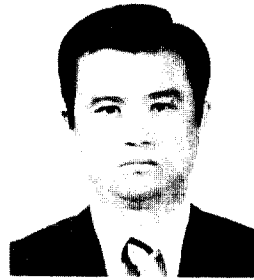


ILM 공법에 의한 프리스트레스트 콘크리트 박스거더 교량의 설계

Design of Prestressed Concrete Box Girder Bridge by Incremental Launching Method

이 광 민*



1. 연속 압출 공법

1.1 연속압출공법의 개요

연속압출공법은 본래 1960년대 초에 서독의 Stuttgart 도시에 있는 Leonhardt & Andra 회사의 Fritz Leonhardt, Willi Baur, Andra 3인에 의하여 개발된 공법으로서 그 후 점차적으로 진진 개발되어 현재에 이르러 채택되고 있으며, 이 공법의 원명은 다음과 같다.

- 독일명: T.S.V (Taktische Verfahren)
- 영어명: I.L.M (Incremental Launching Method)

이 공법은 교량의 상부구조물을 교대 후방에 미리 설치한 제작장에서 1-segment (일반적으로 1 span을 2~3등분)씩 제작하여, 교량의 지간을 통

과할 수 있는 평형 압축력을 포스트 텐션방법에 의거 미리 제작된 상부구조물에 Prestress를 도입시킨 후 교량의 교축방향으로 특수압출장비를 이용하여 밀어내는 공법이다.

이 때 상부구조물을 밀어내는 장치는 다음에 설명하는 바와 같이 여러가지 종류가 있으나, 근본적으로는 상부구조물과 하부구조물의 모든 지지점 사이에서 발생하는 마찰의 차이를 이용한다는 면에서는 공통적이다. 따라서 이 연속압출공법은 마찰계수가 매우 작은 테프론(teflon)판이 개발됨으로써 더욱 용이하여졌다.

즉, 이 공법의 초기에는 교량의 각 경간에 설치되어 있는 동바리 위에다 미끄럼대를 이용하여 소정의 위치까지 압출시켰던 점을 감안하면, 오늘날과 같이 동바리를 세우지 않고 교각의 교좌장치 위에서 직접 밀어낼 수 있게 된 것은 바로 이 테프론판(ptfe sliding pad)의 개발로 인하여 훨씬 더 경제적인 공법으로 이용받게 되었다.

* 성희원, (주)동일기술공사 부사장

1.2 연속압출공법의 특징

1) 기술적인 장점

(1) 제작장은 공장생산이 갖는 모든 장점을 갖는다.

즉, 반복작업으로 수행될 뿐만 아니라 전천후 제작이 가능하다.

(2) 기푸집의 반복되는 가설 및 해체작업으로 인한 시간 낭비가 없고 계곡, 하천, 교통 장애물의 통과 지역에 적합하다.

(3) 연속교로 시공되므로 신축이음장치의 설치 개소가 줄어 차량의 주행성이 양호하다.

2) 경제적인 장점

(1) 동일한 작업 공정의 반복이므로 노무비 절감.

(2) 기푸집 및 가시설물의 재사용과 조립해체 작업이 간편하다.

(3) 일정한 장소에서 철근가공조립 및 긴장작업이 용이하다.

(4) 자재 운반거리가 단축된다.

(5) 콘크리트 품질관리의 우수성

(6) 작업장에 보온설비를 함으로써 외부 기후조건에 상관없이 공사를 진행할 수 있으므로 공기가 단축된다.

(7) 가설 구조물(강재 기푸집, 추진코) 및 장비의 타공사 전용 가능.

(8) 시공중에 안전도가 높고, 현장의 청결성으로 건설공해를 줄일 수 있다.

3) 단 점

(1) 적용 대상교량은 직선구간 혹은 단일원곡선 구간이어야 한다.

(2) 교대 배면에 일정한 작업 공간을 확보할 수 있어야 한다.

(3) 구조물(가설 구조물 포함) 제작시에 엄격한 규격관리가 필요하다. 제작 규격오차가 발생되면 일정량만큼 압출후에는 교정 및 수정이 매우

어려우며 그 비용도 많이 소요된다.

(4) 상부구조물의 단면높이가 일정하여야 하므로, 경간이 긴 교량의 경우에 단면 변화에 의한 재료절감을 기대할 수 없다.

(5) 압출시에 발생하는 모멘트를 지지시키기 위해서 별도의 축방향 Prestressing이 필요하므로 긴장재의 소요량이 많다.

(6) 교장이 짧은 경우 가설구조물(mould, nose) 및 제작장등에 대한 비용의 부담율이 커진다.

1.3 연속압출공법의 종류

1) 압출력 작용방식에 따른 종류

(1) 집중 압출 방식

집중 압출 방식은 다음과 같은 방법이 있다.

① Pulling System;인장보에 의하여 잡아 당기는 방식

② Lifting and Pushing System;수직잭과 추진잭을 이용하여 압출하는 방법이 방법은 다음의 (5)항에서 비교하기로 한다.

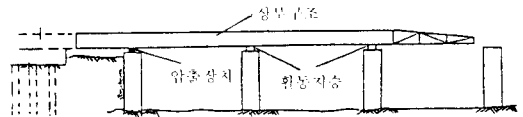


그림 1. 압출에 필요한 전 수평력 작용 위치를 1개소에 설치

(2) 분산 압출 방식

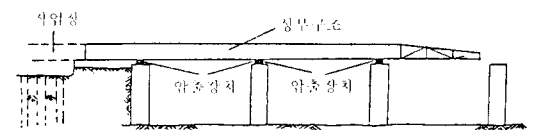


그림 2. 압출에 필요한 전 수평력을 교대나 교각 등 여러개소에 분산설치하여 압출하는 방법

2) 단면력 감소 방식에 따른 종류

단면력감소방식에 따른 방법은 아래그림에서와 같이 5가지 방법으로 나눌 수 있다.

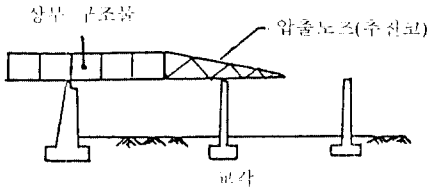


그림 3. Launching Nose에 의한 방법

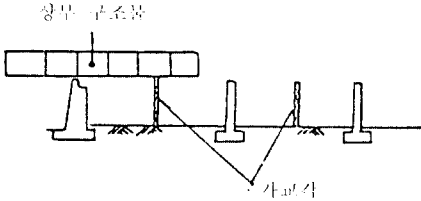


그림 4. 경간 중앙에 판교각을 설치하는 방법

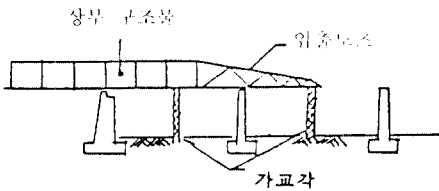


그림 5. 추진코와 판교각을 병용하는 방법

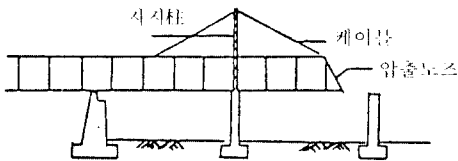


그림 6. 케이블 또는 케이블과 추진코의 병용 방법

(1) 양 방향 압출방법

위의 그림 3~6 방식중 어떤 방법이라든지 시공점 양측에서 교량의 중앙부로 압출하는 방법

2. 연속압출공법의 설계

2.1 설계시 고려사항

1) 교량선형 및 가설위치 계획

(1) 교량의 선형

a) 종단선형; 직선형 또는 동일한 원곡선의 선형일 것.

Mould 고정 설치 제작 단순화

b) 평면선형; 직선 또는 동일 원곡선이여야 함.

(2) 교량의 종단구배

I L M이 저마찰 합성수지를 이용하여 마찰계수를 최소화하는 것이 바람직하므로 교량의 종단구배는 한계성을 가지고 있다.

즉, 상향구배 또는 하향구배가 심한 경우는 구배에 의한 교량의 미끄러짐이 발생하므로 반드시 검토하여야 함.

(3) 교량가설위치 계획

깊은 계곡, 하천, 교통장애물이 있는 지역에 대하여는 타 방법보다 경제적임.

2) 상부 구조물 형식

포스트 텐션 공법에 의한 flat한 구조물 적용

3) 제작상

I L M은 세그먼트 제작장이 고정설치되어 반복가동되므로 Mould의 면적과 제작준비작업이 충분한 면적을 가지고 있는지를 사전 조사하여야 함.

4) 교량의 경제성 검토

I L M의 주요 부대 시설인 Launching Nose, Mould의 가설비가 증액요인이 되므로 전체 공사비에 대한 부담율이 적절한 일반적인 경우 400m 이상에 적용하는 것이 경제적임.

2.2 상부구조설계

1) 상부 구조물의 형상과 형식

(1) 상부구조물 형상

① Constant Depth인 것; Launching 원활성

② 상부구조물단면; Launching시 사중에 의한

±Mmax 지지할 수 있는 강성을 지닐 것

(2) 상부구조물의 형식

① Box Girder Type

- a) 강성이 크고 비틀림에 강하며 긴장재의 배치가 용이하여 가장 바람직한 형식
- b) Box Girder Depth: 일반적으로 최대 경간장의 1/12~1/16

② Double T Type; Box Girder Type 보다 불리함.

2) 경간배치

(1) 경간장 결정: Constant Depth 가 50~60m 이상이어야만 경제적인.

(2) 3-Span의 짧은 교량의 경우

Span의 비율 1:2:1

(3) 연속교의 장대교인 경우

① 양측경간은 표준 중앙경간장의 70%~80% 정도가 경제적

- 가설시 및 가설후의 모멘트 감소

② 중앙경간 1~2개가 특별히 긴 경우

- 임시교각을 설치하여 Launching 후 제거

(4) 초장대교의 경우

교량 중앙부에 신축이음장치 설치하여 2개 교량으로 분할 각각 압출하는 방법 사용

3) Launching시 상부 구조물의 최대 단면력

Launching시 ±Mmax를 감소시키기 위해서 Launching Nose를 교량선단부에 강결시켜 시공.

1 세그먼트씩 압출함으로써 단면이 교대로 정, 부 Moment를 받는다.

그림 7에서와 같이 Launching Nose와 P.C Box Girder 연결부가 교각에 지지될 때 첫 경간에서 최대 정 Moment가 발생하고 그림 8에서와 같이 Launching Nose가 교각에 지지되기 직전에 최대 부 Moment가 발생된다.

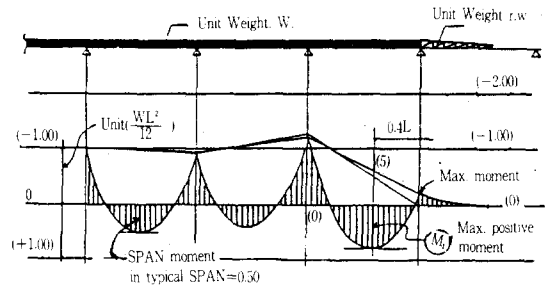


그림 7. 최대 정 모멘트

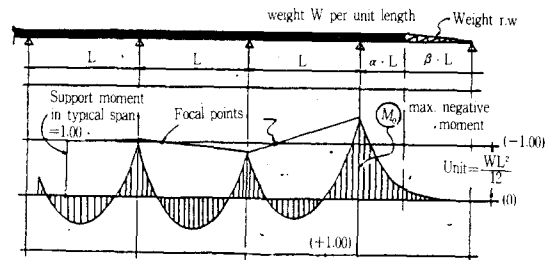


그림 8. 최대 부 모멘트

(3) 집중 하중에 의한 단면력 증가 고려

I L M에서 단면력을 감소시키기 위해 Launching Nose 설치하는 상부구조물과 Nose 연결부에 커다란 Diaphragm을 가설 시공하게 되는데 이 때 이 Diaphragm의 자중이 40~60ton에 이르게 됨.

따라서 이 자중으로 인한 최대 단면력의 증가를 무시 못할 상태이므로 반드시 고려하여 계산하여야 함.

4) Tendon 소요량 및 배치

(1) I L M에서의 긴장재 종류와 역할

a) Central (primary) Tendon; 상부구조물 추진시 자중에 의한 ±Mmax 저항

b) Continuity (secondary) Tendon; Launching 완료후 Service Load에 저항.

(2) Central Tendon

압출 추진시 상부구조는 연속적으로 반복되는 휨 모멘트(정부 모멘트)를 받게 된다.

각 횡단면은 정 모멘트 지역과 부 모멘트 지역을 이동하므로 인장응력을 번갈아 분절(Segment)의 상·하부에 교대로 발생한다. 따라서 압출기간중 Central Prestressing법을 사용하여 인장응력을 허용치까지 감소시키는 것이다.

즉 직선상의 Central Tendon인장시 모든 Box 횡단면은 동일한 압축응력이 전달되며 불규칙한 Span의 배치에 따른 인장응력의 발생을 허용치까지 상쇄시키는 것이다.

(3) Continuity Tendon 계산 방법

Box Girder의 Web측에 배치되는 Continuity Tendon은 압출완료후 활하중 작용이 일어나는 Moment 및 휨에 저항케 된다. Central Tendon의 직선배치와는 달리 모멘트도와 비슷한 포물선 형태로 배치되며 하나의 Tendon에 Stand갯수가 큰 단위가 된다. 교량이 압출완료되기 전까지는 인장력을 가하지 않으며 압출이 완료되면 미리 시공된 중간정착부 및 양단 Box단부에서 강선을 삽입하고 인장을 하게되며 포물선 형태에 따른 각손실 및 마찰손실을 줄이기 위해서 정착부 양쪽에 인장 정착구를 두어 양쪽에서 응력을 주입시킨다.

(4) 교량의 종단곡선에 대한 검토

Mould를 직선으로 설치하여 종단곡선을 압출시 조절할 경우 상부 구조물이 상하 면에 대한 증가 응력을 검토하여야 함.

(5) 압출용 Central Tendon 배치 방법

① 상하부 슬래브에 연속적으로 배치하는 방법

- 직선형태에 텐던을 슬래브 단면내에 Coupler를 이용하여 계속 인장연결하는 방법
- Duct와 Coupler를 배치하기 위해서 소정의 두께가 필요함.
- 긴장재량이 과다하게 소요되나 콘크리트 단면내에서 부재와 합성되어 강성을 높여줌.

② 각 세그먼트마다 Block-out 단면 설치하여 배치하는 방법

- ①항과 같이 단면을 관통하나 노출된 정착단에 고정하므로 Launching 후 긴장재

를 제거 재사용이 가능함.

- 각 세그먼트마다 Blister를 설치하기가 용이치 않음.

③ Final Tendon과 Temparay Tendon을 병용하는 방법

- 긴장재 사용량이 ①, ② 방법보다 약 1/2이 소요되나 Temparay Tendon의 Support와 \pm Moment 통과시마다 역으로 배치된 두 긴장재의 Prestressing량을 조절하기가 곤란하며 정교한 시공이 요구됨.
- Launching 후 Temporary Tendon을 제거후 재사용 가능하나 Final Tendon량이 다소 증가되어져야 함

5) Casting Area의 결정

(1) Precasting Yard의 위치

Launching 진행방향의 교대 후면에 Yard를 설치하므로 충분한 작업공간 확보

(2) Casting Area 세그먼트의 2~3배 요구

- 세그먼트 제작장 및 Lead구간 필요.
- Lead 구간내에서 Prestressing 완료와 콘크리트 강도 증가 효과

(3) Mould 설치

- 세그먼트 길이를 고려 약간 크게 결정.
- 반복 하중에 충분한 강성을 가질 것.

6) Launching Method 선정

(1) Pulling Method

- 압출교대 전면에서 Pulling Jack으로 상부구조물을 잡아 당기는 방법
- Pulling Device를 상부구조물 일부에 삽입시켜야하므로 국부적인 응력 집중현상이 발생하여 콘크리트 강도가 켜져야함.

(2) Lift and Push Method

- 압출교대위에 Lift and Push Jack을 설치하여 상부구조물을 약 1~2cm 정도 들어올려 밀어내는 방법

- Lifting Jack 설치 위치를 상부구조물의 Frame 중심선 하단에 설치하는 것이 바람직함.

7) Launching Nose 또는 Temporary Stays의 설계

(1) Launching Nose의 형상 및 역할

① Nose 역할

- Launching시 상부구조물의 자중에 의한 단면력 감소
- 교량의 Launching direction 유도

② Nose 단면

- Plate Girder 또는 Truss모양의 강재 단면

③ Nose 연결부의 최대 단면적 계산

$$+M_{max} \gg -M_{max}$$

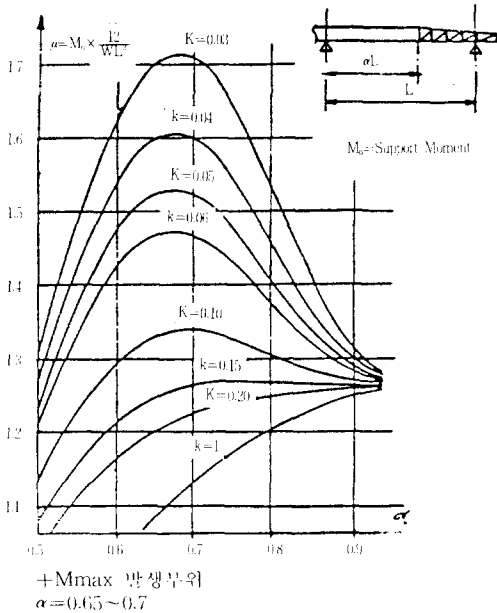


그림9. 지지모멘트의 변화

④ Nose 연결용 강재 해석방법

- 전단면을 유효 단면으로 해석 방법
- 연결용 강재 부착단면만 유효 단면 해석 방법.

⑤ 연결용 강재 종류

- Strand
 - ┌ Multistrand (tendon) 사용법
 - └ 1/0.5" strand 사용법
- 강봉 사용법

(2) Tower and Stays

- 상부구조물 선단부와 교각 지점부를 중심으로 한 소정의 거리에 Tower 또는 Stay를 설치하는 방법
- 재료는 경감되나 위험성 내재
- Launching 단계별 Stressing량 조절 필요

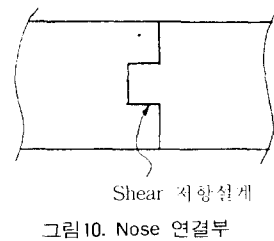
(3) Launching Nose 강성

콘크리트 상부구조물과 Steel Nose의 해석 방법에 있어

$$\text{강성은 } K = \frac{E_s I_s}{E_c I_c} \text{로 해석한다.}$$

(4) Launching Nose의 경제적 깊이는 Long Span의 60~70%

(5) Launching Nose와 상부구조물의 전단 저항 설계



2.3 하부 구조물 설계

1) 압축용 교대

(1) 일반교대와는 달리 Launching시 Pushing Force의 반력에 대한 교대 전면부와 지반반력 증가 고려

(2) Launching Jack Device 설치 설계

2) Pier 설계

(1) Friction Factor 4~8%에 대한 Column 단

면 검토

(2) Launching시 Bearing Capacity Check

(3) 교과장치 설치 및 해체에 따른 Flat Jack 설치 공간에 대한 Copping부 Area설계

3) 세그먼트 제작장의 기초 구조물 설계

(1) 침하 방지 고려

(2) 충분한 작업공간 확보

2.4 부대시설의 설계

1) NOSE /MOULD 설계

(1) 모든 부재는 외력에 충분한 단면일 것.

(2) 특히 교량의 중·평면 선형에 일치하도록 제작 설계 Elevation 관계는 압출시에 Elevation으로 설계

(3) Mould 설계;반복시공용이, 사용중 변형 방지 강구

(4) Mould 강재가 CON'C Foundation 과 일치되어 강결될 수 있도록 설계

(5) Launching시 Mould 길이에 의한 마찰 손실이 가능한한 작게 발생할 수 있는Sliding System설계

(6) Mould의 Sliding Plate Handling이 용이하고 견고하도록 설계

(7) Nose의 양 외측면은 Box 외측면과 일치되어 Lateral Guide와 밀접하도록 할 것.

(8) Nose는 Web 하단부 손상이 많으므로 Lower Flange와 연결되는 Stiffner보강 철저.

(9) Nose용 Lifting Jack을 Deflection량에 충분한 용량선택, Nose선단부의 Jack설치 단면보강 검토

(10) Nose의 Lower flange 하면 & Mould의

모든 중요 부분은 변침 특기 사항과 같이 제작 허용도를 $\pm 1\text{mm/m}$ 로 정밀제작 준수할 것.

(11) Nose의 Web 중심선은 Bridge Bearing 중심선과 일치할 것.

(12) Nose & Mould 현장 조립설치시 검측 철저.

2) LAUNCHING YARD

(1) 세그먼트 길이를 고려하여 충분한 작업공간 확보

(2) 특히 Mould Foundation은 침하가 발생치 않도록 충분한 내력의 경고한 지반일 것. (반복 작용 고려)

(3) Mould와 직접 인접되는 얇은 부재 단면 보강 고려

(4) Embedded Steel Beam 삽입시 철근과의 중복 고려보강

(5) 가교각 설치 위치 고려

콘크리트 강도 및 압출에 따른 Mould와의 재조립이 용이하도록 선정.

3) LAUNCHING JACK

(1) Jack과 Abut의 임시 고정장치 ; 반복하중을 고려하여 충분한 Tendon규격, 강재 (H-beam) 사용 검토

(2) Launching Jack의 평면 위치선정 ; 상부 Box의 Web 중심선 하면과 Jack 외측이 Box의 철근 중심선보다 내측에 설치할 것.

(3) Launching Jack 규격에 따른 설치공간 확보

(4) 교량 선형이 곡선일 경우 Launching Abut에도 강성이 큰 Lateral Guide 추가설치요