

울산대교 앵커리지의 설계

Anchorage Design of Ulsan Grand Bridge



김규왕*
Kyu-wang Kim



조남소**
Nam-so Cho



나영묵***
Yung-Mook Na

1. 개요

울산대교 및 접속도로 민간투자사업 건설공사는 울산광역시 도시교통정비 중기계획의 일환으로 시행되고 있다. 본 공사의 완공으로 원활한 교통소통으로 인한 물류비용 절감, 신항만 등 산업단지 확장에 따른 교통량 증가에 대비하면서 해양관광벨트화 노선을 구축하여 동남권역의 문화관광을 활성화가 예상된다.

사업구간의 총연장은 8.371 km로 현수교 구간 1개소, 시점측 종점측 접속교 각 1개소, 접속교 2개소 및 기타 교량 4개소

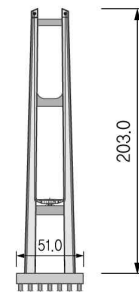
(4.363 km)와 터널 3개소(1.555 km), 지하차도 3개소(802.5 m)로 구성되어 있다.

울산대교는 주경간장 1,150 m인 국내 최장 단경간 현수교로서 세계 최초 1,960 MPa의 인장강도를 갖는 PPWS 케이블을 채용하였다. 주탑의 높이는 203 m로 앵커리지 시스템 <그림 1>으로는 시점측에는 중력식 앵커리지, 종점측에는 국내 최초 터널식 앵커리지를 적용한 교량으로 2010년 5월 실시설계를 완료하였고, 2011년 6월 현재 주탑 기초를 시공 중에 있다.

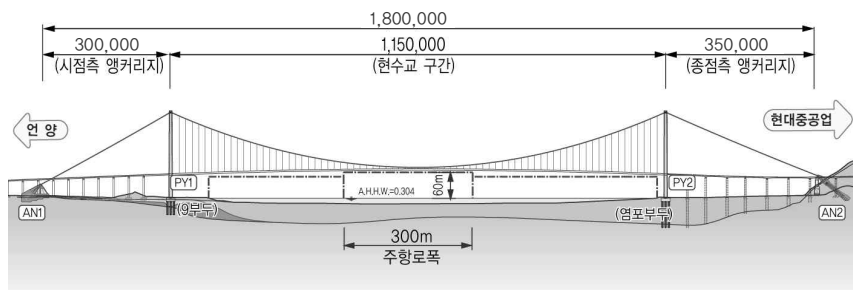
표 1. 울산대교 단면도 및 특징



(a) 조감도



(b) 횡단면도



(c) 종단면도

- 연장: L = 1,150 m (단경간 현수교)
→ 국내최대 세계3위급 규모 단경간 현수교
- 폭원: B = 25.6 m (왕복 4차로)
- 케이블구성:
300 + 1,150 + 350 = 1,800 m
- 유선형 강상관 보강거더, 현장타설 말뚝기초, 중력식 앵커리지(AN1), 터널식 앵커리지(AN2)

(d) 특징

* 정회원, 현대건설 연구개발실 인프라연구팀 연구원
elsun@hdec.co.kr

** 현대건설 울산대교 및 접속도로 현장 설계실장

*** 현대건설 울산대교 및 접속도로 현장 현장소장

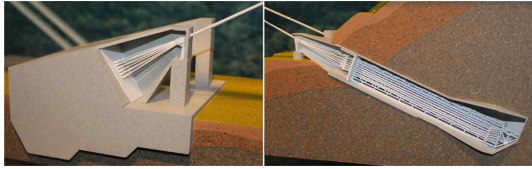


그림 1. 울산대교 앵커리지

2. 중력식 앵커리지

중력식 앵커리지는 폭 40m, 길이 50m, 높이 24m로 총 타설량 43,000 m³의 콘크리트 구조물이다. 중력식 앵커리지 설계 조건은 다음과 같다<그림 2>.

- (1) 직접기초로 가정하여 안정성 검토 수행
- (2) 시공단계를 고려, 상시와 지진시에 대해 검토
- (3) 계단형 경사면을 가정하여 설계지반면 검토
- (4) 최대지하수위 EL +5.00으로 검토

2.1 중력식 앵커리지 안정성 검토

앵커리지의 안정은 활동 및 전도는 접속교 교각의 하중을 고려하지 않았으며, 편심 및 지반반력은 접속교 교각의 하중을 고려해 안전측으로 검토하여, 각각의 경우에 대해 안정 기준을 만족하도록 설계하였다<표 1, 2>.

2.2 앵커블럭 정착장 검토

앵커블럭의 정착장은 케이블의 장력에 대한 가상파괴쇄기의 자중, 저면 저항력의 안전율을 검토하는 방법으로 수행하였다. 케이블 하나에 작용하는 장력은 135,639 kN이며, 입사각과 굴절

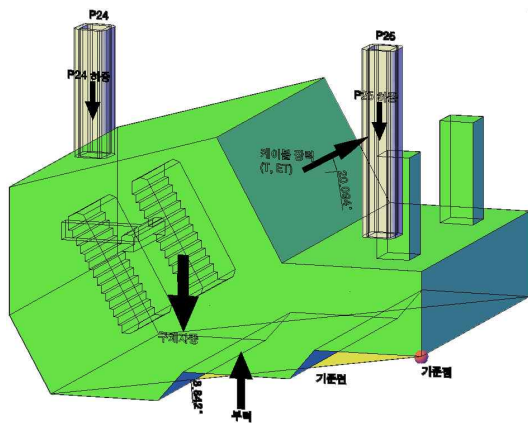


그림 2. 울산대교 시점측 앵커리지(AN1)

표 1. 앵커블럭 작용 하중

구분	하중(kN)	기준점에 대한 모멘트(kN·m)
구체자중(W)	976,732	28,260,350
부력(U)	178,890	5,054,906
케이블력(T)	271,278	6,950,956
지진시 케이블력(ET)	2274,004	7,020,804

• 지진시 관성력에 의한 하중
 - 기준면에 대한 수직하중 = 9,408 kN
 - 기준면에 대한 수평하중 = 60,479 kN

표 2. 접속교 교각하중

구분	하중(kN)	기준점에 대한 모멘트(kN·m)	
P24	시공중	30,525	1,434,675
	공용중(상시)	40,087	1,884,089
	지진시 수직력	23,481	1,103,607
	지진시 수평력	3,586	64,010
P25	시공중	30,304	345,466
	공용중(상시)	37,544	428,002
	지진시 수직력	23,311	265,745
	지진시 수평력	3,586	35,860

각은 28.91°로 동일하다. 가상파괴쇄기는 콘크리트 자중만 고려하여 산정하였다. 앵커블럭의 정착장 L₂ = 20.0m에 대해 쇄기파괴각 θ₂와 유효길이 B'은 21.583°와 11.4m이다<그림 3>. 쇄기블럭과 케이블 장력에 의한 앵커블럭의 전단응력(τ)은 437.3 kPa로 허용 전단응력(τ_a) 473 kPa를 만족한다<그림 4>.

$$\tau = \frac{T \cos(\theta_1 - \theta_2) - W \sin \theta_2}{A} = 437.3 \text{ kPa}$$

$$\tau_a = 0.08 \sqrt{f_{ck}} = 473 \text{ kPa}$$

2.3 PC 강연선

스트랜드 슈에서 작용하는 케이블 장력을 저항하기 위해 PC 강연선을 적용하였다. PC 강연선의 설계는 정착장치의 활동, 강

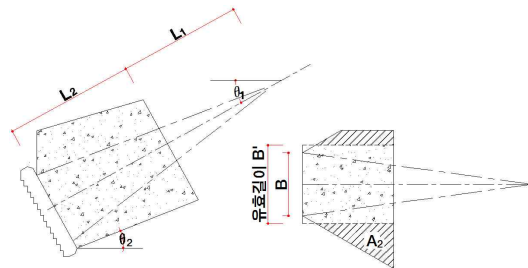


그림 3. AN1 앵커블럭 쇄기 자중

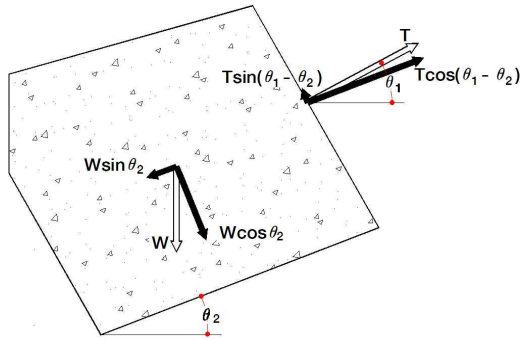


그림 4. 앵커블록 전단응력 검토

관과의 마찰에 의한 즉시손실량과 릴랙세이션에 의한 시간적 손실량을 고려하였으며, 콘크리트의 탄성수축으로 인한 손실과 크립, 건조수축에 의한 손실량은 고려하지 않았다. 필요 긴장력 2,508 kN에 대해 2,820 ~ 3.085 kN의 유효 긴장력을 도입하도록 설계하였다.

2.4 앵커리지 구체

앵커리지 구체의 설계는 대칭성을 고려한 1/2 모델의 3차원

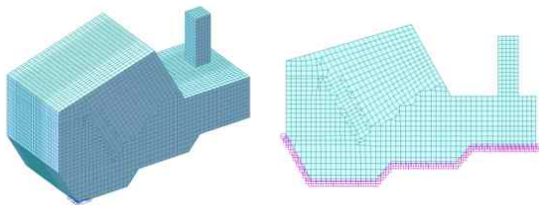


그림 5. ANI 3D 모델링 및 경계조건

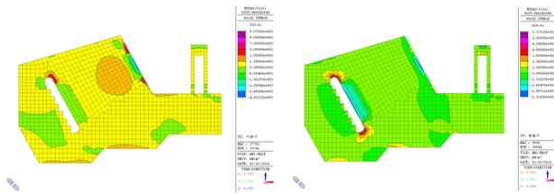


그림 6. ANI의 시공중, 공용중 주응력도

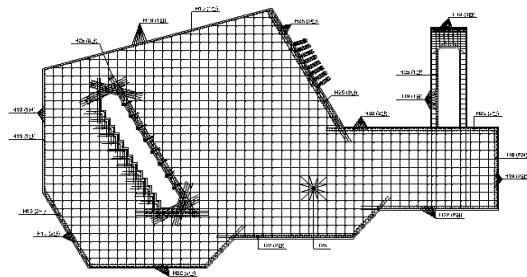


그림 7. ANI 주철근 개요도

FEM해석<그림 5>을 통해 수행하여 구조물의 응력상태<그림 6>와 철근량을 산정하였다<그림 7>.

3. 터널식 앵커리지

3.1 해외 사례

터널식 앵커리지는 앵커 거더에 정착된 스트랜드의 장력을 전면정착거더에서 인장재, 후면정착거더를 통해 주변의 암반으로 전달하는 형식의 앵커리지로 1931년 George Washington bridge에 적용된 이래, 최근 중국의 E-Gong Yan Bridge까지 7개 교량에 적용되어 해외에서도 그 사례가 많지 않다<표 3>.

표 3. 터널식 앵커리지 해외의 시공 사례

교량명	중량경간장	완공시기	국가
시모츠이 세토대교	940 m	1998년	일본
쿠루시마 제3교	1,030 m	1999년	
Forth Road Bridge	1,006 m	1964년	영국
George Washington Bridge	1,067 m	1931년	미국
Sanfrancisco Oakland Bay Bridge	705 m	1936년	
Tancarville Bridge	608 m	1959년	프랑스
E-Gong-Yan Bridge	600 m	2006년	중국

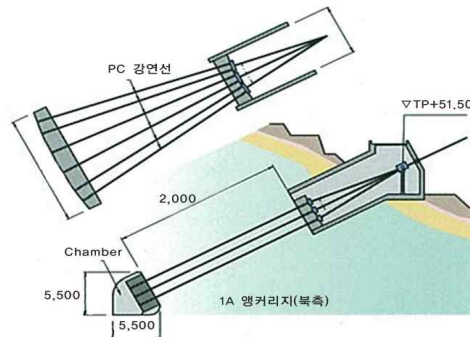


그림 8. Rock Mass Anchorage 개념도



사진 1. 토요시마대교 챔버 내부

유사한 방법으로 지중정착식과 터널식의 중간 형태인 Rock Mass Anchorage가 있으며, 적용한 사례로는 토요시마대교(시점측)가 있다<그림 8, 사진 1>.

3.2 터널식 앵커리지의 설계

중점측 터널식 앵커리지(AN2)의 안전성은 콘크리트와 암반의 자중, 가상파괴블럭 저면의 마찰력과 점착력, 측면의 점착력을 저항력으로 보고 검토하였다<그림 9, 10>. 활동면에 작용하는 케이블하중(128,626 kN)에 대해 안전율 1.27로 충분한 저항력(163,618 kN)을 갖도록 설계하였다.

3.3 인장재 및 정착 프레임의 설계

터널내부 매입 강재의 설계는 로드(rod)와 스트랜드 슈의 자중, 케이블 장력에 대한 긴장력 여유치 등을 고려하여 케이블 설계장력에 안전율 1.1을 적용하였다.

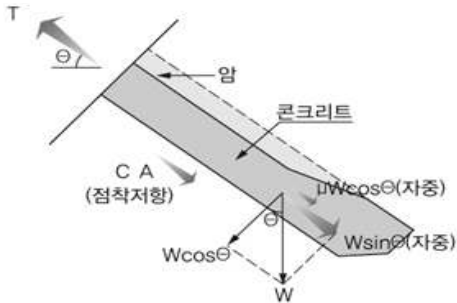


그림 9. AN2 저항력

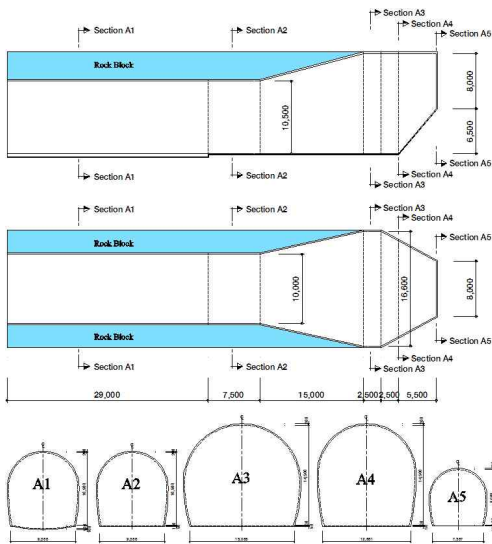


그림 10. AN2 터널 단면

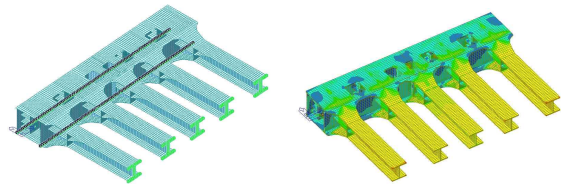


그림 11. 정착프레임 모델링 및 주응력도

표 4. AN2 정착프레임 검토 결과

부재	두께(mm)	최대응력(MPa)	강종
거더 상·하부플랜지	40	146	SM520
거더 웹	30	193	
거더 측면 플레이트	40	162	
연결재 상·하부플랜지 (국부허용응력 231 MPa)	28	210 (국부응력)	
연결재 웹	18	203	
보강판	30	157	
지압판	60	197	

- 1) 인장재 : 9개 스트랜드의 장력을 인장재 5개가 저항
H - 414 × 405 × 18 × 28(SM520)로 설계
- 2) 전·후면정착프레임 : FEM해석(플레이트 요소)<그림 11>
허용응력 210 MPa에 대해 안전하도록 설계<표 4>

4. 맺음말

울산대교는 2015년 전반기 개통을 목표로 시공이 진행되고 있다. 그 중 앵커리지는 케이블 가설 선공정으로 2013년 4월까지 완료를 목표로, 현재 터널식 앵커리지는 사면보강 및 굴착 준비공사를 진행하고 있으며, 중력식 앵커리지는 실시설계를 바탕으로 시공계획을 수립하고 있다.

중력식 앵커리지는 콘크리트 타설량이 43,000 m³에 달하므로 수화열을 제어할 수 있는 시공계획 수립을 위해 면밀한 검토를 수행 중에 있다.

터널식 앵커리지는 국내 최초로 수행되는 만큼 해외사례조사를 참고하여 정착프레임과 인장재의 설치계획을 현장 여건에 적합하도록 시공계획을 검토하고 있다. 울산대교에 터널식 앵커리지를 적용함으로써 지반 특성을 반영한 최적 설계와 자연환경의 훼손을 최소화하는 좋은 선택이 되어 국내 교량기술 발전에 기여할 수 있으리라 생각된다. □

담당 편집위원 :
차수원(울산대학교) chasw@ulsan.ac.kr