한국부식학회지
Journal of the corrosion Science Society of Korea
Vol. 13, No. 1, mar. 1984.

〈기술해설〉

화학기계장치 설비의 손상경향

이재익 · 변인석
한국비료공업 주식회사

Failure of the Equipments in Chemical Plant

J. Y. Lee · I. S. Pyun Byeon
*Korea Fertilizer Industry Ltd**

1. 머 리 말

일반적으로 여러가지 단위화학장치설비는 온도, 압력및 유체의 종류와 조성등이 복잡 다양하게 변동되는 가혹한 환경에서 사용되고 있는 실정이므로, 공장을 오랫동안 운전을 행하므로서 여러가지 단위화학장치설비의 노후화현상등과 같은 열화현상이 급격히 진점됨에 따라 여러가지 손상형태로 인하여 단위화학장치설비의 성능이 저하되고 있다.

특히 석유화학공장및 중화학공장등 대부분의 공장에서는 모든 단위화학기기장치설비가 서로 유기적인 관계를 유지하면서 생산활동에 임하고 있는 실정이므로 어느 한부분의 기기장치설비가 열화, 손상될 경우 전 공장의 운전이 정지되므로서 생산성과 수익성이 감소되어 궁극적으로는 기업운영에 막대한 영향을 초래하게 된다.

일반적으로 각종 단위화학기기장치설비가 사용중에 일어나고 있는 손상형태와 기기장치별 손상현상은 표-1과 표-2에서 보는바와 같이 부식및 마식으로 기인되는것이 대부분이며, 주로 열교환기류의 장치설비가 모든 장치설비중에서 1/3이상을 차지하고 있는 실정이다.

따라서 본문에서는 공장을 장기운전하므로서 일어날수 있는 각종 단위화학기기장치설비에 대한 열화, 손상요인과 진전상태를 보다 신속 정확하게 파악하여 공장운전을 보다 안전하게 오랫동안 운전할 수 있도록 도움이 되고져 외국문헌과 기술자료중에서 화학기기장치설비의 손상경향을 발췌 서술하고저 한다.

표 1. 화학 장치의 사용중 손상

손 상 종 류	발 생 비 율(%)
부 식 마 모	35
Crack	35
진 동	5
변 형	5
소 음	5
파 손	10
기 타	5

〈표 2〉 기기 장치별 손상사례

(총 295件)

장 치 설 비 별	비 율 %
가열로 관계장치	16.6
탑·조 관계장치	16.6
열교환기 관계장치	34.2
배관 관계	24.4
회전기류 관계	3.1
기 타	5.1

2. 기기장치설비별 손상경향

1955년부터 1979년까지 약 20여년간에 걸쳐 일본에서 발생된 각종 단위화학기기장치설비의 손상사례를 통계적으로 종합하여 손상 현상별, 재질별, 장치별로 분류 해석한 통계자료인 표-3과 일본 월간지인 Stainless-Steel에서 손상형태를 종합 분석

한 결과, 대부분의 단위화학기기장치설비에 있어서 현상면에서의 손상형태는 제반 운전조건 즉 ·온도, 유체의 종류와 조성 및 압력등 환경적인 요인에 기인된 것이며 주로 부식매의 성질에 따라 분류된 습식형태로 손상되는 경향이 많음을 알수 있으며, 부식작용기구면에서 생각할때 전기화학작용및 순화학작용등 단독적인 작용에 의한 손상보다는 재질에 따라 약간의 차이는 있으나 복합적인 작용으로 기인되고 있음을 알수 있고, 기계적인 요인과 기계적인 작용이 주체가 되어 손상되는 경우로서는 주로 피로에 의한 손상형태가 40% 이상을 차지하고 있다.

〈표 3〉　화학 공장에서의 손상

(가) 재 질 별

	재 질	발생건수	발생비율
부식손상 (742) 57.9%	탄 소 강	203	27.4%
	저 합 금 강	47	6.3%
	α-stainless	30	4.0%
	γ-stainless	357	48.2%
	고 합 금	24	3.2%
	비 철	78	10.5%
	기 타	2	0.4%
파괴손상 (540) 42.1%	탄 소 강	142	26.3%
	저 합 금 강	137	25.4%
	α-stainless	76	14.0%
	γ-stainless	142	26.3%
	고 합 금	41	7.6%
	비 철, 기 타	2	0.4%

(나) 장 치 별

	장 치	발생건수	발생비율
부식손상	반 응, 분 해	137	18.5%
	증 발, 열 교 환	229	30.9%
	분 해, 흡 수	47	6.3%
	건 조	36	4.8%
	이 송	50	6.7%
	배 관	154	20.8%
	저 장	57	7.7%
	기 타	32	4.3%
파괴손상	배 관	83	15.4%
	이 송	184	34.1%
	건 조 분 쇄	21	3.8%
	분 해 흡 수	35	6.5%
	증발.열 교 환	51	9.4%
	반 응, 분 해	104	19.4%
	기 타	62	11.4%

(다) 현 상 별

	손 상 현 상	발생건수	발생비율
부식손상 (742)	pittng, crevice corr.	66	8.9%
	S. C. C.	292	39.4%
	H. E. C.	22	2.8%
	Local Corr.	134	18.1%
	General Corr.	112	15.1%
	Erosion	36	4.9%
	Dry. Corr.	53	7.1%
	기 타	27	3.6%
파괴손상 (540)	취 성 파 괴	61	11.3%
	피 로	221	40.9%
	부 식 피 로	34	6.3%
	연 성 파 괴	31	5.8%
	고 온 파 괴	115	21.3%
	용 접 결 합	31	5.7%
	열 화 기 타	47	8.7%

〈표 4〉　손상 형태별 현황

손 상 형 태	손상 발생 건수	비 율 (%)
습 식	884	76%
건 식	112	9.6%
파 손	167	14.4%
계	1163	100%

금속재질면에서의 손상경향을 살펴보면 일반적으로 다른 금속에 비해서 내식성이 강한 스테인레스강이 환경적인 요인으로 기인되는 손상경향이 50% 이상을 차지하고 있다는 것은 화학공장의 특징이라 할수 있겠으며, 다른 금속재질에 비해 여러방면으로 다량으로 사용되고 있음을 알수 있다.

특히 스테인레스강은 기계적인 요인으로 인한 파괴손상현상은 탄소강보다 적으나 부식손상경향은 탄소강에 비해 심한 실정으로 50% 이상이 응력부식균열에 기인되고 있다.

한편 장치별로 손상경향을 살펴보면 단위화학기기장치설비중 냉각기, 가열기등의 열교환기류와 배관과 같은 정적인 기기장치 설비에서는 기계적인 요인에 비해 부식으로 기인되는 손상경향이 심하나 펌프및 압축기등과 같은 동적인 기기장치설비는 피로등과 같은 기계적인 요인으로 파괴손상이 심하다는것을 알수 있다. 특히 열교환기류에 있어서는 열교환기류의 형식, 구조, 등등에 따라서도 손상경향이 다르다는 것을 알수있다.

〈표 5〉 Stainless Steel 의 부식사례

(가) 형태별 부식발생건수

기간 / 형태	1958.4 ~ 1959.3	1959.4 ~ 1960.3	1960.4 ~ 1961.3	1961.4 ~ 1962.3	1962.4 ~ 1963.3	1963.4 ~ 1964.3	1964.4 ~ 1965.3	1965.4 ~ 1966.3	1966.4 ~ 1967.3	1967.4 ~ 1968.3	총 계
S.C.C.	9	6	5	12	16	19	45	44	29	26	211
공 식	10	9	3	7	8	12	14	19	21	15	118
입계부식	7	5	4	7	8	10	17	23	11	4	96
전면부식	7	7	5	3	15	18	6	17	17	11	106
기 타	4	2	3	2	16	5	10	8	7	9	66
계	37	29	20	31	63	64	92	111	85	65	597

(나) 형태별 발생비율

기간 / 형태	1958.4 ~ 1959.3	1959.4 ~ 1960.3	1960.4 ~ 1961.3	1961.4 ~ 1962.3	1962.4 ~ 1963.3	1963.4 ~ 1964.3	1964.4 ~ 1965.3	1965.4 ~ 1966.3	1966.4 ~ 1967.3	1967.4 ~ 1968.3	… …
S.C.C.	24.3	20.7	25.0	38.7	25.4	29.6	48.9	39.6	34.1	40.0	35.3
공 식	27.1	31.0	15.0	22.6	12.7	18.7	15.2	17.1	24.7	23.1	19.8
입계부식	18.9	17.3	20.0	22.6	12.7	15.6	18.4	20.7	12.9	6.2	16.1
전면부식	18.9	24.1	25.0	9.7	23.8	28.1	6.5	15.3	20.0	16.9	17.7
기 타	10.8	6.9	15.0	6.4	25.4	8.0	11.0	7.3	8.3	13.8	11.1
계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*API 부식소위원회 조사결과임.

(다) 발생기간별

발생기간	발생건수	비율(%)
0 ~ 2개월	20	22.0
2개월 ~ 4개월	16	17.5
4개월 ~ 8개월	14	15.4
8개월 ~ 1년	7	7.7
1년 ~ 2년	14	15.4
2년 ~ 3년	6	6.6
3년 ~ 6년	10	11.0
6년 이상	4	4.4
계	91	100

〈표 6〉 재질과 환경에 따른 응력부식 손상현상

재질	환경요인	발생건수	비율(%)
탄소강	질산염수용액	12	.1
	시안화물수용액	12	4.1
	액체암모니아	15	5.1
저합금강	알카리	23	7.9
	고온고압수	3	1.0
α-스테인레스강	염화물수용액	178	61.0
	poly 치은산	9	3.1
γ-스테인레스강	알카리	1	0.3
	고온고압수	20	6.8
티탄	과산화질소	1	0.3
동합금	담수	16	5.5
	대기	2	0.7
계		292	100

〈표 7〉 Austenite 계 Stainless의 손상

손상내역	발생건수	%
전면부식	10	5.4
입계부식	12	6.4
공식	42	22.6
응력부식(입계)	21	11.3
〃 (입내)	92	49.5
부식피로	9	4.8
계	186	100

〈표8〉 Pump의 고장내용과 발생율

(가) Chemical Pump

고장현상	발생비율(%)
부 식	23.5
마 모	18.2
Leak	18.2
진 동	10.6
파 손	11.2
류량부족	6.5
소 음	4.7
기 타	7.1

(나) Turbine형 Pump

고장현상	발생비율(%)
파 손	24.5
Crack	10.4
Leak	9.3
마 모	9.3
작동부족	7.9
부 식	4.8
진동,소음	3.9
기 타	22.2

(다) Pump의 고장율비교

원 인	Chemical	Turbine
재 료 상	41.7	24.5
기 계 적	30.6	50.6
축 봉	18.2	9.3
성 능 상	9.5	7.9

*일본 : (주) 전업사기계제작소 호천 기전 조사

3. 습식발생현황

일반적으로 습식이라함은 200℃ 이하에서 수분(전해질)의 존재로 일어나는 부식형태의 일종으로서 須永一郎씨가 조사한 자료를 스테인레스강(Vol18. No 5. 1974)에서 일부 인용하여 보면 대부분의 부식형태는 습식형태로 손상되고 있는 실정으로 습식형태와 환경과의 관계를 조사 검토하여 보면 표-9, 10, 11, 12, 13및 14에서 보는바와 같이 응력부식균열과 공식현상이 주종을 이루고 있을 뿐만아니라 공업용수, 수증기등 환경에 따라 다소 차이는 있을지언정 부식손상으로 모든 단위화학기기장치설비가 열화손상되고 있음을 알수있다.

〈표10〉. 습식의 손상 내역

손 상 내 역	발 생 현 황	발생비율(%)
전 면 부 식	147	16.6%
발 청 및 변 색	14	1.6%
응 력 부 식 균 열	348	39.4%
공 식	217	24.5%
격 간 부 식	15	1.7%
입 계 부 식	89	10.1%
이 상 선 택 부 식	27	3.1%
용접부 선택 부식	7	0.8%
접 촉 부 식	3	0.3%
마 모	10	1.1%
기 타 부 식	7	0.8%
계	884	100 %

〈표 9〉. 습식 형태와 환경과의 관계

(Stainless Steel Vol. 18, No. 5, 74에서)

환경 / 부식양식	공업용수	수증기열수	해 수	보온재	무기산	무기염(Cl- 제 외)	염화물	유기산	유기화합물(유기산 제외)	알카리	Gas	Drain	계
전 면 부 식	0	4	2	1	32	18	2	36	26	9	14	3	147
발 청 변 색	2	1	1	0	2	0	1	0	5	0	2	0	14
응력부식 균열	52	51	7	24	16	16	18	19	89	21	28	7	348
공 식	18	17	30	7	17	24	12	18	52	5	16	1	217
격 간 부 식	2	1	5	0	0	3	1	0	2	0	1	0	15
입 계	5	3	1	0	24	12	1	20	11	3	8	1	89
이 상 선 택	1	0	0	0	4	5	1	5	7	3	0	1	27
용 접 부 선 택	0	0	0	0	5	0	1	1	0	0	0	0	7
접 촉 부 식	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3
마 모	0	1	0	0	2	0	0	3	3	0	1	0	10
기 타	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	1	0	7
계	81	79	47	32	104	79	37	102	196	42	71	14	884

〈표11〉. 습식손상발생비율

(총발생건류 : 134건)

(가) 강종별 (단위 : %)

구분 / 손상형태	발생건수, 비율		SUS 304	SUS 302	SUS 302	고 Ni	기 타
	건	비율(%)					
S. C. C.	55	41.0	72.7	21.8	–	–	5.5
공 식	36	26.9	65.0	27.0	–	–	8.0
입 계 부 식	15	11.2	39.1	21.7	8.7	21.7	8.7
전 면 부 식	28	20.9	32.2	50.0	–	7.1	10.7

(나) 환경별(형태별 발생건수 "가"항과 동일)

환경 / 손상형태	감 화 물	수	알 카 리	산	유 기 물	기 타	불 명
S. C. C.	20.0	23.6	3.6	9.1	14.5	14.7	14.5
공 식	33.3	25	–	2.7	11.1	16.8	11.1
입 계 부 식	–	–	13.3	40	13.3	26.7	6.7
전 면 부 식	–	–	14.3	35.7	7.1	21.5	21.4

(다) 부품별(형태별 발생건수 "가"항과 동일)

부품 / 손상형태	Tube	Plate	Rod	Bellows	주 물	기 타
S. C. C.	61.8	20.0	5.4	7.3	1.9	3.6
공 식	51.4	32.4	5.4	–	10.8	–
입 계 부 식	39.1	47.8	13.1	–	–	–
전 면 부 식	32.1	28.6	7.1	10.7	3.6	17.9

* 일본금속(주) 原田憲二씨 조사결과임. (방식기술 Vol. 18, No. 7)

〈표12〉. 무기염에 의한 손상내역(염화물제외)

손 상 내 역	발생건수	발생비율(%)
전 면 부 식	18	22.8
응 력 부 식 균 열	16	20.3
공 식	24	30.4
격 간 부 식	3	3.8
입 계 부 식	12	15.2
이 상 선 택 부 식	5	6.3
기 타 부 식	1	1.2
계	79	100

〈표13〉. 공업 용수에 의한 손상내역

손 상 내 역	발생건수	발생비율(%)
발 청 및 변 색	2	2.5
응 력 부 식 균 열	52	64.2
공 식	18	22.2
격 간 부 식	2	2.5
이 상 선 택 부 식	1	1.2
입 계 부 식	5	6.2
기 타 부 식	1	1.2
계	81	100

〈표14〉. 보온재 및 알카리에 의한 손상내역

	손 상 내 역	발생건수	발생비율(%)
보온재	전 면 부 식	1	3.1
	응력 부식 균열	24	75
	공 식	7	21.9
	계	32	100
알카리	전 면 부 식	9	21.4
	응력 부식 균열	21	50
	공 식	5	11.9
	입 계 부 식	3	7.1
	이상 선택 부식	3	7.1
	접 촉 부 식	1	2.5
	계	42	100

〈표15〉. 응력부식균열 발생 강종 현황

Stainless Steel 종류	발생건수	비 율(%)
SUS 304	147	62.3
SUS 304 L	18	7.6
SUB 316	30	12.7
SUS 316 L	27	11.4
SUS 321	5	2.1
SUS 317	3	1.3
기 타	6	2.5
계	236	100

* 水野 誠 조사결과

4. 응력부식균열 발생현황

일반적으로 응력부식균열은 부식과학과 방식공학 분야에 있어서 많은 관심을 갖고 연구검토되고 있는 연구과제의 하나로서 응력부식균열의 진행기구에 대해서는 포괄적으로 결정적인 이론은 아직까지 구체적으로 확립되어 규명된것은 없으나 크게 분류한다면 금속학적인면에서나 전기화학적인면에서 검토할때 균열이 연속적으로 진행되므로서 취성파괴과정을 경유하지 않는다는 학설과 균열이 부식과 취성파괴현상이 서로 반복하므로서 불연속적으로 일어난다는 학설로 구분하고 있으나 아직까지 이에 대한 뚜렷한 이론을 규명하지 못하고 있을뿐, 응력부식균열에 대한 수 많은 논문과 총설만이 발표되고 있는 실정이다.

일반적으로 응력부식균열이라함은 정적인 인장응력과 부식매가 동시에 협동적으로 금속에 작용하므로서 일어나는 합금의 균열현상으로 현상적으로 본다면 다음과 같은 특징을 갖고 있다 하겠다.

첫째로는 응력부식균열은 원칙적으로 합금에서만 일어나며 순수한 금속에서는 부식매중에 특수한 이온이 존재하여야 한다는 점과 둘째로는 결정구조와 관계없이 이론적으로 10^{-5}~10^{-6} m/sec정도의 균열진행속도를 나타내고 있으므로 균열 감수성과 균열경로등은 금속과 환경여건에 따라 결정될수 있다는 점이라 하겠다.

다시 말해서 응력부식균열은 금속재료와 접촉하고 있는 부식환경과 인장응력이 동시에 작용할 경우에 용해, 감량현상을 유발하지 않고 다만 균열현상만을 일으키는 부식형태라 할수있다.

특히 스테인레스강의 경우 닉켈을 함유하지 않은 훼라이트계나 말텐사이트계의 스테인레스강에서는 유화물에 의해 균열이 발생되며 크롬-닉켈을 함유한 오스테나이트계 스테인레스강의 경우에는 염화물이나 고온알카리수용액및 유화물등에 의해서 응력부식균열현상이 일어나고 있음을 알수있다.

일본 금속공업주식회사의 水野 誠氏외 1명이 공동으로 조사한 통계자료에 의하면 스테인레스강의 종류에 따라 응력부식균열현상이 다르며 강 종류중 SUS27과 28이 70%이상을 차지하고 있다.

단위화학기기장치설비에 있어서 스테인레스강의 부식사고와 부식형태를 분류하면 표-16에서 보는 바와 같이 응력부식균열에 의한 손상현상이41.6%로서 거의 절반을 차지하고 있는 실정이다.

〈표16〉. 화학기기장치에 있어서 Stainless Steel 의 부식 형태

부 식 형 태	비 율 (%)
전 면 부 식	16.1
입 계 부 식	17.6
공 식	19.4
응 력 부 식 균 열	41.6
기 타 부 식	4.8

〈표17〉. 응력부식균열 발생온도 내역

온 도 범 위 (℃)	발생건수	비 율(%)
50 이 하	19	9.0
50 ~ 100	67	21.6
100 ~ 150	60	28.3
150 ~ 200	35	16.5
200 ~ 300	22	10.4
300 이 상	9	4.2
계	212	100

〈표18〉. 응력부식균열 발생환경내역

발생환경	비율(%)
공업용수, 증기	42
보온재	14
열매체	8
식염	8
타르	3
황산	2
알카리	2
기타	19

* 水野 誠氏외 1인 조사결과임.

〈표 19〉. 응력부식균열 부식매질 내역

부식환경	발생건수	비율(%)
염화물(주성분)	17	7.2
염화물(불순물)	49	20.8
염화물(존재불명)	18	7.6
알카리	7	3.0
온수, 수증기	107	44.1
보온재	23	9.7
해수	7	3.0
대기	11	4.7
계	236	100

〈표20〉. 응력부식균열의 환경별 내역
(Stainless Steel Vol. 18, No. 5, 1974)

환경별	발생건수	발생비율(%)
공업용수	52	14.9
수증기	51	14.7
해수	7	2.0
보온재	24	6.9
무기산	16	4.6
무기염 (Cl 제외)	16	4.6
염화물	18	5.5
유기산	19	5.2
유기화합물 (유기산 제외)	89	25.6
알카리	21	6.0
Gas	28	8.0
폐기물	7	2.0
계	318	

〈표21〉. 장치별 응력부식균열의 응력발생원

응력구분	기기장치	응력종류	발생건수	비율	
잔류응력	배관 및 열교환기	용접잔류응력	19	7.9	
		인장, 교정시응력	40	16.7	
		굽힘응력	22	9.2	
		성형, 가공시응력	8	3.3	
		설치시응력	17	7.1	
		용접시	5	2.1	46.1%
	탑, 조본체	Lining시	37	15.4	
		소성가공시	8	3.3	
		용접시	29	12.1	30.8%
	기타 기기및 부품	냉간압연시	8	3.3	
		절단시	15	6.4	
		굽힘시	5	2.1	
		가공시	2	0.8	
		Bolt 가공시	3	1.3	
		단조시	2	0.8	
		확장시응력	2	0.8	15.5%
외부응력	조업시 내외온도차열응력		9	3.8	
	조업시 가열냉각반복열응력		3	1.3	
	조업시 작동응력		6	2.5	7.6%
계			240	100%	

※ 일본용접학회 1968년 자료

〈표22〉. 장치 및 발생장소에 따른 응력부식균열

장치명	발생장소	발생건수	종발생건수	비율(%)
열교환기	냉각기 C/W측 전열면	39		
	냉각기 매질측 전열면	9		
	가열기 : 가열매체측열면	23		
	가열기 : 공정매질측전열면	8	79	33.5
보일러	증기, 고온수측전열면	6		
	열원측전열면	3	9	3.8
온수기	전기온수기가열기관	9		
	관체 및 부품	10	19	8.1
탑및조	공정매질접촉면	28		
반응계	Jacket에 의한가열, 냉각면	9		
	보온재	7		
	대기노출면	4		
	내부장치, 보급배관	6	54	22.9
배관	공정매질측접촉면	17		
	보온재	16		
	노출면	21	54	22.9
기타	송풍기	5		
	건조기, 탈수기	6		
	기타 Pump 등	10	21	8.9
총계		236	236	100

〈표23〉. 응력부식균열 발생기간

사 용 기 간	발생건수	비 율(%)
6 개 월 이 하	63	32.3
6개월 ~ 1 년	38	19.5
1 년 ~ 2 년	42	21.5
2 년 ~ 4 년	34	17.4
4 년 ~ 8 년	17	8.7
8 년 에 상	1	0.5
계	195	100

〈표24〉. 응력 발생원

응 력 형 식	발생건수	비 율(%)
소성가공잔류응력	55	48.7
용 접 잔 류 응 력	35	31.0
조작과정열응력	17	15.0
사 용 하 중 응 력	4	3.5
건조중잔류응력	2	1.8
계	113	100

* 1967년 화학기계용접연구회 발표자료

〈표25〉. 부식매별 응력발생원

부 식 매	응 력		
	잔 류	열	외 부
공정유체, 공업용수, 해수, 증기, 염화물	22 4	10	6 0
유체중 아비산	3	0	0
유체중 유화수소	3	0	0
해수, 공업용수중 암모니아	1	0	0
공정유체중 알카리	3	0	0
불 명	2	0	0

〈표26〉. 공식(Pitting)의 환경별 내역

환 경 별	발생건수	발생비율(%)
공 업 용 수	18	8.3%
수 증 기	17	7.8%
해 수	30	13.8%
보 온 재	7	3.2%
무 기 산	17	7.8%
무 기 염 (염화물제외)	24	11.1%
염 화 물	12	5.5%
유 기 산	18	8.3%
유기화합물 (유기산제외)	52	24.0%
알 카 리	5	2.3%
G a s	16	7.4%
폐 기 물	1	0.5%
계	217	100%

〈표27〉. 고온 장치에 있어서의 손상 현상

손 상 형 태	발생건수	발생비율(%)
열영향부 입계 균열	36	25.5%
이재용접경계층 균열	21	14.9%
유 화 부 식	17	12.1%
vanadium attack	14	9.9 %
수 소 손 상	11	7.8%
침 탄	7	5.0%
질 화	3	2.1%
흑 연 화	1	0.7%
δ 상 취 화	15	10.6%
Creep변형 및 파괴	10	7.1%
기 타	6	4.2%
계	141	100%

〈표28〉. 각각종 Stainless Steel 의 고온 사용중에 나타나는 취화현상 종류

( )표 : 취성현상유발)

취화현상 / 취화온도범위 / 재 질	475℃ 취성 400 – 550℃	탄수물석출 500~900℃	δ 상 생 성 600~1000℃	결정입 · 성장 900~100℃
13Cr-Al AISI 405	–	–	–	0
18Cr AISI 430	0	–	–	0
25Cr AISI 446	0	–	0	0
18Cr-8Ni AISI 304	–	0	0	–
18Cr-8Ni-Ti AISI 321	–	–	0	–
18Cr-9Ni AISI 347	–	–	0	–
13r-12Ni-25Mo AISI 316	–	0	0	–
22Cr-12Ni AISI 309	–	0	0	–
25Cr-20Li AISI 310	–	0	3	–

이같은 응력부식균열이 일어나는 조건을 살펴보면 표-17, 18, 19, 20에서 보는바와 같이 일반적으로 150℃ 이하에서, 1~2년 이내에 많이 발생하고 있으며 수증기, 냉각수등과 같은 비교적 부식성이 적은 부식매질에서 많이 발생하고 있으나 직접적인 부식매질은 염화물로 기인되고 있고 응력원으로서는 표-21및 표-24에서 보는바와 같이 주로 잔류응력에 의한 현상이 많다.

5. 공식발생현황

일반적으로 공식이라 함은 부식분포상태에 따른 부식형식의 일종인 국부부식으로 여러가지 인자, 다시말해서 유체의 종류, 조성, PH, 온도, 압력, 유속및 흐르는 상태등과 같은 여러가지 인자가 금속 표면에 국부적으로 어느 한정된 부분에서 각종 전지현상이 유발되므로서 여러가지 형태로 일어나는 손상이라 할수있다.

금속의 경우 공식은 철, 구리, 알미늄등은 물론이거니와 스테인레스강이나 합금등 금속의 종류와 재질에 관계없이 대부분의 금속에서 발생되는 손상으로 환경측면에서 볼때, 공식의 발생요인으로서는 황산염, 염화물, 보름화물, 옥소화물 다시말해서 황산염이온과 할로겐과 같은 특정한 활성 음이온이 존재하므로서 발생되고 있다.

특히 염화물은 그중 가장 해로운 인자로서 자연계에 광범위하게 분포되어 있으므로 공업적인 면에서 혼입될 기회가 가장 많기 때문에 실용적으로 가장 위험한 인자로 생각하고 있다.

이러한 공식은 앞에서의 여러자료에서 보는바와 같이 장치, 재질, 환경등 어떠한 상태에서든지 부식 손상형태로서 응력부식균열현상과 쌍벽을 이루고 있는 손상형태라 할수있다. 즉 오스테나이트계통의 스테인레스강의 경우 응력부식균열 발생요인과 공식발생요인은 거의 동일한 요인으로서 응력부식균열 다음으로 많이 발생되고 있으며 응력부식 균열과 공식이 상호 밀접한 관계가 있지 않을까 생각된다.

이같은 공식의 발생부위는 일반적으로 열교환기류나 반응탑및 각종 저장조등 정적인 기기장치류에서 많이 발생되고 있는 실정으로 유기계통의 화학약품에 기인되는 경우가 많다.

6. 고온손상현황

화학장치설비중에서도 압력부하를 받는 상태에서 사용되고 있는 고온 고압 장치류는 사용하기 시작하는 시점에서 부터 Creep손상이 진전된다고 하여도 지나친 말은 아니다.

고온, 고압상태에서 유체까스의 조성에 따라 산화-환원-유화-질화-침탄등과 같은 현상이나 수소침식과 같은 고온손상현상이 일어나므로서 기기장치설비 수명이 단축되는 동시에 공장 안전 조업에 막대한 영향을 미치고 있으므로 고온, 고압장치

〈표29〉. 침 탄 사 례

Gas온도 (금속온도용)	Gas압력 kg/cm²	Gas조성 (Vol %)							손상부위	금 속 재 질
		H_2	CO	CO_2	CH_4	H_2O	N_2	CH_4		
730 (680~730)	3	58.9	20.5	4.2	0.54	14.6	1.21		배 관 Flange valve	18Cr-8Ni-Mo 20Cr-20Ni 25Cr-20Ni Neg
950 (750)	17	55.5	23.8	4.0	1.4	14.1	1.2		열교환기	탄소강 침 탄 전면부식
250 (1200)	2-7	30			70			2	가열로관	탄소강 과열-침탄
750~800	1	38.3	6.6	7.2	0.01	48.0			배 관	18Cr-8Ni-Mo 부식 Neg
1250 (050~700)	21	57.5	31.8	1.2	6.1	2.8			열교환기	25Cr-20Ni 18Cr-8Ni-Nb 침탄-산화
(430~650)	21	35-48 47-48	13-20 14-17	0.8-3 5-7.5	10-18 4-6	20-24 19-30	0.5-4 0.5-4	0.3-0 0	열교환기 배 관	25Cr-20Ni M. 가금합금, 침탄

*西野知良 : 화학과 공업, 21, 406 (1968)

〈표30〉. 강의 수소 침식 단계(단계 과정의 속도는 온도와 수소압의 함수이다)

단 계	기 구	특 징
1) void중에서 메탄 압력상승(잠복기)	미소, 공격 크기는 표면 장력에 따라 정해진다.	1. 가열적 2. 팽창·수축속도 : 압력상승, 저하 3. 표면 반응률 속도 4. 기계적 성질 불변
2) 공격성장	공공(空孔) 확산 지배	1. 가열적 2. 수축속도 : 1단계보다 낮다. 3. 1단계 - 2단계 성장 속도 : 부하응력 영향 4. 합금 미량 첨가 영향
3) 공격성장	공격팽창 - crack성장 속도 : 전위 creep 기구 지배	1. 속도 : 탄화물 안정성 creep강도 부하응력 민감.
4) Crack완만진전	탄소 확산 재료 Micro조직 지배	탄소 소비
5) void부분적 소멸	작은 void공공 확산기구 소멸	Crack집합 - 메탄 방산 가능 - 재료 완전 탈탄.

〈표31〉. 수증기 접촉 개질법에 의한 수소제조장치의 손상 (석유화학지 11. 865(1980))

공 정	유 체		주 구 성 재 료	손상 주심 부위	손 상 원
	온도 ℃	성 분			
탈 유	350~400	탄화수소 유화수소 유기화합물	18Cr-8Ni Cr-Mo강 탄소강	열전대 보호관 용 기 배 관	고온·저온 유화물 부식 유화물 S.C.C
수 증 기 접 촉 개 질	700~900	H_2 CO CO_2 CH_4 증기 TS : (0.5ppm) 탄소강	UH MT HK Incolly 800 25Cr-20Ni 18Cr-8Ni Cr-Mo	반응관 배 관	열피로 Creep 변형 Crack 국부산화상취화 침 탄 Cl S.C.C 부식피로 CO_2에 의한 부식 수소손상
CO 전 화	200~450	상 동	18Cr-Ni Cr-Mo 탄 소 강	배 관 용 기 부 품	상 동 Cl S.C.C
CO_2 제 거	120	H_2 CO CO_2 CH_4 K_2CO_3	18Cr-8 Ni 탄 소 강	부 품 배 관 용 기	Cl S.C.C 알카리 수소 취화 CO_2 부식
메 탄 화	300~400	H_2 CO_2 CH_4	Cr-Mo 탄 소 강	배 관	수소 침식 수소 취화 CO_2 부식

西野知良, 實州直彦 : 석유학회지 865(1968)

운전시에는 제반관리 특히 압력, 온도관리에 유의하지 않으면 않된다.

일반적으로 고온손상이라함은 부식매의 성질에 따라 구분되고 있는 건식형태로서 수소, 산소, 유화수소, 일산화탄소등과 같은 고온까스로 기인되는 고온까스부식과 두 종류이상의 금속 또는 금속염이 서로 응용되므로서 금속간에 화합물이 생성되어 금속이 소모되는 용융염 부식등을 통털어 말하고 있다.

특히 고온상태에서의 수소, 질소등과 같은 까스는 금속표면에 스케일을 형성시키지 않고 금속을 취화시키는 작용을 하며, 산소등과 같은 산화성까스는 금속표면에 스케일을 형성시키므로서 금속을 손상시킨다.

일반적으로 고온장치에 있어서의 손상형태를 살펴보면 표-27에서 보는바와 같이 일반적으로 용접부 주위에서(열영향부와 모재 접촉부) 균열이 발생되는 경향이 많으며 금속재질과 사용온도등에 따라 여러가지 형태로 손상되고 있음을 표-28에서 알수 있다.

암모니아 합성공업이나 메타놀 합성공업에서 나프타(naphtha)개질장치와 탈유장치등 고온 화학장치에 있어서 고온까스작용으로 인한 대표적인 고온손상현상은 주로 수소침식, 침탄현상이 가장 많이 발생하고 있다.

침탄현상은 금속재질에 따라 다소 차이는 있으나 표-29에서와 같은 까스분위기와 온도에서 많이 일어나고 있으며 수소침식과정은 표-30에서와 같이 고온고압수소까스가 금속내부로 단계적으로 침투확산되므로서 일어나고 있고 고온 수소에 의한 손상경향을 살펴보면 표-31의 경우와 같이 탈유, 수증기, 접촉재질 장치등 일반적으로 고온고압장치에서 광범위하게 발생되고 있음을 알수 있다.

7. 끝 맺 음

가. 일반적으로 기기장치에 있어서 부식손상형태는 응력부식균열, 공식순으로 많이 발생되고 있으며 기계적인 요인으로서는 피로에 의한 손상이 많다.

나. 탄소강의 경우 피로손상파괴현상이, 스테인레스강의 경우 부식손상(응력부식균열)이 심하다.

다. 장치별 손상경향은 열교환기류장치설비에서 많이 발생되고 있다.

라. 응력부식균열은 150℃ 이하에서 짧은기간(3년이내)에 많이 발생한다.

마. 고온손상부위는 열영향부에서 많이 발생된다.

바. 펌프, 압축기등 동적인 기기장치류에서는 파괴손상이 주종을 이루고 있다.

8. 인 용 문 헌

1. 小若正論, 諸石大司：化學工學, Vol. 33, No.11 47 (1969)
2. 水野 誠：化學工學, Vol. 33, No. 11 65 (1969)
3. 西野知良, 山本勝美：石油學會誌, 12(6), (1969) 450,
4. 小若正論, 諸石大司：金屬材料, 12(9), (1972) 10.
5. 波邊竹春, 金屬材料：15(12) (1975) 37
6. F. H. Vitovec：Proc, API, 44(Ⅲ) 179(1964)
7. 西野知良, 外2：化學과 工業, 21, 4.0
8. 上同：石油學會誌, 11, 865, (1968)
9. 小若正論, 諸石大司：防蝕技術, 17, 249 (1968)
10. 原田憲二：防蝕技術, 18, 7, 297, (1969)
11. 藤咲 衛：化學裝置, 14, 12, 23(1972)
12. 西野, 佐佐本, 金屬材料, 9, 59, (1969)
13. 中村：化學工業協會, 第13回, 秋季大會 研究發表, 講演 要旨集 p. 318, 316(1979)
14. 內藤勝之：石油學會誌, 14, No. 9, 672(1971)
15. 須永一郎：Stainless, Vo. 5 (1974)
16. T. Takegawa and H. Ishimaru：Alche Sy--mposium on Saftey in Ammonia Plant & Re-lated Facilities, Nob. 28, 1979. San Fran--cisco.
17. J. B. Radziminski and F-V Lawrence：Wel--ding. J, 49 8, 365s (1970)
18. H. Mindlin：J. Stwctural Div. ASCE, 9 94, No. ST 12(1968)
19. X線材料強度部：T委員會：材料, 17, 191, 679 (1969)
20. 吉澤四郎, 山川宏二：日本金屬學會會報, 166, 351(1977)
21. W. C. Rion, Jr：Industrial and. Engineering Chemistry, 49, 73(1957)
22. 中村：化學工學協會 第11回 秋委大會研究發表講漢要旨集 p. 645(1977)
23. 北嶋宣光：腐蝕事例分科會(防蝕協)資料