

## 자주식 심토환경 개선기 개발(2) - 본체 제작 및 성능 평가 -

이동훈 박우풍 김상철 이규승

### Development of Self-propelled Explosive Subsoiler (2) - Construction of Prototype and Performance Evaluation -

D. H. Lee W. P. Park S. C. Kim K. S. Lee

#### Abstract

This study was carried out to develop a self-propelled type explosive subsoiler for improving the root zone soil conditions in orchard and other forest fields. Prototype was designed to be able to inject air and other soil improving material such as lime into soil at the same time, and thus improve the air permeability and drainage of orchard soils to promote the root growth of tree for high quality fruit production.

Soil penetration device of explosive subsoiler was composed of air hammer, penetration rob and air injection nozzle. To support the soil penetration device of explosive subsoiler to penetrate vertically, modified Scott-Russel mechanism was used. Timing control device for simultaneous injection of soil improving material with air was attached to the out side wall of air cylinder and as the cylinder move, the soil improving material was injected into soil at the same time.

Turning radius of prototype was 2.2-2.3 m with good mobility in sloped land. It took approximately 1 minute for lime injection system to reach the optimum pressure of 9.9 kg/cm<sup>2</sup>, average 10-20 seconds were required to rupture soil with the depth of 50 cm and 2-3 seconds were required for explosion, so all in all about 1 minute and 20 seconds were required for one cycle of explosion. Maximum soil rupture depth and diameter were 50 cm and 3-4 m respectively depending on the soil type and soil moisture content.

For final design of explosive subsoiler inclination angle of lime hopper was increased from 60 degree to 70 degree and the shape of hopper was changed from rectangular cone to circular cone to solve the clogging problem of lime at out let. Agitating system operated by compressed air was attached to the metering device of the prototype, thus more than 90 cc of lime was discharged per cycle from metering device without clogging problems.

**Keywords :** Air injection nozzle, Soil penetration device, Self-propelled type, Explosive subsoiler

#### 1. 서론

과수원의 경우 과일 수확작업 시 까지 방제작업을 비롯한 다양한 관리 작업 등이 이루어진다. 이러한 작업들은 대부분 스피드스프레이어 또는 트랙터 등 대형 농기계에 의해 이루어진다. 이 경우 농기계에 의한 토양의 다짐 현상이 초래되고 시간이 흐를수록 토양 다짐정도는 심각한 지경에 이르게 되어 다져진 심토환경(통기성과 배수성)의 개선이 필수적이다. 최근에는 과수 재배농민들의 토양 환경 개선기에 대한 요구가 많이 늘어나고 있으며, 이러한 추세는 계속 될 것으로 전

어진다. 이 경우 농기계에 의한 토양의 다짐 현상이 초래되고 시간이 흐를수록 토양 다짐정도는 심각한 지경에 이르게 되어 다져진 심토환경(통기성과 배수성)의 개선이 필수적이다. 최근에는 과수 재배농민들의 토양 환경 개선기에 대한 요구가 많이 늘어나고 있으며, 이러한 추세는 계속 될 것으로 전

The article was submitted for publication on 2009-12-04, reviewed on 2009-12-11, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-12-16. The authors are Donghoon Lee, Research Associate, KSAM member, Sungkyunkwan University, Suwon, Woopung Park, Professor, KSAM member, Hankyong University, Ansong, Sangcheol Kim, Researcher, KSAM member, National Academy of Agricultural Science, and Kyouseung Lee, Professor, KSAM member, Sungkyunkwan University, Suwon. Corresponding author: K. S. Lee, Professor, Dept. of Bio-Mechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Gyeonggi, 440-746, Korea; Fax: +82-31-290-7828; E-mail: <seung@skku.edu>.

망된다.

트랙터 스피드스프레이어 등의 대형 농업기계는 서구에서 개발되어 그 지역의 특성에 맞게 발전 되어왔고 서구의 전작 중심의 농업에서 효율적으로 사용되어 왔다. 따라서 토양다짐에 대한 연구 또한 미국과 유럽 등지에서 활발히 진행되어 왔으나, 국내에서는 기계의 성능과 효율에 대한 연구에 비하여 토양다짐의 해결 방법에 대한 연구는 아직 저조한 실정이다. 그러나 국내에서도 과수원에서 대형 농업기계 사용이 증가함에 따라 이에 따른 토양다짐 특성에 관한 연구는 매우 필요한 실정이다. 과수는 지상부 관리도 중요하지만 심근성장기 수목으로 한 장소에서 오랫동안 관리해야 하므로 수목 근권부의 심토환경관리는 매우 중요하다(Cho et al., 2005)

토양다짐은 작물의 뿌리에 악영향을 주는 방향으로 토양의 물리적, 생물학적 그리고 화학적 특성에 영향을 미친다. 토양다짐이 증가하게 되면 토양의 경도 및 전용적 밀도가 증가하게 되어 뿌리의 발달 및 성장을 제한하게 된다(Taylor and Gardner, 1963). 토양다짐은 토양의 통기성을 감소시킴으로서 뿌리의 신진대사를 제한하며, 토양공극의 크기 및 온도를 감소시킴으로서 토양 유기물의 분해를 감소 그리고 결과적으로는 영양소의 배출감소를 가져오게 된다(Gill and Vanden Berg, 1967). Raghavan 등(1979)은 농기계류의 사용에 따른 토양 다짐과 곡물의 생산량과의 관계에 관한 연구에서 토양다짐은 수확량을 30~50%까지 감소시킨다고 보고하였다.

토양원추관입시험기는 깊이에 따른 토양 경도를 정량화하는 장치로서 널리 이용되어 토양다짐특성과 관련된 정보를 제공하여왔다. 원추관입시험기에 의해 측정된 토양경도지수 즉 원추지수(cone index, CI)는 관입 시험기를 토양 속으로 일정한 속도로 관입시키는데 소요되는 힘을 원추의 저면적으로 나눈 값으로 정의된다(ASAE Standards, 2004). 작물의 뿌리 생육을 제한하는 토양경도에 대한 연구에 원추지수는 유용하게 사용되어왔다. 토양의 다짐 정도가 일반 작물 뿐 아니라 과수의 생육에도 큰 영향을 미친다는 보고는 상당히 많다(Park, 1997; Barley, 1963; Cho et al., 2005). 지금까지 일반 작물 및 과수 뿌리의 생육과 토양 관입저항 사이의 역학성을 규명한 연구에 의하면 대체로 1.0 MPa까지는 뿌리의 생육에 문제가 없으나 1.0-1.5 MPa부터는 토양의 저항으로 인해 뿌리의 생육에 문제가 발생하기 시작하며 2.0-2.5 MPa 이상에서는 뿌리의 생육이 거의 불가능한 것으로 보고되고 있다(Taylor and Gardner, 1963; Ehler et al., 1983; Sojka et al., 1990).

따라서 본연구의 목적은 우리나라의 과수원의 재배조건, 포장 및 토양상태 등 이용조건을 충분히 고려하여 압축공기와 함께 동시에 토양개량제를 심토에 투입할 수 있는 자주식 심토 환경 개선기를 개발하는데 있다.

## 2. 시작기 설계

### 가. 설계방침

심토 환경 개선기는 1보의 연구 결과를 토대로 다음과 같은 사항을 고려하여 설계한다.

- 1) 경사지주행 안전성과 작업편이성의 제고를 위하여 자주식으로 설계한다.
- 2) 압축 공기는 과수 및 수목의 뿌리 밀도가 높고 토양다짐 정도가 큰 50 cm 깊이로 반경 2 m 이상 도달할 수 있도록 한다.
- 3) 과수 및 수목의 뿌리생육을 촉진하기 위하여 압축공기를 이용한 토양파쇄와 동시에 토양개량제를 투입할 수 있어야 한다.
- 4) 기체의 길이는 가능한 짧게 하여 선회시 회전반경을 2.5 m 이내로 하여 수목 내에서 기동성을 높일 수 있도록 한다.
- 5) 주행부는 케도형으로 하여 경사지 적응성을 높인다.
- 6) 석회 등 토양개량제를 심토부에 주입하기 위하여 분체를 폭기장치 까지 원활히 공급할 수 있는 분체공급 호퍼 및 막힘방지장치를 적용한다.

### 나. 설계이론

#### 1) 토양 관입장치

그림 1은 토양 관입장치의 링크구조의 개략도를 보여 주고 있다. 압축공기 폭기 노즐은 그림 1에서와 같이 변형된 스크-

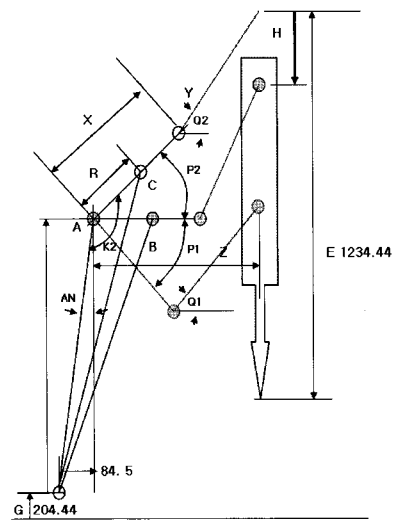


Fig. 1 Schematic diagram of linkage mechanism for vertical penetration of air injection nozzle of explosive subsoiler (unit : mm). Where, AN : initial setting angle ( $^{\circ}$ ), R : Lever radius (mm), A : initial setting length (mm), B : initial cylinder length (mm), C : extended cylinder length (mm), X : lower link length (mm), Z : lateral distance of nozzle (mm), Y : top-link length (mm), S : operation angle ( $^{\circ}$ )

러셀(Scott-Russell mechanism) 로서 하부링크(X)가 회전시 상부링크(Y)가 수직으로 구속을 받아 Z축상에 있는 분사노즐이 상하 수직운동을 하게 된다. 노즐의 토양 내 관입력은 압축공기를 이용한 에어 햄머와 공압실린더의 수축력을 이용하도록 했다.

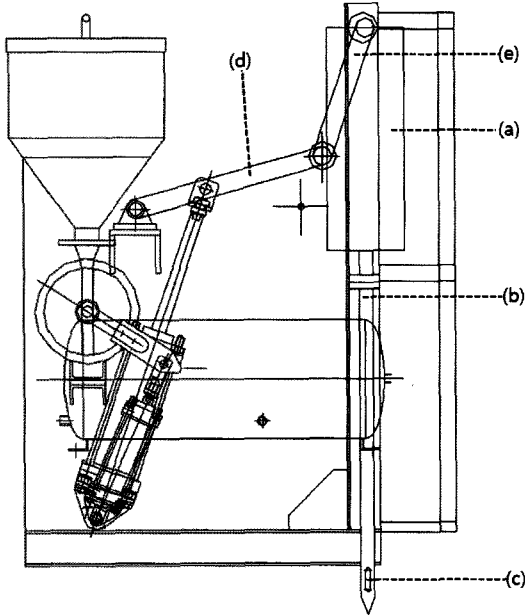


Fig. 2 Soil penetration part of Explosive subsoiler. Where, (a) Air hammer. (b) Penetration rod. (c) Injection nozzle. (d) Lower link. (e) Top link.

관입부가 상승했을 때 Z축상의 노즐위치는 다음과 같이 계산할 수 있다. 링크 절(X)와 링크절(Y)가 원점 A를 지나는 수평면에 대해 이루는 상방각을 계산한 후 링크절 X, Y의 길이로부터 노즐의 수직선상의 위치를 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\text{linked-joint (X) angle (P2)} : P2 = K2 - 90 - AN \quad (1)$$

$$\text{expansion angle (K2)} : K2 = \arccos\left(\frac{A^2 + R^2 - C^2}{2AR}\right) \quad (2)$$

$$\text{linked-joint (Y) angle (Q2)} : Q2 = \arccos\left(\frac{Z - X\cos P2}{Y}\right) \quad (3)$$

biaxial position of nozzle (H2) :

$$H2 = X\sin(P2) + Y\sin(Q2) \quad (4)$$

관입부가 하강했을 때 Z축상의 노즐위치는 다음과 같이 계산할 수 있다. 링크 절(X)와 링크절(Y)가 원점 A를 지나는 수평면에 대해 이루는 아래쪽(하방)각을 계산한 후 링크절 X, Y의 길이로부터 노즐의 수직선상의 위치를 아래의 식과 같이 결정할 수 있다.

$$\text{linked-joint (X) angle (P1)} : P1 = K1 - 90 - AN \quad (5)$$

$$\text{reduction angle (K1)} : K1 = \arccos\left(\frac{A^2 + R^2 - B^2}{2AR}\right) \quad (6)$$

$$\text{linked-joint (Y) angle (Q1)} : Q1 = \arccos\left(\frac{Z - X\cos P1}{Y}\right) \quad (7)$$

biaxial position of nozzle (H1) :

$$H1 = X\sin(P1) + Y\sin(Q1) \quad (8)$$

따라서 노즐의 수직이동거리

$$H = X\sin(P2) + Y\sin(Q2) - X\sin(P1) + Y\sin(Q1) \quad (9)$$

공압 실린더의 수직에 대한 초기 설치각(AN)을 10도로 하고, 공압 실린더의 초기 장착 치수를 654 mm, 링크절(X)의 길이를 413 mm, 링크절(Y)의 길이를 285 mm, 공압 실린더의 행정을 184 mm로 했을 때 폭기노즐 지지대의 수직방향 운동변위는 A점을 지나는 수평면상에서 위쪽(상방향)으로 352 mm, 아래쪽(하방향)으로 301 mm를 이동하여 총 653 mm의 관입깊이를 제어할 수 있는 것으로 나타났다.

## 2) 토양개량제 투입부

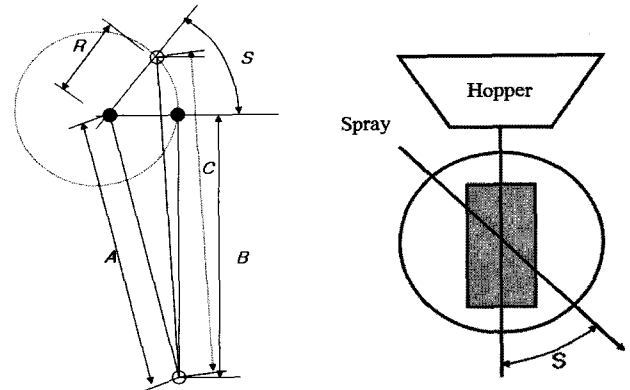


Fig. 3 Schematic diagram of metering device mechanism for soil improvement material and rotating shaft.

토양개량제를 적재함으로부터 계량하여 인출하고, 토양개량제의 분사시기를 결정하는 기하학적 조건으로서 레버만 지름, 실린더 치수 그리고 장착초기 조건을 각각 R(159 mm), B(545 mm), A(654 mm)로 하고 토양 개량제의 분출 작동각을 S(58°)로 하였을 때 실린더 C의 작동길이는 아래의 식 (10), (11)에 따라 697.86 mm 가 된다.

$$C = \sqrt{A^2 + R^2 - 2AR\cos(K2)} \quad (10)$$

$$K2 = S + K1 \quad (11)$$

### 3. 재료 및 방법

#### 가. 시작기 제작

폭기식 심토개선 작업기는 자체의 동력으로 움직일 수 있도록 20마력 공냉엔진을 탑재한 자주형으로 개발하고, 기체의 길이는 가능한 짧게 하여 수목내에서 기동성을 높일 수 있도록 했다. 작업기의 주행부 설계시 궤도형으로 하여 경사지 적응성을 높이고 제자리 선회기능을 추가하였다. 그리고 석회 등 토양개량제를 심토부에 주입하기 위하여 분체를 폭기장치까지 원활히 공급할 수 있는 분체공급 호퍼 및 막힘 방지장치를 개발하여 적용하였다.

폭기식 심토환경 개선기의 토양 관입장치는 에어해머, 관입봉, 분사노즐로 구성되며, 관입장치를 지지하고 수직관입을 유도하는 기구학적 구조로는 변형된 스콧-러셀 메카니즘 (Scott-Russell mechanism)을 적용했으며, 직선 슬라이드는 링크로 연결된 공압 실린더를 이용했다. 토양개량제를 폭기와 동시에 투입하기 위한 타이밍 장치는 공압 실린더 외벽에 부착하여 실린더의 움직임에 동기 되어 토양개량제가 동시에 땅속으로 분사되도록 했다.

폭기노즐을 토양속으로 관입시키는 공압 실린더의 수직에 대한 초기 설치각(AN)을 10도로 하고, 공압 실린더의 초기 장착 치수를 654 mm, 수평 방향의 링크절의 길이를 413 mm, 수직방향의 링크절의 길이를 285 mm, 공압 실린더의 행정을 184 mm로 했을 때 폭기노즐 지지대의 수직방향 운동변위는 수평면상에서 위쪽(상방향)으로 352 mm, 아래쪽(하방향)으로 301 mm를 이동하여 총 653 mm의 관입깊이를 제어할 수 있도록 하였다.

#### 나. 성능시험

##### 1) 토양개량제 계량 투입 요인 시험

분말 토양개량제 자동 계량시험은 그림 4와 같이 실내시험과 실제 포장에서 투입량을 조사 분석하였다. 또한 토양 개량제의 종류별 막힘 해소 요인을 구명하기 위하여 로터리식 계량장치와 2종의 호퍼와 3종(피스톤식, 교반기+ 오거식, 에어진동식)의 막힘 해소 장치를 제작하여 요인시험을 하였다. 토

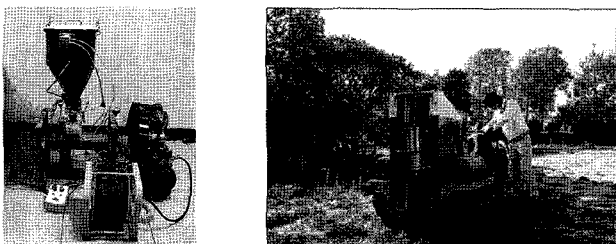


Fig. 4 Testing device for soil improvement material application and view of testing in outdoor field.

양개량제의 계량은 로터리식으로 41.5° 회전할 때마다 약 100cc(92.7 g)정도의 토양개량제가 자유 낙하하여 압축공기와 동시에 땅속으로 분사되도록 설계 제작하였다.

##### 2) 자주식 심토환경 개선기 성능 및 토양개량제 확산정도

자주식 심토환경 개선기는 SS기의 자주식 주행 장치에 심토 파쇄부를 탑재하여 시작기를 제작하였다. 성능시험은 토성별로 심토 파쇄성능과 토양 개량제 확산 정밀도를 조사하였다. 심토파쇄와 토양 개량제 확산 정밀도 조사는 1.0 MPa 공기압의 에어 햄머로 공기분사노즐을 토양 50 cm 내외의 깊이까지 관입시켜 압축 공기와 동시에 약 100 cc/회의 토양 개량제(석회)를 투입시킨 후 분사노즐 타입 위치로부터 약 200 mm 전방에서부터 토양을 교란되지 않도록 절개해 나가면서 100×100 mm 격자 모양이 그려진 투명 아크릴판을 대고 토양 파쇄와 석회 확산 현상을 그린 것을 가지고 3차원 분석하였다.

##### 3) 차량 선회반경

차량의 선회 반경은 아스팔트 로면과 과수원 토양에서 측정되었다. 측정은 좌우 회전에 따라 좌우 조향 클러치를 이용하였으며, 한 쪽 주행부를 완전히 정지시킨 상태에서 한 쪽 방향으로만 회전 할 수 있도록 하면서 회전 반경을 실측하였다.

### 4. 결과 및 고찰

#### 가. 통합 시작기

그림 5는 최종적으로 설계 제작된 통합시작기의 그림을 보여주고 있다.

시작기의 제원은 표 1과 같으며 주행단수는 전진 2단, 후진 1단이며 콤프레서의 소요동력은 약 5.6 kW이며 압축공기 저장탱크는 7.5L의 용량 2개를 장착하였다. 심토파쇄 노즐의 타입은 진동식 에어 햄머를 이용하였고 노즐의 직경은 32

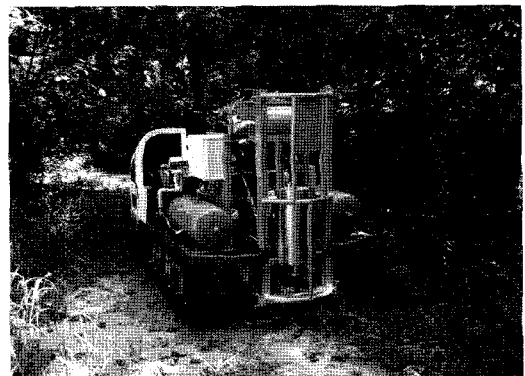


Fig 5 View of developed self-propelled type subsoiler.

**Table 1** Specifications of explosive subsoiler

Size (L×W×H,mm)		2,542 × 1,250 × 1,450	Weight (kg)	1,046	
Traction device	Size (L×W×H, mm)	250 × 72 × 46 (rubber)			
	Power	14.7 kW air-cooled gasoline engine	Rating speed (rpm)	2,400	
	Speed level	Forward 2, Backward 1, High/Low 2			
	Power transmission	Electronic clutch	Clearance (mm)	150	
	Traction device type	Track type	Control of nozzle penetration	Depth gauge	
Explosive subsoiler	Compressor (kW, kgf/cm <sup>2</sup> )	5.51 (Maximum pressure 9.9)			
	Pneumatic tank (ℓ)	72 × 2			
	Cone penetration part	Type	Air rock drill		
		Nozzle (Ø, mm)	Needle type, Two side injection (32 × 670)		
		Vertical movement	Double acting cylinder		
	Lime injection	Container	Hopper type		
		Metering	Rotary type		
		Discharge	Free fall		

**Table 2** Results of performance test on clay loam, loam and sandy loam soil

Item		1	2	3	Average
Penetration time (s)	Clay loam	11	10	10	10
	Loam	20	21	20	20
	Sandy loam	24	14	17	18
Explosion (s)		2	3	2	2
Nozzle lift time (s)	Clay loam	1	1	1	1
	Loam	1	1	1	2
	Sandy loam	2	1	1	1
Travelling			Lower gear	Higher gear	
	Forward (m/s)	First gear	0.4	0.6	
		Second gear	0.8	1.2	
	Backward (m/s)		0.4	0.7	
Rotation radius (m)		2.31 (right)		2.20 (left)	

mm로 니들형이며 좌우 분출식으로 길이 670 mm로 하였다. 기존의 토양개량제 자동계량 장치는 과립과 폐회석은 가능하였으나 분말인 석회는 1회 주입량 100 cc기준에 미치지 못하고 막힘 현상이 나타나 본 연구에서는 토양개량제 호퍼의 경사각을 60°에서 70°로 보완하고 호퍼 모양을 사각에서 원뿔형으로 개량하였으며, 압축공기로 작동되는 교반기를 부착하여 분말 토양개량제(석회)가 막히지 않고 1회 계량된 양이 100 cc이상 전출시비가 가능하도록 호퍼에서 분말 막힘을 해결하였다.

**나. 자주식 심토 환경 개선기의 성능**

**1) 각 요소의 성능**

각 부분의 성능시험 결과 처음 상용압력까지 도달시간은

평균 61초로 약 1분정도 소요되었으며 압축공기 분사노즐의 땅속 깊이 500 mm 까지 소요시간은 토성, 토양의 수분함량 토양경도 등에 따라 다르나 일반적으로 10~20초 정도가 소요되었다. 압축공기의 분사와 토양개량제 투입시간은 1~2초가 소요되었으며 압축공기 분사노즐의 상승시간도 약 1~2초가 소요되었다. 선회 반경은 2.2~2.3 m로 짧게 나타나 과수원의 작업이 용이할 것으로 판단되었다.

**2) 심토파쇄 성능**

**가) 노즐 투입깊이 및 파쇄직경**

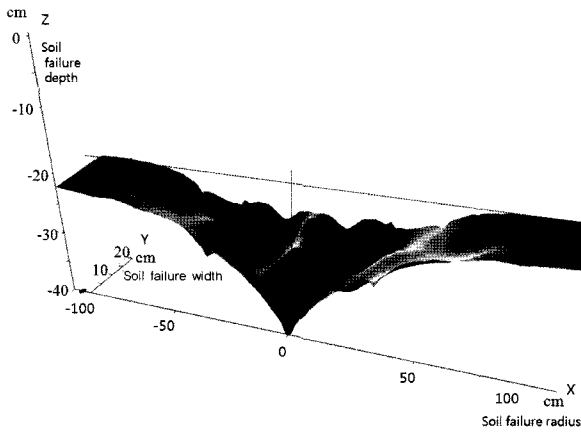
심토파쇄 깊이는 500 mm 심토 파쇄직경은 표 2에서 보는 바와 같이 식양토에서 2.6 m, 사양토에서 3.0 m, 양토에서 4.5 m로 토성과 토양수분함량, 토양경도 등 토양의 물성에

**Table 3** Soil failure depth and diameter

	Clay loam	Sandy loam	Loam	Average
Nozzle penetration depth (mm)	500	450	500	483
Soil failure diameter (m)	2.6	3.0	4.5	3.4

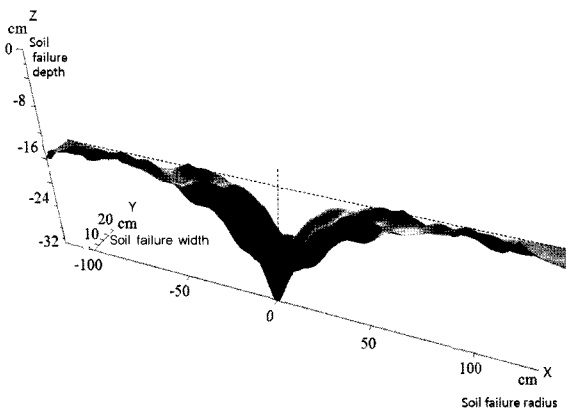
따라 다르게 나타나 전반적으로 토양파쇄 간격은 3~4 m 간격이 가능한 것으로 판단되었다.

그림 6은 수분함량 30%(d.b)의 식양토에서 심토파쇄노즐 깊이 500 mm로 관입 후 심토파쇄와 동시에 토양개량제 소석회를 주입 후 단면을 절개하여 조사한 결과, 직경 2.6 m 내외로 파쇄 되었으며 방사선모양으로 파쇄된 것을 확인할 수 있었다.



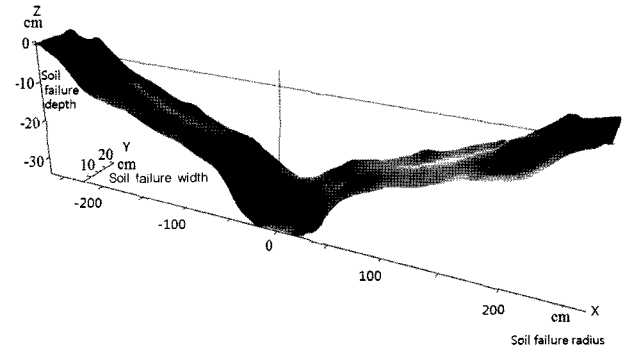
**Fig. 6** Soil failure form by explosive subsoiler for clay loam soil with 30% moisture content (d.b).

그림 7은 수분함량 28%(d.b)의 사양토에서 심토파쇄노즐 깊이를 500 mm로 관입하여 심토파쇄와 동시에 토양개량제 소석회를 주입 후 단면을 절개하여 조사한 결과, 직경 3.0 m 내외로 파쇄 되었으며 방사선모양으로 파쇄된 것을 확인할 수 있었다.



**Fig. 7** Soil failure form by explosive subsoiler for sandy loam soil with 28% moisture content (d.b).

그림 8은 수분함량 32%(d.b)의 양토에서 심토파쇄노즐 깊이를 500 mm로 관입하여 심토파쇄와 동시에 토양개량제 소석회를 주입 후 단면을 절개하여 조사한 결과, 직경 4.5 m 내외로 파쇄 되었으며 방사선모양으로 파쇄된 것을 확인할 수 있었다.



**Fig. 8** Soil failure form by explosive subsoiler for loam soil with 32% moisture content (d.b).

### 5. 요약 및 결론

본 연구에서 과수와 수목이 자라는 다져진 심토환경을 개선하기 위하여 압축공기로 깊이 50 cm의 심토를 균열 하여 토양 물리성을 개선하고, 분말 토양개량제를 심토균열 틈에 동시에 분사시킬 수 있는 자주식 심토환경 개선기를 개발하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 토양개량제의 자동 정밀계량이 가능한 장치를 개발 제작하여 압축공기와 동시에 토양을 파쇄하고 토양개량제를 땅속 깊이 균열 층에 확산시킬 수 있는 자주식 심토환경 개선기를 개발하였다.
- (2) 기존의 토양개량제 자동계량 장치는 과립과 패화석은 가능하였으나 분말인 석회는 1회 주입량 100 cc기준에 미치지 못하고 막힘 현상이 나타나 본 연구에서는 토양개량제 호퍼의 경사각을 60°에서 70°로 보완하고 호퍼 모양을 사각에서 원뿔형으로 개량하였으며, 압축공기로 작동되는 교반기를 부착하여 분말 토양개량제(석회)가 막히지 않고 1회 계량된 양이 100 cc이상 전충시비가 가능하도록 호퍼에서 분말 막힘을 해결하였다.
- (3) 시작기는 스피드 스프레이어의 웨도형 주행장치를 이용하여 자주식으로 제작하여 경사지 주행 안정성과 작업 편이성을 제고 하였다. 시작기의 선회 반경은 2.2~

2.3m로서 수목 내에서 기동성을 높일 수 있었다.

- (4) 공기압축기의 최초 상용압력 1.0 MPa까지 도달시간은 약 1분이 소요되었으며 압축공기 분사노즐의 심토파쇄 깊이 500 mm내외까지 관입시간은 평균 10~20초, 폭파시간은 2~3초가 소요되어 심토파쇄 1회에 소요되는 시간은 약 1분 20초가 소요되었다.
- (5) 심토파쇄 깊이는 약 50 cm 정도타입이 가능하였으며, 파쇄직경은 토성 및 수분함량에 따라 차이가 있으나 약 3~4 m 내외로 나타나 농가에서 압축공기와 동시에 분말 토양개량제(석회)를 전층시비를 할 때 작업간격은 3~4 m가 좋을 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

1. ASAE Standards. 2004. S313.3 : Soil Cone Penetrometer. ASAE, St. Joseph, MI, USA.
2. Barley, K. P. 1963. Influences of soil strength on growth of roots. Soil Science 96:175-180.
3. Cho, H. J., L. Y. Kim, H. S. Lee and K. S. Lee. 2005. Effect of soil compactions to soil physical properties at the orchard field. The 7th ESAFS International Conference. Quezon City, Philippines.
4. Ehlers, W., V. Popke, F. Hesse and W. Bohm. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loam soil. Soil and Tillage Research 3:261-275.
5. Gill, W. R. and G. E. Vanden Berg. 1967. Soil Dynamics in Tillage and Traction. Handbook 316. Agricultural Research Service, U. S. Dept. Agriculture, Washington D. C., USA.
6. Park, W. H. 1997. Break Even Plan of Applying SS Machines in Apple Orchard Farms. Report of Gyeonsanbuk-Do Agricultural Research & Extension Services.
7. Raghavan, G. S., V. E. Mckyes, F. Taylor, P. Richard and A. Watson. 1979. The relationship between machinery traffic and corn yield reductions in successive years. Transaction of the ASAE 22(4):1256-1259.
8. Sojka, R. E., W. J. Busscher, D. T. Gooden and W. H. Morrison. 1990. Subsoiling for sunflower production in the southeast coastal plains. Soil Science of America Journal 54(4):1107-1112.
9. Taylor, H. M. and H. R. Gardner. 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. Soil Science 96(3):153-156.