

경사지에서 콘크리트 전주의 근입깊이에 대한 해석적 연구

윤기용¹, 김응석¹, 이승현^{1*}
¹선문대학교 토목공학과

An Analytical Study on the Embedded Depth of Concrete Poles in Inclined ground

Ki-Yong Yoon¹, Eung-Seok Kim¹ and Seung-Hyun Lee^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Sunmoon University

요 약 해마다 태풍과 같은 자연재해에 의해 경사지에 설치된 전주의 전도피해가 발생하고 있지만, 현행 전주설계 기준에는 경사지에서의 전도안전율에 대한 기준이 미비하다. 본 연구에서는 설계기준의 기본개념을 적용하여 경사지에서의 지반 저항모멘트를 범용 해석 프로그램 L-Pile Plus13.8로 해석하여 산정하였다. 현 설계기준이 제시하는 보정 근입깊이를 적용하더라도 경사지의 지반 저항모멘트는 지반경사각이 클수록 크게 감소하였다. 경사지에 설치된 전주가 평지에 설치된 전주와 같은 정도의 지반 저항모멘트를 갖기 위해서는 현행 경사지 보정근입깊이에 1.5~3배 증가시킬 필요가 있는 것으로 연구되었다.

Abstract Overturning of concrete poles are occurred annually due to natural disaster such as a typhoon. The present code for the resisting moment and the safety on overturning of concrete poles in inclined ground is inadequate. In this study, the concept of the code for those in flat ground is applied to calculate the resisting moment in inclined ground using general analysis program L-Pile Plus13.8. According to the analytical results, the resisting moment in inclined ground is rapidly decrease as increasing the slope angle although the embedded depth are added by the additional embedded depth on the code. It is revealed that the capacity in inclined ground is equivalent to that in flat ground if additional embedded depth is increased from 1.5 to 3 times.

Key Words : Concrete poles, Embedded depth, Overturning, Resisting moment, Inclined ground

1. 서론

오늘날 지지물중 배전용으로 사용되는 전주는 사용하는 재료에 따라 콘크리트주, 철주, 목주로 구분되며, 한국 전력 통계자료에 의하면 1961년에는 목주가 전체전주의 99.7%를 차지하고 있었으나 1987년부터는 콘크리트 전주가 절대다수를 차지하기 시작하여 현재 콘크리트 전주는 전체 지지물의 99.9%인 약 7백만기가 전국에 설치되었다.

해마다 경사지에 설치된 많은 전주들이 태풍 등의 자연재해로 인해 전도사고가 발생하고 있는 실정이다[1]. 전주는 전선에 의한 장력뿐만 아니라 풍압 등의 수평하

중에 대해 전도되지 않도록 지반의 저항 모멘트가 유지되어야한다. 현행 전주 설계기준에서는 평지에 설치되는 전주에 대해서 근입깊이와 저항모멘트 산정식을 제시하고 있으나, 경사지에 설치되는 전주에 대해서는 평지용 전주의 근입깊이에 보정근입깊이를 추가하도록 하거나 콘크리트 보강 방법만을 제시하고 있다[2]. 따라서 경사지에서 전주의 전도사고가 발생하는 실정에서도 전도 안전율에 대한 평가는 적절히 이루어지지 못하고 있는 실정이므로 경사지에서 전주의 저항모멘트를 평가하는 연구가 필요하다[3].

본 연구에서는 경사지에 설치된 전주에 대하여 지반 경사각에 따른 지반 저항모멘트를 범용 해석 프로그램

*Corresponding Author : Seung-Hyun Lee(Sunmoon Univ.)

Tel: +82-10-7278-1080 email: shlee02@sunmoon.ac.kr

Received November 19, 2013 Revised December 3, 2013 Accepted February 5, 2014

L-Pile Plus13.8[4]을 사용하여 산정하고자 하였다. 또한 경사지에 설치된 전주에 대해서 지반 저항모멘트의 크기가 평지에 설치된 전주와 같은 정도를 갖도록 근입깊이를 변화시켜 해석하여 경사지에서 합리적인 근입깊이를 산출하려고 하였다.

2. 기본 이론 및 평가방법

현재 전주 설계에 적용되고 있는 전주의 전도안전율에 대한 규정은 일본 전기협회에서 제시하는 지지물 기초의 전도안전율인 식 (1)을 준용하고 있다[5].

$$f = \frac{M_r}{P(H+t_0)} = \frac{KD_0St^4}{36P(H+t_0)} \quad (1)$$

- 여기서, f : 지지물기초의 전도 안전율
 K : 토질계수(kN·m⁴)
 D₀ : 지지물의 지표면에서의 지름 (m)
 S : 지지물의 경사각(rad.)
 t : 지지물의 근입깊이 (m)
 t₀ : 회전중심 깊이 (m)
 H : 집중하중점 부터의 지표상의 높이 (m)
 P : 지지물 정부(頂部)에 작용하는 집중하중 (kN)

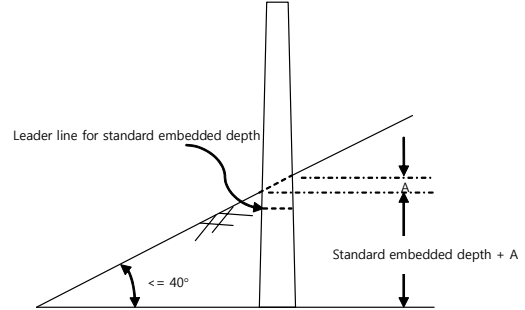
여기에서 전주 말구의 변위를 0.3m로 고정하면(16m 전주에서 경사각 약 1°에 해당) S는 0.3/(H+t₀)이 되는데 이를 식 (1)에 대입하여 정리한 식 (2)가 평지에 설치되는 전주의 전도 안전율이다[6]. 따라서 평지인 경우 지반 저항모멘트는 식 (3)과 같다.

$$f = \frac{KD_0t^4}{120P(H+t_0)^2} \quad (2)$$

$$M_r = \frac{KD_0t^4}{120(H+t_0)} \quad (3)$$

한편, 경사지에 전주를 설치하는 경우 경사각이 40°를

초과하는 제방의 경사면 가까이 설치하는 경우에는 콘크리트로 보강공사를 시행해야하며 경사면이 40° 이하인 제방이나 도로 등의 경사면에 전주를 설치할 경우에는 Fig. 1과 같이 보정근입깊이(A)만큼 근입을 추가하여야 한다[7].



[Fig. 1] Embedded Depth in a sloped ground

경사지의 경우 현행 설계기준으로는 지반 저항모멘트를 산정할 수 없는데, 본 연구에서는 지반해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 앞에서 언급한 설계개념대로 전주 말구의 수평변위가 0.3m(경사각 1°)이 되게 하는 수평하중을 찾아 회전중심까지의 거리를 곱하여 지반의 저항모멘트로 산정하였다.

3. 해석조건 및 해석결과

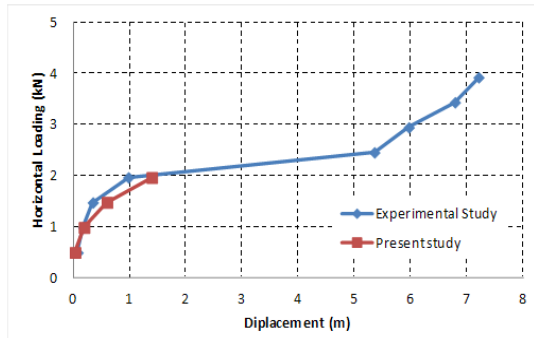
지반해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 전주를 수평력을 받는 기둥으로 모델링하였으며 길이는 12m, 14m, 16m 전주를 대상으로 하였다. 전주의 근입깊이는 모래지반의 경우 설계기준에 제시된 표준근입을 사용하고, 점성토지반의 경우 설계기준의 표준근입깊이에 점성토지반의 최소 추가 근입깊이인 0.7m를 더하여 사용하였다. 경사지의 저항모멘트를 산정하기 위해서는 경사각을 0°(평지)~35°까지 5°씩 증가시켰으며 이때 근입깊이는 설계기준에 제시된 경사각과 지름의 비율에 따른 경사지 보정근입깊이(A)를 추가 하여 해석을 수행하였다. 지반 조건은 Table 1과 같이 모래지반과 점성토지반으로 구분하였다[8].

[Table 1] Soil Conditions

Type	Internal friction angle (°)	Viscosity (kN/m ²)	Unit Weight (kN/m ³)	k (kN/m ³)	ε ₅₀
Sand (API Sand(O'Neill))	40	0	19.62	61,000	
Clay (Stiff Clay w/o Free Water Using k)	20	19.62	18.64	24,400	0.01

3.1 해석모델 검증

해석모델을 검증하기 위하여 연약 점성토지반에서 수평하중을 받는 12m 전주의 실험결과[9]와 비교하면 Fig. 2와 같다.



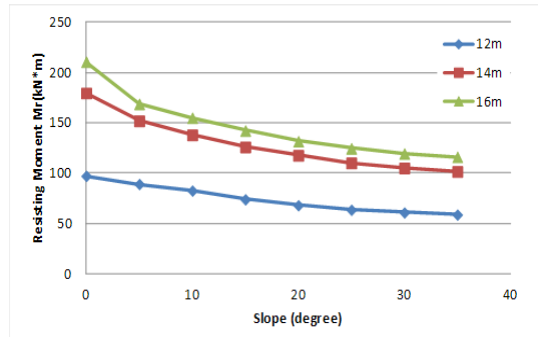
[Fig. 2] Load-Displacement curve for 12m pole in the clay

Fig. 2를 살펴보면 2kN의 수평하중에서 지반의 파괴가 발생하여 변위가 급격히 증가하고 있는데 본 연구에서의 해석결과는 지반파괴전까지 실험결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

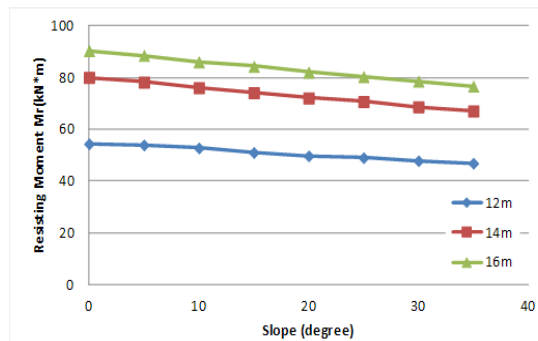
평지에 12m, 14m, 16m 전주를 설치하는 경우에 대하여 Table 1의 모래지반과 점성토지반에 대한 해석결과와 설계기준의 식 (3)을 적용하여 비교한 결과를 Table 2에 나타내었다. Table 2를 살펴보면 지반해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 해석적으로 산출한 지반의 저항모멘트의 값이 합리적으로 산출되고 있는 것을 알 수 있다.

3.2 설계기준에 따른 근입깊이를 사용할 때 경사지에서의 지반 저항모멘트

경사지에서 현행 설계기준에 따른 근입깊이만을 사용한 경우 지반해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 해석적인 방법으로 지반 저항모멘트를 산정하면 Fig. 3과 Fig. 4와 같다.



[Fig. 3] Resisting moment in a sloped ground (Sand)



[Fig. 4] Resisting moment in a sloped ground (Clay)

경사각이 커짐에 따라 설계기준에서 제시한 보정근입 깊이(A)를 추가하여 설치한 경우에도 모래지반과 점성토 지반 모두에서 지반의 저항모멘트는 경사각이 커짐에 따라서 감소하는 현상을 보이고 있다. 특히 점성토지반에서 보다는 모래지반에서 감소하는 현상이 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 또한, 12m 전주보다는 전주의 길이가 길어짐에 따라 지반 저항모멘트의 값의 감소폭이 큰 것을 알 수 있다. 따라서 전주의 전도 안정성을 확보하기 위해서는 현행 설계기준에서 제시하는 보정근입깊이(A)의 증가가 필요한 것으로 판단된다.

[Table 2] Comparison Analytical and Equation (3)

Type	Length of Pole (m)	Slope (rad.)	Resisting Moment (kN·m)		Difference (%)
			Equation (3)	Present Study	
Sand	12	0.0210	81.47	88.72	8.2(↑)
	14	0.0103	92.73	96.47	3.9(↑)
	16	0.0061	70.71	72.31	2.2(↑)
Clay	12	0.0140	51.66	50.93	1.4(↓)
	14	0.0091	66.95	61.69	8.5(↓)
	16	0.0070	60.13	57.46	4.6(↓)

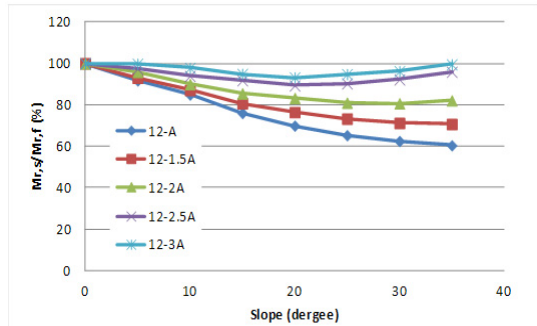
4. 근입깊이 증가에 따른 경사지에서의 지반 저항모멘트

경사지에서 필요한 근입깊이를 찾아내기 위하여 근입깊이를 보정근입깊이(A)에 0.5배씩 증가시켜 가며 해석을 실시하였다. 경사지에서의 지반 저항모멘트가 평지에서 발휘하는 지반 저항모멘트의 크기의 수준으로 발현될 때의 근입깊이를 찾아 지반 저항모멘트를 증가시키기 위한 근입깊이를 도출하고자 하였다. 전주의 길이는 앞에서와 마찬가지로 12m, 14m, 16m 전주를 대상으로 하였다.

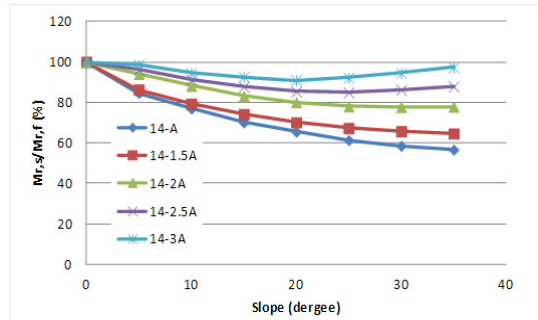
모래지반인 경우의 각 전주의 길이별로 경사각에 대한 해석결과를 정리하면 Fig. 5에서 Fig. 7까지와 같다. 그림에서 $M_{r,s}$ 와 $M_{r,f}$ 는 각각 경사지에서의와 평지에서의 지반 저항모멘트를 의미한다. 또한 범례 '14-1.5A'는 전주길이 14m, 근입깊이는 보정근입깊이(A)에 1.5배임을 의미한다. Fig. 5에서 Fig. 7까지 살펴보면 근입깊이를 보정근입깊이(A)에 3배정도 추가해야 평지에서의 지반 저항모멘트에 상응하는 성능을 발휘하는 것으로 나타났다.

한편 점성토지반인 경우의 각 전주의 길이별로 경사각에 대한 해석결과를 정리하면 Fig. 8서 Fig. 10까지와 같다. Fig. 8에서 Fig. 10까지 살펴보면 근입깊이를 보정근입깊이(A)에 2배정도 추가해야 평지에서의 지반 저항모멘트에 상응하는 성능을 발휘하는 것으로 나타났다.

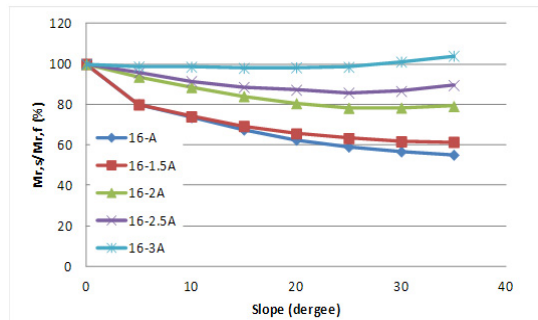
따라서 평지에서와 동등한 지반 저항모멘트 성능을 확보하기 위해서는 지반조건별로 해석하여 근입깊이의 증가량을 합리적으로 산정할 수 있을 것으로 판단한다.



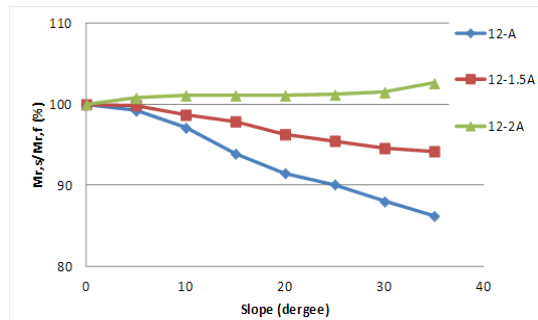
[Fig. 5] Resisting moment Ratio (Sand, 12m Pole)



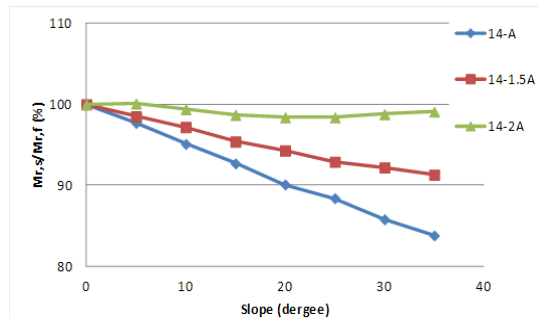
[Fig. 6] Resisting moment Ratio (Sand, 14m Pole)



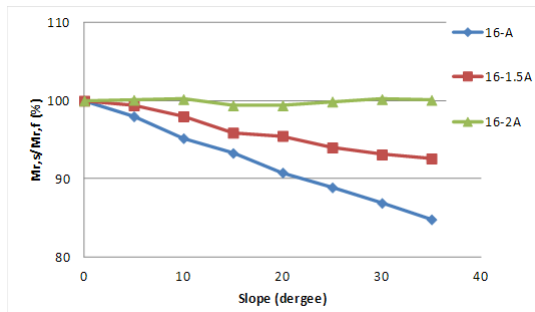
[Fig. 7] Resisting moment Ratio (Sand, 16m Pole)



[Fig. 8] Resisting moment Ratio (Clay, 12m Pole)



[Fig. 9] Resisting moment Ratio (Clay, 14m Pole)



[Fig. 10] Resisting moment Ratio (Clay, 16m Pole)

지반해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 경사지의 지반 저항모멘트를 산정한 결과 설계기준에서 제시한 경사지 보정근입깊이(A)를 추가 근입하여도 평지에서의 지반 저항모멘트 보다 부족한 것을 해석을 통해 확인할 수 있었다. 따라서 경사지의 저항모멘트를 증가시키기 위해서는 경사지 보정근입깊이(A)의 수정을 필요하며, Table 1의 지반조건을 갖는 경우에 12m, 14m, 16m 전주에 대하여 수정 근입깊이를 해석적인 연구결과로 도출하여 정리하면 Table 3과 같다.

[Table 3] Modified Additional Embedded depth

Type	Length of Pole (m)	Embedded depth (m)	Modified Additional Embedded depth
Sand	12	2	3A
	14	2.4	3A
	16	2.5	3A
Clay	12	2(+0.7)	2A
	14	2.4(+0.7)	2A
	16	2.5(+0.7)	2A

* A : Additional Embedded depth

5. 결론

경사지에 설치되는 전주의 지반 저항모멘트를 합리적으로 산정하기 위하여 설계기준에서 지반 저항모멘트를 정의하는 바에 따라 지반해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 해석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 지반해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하기 위한 해석모형을 타연구와 평지에서의 지반 저항모멘트를 비교하여 분석한 결과에 의하면 본 연구에서 사용한

해석모형이 타당한 것으로 판단된다.

- (2) 현행 설계기준에서 사용하는 보정근입깊이(A)를 적용하여 지반 저항모멘트를 12m, 14m, 16m 전주를 대상으로 경사각을 0°~35°까지 5°씩 증가시켜 해석을 수행한 결과 모래지반과 점성토지반이 서로 다른 저항모멘트 감소율을 나타내었지만 결과적으로 경사각이 커짐에 따라 저항모멘트가 작아지는 것을 확인할 수 있었다.
- (3) 경사지 보정근입깊이(A)를 1.5~3배 증가시켜 수정한 근입깊이로 저항모멘트를 산정한 결과에 의하면 경사지의 저항모멘트를 평지에서의 저항모멘트만큼 증가시킬 수 있었다. 수정 근입깊이는 지반조건에 큰 영향을 받으며, 전주의 길이와 경사지의 각도에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 경사지에서의 전주의 근입깊이를 증가시킴으로써 전주의 전도 안정성을 향상시킬 수 있음을 해석적으로 입증하였다. 추가적으로 다양한 지반조건을 고려한 폭 넓은 해석과 실험을 병행하면 경사지에 설치되는 전주의 전도안정성을 증진시킬 수 있는 합리적인 설계기준을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] K. Y. Yoon, Y. J. Kang, S. H. Lee, J. S. Park, *Development of foundation reinforcing technique and supplementation installation for increasing the safety factor about upset of concrete pole*, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2007.
- [2] Korean Electricity Association, *Code for Electric Power*, 2005.
- [3] D. G. Shin, K. Y. Yoon, S. H. Lee and G. S. Yi, "Analytical Study on resisting moment of concrete pole installed in sloped ground," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 8, No. 4, pp. 842-847, 2007.
- [4] Ensoft, L-Pile Plus13.8, 2005.
- [5] Japan Electricity Association, *Code for Electric Technology - chapter for supply of electric power*, 1992.
- [6] Korean electric power corporation, *A study on safety of foundations of concrete pole considering soil conditions*, Dept. of supply of electric power, 2004
- [7] Korean electric power corporation, *Manual of supply of electric power*, 2000
- [8] Lyman C. Reese, William M. Isenhower, and

Shin-Tower Wang, *Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations*, WILEY, 2005.

- [9] M. Y. Son, J. S. Lim, "Laterally Loaded Bearing Capacity of Concrete Poles in Clay Soils," *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 25, No. 4C, pp. 303-311, 2005

윤 기 용(Ki-Yong Yoon)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 합성구조, 강구조, 내진설계

이 승 현(Seung-Hyun Lee)

[정회원]



- 1988년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토질역학, 기초공학

김 응 석(Eung-Seok Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (수공학석사)
- 2002년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (수공학박사)
- 2002년 3월 ~ 2004년 2월 : 고려대학교 부설 방재과학연구소 선임연구원
- 2004년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

수자원시스템, 상하수도 관망시스템