

## 유해화학물질 관련 대기오염사고 대응을 위한 화학물질사고대응정보시스템 (CARIS)

김철희 · 박철진 · 박진호 · 임차순 · 김민섭 · 박춘화 · 천광수 · 나진균

국립환경연구원 화학물질안전관리센터

(2003년 1월 23일 접수, 2003년 2월 19일 승인)

### Chemical Accidents Response Information System(CARIS) for the Response of Atmospheric Dispersion Accidents in association with Hazardous Chemicals

C.-H. Kim · C.-J. Park · J.-H. Park · C.-S. Im · M.-S. Kim · C.-H. Park · K.-S. Chun · J.-G. NA

National Institute of Environmental Research, Center for Chemical Safety Management

(Manuscript received 23 January 2003; accepted 19 February 2003)

### Abstract

The emergency response modeling system CARIS has been developed at CCSM (Center for Chemical Safety Management), NIER (National Institute of Environmental Research) to track and predict dispersion of hazardous chemicals for the environmental decision support in case of accidents at chemical or petroleum companies in Korea. The main objective of CARIS is to support making decision by rapidly providing the key information on the efficient emergency response of hazardous chemical accidents for effective approaches to risk management.

In particular, the integrated modeling system in CARIS consisting of a real-time numerical weather forecasting model and air pollution dispersion model is supplemented for the diffusion forecasts of hazardous chemicals, covering a wide range of scales and applications for atmospheric information.

In this paper, we introduced the overview of components of CARIS and described the operational modeling system and its configurations of coupling/integration in CARIS. Some examples of the operational modeling system is presented and discussed for the real-time risk assessments of hazardous chemicals.

Key words : Chemical Accident Response Information System(CARIS), Operational modeling system, Hazardous chemicals

## I. 서론

최근 급속한 산업발달에 따라 국내의 화학물질의 유통량은 계속 급증하고 있다. 다양한 형태의 화학물질은 우리의 일상 생활 또는 산업 활동에 있어 필수 불가결한 것임에는 틀림이 없으나 이 중 상당수는 관리를 소홀히 할 경우 극심한 환경 오염을 일으킨다. 유해화학물질의 누출로 인한 사고의 특징은 경우에 따라 대형 화재 폭발이 동반되는 것이 보통이며 최근에는 유해화학물질을 이용한 화학테러에 대한 사회적 우려도 가중되고 있다. 환경부 발표 자료에 따르면 국내 고정시설물 혹은 운송사고가 매년 약 평균 50여 건으로 집계되고 있으며(환경부, 2001) 국제적으로는 훨씬 치명적인 사고사례가 많이 보고되고 있다. 특히 인도 보팔의 1984년 메틸이소시아네이트(Methyl Isocyanate) 누출 사고는 약 8,000여명이 사망하는 등 유해화학물질로 인한 대표적인 재앙으로 손꼽힌다.

국내에서는 유해화학물질 사고가 아직 중요한 한 유형으로 취급되지 않고 있으며 관련 법령 또한 예방 위주로 구성되어 있어 국가차원의 사고대응 정보 및 조직의 체계화가 매우 시급한 것으로 지적되고 있다. 외국에서는 유해화학물질 사고 대비를 위한 체계적 관리가 정부 주도 하에 매우 활성화되어 있고 사고시 대응·방호정보를 24시간 제공하는 방제센터가 많이 운영되고 있다(Annika et al., 2001; Brandt et al., 2001, Fay et al., 1995; Glaab et al., 1998). 또 OECD에서도 유해화학물질 관리를 지속적으로 강화하고 있으며 회원국들에게 일정 수준 이상의 화학물질 사고대응 능력을 갖추도록 요구하고 있다. 이러한 국제 사회의 움직임은 국내에도 소극적인 예방위주의 대응에서 벗어나 체계적 대응시스템의 운영을 통한 적극적이고 능동적인 사고대응체계가 필요한 시기임을 의미한다.

이러한 맥락에서 최근 환경부에서는 국립환경

연구원에 화학물질안전관리센터(Center for Chemical Safety Management : CCSM)를 설립하여 화학공단을 중심으로 실시간 화학물질사고대응정보시스템(Cheical Accident Response Information System: CARIS)을 구축하여 유해화학물질의 관리를 보다 체계적이고 과학적인 방법으로 운영하려는 시도를 하고 있다(국립환경연구원, 2002).

CARIS는 평상시에는 화학공단을 중심으로 대기환경을 실시간으로 감시·통제하는 종합관리체제로서의 기능을 하며 사고 시 주민 및 주변환경의 피해예측 프로그램을 통해 도출한 대응정보들을 대응 기관인 환경, 경찰, 소방관련기관 등의 초동대응기관에 실시간으로 제공한다(환경부, 2002). 즉 기상 및 대기확산모델을 결합한 실시간 예측 모델링 시스템을 통해 유해화학물질의 확산 및 이동상황을 미래까지 파악할 수 있으며 전문적인 방호·방제장비 및 제반 대응 정보를 전문 대응조직에게 신속히 제공함으로써 사고대응정보의 체계화를 구축하였다.

본 연구에서는 국립환경연구원의 CCSM에서 구축한 CARIS의 모델링 시스템을 포함한 응용 프로그램 및 사고대응과 관련한 데이터베이스 등을 소개하고 CARIS의 대기환경분야에서의 활용 방안을 토의하고자 한다.

## II. 국내·외 비상 대응 시스템 운영

외국의 경우 비상 대응을 위한 방제 시스템의 연구는 국내에 비해 매우 활발하다. 그 운영은 주로 정부가 주도하는 경우가 많으며 특히 미국은 EPA 주도아래 NRC(National Response Center)를 운영하고 있으며 미국 화학공업협회는 CHEMTREC(Cheical Transportation Emergency Center)을 통해 사고시 초동대응자들에게 24시간 비상 대응 지원을 하며 체계적인 비상대응 교육 프로그램도 개발, 운영하고 있다. 캐나다도 CANUSEC

(Canadian Transport Emergency Center), SAC (Spill Action Center) 등 주 정부 혹은 지역 공기관 주도하에 많이 이루어지고 있다.

일본에서도 중앙정부에서 각 부처별로 국가적 차원에서의 대응 계획을 준비하여 만일의 사태를 대비하고 있으며 정부조직인 후생성, 환경청과 민간 주도하의 제품평가기술기반기구(독립행정법인) 내의 화학물질관리센터(Chemical Management Center)가 유해화학물질 사고대응의 효율을 높이고 있다.

국내에서는 비상 대응 정보 시스템으로서 방사능 사고의 경우를 대비한 CARE (Computerized Technical Advisory System for the Radiological Emergency), 공단 내의 비상대응을 위한 IRMS (Industrial Response Management System) 등이 있으나 화학물질에 대한 대응책은 매우 미진한 상태이다. 따라서 유해화학물질로 인한 사고 시 체계적이고 기술적인 대응을 위한 정보시스템이 필요성을 인식하여 국립환경연구원 CCSM의

CARIS의 구축 및 운영은 매우 시기적절하다고 판단된다.

### III. CARIS의 목적 및 활용

CARIS는 이미 발생하였거나 발생할 개연성이 있는 유해화학물질누출사고에서 해당 물질의 물리 화학적 특성을 파악하고 이를 토대로 체계적인 대응 정보를 과학적으로 제공하도록 구축되었다. 또 사고의 유형별 시나리오를 구축하여 사고 발생시 과학적인 대응을 위한 정보 제공을 최우선 목표로 하고 있다. 나아가 유해 물질의 중, 장거리 이동에 대한 가능성을 고려하여 유해화학물질의 확산방향과 확산범위를 신속하고 정확하게 예측하여 잠재적 위험에 노출된 지역의 사람을 안전지대로 안전하게 대피시킬 수 있는 방안을 마련하기 위한 정보를 제공할 수 있다(Figure 1).

유해화학물질에 대한 물리화학적 대응 정보를 위해서는 우리나라에 잠재적으로 유해 가능성이

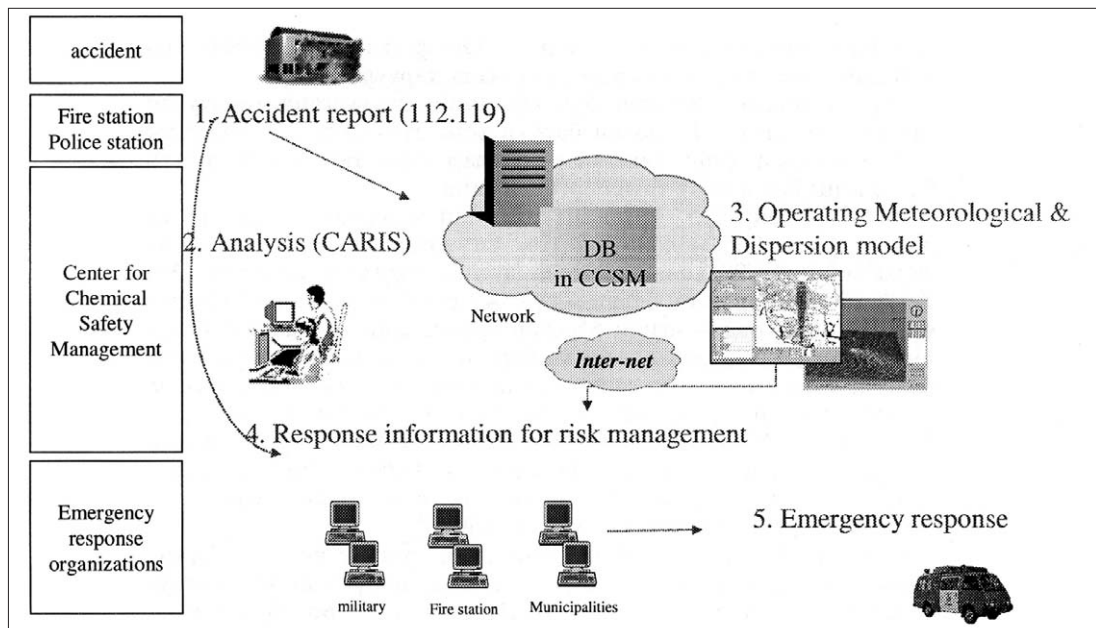


Figure 1. Sketch of CARIS as a tool for the response of hazardous chemicals.

Table 1. The preselected hazardous chemicals for the risk management.

	Name of hazardous Chemicals	CAS number
1	Acrolein	107-02-8
2	Amiton	3734-97-2
3	Ammonia	7664-41-7
4	Ammonium bifluoride	1341-49-7
5	Arsenic trichloride	7784-34-1
6	Bromine	7726-95-6
7	Chlorine	7782-50-5
8	Chloropicrin	76-06-02
9	Cyanogens chloride	506-77-4
10	Ethylene oxide	75-21-8
11	Hydrochloric acid	7647-01-0
12	Hydrogen cyanide	74-90-8
13	Hydrogen fluoride	7664-39-3
14	Hydrogen selenide	7783-7-05
15	Mechlorethamine	51-75-2
16	Methyl bromide	74-83-9
17	Methyl chloride	74-87-3
18	Methyl ethyl ketone	78-93-3
19	Methyl isocyanate	624-83-9
20	Mustard	505-60-2
21	Paraquat	4685-14-7
22	Phosgene	75-44-5
23	Phosphine	7803-51-2
24	Phosphorus oxychloride	10025-87-3
25	Phosphorus pentachloride	10026-13-8
26	Phosphorus pentasulfide	1314-80-3
27	Phosphorus trichloride	7719-12-2
28	Potassium cyanide	151-50-8
29	Potassium fluoride	7789-23-3
30	Sarine	107-44-8
31	Sodium cyanide	143-33-9
32	Sodium fluoride	7681-49-4
33	Sulfur monochloride	10025-67-9
34	Sulfuric acid	7664-93-9
35	Thionyl chloride	7719-09-07
36	Toluene	108-88-3
37	2-chloroethanol	107-07-3
38	2-chloroethyldiethyl ammonium chloride	869-24-9

있는 물질을 현재 국내 유통량을 토대로 선정(현재 포스겐 포함 38종 선정)하여(Table 1), 선정된 유해화학물질의 물리적, 화학적 정보와 그 대처

방법을 사고 현장에 전달할 수 있도록 하였다. 또 유해화학물질의 확산 범위 예측을 위해서는 실시간 기상 모델을 상시 운영하면서 사고시 대기 확산 모델을 수행하여 현재 및 미래의 오염 확산도를 산출하여 현장에서 대응기관진입로, 주민 대피방향 등을 결정하는데 활용할 수 있도록 기상 및 대기확산 모델이 연계되어 있다.

이러한 기상 및 대기 확산 모델의 결합된 시스템의 활용은 특히 유럽을 중심으로 매우 활발하였으며(Sharma and Khare, 2000, 2001; Vautard et al., 2001) 초고속 컴퓨터의 발달과 함께 그 활용도는 더욱 가속되고 있다. 특히 실시간 기상 모델은 지금까지 슈퍼컴퓨터만이 유일한 대안으로 간주되었으나 최근의 병렬 처리 기법을 이용한 컴퓨터가 상용화되어 계산 용량의 한계 등의 기술적 문제를 많이 극복하여 고해상도 바람장 모델의 상시 운영이 가능하게 되었으며 이에 따라 병렬 처리 Cluster 환경에서 지역 및 국지 규모 대기-환경 예측 모델을 초고속으로 모의하여 그 결과를 실시간으로 제공 할 수 있도록 CARIS가 구축되었다.

#### IV. CARIS 응용프로그램의 구성

CARIS의 응용 프로그램의 구성은 기상예측모델을 통한 기상정보 생성 시스템(NWP: Numerical Weather Prediction system), 실시간 대기확산예측시스템(DAQM: Dispersion and Air Quality Modeling System), 대응기관에 초동대응을 할 수 있는 여러 정보 등을 산출할 수 있는 대응정보 DB 시스템(CPSD :Chemical/Physical Property and Source information database) 및 시나리오 DB 시스템(SD: Scenario Database) 그리고 정보를 표출할 수 있는 GIS 표출시스템(GDM: GIS Display Module)으로 구성되어 있다(Figure 2).

특히 CARIS의 현업 운영을 위해 실시간 기상 자료의 수신, 예보 자료의 생성, 유해화학물질별 시설물 정보, GIS 표출 등을 위해 정보 공유의

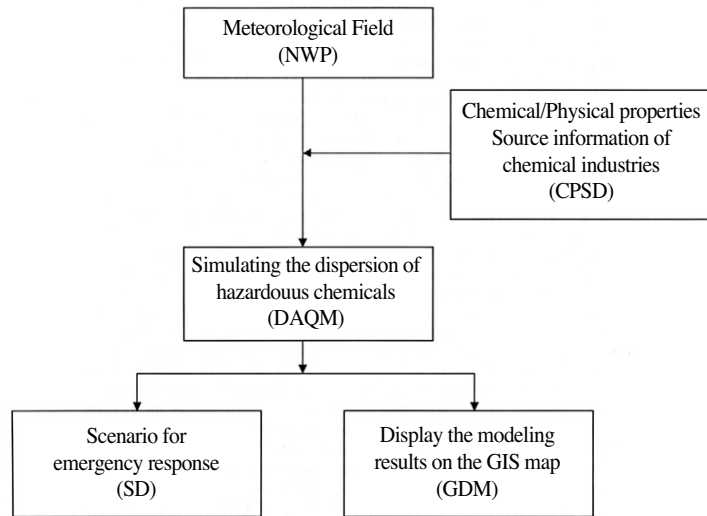


Figure 2. Schematic diagram of the main components of CARIS.

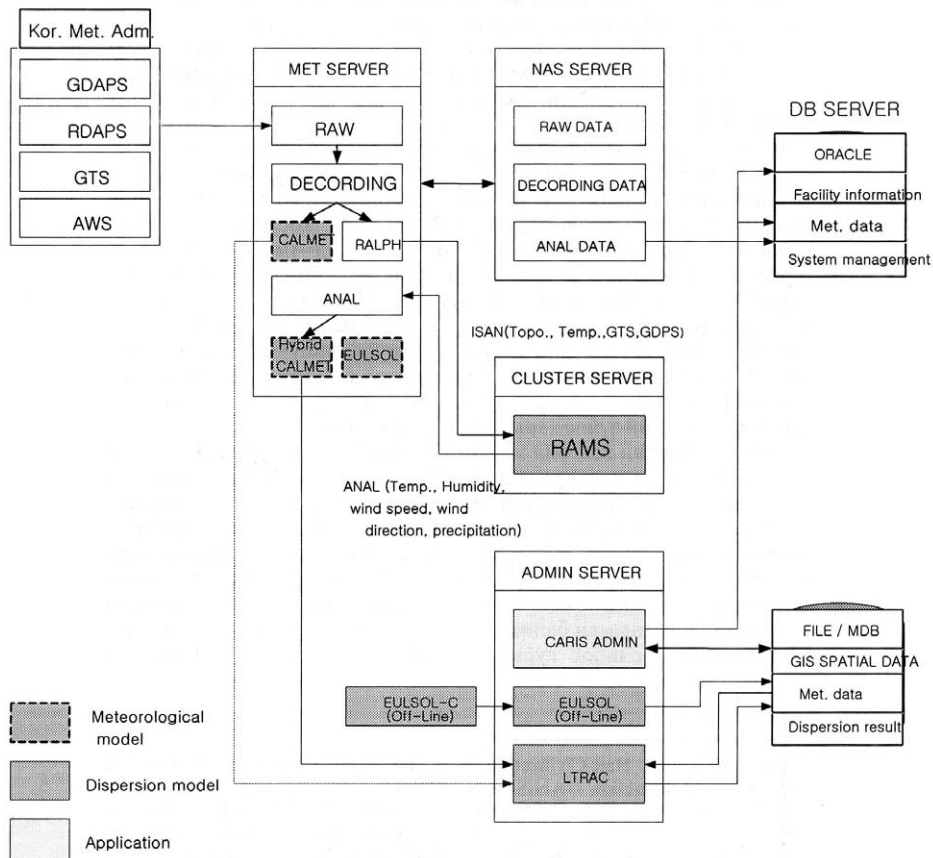


Figure 3. Flow chart of operational atmospheric modeling system consisting of meteorological model and air quality model in CARIS.

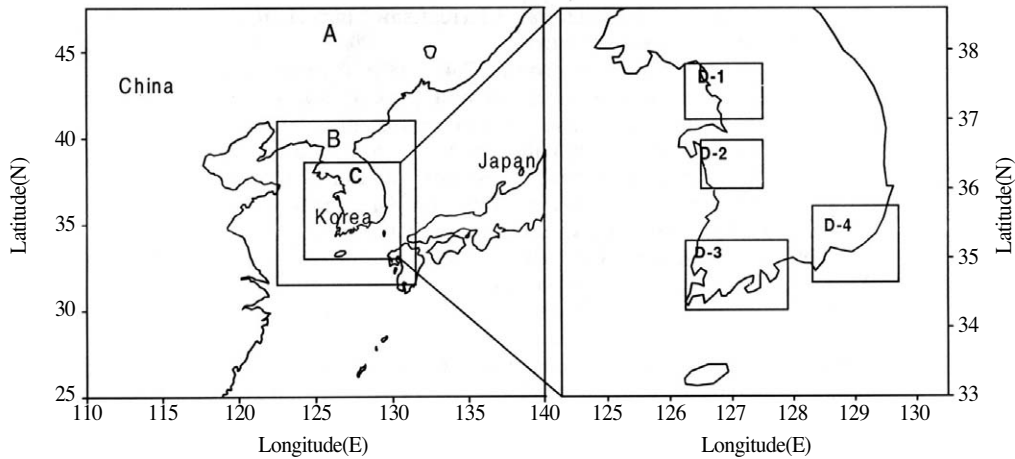


Figure 4. Domain of the three nested grids in the operational meteorological model (RAMS) in CARIS for the weather prediction. A: Coarse grid (30km grid spacing), B: nest-1 (10 km grid spacing), C: nest-2 (3 km grid spacing), and D: nest-3 (1km grid spacing).

응용 프로그램 엔진이 현업으로 운영되고 있다 (Figure 3).

## 1. 기상정보생성시스템

기상정보시스템은 기상청으로부터 환경부로 전송되는 전구 예측시스템(GDAPS: Global Data Analysis and Prediction System) 자료, 지역 예측시스템(RDAPS: Regional Data Analysis and Prediction System) 자료, GTS(Global Telecommunication Station) 자료, AWS(Automatic Weather Station) 자료 그리고 지상 및 상층기상관측자료를 실시간으로 수집, 종합하여 클러스터 PC에서 상세 바람장 모델을 이용하여 실시간 3 차원 상세 바람장을 가공 생산한다(Figure 3).

운영 방식은 모델의 종류 및 활용 방법에 따라 4가지로 구축되었는데 RAMS(Regional Atmospheric Modeling System, Pielke et al., 1992)를 이용한 예측 방식, CALMET(California Meteorological Model, Scire et al., 1990)을 이용한 진단 방식, 그리고 두 방식을 혼합한 혼합 방식이 구축되어 있고 지역의 특성에 따라 선택할 수 있도록 구성되어

있으며 상시에는 예측방식으로 운영하고 있다.

상시운영 위한 예측 모델(RAMS)은 Figure 4와 같이 한반도를 중심으로 3개의 등지 격자체계를 수용하고 있으며 등지격자별 분해능은 전국에 대해 3km×3km의 격자망(제 2 등지 격자)을 갖는 상세 예측 기상장을 생산하고 특히 화학 공단을 주 권역으로 하는 영역은 1km×1km 이하의 격자망(제 3 등지 격자)을 갖는 3 차원 상세 예측 기상장을 Cluster 환경에서 3시간 이내에 생산하여 24시간 예보가 완료된다. 생산된 기상자료는 대기확산모델과 자동 연결되어 확산결과를 표출한다. 뿐만 아니라 사후 분석용(off-line)으로서 시간적 여유를 두고 정확한 사후 분석용으로서 전산유체역학(CFD: Computational Fluid Dynamics) 모델을 구축하여 현업 운영용 확산 시스템을 평가, 보완할 수 있도록 구축되었다.

## 2. 대기확산예측시스템

CARIS의 대기 확산 예측 시스템은 모델의 활용도에 따라 초기확산평가모델과 3 차원 상세 확산모델로 구분되어 있다. 초기평가모델은 누출모

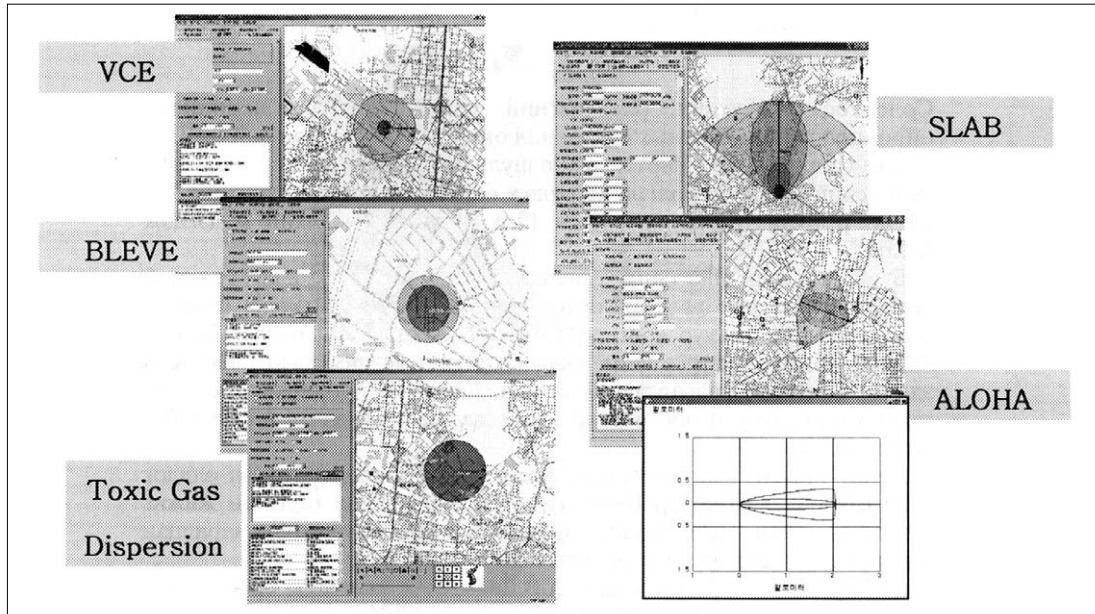


Figure 5. Sample output of various dispersion model from atmospheric dispersion modeling system in CARIS.

델, 가우시안(Gaussian) 모델로 구성되어 있으며 제 1 단계의 초동 대응에 사용되며, 3 차원 상세 확산모델은 시간에 따른 피해 확산 범위를 예측한다.

제 1 단계에 사용되는 초기평가 모델은 위험도 평가모델, SLAB, 그리고 ALOHA 모델로 구성되는데 SLAB과 ALOHA는 가우시안 형태의 수동 확산과 증기운 확산을 모사하는 가우시안 모델이다(Lazaro et al., 1997). 위험도 평가모델은 증기운 폭발(VCE), 불기둥 폭발(BLEVE), 그리고 독성 증기확산평가(VDA) 모델이 있으며 SLAB의 입력 모듈은 누출물의 종류 및 특성을 설정하는 모듈, 누출 형태를 설정하는 항목, 누출조건을 입력하는 항목, 기상 조건 모듈로 구성되어 있다(Figure 5). 제 1 단계에서 초동대응에 필요한 사고의 피해범위예측이 가능하며 주민의 통제구역 설정, 대피로, 대응기관의 진입로 등의 초동대응에 필요한 정보가 제 1 단계의 초기평가모델의 결과를 토대로 정해진다(Table 2). 이는 일반적 대기 오염물질과 비교해서 유해화학물질은 상대

적으로 짧은 시간 스케일로 확산하여 피해를 주는 특징이 있어 기상 상황을 고려하지 않거나 주위의 지형 조건 등을 고려하지 않는 정상 상태의 대기확산 모델이 이용된다.

반면 제 2 단계를 위한 3 차원 대기확산모델은 배출원 지역에서 누출된 물질의 중거리 혹은 장거리 이동 가능성에 대비한 것으로서 라그랑지안

Table 2. Various dispersion models implemented in CARIS for the dispersion forecasting of hazardous chemicals.

Stage	Model	Model identifications
Primary stage	Risk Assessment Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VCE (Vapor Cloud Explosion)</li> <li>• BLEVE(Boiling Liquid Extending Vapor Explosion)</li> <li>• VDA</li> </ul>
	Gaussian Dense Gas Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SLAB</li> <li>• ALOHA</li> </ul>
Secondary stage	3-D Eulerian Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eulerian dispersion model</li> <li>• CFD model (Computational Fluid Dynamic) model</li> </ul>
	3-D Lagrangian Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LTRAC(Lidartech's Trace Model)</li> </ul>



Figure 6. Sample output of the coupled atmospheric modeling systems of CARIS (3 Distribution patterns of hazardous chemicals are plotted in 15 minute interval after instantaneous release).

(Lagrangian) 입자모델과 오일러리안(Eulerian) 격자모델이 구축되어 유해화학물질의 이동, 확산을 모의할 수 있다. 3 차원 대기 확산 모델은 Figure 6과 같이 사고 발생 시 실시간 바람장을 이용하여 시간에 따른 피해확산 예측이 가능하므로 기상 및 지형 조건 등을 모두 균일하다고 가정하는 가우시안 모델과는 달리 산악 지역이 대부분인 우리나라의 국지 순환을 고려할 수 있어 현업 운영용 시스템으로서 on-line으로 실시간 상세 확산 예측을 통해 보다 정확한 대응 전략을 제시하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 대응정보 DB 시스템

유해화학물질 사고 시에는 초동 대응기관들이 현장에서 긴급히 활용할 수 있는 대응 정보를 위하여 화학물질의 안전에 관한 제반 정보 DB가 시설별로 이미 구축되어 있어야 하며 비상 연락 및 응급 의료 기관 등에 대한 정보도 확보되어 있어야 한다.

CARIS의 대응정보 DB시스템은 크게 1) 유해화학물질 취급시설 정보 DB, 2) 1000여종의 화학물질에 대한 물질정보 및 유해 화학물질로 선정된 38종의 방재정보 DB, 3)또한 관련시설의 잠재적 위험성이 클 경우 초기 확산 평가를 통해 위험을 줄이기 위한 구체적인 방안을 수립하여 구축된 비상대응시나리오 DB, 4) 초동 대응기관 정보 및 응급의료기관 DB로 구성되어 있다(Figure 7).

#### 1) 취급시설 정보 DB

유해 화학물질(포스겐 등 포함 38종)에 대한 취급시설 정보가 화학 공단을 중심으로 구축되어 있으며 취급시설별 종류 및 취급량, 자체 방재약품 및 방재장비, 비상연락전화번호 등이 DB화 되어 있다. 이러한 상세 정보는 화학물질안전관리센터에서 직접 실사를 통해 확인함으로써 최신의 자료로 확인·구축되었다.



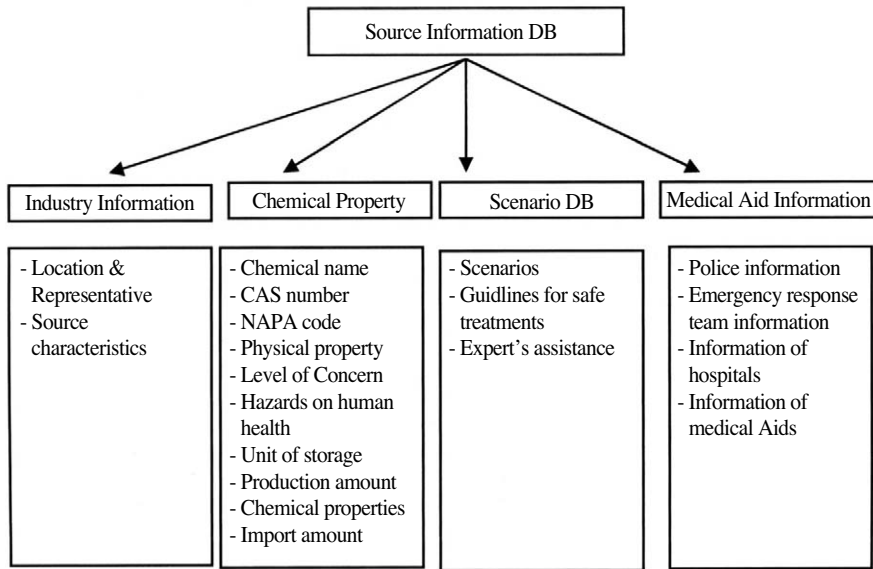


Figure 7. Contents of emergency response information DB in CARIS.

2) 유해화학물질정보 및 방재정보 DB

유해화학물질 1000여종의 물질정보 및 방재정보가 DB화되어 있어 사고발생 시 화학물질별 각 대응요원들의 대응자료로 유용하게 사용될 수 있다.

3) 비상대응시나리오 DB

유해화학물질 38종에 대해 잠재적으로 가능성이 있는 최악의 시나리오가 시설별, 대기안정도별, 주거지 방향에 대한 풍향, 풍속별로 구축되어 있고 초기확산모델인 ALOHA, SLAB을 수행하여 이에 따른 대응 정보 및 방재정보 등을 구축하였다. 대응 시나리오는 대응기관의 진입로, 주민 대피경로, 방제 방법, 환자 대응, 방제방법, 기관별 대응 임무 등을 포괄적으로 포함한다.

4) 대응기관, 대피시설 및 응급의료기관 자료 DB

화학물질사고발생 시 대응기관, 대피시설 및 응급의료기관의 기본적인 위치정보, 전화번호, 지원능력정보 등이 구축되어 있다. 이 자료를 기반으로 사고 발생시 환자의 신속한 운송이 이루어

지므로 비상대응시나리오의 환자대응에 중요하게 활용된다.

4. GIS 표출 시스템

화학물질사고대응시스템의 수치지도에 표출되는 정보는 대기확산 모델에 의해 예측된 오염확산결과 및 피해지역 등을 비롯하여 모든 관련 대응 정보, 지리정보, 도로 정보 대피로 등의 정보를 포함하며(Figure 8) 화학공단지역의 시설정보, 방재정보 등도 항상 GIS와 연동하여 수치지도에 표출된다.

GIS 표출시스템에서는 유해화학물질의 확산에 의한 위험지역에 대한 자료를 제시하여 비상대응의 기초자료로 활용하게 하는 것을 목적으로 한다. 위험지역을 나타내는 피해영향범위(Footprint)를 도시하는데 있어서, 위험성의 기준인 우려농도(Level of Concern, LOC)를 선정하여 이를 기준으로 등농도선을 도시한다. 그 결과가 주변 지리정보와 연관되어 표출되므로 현장에서 행동할 비

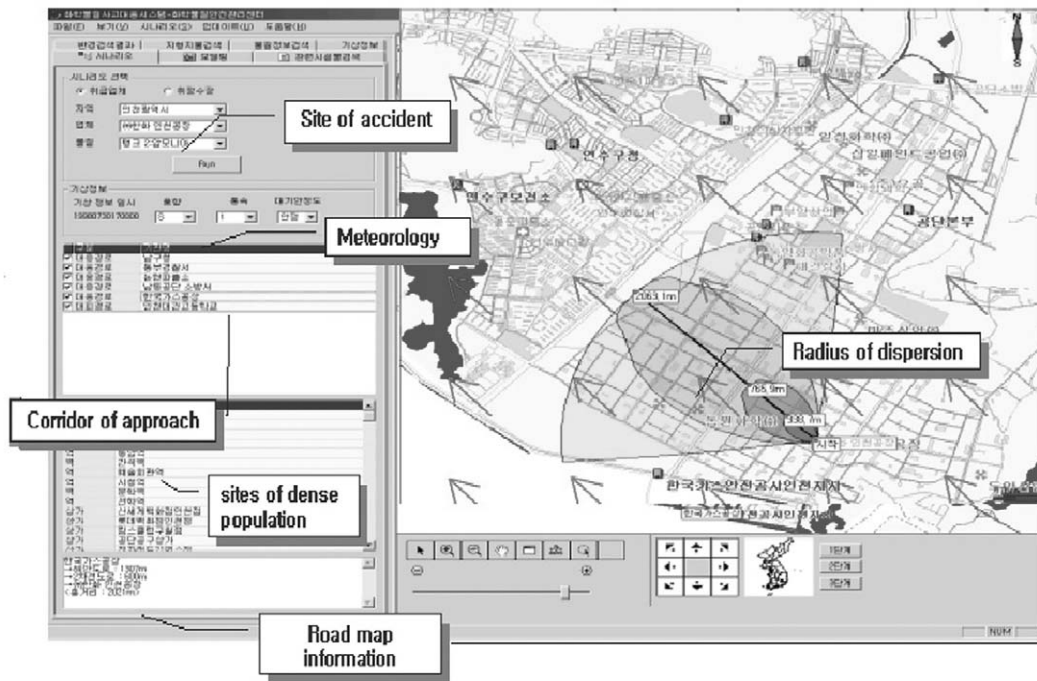


Figure 8. Sample output of concentration zones over-layered on the surface wind field in GIS-Display module.

상대응기관에게 쉽게 이해하도록 구축되었다.

## V. 대기환경분야에 활용 가능한 CARIS

CARIS의 대기 확산 모델은 주로 누출 사고 예측 모델을 이용하여 화학 물질별 그 피해 범위 예측에 중점을 두고 있다. 따라서 우리나라의 유해화학물질을 위해성 및 사용량 측면에서 우선적으로 선정하고 유해화학물질 사고 현황 파악에 주력하였다. 그러나 유해화학물질의 잠재적으로 발생할 수 있는 중거리 이상의 이동을 고려할 수 있도록 상세 격자 기상 모델과 이를 토대로 대기의 난류 성분을 충분히 고려할 수 있는 라그랑지안 입자확산 모델을 구축하였다. 특히 도시 규모 혹은 국소규모의 정확한 유해 화학물질 대기 확산 예측을 위한 CFD 모델의 시도는 장기적으로 보다 많은 분야에서의 대기 환경 시스템으로서의

활용가능성을 시사하고 있다.

우리나라에서는 70년대 후반부터 대기 오염 모델이 대기 관리 연구에 활용되기 시작하면서 Gaussian 형태의 정상상태 플룸모델이 많이 사용되어 왔다. 그러나 대기오염예측을 위해서, 예컨대 오존과 같은 대기 오염의 시·공간적 분포를 예측하기 위해서 우리나라의 복잡한 지형과 삼면의 바다의 영향을 고려할 수 있는 비정상상태 대기확산 모델의 필요성이 커지고 있다. 이 경우 비정상상태 대기확산 모델에 필요한 기상자료를 현실성 있게 예측할 수 있는 알고리즘이 필요하나 예측 기상모델인 해륙풍 모델 혹은 중규모 모델은 그 해상도 및 신뢰도가 문제시되었고 진단 기상모델은 예측자료가 아니라는 점에서 근본적인 어려움이 있었다.

이상의 현실에서 CARIS는 소규모 바람장 및 난류장까지 잘 모의할 수 있는 역학적 구성을 가

진 RAMS의 선정, 적절한 등지(nesting) 격자 기법을 이용한 중규모 기상장과 작은 규모 기상장의 연결, 기상청으로부터 자동으로 실시간 자료를 전송받아 관측자료를 동화(Nudging)하여 그 초기 조건의 구성을 최적화하는 등, 도시규모 현업 3 차원 상세 기상 예보 모델로서 활용 가능성은 매우 높을 것으로 사료된다. 특히 기상청의 현업 모델인 중규모 예보에 비해 CARIS의 상세 예보 모델은 그보다 더 상세하게 바람장 및 난류장을 예보를 할 수 있고 이를 통해 대기 오염물질의 도시규모 이하의 대기오염 현상을 적절히 모의하거나 예측할 수 있다. 또 협곡이나 구조물 주위의 흐름 등을 모의하는 모델은 규모에 따라 다르나 CFD 모델을 채용할 수도 있어 CARIS의 상세 바람장 예측 시스템은 향후 도시 규모 이하의 대기 환경 영향 평가를 위한 미세규모 바람장 및 난류장 도출에 매우 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## VI. 결 론

화학 산업의 규모가 커짐에 따라 그 피해도 지속적으로 증가하고 있으며 이에 따라 화학물질 사고의 예방·대비 등에 대한 안전관리에 대한 준비뿐만 아니라 사고 발생시 그 피해를 최소화하는 비상대응을 위한 제도 마련 및 효율적인 사고 대응 기술의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 실시간으로 운영되는 CARIS의 구성 및 활용 방안을 소개하였으며 특히 3 차원 기상 모델을 이용하여 실시간 바람장을 구축할 수 있는 하드 및 소프트웨어의 구성 그리고 응용 프로그램의 내용을 중점적으로 소개하였다.

CARIS의 운영은 단기적으로는 유해화학물질 사고에 따른 피해를 줄이는 기능을 하며 최대 피해 범위 평가를 통한 안전관리에도 기여할 수 있을 것이다. 장기적으로는 일반 대기 환경관리 시스템뿐만 아니라 효과적인 대응 시스템을 통한

국가적 차원의 위험물 관리에 대한 핵심 기술로 활용되어 국민의 건강과 환경을 보호할 수 있으며 나아가 국가적인 이벤트에서 첨단 기술 적용을 통한 국가 위상의 상승 효과를 기대 할 수 있을 것으로 판단된다. 예컨대 2002년 월드컵 개최 기간동안 각 지방환경청과 네트워크를 통해 실시간으로 월드컵 개최 10개 도시에 대해 CARIS를 운영한 것이 그 대표적인 예이다.

또 대기환경분야에 적용할 수 있는 최근의 대기환경관리시스템의 실용적 연구 차원에서 CARIS에 의해 생산되는 실시간 대기 환경 자료 또한 국지 규모의 각종 소각장 및 악취물질의 배출업소 등 여러 지역에서 배출되는 대기 오염물질이 주변에 미치는 대기환경영향을 평가하고 예측할 시에도 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

마지막으로 본 논문을 통해 소개된 화학 공단의 관리 및 화학사고 대응을 위한 CARIS의 구성, 그리고 데이터베이스(DB)의 종류 및 내용 등은 국내 유사 분야의 환경시스템 설계 단계에서 국내 현실에 적합한 최신의 기술 정보의 구축 및 그 운영 방법에 있어 유용한 정보가 될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 국립환경연구원, 2002, 화학물질 사고대응 요령 교육.
- 산업자원부, 2001, 화학공장의 사고사례 분석.
- 환경부, 2001, 유해화학물질사고예측기법 및 대응 시스템개발, 환경기술연구개발사업.
- Annika, P., T. George, P. George, N. Konstantinos, D. Costas, and C. Koutitas, 2001, The Poseidon operational tool for the prediction of floating pollutant transport, Marine Pollution Bulletin, 43, 270-278.
- Brandt, O., J. H. Christensen, L. M. Frohn, F.

- Palmgren, R. Berkowicz and Z. Zlatev, 2001, Operational air pollution forecasts from European to local scale, *Atmospheric Environment*, 35(1), S91-S98.
- Fay, B., H. Glaab, I. Jacobsen and R. Schrodin, 1995, Evaluation of Eulerian and Lagrangian atmospheric transport models at the Deutscher Wetterdienst using ANATEX surface tracer data, *Atmospheric Environment*, 29, 2485-2497.
- Glaab, H., B. Fay, and I. Jacobsen, 1998, Evaluation of the emergency dispersion model at the Deutscher Wetterdienst using ETEX data, *Atmospheric Environment*, 32(24), 4359-4366.
- Pielke, R., W. R. Cotton, R. L. Walko, C. J. Tremback, W. A. Lyones, L. D. Grasso, M. E. Nicholls, M. D. Moran, D. A. Wesley, T. J. Lee and J. H. Copeland, 1992, A comprehensive meteorological modeling system-RAMS, *Meteorological Atmospheric Physics*, 49, 69-91.
- Scire, J., E. Insley, and R. Yamartino, 1990a, Model formulation and user's guide for the CALMET meteorological model, Report NO. A025-1, Air Resources Board, State of California.
- Sharma, P. and M. Khare, 2000, Real-time prediction of extreme ambient carbon monoxide concentrations due to vehicular exhaust emissions using univariate linear stochastic model, *Transportation Research Part D*, 5, 59-69.
- Sharma, P. and M. Khare, 2001, Short-time, real-time prediction of the extreme ambient carbon monoxide concentrations due to vehicular exhaust emissions using transfer function-noise model, *Transportation Research Part D*, 6, 141-146.
- Vautard, R., M. Beekmann, J. Roux, and D. Gombert, 2001, Validation of a hybrid forecasting system for the ozone concentrations over the Paris area, *Atmospheric Environment*, 32(24), 2449-2461.
- WHO 보도자료, 1998, WHO-31.