

PSC보 교량의 단면계수 산정과 해석기법에 관한 연구

A Study on the Estimation of Section Property and Analysis Technique of the PSC Bridges

○김광수* 박선규** 김형렬*** 이인원****

1. 서론

도로의 주요 시설물인 교량은 시간이 경과함에 따라 교통환경변화 등 여러 원인에 의해서 손상을 받게 되고 구조적 기능이 약화되기 때문에 건설 후 적절한 보수·보강을 하여 수명을 연장하고 안전성과 사용성을 확보하여야 한다. 우리나라 전체 교량형식중 약 10%를 차지하는 PSC보 교량의 보강공법으로는 외부 후긴장 공법(External Post-tensioning Method)이 보편적으로 사용되고 있으나 이 공법의 보강효과를 검증할 수 있는 해석방법에 관련된 연구는 미비한 실정이다.

기존의 해석방법에서는 PSC보의 단면계수를 구하기 위하여 RC보의 유효환산단면 2차모멘트를 사용하고 보와 가로보 또는 격벽을 2차원 격자(Grillage)로 모델링하여 유한 요소법으로 해석하고 있다. 그러나 RC보의 유효환산단면 2차모멘트는 내하력이 감소된 PSC보의 단면성질을 제대로 반영하지 못하고 있고 격자해석법은 간편한 해석방법이지만 유한요소 모델링에서 보와 가로보 또는 격벽의 중립축의 변화를 고려할 수 없는 단점이 있다. 따라서 PSC보 교량의 보다 나은 휨 내하력 산정을 위해서는 균열이 발생한 PSC보의 단면 2차 모멘트를 보다 정확하게 산정하고 기존 격자해석법의 문제점을 보완한 모델링 기법의 적용이 필요하다.

본 논문에서는 PSC보의 모형체에 대한 실험결과와 기존의 격자해석법(Grillage Analysis Method)의 문제점을 보완한 중립축 격자 해석법(Down-Stand Analysis Method)을 사용하여 외부 후긴장 공법으로 보강된 PSC보 교량의 내하력을 보다 정확하게 산정할 수 있는 해석방법을 제안하였다. PSC보 모형체에 대한 실험에서는 보강전과 보강후의 보 거동을 분석하여 PSC보의 내하력 산정에 적용할 수 있는 유효환산단면 2차모멘트를 제안하였다. 또한, PSC보 교량의 격자모델링 기법에 있어서 2차원 격자해석법의 문제점을 보완하기 위하여 3차원 거동을 고려할 수 있는 중립축 격자 해석법을 적용하였다.

2. PSC보 교량의 해석기법

2.1 유효환산단면 2차모멘트

본 연구에서는 균열이 발생한 PSC보의 단면 2차모멘트를 구하기 위하여 다음의 3가지 유효단면 2차모멘트 산정공식((1),(2),(3))을 사용하여 보의 거동을 해석하였고 그 결과를 보의 모형체에 대한 실험 결과와 비교 분석하였다.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_u} \right)^3 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_u} \right)^3 \right] I_g \leq I_g \quad (1)$$

$$(I_e)_{1.2} = \left(\frac{M_{cr}}{M_{1.2}} \right)^4 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{1.2}} \right)^4 \right] I_g \leq I_g \quad (2)$$

* 정회원, 성균관대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 성균관대학교 공과대학 토목공학과 조교수

*** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

**** 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 교수

$$I_c = \frac{I_{cra}}{1 - \frac{M_{cr}}{M_u} \left(1 - \frac{I_{cra}}{I_x}\right)} \quad (3)$$

2.2 기존 PSC보 교량의 모델링 방법

2차원 평면격자해석은 교량의 보와 가로보 또는 격벽을 격자로 연결하여 교량의 상부 구조 거동을 간략하게 해석할 수 있는 해석방법이다. 이 방법에서는 일반적으로 1차원 뼈대요소를 사용한다. 그림 1에 나타난 것과 같은 보, 가로보와 바닥판으로 구성된 상부 구조의 일부분에 대한 평형방정식((4),(5),(6))은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta S_x + \Delta S_y = -W \Delta x \Delta y \quad (4)$$

$$\Delta M_x + \Delta T_y = S_x \Delta x \quad (5)$$

$$\Delta M_y + \Delta T_x = S_y \Delta y \quad (6)$$

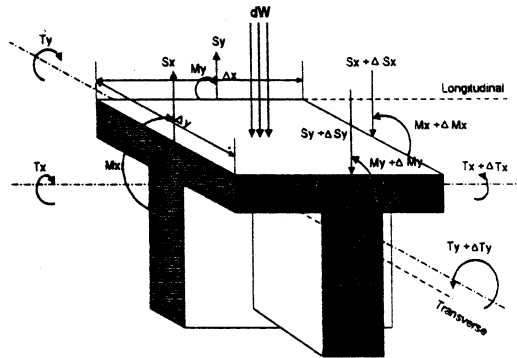


그림 1 가로보가 있는 Beam

여기서 두방향의 토크(torque) T는 서로 같지 않은 값이며, 두방향의 비틀림과 강성의 차이에 따라서 다르게 나타난다. 일반적으로 종방향과 횡방향의 구조부재의 강성은 종방향의 강성은 종방향부재로 표현되며 횡방향의 강성은 슬래브의 강성으로 나타낸다.

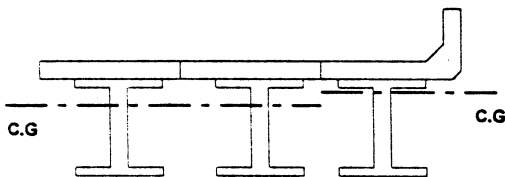


그림 2 C.G가 일치하지 않는 종방향부재

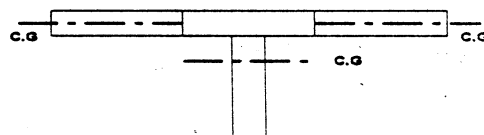


그림 3 C.G가 일치하지 않는 횡방향 부재

PSC보 교량에서는 그림 2에 나타난 것과 같이 내측보와 외측보의 중립축의 위치는 다를 수 있고 그림 3에 나타난 것과 같이 횡방향 부재와 바닥판의 중립축의 위치가 다를 수 있다. 그러나 2차원 격자 해석에서는 모든 부재의 중립축이 격자절점에서 일치하여야 하기 때문에 각 부재의 중립축의 변화를 해석에 고려할 수 없으며 뒤틀림(warping)이나 뒤틀림을 시각적으로 볼 수 없는 단점이 있다.

2.3 3차원 중립축격자해석모델

3차원 중립축 격자 해석기법에서는 그림 2와 3에 나타난 것과 같이 중립축이 서로 다른 부재들로 구성되는 교량을 격자모델로 구성하기 위하여 그림 4와 같이 각 부재의 중립축에 있는 절점 사이를 횡강성이 무한대에 가까운 가상의 핀부재로 연결한다. 각 부재의 하중과 변위는 가상의 핀부재를 통하여 전

단된다. 따라서 3차원 중립축 격자 해석기법은 평면격자모델에 비하여 교량의 실제적인 거동을 보다 정확하게 고려할 수 있는 해석기법이다.

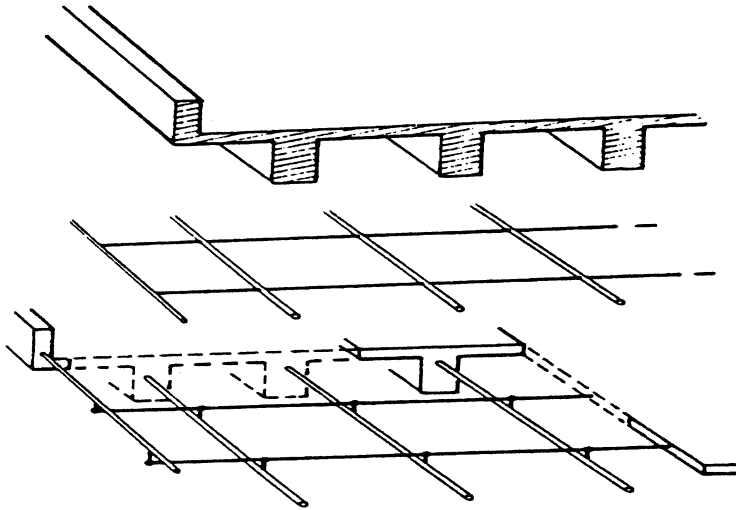


그림 4 모델기법의 차이

3. 해석에 및 결과

본 논문에서는 보강되지 않은 PSC보 교량과 외부 후긴장된 PSC보 교량을 2차원 격자해석법과 3차원 격자 해석법으로 각각 모델링하여 그 결과를 비교 분석하였다. 또한 균열이 발생한 PSC보의 휨강성을 보다 정확하게 산정할 수 있도록 기존의 3가지 단면 2차모멘트 공식을 적용하여 해석하였고 그 결과를 보 모형체에 대한 실험결과와 비교하여 PSC보에 적합한 공식을 제시하였다. 해석예제는 실제 PSC보 교량으로 선정하였고 두가지 해석기법에 따라서 모델링한 유한 요소 모델은 그림 5와 6에 각각 나타내었다.

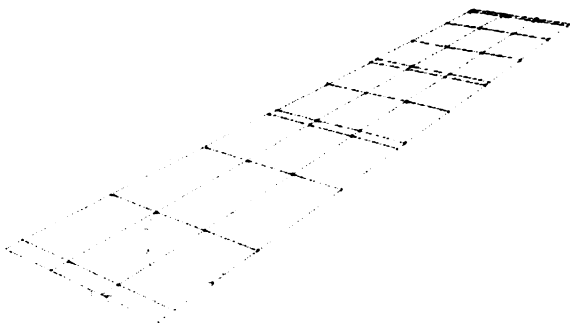


그림 5 평면격자모델(Plane Grillage Model)

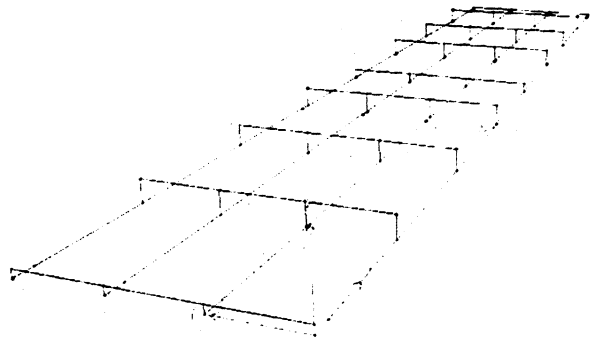


그림6 중립축격자모델(Down-Stand Grillage Model)

표 1 3차원 중립축 격자 해석결과

구분		LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6
(1) 식	G1	-6.12	-8.46	-5.44	-3.58	-4.88	-3.16
	G2	-4.49	-6.18	-3.98	-3.67	-5.02	-3.24
(2) 식	G1	-6.21	-8.60	-5.52	-3.65	-4.97	-3.22
	G2	-4.57	-6.28	-4.05	-3.74	-5.11	-3.30
(3) 식	G1	-6.07	-8.39	-5.39	-3.55	-4.83	-3.13
	G2	-4.46	-6.12	-3.95	-3.64	-4.97	-3.21

보강 후 처짐량 비교

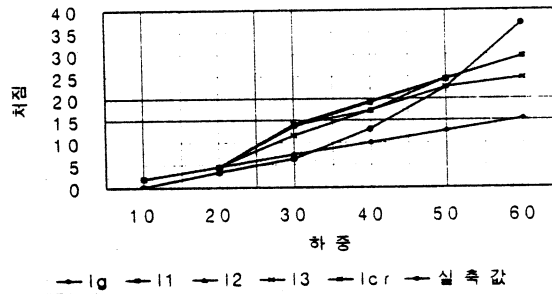


그림 7 보강되지 않은 PSC보의 거동

표 2 2차원 격자 해석 결과

구분		LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6
(1) 식	G1	-7.56	-10.37	-6.66	-4.21	-5.74	-3.71
	G2	-5.38	-7.36	-4.74	-4.29	-5.86	-3.78
(2) 식	G1	-7.98	-10.95	-7.03	-4.49	-6.13	-3.97
	G2	-5.71	-7.82	-5.03	-4.58	-6.25	-4.04
(3) 식	G1	-7.29	-10.01	-6.43	-4.04	-5.51	-3.56
	G2	-5.17	-7.08	-4.56	-4.12	-5.63	-3.63

표 3 보 모형체의 단면 2차모멘트

하중	I_g	(1)식	(2)식	(3)식	I_{cr}	실측값
10	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	0.20
20	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	3.40
30	7.32	13.51	13.91	11.62	14.16	6.30
40	9.98	19.10	17.25	17.20	19.31	13.20
50	12.64	24.34	14.43	22.53	24.45	22.40
60	15.30	29.53	29.58	24.58	29.59	37.00

4. 결론

본 논문에서는 PSC보 교량의 내하력을 보다 정확하게 산정할 수 있는 해석방법을 연구하였고 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. PSC보의 모형체에 대한 실험결과와 기존의 단면 2차모멘트 산정공식에 의한 결과를 비교분석한 결과 식 (3)에 의한 보의 거동해석 결과가 실험결과와 가장 잘 일치하였다. PSC보 교량에 대한 기존의 두가지 격자해석기법을 사용하여 그 결과를 비교한 결과 3차원 중립축 격자모델의 결과가 2차원 평면격자모델의 결과 보다 실측 결과에 근접하였다. 또한 외부 후긴장공법으로 보강한 PSC보에 대해서도 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] 건설교통부 제정 도로교표준시방서 1996.
- [2] Dan E. Branson and Heinrich Trost (1982), "Application of the I-effective Method in Calculating Deflections of Partially Prestressed Members" PCI vol.27, no5, sep./cot.
- [3] Muhamed H. Harajili and Ali S. Alamed, (1989) "Deflection of Progressively Cracking Partially Prestressed Concrete Flexural Members" PCI vol.34, no3 may/june
- [4] E.C. Hambly(1991) "Bridge deck behaviour", 2nd Ed., E&FN SPON
- [5] 건설교통부 "국도상 노후교량의 성능개선 기법 개발에 관한 연구", 건설교통기술개발사업 연차보고서1997