

충주 송선사지 출토 철제유물의 미세조직 분석

Microstructure investigation of iron artifacts excavated from
Sungseonsa Temple in Chungju city

俞在恩 · 高亨淳 · 李在城*

Jae Eun Yu, Hyeong Sun Go and Jae Seong Yi*

ABSTRACT

Sungseonsa Temple site in Chungju city in Chungcheongbuk-do Province is written in "Goryeosa" as a building for Queen Sinmyeongsunseong, the mother of Gwangjong in AD 954 in Goryeo Dynasty. The museum in Chungcheong University takes charge of the excavation for 3 times from 2000 to 2002 and identified that its construction was carried out till Joseon Dynasty.

Among the iron artifacts from the first excavation such as a weeding hoe, a hand knife, a lock, two nails and a plow which had conservation treatments, the sample was collected. Its micro-structure and method of manufacture were investigated. Excavation report for those artifacts has not published yet, therefore, the date of each artifacts is not clearly confirmed. The samples were collected from each part of the objects and then embedded in epoxy resin and etched with nitric acid. The examination of its microstructure is carried out under the microscope and the hardness values were measured by Vickers hardness tester.

From the results, some artifacts show different manufacture methods in the each parts. The forming processes of the iron weeding hoe and the iron sickle are similar but the blade of iron weeding hoe was strengthened by carbonization whereas the blade of the iron sickle was done by quenching. The hand knife and the nails were produced

*전 국립문화재연구소, 현 경기도박물관 보존과학실

through almost same methods and shows similar microstructures. The hand knife seems to be made by repeated beating and folding in low temperature resulting in fine crystallization, but the nail shows large crystallization due to processes in high temperature. Lock is made of white cast iron, that does not show any heat treatment.

I. 머리말

충주시에 소재하는 송선사지는 고려 광종 5년(954) 모후인 신명순성왕후를 위해 지었다는 기록이 『高麗史』남아 있으며 2000년부터 2003년까지 3차에 걸쳐 충청대학 박물관에서 발굴조사를 실시하였다. 조사 결과 이 사찰은 창건 이후 17세기 중엽까지 법등이 이어졌던 대규모 사찰이었음이 확인되었다.

출토 유물 중 1차 조사에서 출토된 금속유물을 대상으로 보존처리가 실시되었고 이중 철기에서 시편을 채취하여 금속 미세조직을 분석하였다. 이는 유물 제작 당시의 기법을 파악하기 위한 것으로 대상 유물은 철제호미 1점, 철낫 1점, 도자 1점, 자물쇠 1점, 모정 2점, 보습편 1점이다.

본고는 미세조직 분석 결과를 정리한 것으로 유물 종류에 따른 제작기법의 차이를 밝히고자 하였다.

II. 실험 방법

1. 시편 제작

시편은 가능한 한 각 부위별로 채취하도록 하였다. 마이크로 커터를 이용하여 시편을 채취하고 시편 제작용 에폭시 수지로 제작하였다. 연마지(#100~#4000)와 미

세연마분(Diamond Susening 3 μ m, 1 μ m)을 이용하여 연마하고 Nital 3% 용액으로 연마면을 에칭(Etching)하였다.

2. 조직 관찰 및 경도 측정

미세조직 관찰은 금속광학현미경(Nikon Epipot)으로 실시하였고 조직의 입도에 따른 경도값은 비커스경도기(Aksshi, Model MVK-HVL)로 측정하였다. 측정하중은 100gf로 5초간 실시하였는데 시편의 상황에 맞추어 50gf로 측정할 것도 있다.

Ⅲ. 실험 결과

1. 철제호미

날 부위는 휘어진 반달형으로 안쪽에 날을 형성하고 있으며 납작하다. 자루 부위는 길이가 길고 날과 긴 'ㄱ'자 형태를 취하고 있다. 단면은 직사각형으로 손잡이 부위인 끝 부분은 약간 휘어진 형태를 하고 있다.

손잡이 부위, 자루 부위, 날 부위, 등 부위에서 시편을 채취하였다. 전체길이 38.9cm, 날 부위 길이 14.4cm, 날 부위 폭 5.8cm.



Photo 1.
철제호미

1) 손잡이 부위 (Photo 1의 A)

상하와 좌측 부분은 표면에 해당하고 오른쪽은 유물 내부를 향한다. 왼쪽 표면에 부식된 곳이 보인다. 전체적으로 미세한 결정립을 이루고 있으며 일부 연신된 개재물이 관찰된다. 대부분 Photo 4와 같은 펄라이트(Pearlite)로 이루어졌으며 Photo 2의 오른쪽 상단 일부에 Photo 3에서 보여주듯이 결정립계에 시멘타이트가 형성되어 있고 결정립내에 펄라이트가 분포하는 과공석강 조직이 일부 분포한다.

전체적인 경도값은 280HV 정도로 높고 과공석강 조직이 분포하는 곳은 295.6HV 정도로 나타난다. 대부분 탄소함량이 0.77%인 공석강에 가까운 상태로 표면 일부에서 과공석강이 나타나는 것으로 보아 침탄처리를 실시한 것으로 보인다

2) 자루 부위 (Photo 1의 B)

Photo 7에서 보이는 미세한 결정립의 페라이트(Ferrite)가 주로 분포하며 일부에 펄라이트가 관찰된다. 왼쪽 표면 일부에 공석강(탄소함량 0.77 C%)에 가까운 펄라이트가 분포한다. 왼쪽 검은 부분의 경도값은 222HV, 다른 부분은 131HV 정도이다.

표면으로부터 내부까지 길게 연결된 선 모양의 개재물이 관찰되는데 이는 접고 두드리는 과정에서 형성된 것으로 여러 번 접고 두드리는 과정을 통해 성형되었음을 나타낸다. 결정립의 크기로 보아 가공온도는 낮았을 것으로 보이며 침탄처리를 실시하였다.

3) 날 부위 (Photo 1의 C)

상하 부위와 좌측 표면 부분은 대부분 부식되었고 가운데 부분에 일직선으로 부식된 곳이 보인다. 굵은 개재물의 선이 존재하는데 접고 두드리는 작업 과정에서 형성된 것으로 특히 중심은 틈이 많이 벌어져 있고 이곳에 부식이 진행되었다.

가운데 개재물을 중심으로 상하로 대칭되는 미세조직을 나타낸다. 개재물 주변에는 미세한 페라이트가 많으며 바깥으로 갈수록 탄소함량이 증가하고 있고 표면은

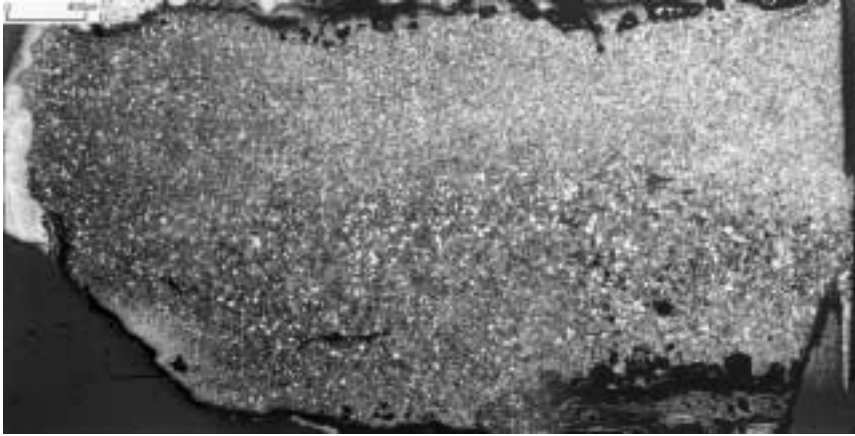


Photo 2.
병부조직(×50)

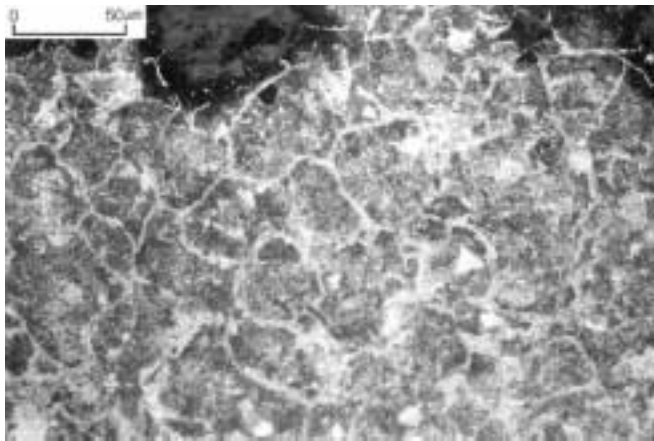


Photo 3.
Photo 2의 오른쪽 상단(×400)

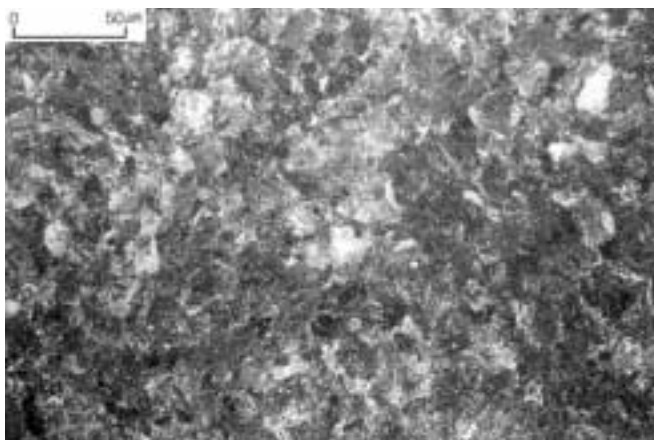


Photo 4.
Photo 2의 아래쪽 가운데부분
(×400)

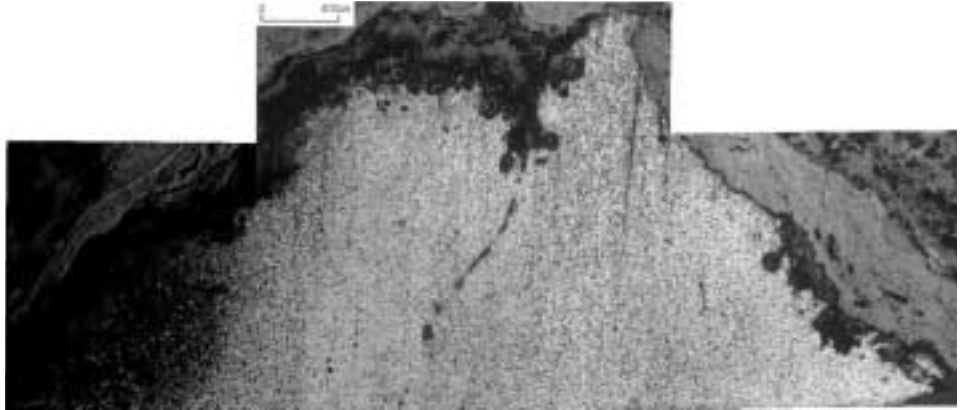


Photo 5.
자루 부위 조직(×50)

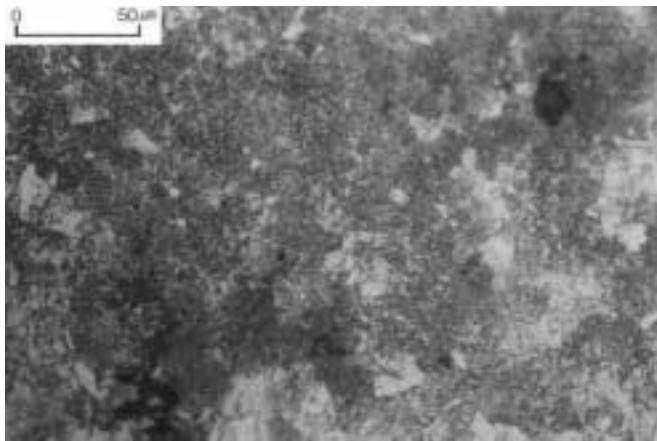


Photo 6.
Photo 5의 왼쪽 확대(×400)

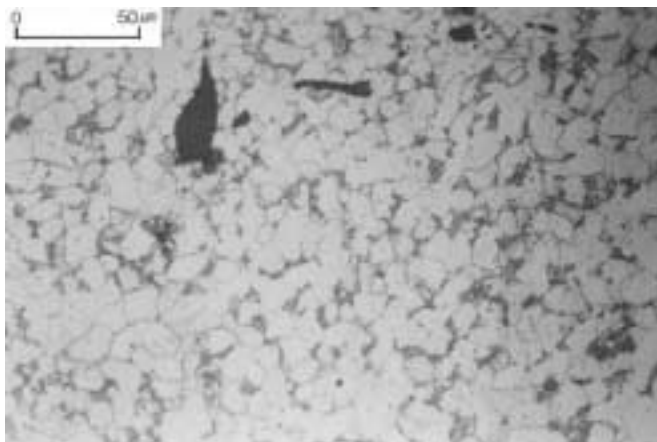


Photo 7.
Photo 5의 오른쪽 확대(×400)

거의 공석강에 가까운 조성을 하고 있어 침탄처리를 실시한 것으로 보인다. 페라이트 부분의 경도는 167HV, 표면 펄라이트는 278HV 정도이다.

4) 등 부위 (Photo 1의 D)

상하와 좌측은 표면 부분인데 좌측 대부분은 부식되었다. 위 부분 일부와 아래 부분은 다른 조직을 나타내고 있는데 위 부분은 거의 공석강에 가까운 조직으로 대부분 펄라이트가 형성되어 있다. 아래 부분은 가운데와 표면에 약간의 차이가 있다. 가운데는 페라이트 사이에 일부분 펄라이트가 관찰된다. 표면은 펄라이트 결정립 사이에 페라이트 결정립이 존재하며 철이 과열된 후 공냉되었을 때 많이 나타나는 비드만스웨튼이 전체적으로 분포하고 있다.

전체적으로 결정립이 성장된 상태이고 가공 방향에 따라 연신된 개재물이 많이 분포한다. 개재물은 원형과 띠 형태를 이루고 있는데 이는 가열 후 접고 두드리는 과정이 여러 번 반복되어 나타난 것이다. 등 부위는 가열 후 가공을 통하여 형태를 만들었으며 침탄처리를 실시하였다. 가공온도가 다른 부분보다 높아 결정립이 크게 나타나며 비드만스웨튼과 같은 과열조직 형성되었다.

공석강의 경도값은 265HV, Photo 13의 페라이트 경도값은 140HV이다.

호미는 자루 부위, 등 부위, 날 부위가 거의 유사한 미세조직을 나타내고 있다. 시편의 내부는 대부분 탄소함량이 낮아 페라이트가 많으며 표면은 탄소함량이 공석강에 가까운 펄라이트가 많이 형성되어 있다. 호미는 가공을 통하여 형태를 제작하였고 형태를 만든 후 일부분에 침탄처리를 실시하여 강화시키고 있다. 그리고 재가공으로 침탄처리 과정에서 조대하게 성장된 결정립을 미세화시켜 침탄의 효과를 극대화시키고 있으며 이때의 가공온도는 낮아 미세한 결정립으로 나타난다.

그러나 손잡이 부위의 내부는 탄소함량이 높은 공석강에 가깝고 일부에 과공석강이 형성된 상태로 보아 다른 부위의 내부 탄소함량과 차이가 심하다. 이는 호미를 제작하기 위해 손잡이 부위만 다른 소재를 사용하여 제작한 것인지 혹은 침탄을 집중적으로 하였는지 정확히 단언하기 어렵다.

Photo 8.
날부위 조직 (×50)

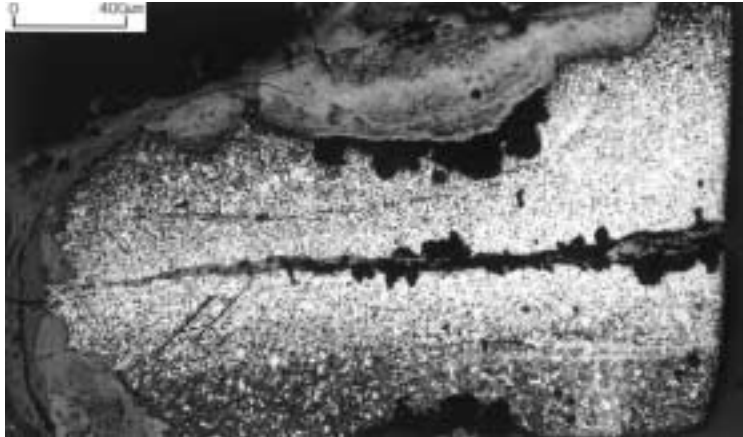


Photo 9.
Photo 8의 가운데 (×200)

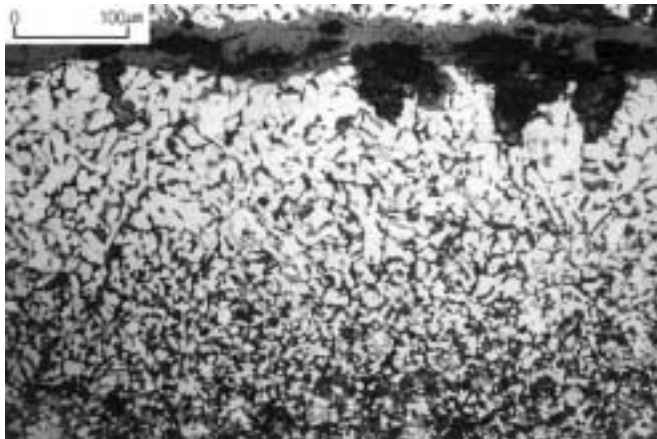
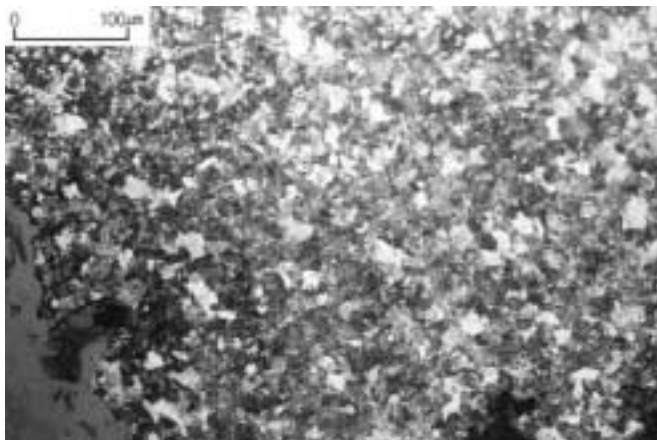


Photo 10.
Photo 8의 아래 (×200)



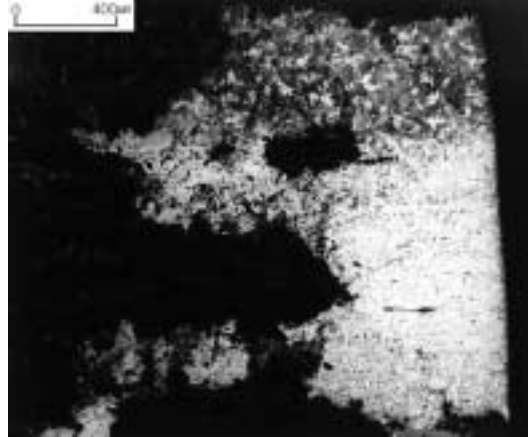


Photo 11.
등 부위 조직(×50)

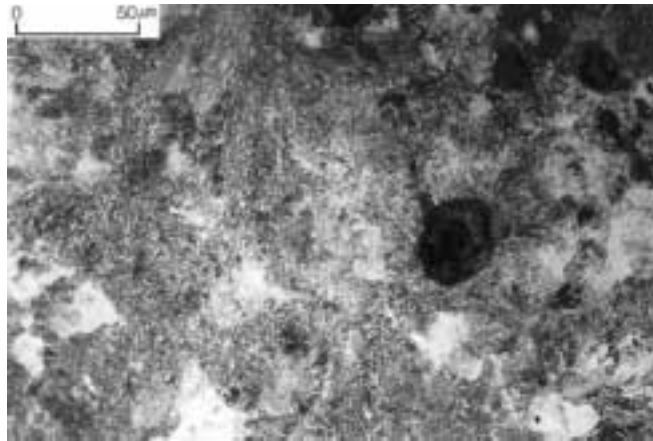


Photo 12.
Photo 11의 위쪽(×400)

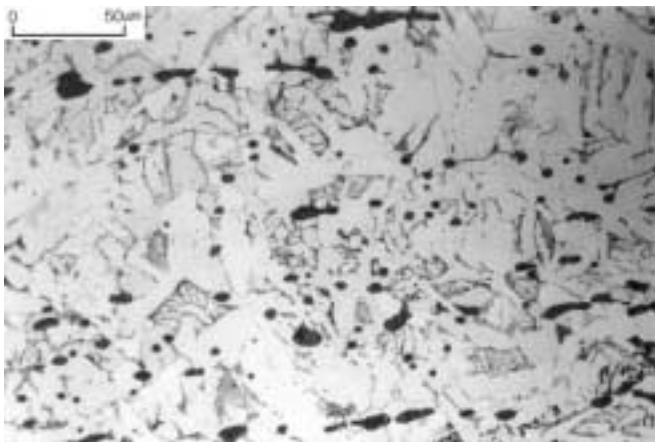


Photo 13.
Photo 11의 가운데(×400)



Photo 14.
Photo 11의 아래(×400)



Photo 15.
철 낫

2. 철 낫

평면이 ‘ㄱ’자 형태로 직선에 가까운 완만한 곡선의 형태를 하고 있으며 안쪽에 날이 있다. 습베로 휘어 넘어 가는 덜미의 두꺼운 곳인 낫공치는 다른 부분에 비해 두꺼운 편이다. 신부와 습베의 경계에는 자루를 휘어 감는 낫갱이가 남아있다. 날 부위에서 ‘ㄱ’자로 꺾이는 자루 부위의 단면은 직사각형이나 끝 부위로 내려오면서 원형의 단면을 이룬다. 끝 부위에 목질이 남아 있어 목제 손잡이를 끼워 사용한 것을 알 수 있다. 전체길이 19.4cm, 날 부위 길이 19.4cm, 등 부위 두께 0.7cm,

1) 낫 목 부위 (Photo 15의 A)

아래 부분은 유물 내부를 향하고 위 부분은 표면에 해당한다. 밝은 부분과 어두운 부분이 보이나 이는 에칭의 차이에 의한 것으로 전체적으로 비슷한 미세조직을 가지고 있다. 전체적으로 미세한 결정립과 공석강에 가까운 탄소함량을 가지며 균일한 펄라이트 조직을 보여주고 있다. 부분적으로 어둡게 보이는 곳은 부식되어 미세조직이 남아 있지 않은 곳이다. 위 부분의 경도값은 307HV, 아래쪽 가운데는 341HV로 비교적 높은 경도값을 가지는 펄라이트 조직을 나타낸다.

2) 낫 부위 (Photo 15의 B)

대부분 부식되었고 금속은 가운데 일부분에만 남아 있다. 시편이 두 부분으로 나뉘어진 것은 채취 과정에서 분리된 것이다. 낫 부위는 전체적으로 마르텐사이트가 형성되어 있는데 이것은 열간에서 성형 가공한 후 가열된 상태에서 물에 담그는 담금질을 통하여 생성되는 매우 단단한 조직이다. 일반적으로 낫과 같이 강도를 요구하는 부분에 적용하는 방법으로 단단하며 강도가 높은 성질을 가지게 된다.

경도값은 Photo 20이 311HV, Photo 21이 326HV로 마르텐사이트 경도값으로는 낮은 편이다. 마르텐사이트는 탄소함량과 냉각 속도에 따라 경도값에 차이가 있다.

철낫은 공석강에 가까운 소재를 사용하여 형태를 만든 후에 낫 부분에만 담금질을 실시하여 단단한 성질을 주었다. 목 부위의 경도가 높게 나오는 것은 낫을 담금질할 때 빠른 냉각속도에 의해 영향을 받은 것으로 보여진다.

3. 철제 도자

낫 끝과 스페 끝 부위 일부가 파손된 상태로 낫 부위 폭이 일정하지 않은데 사용하면서 낫 일부가 파손된 것으로 추정된다. 스페는 신부의 가운데에 위치하고 있다. 길이 14.4cm, 스페 길이 3.3cm, 신부 폭 0.8cm~2.2cm, 등 부위 두께 0.5cm.

Photo 16.
낮의 목 부위(×50)

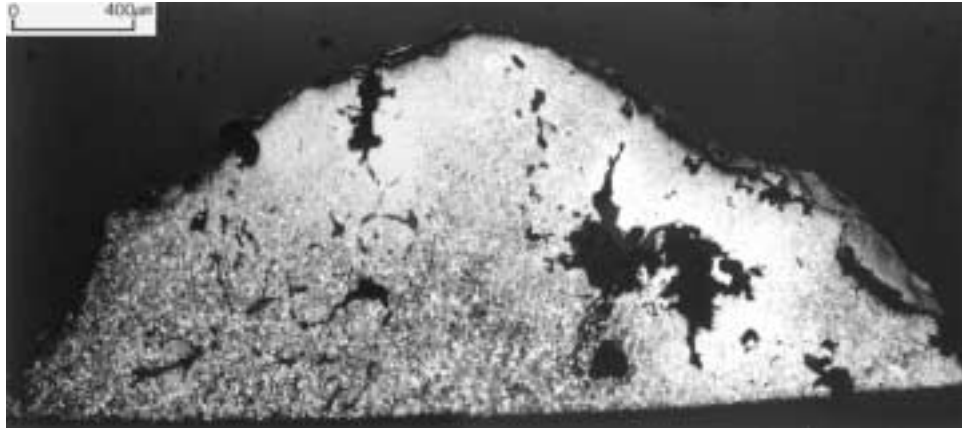


Photo 17.
Photo16의 위쪽 표면(×400)

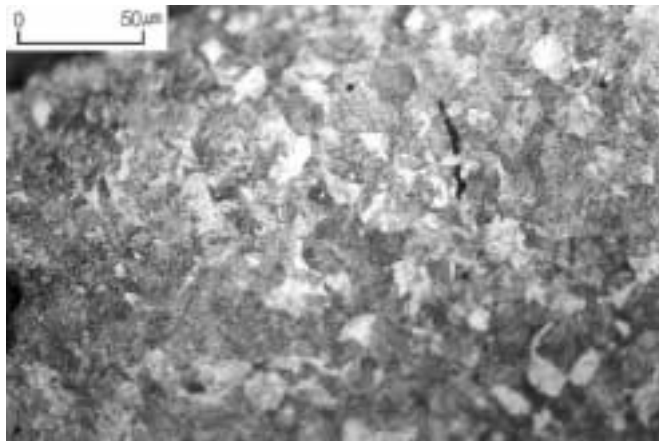
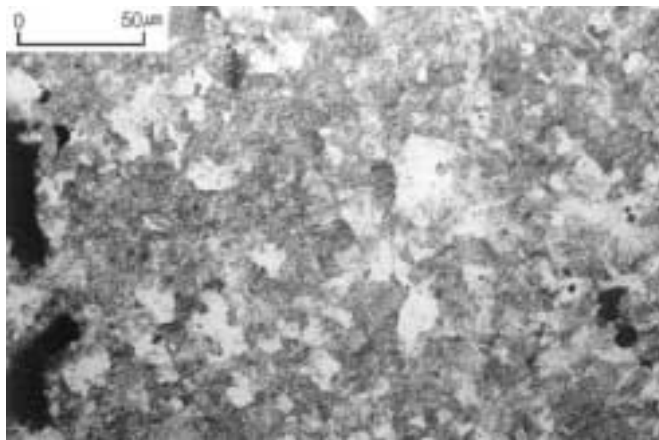


Photo 18.
Photo16의 아래쪽 가운데
(×400)



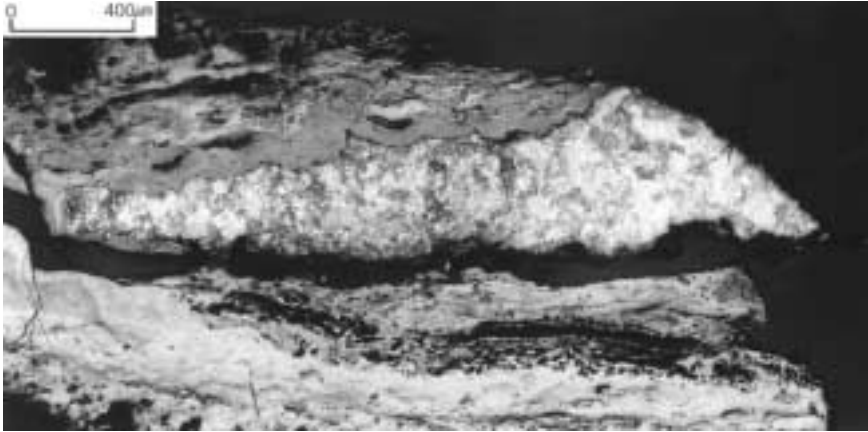


Photo 19.
날 부위 조직(×400)

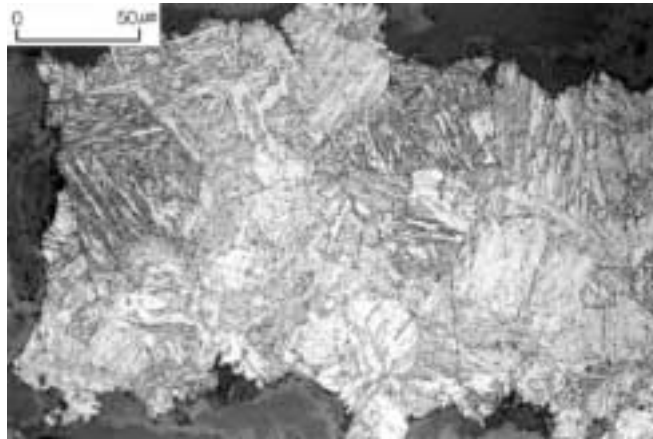


Photo 20.
Photo19의 왼쪽 부분 확대
(×400)

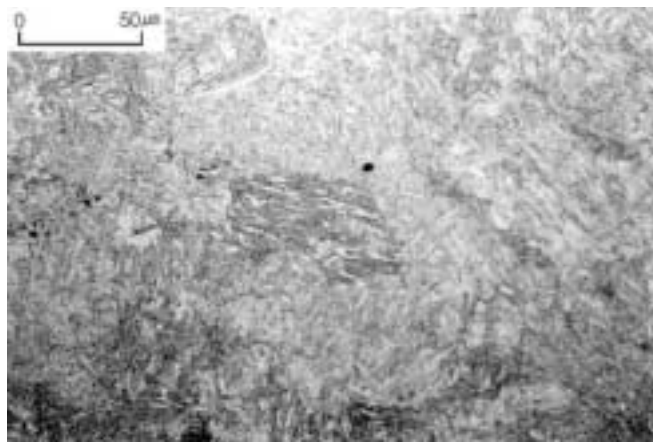


Photo 21.
Photo19의 오른쪽 확대
(×400)



Photo 22.
철제도자

1) 스페 부위(Photo 22의 A)

전체적으로 미세한 결정립의 페라이트와 펄라이트가 고르게 분포하고 있으며 가공에 의해 연신된 개재물이 관찰된다. Photo 23에 보이는 가로로 형성된 밝은 줄은 Photo 24에 보이는 것처럼 페라이트와 펄라이트가 공존되어 존재하고 있는 것이다. 경도값은 154HV로 낮다.

2) 등 부위 (Photo 22의 B)

등 부위도 스페의 미세조직과 같이 미세한 결정립의 페라이트과 펄라이트가 공존하고 있다. 스페에서 볼 수 있었던 밝은 선이 관찰되는데 Photo 26과 27이 차이가 난다. Photo 26의 경우 펄라이트가 거의 없고 페라이트만이 관찰되는데 이러한 밝은 선이 개재물과 거의 유사하게 나타나고 있는데 접고 가공하는 과정에서 표면부가 접히면서 내부로 들어가면서 생기는 현상으로 보인다. Photo 26의 경우는 완전히 탈탄이 진행된 상태에서 접힘이 이루어진 것으로 여겨진다. 경도값은 142HV이다.

철제 도자는 탄소를 일부 포함한 소재를 여러 번 접고 두드리는 작업을 반복하여 제작하였으나 결정립의 크기로 보아 온도가 높지 않았던 것으로 보인다.

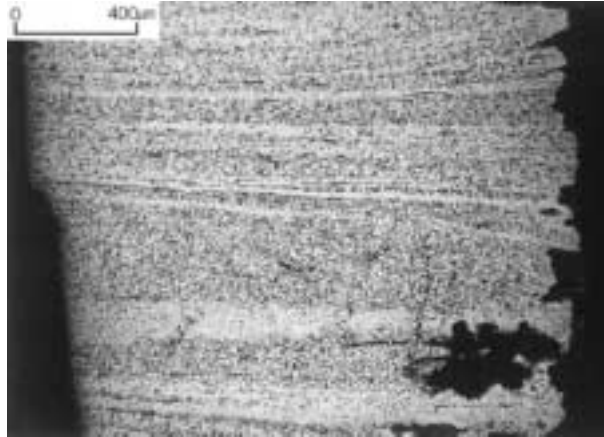


Photo 23.
병부 조직(×50)

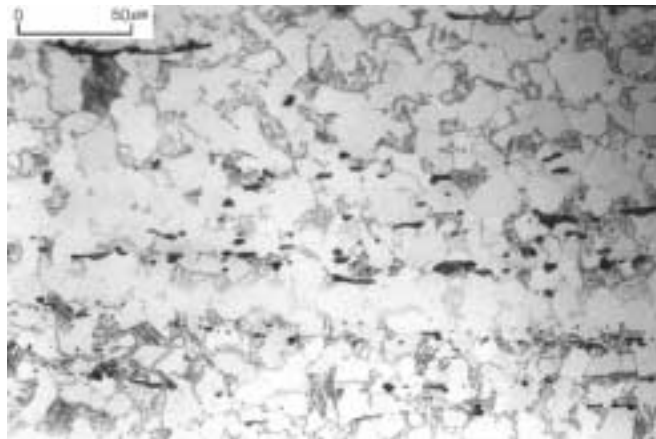


Photo 24.
Photo 23의 밝은 부분(×400)

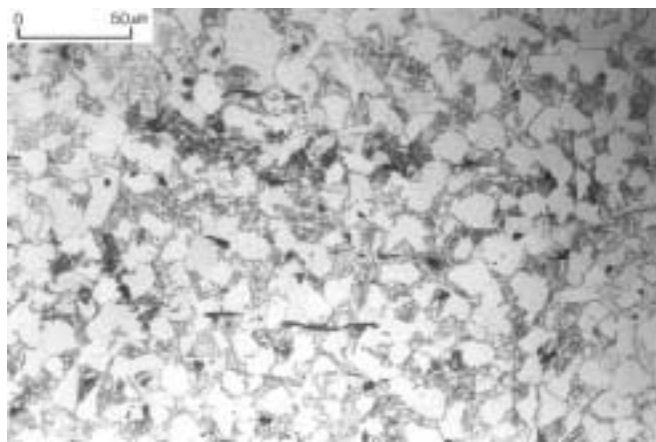


Photo 25.
Photo 23의 어두운 부분
(×400)

Photo 26.
등 부분(×50)

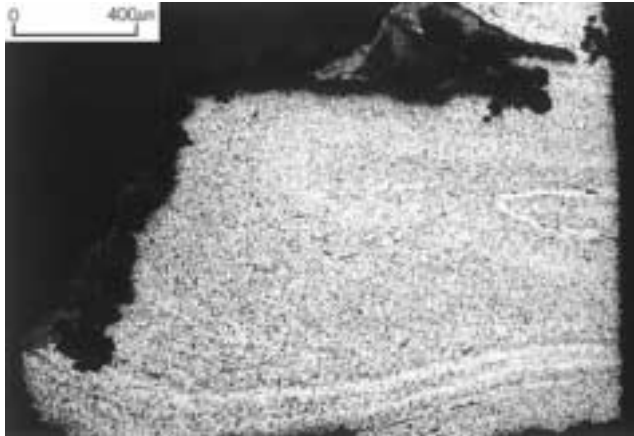


Photo 27.
Photo 26의 오른쪽(×400)

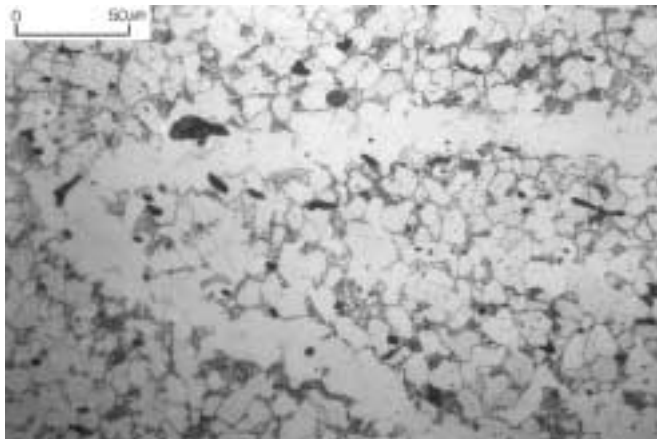
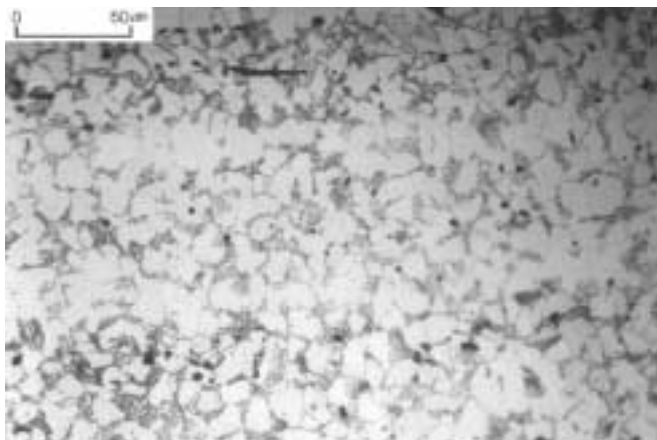


Photo 28.
Photo 26의 아래 가운데(×400)



4. 철제 자물쇠

잠금 부분과 쫓대 부분이 남아 있다. 쫓대는 단면 원형을 하고 있다. 시편은 쫓대 부분에서 채취하였다. 전체 길이 29.3cm, 폭 6.6cm.



Photo 29.
철제 자물쇠

왼쪽은 탄소함량이 낮은 상태이며 대부분 페라이트에 일부 펄라이트가 있다. 가운데는 조대한 결정립의 비드만스튜텐이 분포한다. 오른쪽은 펄라이트로 공석강에 가까운 탄소함량을 보인다. 탄소함량은 오른쪽이 매우 높다가 왼쪽으로 갈수록 점점 낮아지고 있다.

자물쇠 쫓대는 공석강 정도의 소재를 사용하여 형태를 만들었으며 이 과정에서 한쪽 부분에서 탈탄이 진행되었다. 조대한 비드만스튜텐이 만들어진 것으로 보아



Photo 30.
쫓대 조직(×50)

Photo 31.
Photo 30의 왼쪽(×400)

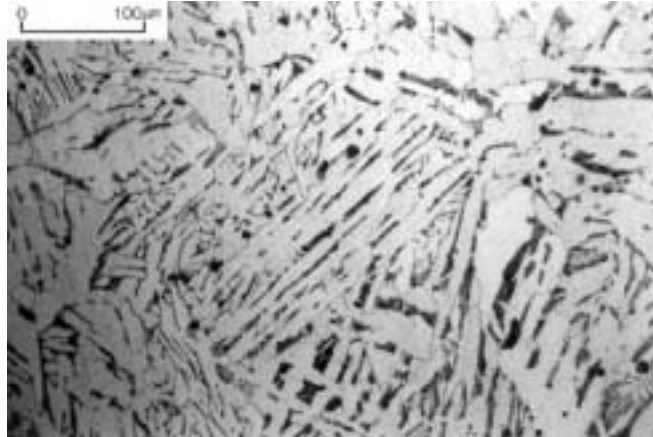


Photo 32.
Photo 30의 가운데(×400)

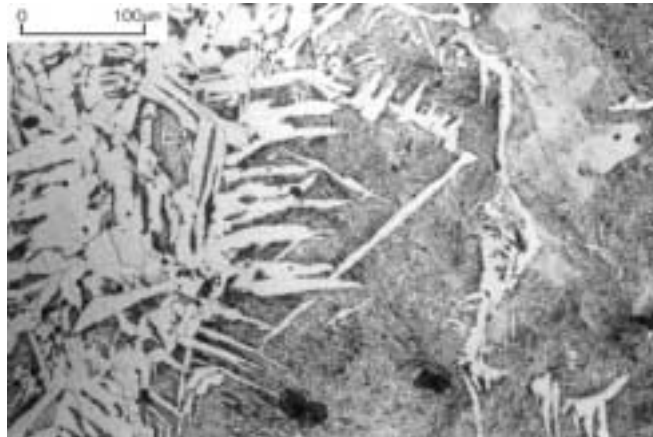
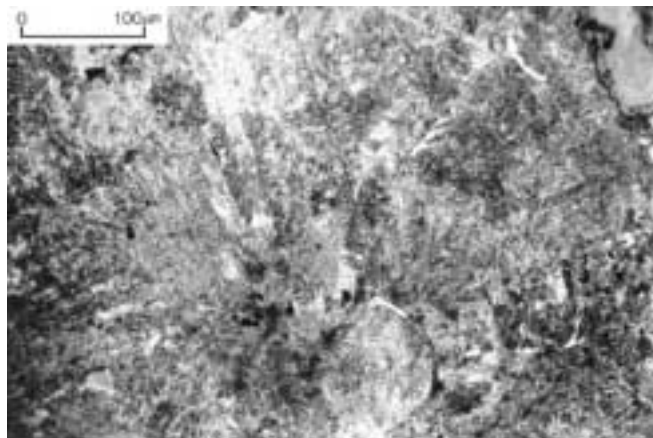


Photo 33.
Photo 30의 오른쪽(×400)



가공 시 온도가 높았던 것을 알 수 있다.

경도값은 왼쪽은 134HV 정도, 가운데 부분 188HV 정도, 오른쪽은 280HV 정도 차이가 있다.

5. 모 정

전체 길이 11.6cm의 소형 못으로 끝 부위는 약간 파손되었다. 못 머리는 별도로 제작하여 붙이지 않고 두드려서 약간 돌출되게 하여 형태를 만들었다. 단면 직사각형이다. 못 머리에 가까운 부분에서 시편을 채취하였다.



Photo 34.
모 정

전체적으로 페라이트와 펄라이트가 거의 비슷하게 공존하고 있으며 내부의 결정립은 거의 미세하고 균질하나 바깥 표면은 결정립이 크게 성장하였으며 탄소함량도 낮아 탈탄이 진행된 것을 알 수 있다. 내부에 연신된 개재물이 관찰되는데 접고 두드리는 작업을 통하여 형성된 것이다. 경도값은 표면 121HV, 내부 128HV이다.

6. 모 정

전체 길이 9.1cm의 소형 못으로 단면 직사각형을 나타낸다. 못 머리는 별도로 제작하지 않고 두드려서 형태를 만들었다. 못 머리에서 끝 부분으로 갈수록 폭이 좁아

Photo 35.
모정(×50)

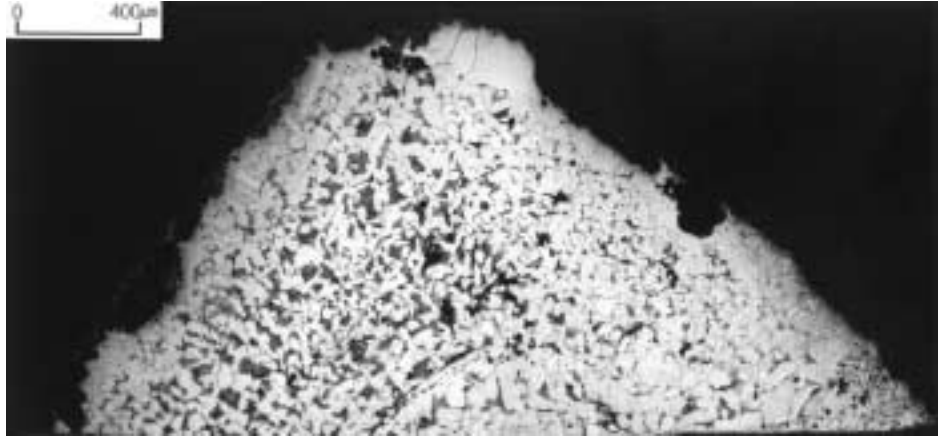


Photo 36.
Photo 35의 가운데(×200)

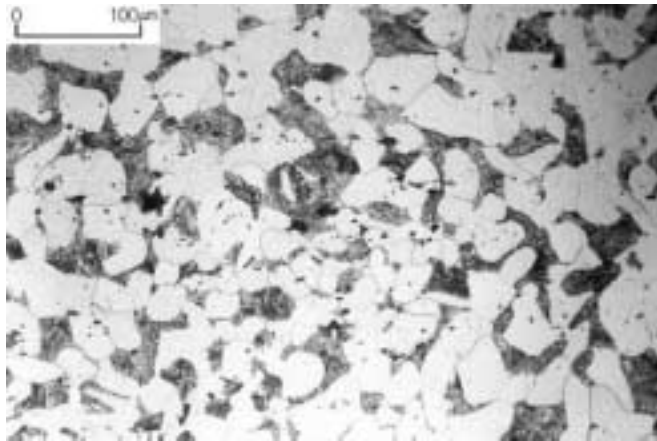
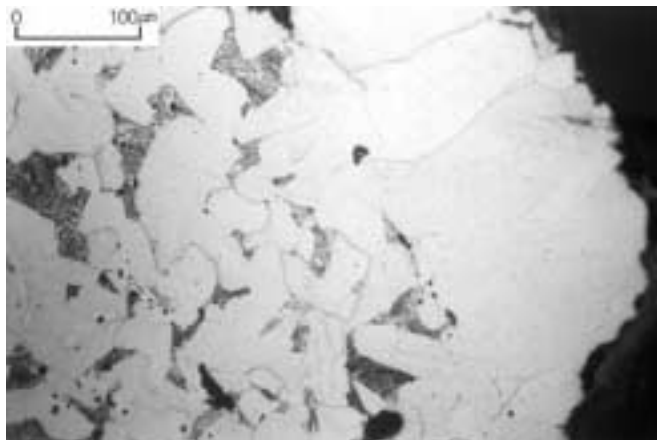


Photo 37.
Photo 35의 위 부분(×200)



진다. 시편은 못 머리 바로 아래 부위와 끝 부위에 가까운 곳에서 채취하였다.



Photo 38.
모정

1) 못 머리 아래(Photo 38의 A)

탄소함량이 낮아 대부분이 페라이트를 이루고 있으나 내부 일부에 펄라이트가 형성되어 있다(Photo 40). 내부보다는 표면의 결정립이 매우 조대하게 성장된 상태인데 이것은 가공 중에 온도가 높았기 때문으로 여겨지며, 약간의 탈탄 현상도 보인다. 경도값은 내부가 161HV, 표면은 91HV로 큰 차이를 나타낸다.

2) 못 끝 부위(Photo 38의 B)

좌우 부위 표면은 일정 두께만큼 부식되었다. 대부분 탄소가 거의 없는 페라이트를 나타내고 있다. 접고 두드리는 작업 중에 형성된 개재물이 선 형태를 이루고 있다. 내부보다 표면의 결정립이 크게 성장된 모습을 보여준다. 경도값은 내부가 103 HV, 표면이 107HV이다.

모정은 탄소함량이 적은 소재를 사용하여 여러 번 접고 두드려서 제작되었다. 못 끝 부분으로 갈수록 가공량이 많아지며 이에 따라 탈탄도 진행되어 끝부분에는 탄소가 거의 제거된 상태를 보여준다. 또한 가공온도가 높아 내부보다는 표면의 결정립이 조대하게 성장된 모습을 보여주고 있다.

Photo 39.
못 머리 조직(×50)

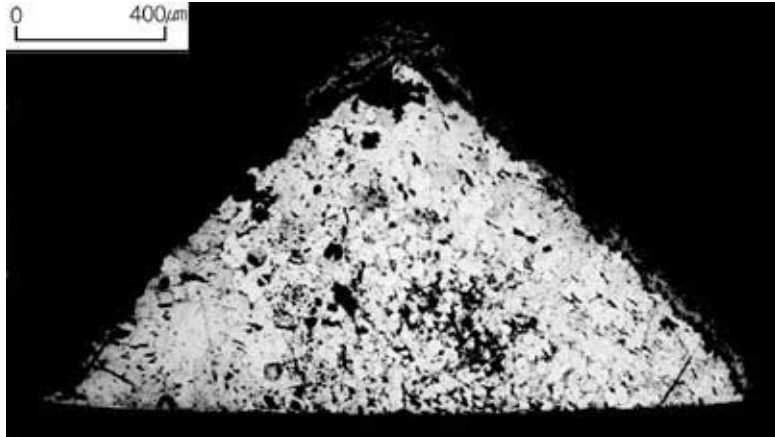


Photo 40.
Photo 39의 가운데(×400)

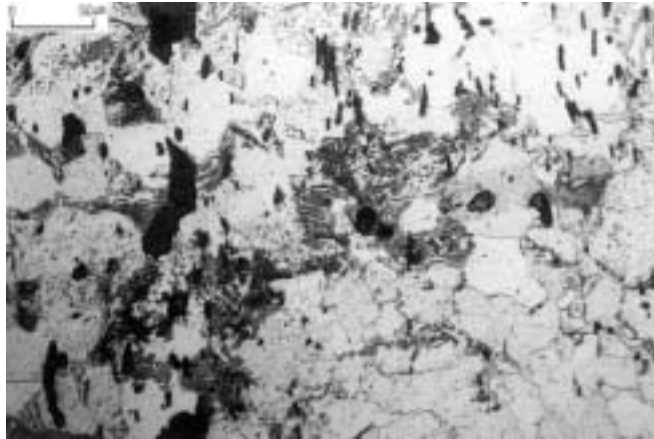
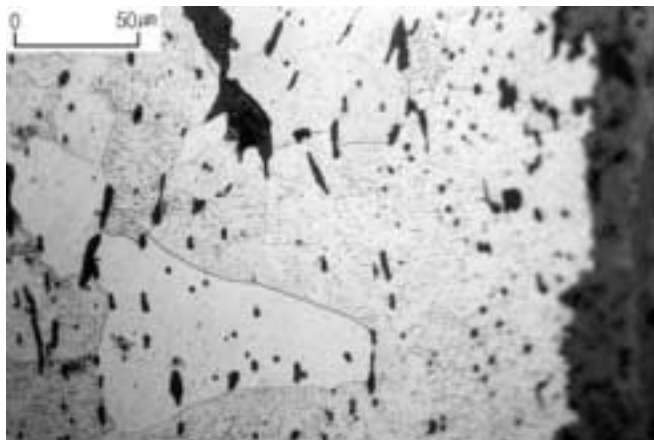


Photo 41.
Photo 39의 일부(×400)



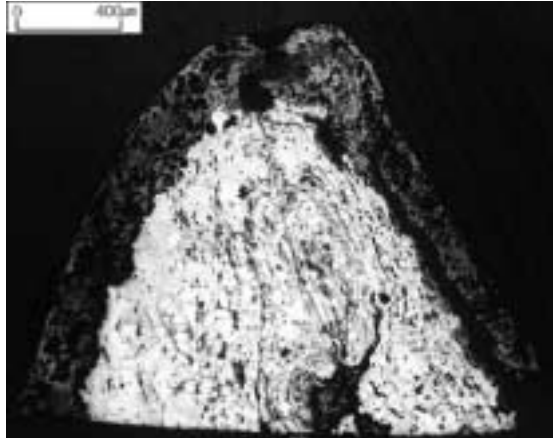


Photo 42.
못 끝부위(×50)

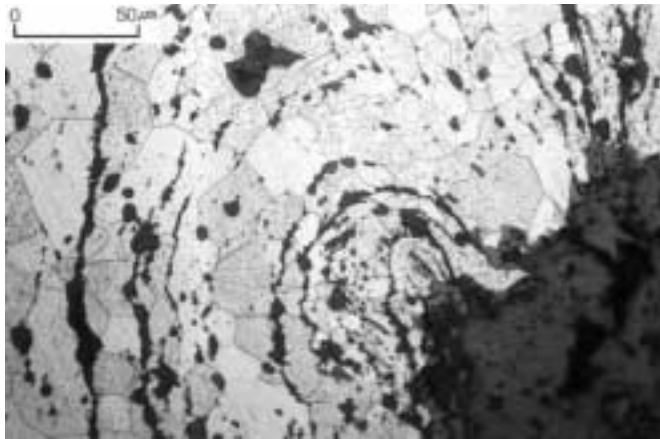


Photo 43.
Photo 42 아래(×400)

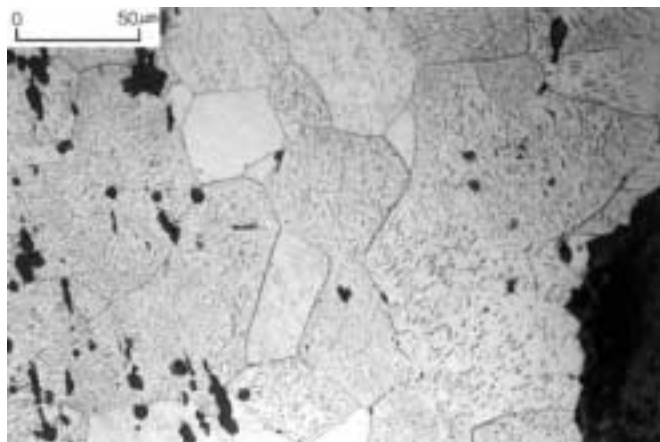


Photo 44.
Photo 42의 일부(×400)

7. 보습 편

보습으로 대부분 파손되고 일부분이 남아 있다. 나무를 삽입하기 위한 홈이 보이며 내부는 흙과 부식물이 두텁게 고착되어 있는 상태이다. 시편은 부식물이 두텁지 않은 표면 일부에서 채취되었다. 현존 길이 19.8cm, 두께 0.6cm이다.



Photo 45.
보습 편

전형적인 백주철 조직으로 이 조직은 응고 속도가 빠른 경우에 나타난다. 주조 시 형성된 기공이 보인다(Photo 46). Photo 47의 밝은 부분은 시멘타이트이고 검은 부분은 탄소를 포함하는 펄라이트 부분이다. 백주철은 비교적 단단하고 압축 강도가 높고 내마모성이 우수하나 충격에 약한 성질을 가지고 있다. 열처리 흔적은 관찰되지 않는다. 시멘타이트 경도는 867HV이고 펄라이트 경도는 302HV이다.

IV. 고찰

이상으로 송선사지에서 출토된 철제유물의 미세조직을 분석 조사하였다. 이를 유

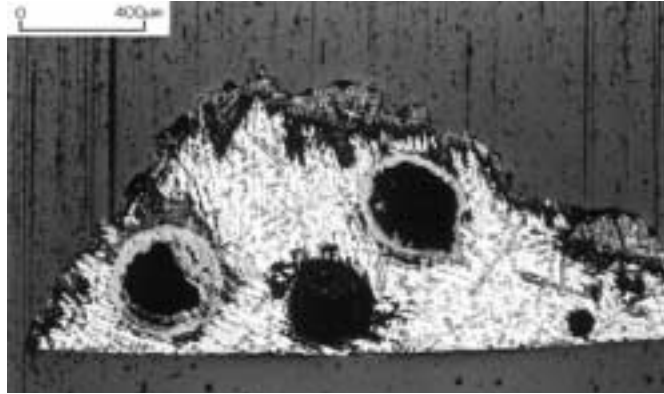


Photo 46.
보습 편(×50)

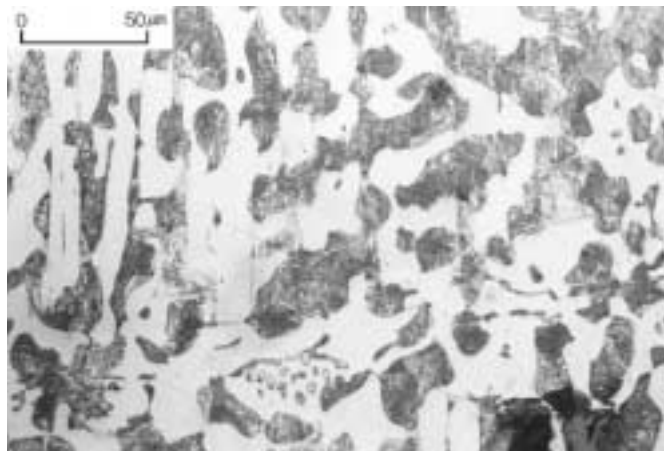


Photo 47.
Photo 46의 일부(×400)

물 종류에 따라 정리해보면 다음과 같다.

철제호미와 철낫은 제작방법에 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 먼저 열간에서 접고 두드리는 작업을 반복하여 형태를 만들었으나 강도를 요구하는 부위에 다른 제작방법을 적용하고 있다. 철제호미는 침탄처리를 실시하여 탄소함량을 증가시키고 다시 낮은 온도에서 두드려 침탄 과정에서 크게 성장된 결정립을 미세화 시켰다. 철낫은 탄소함량이 높은 소재를 사용하여 형태를 만든 후 열이 남아 있는 상태에서 날 부위에 담금질처리를 하였다. 탄소함량이 높은 소재로 가공하였으며 날 부

위는 탄소함량이 낮아진 상태에서 담금질이 실시된 것으로 보인다. 그러나 호미의 손잡이 부위에서 나타나는 미세조직의 극단적인 차이는 이 부분만 탄소함량이 다른 소재로 제작한 것인지 아니면 침탄을 장시간 실시한 것인지 파악하기 어렵다.

철제 도자와 모정은 거의 같은 방법으로 제작되었으며 유사한 미세조직을 나타낸다. 도자의 경우 낮은 온도 범위에서 접고 두드리는 과정을 반복적으로 실시하여 전체적으로 미세한 결정립이 형성된 반면 모정에서는 표면에 조대한 결정립의 성장을 보여주고 있다. 이것은 모정이 도자 보다 높은 온도에서 가공되었음을 의미한다.

송선사지 출토 철기는 현재 정식 발굴보고서가 나오지 않아 정확한 시대를 알 수 없다. 다만 고려시대에 축조한 금당지 주변으로 보고되어 있으나 각 유물의 정확한 시대는 유물 형태에 대한 고찰과 보고서가 발간된 후에야 알 수 있을 것이다. 따라서 각 유물 종류에 따른 제작방법을 제작시기와 연결시키는 것에는 무리가 있을 것이다. 몇 점 안되는 분석 예로 전체를 판단하기도 어려울 것이며 여기서는 이 분야 연구를 위한 참고 자료로서 분석 결과를 제시해보았다.

참고문헌

1. 고희순, 2002, 고대 철기 유물의 침탄과 열처리에 관한 연구, 강릉대학교 석사학위논문.
2. 김정근 · 김기영 · 박해웅 共著, 1999, 금속현미경 조직학, 도서출판골드.
3. 노태천, 2000, 한국고대 야금기술사 연구, 학연문화사.
4. 최종택 · 장은정 · 박장식, 2001, 삼국시대철기연구 -미세조직분석을 통해 본 철기제작기술체계, 서울대학교박물관학술총서, 10, 서울대학교박물관.
5. 유재은, 2002, 고대 철기의 미세조직 분석과 제작기술 연구 -경기지역 산성 출토유물을 중심으로-, 단국대학교 박사학위논문.
6. 유재은 · 고희순 · 황진주, 2001, 나주 북암리 3호분 출토 철제유물의 금속학적 조사, 보존과학연구, 22 : 115-132.
7. 유재은 · 고희순 · 이재성, 2002, 수원시 꽃뚝 유적 출토 철제유물의 미세조직 분석, 보존과학연구, 23 : 131-148.
8. 장은정, 2002, 5~6세기 고구려 철기제작기법에 대한 일 고찰 -한강하류역 자료를 중심으로-, 서울대학교 석사학위논문.
9. 정광용, 2001, 삼국시대의 철기제작기술 연구 -미세조직 분석을 통하여-, 홍익대학교 박사학위논문.
10. H.Schumann 著, 金錫胤 · 金政根 · 金昌周 · 李 · 麟 公역, 1996, 금속조직학, 학문사.
11. William F. Smith 著, 한봉희 譯, 1994, 금속재료 -조직과 성질을 주로 한-, 반도출판사.