

등고선 기반의 전자 지형 정보 및 제한 들로네 삼각분할법을 이용한 3차원 환경소음 영향예측용 지형모델 생성 기법

Formation Technique of a 3D Ground Topographic Numerical Model for Environmental Impact Prediction using Digital GIS Databases, Contour Lines and Constrained Delaunay Triangulation

최 태 목[†] · 김 진 형^{*}
Taemuk Choi[†] and Jinhyeong Kim^{*}

(Received March 18, 2024 ; Revised May 17, 2024 ; Accepted May 20, 2024)

Key Words : 3D Ground Topographic Numerical Model(3차원 지형 모델), Environment Impact Prediction(환경영향예측), Environment Noise(환경 소음), Contour Lines(등고선), Constrained Delaunay Triangulation (제한 들로네 삼각분할법)

ABSTRACT

This paper presents a technique forming a three-dimensional (3D) topographic model to predict environmental impact using GIS databases, employing the constrained Delaunay triangulation method and contour lines. Benchmark numerical tests demonstrate that compared to using Delaunay triangulation alone, the proposed technique reduces mesh-generation time and effectively manages the number of GIS inputs needed for accurate mesh resolution. Thus, this method proves beneficial for efficiently generating 3D topographic numerical models, particularly in large domains, enhancing environmental impact prediction capabilities.

기 호 설 명

CDT : constrained delaunay triangulation 제한
들로네 삼각분할법
DT : delaunay triangulation 들로네 삼각분할법
VD : voronoi diagram 보로노이 다이어그램

1. 서 론

신규 도로 건설을 위한 토목 사업 및 신도시 개발 사업 등과 같이 인접 정온시설에 영향을 미치는 개발 행위 중 발생하는 소음은, 기존 정온시설에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 건설되는 시설이 운영될 경우에도 주

변 정온시설 및 신규 건설된 시설 자체에도 영향을 미치게 된다. 이에 우리나라를 포함한 거의 모든 나라에서는 사업 단계별로 환경영향평가를 통하여, 계획된 사업이 진행되는 과정에서 발생하는 소음 수준이 주변 정온 시설에 미치는 정도를 예측/평가한다. 이때, 각 정온시설에서 예측/평가된 소음 수준이 관련 기준을 만족하지 못하는 경우에는 적절한 방음 대책을 수립하여, 이를 사업 계획에 반영하는 것이 일반적이다.

한편, 옥외에서 발생하는 소음의 전파 메커니즘에는 기하학적 확산, 반사, 회절, 공기로 인한 감쇠 및 지면 감쇠 효과 등이 있는데, 이 중에서 반사 및 회절 효과는 각종 구조물 뿐만 아니라, 지형으로 인해 서도 발생된다. 따라서, 소음 예측을 위한 수치 모델

[†] Corresponding Author ; Member, Createch Co., Ltd., CEO
E-mail : taemuk@createch.co.kr
^{*} Member, Createch Co., Ltd., Director

[‡] Recommended by Editor Kyoung Min, Kim
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

작성 시 정확한 3차원 지형 모델을 구축하는 것은 신뢰성 높은 예측 결과를 확보하는데 매우 중요한 요소 중 하나다.

3차원 좌표로 구성된 다수 개의 이산 정보로부터 선 및 면으로 구성된 지형 모델을 구축하는 기술은 토목 및 지리 정보 분야에서 널리 연구되고 있는데, 이는 지형 변경에 따른 토사량 계산 뿐만 아니라, 다중 정보 층으로 구성된 GIS 정보를 활용하여 해당 지역의 인구밀도, 지표면 상태 및 행정구역 등과 같은 다양한 형태의 정보를 통합 관리하는 용도 등으로 활용된다. 이때, 근래에는 Rhino, SketchUp, QGIS 및 Rabbit 등과 같은 다양한 상용 모델링 및 도면 작성용 소프트웨어들이 해당 기능을 지원하기 때문에, 이를 활용하여 DXF 파일 등과 같은 단순 가시화 목적의 자료 형태로 출력하여 관련 업무에 활용하고 있다. 하지만, 수치모델을 이용한 환경 소음 해석 시에는 지형 및 지면을 구성하는 각 요소 자체에 대한 정보가 소음 전달 경로 및 효과를 평가하기 위한 해석 인자로 활용되기 때문에, 지형 및 지면을 구성하는 요소에 대한 raw data 정보가 반드시 필요하다.

한편, 3차원 환경소음 소음 해석용 지형 수치 모델 생성 분야 연구는 환경소음 해석을 위한 SW 개발과 직접 연계되어 있기 때문에, 다수 사례를 찾아보기는 어려우나 Kim and Cho가^(1,2) DT 기법을 활용하여 3차원 지형 요소를 생성하여 이를 환경소음 해석용 프로그램 내에 적용한 바 있다. 하지만, 적용된 DT 기법의 한계로 인해, 비균질화된 3차원 지형 좌표 정의 이산 정보가 입력된 경우에 간헐적으로 지형의 곡면 특성을 엄밀하게 반영하지 못하고, 삼각형 생성을 위한 탐색 영역이 전체 지형 정보 절점들을 대상으로 하기 때문에 수치 모델 생성에 소요되는 연산 시간이 오래 걸린다는 단점이 있었다.

전산 기하학 분야에서는 Shewchuk이⁽³⁾ 다양한 임의의 형상을 가지는 비정규형 polygon에 대해서 적용되는 CDT 기법들의 특징들에 대한 연구를 수행한 바 있으며, 지리 정보 분야에서는 Cho가⁽⁴⁾ 토지 측량 과정에서 발생하는 오차 등으로 인해 지적도 상의 공백 구역 및 겹침 구역을 탐색하기 위하여 제한 들로네 삼각분할법을 활용한 연구를 수행한 바 있는데, 해당 연구는 환경 소음 해석 등과 같이 후속으로 진행되는 수치 해석에 필요한 정확한 전체 3차원 지형 정보 추출 목적이 아니라, 2차원 기반의 지적도 상에서 불확

실한 공간 정보를 식별 및 추출하는데 목적이 있다.

이에 이 연구에서는 환경소음 예측을 위한 수치 모델 생성 시에, 국토지리정보원 등에서 다수 개의 이산 지형 좌표 정의 절점들로 구성된 전자파일로 제공되는 정보를 이용하여 사용자가 원하는 간격의 등고선 정보를 추출하고, 해당 등고선들을 제한 조건으로 가지는 CDT 기법을 적용한 방법을 제안하였다.

2. 3차원 지형 모델 생성 알고리즘

이 연구에서는 다음과 같은 절차로 3차원 지형 모델 정보를 생성하였다.

Step 1: 전자 지도 파일로부터 3차원 지형 좌표 정의 절점 정보를 입력

Step 2: 입력된 3차원 지형 좌표 정의 절점들로부터 사용자가 원하는 간격을 가지는 등고선들을 추출하고, 생성된 등고선들 내에 위치하는 3차원 지형 좌표 정의 절점을 신규로 생성

Step 3: 신규 생성된 3차원 지형 좌표 정의 절점들만의 조합으로 구성된 등고선들을 제한조건으로 가지는 CDT를 수행하여 3차원 지형/지면 정보를 추출

2.1 3차원 지형 좌표 정의 절점 입력

우리나라 국토지리정보원에서는 GIS 기반의 국토 지형정보를 배포하고 있는데, 이 중에서 3차원 좌표 정보를 기반으로 한 vertex 정보만 추출한다. 이때, 좌표의 기준점 및 좌표계 종류가 상이한 경우에는 직교 좌표계 및 신규로 설정한 기준점으로서의 좌표계 변환 작업이 선택적으로 필요할 수 있다. 한편, 국토지리정보원에서는 DXF 양식의 전자 지형 정보를 제공하고 있는데, 이에는 등고선 정보 및 이를 정의하기 위한 vertex 정보를 포함하고 있다. 그러나 DXF 파일 내의 등고선 정보의 간격이 너무 조밀한 경우에는 생성되는 지면 요소의 조밀도가 높아짐과 동시에, 소음 해석 시 검색 대상이 되는 지면 요소 개수가 많아지게 되기 때문에 연산 시간이 증가한다는 단점이 발생한다. 한편, 최근에는 GEOTiff 양식 등과 같이 일정 거리 간격을 가지는 grid 단위로 고도 및 좌표 정보를 제공하는 경우가 많은데, 상기 방법은 지형 정보 뿐만 아니라, 해당 지점에서의 지면 형태, 인구밀도, 행정 구역 등과 같이 다양한 정보를 다중 layer 데이터셋을 구성하여 효율적으로 관리하기 편리한 장점이 있다.

2.2 등고선 정보 탐색 및 추출

등고선 추출 알고리즘은 이미지 처리 분야에서 널리 활용되며 고도화 연구가 매우 활발하게 진행되고 있는데⁽⁶⁾ 이는 특정 사물의 인식과 배경과의 분리, 움직이는 객체의 식별 및 최적화 경로 탐색 및 식별 등과 같은 다양한 분야에서 활용성이 매우 높기 때문이다. 한편, 이 연구에서는 등고선 추출 대상체인 지형이 시변동성을 가지지 않기 때문에, 별도의 전처리가 불필요한 단순 선형 보간법을 이용한 등고선 추출 알고리즘을 적용하였다.

Fig. 1에는 3차원 직교 좌표 정보를 가지는 4개의 data를 vertex 1부터 4로 나타내었는데, 임의 높이를 가지는 등고선 정보를 생성하기 위해서는 4개 vertex들의 3차원 직교 좌표값들을 방향별로 개별 평균하여 해당 값들을 직교 좌표값으로 가지는 vertex 0을 우선 신규 생성한다. 이후 생성된 vertex 0과 4개의 개별 vertex 간에 선형 보간법을 이용하여 사용자가 지정한 높이값을 가지는 중간 절점들의 직교 좌표 정보들을 각각 구한다. 상기와 같이 신규로 생성된 중간 절점들의 이어서 선으로 표시하면 사용자가 지정한 높이를 가지는 등고선이 생성된다. 한편, 이때, vertex 0과 vertex 3 사이에서의 같이, 두 vertex의 높이방향 좌표값에 따라 선형 보간을 이용하더라도 사용자가 지정한 높이값을 가지는 중간 절점이 발생하지 않을 수 있다. 한편, 선형 보간법을 이용한 등고선 탐색 및 추출 방법은 초기 입력된 4개의 절점 좌표 정보들이 등간격이 아닌 경우에도 적용 가능하다.

상기와 같은 등고선 정보 탐색 및 추출 방법은 사용자가 원하는 등고선 간격으로 지형 정보를 추출할 수 있기 때문에 입력 자료로 활용되는 전자 지형 지도 내

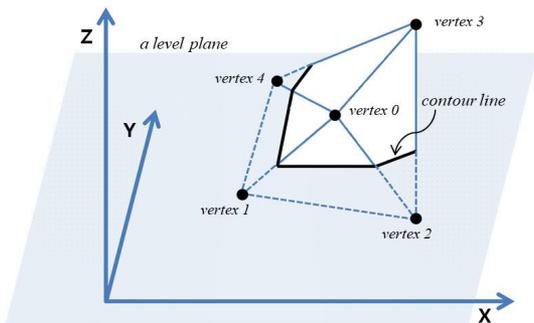


Fig. 1 An example of generating a contour line with 4 digital data set

에 매우 많은 지형 좌표 정의 절점이 있는 경우에도 데이터의 큰 왜곡 없이 사용자가 원하는 분해능을 가지는 지형 모델을 생성할 수 있다는 특징이 있다.

2.3 지면 분할법

평면에 존재하는 vertex 정보들을 이용하여 공간을 분할하는 기법에는 VD, DT 및 CDT 등이 있는데, 이 중에서 VD 기법은 Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 n개의 vertex가 존재하는 경우, Fig. 2(b)에 나타난 바와 같이 n-1개의 세부 평면 공간이 생성되는데, 세부 공간들의 경계 line은 Fig. 2(c)에 나타난 바와 같이, 각 vertex간의 최단거리 line들을 생성하고, 각 line들을 수직이등분하는 line들의 교점을 연결하면 생성된다. 이때, 수직이등분 line들의 교점은 Fig. 2(d)에 나타난 바와 같이, 3개의 인접한 vertex들의 외접원의 중심이 되며, 이는 Fig. 2(b)에 나타난 DT를 생성할 수 있는 방법이다. 한편, VD 기법을 이용하여 공간을 분할하는 경우에는 공간의 모양이 삼각형으로 통일되지 않을 뿐만 아니라, raw data에 해당되는 vertex가 분할된 공간 중심에 위치하기 때문에, 등고선에서 추출된 지형 높이 정보가 왜곡될 수 있다. 이에 이 연구에서는 DT 기법을 이용하여 지면 요소를 생성하였다.

한편, 단순 DT 기법을 활용하여 지면 요소를 생성

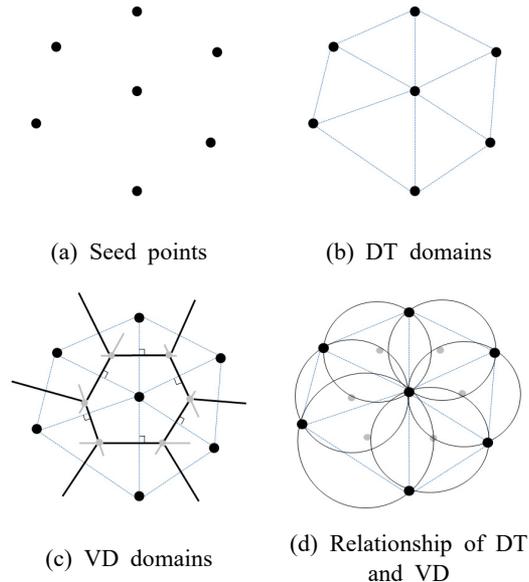


Fig. 2 Conceptual Diagram of generating sub-domains in seed points with VD and DT methods

하는 경우, 랜덤으로 입력되는 지형 좌표 정의의 vertex 개수가 충분하지 못한 경우에는 지표면의 곡면 방향이 실제와 반대 방향으로 생성되는 등과 같은 왜곡 현상이 간헐적으로 발생할 수 있는데 이는 고도의 변화가 급격하게 발생하는 급경사면에서 특히 흔하게 발생된다. 이에 이 연구에서는 사용자가 지정한 등고선 간격을 구속조건으로 하여 두 개의 등고선 사이에 위치하는 지형 좌표 정의의 vertex 사이에서만 DT를 생성하는 CDT 기법을 지형 요소 생성에 적용하였는데, 등고선 간격을 제한조건으로 가지는 CDT 기법의 경우, 경사면의 왜곡현상을 원천적으로 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 삼각형 구성을 위한 vertex 탐색 범위를 한쌍의 등고선으로 제한함으로써 지면 요소 생성에 소요되는 시간을 기존 단순 DT 기법 대비 대폭 줄일 수 있다는 장점이 있다. Fig. 3에는 지형 좌표 정의의 vertex를 이용한 단순 DT 기법과 등고선 및 등고선으

로부터 재생성된 vertex 기반의 CDT 기법을 이용한 지형 요소 생성의 개념도를 나타내었다.

3. 제안 알고리즘의 성능 검증

앞서 제안된 지형 요소 생성 알고리즘은 다수의 사용자가 실시간으로 웹 환경 하에서 사용하기 위하여 프로그램화하였으며, 기존 단순 DT 기법 대비 이 논문에서 제안한 등고선 기반의 CDT 기법의 연산 속도를 비교하기 위하여 경기도 평택시, 경기도 남양주시, 부산광역시 해운대구 BEXCO 일대 및 경기도 남양주시 왕숙2지구를 대상으로 환경 소음 해석용 3차원 지형 수치모델을 생성하는 bench-mark 시험을 수행하였다. 해당 시험은 별도의 소음원 및 수음점 없이 단순히 지형 모델 생성에 소요되는 시간을 측정하였으며, Table 1에는 4개의 지역에 대한 영역 크기 정보, 국토지리정보원에서 제공하고 있는 수치지도 내의 지형 좌표 정의용 절점 개수와 함께 동일 PC 환경 (intel i9-12900 H 2.5 GHz CPU, 메모리 4 Gbyte 및 Window 10 OS) 하에서 계산을 수행했을 때의 소요 시간을 나타내었다. 이때, 지형 모델을 생성하는 소요 시간은 연산이 실행되는 PC의 CPU 성능 및 메모리 용량에 따라 달라질 수 있기 때문에 bench-mark 시험은 동일한 PC 환경 하에서 실시하였다.

지형 좌표 정의의 절점 개수가 2000개 이하인 남양주 모델에서는 두 개의 방법 공통적으로 1초 이하의 연산 속도를 나타내었는데, 약 5000개 수준인 평택 모델에 대해서는 연산 속도 차가 발생하기 시작하였으며, 10만개 이상인 왕숙2지구 모델에서는 연산속도 차가 5000배 이상 발생하였으며, 20만개 수준인 수영구 모델에 대해서는 CDT 기법을 적용하였을때는 2초의 연산속도를 나타내었으나, 기존의 단순 DT 기법

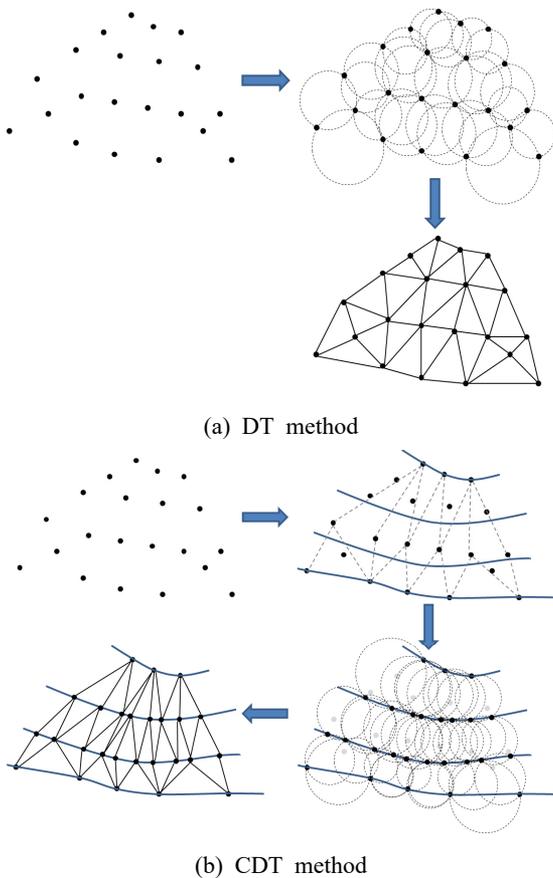


Fig. 3 Examples for generating triangular mesh using (a) and (b) with constraining contour lines

Table 1 Domain information and bench-mark test results for comparison between DT and CDT methods

Domain title	Dimension [m × m]	No. of vertex	Calculation time [s]	
			DT	CDT
Namyangju	900 × 718	1572	< 1	< 1
Pyeongtaek	1106 × 1043	4673	2	< 1
Wangasuk	2613 × 3006	104 918	5772	1
BEXCO	2183 × 1727	198 553	-	2

을 이용한 연산은 연산 종료 시간 확인이 불가능하였는데, 이는 삼각형 지형 요소 생성을 위한 절점 탐색 시간이 너무 많이 소요되기 때문으로 추정된다. 아울러, 지형 좌표 정의 절점 개수가 많아질수록 단순 DT 기법 대비 CDT 기법으로 지형 요소를 생성할 때 소요되는 시간이 급격하게 줄어드는 것을 확인할 수 있는데, 이는 단순 DT 기법의 경우 임의의 한 개의 지형 요소 생성 시 전체 절점들이 검색 대상인 반면에, CDT 기법의 경우에는 한 쌍의 등고선 내에 위치한 지형 좌표 정의 절점만을 대상으로 연산을 수행하기 때문이다. Fig. 4에는 bench-mark 시험을 위하여 전자 지도를 활용하여 생성한 3차원 지형 모델을 나타내었는데, 좌측 그림은 이 논문에서 제안한 CDT 기

법 그리고 우측은 단순 DT 기법을 적용하고 있는 상용 환경소음해석 프로그램 ENPro를 활용하여 도출하였다. 해당 그림으로부터 두 개의 방법을 이용하여 생성된 지형 요소의 크기 및 개수가 동일함으로 확인할 수 있는데, 이는 연산 속도 비교를 위하여 두 방법 공통적으로 등고선 정보 기반으로 생성된 동일한 개수 및 위치를 가지는 3차원 지형 좌표 정의 절점들을 입력하였기 때문이다.

상기 시험 결과에서 확인한 바와 같이, 입력된 3차원 지형 좌표 정의 절점 정보가 동일한 경우에는 생성되는 지형 요소의 개수 및 형상 또한 동일하다. 하지만, 입력되는 3차원 지형 좌표 정의 절점 정보가 상이한 경우에는 지형 요소의 개수 및 형상도 달라지게 되는데, 일반적으로 임의의 구역 내에서 입력되는 3차원 지형 좌표 정의 절점 개수가 많을수록 원래의 지형 형상과 일치성이 높은 수치 지형 정보 획득이 가능하다. 하지만, 옥외 환경 소음 해석용 수치 모델을 제작하는 경우에는 지면으로 인한 회절 효과 및 지면 반사 효과를 고려하기에 충분한 분해능을 가지는 지형 모델을 생성하면 되는데, 이는 각 수음점과 소음원 사이의 소음 전달 경로에 따라 달라지기 때문에 일반화하기는 어렵다.

Fig. 5에는 CDT 기법을 활용하여 생성한 지형 모델을 기반으로 생성한 왕숙 2지구 환경 소음 해석 결과를 예로 도시하였는데, 단순 DT 기법을 이용하여 생성한 지형 모델과 지형 요소의 개수 및 형상이 동일하기 때문에 해석 결과의 상호 차이도 원칙적으로 발생하지 않았다.

Fig. 6에는 부산광역시 해운대구 소재 BEXCO 인

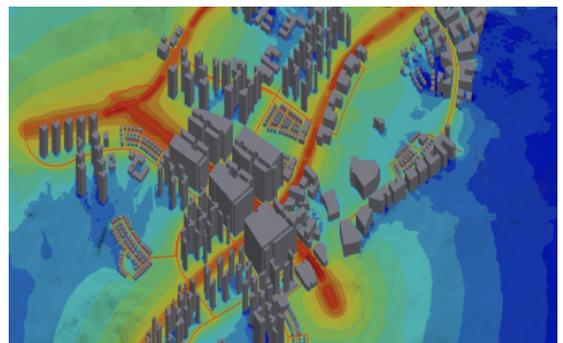
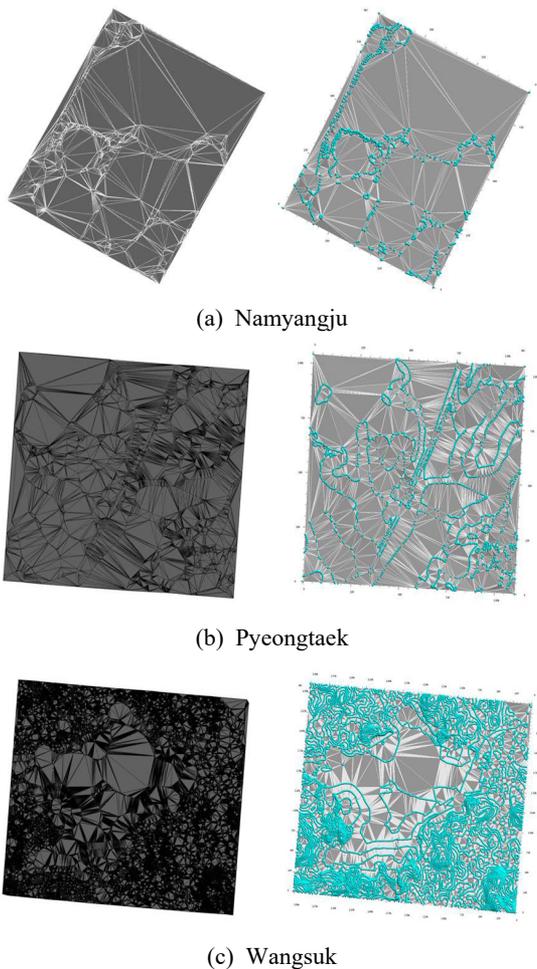


Fig. 4 Generated 3D topographic numerical models using digital GIS data and DT/CDT methods

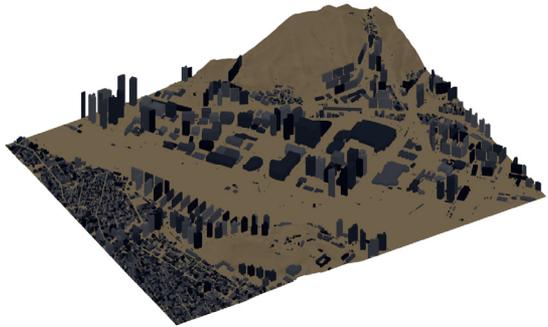
Fig. 5 An example of outdoor noise calculation result using 3D topology numerical model with CDT from road noise sources



(a) Target area



(b) 3D model view on V world map



(c) 3D topology and building numerical model with CDT

Fig. 6 An comparison result between 3D view model on V world and 3D topology & building numerical model with CDT

근 지역을 대상으로 이 논문에서 등고선 기반의 CDT를 적용하여 생성한 옥외 환경 소음 해석용 지형 및 건물 수치 모델과 국토교통부에서 제공하는 공간정보 오픈플랫폼 지도서비스인 V world map에서 확인한 3차원 가시화 결과를 나타내었다. 상기 결과로부터 일부 건물 정보는 상호 일치하지 않으나, 지형 정보는 상호 일치성이 높음을 확인할 수 있다. 여기서, 일부 건물 정보가 상이한 이유는 3차원 건물 정보 생성

시 raw data로 입력된 전자 수치 지도의 생성 시점이 상이하기 때문에 추정된다. 한편, V world map에서와 3차원으로 가시화된 지형 정보와 이 연구에서 제안한 방법으로 구성된 환경소음해석용 3차원 지형 모델 그리고 실제 지형을 직접적인 방법으로 비교하는 것은 어려운데, 이는 V world map에서 가시화된 지형 정보도 이 연구에서 제안한 방법과 유사 또는 동일한 방법을 사용하여 유한한 개수를 가지는 3차원 지형 좌표 정의 절점들을 이용하여 근사적으로 구성하였기 때문이다. 즉, 3차원 지형 모델이 가지는 실제 지형과의 유사성은 많은 개수의 3차원 지형 좌표 정의 절점을 적용하면 확보 가능하다.

4. 결 론

이 논문에서는 3차원 지형/지물 정보가 포함된 환경영향평가를 위한 소음 해석용 수치 모델 제작 시, 3차원 지형/지면 요소를 한 쌍의 등고선 정보를 제한 조건으로 하는 제한 들로네 삼각분할법을 적용하여 적용하였다. 옥외 소음 해석 시, 지형 요소는 지면 반사 효과 및 회절 효과에 영향을 미치는데, 원래의 지형을 그대로 반영한다는 가정 하에 지형 요소 모델링 방법 자체가 해석 결과에는 큰 영향을 미치지 않는다. 반면에 지형 요소 생성 방법은 해석용 수치 모델 생성 소요 시간에 큰 영향을 끼치게 된다.

이 논문에서 제안한 기법은 단순 들로네 삼각분할법을 적용한 경우에 비해, 지형 좌표 정의 절점 개수가 많아질수록 더 빠른 연산 속도를 보일 뿐만 아니라, 등고선 정보를 우선 추출하는 선처리 과정을 적용함으로써 간헐적으로 발생하는 지면 요소의 왜곡 현상을 원천적으로 방지할 수 있는 장점이 있다. 또한, 10만개 이상의 지형 좌표 정의 절점이 있는 넓은 영역의 지역에 대해서도 실시간으로 웹 환경 하에서 수행 가능한 연산 속도를 확보하였기 때문에 국토지리정보원에서 전자파일 형태로 제공하는 우리나라 지형 정보를 별도의 전처리 작업 없이 그대로 환경소음 해석용 수치모델 생성에 활용할 수 있다. 아울러, 그리드 단위로 제공되는 3차원 지형 좌표 정의 절점 정보만을 활용하여도 등고선을 사용자 임의 간격으로 생성하여 비교적 간단하게 환경소음해석을 위한 수치 지형 정보를 생성할 수 있다는 특징이 있다.

통상적으로 경사면이 포함된 지역을 대상으로 작

성된 환경소음해석용 수치모델의 지형/건물 모델링 소요 시간은 모델 생성에서부터 소음 해석의 종료에 이르기까지의 전체 시간 중 절반 이상을 차지하기 때문에, 이 연구에서 제안한 방법을 적용할 경우, 관련 업무를 수행하는데 필요한 시간도 대폭 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

이 연구에서 제안된 웹 환경 하에서의 3차원 지형 정보 생성 기법은 현재 연구개발이 진행 중인 진동, 소음, 대기질 및 전자파 매체 환경영향평가용 수치해석용 디지털 플랫폼에 탑재될 예정이다.

후 기

이 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ICT기반 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발사업(2021003360003)의 지원을 받아 작성되었습니다.

References

(1) Kim, J. H., Cho, D. S. and Kim, S. S., 1999, Development of the Environment Noise Prediction Program ENPro Based on ISO 9613, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 624~629.

(2) Cho, D.-S., Kim, J.-H., Choi, T. M., Oh, J. H. and Kim S., 2002, Prediction of Highway Traffic Noise-calculation of Sound Attenuation during Propagation, Transaction of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 236~242.

(3) Shewchuk, J. R., 2008, General-dimensional

Constrained Delaunay and Constrained Regular Triangulations, I: Combinatorial Properties, Discrete & Computational Geometry, Vol. 39, pp. 580~637.

(4) Cho, S., 2014, Detecting Uncertain Boundary Algorithm using Constrained Delaunay Triangulation, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 32, No. 2, pp. 87~93.

(5) Seo, J., Chae, S., Shim, J., Kim, D., Cheong, C. et al., 2016, Fast Contour-tracing Algorithm Based on a Pixel-following Method for Image Sensors, Sensors, Vol. 16, No. 3, 353.



Taemuk Choi is currently the CEO at Createch Co., Ltd. He received the B.S. degree in Mechanical Engineering from Korea Aerospace University and the M.S. and Ph.D. degrees in Naval Architecture and Ocean Engineering from Pusan

National University.



Jinhyeong Kim is currently the director of Research Institute on Createch Co., Ltd. He received the B.S. degree and M.S. degree in Naval Architecture and Ocean Engineering from Pusan National University.