

정량적 위험성평가를 이용한 화학물질 운송경로에 관한 연구

†변운섭

울산과학기술대학교 환경화학공업과
(2017년 4월 9일 접수, 2017년 6월 17일 수정, 2017년 6월 18일 채택)

A Study on Transportation Route of Chemicals using Quantitative Risk Assessment

†Yoon Sup Byun

Department of Environmental & Chemical Industry, Ulsan College, Ulsan 44610, Korea
(Received April 9, 2017; Revised June 17, 2017; Accepted June 18, 2017)

요약

화학물질 운송과정에서 교통사고로 인한 화학물질 누출사고가 발생할 경우에 대한 정량적 위험성평가를 실시하였고, 이를 기준으로 화학물질 운송경로의 적절성을 평가하였다. 이를 위해 사업장 내부에 설치되어 있는 화학물질 취급설비에서 화학물질 누출사고가 발생할 경우 적용하는 정량적 위험성평가방법을 제시하였고, 이를 화학물질 운송과정에 적용하였다. 운송 차량의 교통사고 건수를 분석하여 화학물질 운송시 화학물질 누출사고가 발생할 확률을 예측하였고, 차량을 이용하여 액화염소용기를 운송할 경우 발생할 수 있는 염소가스 누출사고에 대한 정량적 위험성평가에 적용하였다. 그 결과 위험도를 바탕으로 액화염소용기를 운송하는 차량의 가장 적절한 운행경로를 제시하였다.

Abstract - During the transportation of chemicals, quantitative risk assessment for chemical leakage accidents caused by traffic accidents was carried out and the appropriateness of chemical transportation route was evaluated. The quantitative risk assessment method applied to the chemical leakage accidents that may occur in the chemical handling equipments installed in the workplace was presented and applied to the chemical transportation. By analyzing the number of traffic accidents in transportation vehicles, the probability of chemical leakage accidents during chemical transportation was predicted and applied to the quantitative risk assessment of chlorine gas leakage accidents that may occur when transporting liquified chlorine bombe using vehicles. As a result, the most appropriate route of transporting the liquefied chlorine bombe was suggested on the basis of risk.

Key words : chemicals, quantitative risk assessment, transportation route, traffic accident, chlorine

1. 서 론

2012년 경북 구미지역에서 발생한 불화수소 누출사고를 계기로 정부에서는 화학물질 누출사고로 인한 피해를 줄이기 위해 화학물질관리에 대한 법률을 재정비하여 화학물질 취급시설 설치 및 관리

기준, 취급 시 안전조치 사항 등에 대한 기준을 제시하였다.

특히, 사업장 내부에서 화학물질 누출사고가 발생할 경우 해당공장의 설비 및 근로자들뿐만 아니라 인근 사업장 근로자, 주민, 환경피해 등 2차 피해까지 확대될 수 있으므로 화학물질 취급설비는 공장 설계 단계에서부터 위험도(Risk)를 분석하여 허용할 수 있는 범위 내에서 설치 및 운전하도록 관리하고 있으며, 화학물질관리법 제23조에 의해 실시

†Corresponding author:ysbyun@uc.ac.kr
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

되고 있는 장외영향평가는 사업장 내부에서 발생할 수 있는 화학물질 누출사고의 위험도를 낮추는데 기여하고 있다. 이에 비해 사업장 외부에서 발생할 수 있는 화학물질 누출사고로 인한 피해를 줄이기 위한 법적제도 및 연구가 부족한 상태이다. 특히, 독성물질을 운송하는 차량이 주거지, 상가 등 인구가 밀집한 도로를 통행하는 등 운송경로에 대한 위험도 평가가 이루어지지 않고 있는 상태이다. 또한, 최근에 사업장 내부에 설치되어 있는 화학물질 취급 및 저장설비에서 발생하는 화학물질 누출사고에 대한 피해예측, 피해최소화 대책 등에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나 화학물질 운송과정에서 발생하는 사고에 대한 연구는 부족한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 화학물질 운송경로 평가를 위해 사업장 내부의 화학물질 취급설비에서 사고가 발생할 경우 적용하는 정량적 위험성평가 방법을 제시하고, 이를 화학물질 운송과정에 적용하였다. 즉, 화학물질 운송과정 중 교통사고로 인해 화학물질 누출 사고가 발생할 경우 그 피해가 클 것으로 예상되는 액화염소용기 운송과정을 선정하고, 염소의 위험성을 기준으로 위험반경을 예측하여 염소 운송과정에서 발생할 수 있는 위험도를 예측하였다. 이렇게 하여 예측된 정량적 데이터를 근거로 화학물질 운송경로를 결정하고, 허용범위 내에서 화학물질을 운송할 수 있는 경로를 결정하는 방법을 제시하였다.

II. 정량적 위험성평가

화학물질관리법 제23조에 의해 유해화학물질 취급시설을 설치·운영하고자 하는 사업주는 유해화학물질 취급설비에서 발생할 수 있는 사고로 인한 사업장 주변 지역의 사람이나 환경 등에 미치는 영향을 평가한 장외영향평가서를 작성하여 환경부장관에게 제출하고, 환경부장관은 제출된 장외영향평가서 상의 위험도를 기준으로 유해화학물질 취급시설의 위험도를 평가한다.

따라서 본 연구에서는 장외영향평가 작성시 적용한 위험도평가 방법을 화학물질 운송과정에 적용하고자 먼저 사업장 내부에 설치되어 있는 화학물질 취급설비에 대해 정량적 위험성평가를 실시하였다.

2.1. 정량적 위험성평가 방법

화학물질 취급설비의 위험도를 평가하기 위해 취급설비의 사고발생확률과 사고 발생시 피해의 정도를 예측하여야 한다. 사고발생확률은 취급설비에서 발생할 수 있는 화재·폭발 또는 화학물질 누출

사고의 발생 가능성을 나타내며, 피해의 정도는 사고로 인해 사람이나 환경에 미치는 영향의 정도를 나타내는데 사고로 인하여 영향을 받는 범위 내의 주민의 수, 공공수용체 및 환경수용체를 고려하여야 한다.

따라서 위험도는 식(1)과 같이 화재·폭발 또는 화학물질 누출사고로 인한 사고의 영향과 그러한 사고가 발생할 확률을 곱하여 계산하는데 사고에 영향을 미치는 것은 다양한 변수가 있으므로 정량적 데이터로 구체화시키는 것은 매우 어려움으로 장외영향평가서에서는 영향범위 내 주민수로 계산한다[1].

$$\text{위험도} = \text{영향범위 내 주민수} \times \text{사고발생확률} \quad (1)$$

영향범위 내 주민수는 사고발생 취급설비를 중심으로 끝점까지의 거리를 반경으로 하여 원을 그려서 원 내의 주민의 수로 계산한다. 끝점까지의 거리는 사고발생 설비로부터 화재일 경우 5 kW/m² (40초), 폭발일 경우 1 psi, 독성물질일 경우 ERPG-2 (Emergence Response Planning Guideline-2) 농도가 되는 거리를 나타낸다[1]. 사고발생확률은 취급설비의 사고, 고장 등의 자료를 정리하여 작성한 신뢰도 자료를 사용할 수 있으며 신뢰도 자료가 확보되지 않았을 경우는 각종 전문기관에서 작성한 사고 및 고장통계 자료를 활용할 수 있다[1].

2.2. 정량적 위험성평가 적용사례

유해화학물질 취급설비를 설치·운영하려는 자는 사전에 사업장 내의 취급설비에 대해 장외영향평가서를 작성하여야 한다.

본 연구에서는 장외영향평가서 작성을 지원하기 위해 환경부에서 개발 및 보급한 공정정보, GIS엔진(지도), 시나리오 영향범위평가, 설비위험도 산정기능 등을 제공하는 KORA 프로그램(Ver 2.0.0.2)을 사용하여 화학물질 운송시 발생할 수 있는 사고에 대한 위험도를 예측하고, 그 결과를 근거로 화학물질 운송경로의 적절성을 평가하였다.

KORA 프로그램을 사용하여 화학물질 운송 경로의 적절성을 평가하기 위해 먼저 KORA 프로그램을 사용하여 사업장 내부의 화학물질 취급설비에 대한 위험도를 예측하였다.

화학물질은 크게 인화성물질과 독성물질로 분류할 수 있으며, 인화성물질은 사고가 발생할 경우 화재·폭발이 발생할 수 있고, 독성물질은 인근 지역으로 확산되어 주민 및 환경에 영향을 줄 수 있다

변운섭

시나리오	구분	온도(°C)	압력(MPa)	용량(kg)	취급물질	물질성상	누출공(mm)	누출률(kg/sec)	피해반경(m)	장외거리(m)
액화염소탱크로리 - Toxic	최악	-5	0.5	25121.9	염소	액상	-	41.9	8254.2	8085.6
액화염소탱크로리 - Toxic	사고	-5	0.5	25121.9	염소	액상	25	5.6	622.7	454.2

Fig. 1. Results of outside risk assessment.

Table 1. Properties of chlorine

Field	Description
CAS NO.	7782-50-5
Boiling Point(°C)	-34.05
Critical Temperature(°C)	144
Critical Pressure(MPa)	7.7
Gas Density	2.5(ait=1)
ERPG-1(ppm)	1
ERPG-2(ppm)	3
ERPG-3(ppm)	20

[2,3]. 일반적으로 사고발생시 피해의 정도는 독성 물질이 크므로 본 연구에서는 독성물질인 액화염소 취급설비를 선정하여 정량적 위험성평가를 실시하였다.

염소는 전 세계에서 제조되는 화학물질량을 기준으로 할 때 상위 10%에 해당되는 범용화된 화학 물질이며, 생산된 염소의 대부분은 자가소비 및 공장 간의 배관망을 통해 공급되고 있으나 생산된 염소의 일부는 살균, 소독제 등 다양한 용도로 사용되고 있으므로 차량을 통해 운송되고 있다[4].

염소는 Table 1과 같이 대기압에서 기체 상태이고 공기보다 무겁기 때문에 염소가 누출될 경우 희석이 잘되지 않고 대기 중으로 확산되어 주민 및 환경에 치명적인 영향을 줄 수 있다[4,5]. 염소의 인체 위험성은 우선 호흡기를 자극하고, 염소가스 농도가 5 ppm을 넘게 되면 짧은 시간 노출에도 매우 심각한 상태가 될 수 있다[4].

본 연구에서는 사업장 내부의 화학물질 취급설비에서 사고가 발생할 경우에 대한 정량적 위험성평가를 실시하기 위해 울산광역시에 소재한 ○○(주)의 액화염소 출하설비를 선정하였다.

액화염소 출하설비는 액화염소를 탱크로리에 주입하는 설비로 액화염소를 탱크로리에 주입시 누출 사고에 대한 위험도를 평가하기 위해 액화염소 탱크로리에 연결된 인입배관(1.5 in)에서 독성물질인 염소가스가 3분 동안 누출되어 확산되었다는 시나리오로 위험도를 평가하였다[1].

먼저 염소가스가 누출되어 ERPG-2 농도인 3 ppm가 되는 위험거리는 Fig. 1과 같이 사업장 경계면에서 454.2 m로 예측되었다. 이 때 대기환경 조건은 기상청에서 제공하는 2016년 울산지역의 평균 풍속인 2.2 m/s를 적용하였고, 대기안정도는 A(매우 불안정), B(불안정), C(약간 불안정), D(중립), E(약간 안정), F(매우 안정) 중 1년간 평균 대기안정도인 D(중립)를 적용하였다. 또한, 대기온도는 1년간 평균 대기온도인 15.9°C, 대기습도는 1년간 평균 대기습도인 66%를 적용하였다.

염소가스가 누출되어 확산될 경우 ERPG-2 농도가 되는 위험거리는 사업장 경계면으로부터 454.2 m로 이 위험지역에 상주하는 주민수 및 인근 사업장 근로자수 합은 약 820명이고[1], 염소취급설비의 사고발생확률은 고압용기 파열(1×10^{-12}), 플랜지 등 개스킷 파손(2×10^{-3}), 소규모 화재(2×10^{-2}) 등을 종합하여 3.4×10^{-2} /year 이다[1]. 따라서 액체염소 탱크로리 인입배관에서 염소가스 누출사고시 위험도는 식(1)로부터 27.88로 나타났다. 일반적으로 사업장 내부에서 화학물질 취급설비를 안전하게 운전하기 위해서는 위험도가 1 미만이어야 하므로 본 염소처리설비는 추가적인 안전성 확보 방안을 마련하고, 이를 이행한 후 운전하여야 할 것이다[1].

III. 육상운송 사고시 정량적 위험성평가

액화염소는 용기 또는 탱크로리를 이용하여 육상으로 운송하는데 용기는 액화염소의 무게가 100 kg 인 것과 1,000 kg 인 것을 사용한다. 차량으로 운송하는 100 kg과 1,000 kg 용기의 명세는 Table 2와 같다[5].

본 연구에서는 울산광역시에 소재한 액화염소 생산설비로부터 염소를 산화, 살균 등의 목적으로 사용하고 있는 정수장으로 액화염소 1,000 kg 용기를 차량으로 운송 중 교통사고가 발생하여 염소가

Table 2. Specifications of Bombe

Field	100 kg	1,000 kg
Volume(l)	84	800
Weight(kg)	100	1,000
Internal Diameter(mm)	353	766
Length(mm)	1,147	2,125

스가 누출되었을 경우에 대해 정량적 위험성평가를 실시하여 가장 적절한 액화염소 운송경로를 결정하였다.

차량을 이용해 액화염소용기 운송 중 염소가스 누출사고의 위험도는 운송 중 사고발생 지점 및 시점에서의 차량사고 발생확률과 동시에 사고시 피해 규모에 비례한다. 즉, 위험도는 특정지점 및 시점의 차량 사고발생확률과 피해규모의 곱으로 나타낼 수 있다. 그런데 염소가스 누출사고시 피해규모를 정량적으로 예측하는 것은 쉽지 않으므로 본 연구에서는 사업장 내부에 설치되어 있는 화학물질 취급 설비의 위험도 예측방법인 식(1)을 그대로 적용하여 위험지역 내에 상주하는 주민수를 이용하였다.

3.1. 사고발생확률

액화염소용기 운송시 사고발생확률은 운송차량의 사고발생률에 의해 결정되는데 운송차량의 사고확률은 액화염소 운송차량의 교통량 즉 운송차량의 운송지점, 운행거리 및 시간 등 다양한 변수에 영향을 받는다. 따라서 액화염소용기 운송시 염소가스가 누출될 확률은 운송지점, 운행거리 및 시간에서의 액화염소용기 운송차량의 교통사고율을 근거로 구할 수 있다.

그러나 이러한 데이터의 수집이 쉽지 않고 즉, 액화염소용기 운송차량의 교통사고확률을 수집하기 어려워 액화염소용기 운송차량의 운송지점, 운행거리 및 시간을 고려하지 않고, 국가통계포탈에서 제공하는 2014년도 화물차 교통사고를 근거로 액화염소용기 운송차량의 사고발생확률을 추정하였다.

국가통계포탈에 따르면 2014년 울산광역시 차종별 교통사고 발생건수 및 연간 주행거리는 Table 3과 같다.

화물차가 60 km/hour로 운행한다고 가정할 경우 차종별 연간 주행시간은 Table 4와 같다.

차종별 교통사고 발생건수와 연간 주행시간을 기준으로 울산광역시에서 운행하는 차종별 1시간 및 연간 운행시간(차량 운행시간 8,760 hour 기준)

Table 3. Number of traffic accidents and driving distance per year by type of vehicle

Field	No. of traffic accidents	Driving distance(km)
Car	3,444	5,043,314,000
Bus	272	382,177,000
Truck	534	1,146,715,000
Special Car	31	123,104,000
Total	4,281	6,695,310,000

Table 4. Driving hours per year by type of vehicle

Total(hour)	Car	Bus	Truck	Special Car
111,589,000	84,055,000	6,370,000	19,112,000	2,052,000

Table 5. Number of traffic accidents per year by type of vehicle

Unit	Total	Car	Bus	Truck	Other
No./hour	4.6×10^{-5}	4.1×10^{-5}	4.3×10^{-5}	2.8×10^{-5}	1.5×10^{-4}
No./year	4.0×10^{-1}	3.5×10^{-1}	3.8×10^{-1}	2.4×10^{-1}	1.3

당 사고건수는 Table 5와 같다.

따라서 액화염소용기 운송 화물차가 울산 시내에서 1년(8,760시간)간 운행할 경우 교통사고발생확률을 평균 $2.4 \times 10^{-1}/\text{year}$ 로 추정하고, 정량적 위험성평가를 실시하였다.

3.2. 정량적 위험성평가 실시

액화염소용기 운송차량이 운송 중 교통사고에 의해 염소가스가 누출될 경우 피해정도를 예측하기 위해 사업장 내부의 화학물질 취급설비에 적용한 환경부에서 개발하여 보급한 범용프로그램인 KORA 프로그램을 사용하여 위험도를 예측하였다.

본 연구에서는 정량적 위험성평가 결과를 근거로 화학물질 운송경로의 적절성을 평가하기 위해 Fig. 2와 같이 1,000 kg 액화염소용기를 운송하는 화물차가 울산광역시 남구에 소재 생산설비로부터 최단거리로 울산고속도로로 진입할 수 있는 산업



Fig. 2. Transportation route of chlorine bombe.

로, 두왕로, 남부순환도로, 울산 IC를 거쳐서 고속도로로 진입하는 운행경로에 대한 위험도를 평가하였다.

먼저 사업장에서 액화염소용기를 싣고 산업을 거쳐 두왕로를 운행 중 교통사고가 발생하여 액화염소용기의 밸브, 가용전(안전판) 등이 파손되어 염소가스가 누출되어 인근 주변지역으로 확산될 경우 사고지점으로 부터 ERPG-2 농도인 3 ppm인 되는 거리를 예측하였으며, 다음으로 남부순환도로, 마지막으로 고속도로로 진입하기 직전인 신복로터리 부근에서 교통사고가 발생한 경우에 대해 위험도를 예측하였다. 누출시간은 일반적으로 저장용량 900 kg(용기의 90% 저장)이 10분 동안 전량이 누출되는 경우를 최악의 누출시나리오로 가정하므로 실제 가능성을 고려하여 3분간 누출한 것으로 가정하였다[1].

대기환경 조건은 사업장 내부의 액체염소 출하 설비와 같이 2016년 울산지역의 평균 풍속 2.2 m/s, 대기안정도 D(중립), 대기온도 15.9 °C, 대기습도 66%를 적용하고, 누출지점은 교통사고지점의 지표면으로 적용하였다.

또한, 액체염소용기의 운전온도와 운전압력은 Table 6과 같이 액화염소는 온도에 따라 증기압이 변하기 때문에 운송 중에 교통사고로 인해 액화염소용기가 파손된 경우에 대한 위험도를 평가하는 것이므로 온도는 20°C(대기온도 15.9°C이므로 용기 내부온도는 20°C로 가정)로 하고, 압력은 게이지 압력으로 0.58 MPa로 하여 염소가스 누출된 사고에 대해 위험도를 평가하였다[5].

울산광역시 두왕로에서 액화염소용기를 화물차로 운송 중 교통사고로 1,000 kg 용기에서 염소가스가 3분간 누출되어 확산될 경우 ERPG-2 농도가 되는 위험거리는 Fig. 3과 같이 두왕로 사고 지점으로부터 396.5 m로 이 위험지역에 상주하는 주민수는 2,414명으로 예측되었다.

Table 6. Vapor pressure of chlorine according to temperature

Temperature(°C)	-34.5	-10	0	10	20	30
Vapor Pressure(MPa)	0.1	0.26	0.37	0.50	0.68	0.88

시나리오	구분	온도(°C)	압력(MPa)	용량(kg)	허용물질	불꽃연상	누출공(mm)	누출률(kg/sec)	피해반경(m)	장외거리(m)
액화염소 Bombe - Toxic	화력	20	0.6	900	염소	역상	-	1.5	1631.1	1630.2
액화염소 Bombe - Toxic	사고	20	0.6	900	염소	역상	13	1.5	396.5	396.6

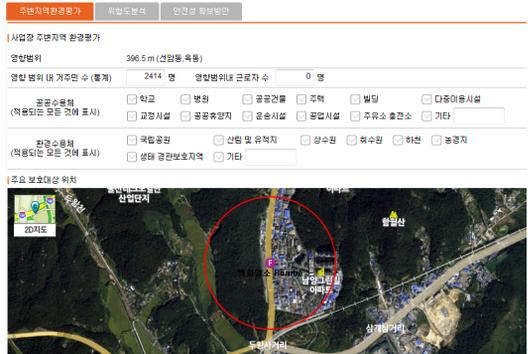


Fig. 3. Results of risk assessment at duwang-ro.

시나리오	구분	온도(°C)	압력(MPa)	용량(kg)	허용물질	불꽃연상	누출공(mm)	누출률(kg/sec)	피해반경(m)	장외거리(m)
액화염소 Bombe - Toxic	화력	20	0.6	900	염소	역상	-	1.5	1631.1	1630.2
액화염소 Bombe - Toxic	사고	20	0.6	900	염소	역상	13	1.5	396.5	396.7

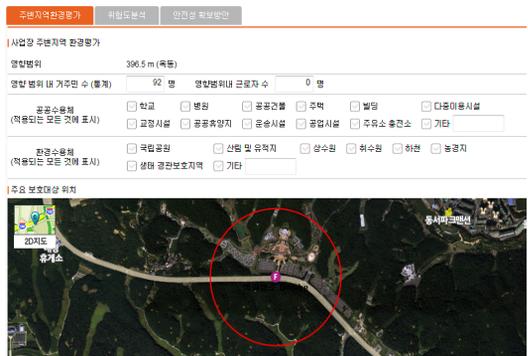


Fig. 4. Results of risk assessment at nambusunhwando-ro.

또한, 남부순환도로 울산대공원 남문 입구에서 교통사고가 발생하여 염소가스가 누출될 경우 Fig. 4와 같이 남부순환도로 울산대공원 남문 입구에서

시나리오	구분	중도(%)	입력(MPa)	용량(kg)	유출물질	활성상	누출률(mm)	누출속도(kg/sec)	피해반경(m)	안전거리(m)
액화염소 Bombe - Toxic	화력	20	0.6	900	염소	액상	-	1.5	1631.1	1630.3
액화염소 Bombe - Toxic	사고	20	0.6	900	염소	액상	13	1.5	396.5	395.7



Fig. 5. Results of risk assessment at sinbok rotary.

396.5 m까지의 위험지역 내의 주민수는 92명으로 예측되었다.

그리고 신북로터리에서 염소가스가 누출될 경우 Fig. 5와 같이 신북로터리 사고지점으로부터 염소가스 농도가 3 ppm 이상이 되는 396.5 m까지 위험지역 내에 상주하는 주민수는 7,459명으로 예측되었다.

여기서, 주민수는 직접 조사하여 확인하는 방법이 있지만 현실적으로 어려움이 있으므로 통계조사 결과를 근거로 개발된 KORA 프로그램에서 제공하는 자료를 사용하였다.

두왕로에서 액화염소용기를 운송하는 화물차가 교통사고로 염소가스가 누출될 경우 위험도는 위험지역 내에 상주하는 주민수 2,414명에 교통사고가 발생할 확률 $2.4 \times 10^{-1}/\text{year}$ 를 곱하여 580로 예측되었다. 그리고 남부순환도로 울산대공원 남문 입구에서 교통사고가 발생하여 염소가스가 누출될 경우 위험도는 위험지역 내에 상주하는 주민수 92명에 교통사고가 발생할 확률을 곱하여 22로 예측되었다. 또한, 신북로터리에서 교통사고로 인한 염소가스가 누출될 위험도는 위험지역 내에 상주하는 주민수 7,459명에 교통사고가 발생할 확률을 곱하여 1,790로 예측되었다. 즉, 울산광역시 남구 소재 액화염소 생산설비로부터 울산고속도로까지 최단거리로 운행하기 위해 산업로, 두왕로, 남부순환도로, 신북로터리, 울산 IC로 운행할 경우 신북로터리에서의 위험도가 1,790로 예측되어 본 운행경로는 위험도가 높은 것으로 나타났다.

운행거리가 최단거리가 아니더라도 위험도를 낮추기 위한 최적의 경로를 결정하기 위해 산업로, 남

Table 7. Risk by interchange

Field	Ulsan IC	Munsu IC	Cheongnyang IC
Risk	1,790	89	541

창로, 청량로 및 문수 IC와 산업로, 남창로 및 청량 IC 운송경로에 대한 위험도를 예측한 결과 Table 7과 같았다.

따라서 액화염소용기를 운송하는 화물차가 생산설비로부터 울산광역시 시내 도로를 거쳐 고속도로로 진입할 경우 최단거리는 아니더라도 위험도를 가장 낮출 수 있는 시내 운행경로는 산업로, 남창로, 청량로 및 문수 IC로 확인되었다.

IV. 결론

화학물질을 차량을 이용하여 운송하던 중 교통사고로 인한 화학물질이 누출사고가 발생할 경우 인근 지역주민 및 환경에 피해를 줄 수 있다. 특히, 독성물질 누출사고가 발생할 경우 그 피해범위가 광범위하고, 치명적이다. 따라서 본 연구에서는 교통사고가 발생할 확률과 사고발생시 사고지점 주변의 주민수를 근거로 위험도를 예측하고, 예측된 정량적 데이터를 기반으로 화학물질 운송경로를 평가하는 방법을 제시하였다.

화학물질 운송경로의 위험도를 평가하기 위해 사업장 내부의 화학물질 취급설비에서 누출사고가 발생할 경우 위험도를 예측하는 방법인 취급설비의 사고확률과 주민수를 곱하는 방법을 화학물질 운송에 적용하였다.

본 연구에서는 울산광역시에 소재한 액화염소 생산설비로부터 타시도 사용처로 액화염소용기를 운송하기 위해 액화염소용기를 실은 운송차량이 울산광역시 시내 도로를 통행 중 교통사고로 염소가스 누출사고가 발생할 경우에 대한 위험도를 예측하였다. 이를 위해 울산광역시 화물차의 교통사고 빈도를 분석하여 울산광역시 도로에서 염소가스 누출사고가 발생할 확률을 $2.4 \times 10^{-1}/\text{year}$ 로 추정하였다. 또한, 액화염소 생산설비에서 고속도로까지 울산광역시 시내 운송경로 3가지 중 위험도가 가장 낮은 운행경로로 생산시설에서 산업로, 남창로, 청량로 및 문수 IC로 운행하는 경로를 제시하였다.

따라서 본 연구에서 제시한 정량적 위험성평가를 이용하여 위험도를 예측하고, 이를 기준으로 화학물질 운송경로를 결정할 경우 제시된 위험도 범위 내에서 화학물질을 운송할 수 있는 경로를 결정할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 울산과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] NICS, *Outside Risk Assessment-Chloride Handling Equipment*, National Institute of Chemical Safety, (2014)
- [2] Kim, S. M., Jang, S. I. and Kim, T. O., "Analysis of Toxic Effect in the Small Scale Release of Chlorine Gas", *Theories and Applications of Chem. Eng.*, **9**(2), 3030-3033, (2003)
- [3] Seol, J. W., Yong, J. W., Chae, C. K., Tae, C. H. and Ko, J. W., "A Study on Accident Response Guidelines for Hazardous Materials (HAZMAT) Transport Vehicle", *KIGAS*, **19**(5), 87-97, (2015)
- [4] Kim, J. G. and Byun, H. S., "Hazard Assessment on Chlorine Distribution Use of Chemical Transportation Risk Index", *Korean Chem. Eng. Res.*, **52**(6), 755-767, (2014)
- [5] KGS, *Safety Manual of Liquefied Chloride use Equipment*, Korea Gas Safety Corporation, (2009)