

AHP를 활용한 도시가스 산업시설의 안전진단평가표 개발에 관한 연구

- A Study on Development of Safety Diagnostic valuation
of the City-gas Facilities Using AHP -

양 광 모 *

Yang Kwang Mo

전 현 정 **

Jun Hyun Jong

강 경 식 ***

Kang Kyong Sik

Abstract

Safety diagnostic indicator pointer can divide by greatly two. One is management (Software) side that one that differ with mechanical (Hardware) side that handle laying stress on equipment connected with safety manages organization and management connected with safety. Weight appropriates according to specific gravity that relevant element occupies in facilities. To give so big value in particular element in grant of weight pays attention because break balance of whole guideline and should gives. Finally, efficient safety net may see effect before self-regulation inside by minimum target establishment using AHP by government and legal, systematic countermeasure establishment for this, strict law application and each business proprietor and though activity and user's active safety activity forms harmony properly.

Keyword : 도시가스, 안전진단평가표, AHP

† 본 연구는 명지대학교 안전경영연구소에 의해 지원되었음.

* 명지대학교 산업시스템 공학부 박사수료

** 명지대학교 산업시스템 공학부 박사과정

*** 명지대학교 산업시스템 공학부 교수

1. 서 론

최근에 빈번하게 발생하고 있는 일련의 각종 대형 사고는 안전에 대한 중요성을 새삼 일깨우고 있다. 특히 급속도로 발전하고 있는 경제와 더불어 각종 안전사고의 발생요인은 점점 늘고 있고, 반대로 안전에 대한 국민들의 요구는 더욱 커지고 있는 실정이다. 그러나 그 동안 안전에 대한 기술은 경제와 산업의 발달에 따르지 못하고 후진성을 면치 못해 왔던 것도 사실이다. 최근에 와서 안전에 대한 인식이 새로워지면서 각종 규제와 기준이 제정되고 안전 기술에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있으나 보다 체계적이고 명확한 안전 대책과 기술의 확립이 필요한 시기라고 하겠다. 따라서 본 연구에서는 도시가스 시설에 대한 안전현황 및 수준을 과학적이며 체계적으로 관리하기 위하여 평가근거로서 객관적인 안전진단 지표가 필요하다고 사료되어, 의사결정 기법인 AHP 기법을 사용하고, 국내외 여러 자료를 참고하여 안전진단지표를 작성하였다. 도시가스 시설에 대한 안전현황 및 수준을 과학적이며 체계적으로 관리하기 위하여 평가근거로서 객관적인 안전진단 지표가 필요하며, 국내외 여러 자료를 참고하여 다음과 같은 안전진단지표를 작성할 수 있다. 안전 진단 지표는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 안전에 관련된 설비를 중심으로 다루는 기계적(Hardware) 측면과 다른 하나는 안전에 관련된 조직 및 관리를 다루는 관리적(Software) 측면이다[3,4].

2. 도시가스 산업전망

2.1 수급전망

1) 주택용 수요

천연가스사업 초기에는 주로 취사용으로 소비되던 주택용 수요는 사용의 편리함과 지속적인 요금인하에 힘입어 아파트 및 주택의 난방용으로 확대 보급되어 2002년 기준 약 920만 가구가 도시가스를 사용하고 있으며, 특히 1988년부터 실시된 환경부의 환경규제고시 확대는 주택용 수요증가의 기폭제 역할을 하고 있다. 특히, 1990-2000년 기간 중 약 36.5%의 연평균 증가율을 보이고 있는 주택용 수요는 2002년 기준 도시가스수요의 54.4%를 차지하고 있어 현재 도시가스 수요증가를 주도하고 있으며 이 같은 현상은 앞으로도 계속될 것으로 전망된다.

2) 일반용 수요

일반용 도시가스수요는 크게 영업용과 업무용으로 구분되며, 주택용 도시가스수요와 마찬가지로 정부의 환경정책에 크게 영향을 받아 1988년에 5만 2천 톤에서 2002년

199만 9천 톤으로 약 38배의 성장을 기록했는데 이는 수도권지역에서 신축되는 대부분의 대형건물이 천연가스를 연료로 사용하기 때문이다. 1990-2000년 기간 중 수도권 지역의 일반용 도시가스수요는 연간 19.8%씩 증가해 왔다.

3) 산업용 수요

1990년 이후 연평균증가율이 35% 정도를 나타내고 있는 산업용수요는 전체 도시가스수요의 18%('90) 정도를 차지함으로써 주택용 등 기타용도에 비해 상대적으로 적은 비중을 차지하고 있었으나, 1990-2000년 기간 중 38.4%씩 증가하였고, 이 기간 중 단위 소비량이 큰 수용가에 대한 신규 공급이 증가함에 따라 평균단위 소비량도 크게 증가하였다. 그 결과 2002년 현재에는 도시가스수요 중 27.8%를 차지하여 주택용 수요 다음의 위치를 점하고 있다[1].

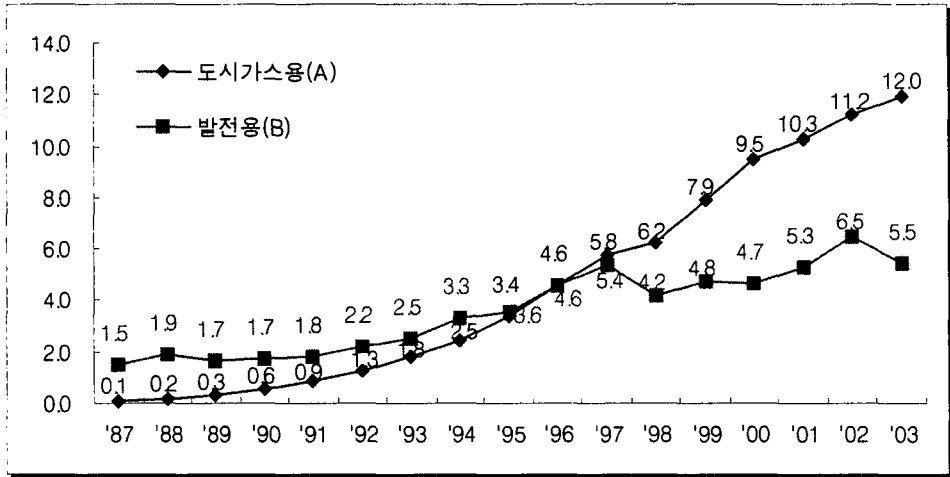
향후 산업용 도시가스수요는 공급 예정으로 되어있는 부산, 울산 등 공업단지가 집중되어 있는 영남지역에 대한 천연가스의 공급이 이루어짐과 동시에 그 수요는 크게 늘어날 것으로 전망된다.

< 표 2.1 > 용도별 LNG 소비추이

(단위 : 천톤)

년 도	도시가스용(A)						발전용(B)		합 계 (구성비)		
	주택용 (구성비)	증가 율	일반용 (구성비)	증가 율	산업용 (구성비)	증가율	소계 (구성비)	증가율			
'87	37	-	11	-	27	-	75 (4.6)	-	1,537 (95.4)	-	1,612 (100)
'90	244	86.3	227	53.4	104	48.6	575	64.8	1,741	4.3	2,316
'94	1,612	39.3	536	18.8	306	28.0	2,454	32.9	3,329	32.2	5,783
'95	2,296	42.4	665	24.1	456	49.0	3,417	39.2	3,562	7.0	6,979
'99	4,755	23.1	1,164	19.4	1,967	41.1	7,886	26.5	4,769	13.8	12,655
'00	5,463	14.9	1,384	18.9	2,681	36.3	9,528	20.8	4,689	-1.7	14,217
'90 -'00		36.5		19.8		38.4		32.4		10.4	
'01	5,690	4.2	1,631	17.8	2,979	11.1	10,300	8.1	5,287	12.8	15,587
'02	6,094 (54.4)	7.1	1,999 (17.8)	22.6	3,100 (27.8)	4.1	11,193 (100)	8.7	6,509	23.1	17,702
'03	6,456	5.9	2,198	9.9	3,324	7.2	11,978 (64.9)	7.0	6,468 (35.1)	-0.6	18,446 (100)

출처: 산업자원부, 자원에너지 주요통계, 2004.



(단위 : 백만톤)

출처: 산업자원부, 자원에너지 주요통계, 2004.

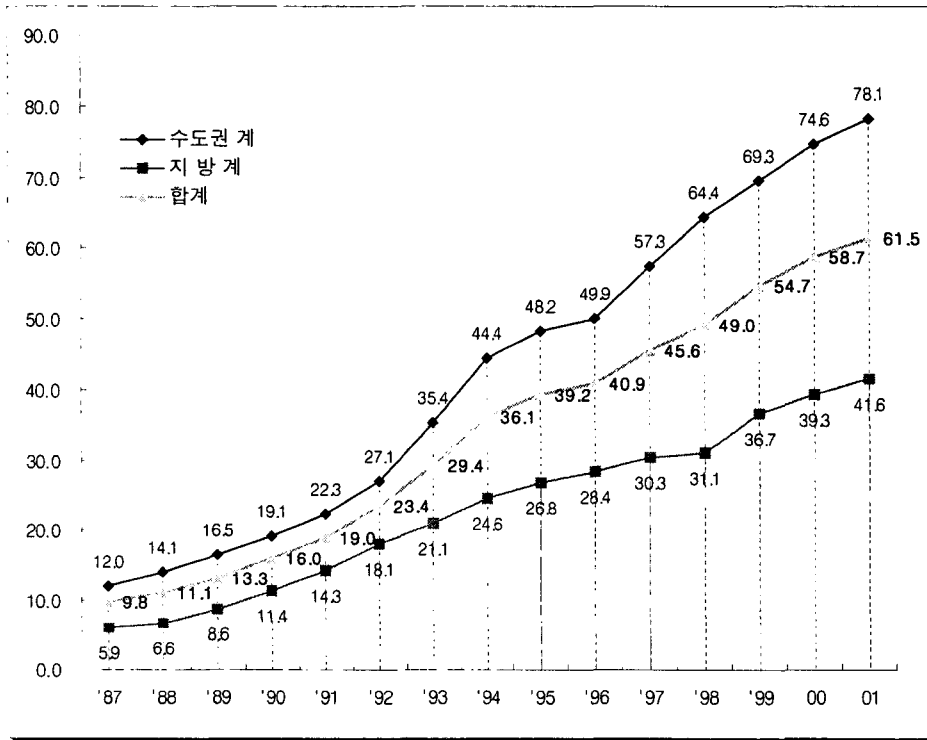
< 그림 2.1 > 도시가스용 LNG 소비추이

2.2 도시가스 사용가구 수 및 보급률

1987년 천연가스를 보급하던 초기에는 575천 가구가 도시가스를 사용하고 있었으며, 이는 전 가구의 9.8% 정도의 수준이었다. 그러나 현재에는 수도권가구의 81%, 지방가구의 43.9%가 도시가스를 사용하며 전체가구의 63.9%가 도시가스의 혜택을 받고 있다.

< 표 2.2 > 도시가스 사용가구 수 및 보급률

년 도	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94
공급가능가구(천가구)	5,868	6,583	7,117	7,638	8,331	9,033	9,509	9,874
수요가수(천가구)	575	730	945	1,220	1,579	2,113	2,792	3,562
수 도 권(%)	12.0	14.1	16.5	19.1	22.3	27.1	35.4	44.4
지 방 계(%)	5.9	6.6	8.6	11.4	14.3	18.1	21.1	24.6
합계(%)	9.8	11.1	13.3	16.0	19.0	23.4	29.4	36.1
공급량(백만m ³)	190	323	589	963	1,467	2,114	2,951	3,942
년도	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02
공급가능가구(천가구)	10,884	12,000	12,356	12,952	12,889	13,177	13,759	14,401
수요가수(천가구)	4,271	4,903	5,631	6,350	7,055	7,734	8,456	9,202
수 도 권(%)	48.2	49.9	57.3	64.4	69.3	74.6	78.1	81
지 방 계(%)	26.8	28.4	30.3	31.1	36.7	39.3	41.5	43.9
합계	39.2	40.9	45.6	49.0	54.7	58.7	61.4	63.9
공급량(백만m ³)	5,327	6,780	7,893	8,294	10,205	12,180	12,859	14,091



출처: 산업자원부, 자원에너지 주요통계, 2004.

< 그림 2.2 > 도시가스 사용가구 수 및 보급률

금년을 기점으로 가스공사의 전국 배관망이 완성되고 일부 지역을 제외하고는 거의 대부분의 도시가구가 도시가스를 사용하고 있으므로 성장의 한계에 도달해 있다고 볼 수 있다. 그러나 기후변화 협약이 산업체의 연료전환을 자극하고 있으며, 단순히 취사용으로만 사용하던 도시가스가 가정에서도 냉난방용의 수요를 확대할 가능성도 높다.

이에 따라 가스사고의 가능성도 높아질 것이며, 가스의 안전한 사용을 위한 방안을 강구하는 데에도 노력을 기울여야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 의사결정기법인 AHP를 활용하여 도시가스시설에 대한 안전현황 및 수준을 과학적이며 체계적으로 관리하기 위한 평가근거로서 객관적인 안전진단 지표를 개발하고자 한다.

3. 가스 안전진단 지표개발

도시가스시설에 대한 안전현황 및 수준을 과학적이며 체계적으로 관리하기 위한 평가근거로서 객관적인 안전진단 지표가 필요하며, 국내외 여러 자료를 참고하여 다음과 같은 안전진단지표 작성예를 제시하였다. 안전진단지표는 크게 두 가지로 구분할 수

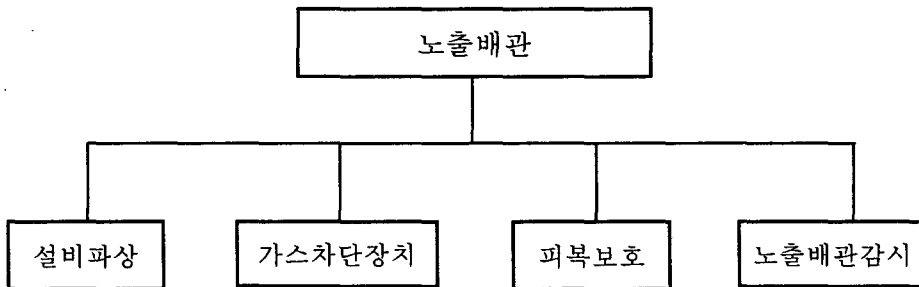
있다. 하나는 안전에 관련된 설비를 중심으로 다루는 기계적(hardware) 측면과 다른 하나는 안전에 관련된 조직 및 관리를 다루는 관리적(software) 측면이다. 본 연구에서는 기계적 측면의 안전진단지표 작성 예를 가지고 설명하고자 한다.

기계적 측면에 대한 안전 진단지표는 크게 배관, 제조소시설, 정압기시설, 감지장치 및 소방의 다섯 가지로 나눌 수 있다. 배관의 경우 배관에 관련된 세부사항에는 계량기기 등의 작동상태, 배관의 방식장치, 지반상태로 인한 영향, 노출배관에 대한 안전시설 등이 있다. 이중 타공사로 인한 배관파손이 큰 문제가 되고 있음을 감안 노출배관에 대한 안전시설을 대상으로 안전진단 지표 작성 예를 제시해 보았다. 객관적인 방법으로 안전진단 지표를 개발하기 위하여 가중치 책정은 Saaty가 제시한 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 활용하였다[6,7,8,9]. 진단항목은 미국 PCG사의 배관진단지표 개발을 참고하여 작성해 보았다[2,5].

1) 안전 진단지표 개발을 위한 분석방법

노출배관의 안전시설에 대한 가중치를 결정하기 위하여 7명의 도시가스시설 전문가로 하여금 항목에 대한 상대적 중요율(CR)을 검사하게 한 후, 주관적인 데이터를 객관화하기 위해 계층분석 과정을 통하여 위험도를 분석하였다.

그 계층 구조는 < 그림 3.1 >에 간략히 제시되어 있다. 한편 이러한 계층구조를 이용하여 각 단계에서의 요인들은 다음 상위단계(higher level)의 모든 요인들에 의하여 평가된다.



< 그림 3.1 > 노출배관에 대한 의사결정 구조

의사결정 집단에 합의된 계층구조를 이용하여 의사결정에 참여한 건설안전 관리자들을 대상으로 각 요인들에 대한 배정값을 할당하도록 하였다. 이러한 각 요인들에 대한 배정값을 할당함에 있어서는 집단의 합의를 도출하도록 하였다.

척도는 일반적으로 많이 이용되는 9점 척도를 사용하였다. 중요도의 계산을 위해서 Excel 2000이 사용되었다.

2) 의사결정 기준에 대한 평가

평가항목에 관한 의사결정 기준의 선택요인을 의사결정 목표인 ‘안전진단 지표가 중치결정’의 측면에서 할당하면 < 표 3.1 >과 같이 상대적 중요도를 판단할 수 있다. 기준 문제점 용인의 상대적 중요도를 계산하는 일반적인 과정은 다음과 같다.

< 표 3.1 > 안전 진단지표 요인

기준	설비파손	가스차단 장치	피복 보호	노출 배관 감시
설비파손	1	2.26	1.97	3.35
가스차단 장치	0.44	1	0.9	3.37
피복 보호	0.51	1.11	1	3.74
노출배관 감시	0.3	0.27	0.27	1

만약 a_{ij} 를 의사결정과정에 참여한 어떤 의사결정자가 요인 i를 요인 j에 대해 평가하여 배정한 값(numerical assignment)이라고 하면, AHP기법은 주어진 요인들에 대해 쌍(Pair)의 단위로 비교하기 때문에, 비교한 결과값의 행렬은 정방행렬(Square Matrix)을 이룰 것이다. 만약 A를 그와 같은 비교 값들의 행렬이라고 정의하고, 크기를 n이라고 정의한다. 이때, AHP기법은 아래 제시한 합성화 과정이라는 계산과정을 거치게 된다. 우선 배정값의 행렬에서 각 j열에 대한 합계 (S_j)를 구한다.

배정값의 행렬 A에서 각 j열에 대한 합을 구한다. 만약 (S_j)를 각각의 열에 대해

합을 나타낸다고 하면 $S_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$ 과 같다.

< 표 3.2 > S_j 의 계산

기준	설비파손	가스차단 장치	피복 보호	노출 배관 감시
설비파손	1	2.26	1.97	3.35
가스차단 장치	0.44	1	0.9	3.37
피복 보호	0.51	1.11	1	3.74
노출배관 감시	0.3	0.27	0.27	1
합계 (S_j)	2.25	4.64	4.14	11.82

< 표 3.2 >의 정방행렬에서 각 요인값 (a_{ij})들을 열의 합 (S_j)으로 나눈다. 이와 같은 계산의 결과로 얻어지는 행렬을 정규화 된 쌍비교행렬(normalized pairwise comparison matrix) 혹은 정규화 된 행렬(normalized matrix)이라고 부르며, 그 결과는 < 표 5-3 >에 제시되어 있다.

< 표 3.3 > 정규화된 행렬

기준	설비파손	가스차단 장치	피복 보호	노출배관 감시
설비파손	0.444	0.487	0.476	0.283
가스차단 장치	0.196	0.216	0.217	0.316
피복 보호	0.227	0.239	0.242	0.316
노출 배관 감시	0.133	0.058	0.065	0.085

각 요인들에 대한 중요지수 값을 구하기 위하여 각 행별로 정규화 된 비중값의 평균을 구한다. 이때, P_i 값들은 모두 더하면 1이 되어야 한다. 여기에서 $P_1, P_2 \dots P_i$ 를 중요도 벡터라고 한다.

< 표 3.4 > 행의 합과 중요도 (P_i)의 계산

기준	설비파손	가스차단 장치	피복 보호	노출배관 감시	행의 합	중요도
설비파손	0.444	0.487	0.476	0.283	1.690	0.423
가스차단 장치	0.196	0.216	0.217	0.316	0.945	0.236
피복 보호	0.227	0.239	0.242	0.316	1.024	0.256
노출 배관 감시	0.133	0.058	0.065	0.085	0.341	0.085

< 표 3.4 >의 결과를 보면, 도시가스 시설전문가들은 문제점의 원인을 선택함에 있어서 설비 파손을 가장 중요한 요인으로 생각하고 있는 것으로 나타났다. 설비 파손 외에도 중요한 요인으로는 피복 보호, 가스차단 장치, 노출배관 감시 순서로 나타났다.

도시가스 전문가들의 가중치 선정에 관한 의사결정과정에 일관성이 있는가를 조사하기 위하여 일관성 비율(CR)을 계산하였다. 일관성 비율의 계산 과정은 다음과 같다.

① < 표 3.1 >에 제시된 행렬의 각 열에 대해 그 열에 해당하는 중요도를 곱한 후, 모두 더하여 < 표 3.5 >와 같이 새로운 행렬, 즉 가중치행렬($n \times 1$)을 구한다.

< 표 3.5 > 가중치 행렬의 계산

기준	설비파손	가스차단 장치	피복 보호	노출 배관 감시	행의 합
		0.423	0.236	0.256	
설비파손	0.423	0.533	0.504	0.285	1.745
가스차단 장치	0.186	0.236	0.230	0.317	0.969
피복 보호	0.216	0.262	0.256	0.318	1.052
노출배관 감시	0.127	0.064	0.069	0.085	0.345

② < 표 3.5 >에서 계산된 가중치 행렬의 값을 < 표 5-2 >의 중요도로 나눈다.

$$\begin{vmatrix} 1.745 \\ 0.969 \\ 1.052 \\ 0.345 \end{vmatrix} \div \begin{vmatrix} 0.423 \\ 0.236 \\ 0.256 \\ 0.085 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4.125 \\ 4.106 \\ 4.109 \\ 4.059 \end{vmatrix}$$

③ 위에서 계산된 값들을 이용하여 λ_{max} 를 구한다.

$$\begin{aligned} \lambda_{max} &= (4.125 + 4.106 + 4.109 + 4.059) / 4 \\ &= 16.399 / 4 = 4.099 \end{aligned}$$

④ 일관성 지수(CI)를 계산한다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4.099 - 4}{3} = 0.033$$

⑤ 일관성 지수(CR)을 계산한다.

$$CR = CI / RI = 0.033 / 0.90 = 0.037$$

일관성비율(Consistency Ratio, CR)은 $CR = CI / RI$ 의 계산에 의하여 구할 수 있으며, 여기서 RI는 무작위지수(Random Index)의 값이다. RI값은 비교해야 될 요인들의 개수에 대한 함수로써, < 표 3.6 >에 제시되어 있다.

< 표 3.6 > RI 값

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.	0.0	0.0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

계산결과 CR값이 0.1이내이면 쌍비교는 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 0.2이내일 경우에는 용납할 수 있으나, 그 이상이면 일관성이 부족한 것으로 판단한다. 만약에 의사결정자가 짝비교에서 일관성이 없다면 $\lambda_{max} > N$ 이 된다.

결과에 의하면 일관성비율은 0.037인데, 이것은 일관성비율이 0.1보다 작기 때문에, 도시가스 시설 전문가의 중요도 선정 요인들 간의 짝비교에서 배정한 값을 할당하는 의사결정과정에서 일관성을 유지하고 있음을 알 수 있다. 즉, 이것은 의사결정이 타당하다는 것을 반증한다.

< 표 3.7 > 손상 우려에 대비한 설비의 안전진단 지표

평가 등급	점수	가중치	평가 기준	평가 방법	평가 대상
Level 1	0	0.423	지지설비가 마련되어 있지 않다.	육안 검사	노출 배관
Level 2	9		지지설비가 부분적으로 설치되어 있다.		
Level 3	17		충분한 지지설비가 마련되어 있으나, 작업장으로부터 영향을 고려하지 않은 상태로 설치되어 있다.		
Level 4	25		충분한 지지설비가 마련되어 있으며, 지지 설비가 작업장으로부터의 영향을 상쇄 또는 최소화할 수 있다.		

3) 타공사로 인한 노출배관 안전진단지표 개발

타공사로 인한 노출배관 안전진단지표는 AHP 가중치를 부여하여 다음과 같이 제시할 수 있다. 첫째, 노출 배관의 지지 상태이며 외부로 노출되어 있는 배관은 파손우려에 대비하여 지지설비가 마련되어야 한다< 표 3.7 >. 둘째, 노출배관 내의 가스차단 장치이며, 노출배관의 파손 등으로 인한 가스누출 시 가스를 긴급히 차단할 수 있도록 노출배관의 양단에 가스 차단장치가 설치되어야 한다< 표 3.8 >.

< 표 3.8 > 가스 차단장치에 대한 안전진단 지표

평가 등급	점수	가중치	평가 기준	평가 방법	평가 대상
Level 1	0	0.253	가스 차단장치가 설치되어 있지 않다.	육안 검사	노출 배관
Level 2	9		가스 차단장치가 설치가 미흡하다.		
Level 3	17		가스 차단장치가 양단에 설치되어 있으나, 신속한 조작이 어렵다.		
Level 4	25		가스 차단장치가 양단에 설치되어 있으며, 조작이 용이하다.		

셋째, 노출배관 피복보호로써 노출배관의 피복에 손상이 있을 경우 부식의 가능성이 있으므로, 피복의 보호를 위한 조치가 필요하다.

< 표 3.9 > 피복보호에 대한 안전진단 지표

평가 등급	점 수	가중치	평가 기준	평가 방법	평가 대상
Level 1	0	0.256	배관 피복보호 조치가 마련되어 있지 않다.	육안 검사 관련된 문서의 조사	노출 배관
Level 2	9		배관 피복보호 조치가 미흡하다.		
Level 3	17		배관 피복보호 조치가 마련되어 있으나, 파손시 이를 복구하기 위한 조치가 마련되어 있지 않다.		
Level 4	25		배관 피복보호 조치가 마련되어 있으며, 파손시 이를 복구하기 위한 조치도 마련되어 있다.		

넷째, 감시 및 순찰로 노출배관의 보호 및 파손시의 신속한 대응을 위하여 노출배관의 감시 및 정기적인 순찰이 필요하다.

< 표 3.10 > 노출배관 감시에 대한 안전지표

평가 등급	점 수	가중치	평가 기준	평가 방법	평가 대상
Level 1	0	0.085	감시·순찰이 수행되지 않는다.	관련된 문서의 조사	노출 배관
Level 2	9		감시·순찰이 비정기적이다.		
Level 3	17		감시·순찰이 형식적으로 수행된다.		
Level 4	25		감시·순찰이 정기적으로 충분히 수행된다.		

또한 각각의 안전진단 지표의 Level에 대한 평가점수는 등급수에 따라 계산하기 편하도록 비율에 맞는 수치가 전문가들에 의하여 부여될 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구과제

안전사고는 직접적인 손실보다도 사고로 인한 생산의 중단 등 간접적인 피해 또한 대단히 큰 성격을 가진다. 이제는 안전사고를 단순한 인적, 물적 피해라는 측면에서 다루기보다는 생산성, 경쟁력, 기업의 사회적 이미지, 각종 국제적인 규제에 대한 대책 등을 함께 고려한 종합적인 연구 개발이 필요하다.

최근에 와서 안전에 대한 인식이 새로워지면서 각종 규제와 기준이 제정되고 안전기

술에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있으나 보다 체계적이고 명확한 안전대책과 기술확립이 필요한 시기라고 하겠다.

도시가스 시설에 대한 안전현황 및 수준을 과학적이며 체계적으로 관리하기 위하여 평가근거로서 객관적인 안전진단 지표가 필요하며, 국내외 여러 자료를 참고하여 다음과 같은 안전진단지표를 작성할 수 있다. 또한 안전 진단 지표는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 안전에 관련된 설비를 중심으로 다루는 기계적(Hardware) 측면과 다른 하나는 안전에 관련된 조직 및 관리를 다루는 관리적(Software) 측면이 있으며, 본 연구에서는 도시가스 안전점검을 위한 안전진단 지표를 개발하였다. 하지만 본 논문의 한계점을 극복하기 위해서 매설배관에 대한 정성적·정량적 평가기법을 개발 적용 관리토록 하고, 도시가스 누출 및 폭발모델 개발과 피해확산 방지대책 모델을 개발 적용하여야 한다.

또한 본 논문에서는 논의치 않았으나 고의에 의한 가스사고가 증가하고 있는 것도 우려할 만한 일이다. 이는 사회심리학적인 복잡한 문제이나, 일단은 재질이나 구조를 고의로 파괴하거나 손상시키는 것이 어렵도록 제작한 가스기기를 연구 개발하는 것도 검토해 볼만한 일이다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 한국가스안전공사, “도시가스안전관리”, 1999
- [2] ASTM G97, “Standard Test Method of Laboratory Evaluation of Magnesium Sacrificial Anode Test Specimen for Underground Applications”, 1989
- [3] 荒井 實, “パイプラインにおける電気防蝕の實施例, 材料と環境, Vol.45, No.9, pp.524-532, 2000
- [4] 梶山文夫, “電気防蝕における國內外の基準, 材料と環境, Vol.45, No.9, pp.515-519, 2000
- [5] API 581, “Risk Based Inspection Base Resource Document” 1st Ed., API, 2000
- [6] P. T. Harker, *Incomplete pairwise comparisons in the analytic hierarchy process*, Mathematical Modeling, Vol. 9, No. 11, 837-848. 1987
- [7] P. T. Harker and L. G. Vargas, *Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process*, management Science, Vol. 33, 1383-1403. 1987
- [8] Saaty Thomas L. *Highlight and Critical Point in the Theory and Application of the Analytic Hierarchy process*, Eur. J. Operational Research (74)3, 426-447. 1994
- [9] Saaty, T. L., *Rank Generation, Preservation, and Reversal in the Analytic Hierarchy Process*, Decision Sciences, Vol. 18, No. 2, 157-177. 1987

저 자 소 개

양 광 모 : 명지대학교 대학원 석사, 명지대학교 대학원 박사과정.
관심분야 생산관리, 통계, 경영과학.

전 현 정 : 연세대학교 교육대학원 석사, 명지대학교 대학원 박사과정.
관심분야 생산관리, 통계.

강 경 식 : 현 명지대학교 산업공학과 교수. 경영학박사, 공학박사
안전경영과학회 회장