

# 식생구조와 토양환경 분석을 통한 서식처의 생태학적 구분 — 김포매립지와 그 근린 지역의 식생을 사례로 —

김종원·정용규\*

계명대학교 생물학과, 경북대학교 생물학과\*

## Ecological Division of Habitats by Analysis of Vegetation Structure and Soil Environment — A Case Study on the Vegetation in the Kimpo Landfills and Its Periphery Region —

Kim, Jong-Won and Yong-Kyoo Jung\*

*Department of Biology, Keimyong University*

*Department of Biology, Kyungbook National University\**

### ABSTRACT

Division of ecoregions having respective functions was attempted through quantitative and qualitative analysis on vegetation diversity, and heterogeneity and on soil environment of the study sites. Field research was carried out in a square of 81 km<sup>2</sup> around Andongpo (126°38' E, 37°30' N), Kimpo-gun, Kyonggi province. Conventional methods applied are as follows: classical syntaxonomy by the Zürich-Montpellier School, interpolation method to determine the degree of diversity, heterogeneity and distribution pattern of vegetation, and correlation analysis between soil properties and plant communities.

41 plant communities were identified and composed of 6 forests, 4 mantle and 31 herb communities including 6 saltmarsh plant communities. In a mesh, number of plant communities was highly correlated to the number of species. The highest number of plant community and species was 25 communities · km<sup>-2</sup> · mesh<sup>-1</sup> and 381 species · km<sup>-2</sup> · mesh<sup>-1</sup>, and the highest value of vegetation heterogeneity was 28.1 species · community<sup>-1</sup> · mesh<sup>-1</sup>. Their lowest numbers were 4 communities · km<sup>-2</sup> · mesh<sup>-1</sup> and 28 species · km<sup>-2</sup> · mesh<sup>-1</sup> and 7 species · community<sup>-1</sup> · mesh<sup>-1</sup>, respectively. Contour map on vegetation diversity and heterogeneity enabled us to establish two regions: coastal and inland vegetation. Isoline [150], [10] and [15] on the species diversity, the community diversity and the vegetation heterogeneity, respectively, were regarded as ecolines in the study area. Cl<sup>-</sup> content was recognized as the most important factor from correlation analysis between soil properties. Ordination of sites indicated that the study area be divided into two edaphic types: inland and coastal habitats. It was considered that the extent of desalinization in soil played a major role in determining the species composition in the reclaimed area. By matching edaphic division of habitats with division of vegetation structures, designation

of ecoregion was endorsed. The approach of current study was suggested as an effective tool to implement an assessment of the vegetation dynamics by the disparity of natural environment and anthropogenic interferences.

**Key words:** Contour map, Diversity, Ecoregion, Interpolation, Landfills, Vegetation heterogeneity

## 서 론

자연 환경 조건의 상이성과 인간간섭은 지역 식물상의 이질성을 야기한다. 염습과 같은 특성의 열악한 환경 조건에서는 인해전술형(phalanx)의 식물종이, 그리고 인간 간섭의 영향을 받는 입지에서는 터주형(ruderal)과 게릴라전략형(guerilla)의 식물종이 증가하는 것으로 알려져 있다 (김과 정 1995). 이와 같은 식물상의 이질성은 단위 면적에 대한 식생구조와 서식처의 토양환경 조건의 정량적 평가를 통하여 지역의 공간적 생태역(ecoregion) 구분을 가능하게 할 것이다.

본 연구의 대상이 된 김포 매립지 및 그 근린 지역은 지구 중위도 온대 지역에서 간단한 차가 매우 뚜렷한 광활한 해안 간석지가 분포하여, 해안 염생식생이 아주 잘 발달된 곳이다. 이러한 생물 서식처는 풍부한 생물 다양성을 내재하고 있으며, 서식처 교란에 의한 생물종의 다양성이 민감하게 변동하는 생태적 이행역(ecotone)으로 고려되고 있다 (Van der Maarel 1971, Wilson 1988). 따라서 염습지에서의 인위적인 간섭에 의한 생물 서식처 환경의 과도한 변화는 식생의 종 조성에 크게 영향을 미친다. 그러므로 수도권 위생매립지의 조성으로 지속적인 교란과 파괴가 예측되는 지역에서의 자연식생 및 인공식생에 대한 군락구조와 분포적 특성에 대한 정량적 분석은 매우 중요한 비교 정보로서의 가치를 가진다 (환경청 1989). 또한 정량적으로 설정된 생물군계의 일정 범위 즉 단위 면적에 대한 생물 다양성의 평가, 또는 식생구조의 평가는 생태계 변화에 대한 정량·정성적 모니터링을 가능하게 한다 (Reid and Miller 1989). 그러나 우리나라에서는 아직까지 그러한 정량·정성적 생물 다양성 평가가 시도된 바가 없다 (Kim 1993).

따라서 본 연구에서는 염생식생에서 내륙식생으로 이행해 가는 생태적 이행역으로 두 식생 간의 구조가 상이한 김포매립지와 그 근린 지역의 식생을 대상으로 식물군락 및 식물종 다양성 및 이질성의 정량적 분석에 의하여 생태역 구분을 시도하였다 (김과 정 1995). 이것은 토양환경 분석을 통한 서식처의 생태학적 구분과 식생구조 분석을 통한 식생역 구분의 합성으로 이루어졌다.

본 연구를 위한 현장조사에 협력한 김성준씨, 박태규씨, 김순득씨, 이득임씨 그리고 수도권 위생매립지 관리운영조합에 감사드리는 바이다.

## 재료 및 방법

본 연구는 경기도 북서단에 위치한 김포군 검단면 안동포(126°38' E, 37°30' N)를 중심으로 한 정방형(81 km<sup>2</sup>), 즉 81 개 격자(mesh, 1 × 1 km) 내의 150 개 조사구에서 수행되었다 (Fig. 1, 김과 정 1995). 식생조사 및 군락분류는 Zürich-Montpellier School에 따라 수행되었다 (Becking 1957). 식생의 다양성 및 이질성의 정도와 분포 양식을 규정하기 위하여 조사지역에 설정된 81 개 격자 속에 출현하는 식물군락수와 식물종수에 따라 Kridging 방법(*i.e.* regional variable theory technique, Golden Software Ins. 1987)이 적용되었다 (Table 1). 이 방법은

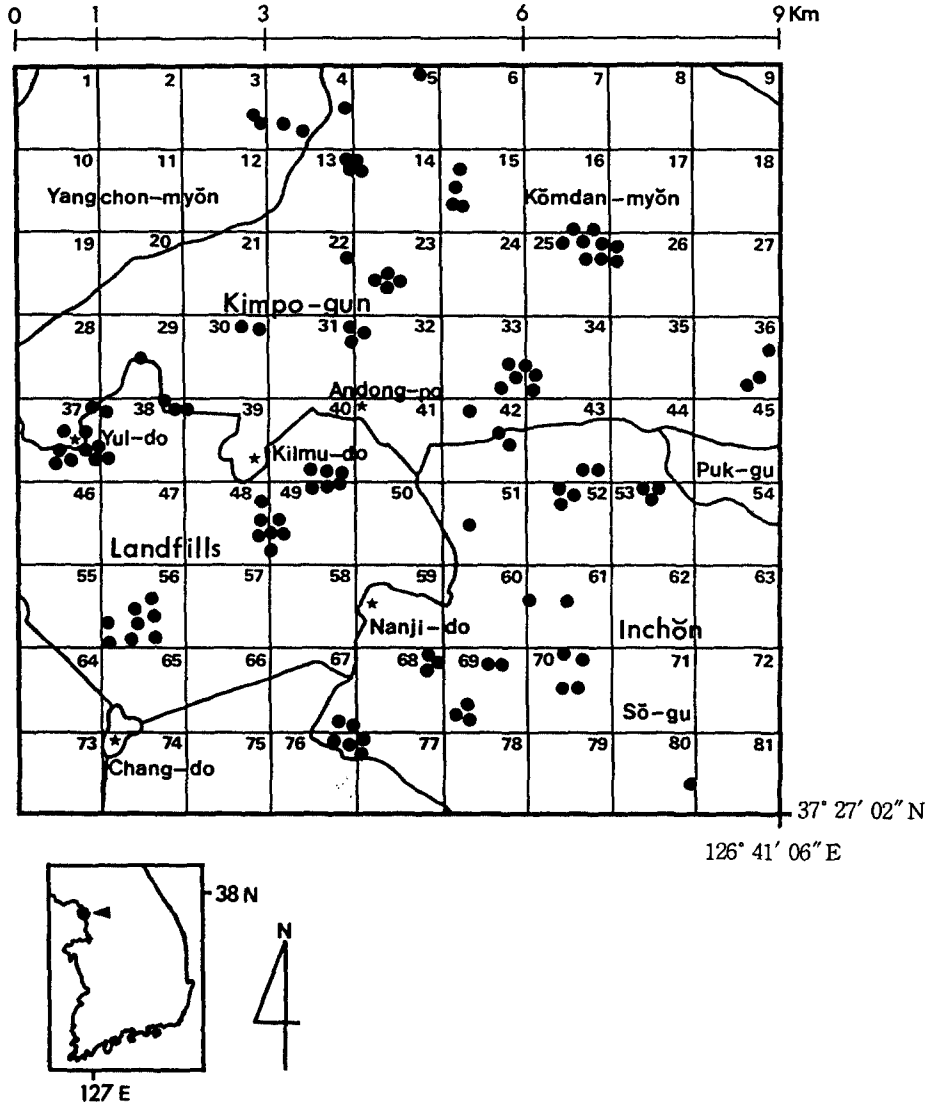


Fig. 1. Map of study area. Solid circles indicate relevé site.

불규칙적인 공간적 자료로부터 규칙적인 공간 grid와 정확한 contour 지도를 작성할 수 있는 interpolation 방법이다. 각 격자에 대한 식물종과 식물군락의 다양성(종수/격자, 군락수/격자)은 격자 속에 출현한 각각의 수로 표현되었으며, 식생의 이질성(종수/군락수)은 격자 속에 나타난 식물종수와 식물군락수의 비율로 나타내었다. 컴퓨터 프로그램[SUFFER]를 이용하여 이들에 대한 contour 지도를 작성하여 조사 지역(81 km<sup>2</sup>)의 지도 상에 합성하였다.

토양시료는 81 개의 격자 중 식생과 토양 환경을 고려하여 각 특징적 지역을 대표할 수 있는 11개 조사지를 선정하여 각 조사지마다 5 개 지점에서 유기물층(L-O층)을 제거한 후 깊이 10 cm에서 채취하였다. 토양의 물리화학적 요소인 토성(soil texture), 토양온도(soil temperature, Temp.), 포장용수량(field capacity, F.C.), 토양함수량(water content, W.C.), pH, 전기

**Table 1.** Number of plant community (C), species (S) and S/C ratio occurring in 81 meshes

Mesh No.	C	S	S/C	Mesh No.	C	S	S/C	Mesh No.	C	S	S/C
1	9	214	23.8	29	12	227	18.9	57	4	28	7.0
2	12	192	16.0	30	17	232	13.6	58	4	41	10.3
3	19	309	16.3	31	15	238	15.9	59	17	258	15.2
4	23	319	13.9	32	20	266	13.3	60	16	253	15.8
5	13	264	20.3	33	22	279	12.7	61	10	250	25.0
6	11	267	24.3	34	13	223	17.2	62	17	381	22.4
7	19	311	16.4	35	16	247	15.4	63	9	196	21.8
8	10	226	22.6	36	15	247	16.5	64	4	41	10.3
9	13	216	16.6	37	15	253	16.9	65	11	207	18.8
10	12	221	18.4	38	9	253	28.1	66	5	49	9.8
11	14	250	17.9	39	10	205	20.5	67	4	100	25.0
12	17	247	14.5	40	12	180	15.0	68	13	291	22.4
13	16	302	18.9	41	11	145	13.2	69	16	298	18.6
14	19	311	16.4	42	19	308	16.2	70	16	181	11.3
15	12	245	20.4	43	16	253	15.8	71	20	273	13.7
16	15	253	16.9	44	15	255	17.0	72	13	220	16.9
17	14	240	17.1	45	14	244	17.4	73	—	—	—
18	13	230	17.7	46	5	49	9.8	74	8	192	24.0
19	17	223	13.1	47	4	28	7.0	75	4	28	7.0
20	12	204	17.0	48	5	42	8.4	76	7	96	13.7
21	19	269	14.2	49	5	42	8.4	77	10	198	19.8
22	18	314	17.4	50	4	41	10.3	78	13	255	19.6
23	12	233	19.4	51	4	41	10.3	79	13	222	17.1
24	16	249	15.6	52	11	146	13.3	80	17	262	15.4
25	22	326	14.8	53	24	313	13.0	81	8	196	24.5
26	25	338	13.5	54	22	264	12.0	$\bar{x}$	13.0	212.4	16.1
27	21	323	15.4	55	10	189	18.9	$\sigma$	5.4	88.0	4.7
28	11	127	11.5	56	5	42	8.4				

전도도(electric conductivity, E.C.), 유기물함량(organic matter, O.M.), 총질소량(total nitrogen content, T-N), 유효태인량(available phosphate content, A-P) 및 염소함량(chloride content, Cl) 등의 총 10개 항목에 대하여 분석하였다 (김 등 1993).

토양속성과 식물군락과의 상관관계를 분석하기 위하여 좌표배열(ordination) 및 분류(clustering) 기법이 적용되었다. 각 요인들(variables)의 다양한 범위의 측정치들을 각각의 표준편차를 이용하여 표준화한 다음, euclidean distance(ED)에 의한 principal coordinate analysis와 similarity ratio(SR)에 의한 cluster analysis를 수행하였다 (Podani 1988).

## 결과 및 고찰

### 1. 식물사회

41 개의 식물군락이 분류되었으며, 6 개의 삼림식생, 4 개의 임연식생(숲가장자리식생), 31 개

의 초원식생으로 대별되었다 (부록 참조).

### 1) 삼림식생

삼림군락에는 상수리나무-졸참나무군락, 아까시나무-절레꽃군락, 밤나무군락, 리기다소나무군락, 곰솔군락, 소나무군락 등이 구분되었다. 이차림의 상수리나무-졸참나무군락 이외의 다른 5개 식물군락은 인공조림군락이다. 상수리나무-졸참나무군락은 상수리나무 순림(pure stand)으로부터 발달되어 온 천이 도중상의 이차림으로써 김포 매립지의 외곽 산지에 극히 좁은 면적에 제한적으로 분포한다. 아까시나무-절레꽃군락은 사방 및 용재림으로 조립된 아까시나무숲으로 식재 후 자연 상태로 방치됨으로써 형성된 이차식생이다. 수관층과 관목층에 각각 아까시나무와 절레꽃이 우점한다. 밤나무군락은 산비탈의 하단부에 위치한 인공식재군락으로써 수관은 밤나무에 의해 완전히 우점되어 있을 뿐만 아니라 규칙적인 밤 수확으로 임상은 빈약하였다. 리기다소나무군락은 山火地나 산지의 수종갱신을 위해 무작위로 식재된 침엽수 조림식생으로써 임상에는 강한 근권을 가지고 있는 억새가 우점한다. 곰솔군락은 해안에 인접한 산지 사면이나 砂丘 배후지역에 자연적으로 생육하나, 疎林 형태의 수관을 이루고 임상에는 억새가 우점한다. 소나무군락은 소나무 식재림으로써 수관은 소나무가 우점한다.

### 2) 임연식생

본 조사지역에는 칩군락, 누리장나무-며느리배꼽군락, 붉나무-며느리배꼽군락, 꼬리조팝나무-며느리배꼽군락 등 4개의 임연군락이 숲가장자리나 경작지 경계역에 생육하고 있는 것으로 밝혀졌다. 칩군락은 삼림이 심하게 파괴된 숲의 가장자리에서 널리 생육하고 있으며 한반도 중남부지역의 임연군락을 대표하는 식생형이다 (정 등 1994). 누리장나무-며느리배꼽군락은 자연적 혹은 인간 간섭에 의해 생긴 붕괴사면이나 돌출지형의 나지에 국부적으로 형성되는 선구식생으로써 수고 3m 전후의 누리장나무와 며느리배꼽이 우점한다. 붉나무-며느리배꼽군락은 누리장나무-며느리배꼽군락과 유사한 입지에 생육하나, 관목층과 초본층에 며느리배꼽과 붉나무가 교대로 우점하고 있다. 꼬리조팝나무-며느리배꼽군락은 산지 하단부와 경작지 사이에 줄로 늘어서 극히 소규모 면적으로 생육하고 있으며, 수고 2~2.5 m의 꼬리조팝나무가 우점한다.

### 3) 초원 (초지) 식생

본 조사지역 속에 생육하는 식물군락 가운데 76%에 달하는 31개 군락이 초원식생으로 분류되었다. 이 초원식생의 약 81%는 대부분 이차 초본식물군락이며 6개의 염생지 자연 초본식물군락을 포함하고 있다. 억새-고사리군락, 수크령군락, 큰기름새-억새군락, 도꼬마리-돼지풀군락, 애기똥풀-쇠뜨기군락, 조개풀군락, 질경이-마디풀군락, 달맞이꽃-매듭풀군락, 잔디-토끼풀군락, 돼지풀-자주개자리군락, 애기장구채군락, 환삼덩굴-쇠별꽃군락, 미국가막사리군락, 참깨군락, 망초-개망초군락, 쇠비름-중대가리풀군락, 돌피-바랭이군락, 벼군락, 골풀-미나리군락, 물옥잠-보풀군락, 애기부들-고마리군락, 부들군락, 줄군락, 물질경이-가는가래군락, 칠면초군락, 통통마디-갯개미취군락, 천일사초-갈대군락, 사데풀-갯개미취군락, 갈대-갯개미취군락, 산조풀군락, 락군락 등 31개 식물군락의 군락분류 및 군락생태학적 특징은 부록에 기재되어 있다.

## 2. 식생의 다양성과 이질성

김포 매립지와 그 근린 지역에 설정된 81개 격자(1개의 격자 = 1 × 1 km, 격자번호 73-개방

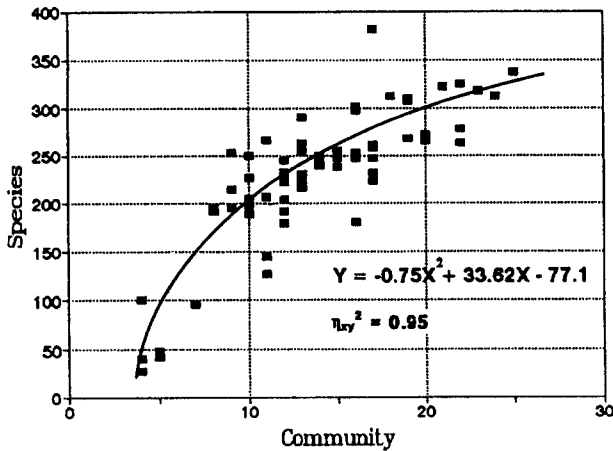


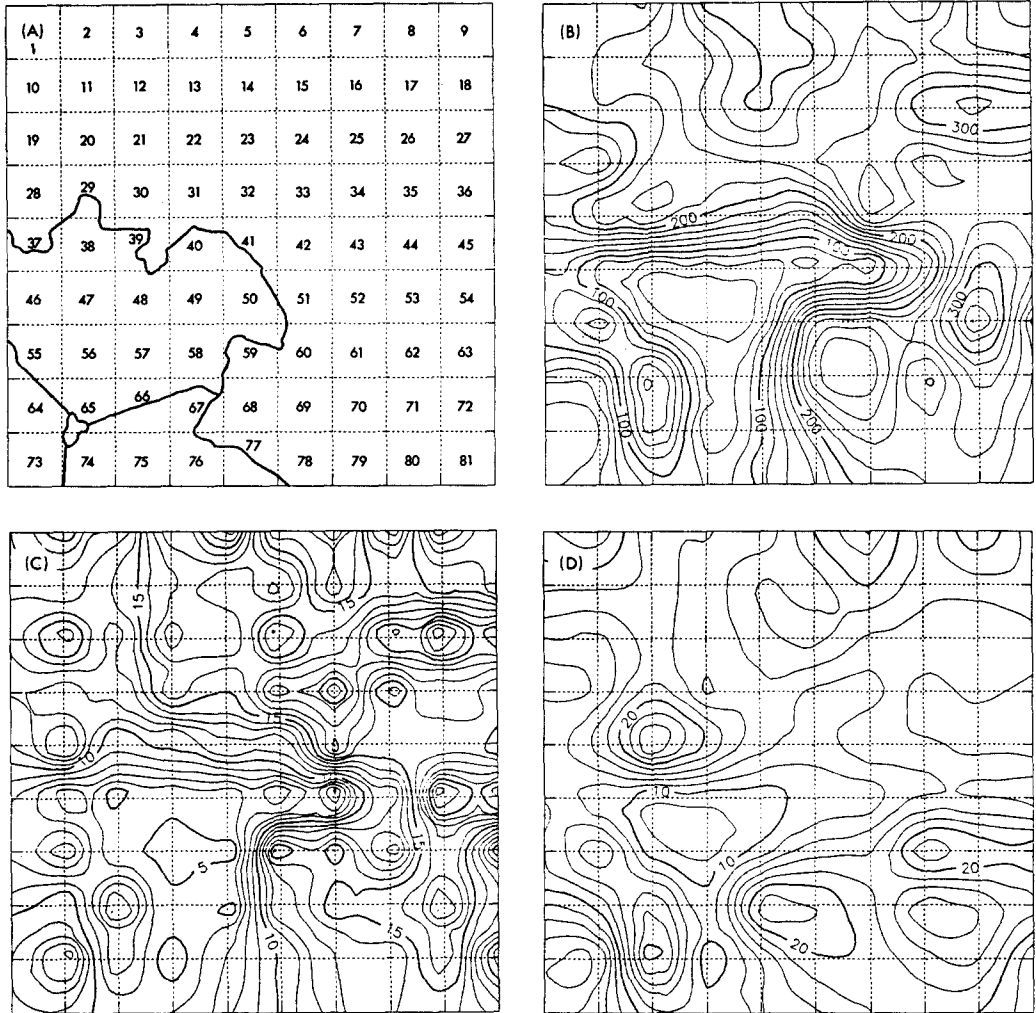
Fig. 2. Correlations between number of plant community and that of plant species occurring in 81 (9×9 km) meshes.

수역) 속에 출현하는 군락수와 식물종수의 분석에서 격자 당 출현한 군락수의 증가에 따라 종수는 비례적으로 증가하였다 (Fig. 2). 그러나 군락수가 일정 수준에 이르면 군락수가 증가해도 종수의 증가는 다소 둔화되는 양상을 보였으며, 적용된 회귀식  $Y = -0.75X^2 + 33.62X - 77.1$ 에 대한 높은 상관관계 (correlation ratio,  $r_{xy}^2 = 0.95$ )를 나타내었다. 이와 같은 군락수 증가에 종수 증가의 둔화는 한정된 조사 대상면적에서의 최대 종급원의 한계와 격자 62 번에서 기록된 종수가 동일한 군락수를 가지는 다른 격자에 비해 현저히 높은 값을 보이는

두 가지 이유를 고려할 수 있다 (Table 1).

한편 본 조사지역 내에서 지형과 토지이용 형태에 다양성을 내포하고 있는 격자 26 번 구역과 격자 62 번 구역은 각각 최대 군락수(25 군락· $\text{km}^{-2}$ ·mesh<sup>-1</sup>)와 최대 식물종수(381 종· $\text{km}^{-2}$ ·mesh<sup>-1</sup>)를 나타내고 있다. 그러나 각 격자에 있어서 단위 군락에 대한 출현종의 비, 즉 격자의 식생구조 이질성에 있어서는 격자 38 번이 최대값(28.1 종·군락<sup>-1</sup>·mesh<sup>-1</sup>)을 나타내었다. 이것은 격자 38 번 구역이 넓은 염습지 면적으로 겨우 9 개의 식물군락이 관찰되고 있지만, 인접하는 울도에서 지속적으로 진행되어 온 섬의 개발(조림 및 경작)과 최근의 토석 채취와 같은 인간간섭 등으로 말미암아 외지종의 급격한 유입의 결과로 생각된다. 매립지 및 간석지 내에 위치하는 다수의 격자는 최소군락수(격자 47 번 등 - 4 군락· $\text{km}^{-2}$ ·mesh<sup>-1</sup>)와 최소종수(격자 47, 57, 75 번 - 28 종· $\text{km}^{-2}$ ·mesh<sup>-1</sup>)를 기록했다 (Table 1). 이와 같이 생태적 이행역에서 군락의 다양성과 종수 다양성에 차이가 있음을 알 수 있다.

격자 속에 출현한 식물군락수와 식물종수에 따른 다양성 및 식생 이질성에 관한 contour 지도는 기능을 달리하는 염생식생 지역과 내륙식생 지역을 뚜렷이 구별하고 있다 (Fig. 3). 이들 다양성 및 이질성의 공간적 분포양식은 염생식생 지역으로부터 내륙식생 지역으로 일정한 경향성이 있었다. 내륙식생 지역은 염생식생 지역에 비하여 상대적으로 높은 다양성과 이질성을 보여 주며, 매립지 경계역은 곧 두 식생역의 경계역으로써 뚜렷한 차이가 있음을 보여준다. contour 지도상에서 식물종 다양성의 등선 [150], 군락 다양성의 등선 [10] 그리고 식생 이질성의 등선 [15]는 두 경계역의 기준이 되고 있다. 즉 내륙식생 지역에서는 단위 면적(격자-1  $\text{km}^2$ )에 대하여 150 종, 10 개의 식물군락, 15 종/군락 이상의 식생 다양성 및 이질성을 내포하고 있으며, 그 이하의 값을 나타내는 지역은 염생식생이 발달하고 있음을 알 수 있다. 또한 매립지 또는 염습지역이 넓게 분포하는 격자라 할지라도 그 지역 속에 소도(小島)가 위치하는 격자는 염생식생 지역의 분석치보다 높게 나타났다. 이와 같이 식생의 종조성에 따른 다양성과 이질성에 대한 정량적 분석은 서로 기능을 달리하는 식생역의 구분과 평가에 훌륭한 정보를 제공하고, 획일적 식생 또는 경관 요소 속에서 소도와 같이 자연환경의 다양성 증가에 기여하는 생물 서식처의 가치를



**Fig. 3.** The number of meshes (A), contour map with vegetation isolines of the diversity of species (B), the diversity of community (C) and the vegetation heterogeneity (D).

평가하는 수단이 된다.

### 3. 토양 환경과 식생과의 상관관계

#### 1) 물리화학적 토양 속성

조사지의 토양시료에 대한 물리화학적 분석으로부터 각 조사구의 토양환경이 밝혀졌다 (Table 2). 토지의 생산력, 토양의 발달, 무기 및 유기물질의 투과성을 결정하는 토성은 조사구 1, 9, 10 및 11의 모래 성분이 적고 미사 및 점토를 많이 함유하고 있는 매립지와 이에 비하여 모래가 많고 미사가 현저히 적은 조사구 2, 3, 4, 5, 6, 7 및 8의 산지 및 내륙저지의 두 개의 토양적 입지환경으로 구분되었다. 특히 조사구 3, 4, 5, 6 및 7은 우리나라 산지 삼림토의 일반적인 토성

를 보여주고 있으며, 이들은 다시 점토성이 강한 조사구 3, 4 및 6과 사질성이 강한 조사구 5와 7로 구별되어졌다. 조사구 2는 매립지에 점토가 용탈된 후 다시 적토작업으로 미사가 유입되어 다른 조사구와 구별되는 토성을 나타내었다.

식물의 정착과 생장에 직접적인 영향을 미치는 지표면 하 10 cm(A1 층) 깊이에서의 토양온도(8 월 중순)는 20~24℃의 범위를 벗어나지 않았으나, 다층균락구조를 가지는 삼림식생이 발달한 조사구에서는 초지균락의 조사구에 비해 2~3℃ 정도 낮았다. 삼림식생의 다층구조는, 잘 발달된 삼림의 토양하 8 cm 지점의 온도가 일 변화에 관계없이 일정하게 유지된다는 原田와 村上(1992)의 보고에서와 같이 식물 근계에 대한 한여름의 지나친 온도상승을 막아 초본식물의 생육장해를 완화시키는 효과를 가져올 수 있다.

포장용수량은 점토 성분이 많은 매립지 토양에서 상대적으로 높았으며, 토양함수량의 분포도 포장용수량의 분포와 유사하였으나 산지 토양에 비해 매립지 토양에서 포장용수량의 90% 이상의 값을 나타내어 매립지의 토양함수량은 지하 수위의 영향을 받고 있는 것으로 추찰되었다. 조사구 8의 방치된 논 또한 충적저지습담(沖積低地濕畚)의 전형적인 형태로서 포장용수량과 동일한 값을 나타내었다.

토양의 pH는 입지의 특성에 따라 조사구 3, 4, 5, 6 및 7의 산지토양은 pH 4.05~5.13으로 한 반도 삼림에서 일반적으로 나타나는 약산성이었으며, 조사구 1, 9, 10 및 11의 매립지 토양은 pH 7.42~8.03으로 염류의 영향으로 알칼리성을 나타내었다. 조사구 1에서 pH 8.03의 최고치를 보인 것은 이 조사구가 다른 조사구에 비해 탈염이 보다 많이 진행되었기 때문인 것으로 추정된다. 조사구 2는 적토작업으로 매립지 토양과 상이한 토성을 보였으나 조사구 1과 유사한 탈염과정을 통해 알칼리성을 나타낸 것으로 생각된다. 매립지 토양의 알칼리화 경향은, 토양이 NaCl에 포화되면 pH는 중성에 가까운 값을 나타내나, 탈염이 진행되면서 Cl<sup>-</sup>의 보다 빠른 세탈로 음이온의 부족현상에 따른 OH<sup>-</sup>의 증가에 기인한다. 조사구 8은 저지습담의 폐경지로써 해안 염류에 의한 영향은 거의 없었다. 한편, 토양에 함유되어 있는 유효한 이온들의 총량을 표현하는 전기전도도(E.C.)는 해수(NaCl)의 영향으로 매립지 토양에서 훨씬 높은 값을 보였으며, 같은 매립지라도 탈염이 보다 진행된 조사구 1은 조사구 9, 10 및 11보다 현저히 낮았다. 조사구 2 또한, 해수의 영향으로 조사구 3, 4, 5, 6 및 7의 산지 토양보다 높은 값을 보였다.

토양에 함유된 유기물의 총량은 식생의 발달과 밀접한 관계를 가진다. 식생의 발달이 양호한 산지토양이 매립지 토양(2.15~5.14%) 보다 높은 6.36~7.50%의 유기물함량을 보였다. 조사구 1은 조사구 9, 10 및 11에 비해 약 2 배 높은 유기물함량을 보이는데, 이것은 조사구 1이 여타 조사구에 비해 식생천이가 더 진행되어 유기물의 공급과 축적이 많았기 때문으로 생각된다. 전체 조사구 중 유기물함량의 최고치는 조사구 8에서 나타났는데, 이것은 식생발달에 따른 유기물의 축적이 아니라 인근 주택과 공장에서 흘러나온 생활폐수가 정체되어 침적되고 있기 때문인 것으로 추정된다. 또한, 토양에 함유된 총질소량은 유기물함량과 밀접한 관계를 가지고 있다. 전체 조사구에서 얻어진 토양의 총질소량은 토양의 유기물함량과 유사한 분포를 보여 산지토양의 조사구 3, 4, 5, 6 및 7에서 1.06~1.61 mg/g dw로써 매립지토양의 조사구 1, 9, 10 및 11의 0.34~0.76 mg/g dw에 비해 높은 값을 보였다.

유효태인산의 함량은 조사구 입지에 따라 매우 다양하였다. 매립지 토양의 유효태 인산함량은 5.97~12.23  $\mu\text{g/g dw}$  정도로 조사구별로도 상이하였으며 산지토양에 비해 높은 값이었다. 이는 매립지에 풍부한 인이 존재한다는 보고와 일치하였으며 (민 1988), 식생의 발달에 따라 식물체의 인 흡수가 증가함으로 천이가 진행된 조사구(1번 조사구)에서는 보다 낮은 값을 보였다. 전



**Table 2.** Properties of soil sampled at each vegetation type

		Site No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Vegetation types*		AP	DE	QT	QR	CC	PR	QR	BF	PC	SJ	SJ
Altitude (m)		5	7	32	20	25	20	32	20	10	10	2
Soil texture	Sand (%)	9	57	55	48	63	58	69	53	15	10	12
	Silt (%)	53	28	21	25	19	18	11	22	51	54	57
	Clay (%)	38	15	24	27	18	24	20	25	34	36	31
Textural class of soil		SiC	L	CL	LiC	SCL	SCL	SCL	LiC	SiC	SiC	SiC
Soil temperature(°C)		22.5	23.6	20.4	20.9	21.3	21.5	21.1	23.0	22.9	23.7	23.1
Field capacity(%)		41.00	24.06	28.12	33.97	26.24	31.12	28.98	28.10	31.84	36.31	36.68
Water content(%)		39.03	11.09	22.05	28.24	21.99	22.52	23.11	28.10	30.84	32.87	36.25
pH		8.03	7.60	5.13	4.40	4.05	4.27	4.18	6.28	7.68	7.49	7.42
E.C.(ms/cm)		0.68	0.59	0.11	0.10	0.10	0.10	0.13	0.17	1.75	5.56	3.12
Organic matter(%)		5.14	3.68	6.44	6.54	7.12	6.36	7.50	8.46	2.15	2.83	2.93
Total N(mg/g dw)		0.76	0.47	1.06	1.61	1.12	1.11	1.25	1.62	0.45	0.34	0.45
Available P(µg/g dw)		5.97	5.55	1.34	4.87	2.09	1.71	15.02	3.90	12.23	9.84	7.16
Cl-content(µg/g dw)		175	171	29	47	31	31	34	57	535	2,255	883

Notes: 1, 2, 3, 4, 5 and 6. Inchön-shi Sö-gu, 7 and 8. Kimpo-gun Kömdan-myön, 9, 10 and 11. Raclaimed area.

\* Abbreviations in the second line are as followings:

- AP : *Aster trifolium-Phragmites communis* community
- DE : *Digitaria sanguinalis-Echinochloa crus-galli* community
- QT : *Quercus serrata-acuteissima* comm. typical lower unit
- PC : *Phragmites communis-Carex scabrifolia* community
- QR : *Quercus serrata-acuteissima* community-Rhododendron mucronulatum lower unit
- CC : *Castanea crenata* community
- PR : *Pinus rigida* community
- BF : *Bidens frondosa* community
- SJ : *Suaeda japonica* community

**Table 3.** Correlations (r<sup>2</sup>) between variables of soil analysis. Underlined values indicate either less or more significant correlation between ecological variables

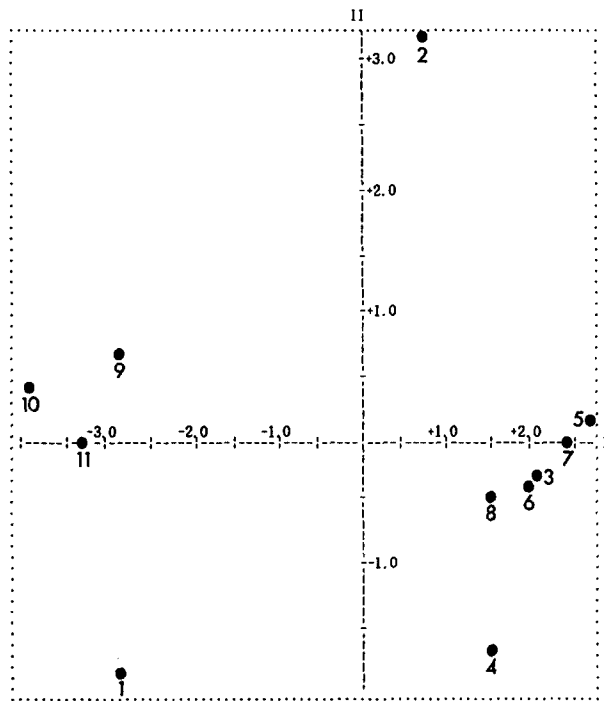
	Sand	Silt	Clay	Temp.	F.C.	W.C.	pH	E.C.	O.M.	T-N	A-P	Cl
Sand	1.00											
Silt	<u>0.97</u>	1.00										
Clay	<u>0.83</u>	0.68	1.00									
Temp.	0.35	0.45	0.12	1.00								
F.C.	0.67	0.55	0.81	<u>0.04</u>	1.00							
W.C.	0.66	0.53	<u>0.83</u>	0.05	<u>0.83</u>	1.00						
pH	0.63	0.72	0.34	<u>0.72</u>	0.18	0.18	1.00					
E.C.	0.54	0.57	0.35	<u>0.41</u>	0.25	0.23	0.33	1.00				
O.M.	0.57	0.68	0.25	0.42	0.15	<u>0.08</u>	0.57	0.53	1.00			
T-N	0.44	0.56	0.14	0.43	0.08	<u>0.03</u>	0.55	0.50	<u>0.85</u>	1.00		
A-P	<u>0.09</u>	<u>0.09</u>	<u>0.08</u>	0.09	<u>0.05</u>	0.06	<u>0.08</u>	0.16	0.15	0.11	1.00	
Cl	0.45	0.46	0.32	0.36	0.21	0.18	0.26	<u>0.97</u>	0.43	0.42	<u>0.14</u>	1.00

체 조사구 중 유효태 인산의 최고치는 15.02 µg/g dw로써 상수리나무(*Quercus acutissima*)가 우점하는 산지토양의 조사구 7이었으나, 이것은 본 조사구의 인접 상부에 위치하는 참깨(*Sesa-*

*mum indicum*) 경작지로부터 유입된 인산비의 영향으로 추정된다. 토양의 염소함량은 해수에 영향을 받고 있는 지역에서 탈염과정을 추적하는 중요한 지표로 활용될 수 있다. 내륙형 입지인 조사구 3, 4, 5, 6, 7 및 8은 29~57  $\mu\text{g/g dw}$ 의 안정된 낮은 염소함량이었다. 배립지 토양에서는 간척 시간의 경과와 지형적 특성에 따라 현저한 차이를 보여 가장 최근에 매립된 조사구 10에서 2,225  $\mu\text{g/g dw}$ 의 최고치를 보였으며, 조사구 1과 2는 각각 175  $\mu\text{g/g dw}$ 와 171  $\mu\text{g/g dw}$ 로 상당히 탈염이 진행된 입지임이 판명되었다.

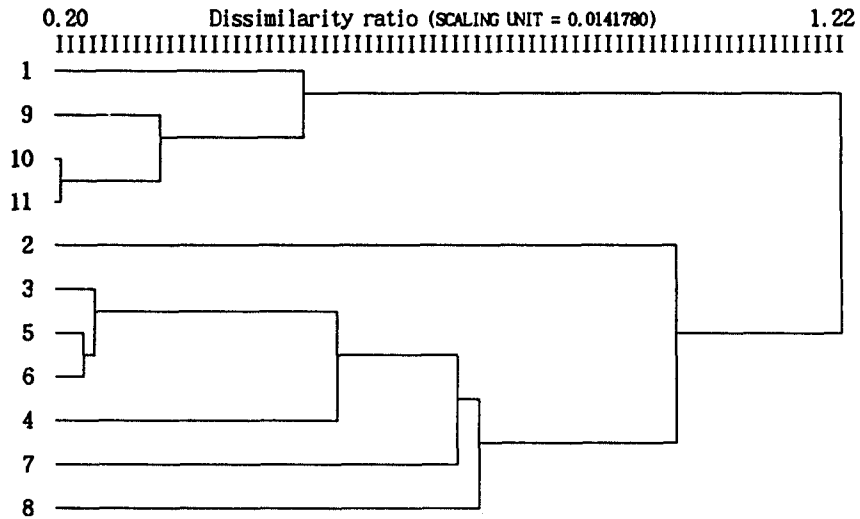
## 2) 토양 속성간의 상관분석과 토지 구분

토양속성 간의 상관도 ( $r^2$ ) 분석(Table 3)에서 토성(모래, 미사 및 점토의 구성비)은 각 속성들에 대해 전반적으로 영향을 미치는 가장 주된 요인으로 나타났으며, 토성 중 특히 점토의 구성비는 포장용수량과 토양함수량에 대해 각각  $r^2 = 0.81, 0.83$ 의 높은 상관성을 보였다. pH는 산지토양의 산성화 경향과 매립지토양의 탈염에 따른 알칼리화 경향이 대조적인 분포를 나타내어 두 요인간에 비교적 높은 상관도( $r^2 = 0.72$ )를 보였다. 포장용수량과 토양함수량의 상관도는  $r^2 = 0.83$ 의 높은 값을 보였으나, 강우량이 동일한 지역임을 감안한다면 오히려 상관도의 값이 낮은 편이었다. 이것은 산지와 매립지간에 지하수위의 상이성과 조사구 2의 노변 토양의 특수성에 기인하는 것으로 생각된다. 전기전도도와 염소함량은 가장 높은 상관도( $r^2 = 0.97$ )를 보였는데, 이는 매립지의 높은 염분함량이 전기전도도의 값에 크게 기여했기 때문이다. 일반적으로 유기물 함량과 총질소량은 높은 상관성을 가지는 것으로 보고되고 있는데, 본 조사에서도  $r^2 = 0.85$ 의 높은 값을 보였다.



**Fig. 4.** Site ordination along the first two axes of the principal coordinate analysis (PCA) with data of soil properties in study area.

한편, 각 조사구의 토양속성의 총화된 값을 도출하여 조사구들의 분류와 좌표 배열을 수행했다. Principal coordinate analysis에서 제 I 축과 제 II 축 사이를 중심으로 하여 염도에 의한 좌표배열을 뚜렷이 보여 주었으며, 매립지 내에서도 매립 후 이미 택지가 조성된 조사구 1과 2는 상대적으로 최근에 매립된 조사구 9, 10 및 11과 뚜렷이 구분되었다(Fig. 4). 또한 동일한 시기에 매립된 조사구 1과 2의 좌표서열이 매우 다르게 나타난 것은 택지 조성 후 방치된 조사구 1에 비해 도로로 사용되고 있는 조사구 2의 토양환경이 완전히 변화되었기 때문이다. cluster analysis 결과, 조사구 1, 9, 10과 11의 해안형과 조사구 3, 4, 5, 6, 7과 8의 내륙형으로 크게 양분되었으며, 조사구 2는 해안형이나 내륙형 그룹과는 독립된 조사



**Fig. 5.** Site classification by cluster analysis using complete linkage of a sorting strategy with data of soil properties in study area.

구로 분류되어졌다 (Fig. 5). 이것은 조사구 2가 염도에 있어서는 조사구 1과 유사한 값을 나타내었으나 (Table 2), 택지 조성 후 도로로 전용되면서 토양의 물리화학적 환경의 변화를 가져와 오히려 내륙형에 포함되어 나타났으며, 이와 같은 결과는 조사구 2에 출현하는 식물들의 종조성과도 일치하였다.

### 3) 토양 환경과 식생

조사구 1, 9, 10 및 11은 간척에 의해 생성된 매립지로서, 토양은 토성이 모두 동일한 범주에 속하는 미사질식토(SiC)로 구성된 탈염알칼리토(desalinized alkali soil)였다. 식생의 종조성은 조사구별로 다양하게 나타나 조사구 1은 갈대(*Phragmites communis*)가 우점하고 여기에 천일사초(*Carex scabrifolia*)를 포함한 염생식물과 버드나무(*Salix koraiensis*) 등의 내륙습지성 식물이 출현하였으며, 조사구 9는 우점종인 천일사초를 포함한 몇 종의 염생식물과 탈염이 어느 정도 진행된 기수역에서 생육하는 갈대를 비롯한 습지성 식물들이 혼생하였다. 조사구 10와 11은 칠면초가 우점하는 전형적인 염생식물군락으로 종조성이 거의 유사하였으나, 최근 매립된 조사구 10이 조사구 11에 비해 식생이 현저하게 빈약하였다. 이들 지역은 동일한 환경 하에 놓여 있으므로 토양환경 분석에서 대체로 유사한 값을 보였으나, 탈염의 지표로서 이용된 염소함량과 이에 따른 전기전도도에서 뚜렷한 차이를 보였다. 염소함량과 전기전도도는 조사구 10 > 11 > 9 > 1의 순서로 높았으며, 식생 또한 같은 순으로 염생식물에서 내륙습지성 식물로 이행하였다. 이와 같이 매립지에서는 탈염의 정도가 식물의 종조성을 결정하는 주된 요인으로 작용하는 것으로 나타났다. 염생지의 미묘한 미세 지형의 변동에 따른 우점종과 식물군락의 생육 분포와의 관계는 탈염 계열과 건습 계열에 따른 두 가지 형이 존재한다 (민 1988). 염생 입지 가운데 보다 습하면서 염도가 높은 곳에는 칠면초가 우점하는 칠면초군락이 단연 우세하며, 습하면서도 염도가 낮은 해안저지에서는 갈대가 우점하는 천일사초-갈대군락이 우세하게 생육하고 있다.

한편 조사구 2는 매립지의 적토작업 후 도로가 조성된 곳으로 돌피(*Echinochloa crus-galli*)와 바랭이(*Digitaria sanguinalis*)가 우점하고 노변에 흔히 보이는 실망초 등이 출현하였으나 식생은 빈약하였다. 이 지역은 토양분석에서 조사구 1과 거의 유사한 탈염계열상에 있는 것으로 나타났으나, 도로 이용에 의한 토양경도(soil hardness)가 높아지고 토양함수량이 낮아져 염생식물의 생육에 불리한 토양환경이 형성되었을 뿐만 아니라, 積土時에 함께 묻혀온 종자들 중 건조하고 토양경도가 높은 지역에서 잘 적응하는 종들에 의해 점유되어 있다. 이러한 생육지에서는 생산성이 높은 벼과 식물이며 억센 근권을 가지고 있는 반지중식물인 바랭이가 우점하는 경우가 흔하다.

조사구 3, 4, 5, 6 및 7은 삼림군락이 발달하고 있는 산지 비탈면 하부로서 토양은 전형적인 적황색 포드졸토(red-yellow podzolic soil)였다. 조사구 3은 상수리나무(*Quercus acutissima*) 식분(stand)에서 졸참나무(*Q. serrata*) 식분으로 천이 중에 있는 비교적 자연림에 유사한 종조성을 보였으며, 조사구 4와 7은 상수리나무가 우점하고 있었다. 조사구 5는 식재된 밤나무(*Castanea crenata*)가 우점하고 있었으며, 다른 목본은 거의 관찰되지 않았고, 조사구 6은 리기다소나무(*Pinus rigida*)의 식림 후 방치하여 관목층에 졸참나무 등의 참나무가 생육하고 있었다. 이와 같이 이들 지역의 종조성은 인간의 간섭 정도에 따라 상당히 상이하였으나, 토양환경은 유효태 인함량을 제외하고는 대체로 유사한 값을 보였다. 유효태 인함량은 조사구 4와 7에서 상대적으로 높은 값을 나타냈으며, 이것은 주변의 밭이나 골프장 등에서의 인산 시비 영향을 받은 것으로 추정되었다. 조사구 8은 저지습담의 폐경지로서, 방치된 논에 인근 주택과 공장에서 흘러나온 생활 폐수가 정체되어 유기물이 축적된 습지를 형성함으로써, 방치 후 귀화종인 미국가막사리(*Bidens frondosa*)가 빠르게 공간을 점유하게 되었다.

## 적 요

식생의 다양성과 이질성, 그리고 입지의 토지환경에 대한 정량적·정성적 분석을 통하여 기능을 달리하는 생태역의 구분을 시도하였다. 식생조사는 경기도 북서단에 위치한 김포군 안동포(126°38' E, 37°30' N)를 중심으로 한 정방형(81km<sup>2</sup>)의 지역 내에서 수행되었다. 본 연구는 Zürich-Montpellier School에 의한 전통적 군락분류법, 식생의 다양성 및 이질성의 정도와 분포양식을 규정하기 위한 interpolation 방법, 그리고 토양속성과 식물군락과의 상관관계 분석 등으로 이루어졌다. 41 개의 식물군락이 분류되었으며, 6 개의 삼림식생, 4 개의 임연식생 및 6 개의 염생지 초본식물군락을 포함하는 31 개의 초원식생으로 대별되었다. 격자 속에서 군락수와 식물종수와의 관계는 매우 높은 상관관계를 나타내었다. 조사지역 내에서 최대 군락수와 최대 식물종수는 각각 25 군락·km<sup>-2</sup>·mesh<sup>-1</sup>, 381 종·km<sup>-2</sup>·mesh<sup>-1</sup>였으며, 식생 이질성의 최대값은 28.1 종·군락<sup>-1</sup>·mesh<sup>-1</sup>이었다. 또한 최소 군락수, 식물종수 그리고 식생이질성은 각각 4 군락·km<sup>-2</sup>·mesh<sup>-1</sup>, 28 종·km<sup>-2</sup>·mesh<sup>-1</sup>, 7 종·군락<sup>-1</sup>·mesh<sup>-1</sup>이었다. 격자 속에 출현한 식물군락수와 식물종수에 따른 다양성 및 식생 이질성에 관한 contour 지도에서 염습지 식생지역과 내륙 식생지역이 뚜렷이 구별되었다. 식물종 다양성의 등선 [150], 군락 다양성의 등선 [10] 그리고 식생 이질성의 등선 [15]는 두 경계역의 기준임이 밝혀졌다. 토양시료의 물리화학적 분석으로부터 염소함량은 각 요인들 간의 상관분석에서 가장 중요한 토양환경 요인이었으며, 그 다음으로 유기물함량과 토성의 순이었다. 조사구는 염도에 의한 좌표배열이 명확히 나타났으며, 내륙형과 염습형의 토양으로 크게 대별되었다. 매립지에서는 탈염의 정도가 식물의 종조성을 결

정하는 주된 요인으로 고려되었다. 토양환경 분석을 통한 서식처의 생태학적 구분과 식생구조 분석을 통한 植生域 구분과의 합성을 통해 생태역 구분을 확실시하였다. 본 연구와 같은 방식을 자연 환경 조건의 상이성이나 인간 간섭에 의해 야기된 식생구조의 동태를 평가하는 유효 수단으로 제안했다.

### 인용문헌

- 김종원 · 김순득 · 정용규 · 김성준. 1993. 수도권매립지 종합환경조사 연구보고서 (자연생태계 편). 수도권매립지운영관리조합. 서울. 145p.
- 김종원 · 정용규. 1995. 김포 매립지와 그 근린 지역의 식물상 분석. 한국생태학회지 18: 31-41.
- 민병미. 1988. 한국 서해안 간척지의 토양과 식생 변화. 서울대 박사학위논문. 144p.
- 정용규 · 김종원 · 김원. 1994. 임연군락의 주요종 분포양식. 한국생태학회지 17: 513-521.
- 原田洋 · 村上雄秀. 1992. 環境保全林の溫度測定. 横兵國大環境研紀要 18: 97-104.
- 환경청. 1989. 김포지구 수도권 해안매립지 건설에 따른 환경영향평가서. 746p.
- Becking, R.W. 1957. The Zürich-Montpellier school of phytosociology. *Bot. Rev.* 23: 411-488.
- Golden Software Ins. 1987. SUFFER, ver. 3.11.
- Kim, J.W. 1993. An ecological strategy to conservation and rehabilitation of the Korean biological diversity. *J. of Environ. Sci. (Kyungpook Natl. Univ.)* 7: 1-22.
- Podani, J. 1988. SYN-TAX III User manual. *Abstr. Bot.* 12: 1-183.
- Reid, W.V. and Miller, K.R. 1989. Keeping options alive: The scientific basis for conserving biodiversity. WRI. 128p.
- Van der Maarel, E. 1971. Plant and species diversity in relation to management. *In* E. Duffey and A.S. Watt (eds.). *The Scientific Management of Animal and Plant Communities for Conservation*. Blackwell Scientific Publications. pp. 45-63.
- Wilson, E.O. 1988. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D.C. 521p.

(1995년 2월 11일 접수)

## [부록] 식물군락 목록

군락명	구분종 (* 우점종)	군락생태학적 특징
상수리나무-졸참나무군락	상수리나무*, 졸참나무, 떡갈나무, 유나무	김포 매립지의 외곽 산지에 극히 좁은 면적에 제한적으로 분포하고 있으며, 극상 형태의 자연림으로의 친이 도중상
아까시나무-절레꽃군락	아까시나무*, 절레꽃*, 자귀나무	사방 및 용재림으로 조림된 아까시나무숲으로 식재 후 자연 상태로 방치되어 형성된 이차림
밤나무군락	밤나무*	산비탈의 하단부에 위치한 인공 식재군락
리기다소나무군락	리기다소나무*	산화적지나 산지의 수종갱신을 위해 무작위로 식재된 침엽수 조림식생
곰솔군락	곰솔*	해안에 인접한 산지 사면이나 사구 배후지역에 자연적으로 생육
소나무군락	소나무*	인공 식재군락
참나무군락	참*	산지에서 교란된 숲의 가장자리에서 널리 생육
누리장나무-머느리배꼽군락	누리장나무*, 머느리배꼽	자연적 혹은 인간 간섭에 의해 생긴 붕괴사면이나 돌출지형의 나지에 국부적으로 형성
붉나무-머느리배꼽군락	머느리배꼽*, 붉나무*	누리장나무-머느리배꼽군락과 유사한 입지에 생육
꼬리조팝나무-머느리배꼽군락	꼬리조팝나무*, 머느리배꼽, 인동	산지 하단부와 경작지 사이에 줄로 늘어서 극히 소규모 면적으로 생육
억새-고사리군락	억새*, 고사리	산화적지에 우점하여 생육하는 이차초원
수크령군락	수크령*	오래된 경작지 제방에 생육하는 이차초원
큰기름새-억새군락	큰기름새*, 억새	수크령군락과 유사한 입지에 생육하는 이차초원
도꼬마리-돼지풀군락	도꼬마리*, 돼지풀	화분병의 원인이 되는 귀화식물군락으로써 일부 경작 밭 주변에 발달
애기똥풀-쇠뜨기군락	애기똥풀*, 쇠뜨기*	습기가 충분한 산비탈 최하단부의 토양이 불안정한 입지에 생육하는 소매군락
조개풀군락	조개풀*	일부 휴경작 논에서 관찰
질경이-마디풀군락	질경이*, 토끼풀*, 마디풀, 서양민들레, 새포아풀	대표적인 농로 담압군락
달맞이꽃-매듭풀군락	달맞이꽃*, 매듭풀	공단 주변 황폐지 및 도로 가장자리에서 생육
잔디-토끼풀군락	잔디*, 토끼풀	골프장과 공동묘지와 같은 인공 초지식생
돼지풀-자주개자리군락	돼지풀*, 자주개자리, 썩*	휴경작 밭 주변에서 관찰되는 식생
애기장구채군락	애기장구채*	단위 생육 면적이 가장 작은 군락으로써 논두렁에 생육
환삼덩굴-쇠별꽃군락	환삼덩굴*, 쇠별꽃	생육지의 부영양화에 따라 발달하는 쓰레기터 식물군락
미국가막사리군락	미국가막사리*, 골풀	휴경작 논에 형성하는 군락으로써 생활폐수와 공장폐수에 의해 오염된 입지에 발달

## [부록] 계속

군락명	구분종 (*우점종)	군락생태학적 특징
참깨군락	참깨*, 개풀, 석류풀	발경작식생을 통칭하여 나타난 것으로 경작이 지속적으로 이루어지고 있는 식생
망초-개망초군락	개망초*, 망초*, 콩	방치한지 3~5년이 경과한 휴경작 밭의 식생으로, 입지가 건조하기 쉬운 모래성분이 많은 토양에서 발달
쇠비름-중대가리풀군락	쇠비름*, 중대가리풀*, 주름잎	경작/휴경작 밭에 나타나는 군락으로 점토성분이 많은 토양에서 배수가 불량한 평탄지형의 입지에서 발달
돌피-바랭이군락	돌피*, 바랭이*	휴경작 논과 밭의 중간 단계의 토지적 환경에서 형성되는 일시적인 군락
벼군락	벼*, 개구리밥, 뚝새풀, 올미	논식생을 대표하며 정기적인 경작 식생
골풀-미나리군락	골풀*, 미나리, 조개풀, 수염가래꽃	방치한지 2~3년이 경과한 휴경작 논으로써 부영양화가 이루어진 과습 입지에 발달
물옥잠-보풀군락	물옥잠*, 보풀, 사마귀풀, 좀개구리밥	휴경작 논에 형성하는 반자연 초지식생
애기부들-고마리군락	애기부들*, 고마리*	논 근처의 개울가에 발달하며 골풀-미나리군락보다 더욱 부영양화가 진행된 생육 입지에 발달
부들군락	부들*, 갈대	지하수위가 지표에 이르는 평탄저지에 나타나는 군락, 내륙 갈대군락도 포함
줄군락	줄*, 갈풀	소연못에서 재배되기도 하는 수중 식물군락
물질경이-가는가래군락	물질경이*, 가는가래*, 나도겨풀	줄군락과 인접하여 생육하는 수중 식물군락
칠면초군락	칠면초*, 나문재, 갯개미취, 통통마디	해안 자연 간석지를 대표하는 식물군락
통통마디-갯개미취군락	통통마디*, 갯개미취	칠면초군락의 생육지 보다 들출한 미세지형으로 약간 건조화된 입지에 생육
천일사초-갈대군락	천일사초*, 갈대	탈염이 진행되고 있는 입지에 우세하고 띠군락과 인접
사데풀-갯개미취군락	사데풀*, 갯개미취	통통마디-갯개미취군락보다 더욱 건조한 미세지형에서 발달
갈대-갯개미취군락	갈대*, 갯개미취	간석지 염생식물들이 혼생하고 있는 군락, 지하수위가 지표면 가까이 위치하는 평탄지형의 기수역을 대표하는 식물군락
산조풀군락	산조풀*	일부 염생식물을 포함하고 있으나, 갈대-갯개미취군락 입지보다 건조한 토지에서 발달
띠군락	띠*	정기적인 화입(火入)과 방목에 의해 형성된 초지군락으로써 경작지 제방 사면과 간척된 지 오래된 평탄지에 널리 분포