

전기집진기 Layout 설계를 위한 소프트웨어 개발

조현덕*, 윤문철**, 박기서***

Development of the Software for Layout Design of Electrostatic Precipitator

Hyun-Deog Cho*, Moon-Chul Yoon**, Gi-Seo Park***

Abstract

Electrostatic precipitator is the equipment that separates dust particles from the gas in which they are suspended. Specially, for the construction of industrial electrostatic precipitator, the corporations would send the layout design to a customer to accept an order. Therefore, it is made a detail drawing after acceptance. Since the layout design of electrostatic precipitator is very complex, it takes time and design errors are included. Thus, for competitiveness in these industries, the development of software for the layout design of electrostatic precipitator is important. In this study, the developed software deals with technical concept and layout design of industrial electrostatic precipitator. By using the software, design time was very short, design errors reduced largely, and the standardization of design could be carried out.

Keywords : Electrostatic Precipitator(전기집진기), Discharge Electrode(방전극), Collecting Electrode(집진극)

I. 서 론

전기집진기는 1906년 F.G. Cottrell에 의해 최초로

실용화되었으며, 크게 미국식과 유럽식의 두 형태로 대별되고 있다. 각각의 시스템을 개발해 온 미국의 Cottrell사와 유럽의 Lurgi사의 기술개발력에 의한 기

* 경일대학교 (구 경북산업대학교) 기계공학과

** 부경대학교 정밀기계공학과

*** 한국코트렐(주)

초설계의 도움을 받아 여러 제작사가 제품을 설치하여 왔다. 전기식 집진기란 직류 고전압에 의하여 코로나 방전(corona discharge)을 발생시켜 가스(gas)중의 입자가 대전토록하여 대전입자를 전기장내에서 전기력에 의해 가스와 분리하는 작용으로 입자를 정전기력에 의해 포집하는 기능을 갖춘 장치로서 각종 공조시설 또는 설비에 적용 산업용에서부터 가정용에 이르기까지 광범위하게 활용되고 있다^[1]. 전기집진기는 0.1 μ m 이상의 분진을 90%이상 제거할 수 있으며, 집진기내의 가스특성이 미약한 전기 저항만을 갖는 경우 분진의 물리적, 화학적 특성에 따라 SO₃ 또는 NH₃을 자동제어에 의한 주입으로 가스의 특성을 변화시켜 분진을 제거하고 있으며 99%이상의 분진을 제거할 수 있다^[1].

대형 프로젝트이면서 다품종소량 주문설치 체제인 전기집진기 제작회사의 기술적 설계업무량은 매우 증가하였다. 특히 프로젝트 수주 이전에 수행되어야 하는 기술적 작업이 많은 전기집진기 산업에서는 설치위치, 환경평가기준 및 대기 오염원의 종류 등에 따라 다양한 전기집진기의 규격을 결정^[9]하는 문제와 함께 전적의 산정에 필요한 기본 설계 데이터의 확보는 매우 급한 동시에 중요한 업무에 속한다. 그리고 전기집진기의 규격결정은 집진효율, 대형 프로젝트 수행 결과 손실에 의한 중소기업 존립상의 문제, 상세설계상의 문제점등에 직접적 영향을 미치므로 가장 중요한 작업이며 기존 방법으로는 많은 설계오류가 발생하여 수주 후 재설계에 의한 곤란을 겪는 일이 생길 수 있다. 그래서 본 연구는 상세설계 단계 이전의 설계업무를 소프트웨어화하여 복잡한 설계공정을 일괄처리하여 설계오차를 최소화하고 설계효율을 극대화하였다. 개발된 소프트웨어에 포함되어 있는 내용은 다음과 같다. 기본 데이터에 의한 전기집진기의 치수 결정, 본체의 자중 산출, 변동하중(live load), 풍하중(wind load), 지진하중(seismic load)등의 산출, 전기집진기의 본체를 지지하는 철구조물(support structure)의 프레임(frame) 해석^[2], 철 구조물을 구성하는 멤버(member)들의 적합성 판정^[3], 지반에서의 필요 하중 산출, 전기집진기를 지지하는 컬럼(column)과 철 구조물(support structure) 컬럼과의 연결방법 판정, 전기집진기 형태의 그래픽 표현, AutoLISP 프로그램 언어를 사용하여 AutoCAD상에서 개념설계된 2D 윤곽도면을 출력할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 개발된 소프

트웨어의 활용으로 설계 소요시간을 1/50 정도로 단축할 수 있었고, 정확성 향상과 설계오류 감소, 설계자료 작성과 수정의 체계화, 표준화 촉진등의 성과가 있었다.

2. 본 론

2.1 전기집진기의 원리

전기집진기는 건식과 습식, 평판전극과 원통전극, 수평류와 수직류등으로 분류할 수 있고 또, 이들의 조합으로 다양한 기종이 가능하다. 일반적으로 건식 평판형 수평류 전기집진기와 습식 원통형 수직류 전기집진기가 주로 사용되고 있다^[1]. 본 연구에서 다루게 되는 건식 평판형 수평류 전기집진기는 금속판으로만 이루어져 있어 필터 교체없이 반영구적으로 사용이 가능하고, 또한 집진면적이 커 효율이 높다. 전기집진기는 가스 중의 먼지입자를 집진하는 물리적인 장치로, 집진원리는 음극을 갖는 방전극(discharge electrode: D.E.)에서 코로나 방전(corona discharge)이 발생하여 방전극 주위에 있는 가스 분자를 전기적으로 활성화시켜 분자의 이온화가 발생하여 전자를 방출하게 된다. 이온화되어 분리된 전자는 빠른 속도로 빠져나가게 되며 다른 입자에 부딪치면서 분자의 이온화를 촉진한다. 빠른 속도의 전자가 다른 분자와 충돌함으로써 공기중의 전자 수는 기하급수적으로 증가하게 되지만 공기중의 전자의 이동 속도는 점점 떨어지게 된다. 코로나 방전이 발생하는 영역을 코로나 방전 영역(region of corona discharge)이라고 하며, 전자가 코로나 방전 영역을 벗어나면 전자가 갖고

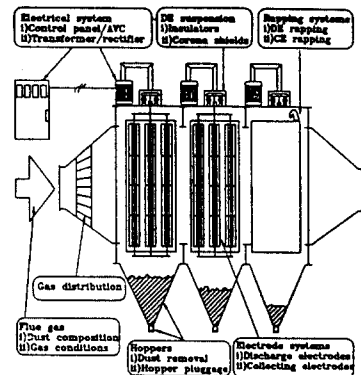


Fig.1 The construction of electrostatic precipitator

있는 에너지는 분자를 이온화 시키기에 부족하여 먼지 입자와의 충돌에서 분리되지 못하고 먼지 입자가 (-)극성을 갖도록 한다. (-)극성을 띄는 먼지입자와 전자는 양극인 집진극(collecting electrode:C.E.)에 포집되고, 전자를 잃은 양(+)극성을 띄는 가스분자는 음극인 방전극에 포집된다.

흡입구(inlet plenum)로 유입한 폐가스는 위의 집진 원리에 의하여 전극에 포집되며, 포집된 입자층의 두께가 일정량 이상이 되면 충격장치(rapper system)에 의해 탈진되어 집진기 하부의 호퍼(hopper)에 모이게 되고 일정량 이상의 분진이 모이면 분진처리장치(ash handling system)에 의해 바깥으로 처리된다. 따라서 Fig.1에서와 같이, 흡입구로 유입한 오염된 가스(gas)는 내부의 방전극과 집진극 사이를 통과하면서 먼지 입자가 집진되어 청결한 공기가 배출구(outlet plenum)로 나오게 된다.

2.2 소프트웨어 내용

전기집진기는 공기중의 담배연기를 제거하는 탁상용 집진장치(desk-top device)에서부터 산업용집진설비에 이르기까지 다양한 크기가 있다. 본 연구는 대용량인 산업용 전기집진기를 대상으로 설정하였으며, 산업용 전기집진기의 상세설계를 위해서는 설치 환경에 따른 집진기의 크기 결정, 견적과 구조물 해석을 위한 철골 자재의 중량 산출, 결정된 전기집진기의 개념도등의 사전(事前)준비가 필요하다. 특히 대상물이 대용량인 경우에는 많은 기술인력이 투입되고도 설계오차가 생길 수 있으며 설계능률이 떨어진다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 개발한 본 소프트웨어는 다음과 같은 내용을 담고 있다.

2.2.1 전기집진기의 치수 결정

전기집진기의 형태 및 치수 결정을 위해서는 먼저 집진기 수(precipitator number : N_p), 필드 수(field number : N_f), 챔버 수(chamber number : N_c), 통과하는 유체의 단위 면적(챔버의 폭 × 챔버의 높이)등이 동시에 결정된다. 이러한 것들을 결정하기 위해서는 처리 가스량($V[m^3/s]$), 입자의 이동속도($\omega[m/s]$), 집진효율(η), 집진면적($A[m^2]$), 업체의 표준화된 내장재 규격 등이 고려되어야 한다. 입자의 이동속도는 다음 식으로 구해진다.

$$\omega = K \frac{aE_oE_p}{6\pi\mu} \quad (1)$$

여기서,

K : 상수

E_o : 방전전계강도[kV/m]

E_p : 집진전계강도[kV/m]

a : 입자경 [μm]

μ : 기체의 점성계수 [$kg \cdot s/m^2$]

백 코로나(back corona) 현상이 발생하지 않는 정상상태에서 E_oE_p 는 인가전압 E의 자승에 비례하므로, 가스내에서 gas와 함께 유동하는 입자가 집진극으로 이동하는 속도(입자의 이동속도)는 인가전압의 자승과 입자의 크기에 비례하고 기체의 점성계수에 반비례한다. 기체의 점성계수는 입자가 기체로부터 분리되는 것을 방해하는 요소로서 온도의 상승과 더불어 증가하므로 입자의 이동속도는 온도가 증가할 수록 감소한다. 그리고 집진효율은 Deutsch-Anderson⁽¹⁾식에 의하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\eta = 1 - e^{-\frac{A}{V}\omega} \quad (2)$$

전기집진기 설계에서 집진효율은 초기 설정조건에 포함되며 A/V 를 구하여 업체의 내장재 크기에 따라 상호 조정하여 집진기의 규격이 결정되며, (2)식으로부터 A/V 는 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{A}{V} = -\frac{1}{\omega} \ln(1 - \eta) \quad (3)$$

설계 및 설치를 효율적으로 하기 위해서는 필드 방향의 내장재 폭(G-opzel width : $W_G[m]$)은 표준화되어 있으며 한 필드내에서 연결되는 내장재의 갯수(G-opzel number : N_G , 보통 3~5개)도 구조물의 설치강도로부터 정해진다. 따라서 필드의 길이(field length: $L_F[m]$)와 챔버의 폭(chamber width: $W_C[m]$)은 다음과 같이 구해진다.

$$L_F = W_G N_G \quad (4)$$

$$W_C = N_{gp} W_{gp} + W_{ce} \quad (5)$$

여기서,

- N_{gp} : 가스 통로 수(gas passage number)
- W_{gp} : 한 가스통로의 폭[m]
- W_{ce} : 집진극의 두께[m]

단위 필드(unit field) 단위 챔버(unit chamber)에 대한 가스 통로와 폭의 관계는 Fig.2에서 보여주며, 집진면적 A는 필드 높이(field height)를 H_F [m]라고 하면 다음과 같다.

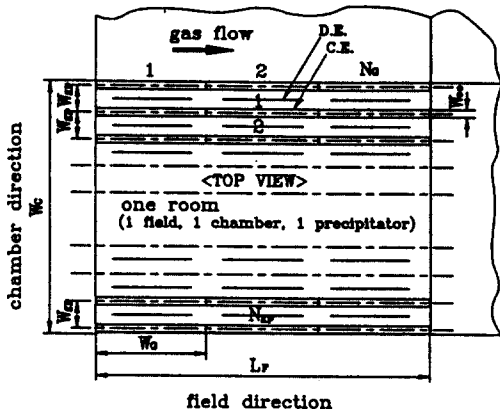


Fig.2 Gas passage and dimensions at one room

$$A = 2L_F H_F N_{gp} \quad (6)$$

따라서 전기집진기의 규격은 (1)식과 (3)식 및 (6)식으로 구할 수 있으며, 계산에 필요한 관련 상수 데이터, 내장재의 치수 데이터, 경험적 설치 방법적 데이터 등은 설계 시스템내에 데이터 베이스로 구축하여 사용할 수 있다.

2.2.2 작용 하중

작용력에 관한 데이터(loading data)는 견적, 바다의 기초공사, 본체를 지지하는 철 구조물의 강도해석등에 필요한 설계요소이다. 작용력 데이터를 얻기 위해서는 개념설계인 치수결정이 완료되어야 하고, 철골들의 사양이 완전히 결정되어야 한다. 본 연구에서 전기집진기 본체의 철골 사양은 개별적인 설계해석과 경험으로

축적된 데이터를 근거로 결정되었다.

전기집진기의 자중은 여러 부품들을 용접등으로 조립한 각각의 부품군별로 산출하였는데, 이는 현장 설치에서 기본이 되는 부분이라 할 수 있다. 한 예로 내부 지지 프레임인 support and steady-ing frame 부품군의 자중은 경험적 설계 데이터로 부터 다음과 같은 식으로 계산된다⁽⁹⁾.

$$\begin{aligned} 3 \text{ panel} : W &= 54.505N_{gp} - 38.351 \\ 4 \text{ panel} : W &= 62.527N_{gp} - 42.966 \\ 5 \text{ panel} : W &= 69.258N_{gp} - 31.428 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 support and steadying frame 부품군의 자중 W [kg]는 한 필드(1 field), 한 챔버(1 chamber) 및 한 집진설비(1 precipitator)에 대한 결과이며, 상수들은 경험적 데이터로부터 나온 것이다. 따라서 동일한 방법으로 모든 부품군들의 자중을 구할 수 있으며, 자중의 지지점인 컬럼(column)에 대한 자중의 분배는 부품군이 조립되는 위치에 따라 균일 작용이나 일부 컬럼에 작용등으로 나누어질 수 있다. 따라서 각 컬럼에 작용하는 자중을 구할 수 있다.

일상적인 변동 하중(live load)은 분진하중(dust load), 점검 및 보수를 위해 작업자가 물건을 운반할 때의 작업하중(person load), 적설하중(snow load)등이 있다. 분진하중은 분진이 호퍼(hopper) 부피의 80%에 도달할 때의 무게로 산출하며, 작업하중은 계단과 작업대에서는 200[kg/m²], 지붕에서는 250[kg/m²]으로 하였다. 적설하중은 KS 건축물 설치 기준령에 의한 눈의 평균 단위중량, 수직최심적설깊이, 지붕의 경사도 및 형상등을 고려하여 계산하였다. 그리고 컬럼에 분배되는 하중은 변동하중이 주어지는 위치에 따라 균일 작용과 일부 컬럼에 작용등으로 나누어 질 수 있다

풍하중(wind load : P [kgf])은 풍압(p [kgf/m²])에 유효수압면적(A [m²])을 곱하여 구할 수 있으며 다음 식으로 나타난다.

$$P = p \cdot A \quad (8)$$

그리고 풍압은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$p = C \cdot q \quad (9)$$

여기서, C는 풍력계수이며 q는 설계속도압(kgf/m²)이다. 풍력계수 C는 유효수압면적의 경사도등에 따라 다르게 설정되며 KS규정을 기준으로 하였다. 그리고 설계속도압 q는 가스트 계수(G), 속도압 계수(Kg), 기본속도압(q₀), 노풍도등에 따라 결정된다. (8)식으로 계산된 풍하중은 전단하중과 축하중으로 분리되어 각 컬럼에 균일분배 또는 작용 위치에 따른 일부 컬럼에의 작용력으로 나누어 진다. 본 설계 시스템에서는, 풍하중에 의한 전도 모멘트가 전기집진기의 자중만으로 산정한 안정 모멘트의 2/3를 초과하게 되면 컬럼의 지지부에 보강조치를 할 수 있도록 메시지를 출력하도록 하였다.

지진하중(seismic load)은 지진력을 정적인 횡력으로 평가하는 등가정적해석을 적용하여 구하였다. 지진하중은 밀면전단력(V)과 층지진하중(F_x)으로부터 구할 수 있는데, 밀면전단력과 층지진하중은 다음과 같다.

$$V = \left(\frac{A \cdot I \cdot C \cdot S}{R} \right) W \quad (10)$$

$$F_x = \left(\frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \right) V \quad (11)$$

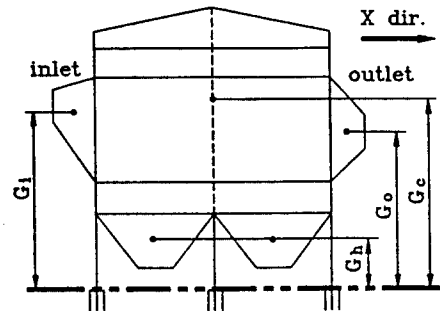
여기서,

- A : 지역계수 I : 중요도계수
- C : 동적계수 S : 지반계수
- R : 반응수정계수 W : 전체중량
- F_x : x층의 층지진하중
- W_i, W_x : i, x층의 건축물 중량
- h_i, h_x : 밀면으로부터 i, x층까지의 높이

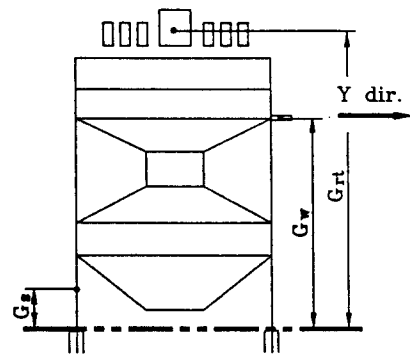
지진하중은 지진에 의하여 지표로부터 힘이 전달되는 것으로 크기는 지표로부터 떨어져 있는 거리에 비례한다. 이것은 뉴턴 제 3법칙인 작용과 반작용에 의한 것으로 전기집진기 구조물에 대하여 지표의 상대적인 가속도에 의하여 반력이 작용하는 것이다. 따라서 각각의 부품군에 대한 지진하중은 층지진하중을 계산한 후 정적인 힘의 역학적 평형조건을 만족하도록 함으로써 구할 수 있다.

즉, 무게중심에서 지진에 의한 반력이 작용하는 것으로 간주할 수 있다. Fig.3은 지진하중을 계산하기 위한 질량중심을 표시하고 있는데, G₁는 가스 흡입구의 질량

중심이며, G₀는 가스 배출구의 질량중심이며, G_h는 호퍼(hopper)의 질량중심이며, G_c는 내장재 부품군들과 케이스(case) 부품군들을 모두 고려한 질량중심이며, G_s는 전기집진기를 지지하는 구조물의 질량중심이며, G_w는 계단과 작업대의 질량중심이며, G_m는 지붕위에 설치되어 있는 고전압 유도장치와 탈진장치등의 질량중심을 의미한다. 컬럼에 작용하는 하중의 분배는 풍하중과 같은 방법으로 하였다.



(a) Front view



(b) Side view

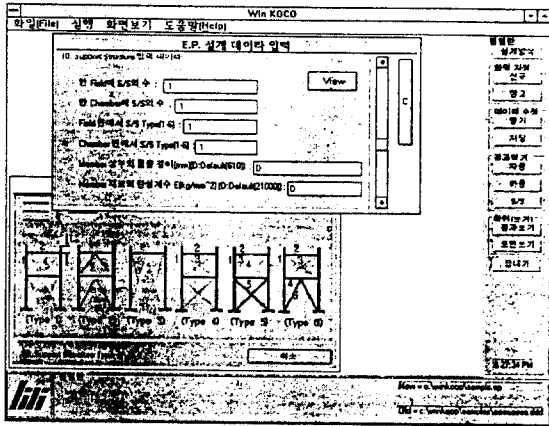
Fig.3 Mass centers of electrostatic precipitator

2.2.3 프레임(frame) 해석

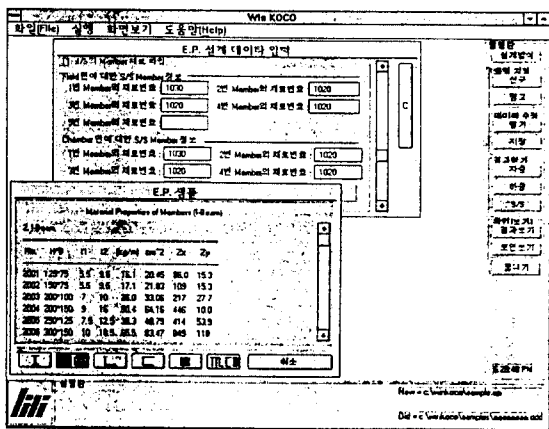
전기집진기 설치에서, 바닥의 기초공사와 본체를 지지하는 철 구조물의 설치는 주로 외주를 주는 실정이며 이는 전기집진기의 상세설계단계에서 작업이 이루어진다. 따라서 철골 구조물의 설계하중은 선작업이 이루어지므로 개념설계 단계에서 철골 지지물은 상세설계가 이루어져야 하는 경향이 있다. 그래서 본 연구의 목표인

상세설계 전(前) 단계인 설계 데이터를 산출하는 것에 포함하여, 설비를 지지하는 철 구조물의 프레임 해석을 할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 전기집진기를 지지하는 철 구조물의 설계 양식은 Fig.4(a)와 같이 6가지로 표준화하여 서로 연결하는 방식을 취하였는데, 이는 모든 멤버와 조인트에 대한 복잡하고 많은 입력 데이터를 소프트웨어상에서 규격화할 수 있으므로 설계자가 설계해석을 용이하게 할 수 있고 설치시 재료의 조달 및 작업의 용이성으로



(a) Types of unit support structure



(b) Material properties of beam members

Fig.4 Types of unit support structure and material properties of beam members

조달 및 작업의 용이성으로 공기의 단축이 이루어진다. 입력 데이터는 Fig.4(a)의 타입에 대하여 각 타입에 대한 멤버의 정보로 주어지며, 치수는 전기집진기 설계치수의 산출에서 자동적으로 입력된다. 그리고 멤버의 정보는 빔(beam)들에 대하여 데이터 베이스를 구축하여 Fig.4(b)와 같이 코드 번호만 입력하도록 하였다.

철골 구조물의 프레임 해석은 direct stiffness method⁽²⁾를 사용하였으며, 모든 프레임 그룹군에 대하여 2차원적으로 해석하여 멤버들의 안전 판정을 할 수 있도록 하였다. Fig.5는 본 연구의 소프트웨어 내부에서 프레임 해석 프로그램의 연결방법을 보여주며 FRAMEINP.EXE 및 FRAMEOUT.EXE는 각각 프리 프로세서(pre-processor) 및 포스트 프로세서(post-processor) 역할을 한다.

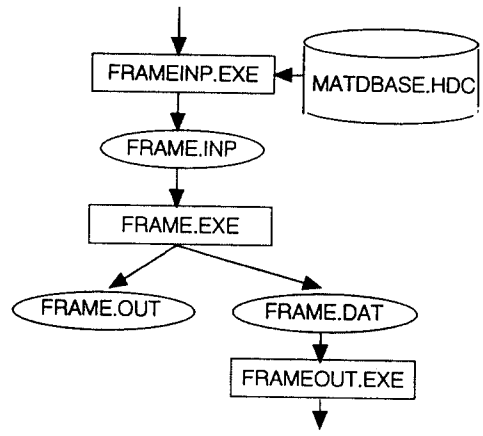


Fig.5 Software layout for frame analysis

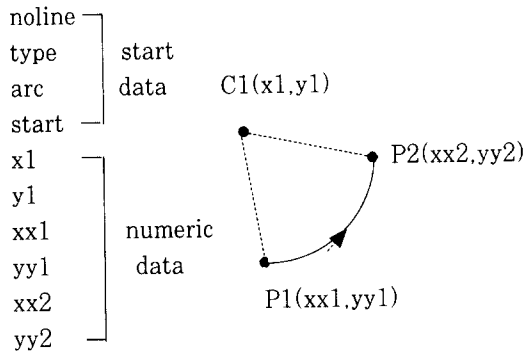
프리 프로세서 FRAMEINP.EXE는 전기집진기를 지지하는 철 구조물의 해석을 위한 입력 데이터 FRAME.INP를 만들어 주며, FRAME.EXE는 프레임을 해석하는 파일로 결과파일 FRAME.OUT과 프레임 멤버의 항복 및 좌굴을 판정하는 포스트 프로세서인 FRAMEOUT.EXE를 위한 입력파일 FRAME.DAT를 만들어 준다.

2.2.4 그래픽 및 도면 출력

2.2.1절에서의 치수결정으로 전기집진기의 개념설계가 이루어졌는데, 본 소프트웨어에서는 전기집진기의 전

체적인 윤곽도면을 생성하는 데이터 화일을 출력하도록 하여 AutoLISP 프로그래밍 언어를 사용하여 AutoCAD 소프트웨어 상에 띄울 수 있도록하는 동시에 메인 소프트웨어상의 메뉴 선택으로도 확인할 수 있도록 하였다.

Fig.6은 AutoLISP 언어로 프로그램된 화일의 입력 데이터 구조의 일부와 LISP로 짜여진 프로그램의 개념을 묘사하는데, 입력 데이터 구조는 시작 데이터와 수치 데이터로 구성되어 AutoCAD상에 사용되는 대부분의 명령어가 적용되도록 하였다. Fig.7은 데이터 화일에 의한 메인 소프트웨어상에서의 2차원 윤곽도면과 AutoCAD상에 띄운 윤곽도면의 결과를 보여준다.



(a) Example of data structure for arc drawing

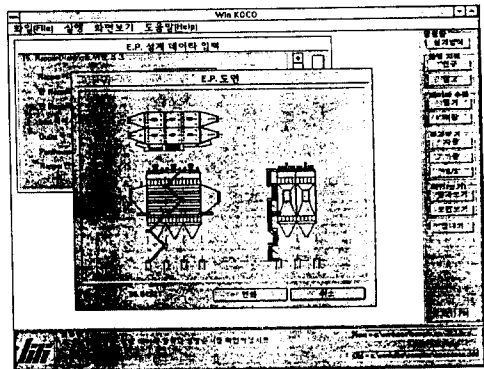
```
(defun c:ep(/ i f fname)
  (vmon)
  (setq fname (getstring "input data filename:
  ")) (terpri)
  (setq f (open fname "r"))
  (setq i 1)
  (while (or (=i1)(=i4)(=i5)(=i6)(=i7)(=i8)
    (=i9)(=i10)(=i11))
    (read statement ; reading of start data
    (if statement ; decision of drawing method
    (if statement ; drawing
    (if statement ; criteria of program end
    )
    (close f)
    (redraw)
    )
  )
```

(b) Structure of LISP file

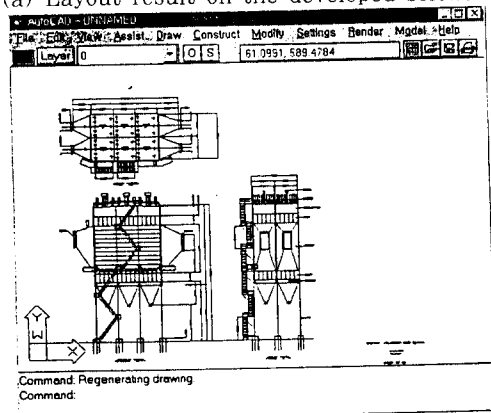
Fig.6 The structure of data and LISP file for layout drafting on AutoCAD

2.2.5 소프트웨어의 구성

Fig.8은 소프트웨어의 기능과 구성방식을 보여주고 있는데, 메인 소프트웨어내의 메뉴에서 Object 위주로 여러 프로그램을 수행할 수 있다. 소프트웨어는 Visual BASIC언어로 프로그래밍되었으며, 내부적으로 30여개의 프로그램을 병렬식으로 연결하여 컴퓨터 메모리에 제약받지 않도록 하였으며 계속적으로 프로그램을 첨가하여 확장할 수 있도록 구성하였다. Fig.8에서, 메인 소프트웨어는 내부적으로 여러 개의 프로그램을 메뉴 선택으로 수행되도록 하는 모체가 되는 화일이며, 기존 설계 방식과 업체의 규격화된 내장재등에 대한 데이터 화일과 함께 데이터가 입력되면 프로그램 매니저 화일에 의하여 각 기능에 맞는 형태로 새로운 데이터 화일을 생성하여



(a) Layout result on the developed software



(b) Auto drawing result on AutoCAD

Fig.7 Layout result on the developed software and auto drawing result on AutoCAD by AutoLISP program

메뉴 선택에 따라 프로그램이 수행된다. 그리하여 각 기능에 따른 결과 데이터는 설계 데이터를 위한 가상 화일을 만들게 되며, 가상 데이터 파일을 바탕으로 산출된 최종적인 설계 데이터는 모니터나 프린트로 출력되고 AutoLISP로의 AutoCAD상에 윤곽도면을 위한 데이터 화일을 출력한다. 그리고 AutoCAD상에서 EP.LSP 화

일을 로딩(loading)하여 EP함수를 수행하면 전기집진기의 2차원 윤곽도면을 출력할 수 있다.

Fig.9와 같이 입력방식은 마우스와 키보드를 통한 개별입력 형태로 순서에 무관하게 수정할 수 있으며 Fig.10은 설계 데이터 결과를 화면상에서 보여주는 것으로 프린터로 출력할 수 있다.

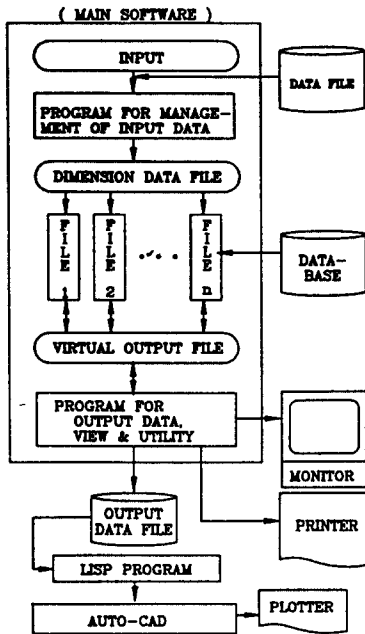


Fig.8 Schematic block diagram of developed software

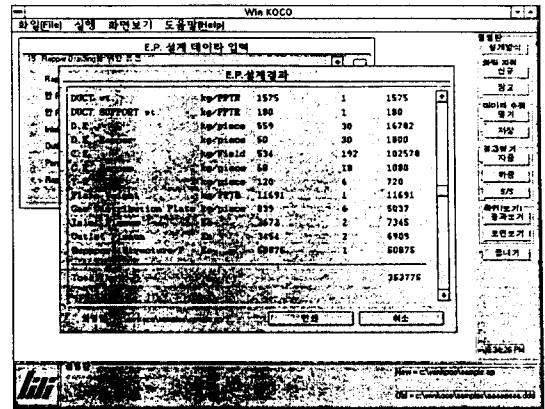


Fig.10 Concept designed results for ESP

3. 결론

전기집진기 설계 소프트웨어의 활용으로 기본 설계 소요시간이 1/50 정도로 단축되었고, 설계의 정확성 향상과 설계 오류가 크게 감소되었고, 설계자료의 작성과 수정이 용이하게 되었으며, 일부 내장재 부품과 설계 방법의 표준화 촉진등의 부수적 성과도 있었다. 그리고 완전한 설계 표준화가 이루어지면 상세도면도 본 연구의 방법으로 자동 작도할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Lloyd, D. A., "Electrostatic Precipitator Hand- book", Adam Hilger, 1988
2. William Weaver, Jr. and James M. Gere, " Matrix Analysis of Framed Structures ", 2nd Edition, VNR, 1980
3. American Institute of Steel Construction, "Structural Steel Detailing", the United

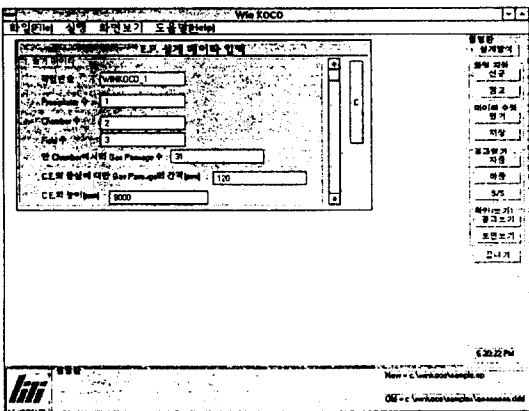


Fig.9 The input state on the developed software

- States of America, 1971
4. AISC, "Manual of STEEL CONSTRUCTION Allowable Stress Design ", the United States of America, 1989
 5. Charles G. Salmon and John E. Johnson, "STEEL STRUCTURES Design and Behavior", Harper & Row, Publisher, INC., 1990
 6. William T. Segui, "Fundamentals of Structural Steel Design ", PWS-KENT PUBLISHING COMPANY, 1989
 7. 박석주, 김상수, "정전집진기내의 입자궤적 가시화", 대한기계학회논문집, 제18권, 제12호, 1994
 8. "Products Information", 효성철강(주), 1990
 9. "전기집진기 설계 자료 및 도면", 한국 코트렐(주)