

화학물질 사고·테러 대응을 위한 경계구역 선정 개선방안 연구

전병한¹, 김현섭^{2*}, 이현승³, 박춘화³

¹전북대학교 환경공학과, ²충주화학재난합동방재센터, ³화학물질안전원

A Study on Improvement Plan for Selecting Boundary Areas to Respond to Chemical Accidents and Terrorism

Byeong-Han Jeon¹, Hyun-Sub Kim^{2*}, Hyun-Seung Lee³, Choon-Hwa Park³

¹Division of Environmental Engineering, Jeonbuk National University

²Chungju Joint Inter-agency Chemical Emergency Preparedness Center

³National Institute of Chemical Safety

요약 본 연구에서는 화학사고 및 화학테러 대응 시 화학물질로부터 인명 및 환경을 보호하기 위한 경계구역 설정에 관하여 국내외 사례 조사를 바탕으로 우리나라 실정에 적합한 경계구역 선정 개선방안을 제시하고자 하였다. 현재 다양한 관계부처에서는 공통적으로 hot zone, warm zone, cold zone으로 구분하여 사용 중이나 특정 지역에 대해서는 용어 활용 측면에서 상이한 의미로 혼용되고 있다. 따라서 경계구역을 기존 3개 지역에서 hot zone, warm zone, cold zone, safety zone 4개 지역으로 구분하여 활용할 것을 제시하였다. 그리고 warm zone을 관심지역, safety zone을 안전지역으로 용어를 정립하도록 한다. 기존에 적용하던 ERPG 급성노출기준은 다양한 노출시간을 고려하지 않기 때문에 장시간 노출상황 적용에 적합하지 않으므로 적용 우선순위를 AEGL, ERPG, PAC, IDLHs 순으로 하도록 한다. CARIS 정보제공 방안은 확산평가가 가능한 물질 또는 불가능한 물질이거나 실내누출 상황으로 구분하고 풍향신뢰선과 ERG의 초기이격거리 및 방호활동거리를 함께 표현하여 현장대응 및 주민대피 결정 정보자료로 활용될 수 있도록 한다.

Abstract This paper presents a method for improving the selection of boundary areas suitable for Korea's situation based on domestic and foreign case studies on the establishment of boundary areas to protect people and the environment from chemical substances in response to chemical accidents and chemical terrorism. Currently, various related ministries are divided into hot zones, warm zones, and cold zones in common, but in specific areas, they are used in different ways in terms of terminology utilization. Therefore, it was suggested that the boundary areas be divided into four zones: hot zone, warm zone, cold zone, and safety zone. In addition, the terms warm zone and safety zone should be re-established. The existing ERPG acute exposure standard does not take into account various exposure times. Therefore, it is unsuitable for long-term exposure, so the priority of application should be AEGL, ERPG, PAC, and IDLHs. The CARIS information provision method is classified into substances that can or cannot be diffused or classified as indoor leaks. In addition, the wind direction trust line and the ERG's initial separation distance and protective action distance are expressed together so that they can be used for accident responses.

Keywords : Boundary area, CARIS, Chemical accident, Chemical terrorism, Acute exposure standard

*Corresponding Author : Hyun-Sub Kim(Chungju Joint Inter-agency Chemical Emergency Preparedness Center)
email: sakao@korea.kr

Received April 16, 2020
Accepted August 7, 2020

Revised July 22, 2020
Published August 31, 2020

Table 2. Classification of bio terrorism boundary areas at the Center for Disease Control and Prevention

hot zone	<ul style="list-style-type: none"> Pathogen contaminated areas : structure, environmental detoxification, environmental specimen collection Closed space: Expand to the entire building Open space: 50 ~ 100 m, 10 times larger than the primary pollution zone
warm zone	<ul style="list-style-type: none"> Pathogen detection range (300 ~ 500 m) Installation of decontamination facilities (hot and cold boundary areas) On-site emergency clinic
cold zone	<ul style="list-style-type: none"> Securing distance: 500 m or more Support activities such as on-site command center, first aid, etc.

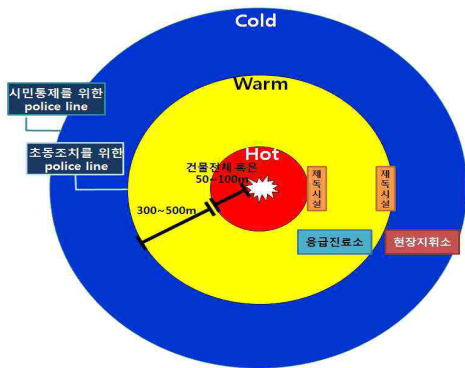


Fig. 2. Center for Disease Control and Prevention bio terrorism boundary areas Selection System

2.1.3 원자력안전위원회(방사능테러)

원자력안전위원회에서는 방사능테러 시 사고현장 상황을 파악한 후 확산범위 판단과 위험지역을 선정하고

Table 3. Classification of radioactive terrorism boundary areas by the Nuclear Safety Commission

hot zone	<ul style="list-style-type: none"> Areas requiring action to prevent radioactive disturbances Space radiation dose rate 20μSv / hr: Fire fighting area selection Space radiation dose rate 100 μSv / hr: U-REST area selection
warm zone	<ul style="list-style-type: none"> Areas where only essential emergency response personnel, such as firefighting and rescue personnel, are restricted to access, the public, and vehicles Space outside the radiation management area As the radiation dose rate is a natural radiation level (0.1 ~ 0.2 μSv / hr), it is necessary to secure the space required to perform emergency response measures between the radiation control area and the control area.
cold zone	<ul style="list-style-type: none"> Outside the police line

있다. 방사능테러의 경계구역 구분과 그 세부내용은 Table 3과 같고, 경계구역 선정체계는 Fig. 3과 같다[4].

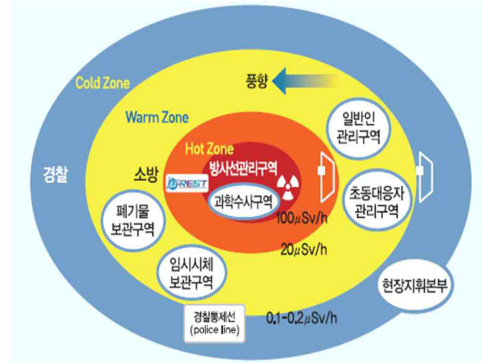


Fig. 3. Nuclear Safety Commission radioactive terrorism boundary areas Selection System

2.2 국외현황

2.2.1 일본

일본의 경우 재난 발생 시 소방기관 구조 활동을 기준으로 hot zone, warm zone, cold zone 구분을 하고는 있으나, 이와 관련하여 정확한 경계구역 선정에 관한 규정은 없다. 그러나 화학재해의 경우 위험도에 따라 소방대원의 활동과 지역주민의 안전한 대피, 진입 통제 구역 설정과 이격거리를 판단하기 위한 참고자료로 ERG(2016 Emergency Response Guidebook)을 활용하고 있다[5]. 일본의 초동대응 시 구역설정의 예는 Fig. 4와 같으며, 화학재해나 생물재해 시 소방활동구역과 선정기준은 각각 Fig. 5 및 Table 4와 같다.

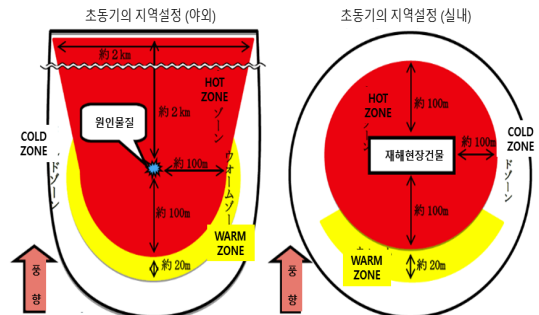


Fig. 4. Zoning System for Initial Response in Japan

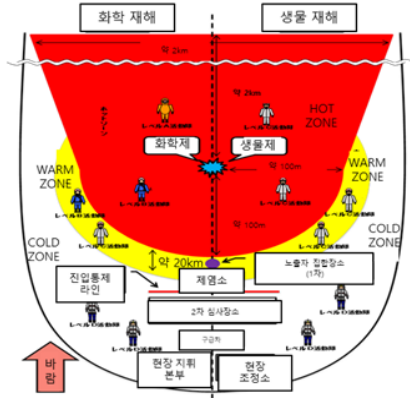


Fig. 5. Firefighting zones in case of chemical or biological disasters in Japan

Table 4. Criteria to select fire fighting areas in case of chemical or biological disasters in Japan

hot zone	<ul style="list-style-type: none"> About 100 m semicircle and about 2 km rearward to the left and right in the direction of the wind, relative to the origin The range that connects the end point of about 2 km in the direction of the wind spreading in a trapezoidal shape below the rear
warm zone	<ul style="list-style-type: none"> Range of about 20 km from the contaminated area
cold zone	<ul style="list-style-type: none"> Except the above two areas

원인물질을 추정할 때까지의 구역설정은 위에서 설명한 범위를 참고한다. 경계구역은 화학재해 및 생물재해의 종류, 누출형태, 누출량, 기상상황 등에 따라 달라질 수 있지만, 안전을 보장하기 위해서는 보수적인 관점에서 충분한 거리를 갖도록 한다. 일본은 경계구역 선정 시 마츠모토 사린사건의 사례를 고려하여 2 km를 기준거리로 설정하고 있으며, NBC 테러 대처 핸드북을 기초로 한다. 그리고 원인물질이 추정되었을 때에는 ERG를 참고해서 경계구역을 구분한다[6].

2.2.2 미국

미국의 경우 화학사고 발생 시 현장의 실시간 기상정보를 활용하여 경계구역을 선정하고 있다. 예측프로그램으로는 미국환경보호국(EPA)과 미국해양대기국(NOAA)가 공동으로 개발한 ALOHA를 사용한다. Fig. 6에서와 같이 ALOHA는 환경정보값을 이용하여 red zone,

orange zone, yellow zone으로 구분된 경계구역을 표현한다. 미국에서는 경계구역 선정 시 AEGL, ERPG, PAC, IDLH와 같은 다양한 환경정보값을 활용하고 있다 [7-8]. AEGL(Acute Exposure Guideline Levels)은 미국환경보호국에서 지정하는 일반 대중을 위한 임계 노출한계로써 10분에서 8시간까지 노출기간에 따라 적용할 수 있다. AEGL-1은 일반 인구 대상에 불쾌감 또는 자극을 주는 물질의 공기 중 농도이고, AEGL-2는 일반 인구 대상에 돌이킬 수 없는 심각한 건강의 악영향을 주는 물질의 공기 중 농도이며, AEGL-3은 일반 인구 대상에 생명을 위협하는 물질의 공기 중 농도를 말한다. ERPG(Emergency Response Planning Guidelines)는 미국산업위생학회(AIHA)에서 지정하는 지역사회의 비상계획에 사용하기 위해 공기 중 물질의 잠재적 유출량에 대처하기 위한 가이드라인이며 AEGL의 개념과 동일하게 3가지 위험수준으로 구분된다. PAC(Protective Action Criteria)은 미국에너지부에서 지정하는 기준으로 비상 대응하는데 있어서 상황의 심각성 및 잠재적 결과를 식별하기 위해 사용되며 AEGL과 ERPG를 포함하는 database를 구성하고 있다. IDLH(Immediately Dangerous to Life or Health)는 미국직업안전보건청(NOISH)에서 지정하는 기준으로 즉각적인 위험으로 탈출할 때 건강에 유해한 영향없이 30분 내 탈출이 가능한 최대농도를 말한다.



Fig. 6. Boundary areas setting using ALOHA in the United States

3. 국내에 적합한 경계구역 선정방안

3.1 경계구역 용어의 정의 정립

현재 관계기관별로 cold zone을 안전지역으로 지칭하고 있지만, 구역별 세부사항에서는 다소 차이를 나타내

고 있다. 화학사고 시 소방과 생물테러 시 질병관리본부의 안전지역은 오염되지 않은 깨끗한 지역으로 사고현장 지휘 및 구급활동 인원을 배치시키지만 시민의 진입은 통제된다. 반면 방사능테러 시 원자력위원회의 오염지역 체계에서 안전지역은 경찰통제선 바깥의 안전한 지역을 말하며, 유해화학물질 실무매뉴얼상의 cold zone은 경계지역으로 준위험지역(warm zone)보다 안전하지만 개인보호장비는 착용해야 하는 지역으로 구분하여 사고대응 측면에서 혼란을 초래하고 있다.

CARIS 확산범위에서 cold zone의 경우 warm zone보다 오염농도가 낮긴 하지만 일정 수준의 오염농도가 남아있기 때문에 안전한 지역을 의미하는 것은 아니다. 민감군(노약자, 영유아, 환자 등)의 경우 cold zone의 오염물질 농도에도 영향을 받을 수 있으며 cold zone 내 주민대피 및 대피장소를 선정하는 방법은 부적합할 수 있다. 따라서 관계기관별 용어 사용에 혼동이 없도록 Fig. 7에서와 같이 경계구역은 3개의 지역과 제독이 이루어진 cold zone 밖의 safety zone(안전지역)으로 구분하고, cold zone은 관심지역으로 재설정하여 용어를 정립할 필요가 있다.

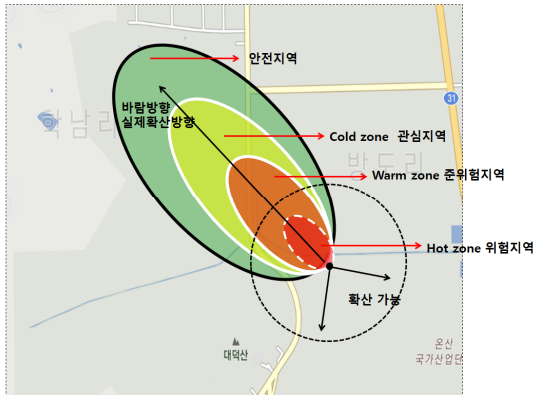


Fig. 7. Boundary areas setting and term definition

3.2 경계구역 선정 노출기준

현재 위해관리계획과 장기영향평가의 사고영향범위는 ERPG를 기준으로 사용하고 있으나, 해외 경우에는 LOC, AEGL, IDLHs 등과 같은 다양한 경계구역 설정기준이 사용되고 있다[9]. 본 연구에서는 Fig. 7과 같이 재정립된 경계구역을 바탕으로, 경계구역 선정기준을 Table 5과 같이 적용할 것을 제안한다.

AEGL은 다양한 노출상황에 대해 사용되고 있는 급성 노출기준으로 비상 피폭 기간에 따라 적용할 수 있으며

Table 5. Acute exposure standards for selection of boundary areas

priority order	hot zone	warm zone	cold zone	safety zone
1	AEGL-3	AEGL-2	AEGL-1	Lower than AEGL-1
2	ERPG-3	ERPG-2	ERPG-1	Lower than ERPG-1
3	PAC-3	PAC-2	PAC-1	Lower than PAC-1
4	IDLHs	-	-	-

유아와 어린이 등의 취약집단을 포함하는 일반 인구에 적용이 가능하다. ERPG는 AEGL과 같이 3가지 위험수준에 대해 비슷한 기준을 가지고 있으나, AEGL이 10분에서 8시간까지 노출시간에 따라 적용할 수 있는 반면 ERPG는 1 시간동안의 노출만을 기준으로 하고 있다. PAC 또한 1시간 노출을 기준으로 삼고 있어 장시간 노출이 지속되어 노출시간이 1시간보다 긴 경우에 적용하기는 적합하지 않다. IDLHs는 호흡기와 관련한 작업장의 노출한계로 사업장에서 건강한 성인 노동자를 대상으로 장기간에 걸친 건강의 위해성을 평가하기 때문에 화학사고로 누출된 물질이 일반대중에 미치는 위해성의 정도를 평가에 있어서는 과소평가될 수 있어 적합하지 않으므로 특정 유해화학물질의 위험성에 대해 어떤 가이드라인도 존재하지 않는 경우 사용해야 한다. 현재 우리나라에서는 AEGL과 ERPG 등을 혼용하고 있으나, AEGL은 지속적으로 추가되고 있는 추세인 반면에 ERPG는 더 이상 추가되고 있지 않기 때문에 AEGL을 우선순위로 사용해야 할 것이다.

3.3 기상변화에 따른 피해확산범위 산정 개선

화학사고 발생 시 피해확산범위 산정은 사고현장의 상황 및 기상을 고려한 CARIS 구동결과를 활용하고 있다. CARIS는 화재·폭발 및 누출사고를 모사할 수 있는 위험성 평가모델을 탑재하고 있지만 모든 화학물질에 대한 확산 평가를 실시 할 수 있는 것은 아니다. CARIS의 기상정보는 기상청의 국가기상측정망의 자료를 바탕으로 적용되지만 측정망이 지역마다 균일하게 설치되어 있지 않고 사고지점 주변에 측정망이 없는 경우 가장 가까운 다른 지역의 측정망 자료를 적용하므로 실제 사고지점의 기상정보와는 상이할 가능성을 갖고 있다. 또한 실외 조건의 이상적인 상황을 전제로 평가하기 때문에 지형이나

장애물로 인한 실시간으로 변화하는 기상상황에 영향을 받고 실내 환경에서 발생한 사고일 경우 구동결과에 불확실성이 따른다.

따라서 경계구역 선정을 하는데 있어서 CARIS를 지속적으로 활용하기 위해서는 위험성평가가 가능한 화학물질의 종류를 점차 확대하고, 화학사고 대응 활동 중 변화하는 풍향 등의 현지 기상상황에 대비하기 위해 ALOHA에서 적용된 가스 확산구름이 95% 남아있을 가능성을 나타낸 풍향신뢰선을 함께 표현할 필요가 있다. 그리고 확산평가가 불가능한 물질이나 실내에서 누출된 물질일 경우에는 ERG의 초기이격거리 및 방호활동거리를 적용하며, 이 정보를 CARIS 구동결과에 표현하여 유관기관과 공유할 필요가 있다. 풍향신뢰선은 누출이 장시간 지속되거나 독성이 높은 물질의 누출상황일 경우 기상상황에 대비하여 주민대피의 결정을 내리거나 측정차량 투입 시 용이하게 사용할 수 있을 것이다. Table 6은 CARIS 확산평가 정보제공의 개선방안을 이며, Fig. 8-9는 풍향신뢰선, ERG 거리정보를 포함한 CARIS 구동결과를 나타내고 있다.

Table 6. Information provision method for using CARIS

	Materials capable of diffusion evaluation	Materials that cannot be evaluated for diffusion or indoor leakage
Present	• Using CARIS	• Using the Emergency Response Handbook (ERG) - Initial separation distance and initial separation area selection
improvement	• Using CARIS - Wind direction trust line expression	• Using CARIS - ERG distance information is expressed together

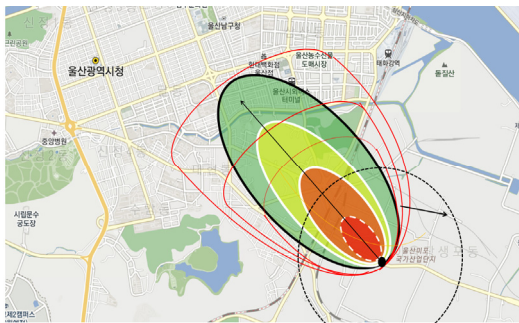


Fig. 8. Prediction method of Damage Diffusion by Wind-Trust Line

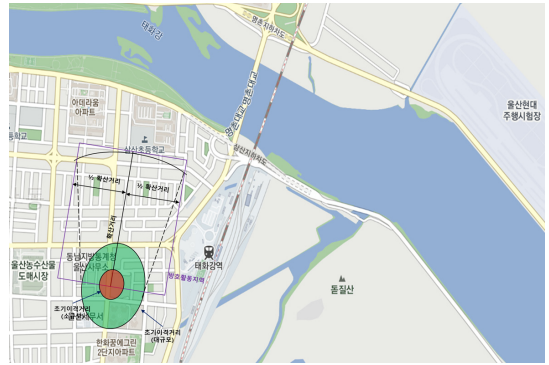


Fig. 9. Prediction method of Damage Diffusion by ERG Connection

4. 결론

본 연구에서는 화학사고 및 화학테러 대응 시 지휘소 설치 및 인명 대피를 위해 필요한 경계구역 선정에 대해서 국내·외 경계구역 정의 및 선정기준을 조사·분석하고 국내 실정에 적합한 경계구역 정의 및 선정기준 개선방안을 제시하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 경계구역은 현재 관계부처에서 공통적으로 hot zone, warm zone, cold zone 3개의 지역으로 구분하여 사용하고 있으나 cold zone의 경우 경계지역, 안전지역 등 다소 상이한 의미로 혼용되고 있다. 상황에 따라 취약집단에 대해서는 cold zone이 안전지역을 의미하지 않으므로 hot zone, warm zone, cold zone, safety zone의 4개 지역으로 경계구역을 구분하고 cold zone은 관심지역, safety zone은 안전지역으로 용어를 정립할 필요가 있다.
2. 급성노출기준 적용 현재 위해관리계획 및 장외영향 평가에서 ERPG를 기준으로 적용하고 있으나 AEGL에 비하여 시간에 따른 노출기준이 구분되어 있지 않고, 지속적으로 새로운 물질에 대한 노출기준이 추가되지 않아 범용적으로 활용하기 어려운점이 존재한다. 따라서 급성노출기준 적용은 AEGL, ERPG, PAC, IDLHs 순으로 적용할 것을 제안한다.
3. CARIS를 이용한 정보 제공방안은 확산평가가 가능한 물질과 불가능한 물질 또는 실내 누출 상황으로 구분하도록 한다. 그리고 현장의 기상변화에 대비하고 주민대피 여부를 결정하기 위한 자료로 사용하기 위하여 풍향신뢰선이나 ERG 거리정보가 함께 표현되는 정보를 제공할 필요가 있다.

References

- [1] National Institute of Chemical Safety, Chemical integrated Information system, Available From : <https://icis.me.go.kr> (accessed Mar. 10, 2020)
- [2] J. S. Park, J. O. Jang, "Counter-measure of Domestic Terrorism Threat in Terror Accidents Status", *The Korean Association For Terrorism Studies*, vol. 8, no. 4, pp. 83-96, 2015.
- [3] Ministry of Environment, "Hazardous Chemical Spill accident Crisis Standard Manual", Ministry of Environment, 2019, pp.128.
- [4] Ministry of Public Safety and Security Security Fire Headquarters, "Standard Textbook for Chemical Accidents(Terrorism)", Ministry of Public Safety and Security Security Fire Headquarters, 2016, pp.240.
- [5] National Institute of Chemical Safety, "2016 Emergency Response Guidebook", National Institute of Chemical Safety, 2016, pp.560.
- [6] National Institute of Chemical Safety, "A Study on Preparation of Rational Criteria related to Chemical Accidents", National Institute of Chemical Safety, 2017, pp.139
- [7] National Institute of Chemical Safety, "Key Info Guide for Accident Preparedness Substances", National Institute of Chemical Safety, 2019, pp.246.
- [8] National Institute of Chemical Safety, "Establishment of substance information for mounting the chemical accident response information system(CARIS)", National Institute of Chemical Safety, 2018, pp.233
- [9] Ministry of Environment, "Toxic Chemicals Control Act", 2015. Available From : <http://www.law.go.kr> (accessed Mar. 14, 2020)

전 병 한(Byeong-Han Jeon) [정회원]



- 2016년 2월 : 아주대학교 환경공학과 (석사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 전북대학교 환경공학과 (박사과정)
- 2017년 12월 ~ 현재 : 환경부 화학물질안전원

<관심분야>
환경공학, 화학공학, 안전공학

김 현 섭(Hyun-Sub Kim) [정회원]



- 2016년 8월 : 아주대학교 환경안전공학과 (석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 생명화학공학과 (박사과정)
- 2016년 1월 ~ 2018년 8월 : 시흥화학재난합동방재센터
- 2018년 9월 ~ 현재 : 충주화학재난합동방재센터

<관심분야>
환경공학, 화학공학, 안전공학

이 현 승(Hyun-Seung Lee) [정회원]



- 2018년 2월 : 전북대학교 환경공학과 (석사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 환경공학과 (박사과정)
- 2015년 5월 ~ 현재 : 환경부 화학물질안전원

<관심분야>
환경공학, 화학공학, 안전공학

박 춘 화(Choon-Hwa Park) [정회원]



- 2002년 2월 : 고려대학교 지구환경과학과 (석사)
- 2019년 2월 : 한국산업기술대학교 생명화학공학과 (박사)
- 2014년 1월 ~ 현재 : 환경부 화학물질안전원

<관심분야>
환경공학, 화학공학, 안전공학