한국농업기계학회 2006 하계 학술대회 논문집 11(2):52-55

심토환경개선기의 토양 파괴 모형 개발

Model for Soil Failure by an Explosive Subsoiler

트롱* 정병학* 이규승*
정회원 정회원
T.Q. Truong B.H. Chong K.S. Lee

1. 서론

토양 다짐은 토양의 밀도와 강도를 증가시켜 작물의 뿌리 성장을 제한하며, 생물학적 활동성을 저하시킨다. 또한, 토양 내의 유체 유동성을 감소시켜 공기, 양분 및 수분의 이동을 제한하여 결과적으로 작물 수확량을 감소시킨다.

토양 다짐은 주로 트랙터와 작업기 중량의 증가와 대형 농기계의 사용 빈도 증가가 주된 원인이며, 이를 극복하기 위하여 심토 경운 작업, 심토환경개선기 등을 사용한 토양층의 파괴 등이 이루어지고 있다.

특히 심토환경개선기는 고압의 기체를 토양 속에 불어넣어 경반층을 파괴하여 토양의 구조를 개선하고, 토양 내의 공기와 물이 원활히 유동할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 아직까지 뚜렷한 학술적 연구가 수행되지 않은 상태에서 일부 농기계 생산업체에서 생산·판매하여 국내의 일부 농가에서 사용되고 있는 심토환경개선기에 의한 토양 파괴 모형을 개발하여 심토환경개선기의 사용 효과 규명과 나아가 효율적인 작업기의 설계가 이루어질 수 있는 학술적 기반을 마련하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 심토환경개선기

심토환경개선기는 토양 다짐이 심한 토양의 심토 환경을 개선하기 위하여 40~60cm에서 공기를 주입하여 작물의 성장을 저해하는 경반층을 파괴하고, 토양 내의 공기 및 물의 유동을 원활히 할 수 있는 작업기이다. 경운기, 트랙터, 스피드스프레이어 부착형과 휴대형이 있으며 사용 동력은 약 7.5마력 정도로 소형 농기계에 의해서도 충분히 운용이 가능하다.

표 1. 심토환경기의 제원

구 분	트랙터부착형 심토환경개선기
크기(길이×폭×높이), mm	2,320×865×1,380
중량, kg_f	359
압축기 동력, hp	7.5
최고압력, kg_f/cm^2	9.9
관입방식	공압식 진동 장치
노즐, mm	ϕ32×670 (2구)

* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과

심토환경개선기는 압축공기를 분사하여 과수 뿌리 밑에 주입시키면 일정 깊이에 직경 300~500cm 정도의 땅이 들썩하여 1회 분사에 32리터 정도의 공기가 들어감과 동시에 매회100mg의 시비와 석회를 동시에 분사할 수 있다.

구성 장치로는 공기를 분사하는 노즐이 있는 공기 분사관, 이 분사관을 토양속에 관입시키는 공압식 진동 장치, 동력원인 고압 공기를 생산·저장하는 공기 압축기와 공기 탱크, 공기의 개폐를 조절하는 조절 밸브가 있다.

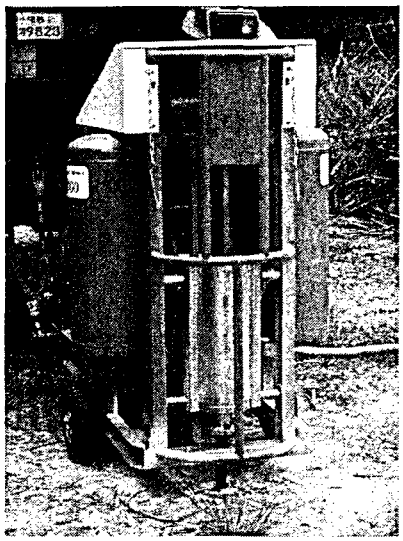

그림 1. 트랙터부착 심토환경개선기

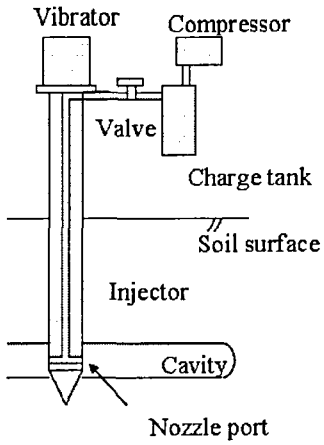

그림 2. 심토환경개선기의 구조도

나. 토양 파괴 이론

Mohr는 물질은 최대수직응력 또는 최대전단응력에 의해 파괴되지 않고, 파괴 수직 응력과 전단 응력의 조합이 임계점에 다달았을 때 파괴된다고 밝힌 이론을 밝힌 바 있다.

그러나 쿨롱은 이를 수정하여 토양 강도 포락선을 직선으로 정의하고, 파괴 시점에서의 전단응력은 근사적으로 수직응력에 대한 선형 함수로 표현될 수 있음을 입증하였다.

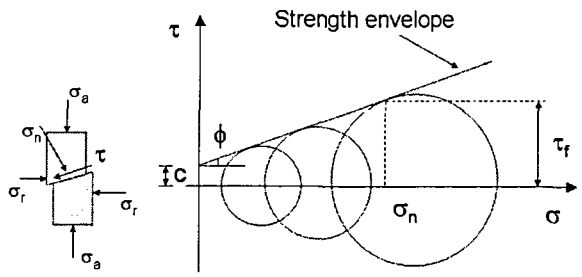

그림 4 Mohr-Coulomb 토양 파괴 이론

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan\phi$$

Where, τ_f = Shear stress, Pa
c = Cohesion, Pa
σ_n = Nornal stress, Pa
ϕ = Internal friction angle, rad

3. 결과 및 고찰

가. 토양의 파괴 모형

Araya(2002)는 고압 공기 주입에 의한 토양 파괴 후의 토양 내부의 공동(cavity)의 모양을 인공 토조에서 관찰하였으며, 원추관입기를 이용하여 관입저항의 변화를 통해 토양 내부의 공동의 모양이 그림 4와 같음을 보였다. 그림 4의 (b)는 80cm에서 고압 공기를 주입한 후의 토양 파괴 모형으로서, 주입 압력이 1MPa일 때, 공동의 두께는 20cm이고, 지름은 150cm 정도이었다.

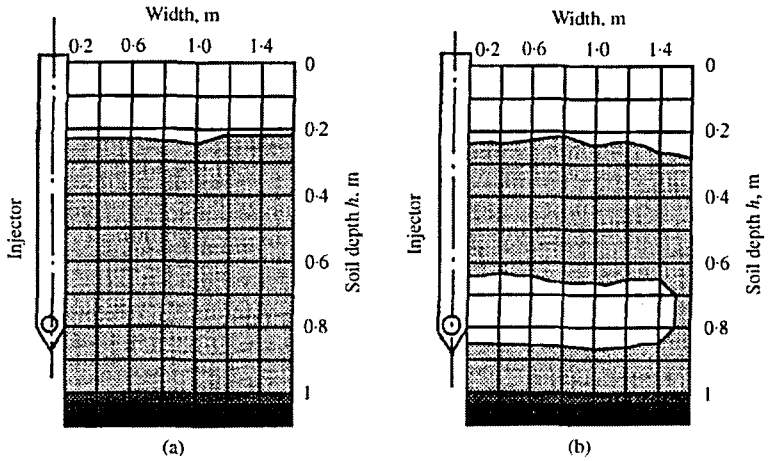

그림 5. 고압 공기에 의한 토양의 파괴 모형

나. 고압 공기에 의한 토양 파괴 모형 개발

고압 공기에 의해 토양이 파괴되기 위해서는 주입되는 공기의 압력이 토양의 압력 및 강도보다 커야한다. 토양 파괴에 의해 원기등 모양의 공동이 생성되고, 공동은 토양이 수직 위로 이동하여 형성된다고 가정하면 토양 파괴 모형은 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 이 때, 토양의 파괴 및 이동은 Mohr-Coulomb의 이론에 의해 결정된다고 가정한다.

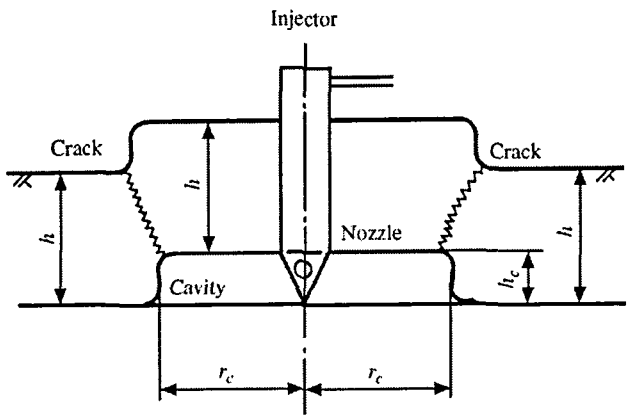

그림 6. 토양 파괴 모형

토양 내부의 공동의 형성에 필요한 에너지(E)는 ① 공동 및 공동 상부의 토양을 위로 수직하게 이동시키는데 필요한 위치 에너지(E_1)와 ② 토양의 수직 이동시 발생하는 토양의 내부 마찰력과 점착력을 극복하는데 필요한 에너지(E_2)의 합으로 표현할 수 있다.

$$E = E_1 + E_2$$

$$E_1 = \pi r_c^2 h \rho_s g h_c$$

$$E_2 = \pi r_c c(2h_c + r_c) + \pi \rho_s g r_c^2 h h_c \tan\phi$$

where, ρ_s = Soil density, kg/m^3

g = Gravitational acceleration, $9.81 m/s^2$

4. 결론 및 요약

심토환경개선기는 고압의 기체를 이용하여 경반층 파괴하여 토양의 구조를 개선하고, 토양 내의 공기와 물이 원활히 유동할 수 있도록 심토의 환경을 개선하기 위한 농작업기이다. 이 심토환경개선기의 고압 공기에 의한 토양 파괴를 모어-쿨롱 이론에 근거하여 토양의 파괴 모형을 단순화하고, 모형화한 기초 연구를 수행하였다.

토양 파괴에 필요한 에너지는 토양의 수직이동에 필요한 에너지와 이동시 발생하는 점착력 및 내부 마찰력을 극복하기 위한 에너지의 합으로 표현된다.

이 연구에 이어 추후 고압에 의한 토양 파괴의 실험적 구명과 해석 모델의 수정 및 보완 작업이 이루어질 것이며, 나아가 작업 환경 및 작동 조건에 의한 소요 동력 예측에 관한 연구도 수행될 것이다.

5. 참고문헌

1. 김팔규 외, 1997, 최신토질역학상론, 학연사
2. Braja M. Das, 1997, Introduction to soil mechanics, The Iowa state university press
3. H. Zhang, K. Araya, M. Kudoh, C. Zhang, H. Jia, F. Liu, T. Sawai and S. Yang, 2000, An explosive subsoiler for the improvement of meadow soil, part 2: soil bin experiments, Journal of agricultural engineering research 75, 209-219
4. K. Araya and G. Guo, 2002, Construction of an artificial perched watertable, part 2: soil cavity production by air pressure, Biosystems engineering 82(1), 107-114
5. K. Araya and K. Kawanishi K, 1984, Soil failure introducing air under pressure, Transactions of the ASAE 27(5), 1292-1297
6. Sun-Ok Chung and Kenneth A. Sudduth, 2003, Modeling soil failure caused by prismatic and conical tools, ASAE annual meeting, paper number 031028