

다산학 30호 (2017.6) | 235~272

정약용이 설계한 거중기^{舉重機}와 녹로^{轆轤}의 용도

김평원 | 인천대학교 사범대학 국어교육과

목차

- I. 머리말
- II. 거중기와 녹로의 용도에 관한 기존의 담론
 - 1. 성벽 건설 장비로 사용된 거중기
 - 2. 성벽 건설 장비로 사용된 녹로
- III. 거중기의 용도 : 고정형 운송 지원 장비
 - 1. 운송 장비로 사용된 거중기
 - 2. 복합 도르래 구성 방식으로 추론한 거중기의 용도
 - 3. 하유량 모듈로 추론한 거중기의 용도
 - 4. 녹로의 용도 : 고층 시설물(성문 누각과 공심돈) 건설 장비
- IV. 맺음말

I. 머리말

정약용은 청년 시절 오늘날 공학자에 해당하는 활동을 한 후 유배지로 물러나 많은 책을 저술한 학자로 보냈다. 정약용은 왕의 곁에서 연구하던 시기와 부친상으로 잠시 물러나 있던 휴직 기간에 국가 단위 대형 공사를 설계함으로써 자신의 공학적 능력을 널리 알리게 되었다.¹⁾ 다산은 초계문신抄啓文臣으로서 정조 가까이에서 연구에 전념하던 28세에 배다리舟橋를 설계하였고, 부친상을 치르던 31세에 신도시 화성을 설계하고 거중기舉重機, 녹로轆轤, 유형거游衡車와 같은 건설 장비를 개발하였다.²⁾ 정조 사후 유배지로 물러나 많은 분야의 책을 저술할 때까지, 정약용의 관료 생활은 11년 정도로 볼 수 있지만 부친상 기간을 제외하면 실제 근무 기간은 10년도 되지 않았다. 이처럼 생애 주기적 관점에서 정약용의 삶을 되돌아보면 청년 관리 시절에 두각을 나타냈던 직무 활동인 공학자로서의 정약용의 활동에 주목해야 할 필요가 있다.³⁾

1) 정약용의 공학적 업적에 관한 내용은 다음을 참조. 김평원, 「정조正祖 대 한강 배다리(舟橋)의 구조에 관한 연구」, 『한국과학사학회지』 39권 1호, 한국과학사학회, 2017; 오상학, 「다산 정약용의 지리사상地理思想」, 『다산학』 10호, 다산학술문화재단, 2007; 이용식, 「토목인 다산 정약용」, 『대한토목학회지』 60권 7호, 대한토목학회, 2012; 川原秀城, 「丁若鏞의科學著作」, 『다산학』 13호 다산학술문화재단, 2008.

2) 정약용이 거중기를 설계했다는 사실은 「기중도설起重圖說」을 통해 확인할 수 있고, 유형거를 개발했다는 사실은 「성설城說」을 통해 확인할 수 있다. 이에 비해 녹로는 정약용이 설계했다는 명확한 기록이 남아 있지 않다. 필자는 정약용이 「기중도설起重圖說」, 「의단활차설 桅端滑車說」, 「경세유표經世遺表」등에서 높은 곳에 고정 도르래를 설치하여 물건을 들어 올리는 방식을 자주 언급하고 있다는 점, 『화성성역의궤』에서 거중기와 녹로가 짝을 이루어 제시되고 있다는 점, 자신이 녹로를 설계했다고 주장한 사람이 없다는 점을 통해 정약용이 설계한 것으로 보아도 큰 문제는 없다고 본다.

3) 아래 표는 필자가 정약용의 관료 생활을 표로 정리한 것이다.

시기	나이	직위
1789년	28	회통 직장, 규장각 초계문신, 배다리 설계
1790년	29	사간원 정언, 사헌부 지평

정약용은 신도시 화성을 설계한 다재다능한 건설공학자이다. 동시에 정약용은 화성 건설에 필요한 장비인 거중기를 개량 발명하고, 밧줄을 감는 장치인 녹로를 대형 크레인으로 개량한 기계공학자이기도 하다. 자동차공학자인 정약용은 인간의 힘으로 차량의 완충장치를 제어할 수 있는 특수 운반 차량인 유형거를 발명하였다. 교량 공학자인 정약용은 한강 배다리의 상부 구조를 설계했다는 점에서 토목공학자이며, 배의 부력을 체계적으로 계량화하여 배다리의 하부 구조를 설계했다는 점에서 조선 공학자이기도 하다.⁴⁾

거중기와 녹로는 수원 화성과 정약용을 논의할 때 빠지지 않고 등장하는 장비이지만 화성 공사 현장에서 어떠한 방법으로 사용하였는가를 명확하게 설명하기는 쉽지 않다. 거중기로 성벽을 쌓았다는 구체적인 기록은 『조선왕조실록』, 『화성성역의궤華城城役儀軌』를 비롯해 정약

1791년	30	사헌부 지평
1792년	31	홍문관 수찬, 휴직(부친상), 화성 설계
1793년	32	휴직(부친상)
1794년	33	홍문과 부교리, 화성 착공
1795년	34	사간원 사간, 승정원 동부승지, 우부승지(정3품)
1796년	35	금정 찰방(종6품)-좌천, 화성 완공
1797년	36	곡산 부사(정3품)
1798년	37	곡산 부사(정3품)
1799년	38	형조 참의(정3품)
1800년	39	형조 참의 사직

4) 일부 사학자들은 공신력 있는 사서에서 배다리와 관련된 내용에 정약용이 언급되지 않았음을 근거로 정약용이 배다리 설계에 실무적으로 참여했지만 주도적인 역할을 하진 않았을 것으로 분석하기도 한다. 하지만 당시 정약용이 본래의 직무를 면제받고 연구에 전념할 수 있었던 초계문신 신분이었다는 점, 그가 직접 ‘임금께서 말씀하시기를 기유년(1789) 겨울에 배다리를 놓을 때 그 방법을 올려 일이 성공적으로 이루어졌으니(上曰己酉冬舟橋之役 鋪陳其規制事功以成)’라고 자찬묘비명에 언급했다는 점에서 정약용이 주도적으로 배다리를 설계했음을 알 수 있다. 28세 1년차 관리가 제안한 한강 주교 가설 방법이 너무나도 탁월했기 때문에 정조의 인정을 받았고, 몇 년 뒤 31세 조금 관리에 불과한 정약용에게 신도시 화성을 설계하라는 과중한 책임을 맡겼을 것이라고 추론하는 것이 합리적이다.

용이 남긴 글을 집대성한 『여유당전서與猶堂全書』⁵⁾ 그 어디에서도 찾을 수 없기 때문이다. 오늘날 거중기는 실학을 상징하는 기계로 주목을 받고 있으며 성벽을 쌓는데 사용되었을 것이라는 담론이 형성되어 있지만, 거중기를 사용하여 성벽을 쌓는 과정을 구체적으로 설명하는 학설은 없다.

화성 건설 후 발간한 『화성성역의궤』에 따르면 실제 화성 건설 현장에서 활용한 거중기는 한 부, 녹로는 두 좌뿐이었기 때문에 ‘거중기 덕분에 공사 기간을 단축할 수 있었다.’는 식으로 해석하는 것은 곤란하다.⁵⁾ 거중기를 사용하여 공사 기간을 단축했다는 공식적인 기록은 없고, 정조가 한 말을 전한 다산의 「자찬묘지명」에서 공사비 4만 냥을 줄일 수 있었다고 전하고 있기 때문이다.⁶⁾ 4만 냥은 화성 전체 공사비 약 87만 냥 중 5%에 불과하기 때문에 거중기를 사용해서 공사 기간을 줄일 수 있었다는 담론은 잘못된 것이다. 비용을 줄인 것과 공사 기간을 줄인 것은 전혀 다른 문제이기 때문이다.

이처럼 거중기 한 대와 녹로 두 대로 약 5.4km에 달하는 성벽과 시설물들을 만드는 대형 공사의 기간을 10년에서 3년 이내로 단축시켰다고 평가하기에는 문제가 있음에도 불구하고, 이 문제를 공론화하면서 학술적인 논쟁을 시도한 적은 없었다. 이 논문의 목적은 정약용이 거중기를 개발하는 과정에서 참조한 문헌과 그가 남긴 글과 도면들을 근거로 거중기와 녹로의 구체적인 사용 방법을 과학적으로 추론하는 것이다.

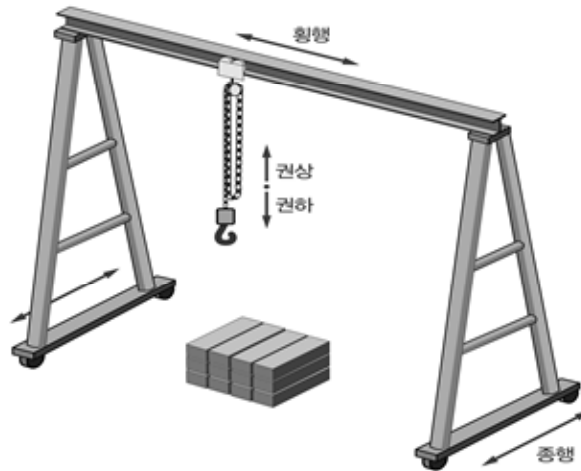
5) 『華城城役儀軌』, 冊 1, 「卷首」, 圖說.

6) 「自撰墓誌銘」(『定本』 제3책, 255쪽). “城役既畢, 上曰, 幸用起重架, 省費錢四萬兩矣.”

II. 거중기와 녹로의 용도에 관한 기존의 담론

1. 성벽 건설 장비로 사용된 거중기

오늘날 거중기에 관한 논의는 구체적인 사용법보다는 힘을 줄일 수 있는 과학적 원리에 집중되었고, 문헌 상의 근거 없이 성벽을 쌓는 장비였다는 견해가 널리 담론으로 형성되었다.

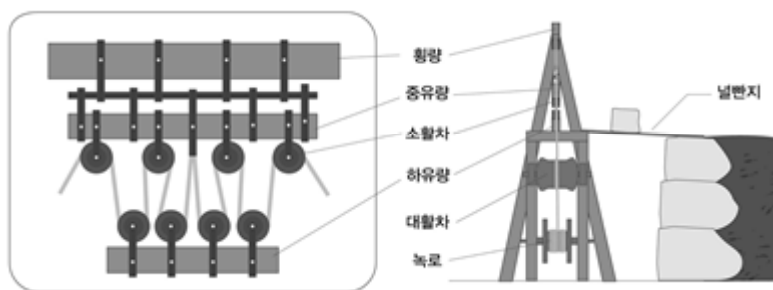


〈그림 1〉 호이스트 갠트리 크레인의 원리

거중기의 형태는 오늘날 사용하는 갠트리 크레인(Gantry Crane)에 호이스트(Hoist)를 장착한 것과 매우 유사하지만, 상승과 하강(권상과 권하)만 가능하고, 수직 이동(종행)이 불가능하며, 들어 올린 다음 수평(횡행)이동을 할 수 없다는 점에서 기능 측면에는 큰 차이가 있다(그림 1).⁷⁾

7) 호이스트(Hoist)는 비교적 가벼운 물건을 들어 올리는 소형 크레인으로 공기식과 전기식이

거중기는 단지 물체를 들어 올리거나 내릴 수밖에 없는 구조를 취하고 있을 뿐이다. 종행이 가능하려면 갠트리 다리에 바퀴가 있어야 하고 횡행이 가능하려면 호이스트가 주행 레일에서 움직여야 한다. 거중기를 활용한 축성 방법은 문헌에 언급되지 않았기 때문에 거중기를 이용해 성벽을 쌓았다는 담론을 입증하려면 돌을 들어 올린 후, 성벽으로 돌을 옮겨 놓는 타당한 방법을 제시해야 한다. 이와 관련해서는 보통 성벽과 거중기 사이에 널빤지를 연결하여 석재를 옮기는 것으로 추론하는 것이 일반적이다(그림 2). 하지만 이 역시 기록으로 남아있는 것은 아니고, 사람들의 상상과 관련 전문가의 견해가 뒤섞인 담론일 뿐이다.⁸⁾



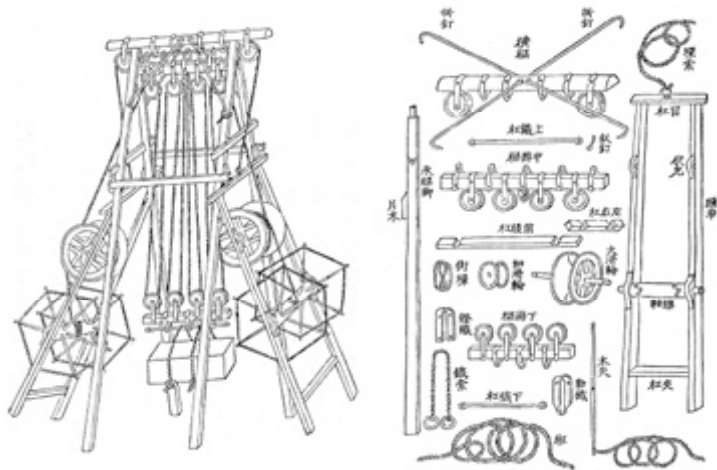
〈그림 2〉 거중기를 활용한 축성 방법

거중기를 188,048㎡에 이르는 화성 축성 현장을 옮겨 다니며 사용하는 것은 비효율적이다. 단 한 대만 사용했다는 거중기가 〈그림 2〉와 같은 방식으로 성벽을 쌓고 있는 동안 나머지 화성 성벽 공사장은 거중기

있다. 갠트리 크레인에 장착되어 사용되는 것이 일반적이다

8) 오늘날의 관점에서 거중기를 활용해 성벽을 쌓을 수 있음을 증명하는 것(과학적 추론)과 실제로 그렇게 사용되었다는 것(역사적 사실)은 별개의 문제이다. 역사 교과서에 언급하려면 명확한 근거가 있어야 한다.

를 이용할 수 있는 순서를 기다리며 쉬고 있었을 리가 없다. 정약용은 「성설」훈수 지침에서 화성의 성벽 높이를 대략 2장 5척(약 7.75m)으로 설계하였기 때문에,⁹⁾ 3m 이상의 성벽을 쌓는 데 거중기를 사용할 수는 없다.¹⁰⁾ 돌을 높이 들어 올릴수록 거중기의 무게 중심은 위쪽으로 이동하게 되는데 이러한 상황에서 돌을 이동시키면 거중기가 전복될 가능성이 크다. 거중기로 성벽을 쌓았다면 대석을 쌓아 올리는 구간인 3m 이내의 제한된 높이에서만 가능했을 것이다.



〈그림 3〉 거중기 全圖와 分圖 (출처: 『화성성역의궤』「卷首」, 圖說.)

거중기는 이동성을 고려하여 설계된 기계가 아니다. 『화성성역의

9) 「城說」(『定本』 제2책, 220쪽). “一曰分數者, 今此新邑之城, 其圍約三千六百步(竝曲城計之), 可以苟容, 其崇約二丈五尺, 女牆不在計, 可無踰越, 凡石材及工役容費, 竝以此爲準.”

10) 성벽의 높이는 영조척營造尺을 기준으로 했을 때 7.75m 정도이며, 주척周尺을 기준으로 환산하면 5.15m 정도이다. 주척으로 환산했을 경우에도 거중기로 성벽 상단부를 쌓아 올리는 것은 불가능하다.

『계』의 거중기 전도全圖와 분도分圖를 살펴보면 거중기는 수레바퀴와 같은 이동성을 고려한 부품이 전혀 없다(그림 3).¹¹⁾ 분도를 제시한 까닭이 분해 조립을 위한 것이라고 볼 수도 있지만, 분도 자체가 너무 세부적이며 많은 활차에 줄을 연결해야 하는 복잡한 조립 과정을 고려할 때 자주 분해하고 조립하는 것은 비효율적이다. 거중기는 한 곳에 고정해서 사용하는 것이 가장 효율적이기 때문에 거중기의 용도는 한 곳에 고정된 시설이었을 가능성이 높다.

2. 성벽 건설 장비로 사용된 녹로

「성설」은 화성 공사를 1년여 앞둔 1792년 겨울에 정약용이 제출한 화성 건설 지침으로 기존 성제城制의 장점과 단점을 검토하고 명나라 병서『무비지武備誌』를 비롯 다양한 자료를 참조하여 만든 것이다. 「성설」은 규모에 관한 것 1건, 재료에 관한 것 1건, 공법에 관한 것 4건, 운송에 관한 것 2건 등 모두 8개의 건설 지침으로 구성되어 있는데, 이 중에서 성벽을 쌓는 공법을 설명한 3번 호참壕塹 지침이 거중기와 녹로의 용도를 추론하는 데 결정적인 단서를 제공한다.

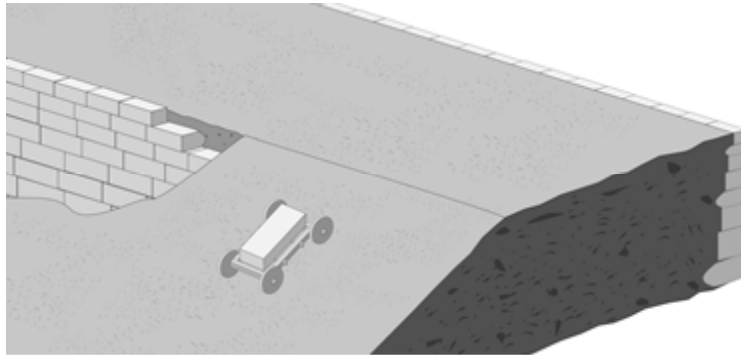
정약용의 설명에 따르면 성벽을 쌓는 가장 좋은 방법은 안쪽과 바깥쪽을 모두 돌로 쌓아 올리는 내외 협축內外夾築 공법이다.¹²⁾ 성벽은 중국의 만리장성萬里長城이나 신라의 삼년산성三年山城과 같이 안쪽과 바깥쪽을 모두 쌓는 것이 최적의 방법이지만 수원 화성에는 반영하지 못하였다. 내외 협축 공법은 튼튼한 성벽을 쌓을 수 있는 장점은 있으나

11) 『華城城役儀軌』, 冊 1, 「卷首」, 圖說.

12) 「城說」(『定本』 제2책, 220쪽). “凡城內外夾築, 固爲大善, 今茲未能, 內必依山.”

많은 자재가 필요하고 인력도 많이 동원해야하기 때문이다.¹³⁾

내외 협축 공법의 경우 성벽이 높아질수록 공사는 더 어려워진다. 높은 곳으로 돌을 올리기 위해 흙으로 빚면 경사로를 만들어야 하기 때문이다. 성벽을 다 쌓은 후에는 흙 경사로를 치워야 하는 공사도 추가된다(그림 4). 따라서 공사 기간을 단축시키기 위해서는 흙 경사로 방식 대신 지브 크레인(jib crane)을 활용해 무거운 돌을 직접 들어 올리면서 쌓아야 한다.¹⁴⁾

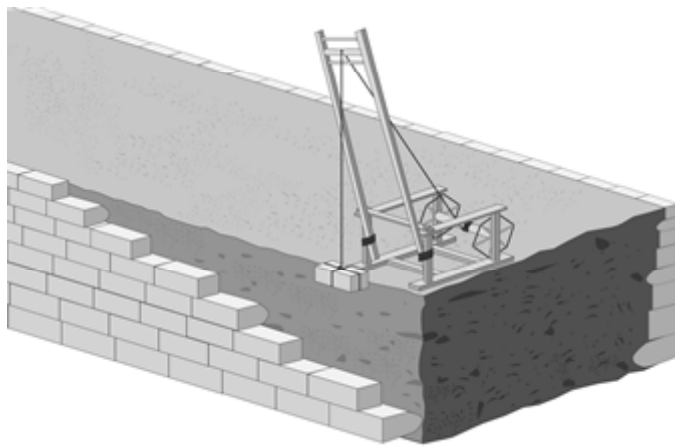


〈그림 4〉 흙 경사로를 이용한 내외 협축 공법 1

13) 정약용의 「성설」을 중심으로 화성 성벽의 축성 방법을 고찰한 자세한 내용은 다음을 참조. 김동욱, 『실학정신으로 세운 조선의 신도시 수원화성』, 돌베개, 2009; 김영식, 「정약용 사상과 학문의 실용주의적 성격」, 『다산학』 21호, 다산학술문화재단, 2012; 김홍식, 「실학 건축 사상 연구」, 『건축』 16권 1호, 1972; 김홍식, 「18세기말 실학파의 건축사상 연구: 다산의 성설城說을 중심으로」, 『한국과학사학회지』 30권 3호, 한국과학사학회, 2007; 노영구, 「조선후기 城制 변화와 華城의 城郭史的 의미」, 『진단학보』 88호, 진단학회, 1999; 노영구, 「조선후기 성제城制 변화와 다산 정약용의 축성築城 기술론」, 『다산학』 10호, 다산학술문화재단, 2007; 손영식, 『한국의 성곽』, 주류성, 2009; 송성수, 「정약용의 기술 사상」, 『한국과학사학회지』 16권 2호, 한국과학사학회, 1994.

14) 많은 사람들이 흔히 알고 있는 전형적인 지브 크레인(jib crane)은 막대 형태의 구조물 끝에 연결된 도르래를 통해 물건을 들어 올리고 내리는 크레인을 가리킨다.

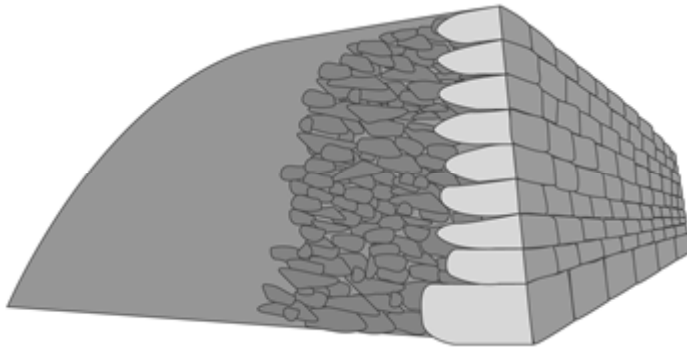
5.4km에 이르는 화성 성벽을 내외 협축 공법을 적용하여 3년 내에 빠르게 쌓으려면, 흙 경사로 방식으로는 불가능하고 수많은 지브 크레인(노로)이 동시에 투입되어야 가능하다. 이 때문에 현대의 지브 크레인과 형태가 유사한 노로를 활용하여 앞 뒤 성벽을 쌓아 올렸을 것이라는 가설 자체는 큰 문제가 없다(그림 5).



〈그림 5〉 지브 크레인(노로)을 이용한 내외 협축 공법 2

하지만 화성 건설 현장에서 사용된 크레인은 거중기와 노로를 합쳐 단 세 대에 불과하기 때문에 화성 성벽을 건설하는 공법을 크레인과 관련 지어 논의하는 것은 설득력이 부족하다. 화성 성벽은 거중기와 노로와 같은 크레인을 사용하여 내외 협축 공법으로 쌓은 것이 아니라 주로 인력에 의존하여 쌓았기 때문이다. 그 근거로는 정약용의 「성설」호참지침에서 내외 협축 공법의 장점에도 불구하고 외축 내탁 공법으로 성

벽을 쌓는다고 밝혔다는 점,¹⁵⁾ 거중기와 녹로를 사용하여 화성 성벽을 쌓았다는 구체적인 기록이 단 하나도 없다는 점, 화성 건설 현장에서는 단 두 대의 녹로와 단 한 대의 거중기만이 사용되었다는 점 등을 들 수 있다.¹⁶⁾



〈그림 6〉 외축 내탁(外築內托) 방식으로 쌓은 화성 성벽의 단면

화성 성벽은 성벽 바깥쪽은 돌로 쌓아 올리고 그 안쪽은 작은 돌과 흙으로 다져 넣는 외축 내탁 공법으로 쌓았다(그림 6). 외축 내탁 구조의 성벽은 해자를 파서 나온 흙을 이용하여 언덕을 만들어 다진 후 돌을 깔아 나르는 방식으로 공사하기 때문에 크레인이 필요 없다. 또 돌을 나르기 위해 사용한 빗면을 그대로 다져서 활용하기 때문에 공사를 마친 후에 흙 경사로를 치울 필요도 없다. 이처럼 외축 내탁 공법에서는 크레인이 필요 없기 때문에 거중기와 녹로는 성벽을 쌓는데 사용된 장비가 아니라 다른 용도로 사용되었음을 알 수 있다.

15) 『城說』(『定本』 제2책, 221쪽). “蓋石從下繩上難從上繩下易故令稅石于此也”

16) 『華城城役儀軌』, 책 1, 「卷首, 圖說」.

III. 거중기의 용도: 고정형 운송 지원 장비

1. 운송 장비로 사용된 거중기

축성 장비로 사용되었을 것이라는 담론과는 달리 거중기는 돌을 운반하는 수레를 지원하는 장비로 사용되었다. 『화성성역의궤』 「화성기적비華城紀蹟碑」편에는 돌을 운반하기에 편리하게 하기 위해 거중기와 유형거를 사용했음을 분명히 밝히고 있다.¹⁷⁾ 이처럼 화성 건설과 관련된 가장 공신력 있는 사서인 『화성성역의궤』에서 거중기의 용도를 분명히 밝히고 있음에도 널리 알려지지 않은 까닭은 거중기의 도면을 제시한 「도설」이 아니라, 비석문에서 언급하고 있었기 때문이다. 화성 장안문 앞에 실물 비석으로 세워졌다면, 진흥왕순수비眞興王巡狩碑와 같이 널리 알려져 후대의 사람들이 거중기를 축성 장비로 상상하는 일은 없었을 것이다.¹⁸⁾

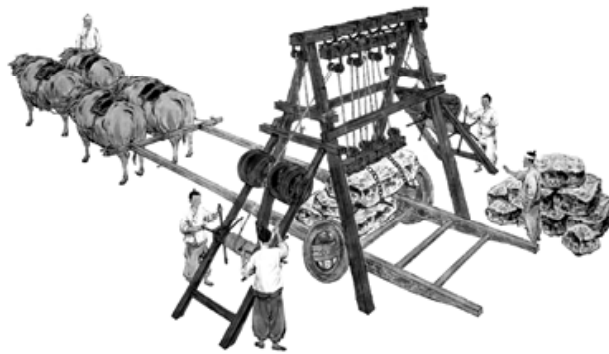
돌을 들어 올리거나 내릴 수밖에 없는 단순한 동선과 자유도自由度가 제한된 거중기의 구조적 한계를 고려할 때, 거중기는 가장 무거운 현단석懸端石의 자리를 잡는 정도에 제한적으로 쓰였을 것이다.¹⁹⁾ 거중기는 주로 부석소에서 사용되었을 것으로 추정되며, 부석소에서 공사장까지 돌을 끌어서 옮기자니 너무 힘들고, 수레를 이용하자니 높은 수레

17) 같은 책 3, 「華城紀蹟碑」. “至若舉重之機, 遊衡之車, 利運之制也”.

18) 화성기적비는 화성 설계, 공사 과정, 동원된 인력과 비용 등을 하나의 완성된 글로 요약 정리한 것으로 오늘날 준공 표지석에 해당하는 내용이다. 1797년 정조의 명령으로 김종수 金鍾秀가 작성한 이 문안은 비석으로 세워질 예정이었으나 1800년 정조의 갑작스러운 죽음으로 인해 세워지지 못하다가 1991년 12월에 수원 장안공원에 세워지게 되었다. 장안공원의 화성기적비에는 『화성성역의궤』에 적힌 내용을 그대로 새겨 놓았는데, 거중기와 유형거를 만든 목적을 언급한 부분은 비석 뒷면 우측 하단에 새겨져 있다.

19) 자유도自由度(degree of freedom)란 구조물이 움직일 수 있는 변위를 의미한다.

에 돌을 적재하기 어렵다는 문제를 해결하기 위해 사용된 장비로 보는 것이 타당하다. 거중기는 녹로처럼 높은 곳에 물건을 올리는 지브 크레인이나, 수레에 돌을 적재하는 용도로 사용된 고정형 갠트리 크레인이었던 것이다(그림 7).



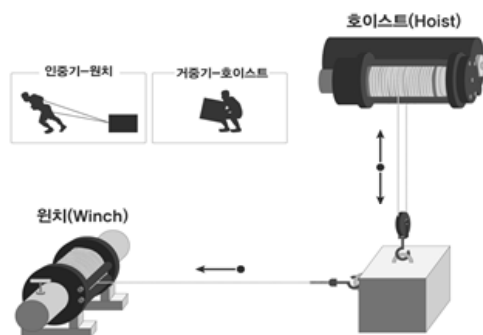
〈그림 7〉 돌을 수레에 올리는 용도로 사용된 거중기(출처: 필자)

2. 복합 도르래 구성 방식으로 추론한 거중기의 용도

흔히 우리는 정약용이 거중기와 녹로를 발명한 것으로 알고 있으나, 전에 없었던 새로운 것을 발명한 것이 아니라 기존을 것을 우리의 실정에 맞게 개량한 것이다. 고정 도르래를 활용하여 물건을 높은 곳으로 들어 올리는 방식과 움직 도르래와 고정 도르래 여러 개를 결합하여 적은 힘으로 무거운 물체를 들어 올리는 이른바 복합 도르래는 여러 시대에 걸쳐 동시에 동서양 곳곳에서 발견된 현상이다. 이미 로마 제국 시절부터 대형 크레인을 동원하여 도시를 건설하였으며, 고대부터 근대에 이르는 긴 시간동안 세계 각국의 여러 사람들이 거중기를 개발하였다.

정조는 정약용에게 테렌츠(Joannes Terrenze, 1576~1630)의 『기기도설』

『器圖說』을 내려 주면서 기중법起重法과 인중법引重法을 모두 연구하라고 지시하였다.²⁰⁾ 기중기와 인중기의 차이점은 동력을 이용하여 줄을 감아 당기는 윈치(winch)와 중력 역 방향으로 줄을 감아 들어 올리는 호이스트의 차이로 이해하면 무난하다.²¹⁾



〈그림 8〉 윈치(좌)와 호이스트(우)의 개념



〈그림 9〉 『기기도설』 중 인중引重 제3도第三圖

20) 1627년 발행된 테렌츠의 『기기도설』은 다양한 기계의 도면을 간단한 설명과 함께 정리한 책으로, 고대 건설 장비를 비롯해 전해 내려오는 기계들을 종합 분석하여 개량한 기계들을 소개한 것이다. 『기기도설』 기중도起重圖 편에는 가장 간단한 제1도부터 가장 복잡한 제11도에 이르기까지 모두 11개의 도면으로 무거운 것을 들어 올리는 장치를 설명하였다. 무거운 것을 끌어당기는 인중도引重圖 편에는 모두 4개의 도면을 소개하였다. 대부분 이탈리아 엔지니어 라멜리의 도면을 거의 그대로 다시 그린 것이다.

21) 윈치(winch)는 권양기捲揚機라고 부르기도 하며 밧줄이나 쇠사슬을 감아 무거운 물건을 견인하는 기계로 자동차나 케이블카에 사용된다.

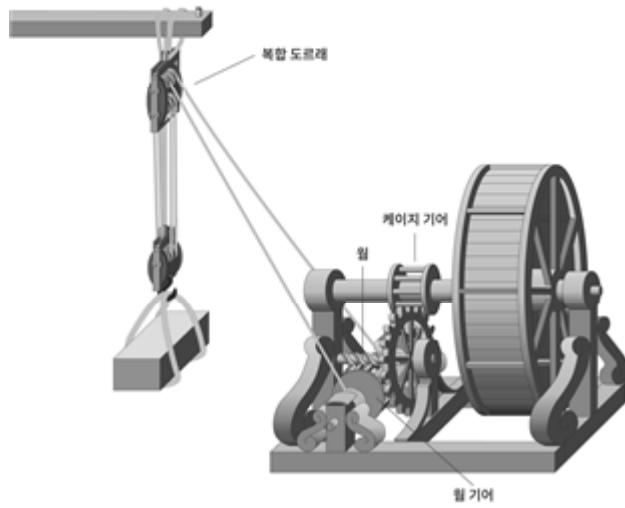
정약용은 사람의 힘으로 기계를 돌려 수레나 돌에 연결된 줄을 끌어 당기는 인증기는 개발하지 않았고, 사람의 힘으로 무거운 것을 들어 올리는 기증기 개발에 집중하였다. 정약용은 인증기를 제작하는 노력과 비용이 만만치 않으므로, 수레를 이용하는 방식이 더 효율적이라고 판단한 것으로 보인다. 정약용은 인증기를 개발하는 대신 12냥으로 제작할 수 있는 유형거를 발명하였다.²²⁾

정약용은 『기기도설』의 많은 도면 중에서 기증起重 제10도第十圖를 가장 정밀하고 신묘한 방식으로 보았다.²³⁾ 제10도는 사람이 대형 바퀴 속에 들어가 쳇바퀴를 돌리는 다람쥐처럼 바퀴를 돌리면, 바퀴에 연결된 케이지 기어(cage gear)와 웜 기어(worm gear)를 통해 복합 도르래에 연결된 줄을 감아올리는 방식의 기계이다(그림 10).²⁴⁾ 이처럼 커다란 수레 바퀴통 속에 사람이 들어가 걷는 방식으로 동력을 만들어내는 방식은 테렌츠의 『기기도설』에서 처음 제안한 것이 아니라 이미 로마제국의 크레인에서 사용했던 방식이다(그림 11). 다만 차이가 있다면 웜 기어와 케이지 기어를 활용하여 동력을 효율적으로 전달하도록 개량하여 쳇바퀴의 크기를 줄였다는 점이다.

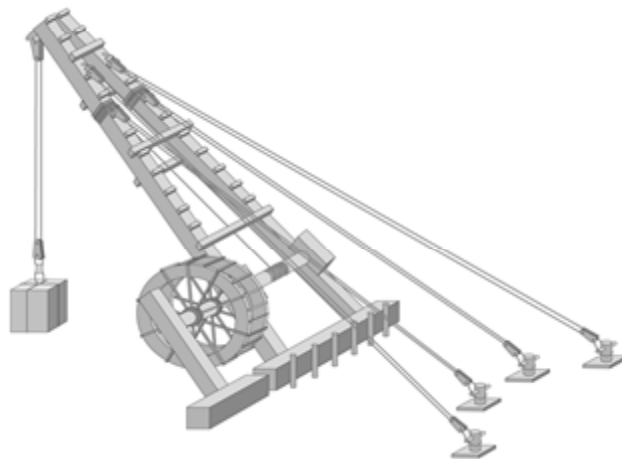
22) 유형거 제작비 12냥을 매우 저렴한 비용으로 평가해서는 곤란하다. 12냥은 상평통보 1,200개에 해당하고 이는 당시 화성 건설 현장의 일용직 노동자 48명을 하루 동안 고용할 수 있는 적지 않은 비용이다. 하지만 인증기를 개발하여 활용하는 방법보다는 훨씬 적은 비용임에는 분명하다.

23) 「起重圖說」(『定本』 제2책, 232쪽). “而皆粗淺, 唯第八第十第十一圖, 頗爲精妙, 然第十圖.”

24) 웜 기어(worm gear)란 서로 직각으로 교차하지 않는 두 축 사이에 회전 운동을 전하는 데 사용되는 기어 장치로 큰 감속비를 얻을 수 있다. 정약용의 「기증도설起重圖說」에서는 이를 ‘銅鐵螺絲轉’으로 표현하였다. 보통 ‘구리쇠로 만든 나사 도르래’라고 번역하고 있으나, 정약용은 보통 도르래를 활차 또는 활륜滑輪으로 표현하기 때문에, ‘나선형 축’을 의미하는 것으로 번역하는 것이 옳다. 케이지 기어(cage gear)란 서로 직각으로 교차하는 두 축 사이의 회전 운동을 전하는데 사용되는 새장 모양의 기어 장치로 다빈치의 스케치에서 많이 볼 수 있는 고전적인 기어 장치이다.



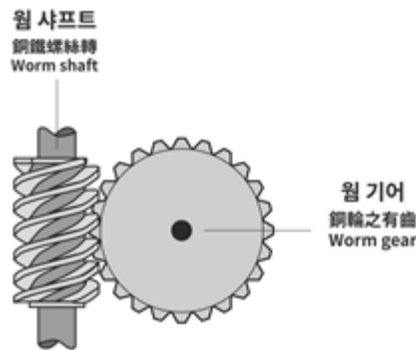
〈그림 10〉 『기기도설』 기중起重 제10도第十圖



〈그림 11〉 로마제국의 크레인

정약용은 웜 기어에 주목하고 화공을 불러 도면을 크게 그리면서까지 노력하였으나 기증 제10도에서 사용한 구리로 만든 나사축(銅鐵螺絲轉)과 구리쇠 바퀴에 톱니를 만드는 것(銅輪之有齒)이 불가능하다고 결론을 내리고 기어를 사용하는 방식을 포기하고 말았다.²⁵⁾

힘을 가하는 기어가 크고 그 힘을 받는 기어가 작으며 속도는 빨라 지지만 많은 힘이 들어간다. 반대로 힘을 가하는 기어가 작고 힘을 받는 기어가 크면 속도는 느려지지만 힘이 덜 들어간다. 감속비가 크다는 말은 회전 속도를 줄이는 대신에 토크(회전력)를 키우는 비율이 크다는 의미로, 웜기어는 공간을 많이 차지하지 않으면서도 다른 기어에 비해서 엄청나게 큰 감속비를 얻을 수 있다(그림 12).

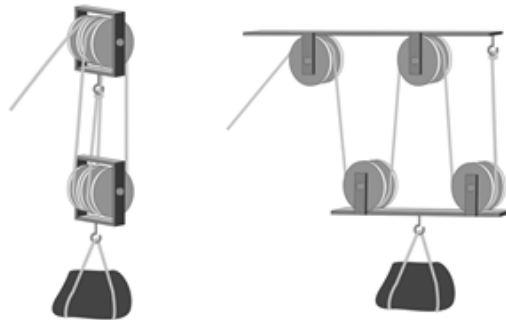


〈그림 12〉 웜 기어의 구성

핵심 기술인 복합 기어를 포기했다면 이제 남은 것은 복합 도르래이다. 복합 도르래는 직렬 결합 방식과 병렬 결합 방식이 있는데, 힘에서 보는 이득이 동일할 경우 병렬 결합 방식이 도르래 블록(Block)이 차지

25) 『起重圖說』(『定本』 제2책, 232쪽). “須有銅鐵螺絲轉, 方可爲之, 今計雖國工, 不能爲銅鐵螺絲轉, 至於銅輪之有齒者, 亦必不能, 故只取第八第十一.”

하는 공간을 직렬 결합 방식보다 더 줄일 수 있다는 장점이 있다. 도르래 블록이 차지하는 공간이 좌우로 길어져 공간을 차지하고 블록 자체의 무게가 증가할 수밖에 없는 직렬 결합 방식보다는 작은 모듈(module)의 형태로 도르래들을 응집할 수 있는 병렬 결합 방식이 건설 장비로서의 효율성이 더 뛰어나다. 다음 그림은 병렬 2×2 복합 도르래와 직렬 2×2 복합 도르래를 비교한 것이다.



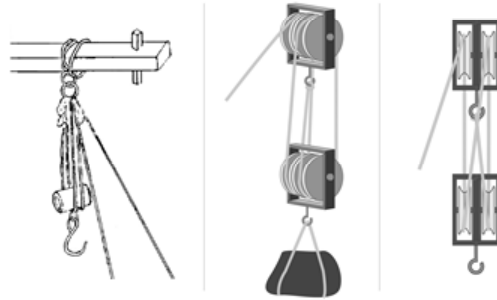
〈그림 13〉 병렬 복합 도르래(좌)와 직렬 복합 도르래의 비교(우)

병렬 결합 방식은 상부의 고정 도르래 블록과 하부의 움직 도르래 블록 사이의 거리를 길게 할 수 있어 높은 곳으로 물건을 들어 올리는 지브 크레인에 적용할 수 있다는 장점이 있다.²⁶⁾ 다만, 병렬 결합 방식은 도르래에 줄을 병렬로 연결하는 작업이 직렬 결합 방식에 비해 다소 번거롭다는 단점이 있는데, 테렌츠는 이러한 병렬 결합 복합 도르래의 메커니즘을 정확하게 이해하고 다양하게 응용하였다.

테렌츠는 물건을 들어 올리는 동선이 단순하여 줄이 엉키지 않을 경우에는 고정 도르래 블록을 고리로 대체하고 움직 도르래 블록을 원통

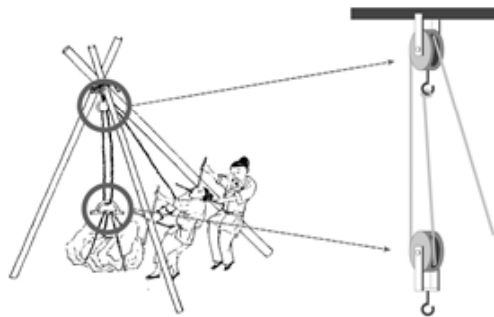
26) 로마제국에서 사용한 대형 지브 크레인 역시 병렬 복합 도르래 블록을 효율적으로 사용하였다.

으로 대체하는 융통성을 발휘하였다(그림 14). 정약용이 기중소가를 만들 때 많이 참조했다고 밝힌 기중 제10도 역시 병렬 2×2 복합 도르래를 고리와 원통으로 대체하였다.



〈그림 14〉『기기도설』 기중 제10도의 병렬 복합 도르래 원리

이처럼 복합 도르래는 여러 개의 도르래들을 결합한 블록이 차지하는 공간을 최소화하는 것이 핵심 기술이다. 『기기도설』의 기중 제3도는 고정 도르래 한 개와 움직 도르래 한 개로 구성된 최소 단위 복합 도르래를 금속 고리 두 개로 대체하고, 바퀴와 기어 장치 역시 손으로 녹로를 돌려 감는 방식으로 대체한 약식 장비이다(그림 15).



〈그림 15〉『기기도설』 기중起重 제3도第三圖

정약용은 병렬 결합 복합 도르래 대신, 네 개의 도르래를 나란히 수평 직렬로 배치하는 방식으로 복합 도르래를 구성하였다. 이처럼 도르래를 수평 직렬 방식으로 배열하면, 수평 직렬로 나열된 도르래 블록을 떠받쳐야 하기 때문에 장비의 폭이 넓어질 수밖에 없다.

정약용은 병렬 복합 도르래를 사용하여 도르래 블록이 차지하는 공간을 줄여야 한다는 생각까지는 하지 않은 것 같다. 그 까닭은 화성의 축성 공법이 돌을 높이 들어 올려 쌓아야 하는 내외 협축 공법이 아닌 것과 관련이 있다. 화성 건설 현장에서는 높은 곳으로 무거운 돌을 들어 올리는 지브 크레인이 필요한 것이 아니라, 수레 정도의 높이에 무거운 돌을 올려주는 고정형 갠트리 크레인이 필요했기 때문이다. 만약 정약용이 화성 성벽을 내외 협축 공법으로 설계했다면, 병렬 복합 도르래 방식을 거중기에 적용했을 것이다.

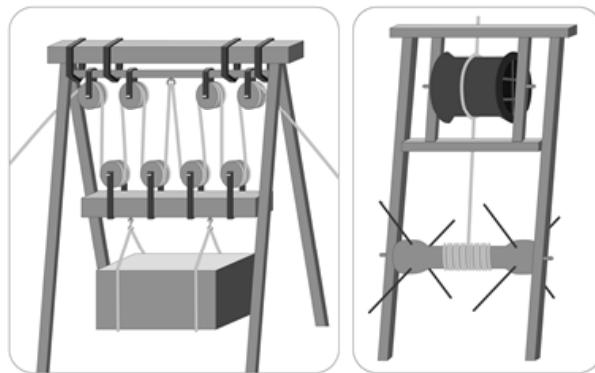
3. 하유량 모듈로 추론한 거중기의 용도

거중기의 정확한 사용법을 추론하기 위해선 거중기의 시제품과 최종 결과물의 차이를 분석해 정약용이 무엇을 개선하려고 노력했는가를 파악해야 한다. 정약용은 처음 설계한 거중기를 ‘기중소가起重小架’로 명명했다. 이는 거중기의 시제품에 해당하며, 우리가 알고 있는 거중기는 기중소가를 발전시켜 실제 화성 공사장에서 사용된 장비이다. 기중소가는 가架, 횡량橫梁, 활차滑車, 거簾의 네 부분으로 구성되어 있다.²⁷⁾

정약용의 기중소가는 들어 올린 물체가 갑자기 밑으로 떨어지는 것

27) 『起重圖說』(『定本』 제2책, 232쪽). “一曰架, 二曰橫梁, 三曰滑車, 四曰簾, 安鼓輪轆轤而其用全矣.”



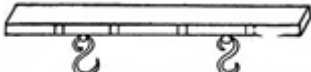

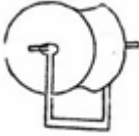
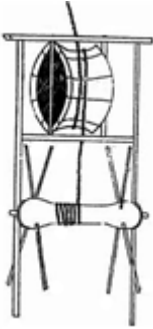
을 방지하기 위해 고륜鼓輪이라는 북 모양의 바퀴를 거에 설치하였다. 고륜은 허리 부분이 잘록한 장고인 요고腰鼓를 닮았으며 복합 도르래에 걸린 밧줄과 줄을 감는 장치인 녹로 사이에서 힘을 전달해주는 역할을 함과 동시에 갑자기 미끄러지는 것을 방지해 준다. 기중소가의 고륜은 나중에 거중기의 대활륜大滑輪으로 발전하게 된다.








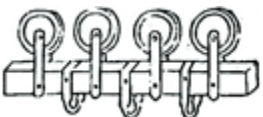


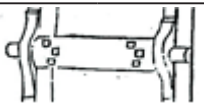


〈그림 16〉 거중기를 개발하기 전 시제품인 기중소가

구조가 간단한 시제품 기중소가와 최종 형태의 완제품인 거중기의 구성 부품을 비교하면, 덜 복잡한 기중소가가 오히려 조립이 번거롭다는 사실을 확인할 수 있다. 개별 부품들을 구조물인 가래에 하나하나 장착해야 하기 때문이다(표 1). 이에 비해 완제품인 거중기는 시제품 기중소가를 발전시켜 분해와 조립이 용이하도록 부품을 세분화하고, 복잡한 것은 하나로 묶어 모듈화(Modulization)하였다(표 2).²⁸⁾

28) 모듈화(Modulization)란 개별 부품들을 구조물에 직접 장착하지 않고, 몇 개의 관련된 부품을 하나의 덩어리로 묶어 장착하는 기술 방식을 말한다. 정약용은 쉽게 결합하고 해체할 수 있도록 거중기와 특수 운반 수레인 유행거의 주요 부품을 묶어 모듈로 설계하였다.

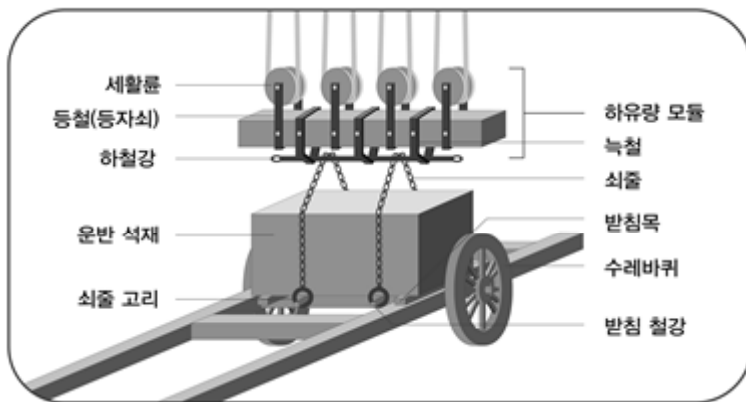
명칭	기능	구성 부품
가架	도르래와 줄을 감는 장치를 떠 받침	
횡량橫梁	복합 도르래 설치 틀	 고정 도르래 고정 틀(상단)  움직 도르래 고정 틀(하단)
활차滑車	도르래	 고정 도르래  움직 도르래
거簾	줄을 감아올리는 장치	 고륜 녹로

〈표 1〉 시제품 기중소가의 구성과 부품

기중 소가		거중기	
가架	정체定體	횡량 橫梁	
		승량각 承梁脚	
		전후강 前後杠	
		좌우강 左右杠	
횡량橫梁	유량游梁	중유량 中游梁	
		하유량 下游梁	
활차滑車	활륜滑輪	세활륜細滑輪	대활륜大滑輪
			
거簾	소거纜車	소축纜軸	목시木矢
			
			

〈표 2〉 완제품 거중기의 구성과 부품

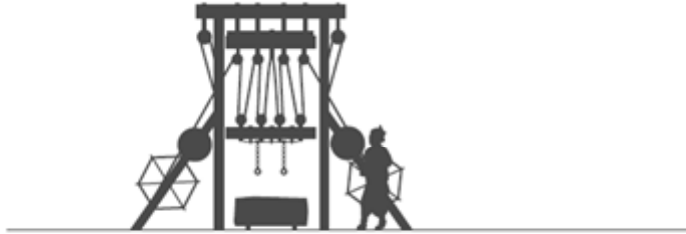
모듈 중에서 거중기의 용도와 관련해서 주목할 부분은 하유량 모듈이다. 하유량 모듈은 무거운 석재를 쉽게 결합하고 해체할 수 있도록 설계되었으며, 이를 통해 신속하게 거중기에 돌을 걸고, 수레 위에 돌을 내려 놓는 것이 가능하였다. 하유량 모듈에 석재를 연결하는 방법은 지면 위에 받침목을 설치한 후 석재를 옮겨 놓은 후, 받침목 사이 빈 공간에 받침 철강 두 개를 꿰뚫어 넣는 것이 핵심이다.



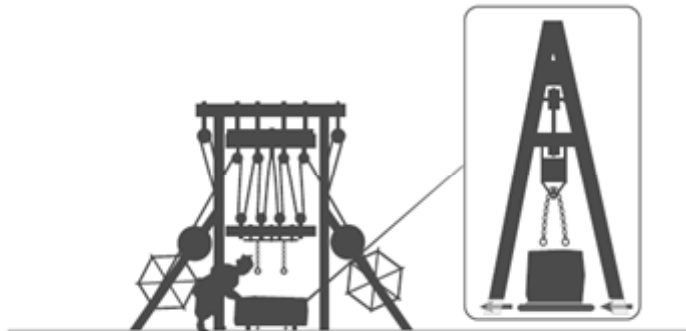
〈그림 17〉 거중기 하유량 모듈의 부품 구성

이처럼 하유량 모듈의 구성 방식을 통해서도 거중기가 성벽을 쌓는 장비로 사용된 것이 아니라 수레에 돌을 올려놓는 장비로 사용되었음을 확인할 수 있다. 만약 축성 장비였다면 돌 위에 돌을 내려 놓는 상황에서 돌 밑에 있는 받침 철강을 제거하기 곤란하기 때문이다. 다음은 거중기 하유량 모듈에 석재를 연결하는 구체적인 방법을 그림으로 표현한 것이다.

① (지면 위) 받침목 위에 석재를 올려놓는다.



② 받침목 사이 공간에 받침 철강 두 개를 꿰뚫어 넣는다.



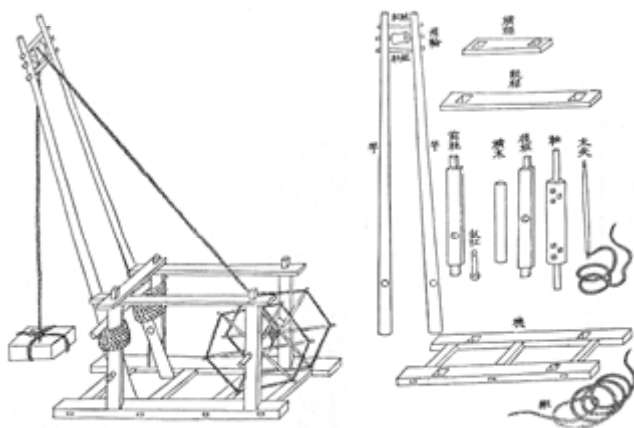
③ 받침 철강과 하철강에 연결된 쇠줄을 고리로 연결한다.



〈그림 18〉 하유량 모듈에 석재를 연결하는 방법

4. 녹로의 용도: 고층 시설물(성문 누각과 공심돈) 건설 장비

녹로는 높은 곳이나 먼 곳으로 무엇을 달아 올리거나 끌어당길 때 쓰는 장치로서 보통 밧줄을 감는 장치에 두루 쓰이는 말이다. 배 위에서 닻을 감는 기계, 도자기를 만들 때 쓰는 돌림관, 우물가에서 박을 들어 올리는 도르래, 대형 쇠뇌에서 시위를 당기는 도르래, 무덤 속으로 관을 내릴 때 쓰이는 도르래 등을 모두 ‘녹로’로 부른다. 결국 정약용의 녹로는 줄을 감는 기계라는 의미를 지닌 것으로, 장비의 일부가 장비 전체를 대표하는 말로 지칭된 것이다. 『화성성역의궤』에서는 거중기와 마찬가지로 녹로의 도면과 구성 부품을 상세하게 설명하고 있는데, 간주竿柱와 도르래를 묶은 부품을 제외하고는 모듈화 된 부분이 없을 정도로 매우 간단한 구조이다.²⁹⁾



〈그림 19〉 녹로의 전도(좌측)와 분도(우측) (출처: 『화성성역의궤』 「卷首」, 圖說.)

29) 간주竿柱란 건물이나 석등과 같은 구조물의 기둥을 의미한다. 크레인에 장착된 간주는 앞으로 내뻗친 긴 막대를 의미하며 보통 지브(jib)라고 부른다.

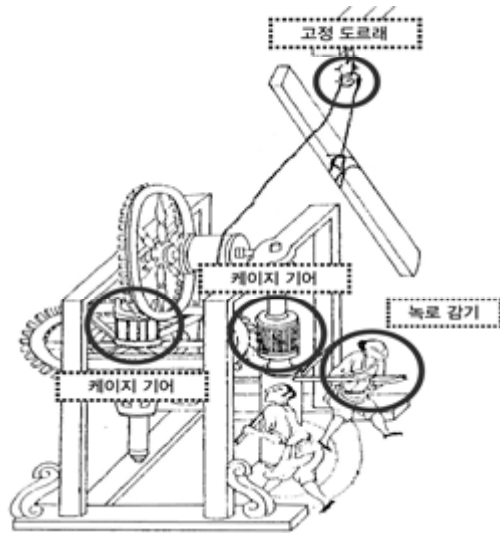
화성 건설 이후 거중기를 사용한 기록은 없지만 녹로는 1803년에 창덕궁 인정전을 재건할 때와 1857년에 인정전의 중수 공사를 할 때에도 만들어 사용하였다. 화성 건설 이후에도 조선 후기 궁궐 공사를 비롯해서 다양한 관급 공사에 녹로가 사용된 이유는 이처럼 분해와 조립이 간단하고 구성 부품이 복잡하지 않았기 때문이다.

오늘날 사용하는 고정식 지브 크레인과 구조와 기능이 유사한 녹로는 간주를 높이 세우고 그 꼭대기에 활차를 달고 동아줄을 걸어 밑에서 여덟 사람이 둘로 나뉘어 녹로를 좌우에서 감아 물건을 적당한 높이로 올린 후, 줄을 갈고리로 끌어서 원하는 자리로 조준한 다음, 녹로를 풀어 물건을 내리는 방식으로 사용하였다. 녹로는 지브에 해당하는 간주가 기복(상하 운동)과 선회(회전 운동)가 불가능하고 무게 중심이 간주 쪽으로 치우쳐 있기 때문에 사용에 많은 제약이 있었다. 나무로 만든 활차(도르래)가 견디는 무게에 한계가 있으며, 앞부분에 치우친 무게 중심을 조정하기 위한 장치가 전혀 없다는 점에서 녹로는 작은 돌이나 목재를 높은 곳으로 올리는 데 사용한 장비로 추정된다.

정약용은 『기기도설』중 기중 제11도를 참조하여 거중기를 만들었다고 하였는데, 사실 제11도는 줄을 감는 장치인 녹로의 발전된 형태에 관한 것이다.³⁰⁾ 제11도는 사람들이 시계 방향으로 돌면서 녹로를 감으면, 녹로에 연결된 케이지 기어를 통해 힘을 전달한 후, 고정 도르래에 걸려 있는 물건을 들어 올리는 구조로서 지브가 없는 크레인의 형태를 취하고 있다. 이때 사용된 케이지 기어는 힘을 절약함은 물론 미끄럼 방지 장치 역할을 하고 있다. 기중 제11도에서 지브가 없는 이유는 건설 현장에는 이미 고정 도르래를 걸 수 있는 곳이 많기 때문에 굳이 긴 지브가

30) 『起重圖說』(『定本』 제2책, 232쪽). “故只取第八第十一.”

필요 없기 때문이다.

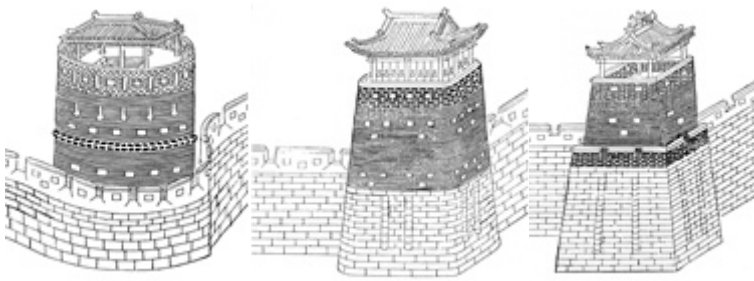


〈그림 20〉 『기기도설』에 수록된 기중起重 제11도第十一圖

그렇다면 화성 건설 현장에서 두 좌의 녹로는 어느 공사에 활용되었을까? 녹로는 높은 곳에 물건을 내려놓기 용이하다는 점에서 거중기의 한계를 극복할 수 있는 장비이지만 복합 도르래를 활용한 거중기와는 달리 힘에서 큰 이득을 보지 못하며 미끄럼 방지 고정 장치가 없다는 구조적 한계 때문에 화성 건설 현장에서는 성문의 누각이나 공심돈과 같이 높은 건물 공사에 제한적으로 활용되었을 것이다.³¹⁾ 화성에는 누각이 높은 네 개의 성문과 세 개의 공심돈이 있으므로 녹로가 필요한 공사장은 모두 7곳이다. 처음 정약용은 성문의 누각을 짓는데 활용하기

31) 줄을 감는 녹로의 손잡이가 길수록 축마퀴의 원리(Principles of Wheel and Axel)에 따라 힘의 이득을 보게 된다.

위해 녹로를 설계하였지만, 화성 건설 과정에서 정약용이 설계하지 않았던 공심돈들이 추가 건설되면서 성문 누각 공사에 사용된 2좌의 녹로들은 후반부에는 공심돈 공사에 투입되었을 것이다.



〈그림 21〉 화성의 공심돈 3개(남공심돈, 서북공심돈, 동북공심돈)
(출처: 『화성성역의궤』 「卷首」, 圖說.)

『화성성역의궤』에 기록된 공사 일지를 토대로 성문 누각 공사 기간과 공심돈 공사 기간을 공정도로 정리한 후 이러한 가설이 맞는지를 확인해 보았다(그림 22).



〈그림 22〉 화성 공사 일정으로 추론한 녹로 두 좌의 사용 일정

위 공정도를 보면 2층 누각 구조인 장안문과 팔달문의 공사는 1794년 2월 28일 동시에 시작하여 9월 15일에 동시에 끝났다. 당연히 이 두 곳 공사장에서 누각을 올리는 공사 후반부에 녹로 두 좌가 각각 사용되었을 것이다. 규모가 동일한 창룡문과 화서문의 공사가 동시에 진행되지 못하고 창룡문과 남공심돈 공사가 짝을 이루어 공사에 들어간 까닭은 화서문과 서북공심돈이 인접해있는 시설이기 때문에 동시에 공사에 들어가는 것이 효율적이기 때문으로 추정된다.

창룡문과 남공심돈 공사장에 2좌의 녹로가 사용되는 동안 화서문과 서북공심돈 공사장은 하부 축성 작업을 하고 있었고, 1794년 10월 17일과 10월 18일에 하루 차이로 창룡문과 남공심돈 공사가 끝나자마자 녹로 두 좌는 각각 화서문과 서북공심돈 공사장으로 이동하여 배치되었을 것이다. 이때 계획에 없었던 동북공심돈 공사가 추가 되면서 2좌의 녹로는 모두 동북공심돈 공사장에 투입되었을 것이다. 2좌의 녹로가 동시에 투입되었기 때문에 구조가 복잡하고 높은 동북공심돈은 남공심돈이나 서북공심돈보다 더 짧은 기간 내에 공사를 마칠 수 있었다. 이처럼 7개의 고층 건물들의 공사 기간을 두 개씩 짝을 이루어 추정하면 녹로 두 좌를 사용한 공정을 합리적으로 추론할 수 있다.³²⁾

IV. 맺음말

지금까지 정약용의 거중기와 녹로는 성벽을 쌓는 장비로 알려져 왔으나, 화성 성벽은 외축 내탁 공법으로 쌓아 크레인이 필요 없으며, 유

32) 이처럼 녹로 두 좌의 정확한 공정 추론이 가능한 까닭은 시설물별로 공사 일정, 공사 인원, 공사 비용, 공사 자재 등을 꼼꼼하게 기록한 『화성성역의궤』가 있었기 때문이다.

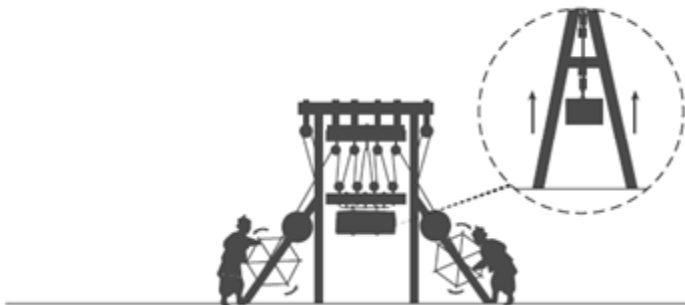
① 돌을 끌어서 거중기 밑으로 가져간다.



② 돌을 거중기 하유량에 연결한다.

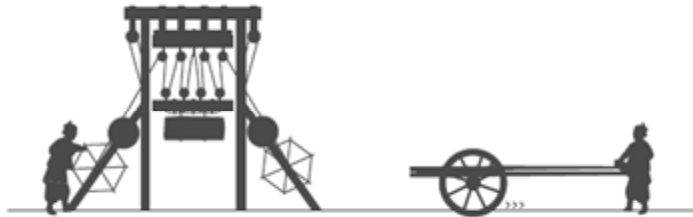


③ 앞쪽 바퀴를 돌려 돌을 들어 올린다.

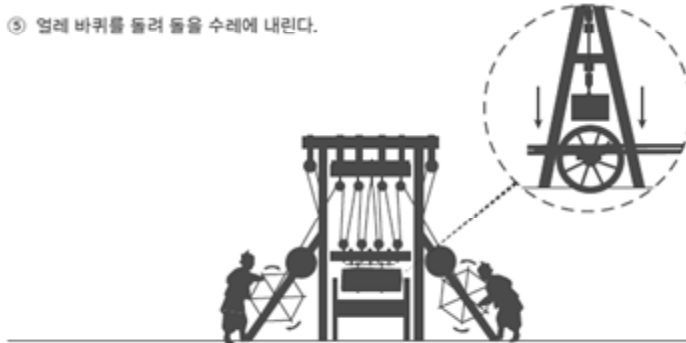


〈그림 23〉 거중기 사용 방법 1

④ 수레를 거중기 밑으로 옮긴다.



⑤ 열레 바퀴를 돌려 돌을 수레에 내린다.



⑥ 연결 쇠사슬을 풀고 수레를 거중기 밖으로 옮긴다.



〈그림 24〉 거중기 사용 방법 2

형거와 함께 운송 제도로 사용되었으므로 기존의 답론은 수정되어야 한다. 거중기의 경우 수레에 돌을 올려주는 장비로 사용되었음을 기록으로 확인할 수 있으나 구체적인 사용 방법을 밝힌 문헌은 없기 때문에, 구성 부품을 면밀하게 분석하여 구체적인 절차를 추론해야 한다. <그림 23>과 <그림 24>는 본 논문에서 논증한 결과를 바탕으로 정리한 거중기 사용법이다.

배다리와 신도시 건설과 같은 대형 토목 공사를 설계하고 건설 기계를 발명하여 실제 시공 단계에서 활용할 수 있도록 했다는 점에서 정약용은 조선을 대표하는 공학자로 평가해도 손색이 없다. 1년차 관리가 배다리를 설계하고, 3년차 관리가 그 누구도 만들어보지 않았던 신도시 화성을 중국의 병서와 서양 과학 기술 서적을 참조하여 성공적으로 설계할 수 있었던 힘은 정조의 든든한 지원 덕분이었다. 정약용의 공학적 활동은 자발적인 것이 아니라 모두 정조의 명령에 의한 것이다. 정약용은 왕명에 의해 단기간에 집중적으로 공부하여 얻은 공학적 지식을 체계적 논리로 재구성하여 국가 프로젝트를 완수하기 위한 전략을 마련하였다. 결국 정약용에게 공학적 문제 해결 능력을 실무를 통해 다질 수 있도록 한 것은 정조의 리더십인 셈이다. 정약용의 공학적 사고(Engineering Thinking)는 유배 시기 다양한 분야의 책을 저술하면서 실학을 집대성할 수 있는 자양분이 되었을 것이다.

(논문투고일 2017년 2월 22일, 심사확정일 2017년 4월 7일, 게재확정일 2017년 4월 7일)

참고문헌

- 『華城城役儀軌』, 영인본 奎 14590, 서울대학교 규장각, 1994.
- 「기중도설起重圖說」; 「성설城說」; 「외단활차설桅端滑車說」(『定本』 제2책).
- 『경세유표經世遺表』(『定本』 제24~26책).
- 경기도, 『수정 국역 화성성역의궤』, 경기문화재단, 2001.
- 김동욱, 『실학정신으로 세운 조선의 신도시 수원화성』, 돌베개, 2009.
- 김영식, 「정약용 사상과 학문의 실용주의적 성격」, 『다산학』 21호, 다산학술문화재단, 2012.
- 김평원, 「정조 대 한강 배다리의 구조에 관한 연구」, 『한국과학사학회지』 39권 1호, 한국과학사학회, 2017.
- 김홍식, 「실학 건축 사상 연구」, 『건축』 16권 1호, 1972.
- _____, 「18세기말 실학과와 건축사상 연구: 다산의 성설城說을 중심으로」, 『한국과학사학회지』 30권 3호, 한국과학사학회, 2007.
- 노영구, 「조선후기 城制 변화와 華城의 城郭史的 의미」, 『진단학보』 88호, 진단학회, 1999.
- _____, 「조선 후기 성제城制 변화와 다산 정약용의 축성築城 기술론」, 『다산학』 10호, 다산학술문화재단, 2007.
- 문중양, 『우리 역사 과학기행』, 동아시아, 2006.
- 손영식, 『한국의 성곽』, 주류성, 2009.

-
- 송성수, 「정약용의 기술 사상」, 『한국과학사학회지』 16권 2호, 한국과학사학회, 1994.
- 오상학, 「다산 정약용의 지리사상地理思想」, 『다산학』 10호, 다산학술문화재단, 2007.
- 이용식, 「토목인 다산 정약용」, 『대한토목학회지』 60권 7호, 대한토목학회, 2012.
- 정형민, 「기기도설의 기술도 분석」, 『한국과학사학회지』 29권 1호, 한국과학사학회, 2007.
- 川原秀城, 「丁若鏞의科學著作」, 『다산학』 13호, 다산학술문화재단, 2008.

국문요약

오늘날 거중기에 관한 논의는 구체적인 사용법보다는 힘을 줄일 수 있는 과학적 원리에 집중되었고, 문헌상의 근거 없이 성벽을 쌓는 장비였다는 견해가 널리 담론으로 형성되었다. 이 논문의 목적은 정약용이 거중기를 개발하는 과정에서 참조한 문헌과 그가 남긴 글과 도면들을 근거로 거중기의 구체적인 사용 방법을 과학적으로 추론하는 것이다. 거중기는 주로 부석소에서 사용되었을 것으로 추정되며, 부석소에서 공사장까지 돌을 끌어서 옮기자니 너무 힘들고, 수레를 이용하자니 높은 수레에 돌을 적재하기 어렵다는 문제를 해결하기 위해 사용된 장비로 보는 것이 타당하다. 거중기는 녹로처럼 높은 곳에 물건을 올리는 지브 크레인이 아니라, 수레에 돌을 적재하는 용도로 사용된 고정형 갠트리 크레인이었던 것이다. 지금까지 정약용의 거중기와 녹로는 성벽을 쌓는 장비로 알려져 왔으나, 화성 성벽은 외축 내탁 공법으로 쌓아 지브 크레인이 필요 없고 녹로는 고층 시설물 공사에 사용되었음을 공사 기록을 통해 합리적으로 추론할 수 있다.

주제어 | 거중기, 녹로, 외축 내탁, 운송 장비, 정약용, 화성, 축성 장비

Abstract

A study on Jeong Yag-yong's Geojunggi and Nongno that has used in Hwaseong Fortress

Kim, Pyoung-Won

Dept. of Korean Language education, Incheon National University

The purpose of this article is to clearly and definitely reveal the method of use of the Geojunggi developed by Jeong Yag-yong, which is widely known for a device that symbolizes the Silhak (practical studies). As a result of the analysis, the Geojunggi was used mainly for loading heavy stones onto the wheeled carts. Or, in other words, the Geojunggi was not a construction crane, as was known previously, but was a stationary loader crane. The fact that the Geojunggi was used as a transportation system was clearly and definitely recorded in the *Hwaseongseongyeoguigwe*. Through *Seongseol*, Jeong Yag-yong personally revealed that, although the exterior of the castle walls were piled with stones, the interior was made by stomping the soil.

Key Words | Geojunggi , Jeong Yag-yong, *Gigidoseol* , Hwaseong Fortress, *Hwaseongseongyeoguigwe*, Stationary Loader Crane

