

경사지에서 콘크리트 전주의 거동 연구

신동근*¹, 윤기용*², 이승현*³, 이규세*⁴, 강영종**¹

*선문대학교 토목공학과

*고려대학교 사회환경시스템공학과

e-mail: kyyoon@sunmoon.ac.kr

Analytical study on behavior of concrete pole installed in sloped ground

Dong-Geun Shin*¹, Ki-Yong Yoon*², Seung-Hyun Lee*³,
Gyu-Sei Yi*⁴, Young-Jong Kang**¹

*Dept of Civil Engineering, Sunmoon University

**Dept of Civil & Engineering, Korea University

요 약

본 연구에서는 설계기준에 제시된 평지 전도 안전율 계산식을 바탕으로 경사지에서 지반의 저항모멘트를 산정하기 위해 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 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.

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 1987년부터는 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 안전율 계산식이 제시되어있으나 경사지에 대한 전주 전도의

영향을 수치적으로 판단할 수 있는 기준이 없다.

따라서, 본 연구에서는 설계기준에 제시된 평지 안전율 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 고려된 4가지 경우를 선정하여 12m 중하중용 전주를 대상으로 경사지의 경사각을 0°~35°까지 5°씩 증가시켜 지반의 저항모멘트를 산정하였다.

2. 기본 이론 및 평가방법

1. 설계기준 전도안전율 산정방법 (근가無)

다음에 제시된 식 (1)은 일본 전기협회식을 참조하여 전주의 두부의 변위를 30cm로 고정하였을때의 전도 안전율 산정방법이다(한국전력 배전처, 2004).

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

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. 본 연구에서의 지반 저항모멘트 산정방법

지반해석 프로그램 L-Pile Plus13.8으로 해석을 수행하여 평지 및 경사지의 저항모멘트 산정방법은 전주 두부의 수평변위를 30cm로 고정하였을때의 최대 수평하중값에 집중하중점에서 회전중심까지의 거리 곱으로 나타내었다.

3. 평지 전주의 저항모멘트 산정

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

1. 프로그램해석 모델링(평지)

지반의 일반적인 토질상태별 특성을 고려한 내부마찰각, 점착력, 흙의 단위중량, 지반종류, 사질토 및 점성토 지반계수를 적용하여 표 1과 같이 모델링을 선정하였다.

표 1. 해석대상 모델링

구분	내부 마찰각 (°)	점착력 (t/m ²)	단위 중량 (t/m ³)	k (psi)	ε ₅₀	지반종류
경우1	40	0	2	225		API Sand(O'Neill)
경우2	35	0	2	225		API Sand(O'Neill)
경우3	40	0	2	225		Sand(Resse)
경우4	35	0	2	225		Sand(Resse)
경우5	20	3	1.9		0.01	Clay(Resse)
경우6	10	1.5	1.6		0.02	Clay(Resse)
경우7	20	3	1.9	90	0.01	Stiff Clay w/o Free Water Using k
경우8	10	1.5	1.6	25	0.02	Stiff Clay w/o Free Water Using k
경우9	20	3	1.9	60	0.01	Stiff Clay with Free Water(Resse)
경우10	10	1.5	1.6	20	0.02	Stiff Clay with Free Water(Resse)

2. 프로그램 검증

프로그램을 검증하기 위하여 임종석(2004)의 보고서 중에서 수평하중을 받는 12m 전주의 실험데이터와 경우10의 토질조건을 고려한 프로그램 해석

결과를 비교·분석하였다. 그 결과는 그림 2와 같다.

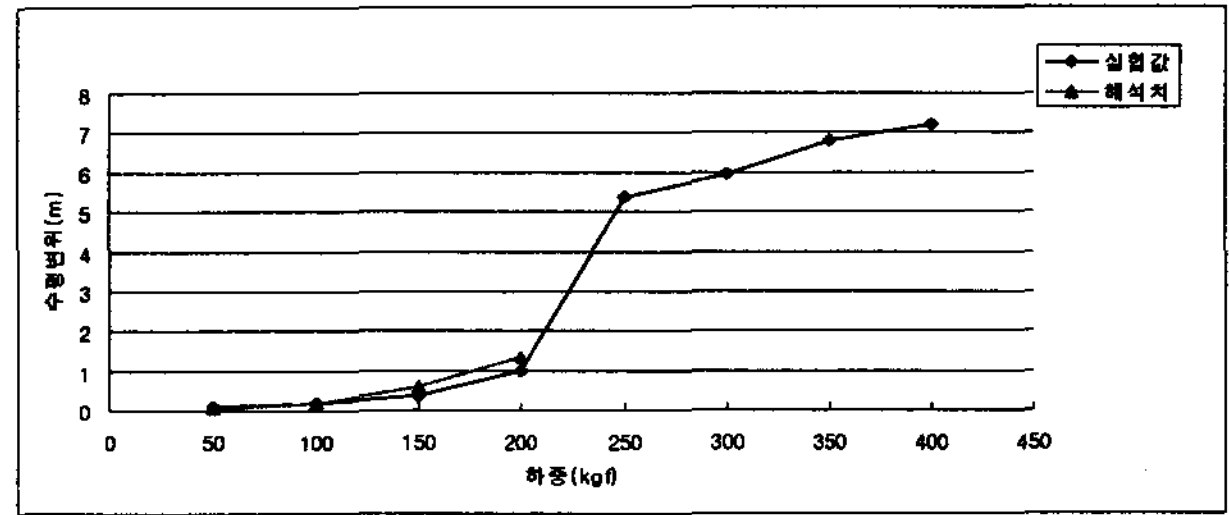


그림 1. 12m 일반용 전주의 하중-변위 그래프

프로그램 해석결과는 수평하중이 200kgf 초과시 지반이 항복하여 더 이상 해석되지 않았으며 수평하중이 200kgf이하에서는 약 0.04~0.044m의 수평변위 차이가 발생하였다. 그 결과 프로그램으로 해석을 수행하였을때의 값을 신뢰할 수 있다고 판단된다.

3. 모래지반의 전주 저항모멘트 해석결과

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

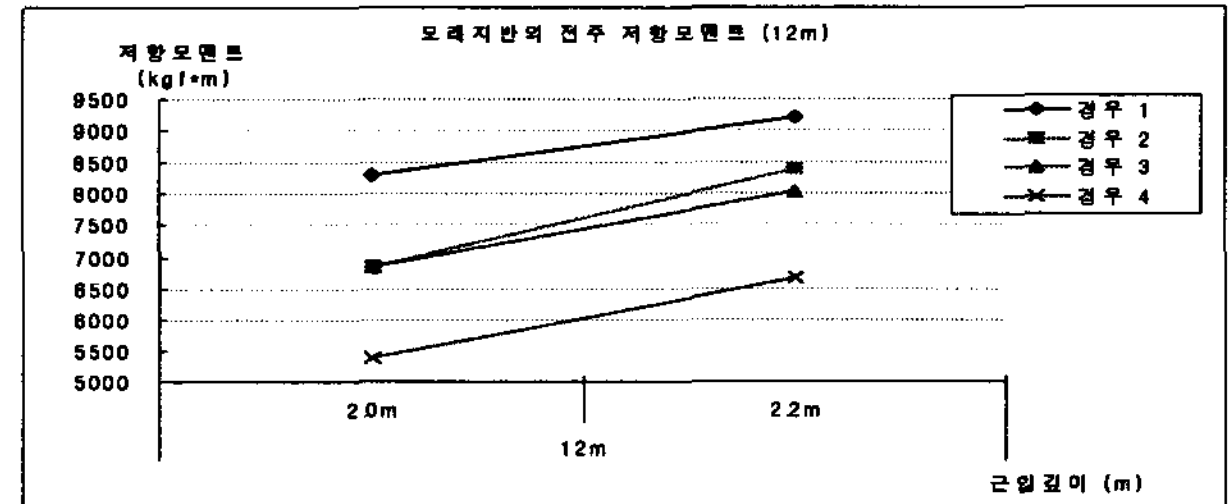


그림 2. 12m 전주의 저항모멘트

12m 전주의 토질등급 A, B에 해당하는 근입깊이 2m, 2.2m에 해당하는 모래지반에서의 저항모멘트 해석결과는 그림 3과 같으며 모든 경우에서 근입깊이 0.2m 증가시 지반 저항모멘트가 9%~19%증가되는 것을 확인할 수 있었다.

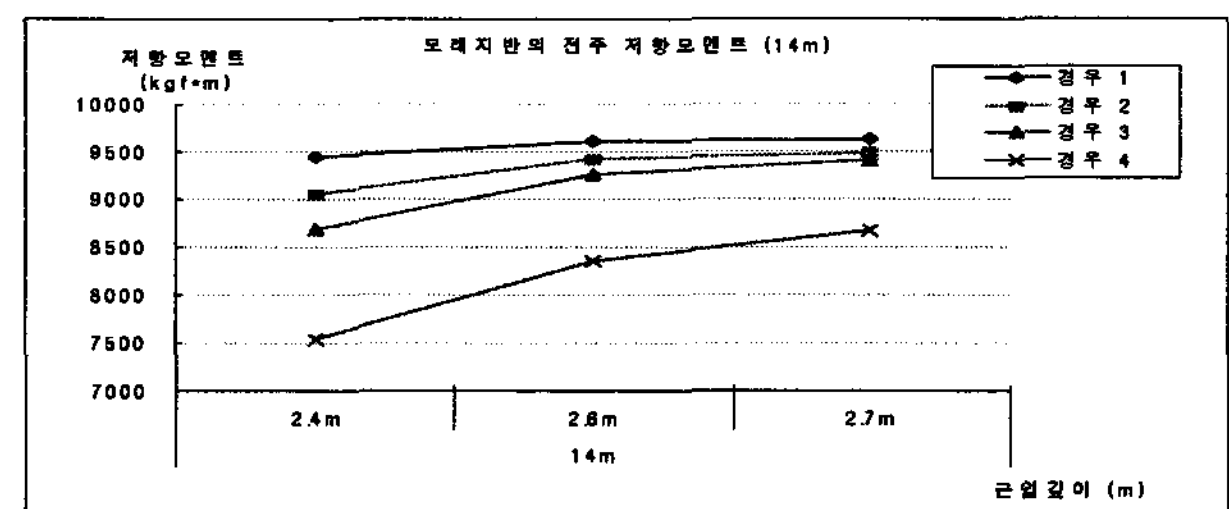


그림 3. 14m 전주의 저항모멘트

14m 전주의 토질등급 A, B에 해당하는 근입깊이 2.4m, 2.6m, 2.7m에 해당하는 모래지반에서의 저항모멘트 해석결과는 그림 4와 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.

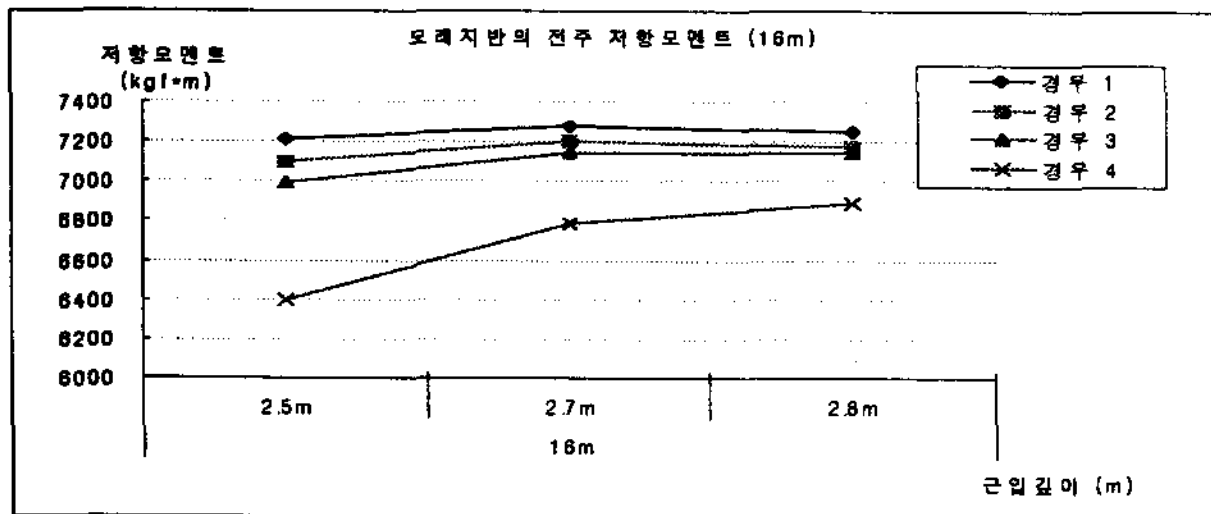


그림 4. 16m 전주의 저항모멘트

16m 전주의 토질등급 A, B에 해당하는 근입깊이 2.5m, 2.7m, 2.8m에 해당하는 모래지반에서의 저항모멘트 해석결과는 그림 5와 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.

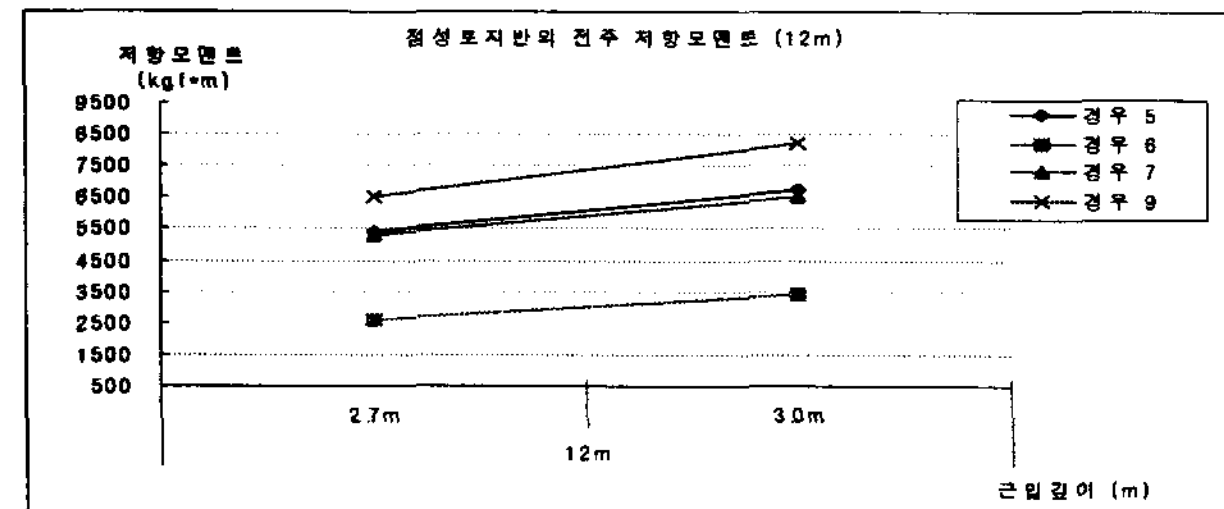


그림 5. 12m 전주의 저항모멘트

12m 전주의 토질등급 C, D에 해당하는 근입깊이 2.7m, 3m에 해당하는 점성토지반에서의 저항모멘트 해석결과는 그림 6과 같으며 모든 경우에서 근입깊이 0.2m 증가시 지반 저항모멘트가 19.6%~23%증가

되는 것을 확인할 수 있었다.

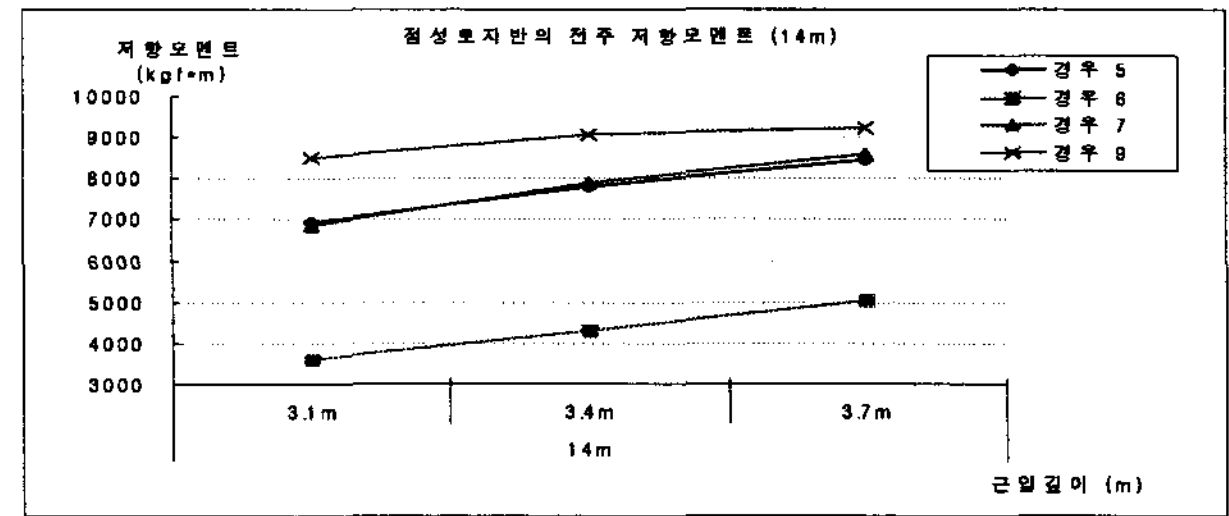


그림 6. 14m 전주의 저항모멘트

14m 전주의 토질등급 C, D에 해당하는 근입깊이 3.1m, 3.4m, 3.7m에 해당하는 점성토지반에서의 저항모멘트 해석결과는 그림 7과 같으며 모든 경우에서 근입깊이 0.2m 증가시 지반 저항모멘트가 6%~16.8%증가되는 것을 확인할 수 있었으며 근입깊이 0.1m 증가시에는 2.1%~14.4% 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

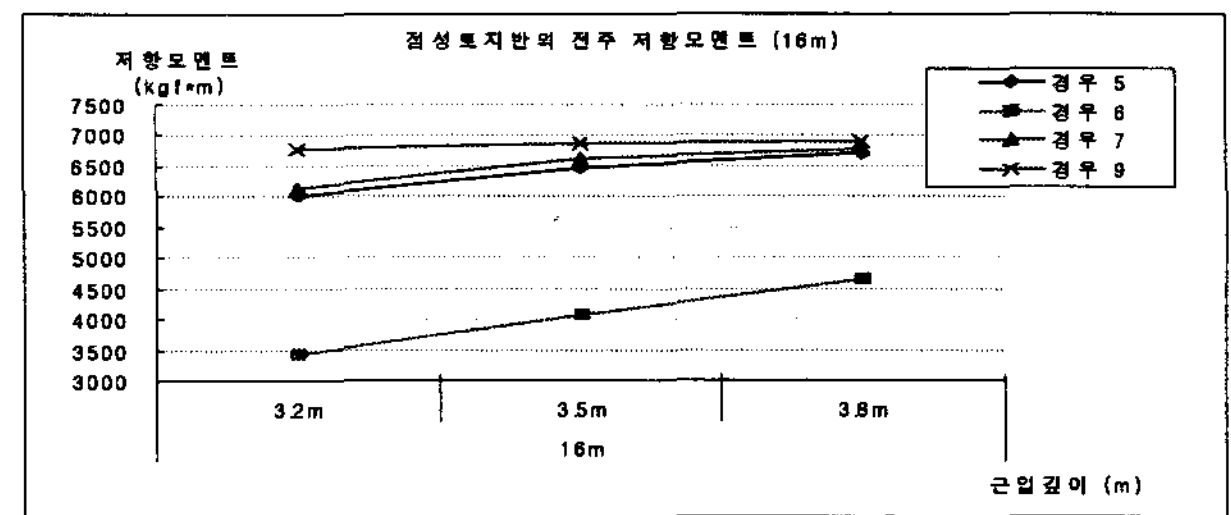


그림 7. 16m 전주의 저항모멘트

16m 전주의 토질등급 C, D에 해당하는 근입깊이 3.2m, 3.5m, 3.8m에 해당하는 점성토지반에서의 저항모멘트 해석결과는 그림 8과 같으며 경우1를 제외한 나머지 경우에는 근입깊이 0.2m 증가시 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 증가시 지반의 저항모멘트가 미소하게 증가하거나 거의 증가하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

점성토 지반에서는 6가지 경우 중에 경우8과 경우10은 수평변위 30cm에 도달하기 전에 지반이 항복하여 더 이상의 해석이 불가능했다.

4. 경사지 전주의 저항모멘트 산정

설계기준의 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.

1. 프로그램해석 모델링(경사지)

지반의 일반적인 토질상태별 특성을 고려한 내부 마찰각, 점착력, 흙의 단위중량, 지반종류, 사질토 및 점성토 지반계수를 적용하여 표 2와 같이 모델링을 선정하였다.

표 2. 토질등급별 해석 모델링

구분	내부 마찰각 (°)	단위 중량 (t/m ³)	k	점착력 (t/m ²)	c50	지반종류 (p-y curve model)
경우 1	40	2	225	0		API Sand(O'Neill)
경우 4	35	2	225	0		Sand(Resse)
경우 7	20	1.9	90	3	0.01	Stiff Clay w/o Free Water Using k
경우 6	10	1.6	0	1.5	0.02	Clay(Resse)

2. 경사지 지반 저항모멘트 해석결과

12m 중하중용 전주에 대하여 경사각을 0°~35°까지 5°씩 증가 시켜 말구 변위가 30cm일때의 저항모멘트를 산정한 결과는 다음과 같다.

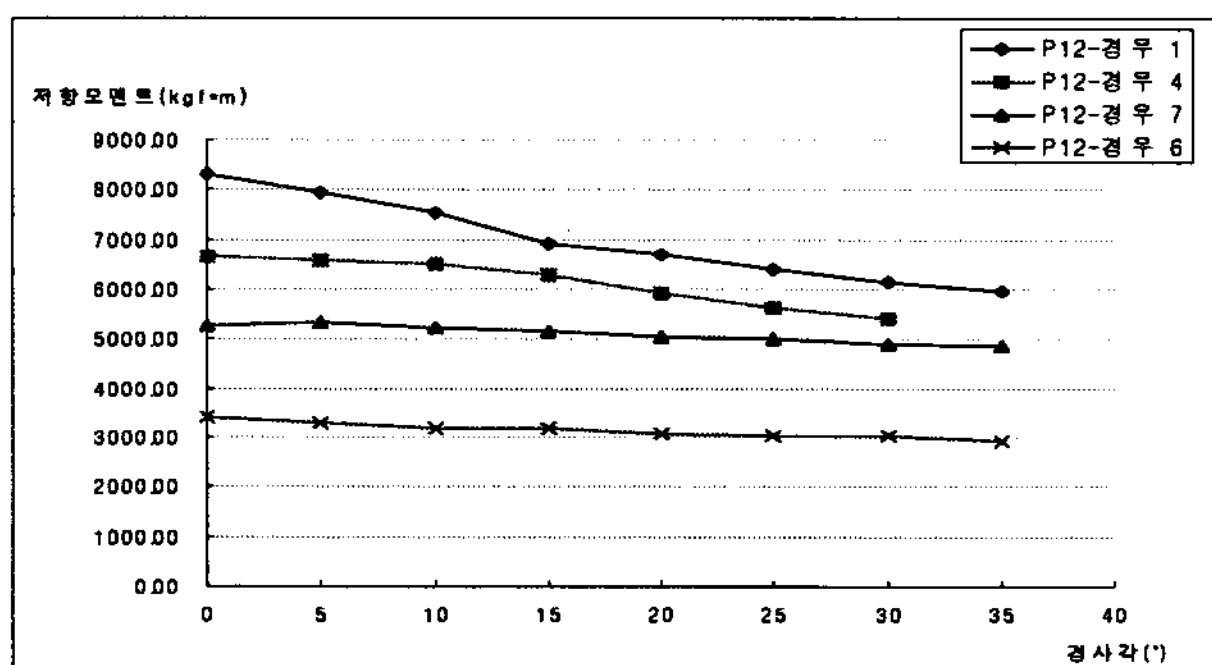


그림 8. 경사각에 따른 저항모멘트

그림 8에서 처럼 경우 1에서는 경사각이 증가함에 따라 지반 저항모멘트값이 평지에서 보다 약 28% 감소하였다. 경우 4에서는 경사각이 증가함에 따라 지반 저항모멘트값이 평지에서 보다 약 19% 감소하였다. 경우 7에서는 평지에서 보다 경사각 5° 일때의 지반의 저항모멘트가 더 크게 산정된 것을 확인할 수 있었으며 평지보다 8% 감소하였다. 경우 6에서는 평지보다 13.6% 지반의 저항모멘트가 감소하는 것으로 확인 하였다.

견고한 지반인 경우 1, 4에서는 전주의 소성변형이 생기지만 연약지반인 경우 7, 6에서는 전주가 탄성변형이 생겨 저항모멘트가 경우 1과 4 보다 오히

려 작은 저항모멘트 감소를 나타낸 것으로 판단된다.

따라서 경사지에 건주된 전주의 안정성확보를 위해 추가 근입이 필요하다고 판단된다.

5. 결론

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

- (1) 프로그램을 검증하기 위해 임종석(2004)의 보고서 중에 수평하중을 받는 12m 전주의 실험데이터와 경우 10의 토질조건이 고려된 L-Pile 프로그램 해석 결과 0.04m~0.044m의 오차를 보였으므로 프로그램 해석을 신뢰할 수 있다고 판단된다.
- (2) L-Pile 프로그램을 사용하여 평지에서의 지반 저항모멘트 산정결과 대부분의 전주들이 근입깊이 증가시 저항모멘트가 커지는 것을 확인 할 수 있었으며 12m 전주가 근입깊이를 0.2m 증가시 가장 큰 저항모멘트가 산정되었다.
- (3) L-Pile 프로그램을 사용하여 경사지에서의 지반 저항모멘트를 12m 중하중용 전주를 대상으로 경사각을 0°~35°까지 5°씩 증가시켜 해석을 수행한 결과 토질종류에 따라 서로 다른 저항모멘트 감소율을 나타내었지만 결과적으로 경사각이 커짐에 따라 저항모멘트가 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 손명운, 임종석, "연약점토지반에 설치된 콘크리트 전주의 수평지지력", 대한토목학회, 2005.
- [2] Lyman C. Reese, William M. Isenhower, And Shin-Tower Wang, "ANALYSIS AND DESIGN OF Shallow and Deep FOUNDATIONS", 2005.
- [3] 한국전력공사, "지반상태별 콘크리트 전주 기초의 안전성 확보방안", 배전처, 2004.
- [4] 한국전력공사, "배전실무교재", 2000.