

GFRP로 보강된 교량구조물의 구조안전성 평가 사례 연구

은총기·채원규·손영현*·홍성욱**·김광일***

신구대학 토목과 · *(주)CSM엔지니어링 · **한림정보산업대학 토목과 · ***한양대학교 토목과

1. 서론

최근 차량하중의 대형화에 의해 교량구조물은 사용년수가 증가함에 따라 노후손상에 의해 당초의 설계능력을 발휘하지 못하는 경우가 종종 있으며, 이에 대해 교량구조물의 내하력을 증강시키기 위하여 여러 가지 보수 보강 공법들이 사용되고 있다. 특히 재료의 내부식성, 친환경성 등을 고려하여 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic)에 의한 보강이 점차 증가하는 추세에 있으나, 아직까지 기존 철근콘크리트 부재와 보강되는 GFRP 부재의 합성에 의한 해석기술에 대한 연구가 많지 않은 실정이다.

이에 본 연구에서는 철근콘크리트 부재에 GFRP가 보강된 부재의 설계강도 계산 방법을 제시하였으며, 아울러 구조부재의 보강전과 보강후의 안전도를 검토할 수 있는 프로그램을 도출하였다.

한편 도로구조물의 보수·보강 공법 적용을 위한 보강 전후의 구조해석의 흐름도를 제시하면 다음과 같다.

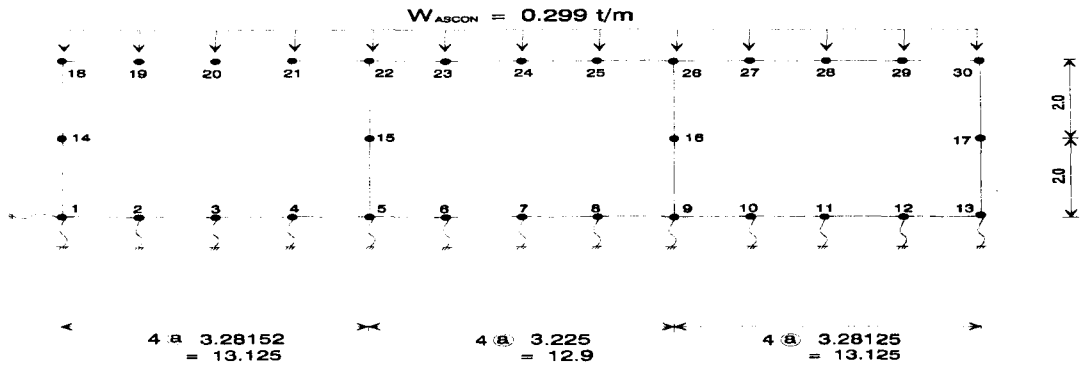


<그림. 1> 도로교의 보수·보강 전후의 구조검토 흐름도

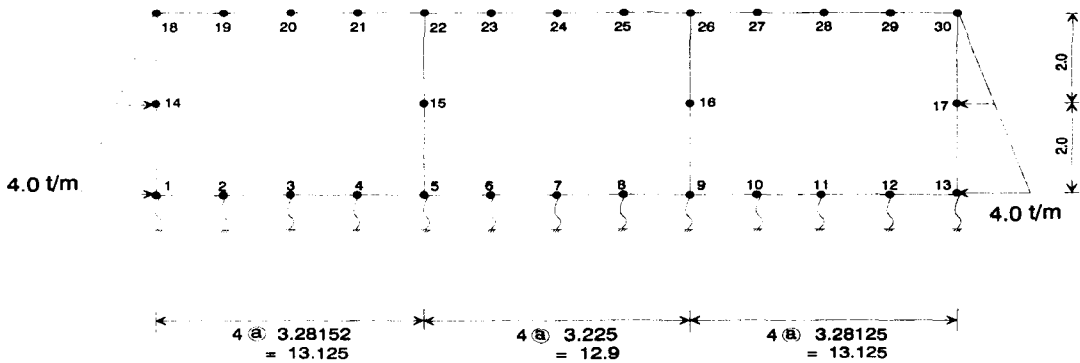
2. 교량구조물의 구조해석 예

2. 1. 모델링 및 하중 재하

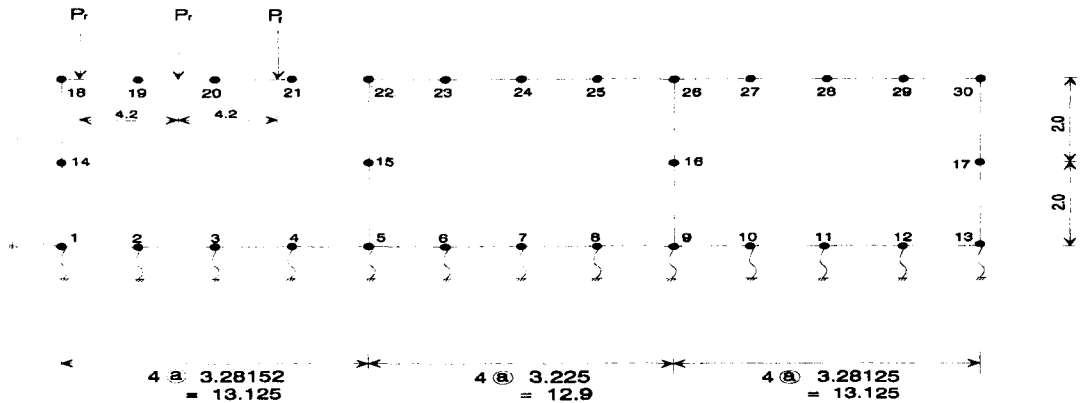
(1) Load Case 1 (고정하중 : 자중 + ASCON 하중)



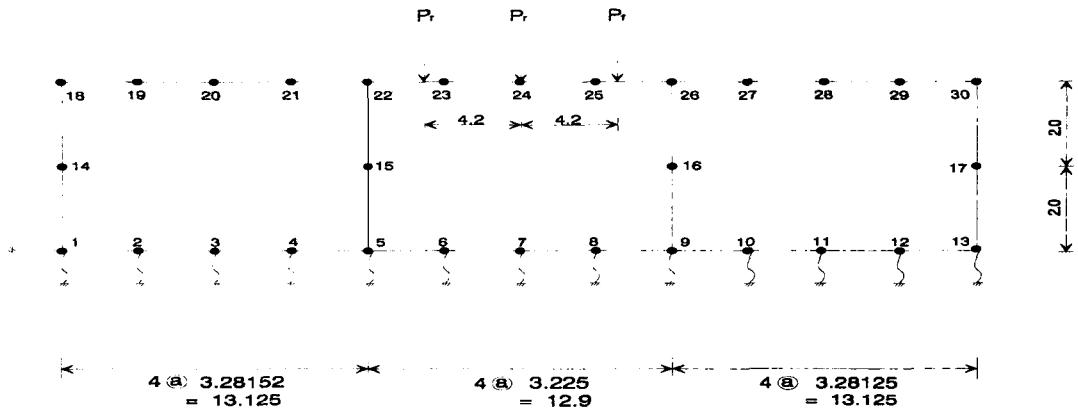
(2) Load Case 2 (횡토압)



(3) Load Case 3 (활하중 : SPAN 1 + Mmax) (DB-18)



(4) Load Case 4 (활하중 : SPAN 2 + Mmax) (DB-18)



2. 2. 하중조합

본 연구에서 구조해석시 사용한 하중조합 경우는 다음의 <표. 1>과 같다.

<표. 1> 하중조합.

하중조합 경우 번호	고정하중 (L.C 1)	횡도압 (L.C 2)	활하중 (L.C 1~5)
Load Combination 1	1.3 × L.C 1	1.70 × L.C 2	2.15 × L.C 3
Load Combination 2	1.3 × L.C 1	1.70 × L.C 2	2.15 × L.C 4
Load Combination 3	1.3 × L.C 1	1.70 × L.C 2	2.15 × L.C 5
Load Combination 4	1.3 × L.C 1	0.85 × L.C 2	2.15 × L.C 3
Load Combination 5	1.3 × L.C 1	0.85 × L.C 2	2.15 × L.C 4
Load Combination 6	1.3 × L.C 1	0.85 × L.C 2	2.15 × L.C 5

2. 3. 구조해석에 의한 단면력 집계 및 안전성 검토 결과

구조해석 결과에 의한 대상 교량구조물의 단면력 중 최대 휨 모멘트에 대한 결과를 정리하면 <표. 2>의 극한강도(Mu)와 같다. 한편 <표. 2>에는 각 구조부재의 보강전 설계강도(Md)를 계산하여 Mu와 비교하여 안전성 검토 결과를 나타내었으며, 이 결과 상부 슬래브와 교대, 교각 일부 부재에서 극한강도가 설계강도를 초과하여 구조적으로 불안전하며, 보수 보강을 필요로 하고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 이들 부재에 대하여 GFRP로 보강하여 보강후에 안전성을 확보할 수 있도록 하고자 한다.

<표. 2> 보강전 대상 교량구조물의 단면력 및 안전성 검토 결과

구조부재 종류	부재 위치 (모멘트유형)	하중조합	Mu [t · m]	Md [t · m]	안전성검토	비고
상부 슬래브	SPAN 1 (+M)	4	36.44	45.17	O. K	
	SPAN 2 (+M)	2	60.66	45.17	N. G	보수 보강 필요
	PIER 1 (-M)	5	57.73	63.37	O. K	
	ABUT 1 (-M)	1	48.55	63.37	O. K	
하부 슬래브	SPAN 1 (+M)	4	34.88	45.17	O. K	
	SPAN 2 (+M)	2, 5	12.22	45.17	O. K	
	PIER 1 (-M)	1	60.61	63.27	O. K	
	ABUT 1 (-M)	6	43.11	63.27	O. K	
벽체	ABUT (+M)	4	85.20	77.93	N. G	보수 보강 필요
	ABUT (-M)	1	70.61	96.13	O. K	
	PIER (+M)	4	40.07	34.25	N. G	보수 보강 필요
	PIER (-M)	2	18.40	39.71	O. K	

3. GFRP로 보강된 교량구조물의 구조안전성 검토

본 연구에서는 대상 교량구조물의 상부슬래브와 교대, 교각에 GFRP를 보강하고 보강효과에 대하여 고찰하기 위해, GFRP로 보강된 교량구조물의 구조부재에 대해 구조 안전성을 검토하였다. 아울러 본 연구에서는 기존 철근콘크리트 부재와 보강된 GFRP 부재의 합성구조체의 설계강도 해석 방법을 제시하였다

3. 1. GFRP로 보강된 구조부재의 설계강도 산정 방법 제시

(1) 보강된 GFRP의 면적 A_g 와 유효높이 d_g 및 GFRP의 철근에 대한 탄성계수비 n_g 는 각각 다음과 같다.

$$A_g = b \cdot t_g \quad d_g = h + \frac{t_g}{2} \quad n_g = \frac{E_g}{E_s}$$

여기서 b 는 보의 폭, h 는 보의 높이, t_g 는 보강된 GFRP의 두께, E_g 는 GFRP의 탄성계수, E_s 는 철근의 탄성계수이다.

(2) 철근콘크리트와 GFRP 합성체의 유효높이 d_{com} 및 철근비 p_{com} 는 다음과 같다.

$$d_{com} = \frac{A_s \cdot d_s + A_g \cdot n_g \cdot d_g}{A_s + A_g \cdot n_g} \quad p_{com} = \frac{A_s + A_g \cdot n_g}{b \cdot d}$$

(3) 철근콘크리트와 GFRP 합성체의 철근비와 단철근보의 최대철근비의 비교

$$p_{max} = 0.75p_b = 0.75 \times \left[0.85 \cdot \beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \times \frac{6000}{6000 + f_y} \right]$$

① $d_{com} \leq d_{max}$: 단철근보로 해석, ② $d_{com} > d_{max}$: 복철근보로 해석

(4) 철근콘크리트와 GFRP 합성체의 등가 직사각형의 깊이 a_{com} 및 설계 휨 모멘트 Md_{com} 산정

$$a_{com} = \frac{(A_s \cdot f_y + A_g \cdot f_{yg})}{0.85 f_{ck} \cdot b}$$

$$Md_{com} = \phi \cdot Mn_{com} = \phi \cdot [A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a_{com}}{2}) + A_g \cdot f_{yg} \cdot (d_g - \frac{a_{com}}{2})]$$

(5) 보강후 구조물의 안전성검토

① $Mu \leq Md_{com}$: 안전, ② $Mu > Md_{com}$: 불안전

3. 2. GFRP로 보강된 구조부재의 구조안전성 검토

본 연구에서는 <표. 2>의 보강전 구조해석 및 안전성 검토결과 문제점이 있는 슬래브와 교각 및 교대에 대하여 GFRP 로 보강한후 안전성 검토를 다시 수행하였으며, 그 결과는 <표. 3>과 같다.

<표. 3> GFRP로 보강된 구조부재의 구조안전성 검토 예.

	단위	상부슬래브 (GFRP t=1cm)	교각 (GFRP t=0.3cm)	교대 (GFRP t=0.5cm)
b	cm	100.0	100.0	100.0
d	cm	45.0	75.0	35.0
As	cm ²	42.826	42.826	42.826
Mu	tonf · m	60.660	85.200	40.070
p		0.009517	0.005710	0.012236
pmin		0.004667	0.004667	0.004667
pmax		0.025047	0.025047	0.025047
a	cm	7.267	7.267	7.267
Md	tonf · m	45.175	77.937	34.254
안전성 검토 I		Mu > Md ∴ NG	Mu > Md ∴ NG	Mu > Md ∴ NG
tg	cm	1.0	0.3	0.5
Ag	cm ²	100.0	30.0	50.0
dg	cm	50.0	80.0	40.0
dcom	cm	45.191	75.059	35.097
pcom		0.009853	0.005774	0.012444
acom	cm	11.215	8.451	9.241
Mdcom	tonf · m	69.357	90.777	43.672
안전성 검토 II		Mu < Mdcom ∴ OK	Mu < Mdcom ∴ OK	Mu < Mdcom ∴ OK

[참고] 콘크리트의 설계기준강도 $f_{ck} = 208\text{kgf/cm}^2$, 철근의 항복강도 $f_y = 3000\text{kgf/cm}^2$, GFRP의 탄성계수 $E_g = 34000\text{kgf/cm}^2$, GFRP의 항복강도 $f_{yg} = 698\text{kgf/cm}^2$ 이다.

3. 3. GFRP로 보강된 구조부재의 안전성 검토 결과

당초 구조해석 결과에서 불안전하게 검토되었던 상부 슬래브와 교대, 교각 일부 부재에 GFRP를 보강후의 구조안전성 검토 결과는 <표. 4>에 나타내었다.

한편 <표. 4>의 구조안전성 검토시 극한강도 M_u 와 비교되었던 철근콘크리트 부재와 GFRP 부재의 복합체에 대한 설계강도($M_{d,com}$)는 본 연구에서 제안한 해석기법에 의해 산정된 결과이다.

<표. 4> GFRP로 보강된 교량구조물 부재의 안전성 검토 결과

구조부재 종류	보강전			보강후			비고
	M_u [t · m]	M_d [t · m]	안전성 검토	M_u [t · m]	$M_{d,com}$ [t · m]	안전성 검토	
상부슬래브	60.66	45.17	N.G	60.66	63.36	O.K	GFRP t=1.0 cm 보강
ABUT	85.20	77.93	N.G	85.20	90.78	O.K	GFRP t=0.3 cm 보강
PIER	40.07	34.25	N.G	40.07	43.67	O.K	GFRP t=0.5 cm 보강

4. 결 론

본 연구에서는 철근콘크리트 부재에 GFRP가 보강된 부재의 설계강도를 계산 방법을 제시하였으며, 아울러 구조부재의 보강전과 보강후의 안전도를 검토할 수 있는 프로그램을 도출하였다.

한편 본 연구에서는 본 연구에서 도출된 프로그램을 이용하여 대상 교량구조물의 구조 부재에 대한 GFRP의 보강 효과를 검토하였으며, 이 결과 내하력이 부족한 교량구조부재의 보수보강 설계에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 건설교통부, "콘크리트표준시방서", 1999, pp.29~30.
2. 건설교통부, "도로교표준시방서", 1996, pp.631~633.
3. 건설교통부, "콘크리트구조설계기준", 1999, pp.38~40.
4. Computer & Structures Inc., "SAP 2000 Nonlinear Structural Analysis User Manual", 1999.
5. 건설교통부, "도로교표준시방서", 1996, pp.25~28.
6. 건설교통부, "콘크리트구조설계기준", 1999, pp.41~44.