

# 점증하중에 의한 강성벽체에 작용하는 토압 Earth Pressures Acting on the Rigid Wall under Incremental Load

전용백\*, 권육화\*\*

Yong-Baek Chon\* , Uk-Hwa Kwon\*\*

### <Abstract>

This study has researched the following conclusion to compare to the existing theory and to examine lateral earth pressure, which have measured to add incremental load on sandy soil, and were different in types of compaction by modeling earth pressure test. Lateral earth pressure by incremental load shows that it is increasing at depth forty four centimeters as 2/3H point for wall high, and under 2/3 H point the variation of earth pressure on incremental load is not conspicuous. Therefor, the more a position of surcharge load is close with fixed wall, the more a variation of lateral earth pressure marks considerably. According to relative compaction density of soil, lateral earth pressure turns up larger effective value for layer compaction test to a thickness of thirty three centimeters than layer compaction test to a thickness of twenty centimeters by the roller.

**Key words : Incremental load, Earth Pressure, Surcharge Load, Sand Rainer**

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

벽체나 옹벽등의 다양한 토류구조물과 지하 매설물을 경제적이고 안전하게 설계함에 있어서 벽체와 토피 사이에 작용하는 토압을 정밀하게 산정하는 것은 지반공학에서 중요한 문제이다.

자연상태의 지반은 균질하거나 등방적인 성격을 띄지 않을뿐더러 완전한 소성체, 탄성체도 아니므로 지반내의 응력분포를 확실히 밝히는 데에는 무리가 따른다. 그러나 응력이 지반의 강도

에 비해 충분히 작은 범위 내에서는 탄성적으로 해석하여도 실용상 지장이 없다는 것이 경험에 의해 알려져 있다.

Coulomb은 지지 벽체와 가상파괴면 사이의 흠췌기가 극한 평형상태에 있을 때 힘의 평형을 고려하여 토압을 계산하였고, Rankine은 지반을 반무한체로 가정하여 지반이 소성평형상태에 도달했을 때의 응력 상태를 다루었다. 또한, Boussinesq는 지반을 등방, 균질의 반무한 탄성체로 가정하여 상재하중에 의해 발생하는 지중응력을 구하였다. 뒷채움다짐의 영향을 최

\* 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 교수, 工博

E-mail : yongbaek@biho.Daegu.ac.kr

\*\* 대구대학교 대학원 토목공학과

\* Prof. Division Architectural, Civil and Environmental Engineering, Daegu University, Ph. D

\*\* Daegu University Graduate School

초로 관찰한 연구자는 Rowe로 그의 실내 모형 실험 결과에서 찾을 수 있다. Rowe는 다짐으로 인한 잔류토압의 크기가 이론적인 정지토압 보다 크고 소성토압보다 작다는 것을 연구하였다.

지표면에 작용하는 하중에 의한 벽체나 지반 내의 응력을 계산하는 방법에는 탄성론에 의한 방법과 소성이론에 의한 방법, 그리고 실험결과를 근거로 한 경험이론으로 해석되고 있다.

본 실험에서는 이 분야의 다양한 문헌과 자료들을 수집하여 기존 연구결과를 분석하고 고찰하여 점층하중과 반복하중으로 인한 벽체와 지중에 발생하는 응력 해석을 위하여 모형 토조와 재하 실험장치 및 재하판을 설계 제작하였다. 이를 이용하여 다짐방법을 달리하여 모형 지반을 만들고, 벽체와 재하판의 거리와 점층하중에 따른 벽체와 지중에 작용하는 응력의 변화를 실험 측정하여 기존 이론식과의 차이를 비교 분석하고, 깊이에 따른 응력분포를 규명하여 토목실무에 이용됨은 물론 이 분야의 학문 발전에 기여코져 한다.

### 1.2 연구 동향

외부하중에 의해 벽체와 지중에 발생하는 응력의 분포에 대한 이론 해석은 많은 연구자들에 의해 오래전부터 진행되어 왔다.

Coulomb(1776)은 흙을 강체로 보고 평면의 활동면에 따라 흙이 벽체에 작용하는 흙쇄기 이론으로 벽면의 마찰을 고려한 토압을 구하였으며, 벽체 뒷채움위에 과재하중이 작용하는 경우에도 이로 유발되는 수평응력과 연직응력을 구하기 위해 Boussinesq(1921)는 흙이 탄성적이고 균질하며 등방성이며 Hook의 법칙을 따른다는 등의 가정으로 흙의 한 요소에 작용하는 수평응력과 연직응력을 구하였으며 Fröhlich(1934)는 깊이에 따른 흙의 탄성계수의 증가를 고려하기 위한 응력집중인자를 도입하여 Boussinesq의 방정식을 수정하여 발표하였으며 Werster-gaard(1938)는 자연 퇴적층 지반에서는 점성토층과 사질토층이 교호로 수평성층이 된 지층이 무한히 얇은 두께로 수평층을 이루었다고 가정하여, 외력에 의한 연직방향의 처짐은 고려하지만 수평방향의 변형은 무시한 직교이방성 지반에 대한 지중응력 이론을 발표하였다.<sup>(1)</sup>

Rowe(1954)는 뒷채움 다짐의 영향을 최초로 관찰하여 구형의 과재하중이 작용하는 소형의 실내 실험장치에서 측정된 수평응력이 Boussinesq의 계산치와 다르다는 것을 감안하여 정방형과 세장하중인 경우에 대해 실험결과를 토대로 하여 경험식(Rowe, 1954)을 제안하였고, 또한 다짐의 영향을 간접적으로 조사하기 위한 목적과 벽체와의 거리에서 작용하는 반복하중에 의한 잔류토압을 관찰하기 위하여 Sherif와 Mackey는 선하중 재하에 대하여 현장 및 실내실험을 실시하였다.<sup>(2,3)</sup>

## 2. 기본이론고찰

### 2.1 Rowe의 이론

Rowe는 자신의 실내 실험 결과가 구형의 과재하중에 의한 Boussinesq의 값과 상이하다는 것을 감안하여, 정방형 하중과 세장 하중의 경우에 적용할 수 있는 경험식을 제안하였는데 정방형 하중에 의한 수평응력은 식 2.1과 같다.

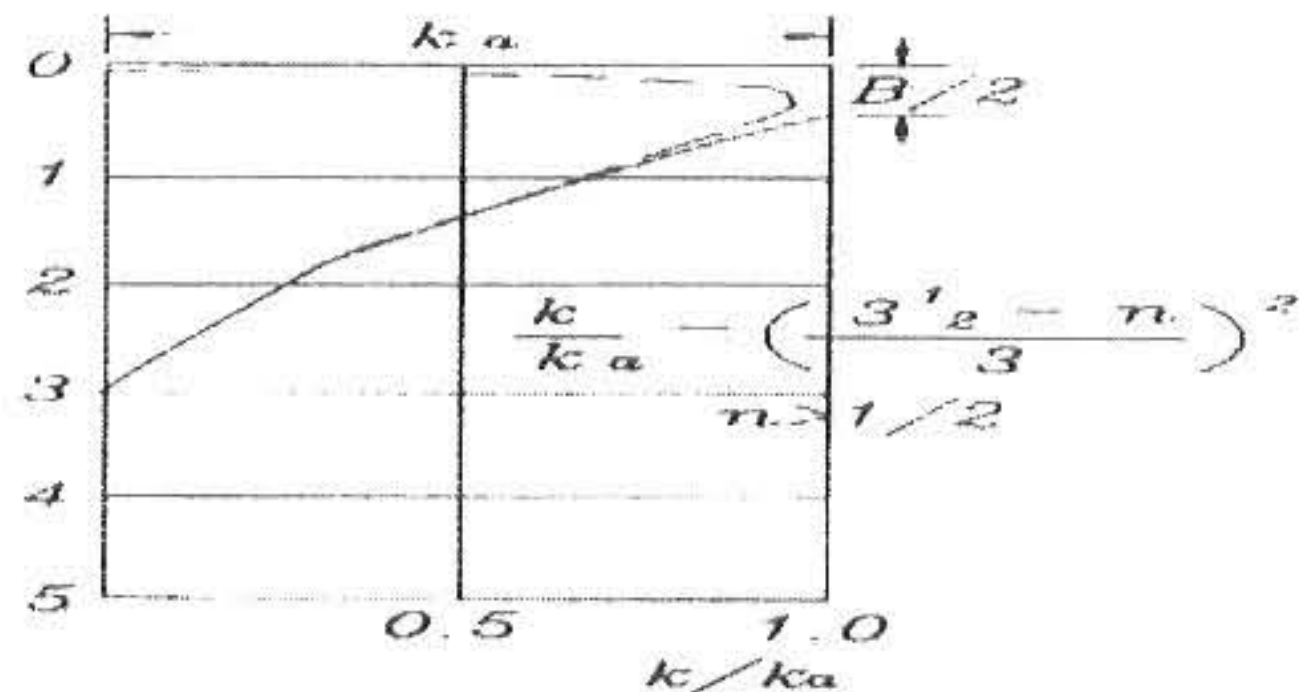


Fig. 2.1 Horizontal stress under the Square loading plate

$$\Delta \sigma_h = k \cdot q = k_a \cdot \left(\frac{3.5-n}{3}\right)^2 \cdot q \quad (2.1)$$

$$n \geq \frac{1}{2}$$

여기서,

$$k = k_a \cdot \left(\frac{3.5-n}{3}\right)^2, \quad n = \frac{Z}{B},$$

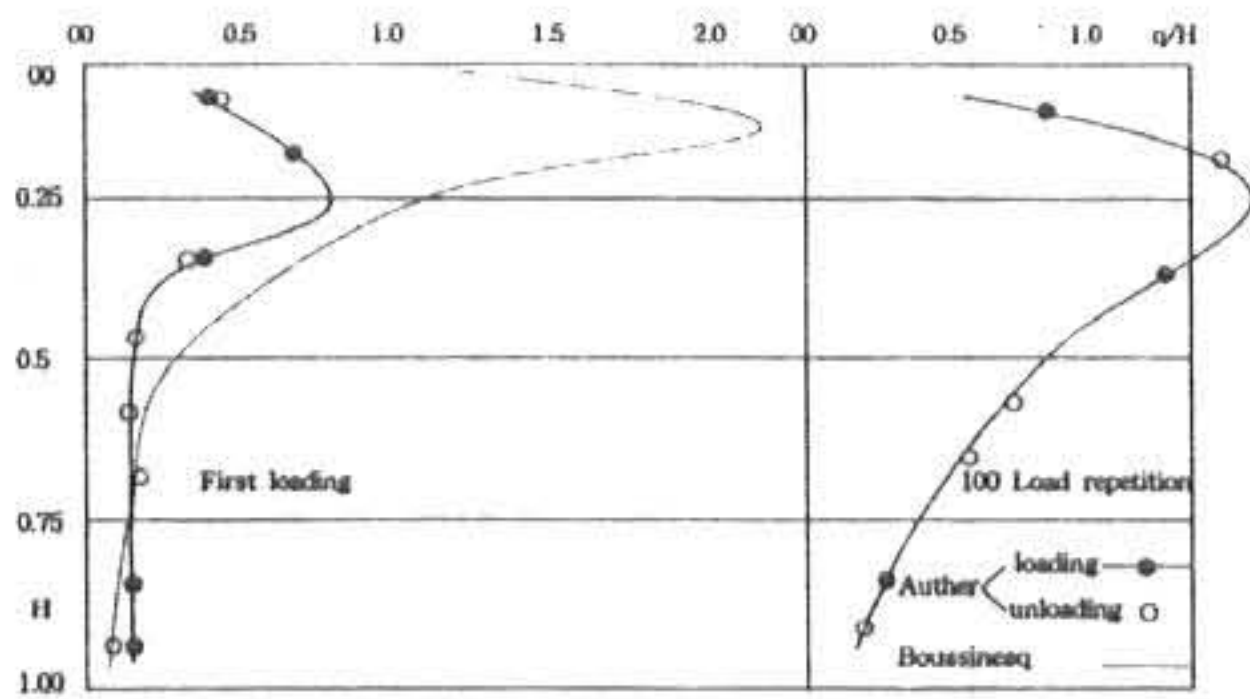
$k_a$  : 주동토압계수

### 2.2 Sherif의 이론

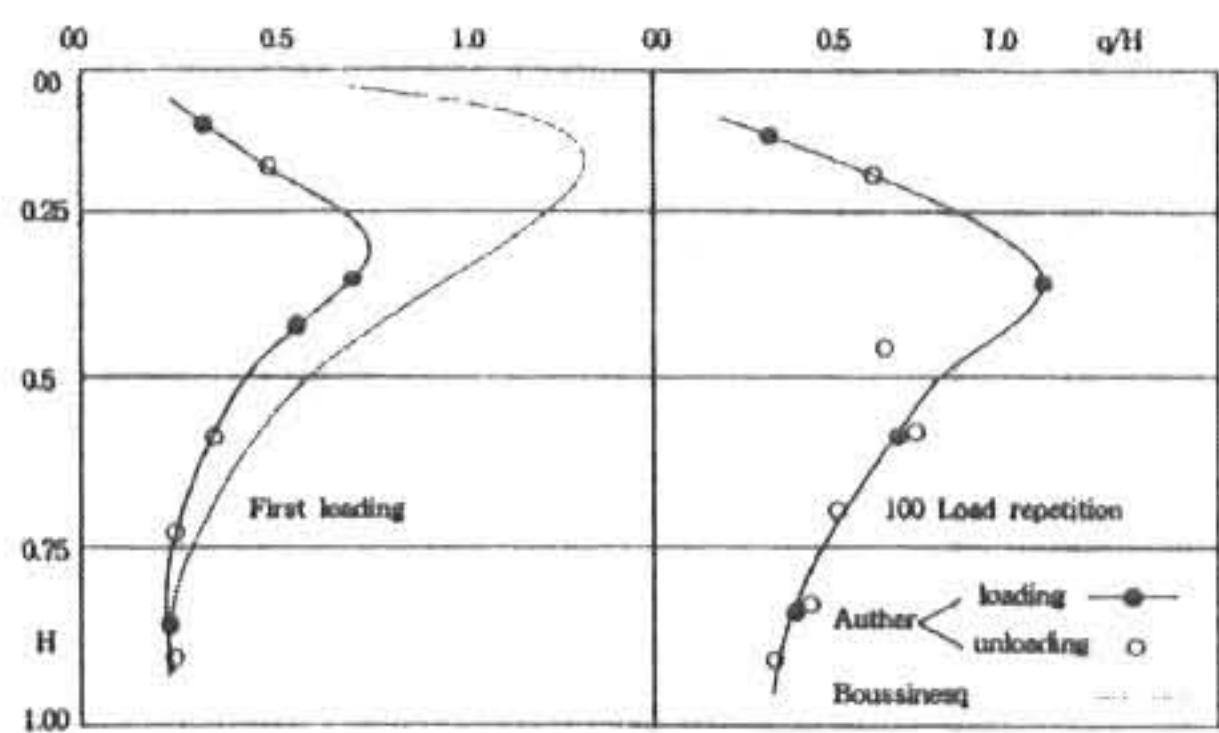
1977년 Sherif는 조밀한 모래로 뒷채움한 실내실험에서 모형실험 장치 높이의 0.188H와 0.313H 거리의 뒷채움 표면에 선하중과 반복하중이 작용할 때 토압의 변화가 Fig. 2.2와 같이

Boussinesq 이론값과는 차이가 있다는 것을 발견하였다.

수평토압의 변화는 첫 번째 하중이 작용하는 동안 대부분의 토압이 증가하며, 토압강도의 최대치는 벽의 2/3H부분 가까이에서 나타나고, 하중제하 위치가 벽으로부터 멀어질 때 반복하중의 효과가 감소한다. 그리고 100번째의 반복하중이 작용할 때 토압은 첫 번째 하중에 의한 것보다 대략 세배로 나타났다.



(a) at distance of 0.188H from the wall



(b) at distance of 0.313H from the wall

Fig. 2.2 Earth Pressure Due to Repeated Line Loading

### 3. 실험

#### 3.1 시료의 특성

실험에 사용된 시료는 경남 합천군 황강 모래를 사용하였다. 이 시료의 물리적 특성을 알아보기 위해 체분석시험, 최대 및 최소건조단위 중량시험, 비중시험, 최대 및 최소간극비, 직접전단시험 등을 실시하였다. 본 실험에 사용된 시료의 물리적 특성은 Table 3.1과 같다.

체분석시험은 KS F2301규정에 따라 #4, #10, #20, #40, #60, #140, #200체를 사용하여 로타체 진동기로 각 10분간 진동시켜 그 평균값을 이용해 USCS에 의하여 흙을 분류하였으며, 입경가적곡선은 Fig 3.1과 같다.

시료의 상대밀도를 측정하기 위해 최대 및 최소건조단위중량시험을 실시하여 간극비를 산출하고, 식 3.1을 이용하여 상대밀도를 결정하였다. 상대밀도는 다짐상태가 좋을수록 크게 나타났다.

$$D_r = \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_d} \cdot \frac{\gamma_d - \gamma_{min}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{min}} \cdot 100$$

$$= \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \cdot 100 (\%) \quad (3.1)$$

Table 3.1 Property of sample

시험 항목	3층다짐 (33cm강사후 물리에 의한 층다짐)	5층다짐 (20cm강사후 물리에 의한 층다짐)
$D_{10}$ (mm)	0.30	0.30
$D_{30}$ (mm)	0.46	0.46
$D_{60}$ (mm)	0.71	0.71
$C_u$	2.37	2.37
$C_g$	0.99	0.99
$e_{max}$	0.88	0.80
$e_{min}$	0.74	0.67
$G_s$	2.65	2.65
$\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.53	1.59
$\gamma_{dmin}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.41	1.47
$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.49	1.53
$D_r$ (%)	50.1	72.6
$\phi$ (°)	36.69	37.49

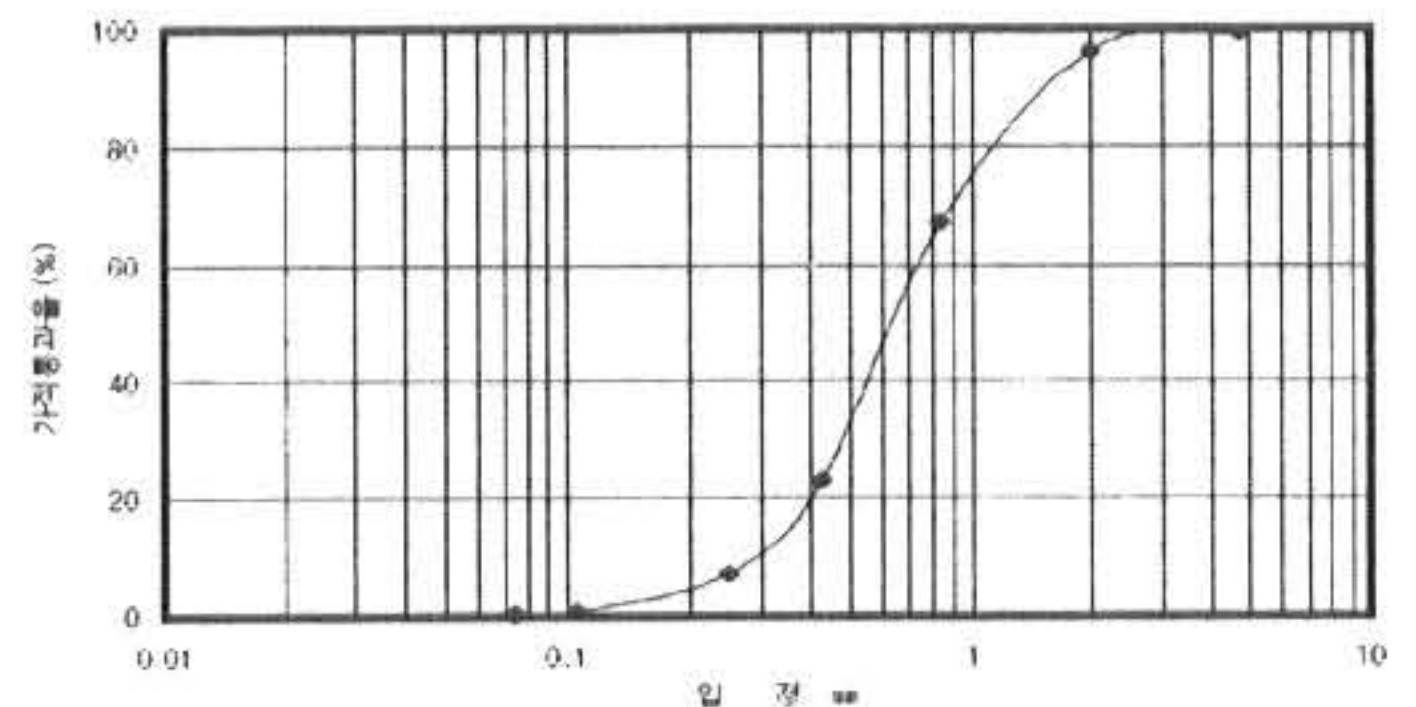


Fig. 3.1 Particle-size distribution curve

그리고, KS F2308에 따라 비중시험을 실시하였으며, 흙의 내부마찰각( $\phi$ )은 일본 Macross회사의 직접전단시험기를 이용하여 KS F2343에 따라 직접전단시험을 실시하여, 각 실험의 단위중량에 따라 내부마찰각을 결정하였다. 내부마찰각은 다짐이 잘된 시료에서 높게 나타났다.

#### 3.2 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 대구대학교 토목공학과 지반공학실험실에 설치되어 있는 실험장치이고, 이것을 이용하여 본 실험을 행하였다.

나누어 실험대와 토조, 반력장치와 부속기계, 벽체와 지지장치, 우수장치와 강사기(Sand Rainer), 토압측정장치 등으로 구성되어 있다.

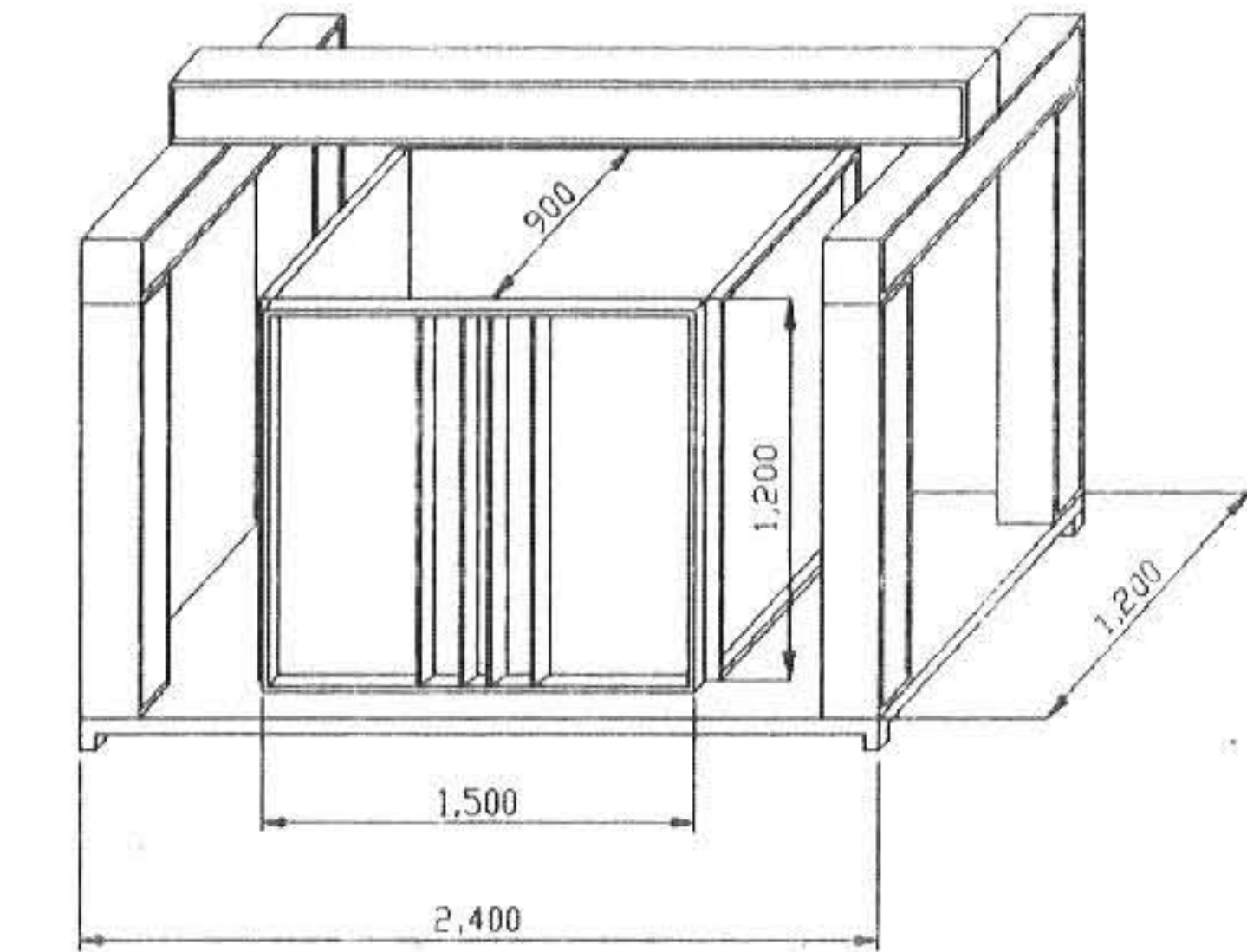
실험대는 길이 240cm, 폭 120cm, 두께 5mm 크기의 강철로 제작되었으며, 토조는 길이 140cm, 폭 85cm, 높이 120cm 크기의 격자형으로 되어 있고, 전면벽은 140cm×90cm×1.5cm의 투명유리(Plexiglas)를 사용하여 시료의 퇴적상태와 거동을 관찰할 수 있도록 하였다.

반력장치는 길이 240cm, 폭 10cm, 높이 40cm, 두께 7mm 크기의 I형강으로 제작하였고, 벽체는 높이 120cm, 폭 85cm, 두께 5mm인 철판으로 제작하여 벽체에 직경 3cm인 구멍을 뚫어 일본 KYOWA사의 용량 2kgf/cm<sup>2</sup>인 토압계를 그림 III.2에서 보는 바와 같이 벽의 상단으로부터 39cm에 SP1, 54cm에 SP2, 64cm에 SP3, 72cm에 SP4, 88cm에 SP5를 설치하여 수평토압을 측정하였고, 그림 III-2와 같이 고정벽체에서 85cm 거리에, 깊이 39cm에 SP6, 54cm에 SP7, 64cm에 SP8, 72cm에 SP9, 88cm에 SP10을 설치하여 토조내에 시료를 완전히 채운 후의 연직응력을 측정하도록 하였다.

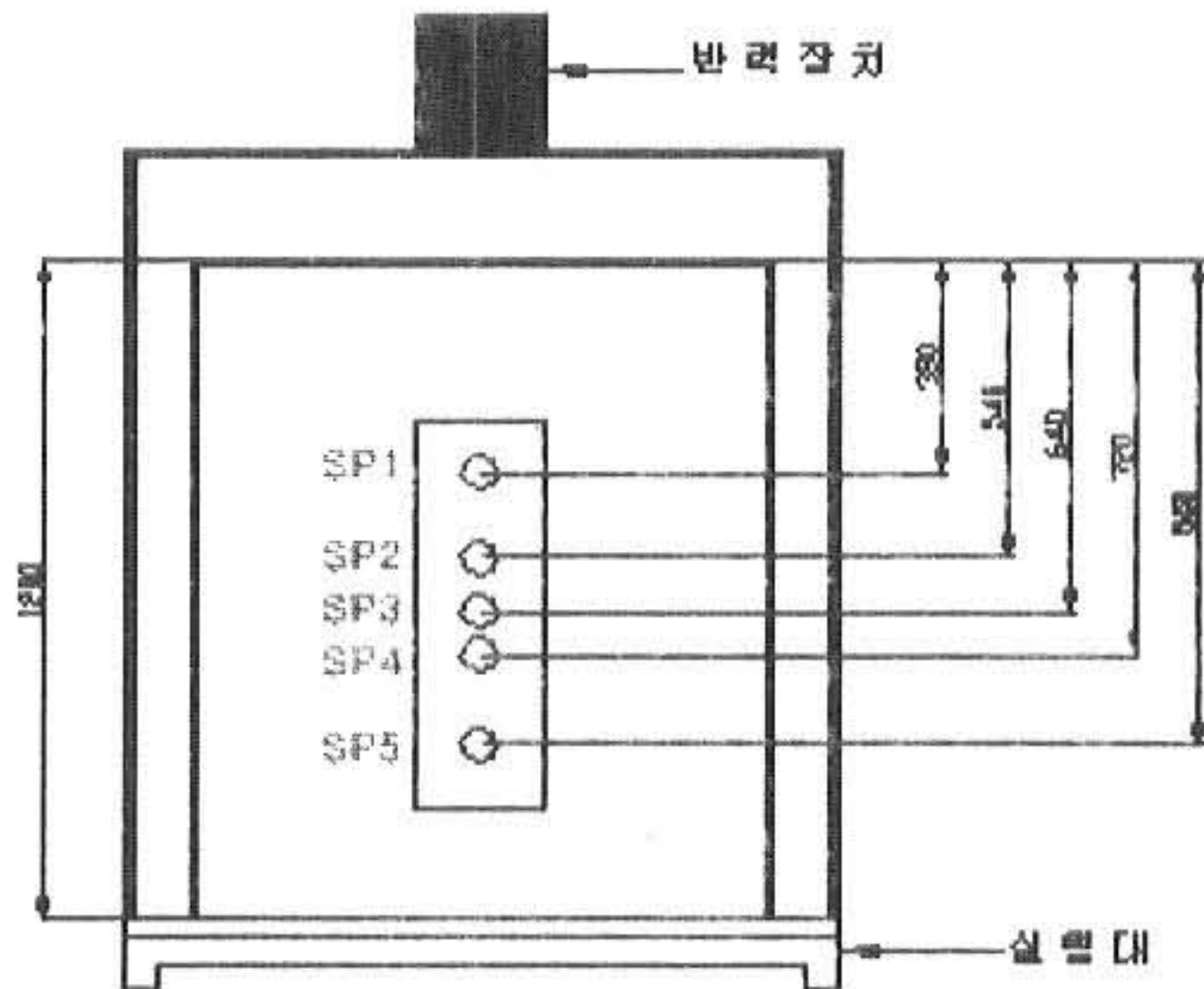
각 실험마다 단위체적중량을 구하기 위해 캔(Can)을 그림 III.2와 같이 C1과 C2는 벽체하단 20cm, C3과 C4는 벽체하단 40cm, C5과 C6는 벽체하단 60cm, C7과 C8는 벽체하단 80cm에 설치하였다.

강사기는 Fig 3.3과 같이 설치하였고, 크기는 520mm×520mm×60mm, 체눈금은 10mm×10mm이다. 강사기의 높이조절은 Fig. III.3과 같이 토조위에 지지대를 설치하고 강사기 양쪽에 받줄을 묶어 높이 조절을 할 수 있도록 하였고, 받줄에 눈금 표시가 되어 낙하 높이를 쉽게 조절할 수 있도록 하였다. 또한 시료의 상대밀도도 쉽게 조절할 수 있게 하였다.

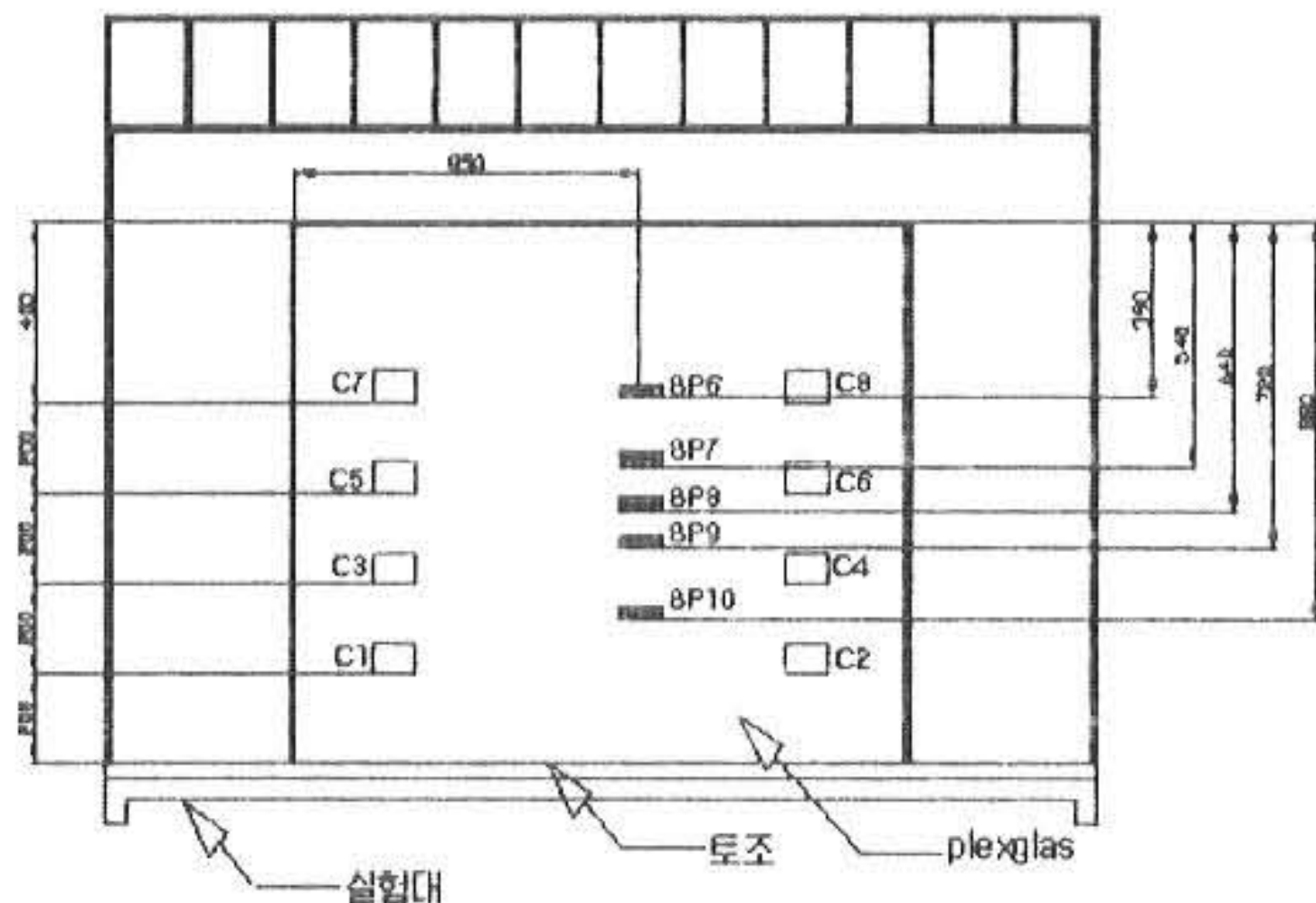
본 실험에 사용한 토압계는 일본 Kyowa Electronic Instrument Co.Ltd와 Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd에서 제작된 것으로 제원은 Table 3.2와 같으며, 토압계의 작동상태를 검정하기 위하여 각각의 토압계를 측정장치인 TML사의 Portable Data Logger(TDS-302)에 연결한 다음 메스실린더, 비닐, 물 등을 이용하여 검정을 하였으며, 각각의 토압계에 나타난 수치와 정수압의 원리로 계산한 값을 비교하여 토압계가 정상적으로 작동하는가 여부를 관찰하였다.



(a) a general view



(b) a front view



(c) a side view

Fig. 3.2 Details of Tank and Wall

실험장치의 구조는 Fig 3.2에서와 같고, 크게

Table 3.2 Dimension of Earth pressure gauge

Type	용량	두께	직경	중량	교정계수
KDE-2MPA	20kgf/cm <sup>2</sup>	11.3mm	50.000mm	600g	0.193kgf/cm <sup>2</sup>
					0.178kgf/cm <sup>2</sup>
					0.183kgf/cm <sup>2</sup>
					0.190kgf/cm <sup>2</sup>
					0.180kgf/cm <sup>2</sup>
BE-2KD	2.0kgf/cm <sup>2</sup>	6.4mm	30.225mm	40.86g	11.707kgf/cm <sup>2</sup>
					11.863kgf/cm <sup>2</sup>
					27.827kgf/cm <sup>2</sup>
					11.268kgf/cm <sup>2</sup>
					12.256kgf/cm <sup>2</sup>

3.3 실험방법

본 실험은 실내에서 공기건조시킨 황강모래를 사용하여, 다짐방법을 달리하여 단변이 30cm인 정방형 재하판을 사용하여 재하위치를 이동하면서 Table III.3과 같이 8종류의 실험을 실시하였으며, 또 이론식의 매개변수들의 결정은 시료의 내부마찰각을 이용하여 정지토압계수  $K_0$ 를 계산해 이 값을 역해석하여 이론식의 변수값을 정하였다. 이론식에 사용된 변수값은 Table 4.4와 같다.

Table 3.3 Summary of model test

다짐방법	실험명	벽체로부터 거리	재하판 모양 및 크기
3층 다짐	T-1	10cm	B=30, t=2.3의 정방형재하판
	T-2	30cm	B=30, t=2.3의 정방형재하판
	T-3	50cm	B=30, t=2.3의 정방형재하판
	T-4	70cm	B=30, t=2.3의 정방형재하판
5층다짐	T'-1	10cm	B=30, t=2.3의 정방형재하판
	T'-2	30cm	B=30, t=2.3의 정방형재하판
	T'-3	50cm	B=30, t=2.3의 정방형재하판
	T'-4	70cm	B=30, t=2.3의 정방형재하판

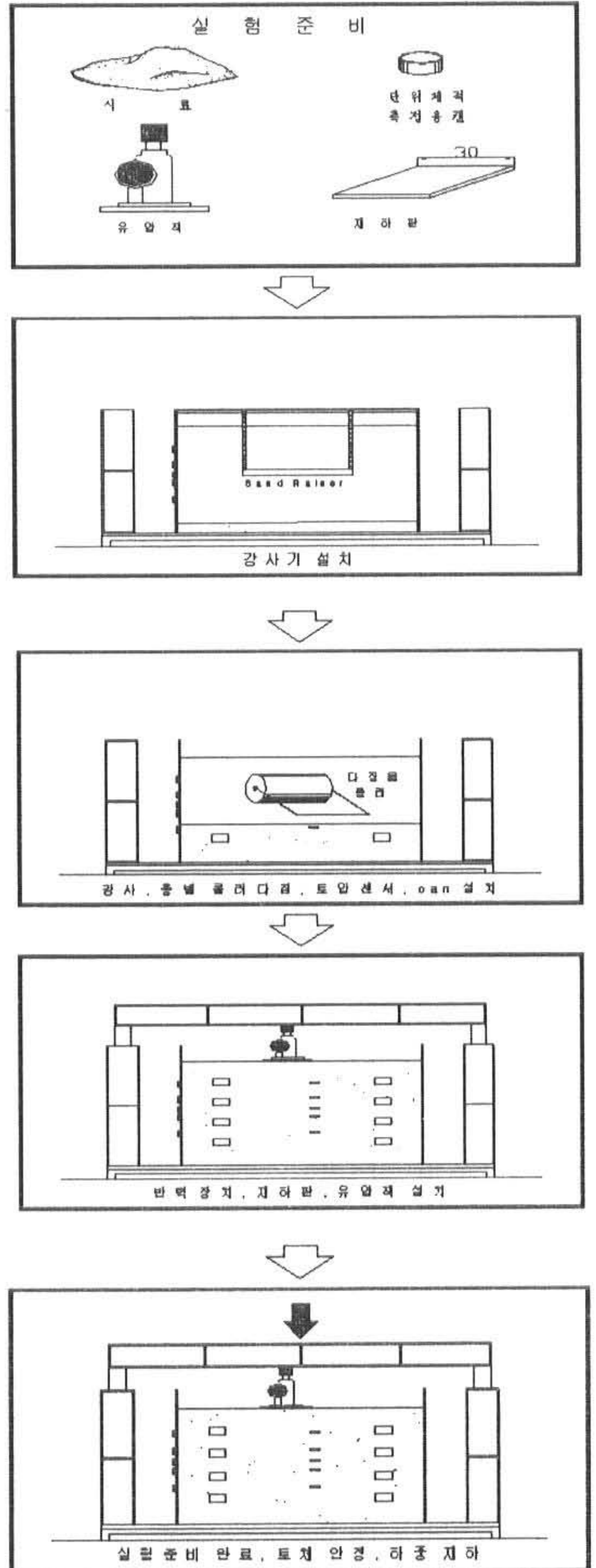
여기서, B는 단변, t는 재하판 두께이다.

Table 4.4 Variable number of application

변수	실험명	T-1~T-4	T'-1~T'-4
	푸아송비 ( $\mu$ )		0.287
용력집중계수 (n)		4.484	4.455

실험은 다짐방법을 달리하여 직경이 30cm 정방형재하판을 설치하여 유압잭으로 하중을 100kg, 200kg, 300kg, 400kg, 500kg, 600kg, 700kg, 800kg, 900kg으로 30분 간격으로 재하(Load)와 재하(Unload)를 반복하면서 수평토압과 연직응력의 변화를 데이터화 하여 실험치와 이론치를 비교 분석하였다. 토압계의 측정장치로는 TML사의 TDS-302 Portable Data Logger

를 사용하여 PC 컴퓨터에 연결해 실험을 수행하였다. 시료 강사와 하중재하에서 종료시까지 실험순서도는 Fig 3.3과 같이 나타내었다.



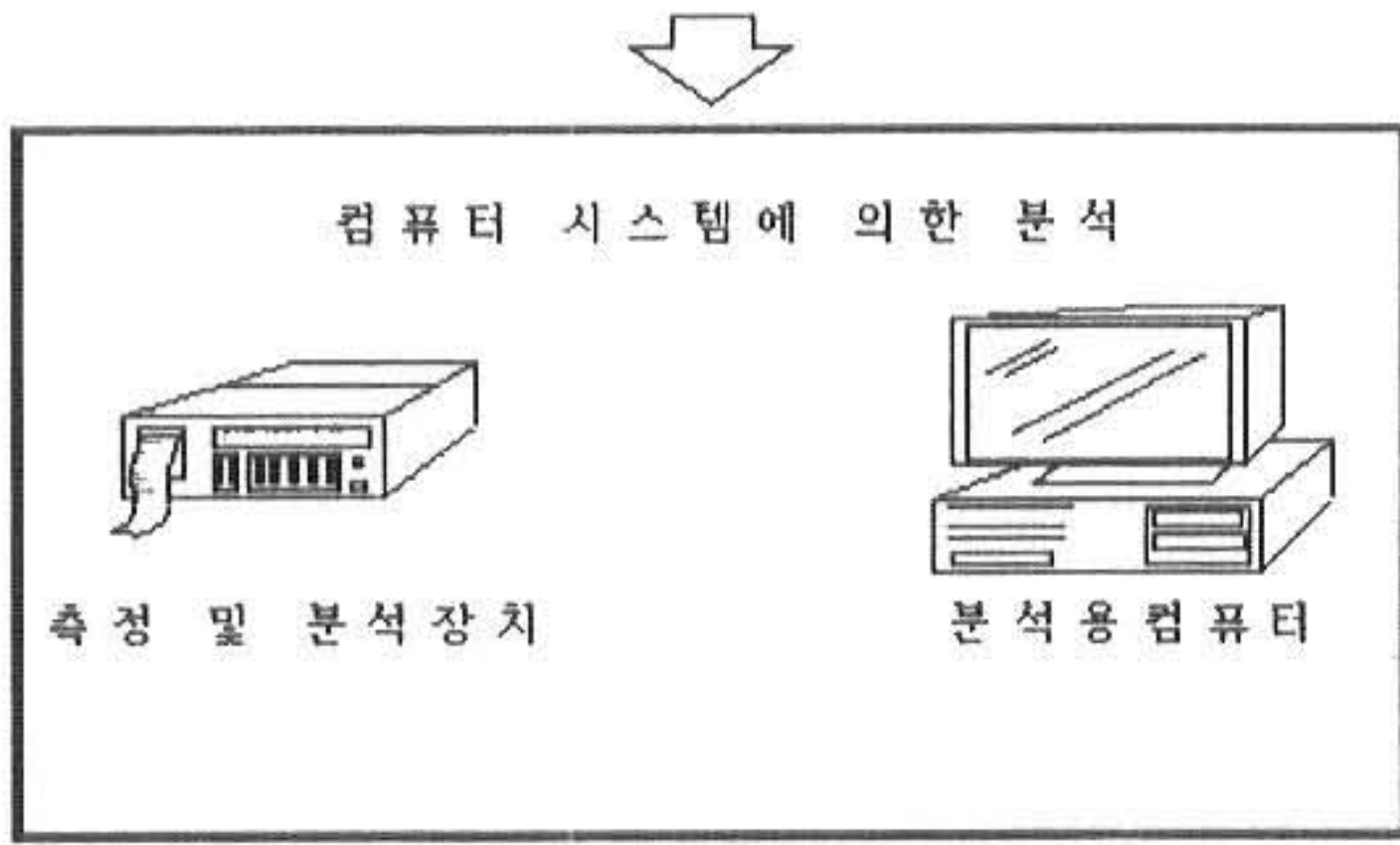


Fig. 3.3 Flow-chart of test

1) 33cm 강사후 롤러에 의한 층다짐

실내에서 공기건조 시킨 황강모래에 대해 단변이 30cm인 정방형재하판을 사용하여 T-1, T-2, T-3, T-4의 실험방법으로 3층으로 나누어 33cm 강사후 22kg의 롤러로 왕복 20회 다짐을 실시하고, 다짐 완료후 반력장치와 재하판 및 유압잭을 설치하고 일정시간동안 방치하여 토체를 안정시켰다. 토체가 안정이 되면 각 단계하중별로 30분 간격으로 재하와 제하를 반복하면서 토압계로부터 수평토압과 연직응력의 변화량을 TDS-302 Data Logger를 이용하여 측정하였다. 실험 후 실측값이 의심스러운 것은 재실험하였다.

2) 20cm 강사후 롤러에 의한 층다짐

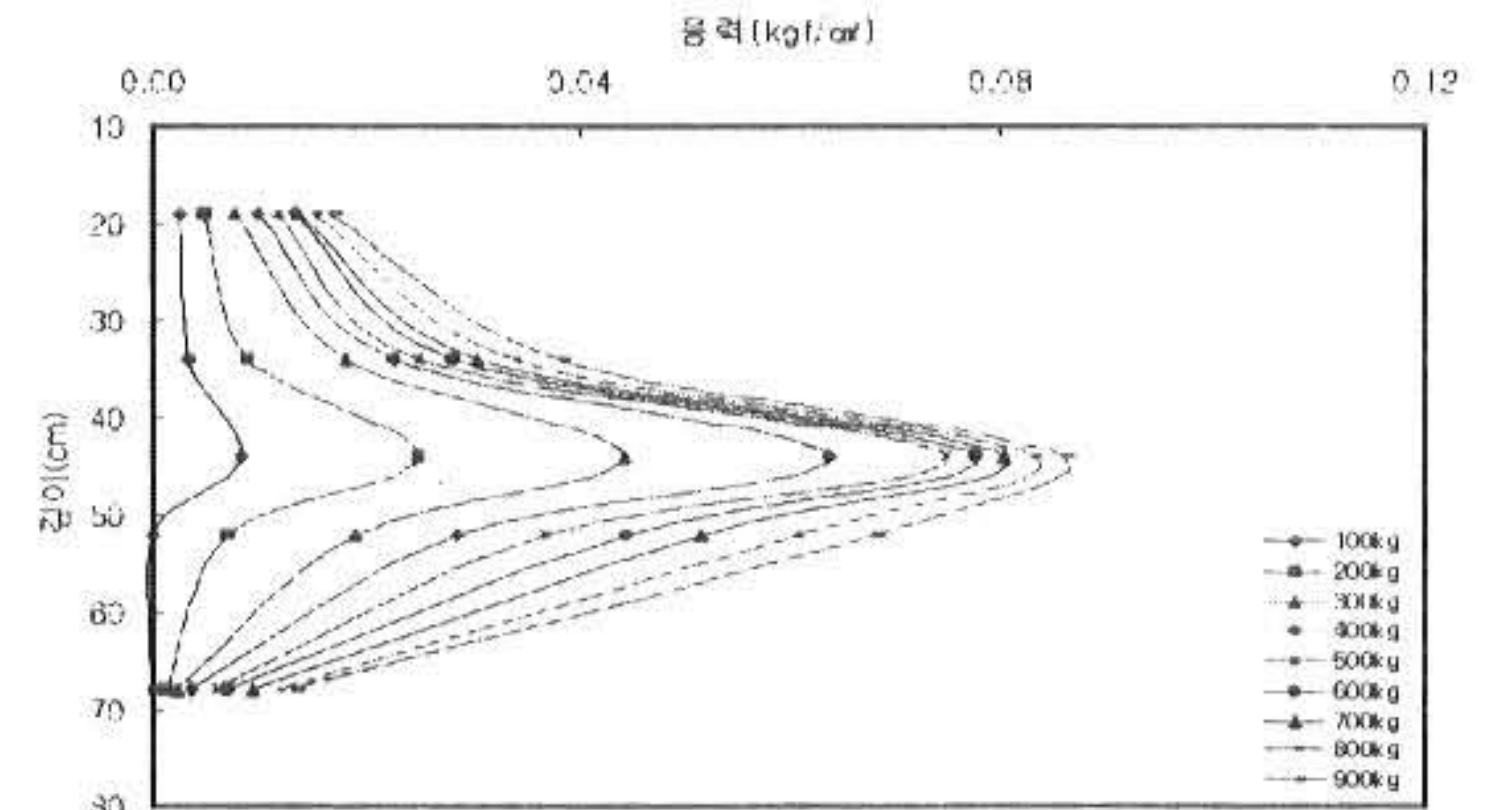
정방형재하판 단변이 30cm인 T'-1, T'-2, T'-3, T'-4의 실험방법으로 5층으로 나누어 20cm 강사후 22kg의 롤러로 왕복20회 다짐을 실시하고, 다짐 완료후 반력장치와 재하판 및 유압잭을 설치하고 일정시간동안 토체가 안정되도록 방치하였다가 토체가 안정되면 각 단계별로 30분 간격으로 재하와 제하를 반복하면서 토압계로부터 수평토압과 연직응력의 변화량을 TDS-302 Data Logger를 이용하여 측정하였다. 실측값이 의심스러운 경우 재실험하였다.

4. 실험결과 분석

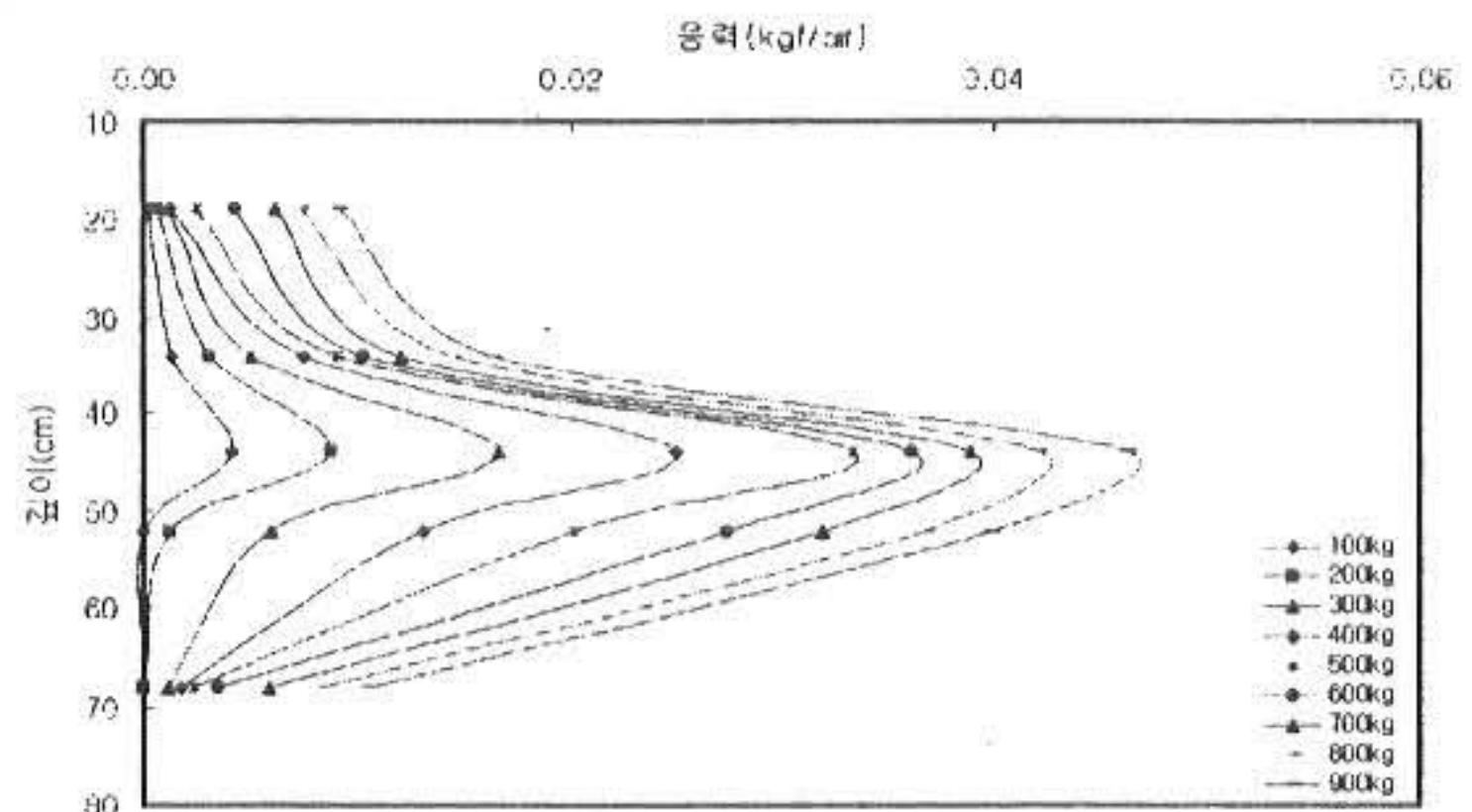
4.1 3층다짐의 토압 분석

33cm 강사후 롤러 층다짐의 경우 벽체와 재하판 거리에 따른 깊이별 토압 증가량은 그림 IV.1의 (a), (b), (c), (d)와 같다. 이때 사용된 재료의 상대밀도는 50.1%이었다. 그림에서 나타난 것과 같이 하중 재하 위치가 고정벽체에 가까울수록, 그리고 하중이 클수록 토압이 증가

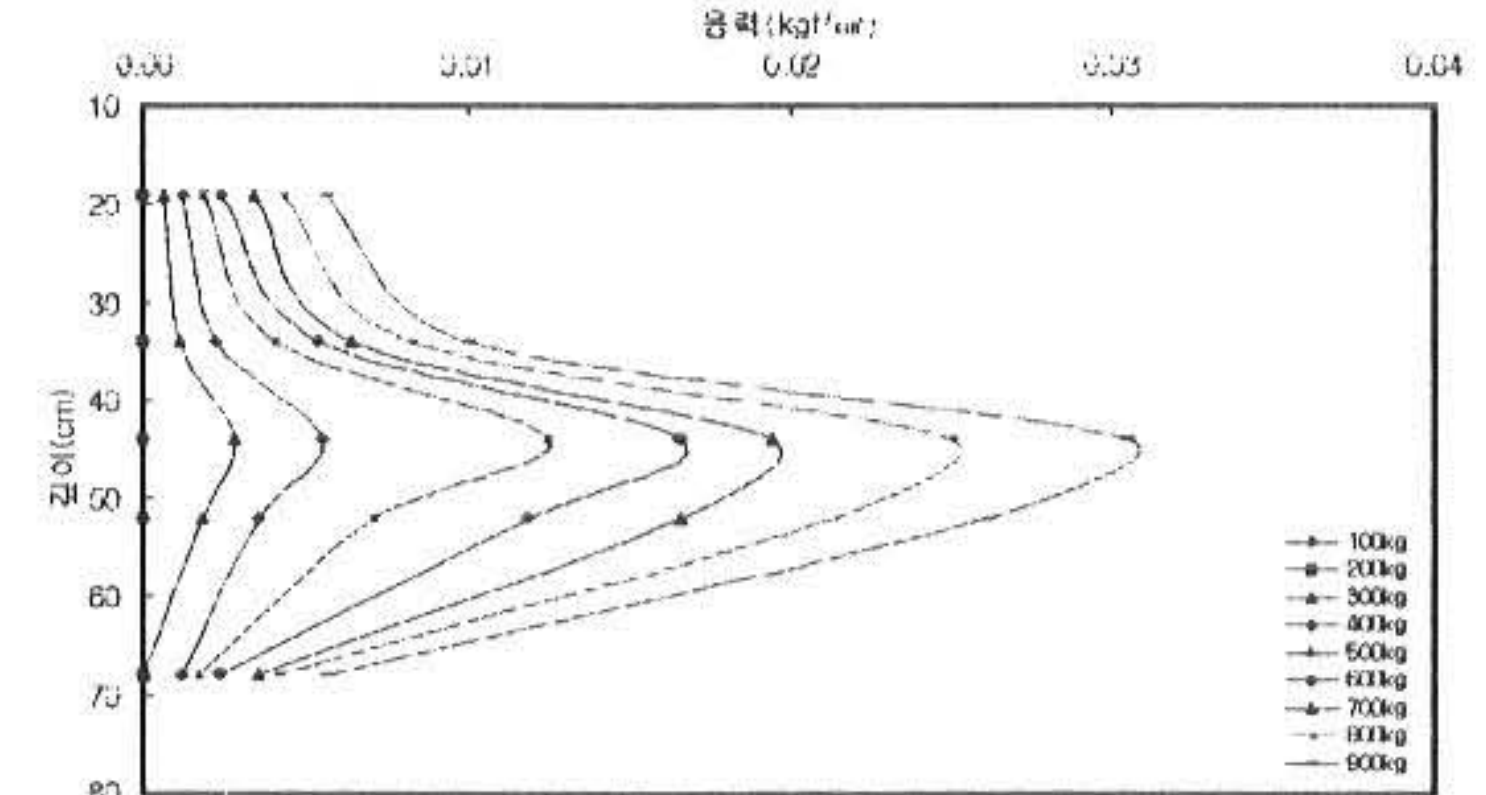
하였다. 따라서 벽체로부터 작용하는 하중점의 위치와 토압은 반비례 관계과 있으며, 토압분포 역시 비선형으로 나타났다.



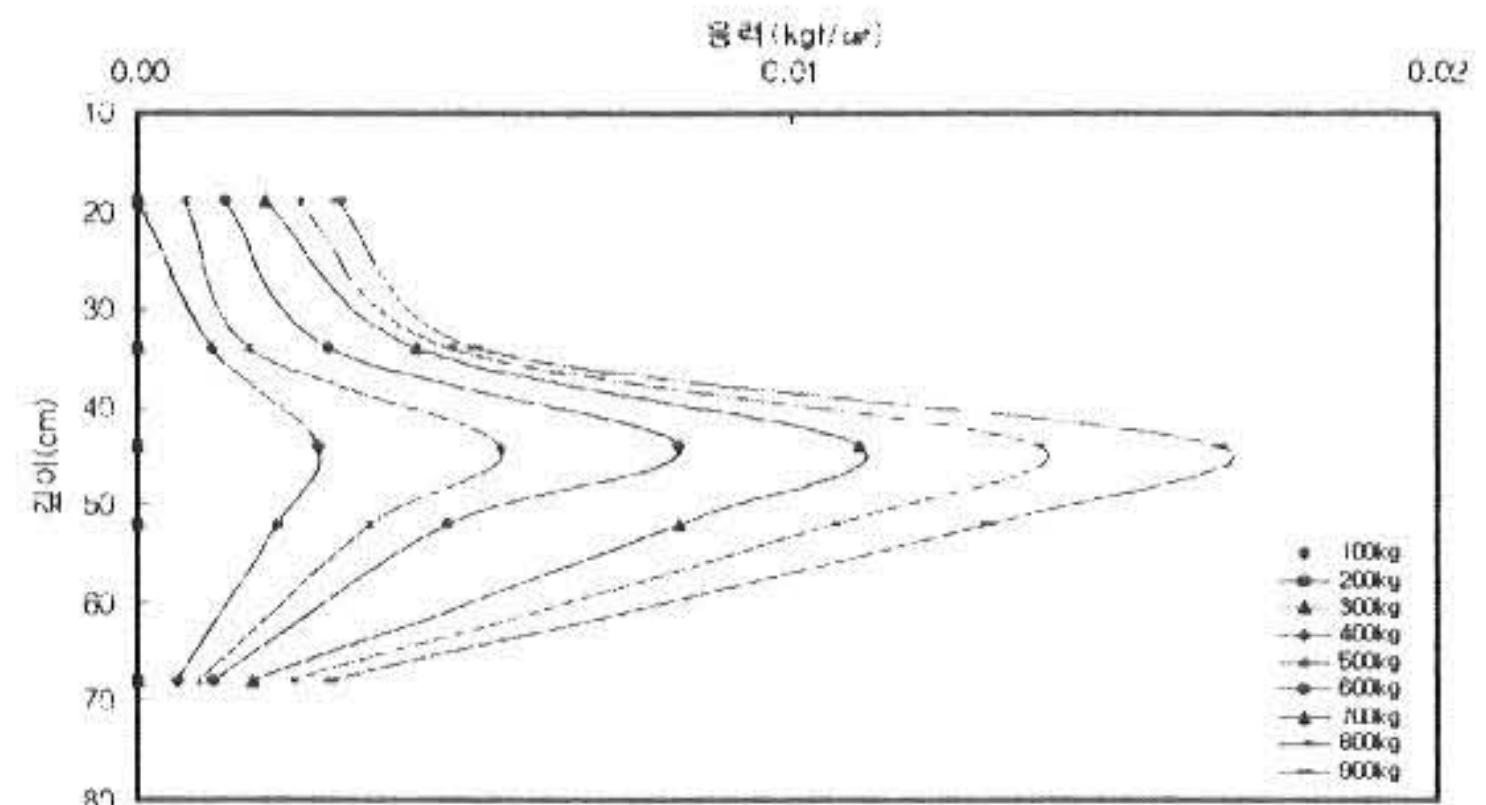
(a) T-1 (a=10cm)



(b) T-2 (a=30cm)



(c) T-3 (a=50cm)



(d) T-4 (a=70cm)

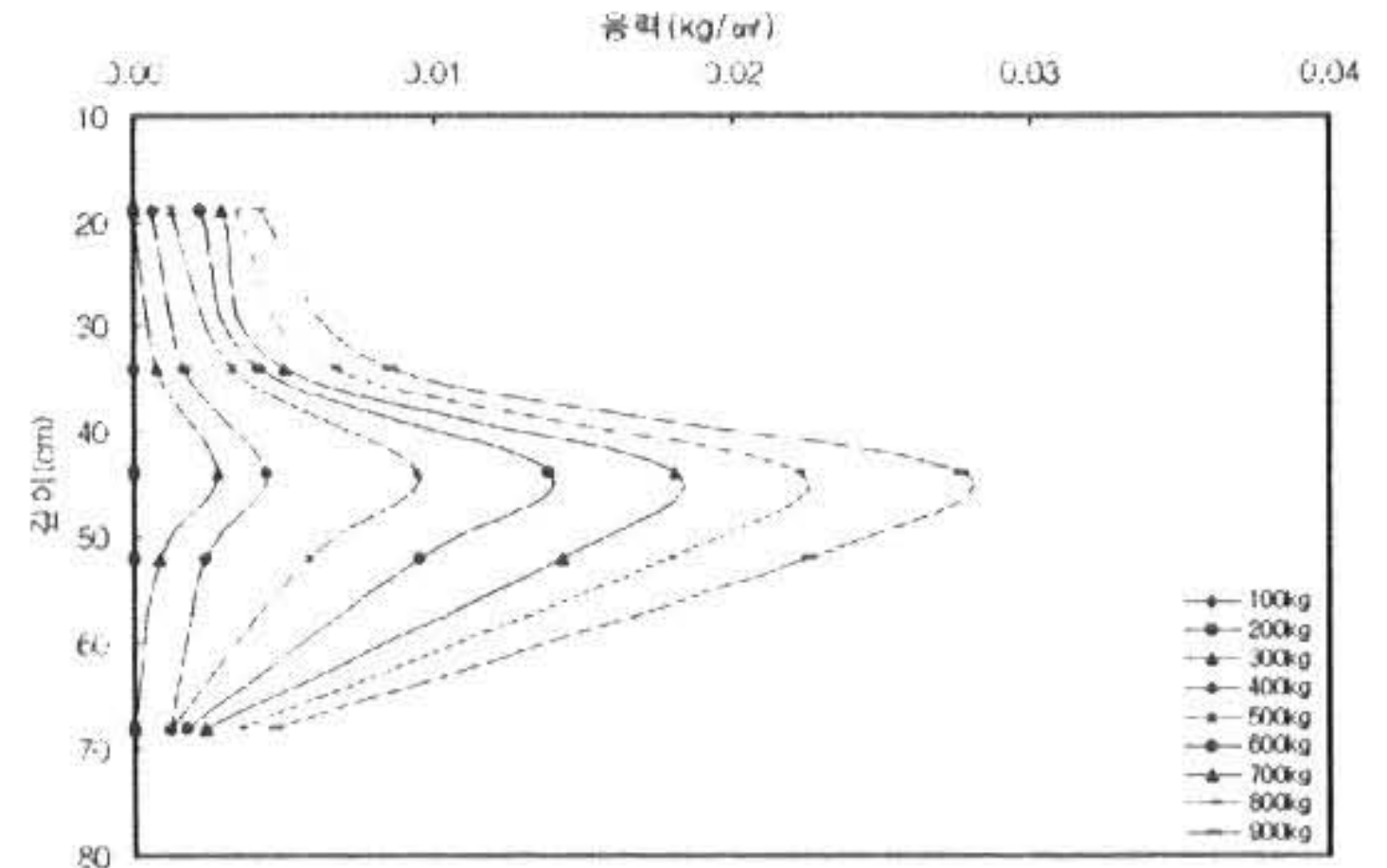
Fig. 4.1 Lateral earth pressure variation by 3 layer compaction test

지표에서 깊이 44cm까지는 토압 변화가 크게 증가하는 양상을 보이고 있지만 44cm 이하부터는 깊이가 깊어질수록 하중의 크기에 상관없이 토압의 변화가 적은 양상을 보였으며, 토압의 최대치는 벽체의 높이 1/2H~2/3H지점 가까이에서 나타났다.

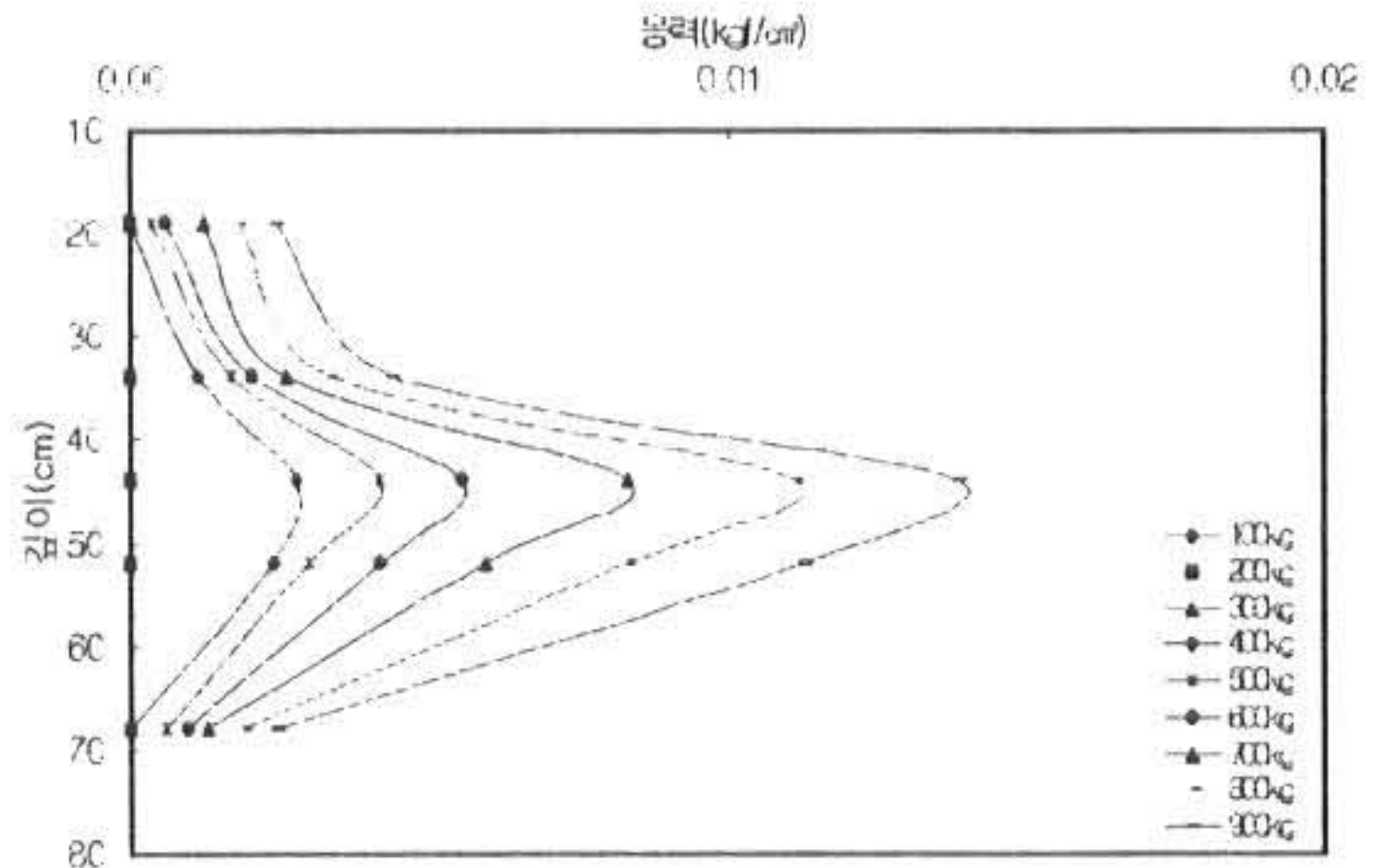
토압의 분포가 고전토압과 상이한 것은 뒷채움재의 다짐 영향과 모형실험장치 바닥이 일반 토사가 아니라 강체로 구성되어 있기 때문이라고 판단된다.

### 4.2 5층다짐의 토압 분석

20cm강사후 롤러 층다짐의 경우 벽체와 재하판 거리에 따른 수평 토압의 증가량은 그림 IV.2의 (a), (b), (c), (d)와 같으며 모형지반의 상대밀도는 72.6%이다. 토압의 증가량과 분포는 3층다짐의 경우와 비슷한 양상으로 나타났지만, 3층다짐일 때보다 하중 증가에 의한 토압의 증가량이 적었다. 이는 상대다짐도가 높음에 따라 재하 하중 증가에 의한 토압 전달이 늦어 3층다짐에 비해 작은 토압이 발생하였다.



(c) T'-3 (a=50cm)



(d) T'-4 (a=70cm)

Fig. 4.2 Lateral earth pressure variation by 5 layer compaction test

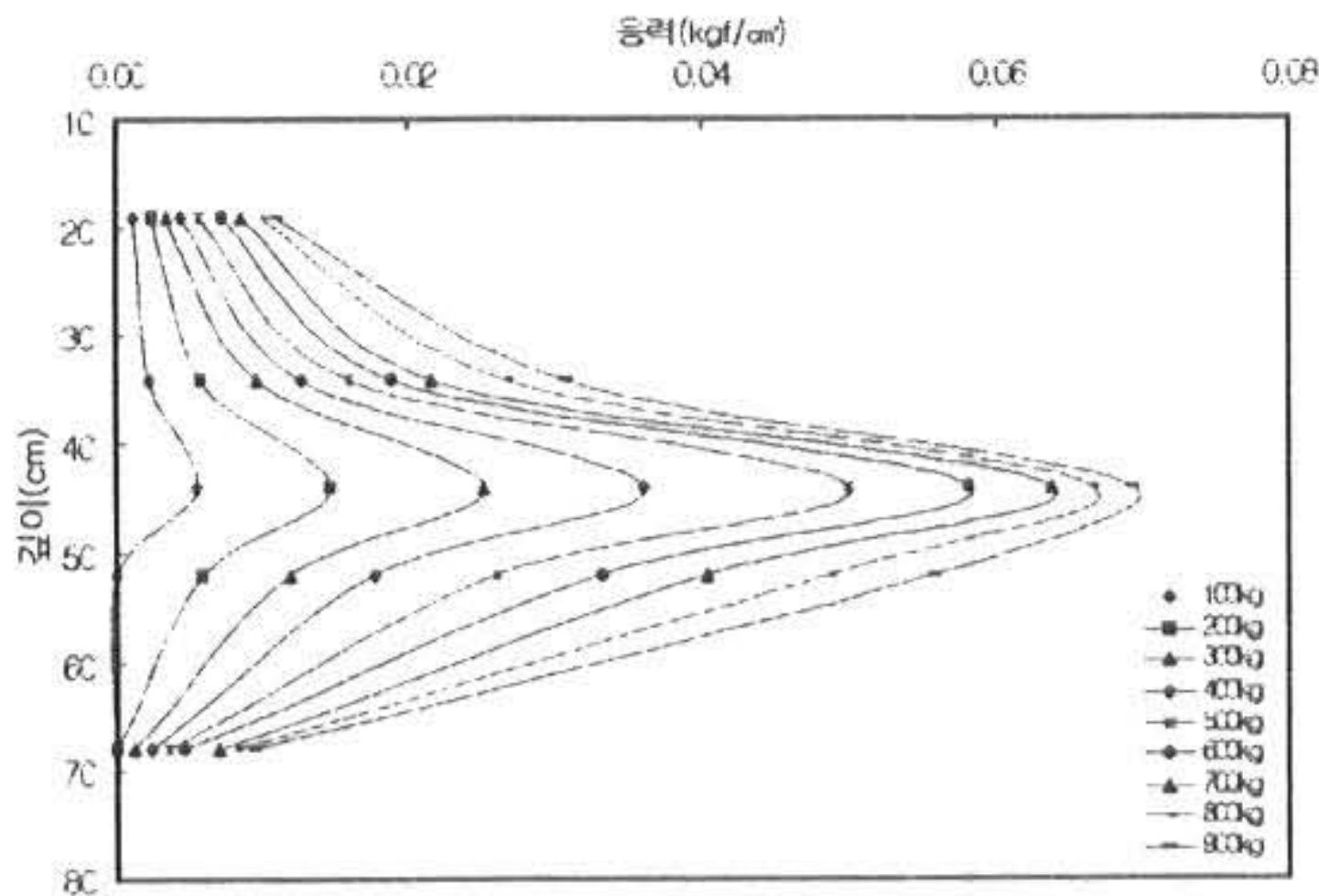
### 4.3 반복하중에 의한 토압 변화

33cm롤러 층다짐일 때 벽체와 재하판의 거리 10cm에서 300kg과 900kg의 상재하중을 10회간 반복하여 재하와 제하를 하였을 때 측정한 수평토압의 평균값과 Boussinesq, Fröhlich, Rowe의 기존 이론식에 의한 수평토압값을 Table 4.1~2에 나타내었다.

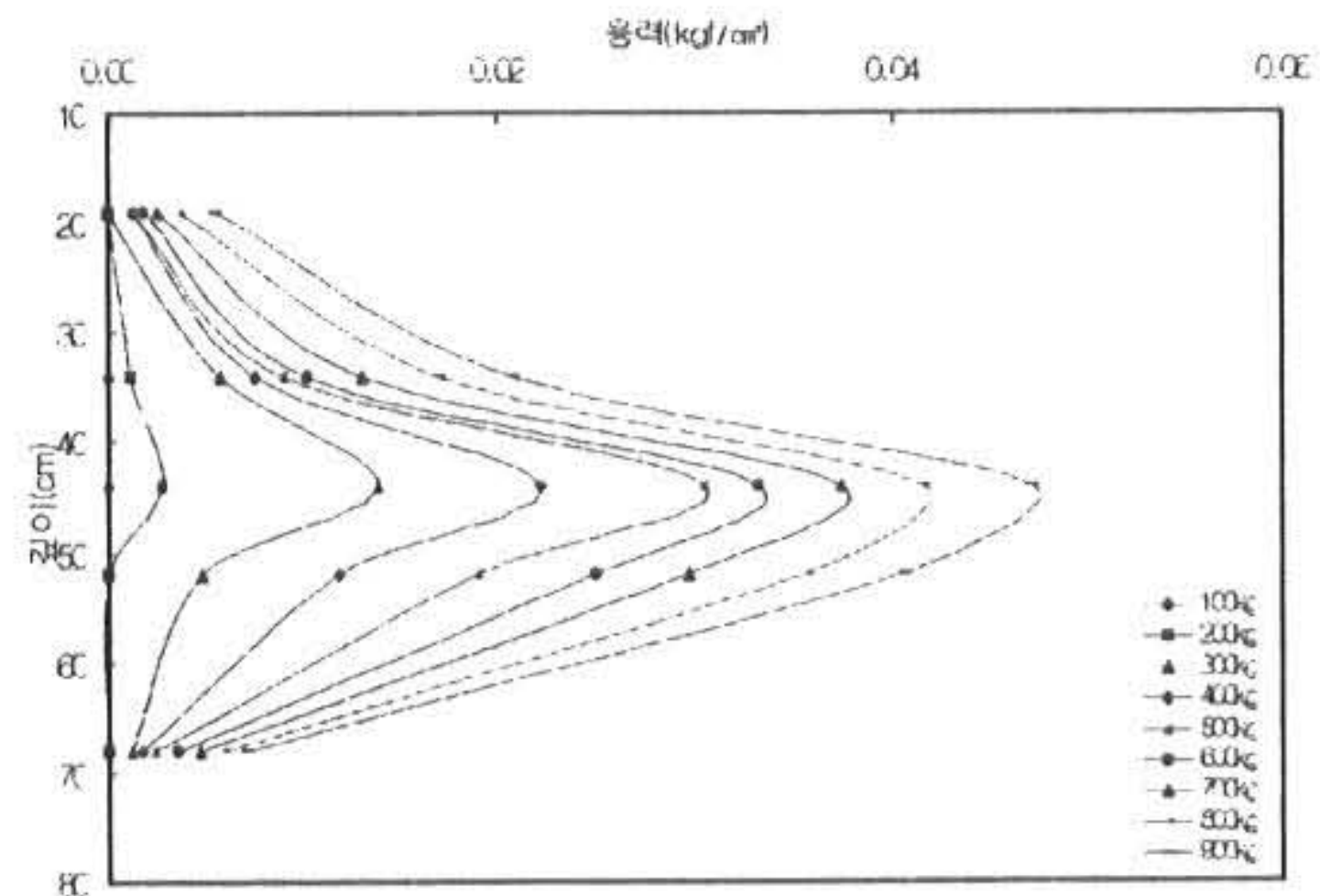
Table 4.1 Lateral earth pressure of Boussinesq, Rowe, Measured due to 300kg Repeated load applied at 10cm from the wall (kgf/cm²)

하중	Gauge number						
		SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	
300kg	실측	L	0.008	0.018	0.044	0.019	0.002
		Un	0.004	0.009	0.028	0.011	0.001
	이론	B	0.043	0.016	0.008	0.004	0.001
		F	0.040	0.022	0.015	0.012	0.007
		R	0.077	0.052	0.039	0.029	0.014

\* L은 재하(Loading), Un은 제하(Unloading), B는 Boussinesq 이론치, F는 Fröhlich의 이론치, R은 Rowe의 이론치이다.



(a) T'-1 (a=10cm)

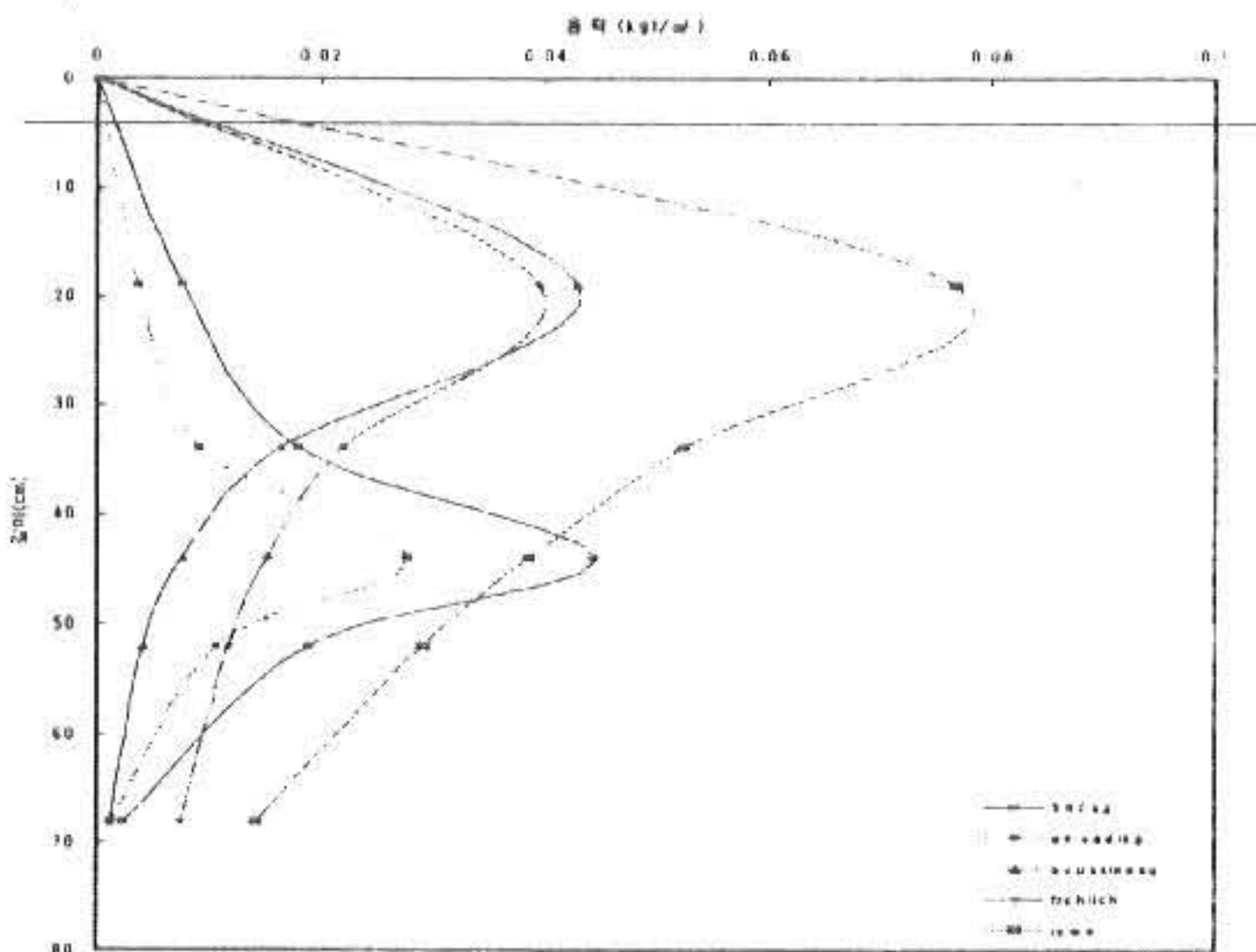


(b) T'-2 (a=30cm)

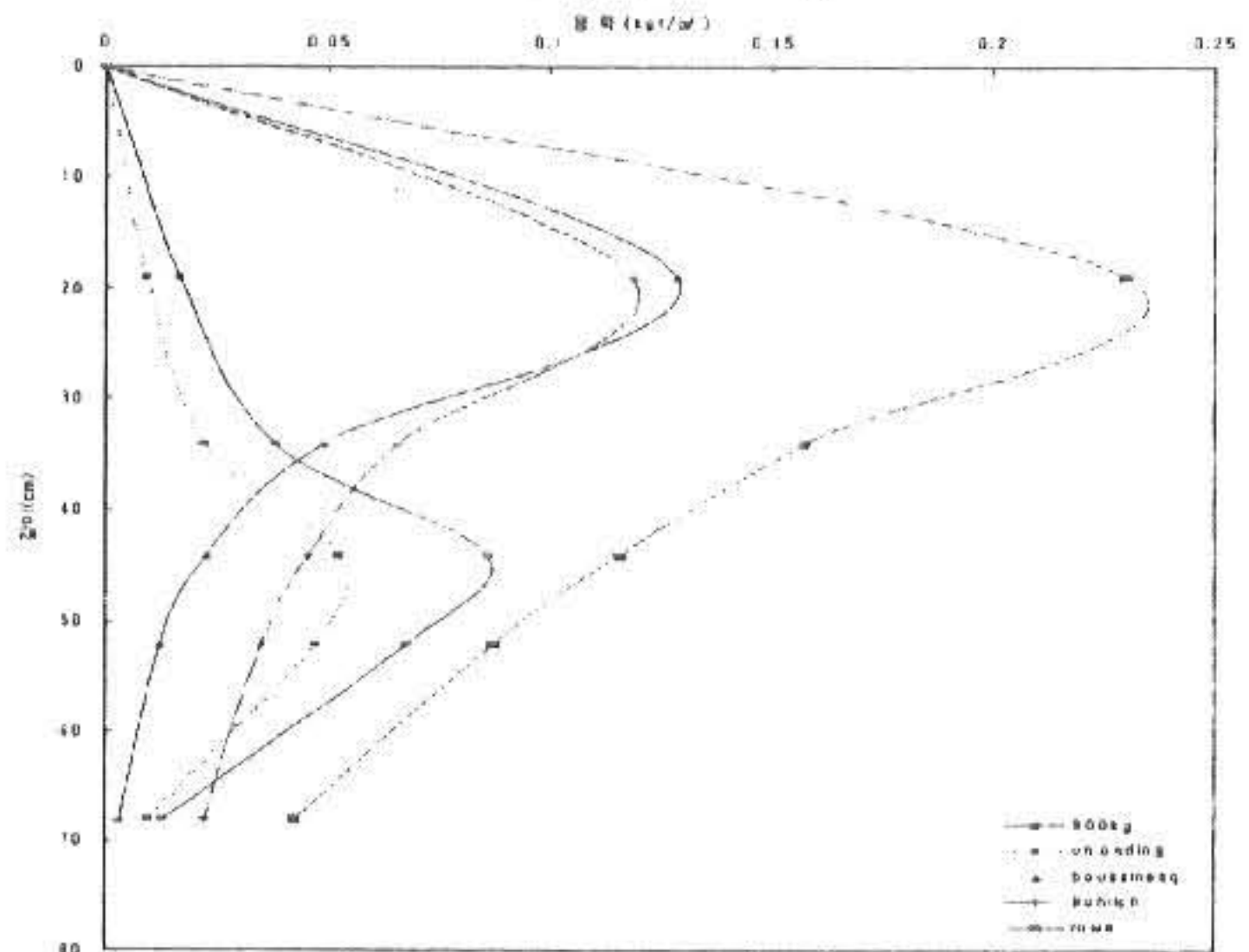
Table 4.2 Lateral earth pressure of Boussinesq, Rowe, Measured due to 900kg Repeated load applied at 10cm from the wall (kgf/cm)

하중		Gauge number					
		SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	
900kg	실측	L	0.017	0.038	0.086	0.068	0.013
		Un	0.009	0.022	0.053	0.047	0.009
	이론	B	0.0129	0.050	0.023	0.012	0.003
		F	0.119	0.066	0.046	0.035	0.022
		R	0.230	0.157	0.116	0.087	0.043

Table 4.1~2를 이용하여 Fig 4.3의 (a), (b)와 같이 수평토압의 변화를 나타내었다. 실험치와 이론치를 비교해보면 깊이 34cm에서 Boussinesq값에 근접하였고, 또한 깊이 44cm에서는 Rowe값에 근접하였고, 대체적으로 본 실험에 의한 토압 분포도와 기존 이론에 의한 토압 분포도는 유사한 형상으로 나타났다.



(a) 상재하중 300kg



(b) 상재하중 900kg

Fig. 4.3 Lateral earth pressure distribution of Boussinesq, Rowe, measured due to repeated load applied at 10cm from the wall

기존 이론과의 토압분포의 차이는 시료의 종류와 뒷채움 과정에서 시료의 균질성과 등방성을 만족시키지 못한 것과 Boussinesq, Fröhlich의 기존 이론들은 뒷채움 다짐을 고려하지 않았는데 비해 본 실험에서는 뒷채움 다짐의 영향이라고 판단이 된다.

### 5. 결 론

본 연구는 모형 토압 실험장치를 제작하여 다짐방법과 하중 재하 위치를 달리한 사질토 지반에 점중하중과 반복하중을 가하여 측정된 수평토압과 연직응력을 기존의 이론값들과 비교·검토하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 점중하중으로 인한 수평토압은 벽체의 높이 2/3H 지점인 깊이 44cm까지는 크게 증가하는 양상을 보였으며, 그 이하 지점에서는 점중하중으로 인한 토압의 변화가 적게 나타났으며, 재하 하중의 위치가 고정 벽체와 가까울수록 수평토압의 변화는 크게 나타났다.
2. 반복하중에 의해 측정한 토압을 Boussinesq, Fröhlich, Rowe의 이론과 비교해 본 결과 깊이 19cm에서는 토압의 변화가 이론식보다 작게 나타났지만, 깊이 44cm에서 이론식보다 증가하는 양상을 나타내고 있다.
3. 흙의 상대다짐도에 따라 다짐도가 작은 33cm 강사 후 롤러 층다짐의 시험법이 20cm 강사 후 롤러 층다짐의 시험법보다 수평토압과 연직응력의 변화가 크게 나타났다. 이것은 상대다짐도의 증가와 감소는 토압의 증가와 감소에 영향을 미치고, 또 상대밀도가 작을 때 토압의 변화가 크게 나타났다.

### 참고문헌

- 1) Das, Braja M.(1993). *Principles of Geotechnical Engineering*, 3rd Edition PWS Publishing Company (pp. 253-315).
- 2) Sherif, M. A, & Mackey, R. D. (1977). Pressures on Retaining Wall with Repeated Loading, ASCE. Vol.103. No.11.(pp.1341-1345)
- 3) Rowe, P. W. (1950). *The Distribution of Lateral Earth pressure on a Stiff Wall due to Surcharge*, CE & PWR.

(2002년 5월 21일 접수, 2002년 8월 20일 채택)