

합성보의 최적설계 프로그램 개발

Development of Optimization Design Programs for Composite Beams

구민세* 김궁환** 유영찬***
Koo, Min-Se Kim, Keung Hwan You, Young-Chan

ABSTRACT

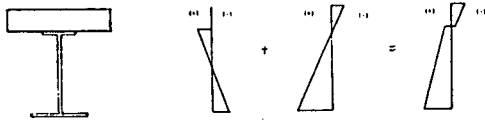
The object of this study is to develop computer programs with which ordinary engineers can analyze or design steel-concrete composite beams using optimization technique. Various design and construction techniques which could maximize load carrying capacities and control concrete tension cracks effectively are studied and included in the programs. Analysis results show that proposed construction techniques can reduce steel weight by about 10% ~ 20% compared with ordinary composite beam. Concrete tensile stresses can also be controlled effectively by the suggested techniques.

1. 서론

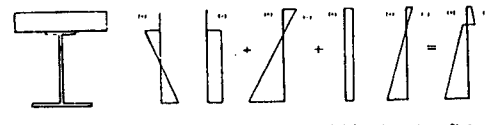
합성보는 강재와 콘크리트를 조합하여 각 재료의 장점을 최대한 이용한 구조 부재이므로 그 단면성능이 우수한 반면에 해석과 설계가 상대적으로 복잡하다. 외국에서는 합성보의 장기거동을 보다 정확히 산정하고 단면효과를 극대화하는 여러가지 공법과 해석방법을 개발하고 있으나 국내에서는 이에 대한 인식이 부족하여 약식 설계 방법만을 주로 사용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 합성보의 여러가지 시공방법 및 설계방법을 소개하고 이를 실무설계 및 시공에 손쉽게 이용할 수 있도록 이에 대한 해석 및 최적 설계 프로그램을 작성하였다.

2. 합성보의 공법별 분류

본 연구에서 고려된 공법들은 크게 단면 성능 향상을 위한 공법과 콘크리트 인장응력 제어를



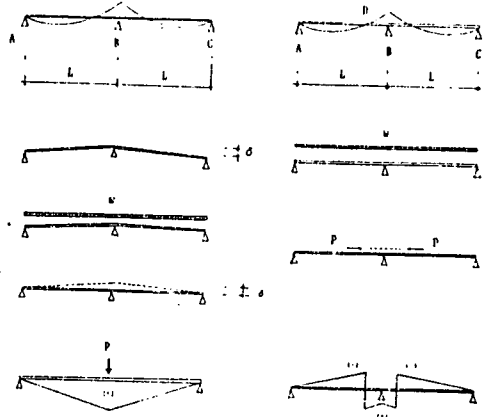
(a) 가지지점 설치



(b) 외부 프리스트레싱

그림 1. 단면성능 향상을 위한 공법

위한 공법으로 분류할 수 있다. 등바리를 설치하지 않는 활하중 합성보는 스펀의 중앙점에서 임계응력이 발생되므로 이곳에 가지지점을 설치하여 콘크리트 타설 전·후의 강성차를 이용하여 단면성능을 향상시킬 수 있으며 가지지점 설치가 용이하지 않을 경우 외부 프리스트레스를 이용하여 가지지점 설치의 경우와 유사한 효과를 얻을 수 있다(그림 1). 한편 연속 합성보에서 문제시되는 중앙 지지점에서의 콘크리트 인장크랙을 억제하기 위한 공법으로는 중앙 지지점을 소정의 크기만큼 침하시키거나 콘크리트 상판에 직접 포스트-텐션 프리스트레스를 도입하는 방법으로 나눌 수 있으며 이 두 공법을 적절히 혼용할 경우 더 좋은 효과를 얻을 수도 있다(그림 2).

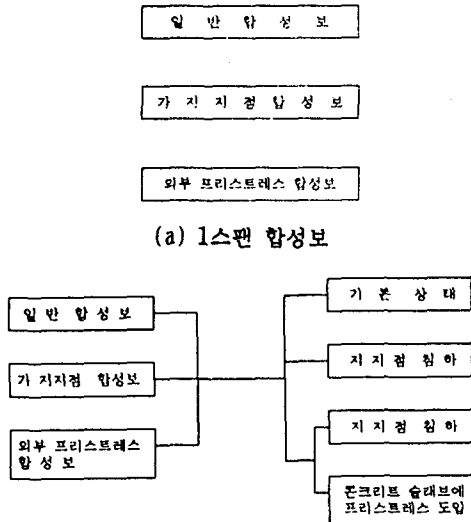


(a) 지지점 침하 (b) 포스트-텐션 프리스트레싱
그림 2. 콘크리트 인장응력 제어를 위한 공법

* 정회원 인하대학교 토목공학과 조교수
** 정회원 한국건설기술연구원 구조연구실 수석 연구원
*** 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원

1 스펀 합성보는 전스팬에 걸쳐 정 모멘트만 받으므로 단면성능 향상을 위한 공법만 적용하며 2,3 스펀 합성보는 그외에 콘크리트 인장응력 제어를 위한 공법을 조합한다.

이상에서 열거한 공법들을 스패수에 따라 조합하여 도표로 나타내면 <그림 3> 과 같으며 2, 3스팬 합성보의 경우 이용 가능한 공법의 수는 각각 총 9가지가 된다.



(a) 1스팬 합성보
(b) 2,3스팬 합성보
그림 3. 합성보의 공법 분류

3. 합성보의 최적설계

3.1 프로그램 일반

본 프로그램은 용역해석 부분과 최적설계 부분으로 구성되어 있으며 1스팬, 2스팬 및 3스팬에 대하여 작성되었다. 사용 가능한 기종은 IBM 호환용 XT, AT 386이며 최소 10MB의 하드 디스크가 요구된다.

3.2 최적설계의 정형화

본 프로그램에서 콘크리트 상판의 치수는 사용자가 입력하는 것으로 하였고 한 스패를 8개의 설계구간으로 나누었으며 최적설계 결과로는 플레이트 거더의 치수, 웹 보강재의 간격과 치수가 출력되는 것으로 하였다. 설계시 사용되는 구속인자 (Constraint) 로는 AISC 규준을 사용하였으며 추후 도로교 표준시방서의 강교규준도 선택 사항으로 추가할 예정이다.

목적함수에서 웹의 두께는 최대 폭·두께비에 따라 정하고 플렌지 단면적을 변수로 정한 다음 가정한 웹치수에 대하여 최적단면이 되도록 플렌지의 최대 폭두께 비에 따라 단면을 결정한다. <그림 4>, 각 설계구간의 강성차에 의한 영향을 무시하면 목적함수를 구성하는 변수는 웹의 폭과 각 설계 구간의 플렌지 단면적으로 축소될 수 있다.

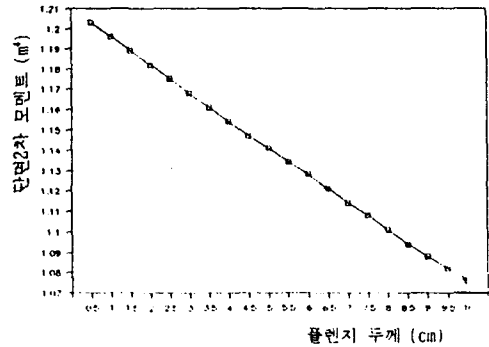
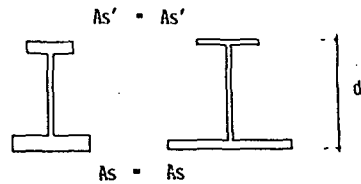


그림 4. 최적단면 설정을 위한 기본 가정

3.3 최적화 기법

i) Modified Grid Search

각 설계구간의 상, 하부 플렌지 단면적의 결정은 <그림 5>에 나타난 바와 같이 가정한 웹치수에 대하여 플렌지 단면적과 중가비율을 설정하고 설정된 Grid를 따라 응력조건을 만족하는 최소 단면적을 구한 후 Grid 간격을 축소하여 Grid 간격이 허용치 이내로 될 때까지 계산을 반복함으로써 최적 플렌지 단면적을 구할 수 있다.

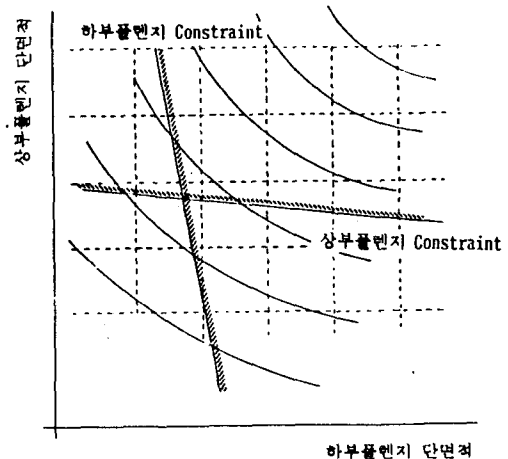


그림 5. Modified Grid Search

ii) 3-Point Grid Search

웨브의 솜에 대한 목적함수 값은 <그림 6> 과 같이 최적 웨브솜을 중심축으로 단조 증가하므로 3-Point Grid Search 방법을 이용하여 최적 웨브솜을 구할 수 있으며 <그림 7>은 이 방법의 유효함을 나타내 주고 있다.

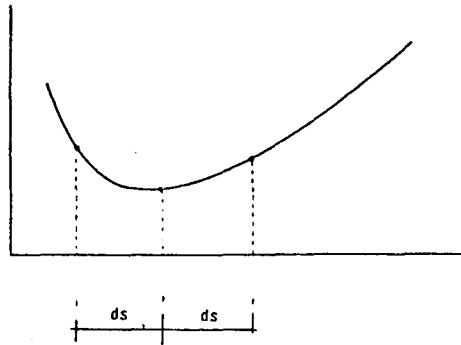


그림 6. Grid Search

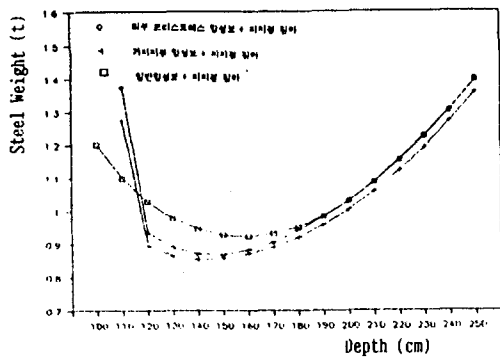


그림 7. 웨브 솜의 변화에 따른 물량변화

3.4 입력 데이터 예

본 프로그램은 자동 최적설계 프로그램이므로 Pre-Processor는 <그림 8>의 입력데이터와 같이 매우 간단하다. 사용 데이터의 단위는 프로그램 내부에서 M.K.S. 단위의 톤, 미터로 고정되어 있으므로 이에 맞추어져야 하며 고정된 변수명 사이의 10칸에 모두 실수형으로 입력한다. 단 응력 해석을 위한 데이터 중 강재의 칫수만 편의상 CM로 하였다. 강재와 콘크리트, 아스팔트에 의한 하중은 가정된 단면적에 단위 중량을 곱하여 자동적으로 계산된다. 교통하중은 도로교 표준시방서 규준에 따라 영향선을 이용하여 계산하였으므로 DB또는 DL의 계수만 입력하면 되며 그의 등분포 활하중과 사하중을 고려할 수있다. 건축 구조물에 본 프로그램을 사용할 경우 아스팔트 두께로 $PT = 0.0$, 교통하중으로 $DB = 0.0$ 을 입력한다.

```

ET - 0.2     SW - 3.0     PT - 0.05     L - 20.0
SW - 7.165   CW - 2.3     IW - 0.2     IW - 2.3     FC - 0.36
FY - 3.6     MY - 220     FY1 - 2.4    FY2 - 2.4    EST - 2100.0

DR - 18.0    FL - 0.5     WL - 0.0     WD - 0.0

METHOD - MILL   NAME - B201

KRF - 1.5     KVT - 1.0     KVTO - 0.0   KRT - 1.43   KRVTO - 0.26
KNSO - 0.00025  LST - 0.85   ESTO - 0.1

OUT1 ANAL.
NO) A(SLAN)   TTF     RTF     DEPTH    TMS     TMF     RHF
1  30.0    0.8     19.0    125.0   0.3    1.3    34.0
2  30.0    0.8     20.0    125.0   0.3    1.6    37.0
3  30.0    0.8     22.0    125.0   0.3    1.6    36.0
4  30.0    0.8     20.0    125.0   0.3    1.3    36.0
5  30.0    0.8     19.0    125.0   0.3    1.3    28.0
6  30.0    1.2     23.0    125.0   0.3    2.9    63.0
7  30.0    1.6     37.0    125.0   0.3    2.9    72.0
8  30.0    2.2     48.0    125.0   0.3    2.9    80.0

CONTROL
OUT1 - 1      OUT2 - 0      OUT3 - 0      OUT4 - 1

```

그림 8. 입력 데이터 예

4. 설계 결과

개발된 최적 프로그램을 이용하여 2절에서 소개한 여러가지 공법에 대하여 동일조건하에서 각 스패별로 최적설계를 실시하였으며 그 결과를 상호 비교하였다.

4.1 1스팬 합성보

1스팬 합성보의 경우 중앙부에 가지지점을 설치하면 중앙부에서는 강재에 걸리는 과도한 인장 응력을 콘크리트의 여유 응력에 부담시켜 단면을 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 지지점 부분의 단면도 중앙부에서 단부로 응력의 재분배가 발생하여 일반 합성보에 비해 전 스패에서 유리하게 된다(표 1).

표 1. 1스팬 합성보의 설계 결과

경간 길이	공법	합성보			강재 감소 비율	
		일반 합성보	가시성 합성보	외부 Prest. 합성보	가시성 합성보	외부 Prest.
20 m	총 중량 (Kg)	1663	1493	1520	10.2	8.6
	Girder 중량	1518	1332	1351		
	Stiffener 중량	145	161	169		
30 m	총 중량 (Kg)	4223	3261	3334	22.8	21.1
	Girder 중량	3879	3002	3078		
	Stiffener 중량	344	259	256		
40 m	총 중량 (Kg)	8158	6113	6339	25.1	22.3
	Girder 중량	6936	5344	5794		
	Stiffener 중량	1222	769	545		
50 m	총 중량 (Kg)	13935	10120	10751	27.4	22.8
	Girder 중량	12090	8879	8926		
	Stiffener 중량	1845	1241	1825		

4.2 2스팬 합성보

2스팬 합성보의 경우는 단면성능 향상을 위한 공법에 콘크리트 인장 응력 제어를 위한 공법을 함께 적용시킨다. 해석결과 중앙 지지점을 침하

시키거나 콘크리트 포스트-텐션 프리스트레스를 도입하면 콘크리트 인장응력을 허용응력 범위내로 억제할 수 있으며 강재량당도 각 공법별로 정도의 차이는 있으나 5.7% ~ 24% 까지 감소되는 것으로 나타났다. 가지지점 합성보에 대한 설계 결과를 표로 나타내면 <표 2>와 같다.

표 2. 2스팬 가지지점 합성보에 대한 설계 결과

공법	일 반 합성보	프리스트레스 공법		강재 감소 비율		
		S.S.	S.S.+ P.T.	S.S.	S.S.+ P.T.	
20m	총 중량 (Kg)	4213	3200	3105	24.0	26.3
	Girder 중량	3812	2802	2746		
	Stiffener 중량	391	398	359		
30m	총 중량 (Kg)	8518	7075	6883	16.9	19.9
	Girder 중량	7631	6451	6232		
	Stiffener 중량	887	624	651		
40m	총 중량 (Kg)	16382	12930	12622	21.1	23.0
	Girder 중량	14910	11956	11612		
	Stiffener 중량	1472	974	1010		
50m	총 중량 (Kg)	26240	21943	21465	16.4	18.2
	Girder 중량	24041	19951	19616		
	Stiffener 중량	2199	1992	1849		

S.S. 공법 - 지지점 침하 (Support Settlement) 공법
P.T. 공법 - 포스트-텐션 공법

4.3 3스팬 합성보

3스팬 합성보의 경우도 2스팬 합성보의 경우와 유사하나 지지점 침하공법을 적용시킬 경우 단부 스패에서는 하중작용 방향과 반대 방향의 하중이 작용하므로 강재가 감소하나 중앙부 스패에서는 하중작용 방향과 같은 방향의 하중이 작용하게 되어 전체 강재 감소비율은 미미하게 된다. 가지지점 합성보에 대한 설계 결과를 표로 나타 내면 <표 3> 과 같다.

표 3. 3스팬 가지지점 합성보에 대한 설계 결과

공법	일 반 합성보	프리스트레스 공법		강재감소비율		
		S.S.	S.S.+ P.T.	S.S.	S.S.+ P.T.	
30m	총 중량 (Kg)	12523	11214	9594	10.5	23.4
	Girder 중량	11444	10135	8850		
	Stiffener 중량	1079	1079	744		
40m	총 중량 (Kg)	22178	21043	17069	5.1	23.0
	Girder 중량	20516	19394	15827		
	Stiffener 중량	1662	1649	1242		
50m	총 중량 (Kg)	37404	36179	27918	3.3	23.4
	Girder 중량	34686	33490	25892		
	Stiffener 중량	2718	2689	2026		

S.S. 공법 - 지지점 침하 (Support Settlement) 공법
P.T. 공법 - 포스트-텐션 공법

5. 결론

1. 1스팬 합성보에 가지지점 또는 외부 프리스트레스 공법을 사용하면 강재량을 일반 합성보에 비해 10% ~ 20% 정도 절감할 수 있다.

- 2, 3스팬 합성보의 경우 중앙지지점을 침하시키거나 콘크리트에 프리스트레스를 도입하면 합성후 하중에 의해 발생하는 콘크리트 인장응력을 효과적으로 허용응력 범위내로 억제할 수 있다.
- 2스팬 합성보의 경우 가지지점 설치 후 지지점 침하공법의 강재감소 비율이 일반 합성보에 비해 최소 16%, 최대 26%로 가능한 모든 공법의 조합중 가장 경제적인 공법이라 판단된다.
- 3스팬 합성보의 경우 가지지점 설치 후 지지점 침하공법과 콘크리트 포스트-텐션 공법의 혼용이 가장 경제적이다 판단된다.

참 고 문 헌

1. Salmon G., and Johnson E, Steel Structure Design and Behavior, Harper International Edition, 1980
2. AISC, Manual of Steel Construction, 8th edition, 1980
3. Ballio G., and Mazzolani F.M., Theory and Design of Steel Structures, 1979
4. Hoadley G., "Behavior of Prestressed Composite Beam," ASCE, Vol.89, No. ST3, June, 1936, pp. 21-34
5. Subhash C.A., and Ahmed Talesstch, "Prestressed Composite Steel Beam Design" ASCE, Vol.99, No.3, Mar.
6. Chapman, J.C., "The Behavior of Composite Beams in Steel and Concrete" Structural Engineer, Vol.42, No.4, Apr., 1964
7. Reagon, R.S., Krahl, N.W., "Behavior of Prestressed Composite Beams" ASCE, Vol.93, No.ST6, Proc. Paper 5663, 1967
8. Sedlacek, G., Umdruck zur vorlesung und uebung - VERBUNDKONSTRUKTIONEN, Lehrstuhl fuer Stahlbau der Rwth Aachen, 1980
9. George G., and Philip D., "Optimum Design of Mixed Steel Composite Girder" ASCE, Vol.92, No. ST6, Paper 5001, Dec., 1966
10. Razani R., and Goble G., "Optimum Design of the Constant Depth Girder," ASCE, Vol. 92, No. ST2, Proc., Paper 4787 Apr., 1966