

불연속체 구조물의 해석을 위한 강체-고체 복합모델의 개발

A Development of the Coupled Model by Rigid and Solid Bodies for Discontinuous Structures

김 승 덕*
Kim, Seung-Deog

정 하 선**
Jeong, Ha-Sun

요 지

불연속적 거동이 탁월한 벽식 프리캐스트 구조물을 해석하기 위한 방법으로 유한요소법과 강체요소법 등이 있으나, 이들 해석법은 접합부의 거동을 정확히 반영하지 못하고 있다. 본 연구에서는 판넬은 강체적 거동을 하고, 판넬과 판넬 사이의 접합부는 고체적 거동을 가정하는 강체-고체 복합모델(Coupled Model by Rigid and Solid bodies)에 의한 해석법을 제안하며, 간단한 모델의 예를 통해 검증하였다.

핵심용어 : 강체-고체 복합모델, 강체요소법, 유한요소법, 프리캐스트 구조물

Abstract

The discontinuous mechanism of joint parts in wall-type precast structures has to be reflected in the structural analysis of buildings, which may not be properly estimated in the finite element method and the rigid element method. In this study, we propose a new analytic scheme of the coupled model by rigid and solid bodies (CMRS), in which panels and joints of precast structures are assumed as rigid and solid bodies, respectively. The results of three examples are investigated in terms of the displacements and forces.

Keywords : Coupled Model by Rigid and Solid bodies, rigid element method, finite element method, precast structures.

1. 서 론

산업사회의 발달과 함께 보다 경제적이며, 안전한 구조물을 건설하기 위해 많은 조립식 구조시스템이 소개되고 있다. 조립식 구조시스템은 역학적

으로는 불연속체적 거동이 탁월히 나타나며, 구조체간 접합부의 불연속적 성질을 어떻게 표현하고 해석하느냐가 중요한 연구과제로 등장하고 있다.

본 연구에서는 불연속체적 거동을 하는 벽식 프리캐스트 구조물(WPC)을 대상으로 접합부 거

* 성희원·세명대 건축과, 조교수

** 성희원·현대건설 기술연구소, 연구박사

• 이 논문에 대한 토론은 1999년 3월 31일까지 본 학회에 보내주시면 1999년 6월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

동을 고려한 구조해석 방법을 제안한다. 기존 해석법으로는 유한요소법과 강체요소법^{1)~5)} 등이 있으나, 각각 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 유한요소법은 연속체 역학에 근거를 두고 정식화가 진행되므로, 불연속적 성질을 나타내는 접합부의 거동을 표현하는 데는 무리가 많으며, 따라서 일반적인 연속체 해석방법에 따른 유한요소법을 적용하면 불연속체 구조물의 강성을 적절히 평가할 수 없다. 또 강체요소법은 불연속적 거동을 파악하기 위해 개발된 해석법이지만, 판넬과 판넬 사이에 가상의 연결 스프링을 가정함으로써, 가상 스프링의 강성평가, 판넬의 내력 평가, 입체해석에의 적용 등에 대한 한계성으로 인해 강체요소법의 실용화는 아직 실현되지 않고 있다.

본 연구에서는 강체요소법과 유한요소법의 상호 단점을 보완하고, 장점만을 조합하여 불연속체 구조물 해석에 적용할 수 있는 새로운 해석기법을 개발한다. 즉, 판넬은 강체적 거동을 하고, 판넬과 판넬 사이의 접합부는 고체적 거동을 가정하는 강체-고체 복합모델(Coupled Model by Rigid and Solid bodies : 간단히 CMRS라고 칭함)을 제안한다. 해석법의 정식화 과정에서 판넬 부분은 강체요소법을, 접합부 부분은 유한요소법을 적용하고, 전체 강성방정식은 양쪽의 에너지합이 일정하다는 조건을 이용한다. 본 연구는 강체-고체 복합모델의 개발에 관한 첫 단계 연구로, 불연속체 구조물에 적용할 수 있는 기본적인 이론을 중심으로 간단한 예제와 함께 다루며, 실제 구조설계에 적용할 수 있는 최종 해석 프로그램은 지속적인 연구를 통해 개발 완성할 예정이다.

2. 강체-고체 복합모델

2.1 강체-고체 복합모델의 개념

불연속체 구조물인 벽식 프리캐스트 구조물은 벽체, 슬래브 등의 판넬이 서로 현장 연결되어 만들어지는 구조물이다. 각 판넬은 건설회사에 따라 다양한 접합모델이 있으나, 보통 접합부의 강성이 판넬 자체의 강성보다 약하게 된다. 판넬

은 접합부보다 상대적으로 강성이 강하므로 강체로 규정할 수 있으며, 접합부에서의 거동 파악이 구조물 전체 거동에 중요한 영향을 미친다. 따라서 판넬은 강체(rigid bodies)로, 접합부는 고체(solid bodies)로 가정하고, 접합부인 고체의 강성평가는 판넬인 강체의 강성을 고려하여 평가할 수 있다.

강체-고체 복합모델의 해석적 개념을 시각적으로 표현하면 그림 1과 같다. 미지수로 강체 변위 D 를 선택하고, 적합조건을 이용하여 강체 경계부의 절점 변위 d 를 규정한다. 절점 변위 d 와 절점력 f 와의 관계를 나타내는 구성방정식은 고체영역에서 계산한다. 즉 각 절점의 변위 d 와 변형 ϵ 과의 관계를 고체의 적합조건으로 구하고, 변형 ϵ 과 합응력 σ 와의 관계는 고체의 구성방정식으로 얻는다. 이를 이용해 가상일의 원리를 적용하면 합응력 σ 와 절점력 f 와의 관계가 얻어지므로 고체영역에서의 강성방정식 k 가 얻어진다. 최종적인 요소 강성방정식을 얻기 위해서 가상일의 원리를 다시 적용하면 강체요소간의 강성방정식 K 가 구해진다.

2.2 강체요소의 적합방정식

강체요소에서 요소주변의 변위와 강체변위 사이의 관계식을 적합방정식이라 하며, 이 적합방정식을 유도하기 위하여 요소내 임의 점 3개의 이동 강체변위 (D_x, D_y, D_z)와 3개의 회전 강체변위 ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)를 그림 2에서와 같이 정의한다. 강체변위와 이에 대응하는 하중벡터를 행렬로 표현하면 다음과 같다.

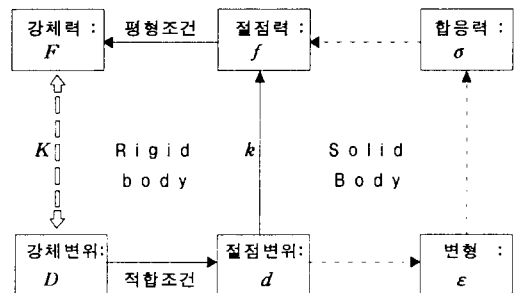


그림 1 CMRS의 개념도

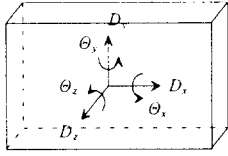


그림 2 요소 강체변위 성분

$$D = \{D_x, D_y, D_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z\}^T \tag{1}$$

$$F = \{F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z\}^T \tag{2}$$

그림 3에서 임의형태의 강체가 0점을 중심으로 θ 만큼 강체회전운동을 하였을 때, 강체내의 x 축에서 만큼 떨어진 임의점 k 가 k' 로 이동하였다. 점 k 의 이동량을 각 축방향으로 분해하여 x, y 축 방향의 변위를 각각 u, v 라 하면, 다음과 같이 구해진다.

$$u = \overline{ok} \{ \cos(\theta + \Theta) - \cos\theta \}$$

$$= \overline{ok} \{ \cos\theta \cos\Theta - \sin\theta \sin\Theta - \cos\theta \} \tag{3}$$

$$v = \overline{ok} \{ \sin(\theta + \Theta) - \sin\theta \}$$

$$= \overline{ok} \{ \sin\theta \cos\Theta + \cos\theta \sin\Theta - \sin\theta \} \tag{4}$$

식 (3), (4)에서 강체변위 Θ 가 미소하다고 가정하고, Maclaurin급수를 이용하여 전개하면, $\sin\Theta \approx \Theta, \cos\Theta \approx 1$ 이 되므로 식 (3), (4)는 다음과 같이 된다.

$$u = -y\theta \tag{5}$$

$$v = x\theta \tag{6}$$

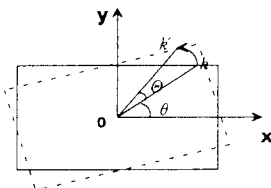


그림 3 강체회전과 임의 점의 변위

이러한 관계를 이용하면 0점을 중심으로 하는 강체회전 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 에 의한 강체내의 임의점의 변위를 u, v, w 라고 할 때, 이는 식 (5), (6)에 의해 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$u = D_x + z\theta_y - y\theta_z \tag{7a}$$

$$v = D_y - z\theta_x + x\theta_z \tag{7b}$$

$$w = D_z + y\theta_x - x\theta_y \tag{7c}$$

식 (7)을 행렬로 나타내면,

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z & -y \\ 0 & 1 & 0 & -z & 0 & x \\ 0 & 0 & 1 & y & -x & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{Bmatrix} \tag{8a}$$

$$\text{또는} \quad d = CD \tag{8b}$$

식 (8)을 강체의 적합방정식이라 하고, C 를 강체 요소의 일반화 적합행렬이라 한다¹⁾.

2.3 고체요소의 강성행렬

접합부의 강성을 평가하기 위해 그림 4의 고체 요소를 이용한다. 면내문제는 평면응력 (plane stress) 상태의 장방형 쌍1차요소이며, 면외문제는 ACM (Adini-Clough-Melosh) 비적합장방형 요소이다.

요소내 임의 절점 $i (i=1, 2, 3, 4)$ 에서 5개의 자유도를 가지고, 요소내의 미지수는 면내방향

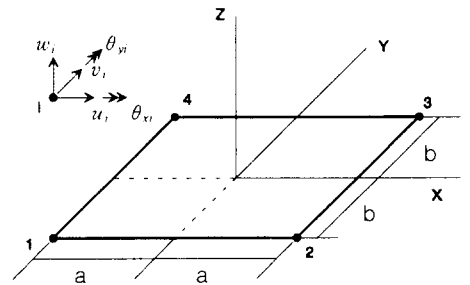


그림 4 사각형 고체요소

8개, 면외방향이 12개로서 총 20개가 된다. 변위 함수는 일반화 좌표 $\xi=x/a, \eta=y/b$ 를 이용하여 다음과 같이 선택한다.

$$u = \alpha_1 + \alpha_2\xi + \alpha_3\eta + \alpha_4\xi\eta \quad (9a)$$

$$v = \beta_1 + \beta_2\xi + \beta_3\eta + \beta_4\xi\eta \quad (9b)$$

$$w = \gamma_1 + \gamma_2\xi + \gamma_3\eta + \gamma_4\xi^2 + \gamma_5\xi\eta + \gamma_6\eta^2 + \gamma_7\xi^3 + \gamma_8\xi^2\eta + \gamma_9\xi\eta^2 + \gamma_{10}\eta^3 + \gamma_{11}\xi^2\eta + \gamma_{12}\xi\eta^2 \quad (9c)$$

위의 변위함수를 이용하여 요소내 강성방정식을 구하면 다음과 같이 표현할 수 있다¹⁰⁾.

$$f = kd \quad (10)$$

여기서 f 는 절점력 벡터, d 는 절점변위 벡터, k 는 고체요소의 강성행렬이다.

2.4 좌표변환에 의한 요소의 결합

전체좌표계 (X, Y, Z)에 대한 ①, ②, ③ 각 면의 요소좌표계를 그림 5에 나타낸다.

$$x = T_0 X \quad (11)$$

그림 5에 의하면 ①, ②, ③면에 대한 좌표변환 행렬은 다음과 같이 얻어진다.

①면에서는,

$$T_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (12a)$$

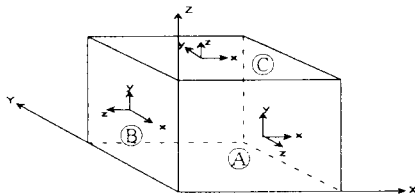


그림 5 전체좌표계와 요소좌표계

②면에서는,

$$T_0 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12b)$$

③면에서는,

$$T_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12c)$$

따라서 요소내의 각 절점에서 자유도의 변환 행렬은 식(13)과 같다.

$${}^{(24)}T = \begin{bmatrix} T_0 & & & \\ & T_0 & & 0 \\ & & \cdot & \\ & 0 & & \cdot \\ & & & & T_0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

그러므로 전체좌표계에서의 강성행렬 \bar{k} 를 구하면 식(14)와 같이 된다.

$$\bar{k} = {}^{(24)}T^T k {}^{(24)}T \quad (14)$$

2.5 복합모델의 강성방정식

그림 6에서와 같이 강체와 고체가 결합되어 있는 구조물의 해석을 위해 강체-고체 복합모델의 강성방정식을 전체좌표계에서 구한다. 우선, 고체요소의 절점 중에서 강체요소와 접하는 부분의 절점 자유도만 남기고 그 외의 자유도는 행렬응축기법을 통해 소거시킨다. 행렬응축과정을 통해

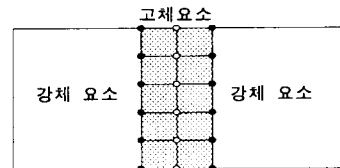


그림 6 강체요소와 고체요소의 결합

남겨질 자유도와 소거될 자유도의 첨자를 각각 α, β 라 하고, 강성방정식을 재분배하여 식 (15)와 같이 나타낸다.

$$\begin{Bmatrix} \bar{f}_\alpha \\ \bar{f}_\beta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{k}_{\alpha\alpha} & \bar{k}_{\alpha\beta} \\ \bar{k}_{\beta\alpha} & \bar{k}_{\beta\beta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{d}_\alpha \\ \bar{d}_\beta \end{Bmatrix} \quad (15)$$

위 식은 다음과 같이 풀어서 나타낼 수 있다.

$$\bar{f}_\alpha = \bar{k}_{\alpha\alpha} \bar{d}_\alpha + \bar{k}_{\alpha\beta} \bar{d}_\beta \quad (16)$$

$$\bar{f}_\beta = \bar{k}_{\beta\alpha} \bar{d}_\alpha + \bar{k}_{\beta\beta} \bar{d}_\beta \quad (17)$$

식 (16)을 \bar{d}_β 에 관해 정리하면,

$$\bar{d}_\beta = \bar{k}_{\beta\beta}^{-1} \bar{f}_\beta - \bar{k}_{\beta\beta}^{-1} \bar{k}_{\beta\alpha} \bar{d}_\alpha \quad (18)$$

이를 다시 식 (17)에 대입하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \bar{f}_\alpha - \bar{k}_{\alpha\beta} \bar{k}_{\beta\beta}^{-1} \bar{f}_\beta \\ = (\bar{k}_{\alpha\alpha} - \bar{k}_{\alpha\beta} \bar{k}_{\beta\beta}^{-1} \bar{k}_{\beta\alpha}) \bar{d}_\alpha \end{aligned} \quad (19)$$

소거자유도의 절점하중 f_β 를 0이라 하면, 선택자유도만의 강성방정식이 다음과 같이 얻어진다.

$$\bar{f}_\alpha = \bar{k} \bar{d}_\alpha \quad (20)$$

여기서, $\bar{k} = (\bar{k}_{\alpha\alpha} - \bar{k}_{\alpha\beta} \bar{k}_{\beta\beta}^{-1} \bar{k}_{\beta\alpha})$

식 (20)에서 얻어진 강성방정식을 이용하여 판넬의 총수가 p개, 집합부의 총수가 q개인 구조물의 강성방정식을 유도한다. p개의 판넬 중 r번째 판넬의 강체변위를 전체좌표계에서의 강체변위 벡터 \bar{D} 를 이용하여 나타내면,

$$.D = {}^{(6)}T .I \bar{D} \quad (21)$$

여기서,

$.T : r$ 요소의 좌표변환행렬

$.I = [0 \dots 0 \ I \ 0 \dots 0] : r$ 번째 단위행렬

식 (21)을 이용하여, r-판넬 중 k-절점의 적합방정식을 전체좌표계에서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{d}_k &= {}^{(3)}T_k^T .C_k .D \\ &= {}^{(3)}T_k^T .r C_k {}^{(6)}T_k .I_k \bar{D} \\ &= B_k \bar{D} \end{aligned} \quad (22)$$

여기서, $B_k = {}^{(3)}T_k^T .r C_k {}^{(6)}T_k .I_k$

따라서 q개의 집합부 중 s번째 집합부가 n개의 선택절점을 가진다면, 이 때 s집합부의 절점변위 벡터 d 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{d} &= \begin{Bmatrix} \bar{d}_1 \\ \bar{d}_2 \\ \vdots \\ \bar{d}_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{Bmatrix} \bar{D} \\ &= \begin{Bmatrix} {}^{(3)}T_1^T & \text{pan}C_1 & {}^{(6)}T_1 & \text{pan}I_1 \\ {}^{(3)}T_2^T & \text{pan}C_2 & {}^{(6)}T_2 & \text{pan}I_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ {}^{(3)}T_n^T & \text{pan}C_n & {}^{(6)}T_n & \text{pan}I_n \end{Bmatrix} \bar{D} \end{aligned} \quad (23)$$

여기서 좌측첨자 'pan'은 각 절점이 집합되어 있는 페널의 번호를 대표하며, 우측첨자 '1, 2, ... n'은 절점번호를 의미한다.

가상일의 원리를 이용하여 판넬이 한 일과 집합부가 한 일이 같다고 하면, 전체 강성방정식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta \bar{D}^T \bar{F} &= \sum^q \delta \bar{d}^T \bar{f} \\ &= \sum^q \delta \bar{D}^T [B_1^T \ B_2^T \ \dots \ B_n^T] [\bar{k}] \begin{Bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{Bmatrix} \bar{D} \end{aligned} \quad (24)$$

따라서 강성방정식은 다음과 같이 구성된다

$$\bar{F} = \bar{K} \bar{D} \quad (25)$$

여기서,

$$\bar{K} = \sum [B_1^T \ B_2^T \ \dots \ B_n^T] [\bar{k}] \begin{Bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{Bmatrix}$$

식 (25)의 강성행렬 \bar{K} 를 계산하면,

$$\begin{aligned} \bar{K} &= \sum [B_1^T \ B_2^T \ \dots \ B_n^T] \begin{Bmatrix} \bar{k}_{11}B_1 + \bar{k}_{12}B_2 + \dots + \bar{k}_{1n}B_n \\ \bar{k}_{21}B_1 + \bar{k}_{22}B_2 + \dots + \bar{k}_{2n}B_n \\ \vdots \\ \bar{k}_{n1}B_1 + \bar{k}_{n2}B_2 + \dots + \bar{k}_{nn}B_n \end{Bmatrix} \\ &= \sum (B_1^T \bar{k}_{11} B_1 + B_1^T \bar{k}_{12} B_2 + \dots + B_1^T \bar{k}_{1n} B_n \\ &\quad + B_2^T \bar{k}_{21} B_1 + B_2^T \bar{k}_{22} B_2 + \dots + B_2^T \bar{k}_{2n} B_n \\ &\quad + \dots \\ &\quad + B_n^T \bar{k}_{n1} B_1 + B_n^T \bar{k}_{n2} B_2 + \dots + B_n^T \bar{k}_{nn} B_n) \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (B_i^T \bar{k}_{ij} B_j) \end{aligned} \quad (26)$$

그러므로 강체-고체 복합모델의 강성행렬은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \bar{K} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^n ({}_{pan}I_l^T \quad {}^{(3)}_{pan}T_l^T \quad {}_{pan}C_l^T \quad {}^{(6)}_{pan}T_l) \\ &\quad \bar{k}_{ij} \quad {}^{(6)}_{pan}T_j^T \quad {}_{pan}C_j \quad {}^{(3)}_{pan}T_j \quad {}_{pan}I_j) \end{aligned} \quad (27)$$

3. 강체-고체 복합모델의 검증

강체-고체 복합모델의 검증을 위해 일체식으로 해석하는 기법과 불연속체 구조물을 해석하기 위한 기법 등, 두 가지의 모델링 기법을 제안한다. 또 이들 모델을 CMRS로 해석하기 위해 컴퓨터

터 해석 프로그램 CAPS (Coupling Analysis for Precast Structures)를 개발하였고, 본 장에서는 CAPS의 결과와 상용프로그램인 SAP90의 결과를 서로 비교해 본다.

3.1 일체식 구조의 모델화 방법

그림 7과 같은 연속체 구조모델을 그림 8과 같이 이산화 한다. 그림 8은 2개의 강체요소와 1개의 고체요소로 구성되어 있으며, n 은 강체요소 번호를, $\langle 1 \rangle$ 은 접합부 번호를 나타낸다. 여기서 그림 7에서의 해석영역을 반영하기 위해 접합부의 크기를 고체요소 판의 중심에서 중심까지로 설정하였다. 또, 접합부와 판의 결합은 판의 중심선을 따라 이루어진다.

그림 8의 모델을 강체요소와 고체요소로 나누어 모델링하면 그림 9와 같다. 여기서 고체요소의 왼쪽 편에 위치한 ①번 강체요소는 그 내부의 1, 2, 3 절점과 고체요소의 선택절점 1, 2, 3 이 결합되며, 고체요소의 오른쪽 편에 위치한 ②번 강체요소 역시 그 내부의 1, 2, 3 번 절점과 고체요소의 선택절점 7, 8, 9와 결합한다. 즉, 고체요소내의 선택절점 1, 2, 3, 7, 8, 9는 강체요소와 결합되면서 ①, ②번 강체에 각각 6개의 자유도

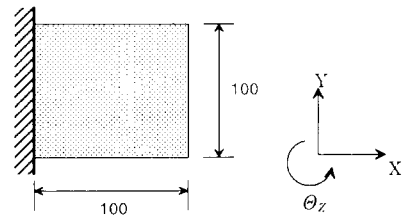


그림 7 예제모델

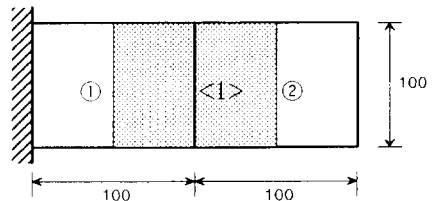


그림 8 이산화 모델

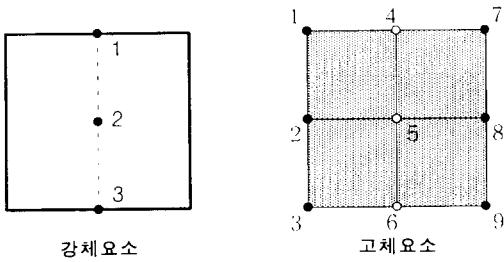


그림 9 강체요소 및 고체요소

로 치환된다. 이때 선택절점은 행렬응축시 남겨질 자유도이며 소거절점은 응축으로 인해 소거될 절점이다.

3.2 불연속체 구조의 모델화 방법

불연속체 구조모델은 강체판넬과 고체 접합부를 그림 10과 같이 결합시킨 모델이다. 그림 10과 같은 모델의 고체요소 모델링은 그림 9와 같으며, 강체요소의 모델링은 그림 11과 같이 한다.

여기서 ①번판은 고체요소의 1, 2, 3번 절점과 강체요소의 4, 5, 6번 절점이 결합하게 되며, ②번판은 고체요소의 7, 8, 9번 절점과 강체요소의 1, 2, 3번 절점과 결합하게 된다. 이와 같은 결합

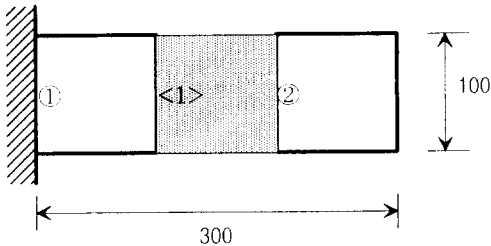


그림 10 실제 구조물의 해석모델

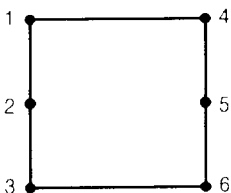


그림 11 실제모델에서의 강체요소

을 통해 구조물전체의 자유도수는 각 강체판넬에 6개의 자유도가 생성된다.

3.3 강체-고체 복합모델에 의한 해석결과

앞에서 제시한 각 모델에 인장력과 전단력을 가하여 그 결과를 상용프로그램인 SAP90과 비교 검토한다. 여기서 그림 7의 모델을 SAP90으로 해석한 모델을 MODEL-1이라 하고, 그림 8과 같이 연속체 모델을 CMRS를 이용하여 해석한 모델을 MODEL-2라 하며, 그림 10과 같이 불연속체 모델을 CMRS를 이용하여 해석한 것을 MODEL-3 이라 한다.

접합부의 기하학적 형상은 양변길이가 각각 100 cm, 두께가 5cm이며, 재료적 특성으로 포와송비는 $\nu=0.2$ 탄성계수는 $2.2 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 로 하였다.

3.3.1 인장력이 가해진 경우

MODEL-1, MODEL-2, MODEL-3에 각각 X방향으로 60t의 인장력을 가하였을 때, 그 결과를 표 1에 나타낸다.

인장력을 받는 경우 MODEL-1, MODEL-2, MODEL-3이 모두 근사한 결과를 나타내었으며, 이는 단순 인장의 경우, 강체판은 변형을 일으키지 않고 고체요소만이 변형을 일으키기 때문이다.

3.3.2 전단력이 가해진 경우

MODEL-1, MODEL-2, MODEL-3에 Y방향으로 60t의 전단력을 가하여 해석하였으며, 그 결과를 표 2에 나타낸다.

MODEL-1과 MODEL-2의 결과는 비교적 잘 일치하고 있다. 그러나 MODEL-3의 경우는 전체

표 1 인장력을 받는 구조물의 해석결과

(단위 : kg, cm)

	MODEL-1	MODEL-2	MODEL-3
X 방향 변위	0.05351	0.05395	0.05351
X 방향 반력	-0.6×10^5	-0.6×10^5	-0.6×10^5

표 2 전단력을 받는 구조물의 해석결과

(단위 : kg, cm)

	MODEL-1	MODEL-2	MODEL-3
Y방향 변위	0.31213	0.32725	0.74867
Y방향 반력	0.6×10^5	0.6×10^5	0.6×10^6
Z방향 모멘트	0.6×10^7	0.6×10^7	1.2×10^7

구조물의 길이 변화와 접합부의 회전, 판의 회전 등으로 인해 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 불연속적 거동을 나타내는 구조물을 해석하기 위해 강체-고체 복합모델(Coupled Model by Rigid and Solid bodies)을 개발하였으며, 다음과 같은 장점이 있다.

1) 전체적 거동은 강체운동이, 국부적 거동은 고체운동이 중심이 되게 하여, 전체적 거동과 유사 총 자유도가 절감되고, 국부적 거동을 이용하여 구조물의 내력 평가가 가능하다.

2) 접합부의 강성을 정성적으로 평가할 수 있다.

3) 접합부의 불연속성을 고려하여 입체해석이 가능하다.

본 연구는 프리캐스트 구조물의 해석기법을 개발하기 위한 초기 연구이며, CMRS의 기본 이론식을 정립하고, 이에 의해 해석 프로그램CAPS(Coupling Analysis for Precast Structures)를 개발하였다. 이를 간단한 구조모델을 이용하여 검증하였고 좋은 결과를 얻었다. 보다 실제 구조물의 해석에 적용하기 위해서는 구조물의 소성변형, 접합부의 내력 평가, 3차원 입체해석 등을 고려한 계속적인 연구가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 초대형 구조시스템 연구센터(STRESS)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드린다.

참 고 문 헌

1. Kwun, T. J. and Kim, S. D., "Elastic-Plastic Analysis of Spherical Shell by the Rigid Element Method", Proceedings of IASS Symposium on Shells, Membranes and Space frames, Vol. 1, Sep. 1986, pp.137~144.
2. 권택진, 김승덕, 김기철, "R. E. M에 의한 벽식 프리캐스트 구조물의 접합부에 관한 해석", 한국 전산구조공학회 춘계 학술발표회, 1994. 4, pp.17~24.
3. 박강근, 강체요소법에 의한 구조물의 탄소성 해석에 관한 연구, 성균관대학교 박사학위논문, 1994. 11.
4. 경일현, 강체요소법에 의한 프리캐스트 구조물의 3차원 해석에 관한 연구, 성균관대학교 석사학위 논문, 1995. 12.
5. 오승권, 권택진, 김승덕, "수직접합부 전단강성을 고려한 PC구조물의 해석에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표 논문집, 1996. 11., pp. 437~440.
6. 정하선, 김승덕, 프리캐스트 구조물의 해석을 위한 강체-고체 복합모델 개발에 관한 연구, 초대형 구조시스템 연구센터 연구논문, 1997. 2.
7. 이승재, 김승덕, 권택진, "강체-고체 복합모델을 이용한 불연속체 구조물의 해석기법 개발에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표 논문집, 1997. 10., pp.983~988.

(접수일자 : 1998 7 28)