한국지반공학회논문집 제19권 4호 2003년 8월 pp. 7 ~ 14

비등방 투수성을 고려한 압밀촉진 케이슨 기초공법에 관한 연구

A Study on Caissons for Accelerating Consolidation Considering Anisotropic Permeability

박 정 순*1 Park, Chung-Soon
조 남 준*2 Cho, Nam-Jun

Abstract

This study has investigated the feasibility of caissons for accelerating consolidation (C.A.C.) constructed in clays with anisotropic permeability by improving the former study on C.A.C. in isotropic clays. Analytical solutions for excessive pore water pressures of two-dimensional consolidation equation and average degrees of consolidation with varying time factors have been provided by considering anisotropic permeability. With varying anisotropic permeability ratios of 5, 10, and 50, consolidation times required for reaching the average degree of consolidation of 90% for C.A.C. at the section of $\xi=0.1$ are shorter than those for conventional caissons by 8, 13, and 47 times, respectively. C.A.C. is more effective in reducing consolidation time as anisotropic permeability ratio increases. This study provides also plots for average degrees of consolidation versus the width to depth ratios of analyzed sections and permeability ratios, which will enable engineers to determine easily average consolidation settlements.

요 지

본 연구는 등방성 투수계수를 갖는 점토에 설치된 압밀촉진 케이슨에 관한 선행 연구를 보다 발전시켜서 비등방성 투수계수를 갖는 점토에서의 압밀촉진 케이슨 기초공법의 타당성을 이론적으로 검증하였다. 투수계수의 비등방성을 고려한 2차원 투수 압밀 방정식의 과잉간극수압에 대한 해석해와 시간계수에 따른 평균압밀도 식을 유도하였다. 비등방성 투수계수비가 5, 10, 50인 경우, $\xi=0.1$인 단면에서 평균압밀도 90%에 도달하는 시간은 기존 케이슨에 비해 각각 약 8배, 13배, 47배 단축되었다. 이는 지반의 비등방성 투수계수비가 클수록 압밀촉진 케이슨 기초공법이 압밀에 소요되는 시간을 단축시키는데 효과적임을 의미한다. 또한 본 연구에서는 해석단면의 깊이에 대한 폭의 비 및 비등방성 투수계수비에 따른 전체 해석단면에서의 평균압밀도에 대한 그래프를 제시하였으며, 이를 이용하여 평균압밀침하량을 쉽게 산정할 수 있다.

Keywords : Anisotropic permeability, Average degree of consolidation, Caissons, Consolidation, Excess pore water pressure

1. 서 론

해성점토 지반에 안벽을 축조하고 육지 쪽을 매립하여 부두시설 또는 산업공단을 조성하는 경우, 근래에는 케이슨을 연속적으로 시공하여 안벽의 기초로 활용하는 사례가 증가하고 있다. 연약점토층에 설치하는 안벽의 기초로서 기존 케이슨 기초공법은 타 공법에 비해 많은 장점이 있는 반면, 매립토층에 의해 발생되

*1 정회원, 미극동공병단 지반환경공학부 설계담당관 (Member, Geotechnical & Environmental Engrg. Branch, Far East District, USACE)
*2 정회원, 국민대학교 건설시스템공학부 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., Kookmin Univ., njcho@kookmin.ac.kr)

는 연약점토층의 압밀 침하에 대해서는 취약한 단점을 갖고 있다(박정순 등, 2001).

케이슨이 설치되는 연약점토층은 일반적으로 층상으로 퇴적되는 과정을 거치므로 수직방향 투수계수에 비해 횡방향 투수계수가 더 큰 비등방성의 투수성을 보이고 있다. Jamiolkovski 등(1985)은 샌드렌즈 또는 투수성이 높은 지층이 불연속적으로 분포하는 퇴적 점성토의 경우는 수직방향에 대한 횡방향 투수계수의 비가 2~4이며, 성층 점성토나 연속적인 투수성을 갖는 연약점토층에서는 3~15 인 것으로 보고한 바 있다. 국내 연약점토의 경우도 저소성이고 과압밀비가 3 이하인 경우 비등방성 투수계수비가 2 이상인 것으로 평가된다(장인성 등, 2002).

이와 같은 케이슨 배면토의 횡방향 투수성을 활용하여 연약지반의 압밀 침하를 촉진시키기 위한 새로운 기초공법으로 해성점토층에 인접한 케이슨 면을 투수층으로 전환시키는 "압밀촉진 케이슨 기초공법"이 제안된 바 있다(박정순 등, 2001). 선행 연구에서는 점토지반을 횡방향 투수계수와 수직방향 투수계수가 동일한 등방성의 경우에 대해 압밀거동을 분석하였다. 이 경우 수직방향 투수계수에 비해 상대적으로 큰 횡방향 투수계수에 의한 압밀촉진 효과를 고려할 수 없다.

따라서 본 연구의 목적은 연약점토층에 설치된 압밀촉진케이슨 기초 배면의 지반의 압밀 거동을 보다 실제에 가깝게 모사하기 위하여 비등방성 투수성을 고려한 2차원 압밀해석해를 도출하는 것이다. 연구결과, 연약점토 지반의 비등방 투수성을 고려한 투수 압밀 방정식을 변수분리법을 사용하여 과잉간극수압에 대한 해석해를 유도하였다. 임의 시간에서의 각 단면별 평균압밀도 및 전체 해석단면에 대한 평균압밀도 식을 급수 형태로 도출하였다. 제안된 해석해를 사용하여 기존의 케이슨 공법과 새로운 케이슨 공법 적용시의 지반의 과잉간극수압 소산 양상과 평균압밀도의 변화를 비교, 분석하였다.

2. 투수계수의 비등방성을 고려한 압밀촉진 케이슨 기초공법 해석

2.1 투수계수의 비등방성을 고려한 2차원 투수 압밀 방정식

압밀촉진 케이슨 기초가 설치된 배면의 해성점토층은 완전히 포화되어 있으며, 흙입자와 간극수의 압축성은 무시하고, 흙의 응력-변형률 관계는 선형이라고 가정한다. 실제 해성점토지반에서 횡방향 투수계수가 연직방향 투수계수에 비해 상대적으로 큰 이방성 투수성을 갖는 점을 고려하여 2차원 투수 압밀 방정식을 구성하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_{vx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + c_{vz}\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \tag{1}$$

여기서, u : 과잉간극수압, c_{vx} : 횡방향 압밀계수, c_{vz}: 연직방향 압밀계수

케이슨 기초 배면의 점토지반의 전 상부면에 걸쳐 등분포 매립토층에 의한 상재하중이 작용하는 것으로 가정하면 지반에서 압축력만 발생하게 되어 연직방향으로만 변형된다. 따라서 횡방향 및 연직방향 압밀 계수는 다음과 같은 식을 사용해야 한다.

$$c_{vx} = \frac{k_x}{m_v \gamma_w}; \qquad c_{vz} = \frac{k_z}{m_v \gamma_w} \tag{2}$$

여기서, k_x와 k_z : 횡방향 및 연직방향 투수계수, m_v : 체적변화계수, γ_w : 물의 단위중량

연직방향 투수계수에 대한 횡방향 투수계수의 비를 다음과 같이 정의한다.

$$\eta = \frac{k_x}{k_z} \tag{3}$$

여기서, η : 비등방성 투수계수비

식 (2)와 (3)을 식 (1)에 대입하면 간극수가 연직방향

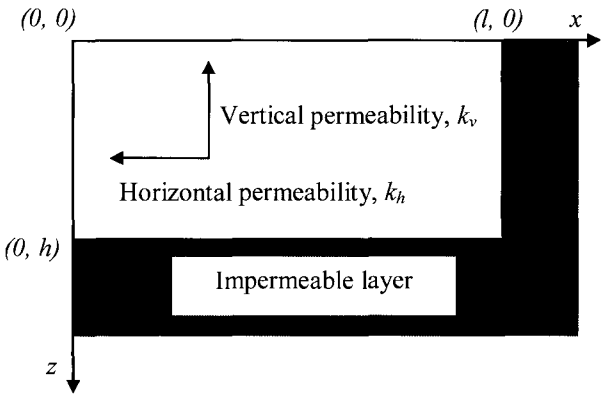


그림 1. 이차원 투수 압밀 해석단면

과 횡방향으로 유출되며, 변형은 연직방향으로만 발생하는 2차원 비등방성 투수 압밀 방정식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_{vz}\left(\eta \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \tag{4}$$

(1) 초기조건: 점토층의 상부면에 작용하는 등분포 재하하중에 의해 지반의 임의 점에서 발생된 초기 과잉간극수압은 다음과 같다.

$$t=0: \qquad u(x, z, 0) = q_0 \tag{5}$$

여기서, q_0 : 상부면에 작용된 등분포 성토하중

(2) 경계조건: 해석단면의 상부면과 케이슨에 인접한 좌측면에서 간극수의 배수가 이루어지며, 하부면과 우측면에서는 불투수층이라고 가정하면 경계조건은 다음과 같이 된다.

$$x=0: \ u(0, z, t)=0; \qquad x=l: \ \frac{\partial u(l, z, t)}{\partial x}=0 \tag{6}$$

$$z=0: \ u(x, 0, t)=0; \qquad z=h: \ \frac{\partial u(x, h, t)}{\partial z}=0 \tag{7}$$

2.2 투수계수의 비등방성을 고려하여 유도한 지반의 과잉간극수압에 대한 해석해

식 (4)의 2계 편미분 압밀방정식의 해석해를 구하기 위하여 변수분리법을 적용하며, 과잉간극수압에 대한 식 $u(x, z, t)$를 다음과 같이 정의한다.

$$u(x, z, t) = X(x) \cdot Z(z) \cdot T(t) \tag{8}$$

식 (8)을 각 변수별로 분리하고, 경계조건식 (6)과 (7)을 고려하면, 다음과 같은 해를 얻게 된다.

$$T(t) = e^{-c_{vz}\nu^2 t}; \qquad X(x) = \sin\frac{(2i-1)\pi x}{2l}; \qquad Z(z) = \sin\frac{(2j-1)\pi z}{2h} \tag{9}$$

여기서, $\nu^2 = \eta \cdot \frac{(2i-1)^2\pi^2}{4l^2} + \frac{(2j-1)^2\pi^2}{4h^2}$,

$(i=1,2,3,\cdots, \ j=1,2,3,\cdots)$

식 (9)의 각 식들을 식 (8)에 대입하면, 과잉간극수압에 대한 단일해를 다음과 같이 얻게 된다.

$$u_{ij}(x, z, t) = A_{ij}\, e^{-c_{vz}\nu^2 t} \sin\frac{(2i-1)\pi x}{2l} \sin\frac{(2j-1)\pi z}{2h} \tag{10}$$

여기서, A_{ij}는 i와 j에 의해 결정되는 계수이다.

과잉간극수압에 대한 해는 초기조건식을 만족시켜야 하므로, 식 (10)을 2중 급수 형태로 변형시켜, 식 (5)를 대입하면 다음과 같다.

$$q_0 = \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} A_{ij} \sin\frac{(2i-1)\pi x}{2l} \sin\frac{(2j-1)\pi z}{2h} \tag{11}$$

식 (11)는 q_0를 2중 Fourier 급수로 전개시킨 형태이며, 이 식에 포함된 계수 A_{ij}는 다음과 같이 결정할 수 있다(Kreyszig, 1993).

$$A_{ij} = \frac{16 q_0}{(2i-1)(2j-1)\pi^2} \tag{12}$$

식 (10)와 (12)에서 $r=2i-1$, $s=2j-1$로 치환하면, 점토지반의 각 지점의 초기 과잉간극수압이 q_0로 일정하며, 투수계수의 비등방성을 고려한 2차원 투수 압밀 방정식 (4)의 해는 최종적으로 다음과 같다.

$$u(x, z, t) = \frac{16\, q_0}{\pi^2} \sum_{r=1,3,5}^{\infty}\sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{rs}\, e^{-\frac{\pi^2}{4}\left(\eta \cdot \frac{r^2}{l^2} + \frac{s^2}{h^2}\right)c_{vz} t} \sin\frac{r\pi x}{2l} \sin\frac{s\pi z}{2h} \tag{13}$$

만일 점토지반의 횡방향 투수계수가 연직방향 투수계수와 동일한 등방성 지반, 즉 $\eta = k_x/k_z = 1$이라면, 이 경우 과잉간극수압에 대한 해는 다음과 같이 된다.

$$u(x, z, t) = \frac{16\, q_0}{\pi^2} \sum_{r=1,3,5}^{\infty}\sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{rs}\, e^{-\frac{\pi^2}{4}\left(\frac{r^2}{l^2} + \frac{s^2}{h^2}\right)c_{vz} t} \sin\frac{r\pi x}{2l} \sin\frac{s\pi z}{2h} \tag{14}$$

또한 점토지반에 대한 해석단면의 폭 l이 무한히 길다고 가정하면, 윗 식에서 $\sum_{r=1,3,5}^{\infty}\frac{1}{r}\sin\frac{r\pi x}{2l} = \frac{\pi}{4}$ 이므로, 식 (14)는 다음과 같이 된다.

$$u(z, t) = \frac{4\, q_0}{\pi} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{s}\, e^{-\frac{\pi^2 s^2}{4h^2} c_{vz} t} \sin\frac{s\pi z}{2h} \tag{15}$$

식 (15)는 투수가 상부면으로만 발생하는 경우의 Terzaghi(1943)의 1차원 압밀 방정식의 해와 동일한 것을 알 수 있다.

2.3 투수계수의 비등방성을 고려한 2차원 투수 압밀 문제의 평균압밀도

2.3.1 시간별 평균압밀도

(1) 임의 단면에 대한 평균압밀도

시간 t 경과 후 압밀촉진케이슨 기초로부터 x_p의 거리에 위치한 점토지반의 임의 단면에 대한 평균압밀도는 다음과 같이 된다(박정순 등, 2001).

$$U(x_p, t) = 1 - \frac{32}{\pi^3} \sum_{r=1,3,5}^{\infty} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4}\left(\eta \cdot \frac{r^2}{l^2} + \frac{s^2}{h^2}\right) c_{vz} t} \sin \frac{r \pi x_p}{2l} \quad (16)$$

(2) 전체 해석단면에 대한 평균압밀도

케이슨 기초 배면의 점토지반의 전체 해석단면에 대한 평균압밀도는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$U(t) = 1 - \frac{64}{\pi^4} \sum_{r=1,3,5}^{\infty} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r^2 s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4}\left(\eta \cdot \frac{r^2}{l^2} + \frac{s^2}{h^2}\right) c_{vz} t} \quad (17)$$

2.3.2 무차원 시간계수로 나타낸 평균압밀도

식 (16)과 (17)의 해석을 보다 더 편리하게 하기 위해, 무차원 시간계수를 도입하며, 해석단면의 깊이에 대한 폭의 비를 단면비로 정의한다. 시간계수(T_v)와 단면비(α)는 각각 다음과 같다.

$$T_v = \frac{c_v t}{h^2} \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{l}{h} \quad (19)$$

(1) 임의 단면에서의 시간계수에 따른 평균압밀도

식 (18)과 (19)를 식 (16)에 대입하면, 임의 단면($x = x_p$)에서의 시간계수별 평균압밀도는 다음과 같이 유도된다.

$$U(\xi, T_v) = 1 - \frac{32}{\pi^3} \sum_{r=1,3,5}^{\infty} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4}\left(\eta \cdot \frac{r^2}{\alpha^2} + s^2\right) T_v} \sin \frac{r \pi \xi}{2} \quad (20)$$

여기서, ξ : 해석단면의 폭(l)에 대한 케이슨으로부터의 이격거리(x_p)의 비, 즉 $\xi = x_p / l$

(2) 전체 해석단면에서의 시간계수에 따른 평균압밀도

식 (17)로부터 다음과 같이 시간계수로 표현된 전체 해석단면에서의 평균압밀도 식을 구할 수 있다.

$$U(T_v) = 1 - \frac{64}{\pi^4} \sum_{r=1,3,5}^{\infty} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r^2 s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4}\left(\eta \cdot \frac{r^2}{\alpha^2} + s^2\right) T_v} \quad (21)$$

만일 해석단면의 폭 l이 무한히 길다면 $\alpha \to \infty$가 되며, 위의 식에서 $\sum_{r=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{r^2} = \frac{\pi^2}{8}$ 이므로, 식 (21)은 다음과 같이 된다.

$$U(T_v) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{s=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{s^2} e^{-\frac{\pi^2}{4} s^2 T_v} \quad (22)$$

2.4 투수계수의 비등방성을 고려한 2차원 투수 압밀 문제의 침하량

2.4.1 최종 침하량

일반적으로 케이슨 기초가 사용되는 호안 공사 지역의 경우, 지반이 정규압밀점토로 구성되어 있는 점을 고려하면, 최종 침하량 $S(\infty)$는 다음 식을 사용하여 구할 수 있다.

$$S(\infty) = \frac{C_c}{1 + e_0} h \log\left(\frac{\sigma_{vi}' + q_0}{\sigma_{vi}'}\right) \quad (23)$$

여기서, C_c : 압축지수, e_0 : 초기간극비, h : 점토층의 두께, σ_{vi}' : 점토층 중앙부의 초기유효응력, q_0 : 상재하중

2.4.2 시간계수별 침하량

지표면의 임의 단면에서 시간계수의 변화에 따른 침하량 $S(\xi, T_v)$는 다음 식에 의해 결정된다.

$$S(\xi, T_v) = S(\infty) \cdot U(\xi, T_v) \quad (24)$$

시간계수에 따른 지표면의 전체 평균 침하량은 다음 식에 의해 결정된다.

$$S(T_v) = S(\infty) \cdot U(T_v) \quad (25)$$

3. 투수계수의 비등방성을 고려한 압밀촉진 케이슨 기초공법의 효과 분석

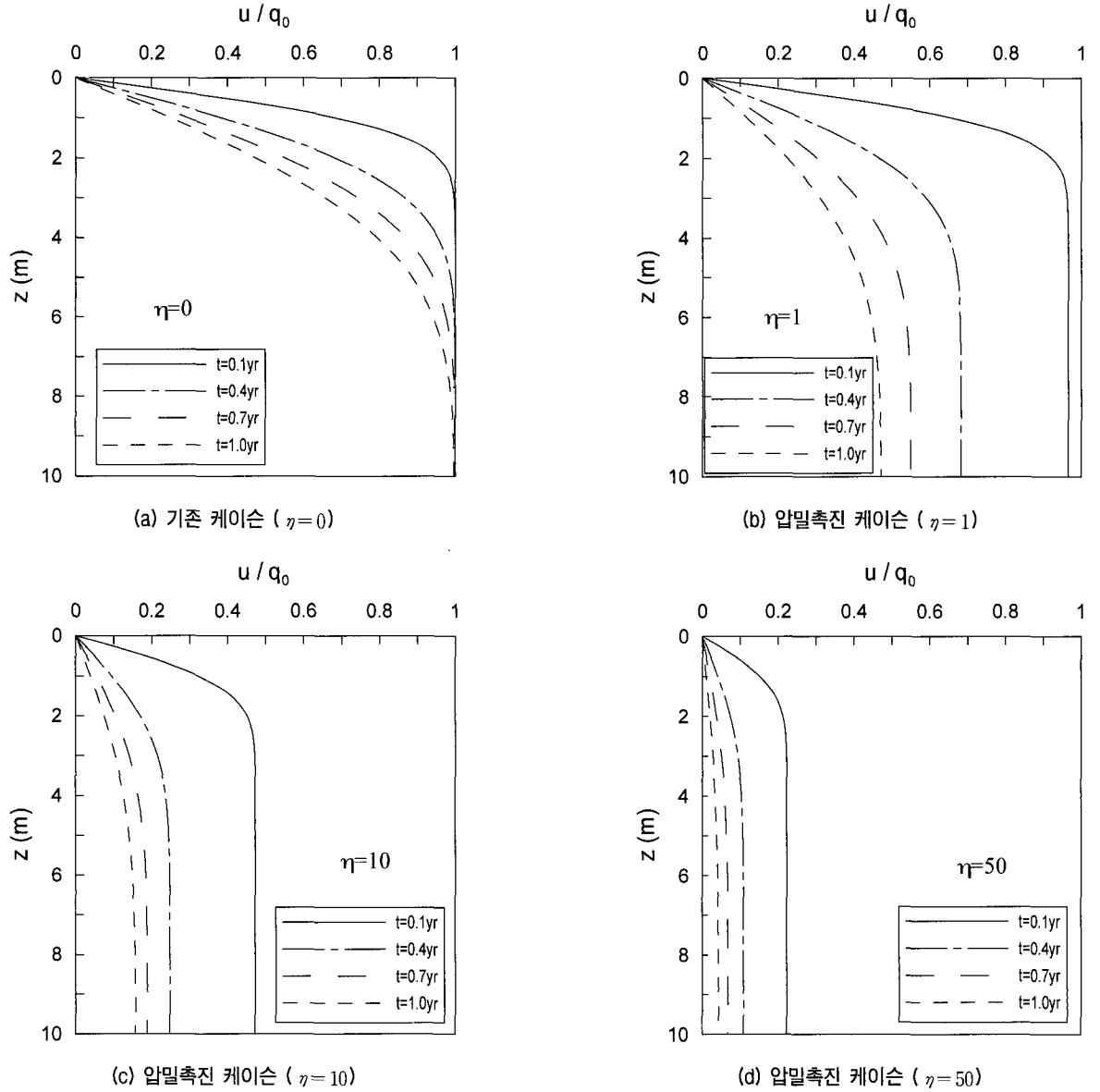
본 연구에서 제안된 케이슨 기초공법의 압밀촉진 효과를 분석하기 위하여 비등방성 투수계수비에 따른 지반의 깊이별 과잉간극수압의 분포에 대한 해석을 수행하였다. 또한 비등방성 투수계수비가 해석대상 지반의 각 단면별 평균압밀도의 변화에 미치는 영향을 분석하

였다. 시간계수에 따른 전체 해석단면에서의 평균압밀도를 용이하게 구할 수 있도록 그래프를 제시하였다.

3.1 비등방성 투수계수비에 따른 지반의 깊이별 과잉간극수압 분포

그림 2에는 기존의 케이슨 기초공법이 적용된 경우와 압밀촉진 케이슨 기초공법이 적용된 경우, 케이슨 측면으로부터 $2m$거리에 위치한 단면에서의 압밀시간에 따른 깊이별 과잉간극수압 분포를 식 (13)을 사용하여 계산한 결과를 보여주고 있다. 이때 케이슨이 설치되는 깊이 $h = 10m$, 연약점토 지반의 폭 $l = 20m$, 압밀계수 $c_v = 5.0\,m^2$/년 으로 가정하였으며, 지반의 비등방성 투수계수비(η)가 1, 10, 50인 경우에 대해 해석하였다.

그림 2(a)는 기존 케이슨이 설치된 경우로서, 과잉간극수압이 천천히 소산되는 경향을 볼 수 있는데, 이는 간극수가 투수층인 상부면으로만 유출되는 일차원 배수를 하기 때문이다. 압밀촉진 케이슨 설치시, 지반이 등방성 투수계수를 갖는 경우는(그림 2(b) 참조) 기존 케이슨에 비해 보다 더 빠른 과잉간극수압의 소산 경향을 보이고 있다. 그 이유는 간극수가 상부의 투수면으로 유출될 뿐만 아니라, 연약점토 지반과 측면부에서 인접한 케이슨 면에 장착된 다수의 배수공을 통해 횡방향으로도 소산되기 때문이다. 그림 2(c)와 (d)에서 보듯이, 비등방성 투수계수비(η)가 증가할수록 과잉간극수압의 소산 속도가 더 빨라지는 것을 알 수 있다. 이는 연직방



(a) 기존 케이슨 ($\eta=0$)

(b) 압밀촉진 케이슨 ($\eta=1$)

(c) 압밀촉진 케이슨 ($\eta=10$)

(d) 압밀촉진 케이슨 ($\eta=50$)

그림 2. 비등방성 투수계수비(η)에 따른 깊이별 과잉간극수압 (u/q_0) 분포 비교

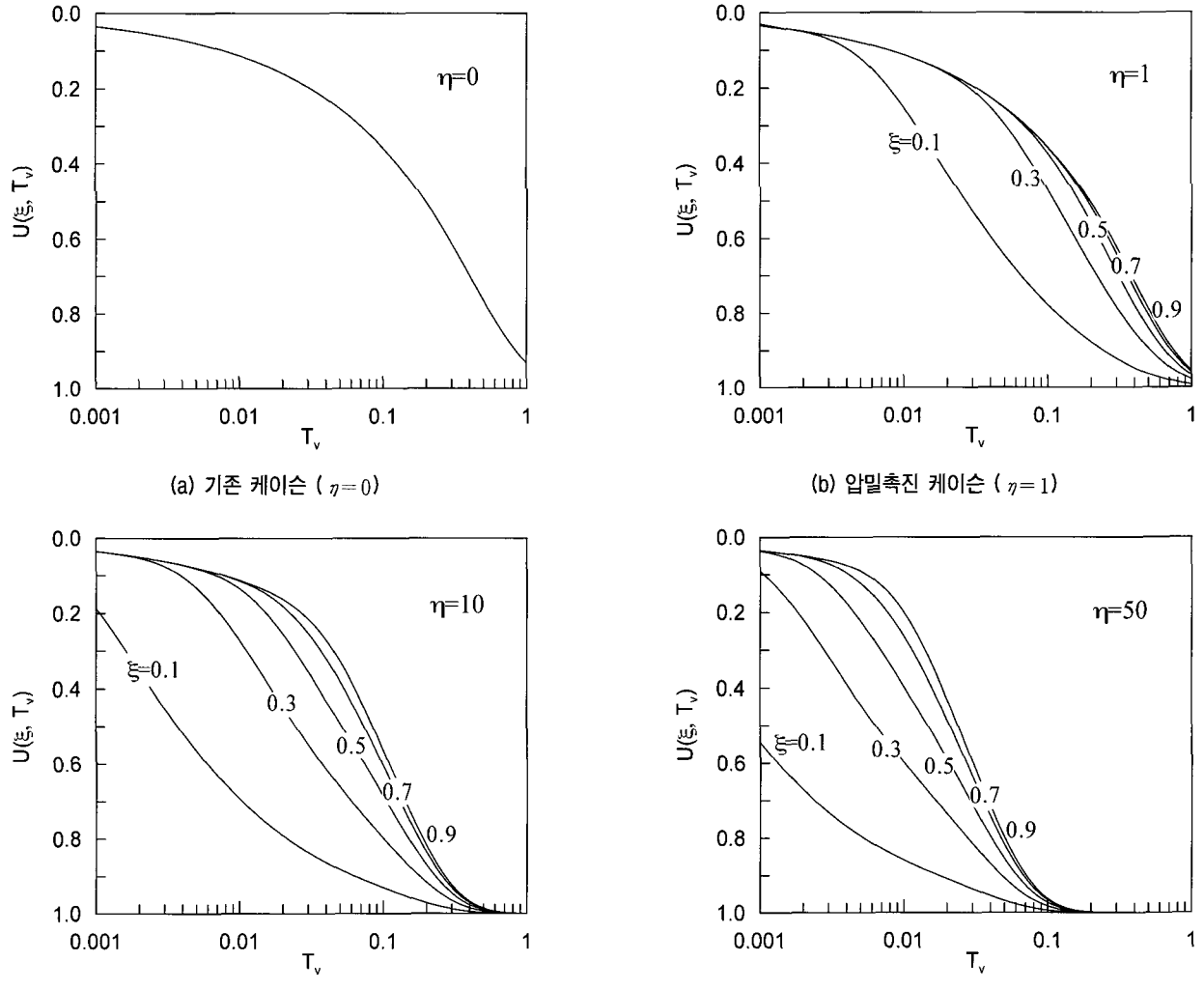
향 투수계수에 비해 상대적으로 큰 횡방향 투수계수가 결과적으로 해석대상 지반의 횡방향 최대 배수거리(l)을 단축시키는 효과를 가져오기 때문으로 분석된다.

따라서 기존의 케이슨 기초는 배면의 연약점토 지반의 침하 촉진에는 아무런 역할을 하지 못하였으나 본 연구에서 제안된 압밀촉진 케이슨 기초는 지반에 대한 별도의 안정 처리를 수반하지 않으면서도, 케이슨의 배수공을 통해 과잉간극수압을 횡방향으로 소산시키므로 연약점토층의 압밀촉진에 효과적인 것으로 나타났다. 특히 지반의 비등방성 투수계수비가 클수록 새로운 케이슨 기초의 압밀촉진 효과는 매우 큰 것으로 평가된다.

3.2 투수계수의 비등방성을 고려한 지반의 각 단면별 평균압밀도 변화

압밀촉진 케이슨 기초공법 적용시 비등방성 투수계수비에 따른 해석대상 지반의 각 단면별 평균압밀도의 변화를 식 (20)을 사용하여 고찰하였다. 해석단면의 깊이에 대한 폭의 비는 $\alpha = l/h = 2$로 가정하였고, 해석단면의 폭에 대한 케이슨으로부터의 거리의 비가 $\xi = x_p/l =$ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7인 단면들에 대해 계산하여, 시간계수 (T_v)에 대한 각 단면별 평균압밀도의 관계를 그림 3에 나타내었다. 기존 케이슨이 적용된 지반에서는 투수가 상부로만 일어나기 때문에 각 단면별로 T_v에 따른 평균압밀도가 동일한 한 개의 곡선을 나타낸다. 반면 압밀촉진 케이슨이 적용된 지반에서는 케이슨에서 가까운 쪽에 위치한 단면에서 보다 더 빠른 압밀속도를 보이고 있음을 관찰할 수 있다. 또한 비등방성 투수계수비가 클수록 간극수가 횡방향으로 더 신속히 소산되므로 각 단면에서의 압밀 속도가 현저히 증가되는 경향을 볼 수 있다.

특히 $\xi = 0.1$인 단면에서의 비등방성 투수계수비에 따른 평균압밀도의 변화를 분석한 결과, 압밀촉진 케이슨이



(a) 기존 케이슨 ($\eta = 0$)

(b) 압밀촉진 케이슨 ($\eta = 1$)

(c) 압밀촉진 케이슨 ($\eta = 10$)

(d) 압밀촉진 케이슨 ($\eta = 50$)

그림 3. 비등방성 투수계수비(η)에 따른 각 단면의 평균압밀도 ($\alpha = l/h = 2$)

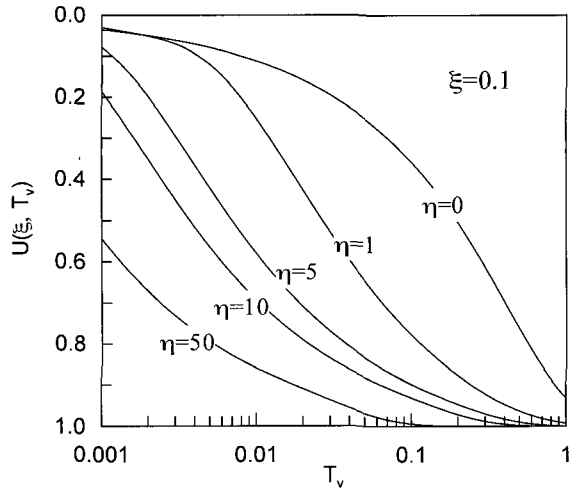
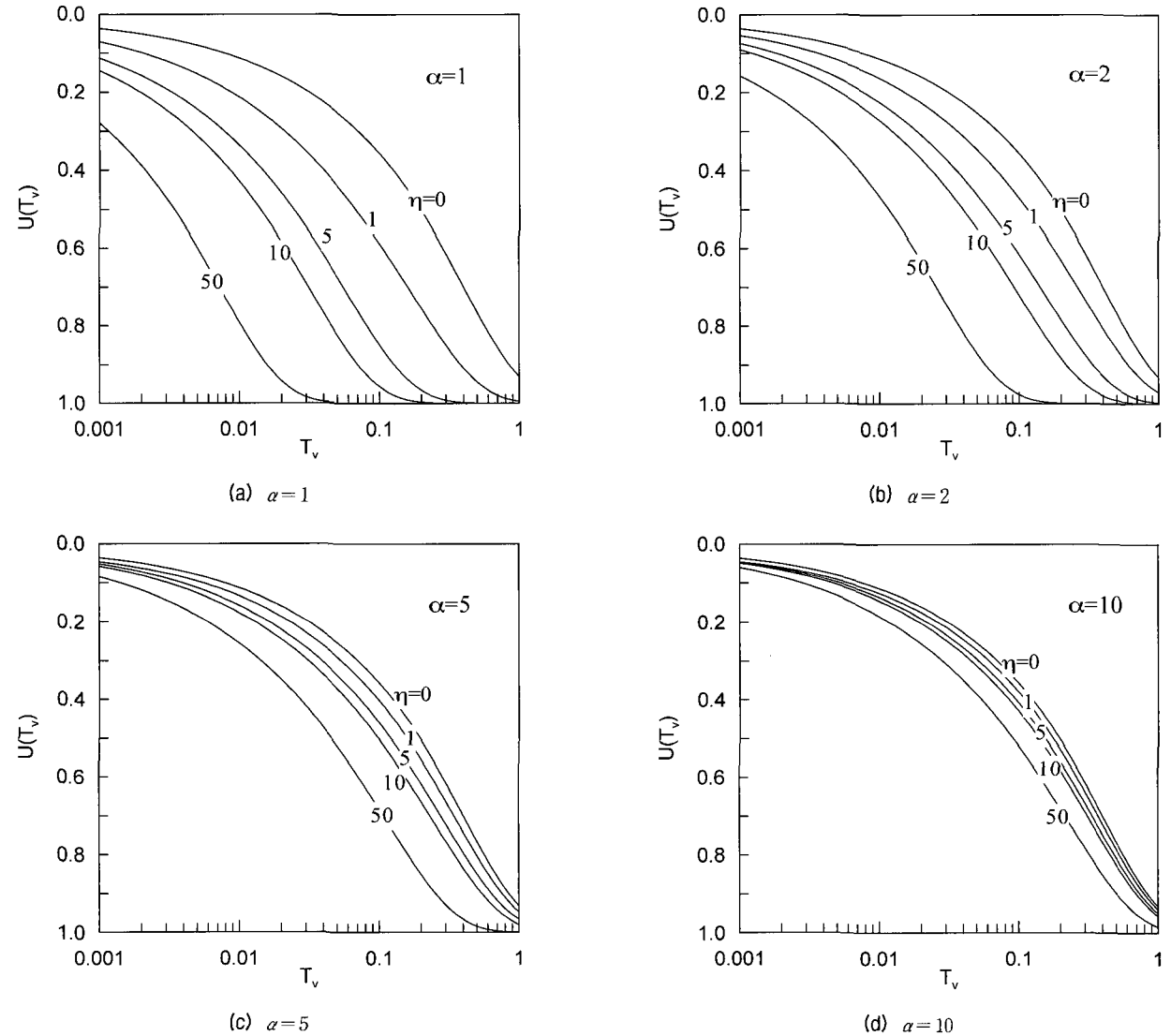


그림 4. $\xi=0.1$인 단면에서의 비등방성 투수계수비(η)에 따른 평균 압밀도의 변화 비교

설치되었고, 투수계수가 등방성($\eta=1$)인 지반인 경우는 평균압밀도가 90%에 이르는데 걸리는 시간은 기존 케이슨에 비해 약 3.5배 단축되었다(그림 5참조). 한편 비등방성 투수계수비가 5, 10, 50인 경우는 압밀도 90%에 도달하는 시간이 기존 케이슨에 비해 각각 약 8배, 13배, 47배 단축되었다. 따라서 지반의 비등방성 투수계수비가 클수록 제안된 케이슨 기초에 인접한 영역에서의 압밀시간 단축 효과를 크게 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

3.3 투수계수의 비등방성을 고려한 지반의 전체 해석단면에 대한 평균압밀도

비등방성 투수계수비에 따른 전체 해석단면의 평균압밀도 변화를 식 (21)을 사용하여 해석하여 그림 5에



(a) $\alpha=1$ (b) $\alpha=2$

(c) $\alpha=5$ (d) $\alpha=10$

그림 5. 비등방성 투수계수비(η)에 따른 전체 해석단면의 평균압밀도 변화 ($\alpha=l/h$)

나타내었다. 이 그래프를 사용함으로써 임의 시간에 대응하는 시간계수에서의 전체 해석단면에 대한 평균압밀도를 구할 수 있으며, 식 (25)로부터 케이슨 배면 점토지반의 지표면의 시간에 따른 평균침하량을 용이하게 산정할 수 있다.

그림 5에서 볼 수 있듯이 해석단면의 깊이에 대한 폭의 비, 즉 $\alpha = l/h$의 값이 작을수록 제안된 케이슨에 의한 압밀촉진 효과는 증가하며, α가 10일 때의 지반의 압밀 거동은 $\eta = 0$인 경우, 즉 1차원 투수 압밀(Terzaghi 등, 1996)의 결과에 근접함을 알 수 있다.

4. 결 론

(1) 압밀촉진 케이슨 기초 배면의 연약점토 지반의 비등방 투수성을 고려한 2차원 투수 압밀 방정식을 변수분리법을 사용하여 과잉간극수압에 대한 해석해를 유도하였다. 또한 무차원 시간계수의 변화에 따른 지반의 각 단면별 평균압밀도 및 전체 해석단면에서의 평균압밀도 식을 도출하였다.

(2) 압밀촉진 케이슨이 설치된 지반의 비등방성 투수계수비가 클수록 지반의 과잉간극수압의 소산 속도가 더 빨라지게 되는데, 이는 연직방향 투수계수에 비해 상대적으로 큰 횡방향 투수계수가 결과적으로 해석대상 지반의 횡방향 최대 배수거리를 단축시키는 효과를 가져오기 때문으로 분석된다.

(3) 비등방성 투수계수비의 변화에 따른 $\xi = 0.1$인 단면에서의 평균압밀도를 분석한 결과, 비등방성 투수계수비가 1, 5, 10, 50인 경우는 압밀도 90%에 도달하는 시간이 기존 케이슨에 비해 각각 약 3.5배, 8배, 13배, 47배 단축되어, 지반의 비등방성 투수계수비가 클수록 케이슨 면에 인접한 영역에서 현저한 압밀촉진 효과를 얻을 수 있는 것으로 평가된다.

(4) 해석단면의 깊이에 대한 폭의 비 및 비등방성 투수계수비에 따른 전체 해석단면에서의 평균압밀도를 그래프로 제시하였으며, 이 그래프를 사용함으로써 임의 시간에 대한 점토 지반의 지표면의 평균침하량을 용이하게 산정할 수 있다.

(5) 해석단면의 깊이에 대한 폭의 비, 즉 α가 작을수록 제안된 케이슨에 의한 압밀촉진 효과는 증가하며, α가 10이상인 경우의 지반의 압밀 거동은 Terzaghi의 1차원 투수 압밀의 경우에 근접하게 된다.

참 고 문 헌

1. 박정순, 조남준(2001), "압밀촉진 케이슨 기초공법에 관한 연구", 한국지반공학회논문집, 한국지반공학회, 제17권 제2호, pp.95-101.
2. 장인성, 이선재, 정충기, 김명모(2002), "CPTu를 이용한 국내 점성토 지반의 압밀계수 산정", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제22권, 제1-C호, pp.67-79.
3. Almeida, M.S.S. and Ferreira, C.A.M.(1993), "Field, in Situ and Laboratory Consolidation Parameters of a Very Soft Clay", *Predictive Soil Mechanics*, Thomas Telford, London, pp.73-93.
4. Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germaine, J.T., and Lancellotta, R. (1985), "New developments in field and laboratory testing of soils", State-of-the art report, *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, pp.57-153.
5. Kreyszig, E.(1993), *Advanced Engineering Mathematics*, John Wiley and Sons, Inc., 7th ed., p.1271.
6. Terzaghi, K.(1943), *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc., p.439.
7. Terzaghi, K., Peck, R. B., and Mesri, G.(1996), Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, Inc., p.549.

(접수일자 2002. 4. 23, 심사완료일 2003. 4. 20)