

## 작업환경 개선을 위한 산업환기 시스템 설계 소프트웨어 개발

김 태 형 · 배 병 훈\*

창원대학교 환경공학과, \*동아대학교 환경공학과

(1996년 1월 25일 접수)

### Development of Industrial Ventilation System Design Software for the Improvement of Industrial Environment

Tae-Heung Kim and Byung-Hoon Bae

*Dept. of Environmental Engineering, Changwon University, Changwon 641-773, Korea*

*\*Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea*

*(Manuscript received 25 January 1996)*

Industrial ventilation is a crucial engineering measure to protect workers from hazardous airborne contaminants. Designing a ventilation system is not an easy task. To solve this problem, many U. S. computer programs and softwares have been developed. In Korea, a software, called as VPMC, was developed by Korea Industrial Safety Corporation. But VPMC could not stand alone since it can be used to design not a hood, but a ventilation system. In this research, therefore, a preprocessing software was developed. It can be used to design general ventilation system, canopy hood, open surface tank hood. The program was written in Microsoft Visual Basic. In near future, this software will be incorporated into a total package software which can be used to design a whole ventilation system.

**Key Words:** Industrial ventilation system, Canopy hood, Open surface tank hood, C-VENT

#### 1. 서 론

산업환기 시스템은 작업환경 개선을 위해 필수적인 요소로서 발생오염물질을 적절하게 포집하여 공장외부로 배기시키는 시스템이다.(김오식, 1993; 이승일, 1994; 조석호, 1995; ASHRAE, 1993; Burgess et.al., 1989; Burton, 1995; Goodfellow, 1985; McDermott, 1976) 공학적인 제어가 필요한 사업장의 환기시설을 설계할 때 가장 먼저 결정해야 하는 사항은 전체환기시스템(General or Dilution Ventilation System)과 국소배기시스템(Local Exhaust System) 중 어떤 방식을 선택할 것인가이다. 가능한 한 국소배기시스템을 우선적으로 설치하되, 현장상황, 오염물질 특성, 오염발생원

의 공간적 분포 등을 고려해 봐서 국소배기시설의 설치가 용이치 않을 때에만 전체환기방식을 채택해야 한다. 국소배기시스템을 설계하려면 작업공정을 완전히 파악한 후 각 공정에 대해 어떤 형식의 후드를 사용할 것인가를 먼저 결정해야 한다. 이를 위해서는 미국 ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서 발간된 산업환기매뉴얼(Industrial Ventilation - A Manual of Recommended Practice, 일명 IV매뉴얼)(ACGIH, 1995)의 공정별 후드설계서(Specific Operations)와 이 책의 번역서인 작업환경측정기술협회의 작업환경개선에 따른 산업환기 매뉴얼(작업환경기술협회, 1995), 우리 나라 산업안전

공단에서 발간된 작업환경설비 표준모델을 참조하여 후드의 형식, 배풍량, 유입손실 등을 결정한다. 각 공정의 후드사양을 결정한 후에는 덕트 배치도(System Layout)를 작성하여 전체 시스템설계를 하고, 그 결과로서 송풍기의 용량을 결정하게 된다. 이러한 전체적인 설계과정은 앞서 언급한 IV 매뉴얼에 상세히 기록되어 있다. 그러나, 이러한 설계과정에 익숙해지려면 상당한 기본 공학지식을 필요로 하고 설계과정이 매우 복잡하여 수계산으로 설계할 경우 시간 소요가 많을 뿐 아니라 설계상 오류가 발생할 확률도 매우 높다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 미국에서는 10년 전부터 설계계산 소프트웨어(Clapp et.al., 1982; Koshland and Yost, 1987; Remmix, 1987; Shottwell, 1984)를 개발하여 이의 보급을 확대시키고 있다. 여러 가지가 있지만 이들 중 양대 산맥을 이루는 소프트웨어로 J-Square Ventilation Company의 J.J. Loeffler가 개발한 DSB2(Loeffler, 1993)와 University of Washington의 S.E. Guffey교수가 개발한 HEAVENT(Guffey, 1994)가 있다. 우리나라의 경우는 Q-Pro를 이용한 윤(윤명조, 1993)의 연구와 산업안전공단에서 최근에 개발하여 실용화시키려고 하는 VPMC(산업안전공단, 1995)가 있다.

그러나 이러한 소프트웨어들은 앞에서 언급한 국소배기 설계단계 중에서 가장 먼저 결정되어야 할 후드의 사양을 이미 알고 있다는 전제하에서 전체시스템을 설계하는 소프트웨어이다. 간단한 후드일 때는 후드의 사양을 결정함에 있어 큰 어려움이 없으나 개방조 후드(Open Surface Tank Hood)나 캐노피 후드를 설계할 때는 상당한 어려움이 있다. 예를 들면 개방조는 그 폭과 길이가 다양할 뿐만 아니라, 사용물질의 독성(TLV) 및 온도 등 많은 설계변수를 갖고 있기 때문에 개방조의 특성에 따라 다양한 후드(포위형, 캐노피형, 측방형, 푸쉬-풀 후드)를 선정해야 하며, 이를 설계함에 있어 상당한 시간이 걸릴 뿐 아니라 설계상 오류가 발생할 확률도 높다. 캐노피 후드를 설계할 때에는 개방조 설계만큼의 어려움은 없으나 계산이 상당히 복잡하다.

한편, 우리나라의 경우 기존의 작업장들은 공장건설 당시부터 국소배기시스템을 거의 의

면한 채 설계된 관계로 국소배기시설을 설치해야만 되는 사업장임에도 불구하고 현실적으로 불가능한 경우가 많다. 그 대안으로 전체환기시스템을 많이 사용하는 경향이 있으나 이의 설계 또한 사용물질의 특성(TLV, 분자량, 비중), 공장 내부 구조 등 다양한 자료를 바탕으로 설계해야 하기 때문에 이것 역시 개방조 후드 설계와 비슷한 어려움을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 전체환기시스템, 캐노피 후드, 개방조 후드를 설계함에 있어 설계시간을 단축시키고, 설계상의 오류를 최소화시킬 수 있는 소프트웨어를 개발하여 이를 실용화시키고자 한다.

## 2. 산업환기 시스템 설계

### 2.1 전체환기

전체환기(General Ventilation) 또는 희석환기(Dilution Ventilation)는 국소배기(Local Exhaust Ventilation)와 상반되는 개념으로 쓰인다. 국소배기는 오염원 근처의 공기를 후드로 흡인해 줌으로써 유해물질 자체가 작업장 내부로 확산되는 것을 방지해 주는 반면에 전체환기는 오염원에서 방출된 유해물질을 외부의 비교적 깨끗한 공기로서 희석시켜 줌으로써 작업장 내부의 유해물질의 농도를 감소시키는 데 주안점을 둔다. 이러한 전체환기는 작업장 내의 유해물질 농도 감소를 위해서 뿐만 아니라 화재 및 폭발 방지와 온도 및 습도 조절을 위해서도 자주 사용된다.

전체환기의 방식은 급기(Replacement) 및 배기(Exhaust)를 위한 기계적인 힘의 사용 여부에 따라 자연환기(Natural Ventilation)와 기계환기(Mechanical Ventilation)로 구분된다. 자연환기는 공장 내부의 오염된 공기가 외부의 신선한 공기와 섞임으로써 자연적으로 행해지는 환기방식이다. 설치비 및 운영비가 적게 들고, 소음발생이 적을 뿐만 아니라 동력비가 필요치 않다는 장점을 갖고 있으나, 자연적인 힘에 의존하기 때문에 풍향, 풍속, 기온의 변화로 인하여 환기량이 일정치 않아 작업환경 개선용으로 이용하는 데 많은 제한을 받는다. 기계환기는 송풍기를 이용하여 강제적으로 외부의 공기를 급배기시키는 방법으로 환기량을 원하는 수준에서 일정하게 유지시킬 수 있어 작업장 환경 개선용으로 적합하나, 설치비 및 운영비가 많이 들고 작

업장내 소음문제가 야기될 때도 있다. 이에 대한 상세한 설계과정은 IV 매뉴얼에 잘 설명되어 있다.

## 2.2 캐노피 후드

전기로, 용광로, 용해로, 열처리로, 도가니로 등의 고열원으로부터 열적인 부력(Thermal Draft)에 의한 상승기류와 이에 함유된 분진의 포집을 위해서는 천장에 후드를 매달아 오염물질을 받아주는 캐노피 후드를 설치해야 한다. 이 경우에 후드의 흡인력에 의해 유해물질을 포집하기보다는 열기류의 상승력을 고려하여 오염물질을 피동적으로 포집해야 하기 때문에, 일반적인 후드의 설계에서 사용되는 제어속도를 응용하기 어렵다. 따라서 캐노피 후드의 효과적인 설계를 위해 많은 연구가 진행되었고, IV 매뉴얼에 그 설계기법이 잘 설명되어 있다.

## 2.3 개방조(Open Surface Tanks)

도금조, 세척조 등과 같은 개방조 후드를 설계하는 방법은 일반적인 국소배기 후드 설계방법과 다른 점이 많다. 취급물질, 조(tank)의 형상과 위치, 배기시스템의 종류(포위형(enclosing), 캐노피형(canopy), 측방형(lateral), 푸쉬-풀형(push-pull) 후드)에 따라 설계방법이 달라진다.

포위형 후드는 조의 한 변에 후드를 설치하고 나머지 한 변 내지 두 변을 에워싸므로써 교차통풍(Cross Draft)에 의한 영향을 최소화시킬 뿐만 아니라 조의 표면에 제어속도를 충분하게 유지시킬 수 있다. 그러나 작업 특성상 조를 포위하기 어려운 경우가 많아 실제로 적용하기 힘든 문제점이 있다.

캐노피형 후드는 조의 상부에 매달아 놓은 후드의 형태로 주위에 방해물체가 없을 때는 조의 네변이 개방되고 조가 건물 벽에 인접해 있을 경우에는 세변이 개방된다. 이 후드를 개방조에 적용하려고 할 때, 조의 표면에 충분한 제어속도를 유지시키려면 후드유량이 너무 증가하는 단점을 갖는다. 뿐만 아니라 교차통풍에 매우 취약하며, 작업자가 조의 상부로 구부러서 작업할 때 조 표면의 오염된 공기가 작업자의 코를 통과한 후에 후드로 흡인되기 때문에 후드의 역할을 제대로 수행하지 못하는 경우가 많다.

측방형 후드는 포위형 후드가 작업에 방해될 일으킨다는 단점을 보완하기 위하여 조의 한 변

에 슬롯후드를 설치하는 방법이다. 슬롯후드는 일반적인 장방형 후드에 비해 같은 후드 유량으로 후드 개구면에서 비교적 멀리 떨어진 부분까지 필요한 제어속도를 유지시킬 수 있다. 이렇게 함으로써 조를 포위하지 않고도 교차통풍의 영향을 최소화시킬 수 있다. 조의 폭이 91 cm 이하일 때에는 조의 한 쪽 변에만 슬롯후드를 설치한다. 조의 폭이 그 이상일 때에는 한 쪽변의 슬롯후드 하나만으로는 반대편까지 후드의 영향력을 미치지 어려우므로 반대쪽에도 슬롯후드를 하나 더 설치하여 양쪽에서 흡인해 주거나 조의 중심선에 슬롯후드를 설치하여 양쪽의 공기를 흡인해준다. 만약 조에서 발생하는 오염물질의 독성이 낮고 교차통풍이 거의 없을 경우에는 한 쪽변 슬롯후드를 적용할 수 있는 조폭의 상한이 91 cm에서 122 cm로 증가된다.

푸쉬-풀(Push-Pull)후드는 근래에 개발되어 응용 범위를 점차 확대해 가고 있는 후드로 푸쉬 제트(Push Jet)와 풀후드(Pull Hood)로 구성되어 있다. 조의 폭이 비교적 넓은 때, 측방형 후드로서 조의 끝단 까지 충분한 제어속도를 유지시키기 위해서는 엄청난 후드유량이 필요하게 되므로 그 실용성을 상실하게 된다. 이러한 측방형 후드의 단점을 보완하기 위하여 당겨만 주는 방식보다 밀어주고 당겨주는 방식을 채택한 후드가 푸쉬-풀 후드이다. 유량은 적지만 운동량이 큰 제트로서 조 표면에 평행하게 공기를 밀어주고, 제트가 조의 표면을 통과하면서 조에서 발생하는 오염물질을 포집하고, 오염된 제트가 작업장으로 누출되지 않도록 풀후드에서 받아주는 방식이다. 따라서 푸쉬-풀 후드에서의 배기후드는 오염물질을 포집하여 준다기보다는 푸쉬제트에 의해 포집된 오염물질을 단순히 받아주는 역할을 한다고 하겠다. 이 후드는 적은 후드유량으로 조 표면에 충분한 제어속도를 유지시켜 줄 수 있기 때문에 폭이 비교적 넓은 개방조 후드에 적합하다.

개방조 후드의 배기유량 산정방법은 상당히 복잡하다. 포위형, 캐노피형, 측방형 후드는 조에서 사용하는 물질의 독성과 오염물질의 방출률에 근거하여 공정등급(Process Class)을 결정하고 이에 근거하여 후드의 종류 및 형상에 따라 제어속도를 결정한 후 정해진 절차에 의해 배기유량을 결정하게 된다. 반면에 푸쉬-풀 후드의

풀후드(Pull Hood)의 배기유량은 오염물질의 독성에 상관없이 푸쉬제트 기류를 전부 흡인해 줄 수 있도록 설계하면 된다.

### 3. 소프트웨어의 개발

#### 3.1 C-VENT 소프트웨어

WINDOWS환경에서 작동하는 소프트웨어를 개발하기 위한 프로그래밍 언어는 상당히 많은 편이나 본 소프트웨어는 MICROSOFT사의 표준 언어라고 할 수 있는 VISUAL BASIC을 이용하여 만들어졌으며 그 이름을 C-VENT라고 명명한다. C-VENT는 앞장에서 설명한 설계기법인 전체환기, 캐노피 후드 설계, 개방조 설계의 세 가지 계산이 하나의 프로그램 내에서 유동적으로 이동하면서 선택, 계산 가능하게 개발하였다.

##### 3.1.1 C-VENT의 구성도 및 운영환경

C-VENT는 WINDOWS환경에서 작동하도록 만들어진 소프트웨어이므로 사용자의 PC에 운영체제로서 DOS가 필요하고, MICROSOFT사의 한글WINDOWS 3.1이상의 응용프로그램이

존재하여야 하며 DOS환경 단독으로는 프로그램을 실행시킬 수 없다. 또한 프로그램 내의 대부분을 마우스로 설정, 선택할 수 있게 만들었으므로 보다 쉽게 본 소프트웨어를 사용할 수 있다. C-VENT 소프트웨어는 사용자로 하여금 완벽한 설계로 쉽게 유도하기 위하여 공정에 관련된 그림을 많이 삽입하였으며 이러한 그림 자료를 한 화면에 모두 나타내기 위하여 화면의 해상도를 800×600으로 설정하여 만들었다. 따라서 WINDOWS 3.1의 기본 화면인 해상도 640×480 mode에서는 프로그램 전체를 한 화면에서 다 볼 수 없다.

C-VENT 소프트웨어는 크게 전체환기, 캐노피 후드 설계, 개방조 설계의 3개의 부분으로 나누어져 있으며, 각 부분의 하위메뉴에는 앞장에서 설명한 각 공정별 설계 기법을 충실히 반영하고자 노력하였다.

##### 3.1.2 C-VENT의 설치

먼저 한글WINDOWS 3.1을 실행시킨 다음 플로피디스크를 디스크 드라이브에 삽입하고 프로

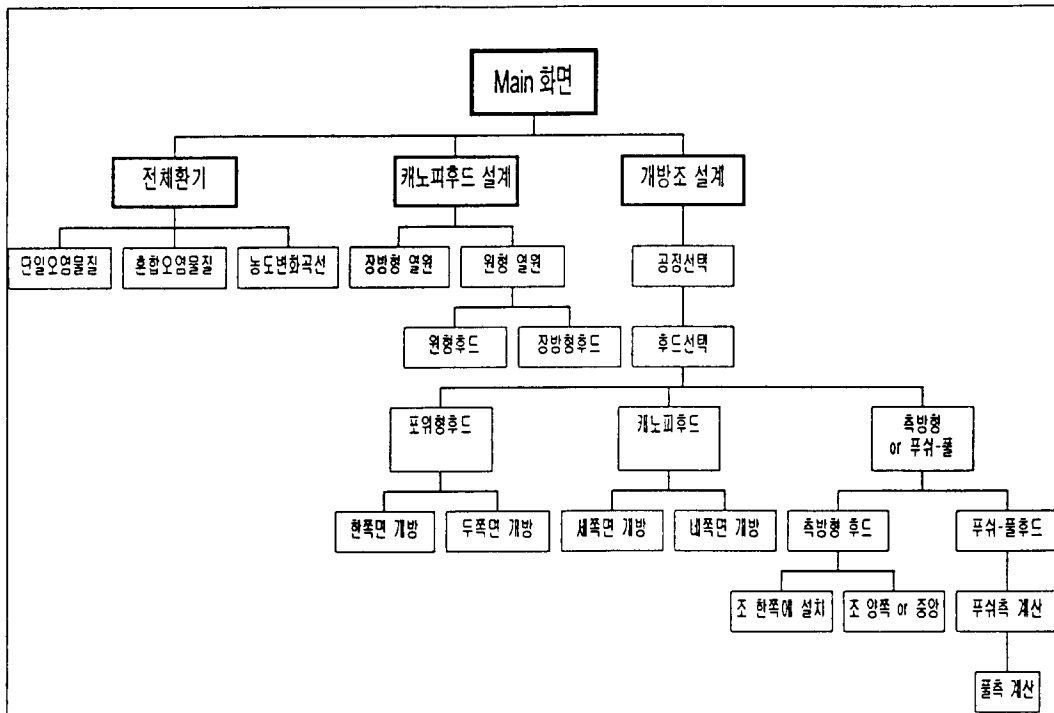


Fig. 1. Structure of 'C-VENT' software.

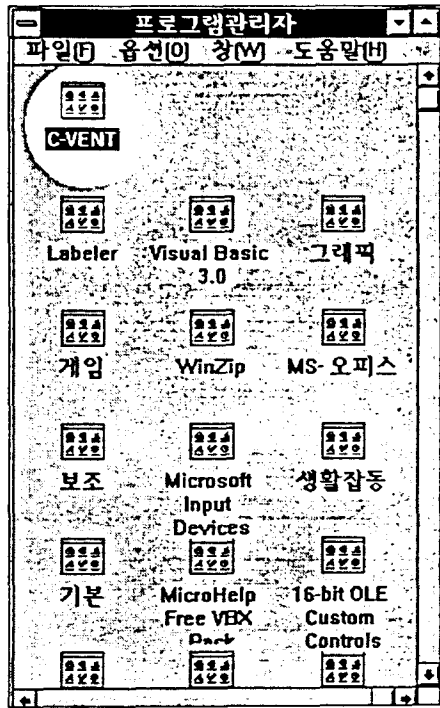


Fig. 2. 'C-VENT' installed in program manager.

그림 관리자의 파일 메뉴에서 실행을 시킨 후 설치할 디렉토리 및 경로를 지정하면 자동으로 설

치를 시작한다. 잠시후 WINDOWS의 프로그램 관리자에 새로운 C-VENT라는 그룹이 생기고 설치는 끝난다(Fig. 2).

### 3.2 C-VENT 소프트웨어의 사용 방법

#### 3.2.1 주메뉴 화면

C-VENT 소프트웨어를 실행시키면 Fig. 3과 같은 화면이 사용자의 모니터 상에 나타나는데 이것이 바로 C-VENT 소프트웨어의 초기 화면이다. 여기에서 화면의 오른쪽 부분이 사용자가 직접 사용할 수 있는 버튼들이다. 화면 아래쪽을 보면 흰색 띠 같은 것이 보이는데 이것은 각각의 버튼들의 도움말 및 일반 사항을 보여주는 곳이다. 이 도움말란은 마우스의 움직임에 따라서 시시각각으로 변하는데 현재 마우스가 위치해 있는 곳에 해당되는 도움말을 보여 준다. 먼저 전체환기 부분을 살펴보면 단일오염물질, 혼합오염물질, 농도변화곡선의 세 가지 버튼이 있다. 캐노피 후드 설계란을 보면 장방향 열원, 과원형 열원의 두 개의 버튼이 있으며 개방조 설계란에는 개방조 후드 버튼이 그리고 따로 종료(x) 버튼이 맨 밑에 위치하고 있다. 각 버튼에 대한 설명을 아래의 Table 1에 나타내었다.



Fig. 3. Main menu screen of C-VENT software.

Table 1. Function buttons in C-VENT main men

구 분	버 튠	기 능
전체환기	단일오염물질	작업장에서 발생하는 단일 오염물질의 TLV와 혼합계수, 사용량에 따른 작업장의 필요 환기량 계산
	혼합오염물질	작업장에서 발생하는 혼합 오염물질의 각각의 TLV, 혼합계수, 사용량에 따른 작업장의 필요 환기량을 물질별로 계산하고 물질의 상가작용과 독립작용에 따른 전체 혼합물질의 필요 환기량 계산
	농도변화 곡선	작업장에서 발생하는 단일 물질의 TLV, 혼합계수, 시간별 사용량, 작업장의 유효 환기량 등에 따른 작업장 내의 오염물질의 시간별 농도 변화를 그래프로 도시
캐노피후드 설계	장방형 열원	장방형 열원에 따른 장방형 캐노피 후드의 가로, 세로길이 및 후드의 유량을 계산
	원형 열원	원형 열원에 따른 원형 및 장방형 캐노피 후드의 설계
개방조 설계	개방조 후드	표면처리, 전기도금, 스트리핑 등 개방조의 후드 형태 선택, 후드 형상, 후드 정압 및 송풍량 계산

### 3. 2. 2 전체환기

#### 1) 단일 오염물질 계산

주메뉴의 '단일오염물질'버튼 선택하면 혼합계수 K값을 나타낸 도움말 그림이 화면 전체에 나타나고 현재 계산하고자 하는 작업장의 혼합계수 K값에 대한 판단을 요구한다. K값을 결정한 후 확인(O)버튼을 누르면 「발생물질 검색(단일물질)」화면이 열린다.

이 화면의 '발생물질 검색 입력란'을 보면 '한글'과 '영문' 입력란이 있는데 이는 약 340여개의 유해물질 항목이 들어 있는 물질항목(List)에서 보다 빠르게 물질을 찾아내기 위해 만들어 놓은 입력란이다. 또 물질항목(List)에서 어떤 물질이 선택되면 아래의 선택한 물질란에 영문 및 한글 물질명이 자동으로 나타나며, 분자량, 비중, TLV, 혼합계수(K)를 보여준다. 여기서 사용자가 시간당 사용량을 반드시 입력하여야만 한다.

발생하는 물질을 선택하고 사용량을 정확히 입력한 후 '계산(C)' 버튼을 눌렀다면 새로운 화면(Fig. 4)이 나타나면서 계산 결과를 보여준다. 여기에서 유효환기량은 작업장 내의 환기가 이

상적으로 이루어진다고 가정할 때의 값이며 실제환기량은 유효환기량에 혼합계수(K)값을 곱한 결과이다.

물질항목(List)에서 찾을 수 없는 물질에 대해서는 항목에 없는 물질(A)버튼을 누른 후 물질명(영문)란에 영문으로 물질명을 적고 물질명(한글)란에는 한글명을 적은 다음 그 아래의 입력란에 있는 분자량, 비중, TLV(ppm), 혼합계수(K), 사용량(l/hr)을 정확히 입력하고 '계산(C)버튼'을 눌러 계산 결과를 본다.

#### 2) 혼합오염물질 계산

C-VENT소프트웨어의 주메뉴 화면에서 혼합오염물질 버튼을 누른 다음 단일오염물질의 계산에서와 같은 방법으로 물질을 선택한 후 추가(Add)버튼을 눌러 새로운 물질을 선택하고 사용량과 혼합계수를 각각의 물질에 대하여 입력한다. 현재 추가할 수 있는 물질의 개수는 20개로 한정되어 있다. 물질의 선택이 끝난 후 혼합물질 계산(C)버튼을 누르면 「혼합물질의 계산결과」화면(Fig. 6)이 나타나는데 첫 번째로 선택한 물질이 선택된 물질 1란의 기본값으로 나타나고 물

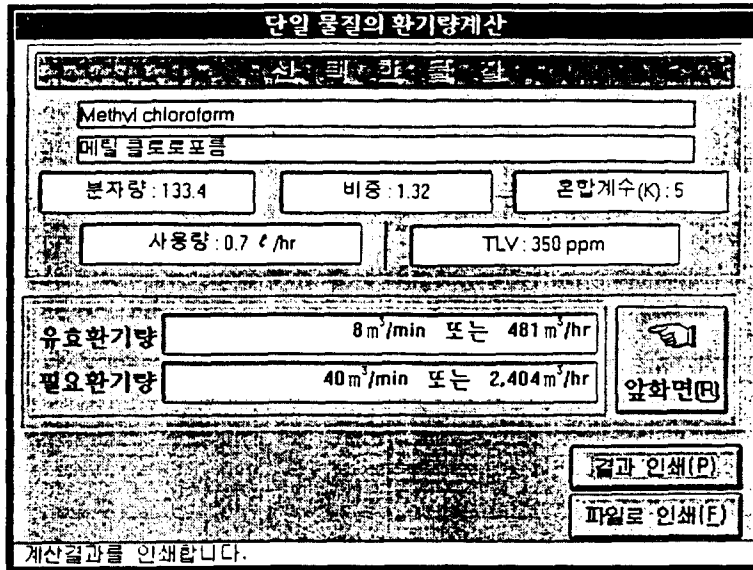


Fig.4. Calculation result of ventilation rate for single hazardous substance.

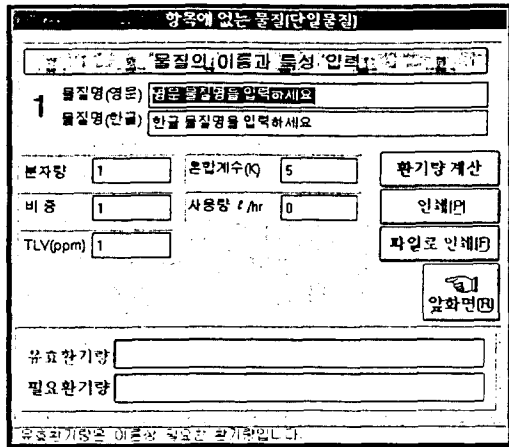


Fig.5. Hazardous substance not listed.

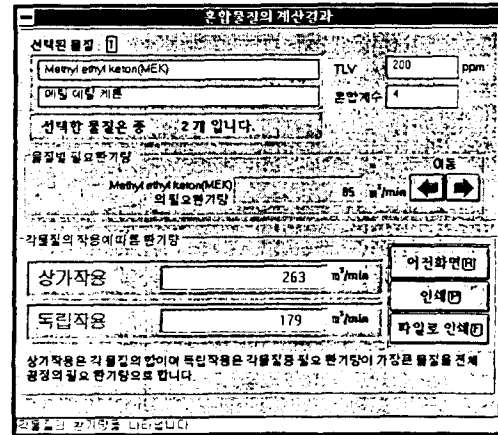


Fig.6. Calculation result of ventilation rate for mixed hazardous substance.

질의 TLV와 사용자가 입력한 혼합계수, 필요환기량을 보여준다. 각 물질의 작용에 따른 환기량란에 있는 상가작용란과 독립작용란은 선택한 전체물질의 필요환기량을 각 작용에 대하여 계산한 결과이다. 「발생물질 검색(혼합물질)」화면에서 항목에 없는 물질을 선택하고자 할 때는 단일물질의 계산과 마찬가지로 항목에 없는 물질(A)버튼을 누른다.

### 3) 농도 변화 곡선

C-VENT소프트웨어의 주메뉴 화면의 농도변

화곡선버튼을 누르면 물질검색(시간:농도 그래프)화면이 나타나는데 이는 작업장내에서 발생하는 단일물질에 대하여 정상상태라고 가정하고 유효환기량(Q), 작업장기적(V), 초기농도(Co)를 이용하여 시간에 따른 작업장내의 24시간 농도변화를 그래프로 가시화 하여 보여준다.

예를 들어 작업장내의 발생물질이 메틸 에틸 케톤이고 작업장의 유효환기량(Q)이 83 m³/min, 작업장기적(V) = 16,000 m³, 초기농도(Co) = 0 ppm 이고 물질의 발생주기가 0시부터

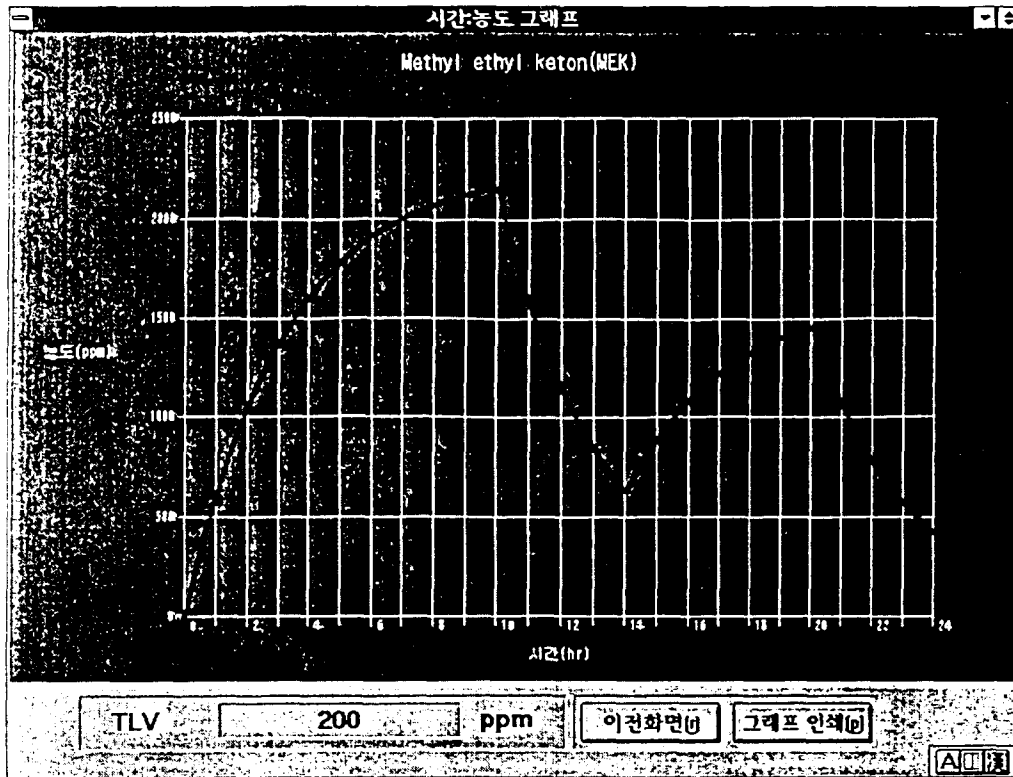


Fig.7. Time VS concentration graph.

10시까지 오염물질 사용량을 0.7 l /hr , 10시부터 14시까지 사용량을 0 l /hr, 14시부터 20시까지 사용량을 0.5 l /hr, 20시부터 24시까지 사용량을 0 l /hr라 하면 발생주기입력란의 시간별항목과 사용량항목을 시간대별로 입력하고 계산(C)버튼을 누른다. 화면에 계산결과란에 계산결과가 시간:농도로 나타나면 그래프보기(G)버튼을 눌러 그래프로 계산 결과를 본다 (Fig. 7).

### 3. 2. 3 캐노피 후드의 설계

#### 1) 장방형 열원

설계하고자 하는 후드의 열원이 장방형일 경우 장방형 열원버튼을 누르면 「장방형 후드 설계」화면이 나타난다. 사용자 입력란의 열원의 제원과 후드와의 거리, 온도차(℃)를 입력하고 계산(C)버튼을 누른다. 이 경우 낮은 후드와 높은 후드 두 가지의 결과가 나오며 캐노피 후드로

부터 후드 개구면까지의 높이가 오염원 직경보다 작거나 0.9 m이하 일 때는 낮은 후드로 설계가 이루어지고, 후드형태란에 낮은 후드임을 자동으로 그림으로써 후드의 설계에 따른 결과값등을 도시해 준다. 이 원칙은 원형 열원일 경우에도 동일하게 적용된다.

#### 2) 원형 열원

설계하고자 하는 후드의 열원이 원형일 경우에는 캐노피 후드의 설계를 원형 또는 장방형으로 설계할 수 있으므로 원형 후드로 설계하고자 할 경우는 원형 후드로 설계버튼을 누르고 장방형 후드로 설계하고자 할 때는 장방형 후드로 설계버튼을 누른다. 장방형 후드에서와 마찬가지로 캐노피 후드로부터 후드 개구면까지의 높이가 오염원 직경보다 작거나 0.9 m이하 일 때는 낮은 후드로 설계가 이루어지고 원형 열원에서 장방형 후드로 설계시에는 직경으로부터 면적을 구해서 정방형 후드로 설계를 한다.



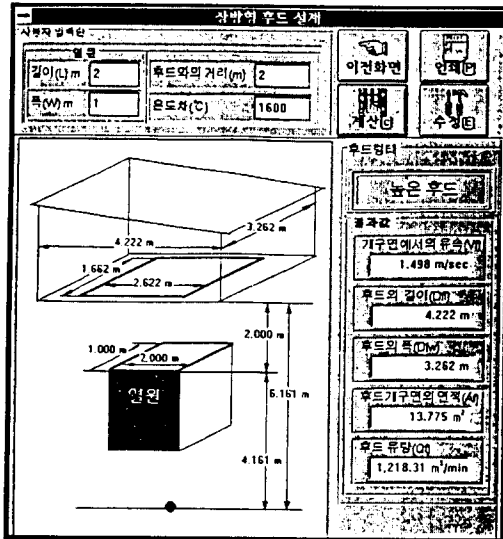


Fig.8. Rectangular high-canopy hood.

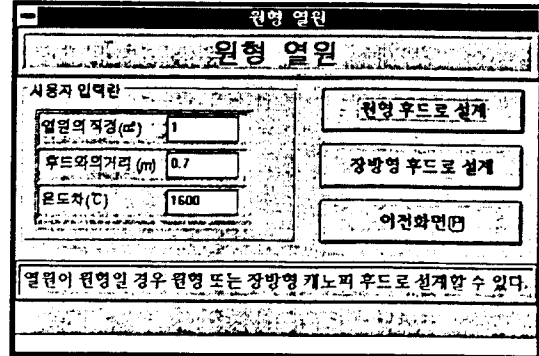


Fig.9. Circular hot-source.

### 3. 2. 4 개방조의 설계

개방조 후드의 설계에 대한 후드의 종류 및 적용범위는 IV 매뉴얼에 자세히 설명되어 있다. 작업공정에는 금속표면처리, 전기도금, 스트리핑, 기타 공정이 있으며 설계 가능한 후드로는 포위형 후드, 캐노피형 후드, 측방형 후드, 푸쉬-풀 후드가 있다.

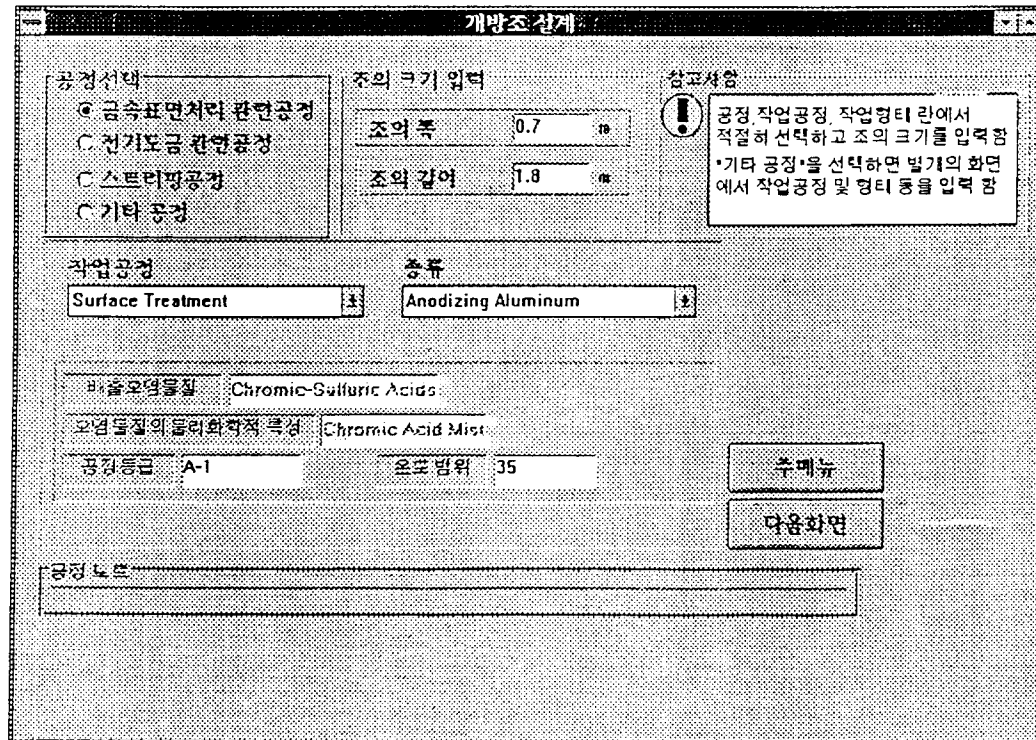


Fig.10. Intial Screen of Open Surface Tank Design.

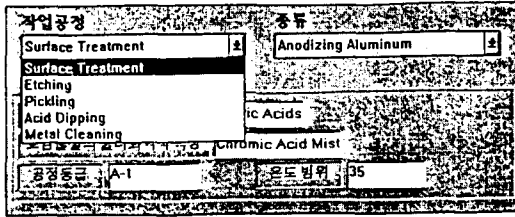


Fig.11. Process & type selection.

1) 개방조 작업 공정의 선택

C-VENT소프트웨어의 주메뉴 화면에서 개방조 후드버튼을 누르면 개방조의 공정형태 선택 및 조 크기 입력 화면이 나타난다. 여기서 사용자는 설계하고자 하는 개방조의 크기 및 공정을 선택하여야 한다(Fig. 10). 먼저 작업공정의 선

택은 공정선택란에 나타난 금속표면처리 관련 공정, 전기도금 관련공정, 스트리핑 공정, 기타 공정 네 가지가 있고 해당하는 공정이 있으면 마우스로 선택한다. 이때 공정선택란 아래에 있는 작업공정 및 종류 상자 내의 글자들이 각각의 공정에 맞게 변한다. 이들 작업공정 및 종류는 IV 매뉴얼의 Table 10.70.6~Table 10.70.8을 데이터베이스화 한 것이다. 따라서 공정선택에 따른 적절한 작업공정을 찾아내면 다시 작업공정에 따라 종류가 바뀌게 되어 있다. 사용자가 설계하고자 하는 적절한 공정과 종류를 고르면 공정등급과 온도범위가 화면에 자동으로 나타나며 이들은 개방조의 설계에 있어서 최소제어속도를 결정하는 역할을 한다(Fig. 11). 온도범위를 가지는 작업은 조내의 온도가 온도 범위에서 높은 부

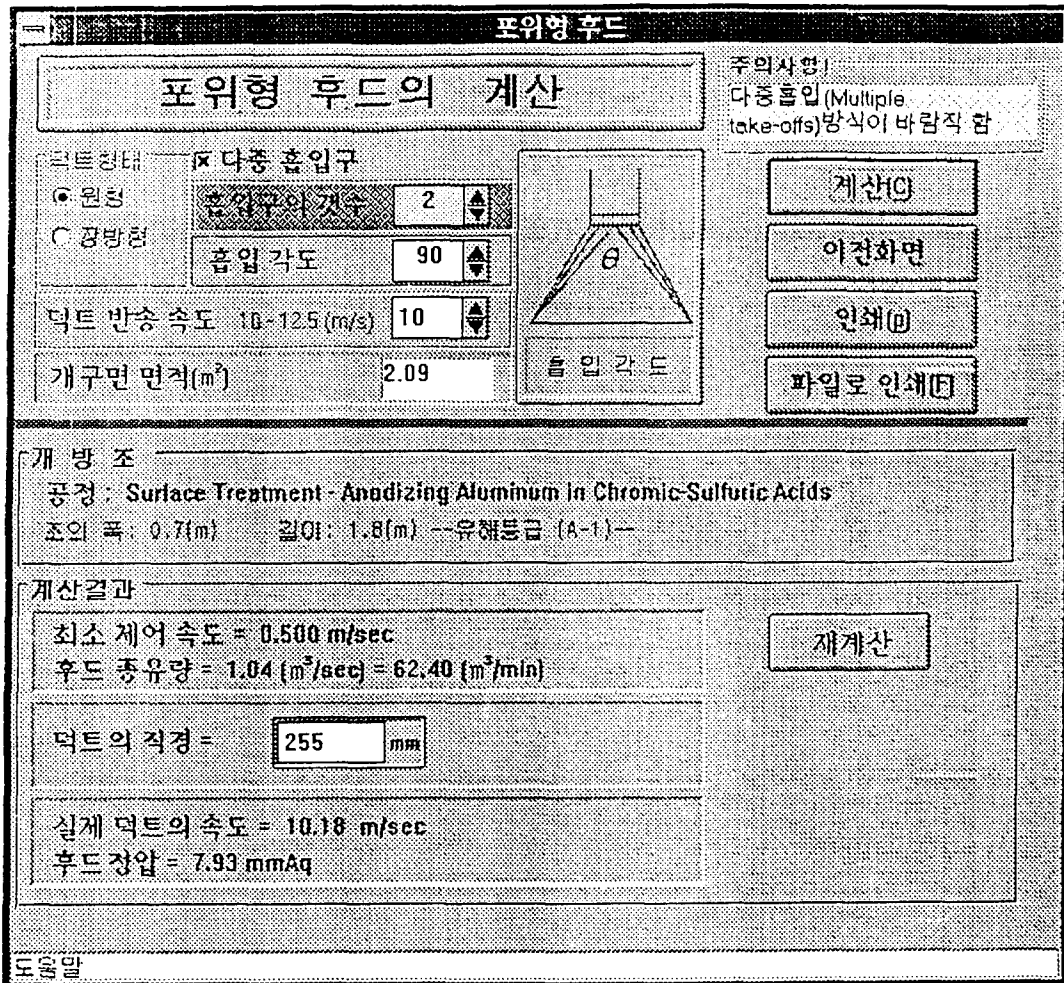


Fig.12. Final Screen of Enclosure Hood Design.

분에 속할 때는 온도범위와 방출률을 결정하는 화면에서 방출률을 낮은 값으로 한다

공정선택란의 맨 아래쪽에 위치하고 있는 기타 공정버튼을 선택하여 누르면 「기타 공정」화면이 나타나면서 작업공정과 작업형태란에 적절한 사항을 입력하고 유해 준위와 가스, 증기 및 미스트의 방출률을 화면의 표를 참고하여 결정한 다음 온도란에 조내의 온도를 반드시 입력하여야 한다. 공정이 선택되어졌으면 조의 크기를 입력한다. 사용자가 입력한 조의 길이나 폭에 따라서 설계할 수 있는 후드의 종류가 달라지게 된다.

2) 후드의 선택

유해 등급이 A-1 또는 A-2인 경우에는 캐노피 후드의 사용을 금지하고 있기 때문에 이 두 가지의 유해 등급을 제외하고는 캐노피 후드의 사용이 가능하다. 하지만 캐노피 후드는 가급적 사용하지 않는 것이 작업자 보호 측면에서 볼 때 바람직하다.

3) 포위형 후드 선택

사용자가 개방조에 포위형 후드를 설치하고자 할 경우 IV 매뉴얼에 제시되어 있는 설계시 고려하거나 주의하여야 할 사항을 대부분 적용하였다.

사용자가 입력한 조의 길이가 1.8 m 이상이면 다중흡입 방식이 바람직하고, 사용자가 입력한 조의 길이가 3.0 m 이상이면 반드시 다중흡입을 사용하여야만 한다.

C-VENT소프트웨어의 덕트직경 계산은 5 mm단위로 이루어진다. 또한 덕트의 형태를 원형 또는 장방형으로 설계할 수 있으며 원형이면 덕트의 직경을 계산결과에서 보이고 장방형이면 가로×세로의 형식으로 결과를 보여준다. 흡입각도는 버튼으로 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180도로 변화가 가능하다. 이 항목은 사용자가 임의로 입력할 수 없는 부분이며 위의 정해진 각도 내에서만 변경이 가능하다. 흡입각도상자 아래에 있는 덕트 반송 속도(m/s)상자는 설계 하고

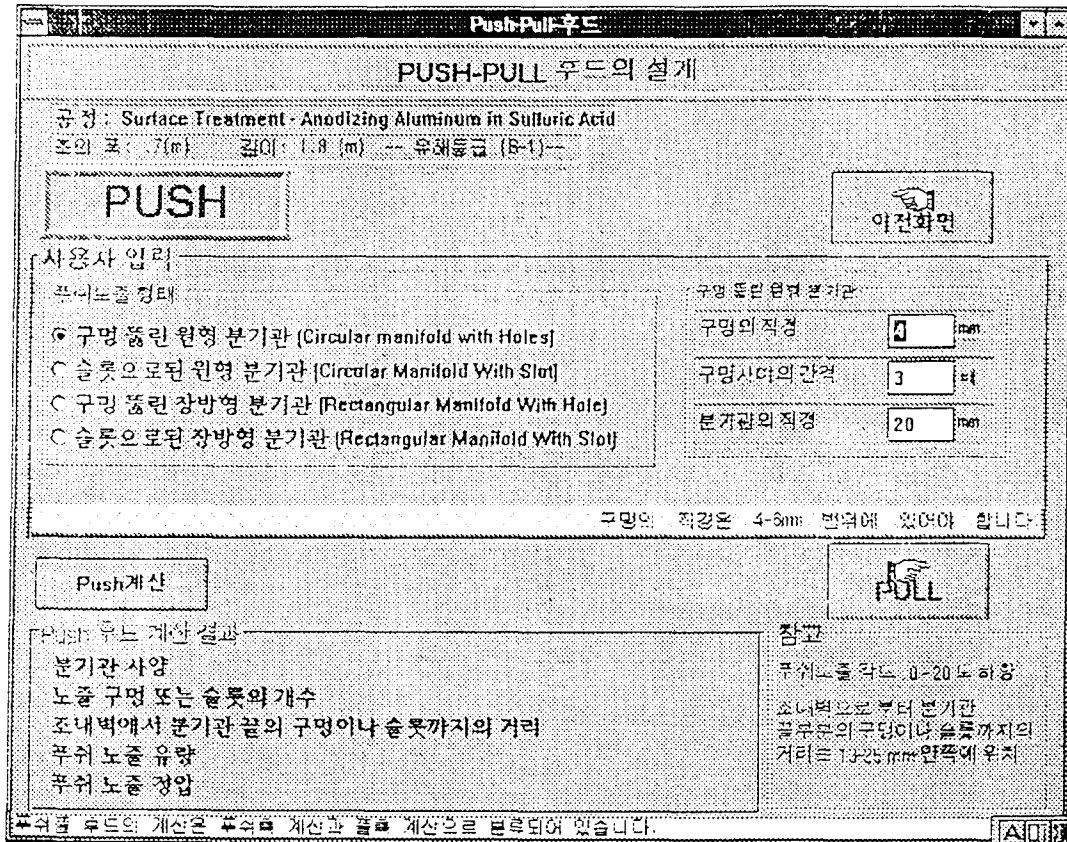


Fig.13. Push Screen of Push-Pull Hood Design.

자 하는 덕트내의 유속을 말하며 10-12.5 m/s의 범위내에서 조절 가능하다. 개구면 면적(m<sup>2</sup>) 상자는 포위형 후드를 설계할 때 후드가 외부로 열린 면적을 말하며 사용자가 반드시 입력하여야 한다. 입력에 대한 설정이 끝났으면 계산(C) 버튼을 누른다. (Fig. 12)

포위형 후드에서 사용자의 입력치에 대한 정압손실 계산공식은 다음과 같다.

$$SP = \{(1 + \text{Entry Loss})$$

$$\times \left( \frac{\text{Actual Duct Velocity}}{4.043} \right)^2 \} \quad (1)$$

여기서 Entry Loss : 유입구 손실 계수

Actual Duct Velocity : 실제 덕트의 속도

(m/s) 후드가 설치될 현장의 상황에 따라 원형 덕트를 사용하지 못하거나, 계산된 덕트의 직경을 바꾸어야만 할 경우에는 덕트의 직경이 표시된 부분으로 가서 원하고자 하는 덕트의 직경을 입력하고 재계산버튼을 누르면 변경된 덕트의 직경에 따라서 실제 덕트의 속도와 후드 정압이 재계산 되어 보여진다.

포위형 후드의 설계에는 한쪽면 개방과 두쪽면 개방이 있는데 두 가지 형태 모두 사용방법과 화면이 동일하며 사용자가 입력하여야 할 값도 모두 같다. 단지 이 두 가지 형태의 차이점이라면 최소제어속도(Minimum Control Velocity)만 다르며 이것은 사용자가 한쪽면 개방과 두쪽

**푸쉬풀 후드(흡입덕트)**

### PUSH-PULL 후드의 설계

**PULL**

주의사항!  
다중흡입(Multiple take-offs)방식이 바람직 함

덕트형태  다중 흡입구

원형

C 장방형

흡입각도 90

덕트 반송 속도 10-12.5 (m/s) 10

슬롯 속도 10 m/s 이상 10.16

개 방 조

공정 : Surface Treatment - Anodizing Aluminum in Sulfuric Acid

조인 폭 : 7(m) 길이 : 1.8 (m) -- 유해등급 (3-1)--

Pull계산

계산결과

후드 종유량 = 0.48[m<sup>3</sup>/sec] = 28.80 [m<sup>3</sup>/min]

슬롯 : 가로(L) 1,800.0 mm X 폭(W) 26.2 mm

중만통풍조정살의 깊이(Plenum depth) : 52 mm

덕트의 직경 = 245 mm

실제 덕트의 속도 = 10.18 m/sec

후드 정압 = 19.17 mmAq

PUSH(이전화면)

푸쉬풀 계산결과

재계산

Fig.14. Pull Screen of Push-Pull Hood Design.

면 개방중 어떠한 후드를 선택하는가에 따라 자동적으로 선정된다.

4) 캐노피 후드 설계

캐노피 후드를 설계하고자 한다면 개방조의 유해 등급이 A-1 또는 A-2가 되어서는 안된다. 유해등급이 높은 물질을 캐노피 후드로 제어한다면 작업자의 건강에 유해하므로 설계자체를 할 수 없게끔 만들어져 있다.

캐노피 후드는 세쪽면이 개방된 부분과 네쪽면 모두가 개방된 형태 2가지로 나누며 세쪽면이 개방된 후드의 경우 폭 방향으로 막혔는지 길이 방향으로 막혔는지를 선택해 주어야 한다. 이러한 차이점을 제외한다면 세쪽면 개방과 네쪽면 개방시 사용자가 입력하여야 할 부분은 동일하다.

개방조의 캐노피후드 설계에서는 주메뉴의 캐노피 후드 설계에서 사용했던 배기량 산출식과는 다른 식을 적용하고 있다. 왜냐하면 주메뉴의 캐노피 후드 설계가 열원에 대한 후드를 설계해주는 반면에 개방조는 심각한 열원으로 볼 수 없기 때문에 배기량 산출식인  $Q=PHV$ 를 적용한다. 단, 여기서 네쪽면 개방일 경우는 P값으로 조의 둘레를 사용하고, 세쪽면 개방일 경우는 P값으로 개방된 쪽의 조 둘레를 사용한다. 예를 들어 세쪽면 개방에서 조의 폭 방향이 벽에 근접해 있거나 막힌 경우에는 P값으로 (폭+길이×2)를 사용하고, 조의 길이 방향이 벽에 근접해 있거나 막힌 경우에는 P값으로 (폭×2+길이)를 사용한다. 캐노피후드의 설계시 이용되는 정압손실 공식은 다음과 같다.

$$SP = (1+Entry Loss) \times \left( \frac{Actual Duct Velocity}{4.043} \right)^2 = (1+Entry Loss) \times \left( \frac{실제덕트속도}{4.043} \right)^2 \quad (2)$$

5) 측방형 후드

측방형 후드는 조의 중앙 또는 양쪽에 후드를 설치하거나 조의 한쪽에만 후드를 설치하여 유해물질을 제어하고자 하는 방법이다.

조의 폭에 따라서 조의 한쪽에 설치하는 것이 이용가능(조의 폭이 50 cm이하 경우) 또는 불가능하므로 이 때는 양쪽 또는 중앙에 후드를 설치하여야 한다. 측방형후드 설계시 이용되는 정압

손실 공식은 다음과 같다.

$$SP = \left\{ 1.78 \times \left( \frac{Slot Velocity}{4.043} \right)^2 \right\} \times \{ (1+Entry Loss) \times \left( \frac{Actual Duct Velocity}{4.043} \right)^2 \} \quad (3)$$

여기서 Slot Velocity는 슬롯의 속도로서 측방형후드가 후드 유입구에서 슬롯을 사용하므로 유입손실을 정압손실의 계산에 적용시킨다.

6) 푸쉬-풀 후드 설계

푸쉬-풀 후드의 설계는 다른 후드의 설계와는 달릴 푸쉬측의 설계와 풀측의 설계로 구분되어 있다. 즉 푸쉬측의 설계가 이루어져야만 풀측의 설계가 가능해진다. 푸쉬-풀 후드의 푸쉬노즐(분기관)의 형태에는 구멍 뚫린 원형분기관, 슬롯으로 된 원형분기관, 구멍 뚫린 장방형분기관, 슬롯으로 된 장방형분기관 네 가지의 종류가 있다. (Fig. 13) 풀후드는 푸쉬측에서 불어주는 공기를 받아주기만 하면 되므로 측방형후드 설계의 한쪽면에 설치한 후드와 설계과정이 동일하다. (Fig. 14) 푸쉬-풀후드의 계산결과는 푸쉬측과 풀측이 각각 독립된 화면에서 설계를 하였기 때문에 푸쉬측과 풀측에서 계산된 설계 결과값들을 하나로 모아서 보여준다(Fig. 15).

4. 결론 및 활용방안

본 연구에서는 전체환기시스템, 캐노피 후드, 개방조 후드의 설계를 보다 용이하고 정확하게 할 수 있도록 설계과정을 전산화시켜 C-VENT라는 소프트웨어를 개발했다. DOS용보다는 WINDOWS용 소프트웨어를 개발함으로써 사용자 하여금 보다 손쉽게 설계할 수 있도록 하였으며, 설계과정의 각 단계, 각 과정마다 가능한 상세한 도움말을 수록하여 사용자 매뉴얼을 보지 않고서도 사용할 수 있을 정도의 편리한 소프트웨어를 만들려고 노력하였다.

그러나, 모든 소프트웨어가 그렇듯이 아무리 쉬운 소프트웨어라도 처음 사용할 때에는 어느 정도의 시행착오를 거쳐야만 익숙하게 사용할 수 있다. 더욱이 복잡한 설계계산을 해주는 C-VENT같은 소프트웨어는 설계과정에 대한 사전의 기초지식이 없이는 사용하는데 상당한 어려움이 따를 것으로 판단되므로, IV 매뉴얼에 제시되어 있는 설계과정에 먼저 익숙해질 필요가 있

다.

C-VENT로 설계할 수 있는 전체환기시스템, 캐노피 후드, 개방조 후드 중에서 전체환기시스템만 이 소프트웨어로서 설계를 완성할 수 있을 뿐이다. 왜냐하면 전체환기시스템은 그 자체가 하나의 시스템이지만 캐노피후드와 개방조 후드는 후드, 덕트, 공기청정기, 송풍기로 연결되는 전체시스템의 일부일 뿐이기 때문이다. 따라서 C-VENT로 캐노피후드와 개방조후드의 설계를 끝낸 후, 그 설계결과를 이용하여 산업환기시스템 전체를 다시 설계하여야 한다. 국소배기시스템을 설계하는 방법으로는 단순한 수계산에 의한 방법, 계산쉬트를 이용한 수계산법, Excel과 같은 스프레드시트 프로그램을 이용하는 방법, 기존의 소프트웨어를 이용하는 방법 등이 있을 수 있다. 가장 진보된 설계방법인 소프트웨어 이용방법으로는 미국의 DSB2, HEAVENT, 한국산업안전공단의 VPMC가 있다. 미국의 산업환기시스템 설계 소프트웨어는

단위체계와 덕트크기체계가 우리 나라와 근본적으로 다르기 때문에 쉽게 사용할 수 없는 반면에 최근 들어 개발된 VPMC는 MKS단위체계를 채용하고 있고 덕트크기체계도 우리 나라 실정에 맞도록 만들어졌기 때문에 C-VENT의 계산결과를 쉽게 이용할 수 있다.

C-VENT를 만들면서 아쉬웠던 것은 설계절차와 각각의 설계과정에 필요한 기초 자료를 전부 미국의 IV매뉴얼에서 인용해 올 수밖에 없었다는 점이다. 또한 IV매뉴얼에 수록되어 있지 않으면서 우리 나라에서만 사용하고 있는 특수한 공정도 있을 수 있기 때문에 이러한 공정에 대한 우리 나라 고유의 설계자료를 마련하는 것이 시급하다. 이러한 점들을 고려해 볼 때, 앞으로 우리나라 산업환기공학 분야 종사자들은 IV매뉴얼에 수록되어 있는 설계자료들을 적용해 보고 그 때의 문제점을 상호 교환한 후에, 보다 적합한 우리나라 고유의 설계자료를 만들어 나가야 할 것으로 사료된다.

푸쉬-풀 후드 최종 계산 결과

---

**개방조**  
 공정: Surface Treatment - Anodizing Aluminum in Sulfuric Acid  
 크기 폭: 7[m]    깊이: 1.3 [m]    -- 유해등급 [B-1]--

**푸쉬후드 계산 결과**  
 푸쉬노즐의 형태: 구멍 둘린 원형 분기관 (Circular manifold with Holes)  
 분기관: 직경 20 mm · 구멍 4 mm · 간격 12 mm  
 분기관 구멍의 개수: 110개  
 조내벽에서 분기관 끝의 노즐구멍까지의 거리: 20mm 내부에 위치  
 푸쉬 노즐의 총유량 = 0.04 [m<sup>3</sup>/sec] = 2.40 [m<sup>3</sup>/min]  
 푸쉬 노즐 분기관의 정압손실 = 43.19 mmAq

**흡후드 계산 결과**  
 흡입구의 개수: 1  
 흡입 각도: 90도  
 덕트 형태: 원형  
 덕트 반출 속도 = 18. [m/sec]  
 슬롯 유입 속도 = 18.18 [m/sec]  
 후드 총유량 = 0.40[m<sup>3</sup>/sec] = 24.00 [m<sup>3</sup>/min]  
 슬롯: 가로[L] 1,000.0 mm × 폭[W] 26.2 mm  
 중앙용풍조정실의 깊이[Pitenum depth]: 52 mm  
 덕트 직경: 245 mm  
 실재 덕트의 속도 = 18.18 m/sec  
 후드 정압 = 19.17 mmAq

이전화면[←]

인쇄[Print]

파일로 인쇄[F]

Fig.15. Final screen of Push-Pull Hood Design.

참 고 문 헌

- 김오식,1993, 산업환기공학, 신광문화사
- 산업안전공단,1995, VPMC 매뉴얼
- 윤명조,1993, 국소환기설계의 전산화에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 제3권, 제2호, pp. 213-226
- 이승일 외 5인,1994, 공장배기가스, 동화기술
- 작업환경측정기술협의회,1995, 작업환경개선에 따른 산업환기 매뉴얼
- 조석호,1995, 산업환기공학, 동화기술
- ACGIH,1995, Industrial Ventilation - A Manual of Recommended Practice - 22nd Edition
- ASHRAE,1993, ASHRAE Handbook - Fundamentals
- Burgess W.A. et. al.,1989, Ventilation for Control of the Work Environment, Wiley Interscience
- Burton D.J.,1995, Industrial Ventilation Workbook
- Clapp, D.E., D.J. Groh, and C.M. Nenadic, 1982, "Ventilation Design by Microcomputer,"American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 43, No. 3, pp. 212-217
- Goodfellow H.D.,1985, Advanced Design of Ventilation Systems for Contaminant Control,Elsevier
- Guffey, S.E.,1994, "HeaVent 설명서"
- Koshland, C.P. and M.G. Yost,1987, "Use of a Spreadsheet in the Design of an Industrial Ventilation System," Applied Industrial Hygiene Journal, Vol. 2, No. 5, pp. 204-212
- Loeffler, J.J.,1993, "DSB2 설명서"
- McDermott H.J.,1976, Handbook of Ventilation for Contaminant Control, Ann Arbor Science
- Rennix, C.P.,1987, "Computer-Assisted Ventilation Design and Evaluation," Applied Industrial Hygiene Journal, Vol. 2, No. 1, pp. 32-35
- Shottwell, H.P.,1984, "A Ventilation Design Program for Hand-Held Programmable Computers," American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 45, No. 11, pp. 749-751