



# 생태환경논집

JOURNAL OF ECOLOGICAL ENVIRONMENT

## 목 차

---

Vol.7, no.1

June, 2019

---

산림분야 기후변화 대응을 위한 전 지구적 REDD+ 도입 및 이행  
효과 분석

| 박홍철 ..... 2

식물계절 연구 사례 검토

| 박은하 ..... 27

동국대학교 서울캠퍼스 귀화식물상

| 권오정 ..... 39

기후변화에 따른 중부이남 식물종의 서울이입 가능성

| 권오정 ..... 57



# 산림분야 기후변화 대응을 위한 전 지구적 REDD+ 도입 및 이행효과 분석

박홍철\*

---

## <목 차>

### I. 서론

### II. 대상지 및 방법

1. 범위 및 대상지
2. 연구방법

### III. 결과 및 고찰

1. 국가별 유형분류
  2. 베이스라인 접근법별 Credit 발행량
  3. 최적 베이스라인 접근법 결정에 따른 Credit 발행량
- 

---

\* 국립공원공단 국립공원연구원 조사연구부 (ecologist84@knps.or.kr)

본 연구는 REDD+ 메커니즘의 도입 및 이행에 따른 탄소흡수 편익과 산림보전에 대한 보상 가치를 정량평가하고, 이를 토대로 REDD+ 메커니즘 이행에 대한 주요한 편익 계정방법론의 개별적 특성을 파악하는데 목적을 두고 있다. Compensated Reduction, Compensated Conservation, Corridor Approach, Incentive Accounting, Combined Incentive, Stock Flow 접근법을 통해 분석한 결과, 계정연도인 2030년의 산림면적이 참조연도인 2010년의 산림면적보다 높다면 Compensated Reduction 접근법 혹은 Compensated Conservation 접근법의 적용이 유리한 것으로 나타났다. 또한, BAU 대비 일정 비율의 산림전용면적을 보전하여 적은 양이라도 Credit을 안정적으로 획득하고자 한다면 Corridor Approach 접근법 혹은 Incentive Accounting 접근법의 적용이 유리한 것으로 나타났다. 산림전용률이 낮으면서 단위면적당 탄소축적량이 높은 국가의 경우, Combined Incentive 접근법 혹은 Stock Flow 접근법의 적용이 유리할게 작용할 수 있을 것으로 나타났다. 나이지리아가 Incentive Accounting 접근법을 선택하였을 때 ha당 112.43tC으로 가장 많은 양의 Credit 발행이 가능한 것으로 나타났다. 이어서 파키스탄 105.36tC, 에콰도르 99.51tC, 네팔 97.30tC, 인도네시아 91.59tC, 니카라과 90.92tC, 부룬디 88.50tC, 카메룬 84.60tC, 우루과이 84.37tC, 토고 77.18tC 순으로 나타났다. 우루과이를 제외한 상위 10위 국가들은 Incentive Accounting 접근법을 선택하였을 때 가장 많은 양의 Credit을 획득할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 160개 국가 중 144개국은 Incentive Accounting 접근법을 선택하였을 때, 16개국은 Compensated Conservation 접근법을 선택하였을 때 가장 많은 양의 Credit을 획득할 수 있는 것으로 나타났다.

주제어 기후변화, 산림전용, 산림황폐화, 베이스라인 접근법, 크레딧

## I. 서론

북극 및 남극 지대 기온상승, 도시열섬 심화, 해수면 상승 등 이상기후 현상의 원인이 되는 기후변화에 대한 과학적 연구결과들이 속속 등장하고 있지만, 기후변화의 인과관계에 대한 논란은 여전히 지속되고 있다. 이러한 논란 속에서도 기후변화가 인류생존을 위협할지도 모른다는 불안과 걱정은 전 세계적으로 쉽게 사라지지 않았으며, 현재에도 지구촌의 주요한 화두로 남아있다(박홍철 등, 2014). 이러한 국제사회의 기후변화에 대한 지속적인 불안과 걱정은 1992년 6월 브라질 리우데자네이루에서 기후변화협약(UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change) 체결 결과를 낳았다. 협약의 체결로 지구온난화 원인물질의 배출규제가 강화되었으며, 이산화탄소 흡수원인 산림에 대한 관심과 연구가 서서히 두각을 나타내기 시작하였다(박홍철 등, 2014).

교토의정서 체결 10년 후인 2007년, 발리행동계획을 통해 REDD(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) 즉, 산림전용 및 산림황폐화 방지로부터의 탄소배출감축이 포스트-교토(Post-kyoto) 체제의 주요한 기후변화협약 의제로 결정된다. REDD 개념은 산림전용 방지활동을 뜻하는 RED(Reducing Emissions from Deforestation)에서 산림황폐화 방지활동이 추가 발전된 개념으로, 산림에서의 온실가스 배출이 지속적으로 증가하자 배출의 주원인인 산림 파괴를 방지함으로써 온실가스 배출을 감축하자는 취지에서 비롯되었다. 이후 중요성을 인정받아 산림에서의 다양한 형태(산림경영, 생물다양성

증진, 바이오매스에너지 활용 등)를 통한 새로운 탄소흡수원 확충이라는 개념을 추가해 REDD+(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation and Enhancement of Carbon Stocks)로 점차 그 활동영역을 확대하고 있다(박홍철 등, 2012; 박홍철 등, 2014).

REDD+ 개념 도입을 계기로 온실가스 농도 안정화를 위한 대책으로서 산림의 중요성이 급부상하기 시작하였다. UNFCCC가 승인한 방법론으로 추정된 전 세계 산림 내 축적된 이산화탄소량은 약 6,380억 톤으로 약 3조 8천억 달러 상당의 가치를 가진 것으로 알려졌다(Clickgreen, 2014; 박홍철 등, 2012; 박홍철 등, 2014). 이 중 산림전용 및 바이오매스 부패 등에 의한 이산화탄소 배출량은 전 세계 온실가스 배출량의 약 20%를 차지할 정도이다(IPCC, 2007; 차준희 등, 2012; 박홍철 등, 2014). 이렇듯 전 세계적으로 산림전용 및 산림황폐화 방지를 통한 온실가스 감축활동은 교토의정서 체제 이후 탄소배출량 감축을 위한 주요 메커니즘으로서 그 역할과 중요성에 대해 더욱 큰 관심을 받고 있다(Stern, 2006; Ebeling et al., 2008; 김용관, 2013; 박홍철 등, 2014). 또한, 최근 국제적 기후변화 대응 정책은 토지이용의 변화를 중시하는 방향으로 변화하고 있으며, 이러한 변화는 산림전용 방지활동에 대한 국제적 관심과 새로운 기후변화 대응 정책으로서 REDD+ 메커니즘의 중요성을 확대하는 계기가 되었다.

이러한 REDD+ 메커니즘의 정책적 수행과 발전을 위해서 이를 통한 이산화탄소 흡수 편익 및 보상가치를 시계열적으로 정량평가 할 수 있는 도구가 필요하다. 이와 같은 도구는 정책평가를 위한 기준 마련, 정책이행으로 예상되는 비용 및 편익 산정 등에 활용될 수 있으며, 이는 곧 정책의 효율성 증진 및 진단을 가능하게 한다. 또한, 제한된 비용과 자원으로 다양한 정책적 옵션을 선택할 때 주요한 의사결정 요인이 될 수 있다.

이에 본 연구는 REDD+ 메커니즘의 도입 및 이행에 따른 탄소흡수 편익과 산림보전에 대한 보상 가치를 정량평가 하고자 하였으며, 이를 토대로 REDD+ 메커니즘 이행에 대한 주요한 편익 계정부법론의 개별적 특성을 파악하고자 하였다.

## II. 대상지 및 방법

### 1. 범위 및 대상지

연구의 범위는 REDD+ 메커니즘 이행을 통해 얻을 수 있는 탄소흡수 편익에 한정하였으며, 교토의정서에서 규정한 산림의 정의를 적용하였다. 또한, 국제기구에 의해 수집된 국가 단위 이상의 자료를 활용하여 연구를 수행하였으며, 국가 단위 이하의 상황 및 자료는 고려하지 않았다.

전 세계 국가 중 산림을 보유한 국가를 1차적 연구대상 국가로 선정하였으며, 1990년부터 2010년까지의 산림통계자료를 확보할 수 있는 160 개 국가를 최종적인 연구대상 국가로 선정하였다. 또한, 주요 국제기구에서 사용하는 7대륙 분류법을 기준으로 연구대상 국가를 지리적으로 구분하였다. 아프리카 43개국, 아시아 41개국, 유럽 37개국, 북·중남아메리카 18개국, 오세아니아 8개국, 남아메리카 13개국으로 구성되어 있다.

### 2. 연구방법

#### 1) 시나리오 설정

시나리오는 2011년부터 2030년까지 20년간 전 세계 모든 국가에서

REDD+ 메커니즘을 이행하는 것을 전제로 설정하였다. 베이스라인(baseline) 설정을 위한 참조연도(reference year)는 2010년이며, 1990년부터 2010년까지 총 21년을 참조기간(reference period)으로 설정하였다. 이행기간(commitment period)은 2011년부터 2030년까지 총 20년으로 설정하였으며, 계정연도(estimate year)는 2030년이다.

또한, 각 시나리오별로 산림전용전망치(BAU; Business As Usual)를 설정하고, BAU에 따라 예상되는 2030년 산림면적에 대해 20% 만큼 추가 보전하는 세부 시나리오를 설정하였다. BAU에 따른 산림면적은 참조기간인 1990년부터 2010년까지의 산림전용률을 기준으로 하였으며, 2011년부터 2030년까지 참조연도의 산림전용률이 동일하게 유지되는 것으로 설정하였다. 국가별 여건에 따라 참조연도 대비 계정연도의 산림면적은 증가할 수 있으며, 자연적인 산림 재생 혹은 조림 및 재조림 상황은 청정개발체제(CDM) 기준에 만족하지 못하여 경제적 수익성이 없는 것으로 전제하여 본 연구에서는 고려하지 않았다.

## 2) 산림여건별 유형 분류

REDD+ 메커니즘은 참조기간 대비 이행기간의 산림전용률 증감비에 따라 거래 가능한 Credit의 획득 여부와 발행량이 결정된다. 이때 참조기간의 베이스라인을 결정짓는 접근법이 중요한 변수로 작용하며, 참조기간의 산림율 및 산림전용률의 정도 차이에 따라 유리하게 작용하는 접근법이 국가별로 상이하게 나타난다(박홍철 등, 2012). 또한, “산림율이 높고 산림전용률이 낮은 국가”와 “산림율이 낮고 산림전용률이 높은 국가”는 REDD+ 메커니즘을 적용하면서 다소 불리할 수도 혹은 유리할 수도 있는 반대되는 개념으로 마주하고 있다(da Fonseca et al., 2007; 박홍철 등, 2012). 따라서 산림율과 산림전용률이 REDD+ 메커니즘에 미치



는 영향과 상호 관계를 파악할 필요가 있으며, 이를 위해서는 국가별 산림여건에 따른 유형분류가 필수적이다.

이에 따라 베이스라인 접근법 분석을 수행하기 전 국가별 산림환경 여건을 기준으로 da Fonseca et al.(2007)의 방법에 따라 유형분류를 실시하였다. 통계분석프로그램인 IBM SPSS 17.0을 사용하였으며, Everitt(1980)의 명명 기준에 따라 6개 유형으로 분류하였다.

통계적 방법론으로 Ward(1963)의 최소분산법을 사용하였으며, 측도 간격으로 제곱-유클리디안 거리를 사용하였다. 1990년부터 2010년까지의 산림전용률과 산림율을 변수로 사용(da Fonseca et al., 2007)하였으며, 국제연합식량농업기구에서 제공하는 통계자료를 활용하였다.

### 3) Credit 발행량 계정

본 연구에서는 UNFCCC에 등록된 방법론이면서, “baseline and credit” 개념을 적용한 베이스라인 접근법 6가지(Table 1)를 적용하였으며, 시나리오에 따라 Credit 혹은 Debit 발행량을 계정하였다. Credit은 베이스라인 대비 추가적인 탄소저장량에 따라 발행되는 것으로, 탄소시장에서의 거래를 통해 이익을 취할 수 있다. Debit은 베이스라인 대비 추가적인 탄소배출량에 따라 발행되는 것으로, 미래에 추가로 감축해야 하는 탄소 빚(liability)으로 이해할 수 있다. Credit은 (+)값을 나타내며, Debit은 (-)값을 나타낸다.

베이스라인 접근법 적용을 위해 국제연합식량농업기구에서 제공하는 1990년부터 2010년까지의 산림면적, 연간 산림전용면적, 탄소저장량 등에 관한 통계자료를 적용하였다. 2030년의 단위면적당 탄소저장량은 2010년과 동일한 수준을 유지하는 것으로 가정하였다. 단, 국제연합식량농업기구의 자료는 해당 국가에서 제출한 자료에 근거하므로 자료의 신

뢰성이 낮은 국가의 경우 분석 결과의 정확성이 낮을 수 있다.

Table 1. The characteristics of REDD baseline approach<sup>1)</sup>

Approach	Scope	Reference Level	Distribution	Financing	Scale
Compensated Reduction <sup>2)</sup>	Deforestation Degradation Enhancement	Historical	Additional mechanism	Carbon market	National
Compensated Conservation <sup>3)</sup>	Deforestation Degradation Enhancement	Historical	Additional mechanism	Carbon market	National
Corridor Approach <sup>4)</sup>	Deforestation Degradation	Historical Adjustment	N/A	Carbon market	National
Incentive Accounting <sup>5)</sup>	Deforestation Degradation	Historical	Redistribution mechanism	Carbon market	National or Global
Combined Incentive <sup>6)</sup>	Deforestation Degradation Enhancement	Historical	Redistribution mechanism	N/A	National or Global
Stock Flow <sup>7)</sup>	Deforestation Degradation Enhancement	Historical	Redistribution mechanism	Carbon market Phased approach	National or Global

<sup>1)</sup> Parker et al., 2009, <sup>2)</sup> Santilli et al., 2005, <sup>3)</sup> Leischner et al., 2010

<sup>4)</sup> Joanneum Research et al., 2006, <sup>5)</sup> Mollicone et al., 2007,

<sup>6)</sup> Strassburg et al., 2008, <sup>7)</sup> Cattaneo, 2008

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 국가별 유형분류

전 세계 160개 국가별 참조기간 동안의 산림전용률과 산림율을 기준으로 6개의 유형으로 분류되었으며, 각 유형의 표기방식은 da Fonseca et al.(2007)의 분류명을 따랐다(Table 2).

브라질 등 8개국은 HFHD 유형 즉, 산림율과 산림전용률이 모두 높은 유형으로 분류되었다. 산림율은 최소 61%에서 최대 72%까지 나타났으며, 평균 65.88%를 나타냈다. 산림전용률은 최소 33.68%에서 최대 69.27%까지 나타났으며, 평균 49.10% 산림면적이 감소한 것으로 나타났다. 대한민국 등 15개국은 HFLD 유형 즉, 산림율은 높지만 산림전용률이 낮은 유형으로 분류되었다. 산림율은 최소 60%에서 최대 98%까지 나타났으며, 평균 73.0%를 나타냈다. 산림전용률은 최대 25.08%로 나타났지만, 평균 24.69% 산림면적이 증가한 것으로 나타났다. 북한 등 29개국은 MFHD 유형 즉, 산림율은 중간 수준이며, 산림전용률이 높은 유형으로 분류되었다. 산림율은 최소 25%에서 최대 58%까지 나타났으며, 평균 41.59%를 나타냈다. 산림전용률은 최소 33.19%에서 최대 283.51%까지 나타났으며, 평균 116.53% 산림면적이 감소한 것으로 나타났다. 필리핀 등 48개국은 MFLD 유형 즉, 산림율은 중간 수준이며, 산림전용률이 낮은 유형으로 분류되었다. 산림율은 최소 26%에서 최대 56%까지 나타났으며, 평균 38.65%를 나타냈다. 산림전용률은 최대 21.34%로 나타났지만, 평균 27.91% 산림면적이 증가한 것으로 나타났다. 토고 등 23개국

은 LFHD 유형 즉, 산림율은 낮지만, 산림전용률이 높은 유형으로 분류되었다. 산림율은 최소 1%에서 최대 22%까지 나타났으며, 평균 9.91%를 나타냈다. 산림전용률은 최소 34.76%에서 최대 693.38%까지 나타났으며, 평균 187.83% 산림면적이 감소한 것으로 나타났다. 이란 등 37개국은 LFLD 유형 즉, 산림율과 산림전용률이 모두 낮은 유형으로 분류되었다. 산림율은 최소 1%에서 최대 23%까지 나타났으며, 평균 10.76%를 나타냈다. 산림전용률은 최대 23.05%로 나타났지만, 평균 46.61% 산림면적이 증가한 것으로 나타났다.

Table 2. The characteristics of forest cluster type

Cluster Type	Number of country	Average of forest cover (%)	Average of forest area change rate (%)	Range of forest cover (%)	Range of forest area change rate (%)
HFHD	8	65.88	-49.10	72-61	-69.27 ~ -33.68
HFLD	15	73.00	24.69	98-60	-25.08 ~ 240.04
MFHD	29	41.59	-116.53	58-25	-283.51 ~ -33.19
MFLD	48	38.65	27.91	56-26	-21.34 ~ 160.69
LFHD	23	9.91	-187.83	22-1	-693.38 ~ -34.76
LFLD	37	10.76	46.61	23-1	-29.05 ~ 236.24

HFHD: High forest cover, high deforestation rate,  
HFLD: High forest cover, low deforestation rate,  
MFHD: Medium forest cover, high deforestation rate,  
MFLD: Medium forest cover, low deforestation rate,  
LFHD: Low forest cover, high deforestation rate,  
LFLD: Low forest cover, low deforestation rate

국가별 유형분류 결과의 대륙별 현황은 다음과 같다(Table 3, Figure. 1). 아프리카 대륙은 LFHD와 MFHD 유형이 높은 비율(각 39.53%, 27.91%)을 차지하고 있었다. 아프리카 대륙 과반 이상의 국가가 산림전용률이 높게 나타나는 것으로 나타났다. 아시아 대륙은 LFLD 유형이 높은 비율(51.22%)을 차지하고 있었다. 아시아 대륙 과반 이상의 국가가 산림율과 산림전용률 모두 낮은 것으로 나타났다. 유럽 대륙은 MFLD 유형이 높은 비율(70.27%)을 차지하고 있었다. 유럽 대륙의 대다수 국가가 중간 수준의 산림율을 유지하고 있으며, 산림전용률도 낮은 것으로 나타났다. 북·중양아메리카 대륙은 MFHD와 MFLD 유형이 높은 비율(각 33.33%, 44.44%)을 차지하고 있었다. 북·중양아메리카 대륙은 대다수의 국가가 중간 수준의 산림율을 유지하고 있었으며, 산림전용률이 높은 국가와 낮은 국가로 양분되는 것으로 나타났다. 오세아니아 대륙은 MFLD 유형이 높은 비율(50.0%)을 차지하고 있었다. 오세아니아 대륙은 유럽 대륙의 국가들과 유사하게 과반 이상의 국가가 중간 수준의 산림율을 유지하고 있었으며, 낮은 산림전용률을 유지하고 있었다. 남아메리카 대륙은 MFHD와 HFLD 유형이 높은 비율(각 30.77%, 23.08%)을 차지하고 있었다. 남아메리카 대륙 국가의 약 1/3은 중간 수준의 산림율을 유지하고 있었지만, 높은 산림전용률을 나타내고 있었다. 또 다른 약 1/3의 국가들은 높은 수준의 산림율을 유지하면서, 낮은 산림전용률을 나타내고 있었다. 남아메리카 대륙은 국가별로 산지개발의 양상이 양극화되어 있는 것으로 판단된다.

Table 3. Portion of cluster type by continent

Unit: Number, %

Cluster Type	HFHD	HFLD	LFHD	LFLD	MFHD	MFLD	Total
Africa	2(4.65)	3(6.98)	17(39.53)	5(11.63)	12(27.91)	4(9.30)	43(100)
Asia	3(7.32)	3(7.32)	3(7.32)	21(51.22)	7(17.07)	4(9.76)	41(100)
Europe	0(0)	3(8.11)	0(0)	8(21.62)	0(0)	26(70.27)	37(100)
North and Central America	1(5.56)	1(5.56)	2(11.11)	0(0)	6(33.33)	8(44.44)	18(100)
Oceania	1(12.50)	2(25.0)	0(0)	1(12.50)	0(0)	4(50.0)	8(100)
South America	1(7.69)	3(23.08)	1(7.69)	2(15.38)	4(30.77)	2(15.38)	13(100)

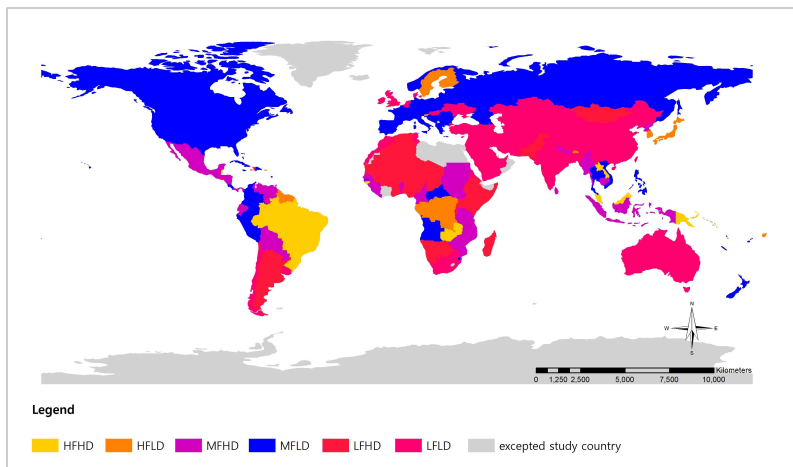


Figure 1. World map of cluster type by countries

## 2. 베이스라인 접근법별 Credit 발행량

### 1) Compensated Reduction 접근법

우루과이(Uruguay)가 ha당 57.99tC으로 가장 많은 양의 Credit 발행이 가능한 것으로 나타났다. 이어서 수리남(Suriname) 35.63tC, 프랑스령 기아나(French Guiana) 32.95tC, 토고(Togo) 30.91tC, 뉴질랜드(New Zealand) 30.65tC, 르완다(Rwanda) 27.69tC, 마르티니크(Martinique) 27.21tC, 슬로베니아(Slovenia) 26.91tC, 브루나이(Brunei Darussalam) 25.32tC, 쿠바(Cuba) 25.03tC 순으로 나타났다. AER에 비해 수배 높은 Credit을 발행하는 것으로 나타났다.

모든 유형의 국가에서 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났으며, 특히 산림전용률이 낮은 MFLD, HFLD 국가에서 높게 나타났다. 모든 대륙에서 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났으며, 특히 남아메리카 국가에서 높게 나타났다.

### 2) Compensated Conservation 접근법

우루과이(Uruguay)가 ha당 84.37tC으로 가장 많은 양의 Credit 발행이 가능한 것으로 나타났다. 이어서 르완다(Rwanda) 42.38tC, 뉴질랜드(New Zealand) 38.72tC, 쿠바(Cuba) 38.35tC, 베트남(Viet Nam) 37.77tC, 수리남(Suriname) 35.42tC, 푸에르토리코(Puerto Rico) 34.02tC, 슬로베니아(Slovenia) 32.73tC, 사모아(Samoa) 30.72tC, 프랑스령 기아나(French Guiana) 30.68tC 순으로 나타났다. AER에 비해 수배 높은 Credit을 발행하는 것으로 나타났다.

모든 유형의 국가에서 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났으

며, 산림전용률이 낮은 MFLD, LFLD, HFLD 국가에서 높게 나타났다. 반면, 산림전용률이 높은 MFHD, LFHD 유형에 속한 국가는 평균적으로 Debit을 발행하는 것으로 나타났으며, 특히 LFHD 유형에 속한 국가에서 높게 나타났다. 아프리카 국가를 제외한 모든 대륙에서 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났으며, 특히 남아메리카, 오세아니아, 유럽에서 높게 나타났다.

### 3) Corridor Approach 접근법

토고(Togo)가 ha당 6.03tC으로 가장 많은 양의 Credit 발행이 가능한 것으로 나타났다. 이어서 나이지리아(Nigeria) 5.11tC, 브룬디(Burundi) 2.73tC, 파키스탄(Pakistan) 2.36tC, 우루과이(Uruguay) 2.24tC, 에콰도르(Ecuador) 1.91tC, 니카라과(Nicaragua) 1.88tC, 수리남(Suriname) 1.79tC, 프랑스령 기아나(French Guiana) 1.70tC, 네팔(Nepal) 1.70tC 순으로 나타났다. 전반적으로 AER 보다 낮은 Credit을 발행하는 것으로 나타났다.

모든 유형의 국가와 대륙에서 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났다. 특히 LFHD 유형에 속한 국가와 아메리카, 아프리카 국가에서 높게 나타났다.

### 4) Incentive Accounting 접근법

나이지리아(Nigeria)가 ha당 112.43tC으로 가장 많은 양의 Credit 발행이 가능한 것으로 나타났다. 이어서 파키스탄(Pakistan) 105.36tC, 에콰도르(Ecuador) 99.51tC, 네팔(Nepal) 97.30tC, 인도네시아(Indonesia) 91.59tC, 니카라과(Nicaragua) 90.92tC, 부룬디(Burundi) 88.50tC, 카메룬(Cameroon) 84.60tC, 토고(Togo) 77.18tC, 파라과이(Paraguay)



76.54tC 순으로 나타났다. AER에 비해 수배 높은 Credit을 발행하는 것으로 나타났다.

모든 유형의 국가와 대륙에서 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났다. 특히 산림전용률이 높은 MFHD, LFHD, HFHD 유형에 속한 국가와 아메리카, 아프리카 국가에서 높게 나타났다.

#### 5) Combined Incentive 접근법

우루과이(Uruguay)가 ha당 2.70tC으로 가장 많은 양의 Credit 발행이 가능한 것으로 나타났다. 이어서 르완다(Rwanda) 1.41tC, 베트남(Viet Nam) 1.19tC, 수리남(Suriname) 1.13tC, 푸에르토리코(Puerto Rico) 1.08tC, 프랑스령 기아나(French Guiana) 1.02tC, 토고(Togo) 0.97tC, 필리핀(Philippines) 0.96tC, 사모아(Samoa) 0.85tC, 포르투갈(Portugal) 0.83tC 순으로 나타났다. 전반적으로 AER 보다 낮은 Credit을 발행하는 것으로 나타났다.

모든 유형의 국가에서 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났으며, 특히 산림전용률이 낮은 MFLD, LFLD, HFLD 국가에서 높게 나타났다. 모든 대륙에서 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났으며, 특히 남아메리카에서 높게 나타났다.

#### 6) Stock Flow 접근법

토고(Togo)가 ha당 2.93tC으로 가장 많은 양의 Credit 발행이 가능한 것으로 나타났다. 이어서 나이지리아(Nigeria) 1.63tC, 우루과이(Uruguay) 0.92tC, 파키스탄(Pakistan) 0.81tC, 포르투갈(Portugal) 0.68tC, 르완다(Rwanda) 0.54tC, 니카라과(Nicaragua) 0.45tC, 모리타니(Mauritania) 0.42tC, 에콰도르(Ecuador) 0.41tC, 베트남(Viet Nam)

0.41tC 순으로 나타났다. 전반적으로 AER 보다 낮은 Credit을 발행하는 것으로 나타났다.

MFLD 유형에 속한 국가를 제외한 모든 유형의 국가가 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났으며, 특히 LFHD 유형에 속한 국가에서 높게 나타났다. 아메리카, 아시아, 아프리카 국가에서 평균적으로 Credit을 발행하는 것으로 나타났으며, 특히 남아메리카와 아프리카 국가에서 높게 나타났다. 오세아니아, 유럽 국가는 평균적으로 유사한 수준의 Debit을 발행하는 것으로 나타났다.

#### 7) 베이스라인 접근법별 특성 종합

계정연도인 2030년의 산림면적이 참조연도인 2010년의 산림면적보다 높다면 Compensated Reduction 접근법 혹은 Compensated Conservation 접근법의 적용이 유리할 것으로 판단된다. 또한, BAU 대비 일정 비율의 산림전용면적을 보전하여 적은 양이라도 Credit을 안정적으로 획득하고자 한다면 Corridor Approach 접근법 혹은 Incentive Accounting 접근법의 적용이 유리할 것으로 판단된다. 산림전용률이 낮으면서 단위면적당 탄소축적량이 높은 국가의 경우, Combined Incentive 접근법 혹은 Stock Flow 접근법의 적용이 유리하게 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

산림전용률이 낮은 MFLD, LFLD, HFLD 유형에 속한 국가는 Compensated Reduction, Compensated Conservation, Combined Incentive 접근법을 적용하면 상대적으로 더욱 많은 양의 Credit을 발행할 수 있을 것으로 판단된다. 반면, 산림전용률이 높은 MFHD, LFHD, HFHD 유형에 속한 국가는 Corridor Approach, Incentive Accounting, Stock Flow 접근법을 적용하면 상대적으로 유리할 것으로 판단된다.

유럽, 오세아니아 국가는 **Compensated Reduction** 접근법 혹은 **Compensated Conservation** 접근법의 적용이 상대적으로 유리하게 작용할 것으로 판단되며, 남아메리카와 아프리카 국가는 **Combined Incentive, Corridor Approach, Incentive Accounting, Stock Flow** 접근법의 적용이 상대적으로 유리할 것으로 판단된다.

우루과이(Uruguay), 토고(Togo), 푸에르토리코(Puerto Rico)가 모든 베이스라인 접근법에서 상위에 랭크되는 대표적인 국가로 나타났다. BAU 대비 산림면적의 보전비율에 따라(시나리오에 따라) 베이스라인 접근법별 국가순위는 소폭 변동하는 것으로 나타났다. 또한, 베이스라인 접근법별 ha당 발행 가능한 Credit의 양은 국가에 따라 소폭 증가하였지만, 전반적으로 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 즉, 보전비율의 증가에 따라 총 산림면적이 증가하면 발행되는 Credit 양도 증가하지만, 단위면적당 Credit 발행량은 큰 변화가 없는 것으로 판단된다.

### 3. 최적 베이스라인 접근법 결정에 따른 Credit 발행량

나이지리아(Nigeria)가 **Incentive Accounting** 접근법을 선택하였을 때 ha당 112.43tC으로 가장 많은 양의 Credit 발행이 가능한 것으로 나타났다. 이어서 파키스탄(Pakistan) 105.36tC, 에콰도르(Ecuador) 99.51tC, 네팔(Nepal) 97.30tC, 인도네시아(Indonesia) 91.59tC, 니카라과(Nicaragua) 90.92tC, 부룬디(Burundi) 88.50tC, 카메룬(Cameroon) 84.60tC, 우루과이(Uruguay) 84.37tC, 토고(Togo) 77.18tC 순으로 나타났다. 우루과이를 제외한 상위 10위 국가들은 **Incentive Accounting** 접근법을 선택하였을 때 가장 많은 양의 Credit을 획득할 수 있는 것으로 나타났다(Table 4).

또한, 160개 국가 중 144개국은 Incentive Accounting 접근법을 선택 하였을 때, 16개국은 Compensated Conservation 접근법을 선택하였을 때 가장 많은 양의 Credit을 획득할 수 있는 것으로 나타났다(Table 5).

Table 4. The best average of selected carbon credits per hectare for commitment period in the top 10 by 20% conservation scenario

Rank	Country	Credits(tC/ha)	Selected baseline approach
1	Nigeria	112.43	Incentive Accounting
2	Pakistan	105.36	Incentive Accounting
3	Ecuador	99.51	Incentive Accounting
4	Nepal	97.30	Incentive Accounting
5	Indonesia	91.59	Incentive Accounting
6	Nicaragua	90.92	Incentive Accounting
7	Burundi	88.50	Incentive Accounting
8	Cameroon	84.60	Incentive Accounting
9	Uruguay	84.37	Compensated Conservation
10	Togo	77.18	Incentive Accounting

Table 5. Average of selected carbon credits per hectare for commitment period by selected baseline approach by 20% conservation scenario

Selected baseline approach	Count of countries	Average credits (tC/ha)
Incentive Accounting	144	30.96
Compensated Conservation	16	27.47

산림전용률이 높은 HFHD, LFHD, MFHD 유형에 속한 국가에서 각 44.78tC, 45.56tC, 48.75tC으로 비교적 많은 양의 ha당 평균 Credit을 발행하는 것으로 나타났다. 또한, 남아메리카, 북·중남아메리카, 아프리카 국가에서 각 51.88tC, 38.08tC, 35.38tC으로 다른 대륙의 국가보다 비교적 많은 양의 ha당 평균 Credit을 발행하는 것으로 나타났다(Figure 2~4).

20 \_ 생태환경논집 [Vol.7, no.1 : 산림분야 기후변화 대응을 위한 전 지구적 REDD+ 도입 및 이행효과 분석 外]

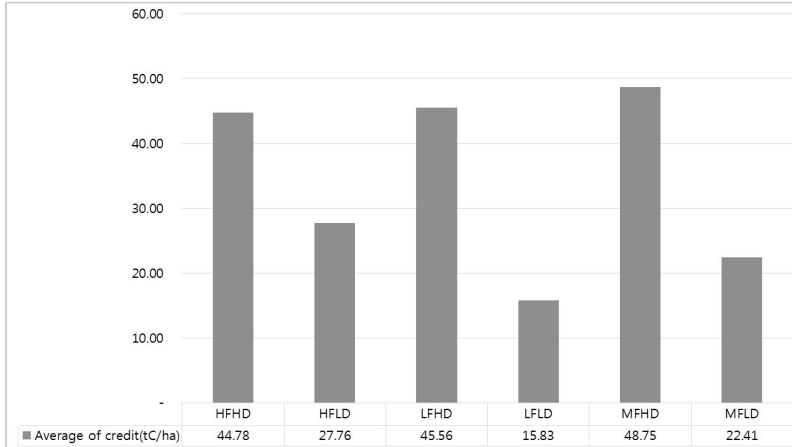


Figure 2. Average of selected carbon credits per hectare for commitment period by cluster type by 20% conservation scenario(tC/ha)

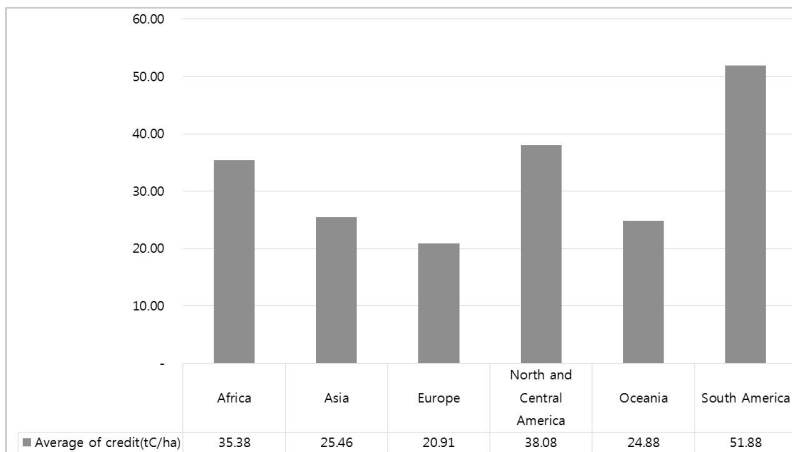


Figure 3. Average of selected carbon credits per hectare for commitment period by continent by 20% conservation scenario(tC/ha)

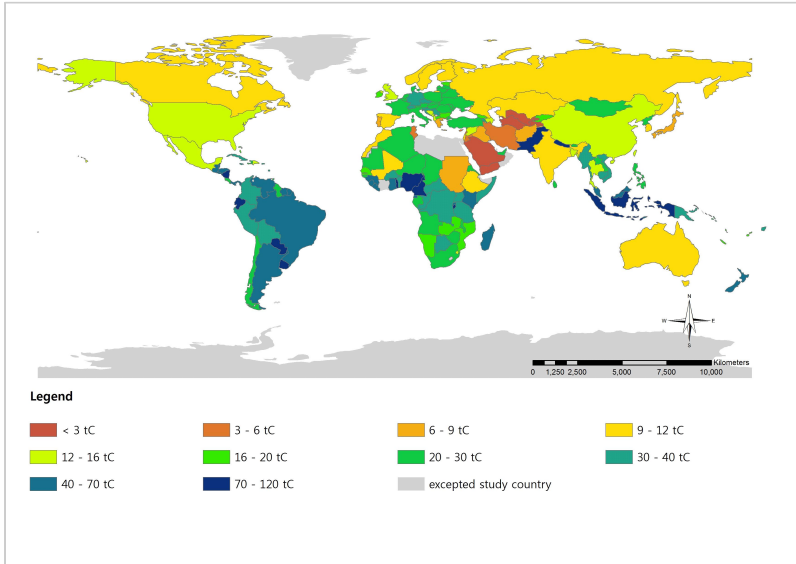


Figure 4. World map of selected carbon credits per hectare for commitment period by countries by 20% conservation scenario

최근 REDD+ 메커니즘을 통한 다양한 편익이 국제적으로 주목받고 있다. 이산화탄소 흡수와 같은 기후변화 대응 가치뿐만 아니라, 생물다양성 보전 등과 같은 생태·환경·경제·사회적 가치도 함께 공존한다는 점에서다. 이러한 접근은 REDD+ 메커니즘이 탄소배출 저감이라는 궁극적 목적 실현과 동시에 생물다양성 보전이나 지역공동체에 대한 사회·경제적 기여 등 다양한 역할을 수행한다는 인식을 가지게 하였다. 따라서 비록 REDD+ 메커니즘은 개발도상국에서의 온실가스 배출감축을 위해 논의된 개념이지만, 이제는 전 세계 어디든 산림이 있는 곳이라면 기후변화 대응을 넘어 산림생태계의 가치 증진을 위해 활용 가능한 활동으로 인식해 나가야 할 것이다.

• 참고문헌

- 김용관, 「REDD+ 이행 시 생물다양성 세이프가드의 단계적 접근 방안에 관한 연구」, 고려대학교 대학원 박사학위 청구논문, 2013.
- 박홍철, 오충현. 「한국의 산림전용 및 산림황폐화 방지를 통한 탄소배출감축 프로그램 이행의 기저선 접근법 연구」, 한국환경생태학회, 제26권, 제4호, 2012, pp. 484-497.
- 박홍철, 오충현. 「한국의 REDD+ 프로그램 이행 적지 분석 및 활성화 방안 연구」, 한국환경생태학회, 제28호, 제2권, 2014, pp. 171-181.
- 차준희, 이종학, 한기주, 배재수, 설미현, 주린원, 「산림 탄소상쇄 사업의 비영속성 처리 방안 -버퍼 제도의 도입을 중심으로-」, 한국임학회, 제101권, 제1호, 2012, pp. 83-90.
- Cattaneo, A., 2008, "A stock-flow mechanism to reduce emissions from deforestation", Workshop on policy approaches and positive incentives on issues relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries, September, p. 2-7.
- Clickgreen, 2014. [http://www.clickgreen.org.uk/research/trends/124316-value-of-worlds-forest-carbon-could-be-undervalued-by-\\$800bn.html/](http://www.clickgreen.org.uk/research/trends/124316-value-of-worlds-forest-carbon-could-be-undervalued-by-$800bn.html/)
- da Fonseca G. A. B., C. M. Rodriguez, G. Midgley, J. Busch, L. Hannah and R. A. Mittermeier, "No forest left behind", Plos Biology, Vol. 5, No. 8, 2007, pp. 1645-1646.
- Ebeling, J. and M. Yasue, "Generating carbon finance through avoided deforestation and its potential to create climatic, conservation and human development benefits", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Science, Vol. 363, No. 1498, 2008, pp. 1917-1924.

- Everitt, B., "Cluster Analysis. Quality and Quantity", Vol. 14, No. 1, 1980, pp. 75-100.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
- Joanneum Research, Union of Concerned Scientists, Woods Hole Research Center, and the Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazonia, "Reducing Emissions from Deforestation in Developing Countries: potential policy approaches and positive incentives", UNFCCC/SBSTA/2006/L.25, 2006.
- Leischner, B. and P. Elsasser, "Reference emission level for REDD : Implications of four different approaches applied to past period's forest area development in 84 countries", vTI Agriculture and Forestry Research Vol. 3, No. 60, 2010, pp. 119-130.
- Mollicone, D, F. Achard, S. Federici, H. F. Eva, G. Grassi, A. Belward, F. Raes, G. Seufert, H. J. Stibig, G. Matteucci, and E. D. Schulze, "An incentive mechanism for reducing emissions from conversion of intact and non-intact forests", Clim Change, Vol. 83, No. 4, 2007, pp. 477-493.
- Parker, C., A. Mitchell, M. Trivedi, and N. Mardas, The little REDD+ book : an updated guide to governmental and non-governmental proposals for reducing emissions from deforestation and degradation. Oxford : Global Canopy Programme, 2009, pp 60-70.
- Santilli M, Moutinho P, Schwartzman S, Nepstad D, Curran L, and Nobre C., Tropical deforestation and the Kyoto Protocol, Clim Change, Vol. 71, No. 3, 2005, pp. 267-276.



24 \_ 생태환경논집 [Vol.7, no.1 : 산림분야 기후변화 대응을 위한 전 지구적 REDD+ 도입 및 이행효과 분석 외]

Stern, N., Stern Review: The Economics of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.

Strassburg, B., R. K. Turner, B. Fisher, R. Schaeffer, and A. Lovett. "An Empirically-Derived Mechanism of Combined Incentives to Reduce Emissions from Deforestation", CSERGE Working Paper ECM 08-01, 2008.

Ward, J. H. "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function", Journal of the American Statistical Association, Vol 48, 1963, pp. 236-244.

## ABSTRACT

An Analysis of the Compensation Value for Carbon Absorption Benefits and Forest Conservation by Introducing and Implementing the Global REDD+ Mechanism

Hong Chul Park

The purpose of this study is to quantify the value of compensation for carbon absorption benefits and forest conservation resulting from the introduction and implementation of the REDD+ mechanism, and to identify the individual characteristics of the main benefit account methodology for the implementation of the REDD+ mechanism. Analysis using the Compensated Redirection, Compensated Conservation, Corridor Approach, Incentive Accounting, Combined Incentive, Stock Flow approach shows that if the forest area in the account year 2030 is higher than the forest area in the reference year of 2010, the Compensated Redirection approach or Compatibility Approach is advantageous. In addition, the Corridor Approach or the Incentive Accounting approach was found to be advantageous if a certain percentage of forest dedicated area was to be preserved compared to the BAU and the Credit was to be achieved in a stable. In countries with low forest utilization rates and high carbon accumulation per unit area, the application of the Combined Incentive or Stock Flow approach may be beneficial. The largest amount of credit was found to be available at 112.43tC per ha when Nigeria opted for the Incentive Accounting approach. It was followed by Pakistan 105.36tC, Ecuador 99.51tC, Nepal 97.30tC, Indonesia 91.59tC, Nicaragua 90.92tC, Burundi 88.50tC, Cameroon 84.60tC, Uruguay 84.37tC and Togo 77.18tC.

26 \_ 생태환경논집 [Vol.7, no.1 : 산림분야 기후변화 대응을 위한 전 지구적 REDD+ 도입 및 이행효과 분석 외]

With the exception of Uruguay, the top 10 countries were found to be able to obtain the largest amount of Credit when the Incentive Accounting approach was taken. In addition, 144 of the 160 countries chose the Incentive Accounting approach, and 16 countries were found to be able to obtain the largest amount of credit when the Compensated Conservation approach is taken.

Keywords: Climate change, Deforestation, Degradation, Baseline approach, Credit



# 식물계절 연구 사례 검토

박은하\*

---

## <목 차>

I. 서론

II. 현장 관측을 통한 식물계절 연구

III. 위성영상을 활용한 생물계절 연구

IV. 결론 및 고찰

---

---

\* 국립공원공단 국립공원연구원 조사연구부 (paoseeh@knps.or.kr)

식물계절은 기온상승의 잠재적인 영향을 평가하는 데 유용한 지표로서 기후 변화의 부정적인 영향을 최소화하기 위해서는 장기적인 관점에서 그 변화를 살펴볼 필요가 있다. 그러나 국내의 경우 매우 제한적인 연구가 진행되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 최근 다양한 방법으로 진행되고 있는 식물계절 관련 연구 사례를 검토하고 우리나라에 적용 할 수 있는 방안을 모색해보았다. 검토 결과 향후 식물계절에 대한 연구는 신뢰성 있는 현장 조사 기반 연구가 진행되어야 하며 다양한 공간 범위에 대한 연구가 병행함으로써 현장 조사 기반 연구 결과와 위성영상 기반 연구 결과를 상호 연계하여 비교 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

주제어 기후변화, 식생지수, 위성영상, 장기 모니터링, 지구온난화

## I. 서론

최근 식물계절은 기후변화와 기온상승의 잠재적인 영향을 평가하는 데 유용한 지표로서 활용되고 있다(Nordli et al., 2008). 특히 식물계절의 급격한 변화는 생물종간 생물계절 불일치 현상을 초래하고 먹이사슬의 구조를 변화시키게 된다(Stenseth and Mysterud, 2002; Both et al., 2006; Jones and Cresswell, 2010). 이러한 변화가 지속될 경우 생태계의 불균형을 초래할 수 있기 때문에 식물계절의 변화를 살펴보는 것은 생태학적으로 주요한 관심사가 되어가고 있다. 향후 기후변화의 부정적인 영향을 최소화하기 위해서는 장기적인 관점에서 식물계절의 변화를 살펴볼 필요가 있다. 그러나 국내의 경우 일부 지역 또는 특정종에 한해 단기간의 조사만이 이루어지는 경우가 많기 때문에 기후와 식물계절과의 관계를 연구하는데 있어 자료가 매우 제한적이라 할 수 있다(최철현, 2016). 따라서 본 연구는 최근 다양한 방법으로 진행되고 있는 식물계절 관련 연구 사례를 검토하고 우리나라에 적용 할 수 있는 방안을 모색해보고자 한다.

## II. 현장 관측을 통한 식물계절 연구

전통적인 방법으로 식물계절을 연구하는 방법은 육안을 통해 식물의 개엽(budding) 또는 개화(flowering)와 같은 식물계절 현상을 관측하고

기록하는 것이다. 유럽은 가장 광범위하고 활동적인 식물계절 관측이 이루어지고 있는 지역으로 International Phenological Gardens(IPGs)이라는 관측망을 통해 1959년 이후 23개 식물 중에 대해 개엽, 개화, 낙엽 등 7개의 식물계절 관측 자료를 구축하고 있다. 미국의 경우 PhenoCam 네트워크를 구축하고 있다. PhenoCam 네트워크는 북미를 위주로 알래스카에서 텍사스까지 400개가 넘는 관측지역에서 디지털 카메라를 활용하여 자동화된 관측 시스템을 구축하고 있다(표 1). 일본 역시 디지털 카메라와 분광 복사계 등을 이용하여 자동화된 관측 시스템을 구축하고 있다. 대표적인 네트워크로는 일본 생물다양성 센터에서 관리하는 전국의 국립공원의 인터넷 정보 시스템(Internet Nature Information System, INIS)과 생태계 조사지역에서 어안렌즈를 활용하여 수관층의 변화를 모니터링하는 PEN 시스템(Phenological Eyes Network), 주로 대학 산림 연구소의 지원을 받고 있는 Cyberforest 등이 있다(표 1). 이러한 네트워크들은 관측 자료를 홈페이지를 통해 공유하고 있으며 PhenoCam이나 PEN의 경우 식생지수를 활용하여 분석된 결과와 분석방법 등을 함께 제공하고 있다(Nasahara and Nagai, 2015). 우리나라의 경우 기상청에서 1904년 이후 발아, 개화 단풍 등의 식물계절을 관측하고 있으며, 산림청의 경우 1968년부터 산림과학원 내부 홍릉숲에서 개화시기를 관측해왔다.

표 1. 생물계절 네트워크

네트워크	내용	홈페이지 주소
PhenoCam	하버드대 Andrew Richardson 교수 연구팀에서 구축한 대륙 규모 네트워크로 디지털 카메라를 이용한 생태계 규모의 엽면적 지수를 연속 모니터링하는 시스템을 개발하여 사바나 생태계에 적용, RGB 정보로부터 greenness index를 추출하여 생물계절 조사	<a href="https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/">https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/</a>
INIS	일본의 생물다양성센터에서 운영하는 인터넷 정보 시스템으로 국립공원과 야생생물의 web camera 이미지 제공	<a href="http://www.sizenken.biodic.go.jp">http://www.sizenken.biodic.go.jp</a>
PEN	일본의 Shin Nagai 박사 연구팀에서 구축한 아시아 네트워크로 어안렌즈가 장착된 디지털 카메라 두대를 타워상층에서 군락을 향해, 그리고 숲 지면에서 하늘방향으로 향해 설치하여, 군락의 생물계절을 두 방향에서 모니터링하는 시스템인 PEN-EYE를 개발하여 생물계절 조사	<a href="http://www.pheno-eye.org">http://www.pheno-eye.org</a>
Cyberforest	1995년부터 도쿄 대학 연구팀에서 연습림에 카메라를 설치하여 산림 환경의 변화와 새소리를 기록하고 인터넷을 통해 공유. 인근 초·중고등학교에 원격 수업을 진행하기도 함	<a href="http://landscape.nenv.k.u-tokyo.ac.jp/cyberforest/Welcome.html">http://landscape.nenv.k.u-tokyo.ac.jp/cyberforest/Welcome.html</a>

### III. 위성영상을 활용한 생물계절 연구

식물계절을 연구하는 또 하나의 방법으로 항공사진 혹은 위성영상 기반의 식생지수를 활용하는 방법이 있다. 우리나라와 같이 식물의 계절변화가 큰 지역의 경우 식생지수 역시 일정한 주기를 가지고 변화하는 특성



을 갖는다. 이러한 특성을 이용하여 식생지수를 바탕으로 생육이 시작되는 시점과 종료되는 시점을 도출하는 방법이 많이 연구되어 왔다(Myneni et al., 1997; Tucker et al., 2001; Jeong et al., 2009; Julien and Sobrino, 2009; White et al., 2009). 위성영상 기반의 식생지수는 오래전부터 연구되어 왔으며 위성의 종류 및 센서에 따라 그 종류가 매우 다양하다. 가장 대표적인 식생지수인 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 식물의 클로로필이 가시광선 영역인 0.45~0.67 $\mu$ m의 파장대는 강하게 흡수하고 근적외 영역(0.74~1.3 $\mu$ m)은 반사하는 특성을 이용하여 식생의 활력도를 평가하는 지수이다. 이후 대기에 의한 영향을 보정하기 위한 ARVI(Atmospherically Resistant Vegetation Index)와 토색, 토양수분, 식생의 밀도 등 토양에 의한 영향을 보정하기 위한 SAVI(Soil-Adjusted Vegetation Index)가 제안되었다. 자연 상태에서 대기와 토양의 영향은 복합적으로 나타나며 따라서 두 가지 영향을 모두 고려한 지수가 개발되었다. EVI(Enhanced Vegetation Index)는 식생의 밀도와 대기에 의한 영향을 보완하기 위해 개발된 지수이다. 청색밴드와 에어로졸에 따른 보정 계수와 수관밀도에 따른 조정계수가 추가되어 식생이 밀집해 있는 지역에서 더 정확한 값을 도출할 수 있으며, 대기의 영향에 의한 오차가 NDVI보다 적다(Huete and Liu, 1994).

최근에는 근적외 영역의 밴드를 제외하고 가시광선 영역의 파장대만으로 식생지수를 산정하는 방법들이 개발되고 있다(표 2). 가시광선을 활용한 식생지수의 경우 위성영상 외에도 항공사진이나 디지털 카메라를 활용하여 현장에서 관측된 영상을 기반으로 생물계절을 분석하는 데 활발히 활용되고 있다. PhenoCam의 경우 Phenopix package 활용하여 Green Chromatic Coordinate( $G_{CC}$ ) 지수로 봄철 개엽 시기를 분석하며  $G_{CC}$ 와  $R_{CC}$ 를 조합하여 가을철 생물계절현상을 분석한다.

표 2. 가시광선 영역(RGB) 기반 식생지수

식생지수	수식	출처
Green chromatic coordinates	$G_{CC}=G_{DN}/(R_{DN}+G_{DN}+B_{DN})$	Gillespie et al., 1987
Excess Green Index(ExG)	$ExG=2n_{green}-(n_{red}+n_{blue})$	Woebbecke et al. 1995
Hue	$Hue=(b-r)/((I_{max}-I_{min})\times 60)+120$ if $g=I_{max}$ $Hue=(b-r)/((I_{max}-I_{min})\times 60)+240$ if $b=I_{max}$ $Hue=(b-r)/((I_{max}-I_{min})\times 60)+360$ if $g<b$ $Hue=(b-r)/((I_{max}-I_{min})\times 60)$ otherwise	Joblove & Greenberg, 1978
Green-Red Vegetation Index(GRVI)	vegetation if Green<Red soil if Green>Red snow or water if Green=Red	Motohka et al., 2010
Visible-band Difference Vegetation Index(VDVI)	$(2\times G-R-B)/(2\times G+R+B)$	Wang et al., 2015
Visible Atmospherically Resistant Index(VARI)	$VARI=(G-R)/(G+R-B)$ Normalized $VARI=(G-R)/(G+R)$	Gitelson et al., 2002
Red-Green Ratio Index(RGRI)	R/G	Verrelst et al., 2008
Modified Green Red Vegetation Index(MGRVI)	$(G^2-R^2)/(G^2+R^2)$	Bendig et al., 2015
Color Index of Vegetation(CIVE)	$0.441\times R-0.881\times G+0.385\times B+18.787$	Kataoka et al., 2003
Vegetativen(VEG)	$G/(R^a*B^{(1-a)})$ $a=0.667$	Hague et al., 2006

#### IV. 결론 및 고찰

식물계절 연구 사례를 살펴본 결과 크게 현장 조사를 기반으로 도출하는 방법과 위성영상을 기반으로 식생지수를 분석하여 식물계절을 도출하는 연구가 진행되고 있는 것을 살펴볼 수 있었다. 현장 기반의 조사는 관찰자의 숙련도, 시기, 기간, 방법에 따른 오차가 발생할 수 있고 관측할 수 있는 공간적 범위가 한정적이라는 한계가 있다. 또한 우리나라의 경우 대부분의 관측 장소가 도시와 인접한 지역에 위치하고 있어 도시의 열섬 효과를 내포하고 있다는 한계 역시 지니고 있다. 위성영상 기반 연구의 경우 광역적인 산림지역에 대한 결과를 도출할 수 있는 장점이 있는 반면 신뢰도 있는 현장 관측 자료가 부족한 실정에서 세부적인 검증이 어렵다는 한계가 있다. 따라서 향후 식물계절에 대한 연구는 개체 수준에서 경관 수준까지 다양한 공간 범위에 대한 연구가 병행되어야 할 것이며, 특히 신뢰도 있는 지역별, 수종별 현장 조사 기반 관측 자료가 구축되어야 할 것이다. 앞서 살펴본 바와 같이 최근에는 관찰자로 인한 오차를 줄이고 장기적으로 자료를 구축하기 위해 디지털카메라 등을 통해 자료 수집을 자동화하고 객관적인 식생지수를 분석하여 도출하는 방법들이 많이 시도되고 있다. 이러한 방법을 통해 개체 혹은 개체군 단위의 자료를 장기간 안정적으로 수집하고 이를 위성영상을 활용한 경관 단위의 자료와 상호 연계하여 비교 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

• 참고문헌

- 최철현, 정성관, 박경훈, 「위성영상을 기반으로 도출된 식물계절과기온요인과의 상관관계 분석」, 한국지리정보학회지, 제19권, 제1호, 2016, pp. 30-42.
- Bendig, J., K. Yu, H. Aasen, A. Bolten, S. Bennertz, J. Broscheit, M. L. Gnyp, and G. Bareth, "Combining uav-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley", *Int. J. Appl. Earth Obs*, Vol. 39, 2015, pp. 79-87.
- Both, C., S. Bouwhuis, C. M. Lessells, and M. E. Visser, "Climate change and population declines in a long-distance migratory bird", *Nature*, Vol. 441, No. 7089, 2006, pp. 81-83.
- Gillespie, A. R., A. B. Kahle, and R. E. Walker, "Color enhancement of highlycorrelated images. II. Channel ratio and chromaticity transformation techniques", *Remote Sens Environ*, Vo. 22, 1987, pp. 343-365.
- Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman, R. Stark, and D. Rundquist, "Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction", *Remote Sens. Environ*, Vol 80. 2002, pp. 76-87.
- Hague, T., N. D. Tillett, and H. Wheeler, "Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals", *Precis Agric*, Vol. 7, 2006, pp. 21-32.
- Jeong, S. J., C. H. Ho, and J. H. Jeong, "Increase in vegetation greenness and decrease in springtime warming over East Asia", *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, No. 2, 2009, L02710.
- Joblove, G. H. and D. Greenberg, "Color spaces for computer graphics", *Computer Graphics*, Vol. 12, 1978, pp. 20-27.

- Jones, T. and W. Cresswell, "The phenology mismatch hypothesis: Are declines of migrant birds linked to uneven global climate change?", *Journal of Animal Ecology*, Vol. 79, No. 1, 2010, pp. 98-108.
- Julien, Y. and J. A. Sobrino, "Global land surface phenology trends from GIMMS database", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, No. 13, 2009, pp. 3495-3513.
- Kataoka, T., T. Kaneko, H. Okamoto, and S. Hata, "Crop growth estimation system using machine vision". In *Proceedings of the 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Kobe, Japan, 20-24 July 2003, pp. 1079-1083.
- Motohka, T., K. N. Nasahara, H. Oguma, and S. Tsuchida, "Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology", *Remote Sensing*, Vol. 2, 2010, pp. 2369-2387.
- Myneni, R. B., C. D. Keeling, C. J. Tucker, G. Asrar, and R. R. Nemani, "Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991", *Nature*, Vol. 386, No. 6626, 1997, pp. 698-702.
- Nordli, Ø., F. E. Wielgolaski, A. K. Bakken, S. H. Hjeltnes, F. Mage, A. Sivle, and O. Skre, "Regional trends for bud burst and flowering of woody plants in Norway as related to climate change", *International Journal of Biometeorology*, Vol. 52, 2008, pp. 625-639.
- Stenseth, N. C. and A. Myrsterud, "Climate, changing phenology, and other life history traits: Non linearity and match-mismatch to the environment", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, 2002, pp. 13379-13381.
- Tucker, C. J., D. A. Slayback, J. E. Pinzon, S. O. Los, R. B. Myneni, and M. G. Taylor, "Higher northern latitude normalized difference

- vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999", International Journal of Biometeorology, Vol. 45, No. 4, 2001, pp. 184-190.
- Verrelst, J., M. E. Schaepman, B. Koetz, M. Kneubuehler, "Angular sensitivity analysis of vegetation indices derived from chris/proba data", Remote Sens Environ, Vol. 112, 2008, pp. 2341-2353.
- Wang, X., M. Wang, S. Wang, Y. Wu, "Extraction of vegetation information from visible unmanned aerial vehicle images", Trans Chin Soc Agric Eng, Vol 31, 2015, pp. 152-159.
- White, M. A., De Beurs, M. Kirsten, K. Didan, D. W. Inouye, A. D. Richardson, O. P. Jensen, J. O'keefe, G. Zhang, and R. R. Nemani, "Intercomparison, interpretation, and assessment of spring phenology in North America estimated from remote sensing for 1982-2006", Global Change Biology, Vol. 15, No. 10, 2009, pp. 2335-2359.
- Woebbecke, D., G. Meyer, K. Von Bargen, D. Mortensen, "Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions", Trans. ASAE, Vol. 38, 1995, pp. 259-269.

## ABSTRACT

### Review of plant phenology research

Eunha Park

Phenology is useful for assessing the potential impact of rising temperatures. Long-term investigation of phenology is needed to minimize the negative impacts of climate change. In Korea, research of phenology is limited. Therefore, literature review was conducted on recent research cases. As a result of reviewing various studies, reliable field survey and satellite image analysis should be done in parallel. And it is necessary to compare the results of the field survey and satellite image analysis.

Keywords: Climate change, Vegetation index, Satellite image, Long term monitoring, Global warming



# 동국대학교 서울캠퍼스 귀화식물상

권오정\*

---

## <목 차>

I. 서론

II. 연구방법

III. 연구결과

1. 귀화식물 현황
2. 귀화율

IV. 결론

---

---

\* 동국대학교 생태환경연구소 (ojtale@dongguk.edu)



귀화식물이란 인위적 또는 자연적으로 자연생태계에 들어와 도태되지 않고 자력으로 토착하여 공존하며 살아가는 식물을 말하며, 10년 이상 생육, 번식, 확산을 통해 자생종과 융화되어 자라는 종이다. 이러한 귀화식물은 새로운 환경에 빠르게 적응 및 번식하는 특성을 통해 널리 확산하며 자생식물의 생육을 저하시키거나 위협하기도 한다. 본 연구는 동국대학교 서울캠퍼스내의 귀화식물을 조사 및 분석하여 캠퍼스 녹지공간의 건전성 유지를 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다. 동국대학교 서울캠퍼스의 식물은 217분류군이 관찰되었고, 귀화식물은 26분류군이 확인되었다. 국화과에서 9분류군이 확인되어 가장 많은 비중(34.6%)을 차지하고 있었다. 귀화식물은 초본이 23분류군(88.5%), 목본이 3분류군(11.5%)으로 초본의 비중이 높았다. 동국대학교 서울캠퍼스의 귀화율은 12.0%로 나타났다. 서울의 중심부에 위치하며 남산과 인접하고 있어 많은 왕래가 이루어지는 입지조건에도 불구하고 귀화율을 높지 않았고, 귀화식물이 출현하는 패턴 역시 유동인구 및 조경공간에 영향을 미칠 정도로 대규모로 출현하지는 않았다.

주제어 교란, 귀화식물, 귀화율, 식물상, 외래종

## I. 서론

귀화식물이란 인위적 또는 자연적으로 자연생태계에 들어와 도태되지 않고 자력으로 토착하여 공존하며 살아가는 식물을 말하며, 최근에는 침입외래식물 중 자연생태계에 적응하여 지속적인 개체군을 형성하고 10년 이상 생육, 번식, 확산을 통해 자생종과 구분 없이 융화되어 자라는 종으로 정의하고 있다(정수영 등, 2016). 이러한 귀화식물은 새로운 환경에 빠르게 적응 및 번식하는 특성을 통해 널리 확산하며 자생식물의 생육을 저하시키거나 위협하기도 한다(Park et al., 2011).

침입외래식물 · 관심외래식물 · 불확실종 · 사전귀화식물은 268 분류군에 해당하며, 침입외래식물로 분류된 귀화식물은 250 분류군에 해당한다(국립수목원, 2017; 정수영 등, 2016). 환경부에서는 생태계 등에 미치는 위해가 큰 생물을 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」 제23조의 규정에 따라 생태계교란 생물로 정하고 있으며 식물의 경우 현재 14종이 지정되어 관리되고 있다(표 1).

동국대학교 서울캠퍼스는 서울 중심부에 위치하며 남산과 인접해 있어 다양한 인적 · 물적 교류가 일어나고 있어 다양한 귀화식물이 분포할 수 있는 사회적 · 지리적 입지를 지니고 있다. 본 연구는 동국대학교 서울캠퍼스내의 귀화식물을 조사 및 분석하여 캠퍼스 녹지공간의 건전성 유지를 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다.

표 1. 생태계교란 식물 (환경부고시 제2017-265호)

국명	학명
돼지풀	<i>Ambrosia artemisiaefolia</i> var. <i>elatio</i> r
단풍잎돼지풀	<i>Ambrosia trifida</i>
서양등골나물	<i>Eupatorium rugosum</i>
털물참새피	<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i>
물참새피	<i>Paspalum distichum</i> var. <i>distichum</i>
도깨비가지	<i>Solanum carolinense</i>
애기수영	<i>Rumex acetosella</i>
가시박	<i>Sicyos angulatus</i>
서양금혼초	<i>Hypochoeris radicata</i>
미국쭈부쟁이	<i>Aster pilosus</i>
양미역취	<i>Solidago altissima</i>
가시상추	<i>Lactuca scariola</i>
갯줄풀	<i>Spartina alterniflora</i>
영국갯근풀	<i>Spartina anglica</i>

## II. 연구방법

연구대상지인 동국대학교 서울캠퍼스의 면적은 341,498m<sup>2</sup>이며 2019년 4월부터 6월까지 현장조사를 실시하였다. 조사범위는 대상지 내의 조경공간 및 자연녹지를 포함하며 옥상녹화지역은 제외하였다. 식물 동정은 이창복(2003a; 2003b), 김진석 등(2011), 김진석 등(2018), 조양훈 등(2016)의 문헌을 참고하였고, 학명은 국가표준식물목록을 바탕으로 작성하였다. 귀화식물은 국립수목원(2017), 정수영 등(2016)의 기준을 따랐다.

귀화율(Numata, 1975)은 아래의 식으로 계산하였다.

$$\text{귀화율(Naturalization Index)} = S / N \times 100$$

(S : 귀화식물종 수, N : 일정 지역의 전체 식물종 수)

### III. 연구결과

#### 1. 귀화식물 현황

동국대학교 서울캠퍼스의 식물은 77과 158속 189종 3아종 16변종 8 품종 1재배종 217분류군이 관찰되었고, 귀화식물은 총 14과 23속 26종 26분류군이 확인되었다(표 2, 그림 1). 귀화식물은 국화과에서 9분류군이 확인되어 가장 많은 비중(34.6%)을 차지하고 있으며, 다음으로 콩과 3분류군(11.5%), 비름과 및 질경이과가 각각 2분류군씩(각 7.7%) 확인되었다. 생태계교란식물은 서양등골나물(*Eupatorium rugosum* Houtt.)과 가시상추(*Lactuca scariola* L.) 2분류군이 관찰되었다. 본 조사를 통해 확인된 귀화식물은 대부분 외부에서 도입된 종으로 판단되나 아까시나무의 경우 식재 및 이입이 모두 이루어진 것으로 보이며 일본목련은 조경용으로 식재된 수종에 해당하였다. 분꽃과 큰금계국은 과거에 조경용으로 일부 지역에 식재된 것이 부분적으로 출현하고 있는 것으로 판단된다.

표 2. 귀화식물 목록

Family name	Scientific name	Korean name
Magnoliaceae 목련과	<i>Magnolia obovata</i> Thunb.	일본목련
Euphorbiaceae 대극과	<i>Euphorbia supina</i> Raf.	애기명빈대
Violaceae 제비꽃과	<i>Viola papilionacea</i> Pursh	종지나물
Fabaceae 콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	족제비싸리
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	아까시나무
	<i>Trifolium repens</i> L.	토끼풀
Onagraceae 비늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L.	달맞이꽃
Brassicaceae 십자화과	<i>Lepidium virginicum</i> L.	콩다닥냉이
Amaranthaceae 비름과	<i>Chenopodium album</i> L.	흰명이주
	<i>Chenopodium ficifolium</i> Smith	좁명이주
Caryophyllaceae 석죽과	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	유럽점나도나물
Nyctaginaceae 분꽃과	<i>Mirabilis jalapa</i> L.	분꽃
Phytolaccaceae 자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L.	미국자리공
Polygonaceae 마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L.	소리쟁이
Plantaginaceae 질경이과	<i>Veronica arvensis</i> L.	선개불알풀
	<i>Veronica hederifolia</i> L.	눈개불알풀
Asteraceae 국화과	<i>Comyza canadensis</i> (L.) Cronquist	망초
	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.	큰금계국
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.	붉은서나물
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	개망초
	<i>Erigeron strigosus</i> Muhl. ex Willd.	주걱개망초
	<i>Eupatorium rugosum</i> Houtt.	서양등골나물 *
	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	뚱판지
	<i>Lactuca scariola</i> L.	가시상추 *
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber	서양민들레
Poaceae 벼과	<i>Poa compressa</i> L.	좁포이풀

\* 생태계교란식물



그림 1. 귀화식물 사진. 가시상추(좌상), 애기땅빈대(우상), 족제비싸리(좌하), 아까시나무(우하)

귀화식물은 초본이 23분류군(88.5%), 목본이 3분류군(11.5%)으로 초본의 비중이 높았다. 목본 귀화식물은 주로 사람이 잘 다니지 않는 위치에 소규모 군락을 이루고 있었다. 캠퍼스의 녹지 및 조경공간은 관리를 위해 주기적으로 예초작업이 이루어지고 있는데 이로 인해 외부에서 이입된 목본 식물의 경우 성목에 이르지 못하는 경우가 많은 것으로 판단된다. 초본의 경우 대상지 전반에 걸쳐 출현하였으나 이 역시 소규모 군락으로 나타나고 있었다. 특히 교목이 우점하고 있는 산림형 녹지보다는 광조건이 양호하고 사람의 왕래가 잦은 주요 도로 및 인도변 및 녹지에서 많이 확인할 수 있었다.

46 \_ 생태환경논집 [Vol.7, no.1 : 산림분야 기후변화 대응을 위한 전 지구적 REDD+ 도입 및 이행효과 분석 외]

초본은 다년생, 2년생, 1년생의 순으로 많이 나타났고, 목본은 교목, 관목 순으로 확인되었다(그림 2). 원산지는 북아메리카가 13분류군으로 전체의 절반을 차지했다(그림 3).

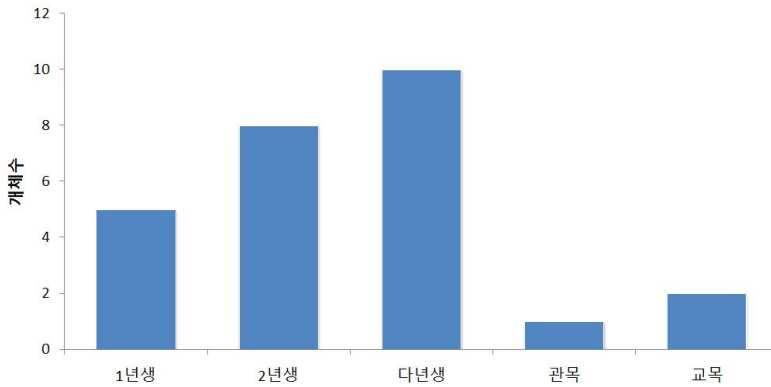


그림 2. 성상에 따른 귀화식물 개체수

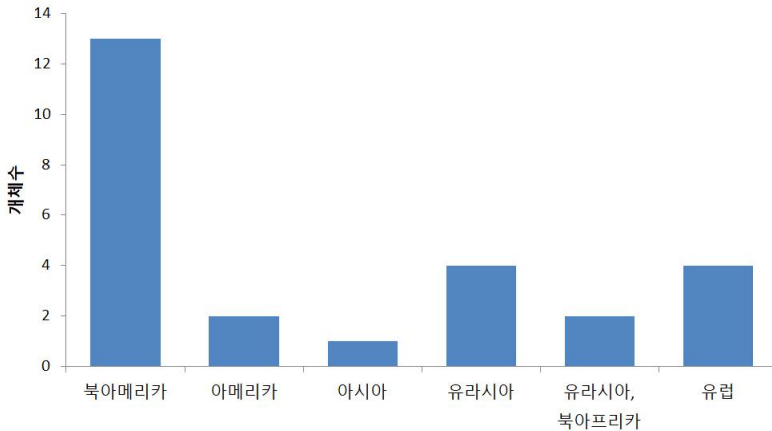


그림 3. 원산지에 따른 귀화식물 개체수

## 2. 귀화율

동국대학교 서울캠퍼스의 귀화율은 12.0%로 나타났다. 이는 우리나라 산지 평균 귀화율 보다는 다소 높으나 잦은 교란이 이루어지는 하천 보다는 낮고, 서울 도시립과 비교해 유사한 수치로 확인된다(공우석 등, 2014; 이유미 등, 2002; Kim et al., 2000).

## IV. 결론

서울의 중심부에 위치하며 남산과 인접하고 있어 많은 왕래가 이루어지는 입지조건에도 불구하고 귀화율을 높지 않았고, 귀화식물이 출현하는 패턴 역시 유동인구 및 조경공간에 영향을 미칠 정도로 대규모로 출현하지는 않았다. 다만, 여름 이후로 확인되는 귀화식물 종과 출현규모의 변화는 모니터링 될 필요가 있다. 현재 귀화식물이 확산하는 양상은 보이지 않아 이를 관리하기 위한 특별한 대책이 필요하다고 보이지는 않으나, 필요시 신속한 대응을 위해 지속적인 모니터링 및 장기적인 추세 변화를 확인하는 것이 필요하다고 판단된다.

### • 참고문헌

공우석, 김건옥, 이슬기, 박희나, 「서울시 도시 숲의 경관생태와 관리방안」, 환경영향평가, 제23권, 제3호, 2014, pp. 208-219.



- 국립수목원, 「국가표준식물목록(개정판)」, 2017.
- 김진석, 김종환, 김중현, 『한국의 들꽃』, 돌베개, 2018.
- 김진석, 김태영, 『한국의 나무』, 돌베개, 2011.
- 이유미, 박수현, 정순선, 「서울 중랑천의 식생구성과 식물상」, 한국환경생태학회지, 제16권, 제3호, 2002, pp. 271-286.
- 이창복, 『원색 대한식물도감』, 향문사, 2003.
- 정수영, 이준우, 권영한, 신현탁, 김상준, 안중빈, 허태임, 『한국 침입외래식물의 이해』, 국립수목원 산림자원보존과, 2016.
- 조양훈, 김종환, 박수현, 『벼과·사초과 생태도감』, 지오북, 2016.
- Kim J. M, Y. J. Yim, and E. S. Jeon, 2000. Naturalized plants of Korea. Science Books, Seoul. p 272.
- Numata, M., Illustrated plant ecology. Ashakura Book Co., Tokyo, 1970.
- Park, M. S., D. O. Lim, and H. S. Kim, "Distribution and management of naturalized plants in the eastern area of Jellanamdo, Korea", Korean J. Plant Res. Vol. 24, No. 5, 2011, pp. 489-498.

## ABSTRACT

### Naturalized Plants in Seoul Campus, Dongguk University

Ohjung Kwon

Naturalized plants are plants that artificially or naturally enters into a natural ecosystem and lives by coexistence and self-survival. It is a species that grows in harmony with native species through growth, reproduction, and diffusion for over 10 years. The naturalized plants can spread widely with their ability to quickly adapt to new environments and reproduce, and they can reduce or threaten the growth of native plants. The purpose of this study is to provide basic data for maintaining the health of campus green space by analyzation of naturalized plants in Seoul campus, Dongguk University. 217 taxa were observed in the plants of the Dongguk University Seoul campus, and 26 taxa of the naturalized plants were identified. Nine taxa were identified in Asteraceae, accounting for 34.6%. The naturalized plants were herbaceous 23 taxa (88.5%) and woody 3 taxa (11.5%). The naturalization rate of Seoul campus, Dongguk University was 12.0%. Although Dongguk University is located in the center of Seoul and is adjacent to Namsan and there are heavy movement of traffic, naturalization index was not high. And the patterns of naturalized plants did not appear on a large scale to affect the floating population and landscape space.

Keywords: Disturbance, Naturalized Plants, Naturalization Index, Flora, Exotic species

부록 1. 동국대학교 서울캠퍼스 식물상

Family name	Scientific name
Equisetaceae	<i>Equisetum arvense</i> L.
Ginkgoaceae	<i>Ginkgo biloba</i> L.
Cupressaceae	<i>Chamaecyparis pisifera</i> (Siebold & Zucc.) Endl. <i>Juniperus chinensis</i> L. <i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> A.Henry <i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc. <i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu & W.C.Cheng <i>Thuja occidentalis</i> L. <i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco
Taxaceae	<i>Taxus cuspidata</i> Siebold & Zucc.
Pinaceae	<i>Abies holophylla</i> Maxim. <i>Abies koreana</i> E.H.Wilson <i>Picea abies</i> (L.) H.Karst. <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. <i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc. <i>Pinus densiflora</i> f. <i>multicaulis</i> Uyeki <i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc. <i>Pinus parviflora</i> Siebold & Zucc. <i>Pinus strobus</i> L.
Magnoliaceae	<i>Liriodendron tulipifera</i> L. <i>Magnolia denudata</i> Desr. <i>Magnolia denudata</i> var. <i>purpurascens</i> (Maxim.) Rehder & E.H.Wilson <i>Magnolia kobus</i> DC. <i>Magnolia obovata</i> Thunb.
Berberidaceae	<i>Nandina domestica</i> Thunb.
Lardizabalaceae	<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne.
Menispermaceae	<i>Cocculus trilobus</i> (Thunb.) DC.
Papaveraceae	<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i> (H. Hara) Ohwi <i>Corydalis incisa</i> (Thunb.) Pers. <i>Dicentra spectabilis</i> (L.) Lem.
Ranunculaceae	<i>Clematis apiifolia</i> DC.
Nelumbonaceae	<i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn.
Buxaceae	<i>Buxus koreana</i> Nakai ex Chung & al. <i>Pachysandra terminalis</i> Siebold & Zucc.

부록 1. (계속)

Family name	Scientific name
Crassulaceae	<i>Sedum bulbiferum</i> Makino
	<i>Sedum kamschaticum</i> Fisch. & Mey.
	<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge
Paeoniaceae	<i>Paeonia lactiflora</i> Pall.
	<i>Paeonia suffruticosa</i> Andrews
Saxifragaceae	<i>Mukdenia rossii</i> (Oliv.) Koidz.
	<i>Saxifraga stolonifera</i> Meerb.
Vitaceae	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.
	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.
Celastraceae	<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb.
	<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Siebold
	<i>Euonymus fortunei</i> var. <i>radicans</i> (Siebold & Miq.) Rehder
Oxalidaceae	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb.
	<i>Oxalis corniculata</i> L.
	<i>Oxalis stricta</i> L.
Euphorbiaceae	<i>Oxalis triangularis</i> subsp. <i>papilionacea</i> (Hoffmanns. ex Zucc.) Lourteig
	<i>Acalypha australis</i> L.
	<i>Euphorbia supina</i> Raf.
Phyllanthaceae	<i>Securinega suffruticosa</i> (Pall.) Rehder
Salicaceae	<i>Populus tomentiglandulosa</i> T.B.Lee
Violaceae	<i>Viola mandshurica</i> W.Becker
	<i>Viola papilionacea</i> Pursh
	<i>Viola verecunda</i> A. Gray
Fabaceae	<i>Amorpha fruticosa</i> L.
	<i>Amphicarpaea bracteata</i> subsp. <i>edgeworthii</i> (Benth.) H. Ohashi
	<i>Cercis chinensis</i> Bunge
	<i>Indigofera kirilowii</i> Maxim. ex Palib.
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.
	<i>Styphnolobium japonicum</i> (L.) Schott
Cannabaceae	<i>Trifolium repens</i> L.
	<i>Wisteria floribunda</i> (Willd.) DC.
	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.
	<i>Elaeagnus multiflora</i> Thunb.
Moraceae	<i>Morus alba</i> L.
Rhamnaceae	<i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>inermis</i> (Bunge) Rehder

부록 1. (계속)

Family name	Scientific name
Rosaceae	<i>Chaenomeles sinensis</i> (Thouin) Koehne
	<i>Cotoneaster horizontalis</i> Decne.
	<i>Crataegus pinnatifida</i> Bunge
	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke
	<i>Kerria japonica</i> f. <i>pleniflora</i> (Witte) Rehder
	<i>Malus sieboldii</i> (Regel) Rehder
	<i>Prunus armeniaca</i> L.
	<i>Prunus glandulosa</i> f. <i>albiplena</i> Koehne
	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i> (Maxim.) E.H.Wilson
	<i>Prunus sargentii</i> Rehder
	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.
	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>pubescens</i> (Makino) Nakai
	<i>Prunus tomentosa</i> Thunb.
	<i>Prunus yedoensis</i> Matsum.
	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.
	<i>Rosa multiflora</i> var. <i>platyphylla</i> Thory
	<i>Sorbus alnifolia</i> (Siebold & Zucc.) C.Koch
	<i>Sorbus commixta</i> Hedl.
<i>Spiraea prunifolia</i> f. <i>simpliciflora</i> Nakai	
<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel	
Ulmaceae	<i>Ulmus pumila</i> L.
	<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino
Betulaceae	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> (Miq.) H. Hara
	<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. ex Trautv.
Fagaceae	<i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc.
	<i>Quercus acutissima</i> Carruth.
	<i>Quercus aliena</i> Blume
	<i>Quercus dentata</i> Thunb.
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.
	<i>Quercus palustris</i> Munchh.
<i>Quercus serrata</i> Murray	
Juglandaceae	<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch
Lythraceae	<i>Punica granatum</i> L.
Onagraceae	<i>Oenothera biennis</i> L.
Anacardiaceae	<i>Rhus javanica</i> L.
Rutaceae	<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc.

부록 1. (계속)

Family name	Scientific name
Sapindaceae	<i>Acer buergerianum</i> Miq.
	<i>Acer palmatum</i> Thunb.
	<i>Acer palmatum</i> var. <i>dissectum</i> Dissectum Viride Group
	<i>Acer saccharum</i> Marshall
	<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm.
	<i>Acer triflorum</i> Kom.
Simaroubaceae	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle
Malvaceae	<i>Hibiscus syriacus</i> L.
	<i>Tilia mandshurica</i> Rupr. & Maxim.
Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) L.W.Medicus
	<i>Cardamine flexuosa</i> With.
	<i>Lepidium virginicum</i> L.
	<i>Rorippa indica</i> (L.) Hiem
	<i>Rorippa palustris</i> (Leyss.) Besser
Amaranthaceae	<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai
	<i>Chenopodium album</i> L.
	<i>Chenopodium ficifolium</i> Smith
Caryophyllaceae	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.
	<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i> (Nakai) Mizush.
	<i>Sagina japonica</i> (Sw.) Ohwi
	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop.
	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.
Nyctaginaceae	<i>Mirabilis jalapa</i> L.
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca americana</i> L.
Polygonaceae	<i>Fallopia dumetorum</i> (L.) Holub
	<i>Polygonum aviculare</i> L.
	<i>Rumex crispus</i> L.
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.
Comaceae	<i>Cornus alba</i> L.
	<i>Cornus kousa</i> F.Buerger ex Hance
	<i>Cornus officinalis</i> Siebold & Zucc.
Hydrangeaceae	<i>Deutzia crenata</i> Siebold & Zucc.
	<i>Deutzia crenata</i> f. <i>plena</i> Schneid
	<i>Hydrangea serrata</i> f. <i>acuminata</i> (Siebold & Zucc.) E.H.Wilson
Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i> Thunb.
	<i>Diospyros lotus</i> L.

부록 1. (계속)

Family name	Scientific name
Ericaceae	<i>Rhododendron indicum</i> (L.) Sweet
	<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz.
	<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i> (H.Lév.) M.Sugim. ex T.Yamaz.
Polemoniaceae	<i>Phlox paniculata</i> L.
Styracaceae	<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc.
Symplocaceae	<i>Symplocos chinensis</i> f. <i>pilosa</i> (Nakai) Ohwi
Apocynaceae	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino
	<i>Vinca minor</i> L.
Rubiaceae	<i>Galium spurium</i> var. <i>echinospermon</i> (Wallr.) Hayek
	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr.
Convolvulaceae	<i>Calystegia hederacea</i> Wall.
Solanaceae	<i>Lycium chinense</i> Mill.
	<i>Solanum lyratum</i> Thunb.
	<i>Solanum nigrum</i> L.
Boraginaceae	<i>Trigonotis peduncularis</i> (Trevir.) Benth. ex Hemsl.
Bignoniaceae	<i>Campsis grandiflora</i> (Thunb.) K.Schum.
	<i>Campsis radicans</i> (L.) Seem.
Lamiaceae	<i>Callicarpa dichotoma</i> (Lour.) K.Koch
	<i>Clerodendrum trichotomum</i> Thunb.
Oleaceae	<i>Chionanthus retusus</i> Lindl. & Paxton
	<i>Forsythia koreana</i> (Rehder) Nakai
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance
	<i>Jasminum nudiflorum</i> Lindl.
	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.
Syringa vulgaris L.	
	<i>Syringa vulgaris</i> L.
Plantaginaceae	<i>Plantago asiatica</i> L.
	<i>Veronica arvensis</i> L.
	<i>Veronica hederifolia</i> L.
Aquifoliaceae	<i>Ilex serrata</i> Thunb.
Asteraceae	<i>Eupatorium rugosum</i> Houtt.
	<i>Artemisia princeps</i> Pamp.
	<i>Carpesium divaricatum</i> Siebold & Zucc.
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist
	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.
	<i>Crepidiastrum sonchifolium</i> (Maxim.) Pak & Kawano
	<i>Dendranthema boreale</i> (Makino) Ling ex Kitam.
	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.

부록 1. (계속)

Family name	Scientific name
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.
	<i>Erigeron strigosus</i> Muhl. ex Willd.
	<i>Helianthus tuberosus</i> L.
	<i>Hemistepta lyrata</i> Bunge
	<i>Ixeris chinensis</i> (Thunb.) Nakai
	<i>Ixeris strigosa</i> (H.Lév. & Vaniot) J.H.Pak & Kawano
	<i>Lactuca indica</i> L.
	<i>Lactuca scariola</i> L.
	<i>Petasites japonicus</i> (Siebold & Zucc.) Maxim.
	<i>Taraxacum officinale</i> Weber
	<i>Youngia japonica</i> (L.) DC.
Araliaceae	<i>Hedera rhombea</i> (Miq.) Siebold & Zucc. ex Bean
	<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz.
Adoxaceae	<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i> (Nakai) Nakai
	<i>Viburnum opulus</i> var. <i>calvescens</i> (Rehder) H. Hara
	<i>Viburnum opulus</i> f. <i>hydrangeoides</i> (Nakai) Hara
Caprifoliaceae	<i>Lonicera japonica</i> Thunb.
Araceae	<i>Pinellia ternata</i> (Thunb.) Breitenb.
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea batatas</i> Decne.
Liliaceae	<i>Lilium lancifolium</i> Thunb.
	<i>Tulipa</i> sp.
Amaryllidaceae	<i>Allium macrostemon</i> Bunge
Asparagaceae	<i>Hosta longipes</i> (Franch. & Sav.) Matsum.
	<i>Hosta plantaginea</i> (Lam.) Asch.
	<i>Liriope platyphylla</i> F.T.Wang & T.Tang
	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i> f. <i>variegatum</i> Y.N.Lee
	<i>Yucca filamentosa</i> L.
Asphodelaceae	<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L.
Iridaceae	<i>Iris pseudacorus</i> L.
Poaceae	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koel.
	<i>Agropyron ciliare</i> (Trin.) Franch.
	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi
	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i> (Retz.) Pilg.
	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> (Andersson) Rendle
	<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) P.Beauv.
	<i>Poa compressa</i> L.



56 \_ 생태환경논집 [Vol.7, no.1 : 산림분야 기후변화 대응을 위한 전 지구적 REDD+ 도입 및 이행효과 분석 외]

부록 1. (계속)

Family name	Scientific name
	<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv.
	<i>Zoysia japonica</i> Steud.
Commelinaceae	<i>Commelina communis</i> L.



# 기후변화에 따른 중부이남 식물종의 서울이입 가능성

권오정\*

---

## <목 차>

### I. 서론

### II. 재료 및 방법

1. 기후변화 분석
2. 현장조사

### III. 결과 및 고찰

1. 기후분석
  2. 중남부 식물종 분석
- 

---

\* 동국대학교 생태환경연구소 (ojtale@dongguk.edu)

한반도 기후변화에 따른 기온상승은 식물의 분포를 변화시키며, 분포 한계선을 북상시키는 모습으로 나타난다. 본 연구는 기후변화에 따라 한반도 중부에 위치한 서울에 중부이남 식물종이 북상하여 이입하고 있는지 파악하기 위해 수행되었다. 이를 위해 식물분포에 영향을 미치는 5가지 변수(평균기온, 최한월 평균기온, 최한월 평균최저기온, 온량지수, 한랭지수)를 분석하였으며, 그 결과 서울의 최근 10년(2001~2010년)은 대전의 1971~2000년, 전주 1971~1990년과 유사한 것으로 나타났다. 서울의 12개 대상지에 대한 식물상 조사 결과 전체 368종의 식물 중 11종이 중부이남 식물종으로 확인되며, 이 중 8종은 남부지방에 분포하는 종으로 파악되었다. 기후변화에 따른 식물의 생육범위 확장에 따라 중부이남 식물종의 서울 이입이 진행중인 것으로 판단된다.

주제어 식물분포, 온난화, 온량지수, 평균기온, 한랭지수

## I. 서론

평균기온의 상승은 강수량의 증가, 지표 증발량의 증가, 토양 수분량의 감소로 식물생장에 영향을 미치며, 최한월 평균기온에 따라 남부식물종의 북한계선이 형성되는 등 한반도의 식생은 온도기후에 의존적이다(Yim and Kira, 1975; Yim, 1977; Heo et al., 2006). 식물의 지리분포와 온도기후와의 관계를 나타내는 적산온도인 온량지수와 한랭지수로 우리나라의 식물분포가 잘 설명되며, 난대성 상록활엽수 분포의 경우 주로 1월 평균기온과 평균최저기온에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Koo et al., 2001; Yim and Kira, 1975; Kira, 1977). 한반도의 기온은 지속적으로 상승하고 있으며, 그 중에서도 최저기온의 상승이 뚜렷하기 때문에 난온대 식물의 북한계선이 북상될 것으로 예측되고 있다(Heo et al., 2006; Park et al., 2010; Lee and Heo, 2011; Yun et al., 2011; Park et al., 2012). 다만, 현장조사에 의한 실제 서식확인연구는 상대적으로 부족한 실정이다.

기온의 변화는 대도시로 갈수록 변화가 큰 경향을 보이기 때문에, 서울은 기후변화에 따른 중부이남 식물종의 북상을 확인하기 용이한 대상으로 판단된다(Song, 2002; Lee and Heo, 2011). 따라서 본 연구는 기후자료 분석을 통해 현재의 서울기후가 과거 남부지방의 기후와 유사해 졌는지를 확인하고, 현장조사를 통해 실제 식재되거나 이입되어 서울에서 중부이남지역 식물종이 관찰되는지 확인하기 위해 진행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 기후변화 분석

기후분석은 총 6개 지역(서울, 대전, 전주, 목포, 대구, 부산)에 대한 기상청 자료를 이용하였다. 자료 수집은 1970 ~ 2010년을 대상으로 하였으며, 식물의 분포에 영향을 미칠 수 있는 5가지 변수(평균기온, 최한월 평균기온, 최한월 평균최저기온, 온량지수, 한랭지수)를 산정하여 분석하였다. 서울의 최근 10년(2001~2010년)에 해당하는 5가지 변수는 나머지 20개 조합(서울을 제외한 5개 지역 × 4개 시기)과 비교하여 같거나 낮은 지점을 도출하였다. 도출된 지역과 시기는 서울의 최근 10년과 기후조건이 유사하거나 낮기 때문에 당시 해당지역에 서식했던 식물이 현재 서울의 기후조건에 적응 가능할 것을 가정하였다. 기후자료의 통계분석은 SPSS v17.0(PASW, SPSS Inc., USA)을 이용하였다.

### 2. 현장조사

현장조사는 2012년 8월에 진행하였다(Table 1 and figure 1). 중부이남에 서식하고 있는 식물종의 구분은 한반도 생물자원포털(NIBR, 2011), 원색대한식물도감(Lee, 2003), 새로운 한국식물도감(Lee, 2006), 식별이 쉬운 나무도감(KNA, 2010)의 식물종별 분포정보를 비교하여 판단하였다.

Table 1. Information of field research sites

Label	Location
A	1685, Seocho-dong, Seocho-gu
B	248, Bulgwang-dong, Eunpyeong-gu
C	484, Gwangjang-dong, Gwangjin-gu
D	657, Sinnae 2-dong, Jungnang-gu
E	608-1, Daerim 3-dong, Yeongdeungpo-gu
F	632, Donam-dong, Seongbuk-gu
G	481, Gaebong 2-dong, Guro-gu
H	646, Sindorim-dong, Guro-gu
I	35, Jamsil 3-dong, Songpa-gu
J	490, Sangil-dong, Gangdong-gu
K	261, Naengcheon-dong, Seodaemun-gu
L	27, Cheonwang-dong, Guro-gu

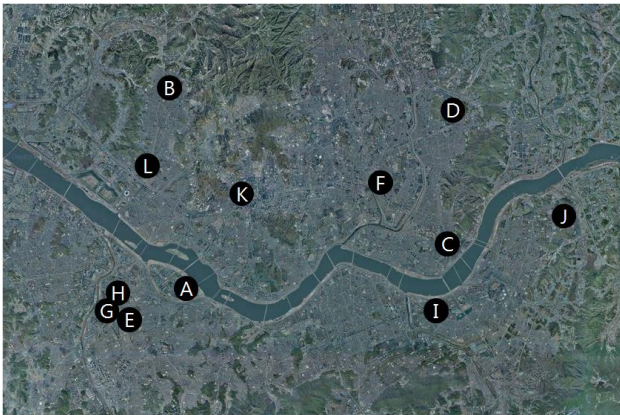


Figure 1. Location of field research

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 기후분석

##### 1) 연평균기온

서울의 연평균기온은 1970년대부터 2000년대까지 약 0.97°C 상승하였다. 대전, 전주, 목포, 대구, 부산은 각각 1.17°C, 0.91°C, 0.33°C, 1.27°C, 0.66°C 상승하였다. 다만, 목포의 평균기온의 변화는 통계적 의미를 보이지 않았다. 서울의 최근 10년(2001 ~ 2010년)과 유사하거나 낮은 연평균기온은 대전 1971 ~ 2010년, 전주 1971 ~ 1990년, 대구 1971 ~ 1980년에 해당하며, 목포와 부산은 모든 시기에서 서울보다 높은 연평균기온을 나타냈다(Table 2).

Table 2. Average temperature

Period	Region					
	Seoul	Daejeon	Jeonju	Mokpo	Daegu	Busan
1971-1980	11.83 a	11.89 ab	12.84 cde	13.57 fgh	13.25 defg	14.15 ijk
1981-1990	12.01 ab	12.36 bc	12.85 cde	13.67 ghi	13.56 fgh	14.29 jk
1991-2000	12.73 cd	12.78 cd	13.35 efg	14.08 hijk	14.19 ijk	14.88 l
2001-2010	12.80 cd	13.06 def	13.75 ghi	13.90 hij	14.52 kl	14.81 l

□ : Similar or lower temperature compared with Seoul(2001-2010); Numbers followed by the same letter in each cell do not differ statistically by the Duncan's test at 5% probability level

2) 최한월(1월) 평균기온, 평균최저기온

최한월의 평균기온과 평균최저기온은 1970년대에서 2000년대에 이르기까지 목포의 최한월 평균기온을 제외한 5개 대상지에서 상승하였으나, 시기 변화에 따른 대상지별 기온변화는 통계적 차이가 나타나지 않았다. 이 기간 동안 서울은 최한월 평균기온과 평균최저기온이 각각 0.35°C, 0.47°C 상승하였다. 서울의 최근 10년(2001~2010년)과 유사한 최한월 평균기온은 대전 1971 ~ 2010년, 전주 1971 ~ 1990년, 대구 1981 ~ 2000년에 해당하며, 최한월 평균최저기온은 대전 1971 ~ 2010년, 전주 1971 ~ 2010년, 대구 1971 ~ 1990년과 유사하였다. 목포와 부산은 서울(2001~2010년)의 최한월 평균기온과 평균최저기온에서 유사한 시기가 확인되지 않았다(Table 3 and 4).

Table 3. Average temperature in January

Period	Region					
	Seoul	Daejeon	Jeonju	Mokpo	Daegu	Busan
1971-1980	-2.21 abc	-1.82 bcd	-0.32 defgh	1.97 ij	0.06 efgh	2.94 jk
1981-1990	-3.70 a	-2.66 ab	-1.57 bcde	1.09 ghi	-0.51 defg	2.24 ijk
1991-2000	-1.75 bcd	-1.11 bcdef	-0.09 efgh	2.39 ijk	0.97 ghi	3.73 k
2001-2010	-1.86 bcd	-0.88 cdef	0.23 fgh	1.30 hi	1.22 hi	3.51 jk

□ : Similar or lower temperature compared with Seoul(2001-2010); Numbers followed by the same letter in each cell do not differ statistically by the Duncan's test at 5% probability level



Table 4. Average lowest temperature in January

Period	Region					
	Seoul	Daejeon	Jeonju	Mokpo	Daegu	Busan
1971-1980	-5.70 abc	-6.01 ab	-4.44 bcde	-1.10 ghi	-4.37 bcde	-0.51 hi
1981-1990	-7.31 a	-7.19 a	-5.75 abc	-2.21 fgh	-4.87 bcd	-1.68 fghi
1991-2000	-5.34 bc	-5.64 abc	-4.20 bcde	-1.02 ghi	-3.18 def	-0.04 i
2001-2010	-5.23 bc	-5.16 bc	-3.95 cde	-1.05 ghi	-2.72 efg	0.03 i

□ : Similar or lower temperature compared with Seoul(2001-2010); Numbers followed by the same letter in each cell do not differ statistically by the Duncan's test at 5% probability level

### 3) 온량지수

온량지수는 목포를 제외한 5개 대상지에서 1970년대와 2000년대간 유의한 지수 상승이 확인됐다. 이 기간 동안 온량지수는 서울 8.07°C·month, 대전 9.18°C·month, 전주 7.63°C·month, 목포 3.54°C·month, 대구 10.89°C·month, 부산 6.15°C·month 상승하였다. 서울의 최근 10년(2001 ~ 2010년)과 유사한 온량지수는 대전 1971 ~ 2010년, 전주 1971 ~ 2000년, 목포 1971 ~ 2010년, 대구 1971 ~ 1990년, 부산 1971 ~ 1980년으로 나타났다(Table 5).

Table 5. Warmth index

Period	Region					
	Seoul	Daejeon	Jeonju	Mokpo	Daegu	Busan
1971-1980	101.16 ab	100.52 a	107.34 cde	109.74 defg	110.54 defgh	113.91 ghij
1981-1990	104.15 abc	105.62 bcd	108.61 cdef	111.53 efghi	114.14 ghij	116.04 ijk
1991-2000	108.17 cde	107.38 cde	111.48 efghi	113.77 ghij	117.98 jkl	120.31 kl
2001-2010	109.23 defg	109.70 defg	114.97 hij	113.28 fghij	121.43 l	120.06 kl

□ : Similar or lower value of warmth index compared with Seoul(2001-2010); Numbers followed by the same letter in each cell do not differ statistically by the Duncan's test at 5% probability level

#### 4) 한랭지수

한랭지수는 서울, 대전, 대구에서 1970년대와 2000년대의 유의한 상승이 나타났다. 이 기간 동안 한랭지수는 서울 3.57°C·month, 대전 4.89°C·month, 전주 3.24°C·month, 목포 0.44°C·month, 대구 4.36°C·month, 부산 1.50°C·month 상승하였다. 서울의 최근 10년(2001 ~ 2010년)과 유사한 한랭지수는 대전 1971 ~ 2010년, 전주 1971 ~ 1990년에 해당하며, 목포, 대구, 부산은 유사한 시기가 나타나지 않았다(Table 6).

Table 6. Coldness index

Period	Region					
	Seoul	Daejeon	Jeonju	Mokpo	Daegu	Busan
1971-1980	-19.22 a	-17.90 ab	-13.26 def	-6.91 ghi	-11.57 ef	-4.14 ij
1981-1990	-19.98 a	-17.35 abc	-14.44 cde	-7.52 gh	-11.37 ef	-5.04 hij
1991-2000	-15.38 bcd	-13.97 de	-11.31 ef	-4.83 hij	-7.70 gh	-1.81 j
2001-2010	-15.65 bcd	-13.01 def	-10.02 fg	-6.47 hi	-7.21 ghi	-2.64 j

□ : Similar or lower value of coldness index compared with Seoul(01-10); Numbers followed by the same letter in each cell do not differ statistically by the Duncan's test at 5% probability level

5가지 기후분석자료에서 서울의 2001 ~ 2010년과 유사하거나 낮은 분포를 모두 만족시키는 지역과 기간은 최종적으로 한랭지수에 의해 제한되었으며, 대전의 1971~2000년, 전주 1971~1990년이 이에 해당하다. 따라서 과거의 대전과 전주지역을 북한계선으로 분포하고 있던 식물이 서울지역에 식재되거나 이입하여 분포할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 서울의 0.97℃ 평균기온 상승은 최한월 평균기온, 최한월 평균최저기온, 온량지수, 한랭지수의 상승을 동반하면서 식물의 분포를 약 130 ~ 190km 북상시킬 수 있음을 유추할 수 있다(지형과 해발고도에 따른 기후차이는 고려되지 않음).

## 2. 중남부 식물종 분석

12개 대상지에 대한 식물상 조사결과 99과 252속 368종의 식물이 관찰되었다(Table 7). 이 중 8종(계요등, 금식나무, 남천, 남아초, 동백나무, 소철, 송악, 팔손이)은 남부지방에 분포하며, 3종(배롱나무, 배풍등, 이팝

나무)은 경기도 이남에 분포하여 총 11종(전체 출현종의 약 3%)이 서울 이남에 분포했던 종으로 판단된다(Table 8 and 9). 이 중 8종(금식나무, 남천, 동백나무, 배롱나무, 소철, 송악, 이팝나무, 팔손이)은 조경용으로 식재되어 관리되고 있었으며, 나머지 3종(계요등, 남아초, 배풍등)은 불규칙적인 위치에 독립적으로 출현하여 식재가 아닌 이입된 종으로 분류되었다. 단, 해당종의 이입이 자연적적인 것인지 인위적이나 비의도적인 것인지는 확인할 수 없었다.

서울의 최근 10년의 온량지수는 목포(1971 ~ 2010년)와 부산(1971 ~ 1980년)과 유사하기 때문에 식재에 의한 생육은 일시적으로 가능하다고 보아지나 최한월 평균기온, 최한월 최저기온, 한랭지수에서 유의적 차이를 나타내고 있어 월동을 위해서는 별도의 관리가 필요하다. 이것은 이미 많은 빈도로 식재되어지고 있는 경기남부지방 분포 수종은 월동관리가 병행되는 것으로 유추할 수 있다. 남부 식물종은 관목과 만경목이 상대적으로 높은 빈도로 식재되고 있으며, 아교목상의 식물에 비해 상대적으로 월동에 유리한 것으로 판단된다. 또한 도시는 도시만의 미기후를 형성함에 따라 월동에 취약한 식물종의 생존에 유리한 환경을 조성하고 있는 것으로 보인다(Myong, 2009). 결과적으로 중부이남에 분포하는 식물종은 인위적, 자연적으로 서울에 이입하고 있으며, 기후변화와 함께 점차 그 분포를 넓혀갈 것으로 판단된다.

Table 7. The number of species by the research sites

Taxa	Research sites											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Family	58	57	51	55	56	52	53	51	55	58	55	52
Genus	96	107	81	85	89	84	79	88	99	103	106	92
Species	116	124	94	101	102	103	97	102	116	121	123	110

Table 8. Criteria of southern plant species

Plant species	Reference			
	Species Korea (NIBR, 2011)	Coloured Flora of Korea (Lee, 2003)	A Field Guide to Trees & Shrubs (KNA, 2010)	New Flora of Korea (Lee, 2006)
<i>Aucuba japonica</i> for. <i>variegata</i> (Dombraun) Rehder	Jeollanam-do, Gyeongsangbuk-do(Ulleung-do(island)), Jeju-do (2010)	Southern part of Ulleungdo(island) and Oeyundo(island)	N/A	Southern part of the Korean Peninsula
<i>Camellia japonica</i> L.	Gyeonggi-do(Baengnyeong-do(island)), Gyeongsangbuk-do(Ulleung-do(island)), Gyeongsangnam-do, Jeollabuk-do, Jeollanam-do, Jeju-do (2010)	N/A	Hwanghae-do, Chungcheongnam-do, Jeollanam-do, Jeollabuk-do, Gyeongsangnam-do, Gyeongsangbuk-do, Jeju-do	Gyeongsangbuk-do (Ulleung-do (island)), Southern part of the Korean Peninsula, Chungcheongnam-do, Incheon-si (Daechong-do (island))
<i>Chionanthus retusus</i> Lindl. & Paxton	All over the country (2010)	N/A	Jeollanam-do, Jeollabuk-do, Jeju-do(island), Gyeonggi-do	Jeollanam-do, Jeollabuk-do, Gyeongsangnam-do, Gyeonggi-do, Incheon-si (Sungap-do (island))
<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	Southern part of the Korean Peninsula (2011)	Jeju-do(island)	Jeju-do (island)	Korea
<i>Fatsia japonica</i> (Thunb.) Decne. & Planch.	Jeollanam-do, Jeju-do (island) (2011)	Namhae-do (island), Geojedo (island)	Namhae-do (island), Geojedo (island)	Central and southern part of the Korean Peninsula

Table 8. (Continue)

<i>Hedera rhombea</i> (Miq.) Bean	Jeollabuk-do (Geumgu-myeon, Gimje-si), Ulleung-do (island), coast of Incheon-si (2010)	Jeollabuk-do (Geumgu-myeon, Gimje-si), Ulleung-do(island), coast of Incheon-si	Jeollanam-do, Jeollabuk-do, Gyeongsangnam-do, Gyeongsangbuk-do, Ulleung-do (island), Chungcheongnam-do, coast of Incheon-si	Central and southern part of the Korean Peninsula
<i>Indigofera pseudotinctoria</i> Matsum.	Coast of Gyeonggi-do and Jeollabuk-do, Jeju-do (2010)	Coast of Gyeongsang-do and Jeollabuk-do, Jeju-do	Jeju-do(island)	Southern part of the Korean Peninsula
<i>Lagerstroemia indica</i> L.	Central and southern part of the Korean Peninsula (2011)	Southern part of Chungcheong-do, some part of Gyeonggi-do	Southern part of Chungcheongnam-do, Chungcheongbuk-do, Jeollanam-do, Jeollabuk-do, Gyeongsangnam-do, Gyeongsangbuk-do. Some part of Gyeonggi-do	Central and southern part of the Korean Peninsula
<i>Nandina domestica</i> Thunb.	Southern part of the Korean Peninsula (2011)	Southern part of the Korean Peninsula	Southern part of the Korean Peninsula	Southern part of the Korean Peninsula
<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. var. <i>scandens</i>	Daecheong-do (island) and Ulleung-do (island) (2010)	Daecheong-do (island) and Ulleung-do (island)	N/A	Southern part of Chungcheongnam-do and Chungcheongbuk-do
<i>Solanum lyratum</i> Thunb.	Southern part of Gyeonggi-do (2011)	N/A	Jeollanam-do (Jirisan(Mt.)), Jeollabuk-do (Deogyusan(Mt.)), Gyeongsangnam-do, Gyeongsangbuk-do, Ulleung-do (island), Jeju-do (island), Dadohae (archipelago)	Southern part of Gyeonggi-do



• 참고문헌

- Heo, I. H., W. T. Kwon, Y. M. Chun, and S. H. Lee, "The Impact of Temperature Rising on the Distribution of Plant - in Case of Bamboos and Garlics", Environmental impact assessment, Vol. 15, No. 1, 2006, pp. 67-78.
- Kira, T., "A Climatological interpretation of Japanese vegetation zones", In Miyawaki, A. and R. Tuxen (eds.), Vegetation science and environmental protection, Maruzen, Tokyo, 1997, pp. 21-30.
- Korea National Arboretum (KNA), A Field Guide to Trees & Shrubs, Geobook, 2010.
- Koo, K. A., W. S. Kong, and C. K. Kim, "Distribution of Evergreen Broad-leaved Plants and Climatic Factors", Journal of the Korean Geographical Society, Vol. 36, No. 3, 2001, pp. 247-257.
- Lee, S. H. and I. H. Heo, "The Impacts of Urbanization on Changes of Extreme Events of Air Temperature in South Korea", Journal of the Korean Geographical Society, Vol. 46, No. 3, 2011, pp. 257-276.
- Lee, Y. N. New Flora of Korea, Kyohaksa, 2006.
- Lee, T. B. Coloured Flora of Korea. Hyangmoonsa, 2003.
- Myeong, S. J. A Study on Strategies to Mitigate Urban Heat Island Effects as Part of Climate Change Adaptation in Urban Areas, Korea Environment Institute, 2009.
- National Institute of Biological Resources (NIBR), <http://www.nibr.go.kr>, 2011.
- Park, J. C., K. C. Yang, and D. H. Jang, "The movement of Evergreen Broad-Leaved Forest Zone in the Warm Temperate Region Due to Climate Change in South Korea", Journal of Climate Research,



Vol. 5, No. 1, 2010, pp. 29-41.

Park, M. H., J. S. Lee, J. S. Ahn, and Y. S. Shu, "Study on the Climate Change and the Urbanization Effect in Busan", Journal of the Environmental Sciences, Vol. 21, No. 4, 2012, pp. 401-409.

Song, Y. B., "Influence of New Town Development on the Urban Heat Islands - In the Case of Pan-Gyo Area and Bun-Dang New Town", Journal of Korean institute of landscape architecture, Vol. 30, No. 4, 2002, pp. 37-46.

Yim, Y. J. and T. Kira, "Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. I. Distrubition of some indices of thermal climate", Jap J Ecol, Vol. 25, 1975, pp. 77-88.

Yim, Y. J., "Distribution of forest vegetation and climatein the Korean Peninsula. III. Distribution of tree species along the thermal gradient", Jap J Ecol, Vol. 27, 1977, pp. 177-189.

Yun, J. H., K. Nakao, C. H. Park, B. Y. Lee, and K. H. Oh, "Change Prediction for Potential Habitats of Warm-temperate Evergreen Broad-leaved Trees in Korea by Climate Change", Kor J Env Eco, Vol. 25, No. 4, 2011, pp. 590~600.

## ABSTRACT

Possibility of Southern Plants Spread under the Climate Change in Seoul, Korea

Ohjung Kwon

Plant distributional limit could be expanded due to climate change with temperature rise because plant is dependent on temperature. This study performed to verify that plant species in southern part of Korea are distributed in Seoul. Climate of Seoul (2001~2010) is similar to Daejeon (1971~2000) and Jeonju (1971~1990) as a result of temperature analysis on average temperature, average temperature in January, average lowest temperature in January, Warmth index, Coldness index. Eleven plants of total plants in research sites were central and southern part of plants species and eight plants were southern part of plants species. Consequentially, central and southern plants might be expanded to Seoul.

Keywords: Plant distribution, Global warming, Warmth index, Average temperature, Coldness index

Journal of Ecological Environment  
Institute of Ecological Environment, Dongguk University

---

Vol.7, no.1

June, 2019

---

Contents

<Articles>

Analysis of Global REDD+ Adoption and Implementation Benefits for  
Responding to Climate Change on Forestry  
..... Hong Chul Park

Review of Plant Phenology Research  
..... Eunha Park

Naturalized Plants in Seoul Campus, Dongguk University  
..... Ohjung Kwon

Possibility of Southern Plants Spread under the Climate Change  
in Seoul, Korea  
..... Ohjung Kwon

## 「생태환경논집」 논문투고 규정

동국대학교 생태환경연구소의 생태환경논집원고 투고 규정은 다음과 같으며, 본 학술지에 투고하는 원고는 본 연구소의 투고규정을 준수해야 한다. 투고 규정에 맞지 않는 원고는 반환할 수 있다.

### 1. 투고논문의 내용

투고 논문의 내용은 생태환경과 관련된 것으로 학제간 연구를 포함하며, 독창적인 것이거나 그러한 연구에 도움이 될 수 있는 것이어야 한다.

### 2. 원고 투고 형식

- 1) 한글과 한자를 함께 사용할 수 있다.
- 2) 차례를 저자의 성명 바로 다음에 넣는다.
- 3) 논문의 제목, 저자의 성명(공동저자 포함), 소속, 연락 전화번호, E-mail 주소는 한글과 영문으로 기재해야 한다.

### 3. 원고 종류

생태환경 및 그와 유관한 분야에 관한 제반연구

#### 1) 논문

- (1) 기획논문 : 기획 주제에 관한 논문
- (2) 일반논문 : 자유 주제에 관한 논문

(3) 특별논문 : 청탁에 의하거나 학계의 권위자로부터 투고된 논문

2) 논문 외 제반연구물

(1) 서 평 : 국내외에서 간행된 저서 혹은 번역서에 관한 내용

(2) 논문평 : 국내외에서 발표한 주요 논문(학위논문포함) 및 연구동향·연구업적에 관한 내용

4. 논문 형식

1) 내용 전개 순서는 I. 1. 1) (1) ①로 정하고 타이틀과 내용 사이는 한 칸씩 띄운다.

2) 각주는 해당 페이지의 아래에 두고 일련번호를 붙인다.

3) 문단모양은 왼쪽여백 0, 오른쪽여백 0, 들여쓰기 2, 줄간격 160으로 통일한다.

4) 글자크기는 10으로 지정한다.

5) 그림은 <그림1>...로, 표는 <표 1>...의 순서로 한다.

6) 국문·영문초록의 분량은 각각 A4 반장 분량(200자 원고지 2-3매 가량)이다.

7) 주제어는 한글과 영문으로 5~7개를 작성한다. 국문초록 하단에 국문의 주제어를 고딕체로, 영문초록 하단에 영문의 주제어를 고딕체로 각각 작성하여 첨부한다. 영문 주제어는 국문 주제어의 정확한 번역이어야 한다.

8) 투고 논문의 분량은 A4용지 20매(국문초록, 영문초록, 각주, 참고문헌을 포함한 분량) 내외로 하고 직접, 우편, 혹은 E-mail로 제출한다.

9) 참고문헌은 한글문헌을 ‘가나다’順으로 먼저 넣고 다음에 일본문헌, 영문문헌을 ‘abc’順으로 뒤에 넣어 일련번호를 붙인다.

<참고문헌 예>

① 국내 단행본

구승희, 『생태철학과 환경윤리』, 동국대학교출판부, 2001.

② 국내 논문

강창모, 「김지하 시에 나타난 동학사상 연구」, 청주대학교 박사학위 논문, 2006.

정영일, 「전후세대의 경제의식」, 사회과학과 정책연구 제9권 제 1호, 서울대 사회과학연구소, 1987. 11.

③ 기타 국내 문헌

이정진, 「산업발전과 환경오염규제」, 경제발전과 환경보호에 관한 심포지움 자료, 삼성경제연구소, 1961. 6.

④ 외국 단행본

Hong, W. T., Trade, Distorsions, and Employment Growth in Korea, Seoul, Korea Development Institute, 1979.

⑤ 외국 논문

Krueger, A. O., "The Political Economy of the Rent-seeking Society", American Economic Review, Vol. 64, 1974, pp. 291~303.

⑥ 기타 외국 문헌

Kang, S. H., H. G. Cho, and S. M. Yoon, "Modeling Sudden Volatility Changes: Evidence from Japanese and Korean Stock Markets", Physica A, Vol. 388, 2009, pp. 3543~3550.

5. 접수처 및 연락처

주소 : 100-715 서울특별시 중구 필동로 1길 30 계산관 B동 304호  
동국대학교 생태환경연구소

전화 : 02-2260-8648

팩스 : 02-2260-8649

전자우편 : [ecoresearch@dongguk.edu](mailto:ecoresearch@dongguk.edu)

## 생태환경논집 [Vol.7 no.1]

초판 발행 2019년 6월 30일

발행처 | 동국대학교 생태환경연구소

발행인 | 이상일

편집인 | 권오정

주소 | 서울특별시 중구 필동로 1길 30 동국대학교 계산관 B동 304호

전화 | (02)2260-8648

팩스 | (02)2260-8649

전자우편 | [ecoresearch@dongguk.edu](mailto:ecoresearch@dongguk.edu)

홈페이지 | <http://eco-research.dongguk.edu/>