

화학 및 방사능 재난 예측 및 대응 프로그램 개발

A prototype package for predicting and rapidly responding chemical and nuclear disasters

Kwanghee Lee^{a,1}, Il Moon^{a,*}, Seungnam Kim^{a,2}, Sunghyun Cho^{a,3}, Sungyun Her^{b,4}

^a Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Republic of Korea

^b National Emergency Management Agency, 209 Sejongdae-ro, Jongro-gu, Seoul 110-760, Republic of Korea

ABSTRACT

A new prototype software package has been developed by integrating two existing programs designed to predict and maneuver chemical and nuclear disasters in order to set up a response system for dealing with the combined two disasters. The prototype is designed to be mainly used by civil defence officers, together with an identification of 625 scenarios of chemical and nuclear disasters. The package is expected to contribute to upgrade a more systematic regional public protection plan for chemical and nuclear disasters. In addition, it enables all relevant local divisions to share disaster information in real time, resulting in a minimization of possible fatal damages.

KEYWORDS

A new prototype software package, Response system, Civil defence, Chemical and nuclear disaster

본 연구를 통하여 화학·방사능 재난 발생 시 통합대응이 가능한 민방위담당관을 위한 새로운 프로그램 패키지를 개발하였다. 개발을 위하여 화학재난 대응시스템과 방사능재난 대응시스템을 통합하는 방향을 모색하였다. 이 프로그램은 625개의 화학 및 방사능 재난 시나리오를 탑재하고 있으며 이를 통해 재난에 대한 보다 체계적인 지역 공공보호 계획을 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 실시간으로 재난 정보를 공유함으로써 재난으로부터 발생할 수 있는 피해를 최소화 할 수 있다.

대응프로그램
재난대응시스템
민방위
화학·방사능 재난

© 2014 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 02-363_9375. Fax. 02-312-6401.
Email. ilmoon@yonsei.ac.kr

1 Tel. 02_363_9375. Email. lee_kh@yonsei.ac.kr
2 Tel. 02_363_9375. Email. seeker0220@yonsei.ac.kr
3 Tel. 02_363_9375. Email. muckre@yonsei.ac.kr
4 Tel. 02_2100_5241. Email. syher64@korea.kr

ARTICLE HISTORY

Received Mar. 08, 2014
Revised Mar. 10, 2014
Accepted Mar. 30, 2014

1. 서론

최근 재난의 성격이 다양화·대형화·복잡화되고 있으며, 그 중에서도 화학·방사능으로 인한 재난의 경우 재난은 규모나 피해측면에서 과거 자연재해나 인적재난에 비해 훨씬 대응이 어렵다는 특징을 갖는다. 또한 그 피해가 단순한 1차 피해로 머무는 것이 아니라 2차, 3차로 이어져 장기간의 피해로 이어지기 때문에 초기 대응 및 재난관리 중요성이 점차 증가하고 있다. (J.D. Park, Y.H. Lee, Y. Yoon, J.K. Kim, J.H. Cho, I. Moon. 2013).

우리나라의 경우 2012년 9월 구미불화수소 누출사고로 인해 막대한 인적·물적 피해를 입었다. 이 사고를 계기로 정부는 법률개정을 포함하여 시흥, 서산, 익산, 구미, 울산, 여수까지 전국 6개 거점 산단에 합동방재센터를 설치하는 등 사고 대응의 모든 것을 수정하였다. 구미 불화수소 누출사고 대응과정에서 겪은 혼란과 공포는 국민이 신뢰할 수 있는 보호시스템의 시급함을 깨닫게 하였다. 우리나라의 경우 2012년 9월 구미불화수소 누출사고로 인해 막대한 인적·물적 피해를 입었다. 이 사고를 계기로 정부는 법률개정을 포함하여 시흥, 서산, 익산, 구미, 울산, 여수까지 전국 6개 거점 산단에 합동방재센터를 설치하는 등 사고 대응의 모든 것을 수정하였다. 구미 불화수소 누출사고 대응과정에서 겪은 혼란과 공포는 국민이 신뢰할 수 있는 보호시스템의 시급함을 깨닫게 하였다.

본 연구는 화학·방사능 재난에서의 주민보호시스템 구축을 위한 노력의 일환으로 사고 시 초기 신속한 대응을 위한 오염예측프로그램을 개발하는 것에 목표가 있으며 화학·방사능 각 분야별로 분산 운영되고 있는 대응 시스템을 연계하는 방안을 모색하였다.

2. 국내 유사대응시스템의 한계

현재 국내에서는 화학·방사능 재난 주관기관인 환경부·원자력안전위원회에서는 화학물질사고대응시스템(CHEMICAL Accident Response Information System, CARIS)과 방사능재난대응시스템(ATOM-CARE)이라고 명칭 하는 재난대응시스템이 화생방재난 발생 시 대표적으로 운용되고 있다. 화학물질사고대응정보시스템은 화학물질사고 시 신속한 대응 및 예방차원에서 물질의 유해성, 사고대응요령, 물질방재정보, 확산피해정보 등 종합적인 화학물질 대응정보를 소방, 경찰, 지방자치단체, 군 등 초기대응기관에 실시간으로 제공하며 현재까지도 계속 업데이트과정을 거쳐 그 기능이 개선되고 있다. 또한 방사능재난대응시스템의 경우 원자력발전소 및 연구용 원자로의 운영을 실시간 감시, 가동 중인 원전에 대한 평시 안전정보 상태와 비상시 사고정보를 실시간 수집 및 감시하여 원전 이상 또는 사고 시 방재요원에게 자동으로 사고 상황을 전파하여 국민보호 조치를 위한 정보를 제공하고 있다. 이 두 시스템은 각각 독립적으로 운용된다는 특징이 있으며 이와 같이 각 부처에서 독립적으로 관리가 이루어지므로 효율적인 대응이 이루어지는데 어려움이 있다. 실제로 가장 선진화 되어 있는 비상대응시스템인 미국의 National Atmospheric Release Advisory Center(NARAC)는 화학·방사능 뿐 만 아니라 생물학적 위협 등 모든 유형의 재난에 대해 통합관리 운용하여 그 효율을 높이고 있다. 우리나라라 역시 독립적으로 운용되는 대응시스템의 통합을 위한 노력이 필요하다. 화학·방사능재난 현장대응은 전문기관의 재난대응시스템에서 제공하는 정보를 바탕으로 이루어지게 되므로, 개발되는 시스템의 사용자가 현장의 대응기관과 동일한 정보를 가지고 국민보호 활동에 참여할 수 있도록 연계가 필요하며 이를 통해 보다 효율적인 화학·방사능 재난 대응이 가능하다. (Michael M. Bradley.2007).

3. 화학·방사능 통합관리 프로그램 개발

3.1 화학·방사능 대응 시나리오

국내 발생 가능성이 높은 화학·방사능 재난의 유형을 시나리오로 작성하여 사건 전개 과정에서 발생할 수 있는 피해를 예측하고 조치사항과 전개과정을 미리 구성함으로써 신속한 대응이 가능하다. 이러한 시나리오는 현장대응

의 우선순위를 결정하고 대응에 필요한 조치사항의 누락을 방지할 수 있다. 화학·방사능 재난 대응 시나리오 개발을 위하여 미국의 국가안전계획 시나리오에 따라 개요, 핵심사항, 단계별 적용 임무분야로 구성하였다. 또한 전시상황을 고려하여 화학·방사능 사고 및 테러 위협 유형을 정리하였다. (Table.1) 이 중 화학재난의 경우 여수산업단지에서의 포스젠 누출과 사린 테러에 대하여 시나리오를 전개 하였으며, 방사능재난의 경우 영광원전 1&2호기 방출 군 16번(격납건물 격리는 실패하고 격납건물 살수계통 및 격납건물 열 제거 계통이 작동하지 않는 사고경위)에 따라 전개하였다. 이때 사고대비물질(56종)을 기준으로 물질의 물성을 정리하였으며 기존 사고 분석과 산업단지 내 주로 쓰이는 물질을 고려하여 사고다발물질(10종)을 선정하였다.(Table.2)

Table 1. Type of accidents and terrorist threats

구분	위기형태 및 유형	대상
사고	유해 화학물질 및 독성가스 누출	
	화학 유해 화학물질 및 독성가스 시설의 화재·폭발	보관·저장시설, 제조·사용시설, 운송차량
	자연재해 등으로 대량의 유해화학물질 환경 배출	
	방사능 원자력시설에서의 방사선 비상사고	원자력시설
	방사능 방사능 동위원소의 방사능 누출	사용기관
	핵실험 등으로 인한 방사능 영향 범위 내 포함	국의 원자력시설, 원자력동력 장치 등
테러	다중이용시설에 유독성 화학물질 살포	다중이용시설
	화학 화학물질 취급시설에 대한 테러	보관·저장시설, 제조·사용시설, 운송차량
	음식 및 취·정수장에 유독물 유입	주요기반시설
	원자력시설에 의한 테러	원자력시설
	방사능 운반중인 핵물질에 대한 테러	운송차량
	Dirty Bomb에 의한 테러	다중이용시설

Table 2. Frequent accident materials

Name	CAS number	Name	CAS number
Methanol	000067-56-1	Chlorine	007782-50-5
Hydrogen chloride	007647-01-0	Methyl ethylketone	000078-93-3
Toluene	000108-88-3	Ammonia	007664-41-7
Hydrogen sulfide	007783-06-4	Hydrogen fluoride	007664-39-3
Nitric acid	007697-37-2	Phosgene	000075-44-5

3.2 화학·방사능 오염예측프로그램

(1) 시나리오 결과 탑재

화학·방사능 재난은 예측이 어렵고 사고 발생 시 큰 혼란 및 혼동을 야기 하므로 프로그램 사용자가 사고에 대한 정확한 정보를 입력하기란 현실적으로 불가능 하다.(Jianfeng Li, Sandra M.Y. Lee, Wenmao Liu.2013). 따라서 앞서 설정한 물질 및 상황별 시나리오를 미리 작성하여 그에 따른 대응을 매뉴얼 화하여 신속하게 업로드 하는 것이 신속한 초기대응의 방법이 될 수 있다. 입력 변수 역시 이미 설정된 기본 값을 입력하는 방식을 선택하였다. 본 연구

는 누출사고를 대응하는데 중점을 두어 진행하였다. 개발 및 탑재된 시나리오는 여수 지역의 과거 기상 조건의 실 데이터를 활용하였다. 해당 연구에서는 강진으로 인한 여수 화학 산업단지 내의 포스겐 및 불화수소 누출사고를 기본으로 하여 시나리오를 작성하였으며, 화학·방사능 시나리오 구성 및 전개 순서는 상황 개요, 기관별 역할 및 임무, 조치사항 목록, 단계별 대응시나리오로 구분 된다.(Table.3) 본 프로그램은 계절 및 풍향을 고려하여 화학사고 및 테러 시나리오를 작성하여 총 625개가 탑재되어 있으며 추가 진행하여 더 많은 시나리오를 탑재할 계획이다.(Pelin Onelcin, Mehmet Metin Mutlu, Yalcin Alver.2013).

Table 3. List of corrective measure

단계	위기형태 및 유형
사고접수 및 전파·보고	1. 사고 상황보고·전파 2. 긴급 상황 파악 및 분석 → 관계기관 현장 출동 3. 위기경보 수준 상향조정 4. 화학사고 현장 통제 및 문제 식별, 초기 위험성 평가 및 정보제공 5. 경보발령 및 인근주민·근로자 긴급대피 조치, 사고현장 접근 통제
초기대응 (긴급 상황관리)	6. 현장지휘본부 설치 7. 초기 응급조치 및 인명 탐색·구조 및 구호활동 8. 화재 등 물리적 위험제거, 누출·유출차단 등 위협 완화 작업 9. 중앙/지방 대응조직, 긴급구조통제단 운용규모 격상 - 중앙 : 중앙재난안전대책본부, 중앙사고수습본부, 지방 : 지역재난안전대책본부, 지역사고수습본부 - 긴급구조통제단 : 소방서 단위 → 소방본부 단위 → 소방방재청 단위
현장대응 (상황통제 및 수습)	10. 민방위대 경보발령 및 동원령, 인력·장비·물자동원 11. 사고지역 오염도 조사 및 유해·위험성 평가 12. 경계구역 조정 및 피해 예상지역 주민보호 조치 (추가) 13. 유해물질 확산 방지 및 방제·제독 작업 - 현장 대응요원, 주민, 시설·지역을 모두 포함
복 구	14. 잔류오염도 조사 15. 주민 복귀 조치 16. 피해상황 및 사고조사, 피해보상 대책 수립 17. 피해복구 및 사후관리 활동 전개 - 주민 불편해소, 심리치료 및 환경·건강영향 등 물리적 요소 이외 관리 포함 18. 사고 재발 방지대책 강구

(2) 화학·방사능 오염예측 통합대기확산 프로그램 설계

앞서 언급한 바와 같이 화학물질 및 방사능 사고에서의 통합 대응시스템개발을 목표로 하고 있으므로 이를 통합하는 모듈의 개발을 위한 방안을 모색하였다. 신속하고 빠른 대응을 위해 입력 파라미터의 기본 값을 설정하여 사용자가 입력하는 부분을 최소화하였으며 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 구성하였다. 입력 값의 간소화됨으로써 발생할 수 있는 신뢰도 문제의 경우 최소한의 신뢰도를 확보하기 위해 이미 신뢰도를 인정받아 배포되어 사용되고 있는 위험성평가 프로그램의 결과 값을 탑재하는 방식으로 진행하였다. 이때 화학물질사고의 경우 초기 확산모델을 미국 EPA의 ALOHA(AREAL LOCATIONS OF HAZARDOUS ATMOSPHERES)를 이용하였으며, 방사능물질에서는

Atom-CARE, CALPUFF의 모듈을 수정, 결과 도출하였다. 영향평가 모델의 종류는 누출, 화재, 폭발 크게 3가지로 구분된다. 누출 시 대기확산을 모사하는(SLAB), 가우시안 플룸(Gaussian Plume), 가우시안 퍼프(Gaussian Puff)이 있고 화재 시 제트화재(Jet Fire), 풀화재(Pool Fire)가 있으며 폭발 모델의 경우 중기운폭발(Vapor Cloud Explosion)과 비등액체팽창증기폭발(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)이 있다.(Table.4) 본 연구에서는 이 중 슬랩 모델 및 가우시안 플룸 모델을 활용하여 ALOHA를 통해 구현한 시나리오 결과로부터 입력변수와 매칭 되는 결과를 불러옴으로써 화학·방사능 통합오염예측프로그램의 설계 방안을 제안하였다. (Fig.1) 화학물질오염예측과 방사능물질 오염예측은 독립적으로 구현되게 하되 표출은 같은 형태로 가능하도록 통합모듈을 구성하였다. 확보된 결과 값을 미리 얻어 개발하고자 하는 프로그램에 미리 탑재함으로써 테러 및 재난 시 가장 중요한 단계인 초기대응을 신속하게 이루어 질수 있다.

Table 4. Risk Assessment Effect Model

구분	영향모델
누출 모델	슬랩(SLAB)
	가우시안 플룸(Gaussian Plume)
	가우시안 퍼프(Gaussian Puff)
화재 모델	제트화재(Jet Fire)
	풀화재(Pool Fire)
폭발 모델	중기운폭발(Vapor Cloud Explosion)
	비등액체팽창증기폭발(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)

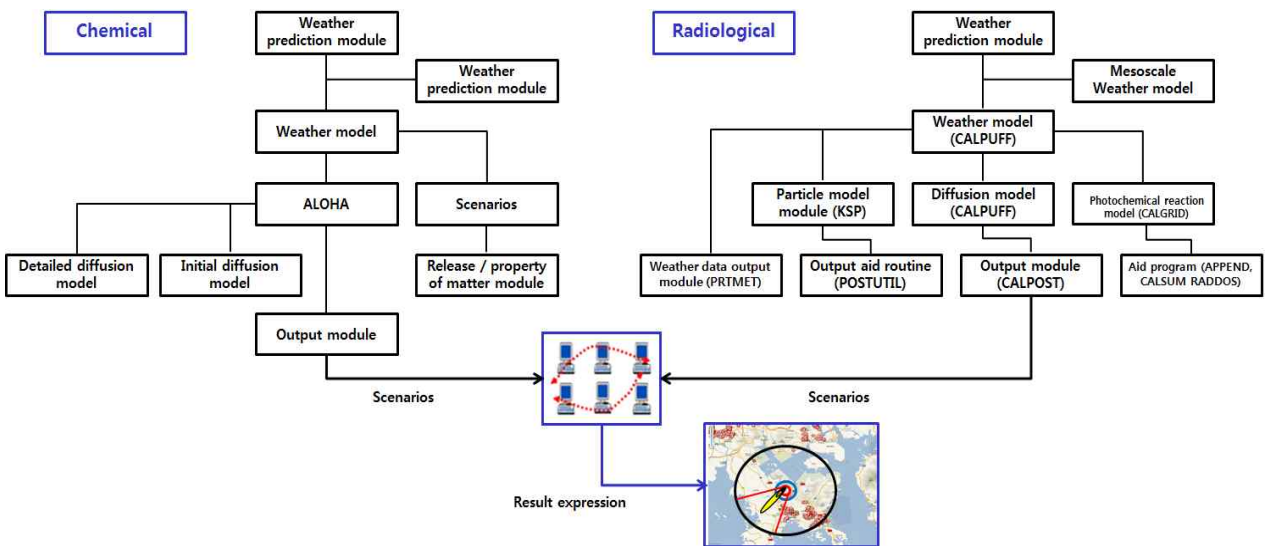


Fig. 1. Scheme of integrated program

(3) 화학·방사능 대응정보시스템 개발

화학·방사능 확산평가를 기초로 한 오염예측프로그램과 함께 연동되어 현장대응에 있어 정보를 제공할 수 있는 정보시스템의 확보 또한 중요하다.(Ce' line The'venaz, SandraL.Resodihardjo.(2010)). 오염예측프로그램을 구동하여 표출되는 결과에 따라 대응 가능한 유관기관과 불가능한 유관기관이 존재한다. 대피기관 또한 마찬가지로 오염반경에 따라 대피가능 지역, 불가능 지역으로 구분되어 질수 있다. 대응정보시스템은 오염예측프로그램의 결과를 반영하여 해당 기관의 필요 인력과 대피인원 수용 여부를 판단하도록 도움을 줄 수 있다.(Andrew M. Watson, Prince J. Kannankeril, Mark Meredith.(2013)). 사고 장소, 발생시각, 기상정보, 물질정보, 누출정보에 따른 물질정보보고서의

출력이 가능하며, 초기 확산 결과로 초기 확산반경, 기관별 방제시설 보유사항을 포함한 대응기관리스트, 기관별 규모 및 수용인원을 포함한 대피기관 리스트를 포함한 위험성평가 보고서 및 사고정보 보고서의 출력이 가능하다. 또한 사고 및 대응 정보를 대응/대피기관에 전파가 가능하도록 대응 안내 메시지와 사고대응 보고서를 전달하여 현장 대응 시 혼동을 방지할 수 있다.(Felix Wex, Guido Schryen, Stefan Feuerriegel, Dirk Neumann.(2014)). 사고접수, 사고전파 및 보고, 초기대응(대피), 현장대응, 복구/사후관리에 따른 절차를 따른다. 현장 대응 및 복구/사후관리 단계는 추후 연구 및 진행될 계획이다(Table.5). 이때 사용된 대피, 복구 등을 구현하기 위한 방호 모형의 경우 NATO ATP-45 방호규정을 한국 실정에 수정하여 활용하였다.(Table.6).(NPA,2010). 사고 발생 시점에서의 기상은 사고가 진행됨과 함께 조건이 달라질 수 있다. 따라서 사고시각에서의 정보만을 바탕으로 하여 측정된 오염 예측 결과는 모든 주민을 보호하는데 있어 한계를 갖는다. 이러한 한계점은 NATO ATP-45 규정을 바탕으로 설정한 방호모형을 활용할 경우 극복할 수 있다. 이 방호규정은 사고 발생 시 해당 지역으로부터의 방호 거리를 원 형으로 제시함으로써 풍향이 바뀌는 상황에서도 최대 방호 거리를 제시할 수 있는 특징을 갖는다. 따라서 민방위 대원은 이를 활용하여 초기에 피해를 최소화하기 위한 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

Table 5. Process of development for response program

단계	내용
접속	사용자 로그인
사고 접수	사고 유형에 따른 정보 입력: 사고지점, 발생시각, 사고 물질, 사고형태, 기상정보
사고 전파 및 보고	사고 정보 보고서 출력 및 대응기관으로의 사고 전파
초기대응	초기 확산평가를 통한 위험성 평가에 따른 대응/대피기관 선택
현장대응	현장모니터링을 통한 실제 오염범위 측정 및 경계구역 조정
복구/사후관리	주민 복귀여부 판단 및 정밀분석을 통한 잔류 오염 조사

Table 6. Hazard Prediction Zone

구분	화학사고	화학테러	방사능 사고	의미	
오염지역	1km	1km	5km	사고현장/탄착지역	
지대거리	위험지역	6km	2km	10km	피해영향거리(긴급)
영향지역	12km	10km	30km	피해영향거리(장기)	

4. 결론

본 연구는 전시상황을 포함한 화학·방사능 재난 발생하였을 때 민방위 담당자가 신속한 주민대피 및 현장대응을 유도하는 것에 목적이 있다. 이를 위한 연구로 기존 유사 대응시스템의 한계 분석, 시나리오 개발, 화학·방사능 오염에 즉 통합모듈 설계, 현장 및 기상데이터를 포함한 대응정보시스템 구축이 진행되었다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 국내 유사대응시스템분석을 통하여 현재 재난대응시스템이 갖는 한계를 도출하여 분석하였으며, 개선 방안으로 미국의 NARAC(National Atmospheric Release Advisory Center) 사례를 통해 화학·방사능 재난대응시스템을 통합하는 모듈을 개발하는 방향을 모색하였다.

(2) 신속한 재난대응을 위해 상황별 시나리오를 작성하였다. 여수 지역의 과거 기상 조건과 지역의 대피소 및 병원, 소방서를 데이터베이스화 하였으며, 사고대비물질(56종) 중 여수산업단지 내 사고다발물질(10종)에 대하여 대응 시나리오를 전개하였다.

(3) 시나리오에 따른 오염예측프로그램의 결과를 반영하여 해당 기관의 필요 인력과 대피 인원 수용여부를 판단

하며, 시나리오에 따른 물질정보보고서, 위험성평가보고서의 출력이 가능한 대응 정보 시스템을 개발하였다. 초기 확산 결과를 통해 확산반경, 기관별 방제시설 보유사항을 포함한 대응기관리스트와 기관별 규모 및 수용인원을 포함한 대피기관 리스트를 표출한다.

본 연구를 통하여 화학·방사능 재난 시 민방위 보호능력을 향상 시킬 수 있을 뿐 만 아니라 그 피해를 최소화 하는데 공헌할 수 있으며 화학·방사능 재난 관리를 위한 대응능력 향상에 이바지 할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 인적재난안전기술개발사업의 지원으로 수행한 ‘화생방 통합 관리주민보호시스템개발’ 과제의 성과입니다.

References

- J.D. Park, Y.H. Lee, Y. Yoon, J.K. Kim, J.H. Cho, I. Moon (2013). "Development of COI classification algorithm for chemical terrorism" Korean J. Chem. Eng, Vol.30, No.3, pp.559-562.
- Michael M. Bradley.(2007). "NARAC: an emergency response resource for predicting the atmospheric dispersion and assessing the consequences of airborne radionuclides" Journal of Environmental Radioactivity. Vol.96, No.1-3, pp.116-121.
- Jianfeng Li, Sandra M.Y. Lee, Wenmao Liu.(2013). "Emergency response plans optimization for unexpected environmental pollution incidents using an open space emergency evacuation model" Process Safety and Environmental Protection. Vol.91, pp.213-220.
- Pelin Onelcin, Mehmet Metin Mutlu, Yalcin Alver.(2013). "Evacuation plan of an industrial zone: Case study of a chemical accident in Aliaga, Turkey and the comparison of two different simulation softwares" Safety Science, Vol.60, pp.123-130.
- Ce' line The'venaz, SandraL.Resodihardjo.(2010). "All the best laid plans...conditions impeding proper emergency response" International Journal of Production Economics, Vol.126, pp.7-21.
- Andrew M. Watson, Prince J. Kannankeril, Mark Meredith.(2013)."Emergency Response Planning and Sudden Cardiac Arrests in High Schools after Automated External Defibrillator Legislation" The Journal of Pediatrics, Vol.163, pp.1624-1627.
- Felix Wex, Guido Schryen, Stefan Feuerriegel, Dirk Neumann.(2014). "Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units" European Journal of Operational Research, Vol.235, pp.697-708.
- NATO, ATP-45(D),Warning And Reporting And Hazard Prediction of CBRN Incidence, NPA,2010. p.3-12. 5-5-5-7