KIGAS Vol. 19, No. 5, pp 61~68, 2015
(Journal of the Korean Institute of Gas)
http://dx.doi.org/10.7842/kigas.2015.19.5.61

이동식 탱크차량을 위한 사고대응 프로그램 개발

이현진 · 한승훈 · 채충근 · 용종원 · 태찬호 · †고재욱
광운대학교 화학공학과
(2015년 7월 1일 접수, 2015년 10월 20일 수정, 2015년 10월 21일 채택)

Development of Accident Response Program for Hazardous Material(HAZMAT) Transport Vehicles

Hyun-Jin Lee · Seung-Hoon Han · Chung-Keun Chae
Jong-Won Yong · Chan-Ho Tae · †Jae-Wook Ko
Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University. Seoul 139-701, Korea
(Received July 1, 2015; Revised October 20, 2015; Accepted October 21, 2015)

요 약

본 연구에서는 이동식 탱크차량의 사고대응을 위해서 사고대응 가이드라인 작성, 사고대응 물질 데이터베이스 구축을 통하여 프로그램을 개발하였다. 가이드라인은 잠재원인 식별 후, FEMA(Federal Emergency Management Agency) 절차에 따라 작성하였고, 최초 물질 데이터베이스는 GHS(Globally Harmonized System)를 적용하여 구축했으며, 데이터베이스 간의 유사점 확인을 통해 사고대응에 최적화 된 데이터베이스를 구축하였다. 마지막으로 Case Study를 통해 개발된 프로그램의 신뢰성을 확보하였다.

Abstract - This study develop accident response program for the hazardous materials(HAZMAT) transport vehicle with materials database and guidelines for accident response. Guidelines was developed by guideline develop processes of FEMA after identify hazards. Developed material database was applied the GHS. also database was optimized by removing data that can confuse to accident response. Finally, This study verify developed programs through case study.

Key words : HAZMAT, first response guidelines, first response material, accident response

I. 서 론

최근 들어 화학물질에 의한 사고가 증가하고 있으며, 그 피해의 범위가 광범위하고 복합적 재난양상을 보여 대처하기 어려운 특징이 있다. 이 중에 이동식 탱크차량에서 발생하는 사고는 13.2%로 지정수량미만 보유 사업장의 사고에 이어 두 번째로 큰 비중을 차지하고 있다[1]. Fig. 1. 에서 2008년도 국내 유해화학물질 사고 통계(발생 장소별)를 나타내었다.

이동식 탱크차량은 여러 행정구역을 지나는 특성을 가지고 있어 각 행정 기관에 정보를 받아 행정구역이 바뀔 때마다 즉각적인 정보전달이 힘들다.

또한, 사고 발생 지점의 관할 소방서가 화학물질 사고에 대한 경험 및 정보가 부족할 수 있어, 그 결과 적절하지 못한 대응을 수행하고 소방대원들이 2차 피해를 입을 가능성이 높다.

현재 국내에서는 유해화학물질 사고에 대응하기 위하여 유해화학물질비상대응 핸드북, 환경부의 CARIS (Chemical Accident Response Information System), MSDS (Material Safety Data Sheet) 등을 개발하였으나, 사고 대응을 위하여 반드시 유관기관의 협조를 구하여야 하고, 단독으로 대응을 수행하기는 어려운 면이 있다. 또한 유해화학물질 비상대응 핸드북 및 MSDS는 문서로 개발되어 긴박한 사고 대응을 위해 사용하기에는 적절하지 못한 실정이다. 이에 본 연구에서 소방대원들이 올바른 대응을 수행할 수 있도록 이동식 탱크차량 사고대응 프로그램을 개발하였다.

†Corresponding author:jwko@kw.ac.kr
Copyright ⓒ 2015 by The Korean Institute of Gas

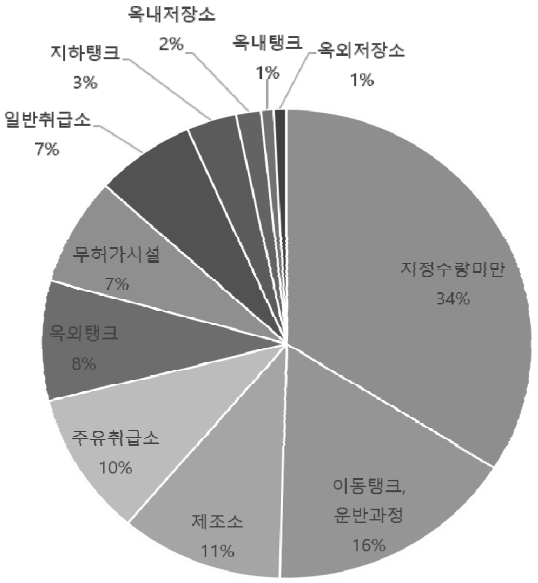

Fig. 1. Statistics of HAZMAT accident by caused place in 2008.

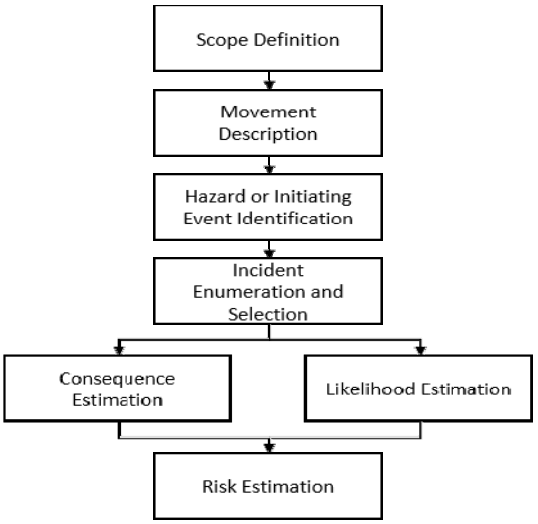

Fig. 2. Procedure of Transport Risk Assessment.

Ⅱ. 이 론

2.1 TRA(Transport Risk Assessment)

TRA는 화학물질을 수송하는 차량 및 경로에 대하여 위험성 평가를 수행하는 것을 말한다. TRA는 일반적인 위험성 평가와 다르게 경로에 대한 분석을 같이 수행하게 된다. TRA의 절차를 Fig. 2.에 나타내었다[2].

TRA는 잠재위험 파악을 위해 수송 과정 중 교통사고로 인한 이벤트는 사고 이력의 분석을 하고, 교통사고가 아닌 이벤트는 일반적인 잠재위험 분석 기법을 사용한다. 이동식 수송차량은 고정설비에 비해 외부 원인으로 발생한 사고 혹은 인적오류에 의한 사고가 많이 발생한다[3].

잠재 위험을 파악한 후 일반적인 위험성 평가와 마찬가지로 Consequence, Likelihood를 분석하여 Risk를 평가한다.

2.2 FEMA(Federal Emergency Management Agency)의 사고 대응 가이드라인 작성

미국 FEMA에서는 다양한 사고에 대하여 비상대응을 수행할 수 있도록, 비상대응계획 작성 방법을 제시하고 있다. FEMA의 비상대응계획 작성 방법은 목표로 하는 사고의 위험성 평가를 기반으로 하여 대응을 계획하고, 이를 문서화하는 것을 골자로 하고 있다. FEMA의 비상대응계획의 구성 요소는 다음과 같다[4].

- 잠재 위험 및 위협 식별
- 현재의 상태 분석
- 가정
- 행동 절차
- 각각의 행동절차에 대한 평가항목
- 행동 비교 및 순서 부여
- 권고사항

2.3 GHS(Globally Harmonized System)

GHS는 국가간의 화학물질 분류 및 표지 기준의 차이 때문에 문제가 발생하여, 이를 해결하기 위해 국제기구(UN)에서 정한 화학물질 분류와 표지 기준이다[5].

GHS의 적용 범위는 모든 화학물질이며, 사용자로 소비자, 근로자, 운송 근로자, 관리자를 고려한다. 화학물질의 분류 기준은 물리적 위험성, 건강 유해성, 환경 유해성의 대분류와 27가지의 세부항목으로 Table 2에 나타나있다[6].

현재 국내에서는 고용노동부, 환경부, 국민안전처 등에서 GHS를 사용하고 있지만, 기관마다 목적에 따라 다르게 구성하고 있다[7].

2.4 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석

AHP는 어떤 의사결정 문제에 대하여 가중치를 산정하여 우선순위를 결정하는데 사용되는 분석방

Table 1. Classification of chemical material by GHS

대분류	세부항목
Physic Hazards	Explosives
	Flammable gases
	Aerosols
	Oxidizing gases
	Gases under pressure
	Flammable liquids
	Flammable soilds
	Self-reactive substances and mixture
	Pyrophoric liquids
	Pyrophoric solid
	Self-heating substances and mixture
	Substances and mixtures which, in contact with water, emit flammable gases
	Oxidizing gases
	Oxidizing solids
	Organic peroxides
	Corrosive to metals
Health Hazard	Acute toxicity
	Skin corrosion/irritation
	Serious eye damage/eye irritation
	Respiratory or skin sensitization
	Germ cell mutagenicity
	carcinogenicity
	Reproductive toxicity
	Specific target organ toxicity -single exposure
	Specific target organ toxicity Respeated exposure
	Aspiration hazard
Environmental Hazards	Hazardous to the aquatic environmental

법이다. 의사결정의 전 과정을 여러 계층으로 나눈 후 이를 단계적으로 분석 해결함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 방법으로, '계층 분석 방법'이라고도 한다.

AHP는 다음의 장점을 가지고 있다.

- 논리적 사고 프로세스의 자동화
- 모든 요소/일의 정량화
- 우선순위의 과학적 도출
- 실시간으로 결과 확인 가능
- 경험, 직관 등을 합리적으로 구조화, 실용 가능한 지식으로 전환
- 참여자의 의견을 반영한 그룹 의사결정 도출

AHP 분석은 이와 같은 장점으로 다양하게 활용되고 있으며, 전략계획의 수립, 예산의 배정, 투자계획의 타당성 검토, 정책 결정 등에 쓰인다.

Ⅲ. 연구 내용

3.1 사고대응 가이드라인 도출

사고대응 가이드라인은 사고 발생 시 소방대원의 2차 피해를 방지하기 위해 작성하였다.

현재 사고 발생 시 소방공무원의 사고대응 절차는 재난현장 표준작전절차(SOPs, Standard Operation Procedures)를 통해 사고 대응이 실시된다. 재난현장 표준작전절차는 현장의 상황, 사고 특성, 위험 요인, 대응 절차 및 기준을 포함한 대응방안을 제시하고 있다. 하지만 화학물질에 대한 보호 장비 부분이 빈약하고, 절차가 구체적이지 않아 소방대원의 2차 피해를 방지하지 못하는 경우가 많다.

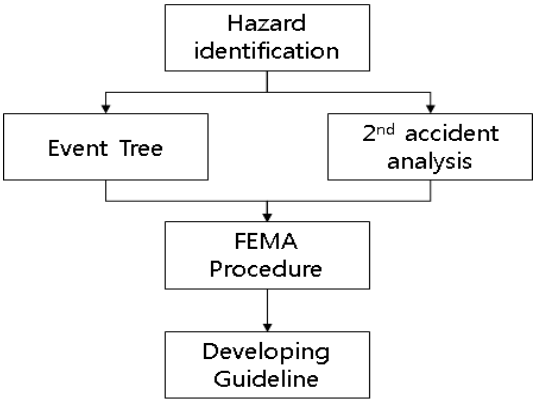

Fig. 3. Procedure of Developing Guideline.

보호 장비 부분이 빈약했던 기존의 가이드라인을 TRA를 통해 잠재위험을 식별하고, Event Tree를 사용하여 사고결과를 분석하였고, Fig. 4에 나타내었다. 또한 2차 피해를 방지하기 위하여 사고 발생 시 이동식 탱크차량 외에 외부 요인으로 발생 할 수 있는 사고를 분석하여 다음의 FEMA 절차를 참고하여 가이드라인을 도출하였다.

- Understand the Situation
  - 잠재위험 확인
  - 위험 평가
- Determine Goals and Objectives
  - 우선순위 결정
  - 목적과 목표를 수립

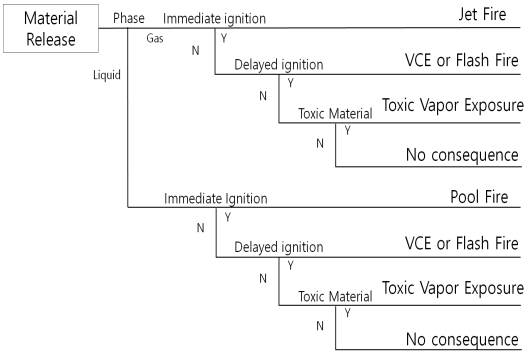

Fig. 4. Event Tree of HAZMAT incidents.

Table 2. Guidelines for HAZMAT transportation hazard

Event	Guideword	Parameter	Guideline
Toxic Vapor exposure	Eliminating or Avoid	Target	- Do not approach affected area - Should not attempt Identification of a hazardous material without PPEs
		Hazard	- Remove toxic materials
	Mitigate	Target	- Equip PPEs(Personal Protection Equipments) - Approach with upwind
		Hazard	- Using absorbent or neutralizing agents
VCE & Flash Fire	Eliminating or Avoid	Target	- Do not approach affected area - Set safety zone(hot, warm, cold)
		Hazard	- Eliminate all of ignition sources
	Mitigating	Target	- Approach with upwind
		Hazard	- Spray water to a tank for cooling
Jet Fire & Pool Fire	Eliminating or Avoid	Target	- Do not approach affected area - Set safety zone(hot, warm, cold)
		Hazard	- Eliminate all of ignition sources
	Mitigate	Target	- Equip PPEs(Person Protection Equipments) - Approach with upwind
		Hazard	- Wait for exhaust material - Spray water to a tank or nozzle for cooling
Driver Overlook	Eliminating or Avoid	Target	- Move away tanks from road
		Hazard	- Establish Traffic cordon
	Mitigating	Target	- Block tank from other vehicles with operation vehicles - Set traffic safety agent with light
		Hazard	- Set roadway safety materials(Warning Triangle, Wheel stopper, rope etc)
Car Slip	Eliminating or Avoid	Target	- Move away tanks from road
		Hazard	- Establish Traffic cordon
	Mitigating	Hazard	- Housekeeping vicinity

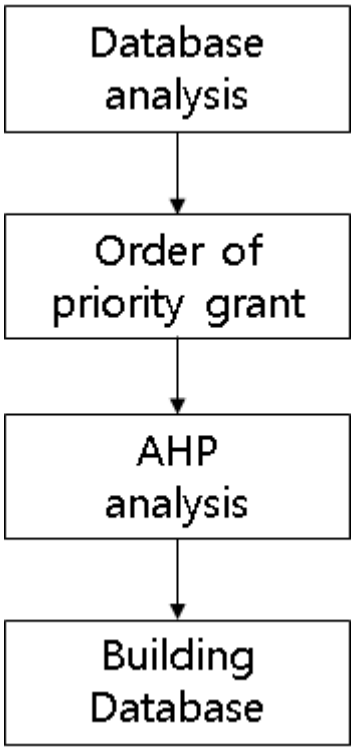

Fig. 5. Procure of Building Database.

• Plan Development
- 실행 계획 분석, 개발
- 원인 확인

Fig. 3.은 가이드라인 도출 절차에 대하여 도식화한 것이며, Table 3에 가이드라인 작성을 나타내었다.

3.2 사고대응 물질 데이터베이스 구축

물질 데이터베이스는 이동식 탱크 차량 발생 시 누출되는 화학물질의 사고대응을 위한 자료로 화학물질에 대한 전문성을 가지고 있지 않은 소방공무원을 위해 구축되었다.

현재 구축되어 있는 데이터베이스는 각 부처마다 화학물질 분류·표지에 관한 세계조화시스템(GHS)의 기준을 적용하여 구축하는 것으로 되어있으나, 과도하게 많은 자료가 담겨있어 사고 발생 시 자료 사용에 있어 혼선을 일으키고 있다.

기존에 있었던 물질 데이터베이스 가지고 사고대응을 할 수 있도록 수정하였으며, 이를 위해서 기존 국내·외 28개의 데이터베이스의 공통된 항목을 선택해서 11개의 대분류와 100개의 세부분류를 도출하

Table 3. Final Chemical material Database index

Major	Minor
General Information	Substance Name(Korean)
	Substance Name(English)
	Common Sy
	Structure
	UN No.
	CHRIS code
	RTECS No.
	EC No.
	ICSC No.
	IMDG code
NFPA Code	NFPA code(Health Hazard)
Emergency Treatment	Symtoms Following Exposure
	First aid
	Response of Inhalation
	Response of Ingestion
Fire	Fire and Explosion Hazard
	Contact Prohibition Material
	Fire Fighting
	Fire Fighting Procedures
	Air &Water Reactions
	Reactive Groups
Site Response	Normal
	Prevention Chemical & Equipment
	Initial Isolation
	Protective Action Distances
	Protective Equipment & Clothing
Hazardous Information	Hazardous Classification
	GHS Pictograph
	Signal
	Hazardous Slogan
	Notices
	pH
	Animal Toxic Information
	Hazardous Decomposition
	Acute Exposure Guideline Levels
	breakthrough times
	TLV-TWA
	TLV-STEL
	TLV-C

였다. 도출된 데이터베이스 항목을 소방 공무원을 대상으로 한 가중치 분석을 통해 사고대응에 혼선을 일으키는 데이터를 제거하여 대분류 6개와 세부분류 39개로 구성하였다. Fig. 5.에서 데이터베이스 구축 절차를 도식화 하였고, Table 4.에 구축한 데이터베이스를 나타내었다.

Ⅳ. 결 과

4.1 이동식 탱크차량 사고대응 프로그램 개발

이동식 탱크차량의 사고 발생 시 초동대응을 위해 TLARS(Tank Lorry Accident Response System)을 개발하였다. TLARS는 초기대응 가이드라인과 물질데이터베이스를 기반으로 하여 화학물질에 대한 전문성을 가지고 있지 않은 소방공무원을 대상으로 실제 사고 발생 시 주어진 정보만으로 사고대응할 수 있게 개발하였다.

Fig. 6은 사고대응 프로그램의 개요를, Fig. 7는 TLARS를 실행했을 때 초기 화면의 모습과 Fig. 8는 물질정보 화면을 나타내었다.

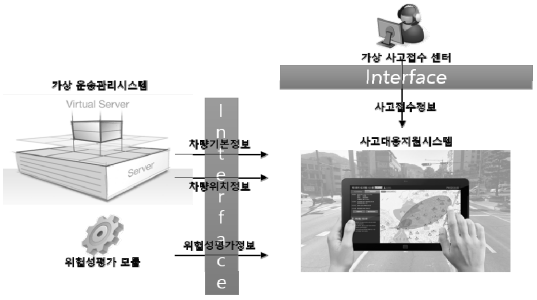

Fig. 6. Outline of TLARS system.

Fig. 7. Main screen of TLARS.

4.2 Case Study

실제 발생했던 사고를 가지고 Case Study를 진행하였다.

4.2.1 실제 사고 분석

2014년 9월 13일 00시 13분 경 전남 여수시 해산동에서 이동식 탱크차량이 염산을 운반하다 운전자 부주의로 인한 차량 전복사고로 인해 염산 약 7,510kg이 유출되어 운전자는 현장에서 사망하고 6명이 가스흡입을 하였다.

총 적재량은 25,040kg이며 17,530kg은 회수되었고 7,510kg이 누출되었다. 운전자는 차량 충격으로 인해 사망하였고, 가스누출로 인해 인근 주민 6명이 경상을 입었다. 사고 시점으로부터 10분간 10m에서 0.4 ppm의 농도가 검출되었고 사고차량 옆에서는 10 ppm의 농도가 검출되었다.

사고 장소로 도착한 소방대원은 보호복을 준비하지 않아서 사고 현장 접근이 불가하였고, 케미칼 회사로부터 이동식 탱크차량의 정보를 받아 초기대응에 시간이 지체되었다.

방제 작업은 충분한 물을 공급받지 못하여, 인근 농수로 누출 염산 폐수를 처리하였고, 소석회, 중탄산 나트륨을 활용하여 중화하였다. 추가 유출을 방지하기 위해 방지둑을 설치하였다[8].

4.2.2 TLARS를 이용한 분석

TLARS를 사용하여 염산을 운송하는 이동식 탱크차량에 대해 분석하였다.

이동식 탱크차량 정보는 운송관리 시스템을 통해 사고접수 시 받게 된다. 차량 정보 외 다른 조건은 다음과 같다.

Fig. 8. Material information of TLARS.

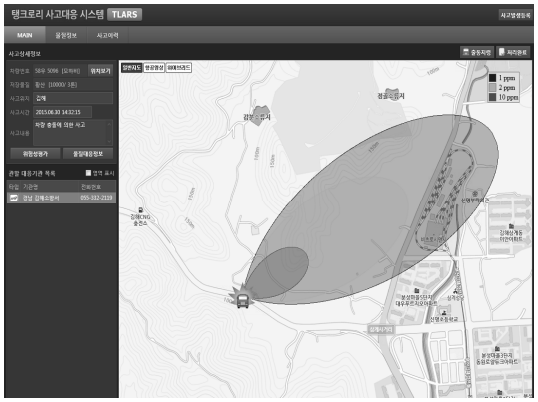

Fig. 9. Result of Risk estimation of TLARS.

- 손상 정도 : 완전 파열
- 누출 형태 : 대기확산

위 조건을 가지고 TLARS를 다음의 절차에 따라 실행하였다.

- 사고 접수에 의해 차량 번호, 사고 시간, 위치, 사고 내용을 담은 알람 발생
- 사고 접수에 의해 얻어진 정보들을 입력하여 위험성 평가를 실시
- 평가 결과를 기반으로 소방대원들의 초기대응 실시
- 사고 대응 가이드라인의 현장평가 절차에 의해 화학물질 정보 및 상황이 갱신
- 갱신된 데이터를 기반으로 한 위험성 평가 결과에 따라 주민 대피, 현장 대응 실시

TLARS를 통해 산정되는 피해는 운송 중인 화학물질 총량에 대한 확산으로, Fig. 9에 대기확산 된 농도 범위를 확인할 수 있다. 800m 지점까지 최소 1ppm의 농도로 확산이 되며 2ppm은 300m까지 10ppm은 50m까지 확산되는 것을 확인할 수 있다.

사고 현장으로 출동한 소방대원은 TLARS의 사고대응 가이드라인을 통하여 300m 지점까지 방제선을 칠 수 있으며, 사고대응 물질 데이터베이스를 통해 양압의 자급식 공기호흡기와 보호의를 착용할 수 있고, 누출된 양을 예측하여 방제구역을 효과적으로 산정할 수 있다. 효과적인 방제구역 산정을 통해 효율적으로 주민대피활동을 실시할 수 있다.

사고대응 후 물질 상세 정보를 통해 염산의 중화에 필요한 소석회, 중탄산나트륨을 사전에 준비하여 중화작업 및 방지둑 설치를 할 수 있다.

Table 4. Case study of Comparison

Index	Accident	TLARS
Information Identify	Company	Transportation System
Protection Equipment	Not Ready	Protection Clothing & Air Way Pressure
Distance Prediction	Immediately Not Checked After 10min 10m 0.4ppm Transportation side 10ppm	Immediately Checked 800m 1ppm 300m 2ppm 50m 10ppm
Response	Activities Available Casualties occurred Protection by Slaked lime Dike Installation	Activities unavailble Casualties protection Protection by Slaked lime Dike Installation

4.2.3 비교

실제 사고의 조건을 TLARS에 적용하여 염산을 운송하는 이동식 탱크차량에 대해 분석하였다.

실제 사고에서는 제조 회사로부터 직접 차량에 대한 정보를 받게 되지만 TLARS은 운송 관리 시스템을 통해 정보를 바로 받게 된다. 사고 접수부터 화학사고 임을 인지하여 보호의를 챙길 수 있어 초기대응이 신속해졌다.

또한 피해예측거리를 예상하여 충분한 양의 방제도구의 양을 예측할 수 있었다. Table 4.에 비교를 요약하여 작성하였다.

이에 TLARS를 사용하여 사고대응을 할 경우 현재 대응하는 것보다 올바른 대응을 할 수 있어, 2차 피해가 발생하는 것을 예방할 수 있을 것으로 예상된다.

V. 결 론

본 연구에서는 최근 들어 증가하고 있는 화학물질 사고에 대해 이동식 탱크차량의 사고대응에 관해 사고대응 가이드라인, 사고대응 물질 데이터베이스 구축을 기반으로 프로그램을 개발하였다.

2차 피해를 방지하기 위해서 FEMA의 절차를 따라 가이드라인을 개발하였고, 효과적인 대응을 수행할 수 있도록 물질 데이터베이스를 구축하였다.

Case Study를 해본 결과 프로그램을 통해 사고대응을 할 때 실제 활용하는 절차에 비해 간소화되어 있고, 사고 대응 시 혼선을 빚지 않아 올바른 대

응을 할 수 있었으며, 화학물질에 대한 전문지식 없이도 충분한 대응이 가능한 것을 예상하였다. 이러한 연구를 통하여 앞으로 이동식 탱크차량 사고에서 올바른 대응으로 피해를 줄일 것을 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국민안전처 재난안전기술개발기반구축사업 ("2013-NEMA15-016-01010000-2013")의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

[1] 소방방재청 사고사례집, 소방방재청, (2009)
[2] CCPS, "*Guideline FOR Chemical Transportation Risk Analysis*", Wiley-AIChE, New York, (1995)
[3] K.M. Bae, "Dexelopment of Tank Lorry Mnitoring System for Safety Using Intelligent Computing Device", *KIGAS*, 12(2), 42-47, (2008)
[4] *Developing and Maintaining Emergency Operations Plans*, FEMA, (2010)
[5] 유일재, 김동석, "화학물질의 분류 및 표지에 관한 세계조화시스템(GHS), 정부합동 GHS 추진위원회, 서울, (2006)
[6] J.K Oh, "Legal Analysis of the Classification and Labelling of Toxic Chemicals and Policy Measures for the Building of Globally Harmonized System Therefor", *Korean Environmental Law Association*, 28(3), 193-217, (2006)
[7] 이봉우, "위험물의 유별 구분체계 개선 및 위험물질 정보제공 선진화 방안 연수 최종보고서", 고려대학교, 서울, (2013)
[8] J. I. Lee, "Dangerous tanker fire fighting measures", Korea Safety Management & Science, 17, 215-223, (2013)