

제주도 대기환경의 부식성 평가

김귀식* · 양경조** · 허철구*** · 송정화****

*제주대학교 기계에너지생산공학부

**제주대학교 기계공학과 대학원

***제주대학교 해양과학부 토목환경공학전공

****제주대학교 환경공학과 대학원

Assessment of Atmospheric Corrosivity at Jeju Island

GUI-SHIK KIM*, KYEONG-CHO YANG** AND CHUL-GOO HU*** JEONG-HWA SONG****

*Faculty of Mechanical, Energy & Production Eng, Cheju Nat'l Univ

**Department of Mechanical Eng, Graduate School, Cheju Nat'l Univ

***Department of Civil and Environmental Eng, Cheju Nat'l Univ

****Department of Environmental Eng, Graduate School, Cheju Nat'l Univ

Key Words: Atmospheric Corrosion(대기부식), Time of Wetness(TOW), Airborne Chloride(Cl), Sulfur dioxide(SO₂),

ABSTRACT: The Jeju Island in Korea is the clean area which the tradition culture is preserved locally well with the nature environment of Heaven's blessing. An air pollution is becoming recently serious problem as the industrial development is proceeded with the urbanization. This study investigates that the atmosphere environment at Jeju area influences on the metal corrosion. A study of the atmospheric corrosion for carbon steel, copper, zinc and aluminium exposed on five test sites indoors and outdoors. Corrosion results are treated statistically and adjusted to a model previously proposed for carbon steel, copper, zinc and aluminium based on the influence of environmental parameters and main pollutants(SO₂ and chlorides) on the atmospheric corrosion of metals. Through this study, we try to set the standards atmospheric corrosion at Jeju Island.

1. 서 론

2. 부식성 평가방법

제주도는 지역적으로 천혜의 자연환경과 고유한 전통문화가 잘 보전된 청정지역이며, 지리적으로는 사면이 바다로 둘러 싸여 있어 독특한 동·식물군의 서식지이나 외부 충격에 약한 특성이 있다. 하지만 최근 경제개발 위주 정책과 급속한 도시화, 관광개발의 촉진 등으로 대기정화 자원의 감소와 환경오염 물질 배출이 증가되고 있다. 이러한 대기오염에 의한 부식 피해는 공업지대나 대도시에서 매우 심하게 나타나며, 특히 산업 기계들이 소형화, 집적화 되는 추세에 따라 대기오염으로 인한 부식이 장치의 성능 및 수명에 큰 영향을 주고 있다. 또한 제주도의 도시는 주로 해안 지대에 형성되어 있으므로 대기오염 외에 해염입자가 주성분인 대기중 염화물(Airborne Chloride)에 항상 노출되어 있고, 상대습도와 대기온도 등에 관계되는 습윤 시간(TOW)이 타 도시에 비해 많으므로 부식성을 크게 지닌 도시이다. 특히 국제자유화도시로서 산업발전을 고려하면 대기부식에 관한 조사 연구가 필요한 지역이다.

본 조사 연구는 제주의 지역적 특성에 의한 기상, 대기오염이 금속부식에 미치는 영향을 2003년 9월부터 2004년 8월까지 조사하여, 대기부식성의 표준분류에 의한 방법으로 제주 지역의 대기환경지표를 설정 하고자 한다.

부식성 평가 방법은 ISO 9223-9226에 대기부식시험 표준에 의거 평가등급을 정하게 되는데, 대기환경인자에 따른 부식성 등급은 최저에서 최고까지 5등급으로 표시하게 된다. 여기서 Table 1은 0°C이상의 온도에서 상대습도 80%이상이 되는 시간(TOW)을 측정하여 등급화 시키는 단위이다. Table 2는 이산화황(SO₂)과 염화물(Cl)에 대한 등급을 정한 것이다. Table 3은 위의 대기 환경영향인자를 조합하여 각 실용급속 재료별로 1년 동안 어떤 기준으로 등급화가 되는지에 대하여 나타낸 것이다. 이렇게 부식성의 평가는 습윤 시간과 대기의 환경적요인 그리고 각 재료별로 부식량에 대하여 등급화 하여 평가를 하게 된다.

Table 1 Wetness classification based on time of wetness

Wetness Class	Time of Wetness		Examples of occurrence
	hour/year	%	
T1	<10	<0.1	Indoor
T2	10-250	0.1-3	Indoor, unheated
T3	250-2600	3-30	Outdoor, dry, cold climate
T4	2600-5200	30-60	Outdoor temperate climate
T5	> 5200	> 60	Tropical outdoor or surf

김귀식: 제주시 아라동 산1 제주대학교 기계에너지생산공학부
064-754-3622 kimgusi@cheju.ac.kr

Table 2 Sulfur dioxide and chloride classes

SO ₂ (sulfation plate measurement)			Chloride (chloride candle measurement)	
Sulfur dioxide Class	Deposition Rate mg/m ² /day	Concentration mg/m ³	Chloride Class	Deposition Rate mg/m ² /day
P0	<10	<12	S0	<3
P1	10-35	12-40	S1	3-60
P2	36-80	41-90	S2	61-300
P3	81-200	91-250	S3	> 300

Table 3 Corrosivity categories from first year exposure data

Class	Corrosion rate(r _{corr}) of metals					
	Unite	Carbon steel	Zinc	Copper	Aluminium	Corrosivity
C1	g/(m ² .yr)	0-10	0-0.7	0-0.9	negligible	Very low
	μm/yr	0-1.3	0-0.1	0-0.1		
C2	g/(m ² .yr)	10-200	0.7-5	0.9-5	0-0.6	Low
	μm/yr	1.3-25	0.1-0.7	0.1-0.6		
C3	g/(m ² .yr)	200-400	5-15	5-12	0.6-2	Medium
	μm/yr	25-50	0.7-2.1	0.6-1.3		
C4	g/(m ² .yr)	400-650	15-30	12-25	2-5	High
	μm/yr	50-80	2.1-4.2	1.3-2.8		
C5	g/(m ² .yr)	650-1500	0-60	25-50	5-10	Very High
	μm/yr	80-200	4.2-8.4	2.8-5.6		

3. 실험재료 및 방법

3.1 대기부식의 환경영향인자

대기부식의 환경영향인자는 습윤 시간(TOW), 아황산가스(SO₂), 대기중 염화물(Airborne Chloride), 강우(rain fall), 일조량, 풍속, 풍향 등인데, 이 중 ISO표준에 설정되어있는 TOW, SO₂, Airborne Chloride에 대하여 조사한다.

대기부식 환경영향인자의 측정에 있어서 습윤 시간과 아황산가스의 측정은 대기오염 측정망과 기상대의 측정 자료를 이용하는 것으로 하고, 대기 중 염화물은 KS D0060의 해염입자 측정법에 따라 가로 10cm, 세로10cm의 건식 가제를 옥내 폭로대의 백엽상 내에 설치하여 월별로 대기 중 염화물을 가제에 포집하여 순수로 초음파 추출, KS M0100의 흡광 광도법에 따라 염화물 이온농도를 측정한다.

3.2 ISO표준에 의한 부식측정 시험

3.2.1 측정 장소

측정지점은 시험 특성상 시험기간이 장기간이고 시험편의 노출각도와 배치, 노출장소 등에 따라 시험결과와 수집이 큰 차를 나타내므로, 제주 전 지역을 대표할 수 있고 기상관측의 각종 자료획득이 용이한 제주시청 대기오염 측정망, 고산 기상대, 서귀포 기상대, 성산포 기상대, 어승생 천아름 대기오염 측정망의 위치에 부식도 측정 장소를 선정했다. 각 측정 장소의 위치를 Fig. 1에, 측정지점의 지리적 특색을 Table 4에 나타

내었다. 시험방법은 월별폭로시험 (1개월마다 시험편 교환)과 적산폭로시험(처음 전체 시험편 폭로후 3개월, 6개월, 9개월, 12개월 채취)을 계획하고, 이들은 각각 백엽상 내의 옥내폭로와 대기 노출의 옥외폭로 상태로 시험한다.

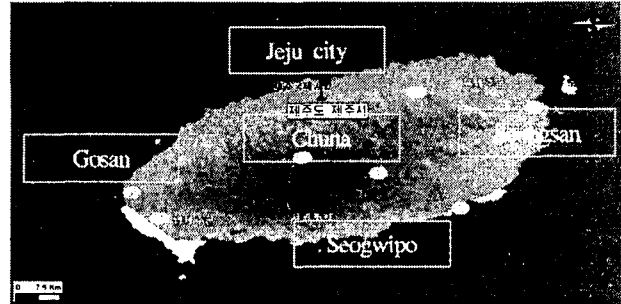


Fig. 1 Five test sites

Table 4 The characteristic of the sites

	Shore distance (km)	height(m)	Area characteristic
Gosan	0.1	71.21	coastal
Seogwipo	1.5	50.47	urban-coastal
Seongsan	1	18.62	coastal-rural
Chuna hill	11	700	forest
Jeju city	3	50	urban

3.2.2 시험재료

시험재료는 탄소강판, 동판, 아연판, 알루미늄판 4종류로 하였으며, 시험편은 이들 재료를 가로 50mm, 세로 100mm, 두께 1mm의 크기로 가공하였다. 시험편 전 처리에 있어서 탄소강판과 동판은 에머리 #1200으로 양표면 연마하였고, 아연판, 알루미늄판은 양면 경면 연마를 했다. 표면연마 후의 시험편들은 아세톤에 의한 초음파 세척을 하여 데시케이터에 보관하였다.

시험편의 수량은 재료별로 1개월 노출용 1개, 3개월 노출용 2개, 6개월 노출용 3개, 9개월 노출용 3개, 12개월 노출용 3개의 총 12개로 하였다. 시험편 설치 판은 탄소강, 동, 아연, 알루미늄 4종류의 48개를 함께 설치되도록 제작하였다.

3.2.3 옥내 및 옥외 폭로시험

옥내와 옥외의 폭로대의 제작에 있어서 옥내 폭로대는 가로 700mm, 세로 500mm, 높이1200mm인 백엽상을 제작하여 평면상에 시험편을 설치하도록 하였다. 그리고, 옥외 폭로대는 가로700mm, 세로 500mm, 높이 1200mm의 크기로 제작하고, 45°경사지게 설치하여 45°의 시험편 노출각도를 갖도록 하였다. 이들 폭로대는 각 측정 SITE에서 정남향으로 설치하였으나 제주시청 SITE에서는 폭로대 설치공간의 제약으로 동쪽 방향으로 설치하였다. 옥내와 옥외 폭로대에 시험편을 설치 할 때에는 시험편이 서로 닿지 않게 하여 회생양극화 되는 것을 방지하도록 설치하였다. 시험편 설치대와 각 SITE에 설치된 폭로대의 모습을 Fig. 2 에 나타낸다.

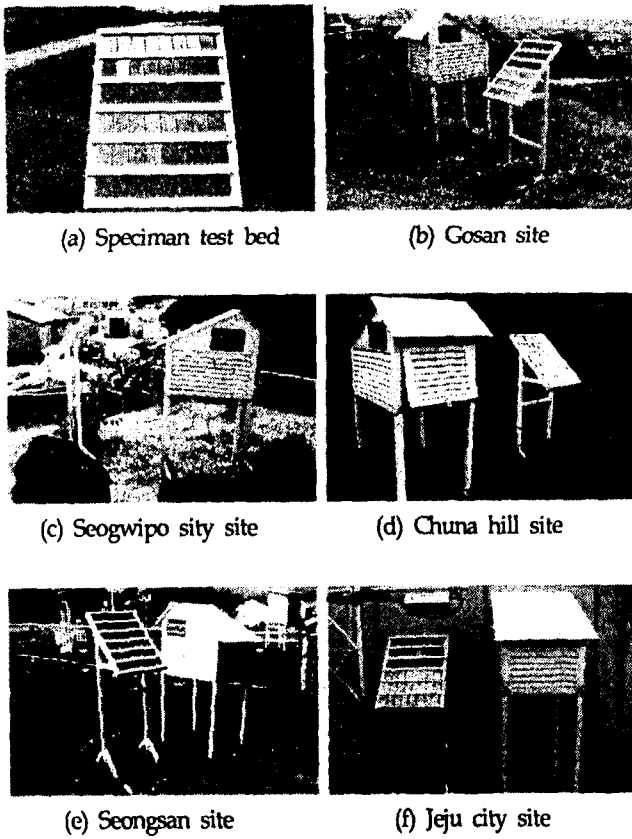


Fig. 2 The sites of indoor and outdoor test

3.2.4 부식량 조사

부식량 조사에 있어서 폭로전의 시험편의 무게를 전자저울(오차범위 1/10,000g)로서 측정 한 후에 각SITE에 설치한다. 노출 후 시험설정 기간에 채취된 시험편은 24시간 데시케이터에 보관하여 안정화 시킨다. 그 후 무게 증가량을 측정하고, 부식생성물을 제거하여 무게감소량을 측정한다.

부식생성물 제거 후 수세하고, 아세톤으로 탈수한 후 온풍 건조를 한다. 이후 무게 감량을 측정한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 측정 장소별 대기 환경자료

측정 장소별, 월별 ISO 표준에 의한 대기환경인자들 즉 아황산가스(SO₂), 대기중염화물(Cl), 습윤시간(TOW), 등의 기상자료를 Fig. 3-5에 나타낸다.

Fig. 3에 나타낸 SO₂의 농도는 전체적으로 아주 미량이지만 지역적으로는 도심지인 제주시청에서의 농도가 높게 나타나고 겨울철이 다른 계절에 비해 높게 나타난다.

Fig. 4의 Cl 농도는 해안에 인접한 고산이 다른 지역에 비해 매우 높게 나타나며, 해안에서의 거리 순서인 성산, 서귀포, 제주, 천아오름의 순으로 나타난다.

Fig. 5의 TOW는 여름철에 습윤시간이 많고, 겨울에 적은 것을 알 수 있으며, 지역별로는 고산과 성산이 높게 나타난다.

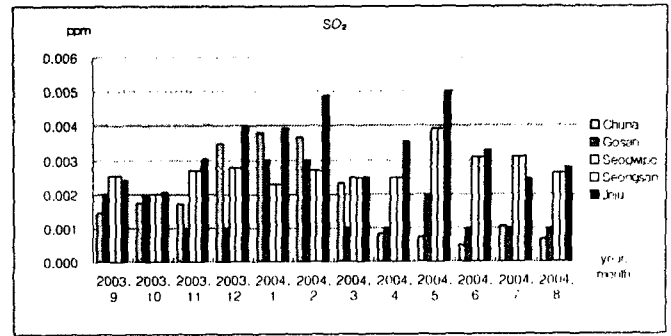


Fig. 3 Sulfur dioxide

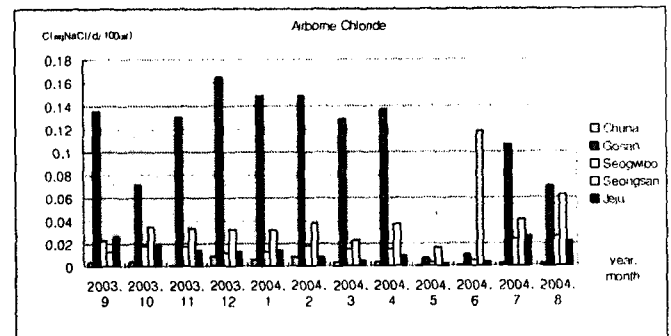


Fig. 4 Airborne Chloride

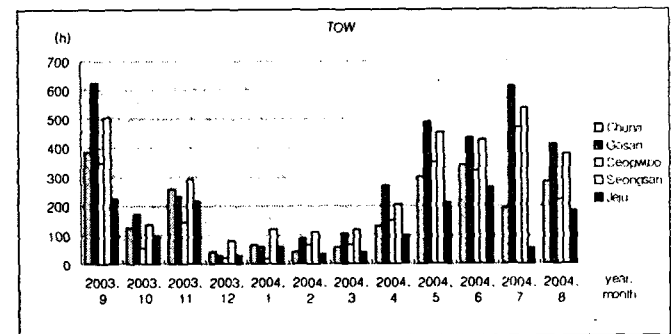


Fig. 5 Time of Wetness

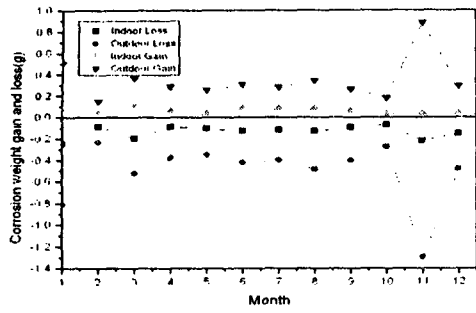
3.2 측정장소별 월별 시험편 부식량

옥내와 옥외에 폭로한 4종류의 금속시험편에 대하여 측정 장소별, 월별, 무게감소량과 무게증가량의 부식측정의 자료를 Fig. 6에 나타낸다. 지역별로 무게 증가량을 살펴보면 고산지역이 다른 지역에 비해 현저히 많이 나타나며, 해안가에 근접한 지역의 부식 증가량이 크다. 따라서 Cl 농도가 높은 지역에서 부식이 크다.

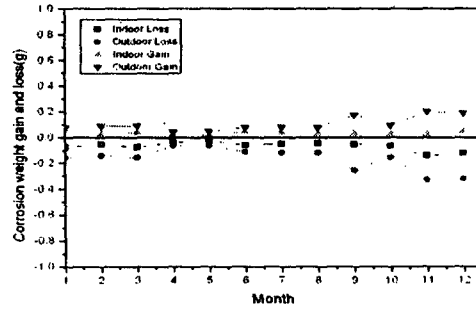
계절별로는 다른 계절보다 습윤시간이 많은 여름철에 부식량이 크고, 겨울철에는 부식량이 적다.

각 재료별 무게 증가량을 살펴보면 탄소강판이 다른 재료들에 비해서 크고, 알루미늄은 극소의 부식량을 나타내었다.

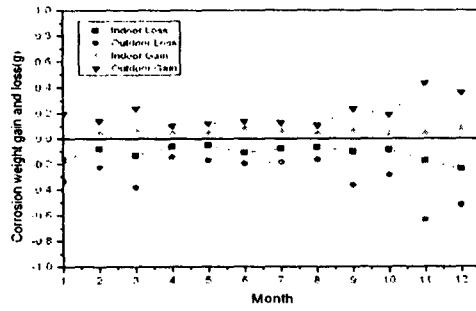
옥내와 옥외에서는 옥외에서의 부식 증가량이 옥내보다 크게 나타나는데 특히 탄소강은 2배 이상의 부식량이 나타난다.



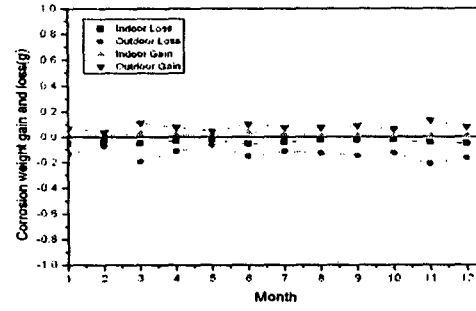
(a-1) Carbon steel (Gosan)



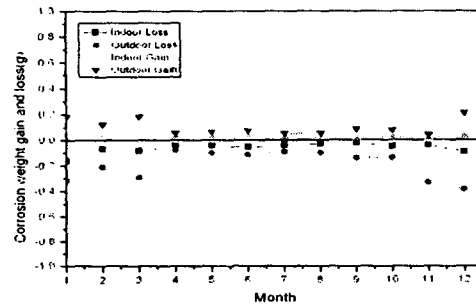
(a-2) Carbon steel (Seogwipo sity)



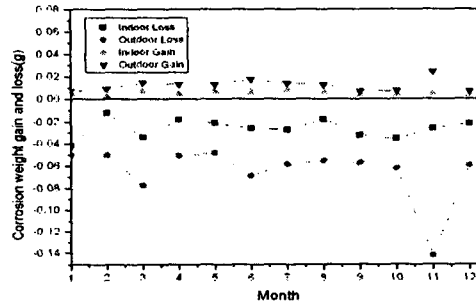
(a-3) Carbon steel (Seongsan)



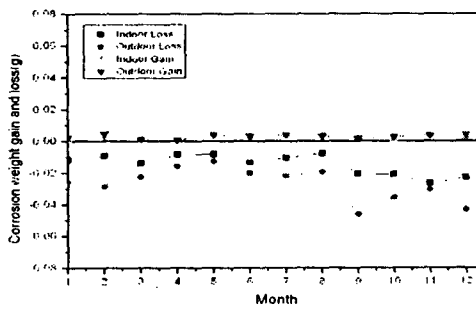
(a-4) Carbon steel (Chuna hill)



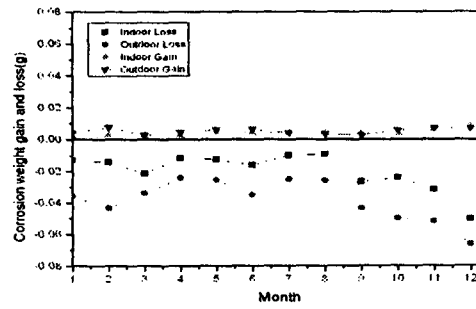
(a-5) Carbon steel (Jeju city)



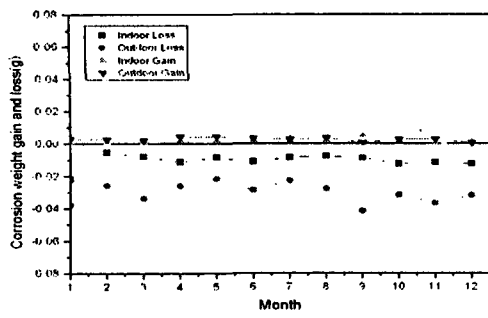
(b-1) copper (Gosan)



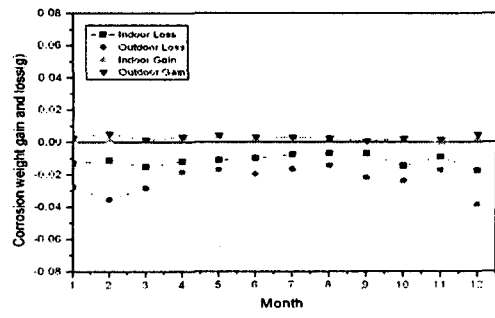
(b-2) copper (Seogwipo sity)



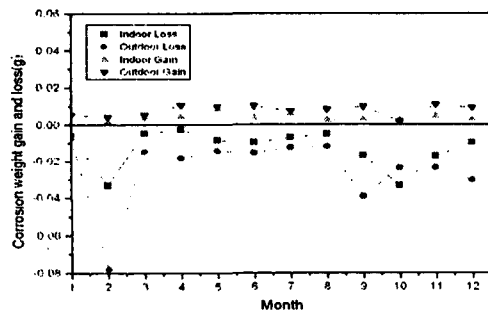
(b-3) copper (Seongsan)



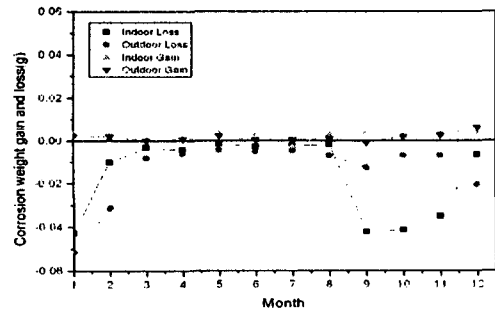
(b-4)copper (Chuna hill)



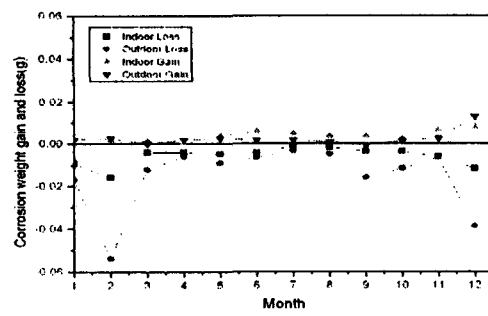
(b-5)copper (Jeju city)



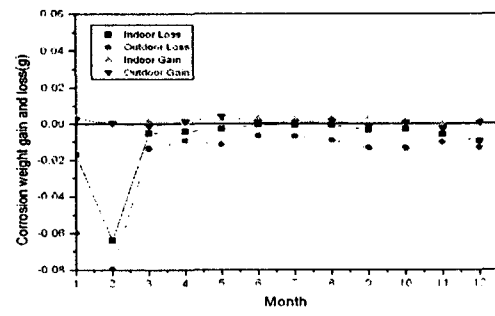
(c-1)zinc (Gosan)



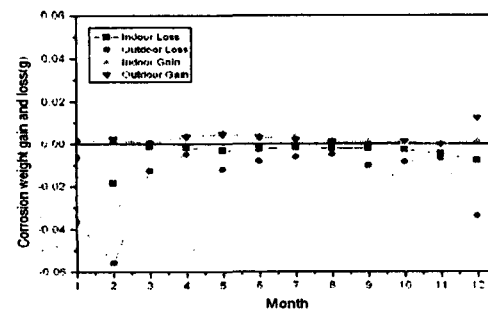
(c-2)zinc (Seogwipo city)



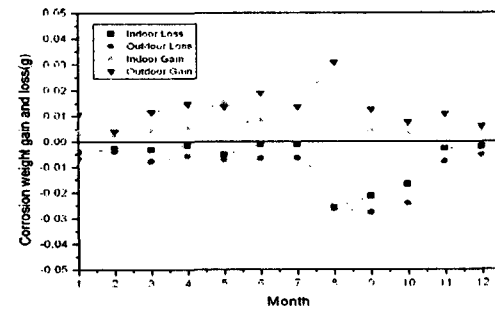
(c-3)zinc (Seongsan)



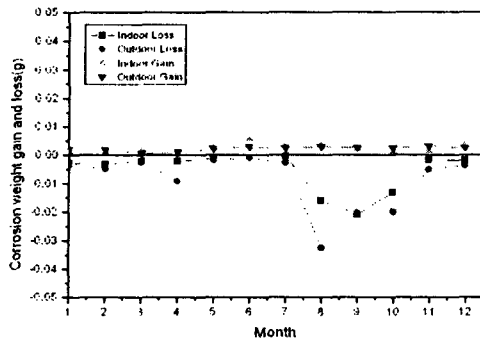
(c-4)zinc (Chuna hill)



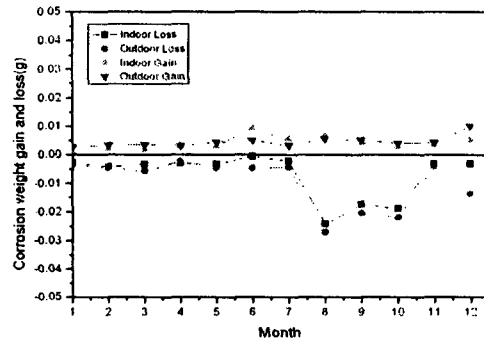
(c-5)zinc (Jeju city)



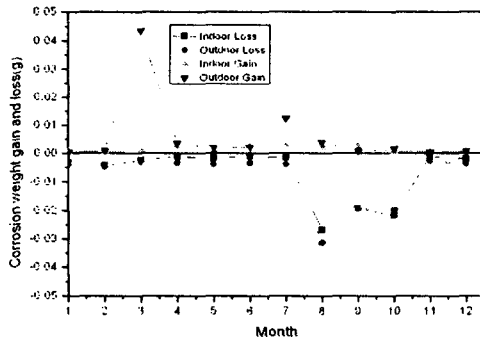
(d-1)aluminium (Gosan)



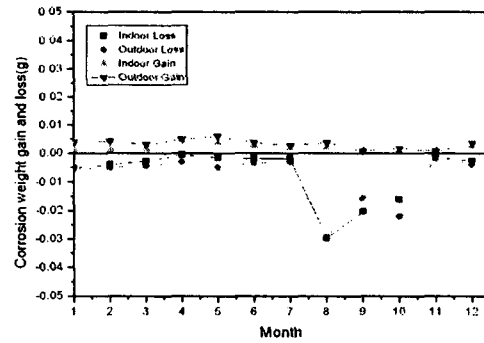
(d-2)aluminium (Seogwipo city)



(d-3)aluminium (Seongsan)



(d-4)aluminium (Chuna hill)



(d-5)aluminium (Jeju city)

Fig. 6 Actual corrosion weight gain and corrosion weight loss during the exposure period of various metal samples in the indoor and outdoor test. (a)Carbon steel (b)copper (c)zinc (d)aluminium

3.3 대기환경의 표준등급과 부식등급

대기환경의 표준등급을 Table 5에 나타낸다. SITE 전체의 TOW 등급은 T3, T4로 습윤시간이 크고, Cl 등급은 천아오름을 제외하고 S2, S3로 높다. SO₂의 등급은 P0로서 아황산가스의 농도는 극히 적다. 이것으로 제주는 섬 지역으로서 해염입자와 습윤시간은 많은 반면 아황산가스가 거의 없는 청정지역이라 할 수 있다. 지역별로는 고산과 성산이 Cl 가 S3, TOW가 T4로 부식이 큰 환경을 가지고 있음을 알 수 있다.

Table 5 TOW, Sulfur dioxide and chloride classes

	TOW		SO ₂		Cl	
	hour/year	Class	mg/m ² /day	Class	mg/m ² /day	Class
	Gosan	40.3	T4	0.2	P0	1046
Seogwipo	25.5	T3	0.3	P0	154	S2
Seongsan	38.3	T4	0.3	P0	398	S3
Chuna	25	T3	0.2	P0	37.21	S1
Jeju	17.2	T3	0.3	P0	132.98	S2

대기환경인자에 의해 평가된 부식등급과 부식량 측정에 의한 부식등급을 Table 6에 나타낸다. Table 6에서 대기환경에 의한 평가등급은 A.C로, 측정에 의한 부식등급은 실외(indoor), 실외(outdoor)로 나누어 M.C로 나타낸다. 지역별로는 고산이 가장 큰 등급을 나타내었고, 성산, 서귀, 천아, 제주 순으로 부식등급이 부여되었다. 재료별로는 탄소강, 구리, 아연, 알루미늄 순으로 부식이 됨을 알 수 있다.

Table 6 Categories of corrosivity

	Steel			Cu			Zn			Al		
	A.C	M.C		A.C	M.C		A.C	M.C		A.C	M.C	
		in door	out door		in door	out door		in door	out door		in door	out door
Gosan	C5	C3	C5	C5	C5	C5	C5	C4	C4	C5	C5	C5
Seogwipo	C3	C3	C4	C3	C4	C5	C3	C3	C4	C3	C4	C4
Seongsan	C5	C3	C4	C5	C5	C5	C5	C3	C4	C5	C4	C4
Chuna	C2	C2	C3	C3	C4	C5	C3	C3	C4	C3	C3	C3
Jeju	C3	C2	C3	C3	C3	C4	C3	C3	C4	C3	C4	C4

4. 결 론

해안지역에 도시를 형성하고 있는 제주도의 대기부식을 ISO표준에 의한 평가를 위하여 2003년 9월부터 2004년 8월까지 1년간 고산, 서귀포, 성산포, 제주시청, 천아오름에서 대기환경인자와 탄소강, 구리, 아연, 알루미늄의 부식량을 조사 검토 한 결과는 다음과 같다.

(1) 대기 환경인자들의 표준등급에서 아황산가스의 등급은 전 지역에서 소량의 등급인 P0로서 제주도가 청정지역임을 나타낸다. 습윤시간(TOW)은 T3와 T4로 아열대지역의 특색을 나타내 주었으며, 염화물등급은 천아오름을 제외하고는 S2와 S3로서, 해안지역의 특색을 나타낸다.

(2) 금속의 부식에 영향을 미치는 대기환경영향인자(TOW, Cl) 큰 고산, 성산포 지역이 제주시청, 서귀포, 천아오름 보다 부식이 크게 나타난다.

(3) 금속별로 부식량을 살펴보면 탄소강이 부식량이 가장 크고, 다음으로 동, 아연, 알루미늄 순으로 부식이 되었다.

(4) 금속의 부식등급에서 대기환경인자에 의해 평가된 부식등급과 실제 노출시험편에 의해 측정된 부식등급은 옥외에 설치한 시험편에서 부식등급이 양호한 일치를 나타내었다.

참 고 문 헌

- 오세진, 이성수, 이상우, 김인수, 김성진, 조경식. (2000). "대기 중에서 형성된 강 of 부식 생성물", 한국부식학회지, 제29권, 제5호, pp 284-292.
- 정경우, 정경우. (1998). "탄소강의 대기 부식에 미치는 전해질 두께의 영향", 한국부식학회지, 제27권, 제4호, pp 413-424.
- 장세기. (1997). "대기부식시험에 의한 금속의 부식성 평가", 한국표면공학회, 제30권, 제1호, pp 69-82.
- Dean, S.W. (1992). "Classifying Atmospheric Corrosion A Challenge for ISO", ISO bulletin 12, vol.23, no.12.
- Dean, S.W. (1987), "Atmospheric Corrosion after 80 Year of Study", Materials Performance 26, 7 pp 9-11.
- ISO DIS 9223, Corrosion of metal and alloys, Classification of corrosivity of atmospheres, ISO, Geneva, 1991.
- ISO DIS 9224, Corrosion of metal and alloys, Guiding values for the corrosivity categories of atmospheres, ISO, Geneva, 1991.
- ISO DIS 9225, Corrosion of metal and alloys, Corrosivity of atmospheres, methods of measurement of pollution, ISO, Geneva, 1991.
- ISO DIS 9226, Corrosion of metal and alloys, Corrosivity of atmospheres, Determination of corrosion rates of standard specimens for the evaluation of corrosivity ISO, Geneva 1991.
- Mendoza, A.R. and Corvo, F. (1999). "Outdoor and indoor

- atmospheric corrosion of carbon steel", Corrosion Science 41, pp 75-86.
- Mendoza, A.R. and Corvo, F. (2000). "Outdoor and indoor atmospheric corrosion of non-ferrous metals", Corrosion Science 42, pp 1123-1147.
- Morcillo, M., Chico, B., Mariaca, L. and Otero, E. (2000). "Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site", Corrosion Science 42, pp 91-104.
- S. Feliu, Morcillo, S. Feliu Jr, Corrosion Science 34(3) (1993) 403-422