

# 강합성교의 구조안전성 평가 사례 연구

채원규

신구대학 토목과

## 1. 서론

강합성교는 강재와 콘크리트와의 합성에 의해 구조부재를 유지하므로 이해 대한 구조안전성 검토는 합성전과 합성후에 대하여 각각 수행되어야 하며 복잡한 절차를 갖고 있다.

본 연구에서는 대상 강합성교에 대해 합성전과 합성후의 구조체에 대하여 구조해석을 수행하였으며, 이들 결과를 토대로 설계하중에 의한 강재 주형의 휨응력과 합성응력을 허용응력설계법으로 검토하였으며, 한편 강재 주형과 슬래브 콘크리트의 설계 휨모멘트를 극한 휨모멘트와 비교함으로써 강도설계법으로도 강합성교의 구조안전성 평가를 고찰하였다. 본 연구에서 수행된 강상형교의 안전성 평가 사례는 앞으로 수행되는 강합성교의 해석 및 구조안전도 평가에 대한 자료로 사용 될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 대상구조물 현황

본 연구의 대상구조물은 연장 256m, 교폭 21m인 3경간 연속 교량으로서, 상부구조는 steel box girder 형식, 하부구조는 다주식 교각과 역T형식 교대로 되어 있으며, 1등급 교량으로 설계되었다. 대상구조물의 단면도는 그림 1과 같다.



그림 1. 대상 강합성교의 단면도.

## 3. 구조해석

### 3.1. 개요

본 연구에서는 해석하고자 하는 구조물의 역학적 거동을 정확히 나타내며 상대적으

로 해석에 필요한 노력을 줄일 수 있도록 격자해석에 기초하여 구조해석을 수행하였으며, 해석 프로그램은 널리 사용되고 있는 범용 구조해석 프로그램인 SAP2000을 사용하였다.

### 3.2. 부재

교축방향의 강재주형의 경우에는 길이방향에 따라 부재두께의 변화가 있었고, 슬래브의 폭이 내측주형과 외측주형에서 다르기 때문에 각기 다른 단면계수가 고려되었으며, 교축직각방향의 거더는 가로보와 슬래브의 횡방향부재로 구성되어 있다.

### 3.3. 재료상수

구조해석에 사용된 재료의 특성치는 도로교 표준시방서 및 원설계도서를 참조하였으며 표 1에 재료상수를 정리하였다.

표 1. 재료의 물리적 성질.

구분		물리적 성질 (kgf/cm <sup>2</sup> )	비고
슬래브	콘크리트 강도	270	설계기준강도
	콘크리트 탄성계수	$2.46 \times 10^9$	
주 형	강재 허용 휨인장응력	1900	SWS 50
	강재 탄성계수	$2.1 \times 10^6$	

### 3.4. 구조해석 결과

#### 1) 고정하중 작용시 부재력

구조해석을 수행한 결과, 합성전 부재의 고정하중에 의한 휨 모멘트도와 전단력도는 각각 그림 2, 그림 3과 같다.



그림 2. 고정하중에 의한 휨모멘트도.

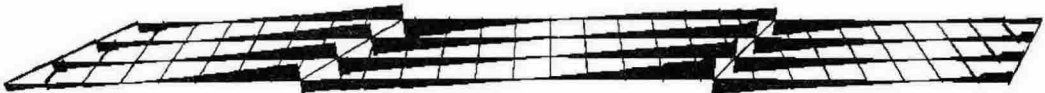


그림 3. 고정하중에 의한 전단력도.

## 2) 설계활하중 작용시 부재력

지간중양부와 지점부에 각각 최대 정모멘트와 최대 부모멘트가 발생하도록 설계 활하중(DB-24, DL-24)을 재하시켜 각 하중경우에 대한 단면력을 산출하였다. 설계 활하중에 의한 휨모멘트도와 전단력도는 각각 그림 4, 그림 5와 같다.



그림 4. 설계 활하중 작용시의 휨모멘트도.



그림 5. 설계 활하중 작용시의 전단력도.

## 4. 허용응력설계법에 의한 구조안전성 평가

### 4.1. 강재의 허용응력

- ① 강재의 허용 휨인장(압축)응력 :  $\sigma_{sa} = 1900 \text{ kgf/cm}^2$
- ② 강재의 항복강도 :  $\sigma_y = 3200 \text{ kgf/cm}^2$
- ③ 강재의 허용 전단응력 :  $\tau_a = 1100 \text{ kgf/cm}^2$

### 4.2. 강재 주형의 휨응력에 대한 검토

본 연구에서는 설계하중에 의한 강재 주형의 휨응력을 산출하여 허용응력과 비교하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. 설계하중에 의한 강재 주형의 휨응력 검토.

휨응력 검토 위치		고정하중 응력 [kgf/cm <sup>2</sup> ]		활하중 응력 [kgf/cm <sup>2</sup> ]		총 응력 [kgf/cm <sup>2</sup> ]		안전성 평가
		상연	하연	상연	하연	상연	하연	
외측지간	외측거더	-452	540	-52	257	-504	797	O.K
	내측거더	-408	464	-41	225	-449	689	O.K
교각부	외측거더	1165	-1209	282	-339	1447	-1548	O.K
	내측거더	1012	-1040	239	-292	1251	-1332	O.K
내측지간	외측거더	-555	650	-57	236	-612	886	O.K
	내측거더	-537	610	-45	207	-582	817	O.K

#### 4.3. 강재 주형의 합성응력에 대한 검토

본 연구에서는 설계하중에 의한 강재 주형의 휨응력과 전단응력을 조합한 합성응력에 대하여 안전성을 평가하였으며, 그 결과를 정리하여 표 3에 나타내었다.

표 3. 설계하중에 의한 강상형의 합성응력 검토.

합성응력 검토 위치		휨응력 $\sigma$ [kg/cm <sup>2</sup> ]		전단응력 $\tau$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	합성응력 검토 $(\sigma/\sigma_{sa})^2 + (\tau/\tau_a)^2$		안전성 평가
		상연	하연		상연	하연	
외측지간	외측거더	-504	797	60	0.07	0.18	O.K
	내측거더	-449	689	82	0.06	0.14	O.K
교각부	외측거더	1447	-1548	705	0.99	1.07	O.K
	내측거더	1251	-1332	589	0.72	0.78	O.K
내측지간	외측거더	-612	886	50	0.11	0.22	O.K
	내측거더	-582	817	19	0.09	0.19	O.K

#### 4.4. 허용응력설계법에 의한 검토 결과

표 2와 표 3의 대상 강합성교에 대한 허용응력설계법에 의한 구조안전성 평가 결과 대상 교량의 각 부재는 설계하중인 DB-24, DL-24하중 작용시 모든 부재에서 허용응력 내에 응력이 발생되어 안전한 것으로 평가 되었다.

### 5. 강도설계법에 의한 구조안전성 평가

#### 5.1. 강재 주형에 대한 설계강도 검토

1) 내측지간의 공칭휨강도 (외측거더)

$$M_d = \phi \times \sigma_y \times \frac{I}{y} = 0.85 \times 32000 \times \frac{0.195808}{1.683} = 3164.6 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 1.3 \times 535.2 + 2.15 \times 298.7 = 1338.0 \text{ tonf} \cdot \text{m} \quad \therefore M_d > M_u$$

2) 내측지간의 공칭휨강도 (내측거더)

$$M_d = \phi \times \sigma_y \times \frac{I}{y} = 0.85 \times 32000 \times \frac{0.200031}{1.711} = 3179.9 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 1.3 \times 453.8 + 2.15 \times 263.6 = 1156.7 \text{ tonf} \cdot \text{m} \quad \therefore M_d > M_u$$

3) 교각부의 공칭휨강도 (외측거더)

$$M_d = \phi \times \sigma_y \times \frac{I}{y} = 0.85 \times 32000 \times \frac{0.141894}{0.927} = 4163.4 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 1.3 \times 1491.7 + 2.15 \times 432.0 = 2868.0 \text{ tonf} \cdot \text{m} \quad \therefore M_d > M_u$$

4) 교각부의 공칭휨강도 (내측거더)

$$M_d = \phi \times \sigma_y \times \frac{I}{y} = 0.85 \times 32000 \times \frac{0.143170}{0.920} = 4232.9 \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 1.3 \times 1280.5 + 2.15 \times 372.7 = 2466.0 \text{tonf} \cdot \text{m} \quad \therefore M_d > M_u$$

5) 내측지간의 공칭휨강도 (외측거더)

$$M_d = \phi \times \sigma_y \times \frac{I}{y} = 0.85 \times 32000 \times \frac{0.227043}{1.639} = 3767.9 \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 1.3 \times 783.2 + 2.15 \times 327.0 = 1721.2 \text{tonf} \cdot \text{m} \quad \therefore M_d > M_u$$

6) 내측지간의 공칭휨강도 (내측거더)

$$M_d = \phi \times \sigma_y \times \frac{I}{y} = 0.85 \times 32000 \times \frac{0.232073}{1.667} = 3786.7 \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 1.3 \times 729.2 + 2.15 \times 288.6 = 1568.5 \text{tonf} \cdot \text{m} \quad \therefore M_d > M_u$$

## 5.2. 콘크리트 슬래브에 대한 설계강도 검토

1) 슬래브 콘크리트의 공칭휨강도

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 f_{ck} \times b} = \frac{19.1 \times 3000}{0.85 \times 270 \times 100} = 2.497 \text{cm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 10.745 \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$\therefore M_d = \phi \times M_n = 0.85 \times 10.745 = 9.133 \text{tonf} \cdot \text{m}$$

2) 고정하중에 의한 휨모멘트

$$w_d = (0.25 \times 2.5) + (0.05 \times 2.3) = 0.740 \text{tonf/m}$$

$$M_d = \frac{1}{10} \times 0.740 \times 3.0^2 = 0.666 \text{tonf} \cdot \text{m}$$

3) 활하중에 의한 휨모멘트

$$M_l = 0.8 \times \frac{(3.0 + 0.6)}{9.6} \times 9.6 \times (1 + 0.3) = 0.8 \times 4.680 \text{tonf} \cdot \text{m} = 3.744 \text{tonf} \cdot \text{m}$$

4) 슬래브 콘크리트의 극한강도

$$M_u = 1.3 \times 0.666 + 2.15 \times 3.744 = 8.915 \text{tonf} \cdot \text{m}$$

5) 안전성 검토

$$\therefore M_d = 9.133 \text{tonf} \cdot \text{m} > M_u = 8.915 \text{tonf} \cdot \text{m}$$

### 5.3. 강도설계법에 의한 검토 결과

강도설계법에 의한 안전성평가 결과를 정리하면 표 4와 같다.

표 4. 강도설계법에 의한 안전성 평가.

설계강도 검토 위치		설계강도 Md [tonf · m]	극한강도 Mu [tonf · m]	안전성 평가	
강재 주형	외측지간	외측거더	3164.6	1338.0	O.K
		내측거더	3179.9	1156.7	O.K
	교각부	외측거더	4163.4	2868.0	O.K
		내측거더	4232.9	2466.0	O.K
	내측지간	외측거더	3767.9	1721.2	O.K
		내측거더	3786.7	1568.5	O.K
콘크리트	슬래브	9.1	8.9	O.K	

본 연구에서 수행한 대상 강합성교의 강도설계법에 의한 구조안전성 평가 결과, 표 4에서 알 수 있듯이 대상 교량의 강재 주형에 대한 설계강도는 극한강도를 상회하고 있어서 구조적으로 안전성을 확보하고 있으며, 또한 슬래브 콘크리트의 설계강도도 극한강도보다 크게 나타나 마찬가지로 안전성을 확보하고 있는 것으로 사료된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 강합성교의 구조 안전성을 평가하기 위하여 대상 교량에 대한 구조해석을 수행하였으며, 그 결과를 이용하여 허용응력설계법과 강도설계법으로 각 부재의 안전성을 각각 평가하였다.

본 연구에서 안전성을 평가한 대상 강합성교는 허용응력설계법에 의한 구조안전성 평가 결과 설계하중 작용시 모든 부재의 거동이 허용응력내에서 이루어졌으며, 강도설계법에 의한 구조안전성 평가 결과에서도 대상 교량의 강재 주형과 슬래브 콘크리트 부재에 대한 설계강도는 극한강도를 상회하고 있어서 구조적으로 각각 안전성을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 채 원규, "철근콘크리트 T형교의 안전진단에 관한 연구," 한국산업안전학회 논문집 제 10권 제 1호, 1995년 3월, pp. 50~55.
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. 92~96.