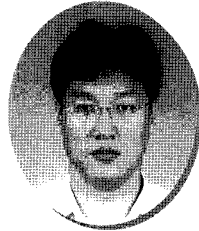


이순신대교 앵커리지 설계 및 시공 소개



김 경 택

대림산업(주) 여수국가산단진입도로개설공사(제3공구) 차장
kkk3267@daelim.co.kr

1. 사업개요

이순신대교는 전라남도 여수시 묘도동과 광양시 금호동을 잇는 총연장 2,260m, 주경간장 1,545m의 타정식 3경간 플로팅 현수교로서 완공시점을 기준으로 주경간장이 세계 제4위급에 해당되는 초장대 현수교이다. 여수국가산단과 광양국가산단간의 원활한 물동량 수송, 물류비용 절감, 광양만권에 대한 설비투자여건 개선 및 2012년

여수세계박람회, 한려해상 등 서남해안 관광개발 여건 개선을 위해 계획되었으며, 6월 말 기준으로 전체 공정율은 약 40%이며, 세계 최대 높이를 자랑하는 콘크리트 주탑(H=270m)은 완성되었으며, 앵커리지의 경우 상부 구체 시공 중이다.

본 사업의 전반적인 사항에 대해서는 2009년 소개한 바 있으므로, 보 고에서는 현수교의 주요구조물이며, 지반공학적으로 중요한 의미를 가지는 앵커리지의 설계 및 시공에 대하여 소개하고자 한다.



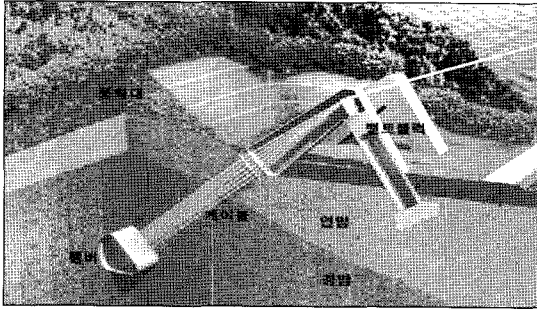
그림 1. 이순신 대교 조감도

2. 앵커리지

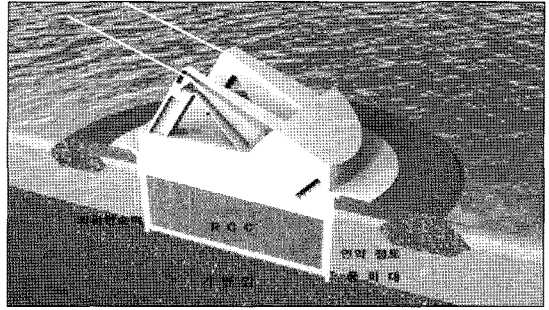
이 교량은 케이블을 앵커리지에 정착시키는 일반적인 타정식 현수교이다. 타정식 현수교에서 앵커리지 기능은 주케이블 장력을 안전하게 지지하는 것이다. 묘도측 앵커



우 리 현 장 소 개



〈모도측 앵커리지〉



〈광양측 앵커리지〉

그림 2. 앵커리지 개요도

리지는 견고한 암반층의 지지기반을 충분히 활용하여 압 굴착량을 최소화하고 환경 훼손이 적은 지중정착식 앵커리지를 적용하였다.

지중정착식 앵커리지는 썩기 파괴에 대한 활동 안전율 기준 3.0이상을 확보하였다. 광양측 앵커리지는 중력식 앵커리지로 원형 연속벽을 이용한 무지지보 가설공법을 채택하였다. 개량된 전면 점토층의 수평저항을 고려하지 않고 직접기초 형식으로 계획하여 전체 안정성을 확보하였고, 상시 저면 반력은 사다리꼴 분포가 되도록 하였다. 연속벽 선단은 암반에 근입시켜 고정점 확보 및 침투수 차수 대책을 도모하였고, SCW보강에 의한 공벽 안정성 유지와 시공 실적에 의한 정밀한 연직도 관리를 수행하도록 하였다.

3. 지중정착식 앵커리지

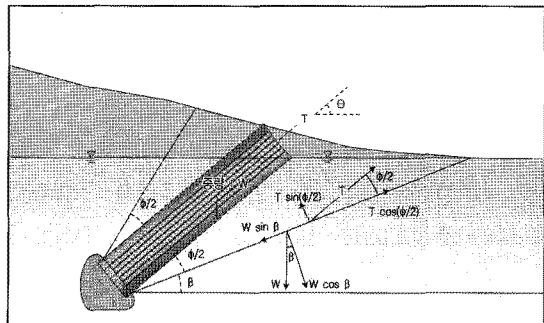
3.1 지중정착식 앵커리지의 설계

지중정착식 앵커리지는 케이블하중에 대하여 암반썩기의 자중과 전단력에 의해 저항하는 지지 메커니즘을 지닌 것으로 고려하였다. 이에 따라 그라운드 앵커방법과 터널식 앵커리지 검토방법 등을 비교 검토한 결과, 본 교량에

적용하는 지중정착식 앵커리지의 안정성 검토방법은 기본적으로 터널식 앵커리지의 지지 메커니즘을 따르는 것으로 하였다.

이 방법은 암반썩기의 상부면과 측면에 대한 마찰저항은 무시하고, 저면의 전단저항과 마찰저항만을 고려하여 케이블하중에 저항하는 것으로 가정하였다. 또한, 썩기파괴에 대한 불확실성을 고려하여 기준 안전율을 2.0에서 3.0으로 강화하였다. 각종 실내시험을 통해 안정성 검토에 영향을 미치는 주요 설계인자(암반의 점착력과 내부마

표 1. 지중정착식 앵커리지의 안정성 검토



$$F_s = \frac{(W \cos \beta - T \sin(\phi/2))\mu + W \sin \beta + cA}{T \cos(\phi/2)} \geq 3.0$$

T, θ : 케이블 장력(kN)과 굴절각(°)

β : 수평면과 썩기면이 이루는 각 ($= \theta - \phi/2$)

W : 암반 썩기의 유효중량 (kN)

c, A : 저면(활동면)의 점착력(kPa)과 단면적(m^2)

ϕ, μ : 암반의 내부마찰각(°)과 저면의 마찰계수($\tan \phi$)

표 2. 지중정착식 앵커리지 해석 결과

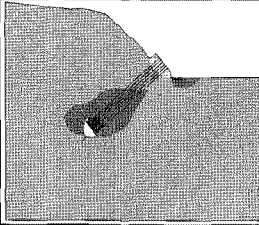
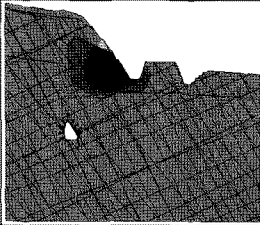
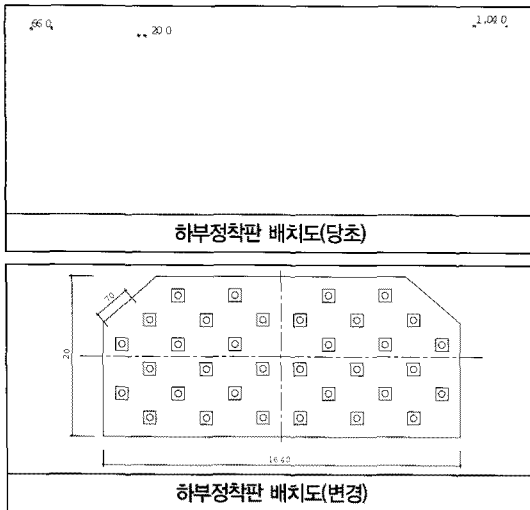
2차원 연속체 해석	2차원 불연속체 해석
	
변위 : Max = 2.5mm	변위 : Max=1.12mm

표 3. 하부 정착판의 천공 위치 개선



철각 및 단위중량)에 대한 정확한 값을 도출하였으며, 검토 결과 안전율은 3.28로 앵커리지 전체 안정성을 확보하였다.

췌기 파괴법에서 가정된 조건의 불확실성과 불연속면의 특성 반영을 위해 수치해석을 통해 지중정착식 앵커리지의 전체계 안정성을 검증하였다.

FLAC 해석을 통한 2차원 연속체 안정성 해석결과는 긴장재에 프리스트레스가 도입될 때 지표부 압반의 변위가 최대 10mm 발생하지만, 케이블하중 작용시의 최대변위는 2.5mm 발생하는 것으로 나타났다. UDEC 해석을 통한 2차원 불연속체 안정성 해석결과, 지표부 압반에 발

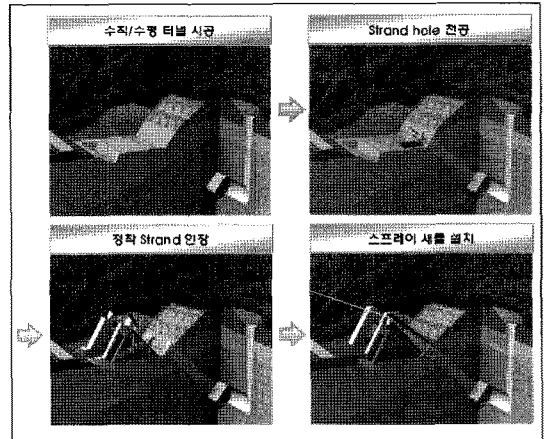


그림 3. 모도축 앵커리지 시공순서

생되는 변위는 1.91mm이고 케이블하중 작용시 발생변위는 1.12mm정도로 앵커리지 전체 안정성을 확보하는 것으로 검토되었다.

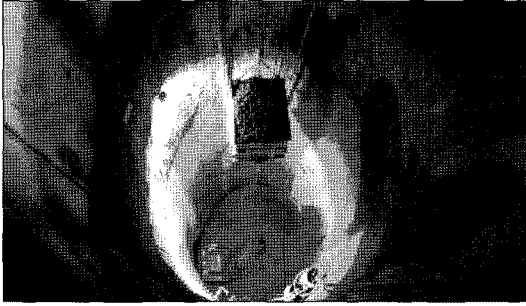
지표면에서 지하에 있는 챔버에 케이블을 정착시키기 위해 36m 길이의 경사천공이 계획되었다. 경사 천공시의 오차를 고려하여 최대한 허용범위를 확대하기 위하여 당초 계획시의 천공 수를 절반으로 줄이고 하부 정착판의 천공위치를 지그재그식으로 배치하여 허용오차를 당초 1/200에서 1/50으로 개선하여 시공성을 개선하였다.

3.2 지중정착식 앵커리지의 시공

지중정착식 앵커리지의 시공에 있어서 가장 큰 어려움은 스트랜드 홀 경사천공의 천공 정밀도 관리라 할 수 있다. 하부 챔버가 시공 된 후 상부에서 경사천공이 이루어지게 되며, 만약 천공방향에 오차가 발생하는 경우 챔버를 확장해야 하는 등의 문제가 발생하기 때문이다. 또한, 천공 과정에서 이웃하는 스트랜드홀과 겹쳐지게 되는 경우에는 스트랜드의 시공 자체가 불가능하게 된다.

지중정착식 앵커리지의 해외 시공사례를 보면 스웨덴의 하이코스트교의 경우 일반적인 공압식 천공장비를 사

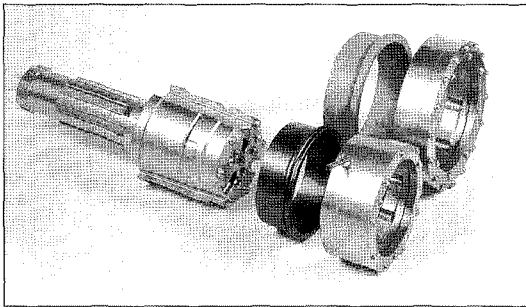
우리 현 장 소 개



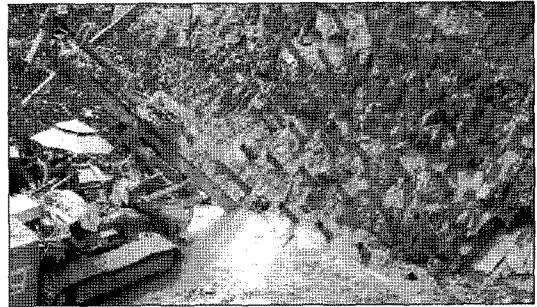
수직구 굴착



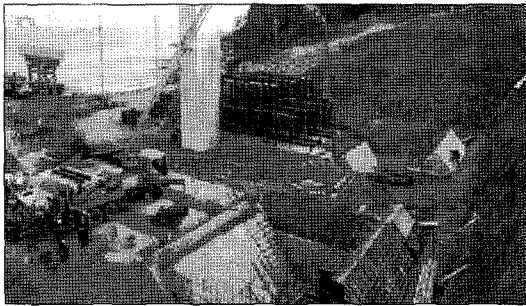
챔버 굴착



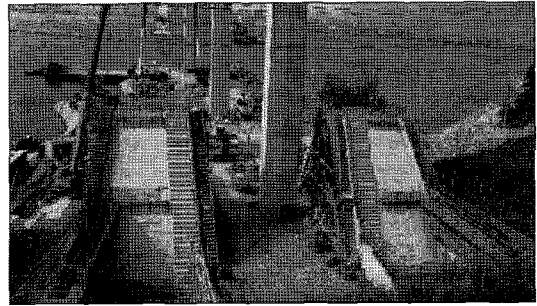
천공장비



천공전경



구체 시공



현재 전경

그림 4. 모도축 앵커리지 시공 사진

용하였으며, 일본 토요시마교의 경우 소형 추진장비를 사용하였다. 이순신 대교의 경우에는 천공속도 면에서 유리한 공압식 천공장비를 사용하는 것으로 계획하되, 천공 중 방향 조정이 어려운 단점을 보완하기 위해 몇 가지 보완방안을 계획하였다.

일반적인 경사천공의 경우 중력의 영향으로 로드가 하향으로 향하게 되며, 비트가 시계방향으로 회전하는 경우

회전 방향에 따른 상하부 마찰력의 차이로 인해 우측으로 이동하는 경향이 있다. 이렇게 발생하는 경사오차량은 암반의 상태에도 영향을 받으며, 공압, 천공속도 등 천공장비의 운영 방법에도 많은 영향을 받는다. 이러한 문제를 해결하기 위해 우선 천공 과정에서 강성이 큰 케이싱을 사용하여 로드의 강성을 보강하였다. 또한 케이싱 사용시 불균질한 지반조건에서의 천공 직진성을 확보하기 위해

표 4. 중력식 앵커리지 외적안정검토 결과

외적안정검토		침하량
지지력 (kPa)	1,336 < 1,683	
활동	4.47 > 2.0	
전도 (편심량, m)	6.1(8.5(D/8))	
안정성 판단 : O.K.		Max = 16.0 mm

고안된 시메트릭스 비트(symmetrix bit)를 사용하였다. 아울러 본 천공에 앞서 양측 정착부 사이에서 3공의 시험 시공을 통하여 실제 사용 장비와 암반 조건에서의 경사오차량을 확인하도록 하였다.

총 68공 천공 결과 평균 경사오차량은 0.73% 였으며, 천공과정에서 케이싱이 용접부가 손상되었거나, 암반상태가 나빴던 일부 구간을 제외한다면 평균 0.5% (1/200) 정도의 범위 내에서 시공관리가 되었다고 판단할 수 있으며, 천공 속도는 평균 1.5공/일로 나타났다.

4. 중력식 앵커리지

4.1 중력식 앵커리지의 설계

중력식 앵커리지는 케이블하중에 대하여 앵커리지 구체의 자중에 의해 저항하는 지지 매커니즘을 지니고 있다. 따라서, 광양측 앵커리지 구조물의 전면에 위치하는 연약점토층(N=0, Su=15kPa)의 전면저항은 무시하고 암반위에 설치된 직접기초의 개념으로 안정성 검토를 실시하였다. 또한, 시공시 및 케이블 하중 작용시 앵커리지 전면과 후면의 응력상태 및 변위 확인 및 하부기반암의 응력상태 확인을 위해 다양한 수치해석을 수행하여, 앵커리지 및 주변 지반의 안정성을 확인하였다.

중력식 앵커리지 굴착을 위한 가시설로는 무지보 굴착이 가능한 원형 지중연속벽을 계획하였다. 연속벽의 두께는 1.4m, 시공 깊이는 33.3m 이다. 연약지반상에 매립을 실시한 후 연속벽 공사가 진행되며, 원형 구조물의 특성인 아치효과에 의해 무지보로 굴착된다.

만약 굴착 과정에서 지반의 변형으로 인하여 아치효과가 저감된다면 전체 안정성에 큰 악영향을 미치게 된다. 따라서, 실제 시공시에는 추후 시공될 내벽(T=1.5m)을 부분 탐다운 방식으로 선시공하도록 계획하여 링빔에 의한 지지효과로 인하여 굴착 중 안정성을 개선하였다. 지중경사계에 의한 계측결과 최종 굴착시까지 벽체의 변위는 최대 22mm 로 나타났으며, 철근 및 콘크리트에 발생하는 응력도 허용치 이내임을 확인하였다. 앵커리지 내부의 격

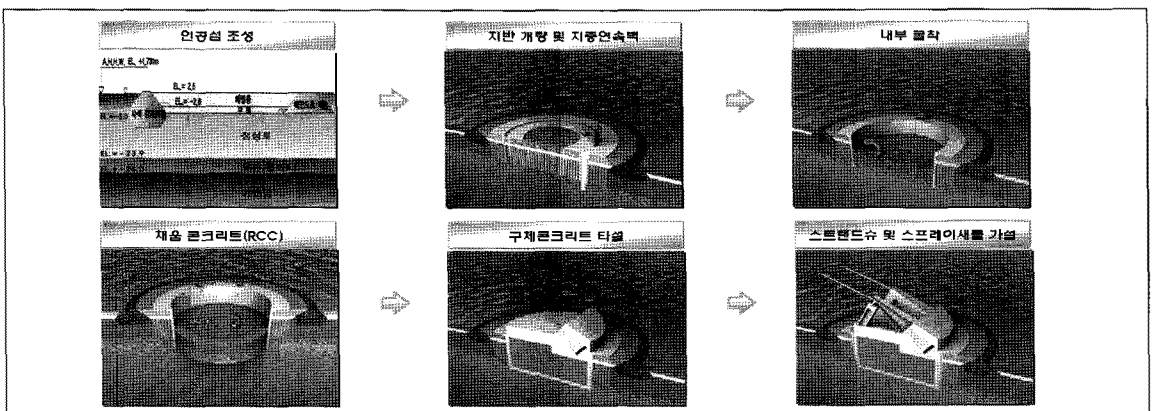
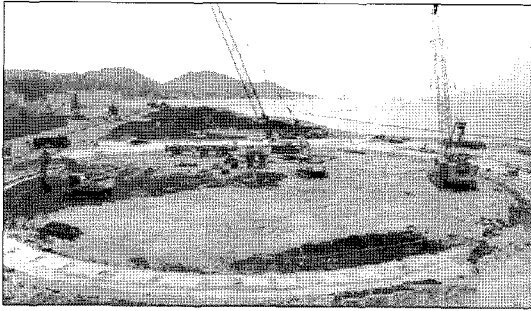
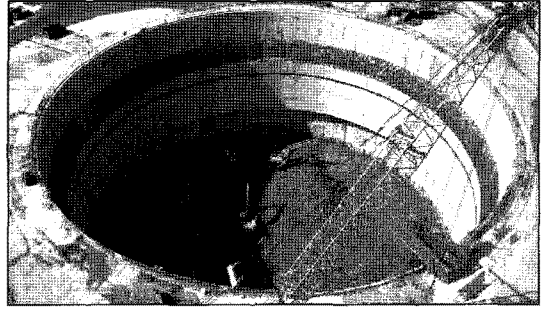


그림 5. 광양측 앵커리지 시공순서

우 리 현 장 소 개



지중연속벽 시공

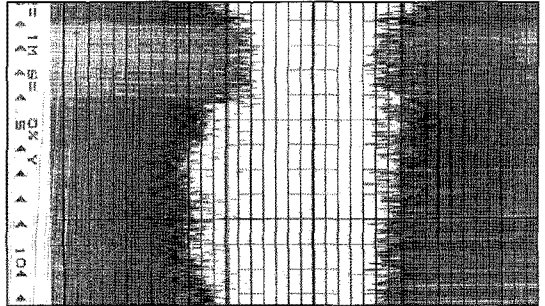


내부 굴착

그림 6. 지중연속벽 시공 및 굴착사진



지중연속벽 공벽 붕괴



초음파 결과(CODEN)

그림 7. 지중연속벽 공벽 붕괴 및 초음파 결과사진

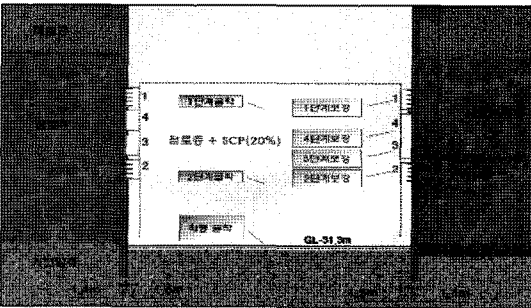


그림 8. 사공순서도(내벽 Top-Down 시공)

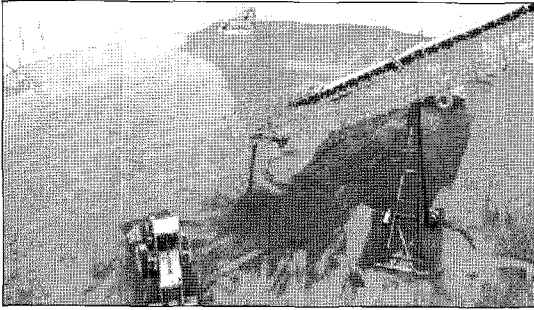
벽 및 골재 채움을 빈배합 콘크리트 채움(RCC)으로 변경하여 시공성 및 안정성을 개선하였으며, 배합시험 및 시험시공을 통해 배합비, 다짐방법 등을 결정하였다.

4.2 중력식 앵커리지의 시공

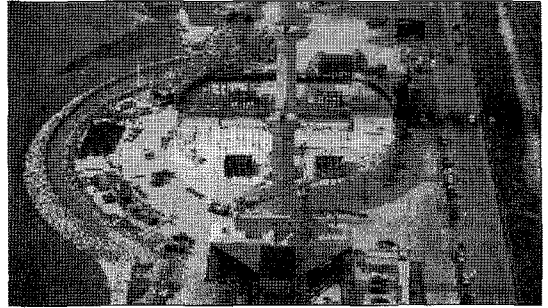
중력식 앵커리지의 시공 중 가장 어려웠던 부분은 연약 지반상에서의 지중연속벽 시공이었다. 설계시에는 벤토나이트 안정액 사용만으로는 공벽이 유지가 어렵다 판단하여 매 굴착 판넬 주변을 SCW(Soil Cement Wall)을 이용하여 선 보강 하는 것으로 계획하였다. 그러나, 실제 시험시공 결과 벤토나이트 안정액 사용 및 SCW 보강으로는 굴착 중 공벽의 유지가 어려움을 확인하였다.

지중연속벽 공벽 유지가 어려웠던 이유로는 첫째, 기반암 굴착에 많은 시간이 소요되어 공벽유지기간이 약 3일(72시간) 이상으로 늘어나게 된 것과, 둘째 연약 점토층에서의 연속벽 공벽을 유지하기에는 프라이머리 판넬의 굴착 폭(6.7m)이 넓었다는 점이다.

첫 번째 문제를 해결하기 위해 연속벽의 굴착 깊이를 2.0m 상향조정하는 것으로 변경하였으며, 두 번째 문제를 해결하기 위해 판넬 분할계획을 수정하여 당초 48개의



속채움재(RCC) 시공



현재 전경

그림 9. 시공순서도(내벽 Top-Down 시공)

판넬을 총 80개의 판넬로 재조정하여 프라이머리 판넬의 굴착 폭이 2.8m가 되도록 하였다. 또한 안정액 비중이 공벽 안정성에 미치는 영향이 매우 큰 점을 고려하여, 판넬 굴착 완료 후 안정액의 교환을 최소화 되도록 하였으며, 이로 인한 콘크리트 품질저하를 방지하기 위해 수중불분리 콘크리트를 사용 및 확인시추를 계획하였다.

또한, 공벽이 붕괴되어 되메움이 진행되는 구간에 대해서는 고압분사공법(JSP)을 이용한 보강을 계획하여 공벽유지가 가능하도록 하였으며, 조기 보강효과를 위해 규산소다를 섞어 사용하였다.

원형 지중연속벽의 판넬이 세분되는 경우 횡방향 연결부가 많이 발생하여 구조적으로 불리하게 된다. 이에 따른 앵커리지 내부 굴착시의 안정성 확보를 위해 탐다운 방식으로 시공될 내벽의 시공 순서를 일부 조정하여 초기 굴착시의 변형 발생이 최대한 억제될 수 있도록 하였으며, 굴착 중 벽체의 거동 확인을 위해 지중경사계를 8개소에 시공하여 시공 중 벽체의 거동을 관리할 수 있도록 하였다. 2009년 8월 최종 굴착시까지 연속벽체의 변형은 최대 22mm 로 나타났으며 연결부의 누수는 거의 발생하지 않은 것으로 확인되었다.

중력식 앵커리지의 채움재인 RCC 시공을 위해 배합설계 및 시험시공을 통해 배합비 및 다짐방법을 결정하였으며, 컨베이어 벨트를 이용한 RCC 운반을 계획하여 일 평

균 2,000m³의 RCC 시공이 가능하도록 하였다.

5. 맺음말

본 고에서는 세계 4위급 초장대 현수교인 이순신대교를 소개하고 지중정착식 및 중력식 앵커리지의 설계와 시공현황을 기술하였으며 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 묘도측 앵커리지는 암 굴착량을 최소화하여 환경 훼손이 적은 지중정착식 앵커리지를 국내 최초로 적용하였으며, 스트랜드 홀 천공시 경사오차량을 줄이기 위해 케이싱을 사용한 시메트릭스 비트를 사용하였다.
2. 광양측 앵커리지는 중력식 구조이며, 무지보 굴착이 가능한 원형 지중연속벽을 이용하여 굴착하였다. 특히, 굴착과정에서 내벽을 탐다운 방식으로 시공하여 벽체의 안정성을 개선하였다.
3. 시험시공 결과 멘토나이트 안정액 사용 및 SCW 보강으로는 굴착 중 공벽의 유지가 어려움을 확인하였으며, 이에 연속벽의 굴착 깊이를 2.0m 상향조정하는 것으로 변경하였으며, 프라이머리 판넬의 굴착 폭이 2.8m가 되도록 총 80개의 판넬로 분할하여 성공적으로 시공을 완료하였다.