

## 부벽식 기법을 사용한 자립식 지하연속벽 공법의 사례 연구 Case Study of Self-Supported Diaphragm Wall Method Using Counterfort Technique

정경환<sup>1)</sup>, Gyeong-Hwan Jeong, 박현국<sup>2)</sup>, Hun-Kook Park, 신민식<sup>3)</sup>, Min-Sik Shin,  
한경태<sup>3)</sup>, Kyoung-Tae Han, 유지영<sup>4)</sup>, Ji-Young Ryu

<sup>1)</sup>(주)동아지질 대표이사, C.E.O / Ph.D, Dong-A Geological Engineering Co., Ltd

<sup>2)</sup>(주)동아지질 공사부 차장, Deputy General Manager, Construction Dept., Dong-A Geo. Eng. Co., Ltd

<sup>3)</sup>(주)동아지질 설계부 차장, Deputy General Manager, Engineering Dept., Dong-A Geological Engineering Co., Ltd.

<sup>4)</sup>(주)동아지질 설계부 대리, Assistant Manager, Eng. Dept., Dong-A Geological Engineering Co., Ltd

**SYNOPSIS :** Application of anchored or struttued wall system for the earth retention of excavation works in a populated urban area or a poor soil deposit can be limited due to various restrictions. Since the strut becomes longer in a wide excavation site, the stability of an earth retaining wall is decreased, the wall deformation is increased, and the ground settlement is also increased due to an increased buckling or bending deformation of struts. Especially, in a populated urban area, the installation of anchors can be problematic due to the property line of adjacent structures or facilities. Thus, a new concept of earth retaining system like Self-Supported diaphragm Wall can solve several problems expected to occur during excavation in the urban area.

In this study, Numerical analyses of counterfort diaphragm wall was introduced and the monitored data from the site was compared with the original results of numerical analyses. Also, in the case of the deep excavation applied the counterfort diaphragm wall, numerical analyses was performed to predict the wall deformation and the reinforcement to reduce the wall deformation was suggested.

**Key words :** Diaphragm wall, Counterfort technique, Self-supported, Modelling, Monitering

### 1. 서 론

지하공간의 활용성을 높이기 위하여 기존구조물에 인접하여 굴착하는 경우가 증가하고 있고, 구조물의 대형화로 인하여 굴착심도는 깊어지며 굴착면적도 넓어지고 있다. 따라서, 굴착면적이 넓은 지역에서는 Strut 지보가 길어져 Strut의 좌굴이나 휨 변형이 증가하여 흙막이벽의 안정성이 감소하며, 벽체 변형과 주변지반의 침하를 유발하게 된다.

Strut 대신에 앵커를 지보재로 사용하는 경우에도 주변 구조물이나 현장경계를 침범하는 경우가 빈번하여, 인접구조물이나 택지 소유자의 승인을 받아야 하므로, 이런 문제를 해결하기 위해서, 종래에는 Top Down공법이나 Island공법 등이 사용되었지만, 이 공법들은 토공사의 작업능률을 저해하고 공정이 복잡하여 경제성이 떨어지므로, 새로운 방안으로 부벽을 이용한 자립식 지하연속벽 공법을 개발하였다. (정경환 외 2004) (특허 출원번호 10-2003-0031662)

본 논문은 부벽을 이용한 자립식 지하연속벽 공법의 해석방법을 소개하고, 건축 흙막이에 적용한 3개 현장의 설계내용과 굴착 공사시 측정한 계측자료를 비교분석하여 본 공법의 적용성을 확인하였다. 또한

대심도 굴착시의 적용성을 높이기 위해 흙막이의 변형을 억제할 수 있는 보강방안을 제시하기 위하여 수치 해석으로 모델링 하여 타당성을 입증하였다.

## 2. 부벽식 연속벽 공법

### 2.1 개발배경 및 특징

흙막이공법 중 일반적으로 많이 사용되는 공법은 굴착면 내부에서 지지하는 Strut공법과 굴착면 외부에서 인접 지반을 이용하는 앵커공법이 있다. Strut공법의 적용시에는 PS공법, IPS공법 등의 지보공간을 확보하기 위한 새로운 공법의 도입으로 토공사의 시공성을 향상시켜 왔다. 하지만 이러한 공법들도 Strut공법과 기본 개념이 같아서 적용성에 제한을 받는 경우가 있다. 따라서, 굴착면적이 넓은 부지에 적용할 수 있고, 공정이 간단하며, 토공사의 작업능률이 높은 새로운 형태의 흙막이공법의 개발이 필요하였다. 이런 필요성으로 개발된 공법이 지하연속벽체의 내측이나 외측으로 지하연속벽과 동일한 시공방법으로 부벽을 시공하여 흙막이로 이용할 수 있는 부벽식 연속벽공법이며, 공법의 특징은 표 1과 같다.

표 1. 부벽식 지하연속벽의 특징

시공 개요	·시공방법은 일반적인 지하연속벽 공법과 동일하며, 부벽을 지보로 활용
적용 조건	·굴착면적이 넓어 Strut 설치가 어렵거나 ·외부용지에 여유가 없어 앵커 설치가 어려울 때
장점	·굴착평면의 크기에 제한이 없음 ·건축기둥을 부벽과 같이 사용하여 영구구조물로 이용 가능 ·임반까지 근입하여 기초로 활용이 가능 ·다른 흙막이 공법에 비해 토공속도가 빠름
단점	·근입심도가 짧거나 굴착심도가 깊으면 별도의 보강이 필요

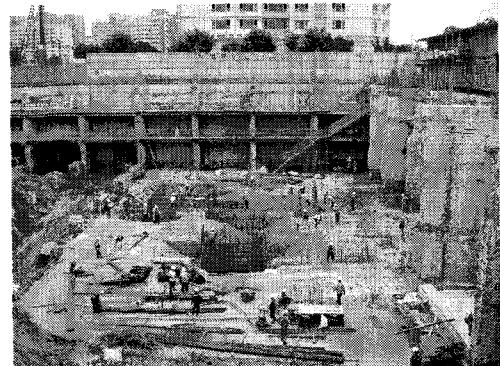


사진 1. 부벽식 연속벽공법의 전경

### 2.2 해석 방법

부벽을 이용한 자립식 지하연속벽은 2-3차원해석으로 단면과 심도를 결정할 수 있다. 해석시 하중조건은 Rankine 토압과 수압이 굴착면까지 작용하는 것으로 가정하며, 흙막이벽과 부벽에 작용하는 지반의 수동저항 및 부벽의 양측 면에 작용하는 마찰저항은 스프링으로 평가한다. 부벽 선단(연암상단)의 지지조건은 자유·힌지·고정의 3가지 조건으로 검토한다.(D.H. Jung, G.H. Jeong et al 2005)

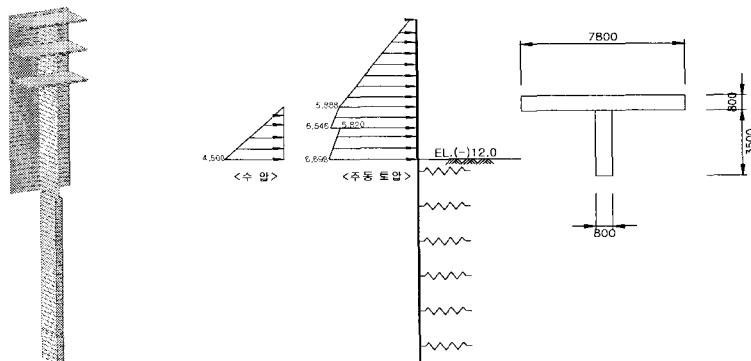


그림 1. 2차원 해석 모델 및 하중조건

해석은 그림 1과 같이 흙막이용 지하연속벽과 부벽용 지하연속벽을 T형 단면의 Frame 요소로 모델링하여 2

차원 해석하는 방법과 그림 2와 같이 흙막이용 지하연속벽을 Plate요소로, 부벽용 지하연속벽과 부벽사이의 Slab를 Frame요소로 모델링하여 해석하는 3차원 해석방법이 있는데, 3차원 해석을 주로 사용한다.

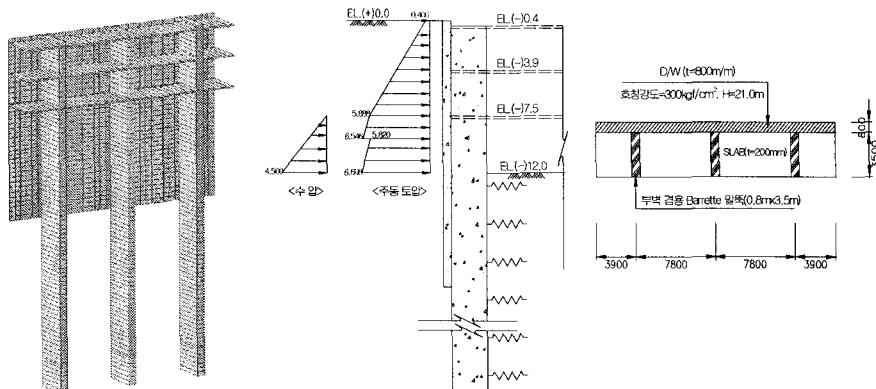


그림 2. 3차원 해석 모델 및 하중조건

### 3. 현장 사례 연구

#### 3.1 일산 ○○오피스텔 현장

##### 3.1.1 현장개요 및 검토조건

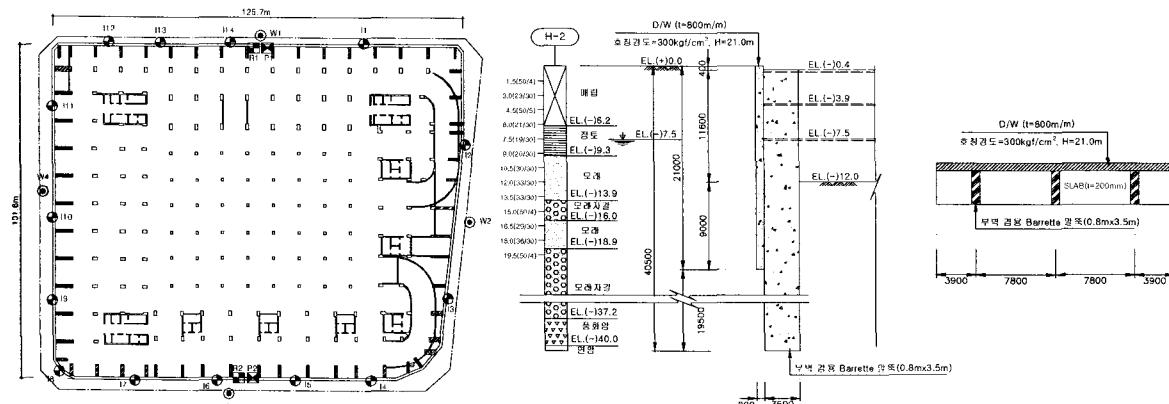


그림 3. 일산현장의 평면도 및 단면도

이 현장은 경기도 고양시 일산구 백석동에 위치한다. 지반의 최상부에는 점토·모래·자갈 등으로 구성된 혼합매립층이 5~6.5m 두께로 분포하며 그 하부에는 하성퇴적층이 21m의 두께로 형성되어 있다. 하성퇴적층의 상부는 세립분이 많은 실트층으로 연약하고, 그 하부는 모래에 자갈이 많이 포함되어 있어서 앵커를 정착시키기 어려운 지반이고 민원도 예상되었다. 굴착면적은 102×126m로 넓고, 굴착심도는 12m 정도이므로, Strut 방식의 적용이 어려워서 부벽을 이용한 자립식 지하연속벽공법을 채용하였다.

흙막이용 지하연속벽의 두께는 0.8m, 깊이는 21m이며 부벽용 지하연속벽은 두께 0.8m, 길이 3.5m, 간격 7.8m, 깊이는 건물의 기초말뚝으로

지층	$\gamma_t$ (tf/m <sup>3</sup> )	C (tf/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (deg)	$k_h$ (tf/m <sup>3</sup> )
매립층	1.8	0.0	25	1,500
점토층	1.8	0.0	25	1,000
모래층	1.8	0.0	28	1,800
모래자갈층(상부)	1.8	0.0	35	2,700
모래자갈층(하부)	1.9	0.0	38	2,900
풍화암	2.1	5.0	40	4,500

이용하기 때문에 선단을 연암상단에 지지하는 조건으로 하여 40.5m 정도로 지하연속벽 및 부벽의 근입심도를 충분히 확보하였다.

검토단면의 지층구성 및 지층별 토질특성은 그림 4 및 표 2와 같다.

### 3.1.2 수치해석결과와 계측결과의 비교

그림 4는 최종굴착단계에서 흙막이벽의 변형과 휨모멘트를 구조해석 프로그램인 MIDAS로 해석한 결과이다. 그림 4(a)는 흙막이벽의 변형이고 그림 4(b)는 수직방향 휨모멘트이다. 선단지지 조건에 상관없이 흙막이벽 상단측으로 갈수록 변형이 증가하는 캔틸레버 형상을 보이며, 수직방향 휨모멘트는 최종굴착심도인 G.L(-)12m보다 깊은 심도인 G.L(-)15m에서 최대값이 발생하였다.

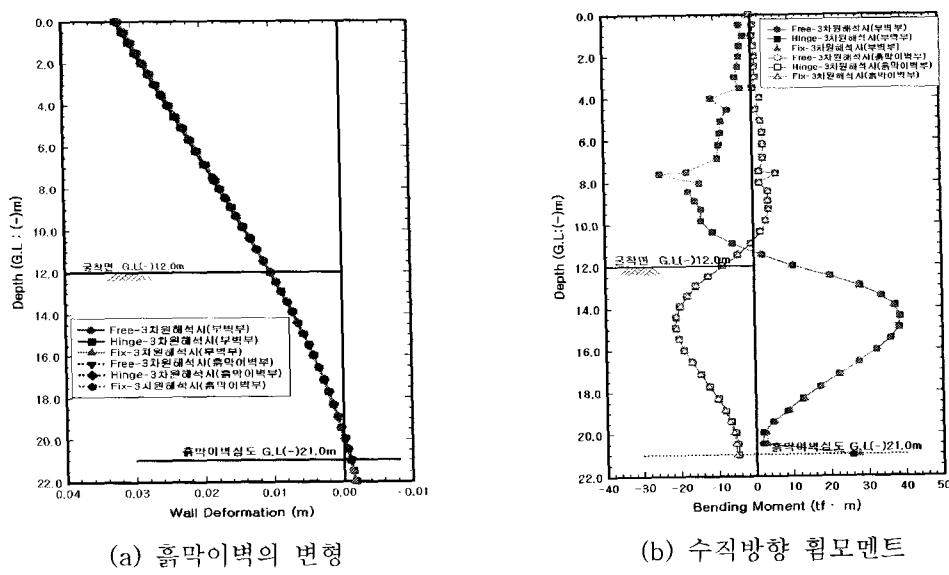


그림 4. 수치해석 결과

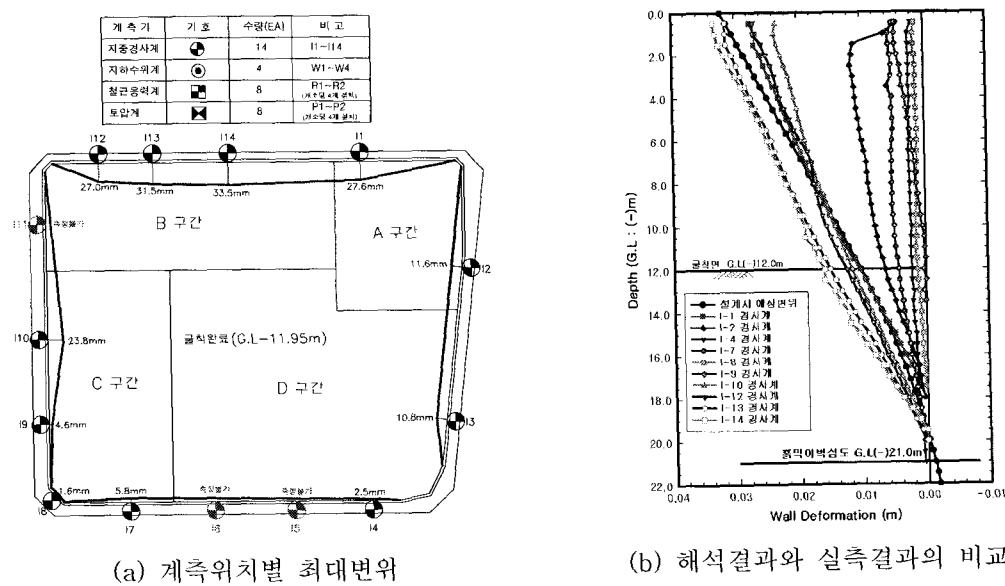


그림 5. 수치해석결과와 계측결과의 비교

본 현장은 부벽식기법을 이용한 자립식 지하연속벽공법을 국내 최초로 도입한 현장이므로 굴착중 흙막이벽의 거동을 중점관리 하기 위하여 그림 5와 같이 계측관리를 실시하였다. 본 공법은 Strut나 앵커 등 지보공이 없어서 최종 굴착심도까지 연속적으로 굴착하였고, 부벽사이의 연속벽에 경사계를 설치하여 흙막이의 거동을 확인하면서 토공사를 진행하였다. 그림 5(a)는 경사계의 측정위치별 최대변위이고, 그림 5(b)는 수치해석결과와 경사계 계측결과를 비교한 것이다. 실측치는 흙막이벽의 선단을 지점으로 회전하는 형상으로 해석치와는 달리 굴착면 부근에서 내측으로 불록한 형상을 보이며 예측치보다 다소 큰 부분도 있지만, 전체적으로는 만족한 결과였다.

### 3.2 부산 서면 ○○아파트 현장

#### 3.2.1 현장개요 및 검토조건

현장은 부산광역시 부산진구 부암동에 위치한다. 굴착심도는 16~21m이며 부지면적이 80×120m로 넓고 형상이 복잡하여 Strut 설치가 어려웠고, 일부구간은 인접 건물로 앵커 설치가 곤란하여 부분적으로 부벽을 이용한 자립식 지하연속벽공법을 채용하였다.

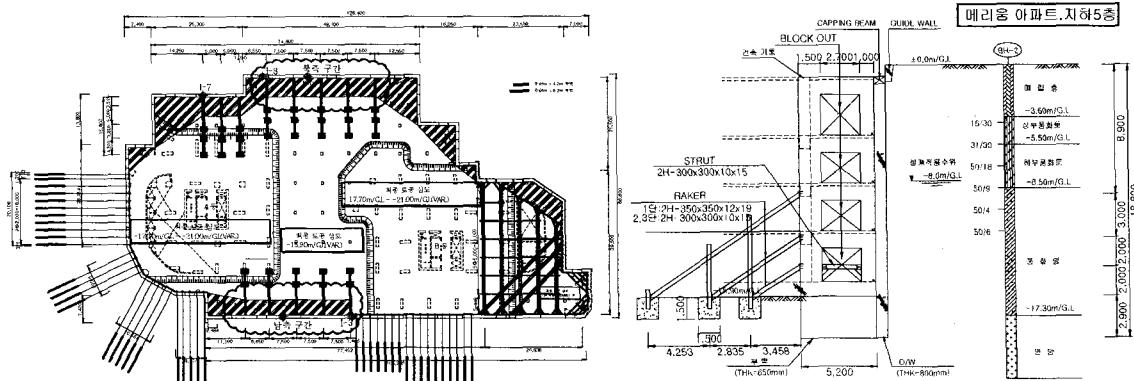


그림 6. 부산현장의 평면도 및 단면도

지반의 최상부에는 점토·모래·자갈 및 산업폐기물의 혼합매립층이 3~6m 두께로 분포하고 그 하부에 풍화토 및 풍화암층이 분포하며 G.L(-)20~(-)39m에는 연암층이 분포한다. 본 공법을 적용한 지역은 암반층이 비교적 높게 분포하여, 연속벽 및 부벽의 시공에 제한을 받을 수 있어서 벽체 하부에 Raker를 계획하여 비교적 짧은 군입심도에 대응하였다. 그러나 실제 굴착 중에는 당초 예상보다 지반상태가 양호한 것으로 나타났으며, 경사계에 의한 계측결과가 당초 해석치보다 적게 발생하여, 굴착토에 대한 추가시험과 경사계 측정결과를 참고한 추가 검토를 통해 Raker를 설치하지 않고 자립식으로 최종굴착까지 시공하였다.

표 3. 지층별 특성

지층	$\gamma_t$ tf/m <sup>3</sup>	C tf/m <sup>2</sup>	$\phi$ deg	$k_h$ tf/m <sup>3</sup>
매립층	1.9	0.0	27	2,300
상부 풍화토	1.9	0.0	28	2,400
하부 풍화토	1.9	1.0	30	3,000
풍화암	2.2	3.0	33	4,000
연 암	2.3	5.0	33	6,000

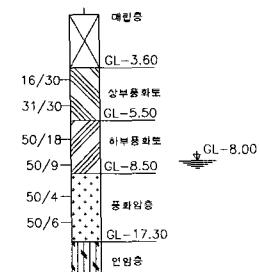
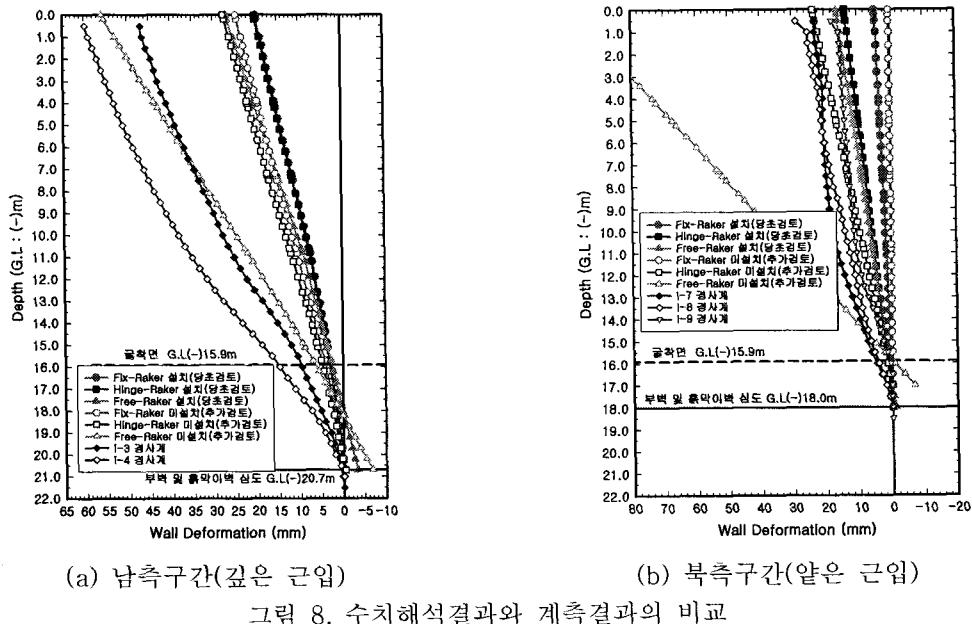


그림 7. 지층단면도

#### 3.2.2 수치해석결과와 계측결과의 비교

그림 8은 최종굴착 단계의 흙막이벽 변형과 수직휨모멘트를 MIDAS로 2차원 해석한 결과와 경사계 측정치를 비교한 것이다. 벽체의 군입심도를 고려하여 남측구간과 북측구간으로 구분하였다. 그리고 검토결과는 Raker를 계획한 당초검토 결과와 굴착중 추가시험 결과 및 현황을 고려한 지반의 강도특성 및 토압분포의 변경을 통해 Raker를 반영하지 않은 추가검토결과로 구분하여 나타내었다. 일산현장의

시공사례를 참고로 하면 선단지지조건이 Hinge인 경우에 계측치와 유사한 결과를 나타내었기 때문에, 추가검토에서는 Hinge조건의 변위를 기준으로 변위를 예측하였고, 변위가 당초 검토시(Raker적용)의 변위량보다는 다소 증가하였으나, 허용 범위내에 있었기 때문에 Raker를 반영하지 않고 굴착을 진행하였다.



변형은 일산현장과 동일하게 굴착면 부근에서 내측으로 불록한 형상인데, 근입심도가 깊은 남측구간은 그림 8(a)와 같이 계측치가 추가검토의 선단지지조건이 Free와 유사한 형태로 나타났으며, 근입심도가 얕은 북측구간은 추가 검토시에는 훑막이의 배면 10m 후방에 깊은 건물이 인접해 있어 토압의 적용시에는 사일로 토압을 고려하여 계산하였으며, 계측치는 그림 8(b)와 같이 선단지지조건이 Hinge인 경우와 거의 유사하게 나타났다.

### 3.3 울산 태화동 ○○주상복합 현장

### 3.3.1 현장개요 및 검토조건

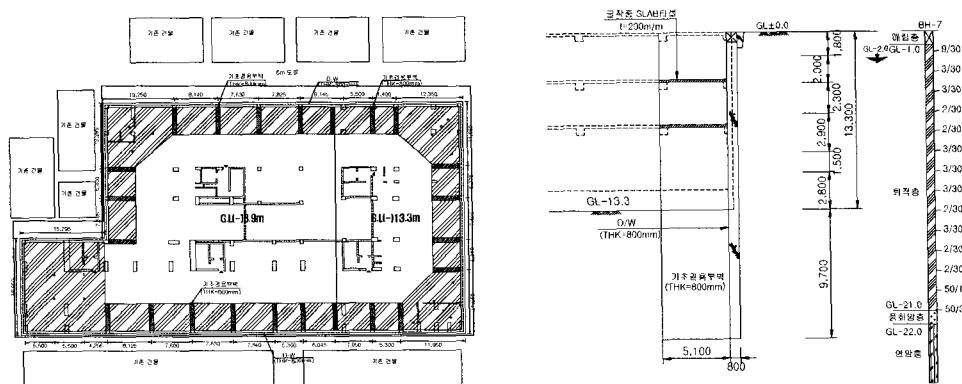


그림 9. 울산 현장의 평면도 및 단면도

현장은 울산광역시 중구 태화동의 태화강 인접지역에 위치한다. 지반의 최상부는 점토·모래·자갈의 매립층이 1~7m 두께로 분포하며, 그 하부에는 N치가 2~3정도인 매우 연약한 점토 및 실트질 점토층이

분포하고, 그 아래로 풍화암 연암층이 형성되어 있다. 지하수위는 G.L(-)2m 부근에 분포하며, 굴착심도는 GL.(-)8.9~13.3m 범위이다. 앵커는 ①점토층에 정착이 불가능하여 풍화암층에 정착하기 위해서는 자유장이 길어지고, ②인접 건물로 많은 민원이 예상되었다.

또한 Strut 방식은 굴착면적이  $43 \times 83\text{m}$ 로 넓어 베텀보 자체의 비틀림·이음부분의 좌굴이 우려되며, 단계 굴착시 베텀보 설치도중에 발생하는 변형이 보텀보를 설치한 후에 발생하는 변형과 거의 같으므로(박성재, 1994), 부벽식 기법을 이용한 자립식 지하연속벽공법을 적용하였다. 지하연속벽의 두께는 0.8m, 깊이는 19.5~23m이며 부벽용 지하연속벽은 두께 0.8m, 길이 5.1m, 간격 7.8m, 깊이는 건물의 기초말뚝 겸용으로 이용하기 때문에 선단을 연암상단에 지지하는 것으로 하여 24m로 계획하였다.

표 4. 지층별 특성

지층	$\gamma_i$ tf/m <sup>3</sup>	C tf/m <sup>2</sup>	$\phi$ deg	$k_h$ tf/m <sup>3</sup>
매립층	1.8	1.0	25	1,500
퇴적층	1.7	1.5	15	1,000
풍화암	2.0	3.0	35	4,000
연암	2.1	5.0	40	6,000

### 3.3.2 수치해석결과와 계측결과의 비교

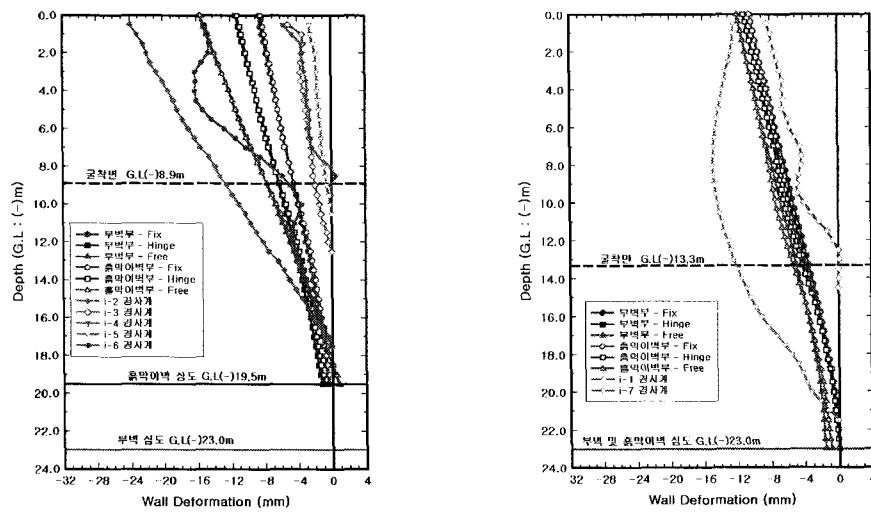


그림 10. 수치해석결과와 계측결과의 비교

흙막이벽의 변형은 선단지지 조건에 따라서 차이가 있지만 앞의 두 사례와 같이 캔틸레버 형상을 보인다. 그림 10(a)는 부벽의 심도가 흙막이벽의 근입심도보다 상대적으로 깊으므로 부벽에만 선단지지조건을 고려한 것이고, 그림 10(b)는 부벽심도와 흙막이벽의 심도가 같아서 선단지지조건을 부벽과 흙막이벽 양측 모두 고려한 것이다.

두 해석결과를 보면 터파기 심도가 얕고 근입심도가 깊은 (a)경우에 큰 변위를 나타내는데, 이는 (a)의 부벽은 암반층에 근입되어 있으나 흙막이벽은 연약층에 근입되어 있고 (b)는 부벽과 흙막이벽 모두가 풍화암층보다 깊이 근입되어 있어서 이런 결과가 나타나는 것으로 판단된다. 따라서, 연약층에 부벽식 기법을 이용한 자립식 지하연속벽공법을 적용할 경우, 벽체의 변형을 억제시키기 위해서는 부벽과 흙막이벽을 양호한 지층에 근입시키는 것이 효과적임을 알 수 있다.

계측결과는 대체로 캔틸레버 형상을 보이며 수치해석결과와 유사한 범위를 나타내며, 부벽과 연속벽의 근입심도가 다른 (a)의 최대변형은 24mm 정도이고, 동일하게 양호한 지반까지 근입시킨 (b)의 최대변형은 15mm로 상당히 작게 나타난다.

## 4. 대심도 적용을 위한 해석적 시도

3개의 적용사례를 통하여 본 부벽식 기법을 적용한 자립식 연속벽공법은 변형이 캔틸레버 형상이므로 굴착심

도의 제한을 받는다. 따라서, 이를 보완할 수 있는 2가지 방안을 제시하고 수치해석적으로 적용가능성 검토한다.

## 4.1 하단부 앵커 보강과 내부지반개량

### 4.1.1 검토 개요

지하수위가 높고 표 5와 같은 연약지반에 대규모로 G.L(-)19.5m까지 굴착을 계획하는 경우는 앵커나 Strut뿐만 아니라, 부벽식 연속벽면의 적용에 어려움이 있다. 따라서, 그림 12와 같이 굴착 하단부에 2단의 앵커로 보강하고, 굴착면 아래의 내부지반을 개량하여 변형과 모멘트를 억제시킨다.

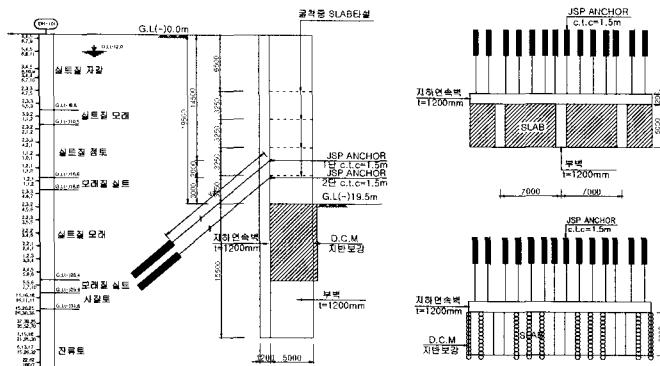


그림 12. 굴착심도가 깊은 현장의 단면도

표 5. 지층별 특성

지층	$\gamma_t$	c	$\phi$	$k_h$
실트질자갈	1.8	0.0	30	-
실트질모래	1.8	0.0	24	-
실트질점토	1.7	0.0	20	1,500
모래질실트	1.7	0.0	24	1,500
실트질모래	1.8	0.0	30	2,200
모래질실트	1.7	0.0	24	2,500
사질토	-	-	-	2,700
풍화토	-	-	-	13,000
풍화암	-	-	-	20,000
DCM	-	-	-	50,000

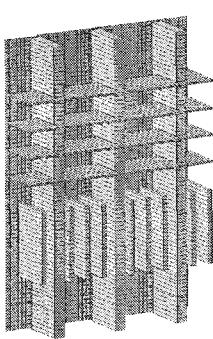


그림 13. 구조체

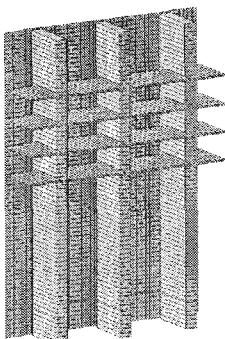


그림 14. 지반반력으로 환산

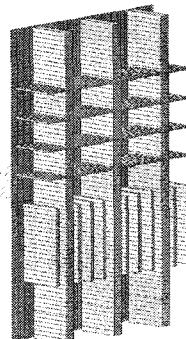


그림 15. Beam요소

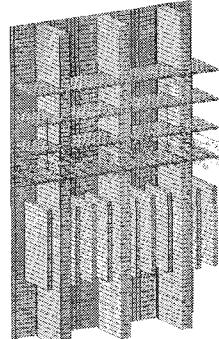


그림 16. 절점하중

DCM공법(양태선, 2000) (정경환, 2006)으로 개량된 굴착내부지반을 해석하기 위해 2가지 모델을 비교한다. 즉, DCM개량체는 연약지반에 비해 강성이 크기 때문에 그림 13과 같이 구조체로 모델링하고 주변지반의 지반반력을 고려하는 방법과, 그림 14와 같이 개량된 복합지반으로 가정하여 굴착면 하부에 작용하는 지반반력을 환산(스프링 계수를 이용)하여 모델링하는 방법이다. 연속벽 하부의 보강앵커는 그림 15와 같이 앵커체가 축력을 받는 Beam 요소로 모델링하는 방법과, 그림 16과 같이 절점하중을 수직과 수평방향하중으로 나누어 모델링하는 2가지 방법을 비교한다.

### 4.1.2 검토 결과

표 6은 해석결과를 비교한 것이다. DCM에 의한 개량체의 모델링은, 구조체로 가정한 변형량이 복합지반의 점착력을 지반반력계수로 환산하여 계산한 변형량보다 크다. 복합지반의 환산지반반력으로 정한 변형이 작게 나타나는 것은 복합지반의 지반반력계수 평가에 대한 추가연구가 필요함을 알 수 있게 한

다. 또한 앵커의 모델링은 절점하중으로 고려한 변형량보다 Beam요소로 간주한 변형량이 크게 나오는데, 이는 절점하중에 의한 모델링이 변형을 구속하는 특징으로 기인한다고 추정된다. 하지만, Beam요소 모델링 또한 앵커의 메커니즘을 완벽하게 반영한다고 보기는 어렵다고 생각되므로, 이를 고려할 수 있는 모델링의 연구도 필요하다.

따라서, 실무차원에서 부벽식기법을 적용한 대심도 연속벽공법의 모델링에는, 앵커를 Beam요소로 내부에 개량된 지반을 구조체로 간주하고 원지반의 지반 반력계수만을 고려하는 DCM 구조체 모델링이 안정 측이므로, 실제 현장에의 적용과 검증을 통한 합리적인 방법의 수립 이전에는, 이 방법에 의한 모델링을 적용하는 것이 현실적이라고 판단된다.

## 4.2 슬래브의 Span 확장

### 4.2.1 검토 개요

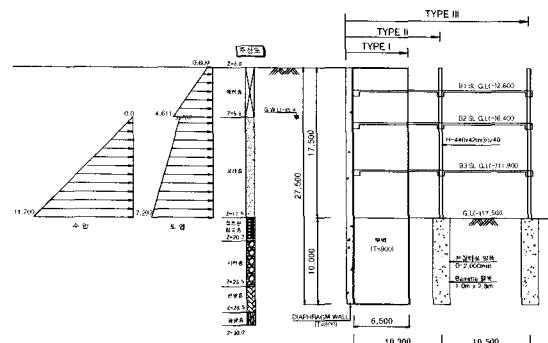


그림 17. 슬래브 Span 확장 적용단면

구분	$\gamma_t$ (t/m³)	C (t/m²)	$\phi$ (°)	$k_h$ (t/m³)
매립층	1.7	0.0	25	1,600
모래층	1.8	0.0	30	1,900
실트질점토	1.6	2.0	15	1,500
사력층	1.9	0.0	33	3,500
연암	2.0	5.0	35	6,000
경암	2.1	8.0	40	8,000

표 7 지층별 토질특성

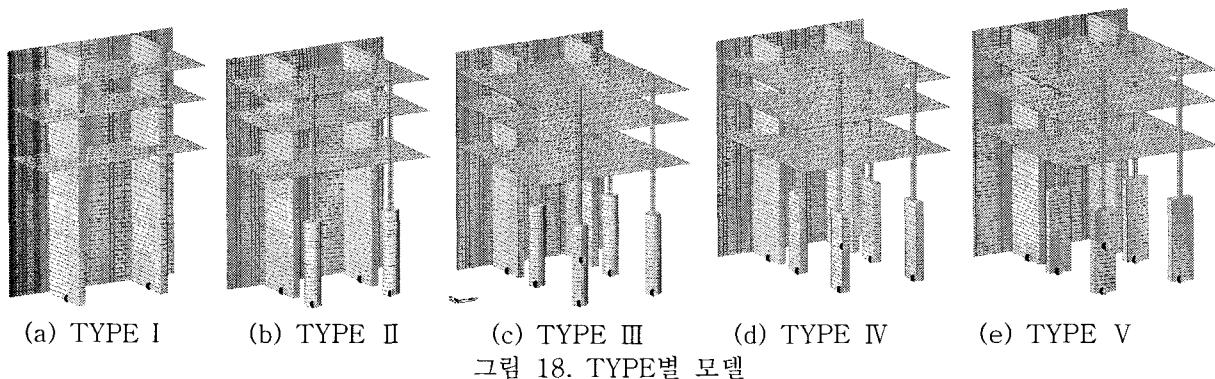


그림 18. TYPE별 모델

자립식 연속벽의 대심도 적용을 위하여 변형을 최소화시키도록 부분 Top 방식의 개념을 적극적으로 도입하는 것인데, 그림 18과 같이 굴착내부에 기초용으로 사용하는 현장타설말뚝이나 Barrette기초까지 부벽식 연속벽에 연결된 슬래브의 길이를 확장하는 것이다.

표 7과 같은 토질특성을 조건으로 5가지(TYPE I, II, III, IV, V) 경우를 비교한다. TYPE I은 일반적인 형태의 부벽식 연속벽이고, TYPE II는 슬래브를 현장타설말뚝까지 한 Span을 확장하는 것이다. TYPE III은 슬래브를 두 Span 확장하는 것이다. TYPE IV는 슬래브를 Barrette기초까지 한 Span 확장하는 것이다. TYPE V는 Barrette기초의 방향을 변경하여 해석한 것이다. 모델링은 3차원으로 해석하고, 선단 지지조건은 동일하게 Hinge로 비교한다.

## 4.2.2 검토 결과

표 8은 TYPE별 최대변위를 비교한 것이다. 수치해석으로 검토한 결과, 최대변위는 연속벽의 상단에서 발생하고, Span의 길이가 확장될수록 부벽식 연속벽의 최대변위가 감소한다. 즉, 부벽식 연속벽에 연결된 Span의 확장이 벽체 변형을 억제시키는 효과가 있다. 또한 현장타설말뚝보다는 Barrette가 효과적이며, TYPE V보다 TYPE IV의 변위가 작게 나왔다. 표 9는 TYPE III, IV, V에서 적용된 기초의 단면 2차모멘트비를 TYPE III을 기준으로 표현하였다. 표 8에서의 변위와 표 9에서 기초의 단면2차모멘트가 클수록 변위 저감효과가 있음을 알 수 있다.

표 8. TYPE별 검토결과

구분	TYPE I	TYPE II	TYPE III	TYPE IV	TYPE V
최대변위 (cm)	8.90	8.13	7.51	6.97	7.78

표 9. 2 SPAN SLAB의 비교

구분	TYPE III	TYPE IV	TYPE V
기초의 단면2차모멘트비	1	2.3	0.3

## 5. 결 론

본 논문에서는 구조물이 인접하거나 대규모 굴착공사에 효과적인 부벽식 기법을 이용한 자립식 지하연속벽 공법의 개발내용과 성공적인 3현장의 적용사례를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 12~15m정도의 굴착심도인 세 현장에 부벽식기법을 이용한 자립식 흙막이 공법을 적용하여, 설계·변형해석 및 계측결과를 비교한 결과, 적용성이 양호함을 입증하였다.
- 2) 연약지반에 부벽식공법을 적용하는 경우는 부벽과 흙막이벽을 양호한 지반에 근입시키는 것이 변위 억제에 효과적이다.
- 3) 근입심도가 깊으면 선단경계조건을 Free 또는 Hinge로 간주한 해석결과가 계측결과와 유사하지만, 근입심도가 얕으면 Hinge 조건에 의한 수치해석결과가 계측결과와 유사하다.
- 4) 수치해석 검토결과, 굴착 내부지반을 개량하거나 앵커를 보조공법을 활용하면 부벽식기법을 이용한 자립식 흙막이 공법을 대심도 굴착공사에도 적용할 수 있음을 확인하였다.
- 5) 내부지반을 개량하면 개량지반을 구조체로, 앵커는 Beam요소로 모델링하는 것이 안정측 검토이다.
- 6) 수치해석 검토결과, 슬래브의 Span폭을 확장하면 부벽식 연속벽 공법의 대심도 적용에 효과적이다.

## 참 고 문 헌

1. 박성재, 김재권, 박준식, 정경환, 이세훈, “연약지반의 흙막이 공사 사례(Ⅱ)”, 대한토목학회 1994년 학술발표회 논문집, pp. 321~324.
2. 양태선, 정경환, 여봉구, 이상수(2000), “심층혼합처리공법에서 설계기준강도와 변형계수에 관한 연구”, 대한토목학회 2000년 학술발표회 논문집, pp. 615~618.
3. 정경환, 배종견, 정문식, 신민식, 한경태, 신평수(2006. 2), “경질지반용 DCM 특수 교반날개의 개발에 관한 연구”, 한국지반공학회 준설매립위원회 2006년 심포지엄, pp 193~206
4. 정경환, 정동영, 박현국, 한경태, 유지영(2004.3), “부벽식기법을 사용한 자립식 지하연속벽공법의 적용”, 대한토목학회 2004 봄 학술발표회 논문집
5. 정경환, 정동영, 신민식, 한경태, 유지영(2005.10), “부벽을 이용한 자립식 지하연속벽공법의 적용사례”, 현장기술자를 위한 한·일 건설기술실무강좌, 대한토목학회 부산·울산 경남지회
6. Du-Hwoe Jung, Gyeong-Hwan Jeong, Kyong-Tae Han, Ji-young Ryu, Jae-Hwan Kim(2005), “Characteristics of Self-Supported Counterfort Diaphragm Wall”, International Society of Offshore and Polar Engineering Conference