

# 횡토압을 받는 소일시멘트벽체(SCW)의 설계식에 대한 적정성 평가 및 제안

김현기  
(주)더이엔씨 기술연구소

## Adequacy Evaluation and Proposal for Design Formula of Soil Cement Wall Subjected to Lateral Earth Pressure

Hyun-Gi Kim  
R&D Center, TheENC Co., Ltd.

**요약** 대표적인 흙막이 가시설공법이며 차수공법인 소일시멘트벽체 공법은 원위치의 토사를 골재로 사용하므로 발현강도 및 투수성 예측, 최종내력 등에 관한 검토가 중요하다. 최근 장비의 발전과 함께 굴착법을 개선한 개량공법들이 다양하게 등장하고 있으나, 설계법이 명확하지 않고 파괴거동에 대한 해석이나 설계법에 대한 연구가 부족하여 안전사고의 위험이 증가되고 있다. 본 연구는 현업에 적용되고 있는 SCW공법의 국내외 설계식에 대한 적정성 평가를 수행하고, 횡토압에 의한 아치형성 이론 및 파괴거동을 고찰하여 응력을 저감시키고 현장배합강도를 낮추거나, 효과적인 보강재 설치가 가능하도록 응력저감 요인을 분석하였다. 심재(H-pile)의 종류에 따른 가상아치의 높이(h)와 두께(t)에 대한 상호관계 분석 결과, 두 값은 유사한 경향을 보였지만 플랜지 폭이 넓어질수록 f값이 더 커져 축응력이 크게 산정되는 것으로 나타났다. 간편법으로 계산된 아치 높이(h)는 가상아치법과 달리 굴착직경에 절대적인 영향을 받았고, 약 7.5cm의 작은 변동폭을 보였으며, 가상아치법 보다 대부분 커서 축응력이 크게 산정되나, 값이 작을 경우는 아치높이(f)를 스트레칭 상수로 적용하는 수정법을 제안하였다. 아치의 두께는 가상아치법과 유사한 경향을 나타냈으나, 항상 작은 값을 보여 압축응력이 더 크게 산정되는 것으로 평가 되었다. 횡토압이 작용할 경우 전단파괴로 진전하기 전 소일시멘트에 아치효과로 인한 압축영역이 지지력을 충분히 발휘하려면 아치의 높이가 커지는 것이 유리한 것으로 판단된다. 향후, 심재의 편심시공과 한계간격에 대한 응력평가 관련연구가 추가적으로 수행되어야 하며, 수치해석이나 실험을 통한 검증이 필요할 것으로 사료된다.

**Abstract** Recently, with the development of equipment, various improved construction methods of soil cement walls (SCW) have emerged, but the risk of safety accidents is increasing because of the lack of analysis of failure behavior and research on design methods. In this study, the adequacy evaluation of domestic and foreign design formulae of the SCW method applied in the field was conducted, and the theory of arch generation and failure behavior by lateral earth pressure was reviewed. An analysis of the correlation between variables according to the shape of the H-pile and case analysis of the three design methods showed that the virtual arch method, the simplified method, and the modified method were reasonable-level designs. In addition, in some cases, it is desirable to apply a stretching constant through a correction method. When lateral earth pressure is applied, it is considered advantageous to increase the arch height for the compression area because of the arch effect in the soil cement to exert sufficient bearing capacity before progressing to shear failure. Additional research will be needed for verification through numerical analysis or experiments.

**Keywords** : SCW, Excavation, H-pile, Arching Effect, Arch Height

\*Corresponding Author : Hyun-Gi Kim(TheENC Co., Ltd.)

email: khk2696@nate.com

Received April 13, 2023

Accepted July 7, 2023

Revised May 22, 2023

Published July 31, 2023

### 1. 서론

구조물의 대형화, 고층화, 지하공간 활용을 위한 도심도 굴착이나 도심지 근접 시공의 증가로 인해 대규모 흙막이 공사가 수행되고 있으며, 건설부지의 부족으로 해안가 또는 매립지와 같은 연약지반에서의 시공법 수요도 증가하고 있다[1]. 본 구조물의 시공을 위한 선행공공으로 지하굴착을 위해 흙막이 가시설이 설치되며 전체공기에 큰 영향을 미칠 뿐 아니라 지하안전관리에 관한 특별법의 시행으로 흙막이 가시설공사의 중요성은 더 커지고 있다[2]. 소일시멘트공법(SCW)은 다축의 오거 장비를 이용하여 선단에서 시멘트 현탁액을 토출시켜 원위치의 흙과 반죽하면서 흙을 굴착하여 지하연속벽을 형성시키며 가시설공법의 대표적인 차수벽공법이다[3].

소일시멘트의 일축압축강도 실험을 통해 개량토의 재령에 따른 강도산정식을 제시한 연구와 탄성계수에 관한 실험적 연구를 통해 설계와 해석을 위한 변수연구가 수행되었고[4,5], 개별요소법을 이용한 소일시멘트 수치모델링에 대한 연구도 수행된 바 있다[6]. 최근에는 소일시멘트 벽체의 차수효과를 이용하여 영구 벽체로 이용하거나 독립적인 지지가 가능하도록 고안된 공법연구가 이루어지고 있다[7,8]. 보강재의 종류를 달리하여 수직저항력을 실험적으로 평가하거나 수치해석을 통해 합성된 거동을 평가하는 연구에 대한 연구가 대부분이며, 횡토압을 받을 때 보강재 사이의 소일시멘트의 거동에 대한 연구는 전무하다.

소일시멘트는 원위치의 토사를 골재로 사용하므로 발현강도 및 투수성 예측, 최종내력 등에 관한 검증이 중요하며 개량공법들이 다양하게 적용되고 있으나 설계방법이 명확하지 않고, 현장시험법으로 강도를 맞추지만 파괴거동을 예측하거나 정확한 설계식에 대한 연구가 부족하여 외국 기준을 그대로 이용하고 있을 뿐만 아니라, 장비나 굴착방법을 개선하여 성능을 향상시킨 공법이 적용되고 있음에도 불구하고 적절한 해석이나 설계법이 제시되지 못하고 있다. 본 연구는 현업에 적용되고 있는 SCW공법의 국내외 설계식에 대한 적정성 평가를 수행하고, 횡토압에 의한 아치형성 이론 및 파괴거동을 고찰하여 합리적인 설계식의 적용방안을 제시하고, 현장배합 강도를 낮추거나 효과적인 보강재 설치가 가능하도록 응력 저감 요인을 분석하여, 심재의 편심시공과 한계간격에 대한 응력평가 관련연구의 기초자료를 제시하고자 하였다.

### 2. SCW 공법

연약지반처리 공법으로 처음 실용화된 Deeping Mixing 기술은 deep chemical mixing(DCM), cement deep mixing(CDM), rectangular mixing method(RM), dry jet mixing(DJM), chemical churning pile(CCP), deep soil mixing(DSM), soil mix wall(SMW) 등 안정제와 설치과정의 차이는 있지만 모두 기본원리가 동일한 계열로 볼 수 있으며, 각 국의 실무자들은 혼동을 위해 일관된 용어 채택을 요구하고 있다[9]. 1960년대 이후 일본은 관련연구를 지속하여 1994년 CDM협회에서 매뉴얼을 발표하였고, 1980년대부터 DJM공법이 개발되어 꾸준히 사용되었으며, 소일시멘트의 휨저항 강성을 증가시키기 위해 플랜지가 넓은 H-Pile이나 Sheet와 함께 횡토압에 저항할 수 있도록 SMW공법이 개발되었다. 국내에서는 SCW공법으로 알려져 있으며 다양한 건축 및 토목공사에 적용되고 있다. Taki&Yang은 횡토압 작용시 유한요소법을 이용하여 소일시멘트 블록의 응력분포를 Fig. 1과 같이 제시하였고, 휨파괴를 방지하는 보강재 간격에 대한 설계기준도 발표하였다[10].

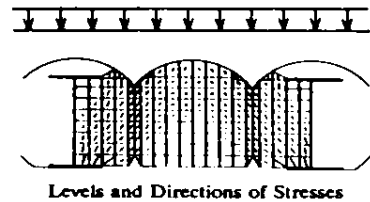


Fig. 1. Stress distribution in soil-cement wall

보강된 부재 사이의 소일시멘트는 인접 보강재와의 면적만큼에 해당되는 수평응력에 저항하고 재분배하는 전형적인 흙막이벽체의 판과 유사하며, 보강재 간격에 대한 해석은 소일시멘트 내부의 전단력과 압축응력의 평가를 포함하여, 휨과 전단파괴에 대한 안전성을 확보하는 보강재의 간격을 결정한다[11].

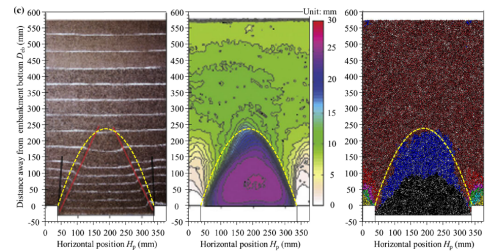


Fig. 2. Comparison of embankment deformation contours

Fig. 2는 이산요소법(DEM) 모델링을 수행하여 성토의 지반아칭 효과, 응력상태 및 변형거동을 제시하는 연구의 비교 모델이며 전형적인 아칭효과의 형상을 보여준다. 파일(Pile)과 같은 구속조건 사이에서 성토되는 흙의 아칭효과는 하중이 가해질 때 휨 파괴가 발생하지 않도록 구속된 부재로 전달하며 단계별 거동을 통해 파괴로 이어진다. Yoshinari&Kunitoh는 소일시멘트 벽체 단면의 내하력 특성을 파악하기 위해 실규모 모형실험으로 수평하중시험을 수행하여, 가상 포물선형의 아치가 형성되는 거동특성과 전단파괴 발생을 증명하였다[12]. Fig. 3은 횡토압이 작용할 때 심재 사이의 소일시멘트의 거동을 조사한 실험체의 균열양상과 하중 값을 나타낸다.

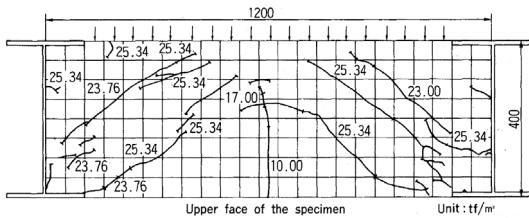


Fig. 3. Crack pattern on the specimen[12]

배면에 토압이 작용할 때 전면에는 점차 휨응력이 증가하며 초기에 중앙부에서 휨응력이 증가하며 인장균열 양상을 나타내다가 점차 지점부로 힘이 분산되면서 아칭 효과로 지지되다가 강재의 끝단에서 전단균열을 보였고, 벽면을 밀어내는 형태로 전단파괴 되었다. 이때, 소일시멘트 전단강도는 압축강도의 1/3과 유사한 결과를 보여 설계법과 일치하였다.

### 3. SCW 설계

#### 3.1 설계기준 및 산정식

‘KDS 21 30 00 가설흙막이 설계기준’에 따르면 소일시멘트벽체에 작용하는 축력은 보강재 간격을 시간으로 하는 아치와 등분포하중으로 해석하고, 전단력은 보강재 순간격을 시간으로 하는 보로 계산하며, 허용축응력은 소일시멘트 일축압축강도의 1/2, 허용전단응력은 일축 압축강도의 1/3을 적용하도록 하고 있다[13].

앞 절의 거동특성에서 횡토압이 작용함에 따라 심재사이의 소일시멘트에 가상의 아치가 형성되어 축응력에 저항하게 되는데, 이 때 가상아치의 두께와 높이를 시산법으로 계산하는 것을 가상아치법이라 한다. 일본건축학회

의 ‘흙막이부재의 설계시공지침’[14]과 일본재료학회의 ‘소일믹싱월(SMW)설계시공지침’[15]에 산정표를 제시하고 있으며, 가상의 포물선아치를 산형아치로 대체하는 간편법을 설계요령으로 선택 적용할 수 있다. 계산을 통해 소일시멘트의 소요압축강도를 설계하고 현장에서 배합강도 실험을 수행하여 소요강도 이상을 확보하는 방식으로 시공되고 있다[16].

Fig. 4는 횡토압 작용시 발생하는 아치와 전단검토 모델을 나타내며, Fig. 5는 가상아치의 높이(f)와 축력(N)의 자유도를 나타낸다. 수평 및 수직력을 통해 Eq. (1)과 같이 압축응력을 계산할 수 있다.

$$N = \sqrt{P_h^2 + P_v^2}, \sigma = N/A \quad (1)$$

Where,  $N$  denotes axial force,  $\sigma$  denotes stress

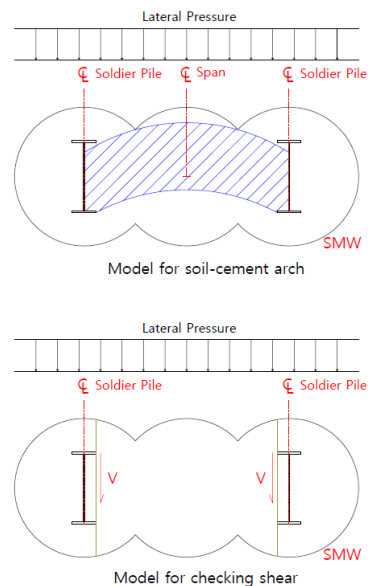


Fig. 4. Stress distribution in soil-cement wall[6]

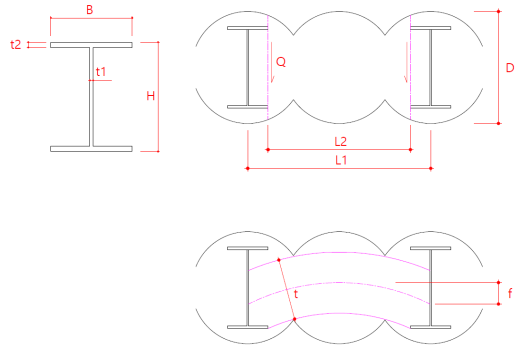


Fig. 5. Arch height and axial force degree of freedom

Table 1은 빈번하게 사용되는 소일시멘트에 작용하는 가상아치의 치수를 나타내며, 응력해석에 따른 가상의 포물선함수를 가정하고 아치의 각도를 변경하는 반복 절차를 통해 다양한 H-Pile 재원에 따라 시산한 결과로 도출된 값이다. 본 연구에서는 간편법 및 수정법과의 비

Table 1. Dimensions of virtual parabolic arch in soil-cement[14]

H-Pile		D	L1	L2	t	f	H-Pile		D	L1	L2	t	f								
Series	No.						Dimension.(mm)							Series	No.	Dimension.(mm)					
		H	B	t1	t2	cm	cm	cm	cm	cm	cm										
Narrow	1	200	100	5	8	45	70	60	14.8	15.5	Wide	30	200	200	8	12	45	70	50	16.2	19.6
	2	250	125	6	9	45	70	57.5	17.1	17.2		31	200	200	8	12	55	90	70	16.1	20.4
	3	250	125	6	9	55	90	77.5	17.6	17.9		32	200	200	8	12	60	90	70	19.3	21.8
	4	250	125	6	9	60	90	77.5	20.1	20.2		33	250	250	9	14	45	70	45	19.2	22.8
	5	300	150	6.5	9	45	70	55	19.5	19		34	250	250	9	14	55	90	65	18.7	23.7
	6	300	150	6.5	9	55	90	75	19.5	20.4		35	250	250	9	14	60	90	65	21.9	25.2
	7	300	150	6.5	9	60	60	75	22.6	21.6		36	300	300	10	15	55	90	60	21.4	27.7
	8	350	175	7	11	45	70	52.5	21.9	20.7		37	300	300	10	15	60	90	60	24.6	29.4
	9	350	175	7	11	55	90	72.5	21.9	21.6		38	350	350	12	19	55	90	55	24	32.3
	10	350	175	7	11	60	90	72.5	25.1	22.9		39	350	350	12	19	60	90	55	27.9	31.7
	11	400	200	8	13	55	90	70	23.7	24.4											
	12	400	200	8	13	60	90	70	26.8	25.8											
	13	450	200	9	14	55	90	70	26.1	24.1											
	14	450	200	9	14	60	90	70	29.3	25.3											
	15	500	200	10	16	60	90	70	30.9	26.5											
Medium Width	16	194	150	6	9	45	70	55	15.3	17.2											
	17	194	150	6	9	55	90	75	15.8	17.8											
	18	194	150	6	9	60	90	75	18.4	20.1											
	19	244	175	7	11	45	70	52.5	17.6	19.1											
	20	244	175	7	11	55	90	72.5	17.6	20.2											
	21	244	175	7	11	60	90	72.5	20.7	21.5											
	22	294	200	8	12	45	70	50	20	21.2											
	23	294	200	8	12	55	90	70	20	21.7											
	24	294	200	8	12	60	90	70	23.2	23											
	25	340	250	9	14	55	90	65	22.5	24.8											
	26	340	250	9	14	60	90	65	25.7	26.2											
	27	390	300	10	16	55	90	60	25.2	28.6											
	28	390	300	10	16	60	90	60	28.5	30.2											
	29	440	300	11	18	60	90	60	30.1	31.6											



교를 위해 시리즈별 일련번호로 정리하였다.

전단력에 대한 검토는 Fig. 4와 같이 H-Pile 플랜지 끝단에서 전단이 발생하고 Table 1의 L2를 유효폭으로 Eq. (2)와 같이 전단응력을 산출할 수 있다.

$$\tau = Q/A \leq \tau_a \tag{2}$$

Where,  $Q$  denotes shear force,  $\tau$  denotes stress

SCW벽체의 전단강도는 일축압축강도의 1/3을 사용하므로  $\tau = P_v/A$ ,  $\tau = \sigma/3$ 으로 부터 Eq. (3)과 같이 변환될 수 있다.

$$\sigma = 3P_v/A = 3wL2/2A \tag{3}$$

Where,  $P_v$  denotes shear force,  $w$  denotes lateral earth pressure,  $L2$  denotes effective width

공시체의 압축강도를 10MPa로 가정하면, 압축응력은

5MPa, 전단응력은 3.33MPa이내가 되어야하며, 현장에서의 배합은 Eq. (1)과 Eq. (3)중 큰 값을 사용하고 2.5에서 5.0 범위의 안전율을 곱하여 시행된다[17].

### 3.2 설계변수 해석

가상아치법의 경우 평형조건을 만족할 때 까지 반복검토를 통해 아치의 높이를 결정하므로, Table 1에 제시되지 않은 보강재의 간격이나 재원을 적용할 경우 어려움이 있다. 토압의 작용으로 형성되는 가상아치의 작용력이 복부판과 플랜지의 모서리를 구속조건으로 하는 간단한 트러스 모델로 변경하여 기하적으로 쉽게 압축력을 계산할 수 있도록 한 것이 간편법이다[16]. 가상의 포물선아치가 산형아치로 간소화된 간편법의 응력계산 개념을 Fig. 6에 나타내었고, 국내에서 관용적으로 사용하는 수정법을 포함하여 아치의 두께와 높이 산정식 3가지를 Table 2에 정리하였다.

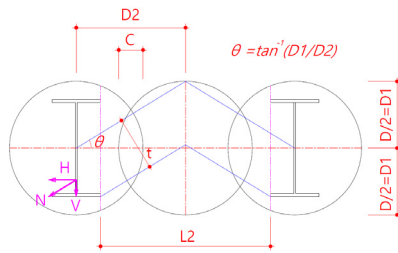


Fig. 6. Calculation schematic of simplified method

Table 2. Comparison of arch thickness and height calculation formula

Division	Virtual Arch Method	Simplified Method	Modify Method
Arch Thickness(t)	Value in Table 1.	$1/2(H\cos\theta+B\sin\theta)$	$1/2(H\cos\theta+B\sin\theta)$
Arch Height(f)	Value in Table 1.	$f=D/2$	$f=D/2-5$

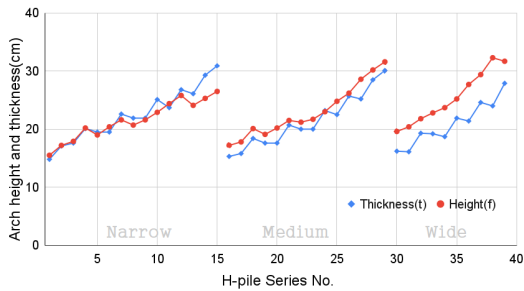


Fig. 7. Changes in arch thickness and height value

소일시멘트벽체에 작용하는 횡토포에 의해 형성되는 아치의 축응력 산정식이 심재의 크기와 굴착직경, 간격 등이 달라질 경우, 각 설계변수의 영향을 분석하여, 설계법의 적정성을 평가하고자 하였다. 먼저, Table 1에 나타난 모든 H-Pile의 종류에 대해 가상아치법에서 아치의 높이(f)와 두께(t)를 계산한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 축응력 계산에 영향을 미치는 두 값은 유사한 경향을 보였으나, 세폭-중폭-광폭의 경우를 나누어 비교하면 t와 f 값이 역전되는 현상이 나타나, 소요강재의 선택과 응력 산출시 고려되어야 한다.

Fig. 8은 설계법에 따른 아치의 높이 값 변화를 비교한 도표이다. 가상아치법은 H-Pile의 플랜지 폭이 커질수록 f값이 커지지만, 간편법의 경우 굴착직경에 절대적인 영향을 받아 완전히 다른 경향을 보였다. 간편법의 경우 최대값과 최소값의 차이는 약 7.5cm로 변동폭이 작았고, 가상아치법이 전반적으로 간편법에 비해 아치높이

가 작게 나타났으나, 수평응력을 증가시켜 압축응력이 더 크게 평가 될 수 있다. 간편법이 가상아치법보다 작은 값에 해당된다면 산정식에 상수를 도입하여 보수적인 f 값을 취해야 할 것으로 나타났다. 수정식의 경우 관형적으로 5mm의 스트레칭 상수를 적용하고 있지만, 응력에 영향을 미치는 아치높이 계산 결과에 따라 면밀한 검토 후 적용되는 심재의 제원에 따라타 설계법의 값을 넘어서는 값이 스트레칭 값으로 적용되어야 할 것으로 판단된다.

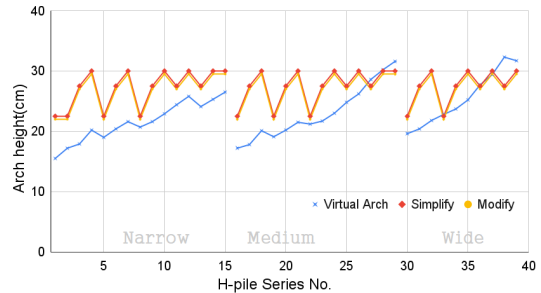


Fig. 8. Comparison of arch height values according to design methods

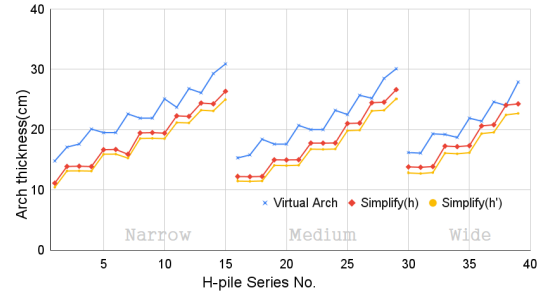


Fig. 9. Comparison of arch thickness value according to design methods

Fig. 9는 압축응력이 발생하는 아치의 두께산정 비교 결과를 나타낸다. 강재 높이 h에서 상하플랜지 두께를 제외한 h'를 적용한 경우에도 가상아치법과 마찬가지로 폭이 커질수록 두께도 증가하는 경향을 보였다. 간편법의 아치 두께가 가상아치법보다 항상 작은 값을 나타내어, Eq. (3)의 A값이 작아지면 압축응력이 더 크게 산정될 수 있다. Fig. 8과 Fig. 9의 결과 비교를 위해 가상아치법의 경우 Table 1의 값을, 간편법의 경우는 Fig. 6의 삼각형 꼭지점을 아치 크라운 상단으로 하는 가상아치를 이용하였다.



Table 3. Shear and axial stresses calculation result according to the arch height formula

Division		Virtual Arch Method	Simplified Method	Modify Method
Arch Height (f, cm)		27.7	27.5	27.0
w=98.07 (kN/m)	Shear Stress ( $\tau$ , MPa)	0.077	0.077	0.098
	Axial Stress ( $\sigma$ , MPa)	0.265	0.273	0.271
w=329.41 (kN/m)	Shear Stress ( $\tau$ , MPa)	0.260	0.260	0.329
	Axial Stress ( $\sigma$ , MPa)	0.892	0.918	0.909

심재 H-300×300×10×15, 굴착직경 550mm, 굴착 간격 900mm, 횡토압 98.07kN/m, 329.41kN/m가 각각 작용하는 경우를 가정하여 사례검토 한 결과를 Table 3에 나타내었다. 축응력과 전단응력 산정결과 모두 유사한 수준의 응력이 산출되어 허용응력이나 필요강도 산정시 합리적으로 판단되나, 수정식의 경우 전단응력이 조금 크게 산출되므로 조건에 따라 상수값의 조정이 필요한 것으로 나타났다. 소일시멘트 강도가 축력에 지배될 경우 간편법을 사용하면 강재의 플랜지 폭이 커질수록 값이 커지는 가상아치법과의 차이를 줄이기 위한 방법으로 아치높이(f)를 ±상수로 스트레칭하여 적용할 수 있으며, 값이 작을수록 수평력을 감소시켜 압축응력이 작게 산출된다. 그러나, 횡토압이 작용할 경우 발생하는 전단 파괴로 진전하기전 소일시멘트에 아치효과로 인한 압축 영역이 지지력을 충분히 발휘하려면 큰 아치의 높이가 유리할 수 있다. 지지효과를 높이기 위해서는 굴착공 중심(e=0)에 심재가 시공되는 것보다 최외단 면에 밀착되어 시공될 경우 아치 높이를 키워 응력을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 현업에 적용되고 있는 SCW공법의 국내의 설계식에 대한 적정성 평가를 수행하고, 횡토압에 의한 아치형성 이론 및 파괴거동을 고찰하여 합리적인 설계식의 적용방안을 제시하고, 현장배합강도를 낮추거나 효과적인 보강재 설치가 가능하도록 응력 저감 요인 분석을 수행하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 현업에 적용되는 설계법과 다수의 강재 제원에 대한 비교분석 결과, 땅콩모양의 굴착법을 개선한 직

벽형 굴착이나 강재를 편심 배치할 경우 굴착공의 중심배치와 동일한 결과를 보이므로 심재사이에 형성되는 아치효과의 변화를 고려할 수 있는 산정식이 필요하다.

2. 심재로 사용되는 H-pile제원 39가지를 대상으로 설계식의 주요변수인 가상아치의 높이(h)와 두께(t)에 대한 상호관계를 분석한 결과, 시산법으로 산정된 두 값은 유사한 경향을 보였지만 플랜지폭이 넓어질수록 f값이 더 커져 축응력이 크게 산정되었다.
3. 간편법으로 계산된 아치의 높이(h)는 가상아치법과 달리 굴착직경에 절대적인 영향을 받으며, 최대값과 최소값의 차이는 약 7.5cm로 변동폭이 작게 나타났다. 가상아치법보다 대부분 큰 값을 보여 축응력이 크게 산정되나, 작은 값이 나타나는 경우는 아치높이(f)를 ±상수로 스트레칭하여 적용하는 수정법을 제안하였다. 또한, 아치의 두께는 가상아치법과 유사한 경향을 나타냈으나, 항상 작은값을 보여 압축응력이 더 크게 산정되는 것으로 평가 되었다.
4. 횡토압이 다른 두가지 경우를 대상으로 축응력과 전단응력을 산정한 결과 3가지 산정법 모두 유사한 수준의 응력이 산출되어 허용응력이나 필요강도 산정시 합리적으로 판단되나, 전단파괴로 진전하기전 소일시멘트에 아치효과로 인한 압축영역이 지지력을 충분히 발휘하려면 아치의 높이가 큰 것이 유리한 것으로 나타났다.

향후, 심재의 편심시공과 한계간격에 따른 응력평가가 추가적으로 수행되어야 하며, 수치해석이나 실험을 통한 검증이 필요할 것으로 사료된다.

#### References

- [1] D. K. Kim, H. S. Jung, H. S. Choi, J. M. Won, "A Numerical study on Behavior of Soft Clay Soils with Installed Buttress Type Self Supporting Composite Wall", *Journal of The Korea Geotechnical Society*, Vol.35, No.11 pp.15-23, Nov. 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.7843/kgs.2019.35.11.15>
- [2] S. W. Lee, Y. J. Sim, G. T. Na, "A fundamental study on the development of feasibility assessment system for utility tunnel by urban patterns", *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol.19, No.1, pp.11-27, Jan. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.9711/KTAJ.2017.19.1.011>
- [3] C. J. Rutherford, *Design manual for excavation support*

- using deep mixing technology, Master's thesis, Texas A&M University, Texas, USA, pp.10-11, 2004.
- [4] J. K. Koo, B. S. Yoo, "AEstimation of Unconfined Compression Strength for SCW, SCF", *Journal of Anseong Industrial University Thesis Collection*, Vol.30, No.2 pp.167-175, Dec. 1998.
- [5] C. S. Park, H. K. Park, "An Experimental Study on the Elastic Modulus of Deep Mixing Ground Specimen", *Journal of The Korean Geotechnical Society*, Vol.34, No.10 pp.39-19, Oct. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.7843/kgs.2018.34.10.39>
- [6] S. G. Jeong, "Numerical Modeling of Soil-Cement based on Discrete Element Method", *Journal of Korean Geosynthetics Society*, Vol15, No.4 pp.33-42, Dec. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.12814/jkgs.2016.15.4.033>
- [7] D. K. Kim, H. S. Jung, H. S. Choi, J. M. Won, "A Numerical study on Behavior of Soft Clay Soils with Installed Buttress Type Self Supporting Composite Wall", *Journal of The Korean Geotechnical Society*, Vol.35, No.11 pp.15-23, Nov. 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.7843/kgs.2019.35.11.15>
- [8] J. S. Chung, G. T. Na, "Development of construction method for underground buildings with MSRC diaphragm wall and study on flexural performance of MSRC diaphragm wall", *Journal of Korean Tunneling and Underground Space Association*, Vol.19, No.6 pp.937-957, Nov. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.9711/KTAJ.2017.19.6.937>
- [9] A. Porbaha, "State of the art in deep mixing technology: part I. Basic concepts and overview", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, Vol. 2, No. 2, pp.81-92, Apr. 1998.  
DOI: <https://doi.org/10.1680/gi.1998.020204>
- [10] O. Taki, D. S. Yang, "Soil-cement mixed wall technique", *Geotechnical engineering congress*, pp.298-309, Jun. 1991.
- [11] S. L. Pearlman, D. E. Himick, "Anchored excavation support using SMW (Soil Mixed Wall)", *18th Annual Member's Conference*, Deep Foundations Institute, Pittsburgh, PA, USA, pp.101-120, Oct 1993.
- [12] M. Yoshinari, T. Kunitoh, "Fundamental Research on the Yield Strength of Soil Cement Wall Elements for Ground Retaining", *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, Vol.37, No.423 pp.1456-1462, Dec. 1988.  
DOI: <https://doi.org/10.2472/jsms.37.1456>
- [13] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Temporary Earth Retaining Design Standards(KDS 21 30 00), p.20, Korea Construction Standard Center, 2022, pp.13
- [14] Architectural Institute of Japan, Recommendation for Design and Construction Practice of Earth Retaining for Excavation, p.429, Architectural Institute of Japan, 2017, pp.22
- [15] The Society of Materials Science, Japan, Soil Mixing Wall (SMW) Design and Construction Guidelines, p.110, The Society of Materials Science, Japan, 2002, pp.25
- [16] K. Wakabayashi, Japan, The point of contact between structural engineering and construction, p.318, Gakugei Publisher, 2002, pp.82
- [17] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Temporary Earth Retaining Works(KCS 21 30 00), p.36, Korea Construction Standard Center, 2022, pp.19

김 현 기(Hyun-Gi Kim)

[정회원]



- 2013년 9월 : 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 (공학박사)
- 2005년 10월 ~ 2012년 11월 : (주)동호 기술연구소 부장
- 2016년 3월 ~ 2019년 8월 : 가톨릭관동대학교 에너지플랜트공학과 교수
- 2019년 9월 ~ 현재 : (주)더이앤씨 기술고문

<관심분야>

토목공학, 해상풍력발전, BIM