

프리플렉스 빔교의 구조안전성 평가 사례 연구

채원규

신구대학 토목과

1. 서론

프리플렉스 빔교는 강형에 프리플렉션 하중을 작용시킨후 하부 플랜지에 콘크리트를 타설하여 콘크리트가 소정의 강도에 도달하였을 때 프리플렉션 하중을 제거함으로써 콘크리트에 프리스트레스를 도입시키는 공법으로 구조적 안전도 평가가 간단하지 아니하다.

본 연구에서는 대상 프리플렉스 빔교에 대해 구조해석을 수행하였으며, 이들 결과를 토대로 프리플렉스 빔교의 구조안전성 평가를 검토하여, 앞으로 수행되는 프리플렉스 빔교의 해석 및 안전성 평가에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 대상구조물 현황

본 연구의 대상구조물은 연장 180m, 교폭 35m인 6경간 교량으로서, 상부구조는 preflex beam 형식, 하부구조는 라멘교각과 반중력식 교대로 되어 있으며, 교량등급은 1등급으로 설계되었다. 대상 교량의 프리플렉스 빔 단면도는 그림 1과 같다.

3. 구조해석

3.1. 개요

본 연구에서는 대상구조물의 구조해석시 필요한 규정 및 제원, 사용재료의 특성은 설계자료 및 시방서에 근거하였고, 고정하중, 활하중 및 프리플렉션 하중에 의한 단면력을 산출하기 위하여 프리플렉스 빔 1개소에 대한 구조해석을 수행하였다. 한편 구조해석 결과를 이용한 응력검토는 프리플렉스 빔 합성후 보에 잔류하는 응력과 고정하중 및 설계 활하중을 고려하여 허용응력설계법으로 해석하였다.

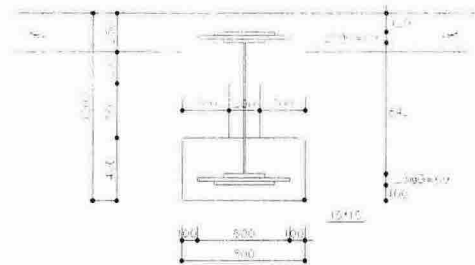


그림 1. 프리플렉스 빔 단면도.

③ 3차선 재하시

$$P_3 = \frac{6P}{(1.8 \times 3 + 1.2 \times 2 + E)} = 0.606P \quad \therefore 0.606 \times 90\% = 0.545P$$

∴ 2차선 선택.

4) 하중 계산

① DB-24

$$P_r = 0.580 \times 9.60 \times (1 + 0.214) = 6.76 \text{ tonf}$$

$$P_f = 0.580 \times 2.40 \times (1 + 0.214) = 1.69 \text{ tonf}$$

② DL-24

$$P_m = 10.80 \times \frac{(1 + 0.214)}{3.0} = 4.37 \text{ tonf} \quad , \quad P_s = 15.60 \times \frac{(1 + 0.214)}{3.0} = 6.313 \text{ tonf}$$

$$W_l = 1.27 \times \frac{(1 + 0.214)}{3.0} = 0.514 \text{ tonf/m}$$

3.3.2. 고정하중

구조해석시 탄성계수비에 의해 강재를 콘크리트로 환산하였으며, 고정하중 계산시 환산단면적을 사용하였다.

3.4. 구조해석 결과

대상 프리플렉스 빔교에 대한 구조해석 결과에 의해 설계하중인 DB-24, DL-24 하중에 의한 휨모멘트와 전단력을 표 1에 나타내었으며, 수직변위는 표 2에 정리하였다.

표 1. 설계하중(DB-24, DL-24 하중)에 의한 구조해석 결과. (휨모멘트와 전단력)

| 단면력 종류 | 부재번호-절점번호 | Load Case | 하중 종류 | 단면력 |
|---|-----------|-----------|-------|------------------|
| Preflexion force | 7-Center | 21 | - | -506.06 tonf · m |
| Dead load | 12-Center | 22 | - | 470.24 tonf · m |
| Span 1 (+M _{MAX}) | 13-Center | 12 | DB-24 | 73.12 tonf · m |
| | | 13 | DL-24 | 66.17 tonf · m |
| Span 2 (+M _{MAX}) | 39-Center | 14 | DB-24 | 70.27 tonf · m |
| | | 15 | DL-24 | 63.63 tonf · m |
| Pier 1 (-M _{MAX}) | 26,27-27 | 14 | DB-24 | -5.88 tonf · m |
| | | 16 | DL-24 | -4.95 tonf · m |
| Abut 1 (R _{MAX} , S _{MAX}) | 1-1 | 17 | DB-24 | 10.75 tonf |
| | | 18 | DL-24 | 10.47 tonf |
| Pier 1 (S _{MAX}) | 26-27 | 14 | DB-24 | 28.49 tonf |
| | | 15 | DL-24 | 27.25 tonf |

표 2. 설계하중(DB-24, DL-24 하중)에 의한 구조해석 결과. (수직변위)

| 단면력 종류 | 부재번호-절점번호 | Load Case | 하중 종류 | 단면력 |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|-------|-----------|
| Preflexion force에 의한 변위 | (Span 1) 13 Node | 21 | - | 53.00 mm |
| | (Span 2) 39, 40 Node | | - | 48.15 mm |
| Dead load에 의한 변위 | (Span 1) 13 Node | 22 | - | -46.74 mm |
| | (Span 2) 39, 40 Node | | - | -42.55 mm |
| Span 1 ($\Delta -\delta_{MAX}$) | 12,13-13 | 12 | DB-24 | -0.92 mm |
| | | 13 | DL-24 | -0.58 mm |
| Span 2 ($\Delta -\delta_{MAX}$) | 38,39-39 | 14 | DB-24 | -0.57 mm |
| | | 15 | DL-24 | -0.26 mm |

4. PREFLEX BEAM의 구조안전성 평가

본 연구에서는 구조해석 결과를 이용하여 대상 교량의 설계하중인 DB-24, DL-24 하중에 의한 설계 휨모멘트, 설계 전단력 및 활하중에 의한 수직변위에 대해 구조 안전성 평가를 수행하였다.

4.1. 휨모멘트에 의한 응력 검토

1) SPAN 1 중앙부(+M_{MAX}) : 인장

$$\sigma_{cL} = \frac{M_u}{I_t} \times y_c = \frac{73.12 \times 10^5}{31650300} \times 72.95 = 16.85 \text{ kg/cm}^2 < 40 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{sL} = n \frac{M_u}{I_t} \times y_s = 8 \times \frac{73.12 \times 10^5}{31650300} \times 62.95 = 116.35 \text{ kg/cm}^2 < 2,520 \text{ kg/cm}^2$$

2) SPAN 1 중앙부(+M_{MAX}) : 압축

$$\sigma_{cU} = \frac{M_u}{I_t} \times y_c = \frac{73.12 \times 10^5}{31650300} \times 47.05 = 10.87 \text{ kg/cm}^2 < 77 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{sU} = n \frac{M_u}{I_t} \times y_s = 8 \times \frac{73.12 \times 10^5}{31650300} \times 35.05 = 64.78 \text{ kg/cm}^2 < 2,520 \text{ kg/cm}^2$$

3) SPAN 2 중앙부(+M_{MAX}) : 인장

$$\sigma_{cT} = \frac{M_u}{I_t} \times y_c = \frac{70.27 \times 10^5}{31650300} \times 72.95 = 16.20 \text{ kg/cm}^2 < 40 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{sT} = n \frac{M_u}{I_t} \times y_s = 8 \times \frac{70.27 \times 10^5}{31650300} \times 62.95 = 111.81 \text{ kg/cm}^2 < 2,520 \text{ kg/cm}^2$$

4.2. 전단력에 의한 응력 검토

1) ABUT 1 전단부(S_{MAX})

$$Q = A \cdot y = 8399 \times 31.93 = 268600 \text{ cm}^3$$

$$\tau = \frac{V_u \cdot Q}{b_o \cdot I_t} = \frac{10.75 \times 10^3 \times 268600}{1.5 \times 31650300} = 60.82 \text{ kg/cm}^2 < 1200 \text{ kg/cm}^2$$

2) PIER 1 전단부(S_{MAX})

$$\tau = \frac{V_u \cdot Q}{b_o \cdot I_t} = \frac{28.49 \times 10^3 \times 268600}{1.5 \times 31650300} = 161.19 \text{ kg/cm}^2 < 1200 \text{ kg/cm}^2$$

4.3 활하중에 의한 수직변위 검토

본 연구에서 수행한 구조해석 결과, preflexion force, 고정하중 및 활하중에 의한 수직변위는 표 3과 같다.

표 3. 활하중에 의한 수직변위.

| Load Case | Span | Preflexion 변위 [mm] | 고정하중 변위 [mm] | 전체 변위 [mm] | 활하중 변위 [mm] |
|-----------|--------|--------------------|--------------|------------|-------------|
| 21 | Span 1 | 53.00 | - | - | - |
| | Span 2 | 48.15 | - | - | - |
| 22 | Span 1 | - | -46.74 | - | - |
| | Span 2 | - | -42.55 | - | - |
| 12 | Span 1 | - | - | -0.9196 | -7.180 |
| 13 | | - | - | -0.5755 | -6.836 |
| 14 | Span 2 | - | - | -0.5657 | -6.166 |
| 15 | | - | - | -0.2598 | -5.860 |

4.4 구조안전성 평가 결과 및 고찰

본 연구에서는 대상 프리플렉스 빔교의 합성후 상태에 대한 구조 해석 검토 결과를 이용하여 설계 하중인 DB-24, DL-24 하중 작용시에 대한 구조안전성을 평가하였다. 활하중에 의한 수직 변위에 대한 안전성 평가 결과는 표 4에 정리하였으며, 휨 응력, 전단 응력에 대한 구조안전성 평가 결과는 표 5에 나타내었다.

표 4. 활하중에 의한 수직 변위에 대한 안전성 평가 결과.

| 활하중에 의한 수직 변위 | | 작용 변위량 [mm] | 설계 기준량 [mm] | 비 고 |
|---------------|--------|-------------|-------------|-----|
| 수직 변위 | Span 1 | 7.180 | 42.0 | O.K |
| | Span 2 | 6.166 | 42.0 | O.K |

표 5. 설계 하중 작용시 휨 응력, 전단 응력에 대한 안전성 평가 결과.

| 응력의 종류 | | 작용 응력 [kg/cm ²] | 허용 응력 [kg/cm ²] | 비 고 |
|--------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|
| 휨응력 | Span 1, 콘크리트 상단(압축) | 10.870 | 77 | O.K |
| | Span 1, 강재 상단(압축) | 64.780 | 2520 | O.K |
| | Span 1, 강재 하단(인장) | 116.350 | 2520 | O.K |
| | Span 1, 콘크리트 하단(인장) | 16.850 | 40 | O.K |
| | Span 2, 콘크리트 상단(압축) | 10.450 | 77 | O.K |
| | Span 2, 강재 상단(압축) | 62.250 | 2520 | O.K |
| | Span 2, 강재 하단(인장) | 111.810 | 2520 | O.K |
| | Span 2, 콘크리트 하단(인장) | 16.200 | 40 | O.K |
| 전단응력 | Abut 1 | 60.820 | 1200 | O.K |
| | Pier 1 | 161.190 | 1200 | O.K |

표 4와 표 5의 대상 프리플렉스 빔교에 대한 구조안전성 평가 결과, 대상 교량의 각 부재는 설계하중인 DB-24, DL-24하중 작용시 모두 허용응력내에 응력이 발생되어 안전한 것으로 평가 되었다. 또한 활하중에 의한 수직변위에 대한 검토에서도 작용변위량이 설계기준 변위량 보다 적게 발생되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 프리플렉스 빔교의 구조안전성 평가를 위하여 대상 프리플렉스 빔교에 대해 설계하중에 대한 구조해석을 수행하였으며, 이들 결과를 토대로 프리플렉스 빔교의 휨응력과 전단응력 및 활하중에 의한 수직변위를 검토하여 앞으로 수행되는 프리플렉스 합성형교의 해석 및 안전성 평가에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

본 연구에서 검토한 대상 프리플렉스 빔교는 당초 설계하중인 DB-24, DL-24 하중에 대한 구조해석 검토 결과에서 프리플렉스 빔의 강재 및 콘크리트의 휨응력과 전단응력은 허용응력내에 존재하였으며, 활하중에 의한 수직 변위도 설계 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 채원규, "콘크리트 교량의 안전 진단에 관한 연구," 1994년도 한국산업안전학회 추계 학술 연구 발표회 논문 초록집, 1994년 11월, pp. 191~198.
2. "교량관리체계개선," 건설교통부, 1995년 5월, pp. 501~510.
3. "콘크리트 표준시방서," 사단법인 대한토목학회, 1996년 6월, pp. 326~332.
4. "도로교 표준시방서," 사단법인 대한토목학회, 1996년 5월, pp. 73~82.
5. Computer & Structures Inc., "SAP 2000 Nonlinear Structural Analysis User Manual", 1999.