

# 地盤과 構造物 사이의 相互作用을 考慮한

## 變斷面 圓筒型셀의 解析 (I)

—變斷面 셀의 力學的 特性(I)—

### An analysis of ground supported farm silo with variable thickness (I)

—Part I mechanical characteristics of shell with Variable thickness—

曹 鎮 久\* · 趙 顯 榮\*\*  
Cho, Jin Goo · Cho, Hyun Young

#### Summary

This study aims to develop a computerized program for analysis of the ground-supported cylindrical shell structure with step varied section and to find out its mechanical characteristics through application of the developed program to the analysis of a ensiled farm silo as a model structure.

The thickness of wall and bottom-plate of farm silo is assumed to be step-varied and its detailed structural dimensions are presented in Tab. 1 and 2.

Several numerical case studies show that sectional stresses of the sample structures are largely reduced by adopting "varied section" design technique. And, other major results obtained from this study are summarized as follows ;

1. The variation of wall-thickness has a great influence on bending stresses of wall. However, the larger the relative thickness of bottom-plate is, the smaller the influence is.
2. The magnitude of thickness of projecting toe of bottom-plate has negligible effect on sectional stresses
3. The conventional design methodology, which assumes the bottom edge of wall as clamped on ground, is proved to be discarded through the numerical analysis.
4. It is found that the "varied section" design technique should get similar effects as in the case of thick bottom-plate having uniform thickness.
5. The variation of wall-thickness has a considerable effect on the bending stresses of bottom-plate. Especially, this phenomenon is very remarkable in its projecting toe. In some cases, the negative bending moment may be acted on.

---

\*全南大學校 農科大學

\*\*釜山大學校 工科大學

### I. 序 論

彈性地盤上에 놓인 圓筒型 셀 構造物-사이 레이저의 壓力을 받는 農業用 사이로를 中心으로-에 關한 지금까지의 筆者<sup>19~22)</sup>들의 研究 結果를 綜合하여 볼때 壁體에 作用하는 斷面力中, 굽힘모멘트와 剪斷力은 壁體와 底版과의 接合部 近處에서 큰 값을 나타냈으며 地上에서 조금만 떨어져도 굽힘 모멘트의 값은 급속히 零에 가까운 작은 값으로 變化한다. 또한 底版에 作用하는 굽힘모멘트 역시 底版과 壁體와의 接合部 및 底版 中央部에서 큰 값이 나타났지만 底版의 두께를 크게 하므로서 底版에 생기는 굽힘應力의 값은 현저히 減少시킬수 있다. 그러나 構造物에 생기는 應力의 減少를 위하여 構造物 全體의 斷面두께를 크게 하는 것은 매우 非經濟的인 設計라 할수 있으며 斷面應力의 變化 特性을 考慮한 變斷面設計를 하는 것이 合理的이다. 圓筒型 셀의 경우는 施工이 간단히 처리될수 있기때문에 變斷面 設計가 적극적으로 考慮되어야 할것이다. 有限要素法을 利用하면 等斷面때의 프로그램에 약간의 修正을 加하므로서 變斷面때라도 解析過程은 解析解와는 달리 거의 不變이므로 變斷面 設計를 간단히 처리할수 있다. 따라서 筆者들은 斷面두께가 任意로 變하는 彈性地盤上의 圓筒型 셀 構造物을 解析할수있는 프로그램을 作成하고 이를 農業用 사이로에 適用하여 構造物의 斷面變化에 따른 力學的 特性을 究明하고자 하였다.

### II. 解析方法

全般的인 解析方法 및 解析節次는 文獻(19)와 同一하다. 다만 任意的인 位置에서 斷面의 두께가 任意的인 값을 取할수 있도록 하기 위하여 文獻(19)에서 開發된 프로그램이 部分的으로 修正補完되었으며 一部는 새로이 開發되었다. 이때 한 要素內의 斷面두께  $t$ 는 形狀函數( $N_i$ )를 使用하

여 다음과 같이 補間하였다.

$$t = \sum N_i t_i$$

여기서  $t_i$ 는 要素의 節點에서의 斷面두께로서 自動적으로 分割 算定되도록 하였고 形狀函數( $N_i$ )는 8節點 等媒介變數가 使用되었다.

### III. 解析例 및 考察

앞에서 說明한 解析方法 및 解析節次를 Fig.1과 같은 漸次段階狀 變化치수를 갖는 變斷面 農業用 사이로의 構造解析에 適用하였다. 사이로의 壁體 및 底版의 두께는 任意的인 값을 取할수 있도록 프로그램은 構成되어 있지만 施工性을 감안하여 Table-(1) 및 (2)와 같은 치수를

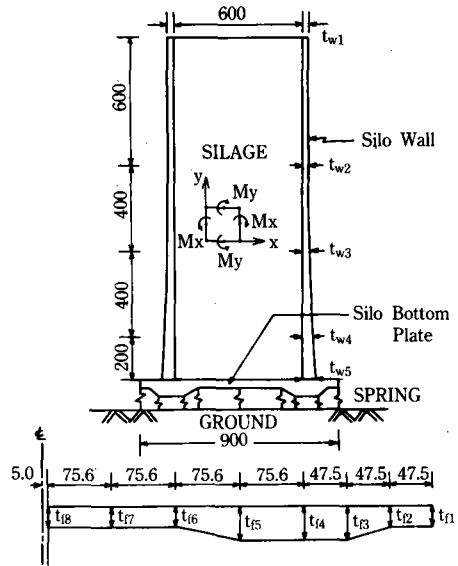


Fig. 1. Farm Silo on Elastic Foundation.

Table-1. Thickness of silo wall.

Unit : Cm

斷面條件	$t_{w1}$	$t_{w2}$	$t_{w3}$	$t_{w4}$	$t_{w5}$
1	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
2	15.0	15.0	20.0	25.0	30.0
3	15.0	15.0	30.0	40.0	45.0

考慮하였다.

이러한 여러가지의 斷面을 갖는 農業用 사이로에 대해서 地盤의 支持力係數  $k$  는  $15\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 로 限定하였다. Table-2의 底版두께條件 3 및 5와 4 및 6의 경우는 底版突出部の 두께가 사이로의 舉動에 미치는 影響을 알아보기 위한 것으로서 底版 突出部の 두께만을 달리한 것이다.

이러한 變斷面을 갖는 사이로의 解析을 위한 要素分割은 文獻(19)와 同一하게 하였다.

計算結果를 綜合하여보면 다음과 같다.

壁體의 斷面應力에 미치는 底版 剛性的 影響을 알아보기 위하여 壁體 斷面두께를 一定하게 하고 底版斷面 두께를 變化시켰을 경우의 圓周方向應力 값을 圖示하면 Fig. 2, 3 및 4와 같다.

Table-3은 壁體斷面에서의 圓周方向應力을 壁體下端이 固定된 경우의 그것들과 比較한 것이다.

圓周方向應力의 경우 地盤에서 約 2m이상 떨어진 곳에서는 底版剛性的 影響이 거의 없었으며 따라서 壁體의 下端이 固定이라고 假定하는 경우의 값과 거의 一致되었다. 그러나 地盤

Table-2. Thickness of silo-bottom plate.

Unit : Cm

底版條件 \ 두께	$t_{11}$	$t_{12}$	$t_{13}$	$t_{14}$	$t_{15}$	$t_{16}$	$t_{17}$	$t_{18}$
1	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
2	20.0	20.0	50.0	50.0	50.0	30.0	30.0	30.0
3	20.0	20.0	100.0	100.0	100.0	50.0	50.0	50.0
4	20.0	20.0	150.0	150.0	150.0	100.0	100.0	100.0
5	50.0	50.0	100.0	100.0	100.0	50.0	50.0	50.0
6	100.0	100.0	150.0	150.0	150.0	100.0	100.0	100.0

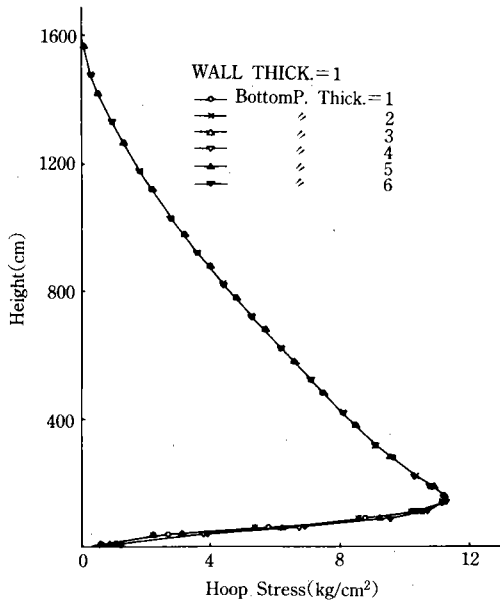


Fig. 2. Hoop Stresses in Silo Wall, Wall Thick. Cond. = 1

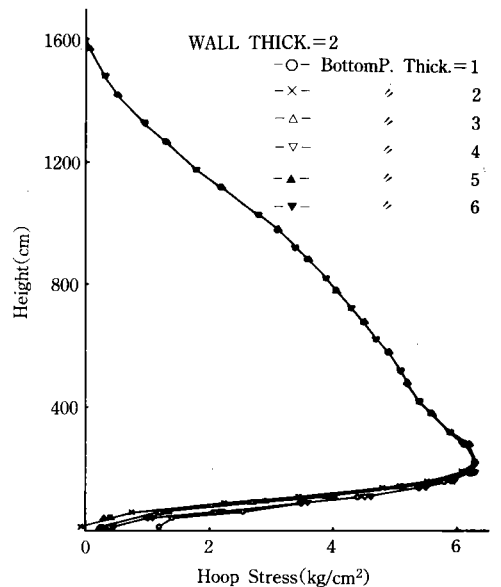


Fig. 3. Hoop Stresses in Silo Wall, Wall Thick. Cond. = 2

Table-3. Comparison of hoop stresses between lower edge fixed and winkler foundation.

unit : percent

Dist. from lower(cm)	壁體 두께 조건		底版 두께 조건					
	1	2	3	4	5	6		
40	1	62.08	50.03	68.75	87.45	71.23	90.03	
	2	89.65	24.17	17.43	64.19	24.00	72.19	
	3	160.29	3.81	-8.71	45.93	0.14	59.18	
90	1	89.44	87.35	92.19	96.79	92.79	97.42	
	2	85.97	54.95	66.81	85.34	69.39	88.38	
	3	101.23	38.17	42.64	71.40	47.06	77.62	
160	1	99.73	99.82	99.82	99.91	99.82	99.81	
	2	95.42	87.47	92.53	96.66	93.10	97.32	
	3	95.93	77.28	80.41	90.23	81.91	92.23	
420	1	100.21	100.14	100.06	100.02	100.05	100.02	
	2	100.26	100.22	100.00	100.07	100.11	100.06	
	3	100.39	100.92	100.75	100.39	100.70	100.32	
980	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

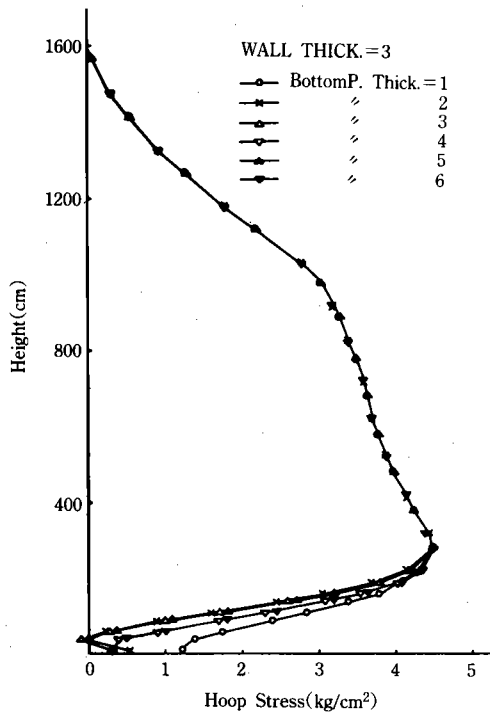


Fig. 4. Hoop Stresses in Silo Wall, Wall Thick. Cond.=3

가까이에서는 底版剛性的의 影響이 상당히 크게 나타나고 있음을 알수 있으며 이러한 影響은 壁體의 斷面두께가 두꺼울수록 크게 그리고 地盤으로부터 먼곳까지 미치고 있음을 알수 있었다.

圓周方向 모멘트(y-軸에 關한 回轉 모멘트,  $M_x$ )로 인한 굽힘應力의 變化를 圖示하면 Fig. 5, 6 및 7과 같으며 이들을 壁體下端固定의 경우와 比較하면 表-4와 같다.

底版剛性的의 影響은 地盤에서 상당히 먼곳까지 미치고 있음을 알수 있으며 壁體下端固定의 경우와 比較하여 볼때 地盤가까이에서의 굽힘應力은 壁體剛性和 底版剛性的의 組合된 影響을 받고있음을 알수 있다. 壁體斷面 두께가 얇고 均一한 경우에는 底版 斷面두께가 增加함에 따라 下端固定이라고 假定한 解析結果에 잘 接近되고 있었으나 (文獻(21)參照) 壁體斷面두께가 變化하는 경우에는 下端固定의 경우에서의 收斂性은 없어졌으며 따라서 壁體의 斷面두께가 變化하는 경우에는 下端固定이라고 假定하고 解析

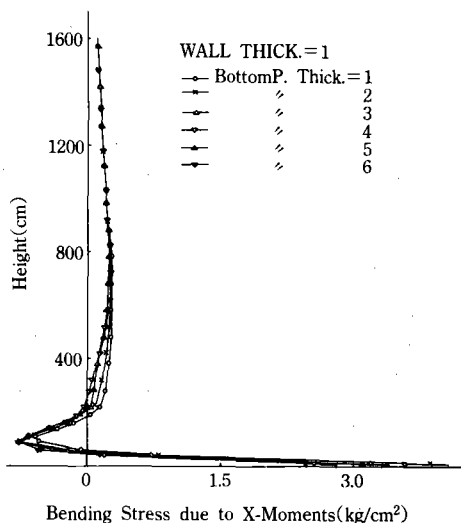


Fig. 5. Bending Stresses due to X-Moments in Silo Wall, Wall Thick. Cond.=1

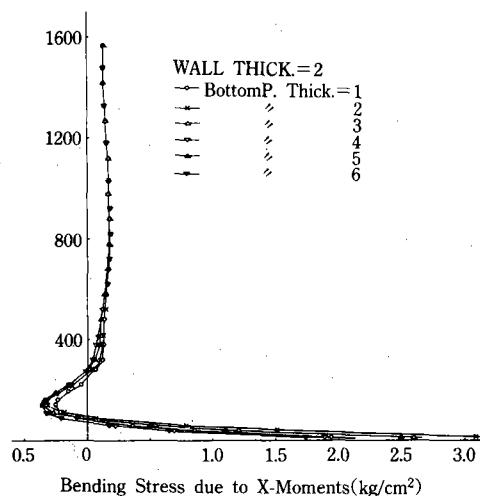


Fig. 6. Bending Stresses due to X-Moments in Silo Wall, Wall Thick. Cond.=2

Table-4. Comparison of X-moment between lower edge fixed and winkler foundation.

unit : percent

Dist. from lower(cm)	$t_w$	$t_r$	unit : percent					
			1	2	3	4	5	6
10	1		168.65	182.17	150.44	120.43	146.65	116.78
	2		152.26	241.72	202.45	145.62	194.53	136.42
	3		120.01	252.52	233.83	166.99	223.62	153.05
160	1		54.50	77.54	95.65	96.19	95.42	95.99
	2		71.83	99.47	105.59	100.47	104.65	99.39
	3		54.88	63.73	79.87	88.37	80.84	89.41
160	1		115.23	110.27	104.11	101.91	103.88	101.69
	2		107.23	105.18	102.16	100.93	102.03	100.80
	3		103.58	102.23	100.48	99.10	100.48	99.90
980	1		97.88	98.18	98.58	99.08	98.61	99.16
	2		97.20	97.56	98.00	98.63	98.04	98.70
	3		97.19	97.52	97.88	98.44	97.92	98.53

하는 것은無理임을 알수 있었다.

軸方向 모멘트(X-軸에 관한 回轉 모멘트,  $M_y$ )로 인한 굽힘應力의 變化를 圖示하면 Fig. 8, 9 및 10과 같으며 이를 壁體下端固定의 경우와 比較하면 表-5와 같다.

底版剛性的 影響은 圓周方向 모멘트로 인한 굽힘應力의 경우와 類似하였다. 즉 壁體에서의

굽힘모멘트는 壁體剛性和 底版剛性的 組合된 影響에 의해서 決定되었으며 壁體斷面 두께가 얇은 경우보다는 두꺼운 경우 底版剛性的 影響은 大端히 不規則하게 나타났다. 또한 下端固定 이라고 假定하고 解析한 結果에서의 接近性은 均一斷面의 경우에는 規則的인 樣相을 나타냈지만(文獻(21)參照)變斷面의 경우에는 그러하지

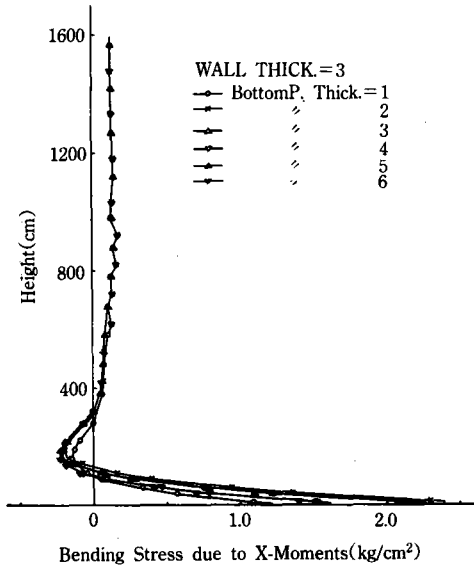


Fig. 7. Bending Stresses due to X-Moments in Silo Wall, Wall Thick. Cond.=3

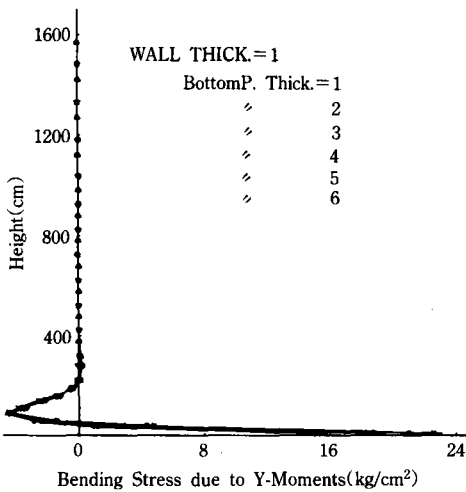


Fig. 8. Bending Stresses due to Y-Moments in Silo Wall, Wall Thick. Cond.=1

못하였다.

壁體의 斷面變化가 壁體의 斷面應力에 미치는 影響을 알아보기 위하여 底版의 斷面條件을 一定하게 하였을 경우의 結果를 圖示하면 Fig. 11~22와 같다.

그림에서 보는 바와같이 底版條件이 어떠한 壁體의 斷面을 斷面應力의 變化에 따라 調

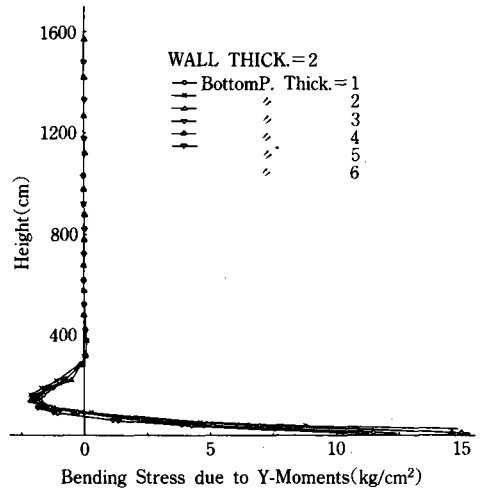


Fig. 9. Bending Stresses due to Y-Moments in Silo Wall, Wall Thick. Cond.=2

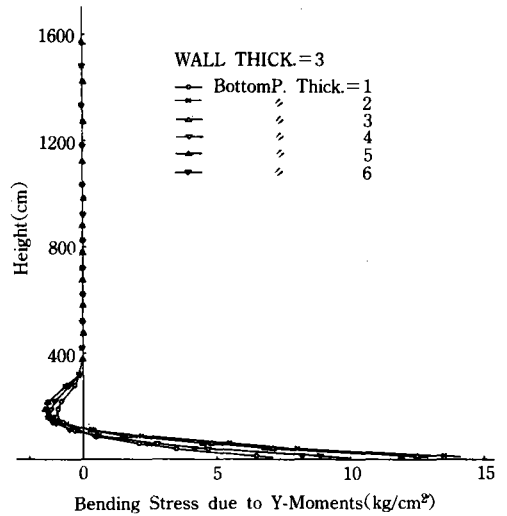


Fig.10. Bending Stresses due to Y-Moments in Silo Wall, Wall Thick. Cond.=3

整하므로써 斷面に 생기는 圓周方向應力の 크기를 거의 一定하게 할수 있음을 알수 있다. 즉 底版의 剛性和 無關하게 斷面變化의 效果를 期待할수 있었으며 따라서 斷面應力의 變化에 相應하게 壁體의 斷面두께를 變化시키는 것은 大端히 바람직스러웠다. 또 Fig.13, 14, 17, 18, 21 및 23에서 보는 바와 같이 底版 突出部の 斷面 두께가 壁體의 斷面應力에 미치는 影響은 거의

Table-5. Comparison of Y-moment between lower edge fixed and winkler foundation.

Dist. from lower(cm)	壁體條件		底版條件					
	1	2	1	2	3	4	5	6
10	1	2	168.82	181.89	150.30	120.73	146.44	116.70
	2	3	153.31	241.48	202.18	145.55	194.32	136.36
	3	1	122.27	252.61	233.56	166.87	223.42	153.03
160	1	2	134.50	146.94	130.19	112.09	127.77	109.57
	2	3	98.96	130.57	124.70	110.54	122.68	108.06
	3	1	69.87	83.10	93.89	96.65	94.13	96.58
680	1	2	97.92	97.92	98.57	99.12	98.62	99.22
	2	3	94.25	93.81	95.14	96.90	95.28	97.20
	3	1	100.13	90.23	91.24	94.67	91.66	95.35
980	1	2	93.83	95.45	97.44	98.54	97.54	98.69
	2	3	113.78	111.38	108.06	105.23	107.86	104.84
	3	1	101.86	101.58	101.23	100.87	101.23	100.83

unit : percent

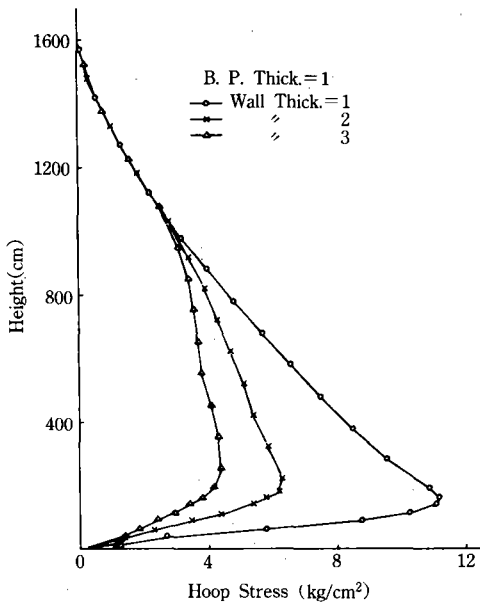


Fig.11. Hoop Stresses Variation in Silo wall Bottom Plate Thick. Cond.=1.

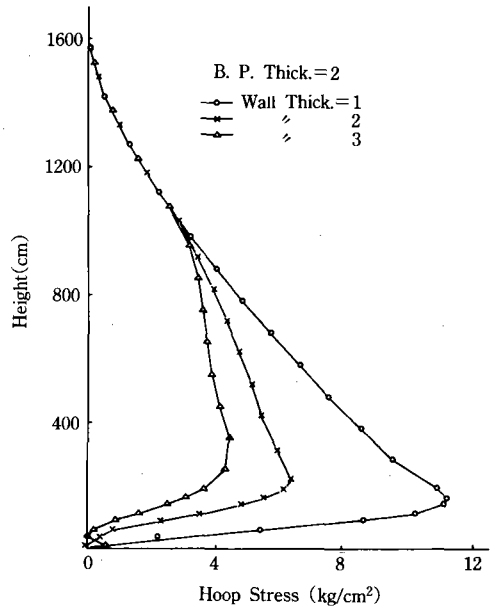


Fig.12. Hoop Stresses variation Bottom Plate Thick. Cond.=2.

없는 것으로 判明되었다.

底版의 굽힘應力の 크기에 미치는 底版 剛性의 影響을 알아보기 위하여 壁體의 斷面條件을 一定하게 하였을 경우의 結果를 圖示하면 Fig. 23, 24 및 25와 같다.

그림에서 보는 바와같이 底版의 斷面變化로 인한 底版에서의 굽힘應力の 分布는 크게 影響을 받고 있으며 이들은 均一斷面을 갖는 경우 (文獻21)와 比較하여 보면 底版斷面 두께의 變化에 따른 底版에서의 굽힘應力の 分布가 거의

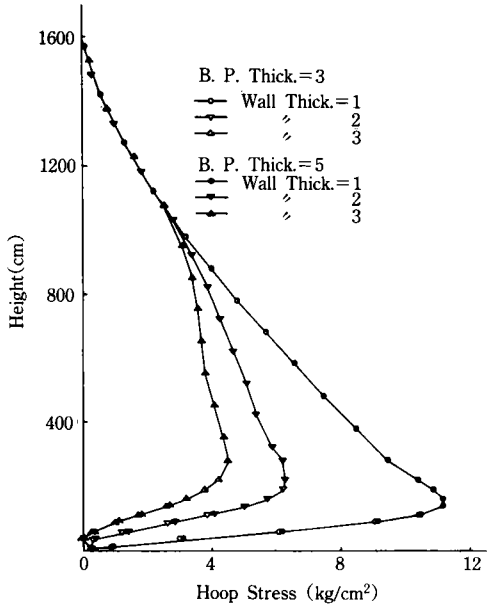


Fig.13. Hoop Stresses Variation in Silo wall  
Bottom Plate Thick. Cond.=3 and 5.

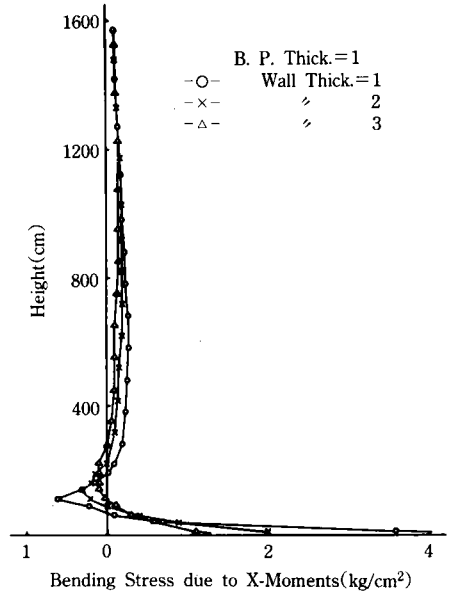


Fig.15. Bending Stresses due to X-Moments in  
Silo Wall, Bottom Plate Thick. Con.=1

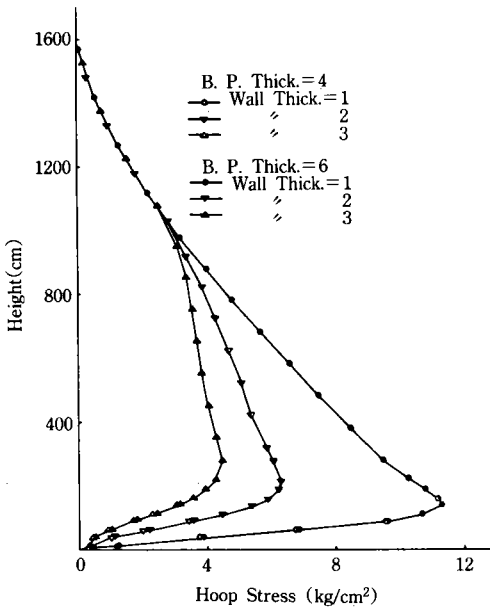


Fig.14. Hoop Stresses Variation in Silo Wall  
Bottom Plate Thick. Cond.=4 and 6.

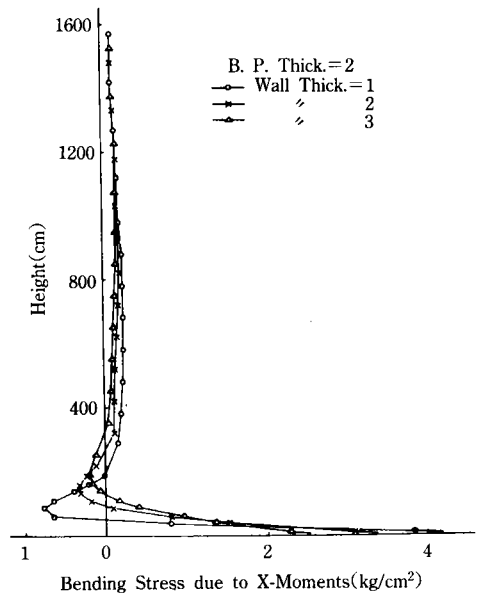


Fig.16. Bending Stresses due to X-Moments in  
Silo Wall, Bottom Plate Thick. Cond.=2.



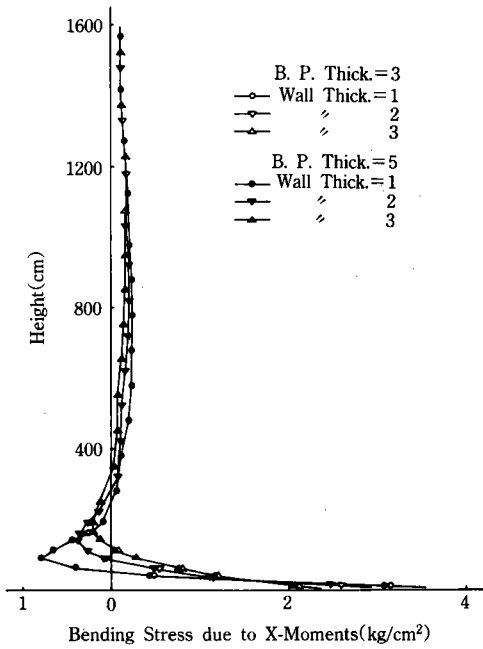


Fig.17. Bending Stresses due to X-Moments in Silo Wall, Bottom Plate Thick. Cond.= 3 and 5

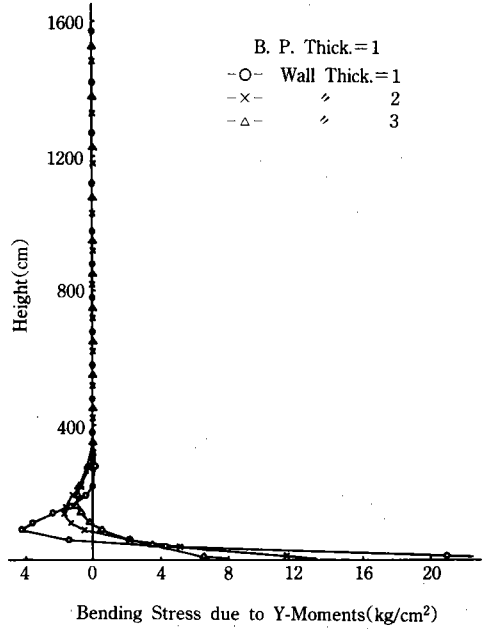


Fig.19. Bending Stresses due to Y-Moments in Silo Wall, Bottom Plate Thick. Cond.= 1

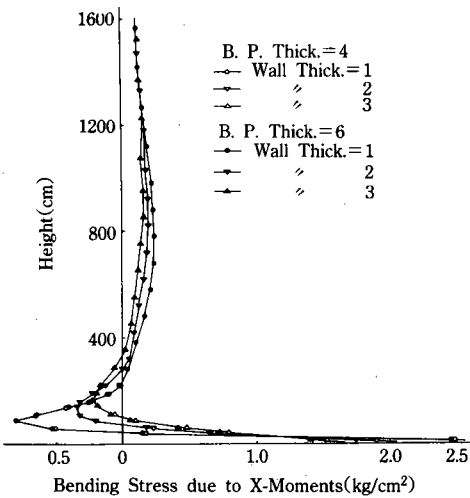


Fig.18. Bending Stresses due to X-Moments in Silo Wall, Bottom Plate Thick. Cond.= 4 and 6

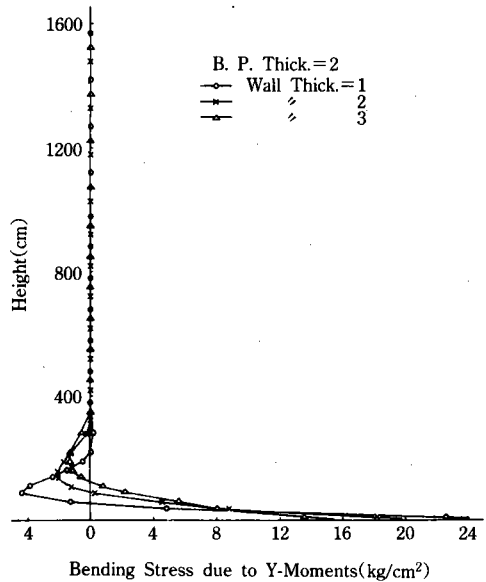


Fig.20. Bending Stresses due to Y-Moments in Silo Wall, Bottom Plate Thick. Cond.= 2

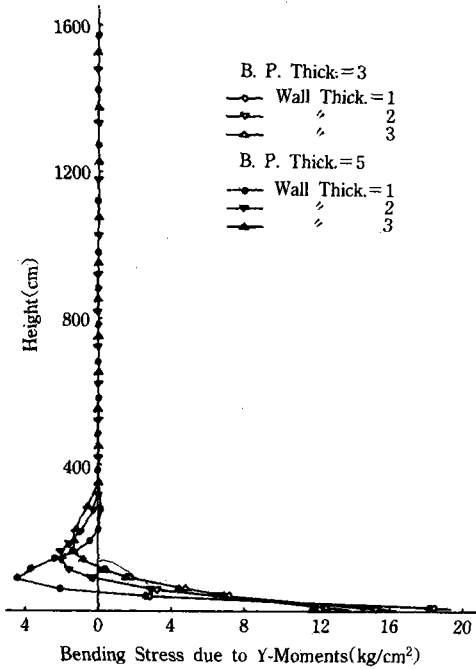


Fig.21. Bending Stresses due to Y-Moments in Silo Wall, Bottom Plate Thick. Cond. = 3 and 5

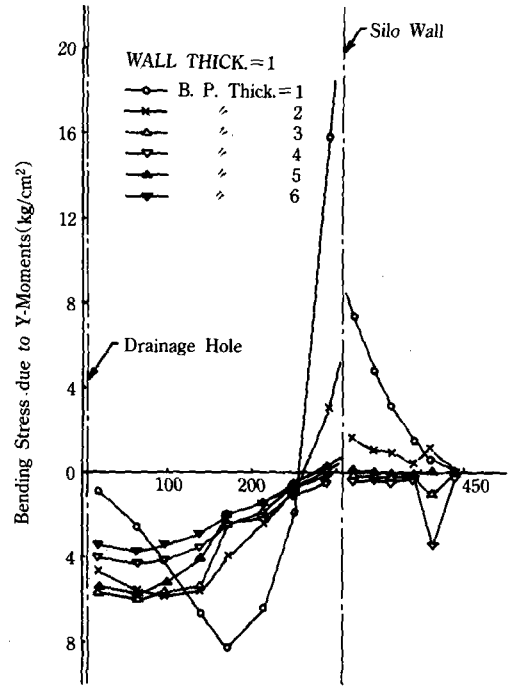


Fig.23. Bending Stresses due to Y-Moments in Bottom Plate, Wall Thick. Cond. = 1

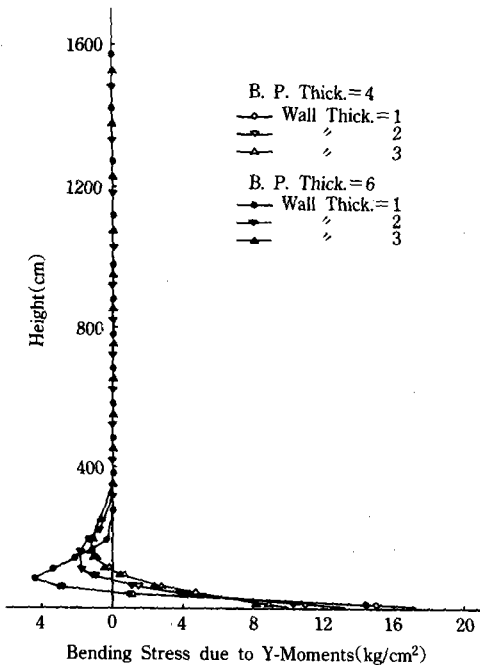


Fig.22. Bending Stresses due to Y-Moments in Silo Wall, Bottom Plate Thick. Cond. = 4 and 6

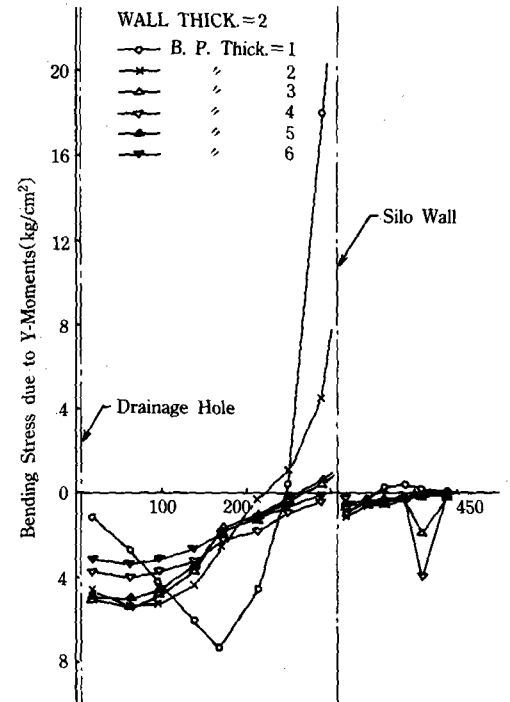


Fig.24. Bending Stresses due to Y-Moments in Bottom Plate, Wall Thick. Cond. = 2

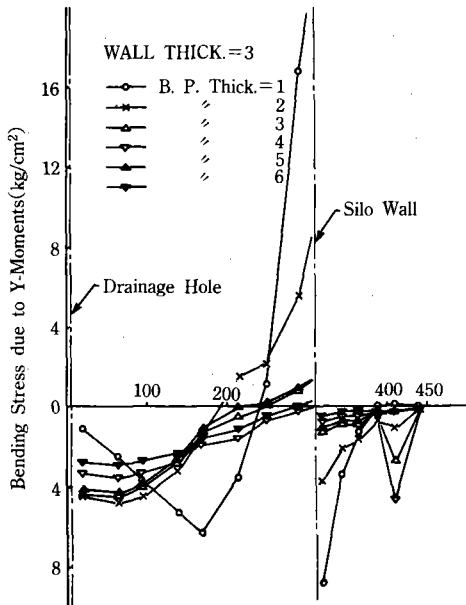


Fig.25. Bending Stresses due to Y-Moments in Bottom Plate, Wall Thick. Cond.=3

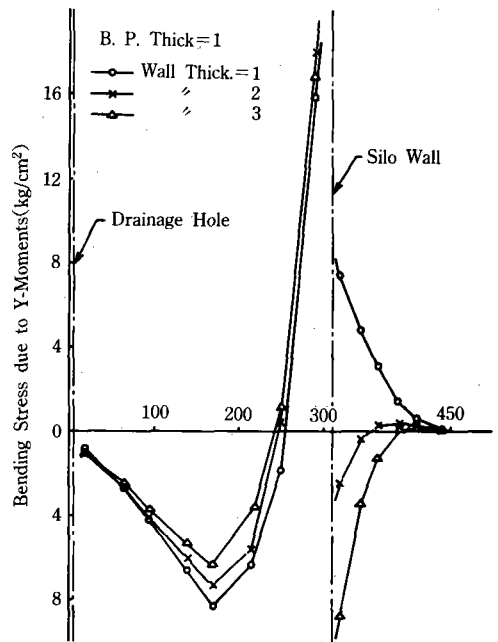


Fig.26. Bending Stresses due to Y-Moments in Bottom Plate Thick. Cond.=1.

同一한 패턴인 것을 알 수 있다. 즉 큰 굽힘應力이 作用하는 位置(例를 들면 底版中央部 및 底版과 壁體의 接合部)의 斷面두께를 크게 하므로서 斷面應力의 減少效果를 크게 期待할 수 있음을 알 수 있다. 또한 壁體와 底版과의 接合部 가까운 곳에서 壁體의 斷面두께가 두꺼운 경우에는 底版 突出部에 생기는 굽힘모멘트(굽힘應力)는 그 부호가 바뀌고 있음을 알 수 있다. 즉 壁體의 斷面두께에 따라 底版 突出部の 斷面應力은 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 또한 底版 突出部の 斷面두께를 얇게 하는 경우에는 斷面急變으로 인한 應力 攪亂現狀이 크게 일어나고 있음을 알 수 있으며 따라서 突出部の 斷面두께를 너무 減少시키는 것은 바람직스럽지 않다는 것을 알 수 있다.

壁體의 斷面變化가 底版斷面에서의 굽힘應力 分布에 미치는 影響을 알아 보기 위하여 底版 剛性を 一定하게 하였을 경우의 結果를 圖示하면 Fig.26, 27, 28 및 29와 같다.

그림에서 알 수 있는 바와같이 壁體의 斷面두

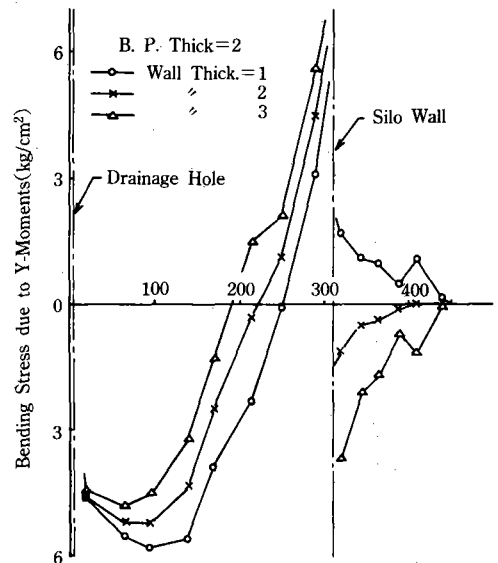


Fig.27. Bending Stresses due to Y-Moments in Bottom Plate Thick. Cond.=2.

께가 底版斷面에서의 굽힘應力의 크기에 상당한 影響을 미치고 있음을 알 수 있으며 壁體안

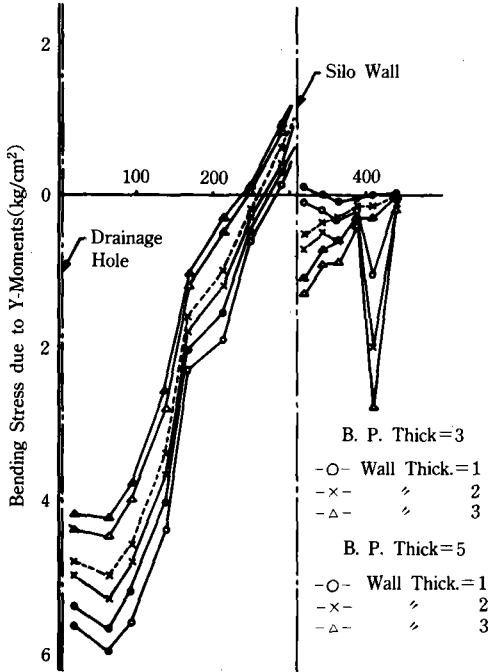


Fig.28. Bending Stresses due to Y-Moments in Bottom Plate, Wall Thick. Cond.=3 and 5

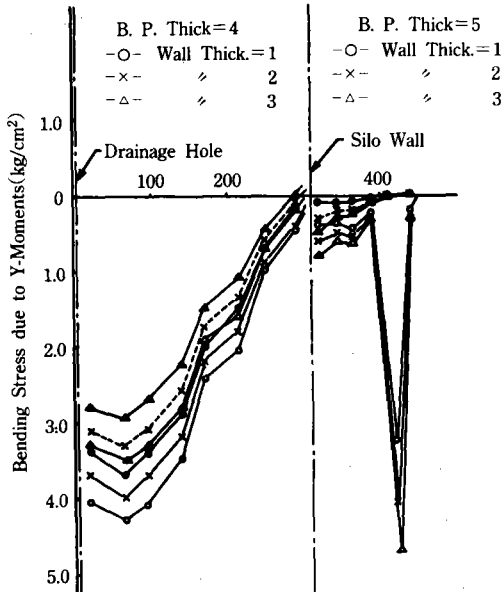


Fig.29. Bending Stresses due to Y-Moments in Bottom Plate, Wall Thick. Cond.=4 and 6

쪽의 底版斷面의 굽힘應力의 分布에 미치는 影響은 底版두께가 두꺼워짐에 따라 약간 減少되었다. 그러나 底版 突出部 斷面의 應力의 크기 및 分布에 미치는 影響은 아주 큰 것으로 나타났다. 특히 底版條件-1 및 2의 경우에는 壁體의 두께에 따라서 底版 突出部の 굽힘現象이 反對로 바뀌고 있음을 알수있다.

#### IV. 結 論

彈性地盤上에 놓인 圓筒型 셀을 設計하는 경우 斷面應力의 變化를 考慮한 變斷面 設計를 하는 것은 大端히 經濟的인 構造物을 築造할수 있을 것으로 생각되며 본 論文의 目的은 이러한 變斷面 圓筒型 셀 構造物을 解析할수 있는 프로그램을 開發하고 여기서 開發된 프로그램을 農業用 사이로에 適用하고 그의 力學的 特性을 究明하기 위한 것으로서 이를 위하여 Table-(1) 및 (2)와 같이 두께가 漸次 段階狀으로 變하는 경우를 考慮하였다. 數值例로부터 다음과 같은 몇가지 結論을 얻을수 있었다.

1. 壁體의 斷面變化가 壁體의 굽힘모멘트의 크기에 미치는 影響은 大端히 크다. 다만 底版의 相對的 두께가 두꺼울수록 減少되었다.

2. 底版突出部の 斷面두께가 壁體의 斷面應力의 크기에 미치는 影響은 거의 없었다.

3. Table-3, 4 및 5에서 보는바와같이 壁體下端을 固定이라고 假定하고 解析한 結果의 winkler地盤結果에로의 接近性은 均一斷面의 경우에는 規則的인 樣相을 나타냈지만<sup>21)</sup> 變斷面의 경우에는 一定한 規則性을 찾을수 없었으며 따라서 이러한 解析方法은 그의 妥當性이 없고 따라서 下端固定이라는 慣行的인 解析方法에 基礎한 設計는 지양되어야한다.

4. 底版의 斷面變化로 인한 底版 斷面에서의 굽힘應力의 減少效果는 크게 期待되었으며 이 들을 等斷面의 경우(文獻21)와 比較하여보면 큰 斷面應力이 作用하는 곳의 斷面을 크게하는

즉 變斷面으로 設計하더라도 두꺼운 等斷面의 경우와 類似한 效果를 얻을 수 있음이 確認되었다.

5. 壁體의 斷面變化로 인한 底版의 굽힘應力의 減少效果는 無視할수없다. 特히 底版突出部의 굽힘現象에 미치는 影響은 大端히 민감하고 경우에 따라서는 負모멘트가 發生하는데 이로부터 負反力● 突出部の 一部區間에 發生함을 알수있다. 말뚝基礎의 경우에는 負反力을 考慮할수 있으나 地盤과의 直接 接觸일 경우에는 負反力의 發生이 存在할수 없으므로 突出部の 反力이 없다고보고 再計算을 하여야 할 것이다.

### 參 考 文 獻

1. Lighthfoot, E. and Michael, D., "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concretetanks"(Part I) Civil Engineering and Public Works Review, December, 1963. pp ; 1524-1527.
2. , "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete Tanks"(Part II) Civil Engineering and Public Works Review, January, 1964, pp ; 92-95.
3. , "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete Tanks"(Part III) Civil Engineering and Public Works Review, September 1965, pp ; 1307-1313.
4. , "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete Tanks"(Part IV) Civil Engineering and Public Works Review, October, 1965, pp ; 1503-1505.
5. Timoshenko, S. P. and Woinwsky-Krieger, S. "Theory of Plates and Shells" McGraw-Hill Book Co., 1951, New York.
6. Hinton and D. R. J. Owen "Finite Element Programming" Academic Press Inc., Ltd., 1977.
7. Zienkiewicz, O. C. "The Finite Element method in Engineering Science" McGraw-Hill Book Co. Ltd., 1972.
8. Johnson, C. P. "The Analysis of Thin Shells by a Finite Element Procedures" Thesis for Ph. D. University of California, Berkeley Sept. 1967.
9. Sukhvarsh jerath and Arthur P. Boresi "Stress Analysis of Bins by Shell Bending Theory" Journal of the Structural Div., ASCE, Vol. 105, No. ST 6, June, 1979, pp ; 1069-1087.
10. Bela Goschy "Soil-Foundation-Structure Interaction" Journal of the Structural Div., ASCE, Vol. 14, No. ST 5 May, 1978, pp ; 749-766.
11. Cheng, Y. K. and Zienkiewicz, O. C. "Plates and Tanks on Elastic Foundation Application of Finite Element Method" Int. J. Solids Structures, 1965, Vol. 1, pp ; 451-461.
12. Davies, J. D. "Influence of Support Condition on the Behaviour of Long Rectangular Tanks" Journal of the American Controte Institute, April 1962, pp ; 601-608.
13. 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.
14. Otto J. Svec "Thick Plates on Elastic Foundations by Finite Elements" Journal of the Engineering mechanics Div., ASCE, Vol. 98, No. EM 3, June 1976, pp ; 461-476.
15. Richard Bolton "Stresses in Circular Plates on Elastic Foundation" Journal of the

- Engineering Mechanics Div., ASCE, Vol. 98, No. Em 3, June, 1972, pp ; 629-640.
16. 송유진, “탄성지반의 축대칭 프리스트레스드 콘크리트 탱크 해석에 관한 연구” 1984.
  17. 조진구, 박병기, 조현영, “유한요소법에 의한 PC농업용 사이로의 해석에 관한연구 (I)” 한국농공학회지, 제23권 제4호, 1982, pp ; 60~74
  18. 조진구, 조현영, 박병기, “유한요소법에 의한 PC농업용 사이로의 해석에 관한연구 (II)” 한국농공학회지, 제24권 제3호, 1982, pp ; 73~83
  19. 조진구, 조현영, “저반과 구조물 사이의 상호작용을 고려한 농업용 사이로의 해석에 관한 연구(I)” 한국농공학회지, 제27권 제2호, 1985, pp ; 38~46
  20. , , “지반과 구조물 사이의 상호작용을 고려한 농업용 사이로의 해석에 관한 연구(II)” 한국농공학회지, 제27권 제3호, 1985, pp ; 97~108
  21. , , “지반과 구조물 사이의 상호작용을 고려한 농업용 사이로의 해석에 관한 연구(III)” 한국농공학회지, 제29권 제2호, 1987, pp ; 51~64
  22. , , “지반과 구조물 사이의 상호작용을 고려한 농업용 사이로의 해석에 관한 연구(IV)” 한국농공학회지, 제30권 제2호 1988, pp ; 32~42.