

다산학 45호 (2024.12) | 221~276

한글본 『정리의궤(整理儀軌)』에 수록된 비파형 복토(伏兔) 유형거(游衡車) 연구

김평원 | 인천대학교 국어교육과 교수

목차

- 머리말
- 화성 건설에 사용된 운반 도구와 수레
- 유형거의 공학적 특성 분석
- 맺음말

1. 머리말*

한글본『정리의궤(덩니위궤)整理儀軌』는 『화성성역의궤華城城役儀軌』를 편찬하기 전에 왕실에서 먼저 제작한 것으로, 프랑스에서 일부를 보관하고 있다는 사실이 2016년에 뒤늦게 확인되었다.¹⁾ 2017년 필자는 『정리의궤』에 수록된 일부 도면이 『화성성역의궤』의 도면과 차이가 있음을 확인하였다(김평원, 2017b).²⁾ 한글본 『정리의궤』는 『화성성역의궤』를 요약 정리한 것이기 때문에, 당연히 두 문헌에 동시에 소개된 같은 장비의 도면은 정확하게 일치해야 함에도 유형거游衡車와 평차平車의 형태는 큰 차이가 있다. 그동안 학계에서는 이러한 문제를 공론화한 적이 없었다.

유형거와 평차와 함께 수록된 동차童車, 발차發車, 구판駒板, 설마雪馬의 경우는 두 사료가 정확하게 일치하였으나 대차大車는 『화성성역의궤』에만 소개되어 있고, 별평차別平車는 두 사료 모두 생략하였다.

『화성성역의궤』에 소개된 유형거는 <그림 1>과 같이 반달형 복토伏頭를 장착하였으나, 한글본 『정리의궤』에 소개된 유형거는 <그림 2>와 같이 비파형 복토를 네 개 장착한 독특한 형태이다.³⁾

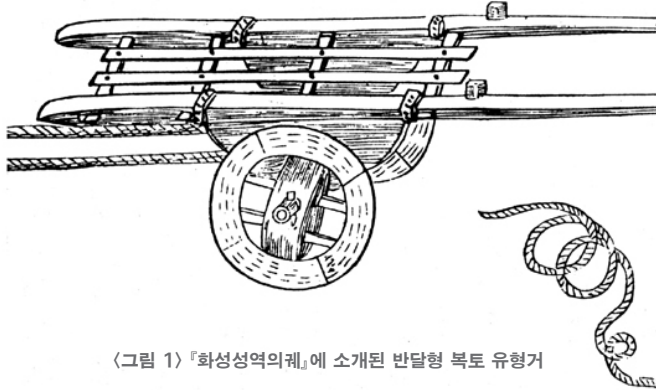
* 이 논문은 인천대학교 2019년도 연구 중점 교원 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

1) 『정리의궤』는 정조가 한문에 익숙하지 않은 혜경궁 홍씨를 위해 『현통원 의궤』, 『원행음묘 정리의궤』, 『화성성역의궤』 등을 한글본으로 정리한 의궤로서 총 48책 중 13책이 현존하고 있다. 12책은 프랑스 국립중앙도서관 언어문명도서관이 소장하고 있으며, 채색본 1책은 프랑스 국립도서관이 소장하고 있다.

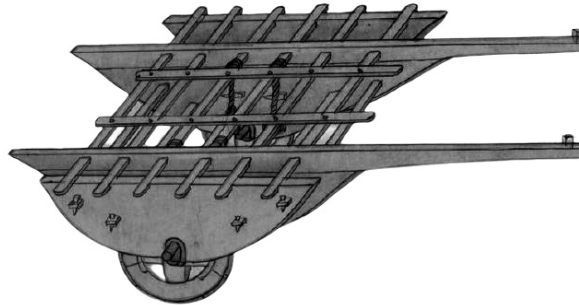
2) 필자는 2016년 한글본 『정리의궤』 채색본 1책에 수록된 유형거와 평차의 도면이 『화성성역의궤』와 다르다는 사실을 최초로 인지하였고, 2017년 유형거의 역학적 원리를 분석한 논문에서 이를 처음으로 언급하였다(김평원, 2017b). 그 뒤 7년간 도면 제작, 3D 복원, 실물 복원 실험을 거쳐 본 논문을 발표하게 되었다. 자료 발견에 그치지 않고 후속 연구자들을 위한 기초 자료로 발전시킬 수 있었던 것은 3D 복원을 담당했던 경희대학교 산업디자인과 위현서 군의 재능과 인천대학교 연구 중점 교원 연구비 지원에 힘입은 바 큼을 밝혀 둔다.

3) 수레라는 의미의 한자 ‘車’를 ‘차’와 ‘거’로 발음하고 있다. 보통 동물이나 기계로 움직이는 경우는 ‘차’로 발음하고, 사람의 힘으로 움직이는 경우는 ‘거’라고 발음한다. 『화성성역의궤』

車衡游

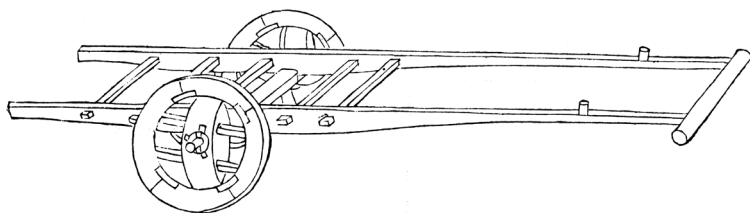


〈그림 1〉『화성성역의궤』에 소개된 반달형 복토 유형거

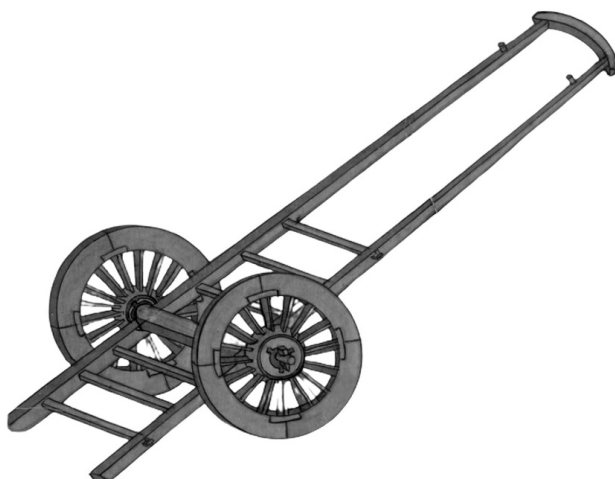


〈그림 2〉한글본 『정리의궤』에 소개된 비파형 복토 유형거

궤』에 소개된 운반 도구는 대부분 소가 끄는 경우가 많았음에도 기존 연구자들은 ‘대거’, ‘평거’, ‘발거’ 등, 차가 아니라 ‘거’로 표기하는 경우가 많았다. 2016년 프랑스 국립도서관에서 한글본 『정리의궤』 권39 성역도 1책이 발견되면서, ‘대거’, ‘평거’, ‘발거’가 아니라 ‘대차’, ‘평차’, ‘발차’로 불렸음을 확인할 수 있게 되었다(김평원, 2017b).



〈그림 3〉『화성성역의궤』에 소개된 평차



〈그림 4〉한글본『정리의궤』에 소개된 평차

화성 건설 보고서인 『화성성역의궤』를 편찬할 당시에 정약용은 유배지에 있어 그 이름을 올리지 못했지만, 『화성성역의궤』에 소개된 유형거가 정약용이 설계한 것임은 분명한 사실이다(김평원, 2017a). 『화성성역의궤』에 수록된 유형거 도면과 설명이 정약용이 지은 「성설城說」의 내용과 정확하게 일치하기 때문이다(김평원, 2017b). 따라서 정자井字形 바퀴는 정약용이 설계했음이 분명하다. 『화성성역의궤』에 소개된 평차는 〈그림 3〉과 같이 정약용이 설계한 유형거 바퀴를 장착하고 있으나, 한글본 『정리의궤』에 소개된 평차는 〈그림 4〉와 같이 기존에 널리 사용하는 빗살형 바퀴를 장착한 형태이다.

수레	수량		『화성성역의궤』	『정리의궤』
유형거	11	1	○ (반달형 복토)	×
		10	×	○ (비파형 복토)
대차	8		○	×
별평차	17		×	×
평차	76	30	×	○ (구입한 것)
		46	○ (제작한 것)	×
동차	192		○	○
발차	2		○	○
설마	9		○	○
구판	8		○	○

〈표 1〉 화성 건설에 사용된 운송 장비 도면 현황

『화성성역의궤』속 거중기와 녹로는 실제 화성 건설 현장에서 사용된 장비를 그린 것이다. 하지만 유형거는 『화성성역의궤』를 발간하기 이전에 이미 정약용이 작성한 「성설」에 포함되어 있기 때문에, 화성 착공 전에 이미 시제품까지 제작이 끝난 상태로 보아야 한다.

유형거는 12냥을 들여 시제품 한 량을 만들고 10량을 건설 현장에서 제작하였다는 기록만 있을 뿐, 화성 건설 현장에서 제작한 유형거가 정약용이 「성설」에서 제안한 정약용의 유형거와 동일한 모습을 하고 있었는지 여부는 확정할 수 없다.

필자는 새롭게 발견된 한글본 『정리의궤』를 통해 정약용이 설계한 원형 유형거의 바퀴 모듈이 화성 건설 현장에서 새롭게 제작한 평차에 반

영되었으며, 원형 유형거는 화성 건설 현장에서 새로운 형태로 개량된 것으로 추정하였다.⁴⁾ 이 논리에 따르면 유형거는 원형과 개량형이 존재하며, 평차 역시 기존에 사용하던 수레와 화성 건설 현장에서 새롭게 만든 수레로 구분할 수 있다(표 1).

이 논문의 목적은 조선 후기 화성 건설 현장에 사용된 운반 도구와 수레들을 분석하여 평차와 유형거가 두 가지 형태로 공존했던 이유를 추론하고(2장), 원형 유형거와 개량 유형거의 역학적 원리와 특성을 공학적으로 추론하는 것이다(3장).

2. 화성 건설에 사용된 운반 도구와 수레

1) 조선의 운송용 수레

한반도 지형은 수레를 유통에 활용하기에 적합하지 않아 수레를 제작하고 운용하는 기술 수준이 낮았다. 많은 산맥 때문에 내륙 운송은 지형적인 장애물이 많아, 고려시대 이래 각 지방에서 상납하는 세곡稅穀과 공물貢物들은 주로 수로를 통해 수도로 운송되었다. 조선 후기 실학자들은 청나라의 우수한 수레 제도를 도입할 것을 적극적으로 주장하였다. 정약용은 『경세유표經世遺表』에서 수레가 없어서 상업이 흥하지 못한다고 보았다.

4) 『정리의궤』에 수록된 새로운 형태의 유형거는 누가 설계한 것인지 불분명하지만 화성 건설 현장에서 새롭게 제작된 것으로 추론하는 것이 합리적이다.

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여서 수운水運하기에 편리한
까닭에 예부터 수레는 없었다. 그러나 풍파에 침몰하기도 하며,
편하게 건너기가 극히 어렵고 채류하는 비용이 많아서 이익이 적
다. 그리하여 상업이 흥기되지 못하고 물화도 유통하지 못한다.⁵⁾

박제가는 『북학의北學議』에서 조선에서 사용하는 수레의 단점을 바
퀴가 작으면서, 수레의 폭이 너무 넓고 수레의 무게가 너무 무거워 빈
수레를 끄는데도 소가 쉽게 지친다고 지적하였다. 박제가는 한 마리의
소가 작은 수레 하나에 곡식 두 석(石, 1석=약 180리터)을 나를 수 있지만,
큰 수레에는 소 다섯 마리로 15석을 나를 수 있음을 들어, 큰 수레를 사
용하여 운송 효율을 높여야 한다고 주장하였다.⁶⁾

정약용은 전궐사典軌司라는 관청을 두어 중국의 수레 제작 기술을 적
극적으로 보급할 것을 제안하였다. 정약용은 수레를 규격화하여 적재
량이 일정해져야 운송·운임이 표준화될 것이라 보았다.

수레의 바퀴 사이를 같게 하는 것(車同軌)은 왕자의 큰 법제이다.
두 바퀴 사이가 넓기도 하고 좁기도 해서, 수레가 어떤 것은 크고
어떤 것은 작아서 싣는 짐의 무게도 다를 것이며, 따라서 그 값이
어떤 것은 많고 어떤 것은 적으며, 그 값도 높기도 혹은 낮기

5) 『經世遺表』 권2, 「典軌司」(『定本』 제24책, 156~159쪽). “我邦三面環海, 便於水運, 故自古無車. 然風濤覆沒, 利涉極艱, 險阻留滯, 費多而利少. 商旅不興, 食貨不通, 國瘠民貧, 皆無車之故也.”

6) 『北學議』 內編 車. “今車材太重, 空車而行, 已疲一牛, 又輿旁兩轂太遠, 虛地多而實功少, 然以大車五牛之力, 運十五石, 則比單牛馬, 各載兩石, 已獲三分一利矣.”

도 한데, 이런 천백 가지 병통이 모두 바퀴 사이가 같지 않은 데에서 일어나게 된다. 바퀴가 이미 같으면 수레의 크기가 같아지고, 싣는 짐의 무게도 같으며, 그 값과 그 값도 서로 같지 않음이 없게 된다.⁷⁾

정약용은 수레를 표준화한 다음에는 동시에 통행할 수 있는 수레를 기준으로 도로의 규격까지 정해 전국 단위 유통망을 확보하도록 제안하였다.

국도 안 경도는 바퀴 일곱 너비로 하고, 성문 밖의 길은 바퀴 다섯 너비로 하며, 교관郊關 밖 길은 바퀴 세 너비로 하여 12성에 통하도록 함이 마땅하다.⁸⁾

2) 화성 건설 현장에 사용된 운반 도구류

조선 후기 상업이나 유통 분야에서는 수레를 적극적으로 사용하지 않았지만, 화성 건설과 같은 대규모 건설 현장에서는 건설 자재 운송을 위한 다양한 수레들을 이용하였다.

수원 화성 건설 직후 편찬한 보고서인 『화성성역의궤』에는 유형거를 포함한 8종의 운송 장비들을 수량과 단가까지 정확하게 기록하였는데,

7) 『經世遺表』 권2, 「典軌司」(『定本』 제24책, 156~159쪽). “車同軌者, 王者之大法也. 兩軌之間, 或闊或狹, 則其車或大或小, 其任或重或輕, 其價或多或少, 其雇或上或下, 千病百痛, 皆自不同軌起也. 其軌既同, 則其車之大小同, 其任之輕重同, 其價其雇, 莫不相同.”

8) 『經世遺表』 권2, 「典軌司」(『定本』 제24책, 156~159쪽). “國中經塗七軌, 城門之外, 其塗五軌, 郊關之外, 其塗三軌, 以達于十二省.”

수레	양 (전체)		단가	조달 방법
유형거 游衡車	11량	1량	12냥	왕실에서 내려줌
		10량	14냥	
대차 大車	8량		60냥	역소에서 새로 만듦
별평차 別平車	17량		23냥	
평차 平車	76량	20량	8냥	잠연에서 사 옴
		10량	10냥	풍천에서 사 옴
		46량	25냥	역소에서 새로 만듦
동차 童車	192량		2냥 5전	
발차 發車	2량		9냥	
설마 雪馬	9량		14냥	
구판 駒板	8량		2냥	

〈표 2〉 화성 건설에 사용된 운송 장비의 가격과 조달 방법

별평차別平車를 제외한 7종은 도면까지 꼼꼼하게 수록하고 있다.⁹⁾

정약용이 설계한 유형거 한 량은 왕실에서 시제품으로 제작하여 내려보냈고, 화성 건설 현장에서 10량을 새롭게 제작하였다.¹⁰⁾ 다른 수레들 역시 잠연과 풍천에서 사들인 평차平車 30량을 제외하고는 모두 화

9) 『華城城役儀軌』, 冊 1, 「卷首, 圖說」.

10) 『華城城役儀軌』, 冊 1, 「卷首, 圖說」.

성 건설 현장에서 제작하였다.¹¹⁾ 『화성성역의궤』에는 제작 단가와 수량은 물론 조달 방법까지 꼼꼼하게 밝히고 있는데, 〈표 2〉는 화성 건설에 사용된 운반 도구와 수레들의 수량과 단가, 조달 방법을 정리한 것이다.

유형거 제작비 12냥은 매우 저렴한 비용이 아니다. 12냥은 상평통보 1,200개에 해당하고 이는 당시 화성 건설 현장의 일용직 노동자 48명을 하루 동안 고용할 수 있는 적지 않은 비용이다(김평원, 2017b).

① 구판駒板

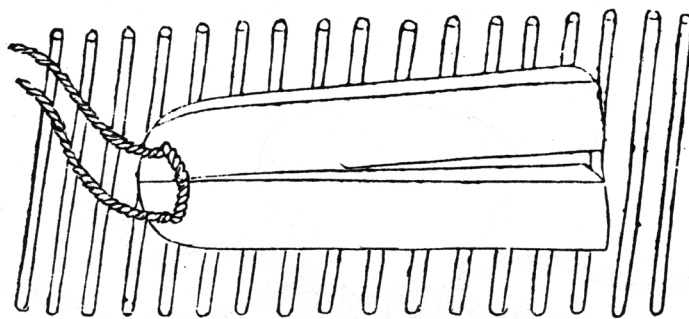
성벽 하단의 큰 돌은 매우 크고 무겁기 때문에 들어 올려 이동하기보다는 끌면서 옮길 수밖에 없었을 것이다. 『화성성역의궤』에는 구판 8좌, 설마 9좌가 사용되었다고 밝히고 있는데, 성벽 하단부 공사에만 제한적으로 사용되었음을 알 수 있다.¹²⁾ 구판은 등근 통나무인 산륜을 깔고 그 위에 짐을 올려놓고 운반하는 간단한 끌개 도구이다. 굴대에 해당하는 산륜을 계속해서 옮겨 끌어야 하므로 밧줄을 끄는 사람 외에도 여러 사람이 필요하다. 이 때문에 구판은 먼 곳으로 운반하는 수단이라기보다는 지정된 장소에서 짐을 일시적으로 이동하는 데 제한적으로 사용되었다. 〈그림 5〉는 『화성성역의궤』에 수록된 구판 도면이며, 〈그림 6〉은 한글본 『정리의궤』에 소개된 구판 도면이다. 둘은 정확하게 일치한다.

② 설마雪馬

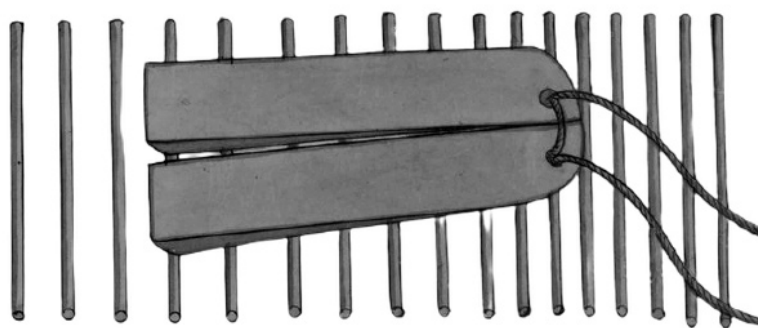
설마는 작은 물건들을 실어 나르는 끌개 도구이며 흔히 썰매라고 부

11) 『華城城役儀軌』, 冊 7, 「卷六, 財用上」.

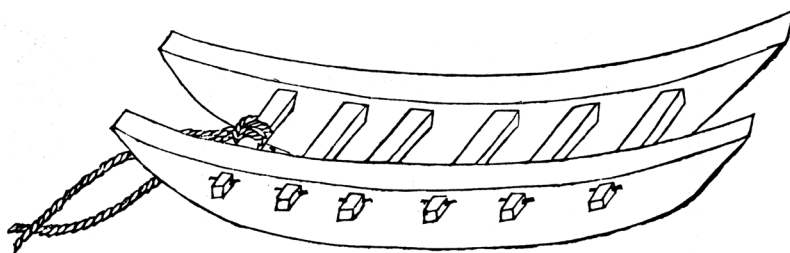
12) 『華城城役儀軌』, 冊 1, 「卷首, 圖說」.



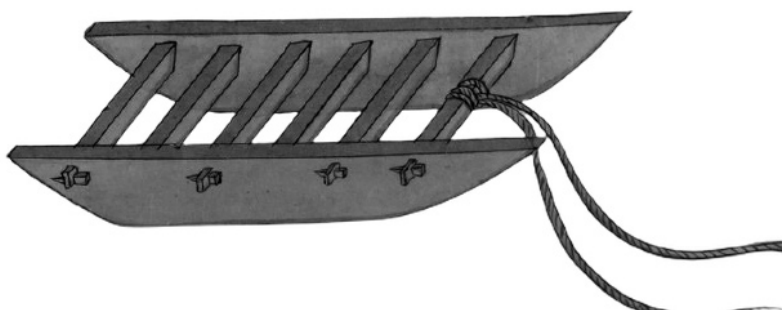
〈그림 5〉 『화성성역의궤』에 소개된 구판



〈그림 6〉 한글본 『정리의궤』에 소개된 구판



〈그림 7〉『화성성역의궤』에 소개된 설마



〈그림 8〉한글본 『정리의궤』에 소개된 설마

른다. 장애물을 쉽게 넘을 수 있도록 아래쪽을 둥글게 반달형으로 만들었으며, 가로대 위에 짐을 싣고 첫 번째 가로대에 밧줄을 묶어 사람의 힘으로 잡아당겨 끌게 된다. 간단하게 만들어 사용할 수 있는 운반 도구이지만, 지면과의 마찰력 때문에 힘이 많이 낭비된다. 〈그림 7〉은 『화성성역의궤』에 소개된 설마이며, 〈그림 8〉은 한글본 『정리의궤』에 소개된 설마이다. 『화성성역의궤』의 설마는 반달 형태의 프레임으로 묘사되어 있지만, 한글본 『정리의궤』에 소개된 설마는 사다리꼴 형태로 묘사되어 있다. 기능에는 큰 차이가 없으므로 동일한 것으로 간주해도 무리가 없다.

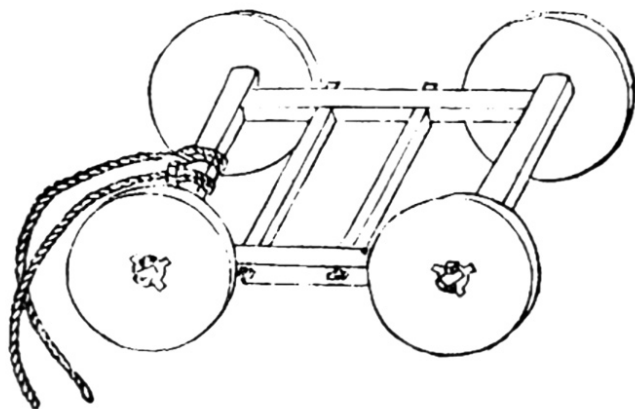
화성을 건설하기 전에 조정에서는 구판과 설마를 적극적으로 사용할 것을 논의하였으나, 정약용은 「성설」에서 설마의 문제점을 다음과 같이 지적하였다.

설마는 전체가 땅에 닿으므로 밀고 당기는 데 힘이 들고, 아무리 산륜散輪을 사용한다 해도 바퀴가 낮고 작으므로 구덩이를 만나면 빠지고, 돌출된 곳을 만나면 걸린다. 빙판氷阪이 아니라면 운할 수 없다.¹³⁾

③ 동차童車

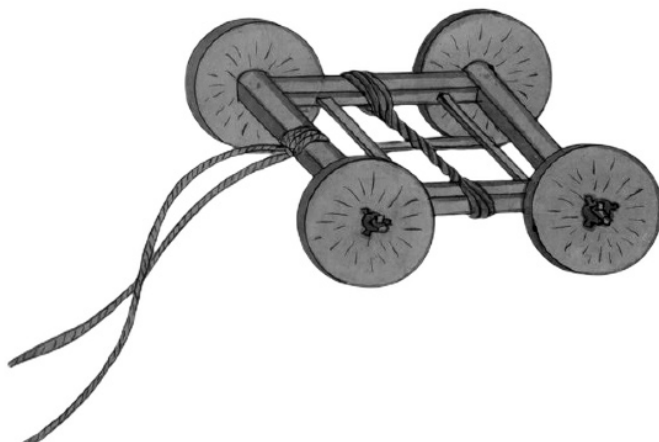
작은 크기의 돌은 사람들이 단기를 이용하여 직접 들고 나르거나, 동차를 활용하는 경우가 많다. 동차는 각목을 가로 세로로 연결하여 짐을 실을 수 있는 틀을 짜고 틀의 네 귀퉁이에 통나무로 만든 작은 바퀴를 달아 만들었기 때문에 수레보다는 운반 도구에 가깝다. 박제가는 『북학

13) 「城說」(『定本』 제2책, 220~227쪽). “雪馬全身至地, 推輓費力, 雖用散輪, 輪既庫小, 遇坎則陷, 遇突則礙, 苟非冰阪, 無以運行.”



童車

〈그림 9〉『화성성역의궤』에 소개된 동차



〈그림 10〉한글본 『정리의궤』에 소개된 동차

의『北學議』에서 동차의 문제점을 지적하였다.¹⁴⁾

바퀴는 높을수록 속도가 빠르다. 그런데 지금 사용되는 수레는 바퀴살이 없는 바퀴를 사용하고, 나무를 깎아 원형으로 만든 것이 마치 사발 크기만 하여, 이를 네 모퉁이에 장착하여 동차라고 부른다. 준천사에서는 두 사람이 들어 올릴 수 있는 돌을 동차에 싣고, 큰 소 한 마리를 매어 한 사람이 몰고 가지만, 바퀴가 작아 자주 도랑에 빠지므로 또 한 사람이 막대기로 들어올려야 한다. 이렇게 하여 만나절을 보내는데, 이처럼 하면 소 한 마리와 수레 한 대만으로도 충분히 할 수 있는 일을 오히려 더 힘들게 한다. 그래서 지금 사람들이 수레를 쓸모없다고 여기는 것도 당연하다.¹⁵⁾

동차는 앞뒤의 가로대에 밧줄을 묶고 사람이나 소가 끌면서 움직인다. 화성 축성을 위하여 새로 192대의 동차를 제작한 것으로 보아 화성 공사 현장에서 가장 많이 사용된 운반 도구였음을 알 수 있다. 『화성성역의궤』에 소개된 동차(그림 9)와 한글본 『정리의궤』에 소개된 동차(그림 10)를 비교하면 후자가 밧줄의 뒤틀림 장력을 활용하여 더 튼튼하게 보강되었음을 확인할 수 있다. 화성 건설 후에 거의 모든 동차가 파손된 것으로 보아 통나무 바퀴 수레의 한계는 분명하다.

14) 『北學議』內編 車에서는 ‘東車’로 표기하였으나, 내용을 분석하면 ‘童車’를 잘못 표기한 것으로 보인다.

15) 『北學議』內編 車. “凡輪, 愈高愈疾. 今無幅之輪, 以木磨圓, 如碗口大, 駕於四隅, 名曰東車. 嘗見濬川司, 運二夫可舉之石於東車, 駕一大牛, 一人驅之. 輪小, 數陷於溝, 又一人持棒夾舉之, 喧闐半日, 若是則多此一車與一牛也. 今人之謂車無利也亦宜.”

3) 화성 건설 현장에 사용된 수레류

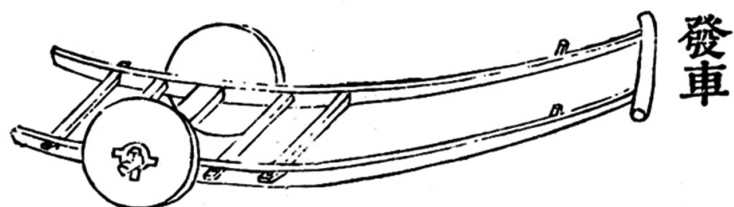
① 발차發車

발차는 소 한 마리가 끌 수 있도록 만든 작은 수레이다. 작은 돌이나 목재, 석회, 벽돌, 흙과 같은 건축 자재를 실어 나르게 되는데, 화성 건설 현장에서는 단 두 대밖에 사용되지 않았다. 발차의 바퀴는 동차와 마찬가지로 바퀴살이 없고 통나무로 만들었기 때문에 운반 도구 수준을 간신히 벗어난 원시적인 수준의 수레에 불과하다. 『화성성역의궤』(그림 11)와 한글본『정리의궤』에 소개된 발차의 그림(그림 12)은 정확하게 일치한다.

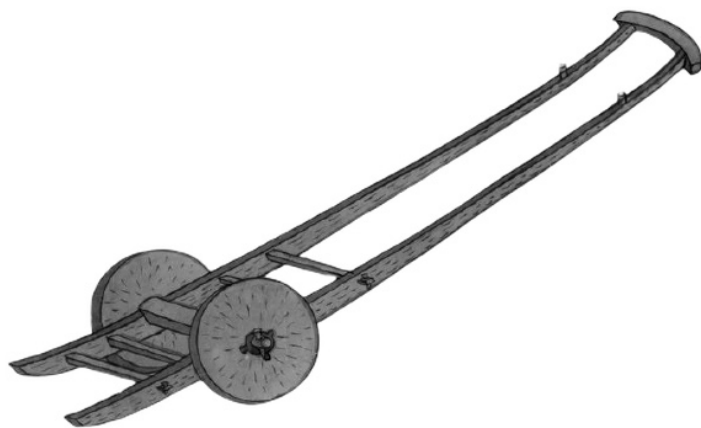
② 대차大車

대차는 청나라에서 제작한 것과 조선에서 제작한 것이 다르다. 청나라에서 사용한 대차는 소 5~6마리가 끄는 정도의 크기이지만 조선 후기 화성 건설 현장에서 제작한 대차는 무려 소 40여 마리가 끌어야 하는 초대형 수레이다. 박제가는 청나라에서 대차를 직접 보고 『북학의』에 다음과 같이 꼼꼼하게 묘사하였다.

화물을 운반하는 수레를 대차라고 하며, 바퀴의 높이는 같지만 약간 더 두껍다. 화물을 다 싣고 나면, 위에 갈대밭을 덮어 배의 지붕처럼 씌운다. 그 안에서 앉거나 누울 수 있으며, 보통 다섯에서 여섯 마리의 말을 연결해 수레를 끈다. 또한 피곤해진 말을 쉬게 하기 위해 여분의 말을 뒤에 묶어 놓는다. 마부는 낚시줄처럼 긴 채찍을 손에 들고, 말을 다루기 위해 힘들이지 않고 채찍질을



〈그림 11〉『화성성역의궤』에 소개된 발차



〈그림 12〉한글본 『정리의궤』에 소개된 발차

한다. 채찍은 말의 귀나 옆구리에 닿으며, 뜻대로 말을 잘 듣게 한다. 그 소리는 골짜기를 울릴 정도로 크며, 수레 옆에는 방울이 달려 있고, 말의 목에는 작은 종들이 무수히 달려 있어 밤에 경고음 역할을 한다. 이 수레들은 산서山西의 상인들이 국경을 넘을 때 사용한다.¹⁶⁾

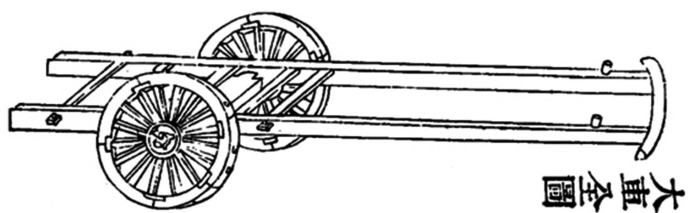
화성 공사 현장에서 새롭게 제작한 대차 8량은 커다란 돌이나 원목 등 아주 무거운 짐을 운반할 때 사용하는 초대형 수레이다. 화성 공사 때는 선단석, 홍예석, 마루판자, 장대석, 기둥 등 가장 큰 돌들과 대형 목재를 운반하는 데 사용하였다. 대차는 바퀴가 크기 때문에 운송 속도는 매우 빠르지만, 물건을 싣기에 불편하고, 복잡한 바퀴살 등 수레를 만드는 데 비용이 많이 들기 때문에, 흔히 사용하는 수레는 아니다(그림 13).

대차의 바퀴는 지름이 크기 때문에, 한 바퀴 회전할 때 그만큼 더 멀리 갈 수 있다. 『화성성역의궤』에 수록된 대차 분도에 따르면 대차는 축, 바퀴, 여의 세 개 모듈로 구성되어 있다(그림 14).

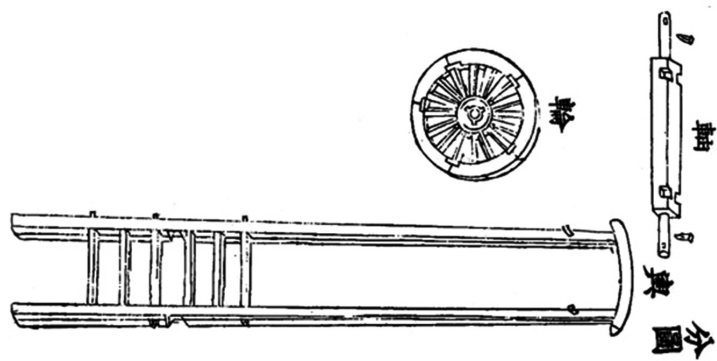
정약용은 「성설」에서 대차의 문제점을 다음과 같이 지적하고 있다.

대차는 바퀴가 너무 높아서 돌 싣기가 어렵고, 폭幅은 약하여 부서지거나 뒤집히기 쉬우며, 또 비용이 많이 들기 때문에 많이 만

16) 『北學議』內編 車, “載車謂之大車, 輪高同而稍肥, 載物訖, 上以蘆簾撐覆如船篷, 坐臥其中, 率駕五六馬, 或繫餘馬於後, 以間歇其疲者, 御者手把長鞭如釣絲, 打馬之不用力者, 中耳中脅, 無不如意, 其聲震谷, 車旁懸鐸, 馬項夾小鈴無數, 以警夜, 郎當而過之, 皆山西商賈之出關者.”



〈그림 13〉 『화성성역의궤』에 소개된 대차 전도



〈그림 14〉 『화성성역의궤』에 소개된 대차 분도

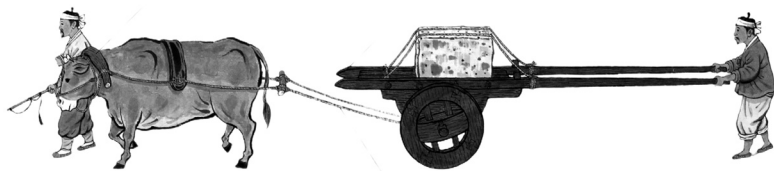
들 수 없다.¹⁷⁾

박제가와 정약용은 바퀴가 큰 수레의 문제점을 지적하였으나 바퀴가 클수록 유리한 점도 있다. 첫째, 지면과의 저항을 감소시킬 수 있다. 큰 바퀴는 작은 바퀴에 비해 지면과의 접촉 면적이 더 넓어, 장애물을 넘을 때 지면과의 저항이 줄어든다. 둘째, 충격을 완화시킬 수 있다. 큰 바퀴는 도로의 요철이나 작은 장애물로부터 오는 충격을 더 잘 흡수한다. 이는 운송 물품의 보호에 도움이 되고, 수레를 끄는 동물이나 차량에 가해지는 부담을 줄일 수 있다. 셋째, 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다. 바퀴의 크기가 클수록 회전 한 번에 더 많은 거리를 이동할 수 있다. 이는 같은 회전수로 더 먼 거리를 이동할 수 있음을 의미한다. 넷째, 운송 속도를 증가시킬 수 있다. 큰 바퀴는 동일한 속도로 회전할 때 더 빠르게 이동할 수 있다. 다섯째, 지나치게 부드럽거나 험한 지형에서 유리하다. 큰 바퀴는 모래, 진흙, 눈 등 부드러운 지형에서도 더 잘 굴러가며, 바퀴가 지면에 파묻힐 위험이 줄어든다. 험한 지형에서도 더 쉽게 넘어갈 수 있다. 여섯째, 회전축과의 마찰을 줄일 수 있다. 큰 바퀴는 회전시 축과의 마찰이 상대적으로 적다. 이는 수레를 끄는 동물이나 사람의 힘을 덜 소모하게 한다.

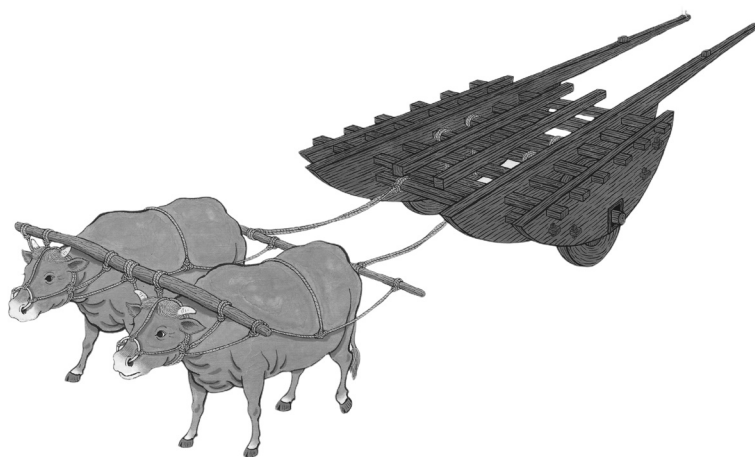
③ 유형거

유형거는 정약용이 바퀴가 큰 대차와 바퀴가 없는 설마의 문제점을 지적하고 그 대안으로 제시한 수레이다. 유형거는 수레에 짐을 싣기 어

17) 「城說」(『定本』 제2책, 220~227쪽). “然大車其輪已崇, 載石既艱, 其幅又弱, 摧敗則易, 兼且費鉅, 不可多造.”



〈그림 15〉 원형 유형거 사용 장면(출처: 필자)



〈그림 16〉 개량 유형거 사용 장면(출처: 필자)

려운 문제를 극복하기 위해, 수레 자체를 지레로 활용할 수 있도록 수레 높이를 높였으며, 폭을 좁혀 수레 자체가 흔들리도록 설계하였다(김평원, 2017b).¹⁸⁾ 반달 형태의 복토는 바퀴 축과 수레 상단까지의 거리를 최대한 높이기 위한 판자이다. 〈그림 15〉는 반달형 복토를 장착한 원형 유형거를 묘사한 것이다.

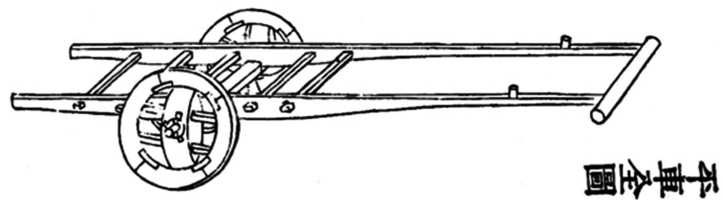
2016년 한글본 『정리의궤』가 발견됨에 따라 정약용이 설계한 원형 유형거는 화성 건설 현장에서 새로운 형태로 개량되었음을 확인할 수 있다. 화성 건설 현장에서는 우리가 알고 있었던 유형거가 아닌, 현장에서 〈그림 16〉과 같이 개량된 비파형 복토가 장착된 유형거가 사용되었다.

④ 평차平車

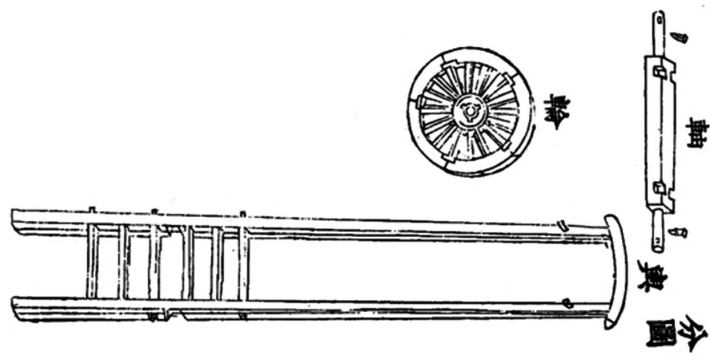
평차는 중간 크기의 돌이나 누각 기둥 따위의 목재를 실어 나르는 수레이다. 보통 소 열 마리가 끌지만, 짐의 양이나 도로 상황에 따라 네다섯 마리로도 끌 수 있었다. 평차는 대차와 바퀴 모양과 구조가 동일하며 단지 크기만 줄인 것이다.

『화성성역의궤』 권수 도설 편에 소개된 평차는 기존에 쓰던 평차가 아니라, 화성을 건설하면서 새롭게 제작한 평차 46량으로 추정된다. 정약용이 「성설」에서 소개한 유형거 바퀴를 활용하였기 때문이다. 화성 건설 현장에서 제작한 평차는 유형거와 마찬가지로 짐을 싣는 부분과 바퀴의 연결 부위에 반원형 목재인 복토를 추가하였고, 바퀴는 바퀴살을 대폭 줄여 간단하게 개량하였다. 화성에서 제작한 평차는 기존 대차와 유형거를 절충한 형태로 평가할 수 있다.

18) 유형游衡이란 ‘흔들거리는 저울대’라는 의미로 결국 유형거는 ‘흔들거리는 저울과 같은 수레’이다.



〈그림 17〉『화성성역의궤』에 소개된 평차(전도)



〈그림 18〉『화성성역의궤』에 소개된 평차(분도)

전술한 바와 같이 『화성성역의궤』의 평차 도면과 『정리의궤』에 수록된 평차 도면의 바퀴 형태가 전혀 다른데, 한글본 『정리의궤』에 수록된 평차는 잠연과 풍천에서 사들인 중고 평차 30량으로 추정된다. 이는 화성 건설 현장에 사용한 평차 30량은 기존에 사용하던 평차를 사들인 것이고, 46량은 새로 제작했다는 『화성성역의궤』 기록을 통해 추정할 수 있다.¹⁹⁾

『화성성역의궤』에 별평차別平車라고 지칭한 수레의 도면이 따로 없는 것으로 보아, 이를 별평차로 볼 수도 있지만 ‘별別’자를 생략할 뚜렷한 이유가 없기 때문에, 정약용의 원형 유형거를 참조하여 기존에 사용하던 평차를 개선한 것으로 추정하는 것이 타당하다. 정약용은 정자형 유형거 바퀴의 형태와 재료 및 제작 방법에 대해 「성설」에서 상세하게 설명했기 때문에 『화성성역의궤』에 소개된 평차의 바퀴 역시 정약용이 설계한 유형거 바퀴를 적용한 것임을 확인할 수 있다는 점도 이러한 추정을 뒷받침한다.

3. 유형거의 공학적 특성 분석

1) 원형 유형거 설계에 반영된 공학적 사고

공학적 사고(engineering thinking)는 공학자들이 문제를 해결하기 위해 활용하는 전략으로 과제를 분석한 후 설계하고 이를 검증하여 문제를 해결하는 과정에 필요한 사고력이다. 공학자는 기존의 통념을 뒤

19) 『華城城役儀軌』, 冊 7, 「卷六, 財用上」.

집은 역발상과 같은 창의적인 사고를 토대로 경제성을 냉정하게 판단하여 주어진 조건을 합리적으로 절충하면서, 복잡한 것을 단순화하고 모듈화하면서 최적화를 추구하고 있다(김평원, 2024).

정약용이 설계한 한강 배다리, 수원 화성, 거중기, 유형거에도 역발상, 경제성 판단, 절충, 단순화, 모듈화, 최적화와 같은 공학적 사고 요소가 반영되어 있다. 유형거에 반영된 여섯 가지 공학적 요소를 정리하면 다음과 같다.

요소	개념
역발상	일반적인 통념을 뒤집는 창의적 사고
경제성 판단	재물, 자원, 노력, 시간 따위가 적게 들면서도 이득이 되도록 판단
절충	서로 다른 사물이나 의견, 관점 따위를 알맞게 조절하여 서로 잘 어울리게 함
단순화	중요한 특성을 결정한 후, 중요하지 않은 세부 요소들을 제거하는 것
모듈화	개별 단품들을 차체에 직접 장착하지 않고 몇 개의 관련된 부품들을 하나의 덩어리로 생산해 장착하는 방식
최적화	판단의 기준을 근거로 어떤 하나(또는 그 이상)의 대안을 다른 대안보다 더 바람직한 최선의 대안으로 선택하는 것

〈표 3〉 공학적 사고 요소(김평원, 2024)

① 역발상

공학자는 일반적인 통념과는 다른 방식으로 접근하여 문제를 해결한다. 정약용이 발명한 수레인 유형거는 무게 중심이 낮고 폭이 넓어야 한다는 수레의 상식을 깨고, 복토라는 반원형의 목재를 통해 짐을 싣는 부

분을 의도적으로 높이고, 폭을 좁혀 오히려 수레가 흔들리도록 설계하였다(김평원, 2024).

축軸 위에 복토를 세우는 까닭은 첫째, 수레의 높이를 높게 해서 수레 위에 신는 짐이 바퀴보다 높게 실리게 하기 위해서이며,【바퀴 전체의 지름이 3척 5촌이므로 수레의 높이가 합해서 3척 7촌 5푼이 된다.】둘째, 유형游衡(저울대처럼 앞뒤로 높낮이를 마음대로 함)의 작용을 이용하여 앞과 뒤를 서로 높게 들 수도 있고 낮게 숙일 수도 있게 하기 위함이다.²⁰⁾

② 경제성 판단

공학자는 감당할 수 있는 비용 내에서 문제를 해결하고자 노력한다. 재물, 자원, 노력, 시간이 적게 들면서도 이득이 되도록 판단하고 비용 대비 효과를 냉철하게 분석해야 한다. 정약용은 비용 대비 효과를 냉철하게 분석하여 대차를 보완할 수 있는 유형거를 개발하였다(김평원, 2024).

수레(유형거) 한 대에 소 두 마리가 끌고 몇 사람이 밀면 갈 수가 있는데, 그 공사에 있어서 성의 한 층을 한 바퀴 쌓는 데 필요한 돌이 3천 6백 수레라면, 아홉 층을 쌓는 데 필요한 양은 3만 2천 4백 수레가 된다. 이제 70대의 수레로 매일 세 차례씩 돌을 운반

20) 「城說」(『定本』 제2책, 220~227쪽). “軸上之豎伏兔者, 一爲增車之崇, 使輿載高出輪上也. 【輪全徑三尺五寸, 而車之崇, 合爲三尺七寸五分.】 一爲游衡之用, 使前後迭相軒輊也. 輿股之前短後長者, 欲其如衡載物, 隨意游弄也.”

搬할 경우 1백 54일이면 모두 운반할 수가 있다.²¹⁾

③ 절충

공학자는 서로 다른 사물이나 의견, 관점 따위를 잘 어울리게 합리적으로 절충한다. 정약용이 수레의 폭을 좁힌 후 바퀴보다 높은 위치에 짐을 싣는 불안정한 구조의 유형거를 개발한 이유는 유형거가 돌을 수레에 적재하는 기능과 돌을 나르는 기능을 합리적으로 절충한 다목적 운반 차량이었기 때문이다(김평원, 2024).

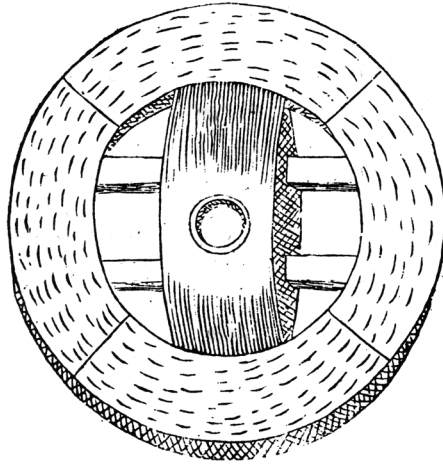
수레의 다리를 앞은 짧게 하고 뒤는 길게 하는 것은, 저울대처럼 물건을 싣을 때 마음대로 움직일 수 있도록 하기 위함이며, 두 다리의 간격을 좁게 하는 것은, 힘쓰기에 편리해서 힘을 적게 들이고도 능히 물건의 무게를 감당해 낼 수 있도록 하려는 것입니다.²²⁾

④ 단순화

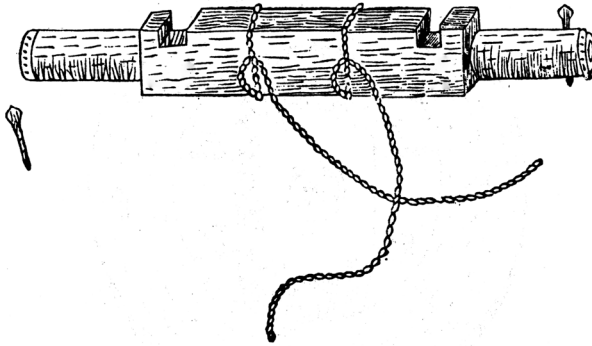
공학자는 중요한 특성을 결정한 후에는 중요하지 않은 세부 요소들을 줄여 간단하게 만들려고 노력한다. 정약용은 유형거를 최대한 간단하게 제작하여 유지 보수비를 낮추었다. 구성 요소를 최대한 간단하게 제작할 경우 제작비는 물론 유지 보수비도 낮출 수 있다. 정약용이 설

21) 「城說」(『定本』 제2책, 220~227쪽). “每一車兩牛輓之, 數夫推之, 可以行矣, 若其工役, 則城一周一層, 約入石三千六百車, 卽九層所需, 爲三萬二千四百車. 今車七十輛, 每一日三次運石, 則計一百五十四日零. 可以畢輸矣.”

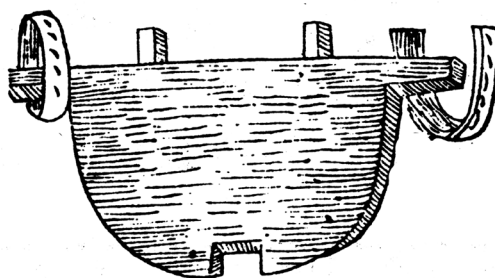
22) 「城說」(『定本』 제2책, 220~227쪽). “輿股之前短後長者, 欲其如衡載物, 隨意游弄也. 股兩間, 相距之窄者, 欲其力專而能勝任也.”



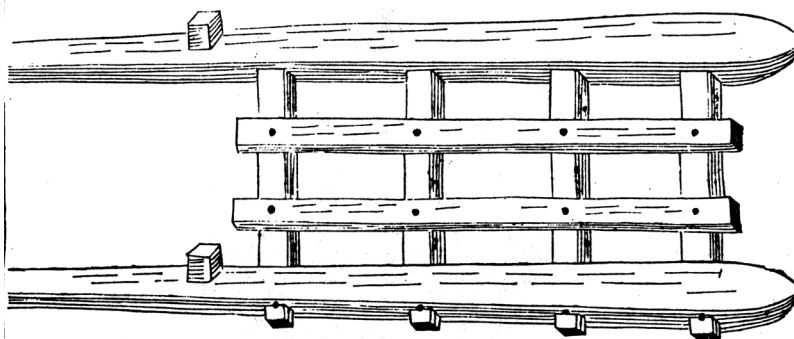
정자井字 형태의 운輪 = 바퀴



바퀴 축 = 굴대



복토伏兔



여輿 = 차상

〈그림 19〉 유형거를 구성하는 단순화된 모듈

제한 유형거 바퀴는 바퀴살이 정자형 패턴이라서 제작하기 쉽다(김평원, 2024).

⑤ 모듈화

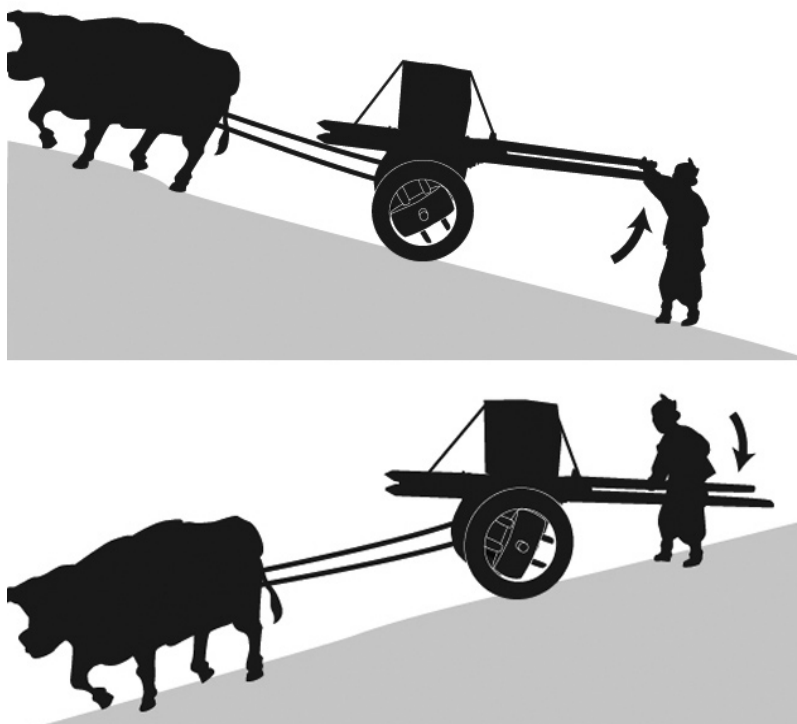
공학자는 유사한 기능을 묶어 하나의 덩어리로 설계하는 모듈화(modulization) 방식으로 문제를 해결한다. 정약용은 쉽게 결합하고 해체할 수 있도록 유형거의 주요 부품을 모듈로 제작하여 부품 수를 줄였다. 유형거는 모두 네 개의 모듈로 구성되어 있는데 불필요한 부품을 과감히 없애 12냥으로 한 대를 제작할 수 있도록 설계하였다(김평원, 2024).

⑥ 최적화

공학자는 주어진 조건 안에서 자원 또는 비용의 효율성을 추구하기 위해 최적화(optimization) 설계를 실천한다. 최적화는 판단의 기준을 정한 후 어떤 하나(또는 그 이상)의 대안이 다른 대안보다 더 바람직한지 평가한 후 최선의 대안을 선택하는 것이다(김평원, 2024).

유형거는 수레에 짐을 적재할 때와 이동할 때 직면할 수 있는 다양한 상황에 맞게 최적화되었다. 유형거의 완충 시스템은 유형거를 운용하는 사람이 노면 상황에 따라 변화하는 수레의 무게 중심을 판단하여 손잡이를 조정한다는 점에서 자동차공학에서 말하는 최적화된 액티브 서스펜션(active suspension)을 구현하고 있다.²³⁾ 유형거는 액티브 서스펜션 제어와 더불어 완충 장치를 구현하는 힘도 사람의 손잡이 조작에

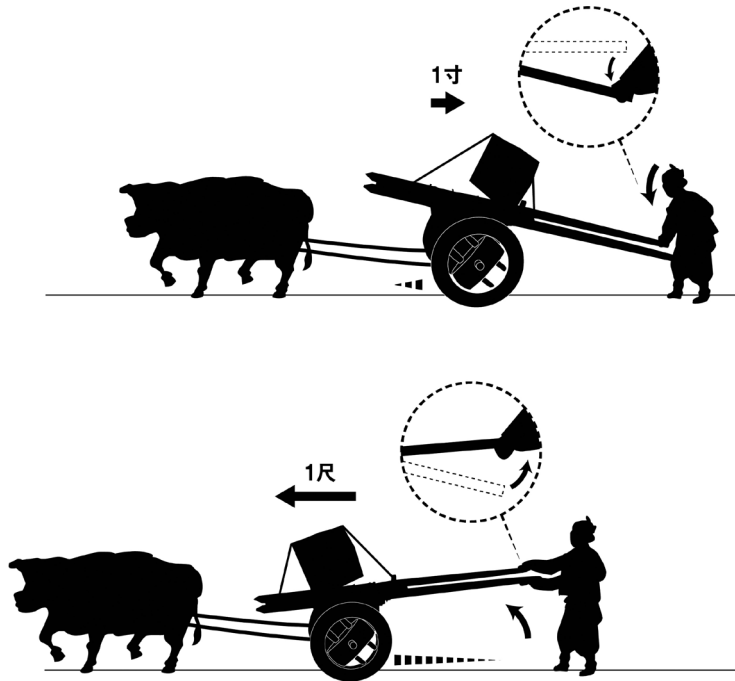
23) 액티브 서스펜션은 외부의 진동을 차체에 설치된 센서로 감지하여, 진동을 억제할 수 있는 힘의 크기와 방향을 계산한 후, 진동과는 반대의 힘을 발생시켜 자동차 완충 장치를 구성하는 용수철이나 쇼크 업서버의 공기압을 조절하는 것이다.



〈그림 20〉 유형거의 안티 피칭 제어(Anti-pitching control)

의존하고 있다.

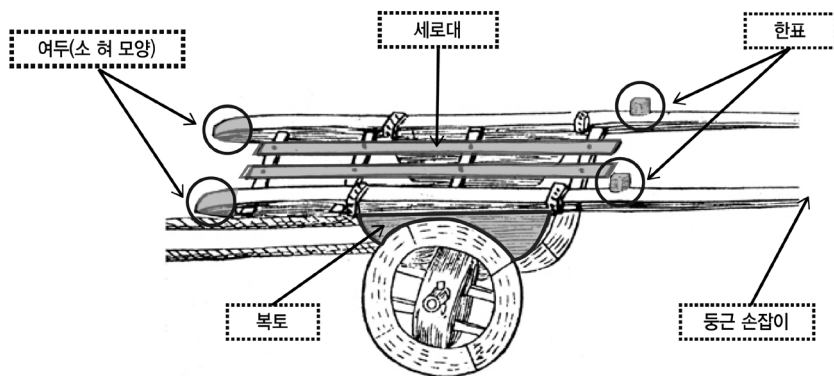
유형거의 가장 중요한 공학적 특징은 펌핑(pumping)으로 보조 동력을 발생시켜 짐을 이동하는 동안 힘에서 이득을 볼 수 있도록 최적화한 것이다. 정약용의 설명에 따르면 유형거가 달리면 돌이 차상 가로대 위에서 앞뒤로 움직여 수레가 조금 물러섰다가 그보다 훨씬 많이 앞으로 나가게 된다. 1보(1寸) 후퇴 후 10보(1尺) 전진하는 셈이다. 유형거는 수레 손잡이를 들어 올려 정지 마찰력을 극복하고 빗면을 타고 흘러내린 돌이 가속도 운동을 하면서 수레의 운동 방향에 에너지를 더



〈그림 21〉 보조 동력 생성을 위한 유형거의 펌핑

해주는 외력(external force)으로 작용한다. 이때 1자(1尺=약 30cm) 정도의 추진력을 얻는다. 돌을 다시 원위치로 돌리기 위해 수레 손잡이를 내려 다시 빗면을 타고 흘러내리게 하는데 이 힘은 전진하는 수레의 반 작용에 해당하며 수레는 1치(1寸=약 3cm) 정도 뒤로 밀리게 된다(김평원, 2017b).²⁴⁾

24) 「城說」(『定本』 제2책, 220~227쪽). “縱木圓滑, 石流至限, 酒整酒縛. 爰策我犍, 後勢既重, 伏免仰臥, 蹴輪前輶, 機激奮迅, 且擎且抑, 寸蹠尺進. 蓋其重心, 倏前倏後, 常欲得平.”



〈그림 22〉 원형 유형거의 구조

2) 개량 유형거 설계에 반영된 공학적 사고

① 하중 분산 개선

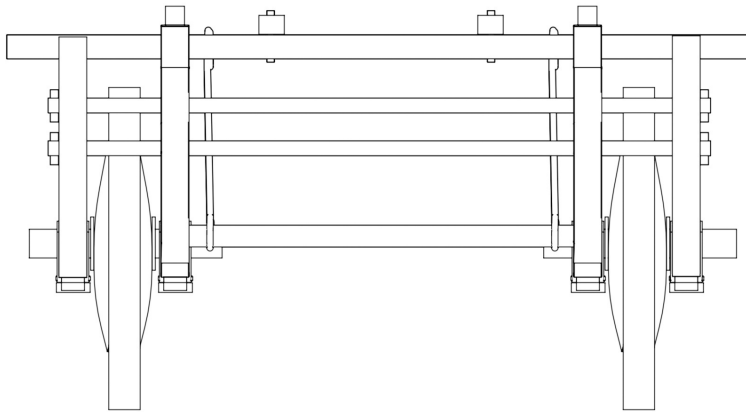
왕실에서 제작하여 보낸 정약용이 설계한 원형 유형거와 화성 건설 현장에서 개량된 유형거는 가로대, 복토, 바퀴 축의 개수에 큰 차이가 있다. 원형 유형거의 가로대는 네 개이며, 복토는 두 개이며, 바퀴 축은 하나뿐이다.

개량 유형거의 가로대는 여섯 개로 보강되었으며, 복토 역시 네 개로 보강되었다. 바퀴 축은 하나가 아니라 두 개로 각각 분리되었다. 정확한 수치는 파악할 수 없지만 원형 유형거보다 크기가 약간 더 컸음을 확인할 수 있다.

부품	원형 유형거	개량 유형거
가로대	4개	6개
복토의 개수	2개	4개
바퀴 축	1개	2개

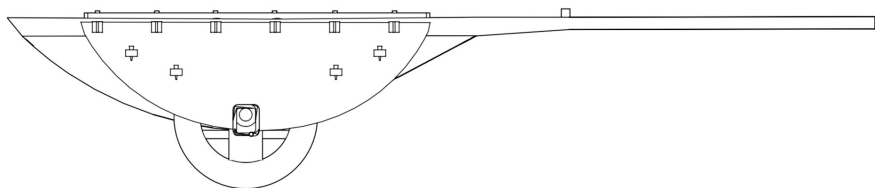
〈표 4〉 원형 유형거와 개량 유형거의 구조 비교

정약용이 『성설』에서 12냥으로 언급했던 유형거 제작비가 『화성성역의궤』에서는 14냥으로 정산되어 2냥 증가한 이유도 바로 복토와 가로대가 증가했기 때문으로 추정된다.²⁵⁾ 바퀴 축이 두 개로 분산된 개량 유

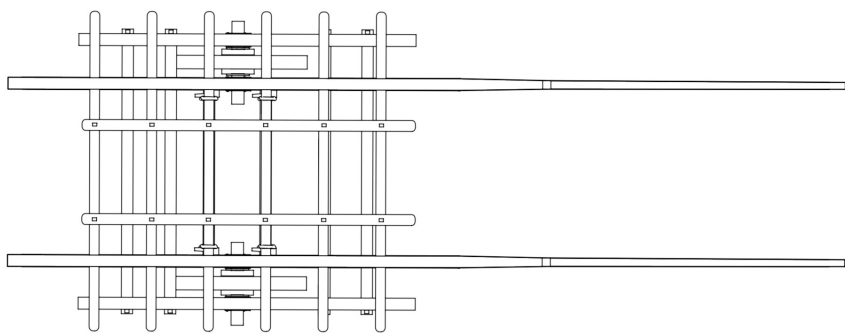


〈그림 23〉 개량 유형거 정면도

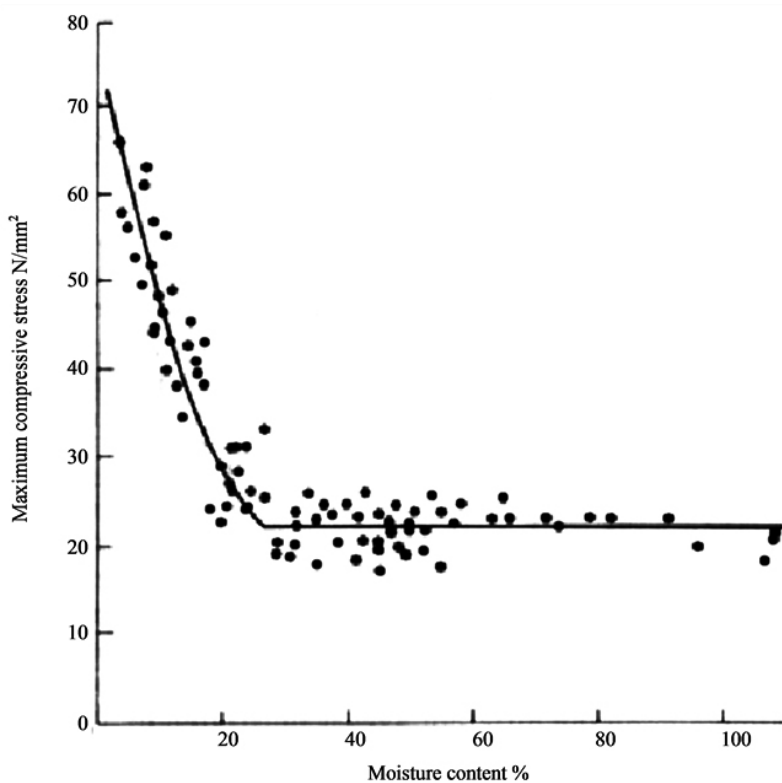
25) 『화성성역의궤』에 소개된 건설 장비들은 권수 도설편에서 다루고 있지만, 유형거만큼은 정조가 발표한 「어제성화주략」 편에서 다루고 있다. 이는 정약용이 『성설』을 지을 시점에, 이미 유형거 시제품(이하 원형 유형거) 개발이 끝난 상태였기 때문이다. 원형 유형거의 제작비를 12냥으로 정확하게 언급했다는 사실도 이를 뒷받침한다.



〈그림 24〉 개량 유형거 측면도



〈그림 25〉 개량 유형거 평면도

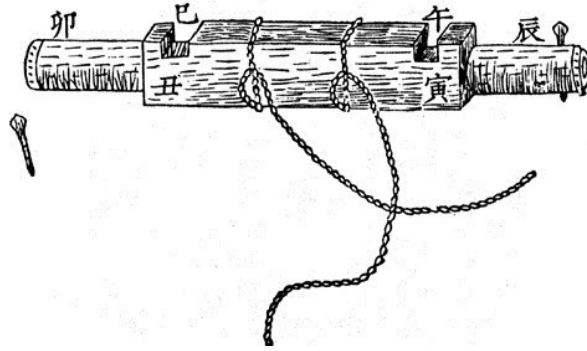


〈그림 26〉 목재의 수분 함량과 최대 압축 강도

형거는 바퀴 축이 하나밖에 없는 기존 유형거에 비해 바퀴 축(굴대)에 가해지는 하중이 더 적다. 복토 네 개로 하중을 분산하는 개량 유형거가 두 개로 하중을 분산하는 기존 유형거보다 복토가 부담하는 하중이 더 적기 때문이다.

목재는 무거운 짐이 누르는 압력을 견디는 힘인 압축 강도가 중요하다. 목재에 압축하는 힘이 작용하면 목재 내부에서는 이에 대한 저항력이 생기는데, 내부 응력이 목재 분자 간 응집력보다 크면 목재는 파괴된

軸

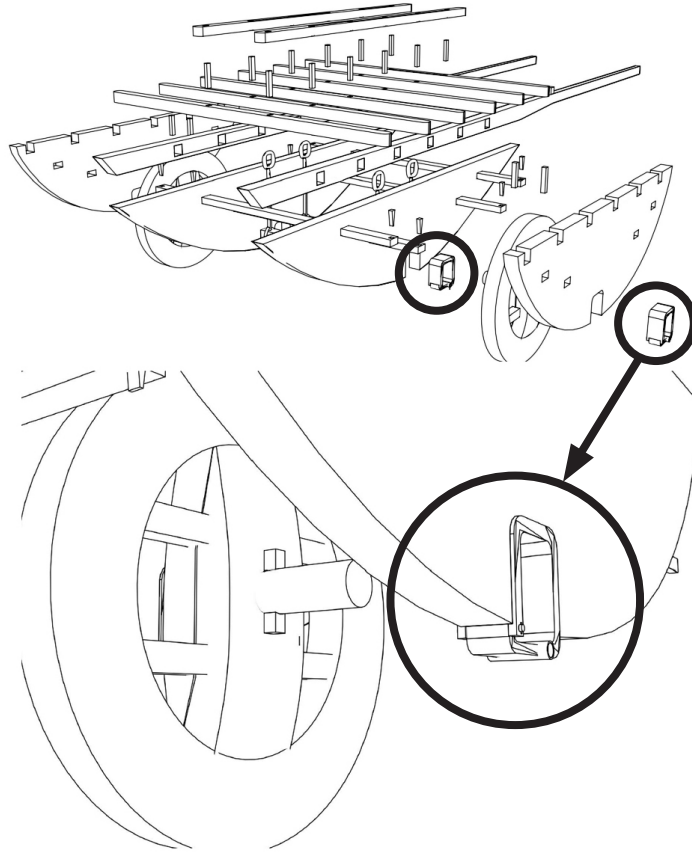


〈그림 27〉 원형 유형거의 바퀴 축

다. 목재의 압축 강도는 목재가 포함하고 있는 수분에 큰 영향을 받는다 (그림 26). 원형 유형거와 개량 유형거 모두 목재를 기본 구조로 활용하기 때문에 함수율 20% 이하로 충분히 말려서 사용해야 한다.

② 바퀴 축의 피로 파괴 요인을 개선

원형 유형거는 하나의 목재 바퀴 축으로 제작되어 끝에서 바퀴와 마찰이 발생한다. 주행 중에 선회하거나 노면이 울퉁불퉁할 때 좌우 바퀴에 생기는 회전차로 인한 비틀림 토크(torsion stress)를 견디어야 한다. 또 소가 당기는 밧줄을 바퀴 축에 연결하기 때문에 하중의 대부분도 바퀴 축에 집중될 수밖에 없다. 이 때문에 바퀴 축은 원형 유형거에서 가장 취약한 모듈이다.



〈그림 28〉 개량 유형거의 바퀴 축 쇠고리

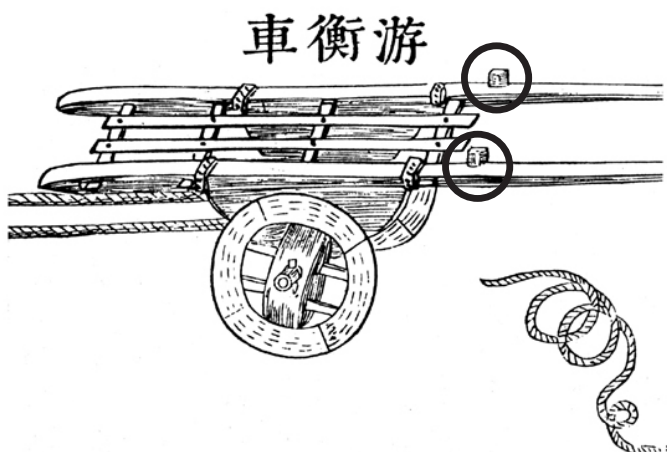
끌어당기는 줄(索)을 축軸에다 매는 것은, 수레가 손(手)의 움직임에 따라 들려지고 숙어지는 것이, 수레 채에다 멍에를 맬 때처럼 마음대로 잘 되지 않는 것과는 다르게 하기 위한 것입니다.²⁶⁾

26) 「城說」(『定本』 제2책, 220~227쪽). “輓索之繫軸者, 欲與之隨手俯昂, 不似輶輶之強項也.”

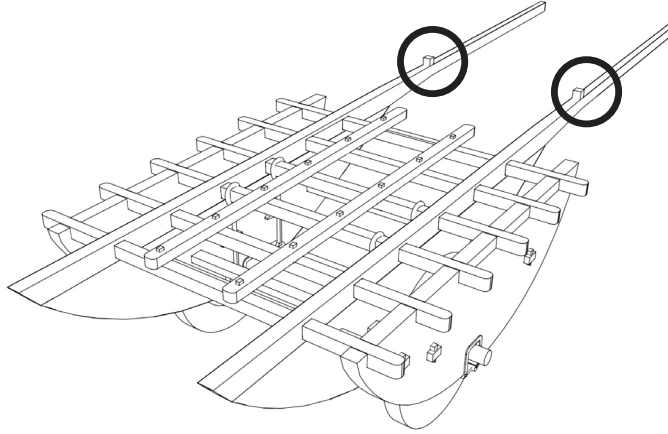
개량 유형거는 원형 유형거의 바퀴 모듈을 대폭 변화시켰다. 바퀴별로 바퀴 축을 따로 분리하여 두 바퀴의 회전 차이로 발생하는 문제를 최소화하였다. 비록 기어를 활용한 차동 장치差動裝置까지는 아니지만 바퀴 축에 가해지는 비틀림 토크를 분산할 수 있다. 더불어 베어링 수준은 아니지만 바퀴 축과 복토의 접촉 부위는 금속 재질로 보완하여 마찰력을 줄일 수 있도록 개선되었다.

③ 펌핑 강화

원형 유형거의 한표는 손잡이에서 먼 곳, 즉 짐을 싣는 위치와 인접한 곳에 위치하였으나, 개량 유형거는 손잡이 쪽에 가까운 곳에 위치하여 짐이 흘러내리는 거리를 증가시켰다. 이는 펌핑을 극대화시켜 토크를 더 크게 높일 수 있다.



〈그림 29〉 원형 유형거의 한표



〈그림 30〉 개량 유형거의 한표

짐이 미끄러져 한표에 부딪힐 때까지 짐이 미끄러지는 거리와 기울어진 각도에 따라 짐이 한표에 가하는 속도에는 차이가 있다. 원형 유형거보다는 개량 유형거의 짐이 미끄러지는 거리(s)가 길고, 기울이는 각도(θ)가 크기 때문에 펌핑 효과는 더욱 클 수밖에 없다.

m_A = 수레의 질량

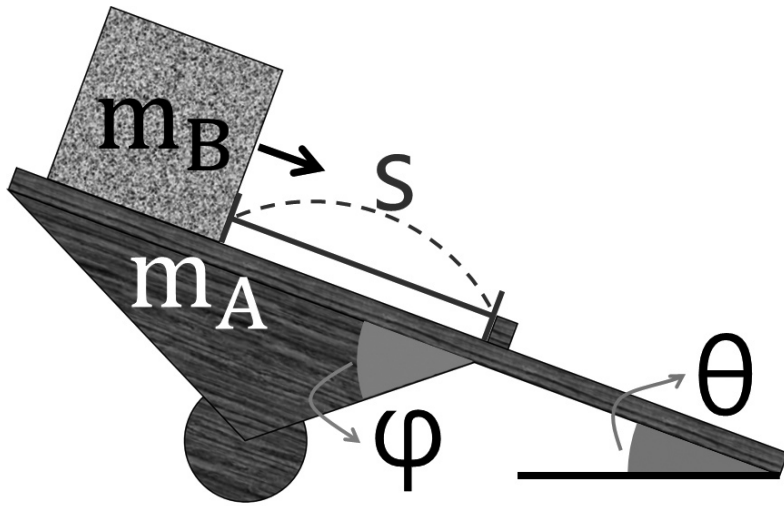
m_B = 짐의 질량

θ = 기울이는 각도

φ = 빗면-한표(여두)-바퀴 축이 이루는 각도

s = 짐이 미끄러지는 거리

g = 중력가속도(9.8m/s^2)



〈그림 31〉 유형거의 펌핑 속도 계산을 위한 가정

미끄러지는 동안 수레의 가속도

$$a_A = -\frac{m_B g \cos \theta \sin \theta}{m_A + m_B \sin^2 \theta}$$

미끄러지는 동안 짐의 가속도

$$a_B = \frac{(m_A + m_B) g \sin \theta}{m_A + m_B \sin^2 \theta}$$

충돌 직전 수레에 대한 짐의 속도

$$v_B = \sqrt{2a_B s}$$

짐이 미끄러지는 시간

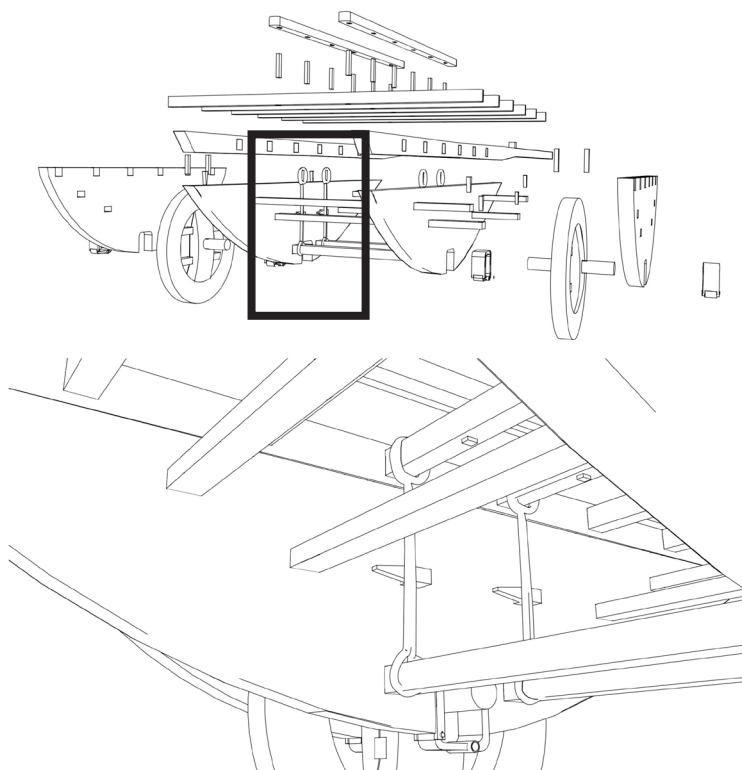
$$t = \frac{v_B}{a_B}$$

충돌할 때 짐이 수레에 가하는 충격량

$$I = m_B v_B \cos \theta \cos(\theta - \phi)$$

④ 진동 감쇄

원형 유형거는 복토와 차상이 짜맞춤으로 결합되어 상하 진동 감쇄를 위한 장치가 전혀 없었으나, 개량 유형거는 빗줄로 가로대와 하단 축을 연결하여 상하 진동을 감쇄할 수 있게 개량되었다. 목재를 결합하는



〈그림 32〉 밧줄을 이용한 진동 감쇄

방식과는 달리 밧줄로 묶음으로써 강하지도 약하지도 않은 적당한 힘을 유지하면서 탄성을 지니도록 하였다.

4. 맺음말

한글본 『정리의궤』는 『화성성역의궤』를 요약한 것이기 때문에 두 문헌에 소개된 도면은 정확하게 일치해야 함에도 유형거와 평차의 형태는 큰 차이가 있다. 두 사료 모두 조선 왕실에서 편찬한 공신력 있는 사서임에도 불구하고, 유형거와 평차의 형태가 서로 다른 까닭을 설명하는 논의는 전혀 없었다. 한글본 『정리의궤』의 일부가 2016년 프랑스 국립도서관에서 발견된 이후 이러한 문제는 공론화된 적도 없었다.

본 연구의 목적은 이러한 문제를 공론화하고 그 이유를 추론하기 위해 프랑스 국립도서관에서 발견된 한글본 『정리의궤』에 수록된 유형거와 평차 도면을 분석하여 유형거와 평차가 두 가지 형태가 공존하는 이유를 밝히는 것이다.

『화성성역의궤』에 수록된 평차 도면과 한글본 『정리의궤』에 수록된 평차 도면이 다른 이유는 기존에 사용하였던 평차 30량과 새롭게 제작한 46량을 구분하여 기록한 『화성성역의궤』를 통해 합리적으로 추론할 수 있다. 정약용이 제안한 정자형 바퀴는 화성을 건설하면서 적용된 것이므로 화성에서 제작한 46량은 『화성성역의궤』에 수록된 평차 도면으로 추정하는 것이 타당하다. 따라서 『정리의궤』에 수록된 평차 도면은 화성 건설 이전부터 사용해 왔던 평차로 추정할 수 있다. 대차와 구조가 같고 단지 크기만 축소한 형태라는 점도 이를 뒷받침한다.

왕실에서 제작하여 보낸 정약용의 원형 유형거는 화성 건설 현장에서 네 가지 측면이 개선되었다. 첫째, 두 개의 복토와 한 개의 바퀴 축에 집중되던 하중을 네 개의 복토와 두 개의 바퀴 축으로 분산하도록 개선되었다. 둘째, 바퀴 축을 분산하고 축과 바퀴의 접촉 부위를 오늘날 베

어링과 유사한 금속 고리로 보강함으로써, 주행 중에 선회하거나 노면이 울퉁불퉁할 때 좌우 바퀴에 생기는 회전차 문제를 해결하였다. 셋째, 보조 동력을 생성하는 펌핑을 극대화하기 위해 돌이 흘러내리는 거리를 증가시켰다. 넷째, 피로 파괴 요인을 줄이고 진동 감쇄를 하기 위해 가로대와 하단 축을 빗줄로 연결하여 적당한 힘으로 당겨주면서 탄성을 지니도록 개선하였다.

조선은 운송용 수레를 체계적으로 운용하지는 못했으나 건설용 수레는 체계적으로 관리되었음을 화성 건설 당시 제작한 평차 개선과 유형거 개발과 같은 혁신 사례를 통해 확인할 수 있다. 건설 분야의 수레 제작 기술의 혁신은 정약용의 공학적 사고 전략과 관련이 있다는 점에서 의미가 있다.

(논문투고일 2024년 8월 31일, 심사확정일 2024년 10월 16일, 게재확정일 2024년 10월 18일)

참고문헌

원전

- 『華城城役儀軌』, 영인본 奎 14590, 서울대학교 규장각, 1994.
「城說」, 『定本 與猶堂全書』 제2책, 다산학술문화재단, 2012.
『經世遺表』, 『定本 與猶堂全書』 제24책, 다산학술문화재단, 2012.
『北學議』 內編 車.
한글본 『整理儀軌』 三十九 城役圖, 프랑스 파리의 국립도서관(BNF) 소장
본, 덩니의궤 권지삼십구 화성성역도본

논문과 단행본

- 경기도, 『수정 국역 화성성역의궤』, 경기문화재단, 2001.
김영식, 「정약용 사상과 학문의 실용주의적 성격」, 『다산학』 21호, 다산
학술문화재단, 2012.
김평원, 「정조 대 한강 배다리의 구조에 관한 연구」, 『한국과학사학회지』
39권 1호, 한국과학사학회, 2017.
———, 「정약용이 설계한 거중기 擧重機와 녹로 轆轤의 용도」, 『다산학』
30호, 다산학술문화재단, 2017a.
———, 「정약용이 설계한 유형거 游衡車: 그 원리와 사용법」, 『다산학』
31호, 다산학술문화재단, 2017b.
———, 『공학 커뮤니케이션』, 책바퀴, 2024.
송성수, 「정약용의 기술 사상」, 『한국과학사학회지』 16권 2호, 한국과학

사학회, 1994.

오상학, 「다산 정약용의 지리사상(地理思想)」, 『다산학』 10호, 다산학술
문화재단, 2007.

이용식, 「토목인 다산 정약용」, 『대한토목학회지』 60권 7호, 대한토목학
회, 2012.

川原秀城, 「丁若鏞의科學著作」, 『다산학』 13호, 다산학술문화재단, 2008.

국문요약

정약용이 설계한 유형거 바퀴는 화성 건설 현장에서 제작한 평차의 바퀴에 반영되었다. 이 때문에 『화성성역의궤』에 수록된 평차와 한글본 『정리의궤』에 수록된 평차의 형태에 차이가 있었다. 전자는 화성에서 제작한 평차이고, 후자는 기존에 다른 지역에서 사용하던 평차를 사들인 것으로 추정할 수 있다. 왕실에서 제작하여 보낸 정약용의 원형 유형거는 한글본 『정리의궤』 도면을 통해 화성 건설 현장에서 네 가지 측면이 개선되었음을 확인할 수 있다. 첫째, 두 개의 복토와 한 개의 바퀴 축에 집중되던 하중을 네 개의 복토와 두 개의 바퀴 축으로 분산하도록 개선되었다. 둘째, 바퀴 축을 분산하고 축과 바퀴의 접촉 부위가 오늘날 베어링과 유사한 금속 고리로 보강되었다. 셋째, 보조 동력을 생성하는 펌핑을 극대화하기 위해 돌이 흘러내리는 거리를 증가시켰다. 넷째, 피로 파괴 요인을 줄이고 진동 감쇄를 위해 가로대와 하단 축을 빗줄로 연결하여 적당한 힘으로 당겨주면서 탄성을 지니도록 개선되었다. 조선은 운송용 수레를 체계적으로 운용하지는 못했으나 건설용 수레는 체계적으로 관리되었음을 화성 건설 당시 제작한 평차와 유형거 사례를 통해 확인할 수 있다. 한글본 『정리의궤』의 발견으로 파악된 이러한 사실들은 조선 후기 실학과 관련된 교육 자료에 소개될 수 있을 것이다.

주제어 | 교육, 유형거, 정리의궤, 정약용, 수레, 화성성역의궤, 평차.

Abstract

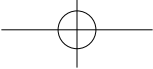
A Study on the Pipa-shaped Bokto(伏兔) Yuhyeonggeo(游衡車) Documented in the *Jongri Uigwe*(『整理儀軌』)

Kim Pyoung-won

Professor, Incheon National University

The original Yuhyeonggeo(游衡車) designed by Jeong Yak-yong was reflected in the wheels of the Pyeongcha(平車) manufactured at the Hwaseong fortress construction site. As a result, differences emerged between the Pyeongcha depicted in the *Hwaseongseongyeog-uigwe*(『華城城役儀軌』) and those in the *Jeongri Uigwe*(『整理儀軌』). The former represents the Pyeongcha made at Hwaseong fortress, while the latter is presumed to be the type purchased from other regions where it had already been in use. The original Yuhyeonggeo, which was designed by Jeong Yak-yong and produced by the royal court, was improved in four key aspects at the Hwaseong fortress construction site.

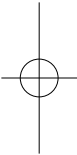
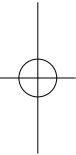
First, the load that was originally concentrated on two bokto(伏兔, plank in the shape of a crouching rabbit) and a single axle was redistributed across four bokto and two axles. Second, the sides of the wheels were reinforced, and the contact areas between the axles



and wheels were strengthened with metal rings, resembling modern bearings. Third, the distance over which the stones could roll was increased to maximize the efficiency of auxiliary power generation through pumping. Fourth, to reduce fatigue and vibration, crossbars and the lower axle were connected with ropes, allowing for elasticity by applying appropriate tension.

Although Joseon Dynasty did not systematically operate transport carts, the innovations seen in the development of the Yuhyeonggeo and the improvements to the Pyeongcha used in the construction of Hwaseong fortress indicate that construction carts were managed systematically.

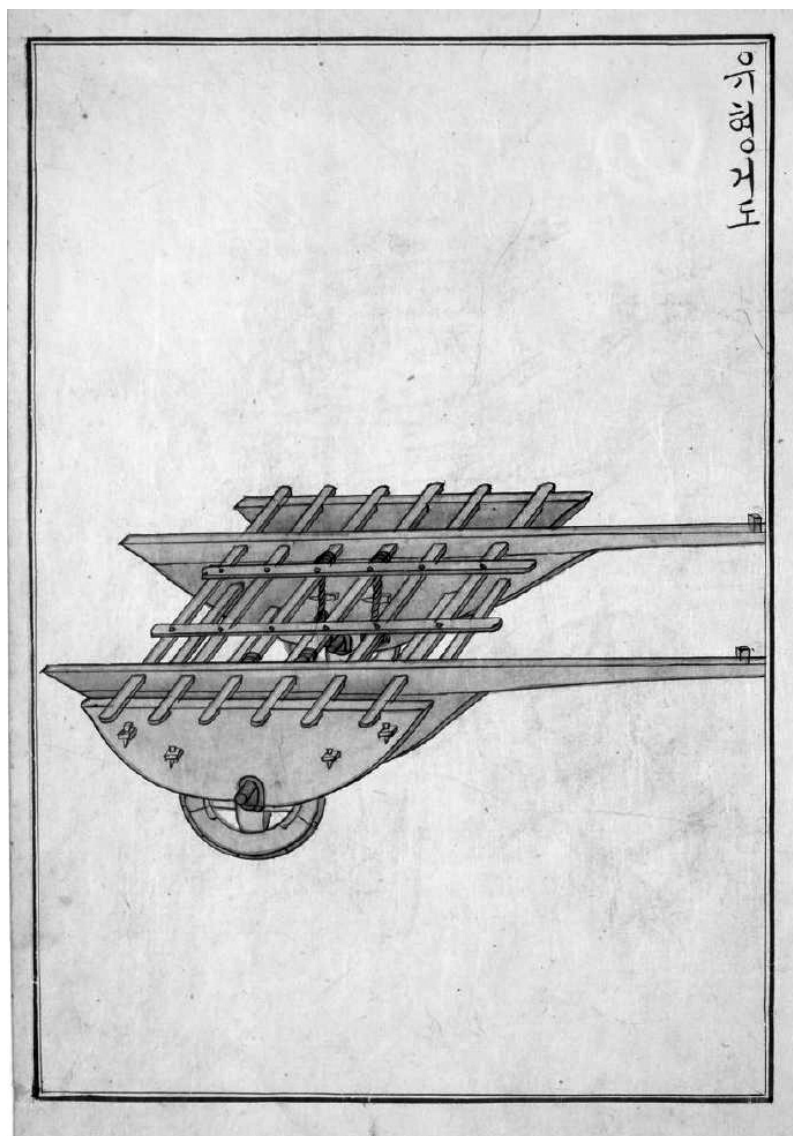
These findings, identified through the discovery of the Korean edition of *Jeongri Uigwe*, could be introduced as educational material related to the Silhak of the late Joseon Dynasty.



Key Words | Education, Yuhyeonggeo, *Jeongri Uigwe*, Jeong Yak-yong, Cart, *Hwaseongseongyeoguigwe*, Pyeongcha.

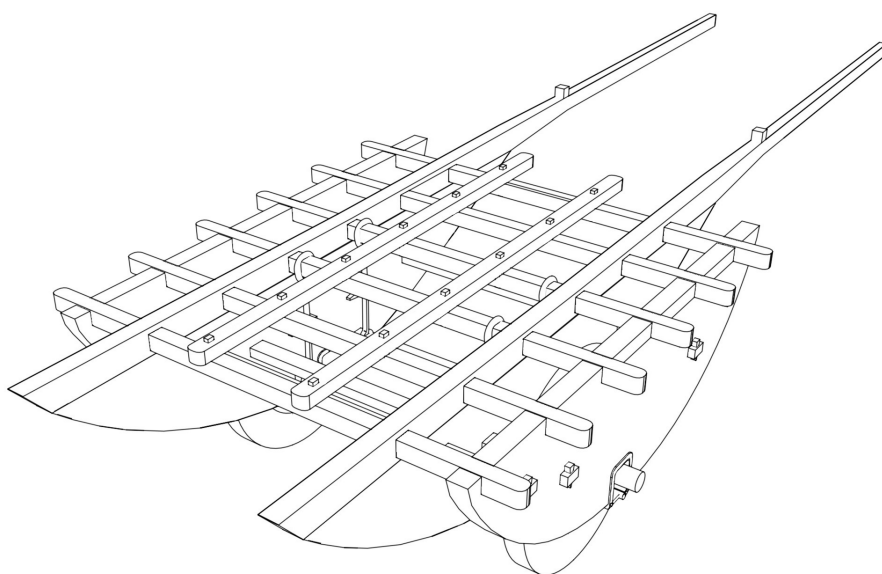
부록

『정리의궤整理儀軌』 유형거도와 복원 도면



『정리의궤』권39 성역도 1책 중 유형거도

『정리의궤整理儀軌』 유형거도 복원 도면²⁷⁾



27) 독일에 유학 중인 경희대 산업디자인과 위현서 군이 작성한 도면임.

단위:mm

