

# 환경시험에 의한 볼트의 도금두께 설계

김진수\* , 김광섭\*

\* 아주대학교 대학원 산업공학과

## A Study on the Plating Thickness Design of the Bolt by the Environmental Testing

Jin Soo Kim\*, Gwang Sub Kim\*

Dept. of Industrial Engineering, Graduate School, Ajou University

### Abstract.

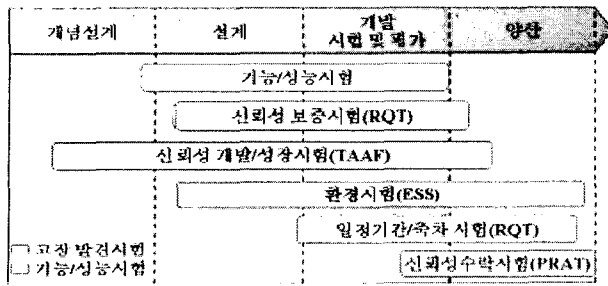
The bolts used for the electronic parts of a car are the important parts which carry out an electric and physical performance. At the time of storage, transportation and use, Corrosion occurs in bolts under the influence of environmental factor. During the period exported especially overseas the chemical corrosion by the chlorine ion contained in the atmosphere occurs frequently. Then, The failure mechanism over corrosion is investigated and we consider to the design procedure of an environmental examination. We are going to select the proper plating thickness of bolts through a salt spray test, for investigating the corrosion resistance of bolts.

### 1. 서론

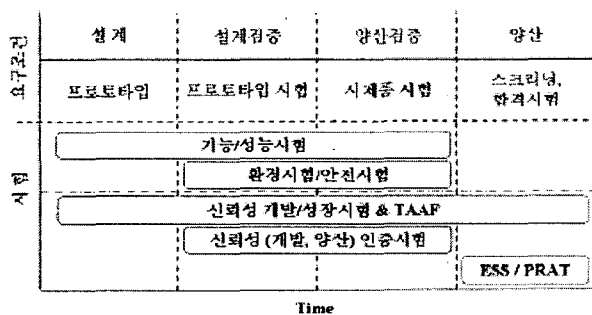
우리나라는 무역규모가 세계 10위를 차지하고는 있지만, 소비자가 제품을 사용하거나 혹은 운송과정에서는 많은 고장이 발생하고 있다. JIS Z 8115는 고장메커니즘을 “물리적, 화학적, 기계적, 전기적, 인간적 원인 등으로 아이템이 고장을 일으키는 것”[17]으로 정의하고 있다. 고장은 강도(Strength)와 스트레스(Stress)의 관계에 의해 비롯되는데 이러한 관계를 설정하는 단계가 제품의 개발 및 설계 단계이다. 제품의 개발단계에서 제품의 설계 마진, 내환경성 및 잠재적 약점들과 여기에 경

제성을 고려하여 제품의 강도(Strength)를 조절하는데 이러한 조건이 제품의 수명기간 동안 고장이 발생하지 않고 사용할 수 있는가에 대한 검증단계가 필요하다. 더욱이 제품의 교체 주기가 단축되고 개발기간이 촉박한 상황에서 환경시험의 적절한 진행은 제품의 고품질을 위해서는 절대 필요한 사항이라 할 수 있다.

[그림 1]은 NASA에서, [그림2]는 RAC에서 제시하고 있는 제품 개발 및 양산 과정에 실시되는 신뢰성 시험의 체계이며 개발 및 설계 단계의 후반부에 환경시험을 필히 진행하도록 되어 있다[6].



[그림 1] NASA의 신뢰성 시험 체계



[그림 2] RAC의 신뢰성 시험 체계

## 2. 환경시험에 대한 이론적 고찰

환경시험은 개발된 제품이 수명기간 동안 저장, 운송 및 사용 조건에서 격을 것으로 예상되는 환경 스트레스에 견딜 수 있는지를 평가하는 시험이다. 시험 가능한 시제품이 샘플이 될 수 있으며 설계 및 개발 단계의 후반부에 실시하여 결과를 설계에 반영해야 한다. 시험 후 기능 및 성능상의 이상 또는 열화가 없어야 다음단계(양산/출하)를 진행할 수 있다. 즉, 개발 및 설계 단계에서 미래의 품질을 미리 보증하는 시험이다[1], [2].

### 2.1 환경요인과 그 효과

#### (1) 바람

구조의 노화, 파괴, 비행 제어(미사일) 방해 낮은 바람속도에서 표면의 냉각 높은 속도의 바람의 마찰열로 인한 열의 발생 이물질의 침투와 흡착으로 인한 기능 불량

#### (2) 이슬, 성애, 우박, 눈, 비

구조의 노화와 부식의 형성, 전기적 결함발생, 보호 필름의 손상

#### (3) 모래와 먼지

마무리 표면의 손상과 마모 표면 마찰의 증가, 윤활유의 오염, 파이프의 흐름 방해 피로의 발생, 균열, 물질의 마모

#### (4) 대기 중의 염분과 소금 물 분무

염분을 함유한 용액의 전기전도도가 절연 저항의 감소와 전기적 에칭의 발생과 금속의 화학적 부식의 발생

#### (5) 빛, 복사

오존을 발생시켜 변색 발생, 고무 제품의 탄력성 감소, 저장고 내의 열 상승, 열 관련 노화 발생

#### (6) 열충격

수지나 고무 물질이 딱딱해 짐과 유연성의 감소, 전기적 상수의 변화, 수분의 얼음 발생, 윤활유의 점도 증가, 열의 소모 증가, 마무리 표면의 흠 발생

## 2.2 환경시험의 주요 규격

<표 1>은 IEC Pub. 721 규격에 해당되는 규격과 환경조건의 분류이며 <표 2>는 각 환경조건에 대응하는 환경시험 항목이다. 그리고 <표 3>은 KS 규격에서 환경시험의 목적을 나타내고 있다.

<표 1> IEC Pub. 721의 환경조건 분류

구분	환경요소
Section 1 (IEC Pub. 721-3-1)	저장 (Storage)
Section 2 (IEC Pub. 721-3-2)	운송 (Transportation)
Section 3 (IEC Pub. 721-3-3)	실내거치 (Stationary use at weatherprotected locations)
Section 4 (IEC Pub. 721-3-4)	실외거치 (Stationary use at non-weatherprotected locations)
Section 5 (IEC Pub. 721-3-5)	차량용 (Ground Vehicle installations)
Section 6 (IEC Pub. 721-3-6)	선박용 (Ship Environment)
Section 7 (IEC Pub. 721-3-7)	휴대용 (Portable and non-stationary use)

<표 2> 환경시험의 조건과 항목

환경 조건	환경시험의 분류	환경시험 항목
기후적 조건	기후적 환경시험	고온시험, 저온시험, 온도변화시험 등
생물학적 조건	생물학적 환경시험	곰팡이 시험
화학적 활성 물질	화학적 환경시험	염수분무시험, 이산화황시험, 황화수소시험 등
기계적 활성 물질	기계적 환경시험	모래 및 먼지시험, 진동시험, 충격시험 등
기계적 조건	기계적 환경시험	모래 및 먼지시험, 진동시험, 충격시험 등
복합환경	복합환경시험	고온/진동 복합시험, 저온/진동 복합시험 등

<표 3> 환경시험의 목적 (일부)

시험 종류	KS	시험의 목적
저온(내한성) 시험	KS C 0220	저온에서 사용하거나 저장할 수 있는 아이템의 능력을 조사
고온(내열성) 시험	KS C 0221	고온에서 사용하거나 저장할 수 있는 아이템의 능력 조사
고온 고습(정상) 시험	KS C 0222	높은 상대습도의 상태에서 사용 또는 저장할 수 있는 아이템의 능력조사
염수 분무 시험	KS C 0223	보호피막의 품질과 균일성을 조사
염수분무(사이클) 시험	KS C 0224	염분을 포함하는 대기중에서 사용하거나 대기에 노출되는 아이템의 적합성을 판정
기밀성 시험	KS C 0226	아이템의 기밀의 유효성을 조사

환경시험은 시험장소, 장비, 시험자, 실시 시기가 달라도 재현성이 있어야 한다. 따라서 표준화된 시험법에 의하여 실시할 필요가 있다. 표준화된 환경시험으로는 KS 규격, JIS 규격, MIL 규격, BS 규격, JEDEC 규격, EIAJ 규격 등이 있다. 이 중에서 MIL 규격은 미군이 조달하는 병기나 보급품의 내 환경시험을 규정한 것으로 가장 엄격한 환경시험으로 알려져 있다.

(1) IEC 규격

- IEC Pub, 60068, Basic Enviromental Test procedures : 일반 부품과 장비에 모두 적용
- IEC Pub. 600749, Semiconductor Devices, Mechanical and Climatic Test : 반도체 디바이스에 적용

(2) MIL 규격

- MIL-SED-202F, Test Methods for Electronic and Electrical Component

Parts(1980) : 수동소자(capacitor, resistor, inductor, transformer, switch, relay 등)

- MIL-STD-750D, Test Methods for Semiconductor Devices(1996) : 개별 반도체 Diode, Transistor 등

- MIL-STD-883E, Test Method standard Microcircuits(1996) : Monolithic, Multit-chip, Hybrid Microcircuit 등 집적회로

- MIL-STD-810E, Environmental Test Methods and Engineering Guidelines(1995) : 기기(equipment)

2.3 환경시험 설계 절차

(1) 제품의 출하에서 시작하여 수명 기간동안 예상되는 모든 경로를 기록한다.

(예) 완제품 저장 창고 => 출하 => 항만도착 => 선적 => 운송 => 사막지대에 사용

(2) 앞 단계에서 예상한 경로에 있어서 주요한 환경 인자를 파악 한다

(예) 온도, 진동, 습도 등

(3) 각 환경인자들에 있어서 환경조건에 대한 데이터를 조사하여 격을 수 있는 환경 조건의 범위를 파악한다.

(4) 구체적인 환경조건을 설정하고 시험을 진행한다.

2.4 염수분무 시험

(1) KS D 9502의 염수분무 내용

Method of salt spray testing \_ 금속재료, 도금, 무기질 피막 혹은 유기질 피막을 입힌 금속 재료의 내식성 시험을 중성 염수 분무 시험(NSS), 아세트산 염수분무 시험(AASS) 또는 캐스 시험(CASS) 방법에 따라서 실시할 경우에 필요한 장치, 시약, 기법 및 방법에 대하여 규정한다[12].

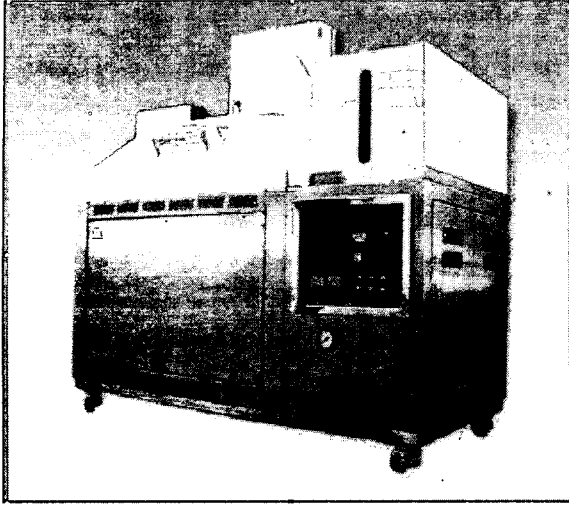
(2) 업체 규정 - A 사

- 내식성 : KS D 9502의 방법에 의거하여 염수분무 시험을 진행하였을 때 <표 4>에 나타난 시간 내에 유효면에 백청 혹은 적청 현상이 발생하면 안 된다[18].

<표 4> 업체 규정 \_ A사

도금기호	도금두께	백청발생시간	적청발생시간
MFZn5	5μm	56	56
MFZn8	8μm	96	96

### (3) 시험 장비



[그림 3] 염수 분무 시험기

[그림 3]의 장비에 대한 KS D 9502의 시험 방법은 다음과 같다.

i) 분무 장치는 분무액을 상부에서 시험편에 균등하게 분무하는 성능이 있는 것으로 한다

ii) 분무실의 부피는 0.2입방미터 이상이어야 한다. 다만, 모양 및 치수는 임의로 하여도 무방하다.

iii) 분무실의 천장 또는 뚜껑은 그 내면에 부착된 용액 방울이 시험편 위에 떨어지지 않는 모양이어야 한다.

iv) 장치의 재료는 부식성 재료를 이용하여서는 안 된다.

v) 장치 구조는 분무실내 온도 및 분무가 바깥 공기의 영향을 받지 않고 또한 시험편에서 떨어진 용액이 다시 시험에 이용되지 않는 구요이어야 한다.

vi) 시험편 지그는 시험편을 정해진 각도로 유지할 수 있는 것으로 한다.

vii) 배기 장치는 외부 공기의 풍압을 받지 않도록 하여야 한다.

## 3. 전장품 볼트류의 환경시험 설계

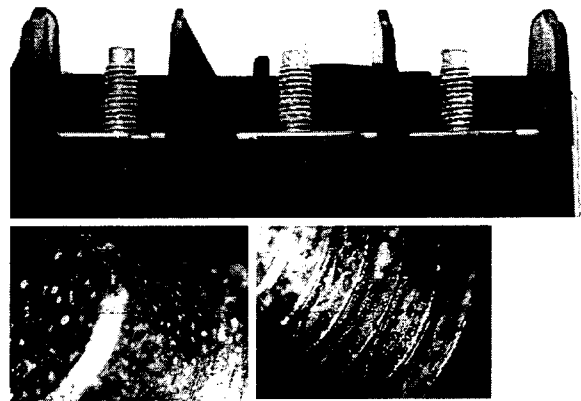
### 3.1 개발 및 설계 단계

자동차의 전장품(U/H J/BOX)을 국산화하는 과정에서 볼트류의 개발이 동시 진행되었다. 이에 따라 과거 문제점을 반영함에 있어 도금 두께에 대한 설계마진을 기존의 5 $\mu$ m에서 개발품에 한하여 8 $\mu$ m으로 적용하기로 설계하였다. 이는 자동차의 수출 과정과 저장 환경에서 발생할 수 있는 부식 현상을 미연에 방지하고자 설계하였다. 이러한 설계 의도가 제품에 정확히 반영되었는지를 확인하기 위해 환경시험(염수분무)을 진행하도록 한다.

### 3.2 고장 메카니즘 분석 - CORROSION

염수분무 시험에 관하여 KS C 0223~4 규격에서는 그 목적을 보호피막의 품질과 균일성 조사 및 염분을 포함하는 대기 중에서 사용하거나 대기에 노출되는 아이템의 적합성을 판정한다고 명기하고 있다.

위의 [그림 4]는 일본에서 수입하여 사용되는 있는 전장품 볼트류의 부식현상 사진이다. 이 볼트의 도금 두께는 5 $\mu$ m으로 운송 및 저장 창고에서 다량 발생되어 기업에 커다란 손실을 주었다. 이러한 부식현상은 대기 또는 용액 속에 염소이온이 입자와 입자의 사이로 침투하여 금속의 화학적 부식을 발생 시킨다.



[그림 4] 전장품 볼트류의 부식 사진

일반적으로 부식은 주의 환경과의 전기화학적 또는 화학적 반응에 의하여 금속에 가해지는 파괴적인 공격이라고 할 수 있다. 부식의 가장 중요한 특징은 전기 화학적 메커니즘에 의해 발생한다는 것이다. 전기 화학적 과정에서 요구되어지는 조건과 부식의 종류는 다음과 같다[1], [2].

- 양극과 음극이 존재하며 전지를 형성해야 하며,

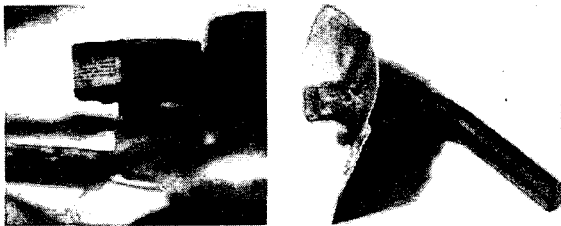
- 양극과 음극이 전기적으로 접촉해야 하고
- 액체가 전해액으로 작용해야 한다.

(1) 균일 부식

[그림 4] 같이 금속표면 전체에 걸쳐 균일하게 발생하는 부식을 균일부식 또는 일반부식이라 한다. 부식 환경에 노출된 부분이 균일하게 부식되는 형태의 부식으로 그 속도가 다른 형태의 부식보다 훨씬 느리다.

(2) 갈바닉 부식

두 이종금속이 부식성 용액이나 전해질 용액에 담겨 있을 때에 두 금속 사이에는 전위차가 존재한다. 만약 이러한 금속이 접촉된 상태라면 이러한 전위차는 두 금속 간에 전자의 이동이 일어난다. 전위가 낮은 금속이 양극이 되어 부식이 되고 이때 생성된 전자는 전위가 높은 금속 즉 음극 쪽으로 이동한다. 따라서 전위가 높은 금속은 양극 쪽에서 전기가 공급되므로 부식반응이 일어나지 않아도 그 표면에서 음극 반응을 일으킬 수 있다. 또 전위가 높은 음극에 의하여 보호 될 수 있다.



[그림 5] 갈바닉 부식의 예시

(3) 틈새부식

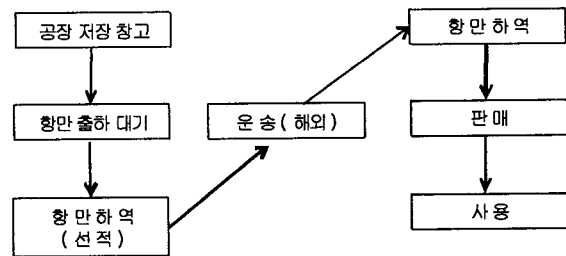
전해액에 노출된 금속표면의 틈, 또는 가려진 부분 내에서 국부적으로 심한 부식이 발생하는 것을 틈 부식이라 한다. 틈 부식은 구멍, 가스켓 표면, 포개어 있는 부분 표면 침전물, 볼트와 리벳 헤드 밑의 틈 등에 정체된 적은 양의 용액과 관련된다. 틈 부식을 때로는 침전 부식 또는 가스켓 부식이라 일컫기도 한다. 틈 부식을 생성하는 표면 침전물로는 모래, 때, 부식생성물 등이 있다. 이 표면 침전물은 덮개 작용을 하여 양의 용액을 속에 가두게 된다. 가스켓을 사용하는 경우처럼 금속과 비금속의 접촉사이에서도 틈 부식이 생긴다. 이러한 틈 부식을 생성할 수 있는 비금속으로는 나무, 플라스틱, 고무, 유리, 석면, 왁스 등 금속과 같이 사용되는 모든 물질이다.



[그림 6] 틈새 부식의 예시

그 외 여러 가지의 부식형태가 있지만 본 연구에 필요한 내용까지만 정리하도록 한다.

3.3 자동차의 수출 경로 추적



[그림 7] 자동차의 해외수출 경로





자동차는 여러 가지 환경 인자에 접촉하게 되는데 공장 출하 후 운송과정은 크게 국내 소비와 국외 수출로 나누어 볼 수 있다. 내수 시장으로 소비 될 때에는 저장 창고에서 곧바로 출하하여 고객에게 즉각 인도된다. 그러나 해외로 수출되는 자동차는 여러 경로를 거치게 된다





[그림 7]에서처럼 자동차의 수출시 대기 중에 염소 이온분이 다량 포함되어 있는 환경에 상당기간 노출되어 있다. 항만 출하대기, 선적, 운송 그리고 항만 하역 시 고장 메커니즘이 진행될 수 있는 시간은 충분하다. 통상적으로 공장 저장창고에서 수출되어 고객까지 인도되는 시간은 3개월~6개월 정도가 된다고 한다.




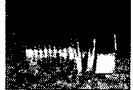
3.4 환경시험 진행 및 결과

이러한 수출 환경조건에서 부식현상을 견디기 위해서 설계된 도금두께 8μm의 볼트와 기존의 5μm볼트의 비교 염수분무 시험을 진행하였다.

시험 조건으로 <표 3>의 업체규격과 [그림 4]의 장비로 KS D 9502의 방법에 의거하여 진행토록 하였다.

시험	결과	판정	
염수분무 전	도금 시험 (MFZn5-B)		O.K
	도금 시험 (MFZn8-B)		O.K
염수분무 후	56시간 도금 시험 (MFZn5-B)		N.G
	96시간 도금 시험 (MFZn8-B)		O.K

시험	결과	판정	
염수분무 전	도금 시험 (MFZr6-B)		O.K
	도금 시험 (MFZr8-B)		O.K
염수분무 후	56시간 도금 시험 (MFZr6-B)		N.G
	96시간 도금 시험 (MFZr8-B)		O.K

시험	결과	판정	
염수분무 전	도금 시험 (MFZn5-B)		O.K
	도금 시험 (MFZn8-B)		O.K
염수분무 후	56시간 도금 시험 (MFZn5-B)		O.K
	96시간 도금 시험 (MFZn8-B)		O.K

[그림 8] 볼트류의 염수분무 시험 결과

[그림 8]은 5µm과 8µm의 전기아연도금을 한 볼트류에 대한 염수분무 시험결과이다. 즉 업체 규격에 의하면 5µm의 도금두께는 자동차의 해외운송 과정에서 부식이 발생할 수 있으며, 8µm의 도금두께는 해외운송 과정에서 안전하다는 평가를 할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 자동차 전장품의 볼트류에 대해 환경 요인이 고장에 미치는 영향을 알아보았으며, 염수분무 시험을 설계하고 이를 진행함으로써 볼트류 도금 두께에 대한 설계마진을 검증하고 양산단계에 돌입하게 되었다.

환경시험은 제품의 잠재적인 고장발생 인자나 예상하지 못한 고장의 원인을 찾을 수 있는 쉬운 방법이다. 제품이 격을 수 있는 환경의 요인들에 대해 사전에 철저히 조사하고 이에 대한 시험은 필수 진행되어야 할 것이다. 개발기간이 촉박한 현대의 산업 사회에서는 가속 수명시험을 이용하는 것도 좋은 방법이 될 수 있을 것이다.

그러나, 본 연구는 자동차의 해외 수출기간 내에 특히 저장과 운송기간에 발생할 수 있는 환경의 영향에 대한 내용을 위주로 연구하였다. 하지만 더욱 중요한 것은 자동차의 운전 환경에서 발생하는 복합적인 환경(진동이나 온도 등) 요인에 대한 시험을 진행하는 것이 합당할 것으로 사료된다. 이때 부식현상이 발생하는 빈도 혹은 B10수명도 연구되어야 할 것이다.

#### References

- [1] 김광섭(2005), Introduction to Reliability Engineering (II), Ajou Reliability Center
- [2] 김광섭(2005), Advanced Reliability Engineering, Ajou Reliability Center
- [3] 이상용(1999), 신뢰성공학, 형설출판사
- [4] 정해성, 박동호, 김재주(1992), 신뢰성 분석과 응용, 영지문화사
- [5] 정권석, 차종범, 김광섭(2000), A Design of Accelerated Life Testing for Plating Thickness of Lead Frame using Arrhenius-Weibull Model, pp. 3~10
- [6] 박부희, 고병각, 김성진, 김진우, 장중순, 김광섭, 이해영(2005), 초소형 CMOS FR 전압제어 발진기 IC 신제품 개발을 위한 신뢰성 평가 프로세스 개발, 2005한국경영과학대회/대한산업공학회 춘계공동학술대회지, pp. 914~916

- [7] 김종철(2004), A study on the Design & Analysis of the MLCC reliability based on Boltage-Accelerated Degradation Test, pp. 10~12, 18~24
- [8] 권영일, 유형철(2004) Design and Analysis of Accelerated Life Tests (ALT) for Small Power Relays, 한국신뢰성 학회지, pp. 2~6
- [9] 정해성(2003) Reliability Analysis of Degradation Data and its Applications, 한국신뢰성학회지, pp. 94~100
- [10] 서순근, 하천수(2002), Analysis of Field Reliability Data with Supplementary Information on Degradation Data and Covariates, 한국신뢰성학회지, pp. 81~82
- [11] 조진남, 백재욱(2002), Experimental Design and Analysis for Reliability Improvement, 한국신뢰성학회지, pp. 48~58
- [12] 한국표준협회(2002), KS D 9502, Method of salt spray testing
- [13] 한국 표준협회(2001), KS C 0228, Basic environmental testing procedures - Part 2 : Tests, Test Z/AD : Composite temperature/humidity cyclic test
- [14] IEC/TR60721(2003), Classification of environmental conditions - Part 4-0: Guidance for the correlation and transformation of the environmental condition classes of IEC 60721-3 to the environmental tests of IEC 60068 - Introduction
- [15] MIL-HDBK-2164(1996) Environmental Stress screening process for Electronic Equipment.
- [16] MIL-STD-810F(2000), Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests