

플라즈마를 이용한 金屬遺物의 保存處理

姜 大 一
文 煥 哲

目 次

1. 序 言	3.4 外皮의 除去와 腐植酸化合物의 還元
2. 플라즈마의 發生	3.5 鹽化合物의 除去와 表面安定化 處理
2.1 裝 置	3.6 腐植實驗
3. 實 驗	4. 플라즈마 處理의 經濟性
3.1 酸素 플라즈마의 特性	5. 結 論
3.2 水素 플라즈마의 特性	* * 引用文獻
3.3 高周波 플라즈마	

1. 序 言

현재 發掘되어 부식된 金屬유물의 보존처리는 이제까지 근본적으로 해결되지 않고 있는 어려운 문제이다. 發掘된 유물이 공기중에 露出되면서 발생하는 부식은 상대적으로 수백년 이상을 땅속에서 양호한 상태로 존재하였던 것이 發掘된 후 수년 또는 수십년 사이에 완전히 형태를 파악하지 못하게 훼손이 진행될 수도 있다. 토양 중에 묻혀있던 것과 비교하여 發掘된 후 부식의 진행에 관한 많은 原因들이 보고되었다.[1-3] 埋藏상태에서 安定될 수 있었던 주된 이유는 상대적으로 낮은 수소의 양과 억제층(inhibiting layer)의 형성으로 보인다고 보고하였다.[4]

바닷속 또는 토양 중에 오랫동안 매장되었던 金屬유물은 바닷물이나 토양에 존재하는 鹽化合物에 의한 腐植層이 발생하게 된다. 이들 金屬유물은 發掘된 후 상대습도 40% 이상의 공기중에 노출될 때 염화물은 金屬코아와 腐蝕層 사이에 액체 전해질을 형성하는 습기를 좋아하게 되고 이는 산소의 존재하에서 觸媒活動을 받아 더욱 빠르게 부식을 진행하는 원인이 된다.

일반적으로 發掘된 고대의 金屬유물의 보존처리는 -表面調査-洗滌-安定化-合成樹脂를 이용한 硬化處理-復元作業의 과정에 따라 이루어지고 있다. 金屬유물을 부식시키는 觸媒 역할을 하고 있는 것으로 알려진 염화물의 제거는 알칼리성 용액 속에서 오랜 기간의 침적을 통하여 충분히 抵濃度까지 염화물 양을 감소시키는 脫鹽方法이 현재 보편적으로 적용되고 있다.[5] 그러나 알칼리성 용액에 유물을 침적시키는 방법은 주기적으로 용액을 교환해주어야 하며 최소 50일 이상 (통상 그 이상의 기간이 소

요됨)의 침적기간을 필요로 하고 있다. 이같은 탈염방법으로 액체 속에 유물을 침적시키는 것은 이미 부식되어 다공성인 유물의 표면에서 내부 깊숙히 액체가 침투하게 되며 이 때문에 유물표면이 부풀어 오르는 원인이 되거나 다른 鹽 또는 용해될 수 있는 화합물이 스며들 수 있다. 또한 침적기간이 길어짐으로써 금속 유물의 표면에 magnetite의 형성을 가져오며 상대적으로 이를 제거하기 위해서는 hard abrasive를 사용하게 한다. 이는 표면의 미세한 細工을 손상하게 하는 원인이 될 수 있다.

이같은 문제점을 해결하기 위해서 액체를 사용하지 않는 새로운 방법이 연구되고 있으며 분자 수소 가스 내에서 온도를 상승시켜 금속이 환원됨을 보고하고 있다.[2,3,6] 이때 요구되는 온도는 약 500℃이상이 필요하게 된다.[7] 이같은 분자 수소 내에 금속유물의 처리방법은 먼저 수소/공기 혼합가스의 폭발위험이 있게 되며 반응을 위해 고온으로의 온도상승은 유물에 돌이킬 수 없는 구조적, 성분적, 형태적인 변화를 일으켜 유물의 原形과 製作技法 등을 손상시킬 수 있다고 보고했다.[6,8]

1torr(133 Pa)의 압력과 400℃이하의 온도에서 전기적인 放電에 의해 만들어진 저압 수소 플라즈마로 금속유물을 처리하는 방법은 앞의 위험을 배제할 수 있다. 플라즈마를 적용한 전기적인 방법은 화학적으로 매우 반응하기 쉬운 높은 에너지를 가진 이온기(radical)를 만들어 금속유물의 산화물과 반응하게 되며 이는 표면 洗滌과 부식물의 제거를 쉽게 해준다. 이같은 방법은 두 개의 금속전극에 전기가 공급될 때 1torr의 낮은 압력에서 전위차는 반대의 가스에 가해지게 되고 가해지는 전압이 임계값이 될 때 전류가 흐르기 시작하며 전류가 증가될 때 내부에서 빛이 방출된다. 이같은 현상을 글로우 방전(glow discharge)라 부른다.

전기에 의한 글로우 방전은 전자가 가스분자를 이온화 할 수 있는 충분한 에너지를 가속시킬 수 있는 영역을 가지며 그렇게 만들어진 양이온은 陰極으로부터 전자를 放出할 수 있는 충분한 에너지를 갖게 된다.

강력한 에너지를 가진 입자들에 노출되어진 가스분자는 분해를 하거나 준안정상态(metastable state)를 점유하는 것으로 즉 이것들은 분열되거나 임시로 초과된 에너지를 일시적으로 갖게 된다. 플라즈마가 발생될 때 가스는 같은 온도와 압력을 가지는 가스에서 보다 화학적으로 반응하는 특성이 향상된다. Daniels et al[9,10]는 사진의 은판과 銀製遺物의 복원에 있어 글로우 방전을 적용하였으나 이를 철유물에 적용하는 시도는 magnetite와 steel에서 관찰될 수 있는 어떤 변화가 일어나지 않았다. haematite의 표면에서 magnetite로의 부분적인 환원이 보고되었으나 Daniels et al의 초기실험들은 Heer와 Ashdown(1981-82)에 의해 재보고 되었으며 이들이 사용한 낮은 放電密度를 수정하여 강력한 방전 플라즈마는 반응 속도와 불균질 물질의 화학적인 평형에 중대한 효과를 가질 수 있다는 것을 알게 되었다.

이같은 실험을 기초로하여 산화물과 염화물의 효율적인 제거를 위한 환원방법으로 글로우 방전을 사용하게 되었으며 일반적으로 용액속에 침적시키는 처리방법과 비교하여 다음과 같은 장점을 나타낸다.

- 1) 매우 단기간(보통 처리시간 1-4일)에 효율적으로 염화물을 제거하며

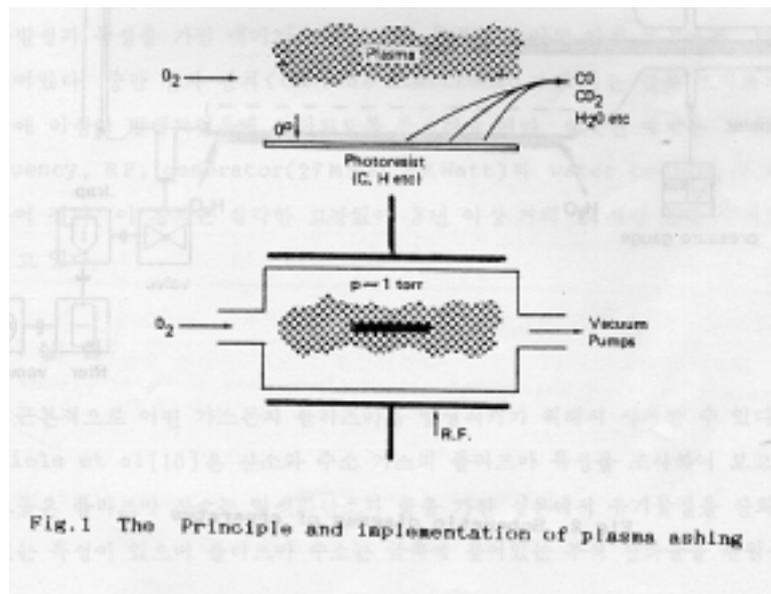
- 2) 대기압에서 분자수소와 처리하는 것과 비교하여 400°C 이하의 온도에서 안전하고 효율적으로 腐蝕物을 제거하며
- 3) 미세한 細工까지도 쉽게 노출시켜 이제까지 규명하지 못했던 유물을 認知하게 하여 준다.

본고는 플라즈마를 이용한 금속유물의 처리방법으로 보고된 최근의 발표자료를 간략하게 다음과 같이 소개하고자 한다.

2. 플라즈마의 發生

플라즈마는 가스를 통하여 강력한 에너지를 가진 전자의 통과에 의해 발생된다. 가스를 이온화하는 방법은 가스에 고주파 전기장(radio frequency electric field)을 적용하는 것이며 이때에 전자는 전기장의 영향하에서 에너지를 가진 가스와 충돌하게 된다. 충돌에 의해 전자의 에너지가 증가됨으로써 가스분자는 에너지를 吸收하여 이온화될 수 있는 충분한 정도에 도달하게 된다.

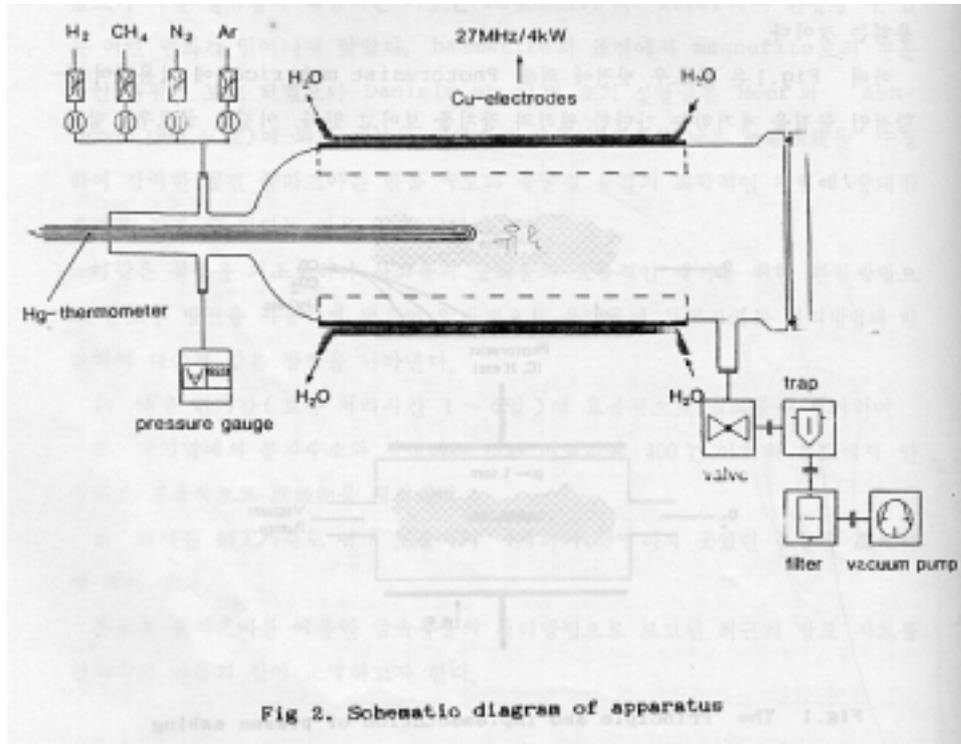
현재 플라즈마의 화학적인 반응에 대한 대부분의 연구는 고주파를 사용한 방전에 의해서 이루어지고 있으며 특히 半導體의 제작연구에 있어 강력한 가스반응을 위해 플라즈마가 적용되고 있다. 플라즈마를 발생시키는 기술에서 가장 경비가 적게드는 방법은 d.c(또는 저주파 a.c)에 의한 냉각음극(cold cathode)을 사용하는 것이다.



아래 Fig.1은 글로우 방전에 의해 Photoresist material에 적용하여 저항적인 물질을 제거하는 간단한 원리와 장치를 보이고 있다. 이같은 글로우 방전에 의한 세척 기술을 plasma ashing이라 부른다. 산소방전에 의해 강한 에너지를 가진 전자와 이온들이 고체 탄소의 표면에 충돌하여 가스 상태의 일산화탄소와 이산화탄소로 전환시키며 이때 발생하는 가스와 다른 휘발성 산화물은 진공 시스템에 의해 밖으로 배출시킬 수 있다.[13]

2.1 裝置

Veprek는 박물관 환경에서 수소·암모니아 및 메탄과 같은 폭발성 가스로부터 글로우 방전을 유도하기 위해서 안전을 고려하여 Fig.2와 같은 도식의 장치를 개발하게 되었다.[11]



장치는 스텐레스 鋼의 flange(플렌지), vioton O-ring gasket과 함께 pyrex glass(내부직경 45cm 길이 150cm)로 만들어진 방전관으로 되어있다. 압력은 Baratron Capacitance압력계로 절대압력을 측정한다. 放電管의 중앙에 삽입되어진 수은-실리카 유리 온도계는 처리되는 금속유물의 온도를 측정하는데 사용되어진다. 이같은 목적을 위해 온도계의 머리부분에 실리카 외 각각의 다른 금속의 촉매 효과로 인한 온도차를 최소로 하기 위해서 처리되는 같은 금속을 덮어주었다. 이는 각각의 금속에 따라 온도가 수백분의 일의 차이를 나타내는 것을 최소로 유지해주지 않으면 금속의 손상 원인이 될 수 있기 때문이다.

동시에 다른 가스를 공급할 수 있는 가스관은 고순도 바늘밸브(needle valve: Balzers)와 flow meter(유량계) 및 특별한 안전장치로 구성되어 있다. 후자의 장치는 폭발성 가스로 가압되는 실린더의 안전 캐비넷으로 장치의 결함 또는 조작자의 실수 등에 의한 폭발성 가스의 흐름을 자동적으로 차단할 수 있는 electronic unit을 포함하고 있다. 장치는 순차적으로 dust filter와 flame back-flaming shutdown valve의 trap에 의해 보호되는 두단계 순환 펌프(Vacotec/Alcetal, 60m³/h)를 특별히 개조시킴으로써 배출되게 되어 있다. 폭발성과 독성을 가진 배기가스는 배기시 특별히 고안된 안전 오븐에서 태워지게 되어있다. 중앙 전자 장치(central electronic

unit)는 잘못 조작되거나 장치에 이상이 발견되었을 때 차단되도록 통제하게 된다. 비슷한 예방은 radiofrequency, RF, generator(27MHZ, 4KWatt)와 water cooling에 의해 이루어진다. 이 장치는 심각한 고장없이 3년 이상 거의 24시간동안 수시로 작동되고 있다.

3. 實 驗

근본적으로 어떤 가스든지 플라즈마를 발생시키기 위해서 사용될 수 있다. Danels et al[10]은 산소와 수소 가스의 플라즈마 특성을 조사하여 보고하였다. 그들은 플라즈마 산소는 일산화 탄소와 물을 가진 실온에서 유기물질을 산화할 수 있는 특성이 있으며 플라즈마 수소는 금속에 붙어있는 부식 산화물을 환원시킬 수 있는 특성이 있다고 보고하였다. 이같은 특성을 기초로하여 다음의 실험결과를 나타내고 있다.

3.1 산소플라즈마의 특성

산소를 이용한 방전이 1.6kv, 50Hz, 23mA의 전류와 17Pa의 압력하에서 산소와 아르곤 가스를 1:1 혼합하여 발생된 플라즈마에서 실험되었다. 아르곤 가스의 혼합은 주로 폭발위험을 최소화 하기 위해서 사용되어지나 이온화된 아르곤 가스에서 準安定 상태의 존재는 일반적으로 다른 가스를 活性化하는데 기여할 수 있다. 다음의 Table 1과 Table 2는 실험된 산소 플라즈마의 특성을 報告하고 있다.

Material	Density (Mgm ⁻³)	Rate of removal	
		By weight g h ⁻¹ m ⁻²	By thickness μm h ⁻¹
Shellac (heat cured varnish)	1.1	1.6	1.4
Araldite (AV/HV 100) cured complete epoxy	1.14	3.3	2.8
Araldite (rapid cure) systems	1.14	3.7	3.2
Colloidal carbon (from aqueous dispersion)	—	2.0	—
Cellulose acetate (plasticized)	1.3	2.2	1.7
Nitrocellulose lacquer (Frigilene)	1.23	6.5	5.2
Poly (styrene)	1.05	2.7	2.6
Poly (ethylene terephthalate)	1.15	4.6	4.0
Poly (ethylene)	0.92	2.5	2.7
Poly (vinyl acetate)	1.2	3.4	2.8
Regenerated cellulose film (plasticized)	1.45	2.4	1.6
Poly (ethylene glycol) Carbowax 8000	1.1	2.5	2.3
Microcrystalline wax	0.9	1.4	1.6

Table 1. Rates of Removal of organic Materials in O₂/Ar plasma

Material	Effect of O_2/Ar plasma (1 hour)
Gold (24 ct)	No detectable change
Steel (Cu-steel)	No detectable change
Tin	No detectable change
Copper	Slight surface oxidation
Lead	Slight surface oxidation
Zinc	No detectable change
Silver	Extensive oxidation to Ag_2O (matt black)
Soda glass	No detectable change
Bottle glass—green	No detectable change
Bottle glass—brown	No detectable change
Pottery—Etruscan buchero	No detectable change
—Bronze age pot	No detectable change
—Greek black figure	No detectable change
—Greek white ground	No detectable change
Paper	Gradual erosion, no discoloration
Felt tip pen inks	Almost complete bleaching on all those tried

Table 2. Effects of O_2/Ar plasma

Table 1에서 보면 산소 플라즈마에 노출된 모든 有機物은 수 μm 의 두께로 산화됨을 쉽게 알 수 있다. 그러나 Table 2의 無機物은 銀成分만을 제외하고 거의 변화되지 않고 있음을 보여준다. X-ray 회절분석을 통하여 銀산화물은 Ag_2O 임이 입증되었다.

3.2 수소 플라즈마의 특성

수소를 이용한 방전은 23mA의 전류와 13Pa의 압력하에서 1:1로 수소와 아르곤을 혼합한 가스에서 발생하는 플라즈마를 이용하여 Table 3의 결과를 보고하고 있다.

Table 3에서는 haematite의 還元 生成物이 black magnetite로 되어짐이 X-ray 회절분석을 통하여 확인되었다. 또한 Silver sulphite의 환원은 40mA, 600V, 7Pa의 압력하에서 효율적으로 환원됨이 관찰되었다. 이같은 실험으로 수소 플라즈마는 부식 산화물로부터 납, 구리 및 은 등을 환원시키며 haematite를 magnetite로 환원시키는 특성이 있음을 보여주고 있다.

이같은 산소와 수소 플라즈마의 산화·환원의 특성을 적절히 조절하여 필요한 부분만을 처리시킬 수 있는 실례가 Fig. 3이다. Fig 3은 왼쪽면에 락카칠을 한 후 플라즈마 수소에 환원시켰을 때 遮蔽된 왼쪽은 환원이 일어나지 않고 오른쪽만 환원됨을 보여주고 있다. 이같은 플라즈마의 특성은 이전에 합성수지로 처리된 유물에 대해 산화처리를 실시하여 합성수지를 제거한 후 다시 환원처리할 수 있음을 가능하게 해준다.

Material	Effect of H_2/Ar plasma
Paper	No detectable change
Araldite (rapid and AY100 system)	(mesh electrodes) see text
Shellac	No detectable change
Gold (24 ct)	No detectable change
Steel (Cu-steel)	No detectable change
Silver	No detectable change
Zinc	No detectable change
Lead	No detectable change
Copper	No detectable change
Tin	No detectable change
Soda glass	No detectable change
Bottle glass—green and brown	No detectable change
Pottery—Etruscan buchero	No detectable change
—Bronze age pot	No detectable change
—Greek black figure	No detectable change
—Greek white ground	No detectable change
Haematite	Reduced to black magnetite
Magnetite	No detectable change
Lead acetate	Grey coating on surface
Basic lead carbonate	
Old corroded lead	
Cuprous oxide	Blackening of surface which went brown in air overnight
Cupric acetate	
Malachite	
Paratacamite	
Silver sulphide	Brown layer formed on surface
Tarnished silver paint (silver flake in gum arabic)	Reduced to silver
Silver chloride	Partially reduced to silver
	Reduced to silver

Table 3. Effects of H_2/Ar plasma

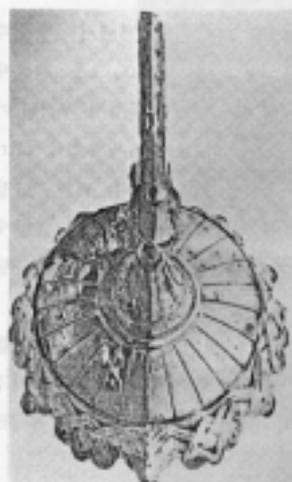


Fig.3 A Tarnished silver object which has been treated with hydrogen plasma on the right side

3.3 高周波 플라즈마

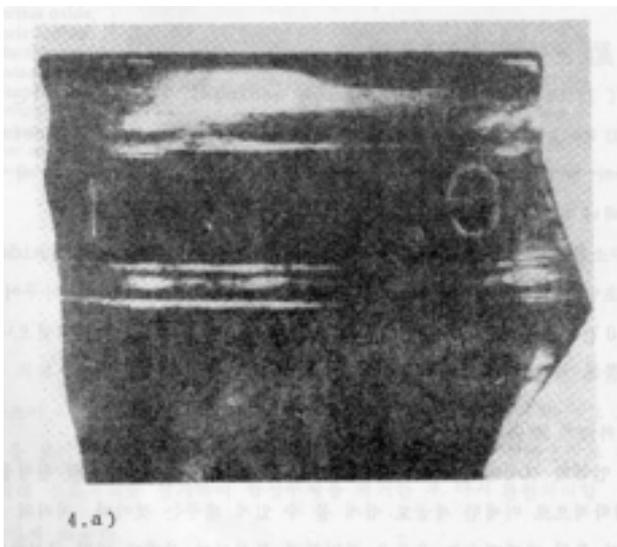
고주파(13.56MHz)를 이용한 plasma ashing이 실험되었으며 이는 순수 산소(130Pa)를 사용하여 종이 polyethylene, cellulose acetate와 poly 등의 유기물의 산화가 일어났다. 산화비율은 50Hz를 이용했을 때보다도 거의 10배나 빨리 이루어졌다.

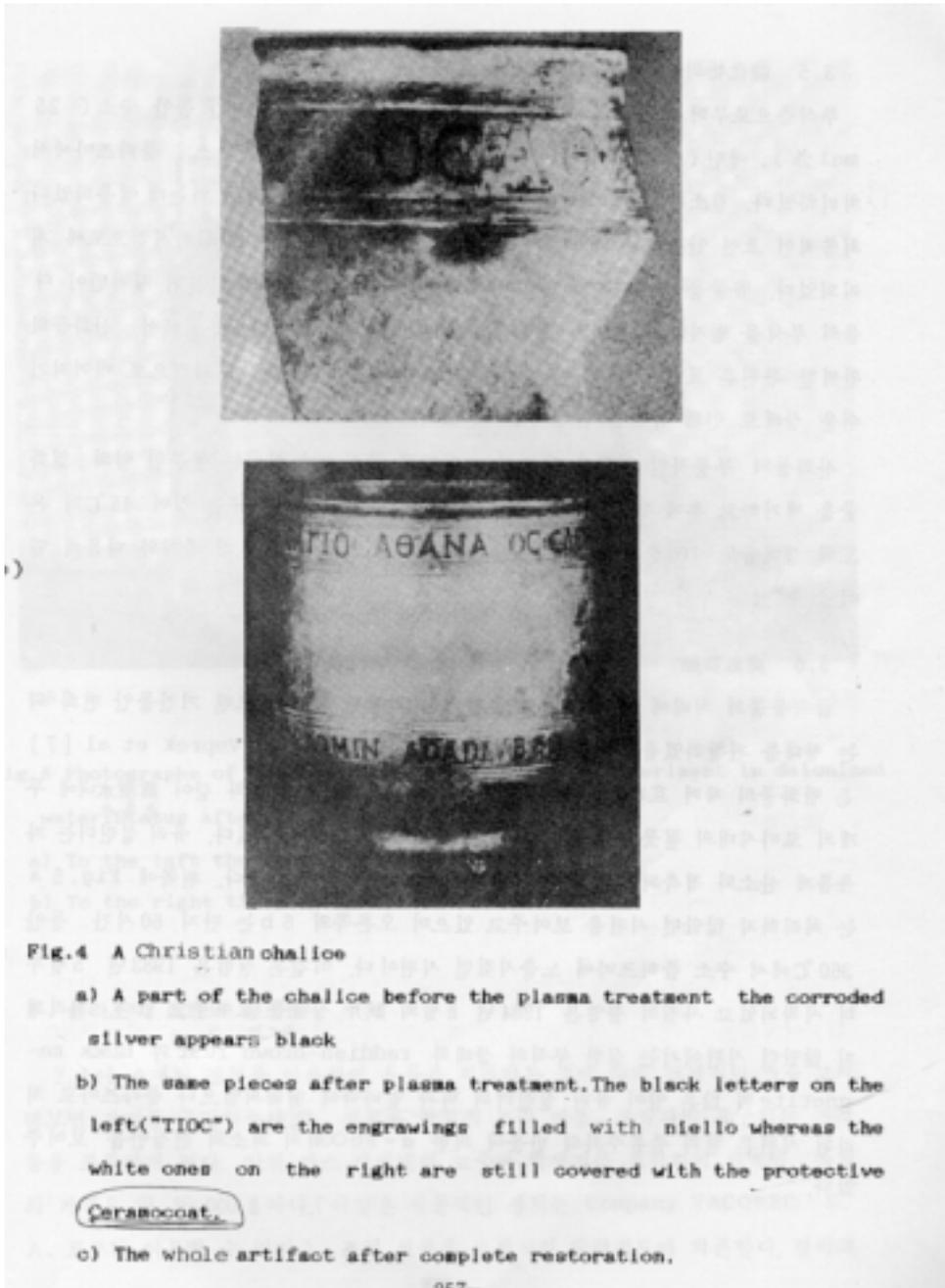
순수 수소를 산소 대신에 사용했을 때 銀 위에 녹이 슨 silver sulphide 의 환원이 30초만에 일어났고 이같은 환원은 약간 금속이 가열됨으로써 이루어졌으나 온도는 50℃를 초과하지 않았다. 부식된 납에 적용했을 때 변색이 되었으나 녹이 슨 철 유물은 거의 변화되지 않았다.

3.4 外皮의 除去와 腐蝕酸化물의 還元

앞에서 언급한 것처럼 플라즈마 처리 방법의 중요한 하나는 유물의 원형을 규명하고 형태학적으로 미세한 세공도 쉽게 볼 수 있게 해주는 것이다. 처리의 정도·온도·기간 등의 매개변수는 유물을 정밀하게 분석하여 상태에 따라 근사적으로 선택하여야 한다.

Veprek는 수소(75mol%)와 메탄(25mol%)의 혼합기체에서 발생하는 플라즈마를 적용하여 단단한 부식물(전형적으로 Fe_2O_3 와 Fe_3O_4)을 환원시켜 메스나 바늘로 쉽게 제거할 수 있는 처리를 하였다. 또한 그는 두껍게 부식된 가치있는 유물의 처리에 적용하여 성공적인 결과를 Fog.4와 같이 6세기 초의 Christain잔에서 보여주고 있다. 처리전 유물의 상태는 얇은 외부는 거의 반 정도가 부식되었고 내부도 외피로 덮여 있었다. 외피를 제거하고 부분적으로 검게 된 腐蝕 産物(주로 산화물과 염화물)을 환원시키기 위해 높은 온도의 처리가 필요하게 됨을 알게 되었다. 하지만 金鍍金과 특히 象嵌된 흑금(niello)은 낮은 온도로 유지할 것이 요구되었다. 그런 다음 銀鍍은 약 360℃의 온도에서 수소 플라즈마로 환원되었다. 이같은 遮蔽效果를 통하여 은 속에 있는 금의 확산이 이같은 온도에서 상대적으로 낮기 때문에 부식된 銀層의 환원은 흑금을 손상시키지 않고 거의 완벽하게 처리하였다.[11,12]





3.5 鹽化物的 除去와 表面安定化 處理

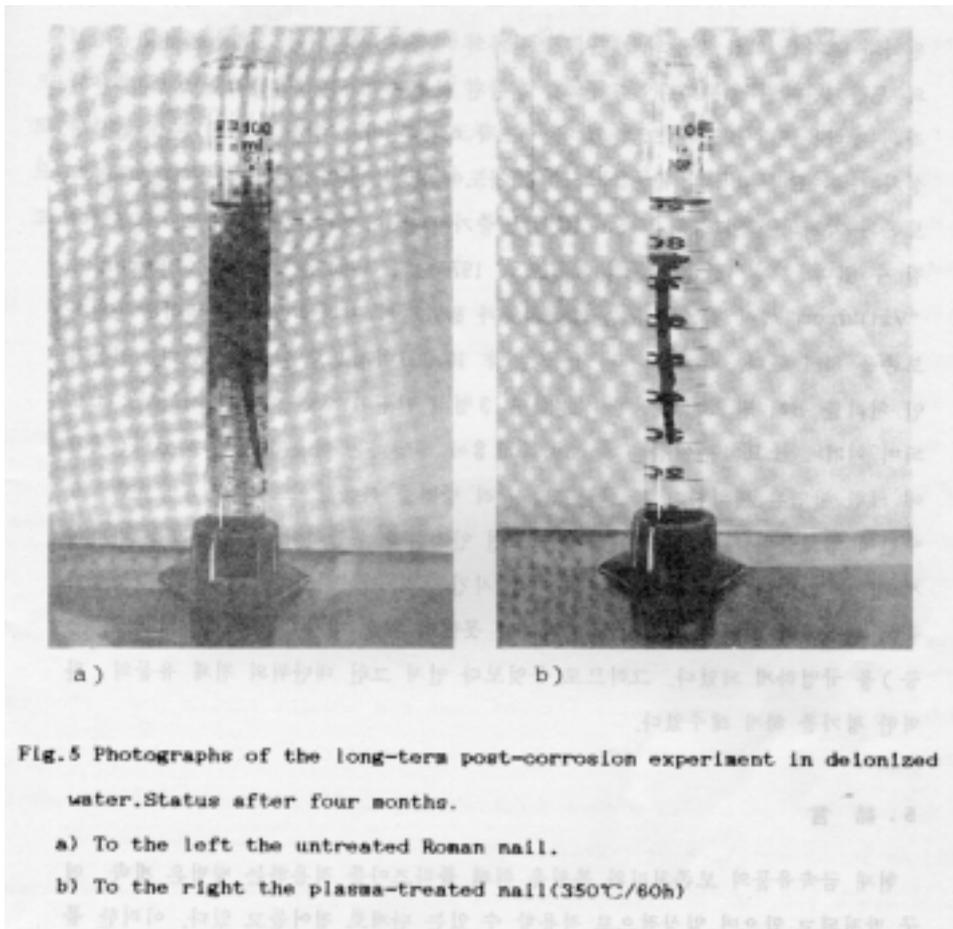
부식층으로부터 염화물의 제거를 위해 약 15시간에서 20시간동안 수소(25mol%), 메탄(25mol%), 질소(50mol%)로 혼합된 가스 플라즈마에서 처리하였다. 질소는 nitriding에 의한 표면의 안정화 처리를 하는데 적용되었다. 최종적인 표면안정화는 약 15시간동안 가열된 왁스에 유물을 침적시킴으로써 처리되었다. 유물을 처리하는데 있어 부식 산화물에서 염화물의 완전한 제거만이 다음의 부식을 방지하기 위해서 필요한 것만은 아니며 이는 금속유물에서 산화물의 완벽한 환원은 표면의 지지층이 상대적으로 약해지기 때문에 결과적으로 깨어지기 쉬운 상태로 인해 유물을

손상시킬 수 있다.

산화물의 부분적인 환원을 유도하는 완만한 플라즈마 처리는 충분한 양의 염화물을 제거하고 후에 일어나는 부식에 대해 효과적인 안정을 주는 것이 45°C의 온도와 상대습도 100% 상태하의 실험에서 보여주었다. 염화물의 제거와 다음에 일어날 수 있는 부식 실험에 관한 자세한 것이 보고되었다.[12]

3.6 腐植實驗

금속유물의 처리에 있어 성공적인 결과는 박물관 환경에 오랜 기간동안 변화되는 상태를 관찰하였을 때 유물에 어떤 손상이 없어야 한다. Veprek et al[7]은 염화물의 제거효과를 설명하기 위해서 Fig. 5(a, b)와 같이 蒸溜水내에 두 개의 로마시대의 철못을 침적시켜 변화된 상태를 보여주고 있다. 유리 실린더는 자유롭게 산소와 접촉되도록 윗부분은 대기중에 개방시켜놓았다. 왼쪽에 Fig.5a는 처리하지 않았던 시편을 보여주고 있으며 오른쪽의 6b는 단지 60시간동안 360°C에서 수소 플라즈마에 노출시켰던 시편이다. 이같은 실험은 1983년 5월부터 시작되었고 사진의 촬영은 1984년 8월의 試片 상태를 보여주고 있다. 처리되지 않았던 시편에서는 심한 부식의 상태와 raddish -brown rust와 black magnetite의 많은 양이 유리 실린더의 벽과 밑바닥에 增着되었으나 플라즈마로 처리된 시편은 철과 증류수와의 반응에 의한 α -FeOOH의 최소의 현상만을 보여주었다.



4. 플라즈마 處理의 經濟性

2.1에서 소개된 장치를 이용하여 유물을 처리하는 것에 대한 경제적인 면을 고려해 보면 장비를 구입하는 비용, 새로운 장치의 조작비용, 조작자의 요구되는 자격 등을 포함하게 된다. 안전 가스 캐비닛과 고주파 발생기를 포함하여 완벽한 장치의 가격은 약 80,000\$이다.(이같은 전문적인 장치는 company VACOTEC S.A.로부터 이용할 수 있다). 조작비용은 조작자의 숙련정도에 의존한다. 장비의 완벽한 조작을 위한 훈련의 기간은 조작자의 기술에 의존하여 3개월에서 6개월의 훈련기간이면 충분하다. 완벽하게 훈련된 보존과학자는 일상적으로 대부분의 작은 정비를 할 수 있다. 그같은 경우 조작 비용은 매우 적게 소요된다. 실험실에 설치된 후 조작 비용은 매달 약 500\$정도이다. 이같은 장치를 사용하면 한 명의 보존과학자의 작업 능력은 5~10배로 증가된다. 이것은 다음의 예로 설명되어질 수 있다.[11] 긴급 발굴의 과정으로 1978년과 1984년 사이에 Roman의 "Vitulum"에서 발굴된 모든 鐵製遺物과 破片들의 처리에 있어 완벽하게 복원과 보존을 하게 했다. 발굴된 전체 유물은 약 10,000여점으로 이루어졌다. 전통적인 처리를 위해 필요한 인력을 산정하면 3명의 인원이 3년 이상의 시간이 소요되며 여기에 소요되는 예산은 약 300,000\$에 해당하는 비용이 들게 되었다(세척에 의한 탈염은 제외하고). 플라즈마 처리방법을 사용함으로써 약 6명으로 6주간에 염화물의 제거와 부식에 대한 표면 안정화를 포함하여 전체 처리를 완벽하게 할 수 있었다. 처리동안 장치의 가동 시간은 2주 이하였다. 더불어 고고학자들의 관심에서 벗어나 처리 전에 인지하지 못했던 많은 대상(철핀, 바늘, 열쇠 등등)을 규명하게 되었다. 그러므로 무엇보다 먼저 그런 대단위의 전체 유물의 완벽한 평가를 하게 해주었다.

5. 結 言

현재 금속유물의 보존처리와 복원을 위해 플라즈마를 적용하는 방법은 계속 연구 발전되고 있으며 일상적으로 적용할 수 있는 단계로 접어들고 있다. 이러한 플라즈마를 적용한 처리방법은 전통적인 처리방법에 비해 다음과 같은 장점이 있다.

- 1) 이제까지 접근하기 힘들었던 유물의 본래 표면에 있는 미세한 세공까지도 규명이 가능하게 되었으며
- 2) 단시간내에 다량의 유물을 처리하여 처리비용의 절약과 처리시간을 단축하게 되었으며
- 3) 한꺼번에 덩어리로 발굴된 유물을 완벽하게 처리하여 명확한 자료를 얻게 되었다.

이상과 같이 유물의 보존처리에 있어서의 플라즈마 적용에 관한 자료를 소개하였으나 이를 적용하기 위해서는 먼저 본 실험실의 기술적인 어려움이 뒤따르게 됨으로 외부의 전문기관(고체물리분야의 반도체 제작에 플라즈마를 적용하는 연구파트)의 조력을 받아 기초실험이 이루어진 후 유물의 보존처리에 적용되어야 한다고 생각된다.

** 引用 文 獻 **

1. Turgoose S. 'Post-excavation changes in iron antiquities' *Studies in Conservation* 27 (1982) 97-101
2. North N.A. et al 'Method for treating marine iron' in ICOM Committee for Conservation 5TH Triennial Meeting, Zagreb (1978) 78/23/3/1-10
3. North N.A. et al 'Thermal decomposition of FeOCl and marine cast iron corrosion products' *Studies in Conservation* 22 (1977) 146-157
4. Thomson G. *The Museum Environment*, Butterworths, London (1978)
5. North N.A. et al 'Alkaline surfite treatment of marine iron' in ICOM Committee for Conservation 4th triennial Meeting, Venice (1975) 75/13/3/1-14
6. Tylecote R.F. et al 'The effect of hydrogen reduction on the properties of ferrous materials' *Studies in Conservation* 25 (1980) 87-96
7. Veprek S. et al 'Application of low-pressure hydrogen plasma to the Conservation of ancient iron artifacts' 31 (1986) 29-37
8. North N. et al 'Thermal stability of cast and wrought marine iron' *Studies in Conservation* 21 (1976) 192-197
9. Daniels V.D. et al 'Gas plasma reactions for the Conservation of antiquities' *Studies in Conservation* 24 (1979) 85-92
10. Daniels V.D. et al 'Plasma reaction of silver tarnish on Daguerreotypes' *Studies in Conservation* 24 (1979) 85-92
11. Veprek S. 'A new method for the restoration of archeological metallic artifact by means of low pressure plasma treatment' *Current Problems in the Conservation of Metal Antiquities* (1989) 63-79
12. Veprek S. 'Restoration and conservation of archeological artifacts by means of a new plasma-chemical method' *J.Electrochem.Soc.*134 (1987) 2398-2405
13. Brian Chapman, *Glow Discharge Processes*, p.253, p.297-8