

# OPERATING INSTRUCTIONS

## 08.01 SANDBOX



### Contents

1 소개.....	2
2 Sandbox 설명.....	2
3 기술 명세서.....	2
4 Sandbox 조립.....	4
4.1 Sandbox 설치 전.....	4
4.2 Sandbox 설치.....	6
5 Sandbox 이용하기.....	11
6 측정 후 기록표.....	15
7 고장 진단.....	16
8 Suction Table의 유지보수.....	17
부록.....	18
참고자료.....	25

## 1 소개

이 Sandbox는 pF 0 (포화) 에서 pF 2.0 (-100 hPa) 까지의 압력 범위에 적용되어 사용될 수 있다. (-100 hPa). 모래는 배수 시스템으로부터 토양 샘플로의 흡입을 전달하는데 사용된다. 모래의 표면은 유동적인데, 무게를 재기 위해 샘플들이 치워진 후 그것은 표면과 샘플과의 접촉을 회복시킨다. 이 품질은 이 기계에 있어 모래가 stiff porous plate보다 더 나은 흡입 물질이도록 만들어 준다.

만약 더 높은 pF 값의 영향이 측정에 필요하다면, 추가적인 장비가 필요하다. Sand/Kaolin box는 2.0 (-100hPa) 에서 2.7 (-500hPa)까지의 pF 값의 습도 퍼센트를 확인하도록 사용될 수 있는 반면에, Pressure Membrane Apparatus는 pF 3.0에서 4.2까지의 압력을 만들 수 있다. 4.2의 pF 값은 -15,000 hPa의 압력과 같은 값인데, 이것은 식물의 토양 수분 가동률의 더 낮은 한계로 종종 쓰인다.

Sandbox로 측정된 결과들은 감소하는 압력과 관련된 적절한 샘플들의 건조 곡선위의 점들과 일치한다. 이 압력값들은 표준 물 잠재적 증가분이다. 한편으론 수분곡선은 압력값 증가에 반한 물 함량의 도식화에 의해 밝혀진다. 이 곡선은 건조 곡선과 동일하지 않는데, 물 함량이 압력 변화 (Hysteresis)에 동시에 응답하지 않기 때문이다.

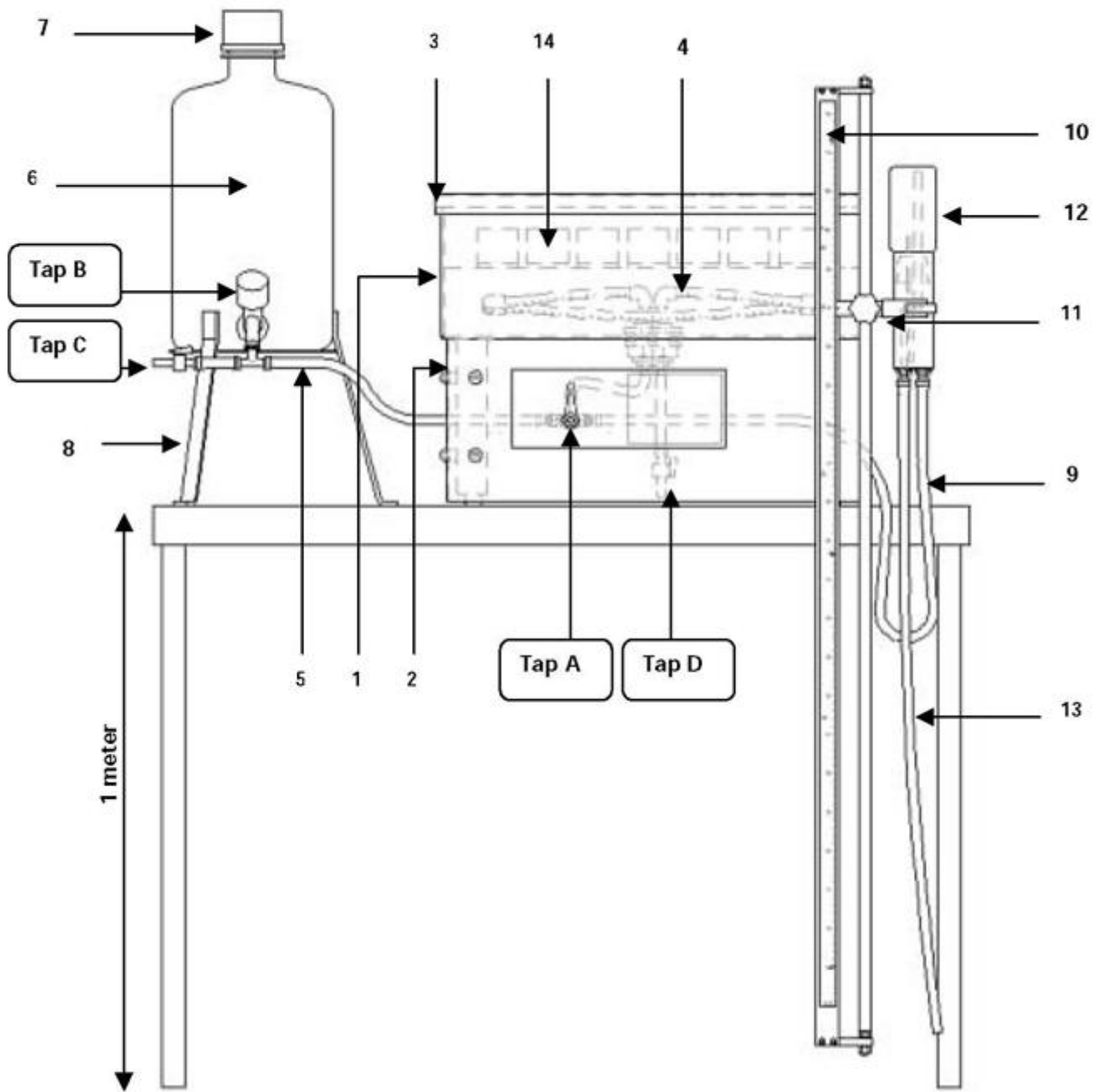
## 2. Sandbox 설명

조립된 Sandbox는 그림 1과 같다. 박스의 바닥엔 PVC-파이프로 된 배출 시스템이 있다. 이 박스는 고운 인조 모래로 채워져 있고, 모래 위엔 나일론 천으로 된 필터가 덮여 있다. 조립단계는 샌드박스의 초기 사용 전에 꼭 필요하다. 그 후 적절한 유지보수와 함께, 샌드박스는 몇 년간 사용할 수 있다. 토양 샘플 코어링들은 측정을 위해 천으로 된 필터 위에 놓는다.

### • 만약 샌드박스가 이미 조립되어 있다면 챕터 5를 시작하라.

'Hanging Water Principle' 는 토양 샘플의 흡입을 적용하는데 쓰인다. Suction regulator와 토양 샘플의 중간의 높이의 차는 압력의 양을 결정한다. 0에서 -100cm의 압력 수두가 적용될 수 있다. Suction regulator는 특정 압력을 토양 샘플에 적용될 수 있게 조정되었다. 샘플들은 그것들이 특정 압력 평형상태에 도달한 후 무게를 단다. 마침내, 샘플들은 각각의 특정 압력에서의 물 함량이 추정될 수 있도록 건조되고 무게를 단다.

Figure 1: Assembled Sandbox with numbered components



<p>1. Box                  2. Box frame                  3. Box lid                  4. Drainage pipe                  5. Supply pipe                  6. Supply bottle                  7. bottle lid                  8. bottle stand</p>	<p>9. Discharge pipe                  10. Sliding measuring stand                  11. Suction regulator                  12. Evaporation Reservoir                  13. Outflow pipe                  14. Sample</p>
---	---

### 3 기술 명세서

Item	Specification
토양 샘플 링 (ø53mm)	최대 40
박스의 면적 (supply bottle 등을 제외)	55.0 × 33.5 × 37.5 cm (l × w × h)
운영 범위	(0 hPa – 100 hPa) ; (0 bar – 0.1 bar) ; (pF 0 – pF 2.0)

### 4 Sandbox 조립

- 만약 샌드박스가 이미 조립되어 있다면 챕터 5로 가시오.

배송 전에 모든 튜브가 다 연결되어 있고 누설 점검을 마쳤음.

- 팩을 풀 때 튜브 연결이 깨지지 않도록 주의하시오.

아래 지시에 따라 샌드박스를 조립하시오. (Figure 1 그림을 참조):

#### 4.1 Sandbox 설치 전 :

샌드박스 설치 전에, 박스 안의 플라스틱 배수 파이프가 필터 형겅으로 덮여있어야 한다. 공급된 필터 천은 두겹이고, 너비가 6cm 이다. 플라스틱 배수 파이프는 흡입이 분산되기 위해 세겹의 형겅으로 덮여있어야 하고, 흡입이 적용될 때 모래가 파이프의 구멍을 막는 것으로부터 멈추게 해야 한다.

파이프에 형겅을 감기위해, 아래의 단계를 따라야 한다.;



4.11. 형겅을 3.5m 길이로 자른다.

4.12. 형겅의 한쪽을 잘라 너비가 12cm가 되도록 한다.



4.13. 끝의 10cm를 파이프 끝에 묶을 수 있도록 두 갈래로 자른다.

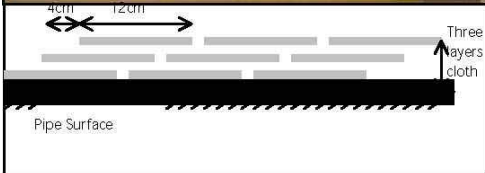


4.14. 필터 천을 비누로 깨끗이 빨고, 증류수에 포화시킨다. (증류수에 포화 단계 생략 가능.)



4.15. 필터 천의 끝을 배수 파이프의 끝에 묶는다. - 박스로 들어오는 파이프.

4.16. 필터 천을 배수 파이프에 감는다. 한번 감은 천 위 3분의 2 위로 다시 감아서 3번 감쌀 수 있도록 한다.



4.17. 다른 쪽 끝을 배수 파이프에 고정시킨다.

4.18. 나머지 천을 자리고 끝을 배수 파이프 끝에 묶는다.



4.21. 완전히 진동이 없는, 높이가 적어도 1m 되는 테이블을 선택한다.

-> 진동은 박스 외벽과 모래 사이의 균열을 유발할 수 있다.

4.22. 샌드박스를 테이블 위에 놓고, 전면의 Tap A를 'Closed'에 놓는다.



4.23. suction regulator와 evaporation reservoir를 sliding measuring stand에 고정하고 볼트 두 개를 이용하여 박스에 부착시킨다.



4.24. suction regulator로부터 outflow pipe를 bucket으로 위치시킨다.

4.25. 끓인 8L의 증류수를 식힌 후 supply bottle에 채운다.

(박테리아등의 억제를 위해 0.01mg/l 의 황산구리를 첨가할 수도 있다.)



Figure 10: Supply Bottle attached to Tap A

4.26. supply bottle을 stand위에 놓는다. stand 바닥의 높이는 박스 바닥의 높이와 같아야 한다.

4.27. supply bottle와 Tap A를 박스 뒤로 supply pipe로 연결한다. Tap A는 'Closed'로 둔다.

-> supply bottle 물높이는 box의 높이보다 높으면 안 된다. 물공급이 너무 빨리 이루어질 수 있기 때문이다. (7500ml)



Figure 11: Turn Tap B 'On'.

4.28. 기포를 파이핑 시스템에서 제거해야 한다. supply bottle 뚜껑을 열고 Tap B를 연다.



4.209. Tap A를 'Supply'로 놓고 박스 안이 반이 찰 때까지 물이 들어가도록 한다.

4.210. Tap A를 'Closed' 로 놓는다.

-> supply bottle의 물높이가 박스 안의 배수 파이프의 위치 보다 낮으면 안된다. (4500ml) supply bottle의 물을 다시 채울 땐 Tap A를 'Closed'의 위치에 놓도록 합니다.



4.211. 박스 뒤 Tap D를 열고 박스로부터 물이 나오도록 한다.

-> 물높이가 플라스틱 배수 파이프 아래로 내려가면 안된다.

4.212. Tap B와 Tap D 사이에 기포가 없으면, Tap B는 열어두고 Tap D는 닫는다.

4.213. Tap A를 'Closed'에 놓는다. Tap B와 Tap A 사이에, 그리고 Tap A와 배수 파이프 사이에도 공기가 없어야 한다.

Figure 12: Air-bubbles released through Tap D



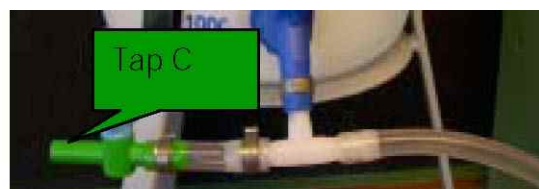
4.214. evaporation reservoir 의 regulator bottle를 증류수로 채우고, 원래대로 끼워넣는다.



4.215. suction regulator를 버킷 근처 가장 낮은 곳에 위치시킨다. (최대 흡입)

4.216. Tap A를 'Discharge'로 놓고, suction regulator를 통해 박스로부터 버킷으로 Tap A와 suction regulator 사이에 기포가 없을 때까지 물이 나오도록 한다.

4.217. Tap A를 'Closed' 위치에 놓는다.



4.218. Tap B는 Tap C를 열면 물이 나갈 수 있도록 놓아둔다. 얼마의 물이 마지막 기포를 제거하도록 Tap C를 통해 나갈 수 있게 한다.

Figure 16: Let some water out of Tap C.

-> 이제부터 어떤 기포도 시스템 안에 있어서는 안 된다.



4.219. 인조 모래에 증류수를 넣고 휘저어 공기를 제거하면서 포화시킨다. 모래에 대한 물의 비율이 박스로 쉽게 부을 수 있도록 높게 되어야 한다. 모래의 조직상 조성은 표 1과 같다

입경 (mm)	퍼센트 발생
106	0
75	6.3
63	61.4
53	22.1
45	4.4
<45	5.8

표 1 : 인조 모래의 조직상 조성



4.220. 갇혀있던 기포가 빠져나올 수 있도록 물을 저으며 천천히 포화된 모래를 박스의 물로 붓는다. 선택적으로, 국자를 사용하여 모래를 부어도 된다.



-> 젓는 동안 배수 시스템에 손상이 가지 않도록 조심.

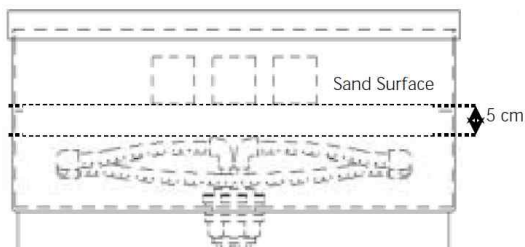
4.221. 모래가 air pockets를 더 이상 가지고 있지 않고 모래와 박스 사이의 좋은 밀봉을 위해 벽쪽, 구석으로 눌러줘야 한다.



4.222. 박스 안의 물이 너무 높으면, Tap A를 'Discharge' 로 놓고 물을 버킷으로 빼되, 항상 물 높이는 모래와 배수 파이프 보다 높아야 한다.



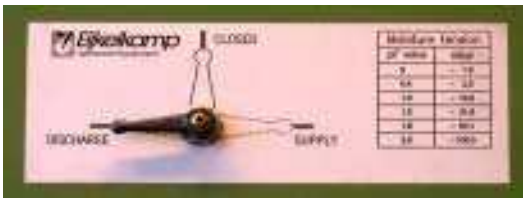
4.223. 포화된 모래를 배수 파이프의 가장 높은 부분보다 5cm 높거나 위로부터 6.5cm 아래에 있으면 추가를 멈춘다.



-> 토양 샘플 링을 놓기 위해 박스 위로부터 최소한 6cm의 공간이 있어야 한다.

4.224. 초과된 물은 배수될 수 있다. - 모래 위로부터 0.5cm의 물만 남겨놓는다. suction regulator를 가장 낮은 위치에





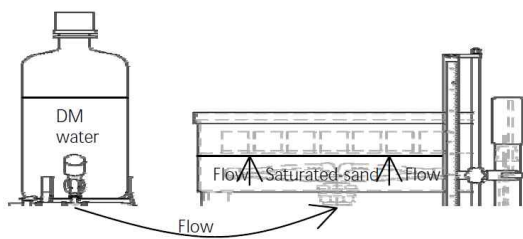
놓는다. 그리고 Tap A를 'Discharge' 에 놓는다.

-> 모래 위로 0.5cm의 물을 채워놓지 않으면, 모래로 공기가 유입될 수 있다.



4.225. 모래의 표면을 고루 펴고, 자리잡도록 놓아둔다.

4.226. Tap A를 'Supply'에 놓고, Tap B를 연다. supply bottle로부터 물이 유입될 것이고, 잔존 기포를 제거할 것이다. 갇힌 공기가 나타날 때마다 위의 과정을 되풀이한다.



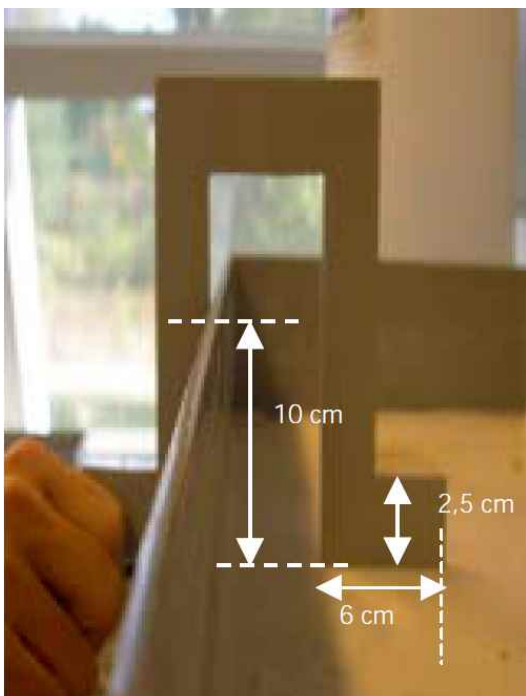
-> supply bottle의 뚜껑은 항상 열려있어야 한다.

4.227. 일단 모래 표면이 1cm의 물로 덮이면, 모든 Tap 을 닫는다.



4.228. 모래 보호천을 비누로 깨끗이 뺀 후 증류수에 포화시킨 다음 모래 표면을 덮는다. (증류수에 포화시키는 작업 생략 가능)

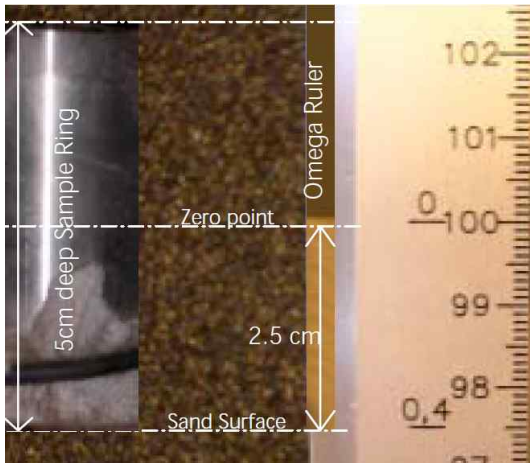
4.229. 모래와 천 사이에 공기를 제거하고, 모래 중앙에서부터 바깥쪽으로 조심스럽게 펴도록 한다.



4.230. 토양 샘플 중간이 압력 0의 기준으로 쓰인다. omega ruler를 사용하여 알맞은 sliding ruler의 0점을 맞춘다.

4.231. sliding ruler의 0점을 맞출 때, sliding measuring stand 뒤에 있는 작은 나사를 풀고 맞추도록 한다.

4.232. 만약 5cm의 샘플링을 사용한다면, omega ruler의 위의 수평부분의 끝이 가리키는 곳이 0점이다.



4.233. 만약 5cm이외의 다른 샘플링을 사용한다면, 샘플링  
중간 깊이가 제로 포인트가 되는 곳이다.

-> 샌드박스는 사용할 준비가 되었다.

## 5 샌드박스 사용하기

온도 변화는 물 점도에 영향을 주고 따라서 보수율에도 영향이 있으므로 실험실은 측정간의 일정한 온도를 유지해야만 한다.



5.1. 적절한 토양 샘플을 채취하는 방법은 Appendix 4를 참조.

5.2. 코어 샘플링의 캡을 벗긴다. 샘플링 된 토양의 부피가 코어 링의 부피보다 크다면, 조심스럽게 초과된 토양을 날카로운 도구로 'chipping' off 로 제거한다. 샘플의 표면에 얼룩짐을 방지하여 토양의 물리적인 성질들이 영향을 받지 않도록 한다.



5.3. 나일론 천을 샘플의 바닥면(날카로운 모서리)에 고무줄이나 o-ring을 이용하여 고정시킨다.

-> 모래의 부피가 링의 부피보다 적거나, 샘플을 옮기는 동안 손실을 보았다면, 샘플은 분석에 사용되어선 안 된다. 또한 커다란 튀어나온 돌이 있는 샘플은 폐기되어야 할 것이다.



5.4. 박스 안에 모래 표면 위로 0.5cm의 물이 항상 있도록 보장하여야 한다.



5.5. 토양 샘플을 샌드박스 안의 바닥에 놓는다. 샘플을 1시간 동안 적응시킨다.

5.6. 샘플을 포화시키기 위해, Tap A를 'Supply' 에 놓고 서서히 물높이를 샘플링의 높이 아래 1cm까지 높인다.

-> 물높이를 빠르게 올리는 것은 공기의 유입과 토양 구조를 깨는 원인이 될 수 있다.



5.7. 샘플링의 높이 아래로 1cm까지 물이 차면 Tap A를 'Closed'에 놓는다.

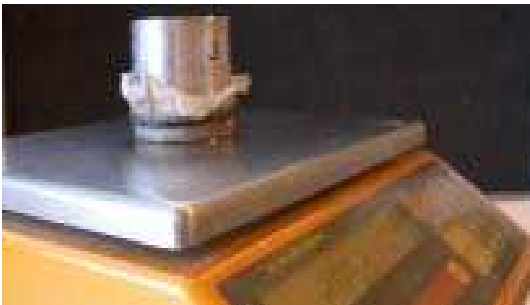
5.8. (증발을 막기 위해) 뚜껑을 덮고 토양을 포화시키는데

2~3일 (모래 토양) 혹은 1~2주 (점토질 토양)을 놓는다.

-> 모래 토양을 너무 오래 방치하여 slaking이 일어날 수 있으니 주의하시오.



5.9. 링들을 표시하고 (숫자), 박스의 도표를 그려서 링들이 제거된 후 다시 정확한 샘플 자리에 위치될 수 있도록 한다.



5.10. 박스의 물에서부터 조심스럽게 링을 가져와서 무게를 재기 전에 하부의 물을 닦아낸다. (Accuracy of balance 0.01g) 이 무게는 (링과 하부 천, 고무링의 무게 포함) pF 0에서 (무게 A, Chapter 6를 보시오) 포화 때의 물 함유량을 계산하는데 사용된다.

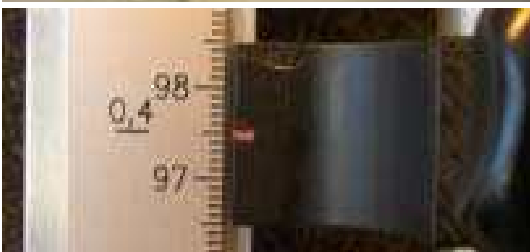
-> 포화 중 일어나는 이상현상을 기록하시오. (점토질 토양의 부풀어오름, 토양 구조 변화, 토양 물질의 사고 손실 등)

**pF 0 에서의 물 함유량 측정은 비교적 부정확하다:**

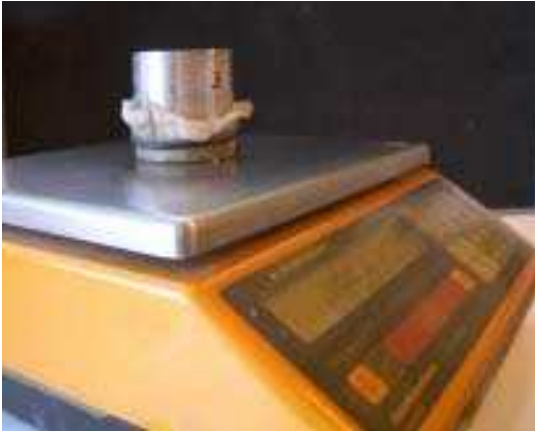
- 포화된 샘플, 특히 모래 토양의 경우 물 수분함량의 변화 없이 저울로 옮기기 어렵다.
- 토양 샘플의 중간은 0 압력의 레퍼런스 레벨로 사용되나, free water level ( $h=0$ ) 은 사실 샘플링의 높이 아래로 1cm 지점이다. 수분 장력 범위가 샘플 바닥의 +1cm부터 샘플의 맨 위의 -4cm 이다. 더 낮은 압력에서 샘플 사이즈로 인한 이 차이는 덜 중요해진다는 것에 주의.



5.11. 링을 샌드박스에 놓는다. 토양과 모래의 접촉을 좋게 하기 위해 링을 살짝 누른다.



5.12. -2.5cm head의 압력이 샘플들 중간에 적용될 수 있도록 suction regulator를 움직인다. (이 높이는 기준 5cm 샘플 링이 사용될 때 모래의 높이와 같다.)



5.13. 샘플을 평형시키기 위해 내버려둔다. (증발을 막기 위해 박스의 뚜껑을 덮고) 이것은 모래 토양에서 며칠 걸리고, 점토질 토양에서는 1주까지 걸린다.

5.14. 샘플들을 부드럽게 제거하고, 무게를 잰다.

5.15. 평형을 확인하기 위해, 샘플을 정확히 같은 자리의 흡입 테이블위에 놓는다. (모래와 샘플사이의 접촉이 복원된 것에 주의) 그리고 샘플의 무게를 다음날 다시 잰다. 생성된 장력과 함께 평형이 된 경우, 물 함유량의 차이는 부피율의 0.002를 초과하지 않을 것이다.



5.16. 토양 수분 함량과 압력 사이의 평형이 설정되었다면, 샘플의 무게를 기록하라. (샘플 바닥쪽의 sand grain과 물방울을 토양수분함량의 계산을 위해 무게를 재기 전에 닦아 내시오. 무게 A, 챕터 6를 보시오.)

5.17. wet sponge로 모래 표면을 촉촉하게 하시오. 필터 천을 제거하지 마시오. - 기포와 자국을 제거하기 위해 세탁, 매끄럽게 하는 것을 동시에 진행한다.



5.18. 모래위의 토양 샘플들을 이전과 같은 정확히 같은 위치에 대체하시오. (이전에 만든 도표를 참고하시오.)



5.19. 더 큰 흡입이 샘플들의 중간에 적용되도록, suction regulator를 standard water potential increment 옆으로 이동시킨다. (-10.0cm water (pF 1.0), -31.6cm water (pF 1.5), -63cm water (pF 1.8) 그리고 -63.1cm water (pF 2.0))

5.20. 토양-물 평형을 기다리시오. (모래는 2에서 3일, 점토질은 더 오래)



5.21. 무게가 당신이 측정하기 원하는 각각의 potential increments 에서 기록될때까지 5.10에서 5.19까지의 과정을 반복한다.

-> 항상 샘플들을 suction regulator를 움직이기 전에 모래위에 놓는다.







## 7 고장진단

문제	가능한 원인	해결책
<p>supply bottle 과 suction regulator 사이의 튜브에 있는 공기는 측정을 방해한다.</p>	<p>1. 물안에 기포가 있다.</p>	<p>1. 물이 안정적일 때만 사용하라. supply bottle은 물을 사용하기 전에 잠시 가만히 뒀라. 튜브의 공기를 빼라.</p>
	<p>2. 샌드박스 배수 파이프 위로 모래가 충분치 않다.</p>	<p>2. 물을 포화된 모래에 더 추가해라. 모래 높이가 적어도 배수 파이프의 가장 높은 곳보다 5cm 높아야 한다.</p>
	<p>3. 셋업 시 혹은 진동으로 인한 모래가 벽쪽으로 적절하게 눌리지 않아서 공기가 박스의 벽을 통해서 들어간다.</p>	<p>3. 박스의 모래를 제거하고 스텝 9를 다시 진행한다. 모래는 완전히 포화되는 것을 보장하고, 그리고 박스의 코너쪽으로, 그리고 벽쪽으로 밀어붙인다.</p>
	<p>4. 콕/탭에 누수가 있다.</p>	<p>새로운 콕/탭을 주문한다.</p>

## 8 Suction tables 의 유지보수

suction table은 조류나 박테리아의 증식에 의해 막히는 것을 방지하기 위해 뜨거운 물 용액으로, 그리고 칼슘 침전물을 방지하기 위해 아세트산으로 일 년에 한두 번 flush 되어야 한다.

suction table은 오직 깨끗한 물이 드러날 때까지 flush 되어야만 한다. 구리 와셔는 조류의 증식을 방지하기 위해 suction regulator 에 배치된다. 희석 구리 황산염도 마찬가지로 supply bottle의 물에 첨가될 수 있다. 오히려 suction table의 flushing보다, 모래를 바꿔주거나 혹은 상자에 모래를 완전히 보충하는 것도 하나의 방법이다.

샌드박스를 덮고 있는 여과천을 정기적으로 세척하는 것이 좋습니다. 모래 suction table이 사용하지 않을 때마다, 모래는 물에 잠겨야 하고, 100 hPa (pF 2)의 suction level은 유지되어야 한다.

## Appendix 1: General Information

The pF-curves plotted below will be used to illustrate the soil physical characteristics that can be deduced from pF-curves. The example soil contains three different soil horizons (each of which has a known pF-Curve). These curves are referred to in Table 3.

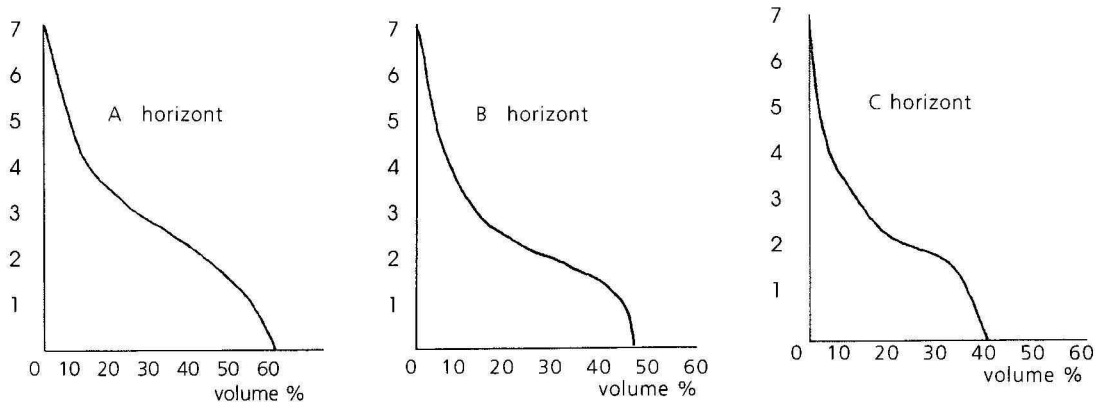


Table 3: Determining soil characteristics from pF-Curves

Physical Characteristic	Definition and how to determine
Moisture content	Volume fraction of water filled pores at a certain matric potential. For example, at a matric potential of 1000 hPa (1 bar, pF 3.0), the A horizon has a volumetric moisture content of 20 %.
Field capacity (FC)	Moisture content at pF 2 The A horizon has a moisture content of 35 % at FC and the C horizon 24 %.
Permanent wilting point (PWP)	Moisture content at pF 4.2 The A horizon has a moisture content of 8 % at PWP and the C horizon 4 %.
Porosity	In a sandy soil, all pores are filled with water at saturation (pF0), and empty when oven-dry (pF 7). Therefore, the volume percentage between pF 0 and pF 7 is equal to the porosity in a sandy soil. In a clay soil porosity, or total pore volume, depends upon moisture content, due to swelling and shrinking. Therefore, for clay soil porosity cannot be determined from the pF -curve. The example soil is a loamy sand soil, and allows estimating porosity: At saturation, the A horizon has a volumetric moisture content of 50 %, when the soil is oven dry the moisture

	<p>content is 0 %, therefore, 50 % of the soil volume is pore space, filled with water and air, and porosity is 50 %.</p>
Volume fraction solid matter	<p>Total volume fraction minus porosity.</p> <p>Since porosity of the A horizon is 50 %, the volume fraction of pores is 0.5 and volume fraction of solid matter in the A horizon is <math>1 - 0.5 = 0.5</math></p>
Aeration status	<p>Volume of available air: porosity minus moisture content. Depending on crop type, a certain ratio between water and air supply is required for optimal crop growth.</p> <p>In the example soil, (A horizon) at a moisture potential of 1000 hPa (pF 3), moisture content is 20%, total pore space is 50 %, so the volume of available air is 30 %.</p>
Pore size distribution	<p>Shape of pF curve: Pores of similar size will be emptied at the same matric potential. The more homogenous the pore size distribution, the faster the drop in soil moisture content upon a small decrease in matric potential, and the flatter the slope of the pF curve. The steeper the slope, the more gradual the emptying of soil pores, the more heterogeneous the pore size distribution.</p> <p>In general, a heterogeneous pore size distribution is preferable for agricultural applications, since these soils have a higher water holding capacity.</p> <p>The example soil illustrates the effect of organic matter presence and biological activity in the A horizon. In the A horizon, the slope of the pF-curve is more gradual than in the C horizon, meaning that pores are emptied more gradually in the A horizon, corresponding to a heterogeneous pore size distribution. The C horizon contains a relatively large amount of pores of similar size, which are all drained around a matric potential of - 100 hPa (pF 2). A slight increase in the suction will lead to a change in moisture content of almost 10 %.</p>
Capillary conductivity	<p>The rate of capillary conductivity depends upon the amount and size of water filled pores involved in water flow. This depends upon the moisture potential of the soil.</p> <p>A decrease of the water potential (an increase in suction level) corresponds with a decrease in moisture content.</p>

	<p>Because water is forced to flow through narrow pores with a high friction, this consequently leads to a reduction in the capillary motion.</p> <p>Permeability rate depends on the distribution and amount of macro-pores.</p>
Storage capacity	<p>Storage capacity of a soil at a specific ground water level corresponds to the air volume present. Storage capability is expressed in mm water per decimetre of soil (1 mm water per 10 cm <sup>o</sup>1 volume percent).</p> <p>For the example soil, the storage capacity of the C horizon at a moisture tension of 100 hPa (pF2) is calculated as total pore space (40 %) - moisture content (25 %) = volume of air (15 %). A volumetric air content of 15 % corresponds to a storage capacity of 15 mm of water per decimetre of C horizon.</p>
Plant available soil water	<p>The amount of water between FC and PWP in volume percentage. This value should be used with caution. First, plants will start wilting with subsequent yield losses well before the permanent wilting point. Secondly, plant available soil water is replenished by capillary rise, rainfall and irrigation water.</p> <p>Eg: A fine sandy soil, rich in loam has a rooting depth of about 40 cm.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The A horizon has a depth of 20 cm.</li> <li>• The B horizon has a depth of 30 cm.</li> </ul> <p>Calculation of the amount of plant available soil water:  At field capacity, pF2.0, the A horizon will contain 35 volume % of water. At the permanent wilting point, pF4.2, the A horizon will contain 8 volume % of water.  As 1 volume % corresponds to 1 mm water per 10 cm of soil, the amount of available soil water in the A horizon is calculated as the volume % of water multiplied with the rooted depth of the soil horizon:  A horizon: 35 - 8 = 27 volume % water x 20 cm soil depth 27 x 2 dm soil depth = 54 mm  For the B horizon the calculation is similar. Notice that rooting depth is 40 cm, so roots will be present only in the upper 20 cm of the B horizon. At field capacity 27 %</p>

of water will be available, at the permanent wilting point only 6%.

B horizon:  $27 - 6 = 21$  volume % of water \* 20 cm  
rooted soil depth °  $21 * 2 = 42$  mm water

In total,  $54 + 42 = 96$  mm of water is available to plant  
growth in this particular soil.

## Appendix 2: Description of different pF-sets

To determine the soil moisture retention characteristic, the desired pF-set(s) is/are required. A balance with an accuracy of 0.01g, and a ventilated electrical drying oven (105 °C), are also necessary. Eijkelkamp supplies the following:

A universal drying-oven with temperature range 30 -220 °C, 220 V- 50 Hz.

A Sandbox for pF determination (pF0 -2.0). The Standard set for about 40 samples includes:

- Sandbox
- Containers with sand, particle size  $\pm$  73 mm, 12.5 kg each
- Filter cloth, 140 - 150 mm
- Set of 65 o-rings, diameter 49 mm: suitable for 5 cm diameter core rings

A Sand / kaolin box for pF determination (pF2.0 - 2.7). The Standard set for about 40 samples includes:

- Sand / kaolin box
- Vacuum pump and automatic suction level control system, 220 V
- Containers with synthetic sand, particle size  $\pm$  73 mm, 12.5 kg each
- Filter cloth, 140 - 150 mm
- Kaolin clay, container 2.5 kg
- Set of 65 o-rings for 5 cm diameter core rings

Pressure Membrane Apparatus (pF3.0 – 4.2). The standard set for about 15 samples includes:

- Pressure membrane extractor
- Cellophane membrane
- Soil sample retaining rings
- Filter cloth 140 - 150 mm
- Compressor 20 bar
- Air filter with support and hose

### Appendix 3: Conversion factors

100 hPa = 100 cm pressure head

= 100 cm water column

= 0.1 bar

= 0.01 Pa

= 0.01 N/m<sup>2</sup>

= 1.45 PSI

= pF (<sup>10</sup>log100)=2.0

<b>pF value</b>	<b>Matric Potential in hPa</b>	<b>Pressure in bar</b>
0	1	- 0.001
0.4	2.5	- 0.0025
1.0	10	- 0.01
1.5	31.6	- 0.0316
1.8	63.1	- 0.0631
2.0	100	- 0.1
2.3	200	- 0.2
2.7	500	- 0.5



## Appendix 4: Soil sampling

To determine the moisture retention characteristic or the pF-curve of a specific soil, *undisturbed* core samples must be collected. This is because of the major influences of both pore size distribution and soil structure on moisture retention, especially at the high matrix potentials of the operating range of suction tables.

There is no explicit prescription in literature for recommended sample sizes. Optimal sizes for core rings are determined by the size of structural elements in the soil. To obtain representative data, sample sizes should be large with respect to the size of soil aggregates, cracks, root channels or animal holes. From a practical point of view, sample diameters should not be too large as not to reduce the amount of simultaneously analysable samples, and sample height should be constrained to several centimeters; so that equilibrium conditions are reached in a reasonable period of time. According to the Dutch NEN 5787 standard, samples with a volume between 100 and 300 cm<sup>3</sup> are usually used for the suction tables, while samples with a height of more than 5 cm are discouraged, because the time needed to establish equilibrium will be long, and the accuracy of determination of pF-values near saturation will be low. In the procedures for soil analyses of the International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), sample rings with a diameter of 5 cm and a volume of 100 cm<sup>3</sup> are recommended, while in other publications heights of 2 or 3 cm are preferred.

Eijkelpark Agrisearch Equipment recommends the use of a 100 cm<sup>3</sup> volume core ring, with an inner diameter of 50 mm (outer diameter 53 mm) and a height of 51 mm.

When pressing the core rings into the soil, care should be taken not to disturb the original setting of the soil and to completely fill the ring. Sampling conditions are best when the soil is approximately at field capacity. Ring holders may be used to facilitate insertion, especially in the subsoil. After insertion to the desired depth, the rings are carefully dug out (e.g. using the spatula provided with the Eijkelpark sample ring set), at some centimeters below the ring itself. The surplus of soil is reduced to a few millimeters, trimming it carefully with a fine iron saw, and the caps are placed on the ring for protection and to minimise evaporation losses. The remaining surplus of soil will protect the sample during transport and will be removed in the laboratory, prior to analysis. Transport the core rings in a protective case.

Since soil structure and pore size distribution have significant influence on soil water retention, several replicate samples are needed to obtain a representative pF-value. Depending on natural variability of the study area, three to six replicate samples per unit are advised.

In case the samples cannot be analysed on short notice, store the samples in a refrigerator to reduce microbial activity which might cause non-representative changes in soil structure.

- **Do not freeze the samples because soil structure will be influenced.**

## References and literature

- Klute, A. Water Retention: Laboratory Methods. IN: Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 1986.
- Koorevaar, P., G. Menelik and C. Dirksen.  
Elements of Soil Physics. Developments in Soil Science 13/1983. Reeve, M.J. and A.D. Carter. Water Release Characteristic. IN: Soil Analysis. Physical Methods. K.A. Smith and C.E. Mullins (eds.) 1991.
- Van Reeuwijk, L.P. (ed.) Procedures for soil analysis. 1995. ISRIC Wageningen.
- Stakman, W.P., G.A. Valk and G.G. van der Harst.  
Determination of soil moisture retention curves I. 1969. ICW Wageningen. Stolte (ed.)
- Manual for soil physical measurements. Version 3. Technical Document 37. SC-DLO. 1997. Topp, G.C. and W. Zebchuk.  
The determination of soil water desorption curves for soil cores. 1979. Canadian  
Journal of Soil Science 59: 19-26.