

경운방법에 따른 토양의 물리성 변화

The Changes in the Physical Properties of Soil with Tillage Methods

박준걸*	이규승**	조성찬***	장영창*
정회원	정회원	정회원	정회원
J. G. Park	G. S. Lee	S. C. Cho	Y. C. Chang

1. 서론

일반적으로 작물 생육을 위한 토양의 적절한 상태는 크게 뿌리 공극률에 따른 수분의 이동성, 양분을 많이 포함된 지점으로의 뿌리 운동성, 지상의 줄기 및 작물을 지탱하기 위한 활착성 등이 내재된다. 상기의 요인들은 서로 상호 연관되어 단일 지표로 제시하기 어려웠다. 현재 토양이 뿌리의 적합한 생육상태를 가지고 있는가에 대한 절대적 지표는 개발된 바 없다. 그러나 거시적으로 고찰할 때 뿌리의 적합한 생육상태는 토양의 다짐 정도와 밀접한 영향이 있다는 연구 결과가 있었다.

본 연구에서는 토양의 경운 정도를 나타내는 일반적 지표로서 토양경도(*cone index*), 점착력(*cohesion*)과 내부마찰각(*internal resistance angle*)을 선정하였다. 토양경도 및 점착력, 내부마찰각은 수분 함량, 토양종류, 공극률, 입자 크기 등 다양한 토양의 상태에 따라 값이 결정되는 요인이며 거시적 지표로서 여러 가지 요인의 영향을 포괄한다. 현재 뿌리 생육에 적절한 토양경도, 점착력과 내부마찰각은 절대적으로 제시할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 먼저 경운 전 토양의 경도, 점착력과 내부마찰각을 측정하고 경운 후 해당 특성의 상대적 개선도를 분석하여 경운의 정도를 측정하고자하였다. 나아가 본 연구는 다양한 경운 작업의 조합에 따른 상대적 토양 특성의 개선을 제시하는 지표로써 응용될 수 있다. 즉, 경운작업에 따른 물리성 변화로써 상기의 세가지 특성에 대한 상대 변화는 경운작업에 따른 토양 물리성 개선의 지표로 이용될 수 있다.

본 연구는 토양특성에 따른 최적의 경운방법을 결정하는 의사결정시스템 개발의 기초 연구로서 이루어졌다. 따라서 토양 종류가 다른 다수의 포장에서 다양한 경운 방법을 수행한 후, 작업 전후 토양의 경운 정도를 측정한다는 목적으로 수행하였다. 따라서 실험의 결과치는 결과적으로 뿌리 생육에 적합한 토양 상태를 나타내는 지수를 추정하는데 이용될 수 있으며 토양특성에 따른 최적 경운방법을 결정하는 연구의 기초자료로 활용될 예정이다.

* 건국대학교 자연과학대학 생물생산기계공학과
 ** 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스과
 *** 충북대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학과

2. 재료 및 방법

토양의 점착과 내부마찰각은 토양 수분 함량에 매우 민감하므로 이에 대한 교정이 필요하다. 따라서 본 연구는 기본적으로 해당 장소의 토양의 수분함량을 측정한다. 나아가 토양 경도 및 내부마찰각을 측정하고 이를 통하여 토양 점착력을 추정하였다.

실험은 온라인 측정실험의 특성을 이용하기 위하여 기존의 토양 샘플링 후 실험실 분석의 실험 틀을 따르지 않는다. 얼마간의 오차를 인정하는 범위에서 포장에서 실시간으로 해당 특성을 측정하고자 하였다. 따라서 토양 수분 함량은 전기전도도(EC)를 측정함으로써 얻어진다. 또한 원추관입기를 이용하여 토양 경도(CI)를 측정하며 베인 테스트터(SR2)를 이용하여 점착력 및 내부 마찰각 추정에 필요한 압력과 전단력의 관계직선을 구하였다.

점착력 및 내부마찰각은 다음 식에 의해 결정하였다. 압력을 X축, 전단력을 Y축이라 했을 때 절편은 점착력(cohesion), 기울기는 내부마찰각이 되며, R 스퀘어의 값으로 타당성을 검증하였다.

$$\tau = \tan\theta \cdot \sigma + c$$

where τ = 전단력, σ = 압력, $\tan\theta$ = 기울기

토양경도, 내부마찰각과 점착력을 기준으로 단위 경운작업에 의한 토양 물리성 개선정도를 측정하기 위해, 토양 종류별로 경운 전 포장의 특성을 기록하고 해당 포장에 대하여, 쟁기+씨래(토양 고름), 쟁기+로타리 1회, 쟁기+로타리 2회, 로타리 1회, 로타리 2회 등의 작업 조합에 대해 토양특성도의 개선을 측정하였다. 이때 한 종류의 실험측정치를 최소 20m 내에서 3곳 이상의 지점에서 특성을 측정 후, 평균적인 실험특성치의 개선 정도를 비교하였다.

상기의 실험방법은 관행방법에 대하여 선택된 경운법이 최적인가를 검증하는 타당성 실험에 이용될 수 있다. 즉 경운 전 해당 포장의 특성을 기록하고 관행적 방법과 선택된 방법을 동시에 수행하여 최소 20m(10지점), 3회 이상의 실험을 행한 후, 평균적인 실험특성치로서 개선 정도를 비교한다. 해당 특성의 개선정도는 작업 투입량에 대한 경제성 분석과 더불어 각 방법의 우위를 판단하는 근거자료가 된다.

3. 결과 및 고찰

상기에서 제안된 단위 경운작업에 따른 토양의 물리성 변화의 측정 방법에 따라 수원 입북동 추경포장과 여주, 농촌진흥청 시험포장 2곳, 충주 건국대 시험포장 등 총 5곳에서 실험이 수행되었다. 특히 본 연구에서는 작업방법에 따른 깊이별 토양 경도(CI)를 측정하여 내부마찰각과 점착력 변화와의 관계를 추정하고자 하였다. 아울러 각각의 실험 장소에서 6곳 이상에 대해 토양을 채취하여 자세한 토양의 특성을 분석하고 각 토양특성의 연관성을

찾고자하였다. 그림 1과 2는 각각 상기 실험을 수행하는 포장의 상태와 실험방법(EC 측정)을 보여주고 있다.



Fig. 1. The experiment field.



Fig. 2. The measurement of EC values.

본 연구에서 제시하였던 토양특성의 변화에 대한 측정 실험은 기존의 토양특성 측정실험과는 달리 최후를 시도되는 것으로서 완전히 검증된 방법이라고는 할 수 없다. 따라서 실험을 수행하는 과정에서 몇가지 유의사항이 도출되었으며 대략적으로 요약하면 다음과 같다.

- (가) 기본자료로서 토양 수분함량을 측정하고 평균 토양경도 및 깊이에 따른 토양 경도, 마찰각 및 점착력을 분석할 때 토양 수분함량에 대한 교정이 필요할 수 있다.
- (나) 내부마찰력 및 토양 전단력 측정과 관련하여 포장을 2m×2m로 구획하고, 격자의 중심부를 샘플링 포인트로 하는 것이 바람직하다. 이것은 포장상태에 이끌리지 않고 측정지점을 고정함으로써 특성치의 임의 측정에 도움이 된다.
- (다) 베인테스터를 이용할 때 샘플링 포인트당 압력에 따라 최소 5개 이상의 데이터 획득하여 추세선 획득의 오차 크기를 감소시켜야한다.
- (라) 현재 시판되는 계측장치의 경우, 실험자와 데이터 기록자가 2인 1조가 되어서 실험을 하게 된다. 이때 계기판에 기록된 눈금의 정밀도가 작아 실험자의 숙련도와 기록자의 읽는 위치에 따라 기록되는 값의 크기가 상당히 달라지는 오차가 발생하므로 실험 전 장비 사용에 대한 충분한 숙지가 필요하다.
- (마) 작업 전 토양의 경우 지푸라기 등이 오물이 있는 경우 제거하고 측정하여야한다.

실험에 선택되었던 5개 포장의 토양함수율은 34-36%로서 비교적 고른 것으로 나타났다. 그림 3과 4은 각각 여주 포장과 수원 작물시험장 포장에서 경운작업 전과 작업방법에 따른 CI의 깊이별 변화를 보여주고 있다. 실험 깊이는 작토층의 일반적 깊이인 20cm로 결정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 작업 전에 비해 작업 후 CI는 개선되었으나 단지 로타리 1회로 작업한 경우 CI 개선도가 가장 낮게 나타났다. 로타리 작업에 비해 쟁기 후 로타

리를 적용했을때 CI의 개선도는 더 나은 것으로 분석되었다.

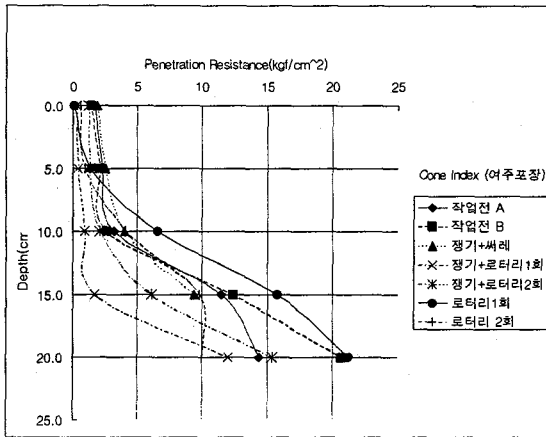


Fig. 3. The variation in CI with depth (Yeosu).

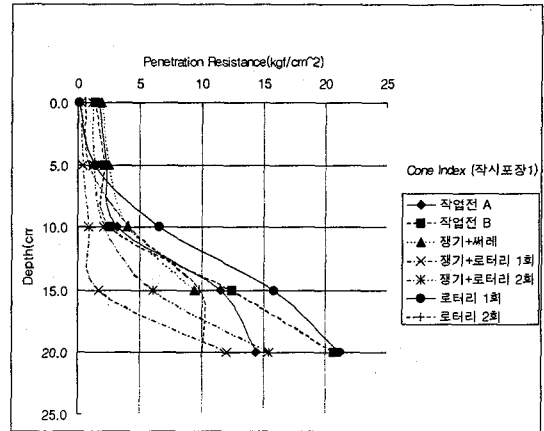


Fig. 4. The variation in CI with depth (Suwon):

대체적으로 실험 포장 전체를 통틀어 CI 개선도는 쟁기+로타리 1회에서 가장 좋은 것으로 나타났으며 로타리만으로 작업한 경우가 작업 전보다 CI가 더 나빠진 것을 분석되었다. 특이한 것은 쟁기 후 로타리를 2회 적용한 것이 1회 적용보다 CI 개선도 더 나쁜 것으로 나타났는데 이는 토양이 더 잘게 부서져서 토양 내 공극이 줄어들어 따른 내부 마찰각의 증가에 기인한 것으로 생각하고 있으며 내부 마찰각과의 연관성 분석이 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

그림 5와 6은 각각 여주 포장과 충주 건국대 포장에서 경운작업 전과 작업방법에 따른 내부마찰각과 점착력의 변화를 보여주고 있다. 경운작업 전에 비해 두 포장 모두 내부마찰각은 7-8도, 점착력은 $1N/cm^2$ 정도의 개선을 나타내고 있다. 두 포장에 대해 로타리를 2번 적용했을 때 내부마찰각은 가장 적은 것으로 나타났는데 앞서 분석한 CI와의 변화와 비교할 때 약간 상반되는 결과로 분석되었다. 현재 이에 대하여 수분 함량과의 관계를 분석 중에 있다.

모든 포장에 대해 작업 전에 비해 작업 후에는 점착력의 개선도가 큰 것으로 나타났다. 특히 쟁기 후 로타리 작업을 수행할 경우 다른 작업에 비해서 점착력이 작아지는 것으로 분석되었는데 단지 점착력이 작은 것이 뿌리 활착에 유리한 것인지는 고찰되어야 할 것으로 판단되었다. 관행적으로 볼 때 쟁기+써래 작업은 경운에서는 매우 거치른 작업으로 여겨지지만 생각보다 내부마찰각과 점착력의 개선도는 양호한 것으로 분석되었다. 나아가 사양토로 분류되는 수원작물 시험장 제2포장에서는 쟁기+써래작업으로 나타난 특성의 변화가 다른 작업에 비해 크게 나쁘지 않은 것으로 분석되었다.

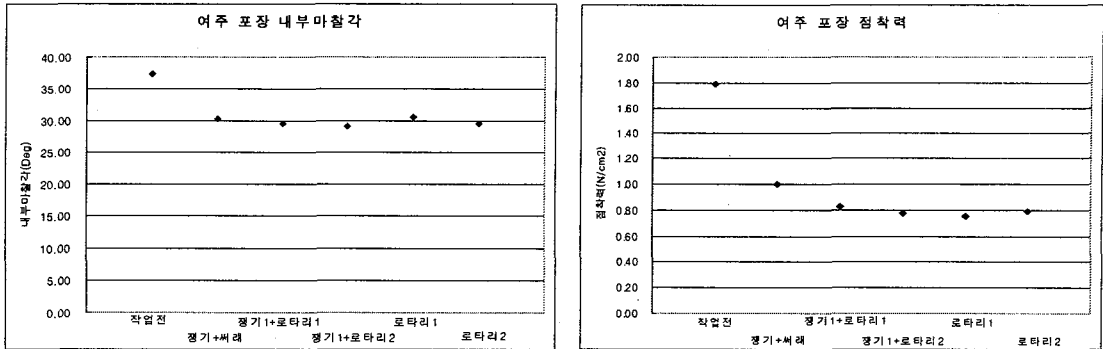


Fig. 5. The variation in internal resistance angle and cohesion (Yeoju).

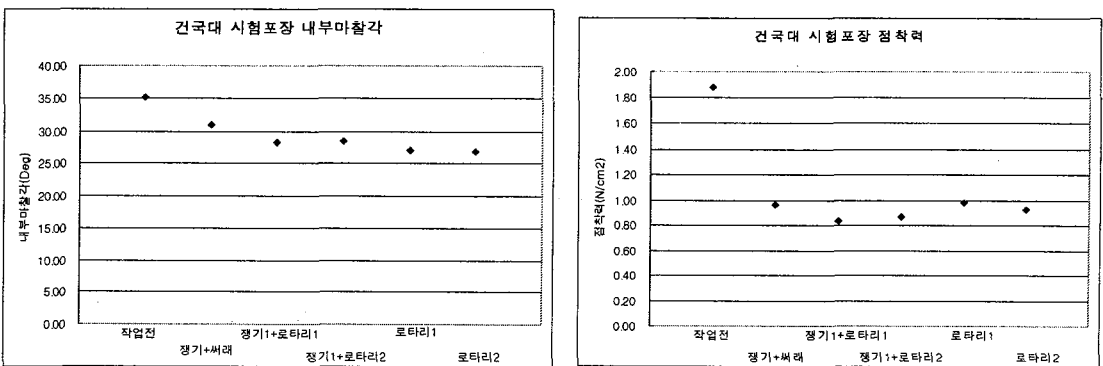


Fig. 6. The variation in internal resistance angle and cohesion (Chungju).

Table 1. Soil physical properties (Yeoju)

번호	습윤토양	건조토양	습윤토양 밀도	건조토양 밀도	고상	액상	기상	공극률 (%)
A1	164.40	127.59	1.67	1.30	0.49	0.37	0.13	50.95
A2	170.25	130.73	1.73	1.33	0.50	0.40	0.09	49.75
A3	160.77	122.64	1.64	1.25	0.47	0.39	0.14	52.86
A4	184.89	144.07	1.88	1.47	0.55	0.42	0.03	44.62
A5	160.74	123.74	1.64	1.26	0.48	0.38	0.15	52.43
A6	167.96	132.98	1.71	1.35	0.51	0.36	0.13	48.88
B1	170.00	132.66	1.73	1.35	0.51	0.38	0.11	49.01
B2	162.35	122.71	1.65	1.25	0.47	0.40	0.12	52.83
B3	162.52	121.42	1.66	1.24	0.47	0.42	0.11	53.33
B4	170.87	129.02	1.74	1.31	0.50	0.43	0.08	50.40
B5	168.55	129.26	1.72	1.32	0.50	0.40	0.10	50.31

표 1은 여주 실험포장에 대한 공극률과 밀도 등 토성 자료의 일부를 보여주고 있다. 실험데이터 분석을 보다 용이하게 하기 위해서 쟁기작업을 수행한 곳은 A지역, 로타리만으로 작업한 곳은 B지역으로 나누어 5곳의 토양을 채취하였다. 실험포장의 공극률은 대개 48-55% 사이로 나타났다. 그러나 한 포장의 여러 다른 곳에서 공극률이 최대 8% 정도의 차이가 나타나 토양특성의 보다 정밀한 측정을 위해서는 공극률 변화에 따른 특성치의 조정이 필요한 것으로 생각된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 토양의 경운 정도를 나타내는 일반적 지표로서 토양경도(*cone index*), 점착력(*cohesion*)과 내부마찰각(*internal resistance angle*)을 선정하고, 경운 전의 경도, 점착력과 내부마찰각과 경운 후 해당 특성을 비교하여 토양특성의 상대적 개선도로서 경운의 정도를 측정하였다. 토양 종류별로 5개 포장을 선정하였으며 경운 전 포장의 특성을 기록하고 해당 포장에 대하여, 쟁기+씨래(토양 고름), 쟁기+로타리 1회, 쟁기+로타리 2회, 로타리 1회, 로타리 2회 등의 작업 조합에 대해 토양특성도의 개선을 측정하였다.

실험 포장 전체를 통틀어 CI 개선도는 쟁기+로타리 1회에서 가장 좋은 것으로 나타났으며 로타리만으로 작업한 경우가 작업 전보다 CI가 더 나빠진 것을 분석되었다. 또한 경운작업 전에 비해 내부마찰각은 7-8도, 점착력은 $1\text{N}/\text{cm}^2$ 정도가 개선되며, 로타리를 2번 적용했을 때 내부마찰각은 가장 적은 것으로 나타났다. 아울러 실험포장의 공극률은 대개 48-55% 사이로 나타났다. 그러나 한 포장의 여러 다른 곳에서 공극률이 최대 8% 정도의 차이가 나타나 공극률 변화에 따른 특성치의 조정이 필요한 것으로 생각되었다.

5. 참고문헌

- 강인성. 2000. 지리정보시스템을 이용한 소구획 경작지내의 토양 유기물 및 pH의 변이분석. 석사학위 논문. 서울대학교 대학원.
- 농촌진흥청 대형과제 보고서. 1998. 전자파 표면조사에 의한 토양 유기물, 수분, 및 전질소의 비파괴 측정기 개발. 농촌진흥청.
- 조인성, 김이열, 조영길, 임정남, 엄기태. 1984. 논토양의 물리성이 농기계 작업능률에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 17(2):155-160.
- Adams, M. L. and S. E. Cook. 1997. Methods of on-farm experimentation using precision agriculture technology. ASAE Paper NO. 973020, Minneapolis, MN, USA.
- Carter, M. R. Relative Measure of Soil Bulk Density to Characterize Compaction in Tillage Studies on Fine Sandy Loams.
- Howard M. Taylor et al.. Penetration of Cotton Seedling Taproots as Influenced by Bulk Density, Moisture Content, and Strength of Soil.