

P.S.C Box Girder 구조물의 텐던 인장 관리와 인장관리시 예상되는 문제점과 개선방안

Anticipated problem and Improved alternative of tension adjustment and tendon tension adjustment of prestressed concrete box Girder structures



장래섭*

1. 서론

P.S.C Box Girder 교량공사가 우리나라에서 1978년에 착공하여 1981년에 준공한 원효대교가 준공 당시에는 디버닥 공법으로 준공된 것으로 많은 토목 기술자들은 알고 있습니다.

정확한 공법은 P.S.C Box Girder F.C.M 공법 우리나라 최초로 준공한 공법으로써 17년간 현재 110개 교량이 준공 및 시공중에 있어 필자는 본 공법을 관여하면서 현장에서 주로 인장 관리상 문제점과 개선 방안에 대하여 늘 관심을 갖고 어떤하면 문제점을 해결할 수 있는 경험을 통해 향후 본 공법을 관여코저 하는 기술자들에게 조금이나마 도움을 드리기 위해 다음과 같이 하고 합니다.

2. P.S.C 구조물의 텐던(Tendon) 인장관리

* 장희원, 동신기술개발(주) 도로부 부사장

2.1 Tendon 인장관리목적

1) 인장관리에 사용하는 용어
쉬이스(Sheath), 닥트(Duct), 정착장치(Anchorage), 인장하중(Tensile load), 신장(Elongation), 인장력(Tensile force), 강연선(Strand), 텐던(Tendon), 피.에스.시(Pre-stressed concrete)

2) 인장관리목적
텐던인장관리의 목적은 강연선(Strand), (텐던) 인장력의 대칭점에서 설계시 사용된 인장력을 유지시켜 주기 위한 정확한 정착부 인장력을 예측하고, 인장초기에 강연선(텐던) 배치 및 인장방법의 이상유무를 발견할 수 있어 이에 대한 대책을 강구할 수 있으며 텐던 설치작업 정확도의 추세를 예측할 수 있다.

- 3) 인장관리방법 및 인장력보정
- 가) 인장방법은 마찰계수에 의한 관리방법을 사용하였는데, 그 방법에 있어 실제의 마찰계수 (μ , λ)를 예측하여 정확한 정착부 인장력과 인장량을 예측한다. 이를 구하기 위하여 $\mu = 0.0$, $\mu = 0.25$, $\mu = 0.4$ 의 인장력과 인장량의 상관관계를 이용한다. 즉 마찰계수에 의한 관리방법을 이용한다.
- 나) 각 강연선별 탄성계수에 따른 인장량의 보정. 설계상의 탄성계수는 2.0×10^6 kg/cm로서 실제 사용된 대강연선의 탄성계수와 다르므로 이에 대하여 정착부에 대한 인장력을 보정한다.
- 다) 썸기(Pull in wedge)안에 대한 인장력 보정은 텐던이 짧거나 실제의 마찰계수(μ)가 아주 적을 경우 Pull in wedge에 의하여 강연선상에서 인장력의 대칭점에서 인장력이 감소되게 되므로 이에 대한 인장력의 보정을 한다.(설계상의 제조조건에 의해 보정)
- 라) 인장순서에 따라 처음에 인장한 텐던은 그 후에 인장할 텐던에 의하여 콘크리트에 탄성수축이 발생하므로 최초의 인장력이 감소되므로 이에 대한 보정을 실시하여야 한다. 위와 같이 하여 최종정착부 인장력을 예측계산한다.
- 마) 교량에서의 인장관리는 현장감리단에서 컴퓨터를 설치하여 설계상의 제조조건을 입력시켜 놓고 현장에서 각 텐던별로 측정된 인장력과 신장량을 컴퓨터에 입력하면 컴퓨터가 최종인장력을 지시한다. 지시된 인장력으로 인장후 썸기를 정착한다.

4) 인장관리의 시방기준(도로교 표준시방서 시공 3장)

- 가) 인장관리는하중계의 지시도 및 P.S.C의 강재의 늘임량에 의해 관리하는 것을 원칙으로 하는 그의 관계가 직선으로 되어있는 것을 확인하지 않으면 안된다.
- 나) 인장관리에 있어서는 P.S.C강재의 인장력이 변동차를 고려해서 P.S.C 텐던 혹은 P.S.C강봉 1개 마다에 정해진 인장력이 주어지고 있는 것을 확인하지 않으면 안된다.
- 다) 1개의 부재에 여러개의 P.S.C강재가 배치되어 있는 경우에는 P.S.C강재 1개마다의 관리

외에 P.S.C강재를 조로 나누어서 관리하지 않으면 안된다.

라) 집중 케이블 방식에서의 프리스트레싱관리는 별도로 검토되지 않으면 안된다.

5) Post Tension 방식의 기본특징

- 가) 한 텐던의 모든 강연선은 동시에 인장되나 정착구에서 강연선은 각각 물린다.
- 나) 강연선의 다양한 직경 및 재료의 선택이 가능하다.
- 다) 필요한 경우 16.000KN 이상의 파괴하중을 가진 표준 텐던이 가능하다.
- 라) 용도에 맞는 정착구의 선택이 가능하다.
- 마) 적절한 자재와 관련된 장비로서 합리적인 방법에 의한 시공을 한다.
- 바) 필요에 따라 텐던의 단계적 인장이 가능하다.
- 사) 꼬여진 스트랜드의 표면 때문에 그라우팅 효과가 우수하다.

2.2 정착구(碇着具)

1) P.S.C 정착구의 기능

가) 텐던을 인장하고 텐던 물림 작용을 한다. 이의 기본원리는 강연선 각각의 썸기에 의하여 따로 물리게 되어있고, 인장력은 견고한 지지판을 통하여 콘크리트에 전달된다. 스파이럴 철근은 지지판 바로뒤의 콘크리트에 집중되는 응력을 견디도록 보강해 주며 필요한 경우 스파이럴 대신 같은 단면의 보통 철근을 사용할 수도 있다.

나) 교량 감리시 정착구 기능에 부합된 정착구 재질을 반입토록 제반시험을 통하여 사용토록 한다.

2) 정착구의 종류

가) 인장정착구(Live Anchorages) : 정착구는 정착머리, 썸기, 슬리브를 가진 지지판 및 스파이럴 철근으로 구성되어있다. 정착머리는 거푸집 작업때 설치하며 슬리브를 가진 지지판은 텐던 인장작업때 설치한다.

나) 고정정착구(Dead Anchorages)

(1) 고정정착구는 인장력이 보의 끝부분에 직접

전달되어야 하는 경우 사용한다. 이 정착구는 지지판 구멍으로 강연선을 통과하여 강연선 끝부분을 압착물림으로 고정하게 된다.

- (2) 지지판 스파이럴 철근 및 조임쇠가 정착구를 형성하여 강연선은 덕트입구까지 플라스틱관으로 피복되어 콘크리트에 접착되는 것을 막아준다.
- (3) 고정정착으로 설계된 것은 특별한 경우를 제외하고 시공상 문제점이 많은 (인장시) 고정앵카를 인장앵카로 전환 시공위계

다) 연결정착구(Couplings)

연결정착구는 연속하여 인장되는 구조물의 텐던을 연결하기 위한 것으로 일단의 강연선의 인장의 종료 및 새로운 강연선의 시점이 되는 것이다.

2.3 인장장비

1) Jack : G-60, G-100, G-200 여러 가지 종류가 있으나 교량에 적합한 Jack을 선정하되 특히 Calibration을 인장전 인장중에 검측하여야 한다.

2) 유압Pump : 현장여건에 맞는 Pump를 선택 인장중 검측하여 사용한다.

2.4 인장작업시기 및 인장순서

1) 인장시 콘크리트의 압축강도는 $320\text{kg}/\text{cm}^2$ (예 σ_{d28} 설계강도 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 80%) 이상 양생시 인장한다.

2) P.S.C 구조물 종방향(Longitudinal Tendon) 정착구류를 설치하여 인장

3) 인장완료후 정착부 Block Out Tendon을 절단하고 콘크리트 타설

4) 텐던이 긴것부터 인장한다.

5) 인장전 및 인장중에 Calibration은 표준 압력계에 의해 검측한다.

2.4 그라우트

1) 그라우팅 순서는 슬래브 횡방향 텐던을 선 시공하고, 종방향 텐던순으로 한다.

2) 그라우트 밀크강도는 재령 7일(σ_{d7})에서 $175\text{kg}/\text{cm}^3$ 이상으로 하고 물시멘트비는 0.45로 한다. (시방기준 0.35~0.45)

3) 그라우트 작업시 유의사항

가) 동결시기에는 그라우트 작업을 피하며 기온이 6°C 이상이어야 한다.

나) 인장작업 완료후 즉시 그라우트를 실시한다.

다) 그라우트전 쉬스 Tube내의 이물질, 물 등의 유무를 확인한다.

3. P.S.C 구조물의 텐던 인장관리시 예상되는 문제점과 개선방안

3.1 정확하고 세부적인 Shop Drawing 작성시공

1) 불안하고 시공성없는 설계 때문에 하자발생시 책임한계 분쟁발생-외국의 경우 소송사례 많음

2) 인수할 교량의 목적물보다 제작, 가설등 시공을 위한 도면 (Shop Drawing) 이 상당수 필요

3) 외국의 경우 시공자가 Engineering 기능을 가지고 직접 설계하고 시공하는 능력을 가지고 있으나 우리나라는 설계와 시공자가 다르며 시공자는 시공을 위한 도면작성 능력결여

4) 합리적인 오차범위, 설계표준 기준에 맞는 여유 철근반영등 필요

5) 인장텐던을 정밀한 측량관리를 통해 허용오차 범위내 세심한 검사

6) 고강도 콘크리트

- (예 $\sigma_{ck28} = 400 \text{ kg/cm}^2$) 품질유지
- 가) 배합설계의 현장 배합설계수정
- 나) 소요강도관리(P/T를 위한 1일 초기강도 150kg/cm² 유지)
- 다) 수밀성을 위한 혼화제(고유동화제)사용
- 라) 증기양생방법
- 마) 탄성수축, Creep, 수축에 의한 세그먼트 변형고려
 - PSC 구조물 제작 강제거푸집 제작의 정밀성
 - 기능공의 기술 숙지 및 운영관리

3.2 인장 텐던 고정 정착구를 인장 정착구 (Live Anchorages)로 할 것

1) P.S.C 구조물 설계 시공이 우리나라는 짧아 대개 설계시 연속 P.S.C구조물 텐던 고정 정착구(시점)로 설계를 하고 있다.

2) 고정 정착구 시공시 텐던이 포물선으로 배치되어 인장시 텐던내의 강연선이 끊어지는 사례가 왕왕 발생하는바 허용 범위 이상으로 텐던이 끊어지면 1개경간을 파괴 재시공 경우가 있다.

3) 집필한자는 오래전에 고정 정착구 시공시 강연선이 끊어져서(텐던내 강연선 12.7m/m 19개중 3개 끊어져 구조 검토결과 5개이상시 1경간 재시공됨) 구조검토하여 허용 범위 이내로 정착 시공조치함

3.3 인장관리 성과 분석 검토

1) 인장관리

콘크리트 시방배합을 시공 현장 골재원에 맞추어 현장 배합 시방으로 전환하듯이 인장관리도, 설계시 텐던별 인장력과 인장력, 신장량 등을 계산된 것을 즉 시방인장관리 시공시 현장에서 현장 인장관리로 전환하여 인장관리하여야 한다.

2) 인장성과 기준

- 텐던별 인장 설계량(신장량, 인장하중)과 실측량 보정
- 시방 인장 성과와 현장 인장 성과차이가 $\pm 5\%$ (즉 95~105%)이내에 들어갈 것(도로교

표준시방서)

- 텐던길이가 15m이상일 때 텐던별 인장관리가 가능하고 이하일때는 강연선 개수별 통계 관리한다.

3) 시방인장성과

- 설계시 텐던별 인장설계량(신장량, 인장하중)계산이 안되었으면 텐던별 시방 인장 설계량을 계산하여야 한다.
- 설계시 온도는 시공현장의 상시 온도적용하고 강연선은 표준치를 적용계산한다.
- 기타 조건은 표준치를 적용 계산한다.

4) 현장 인장성과

현장 인장관리 프로그램에 의해 컴퓨터 이용 관리하여야 한다.

- 텐던별 선형 프로그램관리
- 텐던별 인장량, 신장량 계산(온도와 반입강연선 제품 시험성과 적용)
- 텐던별 시방 인장성과와 실측치 보정
- 텐던별 및 그룹 관리도 작성하여 유지관리시 사용토록 한다.
- 위와 같이 인장관리를 시공자로 하여금 지도하여 본 교량의 하자 발생을 사전에 배제하는데 목적이 있다. P.S.C구조물의 인장관리는 30% 중요하고, 시공관리 20%(규격·품질), 즉 설계 50% 중요하다고 필자는 생각합니다.

3.4 유지관리를 위한 계측 장치의 설치

1) 계측 장치의 설치목적

- 가) 교량의 공사기간과 공용기간에 발생하는 응력과 변형의 계속적인 측정
- 나) 공용 직전에 교량의 안전성, 시공의 정확도에 대한 확실한 평가
- 다) 교량의 수명측정 및 교량의 용도 폐쇄 기간의 추정
- 라) 콘크리트의 건조수축, 크리이프 온도변화에 의한 변형, 응력 변화의 측정
- 마) 측정 결과로부터 얻은 자료를 교량의 계측 및 설계, 유지관리 연구에 활용
- 바) 교량의 내하력 평가 자료의 취득

- 사) 유지관리에 따른 교량의 신뢰도 평가
- 아) 교량의 보수 및 보강기준, 교량의 등급 (Rating) 및 평가기준
- 자) 초과 하중에 대한 대책 수립의 자료취득
- 차) 설계 이론과 실제의 거동사이에 존재하는 차이점의 규명

2) 대상 교량의 선정

- 가) 철근 콘크리트 슬래브교, T형교, Box Girder교, 중공슬래브교, 라멘교, 케러버교
- 나) P.S.C 단순 및 연속 거더교, 단순 및 연속 PSC Box Girder교
- 다) 강질형교 Steel Box Girder교, 트러스교
- 라) 콘크리트 및 강재 아치교
- 마) 사장교와 현수교 위의 교량 형식중 가), 나), 다), 라)는 각 형식별로 년간 1교량씩 선정하고 마)항의 교량은 모든 교량에 계측 장치를 두는 것이 요망됨

3) 계측 장치의 분류

- 가) 기계식 계측기(Mechanical Gauge):Whittermore, strain Gauge (전원 공급이 필요없고 크기는 200mm×150mm×300mm) 등을 콘크리트 표면과 강재 거어더의 표면에 설치한 후 Dial Gage에 의하여 강연선을 수시로 필요에 따라 측정
- 나) 자기식 계측기(Electro-Magnetic sensor) : Tensionage Sensor에 사용된 Force를 측정하고, Force의 재하전후의 Magnet-Elastic Effect의 차이를 이용하는 장치로서 측정에는 Sensor, power unit 측정장치가 필요함 이러한 측정장치등을 철근 PSC 강재에 부착한 후 수시로 필요에 따라 작용을 측정
- 다) 변형률 측정 게이지(Strain Gauge) : 전기 저항의 변동을 이용하여 변형률을 측정하는 게이지를 콘크리트, 철근, PSC강재에 부착한 후, 정적 변형후 측정기, 동적 변형률, 증폭기 및 기록장치에 의하여 정적 및 동적 변형을 측정한다. 그러나 이 게이지로는 활하중 재하에 의한 변형률, 콘크리트의 크리프, 건조 수축을 측정하기에는 어려움이 있다.

4) 계측 장치의 설치

- 가) 계측 장치의 설치 위치 설치전에 전문가의

자문을 얻는 것이 좋다. 기계식 계측기는 단순 교의 경우에는 거어더의 단부, 중간지점, 지간의 1/4지점의 Girder상하부에 설치하고, 연속 교의 경우에는 거어더의 단부, 최대 정맞부 모멘트 발생위치, 지간의 1/4지점에 두면되고, 일반거어더는 web 또는 Flange에 부착시키고, Box Girder의 경우에는 거어더의 내부에 설치하는 것이 좋다. 자기식 계측기는 위의 위치에서 철근이나 PSC강재에 설치하면된다. 변형률 측정 게이지는 콘크리트 교량의 경우 콘크리트 타설전에 위와 같은 위치에서 철근이나 PSC강재에 매립게이지를 부착시켜 거푸집 밖으로 빼놓으면 되고 표면에 부착하는 것은 필요에 따라 재하시험 직전에 부착하는 것이 좋다.

나) 설치시기

- 기계식 계측기 : 콘크리트교에서는 거푸집의 탈형직후, 강재 거어더에서는 강재거어더의 제작 직후나 거치직후에 설치한다. 사장교나 현수교도 Deck 부분은 일반 거어더나 Box Girder에 준한다
- 자기식 계측기 : 철근이나 PSC강재 거어더의 배근 직후에 설치 하여야 하고 사장교와 현수교의 주케이블은 조립직후 설치한다.
- 변형률게이지 : 콘크리트 내에 묻히게 되는 철근, PSC강재, 사장교와 현수교의 주케이블에는 배근 직후 콘크리트 타설전 및 케이블의 인장법에 매립게이지로 설치 해야 한다.

다) 측정시기

- 기계식 계측기 : 콘크리트교에서는 거푸집의 탈형 직후부터 강재 거어더는 교각 및 교대위에 거치된 직후부터 슬래브 콘크리트의 타설 직후 및 경화등 응력의 변화가 예상되는 시기, 그리고 일주일 간격으로 4개월간 측정하고 그 이후부터 일년간은 1개월에 1회씩, 1년후부터는 분기별로 측정한다.
- 자기식계측기 : 철근, PSC강재, 주케이블의 배근전, 배근직후 하중이 가해지기전 인장도중, 기타 단계시 그리고 4개월까지는 일주일에 1회씩 그후는 기계식에 준해서 측정한다.
- 변형률 게이지 : 필요에 따라 재하에 의한 응력의 발생결과를 얻고자 할 때 측정한다.☑