

입지 환경 인자를 이용한 DMZ 남측 철책선 주변 훼손지 유형화

박기쁨¹⁾ · 김상준²⁾ · 이아영¹⁾ · 김동학¹⁾ · 유승봉¹⁾

¹⁾ 국립수목원 DMZ산림생물자원보전과 전문연구원 · ²⁾ 국립수목원 DMZ산림생물자원보전과 연구사

Classification of the Damaged Areas in the DMZ (Demilitarized zone) by Location Environments

Bak, Gi-Ppeum¹⁾ · Kim, Sang-Jun²⁾ · Lee, Ah-Young¹⁾ · Kim, Dong-Hak¹⁾ and Yu, Seung-Bong¹⁾

¹⁾ DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Researcher fellow,

²⁾ DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Researcher.

ABSTRACT

Restoration of DMZ has come up with the discussion on the peaceful use of the DMZ and the conservation plan of the army. In this study, we aim to identify soil characteristics of 108 sites to figure out environmental conditions around the iron fence of DMZ where vegetation has been removed repeatedly. Based on the soil characteristics and climate variables, hierarchy clustering was performed to categorize sites. As a result, we categorized 108 sites into 4 types: middle elevation region, lowland, East coast lowland, other areas. Group of 'other area' is only high in nutrient and clay proportion. Others are in igneous rock and metamorphic rocks with a high proportion of sand and lower nutrients than the optimum range of growth in Korean forest soil. The middle elevation region has a high altitude, low temperature. The east coast lowland has a high temperature in January and low precipitation. The lowland has a low altitude and high temperature. This category provides the environmental condition around the DMZ fence and can be used to select plants for restoration. The restoration project around the DMZ iron fence should satisfy the security of military plans, which means that functional restoration is prior to ecological restoration such as vegetation management under a power line. Additionally, improvement of soil quality and surface stability through restoration projects is required to enhance the resilience of the ecosystem in DMZ.

First author : Bak, Gi-Ppeum, DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Researcher fellow,
Tel : +82-33-480-3035, E-mail : gpbak@korea.kr

Corresponding author : Yu, Seung-Bong, DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum, Researcher fellow,
Tel : +82-33-480-3034, E-mail : seungbong@korea.kr

Received : 12 February, 2021. **Revised** : 25 April, 2021. **Accepted** : 16 April, 2021.

Keyword: Demilitarized zone; Restoration; Vegetation control; Degraded land classification; Clustering analysis

I. 서론

비무장지대(Demilitarized Zone; DMZ)는 군사분계선을 중심으로 남북으로 각각 2km 떨어진 거리 내에 있는 지역을 의미하며, 적대행위를 방지하는 완충 지역이다. 군사분계선은 정전협정문 제1조 2항에 따라 현재 경기도 파주시 장단면 정동리 임진강 하안에서부터 강원도 고성군 현내면 대강리에 이르는 경계선이며 1,292개 표식물이 설치되어 있다(Jeong, 2017). 광의적 의미에서 DMZ는 정전협정에 의해 설정된 DMZ 범위 외에 군사시설보호법에 따른 민간인 통제선 이북지역과 접경지역지원법에 의한 접경지역을 포함한다(Park et al., 2008).

DMZ가 설정된 초기에는 군사적 의미가 강했으나, 1990년대부터 통일, 관광, 개발, 관리방안, 생태·환경 등 다른 측면들이 주목받기 시작하였다(Jeong, 2019a). 생태계 보전 및 자연환경조사 연구들이 수행되었고(National Institute of Forest Science, 2004; Park et al., 2011), DMZ 개발에 관한 다양한 분야의 이해관계자들이 설정되었다(Son et al., 2011, Hyun et al., 2019). 그 중 DMZ의 생태적 가치를 바탕으로 생태관광과 녹색성장을 이룰 수 있는 DMZ생태평화공원(Ministry of Environment, 2009; Kim, 2019)에 대한 논의가 이어왔다. 한반도 신경제지도에서 제시된 DMZ 환경·관광벨트 역시 접경지역 경제벨트와 더불어 DMZ를 중심으로 남북 경제공동체를 실현하고 경제적 발전을 이룰 수 있는 근간이 되고 있다(Hong, 2012; Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019).

한편 국방과 안보를 우선시하는 군사적인 측면에서 보면 접경지역 개발과 보전 계획은 군사작전환경 조성에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다는 우려를 낳는다. Kang and Kwon (2002)은 접경지역 종합개발에 대한 당위성과 군사작전적 필

요성을 조화시켜야 하며, 군의 환경보전활동을 확대하여 보전·개발 계획에 대응할 수 있다고 제안하였다.

남측 철책선의 모든 군사활동은 직간접적으로 DMZ의 생태계에 영향을 미치기 마련이다. 특히 불모지 관리는 DMZ 보전 활동과 군사작전 수행이라는 두 이해관계가 상충하는 지점이다. 불모지란 경계작전 수행을 위해 시야를 가리는 모든 초목을 제거한 지역으로 철책선으로부터 북쪽으로 50~100m 거리 범위이다(Choi et al., 2020). 군에서는 재난방지 및 불모지 관리를 위해 DMZ 불모지 초지 조성계획을 수립하고, 최근 자생식물을 이용한 초지 조성을 추진하였다(Choi et al., 2020). 불모지 관리를 위한 무리한 식생 제거는 토양 유실 또는 산사태의 원인이 된다. 또한, 초지 조성을 위해 도입한 외래종이 생태계를 교란할 우려도 있다.

철책선 주변은 공간적으로 DMZ에 해당하지 않지만, DMZ 일원 보전·이용 지역에 대한 연구(Song et al., 2012)나 DMZ 훼손지 유형 구분(Sung et al., 2017)에서도 따로 분류되어 다뤄지지 않았다. 또한 불모지를 지속가능하게 관리하기 위해서 조사가 필요하지만 군의 여건상 민간 접근이 쉽지 않으므로, 직접적인 연구 대신 위성영상 등을 통한 간접적 방법의 연구가 선행되었다(Sung et al., 2016; Sung et al., 2017; Lee et al., 2020). Choi et al. (2020)은 불모지의 지속가능한 관리를 위해 식물상 조사와 식물 생육 특성을 토대로 초지 조성시 도입 가능한 자생식물 56종을 선정하였으나 주변 토양 및 기후에 관한 연구는 수행되지 않았다. 군사시설에서 복원용 소재 식물을 선택할 때, 소재 식물이 해당 지역에 최대한 활착할 수 있도록 생육 환경에 관한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 DMZ 남측 철책선을 중심으로 식생이 훼손된 지역의 토양 특성을 확인하고, 식생이 훼손되지

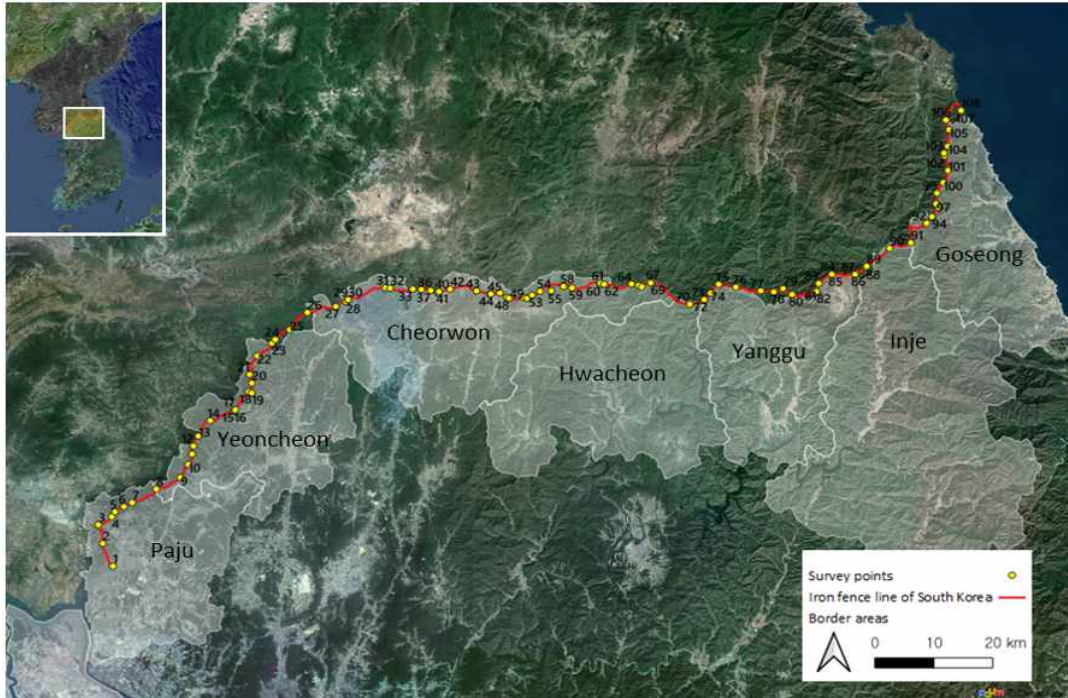


Figure 1. The survey points along with iron fences of South Korea

않은 일반 산림토양과 비교하였다. 그리고 토양 특성과 기후 데이터를 분석한 결과를 토대로 각 현장 조사 지점들을 유형화하여 DMZ 철책선의 식생훼손지가 분류되는 특성을 구명하고, 복원 계획 수립에 사용 가능한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지

DMZ의 남측 경계선인 남방한계선(South Limit Line; SLL)은 군사분계선(Military Demarcation Line; MDL)로부터 남측으로 2km 이격되어 평행하게 설정되었다. 이에 비해 실제 설치된 남측 철책선은 ‘일반전초 철책선’이라고 하여 남방한계선과 별개로 북한군 침투를 차단하고, 북쪽으로 이동을 제한하기 위해 설치된 장벽을 의미하며 남방한계선과 혼선을 빚고 있다(Jeong, 2019b). 남측 철책선 주변에는 경계, 감시 작전을 수행하

는 일반 전초를 비롯하여 작전로, 소초 등이 있으며, 특히 철책선을 기준으로 50~100m 구간은 적의 침투를 확인할 수 있도록 시야를 가리는 초목을 모두 제거하는 방식으로 관리되고 있다.

본 연구는 DMZ 남측 철책선 주변에 불모지 관리로 인해 매년 반복적으로 식생이 훼손된 지역을 대상으로 하였다(이하 ‘식생훼손지’라 칭함). 행정구역상 서쪽 파주부터 동쪽 고성까지 연속적으로 이어져 있고, 총 길이가 224km이다(Lee et al., 2020). DMZ는 파주 임진강 하류에서 고성 동해안까지 한반도의 허리를 가로지르며, 전체적으로 동고서저 형태를 보이며, 하천, 산지, 평지, 습지 등 다양한 경관들이 있다(Korea National Arboretum and Green Korea, 2018). 서쪽은 파주 임진강을 비롯하여 여러 하천과 습지, 구릉성 산지로 이루어져 있으며, 전쟁 이전에 논으로 사용했던 토지가 오랜 시간이 흐르며 습지나 평원으로 변모하였다. 반면에 동쪽은 양구, 인제는 높은 산지로 이루어져 있고, 삼재령 일대에서 백두대간과

Table 1. Physicochemical soil properties for the 108 soil samples of the survey area

Variables	Min.	Average	Max.	Optimum range of tree's growth*
Sand (%)	3.3	69.1	91.9	45~65
Silt (%)	6.1	16.6	44.4	20~35
Clay (%)	2.0	14.3	52.3	10~20
pH [1:5]	4.08	5.91	7.89	5.5~6.5
EC (dS/m)	0.01	0.05	0.19	-
Organic Matter (%)	0.1	2.0	14.1	above 3.0
Total Nitrogen (%)	0.01	0.09	0.70	above 0.25
Available Phosphorus (mg/kg)	9	33	343	above 100
CEC (cmol ⁺ /kg)	1.8	8.3	20.9	12.0
Potassium (cmol ⁺ /kg)	0.02	0.20	0.76	0.25
Sodium (cmol ⁺ /kg)	0.03	0.09	0.26	0.15
Calcium (cmol ⁺ /kg)	0.30	5.43	84.59	0.25
Magnesium (cmol ⁺ /kg)	0.04	0.51	5.20	1.50

*National Institute of Forest Science, 2018

교차한다.

현장 조사는 2018~2019년에 걸쳐 시행하였으며, 총 108개소에서 토양 시료를 채취하였다 (Figure 1).

2. 토양 이화학성 분석

토양 시료 채취는 토양의 이화학성을 파악하기 위해 출입 가능한 DMZ 불모지 전 구간에서 삽을 이용하여 식생과 표토 1cm를 제거한 후, 15cm 깊이로 토양을 떠내 2kg의 토양 시료를 채취하고, GPS(Garmin, USA)를 이용해 채취지점의 좌표와 해발고도를 기록하였다. 현지에서 채취한 토양 시료는 실내에서 충분히 건조한 후 이화학적 성질 13가지 항목(모래 함량, 미사 함량, 점토 함량, 산도(pH), 전기전도도(EC), 유기물함량(OM), 전질소(TN), 유효인산(AP), 양이온치환용량(CEC), 칼륨이온(K⁺), 나트륨이온(Na⁺), 칼슘이온(Ca²⁺), 마그네슘이온(Mg²⁺))을 분석하였다. 토성은 KS F 2302-92(흙의 입도시험방법) 중 Pipet법으로 시험하여 분석하였다. 토양 pH와 EC는 풍건토양 5g을 증류수 25ml를 가하여 60분 진탕 후 pH meter기와 EC meter기로 측정하였다. 유기물함량은 Walkley-Black법, 전질소는 Kjeldahl 분해법, 유효인산은 Lancaster법을 이용하여 측정하였다.

양이온치환용량은 1M Ammonium acetate법으로 침출 후 증류 적정하고, 치환성양이온(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)은 1M NH₄OAc(pH=7.0)으로 침출하여 ICP로 분석하였다.

3. 기후데이터

DMZ 불모지 전 구간의 기후 데이터는 국내 기관에서 공식적으로 제공하는 데이터가 거의 존재하지 않는다(Lee et al, 2020). 따라서 해외에서 제작한 데이터를 이용하여 기후변수 데이터를 작성하였다. 본 연구에서 기후 데이터로 사용한 변수는 최한월(1월) 평년기온, 최난월(8월) 평년기온, 연간 평년강수량, 생장기(4-10월) 평년강수량, 연간 일조량과 생장기(4-10월) 일조량이다. DMZ 불모지 내 기온과 강수량 데이터는 World Clim version 2 데이터를 이용하여 1970년부터 2000년까지 기후 평년값을 추정하였다(Fick and Hijmans, 2017). 일조량은 ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) 위성영상을 기반으로 제작한 GDEM (Global Digital Elevation Model) version 2 (National Aeronautics and Space Administration Jet Propulsion Laboratory, 2017)를 활용하여 2018년 데이터를 추출하였다.

4. 데이터 분석

108개소의 토양 이화학적 성질 분석 데이터와 작성한 기후 데이터를 이용하여 계층적 군집 분석(Hierarchical clustering)에 의한 유형화 분류를 시행하였다. 그룹의 분류는 Ward Linkage 방법을 적용하였고, 거리 측정은 유클리디언 거리(Euclidean distance)를 이용하였다. 분류된 그룹 간 특성의 차이를 비교하기 위해 Kruskal-Wallis test를 통해서 검정하였고, 사후검정은 Dunn's test (Bonferroni 방법)를 통해서 시행하였다. 모든 분석은 R 통계 프로그램(버전 4.0.3)을 이용하였다(R Core Team 2020).

III. 결과 및 고찰

1. 토양 이화학적 분석

DMZ 철책선 주변 108개소 토양의 이화학적 특성을 분석하였다 (Table 1).

전체 토양 입경 분포 평균은 모래 69.1%, 미사 16.6%, 점토 14.3%로 나타났으며, 이는 미국 농무성법에 의한 토성 분류에 따르면 사양토(sandy loam)에 해당하였다. 모래 함량이 높으면 배수성, 통기성이 좋지만 양분 보유력이 낮아 식물 생장이 지장을 줄 가능성이 있다(Im et al., 1994). pH는 평균 5.91로 산림토양 적정 pH 범위(5.5~6.5)에 해당하며 pH 5.0 이하의 산성 토양은 10개소(9%)를 차지하였다. EC는 영양염류 집적 상태를 나타내며, 전 지점에서 0.5 dS/m 이하로 측정되었으므로 생육에 장애를 일으키지 않는 정도라 할 수 판단되었다(Jung et al., 2018). 유기물, 전질소, 유효인산은 토양 내 영양인자를 나타내는 지표로 사용되며 일반적으로 유기물과 전질소 함량은 유사한 경향을 나타낸다(National Institute of Forest Science, 2018). 세 항목 모두 평균적으로 적정 수준에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 유기물은 17개소(16%)만 3.0% 이상에 해당하였고, 전질소는 6개소

(6%)가 0.25% 이상 함량으로 나타났다. 토양 내 유효인산은 식물 지하부 생육에 관여하고 식물 초기 활착에 기여하는 인자로 108개소 중 5개소(5%)만 적정 수준 100 mg/kg 이상으로 나타났다. CEC는 평균 8.3 cmol⁺/kg이며, 산림토양 적정기준(12.0 cmol⁺/kg)보다 낮게 나타났다. Korea Forest Service(2000)는 비무장지대의 주기적인 산불로 인해 양분이 높은 재가 비산하여 토양의 CEC가 12~15.6 cmol⁺/kg 정도로 높게 나타난다고 하였으나, 2004년 이후부터 DMZ 내 산불 발생 횟수가 감소함에 따라(Park et al., 2011), 비산재의 영향이 적어졌다고 판단된다. CEC가 낮은 것은 양이온이 쉽게 용출될 수 있음을 의미하므로(Kim et al., 1999) 보비력이 낮은 상태였다. 대부분 토양이 모래 함량이 높은 사양토로 나타난 것을 감안하면 토양 내 CEC가 낮은 이유를 설명할 수 있다(Cho et al., 2002). 치환성양이온(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)의 경우 토양 내에서 산도변화 조절, 수분 증산 조절, 뿌리 생육 촉진, 엽록소 구성 등 역할을 하는데(Cho et al., 2002), 칼슘이온을 제외하고 모두 평균적으로 적정기준에 미달하였다. 칼슘이온은 대체로 pH가 높아질수록 증가하는 경향을 보였다.

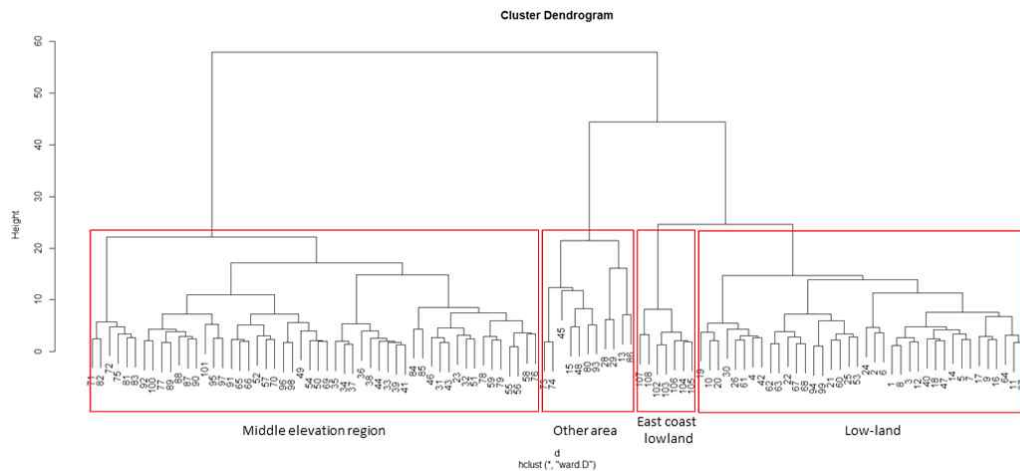
DMZ 철책선 주변의 식생훼손지는 대부분 모래 함량이 높고, 수목이 성장하기에 양분이 부족한 상태라고 할 수 있다. 모암에 따라 토양의 물리·화학적 특성이 달라지며, 우리나라 산림 토양의 대부분이 화강암 또는 편마암을 모암으로 하여 발달한 특징을 지니고 있다(National Geography Information Institute, 2019). 이 경우, 석영 함량이 높아 풍화에 저항성이 크며, 퇴적암 기반의 토양보다 모래 함량이 20% 이상 높은 토양이 발달한다(Jeong et al., 2003). 또한, 철책 과학화 경계시스템 확대 같은 군사시설 개발과 초목 통제 같은 군사활동이 철책선 주변 토양을 답압하거나 유기물층 발달을 방해하였을 것으로 판단된다. 특히 철책선 구축과 함께 방어 목적으로 시행한 초목 통제 작전은 1960년

Table 2. Climate and environmental variables for the 108 sites of the survey area

Variables	Min.	Average	Max.
Altitude (m)	12	433	1,213
Normal temperature in the coolest month (°C)*	-8.4	-5.9	-0.7
Normal temperature in the warmest month (°C)*	19.4	22	24.4
Annual precipitation (mm)*	1,164	1,232	1,330
Precipitation in growing season (mm)*	964	1,076	1,141
Annual solar radiation (KWH/m) ^{**}	983,164	1,269,679	1,524,560
Solar radiation in growing season (KWH/m) ^{**}	826,423	953,999	1,088,430

*Fick and Hijimans, 2017

**National Aeronautics and Space Administration Jet Propulsion Laboratory, 2017

**Figure 2.** The cluster dendrogram for the 108 sites of the survey area

대 고엽제 살포(Han, 2019)부터 현재 주기적 제초작업까지 60여 년을 이어져 왔다. 즉, 강우 발생시 유출량을 저감하는 효과를 지닌 식생을 제거함으로써 유출량을 증가시키는 작용을 하고 (National Institute of Agricultural Sciences, 2018), 동시에 토양 내 양분 손실을 일으킨다. 따라서 토양유실방지와 토양의 건강성 회복을 위해 식생을 이용한 녹화 등의 계획 수립과 관리가 필요할 것으로 사료된다.

2. 기후 및 환경데이터 분석

토양 형성은 기후의 영향을 많이 받으며, 특히 강수량과 기온의 영향이 크다(National Geography Information Institute, 2019). 토양 유형화를 위해

고도와 함께 기후 데이터인 최한월(1월) 평년기온, 최난월(8월) 평년기온, 연간 평년강수량, 생장기(4~10월) 평년강수량, 연간 일조량, 생장기(4~10월) 일조량을 적용하였다. 총 7개 항목에 대한 108개소의 최솟값, 평균값, 최댓값은 Table 2와 같다. 고도는 고성 해안가 12m부터 양구 산악지역 1,213m까지 분포하며 전체적으로 동고서저 지형을 나타냈다. 기온은 계절과 고도에 따라 달라지며, 강수량과 일조량은 일 년 중 4~10월에 주로 집중되었다.

3. DMZ 남측 철책선 식생훼손지 유형화

108개소에 대한 13가지 토양의 물리·화학적 특성과 7개 기후·환경데이터 자료를 이용하여

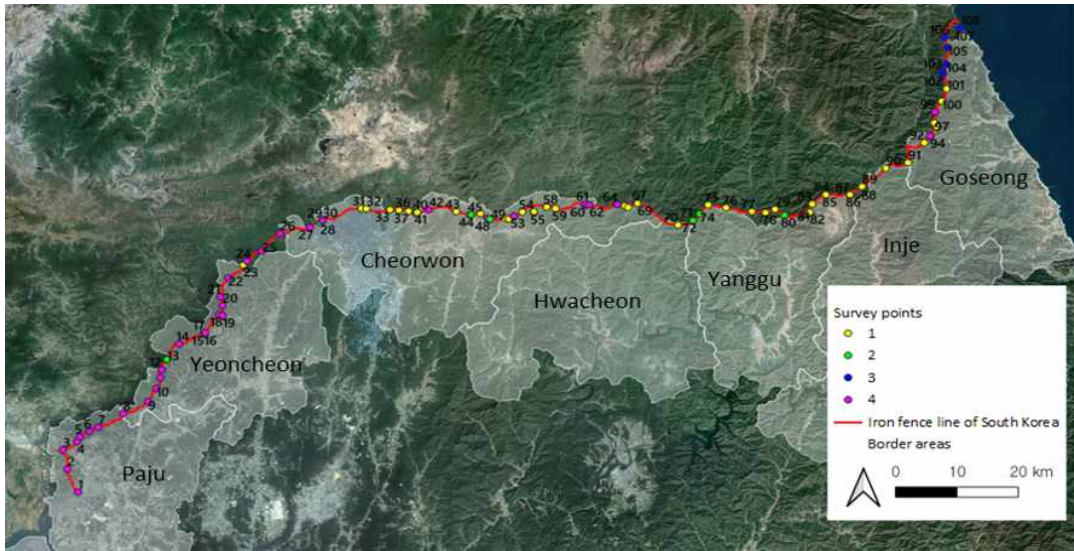


Figure 3. The distribution of 4 types on the map {1: Middle elevation region (52 sites), 2: Other area (11 sites), 3: East coast lowland (7 sites), 4: Lowland (38 sites)}

군집분석을 수행한 결과, 4개의 그룹으로 나누어졌다(Figure 2). 분류된 4가지 그룹은 군집화된 특성에 따라 각각 중고도지대, 기타지역, 동해안저지대, 저지대로 명명하였다.

각 유형들의 분포는 Figure. 3에 제시하였다. 중고도지대는 52개 지점을 포함하고, 철원부터 고성까지 분포하였다. 기타지역은 11개 지점을 포함하고 산발적으로 나타났다. 동해안저지대는 7개 지점을 포함하고 고성 해안가 근처에만 분포하였다. 저지대는 38개 지점을 포함하고 DMZ 서쪽 파주와 연천에 주로 분포하였다.

분류된 그룹 간 특성의 차이는 Figure 4에 나타났다. 토성과 지형 차이가 그룹을 결정하는데 큰 영향을 미치는 것으로 보이며, pH, 유효인산, 생장기 일조량은 그룹 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 토성을 나타내는 모래, 미사, 점토 함량의 차이는 토양의 보수력, 보비력과 연관이 있어, 모래 함량이 낮을수록 토양 내 영양물질로 해석할 수 있는 유기물, 전질소, CEC가 낮게 나타나는 등 상관관계가 있다고 판단된다. 따라서 토성과 영양물질 항목에 따라 기타지역이 타 그룹들과 유의한 차이를 보였다. 토

성의 차이는 모암의 차이에서 기인한다고 볼 수 있는데, 이는 한반도 지질도에서 확인할 수 있다. 저지대 그룹이 우세한 DMZ 서쪽 파주와 연천 지역은 운모편암이 나타나고, 중고도지대와 동해안저지대가 분포하는 철원부터 고성까지 유라기화강암류와 화강편마암류가 나타난다(National Geography Information Institute. 2019). 운모편암이 분포하는 지역은 운모류를 포함한 점토질 암석 특성을 나타내며 풍화가 심해 저지를 형성하고 있다. 반면에 화강암, 화강편마암이 분포하는 환경은 풍화가 잘 일어나는 경향이 있고, 사질 토양이 우세하다(Yu, 2001). 부분적으로 점토 함량이 높은 지역을 제외하고 대부분 사양토이지만 모암에 의해 저지대-중고도지대 그룹 간의 유의한 차이를 보였다.

우리나라의 동고서저 지형은 위치에 따라 각기 다른 고도와 기후 특성을 갖게 만든다. 특히 태백산맥을 경계로 하여 동해사면과 서해사면 기후 차이가 뚜렷하고, 산맥의 방향에 따라 강수량 분포도 다르게 나타난다. 따라서 최한월 평년 기온, 연간 평년강수량, 생장기 평년강수량 항목에서 동해안저지대가 다른 그룹들과 구분되었

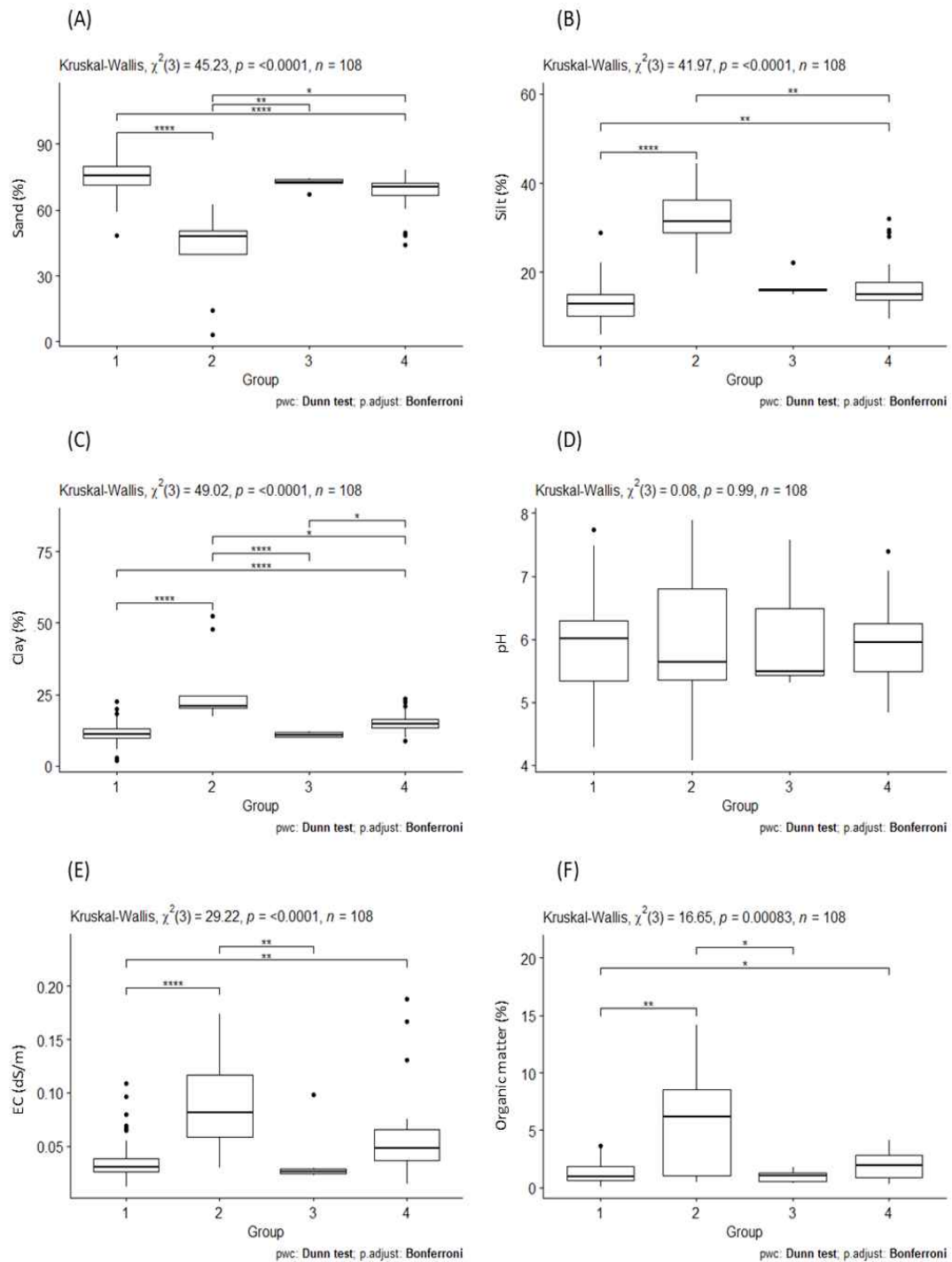


Figure 4. Soil properties with types (A) Proportions of sand, (B) Proportions of silt, (C) Proportions of clay, (D) pH, (E) EC, (F) Organic matters (1: Middle elevation region, 2: Other area, 3: East coast lowland, 4: Lowland, * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; **** $p < 0.0001$)

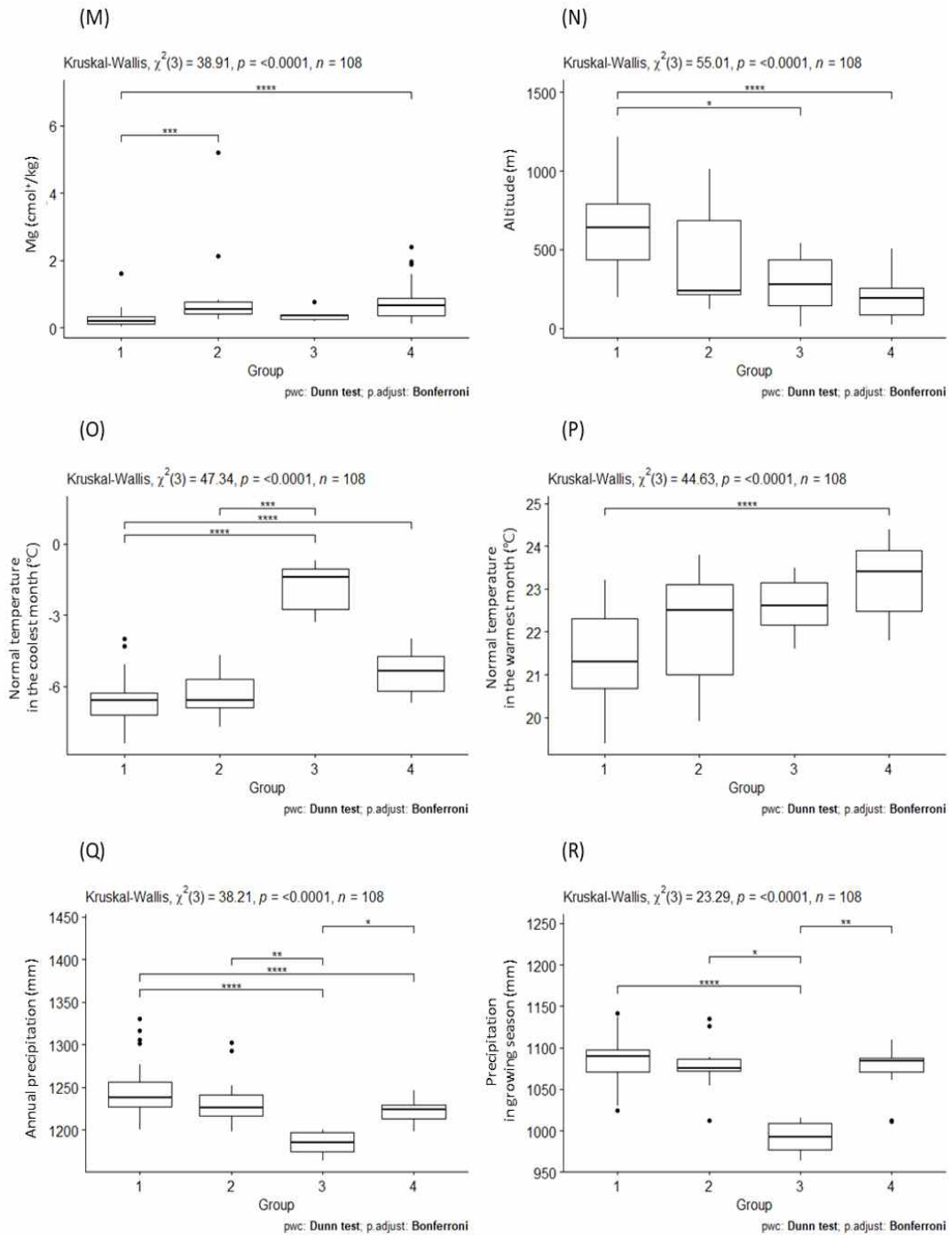


Figure 5. Continued. (M) Magnesium ion, (N) Altitude, (O) Normal temperate in the coolest month, (P) Normal temperature in the warmest month, (Q) Annual precipitation, (R) Precipitation in growing season (1: Middle elevation region, 2: Other area, 3: East coast lowland, 4: Lowland, * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; **** $p < 0.0001$)

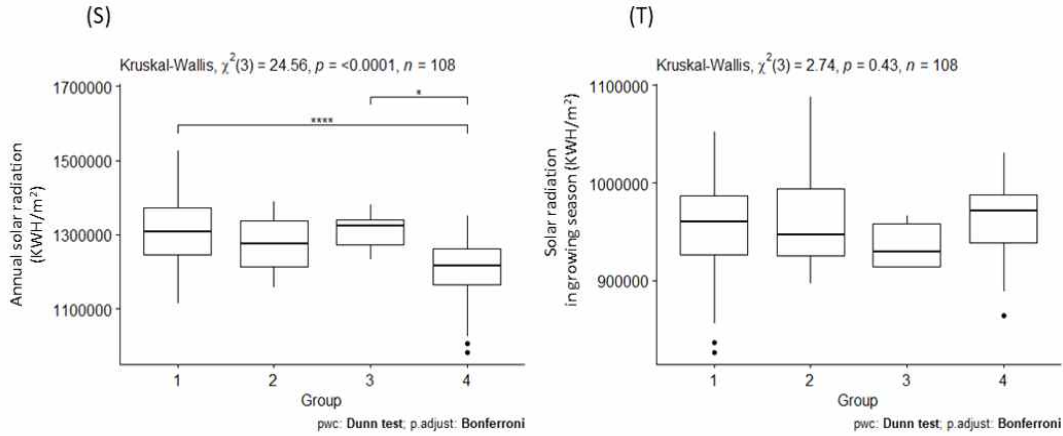


Figure 6. Continued. (S) Annual solar radiation, (T) Solar radiation in growing season (1: Middle elevation region, 2: Other area, 3: East coast lowland, 4: Lowland, * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; **** $p < 0.0001$)

다. 동해안 지역은 바다 수심이 깊어 겨울철에도 온도 변화가 크지 않고 다른 지역에 비해 따뜻하며, 비구름이 태백산맥을 넘기 전에 강우를 내리기 때문에 강우량이 상대적으로 낮게 나타난다.

1) 중고도지대

철원과 연천 경계 부분에서 시작하여 고성까지 52개소가 고르게 분포하였다. 동고서저 지형의 중간 이후부터 동쪽으로 이어지는 산악지에 위치하며 평균 고도 636m로 나타났다. 산악지는 침식으로 인해 토양층이 얇고, 토성은 대체로 모래 함량이 높은 토성을 가지고 있어 토양내 유기물 함량이 낮았다. 최한월, 최난월 평균기온이 가장 낮은 지역이다. 저지대와 가장 다른 유형이지만 생장기 강수량과 생장기 일조량은 유의한 차이가 없었다.

2) 동해안저지대

고성 해안가 근방에서만 전체 7개소가 분포하였다. 고도의 분포가 저지대와 유사한 형태를 띠었다. 산맥의 동쪽에 위치하고, 동해안과 근접하여 다른 세 그룹에 비해 겨울에 기온이 따뜻하지만, 최한월 평균기온이 저지대와 유의한 차이는 없었다. 동해안저지대는 다른 세 그룹과

달리 평년강수량과 생장기 강수량이 낮으면서 유의한 차이를 보였다. 토성면에서는 모래 함량이 높고, 중고도지대, 저지대와 유사하게 나타났다.

3) 저지대

38개를 포함하고 있으며, 파주부터 연천까지 저지대에 주로 분포하고 평균 고도는 180m였다. 토성, 유기물, 고도, 온도, 평년강수량, 평년일조량 등 대부분 항목에서 중고도지대와 유의한 차이가 있는 그룹으로 구분되었다. 토성은 주로 모래 함량이 높은 사양토이지만 모암과 기후 환경이 달라 중고도지대와 다른 CEC, 치환성양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) 특성을 띠었다. 고도가 비교적 낮고 서쪽에 위치해서 기온, 평년강수량, 평년일조량에서도 중고도지대와 구분되었다.

4) 기타지역

기타지역 그룹에 포함되는 11개소는 DMZ 전 구간에서 산발적으로 나타났다. 기타지역에서 확인할 수 있는 낮은 모래 함량과 높은 점토 함량은 우리나라 논토양과 유사한 형태로 추정되었다(National Geography Information Institute, 2019). 우리나라는 대부분 화강암과 화강편마암

분포비율이 높고, 계절에 따른 기후 차이가 조립질 토양을 만들기 때문에 토양 내 영양염류 용탈을 활발하게 만들고 유기물 함량이 낮은 토양 환경을 조성하는 것이 일반적이다(National Geography Information Institute, 2019). 하지만 이와 달리 기타지역 그룹에 포함된 지점들은 토양 내 점토 함량이 높아 다른 그룹에 비해 양분 함유량이 많게 나타난다고 판단된다. 이처럼 기타지역 그룹은 토양과 관련된 항목에서는 다른 그룹들과 차이가 뚜렷하게 나타나지만, 기후 및 환경인자에서는 중고도지대, 저지대와 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

연구 대상지의 복원을 위해서는 훼손지 입지 환경에 대한 이해가 중요하다. DMZ 남측 철책선 주변 식생훼손지는 토양 침식에 취약하므로 복원을 위한 식생을 도입하기에 앞서 토양 침식에 대해 고려할 필요가 있다. 현재 기타지역을 제외한 나머지 그룹들은 유기물 함량이 낮고 영양염류 용탈이 활발하므로 토양질 개선 작업이 함께 수행되어야 한다. 예를 들어 토양개량제를 이용하여 내수성 입단을 조성하거나 토양 내 유기물 함량을 높이는 퇴비를 이용하는 방법이 있다.

중고도지대, 동해안저지대, 저지대 그룹들은 토양 특성 외에 기후적인 특성도 나타나므로 식물을 선택할 때는 대상지 주변에서 자생하는 식물을 이용하거나 생육환경을 고려하여 식물을 선택해야 한다. Choi et al. (2020)는 DMZ 불모지에 도입할 수 있는 자생식물을 선정하고 행정구역별로 식물종을 분류하였으나, 본 연구에서는 행정구역 대신 중고도지대, 동해안저지대, 저지대 유형으로 나누어 제시할 수 있을 것이다. 중고도지대는 철원, 화천, 양구, 인제와 고성 서부로 볼 수 있고, 동해안저지대는 고성 동부 해안가, 저지대는 파주와 연천으로 구분할 수 있다. 각 지대에 맞는 자생식물을 도입한다면 주변 생태계와 조화로운 복원을 꾀할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

토양의 이화학적 성질과 기후 데이터를 이용하여 DMZ 남측 철책선 식생훼손지 108개소에 대한 유형화를 실시한 결과 중고도지대, 동해안저지대, 저지대, 기타지역으로 분류되었다. 중고도지대는 DMZ 중부와 동부에 분포하고, 동해안저지대는 고성 해안가 주변에 분포하고, 저지대는 DMZ 서부에 주로 분포하고, 기타지역은 전지역에 산발적으로 나타났다. 기타지역을 제외하고 모두 사질 토양이 우세하고 영양분이 적었다.

「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 명시된 산림복원사업 타당성 평가 항목별 조사 내용 및 방법을 보면, 훼손 현황, 주변 환경, 기반 환경, 생태계 환경을 조사해야 하지만 DMZ의 특성상 현장 조사가 어렵다. 따라서 DMZ 남측 철책선 식생훼손지를 복원할 때 신속하게 유형을 판단하기 위해서 본 연구 결과를 활용할 수 있다. 우선 대상지 위치에 따라 DMZ 서부에 해당하는 파주와 연천을 저지대라고 할 수 있으며, 철원부터 동쪽으로 중고도지대로 분류할 수 있다. 해안에 가까운 고성지역은 동해안저지대로 구분할 수 있다. 그 후 토성을 확인하여 미사나 점토 함량이 높으면 기타지역으로 간주하고 토양질 개선작업 없이 기후에 알맞은 식물을 도입하고, 사질 토양일 경우 토양질 개선 작업을 추가한 후 복원사업을 계획하면 좋을 것이다.

본 연구에서는 훼손지의 토양, 기후, 환경 인자만을 고려한 유형화를 실시하여 복원 대상지의 입지환경을 이해할 수 있게 되었지만, 복원 사업에 사용할 식생을 도입하기 위한 자료로서 식물군집이나 생태계 구조에 대해 파악하기에 한계가 있다. 4가지 유형이 갖는 특성이 식물의 자생지 환경 측면에서 보았을 때도 유의미한 차이인지 확인할 필요가 있다. 따라서 추후 식생을 포함한 훼손지 유형화 연구를 수행할 필요가

있다.

더불어 DMZ 복원 연구는 훼손지 특성을 반영하여 목표를 설정할 필요가 있다. 일반적으로 생태복원의 정의는 국제복원생태학회(Society for Ecological Restoration International)에서 제시한 것처럼 과거의 참조생태계를 설정하고, 훼손된 생태계의 기능과 구성을 복구하는 프로세스(Society for Ecological Restoration International, 2004)로 알려져 있다. 하지만 DMZ의 남측 철책선 주변은 대중적인 생태복원 개념으로 접근하기 어렵다. DMZ 남측 철책선 식생훼손지 복원사업에서는 군작전을 위한 시야확보가 우선됨에 따라 식물 생장 높이가 제한되므로 주변 산림과 같은 생태계로 복원할 수 없고, 과거의 생태계를 참조할 수도 없기 때문이다. 그러므로 DMZ 생태복원은 약 70년간 유지되어온 현재 상태에 대한 생물 다양성 및 생태계서비스에 대한 평가가 필요하다. 이를 기반으로 Stanturf et al. (2014)가 기술한 기능 복원(functional restoration)같이 생태계의 구조보다 생태계 기능을 더 고려하는 방향으로 DMZ 생태복원의 목표를 설정해야 할 것이다. 이에 따라 DMZ 남측 철책선 식생훼손지 복원은 송전탑 하부 식생 관리에 대한 생태계의 생물 다양성을 평가하는 방식(Wagner et al., 2014; 2019)과 같은 접근이 필요하며, 산불을 이용한 초지 관리(Barros et al. 2018)처럼 생태계 회복성을 높일 수 있는 적극적인 관리방안을 마련하여야 할 것이다.

References

- Barros, A.M., A.A. Ager, M.A. Day, M.A. Krawchuk, and T.A. Spies. 2018. Wildfires managed for restoration enhance ecological resilience. *Ecosphere*. 9(3) : e02161.
- Choi, J., H. Shin, S. Jung, S. Kim, J. An, A. Lee, and G. Bak. 2020. Selecting Native Plants for the sustainable management of the Barren Land of the Korean DMZ(Demilitarized Zone). *Korean Journal of Military Arts and Science*. 76(2) : 367-390. (in Korean with English summary)
- Cho, S., C. Park, D. Eom, and B. Jo. 2002. *Soil Science*. Seoul: Hyang Moon Sa. (in Korean)
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans. 2017. WorldClim 2 :new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 37(12) : 4302-4315.
- Han, M. 2019. The Process and Background of Militarizing in the Korean DMZ in the 1960s. *The Review of Korean History*. 135: 163-206. (in Korean with English summary)
- Hong, S. 2012. Economic use of the DMZ for the peace system on Korean peninsula. *The reunified Korean economy*. 2012(2) : 52-65.
- Hyun, S., G. Kim, K. Oh, W. Lee, Y. Na, S. Lee, S. Park, and I. Yun. 2019. Transboundary cooperation for peace and prosperity in Korean peninsula. Research report to Korea Institute for National Unification. (in Korean)
- Im, S., J. Yun, and C. Lee. 1994. The effect of soil on growth of Hibiscus Syriacus. *Research Reports of the College of Natural Resources*, 34 (in Korean with English summary)
- Jeong, H. 2017. A Study on the Temporal-Spatial Variation Analysis and Developmental Alternative for the DMZ and its Border Region in the Korean Peninsula, Ph.D dissertation, Kangwon University (in Korean)
- Jeong, H. 2019a. Trends for the DMZ and its Border Region after the Armistice Agreement: The Implications for Future Geography Research. *The Geographical Journal of Korea*. 53(1) : 87-99. (in Korean with English summary)
- Jeong, H. 2019b. A study on the temporal-spatial variation analysis and developmental

- alternative for the DMZ and its border region in the Korean peninsula. Ph.D dissertation, Kangwon National University. (in Korean with English summary)
- Jeong, J., K. Koo, C. Lee, and C. Kim, C. 2003. Physico-chemical Properties of Korean Forest Soils by Regions. *Journal of Korean Forest Society*. 91(6) : 694-700. (in Korean with English summary)
- Jung, J. S. Ha, C. Kim, H. Park, G. Kweon, and J. Yang. 2018. Physico-chemical Properties and Soil Quality of Waste Paper-Growing Media on Slope Surface. *Journal of Korea TAPPI*. 50(1) : 54-64. (in Korean with English summary)
- Kang, H. and O. Kwon. 2002. The effect of military on the development and conservation in border areas. Research report to Korea Institute for Defense Analyses (in Korean)
- Kim, Y. 2019. Development Direction of the DMZ World Peace Park. Borderline areas unification research. 3(1) : 79-105. (in Korean)
- Kim, J., S. Lim, S. Lee, C. Lee, and C. Jeong. 1999. Evaluation of Heavy Metal Pollution and Plant Survey around Inactive and Abandoned Mining Areas for Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils. *Journal of Environmental Agriculture*. 18(1) : 28-34.
- Kim, Y., N. Gu, and W. Kang. 2018. Evaluating forest soil properties. Research report to National Institute of Forest Science. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2000. Survey of forest ecosystem in DMZ and border areas. Research report to Korea Forest Service. (in Korean)
- Korea National Arboretum and Green Korea. 2018. Peace and life in DMZ. Seoul: Jakeungeosi areumdapda. (in Korean)
- Lee, A., H. Shin, G. Bak, J. Jung, and C. Sung. 2020. Classification of the damaged areas in the DMZ (demilitarized zone) using high-resolution satellite images and climate and topography data. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 23(1) : 1-14. (in Korean with English summary)
- Ministry of Environment. 2009. A basic plan establishment of DMZ ecological peace park. Research report to Ministry of Environment. (in Korean)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2019. The 5th Comprehensive National Development Plan. (in Korean)
- National Aeronautics and Space Administration Jet Propulsion Laboratory. 2017. ASTER Global Digital Elevation Map Announcement. URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- National Institute of Agricultural Sciences. 2018. Evaluating Environmental Impacts of Organic and Conventional Farming System. Research report to Rural Development Administration (in Korean)
- National Institute of Forest Science. 2004. Ecosystem Approach for the Investigation, Analysis and Impact Assessment of De-militarized Zone of Korea. Research report to Ministry of Environment. (in Korean)
- National Institute of Forest Science. 2018. Evaluation of forest soil using plant response methodology. Research report to National Institute of Forest Science. (in Korean)
- National Geography Information Institute. 2019. The National Atlas of Korea II. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (in Korean)
- Park, E., S. Jeon, and M. Nam. 2011. Ecosystem destroying factors and the mitigation of

- impacts in the civilian control zone. Research report to Gyeonggi Research Institute. (in Korean)
- Park, E., Y. Lee, H. Kim, Y. Choi, J. Ok, H. Sung, J. Choi, and B. Han. 2008. A study on ecological tourism and ecological peace park in DMZ. Research report to Gyeonggi-do (in Korean)
- Stanturf, J.A., B.J. Palik, M.I. Williams, R.K. Dumroese, and P. Madsen. 2014. Forest Restoration Paradigms. *Journal of Sustainable Forestry*. 33(sup1) : S161-194.
- Society for Ecological Restoration International. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration International.
- Son, G., D. Kang, G. Kim, Y. Kim, S. Mun, S. Park, Y. Park, D. Won, S. Lee, S. Lee, J. Jo, H. Jeong, S. Choi, and S. Hong. 2011. National implications of the peaceful use of the DMZ. Research report to Korea Institute for National Unification. (in Korean)
- Song, W., S. Jeon, E. Kim, D. Lee, and J. Lee. 2012. A study on evaluating the conservation/utilization area and establishment of the guideline for conservation of the DMZ region. *Journal of the Korea society of Environmental Restoration Technology*. 15(2) : 163-175. (in Korean with English summary)
- Sung, H., S. Kim, D. Kang, J. Seo, and S. Lee. 2016. Analysis on the Type of Damaged Land in DeMilitarized Zone(DMZ) Area and Restoration Direction. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 19(1) : 185-194. (in Korean with English summary)
- Sung, H., J. Seo, and S. Lee. 2017. Study on Database Construction of Demilitarized Zone. *Journal of the Korea society of Environmental Restoration Technology*. 20(1) : 143-150. (in Korean with English summary)
- Wagner, D.L., K.J. Metzler, S.A. Leicht-Young, and G. Motzkin. 2014. Vegetation composition along a New England transmission line corridor and its implications for other trophic levels. *Forest Ecology and Management*, 327, 231-239.
- Wagner, D.L., K.J. Metzler, and H. Frye. 2019. Importance of transmission line corridors for conservation of native bees and other wildlife. *Biological conservation*, 235, 147-156.
- Yu, S. 2000. Soil dictionary. Seoul: Seoul national university publishing. (in Korean)