



# HAVS(Hand-Arm Vibration Syndrome) 예방을 위한 경고 시스템

## -3축 가속도 센서 기반 웨어러블 장비 전남대학교 건축학부 건축공학전공 이상혁, Tian Kefan

### 1. 연구배경

#### HAVS(Hand-Arm Vibration Syndrome)

- 손-팔 진동은 진동 공구와 접촉할 때 발생
- 손-팔에서의 국소진동은 손가락에 있는 혈관과 신경에 손상을 줌
- 명확한 치료법이 없으며 예방이 중요함
- 예방법으로는 진동 노출 줄이기, 저진동 공구, 방진장갑 등이 있음
- 그러나 방진장갑은 저주파수 대역인 국소진동을 막기에는 효과가 미미하며, 작업자들은 자신의 진동 노출량을 모른다는 문제점이 있음



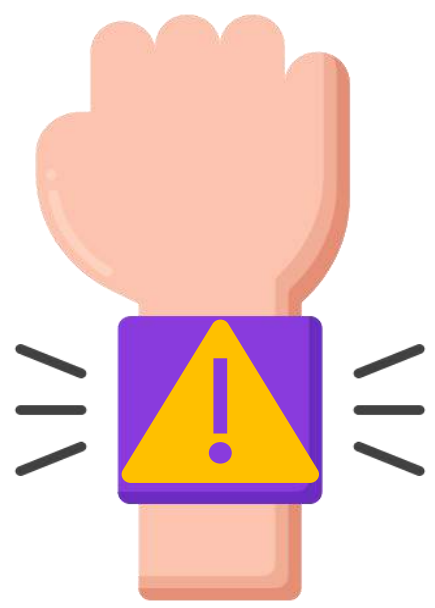
### 2. 연구목적

출처: KOSHA GUIDE H-177-2015 국소진동공구 취급 근로자의 보건관리지침, 한국산업안전보건공단

전체 하루 노출시간 <sup>1)</sup>	초과되어서는 안 되는 성분가속도의 주파수가 가중된 우세값 <sup>2)</sup>	
	m/s <sup>2</sup>	g <sup>3)</sup>
4시간에서 8시간 이하	4	0.40
2시간에서 4시간 이하	6	0.61
1시간에서 2시간 이하	8	0.81
1시간 이하	12	1.22

- 1) 1일 동안 손으로 진동이 전달되는 전체시간(연속 또는 간헐)
- 2) 일반적으로 한 축의 진동수준이 나머지 두 축보다 우세한 것이다. 만약, 하나 또는 그 이상의 진동축의 진동수준이 전체하루 폭로 시간을 초과하면 허용기준치를 상회한 것이다.
- 3) 1g = 9.81m/s<sup>2</sup>

ACGIH의 국소진동 TLV(Threshold Limit Value)를 경고 기준으로 삼기로 하였음



작업자들이 진동 강도에 대한 권장기준을 넘기지 않게 하기 위한 경고시스템 제작

### 3. 장치 설계

#### ISO 5349

**다중 축 진동**  
대부분의 동력 공구에서 손으로 전달된 진동은 모든 3개의 측정 방향으로부터의 기여를 포함한다. 각각 3개 방향에서의 진동은 똑같이 해롭다고 가정한다. 그러므로 측정은 모든 3개의 방향에서 수행한다. x축, y축 및 z축에 대한 주파수 가중 r.m.s. 가속도 값,  $a_{hw_x}$ ,  $a_{hw_y}$  및  $a_{hw_z}$ 를 각각 보고해야 한다.

1/3 옥타브 대역 데이터의 주파수 가중 가속도로의 변환  
필터  $W_h$ 의 사용에 있어서, 대응되는 주파수 가중 가속도를 얻기 위해 1/3옥타브 대역 분석으로부터의 r.m.s. 가속도 값을 사용한다. 주파수 가중 r.m.s. 가속도  $a_{hw}$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_h a_{hi})^2}$$

여기에서  
 $W_h$ : 표 A.2에서 보여주는 바와 같이 i번째 1/3옥타브 대역에서 측정된 가중 인자.  
 $a_{hi}$ : i번째 1/3옥타브 대역에서 측정된 r.m.s. 가속도(m/s<sup>2</sup>)

ISO 5349의 내용을 참고하여 3축의 가속도를 측정하기 위해 3축 가속도센서를 사용하였고 r.m.s.주파수 가중 가속도를 구하기 위해 Python을 통해 주파수분석을 진행함

#### 부품 선정

**[ADXL345]**  
-3축 가속도 센서  
-최대 대역폭: 3200Hz

**[ESP32]**  
-마이크로컨트롤러  
-Wi-Fi, Bluetooth 연결지원  
-저전력소비

#### Processing



#### 장치개발



### 4. 장치 성능 검증

경고시스템을 제작하기 전, Python으로 계산한 r.m.s. 주파수 가중 가속도값을 참고문헌과 비교해보기 위해 실험을 진행함

#### 실험 대상



[해머드릴]

[브레이커]

#### 실험 방법

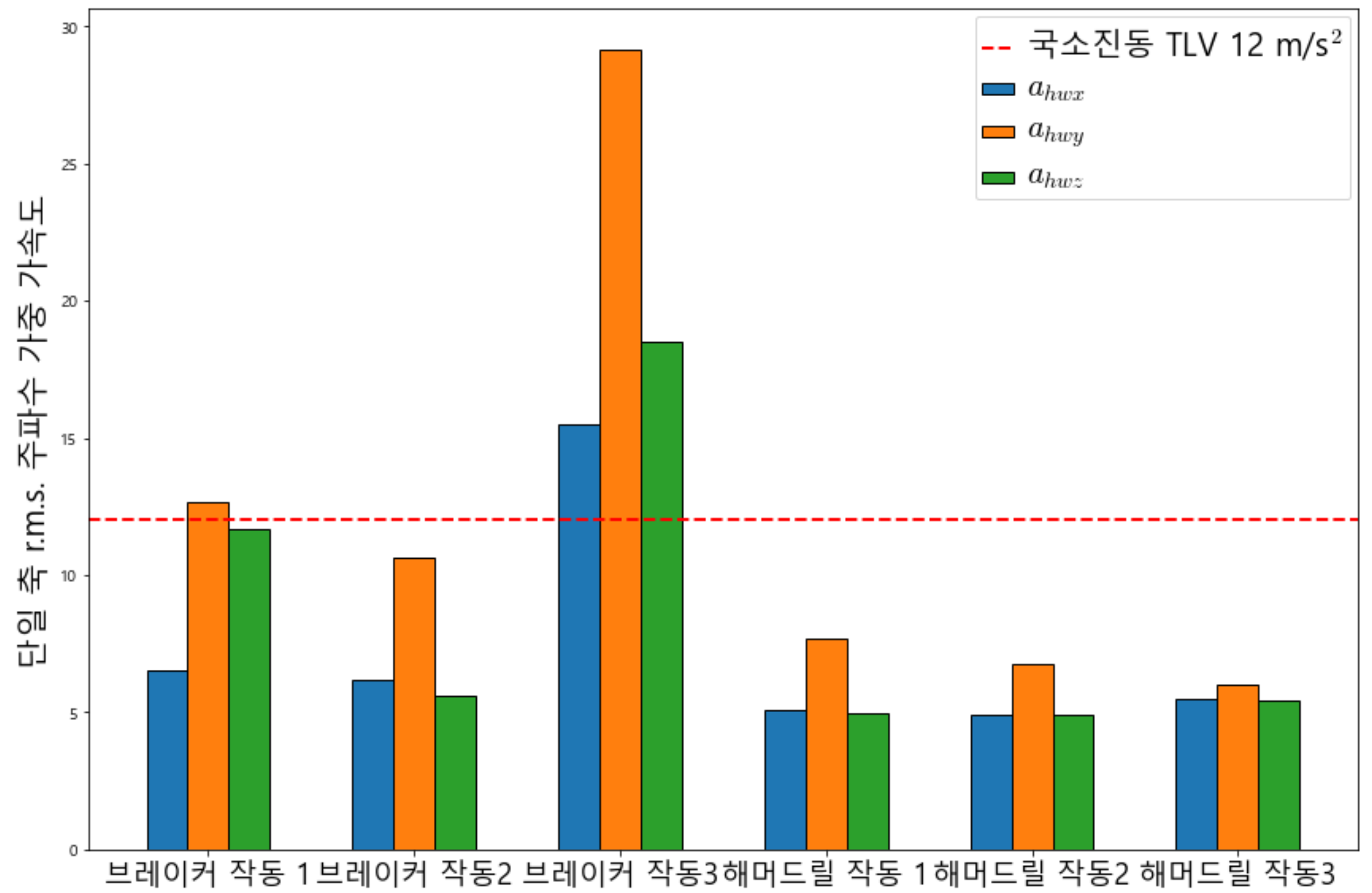


[브레이커 측정]

[해머드릴 측정]

1. 콘크리트 벽돌을 브레이커와 해머드릴로 각각 2분 동안 부수는 작업 3회 진행
2. 수집된 데이터를 txt파일로 저장한 후 Python을 통하여 FFT 진행
3. FFT 진행 후 주파수 가중 rms 가속도값을 계산하여 참고문헌에 나온 값과 비교하여 성능 검증

#### 계산 결과 및 비교



	$a_{hw_x}$	$a_{hw_y}$	$a_{hw_z}$	$a_{hv}$
브레이커 작동 1	6.53	12.63	11.69	18.41
브레이커 작동 2	6.18	10.65	5.59	13.52
브레이커 작동 3	15.52	29.17	18.53	37.88
해머드릴 작동 1	5.06	7.66	4.96	10.43
해머드릴 작동 2	4.9	6.76	4.93	9.70
해머드릴 작동 3	5.46	5.98	5.42	9.74

#### <H사업장 해머드릴의 일일 진동노출량>

김갑배, 정은교, 이인성. (2011). 진동작업 종사 근로자의 진동노출 실태에 관한 연구. 한국산업안전보건공단

사용기계	가속도계 부착위치	$a_{hv}$
해머드릴	손잡이	8.97

해머드릴의 값이 참고문헌과 유사하게 나온 것을 확인함

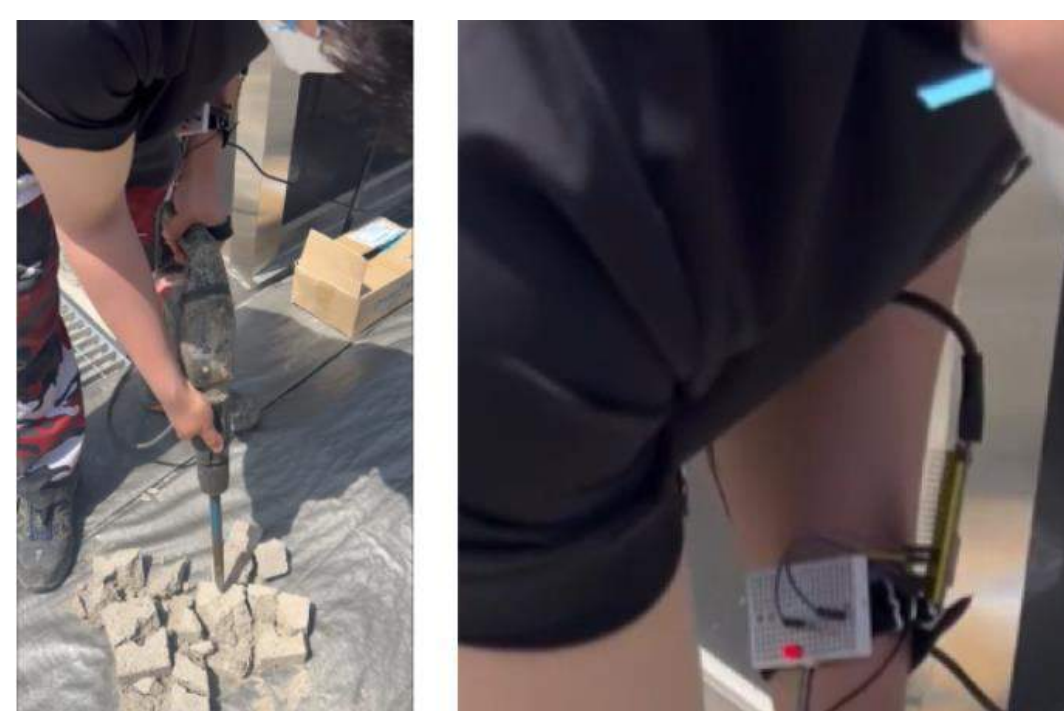
### 5. 경고 시스템 설계 및 시연

```
def check_threshold(weighted_rms, threshold=12.0):
    return weighted_rms > threshold

if check_threshold(max_weighted_rms):
    ser.write(b'H') # H를 아두이노로 전송하여 LED 켜기
else:
    ser.write(b'L') # L을 아두이노로 전송하여 LED 끄기

if (Serial.available()) {
    char signal = Serial.read();
    if (signal == 'H') {
        digitalWrite(ledPin, HIGH);
    } else if (signal == 'L') {
        digitalWrite(ledPin, LOW);
    }
}
```

- 실시간으로 수집된 진동 데이터를 FFT변환하여 각 축의 r.m.s. 주파수 가중 가속도를 계산
- 임계값 12m/s<sup>2</sup> 설정
- 각 축의 r.m.s. 주파수 가중 가속도 중 가장 큰 값의 축이 12m/s<sup>2</sup>를 초과할 경우 LED 점등, 초과하지 않을 경우 LED 소등



브레이커를 사용하여 측정했을 경우 불이 들어오는 것을 확인함

### 6. 결론 및 향후 계획

#### 결론

- 실시간 진동 측정 및 경고 시스템 개발
- 브레이커 사용 시 권장기준을 넘는 경우가 있으므로 주의 필요.
- 실시간 모니터링을 통한 진동 노출 정도 파악으로 HAVS 예방 기대

#### 보완할 점

- 센서로 인해 공구를 파지하는 데 불편함이 있음
- 일일 진동 노출량을 기록할 수 있는 휴대폰 어플 제작