

〈총설〉

액상 실리콘 고무를 이용한 유물 복제

김창석 | 황선도*

용인대학교박물관 객원수석연구원

*용인대학교 문화재보존학과

Reproduction of the relics using Liquid Silicone Rubber

Chang-Seok Kim | Sun-Do Hwang*

Yong-in University Museum, Yong-in 449-714, Korea

*Dept. of Conservation of Cultural Properties, Yong-in University, Yong-in 449-714, Korea

1. 머리말

문화재는 유구한 역사를 가진 인류의 문화유산으로서 목재, 석재, 섬유, 금속 등 다양한 재료로 구성되어 있다. 이러한 문화재들은 제작 직후부터 직사광선, 비바람, 오염물질, 온도변화 등 물리·화학적 손상과 미생물 등에 의한 생물학적 손상을 받아왔다. 따라서 문화재들은 대부분 재질이 매우 약화되어 있는 상태이다.

이러한 문화재를 현재의 상태로 계속 전시하기에는 환경적인 면에서 많은 제약을 받게 된다. 따라서 전시가 곤란한 유물들의 전시 대체용으로 복제가 시도되고 있고, 그 수가 점점 늘어 앞으로 복제의 중요성이 더욱 커질 것이라 생각된다.

우선 유구한 역사를 지닌 유물들을 복제하기 위해서는 제작 당시의 환경, 여건 등과 제작 기술과 도구, 재료 등을 충분히 연구하고 검토한 후에 제작 당시의 수법을 그대로 적용하는 것이 원칙일 것이다. 그러나 오랜 세월이 지난 현재 기존의 기법과 재료만을 가지고 현재의 유물을 복제한다는 것은 어느 정도 한계가 있다. 예를 들어 금속유물의 경우, 현재는 부식이 심하여 표면이 녹으로 덮여있는 상태를 기존의 기법과 재료로 재현한다는 것은 매우 어려운 일일 것이다. 따라서, 본 내용에서는

현재 복제에 사용되고 있는 재료와 방법들에 대해 간략하게 알아보고, 그 중 가장 중요하다고 할 수 있는 Molding 재료로서의 실리콘 고무에 대하여 직접 복제를 통해 알아보도록 하겠다.

이번 내용의 복제 대상은 일부 금속유물과 토제유물¹⁾로 하였다.

2. 복제 재료 및 방법

2.2 재료

2.2.1 Molding 재료

현재 Molding재로 쓰이는 것은 여러 가지가 있었지만 그 중에서도 Rubber latex, Paper, Silicone rubber 등이 가장 대표적이라 할 수 있다. 여기서는 그 가운데 이번 복제에 사용된 Silicone rubber에 관하여 좀더 알아보도록 하겠다.

1) silicone rubber의 일반적 특성

실리콘은 분자 구조상 무기적인 성질과 유기적인 성질을 동시에 갖는 독특한 양면성을 지닌다.²⁾ 그러므로

1) 철제은상감금장봉문헌두대도, 금봉용봉헌두대도, 철제헌두대도, 등자, 철모, 외당편, 흑색마연토기

각각의 특징으로 인해 활용도가 매우 넓으며, 현재 대부분의 산업분야에서 필수적으로 사용되고 있다. 실리콘의 이러한 특성들을 도식화한 것이 Table 1인데, 이밖에도 실리콘 고무는 가압 수증기하에서는 급속하게 실록산 결합의 가수분해가 일어난다. 5Kgf/cm²이상의 증기압하에서는 수명이 짧아지는 것이다. 이를 개량하기 위해서는 생고무, 충전제의 표면처리, 가류제의 선택 등이 필요하다.

일반적인 특성은 Table 1과 같지만 현재 실리콘의 종류와 Type은 매우 다양하기 때문에 그 특성이 부분적으로 조금씩 차이가 있다.

Table 1. The properties of silicone rubber

특성	항목	판정
물리적성질	생고무 비중(25℃)	0.95~0.98
	경도(JIS A)	25~90
	인장강도(kg/cm ²)	40~100
	신장률(%)	100~700
	인열강도(kgf/cm)	6~40
	반발탄성(%)	A
	사용온도 최고(℃)	250
	사용온도 최저(℃)	-95
	내마모성	B
	내굴곡균열성	B
내유및 내용제성	내오존성 ⁴⁾	A
	내압축영구줄음률	A
	내가스투과율	A
	내염성(耐炎性)	B
	윤활유	B
	휘발유	D
	지방족탄화수소	D
	방향족탄화수소	D
내 산 및 내알칼리성	염소용제	D
	알코올	C
	케톤	C
	물	A
	묽은 산	B
	진한 산	D
	알칼리	B

* (A:우수 B:양호 C:보통 D:불량)

2) 액상 실리콘 고무(RTV)

RTV는 축합 2성분형이 1950년 전반에 개발된 이후

성상의 다양화 및 가공 상의 개량이 이루어졌고, 최근에는 자외선 경화 등의 새로운 가교방법이 개발 중에 있을 정도로 그 발전 속도는 빠르다고 하겠다. 기계적 특성이 비교적 약한 것 외에는 고무에서 요구되는 대부분의 특성에서 우수한 RTV는 시공 및 가공이 용이하기 때문에 건축, 토목, 전기, 전자, 사무용 기기, 항공, 우주산업 등에 그 응용 분야가 넓어져 가고 있다.

RTV는 1액형과 2액형이 있지만, 복제용 Mold의 재료로 쓰이는 것은 주로 2액형이다.³⁾ 2액형 RTV는 일반적인 실리콘 고무의 특성을 기본으로 지나면서, Table 2와 같은 특성을 가진다. RTV가 유물복제용 몰드로 사용되는 가장 큰 이유 중에 하나는 전사성이 매우 뛰어나기 때문이다. 전사성이 뛰어나다는 것은 유물표면의 미세한 부분까지 재현시킬 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 세밀한 표면복제에 이상적이라고 할 수 있겠다. 하지만 전사성이 뛰어나기 때문에 더욱 주의해야한다. 만일, 유물 표면의 미세한 크랙을 통하여 유물에 침투하게 된다면 그것은 곧 유물을 훼손시키는 일이기 때문이다. 따라서 실리콘 Molding 이전에 충분한 유물 보호 작업을 실시하여야 한다.

Table 2. The properties of 2-phases RTV

항목	특성
가용시간	일반적으로 짧다.
경화속도	촉매의 종류, 양으로 조절, 습도의존성이 크다. 온도 의존성은 비교적 낮다.
심부 경화성	그다지 양호치 않음.
경화시 부생물	알코올
경화저해	없음
전기 절연성	경화시 일시적으로 저하된다.
금속과의 상호작용	주석 촉매에 따른 전이 가능성이 있다.
신수축율	1.0% 이하
이형성	양호
밀봉 내열성	다소 떨어짐
자기 소화성	불량

RTV는 액상이기 때문에 경화되기 직전까지 충분한 침투가 이루어지고 그로 인해 전사성이 좋아지게 되는 것이다. Fig.1~3은 실리콘 고무의 분자구조와 경화원리를 보여준다.

2) 실리콘(Silicone)은 유기기를 함유한 규소(organosilicone)와 산소 등이 화학결합으로 서로 연결된 모양으로 된 폴리머를 의미한다.

3) 1액형과는 달리 2액형은 점착성이 없고, 이형성이 있다. 최근에는 자기접착 능력이 있는 제품도 개발된 상태다.

4) 상온, 오존농도 200ppm, 고무에 신율 50%부여한 상태에서 폭로, 4주후에 강도저하만 약간 생길뿐 표면에 균열 없음.

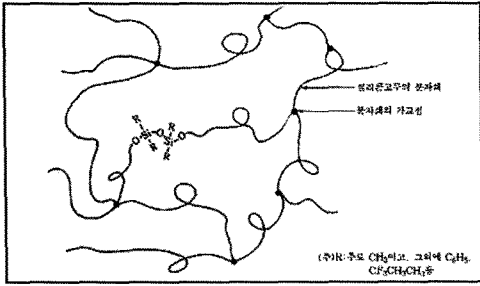


Fig.1 molecular structure of silicone oil.

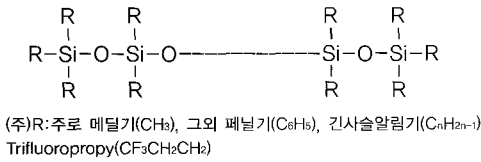


Fig.2 molecular structure of silicone rubber.

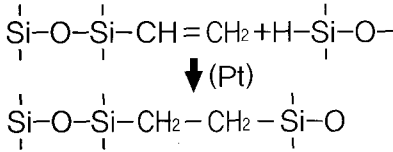


Fig.3 hardening principle of silicone rubber.

2.2.2 Casting 재료

1) 석고

석고는 가장 오래전부터 사용되어 왔고 지금까지도 많이 사용되는 기본 재료이다. 성분에 따라서 종류가 나뉘고 종류별로 강도와 경화팽창 등이 달라진다.

복제에 사용되는 석고는 주로 소석고인데, 1급~A, B, 2, 3등급으로 나뉘며, 3등급으로 갈수록 저급품이고 견고성이 떨어진다. 즉, 고급품으로 갈수록 경도와 백색도가 뛰어나다.

재료의 특성상 가공이 용이하여 Model을 만드는 기초 재료라 할 수 있으나, 기계적 강도가 약한 것과 물과 혼합 시에 기포가 많이 발생한다는 점이 단점이다. 강도를 보완하기 위해서는 물을 적게 써서 된 반죽을 하거나, 석회를 물에 녹인 석회수를 섞어 사용한다. 혹은 3.5% 백시멘트를 혼합하거나, 아라비아고무를 혼합하여 사용할

수도 있다. 경우에 따라서는 톨, 실, 마닐라 삼-스사, 마포, 거즈, 수용성 아크릴 에멀전이나 비닐 아세테이트 계통의 보강물질을 혼합하여 사용하기도 한다. 성형 후에 함침 시켜 표면을 강화시키기도 하는데 이 방법은 통상적으로 완성 후에 사용하며 표면의 질감과 색감을 변화시킬 수 있으므로 부분적으로 테스트 후에 사용한다.

물과 혼합하는 과정에서 발생하는 기포를 줄이기 위해서는 물과 혼합 시에 물에 석고를 흠뿌려 휘젓지 말고 스며들게 하는 방법과, 실리콘 오일을 첨가하는 방법 등이 있다.

이렇게 석고의 단점을 보완하기 위해 사용되는 보조 재료들은 대상과 작업의 특성에 맞추어 적절한 양을 조절하여야 한다. 혹은 특성에 맞는 다른 종류의 석고를 사용하는 것도 도움이 될 듯 하다.

작업상 석고는 비교적 경화시간이 길어 작업하기에 용이하지만, 경화시간을 줄이고 싶다면 몇 가지 방법이 있다. 1. 더운물을 사용하거나 물을 적게 사용한다. 2. 사용한 석고를 갈아서 만든 분말을 소량 섞는다. 3. 물에 소금, 명반 혹은 황산칼륨(유화가리)을 소량 넣는다. 이와는 반대로 경화를 지연시키고 싶다면, 찬물을 쓰거나 10%의 붕사를 섞는다. 혹은 설탕, 식초, 알코올, 아교 등을 섞어 석고가 굳는 것을 지연시킬 수 있다.

석고는 그 특성상 혼합하는 물의 온도에 따라 경화시간과 용해도가 달라진다. 또한 물의 양에 따라서도 경화속도와 인장, 압축강도 등이 달라지므로 작업의 성격에 따라 잘 조절하여야 한다.

2) Epoxy Resin

가장 많이 사용되는 Casting 재료로서 비교적 내구성이 좋고 화학적, 기계적 성질과 전기 절연성이 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 자외선에 매우 약하여, 자외선에 노출되면 쉽게 황변현상이 발생한다. 따라서 내후성이 요구되는 분야에서는 옥외보다 옥내용에 많이 사용한다.

주제와 경화제로 구분되며, 혼합비율이 매우 중요하다. 정해진 비율이 아닌 부정확한 비율일 경우 경화가 되지 않거나 심한수축으로 성형에 실패하기도 한다. 또한 경화제를 다룰 때 작업온도에서의 점도, 가사시간, 발열, 독성 등과 경화시의 작업성, 경화시간, 필요 경화온도가 무엇보다 중요하다.

3) Polyester

주제와 경화제가 있으며, 경화제의 양을 조절하여 어느 정도 경화시간의 조절이 가능하다. 비교적 경화시간이 짧아 반복되는 과정의 성형 시 유리한 점이 있긴 하지만, 10~12%의 큰 수축으로 세밀한 성형에는 부적당하다. 따라서 대형모형, 구조물이나 형틀제작 등에 많이 이용되고, 주로 유리섬유와 함께 혼합하여 만들어지는 FRP⁵⁾에 이용된다.

전기절연성, 내약품성, 내열성 등이 좋지만, 인체에 해롭기 때문에 작업 시 충분한 환기와 보호구 착용이 필요하다.

4) 충전물과 안료

충전물은 성형물의 중량조절, 질감표현, 색상표현 등에서 매우 중요하다. 종류는 자연재료에서부터 인공재료까지 그 종류가 매우 다양하며, 대표적인 재료는 Talc(활석분말), 석영분말, 실리카, 운모, 흑연, 금속과 우더 등이 있다.

안료 역시 그 종류가 매우 다양한데, 일반적으로 성형재에 기본색을 혼합하여 성형한 후 Colouring을 하는 것이 기본이다. 안료를 사용함에 있어서 결합제가 필요할 경우가 있다. 결합제로는 아교, 에폭시 수지, 아크릴 에멀전, 폴리우레탄 등이 있지만 성형재와 동일한 것을 사용하는 것이 바람직하다. 안료를 이용하여 Colouring할 때 충분한 색을 갖추기 위해 여러 가지 색상을 갖추어야겠지만, 우선적으로 7가지 색상(Yellow, Red, Green, Blue, Brown, White, Dark)은 필수라 하겠다.

이렇게 충전물과 안료의 종류가 다양하지만 무엇보다 중요한 것은 성형물의 특성에 맞는 것을 신중하게 선택하는 것이다. 특히 충전물의 선택은 성형물의 특성과 관련된 것이므로 더욱 중요하고 하겠다.

2.1 복제 방법

1) Molding

우선 복제대상 유물의 사진 촬영과 필요한 부분을 실측한 후 유물의 형태나 성격에 따라 Mold재료와 Type를 선정하고 유물 표면의 불필요한 오물이나 먼지를 제거한 후, 현미경이나 확대경을 사용하여 크랙이나 가공

부분을 매워 준다. 매움재로는 세멘다인-C나 소상용 점토 등이 있고, 조건에 따라 선정한다.

유물의 재질이나 상태가 취약할 경우는 직접 복제는 피해야 하고 주석박지를 유물표면에 충분히 압착하여 보호조치를 한 후 복제한다. 이 경우 석고를 모델로 수정과정을 거치는 경우가 일반적인 방법이다. 특히 실리콘을 이용하여 Mold작업을 할 경우, 미세한 틈으로 유물에 침투할 가능성이 있으므로 작업 전 모든 유물에 주석박지를 수차례 압착하여야 한다.

대상 유물에 Molding할 분할선을 결정하고 그에 따라 소상용 점토 등으로 분할 후 이형체를 도포한다. 이형체의 종류는 실리콘 오일, P. E. G. Wax, 스테아린산, 크레졸, 연성비누 등이 있으며, 사용된 이형체는 반드시 제거가 가능하고 유물에 손상이 없는 것이어야 한다.

이형체 도포가 끝나면 분할선에 따라 선정된 실리콘 고무를 필요량에 맞게 정량의 촉매와 혼합하여 복제대상 표면에 도포하고, 경화된 후에 재차 도포하는 방법으로 필요한 두께로 Molding한다. 이 과정에서 필요할 경우 거즈를 사용, Molding하여 보강하기도 한다.

전체를 실리콘 고무로 Molding할 경우는 촉매를 혼합한 후 진공으로 탈기하여 주입하는 것이 효과적이다. 주입된 Mold가 경화된 후 조심스럽게 탈형하여 60℃ 오븐에서 24시간 방치하여 Mold를 완성한다.

2) Casting

Casting할 재료선정이 끝나면 우선적으로 충전물을 선택한 후 시험편을 제작하여 수축률에 대한 정보를 얻고, 성형물의 색상, 표면질감 등을 고려하여 최종적으로 충전물을 선정한다. 그 다음 몰드의 형태를 고려하여 주입구 위치를 잡고 필요시 공기 배출구를 만든다. 몰드를 조립하여 고정시킨 후 Casting재를 붓고, 충분한 경화시간이 지난 후 탈형한 뒤 60℃ 오븐에서 4시간 이상 건조하여 완성한다.

3) 나무리

모형이 완성되면 소도구 등을 사용하여 분할선 및 표면정리를 실시하고, 선정된 안료와 결합제로 채색하여 완성한다.

5) 유리섬유강화플라스틱(fiber glass reinforced plastic)

3. 유물복제

이번 복제에 대상이 된 유물은 모두 7점이었고, 크게 금속유물과 토제유물이었다. 모든 유물에 대해 복제에 앞서 사진촬영을 실시하고, 유물의 성격에 맞는 Mold의 재료와 Type을 선정하였다. 또한 유물에 있는 불필요한 이물질이나 오염물을 제거하고 확대경을 통하여 크랙이나 가공부분을 배워주었다.

3.1 모형제작

금속유물의 경우 크게 대도와 철모, 등자로 나뉘고, 토제유물은 토기와 와당편으로 나뉜다. 모두 유물의 색상과 질감을 고려하여 최대한 흡사하게 제작하였다.

1) 금속유물

1차 형틀 제작용 RTV중 인장강도와 신장률 등을 고려하여 Mold 재료를 선택하였고, 형틀로의 재사용 목적은 제외하였다. Molding에 앞서 실리콘이 유물표면에 피복되지 않게 하기 위해 주석박지를 수차례 부착하였다. 유물의 형태를 고려하여 형틀의 분리가 용이하도록 유도를 이용하여 탈형이 가능한 부분에 분리선을 두었다. 외부형틀은 석고로 제작하고 각 부분에 이형제를 도포하여 분리가 용이하도록 하였다.

복원재료는 유물의 질감을 고려하여 Epoxy 수지를 이용하였고, 수지 도포 후 유리섬유와 보강재를 이용하여 보강하였다. 또한 중량을 고려하여 내부에 금속으로 충분히 중량을 늘려 중량감을 느낄 수 있게 제작하였다.

용봉환두대도의 경우 환두 부분은 실제의 재질과 같은 재료로 따로 제작 후 나머지 부분을 제작하여 최대한 유물과 흡사하게 제작하였다.

2) 토제유물

토제 유물도 금속유물과 마찬가지로 RTV를 선정하고 유물의 표면에 주석박지를 수차례 부착하여 유물 표면에 실리콘이 피복되지 않도록 하였다.

토기의 경우 내부 형틀은 Insert casting방법으로 유물의 형태를 고려하여 고무 밴드와 유도로 탈형이 가능한 부분에 분리선을 두고 Flange를 만들어 형틀의 조립을 보강하였다. 외부형틀은 석고를 사용하여 금속유물과

마찬가지로 제작하였다. 복원재료로 유사한 질감표현과 재료의 수축이 적은 급결시멘트 종류로 주입과 도포를 통하여 원하는 두께로 성형한 후, 경화시간과 건조시간을 두어 제작하였다.

와당편의 경우 다른 유물과 같은 과정으로 복제를 실시하였으나, 복원복제의 형태였기 때문에, 실리콘 형틀로 1차 복제 후 석고 가모델을 만들어 다수의 와당편을 제작하였다. 제작된 와당편은 문양의 형태와 깊이, 질감의 표현 등을 수정하여 복원하고, 다시 RTV를 이용하여 복원하였다. 좀 더 복잡한 형태의 유물을 복원하여 복제할 경우 3D스캔으로 왁스 주형을 제작한 후 복원을 실시하고, 복제를 하는 과정이 필요하다.

3.2 마무리

모형 제작이 끝난 후 실제유물의 표면 질감과 색상을 고려하여 분할선 부분을 정리하고, 표면을 정리한 후 안료와 결착제 등을 이용하여 색맞춤을 실시하고 마무리하였다.

4. 결과

RTV(액상 실리콘 고무)를 이용한 복제는 유물의 표면의 미세한 부분까지 표현할 수 있을 정도로 전성과 탄성이 뛰어났다. 그로 인해 좀더 유물과 흡사하게 복제를 실시할 수 있게 되었다. 또한 수축이 거의 없었고, 모형 제작의 공정과 제작 후의 표면작업이 대폭 감소하여 작업이 수월하였다. 특히 와당편과 같은 경우 복원 후 복제가 이루어졌는데, 이 과정에서 유물의 질감이 크게 떨어지거나 형태가 변하지 않아 좀더 유물에 근접한 모형을 제작할 수 있었다.

다만 Molding을 하는 과정에서 실리콘의 경화속도와 전사성을 고려하였을 때, 실리콘이 유물 표면에 침투될 가능성이 충분히 존재한다. 따라서 무엇보다 주석박지 등을 이용한 유물보호가 반드시 필요하고 무엇보다 중요하였다. 그 외에 실리콘에 촉매를 혼합하는 과정에서 기포가 발생하여 형틀에 기공이 발생하기도 하고, 탈형을 하는 과정에서 형틀의 손상이 올 수 있어 작업자의 세심한 주의가 필요하였다.

5. 고찰

문화재는 출토유물, 야외 건조물, 조각품, 회화유물 등 수많은 종류가 있다. 이러한 것들을 복제하기 위한 기법은 너무나 복잡하고 다양하기 때문에 기법에 대하여 단언하기는 너무나 어려운 것이 사실이다. 복제에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 유물의 질감과 색깔 등 원래의 유물이 지니고 있는 시대감을 표현하는 것이다. 따라서 복제를 하기 위해서는 기술뿐만 아니라 전문적인 지식이 필요한 것이다.

이렇게 제작된 복제 모형은 유물의 이해를 돕기 위한 전시물의외에도 유물의 현재 상태에 대한 기록이 될 뿐만 아니라, 유물보호를 위한 대체 전시물로 이용할 수 있으므로, 넓은 의미의 접근이 이루어져야 한다. 더욱이 과학적인 분석과 제작 장비, 다양한 복합재료, 기술이 접목된다면 앞으로 문화재 분야에 폭넓게 이용할 수 있을 것이다.

요컨대, 현재 복제에 사용되는 모든 재료와 방법에 국한되기보다는 유물의 재질과 상태에 따라 언제든지 변화 대처할 수 있도록 충분한 연구와 실험이 필요하다 하겠다.

참고문헌

1. 장경희, 이숙희, *한국미술문화의 이해*, 예경, (1997).
2. 정해도, "실리콘을 이용한 미세복제기술", *월간프레스기술* 10, (2003).
3. 한국문화재보호재단, *한국의 전통공예기술*, 한국문화재보호재단, (1997).
4. 김옥조, *캐스팅의 실제와 응용*, 디자인하우스, (1997).

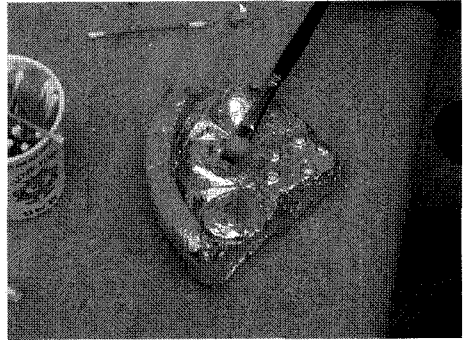


Fig.4. sticking the tin foil for the protection of relic.



Fig.5. sticking the tin foil for the protection of relic.



Fig.6. sticking the tin foil for the protection of relic.

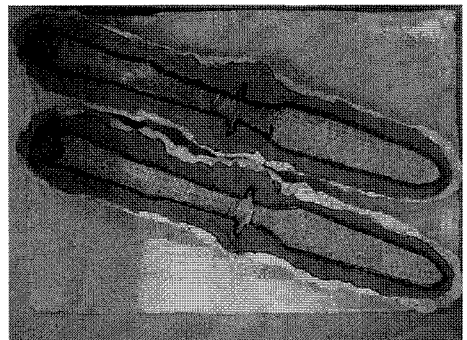


Fig.7. shaping the surface of wall.

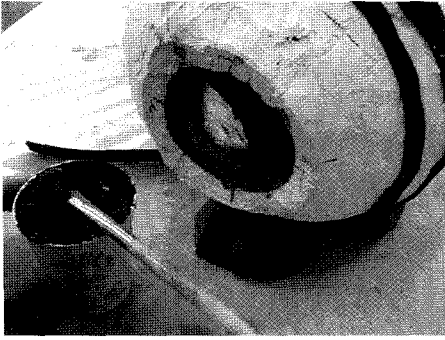


Fig.8. sticking the glass textile.



Fig.12. face arrangement.



Fig.9. sticking the bottom.

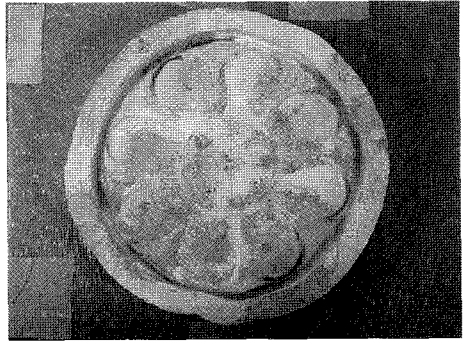


Fig.13. shape restoration.

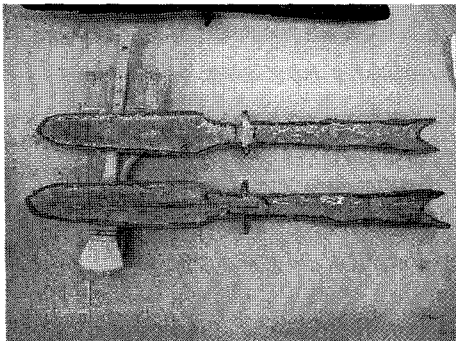


Fig.10. reinforcing inside of model.

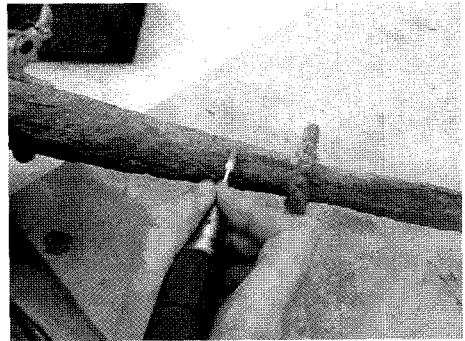


Fig.14. face arrangement.



Fig.11. reinforcing inside of model with reinforcement.