

1995 ~ 1998년 가스사고 분석 및 사고감소대책 제시

박 교 식 · 김 지 윤

한국가스안전공사 가스안전기술연구원

(2000년 7월 26일 접수, 2000년 8월 19일 채택)

An Analysis of Gas Accident between 1995 and 1998, and Suggestion of Accident Reduction Countermeasures.

Kyo-Shik Park and Ji-Yoon Kim

Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation

(Received 26 July 2000 ; Accepted 18 August 2000)

요 약

연료가스의 사용이 늘어나고 고압가스를 사용하는 공정이 날로 대형화·복잡화됨에 따라 가스사고도 대형화되는 등 이를 적절하게 관리할 필요성이 증대되고 있다. '95~'98년 동안 발생했던 사고를 체계적으로 분류·분석하여서 사고 발생에 영향을 미치는 주된 요인을 찾아내었다. 그 결과 사고감소분야에 대해서는 기존의 사고관리정책을 견지하도록 하며 사고가 소폭 감소하거나 증가하는 분야에 대해서는 감소 대책을 제시하였다.

'95~'98년 가스사고는 총 2,027건이며 '96년 이후 연평균 12% 감소하는 것으로 나타났다. 가스종류별로는 LPG(Liquefied petroleum gas), 도시가스 등 연료가스사고가 96%로서 대부분이며 사용처별로는 주택, 음식점소 등 사용시설에서 주로 사고가 발생했다. 원인별로는 가스의 종류 및 시설에 따라 그 특징이 다르나 시설미비, 제품불량, 및 사용자 취급 부주의에 의한 사고가 대부분을 차지하였다. 연료가스에 의한 고의사고는 311건으로 전체 가스사고 중 15%를 차지하며 연평균 38% 증가하는 추세이나 그 발생 매커니즘이 다르므로 향후 좀더 체계적인 분석을 할 필요가 있으며 이번 분석에서 제외하였다.

Abstract - It is required that gas accidents should be managed carefully as the consumption of fuel gas increases and high pressure gas process becomes more complex, which may cause a catastrophic accident. Factors to cause accidents were investigated through a systematic analysis of gas accidents between 1995 and 1998, which could be applied to prepare countermeasures to reduce gas accidents. As a result, it was suggested that the effective countermeasures to gas accidents should be kept applied, while new countermeasures were suggested in the field of increasing or not-decreasing number of accident.

Totally 2,027 of accidents were reported during this term, and were found to decrease by about 12% every year from 1996. The number of fuel gas such as LPG and city gas accident took up 96%, and most of accidents occurred at end-user's facility such as residential house and restaurant business. According to the kind of gas

and facility, trend of accident by cause varies, while dominant causes are defective installation, appliance failure, or user's carelessness. Intentional accidents by fuel gas was excluded in this study because of its occurring mechanism and will be analyzed further elsewhere, although it took up 15% and increased by 38% every year.

Key words : Factors to cause accidents, countermeasure to reduce gas accidents

1. 서 론

가스는 편의성과 위험성을 동시에 지닌 물질로서 그 사용이 늘어감에 따라 대형사고의 위험도 날로 증대되고 있다. 우리나라의 가스 법체계는 일본과 비슷하며 가스를 크게 3가지로 분류한다. LPG라고 불리는 액화석유가스[1]와 도시가스라고 알려진 천연가스[2]를 통칭해서 연료가스라고 하며 고압가스는 상용온도에서 일정압력이상이 되는 물질을 이르는 것으로 석유화학, 정유 및 관련공정 대부분의 공정유체가 이에 속한다고 할 수 있다.[3] 우리나라에서 가스가 민생연료로 사용된 역사가 이미 40년을 바라보고 있어서, LPG는 '60년대 초부터 일부 부유층에서 사용되기 시작하여 '60년대 말부터는 본격적으로 보급되기 시작하였다. 천연가스는 '87년부터 수도권 수요자들에 공급되어서 도시가스로 사용되기 시작한 지도 10년이 넘었다. 이에 따라 '98년에 LPG를 포함한 가스의 1차 에너지소비 점유율은 12.3%에 달하고 있고, 2010년에는 천연가스만의 1차 에너지소비 점유율이 10%를 훨씬 상회할 것으로 전망되고 있다.[4] 고압가스의 경우 '60년대 울산 석유화학단지에서 시작되어 1999년 말 기준으로 240만 BPSD의 원유를 처리하고 있다.[5]

가스의 사용이 이처럼 증가함에 따라 가스로 인한 사고도 크게 증가해 '90년대 초 100여건에 불과하던 것이 '90년대 중반 약 600건으로 늘어났다. 가스사고는 '95년을 정점으로 매년 줄어들고 있지만 '99년에도 225건을 기록하고 있어서 보다 체계적인 안전관리와 사고예방대책이 요구된다.[6]

가스사고는 한국가스안전공사에서 취합·분석하며 가스사고 자료를 활용하여 월간, 분기별 및 연도별로 추세를 분석하고, 기술적 제반 기준에 따른 과학적인 요인 분석을 실시하며 체계적 분류 기준에 의해 원인 및 형태 등을 파악한다. 가스사고는 시설별 특징에 따라 LPG사고, 도시가스사고 및 일반고압가스사고

로 분류한다. 즉 부탄을 포함한 LPG 시설에서 발생하는 LPG 사고, LPG와 공기를 혼합한 가스나 천연가스를 도시배관으로 공급·사용하는 시설에서 발생하는 도시가스사고 및 석유화학·정유 등 고압가스설비에서 발생하는 일반고압가스사고가 있다.

또한 사고의 발생원인에 따라 사용자 취급부주의, 공급자 취급부주의, 타공사 사고, 제품불량, 시설미비 및 고의사고 등으로 분류하며 사용처별로는 단독주택, 공동주택, 요식업소, 허가업소(제조, 충전, 저장 등) 및 공급시설(배관, 정압기, 차량 등) 등으로 분류한다. 사고의 결과형태에 따라 누출, 폭발, 화재, CO중독, 산소결핍 및 파열 등으로 분류하고 가스사고의 인명 또는 재산의 피해정도에 따라 각각 1급, 2급, 3급 및 4급으로 분류한다.[6, 7]

사고의 원인은 그 성격에 따라 크게 2가지 혹은 3가지로 분류하기도 한다. 우선 기술적인 원인에 의해 외층(Outer layer) 적인 분류를 실시하고 내층(Inner layer)적인 원인에 따라 잠재위험을 제거할 수 있는 방법을 제시한다.[8] 혹은 불안정한 상황, 불안정한 행위 및 부적절한 시야 확보 등의 원인에 의해 사고가 일어난다고 본다.[9] 최근 미국 직업안전보건국(OSHA, Occupational Safety and Health Administration)에서는 그 홈페이지에 사고의 원인을 직접원인, 간접원인 및 기본 원인으로 분류하고 각각에 대해 적절한 대책을 마련하여서 이 중 하나를 제거함으로써 사고를 줄일 수 있다고 보았다.[10]

본 논문에서는 '95 ~ '99년에 발생한 가스사고의 유형 및 원인을 집중적으로 분석하여 사고 발생 원인에 대한 적절한 대책을 강구함으로써 가스사고예방대책을 체계적으로 제시하고자 한다. 단 고의사고는 개인이 자해 또는 가해를 목적으로 고의로 사고를 일으키는 것으로서 발생 메커니즘이 다르므로 분석에서 제외한다.

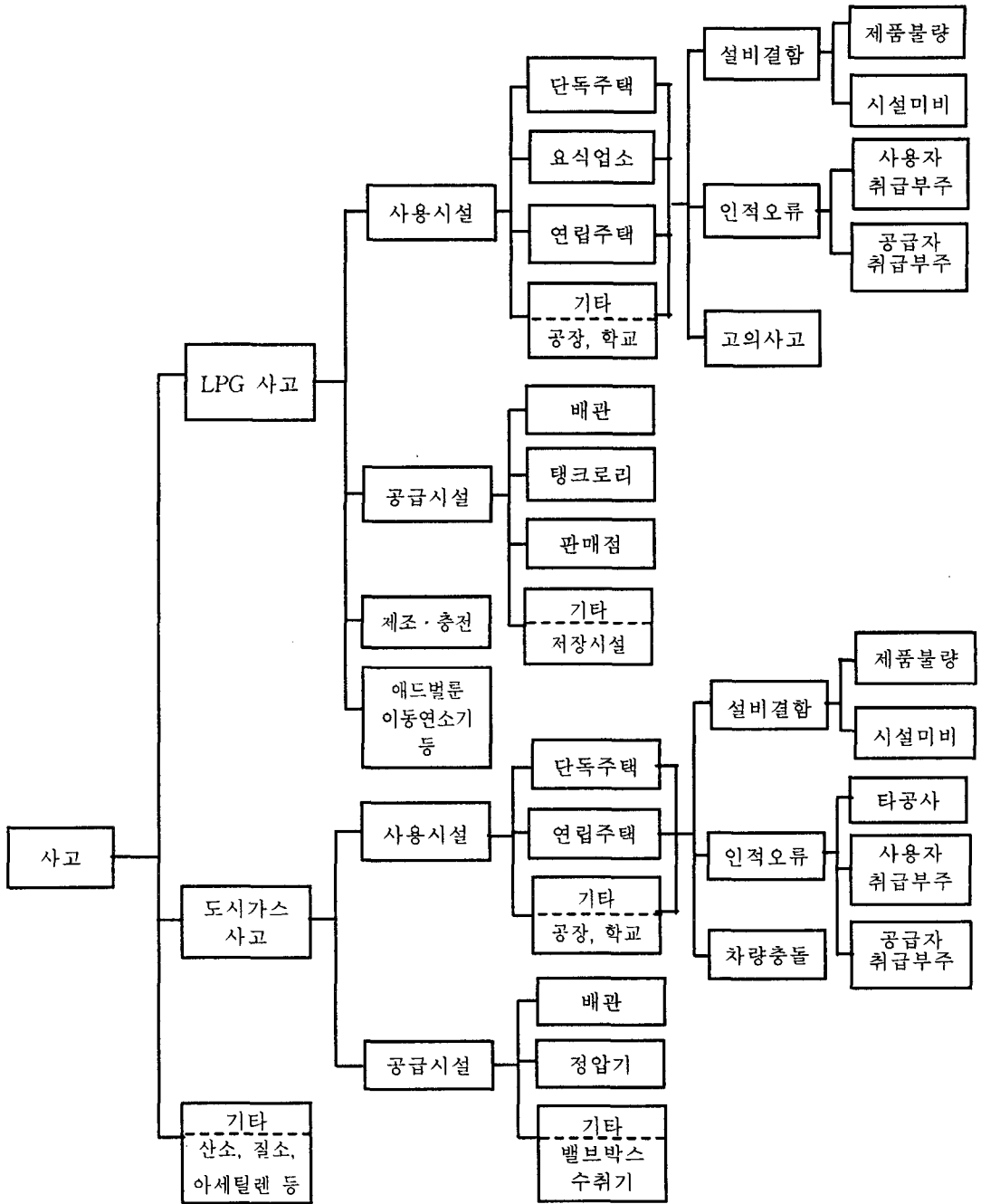


Fig. 1. Accident classification hierarchy according to characteristics of facility and cause.

2. 가스사고 현황

표 1에서 보듯이 '95 ~ '98년 가스사고는 총 2,027건이며 '96년 이후 연평균 12% 감소하는 것으로 나타났다. 이 중 LPG, 도시가스 등 연료가스사고가 95%로서 대부분이며 이 중 LPG사고가 57%로서 도시가스보다 더 많았다. 고의사고의 비중도 15.4%로 상당히 높은 비중을 차지하나 그 발생 매커니즘이 다르므로 향후 정밀분석하기로 하며 여기서는 제외하였다.

Table 1. Gas accidents trend between 1995 and 1998 in Korea

구분	계	'95	'96	'97	'98	구성비 (%)
LPG	978	251(41)	301(68)	239(81)	187(109)	57.0
도시가스	656	260(3)	183(1)	135(2)	78(6)	38.2
일반고압가스	82	22	23	20	17	4.8
소계	1,716	533	507	394	281	100
고의	(311)	(44)	(69)	(83)	(115)	(15.4)
총계	2,027	577	576	477	397	100

* Statistics excluding intentional accident

그림 1에서 가스사고를 사용가스별, 시설별, 원인별로 분류하였다. 가스의 종류에 따라 LPG, 도시가스 및 일반고압가스사고로 분류하고, 관련 시설의 종류에 따라 각 가스별로 사용시설의 단독/공동주택, 음식점소 및 공급시설의 배관, 차량, 판매점 사고 등으로 분류하였으며, 원인별로 제품불량 및 시설미비로 인한 설비결함사고와 사용자, 공급자, 시공자 취급부주의로 인한 조작오류사고로 분류하였다. 이 중 비중이 큰 사고를 집중 분석하여 감소대책 제시하였다.

3. 사고 분석

'95~'98년도 총 사고는 2,027건이나 고의사고를 제외하면 1,716건으로서 시설별로는 LPG 시설이 978건, 도시가스시설이 656건으로 대부분을 차지하며 기타 냉동제조, 차량사고 등이 있다. 그림에서 보듯이 LPG시설의 사고는 '96년을 정점으로 일정하게 감소하며 도시가스 시설의 사고는 매년 일정하게 감소하였다. 사고

감소율은 도시가스가 LPG보다 크며 이는 퓨즈류 등 안전기기 보급률이 월등히 앞섰고 지속적으로 배관관리를 한 결과로 추정된다.

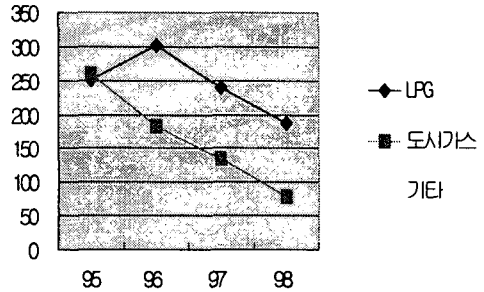
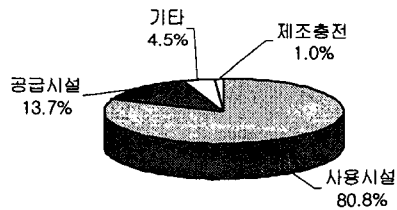


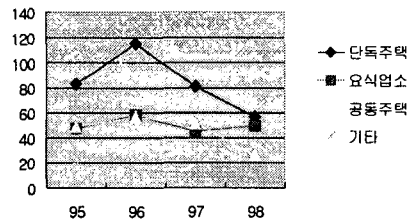
Fig. 2 Gas accident trends between 1995 and 1998 in Korea.

3.1. LPG 사고분석

그림 3에서 보듯이 총 978건의 사고 중 사용시설 80.8%, 공급시설 13.7%로서 대부분 (94.5%)이며 기타사고는 도로변, 선박, 야외사고 등이 있었다.



(a) Statics



(b) Trend

Fig. 3. LPG accident statistics and trends between 1995 and 1998 in Korea.

또한 이를 단위 사용자당 분석결과를 보면

단독/공동주택 및 요식업소 사고가 대부분이며 (721건) 체적거래 전환율에 따라 시설미비로 인한 사고가 대폭 감소됨을 알 수 있다. 이중 사용자취급부주의(215건), 시설미비(198건), 제품불량(194건) 등으로 인한 사고가 대부분이며 공동주택의 경우 공급자취급 부주의로 인한 사고도 상당수임(29건)이 판명되었다. 이들 값과 각각의 사용자 수로 나눈 값을 표 2에 정리하였다. 사용 가구(업소)당 발생건수는 단독주택 및 공동주택의 경우 각각 '96년을 정점으로 감소하며 감소폭은 공동주택이 더 컸다. 또한 요식업소가 다른 분야보다 매우 높은 것으로 나타났는데 이는 요식업소의 경우 가스기기의 사용시간이 주택보다 높기 때문인 것으로 사료된다.

Table 2. Accident trend of LPG per number of consuming unit between 1995 and 1998 in Korea

	'95	'96	'97	'98	계
단독주택	83(10.6)	115(15.3)	81(12.7)	57(9.3)	336
공동주택	49(42.7)	57(48.2)	52(30.4)	26(9.7)	184
요식업소	48(105.2)	58(115.8)	45(112.0)	50(102.7)	201
기타	16	24	16	21	77
계	196	254	194	154	798

주) 각각의 수치는 총 LPG사고건수와 100만 사용자(업소)당 LPG사고 건수(괄호안)를 나타냄

LPG사고는 사고의 비중이 큰 단독주택, 요식업소 및 공동주택 사고를 집중적으로 분석하였으며 그림 3에서 보듯이 '96년을 정점으로 매년 감소함을 알 수 있었다. 보다 정확한 분석 및 사고감소대책 마련을 위하여 사용시설별 로 가스사고를 분석하였다.(표 3참조)

단독주택 사고는 336건으로서 LPG용기의 용접부 균열 등에 의한 제품불량 사고 및 이사철 체결/마감불량 사고와 호스/배관의 자체 혹은 연결부 손상 등으로 인한 시설미비 사고가 이 중 65.1%를 차지하며 각각 소폭 감소하는 경향을 보였다. 또한 기기조작오류 등 사용자취급부주의 사고는 크게 감소하였다.

요식업소사고는 201건으로서 전체적으로 사고는 소폭 감소하였다. 세부내역을 보면 마감/체결불량 및 조리기의 부탄캔 과열 등 사용자취급부주의 사고는 84건이고 호스/배관의 자체

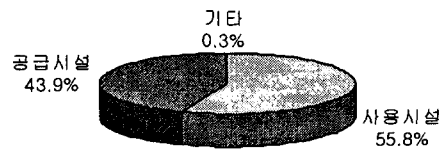
혹은 연결부 손상 등으로 인한 시설미비 사고는 44건이며 LPG용기의 용접부 균열 등에 의한 제품불량 사고는 35건으로 각각 나타났다.

공동주택사고는 184건으로서 제품불량 및 시설미비사고가 전체 사고의 52.9%를 차지하고 각각 '98년 들어 큰 폭으로 감소하였으며 사용자취급부주의사고는 매년 큰 폭으로 감소하였다. 반면, LPG용기 교체시 체결/마감불량 등 공급자에 의한 사고는 5.6%로서 비록 차지하는 비중은 적지만 매년 큰 폭으로 증가하므로 보다 주의 깊게 관리할 필요가 있다.

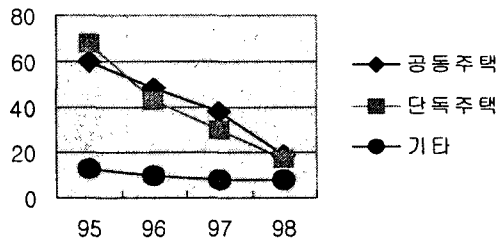
동기간 중 공급시설 사고는 107건으로서 배관, 운반차량 및 판매점 사고가 대부분을 차지하며 연평균 25.0% 감소하였다.

3.2. 도시가스사고 분석

총 656건의 사고 중 사용시설 55.6%, 공급시설 44.1%로서 전체 도시가스사고의 대부분(99.7%)을 차지하였으며 이 중 사고의 비중이 큰 공동주택, 단독주택 및 공급시설사고를 집중적으로 분석하였다. 공동주택 사고는 165건이며 세부적으로는 호스/배관의 자체 혹은 연결부 손상 및 보일러설치시 배기구불량 등 시설미비 사고는 크게 감소하였다.



(a) Statics



(b) Trend

Fig. 4. City gas accident statistics and trends between 1995 and 1998 in Korea.

Table 3. LPG accident statistics and trends between 1995 and 1998 in Korea.

시설별	원인별	세부원인별	'95	'96	'97	'98	소계	계	합계
단독주택	제품불량	용기용접부	11	14	13	5	43	83	105
		용기조정기	1	16	7	0	24		
		용기밸브	3	9	3	1	16		
		기타(가스레인지, 호스 혹은 조정기 불량)						22	
	사용자취급부주의	기기체결불량	10	8	9	10	37	50	96
		부탄캔 과열	2	4	6	1	13		
		기타(어린이장난, 미점화누출, 호스이탈, 오개방 등)						46	
	시설미비	마감불량	6	7	5	10	28	72	95
		보일러	5	7	8	3	23		
		배관 및 연결부	5	6	8	2	21		
기타(체결불량, 조정기, 밸브 등 연결부 누설 등)						23			
기타(기기설치시 공급자 및 시공자에 의한 설치미숙 혹은 마감불량 및 배관손상 등)						40			
요식업소	사용자취급부주의	기기체결불량	10	12	8	5	35	61	82
		부탄캔 과열	3	4	4	2	13		
		미점화누출	2	5	4	2	13		
		기타(배기구불량, 오개방, 어린이 장난, 호스이탈 등)						21	
	시설미비	마감불량	5	4	2	3	14	28	45
		배관 및 연결부	3	4	6	1	14		
		기타(외부열/충격, 용기전도 밸브류/조정기 등 연결부 누설)						17	
	제품불량	조정기, 밸브 등	3	7	5	4	19	25	35
		LPG용기	1	3	1	1	6		
		기타(부탄용기, 연소기기 등 불량)						10	
기타(기기설치시 공급자 및 시공자에 의한 설치미숙, 차량추돌 및 배관손상 등)						39			
공동주택	제품불량	용기용접부	5	6	6	2	19	41	54
		조정기, 밸브 등	3	7	5	1	16		
		연소기기	3	1	1	1	6		
		기타(점화기 불량, 이물질, 배관 막힘 등)						13	
	시설미비	마감불량	0	4	6	8	18	38	51
		배관 및 연결부	2	4	6	0	12		
		보일러	3	2	2	1	8		
		기타(미점화누출, 호스이탈, 배관손상 등)						13	
	사용자취급부주의	기기체결불량	6	3	9	1	19	19	40
		기타(외부충격, 연소방치, 오개방, 어린이장난 등)						21	
공급자취급부주의	체결불량	2	6	6	6	21	21	21	
기타(기기설치시 공급자 및 시공자에 의한 설치미숙, 배관손상 등)						18			
공급시설	수송	LPG운반차량 등	11	7	13	8	39	39	97
	설비결함	집단공급설비 등	12	11	6	5	34	34	
	조작오류	집단공급 체결불량 등	8	8	6	2	24	24	
	기타(차량충돌, 지반침하 등)						10		
기타(제조충전, 공장, 도로변 등)						150			

Table 4. City gas accident statistics and trend between 1995 and 1998 in Korea.

원인별	세부원인별	'95	'96	'97	'98	소계	계	합계
시설미비	배관/호스(연결부)	55	17	13	4	89	155	182
	보일러	8	12	13	4	37		
	차량추돌	7	11	5	6	29		
	기타(패킹, 플랜지, 유니온, 엘보우 등 손상, 마감 불량 등)						27	
제품불량	보일러	3	12	7	8	31	30	42
	기타(가스레인지, 점화기, 조정기 등 불량, 이물질 등)						12	
사용시설	기타(사용자취급부주의, 미점화누출, 연소방치 등)							99
공급배관	공사중 손상	48	39	21	16	124	198	259
	열화(배관 및 연결부)	16	16	5	2	39		
	지반침하	8	4	2	1	15		
	차량추돌	3	1	4	2	10		
	Sand Blast	2	6	2	0	10		
	기타(조정기, 밸브박스, 정압기 등 손상, 잔가스 미제거 등)						61	
공급시설 기타(정압기 안전변작동, 이물질 등)								30
기타(요식업소, 공장, 다중시설, 학교 등)								44

단독주택사고는 158건으로서 배관/호스의 자체 혹은 연결부 손상 등으로 인한 시설미비사고는 매년 큰 폭으로 감소하였으며 특히 매설배관 손상에 의한 사고는 '97년 이후 한 건도 발생하지 않았다. 또한 보일러의 결함 등에 의한 제품불량 사고와 차량추돌에 의한 배관 손상사고는 소폭 감소하였다.

공급시설사고는 289건으로서 매설배관 사고가 259건으로 81.3% 차지하며 연평균 36.4% 감소하였고, 기타 밸브박스, 수취기 등에서 사고가 발생하였다. 참고로 도시가스사용 설비는 안전기기보급률이 '98년 91.3%, '99년 94.2%에 이르는 등 한계상황이며 매설배관에 대한 관리도 지속적으로 시행하고 있다.

4. 가스사고 감소대책 제시

지금까지 사고를 분석한 결과를 토대로 시설분야, 제품분야, 교육·홍보분야 및 관리분야에 대해 각각 사고저감을 위한 대책을 제시한다. 앞서서도 밝혔지만 사고가 감소하는 분야에 대해서는 지금까지 추진해 온 대책을 견지하고 사고감소가 뚜렷하지 않거나 사고가 증가한 분야에 대해서는 이에 적절한 대응책을 제시한다.

시설 분야에서는 2000년 6월말 현재 20.4% 정도밖에 진행되지 않은 LPG 사용시설의 체적거래전환을 지속적으로 추진하고 과류차단장치, 다기능가스계량기 등 본질 안전기기를 시설에 부착하여야 한다. 또한 시공 실명제 등 관련자료의 전산화 관리를 적극 추진하여서 가스보일러 불법설치로 인한 CO중독 사고를 예방하여야 한다. 판매점을 비롯한 공급자로 하여금 사용처의 배관, 호스 및 연결부에 대한 보다 철저한 점검을 유도하고 도시가스설비의 차량추돌 사고방지를 위한 방호조치를 지속적으로 확대해야 한다.

제품분야에서는 다기능가스계량기 등 가스안전기기를 개발·보급 확대하는 한편 가스보일러, 이동식연소기 등 가스사용기기에 대해 보다 철저한 품질관리로 불량제품을 근절하도록 유도해야 한다.

교육·홍보분야에서는 가스기기 사용자에게 대해 체결 혹은 취급부주의 및 이사철 마감불량 방지를 위한 교육·홍보와 보일러 불법설치에 의한 CO중독사고예방을 위한 교육·홍보 및 호스 혹은 배관 및 그 연결부를 통한 누설 등에 대비한 자체점검 교육·홍보를 강화해야 할 것으로 보인다. 요식업소에 대해서는 연소

기 취급부주의 사고방지를 위한 교육·홍보를 집중적으로 시행하며 LPG판매점에 대해서는 LPG용기 설치시 체결 혹은 마감불량 방지를 위한 교육·홍보를 시행해야 한다. LPG운반차량에 대해서는 운전중 부주의에 의한 차량전복 방지를 위한 교육·홍보를 시행해야 한다.

사고관리 분야의 경우 좀더 근본적인 대책을 마련해야 할 것으로 본다. 우선 사고의 분석 및 관리체계를 재정립하고 이를 통하여 사고를 예방대책 중심으로 분류하고 이를 체계적으로 관리할 필요가 있다. 즉 정해진 포맷에 따라 모든 사고를 6하원칙에 의해 기록·관리하며 용어를 통일하고 종합적인 점검을 시행하며 검사결과 D/B화 및 지속적인 관리 추진이 필요하다. 참고로 일본의 경우 LPG사고를 사고 예방대책 중심으로 분류·정리하여 관리하고 있다.[7]

사고관리의 근본적인 목표인 사고의 예방 및 감소를 위하여 안전대책의 시행 및 그 결과를 정량화하고 이를 연계하여 사고감소목표를 설정할 필요가 있다. 이를 위하여 체적거래전환율, 안전장치보급률 등에 대한 D/B화 및 이에 대한 관리를 강화하고 검사대상에 대해서는 충전소 살수장치, 로딩암 설치율 등에 대한 자료를 관리하며 비검사대상에 대해서는 체적거래전환율, 퓨즈콕, 과류방지밸브 설치율 등을 D/B화하여야 한다.

사고의 발생과정을 Target, Driving force, Trigger 등으로 구분하고 각각의 발생빈도를 예측하여 보다 정밀한 사고 발생률을 예측할 수 있도록 모델링하면 더욱 정밀한 분석치를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

그러나 사고의 분류체계를 정립하는 등 선조치가 필요하므로 이는 장기적인 안목에서 검토하여야 할 것이다. 특히 LPG공급자(판매점)의 용기교체시 마감/체결불량 등 사고 감소가 미미하거나 사고발생이 증가하는 분야에 대한 대책마련 및 시행이 필요하다.

참 고 문 헌

1. 한국가스안전공사, 액화석유가스의안전및사업관리법, 10th Ed., 1999
2. 한국가스안전공사, 도시가스사업법, 10th Ed., 1999
3. 한국가스안전공사, 고압가스안전관리법, 11th Ed., 1999
4. 한국가스공사, 제 5차 장기 천연가스 수급계획, 2000.
5. 대한석유협회, 석유 통계, 1999.
6. 한국가스안전공사, 가스사고연감, 1996 ~ 1999.
7. 일본 고압가스보안협회, 고압가스보안 총람, 1997
8. Trevor Kletz, *Learning from Accident*, 2nd Ed., Butterworth Heinemann, Oxford, 1994
9. Patrick A. Michaud, *Accident Prevention and OSHA Compliance*, Lewis Publisher, Florida, 1995.
10. OSHA, "*Accident Investigation*", <http://www.osha-slc.gov/SLTC>