

휘발성 유기화합물의 배출량 산정 및 관리 소프트웨어 개발

박 현 수 · 이 선 우 · 김 화 용 · 이 종 협*

(주)티오이십일,

*서울대학교 응용화학부

(2003년 3월 14일 접수, 2003년 4월 30일 채택)

A Study on Process Integrated Innovation System for a LNG Industry

Hyeonsoo Park · Sunwoo Lee · Hwayong Kim and Jonghyeop Yi*

To21 Co. Ltd.

*Dept. of Chemical Engineering Seoul National University

(Received 14 March 2003 ; Accepted 30 April 2003)

요 약

본 연구에서는 국내 휘발성 유기화합물질의 주요 취급시설에 대한 조사를 통하여 배출원별 배출메카니즘을 정립하고, 새로운 배출량산정모델을 제안하였다. 또한 각 배출원에 적용가능한 배출저감기술과 각 기술의 경제성 평가방법을 제안하였다. 여기에 배출원 DB, 화학물질물성치 DB, 기상정보 DB, 배출계수 DB 등의 정보를 연계하여 휘발성유기화합물질 배출량산정 및 관리 소프트웨어 VEER(VOCs Emission Estimation and Reduction)를 개발하였다. 결국 본 연구를 통해 개발된 VEER를 이용하여, 휘발성 유기화합물질 취급업체, 관리기관, 연구기관 등에서 쉽고 정확하게 배출원 인벤토리를 구축하고, 배출량을 산정하며, 계산된 결과를 바탕으로 각 배출원의 배출유량과 농도에 적합한 휘발성 유기화합물질 배출 저감기술을 선택하고, 여러 저감기술들에 대한 경제성을 평가함으로써, 저비용의 배출량 저감 및 배출원 관리기술을 선택하고, 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract This paper presents new emission mechanism and emission estimation model in volatile organic compounds(VOCs) emission sources. Also classifies applicable emission reduction techniques and presents new economical evaluation method for each techniques. We ultimately developed VEER(VOCs Emission Estimation and Reduction) software, which is backed by above mentioned model, emission source DB, Chemical properties DB, meteorological DB, and emission factor DB. With VEER, users in enterprise, central government and local self-governing body can get reliable emission results easily, and choose suitable emission reduction techniques.

Key words : Volatile Organic Compound(VOC), Emission Factor, Emission Estimation, Emission Control, Leak Detection and Repair(LDAR)

1. 서 론

휘발성 유기화합물질(volatile organic compounds; VOCs)은 상온, 상압에서 기체상태로 존재할 수

있는 모든 유기물질을 통칭하는 의미로 사용되고 있고, 최근 여러 가지 용도로 사용이 확대되어 배출량이 증가하고 있다[1]. 특히, 석유정제 및 석유화학업종에서는 휘발성 유기화합물

질이 포함된 원료와 제품을 대규모로 취급하고 있어 배출원 관리가 시급한 실정이다. 이러한 휘발성 유기화합물질은 건강에 직접적으로 유해한 영향을 미치거나 대기 중에 배출된 후 여러 가지 화학반응을 통해 유해한 물질을 생성시키고 있기 때문에 그 배출량을 감소시키려는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

휘발성 유기화합물질의 배출원 관리를 위해서는, 배출시설내에 존재하는 배출원을 조사하고, 각 배출원에서 배출되는 화학물질의 종류와 양을 정확히 파악하여야 한다. 휘발성 유기화합물질의 배출원의 종류가 다양할 뿐만 아니라, 쉽게 증발하여 배출되기 때문에 배출량 측정이 어려워 신뢰도 있는 배출량을 산정하지 못하고 있는 실정이다.

환경부의 환경기술개발사업 중 공공기반기술개발사업으로 진행된 "휘발성 유기화합물질 누출제어 방안" 연구에서는 비산배출원, 저장시설, 대기오염방지시설, 폐수처리시설, 출하시설 등 다양한 배출원[2]에서 발생하는 휘발성 유기화합물질 배출메카니즘을 파악하고, 이를 토대로 신뢰도 있는 배출량산정모델을 개발하였으며, 이를 국내의 배출시설들에 적용하여 그 정확성을 검증하였다. 특히, 석유정제 및 석유화학공정에서 발생하는 휘발성 유기화합물질 배출량 중 약 50%를 차지하는 비산배출원에 대해 실험실 스케일의 실험과 현장조사를 통하여 배출계수를 측정하였다. 또한 측정자료를 이용하여 배출장치의 종류, 취급 화학물질의 종류, 운전압력, 배출농도에 관한 상관관계식을 개발하였고, 기존의 EPA(United State Environmental Protection Agency)에서 개발된 배출계수[3]에 비해 정확도가 향상된 것을 확인하였다.

이와 같이 개발된 모델을 기초로, 배출원의 데이터베이스, 화학물질의 물성치 데이터베이스, 기상정보 데이터베이스, 배출계수 데이터베이스 등의 정보를 지원받는 휘발성 유기화합물질 배출량 산정 및 관리 소프트웨어 VEER(VOCs Emission Estimation and Reduction)를 개발하였다.

VEER 소프트웨어를 이용하면, 기업은 신뢰도 있는 배출량 정보를 확보하여, 원료 및 제품의 손실원을 파악할 수 있다. 이를 토대로 증점관리 배출원을 선정하여 관리함으로써, 작업장 안전을 증진시킬 수 있으며, 특히, 관리가 어려운 비산배출원 관리를 용이하게 수행할 수

있으리라고 판단된다. 또한 정부 및 지자체에서는 신뢰도 있는 배출량 자료를 확보하고 이를 분석함으로써, 위험관리지역을 확인하고, 휘발성 유기화합물질의 배출경로를 확인, 포괄적인 관리를 수행할 수 있으며, 나아가 국민의 알권리를 충족시키고, 기업의 자발적인 배출량 감소를 유도할 수 있으리라고 판단된다.

2. 본 론

휘발성 유기화합물질의 취급시설에서 배출량산정모델을 이용하여 각 시설별 배출량을 산정하는데는 시설이 위치한 지역의 기상정보, 취급하는 화학물질의 물성치 정보 등 다양한 정보를 필요로 한다. 또한 국내외의 석유정제 및 석유화학공정 플랜트들은 대규모의 설비로 운전되고 있어서 한 개의 플랜트내에도 수많은 배출원이 존재하게 된다. 수많은 배출원에 대해서 다양한 정보를 수집하여 배출모델의 수식들에 입력하여 배출량을 구하는 작업은 많은 인력과 시간이 소모될 수 있기 때문에, 배출량산정모델을 소프트웨어화하고, 배출량 산정에 필요한 정보들을 데이터베이스화하여 이용하는 것이 쉽고 정확하게 배출량 정보를 얻을 수 있는 방법이다.

VEER는 그림 1과 같이 전체적인 구성은 각 공정의 시설정보와 각 공정의 배출량 산정모델, 배출량 산정에 필요한 자료를 제공하는 각종 데이터베이스, 각 배출원 관리시스템으로 구분할 수 있다. VEER에 포함되어 있는 배출원은 크게 저장탱크, 비산배출원, 대기오염방지시설, 폐수처리시설, 출하시설, 그리고 기타공정으로 구성되어 있다. 이들 배출원에서의 배출량을 산정할 수 있는 배출량 산정엔진은 "휘발성 유기화합물질 누출제어방안 연구"의 성과물로 개발된 공정별 배출량 산정모델을 적용하였다. 또한 VEER에는 휘발성 유기화합물질 배출원에 대한 정보를 입력력할 수 있는 배출원 데이터베이스, 전국 주요지역의 온도, 기압, 일조량, 풍속 등의 정보를 제공하는 기상정보 데이터베이스, 휘발성 유기화합물질을 포함한 약 2,100가지의 물질에 대한 분자량, 용해도, 증기압 상수, 미생물반응속도상수 등 약 30여 가지의 물질특성 정보를 제공하는 화학물질 물성치 데이터베이스, 비산배출원의 각 장치 등 주요 장치별 배출계수 정보를 제공하는 배출계수 데이터베이스 등이 포함되어 있다.

휘발성유기화합물 배출량 산정 및 관리 소프트웨어

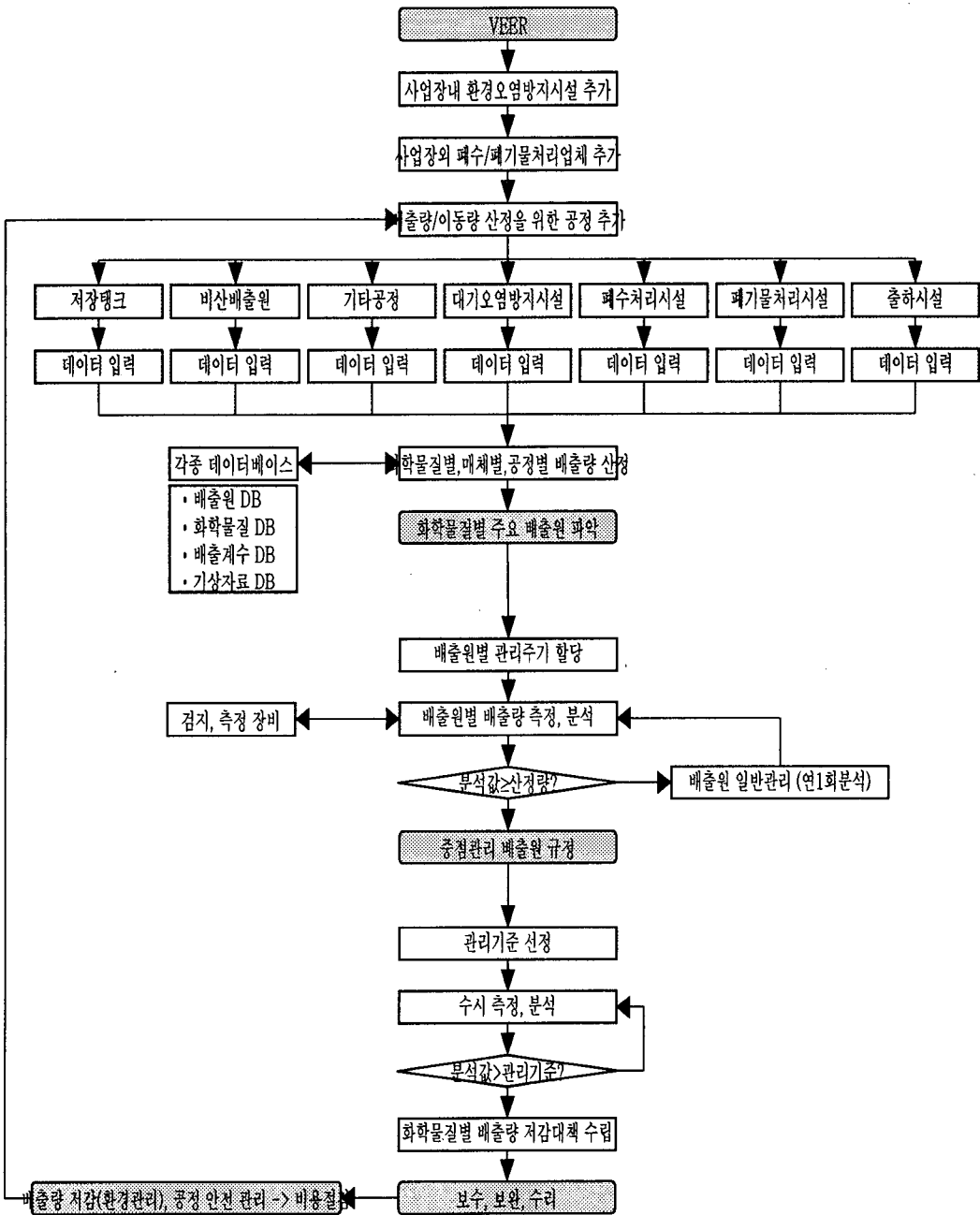


그림 1. VEER의 개요도.

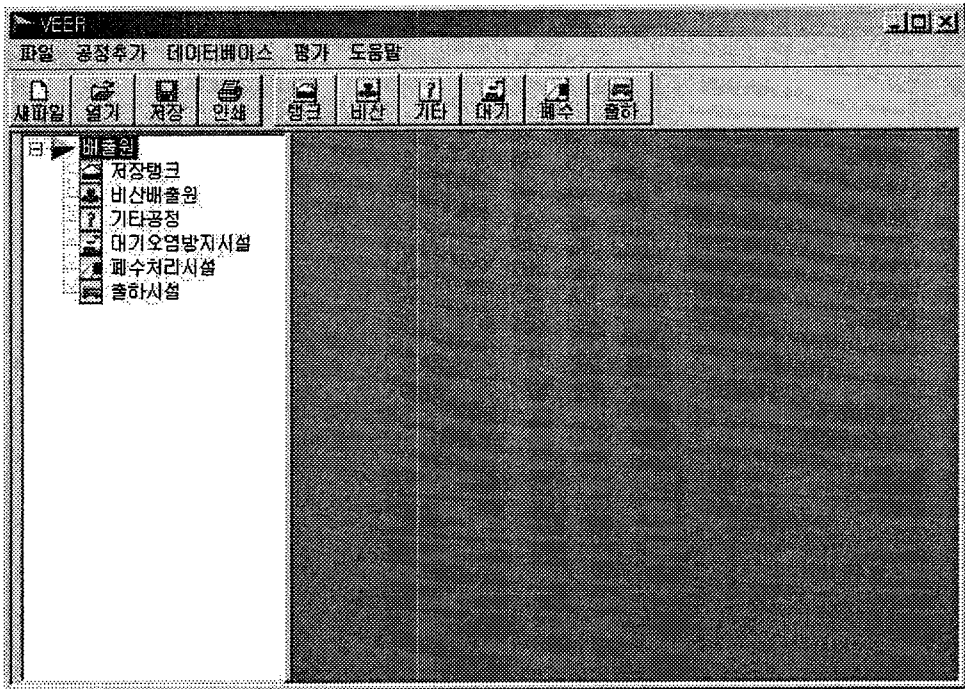


그림 2. VEER의 초기화면.

그림 2는 VEER의 초기화면이므로 화면상부에는 메뉴항목이 있으며, 하부의 창은 두 부분으로 나뉘어, 화면 좌측에는 공정으로부터 오염물질이 배출되는 각 배출원을 나열되어 있고, 화면 우측에는 각 배출원별 데이터를 입력받기 위한 곳으로 나뉘어져 있다. 파일메뉴는 프로그램의 일반적인 항목으로 새파일, 열기, 다른 이름으로 저장, 종료로 구성되어 있다. 공정추가 메뉴는 사업장의 배출량을 산정하기 위한 공정추가메뉴로 저장탱크, 비산배출원, 기타공정, 출하시설로 구성되어 있다. 데이터베이스 메뉴는 각 공정으로부터의 배출량 산정에 필요한 여러 가지 데이터베이스를 추가, 편집하기 위한 메뉴로 혼합물 DB, 환경오염방지시설 DB, 사업장의 처리업체 DB로 구성되어 있다. 사용자가 '공정추가' 및 '데이터베이스' 메뉴를 통해 저장탱크, 비산배출원, 기타공정, 대기오염방지시설, 폐수처리시설, 출하시설 등의 배출원을 추가하면 각 공정으로부터의 배출량 및 이동량을 산정하는데 필요한 입력데이터 테이블이 나타난다. 프로그램이 요구하는 입력값들을 모두 입력하면 각 공정으로부터의 배출량이

자동으로 산정된다. 보기 메뉴는 산정된 결과를 정리하는 항목으로 화학물질별, 매체별, 단위공정별 화학물질의 배출량 분포를 알 수 있다. 이 데이터는 추후 사업장의 배출원 관리방안을 마련하는데 중요한 자료가 된다. 평가 메뉴는 계산된 배출량 정보를 이용하여, 적절한 배출저감기술을 선택하고, 선택된 배출저감기술의 경제성을 평가할 수 있는 기능으로 구성되어 있다. 보고서 메뉴는 계산된 데이터를 정리하는 항목으로 업체정보, 배출량정보, 이동량정보로 구성되어 있으며, 도움말 메뉴는 도움말 및 소프트웨어 기본 보로 구성되어 있다.

시스템의 전체구조는 메인프로그램, 배출원 데이터베이스, 화학물질 데이터베이스, 배출계수 데이터베이스, 기상자료 데이터베이스, 비산배출량 측정장치, 대기 및 스택배출량 측정장치, 폐수 및 폐기물분석장치의 8가지 성분들로 구성되어 있다.

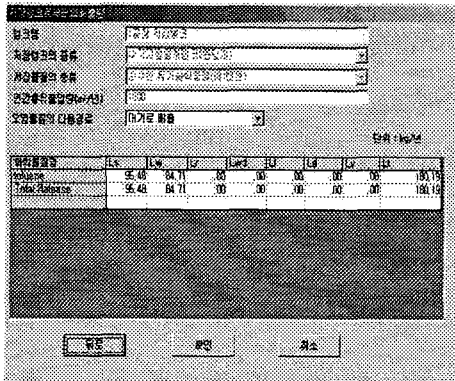
사용자가 배출원에 대한 정보, 취급하는 화학물질에 대한 정보, 위치에 대한 정보, 운전조건에 대한 정보를 인터페이스를 통하여 입력하면 메인프로그램은 정보를 배출원 DB, 화학물

질 DB, 배출계수 DB, 기상자료 DB에 저장하고, 필요한 정보를 호출한다. 여기에 측정장치로부터 제공되는 측정값들이 주기적으로 메인 프로그램에 입력되면, 메인프로그램은 이상의 정보들을 종합하여 각 배출원별 화학물질배출량을 산출한다. 또한 메인프로그램은 각 배출원의 배출량 특성을 분석하여, 장치수리, 운전조건변경 등의 배출원 관리명령을 제공하게 된다.

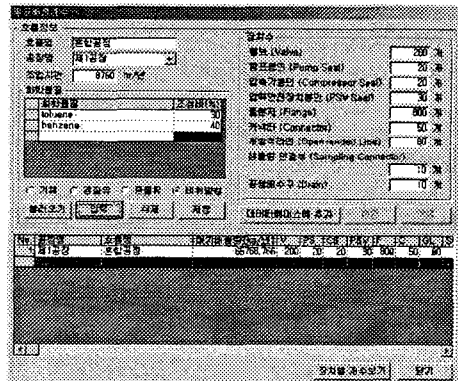
석유정제 및 석유화학공정 등 휘발성 유기화합물질을 취급하는 사업장에서의 배출량 산정방법은 다음 순서로 진행되게 된다. 먼저, 휘발성 유기화합물질 취급량 조사를 통해 관리대상 휘발성 유기화합물질과 화학물질질을 취급하는 배출원을 파악한다. 데이터베이스 메뉴의 환경오염

방지시설과 사업장의 처리업체 항목 및 공정추가 메뉴를 이용하여 파악된 각 배출원을 추가하면, 화면 좌하쪽 창의 배출원 항목별로 세부적인 배출원명이 추가된다. 각 배출원별로 배출량 및 이동량을 산정하는데 필요한 데이터를 입력한다.

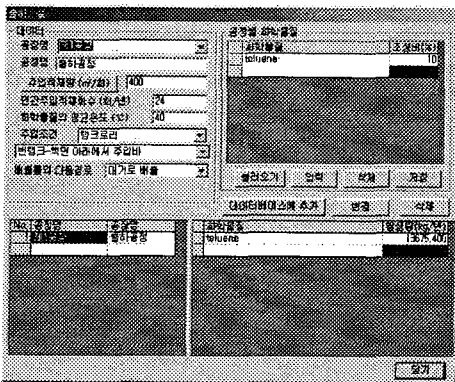
그림 3은 각 공정별 배출량을 산정하는데 입력해야 할 데이터입력창 중의 일부를 보여준다. 이러한 방법으로 각 배출원으로부터의 배출량 및 이동량을 산정한 후 보고서 메뉴를 이용하여 배출량 정보에 대한 데이터를 정리한다. 또한 보기 메뉴를 이용하여 화학물질별, 매체별, 단위공정별 화학물질의 분포를 확인하여 주요 배출원을 파악하고, 화학물질 관리방안을 마련한다.



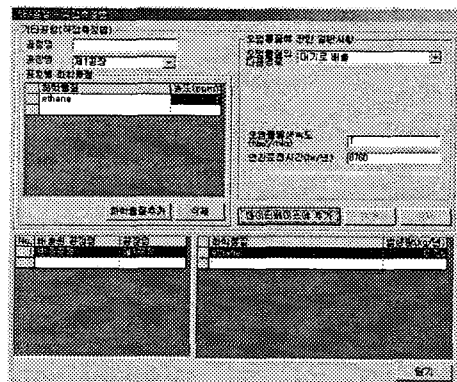
a) 저장시설



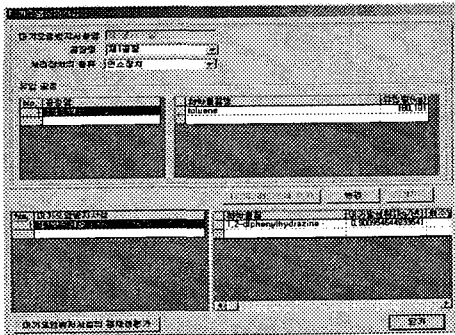
b) 비산배출원



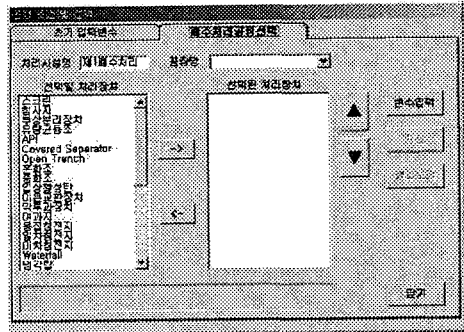
c) 출하시설



d) 기타시설



e) 대기오염방지시설



e) 폐수처리시설

그림 3. 배출원별 배출량 산정.

VEER 소프트웨어에는 배출량 산정모듈을 통해 발생하는 휘발성 유기화합물질의 종류, 조성, 농도, 유량 등이 파악되면, 적절한 배출량저감기술을 선택하고 각 기술들의 경제성을 평가할 수 있는 기능이 포함되어 있다. 그림 4와 같이 비산배출원 관리시스템으로 제안되는 LDAR

(Leak Detection and Repair) 시스템과 대기오염방지시설에 적용될 수 있는 Carbon adsorber, Condenser, Flare, Incinerator 등에 대한 경제성 평가를 진행하여 그 결과값을 활용함으로써 적절한 휘발성 유기화합물질 저감 기술들을 선택하고 설계할 수 있다.

LDAR 비용 평가

비산배출원 개수: 11개원

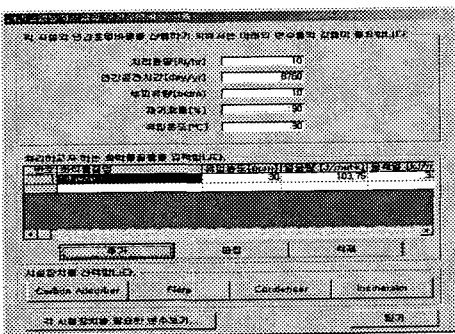
비산배출원 측정주기: 1개월

구분	내용	수량	단위	단가 [원]	금액 [원]	
직접비용	장치구입비	LDAR SAW 구입			10,000,000	10,000,000
		컴퓨터 및 주변기기 구입	1	Set	5,000,000	5,000,000
		유대용접자기 구입	1	Set	15,000,000	15,000,000
		마스크 구입	1220		1,000	1,220,000
간접비용	Installation	인센트리 작정/사이드 설치			2,000	2,440,000
		비산배출원 측정			1,000	14,640,000
총계					48,300,000	

→ 단, 장치보수비 제외

LDAR비용 평가: 48,300,000 원

a) LDAR 시스템의 경제성 평가



b) 대기오염방지시설의 선택

경제성 평가 결과

최소배출원 개수: 11개원

비산배출원 측정주기: 1개월

구분	내용	수량	단위	단가 [원]	금액 [원]	
직접비용	장치구입비	LDAR SAW 구입			10,000,000	10,000,000
		컴퓨터 및 주변기기 구입	1	Set	5,000,000	5,000,000
		유대용접자기 구입	1	Set	15,000,000	15,000,000
		마스크 구입	1220		1,000	1,220,000
간접비용	Installation	인센트리 작정/사이드 설치			2,000	2,440,000
		비산배출원 측정			1,000	14,640,000
총계					48,300,000	

→ 단, 장치보수비 제외

LDAR비용 평가: 48,300,000 원

c) 대기오염방지시설의 경제성 평가

그림 4. 배출량 저감기술의 경제성 평가.

3. 결 론

현재까지 국내 휘발성 유기화합물질 취급업체의 배출원 관리 및 배출량 저감 활동은 점오염원을 중심으로 이루어지고 있다. 그러나, 2000년 석유정제업과 화학업종을 대상으로 실시한 화학물질 배출량 조사결과[4]에 의하면 비산배출원에서 발생한 오염물질의 배출량은 점오염원으로부터 발생하는 양과 비슷한 수준에 이르고 있으며, 이에 따라 새로운 관점에서의 관리대책이 필요하다는 것을 알 수 있다. VEER에는 이러한 비산배출원에 대한 국내의 배출계수, 배출모델, LDAR 등 배출원 관리기술에 대한 정보를 제공하여, 비산배출원 관리에 대한 기술적 지원과 정보를 제공한다. 취급업체, 관리기관, 연구기관 등 많은 기관에서 본 연구를 통해 개발된 휘발성 유기화합물질 배출량 산정 및 관리소프트웨어(VEER)를 이용하여, 쉽고 정확하게 배출원 인벤토리를 구축하고, 배출량을 산정하며, 계산된 결과를 바탕으로 각 배출원의 배출유량과 농도에 적합한

휘발성 유기화합물질 배출 저감기술을 선택하고, 여러 저감기술들에 대한 경제성을 평가함으로써, 저비용의 배출량 저감 및 배출원 관리기술을 선택하고, 설계할 수 있을 것으로 판단된다. 끝으로, 위에서 소개한 기술과 소프트웨어의 개발을 지원해 준 환경부에 감사들 드리며, 휘발성 유기화합물질에 대한 과학적인 관리를 위하여 개발된 기술과 소프트웨어를 폭넓게 활용되기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. Policy and Guidance Report Regulation of VOC Emissions from Commercial Plant under the Clean Air Act, USEPA, 1998.
2. Atmospheric Emission Inventory Guidebook, EMEP/CORINAIR, 1998.
3. Fugitive Hydrocarbon Emissions from Oil and Gas Production perations, API 4598, 1993.
4. 2000년 화학물질배출량조사 결과, 환경부, 2002.