

원형 수평앵커를 이용한 파이프 골조 온실기초의 인발저항력 개선에 관한 연구

A Study on the Uplift Capacity Improvement of Pipe-framed Greenhouse Foundation Using Circular Horizontal Anchors

윤 용 철* · 이 근 후* · 유 찬**
Yoon, Yong Cheol, Lee, Keun Hoo, Yu, Chan

Abstract

Bench scale experiments have been carried out to evaluate the adaptability of the anchor for improving the uplift capacity of foundation of pipe framed greenhouse which is typically adopted in conventional plastic film glazing greenhouses, such as 1-2W type. In the experiments, disk-type horizontal anchors, commonly used in general soil works, were adopted and tested with sand-filled laboratory soil bath using hydraulic jack.

The results showed that the uplift capacities of anchors were increased onto the maximum values according to the increase of uplift load regardless of anchor diameters(D) as well as embedment ratio(L/D). But the increase/decrease patterns were repeated around the maximum uplift capacity and these repeating patterns were found to be more significant in larger embedment ratios.

The increment pattern of maximum uplift capacities were near parabolic with the increase of L/D ratios in all diameters of anchor plates, and the degree of increment in maximum uplift resistances became enlarged with the increment of diameters of anchor plates.

For all of the embedment ratios, the dimensionless parameters($\sigma / \rho \cdot d \cdot L$) of the maximum uplift resistances decreased as the dimensions of anchor plate increased, and the degree of decrement was more significant for larger values of embedment ratios. These phenomenon was assumed to be the Scale Effect caused by the progressive destruction of sand soil.

I. 서 론

최근 우리나라는 집중호우와 강풍을 동반한 태풍들로 인해 막대한 인명과 재산피해를 입고

있다. 특히 2002년 태풍 '루사'는 최대 순간 풍속 56.7 m/s, 2003년 태풍 '매미'는 최대 순간풍속이 60.0 m/s 강풍을 동반해서 그에 따른 피해가 크게 발생하였다 (중앙재해대책본

* 경상대학교 농과대학 농업시스템공학부(농업생명과학연구원)

** 경상대학교 농과대학 농업시스템공학부(농업생명과학연구원)(chanyu@gsnu.ac.kr)

부, 2003). 이중 온실도 강풍으로 인한 피해가 크게 발생하였는데, 우리나라에서는 현대화된 대형 플라스틱 피복 온실이 널리 보급되고 있으며, 이들 온실의 기초는 원형 또는 각형으로 제작된 콘크리트 말뚝기초를 주로 사용하고 있다.

그러나 파이프 온실은 경량구조로서 특히 강풍 하에서는 구조물 전체가 공명현상을 일으켜 순간적으로 발생하는 인발력을 견디지 못하고 콘크리트 말뚝기초의 일부 또는 전부가 뽑혀 구조적으로 기능을 상실함으로써 온실내부의 재배작물에 치명적인 피해를 입히게 된다 (Yoon et al., 1995; Yoon & Suh, 2002). 특히 태풍 시에는 많은 강우가 동반되어 온실 주변의 기초지반은 거의 포화상태에 도달하게 되며 기초에서 발휘되는 인발 저항력은 기초의 자중 외에는 거의 기대 할 수 없게 된다. 실제로 Yoon 등(1998, 2001)에 따르면 현재 보급되고 있는 말뚝기초만으로는 기초의 형상이나 그 크기 등을 변화시킨다고 하여도 기초의 소요 인발력을 확보하기에는 한계가 있는 것으로 나타나고 있다.

한편 주로 가설앵커로 사용되던 어스앵커가 최근에는 구조물의 안정성과 경제성을 고려하여 구조물의 일부, 또는 영구 구조물로서 송전탑 철탑기초, 교량의 교각이나 고층 구조물, 저수지 상판 그리고 풍압 및 파압을 받는 항만 구조물 등 여러 방면에 이용되고 있다. (Subba Rao & Kumar, 1994). 이러한 어스앵커 기초는 주변지반과 마찰력에 축 방향의 장력에 저항하기 때문에 말뚝기초에 비해서 큰 인발 저항력을 발휘할 수 있는 기초형식 중의 하나이며, 향후 온실기초로의 적용성이 기대되고 있는 형식의 하나이다. 그러나 일반적으로 온실 설치부지의 기초지반은 조건이 느슨한 모래로 양호하지 않은 경우가 많은데, 지금까지 연구 결과들은 대부분 일반 토목공사에 적용을 위한 것이어서 온실기초로서 적용을 위한 자료로는 다소 부족한 면이 있다.

따라서 본 연구에서는 경량 온실기초의 인발 저항력 보강을 위한 앵커기초의 적용성을 알아보기 위하여 느슨한 사질지반에서 인발하중에 따른 앵커의 거동을 관찰하고 그에 따른 설계시 필요한 자료를 제공하기 위하여 실내 인발 실험을 수행하여 그 결과를 제시하였다.

II. 기존의 연구고찰

앵커의 극한 인발력(ultimate uplift capacity)은 그 형상과 재질은 물론 지반의 종류와 전단강도, 초기 응력상태, 앵커 근입깊이(embedment depth) 그리고 파괴면의 형상 등에 따라서 다르게 나타나며, Balla(1961), Meyerhorf & Adams(1968), Vesic(1971), Das & Seedley(1975) 그리고 Rowe & Davis(1982) 등은 실내 모형실험과 현장실험 등을 통하여 여러 가지 이론들을 제안한 바 있다. Fig. 1에서는 설계시 고려되는 앵커의 파괴형태를 나타낸 것이다(Sutherland, 1988).

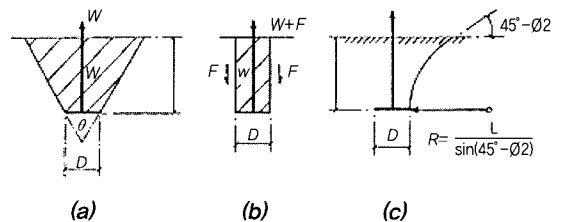


Fig. 1. General pattern of anchor failure

수평앵커의 극한 인발력은 인발시 형성되는 파괴면의 형태와 주변지반과 앵커의 상호작용이 가장 큰 영향을 미치며, 파괴면의 형태는 얇은 앵커와 깊은 앵커가 지지층의 흙의 종류와 밀도에 따라서 다른 형태를 나타낸다. 깊은 앵커는 Fig. 1(b)와 같이 파괴면이 지표면까지 확장되지는 않으며 국부적인 펀칭(punching) 전단파괴인데 비해서 얇은 앵커는 Fig. 1(c)와 같이 파괴면이 지표까지 형성되며 전단전단파

괴의 양상을 나타낸다(Rowe & Davis, 1982). 보통은 얇은 앵커와 깊은 앵커는 한계 근입비 (critical embedment ratio, $(L/D)_{cr}$; D:앵커 지압판의 폭, L:앵커의 근입 깊이)로서 구별할 수 있으며, 느슨한 모래지반의 경우에는 3, 단단한 경우에는 5정도인 것으로 알려져 있다. 따라서 이 두 가지 형식의 앵커가 인발력에 대해서 저항하는 방식은 차이가 있는데, 일반적인 인발력-변위 관계는 다음의 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

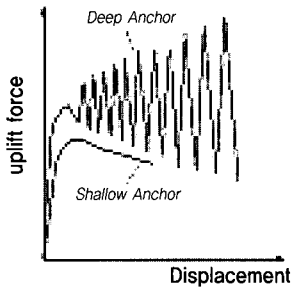


Fig. 2. Relationship of uplift force-displacement of horizontal anchor

그림에서 얇은 앵커는 극한 인발력 이후에 인발 저항력이 점차 감소하면서 파괴되는 양상을 보이며, 극한 인발저항력을 쉽게 결정할 수 있다. 그러나 깊은 앵커는 상당히 큰 변위까지 인발력이 계속 증가하는 양상을 보이며, 항복점을 지난 후에는 인발력의 증가와 감소가 반복되는 일종의 진동 현상을 나타낸다. 이 원인은 앵커 지압판이 상향으로 이동하면서 주변지반의 토사가 소성파괴를 일으키고 파괴된 토사는 지압판 하부에 생성되는 공동으로 밀려들어가는 현상이 반복되기 때문이다. 이러한 특성으로 인하여 깊은 앵커의 경우에는 항복 인발력을 결정하기가 용이하지 않다.

그런데 느슨한 사질지반에서는 이러한 관계들이 명확하지 않으며, Rowe & Davis(1982)에 따르면 느슨한 사질지반에서는 얇은 앵커의 경우에도 Fig. 1(b)와 같은 거동을 나타낸다는 사실을 제시한 바 있다.

III. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

실험에 사용된 앵커는 강재로 제작된 지압형 앵커로서 플레이트 직경(D)이 9cm, 12cm 및 15cm 이고, 플레이트 두께는 0.5cm이었다. 또한 앵커 축의 재질은 강재로서 직경과 길이는 각각 1.5cm 그리고 100cm이다. 또한 시료로서는 건조한 모래를 사용하였고 실험시 건조밀도는 1.45~1.58gf/cm³ 정도인 느슨한 상태로서 별도의 다짐은 실시하지 않았다. Table 1과 Fig. 3~4는 시료에 대한 물리적 성질과 역학적 성질을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 시료의 전단강도 정수는 시료의 건조 밀도를 1.50 gf/cm³으로 가정하여 직접전단시험을 실시하여 구하였으며, 이때 구속응력은 0.5, 1.0 그리고 2.0 kgf/cm²이었고, Fig. 2와 같이 내부 마찰각은 26.3°인 것으로 나타났다.

Table 1. Properties of sample soil

Type of test	Item	value
Physical Properties	Water content	0.32
	Specific gravity	2.54
	Liquid limit	-
	Plastic index	N.P.
	< 0.074mm (%)	0.3
Shear strength parameter	USCS	SP
	Cohesion (kgf/cm ²)	0.0
	Internal friction angle(°)	26.3

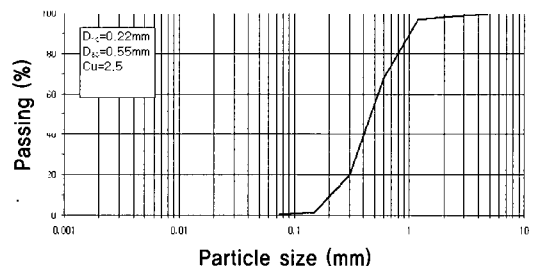


Fig. 3. Grain size distribution curve

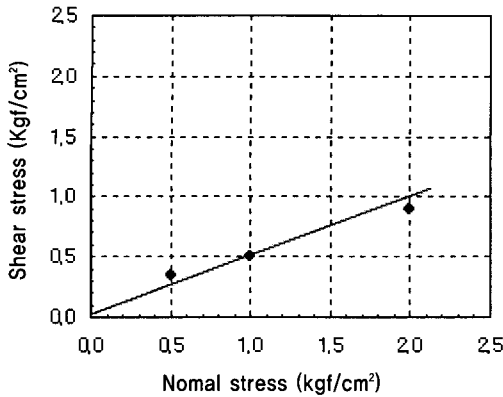
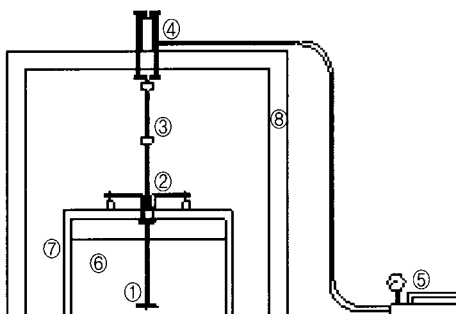


Fig. 4. Relationship of normal stress vs. shear stress

2. 실험방법

본 실험에 사용된 앵커의 인발 저항력 실험장치는 Fig. 5와 같으며, 하중 재하장치, 실험토조, 어스앵커, 하중계 및 변위계로 구성되어 있다. 인발실험 과정은 최대하중 200 kgf의 분리형 Hydraulic jack으로 가한 인발하중이 Jack head와 Load cell 및 앵커 플레이트 중심에 설치한 직경 1.5cm, 길이 100cm의 앵커 축을 통하여 앵커 기초로 전달되도록 하였으며, 이때 인발하중은 변위 조절방식으로 재하하였다. 변위량(인발변위)은 앵커 축에 부착된 정방향 강재판 위에



①earth anchor, ②displacement sensor
③load cell, ④jack head, ⑤hydraulic jack
⑥sand, ⑦soil tank, ⑧support

Fig. 5. The instrument for laboratory test

최대 측정용량이 100mm, 최소눈금이 1/100mm 인 변위계(115L4E)를 설치하여 측정하였다.

앵커기초의 인발저항력은 인장력과 압축력을 측정할 수 있는 Load cell(TCLP-500KA)로 측정하였으며, 계측과 분석은 데이터 샘플링 간격을 L/D에 따라 2~5초 정도로 하면서 데이터 로거(MDL-P4L-SS8)와 컴퓨터를 활용하여 실시하였다. 한편 앵커의 근입비(L/D)는 앵커 플레이트 직경별로 L/B=1, 2 및 3으로 하여 각 조건별로 2회 반복하였으며, 2회 반복한 실험결과에 대하여 현저한 차이가 있는 경우에는 반복실험을 실시하였다.

토조는 앵커 주변지반의 파괴포락선을 고려하여 100cm x 100cm x 75cm의 크기로 약 3mm 두께의 강재로 제작하였으며, 내부면에는 시료의 밀도를 확인하기 위하여 바닥으로부터 일정 간격으로 선을 표시하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 느슨한 모래에서 앵커의 거동

Fig. 6은 앵커 직경 9cm, 12cm 및 15cm일 때 인발저항력과 인발변위와의 관계를 근입비(L/D)에 대해서 나타낸 것이다. 그림에서는 인발 초기에 미소한 변위에서 인발에 대한 저항력이 급격히 증가하는 탄성거동을 보이다가 점차 변위가 커지면서 인발에 대한 저항력이 항복점까지 증가하고 그 이후에는 감소하거나 계속 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 근입비(L/D)에 따라서 다소 차이를 보이는데, 실험결과에서는 근입비가 1인 경우 얇은 앵커의 전형적인 변위-인발력 관계를 나타내고 있으며, 근입비가 3 이상인 경우에는 깊은 앵커와 같은 양상을 나타내고 있다. 그러나 근입비 2인 경우에는 인발 저항력이 미소하게 감소되고 있으나 명확하게 구별하기 어려우며, 따라서 얇은 앵커와 깊은 앵커의 전이영역으로 판단된다. 따라서 한계근입비는 3 정도인 것을 확인할 수 있

었으며, 이러한 경향은 앵커 지압판의 직경이 커질수록 뚜렷해지는 것을 알 수 있었다.

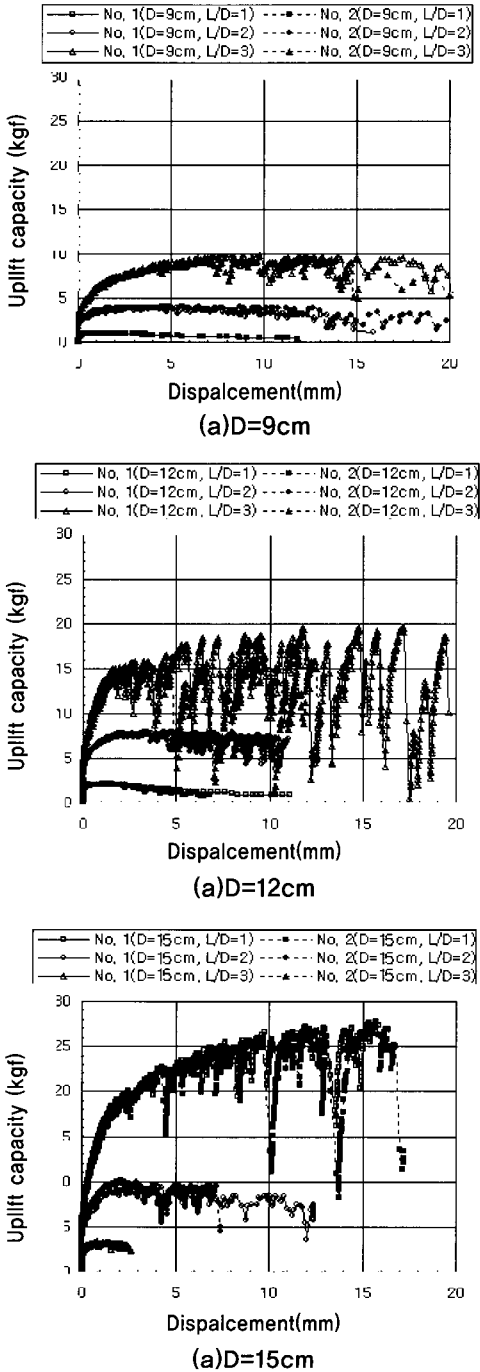


Fig. 6. Relation between uplift capacity and displacement

한편 극한 인발저항력의 결정은 기존의 연구들에서도 그 기준이 일정하지 않으며, 연구자들마다 다른 방식의 기준들을 사용하고 있다. 본 실험에서는 보다 안전측으로 가정하여 인발저항력이 증가와 감소를 반복하기 시작하는 시점을 극한 인발 저항력으로 결정하였으며, 그 값을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Ultimate uplift capacity of anchor

Dia. of anchor plate (cm)	L/D	Ultimate uplift capacity (kgf)			
		1	2	Ave.	Unit (tf/cm ²)
9	1	1.0	0.9	0.95	0.015
	2	3.9	4.0	3.39	0.053
	3	9.7	9.4	9.55	0.150
12	1	2.2	2.1	2.15	0.019
	2	7.9	7.8	7.85	0.069
	3	15.2	15.8	15.47	0.137
15	1	3.4	3.2	3.30	0.019
	2	10.2	9.4	9.80	0.055
	3	26.7	25.7	26.20	0.148

Fig. 7은 극한 인발저항력과 L/D와의 관계를 나타낸 것으로서 극한 인발저항력은 모든 앵커 플레이트 직경에서 공히 L/D가 증가함에 따라 곡선적으로 증가하는 경향을 보였으며, 그 경향은 앵커 플레이트 직경이 클수록 극한 인발저항력의 증가율이 크게 나타남을 보였다.

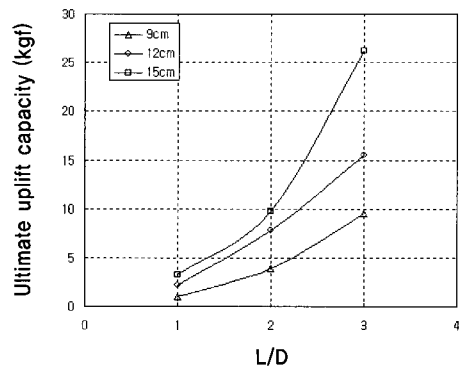


Fig. 7. Relationship between ultimate uplift capacity and L/D

2. 인발저항력과 인발변위의 관계

Fig. 8은 앵커의 인발저항력과 인발변위와의 관계를 근입비별로 나타낸 것이다. 그림에서는 인발 저항력이 근입 깊이가 깊을수록 또는 앵커 지압판의 직경이 클수록 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 그리고 최대 인발저항력이 발생하는 시점에서의 인발 변위는 근입비가 클수록 약간 크게 나타나는 경향을 나타내었다.

Fig. 9는 극한인발저항력의 무차원 값을 나타낸 것으로서 무차원 값은 앵커 플레이트에 작용하는 단위면적당 인발력(o)을 지반의 건조 밀도(ρd)와 앵커의 근입깊이(L)로 나눈 값이다. 이 무차원 값은 인발저항력 시험에서 Scale effect의 정도를 파악할 수 있으며, Scale effect는 앵커 주변지반의 최대 전단저항 발생이 확장 이동되는 파괴포락선을 따라 순차적으로 이동하면서 파괴영역이 점점 커져가는 형태의 진행성파괴에 기인한 것이다. 일반적으로 이러한 진행성 파괴는 모래지반이나 예민한 점토지반에서 많이 나타나는 현상으로서 정확한 설계를 위해서는 이 무차원의 값이 일정하게 나타나는 것이 좋다. 그러한 경우에서 파괴의 형태는 일정한 양상을 보여주게 된다. 따라서 본 실험에서의 결과는 그림에서 알 수 있듯이 무차원 값($o/\rho d \cdot L$)은 모든 근입비에 대해서 앵커 플레이트 직경이 증가함에 따라 감소하였지만, 근입비가 작을수록 감소의 정도가 미미한 경향을 보였으며, 앵커의 직경이

클수록 그 변화가 작은 것으로 나타났다. 즉 느슨한 모래층에서는 가능한 한 직경이 큰 앵커를 사용해서 앵커의 직경과 유사한 근입 길이로 시공했을 때 그 파괴형태는 예측 가능한 경우가 될 수 있다 (Rowe & Davis, 1982; Tanaka & Sakai, 1993).

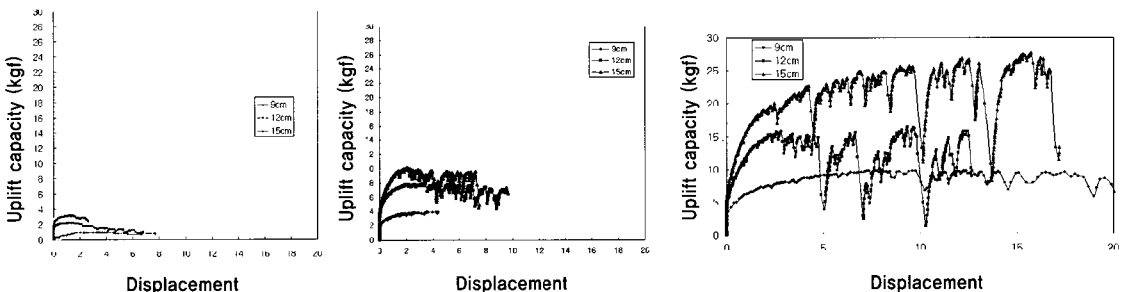


Fig. 8. Relation between uplift capacity and displacement

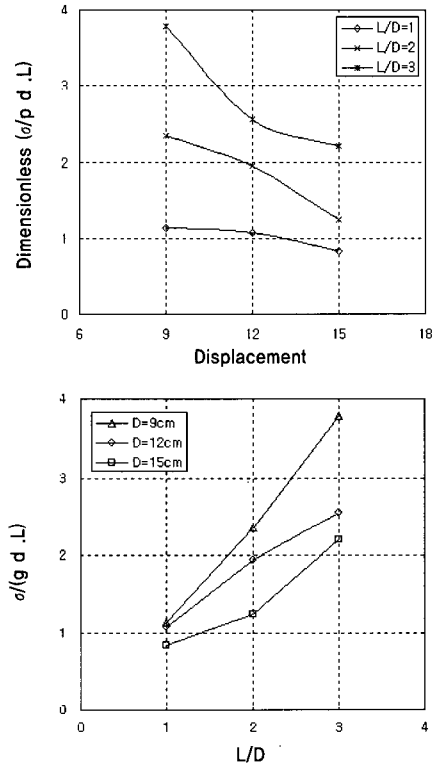


Fig. 9. Relation between dimensionless and L/D

IV. 결 론

1-2W형을 비롯한 플라스틱 피복 파이프 온실의 대표적 기초형식인 말뚝기초를 중심으로 그 형상이나 크기를 크게 변화시키지 않고 기초의 인발저항력을 증대시키기 위한 실험이 이루어진 바 있다. 그 결과에 의하면 현재 보급되고 있는 민말뚝 또는 주름말뚝 형식의 원통형 기초만으로는 저항력 증대에 한계가 있음이 지적되었다.

본 실험에서는 인발저항력 증강에 필요한 추가적인 기초자료 확보를 위하여 토목공사 등에 활용되고 있는 어스앵커 형식을 응용하기 위하여 우선 반복실험이 용이한 모래지반을 대상으로 실험용 토조 내에서 원관형 앵커의 직경(D)별 및 매입깊이(L)별로 인발저항특성 실험을 실시하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다

1. 느슨한 모래층에서 앵커의 거동은 극한 인발저항 이전까지는 앵커의 직경이나 근입비(L/D)에 관계없이 인발하중 증가에 따라 인발저항력이 증가하는 경향을 보였으나, 극한 인발저항력 전후에서는 증·감을 반복하는 경향을 보였으며, 이러한 반복적 증·감 경향은 L/D가 클수록 뚜렷하였다.
2. 인발저항력은 근입깊이가 깊을수록 혹은 앵커 지압판의 직경이 클수록 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 또한 최대 인발저항력이 발생하는 시점에서의 인발변위는 근입비가 클수록 약간 크게 나타나는 경향을 나타내었다.
3. 극한 인발저항력은 앵커의 크기에 관계없이 근입비가 증가함에 따라 곡선적으로 증가하는 경향을 보였으며, 앵커 플레이트 직경이 클수록 증가율도 커지는 것으로 나타났다.
4. Scale effect의 영향을 파악할 수 있는 무차원 값($\sigma/\rho \cdot dL$)은 모든 근입비에 대해서 앵커 플레이트 직경이 증가함에 따라 감소하였지만, 근입비가 작을수록 감소의 정도가 미미한 경향을 보였으며, 앵커의 직경이 클수록 그 변화가 작은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Akinmusuru, J.O., 1978, Horizontally loaded vertical plate anchors in sand, *J. geotech. engrg. div., ASCE*, 104(2), pp. 283-286.
2. Das, B.M., 1987, *Theoretical foundation engineering, Developments in geotechnical engineering 47*, Elsevier, pp. 183-192.
3. Kouda, M., H. Satoh, T. Yamasita, O. Kodaka., 1989, "A Study on Pullout Resistance of Vertical Anchor in Sand. JSSMFE, Proceedings, Forth Conference on Soils and Foundations, pp. 1475-1480.
4. Meyerhof, G.G. & J.I. Adams, 1968, The uplift capacity of foundations, *Canadian geotech. J.*, Vol. 5, No. 4, pp. 225-244.
5. Rowe, R.K. & E.H. Davis, 1982a, The behaviour of anchor plates in clay, *Geotechnique* 32, No. 1, pp. 9-23.
6. Rowe, R.K. & E.H. Davis, 1982b, The behaviour of anchor plates in sand, *Geotechnique* 32, No. 1, pp. 25-41.
7. Sutherland, H.B., 1988, Uplift resistance of soils, 28th Rankine lecture, *Geotechnique* 38, No. 4, pp. 491-516.
8. Subba Rao, K.S. & J. Kumar, 1994, Vertical uplift capacity of horizontal anchors, *J. of geotech. & geoenv. engrg., ASCE*, 120(7), pp. 1134-1147.
9. Tanaka, T. and T. Sakai, 1993, Progressive Failure and Scale Effect of Trap-Door Problems with Granular Materials, Vol. 33(1), JSSMFE, Soils and Foundations, pp. 11-22.
10. Yoon, Y.C., & W.M. Suh, 2002, The strain of pipe framed greenhouse by typhoon, *J. of KSAE*, Vol. 44, No. 4, pp. 99-106.
11. Yoon, Y.C., W.M. Suh, & J.H. Cho, 2001, The uplift capacity of plane and corrugated piles for pipe frame greenhouse, *J. of bio-environment control*, Vol. 10, No. 3, pp. 148-154.
12. Yoon, Y.C., C.S. Yoon, W.M. Suh, M.H. Kang, & S. Kazuo, 1998, A study on the uplift capacity of cylindrical concrete foundations for pipe-framed greenhouse, *J. of KSAE*, Vol. 40, No. 4, pp. 109-119.
13. Yoon, Y.C., W.M. Suh, & C.S. Yoon, 1995, A study on the typhoon disaster of greenhouse, *J. of bio-environment control*, Vol. 4, No. 2, pp. 167-174.