

원심모형실험을 이용한 경량포장체의 거동특성

김성겸¹, 이관호^{1*}

¹공주대학교 건설환경학부

Behavior characteristics of Light-Weight Pavement Using Centrifuge Test

Seong-Kyum Kim¹ and Kwan-Ho Lee^{1*}

¹Dept. of Civil Engineering, Kongju National University

요 약 일반적으로 국내에서의 경량기포콘크리트는 건축용 온도구조용 단열재나 토목용 폐공 채움재, 터널의 뒤채움재 등으로 사용되고 있으며 기타 사무실 바닥 충전재, 경량블록제조 등으로 사용되어지고 있다. 이러한 경량기포콘크리트의 사용범위를 확대하여 연약지반에 도로건설시 등간격으로 말뚝을 설치하여 기층으로 사용하는 공법을 연구 중에 있다. 본 연구에서는 경량포장체의 연약지반에서의 거동 특성을 분석하기위해 지오센트리퓨지 시험을 이용하였다. 실제 포장체를 1/30로 축소한 슬래브 형태의 모형을 카올리나이트로 조성된 연약지반에서 시험을 실시하였다. 말뚝 배열은 무리말뚝(36본 3×12)로 제작하여 사용하였다. 시험 중력 레벨은 실중력의 30배로 원심력을 작용하여 실험 하였으며 이때 작용하는 경량포장체 모형의 거동특성을 바탕으로 실제 경량포장체의 거동특성을 추정하였다. FMA 해석결과 10배인 39.4kg(실제 하중35ton)의 횡하중을 가했을 경우 7.8mm(실제 거동 23.4mm)의 미세한 거동만 있었다.

Abstract In general, Korean Lightweight Concrete used Heat insulating material for building and filler for civil construction, backfill material for tunnel, office floor fillers, lightweight blocks and so on. These expand the range of use ALC(autoclaved lightweight concrete) on the soft-ground at regular intervals during road construction by installing piles used as substrates for the process is under study. In this study, behavior characteristics on the soft-ground of pavement analysis was used to test the geo-Centrifuge. Prototype pavement reduced to 1/30 slab form of the composition as kaolinite model tests were conducted in the soft ground. Pile Arrangement (having 36 component pile with an array of 3 × 12) was used to group of piles. Tests of gravity 30 level the centrifugal force acting Light-weight pavement models. Based on the Prototype pavement of the behavior characteristics of pavement behavior characteristics were estimated. FMA analysis of the 10 times as big 39.4kg (actual load 35 ton) of the lateral load is applied to the case 7.8mm (actual behavior 23.4mm) behavior was fine.

Key Words : Behavior characteristics, Centrifuge, Light-Weight Pavement, Model test, Soft ground

1. 서론

일반적으로 연약지반에 대한 처리공법으로 연약 층의 제거하는 치환공법, 연약 점성토층의 압밀공법, 전기 및 화학적 고결공법 등이 제안되었으나 장기간에 걸친 공사 기간이나 막대한 공사비의 소요 등의 문제점을 안고 있

어 별다른 해결책을 찾지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 연약지반 도로 통과 공법으로 경량기포콘크리트를 이용한 말뚝지지전면기초 공법을 이용하여 차량반복하중이 연약지반에 전달되지 않고 말뚝을 통해 견고한 하부에 지지되는 방안을 연구하였다. 대규모 구조물의 기초로써 자주 적용되는 말뚝지지전면기초는 무리말뚝기초에 의한

본 논문은 국토해양부 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Kwan-Ho Lee(Kongju Univ.)

Tel: +82-41-521-9313 email: kholee@kongju.ac.kr

Received September 17, 2013 Revised October 7, 2013

Accepted October 10, 2013

지지력과 전면 기초(말뚝 캡)에 의한 지지력 증가 및 침하량 억제 효과를 함께 설계에 적용할 수 있는 경제적인 기초형식이다. 이러한 기초형식을 기반으로 연약지반 도로건설에 적용하므로써 시공 기간 단축 및 연약지반 처리비 과다문제 해결, 연약지반 처리공법 이후 잔류침하로 인한 도로파손 및 유지관리 비용 해결이라는 장점을 기대할 수 있다.

경량기포콘크리트에 대한 연구는 선진 각국에서는 이미 상당한 수준의 연구 성과가 있어서 단일 및 방음 등의 비구조용 콘크리트로서의 이용뿐만 아니라 경량성토재료로서 활용의 폭을 넓혀 가고 있는 추세이다.

또한 Piled-raft 기초시스템은 말뚝과 raft를 일체화시킨 기초시스템으로 raft는 상부의 하중을 분산시키는 역할을 하며, 말뚝은 raft의 과도한 침하를 억제하는 상호보완적인 역할을 한다. 깊은 기초설계에 비해 경제적인 설계가 가능하지만 국내의 경우는 설계기준이 명확하지 않아서 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

Horikoshi and Randolph(1996) 및 Conte et al.(2003)은 원심모형실험을 적용한 말뚝지지 전면기초 하중재하시험을 수행하였으며, 점성토지반에서의 상호작용 특성을 분석하였다. Sanctis and Mandolini(2006) 및 Lee and Jeong(2007)은 수치해석을 통하여 점성토지반에서의 말뚝지지 전면기초 거동특성을 분석하였으며, 말뚝기초 - 지반 - 전면기초(말뚝 캡)의 상호작용에 따른 하중분담 특성 및 상호작용 영향계수를 제안하였다. Lee et al.(2007)은 무리말뚝기초에서의 변위장 중첩 및 말뚝기초-지반-전면기초의 상호작용을 반영한 말뚝지지 전면기초 근사설계 프로그램을 개발하였으며, Park et al.(2009)는 원심모형실험을 통하여 점성토지반에서의 말뚝지지 전면기초 하중 부담률을 분석하였다. 그러나 점성토지반에서의 말뚝지지전면기초 상호작용 분석에 있어 실험조건인 구형, 하중 재하 장치 및 지반조성 등의 한계성에 기인하여 원심모형실험을 적용한 제한적인 실험 사례를 기준으로 분석이 이루어져 왔다. 따라서 점성토지반에서의 전면기초의 하중-침하 특성 불분명하며 계속적인 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 지오센트리퓨지를 이용하여 연약지반에서의 경량포장체모형의 거동 특성을 평가하였다.

2. 원심모형실험 개요 및 절차

일반적으로 원심모형실험기라하며 흔히 Beam 또는 Drum형태의 실험기로 구분된다. 원심모형시험기의 사양을 결정하는 주요 요소로는 회전반경과 장비의 용량이 있으며 기본개념은 지반구조물 모형을 $1/N$ 크기로 축소시

키고 중력가속도의 N 배로 가속시킴으로써 지반 깊이별 응력상태를 원형에 가깝게 모사함에 있다.



[Fig. 1] KOCED Geo-Centrifuge facility

본 연구는 KAIST(Korea Advanced Institute of Science and Technology)에 위치한 지오센트리퓨지 실험센터에서 동적 원심 모형 시험기를 이용하여 원심가속도 30g 조건에서 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 모형 토조는 원통형로서 모형 토조의 크기는 지름 90cm, 높이 75cm 이며 지반조건은 연약지반을 모사하여 모델링하였으며 말뚝의 선단지지를 위하여 하부에는 모래질 지반으로 모델링하여 말뚝을 지지하였다. 또한 실제 경량포장체(알루미늄슬래브)에 차량하중에 의해 침하되는 현상과 차량에 의한 횡방향 하중을 재현하고자 수행가속도 30g에서 1시간 이상가속도 유지 후 횡방향 하중을 재하 하였다.

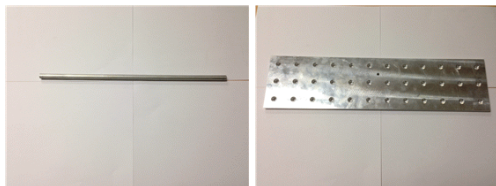
3. 모델링 조건 및 원심모형 시험

3.1 포장체 모델링

실제 규모에서의 말뚝기초의 역학적 거동을 실험에 반영하기 위해 Table 1와 같이 원심모형시험 상사비를 적용하여 모형말뚝과 모형 경량포장체를 제작하였으며, 실험수행 가속도인 30g를 기준으로 역학적 상사비를 적용하여 원심모형실험에 반영하였다. 각각의 실험에서 적용된 모형은 알루미늄 합금(Aluminum alloy)를 적용하여 제작하였으며 모형말뚝은 외경 10mm, 내경 8mm, 길이 370mm의 중공관으로 제작하여 30g 실험조건에서 길이 11.1m, 외경 300mm의 PHC말뚝 특성을 실험에 반영되도록 하였고, 모형포장체 장방향 길이 480mm, 단방향 길이 120mm 무게 1.2kg의 슬래브형태에 말뚝모형을 연결할 수 있는 구멍을 만들어 제작하여 30g 실험조건에서 도로폭 3.6 m, 도로길이 14.4 m, 포장두께 0.35 m(경량콘크리트포장:0.3 m, 아스팔트표층:0.05 m), 경량포장체 무게 25.7t의 기포콘크리트를 이용한 경량포장체 특성을 실험에 반영하였다.

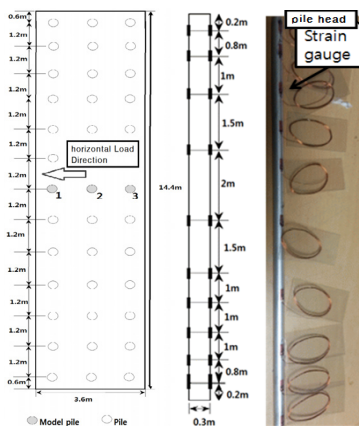
[Table 1] Similarity relationships at centrifuge test.

Quantity	Scaling Factor	Quantity	Scaling Factor
Stress	1	Force	$1/N^2$
Mass density	1	Volume	$1/N^3$
Length	$1/N$	Time (Diffusion)	$1/N^2$
Acceleration	N	Energy Density	1
Strain	1	Frequency	N



[Fig. 2] Model pile & pavement slab

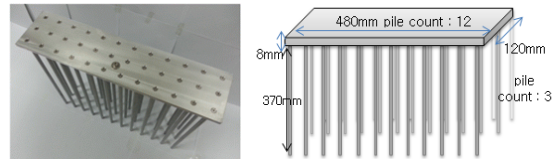
제작이 완료된 두 모형을 결합하여 하나의 포장체 구 조물로 제작하였으며, 말뚝 간격은 40mm로 제작하여 30g 조건에서 말뚝기초 간격 1.2m(4D; D=0.3m) 12×3 배열의 36개 말뚝기초의 거동이 반영되도록 하였다. 말뚝 기초의 경우 370mm의 길이로 제작하여 점토지반 근입조건(250mm)와 조밀한 모래지반 근입조건(120mm)를 적용하여 실험 수행하였다.



[Fig. 3] Model pile and Configuration of model pile at piled ratf

말뚝지지 전면기초내의 무리말뚝기초에는 Fig. 3의 (좌)와 같이 제작된 센서말뚝기초를 설치하였으며, 말뚝

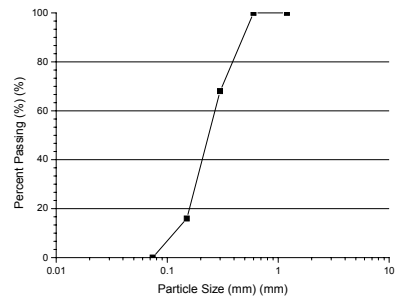
기초 벽면에 변형율계(Strain gauge)를 부착하여 재하하 중 단계에 따른 하중-전이 특성을 분석할 수 있도록 하였다. 변형율계를 부착한 말뚝은 Fig. 3의(우)와 같이 1~6 층 6개의 말뚝을 설치하였으며 횡하중 작용 시 변위 분석 하였다. 최종적으로 완성된 알루미늄 포장체 모형은 그림 Fig. 4와 같다.



[Fig. 4] Model Pavement

3.2 지반 모델링

모형 지반은 두 개의 층으로 구성을 실시하였다. Hammer Crusher 공정에 의해 인공적으로 생산한 규사와 분말성분의 카올리나이트(Kaolinite)를 이용하여 조성하였으며 사용된 규사의 입도분포 곡선 및 물리적 특성을 Fig. 5과 Table 2에 각각 나타내었다. 본 연구에서 사용된 규사는 소성지수(PI)가 0인 모래로서, 평균입경(D_{50})이 약 0.22mm, 균등계수(C_u)가 1.96으로 통일 분류법에 의해 SP로 분류된다.



[Fig. 5] Grading Curve of Quartz Sand

[Table 2] Properties of Quartz Sand

USCS	Plasticity index (PI)	D_{50} (mm)	Coefficient of curvature (C_c)	Coefficient of Uniformity (C_u)	specific gravity (Gs)	$\gamma_{d, \max}$ (kN/m ³)	$\gamma_{d, \min}$ (kN/m ³)
SP	NP	0.22	1.11	1.96	2.65	16.45	12.44

점토지반 조성은 카올리나이트와 물을 혼합하여 인공적으로 조성하였으며, 사용한 카올리나이트는 정제된 완상의 결정 구조를 가진 분말 형태의 제품으로 소성지수

(PI)=34.5, 통일 분류법 상의 기준에서 CH로 자세한 기본 물성은 Table 3과 같다.

[Table 3] Properties of Kaolinite

USCS	Plasticity index (PI)	specific weight	Chemical composition
CH	34.5	16.5	SiO ₂ 51.3%, Al ₂ O ₃ 38.2%, Fe ₂ O ₃ 0.51%, TiO ₂ 0.45%, CaO 0.13%, MgO 0.06%, K ₂ O 0.7%, Na ₂ O 0.12%, Lg. Loss 0.12%

1차적으로 모형토조에 150mm 모래층 타설 후 나무판과 고무망치를 이용하여 상대밀도 80%이상의 지반을 조성하였다. 이는 말뚝 관입하였을 때 선단지지를 모사하여 설치한 지반층이다.



[Fig. 6] Clay mixer

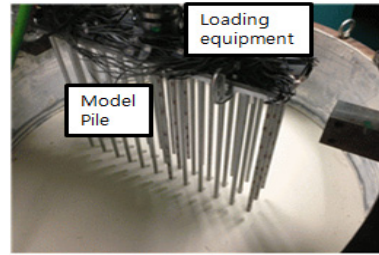


[Fig. 7] Preconsolidation of clay slurry

2차적인 점토지반조성에 있어 균질한 성분조성을 위해 동일한 함수비(120%) 조건으로 분말형태의 점토와 물을 교반기를 통하여 점토슬러리를 조성하였으며, 완전포화 된 점성토지반의 구현을 위해 Fig. 5와 같이 진공(Vaccum)장치가 설치된 점토 교반기(Clay mixer)를 사용하였다. Fig. 7에서와 같이 일축 압밀기를 사용하여 점성토지반(선형압밀하중: 30kPa로 일주일간 경과)으로 조성하였다. 또한 점성토지반의 압밀에 있어 원형토조의 벽면, 아랫면, 윗면에 배수재 및 배수층을 설치하여 점토슬러리의 배수가 원활하도록 하였으며, 충분한 시간간격을 두고 점차적으로 선형압밀하중을 증가하여 지반의 교란이 발생하지 않도록 하였다.

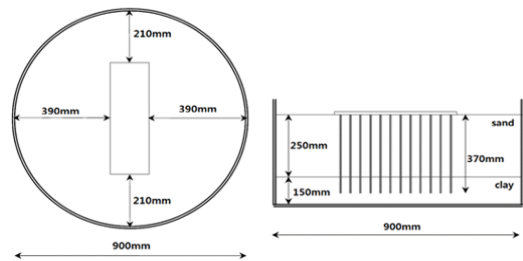
3.3 원심모형실험절차

원심모형실험은 다음과 같이 3 단계로 구분되어 수행되었다. ① 원심모형실험을 위한 기초지반의 조성. ② 모형기초의 관입 및 계측장비의 설치. ③ 실험목표가속도 30g에서의 하중재하실험 수행. 지반조성이 완료된 실험토조를 원심모형실험기로 이동하여 Fig. 8와 같이 가속도 1g 상태에서 모형기초를 지반에 관입하였다.

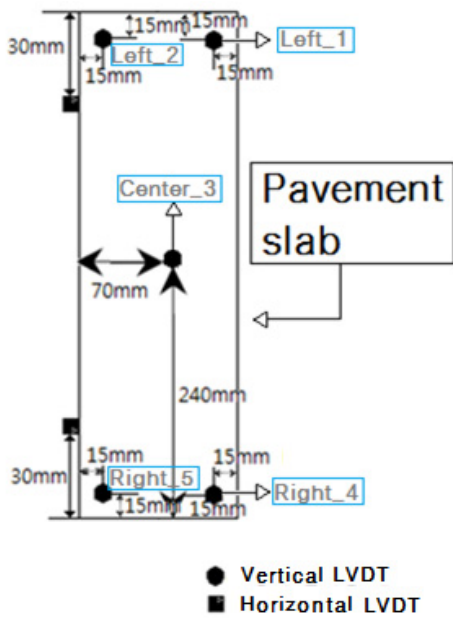


[Fig. 8] Piled raft installation

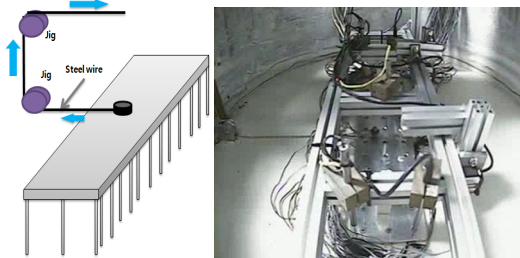
Fig. 9과 같이 배치하여 경계조건 및 모형토조 사이의 영향을 최소화하고자하였으며 1mm/s의 관입속도로 관입을 실시하였다. 관입이 완료된 상태에서 포장체의 침하량과 횡하중 재하 시 횡방향 변위를 계측하기 위한 계측장비를 Fig. 10과 같이 침하량 계측기 3개 수평변위기 2개 총5개의 센서를 설치하였다. 또한 센서 설치가 끝난 상태에서 원심모형실험을 실시하여 1g에서 30g까지 중력가속도를 1g/min로 증가시킨 후 1시간의 지반 및 모형체 안정화 시간을 갖도록 한 후에 Fig 11과 같이 와이어를 이용하여 횡방향으로 하중을 가하였다. 하중 재하속도는 0.05mm/s 서서히 와이어를 당겨지도록 하여 하중을 200 kg까지 증가시켰다. 횡하중 재하실험이 마무리되면 모형토조를 원심모형실험기에서 분리하여 핸드베인을 통하여 점토지반의 비배수전단강도측정을 수행하였다.



[Fig. 9] Boundary conditions and Test model set-up for loading tests
(a) Boundary conditions of centrifuge test
(b) Test model set of piled



[Fig. 10] LVDT position of Pavement Model



[Fig. 11] Horizontal Loading

4. 결과 및 고찰

4.1 지반강도

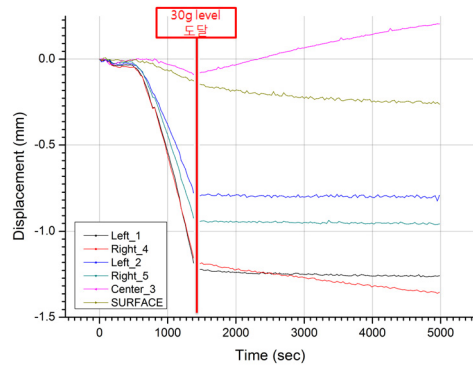
핸드베인(hand vane)을 이용한 비배수전단강도분석에서 상부표면은 8.2 kPa 점토 지층의 전단강도는 9 kPa를 나타냈다. 이는 일축압축강도(q_u) 16~18 kPa 정도로 예상 가능하며 N치 0~2의 매우 연약한 지반에 속한다. 또한 모래지반의 경우 상대밀도 80%에 해당되는 매우 조밀한 지반 형태로 분석되었다.

4.2 슬래브 침하 실험결과

Fig. 12와 같이 원심모형실험기를 이용하여 가속도 30g에 도달할 때까지 모든 침하량 측정기가 침하하는 경

향을 보였으나 30g를 유지했을 때의 점토 표면에 설치한 침하계측기가 최종적으로 0.22 mm(실제 구조물: 6.6 mm) 아주 미세한 침하가 일어났으며 슬래브 양끝지점에 설치한 계측결과는 Left_2과 Right_5이 비슷한 침하량인 0.8 mm와 0.95 mm를 보였으며 Left_1과 Right_4 또한 1.25 mm와 1.35 mm로 비슷한 침하량을 보였다. 이러한 침하량은 Fig. 13(a)와 같이 포장체 단방향 단면도에서 보는 것과 같이 침하량 경향을 추측할 수 있다.

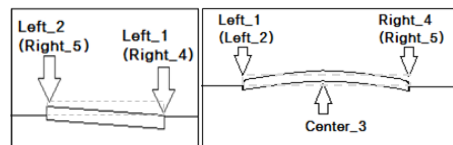
Center_3의 침하량은 초기 30g도달하기 전까지는 침하하는 경향을 보였으나 30g를 유지하면서 침하가 아닌 상승하는 현상을 보였다. Fig. 13(b)의 포장체 장방향 단면도처럼 양 끝에 침하가 일어나면서 말뚝의 영향을 가장 많이 받는 중앙부의 말뚝에 의한 지지력으로 인해 중앙부가 상승하는 현상을 보였다.



[Fig. 12] Relationship of Time and Displacement

[Table 4] Final Settlement of LVDT

LVDT position	Final Settlement (Prototype Displacement)
Left_1	1.25 mm (37.5 mm)
Left_2	0.8 mm (24 mm)
Center_3	0.21 mm (6.3 mm) 상승
Right_4	1.35 mm (40.5 mm)
Right_5	0.95 mm (28.5 mm)
Surface (Ground)	0.22 mm (6.6 mm)

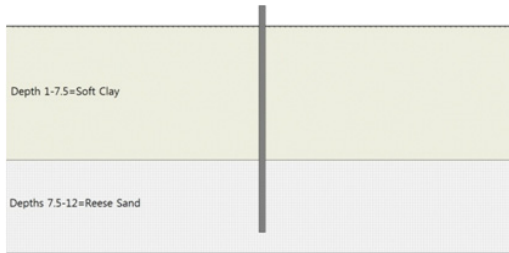


[Fig. 13] Sectional View of Slab After Test
(a) Sectional View of Short Section
(b) Sectional View of Long Section

침하량 분석결과 30g도달까지 평균 2.5cm(30g기준:0.82 mm)의 침하량을 보였으나 이는 모형의 중력가속도를 맞추는 단계이므로 그 후의 침하량 변화가 실제구조물의 침하량이라고 할 수 있다. 그리하여 가속도 30g 이후의 침하량을 분석한 결과 미세한 침하량만 있을 뿐 눈에 띄는 거동은 일어나지 않았다.

4.3 횡하중 재하 시 실험결과

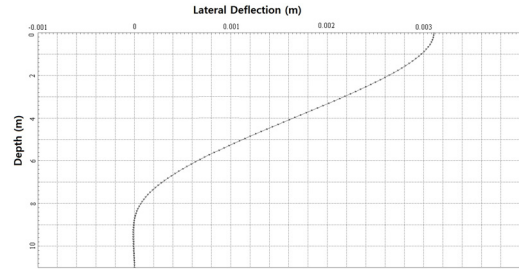
원심모형 실험에 앞서 단말뚝 유한요소해석 프로그램인 L-Pile 이용하여 대략적인 단말뚝의 횡방향 최대하중을 결정하였다. Fig. 14와 같은 원심모형실험에 사용한 지름 30 cm, 길이 11 m의 콘크리트 말뚝을 연약지반(점토지반)을 관입하여 단단한 모래지반에 선단지지하는 실험 조건을 이용하였다. 이때, 횡방향 하중을 점차 증가시켜 하며 말뚝이 지지할 수 있는 최대 횡방향 하중을 결정하고 이를 이용하여 원심모형 실험에 적용할 횡하중을 결정하였다.



[Fig. 14] Ground and Pile condition of FEM(L-Pile)

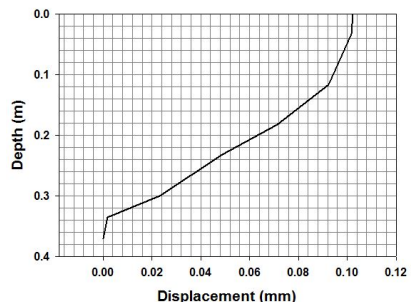
분석결과 0.1 t의 횡방향 하중이 작용하였을 때 말뚝의 변위 변화는 Fig. 15과 같다. L-Pile 유한요소해석 결과 횡하중 0.1 t재하 시 최대 변위량 3.1 mm 나타났으며 이 이상 횡하중을 재하 시 말뚝의 선단지지력은 효력이 없어지며 지반파괴로 인해 말뚝으로써의 역할을 할 수 없는 해석결과를 나타내었다. L-Pile 해석결과를 바탕으로 횡방향 하중을 3.6 t 재하 시 지반파괴가 일어나는 것을 예상하였다.

L-Pile를 이용한 유한요소 해석 값과 원심모형실험값을 비교 분석하기 위해 횡하중 재하 시 말뚝의 변위와 유한요소 해석 시 발생한 말뚝의 깊이별 변위량이 가장 유사한 하중지점을 찾아 분석하였다. 가장 하중작용점과 가깝고 하중이 가장 많이 전달되는 중앙부의 게이지인 말뚝 4,5,6번 중심으로 분석을 실시하였다.



[Fig. 15] L-Pile Result(Depth - Lateral Deflection)

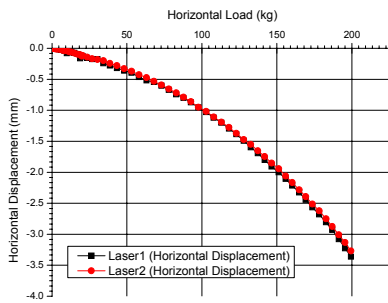
포장체 모형의 횡방향 하중은 최대 200 kg 작용하였으며 말뚝 4,5,6번 모두 횡하중 39.6 kg작용 시 수치해석 값과 유사한 변위를 보였다. 또한 말뚝두부에서 최대 변위가 나타났으며, 말뚝하부에서는 0에 가까워지는 경향을 보였다. 최댓값은 말뚝 4번의 경우는 수치해석 값의 88%인 말뚝 두부에서 2.73 mm가 나타났으며, 말뚝 5번의 경우는 수치해석 값의 98% 말뚝 두부에서 3 mm가 나타났으며, 말뚝 6번의 경우는 수치해석 값의 117% 말뚝 두부에서 3.6 mm가 나타났다. 말뚝의 위치에 따른 변위가 차이가 나는 이유는 말뚝이 서로 인접해 있기 때문에 각 말뚝에 의하여 지반에 전달되는 응력이 중복되어 지반 저항력을 감소시키기 때문인 것으로 확인되었다. 또한 이는 말뚝에 가해지는 횡방향 하중이 실제 사이즈인 수치해석에서 작용하는 값의 약 10배 이상인 것으로 보아 실험상 연약지반 처리 없이 경량포장체와 선단지지말뚝만으로도 횡하중에 미세한 거동만 있을 뿐 포장체에 직접적인 영향을 줄만한 거동은 일어나지 않았다.



[Fig. 16] Relationship of Depth and Displacement at Pile-5

Fig. 17는 횡하중에 따른 모형 포장체의 수평변위를 레이저Lvdt를 이용하여 측정한 결과이다. 로딩기의 이동거리가 측정이 가능하나 와이어 탄성에 의한 오차가 심하여 중앙을 중심으로 양쪽에 레이저 LVDT를 설치하여 하중에 따른 실제 포장체가 이동경향을 파악하였다. Fig. 17와 같이 수평변위계측 결과가 겹쳐지는 현상으로 횡하

중이 작용하는 방향을 기준으로 좌우측의 이동거리가 동일한 것으로 나타났으며 이는 횡하중 작용 시 수평변위가 편심 없이 작용했다는 것을 나타낸다. 포장체에 최종 작용한 횡하중은 180 ton이며 수평변위는 96 mm로 실대형 포장체에서는 다소 큰 수평변위가 작용하였다. 하지만 말뚝의 변위 기준과 비교한다면 35.6 ton작용 시 7.8 mm 변위로 이 또한 아주 미세한 수평변위를 나타냈었다. 이는 국내 도로교설계기준이 15mm과 NCHRP(1991)의 보고서에서 Moulton의 기준인 38mm를 기준을 한 것과 비교했을 때 포장체에 직접적인 영향을 줄만한 거동이 일어나지 않을 것으로 예상된다.



[Fig. 17] Relationship of Horizontal Loading and Horizontal Displacement

5. 결론

경량기포콘크리트를 이용한 경량 포장체의 거동특성을 알아보기 위하여 원심모형실험을 통해 모형 포장체의 거동특성 모형실험을 수행하였다. 이와 같이 원심모형실험 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 보다 정확한 지반 형태를 분석하기 위해 원심모형 실험이 완료 된 후에 모형지반을 분석하였으며, 2layer모형지층의 상부 점토층은 매우 연약한 지반, 하부 모래층은 매우 조밀한 지반형태로 계획한 지반 조성이 완료된 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 모형 포장체는 1g에서 30g로 가속도를 증가시킬 때 포장체가 전체적으로 침하하지만 30g가속도를 유지 시 포장체 양 끝 4지점에서만 침하하는 현상이 발생하여 중심부(Center_3)가 상승하는 현상을 나타냈다.
- 3) L파일 해석에 의한 말뚝변위와 실제 모형실험에서의 횡방향 변위 결과 비교 시 계획된 횡하중의 약 10배인 39.4kg를 재하 시에도 선단에 미세한 미동만 있을 뿐 포장체에 영향을 줄만한 거동은 일어나

지 않았다.

- 4) 횡방향 변위에 대한 국내 도로교설계기준 중심으로 슬래브에 가해지는 최대 허용 하중은 약60kg(실제 구조물: 54ton) 나타났다. 이는 횡방향 하중으로 매우 큰 하중을 나타내며 이러한 결과를 바탕으로 말뚝간격을 증가시켜 안전성 검사에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] J. O. Park, Y. W. Choo, D. S. Kim, "Evaluation of Bearing Capacity of Piled Raft Foundation on OC Clay Using Centrifuge and Numerical Modeling", Korea Geotechnical Society, Vol. 25, No. 7, pp. 23-33, 2009
- [2] D. G. Park, K. J. Choi, J. H. Lee, "Analysis of Piled Raft Interaction on Clay with Centrifuge Test", Korea Geotechnical Society, Vol. 28, No.9 pp.57-67, 2012
- [3] D. G. Park, K. J. Choi, J. H. Lee, "Analysis of Piled Raft Interaction on Sand with Centrifuge Test", Korea Geotechnical Society, Vol. 28, No.10, pp.27-40, 2012
- [4] D. Kim, N. Kim, "A Newly Developed State-of-the-Art Geotechnical Centrifuge in Korea", KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 77-84, 2013
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-013-1350-5>
- [5] Conte, G., Mandolini, A., and Randolph, M. F., "Centrifuge modeling to investigate the performance of piled rafts." Proc., Geotech. Int. Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles, Van Impe and Haegeman, eds., pp.379-386, 2003.
- [6] Horikoshi, K. and Randolph, M. F. (1996), "entrifuge modelling of piled raft foundation on clay" Getechnique, Vol.46, No.4, pp.741-752, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/geot.1996.46.4.741>
- [7] J. H. Lee, S. S. Jeong, "three Dimensional Numerical Analysis of Piled Raft on Soft Clay" Journal of Korean Geotechnical Society(KGS), Vol.23, No.5, pp.63-75 2007.
- [8] J. O. Park, Y. W. Choo, D. S. Kim, "stimation of Slope Behavior by Soil Temperature" Journal of Korean Geotechnical Society(KGS), Vol.25, No.7, pp.23-33, 2009.
- [9] Sanctis L., Mandolini A., "earing Capacity of Piled

Rafts on Soft Clay Soils” Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.132, No.12, pp.1600-1610, 2006.

DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:12\(1600\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:12(1600))

김 성 겸(Seong-Kyum Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 국립공주대학교 방재공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학과 (공학박사)

<관심분야>

도로공학 및 지반공학

이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[종신회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : 미국 Purdue Univ. Civil Eng.,(공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경학부 교수

<관심분야>

도로공학 및 지반공학