

# 전통 짜임을 활용한 효율적인 연탄 운반 수단의 연구

이호영 · 주시윤 · 차이현 · 최서진

하나고등학교

## Research into efficient transportation of kneaded coal using traditional joints

Ho-young Lee · Seo-jin Choi · Si-yun Joo · Yi-hyun Cha

Hana Academy Seoul

**Abstract** This study aims to develop an efficient means of transporting kneaded coal by considering the topographical characteristics of Eunpyeong-gu, one of the lowest areas in Seoul, and the need of households using kneaded coal, given the high concentration of marginalized households in areas such as Susaek-dong and Nokbun-dong. In particular, we propose a durable and flexible design suitable for Eunpyeong-gu, which is surrounded by five mountains, including Bukhansan Mountain, on three sides and is rich in greenery, by applying hanok weaving and joint technology. By doing so, we hope to contribute to substantially improving the lives of vulnerable minorities and increasing the efficiency of outreach activities. In the process of building the transportation vehicle, we analyzed the characteristics of various textures through texture structure experiments, and built a model using a forklift truck and the principle of an infinite track as a science box. We found that the vehicle was able to move stably on slopes of up to 30 degrees, and could move flexibly on stairs and curved surfaces, confirming its usefulness in the mountainous Eunpyeong region. Load strength experiments, repetitive fatigue experiments, and impact loading experiments were conducted to determine which of the traditional joints was the most suitable for transportation. The convergence of traditional and modern technology has contributed to solving a practical problem in the local community, and we hope that the kneaded coal transportation method developed by the team will be developed into a sustainable technology.

**Key words:** Transportation of kneaded coal, traditional joint, torque, continuous track, load strength experiment

## 1. 서론

2023년 한국 사회 복지 협의회 집계를 보면, 전국 사회복지기관에 등록된 자원봉사자는 전체 인구의 약 18%인 920만명이지만, 지난달까지 실제 봉사활동에 참여한 비율은 6% 선에 그쳤다. 팬데믹 이후 도시화와 개인주의가 심화되면서 공동체가 약화되고, 자원 봉사 인력 공백으로 취약계층 복지에 대한 우려의 목소리도 나온다. 연탄봉사에서는 손으로 직접 나르거나 집게로 집어서 옮기는 것이 일반적이다. 연탄은 3.6kg에서 7.5kg으로 가벼운 무게가 아니기에 물리적인 힘을 많이 가해야 한다. 이에 연탄의 상태를 잘 보존할 수 있고 적은 인원으로 더욱 효율적으로 만들 수 있는 기술 개발의 필요성을 느꼈다.

2021년에 기록된 영하 21.7도를 통해 서울에서 가장 기온이 낮은 지역 중 하나가 은평구임을 알 수 있는데, 삼면이 북한산 등 5개의 산으로 둘러싸여 있고, 녹지가 풍부하기 때문이라는 것을 통해 확인이 가능하다. 은평구에는 수색동, 녹번동과 같이 흔히 달동네라고 불리는 소외가구가 밀집해있으며, 또한 서울시 1인당 지역내총생산 (GRDP)가 1114만 원으로 가장 낮았다. 은평구는 평지보다 산지가 많기 때문에 이런 소외가구에 접근하기 더욱 어렵다. 그렇기에 이러한 운반 수단의 개발이 은평구에 더욱 획기적인 변화를 줄 수 있을 것이라고 생각한다.

본 연구는 대한민국의 목조 건축물의 특징을 활용하여 은평구의 지형에 맞는 연탄 운송 수단을 제안하고자 한다. 한옥은 한국인의 철학, 자연과의 조화를 담은 중요한 가치를 가진 구조물이다. 그 중 한옥의 접합부에서 활용되는 짜임과 이음새는 못이나 접착제를 사용하지 않고, 나무를 정교하게 깎아 결합한다. 이는 교체를 용이하게 하여 구조물의 수명을 연장시키고, 나무의 수축과 팽창을 고려한 설계로 유연성과 내구성을 지니고 있다. 이러한 맥락에서, 짜임과 이음새의 활용은 한옥의 우수함을 선보이면서도 산지가 많고 굴곡진 은평구의 지역 특징에 적절히 사용될 수 있다.

연탄은 여전히 취약 계층의 삶과 직결된 필수품이다. 밥상공동체 연탄은행이 발표한 2023년 연탄 사용 기구는 총 74176가구로, 전체적인 연탄 사용 가구는 감소했으나 서울특별시 2021년 대비 4.7% 증가하였다. 이는 소수자의 필요가 여전히 존재하며, 이를 간과해서는 안 된다는 점을 보여준다. 기술의 진정한 가치는 얼마나 많은 사람들에게 이익을 주는가가 아닌, 사회적 약자와 소수자에게도 편의를 제공하고 그들의 삶을 실질적으로 변화시키는 데 있다. 연탄 운반 수단은 적은 봉사자의 수로도 큰 효율을 발휘하여 효율적인 연탄 운반이 가능케 한다. 비록 소수를 위해 시작한 연구일지라도, 이 연구를 기반으로 또다른 운반 수단의 발전으로 이어질 수 있을 것으로 예상된다.

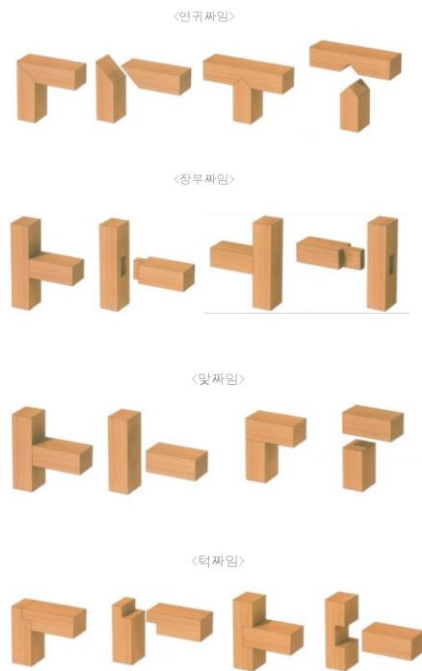
## 2. 이론적 배경

본 연구는 한국의 전통 건축 양식인 짜임의 원리를 이해하고, 짜임의 안정성을 실험을 통해 실제로 검증하는 것에 목적을 둔다. 이 연구에서는 짜임의 원리와 짜임의 안정성을 평가할 때 중요하게 작용하는 개념인 돌림힘, 무한궤도의 원리가 중심적으로 사용된다.

### 2.1. 짜임의 원리

짜임은 한국의 전통적 건축 방식으로 두 부재 이상을 직교하거나, 경사지게 맞춰 짜여질 때의 자리나 방법을 말한다. 이때 여러 부재를 못 없이 부재끼리의 마찰력만으로 결합시키며 목재의 유연성에

의해 시간이 지남에 따라 단단히 고정된다. 짜임은 맞춤 기법과 끼움 기법으로 나뉘는데 이 중 다시 세부적으로 장부짜임, 턱짜임, 맞짜임, 연귀짜임 등으로 구분된다. (남궁선, 2010) 우리의 선조들은 이 짜임들을 단독으로, 혹은 둘 이상의 짜임을 함께 사용하여 못 없이도 역학적으로 안정된 형태의 가옥을 지을 수 있었다. 우리는 연탄을 나르기 위해 경사 구간을 오를때 하중을 효과적으로 분산하고 구조적으로 안정한 운반 수단 제작이 가능한 짜임을 분석할 것이다. 가장 효율적인 짜임을 활용한 모델을 제작한 후, 여러 기준에 부합하는지 평가하여 가장 효용성이 높은 모델을 선택해야 한다.



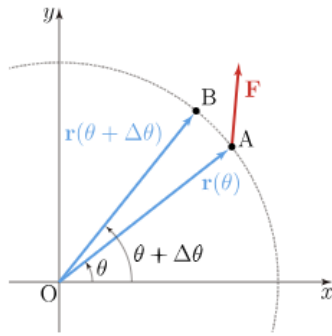
<그림 1> (위쪽부터) 연귀짜임, 장부짜임, 맞짜임, 턱짜임

## 2.2. 돌림힘

회전 모멘트 또는 비틀림 모멘트라고 불리는 돌림힘(torque)은 물체의 회전 경향과 힘의 작용을 나타내는 척도로 힘의 작용점과 축 사이의 거리, 작용하는 힘의 곱으로 표현된다. 돌림힘을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\tau = r \times F$$

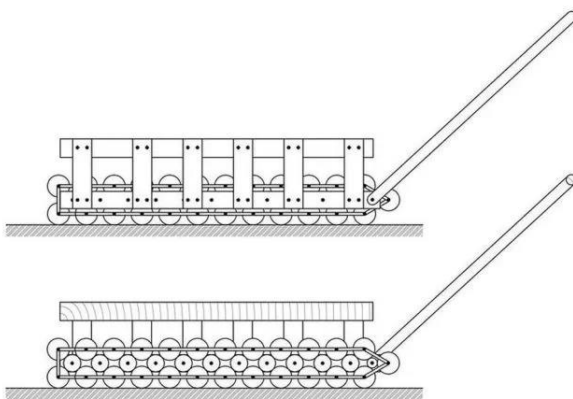
한옥의 이음매는 가옥의 하중을 버티기 위해 마찰력을 이용하고, 돌림힘 평형을 절묘하게 이루도록 하여 건물의 붕괴를 막는다. 우리가 제작할 예정인 운반 수단도 이와 같이 짜임의 이음매 사이의 마찰력으로 단단히 고정된 회전축을 기준으로 하여 운반 수단에 올려진 물체와 돌림힘 평형을 이룰 수 있도록 할 것이다. 또한 돌림힘은 힘이 작용하는 방향과 회전축 간의 각도에도 영향을 받는다. 본 연구팀은 경사도가 수시로 바뀌는 환경에서도 하중을 버틸 수 있는 운반 수단을 제작해야 하므로 지면과 운반 수단이 이루는 각에 따라 달라지는 하중을 버틸 수 있는 모델을 선정해야 한다.



<그림 2> 각도에 따른 돌림힘의 변화

### 2.3. 무한궤도의 원리

본 연구팀은 도로의 포장상태가 양호하지 않고, 경사가 쉽게 바뀌며, 계단이 많은 판자촌의 특성을 고려하여 판자촌에서 효율적으로 연탄을 옮길 수 있는 운반 수단을 무한궤도를 장착한 수레로 설정하였다. 무한궤도(Continuous Track)는 하중 분산을 통해 다양한 지형에서 안정적인 주행을 가능하게 하는 이동 메커니즘으로, 주로 군용 차량, 중장비, 농업용 트랙터 등에 광범위하게 활용된다. 본 시스템은 금속 또는 고무로 제작된 궤도를 차량의 구동 계통에 결합하여, 접지 면적을 극대화하고 접지압을 감소시키는 원리에 기반한다. 궤도 시스템의 주요 구성 요소로는 궤도를 회전시키는 스프로킷(sprocket), 장력을 유지하는 지지 롤러(idler and support rollers), 및 지면 충격을 흡수하는 현가장치(suspension system)가 포함된다. 무한궤도의 장점은 크게 세 가지이다. 접지압 감소를 통해 부드러운 지반에서도 안정적인 이동성을 보장한다는 점, 넓은 접지 면적을 통해 높은 견인력을 발휘하며, 다양한 지형 조건에 적응할 수 있다는 점, 궤도 기반 구조는 울퉁불퉁한 지형에서의 이동성을 향상시키고, 장애물을 넘는 능력을 강화한다는 점이 있다. 이러한 특성은 불규칙하고, 예측 불가능한 판자촌에서 효과적으로 작용할 수 있다.



<그림 3> 무한궤도의 기본적인 구조

### 3. 연구 방법 및 절차

#### 3.1. 연구 방법

효율적인 운송 수단을 제안하기 위해 현장 답사, 짜임 구조 비교 실험, 모델 제작을 순차적으로 진행하였다. 현장 답사는 은평구 녹번마을과 강남구 구룡 마을을 방문하여 연탄의 저장 방식과 경사도, 길의 넓이 등 지형 분석에 초점을 두었다. 짜임 구조 실험을 위해 선행연구 후 3D 모델링과 프린팅을 통해 모델을 제작하였다. 추와 실을 활용하여 짜임의 접합부의 견딤 정도를 측정하였으며, 이를 통해 여러가지 짜임의 특성을 비교하고 분석하였다. 또한, 지게차와 무한궤도의 원리를 활용한 모델을 과학상자로 제작하였다. 실험과 모델 제작을 통해 직접 데이터를 수집하고, 연탄 사용 가구가 밀집된 마을에 방문했을 때 주거 지역 촬영을 최소한으로 하고자 하여 연구의 윤리성을 확보하였다.

#### 3.2. 연구 절차

본 연구는 다음과 같은 절차로 수행되었다. 연구는 먼저 은평구의 연탄 사용 가구가 밀집된 녹번 마을을 방문하여 실제 지형을 탐사하고, 다음으로 경사도, 길의 넓이, 계단의 높이를 분석하였다. 그 후 전통 짜임 활용을 위한 실험을 진행하였다. 첫째, 현장답사를 기반으로 목조 건축물의 접합부인 짜임과 이음새의 원리에 대한 선행연구를 진행한 뒤, 은평구 한옥마을 장인에게 자문을 구해 실험에 적용할 형태를 선택한다. 둘째, 3D 프린팅을 활용하여 짜임 모형을 제작한다. 셋째, 하중 강도 실험, 반복 피로 실험, 충격 하중 실험을 진행한다. 넷째, 데이터를 정리하여 짜임의 특성을 분석하고 적절한 구조를 모델에 적용한다.

이를 기반으로 한 운송 수단 개발을 시작하였다. 지게차의 모형에서 아이디어를 얻어 무한궤도를 결합한 모델을 제작하였고, 다음과 같은 절차로 진행되었다. 첫째, 과학상자 2호와 추가 부품을 구매하여 무한궤도로 계단, 굴곡진 도로, 경사가 높은 길도 오를 수 있도록 설계한다. 둘째, 강남구 구룡마을에서 진행되는 연탄 봉사 활동을 직접 참여해보며 피드백을 거쳐 모형을 수정한다. 셋째, 작동 테스트를 진행한다.

### 4. 연구 결과

본 연구는 효율적인 연탄 운반 수단을 설계하고 이를 검증하기 위해 현장답사, 짜임의 강도 실험, 모형의 설계 및 제작을 단계적으로 수행하였다.

#### 4.1. 현장답사

현장답사는 은평구 녹번동 산골마을과 은평구 한옥마을에서 진행했다.



녹번동 산골마을은 계단이 많고 경사가 높은 지형이 많았다. 계단 한 칸의 크기는 표준 벽돌의 크기인  $190 \times 90 \times 57\text{mm}$ 를 따랐다. 길은 마을 안쪽으로 들어갈수록 좁아졌는데, 가장 길이 좁은 곳의 폭은  $1\text{m } 57\text{cm}$ 였다. 바닥의 경사각 측정 결과 경사가 가장 가파른 곳에서의 각도가 17도였다. 추가적으로 연탄 운반 중 울퉁불퉁한 곡면에서 움직여야 하는 상황이 빈번함을 확인하였다. 이러한 특성으로 인해 운반 수단은 계단을 안전하게 오르내리고 높은 경사를 잘 버티며, 좁은 길에서나 울퉁불퉁한 곡면에서도 안정적으로 이동할 수 있도록 설계하였다.

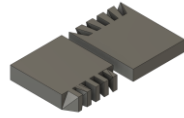
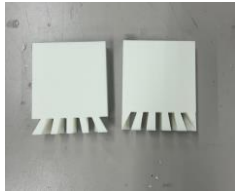
은평구 한옥마을에서는 직접 전통 짜임 기법의 구조적 특성을 확인하고 활용 가능성에 대해 은평구 한옥마을 장인에게 자문을 구했다. 특히 한옥에 사용되는 다양한 짜임 기법들이 목재를 효과적으로 결합해 구조적 안전성과 내구성을 강화한다는 데 중요한 역할을 하고, 현대적으로 활용될 수 있음을 알게 해 주었다.



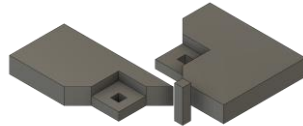
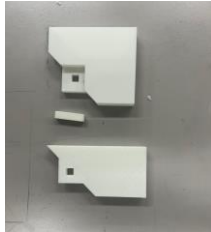
#### 4.2. 짜임 제작 및 실험 방법

충격이 가해졌을 때 내구성이 강한 운송수단을 만들기 위해서 전통짜임 기법을 적용하고자 하였다. 본 연구에서는 턱짜임, 맞짜임, 판재재짜임을 직접 3D 프린팅을 이용해 구현해보고, 강도 실험을 진행하였다. 이 세가지 짜임 방식은 은평구 한옥마을 지역 장인과의 인터뷰를 통해 선정하였다. 다음은 모델링을 통해 구현한 세 가지 후보군이다.

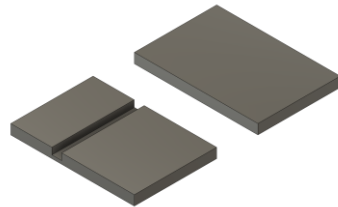
(가) 턱짜임



(나)맞짜임



(다)판재짜임



다양한 짜임의 적용을 위해 이러한 세 가지 후보군에 대해 하중 강도 실험, 반복 피로 실험, 충격 하중 실험을 진행하였다. 하중 강도 실험은 각 짜임이 수직 및 측면에서 하중이 가해졌을 때 견딜 수 있는 최대 하중을 측정했다. 각 짜임에 실을 연결하고 실에 추를 추가하는 방식으로 하중을 늘려갔다. 반복 피로 실험은 2kg의 무게를 1초 간격으로 반복적으로 총 100회 가했을 때 변형 여부를 측정했다. 추를 전자 모터에 연결해 주기적으로 충격을 주도록 하였다. 충격 하중 실험은 3번동안 2kg의 추를 30cm 높이에서 떨어뜨려 충격을 가했을 때 변형 여부를 확인했다.

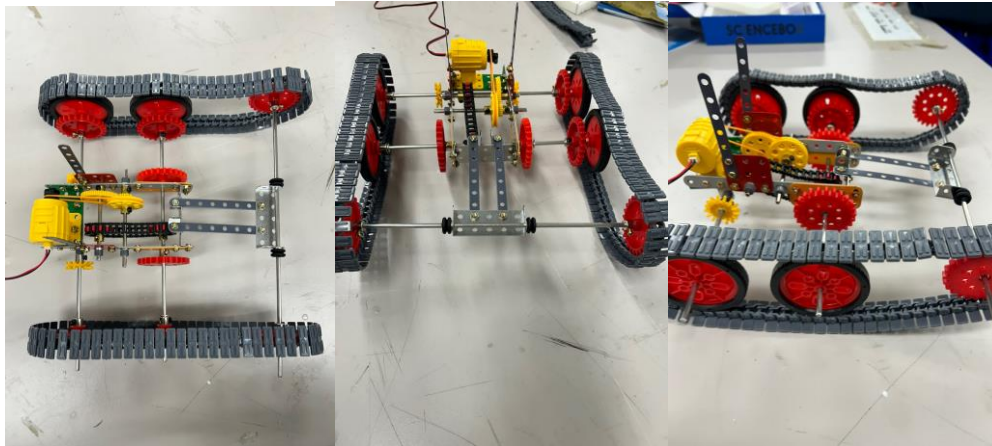


다음은 하중 강도 실험에서 수직적인 힘이 가해졌을 때 안전성을 측정하는 과정이다.

#### 4.3. 모델 제작



녹번동 산골마을의 지형적 특성을 고려해 운반 수단 설계에서는 지게차와 무한궤도의 특징을 융합하고자 하였다. 무거운 하중을 견딜 수 있고 안전성이 뛰어난 지게차에 경사가 높거나 계단이 많은 곳을 쉽게 오르내릴 수 있는 무한궤도를 결합하였다. 과학상자 2호를 구매해 지게차를 설계하고, 무한궤도를 추가하기 위해 지게차를 개조하였다. 무한궤도를 달았을 때 바퀴가 차체의 옆면에 걸리지 않도록 하기 위해 몸체를 연장하고, 표준벽돌의 크기에 해당하는 계단을 오르기 위해 앞부분에 바퀴를 추가하여 바닥과 운송수단이 접촉하는 면적을 늘렸다.



#### 4.3. 실험 결과 분석

1. 경사 조건: 바닥의 경사도를 10도, 20도, 30도로 변형시키며 성능을 확인하였다. 실험한 결과 최대 30도의 경사에서 운송수단이 안정적으로 이동할 수 있음을 확인했다. 30도 이하의 각도에서는 바퀴가 경사면에 밀착된 채 미끄러지지 않고 상단에 도달할 수 있었다.
2. 계단 이동: 실험은 학교의 표준 계단(높이 15cm, 깊이 30cm)에서 우선 진행되었으며 계단의 높이와 간격이 일정하지 않을 때, 계단이 모양이 표준 벽돌의 규격을 따를 때 추가로 수행하였다. 실험 결과, 운송수단은 안정적으로 계단을 오르내릴 수 있었다.



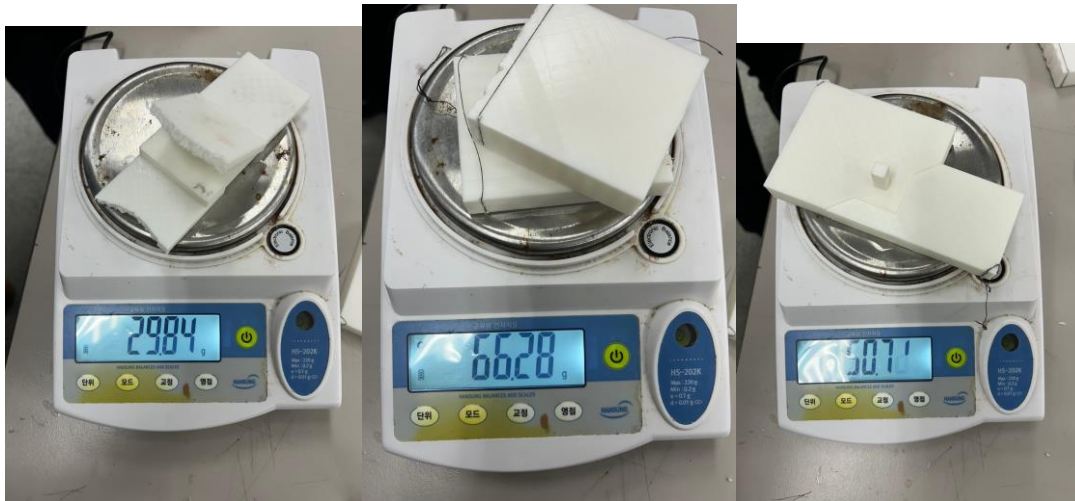
3. 굴곡진 곡면: 바닥이 울퉁불퉁하거나 불규칙적인 지형에서 이동성능을 확인하기 위해 평균 높낮이 차가 약 3cm가 되도록 바닥을 특수제작하고 실험을 진행하였다. 무한궤도 바퀴가 울퉁불퉁한 곡면에 유연하게 대처해 안정적으로 이동함을 확인할 수 있었다.
4. 전통짜임: 다음은 하중 강도 실험, 반복 피로 실험, 충격 하중 실험에 대한 실험 결과를 정리한 표이다.

Table 1. Durability of each joint under shock loading

	(a)Rabbeted joint	(b)Butt joint	(c) Finger joint
--	-------------------	---------------	------------------



Load Strength(Vertical Load)	7.5kg	9.5kg	5kg
Load Strength (Sider Load)	5kg	6kg	7kg
Number of repetitive fatigue	No damage, a little crack	No damage	Broken
Number of impacts	No damage	Broken on the third time	Broken on the second time



실험 결과 하중 강도 실험에서 맞짜임은 수직 하중을 잘 견뎌내지만 측면 하중에서는 판재짜임이 더 우수함을 확인했다. 또한 반복 피로 실험에서 맞짜임이 가장 안정적이며 판재짜임은 내구성이 약하다는 것을 확인했다. 충격 하중 실험에서는 턱짜임이 가장 안정적이고, 판재짜임은 충격에 취약하다는 것을 확인했다.

## 5. 결론 및 논의

본 연구는 전통 건축기술인 짜임과 현대 공학 기술의 융합을 통해 산지와 경사도가 많은 은평구의 열악한 환경에서 효율적인 연탄 운반 수단을 설계하고 실증적으로 검토하였다. 연구 결과, 짜임 구조의 내구성과 효율성을 분석해 적합한 형태를 선택하고, 무한궤도를 결합한 운송 수단의 설계와 실험을 통해 다양한 계단 등 여러 지형 조건에서의 성능을 확인하였다. 이는 사회적, 학문적 차원에서 다음과 같은 의미를 가진다. 먼저 사회적 측면에서는 수요가 줄어들긴 했지만 여전히 소외 계층의 중요한 에너지원이다. 본 연구는 취약 계층의 복지 향상에 기여할 수 있는 실질적인 대안을 제시하였다. 특히, 은평구의 판자촌과 같은 산지가 많은 지역에서 새로운 운송 수단의 활용은 연탄 공급의 효율성을 극대화할 가능성을 열었다. 이를 통해, 지역 사회의 열악한 주거 환경에서 자원의 효율적 분배와 복지 수준 향

상을 도모하는 데 이바지하였다. 또, 학문적 측면에서 본 연구는 한국 전통 건축 양식인 짜임의 우수함을 실험적으로 입증하고, 이의 새로운 응용 방안을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 실험을 통해 짜임의 강도, 내구성, 반복 사용 가능성을 검증하고 이를 운송 수단 설계에 접목함으로써 건축 및 공학 분야의 융합적 접근 방식을 제시하였다. 또한, 무한궤도의 이동성, 견인력, 지형 적응성을 활용하여 다양한 지형에서의 실용성을 입증하였다. 결론적으로, 본 연구는 전통과 현대의 기술적 융합을 통해 지역 사회의 현실적 문제를 해결하는 데 기여하였으며, 이는 학문적, 사회적 측면 모두에서 긍정적인 성과로 평가될 수 있다. 연구의 결과물이 실제 지역 사회에 기여하고, 지속 가능한 기술 개발로 이어지기를 기대한다.

## 참고문헌

- 이채연 외 4인(2010). <고밀도 관측자료를 이용한 야간 지면냉각과 찬공기 이동 분석 - 서울 은평구 뉴타운 사례>. the Korean Association of Geographic Information Studies, 15(4), 124-137.
- 국립방재교육연구원 방재 연구소(2010). 목조 건축물의 벽체 및 접합부 구조강성 실험. 국가 R&D 연구보고서, 40-135
- 남궁선(2013). 전통짜임의 활성화를 위한 조형적 분석. 한국콘텐츠학회논문지, 제 13권 제 4호, 418-426.
- 남궁선, 정수경&김태호(2010). 전통공예기술의 현대적 활용. 한국콘텐츠학회논문지, 제 10권 제 12호, 181-189.
- 정민구, 서울시 1인당 GRDP 첫 4만 달러 돌파... 은평구 최하위, ohmynews, 2024.01.03, [https://www.ohmynews.com/NWS\\_Web/View/at\\_pg.aspx?CNTN\\_CD=A0002990710](https://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002990710)
- 김은경, 은평구 영하 21.7도...서울, 19년 만에 가장 추웠다, 조선일보, 2021.01.08, [https://www.chosun.com/national/national\\_general/2021/01/08/QHLOUKWAQNA35LGS3H3BM4XIYA/](https://www.chosun.com/national/national_general/2021/01/08/QHLOUKWAQNA35LGS3H3BM4XIYA/)
- 밥상공동체·연탄은행(2023). 2023년 전국 연탄사용가구조사 결과 및 제언
- 문선옥(2000). <가구 용어 연구 I-소목 관련 용어 중심으로-, 한국가구학회지, 제 20권 제 1호, 61-70.
- “가구”, 한국민족문화대백과사전, <https://encykorea.aks.ac.kr/Article/E0000058>, (2024.11.26)
- 최민영, 자원봉사 ‘가뭇’, 경향신문, 2023.10.24, <https://www.khan.co.kr/opinion/yeojeok/article/202310241926001>