

사질토지반의 선단확장형말뚝의 인발거동 특성

조석호^{1*}, 김학문²

¹한국농어촌공사 제주지역본부 사업계획팀, ²단국대학교 토목환경공학과

Characteristics on Pullout Behavior of Belled Tension Pile in Sandy Soils

Seok-Ho Cho^{1*} and Hak-Moon Kim²

¹Project Planning Team of Jeju Branch, Korea Rural Community Corporaion

²Dept. Civil and Environmental Engineering, Dankook University

요약 연안개발과 해안매립을 사용하여 개발된 새로운 도시 건설의 수요가 증가하면서 해안구조물과 고층구조물의 시공이 증가하는 추세이다. 이러한 구조물에서 수평력과 인발력을 받는 구조물의 기초의 적용이 증가하고 있으며, 특히 구조물에서 인발력에 효과적으로 저항하기 위한 기초형식으로 선단확장형말뚝의 사용이 증가하고 있는 실정이다. 압축력을 받는 기초에 관한 많은 연구들이 이루어지고 있으나, 선단확장형말뚝의 인발저항에 관한 연구는 미비한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 국외 4개 현장을 대상으로 선단확장형말뚝을 시공하고 정재하시험을 실시하여 말뚝의 지지력 및 하중-변위특성과 주면마찰력을 고려한 하중분담을 고찰하였다. 또한 3차원 유한요소해석 및 이론에 의해 산정된 극한인발력과 현장시험의 극한인발력을 비교·평가하였다.

Abstract Recently, the construction of coastal structures and high-rise structures against the horizontal and uplift forces increases with the developing the coastal developments. Especially the application of belled tension pile as foundation type to effectively resist uplift force is increasing in coastal structures. However, research on pullout resistance of belled tension pile has been limited and not yet been fully performed. Therefore, the pullout load tests of belled tension piles in four overseas sites were performed, then the bearing capacity, characteristics on load-displacement of piles and load distribution considering skin friction were investigated in this paper. In addition, the limit pullout bearing capacity calculated by the three-dimensional finite element analysis and theoretical methods were compared with values of in-situ test.

Key Words : Belled tension pile, Static loading test, Limit pullout bearing capacity, Load distribution

1. 서론

말뚝기초는 상부지반이 충분한 지지력을 발휘하지 못하여 얇은 기초를 사용할 수 없거나 국부적으로 작은 면적에 큰 집중하중이 발생할 경우에 이를 깊은 심도의 지지층에 전달하기 위한 기초공법이다. 이에 따라 충분한 지지력을 발휘하지 못하는 토사층이 깊은 경우 기반암층까지 도달하기 위한 굴착심도의 증가와 굴착소요시간의 증가로 시공성 및 경제적인 측면에서 매우 불리하게 된다. 또한, 최근 들어 거대화된 구조물의 하중이 커지면서

말뚝기초의 규격도 대형화 되고 있으며 소구경 기성말뚝의 사용도 한계에 이르고 있다. 이러한 문제에 대한 대안으로써, 최근 천공을 통한 대구경 현장타설말뚝을 사용한 기초의 적용이 증가하고 있는 실정이다. 이러한 현장타설 말뚝 중에 선단부를 확장하여 벨형태(Belled type)로 만든 선단확장형말뚝은 일반 원형말뚝과 비교하여 축하중과 수평하중에 대하여 큰 지지력을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 양압력 및 인발하중을 받는 경우에 대하여 기존의 원형 말뚝과 비교하여 단순히 주면 마찰력으로 저항할 뿐만 아니라 말뚝 주변 지반의 토압 또한 인발

*교신저자 : 조석호(csh8956@hanmail.net)

접수일 10년 07월 01일

수정일 10년 08월 05일

게재확정일 10년 09월 08일

거동에 저항하게 되므로 유리할 것으로 판단된다.

특히, 전신탕, 정박시설, 높은 굴뚝 그리고 부두 등 특수구조물에 사용되는 기초말뚝은 풍력, 파력, 지진력 등 수평방향의 하중을 받을 경우 압축하중 뿐만 아니라 수평하중 및 인발하중도 받게 되므로, 종래의 압축만을 고려한 연구결과만으로는 실제설계에 적용하기가 곤란하다. 즉, 말뚝기초 위에 축조된 상부구조물의 안정성을 정확히 평가하기 위해서는 기초의 수직 및 인발저항력을 정확히 예측할 수 있어야 한다.

말뚝의 인발거동에 대한 연구로 Meyerhof [3,4,7]는 말뚝의 인발 저항력이 말뚝과 흙 사이의 주면마찰력에 기인한다고 보고 한계마찰이론을 바탕으로 인발저항력 산정에 관한 공식을 제안하였다. 그리고 Das[5,6]는 Meyerhof 이론에 한계깊이 개념을 도입하여 모형실험을 통해 실험식을 제안하였다.

Chattopadhyay & Pise[8]는 말뚝 주위 지반 내에 적절한 파괴면을 가정하고, 그 파괴면에 작용하는 힘들의 극한 평형상태를 고려하여 말뚝의 인발 저항력을 구할 수 있는 해석적인 방법을 제안하였다. 국내에서는 이용훈 외 [1]는 모형실험을 통하여 구한 인발저항력을 여러 이론식과 비교 분석하여 Chattopadhyay & Pise 이론식에 수정안을 발표하였다. 또한, 김지성[2]은 지반의 상대밀도 및 근입비, 지반경사 변화에 따라서 말뚝의 인발 거동 특성을 분석하여 경사에 따른 인발저항력 산정식을 제안하였다. 선단확장형말뚝(벨타입말뚝)의 인발저항력을 연구한 문헌으로는 Sakajo & Sakai[9]는 홍적층의 벨타입 말뚝의 인발저항력을 원심모형실험과 실제현장실험을 토대로 연구한 결과 인장시 벨타입 하부와 말뚝주변에서 전반파괴가 일어나는 것으로 보았다. Lee[10]는 수정된 경계유한요소방법을 이용하여 근입비와 벨타입의 선단확장직경비를 변화시켜가면서 침하와 하중분담률 분포를 분석하여 효율적인 벨타입의 근입비와 선단직경의 비를 제안하였다. 하지만 현재까지 선단확장형말뚝의 인발거동특성에 대한 규명은 미흡한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 선단확장형말뚝에 대하여 실규모 정재하시험을 실시하고 하중-변위특성을 분석하였다. 또한 인발하중에 따른 단위길이 당 하중분담을 도출하여 선단확장에 따른 지지력효과를 평가하였다. 또한, 3차원 유한요소해석 및 이론식에 근거한 극한인발력을 정재하 시험과 비교·분석하였다.

2. 문헌고찰

2.1 한계마찰이론

Meyerhof의 한계마찰이론에 의하면 지반 내에서 단일 말뚝의 인발저항력은 말뚝표면과 지반사이의 마찰력에 의존하게 되며, 말뚝에 대한 인발저항력은 다음의 식 (1) 과 같이 표현된다.

$$P_u = (c_a + p_o' K_u \tan \delta) A_s \quad \text{식 (1)}$$

따라서 극한인발력 P_u 는 흙과 말뚝사이의 부착력 c_a , 유효연직 평균토압 p_o' , 인발계수 K_u , 흙과 말뚝사이의 마찰각 δ , 그리고 말뚝의 표면적 A_s 에 의해 계산될 수 있다고 하였다.

위의 식 (1)에서 보면, 말뚝 표면의 단위 면적당 인발 저항력이 말뚝 길이에 비례하여 증가하는데, 일찍이 Vesic 같은 학자들은 단위 인발 저항력의 증가가 멈추는 한계 깊이를 주장하여, 말뚝길이와 직경비(λ)가 약 15 이상이면 그 후로는 단위 인발 저항력이 일정한 값을 갖는다고 하였다. Das는 일련의 모형 실험을 통하여 Vesic의 주장을 뒷받침하는 결과를 얻고 구체적으로 한계길이-직경비를 경험식으로 나타내고, 한계치 이내의 말뚝과 그 이상 매설된 말뚝의 인발 저항력 산정식을 다음의 식 (2) 와 같이 제안하였다.

$$P_u = \frac{1}{2} p \gamma L^2 K_u \tan \delta \quad (\lambda < \lambda_{cr})$$

$$P_u = \frac{1}{2} p \gamma L_{cr}^2 K_u \tan \delta + p L_{cr} K_u \tan \delta (L - L_{cr}) \quad (\lambda \geq \lambda_{cr}) \quad \text{식 (2)}$$

여기서,

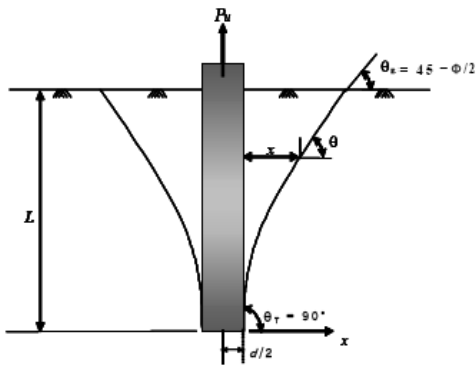
$$\lambda_{cr} = 0.156 D_r + 3.85 \quad (D_r < 70\%)$$

$$\lambda_{cr} = 14.5 \quad (D_r \geq 70\%)$$

또한, D_r 은 상대밀도, p 는 주면돌레, γ 는 흙의 단위중량, λ_{cr} 은 한계근입비, L 은 말뚝 총 길이, 그리고 L_{cr} 은 한계근입 깊이를 나타낸다.

그림 1은 Chattopadhyay & Pise(1986)가 주장하는 파괴면의 파괴면을 나타내고 있다.

Chattopadhyay & Pise는 사질토 내에 관입된 말뚝의 인발저항력은 말뚝 표면에서의 마찰저항에 의한 것이 아니라, 말뚝 주위 지반 내에 형성되는 파괴면을 따라 발생하는 흙의 전단저항력과 파괴면내 흙의 자중, 그리고 말뚝의 자중 사이의 극한 평형 상태를 고려함으로써 구하고, 이때 파괴면을 통하여 극한인발력은 식 (3)으로 나타낼 수 있다.



[그림 1] 말뚝의 파괴면 (Chattopadhyay & Pise, 1986)

$$P_u = \gamma \pi d L^2 \left(A - \frac{1}{4\lambda} \right) \quad \text{식 (3)}$$

여기서,

$$A = \frac{1}{L} \int_0^L \left[\frac{2x}{d} \left\{ 1 - \frac{z}{L} \right\} \cdot \left\{ \cot \theta (\cos \theta + K \sin \theta) \tan \Phi \right\} \right] dz$$

$$\theta = \frac{dz}{dx} = \tan \left(45 - \frac{\Phi}{2} \right) \frac{L}{z} \cdot \exp \beta \left(1 - \frac{z}{L} \right)$$

$$x = \frac{d}{2} + \frac{L \exp(-\beta)}{\beta^2 \tan \left(45 - \frac{\Phi}{2} \right)}$$

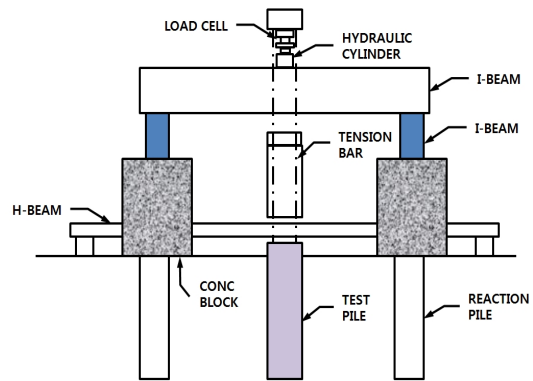
$$+ \frac{L \exp[-\beta \left(1 - \frac{z}{L} \right)]}{\beta \left(45 - \frac{\Phi}{2} \right)} \left(\frac{z}{L} - \frac{1}{\beta} \right)$$

$$\beta = \lambda (50 - \Phi) / 2\delta$$

또한, Φ 는 흙의 내부마찰각, z 는 말뚝선단에서 말뚝 임의지점까지의 연직길이, 그리고 d 는 말뚝의 직경을 나타낸다.

2.2 정재하 인발시험

말뚝의 극한지반저력을 결정하는 방법에는 재하시험에 의한 방법, 정역학적 공식에 의한 방법, 항타공식에 의한 방법과 기존자료에 의한 추정방법으로 분류할 수 있으나 말뚝재하시험 방법 외에는 신뢰도가 극히 낮은 상태이기 때문에 본 논문에서는 정재하 인발시험을 수행하기로 하였다. 인발시험은 말뚝기초 설계시 풍하중 또는 인발하중에 저항하는 기초말뚝의 인발저항력 산정을 위해서도 필수적이지만, 압축재하시험 결과의 보안을 위해서 즉 주변 마찰력의 규명을 위해서도 효과적이다.



[그림 2] 정재하 인발시험 모식도

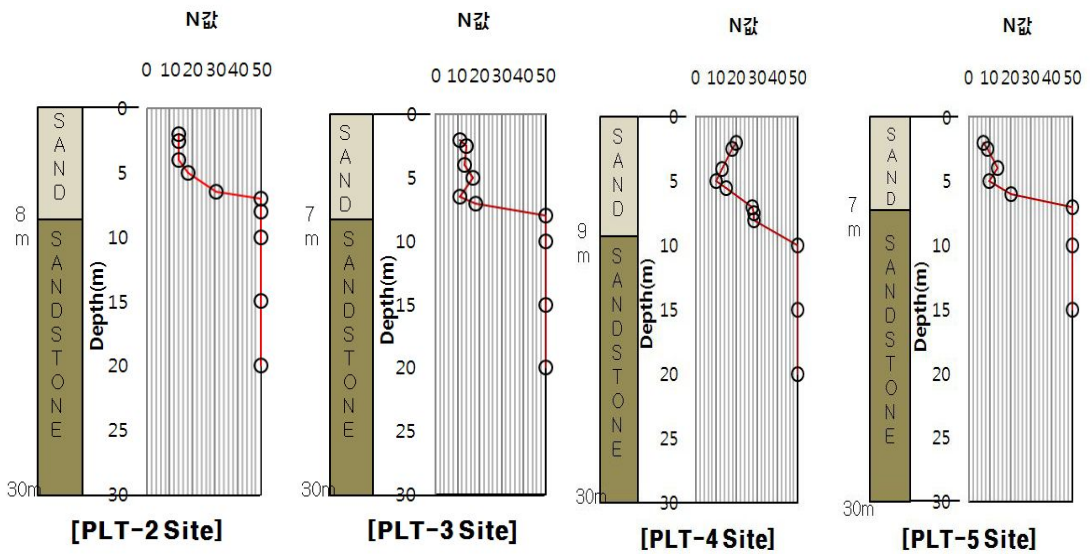
그림 2는 정재하 인발시험의 모식도를 나타내고 있다. 인발시험에서 사용하는 하중을 위해서 주위에 반력말뚝을 시공하고 하중전달을 위하여 2개의 철재 보를 설치하였다. 인발시험의 방법은 압축재하시험 방법과 같으나 단지 작용 하중의 방향이 위로 작용한다는 차이가 있다. 대부분의 인발시험은 완속재하시험(Slow Maintained Load Test Method : SM Test)으로 진행되며, ASTM 표준 재하 방법으로 알려진 이 시험법(ASTM D1143-81)은 설계하중의 150%~200%까지 하중을 25%씩 재하하면서 각 하중단계에서 말뚝두부의 변위를 측정한다. 하중을 재하하는 단계에서는 하중 유지시간을 2시간 이내로 하며 최대 시험하중에서는 12~24시간 동안 하중을 유지시킨다. 필요한 시간이 지난 후에 재하하중의 25%씩 각 단계별로 1시간씩 간격을 두어 하중을 제거한다. 또한 시험도중 말뚝의 파괴가 발생할 경우, 총 침하량이 말뚝두부의 직경 또는 대각선 길이의 15%에 달할 때까지 재하를 계속한다.

3. 현장재하시험

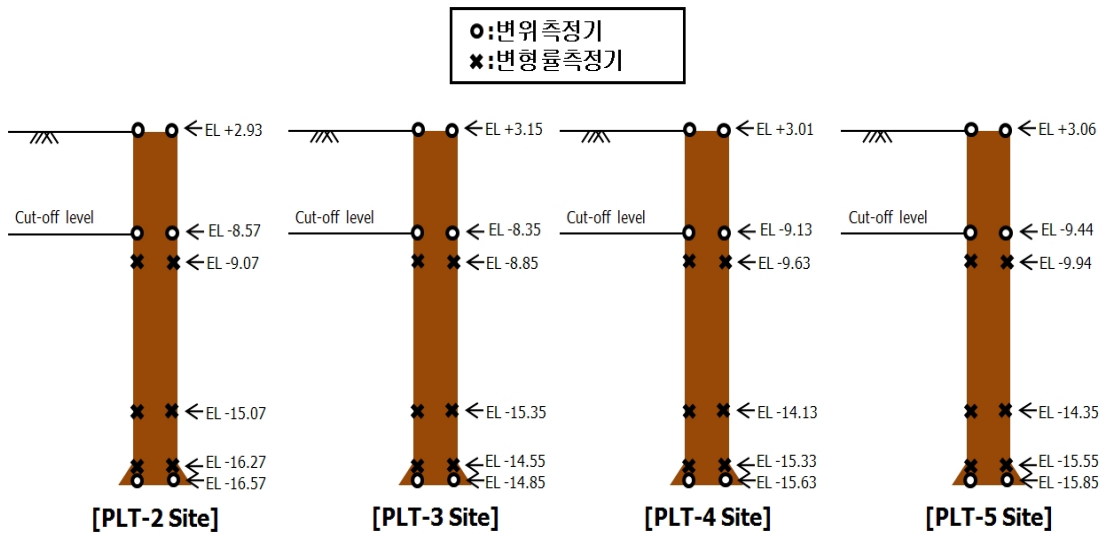
3.1 말뚝 시공

본 연구에서는 지층구성이 유사한 국외 4개 현장(PLT-2, 3, 4, 5)에 선단확장형말뚝을 시공하고 정재하 인발시험을 실시하였다. 그림 3과 같이 지반조건은 지표로부터 9m 이내에 실트와 석회암이 주 구성성분인 상부 모래층과 중간정도 풍화된 사암이 주 구성성분인 하부 사암층으로 이루어져 있다. 모래층은 표준관입시험의 N값이 10~30정도였으며, 사암층은 50이상으로 측정되었다.

말뚝의 하중-변위특성과 하중분담 평가를 위하여 각각의 시험말뚝에 깊이별로 변위계와 변형률계를 그림 4와



[그림 3] 각 사이트별 지층분포와 표준 관입 시험 N값



[그림 4] 시험말뚝 개요도

[표 1] 시험말뚝 제원 및 시험하중

	규격	근입깊이	설계 하중	허용 하중	최대시험하중
PLT-2	Bell 1200mm	19.5m	1600kN	1733kN	3200kN
PLT-3		18.0m	1600kN	2006kN	3200kN
PLT-4	Staight	18.6m	1600kN	2006kN	3200kN
PLT-5	800mm	18.9m	1600kN	2006kN	3600kN

같이 부착하고 하중별로 각각의 깊이에서 값을 측정하여 심도별 평균값을 사용하였다. 정재하 인발시험의 방식은 ASTM D1143-83(1994)에서 규정하고 있는 완속 표준재하방식과 반복하중재하방식에 따라 수행하였고 각 현장별 시험말뚝의 제원은 표 1에 정리되어 있다.

3.2 현장시험결과 및 분석

3.2.1 하중-변위 관계

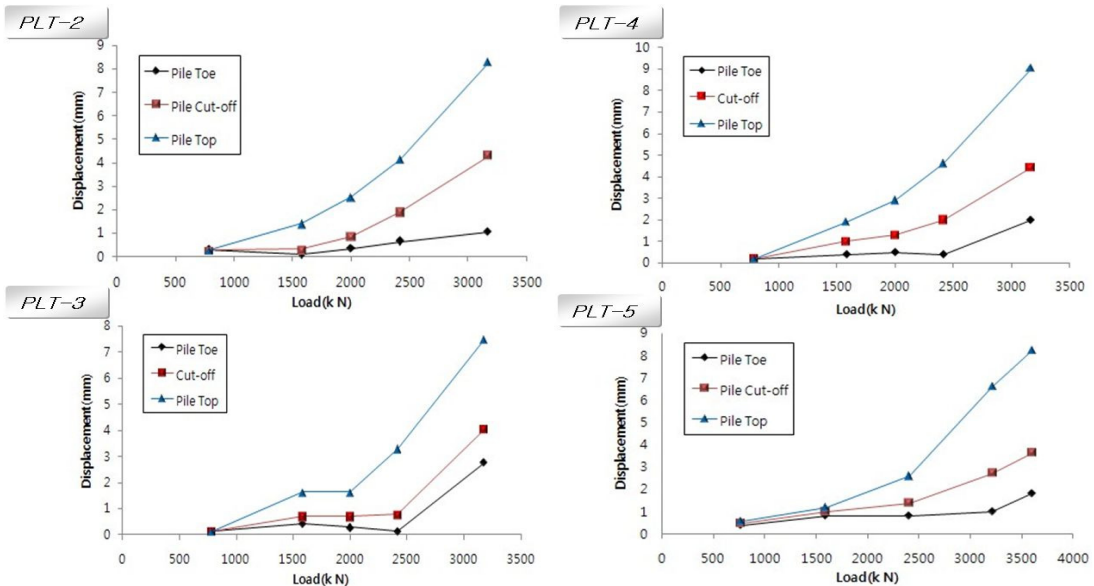
시험말뚝의 인발재하하중에 따른 심도별 변위를 그림 5에 도시하였다. 그림 4에서 표시한 것과 같이 말뚝에 설치된 변위 측정기를 통하여 말뚝의 두부(Pile top), 주변지반 굴착심도(Pile cut-off) 그리고 선단(Pile toe)에서의 인발하중에 따른 변위를 측정하였다. 인발하중-변위관계를 보면 모든 측정위치에서 인발하중이 증가할수록 말뚝에 측정된 변위도 함께 증가하는 모습을 보였다. 특히 말뚝 자체의 탄성변형으로 인하여 말뚝두부의 변위 증가추세가 말뚝선단보다 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 말뚝두부의 변위가 가장 크게 나타난 말뚝은 PLT-4으로 하중이 3200kN이 재하 될 때 9.1mm의 변위가 나타났으며 말뚝선단의 변위가 가장 크게 나타난 말뚝은 PLT-3으로 하중이 3200kN이 재하 될 때 2.8mm의 변위가 나타났다.

3.2.2 하중분담

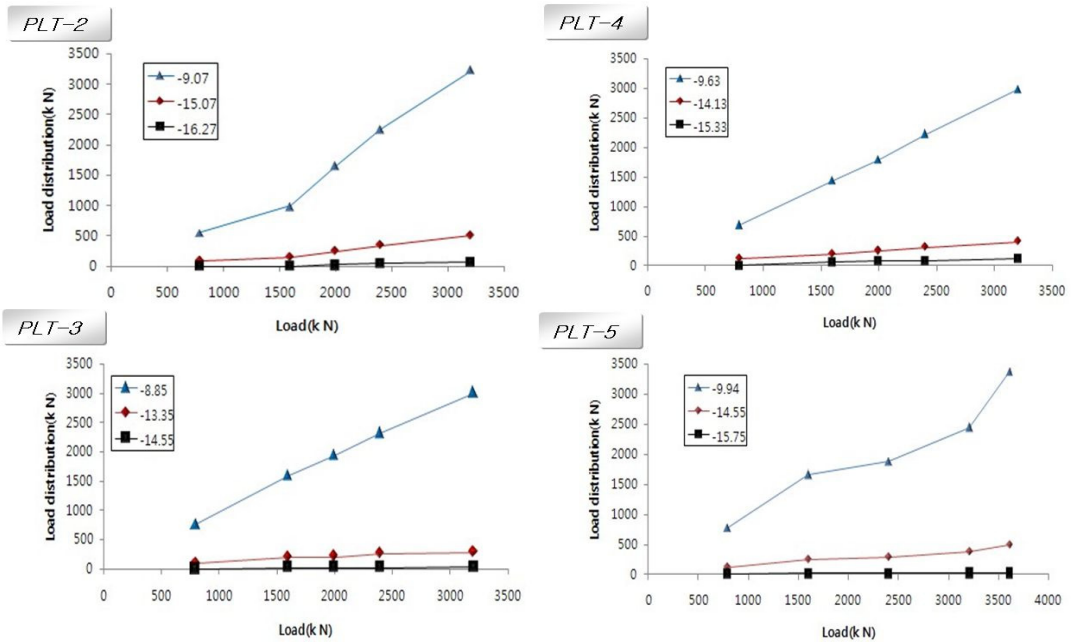
그림 4의 말뚝에 설치된 변형률 게이지를 통하여 인발

하중과 각 재하 하중에 따른 변형률을 이용한 하중분포를 그림 6에 나타내었다. 4개의 말뚝 모두 인발하중이 커짐에 따라 모든 측정 위치에서 변형률도 함께 증가하였다. 그림 6을 토대로 그림 7은 하중단계별 단위주면마찰력을 나타내었다. 시험말뚝 4개에서 연직부에서 큰 주면마찰력이 발견되고 선단확장부와 선단부로 내려갈수록 주면마찰력이 작아지는 경향을 보였다. 그림 7의 주면마찰력과 말뚝 연직부와 선단확장부의 면적을 이용하여서 그림 8의 기둥과 벨의 하중분담률을 얻을 수 있었다. 그림 7에서 하중분담률은 인발재하하중에 크게 영향을 받지 않으며 전체적으로 말뚝연직부의 하중분담률이 60% 이상으로 높게 분포되는 경향을 나타내고 있다. 그리고 선단확장부의 하중분담률은 20% 이하로 낮게 분포되어 연직부보다 적은 하중을 분담하는 것으로 나타났다. 하지만 말뚝의 선단확장부의 길이는 1.2m 길이로 말뚝 전체 길이에 7% 정도를 차지하는 것을 고려하면 선단확장부의 하중분담률은 상당히 높은 것으로 판단되며, 이를 분석하기 위하여 그림 9에서는 인발하중에 대한 단위길이당 하중분담을 분석하였다.

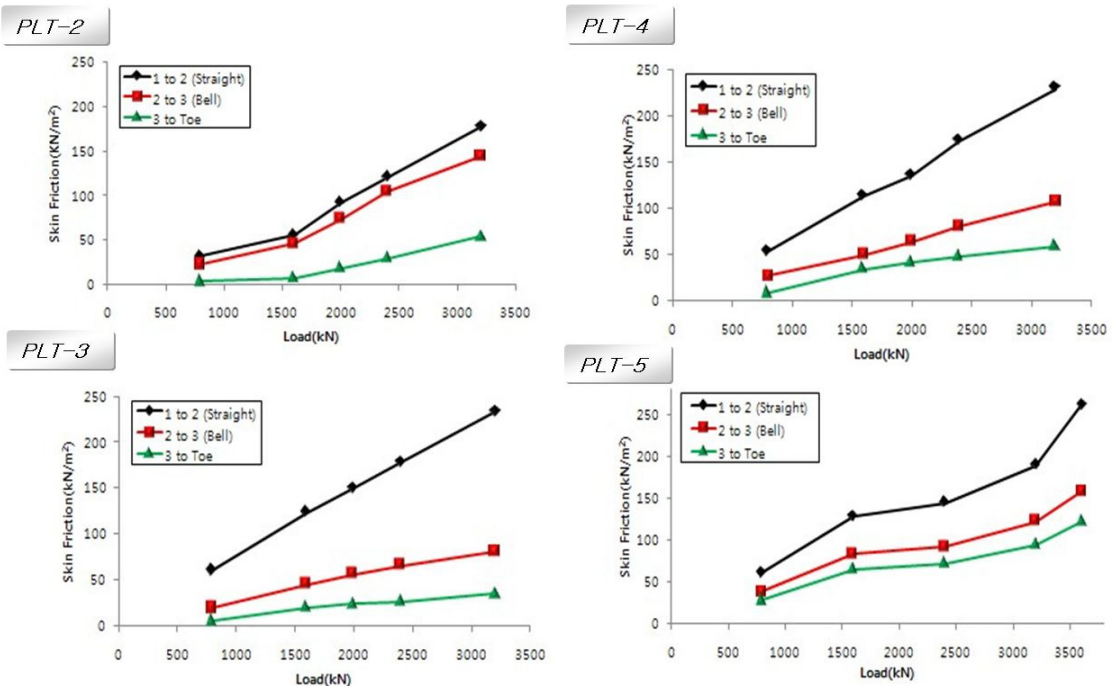
그림 9는 하중단계별 말뚝 단위길이 당 하중분담을 나타낸 것이다. 모든 시험말뚝에서 선단확장부의 단위길이당 하중분담이 크게 나타났다. 선단확장부의 단위길이당 하중분담은 연직부의 단위길이 당 하중분담보다 최소 1.17배에서 최대 2.63배 크게 나타났다.



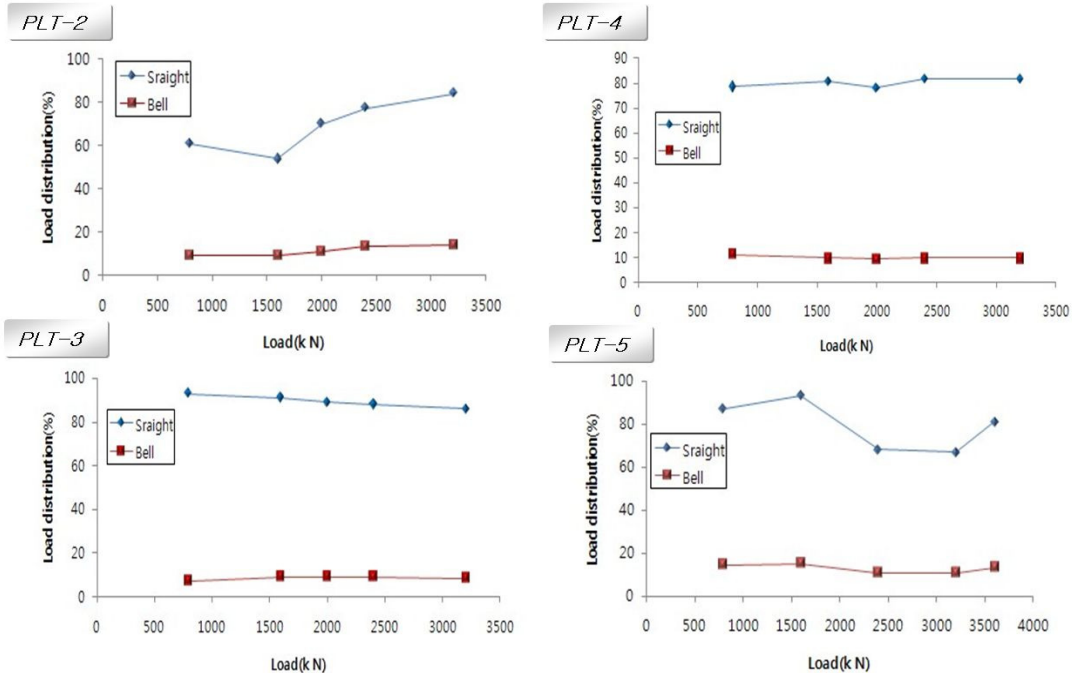
[그림 5] 하중-변위 곡선



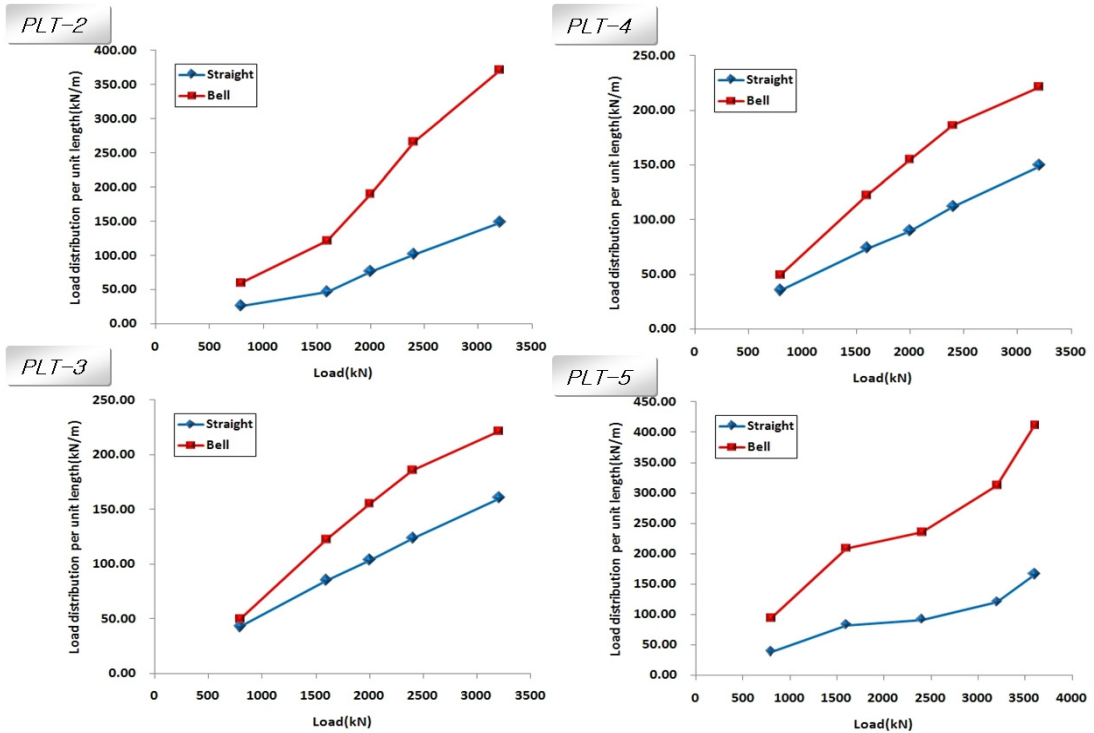
[그림 6] 인발하중 분포



[그림 7] 단위 주변마찰력 분포



[그림 8] 하중분담률



[그림 9] 단위길이 당 하중분담

4. 수치해석

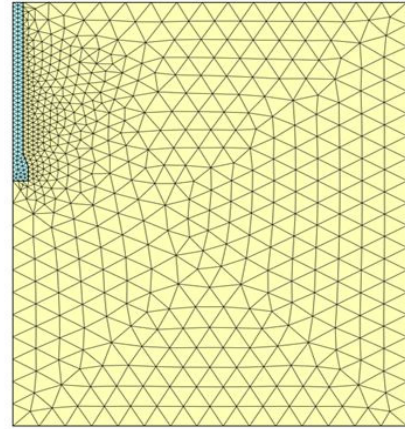
4.1 수치해석 개요

그림 10은 해석에 사용한 해석 요소망을 나타낸 것이다. 본 연구에서 해석을 위해 3차원 범용 유한요소해석 프로그램인 MIDAS GTS를 활용하였으며 해석에 사용한 지반 구성 모델은 Mohr-Coulomb의 파괴규준을 따르는 탄-소성 모델을 사용하였고, 말뚝모델은 탄성모델을 사용하였다. 또한 말뚝과 지반과의 슬립효과를 고려하기 위하여 경계면 요소를 적용하였다. 해석순서는 원지반과 말뚝을 동시에 모형화하고 응력상태를 초기상태로 안정화한 후 재하하중을 단계별로 나누어 실행하였다. 해석에 사용된 재료의 물성은 표 2에 정리하였다.

4.2 하중-변위관계 분석

현장시험과 수치해석의 하중-변위관계를 비교 분석하여, 그림 11에서는 말뚝 두부에서의 변위를 비교하였다. 수치해석을 통해 얻어진 하중-변위는 네 개의 말뚝에서 현장시험과 비슷한 경향으로 하중 증가에 따라 변위도

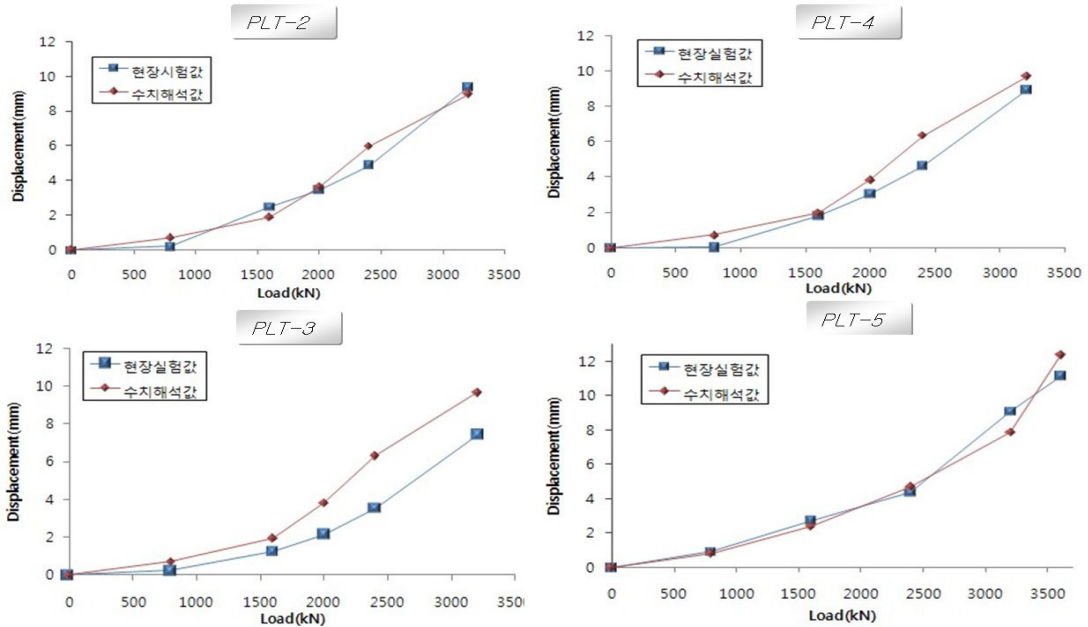
증가하는 모습을 보였으며 현장시험과 수치해석의 값이 비교적 일치하였다. 시험과 해석 결과로 나타난 최대변위는 말뚝 길이에 대한 변형률에 비추어보면 0.1%정도로 굉장히 미소하며 주로 탄성적인 거동을 보이고 있다.



[그림 10] 해석 요소망

[표 2] 해석에 사용된 재료 물성

Es (kN/m ²)	Poisson's ratio	unit weight (kN/m ³)	cohesion (kN/m ²)	friction angle (°)
1.5×10 ⁶	0.3	21	25	33



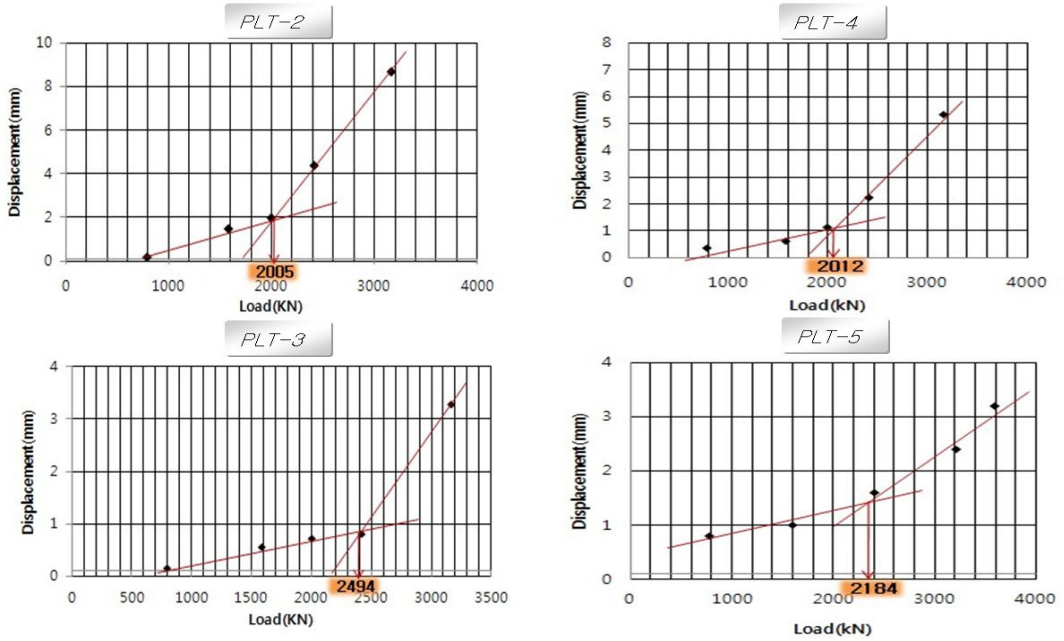
[그림 11] 현장과 수치해석의 하중-변위 곡선

4.3 극한인발력 분석

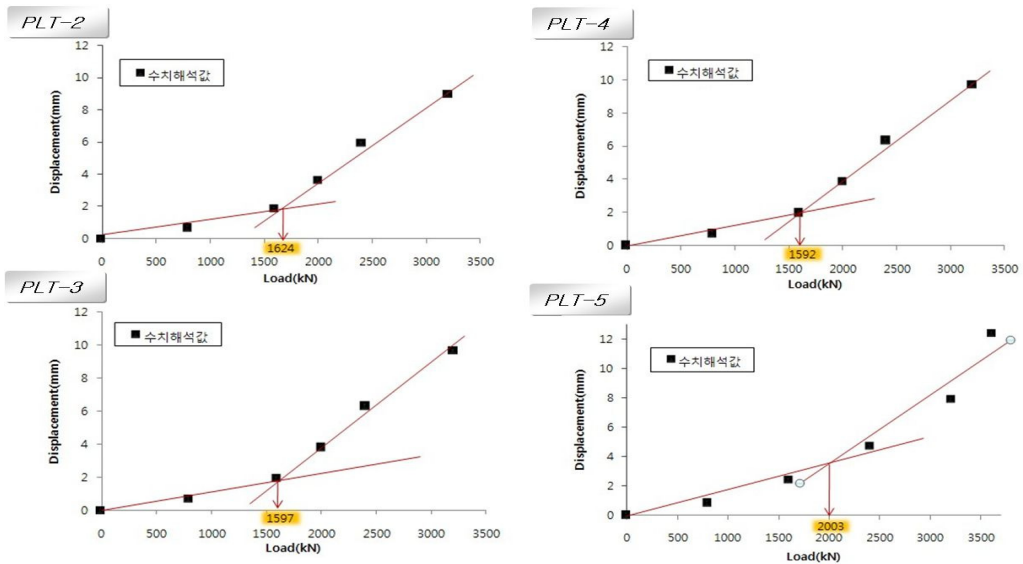
그림 12는 현장인발재하시험을 통하여 얻은 하중-변위특성에서 극한인발력을 산정한 것이다. 극한인발력은 하중-변위관계 그래프에서 곡선의 기울기가 서로 다른 접선이 만나는 곳에서의 하중이나 변위가 0.25inch(6.25mm)가 되었을 때의 하중, 또는 하중-변위

곡선에서 변위가 갑자기 증가한 곳의 하중 중에 가장 작은 인발하중을 극한인발력으로 정의하고 있다. 본 연구에서는 극한인발력은 두 접선이 만나는 곳에서의 인발하중을 극한 인발력으로 산정하였으며, 네 곳에서의 평균 극한인발력은 2228kN 으로 산정되었다.

그림 13은 수치해석을 통하여 얻은 하중-변위관계에서 극한인발력을 도시화한 것이다. 현장시험결과에서 적



[그림 12] 인발시험을 통하여 산정된 극한인발력



[그림 13] 수치해석으로 산정된 극한인발력

[표 3] 극한인발력 비교

	인발저항력(kN)	현장시험(kN)	수치해석(kN)
Meyerhof(1973)	3158(142%)	2228(100%)	1738(78%)
Das(1977)	2452(110%)		
Chattopadhyay&Pise	2744(123%)		

용한 극한인발력의 산정방법을 적용하였으며, 4개의 말뚝에서 얻은 값을 평균하여 계산한 결과 1738kN으로 산정되었다. 이를 표 3에서 현장시험, 수치해석, 이론을 통해 구한 극한인발력을 정리하였으며, 이론값으로 도출한 극한인발력은 Meyerhof의 이론식 식 (1), Das의 이론식 식 (2), 그리고 Chattopadhyay & Pies의 이론식 식 (3)으로 계산한 값이다. 분석 결과 현장시험의 극한인발력을 기준으로 수치해석의 극한인발력은 현장시험 값의 78% 정도로 과소평가되고, 이론값은 Das의 식을 이용하였을 때 최소 110%, Meyerhof의 식을 이용하였을 때 최대 142% 정도로 극한인발력을 과대평가하고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 사질토 지반에 관입된 선단확장형말뚝의 연직인발시험을 수행하였다. 위치별로 변위 측정기와 변형률 게이지를 설치하여 하중-변위량 관계와 주면마찰력, 하중 분포 등을 관찰하고 이를 분석하여 말뚝의 거동 특성 및 Bell 타입의 효과를 알아보았다. 또한 현장시험에서의 극한인발력과 수치해석 및 이론식에 의한 극한인발력을 비교 분석하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 인발시험 결과 말뚝두부에서 최대변위량은 7.8mm ~9.2mm 발생하였으며 인발하중이 증가할수록 변위는 탄성적으로 증가하는 경향을 보였다.
2. 말뚝의 축방향 변형률을 측정하여 하중분포 크기를 분석한 결과 말뚝연직부에서 하중분담률이 60%이상으로 분포되었고 선단확장부는 20%이하로 분포하였다. 또한 인발재하하중이 증가할수록 주면마찰력의 크기도 선형적으로 증가하는 양상을 보이며 선단확장부의 주면마찰력 보다 말뚝연직부의 주면마찰력이 전체적으로 큰 것을 알 수 있다. 하지만 말뚝 단위길이 당 하중분담을 도출한 결과 선단확장부의 단위길이 당 하중분담은 연직부의 단위길이 당 하중분담보다 최소 1.17배에서 최대 2.63배 크게 나타났다.

3. 현장시험의 극한인발력을 기준으로 수치해석의 극한인발력은 현장시험 값의 78% 정도로 과소평가하고 있고, 이론값은 Das의 식을 이용하였을 때 최소 110%, Meyerhof의 식을 이용하였을 때 최대 142% 정도까지 극한인발력을 과대평가하고 있다.

참고문헌

- [1] 이용훈, 권오균, 김명모, "모래지반에 위치한 말뚝의 인발저항력", 대한토목학회논문집, 제13권, 제2호, pp. 229-235 5월, 1993.
- [2] 김지성 "경사지반에 매설된 단독말뚝의 인발저항력에 관한 연구", 경상대학교 대학원 석사학위논문, 2008.
- [3] Meyerhof, G. G, "Compaction of Sands and Bearing Capacity of Piles.", J. S. Mech. Fdtn. Div, ASCE, Dec, pp. 1-29, 1959.
- [4] Meyerhof, G. G. and Adams, J. I, "The Ultimate Uplift Capacity of Foundation", Canadian Geotechnical. Journal., Vol. 5, No.4, pp. 225-244, 1968.
- [5] Das, B. M. and Seeley, G. R. "Uplift Capacity of Buried Model Piles in Sand", J. Geotech. Engrg, ASCE, 101(7), July, pp. 711-715, 1975.
- [6] Das, B. M. and Seeley, G. R, "Uplift Capacity of Buried Model Piles in Sand", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, No. GT10, Proc. Oct, pp. 1091-1094, 1975.
- [7] Meyerhof, G. G, "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 102, No. GT-3, pp. 197-228, 1976.
- [8] Chattopadhyay, B. C. and Pise, P. J, "Uplift Capacity of Piles in Sand", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 112. No.9, pp. 888-904, 1986.
- [9] Sakajo, S. and Sakai, T, "Mechanism of up-lift bearing capacity of belled pile in diluvial sand", IS-NAGOYA'97, pp. 449-454, 1997.
- [10] Lee.C.Y, "Settlement and Load Distribution Analysis

of Underreamed Piles", ARPN JOURNAL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES, Vol.2, No.4, pp. 36-40, 2007.

조 석 호(Seok-Ho Cho)

[정회원]



- 2003년 8월 : 단국대학교 일반대학원 토목환경공학과 (지반공학 석사)
- 1986년 7월 : 한국농어촌공사 입사
- 현재 : 한국농어촌공사 제주지역본부 사업계획팀 팀장

<관심분야>
토목환경공학, 지반공학

김 학 문(Hak-Moon Kim)

[정회원]



- 1981년 2월 : SHEFFIELD 대학교 대학원 (지반공학석사)
- 1985년 2월 : LONDON 대학 대학원 (지반공학박사)
- 1973년 ~ 1974년 : BINNIE & PARTNERS CONSULTING ENGINEERING
- 1977년 1월 ~ 1980년 9월 : 대림 Engineering 기술과장
- 1985년 5월 ~ 1988년 2월 : ICOS-KOREA INC. 기술고문
- 1988년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>
토목환경공학, 지반공학