

文學碩士 學位論文

170.64

철제 근대문화유산의 부식방지를 위한 K-1
표면 코팅재의 내후성 시험 연구
-경의선장단역증기기관차의 예를 중심으로-

慶州大學校 大學院

文化財學科

金 美 顯

2008年 12月

철제 근대문화유산의 부식방지를 위한
표면 코팅재의 내후성 시험 연구
-경의선장단역증기기관차의 예를 중심으로-

指導教授 安 秉 燦

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함


2008年 12月


慶州大學校 大學院


文 化 財 學 科

金 美 顯

金美顯의 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 도진영 

審査委員 이상진 

審査委員 안병찬 

慶州大學校 大學院

2008年 12月

<목 차>

목차	i
그림 목차	iii
표 목차	vii
 I. 서론	 1
1. 경의선장단역증기기관차의 보존처리 당면문제	1
2. 경의선장단역증기기관차의 <u>보존처리</u> 배경	2
 II. 예비 조사	 4
1. 기관차의 현장 환경	4
(1) 문산지역의 기후 환경	4
(2) <u>기관차</u> 현장 조사	6
2. 기관차의 상태 분석	7
(1) <u>부식</u> 층 단면 관찰	7
(2) 부식층의 특성 분석	11
(3) 표면 부식성분 분석	12
(4) 표면 미세조직 관찰	15
 III. 실험 진행	 18
1. 시편제작	18
(1) 철의 대기 부식 원인	20
(2) 코팅재의 손상 원인	22
2. 실험용 수지의 선정	24
(1) 왁스계수지	24
(2) 아크릴계수지	25
(3) 고무계수지	26

3. 실험 방법과 조건	27
(1) 내후성 시험	27
(2) 실험 조건	29
IV. 실험결과	32
1. 표면 육안관찰 결과	32
2. 미세조직 관찰	36
(1) 실체현미경을 이용한 관찰	36
(2) 전자현미경을 이용한 관찰	40
(3) 금속현미경을 이용한 관찰	46
3. 색도변화 측정	50
4. 수분 접촉각 변화 측정	54
V. 결론	57
참고문헌	59
Abstract	62

< 그림 목차 >

<그림 1> 1차 현장조사 기관차 정면	6
<그림 2> 1차 현장조사 기관차 배면	6
<그림 3> 현장조사 기관차 우측면	6
<그림 4> 현장조사 기관차 좌측면	6
<그림 5> No.1 금속현미경 사진 (X100)	9
<그림 6> No.1 금속현미경 사진(X100, 예칭)	9
<그림 7> No.2 금속현미경 사진(X100)	9
<그림 8> No.2 금속현미경 사진(X100, 예칭)	9
<그림 9> No.3 금속현미경 사진 (X100)	9
<그림 10> No.3 금속현미경 사진 (X100, 예칭)	9
<그림 11> No.4 금속현미경 사진(X100)	10
<그림 12> No.4 금속현미경 사진(X100, 예칭)	10
<그림 13> No.5 금속현미경 사진(X100)	10
<그림 14> No.5 금속현미경 사진(X100, 예칭)	10
<그림 15> No.6 금속현미경 사진(X100)	10
<그림 16> No.6 금속현미경 사진(X100, 예칭)	10
<그림 17> No.1-XRD 분석결과	12
<그림 18> No.2-XRD 분석결과	12
<그림 19> No.3-XRD 분석결과	13
<그림 20> No.4-XRD 분석결과	13
<그림 21> No.5-XRD 분석결과	13
<그림 22> No.6-XRD 분석결과	14
<그림 23> No.1 SEM 사진	15
<그림 24> No.1 EDS 분석결과	15
<그림 25> No.2 SEM 사진	16
<그림 26> No.2 EDS 분석결과	16
<그림 27> No.3 SEM 사진	16
<그림 28> No.3 EDS 분석결과	16
<그림 29> No.4 SEM 사진	16

<그림 30> No.4 EDS 분석결과	16
<그림 31> No.5 SEM 사진	17
<그림 32> No.5 EDS 분석결과	17
<그림 33> No.6 SEM 사진	17
<그림 34> No.6 EDS 분석결과	17
<그림 35> 제논아크 내후성 시험기	29
<그림 36> 제논아크 등(제품설명서참고)	29
<그림 37> 자연광과 제논아크등에 필터링 된 광원 비교	31
<그림 38> 녹제거, 왁스계수지 적용시편 내후성 시험 전·후 사진	34
<그림 39> 아크릴계, 고무계수지 적용시편 내후성 시험 전·후 사진	35
<그림 40> MCC+MC 내후성 시험 전·후 앞뒷면 비교 사진	35
<그림 41> 녹제거 내후성 시험 전 실체현미경 사진	37
<그림 42> 녹제거 내후성 시험 후 실체현미경 사진	37
<그림 43> MCC 내후성 시험 전 실체현미경 사진	37
<그림 44> MCC 내후성 시험 후 실체현미경 사진	37
<그림 45> MC 분무 내후성 시험 전 실체현미경 사진	38
<그림 46> MC 분무 내후성 시험 후 실체현미경 사진	38
<그림 47> MC 일반형 내후성 시험 전 실체현미경 사진	38
<그림 48> MC 일반형 내후성 시험 후 실체현미경 사진	38
<그림 49> MC 고온형 내후성 시험 전 실체현미경 사진	38
<그림 50> MC 고온형 내후성 시험 후 실체현미경 사진	38
<그림 51> MCC+MC 내후성 시험 전 실체현미경 사진	39
<그림 52> MCC+MC 내후성 시험 후 실체현미경 사진	39
<그림 53> B-72 내후성 시험 전 실체현미경 사진	39
<그림 54> B-72 내후성 시험 후 실체현미경 사진	39
<그림 55> NAD-10 내후성 시험 전 실체현미경 사진	39
<그림 56> NAD-10 내후성 시험 후 실체현미경 사진	39
<그림 57> Electra-Coat 내후성 시험 전 실체현미경 사진	40
<그림 58> Electra-Coat 내후성 시험 후 실체현미경 사진	40
<그림 59> 녹제거 내후성 시험 전 SEM 사진	42
<그림 60> 녹제거 내후성 시험 후 SEM 사진	42
<그림 61> 녹제거 내후성 시험 전 EDS 분석결과	42

<그림 62> 녹제거 내후성 시험 후 EDS 분석결과	42
<그림 63> MCC 내후성 시험 전 SEM 사진	42
<그림 64> MCC 내후성 시험 후 SEM 사진	42
<그림 65> MCC 내후성 시험 전 EDS 분석결과	42
<그림 66> MCC 내후성 시험 후 EDS 분석결과	42
<그림 67> MC 분무 내후성 시험 전 SEM 사진	42
<그림 68> MC 분무 내후성 시험 후 SEM 사진	43
<그림 69> MC 분무 내후성 시험 전 EDS 분석결과	43
<그림 70> MC 분무 내후성 시험 후 EDS 분석결과	43
<그림 71> MC 일반형 내후성 시험 전 SEM 사진	43
<그림 72> MC 일반형 내후성 시험 후 SEM 사진	43
<그림 73> MC 일반형 내후성 시험 전 EDS 분석결과	43
<그림 74> MC 일반형 내후성 시험 후 EDS 분석결과	43
<그림 75> MC 고온형 내후성 시험 전 SEM 사진	44
<그림 76> MC 고온형 내후성 시험 후 SEM 사진	44
<그림 77> MC 고온형 MC 내후성 시험 전 EDS 분석결과	44
<그림 78> MC 고온형 MC 내후성 시험 후 EDS 분석결과	44
<그림 79> MCC+MC 내후성 시험 전 SEM 사진	44
<그림 80> MCC+MC 내후성 시험 후 SEM 사진	44
<그림 81> MCC+MC 내후성 시험 전 EDS 분석결과	44
<그림 82> MCC+MC 내후성 시험 후 EDS 분석결과	44
<그림 83> B-72 내후성 시험 전 SEM 사진	45
<그림 84> B-72 내후성 시험 후 SEM 사진	45
<그림 85> B-72 내후성 시험 전 EDS 분석결과	45
<그림 86> B-72 내후성 시험 후 EDS 분석결과	45
<그림 87> NAD-10 내후성 시험 전 SEM 사진	45
<그림 88> NAD-10 내후성 시험 후 SEM 사진	45
<그림 89> NAD-10 내후성 시험 전 EDS 분석결과	45
<그림 90> NAD-10 내후성 시험 후 EDS 분석결과	45
<그림 91> Electra-Coat 내후성 시험 전 SEM 사진	46
<그림 92> Electra-Coat 내후성 시험 후 SEM 사진	46
<그림 93> Electra-Coat 내후성 시험 전 EDS 분석결과	46

<그림 94> Electra-Coat 내후성 시험 후 EDS 분석결과	46
<그림 95> 녹제거 내후성 시험 전 금속현미경 사진	46
<그림 96> MCC 내후성 시험 전 금속현미경 사진	47
<그림 97> MCC 내후성 시험 후 금속현미경 사진	47
<그림 98> MC 분무 내후성 시험 전 금속현미경 사진	47
<그림 99> MC 분무 내후성 시험 후 금속현미경 사진	47
<그림 100> MC 일반형 내후성 시험 전 금속현미경 사진	48
<그림 101> MC 일반형 내후성 시험 후 금속현미경 사진	48
<그림 102> MC 고온형 내후성 시험 전 금속현미경 사진	48
<그림 103> MC 고온형 내후성 시험 후 금속현미경 사진	48
<그림 104> MCC+MC 내후성 시험 전 금속현미경 사진	48
<그림 105> MCC+MC 내후성 시험 후 금속현미경 사진	48
<그림 106> B-72 내후성 시험 전 금속현미경 사진	49
<그림 107> B-72 내후성 시험 후 금속현미경 사진	49
<그림 108> NAD-10 내후성 시험 전 금속현미경 사진	49
<그림 109> NAD-10 내후성 시험 후 금속현미경 사진	49
<그림 110> Electra-Coat 내후성 시험 전 금속현미경 사진	50
<그림 111> Electra-Coat 내후성 시험 후 금속현미경 사진	50
<그림 112> 내후성 시험 전·후 L값 비교	53
<그림 113> 내후성 시험 전·후 a값 비교	53
<그림 114> 내후성 시험 전·후 b값 비교	54
<그림 115> 녹제거 시편 수분접촉각 사진	55
<그림 116> 내후성 시험 전·후 수분접촉각 사진	55
<그림 117> 내후성 시험 전·후 수분접촉각 비교	56

< 표 목차 >

<표 1> 문산의 최근 3년 월 총 평균온도	5
<표 2> 문산의 최근 3년 월 총 강수량 합계	5
<표 3> 문산의 최근 3년 월 평균 상대습도	5
<표 4> 문산의 최근 3년 월 총 일조시간 합계	5
<표 5> 기관차 예비 분석시료	7
<표 6> IC 분석결과	11
<표 7> 기관차에서 발견된 부식화합물종류와 특성	14
<표 8> 기관차 코팅시료 목록	19
<표 9> 철 부식에 영향을 주는 대기오염물질	21
<표 10> 국제조명위원회의 태양광의 분류와 비율	22
<표 11> 실험에 사용된 미정질왁스의 성질	25
<표 12> 아크릴계수지의 성질	26
<표 13> 고무계수지의 특징	27
<표 14> 제논아크 축진 내후성 시험기 조건	31
<표 15> 내후성 시험 전·후 색차수치 비교	51
<표 16> 내후성 시험 전·후 수분접촉각 비교	55

I. 서론

금속은 환경 조건에 많은 영향을 받으며 특히 야외 환경에서는 온도변화와 습도변화, 빗물, 환경오염 등의 영향으로 표면이 쉽게 손상되어 수명이 짧아지게 된다. 문화재를 구성하고 있는 금속 가운데 철은 환경 속에서 안정화되기 위하여 부식이 진행되어 원형을 잃고 문화재로서의 가치를 상실한다. 그래서 우리는 금속의 수명을 연장하고 보존하여 후세에 남기기 위하여 보존조치를 실행하고 있다.

금속문화재 보존처리는 대부분이 철제문화재이고 주로 매장문화재를 중심으로 보존처리를 하고 있다. 그러나 최근 문화재의 보존 범위가 커져 철기 시대 이후의 문화재부터 근대문화재까지 많은 문화유산들이 보존되는데 처리 후 환경이 실내가 아닌 야외일 경우에는 어려움이 따른다. 보존처리에 사용한 재료가 쉽게 열화하여 효과를 지속하지 못하기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 현재 보존처리가 진행 중인 근대문화유산 경의선장단역증기기관차(京義線長湍驛蒸氣機關車, 이하 기관차)를 이용하여 철제문화재의 부식방지를 위한 표면 코팅재의 내후성을 알아보았다. 그 방법은 시편에 다양한 코팅재료(이하 코팅재)를 적용한 후 시편이 내후성(耐候性) 시험에서 변화되는 양상을 전·후로 조사 분석하여 야외 환경에서 가장 강한 재료를 찾는 것이다. 본 연구는 보존처리를 할 때 사용하고자 하는 처리제가 처리 후 시간이 경과하면서 변화되는 정도를 알 수 있으며 다른 많은 야외 철제문화재 보존에서 코팅재의 선택에 도움을 줄 것이다.

1. 경의선장단역증기기관차의 보존처리 당면문제

오래전부터 철도 차량을 문화유산으로 인식하고 체계적으로 보존해 온 외국에서는 많은 양의 증기기관차를 안전한 상태로 내·외부에 전시하고 있으며 정기적인 점검과 일정 비용의 투자를 통해 운행 가능한 상태로 보존하기도 한다.¹⁾ 기관차의 보존처리는 고대 철제문화재의 보존처리 원리

1) 하은하, 「근대문화유산 경의선장단역증기기관차의 보존에 관한 연구」, 경기대학교석사논문,

와 소지 금속의 특성을 고려하고 적절한 재료를 사용하여 보존처리 후의 환경조건을 토대로 보존처리 재료를 선정해야만 한다. 기관차 자체에는 알맞은 보존처리를 했더라도 그 효과가 전시 조건에 적합하지 않다면 그것을 적절한 보존처리라고 할 수 없기 때문이다. 이 기관차의 경우에는 보존처리 후 원위치로 복귀하여 보존될 계획이며 보호각의 설치가 어려운 실정이다. 따라서 보존처리 진행 과정에서 코팅재의 선정과 코팅 방법이 중요하다.

철제문화재 코팅재로는 여러 종류가 있다. 그러나 야외 전시 문화재에 적용할 코팅재의 조건에는 외부 환경에서 지속적으로 소지 금속을 보호하며 부식을 방지해야 한다. 그리고 문화재를 구성하는 원 재료에 이질감을 주지 않는 것이 중요하다. 그러나 현재 사용하고 재료 가운데 강한 내수성을 가지면서 원 문화재의 질감을 재현하고 광택이 적게 나는 재료는 거의 없다고 볼 수 있다.

야외에 노출된 문화재의 경우 문화재를 보호할 수 있는 수단은 코팅재이며 그 상태 변화에 따라 문화재의 보존 수명도 달라진다고 말할 수 있다. 그러나 위와 같은 이유로 현재 보존처리가 진행 중인 기관차에 적용할 코팅재를 선정하는 것이 어렵다. 따라서 이 실험에서는 경의선장단역 증기기관차의 경우를 예로 들어 실험을 진행하였다. 기관차 시편에 문화재 코팅재를 선별하여 실험 후 그 결과를 토대로 보존한다면 보다 기관차에 안전한 보존조치가 될 것이다.

2. 경의선장단역증기기관차의 보존처리 배경

오랜 기간 동안 비무장지대에 위치해 있던 경의선장단역증기기관차는 부분적인 부속품을 제외하고는 대부분이 철로 구성되어 있으며 현재는 기관차의 화통 부분만 남아 있는 상태다. 기관차의 형식²⁾은 ‘마터형³⁾’으로

2007, p.7

- 2) 광복이후 교통부 시대(1945.8.15-1963.8)의 텐더식 증기기관차는 터우, 소리, 미카, 마터, 파시형이 있다.
- 3) 정식명칭은 마운테인(MOUNTAIN)형 증기기관차, 표준궤간 기관차로 차축배치형식이4-8-2이다. 우리나라에서는 마터1형과 마터2형이 운행되었다. 1943년에 마터3형이 일본 가와사키사로부터 연차적으로 광복시까지 도입되었다.-(사)철도차량기술검정단. 『한국철도차량100년사』, 1999.

최대속도 80km/h까지 달릴 수 있으며, 제원은 길이 23m 27cm, 폭 3m 20cm, 높이 4m 70cm이고, 최대견인력 18,450kg(1,440마력)의 강력한 견인 능력을 보유했다. 이 기관차는 선로사정이 좋지 않은 산악지대에서도 운행될 수 있도록 만들어진 장거리화물용 증기기관차로, 해방 전 북한지방에서 주로 운행되었고 남한에서는 운행기록이 없는 것으로 알려졌다. 4)

한국전쟁 당시 연합군 군수 물자를 실어 나르기 위해 개성역에서 한포역으로 올라가던 도중 중공군에 밀려 장단역까지 내려왔고, 1950년 12월 31일 개성에서 남쪽으로 향하던 도중 장단역에 이르러 후퇴하던 연합군이 북한군이 이용하지 못하도록 열차를 폭파해 멈추게 되었다. 이 후 기관차 주변 지역이 비무장지대(DMZ)로 포함되면서 인적인 끊긴 채 50년 넘게 방치되어 왔다. 그리고 지난 2000년에 개최된 남북 정상회담에서 경의선을 복원하기로 합의하면서 주목받게 된 이 기관차는 ‘분단의 비극과 평화의 소중함’을 일깨워 주는 상징물로서 가치가 인정되어 2004년 등록문화재⁵⁾ 제78호로 등록되었다.

보존처리를 하게 된 배경은 문화재청과 (주)포스코(POSCO)가 ‘1문화재 1지킴이 운동⁶⁾’ 협약을 맺고 포항산업과학연구원(RIST)⁷⁾이 (주)포스코로부터 보존처리사업을 의뢰 받아 기관차 보존처리를 주관하여 진행하게 되었으며 2006년 2월부터 2009년 1월까지 실시하기로 하였다.

4) 문화재청 보도자료(2006.11)

5) 근대문화유산 가운데 보존 및 활용을 위한 가치가 커 지정·관리하는 문화재. 개화기부터 6·25전쟁 전후의 기간에 건설·제작·형성된 건조물·시설물·문학예술작품·생활문화자산·산업·과학·기술분야·동산문화재·역사유적 등이 주 대상이다. - 두산백과사전

6) 1문화재 1지킴이 운동은 모든 지정, 비지정에 관계없이 문화재를 대상으로 선정해서, 문화재 보존과 관리뿐만 아니라 관람환경 개선, 문화재 홍보활동 등을 하는 것으로 개인, 가족, 단체별로 문화재와 결연하여 정기적으로 문화재 보존상태 모니터링 및 문화재 주변정화 활동 등을 수행하는 것이다.

7) 1987년 포스코가 전액 출연하여 설립한 국내 최대의 민간종합연구원으로 철강을 비롯한 각종 소재와 환경에너지 등의 분야를 연구하는 연구기관이다.

II. 예비 조사

1. 기관차의 현장 환경

(1) 기관차 주변 지역의 기후 환경

우리나라는 지리적으로 중위도⁸⁾ 온대성 기후대에 위치하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 뚜렷하게 나타난다. 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보인다. 그리고 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날이 많다.⁹⁾

중부산간지방을 제외하고, 대체로 연 평균기온은 10~16℃이다. 보통 가장 무더운 달인 8월은 23~27℃, 5월은 16~19℃, 10월은 11~19℃ 가장 추운 달인 1월은 -6~7℃의 온도이다. 연 강수량은 중부지방은 1100~1400mm정도이며 계절적으로는 연 강수량의 50~60%가 여름에 내린다. (20년 이상 연속 관측한 60개 지점 1971~2000년 평년값 기준) 습도는 7월과 8월이 높아서 전국적으로 80%정도이고, 9월과 10월은 70%내외이다.

보존처리 후 원상 복귀하여 전시 될 가능성이 높으므로 비무장지대 주변의 기후 환경을 알아보았다. 조사한 지역은 기관차가 방치되었던 곳에서 가장 근접한 문산이며 정보는 기상청 홈페이지를 참고하여 알아보았다. 그 내용은 2006에서 2008년까지의 월평균온도, 월 총 강수량 합계, 월 평균 상대습도, 월 총 일조시간 합계이며 그 내용은 <표 1>~<표 4>¹⁰⁾에 나타내었다. 문산지역의 2006년부터 2008년의 평균 최저온도는 2008년 1월에 -4.2℃, 최고 온도는 2007년 8월의 25.3℃ 로 약 1년 동안 약 21℃도 정도의 심한 온도 차이를 보인다. 또한 5월과 9월 사이에 많은 비가 내리고 7월과 8월에 높은 상대 습도를 나타냈으며 일조시간은 비가 많이 내리는 기간과 반비례함을 알 수 있다.

8) 중위도 [中緯度], 저위도와 고위도의 중간. 대략 위도 20~50도를 이른다.

9) <http://www.kma.go.kr> 기상청 홈페이지 참조.

10) 2008년 12월 현재.

<표 1> 문산의 최근 3년 월 평균온도

(℃)

연도 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2006	-2.7	-1.5	3.6	10.6	17	20.7	23	25.8	18.8	15.3	6.2	-1.4
2007	-3	1.1	4.5	9.9	16.4	21.5	23.2	25.3	20.4	12.9	3.8	-0.9
2008	-4.2	-3.6	5.4	12.3	16	20.3	24.1	24.2	19.9	13.8	5.5	-

<표 2> 문산의 최근 3년 월 총 강수량 합계

(mm)

연도 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2006	34.1	5.9	13.8	56.8	169.9	188.2	669	56.3	28.9	32.9	21.5	7.2
2007	6.3	4.5	75.8	48.6	133.6	89.4	305	270.8	219.6	30.7	30.1	9.4
2008	8.5	7.8	47.1	38.3	63.6	79.6	576.6	295.1	111.5	24	3.5	-

<표 3> 문산의 최근 3년 월 평균 상대습도

(mm)

연도 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2006	67.7	62.1	60.7	63.7	70	79.2	86.4	78.5	76	77.9	68.3	71.2
2007	70.8	63.2	67.8	63.9	72.6	72.1	80.2	81.3	79.7	75.8	69.9	71.7
2008	64.1	58.3	69	64.9	70.5	74.6	85.3	79.3	79.2	76.4	68.2	-

<표 4> 문산의 최근 3년 월 총 일조시간 합계

(hr)

연도 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2006	165.9	177.6	189	143.3	196	158.9	61.3	199.7	195.1	175.7	166.1	163.6
2007	192.4	175.6	151.5	175.8	200.7	194.3	105.5	108.2	94	175.1	181.2	143.5
2008	162.1	227	189.4	202.7	198.9	191.7	88.2	221.2	193.6	185.9	144.1	-

(2) 기관차 현장 조사

기관차의 코팅 전 상태를 파악하고 보존 처리 방침을 설정하기 위하여 기관차가 방치되어 있던 비무장지대에서 현장조사를 실시하였다. 현장조사에서 채취한 시편을 분석하여 기관차의 전반적인 손상 상태를 알아보았다.



<그림 1> 1차 현장조사 기관차 정면



<그림 2> 1차 현장조사 기관차 배면



<그림 3> 현장조사 기관차 우측면



<그림 4> 현장조사 기관차 좌측면

기관차가 방치되어 있던 현장은 비무장지대 지역으로 나무와 풀이 주변에 자라고 있었다. 또한 기관차 내부에 많은 양의 토양이 쌓여 있었고 나무가 자라나 외부로 노출된 상태였다. 그리고 기관차와 주변에도 나무가 자라고 있어 50여년의 방치된 세월을 말해주고 있었다.

조사는 육안 관찰을 통하여 손상상태를 분류한 후 부위별로 소량의 시편을 채취하였다. 채취한 시편은 위치 및 손상 상태가 다른 부위였으며 그 가운데 6개의 시편을 선정하여 분석을 실시하였다.

2. 기관차의 상태 분석

기관차의 각 부위별 손상상태를 육안으로 관찰 후 소량의 시편을 채취하였다. 채취된 시편은 <표 5>에 요약하였으며 그 위치와 손상상태가 모두 다르다. 분석은 표면부식층 및 재질 성분 분석, 그리고 미세조직검사를 실행하였다. 분석 장비로는 XRD, SEM-EDS, IC를 사용하였으며 조직 상태는 금속현미경을 사용하여 관찰하였다.

<표 5> 기관차 예비 분석시료

시료번호	시료위치
1	지면과 닿은 부분
2	기관차 아래 표면
3	화실 내부 부식
4	기관차 천정 표면
5	주물부위
6	기관차 앞 표면

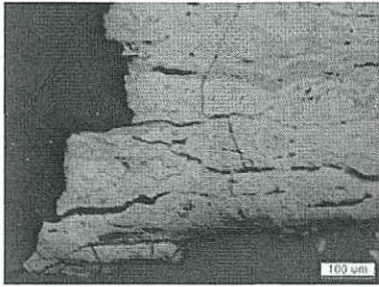
(1) 부식층 단면 관찰

부식층과 소지 금속의 상태를 파악하기 위하여 기관차의 부위별 시편으로 단면 조직을 관찰하였다. 시편은 현미경 관찰을 위해 열가소성수지를 이용하여 고정하였고 시편의 표면은 샌드페이퍼를 사용하여 연마하였다. 연마 후 부식층을 관찰하고 철 조직상태도 파악하기 위해 나이탈 용액을 사용하여 에칭¹¹⁾하였다. 에칭방법은 나이탈 용액(질산 4%, 알코올 96%)

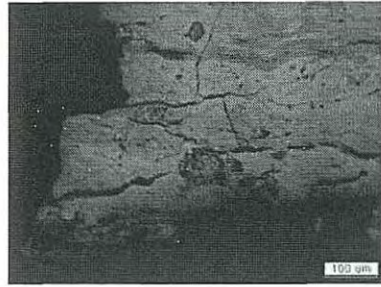
11) 연마된 금속은 금속이 빛을 반사하기 때문에 하얀 화면만 보이게 되는데 에칭은 연마된 표면을 부식시켜 높낮이 차이가 나게 하여 빛이 난반사되게 하여 조직을 검은 부분과 흰 부분으로 구분하여 관찰할 수 있도록 한다.

을 사용하여 연마된 표면을 적신다. 그리고 바로 물로 헹군 뒤 알코올세척과 건조를 하여 균열이나 미세한 구멍이 있는 시편의 과부식을 막았다. 에칭 시간은 시편의 현미경으로 관찰하며 진행하였는데 약 20초 정도였다.

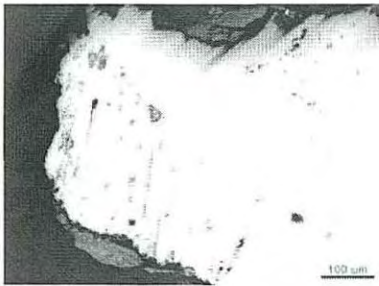
표면 조직 관찰결과 No.1, No.3, No.4, No.5는 에칭 전과 후에 동일한 표면구조를 나타내며, 금속의 입계와 같은 금속조직이 발견되지 않는 것으로 보아 부식생성물만으로 구성된 것으로 판단하였다. 이는 기관차가 부분적으로 부식물이 두텁게 생성되어 있는 것으로 생각되며 No.2와 No.6은 에칭 후 철의 입계가 관찰되는 것으로 보아 다른 시료들에 비해 내부조직이 부식되지 않고 남아 있는 것을 발견할 수 있었다. 또한 No.2의 경우 철의 입계조직 상태로 보아 기관차 외부의 판재 조직 상태를 파악할 수 있었다.



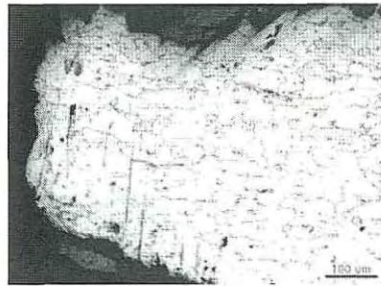
<그림 5> No.1 금속현미경 사진
(X100)



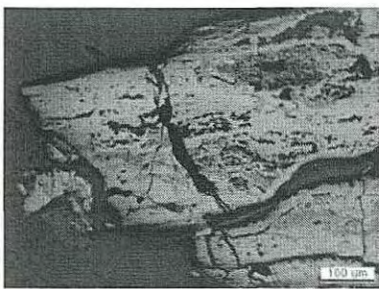
<그림 6> No.1 금속현미경 사진
(X100, 에칭)



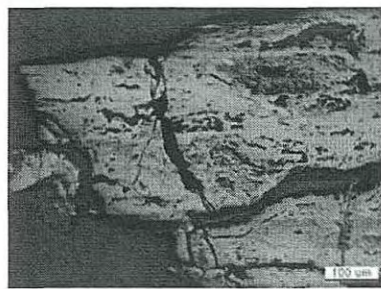
<그림 7> No.2 금속현미경 사진
(X100)



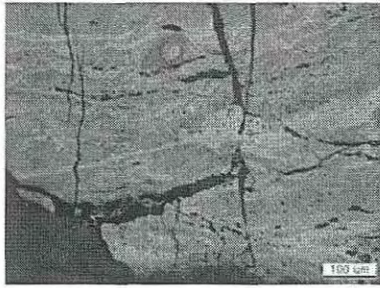
<그림 8> No.2 금속현미경 사진
(X100, 에칭)



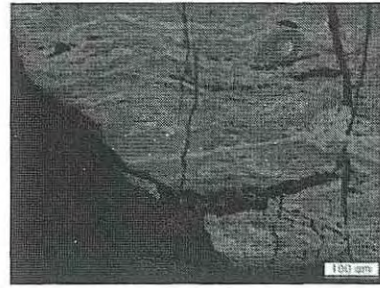
<그림 9> No.3 금속현미경 사진
(X100)



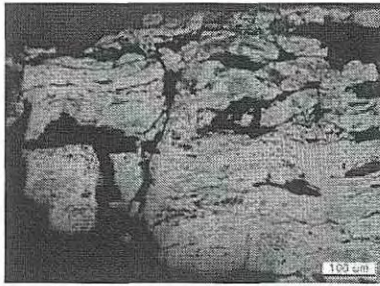
<그림 10> No.3 금속현미경 사진
(X100, 에칭)



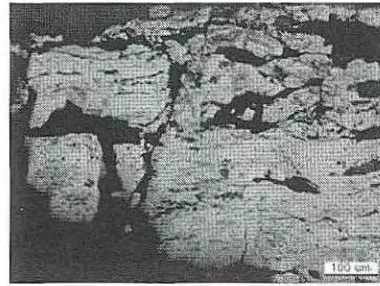
<그림 11> No.4 금속현미경 사진
(X100)



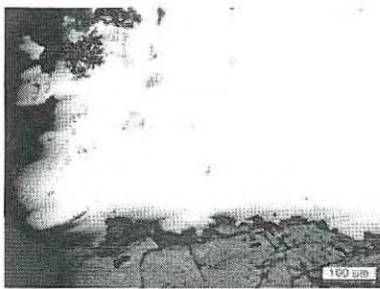
<그림 12> No.4 금속현미경 사진
(X100, 에칭)



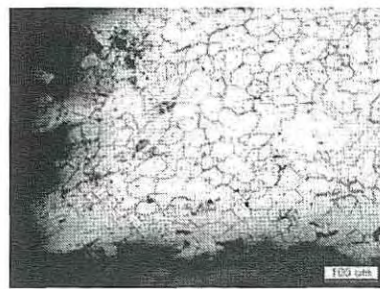
<그림 13> No.5 금속현미경 사진
(X100)



<그림 14> No.5 금속현미경 사진
(X100, 에칭)



<그림 15> No.6 금속현미경 사진
(X100)



<그림 16> No.6 금속현미경 사진
(X100, 에칭)

(2) 부식층의 특성 분석

기관차 시편에 포함된 음이온의 정성·정량분석을 위해 ppm단위로 분석이 가능한 고속액체크로마토그래피인 IC(Ion Chromatography)를 사용하였으며 아래의 <표 6>에 분석결과를 나타내었다. 분석결과 철의 부식을 촉진시키는 Cl^- 의 함유량이 매우 적은 것으로 나타났다.

매장문화재의 보존처리에서는 철의 부식을 촉진하는 Cl^- 를 제거하기 위해서 탈염처리를 실시하는데 일반적으로 처리 후 Cl^- 의 농도가 10ppm 이하가 될 때까지 진행한다. <표 6>의 결과 보면 Cl^- 의 농도는 매우 낮으므로 기관차의 보존처리에 있어서 별도의 탈염처리는 불필요할 것으로 보인다. 그러나 NO_3^- , SO_4^{2-} 이온이 높은 농도로 나타났다. NO_3^- , SO_4^{2-} 이온이 검출되는 이유는 과거 기관차의 운행 당시에 연료로 사용된 석탄의 연소과정에서 발생하는 배기가스 때문인 것으로 판단된다. NO_3^- , SO_4^{2-} 이온 역시 부식인자이지만 코팅처리를 하여 수분과의 접촉을 차단하면 지속적으로 큰 손상을 야기하지는 않을 것으로 예상된다.

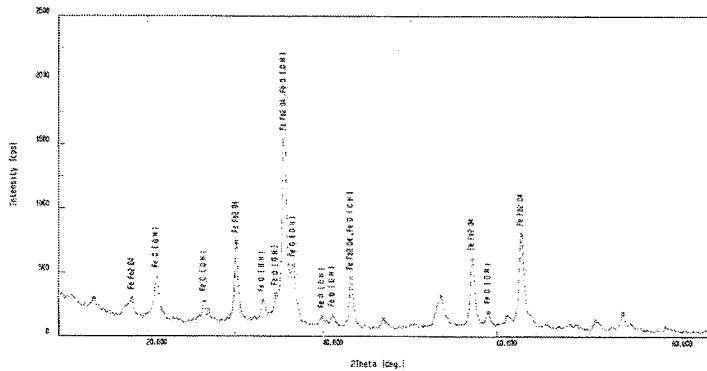
<표 6> IC 분석결과

(단위: ppm)

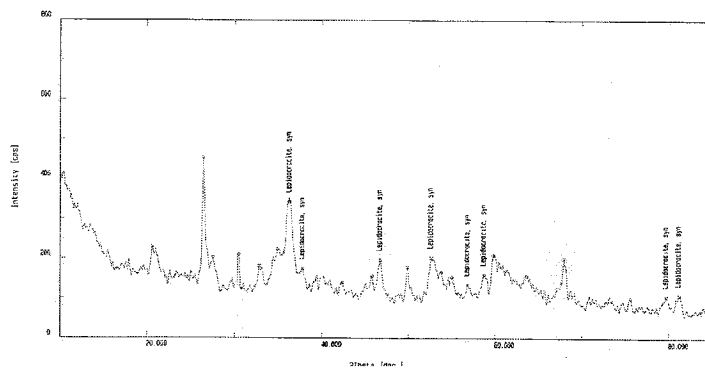
시료위치 \ 음이온	F	Cl	NO_3	SO_4
기관차 천정 표면	1.498	13.948	5.694	75.706
기관차 외부 표면	0.166	2.263	5.240	42.039
기관차 아래 표면	0.074	6.114	2.446	51.070
화실 내부	0.182	2.413	6.889	16.020
지면과 닿은 부분	N.A.	4.825	2.478	20.175

(3) 표면 부식성분 분석

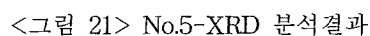
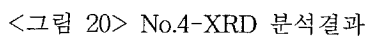
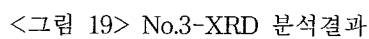
기관차의 표면부식층의 성분 파악을 위해서 XRD(X-Ray Diffraction)를 사용하여 시편을 분석하였다. XRD는 결정성 시료 표면에서 회절되는 X선을 이용하여 결정 물질의 종류를 확인하는 분석방법이다. 아래 <그림 17~22>는 분석결과를 보여준다.

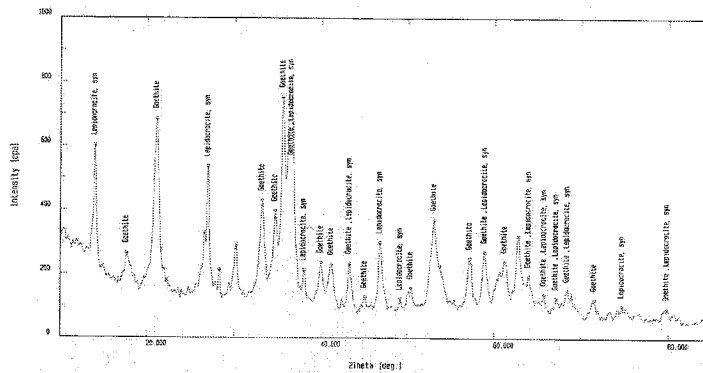


<그림 17> No.1-XRD 분석결과



<그림 18> No.2-XRD 분석결과





<그림 22> No.6-XRD 분석결과

철제문화재의 부식화합물 종류와 특성은 <표 7>과 같으며 기관차의 경우에는 총 3종의 부식화합물이 분석되었다. 기관차에서 발견된 부식생성물은 Magnetite, Goethite, Lepidocrocite이다.

Magnetite는 실온에서 생성되는 유일한 산화물이며 안정한 녹에 속하는 것으로 한정된 산소조건 아래서 β -FeOOH, γ -FeOOH가 Fe^{2+} 와 반응하여 부식물과 금속표면 사이에 밀집된 검은 층을 형성하는 부식생성물이다. Goethite와 Lepidocrocite는 수산화철 계열의 부식물로서 철제문화재의 주요 부식생성물이다.

따라서 기관차의 표면부식층은 대부분 산화철, 수산화철 계열이며 비교적 안정한 상태임을 알 수 있다.

<표 7> 기관차에서 발견된 부식화합물종류와 특성

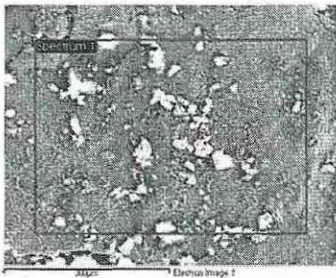
화합물(녹)명	화학식	색상	특징
Goethite (옥시수산화철)	α -FeOOH	Red-Brown	다갈색~황갈색의 점토상 주상의 딱딱하지 않은 녹. 수용성
Lepidocrocite (옥시수산화철)	γ -FeOOH	Red-Brown	다갈색~황갈색의 점토상 주상의 딱딱하지 않은 녹. 불용성
Magnetite (사산화3철)	Fe_3O_4	Black	흑색으로 미세한 입상결정을 이루고 소지 금속을 보호. 불용성

(4) 표면 미세조직 관찰

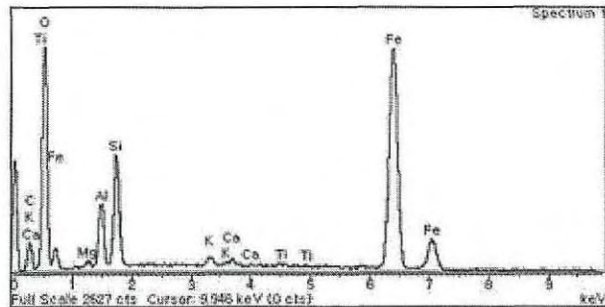
시료의 표면 미세구조와 표면 물질의 성분을 조사하기 위해서 주사전자현미경(SEM:Scanning Electron Microscope)과 에너지분산형분광분석기(EDS:Energy Dispersive Spectroscopy)를 이용하여 시료를 분석하였다. 표면 상태는 부식물과 점토들이 결정상태를 이루고 있는 것이 대부분이었으며 그 성분의 면분석을 실시한 결과 아래와 같은 결과를 도출하였다.

전체 시료에서 No.5를 제외한 샘플들에서 공통적으로 발견되는 칼슘(Ca), 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg), 규소(Si), 칼륨(K)은 산화물의 형태로 토양 속에 존재하는 성분이며 이 원소들은 기관차 주변의 토양에서 시료 표면으로 옮겨져 검출되는 것으로 생각된다. 칼륨장석($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), 칼슘장석($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) 그리고 마그네슘은 운모에 포함되어 있는 성분이며 이와 같은 장석류와 운모는 암석의 풍화작용에 의해서 생성된 점토질의 토양에서 발견될 수 있다. 또한 No.1과 No.2에서 검출되는 티타늄(Ti)의 성분역시 토양에서 옮겨온 성분으로 추정된다.

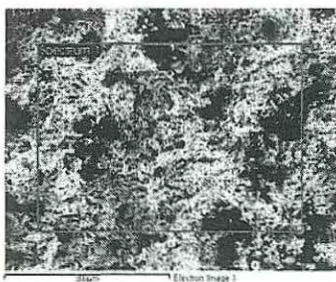
No.4, No.6의 시료에서 발견되는 망간(Mn)은 철의 주조 과정에서 함유되는 성분으로서 다른 부위(No.1, No.2, No.3, No.5)의 시료와는 제작방법에 차이가 있는 것으로 추정된다. 그리고 No.2, No.3, No.4, No.5, No.6에서 발견되는 황(S)은 기차가 운행당시 연료로 사용된 석탄의 연소반응에서 발생하는 황 화합물의 흔적으로 생각된다.



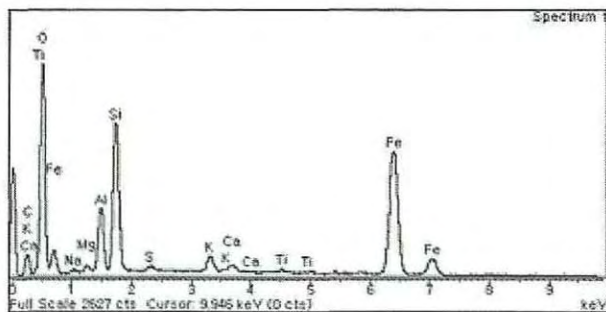
<그림 23> No.1 SEM 사진



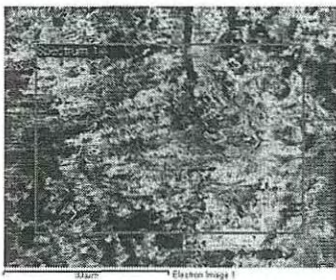
<그림 24> No.1 EDS 분석결과



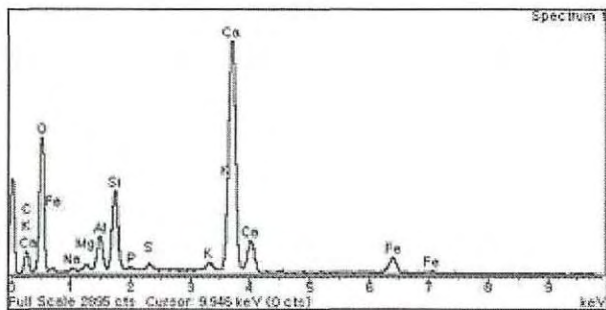
<그림 25> No.2 SEM 사진



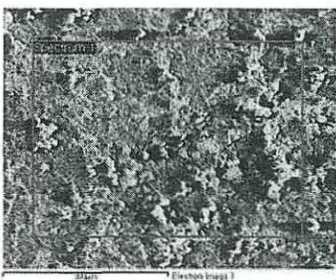
<그림 26> No.2 EDS 분석결과



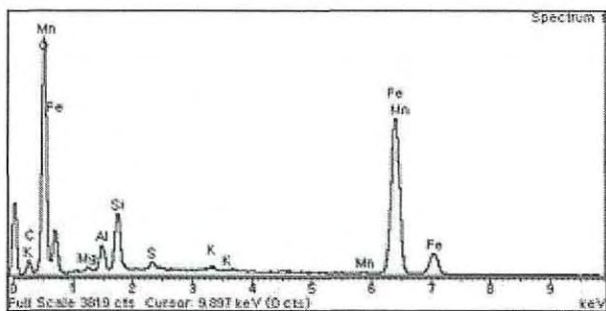
<그림 27> No.3 SEM 사진



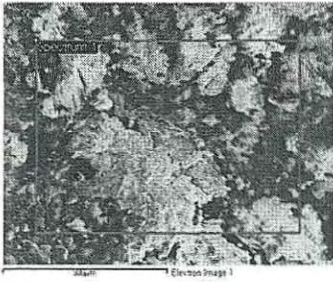
<그림 28> No.3 EDS 분석결과



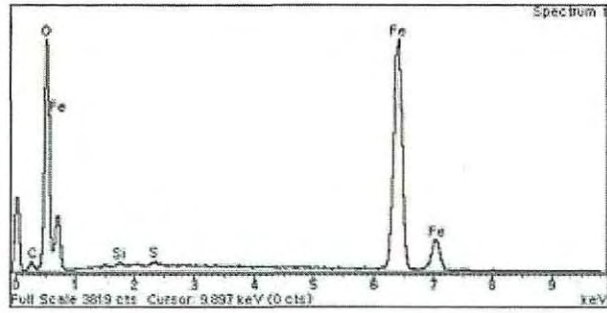
<그림 29> No.4 SEM 사진



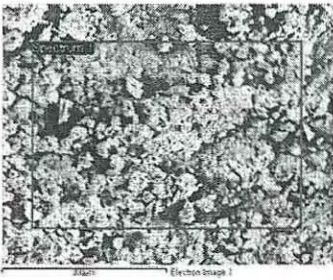
<그림 30> No.4 EDS 분석결과



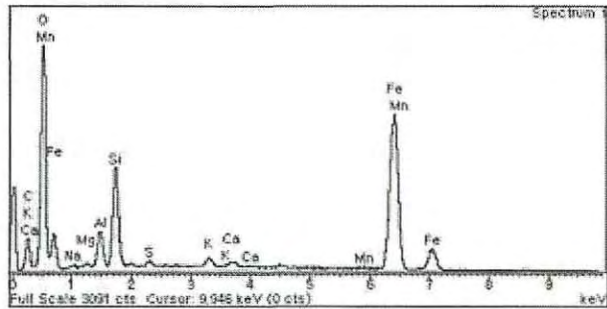
<그림 31> No.5 SEM 사진



<그림 32> No.5 EDS 분석결과



<그림 33> No.6 SEM 사진



<그림 34> No.6 EDS 분석결과

이하 기관차의 상태를 여러 가지 방법으로 조사한 결과 철의 상태는 외부에 수산화철 계열의 부식물이 생성되어 있지만 소지 금속층의 두께가 어느정도 남아있어 구조적으로 안정하다고 보인다. 따라서 금속면을 과도하게 노출시키지 않는 정도의 녹제거 조치 이후 별도의 탈염처리 없이 코팅 처리를 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

기관차는 야외 환경에 전시될 확률이 높고 미세하게 남아있는 손상원인들은 수분과 접촉하면 소지 금속 표면에서 산화되어 내부에 남아있는 부식인자와 결합하여 부식을 촉진할 수 있으므로 코팅재의 선정이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 따라서 실험을 통해 기관차에 가장 적절한 재료를 선정하여 보존처리를 하는 것이 좋을 것이다.

Ⅲ. 실험 진행

1. 시편 제작

기관차는 보존처리 후 야외에서 보호각 없이 전시될 예정이므로 야외 환경에서 내구성이 강한 코팅재의 선정이 중요하다. 따라서 기관차에 가장 적합한 코팅재를 선별하기 위해서 각종 재료를 기관차 시편에 적용하여 코팅실험을 진행하였다.

코팅할 철제 시편은 기관차의 외피 판재를 사용하였으며 기관차를 이송할 때 비무장지대 내 주변에서 수습한 파편을 이용하였다. 시편은 가로 4cm, 세로 4cm의 동일한 크기로 압력 절단기를 이용하여 절단하였고 코팅 전 처리를 위하여 표면에 발생되어 있는 부식생성물을 핸드그라인더로 스테인리스 브리시를 사용하여 제거하였다. 제거된 부식생성물의 종류는 주로 Goethite, Lepidocrocite이며, Magnetite층은 보호하여 소지 금속이 드러나지 않도록 하였다.

코팅재로는 현재 철제문화재 보존처리에 많이 사용하고 있는 재료를 중심으로 총 3종(왁스계, 아크릴계, 고무계)의 재료를 선정하여 실험하였다. 왁스계수지에는 MCC(혼합왁스로 제품명임)와 녹는점이 다른 2종의 미정질왁스(Microcrystalline Wax)를 선정하여 사용하였는데 본 논문에서는 일반형 미정질왁스(이하: MC 일반형)와 고온형 미정질왁스(이하: MC 고온형)라고 표현하였다. 아크릴계수지에는 Paraloid B-72(이하: B-72)와 Paraloid NAD-10(이하: NAD-10)의 2종을 사용하여 실험하였고 추가로 고무계수지 가운데 하나인 제품명 Electra-Coat를 사용하였다.

실험한 시편은 200시간마다 변화양상을 관찰하고 파괴 분석을 위해 동일한 조건의 시편을 5개씩 제작하였다. 총 1,000시간동안 제논아크 촉진(가속) 내후성 시험기에서 200시간마다 꺼내어 조사하였으며 시편의 코팅재 적용 방법은 아래 <표 8>에 정리하였다.

<표 8> 기관차 코팅시료 목록

구분	시료번호	상태 / 코팅재	적용방법
시료	0	녹제거한 기차편	-
왁스 코팅 시료	1	MCC ¹²⁾	피복 후 가열
	2	MC 일반형 ¹³⁾	분무 후 자연건조
	3	MC 일반형	피복 후 가열
	4	MC 고온형	피복 후 가열
	5	MCC+MC	피복 후 가열
아크릴 코팅시료	6	Paraloid B-72	분무 후 자연건조
	7	Paraloid NAD-10	분무 후 자연건조
고무 코팅시료	8	Electra-Coat	분무 후 자연건조

코팅은 부식생성물과 시편 표면에 잔존한 수분을 제거한 후 진행하였다. 먼저 왁스의 적용방법¹⁴⁾을 살펴보면 시료번호 1번, 3번, 4번, 5번, 6번의 경우 각각 MCC, MC 일반형, MC 고온형을 표면에 피복 후 가열하여 적용하였다. 작업 과정 가운데 표면에 과도하게 적용된 왁스는 흡습지를 이용하여 제거하였는데 예비실험 당시 표면에 왁스 층이 두껍게 코팅되면 표면색이 하얗게 뜨는 현상이 발견되었기 때문이다.

2번 시편의 경우는 MC 일반형을 유기용매에 용해시켜 분무 후 자연 건조하였다.(이하 MC 분무) 이런 방법을 적용해 본 이유는 소형 유물의

-
- 12) 현재 야외 금속문화재 코팅재로 가장 많이 사용되고 있으며 자세한 설명은 본 논문 p.24 참고.
- 13) MC 일반형은 MC 고온형과 비교하였을때 용융점이 낮은 온도기 때문에 임의로 붙여진 명칭이며 용융온도는 <표11>에 자세하게 나와 있다.
- 14) 적용 방법은 피복 후 가열한 방법은 가열법, 왁스를 헤파탄에 용해시켜 분무 하는 방법은 이하 분무법이라 통칭한다.

경우에는 직접 적용하여 처리하는 것이 간편하고 시간적·비용적 부분이 문제되지 않으나 대형유물의 경우에는 보다 간편하고 빠르게 적용할 수 있는 방법이 필요하기 때문이다. 이 방법은 왁스를 조각내어 용매에 용해시켜 표면에 분무하는 것을 말하며 이때 왁스를 녹이는 용매로는 헵탄¹⁵⁾ (Heptane: C_7H_{16})을 사용하였다. 5번 시편은 MCC와 미정질왁스의 혼합 효과를 알아보기 위한 것으로 MCC와 MC 고온형을 각각 1:1의 비율로 혼합 후 가열하여 만들었다.(이하 MCC+MC)

아크릴계수지의 적용방법을 보면 다양한 용매의 사용이 가능하지만 이 실험에서는 B-72의 경우 자일렌(Xylene)에 녹여 5% 용액을 만들어 분무하였다. NAD-10의 경우는 나프타(Naptha)로 희석하여 5%용액을 제조하여 분무하였다. 두 경우 모두 분무 후에는 자연 건조하였으며 분무 중 과도하게 적용하여 흘러내린 여분의 용액은 흡습지를 사용하여 제거하였다. 아크릴계수지는 다양한 농도를 만들 수 있는 것이 장점이지만 농도가 진해지면 광택이 심해 문화재의 고색미를 해치고 원 재료에 이질감을 느끼게 하므로 용액의 농도를 5%로 설정하여 실험을 진행하였다.

마지막으로 고무계수지인 Electra-Coat(제품명)를 선정하여 실험하였다. 이 수지는 문화재에 적용한 예는 없지만 주로 절연 및 금속의 보호코팅재로 사용된다. 투명한 코팅막을 형성하며 제거가 가능한 장점을 가지고 있어 추가로 선정하여 실험하였다. 에어로졸(aerosol) 제품으로 시판되며 이를 시편 표면에 분무 한 후 자연 건조시켰다.

(1) 철의 대기 부식 원인

연마된 철을 대기 중에 두면 결국 그 표면은 빛을 잃고 흐려지기 시작하고 더욱 더 장시간 지나면 결국 녹이 슬게 되는데 이것을 대기부식이라고 부른다.¹⁶⁾ 금속의 대기 부식은 얇은 수막층에서의 물질 전달, 그리고 수막층/금속계면에서의 물리, 화학, 전기화학반응을 포함하며, 대기 중의 오염물질과 미립자 그리고 건조와 젖음의 반복에 의해서 대기 부식의 진행 정도는 크게 변화한다.¹⁷⁾

15) 탄소화합물, 연료로 사용가능하며 용제로서도 사용됨, 유지분을 추출하거나 기름성분을 제거할 때 사용함.

16) 임우조 외 3인, 『부식과 방지』, 원창출판사, 1996.

그래서 문화재의 경우 이러한 기본요소들과 함께 공기에 포함된 오염물질과 생물학적 문제, 산성비, 염분 등의 이차적인 효과들이 모두 재료의 노화를 일으켜 부식을 촉진시킨다. 부식에 영향을 주는 손상원인인 대기오염물질에 관해서는 <표 9>에 정리하였다.

<표 9> 철 부식에 영향을 주는 대기오염물질

고체		회, 그을음, 모래먼지, CaCO_3 , 금속의 산화물분, NaCl (해염, 용빙용염)
가스체	유황화합물	SO_2 , SO_3 , H_2O , 메카프탄
	질소화합물	NO_3 , NO_2 , NH_3 , HNO_3 , N_2O_5
	산화물	O_3 , CO , CO_2 , 과산화물
	기타	Cl_2 , HCl , F , HF , 유기화합물

『부식과 방식』 참고

금속의 대기부식에는 물과 산소가 존재한 상황에서 진행된다. 이 두가지의 부식요인에 환경요인(상대습도, 비, 대기오염, 대기온도, 일조량 등)은 복합 효과를 준다. 그 가운데 대기온도는 직접적인 영향보다는 각종 조건에 변화를 일으켜 손상을 촉진시킨다. 장소의 연평균 기온을 높여 부식속도를 증가시키거나 물의 형태를 다양하게 변화시켜 손상을 촉진시키기도 한다. 예를 들면 비가 내리지 않아도 대기 중의 수분이 금속면에서 응결해서 물이 되면 부식은 일어나게 된다. 또한 기온의 변화가 일정하지 않아 시간적 변화가 심할 경우도 부식을 촉진시킨다. 그리고 일조량은 그 자체는 금속의 부식에 영향을 미치지 않으나 비가 내린 후에 수분의 건조시간을 짧게 하여 간접적으로 부식에 영향을 준다.

17) 김광범, 「금속의 대기부식」, 한국강구조학회, 1996, p.12.

(2) 코팅재의 손상 원인

고분자 물질로 이루어진 코팅재는 주위 환경의 복합적인 부식인자에 의해 시간이 경과함에 따라 자연스럽게 노화되어 본연의 기능을 상실하게 된다.¹⁸⁾ 그러나 보존처리에 사용된 코팅재를 재료적인 관점에서 손상원인을 살펴본다면 수많은 이유 가운데 특히 태양광과 수분의 유입이 가장 큰 영향을 준다고 볼 수 있다.

<표 10> 국제조명위원회의 태양광의 분류와 비율

영역이름	파장영역	태양광 내에서의 비율
자외선	295~400nm	6.8%
가시광선	400~800nm	55.4%
적외선	800~2450nm	37.8%

CIE Pub.85, 표 4 참고

태양광¹⁹⁾에 의한 코팅재의 노화원인은 태양광의 파장이 코팅재의 유기 고분자의 결합을 해리시키는데 있다. 해리(解離)란 화합물의 결합이 용해 가열과 같은 작용에 의해 원자 분자 등으로 떨어지는 것이다. 각종 화학 결합의 해리 에너지는 크게 달라 에너지가 작은 결합일수록 해리작용이 쉽게 진행되어 코팅재 역시 쉽게 노화된다. 이 때 태양광의 파장 중에서 300nm~400nm 정도의 자외선 영역에서 코팅재의 화학결합이 가장 많이 해리된다. 자외선에 의한 광 노화는 코팅재의 미적인 기능뿐만 아니라 기계적 화학적 물성과 함께 방식 특성에도 큰 영향을 미치게 된다.²⁰⁾

자외선에 장기간 폭로된 코팅재는 색변화와 광택의 감소뿐만 아니라 코

18) 한정훈, 「부식환경에 따른 유기도막의 노화과정 및 전기화학특성 연구」, 부경대학교 일반대학원 공업화학과, 2008. 8p.2

19) 태양광은 약 200nm~250nm이상의 파장 광선을 가지고 있으나 250nm 부근의 자외선은 산소에 흡수되어 오존을 발생하고 그 오존이 300nm이하의 자외선을 다음으로 흡수하므로 지상에 도달하는 태양광의 에너지 분포는 300nm이상 정도이다.

20) 한정훈, 앞의 논문, p.9

팅재의 수산기 그룹²¹⁾이 풍부해져 물 흡수를 촉진시키고 그에 따라 산소 및 이온 등 부식인자의 침투가 증가되면서 그 기능을 상실하게 된다.²²⁾ 따라서 코팅재는 문화재 보호역할을 제대로 해내지 못하게 되며 오히려 부식을 촉진시키는 영향을 줄 수도 있다.

코팅막의 노화에 영향을 미치는 수분의 형태는 야외 환경조건에 따라 비, 안개, 이슬, 공기 중의 습도와 같이 다양한 형태로 존재하게 된다. 이 수분은 코팅막 속으로 침투하여 코팅막을 팽윤시키며 코팅막과 소지 금속 사이에 산소가 들어갈 수 있도록 하여 소지 금속의 표면에서 물과 산소가 존재하는 환경을 만든다. 이 조건은 금속이온이 용출하여 부식전류가 발생하게 되며 이는 금속의 부식을 촉진시키게 된다.

그리고 산소는 산화반응을 일으켜 코팅막에 손상을 준다. 산화반응은 자외선과 산소가 관여하는데 자외선의 에너지로 유리기 라디칼(Free Radical)²³⁾이 발생하는 과정에서 산소가 존재하면 존재하지 않는 환경보다 훨씬 빠르게 분해반응은 촉진되므로 손상의 원인이 된다.

또한 온도는 다양한 재료들이 성질에 따라 열과 같은 온도변화에 의해 팽창·수축을 반복하게 한다. 이때 코팅막과 금속의 다른 팽창계수로 인해 서로 다른 재료가 열팽창을 하게 된다. 그러면 코팅막의 부착면에서 응력이 발생하여 부착력이 약해져 손상을 촉진시킨다. 다른 환경요인으로 는 염소이온, 아황산가스, 황산화물 등이 있다.

21) -OH로 표시되는 1가(價)의 기로, 유기물인 경우 히드록실기라고도 하는데, 고온수증기의 방전에 의하여 수명이 짧은 자유라디칼로 존재하나 대개는 다른 원자와 결합상태에서 인정되며, 금속의 수산화물, 알코올류 등의 화합물이 있다.

22) Clive H. Hara, 「Paint Film Degradation : Mechanisms and controls」, 2001, P.325-327

23) 유리기 라디칼이라고도 함. 짝짓지 않은 전자를 가지는 원자단.

2. 실험용 수지의 선정

(1) 왁스계수지

이 실험에서 사용된 왁스는 MCC, MC 일반형, MC 고온형 총 3종이다. 왁스는 상온에서는 고체 상태이나 온도를 높이면 유체로 변하고 광택, 윤활 작용, 방수 및 방부 효과가 있기 때문에 야외 문화재 코팅재로 사용되어 왔다. 왁스에는 수많은 종류가 있으나, 주로 녹는 온도(융점)에 따라 저융점왁스(일반 파라핀 왁스, 밀랍 등)와 고융점 왁스(미정질왁스, 카나우바 왁스, 합성왁스 등)로 나누기도 하며, 원료에 따라 석유계 왁스(파라핀, 미정질왁스), 동물성 천연왁스, 식물성 천연왁스, 합성왁스 등으로 분류하기도 한다.

실험에 사용된 미정질왁스는 약간의 결정성과 강한 경도를 가지고 있다고 하여 붙여진 이름이다. 일반적으로 미황색이며 원유를 정제하고 남은 잔류 아스팔트(Asphalt)를 다시 정제 및 분리하여 얻는다. 가지형의 탄화수소(Branched Alkyl Hydrocarbon)가 많이 포함되어 있어 파라핀 왁스에 비해 높은 온도에서 녹으며, 경도가 높다. 또한 높은 점착성 및 접착성을 지니고 있다. 그러나 용융되었을 때 점성이 크게 떨어져 단독으로 접착제로 사용되는 경우는 극히 제한적이다. 융점 범위가 넓기 때문에 비슷한 사양을 지닌 제품일 경우에도 물성이 상당히 다를 수 있다.

왁스는 경우에 따라 여러 가지 물질을 혼합하여 사용하기도 하는데 이 실험에서 사용된 MCC도 혼합 왁스 가운데 하나이다. MCC는 카나우바 왁스²⁴⁾(Carnauba Wax), 밀납(Bee's Wax)²⁵⁾, 다마 수지(Dammar resin)²⁶⁾, 테레빈유(Turpentine Oil)²⁷⁾, 라벤더유(Lavender Oil)을 혼합하여 만

24) 브라질 북동부 지방에서 자생하는 카나우바 야자나무(*Copernicia cereferia* Mart)의 잎과 짝에서 추출하여 정제한 왁스로서 고 경도, 고 융점, 고 광택을 가지며 형태는 옅은 황색~옅은 갈색의 분말, 박편 또는 단단하고 부스러지기 쉬운 덩어리다. 화학적으로는 에스테르류가 70-85%, 고급 지방산과 고급 알코올류가 5-8%, 탄화수소류가 5-10% 정도로 이루어져 있다.

25) 벌집에서 꿀을 분리한 후 분쇄하여, 정제한 것으로 비교적 넓은 녹는점 분포를 가지고 있다.

26) 동남아시아에서 자라는 나무의 수피에서 채취하는 천연수지. 회화에서 사용될 때에는 물감이 빨리 건조되고 튼튼한 피막이 생성되는 것을 돕고 광택을 형성시켜준다.

27) 소나무에서 얻는 무색의 정유로 생송진을 수증기로 증류하거나 소나무 가지를 직접 수증기로 증류해서 얻는다.

든 왁스이다. MCC왁스의 특징은 표면 경도가 높아 코팅 후 먼지 부착률이 적고 투명도가 좋으며 광택이 심하지 않은 편이라고 알려져 있다.

왁스는 끓는 알코올에 부분적으로 용해되며, 클로로포름과 에테르에 용해되나 물에는 용해되지 않는다.²⁸⁾ 이러한 장점으로 높은 발수력을 가져야의 문화재 코팅재로 적합하고 볼 수 있다. 또한 국내·외 야의 문화재 보존처리 재료를 살펴 볼 때에도 왁스를 가장 많이 사용하고 있다.

<표 11> 실험에 사용된 미정질왁스의 성질

구분	일반형	고온형
Melting point(℃)	68~77	101
Oil Content(wt.%)	10이하	14.1
penetration(0.1mm)	70이하	8
specific Gravity	0.82~0.85	0.935
Flash Point(℃)	200이상	310
UV Absorbance	-	passed

미정질왁스 제품정보 참고

(2) 아크릴계수지

아크릴계수지의 경우 열역학적 성질에 의한 분류에 의해 열가소성 수지²⁹⁾에 속하며 실험에 사용된 수지는 PARALOID®의 제품으로 B-72와 NAD-10 2종을 사용하였다. 아크릴계수지는 형태에 따라 나누어 볼 수 있는데 B-72는 중축합³⁰⁾형이며 NAD-10은 에멀전(Emulsion)³¹⁾계로 구분

28) 두산백과사전 참고.

29) 열가소성 수지란 열을 가하면 누그러지는 수지로서 냉각해서 고화되는 플라스틱을 총칭해서 말한다.

30) 축합은 두 분자가 반응하여 작은 분자가 빠지면서, 보다 큰 분자로 되는 반응을 말한다. 축합

할 수 있다.³²⁾

문화재 보존처리에 많이 사용되는 B-72는 아세톤(Acetone)이나 자일렌에 희석한 용액을 제조하여 유물의 상태와 용도에 따라 다양한 방법으로 코팅 처리한다. 용매로 농도와 휘발시간 등을 조절하여 사용할 수 있는 장점이 있어 현재 철제문화재 보존처리에서 코팅 및 표면 강화제로 많이 사용하고 있다. NAD-10은 주로 유기 용매인 나프타에 섞어 사용하는 수지로 비교적 휘발성이 느리며 코팅 전에는 유백색이나 건조되면 무색·투명한 코팅막을 형성한다. 동일 농도일 때 B-72에 비해 광택이 높으며 이것 역시 철제문화재 보존처리에서 코팅 및 표면 강화제로 많이 사용하고 있다.

<표 12> 아크릴계수지의 성질

제품명	Tg ³³⁾ (°C)	기본 구성물질	분자량 (Mw)	SOLIDS (%)	밀도 (g/ml)	점성 (cP)
B-72, 100%	40	EMA ³⁴⁾ cop.	105,000	pellets	1.15	-
NAD-10	40	IBMA ³⁵⁾	130,000	40	0.85	500

PARALOID® 제품정보 참고

(3) 고무계수지

문화재에 적용한 예는 없지만 실험적으로 고무계 코팅제 가운데 하나인 Electra-Coat를 선정하여 실험하였다. 사용된 재료의 구성성분은 자일렌(Xylene), 스티렌부타디엔고무(Styrene Butadiene Rubber), 노말헥산

중합은 축합에 의해 고분자를 형성하는 반응을 말한다.

- 31) 두 액체를 혼합할 때 한쪽 액체가 미세한 입자로 되어 다른 액체 속에 분산해 있는 계(系).
- 32) 박혜진, 「야외금속 코팅재료의 특성과 차단효과성에 관한 연구」, 학위논문(석사), 한서대학교 대학원, 2006. 8. p.19
- 33) 유리전이온도: 수지가 유연해지는 온도를 경계로 딱딱한 유리 상태에서부터 부드러운 연질로 변화되는 온도.
- 34) Ethylene-methyl Acrylate Methacrylic.
- 35) Iso-Butyl-Metha-Acryate.

(N-hexane)이다. 구성성분 가운데 스티렌부타디엔고무는 스티렌과 부타디엔을 혼성·중합하여 만든 고무로 부나에스(Buna-S), 지아르에스(GR-S)라고도 하며, 줄여서 SBR라고 한다. 스티렌과 부타디엔의 질량비를 25:75로 하여 만들며, 전체 합성고무의 80%를 차지한다. 천연고무에 비하여 가격이 싸고, 품질이 고르며, 일정한 가황속도를 갖는다고 알려져 있다. 또한 열에 강하고 쉽게 마모되지 않아 잘 변질되지 않는 특징을 가진다. 에어로졸 형태로 시판되고 있으며 강하면서도 유연성이 있어 혹한 환경에서도 균열이 가지 않으며 내마모성이 우수하다. 물이 투과 되지 않으며 수분, 염분, 먼지와 같은 오염물을 차단하며 필요시 제거가 쉬운 장점이 있다.

<표 13> 고무계수지의 특징

화학물질명	이명	함유량(%)
자일렌	디메틸 벤진	1~5
스티렌부타디엔고무	부타디엔-스티렌중합물	5~10
노말헥산	헥산	20~30
LPG	석유가스, 액화	20~30
기타 비유해 성분들	-	40~60

Electra-Coat 제품정보 참고

3. 실험방법과 조건

(1) 내후성 시험

이 논문에서 중요하게 생각하는 점은 추후 기관차에 적용될 코팅재가 야외 환경에서 내후성을 얼마만큼 가지고 있느냐는 것이다. 내후성에 대해 정의하자면 “재료나 상품이 기상의 영향을 받아 원치 않는 형태로 변형되는 것”이라고 말할 수 있다. 즉 기후환경에 의해 재료나 상품이 원래

의 성능이나 목적을 수행하지 못하는 상태로 변하게 된다는 것이다. 이런 문제는 문화재 코팅재의 경우에도 적용되어 문화재 보존처리의 수명과 연관되어 문제를 일으킨다.³⁶⁾

코팅재의 내후성에 영향을 미치는 조건은 태양광과 수분이라고 할 수 있다. 따라서 기관차에 대한 내후성을 실험하기 위해서는 기관차에 코팅재를 적용한 후 태양광과 수분에 노출시켜 그 상태를 관찰할 필요성이 있다.

태양광과 관련한 효능 시험은 실험실에서의 촉진 내후성 시험과 야외환경에서 진행되는 야외 폭로 내후성 시험으로 나뉘 볼 수 있다. 실내에서 내후성 시험을 하는 방법은 야외 폭로 내후성 시험보다 더 빨리 결과를 얻을 수 있다. 실내에서 촉진 내후성 시험을 진행하면 환경요인(빛의 파장, 습도, 노출시간 등)을 선택하여 시험을 진행할 수 있고 단기간에 결과를 확인 할 수 있다. 또한 지역, 계절, 기후 등에 구애를 받지 않는 장점을 가진다.

빛의 파장은 노화를 더욱 촉진하기 위한 것으로 실내에서는 인공광원을 사용하는데 광원의 종류는 카본아크 램프(Carbon Arc)³⁷⁾, 형광 UV 램프(Fluorescent Ultra-Violet Lamp)³⁸⁾, 제논 아크 램프(Xenon-Arc Lamp) 그리고 메탈 헬라이드 램프(Metal Halide Global Lamp)³⁹⁾ 등이 있다.

야외 폭로 내후성 시험은 직사광과 기타 기후요소에서 직접적으로 노출하는 것을 말한다. 이 때 재료의 노화 정도를 가장 정확하게 파악할 수 있는 방법은 전시될 장소에서 야외폭로를 진행하는 것이다. 이 방법은 실제로 재료의 변화를 관찰하고 실제 재료가 사용되는 자연 환경을 그대로 이용한다는 장점이 있지만 시간이 많이 걸린다는 점과 민간인의 출입이 통제되는 비무장지대라는 단점이 있어 야외 폭로 내후성 시험을 진행하는 것에는 무리가 따른다.

36) 신은호, 「인공 가속 내후성 시험 장치의 종류와 차이점」, 『기술표준』. 통권 제55호, 2006.

37) 가장 먼저 개발된 광원으로 345nm 이하에서는 에너지가 없으며 태양광선과는 아주 다르고 400~800nm 사이의 에너지는 없다.

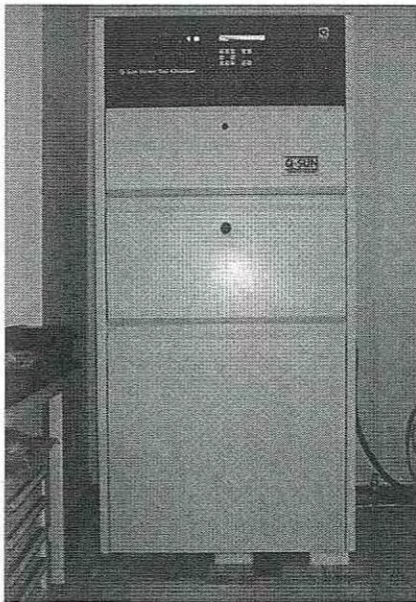
38) 형광등과 유사한 기계적, 전기적 특성을 가지며 파장의 많은 부분이 태양광보다 짧은 영역에 있으며 360nm를 넘는 빛은 거의 존재하지 않는다. 많은 양의 빛이 단파장의 UV영역에 있고 장파장의 UV와 가시광의 복사가 모자란다.

39) 방전램프의 일종으로 메탈 헬라이드램프는 태양광과 유사하지만 광량의 조절범위가 제논 아크에 비해 좁은편이다.

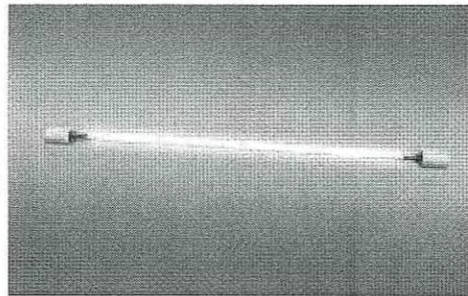
그리고 우리나라 기후와 문산지역의 기후 변화를 살펴볼 때 그 변화가 큰 편이다. 그래서 하나의 기준으로 내후성 시험조건을 만들 수 없으며 그래서 현재 우리나라 기후에 적합한 내후성 기기가 개발되어 있지 않다. 따라서 기후조건은 매년 변화하여 그 내용으로 내후성 시험의 실험조건을 적용하기는 매우 어려운 실정이다. 그래서 이 실험은 실내에서 그 효과를 추측해 볼 수 있는 실험방법이 적당하다고 판단되어 코팅 금속판의 내후성 시험과 관련하여 국제 규격에 맞는 실험조건을 이용하여 그 결과를 도출하였다.

(2) 실험 조건

야외 환경에서 코팅재의 노화정도를 알아보기 위하여 제논아크 촉진 내후성 시험기(Xenon-Arc Accelerated Weathering Tester)를 사용하여 실험하였다. 이 내후성 시험기를 사용한 이유는 다른 시험기에 비해 야외 환경 조건을 가장 잘 재현하는 광원을 가지고 있기 때문이다.



<그림 35> 제논아크 내후성 시험기



<그림 36> 제논아크 램프

(출처: 제품설명서)

제논아크 광원은 밀폐된 수정관으로 만들어진 가스방전등으로 다른 광원보다도 UV와 가시영역의 태양에너지를 잘 시뮬레이션 하며 필터를 이용하여 분광복사량 분포를 조절할 수 있다. 형광UV램프는 램프의 종류에 따라 나오는 파장이 정해져 있지만 제논아크 램프는 동일한 램프에 필터 조합을 이용하여 다양한 종류의 분광복사량 분포를 만들 수 있고 이것은 태양광과 매우 유사하다. 따라서 제논아크 광원을 이용한 시험장치는 현재 가장 많은 영역에서 사용되는 인공 내후성 시험장치이며 현재까지 개발된 광원 가운데 태양광선과 가장 유사한 분광분포를 갖고 있으며 자연의 태양광과 유사하여 가속시험에서 많은 유리한 점을 가지고 있다.⁴⁰⁾

실험에 사용된 제논아크 축진 내후성 시험기는 Q-panel사의 제품으로 코팅 금속편의 내후성을 알아보기 위해 야외 환경에 노출된 금속이나 코팅재의 내후성과 관련된 ISO⁴¹⁾ 4892-1981, ISO 11341, ASTM⁴²⁾ G26-88의 규격을 만족하는 조건으로 제작되었다.

사용된 광원인 제논아크 램프에 대하여 자세히 살펴보면 자외선, 가시광선 및 적외선을 망라하는 전 영역대의 태양광을 가장 유사하게 시뮬레이션 하는 특징을 가지고 있다.

시험기는 제논아크 램프를 사용하여 태양광과 가장 흡사한 파장대의 광원 파장을 통해 물질에 손상을 유발하고 시간차를 두어 낮과 밤과 같은 빛 조사량의 변화 사이클을 통해 야외 환경을 재현하였다. 동시에 물 분무와 상대습도 조절을 통해 수분에 의한 손상을 일으키고 온도 변화를 조절하여 손상을 촉진시키는 환경조건을 만든다. 시편은 수평으로 장착되어 윗면이 시험조건에 노출되게 된다. 시험조건을 간단하게 요약하면 <표 14>과 같다.

40) 신은호, 위의 논문.

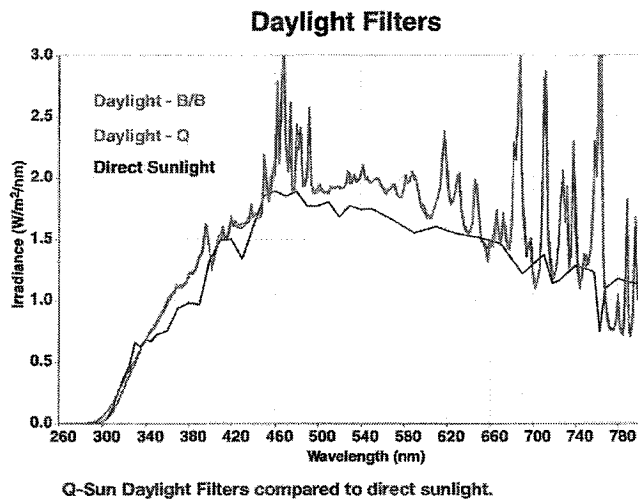
41) 국제 표준화 기구, International Organization for Standardization.

42) 미국 시험과 재료 규격, American Society for Testing and Materials.

<표 14> 제논아크 촉진 내후성 시험기 조건

내용	조건
방사조도	0.35W/m ²
파장영역	295-1,000nm
시험온도	Light Cycle 35~65℃ Dark Cycle 25~50℃
상대습도(%)	50%± 5%
사이클(분) 물 분무/빛 조사	물 분무 / 빛에 노출 (18분)/(102분)

또한 제논아크 광원에 다양한 필터(Daylight-Q, Daylight B/B, Sunlight Behind Window Glass, Extended UV)를 사용하여 원하는 파장대를 선택할 수 있다. 이 실험에서는 Daylight-Q 필터를 사용하였으며 태양광과 비슷한 파장대인 295nm의 파장대를 발산하여 야외 노출간의 상호 관계에서 가장 적합한 필터라고 할 수 있다. 실험에 사용된 필터의 파장 그래프는 <그림 37>에서 볼 수 있다.



<그림 37> 자연광과 제논아크 램프에 필터링 된 광원 비교
(출처: 제품설명서)

IV. 실험결과 관찰

제논아크 촉진 내후성 시험 과정 동안 기관차 시편에 적용한 각종 코팅재가 변화되는 양상을 관찰하고 보다 자세하게 기록하기 위해서 시편을 분석·조사 하였다.

내후성 시험 전·후로 표면을 육안 관찰하여 시편의 변화 상태를 가장 먼저 파악하였으며 내용을 사진으로 기록하였다. 촬영한 면은 내후성 시험이 적용되는 면이며 가속시험 전과 후의 사진을 촬영하여 그 변화를 비교하였다.

그리고 적용한 코팅막의 변화 정도를 자세하게 관찰하기 위하여 시편의 미세조직을 관찰하였다. 코팅막 표면의 코팅재 변화는 실체현미경, 주사전자현미경을 이용하여 조사하였고 코팅막 두께의 변화 정도는 금속현미경으로는 단면을 관찰하였다. 또한 주사전자현미경에 에너지분산형분석기를 부착하여 그 부분의 원소분석도 추가로 실시하였다.

색도측정은 코팅재가 표면의 광노화로 변화된 색의 정도를 측정하기 위한 목적으로 실시하였으며 재료의 노화에 따른 발수성을 알아보기 위하여 코팅막 표면의 수분 접촉각도 측정하였다.

1. 표면 육안 관찰

녹제거 시편을 코팅 처리를 한 시편과 함께 내후성 시험기에 넣어 그 상태를 살펴보았다. 내후성 시험 전의 시편은 녹을 제거한 후로 표면에 일부의 수산화철 부식물과 안정한 검은 부식층이 노출된 표면 상태를 보인다. 그러나 시간이 경과함에 따라 표면에 부식 생성물이 조금씩 발생하여 1,000시간 경과 후에는 확연하게 황갈색의 수산화철 부식 생성물이 표면에 두껍게 생성되었음을 알 수 있다.<그림 38>

제논아크 촉진 내후성 시험기의 조건은 물이 분무될 때에는 시편 표면에 수분이 잔류하지만 분무 이후에는 온풍조건으로 인해 표면에는 수분이 제거되어 표면 잔류 수분의 양이 많지 않다. 그럼에도 부식생성물이 육안





























































관찰에도 확연한 것으로 보아 부식물 제거 후 야외 환경에 노출된 철 시편은 부식에 매우 취약한 상태임을 알 수 있다.

왁스계수지로 코팅한 시편은 육안 관찰시 표면색이 전체적으로 어두워지는 편이며 왁스계열 가운데에서는 MC 일반형과 MC 고온형의 2종류가 MCC에 비해 더 어두워지는 편이다. 그리고 내후성 시험 후에는 표면에 백화현상이 일어난다. 시편의 변색시간을 살펴보면 MC 분무, MCC, MCC+MC 시편이 400시간에서 변색하였고 MC 일반형, MC 고온형은 800시간부터 변색하여 MC는 MC 분무, MCC, MCC+MC에 비해 약 2배 정도의 안정성이 파악되었다. <그림 38>































아크릴계수지 코팅시편은 왁스계열의 코팅시편에 비해 육안관찰시 표면의 변색도가 적은 편이나 광택으로 인해 재질에 이질감이 드는 단점이 있다. B-72 코팅시편의 경우 200시간 경과 후부터 표면에 갈색 부식물이 생성되어 야외 환경에서는 적합하지 않은 재료로 판단된다. 같은 농도로 코팅한 시편임에도 NAD-10은 600시간 경과 이후에 부식물이 관찰되었다. <그림 39>

고무계수지인 Electra-Coat는 아크릴계수지와 외관이 흡사하고 광택이 심해 소지 금속인 철과는 이질감이 느껴져 적용하는 것에 어려움이 예상된다. 작업할 때 건조가 아크릴계수지보다 느리며 완전히 건조되기까지는 오랜 시간이 걸린다. 내후성 시험 1,000시간 경과 후 광택이 많이 사라졌으나 아크릴계수지보다는 광택이 있다.<그림 39>

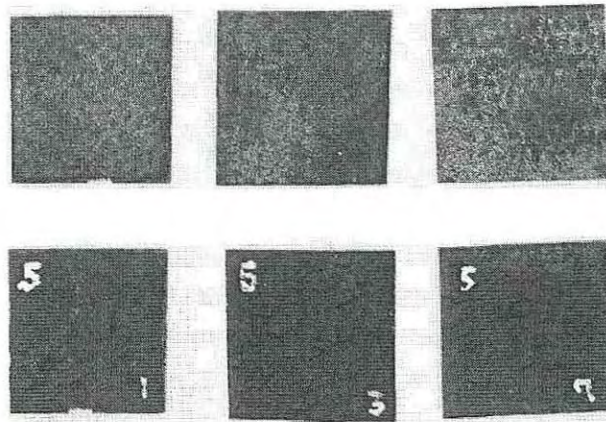
지금까지 관찰한 부분은 내후성 시험에 직접 노출된 앞면의 상태였으며 추가 조사로 내후성 시험에 직접 노출된 앞면과 뒷면을 비교 관찰하였다. 앞·뒷면을 동일하게 코팅한 뒤 내후성 시험기에서 1,000시간을 경과하였다. 시편은 모두 앞면과 뒷면의 변화 정도가 달랐는데 그 가운데 변화 정도가 심한 MCC를 살펴보았다. <그림 40>은 제논아크 광선에서 1,000시간 동안 노출된 왁스코팅 시편의 앞·뒷면이다. 앞면의 경우 표면 코팅재가 노화로 인해 희게 변색되어 있는 것을 관찰할 수 있다. 그러나 뒷면은 초기 코팅상태와 흡사한 육안관찰 결과를 나타내고 있다. 따라서 내후성 시험에 직접적으로 노출된 면과 노출되지 않은 면의 차이가 크게 다르거나 나란한 것으로 보아 왁스계열 코팅재의 가장 큰 노화원인은 태양광(자외선)과 수분의 영향으로 판단해 볼 수 있다.

시료이름	조건	200시간	400시간	600시간	800시간	1000시간
녹제거	내후성 시험전					
	내후성 시험후					
MCC	내후성 시험전					
	내후성 시험후					
MC 분무	내후성 시험전					
	내후성 시험후					
MC 일반형	내후성 시험전					
	내후성 시험후					
MC 고온형	내후성 시험전					
	내후성 시험후					
MCC+MC	내후성 시험전					
	내후성 시험후					

<그림 38> 녹제거, 왁스계수지 적용 시편 내후성 시험 전·후 사진

시료이름	조건	200시간	400시간	600시간	800시간	1000시간
B-72	내후성 시험전					
	내후성 시험후					
NAD-10	내후성 시험전					
	내후성 시험후					
Electra-coat	내후성 시험전					
	내후성 시험후					

<그림 39> 아크릴계, 고무계수지 적용시편 내후성 시험 전·후 사진



<그림 40> MCC+MC 내후성 시험 전·후 앞뒷면 비교 사진

2. 미세조직 관찰

(1) 실체현미경 관찰

시편 표면에 코팅된 재료의 변화 정도를 미세한 부분까지 관찰하기 위해 실체현미경을 이용하여 표면을 촬영하였다. 실험에서 사용한 제품은 휴대형으로 소형 LCD창을 통하여 1:1배율부터 고배율까지 검사나 관찰할 수 있다. 이 실험에 사용된 배율은 200배이다.

녹제거 시편을 200배로 확대하여 관찰 한 결과 육안관찰 상에서는 부식물이 거의 제거된 것으로 보이더라도 약간의 수화물 부식물이 표면에 남아 있는 것을 알 수 있다. 내후성 시험 1,000시간 경과 후에는 시험 전에 비해 표면에 분말로 붉은 부식물이 발생해 있음을 알 수 있다. 따라서 내후성 시험 후의 결과 부식된 철의 경우 표면에 굴곡과 같은 각종 취약 부를 생각해 볼 때 녹을 제거한 시편을 야외 환경에 그대로 노출시킨다는 것은 부식반응을 촉진시키는 행위가 될 것이므로 적절한 재료를 사용한 코팅 처리는 꼭 필요할 것이다.<그림 41, 42>

왁스계수지로 코팅한 면을 200배로 관찰 한 결과 내후성 시험 전에는 전체적으로 비슷한 표면 상태를 가지나 내후성 시험 후에는 변화속도에 따른 표면 상태 변화가 심한 편이다. 변화 정도를 보면 $MCC > MCC+MC > MC$ 분무 $> MC$ 일반형 $> MC$ 고온형의 순서로 나타났다. MCC의 경우 내후성 시험 전에는 균일하고 투명한 표면 상태를 갖지만 400시간 경과 후에는 왁스가 부분적으로 백화 현상이 발견되었으며 MCC+MC의 경우에도 MCC와 비슷한 시기에 표면의 상태가 변화하여 MCC의 혼합 재료 가운데 내후성환경에 약한 재료가 있는 것으로 판단된다. MC 일반형, MC 고온형의 경우에는 800시간 이후에 백화된 표면이 발견되었다. <그림 43~ 52>

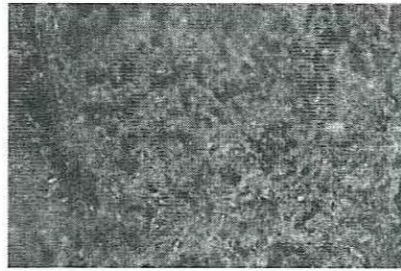
아크릴계수지로 코팅한 면을 200배의 배율로 코팅막의 표면을 관찰 한 결과 시편의 표면 상태가 균일하지 않고 빛의 반사가 심해 왁스계수지에 비해 높은 광택을 가짐을 알 수 있다. 그러나 200시간 경과 후부터 서서히 표면광택을 잃으며 부분적인 부식생성물을 보이다 1,000시간 경과 후 B-72는 표면의 광택이 사라지고 전체적으로 붉은 녹이 발생하여 부식이

진행되고 있음을 알 수 있다. 이유를 유추해 본 결과 이는 코팅재를 처리할 때 휘발성 용매사용과 낮은 농도, 그리고 흘러내리는 여분의 용액을 닦아 낸 것이 원인으로 파악된다. NAD-10은 B-72와 같은 농도지만 부식 상태를 관찰한 결과 국소적으로 부식물이 생성되어 있었으며 이는 B-72에 비해 매우 적은 양이다. 따라서 야외 환경조건에서는 B-72에 비해서 NAD-10이 더 내구성이 강한 재료임을 알 수 있다. 아크릴수지는 코팅시 표면 색상 변화가 적은편이고 부식층의 위에 코팅 처리를 한 상태라 코팅 전과 후의 색의 변화가 적은 편이지만 실제 표면에서는 가장 많은 부식물이 생성됨을 표면 관찰을 통해 파악할 수 있다.<그림 43~52>

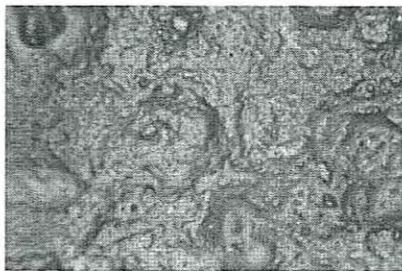
고무계 코팅재 가운데 하나인 Electra-Coat로 코팅한 면의 외관 코팅상태는 NAD-10의 코팅 상태와 미우 흡사하다. 표면에 광택이 심하나 백화현상과 같은 변화는 없으며 노화되면 광택이 점차 사라지며 국부적인 부식이 생기는 상태로 보아 아크릴계수지와 비슷한 손상상태를 보임을 알 수 있다. <그림 57, 58>



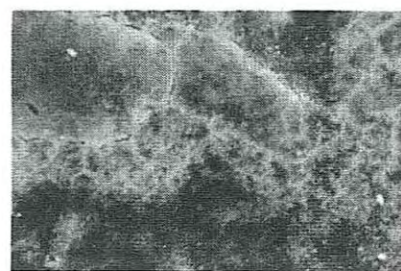
<그림 41> 녹제거 내후성 시험 전 실체현미경 사진



<그림 42> 녹제거 내후성 시험 후 실체현미경 사진



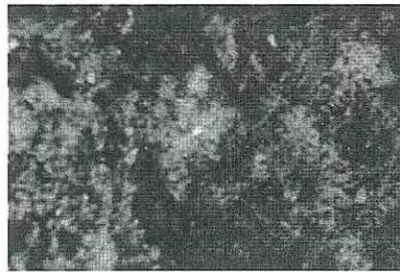
<그림 43> MCC 내후성 시험 전 실체현미경 사진



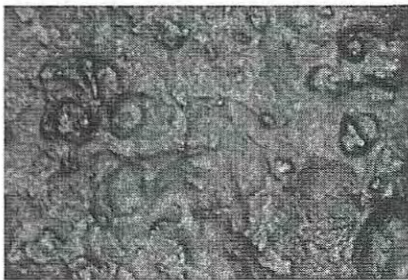
<그림 44> MCC 내후성 시험 후 실체현미경 사진



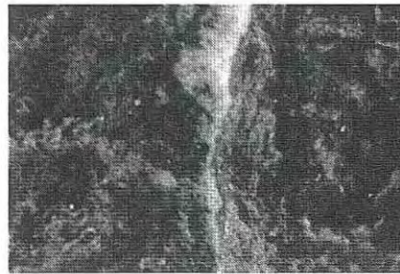
<그림 45> MC 분무 내후성 시험 전
실체현미경 사진



<그림 46> MC 분무 내후성 시험 후
실체현미경 사진



<그림 47> MC 일반형 내후성 시험 전
실체현미경 사진



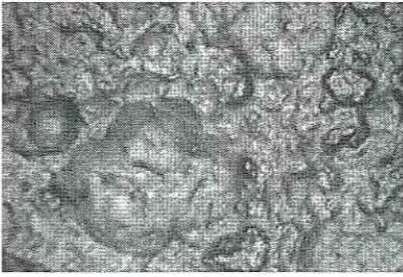
<그림 48> MC 일반형 내후성 시험
후 실체현미경 사진



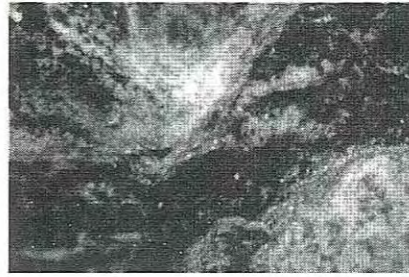
<그림 49> MC 고온형 내후성 시험 전
실체현미경 사진



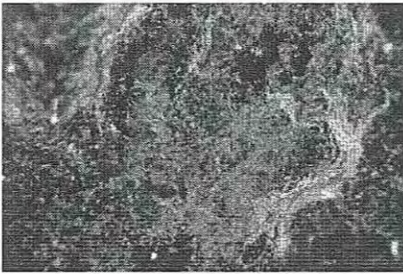
<그림 50> MC 고온형 내후성 시험
후 실체현미경 사진



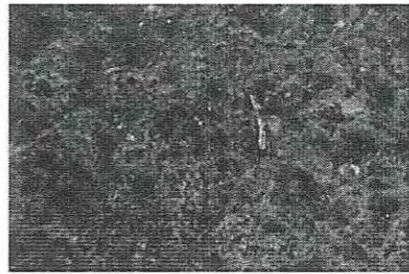
<그림 51> MCC+MC 내후성 시험 전 실체현미경 사진



<그림 52> MCC+MC 내후성 시험 후 실체현미경 사진



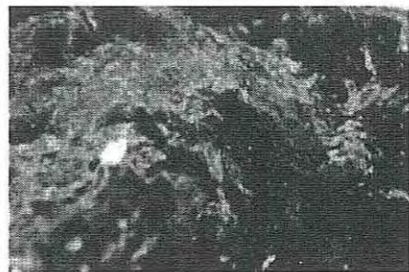
<그림 53> B-72 내후성 시험 전 실체현미경 사진



<그림 54> B-72 내후성 시험 후 실체현미경 사진



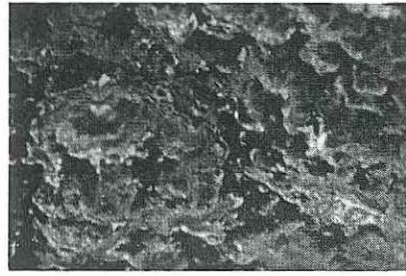
<그림 55> NAD-10 내후성 시험 전 실체현미경 사진



<그림 56> NAD-10 내후성 시험 후 실체현미경 사진



<그림 57> Electra-Coat 내후성 시험 전 실체현미경 사진



<그림 58> Electra-Coat 내후성 시험 후 실체현미경 사진

(2) 전자현미경 관찰

본 연구에서는 사용된 코팅재의 노화형상 및 표면 원소 분석을 위해 SEM-EDS 분석을 실시하였으며 SEM관찰을 위한 전처리 과정으로 Ion sutter를 이용하여 시편 표면에金を 증착하였다.⁴³⁾ 내후성 시험 전과 1,000시간 경과 후 내후성 시험 후의 변화를 500배의 배율로 관찰하였다.

녹제거 시편의 경우에는 SEM의 경우 부식 전과 후의 표면 상태의 큰 변화는 없으나 조금 더 미세한 분말형태의 부식물이 전체적으로 더 생성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 수산화철계열의 부식생성물이 발생되고 있다고 생각해 볼 수 있으며 수분이 있는 환경조건에서는 수분을 차단해 주는 코팅재가 없다면 부식반응은 계속 촉진되어 문화재에 지속적인 손상을 입힐 것을 예상할 수 있다.<그림 59~62>

MC 분무를 제외한 왁스계수지로 코팅시편은 코팅면이 내후성 시험 전에는 조직이 균일한 침상(針狀)의 결합 형태가 발견되었다. 그러나 MC 분무의 경우에는 왁스가 덩어리로 시편 표면에 부착되어 있는 것이 관찰되었다. 이것은 가열을 하여 표면에 적용한 시편은 균일한 상태로 코팅되지만 분무의 경우는 왁스의 점착력으로 일시적으로 표면에 존재한다는 것을 알 수 있다. 그리고 내후성 시험 후에 조직이 균일한 결합형태가 아닌 변형된 상태로 관찰되었다. 이는 내후성 시험조건에서 왁스의 조직에 변

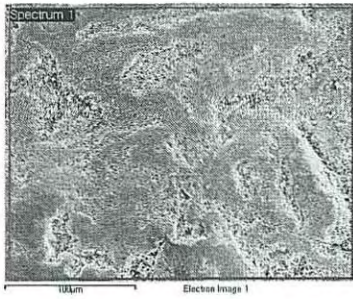
43) 金を 증착한 이유는 부도체에 전기가 통하도록 해 주며 또한 도체, 부도체 모두 불순물을 제거하기 위해 사용되고 시료 표면에 전하가 축적되는 것을 방지하고 2차전자의 발생량을 증대시켜 좋은 화상을 얻기 위해서다.

화가 생겼음을 알 수 있다. 이 결과와 관련 된 EDS 분석결과를 살펴보면 MC 분무를 제외하고는 높은 탄소수치를 보였다. 탄소는 철에 포함되어 있는 재료이기도 하지만 코팅재의 주 구성원소이다. 따라서 MC 분무를 제외하고는 왁스계수지는 표면에서 치밀하게 코팅되며 내후성 시험 후에는 조직이 변화함을 알 수 있다.<그림 63~82>

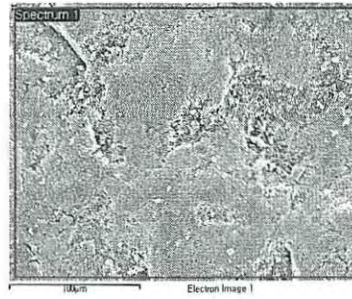
아크릴계수지로 코팅한 면의 경우 내후성 시험 전의 시편은 B-72와 NAD-10 모두 일정한 코팅층이 형성되어 있는 것이 관찰되었다. B-72는 내후성 시험 후 코팅층이 손상되어 부식생성물이 노출된 상태로 관찰되었다. EDS 분석결과 탄소수치가 내후성 시험 후에는 매우 감소하였으며 철수치는 내후성 시험 전·후 모두 높은 상태이므로 내후성 시험 환경에서는 5%의 농도는 적합하지 않음을 알 수 있다. NAD-10의 경우는 동일한 5%의 농도였지만 B-72에 비해 코팅막이 많이 남아있는 것이 관찰되었다. 이는 위의 실체현미경 결과와 비슷한 것으로 야외 환경에서는 B-72보다는 NAD-10의 효과가 더 뛰어나며 B-72로 코팅할 때에는 농도를 더 강하게 할 필요성이 있다고 판단된다.<그림 83~90>

고무계수지인 Electra-Coat도 아크릴계수지와 비슷한 관찰 및 분석결과를 나타내고 있다. 내후성 시험 전의 시편은 수지 코팅으로 인해 표면에 코팅막이 형성되어 있는 것이 관찰되었다. 그러나 내후성 시험 후에는 아크릴계수지에 비해 코팅막이 많이 안정한 상태임이 관찰되었다. 이는 야외 환경에서 고무계수지는 아크릴계수지에 비해 내구성이 강하다는 것을 알 수 있다.

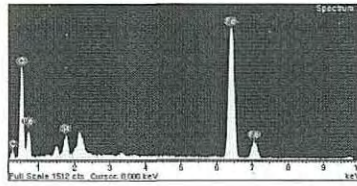
<그림 91~94>



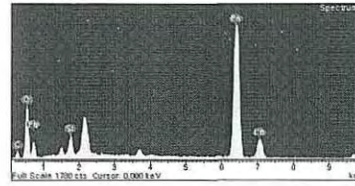
<그림 59> 녹제거 내후성 시험 전 SEM 사진



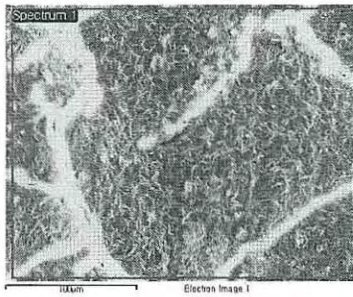
<그림 60> 녹제거 내후성 시험 후 SEM 사진



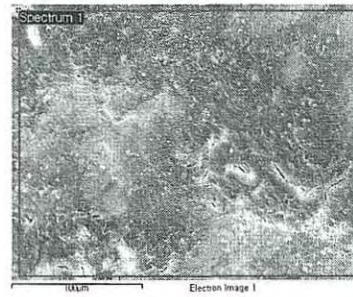
<그림 61> 녹제거 내후성 시험 전 EDS 분석결과



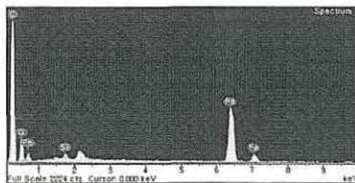
<그림 62> 녹제거 내후성 시험 후 EDS 분석결과



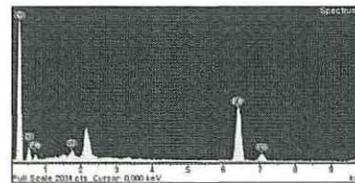
<그림 63> MCC 내후성 시험 전 SEM 사진



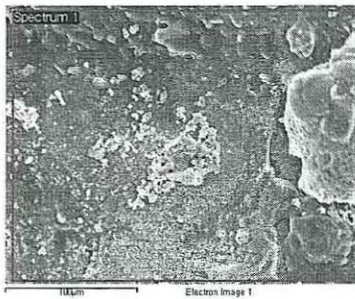
<그림 64> MCC 내후성 시험 후 SEM 사진



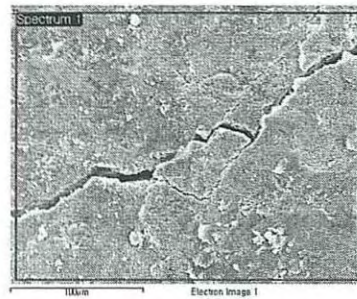
<그림 65> MCC 내후성 시험 전 EDS 분석결과



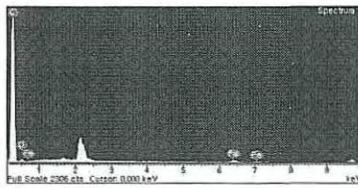
<그림 66> MCC 내후성 시험 후 EDS 분석결과



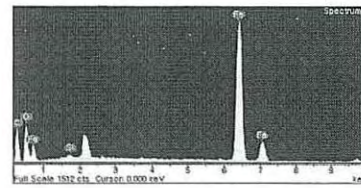
<그림 67> MC 분무 내후성 시험 전 SEM 사진



<그림 68> MC 분무 내후성 시험 후 SEM 사진



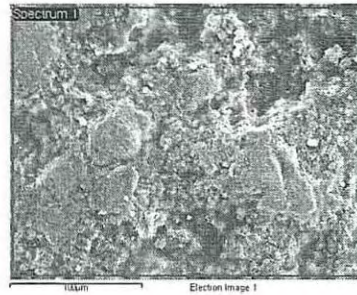
<그림 69> MC 분무 MC 내후성 시험 전 EDS 분석결과



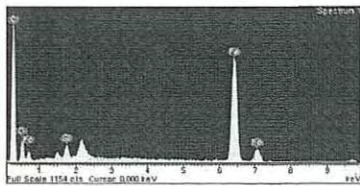
<그림 70> MC 분무 내후성 시험 후 EDS 분석결과



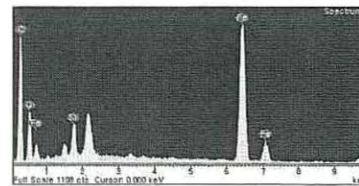
<그림 71> MC 일반형 내후성 시험 전 SEM 사진



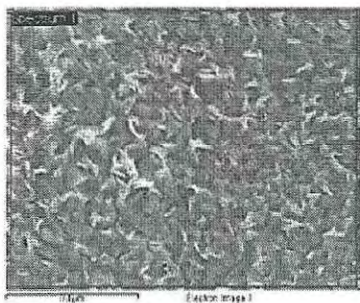
<그림 72> MC 일반형 내후성 시험 후 SEM 사진



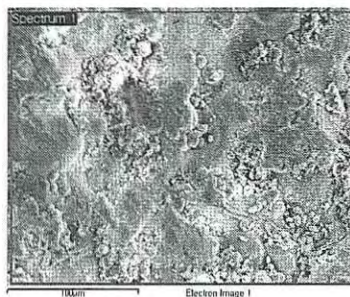
<그림 73> MC 일반형 내후성 시험 전 EDS 분석결과



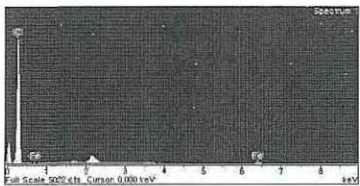
<그림 74> MC 일반형 내후성 시험 후 EDS 분석결과



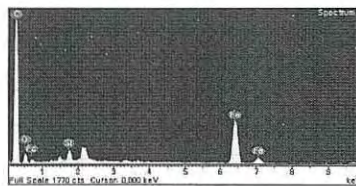
<그림 75> MC 고온형 내후성 시험 전 SEM 사진



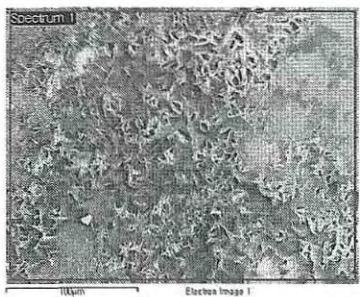
<그림 76> MC 고온형 내후성 시험 후 SEM 사진



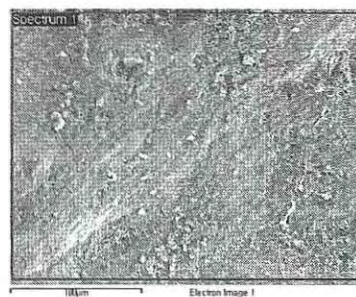
<그림 77> MC 고온형 MC 내후성 시험 전 EDS 분석결과



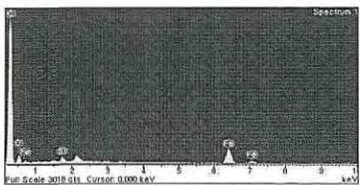
<그림 78> MC 고온형 MC 내후성 시험 후 EDS 분석결과



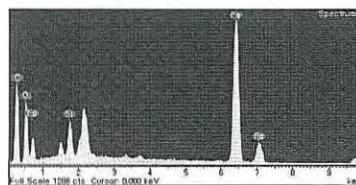
<그림 79> MCC+MC 내후성 시험 전 SEM 사진



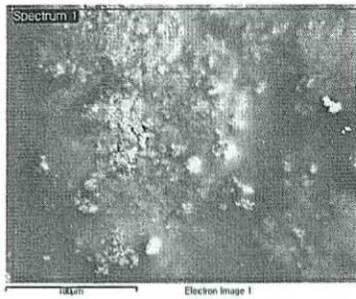
<그림 80> MCC+MC 내후성 시험 후 SEM 사진



<그림 81> MCC+MC 내후성 시험 전 EDS 분석결과



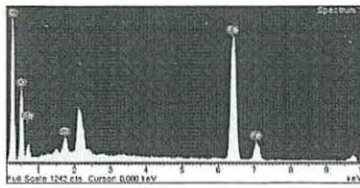
<그림 82> MCC+MC 내후성 시험 후 EDS 분석결과



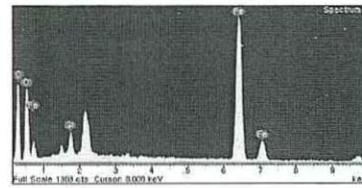
<그림 83> B-72 내후성 시험 전 SEM 사진



<그림 84> B-72 내후성 시험 후 SEM 사진



<그림 85> B-72 내후성 시험 전 EDS 분석결과



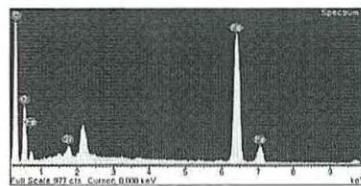
<그림 86> B-72 내후성 시험 후 EDS 분석결과



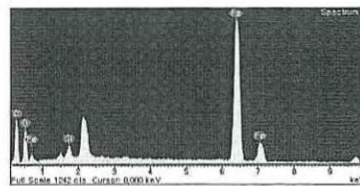
<그림 87> NAD-10 내후성 시험 전 SEM 사진



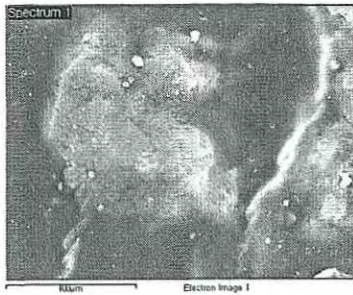
<그림 88> NAD-10 내후성 시험 후 SEM 사진



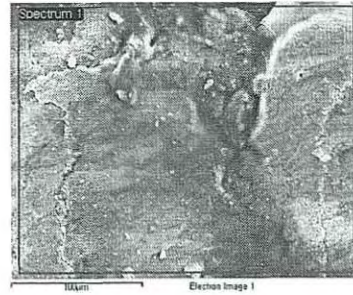
<그림 89> NAD-10 내후성 시험 전 EDS 분석결과



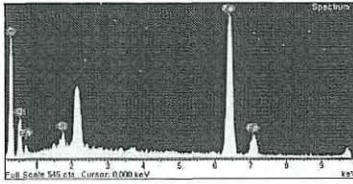
<그림 90> NAD-10 내후성 시험 후 EDS 분석결과



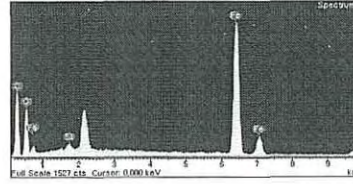
<그림 91> Electra-Coat 내후성 시험 전 SEM 사진



<그림 92> Electra-Coat 내후성 시험 후 SEM 사진



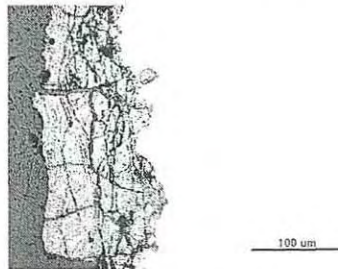
<그림 93> Electra-Coat 내후성 시험 전 EDS 분석결과



<그림 94> Electra-Coat 내후성 시험 후 EDS 분석결과

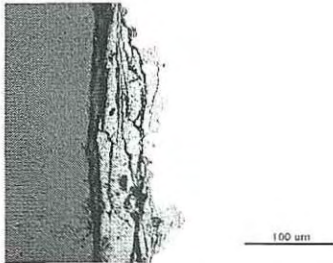
(3) 금속현미경 관찰

내후성 시험 시편이 시간변화에 따라 재료별 코팅막의 두께와 내후성 시험 후의 코팅막 두께 변화 정도를 금속현미경을 이용하여 관찰하였다. 먼저 시편을 고정하였으며 열에 의한 코팅막의 손상을 최소화하기 위해 쿨드마운팅재료를 하였고 관찰을 위해 표면연마를 실시하였다. 관찰배율은 200배이다.

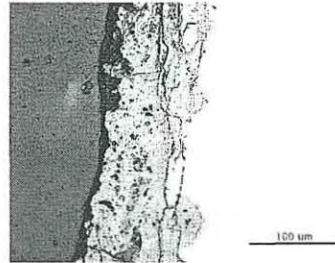


<그림 95> 녹제거 내후성 시험 전 금속현미경 사진

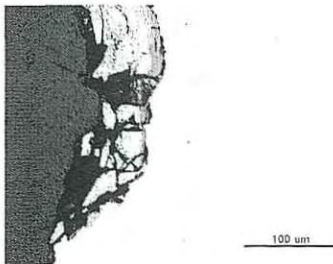
시편의 촬영부분을 살펴보면 가장 왼쪽이 시편고정용 수지층, 그다음 부분이 부식층이며 사진의 오른쪽에서 희게 보이는 부분이 소지 금속인 철이다. 이렇게 관찰되는 이유는 시편고정 후 연마된 표면은 조직을 나타내지 않고 그 곳에 빛이 닿으면 거의 균일하게 반사되기 때문이다. 그래서 에칭을 시켜 표면의 변화를 일으킨 후 현미경으로 관찰하는 것이 보통인데 이 경우에는 코팅막 및 부식층의 관찰이 목적이므로 그 과정은 생략하였다. 먼저 녹제거 시편을 고정하여 내후성 전의 부식층을 금속현미경으로 관찰하였다. 녹제거 시편 사진은 부식층의 두께를 관찰할 수 있는데 촬영한 부분은 비교적 부식층이 많이 남은 부위였으며 녹을 제거하고 나면 소지 금속에 남은 녹 층의 두께는 약 $100\mu\text{m}$ 내외임을 알 수 있다. <그림 95>



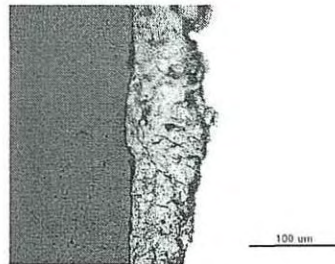
<그림 96> MCC 내후성 시험 전 금속현미경 사진



<그림 97> MCC 내후성 시험 후 금속현미경 사진



<그림 98> MC 분무 내후성 시험 전 금속현미경 사진



<그림 99> MC 분무 내후성 시험 후 금속현미경 사진



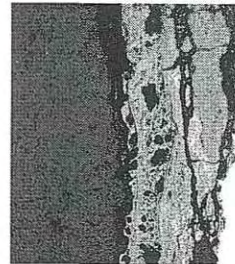
<그림 100> MC 일반형 내후성 시험 전 금속현미경 사진



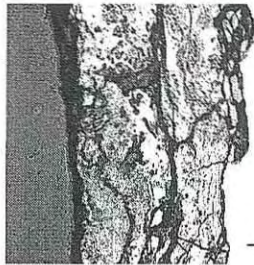
<그림 101> MC 일반형 내후성 시험 후 금속현미경 사진



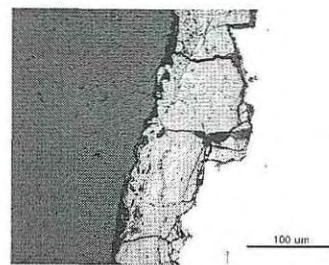
<그림 102> MC 고온형 내후성 시험 전 금속현미경 사진



<그림 103> MC 고온형 내후성 시험 후 금속현미경 사진



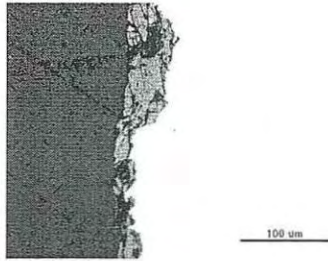
<그림 104> MCC+MC 내후성 시험 전 금속현미경 사진



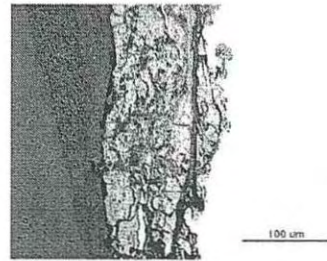
<그림 105> MCC+MC 내후성 시험 후 금속현미경 사진

왁스계수지로 코팅한 시편의 경우 적용방법은 모두 다르지만 왁스는 일정한 두께의 코팅막을 형성함을 알 수 있다. MC 분무는 $10\mu\text{m}$ 의 매우 얇은 코팅막으로 코팅되고 MCC, MC일반형, MC 고온형은 코팅막이 약 $15\sim 30\mu\text{m}$ 정도의 두께로 코팅된다. 내후성 시험이 동일한 부위가 아니라 확연한 비교치로 결론을 내리기는 어려우나 부분적으로 내후성 시험 후에는

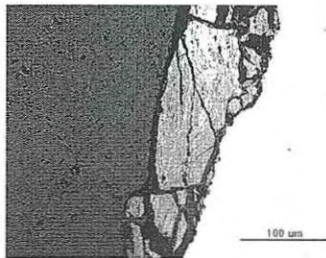
코팅막이 얇아진 부위가 발견되었다. 그러나 두께 변화 정도가 미세하므로 내후성 시험은 재료를 노화시켜 표면의 상태를 변화시키나 코팅막의 두께에는 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.<그림 96~105>



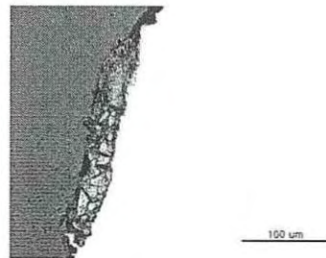
<그림 106> B-72 내후성 시험 전 금속현미경 사진



<그림 107> B-72 내후성 시험 후 금속현미경 사진



<그림 108> NAD-10 내후성 시험 전 금속현미경 사진

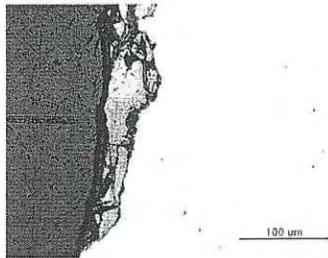


<그림 109> NAD-10 내후성 시험 후 금속현미경 사진

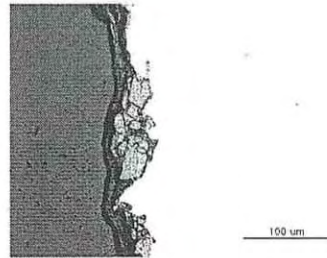
아크릴계수지는 내후성 시험 전의 B-72 코팅 시편의 경우에는 용매의 휘발, 낮은 농도 등이 이유가 되어 부분적으로 코팅막이 형성되지 않거나 코팅재가 방울로 맺혀 있는 부위가 관찰되었다. 이 부분은 일부분에서 관찰되었지만 적용방법상의 문제로 국부적인 코팅막 손실을 일어난 것이며 이 경우에는 야외 문화재에 적용하는 것이기 때문에 기관차에 적용하는 것은 위험성이 따른다. 따라서 코팅재 적용할 때 분무 횟수를 증가 시키거나 농도를 높게 하는 방법을 연구하여 표면에 균일하고 손상 없는 코팅 방법의 연구가 필요하다고 사료된다. 또한 보통 여분의 코팅재를 흡습지로 제거하거나 입체적인 물체에 코팅 할 경우 코팅재의 흘러내림으로 인한 부분적 손실 또한 생각하여 처리해야 할 것으로 예상된다. 또한 이러

한 불량 코팅 처리 때문에 부분적으로 부식이 생성된 것을 관찰 할 수 있다. NAD-10의 경우에는 B-72보다는 균일하고 두꺼운 코팅막을 형성하고 있어 같은 농도일 때는 B-72보다는 NAD-10이 훨씬 균일한 코팅막의 상태를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 내후성 시험 후에는 코팅층 사이로 부식인자가 침투하여 코팅막의 들뜸 현상이 관찰되었고 이 현상은 B-72와 NAD-10에서 모두 관찰되었다. 따라서 아크릴계수지는 5%의 농도로 야외 문화재에 적용하는 것은 어려울 것으로 보인다.<그림 106~109>

마지막으로 고무계수지의 코팅막은 내후성 시험 전에는 아크릴계수지의 NAD-10의 코팅막형태와 비슷하나 좀 더 균일하고 10 μ m 이상의 두껍고 균일한 코팅막을 형성함을 알 수 있다. 내후성 시험 전·후의 코팅막두께에는 변화가 크게 없는 것으로 나타났다.<그림 110~111>



<그림 110> Electra-Coat 내후성 시험 전 금속현미경 사진



<그림 111> Electra-Coat 내후성 시험 후 금속현미경 사진

3. 색도변화 측정

어느 재료를 코팅하더라도 코팅한 후 표면의 색이 코팅 전과 완벽히 동일한 경우는 없다. 보통 문화재에 투명한 수지를 적용하면 원색보다 조금 진하고 어둡게 변한다. 또한 재료별 특성으로 약간의 광택도 가지게 된다. 그래서 이 실험에서 중요한 것은 코팅재 적용 전·후와 내후성 시험 전·후에도 색의 변화가 가장 적은 코팅재를 찾는 것이다.

따라서 내후성 시험 전·후의 색변화 정도로 코팅재가 노화할 때 변하는 색차를 중점적으로 관찰하였다. 그 결과는 보존처리의 수명과 재처리 시기를 파악하는 것에 도움을 줄 것이다. 왁스계, 아크릴계 고무계수지로

시편을 코팅한 후 내후성 시험 전·후로 총 3지점을 측정한 후 평균한 결과를 반영하였다. 측정은 JIS Z 8722, DIN 5033 teil7, ISO 7724/1 ASTM E1164에 기준한 분광측색계를 이용하였다. 그 결과는 재료별로 내후성 전과 내후성 1,000시간 후로 나누어 각각 <표15>에 나타났다.

여기에서 L은 밝기를, +L은 Lighter, -L은 Darker +a는 Red, -a는 Green, +b는 Yellow, -b는 Blue의 정도를 나타내는 지수이다.

내후성 시험 전의 색 변화 정도를 살펴보면 코팅재를 이용하여 처리한 시편은 L값의 미세한 증가와 a, b값의 미세한 감소변화를 알 수 있다. 그리고 코팅재를 적용할 때에는 왁스계수지와 고무계수지보다 아크릴계수지의 변화정도가 가장 적게 나타났다..

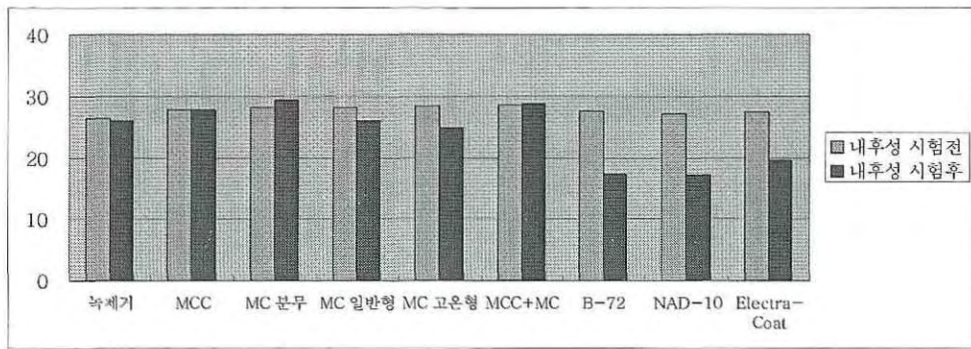
내후성 시험 후의 계열별 수지의 변화 정도를 보면 코팅 후에는 왁스계수지의 변화 정도는 적은 편이나 아크릴계수지와 고무계수지의 변화 정도는 큰 편이다. 전체적으로 내후성 시험 후에는 밝기가 감소하였다.<그림 112>

그리고 a값의 증가는 Red 색의 증가를 뜻하며 b값의 증가는 Yellow 색의 증가를 뜻하는데 이 색은 모두 부식생성물의 색이다. 따라서 이 값들이 증가한 것은 시편에서 부식이 진행되었음을 뜻한다. 녹제거 시편의 경우 부식이 진행되어 두 값이 모두 크게 증가하였으며 MC 분무와 B-72, NAD-10의 시편에서도 a값과 b값이 많이 증가하였다. 왁스계수지에서는 MC분무가 MCC, MC일반형, MC 고온형에 비해 높은 값으로 증가한 것을 알 수 있다.<그림 113~114>

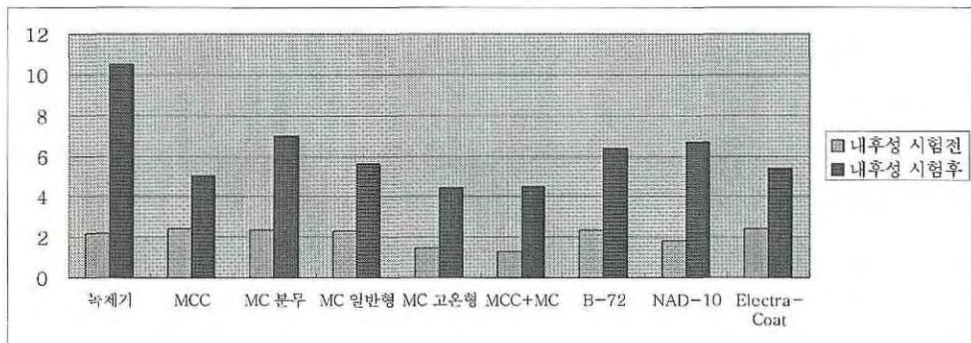
따라서 코팅 당시에는 아크릴수지의 색 변화정도가 적어 가장 변색이 적은 코팅재이지만 외부 환경에서는 철 부식물이 생성되어 색 변화가 심해지므로 야외에 노출된 환경에서 전시될 문화재의 경우는 왁스계 수지의 사용이 적합하다고 보인다.

<표 15> 내후성 시험 전·후 색차수치 비교

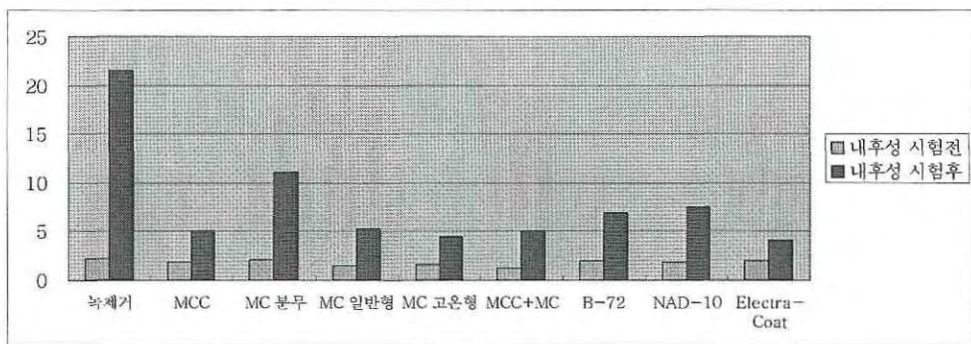
시편명 \ 조건	값	내후성 시험 전	내후성 시험 후	변화 정도
녹제거	L	26.50	25.92	-0.58
	a	2.17	10.54	8.37
	b	2.16	21.55	19.39
MCC	L	27.88	27.70	-0.18
	a	2.42	5.04	2.62
	b	1.90	5.03	3.13
MC 분무	L	28.27	29.28	1.01
	a	2.38	6.96	4.58
	b	2.13	11.14	9.01
MC 일반형	L	28.26	25.96	-2.30
	a	2.33	5.64	3.31
	b	1.47	5.31	3.84
MC 고온형	L	28.39	20.83	-7.56
	a	1.47	4.46	2.99
	b	1.63	4.42	2.79
MCC+MC	L	28.51	28.77	0.26
	a	1.29	4.52	3.23
	b	1.24	5.10	3.86
B-72	L	27.66	17.29	-10.37
	a	2.36	6.38	4.02
	b	2.00	6.86	4.86
NAD-10	L	27.16	17.19	-9.97
	a	1.84	6.69	4.85
	b	1.90	7.54	5.64
Electra-Coat	L	27.38	19.57	-7.81
	a	2.40	5.37	2.97
	b	1.93	4.02	2.09



<그림 112> 내후성 시험 전·후 L값 비교



<그림 113> 내후성 시험 전·후 a값 비교



<그림 114> 내후성 시험 전·후 b값 비교

4. 수분 접촉각 변화 측정

내후성 시험 전과 후의 수분 접촉각을 측정하여 발수력의 차이를 파악하기 위하여 측정을 실시하였다. 내후성 시험 전 시편과 내후성 시험 후의 시료 표면의 코팅막 위에 물방울을 떨어뜨려 물방울의 각을 측정하여 적용한 코팅재의 수분 접촉각을 측정하였다.

특정 액체를 고체 표면에 떨어뜨리면 떨어진 액체입자의 모양은 3가지 힘에 의한 균형에 의해 모양을 이룬다. 수분 접촉각의 측정원리는 일정한 양의 물방울이 소수성을 띄고 있는 고체 표면을 적시지 못한다. 이러한 물방울의 모양은 표면 자유에너지에 의해 결정된다. 이와 같이 3가지 계면에 의해 어떤 고체 위에 형성된 액체 방울이 평형인 상태에 도달했을 때 액체 방울이 기체 및 고체와 접한 위에서 액면을 따라 그은 점선과 고체 사이의 각도를 접촉각이라고 말한다.⁴⁴⁾

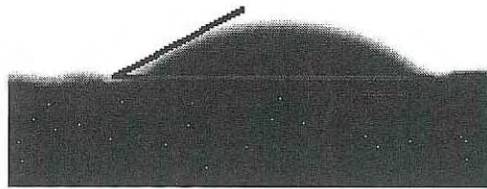
일반적으로 표면 장력이 큰 액체일수록 접촉각은 커지고 또 접촉각이 클수록 액체를 튀기는 성질이 크다. 액체가 물인 경우 매끄러운 고체 표면에서 접촉각이 100을 넘으면 물은 약간 쌓여 그 표면에서 쉽게 흘러 떨어진다.⁴⁵⁾

<표 16> 내후성 시험 전·후 수분접촉각 비교

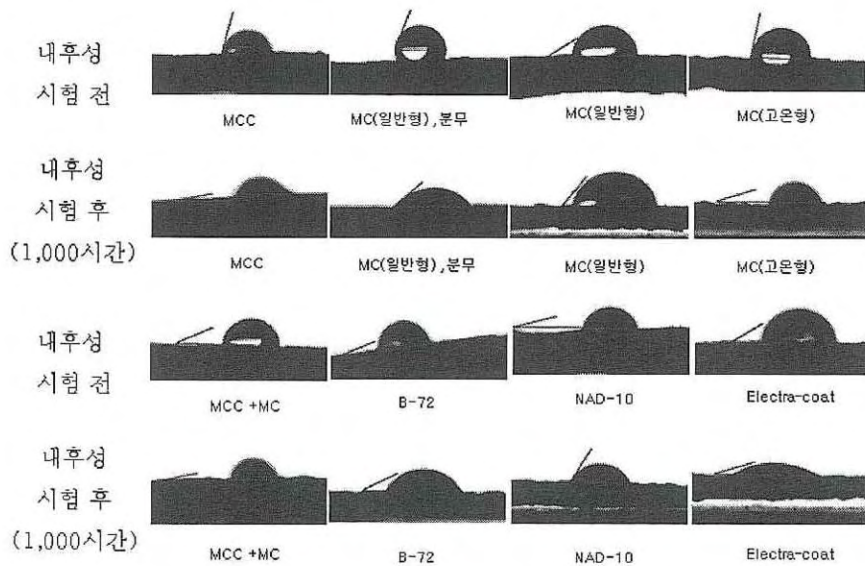
시편명 조건	MCC	MC 분무	MC 일반형	MC 고온형	MCC +MC	B-72	NAD -10	Electra -Coat
내후성 시험 전	54.65	64.92	56.71	54.9	49.77	32.49	38.29	53.65
내후성 시험 후	28.65	45.83	37.78	52.54	23.03	23.97	24.59	23.55
변화 정도	26	19.09	18.93	2.36	26.74	8.52	13.7	30.1

44) 강효필, 「왁스계 발수제의 내열성 향상에 관한 연구」, 석사학위논문, 1999

45) 심수미, 「실란계 침투성 흡수방지재를 이용한 콘크리트 표층면 내구성능에 관한 연구」, 학위논문(석사), 2001



<그림 115> 녹제거 시편 수분 접촉각 사진



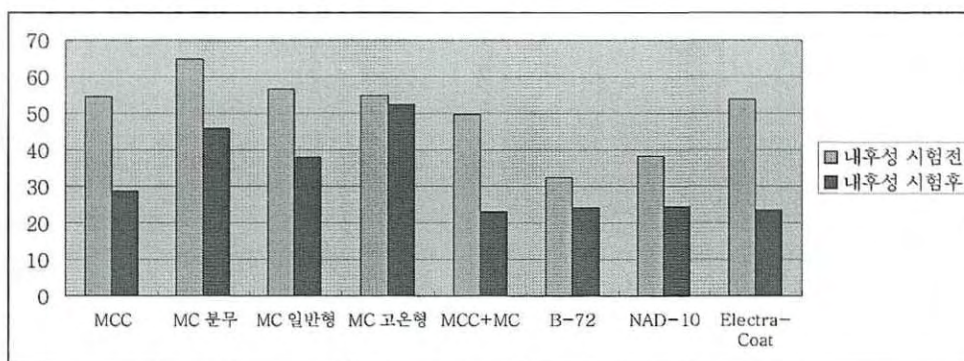
<그림 116> 내후성 시험 전 · 후 수분접촉각 사진

녹제거 시편의 접촉각을 볼 때 별도의 보호 코팅 처리를 하지 않으면 수분을 흡수하여 부식에 영향을 미치므로 보호 코팅 처리를 하는 것이 철 제문화제에는 좀 더 수명을 연장시키는 것이라고 볼 수 있다.

이와 관련하여 재료별 접촉각 결과를 살펴보면 왁스계수지는 MC 분무가 코팅 당시에는 가장 높은 값을 나타냈고 내후성 시험 후에는 MC 고온형이 가장 높은 값을 나타냈다. 가장 낮은 접촉각을 나타낸 시편은 내후성 시험 전·후 모두 MCC+MC로 나타났다.

아크릴수지의 경우에는 B-72와 NAD-10 모두 내후성 시험 전·후로 접촉각의 정도가 낮았으며 그 이유는 수지의 낮은 농도로 큰 발수력을 가지지 못하는 것으로 보인다. 이 결과는 코팅단면의 관찰과도 연결하여 볼 수 있는 부분인데 형성된 코팅막이 얇거나 국소적으로 코팅막이 없는 부위가 발생하여 일반 녹제거 시편과 비슷한 접촉각을 나타내는 것으로 생각된다. 그리고 고무계수지는 내후성 시험 전에는 비교적 높은 발수력을 가지나 시험 후에는 재료의 노화로 인해 많은 수치가 감소함을 알 수 있다.

따라서 내후성 시험 전·후의 접촉각은 재료의 노화로 인해 변화하며 발수력 효과를 잃게 됨을 알 수 있다. 따라서 실험한 재료 가운데 야외 환경에서 가장 발수력이 강한 계통의 수지는 왁스이며 그 가운데 MC 고온형이 변화 정도가 가장 적어 코팅재로 적용하기에 가장 좋은 것으로 나타났다. 가장 낮은 수지는 아크릴수지로 5% 농도로 적용하는 것은 큰 효과를 가지지 못한다는 것을 알 수 있다. <표 16>, <그림115~117>



<그림 117> 내후성 시험 전·후 수분접촉각 비교

V. 결론

야외 철제문화재 사용에 적합한 코팅재를 찾기 위해서 근대문화유산 가운데 하나인 경의선장단역증기기관차 시편에 여러 가지 재료를 사용하여 코팅 처리를 한 후 내후성 시험을 진행한 결과 야외 환경에서는 녹제거를 한 뒤 코팅 처리를 하지 않으면 각종 부식조건 하에 노출되어 부식이 촉진되므로 문화재의 수명 연장을 위해서도 코팅 처리를 하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

왁스계로 코팅한 시편의 경우 MCC는 400시간 후부터 표면 상태가 변화하기 시작되었으나 MC(일반형, 고온형)는 800시간 경과 후에 표면 상태가 변화하였다. 표면 상태의 변화란 부식물의 발생 및 코팅재의 노화로 인한 육안 변화와 색도변화 및 수분 점촉각의 변화 정도를 말한다. MC 분무의 경우는 내후성 시험 후 표면이 쉽게 변화하였다. 이것은 가열하여 적용한 미정질왁스와는 다른 결과를 나타낸다. 그 이유는 헵탄에 녹은 왁스의 입자가 열을 이용하여 표면에 코팅한 입자보다 크기가 커 손상조건이 코팅막에 보다 쉽게 침투하여 재료의 노화를 촉진시킨 것으로 추정된다. 그러나 추가시험 결과 왁스를 분무한 후 가열한 시편은 가열한 시편과 비슷한 결과를 나타내므로 왁스를 적용할 때는 가열법을 사용하는 것이 가장 안정한 효과를 나타낼 수 있다. MCC+MC의 경우는 MCC와 유사한 노화 상태를 나타내었다. 표면의 색변화 및 코팅막의 노화 상태도 400시간 정도로 동일하였으며 그 이유는 MCC의 영향으로 생각되며 MCC에 혼합된 물질 중 쉽게 변색을 일으키는 재료가 있는 것으로 추정된다. 따라서 MCC의 경우에는 MC에 비해 쉽게 백화되므로 기관차에 적용하는 것은 적합하지 않은 것으로 사료된다.

아크릴계수지는 B-72와 NAD-10 모두 내후성 시험 조건에서 너무 쉽게 표면 상태가 변화하므로 5%의 농도로는 야외 철제문화재에 적용하는 것에는 무리가 있다. 그러나 더 높은 농도로 코팅 처리하면 문화재의 원색을 해치기 때문에 아크릴계수지는 야외 철제문화재에는 적합하지 않다고 볼 수 있다. 그리고 고무계수지 역시 농도의 조절이 어렵고 내후성 시

험 결과에 비해 광택이 심해 기관차에 적용하는 것은 어려울 것으로 보인다.

제논아크 램프에 노출된 면과 노출되지 않은 뒷면의 상태가 다른 것으로 보아 코팅재의 주 손상원인은 태양광(자외선)과 수분 및 온도변화에 큰 영향을 받아 노화하는 것으로 판단되며 이는 야외에 노출되어 있더라도 보호각과 같이 태양광과 비에 대해 직접적인 영향을 받지 않는 조건이라면 코팅재의 수명이 길어져 문화재 보존수명이 길어져 긍정적인 영향을 줄 것으로 예상된다.

따라서 실험결과를 종합하여 볼 때 실험한 재료 가운데는 야외 환경에서 미정질왁스가 가장 내후성이 강한 코팅재로 해석되며 기관차의 경우에는 미정질왁스 가운데 MC 고온형을 사용하여 코팅하는 것이 가장 좋을 것으로 보인다.

《참고문헌》

<단행본과 보고서>

- 김주삼, 『문화재의 보존과 복원』, 책세상, 2001.
- 문화재청, 『한국의 근대문화유산, 가려 뽑은 등록문화재 30선』, 문화재청 근대문화재과, 2004.
- 안병찬, 이재봉, 도춘호, 이상진, 「복원기술 및 재료 안정성 평가;탈염처리제 및 기술의 안정성 평가 기법 개발」, 경주대학교 산학협력단, 2007.
- 이오희, 『문화재 보존과학』, 주류성출판사, 2008.
- 임우조, 양학희, 인현만, 이진열, 『부식과 방식』, 원창출판사, 1996.
- (재)포항산업과학연구원, 「장단역 증기기관차 화통 보존처리」, 2007.
- 청주시, 「용두사지철당간 안전진단 및 보존처리 학술연구용역 보고서」, 청주대학교, 1999.
- 俯瀬川健藏, 『왁스의 성질과 응용』, 동화기술, 2008.

<논문>

- 곽홍인, 「금속유물 강화용 아크릴수지 수명예측」, 석사학위논문, 경상대학교 대학원 고분자공학과, 2008. 8
- 권정순, 「철기문화재에 사용되는 접착재료의 접착특성 연구」, 문학석사학위논문, 경주대학교 대학원 문화재학과, 2007.6.
- 김광범, 「금속의 대기부식」, 한국강구조학회, 1996.
- 김성길, 「3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane 변성 아크릴수지의 합성과 초내후성 실리콘/아크릴수지 도료의 도막물성」, 박사학위논문, 명지대학교 대학원 화학공학과, 1998.
- 김영성, 「옥외용 고분자 절연재료의 자외선 열화특성 연구」, 석사학위논문, 금오공과대학교 산업대학원 재료공학과, 1998.
- 김정구, 「내후성 강재의 산성비 분위기에서 부식특성에 관한 연구」, 한국학술진흥재단 KRF연구결과논문.

- 서정일, 「크세논 램프에 노출된 복합레진의 색조변화」, 석사학위논문, 조선대 대학원 치의학과, 2003.2.
- 심대섭, 「촉진내후성 시험에 의한 PVC 물성에 미치는 안료의 영향」, 석사학위논문, 한양대학교 산업대학원 화공재료전공, 1991.
- 신상미, 「열방성 액정 고분자의 열분해 거동 및 촉진 열화시험에 의한 내구성 평가」, 석사학위논문, 한양대학교 대학원 섬유고분자공학, 2007. 2.
- 서영옥, 「박리형 아크릴계점착제의 성능에 관한 연구」, 석사학위논문, 동아대학교 산업대학원 화학공학과, 1995. 8.
- 심수미, 「실란계 침투성 흡수방지재를 이용한 콘크리트 표층면 내구성능에 관한 연구」, 석사학위논문, 서울산업대학교 산업대학원, 2001.
- 박상호, 「옥외절연용 실리콘 고무의 경년열화 특성에 관한 연구」, 석사학위논문, 연세대학교 산업대학원 전기공학 전공, 2000. 8.
- 박수정, 「고무화합물 표면의 화학적 특성에 미치는 내후성 시험의 영향」, 석사학위논문, 숭실대학교 대학원 화학과, 2003.
- 박혜진, 「야외금속 코팅재료의 특성과 차단효과성에 관한 연구」, 석사학위논문, 한서대학교 대학원 문화재보존학과, 2006. 8.
- 이상용, 「자외선 처리로 인한 야외용 폴리머 절연재료의 표면 열화 메카니즘 분석」, 석사학위논문, 인하대학교 대학원 전기공학과 전기 에너지 및 재료전공, 2002.
- 안승호, 「내후성강재의 부식특성에 관한 연구」, 석사학위논문, 성균관대학교 대학원 금속재료공학과 금속전공, 1997. 8.
- 연복희, 「표면특성 분석을 통한 전력용 실리콘 절연재료의 열화기구 해석」, 인하대학교 대학원, 2003.
- 신은호, 「인공 가속 내후성 시험 장치의 종류와 차이점」, 『기술표준』. 통권 제55호, 2006.
- 조찬행, 「초속경화 폴리우레아수지 도막방수재의 방수·방식 성능평가에 관한 연구」, 서울산업대학교 산업대학원 건축·토목공학 협동과정, 2004. 2.
- 채홍철, 「무도장 내후성 강교량의 부식취약부 방식처리방안에 관한 연구」, 석사학위논문, 서울산업대학교 산업대학원 산업대학원 구조공학과, 2005. 2.

- 최남호 · 구경완, 「옥외용 고분자 전기절연재료의 내후특성」, 『연구논총』, 영동대학교, Vol.3 No.1, 1997.
- 최남호, 「염무 및 자외선에 의한 야외용 고분자 절연재료의 열화특성」, 석사학위논문, 충남대학교 대학원 전기공학과 기계 및 재료전공, 1999.
- 하은하, 「근대문화유산 경의선장단역증기기관차의 보존에 관한 연구」, 경기대학교 전통문화예술대학원 고미술감정-문화재보존처리전공, 2007.
- 한상오, 「산성비와 자외선에 의한 자동차 상도 도막의 열화 메카니즘과 그 대책에 관한 연구」, 한양대학교 환경과학대학원, 1995.
- 한국의류시험연구원, 「가속수명 시험을 위한 내후성 장치의 설정」, 한국의류시험연구원 신뢰성 · 기술연구센터, 2006.
- 한국의류시험연구원, 「인공내후성 시험기의 가속 수명 계산 방법」, 한국의류시험연구원 신뢰성 · 기술연구센터, 2006.

<해외논문>

- Clive H. Hara, Paint Film Degradation : Mechanisms and controls, 2001.
- Stefan Bruegerhohh, 「Korrisionsschutz fur umweltgeschadigte Industriedenkmaler aus Eisen und stahl」, Deutsches-Berbau Museum.

<기타>

- 기상청 <http://www.kma.go.kr/>
- 문화재청 <http://www.cha.go.kr/>
- 사론상사 <http://www.i-sctc.com/>
- 한국철도공사 <http://www.korail.com/>
- q-lab <http://www.q-lab.com/>

A Study on Weathering Test of The Surface Coating Materials to Prevent Corrosion of iron Modern Cultural Heritage

Kim, Mi-hyun

Department of Cultural Properties
The Graduate School
Gyeongju University

(Supervised by Professor An, Byong Chan)

(Abstract)

Many of steel cultural assets from the iron age and onward to the modern age are in damaged conditions. Outdoor steel cultural assets, in particular, are severely corroded compared to their indoor counterparts. The difference in environmental exposure is what makes selecting methods and materials for restoration of outdoor steel cultural assets so difficult. Even if a material is tested and selected, it's difficult to know with certainty how that material would fare against outdoor elements. Furthermore, the most commonly used protection coating materials for steel cultural assets applications do not necessarily mean they are suited for all conditions.

This paper describes testing of surface protection coating materials for Steam Locomotive at Jangdan Station on Gyeongui Line , which is Korea's registered cultural asset no.78. An explosion during the Korean War damaged the steam locomotive, literally halting it in its tracks in an area that would later become part of the demilitarized zone between the two Koreas. The locomotive had been left deserted for more than fifty years when Research Institute of Industrial Science & Technology (RIST), under a cultural asset protection program run jointly by Cultural Heritage Administration of Korea

and POSCO, initiated a project to restore it. Various analyses and investigations found the steam locomotive to be in stable conditions, but plans to utilize the locomotive in an open outdoor exhibition after the restoration meant that selection of a highly weathering coating material was crucial to protect the locomotive from the elements. Various materials were then tested to find the most suitable protective coating material for the locomotive.

Various coating materials were applied to samples and then analyzed for their weathering properties. Important criteria in the protective coating material selection process were minimal harm to the locomotive's exterior, sufficient water-resistance, and strong weathering.

Exterior panels from the locomotive itself and debris salvaged from the area were used as test samples, which were cut to 4cm by 4cm pieces and then cleaned to prep for application of coating materials. Three different types of coating materials (wax, acrylic resin, and gum resin) were selected for the testing. MCC (a wax compound consisting of carnauba wax, bees wax, damar resin, turpentine oil, and lavender oil) and microcrystalline wax (normal and high temperature compounds) were tested for the wax group, Paraloid B-72 and Paraloid NAD-10 for the acrylic resin group, and Electra-Coat (an industrial insulator and protectant) for the rubber resin group.

A xenon-arc accelerated weathering tester was used to reproduce realistic outdoor conditions for the coating materials, along with test conditions that satisfy outdoor metal/coating weathering testing specifications. The samples were exposed to light whose wavelength is closest to that of sunlight in day-to-night cycles to mimic light- and moisture-induced weathering. In addition, variable temperature conditions were utilized to further promote weathering.

Test results clearly showed that exposing untreated metal to outdoor conditions would quickly result in corrosion, validating the need for protective coating of the locomotive's exterior. All coating materials tested degraded under outdoor environment conditions; however, the wax group performed better than acrylic resin and rubber resin groups in terms of gloss, color, and stability. Specifically, microcrystalline wax proved to be approximately twice as weathering as MCC. Ergo, the testing concluded microcrystalline wax as the most suitable protective coating material for the locomotive. In addition, the fact that the surface exposed to the xenon arc light and the surface that

wasn't degraded differently indicates sunlight (infrared) and moisture as the two main causes of wax coating breakdown. This then implies that protecting the coating from exposure to direct sunlight and rain in its field application would prolong the life of the wax coating and consequently protect the locomotive better and lower ancillary maintenance costs.

The testing described in this paper looked into changes in protective coating materials as they are exposed to simulated and accelerated weather conditions and offers data that can be utilized in selecting protective coating materials for conservation of outdoor steel cultural assets.