DOI: https://doi.org/10.16879/jkca.2021.21.2.029 한국지도학회지 21권 2호 2021(29~44)

우리나라 디지털 행정구역 경계 파일의 일반화에 관한 연구: 주제도 제작용 기본도를 중심으로

김현미* · 이상일**

Cartographic Generalization of Digital Boundary Files of the Korean Administrative Areal Units: Making Base Maps for Thematic Mapping

Hyun-Mi Kim* · Sang-Il Lee**

요약 : 본 논문의 주된 연구 목적은 우리나라 디지털 행정구역 경계 파일의 일반화를 위한 실행 원칙을 수립하고, 그것에 기반해 적절한 일반화가 적용된 주제도 제작용 기본도를 제시하는 것이다. 이론적인 수준에서 맥매스터와 셰이의 디지털 일반화 모형을 검토하였고, 알고리즘 수준에서는 더글라스-포이커 알고리즘과 비스발링엄-화이엇 알고리즘을 비교하였다. 일반화를 위한 알고리즘으로 원 데이터의 피처간 연접성이 보존되고, 단순화뿐만 아니라 완곡화도 일부 수행하는 수정 비스발링엄-화이엇 알고리즘이 채택되었다. 우리나라 2020년 6월 30일 기준의 읍면동 경계 파일을 대상으로 목표 축척을 1:4,000,000과 1:8,000,000으로 설정한 일반화를 수행하였다. 서로 다른 버텍스 보존율로 일반화한 여덟 장의 지도를 비교한 결과, 1:4,000,000 축척을 위해서는 버텍스 보존율이 0.2%인 지도, 1:8,000,000 축척을 위해서는 버텍스 보존율이 0.05%인 지도가 적절한 것으로 판단되었다. 본 연구는 상세성이 너무 높은 원본 행정구역 경계 파일이나, 원칙과 근거가 부족한 일반화가 적용된 경계 파일을 무비판적으로 사용하는 관행에서 벗어날 수 있는 최소한의 근거를 제시했고, 축척별 표준 행정구역 경계 파일의 세트를 구축하기 위한 보다 광범위한 기획의 시발점 역할을 했다는 의미에서 학술적·실질적 가치가 있다고 평가한다.

주요어 : 지도 일반화, 더글라스-포이커 알고리즘, 비스발링엄-화이엇 알고리즘, 버텍스 보존율, 우리나라 행정구역 경계

Abstract : The main objective of this study is to offer properly generalized digital files of Korea administrative boundaries for thematic mapping. In a theoretical concern, the digital generalization model proposed by McMaster and Shea is intensively reviewed, and two major simplification algorithms, the Douglas-Peuker algorithm and the Visvalingam-Whyatt algorithm, are thoroughly compared. As a result, a modified version of the Visvalingam-Whyatt algorithm is selected mainly because it is better in preserving the contiguity property among the original areal units and in performing the smoothing operation while simplifying map features. The generalization framework is applied to the 2020 boundary file of the most detailed administrative areal units in South Korea targeting for 1:4,000,000 and 1:8,000,000 map scales. By comparing the generalized maps created at the 8 different vertex retention rates, it is concluded that the 0.2% retention rate map is suitable for the 1:4,000,000 scale and the 0.05% retention rate map is for the 1:8,000,000 scale. This study is expected to help people avoid the use of the far too detailed raw boundary files and/or the far too scant generalized files, and can be seen as a cornerstone of a broader project to construct a standardized set of administrative boundary files which are designed in compliance with different map scales that people freely use for their needs.

Key Words : Cartographic generalization, Douglas-Peuker algorithm, Visvalingam-Whyatt algorithm, Vertex retention rate, Korean administrative boundaries

*한국교육과정평가원 연구위원(Research Fellow, Korea Institute for Curriculum and Evaluation, hkim@kice.re.kr)

**서울대학교 사범대학 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, College of Education, Seoul National University, si_lee@snu.ac.kr)

I. 서론

주제도 제작에서 행정구역 경계는 두 가지 역할을 주로 수행한다. 하나는 해당 공간적 현상의 지리적 준거를 제공한다. 예를 들어 기상 예보 화면에서는 기상 레이더의 영상을 시도 단위 행정경계와 겹쳐 보여준다. 또 다른 하나는 그 자체가 속성 표현의 기본 공간단위가 된다. 주로 시군구 단위의 속성 데이터를 다양한 주제도 형식으로 표현한 지도가 여기에 해당한다. 이 두 종류의 행정구역 표현은 다양한 방송 및 영상 매체, 학술지, 교과서, 참고서, 지리부도와 같은 다양한 서적, 대학수학능력시험과 같은 각종 시험 문항에 빈번히 등장한다. 본 연구의 기본적인 문제 의식은, 그러한 행정구역 경계가 지도학적 일반화의 적절한 원칙 하에서 제작된 것인가에 대한 의구심에서 비롯되었다. 왜냐하면 각종 매체에 등장하는 행정구역 경계의 일반화 수준은 천차만별이고, 그러한 방식으로 표현하는 것의 적절성에 대한 검토가 이루어졌다고 보기 어려울 만큼 조악한 수준의 것이 많기 때문이다. 더 나아가 그러한 행정구역 경계는 디지털 파일의 형태로 존재할 텐데, 그것의 원천 파일은 어디로부터 온 것인지, 그러한 일반화는 누가, 어떠한 방식으로, 어떤 근거 하에서 수행한 것인지 알 길이 없기 때문이다.

지도학적 일반화(cartographic generalization)는 "지도에 포함되는 정보를 양적으로나 질적으로나 약화시키는 과정"으로 정의할 수 있다(이상일 등 역, 2009; 신정엽 등 역, 2013; 이건학 등 역, 2014; Robinson *et al.*, 1995; Tyner, 2010). 그러나 보다 엄밀히 얘기하면, 정보의 약화 뿐만 아니라 부분적으로는 강화까지 발생한다는 의미에서 정보를 "변화시키는 과정"으로 보다 폭넓게 정의하는 것이 옳다. 이는 일반화 과정의 두 가지 주된 요소가 단순화(simplification)와 확충(amplification)이라는 두 가지 상반된 개념의 결합으로 규정될 수 있다고 본 Wright(1942)의 논리와 맞닿아 있다. 한편 마크 몬모니어(Mark Monmonier)는 지도가 하는 거짓말 중 가장 선의의 거짓말을 지도학적 일반화라고 지적한 바 있다(Monmonier, 2018). 이것은 지도가 기본적으로 지리공간적 사상을 제한된 공간 속에 축소하여 재현하는 것이기 때문에 지도학적 일반화를 불가피한 것으로 소극적으로 이해할 수도 있지만, 지도학적 의사소통의 고양이라는 측면에서 보면 좋은 지도를 위한 필수적인 과정이라는 것으로 적극적으로 이해할 수도 있다는 점을 지적하는 것이다.

지도학적 일반화는 기본적으로 지도 축척의 변화에 의해 추동된다. 개념적으로는 지리공간적 사상을 지도로 표현할 때 발생하는 것이지만, 실질적으로는 보다 대축척 지도를 보다 소축척 지도로 전환할 때 필연적인 고려대상이 된다. 구체적인 일반화 오퍼레이션은 저자와 서적에 따라 다소 차이가 있지만 대략 10개 내외로 세분화된다. 공통적으로 포함되는 오퍼레이션에 선택(selection), 단순화(simplification), 완곡화(smoothing), 병합(aggregation), 강등(collapse), 전형화(typification or refinement), 과장(exaggeration), 전위(displacement), 세련화(enhancement) 등이 있다(이상일 등 역, 2009; 신정엽 등 역, 2013; 이건학 등 역, 2014; ESRI, 1996; Tyner, 2010). 이러한 일반화 오퍼레이션은 지도 피처(map feature)의 차원성에 따라 유효성 여부나 적용 방식이 달라지기도 한다(McMaster and Monmonier, 1989; Monmonier, 2018). 과거의 지도학자나 제도사들은 이러한 일반화를 손으로 수행했겠지만, 디지털 지도학과 GIS(geographic information systems)의 등장으로 말미암아 논의의 핵심이 디지털 환경 하에서 일반화를 자동화하는 문제로 넘어가게 되었다(Brassel and Weibel, 1988; Li and Openshaw, 1992; McMaster and Shea, 1992; Tsoulos, 1995; ESRI, 1996).

이러한 지도학적 일반화의 측면에서 디지털 행정구역 경계 파일은 흥미로운 위치를 차지한다. 첫째, 행정구역은 기본적으로 역형(area) 피처이지만, 일반화는 행정구역의 경계선에 대한 일반화로 나타나기 때문에 선형(line) 피처의 특성을 고스란히 간직한다. 즉, 일반화의 관점에서 보면 '행정구역'과 '행정구역 경계'는 동일한 의미를 갖는다. 이런 의미에서 미국 센서스국(U.S. Census Bureau)은 다양한 행정구역/통계구역에 대한 디지털 파일을 '지도 경계 파일(cartographic boundary file)'이라고 부르며, 캐나다 통계청(Statistics Canada)은 '지리적 경계 파일(geographic boundary file)'이라고 부른다(Siemer, 2017). 이것은 더 나아가 일반화의 결과에 대한 매우 중대한 요구조건을 부과한다. 일반화의 결과는 개별 역형 피처의 모양을 단순화하는 것에 그치지 않고 행정구역 간의 연접성(contiguity)이라고 하는 위상 관계를 보전해야 한다. 둘째, 행정구역은 일반도의 가장 중요한 구성요소 중 하나이기도 하지만 주제도 제작을 위한 기본도(base map) 구실도 한다. 이는 일반화의 적용 원리가 둘 사이에서 다를 수 있다는 점을 함축한다. 셋째, 주제도 제작을 위한 기본도를 고려한다 하더라도 구체적인 일반화 전략은 해당 국가 혹

은 지역에 따라 달라질 수 있다. 우리나라 남해안과 서해안의 복잡한 해안선 구조와 수많은 섬의 존재는 세부적인 일반화 원칙의 설정에 특수성을 부과한다.

이러한 측면에서, 본 논문의 주된 연구 목적은 우리나라 디지털 행정구역 경계 파일의 일반화를 위한 실행 원칙을 수립하고, 그것에 기반해 적절한 일반화가 적용된 주제도 제작용 기본도를 제시하는 것이다. 우선 디지털 일반화의 모형을 행정구역 경계 파일의 측면에서 살펴보고자 하는데, 맥매스터-셰이(McMaster-Shea) 모형에 집중할 것이다. 둘째, 행정구역 경계 단순화를 수행하기 위한 구체적인 알고리즘에 대한 비교 검토를 수행한다. 가장 널리 사용되고 있는 더글라스-포이커(Douglas-Peuker) 알고리즘과 비스발링엄-화이엇(Visvalingam-Whyatt) 알고리즘의 비교에 집중한다. 셋째, 이러한 논의를 바탕으로 구체적인 실행 전략을 포함한 일반화 프레임워크를 수립하고, 그것을 우리나라 2020년 읍면동 단위 행정구역 경계 파일에 적용한다. 넷째, 1:4,000,000과 1:8,000,000 축척에 맞추어 적절하게 일반화된 행정구역 경계 파일을 제시한다.

II. 디지털 지도 일반화 모형과 단순화 알고리즘

1. 디지털 지도 일반화 모형과 행정구역 경계의 일반화

디지털 일반화에 대한 개념적 프레임워크는 여러 학자들에 의해 제안되었지만(예를 들어, Brassel and Weibel, 1988; 이와 관련된 리뷰로는 Li, 2007; Cebrykow, 2017 참조), 여기서는 맥매스터와 셰이의 모형에 집중하고자 한다(McMaster and Shea, 1992). 맥매스터와 셰이는 디지털 지도 일반화 과정을 크게 세 부분으로 구분하였다(McMaster and Shea, 1992, 68)(그림 1). 첫 번째의 '개념적 목적(philosophical objectives)'은 왜 일반화를 수행하는가와 관련된 것이다. 이것은 다시 이론적 요소, 적용-특수적 요소, 그리고 전산적 요소로 나뉘어 진다. 이론적 요소는 일반화의 가장 일반적인 목적을 정의하는데, 여기에는 복잡성의 감소, 공간 정확성의 유지, 속성 정확성의 유지, 심미적 특성 유지, 논리적 위계의 유지, 일반화 규칙의 일관적 적용 등이 포함된다. 일반화는 축척의 변화에 조응하는 것이며, 최대한 공간 정확성을 유지하면서 복잡성을 감소시키는 것이 가장 일반적인 일반화의 목적일 것이다. 적용-특수적 요소에는 지도 제작의 목적과 대상 청중의 성격, 스케일의 적절성, 선명도의 유지 등이 포함된다. 전산적 요소에는 비용 효율적 알고리즘, 최대 데이터 감축, 최소 전산자원 요구 등이 포함된다.

두 번째의 '지도수치적 평가(cartometric evaluation)'는 언제 일반화하는가와 관련된 것이다. 이것은 다시 기하학적 조건, 공간적 · 총체적 측도, 그리고 변환 통제로 나뉘어진다. 기하학적 조건은 일반화가 필요한 구체적인 조건을 정의한다. 여기에는 혼잡(congestion), 합체(coalescence), 충돌(conflict), 복잡(complication), 비일관성(inconsistency), 비인식성(imperceptibility) 등이 포함된다. 혼잡과 합체가 일반화가 필요한 상황을 가장 잘 보여주는데, 혼잡은 지도 피처들의 과밀화를 의미하고, 합체는 인접한 피처들이 서로 융합하여 하나의 덩어리로 인식되는 것을 의미한다. 비인식성 역시 중요할 수 있는데, 이것은 지도 피처가 최소 표시 크기(minimal portrayal size) 보다 작게 되는 경우 발

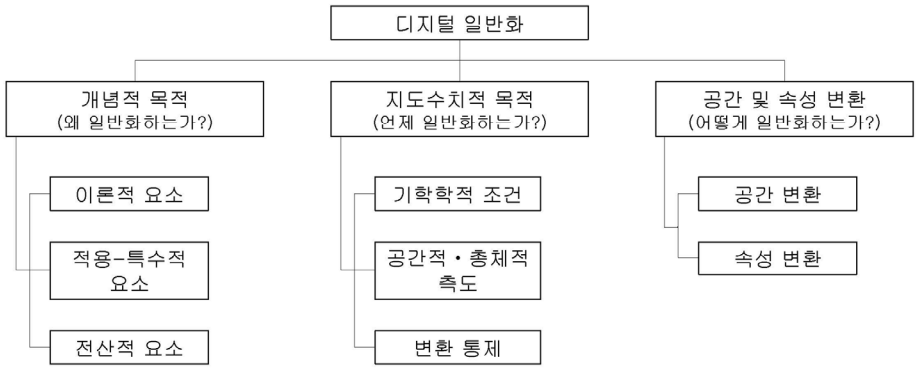


그림 1. 맥매스터와 셰이의 디지털 일반화 모형(McMaster and Shea, 1992, Figure 3.22를 수정함.)

생한다. 만일 그 지도 피처가 '중요 피처(critical feature)'라면 다양한 일반화 기법을 동원하여 삭제를 막아야 한다. 공간적 · 총체적 측도는 일반화의 상황을 측정하는 여러 가지 지표를 의미하는데, 밀도 측도, 분포 측도, 길이와 굴곡(sinuosity) 측도, 형태 측도, 거리 측도, 게슈탈트(Gestalt) 측도, 추상적 측도 등이 포함된다. 변환 통제에는 일반화 오퍼레이터의 선정, 알고리즘 선정, 파라미터 선정이 포함된다. 이것은 다음 절에서 자세히 다루기로 한다.

세 번째의 '공간 및 속성 변환(spatial and attribute transformations)'은 어떻게 일반화하는가와 관련되어 있다. 이것은 크게 공간 변환과 속성 변환으로 나뉘어지고, 둘 중 보다 중요한 것은 기하학적 변화를 초래하는 공간 변환이다. 공간 변환은 일반화의 구체적인 오퍼레이션을 포괄하는데(이건학 등 역, 2014), 단순화와 완곡화를 포함하는 다양한 오퍼레이션이 포함된다.

맥매스터와 셰이의 디지털 일반화에 대한 개념적 틀을 바탕으로 우리나라 행정구역 경계 파일의 일반화를 의한 함의를 도출하면 다음과 같다. 우선 '개념적 목적'에서의 함의이다. 첫째, 복잡성의 감소에 보다 조심스러운 접근이 필요하다. 일반적인 선형 피처에 대한 일반화는 특정 선형 피처의 제거를 포함할 수 있다. 그러나 행정구역 경계에 대한 부분적인 제거는 행정구역이라는 역형 피처의 기하학적 속성을 훼손할 수 있다. 둘째, 공간 정확성의 유지에 보다 완고한 규준이 적용되어야 한다. 앞에서 언급한 것처럼 개별 행정구역이라는 이차원성을 유지해야 할 뿐만 아니라 행정구역 간에서 연접성이라는 위상 관계를 유지해야 한다. 즉, 원래 경계를 공유한 행정구역은 일반화 이후에도 경계를 공유하고 있어야 한다. 셋째, 주제도 제작용 기본도라는 적용-특수적 요소를 최대한 반영해야 한다. 이것은 일반도의 일부분으로서 행정구역을 다루는 것이 아니라는 점을 명확히 하는 것에서 시작해야 한다. 소축척 주제도에 표현될 공간적 현상이 복잡한 경계에 의해 가려지거나 왜곡을 발생시키거나 패턴 인식을 어렵게 한다면, 좀 더 과감한 일반화를 적용해야 할지도 모른다. 마지막으로, 논리적 위계의 유지 역시 매우 중요한 측면이다. 이것은 시도, 시군구, 읍면동 단위의 개별적 일반화는 논리적 위계를 만족시키기 어렵다는 사실을 지적하는 것이다. 읍면동 단위에 일반화를 적용하고, 그것에 단계별 합역(合域, spatial aggregation)을 적용해야만 위계성이 보존되는 상위 행정구역을 구성할 수 있다(합역의 다양한 의미에 대해서는 이상일 · 이몽현, 2020 참고; 위계적 행정구역 경계 일반화에 대해서는 Peng *et al.*, 2016 참고).

다음으로 '지도수치적 목적'에서의 함의이다. 첫째, 기하학적 조건으로 제시된 비인식성에 보다 주목할 필요가 있다. 일반화 수준을 높이면 매우 작은 크기의 행정구역은 사라질 수도 있다. 일반화 수준을 아무리 높여도 행정구역의 개수는 동일하게 유지되어야 한다. 둘째, 변환 통제에서 '일반화 오퍼레이터의 선정'은 일반화의 실행 과정을 총괄하는 원칙의 설정과 관련되어 있어 매우 중요하다. 특히 개별 피처의 중요성에 대한 결정과 지도학적 상호작용의 효율성 제고를 위한 지도 클러터(map clutter)의 통제는 매우 중요한 측면이다(McMaster and Shea, 1992, 48-49). 개별 피처의 중요성에 대한 결정은 비인식성과도 밀접하게 관련되어 있는 것으로, 아무리 작은 행정구역, 혹은 행정구역의 일부(예: 독도)라고 하더라도 '중요 피처'는 일반화 과정에서 삭제되지 말아야 한다. 지도 클러터의 통제가 중요한 것은, 행정구역 경계 파일이 보조 정보로 사용되든, 다양한 주제도의 공간단위로 사용되든, 행정구역 경계의 복잡성이 지도 클러터로 기능하여 주제도에 표현된 공간적 현상의 인식을 방해해서는 안되기 때문이다. 일반화 알고리즘 및 파라미터 선정도 이러한 측면을 최대한 고려하면서 이루어져야 한다. 이에 대해서는 다음 절에서 자세히 다룬다. 일반화 파라미터는 허용오차(tolerance) 설정 방식과 버텍스 보존율(vertex retention rate) 설정 방식으로 나눌 수 있는데, 후자가 원 버텍스의 몇 %가 일반화 과정 속에서 잔존하는가를 나타내므로 보다 직관적으로 일반화의 수준을 이해할 수 있는 장점이 있다.

마지막으로 '공간 및 속성 변환'에서의 함의이다. 공간 변환의 구체적인 오퍼레이션에서 가장 중요한 것은 단순화이지만 가능한 완곡화도 함께 고려되어야 한다. 완곡화는 피처의 외양을 부드럽게 할 수 있고, 주제도의 패턴 인식에 도움을 줄 수 있다. 이런 측면에서 김남신(2003)이 제시한 시무(Simoo) 알고리즘도 단순화와 완곡화를 결합했다는 의미에서 유사한 시도로 판단된다.

2. 단순화 알고리즘의 비교

여기서는 우리나라 행정구역 경계 파일의 일반화에 가장 적절한 단순화 알고리즘이 무엇인지를 검토하고자 한다. 단순화란 지도 피처의 불필요한 복잡성을 삭감하는 일반화 기법으로, 대부분의 단순화 알고리즘은 '위딩(weeding)'이라고 불리는, 선을 구성하고 있는 버텍스(vertex)의 개수

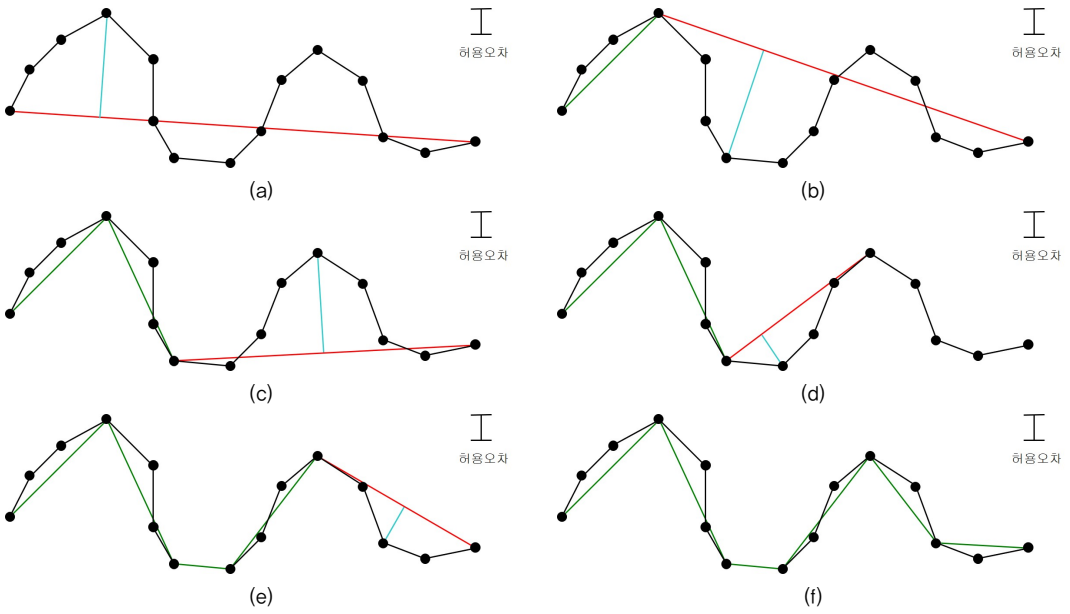


그림 2. 더글라스-포이커 알고리즘의 도해(이상일 등 역, 2009의 그림 3.17을 수정함.)

를 줄이는 프로세스에 기반한다(이상일 등 역, 2009). 그런데 버텍스를 줄이는 방법은 남길 버텍스를 '선정'하는 방식과 버릴 버텍스를 '제거'하는 방식으로 구분할 수 있다. 전자를 대표하는 것이 더글라스-포이커 알고리즘이고, 후자를 대표하는 것이 비스발링엄-화이엇 알고리즘이다. 하지만 일반화된 선을 구성하고 있는 버텍스는 제거된 버텍스에 비해 중요하다는 것을 의미하기 때문에 결국 중요한 버텍스, 즉 '중요 포인트(critical point)'를 결정한다는 의미에서는 두 알고리즘은 동일하다.

우선 더글라스-포이커 알고리즘을 간단히 정리하면 다음과 같다(Douglas and Peuker, 1973; Shin, 2009). 그림 2는 이러한 과정을 통해 15개의 버텍스로 구성된 선형 피처가 7개의 버텍스로 구성된 선형 피처로 단순화되는 과정을 도해하고 있다.

- ■ 시작점과 끝점을 연결하는 직선을 긋는다.
- ■ 그 직선으로부터 가장 멀리 떨어져 있는 버텍스까지의 거리를 계산한다.
  - • 그 거리가 허용오차보다 작으면, 그 직선으로 일반화한다. 중간 버텍스를 모두 삭제하고 일반화 과정을 멈춘다.
  - • 그 거리가 허용오차보다 크면, 그 버텍스는 제거할 수 없다. 그 버텍스로부터 양 끝점을 연결한 두 직선을 생성한다.
- ■ 두 직선 각각에 대해, 그 직선으로부터 가장 멀리 떨어져 있는 버텍스까지의 거리를 계산한다.
  - • 그 거리가 허용오차보다 작으면, 그 직선으로 일반화한다. 중간 버텍스 모두를 삭제하고 최종 일반화 라인의 구성 선분으로 확정한다.
  - • 그 거리가 허용오차보다 크다면, 그 버텍스는 제거할 수 없다. 그 버텍스로부터 양 끝점을 연결한 두 직선을 생성한다.
- ■ 이 과정을 모든 버텍스가 허용오차보다 작게 될 때까지 반복한다.

다음으로 비스발링엄-화이엇 알고리즘을 간단히 정리하면 다음과 같다. 그림 3은 이러한 과정을 도해하고 있다.

- ■ 시작점과 끝점을 제외한 버텍스에 대해 이웃한 두 버텍스를 연결하여 삼각형을 형성한다. 이 삼각형의 면적을 해당 버텍스의 '유효 면적(effective area)'으로 규정한다(그림 3의 (a)~(d)는 양 끝점을 제외한 가운데에 위치한 네 버텍스 각각에 대해 양쪽 두 개의 버텍스와 결합하여 삼각형을 형성하는 과정을 보여주고 있다).
- ■ 유효 면적이 가장 작은 삼각형의 해당 버텍스를 '현행 포인트(current point)'로 규정하고, 그것을 제거한다

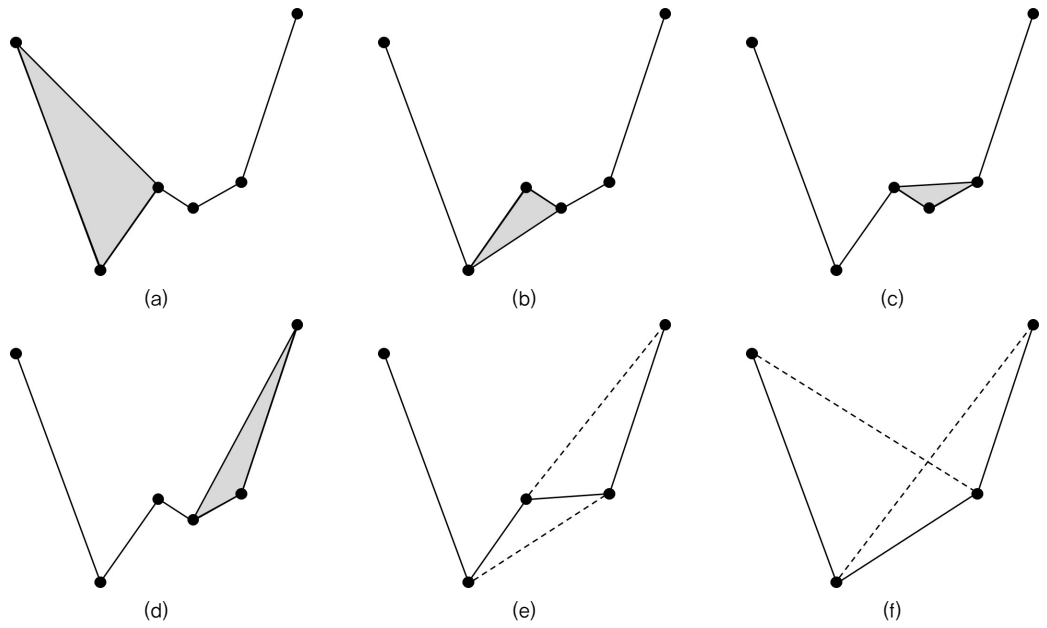


그림 3. 비스발링엄-화이엇 알고리즘의 도해(Visvalingam and Whyatt, 1993, Figure 1을 수정함.)

(그림 3(c)의 삼각형의 유효 면적이 가장 작으므로, 해당 포인트를 제거하여 일반화를 수행한다).

- 제거된 버텍스의 양쪽에 위치한 두 버텍스 각각에 대해 삼각형을 구성하고 유효 면적을 계산하여 비교한다(그림 3의 (e)).
  - 둘 중 유효 면적이 더 작은 삼각형의 해당 버텍스를 제거한다.
- 이 과정을 시작점과 끝점만 남을 때까지 반복한다(그림 3의 (f)에서 더 작은 삼각형의 버텍스를 제거하면 세 버텍스만 남게 되고, 한 단계 더 진전하면 가운데 위치한 버텍스를 제거하여 시작점과 끝점을 연결한 직선만 남게 된다).
- 임계 유효 면적을 설정하여 각 단계의 최소 유효 면적과 비교하여 전자보다 후자가 크면 반복을 종료한다(이재은 등, 2012).

문제는 반복 과정을 통해 새로이 만들어지는 현행 포인트에 대한 유효 면적이 반드시 이전에 제거된 포인트에 대한 유효 면적보다 반드시 커진다는 보장이 없다는 점이다. 이는 임계 유효 면적과의 관계에서 매우 중요한데, 만일 직전의 유효 면적보다 현행 포인트의 유효 면적이 작다면, 해당 포인트를 제거하긴 하지만 그것의 유효 면적을 이전의 면적으로 대체하여 임계 면적과 비교한다(Visvalingam and Whyatt, 1993). 그런데 이후에 수정된 알고리즘이 제안된다(Harrower and Bloch, 2006). 이 수정 알고리즘은 삼각형 형성 시 매우 날카로운 예각을 이루는 버텍스에 대해서 해당 버텍스의 유효 면적을 의도적으로 감소시킨다. 이것은 예각을 형성하는 버텍스의 중요성을 하락시킨다는 것을 의미하는 것으로 원 알고리즘에 비해 이른 시점에 제거되게 한다는 것을 의미한다(https://rdrr.io/cran/rmapshaper/man/ms_simplify.html). 이렇게 하면 완곡도가 향상된 결과를 얻을 수 있다.

더글라스-포이커 알고리즘은 단순하면서 효율적이기 때문에 가장 널리 사용되어 왔지만, 다양한 한계점 역시 갖고 있다. 기본적으로 전역적 기법이기 때문에 국지적 특성을 충실하게 반영하지 못하며(황철수, 1999), 원 데이터의 위상 관계를 유지하지 못한다(Saalfeld, 1999). 또한 자연적 피처에 비해 도시 지역의 직선 피처에 대한 적용성은 떨어지는 것으로 밝혀졌다(이건학 등 역, 2014). 무엇보다도 중요 포인트는 오로지 검토용 직선으로부터의 거리에 의해 규정되며, 허용 오차 내부에 위치한 버텍스 간의 상대적 중요도에 대해서는 고려하지 않는다(Visvalingam and Whyatt, 1990).

두 기법의 실질적인 차이를 검토하기 위해 두 가지 측면

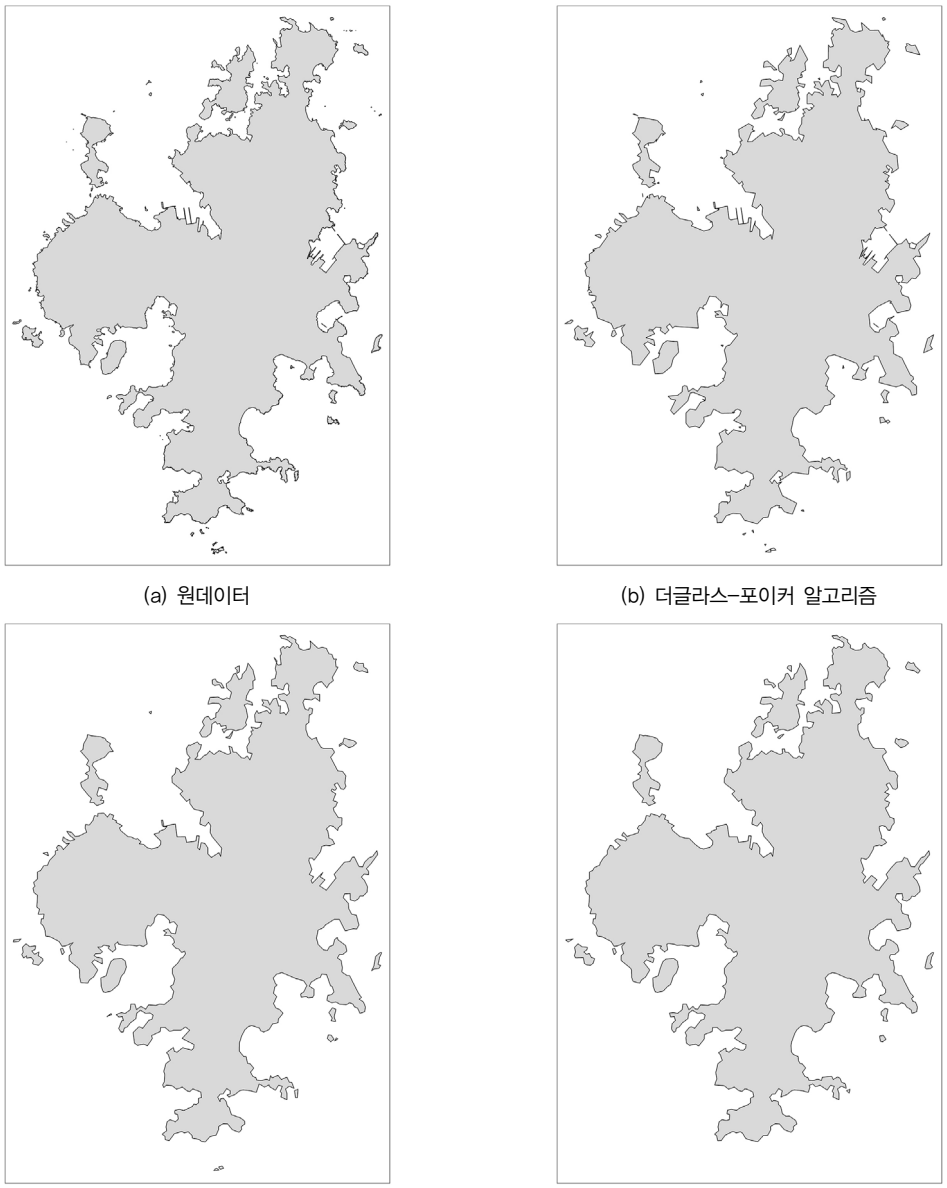
(a) 더글라스-포이커 알고리즘 (b) 비스발링엄-화이엇 알고리즘

그림 4. 알고리즘의 비교: 연접성의 유지 여부(서울시 동의 경우)

의 비교 분석을 수행하였다. 하나는 연접성 유지 여부이고, 또 다른 하나는 완곡도의 향상 여부이다. 연접성 유지 여부를 검토하기 위해 서울시 425개 동에 일반화를 적용하였다. 원 데이터는 205,235개의 버텍스로 구성되어 있으나 일반화는 그것의 대략 1% 정도를 보존하는 수준으로 진행하였다(그림 4). 앞에서 언급한 것처럼, 더글라스-포이커 알고리즘은 위상 구조를 보존하지 않지만, 비스발링엄-화이엇 알고리즘은 연접성 속성을 잘 유지하고 있다(Lovelace *et al.*, 2019).

그림 5는 완곡도 향상 여부를 검토하기 위한 예시를 보여준다. 여기서는 거제시를 사례로 하였는데, 섬의 곳곳에 조선소 시설물과 같은 매우 부자연스러운 인공물이 많기 때문에 알고리즘 간의 비교가 용이할 것으로 보았기 때문이다. 그림 5(a)는 원데이터로 총 181,890개 버텍스로 구성되어 있다. 그림 5(b)~(d)는 이러한 원데이터에 버텍스의 대략 0.5% 정도를 보존하는 정도의 일반화 수준을 더글라스-포이커 알고리즘, 원 비스발링엄-화이엇 알고리즘, 수정 비스발링엄-화이엇 알고리즘에 각각 적용한 결과이다. (b)~(d)는 각각 982개, 951개, 935개의 버텍스로만 구성되어 있다. 앞에서 언급한 것처럼, 수정 비스발링엄-화이엇 알고리즘이 더글라스-포이커 알고리즘과 원 비스발링엄-화이엇 알고리즘에 비해 완곡도를 더욱 더 향상시킨 일반화 결과를 산출하고 있다.

결론적으로, 본 연구에서는 수정 비스발링엄-화이엇 알고리즘(Harrower and Bloch, 2006)을 사용하고자 한다. 그 이유를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 앞에서 살펴본 것처럼, 위상 구조를 최대한 유지할 뿐만 아니라 완곡도를 향상시킨다. 이 외에도 피처의 직선 부분을 최대한 유사하게 보존하며, 작은 피처의 지나친 축소도 방지하는 장점이 있다(이건학 등 역, 2014). 둘째, 행정구역 경계 파일의 일반화에 이미 적용되어 그 유용성이 어느 정도 검정되었다. 대표적인 것이 미국의 NHGIS(National Historical Geographic Information System)의 일환으로 진행된 미국 센서스국의 TIGER(Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing) 파일 일반화 프로젝트이다(McMaster *et al.*, 2005; Schroeder and McMaster, 2007). 미국 센서스국이 이전에 사용한 기법은 ESRI의 벤드심플리파이(bend-simplify) 알고리즘(ESRI, 2000)과 더글라스-포이커 알고리즘을 결합한 것이었으나(Fowler-Sarro, 2005), NHGIS에서는 더글라스-포이커 알고리즘은 전처리 과정에서만 사용하고 주된 일반화 과정에는 비스발링엄-화이엇 알고리즘을 적용했다. 셋째, 사용가능한 소프트웨어가 존재한다. 웹 기반 무료 일반화 서비스인 MapShaper(http://mapshaper.org)는 더글라스-포이커 알고리즘과 비스발링엄-화이엇 알고리즘 원형을 제공할 뿐만 아니라 보다 완곡도가 향상된 수정 비스발링엄-화이엇 알고리즘도 제공한다. 또한 R 환경에서 MapShaper의 알고리즘을 사용할 수 있는 패키지(rmapshaper)도 존재한다.



(a) 원데이터 (b) 더글라스-포이커 알고리즘

(c) 원 비스발링엄-화이엇 알고리즘 (d) 수정 비스발링엄-화이엇 알고리즘

그림 5. 알고리즘의 비교: 완곡성의 향상 여부(거제시의 경우)

III. 우리나라 주제도 제작용 디지털 행정구역 경계 파일의 일반화

1. 일반화의 원 데이터

그림 6에는 일반화 적용을 위한 기본 데이터가 제시되어 있다. 이 데이터는 통계지리정보서비스(SGIS)에서 제공하는 '센서스용 행정구역 경계' 데이터로, 2020년 6월 30일 기준 읍면동 행정구역 경계 파일이다. 데이터의 원천에 대한 메타데이터가 존재하지 않아 단정하기 어렵지만, 아마도 국토지리정보원이 제작하는 1:5,000 지형도에 근거한 것으로 판단된다. 통계지리정보서비스는 개별 연도에

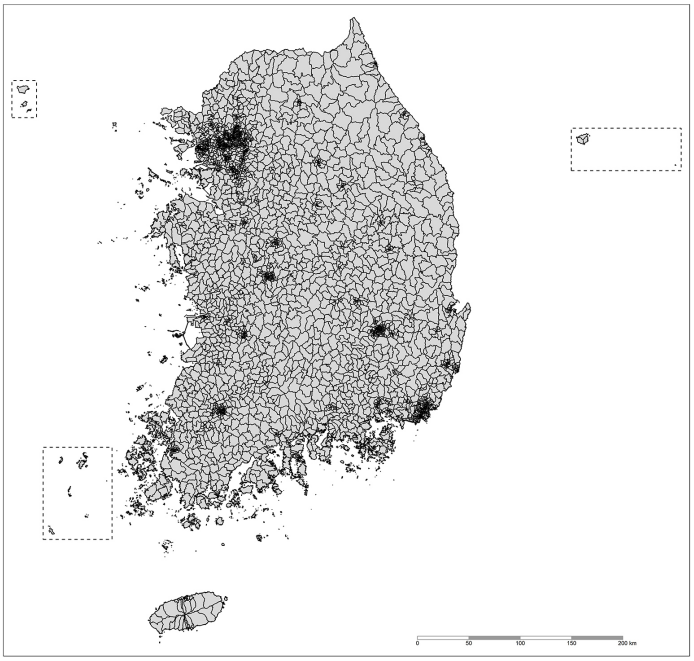


그림 6. 2020년 6월 30일 기준 우리나라 읍면동 행정구역 경계 파일

대해 읍면동 수준의 경계 파일뿐만 아니라 시도와 시군구 수준의 경계 파일도 제공한다. 여기서 읍면동 수준의 경계 파일을 일반화의 기본 파일로 사용하는 것은, 앞 장에서도 언급한 것처럼, 행정구역의 위계성을 보존하기 위해서이다. 시도 수준의 경계 파일에 일반화를 적용해 획득된 시도 경계가 읍면동 수준의 경계 파일에 동일한 수준의 일반화를 적용하고 합역을 통해 시도 경계를 구성했을 때와 동일하다는 보장이 전혀 없다. 따라서 논리적 위계를 유지하기 위한 가장 확실한 방법은 가장 낮은 수준의 경계 파일을 일반화의 기본 대상으로 삼는 것이다.

이 경계 파일(ESRI의 셰이프 파일(shape file) 형식)은 모두 3,493개 읍면동, 8,397,106개 버텍스로 구성되어 있다. 적절한 일반화 수준을 찾기 위해서는 기본적인 지도 축척이 주어져야 한다. 본 연구에서는 학술지의 판형으로 많이 사용되고 있는 B5(19cm×26cm) 규격에 일반적인 여백이 주어졌을 때 그림 6에 나타나 있는 지도가 놓였을 때의 축척을 상정한다(보다 정확하게는, 일반화가 완전히 수행된 이후의 결과 지도를 상정하는 것이므로 뒤의 그림 7과 8에 나타난 지도 한 장이 놓였을 때의 축척을 상정한다). 이렇게 하면 대략 1:4,000,000 정도의 축척이 되는데, 전면에 한 장의 지도가 놓이는 경우뿐만 아니라 한 장에 네 개의 지도가 놓이는 경우도 동시에 고려하고자 한다. 결국 본 연구는 1:4,000,000와 1:8,000,000 축척의 읍면동 행정구역 경계 파일을 일반화하는 것을 목적으로 한다. 여기서 지도의 종횡비(縱橫比, aspect ratio)도 고려할 필요가 있다. 종횡비는 세로 길이에 대한 가로 길이의 비로 정의되는데, 그림 6에 나타난 지도는 1.052 정도이다. 이는 지도 영역이 거의 정사각형에 가깝다는 것을 의미한다. 한편 B5 판형의 종횡비는 0.731로 세로의 길이가 가로의 길이에 비해 약 27% 정도 길다. B5 판형의 종횡비를 언급하는 것은 지도 디자인의 입장에서 일종의 목표 종횡비로 참고할 수 있다고 보기 때문이다.

그림 6에는 세 부분에 대해 점선으로 영역 표시가 되어 있다. 각각 울릉군(울릉도와 독도), 인천광역시 옹진군의 백령면과 대청면의 세 섬들(백령도, 대청도, 소청도), 그리고 전라남도 신안군 흑산면의 여러 섬들(홍도, 흑산도, 상태도, 중태도, 하태도, 가거도, 만재도, 매물도 등)이다. 이 세 지역을 표시한 것은 삽입도(inset map)의 활용을 고려할 수 있는 후보지이기 때문이다. 만일 일반도 제작을 위한 일반화라면 삽입도는 고려하지 않는 것이 좋다. 왜냐하면 일반도에서의 삽입도는 지도 피처 간의 공간적 관계에 대한 오개념을 형성할 수 있기 때문에 가능한 사용을 자제할 필요가 있기 때문이다. 그러나 주제도 제작을 목적으로

하는 일반화라면 삽입도를 보다 적극적으로 사용하여도 무방할 것이다. 본 연구에서는 울릉도와 독도를 포함하는 울릉군 전체, 그리고 옹진군의 세 섬에 대해 삽입도를 구성할 것을 제안한다. 두 지역 모두 육지로부터 상당히 떨어져 있고, 삽입도를 위치시킬 충분한 공간이 존재하기 때문이다. 신안군 흑산면의 여러 섬들은 상대적으로 육지에 가까이 위치해 있을 뿐만 아니라 삽입도를 구성할 수 있는 공간이 협소하고 주변에 다수의 섬이 존재해 삽입도로 표현하기 어려운 측면이 있다. 따라서 인위적인 삽입도를 활용하는 대신에 일반화 과정에서 자연스럽게 제거되도록 하거나 지도 전체의 포괄 박스(bounding box)를 지정하는 과정에서 서쪽에 치우친 일부 도서 지역을 제거하는 전략을 사용하는 것이 보다 타당해 보인다.

울릉군과 옹진군의 세 섬을 삽입도로 표현하는 것과 함께 일반화 수준에 관계없이 독도와 소청도가 항상 나타날 수 있게 할 것을 제안한다. 여기에는 두 가지 이유가 있다. 첫째, 독도와 옹진군의 세 섬은 중요 지도 피처로 인정할 수 있다. 독도는 대한민국의 동쪽 끝에 위치하며, 옹진군의 세 섬 중 백령도는 남한 지역의 서쪽 끝에 해당한다(국토지리정보원, 2015). 일반화 수준이 높아지면 독도와 소청도는 사라질 수 있다. 또한 이들은 단독으로 읍면동을 구성하지 못하고 읍면동의 하위 피처이기 때문에 손쉽게 제거될 수 있다. 독도는 그 자체의 상징성이 너무 크고, 옹진군의 서해에 서로 인접한 섬이 3개 있다는 대중의 지리 기억을 고려할 때, 일반화 과정에서 잔존할 수 있게 조치하는 것이 타당해 보인다. 이것을 맥매스터와 셰이의 디지털 일반화 모형에 적용하여 해석하면, '개념적 목적'의 적용-특수적 요소를 고려함으로써 이론적 요소의 '일반화 규칙의 일관적 적용'을 수정한 것으로 볼 수 있다.

여기에 덧붙여, 제주도를 전위의 대상으로 전혀 고려하지 않은 이유를 설명하고자 한다. 우선, 전위를 통한 지도 공간의 효율화의 이득이 그것으로 인해 발생하는 제주도의 위치에 대한 오개념으로 발생할 수 있는 비용에 비해 크지 않다고 판단한다. 둘째, 제주도를 육지 쪽으로 이동시키지 않는 것이 지도의 오른쪽 하단에 범례를 위한 보다 넓은 공간을 마련할 수 있기 때문에 지도 레이아웃 계획이라는 디자인의 측면에서 보면 오히려 유리할 수 있다.

2. 일반화 실행의 세부 원칙의 수립

앞의 논의를 바탕으로, 일반화 실행의 세부 원칙 및 절차를 정리하면 다음과 같다.

- 일반화 알고리즘으로 수정 비스발링엄-화이엇 알고리즘을 사용한다. 이를 통해 읍면동간 연접성을 유지하고, 일반화 오퍼레이션 중 단순화 뿐만 아니라 완곡화도 실행될 수 있게 한다. 일반화 파라미터로 허용오차 대신 버텍스 보존율을 사용한다.
- 울릉군과 옹진군의 세 섬(백령도, 대청도, 소청도)은 삽입도로 표현될 수 있게 한다. 본 연구에서는 아예 일반화 기법인 전위를 적용하여 두 지역을 적절한 위치로 옮겨 놓고 삽입도 제작을 위한 포괄 박스까지 산출하도록 한다.
- 읍면동을 우선적으로 일반화하고, 이후 합역을 통해 보다 상위의 행정구역을 구성한다. 이를 통해 행정적 위계와 기하학적 위계를 일치시킨다.
- 전체적인 지도 종횡비가 B5 판형의 종횡비에 최대한 근접할 수 있게 조치한다. 이것은 B5에 대략 1:4,000,000의 한 장의 지도를 위치시키거나, 1:8,000,000의 네 장의 지도를 위치시켰을 때 안정적인 모습을 보이도록 하기 위한 것이다.

두 번째 것은 부연 설명할 필요가 있다. 이러한 조치는 본 연구가 주제도 제작용 기본도에 초점을 맞추고 있기 때문에 그 타당성을 인정받을 수 있다. 지도 제작 프로그램이나 GIS 프로그램에서 삽입도를 여러 개 설정하여 주제도를 제작하는 것은 매우 복잡하고 실수가 관여될 개연성이 매우 높은 과정이다. 이것을 극복하기 위한 하나의 대안이 일반화 과정 속에 삽입도에 포함될 지도 피처의 전위를 시도하는 것이라 생각한다. 울릉군은 대략 서쪽으로 155km, 북쪽으로 75km 이동시켰고, 옹진군의 세 섬은 대략 동쪽으로 65km, 남쪽으로 30km 이동시켰다. 이 거리는 평면직각좌표계 상에서의 거리이므로 지표 상에서의 실제 거리와는 차이가 난다.

마지막으로, 가장 적절한 일반화 수준, 보다 구체적으로는, 가장 적절한 버텍스 보존율을 어떻게 찾을 수 있느냐의 문제가 남아있다. 다시 말해 우리나라 전체가 1:4,000,000 정도의 축척으로 축소되었을 때, 8,397,106개의 버텍스 중 몇 개를 남겨야 적절하게 일반화된 지도라 말할 수 있는가라는 질문에 해답을 제시하는 것이다. 이에 대해 명확한 답변을 제공하기 위해서는, 원 데이터의 공간적 상세도(버텍스의 수)와 목표 축척 간의 상호작용을 명확히 규명

한 규준이 존재해야 한다. 그러나 불행히도 실질적으로 적용가능한 규준은 존재하지 않는 것 같다(이론적인 의미의 규준에 대해서는 Dutton, 1999; Li, 2007 참고). 예를 들어, 전 세계 차원의 디지털 맵 데이터를 제공하고 있는 내추럴어스(Natural Earth) 데이터의 경우 1:1천만, 1:5천만, 1:1억1천만의 서로 다른 축척(일반화 수준)의 데이터를 제공하고 있긴 하지만(조대헌 등, 2012; Kelso and Patterson, 2010), 데이터 생성 가이드라인(data creation guideline)을 살펴보면, "적정한 데이터 상세성을 산출하기 위해 어떠한 일반화 과정이 적용되어야 하는지에 대한 표준적 방법은 없고," "마음에 드는 결과가 산출될 때까지 다양한 일반화 기법을 실험"하거나 "기존의 내추럴어스 데이터를 참고"할 것을 권고하는 정도이다(https://www.naturalearthdata.com/about/data-creation/). 우리나라의 경우에도, 국토지리정보원의 수치지형도 작성 내규에 버텍스 제거에 대한 기준이 제시되어 있긴 하지만, 그것이 일반화 실행을 위한 현실적인 규준을 제공하지는 못한다(김남신, 2003).

3. 일반화 실행의 결과

앞 절에서 수립한 실행 원칙에 부합하는 R 코드를 작성하여 일반화를 수행하였다. 이 R코드는 필수적인 R 패키지(rmapshaper, sf)를 활용한 것으로, 버텍스 보존율, 작은 피처의 제거 여부, 작은 하위 피처의 제거 여부, 울릉도와 옹진군의 세 도의 전위 여부 등을 지정할 수 있는 옵션이 포함되어 있다. R 코드는 RStudio 환경에서 실행되었다. 모두 8개의 서로 다른 버텍스 보존율을 적용하여 지도를 생성하고 시각적 비교를 수행하고자 한다.

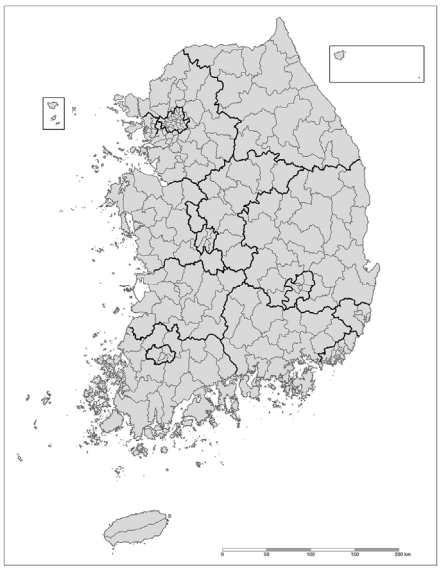
그림 7에는 상대적으로 버텍스 보존율이 높은, 즉 일반화 수준이 낮은 네 개의 결과가 제시되어 있다. 각각의 버텍스 보존율은 10%, 5%, 2%, 1%이다. 이 네 장의 지도의 종횡비는 미세하게 다른데, 신안군의 도서 지역 일반화 정도에서의 차이 때문에 발생한 것이다. 대체적인 종횡비는 0.772~0.773 정도인데, 이 값은 B5 판형의 종횡비 0.731보다 다소 큰 값이다. 즉, 상대적으로 가로의 길이가 더 긴 것이다. 그림 7에 나타나 있는 일반화된 지도의 버텍스 개수는 각각 503,337개, 249,199개, 54,615개, 30,752개이다.

이 네 장의 지도를 살펴보면, 네 장의 지도 모두 주제도의 기본도로 사용하기에 적합하지 않다는 사실을 발견할 수 있다. 우선, (a)와 (d)는 버텍스 보존율에서 20배 정도 차이가 나지만, 놀랍게도 두 지도 사이에서 큰 차이가 없다. 네 장의 지도 모두 남해안과 남서해안의 밀집도가 너무 높아 주제도를 제작했을 시 지도 클러터를 발생시키고, 주제도에 표현된 공간적 현상을 해독하는데 악영향을 끼칠 수 있다. 더 나아가 이 정도의 일반화 수준에서는 신안군의 도서 지역의 전체적인 윤곽이 그대로 유지되는 것을 알 수 있다. 이것이 종횡비를 높이는 결과로 이어진 것이다.

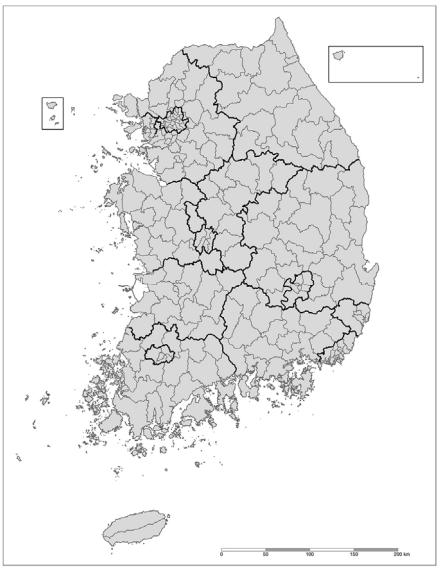
그림 8에는 상대적으로 버텍스 보존율이 낮은, 즉 일반화 수준이 높은 네 개의 결과가 제시되어 있다. 각각의 버텍스 보존율은 0.2%, 0.15%, 0.1%, 0.05%이다. 이 네 장의 지도의 종횡비 역시 그림 7의 지도들처럼 서로 미세하게 다른데, 0.733~0.737 정도를 보인다. 이 값은 B5 판형의 종횡비 0.731과 거의 일치한다. 따라서 이 지도들은 B5 판형과 완전히 비례적인 관계를 가진다. 그림 8에 나타나 있는 일반화된 지도의 버텍스 개수는 각각 16,352개, 13,983개, 11,607개, 9,204개이다.

이 네 장의 지도를 살펴보면, 몇 가지 흥미로운 사실을 발견할 수 있다. 우선 (a)와 (d)는 버텍스 보존율에서 4배 정도의 차이밖에 나지 않지만 시각적으로 충분한 차이를 느낄 수 있다. 특히 삽입도로 표현된 섬들의 형태에서 차이가 큰 데, (a)의 경우는 그림 7에 나타난 지도들과 큰 차이가 없는 반면, (d)의 경우는 형태가 확연히 단순화된 것이 시각적으로 확인 가능하다. 또한 신안군 흑산면에 대해서도 상세성에서 질적인 차이를 보이고 있다. 이러한 사실은 그림 7의 (a)와 (d)가 버텍스 보존율에서 20배 차이가 났음에도 불구하고 큰 차이를 느낄 수 없었던 것과 대조를 이룬다. 이는 버텍스 보존율의 차이에 의해 규정된 기술적인 의미의 일반화 정도와 인간의 시각을 통한 단순성 판단 사이에는 비직선적 관련성이 존재함을 강력히 시사하는 것이다. 둘째는 네 장의 지도 모두 주제도 제작용 기본도로서의 역할을 담당할 수 있다고 판단한다. 가장 높은 수준의 일반화가 적용된 (d)의 경우 조차도 거제시, 남해군, 여수시, 고흥군, 완도군, 진도군, 신안군, 옹진군의 지형적 특성이 잘 드러나 있다.

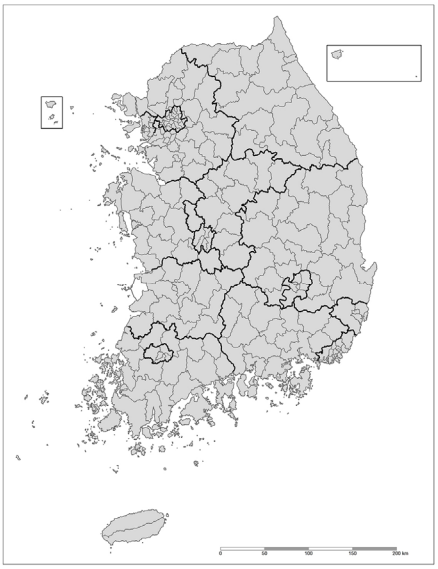
이러한 시각적 비교에 더하여 수치적 측도 하나를 활용해 참고 자료로 사용하고자 한다. 원 데이터의 기본 축척과 목표 축척 간의 단순한 비율 관계를 계산하는 것이다. 그림 6에 나타나 있는 기본도의 축척이 1:5,000이라고 했을 때, 목표 축척인 1:8,000,000과 1:4,000,000과의 단순한 비율 관계를 백분율로 계산하면 각각 0.0625%와 0.125%이다. 이는 기본적으로 길이의 보존 정도로 해석할 수 있



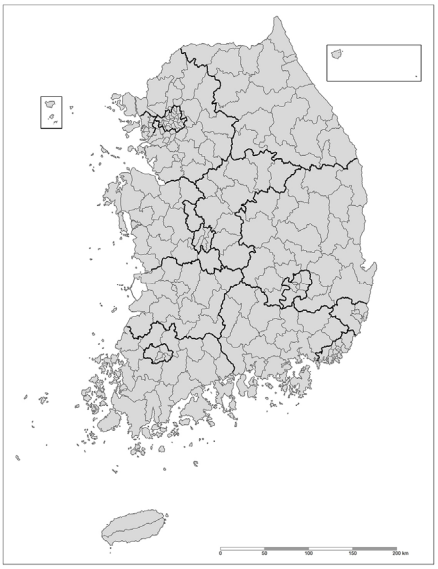
(a) 버텍스 보존율 10%



(b) 버텍스 보존율 5%



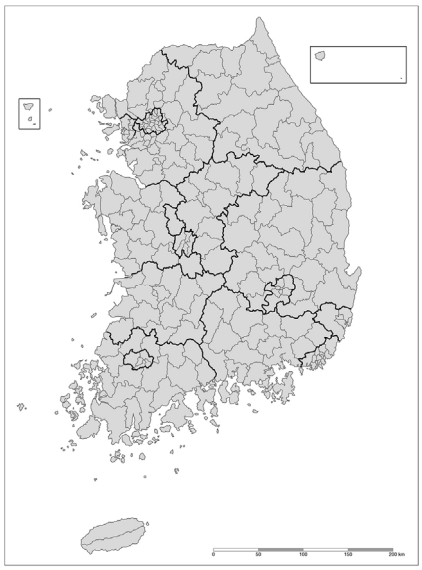
(c) 버텍스 보존율 1%



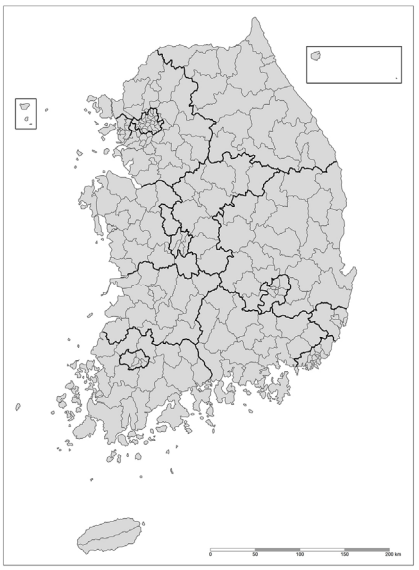
(d) 버텍스 보존율 0.5%

그림 7. 일반화 결과: 상대적으로 높은 버텍스 보존율

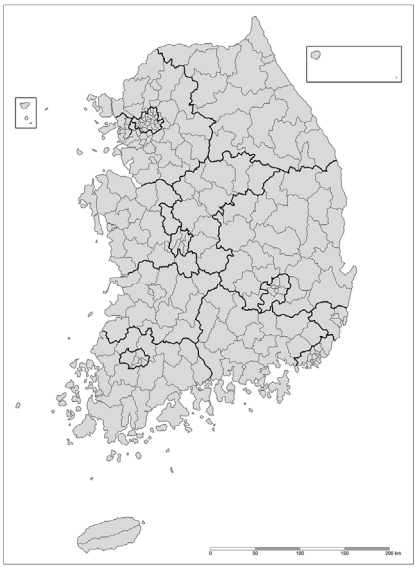
는데, 1:5,000의 특정 피처의 지도 상의 길이가 1:8,000,000에서는 그 길이의 0.062%로 표현되고, 1:4,000,000에서는 0.125%로 표현된다는 것을 의미한다. 이것을 상세성의 유지 정도에 대한 측도로 치환할 수 있다면, 결국 버텍스 보존율과 연결시켜 생각할 수도 있을 것이다. 따라서 1:8,000,000에 가장 부합하는 일반화 수준은 0.0625와 가장 비슷한 버텍스 보존율(0.05)을 보이는 그림 8의 (d)가 해당된다. 동일한 기준을 적용하면, 1:4,000,000에 가장 부합하는 일반화 수준은 그림 8의 (b) 혹은 (c)의 지도가 해당된다. 그러나 (b)와 (c)가 시각적으로 (d)와 큰 차이가 없고, (a)의 보존율도 0.125와 큰 차이가 없다는 점을 감안하면 (a)가 가장 적절한 대안인 것으로 판단한다.



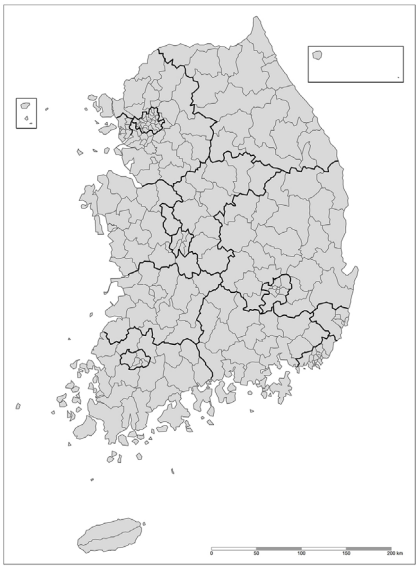
(a) 버텍스 보존율 0.2%



(b) 버텍스 보존율 0.15%



(c) 버텍스 보존율 0.1%



(d) 버텍스 보존율 0.05%

그림 8. 일반화 결과: 상대적으로 낮은 버텍스 보존율

시각적 비교와 측도값을 종합적으로 고려했을 때, 버텍스 보존율 0.2%인 (a)는 B5 판형의 전체 페이지를 한 장의 지도로 채우는 주제도 제작에 적당할 것으로 보이고, 버텍스 보존율 0.05%인 (d)는 B5 판형의 전체 페이지를 네 장의 지도로 채우는 주제도 제작에 적당할 것으로 보인다. 다시 말해, 버텍스 보존율 0.2%인 지도는 1:4,000,000 축척에 적절하고, 버텍스 보존율 0.05%인 지도는 1:8,000,000 축척에 적절하다. 물론 이 결론을 뒷받침해 줄 수 있는 결정적인 증거나 논리가 존재하는 것은 아니다. 그러나 보다 정교한 논의를 위한 시발점은 충분히 제공해 줄 수 있을 것이라 판단한다.

IV. 결론

본 연구는 우리나라 주제도 제작용 행정구역 경계 파일의 일반화를 수행함으로써 가장 적절한 일반화 수준의 경계 파일을 제시하는 것이다. 이론적인 수준에서 맥매스터와 세이의 디지털 일반화 모형을 살펴보았고, 알고리즘 수준에서는 더글라스-포이커 알고리즘과 비스발링엄-화이엇 알고리즘을 비교하였다. 디지털 일반화 모형의 검토를 통해, 보다 엄격한 공간 정확성 규준 하에서 복잡성의 감소를 지향할 것, 주제도 제작용 기본도라는 적용-특수적 요소를 최대한 반영할 것, 행정구역 단위의 위계성이 실질적으로 유지될 수 있게 할 것, 기하학적 비인식성에 보다 주목할 것, 지도 클러터의 통제를 최대한 염두에 둘 것 등의 함의가 도출되었다. 알고리즘으로는 원 데이터의 연접성의 보존이 보장되고, 단순화뿐만 아니라 완곡화도 일부 수행하는 수정 비스발링엄-화이엇 알고리즘이 채택되었다. 일반화의 파라미터로 버텍스의 보존율이 사용되었다.

개념적 논의의 결과와 알고리즘의 선정을 통해 일반화 실행의 세부 원칙을 수립하였고, 그것을 우리나라 2020년 6월 30일 기준의 읍면동 경계 파일에 적용하였다. 울릉군 전체와 옹진군의 세 섬(백령도, 대청도, 소청도)을 일반화 기법의 일종인 전위를 적용하여 경계 파일을 수정하는 전략이 채택되었다. 또한 지도 디자인적 고려 사항으로 전체적인 지도 종횡비를 B5 판형의 종횡비에 최대한 근접하게 하였다. 최종적인 목표 축척은 B5 판형에 한 장의 지도가 놓였을 경우와 유사한 1:4,000,000으로 설정하였다. 상대적으로 높은 버텍스 보존율로 일반화한 네 장의 지도와 상대적으로 낮은 버텍스 보존율로 일반화한 네 장의 지도를 비교한 결과, 1:4,000,000 축척을 위해서는 버텍스 보존율이 0.2%인 지도, 1:8,000,000 축척을 위해서는 버텍스 보존율이 0.05%인 지도가 적절한 것으로 판단되었다.

본 연구는 시론적 연구의 성격을 가질 수밖에 없는 분명한 한계가 있다. 가장 중요한 것은, 원 데이터의 상세도와 목표 축척을 연결시킬 수 있는 체계적이고 객관적인 규준을 설정하지 못했다. 이를 위해서는 국가기본도의 일반화 원칙에 대한 지도학적 선진국의 준칙 및 세칙에 대한 충분한 검토가 필수적이다. 또한 일반화 수준과 인간의 인지 간의 관련성을 철저하게 규명할 필요가 있다. 그러나 이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 두 가지 점에서 공헌점이 있다고 생각한다. 첫째, 1:4,000,000 혹은 1:8,000,000 축척의 주제도 제작에 적용할 수 있는 행정구역 기본도가 제안되었다. 상세성이 너무 높은 원본 행정구역 경계 파일이나, 원칙과 근거가 부족한 일반화가 적용된 경계 파일을 무비판적으로 사용하는 관행에서 벗어날 수 있는 최소한의 근거는 마련되었다고 본다. 여기에 제시된 대안이 최선의 해답은 될 수 없겠지만 최소한 준거 역할은 할 수 있을 것이다. 둘째, 축척별 표준 행정구역 경계 파일의 세트를 구축하기 위한 보다 광범위한 기획의 시발점 역할을 할 수 있을 것이다. 체계적이고도 정교하게 구축된 경계 파일의 세트가 완성되고 많은 사람들이 공유할 수 있다면 우리나라 주제도 제작의 수준이 한 단계 도약하는 계기가 마련될 수도 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

국토지리정보원, 2015, 「대한민국의 시작 독도: 지도로 본 대한민국의 영토의 끝 지점들」, 킨코스코리아.

김남신, 2003, "선형사상 일반화를 위한 알고리즘 개발에 관한 연구," 한국지도학회지, 3(1), 43-50.

신정엽·김감영·이건학 역, 2013, 「지도와 디자인」, 서울: 시그마프레스. (Krgier, J. and Wood, D., 2011, *Making Maps: A Visual Guide to Map Design for GIS*, 2nd ed., New York: The Guilford Press.)

이건학·김감영·김영호·김영훈·신정엽·이상일 역, 2014, 「지도학과 지리적 시각화」, 서울: 시그마프레스. (Slocum, T.A., McMaster, R.B., Kessler, F.C., and Howard, H.H., 2009, *Thematic Cartography and Geovisualization*, 3rd ed., Upper Saddle River: Prentice Hall.)

이상일·신정엽·김현미·홍일영·김감영·전용완·조대헌·김종근·이건학 역, 2009, 「지리정보시스템과 지리정보과학」, 서울: 시그마프레스. (Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., and Rhind, D.W., 2005, *Geographical Information Systems and Science*, 2nd ed., Hoboken: John Wiley & Sons.)

이상일·이몽현, 2020, "무작위합역 절차의 다양성에 대한 시뮬레이션 연구," 한국지도학회지, 20(3), 93-107.

이재은·박우진·유기윤, 2012, "임계값 설정에 따른 선형 단순화 알고리듬의 반응 특성 연구," 한국측량학회지, 30(4), 363-368.

조대헌·정재준·이상일, 2012, "디지털 맵 데이터를 이용한 세계지도 제작의 실행 방안," 한국지도학회지,

12(1), 33-47.

황철수, 1999, “Douglas-Peucker 단순화 알고리듬 개선에 관한 연구,” 한국측량학회지, 17(1), 97-108.

Brassel, K.E. and Weibel, R., 1988, A review and conceptual framework of automated map generalization, *International Journal of Geographical Information System*, 2(3), 229-244.

Cebrykow, P., 2017, Cartographic generalization yesterday and today, *Polish Cartographical Review*, 49(1), 5-15.

Douglas, D.H. and Peucker, T.K., 1973, Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature, *Cartographica*, 10(2), 112-122.

Dutton, G., 1999, Scale, sinuosity, and point selection in digital line generalization, *Cartography and Geographic Information Science*, 26(1), 33-54.

ESRI, 1996, Automation of map generalization: The cutting-edge technology, White Paper Series.

ESRI, 2000, Map generalization in GIS: Practical solutions with workstation ArcInfo software, Technical Paper.

Fowler-Sarro, D., 2005, The U.S. Census Bureau’s generalization concepts on a modernized data structure, *Proceedings of International Cartographic Conference*, Coruna, Spain.

Harrower, M. and Bloch, M., 2006, MapShaper.org: A map generalization Web service, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 26(4), 22-27.

Kelso, N.V. and Patterson, T., 2010, Introducing Natural Earth data – naturalearthdata.com, *Geographia Technica*, Special Issue, 82-89.

Li, Z., 2007, Digital map generalization at the age of enlightenment: a review of the first forty years, *The Cartographic Journal*, 44(1), 80-93.

Lovelace, R., Nowosad. J., and Muenchow, J., 2019, *Geocomputation with R*, Boca Raton: CRC Press.

McMaster, R.B., Galanda, M., Schroeder, J., and Koehnen, R., 2005, The creation of a national multiscale database for the United States census, *Proceedings of the International Cartographic Conference,* Coruna, Spain.

McMaster, R. B. and Monmonier, M., 1989, A conceptual framework for quantitative and qualitative raster-mode generalization, *GIS/LIS Proceedings*, Vol.2, Orland, FL, 390-403.

McMaster, R.B. and Shea, K.S., 1992, *Generalization in Digital Cartography*, Washington D.C.: Association of American Geographers.

Monmonier, M., 2018, *How to Lie with Maps*, 3rd edition, Chicago: The University of Chicago Press.

Li, Z. and Openshaw, S., 1992, Algorithms for automated line generalization based on a natural principle of objective generalization, *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(5), 373-389.

Peng, D., Wolff, A., and Haunert, J.-H., 2016, Continuous generalization of administrative boundaries based on compatible triangulations, in Sarjakoski, T., Santos, M.Y., and Sarjakoski, L.T. eds., *Geospatial Data in a Changing World*, New York: Springer, 399-415.

Robinson, A.H., Morrison, J.L., Muehrcke, P.C., Kimerling, A.J., and Guptill, S.C., 1995, *Elements of Cartography*, 6th edition, New York: John Wiley & Sons.

Saalfeld, A., 1999, Topologically consistent line simplification with the Douglas-Peucker algorithm, *Cartography and Geographic Information Science*, 26(1), 7-18.

Schroeder, J.P. and McMaster, R.B., 2007, The creation of a multiscale National Historical Geographic Information System for the United States Census, *Proceedings of International Cartographic Conference*, Moscow, Russia.

Siemer, J., 2017, Using statistics Canada data to map Canada’s population, *Potsdamer Geographische Praxis*, 12, 35-49.

Shin, J., 2009, Multi-scaled line simplification of the digital maps and quantifying the comparative results: Case study with USGS DLG hydrology data in the US Buffalo region, *Journal of the Korean Cartographic Association*, 9(1), 27-37.

Tsoulos, L., 1995, Cartographic generalization in digital environment, *International Hydrographic Review*,

72(2), 151-163.

Tyner, J.A., 2010, *Principles of Map Design*, New York: The Guilford Press.

Visvalingam, M. and Whyatt, J.D., 1990, The Douglas-Peucker algorithm for line simplification: Re-evaluation through visualization, *Computer Graphics Forum*, 9, 213-228.

Visvalingam, M. and Whyatt, J.D., 1993, Line generalisation by repeated elimination of points, *The Cartographic Journal*, 30(1), 46-51.

Wright, J.K., 1942, Map makers are human: Comments on the subjective in maps, *Geographical Review*, 32(4), 527-544.

교신: 이상일, 08826, 서울시 관악구 관악로 1, 서울대학교 사범대학 지리교육과(이메일: si_lee@snu.ac.kr)

Correspondence: Sang-Il Lee, Department of Geography Education, College of Education, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea (Email: si_lee@snu.ac.kr)

투 고 일: 2021년 8월 9일
심사완료일: 2021년 8월 14일
투고확정일: 2021년 8월 14일