

콘크리트 전주의 경사지 전도 안전율에 관한 해석 연구

Analytical study on safety factor of concrete pole installed in sloped ground

신동근^{*} · 윤기용^{**} · 이승현^{***} · 강영종^{****}

Shin, Dong Geun · Yoon, Ki Yong · Lee, Seung Hyun · Kang, Young Jong

Abstract

We analyzed the sloped ground safety factor, which is not presented in the design specification, using a computational analysis program L-Pile Plus 13.8. To achieve this we chose a required parameter set and a level ground safety factor presented in the design specification, and then determined its values comparing with the change of the safety factor according to the parameter. Using these parameters, we estimated the sloped ground safety factor for the slope of 35 degrees considering the improvement value of the slope presented in the design specification. As a result of this analysis, we obtained the smaller safety factor by about 0.7 times than the case of the level ground and verified that a number of concrete poles fail to assure 1 degree of the safety factor. We, therefore, concluded that an adjustment of the embedment depth is required in the case of the sloped ground.

key words : concrete pole, safety factor, sloped ground

1. 서론

오늘날 지지물중 배전용으로 사용되는 전주는 사용하는 재료에 따라 콘크리트주, 철주, 목주로 구분되며, 2005년 한국전력 통계자료에 의하면 1961년에는 목주가 전체전주의 99.7%를 차지하고 있었으나 1987년 부터는 콘크리트 전주가 절대다수를 차지하기 시작하여 현재 콘크리트 전주는 전체 지지물의 99.9%인 약 7 백만기가 전국에 설치되었다. 그러나 많은 지지물이 자연재해로 인해 전주 전도나 부재파괴에 대해 안전하지 못하다. 현행 지지물 설계기준은 일본의 배전규정을 따르며, 토질의 분류방법에 따라 보통토질, 모래, 연질토질로 구분된다. 현행 설계기준에는 평지의 전도 안전율 계산식이 제시되었으나 경사지에 대한 전도 안전율 계산식은 제시되어 있지 않다. 범용 해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 경사지 전도 안전율을 해석하기 위해 성토지반의 일반적인 토질의 상태별 특성을 고려한 내부마찰각, 점착력, 흙의 단위중량, 지반종류, 사질토 및 점성토 지반계수를 매개변수로 선정하였으며, 설계기준에 제시된 전도 안전율을 비교·분석하였다. 각각의 토질등급에 따라 결정된 매개변수를 사용하여 35° 경사지의 전도 안전율을 산정하여 일본고속도로 교량기초 전도 안전율 산정식과 비교·분석하였다.

2. 기본 이론 및 평가방법

1. 설계기준 전도 안전율 산정방법(근가가 없는 경우)

다음에 제시된 식 (1)은 일본 전기협회식을 참조하여 전주의 경사각을 1°로 일정했을때의 전도 안전율 산정방법이다(한국전력 배전처, 2004).

* 선문대학교 토목공학과·석사과정·E-mail: agape0711@hotmail.com
** 정회원·선문대학교 토목공학과·교수
*** 정회원·선문대학교 토목공학과·교수
**** 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과·교수

$$f \leq \frac{KD_0 t^4}{120P(H+t_0)^2} \dots \dots \dots (1)$$

여기서, f : 지지물기초의 안전율

D₀ : 지지물의 지표면에서의 지름 (m)

t : 지지물의 근입깊이 (m)

H : 집중하중점으로 부터의 지표상의 높이 (m)

P : 지지물의 정부(頂部)에 작용하는 집중하중(kg)

2. 일본고속도로 교량 기초 전도 안전율 산정방법

극한 지지력을 산정하여 작용모멘트와 저항모멘트의 비로 산정되며, 사질토에만 적용이 가능하다(경사지구조물, 1997).

3. 본 연구에서의 전주 전도 안전율 산정방법

지반해석 프로그램 L-Pile Plus13.8으로 해석을 수행할 때 평지 및 경사지의 전도 안전율 산정방법은 설계하중에 대한, 경사각이 1°일때의 최대 수평하중비로 정의한다.

3. 토질등급별 해석모델링

전주를 횡방향력을 받는 기둥으로 모델링하였으며 현재 사용되고 있는 모든 전주를 대상으로 하였다. 전주의 전도 안전율을 설계기준과 비교 검토하기 위해 토질등급을 A,B,C,D로 구분하여 내부마찰각, 흙의 단위중량, 점착력, k(사질토 지반계수), ε₅₀ (점성토 지반계수), 지반종류를 매개변수로 하여 모델링을 하였다. 해석대상 모델링은 다음 표 1과 같다.

표 1. 토질등급별 해석대상 모델링

구분	해석종류	내부 마찰각(°)	단위중량 (t/m ³)	k	점착력 (t/m ²)	ε ₅₀	지반종류 (p-y curve model)
토질등급 A	경우1	40	2	225			API Sand(O'Neill)
	경우2	40	2	225			Sand(Resse)
	경우3	40	2	125			API Sand(O'Neill)
	경우4	35	2	225			API Sand(O'Neill)
	경우5	30	1.9	225			API Sand(O'Neill)
토질등급 B	경우1	40	2	125			API Sand(O'Neill)
	경우2	40	2	60			API Sand(O'Neill)
	경우3	40	2	225			API Sand(O'Neill)
	경우4	40	2	125			Sand(Resse)
	경우5	40	2	225			Sand(Resse)
토질등급 C	경우1	15	1.7	225	5	0.01	Stiff Clay w/o Free Water Using k
	경우2	15	1.7	225	5	0.02	Stiff Clay w/o Free Water Using k
	경우3	15	1.7	125	5	0.01	Stiff Clay with Free Water(Resse)
	경우4	15	1.7	125	5	0.02	Stiff Clay with Free Water(Resse)
	경우5	25	1.8	225	3	0.01	Stiff Clay w/o Free Water Using k
토질등급 D	경우1	0	1.7	0	5	0.02	Clay(Resse)
	경우2	0	1.7	0	5	0.01	Clay(Resse)
	경우3	15	1.7	225	5	0.01	Stiff Clay w/o Free Water Using k
	경우4	15	1.7	225	5	0.02	Stiff Clay w/o Free Water Using k

4. 모델링 해석결과

4.1 매개변수에 따른 해석결과

평지에서의 전도 안전율을 산정하기 위해 L-Pile Puls13.8프로그램을 통하여 일반용, 중하중용, 고강도용

으로 분류하여 해석을 수행하였으며 수평하중과 수평변위를 산정하였다. 경사각을 1°로 유지할때의 최대수평하중과 설계하중 판계를 이용하여 안전율을 산정하고 설계기준으로 계산한 안전율과 비교하여 각 토질등급에 맞는 매개변수를 산정하였다. 각각의 모델링에 대한 해석 결과는 다음과 같다.

- 1) 토질등급 A에서는 표준근입깊이를 사용하였으며 그림 1에서처럼 내부마찰각, 단위중량, 사질토지반계수(k) 값을 변화시켜 해석을 수행한 결과 경우4를 제외한 모든 경우는 설계기준에 의한 안전율보다는 작게 산정되었다. 경우4는 경사각 1°일때 수평변위에 도달하기 전에 전주의 부재 항복이 발생하였다. 안전율이 설계기준에 가장 근접하는 경우1의 매개변수를 토질등급A로 결정하였다.
- 2) 토질등급 B에서는 중하중용 전주를 제외한 일반용 및 고강도용 전주는 표준근입깊이를 사용하였으며 중하중용 전주는 표준근입깊이에 0.2m를 추가근입 하였으며 그림 2에서처럼 토질등급A와 같은 방법으로 해석을 수행한 결과 경우5의 12m 전주를 제외한 다른 전주는 안전율이 약간 크게 산정되었으며, 12m 전주는 설계기준보다 안전율이 작게 산정되었으나 경우5의 안전율이 설계기준에 가장 근접하여 경우5의 매개변수를 토질등급 B로 결정하였다.
- 3) 토질등급 C에서는 표준근입깊이에 0.7m를 추가근입 하였으며 그림 3에서처럼 내부마찰각, 점착력, 단위중량, 사질토 및 점성토 지반계수(k, δ_{50})를 변화시켜 해석을 수행한 결과 경우3, 4를 제외한 모든 경우는 설계기준의 안전율보다 작게 산정되었다. 경우3, 4는 경사각 1°일때 수평변위에 도달하기 전에 전주의 부재 항복이 발생하였다. 가장 안전율이 설계기준에 근접하는 경우1의 매개변수를 토질등급C로 결정하였다.
- 4) 토질등급 D에서는 표준근입깊이에 1m를 추가근입 하였으며 그림 4에서처럼 토질등급D와 같은 방법으로 해석을 수행한 결과 경우3이 설계기준의 안전율에 가장 근접함을 확인할 수 있었으며 경우3의 매개변수를 토질등급D로 결정하였다. 또한 매개변수는 토질등급C와 같다.

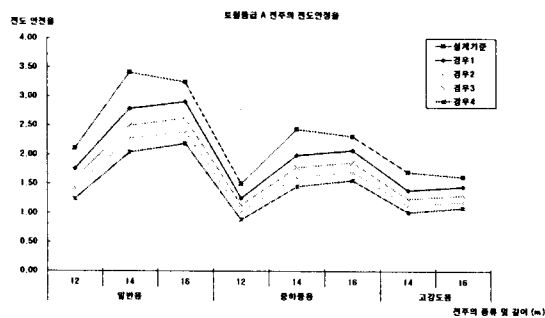


그림 1. 전도안전율비교(토질등급A)

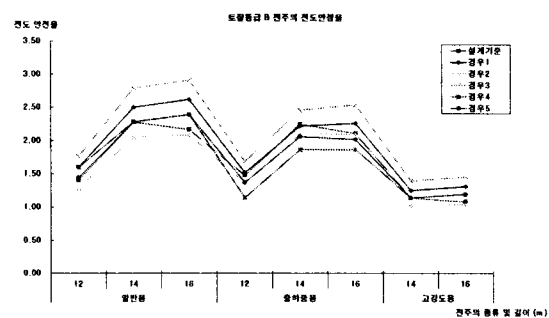


그림 2. 전도안전율비교(토질등급B)

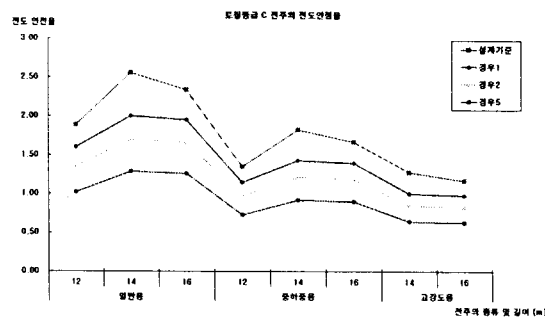


그림 3. 전도안전율비교(토질등급C)

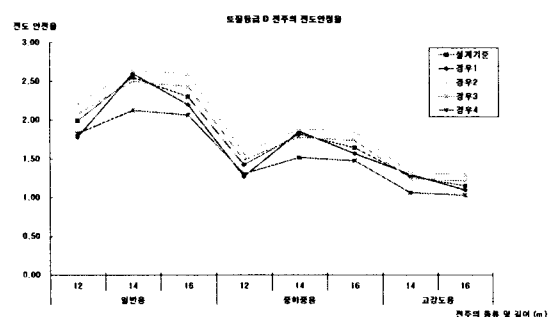


그림 4. 전도안전율비교(토질등급D)

4.2 결정된 매개변수를 사용한 경사지 전도 안전율 해석 결과

매개변수 연구를 통해 결정된 매개변수를 사용하여 35°경사지에서의 전주 전도 안전율을 모든 전주에 대하여, 설계기준에 제시된 경사지 보정값을 사용하여 근입깊이를 증가시켜 해석을 수행하였다. 해석결과는 표 2와 같다.

표 2를 통해 알 수 있듯이, 경사지의 전도 안전율은 평지의 설계기준의 안전율보다 0.49배~0.87배 정도 작

은 안전율을 보였으며 토질등급 A, B, C의 12m전주와 고강도용 전주에 대해서는 1보다 작은 안전율을 보 이므로 전주 전도의 위험이 있는 것으로 볼 수 있다. 토질등급 D의 경우, 고강도용 전주의 안전율은 거의 1 에 가까운데 토사유실등의 안전을 감소요인을 감안할 때 추가적인 근입깊이의 확보가 필요한 것으로 보인다.

표 2. 35° 경사지의 전도 안전율

구 분		토질등급 A			토질등급 B			토질등급 C			토질등급 D		
전주길이		12m	14m	16m	12m	14m	16m	12m	14m	16m	12m	14m	16m
평지 설계기준	일반용	2.11	3.41	3.25	1.40	2.27	2.16	1.89	2.56	2.34	1.99	2.55	2.31
	중하중용	1.50	2.44	2.32	1.47	2.24	2.11	1.35	1.83	1.67	1.42	1.82	1.65
	고강도용		1.71	1.62		1.14	1.08		1.28	1.17		1.28	1.15
경사지 프로그램	일반용	1.04	1.61	1.70	0.89	1.37	1.45	1.38	1.68	1.66	1.73	2.03	2.00
	중하중용	0.74	1.15	1.21	0.84	1.22	1.27	0.99	1.20	1.18	1.23	1.45	1.43
	고강도용		0.81	0.85		0.69	0.72		0.84	0.83		1.02	1.00

4.3 프로그램에 의한 경사지의 전도 안전율과 고속도로교량기초 전도 안전율 비교

토질등급 A에서 35°경사지의 전도 안전율을 일본 고속도로교량기초와 프로그램의 해석결과를 비교하였 다. 일본고속도로교량기초의 전도 안전율 산정방법은 사질토에만 적용이 가능하며 토질등급A에서 결정된 매개변수를 적용하여 산정하였다. 비교결과는 표 3과 같다.

비교결과, 일본 고속도로 교량기초 전도 안전율은 경사지에서의 수평하중에 저항하는 지반(쇄기)의 능력 을 과대평가하여 큰 안전율이 확보되는 것으로 생각되며, 전주에 비해 상대적으로 규모가 큰 구조물을 대상 으로 하여 유도된 것으로 크기효과의 영향도 있기 때문으로 보인다.

표 3. 경사지 전도 안전율 비교

구 분	토질등급 A(표준근입)							
	일반용			중하중용			고강도용	
전주길이	12m	14m	16m	12m	14m	16m	14m	16m
일본고속도로교량기초	2.42	4.01	4.13	1.73	2.87	2.95	2.01	2.07
프로그램(L-Pile)	1.04	1.61	1.70	0.74	1.15	1.21	0.81	0.85

3. 결 론

본 논문에서는 성토지반의 일반적인 토질의 상태별 특성을 고려한 내부마찰각, 점착력, 흙의 단위중량, 지반종류, 사질토 및 점성토 지반계수를 매개변수로 선정하여 각 토질등급에 적합한 매개변수를 범용 해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 결정하였으며, 결정된 매개변수를 사용하여 설계기준에 제시된 경사 지 보정값을 고려하여 35°경사지에서의 전주 전도 안전율을 산정하였다. 그 결과, 설계기준의 평지 전도안 전율에 비해 0.49배~0.87배 작은 안전율을 보였으며, 상당수의 전주가 안전율 1도 확보를 하지 못하였다. 따 라서 경사지의 경우 근입깊이의 조정이 필요한 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(과제번호 : R-2005-7-151)주관으로 수행된 과제 임.

참고문헌

1. 한국전력공사(2000). "배전실무교육교재"
2. 한국전력공사(2004). "지반상태별 콘크리트전주 기초의 안전성 확보방안", 배전처
3. 토목공법연구회(1997). "경사지 구조물", 창우출판
4. Lyman C. Reese, William M. Isenhower, And Shin-Tower Wang(2005). "ANALYSIS AND DESIGN OF Shallow and Deep FOUNDATIONS"