

콘크리트 전주의 경사지 저항 모멘트에 관한 해석 연구

신동근¹, 윤기용^{1*}, 이승현¹, 이규세¹

Analytical study on resisting moment of concrete pole installed in sloped ground

Dong-Geun Shin¹, Ki-Yong Yoon^{1*}, Seung-Hyun Lee¹ and Gyu-Sei Yi¹

요약 본 연구에서는 설계기준에 제시된 평지 전도 안전을 계산식을 바탕으로 경사지에서의 지반의 저항모멘트를 산정하기 위해 범용 해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 기존 연구와 검증하였다. 지반의 일반적인 토질상태별 특성을 고려한 내부마찰각, 점착력, 흙의 단위중량, 지반종류, 사질토 및 점성토 지반계수를 적용하여 각 전주의 근입 깊이에 따른 지반의 저항모멘트를 산정하였다. 또한 토질등급에 따른 토질의 상태별 특성이 고려된 4가지 경우를 선정하여 12m 중하중용 전주를 대상으로 경사지의 경사각을 0°~35°까지 5°씩 증가시켜 지반의 저항모멘트를 산정하였다. 그 결과 경사지 경사각에 따른 저항모멘트가 감소하는 것을 확인 할 수 있었으며 그에 따른 경사지의 근입깊이 증가가 필요한 것으로 판단된다.

Abstract In this study, for the purpose of estimating the resisting moment of sloped ground based on level ground fall down safety equation in design specification, compute it depends on penetration depth of concrete pile applying modulus of foundation about the angle of internal friction, cohesion, unit weight of soil, classes of the ground, sandy or clay soil, and verify established study using L-Pile Plus13.8. Also, select four cases that characteristics of soil depending on the soil grade is considered and compute the 12m length concrete pile's resisting moment of the ground those angle is changing from 0°~35°, step 5°. In the result, identify that the resisting moment of ground decreases depending on ground slope. Thus, increasing of penetration depth is required.

Key Words : resisting moment, concrete pole, soil magnitude, sloped ground

1. 서론

오늘날 지지물중 배전용으로 사용되는 전주는 사용하는 재료에 따라 콘크리트주, 철주, 목주로 구분되며, 2005년 한국전력 통계자료에 의하면 1961년에는 목주가 전체 전주의 99.7%를 차지하고 있었으나 1987년 부터는 콘크리트 전주가 절대다수를 차지하기 시작하여 현재 콘크리트 전주는 전체 지지물의 99.9%인 약 7백만기가 전국에 설치되었다. 설치된 전주는 풍압에 의한 수평력을 지속적으로 받고 있어, 이 힘에 대해 전주가 전도되지 않도록 수평하중에 대한 지반의 저항 모멘트가 유지되어야한다.

그러나 많은 지지물이 태풍등의 자연재해로 인해 전주 전도가 일어난 것으로 보아 지반의 저항모멘트가 수평력에 대해 안전하지 못한 것으로 판단된다. 현행 지지물 설계기준은 일본의 배전규정을 따르며, 토질의 분류방법에 따라 보통토질, 모래, 연질토질로 구분된다. 현행 설계기준에는 평지의 전도 안전을 계산식이 제시되어 있으나 경사지에 대한 전주 전도의 영향을 수치적으로 판단할 수 있는 기준이 없다.

따라서, 본 연구에서는 설계기준에 제시된 평지 안전을 계산식을 바탕으로 범용 해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 사용하여 기존 연구와 검증하고 지반의 일반적인 토질상태별 특성을 고려한 내부마찰각, 점착력, 흙의 단위중량, 지반종류, 사질토 및 점성토 지반계수를 적용하여 각 전주의 근입깊이에 따른 지반의 저항모멘트를 산정하였다. 또한 토질등급에 따른 토질의 상태별 특성이

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

¹선문대학교 토목공학과

*교신저자: 윤기용(kyoon@sunmoon.ac.kr)

고려된 4가지 경우를 선정하여 12m 중하중용 전주를 대상으로 경사지의 경사각을 0°~35°까지 5°씩 증가시켜 지반의 저항모멘트를 산정하였다.

2. 기본 이론 및 평가방법

2.1 설계기준 전도안전을 산정방법 (근가가 없는 경우)

다음에 제시된 식 (1)은 일본 전기협회식을 참조하여 전주의 두부변위를 0.3m로 고정하였을 때의 전도 안전을 산정방법이다(한국전력 배전처, 2004).

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

- 여기서, f : 지지물기초의 안전율
 D₀ : 지지물의 지표면에서의 지름 (m)
 t₀ : 회전중심까지의 깊이 (m)
 K : 토질계수 (kN/m⁴)
 t : 지지물의 근입깊이 (m)
 H : 집중하중점으로 부터의 지표상의 높이 (m)
 P : 지지물의 정부(頂部)에 작용하는 집중하중(kN)

2.2 본 연구에서의 지반 저항모멘트 산정방법

지반해석 프로그램 L-Pile Plus3.8으로 해석을 수행하여 평지 및 경사지의 저항모멘트 산정방법은 전주 두부의 수평변위를 0.3m로 고정하였을때의 최대 수평하중값에 집중하중점에서 회전중심까지의 거리 곱으로 나타내었다.

3. 평지 전주의 저항모멘트 산정

전주는 수평력을 받는 기둥으로 모델링하였고 현재 사용되고 있는 모든 전주를 대상으로 하였으며 전주의 근입깊이는 설계기준에 제시된 표준근입깊이와 토질등급에 따른 전주의 추가 근입깊이를 적용하였다(설계기준 배전편-3100, 2005).

3.1 프로그램해석 모델링(평지)

지반의 일반적인 토질상태별 특성을 고려한 내부마찰각, 점착력, 흙의 단위중량, 지반종류, 사질토 및 점성토 지반계수를 적용하여 표 1과 같이 모델링하였다(Resse, 2005).

3.2 프로그램 검증

프로그램을 검증하기 위하여 손명운과 임종석(2004)의 보고서 중에서 수평하중을 받는 12m 전주의 실험데이터와 경우6의 토질조건을 고려한 프로그램 해석결과를 비교·분석하였는데 그 결과는 그림 1과 같다(한국전력 배전처, 2004).

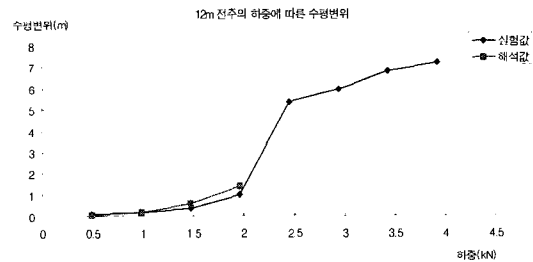


그림 5. 12m 일반용 전주의 하중-변위 그래프

표 1. 해석대상 모델링

구분	내부마찰각 (°)	점착력 (kN/m ²)	단위중량 (kN/m ³)	k (MN/m ³)	ε ₅₀	지반종류
경우1	40	0	19.62	61		API Sand(O'Neill)
경우2	35	0	19.62	61		API Sand(O'Neill)
경우3	40	0	19.62	61		Sand(Resse)
경우4	35	0	19.62	61		Sand(Resse)
경우5	20	19.62	18.64		0.01	Clay(Resse)
경우6	10	19.62	18.64		0.02	Clay(Resse)
경우7	20	19.62	18.64	24.4	0.01	Stiff Clay w/o Free Water Using k
경우8	10	19.62	15.70	6.8	0.02	Stiff Clay w/o Free Water Using k
경우9	20	18.64	18.64	16.3	0.01	Stiff Clay with Free Water(Resse)
경우10	10	18.64	15.70	5.4	0.02	Stiff Clay with Free Water(Resse)

프로그램 해석결과는 수평항하중이 1.96kN 초과시 지반이 항복하여 더 이상 해석되지 않았으며 수평항하중이 1.96kN이하에서는 약 0.04~0.044m의 수평변위 차이가 발생하였다. 그 결과 프로그램으로 해석을 수행하였을 때의 값을 신뢰할 수 있는 것으로 판단된다.

3.3 모래지반의 전주 저항모멘트 해석결과

범용 해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 이용한 모래지반의 각 전주별 저항모멘트 산정결과는 다음과 같다.

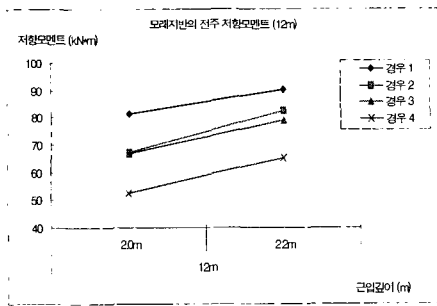


그림 6. 12m 전주

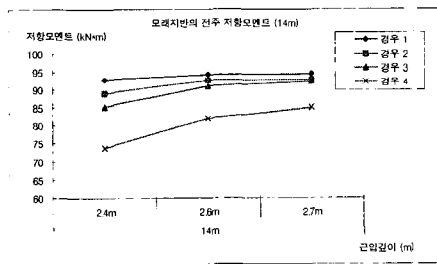


그림 7. 14m 전주

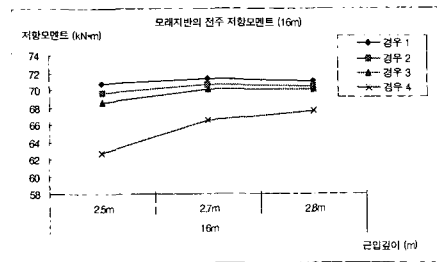


그림 8. 16m 전주

12m 전주의 토질등급 A, B에 해당하는 근입깊이 2m, 2.2m를 모래지반에 적용한 저항모멘트 해석결과는 그림 2와 같으며 모든 경우에서 근입깊이 0.2m 증가시 지반 저항모멘트가 9%~19%증가되는 것을 확인할 수 있었다.

14m 전주의 토질등급 A, B에 해당하는 근입깊이

2.4m, 2.6m, 2.7m를 모래지반에 적용한 저항모멘트 해석결과는 그림 3과 같으며 모든 경우에서 근입깊이 0.2m 증가시 지반 저항모멘트가 1.7% ~9.9%증가되는 것을 확인할 수 있었으며 근입깊이 0.1m 증가시에는 0.2%~3.6% 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

16m 전주의 토질등급 A, B에 해당하는 근입깊이 2.5m, 2.7m, 2.8m를 모래지반에 적용한 저항모멘트 해석결과는 그림 4와 같으며 경우4를 제외한 나머지 경우에는 근입깊이 증가시 지반의 저항모멘트가 미소하게 증가하거나 거의 증가하지 않는 것을 확인할 수 있었으며 경우4에서는 근입깊이 0.2m 증가시 지반 저항모멘트가 5.7%증가되는 것을 확인할 수 있었으며 근입깊이 0.1m 증가시에는 1.6% 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

3.4 점성토지반의 전주 저항모멘트 해석결과

범용 해석 프로그램 L-Pile Plus13.8을 이용한 모래지반의 각 전주별 저항모멘트 산정결과는 다음과 같다.

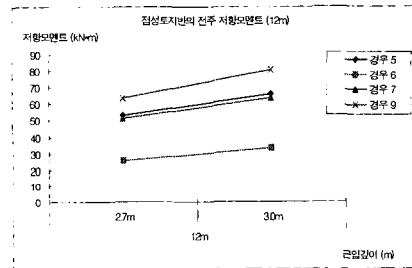


그림 9. 12m 전주

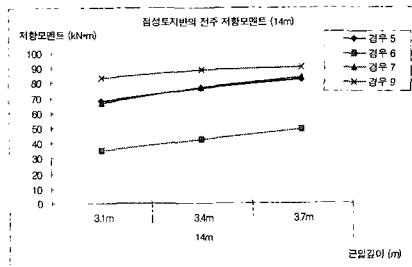


그림 10. 14m 전주

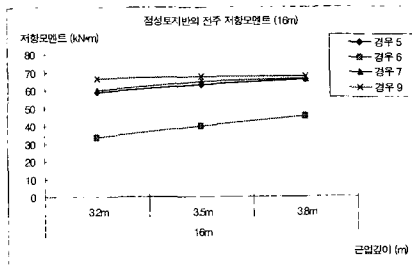


그림 11. 16m 전주

표 2. 토질등급별 해석 모델링

구 분	내부마찰각 (°)	점착력 (kN/m ²)	단위중량 (kN/m ³)	k (MN/m ³)	ϵ_{50}	지반종류
경우1	40	0	19.62	61		API Sand(O'Neill)
경우4	35	0	19.62	61		Sand(Resse)
경우7	20	19.62	18.64	24.4	0.01	Stiff Clay w/o Free Water Using k
경우6	10	19.62	18.64		0.02	Clay(Resse)

12m 전주의 토질등급 C, D에 해당하는 근입깊이 2.7m, 3m를 점성토지반에 적용한 저항모멘트 해석결과는 그림 5와 같으며 모든 경우에서 근입깊이 0.2m 증가 시 지반 저항모멘트가 19.6%~23%증가되는 것을 확인할 수 있었다.

14m 전주의 토질등급 C, D에 해당하는 근입깊이 3.1m, 3.4m, 3.7m를 점성토지반에 적용한 저항모멘트 해석결과는 그림 6과 같으며 모든 경우에서 근입깊이 0.2m 증가 시 지반 저항모멘트가 6%~16.8%증가되는 것을 확인할 수 있었으며 근입깊이 0.1m 증가시에는 2.1%~14.4% 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

16m 전주의 토질등급 C, D에 해당하는 근입깊이 3.2m, 3.5m, 3.8m를 점성토지반에 적용한 저항모멘트 해석결과는 그림 7과 같으며 경우1를 제외한 나머지 경우에는 근입깊이 0.2m 증가 시 지반 저항모멘트가 1.5%~15.5%증가되는 것을 확인할 수 있었으며 근입깊이 0.1m 증가시에는 0.3%~12.8% 증가하는 것을 확인할 수 있었으나 경우1에서는 근입깊이 증가 시 지반의 저항모멘트가 미소하게 증가하거나 거의 증가하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

점성토 지반에서는 6가지 경우 중에 경우8과 경우10은 수평변위 0.3m에 도달하기 전에 지반이 항복하여 더 이상의 해석이 불가능했다.

따라서, 평지에서는 12m 전주가 근입깊이 0.2m 증가 시 가장 큰 지반 저항모멘트가 산정되었으며 다른전주에서도 큰 지반 저항모멘트가 산정되지는 않았으나, 근입깊이가 증가함에 따라 저항모멘트가 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 경사지 전주의 저항모멘트 산정

실제기준의 토질등급에 따른 분류처럼 토질의 상태별 특성이 고려된 4가지 경우를 선정하여 12m 중하중용 전주를 대상으로 경사지의 경사각을 0°~35°까지 5°씩 증가시켜 지반의 저항모멘트를 산정하였다.

4.1 프로그램해석 모델링(경사지)

지반의 일반적인 토질상태별 특성을 고려한 내부마찰각, 점착력, 흙의 단위중량, 지반종류, 사질토 및 점성토 지반계수를 적용하여 경우1, 경우 4, 경우 7, 경우 6일때의 토질상태별 특성 값을 적용하였다. 표 2와 같이 모델링을 선정하였다(Reese, 2005).

4.2 경사지 지반 저항모멘트 해석결과

12m 중하중용 전주에 대하여 경사각을 0°~35°까지 5°씩 증가시켜 말구 변위가 0.3m일때의 저항모멘트를 산정한 결과는 그림 12과 같다.

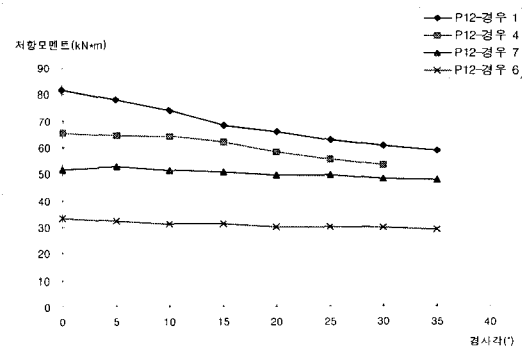


그림 12. 경사각에 따른 각도별 저항모멘트

경우 1에서는 경사각이 증가함에 따라 지반 저항모멘트 값이 평지에서 보다 약 28% 감소하였다. 경우 4에서는 경사각이 증가함에 따라 지반 저항모멘트 값이 평지에서 보다 약 19% 감소하였다. 경우 7에서는 평지에서 보다 경사각5°일때의 지반의 저항모멘트가 더 크게 산정된 것을 확인할 수 있었으며 평지보다 8% 감소하였다. 경우 6에서는 평지보다 13.6% 지반의 저항모멘트가 감소하는 것으로 판단된다.

견고한 지반인 토질등급 A, B에서는 전주의 소성변형이 생기지만 연약지반인 토질등급 C, D에서는 전주가 탄성변형이 생겨 저항모멘트가 토질등급 A와 B 보다 오히려 작은 저항모멘트 감소를 나타낸 것으로 판단된다.

따라서 경사지에 건주된 전주의 안정성확보를 위해 추가 근입이 필요하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구를 통해 평지와 경사지에서의 전주의 지반 저항모멘트 산정에 대해 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 프로그램을 검증하기 위해 손명운과 임종석(2004)의 보고서 중에 수평항하중을 받는 12m 전주의 실험데이터와 본 연구에서 고려한 경우 6의 토질조건이 고려된 L-Pile프로그램 해석 결과 0.04m~0.044m의 오차를 보였으므로 프로그램 해석결과는 신뢰할 수 있는 것으로 판단된다.
- (2) L-Pile프로그램을 사용하여 평지에서의 지반 저항모멘트 산정결과 대부분의 전주들이 근입깊이 증가시 저항모멘트가 커지는 것을 확인 할 수 있었으며 12m 전주의 근입깊이를 0.2m 증가시 가장 큰 저항모멘트가 산정되었다.
- (3) L-Pile프로그램을 사용하여 경사지에서의 지반 저항모멘트를 살펴보고자 12m의 중하중용 전주를 대상으로 경사각을 0°~35°까지 5°씩 증가시켜 해석을 수행한 결과 토질등급에 따라 서로 다른 저항모멘트 감소율을 나타내었지만 결과적으로 경사각이 커짐에 따라 저항모멘트가 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

따라서, 경사지에 따른 추가 근입이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 손명운, 임종석, "연약점토지반에 설치된 콘크리트 전주의 수평지지력", 대한토목학회 논문지, 제25권 4C호, pp. 303~311, 2005. 7.
- [2] Lyman C. Reese, William M. Isenhower, And Shin-Tower Wang, "ANALYSIS AND DESIGN OF Shallow and Deep FOUNDATIONS", WILEY. 2005.
- [3] 한국전력공사, "지반상태별 콘크리트 전주 기초의 안전성 확보방안", 배전처, 2004.
- [4] 한국전력공사, "설계기준-3100 배전편", 2005.

신 동 근(Dong-Geun Shin)

[정회원]



- 2006년 2월 : 선문대학교 토목공학과 (공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 (공학석사)

<관심분야> : 강구조공학, 비선형 구조 해석

윤 기 용(Ki-Yong Yoon)

[정회원]

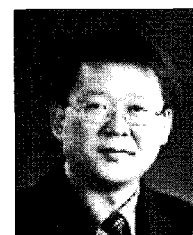


- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과(공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야> : 성능기초 내진 평가 및 설계, 구조 해석, 강구조 공학

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 부교수

<관심분야> : 토질역학, 기초공학

이 규 세(Gyu-Sei Yi)

[정회원]



- 1979년 9월 : 고려대학교 토목공학과 (공학사)
- 1983년 8월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : Utah State University 토목공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야> : 구조공학, 콘크리트 구조, 구조해석