P.C 橋梁의 施工段階 模寫方法에 대한 硏究

A Study on the Simulation of Construction Steps
of Prestressed Concrete Bridges

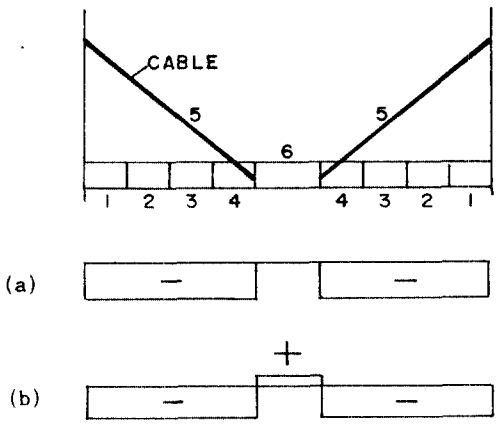
李 太 洋* 邊 潤 周** 金 宇 鍾***
Lee,Tae Yang Byun,Yun Joo Kim, Woo Jong

A B S T R A C T

The changes of stuctural systems in constructing prestressed concrete bridges are investigated according to several construction methods. Based on these investigation, structurally meaningful works are summarized and defined as "Construction Commands". And time-dependent characteristics of concrete and prestressing steels are fully considered. For the static and/or dynamic analysis of three dimensional prestressed concrete bridges at any constuction stages, it is proposed to use "Construction Commands" directly as user's input data. A example of cable syayed bridges is presented by the computer program developed by the present simulation method.

1. 序 論

일반적으로 프리스레스트 콘크리트 橋梁의 建設에 있어서 먼저 적절한 施工方法이 선택되는데 대부분의 경우 이러한 施工方法에 따른 構造物은 施工中과 施工後에 완전히 구별되는 構造體系(Structural System)를 갖게되는 것이 보통이다. 例를 들어 F.C.M.(Free Cantilever Method) 으로 施工되는 橋梁은 施工中에 假施設을 이용하여 安定된 캔틸레버의 構造시스템을 갖게되나 構造物의 完成時는 일반적으로 연속된 構造物의 형태를 갖게 되어 假施設 없이 안정한 형태를 유지하게 된다. 따라서 이러한 일련의 施工段階를 順次的으로 고려하는 것이 完成時의 구조물 각 부분의 應力및 처짐 등을 구하는데 필요하다. 그런데 대부분의 汎用 프로그램 (General Purposed Program) 들은 일정한 構造物의 體系에 단순히 어떤 荷重의 影響만을 해석하게 되므로, 실제의 構造物에 발생되는 應力이나 처짐을 豫想하기에는 不適合하다. 예를 들면 < 그림 1.1 >에서 (a) 는 캔틸레버 工法의 施工段階를 고려한 케이블에 의한 軸力圖이고 (b) 는 施工段階를 고려하지 않은 軸力圖이다. 여기에서 알 수 있듯이 施工段階를 고려하지않은 경우 지간 양단에서는 壓縮力이, 지간 中央部에서는 引張力이



<그림 1.1> 施工순서에 따른 軸力圖

發生하게 되나, 施工段階를 고려한 경우에는 지간 中央部에서는 引張力이 발생하지 않고 지간 양단에서는 壓縮力이 증가하게 된다. 이러한 현상은 강구조나 콘크리트 構造物에 상관없이 발생되는 문제이나, 특히 콘크리트는 材料 特性으로 인하여 크리이프(Creep)와 乾燥收縮(Shrinkage)이 時間의 經過에 따라 발생하여 構造物內의 應力을 再分配 시킴으로써 구조물의 擧動을 더욱 복잡하게 만든다.

이러한 構造物의 擧動을 把握하기 위한 연구로는 대부분 일반적인 理論과 設計에 대한 자료로서

* (株)三友技術團 代表,技術士
** (株)三友技術團 理事,技術士
***(株)三友技術團 部長,技術士,工學博士

1964년 LEONHARDT와 1974년 GUYON이 크리이프와 乾燥收縮으로 인한 캔틸레버 橋梁의 應力을 구하기 위한 設計式을 提案하였고, 1978년에는 PCI/PTI 에서 連續 캔틸레버 교량의 設計方法을 提案하였다. 그러나 이러한 提案式들은 작용하는 프리스트레스의 損失을 時間의 經過에 따라 고려하지 않았고, 한 캔틸레버를 하나의 세그먼트로 理想化하여 유도되었으므로 복잡한 工程의 캔틸레버工法橋梁이나 斜張橋에는 적용할 수 없었다. 따라서 복잡한 施工段階와 時間을 模寫 (Simulation) 할 수 있는 노력이 이루어 졌다.

TEXAS AT AUSTIN 대학에서는 1969년부터 1975년까지의 일련의 연구로 부터 세그먼트교량의 設計基準 및 方法을 제시하고 均一한 높이의 BOX형 단면을 가진 直線 橋梁의 施工段階를 고려한 靜的 線形 解析프로그램 <SIMPLA2>을 개발하였다.

1977 년 오스트리아의 TDV사에서 상업용으로 개발된 프로그램<RM-SPACEFRAME>[1]은 임의의 3次元 空間프레임構造物을 施工段階를 고려하여 해석하는 프로그램으로서 節點당 6 개의 자유도를 사용하였다. 이 프로그램은 케이블(Stay Cable)요소을 포함하였고, 나중에 幾何學的非線形解析까지 擴張되었으나 프리스트레싱과 크리이프 및 乾燥收縮에 의한 영향이 1 축의 휨 (1-Axis Bending)만 고려되는 制約을 가지고 있다.

1977년 프랑스의 EUROPE ETUDES 사에서 상업용으로 개발된 프로그램 <BC>[2]는 임의의 施工段階에 따른 해석을 수행하는 프로그램으로서 케이블(Stay Cable)을 포함시켰으며, P C 鋼材는 부재내에서 3次曲線의 형상을 갖고 緊張時의 프리스트레스힘을 等價荷重으로 취급하였다. 해석 모델은 靜的 線形이며 平面 構造物에 局限되었다.

1978년 BERKELY 대학의 VAN ZYL은 1 CELL BOX 의 P.C.曲線橋를 해석하기 위하여 절점당 8 개의 自由度를 가진 有限要素로 斜角(SKewed Angle)을 가진 曲線部材를 나타내고 施工段階를 고려한 靜的線形 解析프로그램 < SEGAN >을 개발하였다.

1986년 BERKELY 대학의 KETCHUM 은 일반적인 平面 프레임구조의 프리스트레스드 콘크리트 構造物을 施工段階를 고려하여 해석할 수 있는프로그램 < SFRAME >[3]을 개발하였다. 이 프로그램은 1984 년 WILSON 과 HOIT에 의해 개발된 FREE FIELD INTERPRETER와 데이타베이스 管理시스템[4]을 이용한 것이 특징이다. 이 프로그램은 케이블(Stay Cable)은 포함하지 않았으며 PC강재를 부재내에서 直線의 형상을 가진 트러스요소로 취급하였고 해석모델은 靜的 線形이다.

1989년 서울大學校의 姜榮振 교수는 R.C.및 P.C. 平面 構造物에 있어서 材料 및 幾何學的 非線形性을 고려하고 施工段階를 고려할 수 있는 프로그램 < SPCFRAME >[4]을 發表하였다. 이 프로그램에는 케이블(Stay Cable)을 포함시키지 않았으며 PC강재는 부재내에서 直線의 형상을 가진 트러스 要素로 취급하였다.

지금까지의 이러한 解析프로그램에서 施工段階를 模寫하는 方法은 재래의 數値的데이타를 사용하여 부분적으로 시공상태를 모사하고 中間의 解析結果를 다시 入力데이타로 사용하는 등 매우 복잡하고, 고도의 전문적 지식및 경험을 요구하게되어 誤謬發生可能性이 常存해 왔다. 일부 프로그램(BC,SFRAME,SPCFRAME)들은 본 연구의 施工命令語와 비슷한 사용자언어 데이타를 사용하여 시공단계를 模寫하였으나, 平面構造物에 국한되거나 斜張橋의 케이블 緊張등을 모사할 수 없었다.

따라서 본 硏究는 斜張橋의 케이블을 포함한 일반적인 3차원 P.C 橋梁에 대하여 임의의 施工狀態를 模寫할 수 있는 方法을 開發하는 데 그 目的이 있다.

2. 工法에 따른 構造體系의 變化

2.1 캔틸레버工法의 주두부 施工

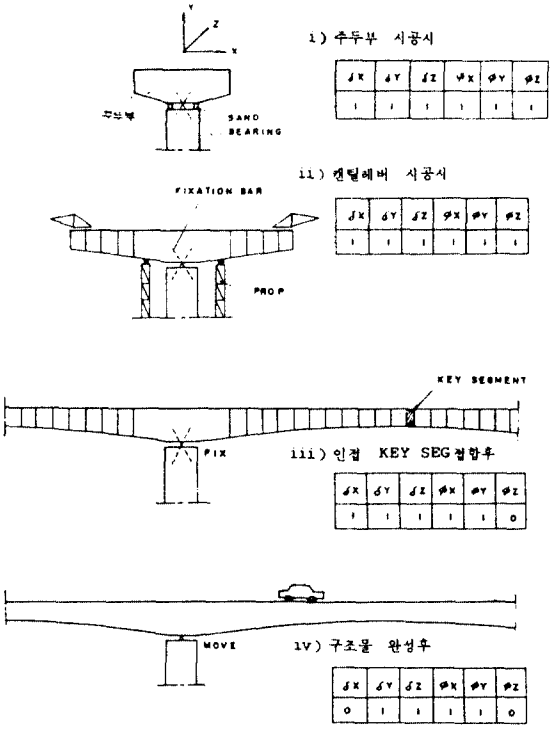
일반적인 캔틸레버의 주두부 施工은 <그림 2.1>과 같다. 여기서 施工이 진행함에 따라 지점의 拘束條件이 변화하는 것을 알 수 있다.

2.2 伸縮이음부 캔틸레버 施工

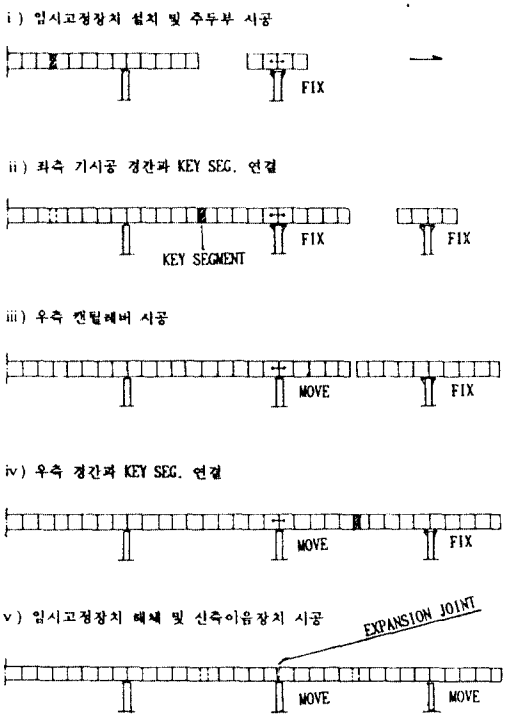
伸縮이음부 단지간의 캔틸레버시공은 <그림 2.2>와 같이 臨時固定裝置를 사용하여 캔틸레버시공하고 인접지간과 연결한 후 臨時固定裝置를 해체하여 시공한다.

2.3 斜張橋의 케이블 緊張 [6]

케이블의 引張力은 施工이 진행됨에 따라 變更되고 또한 이미 긴장된 케이블이라 할지라도 필요에 따라 再緊張되는 것이 보통이다. 따라서 實際 斜張橋에서 施工 段階를 模寫(Simulation)하기 위해서는 임의의 케이블을 임의의 緊張力으로 緊張 할



<그림 2.1> 캔틸레버工法의 주두부 施工



<그림 2.2> 伸縮이음부의 캔틸레버 施工

수 있어야 한다.

그러나 일반적인 방법으로는 正確하게 필요한 引張力을 주기가 어렵다. 총 케이블의 갯수를 n 이라 할 때, 線形 解析에서는 각 케이블 j (j=1,n) 마다 單位荷重을 재하하여 j 번 케이블이 i 번 케이블에 미치는 影響 係數 Aij 를 구하고, 주고자 하는 引張力 Xoi 를 荷重項으로한 n 元 1次 聯立 方程式 Aij Xi = Xoi 로 부터 각 케이블에 재하할 하중 Xi를 구할 수 있다. 그러나 非線形 解析에서는 이 방법이 가능하지 않기 때문에 本 연구에서는 다음과 같은 方法을 사용한다.

(1) 먼저 緊張 하고자 하는 케이블의 剛性 매트릭스 [k]e를 전체 構造物의 剛性 매트릭스 [K]g 에서 제거하여 [K]g' 을 만든다.

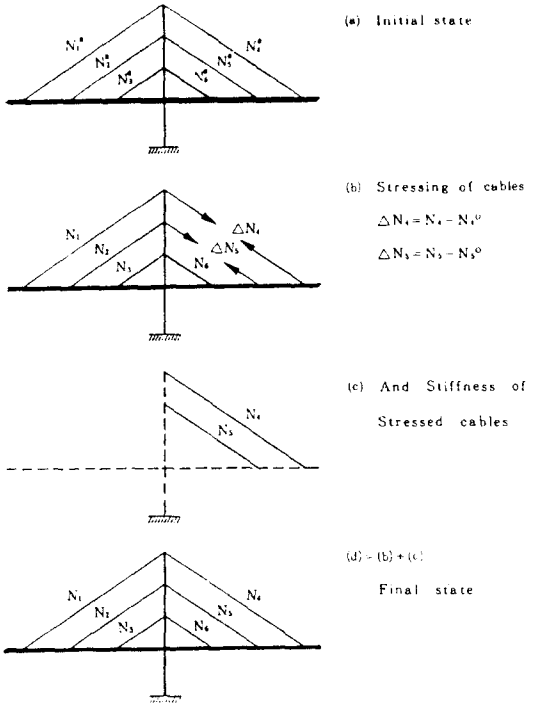
(2) 緊張하고자 하는 케이블의 引張力과 새로 導入하려고 하는 引張力의 차이를 계산하여 荷重 벡타 {T} 를 만든다.

(3) 方程式 [K]g' {d} = { T } 를 푼다.

(4) 構造物 각 부분의 응력 및 처짐을 구한 후 이때의 전체강성매트릭스 [K]g''를 구한다. 여기서 [K]g'' 은 線形解析일 경우 [K]g' 과 같게 된다.

(5) 전체 剛性 매트릭스 [K]g'' 에 새로운 引張力에 대한 케이블의 剛性 매트릭스 [k]e' 를 더한다.

위와 같은 방법은 線形, 非線形에 구애받지 않고 케이블의 等價彈性 係數 적용이 용이하다. 이러한 방법을 < 그림 2.3 >에 도식적으로 나타내었다. (a)에서 케이블 1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,6 은 각각 N1o ,N2o ,N3o ,N4o ,N5o ,N6o 의 引張力을 받고 있다. (b) 는 케이블 4,5 가 제거되고, 케이블 4,5의 위치에 ΔN4 = N4 - N4O, ΔN5 = N5 - N5O 의 荷重이 작용되어 變位가 발생하고 平衡이 된 狀態이다. (c) 는 케이블 4,5의 작용 축력 N4 ,N5 와 새로운 剛性 매트릭스를 의미한다. (d)는 케이블 4 와 5 를 각각 N4,N5 가 되도록 재긴장 했을 때 각 케이블의 引張力이 각각 N1 ,N2 ,N3 ,N4 ,N5 ,N6 의 引張力이됨을 보여준다. 즉 (b) + (c) = (d) 가 됨을 알 수 있다.



<그림 2.3> 斜張橋의 케이블 緊張模寫

3. P.C 교량의 시간의존적 성질

콘크리트는 使用荷重(Service Load) 하에서도 時間이 經過함에 따라 變形이 增加하고, 材料性質이 변하는 유일한 構造材料라 할 수 있다.

이러한 時間에 따른 변화는 긴 徑間의 프리스트레스드 콘크리트 橋梁에 있어서 매우 중요한 의미를 갖는다. 왜냐하면 긴 경간의 교량은 주로 세그먼트(Segment)로 분할되어 施工되며 構造物의 각 部分은 다른 材齡을 갖는 콘크리트로 구성되기 때문이다. 따라서 時間에 따른 콘크리트의 性質은 실제 構造物의 처짐 및 應力의 變化를 예측하는 데 중요한 要素가 된다고 할 수 있다.

이러한 時間依存的 性質은 크게 세가지로 나눌 수 있는데, 첫번째는 콘크리트자체의 強度增加(Aging)현상으로 시간이 지남에 따라 콘크리트는 彈性係數가 증가하는 것이다. 둘째는 작용하는 持續應力으로 발생하는 크리이프 變形(Creep Deformation)을 들 수 있는데 이것은 같은 응력상태에서도 變形이 時間에 따라 증가하는 현상으로 彈性처짐의 수 배까지 發展될 수 있다. 세째는 溫度變化와 같이 持續 應力과는 상관없이 발생하는 乾燥收縮(Shrinkage)을 들 수 있다. 이중 콘크리트의 크리이프는 載荷시의 材齡, 持續應力의 크기, 配合設計 및 周邊環境에 영향을 받는 복잡한 성질로써 실제로 作用된 應力履歷(Stress History) 에 따라 좌우된다.

또한 P.C강재는 初期引張力이 一定하더라도 시간이 경과함에 따라 인장응력이 감소 하는 應力弛緩 현상(Relaxation)이 있다.

4. 施 工 段 階 의 모사

4.1 槪 要

施工段階(Construction Step)를 고려하기 위해서는 施工 過程중 構造的으로 의미있는 工程(Construction Unit Work)을 선택하여 그 공정에 의한 構造物의 變化를 數値的으로 模寫할 수 있어야 한다. 또한 그 공정이 실시되는 時間과 順序등이 고려되어야 하며 한번에 여러가지의 공정이 고려될 수 있어야 한다. 그리고 時間이 經過함에 따라 발생하는 크리이프(Creep)및 乾燥收縮(ShrinKage)과 케이블이나 P C 鋼材의 弛緩(Relaxation)이 구조물의 각 요소에 미치는 影響이 진행되는 공정에 따라 고려되어야 한다.

本 硏究은 이러한 영향을 고려하기 위하여 각 工程에 해당하는 施工命令語(Construction Command)를 정의하고 각 시공명령어당 하나의 解析段階를 갖도록하였다.

각 時間段階(Construction Time Step)는 날짜 tn 일에서 tn+1 일까지로 정의되고, 먼저 tn 일에서 發生하는 施工工程이 시공 명령어 마다 수행되어 初期變形(Instantaneous Deformation)이 구해진다. 그리고 tn+1 일이 tn 일보다 크게 되면 $\Delta t = tn+1 - tn$ 의 시간동안 발생한 콘크리트의 크리이프와 乾燥收縮 및 케이블과 P C 鋼材의 弛緩 (Relaxatoion)이 고려되어 時間 依存的 變形(Time-dependent Deformation)이 구해진다.

施工中이나 施工後의 動力學的 解析을 위한 모듈(Modul)을 수행하게 되면 그 때의 구조물의 幾何學的 형상 및 接線 剛度 매트릭스가 전달되어 필요한 應答이 계산될 수 있도록 고안 하였다. 취급한 동력학적인 문제로는 구하고자하는 시점에서의 固有振動數와 移動하는 集中荷重과 임의의 時間函數荷重(Time Function Load)에의한 強制振動이다. 강제진동의 경우 처짐과 空間뼈대要素의 각 斷面力 및 케이블의 引張力과 설치된 P.C강재의 引張力의 변화를 구한다.

4.2 施 工 段 階 의 表 現

프리스트레스드 콘크리트 橋梁의 施工段階를 模寫하기 위하여 다음과 같은 施工 命令語(Construction Command)를 정의한다.

(1) T I M E
(2) E R E C T
(3) S T R E S S / R E M O V E T E N D O N
(4) S T R E S S / R E M O V E C A B L E
(5) L O A D
(6) M O V E / R E M O V E L O A D
(7) S U P P O R T
(8) C H A N G E / R E M O V E S U P P O R T

이 用語들은 프로그램의 使用者 入力 데이타로 활용되며 施工順序에 따라 단순히 羅列하므로써 構造物의 解析이 진행된다. 각 施工命令語는 다음과 같은 의미를 갖는다.

(1) T I M E
이 명령어는 이후에 적는 시공 명령어의 作用時間을 정의하기 위해 사용되며 構造物 施工의 順序를 조절한다.

(2) E R E C T
콘크리트 부재가 구조물의 일부분이 되도록 하는 명령어로 部材의 自重을 작용시킨다. 이 ERECT 되는 부재는 ERECT 될 때의 材齡이 있는데, 프리캐스트 세그먼트의 경우 재령이 現場打設의 경우보다 크게된다.

(3) S T R E S S / R E M O V E T E N D O N
P.C강재 (Prestressing Tendon)가 사용될 경우 P.C강재을 緊張하거나 긴장된 P C 강재을 除去한다.

(4) S T R E S S / R E M O V E C A B L E
斜張橋등에서 케이블(Stay Cable)이 사용되는 경우 케이블을 緊張하거나 긴장된 케이블을 除去한다.

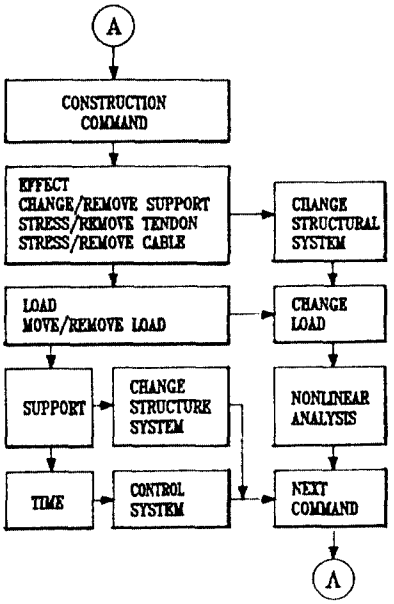
(5) L O A D
施工中에 작용하는 荷重(Construction Load)을 구조물에 載荷시킨다.

(6) M O V E / R E M O V E L O A D
載荷된 施工荷重(Construction Load)을 다른 곳으로 移動시키거나 除去한다.

(7) S U P P O R T
構造物에 拘束條件을 부여한다.

(8) C H A N G E / R E M O V E S U P P O R T
구조물의 既存 구속조건을 變更시키거나 除去한다.

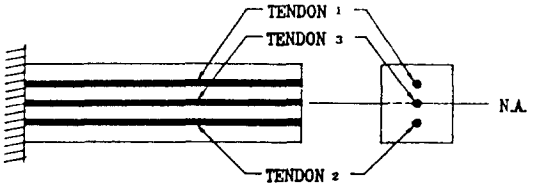
이러한 시공명령어 중 TIME 과 SUPPORT 는 구조물만 制御하고, 나머지 각각의 명령어는 구조물을 制御하는 동시에 解析을 수행하므로 이러한 명령어는 한 回의 非線形 解析을 의미한다. <그림 4.1 >에 각 명령어의 遂行範圍를 나타내었다.



<그림 4.1> 施工命令語의 遂行範圍

4.3 施工 命令語의 運用

橋梁의 施工을 표현하기 위하여 施工命令語를 운용하는데 있어 각 시공명령어는 각 1회의 해석을 의미하므로 적혀진 순서에 따라 해석 즉 數値的 施工이 진행된다.



<그림 4.2> P.C 강재의 配置 (例)

예를 들어서 < 그림 4.2 >에서 볼 수 있는 바와 같이 P.C강재 1,2,3번이 각각 다른 위치에 설치된다고 하자. 긴장력 100KN으로 P.C강재 1,2번을 施工날짜(Construction Calendar) D=10 일에 긴장하고 D=100 일에 P.C강재 3 번을 긴장한다고 하면 다음과 같이 施工命令語를 사용하여 工程을 나타낼 수 있다.

```
            TIME D=10
경우(A)     STERSS TENDON 1,2
            TIME D=100
            STRESS TENDON 3
```

또한 다음과 같이 나타낼 수도 있다.

```
            TIME D=10
            STERSS TENDON 1
경우(B)     STERSS TENDON 2
            TIME D=100
            STRESS TENDON 3
```

(A)의 경우는 10일에 P.C강재 1,2번을 同時에 100KN으로 긴장함을 의미하므로 10일과 100일에서의 引張力은 다음과 같이 될 것이다.

```
10 일 ; P1= 100KN   P2= 100KN
100일 ; P1=  90KN   P2=  90KN   P3= 100KN
```

그러나 (B)의 경우 10일날 P.C강재 1 번을 긴장하고 다음에 P.C강재 2 번 을 긴장함을 의미하므로 10일과 100일에서의 引張力은 다음과 같게 될 것이다.

```
10 일 ; P1= 100KN
10 일 ; P1=  98KN   P2= 100KN
100일 ; P1=  88KN   P2=  90KN   P3= 100KN
```

위의 숫자의 크기는 大小만을 比較하기 위한 假定된 값으로 실제 계산된 값은 아니며, 摩擦 등에 의한 損失은 무시된 것이다.

위에서 알 수 있드시 (A)의 경우에는 P C 강재 1,2번을 同時에 緊張하므로 1,2번의 인장력의 변화는 90일 동안의 시간에의한 손실과 3 번 P C 강재 긴장시의 2次變形에의한 損失이 그 원인이 된다. 반면에 (B)의 경우에는 P.C강재 1번을 먼저 긴장하므로 2 번 P.C강재 긴장시의 2次變形(彈性收縮)에 의해 1 번 P.C강재의 인장력의 변화가 발생한다. 또한 1,2번의 引張力은 90일 동안의 시간에의한 損失과 3 번 P.C강재긴장시의 2차변형에 의한 손실로 감소된다

이와같이 實際의 多樣한 施工狀態 및 方法을 模寫할 수 있도록 施工命令語를 運用할 수있다.

5. 컴퓨터프로그램

5.1 해석개요[6,7]

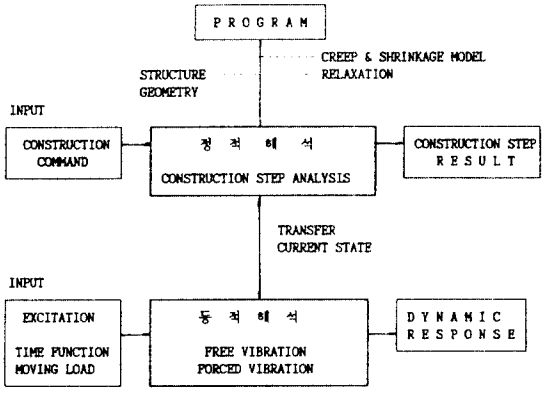
本 硏究에서 제시한 시공단계모사 방법을 적용하여 프로그램 「 D 7 」을 개발하였다. 이 프로그램은 케이블을 포함한 임의의 3 차원 空間 프리스트레스트 콘크리트 뼈대구조물을 임의의 施工方法에 따라 順次的으로 해석하며 콘크리트의 크리이프(Creep) 및 乾燥收縮(Shrinkage)과 鋼材의 弛緩(Relaxation)등의 時間의 影響을 고려한다.

構造物의 解析은 앞에서 정의한 施工命令語에 따라 순차적으로 수행되며 출력방식의 선택에 따라 時間區間의 前後 또는 各 施工命令語遂行 직후의 解析結果가 출력된다. 크리이프 해석에 있어서 모델은 CEB/FIP 와 ACI 모델을 사용하였고 또는 실험데이타를 직접 사용할 수 있도록하였다.

施工中이나 施工後의 구조물에 대한 動力學的 解析은 그 때의 구조물의 幾何學的 형상 및 接線剛度매트릭스가 전달되어 固有振動數와 強制振動應答을 계산한다. 이것을 <그림 5.1>에 나타내었다. 解析上의 문제에 있어서 이 프로그램은 다음과 같은 기본적인 가정하에 작성되었다.

(1) 모든 材料의 應力과 變形度의 관계는 線形으로 가정하며, 콘크리트의 龜裂과 極限狀態등은 고려하지 않는다.

(2) 구조물의 施工段階의 해석은 靜的 線形 또는



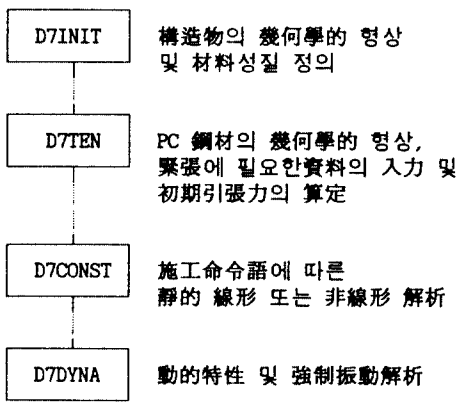
<그림 5.1> 施工段階를 고려한 靜的 및 動的解析

非線形 解析이며, 非線形 해석인 경우의 幾何剛度매트릭스는 공간뼈대 要素와 케이블 要素, P.C 鋼材 要素로 구성된다.

(3) 動的荷重에 의한 影響은 구조물의 非線形擧動을 고려하지 않는다.

5.2 프로그램의 構成 및 運用

본 프로그램 「 D 7 」은 다음과 같이 크게 4 개의 독립된 프로그램으로 構成되어 있다.



<그림 5.2> 프로그램의 遂行順序

각 프로그램은 각각 獨立的인 INCORE ARRAY 를 가지며 대부분의 情報交換은 각 프로그램의 INCORE ARRAY 의 交換으로 이루어진다. 각 프로그램은 INCORE ARRAY 로서 다음과 같은 1 次元配列을 갖는다.

```
COMMON MTOT,NP,IA(5000)
MTOT= 5000
```

각 프로그램은 서로 다른 MTOT (total memory)를 가질 수 있으며, 프로그램간에 정보교환시 각각의 배열크기로 自動的으로 擴張되거나 縮小된다.

또한 INCORE ARRAY 의 管理와 入力의 容易性을 위하여 1984년 WILSON 과 HOIT 에 의해 개발된 데이타베이스관리시스템과 FREE FIELD INPUT INTERPRETER 를 사용하였다.[4]

전체 프로그램은 MS-FORTRAN77을 사용하였으며 4 개의 주프로그램 (main program)과 200 여개의 부프로그램(subroutine)으로 구성되어 있다.

프로그램의 운용에 있어서 먼저 첫번째 모듈인 「D7INIT」를 수행하고, PC 鋼材를 사용하는 경우에 한하여 「D7TEN」을 수행한다. 이 「D7TEN」이 수행되면 「D7INIT」에서 생성된 incore file $$INIT.COR 에 새로운 情報가 收錄되어 그 構造를 變更시킨다. 일반적으로 PC 鋼材의 기하학적형상의 입력은 시행오차를 반복하여야 하므로 이 프로그램의 종료는 STOP 와 STOP SAVE 로 구별하였다. 즉 STOP SAVE 일 때만 $$INIT.COR을 변경시킨다. 다음에 施工段階의 解析을 위하여 「D7CONST」를 수행한다. 이때까지의 시공된 구조물에 대한 動的解析을 위하여 「D7DYNA」를 수행한다. 각 프로그램은 각각의 出力選擇에 따라 적절한 양의 結果를 얻을 수 있다.

5.3 入力데이타의 例 [6]

프로그램 「D7INIT」 데이타

```
TITLE
TITLE    CABLE  STAYED  BRIDGE
TITLE    80 + 150 + 80 = 310 M
TITLE
MODEL N=1 ! 1 M=CEB
CONCRETE N=1 ! 1 E=3376000 M=1
SECTION N=2 ! 1 A=8.0 I=10,100,18,3
2 A=10.0 I=10,10,10,3 !
NODE N=17 ! 1 C=0 ! 2,4,1 C=20 D=30
5,6,1 C=80,-20 D=0,60
7,8,1 C=110 D=30 ! 9 C=155
10,11,1 C=170 D=30
```

```
13,12,-1 C=230,-20 D=0,60
14,16,1 C=230 D=30 ! 17 C=310 !
BEAM N=16 ! 1,3,1 I=1,2 D=1,1 A=7 S=1,1
4 I=4,7 ! 5,8,1 I=7,8 D=1,1
9 I=11,14 A=7!10,12,1 I=14,15 D=1,1 A=7
13 I=5,4 A=28 S=2,2
14 I=4,6 A=28 S=2,2
15 I=13,14 A=28 S=2,2
16 I=14,12 A=28 S=2,2!
CABLE N=8
1 I=3,6 ! 2 I=2,6
3 I=7,6 ! 4 I=8,6
5 I=11,12 ! 6 I=10,12
7 I=15,12 ! 8 I=16,12!
RESTRAINT ! 1,17,1 F=0,0,1,1,1,0,1 !
STOP
```

프로그램 「D7CONST」 데이타

```
CONSTRUCTION S=1 N=1
TIME D=1
SUPPORT ! 5,13,8 K=1,1,1,1,1,1,1 !
ERECT   ! 13,16,1 !
TIME D=90
SUPPORT
2,3,1 K=0,1
7,8,1 K=0,1
10,11,1 K=0,1
15,16,1 K=0,1 !
ERECT   ! 2,5,1 ! 8,11,1 !
TIME D=150
REMOVE SUPPORT
2,3,1 ! 7,8,1
10,11,1 ! 15,16,1  !
STRESS CABLE
1,7,2 P=450 N=65
2,8,2 P=420 N=60 !
TIME D=200
SUPPORT ! 1,17,16 K=0,1 !
ERECT ! 1,12,11 ! 6,7,1
TIME D=400 ! TIME D=1000
TIME D=2000 ! TIME D=6000
STOP
```

프로그램 「D7DYNA」 데이타

```
TITLE
TITLE          MODE SUPERPOSITION METHOD
TITLE             & MOVING LOAD
TITLE
GRAVITY G=1.0
FREE VIBRATION N=9
MOVING LOAD
LOAD P=0,-1000,0 V=20
PATH N=12 E=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12
RESULT  D=9,2
SOLVER M=MOD T=0.005
STOP
```

6. 結 論

施工段階를 模寫하기 위하여 본 연구에서 제시한 '施工命令語(Construction Commands)'를 適用한 결과 斜張橋를 포함한 임의의 3次元 P.C橋梁의 施工狀態를 時間의 經過에 따라 體系的으로 明確하게 表現할 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. Technische Datenverarbeitung: RM-Spaceframe Maunal ,Technische Datenverarbeitung,Heinz Pircher und Partner,1984

2. Europe Etudes Gecti: B.C. Bridge Construction Computer Program Manual ,Europe Etudes Gecti,France,1977

3. M.A. Ketchum : Redistribution of stresses in segmentally erected prestressed concrete concrete bridge U.C.BERKELY, UCB/SESM-86/07,1986

4. Wilson, E.L. and Hoit,M.I. : A computer adaptive language for the development of structural analysis Programs ,Computer and Structures,Vol. 19, No.3, pp.321-338, 1984

5. 강영진 : "SPCFRAME-computer program for nonlinear segmental analysis of plannar prestressed concrete frames , U.C.BERKELY, UCB/SEMM-89/07,1989

6. 金 宇 鍾 : 施工段階를 고려한 프리스트레스트 콘크리트橋梁의 靜的 및 動的 3 次元 擧動에 대한 硏究, 공학박사학위논문,서울대학교,1990

7. S. P. CHANG, W. J. KIM : Behaviour of Prestressed Concrete Bridges Considering Construction Stages, IABSE COLLOQUIUM STUTTGART Structural Concrete, Volume 62,1991