

울산쇠부리 복원사업

2019

울산쇠부리
제철기술 복원실험
연구보고서

울산광역시 복구문화원장 귀하

본 보고서를
‘2019년 울산쇠부리 제철기술 복원실험’의
최종보고서로 제출합니다.

2019. 12. 16.

울산쇠부리복원사업단

이남규 · 이태우 · 신경환 · 김권일 · 이은철 · 강성귀 · 권용대 · 이민아





CONTENTS

제 I 장. 머리말 01p

제 II 장. 연구목적 및 방법 05p

- 1. 연구의 목적 07p
- 2. 연구의 방법 08p
- 3. 연구단 구성 11p

제 III 장. 실험준비 15p

- 1. 울산 쇠부리가마 연구사 17p
- 2. 쇠부리가마의 구조 28p
- 3. 조업매뉴얼 32p
- 4. 실험 준비과정 34p

제 IV 장. 실험내용 45p

- 1. 실험 과정 47p
- 2. 결과물의 정리와 검토 53p

제 V 장. 고찰 63p

- 1. 실험 결과의 고찰 65p
- 2. 금속학적 분석결과의 고찰 71p

제 VI 장. 맺음말 75p

부 록 79p

- 1. 금속학적 분석결과 81p
- 2. 자문의견서 144p
- 3. 실험 과정 진행표 152p
- 4. 온도 변화표 159p

대한민국 산업의 심장, 울산의 뿌리 ‘울산쇠부리’



박원희
북구문화원 원장

대한민국 산업의 심장, 울산의 뿌리라 할 수 있는 우리의 자랑스런 제철문화인 ‘울산쇠부리’는 울산의 도시 정체성이라 할 수 있는 산업 역사가 근대에 시작된 것이 아니라, 이천년 전 우리나라 최초로 철을 생산한 달천철장(울산광역시 지정기념물 제40호)에서 시작된 유구한 철의 역사가 있었기에 가능했다는 것을 방증하는 소중한 문화유산이라 할 것입니다. ‘반구대 암각화’가 석기시대 수렵문화의 삶과 문화예술을 상징한다면, ‘달천철장’과 ‘울산쇠부리’는 철기문화의 도래와 산업문화의 잉태를 상징한다 할 것입니다.

이렇듯 소중한 문화유산이 우리의 무관심으로 방치되어 왔고, 그 명맥이 끊어질 위기에 봉착하기도 하였습니다. 그럼에도, 우리의 오늘을 있게 한 전통문화를 복원하고 계승하여 발전시키고자 하는 노력들이 있어 다행스럽기만 합니다. 1981년 마지막 불매대장 故 최재만옹의 불매소리를 채록하고, 이를 정비하여 울산을 대표하는 무형문화로 발전시킨 ‘울산쇠부리소리’와 1659년(효종 10년) 구충당 이의립 선생에 의해 발명된 무쇠제조법을 350여년 후인 2016년부터 ‘울산쇠부리 복원사업’으로 명맥이 끊어진 우리 울산의 독창적인 제철기술을 복원하려는 노력이 그것입니다. 또한 한반도 최초의 철산지이며, 이천년간 이어져온 이 땅의 철기문화의 원류지라 할 수 있는 ‘달천철장’을 새롭게 정비하고자 하는 노력도 지속적으로 진행되고 있습니다.

● ● ● 발 간 사

기록으로 전하지 않는 조선 후기 울산의 독창적인 제철기술과 쇠부리가마(제련로)를 복원하기 위해 울산광역시 북구의 재정적 지원과 고대 제철분야의 명망있는 학자와 장인 그리고, 지역 주민들로 구성된 ‘울산쇠부리 복원사업단’의 노력으로 2016년부터 시작된 ‘울산쇠부리 복원사업’은 4차례의 실험을 통해 축적된 학술 및 기술적 지식을 바탕으로 올해 돌로 쌓은 제련로인 ‘울산쇠부리가마’를 축조하여, 선철을 83.3kg 생산하였고, 봉쇠틀을 제작하여 판장쇠를 생산하고자 시도하였습니다. 이는 ‘쇠부리가마’를 축조하여 전통방식으로 철을 생산한 최초의 시도이며, 더욱이 국내 유일한 민간 주도형 사업이라 점이 그 성과를 더욱 빛나게 한다 할 것입니다.

새로운 문화를 만드는 것도 힘들지만 끊어진 문화를 복원하고 이어가는 것은 더욱 힘들다고 합니다. 그 어려운 여정에 함께 해준 ‘울산쇠부리 복원사업단’의 이남규 단장님, 이태우 단장님과 연구원들의 노고에 감사드리며, 전통문화에 대한 관심과 지원을 아끼지 않으신 이동권 북구청장님 그리고 이주언 북구의회 의장님에게도 감사의 마음을 전하고자 합니다. 무엇보다도 지역의 전통문화를 우리 손으로 되살리고자 하는 사명감으로 힘든 조업을 마다하지 않고 연구보조원으로 실험에 참여해 주신 지역 주민분들과 행정적 지원을 해주신 관계기관 담당자들께도 감사드립니다.

우리의 전통문화를 지키고 이어가 후손들에게 전하기 위해서는 모든 이의 관심과 사랑이 없다면 해낼 수 없는 일일 것입니다. 앞으로도 우리의 자랑스런 제철문화인 ‘울산쇠부리문화’에 대한 더 많은 관심과 애정을 당부드리며, ‘울산쇠부리소리’가 울려퍼지는 가운데 ‘울산쇠부리가마’의 초롱구멍을 통해 별건 쇳물이 흘러나오는 그날을 기대해 봅니다.

2019. 12.

북구문화원 원장 박원희



울산쇠부리 제철기술 복원실험 연구보고서 출간을 축하드립니다.



이 동 권
울산광역시 북구청장

1년간 노력의 산실 울산쇠부리 제철기술 복원실험 연구보고서 출간을 축하드립니다.

올해 울산만의 독창적인 문화유산인 '울산쇠부리 제철기술 복원실험'이 5차로 접어들었습니다. 고대 제련법 복원실험을 시작으로 조선후기 구층당 이의립 제련법 복원실험에 이르기까지 많은 변화가 있었습니다. 그만큼 많은 분들의 노력이 있었기 때문이라 여겨집니다.

이번 실험은 어느 해보다 특별했습니다. 대안동 쇠부리터의 정밀 발굴조사가 이루어졌기 때문입니다. 발굴조사를 통하여 울산쇠부리의 제련로 및 송풍시설, 구들 건물지 등의 유구를 확인할 수 있었습니다. 이것은 그 자체로서도 우리나라 쇠부리 역사를 밝힐 수 있는 큰 성과이며, 향후 쇠부리 관련 복원·정비 사업을 위한 기초자료가 확보되었음을 의미합니다.

그동안 원통형에서 정방형으로 변화했었던 제련로의 형태도 올해는 대안동 쇠부리터의 형태를 본떠 석축형으로 축조하였습니다. 울산 쇠부리의 가장 큰 특징이라 할 수 있는 석축형 제련로를 축조함으로써 조선후기 토철 제련법 복원에 한걸음 더 다가섰다고 할 수 있겠습니다. 단절된 과거의 기술을 복원하는 것은 매우 힘든 작업이며, 하루아침에 이루어지는 것도 아닙니다. 멀리서 보면 눈에 띄지 않을 만큼의 미세한

● ● ● 축사

변화를 거듭하고 거듭하면서, 한걸음씩 나아가 마침내 가시적인 성과를 낼 수 있기 때문입니다. 이것은 연구원들의 끊임없는 노력 뿐 아니라 이를 지켜보고 지지해주는 분들의 인내와 기다림이 뒷받침되어야만 가능한 것입니다. 울산쇠부리 복원사업이 단기간내에 성과를 낼 수 있었던 것은 참여자분들의 남다른 의지와 열정 덕분이라 생각합니다. 관계자 여러분들의 노고에 깊은 감사를 드립니다.

우리는 끊임없이 변화하는 시대에 살고 있습니다. 현재와 미래는 무척이나 중요합니다. 하지만 과거와 전통이 있기에 지금 우리가 있는 것입니다. 오늘날 산업수도 울산이 있는 것은 철기 문화를 근간으로 이를 발전시킨 선조들의 노력이 있었기 때문입니다. 복원실험은 선조들의 지혜와 노력을 되새길 수 있는 계기가 됨은 물론, 전통을 계승하여 현대화하고 발전시켜 나갈 수 있는 하나의 매개체라 할 수 있습니다. 과거와 현재가 같을 수 없듯이 전통적인 실험방식을 그대로 재현할 수는 없으나, 최대한 과거방식에 가깝게 복원하여 향후 그 결과물을 어떻게 활용할 것인지에 대하여 모두가 공감할 수 있는 방안을 함께 강구해 나가기를 바랍니다.

오랜 시간동안 울산쇠부리 복원을 위하여 힘써주신 박기수 울산쇠부리축제추진위원장님, 박원희 문화원장님, 이남규 교수님, 울산쇠부리소리보존회 이태우 회장님, 이은철 장인을 비롯한 연구원님들의 노력과 열정에 박수를 보내드리며, 올 한해에도 수고 많으셨습니다.

2019. 12.

울산광역시 북구청장 이 동 권



울산쇠부리 제철기술 복원실험 연구보고서 출간을 축하드립니다.



이 주 언
울산광역시 북구의회 의장

고대 동북아 철기 문화의 중심인 울산 쇠부리 복원을 목표로 한 '제5차 울산쇠부리 제철기술 복원실험 결과보고서' 발간을 진심으로 축하합니다.

어려운 여건 속에서도 지속적으로 성과를 내고 계신 박기수 울산쇠부리 축제 추진위원장님을 비롯해 박원희 북구문화원장님, 울산쇠부리소리 보존회 이태우 회장님과 한신대학교 이남규 교수님, 이은철 장인 등 보고서 발간을 위해 애써 주신 관계자 모든 분들께 격려와 감사의 인사를 전합니다.

울산쇠부리는 고대 철기문화를 주도한 위대한 문화임에도 이에 대한 학술연구는 매우 부족한 것이 현실입니다. 그래서 우리는 기초자료 조사와 복원실험과 같은 관련 연구를 계속 진행해 찬란했던 울산쇠부리 문화를 보존, 계승하려 애쓰고 있습니다.

2016년부터 올해까지 5차에 걸친 실험을 통해 신라시대 울산의 제철 기술을 80% 가까이 수립했고, 조선후기 구충당 이의립의 토철제련법도 50% 가량 수립하면서 토철제련기술을 확립하기에 이르렀습니다.

올해 복원 실험에서는 지난해 진행한 '조선시대 구충당 이의립의 토철제련법 예비실험'을 넘어 본격적인 쇠부리 복원실험이 이뤄져 쇠부리

● ● ● 축사

축제 현장을 찾은 방문객들로부터 큰 관심을 끌었습니다.

실험을 통해 분광을 이용한 토철제련법 복원실험으로 쇳물을 출탕시키는 데 성공하면서 고대 철 생산 기술을 밝히는 데 한 걸음 더 다가서게 되었습니다.

내년부터 3년간은 울산쇠부리가마 축조와 선철 쇳물 대량 생산, 거푸집을 이용한 판장쇠 규격품 생산, 토철제련법 기술매뉴얼 확립 등이 가능해진다고 하니 기대가 더욱 커지는 것 같습니다.

특히, 올해는 복원실험 성과와는 별도로 쇳을 다루는 작업을 하면서 부르는 노동요인 울산 쇳부리소리의 복원사업도 활기차게 추진되는 가운데 지난 7월 울산시로부터 울산쇠부리소리가 울산시 무형문화재로 지정 예고되는 가슴 벅찬 소식도 있었습니다.

과거와 현재에 진행하고, 앞으로 진행할 쇳부리 복원 연구에 대한 보고서를 지속적으로 발간하는 것은 울산 쇳부리기술의 과학적, 객관적 자료를 확보하기 위함이고, 이는 우리 후손들의 과제이자 의무입니다.

북구의회에서도 쇳부리 문화의 전통 계승과 발전을 위해 지속적인 관심과 지원을 아끼지 않겠다는 약속을 드리면서, 울산쇠부리 복원을 위해 애쓰는 모든 분들께 격려의 말씀을 전합니다. 감사합니다.

2019. 12.

울산광역시 북구의회 의장 이주언



●
2019 울산쇠부리
제철기술 복원실험 연구보고서

I

머리말



제 I 장. 머리말

울산은 달천광산(울산광역시 기념물 제40호), 쇠부리가마(추정 100여 개소), 구충당 이의립, 울산쇠부리소리, 대한철광개발(주), 울산광업소, 자동차공장·조선소 등 철강관련 기업체 등 고대에서 현대에 이르기까지 쇠부리와 관련된 수많은 역사적 자료와 현대적 시설들이 산재한 곳이다. 이러한 것들은 울산지역이 원삼국시대부터 철을 대량생산해 한반도 전역 및 일본에까지 유통시켰고, 중세~근대를 거쳐 1996년도까지 막대한 양의 철광석과 토철이 채광되어 철제련 산업이 융성했으며 그러한 철문화의 기반 위에서 현대의 철강 관련 산업이 발전하고 있음을 말해주는 것이다. 그러한 점에서 울산은 우리나라 역사에서 철문화의 메카라 해도 과언이 아니다.

하지만 그러한 철의 역사를 지닌 울산지역에 각 시대별로 어떠한 제철기술이 실제로 존재하였는지, 그리고 그러한 기술에 의해 어떠한 철들이 어느 정도 생산되고 유통되어 지역 및 국가의 사회경제적 발전에 어떻게 기여하였는지에 대해 역사적으로 아직 제대로 밝혀진 것이 별로 없다. 그동안 울산지역의 철문화에 대한 기초적 조사나 연구가 일부 단편적으로 행하여지기는 하였으나¹⁾ 이에 대한 종합적이고 체계적인 조사나 연구가 본격적으로 이루어진 적은 없는 상태이다.

그나마 다행히 10여년간 울산광역시 북구청이 울산쇠부리축제의 일환으로 학술세미나를 계속 개최하고, 4년전부터는 제철기술 복원실험을 실시하는 한편, 조선시대 후기 쇠부리터 유적의 발굴을 추진하는 등의 노력을 보여준 점에 대해서는 감사를 드리고 싶다. 다만 연구, 분석 및 복원해야 할 각 시대 철문화의 대상이 대단히 방대하고 학술적 전문성을 요하는 것이어서 그러한 노력이 일년에 한 두 번의 행사로 끝내기에는 여러모로 부족함이 많다.

여러 시대의 제철 사례 가운데 1~3차 철제련은 고대의 제철유적에서 확인되는 유구를 모델로 원통형 가마를 축조하고 원료는 철광석을 배소하여 괴련철 생산을 목적으로 한 조업을 진행하였으나 작년의 4차 제철실험 부터는 방형가마에 분말상태의 토철을 투입하여 선철을 생산하고자 하였다. 그러한 점에서 2018년의 실험부터가 17세기 이후 이의립선생이 달천의 철장을 재차 개발하고 이 지역 특유의 쇠부리가마에서 선철을 생산하던 전통제철기술을 실질적으로 복원하기 시작한 셈이지만 여건상 석축형 토독을 제대로 축조하지 못하고 방형의 가마 형태만을 재현하여 실험에 임하였다.

그에 비해 금년의 5차 실험에서는 비록 실제보다 축소된 형태이기는 하지만 외면에 석축을 쌓고 내부에 흙을 충전하는 방식으로 토독을 쌓고 중앙부에 평면 방형의 가마를 축조하였고, 높이

1) 울산박물관, 2013, 『울산 철문화』.

이남규, 2016, 『울산지역 고대 철문화의 형성과 전개』, 『삼국·통일신라시대의 울산-2016년 울산문화재연구원 학술대회』, 울산문화재연구원.

도 전년도에 비해 약간 높게 하여 선철의 생산이 보다 용이하도록 하였다.

그리고 작년에 생성된 선철을 그대로 배출시켜 부정형 괴상으로 받아냈던 문제를 개선하여 점토로 구워 만든 봉쇠틀을 준비하여 장방향으로 정형화된 선철괴를 얻고자 하였다.

이처럼 여러 면에서 작년보다 기술적 요소들을 개선하여 보다 생산을 향상시키려 한 점은 한 단계 진전된 성과이기는 하였으나, 그에 못지않게 새로운 문제들, 즉 석축형 벽의 과다한 열방출이나 유동성 부족과 조기 냉각에 따른 선철괴 제작의 어려움 등을 경험하면서 향후의 중요한 해결 과제들을 새롭게 인지하게 된 점도 중요한 의미가 있었다.

이와 같은 제철복원실험을 통해 현재 사라져버린 울산의 전통적 쇠부리기술이 단기간에 완전히 복원되기를 바라는 것은 무리다. 이렇게 년 1회 정도의 실험으로 당시의 진실에 다가가기에는 규명해야 할 기술적 요소들이 너무 많다. 이제 그간의 성과를 냉정히 평가하고 보다 확고한 전략과 전술에 기초해 새로운 방향을 모색할 때가 되었다, 더 나아가 이렇게 중요한 과제를 무형유산분야와 통합하여 울산쇠부리 문화복합(culture complex) 복원 프로젝트로 인식하고 그에 대한 국가적 차원에서의 적극적 지원이 필요하다.

앞서 언급하였듯이 울산의 제철문화는 고대부터의 광산유적과 다수의 제철유적들이 확인되고 있고, 조선시대 석축형 쇠부리가마 및 그와 관련된 인물(이의립)이 존재하며, 당시의 제철기술에 관한 채록자료²⁾들도 남아 있어 그 기술에 대한 구체적 복원이 가능하다. 게다가 우리나라의 노동 관련 무형문화재 가운데 제철분야에서는 유일한 울산쇠부리소리도 복원노력을 통해 재현되고 있는 등 울산의 전통제철문화는 하나의 문화복합으로서 해외에서도 찾아보기 힘든 고유함을 갖고 있어 그것이 온전히 복원되어 계승된다면 세계문화유산으로 등재될만한 여지는 충분히 있다고 보여진다.

이와 같이 어려운 실험에 있어 긴 기간의 준비작업과 실험 당일의 조업에 열성을 다해 참여하여 주신 울산쇠부리소리보존회의 이태우회장님, 박실희회장님 및 회원 여러분들의 노고가 제일 많으셨고, 실험의 기획과 진행을 주도해주신 김권일·강성귀·권용대님, 본인과 함께 결과물의 정리 검토를 담당해준 이민아님, 분석을 맡아주신 신경환·이재용님, 준비와 조업 과정에 실질적인 기술 지도와 작업을 맡아주신 이은철장인과 김창호·김용호·홍석영님께 먼저 감사의 말씀을 드린다. 그리고 자문을 맡아주신 성정용·조대연·이중서교수님 외에 노명구소장님과 한지선·이은우님을 비롯한 국립중원문화재연구소의 연구원 여러분들 등 이번 실험작업에 직간접적으로 참여하시면서 작업을 이끌거나 협력하여 주신 분들이 참으로 많았다. 이 모든 분들의 덕택으로 제철실험이 무난히 진행될 수 있었기에 진심으로 감사를 드린다.

뿐만 아니라 이 모든 작업이 원활하도록 수년간 지속적인 노력을 아끼지 않으신 울산북구문화원 박원희위원장님과 울산쇠부리축제 추진위원회의 박기수위원장님, 정재화국장님, 이소경사무원님께도 심심한 사의를 표한다.

그리고 이 모든 일이 가능하도록 물심양면으로 적극 지원해 주시는 울산광역시 북구청의 이동권청장님 이하 관계자 여러분들께도 감사의 마음을 전한다.

2) 權丙卓, 1972, 『韓國經濟史 特殊研究』, 嶺南大學校 産業經濟研究所.

●
2019 울산쇠부리
제철기술 복원실험 연구보고서

II

연구 목적 및 방법

-
1. 연구의 목적
 2. 연구의 방법
 3. 연구단 구성

제 II 장. 연구 목적 및 방법

1. 연구의 목적

앞서 밝혔듯이 본 실험의 궁극적 목적은 울산지역에서 17세기 이전 집중적으로 시행되던 쇠부리 문화의 복원이다.

여기서 말하는 ‘쇠부리문화’를 인류학적 시각에서 말한다면 철 및 철기의 생산(쇠부리)과 관련된 모든 총체적(holistic) 문화요소를 말한다. 즉 재료의 획득과 생산의 기술, 생산조직, 유통과 소비 등의 경제적 행위 그리고 더 나아가 제철과 관련된 종교의례와 유희까지도 포함한다. 그러한 제철문화요소들은 단독적 및 독립적으로만 존재하는 것이 아니라 상호 밀접히 관계맺어져 있는 유기적 복합으로서 문화복합(culture complex)으로 존재한다.

따라서 구체적인 제철기술 복원실험의 기획과 시행에 들어가기에 앞서 이러한 개념화의 작업부터 철저히 하는 노력이 일단 필요하다. 그리고 현재 단절되고 잊혀진 이 모든 문화적 요소들을 제대로 복원하기 위해서는 지속적이고 집중적인 연구투자가 필요함은 두말할 나위 없다.

이번의 제철기술 복원실험의 목적은 앞서 밝힌 울산쇠부리 제철문화복합 가운데 제일 핵심적 부분인 제련로를 중심으로 진행되는 선철제련 기술을 구명(究明)하는 것으로서, 그 가운데 보다 중요한 핵심적 기술요소들을 세부적으로 밝히는 것을 주된 목표로 하고 있다.

먼저 울산쇠부리의 특징이 토철을 사용하여 선철을 생산한 것으로 말해지고 있어 이에 대한 실체를 밝히는데 먼저 주력하고자 하였다.

원료인 토철의 정확한 성격에 대해서는 아직도 의문점이 많지만 기본적으로 달천광산에서 채굴되던 토양상태의 원료로서 다량의 철분을 함유하고 있고, 이를 1960년대까지도 채굴하여 판매하였다고 하나³⁾ 현재는 확보가 불가능하여 대체재료를 쓸 수 밖에 없는 실정이다. 이러한 상황에서 철광석을 파쇄하고 갈아 4mm 이하의 크기로 만들어 사용하는 것으로 결정되었다. 따라서 이러한 원료를 사용하여 선철이 생산되는 상태와 그에 수반되는 기술과 문제점을 파악하는 것이 본 실험의 주된 목적이다.

생성물인 선철의 경우는 가마 내에 어떻게 형성되고, 출탕시 어떠한 양상을 보이는지와 출선구(出銑口)앞에 판장쇠를 만들 주형(봉쇠바탕)을 깔고 작업할 때 어떠한 결과가 얻어지는가도 상세히 파악하고자 하며, 이 때 발생하는 제문제를 철저히 분석하여 차후의 개선점을 찾는 것도 중요한 과제이다.

3) 이곳의 광업소에서 오랜 기간 근무하셨던 윤석원님의 전언에 따름.

이러한 철제련 작업을 수행하기 위한 가마는 유적에서 확인되는 형태와 크기를 그대로 적용하는 것이 바람직하나 이미 마련되어 있는 제철장의 여건에 맞추어 형태는 유사하나 크기는 약간 축소하여 사용하는 것으로 결정을 볼 수 밖에 없었다. 하여튼 본 실험에서 이러한 변형의 쇠부리 가마에 상기한 바의 원료를 장입하여 조업할 때 어떠한 성질의 선철이 만들어지는가를 확인하는 것도 본 연구의 목적들 중 하나이다.

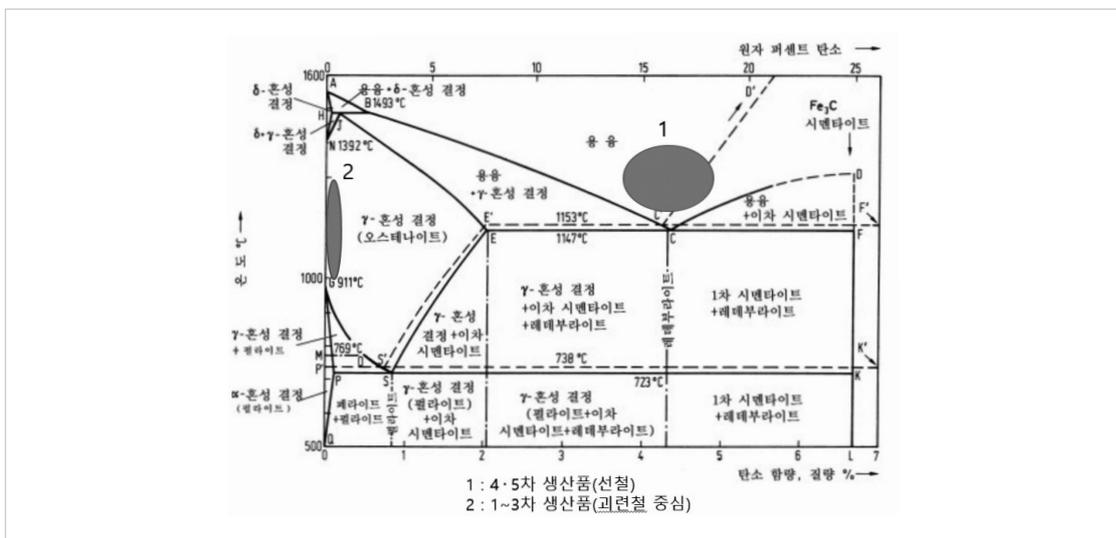
이러한 구조의 가마에서 아직 성격파악이 제대로 되어 있지 않은 것이, 풀무로부터 송풍관이 어떠한 방식으로 연결되고 가마 내로 들어와서는 어떠한 형태의 송풍시설이 존재했는가 하는 점인데, 이부분에 대해서도 확인되는 유적의 송풍시설 상태와 제일 유사한 구조물로 만들어 실험을 실시하고 그 결과를 파악하는 것이 중요한 실험목표이다⁴⁾.

그리고 이와 같은 방식으로 조선시대 후기에 울산지역에 존재하던 전통제철기술문화를 복원할 뿐만 아니라 현재 국가적으로 추진하고 있는 전통철물 제작기법 연구 프로젝트와도 관련된 중요한 실험사례로서의 의미를 가지며, 더 나아가 울산쇠부리보존회와 협력하여 시민들이 조업에 참여하여 실제로 체험해보고 이를 전통문화 향유의 차원으로 활성화될 수 있도록 하는데에도 본 연구의 목적이 있다.

2. 연구의 방법

1) 철제련의 이론적 배경

(1) 철-탄소 평형도상의 생성물



〈그림 1〉 울산쇠부리 제철실험 관련 철-탄소 평형도(phase diagram)

4) 현재 제철유적에서 확인되는 경사진 바람굴 형태의 구조로 송풍을 할 경우 어떠한 결과를 보이는지를 파악하는 것.

산화물인 철광석이 환원되고 불순물들이 제거되어 철이 생성되는 경우의 화학식은 적철광의 경우 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ 로, 자철광의 경우는 $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{CO} \rightarrow 3\text{Fe} + 4\text{CO}_2$ 의 화학식으로 표시되며, 저온에서도 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ 로 환원이 진행된다. 또한 이렇게 생성된 철이 고로에서 하부로 내려오면서 침탄이 이루어 4.3% 전후의 탄소를 함유한 선철(pig iron, FeC)이 모여 가마 하부에 용탕을 형성하게 된다. 그 후 출선구(出銑口)를 통해 배출시키고 이를 제강로로 가져가 탈탄을 하거나 인고트 형태로 만든 후 주물장으로 가져가 주조철기를 제조하는 것이 현대의 제철방식인데 비해 쇠부리가마에서는 틀(봉쇠바탕)에 받아 정형화된 판장쇠를 얻고 이를 다시 유통시켜 후속 제철공정을 수행한 것으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에서는 전통제철기술에 맞추어 작업을 진행하는 것으로 기획하였다.

〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 이번 제철실험은 가마 단면 방향의 석축형 쇠부리가마에 토철을 장입하여 4.3%의 공정주철에 가까운 선철(그림 1의 ●)을 생산하는 것을 목표로 하고 있으며, 이는 이전의 1~3차 제련실험이 〈그림 1〉의 좌측에 보이는 괴련철⁵⁾ 생산에 목적을 두었던 점과는 근본적으로 차이가 있다.

(2) 관련 자료의 검토와 적용

조업의 근거가 되는 문헌자료로서는 17세기에 이 지역 철산을 개발한 이의립 관련 문헌과 1960년대에 울산쇠부리의 기술과 생산방식 등을 경제사적 입장에서 후손들에 대한 채록방식으로 현지조사한 권병탁의 연구성과가 크게 참고가 되었다. 그리고 1960년대 이후의 광산 개발과 영업에 직접 종사한 분의 자료와 경험담 및 기타의 지역연구자들의 전언도 참고하였다.

발굴된 쇠부리가마의 검토는 기존에 이 인근지역들에서 조사된 석축형 쇠부리가마의 발굴보고서를 참조하면서 전체적 및 세부적인 구조의 특성, 송풍의 방식, 산품의 성격 및 처리방식, 폐기물의 성격과 기타 수반되는 문제점들을 검토, 분석하였다.

아울러 기존의 발굴에서 얻어진 금속학적 분석결과도 면밀히 검토하여 원료의 성격과 첨가제 사용의 유무 등을 판단하는데 참고하였다.

2) 구조물의 설정

1~3차 제련실험과 달리 4차부터 석축형 쇠부리가마를 모델로 하게 되었으나 4차의 경우는 중심의 가마 형태 부분만을 복원한 토축형 쇠부리가마였음에 비해 5차의 경우는 가마와 토독의 외부를 모두 석축으로 하는 본격적인 석축형 쇠부리가마에서 조업을 한 점에서 차이가 난다.

다만 가마의 크기에 있어 경주-울산 일원의 석축형 쇠부리가마들은 가마의 내부 크기가 한 변 1.5m를 넘고 높이도 그 2배 이상에 달할 것으로 추정되지만 작업여건의 한계⁶⁾로 인해 폭은 이전과 그대로 하면서 높이를 30cm 높이는 정도로 하였다.

5) 선철과는 달리 탄소량이 거의 없고 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO 등의 불순물이 다량으로 함유되어 있어 정련이 필요하다.

6) 제철 실험장이 협소할 뿐만 아니라 그렇게 대형일 경우 원료와 연료의 소모량이 과다하고 조업시간도 상당히 길어져서 쇠부리축제의 일환으로 진행하기에는 여러가지 무리가 따른다.

1~3차 제철복원실험의 송풍에서는 곡관과 직관의 송풍관을 연결해서 사용하면서 노 내부의 삽입된 부분은 보강토를 이용하여 외부로 덧씌우는 형태로 하였으나, 이번 실험에서는 쇠부리가 마에서 실제로 확인되는 대로 내부에는 송풍관을 쓰지 않고 경사진 바람골 상태에 내부에는 점토를 보강하는 방식의 돌출부를 만드는 송풍방식을 채택하였다.

3) 장입물의 준비

(1) 원료

울산지역의 쇠부리 원료로 토철이 사용되었던 것으로 말해지고 있어 본 실험에서도 그와 같은 재료를 사용하기로 하였으나 문제는 현실적으로 과거와 같은 토철을 얻을 수 없다는 사실이다, 그에 따라 그와 유사한 상태의 재료를 얻기 위해 철광석을 분말화 하고 채로 치고 바람을 이용하여 4mm 이하 크기의 사철상태의 원료를 마련하였다.

이러한 상태의 제철 원료는 입자가 고와서 환원이 용이할 뿐만 아니라 침탄도 쉽게 이루어져 노가 아주 높지 않아도 선철 생산을 무난히 해낼 수 있다는 장점이 있다.

(2) 연료

충청북도에 소재하는 숲가마에서 생산한 참나무 숯을 쪼개어 대탄(15cm 이상), 중탄(10cm 정도), 소탄(5cm 정도)으로 분류하고 초기 만장입은 대탄을, 그리고 조업중에는 중탄과 소탄을 사용하며 불길 조절 필요시에 소탄을 사용하는 방식을 취하기로 하였다.

(3) 첨가물

원료로부터 선철의 환원이 원활히 이루어지고 생성된 철재와 선철용탕의 분리가 무난히 잘 되는 외에 유출재가 끈적임 없이 배출될 수 있도록 조재제를 사용하기로 결정하고 그 재료는 굴껍질을 곱고 파쇄하여 준비하기로 하였다.

4) 조업의 방식

분광 총 300kg, 목탄 총 1,300kg, 패각 60kg을 사용할 계획을 세웠다. 목탄은 처음 만장입에 700kg를 사용하고 이후 20kg씩 30회 투입하며, 원료는 작업 개시 후 목탄이 20cm 하강하면 10kg씩 30회 장입하는 방식을 취하였다. 패각은 원료 장입 직후 2kg씩 30회 투입하여 원료/연료/패각의 비율이 1.0/2.0/0.2를 유지하도록 하였다.

송풍은 6인용 발풀무를 사용하였고 이전의 송풍관 방식이 아닌 바람골을 만들어 가마 내로 연결하였으며, 가마 내의 송풍구도 내부로 가마벽이 튀어나오게 하여 바람길을 만드는 방식을 취하였다.

5) 생성물(선철)의 정형화(인고트화)

6시간 이상의 조업 결과 생성된 선철은 전년도와 달리 철판과 점토를 이용하여 만든 소위 판장쇠 바탕으로 받아내는 방식을 취하였다. 조업시에는 판장쇠바탕을 가마의 출탕구 앞에 설치하고 흘러나오는 용선이 바로 응고되어 직육각형의 판장쇠가 되도록 하였다.

6) 조업후의 수습과 정리

작업 당일은 시간적인 제약과 행사장의 여건 등으로 인해 실험결과물에 대한 최종적 정리가 곤란하였고⁷⁾ 이후 보고서 관련 회의시 연구자들이 함께 모여 분류, 정리, 관찰하면서 그 세부적 성격을 정확히 파악하였다.

7) 금속학적 분석

본 연구의 가장 중요한 연구방법론은 고고학과 금속공학의 융합적 연구라는데 있으며 그러한 과제를 지난 40년간 팀웍을 이루어 고~중세의 철기 및 제철관련 자료를 공동으로 분석해온 연구팀이 수행하였다.

대상 시료는 제철 준비과정, 진행과정 및 사후 수습정리과정에서 중요하다고 판단되는 것들에 대해 시차적으로 채취하여 분석에 임하였다.

분석은 먼저 육안관찰로 그 성격을 파악하고 금속현미경으로 50배 및 그 이상으로 확대하면서 조직의 상태를 점검하였으며 중요 부위를 대상으로 한 SEM-EDX 분석을 통해 더 세부적인 조직을 관찰하고 중요 원소들의 함유상태를 점검하였다. 아울러 XRF분석을 통해 함유원소들의 정량분석을 실시하였고 금속조직에 대해서는 경도를 측정하였다.

8) 종합적 검토와 분석

이상과 같은 이론의 적용, 준비와 실행을 위한 매뉴얼의 작성, 진행사항의 기록, 결과물의 관찰과 파악 및 금속학적 분석결과와 고찰 등 제철실험 관련 모든 요소들을 종합조적으로 검토하고 분석하여 연구결과를 최종적으로 정리하였다.

이러한 연구과정에 2차례의 준비회의, 실험 후 생성물의 정리와 보고서작업을 위한 3차례의 회의 등 핵심연구진이 모두 모여 워크숍 방식으로 장시간에 걸친 5차례 이상의 회의를 진행하였고 그 과정에서 충분한 논의와 소통을 통해 최종적인 연구결과를 정리하였다.

3. 연구단 구성

- 사업총괄 : 울산광역시 북구문화원

7) 쇠부리축제 마지막날이어서 생성철괴 및 철재 등을 대략적으로 분류, 전시하여 시민들에게 볼거리를 제공하였고 축제 종료 후 창고에 임시 보관해 놓았다.

- 단 장 : 이남규(책임연구원, 한신대학교 한국사학과 교수)
이태우(울산쇠부리소리보존회 회장)
- 연 구 원 : 신경환(금속기술연구소 소장)
이은철(한국야철문화연구소 소장)
김권일(신라문화유산연구원 연구원)
강성귀(한국문화재재단 연구원)
권용대(울산문화재연구원 연구원)
이민아(국립경주문화재연구소 연구원)
이재용(금속기술연구소 연구원)
이지은(국립중앙문화재연구소 연구원)

○연구참여진 전체명단

〈표 1〉 2019년 울산쇠부리 제철기술 복원실험(제5차) 업무분장표

No	업 무	성 명	성 별	세부역할	소 속	비 고	
1	총괄	이남규	남	실험 총괄	한신대학교	공동단장	
2		이태우	남		울산쇠부리소리보존회 (이하 보존회)		
3	제련조업	이은철	남	골편수	한국야철문화연구소		
4		홍석영	남	골편수 보조	한국야철문화연구소		
5		김창호	남	골편수 보조	한국야철문화연구소		
6		김용호	남	골편수 보조	한국야철문화연구소		
7		윤귀철	남	골편수 보조	보존회		
8		이무곤	남	골편수 보조			
9		조업 관리	김권일	남	조업 관리	신라문화유산연구원	조업 · 인원 관리
10	철광석 작업	조기오	남	쇠대장	보존회		
11		류경수	남	쇠꾼			
12		표희종	남	쇠꾼			
13		박금열	남	쇠꾼			
14	숯 작업	지상길	남	숯대장	보존회		
15		정정균	남	숯꾼			
16		이효진	남	숯꾼			
17		양경민	남	숯꾼	한신대학교 박물관		
18	송풍 관리	박 실	남	불매대장	보존회	보존회 부회장	
19	불매/ 15분간격/ 방재	1조	하출식	남	불매조장	보존회	
20			이형주	남	불매꾼		
21			조정모	남	불매꾼		
22			조선행	남	불매꾼		
23			박삼성	남	불매조장		
24		2조	김남만	남	불매꾼		
25			박수천	남	불매조장		
26			김용진	남	불매꾼		
27			김상욱	남	불매조장		

No	업 무	성 명	성 별	세부역할	소 속	비 고	
28	불매/ 15분간격/ 방재	류동철	남	불매꾼	보존회		
29		2조	김병호	남		불매꾼	
30			서영교	남		불매꾼	
31		3조	김상윤	남		불매조장	
32			손효일	남		불매꾼	
33			김병수	남		불매꾼	
34			송병성	남		불매꾼	
35			이심결	여		불매꾼	
36			김미숙	여		불매꾼	
37		조업기록	강성귀	여		조업기록 총괄	한국문화재단
38	권용대		남	울산문화재단연구원	공동연구원		
39	온도 및 송풍 기록	이민아	여	온도·송풍관리	국립경주문화재연구소	연구보조원	
40		김태은	여	온도·송풍기록	한신대학교박물관		
41		김다영	여	온도·송풍기록	불교문화재연구소		
42	장입량 기록	이지은	여	장입량 기록	국립중앙문화재연구소	연구보조원	
43		우진영	여	철광석 장입량	전북대학교		
44		박미라	여	패각 장입량	국립경주문화재연구소		
45	사진	곽병문	남	사진촬영	국립중앙문화재연구소		
46	금속분석	신경환	남	시료채취 및 분석	금속기술연구소	공동연구원	
47		이재용	남	시료채취 및 분석	금속기술연구소	연구보조원	
48		이은우	남	시료채취 협조	국립중앙문화재연구소		
49	공양(식사 및 간식)	양진하	여	공양 반장	보존회		
50		이남선	여	공양			
51		정복녀	여	공양			
52	행정관리	김경곤	남	행정총괄	북구문화원		
53		정재화	남		추진위원회		
54		이소경	여	행정서무	추진위원회		
55		류희영	여	행정서무	북구문화원		
56		이정결	남	실험행정 총괄	보존회		
57		한태경	여	실험행정 보조	보존회		
58		김혜희	여	실험행정 보조			
59	학술자문위원	성정용	남	실험 학술자문	충북대학교		
60		김길식	남	실험 학술자문	용인대학교		
61		이종서	남	실험 학술자문	울산대학교		
62		조대연	남	실험 학술자문	전북대학교		
63		심재연	남	실험 학술자문	한림대학교		
64		한지선	여	실험 학술자문	국립중앙문화재연구소		
65		카쿠다	남	실험 학술자문	고대이즈모역사박물관		
66	전문가 촬영	오세운	남	작품사진 촬영	문화재 사진작가		
67		박재영	남	영상 촬영	제이와이프로드션		
68	진행 협조	정락현	남	김권일 보조	국립중앙문화재연구소		
69	전시 해설	김태우	남	관람객 안내, 해설	국립중앙문화재연구소		
70	전시 해설	김두원	남	관람객 안내, 해설	국립중앙문화재연구소		
기타사항							

●
2019 울산쇠부리
제철기술 복원실험 연구보고서



실험 준비



1. 울산 쇠부리가마 연구사
2. 쇠부리가마의 구조
3. 조업매뉴얼
4. 실험 준비과정

제 3 장. 실험 준비

1. 울산 쇠부리가마 연구사

울산 쇠부리가마는 울산 달천광산 주변지역에 집중 분포하는 독특한 구조의 조선후기 쇠부리가마(製鐵爐)로, 석축형제철로(石築型製鐵爐), 토독형·사도형(斜道形) 제철로, 쇠부리 노(セブリ爐) 등으로도 불린다⁸⁾. 이들은 대부분 달천광산의 토철(철광석 포함)을 제련해 판장쇠(鐵錠)을 생산하는 기능을 하였다. ‘쇠부리’라는 용어는 울산 달천광산 주변 전통제철사회에서 사용하던 순우리말로, ‘쇠점에서 전개되는 일련의 야철작업’⁹⁾, ‘사철이나 석철 등의 광석을 쇠부리가마(鑄鑪) 안에서 녹여 잡쇠덩이를 생산하고, 이 잡쇠덩이를 큰대장간화독에서 달구어 두들기고 녹여 쇠붙이의 원자재인 판장쇠를 지어내는 일’¹⁰⁾을 의미한다. 이 과정에서 원자재를 녹이거나 달구는데 일정한 크기·형태의 가마(爐)가 필요한데, 이것이 바로 쇠부리가마¹¹⁾·무질부리가마·(큰)대장간화독 등이다.

쇠부리가마와 관련된 문헌기록은 현재 남아있지 않지만, 이의립(1621-1694)의 구충당문집(求忠堂文集)에는 1657년 이의립이 달천광산을 재개발하게 된 경위와 생산품에 대한 간략한 언급이 있다. 쇠부리가마에 대한 본격적인 연구는 1960~90년대 권병탁의 경제사 연구로 시작되었으며, 이후 고고학적 연구를 통해 ‘달천광산의 토철을 원료로 하는 조선후기 특징적 제철로’라는 의미의 ‘석축형제철로(石築型製鐵爐)’로 형식설정되고, 두 번에 걸친 연속조업을 통해 쇠물을 생산한다는 가설이 제기되기도 하였다. 하지만 최근 북한지역의 역사자료가 새로 발견되고, 제철복원실험의 무쇠 생산이 성공을 거두는 등 그 조업방식에 대한 재검토가 필요하게 되었다. 본 절에서는 이러한 신자료의 검토를 통해 달천광산 주변 쇠부리가마의 조업방식을 재검토해 보고자 한다. 또한 역사적·시기적 사실로 보아 이것이 바로 구충당 이의립의 토철제련법(土鐵製鍊法)이고, ‘토철(土鐵)’이라는 울산지역 토산(土産)의 특징을 잘 활용한 매우 창의적이고 선진적인 기술임을 강조하고자 한다.

8) 보은 상판 제철유적·대원리 유적, 상주 호음리 유적, 광양 황죽리 유적, 하동 탐동 유적 등에서도 석축형제철로와 유사한 구조의 제철로가 조사되었다. 이들은 거리상 달천광산과는 관련이 없으며, 상판·대원리 유적은 철광석 제련의 (반)환원괴를 소재로 해 선철을 생산한 것으로 추정되거나 아직 공정이 밝혀지지 않은 상태이다. 호음리와 황죽리는 사철을 제련했던 제철로로 추정되고 있고 탐동 유적은 주조철기를 제작하는 기능의 용해로이다. 본고에서는 달천광산과 관련이 없으나 구조적으로 석축형제철로와 유사한 이들을 ‘유사 석축형제철로’로 지칭한다.

9) 권병탁, 2004, 『한국산업사 연구』, 영남대학교출판부, p553.

10) 권병탁, 2004, 『한국산업사 연구』, 영남대학교출판부, p555.

11) 권병탁, 2004, 『한국산업사 연구』, 영남대학교출판부, p502. ‘쇠부리가마’는 ‘쇠독부리가마’라고도 한다. 본 절에서 ‘울산 쇠부리가마’는 ‘쇠부리가마’로 약칭한다.

1) 지금까지의 조사·연구

쇠부리가마에 대한 연구는 1960~70년대 권병탁에서부터 시작되었다고 할 수 있는데, 그는 경제사 연구를 위한 민속·지표조사의 형태로 울산·경주·청도에 이르는 방대한 지역에서 대략 82개소의 쇠부리터를 발견하고, 당시 조업에 참여했거나 관전한 주민들의 전언자료를 수집하였다. 그는 ‘쇠부리, 큰대장간(강엿쇠독·판장쇠독), 대장간, 무질부리’의 제철공정을 개념화시키고, 원료와 연료, 조업 인력 및 과정, 생산품, 유통, 비용과 이윤 등에 관한 방대한 조사와 연구를 수행하였다¹²⁾. 신중환은 오갑사(五岬寺) 중 하나인 청도 가슬갑사(嘉瑟岬寺)와 철생산과의 관계를 구명하기 위해 운문댐 상류지역에 대해 정밀지표조사를 실시하고, 4개소 제철유적에 대한 조사 내용과 함께 운문댐 일대에 널리 알려진 무쇠솔 주조작업에 대한 증언내용을 보고하였다¹³⁾.

〈표 2〉 전통제철의 공정(김권일 2017)

실험내용	I	II		III	IV	
	쇠(독)부리가마 (용광로)	큰대장간(대단야)		대장간 (소단야)	무질부리 (주조로)	
		강엿쇠독(대단야)	판장쇠독(소단야)			
기본시설	가마·풀무	화독·풀무	화독·풀무9:48	화독·풀무	가마·풀무	
원자재	숯·원광	잡쇠덩이·숯	강엿쇠·숯	판장쇠·숯	판장쇠·고철·숯·장작	
최소인력(명)	16	6	6	3	16	
생산물	잡쇠덩이	강엿쇠덩이	판장쇠	두드림쇠붙이	무질부리쇠붙이	
비고	공정	제철(製鐵)-쇠부리				용해
		제련	대단야		소단야	
	정련단야		단련단야	성형단야		
	노 (가마)	제련로 (쇠부리 가마)	단야로			용해로 (무질부리가마)
정련단야로 (강엿쇠독)			단련단야로 (판장쇠독)	성형단야로 (두드림쇠독·대장간화독)		
생산품	잡철	철괴	판상철부·철정	단조철기	주조철기	
기타	<ul style="list-style-type: none"> 상단의 내용은 권병탁 교수가 1967년도부터 수집한 내용을 전제한 것이며, 하단의 비고 내용은 현재 학계에서 통상적으로 사용되는 개념과 용어로 재정리한 것이다. IV공정은 I~III공정에서 이어지는 것이 아니라 I공정 다음에 후속된다. 제련에서 품질이 좋은 선철이 생산되면 곧바로 용해로 이어질 것이지만 그렇지 못할 경우 다시 녹여 정제하는 별도의 공정(정련공정)이 있을 수 있으며, 이 과정을 용해정련이라 할 수 있다. 					

12) 권丙卓, 1969, 「李朝末期 淸道郡 舍계 鑄銃手工業 研究, 上·下」, 『産業經濟』第5輯, 嶺南大學校.

權丙卓, 1971, 「蔚山郡 達川 鐵産業에 對한 史的 研究 1~3」, 『新羅加耶文化』2, 嶺南大學校.

權丙卓, 1972, 「쇠부리터 발견경위」, 『東洋文化』1, 嶺南大學校.

權丙卓, 1991, 「傳統鑄鐵爐 復元과 製鍊術 研究」, 『民族文化論叢』第12輯, 嶺南大學校.

13) 申鍾煥, 2006, 「嘉瑟岬寺와 鐵生産 關係 研究」, 『淸道 嘉瑟岬寺址 綜合學術調査 報告書』, 淸道郡·東國大學校 慶州캠퍼스 博物館.

이후 1985년 문화재관리국에 의해 제철유적에 대한 전국적 규모의 고고학적 지표조사가 실시되었다. 당시 달천광산 주변 조선시대 제철유적 수개소가 보고되었으며¹⁴⁾, 이 중 1975년 이전복원된 경주 녹동리야철지에 대해서는 비교적 상세한 검토가 이루어진 바 있다¹⁵⁾. 이후 지자체 및 문화재조사전문기관에 의한 지표조사에서 다수의 제철유적이 확인 및 보고되었으며, 울산 북구 문화원·울산쇠부리소리보존회 등의 민간단체나 개인연구자에 의해서도 수기의 제철유적이 발견된 바 있다. 1990년대 말부터는 제철유적에 대한 발굴조사가 본격적으로 이루어져 다수의 쇠부리가마 및 유물이 보고되고, 관련유물에 대한 금속학적 분석과 방사성탄소연대측정, 고고지자기측정 등의 자연과학분석이 이루어지게 되었다.

이러한 고고학적 조사는 후속 연구로 이어지게 되었는데, 이처럼 달천광산 주변지역에 산재하는 쇠부리가마를 석축형제철로(石築型製鐵爐)로 형식설정하고, 이러한 쇠부리문화는 울산 전읍태생의 구충당 이의립 및 그 후손들과 관련된 조선후기 울산지역의 특징적인 제철문화로 파악되었다¹⁶⁾. 이후 쇠부리가마의 구조적 검토 및 관련유물의 금속분석 등을 통해 쇠부리가마에서는 ‘1차-달천광산의 토철을 제련해 반환원괴를 생산(제련), 2차-반환원괴를 재차 가마에 장입해 쇠물 상태를 거친 선철 판장쇠를 생산(용해정련)’의 2단계 조업공정 모델이 제시되었다¹⁷⁾. 한편 달천광산의 토철은 철광석이 풍화되어 사철로 변화되어 가는 과정의 것으로, 쇠부리가마에서는 정제된 사철 혹은 토철을 제련하였다는 연구¹⁸⁾도 발표되었다.

2) 쇠부리가마의 구조 및 조업방식

(1) 쇠부리가마의 구조

달천광산 주변에서 발굴조사된 쇠부리가마 유적으로는 울산 대안동 쇠부리터·방리야철지·삼정리유적·삼정리야철지, 경주 모화리유적·용명리유적이 있으며, 정밀지표조사가 이루어진 유적으로 울산 활천리·서사리·당사동 야철지, 경주 녹동리·덕천리 야철지, 청도 신원리야철지 등이 있다¹⁹⁾. 달천광산과 관련이 없는 상주 호음리, 광양 황죽리, 하동 화개장터 유적 등에서도 이와 유사한 구조의 쇠부리터가 조사된 바 있다²⁰⁾. 이처럼 고고조사를 통해 파악된 울산 쇠부리가마의 조업 시기는 17~19세기로, 이의립(1621-1694)이 달천광산을 재개발하고 그 8세손 이은우 혹은 13세손 이은건대까지 그 후손들이 경영했던 시기(1910년경)와 일치한다.

14) 文化財管理局 文化財研究所, 1994, 『皇南大塚Ⅱ(南墳) 發掘調査報告書』.

15) 李南珪·松井和幸, 2006, 『朝鮮半島南部に分布するセプリタイプの製鐵炉について-慶尙北道鹿洞 里遺跡-』, 『たたら研究』第45号.

16) 金權一, 2009, 『영남지역 조선시대 製鐵文化에 대한 기초적 연구-石築型 製鐵爐의 설정-』, 『嶺南考古學』50, 嶺南考古學會.

17) 申경환·김권일·최영민, 2015, 『석축형제철로의 조업방식 연구』, 『야외고고학』22, 한국매장문화재협회.

18) 최영민, 2013, 『울산 달천유적 출토 철광석과 토철의 금속학적 분석 및 고찰』, 『울산의 쇠부리문화-철을 말하다-』, 울산쇠부리축제 추진위원회·한국철문화연구회.

19) 金權一, 2009, 『영남지역 조선시대 製鐵文化에 대한 기초적 연구-石築型 製鐵爐의 설정-』, 『嶺南考古學』50, 嶺南考古學會.

김권일, 2013, 『울산지역의 제철 문화』, 『蔚山 鐵 文化』, 울산박물관.

쇠부리터 유적에 대한 목록 및 상세한 설명은 필자의 전고에 정리되어 있다.

20) 이 유적들의 경우 석축 구조는 울산 쇠부리가마와 유사하지만 가마의 크기가 1m 이하의 소형(호음리, 화개장터)이거나 원형(호음리)을 띠기도 하고, 무쇠술 거푸집이 다수 출토되어 주조용해 유적이 확인되기도 하였다(화개장터). 황죽리의 경우 크기 및 방형 구조 등에서 유사성이 많지만 사철을 원료로 했을 가능성이 높다. 즉 석축 혹은 유사석축 시설을 가진다는 점에서는 달천광산 주변 쇠부리가마와 동일하지만 가마의 크기 및 형태 등이 달라 원료 및 생산물, 조업방식 역시 서로 다를 가능성이 높다.

쇠부리가마는 중앙에 (장)방형 가마가 있고 좌우에 긴 석축이 설치된 제철로이다. 깊은 산곡의 구릉 말단부에 등고선과 평행한 방향으로 길이 10~20m, 최대너비 3~5m의 석축을 구축한다. 석축은 가장자리를 석재로 쌓고 내부에 토사(土砂)와 잡석을 채우며, 가마가 있는 중앙부가 가장 높고 양 가장자리로 갈수록 비스듬히 낮아져 지면과 연결된다. 석축 중앙부에 (장)방형 가마를 설치하였는데, 돌을 쌓아 방(房)을 만들고 안쪽에 점토를 발라 벽체를 조성한다. 조업 시의 고온으로 인해 점토벽체가 용융·탈락되거나 슬래그가 심하게 용착되면 벽면을 정리하고 새로 점토를 바르는데, 이러한 양상은 울산 방리 등의 쇠부리터 발굴조사를 통해 확인되었다. 가마의 규모는 발굴조사된 유적의 경우, 내벽을 기준으로 장축 200~290cm, 단축 140~230cm, 잔존깊이 100~322cm이고, 지표조사된 소형의 유적들은 한 변 150cm 내외이다.

가마 뒷벽 중앙부 아래쪽에 점토와 석재로 만든 한 변 30~60cm의 방형 암거식(暗渠式) 송풍구(送風口)가 설치되어 있으며²¹⁾, 이 송풍구는 가마 뒤쪽의 풀무와 연결된다. 풀무²²⁾는 흙벽돌과 판자를 이용해 방(房) 모양의 세장방형 구멍이를 조성한 다음, 벽면에 점토를 발라 마감하고 상부에 발판을 설치한다. 쇠부리에는 길이 4m, 너비 50cm 정도 크기의 큰 발풀무가 사용되는데, 울산 쇠부리터 중 하나인 삼정리야철지 쇠부리가마에서는 가마의 뒷벽과 연결되는 길이 676cm, 너비 135cm, 잔존깊이 40cm의 구멍이가 확인된 바 있다²³⁾.

가마 앞벽 하단부에는 위가 좁고 아래가 넓은 아궁이(排滓口)가 설치되는데, 유적에서는 완전한 형태로 남아 있지 않아 그 원형(原形)을 복원하기는 힘들다. 하지만 이전·복원된 경주 녹동리아철지의 경우 높이 170cm, 밑너비 120cm 크기이고, 비교적 소형에 해당되는 울산 천전리유적 쇠부리가마는 높이 72cm, 너비 86cm로 보고되었다. 울산 쇠부리가마는 아니지만 잔존상태가 매우 양호한 상주 호음리유적 쇠부리가마의 경우 높이 90cm, 너비 60cm 정도이다. 방리야철지 1호 배재부(排滓部) 하부에서는 노 바닥의 타원형 홈에서부터 바깥으로 빠져나가는 길이 271cm, 너비 12~20cm, 잔존깊이 5cm의 좁고 긴 도랑(溝)이 조성되어 있으며, 끝부분에는 182×160×31cm 크기의 원형 구멍이 1기가 위치한다. 이 도랑의 기능은 정확히 알 수 없지만 형태·크기·위치 등으로 보아 씻물을 뽑아내는 탕도(湯道)나 슬래그를 제거하는 배재구(排滓溝)로 추정된다.

한편 현장 정밀지표조사에서 울산 대안동 쇠부리터 가마 앞쪽에 30cm 정도 크기의 할석을 돌린 한 변 길이 320cm 정도의 방형 둔대(墩臺) 시설이 확인되어 판장쇠바탕²⁴⁾일 가능성을 제기된 바 있다²⁵⁾. 하지만 최근 대안동 쇠부리터에 대한 발굴조사에서 건물지 관련시설임이 확인된 바 있다²⁶⁾.

21) 이러한 구조는 도제(陶製) 송풍관을 제작해 가마 벽체를 관통시켜 송풍하는 고대(古代)의 쇠부리 송풍방식과는 현저히 다른 것이다.

22) 권병탁, 2004, 『한국산업사 연구』, 영남대학교출판부, p672.

풀무는 울산지방에서는 '불메', 함천·예천지방에서는 '불미'라 하며, 손풀무와 발풀무로 나누어지고 발풀무는 다시 큰 발풀무와 작은 발풀무로 구분된다. 울산지방에서는 발풀무를 '발불메' 혹은 '구릉다리'라 하며, 쇠부리에는 큰 발풀무를, 강옛쇠독·판장쇠독에서 검용된다.

23) 韓國文化財保護院, 2008, 『蔚山 대밀·兩水亭·上三亭·三亭里遺蹟-蔚山圈 廣域上水道(大谷邑)事業 編入敷地內 5次 發掘調査』.

24) 봉쇠바탕은 판장쇠바탕이라고도 하는데 노 안에서 끓인 쇳물을 앞쪽의 초롱구멍을 통해 흘러보내 굳혀 판장쇠(鑄錠) 모양으로 만드는 거푸집(鑄范)이다. 초롱구멍 아래의 땅바닥에 좌우 4개씩 8개로 된 바탕자리를 만드는 것으로 알려져 있으나(권병탁 2004, 579·652), 울산 방리·삼정리, 경주 모화리·옹명리 등 발굴조사된 제철로에서는 아직까지 확인된 바가 없다. 가마 바닥에 형성된 잡쇠덩이를 식힌 후 앞벽을 허물고 뜬내는지 아니면 이저렴 쇳물을 틀에 흘러 부어 판장쇠로 생산하는지를 밝힐 수 있는 중요한 자료이다.

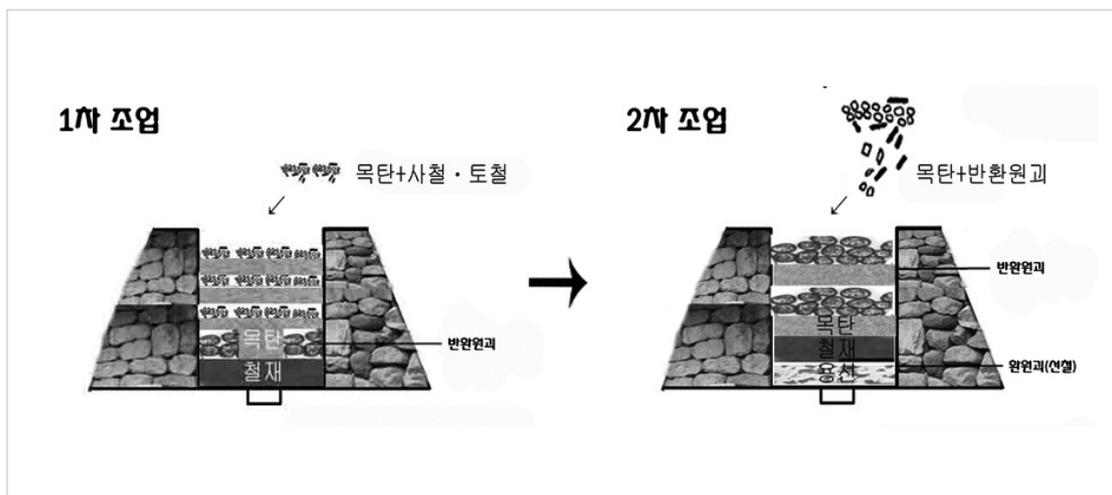
25) 김권일, 2013, 『울산지역의 제철 문화』, 『蔚山 鐵 文化』, 울산박물관.

26) 울산발전연구원, 2019, 『울산 북구 대안동 쇠부리터 문화재 정밀발굴조사 학술자문회의 자료집』.

가마와 중심축이 서로 다르고, 400cm나 이격되어 있으며, 가마의 바닥보다 레벨이 더 높은 점 등 쇠부리가마 조업과는 직접적인 관련이 없는 것으로 판단된다.

(2) 기존에 제시된 조업방식

쇠부리가마의 조업방식과 관련해서 지금까지 제시된 연구는 크게 괴련철 생산과 선철 생산으로 구분된다. 전자는 권병탁의 수집자료 중에서는 극히 일부에서 나타나지만 고고자료에서는 대부분을 차지한다. 즉 발굴조사에서 확인된 쇠부리가마의 앞벽(아궁이 포함)은 대부분 제거되어 남아 있지 않으며, 가마 안쪽의 벽체 하단부와 바닥면이 뜯겨져 나간 것이 대부분이다. 이러한 현상을 통해 조업 후 앞벽을 헐고 냉각된 잡쇠덩이를 수거하는 과정을 상정할 수 있는 것이다. 후자는 울산 쇠부리가마의 특징적인 조업방식으로, 권병탁이 수집한 대부분의 자료에서 나타나는 바와 같이 가마 앞쪽에 판장쇠바탕을 설치하고, 가마 바닥에 쇳물이 고이면 먼저 잡쇠구멍을 열어 상부의 슬래그를 유출시킨 다음 초롱구멍을 열어 쇳물을 봉쇠바탕으로 흘러보내는 방식이다²⁷⁾.



〈그림 2〉 기존에 제시된 울산 쇠부리가마의 조업방식(신경환 외 2015)

필자는 달천광산 주변 쇠부리가마에서는 1차적으로 달천광산의 토철을 제련해 반환원괴를 생산하고(제련), 2차적으로 이 반환원괴를 재차 가마에 장입해 쇳물상태를 거친 선철 판장쇠를 생산하는(용해정련) 2단계 조업공정 모델을 제시한 바 있다²⁸⁾.

27) 이 두 가지 조업방식 외에도 전술한 보은·상주·광양·하동 등지에서 조사된 평면형태 원형이거나 내경 1m 내외의 소형 쇠부리가마는 사철을 제련하거나 판장쇠를 녹여 무쇠술 등을 주조하는 용해로의 기능을 했을 가능성이 있다.

28) 신경환·김권일·최영민, 2015, 「석축형제철로의 조업방식 연구」, 『야외고고학』22, 한국매장문화재협회.

〈표 3〉 쇠부리가마의 조업방식 검토현황

구 분	권병택(1971)	김권일(2009)	신경환 · 김권일 · 최영민(2015)
A	<ul style="list-style-type: none"> • 토철 제련 • 가마 내부에 용선(숫물) 형성→송풍 중단 • 3~4일 후 가마 앞벽 해체→냉각된 잡쇠 덩이 유출 (잡쇠덩이는 분쇄 후 큰대장간(강엿쇠독 · 판장쇠독)에서 괴련철 판장쇠 제작→대장간에서 단조철기 제작) 	<ul style="list-style-type: none"> • 토철 제련 • 반응용 후 냉각 • 가마 앞벽 해체 철괴 수거 • 전기 : 17~19세기 	<ul style="list-style-type: none"> • 분상(粉狀) 원료 제련 • 반환원괴 생산 • 1차 조업-제련
생산품	괴련철	괴련철	반환원괴
B	<ul style="list-style-type: none"> • 토철 제련 • 가마 내부 용선 형성→배재구로 상층의 슬래그 유출 • 철창으로 배재구 하부의 초롱구멍 개방→봉쇠바탕에 주입→판장쇠 규격품 생산(판장쇠는 무질부리 공정에서 무쇠솔 · 쟁기 등의 주조철기 제작) 	<ul style="list-style-type: none"> • 토철 제련 • 용선 형성→봉쇠바탕 주입 • 판장쇠 생산 • 후기 : 19세기 이후 	<ul style="list-style-type: none"> • 반환원괴 가마에 재투입 • 용선상태를 거친 고품위 선철 생산 • 2차 조업-용해정련
생산품	선철	선철	환원괴(선철)
C		<ul style="list-style-type: none"> • 평면형태 원형 • 내경 1m 내외 소형 제철로 →용해로 혹은 정련로 • 유사 석축형제철로 	
생산품		주조철기 등	
비고	경제사 연구	고고학 연구	고고아금학 연구

3) 새로운 자료의 검토

필자는 최근 가쿠다 노리유키(角田徳幸) 선생의 도움으로 북한 회령 인근 전거리(全巨里)의 일제강점기 사철 제련용 쇠부리가마 자료를 취득할 수 있었는데, 석축이 설치된 점을 비롯하여 가마의 크기와 형태, 토철과 비슷한 형태의 사철 원료 사용, 선철 생산 등의 특징에서 울산쇠부리와 많은 유사점이 있다. 이를 계기로 지금까지 조사된 쇠부리터 유적을 재검토한 결과 석축 상부보다 가마 벽체가 더 높게 축조되었을 가능성이 있다는 점을 확인하였다. 한편 2018년 5월 4차 울산쇠부리축제 기간 중 울산쇠부리 제철복원실험에서는 조선후기 울산쇠부리의 선철 생산기술 복원을 위한 예비실험을 실시하여 선철 쇳물 24kg을 출탕하는데 성공한 바 있다.

(1) 북한 전거리 제철로

이 자료는 폴란드인 아너트(E. Ahnert)의 만주 여행 기록(1904년)을 1939년 일본인들이 번역해 발행한 것으로(學藝社 · 興亞書院 1939), 항제(項題)는 「(12) 조선 및 만주에서의 아너트의 시찰」이다. 아너트에 대해서는 폴란드 피츠버그(Petersburg) 광산학교 출신이라는 사실밖에 확인할 수 없었지만 출신 및 서술 내용으로 보아 광업에 대한 상당한 수준의 전문지식을 가진 것으로 볼 수 있고, 당시 목격한 쇠부리가마점(製鐵場)의 풍경을 상세히 묘사하고 있다. 글의 서두에서

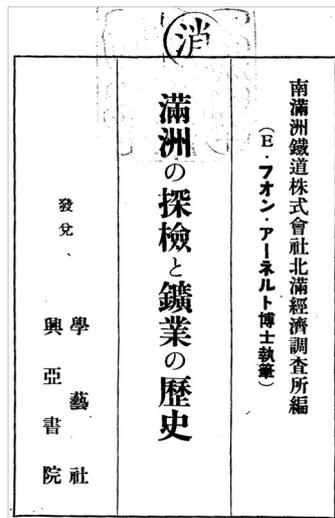
아너트는 이렇게 밝히고 있다.

【이곳은 부령(富寧)으로 가는 길이 무산(茂山)으로 가는 길과 갈라지는 곳인데, 나(아너트)는 여기에서 2개의 철광정련소를 보았다. 첫 번째 정련소는 남남동 엠바치(embati)계곡을 거슬러 올라간 곳에 있고, 두 번째는 이보다 먼 남남서 전거리 계곡에 있었다. 정련소에 관한 나의 서술은 다음과 같다.】

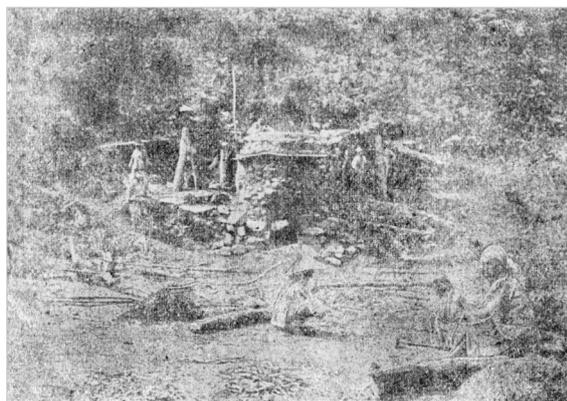
본 절의 지면 관계상 그 내용을 모두 소개할 수는 없지만 울산 쇠부리가마의 구조 및 조업방식과 관련된 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

【이 용광로는 돌을 쌓아 만들었으며, 규모는 높이 3.56m, 윗지름 2.13m, 아래지름 2.84m이고, 투광구(投鑛口)의 직경은 1.78m이다. 앞쪽에는 석판(石板)을 부착한 부뚜막(前竈)이 있는데, 그 높이는 1.07m, 너비 0.71m, 깊이는 거의 1.40m이고, 철괴(鐵塊)는 이곳을 통해 유출시킨다. 노(爐) 측면에는 경사진 석축(上がり坂)이 설치되고 이것이 투광구까지 위쪽(上方)으로 연결된다. 투광구 주위에는 대(臺)가 설치되어 있고, 노에서 이것을 보호하고 있는 산의 경사면까지 발판의 형태를 이루고 있다. 석축을 바라보았을 때 발판 위에는 소벽(小壁)으로 둘러싸인 광석 저장을 위한 장소가 있다. 이 용광로에서는 주변 하천에서 채취한 자철광쇄분(碎粉, 사철로 추정됨)을 3일간 용융시켜 1,000근(약 600kg)의 선철괴를 만들 수 있다.

목탄은 몇 군데 경사진 지면에 쌓아 두든지 혹은 직접 노 중앙에 부어진다. 발판 아래의 뒤쪽에는 보통의 단야장용 풀무(鞴)와 유사한 상형풀무(箱形鞴)가 2개가 서로 밀접하여 부착되어 있다²⁹⁾. 양쪽의 풀무 윗면에는 단에서 단으로 걸치는 폭이 넓은 판이 고정되어 있고, 이 판이 양쪽 풀무의 공통된 경계벽(획벽, 劃壁) 아래에 있는 축을 둘러싸고 상하 연동한다. 6명의 노동자가 이 판 위에 서고, 이 판의 상하운동으로 인해 풀무장치 전체가 운전을 시작한다. 각 풀무에는 공통의 경계벽과 나란히 풀무의 바람주머니(風袋)가 있고, 이것을 통해 교체되는 공기가 양 풀무 공통의 송풍구로 유입되며, 이 때문에 상당히 규칙적인 송풍이 가능하다. 송풍구는 광재(鑛滓) 취출구(取出口) 위 약 0.71m 지점에 위치한다. 바람주머니는 너비 약 1.42m, 길이 약 2.85m, 높이 약 0.71m이다. 바람주머니를 담당하는 노동자 외 노 바깥에 두 사람이 더 있는데, 한사람은 원료를 위로



〈그림 3〉 아너트 소개자료 표지



〈그림 4〉 북한 전거리 조선후기~근대 사철 제련용 용광로

29) 실제 단야장용 작은 풀무 2개가 서로 부착되어 있을 수도 있지만, 서술 내용 및 울산쇠부리 사례로 보아 중간에 경계벽 및 축이 있는 대형 발판 무 하나일 가능성이 있다.

웁기고 다른 사람은 노에 광석을 충전(充填)한다.

이 용광로의 250m 거리에는 선철을 재(再) 제련(製鍊)하는 장소가 있다. 여기에는 바깥 길이 249cm, 너비 17cm, 높이 71cm의 구유형(槽形) 평로(平爐)가 있는데, 소철괴는 높이 27cm, 구경 116cm의 도가니(坩鍋) 내에서 용융되어 쇳물이 되며, 이 쇳물은 주조(鑄造)를 위해 안지름 35cm, 깊이 22cm의 주조용 국자(柄杓)를 통해 거푸집(鑄型)에 주입된다³⁰⁾】

이 자료에서는 제철로 사진자료가 게재되어 있으며<그림 4>, 울산쇠부리와 관련된 몇 가지 주목되는 점이 있다.

첫째, 가마의 양쪽에 석축 구조를 가진다는 점과 중앙부의 가마가 석축보다 최소 150cm 이상 높게 돌출되어 있는 점이다. 2015년도에 제시한 ‘2단계 조업공정 모델’에서는 석축 중앙부 높이와 가마의 높이가 동일하다는 전제가 있었다. 따라서 가마의 높이가 2.5m를 웃돌지 않을 것이라는 가정과 더불어, 이러한 높이는 광석이 침강하면서 쇳물 상태로 환원되기에 충분한 시간이 될 수 없는 구조라는 점이 주요한 요인으로 작용되었다. 하지만 북한 전거리 쇳부리가마는 석축보다 최소 150cm 이상 높은 것으로, 울산 쇳부리가마에서도 이러한 구조가 적용되었다면 가마의 높이를 최소 4m 이상으로 상정해 볼 여지가 있다.

둘째, 사철을 제련해 선철괴를 생산한다는 점이다. 자료에는 ‘용광로에서 30리(里)³¹⁾ 떨어진 하천에서 채취한 자철광 쇄분(碎粉)을 녹였으며(대부분 현미경 결정 중 자철광 함유), 광석의 용해에 용제가 첨가되지 않는다.’라고 기술되어 있다. 광석은 일반적으로 철광석·사철·토철 등의 형태로 채광되는데, 사철의 경우 강가에서 채취되는 천사철(川砂鐵-강변사철), 바닷가에서 채취되는 빈사철(浜砂鐵-해변사철), 산중에서 채취되는 산사철(山砂鐵)로 구분된다³²⁾. 본 자료에서는 ‘하천에서 채취한 자철광 쇄분’이라는 점으로 보아 강변사철로 추정된다³³⁾.

셋째, 선철을 생산한다는 점이다. 아너트가 시찰한 곳은 250m 거리를 두고 서로 다른 계곡에 위치한 두 개소의 제철소로, 한 곳은 사철을 제련해 잡쇠덩이 혹은 선철 판장쇠를 생산하고, 다른 한 곳은 그 생산품을 다시 녹여 선철 판장쇠 혹은 주조철기를 생산하는 곳으로 판단된다. 전자에서는 ‘3일간 용융시켜 1,000근(약 600kg)의 선철괴를 생산³⁴⁾’한다고 하며, 후자에서는 ‘구유형(槽形) 평로(平爐) 안에 높이 27cm, 구경 116cm의 도가니(坩鍋) 여러 개를 설치하고, 여기에 생성된 쇳물을 주조용 국자(柄杓)로 거푸집(鑄型)에 옮겨 굳힌다’고 하였다. 즉 사철을 제련해 잡쇠덩이 혹은 선철 판장쇠를 생산하고 이를 다시 녹여 선철 판장쇠 혹은 주조철기를 생산하는 연속공정의 제철소가 인근에서 이루어졌던 것이다³⁵⁾.

30) 선철을 재 제련하는 장소는 전술한 사철 제련에서 생산된 선철괴를 소철괴로 분할해 도가니에서 녹여 쇳물을 생산하는 곳으로 판단되며, 주조용 국자에 담아 거푸집에 주입한다는 내용으로 보아 주조철기를 제작하는 용해공정으로 추정된다.

31) 여기에서의 리(里)는 일본의 전통 거리 단위를 말하는 것으로, 30리는 약 17km이다.

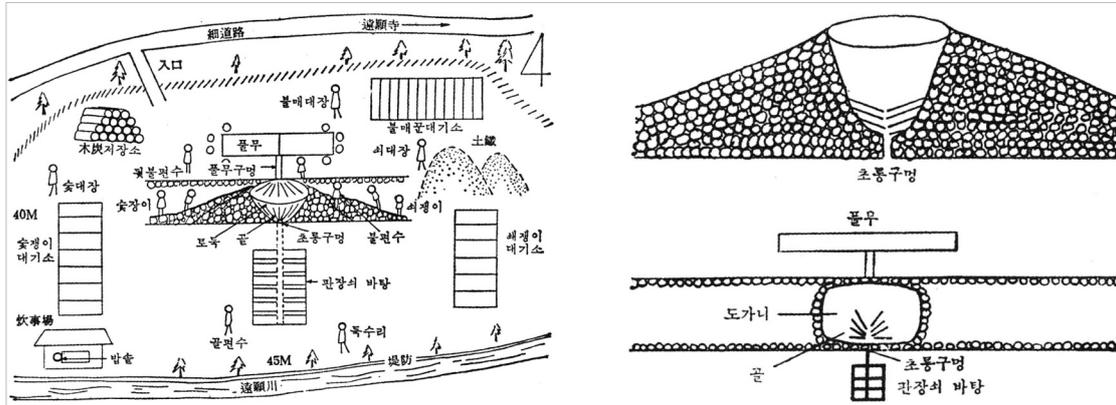
32) 角田徳幸, 2014, 『たたら製鐵の成立と展開』, 72, 清文堂.

33) 회령은 두만강 남안에 접해 있는 지역으로, 서남쪽 직선 약 5km 거리에는 유명한 ‘무산 철산’이 같은 두만강을 끼고 위치한다.

34) 울산 쇳부리가마에서는 보통 하루 3회 쇳물을 뽑으며, 80근(48kg) 무게의 판장쇠(중방철)를 1회 평균 3개씩만 생산하면 그 작업은 성공적이라고 한다. 이 작업을 사흘간 할 수 있다면 성공적인 조업이며, 전주는 큰 이익을 얻는다고 한다(권병탁 2004, 579). 즉 48kg 무게의 판장쇠를 하루 3개, 3일간 생산한다면 한 번의 조업(총 9회)에서 720근(약 432kg)을 생산하는 것이다.

35) 아너트는 중부 만주의 조양진(朝陽鎭) 남남동 28-29km 거리의 안자(安子) 하안 삼송강촌(杉松崗村)의 철 제련소도 시찰하였다. 그는 삼송강촌과 전거리 제철소의 차이는 각각 코크스와 목탄을 사용하는 것일 뿐 조업방식과 고로(高爐)의 크기와 구조는 동일하다고 하였다.

(2) 고고유적의 재검토



〈그림 5〉 울산 쇠부리가마 구조 가상도 (경주 모화리 쇠부리터 : 권병탁 2004, 556~557)

지금까지 울산 쇠부리가마의 구조는 권병탁이 수집한 자료를 근거로 석축 중앙부에 설치된 가마의 높이가 석축 높이를 넘지 않는 것으로 이해되어 왔다(그림 5). 울산 방리·서사리, 경주 녹동리·모화리·용명리, 청도 신원리 등에서 조사된 고고유적 역시 가마의 점토 벽체가 석축보다 높게 남아 있다는 보고는 없었다.

하지만 최근 발굴조사된 울산 대안동 쇠부리터의 가마 발굴조사를 통해 재고의 여지가 생기게 되었다. 대안동 쇠부리터는 등고선과 나란한 동-서 방향의 석축을 가지는데, 석축 길이는 약 15m 이고, 잔존높이는 160cm이다. 중앙부의 가마는 내측을 기준으로 장축 190~280cm, 단축 80~140cm이며, 잔존 높이는 약 220cm이다³⁶⁾. 좌·우 단벽 잔존상태는 비교적 양호하며, 점토벽체의 두께는 10~15cm이고 내면에 요철상(凹凸狀) 철재가 용착되어 있다. 특이한 점은 동벽의 가마 벽체가 석축 상부보다 약 50cm 돌출되어 있다는 점이다.



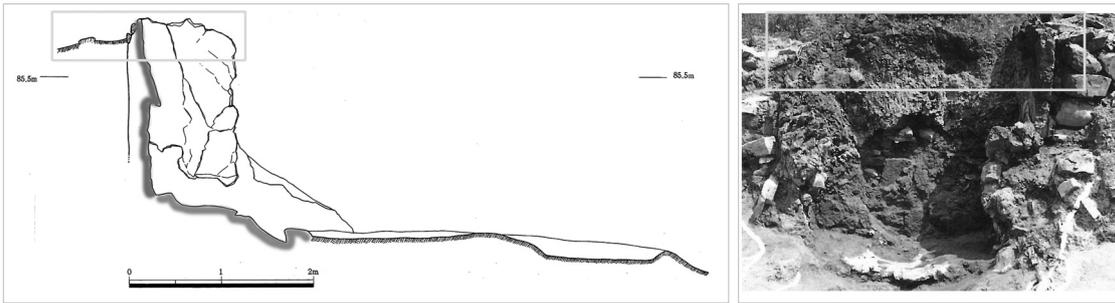
〈그림 6〉 울산 대안동 쇠부리터 벽체 돌출상태

〈그림 6〉의 좌측 사진은 쇠부리가마를 정면에서 바라본 모습인데, 동벽(오른쪽 벽체)은 석축 높이만큼만 남아 있지만 서벽(왼쪽 벽체)은 석축보다 50cm 정도 위로 돌출되어 있다. 우측 사진은 서벽을 바깥쪽에서 비스듬히 바라본 모습으로, 그 돌출 양상이 좀 더 구체적으로 나타난다. 특히 점토에 석재가 부착된 모습과 탈락된 흔적이 고스란히 남아 있어 벽체 외곽에 석재가 보강되었음

36) 울산발전연구원, 2019, 「울산 북구 대안동 쇠부리터 문화재 정밀발굴조사 학술자문회의 자료집」.

을 알 수 있다. 이는 앞서 북한 전거리 쇠부리가마 현황사진의 돌출된 가마 석재와 매우 유사한 것이다.

이러한 사실은 필자의 이전 현장조사에서도 확인되었으나 당시에는 오랜 시간 석축 상면이 유실되어 가마 벽체보다 더 낮게 잔존하는 것으로 생각되었다. 하지만 이번 발굴조사 현장 방문을 계기로 당초부터 석축 상부 일정 높이까지 가마 벽체가 돌출해 있었을 가능성을 생각해보게 되었다. 또한 <그림 7>에서 보는 바와 같이 방리야철지 1호 쇠부리가마도 점토벽체 최상단과 석축면은 30cm 정도 차이가 있음을 확인하였다.



<그림 7> 울산 방리야철지 1호 쇠부리가마 벽체 돌출상태

(3) 제철복원 실험연구 성과

울산쇠부리축제에서는 2016년도부터 연차적으로 제철복원실험을 실시하고 있고(1~4차), 2018년 5월 4차 실험에서는 조선후기 울산 쇠부리가마의 선철 생산기술 복원을 위한 예비실험을 실시하였다³⁷⁾. 실험의 목적은 약 1/3 규모로 축소·제작한 정방형 가마에서 토철과 유사한 형태의 분광(粉鑛)을 제련해 용융선철을 생산하는 것이다. 이를 위해 일변 80cm(내측), 높이 220cm의 평면 방형 쇠부리가마를 복원하였고, 원료는 4mm 이하 크기로 파쇄된 분광을 사용하였다. 철재 및 용선을 유출시키기 위한 잡쇠구멍(배재구)과 초롱구멍(출탕구)를 각각 조성하고, 송풍을 위해 발풀무를 제작·설치하였다.



<그림 8> 울산쇠부리축제 제4차 제철복원실험(2018년 5월 12일 : 좌-가마의 구조 및 실험 광경, 우-쇳물 유출 광경)

37) 이남규·신경환·최영민·강성귀, 2018, 「2018년도 울산쇠부리 제철기술 복원실험 연구보고서」, 울산쇠부리축제 추진위원회·울산쇠부리복원사업단.

실험 결과, 300kg의 분광을 장입해 쇳물 24kg을 포함한 선철 61.9kg과 선철·괴련철·반환원괴·철재가 혼합된 혼합괴 126.4kg을 생산하였다. 특히 광석 장입 개시 6시간 47분 후 잡쇠구멍을 개방해 용융 풀(pool) 상층의 철재를 배출시킨 후 초롱구멍을 개방해 24kg의 용융선철을 생산한 점은 실험의 큰 성과로 평가되고 있다(〈표 4〉 참조).

이 실험의 의미는 토철과 유사한 형태의 분광을 원료로 해 실제 쇳물을 생산하는 첫 제철복원 실험이라는 점과 쇳부리가마의 조업방식을 규명할 수 있는 단서를 확보했다는 점이다. 특히 가마 바닥(爐床)에서부터 220cm의 높이를 가진 가마에서도 충분히 쇳물을 생산할 수 있었다는 점은 지금까지 조사된 쇳부리터의 가마 잔존 높이가 250cm를 넘지 않는다는 점과 관련해 매우 중요한 시사점을 주는 것이다.

〈표 4〉 울산쇠부리 제4차 제철복원실험 개요(2018.05.12)

실험 내용			비고	실험 내용		비고
가마 (cm)	평면	정방형	점토	평균 온도(°C)	1,269	11:28~21:09 안정 온도
	내측	80		점화 및 송풍 개시	9:50	
	외측	130		광석·패각 장입 개시	13:51	
	고	220		가마 바닥(爐床) 기준	광석·패각 장입 종료	20:03
장입량 (kg)	광석	300	10kg 단위	목탄 장입 종료	20:06	
	목탄	1,230	610/620, 20kg 단위	용융선철(쇳물) 유출	20:38	초롱구멍 개방
	패각	60	2kg 단위	송풍 종료	21:10	
장입 비율	1.0/4.1/0.2	광석/목탄/패각		철 생산량 (kg)	188.3	선철 61.9kg, 용융선철 24.0kg 포함
	1.0/2.07/0.2	광석 투입 후				혼합괴 126.4kg, 선철+괴련철+반환원괴+철재

4) 울산 쇳부리가마의 조업방식

본 절에서는 일제강점기 북한 전거리 제철소와 울산 대안동 쇳부리터 등의 고고자료 재검토, 울산쇠부리 제철복원 실험연구 성과의 3가지 자료를 근거로 2015년 제시했던 울산 쇳부리가마 ‘2단계 조업공정 모델’의 내용을 수정하고, 수정된 내용에 근거해 2019년도 울산쇠부리 제철복원 실험의 가마 구조 및 조업매뉴얼을 수립하고자 한다.

가. 울산 달천광산 주변 쇳부리가마는 북한 전거리 가마와 마찬가지로 석축 중앙부의 가마 벽체가 석축보다 최소 150cm 이상 더 돌출하는 구조일 가능성이 있다. 울산 대안동 쇳부리터와 방리야철지 1호 가마에서도 그러한 구조일 개연성이 매우 높다는 점이 확인되었으며, 이 경우 쇳부리가마는 높이 4m에 가까운 고로(高爐) 구조가 된다.

나. 울산 쇳부리가마에서 원료로 사용된 달천광산의 토철은 사철보다는 입자가 굵지만 분광이라는 점에서 동일한 형태의 원료로 볼 수 있다. 제철복원실험에서 확인된 바와 같이 이러한 분광 형태의 원료는 조업 시 가마 바닥으로 하강하면서 완전히 환원·용융되어 용선이 생성되기에 용

이한 원료이다. 울산 쇠부리가마의 높이가 4m 내외라면 조업 시 토철이 하강하면서 환원되어 쇳물을 생성할 수 있는 충분한 시간이 주어지는 것으로 판단된다. 따라서 2015년도에 제시된 ‘2단계 조업공정 모델’은 한 번의 조업에서 곧바로 쇳물 상태의 용선을 생산해 판장쇠를 생산하는 ‘1단계 조업공정 모델’로 수정하고자 한다. 이는 <표 3>의 권병탁³⁸⁾과 김권일³⁹⁾의 B유형 조업방식에 해당되며, 다만 필요시에는 가마 바닥에 잡쇠덩이 형태의 괴련철을 생산하는 A유형 역시 여전히 유효한 것임을 밝혀 둔다.

이상 새로 검토된 자료를 통해 울산 쇠부리가마에서는 분광 형태의 토철을 장입해 한번의 조업에서 곧바로 탄소 함량이 높은 용융선철을 생산할 수 있었으며, 목탄량과 온도 조절을 통해 필요시 괴련철도 생산할 수 있었던 것으로 추론된다. 이처럼 토철을 제련해 곧바로 용선을 생산하는 것은 수회의 연속조업을 담보하는 것이므로, 당시 선철 생산기술의 획기적 발전을 의미하는 것이다. 즉 일본 타타라제철 게라오시(けらおし, 鋸押)에서 강을 생산하는 수준과 비교되는 것이다. 다만 울산쇠부리 제철복원실험에서 다량의 혼합철괴가 생산된 점⁴⁰⁾은 2015년 제시했던 ‘2단계 조업공정 모델’의 가능성이 여전히 남아 있음을 보여준다. 향후 본격적인 쇠부리 복원실험과 쇠부리터 발굴조사, 금속학적 분석 등이 예정되어 있어 심도 있는 논의가 이루어질 전망이다.

하지만 본 절의 내용은 어디까지나 문헌·고고·민속 등의 현재 자료를 검토한 결과이며, 이를 검증하기 위해서는 지속적인 제철복원실험과 쇠부리터에 대한 발굴조사 및 금속학적 분석연구가 뒤따라야 한다.

2. 쇠부리가마의 구조

1) 쇠부리가마

이번 실험은 1~4차 실험과 마찬가지로 울산 북구청 주차장 및 화단 일부를 이용한 실험장에서 실시하였으며, 전체 실험장의 공간은 27×24m의 범위이다⁴¹⁾. 이번 실험에서는 최초로 울산 쇠부리가마의 구조를 복원하였기 때문에 방형의 가마를 축조하고, 양 측면에 비스듬한 석축을 설치하였다. 먼저 중앙부의 가마는 한 번 80cm로 하며, 가마 바닥(爐床)에서의 높이는 250cm로 설계하였다⁴²⁾.

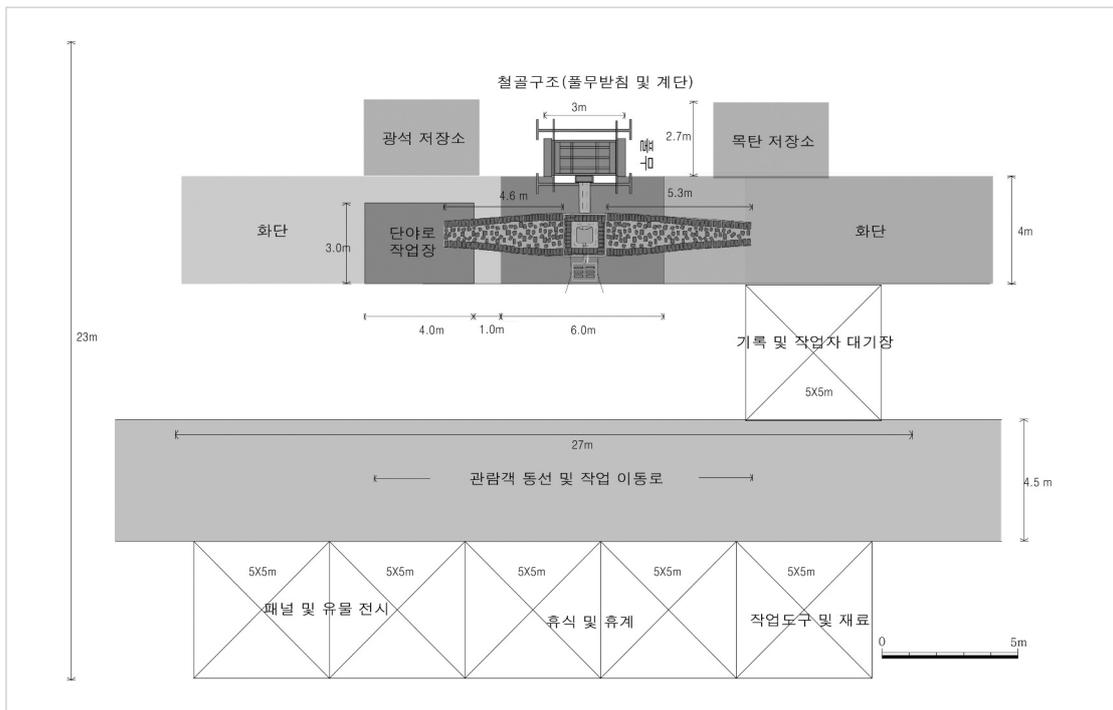
38) 권丙卓, 1971, 「蔚山郡 達川 鐵産業에 對한 史的 研究 1~3」, 『新羅加耶文化』2, 嶺南大學校.

39) 金權一, 2009, 「영남지역 조선시대 製鐵文化에 대한 기초적 연구-石築型 製鐵爐의 설정-」, 『嶺南考古學』50, 嶺南考古學會.

40) 울산쇠부리 복원실험에는 분광 300kg 장입 약 1시간 후 송풍을 중지하였고, 이때부터는 광석이 충분히 환원되지 못하여 반환원괴(혼합철괴)가 다량 형성되었다. 하지만 실제 쇠부리가마 조업에서 광석 최종장입 후에도 충분한 송풍 등 환원분위기를 유지하여 수회에 걸쳐 쇳물을 유출시키는 연속조업을 하였을 것이기 때문에 본 실험결과와는 차이가 있었을 것이다.

41) 실험장의 조성은 1차 실험이 이루어진 2016년도에 이루어졌으며, 당시 평지인 실험장에 경사진 제련로 입지를 만들기 위해 1·2차에 걸쳐 성토를 하였다. 1차적으로 6×4m, 높이 0.8m로 성토하여 실험로의 공간을 마련하고, 2차적으로 1차 성토한 한쪽 측면에 5.5×2.8m, 높이 0.4m로 성토해 단야공간을 확보하였다.

42) 발굴조사가 이루어진 울산 쇠부리가마의 크기는 평균 길이(장축) 203cm, 너비(단축) 182cm이고, 잔존높이는 217~322cm이다. 하지만 이 크기대로 하기에는 실험장이 너무 협소하고, 실험에 소요되는 기간·인원·비용 등이 너무 많아 1~4차 실험로의 크기를 유지하기로 하였다. 다만 선철을 생산하는 실험의 목적상 높이를 좀 더 높게 하였는데, 1~3차의 200cm, 4차의 220cm보다 높은 250cm로 하였다.



〈그림 9〉 제철복원 실험장 배치도

석축은 화단의 수목과 좌측 단야로 실험장 등의 지장물로 인해 설계를 하기가 여의치 않아 가마 축조 시 상황에 맞게 조성하고 이후 석축을 통해 도면을 완성하기로 하였다. 가마 좌측의 경우 단야로가 조성되어야 하고, 이미 성토가 되어 있어 우측보다 높기 때문에 우측만큼 길게 할 공간적 여유가 없었다. 이에 따라 결과적으로 가마의 우측은 5.3m, 좌측은 4.6m가 되었고, 가마를 포함한 석축의 전체 길이는 11.5m, 너비는 중앙부의 가마와 동일한 160cm가 되었다. 석축의 높이는 가마 상단에서부터 120cm 아래까지로 설정하였으며, 성토면에서부터 100cm, 성토면 바깥의 화단 면에서부터 180cm가 된다.

가마의 하부구조는 가마가 들어설 한 변 160cm 범위를 30cm 깊이로 굴착한 다음, 가마 내면 80cm 범위를 30cm 깊이로 추가 굴착한다. 하층 20cm는 목탄분과 모래를 섞어 채우고, 상층 10cm는 고운모래와 목탄분을 섞은 황토를 깔아 가마의 바닥으로 한다⁴³⁾. 가마의 벽체 구축은 하부-중부-상부로 구분되는데, 하부는 가마 바닥(爐床)에서부터 송풍관 장착면까지를 포함한 약 60cm 높이이고, 중부는 그 위에서부터 상단의 꺾이는 부분까지이며, 상부는 안쪽으로 꺾이는 부분이다. 바닥에서부터 석축 높이까지(130cm)는 석재를 쌓고 그 내면에 10cm 두께의 점토를 미장해 조성하고, 그 상부는 비소성 점토블럭을 쌓아 축조한다. 벽체의 두께는 최하단 40cm, 중단 30~35cm, 최상단 20cm로 한다.

43) 방리·대안동 아철지 등 유적에서는 굴착한 임반면 위에 목탄분과 점토가 고온으로 경화된 카본-베드상이 5cm 정도 두께로 확인되지만, 본 실험에서는 임반면이 아니라 성토면을 재굴착해 조성하기 때문에 밀양 사촌 등 고대 제련로의 경우를 참고해 30cm 두께의 방습시설을 하는 것으로 계획하였다.

〈표 5〉 쇠부리가마의 속성

가 마			석 축				
구 분	내용(cm)	비 고	구 분	내용(m)	비 고		
평면형태	방형	안쪽 모서리는 약간 둥글게	길이	전체	11.2	가마 상단에서 120cm 아래까지 조성	
단면형태	장방형	상단 50cm부터 좁아짐		동쪽	5.3		
		가마 바닥(爐床) 기준		서쪽	4.6		
높이 (깊이)	전체	250	가마 바닥→상단, 내경/높이=1/3.12	너비	80~160		
	하부시설	30	가마 바닥 아래, 고운 모래+황토(목탄분)	높이	성토면	100	성토면에서부터
	석축	130	가마 바닥에서 석축까지		화단	180	화단면에서부터
	상부	50	좁아지는 부분에서 상단까지			-	

아궁이는 가마 앞벽 하단부에 높이 50cm, 너비 30cm 크기로 설치하며, 하단 중앙부에 직경 10cm 크기의 초롱구멍(出湯口)을 설치하고, 초롱구멍 5cm 위, 5cm 우측에 직경 7cm의 잡쇠구멍(排滓口)을 설치한다. 아궁이는 소성벽돌을 양 벽에 세우고 상부에 편평한 석재를 가로로 걸쳐 이맛돌로 삼는다. 조업 시 소성벽돌, 점토 등을 이용해 수시로 개폐할 수 있도록 한다. 초롱구멍 앞에는 판장쇠바탕을 설치해 씻물이 형성되면 초롱구멍을 통해 유출된 씻물이 비스듬한 씻물 길(湯道)을 거쳐 판장쇠바탕으로 흘러 들어가게 한다. 판장쇠바탕은 권병탁의 민속자료에 의하면 한번에 8개를 생산하는데, 본 실험에서는 가마의 규모가 작기 때문에 이보다 적은 6개의 판장쇠를 생산할 수 있는 바탕 2개를 만들도록 한다.

2) 송풍시설

권병탁의 수집자료에 의하면 울산쇠부리가마의 풀무는 가마 뒤쪽에 세장방형 구덩이를 파 벽면을 점토로 미장하고, 상면에 디딜 뚜껑을 설치하는 것이다. 풀무와 가마를 연결하는 바람골은 도랑을 파서 역시 굴광면을 점토로 미장해 뚜껑돌을 얹어 전체적으로 지상에서는 보이지 않는 지하식에 해당된다. 경주 모화리 야철지를 예로 든다면 풀무는 길이 4m, 너비 50cm의 흙벽돌과 판자로 장치하며, 풀무에서 생성된 바람은 바람구멍을 타고 가마 바닥에서 한자 쯤 높이의 골구멍에서 비스듬히 세 갈래로 분산되어 가마 내부로 들어간다. 풀무꾼은 좌우 4명씩 8명이 한조가 되며, 선거리·후거리의 두 개 조가 교대로 작동시킨다⁴⁴⁾.

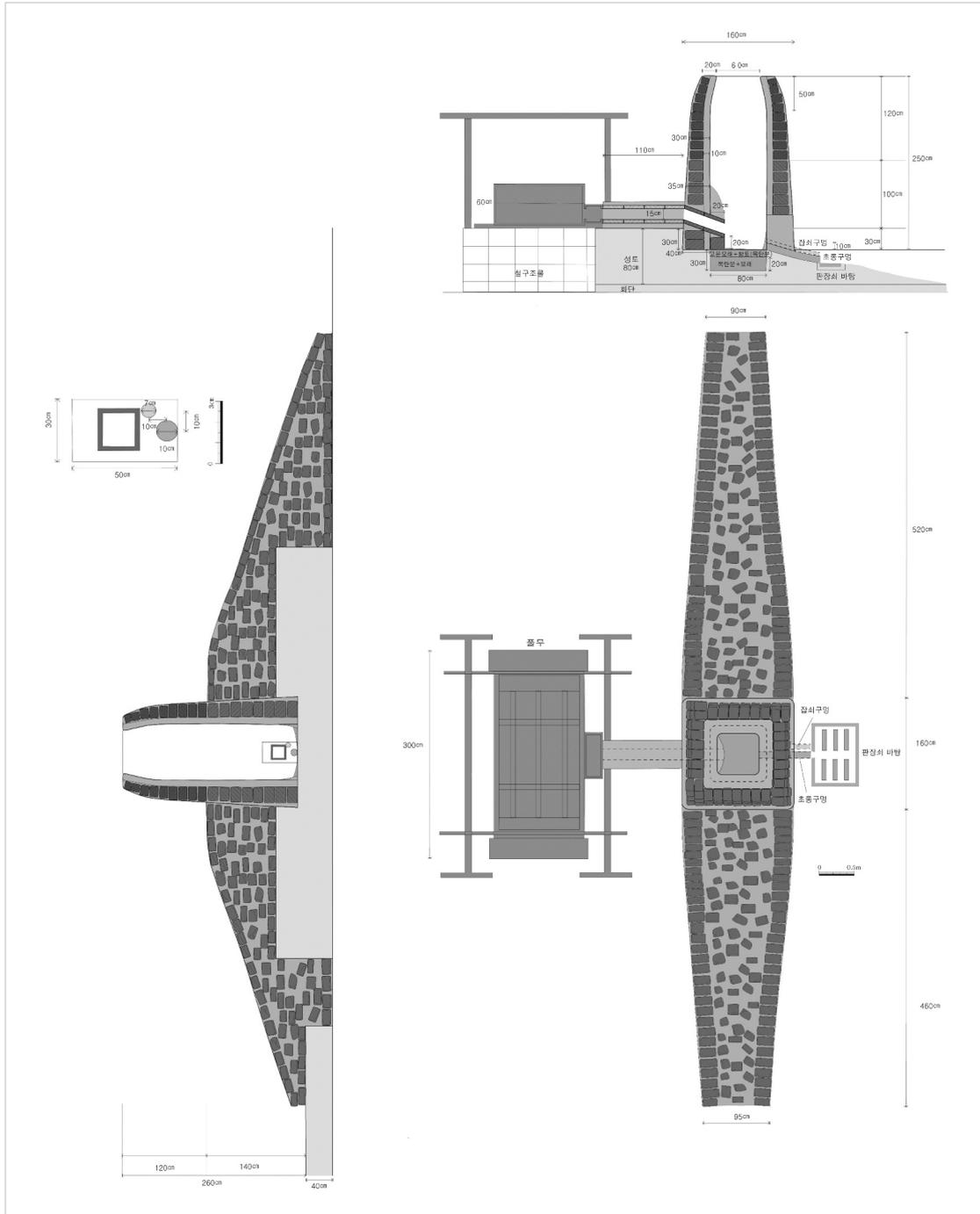
이번 실험에서는 실험장의 여건상 이러한 풀무를 제작하기는 어려워 2018년도 4차에 사용하였던 것을 내면의 가죽 등을 보수해 사용하는데, 그 규모는 길이 300cm, 너비 130cm, 높이 70cm이다(내부 용적 278×115×65cm)⁴⁵⁾. 가마와 풀무 사이(기존 일자형 도제 송풍관 부분)는 도랑(暗渠) 형태의 바람골을 조성하는데, 나무판재나 판석으로 한 변 15cm 크기의 도랑모양 틀을 만들고 외면을 점토로 밀봉해 설치한다. 가마 벽체 관통부의 골구멍은 판석으로 한 변 15cm 크기 사각형 틀을 제작해 20° 각도로 설치하고 외면을 점토로 밀봉해 고온을 견딜 수 있도록 한다. 가마와 풀무

44) 권병탁, 2004, 『한국산업사 연구』, 영남대학교출판부, p505·557.

45) 이 풀무는 2018년도 울산쇠부리소리보존회 이태우 회장이 자비로 제작해 울산쇠부리 추진위원회에 기증한 것이다.

간격은 150cm로 해 송풍구의 개방이 용이하도록 하였으며, 풀무질은 순수인력으로 하되 풀무 고장 시나 풀무꾼 수급이 여의치 않은 후반부에 사용할 수 있는 기계송풍기를 따로 준비하도록 하였다.

이상의 내용을 바탕으로 작성된 쇠부리가마의 구조 및 크기는 <그림 10>과 같다.



<그림 10> 쇠부리가마 구조복원

3. 조업매뉴얼

여러 차례의 회의를 거쳐 쇠부리가마의 가마 내 원료의 반응 및 변화 과정을 추정하여 보았다. 본 실험에서는 원료인 분광을 투입하고, 가열-환원-용융의 과정을 거쳐 선철을 생산할 계획을 수립하였다.

이와 같은 원료의 변화 및 4차 실험의 내용을 검토하여 아래 <표 6>과 같이 조업매뉴얼을 작성하였다. 5월 10일과 12일에는 이은철 공동연구원이 단야실험을 시연하고, 11일에 제련실험을 진행하기로 계획하였다.

석축형 쇠부리가마는 특성상 수분을 많이 함유하고 있어 가마의 예열이 필요하다. 10일 18:00 고유제를 지내고, 18:30에 점화를 해 11일 9:00까지 예열하기로 한다. 11일 09:00 풀무를 시작으로 본격적으로 조업을 시작하며, 목탄은 대탄을 2/3 정도, 소탄을 1/3 정도 만장입 한 상태로 평균온도를 1,250~1,300℃ 까지 상승시킨다. 계획한 평균온도에 도달하면 광석 10kg, 패각 2kg, 목탄 20kg을 장입하고, 이후 13분마다 같은 양으로 원료, 첨가제, 연료를 장입한다. 목탄은 중탄 20kg과 소탄 20kg을 번갈아가며 장입하여 온도를 유지한다. 다만 가마 내 분위기 등 조업환경에 따라 크기를 조절한다. 총 6시간 17분 동안 광석 300kg, 목탄 600kg, 패각 60kg을 투입하여, 원료:연료:첨가제의 비율은 1.0:2.0:0.2로 한다.

설계된 쇠부리가마의 구조와 조업매뉴얼에 따라 가마를 축조 및 실험을 진행한다. 실험 중 매뉴얼 변경이 불가피한 경우 연구원(김권일·이은철)의 요청 및 책임연구원(이남규)의 지시에 의해 변경할 수 있도록 한다.

생산된 선철은 판장쇠바탕에 모으는 것으로 한다. 잡쇠구멍은 초롱구멍 보다 5cm 정도 높게 설계하여 잡쇠구멍을 통해 철재가 배출되면 가마 바닥에 있는 초롱구멍을 통해 선철을 출탕하는 것으로 계획한다. 이는 가마 바닥에 용융선철이 형성되면, 그 위에 철재가 부유하게 되는데, 10cm 정도 형성되었을 시 송풍관으로 역류할 우려가 있기 때문에 미리 제거해 연속 조업이 가능하게 계획한 것이다. 선철은 초롱구멍 앞에 만들어진 판장쇠바탕에 모아, 굳힌 다음 제거하기로 하며 24kg씩 2차 정도 출탕을 계획한다. 판장쇠 바탕의 설치는 1차에서는 수평으로 놓고 선철을 받고, 2차에서는 경사를 주어 선철을 받는 것으로 한다.

모든 원료와 연료, 첨가제의 투입이 종료된 이후 7시간 정도 송풍을 더하여 가마의 내용물을 모두 연소시키고, 가마 하부에 잔재하는 선철과 철재를 제거하는 것으로 한다.

조업기록은 원료·연료·첨가제·온도 기록 담당자는 미리 표를 작성하여 실험현장에서 기재하며, 실험 후 정리해 제출한다. 온도계는 고정식온도계의 경우 하부 3개, 중간부 3개 등 총 6개를 장착하고, 이동식온도계 (1,600℃까지 측정 가능)는 1대를 사용한다. 그리고 조업기록의 정확성을 기하기 위해 기록자들이 공동으로 볼 수 있는 시계를 준비한다.

〈표 6〉 조업매뉴얼표

날짜	시간	조업 내용	비고
2019년 5월 10일(금)	17:00~18:00	• 실험 최종 점검회의	• 이남규 주관
	09:00~18:00	• 단야 시연 -한국야철문화연구소(소장 이은철) 담당 -필요 시 인력 지원(메질, 풀무 등)	• 메질 2인, 풀무 1인
	18:00~18:30	• 고유제, 점화, 가마 예열	
2019년 5월 11일(토)	08:30~09:00	• 조업 준비사항 점검 및 목탄 만장입	
	09:00	• 이의립 동상 앞 고유제 개최	• 성공적 조업 기원
	10:00~24:00	<ul style="list-style-type: none"> • 원료 장입(분광 총 300kg) -분광 총 300kg, 최초 목탄 만장입 및 하부 1,300℃ 이상, 중부 1,250℃ 이상 상승 시, 10:00-10kg 장입(잔량 290kg), 이후 평균 13분 간격으로 매 10kg씩 29회에 걸쳐 16:17까지 290kg 장입, 약 6시간 17분 동안 장입 예상. 원료는 삽으로 장입 • 목탄 장입 -목탄 총 1,300kg, 분광 장입 전 하단~중단까지 대탄 장입, 상단은 소탄 장입, 약 700kg 만장(잔량 600kg), 분광 장입 후 10:05부터 평균 13분 간격으로 매 20kg씩 30회에 걸쳐 16:22까지 600kg 장입, 약 6시간 17분 동안 장입 예상 • 소성패각 장입 -철광석 장입 후 10:10 최초 2kg 장입(잔량 58kg), 이후 13분 간격으로 매 2kg씩 29회에 걸쳐 16:27까지 장입, 약 6시간 17분 동안 장입 예상 • 철광석 장입 개시 후 6시간 27분 경과 후 목탄·광석·패각 장입 종료 	<ul style="list-style-type: none"> • 평균 1,250~1,300℃ 책임연구원 판단하에 철광석 장입 개시 • 광석 장입 개시 후 철광석/목탄/패각 비율을 1.0/2.0/0.2유지 • 가마 상단에서 20cm 하강 후 장입, 장입 간격·무게 등은 변동되었지 만비율은 최대한 유지하도록 함 • 최종 원료 투입 후 7시간 가량 추가 송풍
	09:00~12:00	<ul style="list-style-type: none"> • 단야 시연 • 조업 결과물 확인 및 평가회의 -분석시료 선정, 파생품 및 생산품 일부 -사진촬영, 노트, 기록 정리 • 제련로-적정기간 동안 전시(복구청 협의) • 조업 성공 시 가마 해체 및 배재구 개방은 필요하지 않음 -가마 내 변화 관찰 위해 필요 시 배재구 개방 	<ul style="list-style-type: none"> • 6월 1~2일 -생성물 수거 및 정리
	13:00~15:00	• 실험장 정리 및 해산(13:00~15:00)	

4. 실험 준비과정

1) 원료

원료인 철광석은 정선 신예미광산 산으로 분광으로 640kg을 준비하였다. 조업에 사용된 4mm 이하의 크기를 분류하기 위해 4mm 채로 쳐서 크기를 분류하였다. 걸러진 철광석은 불순물이 많은 상태이기 때문에 먼저 세척을 통한 선별을 하였다. 세척과 선광은 2019년 3월 9일, 16일, 17일 3일간 울산 북구청 임시주차장 동편에서 실시하였다. 세척은 판재를 이용해 길이 300cm, 너비 45cm, 높이 30cm의 부력선광기⁴⁶⁾에 적정량의 철광석을 담은 후 호스를 이용해 물을 강하게 분사하면서 삽과 호미 등을 이용해 골고루 세척될 수 있도록 하였다. 세척을 하자 황색이 포함된 흑색 세척수가 지속적으로 배출되었는데, 황색은 철광석의 표면에 포함된 황(S)과 관련된 것이고 흑색은 철광석 표면에 묻어 있던 광석 문진으로 추정된다. 한동안의 세척이 진행되자 광석 표면의 문진이 씻겨 저 나가 원래의 색조가 나타났다. 이를 수습해 햇볕에 말려 물기를 제거하였다. 세척 후에도 육안으로 확인된 맥석들은 분리하기 위해 자력선광 2회를 실시하였다. 이후 풍구를 이용하여 철함량이 낮고 너무 가는 원료를 제거하였고, 다시 자력선광 1회를 더 실시한 후 마대자루에 10kg 단위로 담아 보관하였다. 선광을 거친 철광석은 327kg으로 약 49%의 불순물을 제거하였다.



〈그림 11〉 철광석 세척



〈그림 12〉 4mm 채로 크기 분류



〈그림 13〉 자력선광

46) 1차(2016년도)실험 준비과정에서 철광석 세척을 위해 부력선광기를 제작하였고, 이 후 2~5차 실험에도 계속 사용하고 있다.



〈그림 14〉 풍구선광



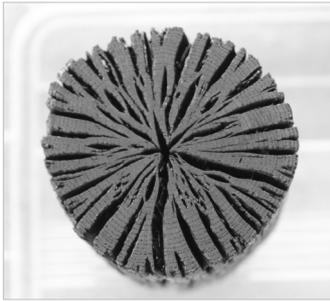
〈그림 15〉 10kg씩 분류작업

〈표 7〉 1~5차 원료비교표

실험명	1차	2차	3차	4차	5차	비 고
광석현황	2016.05.13~15	2017.05.12~14	2017.10.20~22	2018.05.11~13	2019.05.10~12	
준비량(kg)	500	660	440(240/200)	400	382	
장입량(kg)	277	425	170	300	380	
광석 산지	양양산 자철광석 (한국연구재단 전통제철 기술연구단 제공)	양양산 자철광석 (한국연구재단 전통제철 기술연구단 제공)	정선 신예미광산	정선 신예미광산	정선 신예미광산	3차는 분광 150kg+패각+황 토 펠릿형태 제조 하여 장입
크기	2~5cm 괴광	3cm 내외 괴광	3cm 내외 괴광 1cm 이하 분광	4mm 이하 분광	4mm 이하 분광	
배소여부	○	○	○	×	×	

2) 연료

연료인 목탄은 제련용 1300kg, 단야용 100kg, 예비용 200kg은 참숯을 준비하고, 가마 건조 및 조업 전 예열 등에 사용되는 연료는 잡목을 사용하기로 회의에서 결정하였다. 충청북도 백운참숯에서 대탄 550kg, 중탄 350kg, 소탄 700kg으로 총 1,600kg을 준비하였다. 조업 목적에 맞게 목탄을 길이에 따라 대형(15cm)·중형(10cm)·소형(5cm)으로 구분하여 주문하였다. 이를 다시 투입할 수 있는 크기로 분할하는 작업을 5월 5일 진행하였다. 준비된 1,600kg을 분할하는 과정에서 정해진 소탄의 분류 기준보다 크기가 작거나 분진상으로 흩어지는 목탄들이 있어 분류 후의 목탄은 1,480kg으로 구입량 보다 120kg이 감소되었다. 분류된 목탄은 대탄 480kg, 중탄 300kg, 소탄 700kg을 10kg 박스에 담아 습기 방지를 위하여 건조하고 서늘한 곳에 보관하였다.



〈그림 16〉 분할전 목탄



〈그림 17〉 목탄 분할작업



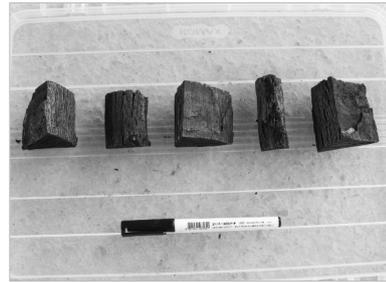
〈그림 18〉 박스 10kg 분리



〈그림 19〉 대형목탄



〈그림 20〉 중형목탄



〈그림 21〉 소형목탄

3) 첨가제

첨가제는 철과 철재의 분리를 도와주고 유동성을 높여 줄 산화칼슘(CaO) 성분이 다량 함유된 패각을 준비하였다. 거제도 중앙수산에서 3월 8일 10자루를 구입하여 3월 9일 세척을 하고 건조하였다. 3월 16일 건조된 패각을 수거하였고, 5월 9일까지 소성해서 파쇄하는 작업을 진행하였다. 말각방형의 수혈을 파고, 그 안에 목탄을 투입해 불을 붙였다. 어느 정도 불길이 올라온 다음 철망을 깔고 그 위에서 패각을 소성하였다. 소성 평균 온도는 680~720℃였다. 회당 10kg 투입하여 8~11분 정도 가열하고, 이를 파쇄하였을 때 5~6kg의 패각이 생산되었다. 이와 같은 작업을 10회 실시하여 총 65kg의 파쇄된 소성패각을 만들고, 투입이 용이하게 2kg씩 포장하였다.



〈그림 22〉 패각 세척



〈그림 23〉 패각 2kg씩 분류

4) 실험장 배치

실험장은 1~4차 실험이 이루어진 복구청 안의 주차장 화단쪽을 성토하여 구성하였다. 4차 실험 시 가마의 높이가 20cm 이상 높아져, 실험장 천장구조물의 높이를 높였다. 본 실험은 4차 실험보다 30cm 더 높아졌으나 여건상 실험장 구성에 변화를 주지 않고 그대로 사용하였다. 가마의 뒤편에 풀무를 설치하고, 풀무꾼이 휴식과 공연을 할 수 있는 공간을 마련하였다. 그 좌우로 원료와 연료를 적재하고, 투입 준비할 수 있는 별도의 공간도 두었다. 가마를 기준으로 좌측에는 쇠부리 실험과 별도로 이은철 장인이 철소재와 철기를 제작하는 모습을 시연하는 단야장이 자리하고 있다. 3시 방향에는 온도, 작업 내용을 기록할 기록원이 작업하는 공간이며, 가마 맞은편에는 작업원이 휴식과 급식을 위한 휴게실과 실험관련 자료들의 실물 전시 및 조업과정을 사진으로 설명하는 별도의 전시장을 두었다. 휴게실 우측에는 작업 도구를 두는 창고를 두었다. (<그림 9> 참조)

5) 쇠부리가마 축조

가마의 축조는 전술한 가마 구조복원 설계에 따라 진행하였으며, 큰 변경 없이 설계에 따른 축조가 이루어졌다. 가마의 너비는 160cm, 높이는 250cm이며, 가마바닥에서 130cm까지는 석재를 이용한 석축을 하고, 그 상부 120cm는 비소성 황토블럭을 이용하여 축조하였다. 가마축조는 4월 13~15일, 17~23일까지 10일 동안 이루어졌다.

(1) 석재 채집

이번 복원 실험에서는 가마 외벽과 장입로 축조에 석재와 점토를 혼용하기로 결정하였다. 따라서 많은 양의 석재가 필요하게 되었고, 3월 29일 울산 매곡천에서 길이 20~50cm 정도의 천석만을 골라 1톤 트럭 6대 분량을 채집하였다. 석재에 함유된 수분을 건조하기 위해 바람이 잘 통하는 곳에서 가마 축조 전날 까지 건조하였다.



<그림 24> 채집된 석재

(2) 굴광 및 가마 하부 축조

4월 7일은 기존 남아 있었던 쇠부리가마를 해체하였다. 가마의 위치는 실험장 기반토의 정중앙이 되도록 하였다. 우선 지름 160cm, 깊이 30cm로 굴착해 하부시설이 들어설 공간을 확보하였고, 이후 지름 80cm, 깊이 30cm를 추가로 굴착하여 방습시설을 위한 공간을 마련하였다. 4차에 사용된 황토벽돌의 일부가 남아 있어 제거하면서 수혈을 굴착하였다. 굴착 후 수혈 바닥을 다지고 정리하였다. 방습시설은 가마의 벽을 축조 후 마지막에 가마 내벽을 정리하면서 동시에 마련하기로 하였다.

가마의 하부는 기반토 수혈에 황토물을 코팅하여 접착이 용이하도록 한 후 점토반죽⁴⁷⁾을 한 겹 발랐다. 하부 벽석의 두께는 40cm 정도이며, 사용될 석재의 두께는 약 30cm 정도이다. 굴광면에 석재를 붙이고 안쪽으로는 10cm 여유를 두었다. 석재는 내벽쪽으로 면맞춤을 하면서 1단씩 돌렸다. 큰 석재로 채워지지 않을 경우 작은 석재를 채워넣었으며, 석재와 석재 사이의 빈 공간은 점토 반죽으로 충진하였다. 다음 석재를 쌓아 올리기 전에 황토물로 코팅을 한차례 한 다음 점토를 얇게 한 겹 깔고 석재를 올렸으며, 나무막대기로 상부에 올려진 석재를 쳐서 점토에 박아 고정하였다.



〈그림 25〉 가마 하부 굴광



〈그림 26〉 수혈벽면과 바닥에 황토물칠



〈그림 27〉 점토반죽 위에 벽석올리기



〈그림 28〉 최하단 벽석 축조상태



〈그림 29〉 2단 벽석올리기 전 황토물칠



〈그림 30〉 2단 벽석올리기 전 점토반죽올리기

47) 점토 반죽은 황토:모래:마사토를 6:3:1의 비율로 혼합한 후 짚을 썰어 넣었다. 혼합된 점토는 물을 뿌린 후 3~4명이 발로 밟아 무르기를 조성한 후 하루정도 숙성시켜 사용하였다. 점토반죽은 가마 축조 전 과정 동안 4명의 인원이 지속적으로 작업하였다.



〈그림 31〉 하부 1차 벽석 축조상태



〈그림 32〉 1차 건조 모습



〈그림 33〉 점토 반죽 모습

가마 바닥에서 30cm 높이, 벽석 2단을 쌓아 지면과 같은 높이가 되도록 한 다음 내벽 쪽에 남겨둔 5cm에 점토반죽으로 미장하였다. 또한 이 높이에서 골구멍을 설치하였다.

가마 바닥에서 80cm 높이, 지면에서 50cm 높이까지 가마 벽을 축조한 후 장작과 짚 등으로 1시간 30분 가량 건조를 진행하였다. 건조 후 가마 벽의 일부에서 갈라짐이 확인되었다.

1차 가마 벽을 축조한 후부터는 가마 벽의 두께가 35cm로 좁아져 안쪽으로 들여쌓기를 하였다. 가마 바닥에서 125cm 높이까지 석재를 이용한 가마 벽의 축조를 완료한 후 2차 건조를 실시하였다. 2차 건조는 온도를 서서히 올리면서 장시간 건조하여 벽의 갈라짐을 방지하였다.



〈그림 34〉 하부 2차 벽석 축조



〈그림 35〉 하부 벽석축조 완성 상태



〈그림 36〉 2차 건조

(3) 작업창의 축조

작업창(배재구)은 송판으로 높이 50cm, 너비 30cm로 외형틀을 제작하여 최하단부터 고정시켜 별도의 공간을 마련하였다. 외형틀의 주변에 석재를 평평하게 쌓아 올려 틀을 고정하였고, 외형틀 상단부 20cm는 아치형으로 석재의 간격을 조금씩 좁혀가며 축조하였다. 작업창의 외형틀은 1차 건조시 연소되고 석재로 축조된 아치형의 작업창만 남았다. 작업창은 가마를 예열하던 10일날 점토반죽으로 마감하였다.



〈그림 37〉 작업창 설치 모습



〈그림 38〉 작업창 고정 후 모습



〈그림 39〉 작업창 연소된 상태

(4) 골구멍과 바람구멍 축조

골구멍과 바람구멍은 별도의 제작 없이 얇은 석판을 사용하여 가마 벽 축조와 동시에 축조하기로 하였다. 바람구멍은 골구멍과 풀무를 연결하는 직선 구멍이고, 골구멍은 가마 벽에 묻혀 가마 내부로 이어지는 사선구멍이다. 골구멍과 바람구멍은 축조 시 형태를 유지하기 위해 송판으로 외형을 제작하였다. 길이 50cm, 너비 15cm의 송판으로 사각 통형 외형틀을 제작하였다. 골구멍은 가마 바닥에서 30cm 정도 높이(지면과 같은 높이)에 축조된 벽에 20° 각도로 가마 내면 20cm 안쪽까지 들어가게 설치하였다. 외형틀 주변에는 납작한 석재만 골라 평평하게 여러겹 쌓아 올려 골구멍 틀을 고정시키고 동시에 골구멍의 사각형 형태를 축조하였다. 가마 내면으로 들어간 골구멍 주변은 점토를 두껍게 발라 배가 부른 형상이 되도록 하였다. 가마를 1차 건조시키는 1시간 30분 동안 골구멍 외형 틀은 연소되어 사라지고 석재로 축조된 구멍만 남게 되었다.

바람구멍은 사각 통형틀 그대로 사용하였다. 매뉴얼상으로는 점토로 피복하기로 하였으나 골구멍으로 슬래그가 역류할 때를 대비하여 송판틀을 그대로 사용하였고, 풀무와 가죽으로 연결하여 분리를 쉽게 하였다. 특히 골구멍과 연결되는 부분은 가마 내부의 상황을 살피기 위해 여단을 수 있는 작은 창을 냈다.



〈그림 40〉 골구멍과 바람구멍 외형틀제작



〈그림 41〉 완성된 골구멍과 바람구멍



〈그림 42〉 골구멍 축조 과정



〈그림 43〉 바람구멍 연결 모습

(5) 가마 상부 축조

가마 상부 벽은 비소성 황토블럭⁴⁸⁾을 이용해 축조하였다. 건조된 하부 벽에 황토 물칠과 점토 반죽을 한 겹 깔고 황토블럭을 쌓아 올렸다. 황토블럭 3단 높이, 가마 바닥에서 200cm 높이까지 쌓은 후 3차 건조를 하였다. 그 후 상부 50cm는 가마 벽의 내부 지름이 줄어드는 특징을 유의해 많은 노력을 기울였다. 중심 추를 설치해 가마의 몸통이 완전한 대칭을 이루도록 하였으며, 줄어드는 각도를 정확히 설계와 일치하도록 하였다. 꺾임부 이전의 가마벽 두께 30cm, 내부 지름 80cm에서 완만하게 내경하여 최종 상단부는 벽 두께 20cm, 내부 지름 60cm가 되도록 하였다. 상단부까지 완성한 후 4차 건조를 하였다.

가마 내벽은 상단부까지 완료한 후 바닥에서부터 상부까지 미장을 1회 더 실시하여 건조하였다. 건조 후 벽이 박리되거나 갈라진 틈은 마사토를 채에 걸린 고운 점토를 사용하여 벽을 보수하였고, 잡목으로 6차 건조를 하였다.



〈그림 44〉 비소성 황토블럭



〈그림 45〉 상부 황토블럭 쌓기



〈그림 46〉 상부 1단 쌓은 모습



〈그림 47〉 3차 건조



〈그림 48〉 꺾임부 축조



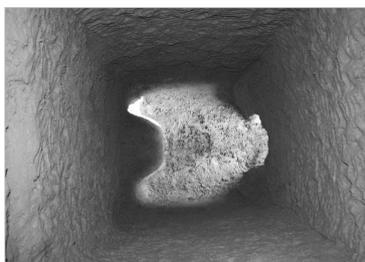
〈그림 49〉 상단부 완성



〈그림 50〉 4차 건조

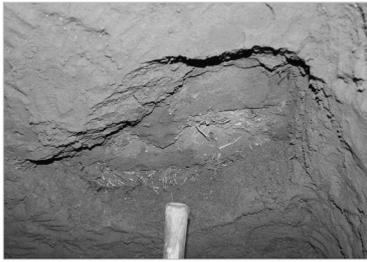


〈그림 51〉 내부 미장 모습



〈그림 52〉 1차 미장 완성모습

48) 소성되지 않은 황토 블럭으로 4차 실험에서 제작된 것을 사용하였다. 길이 25cm, 너비 17cm, 두께 15cm이다.



〈그림 53〉 건조 후 미장 박락부분



〈그림 54〉 박락부 보수 흔적



〈그림 55〉 완성된 가마 건조

(6) 가마 바닥 형성

방습시설은 하부 20cm 정도에는 목탄분과 모래를 혼합해 깔았으며, 그 상부에 마사토와 황토를 1:1 비율로 혼합해 10cm 두께로 깔았다. 작업장 쪽을 제외한 가장자리는 5cm 정도 더 높게 형성하여 전체적으로 바닥을 오목하게 하였다. 이후 물을 살짝 뿌리고 손으로 가볍게 다짐하였다.

(7) 초롱구멍과 잡쇠구멍 설치

초롱구멍과 잡쇠구멍은 가마 앞쪽 작업장을 마무리할 때 설치하였다. 초롱구멍은 선철이 출탕되는 구멍으로 가마 중앙에 지름 10cm 크기의 원형 구멍을 뚫었다. 선철의 출탕이 용이하도록 가마 바닥에서 경사지도록 하여 판장쇠바탕과 연결하였다. 잡쇠구멍은 초롱구멍의 우측 5cm, 상부 5cm 정도 떨어져 직경 7cm 크기로 역시 경사지게 설치하였다. 가마 밖의 잡쇠구멍은 선철과 섞이지 않게 판장쇠바탕이 놓이는 수혈의 오른쪽으로 돌려서 도랑을 형성하였다.



〈그림 56〉 초롱구멍과 잡쇠구멍

(8) 장입로 축조

쇠부리가마를 축조한 후 가마 외벽에 붙여서 장입로를 축조하기로 하였으나 가마 축조과정에서 석재와 석재가 서로 맞물리게 축조하는 것이 벽석을 더욱 견고하게 한다는 것을 알게 되었다. 장입로의 높이는 지면에서 100cm, 바닥에서 130cm 정도로 설정하였기 때문에 가마의 하부가 축조되는 높이까지 석재를 서로 맞물리게 우선 외벽 1~2열을 축조하였다. 가마 축조가 완료된 후 일부 설치된 장입로에 연달아 설치될 부분을 측량하여 실로 구획하였다. 장입로는 작업장 배치상 화단의 수목을 피하여 하단부로 갈수록 좁게 측량하였고, 먼저 축조한 후 실측하여 도면화하기로 하였다. 우선 지면에 벽석 1단이 들어갈 수 있을 정도로 얇은 수혈을 굴착하여 외벽은 가마 벽 축조방법과 동일하게 황토 물질을 한 후 외면쪽으로 면맞춤하게 석재를 놓고, 그 상부에 점토반죽을 충전하는 방식으로 벽석을 쌓았다. 내부에는 잡석을 먼저 채운 후, 그 상부에 황토와 마사토를 채워 넣는 방법을 반복하여 1차 장입로를 완성하였다. 1차 완성된 장입로는 경사가 심하여 연료 및 원료를 운반하기 부적합하였다. 따라서 장입로를 연장하기로 하였고, 역시 외벽을 축조하고

내부에는 잡석을 먼저 채운 후 상부에 마사토를 채워넣었다. 마사토 상면은 황토로 덮은 후 물을 뿌리고 황토를 다져 밀봉하였다. 완성된 장입로의 규격은 가마를 기준으로 좌측은 길이 460cm, 하단부 너비 95cm이며, 우측은 길이 520cm, 하단부 너비 90cm이고, 경사도는 약 20°이다.



〈그림 57〉 가마벽과 맞물리게 축조된 모습



〈그림 58〉 실로 축조범위 구획



〈그림 59〉 내부에 잡석 채우기



〈그림 60〉 황토와 마사토 채우기



〈그림 61〉 1차 완성된 장입로



〈그림 62〉 2차 장입로 내부 잡석



〈그림 63〉 마사토 채우기



〈그림 64〉 황토 입히기



〈그림 65〉 물을 뿌려 밀봉하기



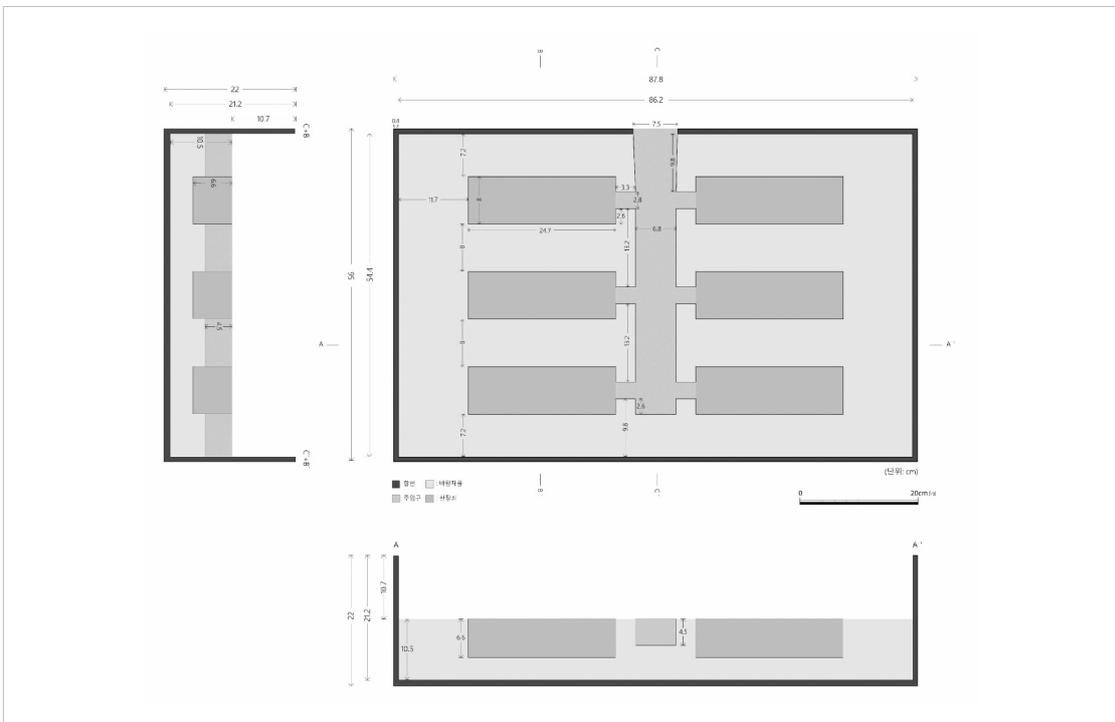
〈그림 66〉 완성된 장입로

6) 판장쇠바탕 제작

생산된 선철의 다음 공정을 용이하게 하기 위해 작은 판장쇠 여러 덩어리를 생산하기로 하였다. 회의 결과, 4kg짜리 6개의 판장쇠 덩어리⁴⁹⁾가 대칭되는 모양 즉 초코렛 모양으로 판장쇠틀을

49) 판장쇠 1덩어리는 길이 30cm, 너비 6cm, 깊이 3cm로 계획하였다.

제작하고 1회에 총 24kg의 선철을 출탕하기로 하였다. 3개의 판장쇠틀을 제작하여 2개는 출탕을 목표로 하고 1개는 예비용으로 두기로 하였다. 그러다 깊이가 얇아 출탕시 선철이 넘칠 우려가 있다는 의견이 제시되었고 이를 반영하여 깊이를 깊게 제작하였다. 완성된 판장쇠 1덩어리의 무게는 10kg으로 변경되었다. 따라서 1회 출탕시 생산될 선철의 양은 10kg짜리 6개로 총 60kg이다. 이를 바탕으로 작성된 판장쇠 바탕의 모식도는 <그림 67>과 같다. 판장쇠바탕의 사각형 외곽틀은 철판으로 제작하였고, 철판의 하부는 구멍을 여러 군데 뚫어 주었다. 그 내부에는 4cm정도 두께로 황토를 깔았고, 그 위에 목재 판장쇠틀을 놓았다. 판장쇠틀 주위에 황토를 채워 넣은 후 틀을 제거하였다. 틀형이 변형되지 않게 목탄을 이용하여 저온 소성하여 굳혔다. 소성된 판장쇠바탕에 선철과 분리를 쉽게 하게 위해 이형제⁵⁰⁾를 도포하여 준비하였다.



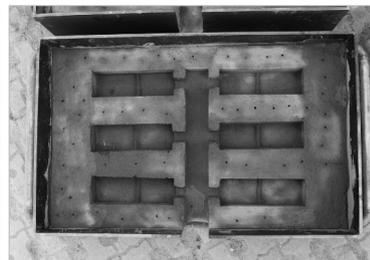
<그림 67> 판장쇠바탕 도면



<그림 68> 저온소성 후 모습



<그림 69> 이형제 바르기



<그림 70> 이형제 바른 후 모습

50) 이형제로는 황토물에 백토분, 송탄분 섞어 사용한다.

●
2019 울산쇠부리
제철기술 복원실험 연구보고서

IV 실험 내용



1. 실험 과정
2. 결과물의 정리와 검토

제Ⅳ장. 실험 내용

1. 실험 과정

실험은 2019년 2월 23일 기획 회의를 시작으로 가마의 구조와 축조방법, 원료, 연료, 첨가제 등에 대하여 여러 차례 논의 후 진행되었다. 먼저 원료(분광)와 첨가제(패각)를 구입하여 분류하는 작업이 이루어졌다. 이어서 가마의 축조를 4월 13일 시작하여 4월 23일 완성하였다. 연료(목탄)는 소탄, 중탄, 대탄으로 분류한 다음 10kg 단위로 박스에 담아 포장해 두었다.

실험은 조업매뉴얼에 따라 5월 10일 조업준비, 5월 11일 실험진행, 5월 12일 조업정리를 실시하였다. 가마는 완전히 건조시키기 위하여 축조 후 목탄을 계속 연소시켰다.



〈그림 71〉 분광



〈그림 72〉 패각



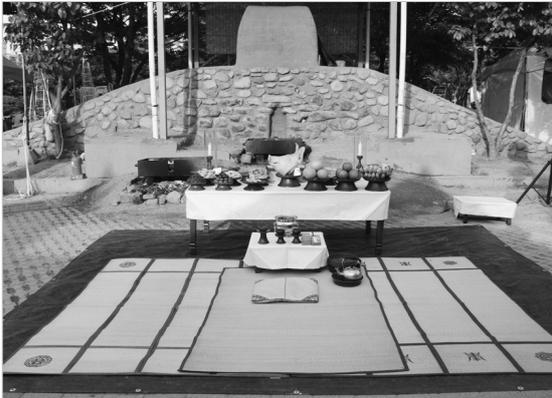
〈그림 73〉 목탄

1) 조업준비

5월 10일 담당업무 분장 표에 따라 업무를 나누어 맡았다. 실험진행에 필요한 물품을 먼저 점검한 후, 실험장 배치도에 맞게 재료들을 위치시켰다. 가마의 좌측(북쪽) 토둑 아래에는 원료와 첨가제, 우측(남쪽)에는 연료를 준비해 놓았다. 남쪽에 조업기록과 방송시설, 남서쪽에 공양 및 휴게시설, 북서쪽에 전시공간을 마련하였다. 관람객의 안전을 위하여 실험장 주변으로 칼라콘과 걸이대로 연결해서 돌려놓았다.

17:30에 고유제를 지내고, 이어서 점화식이 진행되었다. 실험진행 전에 가마의 온도를 일정하게 유지시키기 위하여 예열이 계속 이루어졌다.

2) 실험진행



〈그림 74〉 고유제



〈그림 75〉 점화식

조업 시작하기 전 각자 맡은 업무의 대장들과 간단하게 회의를 하고, 같이 조업하는 사람들과 인사를 나누었으며, 조업에 필요한 준비물들을 재점검하였다. 08:30 온도계를 설치하였다. 온도계는 가마 앞쪽 배재구 남쪽 하·상단(1·2번)에 각 1개, 골구멍 남쪽 하·상단(3·4번), 북쪽 하·상단(5·6번) 각 1개씩 모두 6개를 배치하였다.

08:33 중탄 10kg을 대나무 바구니에 담아서 장입하였다. 이후 대탄 50kg, 80kg, 소탄 80kg 순서로 장입하였다. 목탄의 장입은 가마벽 최상단에서 20~30cm 하강했을 때 이루어졌다. 08:41부터 08:51까지 대탄과 소탄 순서로 30kg씩 8회에 걸쳐 장입하였다. 그리고 초롱길과 잡쇠길 사이에 황토로 간벽을 만들었다. 08:51 목탄을 만장입 하였다.



〈그림 76〉 온도계 설치



〈그림 77〉 목탄 만장입

09:04 송풍구를 연결하였다. 가마 밖으로 빠져나오는 열기를 차단하기 위하여 외벽의 갈라진 부분과 골구멍, 초롱구멍, 잡쇠구멍 등은 점토로 메꾸었다. 09:13 잡쇠구멍에서 잡쇠를 배출시키기 위한 도랑을 만들었다. 09:15부터 발풀무로 송풍을 시작하였다.

09:29 대탄 30kg를 장입하였다. 온도계 삽입구멍 주변으로 점토를 밀봉하였다. 09:47 장입구 불꽃 붉은 색으로 좋지 않았다. 09:54 소탄 30kg, 10:11 대탄 30kg, 10:23 소탄 30kg, 10:36 대

탄 20kg, 10:56 소탄 30kg을 장입하였다. 목탄은 10:56까지 소탄과 대탄을 번갈아 가면서 총 630kg 장입하였다.



〈그림 78〉 초롱구멍, 잡쇠구멍 막음

분광은 평균 온도 1,250~1,300℃일 때 책임연구원 판단 하에 장입할 예정으로 온도 변화를 주시하였다. 목탄 장입 후 2시간 32분이 지난 11:05 전체 평균온도 1,220℃, 가마 상부 평균온도 1,245℃로 예상했던 온도 가까이 상승하여 송풍을 강하게 하면서 11:06에 분광 10kg, 패각 2kg, 목탄(중) 10kg을 장입하였다.



〈그림 79〉 초롱구멍 코팅제 바름



〈그림 80〉 분광



〈그림 81〉 소성패각

이후 11:26에 목탄(소·중) 20kg, 분광 10kg, 패각 1kg, 11:37에 목탄(소) 10kg, 패각 1kg을 장입하였다. 패각 장입시 비산이 심하여 분광 장입 후 목탄, 패각, 목탄 순으로 장입순서를 변경하였다.

분광은 11:48부터 17:05까지 평균 17분 간격으로 10kg씩 19회 총 190kg을 장입하였다. 목탄은 중탄·소탄 순으로 번갈아가면서 평균 8분 간격으로 11:49부터 16:02분까지 소탄 10kg씩 15회, 중탄 10kg씩 16회, 16:21부터 17:07까지 중탄을 10kg씩 8회 총 390kg 장입하였다. 패각은 11:57부터 17:07까지 2kg씩 평균 16분 간격으로 20회 총 40kg을 장입하였다.

13:00, 14:00, 14:41에 골구멍이 막혀 창으로 뚫은 다음 슬래그를 끄집어내었다.



〈그림 82〉 잡쇠구멍 개방



〈그림 83〉 잡쇠구멍 선철 배출

이후로는 불꽃의 변화를 관찰하면서 수시로 골구멍 속 슬래그를 제거하였다. 2번 온도계가 작동을 멈추었다. 13:25부터 10분간 기계송풍을 실시하였다.

15:29 판장쇠바탕 설치방법에 대해 논의를 거쳐 16:08 수평으로 설치 완료하였다. 18:00 정도에 선철 출탕 계획으로 잡쇠구멍을 먼저 개방하였다. 17:02 잡쇠구멍으로 선철이 배출되었다. 가마 하부에 선철이 생성되었음을 확인한 다음, 정과 집게, 망치로 초롱구멍을 뚫었다. 17:18 선철 출탕을 시작하였다. 선철이 출탕되면서 앞쪽에서부터 굳어버렸다. 판장쇠 두 개 분량을 출탕하였다. 작년보다 양질의 선철이 출탕되었다.

선철 출탕 후 17:19부터 19:34까지 분광은 10kg씩 평균 8분 간격으로 16회 160kg을 장입하였다.



〈그림 84〉 풀무질



〈그림 85〉 골구멍 막힘

목탄은 평균 7분 간격으로 17:19부터 19:03까지 중탄 10kg씩 16회, 20:03에 1회 10kg, 19:13부터 20:01까지 중탄을 20kg씩 7회 총 310kg 장입하였다. 폐각은 17:20부터 19:06까지 평균 7분 간격으로 2kg씩 16회 총 32kg을 장입하였다. 18:00부터 19:00까지 기계송풍을 실시하였다. 19:00~20:40까지는 기계와 발풀무로 동시에 송풍을 진행하였다.



〈그림 86〉 판장쇠바탕 설치



〈그림 87〉 선철 2차 출탕

19:06, 19:41 슬래그가 역류하여 골구멍을 막았다. 19:48 잡쇠구멍을 개방하였으나 슬래그가 배출되지 않았다. 쇳물이 굳어서 입구를 모두 막고 있었다. 19:56 초롱구멍을 개방하려고 시도하였으나 잘 뚫리지 않았다. 쇳창으로 뚫리지 않아 전기드릴을 사용하였다. 2차 출탕시 생성되었던 선철이 굳어 있었다. 20:18 판장쇠바탕을 이동시킨 다음 초롱구멍을 확장하여 뚫었다.

20:24에 3차 출탕이 시작되었다. 슬래그와 선철이 섞인 상태로 배출되었다. 초롱구멍을 개방한



〈그림 88〉 초롱구멍 개방



〈그림 89〉 선철 3차 출탕



〈그림 90〉 작업창 개방

상태에서 입구를 확장하였다. 2차 출탕된 선철을 작업장 앞쪽으로 이동시켰다.

20:36에 4차 출탕을 진행하였다. 하부에 선철, 상부에 슬래그가 형성되어 있었다. 배출된 선철을 이동시켰다. 20:54, 3차 회의를 실시하였다. 전원 최종 작업까지 잔류하며, 작업창을 완전 개방하기로 결정하였다.

21:00에 5차 출탕이 이루어졌다. 선철이 길게 빠져나왔다. 21:20 작업창을 드릴로 개방하였다. 관람객들에게 선철의 출탕과정을 설명하고, 궁금한 사항에 대하여 답하였다. 출탕된 선철을 이동시켰다.



〈그림 91〉 선철 4차 출탕



〈그림 92〉 선철 5차 출탕



〈그림 93〉 선철 6차 출탕

21:40에 6차 출탕이 진행되었다. 선철이 나오고 일부 슬래그가 포함되었다. 출탕된 선철을 이동시켰다.

22:09에 7차 출탕이 이루어졌다. 선철 위에 슬래그와 목탄이 혼합되어 흘러나왔다. 22:33 골구멍이 막혔다. 출탕된 선철을 앞쪽으로 이동하였다.

22:38에 8차 출탕이 진행되었다. 선철 일부와 슬래그가 혼합되어 배출되었다. 21:44 온도계 측정을 중지하였다. 23:15 기계와 발풀무 동시에 송풍을 실시하였다. 목탄을 빠르게 연소시켰다.

23:31 마지막 9차 출탕이 이루어졌다. 목탄과 함께 선철이 배출되었다. 23:31 송풍을 종료하였다. 가마 내부의 목탄을 모두 끄집어냈다. 23:49, 4차 회의를 하고, 조업종료 하였다.

조업에 사용된 목탄은 08:33부터 20:03까지 평균 8분 간격으로 84회 총 1,380kg, 분광은 11:06부터 20:03까지 평균 15분 간격으로 37회 총 370kg, 폐각은 11:07부터 19:03까지 평균 15분 간격으로 31회 총 60kg을 장입하였다. 19:03 이후에는 폐각 없이 분광과 목탄만 번갈아 가면서 장입하였다.



〈그림 94〉 선철 7차 출탕

3) 온도 변화



〈그림 95〉 골구멍 좌·우측 온도계 설치

온도는 08:50부터 21:40까지 측정하였다. 개별 온도 변화는 〈그림 96〉과 같다. 송풍을 시작한 09:05부터 15분이 지난 시점에 1번 1,026℃, 2번 1,002℃, 3번 1,174℃, 4번 1,092℃, 5번 1,175℃, 6번 1,074℃까지 올라갔다. 1번은 09:30 1,018℃에서 813℃로 급격하게 떨어졌다. 이후 789℃까지 내려갔다가 서서히 상승하여 10:21에 1,113℃였다.

13:17에 2번 온도계가 작동하지 않았다. 13:15 온도는 1번 1,076℃, 2번 1,208℃, 3번 1,198℃, 4번 1,232℃, 5번 1,215℃,

6번 1,244℃였다. 1번 온도가 다른 5개의 온도보다 122~168℃ 낮았다. 전체 평균으로 볼 때에도 1번 1,065℃, 3번 1,201℃, 4번 1,260℃, 5번 1,242℃, 6번 1,282℃로 136~217℃ 낮게 나타났다.



〈그림 96〉 개별 온도 변화

분광 장입 전 08:50부터 11:05까지 평균 1번 963℃, 2번 1,097℃, 3번 1,166℃, 4번 1,135℃, 5번 1,192℃, 6번 1,112℃이다. 하부(1,3,5번 온도계) 평균 1,107℃, 상부(2,4,6번 온도계) 평균 1,115℃이다. 1번과 5번의 온도 차이가 229℃이다.

분광 장입 후 11:06부터 20:40까지 평균 1번 1,086℃, 3번 1,207℃, 4번 1,285℃, 5번 1,255℃, 6번 1,254℃이다. 하부 평균 1183℃, 상부 평균 1,270℃이다. 1번과 4번의 온도 차이가 199℃로 큰 차이를 보이고 있었다.

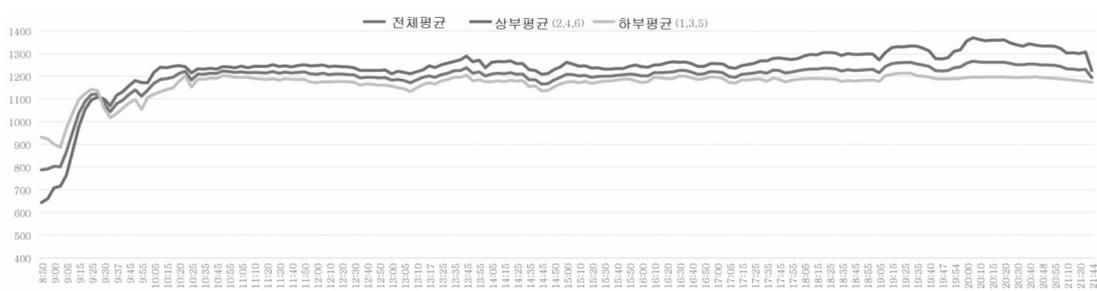
하부와 상부의 온도 차이는 분광 장입 전 4℃, 분광 장입 후 87℃로 크게 차이를 보인다. 1번 온도가 3~6번 온도보다 현저하게 낮게 나타났다. 3번 온도는 14:35에 1,170℃로 30℃ 떨어지고, 이후에도 1,150℃까지 내려갔다. 14:35부터 20:40까지 평균 3번 1,203℃, 4번 1,294℃, 5번 1,259℃, 6번 1,264℃였다.

13:35에 4·5번 온도가 높게 나타나고 3·6번 온도가 낮게 나타나다가 18:10에 6번 온도가 높

아지고 5번 온도가 낮아졌다. 5번 온도는 19:35에 갑자기 1,308℃에서 1,270℃로 급격하게 떨어졌다. 20:00부터는 3번 온도보다 더 떨어지는 현상이 발생하였다.

18:00부터는 기계송풍, 19:00에는 기계송풍과 발포무를 병행하였다. 19:18에 1번 1,124℃, 3번 1,200℃, 4번 1,315℃, 5번 1,307℃, 6번 1,347℃였다. 4번은 17:30에 1,302℃, 5번은 19:15에 1,303℃, 6번은 19:10에 1,315℃로 1300℃이상에 이르렀다. 1~3번은 1,300℃ 이상은 나오지 않고, 1번은 20:05에 1,134℃, 2번은 12:06에 1,233℃, 3번은 13:45에 1,268℃로 가장 높게 나타났다.

3번은 19:18에 1,200℃까지 상승하였고, 이후 종료시점까지 평균 1,232℃를 유지하였다. 4번은 18:00에 1,300℃까지 상승하였고, 이후 종료시점까지 평균 1,322℃를 유지하였다. 5번은 19:15에 1,303℃까지 상승하였고, 이후 종료시점까지 평균 1,241℃를 유지하였다. 6번은 19:10에 1,315℃까지 상승하였고, 이후 종료시점까지 평균 1,336℃를 유지하였다.



〈그림 97〉 평균 온도 변화

온도 계측이 이루어진 시간의 전체 평균온도는 1,208℃이며, 하부 온도는 1,169℃, 상부온도는 1,259℃이다. 광석 장입 이후의 평균온도는 1,086℃이며, 하부 평균온도는 1,183℃, 하부 최고온도는 1,214℃, 최저온도는 1,133℃이다. 상부 평균온도는 1,270℃, 하부 최고온도는 1,370℃, 최저온도는 1,209℃이다. 광석 장입 후 평균온도가 2016년 1차 실험 1,197℃, 2017년 2차 실험 1,215℃, 3차 실험 1,224℃, 2018년 4차 1,258℃, 2019년 5차 1,219℃로 작년에 비하여 39℃ 하강하였다.

2. 결과물의 정리와 검토

1) 결과물의 정리 과정

2019년 5월 10일부터 11일까지 진행된 제 5차 울산 쇠부리 복원 실험의 결과물은 모두 실험 중 출탕된 생성물이다. 17:02 1차 출탕을 시작으로 약 6시간 30분 동안 1시간 내외의 간격으로 총 9차례 출탕하였다. 출탕된 선철 및 슬래그는 총 181.1kg이다.

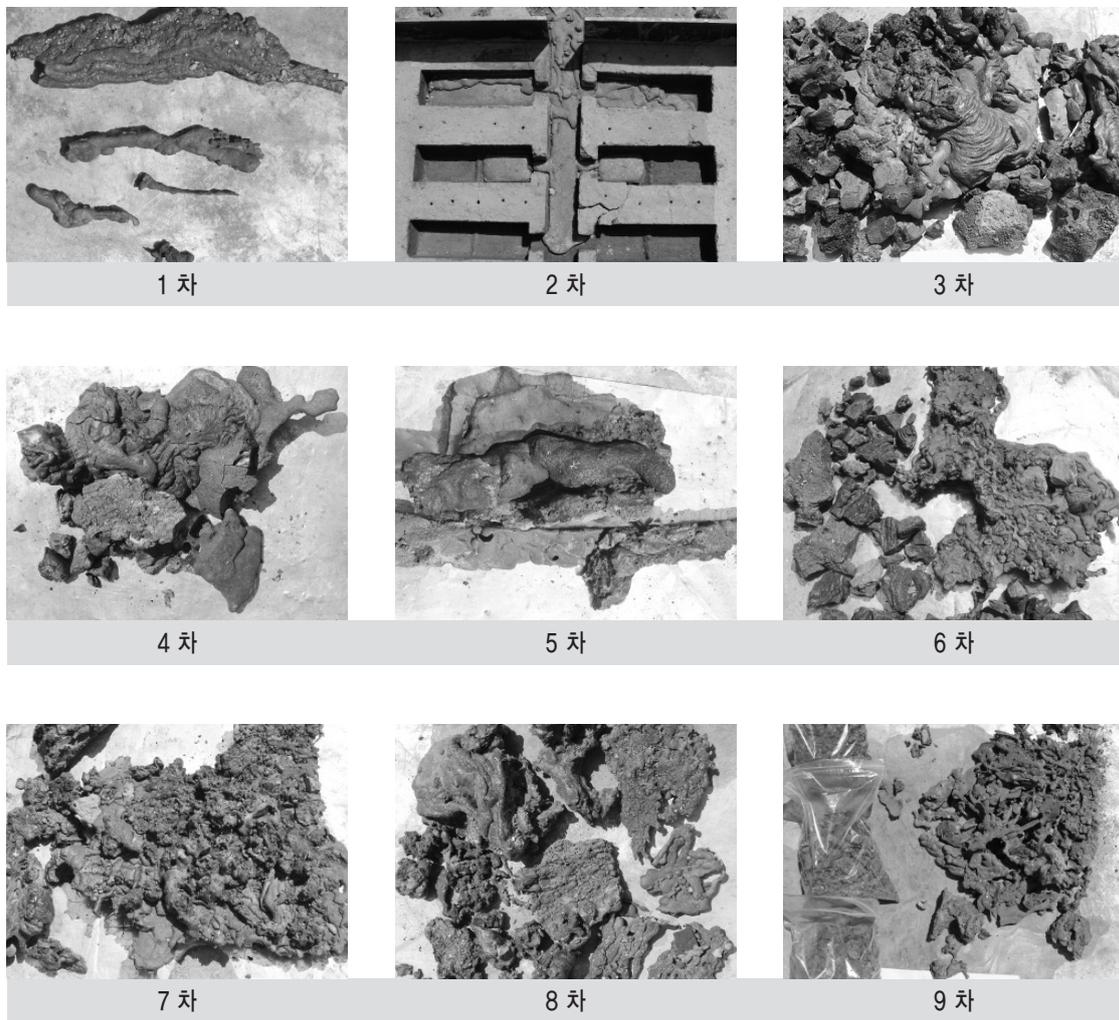
실험 다음날인 5월 11일 오전 출탕된 생성물의 사진과 무게를 기록하였으며, 실험 중 출탕된 생성물은 모두 관람을 위해 전시되었고 실험 종료 후 출탕된 차수 별로 구분하여 보관하였다. 결과

물의 정리 및 검토는 실험 이후 총 2차례 진행되었다.

〈표 8〉 선철 배출 현황

차수	시간	무게(kg)	차수	시간	무게(kg)
1차	17 : 02	0.95	6차	21 : 40	20.3
2차	17 : 18	9.75	7차	22 : 10	58.7
3차	20 : 24	63.7	8차	22 : 38	7.25
4차	20 : 36	14.0	9차	23 : 28	13.85
5차	21 : 00	6.45	기타	-	-

합계 : 181.1



〈그림 98〉 출탕 직후 생성물 모습

2019년 6월 22일 9:30경부터 결과물의 세부적인 검토 및 시료 채취 작업을 시작하였다. 시료 채취 작업이 끝난 이후 자리를 옮겨 생성물 정리 및 검토 작업을 실시하였다. 우선 생성물을 망치로 타격해 철재와 목탄 등 불순물을 제거하여 선철을 선별하였다. 분리된 슬래그와 선철은 구분하여 정리하였으며, 선별된 선철을 중심으로 상세한 제원과 무게를 기록하였다. 결과물에 대한 1차적인 정리가 끝난 후 복원 실험에 대한 결과 회의와 함께 생성물의 중간 검토 회의를 함께 실시하였다.



〈그림 99〉 생성물 선별 작업

결과물에 대한 1차 검토 회의 이후 약 한달 뒤 2019년 8월 17일 10시경부터 2차 결과물 검토 작업을 실시하였다. 2차는 선철을 중심으로 자세한 검토가 이루어진 1차 때 부족했던 슬래그도 함께 검토가 이루어졌다. 또한 각 차수별 생성물의 특징적인 부분에 대한 추가 촬영도 이루어졌다. 결과물에 대한 상세한 검토 작업 이후 13시부터 보고서 작성 중간 점검 회의를 실시하였다.



〈그림 100〉 결과물 검토 작업

2) 결과물 검토

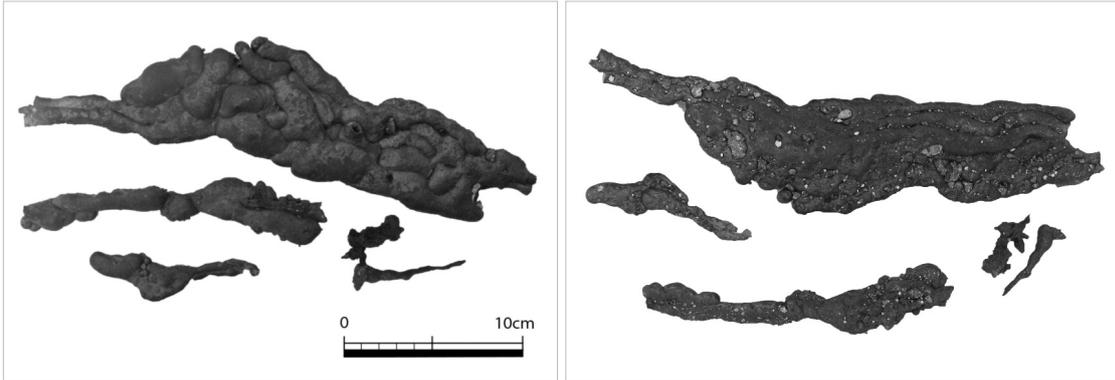
① 1차 생성물

17:02 가마 내부에 선철 생성을 확인한 후 17:06 잡쇠 구멍으로 출탕된 생성물이다.

가늘게 흘러내린 유출상 선철로 후면 전체에 모래가 부착되어 있다. 전체적으로 청색을 띠며, 표면이 산화 박리되어 있고 기포가 확인된다. 크기는 대형, 중형, 소형으로 분류 가능하다.

〈표 9〉 1차 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
대형 선철	29	7.0	2.5	0.95	
중형 선철	17	2.5	1.4		
소형 선철	8.0	2.0	1.5		



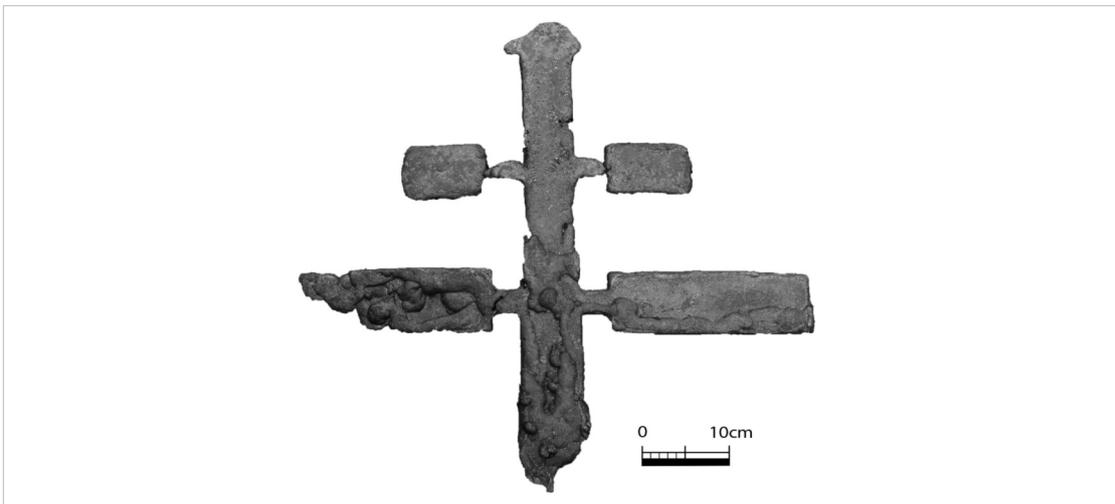
〈그림 101〉 1차 생성물

② 2차 생성물

17:18 초롱구멍 배출된 선철로 판장쇠 틀에 받은 생성물이다. 선철이 적은 양으로 느리게 출탕되어 판장쇠의 앞쪽부터 선철이 채워지면서 뒤쪽까지 채워지지 못하고 굳어 역류하였다.

〈표 10〉 2차 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
판장쇠	54.5	60.5	4.0	9.75	



〈그림 102〉 2차 생성물

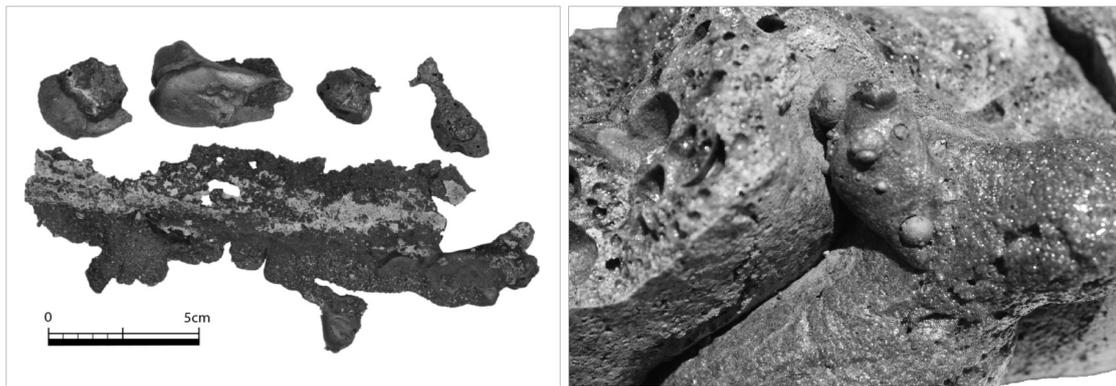
③ 3차 생성물

20:24 선철과 슬래그가 혼합된 상태로 출탕되었다가 3분 후 선철만 출탕되었다. 선철보다 먼저 슬래그가 배출되어 슬래그가 다수를 차지한다. 슬래그는 녹색 및 회청색을 띠며, 내부에 기포가 많다. 슬래그 위에 입상 및 부정형의 작은 선철이 묻쳐져 부착되어있으며, 목탄도 곳곳에서 확인된다.

슬래그와 분리한 선철은 5cm 내외의 입상 선철과 단면 ‘<’ 형태로 휘어져있는 얇은 판상 선철로 분류되어진다. 갈색 및 녹갈색을 띠며, 슬래그에 비해 선철은 아주 소량이다.

〈표 11〉 3차 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
판상 선철	17.0	7.0	0.2	1.4	
입상 선철	5.0	4.0	1.0		



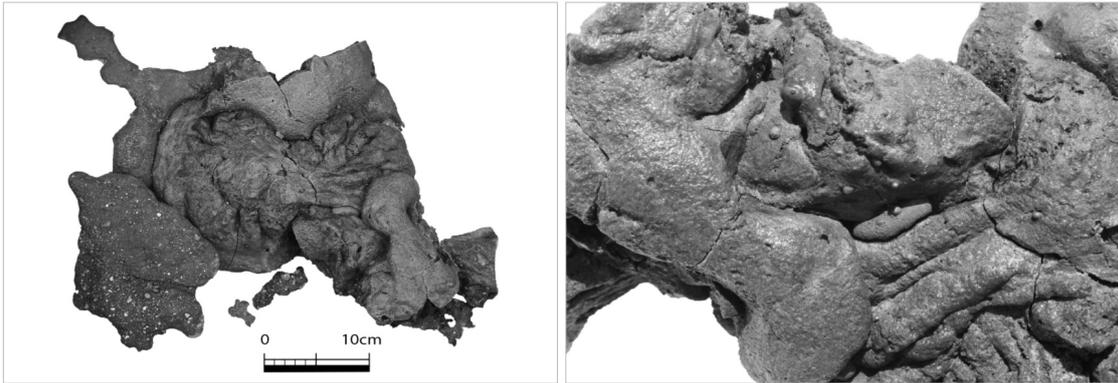
〈그림 103〉 3차 생성물

④ 4차 생성물

20:36 배출된 생성물로 3차 출탕 후 초롱 구멍을 막지 않고 이어서 4차를 출탕하였다. 녹갈색 유리질 철재 주변에 부정형의 두꺼운 판상 선철이 부착된 형태이다. 선철은 회청색을 띠며, 표면이 매끄럽다. 철재 위에 입상의 작은 선철들이 표면 장력에 의해 떠서 붙어 있다.

〈표 12〉 4차 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
부정형 선철	48.0	27.0	18.0	6.0	



〈그림 104〉 4차 생성물

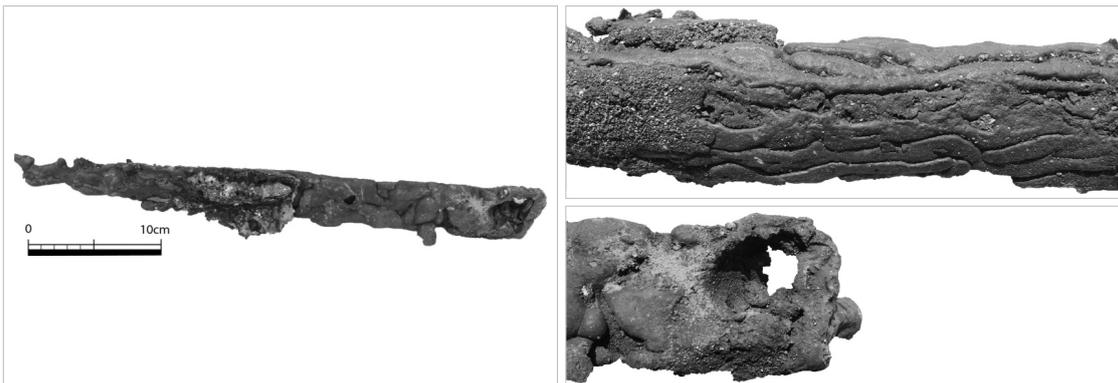
⑤ 5차 생성물

3차와 4차 배출 이후 초롱 구멍을 막지 않고 계속해서 출탕하였으며, 일정시간 동안 지속적으로 가는 줄 모양으로 출탕되었다.

녹갈색 유리질 철재와 유출상의 선철이 결합되어 있으며, 유출상 선철 위에 슬래그가 묻쳐져 있는 상태이다. 선철은 긴 막대기의 형태로 회갈색 및 흑색을 띤다. 선철 끝 부분에 뚫린 흔적이 확인되는데, 이는 배재구를 뚫는 철창과 같은 도구에 의한 것으로 보인다.

〈표 13〉 5차 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
선철	40.0	7.0	2.0	2.55	
슬래그	26.6	15.0	12.0	6.45	



〈그림 105〉 5차 생성물

⑥ 6차 생성물

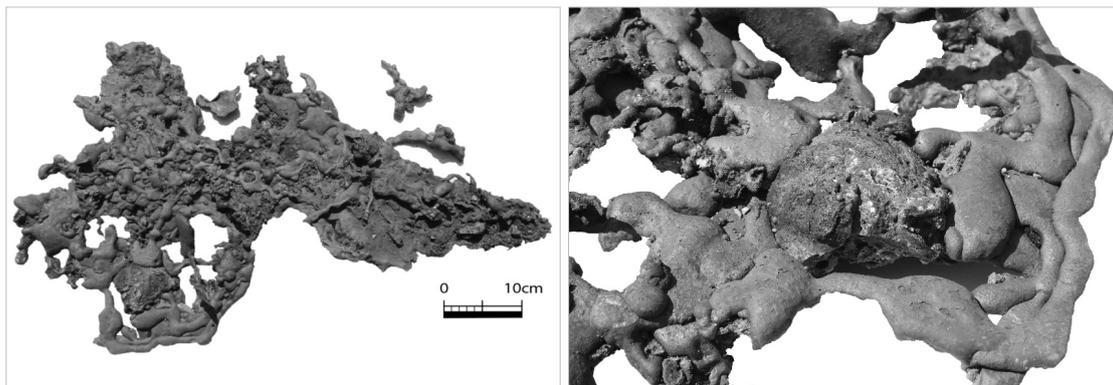
21:40에 출탕된 생성물로 초롱 구멍을 통해 끈적거리는 선철이 가는 줄 모양으로 출탕되었다.

생성물은 가늘게 엉켜 붙은 형태의 유출된 선철로 장시간 동안 유출되면서 위로 쌓인 것으로

보인다. 전체적으로 회색을 띠며, 파쇄된 배제구 편들이 선철 위에 부착되어 있는데, 이는 21:30 작업창을 전기드릴로 제거하는 중에 파쇄된 배제구 편들이 부착되어 배출된 것이다. 녹색의 유리 질 철재도 함께 배출되었으며, 선철 중간에 비어있는 부분은 5cm 내외의 슬래그들이 부착되어 있었던 것으로 이를 분리한 부분이다.

〈표 14〉 6차 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
선철	65.0	40.0	5.5	12.75	



〈그림 106〉 6차 생성물

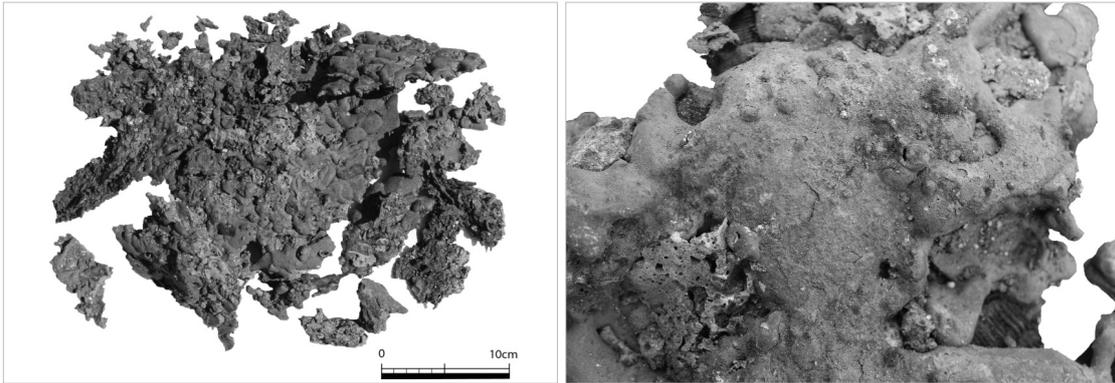
⑦ 7차 생성물

22:10에 출탕된 생성물로 초롱구멍을 넓게 뚫은 후 슬래그, 목탄과 함께 선철이 느리게 흘러내렸다.

가늘게 엉켜 붙은 형태의 유출된 선철로 회청색을 띠며, 대형과 중형, 소형의 크기로 분류된다. 대형과 중형의 선철은 가지 형태이며, 소형의 선철들은 구형 및 부정형을 5.0cm 내외이다. 유출된 철재 위에 극소형의 입상 선철이 표면 장력에 의해 떠서 붙어있다.

〈표 15〉 7차 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
대형 선철	52.0	38.0	11.0	40.0	
중형 선철	25.3	14.6	4.5		



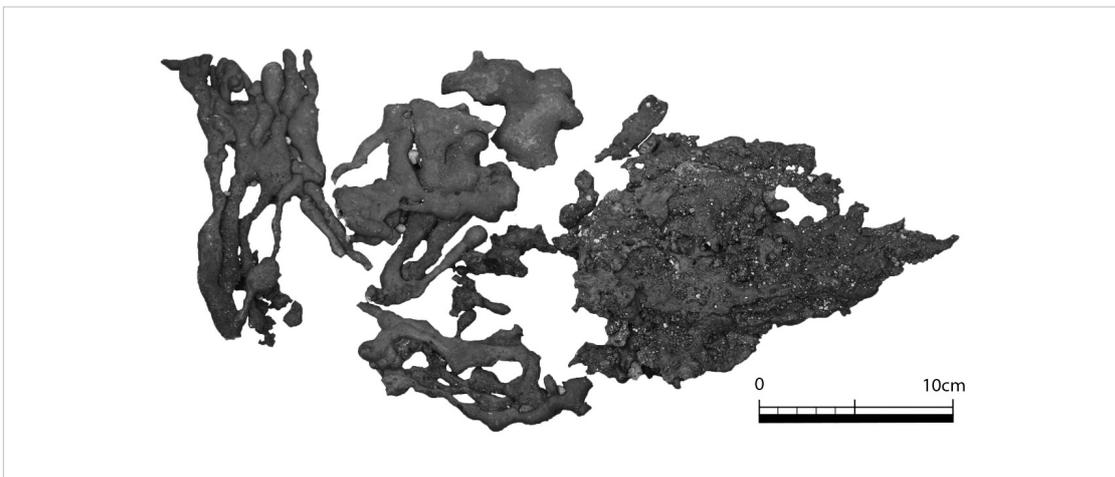
〈그림 107〉 7차 생성물

⑧ 8차 생성물

22:38 작업창을 15cm 정도 높이로 확장한 후 배출된 생성물이다. 선철과 슬래그가 혼합되어 출탕되었으며, 괴형 선철과 가늘게 흘러내린 유출가지형 선철이 확인된다. 괴형 선철 표면에 입상 선철이 다수 부착되었으며, 회청색을 띤다.

〈표 16〉 8차 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
괴형 선철	20.0	14.0	3.5	2.25	



〈그림 108〉 8차 생성물

⑨ 9차 생성물

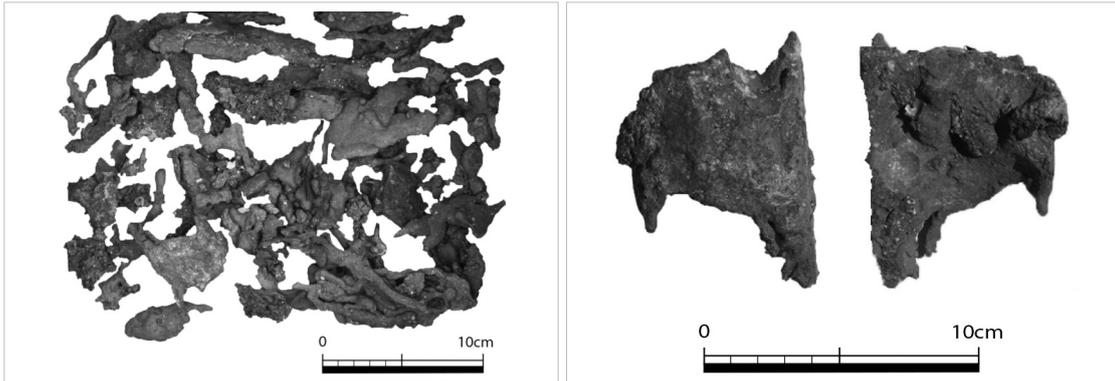
23:38에 배출된 생성물로 23:31 송풍이 완전히 종료된 후 가마 내부에 잔존해 있던 목탄 및 슬래그와 함께 선철이 배출되었다.

유출가지형 선철과 가마 내에 남아있던 얇은 판상 선철이 혼재한다. 특징적인 선철은 출탕구

부분에서 응고된 상태의 선철로 출탕공에서 굳어 가마 절개시 나온 것으로 추정된다. 바닥이 곡면이며, 회청색을 띤다. 출탕구의 상태를 보여주는 중요한 선철이다.

〈표 17〉 9차 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
유출가지형 선철	21.0	4.5	2.5	4.95	



〈그림 109〉 9차 생성물

⑩ 기타

조업 중 작업도구에 묻어 나온 것과 누락된 선철, 주변 채집, 철창 급냉 시 수습한 소형의 선철 편들이다. 입상, 판상, 가지형, 부정형 등 형태도 다양하다. 회청색, 붉은 갈색이 혼재하다.

〈표 18〉 기타 생성물 제원

종류	길이(cm)	폭(cm)	두께(cm)	무게(kg)	비고
선철	-	-	-	3.25	



〈그림 110〉 기타 생성물

