

Research Paper

환경영향평가정보지원시스템(EIASS)을 활용한 국내 주요 개발사업의 지형변화 검토

허수정* · 이동근*,**** · 김은섭*,**,***

서울대학교 환경대학원 협동과정 조경학*, 서울대학교 융합전공 스마트시티 글로벌 융합**,
서울대학교 지능형에코사이언스 특성화대학****, 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부*****

Application of the EIASS for Assessing Changes in Terrain Features in Development Initiatives: A Case Study in South Korea

Sujung Heo* · Dong Kun Lee*,**** · Eunsub Kim*,**,***

Interdisciplinary Program and Life Science, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University*
Integrated Major in Smart City Global Convergence Program, Seoul National University**
Specialized Graduate School of Intelligent Eco-Science***
Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University****

요약: 본 연구는 한국의 주요 개발사업에서의 지형변화지표를 분석하고, 지형 변화 지표 사이의 상관관계를 분석하여 각 입지유형과 경사유형에 따른 기반 지형변화지표를 도출하였다. 이를 통해 미래 개발사업에 있어서 토지 이용 및 조성의 효율성을 높이며 환경에 대한 영향을 최소화하는 지속 가능한 개발 방향으로 기여하고자 한다. 또한, 연구 결과를 실제 현장에 적용하기 위해 국내 지형 관련 규정을 조사하고 해당 규정과 연구 분석 결과 간의 부합성과 활용 가능성에 대해 논의하였다. 이를 토대로, 향후 연구에 있어서 보다 정확하고 유용한 지형변화 지표의 활용을 위한 방안을 탐구하고자 한다. 결과적으로, 관광단지개발사업에서는 평지, 구릉지, 산지 순으로 지형변화가 주로 이루어지며, 구릉지와 산지에서의 지형변화도 평지에 비해 높은 것으로 분석되었다. 또한, 산업단지 조성사업에서는 급경사지(20°-30°)와 험준지(30°-40°), 도시개발 사업에서는 경사지(15°-20°), 체육시설 조성사업에서는 경사지와 급경사지, 관광단지 조성사업에서는 경사지(15°-20°)와 급경사지(20°-30°)에서의 지형변화지표 평균이 다른 경사도에 비해 높은 것으로 확인되었다. 연구 결과는 앞으로 국내 개발 사업에서 지형 훼손을 최소화하는 전략을 개발하는 데 기여할 수 있으며, 환경 영향 평가를 수행할 때 필요한 참고 자료로 활용될 수 있다.

주요어: 지형변화지표, 환경영향평가, 개발사업, 자원보전, 지속가능 개발

Abstract : This study conducted an analysis of terrain change indicators in major development projects in Korea, examining the correlation between terrain change indicators to derive foundational

terrain change metrics based on different land use and slope types. The aim is to contribute to sustainable development by enhancing the efficiency of land utilization and landscaping, while minimizing environmental impacts in future development endeavors. Additionally, to apply the research findings in practical contexts, domestic regulations related to terrain were surveyed, and the compatibility and usability between these regulations and research analysis results were discussed. Based on this, the study seeks to explore strategies for more accurate and useful utilization of terrain change indicators in future research. As a result, in the tourism development, terrain changes predominantly occur in the order of flat land, hilly land, and mountain land, with the analysis indicating higher terrain changes in undulating hilly and mountainous lands compared to flat land. Furthermore, in industrial complex development, very steep (20°-30°) and extreme (30°-40°) slopes; in urban development projects, steep slope (15°-20°); in athletic service facility and tourist development, steep (15°-20°) and very steep (20°-30°) exhibit higher average terrain change indicators compared to other slope categories. The findings of our study can contribute to the formulation of strategies aimed at minimizing terrain disturbance in future domestic development projects and serve as foundational data for environmental impact assessments.

Keywords : Earthwork Volume Index, Environmental Impact Assessment, Development Projects, Resource Conservation, Sustainable Development

I. 서론

1969년 국가환경정책법(NEPA)을 근거로 미국이 환경영향평가제도를 최초로 도입·운영한 이후 전 세계적으로 자국의 사회환경과 특성을 고려한 다양한 형태의 환경평가제도가 운영되고 있다(Ku 2002). 이에, 한국에서는 2012년부터 ‘전략환경영향평가’, ‘환경영향평가’, ‘소규모 환경영향평가’로 나누어 진행하고 있다. 이러한 영향평가제도는 환경오염의 사전예방 수단으로서 사업계획을 수립·시행함에 있어 해당 사업이 경제성, 기술성 뿐만 아니라 환경성까지 종합적으로 고려하므로써, 환경적으로 건전한 사업계획안을 모색하는 과정이자 계획적인 기법으로 정의될 수 있다(Lee 2020).

산림업통계연보(산림청 2022)에 따르면 우리나라의 산림은 전 국토의 63.2%를 구성하며 이는 2011년에 64.2%에 비교하면 감소하고 있다. 이는 무분별한 개발행위허가 건수의 증가로 산지에서의 개발사업 유형이 증가하는 것으로 추측해 볼 수 있다(Um et al. 2020). 또한, 국토교통부에서 시행하는 개발관련 규정 및 지침에서 개발사업으로 인해 지형변화에 대한 기준은 주로 경사도와 표고에 국한되어 있으며 이

는 주로 산업, 관광 부문이 포함된다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2023). 환경영향평가서 작성 및 검토 매뉴얼에서는 개발 내용에 해당하는 절성토계획에 대한 내용을 안내하고 있으나 별도의 토공량 기준을 정해놓고 있지 않으며 구체적인 제한기준이 없어 무질서한 도시 확장 및 지형변화를 야기할 수 있다. 이러한 지형변화가 증가하게 되면 생태계파괴, 토지 침식 및 홍수, 지진과 산사태 등 여러 복합적 위험이 발생할 수 있으며 이를 예방하기 위한 지속 가능한 개발과 자원 관리의 중요성이 강조된다(Li et al. 2018).

지형변화지표에 관한 국내 주요 대표 문헌을 검토한 결과, 다음과 같은 분야에 연구가 집중되어 있음을 알 수 있다. (1) Sagong (2010) 연구에서는 지형과 관련된 규정 및 지침의 내용을 조사하고, 지형 변화의 정도를 정량적으로 평가할 수 있는 변화 지표를 제안하였다. 연구에서 제안된 이 변화 지표는 지형의 형태에 따라 편사면형, 요철형, V자형의 세 가지 범주로 분류하는 과정에서 주관적인 판단이 작용하였으며, 토지의 유형 및 지형의 형태에 따라 구분하여 각각의 변화 지표를 계산하였다. 이를 통해, 산업단지 및 골프장 조성사업에서의 입지 및 계획 과정

에서 환경적 고려를 강화하기 위해 과거 지형변화지표의 평균값을 정량적 평가방안으로 제안하였다. (2) Park (2013)은 해안에서의 지형변화를 일으키는 인자와 인간간의 상호관계를 밝혀 지형 발달과정을 이해한다. 특히, 정밀한 지형 자료 확보와 정량적 변화량을 분석하는 것에 목적을 두고 있다. 결론적으로 지상라이다를 활용하여 시간에 따른 정량적 지형 변화량을 분석하였다. 또한, 지속적 분석을 위해선 3차원 지형 조사 외에도 파랑, 조위, 조류와의 연계 분석의 중요성을 강조하였다. (3) Kim (2014)은 육상풍력 개발사업에서의 지형변화지수를 연구하였는데, 이는 대부분의 육상풍력발전 부지는 생태적으로 우수한 지역에 위치하고 있어 지형변화지수를 참고 기준으로 제안하였다. 그러나, 풍력단지 입지 결정에 있어서는 해당 지역의 지형적 특성과 생태계 보전 등 다양한 요소에 대한 고려가 필요하며 사후관리를 통해 지형변화지수의 적정성 검증이 필요할 것으로 검토하였다. (4) 이 외, 일부 연구에서는 무인항공 사진 측량을 이용하여 절토사면의 땅밀림을 조사(Kim et al, 2020)하여 지형변화의 원인을 파악하고, 원격탐사와 지리정보시스템을 이용한 토공량 예측 연구(Yang et al, 1999)를 통해 도시개발과 관련된 지형의 변화를 관측하고 필요 토공량을 예측하였다. 과거 연구에서 Sagong (2010) 연구는 제외하고 국내 사업개발에 따른 지형변화량에 대한 연구는 크게 이루어지지 않았고, 토지이용을 통해 지형변화를 추측하는데 그쳤다(Kim et al, 2023, Park et al, 2020).

본 연구는 실제 사업 별 지형에 따른 지형변화지표에 대한 연구를 통해 적절한 토지이용과 개발 방안을 효율적으로 결정할 수 있다(Park et al, 2020). 또한, 자원 보전과 생태계의 안정성을 고려한 개발전략을 수립하여 경제적 성장과 환경보호 사이의 균형을 유지하는데 도움이 된다.

이에 따라, 환경영향평가서 토지환경부문의 토공량을 검토하여 지형변화지표를 산출하고 국내의 다양한 환경영향평가개발사업을 선정하여 지형에 따른 지형변화지표의 정량적 기준 및 범위를 파악하고자 한다. 결과적으로, 도시개발 방향을 명확히 하고, 지역개발

의 질을 향상시키며, 도시공간의 무분별한 성장을 방지하는데 중요한 시사점을 제공한다.

II. EIASS를 활용한 지형변화량 추계 분석

1. 연구 대상지 및 주요 사업 선정

본 연구 대상 범위는 대한민국(35°90.78'N, 127°76.69'E)을 대상으로 하며, 선정 기준은 다음과 같다. 첫째, 대한민국은 다양한 지형 특성을 가지고 있으며, 상대적으로 작은 지역 내에서도 산악지, 평야, 해안선, 강과 호수 등 다양한 지형 요소가 존재한다. 이러한 지형 특성은 개발사업에 의한 지형변화 정도를 연구하기에 유용한 데이터를 제공한다. 둘째, 대한민국은 사계절이 뚜렷한 국가로 지구 환경 변화에 민감한 지역 중 하나로, 기후 변화와 관련된 지형변화 현상이 주목되고 있다. 지형변화 연구를 통해 이러한 변화를 감지하고 예측하여 산사태로 인한 피해를 최소화할 수 있는 방안을 제공할 수 있다. 마지막으로, 대한민국은 인구 밀집 지역으로 도시화가 진행중인 곳이 많다. 도시 및 도시 주변 지역에서의 지형변화는 주택 건설, 교통 인프라 구축 및 자연환경 보전에 중요한 영향을 미친다. 따라서, 대한민국을 연구 대상으로 선정하여 도시 및 지역 발전 관련 정책 및 계획에도 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

대한민국에서는 Figure 1과 같이 동고서저 지형의 특성상, 고도와 경사가 낮은 지역 위주로 발전이 이루어졌다. 환경영향평가 개발사업으로는 과거부터 2021년까지 도로개발과 같은 선형개발사업 849건, 택지개발, 도시개발등의 면형개발사업 3,585건이 있으며(Figure 1) 이 중 면형개발사업 중에서도 환경영향평가서를 검토하여 토공량의 정보가 있는 사업만을 별도로 추출하는 작업을 진행하였다.

환경영향평가서(본안)은 2007년 1월부터 2021년 12월까지의 환경영향평가서(본안)을 분석 대상으로 하였다. 총 1,303 사업 건수로, 그 중 산업입지 및 단지조성사업("산업단지 조성사업") 529건, 도시개발 조성사업 299건, 체육시설 조성사업 193건, 관광단지 조성사업 131건으로 대표적인 면적 개발사업의 환

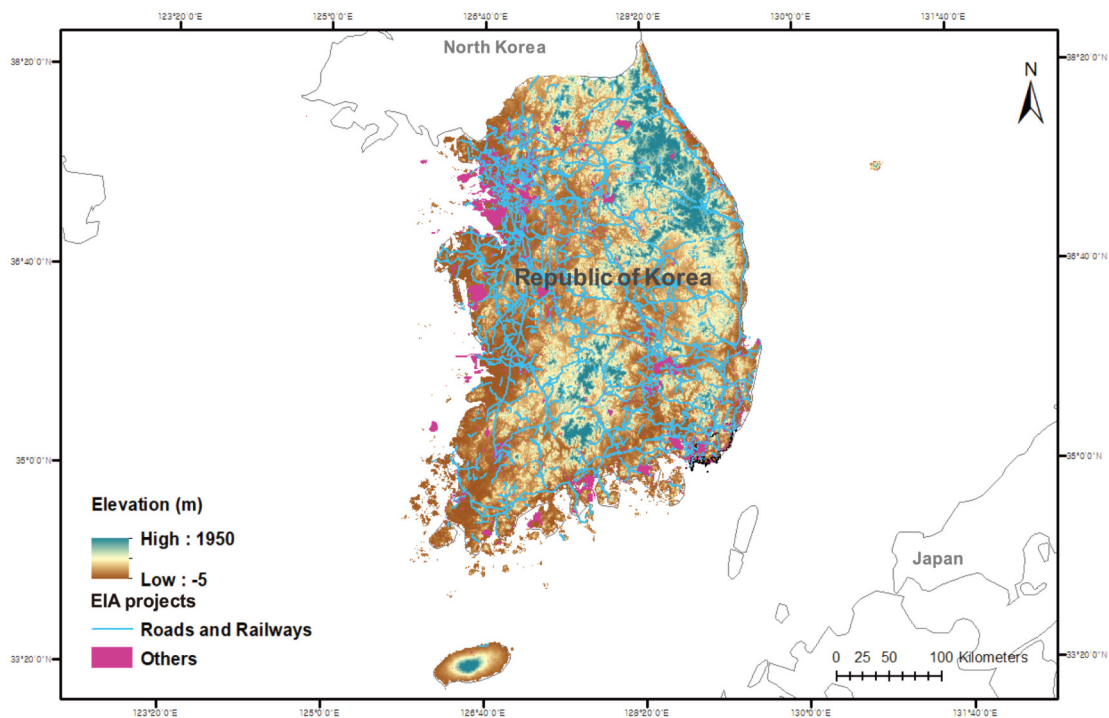


Figure 1. Study area with elevation and Environmental Impact Assessment (EIA) project information.



Figure 2. Earthwork volume index of major EIA projects (number of projects) in the 2000s, 2010s, and 2020s in South Korea.

경영향평가서 중 약 88.26%를 차지하는 비율이다 (Figure 2). Figure 2에선 주요 면적 개발사업(사업 건수)의 연대별 지형변화지표를 조사하였다. 전체 평균 지형변화가 높은 사업은 공항 및 비행장 건설사업 (Transportation [Airports] project)과 토석광물자갈 채취 사업이 각 23.92와 12.83으로 나타났으나 제한된 사업 건수 및 연대별 데이터로 인해 분석 사업에서는 제외하였다. 본 연구에서는 2007년부터 2021년까지의 토공량 데이터 유무 및 추세 파악을 위하여 총 1,303건의 개발사업 중, 529건의 산업단지, 299건의 도시개발, 193건의 체육시설, 131건의 관광단지 조성 사업을 대상으로 분석하였다.

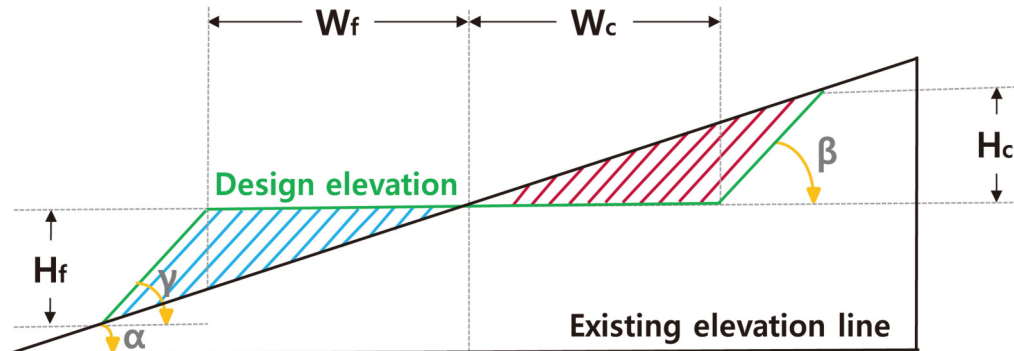
2. 지형변화량 정의 및 산정방법

일반적으로 적절한 개발사업시설 설계에는 절토와 성토의 균형을 유지하여 최소한의 토공을 권장하고 있다(Lee et al. 2021). 최대 성토사면 각도는 토양의 전단 강도, 특히 내부 마찰각의 함수이다(Figure 3). 성토사면은 최대 경사각 36~38°까지 건설할 수 있으나 일반적으로 성토사면을 34°로 제한한다(FAO

1998). Figure 3에서는 지형변화 지표 정의를 위해 개발 구역의 단위면적당 절토량과 성토량의 규모를 활용할 수 있음을 나타내고 있다. 이에 평지에 비하여 경사도가 커짐에 따라 절토량과 성토량의 규모가 커질 수 있으며, 자연지형의 훼손면적이 증가함을 의미한다. 본 연구에서는 건축과 토목 분야에서 활용되는 Earthwork volume change에 'index'를 붙여 지형변화지표(EVCI, Earthwork volume change index)로 정의하였다. 지형변화를 나타낼 수 있는 지표로 Hinge point까지 측정된 절토 너비(W_c), 절토사면고(H_c), Hinge point까지 측정된 성토 너비(W_f), 성토사면고(H_f), 비탈사면 기울기(α), 절토면 기울기(β), 성토면 기울기(γ)가 있다. 절토량, 성토량을 통해 각 절토량 지표, 성토량지표를 계산할 수 있으며 최종적으로 개발면적에 따른 지형변화지표를 산출할 수 있다.

3. 지형별 지형변화지표 분석

본 연구는 주요 개발사업의 입지 결정에 있어 토지환경부문의 토공량을 검토하여 지형 변화 지표를 산출하는 데에 초점을 두고 있다. Figure 4에서는 본 연



- W_c = width of cut measured from grade-out point to hinge point
- H_c = height of cut
- W_f = Width of fill measured from grade-out point to shoulder
- H_f = height of fill
- α = angle of side slope
- β = angle of cut slope
- γ = angle of fill slope
- Volume of cut / meter = $W_c^2 / (Cot\alpha - Cot\beta)$
- Volume of fill / meter = $W_f^2 / (Cot\alpha - Cot\gamma)$
- Cut volume index = volume of cut (m^3) / Total area (m^2)
- Fill volume index = volume of fill (m^3) / Total area (m^2)
- Earthwork volume index (m^3/m^2) = volume of cut (m^3) + volume of fill (m^3) / Total area (m^2)

Figure 3. Elements of hill land prism geometry, modified from FAO (1998).

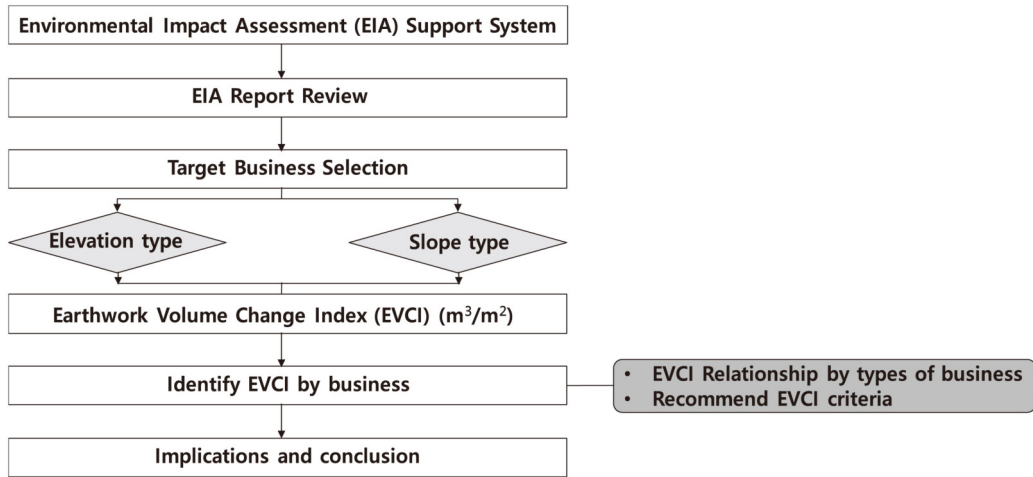


Figure 4. Study framework.

구의 프레임워크를 제공하고 있다. 우선, EIASS를 활용하여 각 개발사업의 환경영향평가서를 검토한 뒤, 선정된 개발사업의 지형과 관련하여 입지유형과 경사유형으로 구분한다. 입지유형으로는 산지형, 구릉지형, 평지형으로 나뉘어지며 건설교통부의 지침에 따라 산지형의 경우 사업대상지가 표고 200m 이상, 구릉지형의 경우 표고 200m 이하, 평지형의 경우 표고 50m 이하인 경우를 의미한다(MOLIT 1999). 경사 기준에 따른 분류 또한 평탄지(5° 미만), 완경사지(5-15°), 경사지(15-20°), 급경사지(20-30°), 험준지(30-40°), 절험지(40° 이상)로 구분된다. 이후, 토지환경부문의 토공량과 지형 변화 지표 사이의 상관관계를 철저히 분석하여 각 입지유형과 경사유형에 따른 기반 지형변화지표를 신뢰성 있게 도출한다(Figure 4). 이를 통해 미래 개발사업에 있어서 토지 이용 및 조성의 효율성을 높이며, 환경에 대한 영향을 최소화하는 지속 가능한 개발 방향으로 기여하고

자 한다. 뿐만 아니라, 연구 결과를 실제 현장에 적용하기 위해 국내 지형 관련 규정을 조사하고, 해당 규정과 연구 분석 결과 간의 부합성과 활용 가능성에 대해 논의한다. 마지막으로, 향후 연구에 있어서 보다 정확하고 유용한 지형변화 지표의 활용을 위한 방안을 탐구한다.

III. 결과 및 고찰

1. 주요 사업별 지형 분포

각 대상지의 지형별 분류를 위해 본 연구에서는 입지 유형과 경사 기준에 따른 지형변화량 조사를 진행하였다. Table 1은 각 개발사업별 평지(Flat land), 구릉지(Hilly land), 산지(Mountain land)의 비율을 나타낸 것으로, 전국적으로는 평지의 비율의 39.34%로 가장 높았으나, 평지의 경우 관광단지 조성사업이 39.20%, 구릉지의 경우 체육시설 조성사업이 73.44%,

Table 1. Proportion of mountainous, hilly, and flat land by EIA development projects in South Korea

(Unit : %)

Projects	Elevation		
	Flat land (<50m)	Hilly land (>50m, <200m)	Mountain land (>200m)
Industrial complex development	37.26	41.68	21.05
Urban development	31.18	43.01	25.81
Athletic service facilities	32.96	44.13	22.91
Tourist development	39.20	40.80	20.00

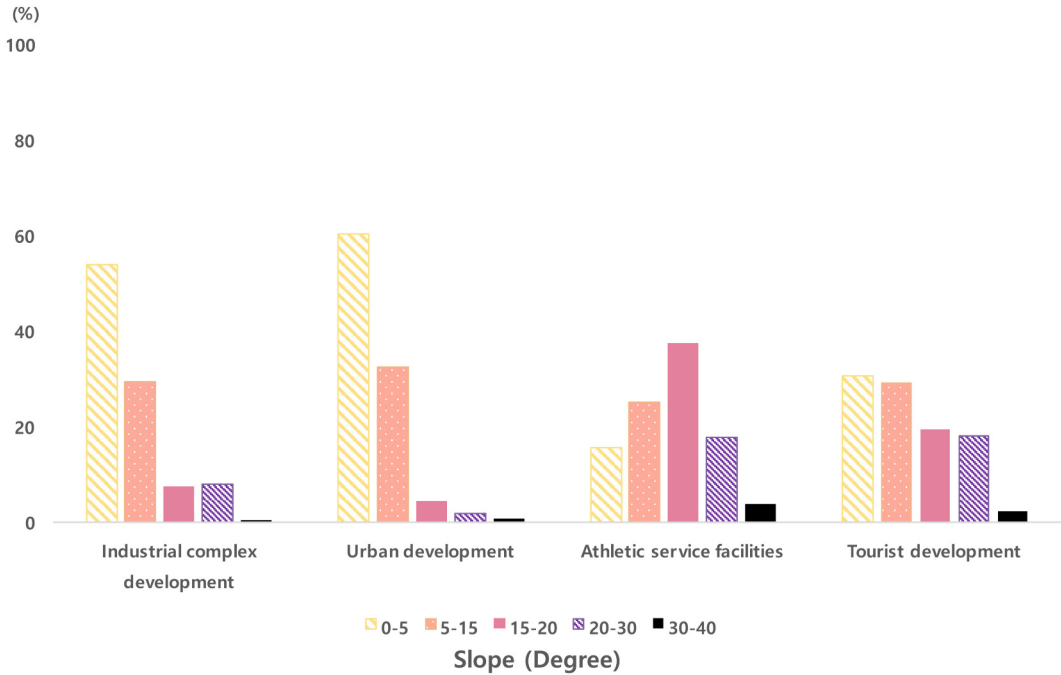


Figure 5. Proportion of mountainous, hilly, and flat land by EIA development projects in South Korea.

산지의 경우 도시개발사업이 25.81%로 가장 높았다. 본 연구에서의 경사도에 따른 지역별 개발면적은 Figure 5와 같다. 도시개발사업과 산업단지 조성사업의 경우 평탄지의 비율이 각 60.52%와 54.09%로 가장 높았으며, 환경사지의 비율도 각 32.47%와 29.56%로 다른 사업보다 높은 값을 나타내는 것으로 검토되었다. 반면, 경사지 비율로는 체육시설과 관광단지 조성사업이 각 37.63%와 19.69%로 높았으며, 급경사지의 경우 관광단지 조성사업(18.11%)와 체육시설 조성사업(3.76%)로 가장 높은 비율을 차지하는 것을 확인할 수 있다.

2. 입지유형 및 경사별 지형변화지표

종합적으로 지형변화지표 평균은 구릉지(4.85), 평지(4.64), 산지(4.25) 순으로 높은 것을 확인할 수 있었다(Table 2). 산업단지 조성사업의 경우, 구릉지(6.35), 평지(6.33), 산지(5.79) 순으로, 도시개발사업의 경우, 평지(3.62), 구릉지(3.57), 산지(3.17)와 같이 대부분 평지와 구릉지에서 지형변화가 이루어지는 것으로 조사되었다. 반면, 체육시설사업의 경우,

구릉지(3.34), 평지(3.26), 산지(3.23) 순으로, 관광단지개발사업의 경우, 구릉지(1.91), 산지(1.85), 평지(1.12) 순으로 구릉지와 산지에서 지형변화도 주로 이루어지는 것으로 분석되었다(Figure 6). 경사도의 경우, 전체 사업 평균으로 보았을 때 경사지(5.20), 급경사지(5.18), 험준지(5.09), 환경사지(3.70), 평탄지(2.80) 순으로 지형변화지표가 높은 것으로 조사되었

Table 2. EVI by flat, hilly, and mountainous land in South Korea

Elevation	EVI
Flat land (<50m)	4.64
Hilly land (>50m, <200m)	4.85
Mountain land (>200m)	4.25

Table 3. EVI by slope (degree) in South Korea

Slope (Degree)	EVI
0-5°	2.80
5-15°	3.70
15-20°	5.20
20-30°	5.18
30-40°	5.09

다(Table 3). 각각 사업에서는 산업단지 조성사업에서는 급경사지(13.19)와 험준지(12.45)가, 도시개발 사업에서는 경사지(6.50)이, 체육시설 조성사업에서는 경사지(2.04)와 급경사지(3.65)가, 관광단지 조성

사업에서는 경사지(5.20), 급경사지(5.18), 험준지(5.09)에서의 지형변화지표 평균이 다른 경사도에 비해 높은 것으로 확인되었다(Figure 7).

Table 4와 5에서는 각 입지별 지형 변화 지표를 기

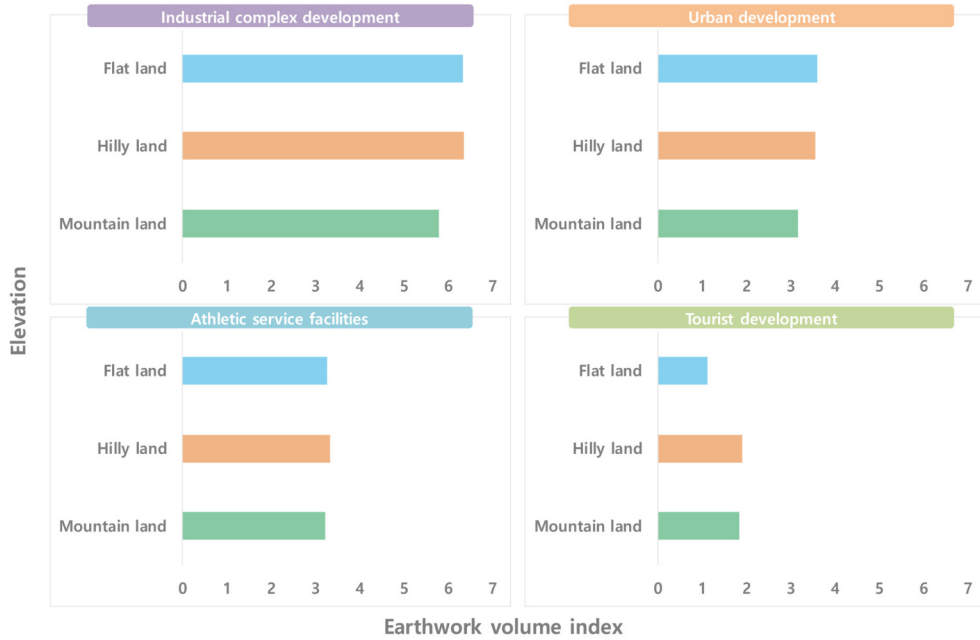


Figure 6. EVI change in EIA projects by elevation type (2007-2021) in South Korea.

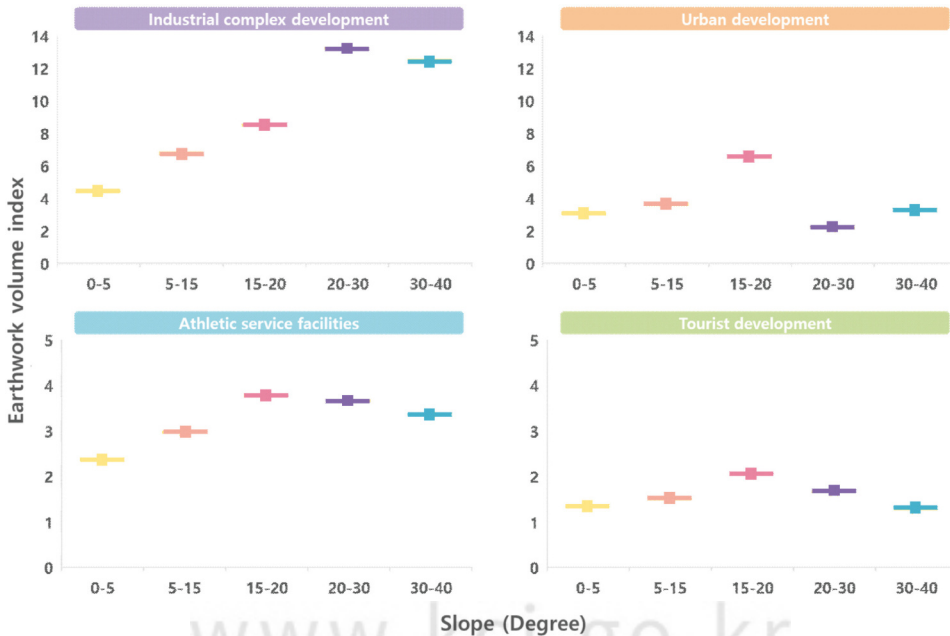


Figure 7. EVIC in EIA projects by slope (degree) type (2007-2021) in South Korea.

Table 4. Result of two-way ANOVA calculation by elevation type

Elevation	Average	StDev	N*	F	P-value	Scheffe**
Flat land (F)	14.32	1.85	4	0.07	0.80	H > F > M
Hilly land (H)	15.17	1.61	4			
Mountain land (M)	14.05	1.43	4			

*N=Industrial complex development, urban development, athletic service facilities, tourist development

**Multiple comparison method used to assess differences between groups

Table 5. Result of two-way ANOVA calculation by slope (degree) type

No.	Degree	Average	StDev	N	F	P-value	Scheffe**
1	0-5°	3.05	0.85	4	0.20	1.92	4 > 3 > 5 > 2 > 1
2	5-15°	4.07	1.57	4			
3	15-20°	5.63	1.99	4			
4	20-30°	5.67	4.38	4			
5	30-40°	5.61	3.95	4			

*N=Industrial complex development, urban development, athletic service facilities, tourist development

**Multiple comparison method used to assess differences between groups

반으로 한 반복이 있는 이원배치 분산분석(Two-way ANOVA caculation using MS-excel) 결과를 도출하였다. 위치 및 경사도별 지형 변화 지표의 정규성 검정 결과는 각각 0.98 및 0.73으로, 모든 요인 수준에서 P-값이 0.05 이상으로 나타나 통계적으로 유의미한 결과는 나타나지 않았다. 그러나, 급경사지(20-30°) 구간에 산업단지과 도시개발 지역을 볼 때, EVI 중앙값 차이가 11정도 나타나는 것을 확인하였다.

3. 기대효과

본 연구에서는 국내 주요 개발사업을 입지에 따라 표고 및 경사별로 분류 후 각각의 지형변화지표 값을 검토하였다. 전반적으로, 경사도가 높을수록 지형변화지표가 높아지는 것을 확인할 수 있었으며, 산업단지 조성사업, 도시개발사업, 체육시설 설치, 관광단지 조성사업의 순으로 높은 것으로 검토되었다. 이는, 도시는 사람이 주로 생활하는 곳이므로 평지 위주의 개발을, 나머지 사업에선 대체로 토지 비용이 저렴한 구릉지와 산지 등 경사도가 있는 지형에서의 개발 비율이 높아지는 것으로 판단되었다. 산지의 비율이 상대적으로 낮은 이유는 평지와 구릉지에 비하여 개발 공사 시 지형적, 경제적 측면에서 한계가 있을 것으로 추측하였다. 또한, 사업과 각 지형별 특성에

따라 토공량이 상이함을 확인하여 지형변화지표는 다양한 개발사업의 지형변화 친환경적인 토공 공사를 위한 기준이 될 수 있음을 판단하였다. 이는 기존 연구에서 토지이용을 통해 지형변화를 추측하는 것 외에도 실제 개발사업의 토공량을 기준으로 변화 추세를 파악했다는 것에 의의가 있다. 사업개발 시 과도한 토공량으로 인해 새로운 지반이 노출되면 지반의 물리적 상태가 변하게 되어 불안정성이 증가하며, 이는 지반침하, 산사태의 위험을 야기시키는 요인이 될 수 있다. 특히, 폭우나 지진과 같은 자연재해 시에 이러한 피해는 증가할 수 있다. 이러한 피해로 인해 인명 피해, 농경지 피해, 수력 및 하수도 피해, 토양 및 지하수 오염, 주택과 건물 등 경제적 손실을 초래할 수 있다. 이러한 피해는 주로 평지보다 구릉지와 산지, 경사지에서의 지형변화를 변화시킬 때 위험이 가중될 것으로 예상된다. 이는 옹벽, 사면안전공법을 시행한다고 해도 시간에 따라 느슨해질 수 있기 때문에 다시 위험이 증가할 수 있다. 따라서, 현행 법규에서 규정하고 있는 단순 경사나 표고에 대한 제한이 아닌 지형 훼손 방지를 위하여 각 사업별로 지형에 따른 지형변화의 과소를 평가할 수 있는 정량적 기준 및 적정한 범위를 설정하는 것이 중요하다. 위 분석결과에서 나타난 평균지형변화지표를 고려하여 향후 개발사

업 시에는 지형변화를 최소화하는 방향으로 나아가야 한다. 한편, 이원배지분산분석 결과는 제한된 데이터로 인한 것으로 추측되며, 향후 추가 데이터 구축을 통해 재분석 하는 것이 필요하다. 통계적 해석과는 별개로 본 연구 결과는 향후 토지개발 및 재난관리와 같은 응용분야에서 개발과 재난의 상관관계를 조사하는데 있어 유용하게 활용될 수 있으며 입지 및 경사와 같은 요소가 지형변화에 미치는 영향을 이해하는데 도움이 된다. 본 연구에서 조사한 주요 개발사업에서의 지형별 지형변화지표가 환경영향평가서 검토를 위한 친환경 개발을 유도하기 위한 기준점에 대한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 결론

본 연구는 우리나라의 주요 개발사업에서의 지형변화지표를 분석하고, 표고 및 경사에 따른 지형유형과의 상관관계를 분석하여 지형변화지표를 도출하였다. 이러한 지표를 통해 미래 개발사업 계획 시 지형계획 및 토지이용 조성의 효율성을 높이며 환경에 대한 영향을 최소화하는 방향을 고려할 수 있다. 예를 들어, 사업별로 상이한 지형변화지표를 이용하여 특정사업에서의 대책을 마련할 수 있는데 다른 개발사업에 비하여 지형 훼손영향이 큰 산업단지조성사업의 경우 입지선정부터 최소 토공량을 계획해 볼 수 있다. 특히, 경사도가 높은 구역에서 평균 지형변화지표가 높은 산업단지 조성사업과 체육시설 조성사업의 경우, 경사도가 완만한 구간에서의 토공 비율을 늘리고 급경사 구간에서의 토공량을 제한하는 방향 또한 고려해볼 수 있다. 이를 유지하기 위해선 각 지형에 따른 적절한 사면안전공법을 실시하고 정기적인 사후 모니터링을 통한 토사붕괴 예방이 필요하다. 지형변화를 최소화한다는 것은 지속가능개발을 위한 필수적인 요소로, 지형변화가 증가하게 되면 생태계파괴, 토지 침식, 홍수, 지진, 산사태 등 여러 복합적 위험이 발생할 수 있다. 따라서 지형변화를 최소화하고 지속가능개발을 위한 방안을 모색해야 한다. 또한, 국내 지형관련 규정과 연구 분석 결과간의 부합성과 활용가능성 논의를 통해 현행 규정의 개선과 보완이 필

요하다는 점을 제시하여 보다 정확하고 유용한 지형변화지표 활용을 위한 방안을 탐구하였다.

본 연구는 지속가능개발을 위한 필수적인 요소인 지형변화를 분석하고, 지형훼손을 최소화하기 위한 정량적 지표 활용에 대한 방안을 모색하는 데에 기여한다. 또한, 국내 지형 관련 규정의 개선과 보완이 필요하다는 점을 제시하였으며 결과로 얻어진 지형변화지표 평균값은 각 개발사업과 지형별 특성을 고려하여 향후 개발사업의 지형 훼손 최소화를 위한 지표 기준을 마련하고 환경영향평가 시 기초자료로 활용될 수 있다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ICT기반 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었습니다(No. 2020002990009).

References

- Armstrong CL. 1984. A method of measuring road surface wear. ETIS 16: 27-32.
- Cain C, Langdon JA. 1982. A guide for determining road width on curves for single-lane forest roads. Eng. Field Notes. 14(4-6): 1982. USDA Forest Service, Eng. Techn. Inf. Syst., Washington D.C.
- Chen WF, Giger MW. 1971. Limit analysis of stability of slopes. J. Soil Mechanics and Foundations Div., Proc. ASCE, 97(Sm1), Proc. Paper 7828, Jan. 1971, pp. 19-26.
- FAO. 1998. Watershed management field manual. Food and agriculture organization of the united nations. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Conservation Guide 13/5.
- Kim JE, Hong SK. 2023. Classification of spatial patterns according to land use in Wando-

- gun, Jeollanam-do. The Korean Cadastre Information Association 25(1): 104-118.
- Kim JY. 2014. A Study on Geomorphological Change Index Applied to Inland Wind Power Plant Siting. Vol 2014-18. Korea Environment Institute. 978-89-8464-844-9 93530.
- Kim NG, Choi BG, Choi JH, Jun B. 2020. Time series Analysis of Soil Creep on Cut Slopes Using Unmanned Aerial Photogrammetry. The Journal of Engineering Geology 30(4): 447-456.
- Korea Forest Service. 2022. Statistical Yearbook of Forestry.
- Ku DW. 2002. Environmental Impact Assessment and Social Impact Assessment in Korea – Suggestions for Policy Reform. The Korean Association for Environmental Sociology, pp. 133-156.
- Lee JH. 2020. Environmental Impact Assessment Consultation Based on Land Environment and Natural & Ecological Environment. J. Environ. Impact Assess. 29(1): 45-60.
- Lee SM, Kim JH, Choi HS, Lee DE, Seo JW. 2021. A study on earthwork planning and design review method using digital map and BIM. Korean Society of Civil Engineers, pp. 309-310.
- Li C, Wang M, Liu K, Xie J. 2018. Topographic changes and their driving factors after 2008 Wenchuan earthquake. Geomorphology 311: 27-36.
- Ministry of Construction & Transportation (Ministry of Land, Infrastructure and Transport). 1999. A Study on the Environmental Evaluation Standards for the Improvement of the Development Restricted Zone System, Summary Report. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (South Korea). Guidelines for District Unit Planning. Ministry of Land. [Infrastructure and Transport Decree No. 1639].
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (South Korea). Rules on the determination, structure, and installation standards of urban/gun planning facilities. Ministry of Land, Ministry of Land, [Decree No. 1239 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport].
- Oh JH, Lee JI, Fatih K, Kim HR, Park SY, Jung KI, Jeon BJ, Kim DM, Park JH, and Kong CS. 2021. Quality Characteristics of Grilled Fish Paste Formulation Added with Hot Water Extract Powder from *Lentinus edodes* Using One-Way ANOVA. J. Korean Soc Food Sci Nutr. 50(3): 307-314.
- Park HS. 2013. Spatial-temporal Analysis of Topographical Change at the Malipo Beach. Journal of the Korean Geomorphological Association 20(1): 97-109.
- Park HS, Jang DH. 2020. Analysis of changes in urbanized areas in Daejeon Metropolitan City by detection of changes in time series landcover: using multi-temporal satellite images. The Association of Korean Geographers 9(1): 177-190.
- Park JY, Lee YJ, Chung YK. 2020. Analysis of Development Projects to the Major Mountain Ridges for Environment Assessment. Korea Environmental Policy and Administrations Society 28(3): 9:65-86.
- Pearce JK. 1960. Forest Engineering Handbook. Prepared for U. S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, p. 220.
- Prellwitz RW. 1975. Simplified slope design for low volume roads in mountainous areas. in: Low volume roads. Proceedings, June 1975. Special Report 160. Transp. Research Board,

- National Academy of Sciences, Washington, D.C., pp. 65-74.
- Sagong H, Jeong JH. 2010. Proposals for Assessment of the Degree of Topographic Change in Consideration of Regional Characteristics. Korea Environment Institute. Working paper 2010-14, pp. 1-54.
- Um S, Kim H, Lee H, Lee S, Yoon Y. 2020. A study on the improvement of the district system and the use area for rural space planning. Korea Planning Association. No. 456, pp. 5-19.
- Yang SM, Lee KH, Hu CG. 2021. Institutional features of environmental impact assessment system in the Jeju Special Self-Governing Province. *Journal of Environmental Science International* 30(8): 647-658.
- Yang SY, Song MY, Hwang J. 1999. Geo-surface environmental changes and reclaimed amount prediction using remote sensing and geographic information system in the Siwha area 9(2): 161-176.