

# 有限要素法에 의한 PC 農業用 사이로의 解析에 關한 研究

—第 2 報 彈性地盤에 놓인 경우—

## —An Analysis of Pre-Stressed Concrete Farm Silo by the Finite Element Method—

曹 鎮 久\* · 趙 顯 榮\*\* · 朴 炳 基\*\*\*  
Jin Goo Cho, Hyun Yung Cho, Byung Kee Park

### Summary

This study aims to derive a rational method for the analysis of the farm silo supported on an elastic foundation in which it is assumed that the reaction pressure of the soil at a point is proportional to the deflection at that point.

In order to investigate the effects of an elastic foundation on the behaviour of the structures on it, the analysis of the farm silo resting on an elastic foundation was compared with the solution that the ground support may be assumed uniform (which was obtained from part I of this paper).

To calculate the deformation of an elastic foundation, Boussinesq's solution which allows an interaction of the various parts of ground was adopted.

In this case, the foundation was treated as a superparametric element additionally.

In the evaluation of an element stiffness matrix, Gauss quadrature' was used.

In above numerical integration, 3-point rule for the farm silo wall and the footing was introduced and 2-point rule for the evaluation of a reaction between the footing and the elastic foundation was adopted.

The stresses of a farm silo on an elastic foundation were smaller than those which the distribution of contact pressure between the footing and the soil is assumed uniformly.

Since the differences of stresses were remarkable in PS structures than RC structures, it is desirable that designers take into account the effect of an elastic foundation for the case of PS structures. It can be noted that while the effect of an elastic foundation was more conspicuously observed in near of the ground, the value of stresses at far from the soil was little affected by an supported soil.

### I. 序 論

最近 農業生産物の 貯藏, 取扱, 供給의 必要性的의

漸增에 따라 大型 사이로의 築造가 불가피하게 되었으며 따라서 사이로의 解析을 위한 보다 合理的인 解析方法의 開發이 절실히 요청되고 있다. 사이로는 築造된 후의 維持管理와 貯藏物의 特性 때문에

\* 全南大學校 農科大學

\*\* 釜山大學校 工科大學

\*\*\* 全南大學校 工科大學

圓筒型 쉘의 型式을 많이 採用하고 있으며<sup>1~5)</sup> 또한 彈性地盤에 놓이는 것이 大部分이지만 이러한 쉘의 設計는 아직까지 正當한 計算下에 이루어지지 않고 있는 것으로 생각된다. 특히 底版의 正當한 解析을 수반하지 않으면 그 위에 오는 쉘의 휨 解析 특히 直立部 始作點의 휨모멘트는 解析解나 有限要素 解析이라 할지라도 無理한 境界條件의 假定下에 이루어질 수밖에 없고<sup>6~11)</sup> 이로 인해 큰 誤差를 면할 길이 없음을 分明히 지적할 수 있다. 變形率과 應力이 두께 方向으로 直線分布를 한다는 假定은 平板과 마찬가지로 쉘에 대해서도 成立하지만 쉘이 外力을 支持하는 모양은 平板과는 全然 다르다.<sup>7,12)</sup>

쉘의 力學的 特性은 自然界에서 흔히 볼 수 있는 조개껍질에서 찾을 수 있다. 즉 조개껍질은 그 두께에 比하여 상당히 큰 힘을 견디는데 이러한 높은 耐荷能力은 조개껍질을 構成하는 材料의 強度가 아니고 그 構成形態에 연유되는 것임을 쉽게 알 수 있다. 이러한 理由로 쉘 構造를 'form resistant structures'라고도 부른다. 특히 圓筒型 쉘은 荷重 傳達性이 좋고 또 軸方向 壓縮力에 의한 方向性이 없는<sup>7)</sup> 등의 여러가지 特性을 가지고 있어서 광범위하게 使用되어 왔으며 이러한 圓筒型 쉘의 正當한 解析을 위한 研究努力이 많이 있었다.<sup>6~11,17)</sup> 또한 彈性地盤上的 構造物에 어떤 外力이 作用하면 그 構造物內의 應力은 地盤의 變形의 影響을 받으며 한편 底版의 應力分布는 地盤과 底版의 相對剛度의 影響을 받는다. 이러한 地盤과 底版 사이의 相互作用을 考慮한 解析方法이 要求되어진다. 이러한 問題는 많은 사람들에 의해서 研究되었으며<sup>8~11)</sup> 22~28) 특히 有限要素法의 使用은 이러한 問題解析의 強力한 道具가 될 수 있다. 彈性地盤에 놓인 보나 板의 問題를 解析하는 경우 數學的 定式化를 간단히 하기 위해서 普通 2가지의 假定이 導入된다. 즉 첫 번째 假定은 '負의 反力이 存在할 때 地盤과 底版 사이의 分離現象은 일어나지 않는다'이다. 이 假定은 實際로 構造物의 무게가 初期先載荷로 作用할 때 처럼 合理的인 것이다. 두 번째 假定은 자주 使用되고는 있으나 實際는 있을 수 없는 假定으로서 인접하는 節點間에 相互作用이 없다는 것으로서 個個의 스프링으로 作用한다는 것이다. 이것은 소위 'winkler's foundation'으로서 確實히 假想的인 假定에 不過하다.

많은 사람들이 特殊한 경우에 대해서 이러한 假定의 正當性을 찾기 위해서 研究하였지만 實際로 問

題가 될만큼 많은 誤差가 同伴되었다.<sup>23)</sup> 彈性地盤에 놓인 보의 問題를 解析하는데 連續體로 取扱하거나 'winkler type'로 取扱하는 方法에 關해서 Hetenyi(1946), Zemachkin(1962), Chai(1959)以外 많은 사람들에 의해서 광범위하게 調査되었지만 彈性地盤에 놓인 板이나 탱크 등의 解析은 比較的 그 例를 찾기 힘들다. Holl(1938)은 半無限彈性體에 놓인 無限板이 軸대칭 荷重의 作用을 받는 경우에 대해서 解析을 한 바 있으며 한편 Naghdi와 Rowley(1953), Pickett와 McCormich(1952) 및 Frederick(1956)은 'winkler's type'의 地盤에 놓인 有限板 및 無限板의 解析을 試圖하였으며 Vint와 Elgvod(1935)은 Rayleigh-Ritz法에 의해서 'winkler's type'의 地盤에 놓인 有限矩形板을 取扱한 바 있으며 Alcen와 Severn(1960)은 同一한 問題를 보다 複雜한 境界條件에 대해서 2階微分方程式을 'relaxation'하므로써 解決한 바 있으며 James(1962)는 有限差分法에 의해서 半無限彈性體에 놓인 有限矩形板의 問題를 解決한 바 있고 Cheng와 Zienkiewicz<sup>23)</sup>은 有限要素法을 使用해서 彈性地盤上的 板과 탱크의 問題를 解析한 바 있다. 본 論文의 目的은 彈性地盤에 놓인 農業用 사이로의 보보다 正當한 解析體系를 樹立하고자 함에 있다. 여기서 對象으로 한 構造系는 彈性, 等方性 및 均質인 材料로 만들어졌으며 여기에 靜荷重이 作用하는 경우로 制限하였다.

## II. 解析方法

본 研究에서 다음과 같은 假定이 設定되었다.

### 1. 基本假定

가. 各要素는 '8-noded parabolic isoparametric plate element'를 使用하였으며 두께는 均一하다.

나. 農業用 사이로 壁體의 境界條件은 다음과 같이 設定한다.<sup>1~4)</sup>

i) 上端: 自由端

ii) 下端: 固定端( $u=0$   $v=0$   $w=0$   $w_n=0$  or  $u_n=0$   $v_n=0$   $w_n=0$   $w_{n,x}=0$ )

다. 農業用 사이로의 壁體에 作用하는 荷重은 靜荷重으로서 다음과 같이 考慮한다.<sup>5)</sup>

水平力  $f_t=17.94dh^{1.46}$  (kg/m<sup>2</sup>)

마찰력  $f_s=v \cdot f_t$

여기서  $v$ 는 사이로 壁體와 사이레이지 사이의 마

할계수이다.

## 2. 面內要素

셀의 擧動은 面內作用과 面外作用으로 特性지어 지며 이때 面內要素는 節點當 2個의 自由度를 갖는다.

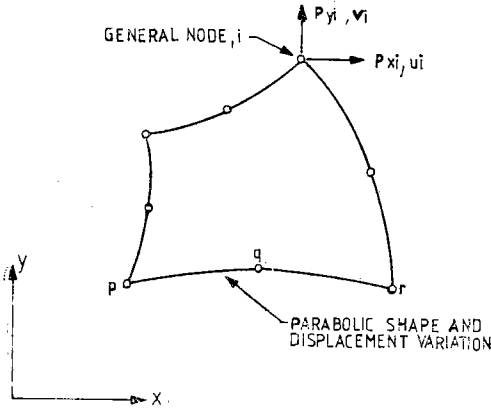


Fig. 2-1. Generalized forces and displacements for membrane element

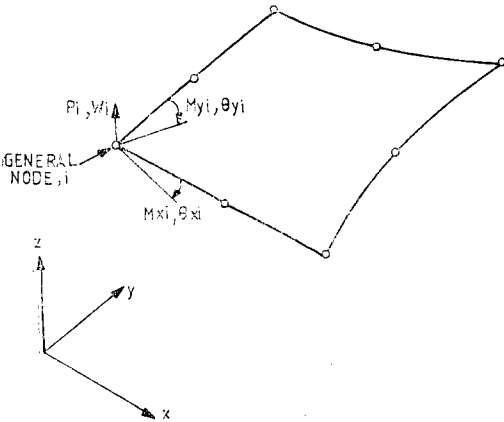


Fig. 2-2. Generalized forces and displacements for plate bending elements

### 가. 形狀函數

構造物의 離散化에는 그림 (2.3)과 같은 要素를 使用하였으며 이때 形狀函數는 다음과 같이 주어진다.

$$N_1(\xi, \eta) = -\frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)(1+\xi+\eta)$$

$$N_2(\xi, \eta) = \frac{1}{2}(1-\xi^2)(1-\eta)$$

$$N_3(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta)(\xi-\eta-1)$$

$$N_4(\xi, \eta) = \frac{1}{2}(1+\xi)(1-\eta^2)$$

$$N_5(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta)(\xi+\eta-1)$$

$$N_6(\xi, \eta) = \frac{1}{2}(1-\xi^2)(1+\eta)$$

$$N_7(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta)(-\xi+\eta-1)$$

$$N_8(\xi, \eta) = \frac{1}{2}(1-\xi)(1-\eta^2)$$

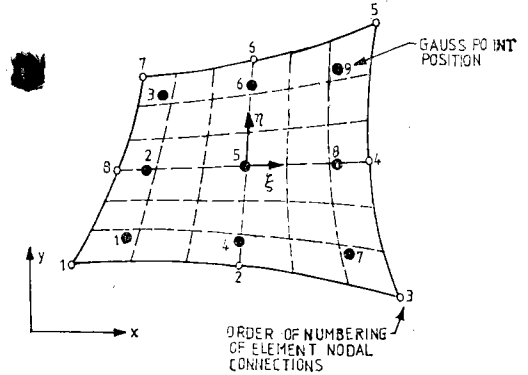


Fig. 2-3. Orientation of local axes  $\xi, \eta$  and order of Gauss point numbering for two dimensional parabolic isoparametric elements

## 3. 面外要素

面外要素의 경우에도 面內要素에서 使用되었던 形狀函數를 다시 使用한다. 面外要素의 定式化에서는 Mindlin의 假定을 使用한다. 즉

가) 平板의 수직變形( $w$ )은 적다.

나) 變形前에 中面에 수직이었던 面은 變形後에

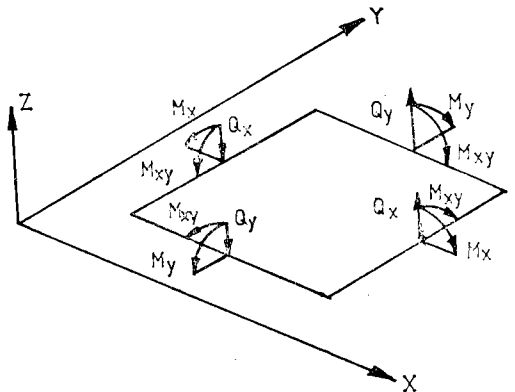


Fig. 2-4. Sign Convention for bending moment and shear forces (+ve Sence indicated)

도 平面을 維持하지만 變形後의 中面에 수직일 必要는 없다.

다) 中面에 수직인 應力은 荷重에 關係없이 無視된다( $\sigma_z$ )

以上の 假定으로서 板要素의 變位場은 獨立變位로서 처짐  $w$ 와 中面의 回轉角  $\theta_x, \theta_y$ 로서 定義될 수 있다. 여기서  $\theta_x, \theta_y$ 는 平均回轉角으로 생각될 수 있고 不均一한 剪斷應力 分布를 考慮하여 약간의 修正이 加해진다.

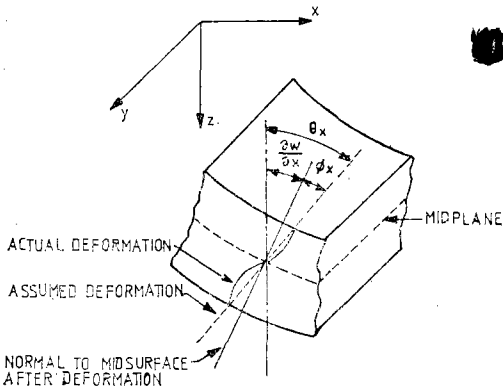


Fig. 2-5. Deformation of the Cross-section of plate of homogeneous section

4. 彈性地盤을 考慮한 底版의 剛度매트릭스

地盤을 等方, 彈性, 半無限體로 取扱하는 것은 地盤의 여러 部分들 사이의 相互作用을 認定하는 것이며 한 節點 주위의 小領域에 作用하는 地盤反力의 크기는 一定하다고 假定하는 것이 便利하다. 等方 彈性 半無限體上에서  $i$ 點에 作用하는 集中荷重  $P_i$  때문에  $j$ 點에 생기는 變形은 Boussinesq 方程式에 의해서 近似的으로 다음과 같이 주어진다.

$$w_{ji} = \frac{P_i(1-\nu_o^2)}{\pi E_o r_{ji}} \quad (2.2)$$

여기서  $\nu_o$ ; 地盤의 포아손비

$E_o$ ; 地盤의 彈性係數

$r_{ji}$ ;  $i$ 點과  $j$ 點 사이의 距離

萬一  $i$ 點에 作用하는 荷重으로 인해서  $i$ 點에 생기는 變形을 구하고자 한다면 式(2.2)에서  $r_{ji}$ 의 값이 零이 되므로 變形은 無限대로 되는 모순이 생기므로 이때는 다음과 같이 생각한다. 한 節點 주위의 小領域 全體에 等分布된 荷重을 받는 圖心에서의 變形은 그 領域의 全面積에 걸쳐서 式(2.2)를 積分하므로써 얻을 수 있다. 즉

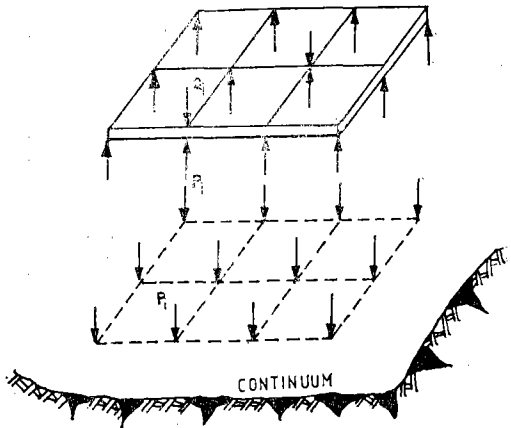


Fig. 2-6. A plate and its foundation

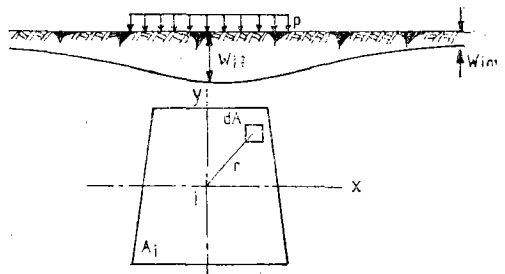


Fig. 2-7. Vertical displacements due to Uniformly loaded area on isotropic half-space

$$\begin{aligned} W_{ii} &= \int_{A_i} \frac{P_i(1-\nu_o^2)}{A_i \pi E_o} \frac{dA}{r} \\ &= \frac{P_i(1-\nu_o^2)}{A_i \pi E_o} \int_{A_i} \frac{dA}{\sqrt{x^2+y^2}} \end{aligned} \quad (2.3)$$

여기서  $P_i$ 가 그림과 같은 小領域에 等分布된다고 假定하는 것은 靜力學으로 모순이 있으나  $i$ 點의 全變形값에 주는 이러한 積分誤差의 기여는 事實上 無視될 수 있다. 自然座標系를 使用하면 任意點의 座標는 다음과 같이 주어진다.

$$x = \sum N_i x_i \quad (2.4)$$

$$y = \sum N_i y_i$$

또  $dA = \det. \mathbf{J} d\xi d\eta$  로 주어지므로

$$\begin{aligned} W_{ii} &= \frac{P_i(1-\nu_o^2)}{A_i \pi E_o} \sum \sum a_{lm} \phi(\xi_l, \eta_m) \det. \mathbf{J} \\ &= \frac{P_i(1-\nu_o^2)}{A_i \pi E_o} f_{ii} \end{aligned} \quad (2.5)$$

載荷面積 밖의 任意點의 變位도 同一한 方法으로

구할 수 있지만 式 (2.2)로부터 구한 값과 比較할 때 充分한 精度를 갖는 값을 구할 수 있기 때문에 이 경우는 式 (2.5)의 積分式을 使用하는것 보다는 式(2.2)에 의해서 直接 구하는 것이 便利하다. 式 (2.2)와 式(2.5)를 綜合하여 任意點의 變位를 구하는 式을 'matrix form'으로 整理하면 다음과 같이 된다.

$$W = \frac{1-v_o^2}{A_i \pi E_o} f_f P \quad (2.6)$$

여기서  $f_f$ 는 底版의 'flexibility matrix'로서 主對角 要素는 式(2.5)를 그 以外的 要素는 式(2.2)를 使用해서 구한다. 式(2.5)를 逆變換하면

$$P = K_f W$$

$$\text{여기서 } K_f = \frac{A_i \pi E_o}{1-v_o^2} f_f^{-1}$$

一般으로 有限要素解析에서 節點荷重  $F_i$ 와 節點 變位  $U_i$ 는 다음 式으로 주어진다.

$$F_i = K U_i \quad (2.8)$$

그런데 彈性地盤의 경우 變位에 比例하는 힘인 底版의 各 要素의 節點에 作用하는데 이 힘을  $P_i$ 라 하면 各 節點에 作用하는 有效節點力은

$$F_i - P_i = K U_i \quad (2.9)$$

여기서  $F_i$ 는 實際로 作用하는 外力에 의한 等價 節點 荷重이다. 그런데  $P_i$ 는 式(2.7)로 주어지므로 이것을 代入하면

$$F_i = K U_i + K_f U_i = (K + K_f) U_i \quad (2.10)$$

式(2.10)에 의해서 彈性地盤을 考慮한 剛度매트릭스는 全體剛度매트릭스를 修正해서 作成할 수 있지만 聯立方程式을 푸는데 'frontal solution method'를 使用하므로써 약간의 어려움이 수반된다. 이 方法에서는 全體剛度매트릭스를 作成하지 않기 때문에 式(2.10)의 方法으로는 彈性地盤을 考慮하는 경우 全體剛度매트릭스를 修正하기는 困難하게 된다. 이러한 難點을 극복하기 위해서 本 論文에서는 다음과 같은 方法을 취하였다. 基礎底面과 地盤間에 節點을 통하여 節點荷重을 주고 받는다고 생각하고 地盤全體를 하나의 'super-parametric element'로 생각하여 既存의 要素에 중첩하였다. (Fig. 2.6 參照) 이 때 追加되는 要素의 自由度는 '1'이며 幾何學的 領域은 底版의 그것과 同一하다. 이렇게 하므로써 既往 開發된 프로그램을 修正하여 使用可能하였으며 또한 훌륭히 彈性地盤을 考慮한 解析이 可能하였다.

## 5. 要素의 組立

要素의 組立을 하기 위해서 즉 全體剛度매트릭스를 作成하는데는 두 가지의 基本的인 段階가 必要하다.

첫째는 座標變換이고

둘째는 要素剛度の 중첩이다

座標變換은 各 要素剛度を 計算하는데 使用되었던 要素座標系를 回轉하여 共同節點을 共有하는 모든 要素들의 直線自由도와 回轉自由도를 同一한 座標系에서 나타내는 것이다. 各 要素剛度の 중첩은 要素의 節點番號에 따라 全體剛度 매트릭스 속에 個個의 項들을 加算하여 주면 된다. 本 論文에서는 直線自由도와 回轉自由도에 대해서 基準座標系를 달리하는 方法을 擇하였다. 이렇게 하면 要素의 各 節點마다 座標變換 매트릭스가 相異할 것이며 最終적으로 다음과 같이 주어진다.

$$T = \begin{bmatrix} T_i^{(1)} \\ T_i^{(2)} \\ \dots \\ T_i^{(s)} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

여기서  $T_i^{(i)}$ 의 superscript i는 要素의 節點番號이다.

## 6. 境界節點

農業用 사이로의 解析에 있어서는 構造物의 支持點이나 切斷된 個所에서 適當한 境界條件만 設定된다면 사이로의 절반만을 解析하여도 된다. 萬一 다음과 같은 기호를 使用한다면

$T_x, T_y, T_z \dots X, Y, Z$  方向의 直線變位

$R_x, R_y, \dots t, y$  軸에 대한 回轉變位

0.....Free

1.....Constrained

Z-Y面으로 切斷된 面上에 놓이는 節點의 境界條件은 다음과 같이 要約할 수 있다.

Table 2-1. Boundary Conditions

	$R_x$	$R_y$	$T_x$	$T_y$	$T_z$
For Noder on Z-Y plane	0	1	1	0	0

## 7. 컴퓨터 프로그램

本 論文에서 使用한 프로그램은 한 개의 main program과 29개의 subroutine으로 構成되어 있으며 다음과 같은 flow chart로서 概略된다.

荷重條件 (4) 및 (5) 경우는 第1報<sup>28)</sup>에서 자세히 報告한 바 있다.

### III. 解析例

解析例로서는 높이 16m, 半徑 4.5m인 사이로壁體에 60×80cm의 開口部를 갖는 農業用 사이로(第1報 Fig.4-1 參照)를 解析하였으며 이때 荷重條件은 表(2-2)와 같다. 사이로의 높이에 따라 斷面力의 크기가 다를 것이므로 PC鋼線의 斷面積의 크기 도 높이에 따라 달리하였다. 解析時 使用한 諸係數는 다음과 같이 假定하였다.

- PS : 8,400(kg/cm<sup>2</sup>)      有効 pre-stress
- $\nu$  : 0.25      콘크리트의 포아손比
- $E_c$  : 300,000(kg/cm<sup>2</sup>)      콘크리트의 彈性係數
- $\gamma$  : 2,400(kg/m<sup>3</sup>)      콘크리트의 自重
- $E_s$  : 100(kg/cm<sup>2</sup>)      地盤의 彈性係數
- $\nu_s$  : 0.3      地盤의 포아손比

要素의 分割은 높이 方向에 따라서 16等分 半徑方向으로 3等分 圓周方向으로 7等分하였으며 이렇게 함으로써 總要素數는 133 總節點數 452 總自由度 2,260 이었다. 이러한 要素의 分割에 따른 要素番號, 節點番號, 節點座標 및 計算遂行에 必要한 모든 資料의 準備는 컴퓨터內에서 自動的으로 處理하도록 하였다.

hoop tension의 變化를 plot한 結果는 Fig.3-2 및 Fig. 3-3과 같다. hoop tension의 圓周方向으로의 값의 變化는 찾을 수 없었으며 또한 pre-stress를 導入함으로써 減衰效果는 크게 期待할 수 있었다. 彈性地盤을 考慮하는 경우(Load Case 1 및 3)와 그렇지 않은 경우(Load Case 4 및 5)를 比較할 때, Load Case 3 및 5를 보면 彈性地盤을 考慮할 때의 應力의 값이 下端에서 約 250cm 떨어진 位置에서 5% 程度 적게 評價되었으며 이러한 값의 差異는 地盤에서 멀어질수록 거의 찾을 수 없었다. 즉, 彈性地盤의 影響은 地盤에서 가까운 位置에 크게 나타나며 멀어질수록 減少된다고 말할 수 있겠다. 그러나 構造物에 pre-stress를 導入한 경우(Load Case 1 및 4)를 볼 때 彈性地盤의 影響은 大端히 크게 나타났으며 差異가 심한 곳에서 50% 程度 작은 값이 算定되었는데 이것은 pre-stress로 인하여 地盤의 變形이 增加하였으며 이로 인해 큰 反力이 底版에 作用하기 때문이라고 思料된다. 따라서 彈性地盤上의 構造物의 設計에 있어 構造物과 地盤間의 相互作用을 無視하는 것은 PC 構造에서는 再考

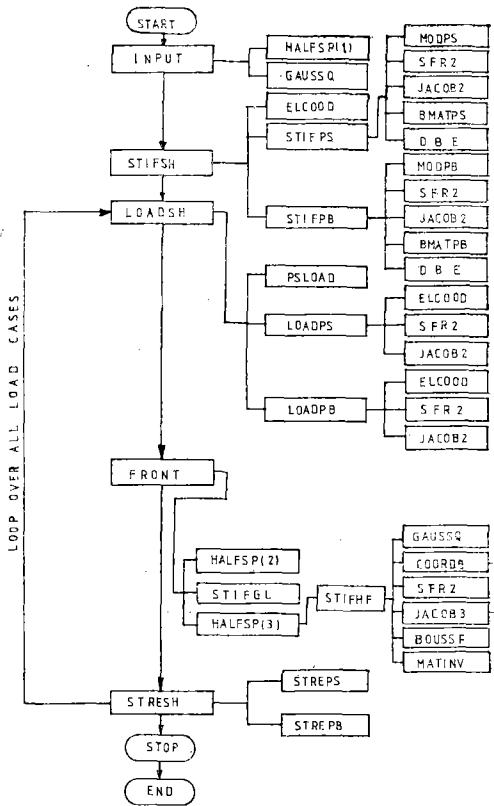


Fig. 2-8. Main program flow chart

### 8. 作用荷重 條件

農業用 사이로에 作用하는 荷重으로서는 사이로의 自重, 사이레이지의 自重 및 사이레이지가 充填되면 水平方向 및 鉛直方向에 사이레이지에 의한 內壓이 作用하게 된다. 以外 사이로의 經濟的인 設計를 위해서 pre-stress를 미리 주는 경우가 있게 된다. 이러한 여러가지의 荷重條件을 考慮하여 本論文에서는 다음 표와 같은 5가지의 경우의 荷重組合에 대해서 解析 比較하였다.

Table 2-2. Loading Combination

CASE	RC	PC	SIL-AGE	ELA-STIC FOUN-D.	UNI-FORM REAG.	RE-MARKS
1		○	○	○		Conventional method
2		○		○		
3	○		○	○		
4		○	○		○	
5	○		○		○	

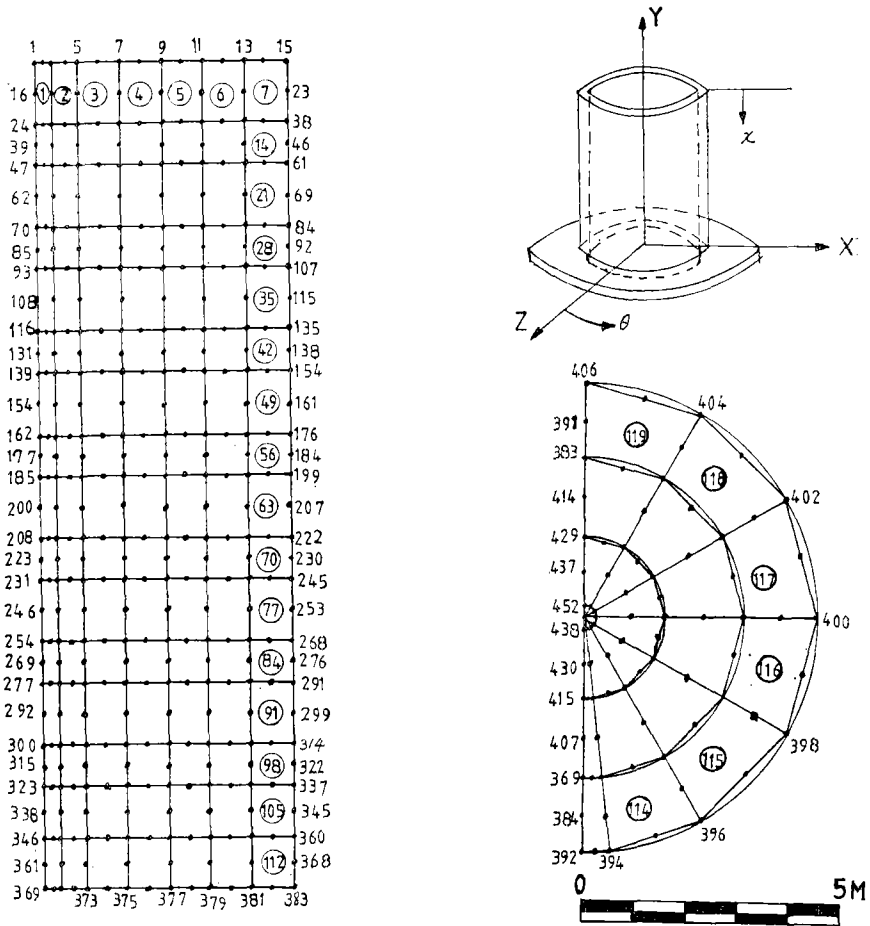


Fig. 3-1. Generation of elements in farm silo

되어야 할 것으로 思料된다.

굽힘 모멘트의 變化를 plot한 結果는 Fig. 3-4 및 Fig. 3-5와 같다. 굽힘 모멘트의 變化曲線이 Load Case 1, 2 및 4의 경우 圓滑하지 못한 것은 prestress의 等價節點力으로의 評價에 無理가 있기 때문에 生覺되며 이의 再評價方法이 考慮되어야겠다. 그러나 全般의인 값의 變化는 豫想한 傾向을 보이고 있으며 hoop tension의 경우와 마찬가지로 Load Case 1 및 3이 Load Case 4 및 5에 比해서 全般의으로 작게 算定된다. 그러나 壁體와 底版과의 接合部에서는 부호가 서로 反對되는 모멘트가 評價된 바 이것은 地盤이 底版에 比해서 너무나 flexible하기 때문이 아닌가 추측된다. 이와 같이 支持 地盤의 條件에 따라서 全然 相異한 굽힘 모멘트가 算定된 例는 文獻(24, 29)의 結果와 一致한다. 그러나 이것은 여러가지 地盤條件에 대해서 광범위하게

再檢討되어야 할 重要한 問題로서 지적된다. 앞으로 이에 대한 보다 상세한 研究가 있었으면 한다. X-모멘트의 變化는 바닥에서 얼마간 떨어진 位置에서 最大值를 보였으며 이것은 바닥 近處의 拘束 때문이다. 實際 設計에 있어서 이 모멘트는 考慮되지 않는다는 것을 假定한다면 特別한 問題가 되지 않는다. 높이에 따른 비틀림 모멘트의 變化는 Fig. 3-6과 같았으며 特別한 變化를 認定할 수 없었고 또한 彈性地盤의 影響도 크게 나타나지 않았다. 이와 같은 적은 비틀림 모멘트의 값은 圓筒型 셀의 特性을 잘 나타내고 있다. 剪斷力의 變化는 Fig. 3-7과 같았으며 接合部 近處에서 약간의 剪斷力이 發生하지만 그 값은 補強을 考慮할 程度의 것은 되지 못하였다.

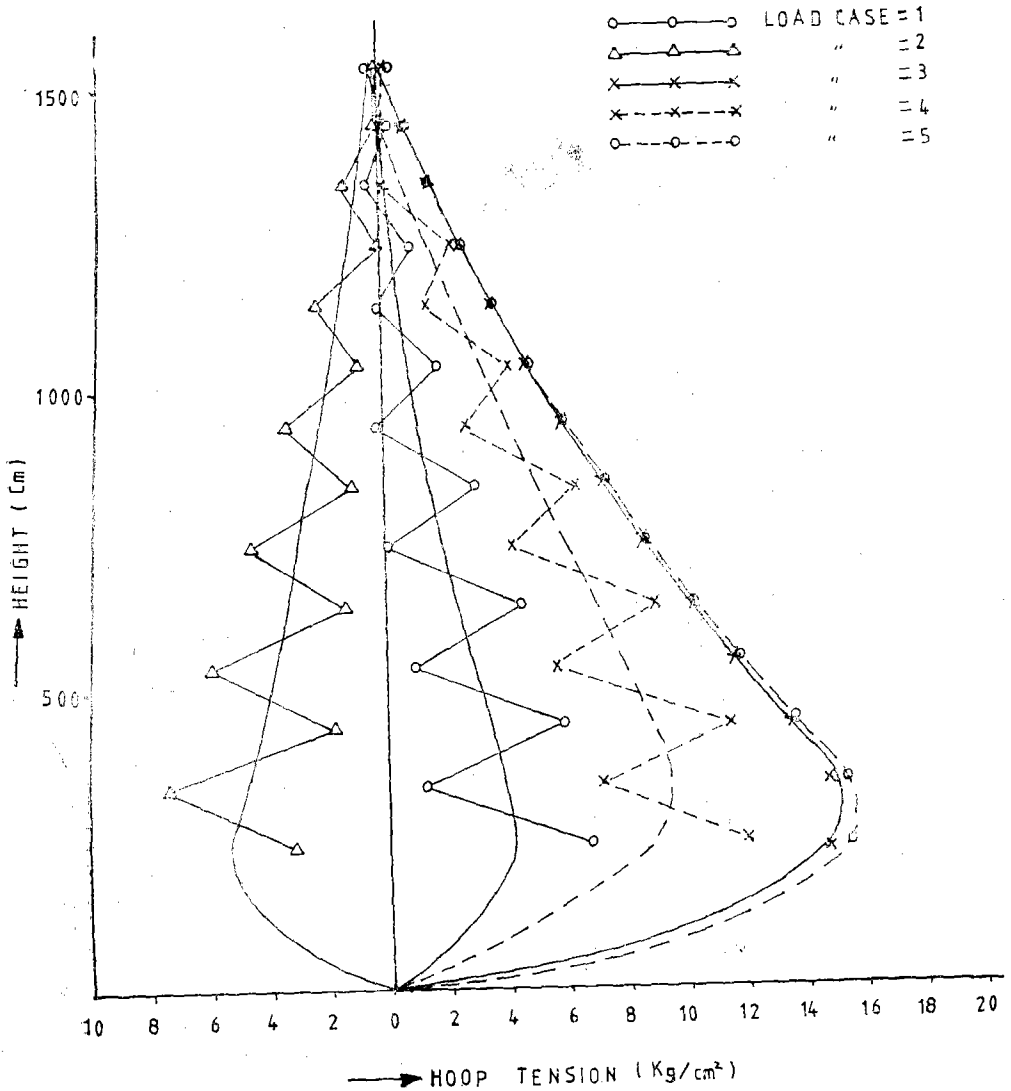


Fig. 3-2. Hoop tension variation along height

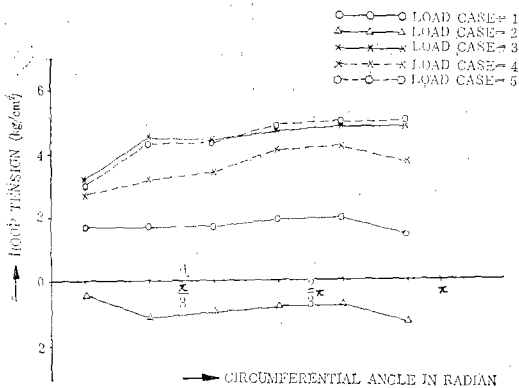


Fig. 3-3. Hoop tension variation along circumferential angle at  $x=5.6m$

#### IV. 結 論

본 研究은 構造系의 解析手段으로서 보다 合理的 이라고 生覺되는 有限要素法을 使用하여 地盤과 構造物間의 相互作用을 考慮한 解析體系를 整理한 것이다.

본 研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) '8-noded parabolic isoparametric element' 를 使用하여 彈性地盤을 考慮하여 農業用 사이로를 解析하는 프로그램을 開發하였다.

(2) Boussinesq 地盤要素에 대한 剛度매트릭스를



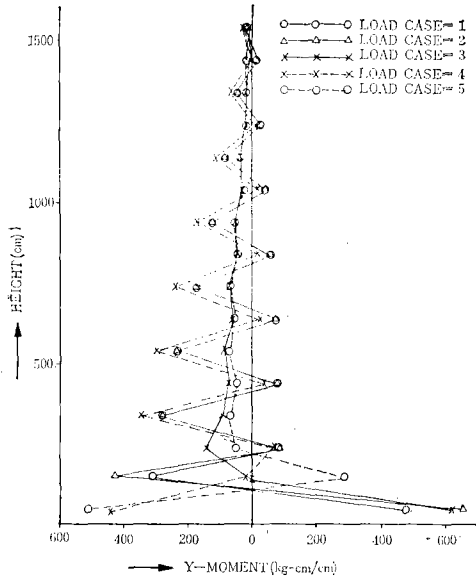


Fig. 3-4. Verical moment Variation along height

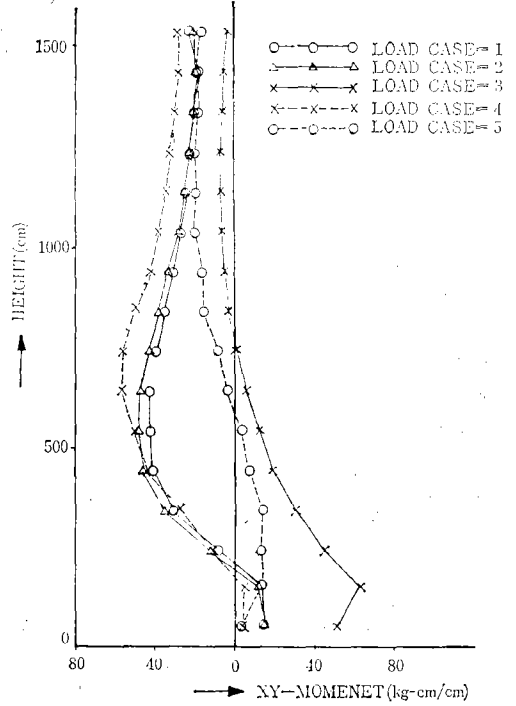


Fig. 3-6. Torsional moment Variation along height

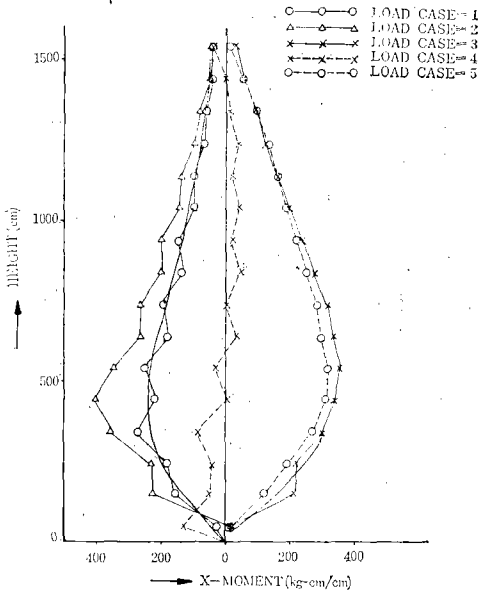


Fig. 3-5. Tangential moment Variation along height

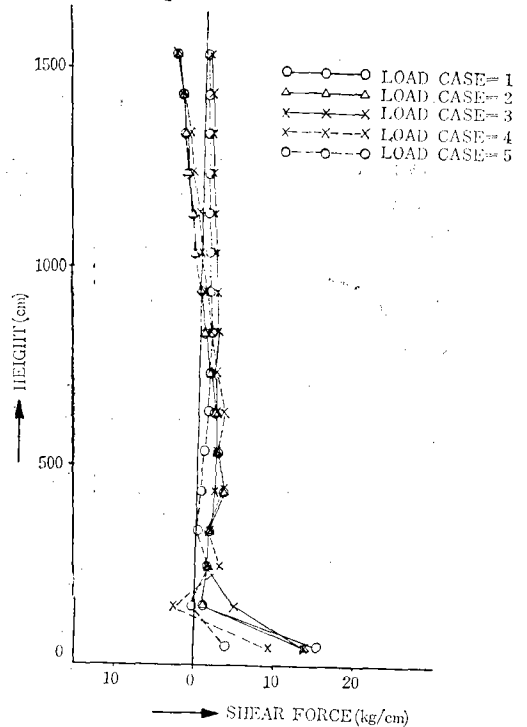


Fig. 3-7. Shear force Variation along height in X-Z face

誘導함으로써 彈性地盤 處理에 對한 보다 合理的인 理論을 定立하였다.

(3) 彈性地盤을 考慮하여 構造物을 解析하는 경우 均等地盤反力으로 處理하는것 보다는 全般的으로 적은 應力이 評價되었으며 RC 構造에서는 이 값

의 差異는 적었지만 PC 構造에 있어서는 이 兩者 間의 값의 差異는 無視할 수 없을 程度로 顯著하였다.

(4) 彈性地盤의 影響은 地盤에 가까운 곳에서 크게 나타났으며 地盤에서 멀어질수록 그 影響은 減少되었다.

(5) 彈性地盤이 剪斷力과 비틀림 모멘트의 크기에 미치는 影響은 거의 찾을 수 없었다.

(6) pre-stress를 導入한 構造系의 解析에 있어서 彈性地盤의 影響은 大端히 크게 나타났으며 따라서 PC 構造物의 設計에는 地盤과 構造物間의 相互作用이 考慮되어야 할 것으로 思料된다.

(7) 사이로 壁體와 底版과의 接合部 近處에서의 모멘트의 크기와 부호에 미치는 彈性地盤의 影響은 大端히 크게 나타났다.

### 參 考 文 獻

1. Bishara, Alfred, G., Mostafa H. Mahmoud and Karoon Chandrangsu, "Finite Element formulation for Farm Silo Analysis" Journal of the structural Div. ASCE, Vol.103, No. St 10, 1977 October, pp ; 1903-1918.
2. Chandrangsu Karoon, "A Finite Element Formulation for Nonlinear Visco Elastic Analysis" Thesis for Ph. D., Ohio State Univ., 1976.
3. Hawkins, J.C. and H.J.M.Messer "Flexible Walls for Bunker Silos" Journal of Agricultural Engineering Ressearch, 1977, pp ; 259 270.
4. Karoon Chandrangsu and Alfred G. Bishara "Nonlinear Finite Element Analysis of Farm Silos" Journal of the Structural Div. ASCE, Vol.104, No. ST 7, July, 1978, pp ; 1045-1059.
5. Neubauer, L.W. and Walker, H.B. "Farm Building Design" Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, H.J., pp ; 185-206.
6. Iyer Mahadeva Sivaramakrishna "Analysis of a Pressure-Vessel Junction by the Finite Element Method" Thesis for Ph. D., Texas Tech. University, 1972.
7. 浜島良吉, "任意靜荷重가作用する場合의薄肉圓筒ミエルの解析法", 日本土木學會論文報告集, 第245號, 1976.1 pp ; 1-16.
8. Lingtfoot, E. and Michael, D., "The Analysis of Ground-supported Oper Circular Concrete tanks" (Part I) Civil Engineering and Public Works Review, December, 1963. pp ; 1524-1527.
9. \_\_\_\_\_, "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete Tanks" (Part II) Civil Engineering and Public Works Review, January, 1964. pp ; 92-95.
10. \_\_\_\_\_, "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete Tanks" (Part III) Civil Engineering and Public Works Review, September 1965, pp ; 1307-1313.
11. \_\_\_\_\_, "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete Tanks" (Part IV) Civil Engineering and Public Works Review, October, 1965, pp ; 1503-1505.
12. Timoshenko, S.P. and Woinwsky-Krieger, S. "Theory of Plates and Shells" McGraw-Hill Book Co., New York.
13. E. Hinton and D.R.J. Owen "Finite Element Programming" Academic Press Inc., Ltd., 1977.
14. Zienkiewicz, O.C. "The Finite Element Method in Engineering Science" McGraw-Hill Book Co. Ltd., 1972.
15. Clough, R.W. and James L. Tocher "Finite Element Stiffness Matrices for Analysis of plate Bending" Proc. Conf. on Matrix Methods in Structural Mechanics, Wright-Patterson AFB, Ohio, October, 1965, pp ; 515-541.
16. \_\_\_\_\_ and Felippa, C.A., "A Refined Quadrilateral Element for Analysis of Plate Bending" Proceedings 2nd Conference on Matrix Methods in Structural Mechanics, Wright-Patterson AFB, Ohio, 1968.
17. Johnson, C.P. "The Analysis of Thin Shells by a Finite Element Procedures" Thesis for Ph. D. University of California, Berkeley, Sept. 1967.
18. Bakhrebah Saleh Abdullah "Finite Element

- Analysis of intersecting Cylinder" Thesis submitted to University of Illinois, Urbana-Champaign, 1973.
19. Clough, R.W. and Johnson, C.P. "A Finite Element Approximation for the Analysis of Thin Shells" Int. J. Solids Structure Vol. 4, 1968, pp ; 43-60.
  20. Kwan, Chitath Thomas "Analysis of Tubular T-Connection by the Finite Element Method; Comparison with experiments" Thesis for Ph. D., Univ. of Houston, 1971.
  21. Sukhvarsh Jerath and Arthur P. Boreisi "Stress Analysis of Bins by Shell Bending Theory" Journal of the Structural Div., ASCE, Vol.105, No. ST 6, June, 1979, pp ; 1069-1087.
  22. Bela Goschy "Soil-Foundation-Structure Interaction" Journal of the Structural Div., ASCE, Vol.104, No. ST, 5 May, 1978, pp ; 749-766.
  23. Cheng, Y.K. and Zienkiewicz, O.C. "Plates and Tanks on Elastic Foundation-An Application of Finite Element, Method" Int. J. Solids Structures, 1965, Vol.1, pp ; 451-461.
  24. Davies, J.D. "Influence of Support Condition on the Behaviour of Long Rectangular Tanks" Journal of the American Concrete Institute, April 1962, pp ; 601-608.
  25. Fukashi Miyahara and John G. Ergatoudis "Matrix Analysis of Structure Foundation Interaction" Journal of the Structural Div., ASCE, Vol.102, No. ST 1, January, 1976, pp ; 251-265.
  26. Otto J. Svec "Thick Plates on Elastic Foundations by Finite Elements" Journal of the Engineering Mechanics Div., ASCE, Vol.102, No. EM 3, June 1976, pp ; 461-476.
  27. Richard Bolton "Stresses in Circular Pates on Elastic Foundation" Journal of the Engineering Mechanics Div., ASCE, Vol.98, No. EM 3, June, 1972, pp ; 629-640.
  28. 曹鎮久, 朴炳基, 趙顯榮, "有限要素法에 의한 PC 農業用 사이로의 解析에 關한 研究—第1報—" 韓國農工學會誌, 第23卷 第4號 pp.60-74.
  29. John Duncan Davis, "The influence of support conditions on the behaviour of cylindrical concrete tanks", proc. of The Institution of civil Engineers, 1962, pp ; 379-388.