

Study Note

토석채취사업 훼손지 현황 및 복원 방향 제안

– 인천 부평 개발제한구역 내 자연환경복원사업 사례 연구 –

이승원* · 서현진** · 이선미*

국립생태원 복원생태팀*, 국립생태원 생태신기술팀**

Status of Areas Damaged by Earth and Stone Mining and Proposed Restoration Strategies

– A Case Study of a Natural Environment Restoration Project
in the Greenbelt Zone of Bupyeong, Incheon –

SeungWon Lee* · HyunJin Seo** · SeonMi Lee*

Restoration Ecology Research Team, National Institute of Ecology*
Ecological Technology Research Team, National Institute of Ecology**

요약: 쿤밍-몬트리올 GBF의 실천목표 2는 2030년까지 훼손된 생태계의 30% 이상을 복원하는 것이다. 이러한 국제적 흐름에 맞춰 기후에너지환경부와 국토교통부는 개발제한구역의 자연환경복원 정책을 추진하고 있다. 이 연구의 목적은 인천 부평 개발제한구역 내 토석채취사업으로 훼손된 산지를 진단한 후 복원 방향을 제안하는 것이다. 대상지의 물리적 특성, 현존식생, 토지피복 변화, 정책 변화에 따른 토지이용 변화 등을 분석하였다. 대상지는 1969년과 1971년 사이에 토석채취사업이 시행되어 심각한 교란이 발생하였으며, 인근의 온전한 산림과 이질적 경관을 형성하고 단절을 초래하였다. 약 55년 동안 방치된 후 죽구장으로 이용되다가 2025년 복토 후 잣나무 묘목을 식재하였다. 대상지는 크게 자연림, 훼손지, 인공 식재림으로 구분되며, 각 유형별 복원 방안을 제안하였다. 교란이 거의 없는 서측의 자연림은 참조생태계로 보전하고, 중앙부 훼손지는 사면 안정화와 토양 개량 후 자생 수종을 식재하는 적극적 복원을, 동측의 식재림은 숲틈의 보식 식재를 통한 천이 촉진형의 소극적 복원을 제안하였다. 이 연구의 결과는 향후 유사한 개발제한구역 자연환경복원사업의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어: 폐채석장, 그린벨트, 자연환경복원사업, 생태복원

Abstract: The Kunming–Montreal Global Biodiversity Framework’s Action Target 2 aims to restore at least 30% of degraded ecosystems by 2030. In line with this international trend, the Ministry of Climate, Energy and Environment and the Ministry of Land, Infrastructure and Transport are promoting policies for restoring the natural environment within greenbelt zones. The aim of this study

First Author: SeungWon Lee, Tel: +82-41-950-5894, E-mail: isewt456@nie.re.kr, ORCID: 0000-0001-8750-0830

Corresponding Author: SeonMi Lee, Tel: +82-41-950-5154, E-mail: planteco@nie.re.kr, ORCID: 0000-0003-3818-3714

Co-Author: HyunJin Seo, Tel: +82-41-950-5494, E-mail: hjseo8427@nie.re.kr, ORCID: 0000-0002-3289-6417

Received: 17 November, 2025. Revised: 12 December, 2025. Accepted: 18 December, 2025.

is to diagnose mountainous areas degraded by quarrying operations within the Bupyeong greenbelt zone in Incheon and propose restoration directions. We analyzed the physical characteristics, physiognomic vegetation map, land-cover changes, and land-use changes associated with policy shifts. The site underwent severe disturbance due to rock and soil extraction projects conducted between 1969 and 1971, causing severe disturbance and creating a landscape that is heterogeneous and disconnected from the surrounding intact forest. After remaining largely abandoned for about 55 years, it was used as a foot volleyball court before being backfilled and planted with *Pinus koraiensis* seedlings in 2025. The site is broadly divided into natural forest, degraded areas, and artificially planted forest with restoration plans proposed for each type. The western natural forest is proposed to be conserved as a reference ecosystem. For the central degraded area, active restoration is proposed, involving slope stabilization, soil improvement, and planting native tree species. For the eastern planted forest, passive restoration is proposed, focusing on promoting succession through forest gap planting. The results of this study can serve as baseline information for implementing similar natural environment restoration projects in greenbelt zones.

Keywords: Abandoned quarries, Greenbelt, Natural environment restoration project, Ecological restoration

I. 서론

2022년 생물다양성 당사국 총회에서 쿤밍-몬트리올 지구적 생물다양성 프레임워크(이하 쿤밍-몬트리올 GBF)를 채택하였는데, 실천목표 2는 2030년까지 훼손된 육상 및 해양 생태계의 최소 30%를 복원하여 생태적 온전성과 연결성 향상을 목표로 한다(CBD 2022). 이를 달성하기 위한 노력의 하나로서, 국내에서는 2023년 기후에너지환경부와 국토교통부가 ‘개발제한구역의 체계적 자연환경 복원을 위한 업무협약’을 체결하였다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport Press Release, 2023).

이 협약은 쿤밍-몬트리올 GBF의 글로벌 목표를 국내 정책으로 구체화한 사례로, 개발제한구역 중 보전 가치가 높은 백두대간 및 정맥 300m 이내의 훼손지를 체계적으로 복원하는 것을 목표로 한다. 2024년 시범 사업으로 고양시의 개발제한구역 내 훼손지를, 2025년에는 인천 부평의 개발제한구역 내 훼손지를 대상으로 자연환경복원사업을 시작하였다. 기후에너지환경부에서 훼손지를 탐지한 후 현장조사를 통해 복원 후보지를 선정하면, 국토교통부가 복원 후보지의 사유지를 매수한 후, 다시 기후에너지환경부가 생태계 구조 및 기능 회복을 위한 복원계획 수립하여 복원을 시행한다

(Ministry of Land, Infrastructure and Transport Press Release, 2023). 이는 국가가 선도적으로 훼손지를 매입한 후 생태계를 복원하고, 나아가 민간으로 이력한 모델을 확산하려는 노력으로 평가된다.

개발제한구역 제도는 도시의 무질서한 난개발을 방지하기 위하여 도입되었다(Lee, 2022). 1971년 「도시계획법」(현재 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」) 개정으로 법적 근거를 마련하였고, 그 목적은 “도시의 무질서한 확산을 방지하고 도시 주변의 자연환경을 보전하여 도시민의 건전한 생활환경을 확보”하는 것이다(국가법령정보센터, 2025a). 개발제한구역의 지정은 1971부터 1977년까지 14개 도시권을 중심으로 총 8차례 시행되었고, 총 5,397 km²(우리나라 전체 국토 면적의 약 5.4%)의 면적이 지정되었다(Kim et al., 2020). 그러나 주민들의 잦은 민원 등으로 1,616km²의 면적을 지정 해제하여 현재는 3,781km²이다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2024).

개발제한구역의 지정은 제도 설계상의 한계로, 지정 당시 이미 훼손되었거나 시가화된 지역까지 포함되었다. 경계 설정이 현실을 충분히 반영하지 못하면서 불법 건축물과 훼손지가 포함되어 관리상의 문제점이 발생하였다(Ministry of Construction and Transportation, 1999). 이 문제는 지정 이후 개발제한구역의 해제나 관

리 방안 논의에서 구조적 한계로 지적되었다. 또한, 개발제한구역 내에서는 훼손지를 복원하는 행위도 제약이 있었다. 법령상 원칙적으로 개발행위가 금지되어 있어, 훼손된 토지를 복구하거나 환경을 개선하는 적극적 조치가 어려웠다(Byeon, 2000; Kim et al., 2021). 이러한 제도적 공백으로 개발제한구역 내의 훼손지는 장기간 방치되거나 비정상적 용도로 사용되는 문제가 지속되었다.

국외에서는 개발제한구역에서 대기 오염 내성 지수를 활용한 식물 종 선정(Anake et al., 2022), 개발제한구역의 20년간 미래 시나리오 탐색(Kirby et al., 2025), 자연기반해법 측면의 생태환경 질과 기능 회복 효과 평가(Zhang et al., 2024) 등의 연구가 진행되었다. 국내에서는 경작이 중단된 목논의 복원 잠재성 및 가치 평가(Kim et al., 2011), 개발제한구역의 문제점 파악 및 개선 방안(Sung et al., 2020), 토지이용과 생태적 연결성 변화 분석을 통한 복원 우선순위 도출(Lee, 2024) 등의 연구가 진행되었다. 그러나 특정 훼손지를 대상으로 교란의 시기, 유형, 강도, 훼손 후 이용과 회복 과정을 시계열로 분석하고 이를 기반으로 복원 방향을 제시한 사례 연구는 거의 없다.

이 연구의 목적은 인천 부평 개발제한구역 내 토석채취사업으로 인한 훼손지와 그 주변 지역의 기초 분석을 실시하고, 토지이용 변화와 제도의 변화를 고찰하여 훼손 현황을 파악한 후 복원 방향을 제시하는 것이다.

II. 연구방법

1. 인천광역시 개발제한구역 현황

최초의 인천광역시 개발제한구역 지정 면적은 101.460km²이었으나(건설부 고시 제385호, 1972.8.25.), 1990년에 변경된 지정 면적은 80.575km²이었다(건설부 고시 제959호, 1990.12.28). 2025년 현재 인천광역시의 개발제한구역 지정 면적은 총 67.267km²(인천광역시 전체 면적의 약 6.3%)로, 최초 지정 면적 기준으로 약 33.7% 감소하였다(Figure 1). 이중 현재 부평구의 개발제한구역 지정 면적은 7.003km²이다. 그간 해제된 면적은 1990년 대비 13.308km²이고, 이중 인천광역시 해제

총량은 8.253km²이고 국가 해제 총량은 5.055km²를 사용하였다. 「2020년 수도권 광역도시계획」(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs et al., 2009)에 반영된 인천광역시의 해제 가능 총량은 9.096km²이었으나, 이중 8.253km²를 사용하여 현재 남아 있는 해제 가능 면적은 약 0.843km²이다(Incheon Metropolitan City Information Disclosure Portal, 2025).

2. 연구 대상지 현황

연구 대상지는 「건설부 고시 제956호」에 따라 1990년 12월 28일부터 개발제한구역으로 지정되었다. 2025년 기후에너지환경부와 국토교통부가 협업하여 진행하는 개발제한구역 내 자연환경복원사업의 두 번째 대상지이다(Figure 1). 대상지는 인천광역시 부평구 십정동 산 6-1번지에 위치하며, 총 면적은 약 33,109m²이다. 한남정맥 300m 이내에 위치하고(Figure 1, green line), 북쪽으로는 함봉산, 원적산, 장수산이, 남쪽으로는 만월산, 부개산, 만수산이 분포하고, 주변에는 백운공원, 십정공원 등 근린공원이 분포한다.

한남정맥은 산경표에서 규정한 1대간 1정간 13정맥 중의 하나이다. 인천광역시부터 김포시의 서북쪽 끝에 위치하는 문수산(376m)까지를 한강 줄기의 남쪽이란 뜻에서 한남정맥이라 부른다(Kang et al., 2015). 정맥은 야생동물의 주요 이동통로이자 서식지이며, 생물다양성 유지에 중요한 역할을 한다(Woo et al., 2019; Hwang et al., 2021).

3. 물리적 환경 분석

대상지의 물리적 환경으로 지형, 토양, 수계 특성을 분석하였다. 지형 분석은 고도, 경사, 사면향과, 대상지가 산림지역임을 고려하여 산사태 위험지도를 분석하였다. 분석에 활용한 자료는 국토지리정보원의 국토정보플랫폼에서 제공하는 1:5,000 수치지형도를 사용하였고(National Geographic Information Institute, 2025), 산림청 산림공간서비스에서 제공하는 산사태 위험지도를 활용하였다(Korea Forest Service, 2025). 토양 분석은 국립농업과학원 토양환경성지도를 활용하여, 표토 토성, 유효토심, 배수등급, 자갈 함량을 추출하였다(Rural Development Administration, 2025).

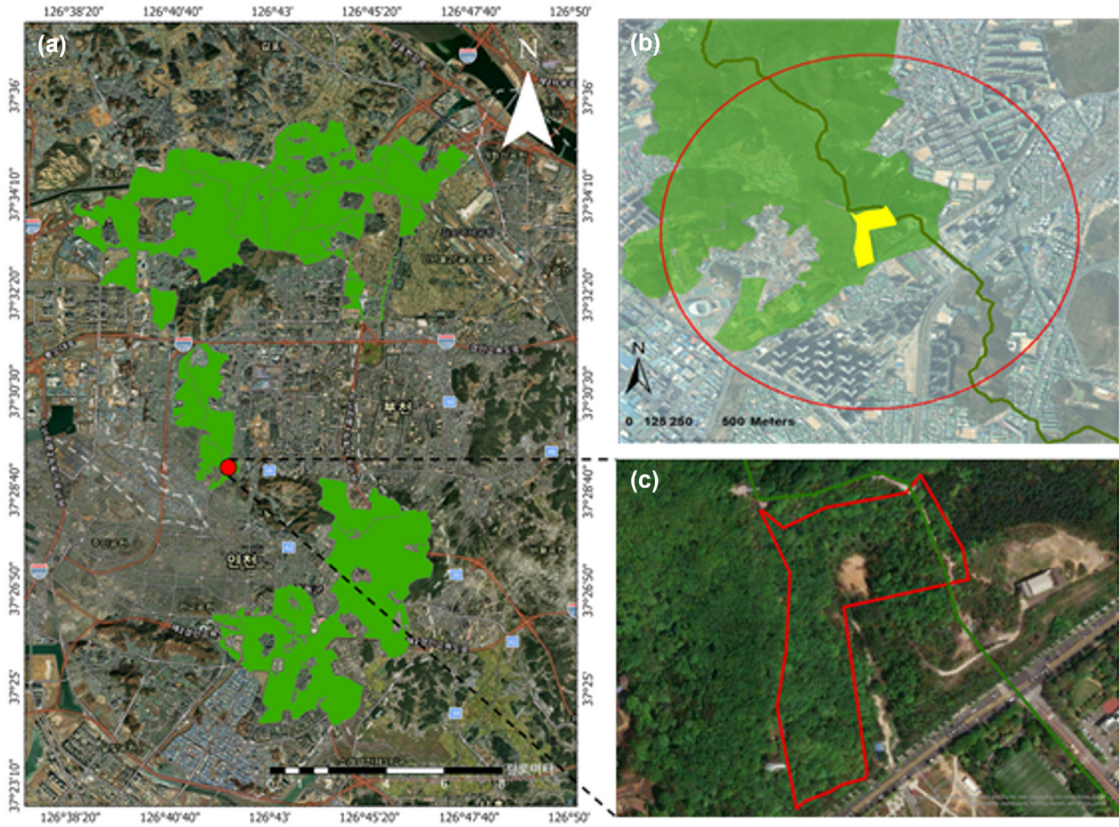


Figure 1. A Map showing the distribution of greenbelt zones and the study site in Incheon Metropolitan City. (a) Greenbelt zone in Incheon, (b) 500 m radius around the study area and the ecological axis (Jeongmaek), (c) Satellite image of the study area.

4. 현존식생도 작성

대상지의 식생 현황을 파악하기 위하여 현존식생도 (축척 1:5,000)는 제6차 전국자연환경조사 지침에 따라 작성하였다(National Institute of Ecology, 2023). 현장 조사는 2024년 6월 20일부터 21일, 2025년 10월 14일에 총 3회 수행하였다. 대상지 전체를 도보로 이동하며 식물군락의 경계가 변화하는 지점을 기준으로 식생 단위를 구분하여 우점종을 기록하였다. 모든 공간 분석은 ArcGIS Pro 2.8을 이용하여 수행하였다.

5. 토지이용 변화 분석

토지이용 변화는 기후에너지환경부에서 운영하는 환경공간정보서비스 홈페이지에서 제공하는 토지피복도를 분석하였다. 장기적 토지이용 변화 추세를 파악하기 위해 1980년대(1987년~1989년 촬영), 1990년대

(1997년~1999년 촬영), 2000년대(2008년~2010년 촬영), 2010년대(2018~2019 촬영), 2024년도의 대분류 토지피복도를 사용하였다. 다만, 2024년은 대분류 토지피복도가 제공되지 않아, 세분류 토지피복도의 대분류 코드 항목을 재분류하여 동일한 분류체계를 유지하였다. 모든 분석은 ArcGIS Pro의 Change Detection Tool을 사용하였다.

6. 교란 현황 및 주요 정책 변화 파악

대상지의 교란 원인, 시기, 유형과 생태계 회복 현황을 파악하기 위하여 1969년, 1971년, 1985년 1991년, 2000년, 2010년, 2024년도의 항공사진을 확인하였다. 해당 시기별 국가 정책의 변화도 함께 분석하였다. 항공사진은 국토지리정보원 국토정보플랫폼, 산림청 산림공간서비스, 인천광역시 지도포털을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 물리적 환경 특성

대상지의 물리적 환경인 고도, 경사, 사면향 및 수계 분석을 실시하였다. 고도 분석 결과, 최저 44.3m에서 최고 124.5m였고(평균 82.5m), 남에서 북으로 갈수록 고도가 증가하는 경향이였다. 경사도 분석 결과, 0-20° 구간이 4%, 20-40° 구간이 8%, 40-60° 구간이 82%, 60-80° 구간이 5%로 나타났다. 사면향 분석 결과, 동향이 전체 면적의 45%로 가장 높은 비율이었고, 그 다음으로 남동향 22%, 남향 15%, 남서향 14%, 서향 4% 순으로 나타났다. 수계 분석 결과, 대상지 내부에는 다수의 지류가 발달하고 있으며, 해당 지류는 대상지의 고도차에 따라 북쪽에서 남쪽 방향으로 흐른다(Figure 2-a~d).

토석채취사업 55개소를 분석한 Park et al.(2016)에 따르면, 고도는 101~200m와 201~300m의 비율이 각각 29.1%(16개소)로 가장 높았고, 100m 이하는 23.6%(16개소)였다. 경사도는 11~20°의 비율이 가장 높게 나타났으나, 본 연구 대상지는 40-60° 구간이 82%로 가장 높게 나타나 큰 차이를 나타내었다. 본 연구 대상지 자체의 경사도는 높지만 도로와 가까워, Park et al.(2016)이 제시한 수송거리에 따른 운송비 절약을 위해 대부분 완만한 경사지에서 이루어진다는 의견과는 일치하지 않았다.

토석채취사업은 지형 변화가 매우 크고, 사업이 종료된 후 원형 복원은 구조적 및 기능적으로 어렵다(Milgrom, 2008). 이러한 지역은 강우 시 불안정한 지반으로 토양 침식과 산사태를 유발한다(Li et al., 2022). 산림청에서는 2006년도부터 산사태 위험지도를 제공하는데(Korea Policy Briefing, 2006), 연구 대상지에서 산사태 위험등급Ⅲ등급의 면적은 3,778m²로 전체 면적의 11.2%로 나타났다(Figure 2-e). 토석채취사업 후 사면의 완경사 처리를 하지 않은 북측과 서측의 급경사 절토 사면이 분포하는 지역을 중심으로 산사태 위험등급Ⅰ등급이 나타났다. Park et al. (2016)와 Kim(2021)의 연구에서는 산사태 위험등급Ⅰ등급의 비율을 각각 49.1%와 56%로 보고하여, 본 연구 대상지의 비율보다 높게 나타났다. 다른 연구에서는 토석채취사업 지역만을 연구 대상으로 분석하여 토석채취 후 사면의 경사도가 높

게 나타난 것으로 판단되며, 본 연구 대상지는 토석채취사업과 주변의 온전한 산림지역을 포함하여 분석하여 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단된다. 한편, 본 대상지의 산사태 위험등급Ⅰ등급 주변은 산사태 위험성이 높으므로, 지역 주민들이 이용하기에 적합하지 않은 상태로 판단된다. 향후 주민 이용 시 안전 측면을 고려하여 사면을 안정화하고, 강우 시 침식과 토사 유출에 대한 관리 방안 마련이 필요하다.

토양의 물리적 특성은 Figure 3에 제시하였다. 표토 토성은 모두 양토였으며, 표토의 자갈 함량은 없는 것으로 확인되었다. 배수등급은 ‘매우양호’가 약 99%, ‘양호’가 1%로 확인되어, 전반적으로 배수가 원활한 조건을 보였다(Figure 3). 대상지는 배수가 양호하고 자갈 함량이 낮은 토양이 우세하여, 훼손지 이외의 지역은 식생 정착을 위한 기초 토양 조건이 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

2. 대상지 식생 분포 현황

현존식생도 작성 결과, 대상지는 크게 산림인 자연림과 식재림, 그리고 나지로 구분되었다(Figure 4). 자연림인 신갈나무군락(54%)은 서측과 남측 사면에 연속적으로 분포하고 인접한 산림과 연결되어 있다. 북측 상부와 동측 사면에는 리기다소나무-신갈나무식재림(6%), 리기다소나무-아까시나무식재림(15%), 리기다소나무식재림(9%), 잣나무식재림(5%)이 모자이크 형태로 분포하여 훼손지에 인공 조림이 시행되었음을 시사한다. 남측 일부에는 아까시나무-은사시나무식재림(6%)과 아까시나무식재림(3%)이 분포한다. 중앙부 훼손지는 2024년까지 족구장으로 이용하였으나, 2025년 산림 토양을 복토한 후 잣나무 묘목을 식재하였다. 토석 채취 후의 급경사지 사면에는 등식재림(2%)이 분포한다. 토석 채취 후 인공조림으로 형성된 식생 패턴이 현존식생도에 뚜렷이 나타나며, 리기다소나무식재림의 일부는 신갈나무군락의 비율이 높아져 리기다소나무-신갈나무식재림으로 천이가 진행되고 있는 것을 알 수 있다.

3. 토지이용 변화

대상지의 토지피복이 1980년대부터 2024년까지 어

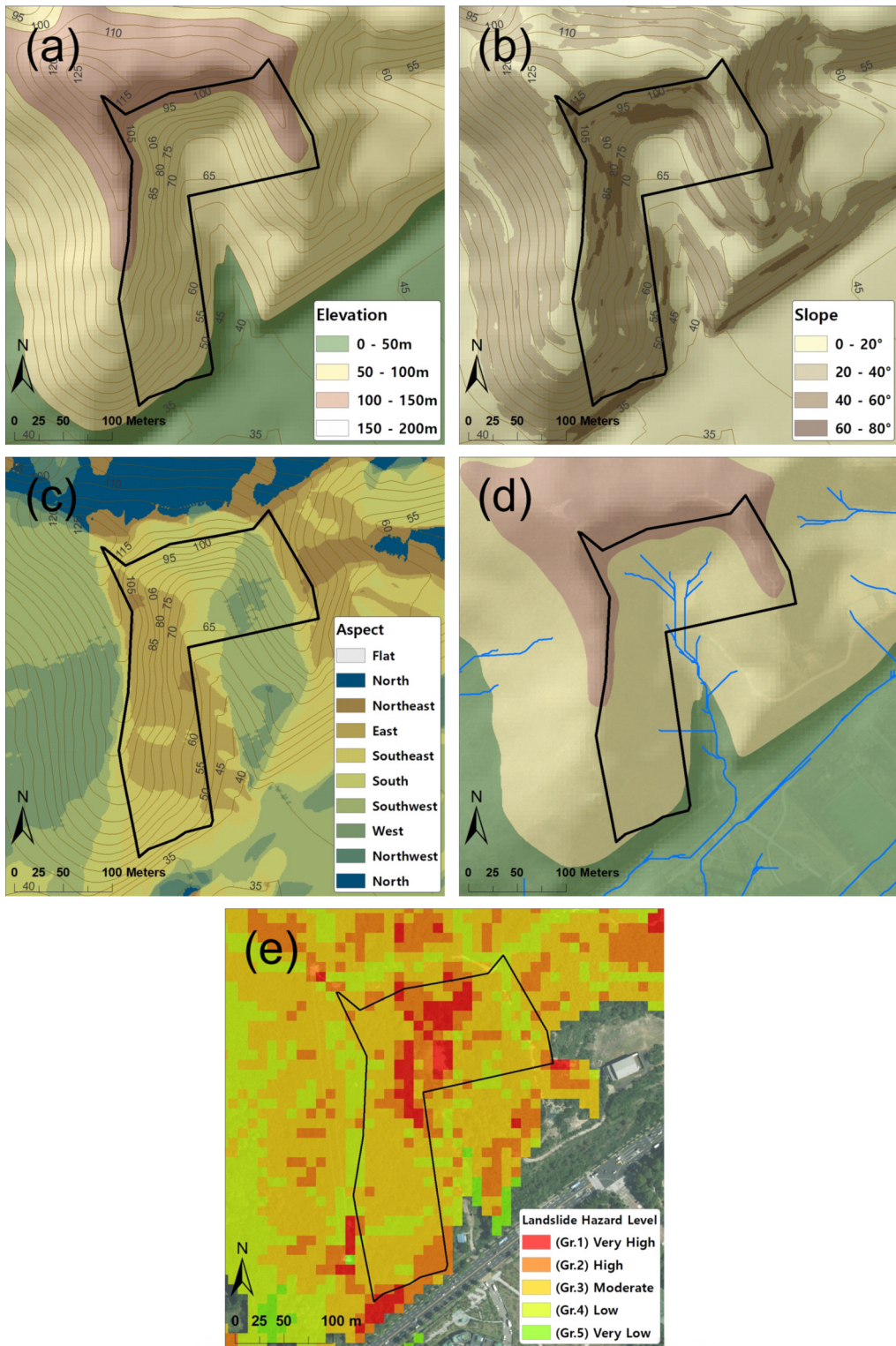


Figure 2. Topographic maps of the study area: (a) elevation, (b) slope, (c) aspect, (d) drainage system, and (e) landslide hazard map.

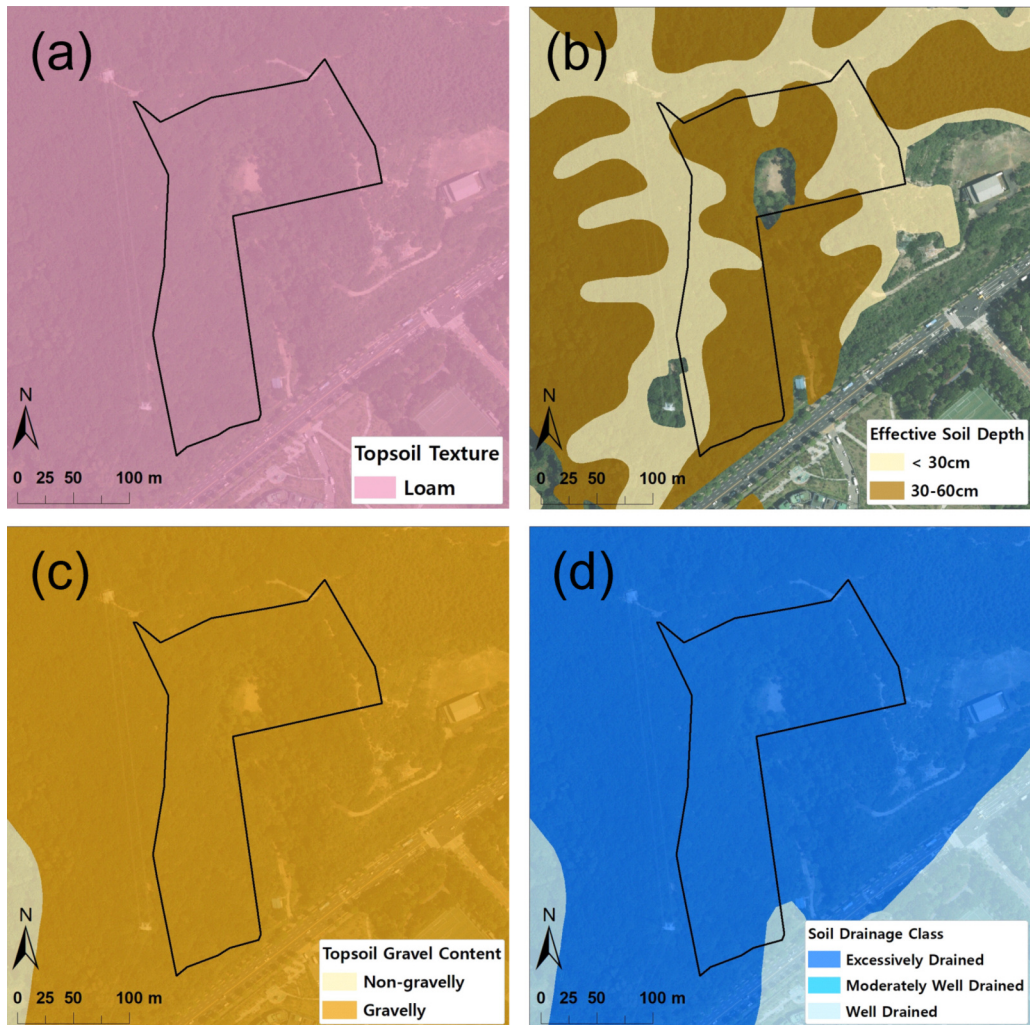


Figure 3. Physical soil properties of the study area: (a) topsoil texture, (b) effective soil depth, (c) topsoil gravel content, and (d) soil drainage class.

땡게 변화되었는지 분석하였다(Figure 5, Table 1). 각 시기별 산림, 초지, 농경지, 시가화 지역, 나지 면적의 총합은 일정하게 유지되지만, 굵기로 표현된 흐름의 방향과 폭을 통해 토지피복 유형 사이의 전환 규모를 확인할 수 있다. 1980년대에는 산림 면적이 20,849m²로 우세하였고, 농경지는 8,343m², 초지는 4,111m², 시가화지역은 918m²이었다. 이 시기의 농경지와 시가화 지역은 1990년대와 2000년대 사이에 산림으로 전환되면서 산림 면적이 29,604m²에서 32,265m²로 증가한 반면, 농경지는 790m²에서 96m²으로 급격히 감소하였고, 시가화 지역은 219m²였으나 면적이 0m²으로 비산

림에서 산림으로의 전환이 우세하였다. 산림 면적은 2000년대와 2010년대 사이에 32,251m²로 다소 감소하였다가, 2020년에 32,290m²으로 증가하였다. 한편 초지는 2000년대에 1,860m²에서 2010년과 2020년에 각각 1,874m²와 1,931m²로 조금 증가하였다가, 2024년에는 1,054m²로 감소하였다. 2020년 이후 산림 면적은 32,290m²에서 32,215m²로 약간 감소하였고, 이와 동시에 초지와 산림의 일부가 새로운 토지피복 유형인 나지로 전환되었으며 그 면적은 881m²이었다. 이때 죽구장을 설치한 것으로 판단된다.

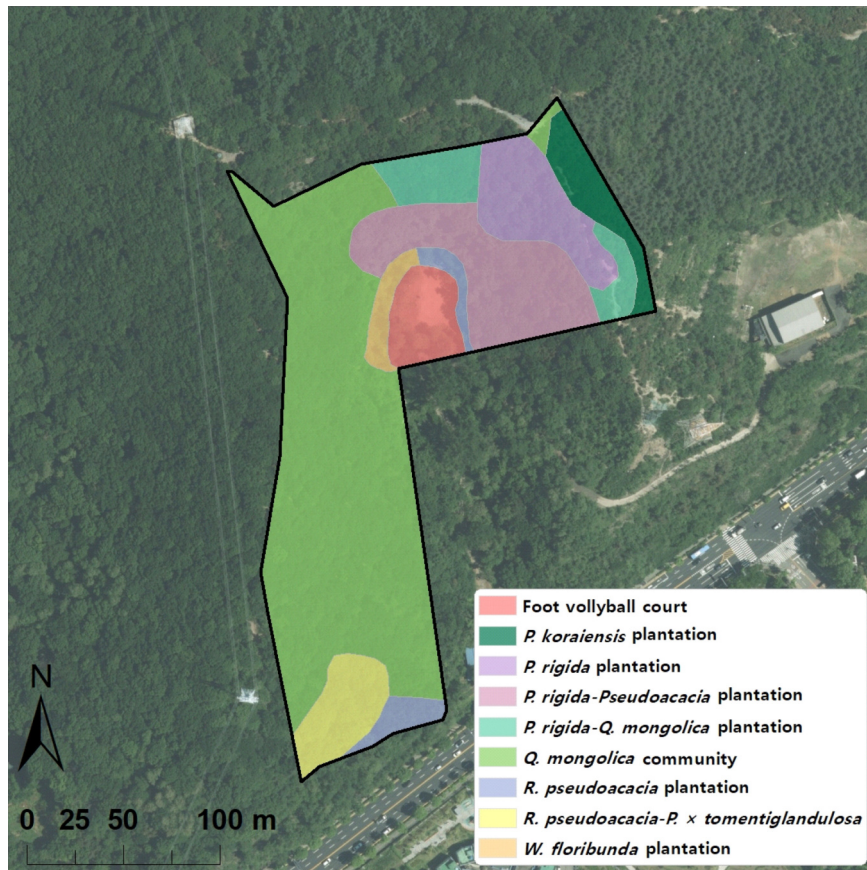


Figure 4. Physiognomic vegetation map of the Bupyeong greenbelt study site in Incheon.

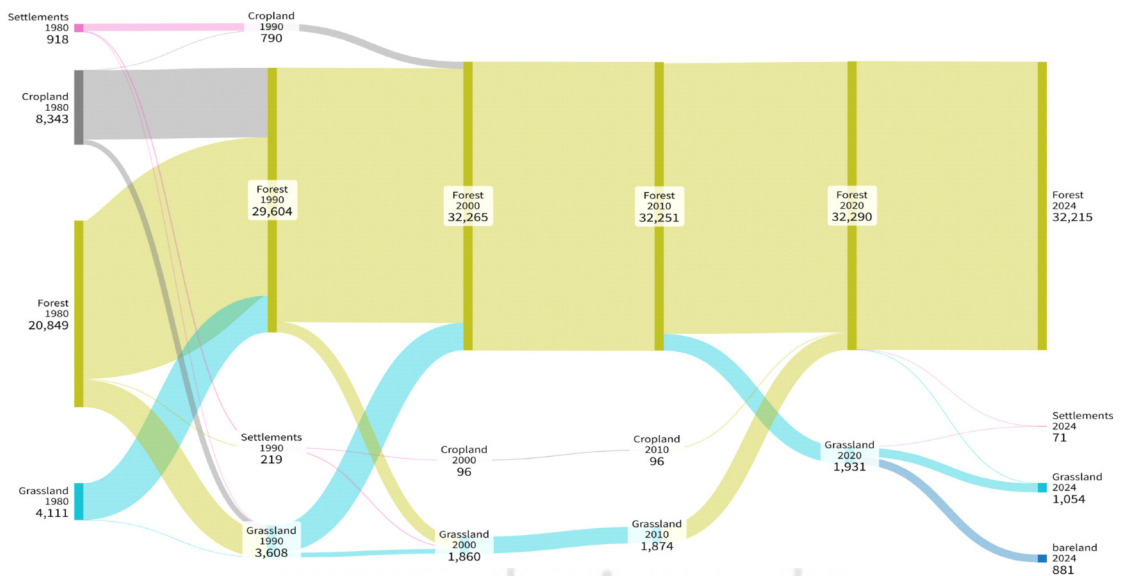


Figure 5. Land-cover transitions among forest, grassland, agricultural land, urban areas, and barren land in the Bupyeong greenbelt between the 1980s and 2024.

Table 1. Temporal changes in land-use area within the Bupyeong greenbelt from the 1980s to 2024.

Land use	1980's (m ²)	1990's (m ²)	2000's (m ²)	2010's (m ²)	2020 (m ²)	2024 (m ²)
Grassland	4,111	3,608	1,860	1,874	1,931	1,054
Forest	20,849	29,604	32,265	32,251	32,290	32,215
Crop land	8,343	790	96	96	-	-
Sattlements	918	219	-	-	-	71
Bare land	-	-	-	-	-	881

4. 대상지의 교란과 주요 정책 변화

항공사진의 시계열을 시각적으로 판독한 결과, 대상지에서 세 단계의 변화를 확인하였다(Figure 6). 첫 번째는 교란 이전 단계이다(1969년). 대부분 산림으로 이루어져 있으며, 동측으로 현재에도 있는 등산로가 확인되었다. 두 번째는 교란이 발생하여 확장되는 단계이다(1971년~1991년). 1971년도의 항공사진에서 토석채취사업의 전형적인 지형 형태가 나타났다. 현장 조사 시에도 대상지의 서측과 북측의 매우 가파른 절토사면을 확인한 후, 교란 유형은 토석채취사업으로 인한 훼손임을 확인하였다. 토석채취사업은 1969년도에 1971년도 사이에 실시한 것으로 추측되며, 이에 따라 교란 기간은 약 55년이 된다. 남측에는 토석채취를 위한 진입도로의 개설이, 동측에는 산림 훼손이 확인되었다. 토석채취가 완료된 후 지표면 침식, 미세 광물질 입자에 의한 수질오염, 비산 먼지의 발생 등을 최소화하기 위하여 신속한 식생복구가 필수적이나(Kim et al., 2024), 최근까지 방치된 것으로 판단된다. 1990년도 항공사진에서는 토석채취사업 평탄면을 이용하는 흔적이 확인되었다. 세 번째는 부분적으로 조림 후 회복되는 단계이다(2000년~2024년).

이러한 변화의 배경에는 정책의 변화가 있다. 1970년대에는 부평국가산업단지의 조성이 이루어지면서 대상지 인근에 공장들이 들어서고 인구가 증가하기 시작하였다. 이에 따라 정부는 기존의 농지, 염전, 갯벌 지역을 매입하여 공장, 편의시설, 도로 등 다양한 개발 활동에 활용하였다(Bupyeongsa Compilation Committee, 2021). 토석채취사업은 이러한 산업정책의 변화와 관련이 있는 것으로 판단된다. 개발사업의 특성상 기반 조성 시 강도를 보강하는 경우 대량의 흙이 필요했으므로 추측된다. 한편으로는 산업화로 인해 농촌에

서 도시로 대규모 이동이 일어나고, 이에 따른 도시의 팽창을 방지하기 위해 1971년에 개발제한구역이 지정되는 정책적 변화가 있었다. 그럼에도 불구하고 1980년대와 1990년대에도 산업화 및 도시화로 인해 인천직할시가 인천광역시로 승격되는 등 도시가 확장됨에 따라 1990년대에는 개발제한구역의 면적이 축소되었다. 한편 도시 주변의 녹지와 자연환경 보전 정책을 강화하여, 이 시기 항공사진에서 개발로 인해 훼손된 일부 지역에 녹지를 조성한 흔적이 확인되었다. 2000년대 이후에는 개발제한구역의 실효성 논의를 바탕으로 해제 가능 총량이 배정되었으며, 개발제한구역이 도시생태축의 핵심 요소가 되었다. 최근에는 개발제한구역의 정맥에 위치한 훼손지의 복원 정책이 본격화되었다(Figure 6).

생태복원은 시간의 흐름에 따라 발생하는 물리적 과정과 생물 간 상호작용을 통해 자연이 스스로 회복할 수 있도록 도와주는 과정이다(Gann et al., 2019). 생태계의 회복을 돕기 위해서는 먼저 교란의 원인, 시기, 정도, 기간을 파악하는 것이 중요하다(Atkinson et al., 2022; Cowan et al., 2021). 이것은 복원 방향을 설정하고, 복원의 수준을 결정하며, 구체적 복원 방안을 제시하는데 기초 자료가 된다. 특히 교란의 강도가 높고, 교란된 기간이 길수록 원래 상태로의 온전한 복원은 어려울 수 있다(Martínez-Ramos et al., 2016). 교란의 정도가 경미하고 지속 기간이 짧은 지역은 자연복원을 통한 회복 가능성이 높지만, 장기간에 걸친 심각한 훼손지는 적극적 복원을 통해 토양 개량, 식생 도입 등의 조치가 필요하다. 따라서 훼손지의 진단평가는 복원 대상지의 시간적 이력과 공간적 맥락을 통합적으로 이해하는 데 필수적이다(Cowan et al., 2021). 특히 토석채취사업은 넓은 면적의 지형이 변형되고, 무분별한 산림 훼손으

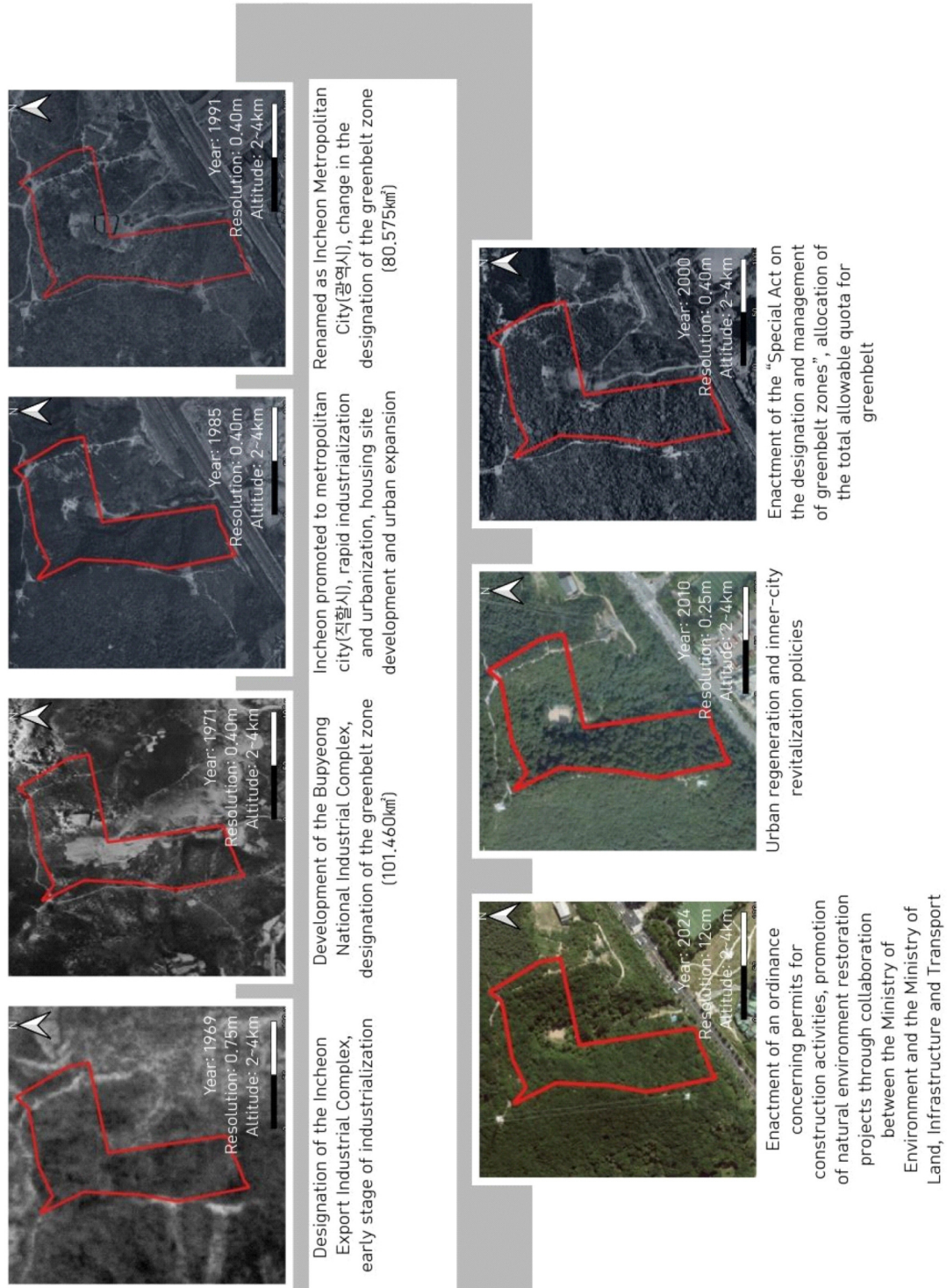


Figure 6. Multi-decadal aerial photograph timeline (1969–2024) of the quarry-disturbed site within the Bupyeong Greenbelt, Incheon.

로 생태계 기능이 상실되며, 토양도 훼손된다(Cho et al., 2021; Park et al., 2016; Spasić et al., 2021). 본 연구 대상지는 토석채취사업 후 교란의 강도가 높고, 55년 동안 방치되었다. 토양 특성에 기반한 식생 복원이 필요하며(Kim et al., 2024), 생물다양성 증진과 생태계서비스의 중요성이 강조되고 있는 상황을 고려하여(Salgueiro et al., 2020), 복원 계획을 수립할 필요가 있다.

대상지의 유형은 항공사진 시계열 분석과 현존식생도를 바탕으로 크게 세 가지로 구분할 수 있다(Figure 6, Photo 1). 첫 번째는 서측의 온전한 산림지역이다. 이 지역은 신갈나무군락이 우점하고, 약 55년 동안 큰 교란이 발생하지 않은 것으로 판단된다. 복원 방향과 복원 계획을 수립할 때와 복원 후 효과 평가의 기준이 될 수 있는 참조생태계의 역할을 할 수 있을 것이다(Toma et al., 2023). 두 번째는 가운데의 훼손지이다. 이 지역은 토석채취사업 후 방치되다가 최근 족구장으로 이용되며 약 55년 동안 강한 교란을 받은 지역이다. 2025년 산림의 심토로 복토한 후 잣나무를 식재하였다. 이 지역은 복원 방향에 따라 복원의 수준을 결정한 후, 토양 개량과 식물 식재 등 적극적 복원이 필요하다고 판단된다. 세 번째는 동측의 식재림 지역이다. 이 지역은 1971년도 항공사진에서 교란에 의해 훼손된 것이 확인되며(Figure 6), 이후 리기다소나무, 아까시나무, 잣나무를 식재하여 복구한 것으로 추측된다. 현재는 리기다소나무가 쇠퇴하고 신갈나무가 차지하는 비율이 높아지고 있으며, 고사로 인한 숲틈이 관찰된다. 숲틈이 발생한 곳에 식물을 보식하여 빠른 재생을 도울 수 있는 소극적 복원이 필요하다고 판단된다. 이 논문에서는 항공사진 확인과 식생 조사만으로 이러한 제안을 하지만, 추후 구체적 복원 방안을 도출할 수 있도록 생태계 조사가 수반되어야 할 것이다.

IV. 결론

이 연구는 쿤밍-몬트리올 GBF의 실천목표 2에서 제시한 훼손된 육상 및 해양 생태계의 최소 30% 복원이라는 국제적 목표와 우리나라 개발제한구역 내 자연환경복원사업의 도입이라는 정책적 변화 속에서, 인천 부평 개발제한구역 내 토석채취사업으로 인한 훼손지

를 대상으로 복원 방향을 제안하고자 수행하였다. 이를 위하여 인천광역시 개발제한구역의 지정 및 해제 현황과 정책 변화를 정리하고, 토지피복도와 항공사진을 이용한 시계열 분석, 지형 및 산사태 위험도 분석, 현존 식생도 작성 등을 통해 대상지의 물리적·생태적 특성을 종합적으로 진단하였다.

연구 결과, 대상지가 개발제한구역으로 지정된 것은 1990년도이고, 토석채취사업은 1969년과 1971년 사이에 시행되었으니, 개발제한구역으로 지정되기 전에 이미 토석채취사업으로 인한 훼손이 발생한 것으로 추측된다. 이후 약 55년 동안 장기간의 강한 교란을 받아 왔다. 이 과정에서 산림은 감소하고 나지와 인공 식재림, 시가화 지역이 확대되는 토지이용 변화가 확인되었다. 특히 중앙부는 토석채취로 인한 급경사 인공 사면과 평탄부가 혼재하는 구조를 나타내었고, 산사태 위험등급 I·II등급이 광범위하게 분포하여 토사 유실과 안전사고 위험이 높은 것으로 나타났다. 현존식생도 분석 결과, 대상지는 서측의 온전한 신갈나무군락, 중앙부의 훼손지, 동측의 잣나무·리기다소나무 등 인공 식재림 등 세 가지 유형으로 구분되었다. 서측에 분포하는 자연림인 신갈나무군락은 훼손지 복원과 복원 후 효과 평가를 위한 기준이 되는 참조생태계로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 진단을 바탕으로, 대상지의 공간 유형별로 차별화된 복원 방향을 제안하였다. 서측 자연림은 이용을 최소화하고 보전할 필요가 있다. 산사태 위험 등급이 높은 훼손지 주변의 급경사면은 안정화조치가 필요하다. 중앙부 훼손지는 표토 및 유기물 함량 개선, 배수 체계 정비 등 물리적 복원과 더불어, 우수한 참조생태계의 종 조성과 구조를 반영한 자생종 위주의 적극적 복원이 요구된다. 동측 인공 식재림은 리기다소나무와 아까시나무의 수령이 오래되었고, 숲틈이 발생하거나 신갈나무로의 천이가 관찰되었다. 적극적 복원보다는 숲틈 발생지에 식물 보식하는 등 소극적 복원이 필요하다. 이러한 차별화된 복원 방향은 보전 가치가 높은 백두대간 및 정맥 300 m 이내 훼손지를 체계적으로 복원하는 것을 목표로 하는 국가 차원의 정책에 기여할 수 있을 것이다. 개발제한구역 내 복원사업이 기존의 복원사업처럼 단순한 경관 미화나 단기 공사 위

주의 사후 복구가 아닌, 훼손 시점과 유형, 교란의 강도 등을 종합적으로 고려하여 생태계의 구조와 기능을 체계적으로 복원하는 방향으로 전환될 필요가 있다.

한편 이 연구는 규모가 작은 단일 대상지에 대한 사례 연구로서, 토지피복도와 항공사진 및 제한된 현장 조사에 근거하여 진단을 수행했다는 한계가 있다. 토양 물리·화학적 특성, 야생 동식물 서식 현황, 식생 구조와 종조성, 탄소 저장 및 흡수와 같은 생태계의 구조적 및 기능적 측면을 충분히 다루지 못하였다. 향후 연구에서는 토양, 식생, 동식물을 포괄하는 생태계 조사와 모니터링을 통해 복원 전·후의 생태계 구조와 기능 변화를 정량화하고, 탄소 저장 및 흡수량 산정을 통해 복원에 따른 탄소 저감 효과를 평가할 필요가 있다. 나아가 이 연구의 진단 및 복원 방안을 개발제한구역 내 다른 유형의 훼손지에 적용하거나 복원 가이드라인 수립 시 유용한 근거를 제공할 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 국립생태원(NIE-B-2025-05)의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- Anake, W. U., Bayode, F. O., Jonathan, H. O., Omonhinmin, C. A., Odetunmibi, O. A., & Anake, T. A. (2022). Screening of plant species response and performance for green belt development: Implications for semi-urban ecosystem restoration. *Sustainability*, 14(7), 3968. <https://doi.org/10.3390/su14073968>
- Atkinson, J., Brudvig, L. A., Mallen-Cooper, M., Nakagawa, S., Moles, A. T., & Bonser, S. P. (2022). Terrestrial ecosystem restoration increases biodiversity and reduces its variability, but not to reference levels: A global meta-analysis. *Ecology Letters*, 25(7), 1725-1737. <https://doi.org/10.1111/ele.14025>
- 부평사편찬위원회. (2021). 부평의 산업과 사회: 부평, 도시가 되다(부평사, 제3-1권); 부평의 산업과 사회: 군사도시에서 산업도시로(부평사, 제3-2권). 인천광역시: 부평사편찬위원회.
- Bupyeongsa Compilation Committee. (2021). The industry and society of Bupyeong: Bupyeong becomes a city (Bupyeongsa, Vol. 3-1); The industry and society of Bupyeong: From military city to industrial city (Bupyeongsa, Vol. 3-2). Bupyeongsa Compilation Committee.
- 변병설. (2000). 개발제한구역의 친환경적 관리방안. 환경친화적 토지이용체계 구축방안 연구(pp. 181-200). 환경부.
- Byeon, B. S. (2000). Environment-friendly management measures for development-restricted zones (greenbelts). In Research report of the Ministry of Environment (pp. 181-200). Ministry of Environment.
- Convention on Biological Diversity. (2022). Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity: Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (GBF).
- 차재규, 정응호, 류지원, 김대욱. (2007). 도시열섬현상 완화를 위한 녹지네트워크 및 바람길 구축. 한국지리정보학회지, 10(1), 102-112.
- Cha, J.G., Jung, E.H., Ryu, J.W., & Kim, D.-W. (2007). Establishment of green network and wind corridors to mitigate the urban heat island phenomenon. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 10(1), 102-112.
- 조승연, 임길재, 이진영, 지상우. (2021). 국내외 사례 분석을 통한 폐석산 부지 활용방안에 대한 고찰. 한국자원공학회지, 58(3), 237-248.
- Cho, S. Y., Yim, G. J., Lee, J. Y., & Ji, S. W. (2021). A review of the regeneration models using a closed stone quarry area through domestic and overseas cases. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 58(3), 237-248.
- 김민수, 백경원, 김춘식. (2024). 통영시 토석 채취 복구지와 인접 산림의 토양 물리·화학적 특성. 농업생명과학연구, 58(1), 31-37.

- Kim, M. S., Baek, G. W., & Kim, C. S. (2024). Soil physical and chemical properties of quarry restoration area and adjacent forests in Tongyeong-si. *Journal of Agriculture & Life Science*, 58(1), 31-37.
- Cowan, E. L., Standish, R. J., Miller, B. P., Enright, N. J., & Fontaine, J. B. (2021). A framework for measuring the effects of disturbance in restoration projects. *Restoration Ecology*, 29(4), e13379. <https://doi.org/10.1111/rec.13379>
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration (Second Edition). *Restoration Ecology*, 27(S1), S1-S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- 황종경, 강태한, 한승우, 조해진, 남형규, 김수진, 이준우. (2021). 자기조직화지도를 활용한 정맥의 서식지 환경에 따른 조류 군집 특성 파악: 금남호남 및 호남정맥, 한남금북 및 금북정맥, 낙남정맥을 대상으로. *한국환경생태학회지*, 35(4), 377-386.
- Hwang, J. K., Kang, T. H., Han, S. W., Cho, H. J., Nam, H. K., Kim, S. J., & Lee, J. W. (2021). Identification of bird community characteristics by habitat environment of Jeongmaek using self-organizing map: Case study area Geumnamhonam and Honam, Hannamgeumbuk and Geumbuk, Naknam Jeongmaek, South Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 35(4), 377-386.
- 강기래, 김동필, 조우. (2015). 가상가치평가법(CVM)을 이용한 한남정맥의 환경적 가치 추정연구. *도시연구*, 10, 9-30.
- Kang, K. R., Kim, D. P., & Cho, W. (2015). The estimation research of the environmental value of Hannam Jeongmaek using CVM. *Korean Journal of Urban Studies*, 10, 9-30.
- 김동근, 임홍상, 한병홍, 안정근. (2020). 개발제한구역 훼손지 정비사업제도의 개선방안. *주거환경*, 18(3), 83-95.
- Kim, D. G., Lim, H. S., Han, B. H., & An, J. G. (2020). Improvement plan of restoration project system for damaged areas in greenbelt zones. *Journal of Housing Environment*, 18(3), 83-95. <https://doi.org/10.22313/reik.2020.18.3.83>
- 김한준, 이경재, 한봉호, 최진우, 심정근. (2011). 서울시 개발제한구역 내 택지개발이 습지 잠재성에 미치는 영향 연구. *한국환경생태학회 학술발표논문집*, 150-154.
- Kim, H. J., Lee, K. J., Han, B. H., Choi, J. W., & Shim, J. G. (2011). The impact of residential land development on wetland potential in greenbelt areas in Seoul. *Proceedings of the Korean Society of Environmental Ecology*, 150-154.
- 김중은, 배유진, 윤은주, 이우민. (2021). 개발제한구역 훼손지 복구제도 개선방안. *국토정책 Brief*, 834, 1-8.
- Kim, J. E., Bae, Y. J., Yun, E. J., & Lee, W. M. (2021). Improvement plan for the restoration of degraded sites in the greenbelt zones. *KRIHS Policy Brief*, 834, 1-8.
- 김정구. (2021). 석산개발지역 퇴적장 비탈면의 식생침입 및 사면안정에 관한 연구. 석사학위논문, 경상대학교 대학원.
- Kim, J. G. (2021). *Vegetation invasion and slope stability of masonry retaining walls in quarry area* (Master's thesis). Gyeongsang National University.
- Kirby, M. G., Scott, A. J., & Walsh, C. L. (2025). A greener Green Belt? Co-developing exploratory scenarios for contentious peri-urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 255, 105268. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105268>
- 이길상. (2024). 개발제한구역 훼손지 탐색 및 생태적 연결성을 고려한 자연환경복원 우선순위 평가. 석사학위논문, 서울대학교 대학원.
- Lee, G. S. (2024). *Evaluation of priority for ecological restoration considering ecological connectivity in*

- damaged greenbelt areas* (Master's thesis). Seoul National University.
- 이세원. (2022). 개발제한구역 모니터링체계 개선방안 연구. *지적과 국토정보*, 52(1), 17-36.
- Lee, S. W. (2022). A study on the improvement of monitoring system for greenbelt areas. *Cadastre and Land Information*, 52(1), 17-36. <https://doi.org/10.22640/lxsiri.2022.52.1.17>
- Li, X., Qin, Z., Tian, Y., Zhang, H., Zhao, H., Shen, J., Shao, W., Jiang, G., Guo, X., & Zhang, J. (2022). Study on stability and ecological restoration of soil-covered rocky slope of an abandoned mine on an island in rainy regions. *Sustainability*, 14(20), 12959. <https://doi.org/10.3390/su142012959>
- Martínez-Ramos, M., Pingarroni, A., Rodríguez-Velázquez, J., Toledo-Chelala, L., Zermeño-Hernández, I., & Bongers, F. (2016). Natural forest regeneration and ecological restoration in human-modified tropical landscapes. *Biotropica*, 48(6), 745-757.
- Milgrom, T. (2008). Environmental aspects of rehabilitating abandoned quarries: Israel as a case study. *Landscape and Urban Planning*, 87(3), 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.06.007>
- 건설교통부. (1999). 개발제한구역(그린벨트) 제도 개선 방안. 개발제한구역 정책보고서. 서울특별시: 건설교통부.
- Ministry of Construction and Transportation. (1999). Improvement plan for the development-restricted zone (greenbelt) system: Policy report on development-restricted zones. Ministry of Construction and Transportation.
- 국토해양부, 서울특별시, 인천광역시, 경기도. (2009). 2020 수도권 광역도시계획(변경). 169쪽.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Seoul Metropolitan City, Incheon Metropolitan City, & Gyeonggi Province. (2009). 2020 Metropolitan City-Region Plan for the Seoul Metropolitan Area (Revised). (169 p.).
- 국립생태원. (2023). 제6차 전국자연환경조사 지침서. 450쪽.
- National Institute of Ecology. (2023). Guidelines for the 6th National Natural Environment Survey. (450 p.).
- 박재현, 김기대, 강민정. (2016). 국내 토석사업장의 토석채취 및 복구특성 분석. *한국산림과학회지*, 105(2), 223-230.
- Park, J. H., Kim, K. D., & Kang, M. J. (2016). Analysis of quarrying and restoration characteristics on quarry in Korea. *Journal of Forest Society*, 105(2), 223-230.
- Salgueiro, P. A., Prach, K., Branquinho, C., & Mira, A. (2020). Enhancing biodiversity and ecosystem services in quarry restoration—challenges, strategies, and practice. *Restoration Ecology*, 28(3), 655-660. <https://doi.org/10.1111/rec.13160>
- Spasić, M., Borůvka, L., Vacek, O., Drábek, O., & Tejnecký, V. (2021). Pedogenesis problems on reclaimed coal mining sites. *Soil and Water Research*, 16(3), 137-150. <https://doi.org/10.17221/163/2020-SWR>
- 성현찬, 전성우, 이은정. (2020). 개발제한구역관리계획의 환경성 강화방안 연구: 수도권 개발제한구역관리계획을 대상으로. *한국환경복원기술학회지*, 23(6), 1-14.
- Sung, H. C., Jeon, S. U., & Lee, E. J. (2020). A study on the environmental enhancement of the development restricted zone (DRZ) management plan. *Journal of the Korean Society for Environmental Restoration and Technology*, 23(6), 1-14. <https://doi.org/10.13087/kosert.2020.23.6.131>
- Toma, T. S. P., Overbeck, G. E., de Souza Mendonça, M., & Fernandes, G. W. (2023). Optimal references for ecological restoration: The need to protect references in the tropics. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 21(1), 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.01.003>
- 우동걸, 서현진, 박태진, 송의근, 김경민, 최태영. (2019). 야생동물 이용빈도 및 종다양도를 활용한 생태통로 효율성 평가. *환경영향평가* 28(6): 525-535.

- Woo, D., Seo, H. J., Park, T., Song, E. G., Kim, K., & Choi, T. Y. (2019). Evaluation of wildlife crossings effectiveness on use frequency and diversity indicators of wildlife. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 28(6), 525-535.
- Zhang, H., Zhou, Q., Yang, J., & Xiang, H. (2024). Change and driving factors of eco-environmental quality in Beijing green belts: From the perspective of nature-based solutions. *Ecological Indicators*, 166, 112581. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112581>
- [Website]
- Incheon Metropolitan City Information Disclosure Portal. 2025. Status of Designation and Release of Greenbelt Areas <https://www.incheon.go.kr/open/OPEN010201/beffatInfoPublicDetail?bbsNo=3003979> (accessed 31 October 2025).
- Korea Forest Service. 2025. Forest Map Service. <https://map.forest.go.kr/forest/> (accessed 1 November 2025).
- Korea Policy Briefing. 2006. Landslide hazard area management system... built in 2005, public service since 2006. Ministry of Culture, Sports and Tourism, Republic of Korea. Available at: https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148716245&utm_source=chatgpt.com (accessed 3 November 2025).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport Press Release. 2023. "Joining Forces for the Systematic Environmental Restoration of Greenbelt Zones" September 4, 2023.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2024. Land use status. Available at: https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1003. (accessed 6 November 2025).
- National Geographic Information Institute. 2025. Cadastral Map Service. <https://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do?tabGb=total> (accessed 1 November 2025).
- National Law Information Center. 2025a. National Land Planning and Utilization Act. <https://www.law.go.kr/LSW/lsc.do?section=&menuId=1&subMenuId=15&tabMenuId=81&eventGubun=060101&query=%EA%B5%AD%ED%86%A0%EC%9D%98+%EA%B3%84%ED%9A%8D+%EB%B0%8F+%EC%9D%B4%EC%9A%A9%EC%97%90+%EA%B4%80%ED%95%9C+%EB%B2%95%EB%A5%A0#undefined>. (accessed 30 October 2025).
- National Law Information Center. 2025b. Enforcement Decree of the Natural Environment Conservation Act. <https://www.law.go.kr/LSW/lsc.do?section=&menuId=1&subMenuId=15&tabMenuId=81&eventGubun=060101&query=%EC%9E%90%EC%97%B0%ED%99%98%EA%B2%BD%EB%B3%B4%EC%A0%84%EB%B2%95+%EC%8B%9C%ED%96%89%EB%A0%B9#undefined> (accessed 30 October 2025).
- Rural Development Administration. 2025. Soil Information System. <https://soil.rda.go.kr/geoweb/soilmain.do> (accessed 1 November 2025).