

Consequence Modeling을 이용한 화재안전거리 산출

류은열 / 기술지원부장

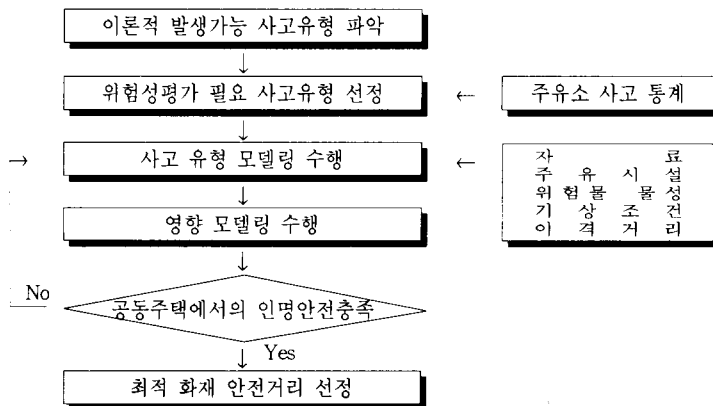
1. 서 론

최근 우리나라의 주택문제는 도시로의 인구집중 등 밀집화 현상이 가속화되면서 공동주택의 수요 확대가 필수적이나 가용택지의 한계로 인하여 커다란 문제점으로 대두되고 있다.

또한 우리나라 국민의 생활수준향상에 따라 자동차 보유대수의 폭발적인 증가로 주유소 설치수도 매년 20%이상씩 증가 추세에 있기 때문에 가용토지는 점차 감소되고 있는 실정이다.

특히 현행 주택건설 관련기준에 의하면 공동주택과 주유소간에 50m이상을 이격하도록 한 규정으로 인하여 가용토지의 효율성 제고라는 측면이 중요한 과제로 부상하고 있다.

본 연구는 주유소의 화재위험성과 주유소의 화재사고를 분석하고 이를 토대로 주유소의 화재위험성을 평가하며, 국내외 관련자료의 조사연구를 통해 이의 상관성을 규명함으로써 대면건물의 화재안전거리를 산출하여 공동주택과 주유소의 적절한 이격거리를 제시하기 위함이 그 목적이다. 이를 위하여 특히 주유소에서 발생할 수 있는 이론적 사고유형을 파악한 후 통계적 관점 즉, 실제 발생한 사고유형을 토대로 적정사고유형을 선정한 후 여기서 비롯될 수 있는 현상과 인근에 미치는 피해를 Pool Fire Modeling과 Effect Modeling을 이용하여 대면건물의 화재안전거리를 도출하였으며 주유소의 화재위험성평가 계통도는 [그림1]과 같다.



[그림 1] 주유소의 화재위험성평가 계통도

2. 주유소에 대한 위험성 검토

2-1. 위험물의 분류

소방법에서 규정한 위험물은 주로 화학적인 위험물로서 화재위험이 높은 물질을 규제하는 것이며 엄밀히 말하면 소방법상 위험물이라고 하여야

한다.

[표1]은 각국의 주요 방화 유관기관에서 위험물 물질을 정리, 분류한 것을 요약한 것이다.

소방법에서는 이들 위험물의 성상과 소화방법 등에 따라 구분하여 6종류로 나누어 놓고 있으며, 주유소에서 취급하고 있는 위험물은 제4류 인화성 액체에 해당되는 휘발유, 등유, 경유이다.

[표 1] 위험물질의 분류

일본화학회	국내규정	NFPA	IMO 규약	DOT규약
① 폭발성	(소방법)	① 건강위험성	① 화 약 류	① 화 약
② 발화성	① 제1류(산화성고체)	② 연소위험성	② 고압가스	② 고압가스
③ 금수성	② 제2류(가연성고체)	③ 반응위험성	③ 인화성액체	③ 인화성액체
④ 인화성	③ 제3류(금수성물질)		④ 가연성고체	④ 가연성고체
⑤ 가연성	④ 제4류(인화성액체)		⑤ 산화성고체 및 유기과산화물	⑤ 산화성고체
⑥ 산화성	⑤ 제5류(연소성물질)		⑥ 독물 및 병원 물질	⑥ 유독성물질
⑦ 강산성	⑥ 제6류(산화성액체)		⑦ 방사성물질	⑦ 방사성물질
⑧ 부식성	(고압가스안전관리법, 도시가스사업법, 액화 석유가스의 안전 및 사업관리법)		⑧ 부식성물질	⑧ 부식성물질
⑨ 유독성	① 압축가스		⑨ 유해성물질	
⑩ 유해성	② 액화가스			
⑪ 방사성	③ 가연성가스			
	④ 독성가스			
	(총포·도검·화약류 등 단속법)			
	① 화 약			
	② 폭 약			
	③ 화공품(火工品)			
	(유해화학물질관리법)			
	① 유독물(유해화학물질)			

2-2. 위험물시설의 분류

위험물이란 화학적, 물리적, 생리적 성질에 따라 여러가지 법률로 규제하고 있으므로 여기서는 주

유소와 관련이 있는 건축법과 소방법상의 위험물 저장 및 처리시설의 분류에 대해서만 기술하고자 한다.

건축법시행령에 의한 건축물의 용도 분류에 의

하면 위험물 저장 및 처리시설은 소방법, 도시가스사업법, 석유사업법, 고압가스안전관리법, 액화석유가스의 안전 및 사업관리법, 총포·도검·화약류 등 단속법, 유해화학물질관리법에 의하여 설치 또는 영업의 허가를 받아야 하는 건축물로서 주유소, 액화석유가스충전소, 위험물제조소, 위험물저장소, 위험물취급소, 액화가스취급소, 유독물판매소로 분류하고 있다.

소방법상의 위험물 저장 및 취급시설은 「위험물 제조소 등」이라고 하며 위험물을 제조, 저장, 취급, 운반하는 제반 시설을 말한다.

「위험물 제조소 등」은 위험물제조소, 취급소, 저장시설로 크게 구분하며, 건축법상 주유소는 취급소의 일부분에 속한다.

2-3. 주유소의 위험성 검토

유류는 위험한 요소를 많이 가지고 있지만 그것에 따른 안전대책이 여러가지로 강구되어 있으므로 화재발생의 빈도는 비교적 적다.

또한, 주유소에 설치, 사용하는 지하탱크는 탱크를 지하에 매설한 것으로 화재의 위험성이 적다.

그리고 유류가 지상에 유출한 경우와 같이 개방된 장소에서 휘발유가 연소하기 시작했을 때는 큰 휘발성 때문에 순식간에 대화로 확대되지만, 그 위험성을 고려하여 안전하게 저장할 수 있는 저장탱크를 선택하여 설치한다면 화재위험을 감소시킬수 있다.

따라서 휘발유나 등유의 탱크 화재중에 폭발하거나 탱크가 파열하거나 하는 위험은 별로 없으며 특별한 소화작업을 하지 않더라도 화재가 탱크 내

에만 머문다면 유분이 소진되어 자연히 진화될수도 있다.

소방법상 위험물은 제조소 등의 규모, 저장, 취급하는 위험물의 품명 및 최대수량에 의해 소화의 난이도가 있기 때문에 소화의 곤란성에 따른 제조소 등을 구분하여 적용하는 소화설비의 설치를 의무화 하고 있다.

위험물 제조소 등은 소화의 난이도에 따라 현저하게 소화가 곤란한 제조소 등, 소화가 곤란한 제조소 등 및 기타 제조소 등으로 구분한다.

위험물 제조소 등에 설치하는 소방시설은 소화의 난이도 구분에 따라 당해 제조소 등에 적용하는 소화설비 또한 경보설비를 설치하도록 하였다.

따라서 주유소는 기타 제조소 등으로서 화재가 발생하더라도 크게 확대될 위험이 적고 소화가 용이하기 때문에 소형소화기 등만 설치하도록 되어 있다.

3. 주유소의 화재사고 분석

3-1. 주요소화재 현황

10년동안 국내 6대도시(서울, 부산, 대구, 인천, 대전, 광주)에서 발생한 주유소 화재는 1년에 4건의 화재발생으로 인명피해 3명, 재산피해 790만원의 손해를 발생시키고 있는 것으로서 화재발생 측면에서나 손해측면에서도 매우 경미한 실정이다.

주유소에서 발생한 화재는 총 41건으로 같은 기간에 지역에서 발생한 화재 79,961건의 0.05%에 불과하여 전체 화재에서 아주적은 부분을 차지하고 있다.

[표 2] 연도별 주유소 화재건수와 피해

구분 \ 연도	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	합계
주유소 화재건수	1	8	1	3	2	11	3	3	1	8	41
인명피해(명)		1/0		2/0	2/0	4/1	1/0	1/2	2/0	9/3	22/6
재산피해(만원)	.2	12	0	260	50	1,418	80	2,200	20	3,867	7,909

(주) 인명피해는 부상/사망 임

3-2. 주유소의 화재발생율과 화재원인

'90년부터 '94년까지 5년간 국내 6대도시 주유소의 화재발생율 (주유소화재건수/주유소 수 ×100)은 0.35%로 나타났다.

일본의 경우에도 '89년부터 '93년까지 5년간 일본 전체 주유소 화재건수는 185건으로서 1년에 평균 37건의 화재가 발생하고 있으며 화재발생율은 0.04%를 기록하고 있다.

[표 3] 국내의 주유소 화재 발생율

구 분 \ 연 도	'90	'91	'92	'93	'94	합 계
6대도시 주유소 수 (A)	1,172	1,204	1,410	1,611	2,098	7,495
주유소 화재 건수 (B)	11	3	3	1	8	26
화재 발생율 (B/A. %)	0.94	0.25	0.21	0.06	0.38	0.35

(주) '92년 6대도시 주유소 수는 추정치 임.

[표 4] 일본의 주유소 화재 발생율

구 분 \ 연 도	'89	'90	'91	'92	'93	합 계
주 유 소 수 (A)	89,814	89,388	89,616	89,996	90,647	449,461
주유소 화재 수 (B)	43	35	38	43	26	185
화재발생율 (B/A. %)	0.05	0.04	0.04	0.05	0.03	0.04

우리나라의 주유소 화재원인은 주유중(34.1%), 전기(19.5%), 담배불(14.6%) 등의 순이며, 일본은 주유중(50.9%), 주유기에 충돌(27.1%) 등이다.

3-3. 인명피해 발생요인

주유소 화재는 주유기에서 자동차로 주유할 때 또는 위험물 탱크로리 차에서 지하탱크저장소로 급유할 때 많이 발생하고 있다.

주유소의 화재사례 11건중 인명피해가 발생한 6건의 사례를 분석해 보면 27명의 인명피해 (사망 8, 부상 19)가 발생하였는데 대부분이 주유소 종업원 (또는 탱크로리운전수)으로서 주유소 화재가 인근 거주자에 미치는 영향은 경미한 것으로 나타났다. 인명피해 27명중 21명 (사망 6, 부상 15)은 유증기의 폭발로 인하여 발생한 것이고 5명 (사망 1, 부상 4)은 유류 취급중 급격히 화재가 발생하여 소사 또는 화상을 입은 것이며 1명은 취침중 사망한 것이다.

주유소에서 화재, 폭발사고 발생시 그 피해의 영향은 대부분 주유소내에 국한되고 있으나 일부는 주유소 외부에 약간의 피해를 미치고 있는 것으로 나타났다. 일본 위험물시설의 화재영향을 보면 93%가 당해시설에 국한되고 5%만이 타시설로 연소확대되고 있는 것으로 나타나 (2%는 타시설로부터 연소된 것임) 상기의 분석결과를 뒷받침해 주고 있다.

4. 주유소의 화재 위험성 평가

4-1. 이론적 관점의 사고 유형

주유 취급소는 전용 지하탱크에 접속되어 있는 고정 주유설비에 의하여 위험물을 자동차에 직접 주유하거나 실소비자에게 판매하는 위험물 취급소로서 그 목적 및 형태에 따라 자동차용, 철도용, 항공기용으로 분류하지만, 본 연구에서는 영업용 주유 취급소를 화재 위험성 평가의 연구 대상으로 선정한다.

주유 취급소의 화재 위험성과 관련된 위험물 취급 과정은 다음과 같다.

(1) 유조차(Tank Lorry)에서 지하탱크로의 급유과정

- 유조차의 탱크, 배관, 호스 또는 밸브계통 시설결함이나 오조작에 의한 누유
- 계량 실수에 의한 과다주유로 지하탱크의 넘침
- 누유된 위험물 착화로 인한 유조차 화재폭발 또는 주유소 부지내 화재
- 누유유증기의 지하실 또는 부속시설 유입에 의한 화재폭발
- 급유중 정전기로 인한 지하탱크 내부화재 또는 폭발

(2) 주유기에서 자동차로의 주유 및 판매과정

- 설비결함이나 조작실수에 의해 펌프, 배관, 호스, 노즐에서의 누유
- 누유된 위험물의 주유소 부지내 화재
- 유증기의 지하실 유입축적에 의한 화재폭발
- 누유유증기의 부속시설 유입에 의한 화재
- 지하탱크에서 내부탱크실로 누유

(3) 자체난방용 위험물 취급과정

- 보일러의 물리적 폭발
(관체내부의 수증기 누설 팽창에 의한 폭발)
- 보일러 내부의 화학적 폭발
(미연소가스의 내부축척상태에서 점화시 폭발)
- 버너, 배관에서 누유로 인한 화재 또는 실

내 유증기 축적에 의한 폭발

4-2. 사고 유형의 선정

앞서 살펴본 사고 유형은 이론적으로 발생 가능한 사고이나 발생빈도(화률)가 극히 낮거나, 발생 가능성은 있으나 화재로 전이하기 곤란한 사고 유형, 사고시 피해를 야기할 가능성이 낮은 사고 유형은 배제할 필요가 있으므로 다음을 고려해서 필요한 사고 유형을 선정하였다.

첫째, 통계적으로 발생화률 0인 사고 유형

- 유조차에서 누유된 위험물 착화로 인한 유조차 화재 폭발

- 정전기로 인한 지하탱크 내부에서의 화재 또는 폭발

둘째, 발생 가능성은 있으나 화재로 전이하기 곤란한 사고 유형

- 지하 탱크에서 내부 탱크실로의 누유 사고
- 주유기나 배관계통에서 누유 위험물의 부속시설 유입 화재

셋째, 사고가 발생하더라도 주변에 미치는 피해 발생 가능성이 낮은 사고 유형

- 지하탱크 내부에서의 화재폭발
- 부속건물 지하실로 누유된 유증기가 유입 축적에 의한 화재 폭발
- 보일러의 폭발(화학적 폭발, 물리적 폭발)

주유소에서 주유 목적상 취급하는 위험물에는 휘발유와 경유가 있으며 이들 물질은 탱크롤리에서 지하탱크로 급유하는 과정 또는 지하탱크에서 주유기를 통해 자동차로 주유하는 과정에서 설비결함, 취급 부주의, 조작실수 등에 의해 누설될 수 있으나 점화원이 있다고 발화되는 것은 아니다.

휘발유는 대기 온도보다 인화점이 낮기 때문에 누설되는 경우 점화원이 존재하면 용이하게 연소가 개시될 수 있으나, 경유인 경우에는 그러하지 않다. 따라서 휘발유의 주유과정에서 누설로 인한 화재발생을 가장 평가 필요성이 있는 사고유형으로 고려할 수 있지만 유조차에서 지하탱크로의 주유과정에서도 누설사고 빈도가 있으므로 이들 2가지 사고유형을 선정하였다.

4-3. 사고 시나리오

휘발유의 물성자료

주유기를 이용하여 자동차로 휘발유를 주유하는 과정에서 누유와 주유차에서 지하탱크로 급유하는 과정에서 주유소 옥외 부지로 휘발유가 누유 착화되어 화재가 발생하는 사고 유형을 토대로 다음 3가지 가상 시나리오를 예상할 수 있다.

비중 = 0.8 (물=1)
 연소열 = 43,510 KJ/kg
 정압열용량 = 2.1 KJ/Kg°C
 비점 = 100 °C
 증발열 = 300 KJ/Kg
 전체열 중 Pool Fire 복사율 = 0.13

(1) 시나리오 No.1

주유차에서 지하 탱크로 급유하는 과정에서 조작 실수로 휘발유가 누유되어 15평방미터의 풀(Pool)을 형성하여 화재가 발생한 경우.

여기서 풀 면적을 15평방미터로 가정한 것은 일본에서 주유소의 실제 규모 화재실험 자료에서 제시한 10~15㎡에서 큰 값을 토대로 하였다.

평가거리

5m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, 35m, 45m

(2) 시나리오 No.2

주유기 배관, 호스 또는 노즐이 완전 파열되어 휘발유가 주유펌프의 펌핑량인 분당 40리터로 10분간 주유소 바닥으로 누유되어 화재가 발생한 경우.

4-4. Pool Fire Modeling 방법

인화성 액체가 누설되면 액체 Pool이 형성되며 얼마간의 액체는 증발하게 되고 액체면의 증발 인화성 물질이 연소범위에 도달하여 점화원과 접촉 시 Pool fire가 발생한다. Pool fire로 인한 복사열을 이용하여 화재지역 주변의 인명 및 재산손실을 예측하기 위하여 TNO(네델란드국립연구원)의 복사열 산출공식 등을 이용하여 다음의 값을 계산한다.

(3) 시나리오 No.3

주유기 배관, 호스 또는 노즐이 완전 파열되어 휘발유가 주유펌프의 펌핑량인 분당 40리터로 계속 주유소 바닥으로 누유되어 화재가 발생한 경우.

선정한 3가지 사고 시나리오에 대한 화재 형태와 인근 지역에 미치는 영향을 평가하기 위해서 다음의 자료가 필요하다.

- 풀(Pool) 크기 산정
- 표면 방출열 산정
- 연소속도 산정
- 화염높이 산정
- 가시계수(Geometric View Factor) 산정
- 대기 전도도(Transmissivity)

기상 조건

봄(가을(평상시))	대기온도 = 21°C	포화수증기압 = 2450 N/m ²	상대습도 = 80%
겨울(저온건조)	대기온도 = 0°C	포화수증기압 = 600 N/m ²	상대습도 = 40%
여름(고온다습)	대기온도 = 29°C	포화수증기압 = 3950 N/m ²	상대습도 = 90%

4-5. Effect Modeling 방법

(1) 인명영향

복사열로 인한 인명 상해 정도는 신체가 받는 열 Flux와 노출시간에 따라 결정된다. Pool Fire

Modeling에서 산정한 거리별 전달 복사열 Flux를 이용하여 FEMA(미연방비상관리국)에서 제시한 방법과 TNO방법에 의해 인명안전에 미치는 영향을 평가할 수 있다([표 5] 참조).

[표 5] 복사열로 인한 인명 상해 정도(FEMA)

복사열강도		고통한계 시간, 초	2도 화상 시간, 초
Btu/hr/ft ²	KW/m ²		
300	1	115	663
600	2	45	187
1000	3	27	92
1300	4	18	57
1600	5	13	40
1900	6	11	30
2500	8	7	20
3200	10	5	14
3800	12	4	11

(2) 복사열 영향으로 인한 시설물 피해

복사열의 장치, 구조물에 대한 영향은 재질의 가연성 유무와 노출 특성 및 노출시간에 따라 결정된다. 목재는 연소에 의해 전복될 수 있고, 강재는 열에 대한 낮은 항복강도때문에 전복될 수 있다.

통상 하중을 받는 철구조물은 온도가 500~600

°C로 증가되면 순간적으로 붕괴될 수 있다. 콘크리트 구조물은 더 오래 견딘다. 구조물에 화염으로 인한 영향은 복사열 보다 더욱 심각하다.

World Bank(1988)에서는 대규모 화재를 조사하여 [표6]의 손실 영역을 TNO(1992)에서는 재질에 따라 [표7]의 손실 영역을 제시하였다.

[표 6] World Bank의 손실 영역

복사열강도		손실 유형
(Btu/hf.ft ²)	(KW/m ²)	
11,890	37.5	공정장치와 같은 철구조물 파손
7,930	25.0	무한정 노출시 목재 착화 최소 에너지
3,960	12.5	화염에 의한 목재 착화나 플라스틱 튜브가 녹을 수 있는 최소 에너지

[표 7] TNO의 손실 영역

재질	임계복사강도(KW/m ²)		비고
	손상도 1	손상도 2	
철강	100	25	(주) 1. 임계 복사강도 : 장시간 노출시 손상을 일으킬 수 있는 복사 강도
나무	15	2	(주) 2. 손상도1 : 재질의 노출표면이 착화되어 구조 부재가 붕괴 또는 전복됨.
합성물질	15	2	(주) 3. 손상도2 : 재질의 노출 표면의 도색이 벗겨질 뿐만 아니라 심하게 탈색되며, 구조 부재가 상당히 변형됨.
유리	4	-	

4-6. Modeling 결과

선정한 3가지 사고 시나리오를 주유소와 공동주택 외벽간의 거리별 및 기상 조건별로 적용하였다. 적용에는 앞서 소개한 Pool Fire Modeling 방법과 Effect Modeling 방법을 토대로 다음의 결과를 도출하였다.

각 기상 조건별로 산정한 결과 중 핵심 부분인 거리별 열전달량과 복사열의 인체에 미치는 영향에 대한 Probit를 [표 8]과 [별표 1]~[별표 3]에 요약하였다.

4-7. Modeling 결과의 평가

본 주유소 화재 위험성 평가는 공동주택과 주유소간 최적의 화재 안전거리를 인명 안전차원에서 산정하였는데 주유소 화재시 발생하는 복사열이 인체에 미치는 영향은 복사열을 받는 부분의 구조물의 차열정도, 입고 있는 의복상태, 개인별 감수성, 연령에 따라 상이하므로 모든 것을 고려하기란 현실적으로 불가능하다.

여기서는 앞에 유도된 Modeling 결과를 기초로

열전달량에 의한 평가를 통해 거리에 따라 복사열이 인체 및 건물에 미치는 영향을 분석하고, 전달된 복사열에 임의의 시간동안 노출되었을 때의 상해 확률을 Probit분석을 통해 평가함으로써 주유소 화재시 복사열로 인한 주변의 인명피해를 예방할 수 있는 최적의 화재 안전 거리를 도출하였다.

(1) 열전달량에 의한 평가

① 인체에 미치는 영향

일광욕을 위해 여름철 해변에서 받는 태양의 복사열 크기는 $1KW/m^2$ 이고 FEMA에 의하면 $1KW/m^2$ 의 복사열은 몸에 의류를 입지않은 상태에서 115초 간 견딜 수 있는 것으로 제시하고 있으므로 위의 각 화재 시나리오에서 발생하여 임의의 거리에 전달되는 열전달량 중 $1KW/m^2$ 미만의 값은 안전하다고 볼 수 있다. 앞의 거리별 열전달량 표에서 보면 사고 시나리오 No.1에서는 약 20m, 사고 시나리오 No.2와 No.3에서는 약 10~15m사이가 화재로 인한 복사열에 안전한 거리(Pool Fire 중심으로 부터의 이격 거리)임을 알 수 있다.

[표 8] 거리별 열전달량

거리 (m)	열전달량 (KW/m ²)					
	고온 다습 (여름)		저온 건조 (겨울)		평균 기후 (봄, 가을)	
	시나리오					
	No.1	No.2, No.3*	No.1	No.2, No.3*	No.1	No.2, No.3*
5	6.20	3.47	7.75	4.64	6.50	3.71
10	2.94	1.42	3.55	1.85	3.06	1.51
15	1.67	0.74	1.97	0.95	1.73	0.78
20	1.06	0.44	1.22	0.56	1.09	0.47
25	0.72	0.29	0.82	0.37	0.74	0.31
30	0.52	0.20	0.59	0.53	0.53	0.22
35	0.39	0.15	0.44	0.19	0.39	0.16
45	0.24	0.91	0.27	0.12	0.24	0.09

(주) 유출지속시간이 시나리오 No.2는 10분간, No.3은 계속 유출되는 것으로 가정 한 것 이외에 다른 기본적인 시나리오 조건은 동일하므로 열전달량은 같다.

② 건물에 미치는 영향

앞의 거리별 열전달량 표에서 보면 열전달량이 가장 큰 값은 사고 시나리오 No.1의 경우로써, 주유소 화재지점으로 부터 5m 떨어진 지점에서 7.75 KW/m²의 열을 받는 것을 알 수 있다.

공동주택은 주요 구조부가 철근 콘크리트구조이고 벽체는 벽돌이나 블록이므로 앞서 설명한 World Bank(1988)와 TNO(1992) 자료에 의하면 전혀 손상을 입지않는 것을 알 수 있다. 그러나 유리창이 9m 이내에 위치하여 장시간 노출되는 경우에 유리창은 금이가거나 파손될 수 있다.

(2) Probit 분석

앞에서 요약 제시한 복사열의 인체에 미치는 영향에서 산정된 Probit값을 토대로 Probit분석을 수행하여 안전거리를 예측할 수 있다.

Probit과 발생확률의 관계도표에서 발생확률 1% 미만인 Probit은 2.67이므로 2.67미만의 값은 발생하지 않으므로 안전하다고 볼 수 있으며 이를 정리하면 [표 9]와 같다.

위의 복사열 중심으로 부터 화재 안전 이격거리는 1도 화상, 2도 화상, 사망 확률이 0% 즉, 이러한 상해를 입지않는 최대 거리이므로 이보다 가까운 거리에 있다고 상해를 입는 것은 아니라는 것을 이해할 필요가 있으며, 위의 평가 결과 중 사고 시나리오 No.1과 No.3 결과는 계속 휘발유가 누유되어 화재가 지속된다고 가정하여 평가하였음을 유의할 필요가 있다.

주유소 화재사고 통계뿐만이 아니라 다량의 위험물을 취급,저장,생산하는 정유공장과 석유화학공장 사고 통계에서도 10분 이상 계속 위험물이 누설되는 경우는 극히 드물고, 보험을 인수하여 사고

[표 9] 복사열 중심으로부터 화재 안전 이격거리(m)

상해구분	복사열 노출시간 (분)	고온 다습 기후			저온 건조 기후			평균 기후		
		시나리오								
		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
1도 화상	1	14	8	8	16	10	10	15	9 ¹	9
	5	29	-	20	30	-	20	29	-	19
	10	38	-	23	41	-	26	39	-	24
2도 화상	1	7	5미만	5미만	9	6	6	8	5미만	5미만
	5	18	-	11	20 ²	-	13	19	-	12
	10	24	-	15	27	-	17	25	-	16
사 망	1	7	5미만	5미만	8	5	5	8	5미만	5미만
	5	17	-	11	19	-	12	18	-	11
	10	23	-	14 ³	26	-	17	24	-	15

- (주) 1. 복사열 중심으로 부터 9m 이상 이격된 곳에 있는 사람은 봄, 가을과 같은 평균 기후(21°C, 80%) 조건에서 시나리오 No.2 화재사고(주유기에서 휘발유가 10분간 누유되어 화재가 발생하는 사고)에 신체가 1분간 노출되는 경우 1도 화상을 입을 확률은 0%이다.
- (주) 2. 복사열 중심으로 부터 20m 이상 이격된 곳에 있는 사람은 겨울철과 같은 저온 건조 기후(0°C, 40%) 조건에서 시나리오 No.1 화재사고(유조차 주변에 휘발유가 누유, 15m² 풀을 형성하여 화재가 발생하는 사고)에 신체가 5분간 노출되는 경우 2도 화상을 입을 확률은 0%이다.
- (주) 3. 복사열 중심으로 부터 14m 이상 이격된 곳에 있는 사람은 여름과 같은 고온다습 기후(29°C, 40%) 조건에서 시나리오 No.3 화재사고(주유기에서 휘발유가 계속 누유되어 화재가 발생하는 사고)에 신체가 10분간 노출되는 경우 사망할 확률은 0%이다.

시 보상을 책임지는 손해보험회사에서도 위험성 평가시 10분간 유출량을 최대치로 판단한다는 것을 고려할 때 사고 시나리오 No.1과 No.3은 발생 가능성이 거의 없는 최악의 시나리오라는 것을 알 수가 있다.

주유소의 경우 일반적으로 배관에서의 사고가 발생하는 경우에도 배관의 완전 파열 사고는 전혀 없으며, 누설 후 수분내 차단조치를 취하기 때문에 10분간 계속 누설되기는 사실상 어렵고, 누설 유분은 주유소 바닥에 설치된 배유(수)구를 통해 유분리장치로 흘러가므로 바닥에 고여 풀 화재로 발전되기가 용이하지 않지만, 사고 시나리오 No.2에서는 10분간의 유출을 고려하였다.

따라서 사고 시나리오 No.2인 "주유설비에서의 휘발유 누유에 의한 화재"는 일본의 주유소 사고 통계에서도 50% 이상을 점하므로 주유소에서 발생 가능한 사고로 볼 수 있다.

국내 주유소 화재사고 통계의 경우 서울을 비롯한 5개 광역시에서 연평균 4건의 사고가 발생하나, 주유소 부지내 사람을 제외한 인근에 복사열로 상해를 입힌 사례가 드문 것은 위의 복사열 중심으로 부터 화재 안전 이격거리[표 9] 중 사고 시나리오 No.2에서 밝혀진 최대 이격 거리 10m의 평가결과와 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수가 있다.

결론적으로 주유소의 화재 위험성평가에서는 열 전달량에 의한 평가와 복사열의 인명영향 Probit분석에 의한 확률 평가에서 예측한 안전 거리를 고려한 결과, 주유소 화재시 발생하는 복사열에 의해 인간이 상해를 입지 않을 최적의 안전거리는 15m이며, 공동주택의 경우 복사열로 인한 손상은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

5. 국내·외 관련기준 조사 분석

(1) 주유소의 제반 안전시설에 대한 비교 분석

주유소는 화재사고 분석 및 위험성 평가의 장에서 이미 검토한 바와 같이 인명안전 및 재해방지를 위한 제반 안전시설의 설치로 폭발위험성은 없으나 주유기로 부터의 누유 등 부주의로 인한 화재사고는 예상할 수 있으리라고 본다. 안전과 관련

된 주유소의 시설기준을 비교해 본 결과 건물 등의 구조, 주유공지 및 방화상 유효한 벽 등 주유소의 일반 시설과 위험물 저장시설의 안전장치 등에 있어서 나라별로 조금씩은 상이한 부분은 있지만 전반적으로 대동소이하다고 볼 수 있다.

여기서 특기할 사항은 위험물 저장탱크를 우리나라에서는 지하탱크로만 설치할 수 있도록 하고 있으나 미국의 경우에는 지상탱크를 허용하고 있으며 일본의 경우에도 일부 제한적으로 허용하고 있다. 그리고 미국과 일본의 경우에는 옥내 주유취급소의 상층에 공동주택을 둘 수 있지만 우리나라의 경우에는 공동주택의 용도를 둘 수 없도록 되어 있는 등 안전측면에서 주유소의 시설기준이 외국보다 더욱 강화되어 있다고 하겠다.

(2) 화재안전거리에 대한 조사 분석

첫째, 우리나라와 일본의 소방법규에서는 위험물의 제조·취급 및 저장시설과 공동주택간에 10m 이상의 안전거리를 유지하여야 하나 주유취급소는 취급품목 및 방법이 간단하고 지하탱크에 위험물을 저장하고 있어 위험물 제조소 등과 비교하여 상대적으로 안전하다고 판단되기 때문에 공동주택과 별도의 거리제한을 두지 않고 있다고 본다.

그러나 전 장의 화재사례분석으로부터 알 수 있는 바와 같이 주유기 고장 등의 누설로 인한 화재사고가 소규모로 발생하고 있으므로 만일의 경우에 대비해 위험물제조소 등의 안전거리 제한규제와 같이 연소확대방지를 위한 최소안전거리인 10m 이상은 확보하여야 할 것으로 사료된다.

둘째, 우리나라의 가스관련법규에서는 가연성가스시설과 공동주택과의 안전거리를 가연성가스의 저장 및 처리시설의 규모에 따라 일반적으로 12~30m 이격하도록 하고 있으며 가연성가스의 저장탱크를 지하에 매설할 때는 경우에 따라 그 거리를 $\frac{1}{2}$ 로 감소시키거나 면제하여 주고 있다. 가연성가스시설은 일반적으로 주유소에서 취급하는 위험물 보다 화재폭발 위험성이 크며, 이에 반하여 주유소는 위험물을 지하탱크로 저장하고 있어, 보다 안전한 것으로 분석되어 거리제한은 완화할 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 외부로 부터의 연소우려가 있는 부분에 대한 건축법규 및 안전규정 등에서 정한 바에 의하면 2층 건물인 경우 대면 건물과의 최소 이격거리를 한국 및 일본은 10m, 미국은 13m, 영국은 15m 이상 유지하도록 하고 있다. 이 규정은 목조건축물을 대상으로 한 것으로서 공동주택과 주유소는 전부 내화구조 건물이며, 주유소에서는 또한 방화상 유효한 담 또는 벽을 설치하도록 하고 있으므로 상기의 이격거리를 유지할 경우에는 화재로 인한 연소우려는 없을 것으로 판단된다.

여기서 공동주택과 주유소간의 이격거리는 대체로 10~15m로 판명이 되었으나 화재안전에 대한 여유율을 감안할 경우 15m가 적정한 이격거리라고 평가된다.

(3) 공동주택과 주유소의 이격거리에 대한 방호조치

우리나라와 일본 등의 건축법규에서 규정된 연소위험방지를 위한 이격거리의 근거이론에 의한 공식을 이용한 「제조소 등의 안전거리 단축기준」(소방기술기준에 관한 규칙 제148조)을 활용하여 공동주택과 주유소간의 안전거리 단축 가능성을 검토해 보았다. 여기서 방화벽의 높이를 2m로 하면, 공동주택의 높이가 30m일때의 안전거리는 약 15m이지만 30m 이하에서는 일부 단축되고 30m 이상에서는 15m 이상으로 확대하여야 하는 것으로 나타났다.

이러한 결과에서 알 수 있는 것은 연소위험방지를 위한 이격거리의 측면에서는 건물 높이와 이격거리는 상관관계가 있으며, 공동주택 높이 30m를 통상 건축되는 공동주택의 평균높이라고 본다면 앞에서 조사 분석된 화재안전 거리를 역으로 증명한 셈이 되는 것이다.

그리고 영국 건축규정에 의하면 공동주택에 스프링클러 소화설비를 설치한 경우에는 연소위험방지를 위한 안전거리를 $\frac{1}{2}$ 로 감축할 수 있도록 되어 있음이 조사되었다.

그러나 연소위험방지를 위한 이격거리를 이용한 「제조소 등의 안전거리 단축기준」은 위험물의 저장, 취급 수량과 용도 지역의 구분에 따라 제한적

으로 적용되고 있으며, 방화벽의 높이에 따른 적용방법과 방화벽의 내화성능 지정 등 검토 해결해야 할 사항이 많으므로 소화설비 설치에 의한 거리 감축과 함께 앞으로 더 연구하여야 할 대상 분야라고 생각된다.

6. 결 론

최근 우리나라는 국민생활 수준의 향상과 소비문화의 변화추세에 따라 자동차 보유대수가 급격히 증가하고 있으며, 이로 인하여 주유소의 설치수 또한 증가하고 있음은 주지의 사실이다. 한편 부족한 주택문제를 해결하기 위한 노력으로 해마다 많은 호수의 공동주택이 건설되고는 있으나, 공동주택을 건설할 수 있는 가용 토지의 구득난으로 앞으로는 더욱 심각한 문제가 대두될 것으로 판단된다.

따라서 한정된 토지를 효율적으로 활용할 수 있는 방법의 연구는 필연적인 것이며, 이의 한 대책으로서 본 연구는 큰 의미를 부여할 수 있으리라 본다. 지금까지의 주유소에 대한 위험성 조사, 화재 사고 분석, 화재위험성 평가 및 국내외 관련기준의 조사분석 내용을 토대로 공동주택과 주유소간의 화재안전거리를 제시하면 공동주택 등과 주유소와의 화재안전거리는 15m가 적정하다고 판단된다.

[별표 1] 복사열의 인체에 미치는 영향을 평가한 Probit(1도화상)

거리 (m)	Probit					
	고온 다습 (여름)		저온 건조 (겨울)		평균 기후 (봄, 가을)	
	시나리오					
	No.1	No.2, No.3*	No.1	No.2, No.3*	No.1	No.2, No.3*
1분간 노출						
5	7.58	5.24	8.47	6.40	7.76	5.51
10	4.58	1.64	5.33	2.70	4.73	1.88
15	2.31	-0.99	2.95	0.01	2.43	-0.76
20	0.47	-3.05	1.03	-2.08	0.57	-2.83
25	-1.08	-4.74	-0.56	-3.78	-0.99	-4.53
30	-2.42	-6.16	-1.91	-5.21	-2.34	-5.95
35	-3.58	-7.38	-3.10	-6.44	-3.51	-7.17
45	-5.53	-9.39	-5.07	-8.46	-5.46	-9.19
5분간 노출						
거리	No.1	No.3	No.1	No.3	No.1	No.3
5	12.43	10.10	13.33	11.26	12.62	10.37
10	9.44	6.50	10.19	7.56	9.59	6.74
15	7.17	3.86	7.81	4.87	7.29	4.09
20	5.32	1.80	5.89	2.77	5.42	2.02
25	3.77	0.12	4.29	1.07	3.86	0.32
30	2.44	-1.29	2.93	-0.35	2.52	-1.09
35	1.28	-2.52	1.76	-1.58	1.35	-2.31
45	-0.67	-4.54	-0.21	-3.60	-0.60	-4.33
10분간 노출						
거리	No.1	No.3	No.1	No.3	No.1	No.3
5	14.53	12.19	15.42	13.36	14.7	12.46
10	11.53	8.59	12.28	9.65	11.68	8.83
15	9.26	5.96	9.90	6.96	9.38	6.18
20	7.42	3.89	7.98	4.86	7.51	4.11
25	5.86	2.21	6.39	3.16	5.95	2.42
30	4.53	0.79	5.03	1.74	4.61	1.00
35	3.37	-0.43	3.85	0.51	3.44	-0.22
45	1.42	-2.45	1.87	-1.51	1.49	-2.24

(주) 유출지속시간이 시나리오 No.2는 10분, No.3은 연속 유출로 가정된 것외에 기본적인 시나리오 조건은 동일하므로 1분 노출 시 Probit은 같고 시나리오 No.2는 1분내 이론적 연소가 가능하므로 5분과 10분 노출을 평가하지 않았다.

[별표 2] 복사열의 인체에 미치는 영향을 평가하는 Probit(2도화상)

거리 (m)	Probit					
	고온 다습 (여름)		저온 건조 (겨울)		평균 기후 (봄, 가을)	
	시나리오					
	No.1	No.2, No.3*	No.1	No.2, No.3*	No.1	No.2, No.3*
1분간 노출						
5	4.36	2.03	5.26	3.19	4.55	2.30
10	1.37	-1.57	2.12	-0.50	1.52	-1.32
15	-0.89	-4.19	-0.25	-3.19	-0.77	-3.97
20	-2.74	-6.26	-2.17	-5.29	-2.64	-6.04
25	-4.29	-7.95	-3.76	-6.99	-4.20	-7.73
30	-5.62	-9.36	-5.13	-5.53	-5.55	-9.15
35	-6.79	-10.58	-6.31	-9.64	-6.71	-10.38
45	-8.73	-12.61	-8.29	-11.67	-8.67	-12.40
5분간 노출						
거리	No.1	No.3	No.1	No.3	No.1	No.3
5	9.22	6.89	10.12	8.05	9.42	7.16
10	6.22	3.29	6.98	4.35	6.38	3.53
15	3.96	0.65	4.60	1.66	4.08	0.88
20	2.11	-1.40	2.68	-0.43	2.21	-1.19
25	0.56	-3.09	1.09	-2.13	0.65	-2.88
30	-0.77	-4.51	-0.27	-3.56	-0.69	-4.30
35	-1.93	-5.73	-1.45	-4.78	-1.85	-5.52
45	-3.88	-7.75	-3.42	-6.81	-3.81	-7.54
10분간 노출						
거리	No.1	No.3	No.1	No.3	No.1	No.3
5	11.31	8.98	12.21	10.14	11.50	9.25
10	8.32	5.38	9.07	6.44	8.47	5.62
15	6.05	2.75	6.69	3.75	6.17	2.97
20	4.20	0.68	4.77	1.65	4.30	0.90
25	2.65	-0.99	3.18	-0.04	2.74	-0.78
30	1.32	-2.41	1.82	-1.47	1.40	-2.21
35	0.16	-3.63	0.64	-2.69	0.23	-3.43
45	-1.79	-5.65	-1.33	-4.72	-1.72	-5.45

[별표 3] 복사열의 인체에 미치는 영향을 평가한 Probit(사망)

거리 (m)	Probit					
	고온 다습 (여름)		저온 건조 (겨울)		평균 기후 (봄, 가을)	
	시나리오					
	No.1	No.2, No.3*	No.1	No.2, No.3*	No.1	No.2, No.3*
1분간 노출						
5	3.9	1.93	4.67	2.91	4.07	2.15
10	1.36	-1.12	2.00	-0.22	1.49	-0.92
15	-0.55	-3.35	-0.01	-2.50	-0.45	-3.16
20	-2.12	-5.10	-1.63	-4.28	-2.03	-4.92
25	-3.44	-6.53	-2.99	-5.72	-3.36	-6.35
30	-4.56	-4.73	-4.14	-4.48	-4.49	-4.71
35	-5.55	-8.77	-5.15	-7.97	-5.48	-8.59
45	-7.20	-10.49	-6.81	-9.69	-7.14	-10.31
5분간 노출						
거리	No.1	No.3	No.1	No.3	No.1	No.3
5	8.02	6.05	8.79	7.03	8.19	6.27
10	5.48	2.99	6.13	3.89	5.61	3.20
15	3.56	0.76	4.11	1.61	3.66	0.95
20	1.99	-0.98	2.48	-0.16	2.08	-0.80
25	0.68	-2.41	1.13	-1.60	0.75	-2.23
30	-0.44	-3.62	-0.02	-2.81	-0.37	-3.44
35	-1.43	-4.65	-1.02	-3.85	-1.36	-4.47
45	-3.08	-6.37	-2.69	-5.57	-3.02	-6.19
10분간 노출						
거리	No.1	No.3	No.1	No.3	No.1	No.3
5	9.80	7.82	10.56	8.81	9.96	8.05
10	7.26	4.77	7.90	5.67	7.39	4.97
15	5.34	2.53	5.88	3.38	5.44	2.73
20	3.77	0.78	4.28	1.61	3.85	0.97
25	2.45	-0.64	2.90	0.16	2.53	-0.46
30	1.32	-1.84	1.75	-1.04	1.39	-1.67
35	0.34	-2.87	0.75	-2.08	0.40	-2.70
45	-1.31	-4.59	-0.92	-3.79	-1.25	-4.42