한 결과를 보였다. 특히 일반화 임계값 3m(A,S) 조합과 격자크기 5×5m 적용으로부터 총 건물면적 왜곡의 감소와 빗물유출 경로 연결성단절의 그림 10(b)에서 매우 양호한 결과를 보인다. 이러한 결과는 전술한 주거지 유형의 구분이 없이 일반화와 격자크기가 미치는 영향을 분석한 표 6의 결과와도 일치한다.

결론

본 연구의 목적은 건물 일반화가 일반주거지역의 빗물 유출경로 연속성에 미치는 영향을 분석하고 적정한 일반화 임계값과 수치해석 격자크기를 제시하고자 했다. 빗물 유출경로 연결

성 평가를 위한 설명변수로는 일반화 임계값과 수치계산 격자크기로 하고 한편 종속변수는 격자망의 단절 개수와 단절면적을 사용하여 다음과 같은 결론을 도출했다.

첫째, 건물 일반화 임계값의 증가는 총 건물면적을 증가시켰고 최대 임계값인 50m에 이르러 총 건물면적 왜곡은 원시 건물면적의 0.67%범위로 수렴하였다. 또 격자크기 증가는 모든 일반화 임계값 조합에서 총 건물면적과 총 단절면적을 감소시켰다.

둘째, 격자크기의 증가는 모든 일반화 임계값 조합에서 총 건물면적과 총 단절면적의 감소를 유발하는 한편 동일한 격자크기에서 임계값 증가의 결과는 총 건물면적의 증가를 시키는 반면 총 단절면적의 감소를 유발시켰다. 따라서 적절한 규모의 격자크기와 일반화 임계값 선정은 비교대상인 격자크기와 임계값을 적용한 일반화 모의 결과인 건물면적 변화율과 단절면적 변화율이 가장 낮은 것으로 결정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

셋째, 적정 격자크기와 임계값 범위는 임계값 3m로 격자크기 5×5m~10×10m 이었고 이들 조건을 일반화 모의에 적용한 결과 건물면적 증가율은 5%이하 그리고 단절면적 감소율은 94.4%이상이었다.

넷째, 대상지 토지용도를 구분한 건물 일반화 모의 결과, 아파트 단지인 3종의 건물면적과 빗물 유출경로 연결성은 임계값 10m이하에서 크게 변하지 않았다. 한편 개별 주택인 2종 지역에서는 임계값 3m와 격자크기 5×5 m을 적용한 모의결과는 단절면적의 감소와 양호한 유출경로 연결성을 보였다. **KAGIS**

REFERENCES

- ArcGIS, 1996. Automation of map generalization. ESRI White Paper Series.
- Cho, W.H., K.Y. Han, and Y.J. Kim. 2010. An evaluation of building effect in 2-dimensional inundation analysis using GIS. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 13(2):119-132 (조완희, 한건연, 김영주. 2010. GIS를 활용한 2차원 침수해석에서의 건물영향분석. 한국지리정보학회지 13(2):119-132).
- Droppova, V. 2011. The tools of automated generalization and building generalization in an ArcGIS environment. Slovak Journal of Civil Engineering 19(1):1-7.
- Horvitt, M.S. and P.D. Bates. 2011. Effects of spatial resolution on a raster based model of flood flow. Journal of Hydrology 253:239-249.
- Jin, G.H. 2015. Development of building generalization method for two-dimensional urban inundation modelling. Ph.D. Thesis, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea. p.130 (진기호. 2015. 2차원 도시침수 해석을 위한 건물 일반화 기법 개발. 충북대학교 대학원 박사학위논문. 130쪽).
- Lee, C.H. and K.Y. Han. 2007. GIS-based urban flood inundation analysis model considering building effect. Journal of Korea Water Resources Association 40(3):233-236 (이창희, 한건연. 2007. 건물의 영향을 고려한 GIS 기반 도시침수해석 모형. 한국수자원학회지 40(3):223-236).
- Lee, J.Y., G.H. Jin, and S.R. Ha. 2014. Analysis of urban inundation considering building footprints based on dual-drainage scheme. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 17(4):40-51 (이정영, 진기호, 하성룡. 2014. 건물의 영향을 고려한 이중배수 체계기반 침수해석. 한국지리정보학회지 17(4):40-51).
- Li, Z., H. Yan, T. Ai, and J. Chen. 2004. Automated building generalization based

- on morphology and gestalt theory. *International Journal Geographic Information Science* 19(5):513-534.
- Park, I.H., G.H. Jin., K.Y. Jeon, and S.R. Ha. 2015. Application of hydro-cartographic generalization on buildings for 2-dimensional inundation analysis. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(2):1-15 (박인혁, 진기호, 전가영, 하성룡. 2015. 2차원 침수해석을 위한 수리학적 건물 일반화 기법의 적용. *한국지리정보학회지* 18(2):1-15).
- Schubert, J.E. and B.F. Sanders. 2012. Building treatments for urban flood inundation models and implication for predictive skill and modeling efficiency. *Advances in Water Resources* 41:49-64.
- Seoul Metropolitan Government. 2012. General planning of the functional improvement of shinworl-pumping system for storm water drainage and storage. pp.61-62 (서울특별시. 2012. 신월 빗물저류배수시설 등 재시설 확충 기본계획보고서. 61-62쪽). **KAGIS**