

## 상재하중에 의한 연약점토의 일차원 압밀에 관한 원심모형실험

유남재\* · 이명욱\*\* · 이종호\*\*\*

### Centrifuge Model Experiments on One-dimensional Consolidation of Soft Clay with Surcharges

Yoo, Nam-Jae\* · Lee, Myung-Woog\*\* · Lee, Jong-Ho\*\*\*

#### ABSTRACT

This thesis is to investigate the one-dimensional consolidation behavior of soft marine clay with uniform surcharges by performing numerical and experimental works. Parametric experimental works of centrifuge model test were carried out changing test conditions of gravitational level in centrifuge, magnitude of surcharges and construction sequence of applying surcharges. Results of centrifuge model experiments were analyzed by using the numerical technique of explicit finite difference method based on the finite strain consolidation theory, being known to be appropriate to analyze the consolidational behavior of soft clay with a very high initial void ratio using the Lagrangian and the material coordinate systems.

Test results were in relatively good agreements with analyzed results in terms of excess pore pressure dissipation and consolidation settlement with time and final void ratio distribution.

#### 1. 서 론

해상에서 점토 또는 세립질의 흙을 준설하여 성토하거나, 양호한 입도의 육상의 흙을 운반, 다짐 성토할때 준설매립토 자체의 압밀침하량 또는 지반 성토에 따른 하부 연약지반의 압밀침하 거동에 관한 예측은 매우 중요한 의미를 지닌다. 시간경과에 따른 압밀침하량의 예측은 설계 및 시공단계에서 토량균형 및 성토물량 확보에 결정적인 변수가 되며, 또한 시공기간 및 시공방법을 결정하는 매우 중요한 인자가 된다. 특히 해안지반의 점토 또는

준설매립시 성토되는 연약점토는 초기 간극비가 매우 크기 때문에 상당량의 압밀침하량이 예측되며 압밀완료후의 최종간극비의 크기에 따라서 적정의 지반 보강공법의 선정여부가 결정된다.

가장 보편적인 지반보강공법인 선행하중 공법은 적정높이의 양질토를 포설하여 선행압밀하중에 의하여 압밀을 유도하므로써 지반의 간극비를 감소시키면서 그에 따른 전단강도 증가효과를 얻을 수 있는 공법으로 알려져 있다. 따라서 이와같은 경우를 연약한 하부점토지반에 등분포의 상재하중이 작용하는 상황으로 정형화시킬 수 있으며, 이러한 현상용력 상태를 축소된 모형을 사용하여 정확히 재현함과 동시에 소요 압밀시간을 급격히 감소시킬

\* 강원대학교 토목공학과 부 교 수  
\*\* 강원대학교 토목공학과 박사수료  
\*\*\* 강원대학교 토목공학과 박사과정

수 있는 원심모형실험의 수행이 절실히 요구되는 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 원심모형실험 장치를 사용하여 등분포 상재하중 상태의 연약지반의 일차원 압밀거동에 관한 실험을 수행하고 그의 결과를 유한변형을 압밀이론을 사용하여 분석을 실시함으로써 각각의 조건하에서 원심모형실험의 타당성 검증과 함께 유한변형을 압밀이론의 타당성 및 유효성을 검토하고자 한다.

## 2. 실험내용

본 연구에 사용된 해성점토는 부산 가덕도 인근의 해안에서 교란된 상태로 채취한 해성점토로서 기본물성은 <Table 1>에 나타난 바와 같으며, 연약지반 위에 가해진 상재하중은 주문진 표준사를 사용하여 포설하였으며 그 물리적 특성은 아래와 같다.

Table 3. 시료의 기본물성

점토의 기본물성				
비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수	통일분류법
2.707	39.58	21.32	18.26	CL
주문진 표준사의 물리적 특성				
비중	최대건조밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	최소건조밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	최대간극비	최소간극비
2.6	1.682	1.384	0.879	0.546

### 2.1 원심모형실험

원심모형 실험은 실내에서 축소된 모형을 사용하여 인위적으로 모형을 가속시킴에 따라 토립자의 자중을 증가시켜 현장상태의 응력을 재현시킴으로써, 현장 응력상태에서 경제적으로 실험을 수행할 수 있는 효율적인 실험기법이다. 따라서, 강원대학교에 설치되어 있는 원심모형기를 사용하여 <Table 2>에 나타난 바와 같이 실험을 실시하였다.

상재하중하의 연약점토의 일차원 압밀거동에 관한 원심모형실험을 수행하기 위하여 원형의 Acryllite Cylinder를 원심모형시험기의 회전 바스켓에 장착하여 시험을 수행하였다. 원심모형시험기의 중앙상판에 장착되어있는 Still Camera와 Video Camera를 이용하여 회전 바스켓에 장착되

어 있는 반사경에 비추어진 모형토조의 궤면을 관찰하므로써 모형지반의 지속적인 시간경과에 따른 압밀침하량을 관찰할 수 있도록 하였다. 한편, 깊이 따른 과잉간극수압의 변화를 측정 및 관찰하기 위하여 토조의 측면에 단자를 설치하여 간극수압계와 연결하여 변화를 확인하였으며, 실험종료후 모형지반의 깊이에 따른 간극비의 분포를 확인하기 위하여 시료 추출기를 사용하여 모형지반의 시료를 추출하여 일정한 간격으로 절단한후 함수비를 측정하므로써 그에 대응하는 간극비를 산정하여 깊이별 간극비 분포를 확인하였다.

실험조건은 <Table 2>에 나타난 바와 같이 여러변수를 사용하여 수행하였으며, 연약지반위에 가하는 상재하중은 양질의 주문진 표준사를 일정한 높이로 성토시키고 가속시킴에 따라 현장과 유사한 상태에서 성토층에 의한 상재하중으로 재현하였으며, 성토층 높이를 각각 3cm와 7cm로 변화시키면서 실험을 수행함에 따라 상재하중의 크기 변화에 따른 압밀거동을 확인할 수 있었다.

또한 연약지반 준설매립 현장에서는 연약점토를 준설하고 현장매립을 실시한후 소정의 기간동안 준설매립토의 자중압밀을 유도하기 위하여 현장방치를 실시하는 것이 일반적인 경향인데, 이와같은 자중압밀에 의한 간극비 감소는 소정의 전단저항력의 발현과, 점토 상부에 양질의 사질토 포설에 따른 소요지내력 및 사면 안정성 증진에 기여할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이러한 준설-매립-성토의 연약지반 처리과정을 원심모형시험기에서 재현하기 위하여 모형지반 성형후 2시간 동안 자중압밀을 유도한후 원심모형시험기를 정지하여 모형 성토지반을 성형하여 상재하중을 가한 후, 다시 원심모형시험기를 가속시킴으로써 상재하중이 연약점토 지반의 일차원 압밀거동에 미치는 영향에 관하여 조사연구를 수행하였다.

Table 4. 원심모형실험조건

	원형토조
초기간극비	1.61
초기함수비 (%)	59.48
경계조건	일면배수
시료높이 (cm)	8
중력수준 (G-Level)	30
	40
성토높이 (cm)	3
	7
점중하중 (성토높이=3cm)	2 Hour

### 3. 실험결과 및 분석

압밀진행 상황을 알 수 있는 대표적인 변수의 계측을 실시한후 유한변형률 압밀이론을 사용한 유한차분의 수치해석 방법을 이용하여 실험결과를 분석정리하였다. 한편, 수치해석에 요구되는 기본 입력자료는 원심모형실험에 선행하여 수행한 표준 압밀실험 및 변형된 압밀실험, 일정변형률 압밀실험등에 의하여 획득한 간극비-유효응력, 간극비-투수계수의 구성관계식을 바탕으로 사용하였다.

#### 3.1 시간 - 압밀침하량

실험에서 모형지반의 압밀침하량은 Still Camera의 사진촬영 결과관독과 병행하여 Video Camera의 녹화 결과분석에 따라 결정하였다.

Fig. 1은 성토모형 높이를 3cm로 하고, 중력수준을 30G로 유지한 상태에서 얻은 실험결과로 현장상태의 성토높이는 상사법칙에 의해 90cm (=3×30G)가 됨을 알 수 있다. 도시한 결과에서 시간의 수평축은 원심모형실험에서 적용되는 시간에 대한 상사법칙에 의거하여 원형상태의 시간축(=  $N^2t$ ; 여기서 N=중력수준, t=모형실험에서의 경과시간)으로 도시하였으며, 압밀침하량도 이에 대응하여 원형상태의 침하량(=  $N\Delta H$ , 여기서 N=중력수준,  $\Delta H$ =모형실험에서의 침하량)으로 환산하여 도시하였다. 한편, 수치해석은 유한변형률 압밀이론에 의거한 수치해석을 수행하여 실험결과와 비교 도시하였다. 그림에서 보는 바와같이 실험결과와 수치해석 결과가 서로 매우 근접하고 있음을 알 수 있다.

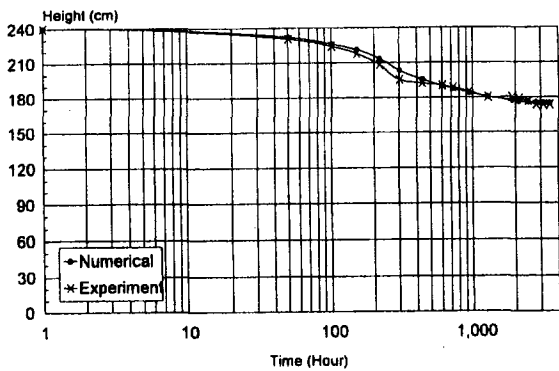


Fig. 1 시간 - 침하곡선  
(성토모형 높이=3cm, 중력수준=30G)

Fig. 2는 Fig. 1과 비교하여 불 때 동일한 모형 성토높이(= 3cm)에서 중력수준을 30G에서 40G로 증가시켜서 수행한 실험결과로 Fig. 1에 비하여 동일한 경과시간에 대하여 압밀침하량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이와같은 경향으로 압밀이 완료되었을 것으로 예상되는 최종침하량 값이 30G실험 보다 40G 실험에서 증가하고 있음을 알 수 있다. 한편, 실험결과를 유한변형률 압밀이론에 의한 수치해석과 비교하여 불 때 상호 매우 근접하고 있음을 알 수 있다.

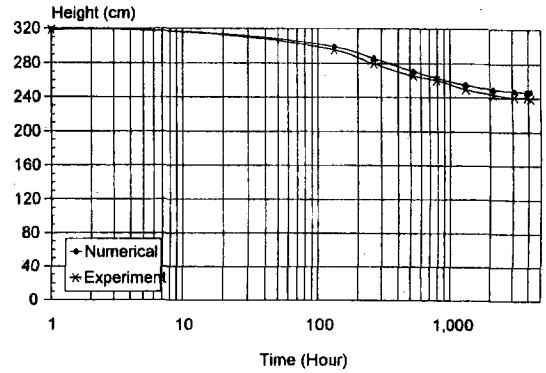


Fig. 2 시간 - 침하곡선  
(성토모형 높이=3cm, 중력수준=40G)

Fig. 3과 Fig. 4는 성토모형 높이를 7cm로 유지하고 중력수준을 각각 30G와 40G로 변화시켜서 수행한 실험결과를 나타내고 있다. 그림에서 보인 바와같이 동일한 성토모형 상태에서 중력수준의 증가에 따라 침하량이 커지고 있음을 알 수 있으며 Fig. 1과 Fig.2에서 성토높이를 3cm로 유지 하였을때와 비교하여 보면 성토높이의 증가에 따라 압밀침하량이 증가하는 경향을 확실히 알 수 있다.

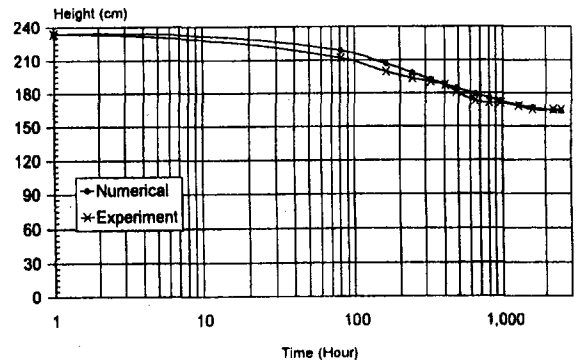


Fig. 3 시간 - 침하곡선  
(성토모형 높이=7cm, 중력수준=30G)

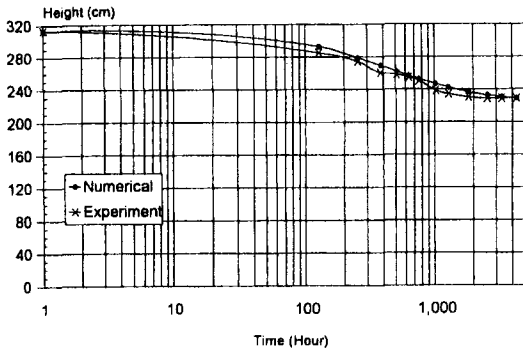


Fig. 4 시간 - 침하곡선  
(성토모형 높이=7cm, 중력수준=40G)

한편, 실험결과를 유한변형률 압밀이론에 의한 수치해석과 비교하여 볼 때 그의 비교결과가 상호 상당히 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 유한변형률 압밀이론에 의한 수치해석이 연약점토지반의 상재 성토하중에 의한 압밀침하량 추정에 상당히 타당성 있음을 알 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 가능한 현장시공 상태를 재현하기 위한 실험결과인데, Fig. 5는 2시간 동안 30G의 중력수준에서 자중압밀을 수행하였을 때 자중압밀에 의한 모형 연약지반의 시간경과에 따른 압밀침하량을 나타낸 것으로 유한 변형률 압밀이론에 의한 수치해석과 비교해 볼때 매우 근접하고 있음을 알 수 있다. 모형실험상의 압밀시간 2시간은 30G의 중력수준에서는 현장상태의 1,800시간(=  $2 \times 30^2$ )임을 알 수 있다. 한편, Fig. 6은 2시간의 자중압밀 유도후 원심모형시험기를 감속 정지한 후 성토 모형높이 3cm를 실시한후 다시 원심모형 시험기

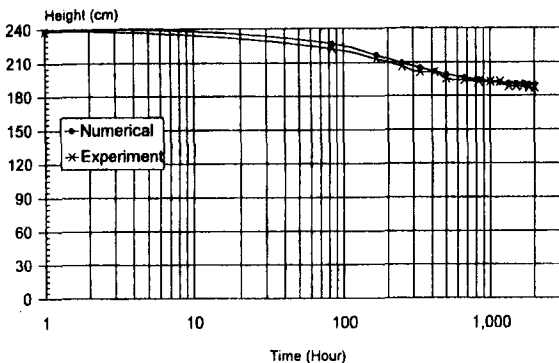


Fig. 5 시간 - 침하곡선  
(원형자중압밀=1800시간, 30G)

를 30G로 가속시켰을 때 상재하중에 의한 압밀침하량의 변화를 나타내고 있으며, 수치해석을 실시하여 비교하여 본 결과 매우 일치하고 있음을 알 수 있다.

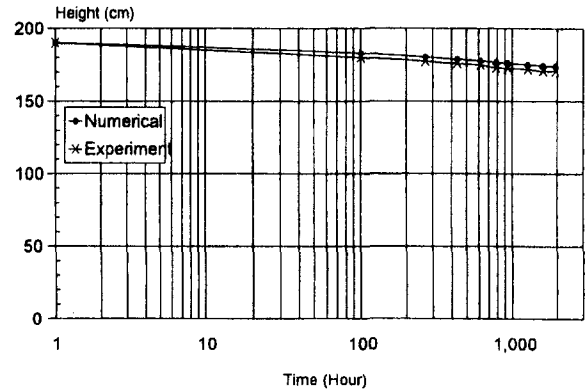


Fig. 6 시간- 침하곡선  
(점증하중, 성토모형 높이=3cm, 30G)

### 3.2 과잉간극수압 분포

실험동안 점토의 상재하중에 의한 응력에 의하여 발생하는 과잉간극수압은 토조의 저면에서 측정하였으며, 이러한 설치위치는 원심모형실험시의 상사법칙에 의하여 현장의 점토지반에서는 30G인 경우,  $8\text{cm} \times 30\text{G} = 240\text{cm}$ , 즉 2.4m에 해당하는 현장 측정위치가 된다.

Fig. 7은 모형지반 저면에 위치한 간극수압계에서 측정된 값과 유한변형률 압밀이론에 의한 수치해석결과를 비교 도시한 것으로서, 수평축은 경과시간을 나타내며 수직축은 과잉간극수압의 크기를 나타낸다. 실측한 과잉간극수압 분포는 초기상태에서는 이론치보다 크게 나타나고 있으나 시간이 경과할수록 예측치보다 과잉간극수압 소산속도가 급격히 빨라지고 있음을 알 수 있다. 한편, 초기상태에서 측정된 간극수압이 불안정한 상태를 보이고 있음을 알 수 있으며, 과잉간극수압이 소산되는 속도 및 크기는 시간경과에 따라 이론치와 실측치가 상호 접근하고 있음을 알 수 있다. 이와같은 과잉간극수압에 관한 실측은 모형지반 성형당시 상부 모래층의 하부와 하부 연약점토층의 상부 사이의 경계면에 수위를 일치한 상태에서 원심모형실험을 수행하고 실험수행 동안에는 하부 연약지반의 압밀진행에 따라서 건조한 상태의 상부 모래층이 점진적으로 포화상태에 이루어 되어 모래층의 상부가

수위 아래로 내려 갔을 때 완전 포화상태로 모래층에 의한 연약점토 지반층에 작용하는 유효응력의 크기가 시간경과에 따라서 변화할 수 있음을 알 수 있다. 시험초기 상태는 상부 모래층이 건조상태의 유효응력으로 작용하나 시간경과에 따라 수중단위중량에 의한 유효응력 감소가 예측된다. 그러나, 수치해석에서는 일정한 값의 상재 유효응력을 적용시킴에 따라서 그와같은 해석조건과 실험조건과의 불일치에 의하여 서로다른 결과가 도출된 것으로 판단된다. 특히 실험초기 상태의 실측자료의 불안정한 분포는 상부 모래층의 점진적인 포화 및 모래시료와 원형 모형토조의 측벽과의 마찰에 의한 상재 유효응력의 부분적인 변화에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 시험초기에 실측자료의 불안정한 상태를 알 수 있으나, 전반적으로 시간경과에 따라 수치해석 결과에 수렴하고 있음을 알 수 있다.

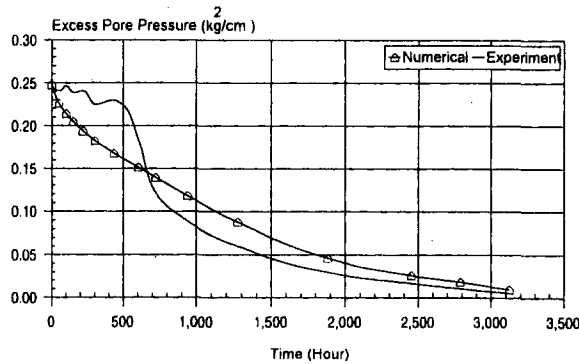


Fig. 7 시간-과잉간극수압 관계  
(성토높이=3cm, 30G, 측정깊이 H=2.4m)

Fig. 8은 사질토의 성토높이를 3cm로 포설하고 중력수준 40G인 경우에 저면 8cm(현장측정 깊이 3.2m)의 일면배수 조건에서 실험을 수행한 결과이다. Fig. 7과 비교하여 유사한 실험결과이나 중력수준이 증가함에 따라서 시료초기 과잉간극수압의 불안정이 감소되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 사질토의 성토높이를 7cm로 포설하고 30G와 40G의 중력수준을 가하여 실험을 수행한 결과이다. Fig. 7의 결과와 유사하게 30G 상태에서는 실험초기에 시료의 불안정이 일관성있게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 전술에서 언급했듯이 실험초기 상태의 실측자료의 불안정한 분포는 상부 모래층의 점진적인 포화 및 모래시료와 원형 모형토조의 측벽과의 마찰에 의한 상재 유효응력의

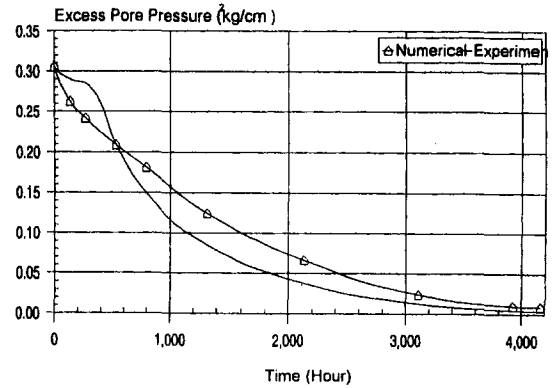


Fig. 8 시간-과잉간극수압 관계  
(성토높이=3cm, 40G, 측정깊이 H=3.2m)

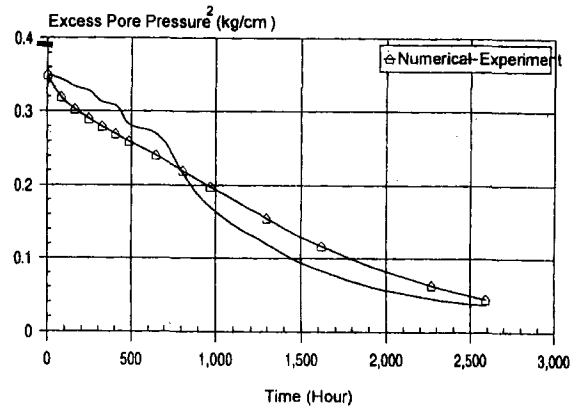


Fig. 9 시간-과잉간극수압 관계  
(성토높이=7cm, 30G, 측정깊이 H=2.4m)

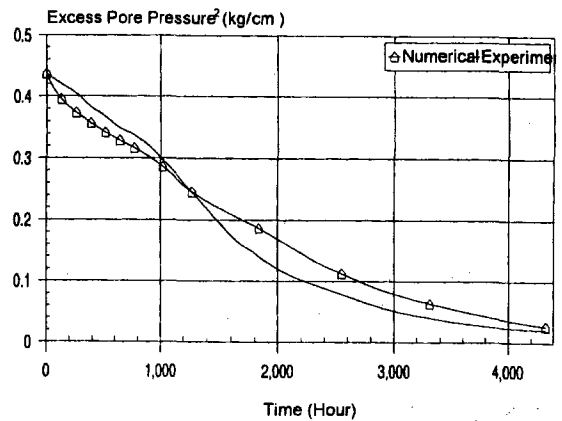


Fig. 10 시간-과잉간극수압 관계  
(성토높이=7cm, 40G, 측정깊이 H=3.2m)

부분적인 변화에 기인한 것으로 판단된다. Fig. 10의 40G 상태에서는 30G상태와 비교하여 실험치와 예측치가 상당히 근접하고 있으며 특히 상재하중의 크기가 3cm에서 7cm로 증가함에 따라서 그의 효과가 커지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11은 현장의 시공과정을 재현하기 위한 실험 결과로 첫단계를 시료성형후 원심모형시험기에 의하여 토립자의 자중에 의한 압밀을 2시간 유도한 후 원심모형시험기를 감속하여 정지시킨 후 주문진 표준사를 포설한 후 다시 원심모형시험기에서 가속을 시킴으로써 상재하중을 가한 것을 재현시킨 실험이다. 이와같은 시공과정을 겪은 원심모형 실험과 수치해석을 수행한 결과가 서로 매우 근접하고 있음을 알 수 있다. 이와같은 실험을 통하여 정확한 현장조건의 재현은 자중에 의한 압밀을 원심모형시험기에 의한 가속을 통하여 유도한 후 그와같은 지속적인 가속상태에서 모래를 포설하므로써 정확한 현장상태를 재현할 수 있으나, 실험장비의 제한으로 그와같은 실험의 수행이 불가능하여 본 실험 방법을 사용한바 해석결과와 매우 근접하고 있음을 볼 때 본 실험방법이 유효성이 있음을 알 수 있다. 그러나, 이와같은 실험방법은 원심모형시험기를 실험 도중에 감속, 방치, 재가속에 따른 과잉간극수압의 소산 및 간극비의 변화가 예상되므로 보다 다양한 조건에서의 실험수행으로 그의 유효성을 재검증할 필요성이 있다.

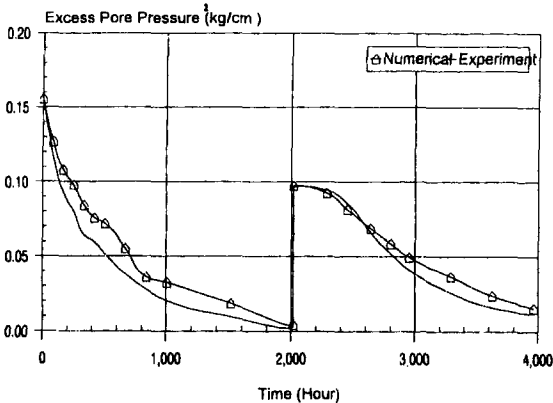


Fig. 11 시간-과잉간극수압 관계  
(점중하중=2시간, 30G, H=2.4m)

### 3.3 최종간극비 분포

원심모형시험기를 사용하여 상재하중 및 연약지반의 자중에 의하여 연약점토 모형지반의 압밀을 완료한후 그의 깊이에 따른 간극비 분포를 구하기

위하여 시료를 채취하였다. 실험완료후 모형토조 내의 물을 시료가 교란되지 않도록 제거한후 원형 실린더의 시료추출기를 사용하여 시료를 채취한후, 시료의 임의의 단면을 5개 부분으로 얇게 절단하여 각 부분의 함수비를 측정하므로써 간극비 분포를 간접적으로 구할 수 있었으며, 실험결과를 수치해석과 비교 검토하여 분석을 수행하였다.

Fig. 12는 초기간극비  $e_0=1.61$ , 중력수준 30G, 연약점토 상부의 성토높이 3cm, 시료의 상부로만 배수를 유도한 일면 배수조건에서 실시한 원심모형 실험 완료후 측정간극비 분포와 수치해석을 통하여 얻은 계산결과를 비교한 것이다. 그림에서 수평축은 간극비 크기를 나타내며, 연직축은 시료의 높이에 대하여 무차원화를 실시하여 도시한 것이다. 도시한바와 같이 시료의 상부에서는 수치해석 결과보다 작은값을 나타내고 있으며 하부에서는 그 반대의 결과를 보여주고 있다. 그러나, 전반적으로 비교적 유사한 결과를 보여주고 있으며, 상재하중하에서 압밀이 진행되면 최종 압밀완료후 동일한 간극비 분포가 깊이에 대하여 예상되나 본 실험에서는 상재하중과 시료의 자중의 압밀효과가 원심모형실험 동안 재현되므로 깊이에 따라 간극비 분포의 감소가 예상된다.

한편, 하중을 가하지 않은 자중압밀일때와 상재하중을 재하했을때의 간극비 분포를 비교해보면 상재하중의 효과로 간극비 분포가 큰 폭으로 감소함을 알 수 있다. Fig. 13은 Fig. 12와 비교하여 볼 때 중력수준을 30G에서 40G로 상승하여 실험을 수행한 것으로 실험치와 예측치가 상당히 유사한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 한편, Fig. 12와 비교하여 볼 때 중력수준을 증가시키에 따라서 최종간극비가 감소하고 있음을 알 수 있다. 그림에서 본바와 같이 시료 상부의 간극비 감소변화가 하부에 비하여 심함을 알 수 있다. 이것은 시료 상부에서는 자중효과가 고려되지 않았으므로 높은 간극비를 유지하는 것이 중력수준 증가에 따라 그의 효과가 나타나고 있음을 알 수 있다. 상재하중의 효과로 자중압밀일 때 보다 상재하중 재하시 간극비 분포가 작은 값으로 나타냄을 볼 수 있다.

Fig. 14와 Fig. 15는 상재하중의 성토높이를 7cm로 하고 중력수준을 30G와 40G로 가하여 수행한 실험결과이다. 전술한 바와같이 중력수준이 증가할수록, 성토시료 높이가 3cm에서 7cm로 증가할수록, 그리고 상재하중의 효과로 자중압밀일 때 보다 상재하중 재하시 간극비 분포가 감소되는 경향을 나타내고 있다.

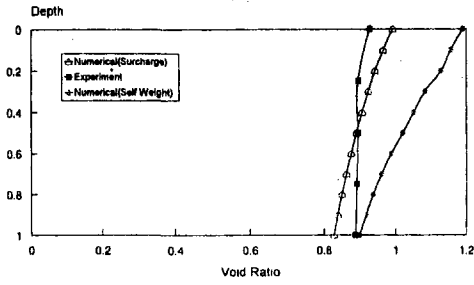


Fig. 12 최종간극비 분포  
(성토높이=3cm, 30G)

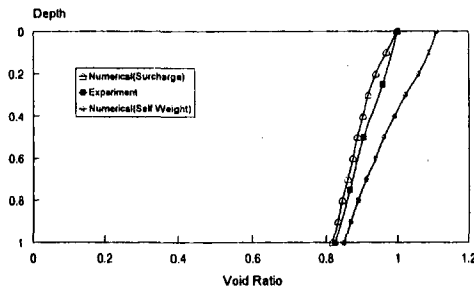


Fig. 13 최종간극비 분포  
(성토높이=3cm, 40G)

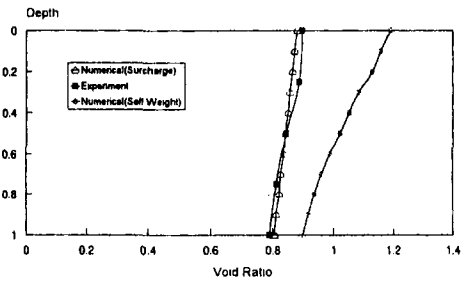


Fig. 14 최종간극비 분포  
(성토높이=7cm, 30G)

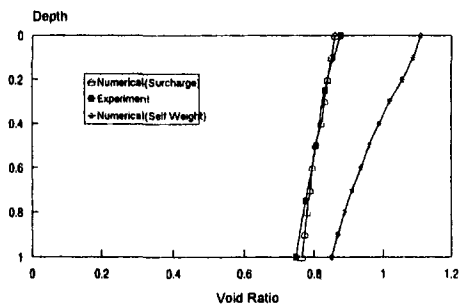


Fig. 15 최종간극비 분포  
(성토높이=7cm, 40G)

Fig. 16은 현장의 시공과정을 재현하기 위한 실험 결과로 시료성형후 원심모형시험기에 의하여 중력수준 30G로 토립자의 자중에 의한 압밀을 2시간 유도한 후 원심모형시험기를 감속하여 정지시킨 후 주문진 표준사를 포설하고 다시 원심모형시험기에서 중력수준 30G로 가속을 시킴으로써 상재하중을 가한 실험완료후 간극비를 측정하는 것이다. 자중압밀에 의한 효과로 실험치가 Fig. 12와 비교해볼 때 간극비가 감소되었음을 볼 수 있으며, 비교적 수치해석과 유사함을 나타낸다.

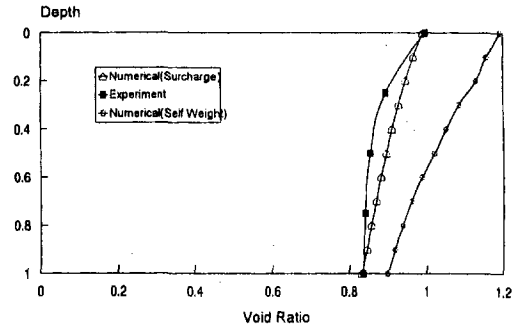


Fig. 16 최종간극비 분포  
(점증하중=2시간, 성토높이=3cm, 30G)

#### 4. 결 론

원심모형시험기를 이용하여 상재하중하의 연약해성점토의 압밀 효과를 재현시키기 위한 실내 모형실험을 수행하고 유한변형률 압밀이론에 의한 수치해석 기법을 사용하여 실험결과를 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

시료에 가하여진 중력수준과 상재하중의 크기를 변화시킨 모형실험결과, 중력수준과 상재하중이 증가할수록 압밀속도 및 최종침하량이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.

초기의 불안정한 과잉간극수압의 측정은 건조한 상부층 모래의 연약점토지반의 압밀침하에 따른 포화도의 증가로 인한 연직유효응력의 변화로 판단된다. 한편, 단계별 성토하중 상태의 현장시공 과정 재현을 위한 원심모형실험 수행이 부분적으로 가능함을 확인할 수 있었으며, 원심모형실험 결과를 유한변형률 압밀이론에 의한 수치해석을 사용하여 비교한 결과 침하량 변화 및 깊이에 따른 간극비 분포변화에 대하여 매우 일치하고 있음을 확인하므로써 유한변형률 압밀이론의 적용타당성을 검증하였다.

## 참고문헌

1. Blooquist D. G., and Townsend F. C.(1984), "Centrifugal Modeling of Phosphatic Clay Consolidation", *Sedimentation/Consolidation Models*, pp. 565-580
2. Davis M. C. R., Almeida M. S. S. and Gunn M. J.(1990), "Centrifuge Evaluation of Numerical Model for Clay", *Geotechnical Engineering*, Vol. 116, No.4, pp. 721-724
3. Dobroslav Znidarcic and Schiffman R. E. (1983), "Finite Strain Consolidation : Test Conditions", pp. 684-688
4. Gibson, R. E., England, G. L. and Hussey, M. J. L.(1967). " The Theory of One - Dimensional Consolidation of Saturated Clay 1. Finite Non-Linear Consolidation of Thin Homogeneous layers" , *Geotechnique*, 17, pp. 261 - 273.
5. Ko, H. - Y.(1988), "Summary of the state-of-the-art in Centrifuge Model Testing", *Centrifuges in Soil Mechanics*, pp. 11-18
6. Lin, T. W. and Lohnes, R. A.(1984), "Sedimentation and Self Weight Consolidation of Dredge Soil", *Sedimentation /Consolidation Models*, pp. 446-464
7. McVay, M. F. Townsend & D. Bloomquist 1986. "Quiescent consolidation of phosphatic waste clays." *J. Geot. Eng'g A.S.C.E.* 112: 1033-1049.
8. Mikasa, M., 1965. "The consolidation of soft clay: a new consolidation theory and its application." *Japanese Soc. civil Eng.* (reprint from *Civil Engineering in Japan* 1965).
9. Schiffman, R. L., V. Szavits-Nossan & J.M. McArthur 1992. "ACCUMV - One-dimensional finite strain consolidation. The Bechtel Computer-Aided Design Lab." University of Colorado at Boulder, U.S.A.