특 집

콘크리트 장대 교량의 구조해석 기법

강합성 사장교의 구조해석

Structural Analysis of Composite Cable-Stayed Bridges

조 경 식*　　김 우 종**

1. 서 론

합성형 사장교는 강재주형과 콘크리트 바닥판을 합성시켜 사장재의 압축력은 주로 콘크리트 바닥판이, 상향력에 의한 휨우력은 강재주형이 주로 부담함으로써 각 재료의 구조적 장점을 효율적으로 이용할 수 있다. 따라서 합성형 사장교는 강사장교나 PC사장교에 비해 경제적인 상부구조를 구성할 수 있어 표 1에서 보는 바와 같이 최근 그 영역이 급속히 확장되고 있다.

그러나 합성형 사장교는 구조적인 효율성에도 불구하고 시간에 따라 변화하는 콘크리트의 크리이프, 건조수축 현상의 구현 뿐만 아니라 그로 인해 유발되는 외적 및 내적 부정정력의 산정 등 구조적으로 복잡한 문제들을 내재하고 있어 실제 설계에 적용하기 위해서는 고난도의 해석이 필수적이라 할 수 있다.

사장교의 해석은 그림 1과 같이 사하중 해석(시공직후 및 시간경과 후 해석), 사용하중 해석(차량, 온도, 침하, 바람, 지진)과 피로해석, 케이블교체 등 기타 해석으로 구분될 수 있으나 본 고는 이러한 합성형 사장교의 구조해석 중 시공단계를 고려한 사하중 해석에 대하여 몇가지 기술하고자 한다.

2. 합성형 단면에서의 응력변화

양쪽 강형을 인양 연결시킨 후 케이블을 1차 긴장하고 강형위에 프리캐스트를 거치한 뒤 이음부를 현장타설하고 양생 후 케이블을 2차 긴장하여 한 단계를 완성시키는 전형적인 1cycle에서 강형과 슬

* 정회원, (주)유신코퍼레이션 부장, 공학박사
** 정회원, (주)유신코퍼레이션 상무, 공학박사, 기술사

표 1 세계의 합성형 사장교 현황

교 량 명	위 치	최대경간장(m)	폭 원(m)	슬라브 두께(m)	완공년도	비 고
East Huntington	미국 웨스트 버지니아	274	12.2	20	1985 이전	
Annacis	캐나다 벤쿠버	465	32	21.5	1986	
Dartford	영 국	450	?	?	1991	
남포대교	중국 상하이	423	30.4	26	1991	
Hoogly	인도 캘커타	457	35	23	1993	
양포대교	중국 상하이	602	32.5	26	1993	
Kanali	네 팔	325	11.3	23	1993	
Mississipi River	미 국	201	25.7	25	1994	
Menzcala	멕시코	311	19.1	20	19??	
Quincy	미국 일리노이	274	13	23	19??	
Sitka Harber	알래스카	137	10.6	20	19??	
Owensboro	미국 캔터키	367	4차선	24.1	?	
2nd Servern	영 국	456	32.2	23	공사중	
Baytown	미국 휴스턴	381	48	20	공사중	
갑수문	홍 콩	430	35.2	25	공사중	
Weirton-Steubenville	미국 웨스트 버지니아	250	28	22	공사중	
Karkistensalm	핀 란 드	240	12.8	26	설계완료	
서해대교	한 국	470	32	22	공사중	

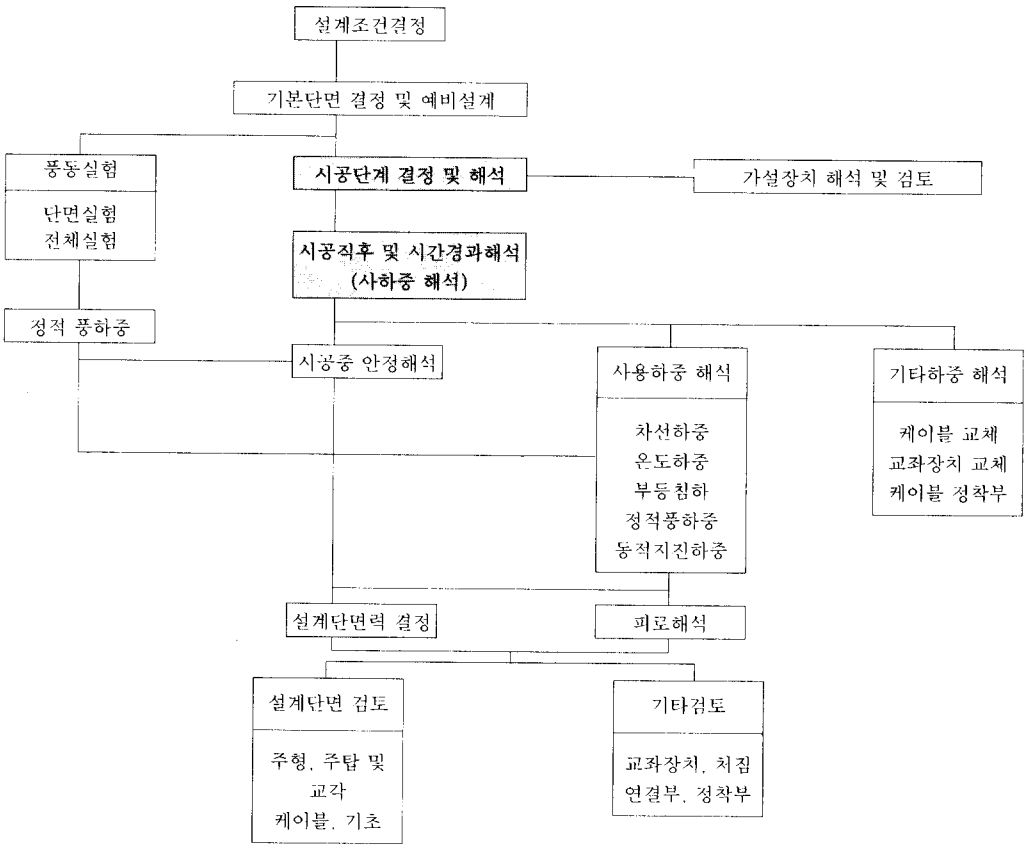


그림 1 시장교의 설계흐름

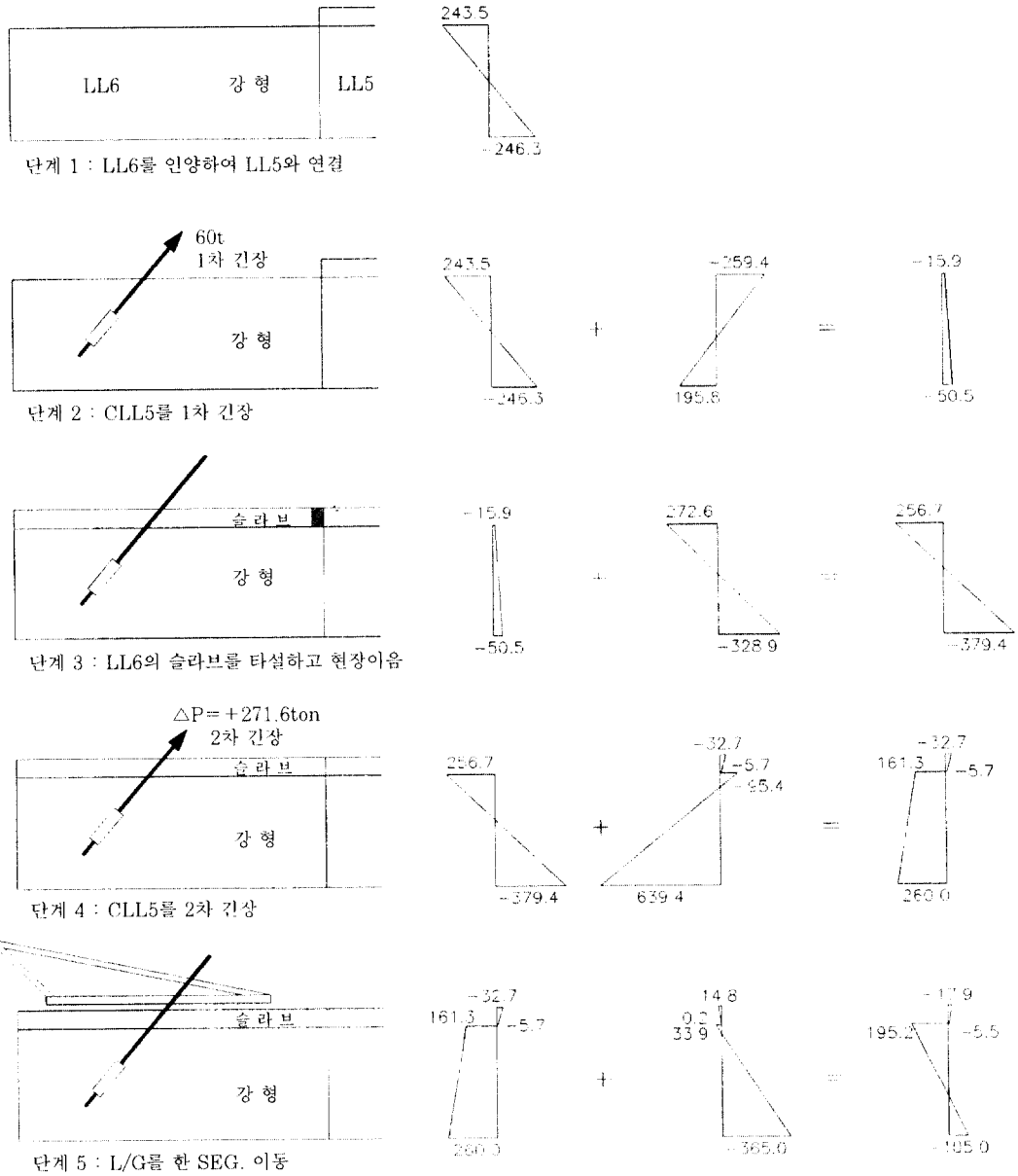


그림 2 합성형단면의 응력변화

라브에 발생하는 응력이력의 개요를 그림 2에 나타내었다(아래의 예는 서해대교 사장교의 seg.LL6을 캔틸레버 시공하는 과정의 응력이력을 도해한 것으로 단면모델링시 편구배를 고려하였으므로 강형상연이 슬라브 하연보다 높으나 여기서는 편의상 같은 위치로 표현하였음).

앞의 예에서 알 수 있듯이 합성형 사장교는 강사장교나 콘크리트 사장교에 비해 복잡한 시공단계가 있고 각 시공단계별로 응력이력이 복잡하게 변화함을 알 수 있다. 또한 이 응력들은 크리이프나 건조수축에 의해 재분배되고 앞으로 진행되는 세그먼트 시공에 따라 수시로 변화된다. 따라서 크리이프나 건조수축을 고려할 수 있는 일반 범용프로그램을 사용하더라도 단계별 구조물 모델링이나 응력이력

을 구하기 위해서는 막대한 시간과 방대한 량의 자료가 필요하며 엄밀한 해를 구하는 것이 자칫 불가능할 수도 있다.

따라서 합성형 사장교 해석을 위한 전용프로그램의 개발이 절실하게 대두되었으며, 그동안 서울대학교에서 발표된 학위논문인 시공단계별 해석프로그램 D7, CUBTAB을 근간으로 합성형 사장교해석을 위한 전용프로그램 개발 작업을 수행하였다.

프로그램 작업시 중점적으로 검토된 사항은 다음의 두가지로 대별할 수 있다.

-합성형 단면을 어떻게 이상화할 것인가 ?

-시공단계를 어떻게 유사할 것인가 ?

3. 합성형의 해석

3.1 합성형의 구조적 특성

합성형의 바닥콘크리트는 시간이 지남에 따라 강도가 증가하는 aging 현상, 응력이력에 따라 변형율이 증가하는 크리이프(creep) 현상과 지속응력과는 무관하게 발생하는 건조수축(shrinkage) 등으로 인해 중립축의 변화와 함께 외부하중 없이도 변형이 발생하게 되어 모멘트 재분배현상은 물론이고 단면내 부정정력을 발생시켜 구조물의 거동이 복잡해진다. 이와 같은 부정정력은 특히 강형의 상부 플랜지에 과도한 압축력을 유발시키며 심한 경우는 상부플랜지의 응력상태에 의해 주형의 단면이 결정되기도 한다. 이런 현상은 일반 균일재료로 구성된 주형에서는 볼 수 없는 현상이며 강합성교의 설계에서 특히 유의하여야 할 사항이다.

서해대교 설계시 크리이프에 의한 유발응력은 차선하중에 의한 영향보다 심각해 엄밀한 크리이프 해석의 필요성을 절감하였다. 크리이프에 의한 부정정력의 산정을 위해서는 경과시간과 지속응력에 따른 크리이프 계수값과 크리이프 계수 계산을 위

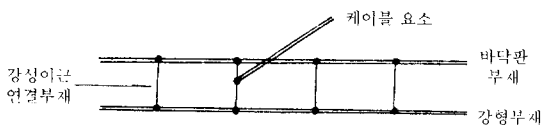


그림 3 일반적인 강합성 부재 모델링

한 환경 변수들을 정확히 추정할 수 있어야 한다. 서해대교 사장교 해석을 위해 개발된 구조해석 프로그램 asecas에서는 dirchlet 급수를 이용하여 크리이프 계수를 표현하고 지속응력의 크기와 작용시점에 따른 선형중첩법을 이용해서 크리이프변형을 구한 뒤, 초기 변형 문제로 이상화 하였다.

3.2 일반적인 해법

합성형 사장교를 해석하기 위해서는 시공단계유사기능은 물론 시간경과에 따른 콘크리트 재료 성질의 변화를 유사할 수 있는 기능을 기본적으로 갖추어야 한다. 이러한 기능들을 기본적으로 구비하였다고 가정했을 때 단면 모델링의 일반적인 방법은 강형부재와 콘크리트 슬라브 부재를 별도 부재로 이상화하고 일정 간격마다 강성이 큰 부재로 연결시켜 해석하는 것이다.

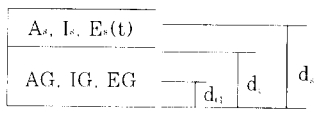
이와같은 모델링방법은 단순 명료하다는 장점이 있으나 강결된 절점에서만 합성효과가 있으므로 연속합성효과를 엄밀히 구현할 수 없으며, 또한 강결부재의 간격이나 강성에 따라 결과가 차이가 나고 강결점사이의 슬라브 부재에 발생하는 국부적인 효과가 크기 때문에 안정된 결과를 얻기가 힘들다는 단점이 있다.

서해대교 설계시에는 이와같은 이산적 모델링의 단점을 극복하기 위해서 합성부재의 이론식으로부터 연속합성형의 해를 구하고 이를 이용해서 연속합성요소(continuous composite girder element)를 개발하였다.

3.3 연속 합성형 요소

간단한 예를 통해서 2차원 합성형의 해석과정을 정리하면 다음과 같다.

단계 1. 합성형 단면의 중립축과 강성을 구한다.



A_S, I_S, $E_S(t)$: 슬라브의 단면적, 단면2차모멘트,

종탄성계수(Aging 효과에 의해 시간에 따라 변화)

A_G, I_G, E_G : 강형의 단면적, 단면2차모멘트, 종탄성계수

단계 2. 주어진 외부하중에 대하여 변형량을 산정한다.

단계 3. 구해진 변형량으로 단면력을 구한다.

ε_S, ε_G, ε_c : 슬라브, 강형, 합성형 단면중심에서의 strain 값

$$\chi : \text{curvature} = \frac{\varepsilon_{s1} - \varepsilon_{G2}}{H}$$

슬라브의 축력 : $P_s = \varepsilon_s \cdot A_s \cdot E_s(t)$

슬라브의 모멘트 : $M_s = \chi \cdot I_s \cdot E_s(t)$

강형의 축력 : $P_G = \varepsilon_G \cdot A_G \cdot E_G$

강형의 모멘트 : $M_G = \chi \cdot I_G \cdot E_G$

위의 예에서 정리된 개념을 일반화시킬 때 합성단면의 중심에 대해 물성치들을 표현하게 되면 시간에 따라 중립축위치가 변하게 되어 일관성이 없으므로 모든 물성치를 강형의 단면 중심에 대하여 표현하였다.

단계 1. 콘크리트 AGING 효과를 고려하여 강합성형의 단면중심을 구한다.

단계 2. 합성단면에 대한 부재강도행렬을 구한다.

여기서,

$a_1 = EA/L$, $a_2 = EAh_3/L$ $a_3 = EAh_2/L$

$b_1 = 12E(I_3 + Ah_2^2)/L^3$,

$b_2 = 12EAh_2h_3/L^3$ $b_3 = 6EAh_3h_3/L^2$

$b_4 = 6E(I_3 + Ah_3^2)/L^2$

$c_1 = 12E(I_2 + Ah_3^2)/L^3$

$c_2 = 6E(I_2 + Ah_3^2)/L^2$

$d_1 = GJT/L$

$e_1 = 4E(I_2 + Ah_3^2)/L$ $e_2 = 4EAh_2h_3/L$

$e_3 = 2E(I_2 + Ah_3^2)L$ $e_4 = 2EAh_2h_3/L$

$f_1 = 4E(I_3 + Ah_2^2)/L$ $f_2 = 2E(I_3 + Ah_2^2)/L$

$J_T = J + A(e_2^2 + e_3^2)$

h_2, h_3 : 합성단면도심에 대한 강형 또는 슬라브 도심의 2축, 3축 좌표

e_2, e_3 : 강형 또는 슬라브 전단중심의 2축, 3축 편기거리

$[k]_G = [k]_{GG} + [k]_{GS}$

= [합성단면중심에 대한 강형의 강도행렬]

+ [합성단면중심에 대한 슬라브의 강도행렬]

단계 3. 적합조건식을 이용해서 합성단면중심에 대한 부재강도행렬을 강형중심에 관한 부재강도행렬로 변환한다.

$$[K]_{GG} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & a_2 & -a_3 & -a_1 & 0 & 0 & 0 & -a_2 & -a_3 \\ & b_3 & h_2 & 0 & -b_1 & b_4 & 0 & b_1 & -b_2 & 0 & -b_2 & b_4 \\ & & c_1 & 0 & -c_2 & b_3 & 0 & -b_2 & -c_1 & 0 & -c_2 & b_3 \\ & & & d_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -d_1 & 0 & 0 \\ & & & & e_1 & -e_2 & -a_2 & b_3 & -c_2 & 0 & e_3 & -e_1 \\ & & & & & f_1 & -a_3 & -b_1 & -b_3 & 0 & -e_3 & f_2 \\ & & & & & & a_1 & 0 & 0 & 0 & a_2 & -a_3 \\ & & & & & & & b_1 & b_2 & 0 & b_3 & -b_4 \\ & & & & & & & & c_2 & 0 & -c_2 & -b_3 \\ & & & & & & & & & d_1 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & e_1 & -e_2 \\ & & & & & & & & & & & f_1 \end{bmatrix}_G$$

Symmetry

$$\{U\}_C=[a]\{U\}_G=\begin{bmatrix}1&0&0&0&-h_3&h_2\\0&1&0&s_3&0&0\\0&0&1&-s_2&0&0\\0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&1\end{bmatrix}\{U\}_G$$

여기서,

h_2, h_2 : 합성형 중심의 대한 강형중심의 좌표

s_2, s_3 : 합성형 전단중심에 대한 강형전단중심의 좌표

$$[k]_G=[A]^T[k]_C[A]$$

여기서, $[A]=\begin{bmatrix}[a]_i & [o]\\ [o] & [a]_j\end{bmatrix}$

단계 4. 전체강도행렬을 구한다.

$$[K]_G=\sum_{i=1}^{m}[T]_i^T[k]_{Gi}[T]_i$$

단계 5. 전체하중벡터 {P}를 구한다.

$$[P]_G=\sum_{i=1}^{m}[T]_i^T[B]^{-1}\{F\}_e$$

여기서, $[B]=([A]^{-1})^T$

단계 6. 전체변위벡터를 구한다.

$$\{d\}_G=[K]_G^{-1}\{P\}_G$$

단계 7. 부재변위벡터 $\{U\}_G$를 구하고 합성단면에 대한 변위벡터 $\{U\}_C$로 변환한다.

$$\{U\}_C=[A]\{U\}_G$$

단계 8. 발생부재력 $\{F\}_C$를 구하고 strain-stress 관계식으로부터 강형과 슬라브의 단면력을 구한다.

$\{F\}_C=[k]_C\{U\}_C \rightarrow \{F\}_{CG}$와 $\{F\}_{CS}$ 산정

이상의 합성형단면의 해석과정을 개략적으로 기술하였다. 여기서 고정단 단면력의 산정과정은 생략되어 있으나 일반적인 매트릭스 해법과 동일하다.

콘크리트 바닥판을 갖는 합성형 단면은 합성단면의 중립축이 고정되지 않기 때문에 모든 물성치를 고정된 기준축(여기서는 강형의 중립축)으로 표현해야 하며 그에 따른 각종 변환에 각별히 유의하여야 한다. 서해대교 설계시 앞서 설명한 일반적인 접근방법(각각의 부재로 이상화)과 연속합성형 요소의 수렴도를 비교한 결과 연속합성형요소의 수렴도가 탁월함을 알 수 있었다.

이외에도 합성형 사장교를 해석하기 위해서는 절점과 절점간의 탄성구속을 정의하는 connect 요소의 도입, 케이블 요소의 이상화 과정, 케이블과 절점의 연결시 이격거리를 고려한 rigid link 기능 등 부수적이긴 하지만 합성형 사장교의 구현에 필수적인 기능들이 있다.

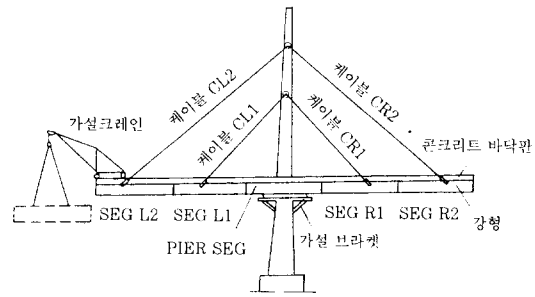


그림 4 합성형 사장교의 캔틸레버 시공

4. 시공단계의 유사

4.1 시공단계 분석

사장교를 설계하기 위해서는 시공단계를 명확히 하여 구조적으로 영향을 미치는 공정을 구분해야 한다.

강합성 사장교는 PC 사장교 및 강사장교의 모든 요소를 포함하고 있어 공정이 복잡하나 시간을 포함한 시공단계는 다음과 같이 표현할 수 있다.

제1일 기초완성
제300일 주탑시공
임시고정장치 설치
제310일 Pier seg 설치
상판 슬래브 타설(혹은 설치)
—양생 10일
제320일 가설용 크레인 설치
제330일 세그먼트 1 girder 인양 및 연결
Cable 1의 1차 긴장
상판 슬라브 타설(혹은 설치)
—양생 10일
제340일 Cable 1의 2차 긴장
가설용 크레인 이동
임시고정장치 해체 (변경)
제350일 세그먼트 2 girder 인양 및 연결
Cable 2의 1차 긴장
상판 슬라브 타설(혹은 설치)
—양생 10일
제360일 Cable 2의 2차 긴장
가설용 크레인 이동

여기서 알 수 있듯이 강합성 사장교의 시공단계 해석은 다음과 같은 기본적인 공정을 모사하는 것으로 시작된다.

- 시간의 개념 : 절대시간과 공정이 행해진 시간의 정의
- 수시로 경계조건 변화
- 작업차 하중의 설치 및 이동, 제거
- 세그먼트의 설치로 인한 구조계의 변경
- 슬라브 타설로 인한 하중 증가
- 슬라브 합성으로 인한 단면계수의 변화
- 케이블의 초기긴장 및 재긴장
- (텐던의 긴장)

여기서 특히 케이블의 긴장은 force control과 displacement control의 기능이 필요하다. 위에서 알 수 있듯이 몇 개의 공정모사 모듈을 확립해 놓으면 아무리 복잡한 시공단계를 가진 사장교라 할지라도 그 공정모사 모듈의 조합으로 표현할 수 있다.

이와 같은 개념으로 구조적으로 의미있는 공정을 파악하고 각 단계마다 해석을 함으로써 각 단계마다 응력검토 및 안정검토를 수행해야 한다. 특히 시공이력은 최종설계 종단을 확보하기 위한 솟음량(camber) 결정에 직접적인 영향을 미치므로 주의를 기울여야 한다.

4.2 시공공정구분

사장교의 실제시공 중 구조적으로 영향을 미치는 공정을 판단하여야 한다. 강합성 사장교의 시공단계 분석은 기타 사장교의 시공단계를 모두 포함하므로 이를 기준으로 분류하면 다음과 같다.

모든 시공단계는 기본적으로 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

모든 시공공정은 엄밀하게 동시에 할 수 없으므

DAY 1 [언 제] 시공공정 A1+시공공정 A2+…
시공공정 B1+시공공정 B2+…

DAY 2 [언 제] 시공공정 C1+시공공정 C2+…
시공공정 D1+시공공정 D2+…

표 3 시공명령어의 정리(안)

구 분	시공명령어	시스템 변경	비 고
시간정의	SET	O	
CABLE 공정	STRESS CABLE	O	• 트러스 요소나 등가탄성계수를 이용한 단계적 선형 해석 • 최초 긴장시에는 하중으로만 작용
	CHANGE CABLE	O	
	REMOVE CABLE	O	
P.T 공정	STRESS TENDON	O	• 등가하중 사용 • 적합조건식을 이용하여 강도 구현(필요시)
	REMOVE TENDON	O	
경계조건	SUPPORT	O	
	CHANGE CONNECT	O	
	REMOVE CONNECT	O	
부재상호구속	CONNECT	O	
	CHANGE CONNECT	O	
	REMOVE CONNECT	O	
시공및작업하중	SET TRAVELLER		
	MOVE TRAVELLER		
	REMOVE TRAVELLER		
부재설치	ERECT(SEGMENT)	O	
슬라브 설치	(ERECT) SLAB	O	최초에는 하중으로만 작용
기 타	MAXMIN		
	CASTING CURVE		

표 4 각 시공명령어들의 내용과 적용 예

명 령 어	내 용	비 고
SET	• 구조해석에 필요한 환경변수 설정 • 특히, 크리이프나 건조수축 해석을 할 수 있도록 현재의 시공일력을 정의	SET T=100 시공일력상 100일째를 정의
ERECT	• 부재의 설치를 정의 • "SLAB" 명령과는 달리 설치시부터 자체의 강성이 발현됨.	ERECT! 100, 104! 100번 부재부터 104번 부재까지를 현장에 설치함.
SLAB	• 부재의 설치를 정의하되 "ERECT" 명령과는 달리 설치시에는 하중으로만 작용하고 그 다음 단계부터 강성이 발현됨.	SLAB! 100, 104! 100번 부재부터 104번 부재까지의 슬라브를 타설함.
SUPPORT (CONNECT)	• 지반상에 설치되는 지점을 정의 • "CONNECT" 명령은 절점간의 경계조건, 즉 교각과 상부주형의 연결 등을 정의할 때 적용	SUPPORT! 1K=1 1, 1! 1번 절점의 x, y, z방향 이동을 구속한다.
CHANGE SUPPORT	• 지점의 경계조건 변경을 정의	CHANGE SUPPORT 1 K=0 1, 1! 1번 절점의 SUPPORT를 제거
REMOVE SUPPORT	• 지점의 제거를 정의 • 가설 브라켓이나 가설동바리 해체를 이상화	REMOVE SUPPORT! 1! 1번 절점의 SUPPORT를 제거
STRESS CABLE	• 케이블의 긴장을 정의 예) STRESS CABLE! 1101, 1102 N=55 P=30! 사장재 1101부터 1102까지 각 STRAND당 30t씩 55가닥을 긴장한다.	
CHANGE CABLE	• 케이블의 긴장력 조정을 정의 예) CHANGE CABLE! 1101, 1102 N=5 D=10t! 사장재 1101부터 1102까지 각 STRAND당 10t씩 5가닥을 추가로 긴장한다.	
REMOVE CABLE	• 케이블의 제거를 정의 예) REMOVE CABLE! 1101, 1102! 사장재 1101부터 1102까지 제거한다.	
STRESS TENDON	• PS 강선의 긴장을 정의 예) STRESS TENDON! 1101 N=22 R=0.75, 0.75! 1101부터 PS강선 22가닥을 0.75σpu가 되도록 양단 긴장한다.	
SET TRAVELLER	• 가설장비의 설치를 정의 예) SET TRAVELLER! 1 TO=1101! 1번 가설장비를 1101번 절점(부재)에 설치한다(하중으로 작용).	
MOVE TRAVELLER	• 가설장비의 이동을 정의 예) MOVE TRAVELLER! 1 TO=1120! 1번 가설장비를 1120번 절점(부재)로 이동시킨다.	
REMOVE TRAVELLER	• 가설장비의 해체를 정의 예) REMOVE TRAVELLER! 1, 4! 1번 가설장비부터 4번 가설장비까지 해체한다.	
LOAD	• 영구하중의 재하를 정의 예) LOAD! 1101, 1201 T=DL P=0, −1.5! 1101로부터 1201부재까지 −Y방향으로 1.5/m의 등분포하중을 재하한다.	
MAXMIN	• 현 단계까지의 최대/최소값을 출력한다. 예) MAXMIN	
CASTING CURVE	• 현 단계까지의 처짐값을 자료로 현 단계의 변위를 최종설계선형이 되도록 하기 위한 CASTING CURVE 값을 산출 예) CASTING CURVE	

로 모든 공정에 시간을 부여하여야 하나 구조적으로 판별하여 '언제'의 기준시간을 분류하여야 하고, 같은 DAY 1의 경우에도 A1, A2와 같이 동시에 수행되는 작업과 A1, B1과 같이 순차적으로 수

행되는 작업을 모사할 수 있어야 한다. 예를 들면 다음과 같다.

DAY=100
STRESS CABLE N=1001, 1002 : 케이블 1001번과 1002번 동시 긴장후
(ERECT) SLAB N=30, 31 : 슬라브 30, 31번 가설
STRESS CABLE N=1001, 1002(2차 긴장)
MOVE TRAVELLER
ERECT (GIRDER) 10
DAY=110(10일후)
STRESS CABLE N=1003, 1004
(ERECT) SLAB N=32, 33

4.3 시공명령어

사장교의 시공을 분석하여 구조적으로 의미있는 공정을 추출하여 명령화한 것을 '시공명령어'(construction command)라 명명하기로 한다.

서해대교 사장교 시공예를 기초로 이를 유사하기 위한 시공공정을 정리하면 다음과 같다.

5. 시공단계 해석프로그램 현황

시공단계를 해석할 수 있는 교량전용프로그램은 상업용 소프트웨어인 「RM-SPACE FRAME」을 필두로 「BC」, 「SPCFRAME」 등이 있으며 국내에서도 서울대학교 학위논문인 「D7」을 비롯해 꾸준

표 5 교량전용 프로그램의 비교

프로그램명	2차원 해석	3차원해석		추가변형		단면 형상	시공 단계	기 하 비선형	재 료 비선형	사 용 요 소		
		직선 부재	곡선 부재	뒴	찌그러짐					MAIN FRAME	STAY CABLE	합성 부재
SIMPLA 2		○		○	○	FOLDED PLATE	○					
R M	○	○					○	(○)		6 dof	○	
B C	○						○			3 dof	○	
SEGAN	○	○	○	○	○	1 CELL	○			8 dof		
KHALIL' S	○					3-LAYER	○	○			○	○
SFRAME	○						○			3 dof		
SPCFRAME	○					MULTI -LAYER	○	○	○	3 dof		
D 7	○	○		○		제약없음	○	○		7 dof	○	
CFRAME	○					MULTI -LAYER	○	○	○	3 dof	○	
PSDARI	○	○		○		제약없음	○	○		7 dof		
CUBTAP	○	○	○	○		제약없음	○			7 dof		
ASECAS	○	○		○		제약없음	○			7 dof	○	○
PCCAB	○	○		○		제약없음	○	○		7 dof	○	
CASCOCS	○	○		○		제약없음	○			7 dof	○	○
HYUNSTAY	○	○		○		제약없음	○	○		7 dof	○	○

〈SIMPLA2〉 TEXAS AT AUSTIN대학
〈B C〉 프랑스의 EUROPE ETUDES사
〈KHALIL' S〉 1979년 CALGARY 대학의 KHALIL
〈SPCFRAME〉 1989년 서울대학교의 강영진 교수
〈D 7〉 1990년 서울대학교의 박사학위논문(김우종)-〈SNUBR〉
〈CFRAME〉 1991년 서울대학교의 박사학위논문(이재석)
〈PSDARI〉 1992년 삼성기술연구소, 프로그램 〈D7〉의 일부분 상용화
〈CUBTAP〉 1992년 서울대학교의 박사학위논문(조경식)
〈PCCAB〉 1995년 삼성기술연구소, 〈PSDARI〉 확장
〈HYUNSTAY〉 1995년 현대건설, 〈ASECAS〉, 〈CASCOCS〉 확장
〈RM-SPACE〉 오스트리아의 TDV사, 1-Axis Bending
〈SEGAN〉 1978년 BERKELEY 대학의 VAN ZYL
〈SFRAME〉 1986년 BERKELEY 대학의 KETCHUM
〈ASECAS〉 1992년 (주)삼우기술단(조경식, 김우종)
〈CASCOCS〉 1994년 서울대학교의 박사학위논문 (조서경)

히 연구가 진전되어 현재 상당한 수준의 교량해석 프로그램을 개발 보유하고 있다. 현재까지 개발된 시공단계 해석용 교량전용프로그램의 현황은 다음과 같다.

6. 결 론

강합성 사장교는 구조적 효율성에도 불구하고 시간에 따라 변화하는 콘크리트의 크리이프와 건조수축의 영향과 복잡한 시공단계에 따른 거동의 복잡성 때문에 고난도의 해석이 필수적이며 이에 따라 본 고는 그 해결방안의 하나로서 시공단계를 유사하는 '시공명령어(Construction Commands)'와 슬라브와 강형의 합성을 이상화하는 '연속합성형요소(Linearly Composite Finite Elements)'를 사용하는 방안을 제시하였다. 또한 이와 같은 방안을 실제 설계에 적용함으로써 사용성을 입증하였으며 타방법과 비교할 때 더욱 정확하고 편리하게 강합성 사장교의 거동을 파악하는데 유력한 방법의 하나로 생각한다. ◘

콘크리트학회 전문서적 보급안내

철근콘크리트 구조설계매뉴얼(신간)

■ 한국콘크리트학회 편

· 본서는 극한강도 설계공식에 근거하여 도표와 설계예제를 작성하였으며, 그림을 이용하여 설계를 쉽고 빠르게 할 수 있고 또, 설계과정에서 반복되는 계산을 함축하여 계산과정을 단축시켜 설계실무에 편리하도록 집필되어 있다.
- A4 · 3권/총가 37,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,700원 별도부담
- 제1권 : 보 · 브라켓 · 기초의 설계
- 제2권 : 기둥 · 벽체의 설계
- 제3권 : 슬래브의 설계

콘크리트구조물의 비파괴검사 및 안전진단(신간) —제2회 기술강좌 교재 보정판—

■ 한국콘크리트학회 편

이 책은 건설현장 기술자들이 유용하게 활용할 수 있는 비파괴시험의 관련 원리 및 적용방법에 대한 최신 기술은 물론, 건축 · 토목공사용 콘크리트구조물의 안전진단 및 유지관리 · 보수방법과 콘크리트의 내구성 향상과 관련 시험방법에 관한 내용을 이해하기 쉽게 상세히 기술하고 있다.
- B5 · 408面/定價 17,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,100원 별도부담