

크리프와 건조수축을 고려한 철근콘크리트 기둥과 동바리의 축력 재분배 해석법

김선영^{1)*} · 이태규²⁾ · 김진근³⁾ · 이수곤¹⁾

¹⁾ 전남대학교 건축공학과 ²⁾ 우송대학교 건축토목환경공학부 ³⁾ 한국과학기술원 토목공학과

(2001년 6월 28일 원고접수, 2001년 11월 30일 심사완료)

Analysis Method of Axial Force Redistribution of Reinforced Concrete Columns and Shores Considering the Creep and Shrinkage

Sun-Young Kim^{1)*}, Tae-Gyu Lee²⁾, Jin-Keun Kim³⁾, and Soo-Gon Lee¹⁾

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Chonnam National University, Kwangju, 500-757, Korea

²⁾ School of Architecture, Civil & Environmental Engineering, Woosong University, Daejon, 300-718, Korea

³⁾ Dept. of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejon, 305-701, Korea

(Received on June 28, 2001, Revised on November 30, 2001)

ABSTRACT

To apply the research results to the design and the construction of the high rise buildings, long-term behavior of reinforced concrete structure have been widely studied. However, shoring and reshoring at early ages have not been considered in the most of studies. The removal of forms and shores has been dealt with one construction sequence, i.e. the deformation occurred at the early age before the removal of shore has been neglected.

In this paper, two-dimensional frame analysis program for long-term behavior of reinforced concrete was developed. In the developed program, construction sequence including the settlement and the removal of shores is considered to predict axial force variation due to forms, shores, and time-dependent concrete stiffness. Analysis results show that the time-dependent axial force of shores is reduced, and the redistributed axial force of the interior column is greater than the value by elastic analysis and that of the exterior column is smaller. In order to demonstrate the validity of this program, the test frame was constructed in sequence of the placement of concrete, form removal, reshoring, shore removal, and the application of additional load. The proposed program predicts experimental results well.

Keywords : long-term deformation, shore, form, reshoring, construction sequence, redistribution of axial force

1. 서 론

최근 철근콘크리트 골조 구조물의 장기거동 특성을 고려하여 고층건물의 설계 및 시공에 적용하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 이유는 콘크리트 구조물의 경우 탄성 변형뿐만 아니라 비탄성 변형인 크리프 및 건조수축이 상당히 크고 서로 영향을 주기 때문이다^{1,2)}.

현재 일반적으로 사용되고 있는 고층건물의 장기변형 예측에서는 골조의 하중분담현상(frame action)만을 고려하고 있다. 즉, 초기 탄성하중에 대한 전체 구조물의 골조 해석으로부터 얻어진 각 기둥의 단면력을 기본 탄성하중으로 취한 후, 각각의 기둥을 독립적으로 생각하여 시간의 존적인 비탄성 해석을 수행하고 있다³⁾. 그러나 골조의 단면력은 탄성 단면력 뿐만 아니라 전체 골조로서의 비탄성 거동으로 인하여 재분배가 이루어지기 때문에 기둥의 실

제 하중과는 많은 차이를 보일 수 있다.

초기재령에 영구하중(permanent load)이 작용하는 콘크리트는 완전 경화 후에 영구하중이 작용하는 콘크리트보다 장기변형이 훨씬 더 크기 때문에 초기재령에서의 장기변형 예측은 매우 중요하다. 그러나 기존의 연구^{4,5)}에서는 reshoring에 대한 문제를 무시하고 거푸집제거 및 reshoring을 한 단계로 처리하기 때문에 동바리를 제거하기 전의 초기재령에서 발생하는 변형을 고려할 수 없다.

본 연구에서는 동바리의 설치/제거를 포함한 실제 시공과정의 고려는 물론 거푸집 및 동바리의 강성, 그리고 시간의 경과에 따른 콘크리트 강성 변화에 의한 기둥 축력의 변화를 예측할 수 있는 프로그램을 개발하고자 한다. 그리고 프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 실제 철근콘크리트 골조 구조물을 일반적인 시공순서에 따라서 제작하고, 이를 프로그램 결과와 비교한다.

2. 축력 재분배를 고려한 해석 알고리즘

* Corresponding author

Tel : 062-530-0250 Fax : 062-530-0250

E-mail : suny1190@hanmail.net

2.1 시간의존적 축력 재분배

Fig. 1과 같은 일반적인 골조에 동바리가 설치되어 있을 경우, 임의의 시간 t 에서의 보와 기둥의 자중 W 는 기둥, 거푸집 및 동바리의 저항력(축력)의 합인 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$W = \sum_i R_{c,i}(t) + \sum_i R_{sr,i}(t) + \sum_i R_{f,i}(t) \quad (1)$$

여기서, $R_{c,i}(t)$: 콘크리트 기둥의 축력

$$(= E_c(t) A_c \epsilon_i(t) + E_s A_s \epsilon_i(t))$$

$R_{sr,i}(t)$: 강재(steel) 동바리의 축력

$$(= E_s A_{sr} \epsilon_{si}(t))$$

$R_{f,i}(t)$: 거푸집의 축력

따라서 탄성하중 상태라고 하더라도 시간의 경과에 따라 콘크리트 부재의 강성이 증가하면 동바리의 축력은 점차적으로 감소하고 기둥의 축력은 동바리 축력의 감소량 만큼 증가하게 된다.

한편, 기둥에 작용하는 자중의 경우 통상적으로는 Fig. 2(a)와 같이 기둥의 상·하단 절점에 $w_c/2$ 씩 작용시키고 있으나 이렇게 하면 초기에 너무 과다한 하중을 기둥에 가해주는 결과가 되므로 본 연구에서는 Fig. 2(b)와 같이 그 크기를 $w_c/4$ 와 $3w_c/4$ 씩 작용하는 것으로 가정하였다.

2.2 시공단계를 고려한 해석

철근콘크리트 골조 구조물의 일반적인 시공단계는 Fig. 3과 같이 표현할 수 있다. Stage I은 거푸집과 동바리를 가설한 후 콘크리트를 타설하는 시점이며, Stage II는 거푸집 제거 및 reshoring을 나타낸다. 이때 수직부재의 거푸집과 reshoring의 시간적 차이가 있을 수 있으나 대체적으로 짧은 시간의 차이이므로 이는 무시하기로 한다. Stage III는 동바리를 완전히 제거한 단계이며, Stage IV는 추가적인 외부하중이 구조물에 작용하는 경우이다.

대부분의 기존 연구^{4,5,6,7)}에서는 거푸집과 동바리를 하나의 시스템으로 처리하였기 때문에 거푸집 제거 후의 reshoring은 무시하였다. 즉, Fig. 3에서 Stage II를 고려하지 아니하였고 Stage I에서 Stage III로 바로 진행된다고 가정하였는데, 이는 비록 거푸집이 제거되었다고 하더라도 동바리를 제거하기 전까지 모든 하중은 동바리가 저항하는 실제 거동과는 크게 다르게 된다.

따라서 본 연구에서는 기둥 거푸집의 제거와 shoring 및 reshoring을 각각 별도로 고려하여 Fig. 3의 일반적인 시공단계를 모두 고려할 수 있도록 하였다. 시공단계의

고려와 시간에 따른 해석이 가능하기 위해서는 하중이 어떤 시점에 어떤 부재에 작용 또는 제거되는지를 주어진 임의의 시간단계에 대하여 구하고 이 값을 중첩의 원리를 적용하여 전체적으로 누적하여야 한다.

임의의 시간 t_a 에서 새롭게 작용되는 하중량 $\Delta S_i(t_a)$ 는 다음과 같다.

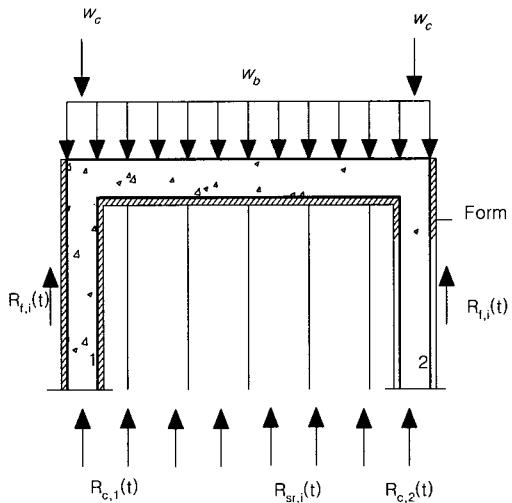


Fig. 1 Axial force redistribution in elastic state

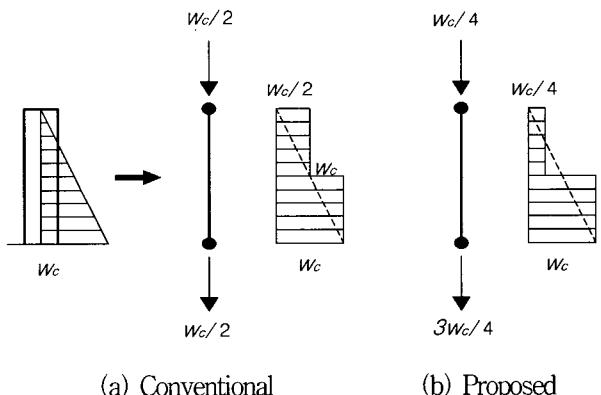


Fig. 2 Column load division

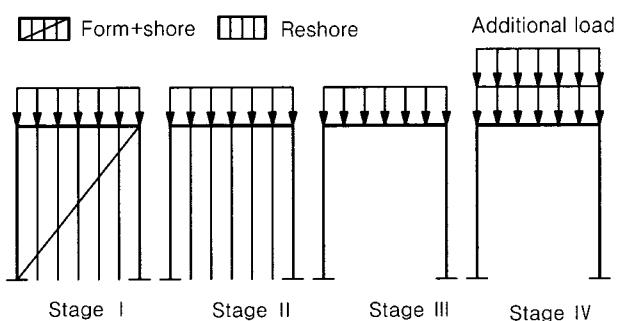


Fig. 3 Typical construction sequence with shore

$$\Delta S_i(t_a) = S_i(t_a) - S_i(t_{a-1}) \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

여기서, $S_i(t_a)$ 는 시간 t_a 에서 i 층에 작용되는 모든 하중을 의미한다.

현재의 시간단계에서 식(2)와 같은 하중 식을 이용하여 전체 골조 해석을 수행하며, 해석결과로부터 임의의 i 층에서 발생되는 전체 처짐량 $U_i(t_a)$ 는 다음과 같이 모든 시간단계에서 구한 값의 누적량으로 표시된다.

$$U_i(t_a) = \sum_{k=1}^a u_i(t_k) \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

여기서, $u_i(t_k)$ 는 시간 t_k 에서 작용되는 하중에 의한 i 층에서의 변위를 의미한다.

3. 유한요소해석

3.1 강성행렬의 구성

축력과 휨을 동시에 받는 콘크리트 요소의 경우 기준의 강성행렬⁸⁾은 축력에 의한 (2×2) 행렬과 휨에 의한 (4×4) 행렬을 단순히 각각의 자유도에 따라 조합하는 방식 즉, (6×6) 행렬로 구성되어 있다. 그러나 실제의 철근콘크리트 부재에서는 압축부와 인장부의 상이한 철근배근 및 인장부 콘크리트의 균열 등으로 인한 거동 차이 때문에 선 요소를 사용할 경우에는 축력과 휨이 상호 관련이 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 최초의 유도단계에서부터 6자 유도를 고려하여 유도된 식(4) 및 Fig. 4와 같은 강성행렬⁹⁾을 사용한다.

$$[K(t)] = \begin{bmatrix} \frac{EA(t)}{\ell} & 0 & -\frac{ER(t)}{\ell} & -\frac{EA(t)}{\ell} & 0 & \frac{ER(t)}{\ell} \\ 0 & \frac{12EI(t)}{\ell^3} & \frac{6EI(t)}{\ell^2} & 0 & -\frac{12EI(t)}{\ell^3} & \frac{6EI(t)}{\ell^2} \\ -\frac{ER(t)}{\ell} & \frac{6EI(t)}{\ell^2} & \frac{4EI(t)}{\ell} & \frac{ER(t)}{\ell} & \frac{6EI(t)}{\ell^2} & -\frac{2EI(t)}{\ell} \\ -\frac{EA(t)}{\ell} & 0 & \frac{ER(t)}{\ell} & -\frac{6EI(t)}{\ell^2} & 0 & \frac{ER(t)}{\ell} \\ 0 & -\frac{12EI(t)}{\ell^3} & -\frac{6EI(t)}{\ell^2} & \frac{12EI(t)}{\ell^3} & -\frac{6EI(t)}{\ell^2} & \frac{4EI(t)}{\ell} \\ \text{sym.} & \frac{6EI(t)}{\ell^2} & \frac{2EI(t)}{\ell} & \frac{4EI(t)}{\ell} & \frac{4EI(t)}{\ell} & \frac{4EI(t)}{\ell} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } EA(t) &= E_c(t) A_c + \sum_i E_s A_{s_i} \\ ER(t) &= E_c(t) R_c + \sum_i E_s A_{s_i} y_i \\ EI(t) &= E_c(t) I_c + \sum_i E_s A_{s_i} y_i^2 \end{aligned}$$

또한, A_c , R_c , I_c 는 각기 콘크리트 단면의 단면적, 단면1차모멘트, 단면2차모멘트를 의미한다.

한편 크리아프와 건조수축에 의한 비탄성 변형률의 계

산은 각기 식(5)와 식(6)을 사용하였다.

$$\begin{bmatrix} EA(t) & -ER(t) \\ -ER(t) & EI(t) \end{bmatrix} \left(\begin{array}{l} \Delta \varepsilon(t) \\ \Delta k(t) \end{array} \right) = \begin{bmatrix} E_c(t) A_c & -E_c(t) R_c \\ -E_c(t) R_c & E_c(t) I_c \end{bmatrix} \left(\begin{array}{l} \varepsilon_e \phi(t, t_p) \\ k_e \phi(t, t_p) \end{array} \right) \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} EA(t) & -ER(t) \\ -ER(t) & EI(t) \end{bmatrix} \left(\begin{array}{l} \Delta \varepsilon(t) \\ \Delta k(t) \end{array} \right) = \begin{bmatrix} E_c(t) A_c \\ -E_c(t) R_c \end{bmatrix} \varepsilon_{sh}(t, t_o) \phi(t, t_o) \quad (6)$$

여기서, $\Delta \varepsilon(t)$, $\Delta k(t)$ 는 임의의 시간 t 에서의 변형률과 곡률, t_p 는 하중의 재하시간, t_o 는 건조수축 시작시간, ε_e , k_e 는 시간 t_p 에서 탄성하중에 의한 단면 중앙에서의 변형률과 곡률, $\varepsilon_{sh}(t, t_o)$ 는 건조수축으로 인한 변형률, ϕ 는 크리아프 계수를 의미한다.

3.2 프로그램 흐름도

프로그램의 구성 및 내용은 Fig. 5와 같다. 먼저 현재 시간단계에서 존재하는 요소와 절점을 찾는다. 그리고 탄성해석을 수행한 뒤 비탄성 하중에 의한 부재력을 구하는 것으로 크게 구성된다. 시공단계를 고려하기 위해서는 각각의 단계별로 해석을 수행해야 하므로 해석 시간 및 메모리 관리를 효율적으로 해야한다. 따라서 개발한 프로그램에서는 모든 요소와 단면성질 및 재료성질을 미리 입력하여 이를 모두 각 단면 및 부재의 메모리 관리 클래스에 기억을 시켜 놓은 다음, 각각의 시공단계에서 필요한 정보들을 클래스로부터 읽어들여 해석을 수행하도록 구성하였다.

4. 실험

4.1 실험계획 및 제작

시공중의 실제 구조물에서 동바리의 축력 및 부재의 변형을 측정하는 것은 현실적으로 매우 어렵기 때문에 Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 축소모델을 제작하여 실험을 수행하

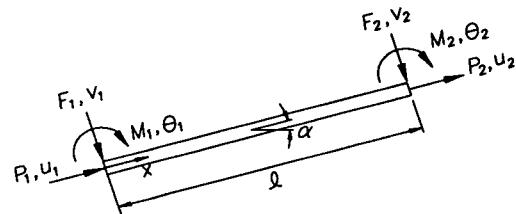


Fig. 4 Nodal forces and displacement com

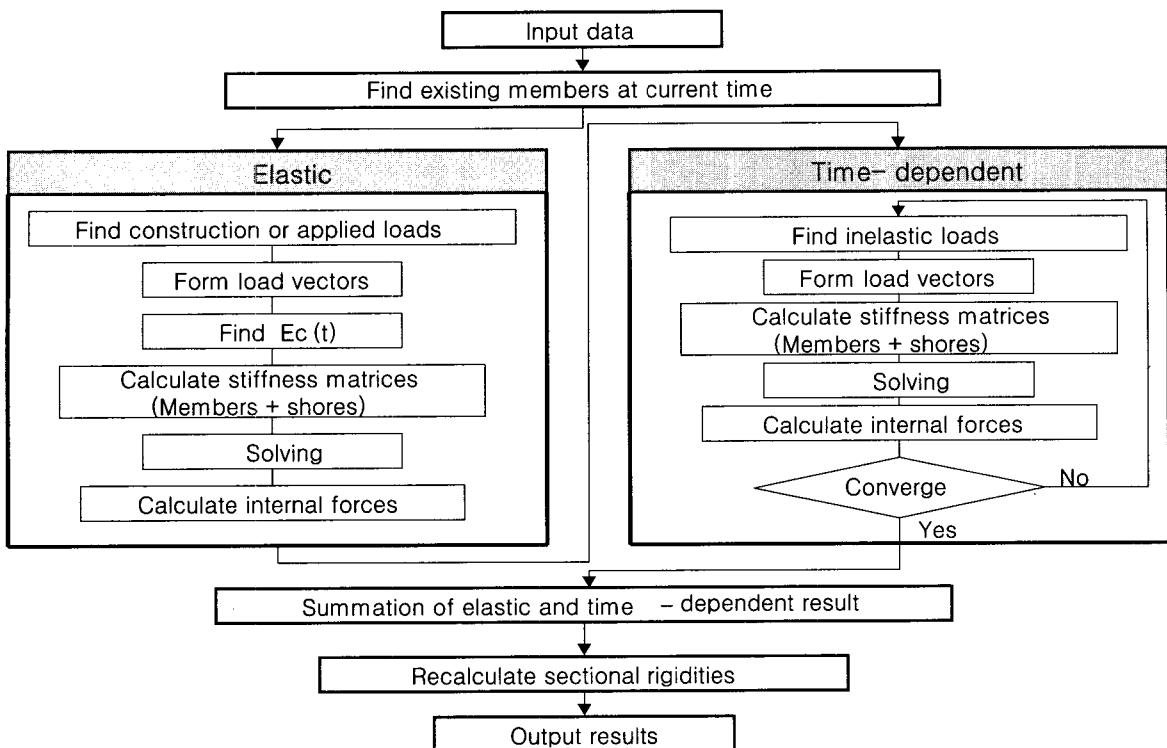


Fig. 5 Program flow chart

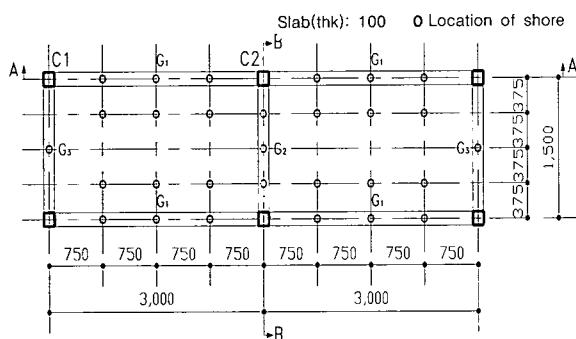


Fig. 6 Frame plan of experimental structure

였다. 철근콘크리트 공사는 먼저 기초 터파기를 한 후, 잡석과 자갈로 다진 다음 두께 300 mm의 온통기초로 하였다. 온통기초 상부면에 먹매김을 한 후 기둥철근을 세우고 거푸집 및 동바리의 가설공사를 하였다. 다음으로 보와 슬래브의 철근배근을 하였다. 그 이후는 Fig. 8과 같은 일반적인 시공 순서를 따랐다.

실험에 사용한 콘크리트는 레미콘 호칭강도 210 kgf/cm^2 으로 펌프카를 이용해 타설하였다. 타설 후 시험체 구조물을 천막으로 포장을 해서 강우 및 직사광선의 영향을 피하도록 하였다. 기둥과 보에 사용한 주筋은 모두 HD16 으로 배근 형태 및 개수는 Fig. 7과 같다. 슬래브의 두께는 100 mm로 추가하중 작용이 가능하도록 하였다. 또한 기둥의 축력재분배에 영향을 주는 동바리는 건설현장에

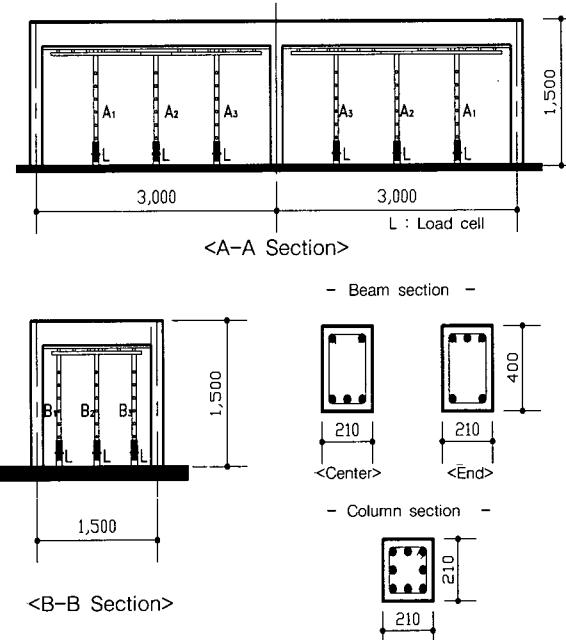


Fig. 7 Section of frame and members

사용되고 있는 steel pipe 동바리를 절단하여 제작하였다.

4.2 측정 및 재하방법

개발 프로그램의 시간이력 정확성을 검증하기 위하여 실험 골조 구조물에 게이지를 부착하였다. 기둥의 경우

콘크리트의 변형을 측정하기 위해 기둥 1개당 상부·중앙·하부에 3개의 매립게이지를 설치하였으며, 같은 위치에 주철근의 변형 측정을 위한 strain gage도 부착하였다. 시간 경과에 따른 동바리의 축력 변화를 알기 위해서 각각의 동바리 밑에 5ton 용량의 load cell을 설치하였다. load cell을 설치한 동바리는 Fig. 7에서 A-A단면의 A₁, A₂, A₃ 동바리와 B-B 단면의 B₁, B₂, B₃ 동바리이다. 보하부의 동바리만을 측정대상으로 하였고, 따라서 슬래브에 설치한 동바리는 제외하였다.

5. 결과분석

5.1 예제해석

개발된 프로그램에서는 콘크리트의 크리프 및 건조수축 모델식으로 ACI 209, CEB-FIP 90, B3 식^{10,11,12)}들을 모두 고려할 수 있으나 본 연구에서는 ACI 209 모델식을 사용하였다. 예제해석을 위한 2차원 골조의 단면형태는 Fig. 7의 A-A 단면과 같은 형태로 Bay의 간격을 7.2 m, 층고는 3.6 m로 하였다. Bay에 설치한 동바리는 등간격으로 배치하였으며 동바리 개수에 따른 영향을 알아보기 위하여 1개, 3개, 5개, 11개에 대해서 각각 해석을 수행하였다. 기둥의 주근은 8-HD22, 보의 인장측은 6-HD22, 압축측은 2-HD22로 하였다. 그리고 해석에 사용한 콘크리트 제성질은 Table 1과 같다. 예제해석의 시공단계는 Fig. 3의 일

반적인 시공과정을 따르며, 콘크리트 타설(Stage I; 0일), 거푸집 제거(Stage II; 재령 3일), 동바리 완전제거(Stage III; 재령 28일), 부가하중의 작용(Stage IV; 재령 50일)의 순서로 시행하였다.

Fig. 9는 탄성거동만을 가정할 때의 기둥 축력 변화를 나타낸 것이다. 재령 0일에서 타설에 의하여 발생한 축력이 재령 3일에서 기둥 거푸집을 제거함으로 인하여 거푸집 강성 부분만큼 축력이 증가함을 알 수 있다. 또한 재령 28일에서 동바리를 완전 제거함으로써 동바리가 지지하던 축력도 기둥에 전달된다. 그리고 재령 50일에서 추가하중에 의한 축력의 증가를 알 수 있다. 한편, 탄성 뿐만 아니라 크리프 및 건조수축의 영향을 모두 고려한 축력변

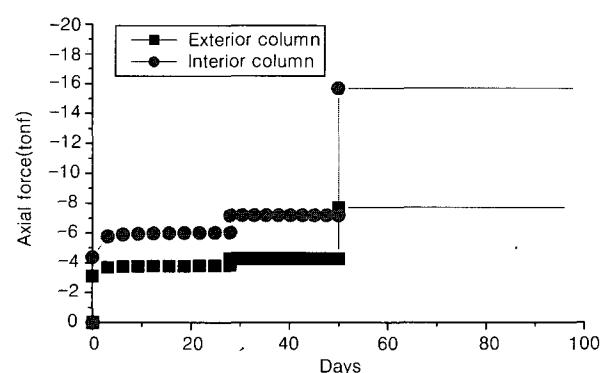


Fig. 9 Axial force of columns considering elastic behavior

Table 1 Material properties of example

Compressive strength (kgf/cm ²)	Cement type	Curing condition	Curing time (day)	Relative humidity (%)	Slump (cm)	Cement (kg/m ³)	Air (%)	s/a (%)	w/c (%)	a/c (%)	Temp. (°C)
250	I	moisture	30	60	10	400	5	40.0	30	280.0	25

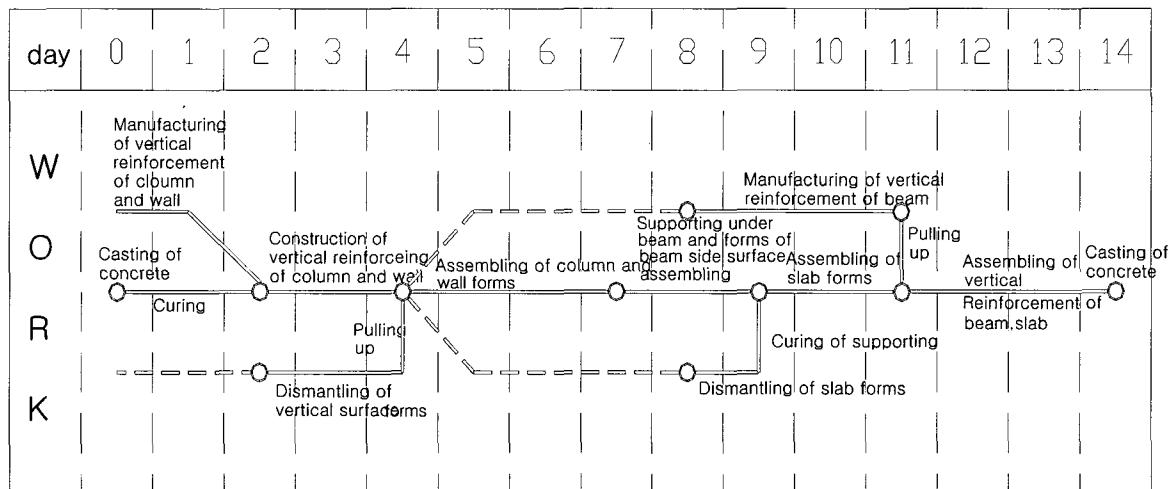


Fig. 8 General construction scheduling

화가 Fig. 10이다. 시간단계 사이에서 외측기둥의 축력은 시간 경과에 따라서 감소하고 내측기둥에서는 외측기둥에서 감소된 만큼 증가한다.

Fig. 11은 동바리 축력의 재령에 따른 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 동바리의 축력은 5일 이내의 초기재령에서 급격히 감소하다가 7~8일의 재령에서부터 일정한 값을 유지함을 알 수 있다.

Fig. 12는 동바리의 개수에 따른 기둥의 축력비를 나타낸 것이다. 그림에서 기본값은 동바리가 없을 때의 기둥의 축력 값을 의미한다. 콘크리트의 타설 초기에는 동바리 개수가 많을수록 부담하는 축력이 작다. 그리고 시간이 경과해서 동바리를 제거하기 직전까지도 이와 같은 현상은 계속된다. 그러나 동바리를 제거하는 순간 이들이 저항하고 있던 하중은 기둥으로 재분배된다. 외측기둥의 축력은 탄성해석에 의한 기본 값보다 감소하는 반면 내측기둥의 축력은 더 증가함을 알 수 있다.

5.2 실험결과와 비교

Fig. 13은 Fig. 7의 A-A단면에 설치한 동바리 축력 실험 값과 개발 프로그램을 이용한 해석 값을 비교한 것이다.

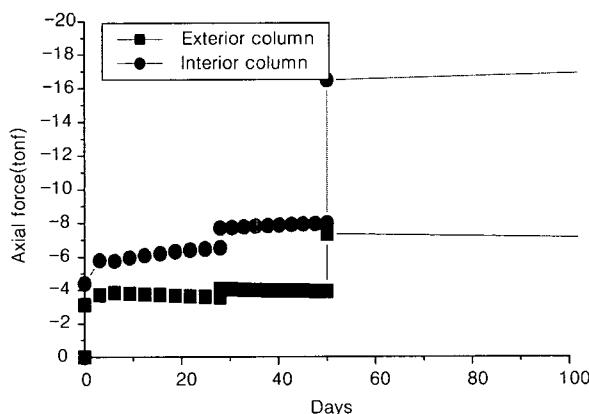


Fig. 10 Axial force of columns considering elastic and inelastic behavior

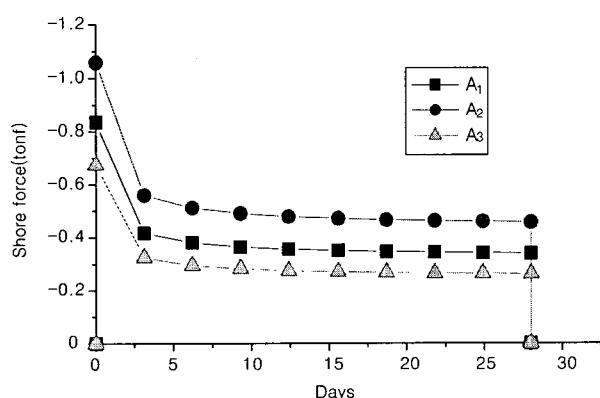
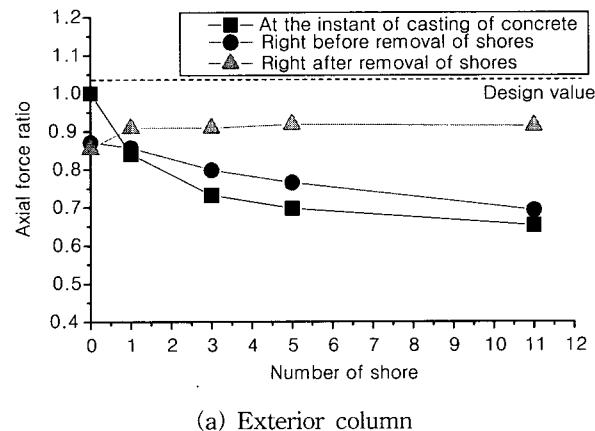
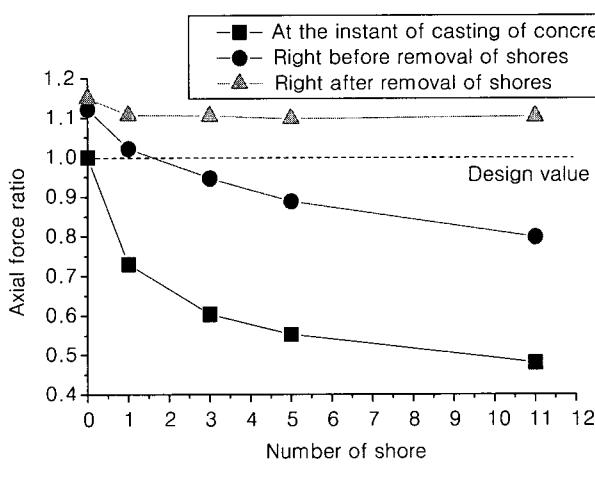


Fig. 11 Axial force variations of shores

제안한 해석방법이 비교적 잘 예측함을 알 수 있다. 또한 Fig. 14와 Fig. 15는 기둥의 내·외부에 설치한 콘크리트 매립게이지와 기둥의 주근으로부터 각각 측정한 값을 제안한 해석법과 비교한 것이다. 같은 위치에서의 콘크리트와 철근의 변형률은 같음을 알 수 있으며, 해석결과와 실험결과는 대체로 일치하는 경향을 나타낸다.

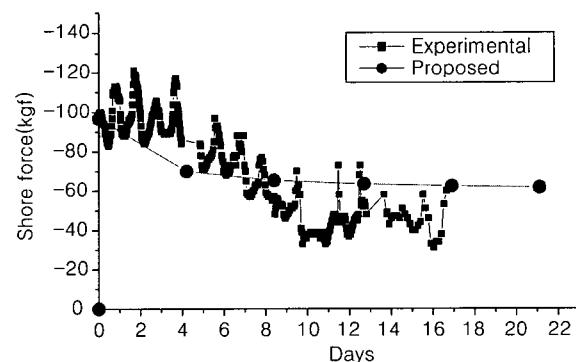


(a) Exterior column

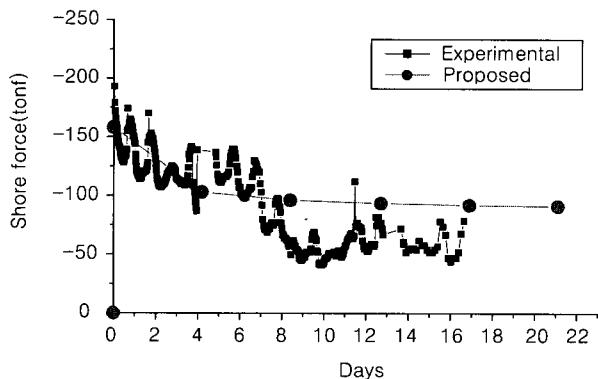


(b) Interior column

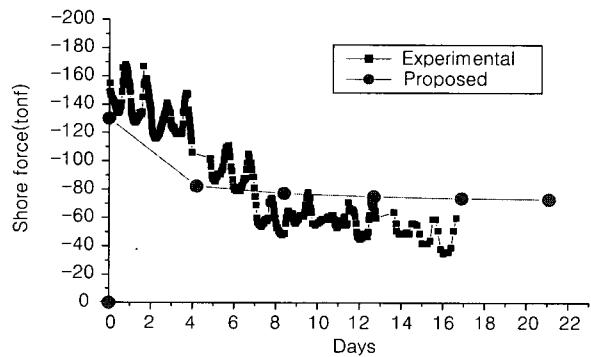
Fig. 12 Axial force redistribution of columns



(a) Shore A1



(b) Shore A₂



(c) Shore A₃

Fig. 13 Time-dependent shore force

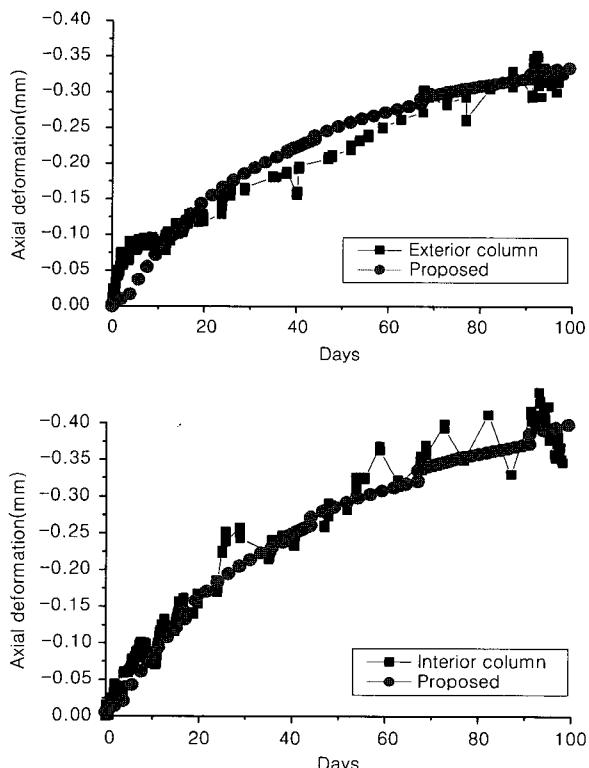


Fig. 14 Comparison of axial deformation measured by embedment gage

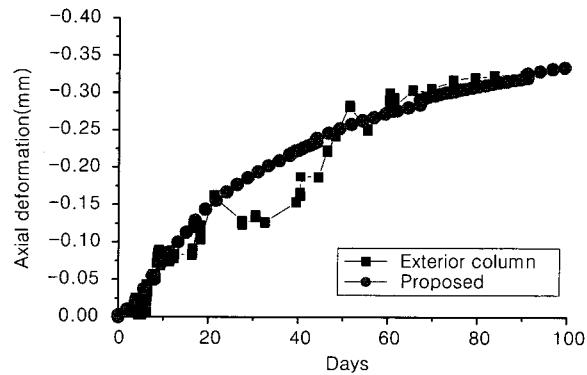


Fig. 15 Comparison of axial deformation measured by strain gage

6. 결 론

철근 콘크리트 기둥의 장기 비선형 거동을 예측하기 위하여 개발한 프로그램을 이용한 결과와 실험골조의 거동을 비교한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 동바리의 축력은 타설 직후에서 4~5일까지의 초기 재령에서는 기둥 강성의 증가로 인하여 급격히 감소하다가 그 이후부터는 완만하게 감소되는 결과를 보인다.
- 2) 동바리를 제거한 후에는 동바리에서 저항하던 하중들이 기둥으로 재분배되게 되는데, 이때 외측기둥의 축력은 탄성해석에 의한 기본 값보다 더 작아지며 내측기둥의 축력은 더 증가하는 결과를 보였다. 또한 증감률은 동바리 개수에 따라 약간의 차이를 보이고 있다.
- 3) 개발된 프로그램의 해석결과를 실험결과와 비교해 본 결과 매우 유사하게 일치함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Ghosh, M. F., and Iyengar, H., "Column Shortening in Tall Structures-Prediction and Compensation," Engineering Bulletin No. EB108D, Portland Cement Association, 1987, 34pp.

2. Elmerie, M. M., and Joglekar, M. R., "Influence of Column Shortening in Reinforced Concrete and Composite Highrise Structures," *ACI SP-117*, 1989, pp.55~86.
3. 송화철, 유은종, 정석창, 주영규, 안재현, 박칠립, "비탄 성효과를 고려한 Plaza Rakyat 오피스동의 기둥부등축 소량," *한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집*, 제9권 2호, 1997, pp.475~480.
4. 이태규, "균열단면을 고려한 철근콘크리트 구조물의 시간단계해석," *대한토목학회 논문집*, 1998.
5. 김용빈, 김순철, 이수곤, "장기변형을 고려한 구조 해석에 관한 연구," *대한건축학회 논문집*, 1998.4, pp.343~351.
6. Zapata, M. A., and Bazant, Z. P., "Creep Deflections in Slab Buildings and Forces in Shores during Construction," *ACI Journal*, Vol. 83, No. 5, 1986, pp.719~726.
7. Grundy, P., and Kabaila, A., "Construction Loads on Slabs with Shored Formwork in Multistory Buildings," *ACI Journal*, Vol. 60, No. 12, 1963,
- pp.1729~1738.
8. Weaver, W., and Johnston, P. R., "Finite Elements for Structural Analysis," Prentice Hall, New Jersey, 1984, 403pp.
9. Kim, J. K., and Lee, T. G., "Failure Behavior of Reinforced Concrete Frames by the Combined Layered and Nonlayered Method," *Computers and Structures*, Vol. 48, No. 4, 1993, pp.819~825.
10. ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures," *ACI Manual of Concrete Practice* (ACI 209R-82), 1990.
11. "CEB-FIP Model Code," Committe Euro International du Beton, 1991.
12. Bazant, Z. P., "Theory of Creep and Shrinkage in Concrete Structures: A Precis of Recent Developments," *Mechanics Today*, Vol. 2, Pergamon Press, Elmsford, 1975, pp.93

요 약

최근 철근콘크리트 골조 구조물에 대한 장기변형 특성을 고려하여 고층건물의 설계 및 시공에 적용하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 기존의 연구에서 고려하고 있는 시공단계는 reshoring을 고려하지 못하고 거푸집제거 및 shoring을 한 단계로 고려하기 때문에 동바리를 제거하기 전의 초기재령에서 발생하는 변형을 고려하지 못한다.

본 연구에서는 동바리의 설치/제거를 포함한 실제적인 시공과정을 고려하여 거푸집의 강성, 동바리의 강성 그리고 시간에 따른 콘크리트의 강성의 변화에 따른 축력변화를 예측할 수 있는 2차원 골조해석 프로그램을 개발하였다. 예제해석결과 동바리의 축력이 시간에 따라서 감소한다. 또한, 동바리의 개수와 상관없이 기둥과 동바리와의 축력 재분배에 의해서 외측기둥에는 실제 설계 값보다 비탄성 하중이 작게 작용하고 내측 기둥에서는 크게 나타난다. 한편, 프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 실제 철근콘크리트 골조 구조물을 타설-거푸집 제거-reshoring-동바리 제거-부가하중작용과 같은 일반적인 시공순서에 따라서 제작하였다. 실험결과 동바리를 제거하기 전에 기둥에 변형이 발생하며 동바리의 축력이 기둥에 분배되었다. 따라서 개발된 해석프로그램은 실험결과를 비교적 잘 예측하였다.

핵심용어 : 장기변형, 동바리, 거푸집, 동바리 재설치, 시공단계, 축력 재분배