

## 산업용 설비구조물 설계지원 GUI시스템 개발

### Development of an expert GUI-system for design optimization of industrial plant structures

이 만 승\*      백 점 기\*\*      이 제 명\*\*  
Lee, Man-Seung      Paik, Jeom-Kee      Lee, Jae-Myung

---

#### Abstract

In this study, a support system is developed for the design of facility structures. This system is called Expert System for Design Optimization of Industrial Plant Structures (EDIPS). Based on the strength assessment of steel-plate structures such as ships and off-shore structures, a detailed load calculation method is developed utilizing the database of various plant structures. The method, developed in support of design and for the assessment of strength, constitutes a part of EDIPS. By providing relevant and consistent design data and procedures to engineers, EDIPS is expected to be useful as an important development tool for maritime distribution system that is used to control the transportation by ships and loading, unloading, and storage of cargo.

---

#### 1. 서 론

산업용 제철설비 구조물의 판, 철골구조는 제철설비의 종류를 불문하고 필수적으로 사용되는 요소들이므로, 제철설비 설계에 있어서는 반드시 거쳐야 하는 설계단계라고 볼 수 있다.

철골구조에 대해서는 프레임설계기준, 교량설계기준 등과 같이, 확대응용이 가능한 기존의 많은 자료가 존재하고 있으며, 실제 설계활동을 수행할 때도 여러 가지 체계적인 평가 절차가 확립되어 있는 편이다.

반면, 대부분의 제철설비구조물 등은, 목적별, 기능별로 형상이나 특징이 천차만별이며 설계기준이 일괄적으로 정리되기 어려운 까닭에, 초기설계단계에서 엄청난 시간적 소모를 불러일으킨다. 그리고, 방대한 자료를 분석하고 설계용 자료를 작성하여 시(試)설계를 수행하여도, 대부분의 과정이 테이블 혹은 핸드북을 이용한 손계산으로 수행되기 때문에, 설계결과와 정량적인 신뢰성문제, 재설계에 따른 막대한 추가비용 등, 다양한 문제점을 지니고 있다.

따라서, 제철설비구조물에서 빈번하게 설계되어지고 있는 저장용기 혹은 운송용 파이프 장비 등 대하여 최적설계시스템을 대상으로 하였고 이러한 제철설비구조물의 설계지원용시스템을 도입하여 설계소요공수의 절감, 설계결과에 대한 신뢰성향상을 도모하기 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있다.

---

\* (주)포스코건설

\*\* 부산대학교 조선해양공학과 교수

## 2. 설계지원 시스템의 개발

### 2.1 설계지원시스템의 최적설계목적함수

제철설비 설계단계에서 요구되는, 혹은 만족해야하는 목적에는 다음과 같은 것들이 있으며, 따라서 최적설계도구란 이와 같은 요구조건을 만족하도록 구성되어야 한다<sup>(1)</sup>. 즉,

- ① 최소설계비용
- ② 최소중량
- ③ 최소공기
- ④ 최소생산비용
- ⑤ 최대조업효율 등

이 중에서, 생산에 관련된 부분은 생산시스템 혹은 조업시스템과 연관이 되어 있으므로 설계단계 시에 단독으로 최적화를 수행하기는 어렵다. 그러나 최소설계비용이나 최소중량 산출 등과 같은 부분에서는 설계단계에서 충분히 수행될 수 있는 부분이다.

최소설계비용은 기존의 Off-line 설계로부터 On-line 설계로의 변경이 가능하다면 충분히 달성할 수 있는 목표라 할 수 있다. 하지만 엄청난 분량의 설계기준, 각 기준별로 다르게 적용하고 있는 제(諸)량들(예를 들면, 단위, 기호 등) 신속한 설계와 신뢰성 동시확보 등 매우 어려운 문제들이 산재하고 있다고 볼 수 있다.

### 2.2 설계지원 시스템의 개요

본 연구에서 개발한 전문가시스템 EDIPS는 이러한 문제들을 체계적으로 정리/분석하여 시스템화시키고 있으므로 최소설계비용이라는 목적을 달성하기에는 가장 적합한 형태를 지니고 있다.

최소중량의 면에서는, 안전성을 확보할 수 있는 범위 내에서 가능한 많은 수의 설계경우를 확보할 것이 요구되며, 이렇게 얻어진 다양한 설계결과들 중에서 소요중량이 가장 최소가 되는 것으로 설계사양을 결정하면 목적을 달성할 수 있다. 그러나 기존 Off-line 설계의 경우는, 매번 재(再)설계마다 동일한 설계공수를 필요로 하는 이유로 정해져 있는 설계기간 내에 수행할 수 있는 경우의 수 변경은 한정되어 있으며 실제적으로는 거의 불가능하다고 볼 수 있다.



Figure 1 Procedure for the Initial Structural Design System

영국(BS), 미국(API, ASME), 독일(DIN), 한국(KS) 등 각 나라별로, 플랜트 설비구조물 설계 시에 권고하고 있는 설계기준 혹은 규격을 정리/분석하고 강도평가 등에 사용되는 최신설계공식 등을 추가하여, 이들을 하나의 통합 전문가시스템으로 구성하였다.

### 2.3 설계지원 전문가시스템의 구성

제철설비 설비구조 설계지원용 전문가시스템 EDIPS는 다음과 같은 설비의 설계에 이용할 수 있다.

- ① 원형, 사각형 빈(Bin) 설비
- ② 원형, 사각형 벙커(Bunker) 설비
- ③ 자립식 굴뚝(Stack) 설비
- ④ 파이프 라인 (Duct) 설비

빈은 분체(粉體)<sup>(5)</sup> 및 입상물을 저장하고, 연속적으로 또는 단속적으로 실어내어 운반설비에 실어주기 위해 사용하는 저장용기이다. 비슷한 형태의 저장용기로서 벙커 혹은 Silo 등도 있으나, 이는 크기 등을 기준으로 분류한 것들이며 대표적으로 빈으로 정의되고 있다. 빈은 그 사용범위가 아주 넓지만 각 구성요소가 복잡하게 서로 관련되어 있기 때문에, 설계과정 그 자체는 지금 현재까지 알려진 것들만으로는 완벽하지 못하다(3). 따라서 가장 일반적으로 알려지고 적용되고 있는 설계지침과 몇 가지 주요부분에 대한 권고사항들을 기준으로 빈 설계용 일반지침을 정립하고 나아가 이들을 토대로 전문설계 프로그램을 개발하였다. Fig. 2이 빈 설계를 보이고 있다. 대표되는 주요식들은 Janssen식에 토대로 둔 다음과 같다(1).

수평면에 작용하는 수직력의 평형방정식

$$d P_v A - \gamma A d_y + qL d_y = 0 \quad (1)$$

수직벽면의 수평방향 압력식

$$P_h = \frac{\gamma \cdot R}{\mu} \left( 1 - e^{-\frac{\mu x}{R}} \right) \quad (2)$$

설계압력 계산식

$$\text{설계압력} = C_d \times \text{정적압력} \quad (3)$$

판의 대변형 이론 적용시 인장력 계산식

$$S = \frac{1}{\pi} \sqrt[3]{\frac{4 (P_h \ell)^2 E t}{\pi (1 - \nu^2)}} \quad (4)$$

벙커는 수직벽면과 호퍼로 구성되는 점에서 빈과 유사한 구조적 특징을 지니고 있으나, 수직벽면과 호퍼의 높이 비를 기준으로 분류된다. 즉 빈에 비하여 수직벽면높이보다 호퍼의 길이가 더 크다는 것이 특징이다. 따라서 기본 설계절차는 빈의 설계절차를 크게 벗어나지 않지만, 벙커에서는 저장물과 수직벽면 사이의 마찰에 의한 수직압력손실을 고려하지 않는다는 점에서 차이가 있다. 부재내력 혹은 각종 안전성평가는 빈에서의 절차를 따른다. Fig. 3이 벙커 설계를 보이고 있다. 대표되는 주요식들은 다음과 같다<sup>(1)</sup>.

수직벽면의 수평방향 압력식

$$P_h = K \cdot \gamma \cdot h \quad (5)$$

설계압력 계산식

$$P_{h, des} = C_d P_h, \quad P_{v, des} = C_d P_v, \quad P_{n, des} = C_d P_n \quad (6)$$

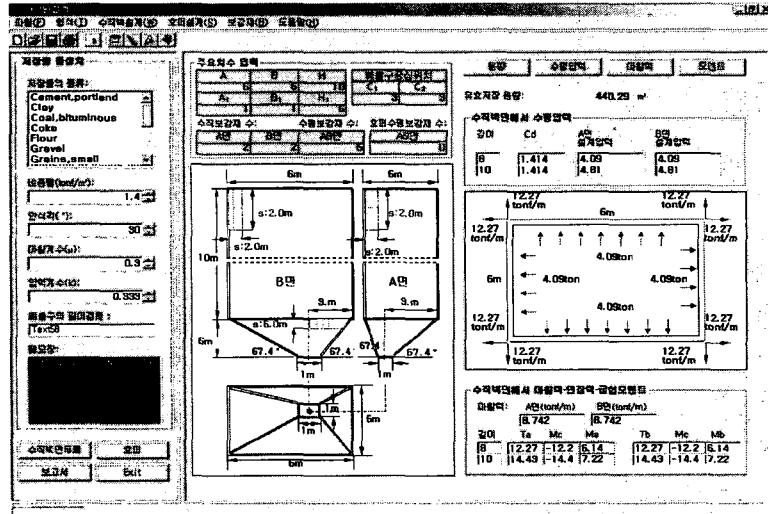


Figure 2 Sample page of bin design system

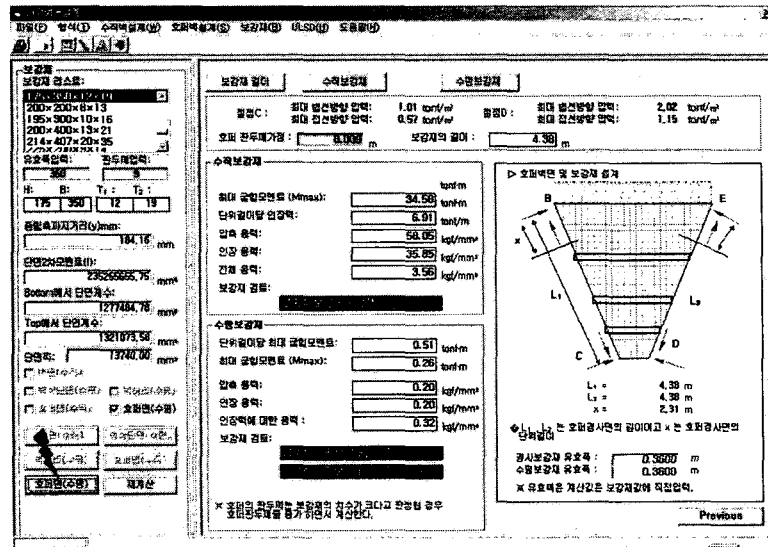


Figure 3 Sample page of bunker design system

강재 굴뚝에는 기본적으로 두가지 형태가 있다. 한가지는 기초 이외에 다른 부가적인 지지없이 모든 운전조건에서 안정성을 갖는 자립식 굴뚝(Self-supporting stacks)이고 또 하나는 외부하중을 굴뚝 셸에서만 지지하지 않고 부가적인 버팀줄을 갖는 가이드 스택(Guyed stacks)이 있다. 자립식 강재 굴뚝의 하부가 나팔꽃형상인 경우 보통 전체 높이의 1/4에서 1/4까지 정도이다. 잘 설계된 굴뚝에서 상부 직경에 대한 바닥직경의 비는 4/3에서 5/4까지 정도이다. Fig. 4이 굴뚝 설계를 보이고 있다. 대표되는 주요식들은 다음과 같다.

굴뚝에 작용하는 전체 풍하중 계산식(11)

$$F = q_z \cdot C_f \cdot C_f \cdot A \quad (7)$$

굴뚝의 고유진동수 계산식

$$f_n = \frac{C}{2\pi H} \sqrt{\frac{EIg}{W}} \quad (8)$$

사하중과 바람에 의한 응력 계산식

$$f_{D.L+w} = f_s + f_i + f_e + f_w \quad (9)$$

$$= \frac{W_s + W_l + \sum G}{\pi D_i(t-c)} \pm \frac{4 M_e}{\pi D^2(t-c)} \pm \frac{2FH}{\pi D^2(t-c)}$$

사하중과 지진에 의한 응력 계산식

$$f_{D.L+w} = f_s + f_i + f_e + f_E \quad (10)$$

$$= \frac{W_s + W_l + \sum G}{\pi D_i(t-c)} \pm \frac{4 M_e}{\pi D^2(t-c)} \pm \frac{4 J_x}{\pi D^2(t-c)} [0.15 V(h_n - h_x) + \sum_{i=0}^n F_i (h_i - h_x)]$$

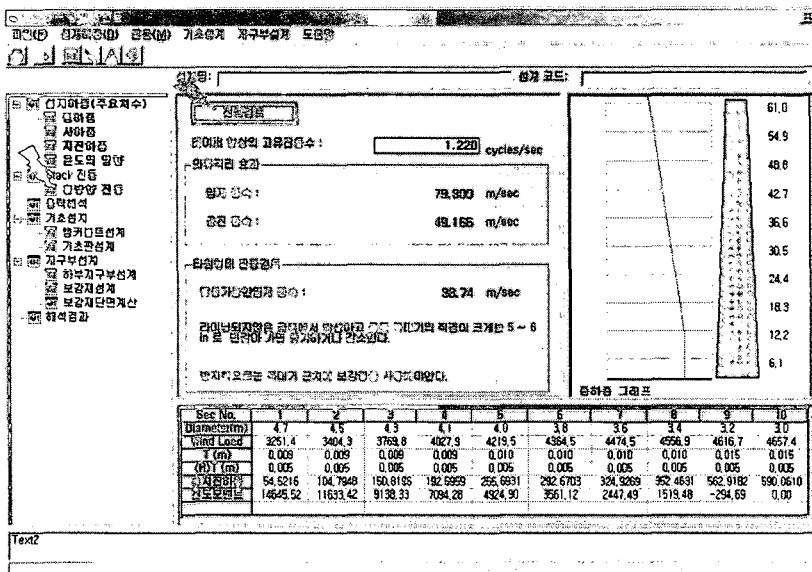


Figure 4 Sample page of stack design system

파이프라인 설비 혹은 Duct 설비는 육상에서 액체나 기체를 수송하는 데 사용되는 가장 대표적인 구조물이다. 공장내부나 플랜트 설비에 이용되는 것을 제외한다면, 설치지역이 상온에만 한정되지 않고, 알래스카, 시베리아, 적도지역 등 다양한 온도범위에 걸치는 것이 특징이다. 또한, 엄청난 길이에 걸쳐서 한번 설치되고 나면 보수유지를 위한 활동이 대부분 불가능하므로 설계단계에서 신중을 기하여야 한다. Fig. 5는 pipe line 설계를 보이고 있다.

관에 작용하는 풍하중 계산식(11)

$$W = q_z \cdot G_f \cdot C_f \cdot A \quad (11)$$

자중과 유체압력에 의한 응력 계산식

$$\sigma_{total} = \pm \frac{q \ell^2}{3\pi D_m t^2} + \frac{P D_m}{4t} \quad (12)$$

관의 고유진동수

$$f = \frac{a^2}{\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (13)$$

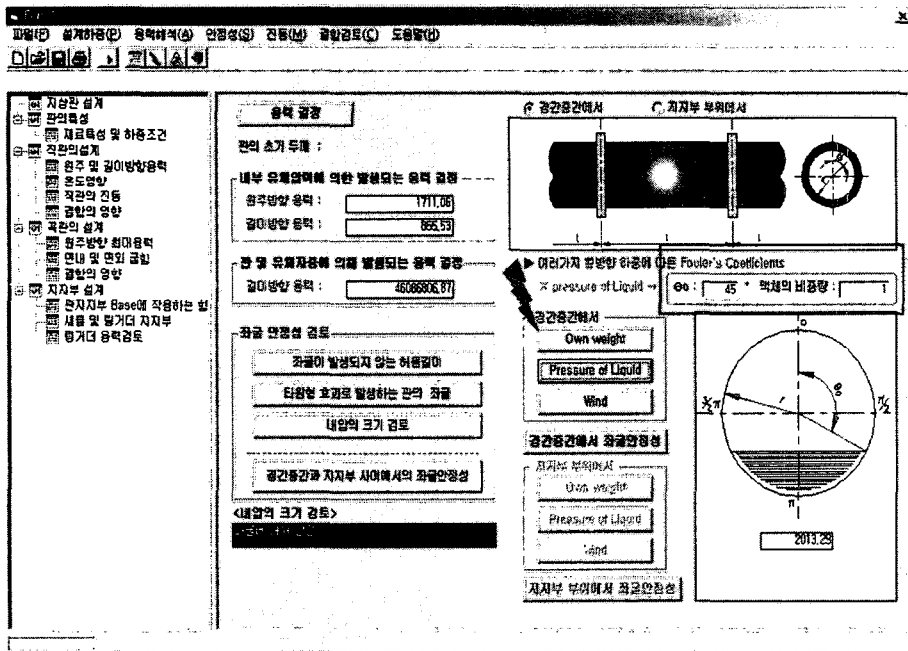


Figure 5 Sample page of pipe line design system

일반적인 제철설비 구조물의 설계과정에서와 동일하게, 파이프라인 설계에 있어서도 각종 작용하중의 평가와 이들에 의한 응력검토 그리고 발생응력의 크기를 기준으로 하는 안전성검토가 이루어진다.

### 2.3 설계지원시스템의 활용

표 1에는 실제 가동 중인 제철설비 구조물인 빈, 벙커, 굴뚝 그리고 파이프라인에 대해서, 본 연구에서 개발한 설계지원 시스템을 이용할 경우 얻어지는 판두께 및 중량절감 비율을 나타내고 있다.

표 1 Sample result of the initial Design

	Bin A	Bin B	Bin C	Bunker D	Stack E	Duct F
Conventional Design	14	12	10	15	20	10
EDIPS	13.5	10	9	13	18	9
Thickness reduction ratio	96.4	83	90	86.8	90	90

### 3. 연구결과 및 기대 효과

본 연구에서는, 각종 제철설비 구조(Bin, Bunker, Duct, Stack)의 초기설계 시, 설계자가 주요치수의 입력만 수행하면, 좌굴, 대변형, 붕괴 위험성 등의 각종 안전성평가, 설계치수 산출, 물량 계산 등과 같은, 초기설계 시 요구되는 모든 평가사항들을 실시간으로 확보할 수 있도록 하는 전문가 시스템 (EDIPS: Expert system for Design optimization of Industrial Plant Structures)을 개발하였다.

현재 네 가지의 제철설비구조물의 설계지원 시스템이지만 보다 나아가 구조물 전반분야에 사용될 수 있는 다양한 설계변수 및 소요공수의 절감에 기여 최적화할 수 있는 플랜트 설비구조 초기설계에 IT기반 설계기술로써 활용될 수 있을 것이다.

#### 후 기

본 연구는 포스코건설(주)의 연구비지원에 의해 수행된 것이며, 이에 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. M.S, Troitsky, d.Sc., "Tubular steel structures-theory and design (2nd Edition)", Concordia University Montreal, 1990.
2. Fisher, W., "Silos and Bunkers in Stahlbau", VEB Verlag fur Bauwesen, Berlin, 1966(in German).
3. Johanson, J.R., and Colijn, H., "New Design Criteria for Hoppers and Bins," Iron and Steel Engineer, Vol. XL1, October 1964, pp.85-104.
4. Reimbert, M., and Reimbert, A., "Silos Berechnung, Betrieb und Ausfuhrung", Bauverlag GMBH, Berlin, 1975, p. 123.
5. Jenoke, A.W., "Flow of Bulks Solids", Bulletin 64, Utah Engineering Experimental Station, University of Utah, March, 1954
6. Theimer, O.F., "Ablauf fordernde Trichterkonstruktionen von Silozellen", Aufberechnungs-Technik No. 10, Oct. 1969, pp. 547-556

7. Roger, P., "Design of Large Coal Bunkers", Transactions SACE, Vol.117, Paper No. 2507, 1952.
8. Ledwon, J., and Gill, B., "Dynamics of Industrial Chimneys Under Seismic Loads", Intern. Civil Engin, No. 1, Jan. 1969, pp. 10-20.
9. Design Essentials in Earthquake Resistant Buildings, Part 16.3, "Chimneys", Elsevier Publishing Company, N.Y., 1970, pp. 285-287.
10. Structural Engineers Association of California, Seismology Committee, Recommended Lateral Force Requirements and Commentarium 1967.
11. American National Standard Buildings Code Requirements for Minimum Design Loads in Buildings and Other Structures, 1972, pp. 25-34.
12. Mitchell, W.W., "Determination of the Period of Vibration of Multi-Diameter Columns by the Method Based on Rayleigh's Principle", an unpublished work prepared for the Engineering Department of the Standard Oil Co. of Calif., San Francisco, 1962.
13. Rinne, J.E., "Design of Earthquake -Resistant Structures: Towers and Chimneys", Earthquake Engineering, R.L. Wiegel-Editor, Chapt. 20, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1970, pp. 495-505.