

타워크레인의 안전사고 예방을 위한 아두이노 기반 구조적 안정성 탐색

김준석^{1*} · 이원희^{1*} · 김성애^{2**}

¹경기 남양주 광동고등학교 · ²운암중학교

Exploring Structural Stability using Arduino for the Prevention of Tower Cranes' Safety Accident : focused on ardu

Jun-Seok Kim^{1*} · Won-Hee Lee^{1*} · Sungae Kim^{2**}

¹Kwangdong High school · ²Woonam Middle school

E-mail : bob4587@naver.com /woni3969@naver.com / ksys21@korea.kr

요 약

건설 현장에서는 건설 기계의 운전 미숙, 안전 설비 미비 등으로 인해 각종 안전사고가 빈번하게 일어나고 있다. 그 중 타워크레인에 대한 안전사고는 막대한 인명 및 재산 피해가 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 타워크레인의 안전 사고를 예방하기 위한 안전 장치를 개발하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 기존의 안전 장치를 탐색한 후 아두이노를 활용하여 타워크레인 모형을 제작하였다. 물건의 무게, 추의 무게 그리고 중심 축과의 거리를 변인으로 한 실험과 돌림 힘 공식에 따라 기존 안전 장치의 문제점을 파악하고 이를 해결할 수 있는 안전장치로서 이동형 추를 제안하였다. 이는 타워 크레인의 인양 거리 범위 제한을 최소화할 수 있어 안전사고의 위험에서 벗어나 보다 안전한 작업 환경을 제공해줄 수 있으리라 기대한다.

ABSTRACT

Various safety accidents occur frequently at construction sites due to poor operation of construction machines and insufficient safety facilities. Among them, safety accidents on the Towercrain have resulted in massive casualties and property damage. Therefore, the purpose of this study is to develop safety devices to prevent safety accidents in the Tower Crane. To this end, the existing safety device was explored and the model of the Tower Crane was constructed using Arduino. The weight of the object, the weight of the pendulum, and the distance from the center axis, as well as the equation of turning and experimentation, suggested mobile weights as a safety device to identify and resolve problems with existing safety devices. This is expected to minimize the limit on the salvage distance of the tower crane, thus providing a safer working environment away from the risk of a safety accident.

키워드

Tower crane safety accident prevention, Turning force, Structural stability, safety device, Arduino application experiment

I. 연구의 필요성

크레인을 보면 건설 현장이 생각이 날 정도로 크레인
은 건설 현장에서 반드시 필요하며 중요한 역할을

* speaker

** corresponding author

한다. 크레인인 무거운 자재나 장비를 들어 올려 원하는 위치에 이동시키는 기계로 크게 오거크레인, 골리앗크레인, 타워크레인 등 많은 종류에 크레인이 있다. 그 중 현장에서 많이 사용되는 크레인은 타워형의 크레인인 타워크레인이다. 특히 타워크레인은 높은 높이로 인해 아파트와 빌딩 등 고층 건물을 건설하기 위해서는 반드시 필요한 건설장비로 인식되고 있다. 타워크레인은 무거운 자재와 장비를 높은 곳으로 옮기는 역할을 한다. 몇 톤이나 되는 건설 자재와 장비를 옮기면서 타워크레인의 상부가 힘의 불균형으로 인해 고정되지 않아 붕괴되면서 안전사고가 빈번하게 일어나고 있으며 막대한 인명 및 재산 피해를 입고 있다[1-5].

따라서 이 연구에서는 타워크레인의 안전사고 원인으로 지적되고 있는 타워크레인의 상부에서 발생하는 힘의 불균형 문제를 해결하고자 한다. 먼저, 구조적 안정성을 향상시키기 위해 인양 물체의 하중 및 운전실과의 거리, 그리고 평행 추 사이의 관계를 찾기 위해 가설을 설정하였다. 또한 아두이노 보드, 무게 측정 센서 등을 활용하여 타워크레인 모형을 제작하고 프로그래밍을 통해 가설 검증을 위한 실험을 진행하였다.

II. 관련 연구

2.1 타워 크레인의 구조 탐색

타워크레인은 크게 T형 타워크레인과 현장에서는 T형 타워크레인 중 L형 타워크레인으로 나뉜다[5]. 이 중 T형 타워크레인이 많이 활용되며 그 중에서도 햄머헤드형 타워크레인을 많이 사용한다. 그림 1과 같이 햄머헤드용 타워크레인은 앞부분에 트롤리와 호이스팅 로프가 위치해 있다. 트롤리와 호이스트는 물건을 들어올리고, 물건을 움직이는데 핵심적인 부품이다. 트롤리는 트롤리 활대와 연결되어 있다. 트롤리 모터를 이용하면 물건의 달려있는 호이스팅 로프를 앞, 뒤로 수평이동 시킬 수 있다. 호이스팅 로프와 블록, 갈고리가 연결되어 있는 것을 볼 수 있다. 호이스팅 모터를 이용하여 무거운 물건을 들어 올리고 내린다. 즉 호이스팅 모터를 조절하여 로프를 아래로 내리고 갈고리로 무거운 물건을 집어 들어 올린다. 그 후 트롤리 모터가 물건을 앞, 뒤(수평 운동)로 움직이게 하여 물건을 원하는 높이에, 원하는 위치에 놓는 것이다.

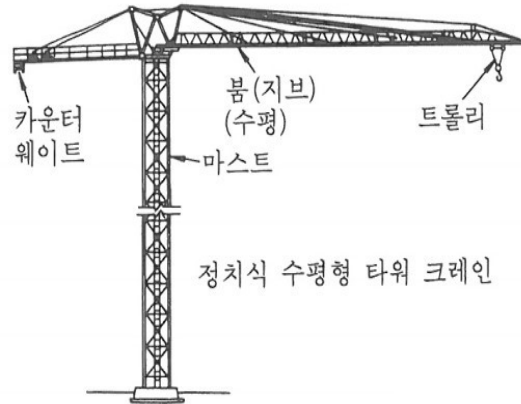


그림 1. 타워크레인의 구조[6]

2.2 타워 크레인의 안전사고

타워크레인 붕괴 사고는 빈번이 일어나고 있다 [1-5]. 타워크레인은 돌림힘이 평형을 이룰 때 움직일 수 있는 범위가 한계가 있는데 이는 평형추가 움직이지 않기 때문이다. 무거운 물건이 크레인 런웨이에서 트롤리를 이용하여 앞, 뒤로 움직이게 된다. 즉 적은 무게가 나가는 물건이 런웨이에서 운전실에 가까이 있게 되면 평형추가 있는 쪽으로 균형이 몰릴 것이고 반대로 엄청 무거운 물건을 치브와 가까이 달게 되면 무게가 앞으로 몰릴 것이다. 결국 타워크레인이 불균형을 이루는 것이다. 이는 타워크레인의 기둥이 되는 타워 마스트가 휘어져 붕괴되거나 물체를 들어 상태를 유지하는 크레인 런웨이가 꺾일 수 있다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 타워크레인에서 고정되어 힘의 불균형을 초래하는 평형추를 움직여 붕괴 사고를 막아야한다.

III. 연구 도구

3.1 아두이노 보드

아두이노는 인터랙티브 객체들과 디지털 장치를 만들기 위한 도구로 간단한 마이크로컨트롤러 보드를 기반으로 한 오픈 소스 컴퓨팅 플랫폼과 소프트웨어 개발 환경을 의미한다[7]. 다양한 스위치나 센서로부터 입력받은 값을 받아드려 LED나 모터와 같은 전자 장치들로 출력을 제어한다. 본 연구에서는 아두이노 메카를 타워크레인의 메인보드로 사용하였다.

3.2 로드셀(무게 센서)

로드셀은 무게를 숫자로 표시하는 전자저울에 필수적인 무게 측정 소자를 의미한다[8]. 로드셀 무게를 측정하기 위해서는 계측 앰프가 필요하다. 좌측은 로드셀 센서와 연결하는 단자이고 우측은 마이크로 컨트롤러와 연결하는 단자이다. 타워크레인에서 역시 로드셀의 역할에 맞는 무게를 측정하는 센서로 사용하였다.

3.3 DC기어드 모터

DC기어드 모터는 소음과 전력 소비가 낮고 속도제어가 세밀하게 가능하다[9]. 따라서, 타워크레인에는 평형추의 속도를 감속시키고, 타워크레인의 무게를 증가시키기 위해 사용되었다.

3.4 Arduino I.D.E

센서의 무게를 비교하여 그에 따른 동작을 수행시키기 위해 아두이노 소스코드를 작성한 뒤 보드에 업로드하기 위해 Arduino I.D.E 1.8.4 프로그래밍 툴을 이용한다.

IV. 타워 크레인 안전장치의 구조적 안정성 탐색

4.1 타워크레인 모형 제작

먼저 타워 크레인이 기울어지지 않도록 최대한 평평하게 밀판을 제작하였다. 밀판의 양 쪽 끝에는 로드셀을 부착하여 들어 올리는 물건과 평형추가 평형을 이루고 있는지 확인하고 평형추에 부착한 모터에 값을 주었다. 또한 무게 중심이 한 쪽을 치우치지 않게 하기 위해서 밀판 중심에 아두이노 메인보드를 부착하였다. 타워 마스트는 중심 마스트와 보조 마스트 두 가지로 나누어서 제작하였다. 중심 마스트는 16개의 기둥을 만들어서 위로 쌓아 올리고 4개씩 쌓을 때마다 서로 기둥을 연결시켜주었다. 보조 마스트는 밀판에 있는 센서에 힘이 더 잘 전달되도록 해서 측정을 더 정확히 하기 위해서 제작하였다. 크레인 런웨이는 실험할 때 최대한 다양한 값을 측정하기 위해서 길게 제작하였다. 평형추가 있는 부분은 약40cm로, 반대쪽은 약 55cm로 제작하였다. 물건을 쉽게 타워 크레인에 고정시키기 위해서 캐리어를 제작하였다. 건전지가 들어갈 수 있도록 공간을 넉

넉히 확보한 다음에 주위에 벽을 쌓아서 제작하였다. 실험을 하다가 건전지를 넣을 때 밀판이 빠지는 사고가 발생해 각 면마다 빔을 대각선으로 고정시켜 보완하였다. 평형추는 모터에 기어를 고정시켜서 래크를 이용해 아두이노와 연결하였으며 센서 값에 따라 앞뒤로 움직일 수 있도록 제작하였다. 제작 중 힘이 전달이 되지 않고 축이 휘어지는 문제점을 해결하기 위해서 래크를 추가하여 제작하였다. 볼베어링을 이용하여 200g의 추로 제작하였으나 무게가 가벼워 물건의 무게를 측정하지 못하는 문제가 발생하여 추를 추가적으로 부착하여 500g으로 제작하였다. 지브 지지대는 평형추와 물건의 무게 때문에 크레인 런웨이가 가라 앉은 것을 방지하기 위해 제작하였다. 타워 마스트를 중심으로 위로 약 10cm정도 브릭을 이용해 쌓아 올려서 노끈은 이용해서 크레인 런웨이 양 쪽 끝에 두 개씩 연결시켜서 주저앉지 않도록 위쪽에서 당겨서 고정시켰다.

외 형제작이 마무리 된 후 아두이노 보드, 로드셀, DC기어드모터, 모터 드라이버를 이용하여 그림 1과 같이 회로도를 구성하였다. 2개의 로드셀 센서는 각각 (3,4), (5,6)핀에 연결하였으며, 모터는 (10,11)핀에 연결하였다. 이때 모터는 모터 드라이버를 이용하여 출력을 높일 수 있도록 설계하였다.

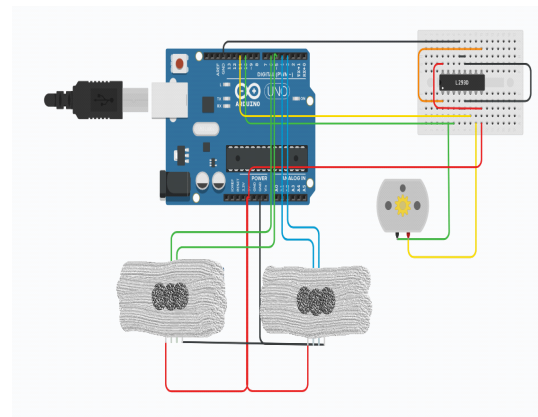


그림 2. 타워크레인의 회로도

선은 합선이 발생하지 않도록 코팅이 되어 있는 구리선을 이용하였으며, 회로 구성 전 인두기의 열을 이용하여 코팅을 제거하는 작업부터 진행하였다. 모터 드라이버 측에는 일반 전선을 이용하여 합선이 일어날 우려가 있으므로 메인보드와 떨어진 곳에 배

치하였으며, 이 외에도 선의 끊김이나 합선을 방지하기 위해서 타워 크레인 하단 바닥면에 절연테이프를 이용하여 부착하였다.

타워 크레인의 외관 및 회로도를 제작한 후 구조적 안정성을 실험하기 위해 아두이노 프로그램(IDE)에 프로그램을 작성하였고 소스 코드의 일부는 그림 3과 같다.

```

sketch_may05a §
Serial.print("Reading:");
int a=scale1.get_units();
int b=scale.get_units();
Serial.println();
if(a>(b+5)){
    digitalWrite(m1,HIGH);
    digitalWrite(m2,LOW);
    delay(1);
}
else if(a<(b+5)){
    digitalWrite(m1,LOW);
    digitalWrite(m2,HIGH);
    delay(1);
}
else if(a=(b+5)){
    digitalWrite(m1,LOW);
    digitalWrite(m2,LOW);
    delay(1);
}
Serial.print(a, 1);
Serial.print(" lbs")
Serial.print(b, 1);
Serial.print(" lbs");
} |
    
```

그림 3. 구조적 안정성 탐색을 위한 소스코드 일부

4.2 안전장치의 구조적 안정성 실험

통제 변인과 조작 변인을 정하였다. 평형추가 움직여서 크레인의 평형을 잡는 것이 그렇지 않은 것보다 안정적이라는 것을 확인하기 위해서 통제 변인을 평형 추의 무게로 두었고, 조작 변인을 물건의 무게와 중심축에서의 각각의 거리로 두었다. 거리는 각각 12, 24, 36, 48cm로 하였다. 결과 값을 통해 돌림힘의 평형공식을 이용하여 물건과 추가 평형을 이루고 있다는 것을 증명하여 결과를 도출하였다. 그림 2와 같이 평형추의 무게를 고정하였을 때 물건의 무게와 물건과 크레인 중심 사이의 거리가 늘어날수록 평형추와 크레인 중심사이의 거리가 늘어난다는 사실을 확인할 수 있었다. 이를 돌림힘의 평형 공식 [10]에 대입해보니 식 1과 같은 결과가 나왔다.

$$a \times b = c \times d \quad (\text{식 1})$$

물건의 무게 : a

물건과 크레인 중심 사이의 거리 : b

평형추의 무게 : c

평형추와 크레인 중심 사이의 거리 : d

식 1을 통해 크레인이 평형상태를 유지하고 있다는 것을 알아낼 수 있었다.

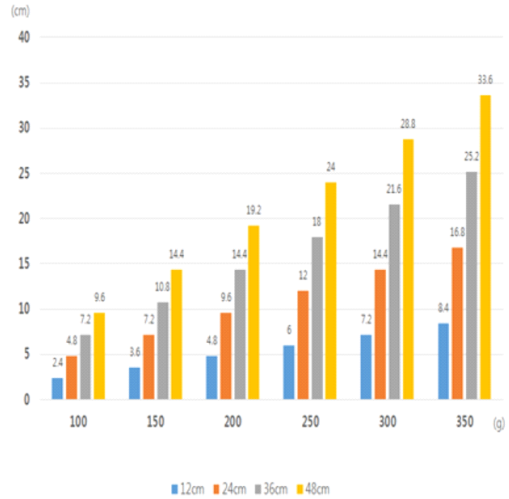


그림 4. 무게와 길이를 고려한 평형추와 크레인 중심 사이의 거리

V. 결론

본 연구는 타워크레인의 안전사고를 예방하기 위한 안전 장치를 개발하고 이에 대한 구조적 안정성을 탐색하는데 그 목적이 있다.

기존 타워크레인의 안정성을 향상시키기 위해 균형 추, 평형추, 트리플 구조, 고정 로프 등 다양한 안전 장치가 사용되었지만, 무게가 큰 건설 장비들을 이송하는 역할을 하는 타워크레인인 만큼 고정되어 움직임과 힘의 변화 범위가 한정적인 안전장치만으로는 타워크레인의 균형을 유지하는데 어려움이 발생하기 때문에 이동성이 있는 안전장치를 제안하였다. 그 중 타워 크레인의 물체 이동 가능 거리를 높이는 데 큰 영향을 주는 무게 추에 대해 살펴보기로 하였다. 또한 그 결과 이동 형추를 이용하여 돌림힘의 평형을 맞추어주면 돌림 힘의 평형을 이루기 위한 인양 물체와 중심 축 간의 거리 제한을 최소화 시켜 물체의 이동 범위를 증가시켜줄 뿐만 아니라 사용자의 운전 미숙에 의한 물체 이동 제한 범위 이탈로

발생하는 크레인 붕괴 사고를 막음으로써 더욱 안정적으로 크레인을 이용할 수 있다는 결론을 얻었다. 고정 형추를 이용하는 타워 크레인들은 인양하려는 물체의 하중에 따라 크레인 레일 위에 일정 범위 내에 있어야 돌림힘의 평형이 이루어지기 때문에 이송 거리에 제한이 있다는 단점이 있다. 따라서 이동 형 추를 사용한다면 타워크레인의 인양거리 범위를 제한을 최소화 시킬 수 있으며 앞서 언급한 고정 형 평형추의 단점을 보완할 수 있어 건설 현장에서의 인명 피해 및 재산피해를 효과적으로 감소시킬 수 있다. 또한 타워크레인 또는 중장비를 이용하는 건설 현장의 노동자들에게 보다 안전한 작업환경을 제공해주며 건설 회사 입장에서도 인명, 재산피해를 최소화 시켜줄 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] 최충만, 이찬식. "타워크레인 재해 사례 분석." 한국 건설관리학회 전국대학생 학술발표대회 논문집, pp. 62-65, 2014.
 [2] 국동훈, 김아영, 서종민, 김선국. "재해사례를 통해 알아본 크레인 안전사고 분석." 한국건설관리협회 학술발표대회 논문집, pp. 436-440, 2007.
 [3] 김덕수. "타워크레인 안전사고, 이대로 괜찮은가 정책토론회 개최." 한국건설신문, 2019.03.05.

[4] 이명구, 노민래. "타워크레인 붕괴사고의 구조적 분석." 한국산업안전학회지, Vol. 16, No. 4, pp. 147-152, 2001.
 [5] 김홍현, 이강. "크레인 관련 중대재해사례를 통한 재해 유형 및 원인 분석." 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집, Vol. 7, No. 1, pp.109-112, 2007.
 [6] 현대건축관련용어편찬위원회. "AR+건축용어사전." 성안당, 2009
 [7] Banzi, M., Michael, S. "Getting started with Arduino: the open source electronics prototyping platform." Maker Media, Inc., 2014.
 [8] 이정현, 이우람. "단일면으로 디자인한 고성능 로드셀 제작에 관한 연구." 한국생산제조학회지, Vol. 19.6, No. 6, pp. 724-730, 2010.
 [9] <http://www.makeshare.org>.
 [10] 현동길, 신애경. "Force Table 을 활용한 돌림힘 관련 실험장치의 개발과 적용." 현장과학교육, Vol. 10, No. 3, pp. 277-293, 2016.