

환경변수 추정을 위한 시설재배지 토양의 칼라특성 The Estimation of Physical/Biological Parameters of Greenhouse Soil by Image Processing

김 응, 김현태, 이대원

성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과

Kim, W., Kim, H. T., Min, D. W.

Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon

서 론

효율적인 정밀농업을 위해서 선행되어야 할 과제로 토양의 물리, 화학 및 생물학적인 특성을 구명하는 것이다. 이를 위해 최근 연구가 활발히 진행되고 있으며, 토양분석을 위한 근적외선 분광분석에 관한 연구는 풍건세토를 시료로 토양수분(谷山, 1989), 전질소, 전탄소, 질산태질소 등(井上 등, 1991)을 정량화 할 수 있다고 보고하였다. 그러나 풍건토의 조제와 분쇄 등으로 토양지도를 작성할 수 는 없다. 따라서 직접 토양에 대한 근적외선 분광분석법의 적용에 대한 Sudduth 등의 보고(Sudduth and Hummel, 1991)가 있었다.

다른 형태의 연구로는 토양에 공급되는 유기질 비료의 안정성에 대한 예측을 위한 방법으로는 C/N비의 측정(Richard and Choi, 1996), CO₂ 발생량의 측정, 퇴비의 호흡률-O₂ 소모량의 측정, Germination Test 등 여러 가지 방법들이 제안되고 있으나, 아직은 적절한 기술로 퇴비의 안정성을 보장 하기는 어렵다. 또한 현장에서 비용을 최소화 하여 간편하게 분석할 수 있는 기술체계를 보급함과 동시에 비파괴 분석법(근적외선 분석법)을 이용하여 축분퇴비 중 질소, 인산, 가리, 염분, 구리, 수분, 유기물, 탄소 등의 신속한 동시분석 기술을 도입하였다(Nam, 1999).

본 연구에서는 시설재배지 내의 토양을 기초로 토질역학적 측면(물리학)과 토양학적 측면(생물)에서 환경변수를 특성을 CCD-카메라를 이용한 영상처리에 의해서 간접적으로 추정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 이용한 시설재배지 토양의 시료는 수원시, 안산시, 화성군, 오산시 및 기흥시의 5개 지역의 현재 채소류를 재배하고 있는 비닐하우스 내의 토양을 선택하였으며 위 지역은 서로 인접하여 발생할 수 있는 미생물의 분포에 대한 영향을 최소화하기 위해 반경 5km이상으로 정하였다. 토양시료는 표토 10cm 부근의 토양을 채취하여 운반 후 2mm 체로 쳐서 밀봉 후, 약 4 °C 냉장고에 보관하여 미생물상 조사에 사용하였고

토양 분석용은 건조하여 사용하였다. 토양의 물리적 변수측정을 위한 시료의 채취는 표면에서 약 5 cm 정도에서 하우스의 입구, 중간, 입구반대쪽에서 채취한 토양을 불교란 시료로 이용하였으며, 실험실에서 이 토양의 물리적 형상을 자연스럽게 분해한 상태를 교란시료로 정의하여 실험에 이용한 시료로 간주하였다.

2. 물리적변수 측정

현장에서 채취한 토양시료를 이용하여 실험실에서 토양의 밀도, 습량기준 함수율, 체분석을 통한 입도분포를 구하였다.

3. 생물학적변수 측정

토양 pH는 시료와 증류수를 1:5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕 후에 측정하였다. 토양미생물의 검출방법은 주로 토양미생물실험법 (토양미생물연구회, 1992)에 준하였으며, 회석평판법으로 해당 선택배지를 사용하여 조사하였다.

호기성 세균, 방선균은 Egg-albumin 한천배지, 사상균은 Rose-bengal 한천배지, 형광성 Pseudomonas속 세균은 P1 배지, 장내세균은 Chromocult coliform agar(Merck co.)를 사용하였으며, 그람음성세균은 YG배지를 가한 회석평판 배지, 포자형성세균은 Egg-albumin 한천배지를 이용하여 출현한 colony를 계수하였다.

각 시료당 미생물 수는 3개의 petridish에 나타난 colony를 각각 계수한 후, 평균한 생균수 (colony forming unit: CFU g^{-1} 건토)로 산출하였다. microbial biomass C 함량은 chloroform 증류유출법으로 분석정량하였다.

4. 영상변수 획득

시설재배지 내의 토양의 물리학적 생물학적 변수의 추정을 위해 영상처리시스템을 구성하였다. 시료를 채취하여 바닥면에 가능한 교란되지 않게 시료를 정착시킨 후 상부 및 측면 카메라를 이용하여 영상을 획득하였다. 일정한 상태의 조명환경을 제공하기 위해서 카메라와 같은 방향에서 3과장 전구(25 W)의 조명 1개를 시료와 30cm 거리에 설치하였다. 또한 빛의 투과를 방지하기 위해 광원부를 제외한 나머지 모든 곳에 빛 차단막을 설치하였다. CCD-카메라를 통해서 입력된 칼라특성을 계산하기 위해서 비주얼 c++(visual c++)를 이용하여 자동으로 영상획득 및 영상처리를 할 수 있도록 하였다.

영상처리 알고리즘은 토양시료의 전체 형태를 검출하기 위한 전처리과정과 각 성상의 영상 단면적을 구하기 위한 영역검출과정으로 이루어져 있다. 전처리 과정에서는 입력된 영상의 인식이 용이하도록 획득한 영상을 보정하고, 가장자리를 검출하기 위해서 소벨 및 라플라스 가장자리 연산자를 이용하였다. 또한 전체 영상에 대한 농도 히스토그램을 구하여 이를 평활화하여 배경과 구별하였다. 마지막으로 검출된 토양시료와 배경을 분리하였다. 토양시료의 영상을 획득하고 이 부분의 영상변수내에서 각 화소의 red(R), green(G), blue(B), hue(H), saturation(S), intensity(I)를 구하였다. 각 화소의 영상변수는 평균값으로 표시되도록 하였다.

이렇게 구한 각 변수들의 상관관계를 분석하여, 영상처리를 통하여 시설재배지 내의 토양에 대해서 생물학적, 물리적 변수의 추정의 가능성에 대해서 구명하였다.

결과 및 고찰

1. 물리적변수

시설재배지 내의 토양을 채취하여 실내에서 토양의 대표적인 물리적 변수인 밀도, 함수율 및 체분석 실험 결과는 표 2와 같다.

Table 2 The physical variation of soil property in greenhouse

Lands	Density (kg/m ³)	Water content (%)	A particle distribution of soil (g, %)								Total
			2000 μ m 이상	840 μ m ~ 2000 μ m	425 μ m ~ 840 μ m	250 μ m ~ 425 μ m	180 μ m ~ 250 μ m	149 μ m ~ 180 μ m	75 μ m ~ 149 μ m	75 μ m 미만	
Kihung	1.3218	15.9	29.568 (28.74)	32.563 (31.65)	17.087 (36.22)	12.766 (12.41)	2.769 (2.69)	2.659 (2.58)	3.726 (3.62)	1.751 (1.70)	102.889 (100)
Osan	1.4486	27.2	35.271 (34.23)	26.982 (26.19)	14.123 (13.71)	11.258 (10.93)	2.929 (2.84)	2.723 (2.64)	1.149 (4.03)	5.607 (5.44)	103.042 (100)
Suwon	1.3985	26.3	24.263 (23.97)	37.658 (36.94)	16.516 (16.20)	11.405 (11.19)	2.580 (2.53)	2.703 (2.65)	3.497 (3.43)	3.333 (3.27)	101.956 (100)
Whasung	1.2711	16.5	13.578 (13.53)	22.173 (22.09)	12.359 (12.32)	14.542 (14.49)	5.668 (5.649)	6.501 (6.479)	11.862 (11.823)	13.652 (13.61)	100.338 (100)
Ansan	1.4687	21.3	7.226 (6.47)	36.905 (33.04)	26.909 (24.09)	19.335 (17.31)	4.789 (4.29)	3.907 (3.50)	5.161 (4.62)	7.465 (6.68)	111.697 (100)

토양의 밀도 및 함수율 및 체분석한 결과는 표 2와 같이 나타났으며, 밀도는 전체적으로 약 1.2kg/m³에서 1.5kg/m³으로 나타났다. 함수율은 약 15.9%에서 27.2%의 함수율을 보였다. 또한 조사 지역은 대부분 입경이 2mm이상인 모래성분이 80%이상으로 나타났다.

2. 생물학적변수

토양내 미생물농도를 중심으로 생물학적인 변수를 측정한 결과는 표 3과 같다.

Table 3 The biological variation of soil property in greenhouse (CFU g⁻¹, dry soil)

Lands	pH	Bacteria (x 10 ⁷ CFU)	Actinomycetes (x 10 ³ CFU)	Fungi (x 10 ² CFU)	Pathogenic fungi (x 10 ² CFU)
Kihung	5.37	4.12	2.47	5.97	4.92
Osan	6.39	3.46	3.24	3.33	2.80
Suwon	6.36	3.71	3.53	3.23	2.93
Whasung	6.67	2.88	3.52	3.35	2.41
Ansan	5.25	3.2	2.59	5.81	3.98

실험에 이용한 토양의 pH는 5.25에서 6.39까지의 분포를 보이고 주요 미생물 분포는 건전토양에서는 형광성 *Pseudomonas*속 세균 밀도가 높은 반면 염류장애토양에서는 병원성 *Fusarium* 속 사상균의 밀도가 높고 형광성 *Pseudomonas* 속 세균이 낮은 밀도를

보였다. 또한 토양 유기물 함량이 증가할수록 *Bacillus* 속, 형광성 *Pseudomonas* 속, *Enterobacteriaceae*에 속하는 *Citrobacter sp.*, *Enterobacter sp.*, *Klebsiella sp.* 세균 등의 밀도와 microbial biomass-C 함량이 크게 증가하였다. 토양 pH와 세균과의 고도의 정의 상관관계를 사상균과는 부의 상관관계를 보였다.

3. 토양의 영상정보

시설재배지 토양의 영상을 획득하여 분석한 결과는 표 4와 같다. 토양의 칼라특성을 살펴보면 전체적으로 불교란시료에 비해서 교란시료가 높게 나타난 것을 알 수 있었다. 각 지역내 토양의 상대적인 칼라특성의 비교는 큰 의미를 가지지 못하는 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 토양의 물리적, 생물학적인 정보와 영상과의 관계를 구명하고자 수행하였지 때문에 작물식생정보와의 관계는 배제하였다.

4. 물리적변수와 칼라특성

토양의 물리학적, 생물학적 변수를 CCD Camera를 이용하여 간접적으로 추정할 수 있는 가능성을 검증하고자 토양의 물리적변수와 영상변수와의 상관관계를 구명하기 위해 각 변수들 사이의 결정계수(R^2)를 구한 결과는 표 5와 같다.

Table 4 The Image information of soil property in greenhouse

Lands	The image information of a unbroken soil sample					
	R	G	B	I	H	S
Kihung	96.67	61.67	45.33	67.67	34.73	0.37
Osan	94.50	64.83	50.67	70.00	28.89	0.31
Suwon	95.25	67.00	53.75	72.00	31.10	0.28
Whasung	105.00	69.75	50.50	75.25	28.60	0.36
Ansan	89.00	60.17	47.50	65.50	34.85	0.31
Lands	The image information of a broken soil sample					
	R	G	B	I	H	S
Kihung	116.00	76.00	57.67	83.33	31.59	0.35
Osan	94.33	66.00	52.00	70.67	42.40	0.30
Suwon	96.00	67.00	52.00	71.50	40.38	0.31
Whasung	118.00	80.33	58.33	85.67	28.15	0.35
Ansan	91.67	62.33	49.33	67.67	41.72	0.31

Table 5 The coefficient of determination(R^2) between with physical variation and image information

R^2	The image information of a unbroken soil sample					
	R	G	B	I	H	S
Density	0.82	0.31	0.01	0.39	0.05	0.84
Water content	0.24	0.00	0.45	0.00	0.11	0.85
R^2	The image information of a broken soil sample					
	R	G	B	I	H	S
Density	0.93	0.97	0.93	0.95	0.95	0.84
Water content	0.72	0.58	0.56	0.66	0.76	0.90

토양의 물리적 특성과 영상변수와의 관계는 가밀도와 불료란시료의 영상변수 R값, S값과의 결정계수가 각각 0.82, 0.84로 가장 높게 나타났으며, 교란시료의 영상변수와 가밀도의 상관관계는 S값을 제외하고는 모두 0.9이상 높게 나타났으며, G값의 경우에는 0.97로 가장 높은 결정계수를 나타냈다. 따라서 G값을 포함한 영상변수를 이용하여 토양의 가밀도 추정은 가능할 것으로 판단된다.

토양 함수율과 불교란시료 영상변수와의 상관관계는 S값과 0.85의 결정계수를 나타낸 것 외에는 대부분 낮은 결정계수를 보였다. 또한 교란시료의 경우도 마찬가지로 S값과 0.90의 가장 높은 결정계수로 나타났다.

5. 생물학적변수와 칼라특성

토양내 미생물밀도와 영상변수와의 상관관계를 구명하기 위해 각각의 변수들 사이의 결정계수(R^2)를 구한 결과 표 6과 같은 결과를 얻었다.

Table 6 The coefficient of determination(R^2) between with biological variation and image information

R^2	The image information of a unbroken soil sample					
	R	G	B	I	H	S
pH	0.44	0.90	0.65	0.85	0.94	0.02
Bacteria	0.08	0.18	0.08	0.17	0.24	0.00
Actinomyctes	0.30	0.86	0.85	0.79	0.79	0.11
Fungi	0.23	0.76	0.82	0.69	0.88	0.14
Pathogeicta	0.20	0.70	0.71	0.63	0.85	0.13
R^2	The image information of a broken soil sample					
	R	G	B	I	H	S
pH	0.02	0.10	0.06	0.04	0.03	0.00
Bacteria	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Actinomyctes	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.03
Fungi	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.08
Pathogeicta	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08

시설재배지 내의 토양의 생물학적인 특성과 영상변수와의 관계를 비교해 본 결과, 전체적으로 상관관계가 낮은 것으로 나타났다.

시설재배지 내 토양의 교란시료의 생물학적인 변수와 영상변수는 거의 상관관계가 없는 것으로 판단된다. 대부분의 변수들간의 결정계수는 0.01이하로 매우 낮게 나타난 것을 알 수 있었다. 따라서 생물학적인 특성을 CCD-Camera로 추정하기 위해서는 재배지 토양을 교란시키지 않고 그대로 이용하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

요약 및 결론

시설재배지 토양에 대한 생물·물리적 환경변수 추정을 위한 영상처리시스템 개발을 위해 현재 작물을 재배하고 있는 반경 5km 이상의 지역 5개소를 선정하여 토양시료의

물리, 생물학적인 변수를 측정하였으며, 이 토양 시료를 대상으로 CCD-Camera를 이용하여 칼라특성을 획득하였다. 그리고 이들과의 상관관계를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시설재배지 5개소의 토양의 밀도는 전체적으로 약 1.2 kg/m^3 에서 1.5 kg/m^3 으로 나타났으며, 함수율은 약 15.9%에서 27.2%의 함수율을 보였다. 또한 조사 지역은 대부분 입경이 2 mm이상인 모래성분이 80%이상으로 나타났다.

2. 토양내 미생물농도를 중심으로 생물학적인 변수를 측정한 결과, 토양의 pH는 5.25에서 6.39까지의 분포를 보이고 있다. 전체적으로 산성화가 진행된 것으로 판단된다.

3. 시설재배지 토양을 영상분석기를 통하여 영상변수를 분석한 결과, 전체적으로 불교란시료에 비해서 교란시료가 높게 나타난 것을 알 수 있었다.

4. 시설재배지 내의 토양의 물리적 특성과 영상변수와의 관계를 살펴보면 가밀도와 불료란시료의 칼라특성 R값, S값과의 결정계수가 각각 0.82, 0.84로 가장 높게 나타났으며, 다른 영상변수와의 결정계수는 0.3이하로 매우 낮게 나타났다. 또한 교란시료의 영상정보와 가밀도의 상관관계는 S값을 제외하고는 모두 0.9이상 높게 나타났으며, G값의 경우에는 0.97로 가장 높은 결정계수를 나타냈다. 따라서 G값을 포함한 영상정보를 이용하여 토양의 가밀도 추정은 가능할 것으로 판단된다.

5. 생물학적인 특성과 영상변수와의 관계를 비교해 본 결과, 전체적으로 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 따라서 생물학적인 특성을 CCD-Camera로 추정하기 위해서는 재배지 토양을 교란시키지 않고 그대로 이용하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

인용문헌

1. Richard T. L. and H. L. Choi. 1996. Optimizing the composting process for moisture removal : theoretical analysis and experimental results. ASAE Paper No. 964014. ASAE, St. Joseph, MI., USA.
2. Sudduth K. A. and J. W. Hummel. 1991. Evaluation of reflectance methods for soil organic matters. Trans. of the ASAE. Vol. 34. 1900-1909.
3. 谷山一郎. 芝山道郎. 1989. 近赤外反射分光法による土壤水分の定量分析. 土壤の物理性. Vol. 59. 28-34.
4. 井上直人. 湊井貴之. 1991. 近赤外反射分光法による土壤中の全窒素, 全炭素および抽出有機態窒素の測定. 北陸作物學會報. Vol. 78. 105-108.
5. 남재작. 1999. NIR을 이용한 부산물 퇴비의 비파괴 분석법 연구. 농업과학기술원보 고서.