수레바퀴모형을 적용한

2018 통진고등학교 교과 기반 프로젝트

거중기 동력으로 동원된 노동자의 작업 부하 탐구

- 수학, 과학, 역사를 활용하여 노동자의 고통을 탐구하다

통진고등학교



수레바퀴모형을 적용한

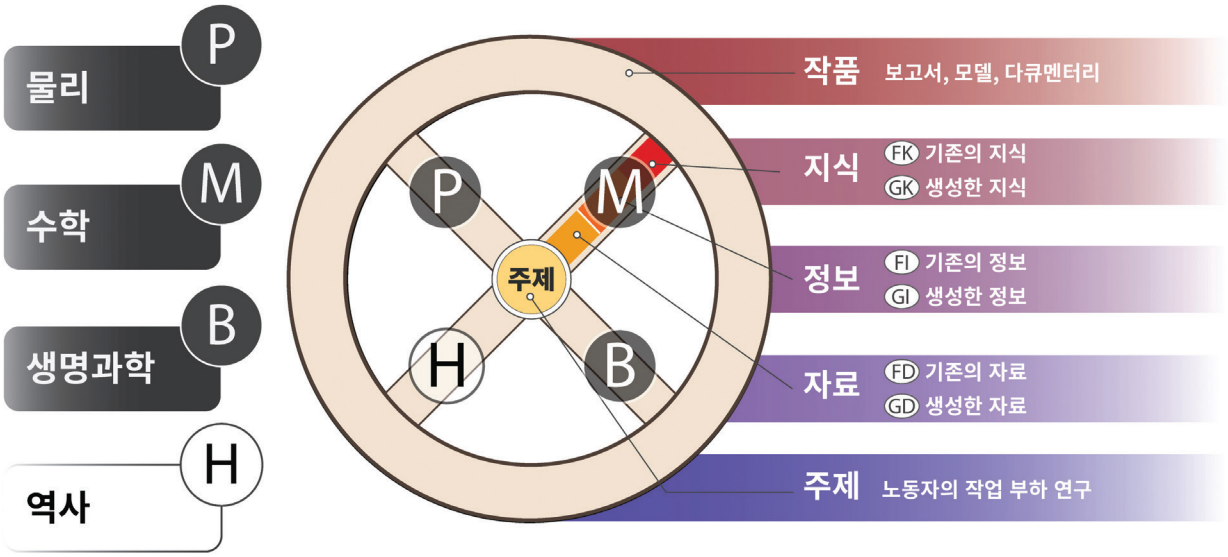
2018 통진고등학교 교과 기반 프로젝트

거중기 동력으로 동원된 노동자의 작업 부하 탐구

- 수학, 과학, 역사를 활용하여 노동자의 고통을 탐구하다

통진고등학교

연구 요약



연구 주제	· 왜 거중기의 원리만을 강조하고, 거중기를 움직이는 노동자의 고통은 안 따질까? · 왜 노동 시간만으로 노동의 강도를 평가하려고 할까? · 왜 일하는 사람의 고통보다는 작업의 효율성과 성과만을 중시할까?
교과 기반 프로젝트팀 (4개 팀)	

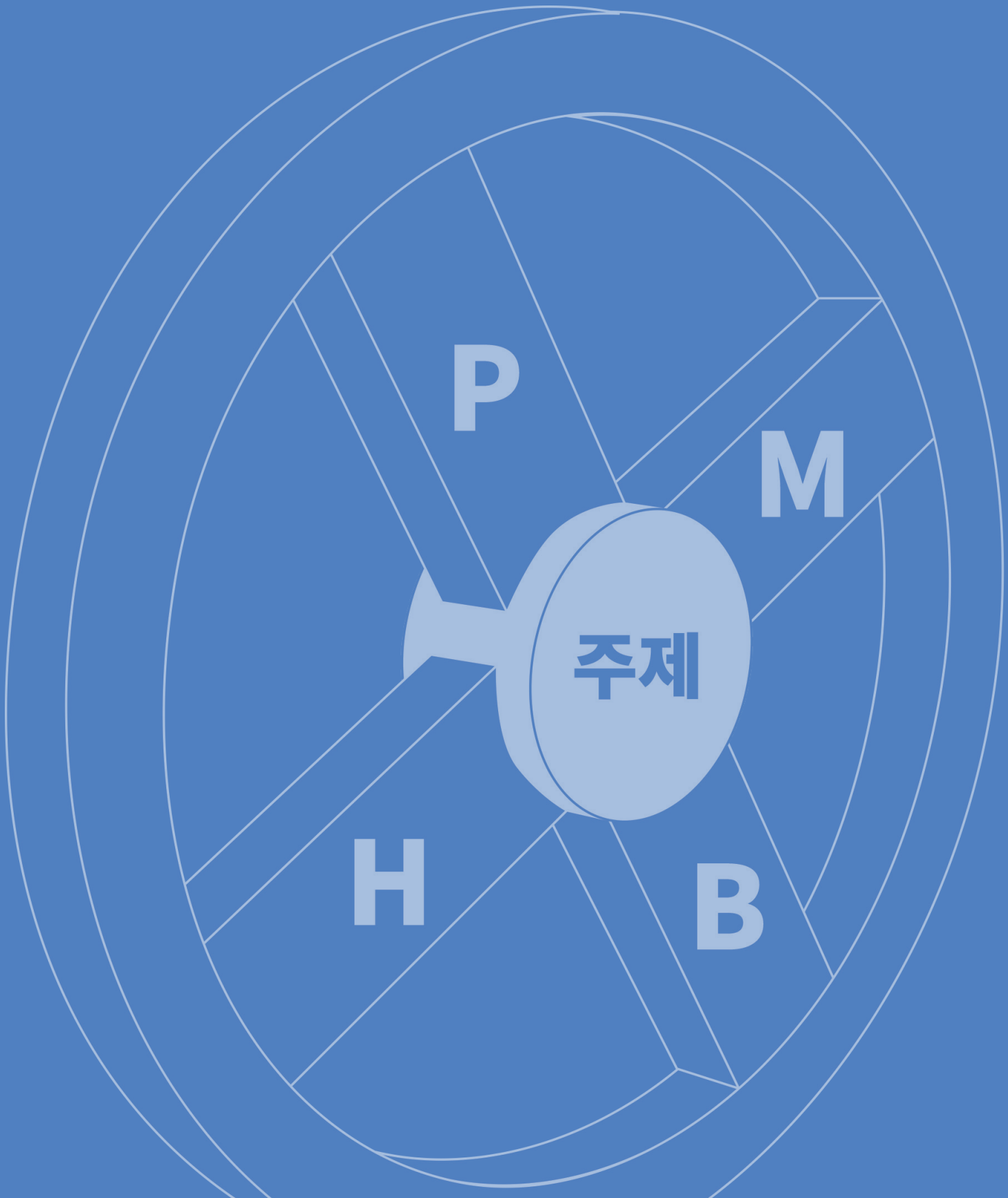
P	Physics	주제	복합 도르래와 복합 기어의 역학적 원리 분석
		관련 교과	과학, 물리, 사회, 스포츠 문화
M	Math	주제	인간 노동의 계량화
		관련 교과	수학, 미적분, 확률과 통계, 수학 과제 탐구
B	Biology	주제	생체 신호 분석을 통한 노동 강도 탐구
		관련 교과	과학, 생명과학, 수학, 미적분, 확률과 통계
H	History	주제	수원 화성 건설 노동자에 관한 연구
		관련 교과	한국사, 근현대사, 법과 정치, 사회문화, 사회

융합 프로젝트	· 물리, 생명과학, 수학, 역사팀의 결과를 종합하여 작품 만들기
작품	· 프로젝트 보고서 : 4개 팀별 프로젝트 보고서 · 미디어 작품 : 다큐멘터리 제작 – 수학, 과학, 역사를 활용하여 노동자의 고통을 탐구하다.

연구 절차

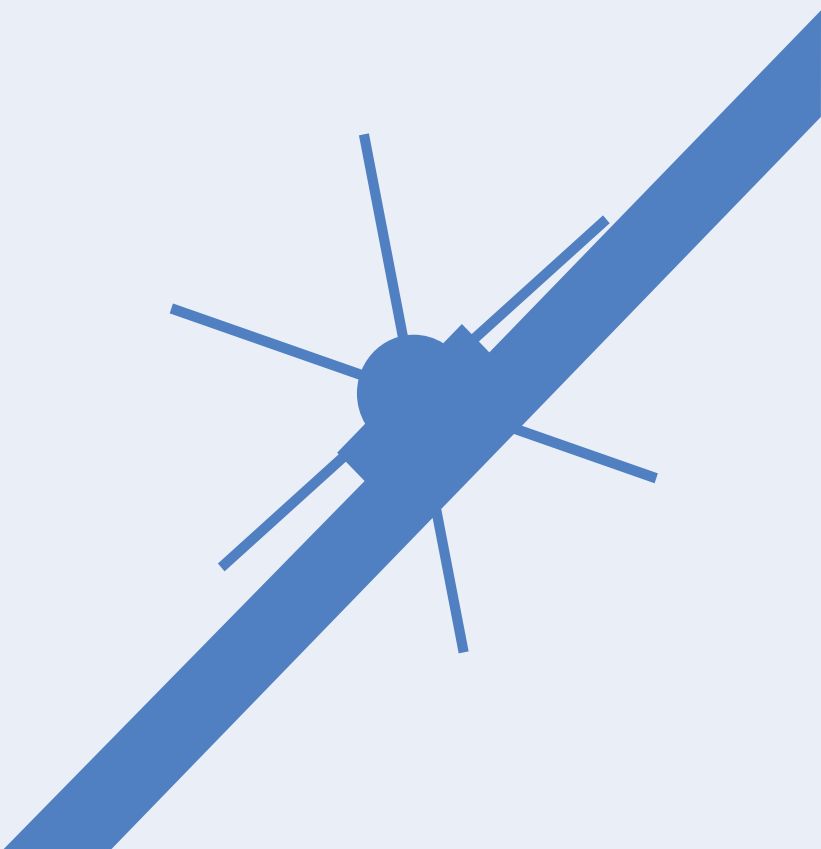
단 계		일 자	내 용
기획	프로젝트 설계	2017.10~2017.12	통진고등학교 TF팀(황인철 부장) & 인천대학교 융합과학기술원 김평원 교수
	학생 설명회	2017.12	교과 기반 프로젝트 설명회
	연구원 선발	2018.03	학생 연구원 선발
	실험 장치 설계 및 설치	2018.04.14 ~ 2018.04.29	통진고등학교 기숙사 1층
개별연구	자료 수준 연구	2018.04.14 ~ 2018.04.28.	자료 수준 연구 & 발표 & 팀 내 공유
	정보 수준 연구	2018.04.29. ~ 2018.07.07	정보 수준 연구 & 발표 & 팀 내 공유
	지식 수준 연구	2018.07.08 ~ 2018.07.26	지식 수준 연구 & 발표 & 팀 내 공유
융합연구	평가하기	2018.07.27 ~ 2018.08.03	팀 간 연구 성과 평가 및 교류
	보고서 만들기	2018.08.10 ~ 2018.08.31	팀별 프로젝트 보고서 작성
	미디어 작품 계획하기	2018.08.10 ~ 2018.08.31	다큐멘터리 구성
작품화	다큐멘터리 제작	2018.08.31 ~ 2018.09.30	다큐멘터리 제작
	연구 성과 발표회	2018.10~2학기	연구 발표회 다큐멘터리 시사회

1 바퀴통 단계



교과 기반 프로젝트의 원리

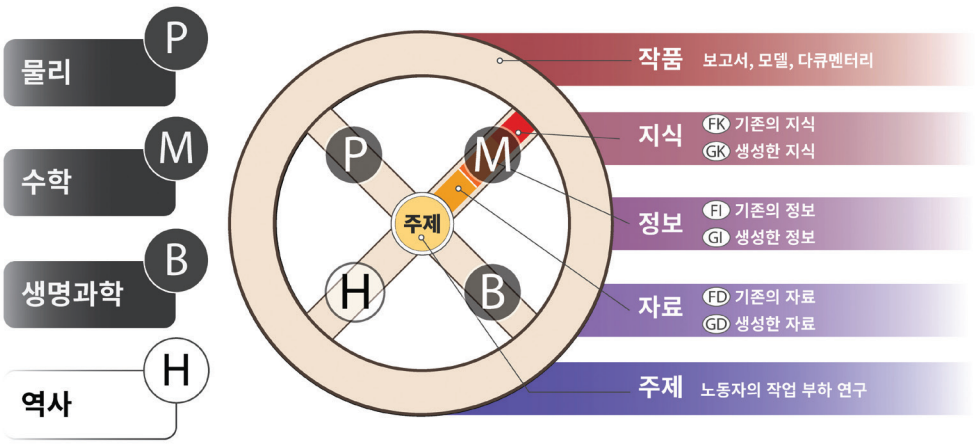
수레바퀴모형 6
교과 기반 프로젝트 8
학생과 교사가 함께 성장하는 작품화 활동 10



수레바퀴모형

❶ 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.



■ 통진고등학교 수레바퀴모형 : 수학, 과학, 역사 교과 기반 프로젝트(Since 2018)



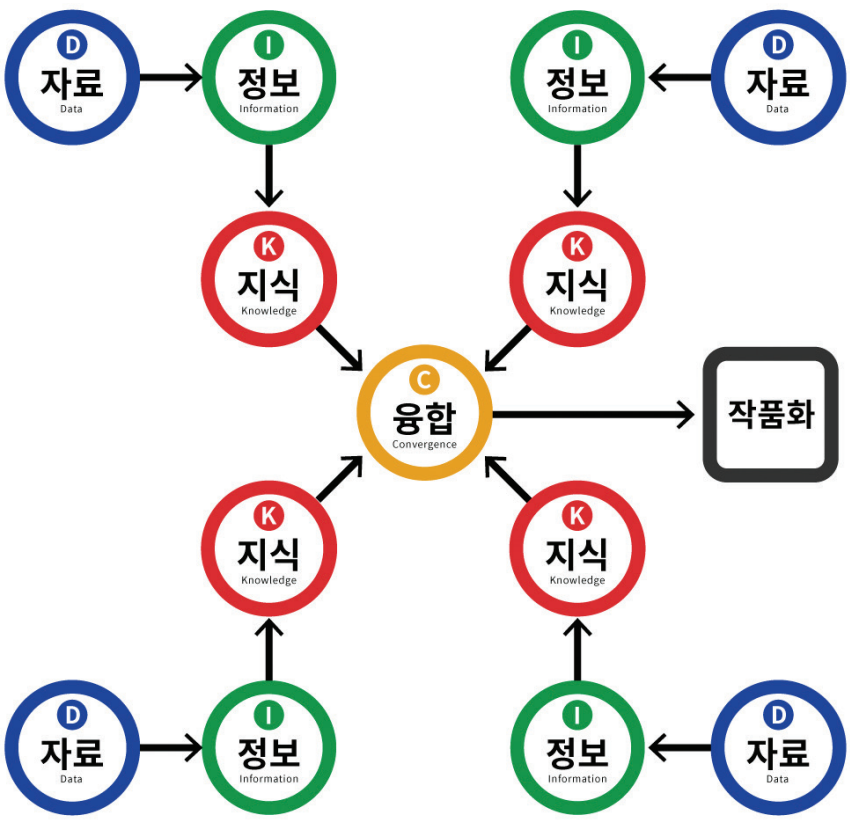
■ 수레바퀴모형을 적용한 프로젝트의 KBS 뉴스 보도 사례 (Since 2010)

■ 출처 : Pyoung Won Kim(2016), The Wheel Model of STEAM Education Based on Traditional Korean Scientific Contents, Eurasia *Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(9), 2353-2371.

❷ 자료-정보-지식으로 발전하여 융합하는 작품화 활동

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

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

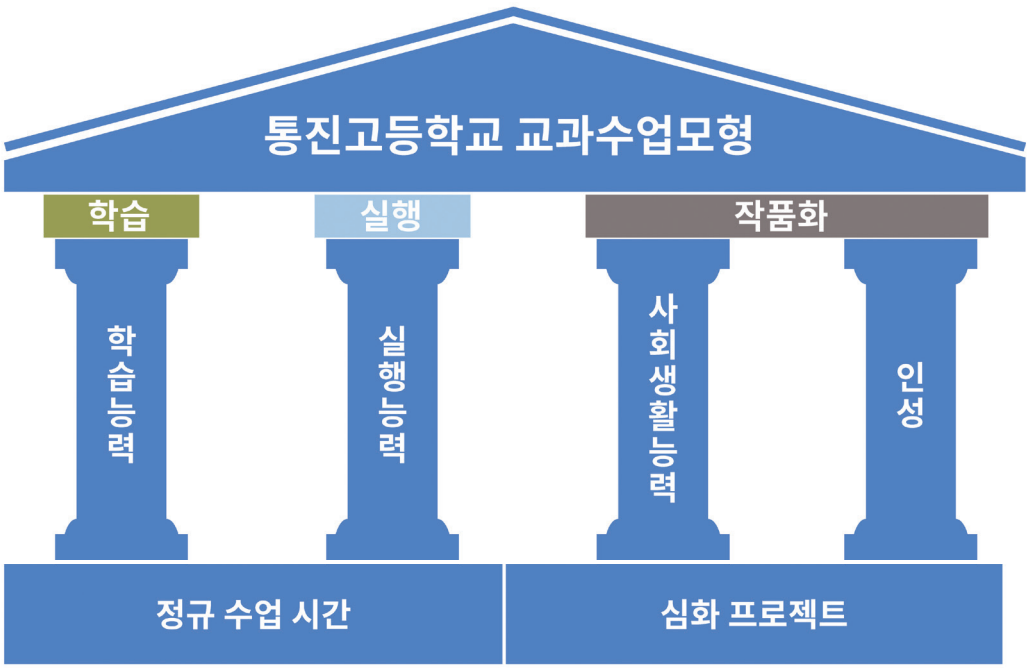


■ 통진고등학교 프로젝트의 작품화 과정

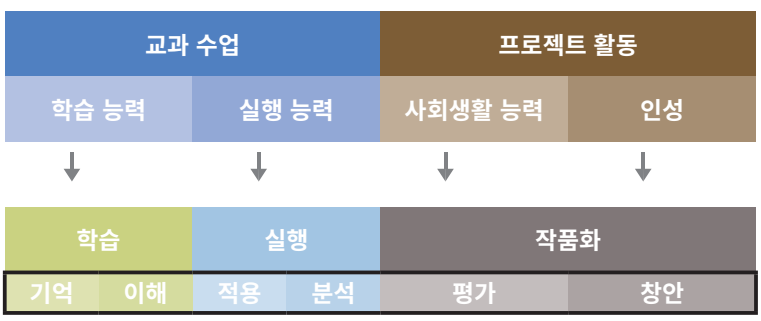
교과 기반 프로젝트

❶ 교과에서 배운 지식을 활용한 작품화 활동

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



■ 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 교육 목표에 맞게 연결 지었습니다.

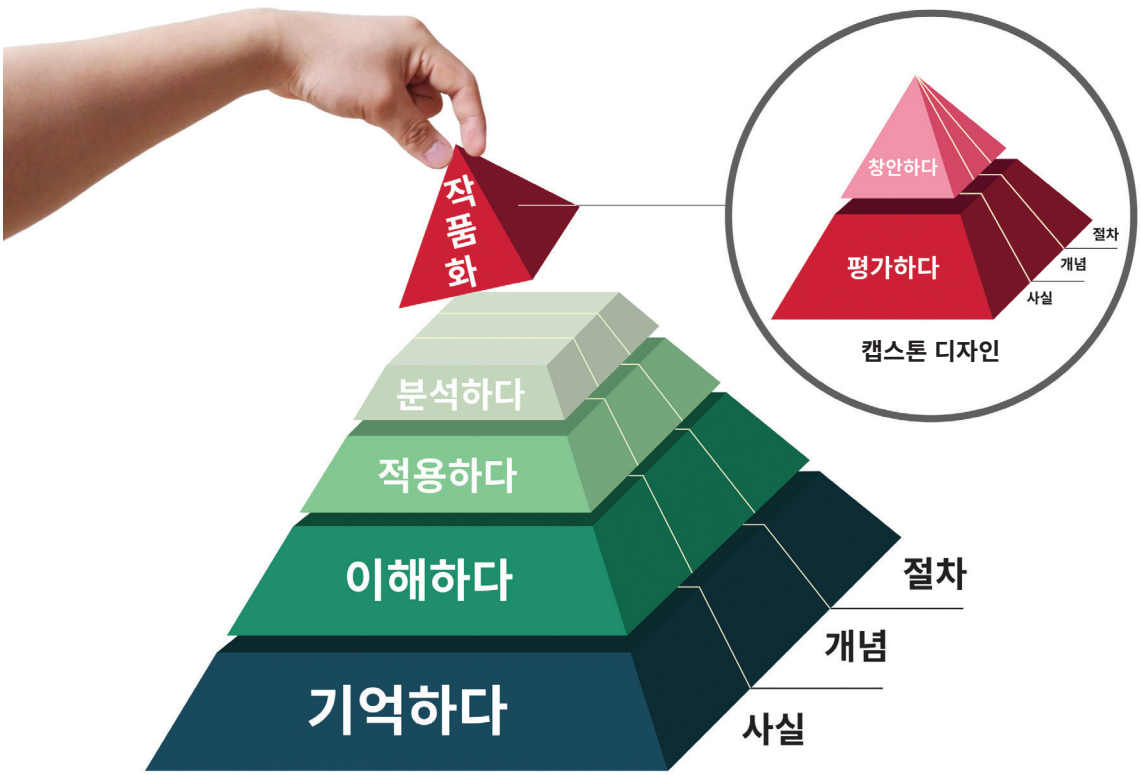


블룸의 교육 목표

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

❷ 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 단계 입니다.



■ 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

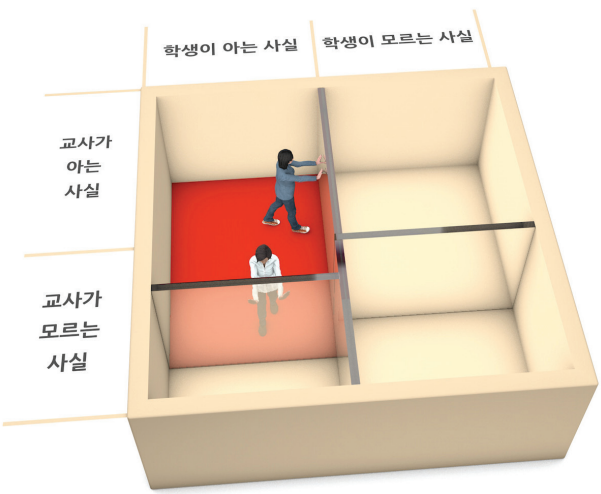
❶ 작품화 활동을 통해 성장하는 학생의 역량

- 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

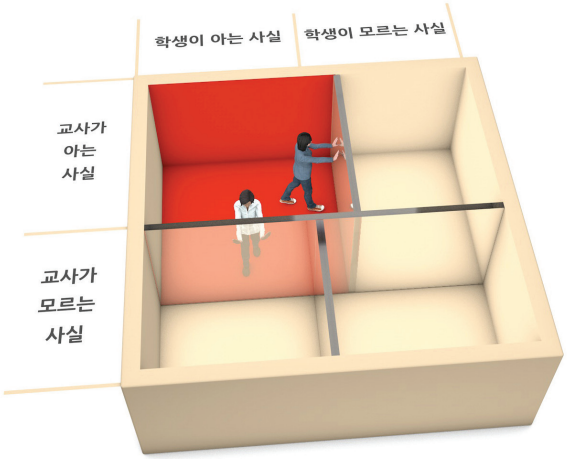
❷ 학생과 교사가 함께 성장하는 교과 기반 프로젝트 활동

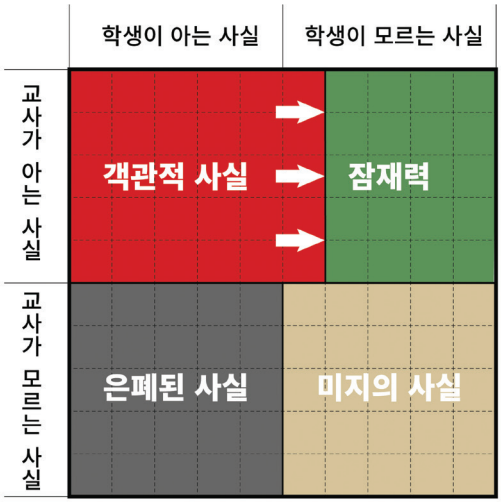
- 학생과 교사가 모두 모르는 '미지의 사실'을 제외하고, 학생이 모르는 잠재력과 교사가 모르는 은폐된 사실은 교과 기반 프로젝트 활동을 통해 충분히 객관적인 역량으로 드러낼 수 있습니다.
- 교과 수업을 확장한 프로젝트 활동을 통해 학생이 스스로 모르고 있었던 '자신의 영역(잠재력)'을 교사와 학생 모두가 인지하고 있는 '객관적 사실의 영역'으로 확장시킬 수 있습니다.
- 학생들은 교사가 모르고 있었던 영역(은폐된 사실)을 객관적 사실의 영역으로 확장시킬 수 있도록 학교 교육 활동에 적극적으로 참여하면서 교사와 적극적으로 상호작용해야 합니다.



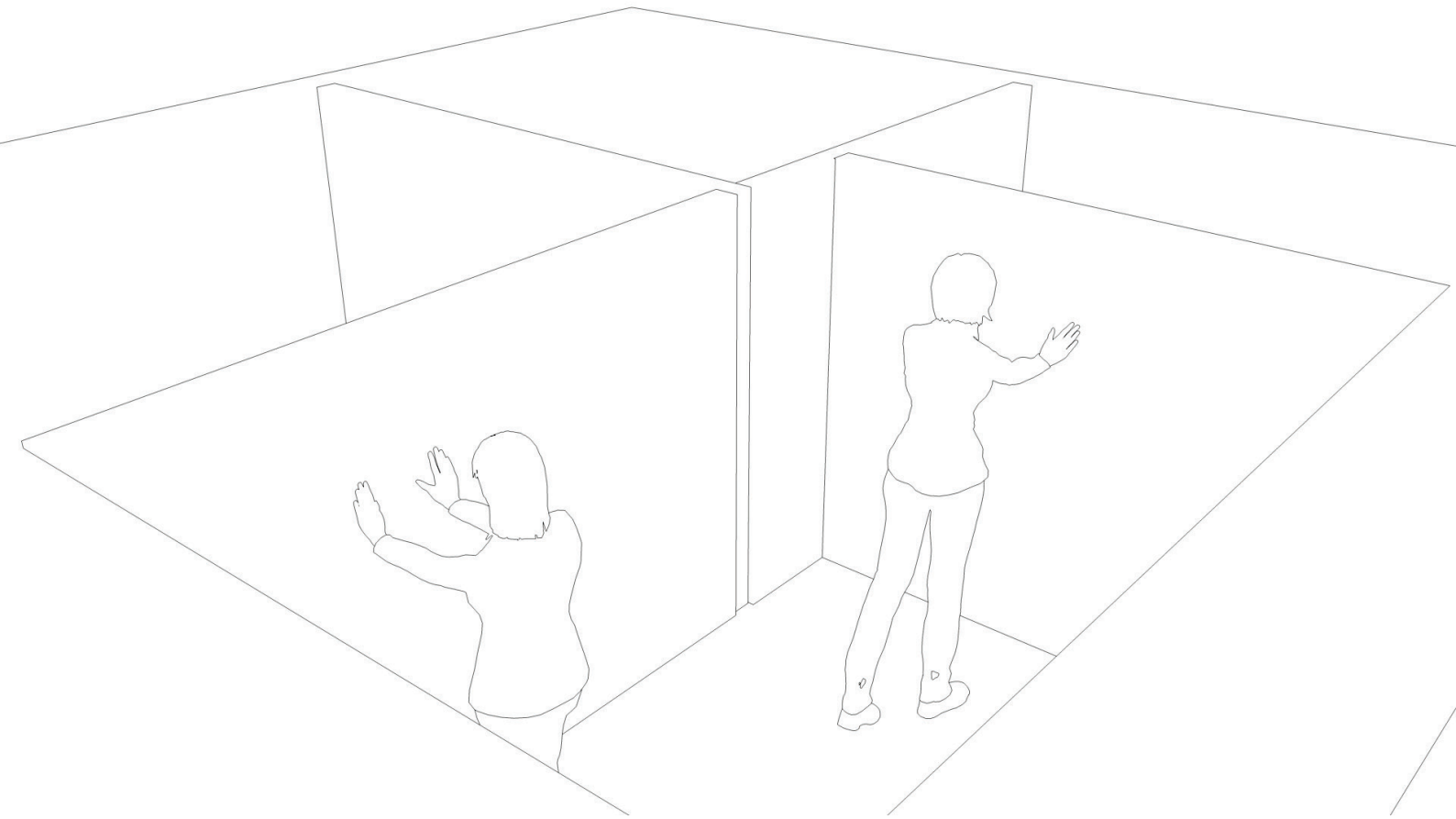
	학생이 아는 사실	학생이 모르는 사실
교사가 아는 사실	객관적 사실	잠재력
교사가 모르는 사실	은폐된 사실	미지의 사실

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



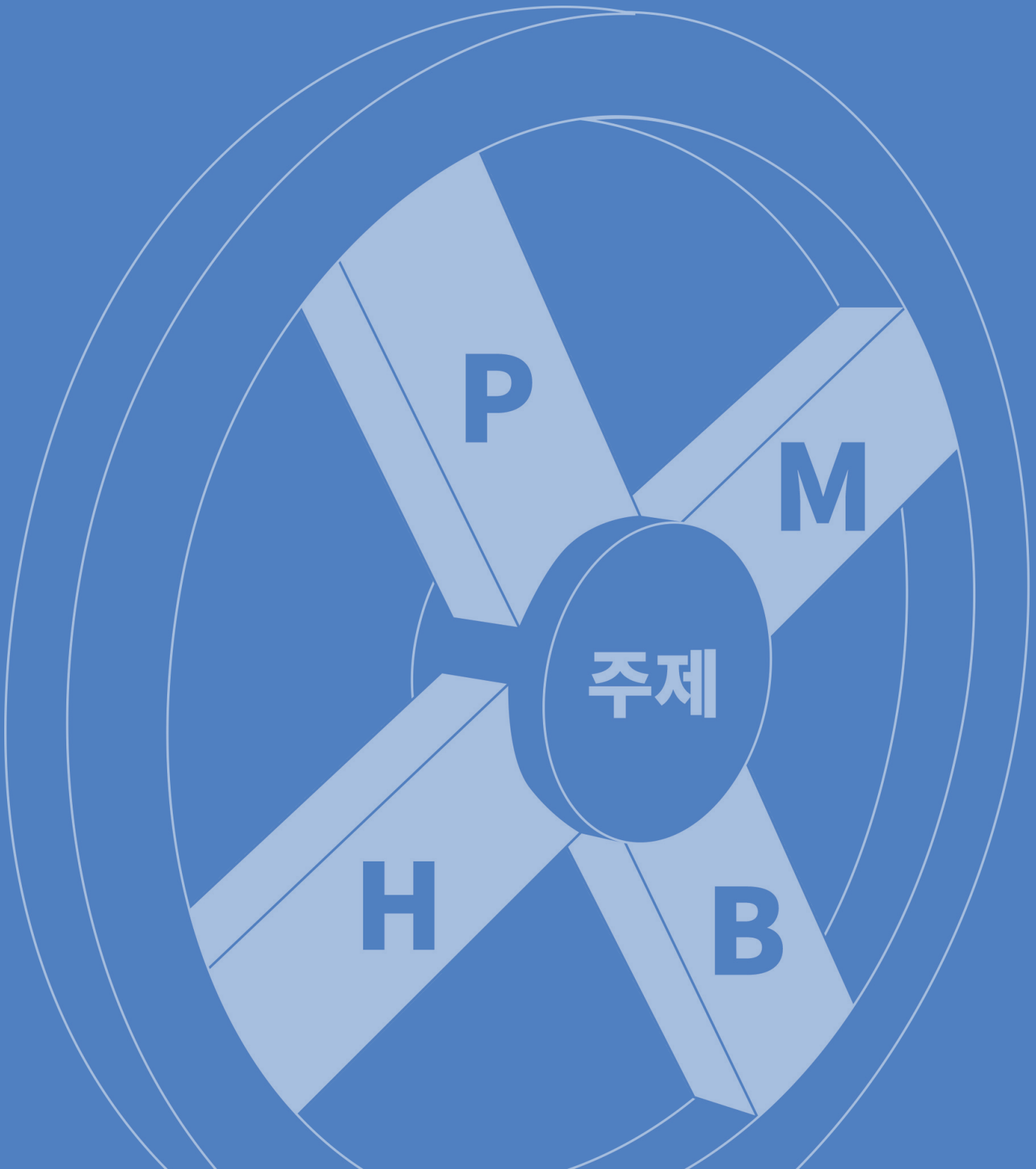


■ 이처럼 프로젝트 활동은 교사가 모르고 있었던 영역(은폐된 영역)과 학생이 모르고 있었던 영역(잠재력)을 객관적 사실의 영역으로 확장시키는 과정으로, 학교생활기록부에는 프로젝트 활동을 통해 확장된 객관적 사실이 기록됩니다.



■ 출처 : 김평원(2018), 대입 제도의 공정성에 관한 교사의 인식과 학생부종합전형의 개선 방안 연구, 교육문화연구 24(3), 105~126.

2 바퀴살 단계



4개 팀별 프로젝트 요약

P 물리 14
M 수학 18
B 생명과학 22
H 역사 26



물리 기반 프로젝트 요약

❶ 탐구 주제 및 관련 교과

수준	내용
탐구 주제	복합 도르래와 복합 기어의 역학적 원리 분석
관련 교과	과학, 물리, 국어, 사회, 스포츠 문화

❷ 프로젝트 과정

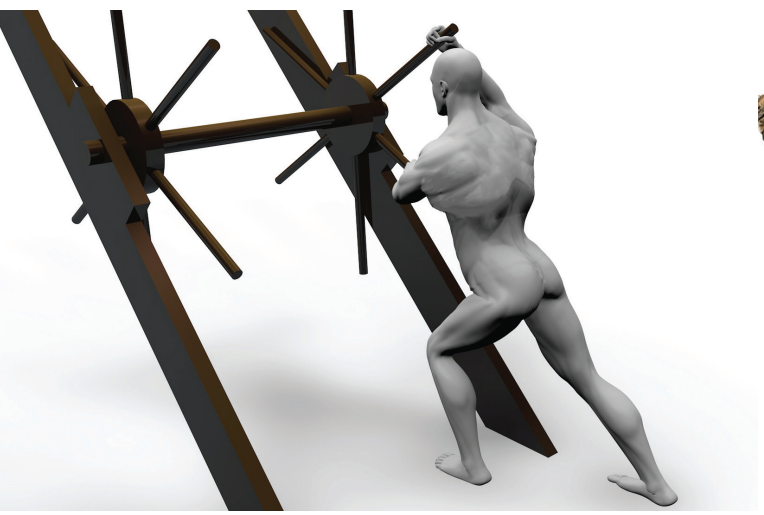
수준	성격	내용
자료	기존의 자료	과학 교과서, 물리 교과서, 『기기도설』, 『화성성역의궤』
	생성한 자료	
정보	기존의 정보	김평원(2017), 『엔지니어 정약용』, 다산초당
	생성한 정보	전통 크레인을 작동하는 방법의 차이
지식	기존의 지식	복합기어의 감속비
	생성한 지식	전통 크레인 작업을 측정하는 장치의 개발

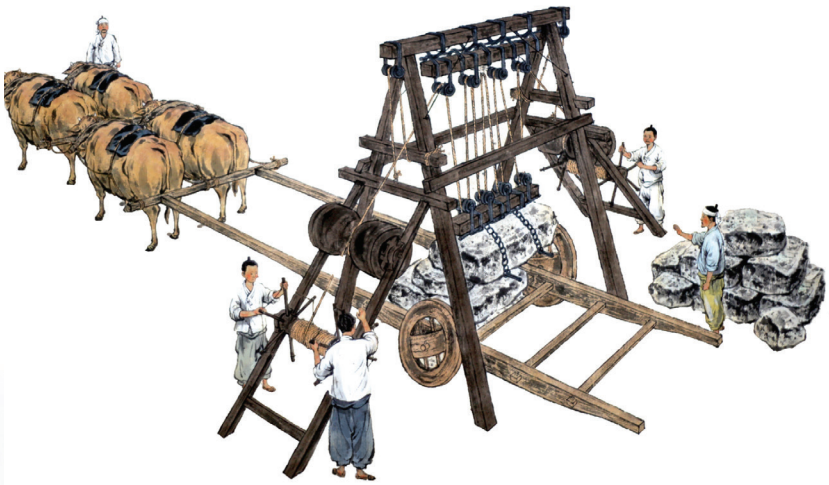
❸ 프로젝트 결과 요약

1. 인간을 동력으로 사용하는 전통 크레인의 작업

■ 우리는 옛날 크레인의 작업 환경을 따져보려고 합니다. 여기 사람의 힘을 이용하는 세 개의 전통 크레인이 있습니다. 증기기관이 발명되기 전까지 건설 기계는 이렇게 사람의 힘으로 움직일 수밖에 없었습니다.

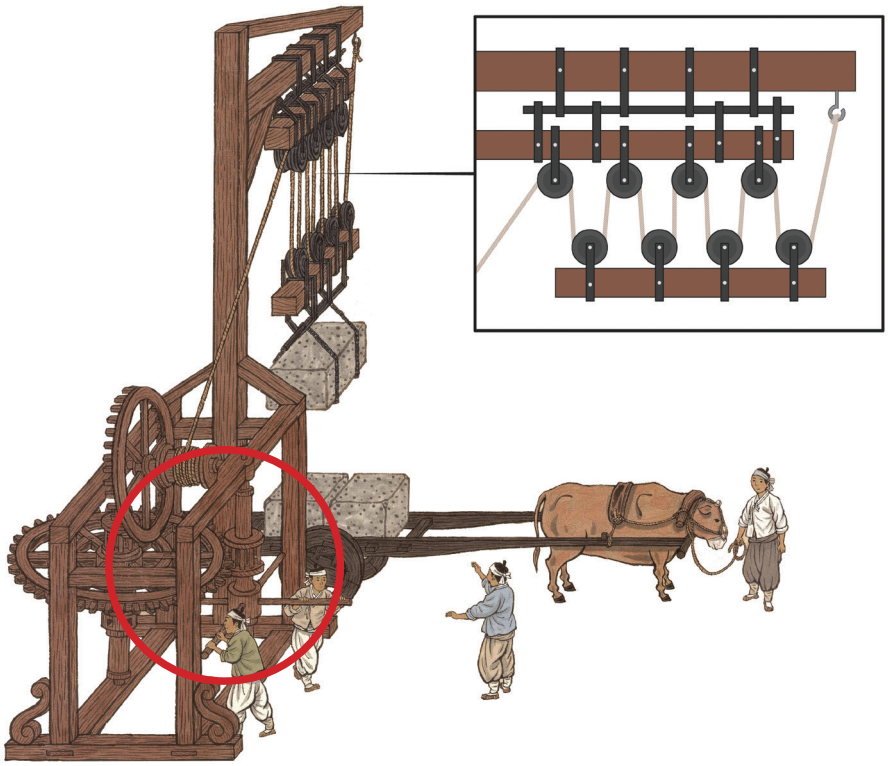
■ 수원 화성 건설에 사용된 거중기는 복합 도르래만을 사용한 간단한 크레인입니다. 제 자리에 서서 어깨 높이 이상으로 팔을 뻗어, 위에서 아래로 줄을 감는 손잡이를 돌려 내리면 됩니다.





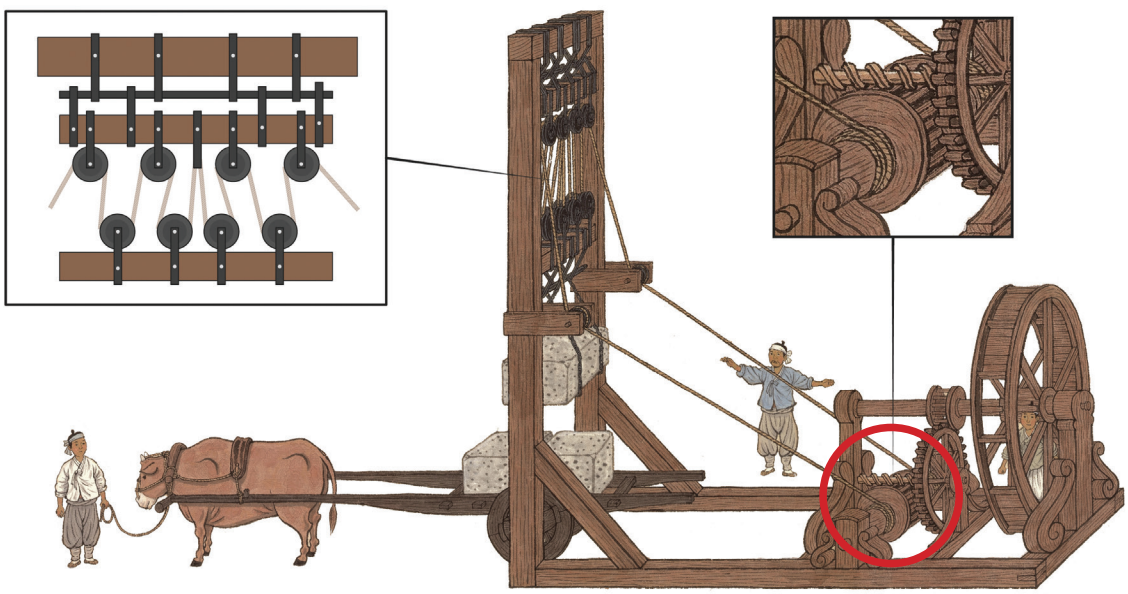
■ 거중기 돌리기 작업

■ 다음은 복합 기어와 복합 도르래를 동시에 활용한 크레인입니다. 노동자들이 손잡이를 밀면서 복합 기어를 돌리면, 복합 도르래에 연결된 물체를 들어 올리는 구조입니다. 여기서 주목해야 할 부분은 노동자들이 돌리고 있는 기어보다 맞물린 기어가 더 크다는 사실입니다. 이 때문에 노동자들이 한 바퀴를 돌려도 맞물린 기어는 한 바퀴보다 적게 회전할 수밖에 없고, 기어에 맞물린 또 다른 기어는 더 적게 회전하게 됩니다.



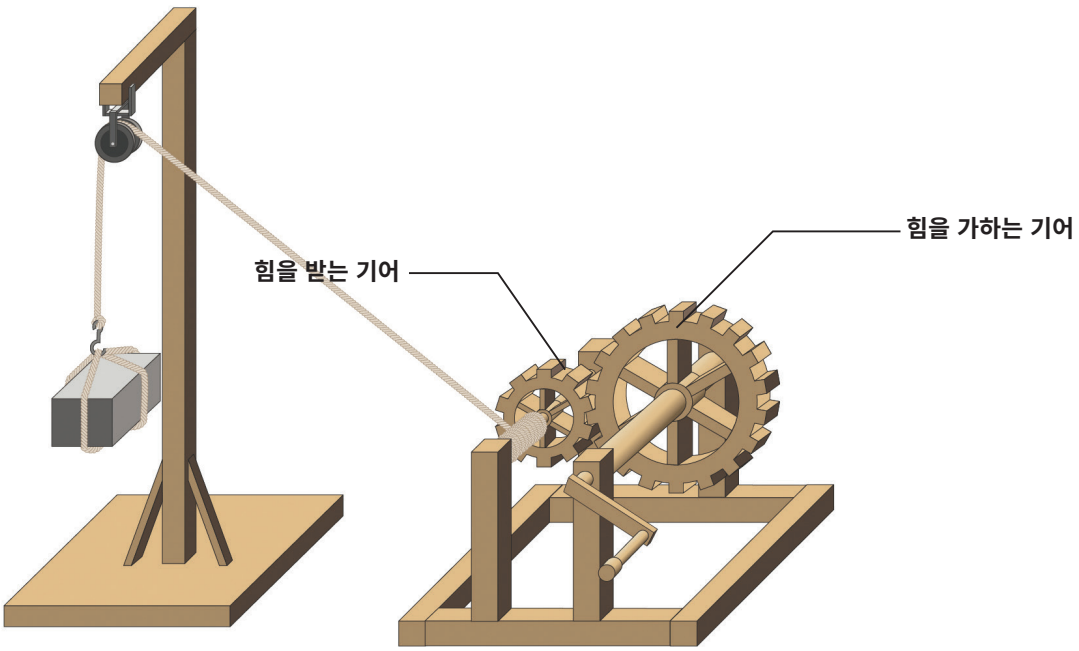
■ 기어 밀기 작업

■ 다음은 감속비가 가장 큰 웜기어를 바퀴통으로 굴리는 방식의 크레인입니다. 바퀴통 속에서 사람이 걷는 방식은 로마제국의 크레인부터 근대까지 오랜 기간 사용된 방식입니다. 다람쥐 쳇바퀴와 같은 거대한 통은 웜기어와 연결되어 있습니다.

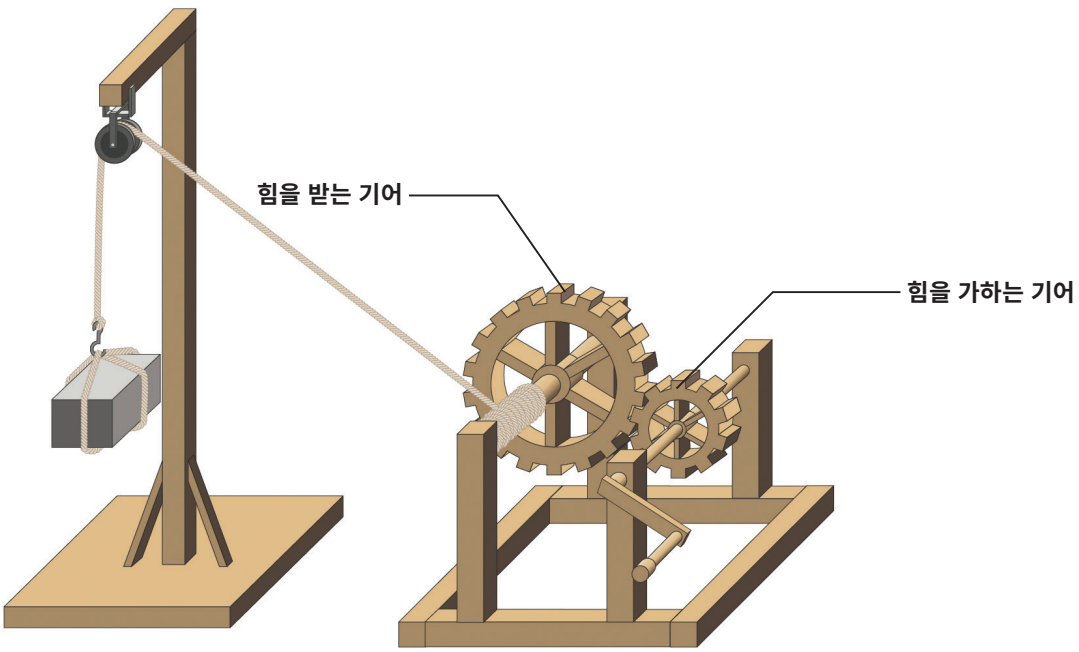


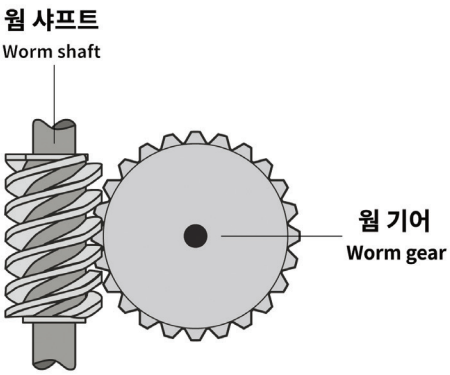
■ 바퀴통 돌리기 작업

■ 우리는 과학 시간에 복합 도르래의 경우 힘에서 이득을 보면 거리에서 손해를 본다고 배웠습니다. 복합 기어도 마찬가지입니다.
적은 힘으로 움직이고 싶으면, 기어가 더 많이 회전하도록 기어의 감속비를 크게 해야합니다.
힘을 가하는 기어가 크고 그 힘을 받는 기어가 작으면, 감는 속도는 빨라지지만 많은 힘이 들어갑니다.



■ 반대로 힘을 가하는 기어가 작고 힘을 받는 기어가 크면, 감는 속도는 매우 느려지지만 힘이 덜 들어갑니다.

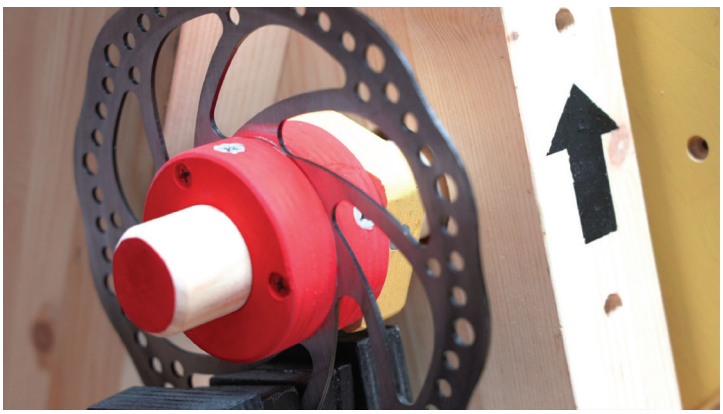




■ 웜기어는 감속비가 매우 커서 노동자는 큰 힘을 주지 않아도 됩니다. 토크(회전력)를 극대화할 수 있지만 대신 속도가 매우 느립니다. 노동자는 단순히 거대한 쳇바퀴 통속에서 부지런히 걷기만 하면 됩니다. 트레드 밀(Treadmill)을 걸으면 운동하는 셈입니다.

3. 작업 실험 장치 개발

■ 그렇다면 이 세 종류의 작업이 노동자에게는 어떠한 영향을 끼칠까요?
고등학교에서 실제 크레인을 제작하는 것은 불가능하므로,
브레이크의 원리를 활용하여 힘을 일정하게 통제할 수 있는 장치를 고안하였습니다.



■ 통진고등학교 연구팀은 전통 크레인의 동력을 얻는 방식에 맞게 노동 강도를 측정하는 실험 장치를 설계하였습니다.



수학 기반 프로젝트 요약

❶ 탐구 주제 및 관련 교과

수준	내용
탐구 주제	인간 노동의 계량화
관련 교과	수학, 미적분, 확률과 통계, 수학과제 탐구

❷ 프로젝트 과정

수준	성격	내용
자료	기존의 자료	수학 교과서, 김평원(2017),『엔지니어 정약용』, 다산초당
	생성한 자료	학생들이 스스로 느끼는 고통 설문지(10점 척도)
정보	기존의 정보	OWAS(Ovako Working posture Analysing System)법
	생성한 정보	고통의 주관적 평가
지식	기존의 지식	OWAS 분석 사례
	생성한 지식	전통 크레인 작업의 OWAS 분석

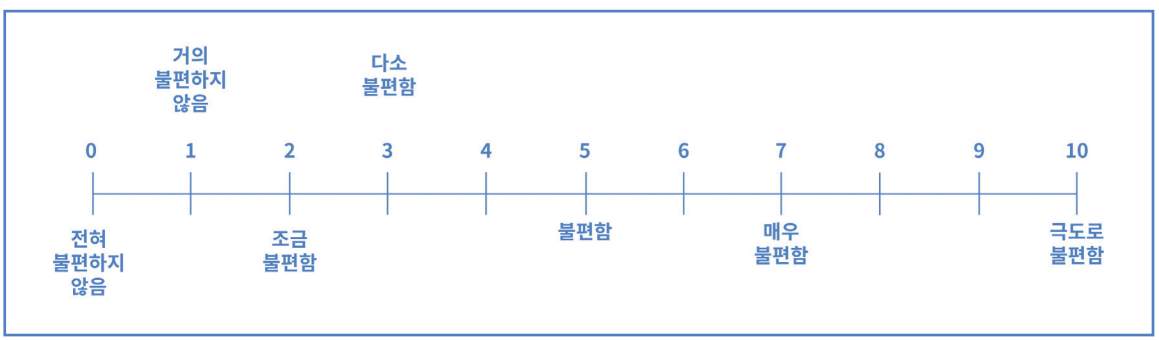
❸ 프로젝트 결과 요약

1. 주관적 평가(Psychophysical Approach)

■ 일률은 일을 얼마나 빨리 하는지를 측정할 뿐, 노동자의 고통을 반영하지 못하고 있습니다.

$$\text{일률}(P)=\frac{\text{일의 양}(W)}{\text{걸린 시간}(t)}\,,\quad P=\frac{W}{t}$$

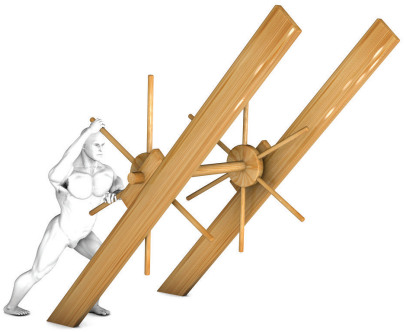
■ 피험자 학생들에게 세 가지 작업을 체험하게 한 후, 얼마나 힘이 들었는지 스스로 평가하게 하였습니다.



주관적 척도(10점 척도)

■ 거중기 작업의 일률과 노동자의 고통

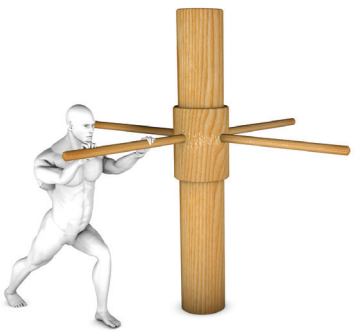
제 자리에 서서 손잡이만 내리면 되는 간단한 작업인 줄 알았는데, 거중기를 조작하는 것이 가장 힘들다는 의견이 대부분이었습니다. 무려 10점 만점에 평균 8.33점입니다. 노동자의 희생으로 일률은 가장 높았습니다.



노동 작업	역학적 원리	일률	주관적 평가
녹로 돌리기	복합 도르래	매우 높다	8.33

■ 기어 밀기 작업의 일률과 노동자의 고통

기어 손잡이를 미는 작업은 중간 정도의 강도인 평균 5.67점이었고 일률도 보통 수준이었습니다.



노동 작업	역학적 원리	일률	주관적 평가
기어 돌리기	복합 기어	보통	5.67

■ 바퀴통 돌리기 작업의 일률과 노동자의 고통

바퀴통을 돌리는 작업은, 피험자 전원이 가장 힘이 덜 드는 작업 수준으로 평가하였습니다. 고통을 느끼는 평균 점수가 다소 불편한 수준인 3.33점에 불과하였습니다. 노동자의 몸이 편한 대신 일률은 가장 낮을 수밖에 없었습니다.



노동 작업	역학적 원리	일률	주관적 평가
바퀴통 돌리기	웜과 웜기어	낮다	3.33

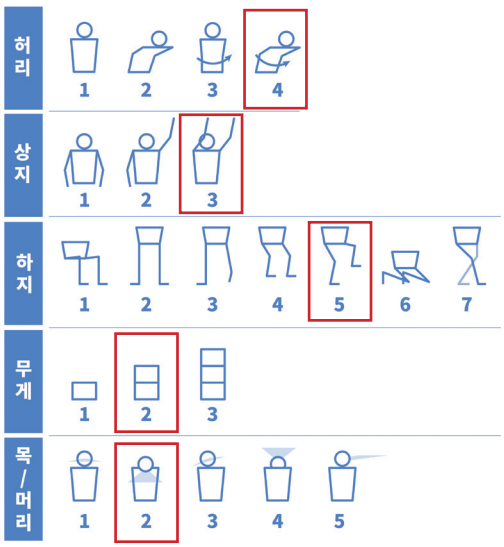
2. 산업공학적 관찰(체크 리스트 분석)

주관적 평가를 통해 확보한 수많은 데이터가 누적되면 객관적인 체크리스트를 만들 수 있습니다. 노동자의 작업을 관찰하면서 점수를 부여하는 객관적인 방법은 작업이 노동자의 근골격계 즉, 뼈와 근육에 주는 고통을 평가하는데 도움이 됩니다. 우리는 핀란드에서 개발된 작업 자세 평가 기법인 OWAS(Ovako Working posture Analysing System)를 사용하기로 하였습니다.

■ 거중기 작업의 일률과 노동자의 고통

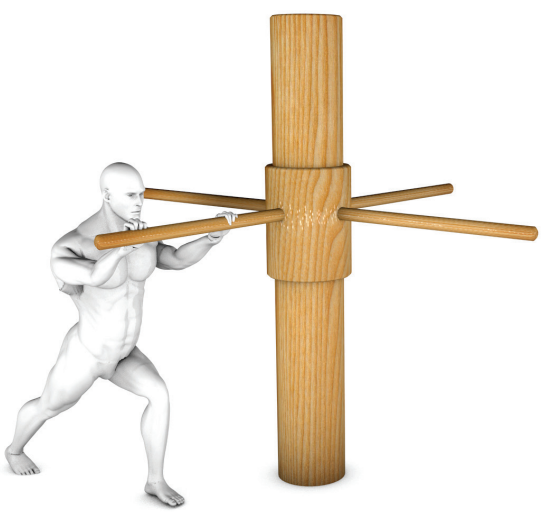
허리 부위는 상체를 앞으로 굽힌 채 옆으로 비튼 자세이므로 4점, 팔은 양손 모두 어깨 위로 올리므로 3점, 다리는 한 다리로 서서 구부린 선 자제이므로 5점, 하중은 20Kg 이내이므로 2점, 머리를 앞으로 20도 이상 굽은 자세이므로 2점, 모두 16점입니다. 이는 OWAS 분석에서 위험 수준 4단계에 해당하여, 근골격계에 매우 심각한 해를 끼치는 작업입니다.

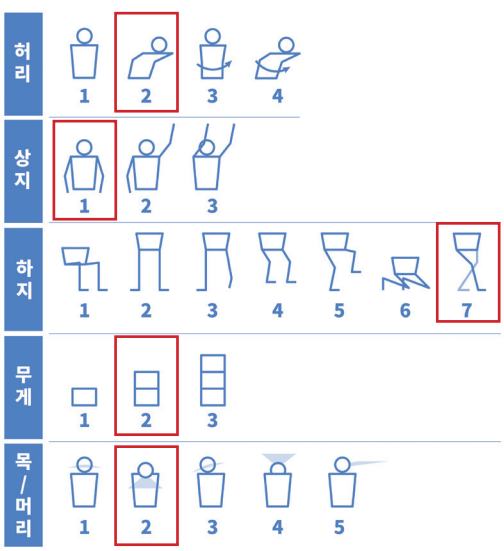




■ 기어 밀기 작업의 일률과 노동자의 고통

허리 부문은 상체를 앞으로 20도 이상 굽힌 자세이므로 2점, 팔은 양손을 어깨 아래로 내린 자세이므로 1점, 다리는 걷는 자세이므로 7점, 하중은 거중기와 마찬가지로 20Kg 이내로 통일하였으므로 2점, 머리를 앞으로 20도 이상 굽은 자세이므로 2점, 모두 14점입니다. 이는 OWAS 분석에서 위험 수준 3단계에 해당하며 근골격계에 직접적인 해를 끼치는 작업입니다.

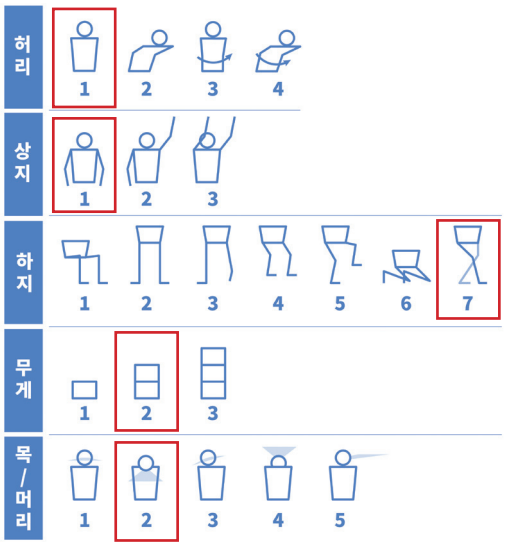




■ 바퀴통 돌리기 작업의 일률과 노동자의 고통

허리 부문은 곧바로 편 자세이므로 1점, 팔은 양손을 어깨 아래로 내린 자세이므로 1점, 다리는 걷는 자세이므로 7점, 하중은 거중기와 마찬가지로 20Kg 이내로 통일하였으므로 2점, 머리는 자유 자세이므로 1점, 모두 12점입니다. 이는 OWAS 분석에서 위험 수준 1단계에 해당하며 근골격계에 해를 끼치지 않는 작업입니다.





■ 세 가지 작업의 근골격계 위험도 평가

실험을 통해 같은 양의 일이라 할지라도, 일률이 높을수록, 즉 빨리 물체를 들어올릴수록 노동자의 근골격계에 큰 고통을 준다는 사실을 확인하였습니다. 복합 도르래만으로 구성된 거중기는 복합 기어를 적용한 크레인에 비해 더 빠르게 들어 올릴 수 있습니다. 시간 당 일의 양, 즉 일률만을 따진다면 일률이 매우 높은 효율적인 작업인 것입니다. 하지만 노동자는 고통스러웠습니다. 밀기 작업과 바퀴통 돌리기 작업의 일률은 비록 낮았지만, 노동자는 덜 고통스러웠습니다.

세 가지 작업의 위험 수준 평가(종합)

작업	점수	Level	위험도 평가
녹로 돌리기	16	4	매우 큼
케이지 기어 돌리기	14	3	큼
웜기어 돌리기	12	1	양호

OWAS에 의한 위험 수준 평가

위험 수준	평가
수준 1	근골격계에 특별한 해를 끼치지 않음.
수준 2	근골격계에 약간의 해를 끼침.
수준 3	근골격계에 직접적인 해를 끼침.
수준 4	근골격계에 매우 심각한 해를 끼침.

생명과학 기반 프로젝트 요약

❶ 탐구 주제 및 관련 교과

수준	내용
탐구 주제	생체 신호 분석을 통한 노동 강도 탐구
관련 교과	과학, 생명과학, 수학, 미적분, 확률과 통계

❷ 프로젝트 과정

수준	성격	내용
자료	기존의 자료	KBS(2018) 시사기획 창. <집배원 과로사 보고서>
	생성한 자료	세 가지 작업의 심박수 데이터 / 근전도 데이터
정보	기존의 정보	심박수 데이터의 활용 / 근전도의 활용
	생성한 정보	평균 심박수, 근전도 피크
지식	기존의 지식	
	생성한 지식	세 가지 작업이 근골격계에 주는 부담의 세기 비교

❸ 프로젝트 결과 요약

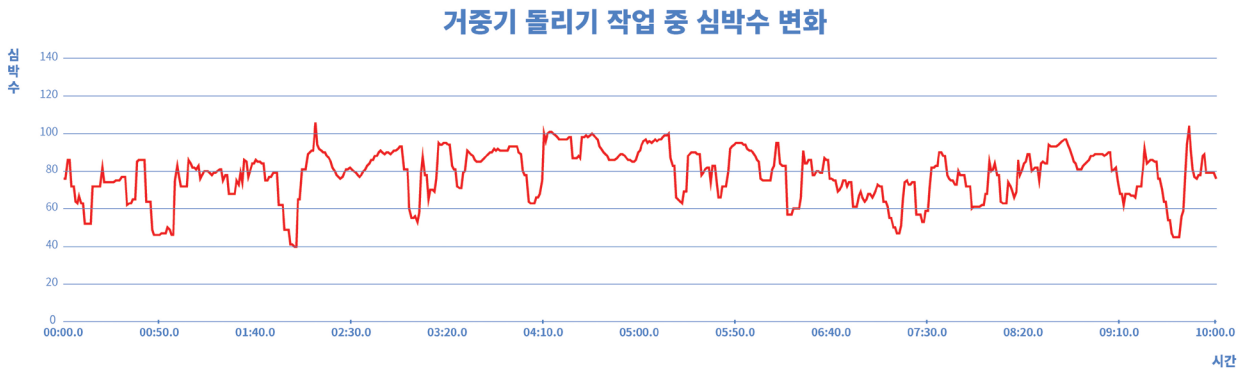
1. 심박수를 활용한 작업생리학적 분석(Work Physiological Approach)

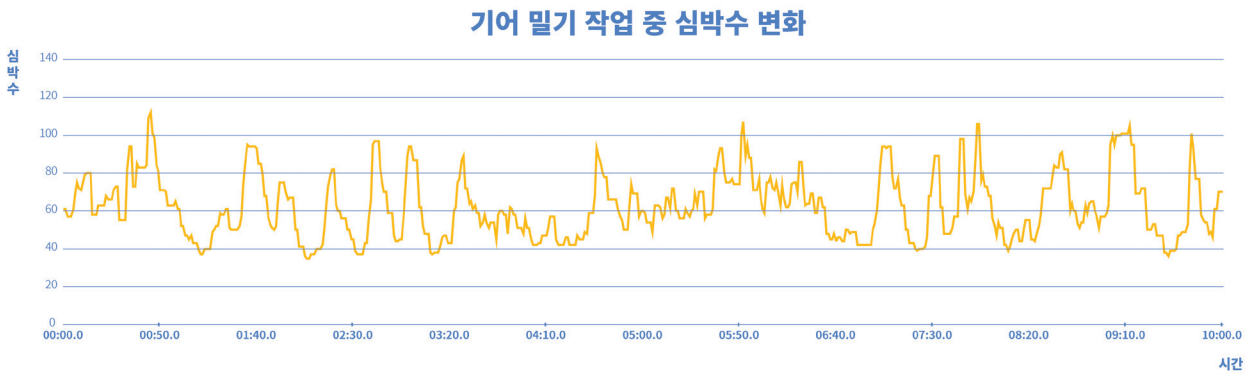
■ 심박계와 가속도계를 함께 사용하면, 작업하면서 소모한 칼로리를 추정할 수 있습니다. 이미 많은 선행 연구들이 누적되어 있어 정확하지는 않지만 심박수 데이터만으로도 소모 킬로리를 대략적으로 파악할 수 있습니다.

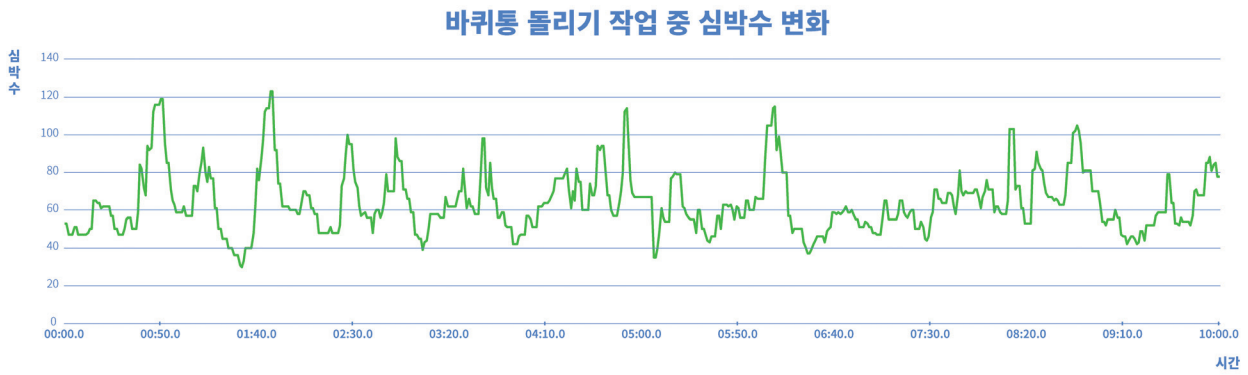


■ 출처 : KBS 시사기획 창. 집배원 과로사 보고서(2018)

■ 우리는 세 가지 전통 크레인 작업을 하면서, 피험자의 심박수를 측정하여 소모하는 칼로리를 간접적으로 파악해 보기로 하였습니다. 다음은 10분동안 측정한 한 피험자의 심박수 변화를 그래프로 표현한 것입니다.







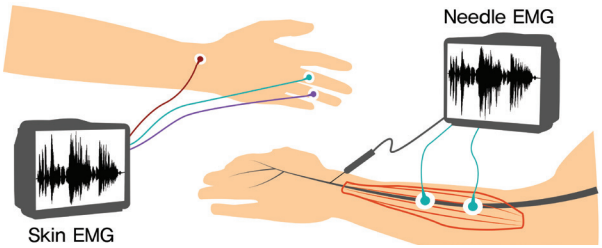
■ 10분동안 측정한 평균 심박수는 거중기 돌리기 78.36, 밀기 62.33, 바퀴통 돌리기 63.87로, 거중기의 녹로를 돌리는 작업의 칼로리 소비가 가장 높았고, 나머지 밀기 작업과 바퀴통 돌리기 작업은 큰 차이가 없었습니다.

■ 피험자에 따라 차이도 있었고, 장시간 반복 측정한 데이터가 아니기 때문에 세 가지 작업의 칼로리 소비량에 차이가 있다고 볼 수는 없었습니다. 결국 우리는 세 가지 작업의 평균 심박수를 비교했을 때, 거중기 돌리기 작업이 다른 작업에 의해 약간 높은 정도였다고 평가하였습니다.

노동 작업	평균 심박수
녹로 돌리기	78.36
기어 밀기	62.33
바퀴통 돌리기	63.87

2. 근전도를 활용한 작업 생리학적 분석

■ 근전도 검사는 침습적 방식과 비침습적 방식이 있는데 일반적으로 병원에서 하는 근전도 검사는 근육에 직접 삽입하는 침습적 방식인 바늘 근전도(Needle EMG)를 사용합니다. 피부에 전극 패치를 부착하는 비침습적 방식인 표면 근전도(Skin EMG)는 주로 스포츠 과학 분야에서 이용하거나 자율신경계 반응 검사에서 활용되고 있습니다. 우리는 인천대학교 융합과학기술원의 지원을 받아 LAXTHA의 PolyG-I에 포함된 표면 근전도(sEMG) 측정 시스템을 활용하였습니다.



■ 표면 근전도 검사(좌)와 바늘 근전도 검사(우)

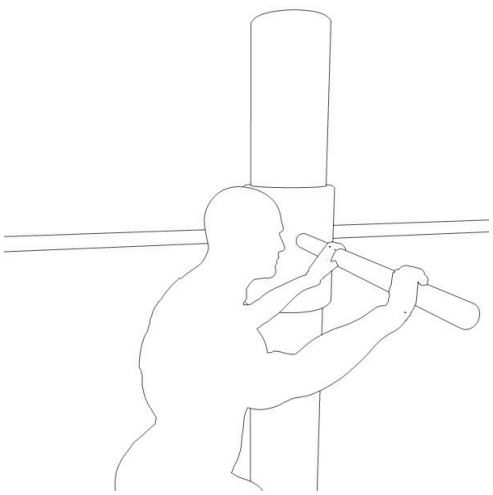


■ LAXTHA의 PolyG-I

■ 팔과 다리 근육에 근전도 센서를 부착하고 근육에서 발생하는 전기 신호를 측정하였습니다. 근전도는 근육에서 발생하는 전기 신호로서 이를 측정하면 근육에 가중되는 부담을 과학적으로 측정할 수 있습니다. 장시간의 데이터가 누적되면 근피로까지 해석할 수 있으나, 우리는 근육에서 발현하는 순간적인 힘의 세기(피크)만을 측정하였습니다. 다음은 피험자들의 측정 데이터입니다.

세 가지 작업별 팔 근육 EMG peak (μV=0.001mV)

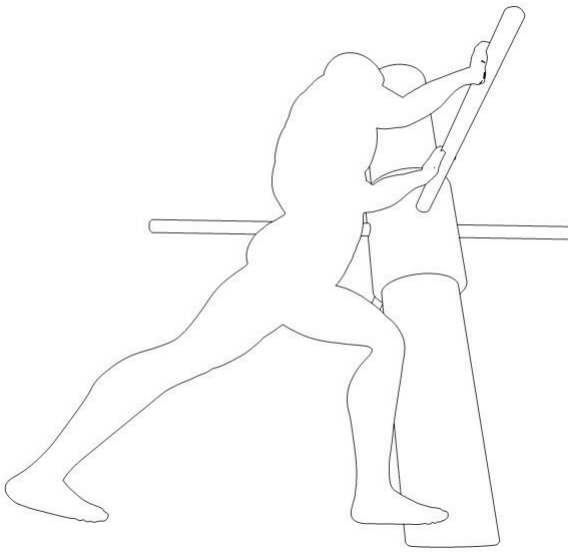
피험자	거중기 돌리기	기어 밀기	바퀴통 돌리기
1	151.46	103.6	70.6
2	175.08	141.33	78.5
3	141.05	89.02	68.47
4	202.33	110.09	98.24
5	209.67	88.07	55.62
6	174.69	98.44	42.04
7	172.55	106.22	69.33
8	189.6	115.26	98.22
9	158.67	110.07	77.05
10	195.23	98.09	45.89
11	135.33	81.37	42.98
12	180.36	92.17	55.51
13	199.67	100.89	69.33
14	164.05	99.92	54.01
15	203.33	115.88	99.85
16	210.55	160.33	75.21
17	180.66	100.26	66.17
18	175.44	98.55	43.67
19	155.69	107.91	69.87
20	148.71	89.33	50.55
21	163.37	103.37	67.44
22	181.11	105.44	76.31
23	160.33	130.14	101.12
24	200.38	121.63	66.83
25	200.01	155.93	100.31
26	198.05	88.31	77.21
평균	177.98	108.14	70.01



■ 먼저 팔의 이두박근에 부착된 센서를 통해 측정한 데이터를 살펴보겠습니다. 피험자 26명의 평균값을 비교하면 녹로 돌리기의 근전도 값이 가장 높았고, 그 다음은 밀기, 바퀴통 돌리기 순이었습니다. 앞서 살펴본 다른 방법과 마찬가지로 거중기 돌리기 작업이 상반신 팔 근육에 가장 큰 부하를 유발하고 있음을 확인하였습니다.

세 가지 작업별 다리 근육 EMG peak (μV=0.001mV)

피험자	거중기 돌리기	기어 밀기	바퀴통 돌리기
1	141.46	151.33	131.22
2	155.64	168.33	138.64
3	131.11	89.02	141.25
4	199.21	206.33	200.36
5	189.34	105.69	178.69
6	156.37	110.44	166.34
7	162.11	180.33	172.66
8	170.54	200.44	164.51
9	147.55	185.36	166.32
10	188.32	208.88	180.25
11	125.37	150.69	155.24
12	155.69	200.33	157.6
13	178.64	221.14	188.25
14	159.34	199.36	166.33
15	184.24	200.33	190.25
16	190.21	220.14	199.35
17	165.33	198.63	153.36
18	160.12	198.35	177.52
19	144	204.39	155.25
20	134.37	197.45	164
21	144.93	200.36	156.33
22	157.12	201.45	177.24
23	150.33	130.14	188.32
24	188.66	190.25	190.24
25	145.61	174.29	155.24
26	170.22	190.22	172.33
평균	161.38	180.14	168.73



■ 다음은 다리 대퇴직근에 부착된 센서를 통해 측정한 데이터입니다. 가만히 서서 돌리는 거중기 감기 작업은 어깨와 팔을 사용하는 것은 이해가 되는데 왜 다리 근육에 힘이 들어갈까요? 녹로를 감기 위해서는 어깨와 팔뿐만 아니라 다리에도 엄청난 힘이 들어가기 때문입니다.

■ 세 가지 작업의 근골격계 위험도 평가

우리는 근전도 실험을 통해서도 일률이 높을수록, 즉 빨리 물체를 들어올릴수록 노동자의 근골격계에 큰 부담을 준다는 사실을 확인하였습니다.

노동 작업	팔	다리	종합
녹로 돌리기	매우 세다	약간 세다	상
기어 밀기	세다	세다	중
바퀴통 돌리기	거의 없다	약간 세다	하



역사 기반 프로젝트 요약

❶ 탐구 주제 및 관련 교과

수준	내용
탐구 주제	수원 화성 건설 노동자에 관한 연구
관련 교과	한국사, 근현대사, 법과 정치, 사회문화, 사회

❷ 프로젝트 과정

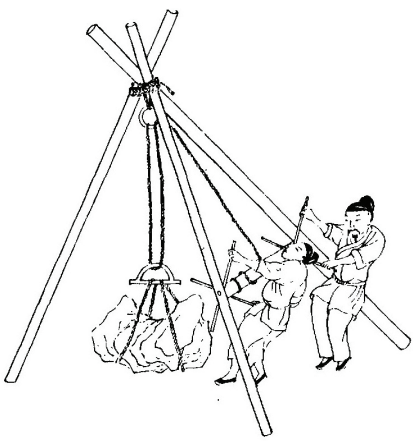
수준	성격	내용
자료	기존의 자료	역사 교과서, 『기기도설』, 『화성성역의궤』
	생성한 자료	
정보	기존의 정보	『기기도설』에 묘사된 노동자의 작업 장면
	생성한 정보	
지식	기존의 지식	화성 건설 노동자의 구분(기술자, 노동자)
	생성한 지식	기술자와 건설 노동자의 근골격계 질환 차이

❸ 프로젝트 결과 요약

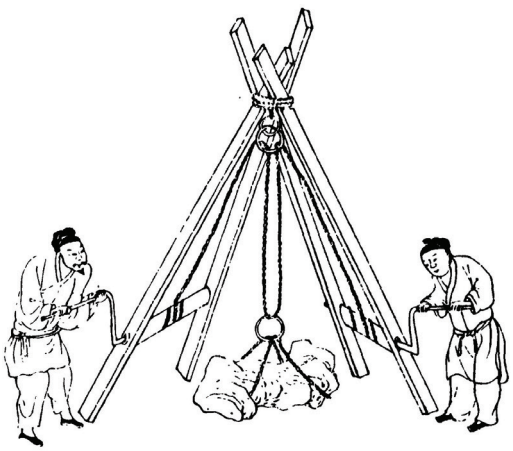
1. 『기기도설(奇器圖說)』를 통해 본 건설 노동자의 고통

■ 정약용은 거중기를 개발하면서 테렌츠(Joannes Terrenze, 1576-1630)의 『기기도설(奇器圖說)』을 많이 참조하였습니다. 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 것입니다.

■ 『기기도설』 의 기중도(起重圖) 편에는 가장 간단한 제1도부터 가장 복잡한 제11도에 이르기까지 모두 11개의 도면으로 무거운 것을 들어 올리는 장치를 설명하였는데, 간단한 기계에 적용된 작업은 사람이 직접 녹로를 감아 돌리기는 것입니다. 녹로를 감아 돌리는 작업은 노동자의 근골격계에 큰 고통을 주게 됩니다.



■ 『기기도설』 중 기중 제3도(起重第三圖)



■ 『기기도설』 중 기중 제6도(起重第三圖)



■『기기도설』중 인중 제3도(引重第三圖)

2.『화성성역의궤』를 통해 본 기술자와 노동자의 근골격계 부담의 차이

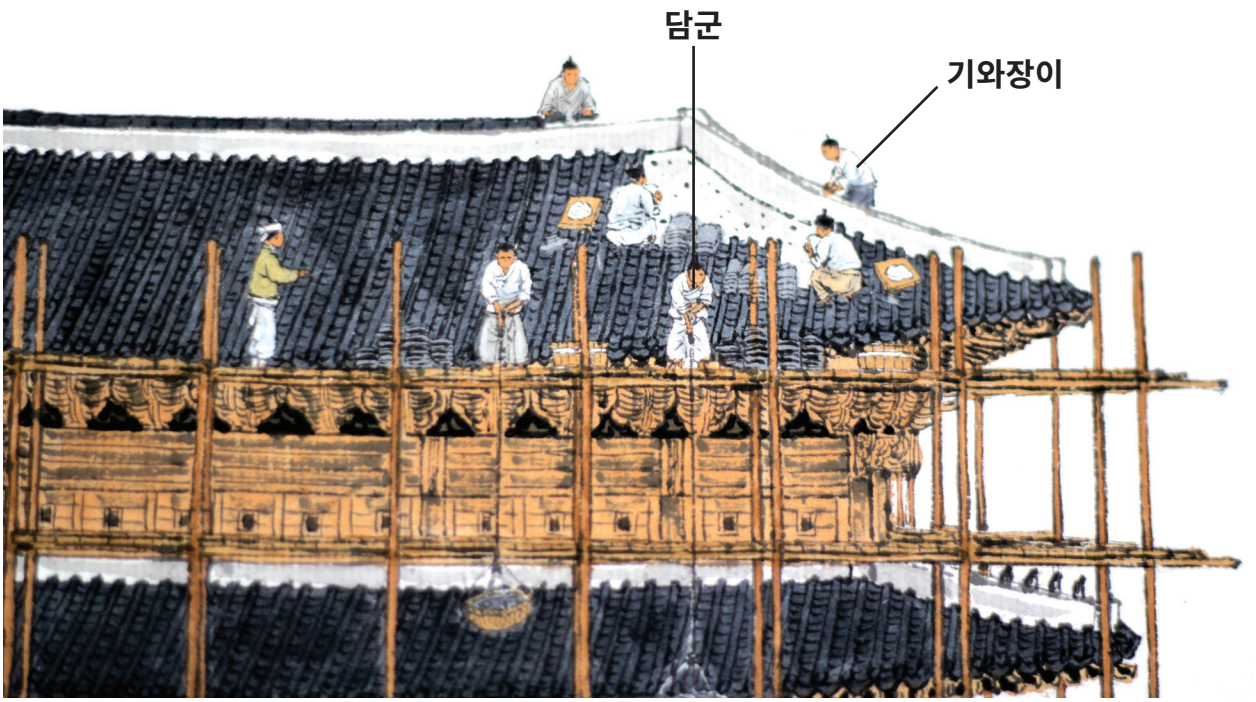
■ 그동안 우리는 거중기가 힘을 절약하는 과학적 원리와 일률에만 관심을 가져왔습니다. 하지만 거중기의 녹로를 감는 작업은 노동자의 근골격계에 큰 문제를 일으킬 수 있습니다. 수원 화성을 건설한 우리 노동자들은 근골격계 질환으로 고통을 받았을 것입니다.

■ 화성 건설 노동자는 직종에 따라 둘로 나눌 수 있습니다. 전문 기술을 가지고 있는 장인 1,845명과 수십만 명에 해당하는 건설 노동자들입니다. 오늘날 건설 노동자에 해당하는 모군, 담군, 차부들도 기술자인 장인들과 마찬가지로 일방적인 부역이 아니라 매일 2전 5푼씩의 보수를 받으며 일하였습니다. 전문 기술자들이 보통 4전 5푼을 받았으므로, 건설 노동자의 노동력 가치는 기술자의 67%에 해당함을 알 수 있습니다.

성격	직종	직무	인원
기술자	22개 분야	석수, 목수, 미장이 등 숙련공	1,845명
노동자	모군(募軍)	흙을 파고, 다지고, 옮김	수십만 명
	담군(擔軍)	돌이나 나무를 운반	
	차부(車夫)	소를 몰아 수레를 운용	



■ 기와장이보다는 돌을 들어 올리는 담군의 근골격계에 더 큰 고통이 가해집니다.



■ 미장이보다는 돌을 나르는 담군의 근골격계에 더 큰 고통이 가해집니다.



3. 노동자의 고통에 공감하는 정부

■ 화성 건설 현장에서는 건설 기술자와 일용직 노동자들의 건강을 염려하여 혹한기와 혹서기에는 공사를 잠시 중단시켰고, 일하는 백성들을 위해 보약을 지어 내려 보내는 등 인본주의에 입각한 인적자원 관리를 추구하였습니다.
1794년 7월 6일 정조는 너무 더우니 공사를 중지하라는 명령을 내렸으나, 노동자들은 오히려 일을 하게 해달라고 건의하는 기이한 현상이 일어나기도 하였습니다.

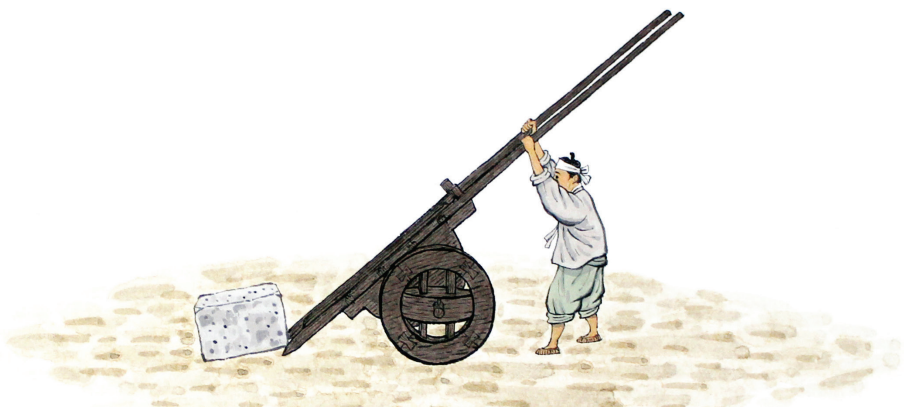
○ 화성에 부역하고 있는 장인(匠人)들과 모군(募軍)들에게 날씨가 조금 서늘해질 때까지 일을 정지하라고 명하다.

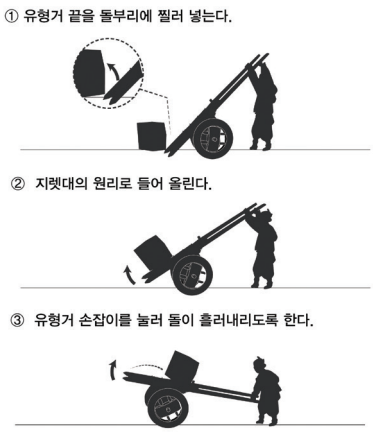
성역이 이루어지고 있는 각 곳과 돌을 뜨고 기와를 굽는 곳에서 뙤약볕에 그대로 노출되어 부역하는 무리들은 조금 서늘해질 때까지 일을 하지 못하게 하라.

◈ 출처 : 『정조실록(正祖實錄)』 1794년 7월 6일자 기사

4. 건설 노동자의 고통을 줄여주는 기술 개발

■ 정약용은 수레에 돌을 실어야 하는 차부의 고통을 줄여줄 수 있는 유형거를 별명하였습니다.
유형거는 수레 자체가 지렛대이기 때문에 돌을 수레 위에 올려야 하는 노동자의 고통을 줄여줄 수 있습니다.





■ 정약용이 발명한 다목적 수레 유형거

2018 통진고등학교 교과 기반 프로젝트의 의의

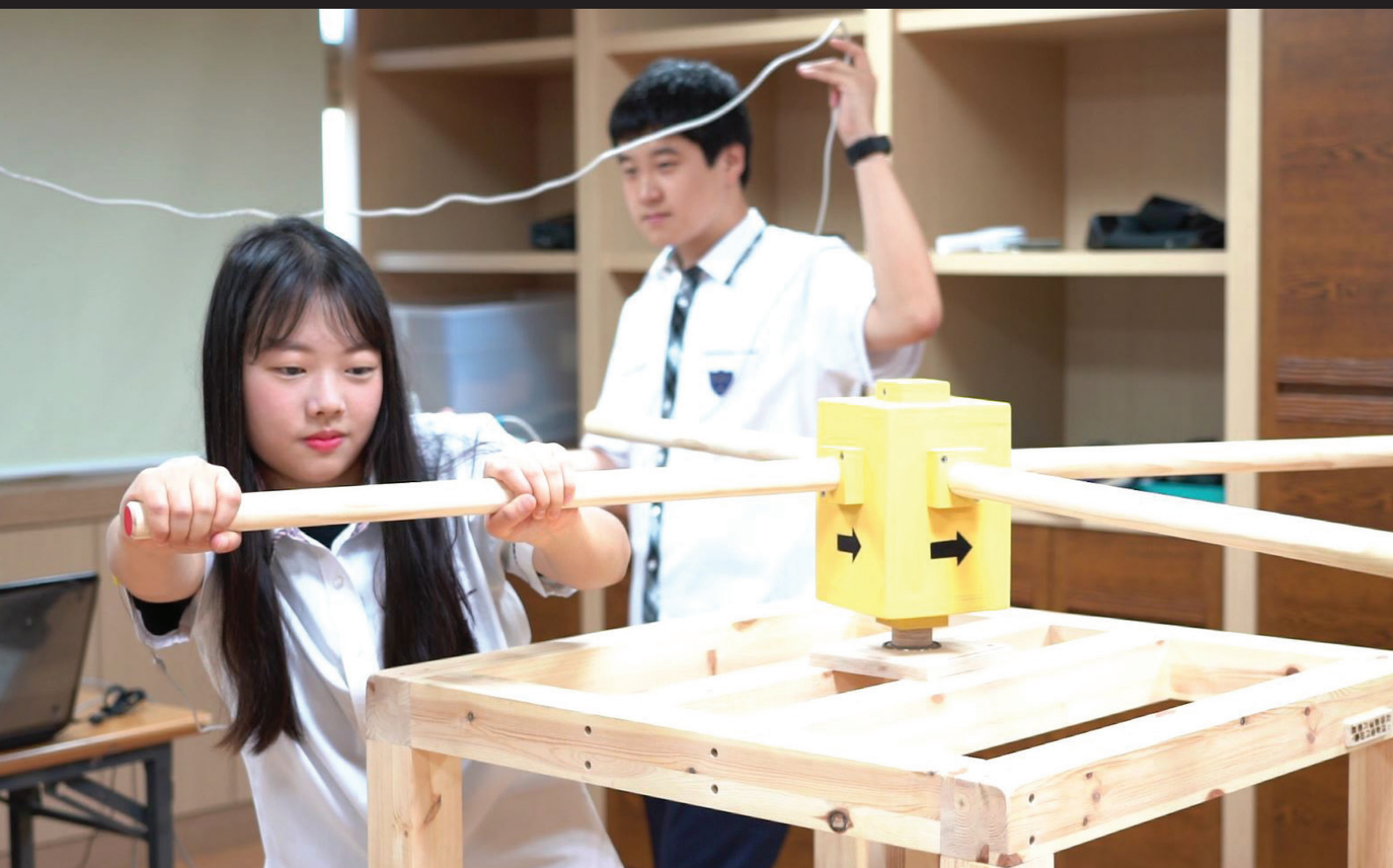
■ 지금까지 우리는 수학 시간에 배운 함수, 생명과학 시간에 배운 심박수와 생체신호와 관련된 지식을 이해하는 수준을 넘어 프로젝트에 활용하는 수준까지 발전시켰습니다.

■ 우리는 또, 물리 시간에 배운 역학 이론과 역사 시간에 배운 지식을 활용하여 노동자의 고통을 연구하는 수준까지 발전시켰습니다. 많은 시행착오를 겪으면서 보고서 쓰기 능력과 발표 능력이 향상되었습니다.

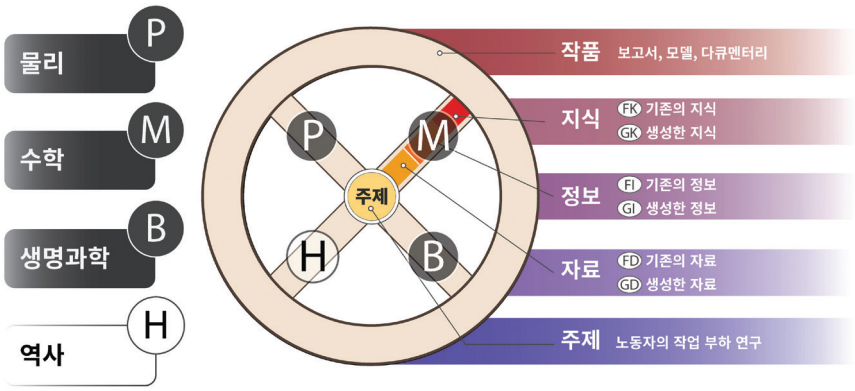
■ 지금까지 살펴본 프로젝트가 시사하는 바는 무엇일까요?

그동안 우리는 일하는 사람의 고통보다는 작업의 효율성과 성과만을 중시하였습니다.
우리 나라는 OECD 국가 중 최장 노동 시간을 기록하고 있는 과로 사회입니다.
2018년 7월부터 우리 나라도 근로기준법을 개정하여, 주 52시간 근무 시대가 되었습니다.
우리는 노동 시간 못지 않게 노동자의 고통과 건강 문제를 고민해야 한다고 생각합니다.

“ 노동자의 고통을 꼼꼼하게 따져, 노동 가치를 재평가하는
성숙한 사회를 꿈꾸는 통진고등학교 연구팀이었습니다. ”



2018 통진고등학교 교과 기반 프로젝트 참여 인원

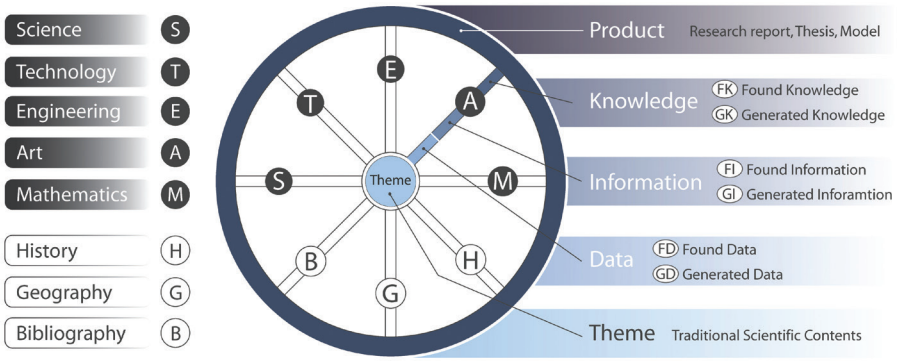


역할	담당
프로젝트 기획	김재곤(통진고등학교 교장)
	차찬규(통진고등학교 교감)
	황인철(통진고등학교 부장)
프로젝트 지도	이용규(통진고등학교 물리교사)
	홍미화(통진고등학교 생명과학교사)
	송재천(통진고등학교 수학교사)
	장문희(통진고등학교 역사교사)
물리팀	윤혜준(통진고등학교 2학년)
	김민호(통진고등학교 2학년)
	김태현(통진고등학교 2학년)
	윤종운(통진고등학교 2학년)
	어수범(통진고등학교 2학년)
생명과학팀	서충원(통진고등학교 2학년)
	홍채원(통진고등학교 2학년)
	최진원(통진고등학교 2학년)
	권혁진(통진고등학교 2학년)
	채종은(통진고등학교 1학년)
	이훈모(통진고등학교 1학년)
수학팀	김요한(통진고등학교 2학년)
	박준환(통진고등학교 2학년)
	정민진(통진고등학교 2학년)
	이민혁(통진고등학교 2학년)
	주민서(통진고등학교 2학년)
	안중원(통진고등학교 1학년)
역사팀	박상준(통진고등학교 2학년)
	김은주(통진고등학교 2학년)
	송유정(통진고등학교 2학년)
	노승완(통진고등학교 2학년)
	이성연(통진고등학교 2학년)
	용수민(통진고등학교 1학년)
프로젝트 설계	김평원(인천대학교 교수)

수레바퀴모형을 적용한 교과 기반 프로젝트의 사례

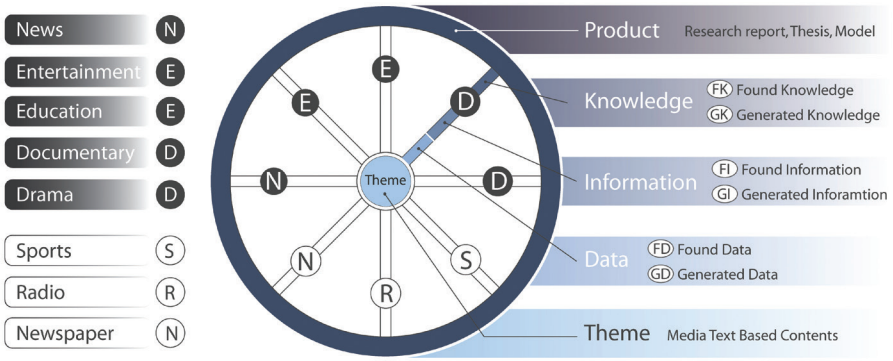
■ 출처 : 인천대학교 리소스센터 http://www.inuedu.com

■ 학문 기반 수레바퀴모형



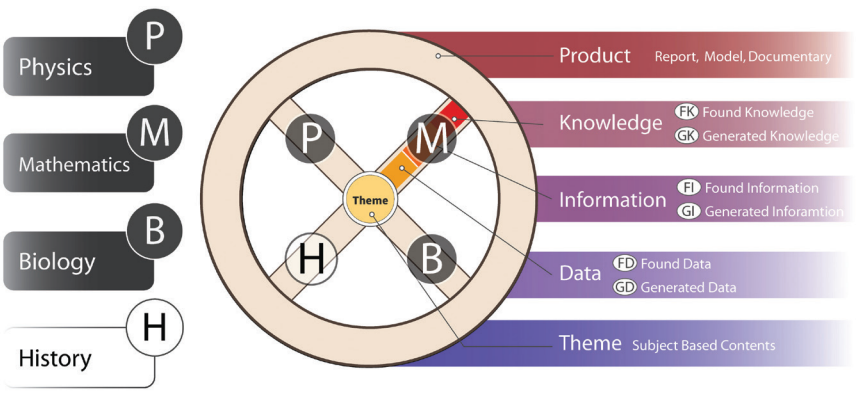
■ 마포고등학교, 하나고등학교, 인천하늘고등학교(Since 2010)

■ 미디어 텍스트 기반 수레바퀴모형



■ 인천하늘고등학교, 미림여자고등학교(Since 2016)

■ 교과 기반 수레바퀴모형



■ 통진고등학교(Since 2018)

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 융합과학기술원 김평원 교수 -

