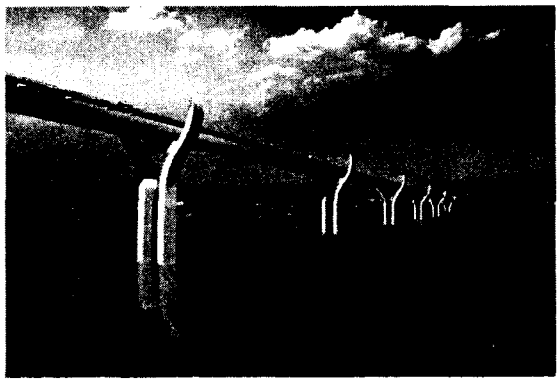
EXTRADOSED PSC BRIDGE



김동근

ok/SK

목 차

Ⅰ. EXTRADOSED PSC교

Ⅱ. EXTRADOSED PSC교의 설계

SK건설(주)

Ⅰ. EXTRADOSED PSC교

1. EXTRADOSED PSC교의 정의

2. EXTRADOSED PSC교의 개념

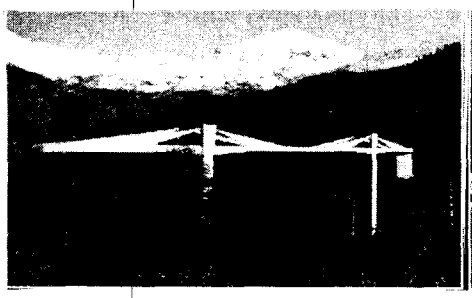
3. EXTRADOSED PSC교의 특징

SK건설(주)

Ⅰ. EXTRADOSED PSC교의 정의

☞ "~을 개선하기 위해 요소를 첨가한 교량" 이라는 의미로 **1988**년 프랑스의 **Jacques Mathivat**가 소개

☞ 스위스의 **Ganter**교에 처음 적용, **1994**년 일본 소전원항교(**Odawara Blueway**) 완공을 계기로 지간 **100~200m**에 적용할 수 있는 새로운 교량형식



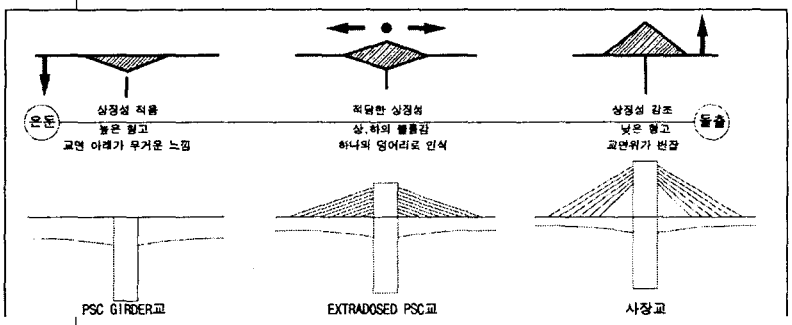
GANTER교

소전원항교

ok/SK

2. EXTRADOSED PSC교의 개념

✓ 형상 개념도

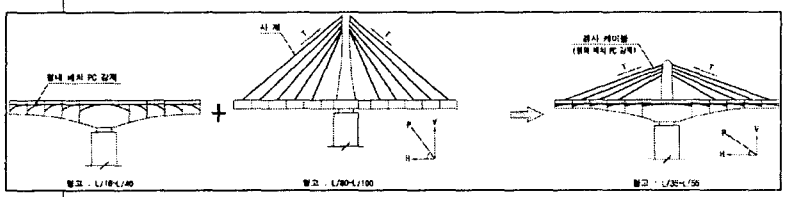


☛ 상징성이 적은 형교와 상징성을 크게 강조하는 사장교의 중간적 특성

☛ 적당한 상징성과 균형미가 조화

ok/SK

✓ 구조 개념도



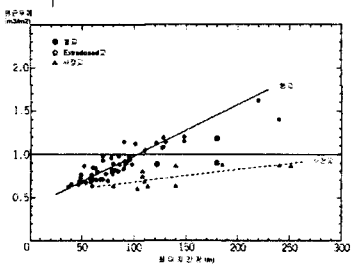
☛ 외적 **Prestressing** 개념으로 낮은 주탑 적용

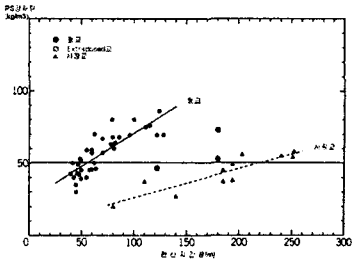
☛ 주형과 케이블이 같이 하중에 저항 ⇨주형·케이블 협동형
(형교 : 주형 의존형, 사장교 : 케이블 의존형)

☛ 케이블의 연직하중 분담률은 **30%**이내

3. EXTRADOSED PSC교의 특징

✓ 형고





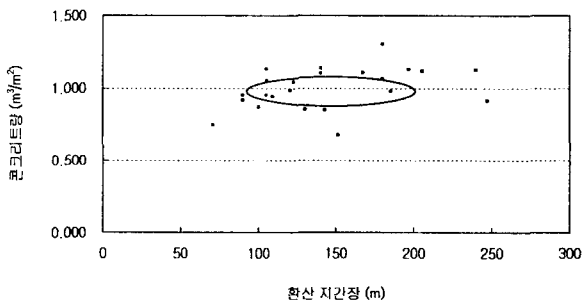
☞ **Extradosed PSC교**는 단면력에 대하여 주형의 강성으로 저항하고 케이블에 의한 편심 모멘트를 도입, 지점부 거동을 개선하는 구조 형식이므로 주형이 케이블에 지지되어 주형에 최소 필요량의 강도만을 부여하는 사장교와는 개념이 다름

⇨ 형교와 사장교의 중간 : **L/30 ~ L/35 (지점부), L/50 ~ L/60 (중앙부)**

cf) 형교 : L/18 ~ L/20 (지점부) 사장교 : **L/80 ~ L/100**

☞ 단위 면적당 콘크리트량 : **1.0 m³/m²** ☞ 단위 면적당 **PS** 강재량 : **50 kg/m²**

✓ 지간장과 단위 면적당 콘크리트량과의 관계



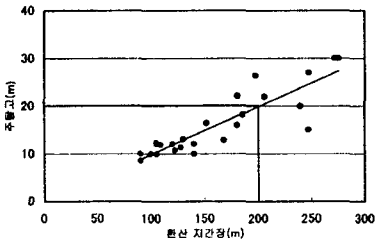
☞ 지간 **100~200m** 적용에 콘크리트량이 평균 **1.00 m³/m²**

⇨ **FCM**공법을 적용한 지간 **40~60m**의 **PSC** 상자형 연속교와 동일

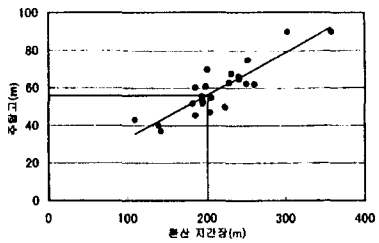
☞ 상부구조 가설시 이동 작업차의 시공 설비를 그다지 크게 할 필요가 없고, 통상의 캔틸레버 공법과 동일한 관리방법으로 시공

ok/SK

✓ 주탑



Extradosed교



사장교

☞ 주형을 거치하기 위해 탄성지점의 의미를 갖는 사장교와는 달리 주형에 프리스트레스를 주기 위해 유효 편심 높이만큼만 주탑을 계획

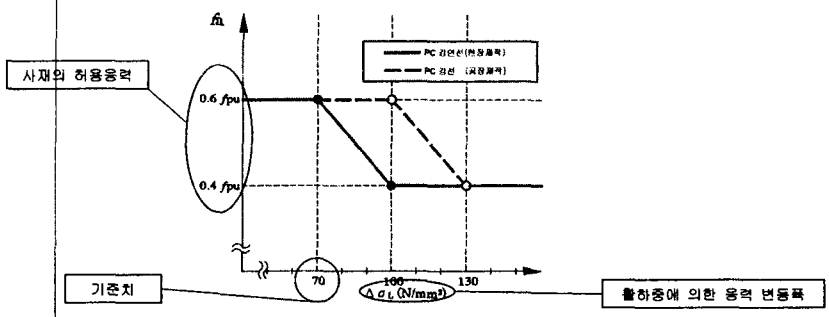
⇨ 주탑고비(주탑고/중앙지간장) 1/8~1/12로 사장교(1/3~1/5)에 비해 현저히 낮음

ok/SK

✓ 사재

☞ **Extradosed PSC교와 사장교는 사재에 의해 보강된 교량이라는 점에서 같은 형식으로 볼 수 있지만 사재의 안전율을 각각 1.67($0.6f_{pu}$)과 2.5($0.4f_{pu}$)로 제한**

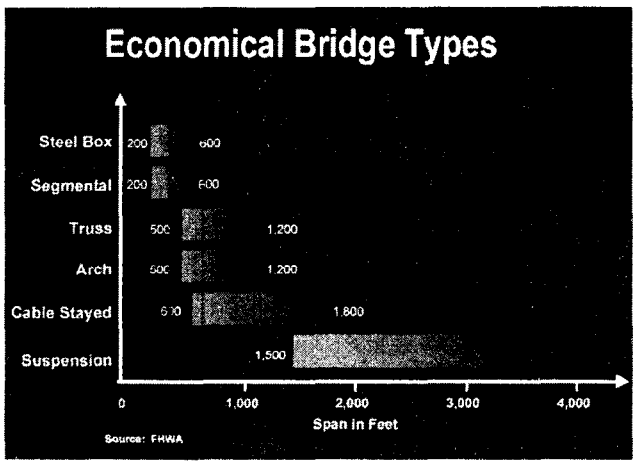
☞ **일본에서 시공되어진 교량을 대상으로 조사한 결과 Extradosed PSC교 사재의 연직 하중 분담률(사재의 분담하중 / 전체 연직 하중, %)은 약 30%, 응력변동은 약 5kg/mm²**



✓ EXTRADOSED PSC교와 PC사장교의 비교

구 분		EXTRADOSED PSC교		PC 사장교	
형고/지간장		중간 지점부	중앙부	중간 지점부	중앙부
		1/30 ~ 1/35	1/50 ~ 1/60	1/80 ~ 1/100	
주탑고/지간장		1/8 ~ 1/12		1/3 ~ 1/5	
사재	허용응력	0.6fpu		0.4fpu	
	역할	주형의 보강재 역할		주부재이며 주형이 보강재 역할	
	피로	응력변동이 작아 문제 안됨		응력변동이 커 문제	
	시공	시공중 사재장력 조정 불필요		시공중 사재장력 조정 필요	
	격벽	불필요		필요	
주탑 정착방법		관통고정방식		분리고정방식	

✓ EXTRADOSED교의 경제성



ok/SK

II. EXTRADOSED PSC교의 설계

1. 교량 개요

2. 주형의 설계

3. 주탑의 설계

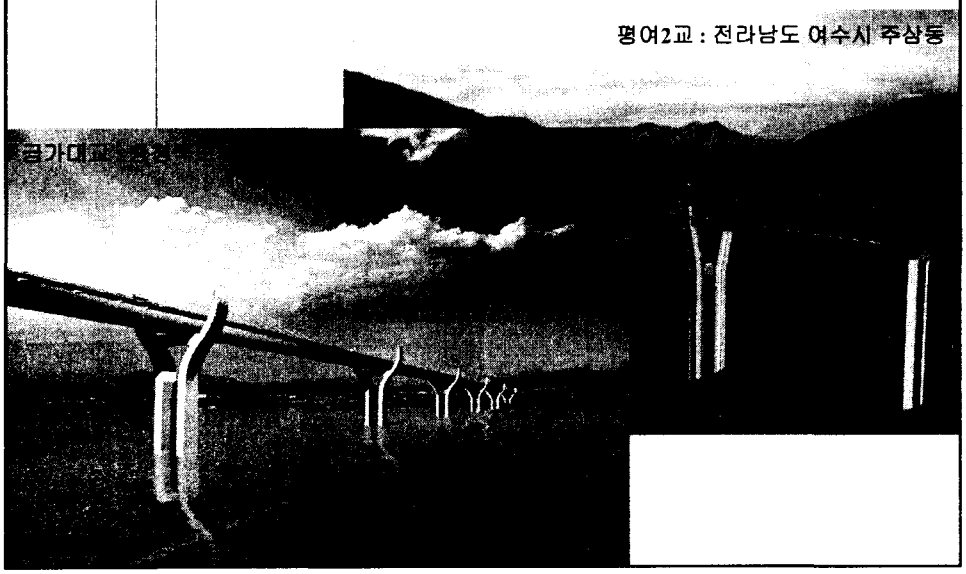
4. 사재의 설계

SK건설(주)

ok/SK

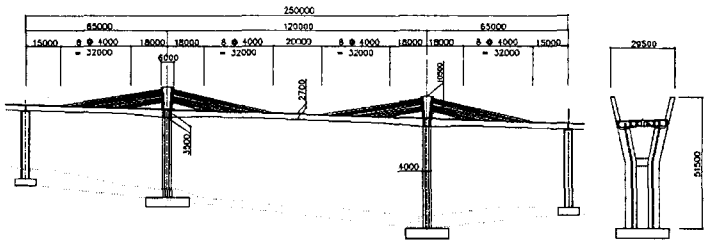
1. 교량개요

평여2교 : 전라남도 여수시 주삼동



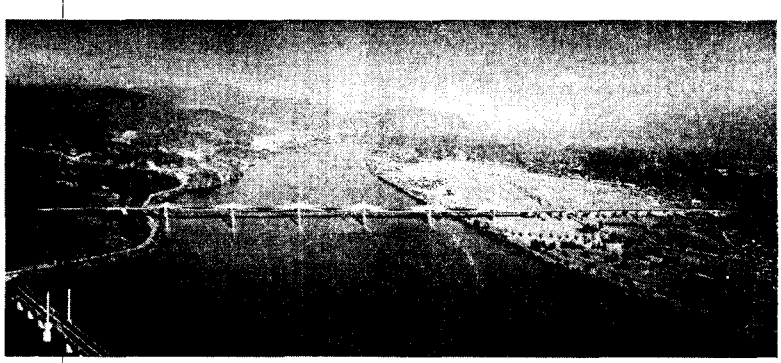
✓ 평여2교

- 교량형식 : 3경간 연속 Extradosed PSC교
- 교　　장 : 250 m (=65m + 120m + 65m)
- 폭　　원 : 23.5 m (왕복 4차로)



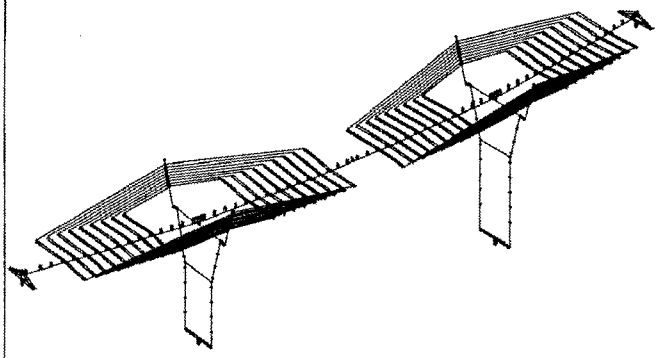
✓ 금가대교

- 교량형식 : 7경간 연속 Extradosed PSC교
- 교　　장 : 795 m (=85m + 5@125m + 85m)
- 폭　　원 : 21.0 m (왕복 4차로)



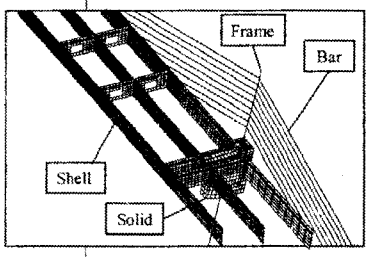
2. 주형의 설계

✓ 초기치 및 시공단계 해석

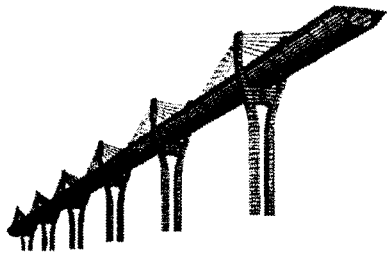


- 사용 Program : RM Spaceframe 및 MIDAS를 이용한 Frame Element 해석
- 해석목적 : 설계장력 결정 및 단면력 산정을 하고 Creep & Shrinkage를 고려한 시공 단계별 응력 및 사재 최대장력 검토

✓ FEM 해석



평여2교 : ½ 축소모델



금가대교 : 전체계 모델

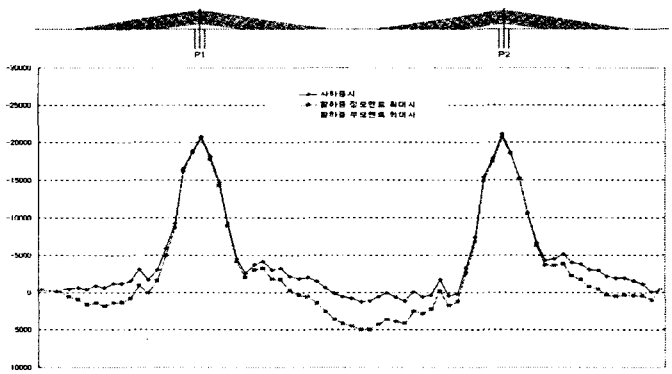
사용 Program : NASTRAN, MIDAS 및 LUSAS를 이용한 Solid & Shell element 해석

해석 목적

1) 주두부 및 주탑부 국부응력 검토
2) 사재장력 유효 전달범위 파악
3) 격벽 검토 및 횡방향 해석 검증
4) 복부의 전단력 분담률 결정

ok/SK

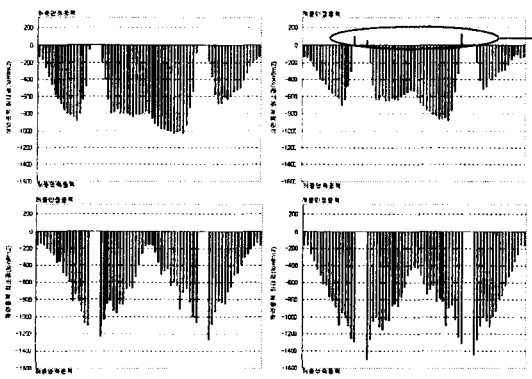
✓ 주형의 응력 검토



휨모멘트 양상은 사재가 탄성지점 역할을 하는 사장교와는 달리 형교와 동일

ok/SK

✓ 주형의 응력 검토

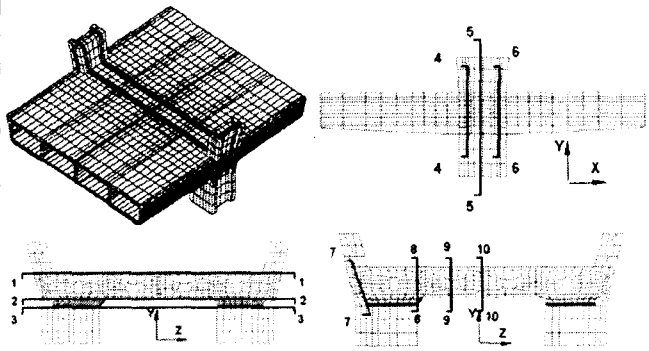


사하중 작용시 : 주형의 인장응력 허용안함 **(Full Prestressed)**

활하중 작용시 : 주형의 인장응력 허용함 **(Partial Prestressed)**

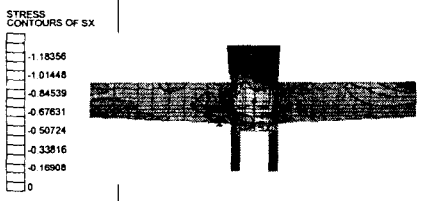
⇨ 주형의 휨모멘트 및 사재장력은 주형 강성 변화에 민감하지 않아 가능

✓ 주두부 응력 검토

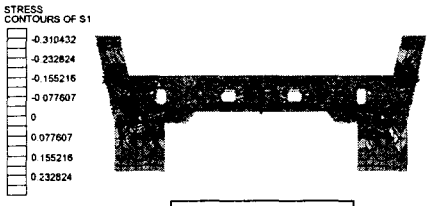


- 주형의 외측셀(cell)은 교각에 직접 지지되어 있지만 내측셀은 간접 지지되어 있어 골조해석을 통하여 정확한 응력상태를 파악 곤란
- **FEM** 해석을 통해 주두부의 정확한 응력분포와 국부적인 응력집중 검토

✓ 주두부 응력 검토



7단면의 종방향 응력 (Sx)

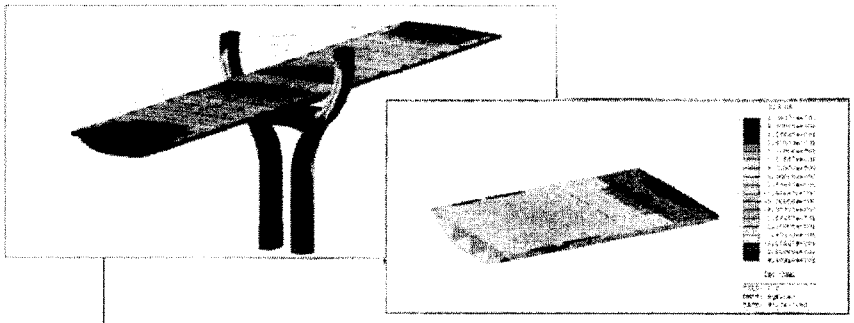


4단면의 주응력(S1)

* 하중조합 : 전사하중(자중 + 프리스트레스 + 케이블 조정하중 + 교면하중) + 지진하중(교축방향) 인 경우 응력 예

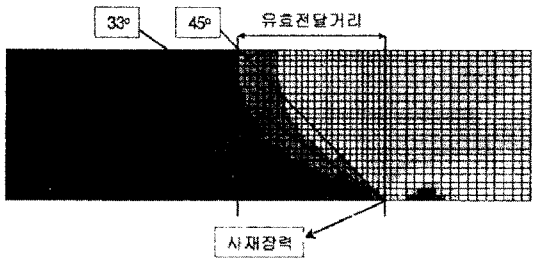
- 하중 조합 : [전사하중+활하중] 과 [전사하중+지진하중] 조합에 의한 응력 검토
- 하중 재하 : 주두부에 배치된 곡선형상의 횡방향 강선은 등가하중으로 치환
  지진하중에 대하여서는 관성력에 탄성지진응답계수(Cs=0.12)를 적용
- 수직응력, 전단응력 및 주응력에 대해 5개 하중조합 10개 단면 검토

✓ 사재장력의 유효 전달거리 검토



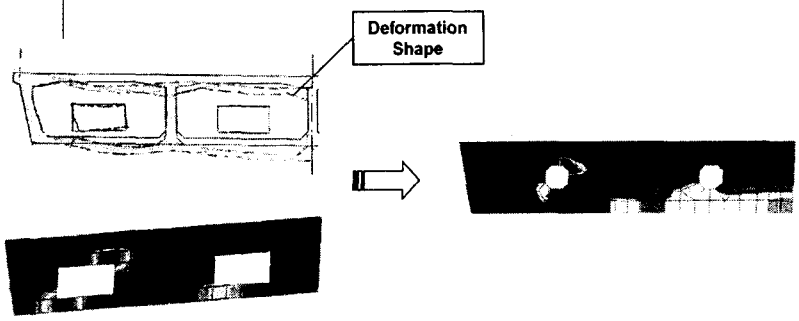
- 사재 긴장에 의해 도입되는 압축응력은 응력분포가 불규칙한 정착 위치로부터 일정구간이 지난 후로부터 전단면에 유효하게 작용
- 사재 힘이 전달되는 각도는 사재 경사각, 교폭 및 형고 등의 영향인자 영향으로 일반적으로 **30°~45°** 사이에 분포

✓ 사재장력의 유효 전달거리 검토



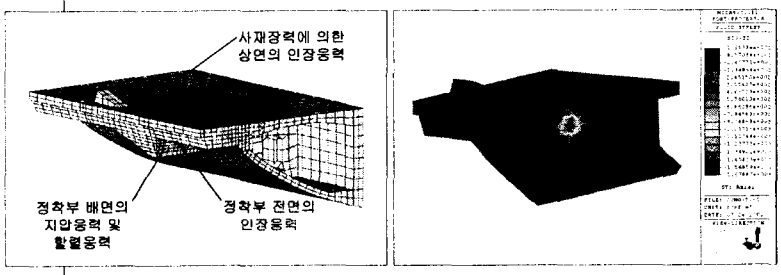
- 유효 전달거리(**Effective Transfer Length**)는 **FEM**해석을 통해 전단면에 균등한 응력분포를 보이는 전달각을 **45°** 로 하여 결정
  도로교 표준시방서에서 규정한 내부 프리스트레스 힘의 전달각도(**tanβ =2/3=33°**)와 비교한 결과는 최대 **3 kgf/cm²** 의 미소한 응력 차이

✓ 격벽(Diaphragm)의 응력검토



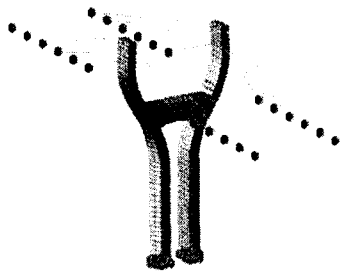
- FEM 해석을 통하여 격벽 개구부의 의 응력집중을 확인하고 개구부의 위치 및 크기를 조정 (2.0mx1.0m ⇨ 0.8mx0.8m)

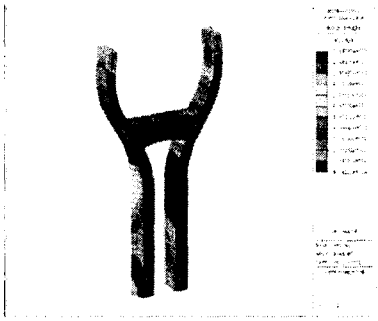
✓ 주형 정착구 검토



- 정착부와 주형의 연결부 및 정착부 전면의 인장응력에 대한 검토
- 정착부 배면의 콘크리트 지압응력 및 할렬응력에 대한 검토
- FEM 해석을 통해 사재 정착부에 근접하여 발생하는 응력을 파악, 유해한 균열이 발생하지 않도록 철근과 PS강재로 보강

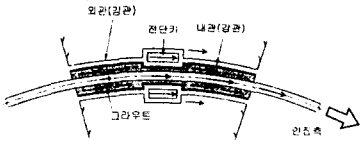
3. 주탑의 설계



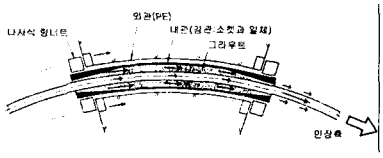


- 주탑은 2축 휨을 받는 압축부재로 설계
- 금가대교는 주탑 형상이 변단면 곡선형이므로 FEM 상세 해석 수행
- 평여2교는 평면 선형 곡선부에 주탑이 위치하여 선형에 따른 사재 교축직각방향 분력이 크게 발생, 주탑에 강선을 배치한 PC 구조로 설계

Saddle의 장력전달 기구(Mechanism)



평여2교



금가대교

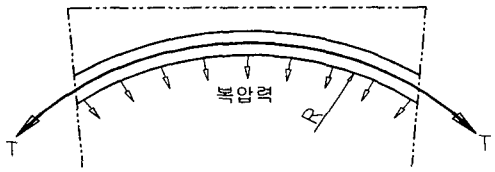
- Saddle은 사재의 힘이 직접 주탑에 전달되는 가장 중요한 부분
- 시공 및 공용 중 좌우 사재 장력차로 인한 사재의 미끄러짐을 방지하기 위한 장력 전달 기구 선정 및 복압력에 의한 국부응력 등을 검토
- 장력 전달 기구

  평여2교 : 내외관을 강관으로 하여 마찰력에 의해 저항하는 전단키 방식

  금가대교 : 내관은 강관, 외관은 PE관으로 소켓부재와의 부착에 의해 저항하는 방식

ok/SK

✓ 복압력에 의한 국부응력 검토

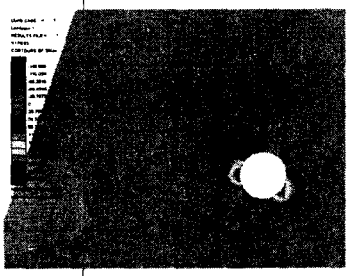


■ 새들부의 사재는 주형에 설치되는 내부 강선에 비해 용량이 크고 상대적으로 곡률 반경이 작기 때문에 새들 중심 방향으로 커다란 복압력이 발생

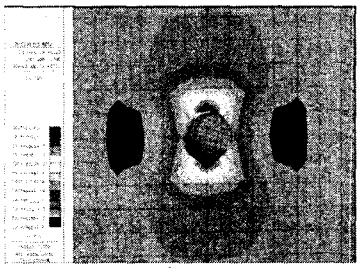
$$\text{복압력(p)} = \frac{\text{사재장력 (T)}}{\text{곡률반경 (R)}}$$

ok/SK

✓ 복압력에 의한 국부응력 검토



평여2교 : 2D Plane Stress Model



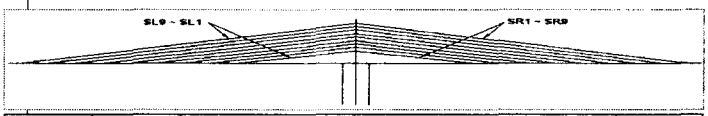
금가대교 : 3D Solid Model

■ 사재 다단 배치의 영향을 고려한 모델링을 통해 국부 응력 검토후 개구부에 나선 철근(Spiral reinforcement) 보강

ok/sk

4. 사재의 설계

✓ 활하중에 의한 응력변동



사재	설계장력	활하중 (tonf)		응력 (kgf/mm²)			응력
		최대시	최소시	전사하중시	최대시	최소시	변동폭
SL 1	362.5	6.6	-0.2	96.7	98.6	96.7	1.9
SL 2	362.5	6.6	-0.1	96.7	98.6	96.8	1.8
SL 3	362.5	6.5	0.0	96.7	98.5	96.8	1.7
SL 4	362.5	6.4	0.0	96.7	98.5	96.8	1.7
SL 5	362.5	6.2	0.0	96.7	98.4	96.8	1.6
SL 6	362.5	6.1	-0.1	96.7	98.4	96.8	1.6
SL 7	362.5	6.2	-0.4	96.7	98.4	96.7	1.7
SL 8	362.5	6.5	-1.0	96.7	98.5	96.5	2.0
SL 9	362.5	7.1	-1.9	96.7	98.7	96.3	2.4

- 활하중에 의한 사재의 응력변동은 **Full-Prestressed**된 형교와 유사
  ⇨ 높은 피로강도가 요구되는 사장교의 사재와 같은 고가의 정착장치 불필요

ok/sk

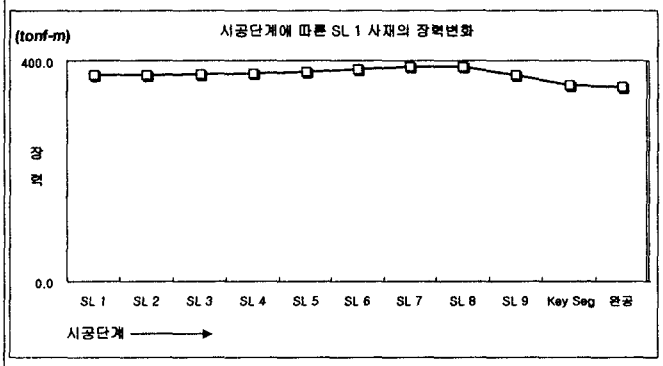
✓ 시공단계별 최대장력

시공단계 \ 사재	SL 9	SL 8	SL 7	SL 6	SL 5	SL 4	SL 3	SL 2	SL 1
SL 1 정착 블록									374.4
SL 2 정착 블록								375.9	373.7
SL 3 정착 블록							378.5	377.7	375.1
SL 4 정착 블록						383.1	381.4	380.1	376.9
SL 5 정착 블록					388.6	389.3	386.8	384.5	380.5
SL 6 정착 블록				390.0	397.2	397.0	393.4	390.1	385.1
SL 7 정착 블록			395.3	398.7	404.9	403.7	399.1	394.8	388.8
SL 8 정착 블록		393.3	399.6	402.5	408.2	406.4	401.1	396.2	389.7
SL 9 정착 블록	400.7	365.9	373.7	378.2	385.5	385.4	381.9	378.6	373.7
Keg Seg 타설	378.7	343.4	350.8	355.4	361.3	363.7	361.3	359.3	355.5
완공후	375.5	340.5	348.4	353.2	361.1	361.7	359.1	356.8	352.6

- 시공 중 최대 장력은 설계장력의 **10%** 내외
  ⇨ 설계장력 : **362.5 tonf** 최대장력 : **408.2 tonf**

ok/SK

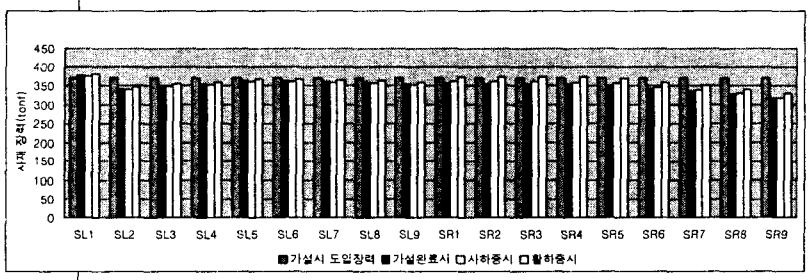
✓시공단계에 따른 사재장력의 이력



- 사재의 장력 변동량이 사장교와 비교했을 때 상당히 작음
  ⇨ 시공 중 사재 재긴장이 필요 없고 선형관리에 유리

ok/SK

✓ 하중별 사재장력



- **Extradosed** 교의 사재 긴장관리는 일반 **PSC** 상자형교의 내부강선과 동일
- 사장교와 달리 설계장력 결정에 따른 복잡한 설계 과정이 필요 없음

ak/SK

맺음말

- 전산을 이용한 Extradosed교 해석

- 주두부 응력 상세 검토
  Extradosed교는 특성상 라멘형식의 교량이 많이 적용되므로 응력상태가 복잡한 주두부의 상세 해석 및 검토

- 사재 장력의 유효 전달거리 산정
  여러 영향인자(형고, 교폭 및 경사각 등)를 고려한 유효 전달거리 산정

- Saddle부의 국부응력 검토
  대용량 PS강선 사용에 따른 복압력에 의한 주탑의 국부응력 검토

- Creep & Shrinkage를 고려한 시공단계 해석
  콘크리트의 시간 의존적 거동을 고려한 시공단계 해석(Construction Engineering)

ak/SK

향후 과제

- Extradosed PSC교의 시간 의존적 거동
  시공을 통하여 자료 수집 후, 산학협동 등의 연구과제 등으로 그 특성을 정확히 파악할 예정

- 적용 및 시방기준
  Extradosed교는 PSC교, 강교 및 복합(Hybrid) 교량등 모든 경우에 대하여 응용 가능하므로 향후 형교와 사장교의 상당부분이 이 구조로 대체될 것으로 예상
  따라서, 경제성, 시공성 및 내구성 등이 종합적으로 판단된 적용기준 마련이 필요

- 정착 System의 개발
  Extradosed PSC교는 사장재용 정착장치가 아닌 일반 External Tendon용 정착장치 사용이 가능하므로 Extradosed교 특성에 맞는 정착 System의 연구 개발이 필요