2徑間 P.S. 連續合成보 橋梁의 設計에 관한 硏究

A Study on the Design of Two-Span Continuous P.S. Composite Bridges

구 민 세* 신 동 기** 이 재 혁***
Koo, Min-Se Shin, Dong-Ki Lee, Jae-Hyuk

A B S T R A C T

A construction method for continuous Prestressed Composite Bridges(PCB's) is developed and successfully applied to the design of two-span continuous PCB's of five different span lengths. The construction of continuous PCB's goes through 17 different loading conditions. For each loading condition, the allowable stress design method is used to determine section properties.

The analytical results of two-span continuous PCB's are compared with those of simple PCB's. The comparison shows that the use of the proposed method can reduce 10~15 percents of the concrete section area and approximate 28 percents of the steel section area, as well as 5~8 percents of the girder height.

The study indicates that the use of the proposed PCB's method can significantly reduce construction and maintenance costs of bridges.

1. 서론

기존의 P.S.합성보 교량에서는 보와 보를 연결하기 위하여 팽창조인트를 사용하여 시공하여 왔다. 이 팽창조인트는 가격이 고가(高價)이고 주행감을 저하시킴은 물론, 보수 및 유지관리가 소요된다. 또한 이 부분은 누수에 의한 교량의 노화현상을 촉진시키는 원인이 되고 있기도 하다. 따라서 이러한 문제점들을 해결 할 수 있는 방법 중의 하나로 교량을 연속보로 시공하는 방법을 생각 할 수 있다. 그러나 기존의 단경간 P.S.합성보는 자중 및 활하중에 의해 내부지점에 발생되는 부(負)모멘트에 대한 적절한 해결점을 찾지 못하였기 때문에 연속보 시공이 불가능하였다. 본 연구에서는 이러한 내부지점부에서 발생하는 부모멘트를 상쇄시킬 수 있는 P.S.를 도입시켜 P.S.합성보를 연속보화하므로 기존의 단경간 P.S.합성보구조에서 불가피하게 설치되는 팽창조인트의 문제점을 제거시키고 재료와 자중을 감소시켜 경제적인 연속보 구조물의 설계를 제시한다.

2. 개요

P.S.합성보가 그림 1에서와 같이 연속화 되어지면 사하중과 활하중 재하시 정(+)모멘트와 부(-)모멘트가 모두 발생하게 되므로 P.S.연속합성보의 설계에서는 정모멘트와 부모멘트에 대한 설계방법도 다르게 된다. 정모멘트가 발생하는 구간의 설계방법은 기존의 단경간으로 제작되는 P.S.합성보와 유사하며, 부모멘트가 발생하는 구간에서는 내부지점을 상승시켜 이 구간에 상부 플랜지 콘크리트를 타설한 후, 다시 지점을 하강시킴으로써 부모멘트에 대한 응력을 미리 유도하는 것이 본 연구에서 제시한 2경간 P.S.연속합성보의 기본이론이다.

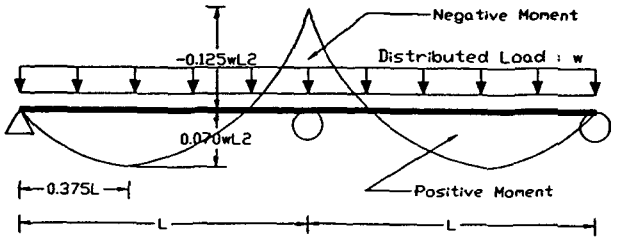

그림 1. 2경간 연속보의 모멘트도

* 정회원, 인하대학교 토목공학과 부교수 ** 인하대학교 토목공학과 박사과정 *** 동아건설 기술연구소 연구원

3. 설계

3.1 전산프로그램의 구성

본 연구에서는 2경간 P.S.연속합성보 교량의 제작 및 시공단계를 고려한 단면설계를 수행하기 위하여 전산프로그램을 개발하였으며 전산프로그램의 전체적인 구성도는 그림 2와 같다.

그림 2에 나타낸 바와 같이 본 연구에서 개발한 전산프로그램은 재료특성 입력데이터(INPUT DATA#1), 단면특성 입력데이터(INPUT DATA#2), 설계조건 입력데이터(INPUT DATA#3)로 구성된 3개의 기본적인 입력데이터와, 단면상수를 계산하는 부프로그램(SECT, SECTL, SECTU, COMPOP, COMPON), 처짐을 계산하는 부프로그램(DFLEX), 그림을 출력하는 부프로그램(PLOT1, PLOT2, PLOT3)으로 구성된 9개의 주요 부프로그램으로 구성되어 있다. 입력데이터는 한 개의 독립된 파일로 처리되므로, 입력변수에 관한 매개분석을 보다 용이하게 수행하도록 구성되어 있다. 또한 출력파일은 수치해석을 통하여 결정된 단면의 제원, 강형의 휨곡선 및 최종 응력상태를 그림으로 출력될 수 있도록 구성되어 있다. 입력, 출력 및 부프로그램에 관한 자세한 사항을 정리하면 다음과 같다.

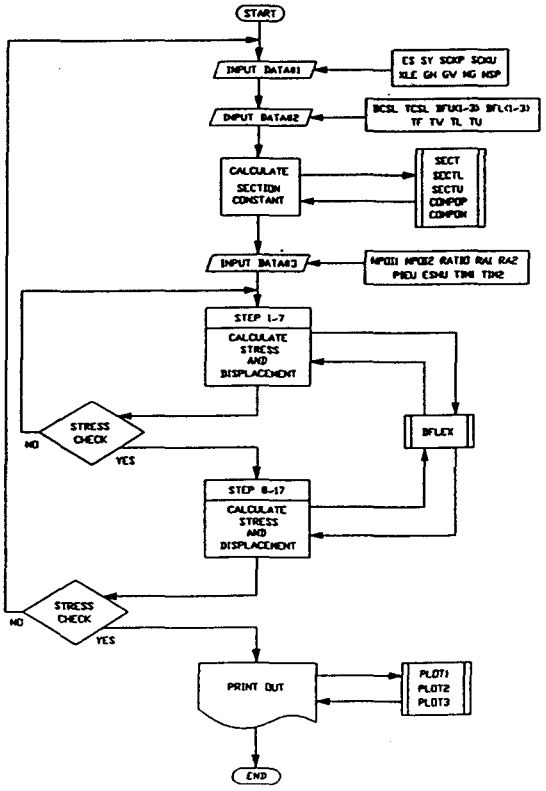

그림 2. 전산프로그램의 구성도

1) 입력데이터 #1 : 재료특성
   - 강재의 탄성계수(kg/cm^2)
   - 강재의 항복응력(kg/cm^2)
   - 하부 플랜지 콘크리트와 슬래브 콘크리트의 설계기준강도(kg/cm^2)
   - 경간장(cm), 형고(cm), 주형과 주형사이의 간격(cm)
   - 주형의 갯수, Cover Plate의 갯수
2) 입력데이터 #2 : 단면특성
   - 하부 플랜지 콘크리트의 폭과 두께 (cm)
   - 강재 상부 및 하부의 Cover Plate 폭(cm)
   - 강재의 플랜지 및 Web 두께(cm)

- 하부 플랜지 콘크리트의 하면과 Cover Plate까지의 최소거리(cm)
- 슬래브 콘크리트의 상면과 Cover Plate까지의 최소거리(cm)

3) 입력데이터 #3 : 설계조건
- 프리플렉션하중의 재하위치(격점번호)
- 프리플렉션하중비
- 지점상승량에 대한 지점하강량의 비
- 지점상승시 하부 플랜지 콘크리트의 허용응력계수
- 최종 크리프계수 및 최종 건조수축율
- 초기 크리프 및 건조수축 고려기간(일)
- 최종 크리프 및 건조수축 고려기간(일)

4) 부프로그램
- 강형, 프리플렉스형 및 프리플렉스 합성형의 중립축, 단면 2차 모멘트를 계산하는 부프로그램.
- 각 단계에서 발생하는 처짐을 계산하는 부프로그램.
- 수치해석을 통하여 결정된 단면의 제원, 강재의 휨 곡선 및 최종 응력상태를 그림으로 출력될 수 있도록 계산하는 부프로그램.

5) 출력파일 :
- 본 전산프로그램을 통하여 각 단계에서 계산된 단면상수, 응력 및 처짐의 결과를 수록한 출력파일.
- 2경간 P.S.연속합성보의 단면제원을 나타낸 그림출력파일.
- 2경간 P.S.연속합성보 교량의 횡단면도를 나타낸 그림출력파일.
- 최종상태의 응력도를 나타낸 그림출력파일.
- 강형의 휨 곡선도를 나타낸 그림출력파일.

3.2 제작방법

P.S.연속합성보의 제작 및 시공은 여러 단계를 거치게 되므로 복잡한 재하상태와 응력상태를 나타낸다. P.S.연속합성보의 설계는 단계별로 그 특성을 정확히 이해하여야 하며, 시공 순서로 응력을 검토하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 복잡한 해석을 수행하기 위해서 전산프로그램을 개발하였다.
2경간 P.S.합성보의 각 단계별 제작시공 및 응력계산은 모두 17단계로 나뉘어 있으며 그 과정은 아래의 표 1과 그림 3에 나타내었다.

표 1. 2경간 P.S.연속합성보의 시공순서 및 응력계산시 고려사항

단계	시 공	응 력 계 산
1	강재의 거치	강재로 인한 자중을 재하
2	프리플렉션하중 재하	강재의 최대허용휨모멘트까지 프리플렉션 하중(Pf) 재하
3	하부 Casing Con'c타설 및 릴리즈	단계 2의 반대방향으로 Pf를 가함
4	하부 Casing Con'c의 자중재하	하부 Casing Con'c의 자중 재하
5	지지점의 이동	지지점의 이동으로 인한 응력의 변화량 계산
6	초기크리프 (하부 Casing Con'c)	하부 Casing Con'c의 초기크리프모멘트 재하
7	초기건조수축 (하부 Casing Con'c)	하부 Casing Con'c의 초기건조수축모멘트 재하
8	지점상승	두개의 부재를 서로 연결한 후, 내측지지점의 상승 가능한 하중 (Pf2)을 결정하여 지점을 상승
9	상부 Slab 콘크리트의 타설	상부 Slab Con'c의 자중 재하
10	지점하강	상부 Slab Con'c의 양생이 끝난후 처짐비만큼 하강하기 위해 하중 (Pf2')를 재하
11	상부 마감 Con'c의 타설	상부 마감 Con'c의 자중 재하
12	아스팔트 타설	아스팔트의 자중 재하
13	최종크리프 (하부 Casing Con'c)	하부 Casing Con'c의 최종크리프모멘트 재하
14	최종크리프 (상부 Slab Con'c)	상부 Slab Con'c의 최종크리프모멘트 재하
15	최종건조수축 (하부 Casing Con'c)	하부 Casing Con'c의 최종건조수축모멘트 재하
16	최종건조수축 (상부 Slab Con'c)	상부 Slab Con'c의 최종건조수축모멘트 재하
17	활하중 재하	충격계수 및 분배계수를 고려한 활하중(DL-24) 재하

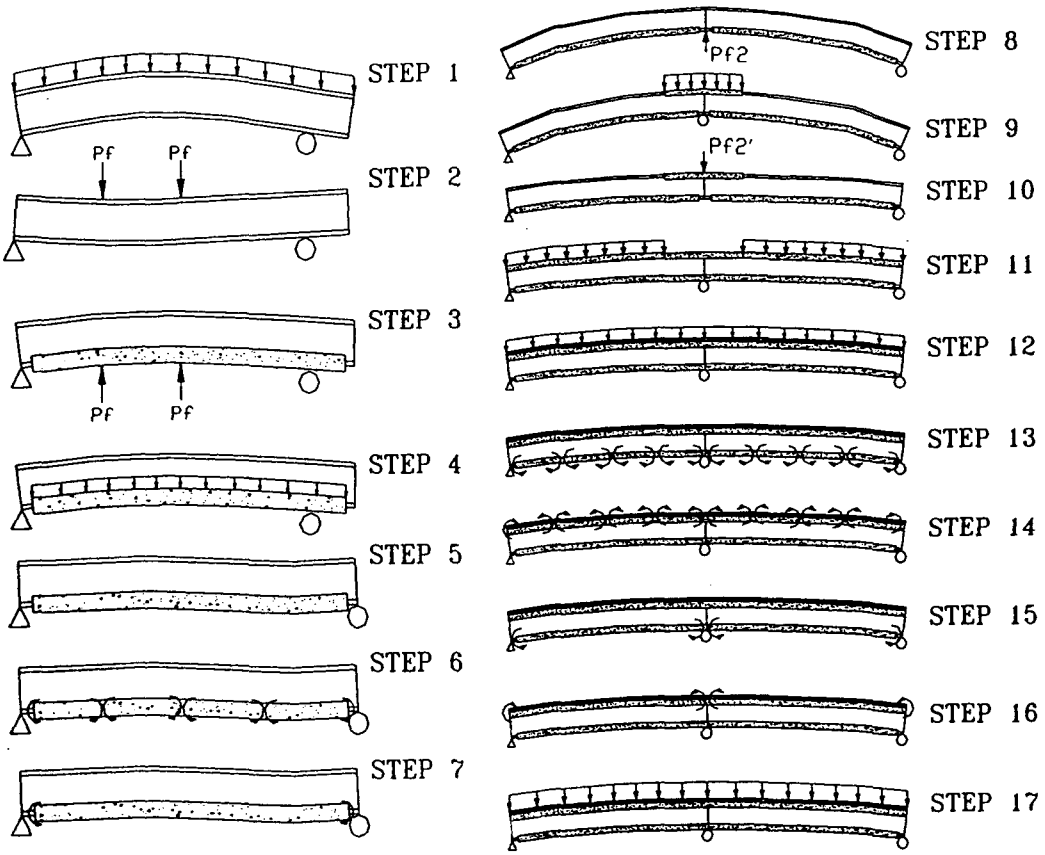

그림 3. 2경간 P.S.연속합성보의 단계별 시공도

4. 단면제원 및 결과분석

4.1 단면결정방법

본 연구에서 개발한 전산프로그램 입력에 사용되는 단면제원 및 단면을 결정하는 방법을 설명하면 다음과 같다.

1) 설계에 사용한 교량의 모델은 주형의 간격이 3m이고 지간의 길이는 각각 30m, 35m, 40m, 45m, 50m이며, 본 연구에서 개발한 전산프로그램에 사용된 재료특성은 표 2에 나타내었다.
2) 강재의 플랜지 및 복부 두께는 기존의 단경간 P.S.합성보의 치수를 그대로 사용하였으나, 세번째 Cover Plate를 사용하지 않고 위, 아래 각각 두개만을 사용하였다.
3) 주형의 단면제원중 형고의 크기는 허용응력을 초과하지 않는 범위내에서 점차로 감소시켜 사용하였다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 단경간 P.S.합성보의 형고에서 각각 10cm씩 줄여서 사용하였다.
4) 하부 플랜지 콘크리트의 폭도 기존의 단경간 P.S.합성보의 치수를 그대로 사용하였으나, 두께는 허용응력을 초과하지 않는 범위내에서 점차로 감소시켜 사용하였다.
5) 슬래브 콘크리트의 두께는 슬래브 윗면에서부터 위 플랜지 상면까지의 최소거리 12cm를 확보하도록 하였으며 허용응력을 초과하지 않는 범위내에서 치수를 점차로 감소시켜 사용하였다. 따라서, 본 연구에서는 슬래브 콘크리트의 두께를 모두 22cm로 사용하였다.

표 2. 전산프로그램의 입력에 사용된 재료특성

주형의 갯수	4
강재의 탄성계수 (E_s)	2,100,000kg/cm^2
강재의 항복응력 (σ_y)	3600kg/cm^2
하부 플랜지 콘크리트 설계기준강도 (σ_{ck})	400kg/cm^2
슬래브 콘크리트 설계기준강도 (σ_{ck})	270kg/cm^2
초기 크리프 및 건조수축기간 (TIM1)	30일
최종 크리프 및 건조수축기간 (TIM2)	365일

4.2 결과분석

4.2.1. 설계시 작용하는 매개변수의 분석

본 연구를 수행하기 위하여 사용된 전산프로그램의 입력변수중 매개변수의 수는 그림 4에서 나타낸 바와 같이 모두 8가지로 단면을 결정하는 중요한 역할을 하게 된다. 따라서, 이러한 변수들을 가지고 입력을 변화해 가면서 매개변수에 관한 분석(Parametric Analysis)을 하게 되면, 각 입력변수들의 조합에 따라 다양한 해석단면을 결정할 수 있다. 즉, 입력변수들이 어떻게 조합하는가에 따라 허용응력을 초과하지 않는 다수의 단면을 결정할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 수많은 변수들의 조합을 통하여 시산법으로 해석단면을 찾는다는 것은 사실상 불가능하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 모든 변수들의 조합에 대하여 해석을 수행하지는 않았으며, 하부 플랜지 콘크리트의 두께, 지점하강비(ξ) 및 프리플렉션하중의 위치에 관한 매개변수 분석만을 수행하여 단면해석을 하였다. 단, 상부 플랜지 콘크리트 타설구간 및 프리플렉션하중 재하시의 두번째 지지점의 위치는 각각 유효폭이 고려되는 구간과 동일한 6구간과 1/8L로 일괄적으로 정하여 수행하였다.

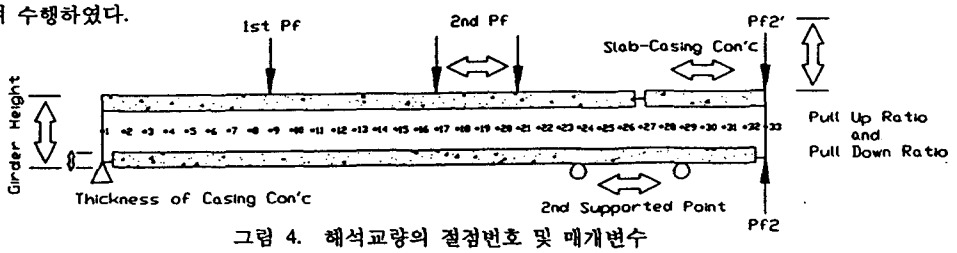

그림 4. 해석교량의 절점번호 및 매개변수

1) 프리플렉션하중의 재하위치에 따른 응력의 변화

첫번째 프리플렉션하중의 위치는 강재의 절점 1에서부터 1/4L 떨어진 위치로 정하였으며, 두번째 프리플렉션하중의 위치는 다시 이곳으로부터 약1/4~3/8L정도 떨어진 구간에서 1/32L간격으로 하중을 재하하여 응력의 변화를 살펴보았다. 해석결과를 살펴보면, 그림 5에서 보듯이 모두 콘크리트의 인장응력이 주된 문제가 되었으나, 모든 지간에 있어서 임계응력위치(critical stress point)가 동일하게 발생하지는 않았다. 즉, 지간이 30m, 35m의 경우에는 절점 33에서 활하중 재하시(단계 17) 상부 슬래브 콘크리트에서, 지간이 40m, 45m, 50m의 경우에는 절점 13에서 활하중 재하시(단계 17) 하부 플랜지 콘크리트에서 각각 임계응력위치가 발생하였다. 응력이 변화하는 경향에도 차이가 있어 지간이 짧은 30m, 35m의 경우에는 하중의 위치를 앞쪽으로 하는 것이 유리하며, 지간이 40m, 45m, 50m로 장대화되면 하중의 위치를 뒤쪽으로 하는 것이 허용응력범위를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

2) 지점하강비에 따른 응력의 변화

지점하강비(ξ)는 교량에 하중이 작용시 내부지점부에 발생하는 부모멘트에 대응하는 응력을 미리 도입하기 위하여 단계 8에서 실시하였던 지점상승량과 단계 10에서 실시하였던 지점하강량의 비를 나타낸 것이다. 따라서, 지점하강비 역시 설계시 단면을 결정하는 중요한 매개변수로 작용하게 된다. 본 연구에서는 각 지간별로 지점하강비를 0.73에서 0.83까지 변화하여 응력의 변화를 살펴보았다. 해석결과, 그림 6에서 나타낸 바와 같이 지점하강비 역시 콘크리트의 인장응력이 주된 문제가 되었으나 모든 지간에 있어서 임계응력위치가 동일하게 발생하지는 않았다. 즉, 단경간인 30m의 경우에는 절점 33에서 활하중 재하시(단계 17) 상부 슬래브 콘크리트에서, 지간이 35m인 경우에는 절점 29에서 지점하강시(단계 10)의 하부 플랜지 콘크리트에서, 40m, 45m, 50m의 경우에는 절점 14에서 활하중 재하시(단계 17) 하부 플랜지 콘크리트에서 각각 임계위치가 발생하였다. 응력의 변화 경향도 차이가 있어 지간이 짧은 30m의 경우에는 지점하강비를 크게 할수록 유리하며, 나머지 지간에 대해서는 지점하강비를 다소 작게 하는 것이 허용응력범위를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

3) 하부 플랜지 콘크리트 두께에 따른 응력의 변화

마지막으로, 하부 플랜지 콘크리트의 두께는 각 지간에 대하여 24cm부터 40cm까지 약 1cm간격으로 변화하여 각 단계에서 발생하는 응력이 허용응력을 초과하지 않도록 단면을 최적화하면서 응력의 변화를 살펴보았다. 그림 7에서 나타낸 바와 같이, 지간의 길이가 30m에서 45m까지는 하부 플랜지 두께가 두꺼워 질수록 절점 29에서 지점하강시(단계 10) 하부 플랜지 콘크리트에서 인장력이 허용인장응력을 초과하였으며, 그림 8에서 나타낸 바와 같이, 지간의 길이가 50m인 경우에는 절점 33에서 활하중 재하시(단계 17) 강재의 플랜지 상부에서 인장응력이 허용응력을 초과하는 것으로 나타났다.

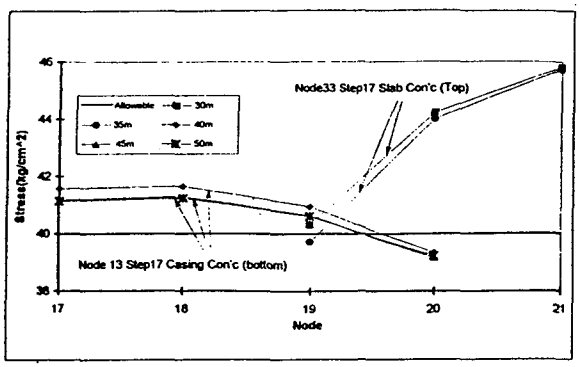

그림 5. 프리플렉션하중 재하위치에 따른 임계응력위치에서의 응력의 변화

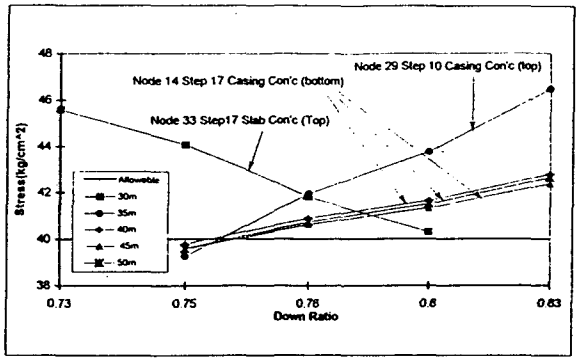

그림 6. 지점하강비에 따른 임계응력위치에서의 응력의 변화

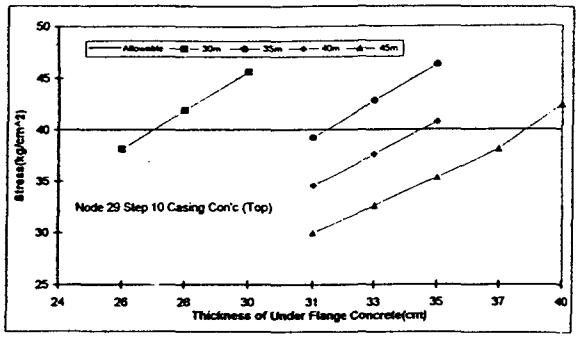

그림 7. 하부 플랜지 콘크리트 두께에 따른 임계응력위치에서의 응력의 변화 (지간 30m~45m)

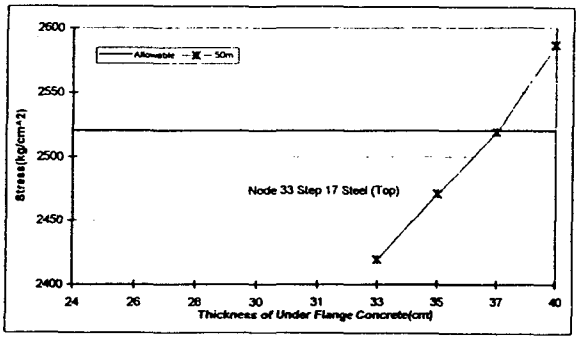

그림 8. 하부 플랜지 콘크리트 두께에 따른 임계응력위치에서의 응력의 변화 (지간 50m)

위와 같은 매개변수의 분석을 통하여 결정된 입력변수의 내용을 정리하여 표 3에 나타냈다.

표. 3. 전산프로그램에 사용된 입력변수

지 간 / 입력변수	30m	35m	40m	45m	50m
형 고(cm)	110	120	140	160	180
하부 플랜지콘크리트의 두께(cm)	26	31	31	31	35
두번째 Pf를 재하하는 절점번호	19	19	20	20	20
두번째 지지점의 절점번호	29	29	29	29	29
상부 플랜지 콘크리트를 타설하는 절점의 수	6	6	6	6	6
하중비(ξ)	1	1	1	1	1
지점상승비(η)	1	1	1	1	1
(cm)	41.61	56.76	63.53	69.80	83.01
지점하강비(ξ)	0.8	0.75	0.75	0.75	0.75
(cm)	33.29	42.57	47.65	52.35	62.26

4.2.2. 재료의 절감효과

본 연구의 수치해석 결과를 통하여 결정된 2경간 P.S.연속합성보의 단면제원을 문헌[6]에 나와 있는 기존의 단경간 P.S.합성보 표준단면제원과 비교하여 각 지간별로 표 4에 나타냈다. 단면해석 결과, 표 5에서 나타낸 바와 같이 본 연구의 수치해석 결과를 통하여 결정된 단면제원이 기존의 단경간 P.S.합성보 설계에 의한 방법보다 우수한 재료절감효과가 있음을 알 수 있다. 즉, 콘크리트의 경우에는 지간의 길이가 30m일 때 단위길이당 단면적이 약 15%정도 감소되며, 지간의 길이가 장대화되어 50m에 이르면 약 9%정도의 절감효과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 강재의 경우에는 지간의 길이와 관계없이 단위길이당 단면적이 약 28%정도 감소하는 것으로 나타났다.

표 4. 단경간 P.S합성보와 2경간 P.S.연속합성보의 단면제원 (단위:mm)

구 분		단경간	2경간	단경간	2경간	단경간	2경간	단경간	2경간	단경간	2경간
지 간 (m)		30		35		40		45		50	
형 간 격 (m)		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
형 고		1,200	1,100	1,300	1,200	1,500	1,400	1,700	1,600	1,900	1,800
콘크리트 폭	하부	800	800	850	850	850	850	850	850	850	850
콘크리트 두께	상부	250	220	250	220	250	220	250	220	250	220
	하부	400	260	400	310	400	310	400	310	400	350
강 형 플랜지 폭	1(상/하)	300/300	300/300	350/350	350/350	350/350	350/350	350/350	350/350	350/350	350/350
	2(상/하)	600/600	600/600	650/650	650/650	650/650	650/650	650/650	650/650	650/650	650/650
	3(상/하)	400/500	-	450/550	-	450/550	-	450/550	-	450/550	-
강형 플랜지 두께		20	20	23	23	24	24	27	27	29	29
강형 복부 높이		860	800	942	888	1,136	1,084	1,318	1,272	1,506	1,464
강형 복부 두께		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

표 5. 콘크리트와 강재의 단면적 비교 (단위:mm^2)

구 분 \ 지 간		30m	35m	40m	45m	50m
Con'c의 단면적	단경간 P.S. 합성보	1,096,600	1,123,870	1,162,460	1,199,230	1,242,910
	2경간 P.S. 연속합성보	925,400	978,080	1,015,840	1,053,720	1,123,540
단면적 감소율(%)		15.61	12.97	12.61	12.13	9.60
강재의 단면적	단경간 P.S. 합성보	66,900	83,130	89,040	100,770	109,590
	2경간 P.S. 연속합성보	48,000	59,320	64,260	73,080	79,960
단면적 감소율(%)		28.25	28.64	27.83	27.48	27.04

4.2.3. 처짐해석

2경간 P.S.연속합성보의 처짐해석은 본 연구에서 개발한 전산프로그램을 사용하였으나, 단경간 P.S.합성보의 처짐해석은 보요소를 사용한 유한요소법으로 수행하였다. 처짐해석시 사용된 하중으로는 2경간 P.S.연속합성보의 경우 DL-24하중을 재하하여 수행하였으며, 단경간 P.S.합성보의 경우 지간이 40m이하인 것은 DB-24하중을 적용하였고 40m이상인 것에서는 DL-24하중을 재하하여 처짐해석을 수행하였다.

처짐해석을 수행한 결과, 표 6에 나타낸 바와 같이 각 지간별 최대처짐 모두가 시방서에서 규정한 허용처짐을 초과하지 않았으며, 2경간 P.S.합성보 교량의 처짐이 단경간 P.S.합성보의 처짐보다 다소 적게 해석되었다.

표 6. 최대처짐의 비교 (단위:cm)

구 분 \ 지 간		30m	35m	40m	45m	50m
허 용 처 짐		4.50	5.25	6.00	9.00	10.00
최대처짐	단경간 P.S.합성보	3.093	3.637	3.797	4.129	4.538
	2경간P.S. 연속합성보	2.869	3.536	3.859	4.140	4.389

5. 결론

본 연구에서 수행한 2경간 P.S.연속합성보의 단면설계 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

1) 본 연구에서 제시한 2경간 P.S.연속합성보 교량은 기존의 P.S.합성보 교량이 단경간으로만 시공되는 공법에서 벗어나 교량을 연속보화 하여 교량의 팽창조인트부에서 발생하는 많은 문제점들의 해결방안을 제시하였다. 따라서 이러한 문제점의 해결은 기존의 팽창조인트로 연결된 교량보다 주행

감을 월등히 높일 수 있으며 차량의 주행시 발생하는 충격과 누수로 인한 교량의 열화현상을 방지하는데 커다란 몫을 할 수 있을 것으로 기대된다.

2) 2경간 P.S.연속합성보 공법으로 제작된 교량은 기존의 단경간 P.S.합성보 공법으로 제작된 교량과 비교하였을 때, 재료절감 측면에서 우수하다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 해석결과에 의하면, 2경간 P.S.연속합성보 공법으로 설계된 강재의 단면적은 기존의 P.S.합성보 공법으로 설계된 것보다 약 28%정도 감소하는 것으로 나타났으며, 콘크리트의 경우에는 약 9~15%정도 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 재료절감효과는 기존의 방법보다 경제적인 시공을 기대할 수 있다.

3) 기존의 P.S.합성보 공법과 유사하면서도 역학적 특성이 다른 P.S.연속합성보 교량의 제작 및 시공방법의 개발은 경제성과 안전성이 고려된 P.S.합성보 교량의 보급 및 기술발전에 크게 기여하리라 판단된다.

4) P.S.연속합성보 교량은 2경간에서만 그치지 않고 3경간 이상의 경간에서도 적용이 가능하다. 3경간 이상의 P.S.연속합성보 교량의 설계는 본 연구에서 제시하였던 2경간 P.S.연속합성보 교량이 제작되는 방법과 유사한 방법으로 설계되며, 2경간에 비하여 보다 복잡하고 많은 하중재하와 응력상태를 고려해야 한다. 3경간 이상의 P.S.연속합성보 교량에서는 자중으로 인해 발생하는 정모멘트가 감소하므로 2경간 P.S.연속합성보 공법에서 설계된 단면제원으로 내측경간장을 약 25%정도 더 연장할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 구 민세, "連續보 構造用 P.S.合成보와 이를 利用한 P.S.連續合成보 構造物의 施工法," 대한토목학회 학술발표회 개요집(I), 1993.10. pp.71~74
2. 구 민세, 신 동기, 이 재혁, "2徑間 P.S.連續合成보 構造物의 設計에 관한 硏究," 대한토목학회 학술발표회 개요집(I), 1994.10. pp.169~172
3. 대한토목학회, 프리플렉스 합성형 표준시방서 및 동해설(안), 대한토목학회, 1986.
4. 대한토목학회, 프리플렉스 합성형교의 설계제작 및 시공지도서, 대한토목학회, 1986
5. 건설부, 도로교 표준시방서, 건설부, 1992
6. 조 효남 외 2인, "프리플렉스橋의 電算化 最適設計," 전산구조공학 제6권 제1집, 1993. 4. pp.125~133
7. AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), *Standard Specifications for Highway Bridges*, AASHTO, 1992
8. ACI (American Concrete Institute), *Designing for Creep & Shrinkage in Concrete Structures*, ACI, 1982
9. プレビーム振興會, プレビーム合成げた橋設計, 製作, 施工要領書, プレビーム振興會, 昭和 60年 8月
10. 國土開發技術硏究センター, プレビーム合成げた橋設計施工指針, 第 2 版, 國土開發技術硏究センター, 昭和 58年 9月