

국내 가스사고 사례분석 및 가스배관 건전성 확보방안

Incidents Study and Assurance of Integrity in Domestic Pipelines

김우식*·김철만*·홍성호*

W. S. Kim · C. M. Kim · S. H. Hong

(1997년 3월 28일 접수, 1997년 9월 5일 채택)

1. 서 론

우리나라의 가스소비량은 매년 크게 증가하고 있다. 본고에서는 국내에서 발생한 가스사고를 분석하고 배관건전성 평가방안 및 안전성 확보방안에 대하여 국내외 분석자료들을 정리하고 그 내용을 검토하였다. 국내 가스사고 자료는 배관손상뿐 아니라 각종가스 사고가 포함된 광범위한 데이터 자료이다. 국내 가스배관이 대부분 매설된지 얼마 안된 상태로서 손상사례가 드물어 매설배관에 대한 손상사례 자료의 체계적인 수집 및 분석이 아직 이루어지지 못하고 있다. 본보에서 제시하는 데이터는 천연가스뿐만아니라 LPG나 일반가스까지 포함된 자료들로서 앞서 제시한 외국의 데이터와 직접적인 비교는 어려운 상황이다. 또한 가스배관 건전성 확보는 매우 중요한 사항이지만 이에대한 체계적인 연구가 국내에선 상당히 미흡한 실정이다. 본보에서는 미국의 사례를 중심으로 배관 손상시 원인규명 방법과 손상 억제방안 및 배관손상 조기감지 체계등에 관하여 설명하도록 한다.

2. 국내 가스사고 사례분석

2.1 국내에서 1987년~1994년의 가스사고 분석¹⁾

국내에서 발생한 가스사고의 실태를 종합분석한 데이터는 유사사고 방지대책을 강구하고 안전관리를 강화하여 사고예방은 물론 직원교육자료로 활용코자 한국가스공사에서 1995년에 발간한 자료가 있다. 그러나 외국자료에 비하면 원인규명에서 부족한 면이 많이 있고, 천연가스 배관뿐 아니라 LPG, 일반가스관련 여러 설비들과 가스수용기(아파트, 단독주택포함)의 사고데이터까지 망라되어 있고 피상적인 사고개요만이 있어, 앞서 서술한 외국자료와의 직접비교는 어렵다.

가스종류별 사고발생 건수를 Table 1에 나타내

Table 1 Number of Incidents by gases by year

Year	LPG (Including LPG/Air)	Natural Gas		Other	Total	Remarks
		City Gas	KOGAS			
1987	10	1		3	14	Other Gas : Oxygen, Chlorine, Acetylene, Hydrogen, Amonia, Carbonic Acid Gas
1988	14	1		1	16	
1989	18	3		2	23	
1990	48	10		6	64	
1991	69	18		4	91	
1992	89	11		3	103	
1993	76	13	1	7	97	
1994	96	28	2	10	136	
Total	420	85	3	36	544	
Number (%)	77.2	15.6	0.6	6.6	100	

* 한국가스공사 연구개발원

었다. Table 1에서 볼 수 있듯이 국내 가스사고의 대부분은 LPG관련 사고임을 알 수 있다. 또한 도시가스 회사별 가스사고 분석을 보면 설립이 오래된 서울도시가스가 전체의 29.5%로 가장 많았다. 또한 지하철공사등 타공사가 많은 지역의 도시가스 회사에서 사고빈도가 높았다. 가스사고를 원인별로 분석하여 다음 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 인위적인 사고인 취급부주의가 52%로 가장 높아 가스사용자 및 공급자의 특별한 주의가 요구되며, 시설미비로 인한 사고발생율로 27%로 높아 시설보강에 대한 투자가 시급한 상태이다. 수요처별 분석에서는 단독주택이 28.8%, 아파트가 21.0%, 도로 및 배관이 14.2%의 순으로 나타났는데, 이는 사고빈도가 가장 높은 LPG 사고가 주택이나 아파트에서 많이 발생되었기 때문

이다. 다른 가스를 제외하고 도시가스(LNG, LPG)에서 발생된 사고를 원인별(위치 및 시설)로 구분하면 아래의 Table 3과 같다. 외국 가스사고 사례와 유사한 것은 가스배관 연결 및 타공사로 인한 사고의 비중이 42.1%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다는 것이다. 따라서 지하철공사, 통신공사, 상하수도관공사등 타공사 현장에 대한 관리강화와 타공사 작업시 가스공급자 입회감독 철저, 타공사 관리 절차 준수, 굴착 및 되메우기시 입회감독 철저등이 지켜져야 한다.

Table 3에서 알 수 있듯이 우리나라 가스사고 자료 및 분석데이터는 상당히 미흡하다. 외국처럼 사고요인을 정확히 파악하여 그 유형을 철저히 분석하는 작업을 각 가스회사가 공동으로 조속히 시행해야 할 필요가 있다.

Table 2 Number of Incidents by causes by year

Cause	Year									Total	Number (%)
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994			
Operator Error	8	8	16	39	50	54	47	62	284	52.2	
Insufficient Facilities	3	5	5	18	34	39	33	14	151	27.8	
Use of Inferior Goods	1	3		4	6	3	8	27	52	9.6	
Illegal act, Intentional					1	5	7	14	27	4.9	
Other	2		2	3		2	2	19	30	5.5	
Total	14	16	23	64	91	103	97	136	544	100	

Table 3 Number of Incidents by facilities by year

Cause	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	Total	Percent (%)
• Inferiority of gas-supply facilities or ventilator in gas boiler	1	1	4	2	10	5	3	4	30	22.6
• Gas-Supply not checking out the stoppage of home pipe terminal	1	1		1		1	1	3	8	6.0
• Corrosion of odor collector in the basement of an apartment house		1		1				1	3	2.3
• Gas leakage at joint working of a supply pipe				4	3	2		10	19	14.3
• Pipe damage by other work				2	9	6	7	13	37	27.8
• Breakage of an household regulator				2	1	2	2	1	8	6.0
• Breakage of a regulator in the supply facilities					2	3		2	7	5.3
• Leakage of a joint in use					1		1	4	6	4.5
• Opening error of valve-cock					1		2	1	4	3.0
• Other						3	6	2	11	8.2
계	3	2	4	12	27	22	22	41	133	100

2.2 1995년과 1996년도 국내 가스사고 개요²⁾

Table 4~7은 1996년 국내 가스사고 발생현황을 전년도와 비교한 표이다.

Table 4 Number of Incidents by gases in 1995, 1996

Year	LPG	City Gas	Other Gas	Total
1995	289	263	25	577
1996	369	184	23	576
Variation(%)	28	-30	8	-0.2

Table 5 Incidents Percentage by gas consumption (LPG and natural gas)

Classification	year				
	1992	1993	1994	1995	1996
Consumption of gas (1000ton)	5,893	6,895	7,891	8,724	10,053
Number of Accidents	100	90	126	552	553
Number of accidents per 1000ton	0.02	0.01	0.02	0.063	0.055

Table 7 Number of Incidents by causes in 1995, 1996 year

Year	Classification	Operating Error by Consumer	Operating Error by Supplier	Inferior goods	Insufficient Facilities	Intentional	Other	Total
1996	85	100	121	144	71	55	576	
Variation(%)	-32	-24	78	-22	54	150	-0.2	

발생건수를 15%에 달하는 가스소비량의 증가를 감안하여 보면, 95년 톤당 0.063건의 사고발생률이 96년에는 톤당 0.055건으로 감소(13%)됨을 알 수 있다. 즉 계속 증가하던 가스사고 발생률이 1995년을 정점으로 감소세로 접어들었다.

1996년 가스사고에 의한 인적피해는 사망 54명, 부상 421명으로 전년대비 각각 62%, 25%감소한 것으로 나타났다. 사고건당 사망자수는 1건당 0.09명으로서 전년 0.25명에 비해 크게 줄어들었으며, 가스별로는 LPG가 사고건당 사망 0.1명으로 도시가스(0.07명)나 일반가스에 비하여 높은 것으로 나타나 LPG에 대한 적극적인 사고예방책이 필요함을 알 수 있다.

또한 사고발생률이 도시가스가 전년대비 30% 감소한데 비해, LPG는 28% 증가하였다. 이는 도시가스의 경우 1995년 관련법규의 개정 및 도시가스 상설점검반의 가동등으로 도시가스 안전관리 강화대책이 효과를 거두기 시작했기 때문인 것으로 분석되며, LPG의 경우는 LPG시설의 취약성, 공급업체 영세성에 따른 공급자 의무이행제도의 미정착, 불량가스용품의 사용등에 기인한 것으로

Table 6 Data on Incidents Causing Fatalities and Injuries

Classification	LPG	City Gas	Other Gas	Total	Extent of Damage by Accident
1995 year					
Number Accidents	298	263	25	577	-
Number of Fatality	32	107	5	144	0.25
Number of Injuries	278	260	68	566	0.98
1996 year					
Number of Accidents	369	184	23	576	-
Number of Fatality	40	13	1	54	0.09
Number of Injuries	344	67	10	421	0.73

1996년 총 가스사고 발생건수는 576건으로 전년 보다 1건(0.2%) 감소하였다. 위와같은 가스사고

판단된다.

가스사고 발생을 원인별로 보면 취급부주의, 시설미비 등은 줄어드는 반면에 제품불량, 고의 및 기타사고가 크게 증가하였다. 가장 큰 증가세를 보인 “제품불량”의 경우 용기, 조정기, 보일러에서의 누출사고가 대종을 이루고 있으며 특히 보일러사고의 경우 단일사고로서 최고의 사망률(사고 1건당 0.9명 사망)을 보이고 있다는 점에서 적극적인 대책이 필요한 대상이다.

또한 취급부주의에 의한 사고는 현저한 감소세를 보이고는 있으나 단일 사고원인으로서 여전히 32%의 높은 점유율을 보이고 있어 지속적인 제도, 홍보활동이 필요한 것으로 분석된다. 특히 공급자 취급부주의(17%) 경우 대부분 가스업체 및 인접분야에 종사하는 사람들의 사고라는 점에서 업체를 대상으로한 계도교육의 확대가 효과적인 예방책이 될 수 있을 것으로 판단된다. 고의에 의한 사고는 방화, 자해, 흡입등을 총괄한 것으로서 엄격한 의미에서 가스안전사고로 집계되기 어려우나 동종사고가 주는 피해 확산도를 감안, 본 통계에 포함 관리하고 있다. 고의사고를 제외하고 순

수한 안전사고만을 대상으로 분석할 경우 사고발생률은 전년대비 5% 감소했다.

3. 가스배관 건전성 확보방안 검토^{3~6)}

3.1 배관 건전성 확보방안

최근 가스관로 순찰, 가스누설탐지 순찰, 양극방식전류 측정, 다양한 피그사용, 수압시험, Bellhole사용등 배관의 유지보수기술이 상당히 발달하고 있다. offshore관련사항은 유럽이나 멕시코만 등지의 가스설비에서 필요한 것이므로 본 보에서는 생략하고 미국의 사례를 중심으로 배관 건전성 확보 방안에 대하여 기술하도록 한다.

천연가스가 미국의 에너지에서 차지하는 비중은 약 30%이다. 가스배관은 생산지와 소비자를 연결하는 가장 효율적인 방법으로 미국에서 생산배관(gathering line)은 약 90,000miles로서 배관은 강과 플라스틱(100psi이하)이 사용되고 있고, 공급배관(transmission line)은 약 280,000miles로서 배관재료로서 주로 강(1400psi이하)이 사용되며, 분배배관(distribution line)은 약 835,000miles로서 강과 플라스틱이 약 0.5psi압력에서 사용된다.

매설배관의 수명은 대략 40년으로 2차대전전후에 건설된 배관의 경우 대체할 필요가 있다. 이들 배관은 강도자체가 열화되지는 않지만 외부힘에 의한 기계적손상, 지반이동에 따른 응력, 방식코팅 퇴화, 부식, 결합성장 등은 배관건전성에 상당한 영향을 끼친다. 배관의 매설깊이는 최소 30inch로서 강재배관의 경우 X52~X70등급, 관경 6~48inch, 두께 0.125~1.0inch이며 관길이는 40~80feet이다. 매설 위치는 1등급(인적이 거의 없는 곳)이 전체의 85%이고 이경우 shutoff valve가 20miles이내에 위치한다. 건설시에는 자갈, 바위, 이물질등이 매설배관 주위에 남아있으면 후에 배관 손상을 유발하므로 주의해야 한다.

이러한 천연가스 배관의 설계, 건설, 시험, 운용에 관한 규격으로는 미국 운수성에서 제정한 "Pipe line safety regulation Title 49, Code of Federal Regulations, part 192"가 있다. 또한 NACE, API, ASTM, ANSI, ASME등의 규격, 표준등이 참고되며 각 주나 지방에서 주변환경을 고려하여 제정한 기준, 표준, 조례등이 있다. 공

급배관의 경우 DOT-RSPA에서 최소허용작동압력(MAOP)를 배관관경, 두께, 강등급, 배관위치(도심지, 산악지대...)에 따라 결정하며, 강재는 보통 $25,000 \leq SMYS \leq 80,000$ psi급을 사용한다. 예를들어 ANSI/ASME B31G "손상배관 잔류강도 결정 매뉴얼"에는 배관이 부식되었을 경우 부식깊이, 길이에 따라 잔류강도를 평가하며 SMYS를 100% 만족시키지 못하면 보수, 대체, 감압등의 조치를 취해야 한다.

배관운영자는 부상, 사망, \$50,000이상의 재물손상, 가스누출, 공급중지, 운송자판단으로 배관 건전성에 영향을 끼치는 사고에 대해서 DOT-RSPA, OPS에 즉시 보고해야 한다.

1984년~1990년 사고데이터를 보면 연평균 83건 사고가 발생하여 20명이 부상하였다. 이기간중 총 26명이 사고로 사망하였는데, 그 원인은 외부작용힘, 건설 및 재료결함, 배관손상, 설비화재, 기계부분품 파손, 압축기, 밸브, 정압기등의 순이다. 이는 다른 운송산업에 비하면 극히 작은 규모지만 배관운영자의 노력, 안전보장 체계 향상, 감시기능 향상등으로 모든 사망, 부상사고를 없애는 것이 목표로 안전관리를 수행해야 한다.

사고 원인을 요인별로 보면 외부힘(외부굴착장비에 의한 손상, 지반이동, 물흐름등)이 39.9%, 부식(내부, 외부부식, 응력부식, 미생물부식 등)이 21.5%, 건설결함(이동, 매설시 결함, dent, gouge, 원주용접결함등)이 5.8%, 재료결함(야금학적 결함, 심용접부위 용합부족, 용입부족, spot, 개재물 등)이 9.9%, 기타(정압기, 기계부분품 파손, 인적오류, 화재 등)이 22.9%이었다. 방식코팅, 양극방식체제, 예방유지기술등이 발달했지만 내외부부식이 발생될 여건이 광범위하여 완벽한 예방은 힘들다.

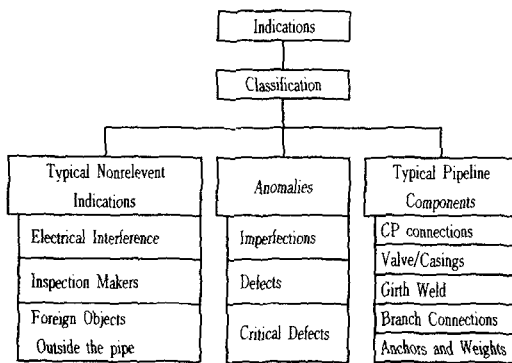
배관결함 탐측, 평가에서는 내부, 외부부식 탐지기술뿐만아니라 금속손실을 탐지하는 ILI(in-line inspection) pig, MFL(magnetic flux leakage)기술과 직선형태의 배관 특이성을 탐지하는 초음파, eddy current devices등의 기술 발달이 요구된다.

배관보수나 대체는 안전성뿐만아니라 경제성도 고려되어야 한다. 예를들어 30inch, 500~750MMcfd (million cubic feet/day)배관의 경우 운송물량가치가 100만달러/일(1992년 기준)이고, 16inch배관 대체비용은 25만~50만달러/마일이며 30inch 배관

대체비용은 60만~300만달러/마일(1991년 기준)이다. 즉 효율적인 방재프로그램은 대체시 소요되는 비용을 감소시킬 수 있다.

Table 8에 배관의 불완전한 상태를 나타내는 배관손상의 분류를 나타내었다. 이 표에서 인지(Indications)는 배관에 대한 검색, 측정, 시험의 결과로서 특정기준을 넘어서는 응답이 나온 것을 말한다. 특이점(Anomalies)이란 배관의 내부, 외부 또는 두께에서 생긴 어떤 불합리한 상태를 말하는 것으로 다시 3가지로 구분된다. 불완전(impections)이란 이중 가장 낮은 등급으로 가스압에 의한 배관의 원주응력이 배관 SMYS의 100% 이상일 때 파괴가 일어나는 상황으로 이 상태는 배관을 보수하거나 대체할 필요는 없고 계속 감시를 하면 된다. 결함은 다음 등급으로 배관파괴가 SMYS이하의 원주응력에서 발생하는 상황이며 보수를 해야하지만 즉각적인 행동여부는 각자 판단에 따른다. 심각한 결함은 특이점중 가장 심한 경우인데 배관이 MAOP에서 파괴되는 상황으로 배관의 즉각적인 보수나 대체 또는 감압이 필요하다. 이에대한 상세한 설명은 ASME B31G에 있다.

Table 8 Classification of Pipeline Indications



배관사고 방지체제는 각 배관마다 환경이 다르기 때문에 다르게 설정해야 한다. 각 결함과 판독 가능 수단의 분류를 Table 9에 나타내었다. Table 9에서 X는 특정상태를 검지할 수 있는 수단이며 첨자는 제한 적용내용으로 운용자가 모두 사용할 필요는 없다. CFR에 관로순찰, 방식기능 측정등은 요구되나 관로 관찰은 반드시 필요한 것은 아니다. 예를들어 수압시험은 배관에 잔존하는 작은

결함은 검지하지 못하며, Bellhole은 코팅을 제거해야하고 배관 축방향 결함만 검지할 수 있으며, CP는 내부부식정보를 얻지 못하고, In-line inspection tools에서는 아직 ILI pig사용은 확보된 결과가 없는 상태이다.

관로사고의 주요인인 외부기기에 의한 손상은 가스관뿐아니라 전기, 통신설비에서도 발생되는데 완벽한 예방은 어렵고 관로순찰을 자주하여 발생빈도를 줄이는 것이 유일한 방안이라 할 수 있다. ILI pig는 미리 Dummy-run으로 배관상태를 파악한 후 instrument pig를 실시하여야 하고, MFL 는 금속손상, 배관두께 상태등은 탐지가 가능하지만 배관 축방향에서 벗어난 결함은 탐지가 곤란하다.

배관코팅, 배관재료특성, 건설공정, 수압시험 배관 안전도, 건전성, 장주기 사용성에 대한 보장 및 점검은 고객에 대한 안전보장측면뿐 아니라 경제적인 측면에서도 필요한 사항이다. 건전성보장에는 1) 신기술의 조화 2) 예방유지기술의 향상 3) 인지, 분류, 특성평가를 위한 효과적인 수단을 찾기 위한 연구가 필요하다. 이러한 배관방재기술은 배관에 존재하는 특이성 및 상태의 이해와 특별한 상태를 직면했을 때 유지기술로 이를 해결하는 기술이 필요하다. 즉 배관특이성, 불완전을 검지하는 향상된 방법, ILI pig, MFL로 인지된 특이사항의 분류, 특성평가기술 향상, 초음파, ED, ILI로 배관측에서 벗어난 결함 탐지 기술, 여러 가지 ILI pig사용이 가능한 출발 도착설비(영구, 임시), 배관배부, 외부부식 탐지, 위치 및 특성평가 기술, 배관파괴에 이르는 사고의 조기 인지방법 개발등이 필요하다.

3.2 배관손상 분석기술

가스배관 파손은 인명손상 가능성 때문에 매우 중요하다. 통계적으로 파괴는 배관 1,000miles당 1년에 1회꼴로 일어난다. 파손과 예상수단에 대한 연구가 외국의 가스업체에서 광범위하게 진행되고 있는데, AGA, AISI, BG등의 협력하에 배관강재 특성향상, 제조 검사공정, 배관설계 기술향상 등이 이루어지고 있다.

배관형상은 분석의 기하학적 양상은 단순화시키지만 파손에 따른 외양은 원인을 규정하는데 중요

Table 9 Assuring Integrity of National Transmission Lines

Practices Conditions	R-O-W Patrol		Corrosion Control			In-Line Inspection				Bellholes		Tests
	Aerial Patrols	Ground Surveys	CP Measurements	Close Intrvl Survey	Coupons/ Monitors	MFL Pigs	Geometry Pigs	Mapping Pias	Cameras	Visual Inspection	NDE Examinations (d)	Hydrostatic Retesting *
Outside Forces												
3rd party damage	X	X					Xa			X		
Earth movements	Xb	Xb					X	X				
Metal Loss												
External corrosion			X	Xf		X				Xd	X	X
Internal corrosion					X	X	X					X
Gouges						X				Xd	X	X
Gas Leakage	X	X								X		
Coatings			X	X						X		
Cracks												
Seam weld										Xe	X	X
Girth weld										Xe	X	X
Stress corrosion												
Fatigue										Xe	X	X
Selective corrosion										Xe	X	X
Geometry												
Ovality, buckles							X		X	X		
Obstructions, dents							X		X	X		
Ovality, Wrinkles							X		X	X		
Bend radius							X	X				
Pipeline movement								X				
Metallurgical												
Inclusion						X					X	X
Hard spots						X					X	X
Laminations											X	

* Effective for Critical Defects Only

- (a) Geometry Pigs are designed to detect dents and ovality
- (b) Effective for landslides but not for differential settlement
- (c) Designed to detect dents and wall protrusions
- (d) Assumes coating has been removed
- (e) Generally cannot detect without using NDT Methods
- (f) Locates possible corrosion resulting from inadequate CP

한 특성을 모호하게하거나 변형시킬 수 있다. 배관재료에 내재된 탄성변형에너지의 많은 양이 일시에 방출되면 배관은 심하게 변형된다. 이때 가스가 발화되고 배관특성도 변하게 된다. 또한 파손후의 부식이나 실험실실비에서 다루는 과정에서 미세한 규모의 파괴형태가 손실된다. 이러한 어려움을 극복하고 정확하게 원인규명을 하기위해 많은 분석기술이 적용된다.

· 거시적 관찰 : 파단면을 거시적으로 관찰하는 것이 필요하다. 사용중인 배관의 파단은 안정된 크

랙성장 영역이나 외부 힘, 부식에 의해 유발된 크랙에서 성장한다. 이들의 가장 공통점은 기원점에서 위로 평면변형 파단면에 나타나는 chevron패턴이다. 완전한 전단성장 연성파괴의 예각모서리는 기원점에서 뒤로 톱날모양의 2차크랙을 포함하고 있다. 이 모서리를 따라 흔적(finger)이 앞뒤로 있는 것은 크랙이 전파하는 과정에 거칠기 차이 때문이다. 크랙의 갈라진 부위는 크랙전 방향을 나타내므로 배관파편을 모으면 파괴 기원점을 규정하는데 도움이 된다.

· 절단 및 세척 : 육안분석으로 정해진 특정부위가 상제한 파단면 사진과 미세조직 관찰을 위해 배관에서 절단된다. 실험실 분석을 위해 작은 부위가 절단될 때 파단면이 손상되지 않도록 주의해야 한다. 특히 토치등으로 절단할 때는 파단면이 열손상을 받지 않도록 주의해야 한다. 크랙진과 방향과 관련된 작은 파편의 방향과 배관내부 외부표면은 미세분석시 반드시 표시해야 한다. 배관파편이나 부식생성물을 세척하는데는 연성세제, 솜, 용매, 초음파세척, 표면복제, 화학 전기화학적 에칭 등이 사용된다. 이들중 분석할 특정 파단영역에 적용되는 최소한의 기술만을 사용해야 한다. 세척에 앞서 의미있는 부식생성물들은 조심히 제거해서 분석을 위해 보존해야 한다.

· 미세파단면 조직 : 투과, 주사전자현미경을 사용한 고배율의 파단면 사진은 파괴와 파괴의 원인

이나 기구를 관련짓는 중요한 사항이다. 이과정은 모르는 상태에서 생긴 파괴와 실험실에서 응력, 변형, 변형속도와 주위환경의 조건을 아는 상태의 파단면사진 모음을 비교하는 것도 포함된다. 또한 파단면 사진은 파괴형태, 국부크랙 전파방향, 크랙 진전등의 변화를 알 수 있다.

· 금속조직 분석 : 결정립계, 개재물, 변태상, 2차상, 외부결함과 관련된 파괴경로는 금속조직 분석으로 알 수 있다. 파괴가 생긴 위치에서 파단면을 절단, 마운팅, 연마하여 파괴형태를 규정하는 사항을 구한다.

· 화학조성과 기계적 특성 : 화학분석과 기계적시험은 배관이 적절한 등급, 알맞은 표준, 파괴에 이르게 한 어떤 특이점등을 조사하는데 필요하다. 파괴거동의 결정시 인장, 굽힘, 편평도시험, 충격시험, 균열선단 개구변위시험(CTOD)등의 기계적 시험이 사용된다.

배관제조, 시험, 검사기술의 향상에도 불구하고 파괴는 생긴다. 이들 파손의 원인을 규명하고 예방책을 마련하기 위해 파괴의 여러 형태를 특성화하는 것이 필요하다. 즉 기기나 자료의 도움으로 파괴원인 규명이 가능하다. 아래의 Table 10은 배관손상이 생길 수 있는 제반 원인을 분류한 것이다.

4. 요약

2편의 자료를 통해 해외 배관손상 사례분석 및 국내 가스사고 자료분석을 행하였으며, 가스배관 건전성확보를 위한 방안을 검토하였다. 국내에서도 선진국처럼 각종배관 사고통계 기구가 신설되어 체계적인 배관사고 조사 및 분석을 행할 필요가 있으며, 국내에서 미진한 분야인 배관건전성 및 안전성분야 연구가 활성화되어 배관사고를 최대한 억제할 수 있는 방안을 도출할 필요가 있다.

참고 문헌

- 1) "국내가스사고 분석결과", 한국가스공사 자료, May 1995.
- 2) "가스사고 개요", 한국가스신문 기사, February 1997.
- 3) AGA Pipeline Research Committee, NG-18

Table 10 Causes of pipeline incidents

Defects which cause preservice test failure	Defects which cause service failures
1. Defects in the pipe body <ul style="list-style-type: none"> · Mechanical damage · Shipping fatigue cracks · Material defects 2. Longitudinal weld defects <ul style="list-style-type: none"> · Submerged arc -weld arc cracks -Incomplete fusion -Porosity -Slag inclusions -Off-seam -Incomplete penetration · Electric weld -Hook cracks -Weld-line inclusions -Cold weld -Contact burns -Excessive trim -High hardness 3. Field weld defects <ul style="list-style-type: none"> · Underbead cracks · weld metal cracks 	1. Defects in the pipe body <ul style="list-style-type: none"> · Mechanical damage · Material defects · Environmental effects -Corrosion -Hydrogen-stress cracks -Stress corrosion cracks -Sulfide-stress cracks -Stepwise cracks 2. Longitudinal weld defects <ul style="list-style-type: none"> · Submerged arc -Toe cracks -Fatigue cracks from cyclic loading, such as in compressor stations · Electric weld -Selective corrosion -Hydrogen-stress cracks 3. Field weld defects <ul style="list-style-type: none"> · Lack of penetration · Corrosion(usually internal due to flow conditions) 4. Special causes <ul style="list-style-type: none"> · Secondary loads from soil movement · Earthquake loads · Wrinkle bends · Internal combustion · Sabotage

- Report No. 200, August 1992.
- 4) GRI Topical Report, 91/0366, 1992.
 - 5) GRI Topical report , 91/0365, 1992.
 - 6) ASME B31.G-91.
 - 7) US DOT Title 49 CFR, part 191-192.