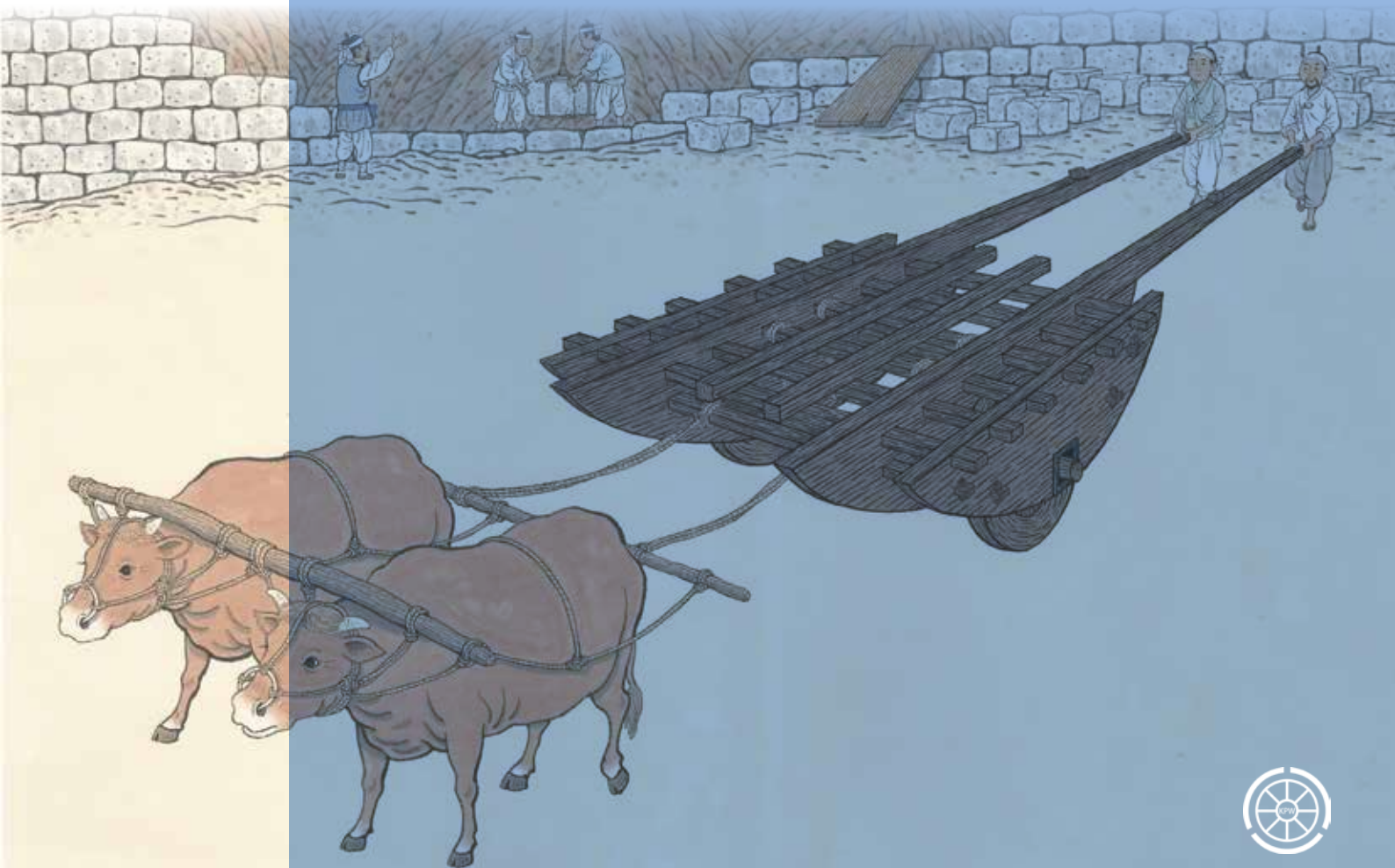


수레바퀴모형을 적용한
2019 통진고등학교 교과 기반 프로젝트

『정리의궤(整理儀軌)』 수록 개량 유형거 탐구



통진고등학교

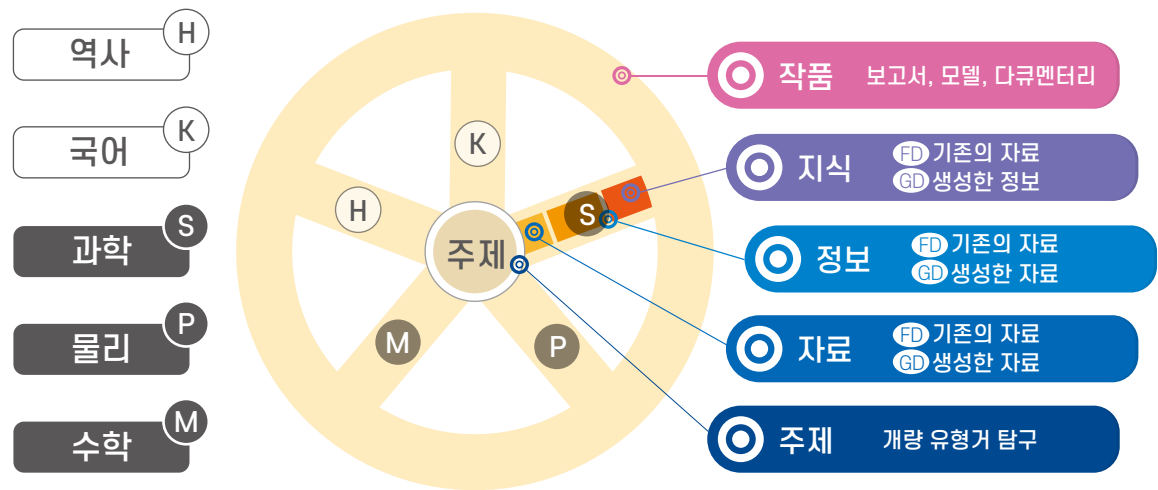




「정리의궤(整理儀軌)」 수록 개량 유형거 탐구



연구 요약



연구 주제

- 정말로 우리 조선은 수레를 이용하는 수준이 낮았던 것일까?
- 한글본 『정리의궤(整理儀軌)』에 수록된 유형거는 우리가 알고 있는 유형거와 왜 다를까?
- 『정리의궤(整理儀軌)』속 유형거가 기존 유형거에 비해 개선된 점은 무엇일까?

교과 기반 프로젝트팀 (5개 팀)

H	역사	『화성성역의궤(華城城役儀軌)』에 기록된 수레 탐구
K	국어	한글본 『정리의궤(整理儀軌)』에 기록된 수레 탐구
S	과학	기존과 개량 유형거의 하중 분산 비교 탐구
P	물리	기존과 개량 유형거의 펌핑 운동 비교 탐구
M	수학	기존과 개량 유형거의 압축 강도 탐구

융합 프로젝트

- 역사, 국어, 과학, 물리, 수학팀의 탐구 결과를 종합하여 작품 만들기

작품

- 프로젝트 보고서 : 5개 팀별 탐구 보고서-브로슈어
- 미디어 작품 : 다큐멘터리 제작

연구 절차

	단 계	일 자	내 용
기 획	프로젝트 설계	2018.10~2018.12	통진고등학교 TF팀(황인철 부장 외) & 인천대학교 김평원 교수
	학생 설명회	2019.03	교과 기반 프로젝트 설명회
	연구원 선발	2019.03	학생 연구원 선발
요 요 요	자료 수준 연구	2019.04.14~28	자료 수준 연구 & 발표 & 팀 내 공유
	정보 수준 연구	2019.04.29.~ 2019.07.07	정보 수준 연구 & 발표 & 팀 내 공유
	지식 수준 연구	2019.07.08~ 2019.07.26	지식 수준 연구 & 발표 & 팀 내 공유
평 가 하 기	평가하기	2019.07.27~ 2019.08.03	다른 팀의 연구 성과 평가 및 교류
	보고서 만들기	2019.08.10~ 2019.08.31	팀별 프로젝트 보고서 작성
	미디어 작품 계획하기	2019.08.10~ 2019.09.31	다큐멘터리 구성
작 품 제 작 과 발 표	다큐멘터리 제작	2019.10.01~ 2019.11.30	팀별 발표 연습 다큐멘터리 제작
	연구 성과 발표회	2019.12	연구 발표회 다큐멘터리 시사회

1



TONGJIN HIGH SCHOOL

교육 원리



교과 기반 프로젝트의 원리

수레바퀴모형

06

교과 기반
프로젝트

08

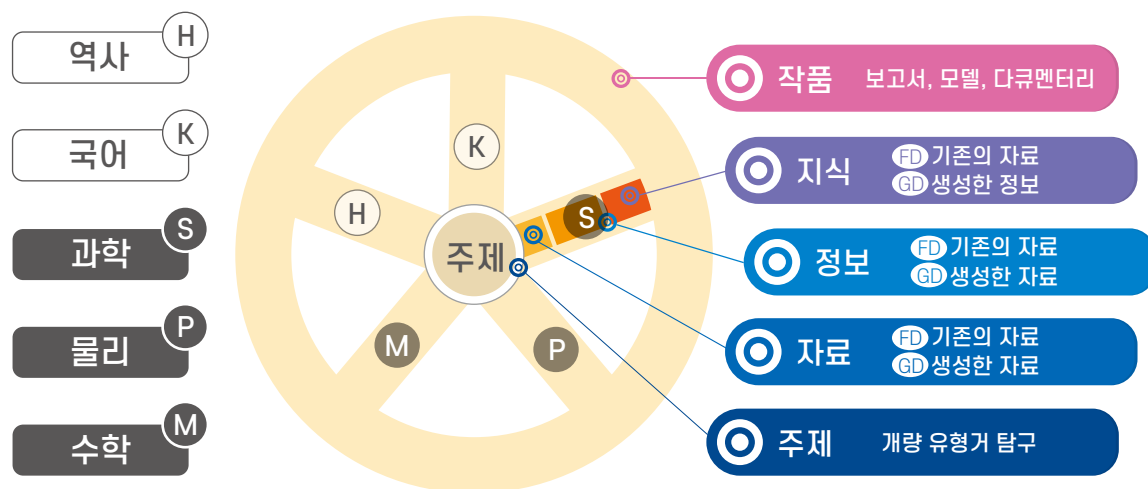
학생과 교사가 함께
성장하는 작품화 활동

10

수레바퀴모형

① 수레바퀴모형

● 연구 보고서 쓰기 능력과 발표 능력을 갖춘 융합형 인재 양성을 목적으로 2009년 인천대학교 김평원 교수에 의해 개발된 수레바퀴모형은, 교과 기반 개별 연구팀별로 진행된 연구들을 하나로 융합하여, 기존의 통념을 대체할 수 있는 새로운 지식을 생산하는 구조를 취하고 있습니다. 2010년부터 현장에 적용되어 학계(한국과학사학회, 다산학회)와 언론(KBS, SBS, YTN, EBS, 중앙일보, 동아일보, 조선일보)의 주목을 받고 있습니다. 일반고, 자사고, 농어촌 학교 등 다양한 단위 학교에 적용되면서 발전하고 있습니다.






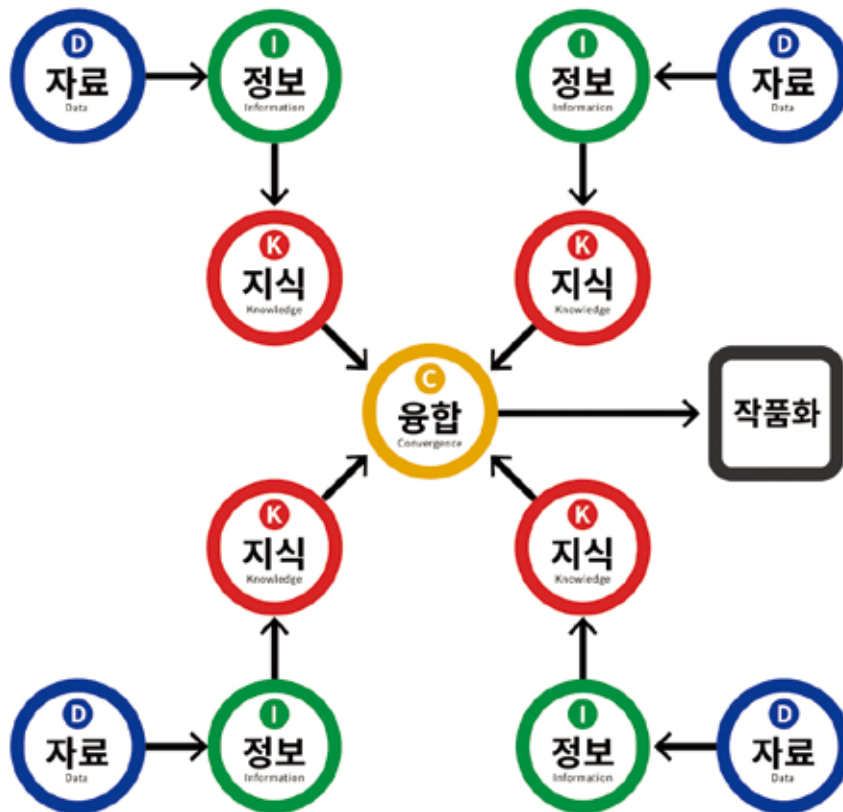
● 수레바퀴 모형을 적용한 프로젝트 KBS 뉴스 보도 (Since 2010) ●

②… 자료-정보-지식으로 발전하여 융합하는 작품화 활동

※ 수레바퀴모형은 바퀴통에 해당하는 연구 주제를 중심으로 4개팀이 개별적으로 ①자료 수집 → ②정보 생성(자료를 분석하고 요약) → ③ 지식 생성(정보+아이디어) 과정을 체험하는 바퀴살 단계를 거쳐, 4개팀이 융합하여 작품을 만드는 바퀴테 단계로 발전하도록 설계되었습니다.

● 수레 바퀴 모형의 바퀴살 단계의 성격과 방법 ●

수준	성격	특성	방법
	탐색	타인(전문가)의 자료를 발췌하여 재구성한 자료	인용
	생성	실험이나 설문을 통해 얻은 자료	설명
	탐색	타인(전문가)이 밝힌 정보	인용
	생성	자료를 가공하여 의미를 부여한 것	분석
	탐색	다른 사람(전문가)이 밝힌 지식	인용
	생성	정보를 가공하여 의미를 부여한 것	주장

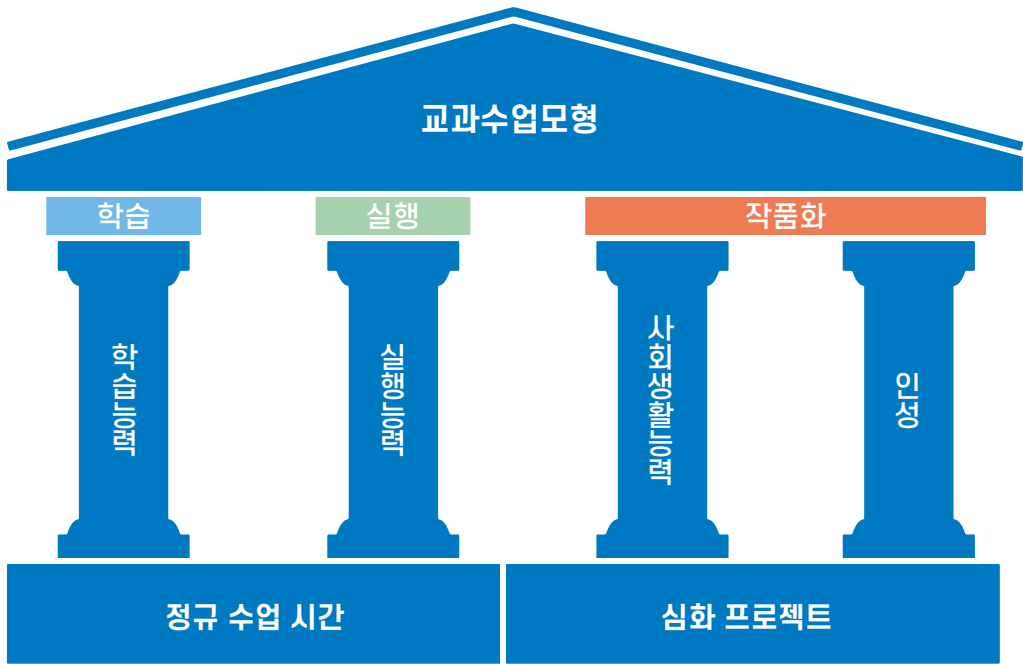


● 통진고등학교 프로젝트의 작품화 과정 ●

교과 기반 프로젝트

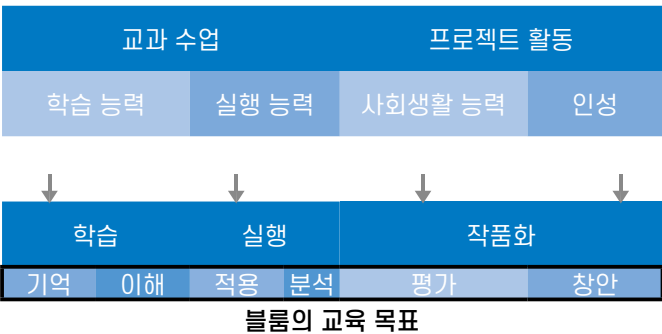
① 교과에서 배운 지식을 활용한 작품화 활동

⊛ UNESCO는 21세기에 요구되는 학습 비전으로 **학습능력**(learning to know), **실행 능력**(learning to do), **사회 생활 능력**(learning to live together), **인성**(learning to be)의 함양을 제시하였습니다. 통진고등학교는 21세기 학습 비전인 네 개의 기둥이 교과 수업을 떠받치는 구조로 비유하여, 정규 수업 시간과 이를 응용한 교과 심화 프로젝트를 실천하였습니다.



● 21세기 교육을 떠받치는 네 개의 기둥 ●

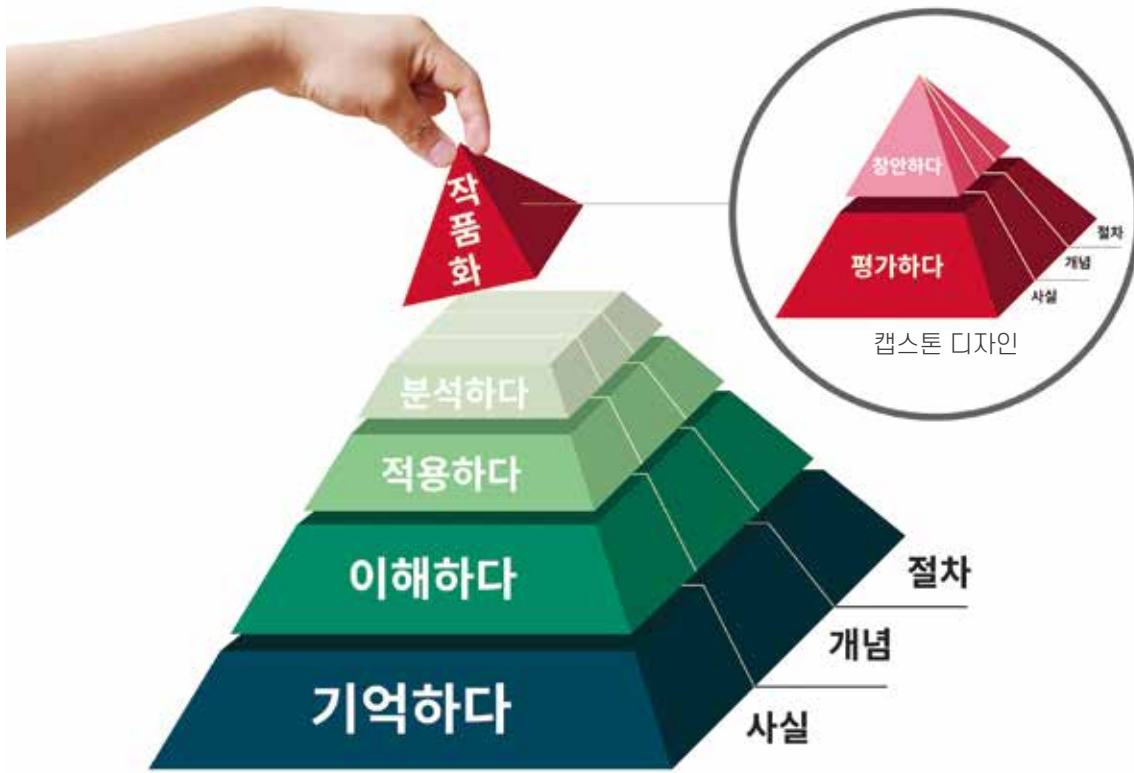
⊛ 학습과 실행은 정규 교과 수업에서, 작품화 단계에 해당하는 사회생활 능력과 인성은 심화 프로젝트를 통해 함양할 수 있도록 설계하였습니다. 학습, 실행, 작품화 단계는 선생님들에게 익숙한 블룸의 교육목표에 맞게 연결 지었습니다.



● 출처 : 김평원(2018), 교과 수업과 주제 선택 활동을 연계한 중학교 자유학기의 수업 모형 연구, 교육문화연구 24(1), 269-288.

② 교과에서 배운 지식을 활용한 작품화 단계

❁ 작품화 단계는 최상위 캡스톤 디자인 단계로서 <블룸의 교육목표(2001)>에 맞게 ‘평가하다’와 ‘창안하다’ 단계와 연계하였습니다. 이는 기존 블룸의 교육목표 ‘종합’과 ‘평가’에 해당하는 단계입니다.



● 블룸의 교육 목표 위계(2001)와 통진고등학교의 작품화 단계 ●

❁ 작품화 단계는 교과 수업 중 프로젝트(1단계~3단계)가 아니라 실제 프로젝트(4단계)를 수행하는 방법입니다.

수준	방법	설명	성격
1단계	수행평가	간단한 보고서를 제출하는 차원	교실 프로젝트 (수업)
2단계	프로젝트법	학생 스스로 과제를 발견하여 해결하는 차원	
3단계	프로젝트 기반 학습	프로젝트에 맞게 교수 학습을 구성하는 차원	
4단계	프로젝트 수행법	교과를 활용하여 실제 프로젝트를 수행하는 차원	교과 기반 프로젝트

학생과 교사가 함께 성장하는 작품화 활동

①... 작품화 활동을 통해 성장하는 학생의 역량

❖ 미래 사회를 대비한 개정 교육과정에서 강조하고 있는 학생의 역량은 학생과 교사가 모두 인지하고 있는 '**객관적 역량**'과 학생은 모르지만 교사가 파악하고 있는 '**잠재적 역량**', 교사는 모르지만 학생이 자각하고 있는 '**은폐된 역량**'으로 구분할 수 있습니다.

❖ 정규 학교 수업만으로 교사가 학생의 역량을 충분히 파악하기에는 한계가 있습니다.

	학생이 아는 사실	학생이 모르는 사실
교사가 아는 사실	객관적 사실	잠재력
교사가 모르는 사실	은폐된 사실	미지의 사실

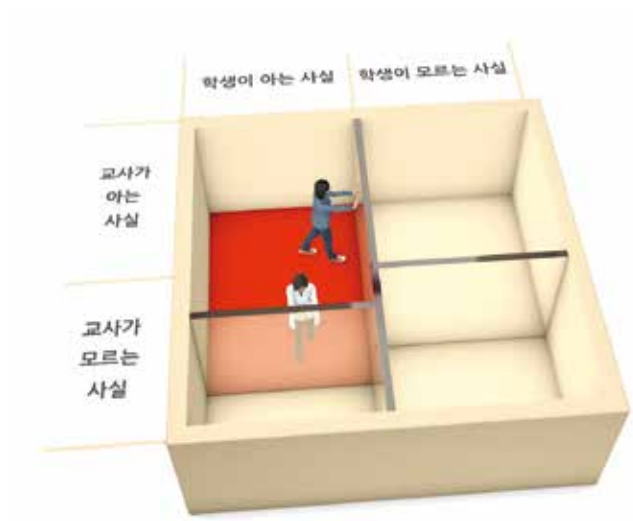
● 학생의 역량 프레임 ●

②... 학생과 교사가 함께 성장하는 교과 기반 프로젝트 활동

❖ 학생과 교사가 모두 모르는 '**미지의 사실**'을 제외하고, 학생이 모르는 **잠재력**과 교사가 모르는 **은폐된 사실**은 교과 기반 프로젝트 활동을 통해 충분히 객관적인 역량으로 드러낼 수 있습니다.

❖ 교과 수업을 확장한 프로젝트 활동을 통해 학생이 스스로 모르고 있었던 '**자신의 영역(잠재력)**'을 교사와 학생 모두가 인지하고 있는 '**객관적 사실의 영역**'으로 확장시킬 수 있습니다.

❖ 학생들은 교사가 모르고 있었던 영역(은폐된 사실)을 객관적 사실의 영역으로 확장시킬 수 있도록 학교 교육 활동에 적극적으로 참여하면서 교사와 적극적으로 상호작용합니다.

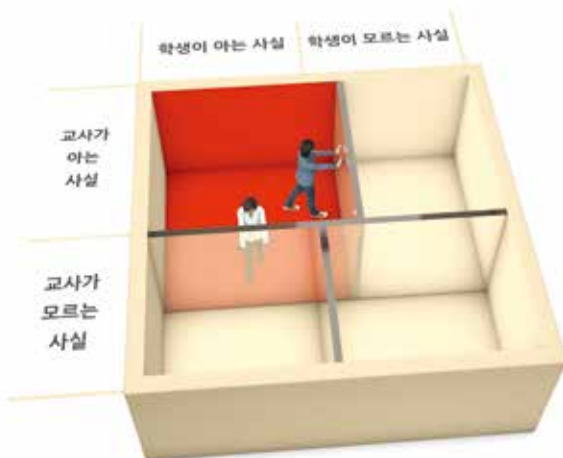


● 학생의 노력에 의한 학생 역량 프레임의 변화 ●

	학생이 아는 사실	학생이 모르는 사실
교사가 아는 사실	객관적 사실 ↓ ↓ ↓	잠재력
교사가 모르는 사실	은폐된 사실	미지의 사실

⊗ 교사는 정규 수업 시간은 물론 프로젝트 활동을 통해 학생의 성장을 관찰하면서 파악해야 합니다.

11



● 교사의 노력에 의한 학생 역량 프레임의 변화 ●

	학생이 아는 사실	학생이 모르는 사실
교사가 아는 사실	객관적 사실 → → →	잠재력
교사가 모르는 사실	은폐된 사실	미지의 사실

⊗ 이처럼 프로젝트 활동은 교사가 모르고 있었던 영역(은폐된 영역)과 학생이 모르고 있었던 영역(잠재력)을 객관적 사실의 영역으로 확장시키는 과정으로, 학교생활기록부에는 프로젝트 활동을 통해 확장된 객관적 사실이 기록됩니다.

2



TONGJIN HIGH SCHOOL

교육 성과



5개 팀별 프로젝트 요약

H	역사	14
K	국어	18
S	과학	22
P	물리	25
M	수학	29

① 탐구 주제 및 관련 교과

탐구
주제

수레에 관한 실학자의 의견과 조선 후기
건설 현장에 사용된 수레 탐구

관련
교과

한국사

② 교과 기반 탐구 활동 요약

① 서론

- 한국사 수업을 통해 우리 민족은 조선 후기까지 수레를 잘 활용하지 못했다고 배워왔습니다. 내륙 운송은 소백 산맥, 태백산맥과 같은 지형적인 장애물이 많아, 고려시대 이래 각 지방에서 상납하는 세곡(稅穀)과 공물(貢物)들은 주로 수로를 통해 수도로 운송되었기 때문입니다.
- 하지만 조선 후기 수원 화성 건설 현장에서는 다양한 수레가 체계적으로 사용되었습니다. 국가가 남긴 건설 보고서인 『화성성역의궤(華城城役儀軌)』에는 다양한 수레는 물론 정약옹이 발명한 ‘유형거’까지 상세하게 기록되어 있습니다. 따라서 조선에서는 수레를 이용하는 수준이 낮았다고 일반화하는 것은 문제가 있다고 생각합니다.

② 실학자들이 제안한 수레 이용

• 『경세유표(經世遺表)』중 지관수제(地官修制)에 관한 의견

정약옹은 전궤사(典軌司)라는 관청을 두어 중국의 수레 제작 기술을 적극적으로 보급할 것을 제안하였습니다. 정약옹은 수레를 규격화하여 적재량이 일정해져야 운송 운임이 표준화 될 것이라 보았습니다.

• 『북학의(北學議)』중 내편 수레에 관한 의견

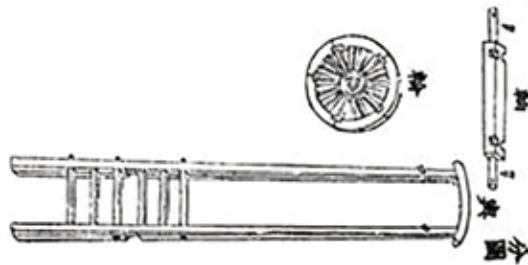
박제가는 조선에서 사용하는 수레의 단점을 ‘바퀴가 작으면서, 수레의 폭이 넓고 수레 자체의 무게가 너무 무거워 빈 수레를 끄는데 소가 쉽게 지친다’고 지적하였습니다. 박제가는 한 마리의 소가 작은 수레 하나에 곡식 2섬을 나를 수 있지만, 큰 수레에는 소 다섯 마리로 15섬을 나를 수 있음을 들어, 큰 수레를 사용하여 운송 효율을 높여야 한다고 주장하였습니다.

③ 수원 화성 건설 현장에 사용된 수레

우리는 『화성성역의궤』를 통해 수원 화성 건설 현장에서 대차, 평차, 유형거 등 다양한 크기의 수레가 사용되었음을 확인할 수 있습니다.

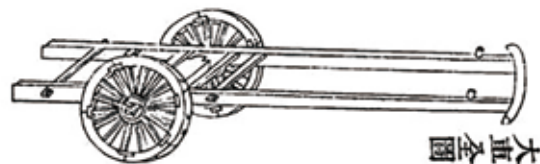
● 대차(大車)

대차는 가장 큰 초대형 수레입니다. 큰 수레의 경우 바퀴의 지름이 크기 때문에, 한 바퀴 회전 시 더 멀리 갈 수 있습니다. 대차 분도를 보시면 축, 바퀴, 여의 세 개 모듈로 구성되어 있음을 알 수 있습니다.



[그림 1] 대차를 구성하는 부품

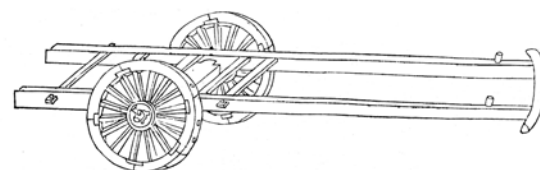
대차는 커다란 돌이나 원목 등 아주 무거운 짐을 운반할 때 사용하는 초대형 수레로서, 무려 소 40여 마리가 끌게 됩니다. 대차는 바퀴가 너무 높아 물건을 싣기에 불편하고, 복잡한 바퀴살 등, 수레를 만드는 데 비용이 많이 들기 때문에, 흔히 사용하는 수레는 아닙니다.



[그림 1] 대차를 구성하는 부품

● 평차(平車)

평차는 중간 크기의 돌이나 누각 기둥 따위의 목재를 싣어 나르는 수레입니다. 보통 소 열 마리가 끌지만, 짐의 양이나 도로 상황에 따라 네 다섯 마리로도 끌 수 있었습니다. **평차는 대차와 바퀴 모양과 구조가 동일하며 단지 크기만 줄인 것입니다.**

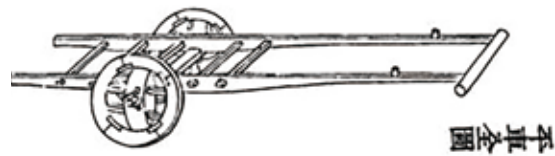


[그림 3] 평차의 모습(전도)

『화성성역의궤』에 기록된 수레 탐구

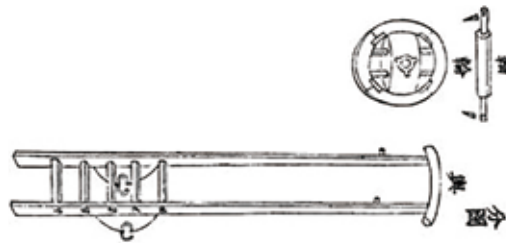
● 별평차(別平車)

『화성성역의궤』, 권수 도설 편에 소개된 평차는 기존에 쓰던 평차가 아니라, 화성을 건설하면서 새롭게 개량한 평차입니다. 이를 기존의 평차와 구분하여 별평차(別平車)라고 부르기도 합니다.



[그림 4] 별평차의 모습(전도)

별평차는 정약용 선생이 개발한 유형거 바퀴를 활용한 것입니다. 별평차는 짐을 싣는 부분과 바퀴의 연결 부위에 반원형 목재인 복토를 추가하였고, 바퀴는 바퀴살을 대폭 줄여 간단하게 개량하였습니다.



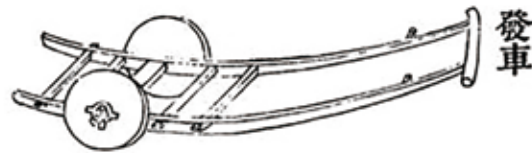
[그림 5] 별평차를 구성하는 부품



[그림 6] 거중기를 활용하여 별평차에 돌을 적재하는 모습(상상도)

● 발차(發車)

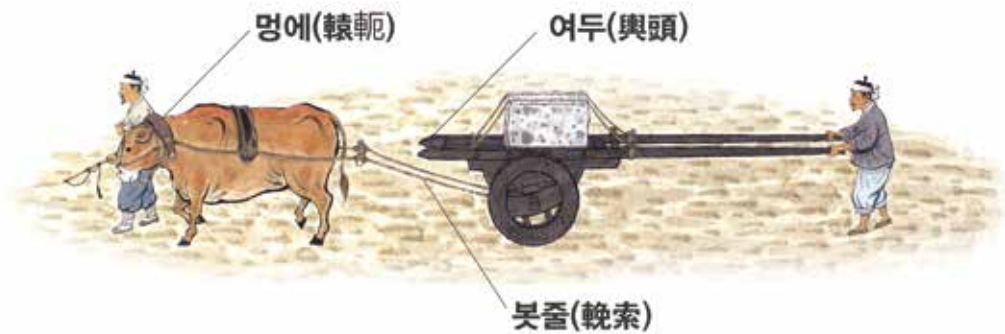
발차(發車)는 소 한 마리가 끌 수 있도록 만든 수레입니다. 작은 돌이나 목재, 석회, 벽돌, 흙과 같은 건축 자재를 실어 나르게 되는데, 화성 건설 현장에서는 단, 두 대 밖에 사용되지 않았습니다.



[그림 7] 발차의 모습(전도)

● 유형거(游衡車)

유형거는 정약옹이 발명한 것으로 **흔들거리는 저울처럼 움직이는 수레**를 말합니다. 정약옹은 수레의 높이가 낮고, 수레의 폭이 넓은 당시 조선의 수레와는 달리, **수레 높이**를 의도적으로 높였으며, **폭을 좁혀** 수레 자체가 흔들리도록 설계하였습니다.



[그림 8] 유형거 사용 장면(상상도)

④ 결론

- 우리는 조선 후기 수원 화성 건설 현장에서 다양한 종류의 수레들이 적극적으로 사용되었음을 확인하였습니다.
- 따라서 조선 후기에는 수레를 거의 사용하지 않았다고 일반화해서는 곤란합니다.
- 조선 후기 국가 주도의 대형 건설 현장에서는 수레를 체계적으로 사용하였지만, 상업이나 유통 분야에서는 비 체계적일 뿐만 아니라 적극적으로 사용하지도 않았던 것입니다.

① 탐구 주제 및 관련 교과

탐구
주제

한글본 『정리의궤(整理儀軌)』속 유형거 탐구

관련
교과

국어, 한국사, 문학, 언어와 매체

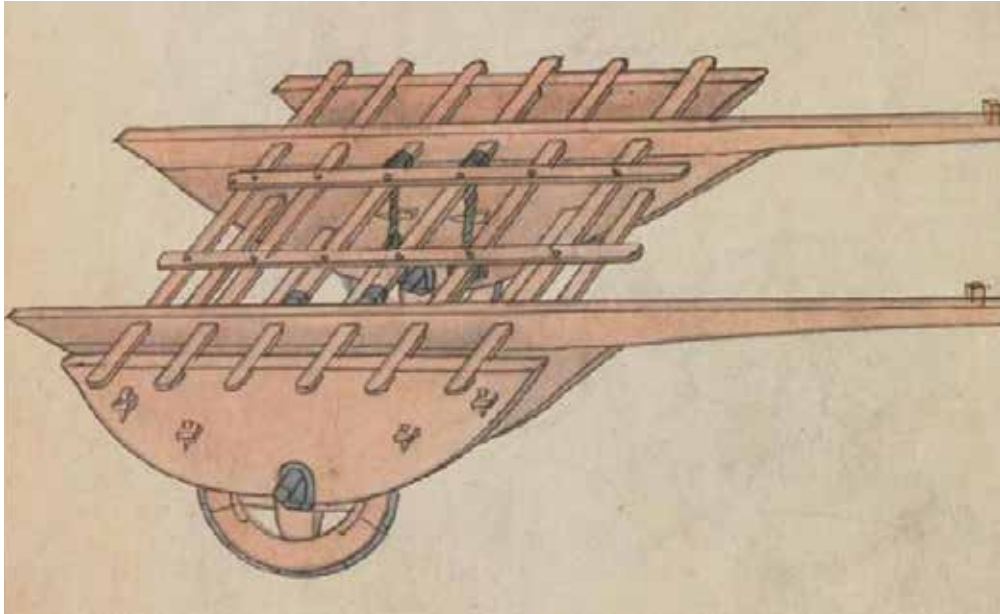
② 교과 기반 탐구 활동 요약

① 서론

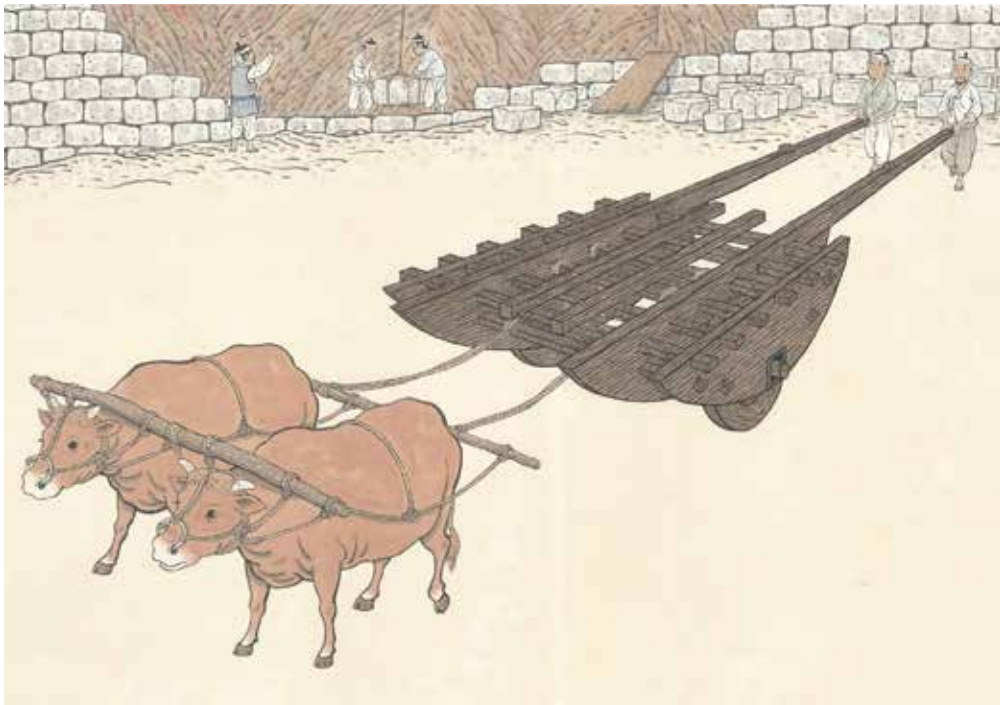
- 『화성성역의궤』속 거중기와 녹로는 실제 화성 건설 현장에서 사용된 장비를 그린 것입니다. 하지만 유형거는 『화성성역의궤』를 발간하기 이전에 이미 정약용이 작성한 『성설(城說)』에 포함되어 있기 때문에, 화성 착공 전에 이미 시제품까지 제작이 끝난 상태였습니다. 따라서 실제 화성 건설 현장에서 사용된 유형거는 **시제품과 동일한 것으로 간주**할 수밖에 없었습니다.
- 유형거는 시제품 한 량을 만들고 10량을 건설 현장에서 제작하였다는 기록만 있을 뿐, 화성 건설 현장에서 제작한 유형거가 정약용 선생이 『성설』에서 제안한 유형거와 동일한 모습을 하고 있었는지 여부는 확인하기 어려웠습니다.

② 개형 유형거의 발견

- 2016년 프랑스 국립도서관에서 발견된 **한글본 『정리의궤(整理儀軌)』권39 성역도(城役圖)** 1책은 『화성성역의궤』보다 조금 앞서 왕실에서 제작한 것입니다.
- 한글본 『정리의궤』는 『화성성역의궤』의 내용을 요약한 것이지만 『화성성역의궤』에는 없는 그림이 일부 포함되어 있습니다. 그 중 하나가 유형거도입니다.
- 한글본 『정리의궤』의 발견으로 정약용이 설계한 유형거는 화성 건설 현장에서 새로운 형태로 개량되었음을 확인할 수 있습니다.



[그림 1] 정리의궤(整理儀軌) 권39 성역도(城役圖)에 수록된 개량 유형거



[그림 2] 개량 유형거 활용 장면(상상도)

한글본 『정리의궤』에 기록된 수레 탐구

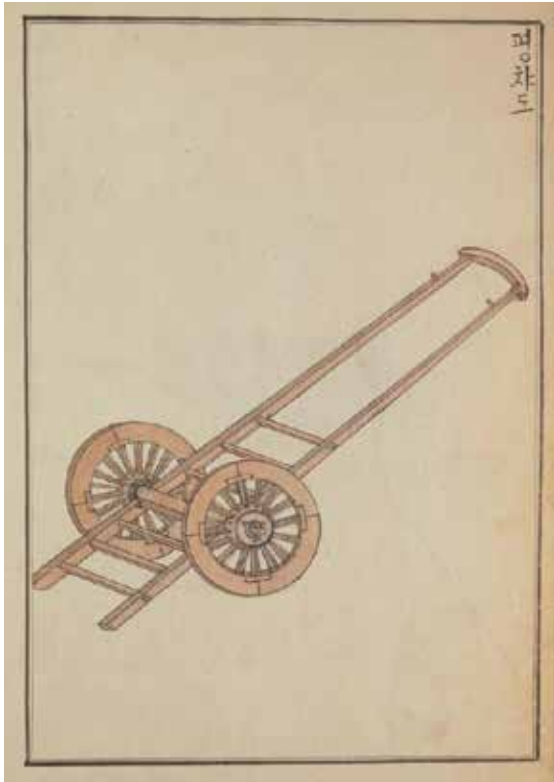
③ 수레의 정확한 발음을 확인

- 우리는 수레라는 의미의 한자 ‘車’를 ‘차’와 ‘거’로 발음하고 있습니다. 보통 동물이나 기계로 움직이는 경우는 ‘차’로 발음하고, 사람의 힘으로 움직이는 경우는 ‘거’라고 발음합니다.
- 하지만 이러한 기준은 명확하게 지켜지는 것이 아니기 때문에 당시 사람들이 주로 불렀던 발음대로 불러주는 것이 합리적입니다. 한글본이 남아 있는 경우 당시 발음을 정확히 추론할 수 있기 때문입니다.
- 오늘날 우리가 화차와 검차로 부르고 있는 전투용 수레는 당시 화거와 검거로 불렸습니다. 이러한 사실은 1635년 이서(李曙)가 쓴 『화포식(火砲式)』의 한글 번역본인 『화포식언해』에서 확인할 수 있습니다.

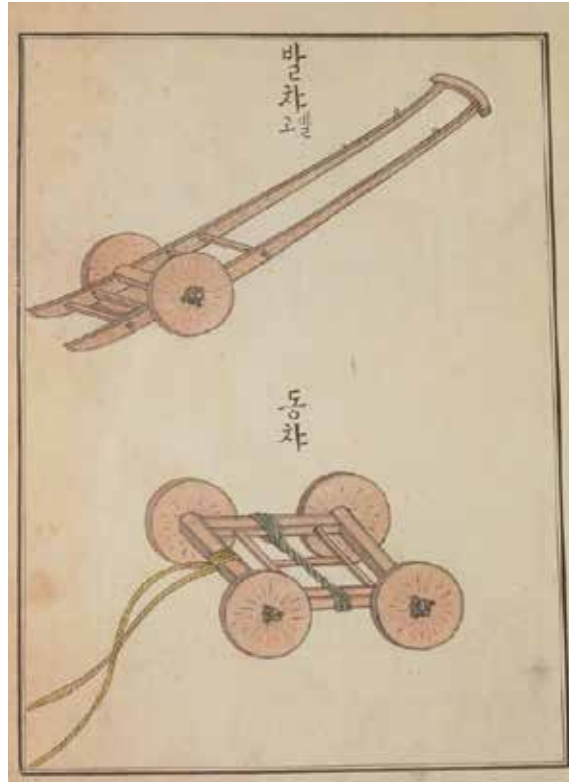


[그림 3] 화거로 불러야 함에도 오늘날 화차로 부르고 있는 행주산성 전투에 사용된 화차

- 『화성성역의궤』에 소개된 운반 도구는 대부분 소가 끄는 경우가 많지만 대거, 평거, 발거, 유형거 등, 차가 아니라 ‘거’로 발음하는 것이 일반적이었습니다.
- 2016년 프랑스 국립도서관에서 발견된 한글본 『정리의궤』권39 성역도 1책에서는 한문 원본을 한글 독음으로 표기하였는데, 우리가 그동안 알고 있었던 평거, 발거가 아니라 평차, 발차 등으로 불렸음을 명확히 확인하였습니다.



[그림 4] 평차 도면(정리의궤)



[그림 5] 발차와 동차 도면(정리의궤)

④ 결론

- 우리는 한글본 『정리의궤』 권39 성역도 1책을 통해 조선 후기 수원 화성 건설 현장에서 개량된 유형거의 실체를 파악할 수 있었습니다.
- 우리는 한글본 『정리의궤』를 통해 수레 차와 수레 거의 정확한 발음을 확인할 수 있었습니다.

① 탐구 주제 및 관련 교과

탐구
주제

유형거의 하중을 역학적으로 탐구(정역학)

관련
교과

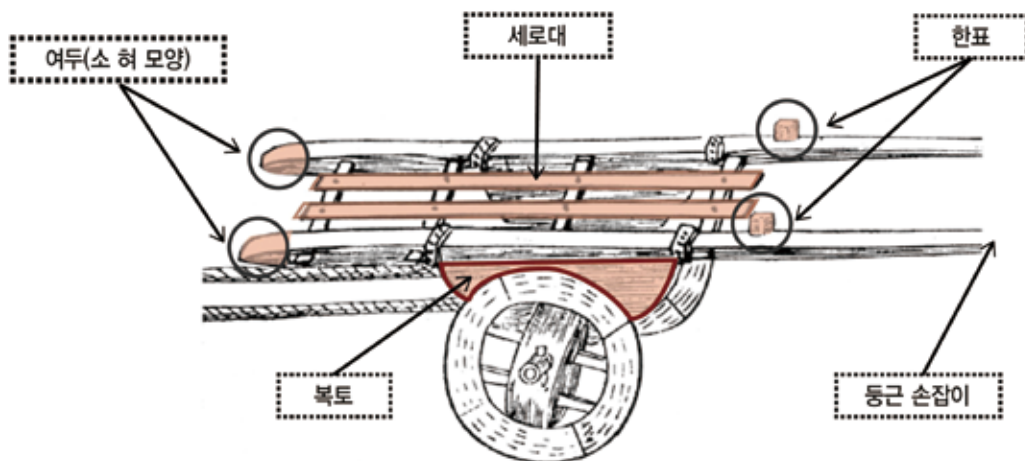
통합과학, 물리, 과학탐구실험

② 교과 기반 탐구 활동 요약

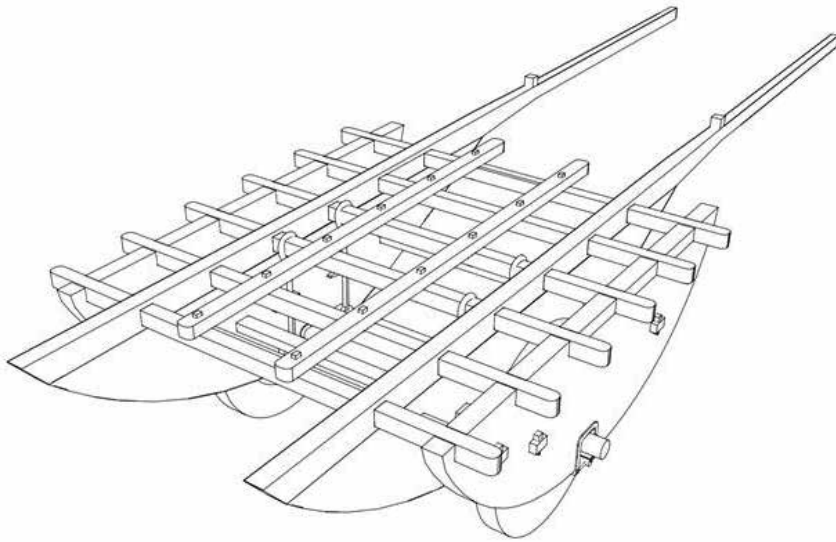
① 서론

- 우리는 정약용이 처음 설계한 시제품 유형거와 개량 유형거의 차이를 **복토와 바퀴축이 받는 하중**을 중심으로 탐구하고자 합니다.
- 시제품 유형거와 개량 유형거는 세로대, 복토, 바퀴 축의 개수에 차이가 있습니다.

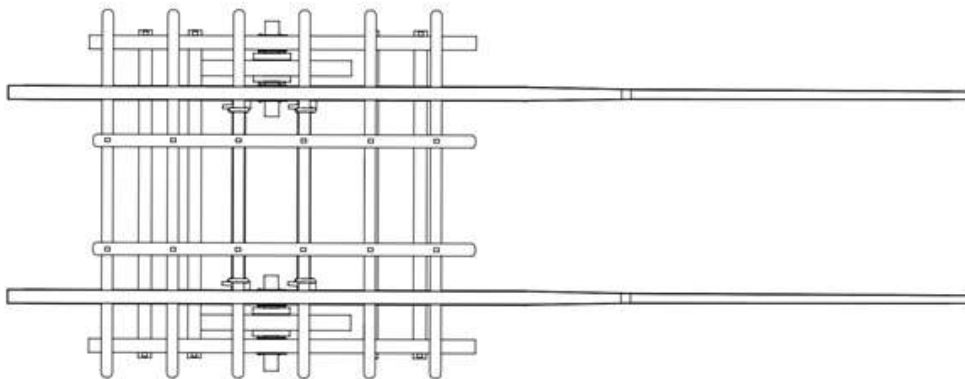
	시제품 유형거	개량된 유형거
세로 프레임	4개	6개
복토의 개수	2개	4개
바퀴 축	1개	2개



[그림 1] 시제품 유형거



[그림 2] 개량 유형거 투시도



[그림 3] 개량 유형거 평면도

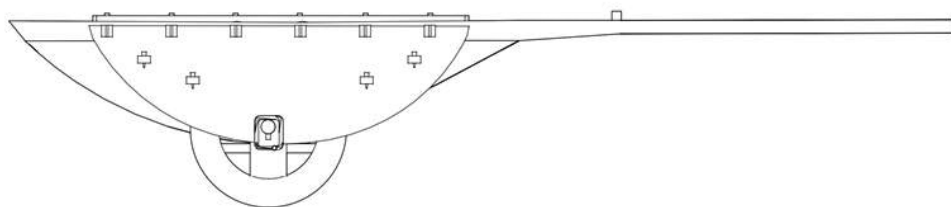


그림 4] 개량 유형거 측면도

기존과 개량 유형거의 하중 분산 비교 탐구

② 방법

- 화성 건설 당시 사용된 돌의 무게를 부피 $12\text{m}^3(2\text{m} \times 2\text{m} \times 3\text{m})$, 무게는 1톤부터 10톤까지로 나누어 계산하였습니다.
- 유형거의 각도가 30° , 45° , 60° , 90° 일 때로 나누어 계산하였습니다.
- 유형거에 가해지는 압력은 **각도**와 **무게**를 변수로 계산하였습니다.
- 바퀴 축이 받는 하중은 전체 하중을 **바퀴 축의 개수**로 나누어 계산하였습니다.
- 복도가 받는 하중은 전체 하중을 **복도의 개수**로 나누어 계산하였습니다.

③ 결과

• 기존과 개량 유형거의 바퀴 축이 받는 하중 비교

각도° \ 힘		10kN	20kN	30kN	40kN	50kN	60kN	70kN	80kN	90kN	1,00kN
30°	기존	11.41	21.40	31.40	41.40	51.40	61.40	71.40	81.40	91.40	101.40
	개량	5.33	10.33	15.33	20.33	25.33	30.33	35.33	40.33	45.33	50.33
45°	기존	11.29	21.29	31.28	41.28	51.28	61.28	71.28	81.28	91.28	101.28
	개량	5.27	10.27	15.27	20.27	25.27	30.27	35.27	40.27	45.27	50.27
60°	기존	11.15	21.14	31.13	41.13	51.13	61.13	71.13	81.13	91.13	101.13
	개량	5.20	10.19	15.19	20.19	25.19	30.19	35.19	40.19	45.19	50.19
90°	기존	10.78	20.76	30.76	40.76	50.76	60.75	70.75	80.75	90.75	100.75
	개량	5.01	10.01	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00

• 기존과 개량 유형거의 복도가 받는 하중 비교

각도° \ 힘		10kN	20kN	30kN	40kN	50kN	60kN	70kN	80kN	90kN	1,00kN
30°	기존	5.33	10.33	15.33	20.33	25.33	30.33	35.33	40.33	45.33	50.33
	개량	2.66	5.16	7.66	10.16	12.66	15.16	17.66	20.16	22.66	25.16
45°	기존	5.27	10.27	15.27	20.27	25.27	30.27	35.27	40.27	45.27	50.27
	개량	2.64	5.13	7.63	10.13	12.63	15.13	17.63	20.13	22.63	25.13
60°	기존	5.20	10.19	15.19	20.19	25.19	30.19	35.19	40.19	45.19	50.19
	개량	2.60	5.10	7.60	10.10	12.59	15.09	17.59	20.09	22.59	25.09
90°	기존	5.01	10.01	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00
	개량	2.51	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00

④ 결론

- 바퀴 축이 두 개로 분산되어 있는 개량 유형거가 바퀴 축이 하나밖에 없는 기존 유형거에 비해 **축에 가해지는 하중**이 더 적습니다.
- 복도 4개로 하중을 분산하는 개량 유형거가 2개로 하중을 분산하는 기존 유형거보다 **복도가 부담하는 하중**이 더 적습니다.

① 탐구 주제 및 관련 교과

탐구
주제

유형거의 펌핑 운동을 역학적으로 탐구(동역학)

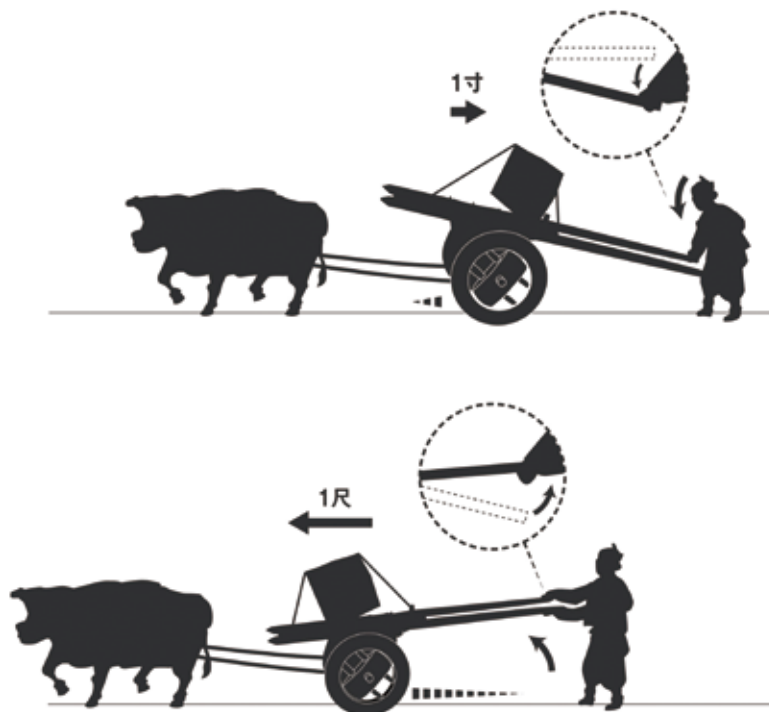
관련
교과

물리, 통합과학, 과학탐구실험

② 교과 기반 탐구 활동 요약

① 서론

- 유형거가 달리게 되면 돌이 차상 가로대 위에서 앞뒤로 움직여 수레가 한 치 정도 물러섰다가, 그보다 훨씬 더 많은 한 자 앞으로 나가게 됩니다. 돌을 이용하여 수레를 움직이는 힘을 만들어낸다는 의미로 물리학적으로 펌핑(pumping)에 해당됩니다.

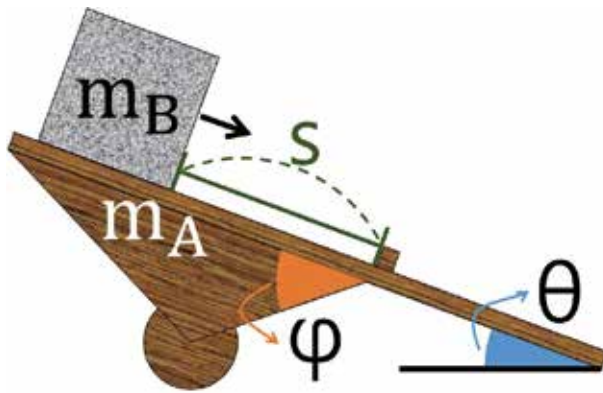


[그림 1] 보조 동력 생성을 위한 유형거의 펌핑(pumping)

기존과 개량 유형거의 펌핑 운동 비교 탐구

② 방법

- 짐이 미끄러져 부딪힐 때 수레의 속도 변화를 구하기 위해 다음 값을 가정하였습니다. 마찰력은 없는 것으로 간주하였습니다. (단, $g = 9.8m/s^2$ 은 중력가속도)



[그림 2] 운동 계산을 위한 가정

m_A = 수레의 질량

m_B = 짐의 질량

θ = 기울이는 각도

ϕ = 빗면-한표(여두)-바퀴축이 이루는 각도

S = 짐이 미끄러지는 거리

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

(수레의 회전을 고려해 병진 성분의 크기를 추출)
- 수레의 최종 속도 변화
$$\Delta v_A = a_A t + \frac{I}{m_A}$$

③ 결과

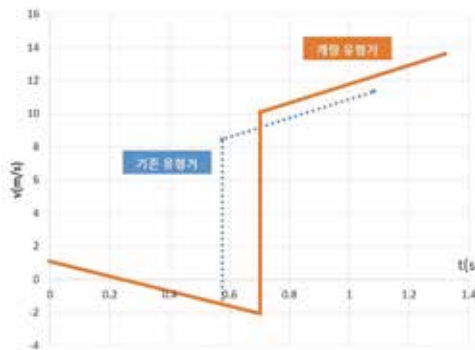
- $m_A = 500kg$, $m_B = 1500kg$ 이라고 가정하고, 기존 유형거와 개량 유형거의 높이는 비슷하게 맞추어 계산하였습니다.
- 다음 표는 기존 유형거와 개량 유형거, 앞으로 기울이는 경우와 뒤로 기울이는 경우 짐이 미끄러져 내려와 부딪히는 동안 수레의 최종 속도 변화를 계산한 결과입니다.
- 개량 유형거의 각도는 한글본 『정리의궤』 그림을 활용하여 추론하였으며, 기존 유형거는 『화성성역의궤』 그림을 이용하였습니다. 개량 유형거가 더 많이 기울인다고 가정한 것입니다.

[표 1] 운동 계산을 위한 가정

	앞으로 기울일 때	뒤로 기울일 때
기존 유형거 (s=1m)	 $\Theta = 0.1679 (\approx 9.62^\circ)$ $\phi = 0.4267 (\approx 24.49^\circ)$ $\Delta v_A = 7.3705\text{m/s}$	 $\Theta = 0.2320 (\approx 13.29^\circ)$ $\phi = 0.6708 (\approx 38.43^\circ)$ $\Delta v_A = 7.5462\text{m/s}$
개량 유형거 (s=1.49m)	 $\Theta = 0.1679 (\approx 9.62^\circ)$ $\phi = 0.4267 (\approx 24.49^\circ)$ $\Delta v_A = 9.0009\text{m/s}$	 $\Theta = 0.2320 (\approx 13.29^\circ)$ $\phi = 0.3258 (\approx 18.67^\circ)$ $\Delta v_A = 10.4859\text{m/s}$

④ 결론

- [그림 3]은 초기 속도를 1.1m/s로 가정했을 때, 펌핑을 하지 않는 수레, 기존 유형거, 개량 유형거를 시간-속도 그래프로 나타낸 것입니다.



[그림 3] 시간-속도 그래프

- [그림 3]에서 각각의 경우의 변위를 계산하면, 펌핑을 하지 않았을 때가 8.33m, 기존 유형거가 30.43m, 개량 유형거는 66.17m입니다. 개량 유형거는 기존 유형거와 달리 속도가 계속 증가하는 추세를 보이면서 변위가 더 커졌음을 확인할 수 있습니다.
- 펌핑을 하는 구간의 속도가 증가하기 때문에 변위가 늘어남을 확인할 수 있습니다. 마찰은 고려하지 않았지만 마찰이 있는 경우에도 위와 비슷한 결과를 나타낼 것입니다.

① 탐구 주제 및 관련 교과

탐구
주제

유형거가 압축 응력이나 진동에
견디는 능력을 수학적으로 추론

관련
교과

수학, 미분과 적분, 확률과 통계

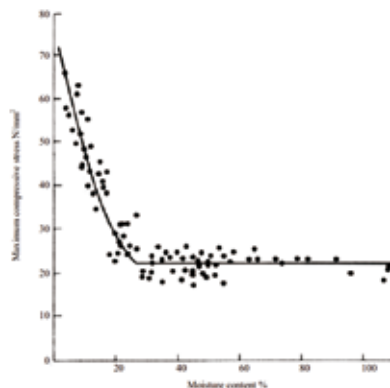
② 교과 기반 탐구 활동 요약

① 서론

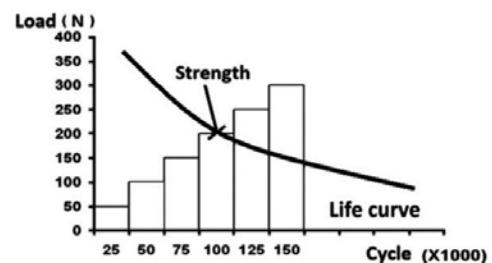
- 기존 유형거와 개량 유형거 모두 목재를 활용하였습니다. 따라서 **목재의 수분 함량**과 지속적인 사용 횟수에 따른 강도 변화에 주목해야 합니다.

② 유형거의 압축 강도

- 유형거는 무거운 짐이 누르는 압력을 견디는 힘인 압축 강도가 중요합니다. 목재의 **압축 강도**는 목재가 포함하고 있는 **수분**에 큰 영향을 받습니다.
- 목재의 수분 함량에 따른 최대 압축 강도를 함수로 표현한 그래프를 보면(그림 1), 목재는 충분히 말려서 사용해야 함을 알 수 있습니다.
- 목재 역시 다른 재료와 마찬가지로 반복적으로 하중을 주면 점차 견디어낼 수 있는 힘이 줄어들게 됩니다(그림 2). 따라서 **진동이나 충격이 누적되지 않도록** 해야 합니다.



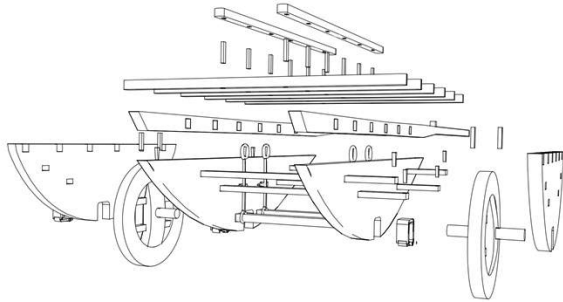
[그림 1] 목재의 수분과 최대 압축 강도의 관계



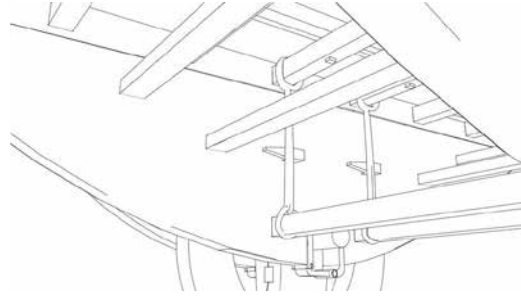
[그림 2] 반복 횟수에 따른 목재 강도의 저하

③ 개량 유형거의 진동 감쇄

- 기존 유형거는 복토와 차상이 단순 결합으로 이루어져 있지만, 개량 유형거는 빗줄을 이용하여 3, 4번 가로대와 하단 축을 연결하여 **상하 진동을 감쇄**할 수 있습니다. 빗줄은 적당한 힘으로 당겨주면서 **탄성**을 지니도록 해줍니다.

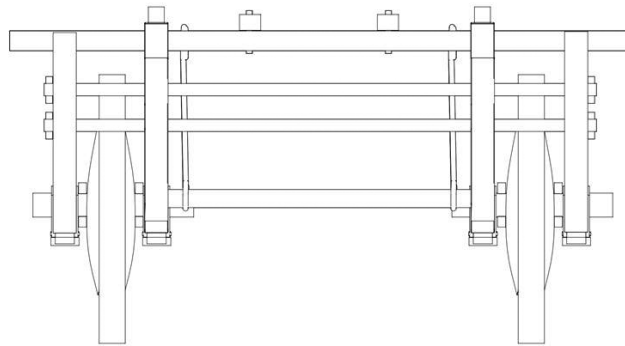


[그림 3] 개량 유형거의 상부 구조와 하부 구조의 결합



[그림 4] 빗줄을 이용한 진동 감쇄

- 기존 유형거는 하나의 바퀴 축으로 제작되었지만, 개량 유형거는 바퀴별로 축이 분리되어 있습니다. 따라서 주행 중에 선회하거나 노면이 울퉁불퉁할 때 좌우 바퀴에 생기는 회전차로 인한 **비틀림 토크**를 줄일 수 있습니다.



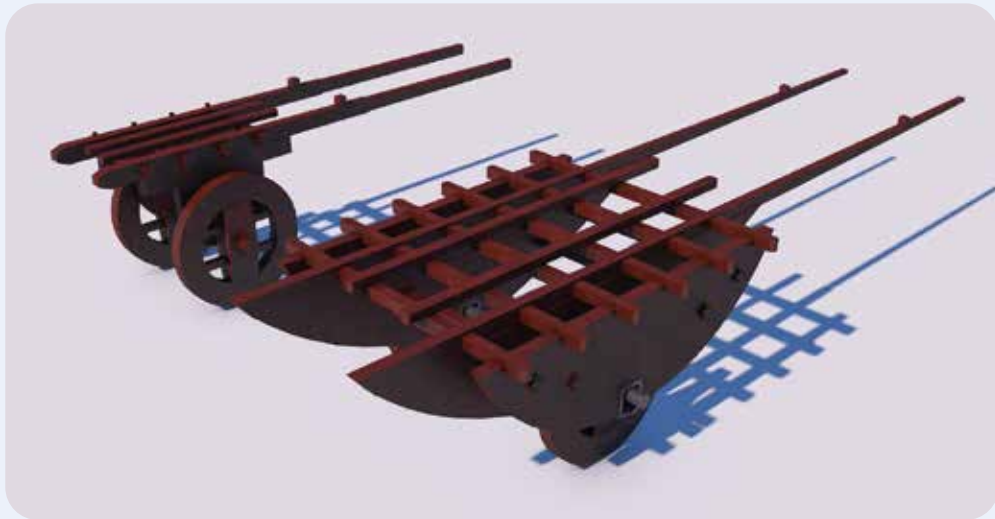
[그림 5] 개량 유형거 정면도

④ 결론

필요한 기능	기존 유형거	개량 유형거
상하 진동 감쇄	없음 (복토와 차상의 단순 결합)	가로대와 하단 축을 보조 빗줄을 이용하여 연결 (적당한 힘으로 당겨 주면서 탄성을 지니도록 개선)
차동 장치 differential gea	없음 (통 축)	분산형 축 (주행 중에 선회하거나, 노면이 울퉁불퉁할 때 좌우 바퀴에 생기는 회전차를 반영함)

2019 통진고등학교 교과 기반 프로젝트의 의의

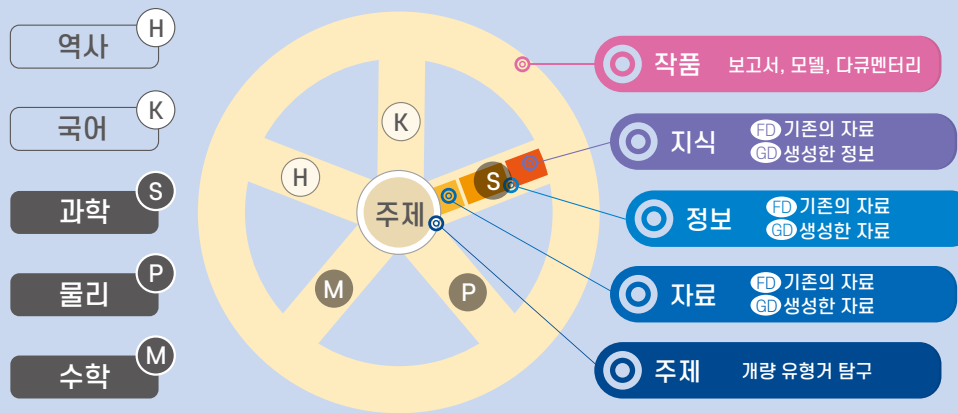
- 우리는 최근에 프랑스에서 발견된 한글본 『정리의궤』에서 개량 유형거를 발견하고, 그 특징을 탐구 하였습니다.



- 우리는 국어와 역사 시간에 배웠던 수레와 관련된 실학자들의 견해와 다른 주장을 하였습니다.
- 우리는 과학과 수학 시간에 배운 역학 이론과 수학을 활용하여 기존 유형거와 개량 유형거의 차이 점을 탐구하였습니다.
- 우리는 교과 기반 프로젝트를 통해 탐구 보고서 쓰기 능력과 발표 능력이 향상되었습니다.

조선은 수레를 체계적으로 이용하지 못했던 낙후된 국가가 아니었습니다.
비록 운송용 수레는 미흡했으나, 건설용 수레는 체계적으로 관리되었습니다.
‘유형거’는 그 대표적인 사례입니다.

2019 통진고등학교 교과 기반 프로젝트 참여 인원

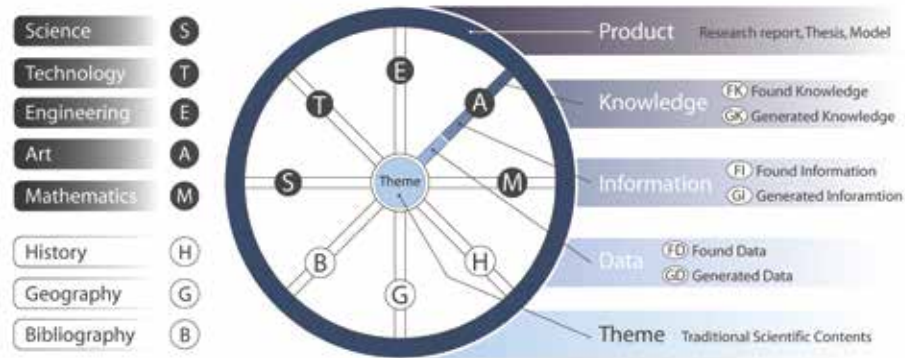


역할	담당	
프로젝트 기획	김재곤(통진고등학교 교장)	
	차찬규(통진고등학교 교감)	
	황인철(통진고등학교 부장)	
프로젝트 지도	이용규(통진고등학교 물리교사)	
	류지원(통진고등학교 통합과학교사)	
	조정수(통진고등학교 국어교사)	
	송재천(통진고등학교 수학교사)	
	장문희(통진고등학교 역사교사)	
역사팀	김동성(통진고 1학년)	김민주A(통진고 1학년)
	김민주B(통진고 1학년)	김민하(통진고 1학년)
	손지우(통진고 1학년)	이은채(통진고 1학년)
국어팀	강연수(통진고 2학년)	강혜원(통진고 2학년)
	김형주(통진고 2학년)	손경희(통진고 2학년)
	주성현(통진고 2학년)	
과학팀	김아영(통진고 1학년)	민근택(통진고 1학년)
	김어진(통진고 1학년)	백승주(통진고 1학년)
	김영서(통진고 1학년)	송윤호(통진고 1학년)
	김필중(통진고 1학년)	이가인(통진고 1학년)
	류시우(통진고 1학년)	장준민(통진고 1학년)
물리팀	김진석(통진고 2학년)	안중원(통진고 2학년)
	용수민(통진고 2학년)	이승현(통진고 2학년)
수학팀	김다인(통진고 1학년)	임준혁(통진고 1학년)
	구윤성(통진고 2학년)	정민주(통진고 2학년)
	조민수(통진고 2학년)	채종은(통진고 2학년)
	최민서(통진고 2학년)	
프로젝트 설계	김평원(인천대학교 교수)	

수레바퀴모형을 적용한 교과 기반 프로젝트의 사례

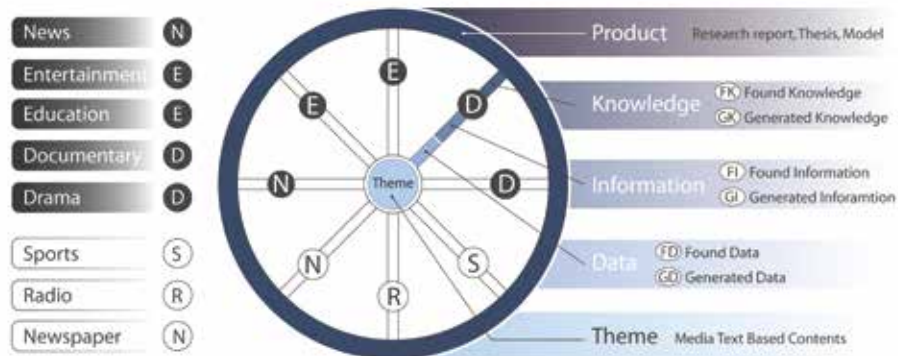
● 출처 : 인천대학교 리소스센터 <http://www.inuedu.com>

학문 기반 수레바퀴모형



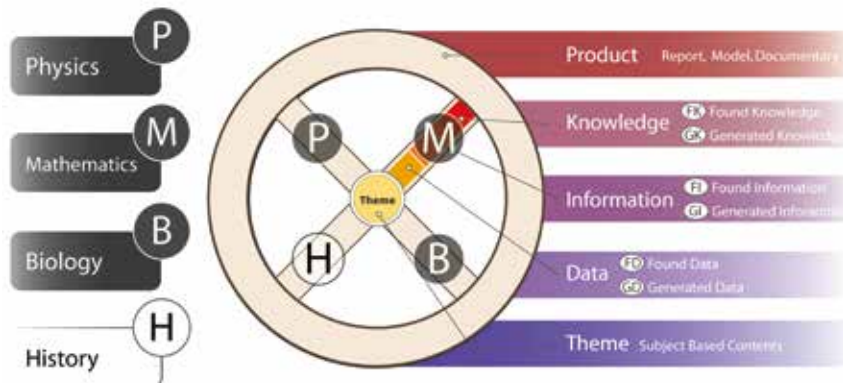
마포고등학교, 하나고등학교, 인천하늘고등학교(Since 2010)

미디어 텍스트 기반 수레바퀴 모형



인천하늘고등학교, 미림여자고등학교(Since 2016)

교과 기반 수레바퀴모형



통진고등학교(Since 2018), 서귀포여자고등학교(Since 2019)



통진고등학교

한 분야를 천착하는 전문가가 주목을 받았던 ‘분화’의 시대가 저물고
지식 노동을 인공지능이 대체하는 ‘융합’의 시대를 맞이하고 있음에도,
우리 사회는 여전히 한 개인의 역량을 수능 시험과 내신 석차로 줄세우고 있습니다.

우리는 통진고등학교 교과 기반 프로젝트 사례를 통해
물리, 수학, 생명과학, 역사 등 정규 교과 수업 시간에 배운 지식만을 활용해도
수준 높은 작품을 만들면서 학생과 교사가 함께 성장할 수 있음을 확인하였습니다.

- 인천대학교 교수 김평원 -

