



20CTAP-  
C152017-  
02

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( ) 발간등록번호()

국토교통기술촉진 연구사업 제2차 연도 최종보고서

R&D/20CTAP-C152017-02

# 건설근로자 사고예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천 기술 개발 최종보고서

2021. 01. 13.

2020

주관연구기관 / 한양대학교 에리카산학협력단  
공동연구기관 / 연세대학교 산학협력단  
공동연구기관 / 아주대학교 산학협력단

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

국 토 교 통 부  
국토교통과학기술진흥원

건설근로자 사고예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도  
통합형 인력 모니터링 원천 기술 개발 최종보고서

## 제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

'건설근로자 사고예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천 기술 개발'(연구개발 기간 : 2019. 04. 15 ~ 2020. 12. 31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2021. 01. 13.

주관연구기관명 : 한양대학교 에리카산학협력단 (대표자) 박 태 준



공동연구기관명 : 연세대학교 산학협력단 (대표자) 이 충 용



공동연구기관명 : 아주대학교 산학협력단 (대표자) 오 영 태



주관연구기관책임자: 권 나 현

공동연구기관책임자: 김 희 정

공동연구기관책임자: 이 슬

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에  
동의합니다.

## 보고서 요약서

|                   |                                              |                                                    |                                |             |                                                        |
|-------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------|
| 과제 고유 번호          | 20CTAP-C1<br>52017-02                        | 해당 단계<br>연구 기간                                     | 2019. 04. 15 -<br>2020. 12. 31 | 단계구분        | 2/2                                                    |
| 연구사업명             | 중사업명                                         | 국토교통기술촉진연구사업                                       |                                |             |                                                        |
|                   | 세부사업명                                        | 기초원천                                               |                                |             |                                                        |
| 연구과제명             | 대과제명                                         |                                                    |                                |             |                                                        |
|                   | 세부과제명                                        | 건설근로자 사고예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도<br>통합형 모니터링 원천 기술 개발 |                                |             |                                                        |
| 연구책임자             | 권나현                                          | 해당단계<br>참여연구원 수                                    | 총: 13명<br>내부: 13명<br>외부: 명     | 해당단계<br>연구비 | 정부:164,000천원<br>민간: 천원<br>정부외: 천원<br>상대국: 천원<br>계: 천원  |
|                   |                                              | 총 연구기간<br>참여연구원 수                                  | 총: 13명<br>내부: 13명<br>외부: 명     | 총 연구비       | 정부:206,000 천원<br>민간: 천원<br>정부외: 천원<br>상대국: 천원<br>계: 천원 |
| 연구기관명 및<br>소속 부서명 | 한양대학교 에리카산학협력단<br>연세대학교 산학협력단<br>아주대학교 산학협력단 |                                                    |                                | 참여기업명       |                                                        |
| 국제공동연구            | 상대국명:                                        |                                                    |                                | 상대국 연구기관명:  |                                                        |
| 위탁연구              | 연구기관명:                                       |                                                    |                                | 연구책임자:      |                                                        |

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의  
보안등급 및 사유

### 9대 성과 등록·기탁번호

| 구분           | 논문 | 특허 | 보고서<br>원문 | 연구시설<br>· 장비 | 기술요약<br>정보 | 소프트<br>웨어 | 화합물 | 생명자원     |          | 신품종 |    |
|--------------|----|----|-----------|--------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
|              |    |    |           |              |            |           |     | 생명<br>정보 | 생물<br>자원 | 정보  | 실물 |
| 등록·<br>기탁 번호 | 4  | 2  | 6         | -            | -          | 1         | -   | -        | -        | -   | -  |

### 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

| 구입기관 | 연구시설<br>· 장비명 | 규격<br>(모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화) | 비고<br>(설치장소) | NTIS<br>등록번호 |
|------|---------------|-------------|----|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|      |               |             |    |       |              |             |              |              |
|      |               |             |    |       |              |             |              |              |

#### 요약

##### ○ 연구목표

건설근로자 사고 예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천기술 개발

##### ○ 연구내용

1. 건설근로자 피로도 평가를 위한 wearable device 프로토타입 제작 및 딥러닝 알고리즘 구축
2. 딥러닝 알고리즘 및 생태순간평가를 활용한 건설현장 인력모니터링 시스템 프레임워크 개발

##### ○ 연구개발성과

1. Wearable device 프로토타입 제작 및 건설근로자 피로도 영향요인 정의
2. 건설근로자 피로도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘 개발
3. 건설근로자 피로도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델 구축
4. 건설근로자 피로도 기반 건설현장 인력 모니터링 프레임워크 개발

##### ○ 활용계획

안전한 건설 문화 형성 및 건설산업 사고재해 최소화를 실현하고, 4차 산업혁명 시대의 새로운 안전관리에 부합하는 국내 건설산업의 안전사고 예방을 위한 도구로 활용

보고서 면수 107

## 요약문

연구의  
목적 및 내용

본 연구는 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 **wearable device 프로토타입**을 제작하고, 이를 통해 수집되는 Big Data 기반의 **딥러닝 알고리즘**과 생태-행동-심리적 자료의 통합 기술인 **생태순간평가**를 활용하여 건설근로자의 피로도와 작업의 위험도를 고려하여 건설현장의 효율적인 인력관리가 가능한 **건설근로자 사고 예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천기술 개발**을 최종 목표로 함.

■ [1차년도] 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 wearable device 프로토타입 제작 및 딥러닝 알고리즘 구축

■ Wearable Device 기반 건설근로자 피로도-위험도 평가모델 및 Big Data 구축

① 건설근로자 피로도-위험도 측정 시스템 개발

② 피로도-위험도 측정 시스템 wearable device에 탑재 및 프로토타입 제작

③ wearable device를 활용한 Big Data 구축

■ 건설근로자 피로도-위험도 영향요인 상관관계 정의 및 산출

① 건설근로자 피로도-위험도 영향요인 규명 및 상관관계 정의

② wearable device 수신 데이터를 활용한 피로도 산출

③ wearable device 수신 데이터를 활용한 위험도 산출

■ 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘 설계

① wearable device 수신 데이터 패턴 분석

② 건설근로자 피로도-위험도 평가 알고리즘 구현을 위한 딥러닝 모델의 입출력 정의

③ 딥러닝 모델 학습, 검증, Test Data 생성 딥러닝 모델 Architecture 설계

■ [2차년도] 딥러닝 알고리즘 및 생태순간평가를 활용한 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발

■ 건설근로자 피로도-위험도 기반 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발

① 건설근로자 피로도-위험도 가시화 및 경보시스템 구축

② 건설근로자 개인의 피로도-위험도 데이터 통합

③ 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발

■ 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 생태순간평가 응용 모델 구축

① 생태순간평가를 활용한 건설근로자 피로도-위험도 수치화

② 생태순간평가를 활용한 건설근로자 피로도-위험도 수준 결정

③ 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 응용 모델 구축

■ 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘 개발 및 검증

① 건설근로자 피로도-위험도 평가 알고리즘 구현

② 생태순간평가 데이터 및 딥러닝 목표값 매칭

③ 딥러닝 모델 신경망 최적화 및 데이터 간 상관성 고도화

연구개발성과

| 구분            | 논문 | 특허 | 보고서<br>원문 | 연구시설<br>· 장비 | 기술요약<br>정보 | 소프트웨어 | 화합물 | 생명자원     |          | 신제품 |    |
|---------------|----|----|-----------|--------------|------------|-------|-----|----------|----------|-----|----|
|               |    |    |           |              |            |       |     | 생명<br>정보 | 생물<br>자원 | 정보  | 실물 |
| 예상성과<br>(N/Y) | Y  | Y  | Y         | N            | N          | Y     | N   | N        | N        | N   | N  |

연구개발성과의  
활용계획  
(기대효과)

■ 활용 계획

본 연구결과는 건설안전 분야에 딥러닝과 생태순간평가를 적용함으로써 건설근로자 중심의 기술개발을 통해 안전한 건설 문화 형성 및 건설산업 사고재해 최소화를 실현하고, 4차 산업혁명 시대의 새로운 안전관리에 부합하는 국내 건설산업의 안전사고 예방 및 생산성 향상을 위한 도구로 활용될 수 있음.

■ 기대 효과

건설근로자 중심의 기술개발을 통해 사람 중심의 기술개발을 확장시킴으로써 안전한 건설 문화 형성 및 건설산업 사고재해 최소화가 기대되고 건설 융합 기술의 확보를 통해 기술력을 강화하고 안전사고 재해를 감소로 인한 안전사고 처리비용 및 안전관리 비용 저감과 생산성 향상을 통한 경제적 효과 견인이 기대됨.

국문핵심어

|       |             |        |              |     |
|-------|-------------|--------|--------------|-----|
| 건설 안전 | 딥러닝<br>알고리즘 | 생태순간평가 | 웨어러블<br>디바이스 | 피로도 |
|-------|-------------|--------|--------------|-----|

## 〈 목 차 〉

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 1. 연구개발과제의 개요 .....                                       | 5   |
| 가. 연구개요 및 목표 .....                                        | 5   |
| 나. 본 연구개발 기술의 핵심 개념 .....                                 | 6   |
| 2. 연구수행내용 및 성과 .....                                      | 7   |
| 가. 1차년도 연구수행 내용 및 성과 .....                                | 7   |
| (1) 건설근로자 피로도 영향요인 규명 및 상관관계 정의를 위한 도구 선정 .....           | 7   |
| (2) 건설근로자 피로도 측정 Wearable device 프로토타입 제작 .....           | 12  |
| (3) 알고리즘 구현을 위한 모델 입출력 정의 .....                           | 24  |
| (4) 건설근로자 피로도 평가 알고리즘 구현을 위한 딥러닝 Architecture 설계 .....    | 28  |
| 나. 2차년도 연구수행 내용 및 성과 .....                                | 33  |
| (1) 건설근로자 피로도 영향요인 규명 및 상관관계 정의 .....                     | 33  |
| (2) 건설근로자 피로도 수치화 및 수준 결정 .....                           | 38  |
| (3) 건설근로자 피로도 측정 및 생태순간평가를 위한 Wearable device 프로토타입 개선 .. | 40  |
| (4) 건설근로자 실험을 통한 자료수집 및 딥러닝 알고리즘 구현을 위한 Big data 구축 ..    | 48  |
| (5) 건설근로자 피로도 평가 딥러닝 알고리즘 구현 .....                        | 52  |
| (6) 건설근로자 피로도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델 구축 .....                 | 90  |
| (7) 딥러닝 및 생태순간평가를 활용한 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발 .....           | 98  |
| 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....                               | 102 |
| 가. 목표 달성도 .....                                           | 102 |
| 나. 관련 분야 기여도 .....                                        | 104 |
| 4. 연구개발성과의 활용 계획 .....                                    | 106 |
| 붙임. 참고 문헌 .....                                           | 107 |

# 1. 연구개발과제의 개요

## 가. 연구개요 및 목표

- 본 연구의 최종목표인 “**건설근로자 사고예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 모니터링 시스템 개발**”은
  - ① **wearable device**를 활용한 건설근로자 개인의 건강상태, 수면상태, 작업환경, 작업의 반복성 등 피로도 영향요인에 대한 Big Data 구축,
  - ② **딥러닝 모델의 일종인 LSTM (long short-term memory)**을 활용한 건설근로자 개인의 피로도-위험도 평가,
  - ③ **생태순간평가 (Ecological Momentary Assessment)**를 활용한 건설근로자 개인의 피로도-위험도 수치화 및 의사결정을 통해**기존의 획일적·규제 중심의 현장 인력관리 시스템을 건설근로자 개인의 피로도를 고려한 시스템으로 개선함으로써 건설근로자의 피로도와 작업의 위험도에 기인한 건설현장에서 발생하는 안전사고를 예방하고, 건설현장의 생산성을 향상시키는 것을 목적으로 함.**
- 본 연구과제는 **딥러닝 알고리즘과 건강행동연구이론인 생태순간평가를 안전관리에 접목하는 창의·도전적인 연구**이며, 국토교통 연구개발 사업 추진전략인 **사람 중심의 국토교통 기술개발에 부합하는 건설근로자의 안전 보장을 위한 시스템 연구**임. 또한, 본 연구과제는 **4차 산업혁명 시대의 새로운 안전관리 패러다임을 제안하는 다학제간 융합연구**이며, **건설현장의 재해 저감을 위한 기존의 시스템을 예방형 시스템으로 전환**하기 위하여 시급히 요구되는 필수불가결한 기술로서 시의성이 매우 높으며, 향후 건설현장에 적용하고 확장함으로써 원천기술 확보 및 기술개발 선도가 가능한 연구임.

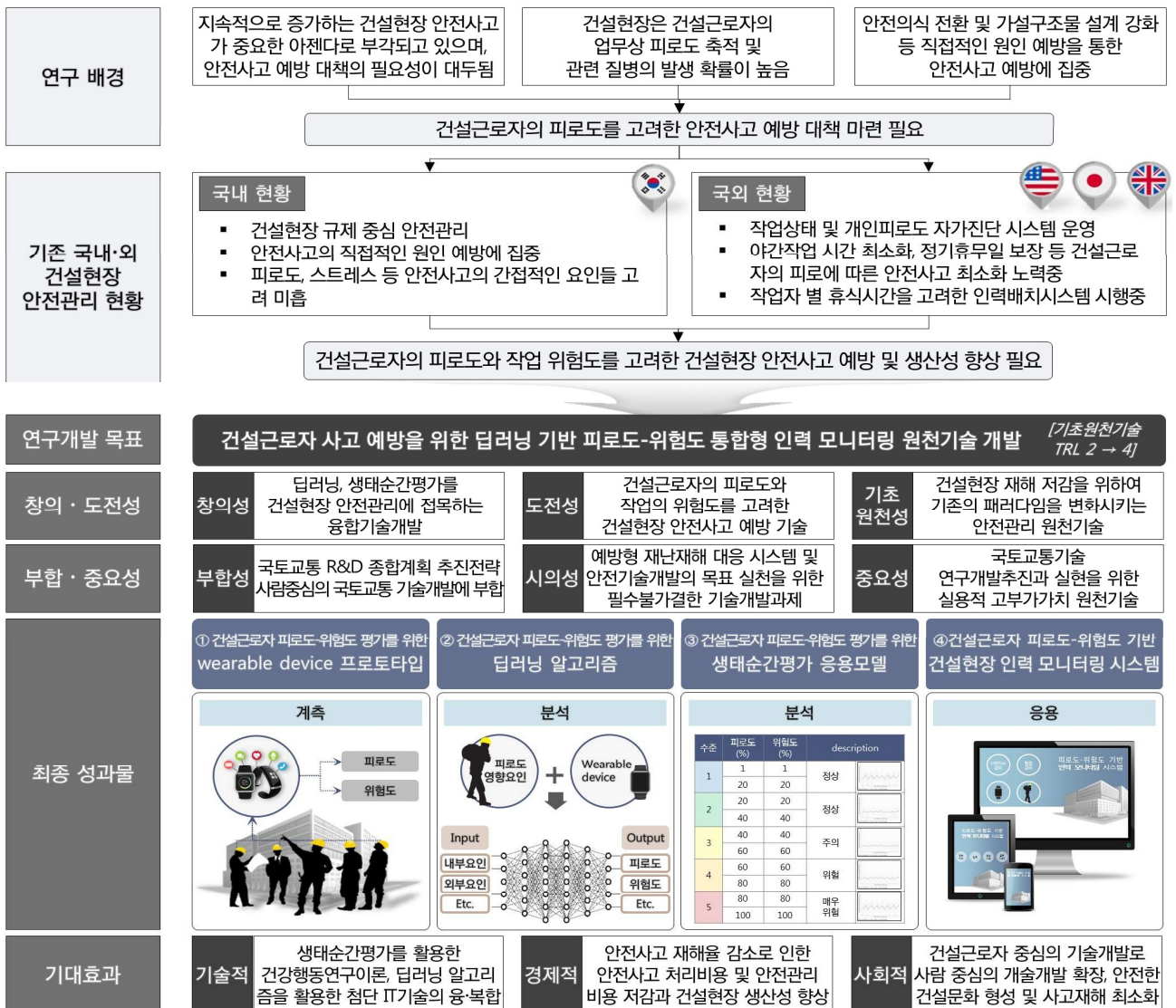


그림 1. 건설근로자 사고 예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천기술 개발 연구 전체 개요도

## 나. 본 연구개발 기술의 핵심 개념

- 본 연구과제에서 제안하는 “**건설근로자 사고 예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천기술 개발**”은 기존 국내 건설현장의 안전사고 예방을 위한 규제 중심의 안전관리체계에서 탈피하여 건설근로자의 건강상태, 수면상태 등 생리학적 요인에 초점을 맞추고 있음. 또한 **건설근로자의 건강요인과 환경요인에 기인하는 안전사고 예방을 목적으로 효과적인 건설현장 인력 모니터링 시스템을 구축하기 위해 딥러닝과 생태순간평가 기술을 접목시킨 신개념 다학제 간 융합 원천기술임**.
- 특히, 본 연구의 핵심 기술인 **LSTM (Long Short-Term Memory)**은 wearable device로부터 수신되는 건설근로자의 피로도-위험도 영향요인 Time Series Data의 유효한 상관관계를 분석하고 데이터마이닝 및 보완 과정을 거쳐 평가하는 고차원 프로세스이며 **생태순간평가**는 건설근로자의 피로도와 위험도를 수치화하고, 수준을 결정하여 의사결정하기 위한 융합형 기술임. **LSTM과 생태순간평가의 융합을 통해 건설근로자 개인의 피로도와 위험도를 평가할 수 있으며 이를 확장하여 건설근로자의 피로도-위험도 통합형 건설현장 인력 모니터링 시스템을 개발하여 건설현장의 안전사고 예방 및 생산성 향상을 위한 도구로 활용 가능할 것으로 사료됨**.

| 구 분  | 기존 건설현장 안전사고 예방                                     | 본 연구개발 기술을 통한 안전사고 예방                                                                                          |
|------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | 규제 중심                                               | 건설근로자의 피로도-위험도 중심                                                                                              |
| 주요특징 | 건설현장 안전사고 예방을 위한 안전의식 전환 및 가설구조물 설계 강화 등 직접적인 원인 예방 | 건설근로자 개인의 피로도-위험도를 고려한 적절 휴식시간, 인력계획 수립, 환경구축, 교육 등을 통한 피로도 기인의 안전사고 예방                                        |
| 핵심기술 | -                                                   | ① 건설근로자 피로도-위험도 측정을 위한 wearable device<br>② 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 LSTM 알고리즘<br>③ 건설근로자 피로도-위험도의 의사결정을 위한 생태순간평가 |

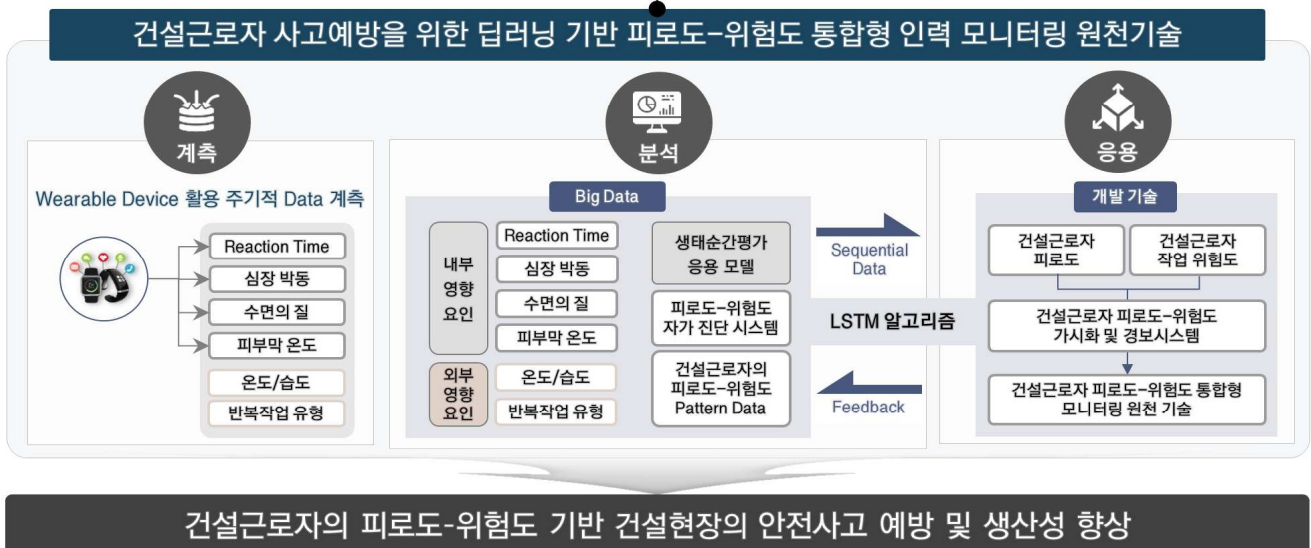
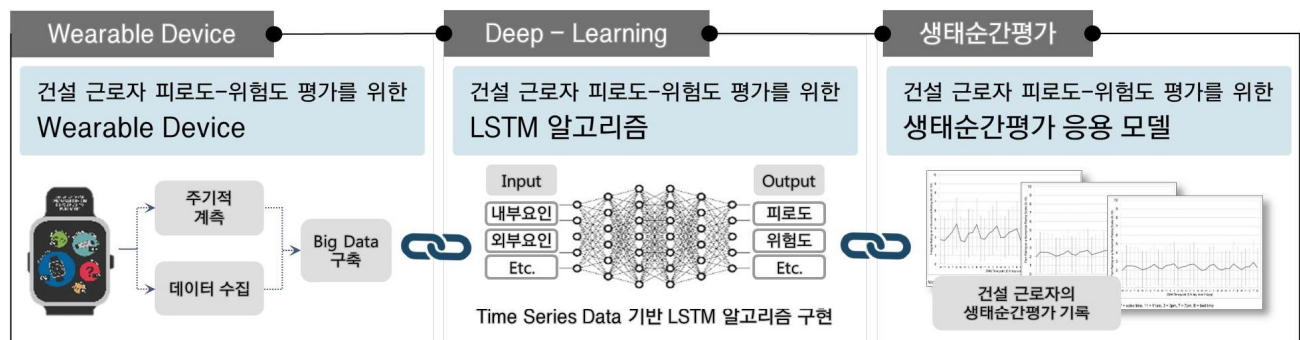


그림 2. 건설근로자 사고 예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천기술의 핵심개념

## 2. 연구수행내용 및 성과

### 가. 1차년도 연구수행 내용 및 성과

| 연구목표                                      |                                                     | 건설근로자 피로도 평가를 위한 Wearable device 프로토타입 제작 및 딥러닝 알고리즘 구축 |                                                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 세부 과제명                                    | 세부 연구 목표                                            | 연구개발 수행 내용                                              | 연구결과                                                    |
| 건설근로자 피로도-위험도 평가 wearable device 프로토타입 제작 | Wearable Device 기반 건설근로자 피로도-위험도 평가모델 및 Big Data 구축 | 건설근로자 피로도-위험도 측정 wearable device 프로토타입 제작               | 자체 개발한 어플리케이션이 탑재된 wearable device 프로토타입                |
|                                           |                                                     | wearable device를 활용한 Big Data 구축                        | 건설근로자 11인 대상의 Pilot Test를 통한 Big data 구축                |
| 건설근로자 피로도-위험도 영향요인 상관관계 정의                | 건설근로자 피로도-위험도 영향요인 상관관계 정의 및 산출                     | 건설근로자 피로도-위험도 영향요인 규명 및 상관관계 정의                         | 국내외 문헌고찰을 통한 근로자의 피로도 영향요인 파악, 측정에 적합한 측정도구 선정 및 전문가 검토 |
|                                           |                                                     | wearable device 수신 데이터를 활용한 피로도, 위험도 산출                 | SOFI Test를 통한 건설근로자의 현재 피로증상 측정 및 피로도 영향요인 규명           |
| 건설근로자 피로도-위험도 평가 딥러닝 알고리즘 개발              | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘 설계                    | wearable device 수신 데이터 패턴 분석                            | Pilot Test로 수집된 wearable device 수신 데이터 패턴 분석 및 유효성 증명   |
|                                           |                                                     | 건설근로자 피로도-위험도 평가 알고리즘 구현을 위한 LSTM 모델 알고리즘 설계            | Pilot test data를 활용한 LSTM 모델 알고리즘 설계 및 설계 유효성 증명        |

#### (1) 건설근로자 피로도 영향요인 규명 및 상관관계 정의를 위한 도구 선정

##### (가) 국내외 문헌고찰을 통한 건설근로자 피로도 영향요인 파악

: 건설근로자의 피로도 영향요인 파악 및 측정에 적합한 측정도구 선정을 위해 국내외 문헌고찰을 실시함. 2019년을 기준으로 최근 10년간 관련 문헌 고찰을 통해 건설근로자의 피로를 반영하는 객·주관적 정보를 측정한 도구를 선별하였으며, 상세한 사항은 다음과 같음.

- 검색어: 국문 검색어(건설 OR 근로자 AND 피로 AND 위험 OR 상해 OR 사고), 영문 검색어 (construction AND worker OR labor OR industry AND fatigue OR tired OR lassitude AND risk OR injury OR accident OR harm OR danger)
- 선정기준
  - 건설 작업장/에서 일어나는 피로 관련 안전사고/신체적 상해 포함
  - 인지적/정신적, 신체적 피로 모두 포함
  - 피로 관련 개념 포함 (physical demand, vigilance, sleep)
  - 화학적 환경, 생물 및 생리학적 요인으로 인해 발생하는 신체상 재해 제외

##### ① 객관적 피로

: 문헌고찰 결과 근로자의 객관적 피로도를 측정하는 지표는 생리적 지표, 생체기계 지표, 인지 피로 지표로 구분됨. 객관적 피로를 측정한 항목과 측정 도구를 평가한 내용은 다음과 같음(표 1-1).

- 객관적 피로 측정 도구는 정확성이 높은 척도를 제공하고 있지만, 건설현장에서의 피로를 측정하는데는 작업환경에 대한 고려가 필요함

표 1-1. 객관적 피로 측정 도구 고찰

| 구분       | 측정 항목          | 측정 도구                                           | 측정요소 구분 |        | 측정 도구 내용 및 평가                                                                           |
|----------|----------------|-------------------------------------------------|---------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                |                                                 | 정신적 요소  | 신체적 요소 |                                                                                         |
| 생리적 지표   | 뇌파             | Skin sensor                                     | ■       | □      | 근로자의 주의력, Vigilance, 스트레스, 졸음, mental fatigue, 위험 인식 등 평가                               |
|          | 심박수            | Skin sensor, Actigraphy                         | □       | ■      | 개인의 생리학적/행동적 요소(체력 수준, 체중, 흡연, 음주, 카페인 섭취량, 정신적 스트레스 상황 등)에 영향받을 수 있음                   |
|          | 안구운동, 동공반응     | Eye tracker (oculometry, pupilometry)           | ■       | □      | 낮은 침습성, 강력한 간섭 방지 기술로 건설근로자의 피로도 측정에 효과적임<br>(건설현장의 전자기파, 온도, 진동으로부터의 간섭에 영향받지 않음)      |
|          | 근육 피로도         | Skin sensor, Accelerometer                      | □       | ■      | 실험실 환경에서 생체역학 연구에 유용함. 그러나 전극 sensor를 몸에 부착해야 하므로 건설현장에서 적용하기 어려움                       |
|          | 신체 활동의 에너지 소비량 | Actigraphy (accelerometer)                      | □       | ■      | 가볍고 장기간 동안의 지속적인 실시간 data 수집이 가능하고 객관적, 합리적, 정확성, 유효성 높은 척도 제공                          |
| 생체 기계 지표 | 신체 움직임         | Body-worn camera, Motion capture camera         | □       | ■      | Posture-based methods: 자세 데이터에만 중점 둬으로써 전반적인 신체적 피로도가 과소평가될 수 있음                        |
|          | 근육 움직임, 강도, 둘레 | Inertial measurement unit, Actigraphy           | □       | ■      | Posture & exerted force-based methods: 자세와 힘을 모두 고려, 자세 기반 점수와 발휘된 힘 기반 점수를 결합하여 피로도 산출 |
| 인지 피로 지표 | 반응시간, 반응정확도    | Psychomotor vigilant test, Purdue pegboard test | ■       | □      | 피로에 영향을 받는 것으로 알려진 인지 과제로 구성된 컴퓨터 기반 인지검사<br>: 주의력, 판단, 반응시간, 메모리 test                  |

## ② 주관적 피로

: 근로자의 주관적 피로도를 측정하는 요소는 정신적 요소와 신체적 요소로 구분됨. 피로 측정 도구 조사를 통해 도출한 결과와 세부 내용은 다음과 같음(표 1-2).

- 다차원 측정(신체적, 정신적 피로 반드시 포함)
- 단일시점, 급성 피로(건설근로자의 피로도 측정에 적합)
- 충분히 검증되어있는 신뢰도, 타당도 높은 도구
- 건설업 현장에서 검증된 연구

표 1-2. 주관적 피로 측정 도구 고찰

| 측정 도구                                                             | 측정요소 구분 |        | 측정 도구 세부 내용                       |      |      |
|-------------------------------------------------------------------|---------|--------|-----------------------------------|------|------|
|                                                                   | 정신적 요소  | 신체적 요소 | 측정 항목                             | 항목 수 | 신뢰도  |
| NASA-TLX (the NASA Task Load Index)                               | ■       | □      | 정신적 요구, 신체적 요구, 시간적 요구            | 6    | 0.79 |
| FASCW (Fatigue Assessment Scale for Construction Workers)         | ■       | ■      | 신체적 비 활동성, 정신적 피로, 불편감            | 10   | 0.91 |
| RCIF scale (Research Committee on Industrial Fatigue)             | ■       | ■      | 신체적 증상, 정신 증상, 신경 감각 증상           | 30   | 0.94 |
| SOFI (Swedish Occupational Fatigue Inventory)                     | ■       | ■      | 에너지 부족, 신체 활동, 신체적 불편감, 동기 부족, 졸음 | 20   | 0.80 |
| FAS (Fatigue Assessment Scale)                                    | ■       | ■      | 신체적 증상, 정신 증상                     | 10   | 0.51 |
| FAS (Fatigue Assessment Inventory)                                | ■       | □      | 피로 심각도, 피로의 결과 휴식 및 수면에 반응        | 29   | 0.70 |
| MFS (Multidimensional Fatigue Scale)                              | ■       | ■      | 전반적 피로도, 일상생활 기능장애 상황적 피로         | 19   | 0.88 |
| OFER (Occupational Fatigue Exhaustion Recovery)                   | ■       | ■      | 급성 피로, 만성 피로                      | 15   | 0.72 |
| D-FIS (Daily Fatigue Impact Scale)                                | ■       | ■      | 인지 증상, 신체적 증상, 심리 사회적 증상          | 8    | 0.92 |
| BRUMS (Brunel Mood Scale)                                         | ■       | ■      | 피로, 활력, 긴장, 우울증, 분노, 혼란           | 24   | 0.91 |
| POMS (Mental & Physical State and Trait Energy and Fatigue Scale) | ■       | ■      | 피로, 활력, 긴장, 우울증, 분노, 혼란           | 30   | 0.93 |
| ISTAS 21 (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud)        | ■       | □      | 심리적 요구, 업무수행 능력, 직업 불안, 사회적 지원    | 38   | 0.86 |

### ③ 건설업 근로자에게 적용 가능한 도구(안) 선정

: 객·주관적 피로의 문헌고찰 결과를 바탕으로 피로도 측정 도구를 선별함. 선별된 도구를 비교 분석한 세부 내용은 다음과 같음.

- Research Committee on Industrial Fatigue(RCIF) 도구는 국내에서 많이 사용되고 있지만, 현재 완료 시점(지난 2주 동안)으로 정신적 피로 측면만 다루고 있어서 건설업을 대상 연구에는 부적합함. 또한, RCIF 도구는 한국어로 정식 번역된 도구는 없었고, 각 연구에서 개별적으로 번안해서 사용하고 있음
- Swedish Occupational Fatigue Inventory(SOFI) 도구는 국제적으로 건설업 현장에서 많이 사용되고 있음. 도구개발 연구를 검색한 결과, 중국어, 페르시아어, 힌두어, 인도네시아어, 포르투갈어, 스페인어 등으로 번안된 것으로 확인됨. 또한, 척도에 Sleepiness 차원이 포함되어 있어서 Actigraphy로 평가되는 객관적 자료와 함께 분석될 때 연구 자료의 타당성이 더욱 커질 것으로 보임.

표 1-3. 피로 측정 도구 문헌고찰 결과

| 도구                                                       | 개발자                    | 도구의 국내 활용                                                                                    | 연구 대상자                                 | 적용기준                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RCIF scale<br>(Research Committee on Industrial Fatigue) | 일본산업 위생학회 (1969)       | 국내 피로 연구의 70% 이상 사용됨. 그러나 현재 한국판으로 번안된 도구들은 내용의 일관성이 떨어지고, 신뢰도 및 타당도 검증 없이 임의로 사용한 경우가 대부분임. | 건설업 근로자, 일반인구 등                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>주관적인 자각 피로도 측정</li> <li>단일시점 측정</li> <li>다양한 직종을 대상으로 광범위하게 보편적으로 사용함</li> </ul>                                                                                                                           |
| SOFI<br>(Swedish Occupational Fatigue Inventory)         | Ahsberg et al. (1997)  | 한국판 번안 도구 없음                                                                                 | 건설업 근로자, 교사, 소방관, 공장생산직, 간병인, 마취과 인력 등 | <ul style="list-style-type: none"> <li>다양한 작업과 높은 작업 부하를 가진 근로자그룹 대상-신체적, 정신적, 교대근무 피로 평가</li> <li>작업 중/업무 직후의 급성 피로 측정</li> <li>단일 시점으로 피로 측정</li> <li>다양한 직종 대상 추적 연구들에 의해 타당도와 신뢰도가 확실하게 검증됨.</li> <li>여러 언어로 번안되어 다양한 문화와 직종에서 검증됨</li> </ul> |
| FAS (Fatigue Assessment Inventory)                       | Schwarze et al. (1993) | 장세진(2000) MFS로 번안, 재구성됨 (휴식/수면 문항 삭제)                                                        | 환자, 일반인구 등                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>다양한 임상 증상을 확인하기 위해 의료 환경에서 주로 사용됨</li> </ul>                                                                                                                                                               |
| MFS<br>(Multidimensional Fatigue Scale)                  | 장세진 (2000)             | 2000년대 중반 이후부터 국내에서 산업 피로에서 자주 사용됨                                                           | 간호사, 경찰공무원, 사무직 근로자                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>지난 2주 동안의 피로 수준</li> <li>피로의 정신적 측면만 다룸</li> <li>환자 대상의 원도구를 기반으로 개발됨</li> </ul>                                                                                                                           |

#### (나) 건설근로자 피로도 측정을 위한 도구 개발

: 스웨덴직업피로측정도구(the Swedish Occupational Fatigue Inventory, SOFI) 한국어판 개발 및 전문가 검증을 통한 도구 개발의 신뢰도와 타당도 검증을 수행하여 도구 개발을 확정함.

① 연구 설계 : SOFI 한국어판 개발을 위한 방법론적 연구

② 연구대상자 : 편의표본추출 방식으로 모집한 결과, 1개 건설현장에서 220명의 근로자가 참여함.

- 포함기준: ㉠ 19세 이상, ㉡ 한국어를 이해할 수 있는 사람, ㉢ 근무경력이 6개월 이상인 건설근로자, ㉣ 자발적인 참여자

- 제외기준: 비한국인 또는 이민자 근로자

- 완성된 설문지를 돌려받은 215명의 응답자 중 누락된 데이터가 있는 응답자를 제외한 193명의 참가자의 데이터를 분석함.

- 이 표본 크기는 요인 분석을 위한 다음과 같은 기준을 충족시킴

: ㉠ 탐색적 요인 분석의 경우 거의 10:1의 사례-항목 비율, 확인 요인 분석의 경우 약 200건의 사례, (CFA, Kyriazos, 2018)

㉡ 요인 분석의 표본 크기가 일반적으로 변수의 약 4-5배이며, 표본의 개수가 됨. 항목 분석은 이상적으로 질문 수의 2-10배임(Costello & Osborne, 2005)

③ 연구도구

- SOFI : SOFI는 피로를 측정하는 자가보고식 설문지로, 20개의 자가보고식 문항과 5개 차원의 하위 항목으로 구성됨(Åhsberg, 2000). 각각의 차원은 피로의 다른 측면을 나타냄(에너지 부족, 육체적 힘들, 신체적인 불편함, 동기부여 부족, 졸음). 각 항목은 Likert 7점 척도로, 총점수는 0점부터 120점까지 다양하며 점수가 높을수록 순간적인 피로가 더 심해진다는 것을 의미함. 원도구의 Cronbach's alpha 계수는 0.45~0.97로 다양했음(‘에너지 부족’ = 0.95, ‘육체적 힘들’ = 0.78, ‘신체적인 불편함’ = 0.82, ‘동기부여 부족’ = 0.94, ‘졸음’ = 0.90).

- MFS (최근 산업근로자에게 가장 보편적으로 사용되는 동시타당도 검증 도구) : 한국판 MFS는 피로 유형을 평가하는 19개 항목을 포함하는 자가보고식 설문지임(Jang, 2000; Schwartz et al., 1993). MFS는 ‘전반적 피로도’ (global fatigue) 8문항, ‘일상적 기능장애’ (daily dysfunctioning) 6문항, ‘상황적 피로’ (situational fatigue) 6문항으로 구성됨. 모든 항목은 Likert 7점 척도(1 = “never“ ~ 7 = “더 자주“)로 측정되고, 총 점수는 19점부터 133점까지로, 점수가 높을수록 피로도가 더 심해진다는 것을 나타냄. 원도구의 Cronbach’s alpha는 .88였고(전반적 피로 = 0.85, 일상적 기능 장애 = 0.79, 상황적 피로 = 0.66), 본 연구에서는 0.95였음(전반적 피로 = 0.94, 일상적 기능 장애 = 0.90, 상황적 피로 = 0.81).
- SSF (기존에 건설업 근로자에게 측정하여 동시타당도 검증 도구) : SSF는 일본산업위생협회 산업 피로연구위원회가 1970년에 개발한 도구로, 이성자(2001)가 한국어로 번역·수정함. 한국판 SSF는 피로 관련 증상을 측정하는 30개 문항으로 구성되어 있으며, Likert 4점 척도로 신체적 피로(10문항), 정신적 피로(10문항), 신경 감각적 피로(10문항)를 측정함. 총점은 30~120점까지이며 점수가 높을수록 심한 피로감을 나타냄. 원도구의 Cronbach’s alpha는 0.80이었고, 김민혜(2016) 연구에서는 0.95 (신체적 피로 = 0.90, 정신적 피로 = 0.92, 신경 감각적 피로 = 0.86)였으며, 본 연구에서는 0.97 (신체적 피로 = 0.91, 정신적 피로 = 0.92, 신경 감각적 피로 = 0.93)이었음.
- 인구통계 및 건강 관련 특성 : 참가자들은 연령, 키, 몸무게, 결혼 여부, 교육, 질병 진단, 약물, 월 소득, 생활 준비, 인식 건강 상태, 건강 검진 경험, 유형 및 강도 등 작업 환경 등 27개 항목으로 구성된 설문지에 응답함.

#### ④ 건설근로자 대상 SOFI test를 통한 데이터 수집

: 건설근로자 피로도 영향요인 규명 및 측정도구 개발을 위하여 2019년 12월 ~ 2020년 1월에 건설근로자 대상으로 SOFI test를 통하여 데이터를 수집하였으며 수집 정보는 다음과 같음.

- 조사 1: 교대 근무하는 220명의 건설근로자에게 한국어판 SOFI 설문지를 배포하였고, 모든 참가자에게 서면 동의를 받은 후 하고 구조화된 설문지(SOFI, MFS, SSF, 인구통계 및 건강 관련 특성)를 제공함.
- 조사 2: SOFI, MFS, SSF의 검사-재검사 신뢰도는 첫번째 설문조사 2주 뒤에 측정함. 두 번째 설문지를 제출한 215명의 응답자 중 193명의 참가자의 데이터가 분석에 포함됨.

⑤ 번역 및 문화 적응 과정 : 원저자들로부터 SOFI 영문 버전을 한국어로 번역할 수 있는 서면 허가 받은 후 표준화된 척도 번역 절차에 따라 번역하였고, 번역의 정확성은 역번역 절차를 통해 검증됨.

- 한국어와 영어에 능통한 두 명의 간호사가 원도구를 한국어로 번역한 뒤, 이어 간호학 교수 3명, 간호사 1명, 건설근로자 2명으로 구성된 도구위원회가 예비설문지의 내용 타당도를 검증하여 SOFI 한국어판(version 2)을 작성함. 델파이 기법으로 응답 시간, 길이, 타당성, 가독성, 명료성 등을 평가한 후 11명의 국내 건설근로자를 대상으로 예비 연구를 실시하여 version 2의 타당성을 확보함.
- SOFI 한국어판(version 2)를 전문 번역가가 다시 영어로 역번역한 후 다른 연구원이 확인함. 예비 연구 결과를 바탕으로, 전문가 2인이 내용타당도와 영어의 일관성을 검토하였음. 또한 추가적인 얼굴 표정(시각적 아날로그) 눈금을 양 극단값에서 사용하고, 각 등급의 의미를 명확히 하기 위해 중위수 값을 추가함(version 3). version 3은 220명의 건설 노동자들에게 배포 및 조사되었으며, 도구위원회는 데이터 분석을 마친 후 연구 결과를 토대로 한국판 SOFI를 확정함.

## (2) 건설근로자 피로도 측정 Wearable device 프로토타입 제작

### (가) Wearable device 프로토타입 제작

: 본 연구를 통해 개발되는 건설근로자 피로도 모니터링 원천기술은 Wearable Device로 피로도를 산출하고 건설근로자의 현재 상태를 예측함으로써 보다 근본적이고 확실한 건설근로자 중심의 안전사고 예방의 원천기술을 개발하기 위함임. 건설근로자 피로도 측정을 위한 Wearable Device는 건설근로자 피로도를 측정하고 결과를 확인 및 필요시 알람을 통해 경고-가시화 시스템에 활용할 수 있음. 본 연구 수행을 통하여 제작한 Wearable Device 프로토타입에 대한 제작 개요는 다음과 같음.

- 1차년도 연구 개발 계획에 따른 결과물로서 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 Wearable Device 프로토타입을 제작하였음. 본 연구의 당해년도 성과물인 ‘Wearable Device 프로토타입’은 건설 근로자의 심박, 활동상태, 작업환경 등을 측정 할 수 있으며, 생태순간평가를 위한 피로도에 대한 설문기능 및 딥러닝 알고리즘 구현을 위한 작업상황 기록 기능 등을 탑재하였음.
- 본 프로토타입은 건설현장 근로자의 피로도-위험도 측정 및 생태순간평가-딥러닝 알고리즘 적용을 위하여 제작되었음. 프로토타입은 내장된 센서를 통하여 심박(r-r interval), Accelerometer, gyroscope 등을 측정하고, 건설 근로자의 현재 작업현황을 기록하고 딥러닝 알고리즘에 활용하기 위하여 작업기록 어플리케이션을, 이전 한 시간의 작업에 대한 피로도를 체크하고 생태순간평가에 반영하기 위하여 피로도 체크 어플리케이션을 각각 탑재하여 2차년도에 있을 건설근로자 100인 대상의 실험에 활용하도록 제작되었음.

#### ① 사용 방법

: Wearable Device 내에는 본 연구를 통하여 자체적으로 제작 및 탑재한 어플리케이션이 설치되었으며, 제작 및 탑재한 어플리케이션은 다음과 같음.

- 작업 기록 App
- 피로도 체크 App

기능에 따라 각각의 어플리케이션을 클릭(그림 1-1 참조).

- 작업 기록 : 어플리케이션을 실행한 후 현재 작업의 현황에 따른 작업을 터치하면 터치한 Event date, Event, 순으로 기록되어 데이터가 생성됨(그림 1-2 참조).
- 피로도 체크 : 어플리케이션을 실행한 후 이전 한 시간의 작업에 대한 피로도를 체크하기 위하여 1-5단계로 나누어져 있는 피로도 정도를 터치하면, 터치한 Event date, Fatigue level 순으로 기록되어 데이터가 생성됨(그림 1-3 참조).

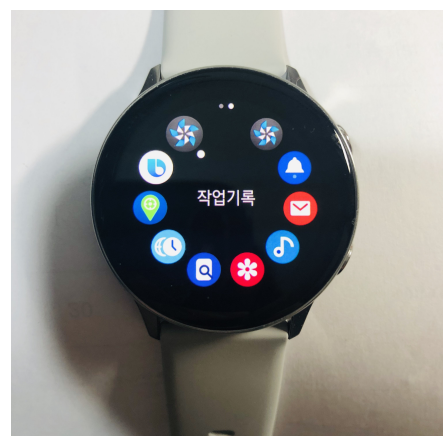


그림 1-1. 프로토타입 실행 화면 - 어플리케이션 탑재



그림 1-2. 작업기록 어플리케이션 실행 화면



그림 1-3. 피로도 체크 어플리케이션 실행 화면

## ② 개발 상세

- 개발환경 : 본 어플리케이션은 갤럭시 워치에서 구동되는 모바일 OS ‘Tizen’ 에서 동작하도록 제작되었음.
  - Target OS : Tizen Wearable 4.0
  - Tool : Tizen Studio 3.5
  - Application Type : Native Application
  - 작업 환경 : Mac OS 10.14.6
- 개발관리 및 적용 방법론 : Native Application 으로 개발한 어플리케이션으로, C/C++ 로 작성된 라이브러리인 EFL(Enlightenment Foundation Library)을 통해 UI를 구성함. 앱 실행 시 화면에 설문을 위한 버튼이 나타나며, 버튼 클릭 시 해당 날짜이름으로 Log 파일을 생성하여 파일 입/출력을 통해 로그를 기록하는 방식으로 동작함. 해당 날짜에 버튼을 여러 번 클릭 시 같은 파일에 Append 하여 로그를 기록하므로 하루에 로그 파일 1개만 작성됨.
- 사용언어 : C, C++
- 규모(line, byte) : 250 ~ 280 lines (8~10KB) 으로 작성된 .c 파일과 25 lines (611byte) 으로 작성된 .h 파일

## ③ 데이터 수집 상세

: Wearable Device에 자체적으로 탑재한 어플리케이션은 화면 터치를 통하여 작업기록 및 피로도 체크를 하도록 제작되었으며, 데이터를 분석에 활용할 수 있도록 로그파일 형태인 <그림 1-4>,<그림 1-5>와 같이 추출되도록 하였음.

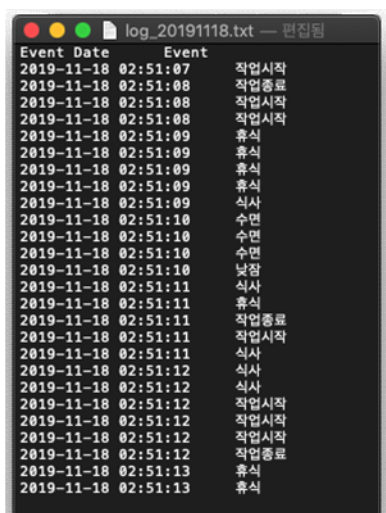


그림 1-4. 작업기록 어플리케이션 데이터 로그파일

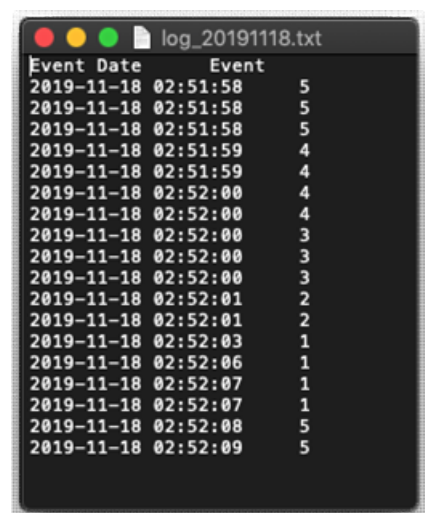


그림 1-5. 피로도 체크 어플리케이션 데이터 로그파일

## (나) 프로토타입을 활용한 Big data 구축

: 본 연구를 통해 개발한 건설근로자 피로도-위험도 기반 건설현장 인력 모니터링 원천 기술은 피로도를 산출하고 건설근로자의 현재 상태를 예측함으로써 보다 근본적이고 확실한 건설근로자 중심의 안전사고 예방 원천기술을 개발하기 위함임. 건설근로자의 피로 측정을 위한 Wearable Device를 통해 수집된 센서 데이터와 주관적 피로도 데이터 및 생태순간평가 기반 데이터의 매칭을 통해 건설근로자 피로도 위험 가시화 및 경보 시스템 구축 원천 기술 개발에 활용하였음.



그림 1-6. 건설근로자 피로도-위험도 가시화 및 경보 시스템 DB 구축을 위한 연구 수행 내용

### ① 건설현장 근로자 피로도 DB 구축을 위한 현장 실험 진행

: 본 연구는 인간 대상 연구이므로 기관생명윤리위원회의 승인(IRB 승인 번호 : HYU-2019-11-001-3)을 받고 전국에 있는 건설업체를 대상으로 건설업체 현장 사업장에 연구팀이 직접 방문하거나 유선으로 담당자의 협조를 요청하였음. 그 후 협조 승인을 한 업체의 건설현장 근로자가 주로 이용하는 휴게 공간 및 사무실 알림판에 모집공고를 게시하고 업체 담당자에게 연구의 목적과 방법에 대한 간단한 교육을 통해 참여의사가 있는 대상자에게 간략한 설명을 제공하였음. 이어서 연구대상자가 실험에 대해 이해하고 실험에 참여한다는 동의서에 서명 후 실험에 참여하였음.

| Site   | No. | Work Type | Subject ID | Device No. | IRB No. |
|--------|-----|-----------|------------|------------|---------|
| Site A | 1   | 전기/배선     | KHN        | 20         | 30      |
|        | 2   |           | KMD        | 33         | 22      |
|        | 3   |           | SGS        | 34         | 26      |
|        | 4   |           | HST        | 35         | 16      |
|        | 5   |           | SSO        | 36         | 32      |
|        | 6   |           | GYS        | 37         | 33      |
|        | 7   |           | KJY        | 38         | 31      |
|        | 8   |           | PSH        | 39         | 6       |
|        | 9   |           | CH         | 40         | 9       |
|        | 10  |           | KBS        | 41         | 23      |
|        | 11  |           | CSN        | 42         | 25      |
|        | 12  |           | LJY        | 43         | 21      |
|        | 13  |           | CSH        | 44         | 27      |
|        | 14  |           | PCB        | 45         | 24      |
|        | 15  |           | PGY        | 46         | 17      |
|        | 16  |           | LSI        | 47         | 15      |
|        | 17  |           | NYB        | 48         | 28      |
|        | 18  |           | RGY        | 49         | 20      |
|        | 19  |           | YJH        | 50         | 19      |
|        | 20  |           | CJR        | 21         | 7       |
| Site B | 21  | 기계/설비     | LIS        | 22         | 4       |
|        | 22  |           | YTH        | 23         | 2       |
|        | 23  |           | LMS        | 24         | 11      |
|        | 24  |           | KTH        | 25         | 14      |
|        | 25  |           | CJR        | 26         | 12      |
|        | 26  |           | LGI        | 27         | 15      |
|        | 27  |           | LJS        | 28         | 3       |
|        | 28  |           | KMC        | 29         | 8       |
|        | 29  |           | KJH        | 30         | 1       |
|        | 30  |           | YGD        | 31         | 5       |
|        | 31  |           | LMH        | 32         | 13      |
|        | 32  |           | KDR        | 31         | 39      |
| Site C | 33  | 안전시설      | SHH        | 29         | 40      |
|        | 34  | 건축취원      | KGI        | 27         | 34      |
|        | 35  | 직형        | PJS        | 35         | 35      |
|        | 36  | 금작기 기사    | LYG        | 30         | 36      |
|        | 37  | 행복        | KJY        | 37         | 42      |
|        | 38  | 직형        | LCH        | 32         | 44      |
|        | 39  |           | PCB        | 26         | 45      |
|        | 40  |           | NYB        | 36         | 38      |
|        | 41  | PC        | YJH        | 39         | 37      |
|        | 42  | 전기        | LEI        | 35         | 29      |
| Site D | 43  | 설비        | PDG        | 28         | 10      |
|        | 44  | 안전        | LDJ        | -          | 43      |
|        | 45  |           | BSH        | 44         | 62      |
|        | 46  | 보통공사      | LCH        | 43         | 41      |
|        | 47  |           | RST        | 37         | 54      |
|        | 48  |           | CYI        | 25         | 48      |
|        | 49  | 일반가구      | LHS        | 24         | 46      |
|        | 50  |           | HST        | 22         | 50      |
| Site E | 51  |           | LIP        | 29         | 52      |
|        | 52  | 마루공사      | KJS        | 28         | 53      |
|        | 53  |           | HDE        | 32         | 51      |
|        | 54  | 현장관리      | KSH        | 41         | 55      |
|        | 55  |           | KSC        | 23         | 49      |
|        | 56  | 구방가구      | LSJ        | 21         | 47      |
|        | 57  |           | KYT        | 31         | 60      |
|        | 58  | 조경공사      | AHT        | 30         | 59      |
|        | 59  |           | LWU        | 39         | 61      |
|        | 60  | 노배공사      | JJL        | 46         | 65      |
| Site F | 61  | 내장공사      | HPS        | 45         | 63      |
|        | 62  |           | KSH        | 49         | 64      |
|        | 63  |           | KJO        | 48         | 68      |
|        | 64  | 현장관리      | HHU        | 38         | 66      |
|        | 65  |           | MDG        | 47         | 67      |
|        | 66  |           | SSH        | 35         | 58      |
|        | 67  | 노배공사      | STS        | 33         | 56      |
|        | 68  |           | LSG        | 36         | 57      |
|        | 69  |           | CGH        | 30         | 74      |
|        | 70  | 안전        | KHJ        | 41         | 81      |
| Site G | 71  | 종결        | KDJ        | 31         | 75      |
|        | 72  | 공부        | KMS        | 44         | 82      |
|        | 73  |           | KYU        | 29         | 73      |
|        | 74  | 공사        | LCH        | 35         | 78      |
|        | 75  |           | LTY        | 33         | 77      |
|        | 76  |           | KJS        | 28         | 72      |
|        | 77  | 전기        | LSJ        | 42         | 85      |
|        | 78  | 안전관리      | PSJ        | 32         | 76      |
|        | 79  |           | KJH        | 45         | 79      |
|        | 80  | 소방전기      | JJS        | 24         | 71      |
| Site H | 81  |           | PJS        | 22         | 70      |
|        | 82  | 설비        | JYJ        | 21         | 69      |
|        | 83  | 타원        | JTY        | 50         | 86      |
|        | 84  | 직제        | JJH        | -          | 83      |
|        | 85  | 미장        | HJY        | 37         | 83      |
|        | 86  | 지계사       | HYD        | 47         | 80      |
|        | 87  |           | SNY        | 28         | 87      |
|        | 88  |           | GJM        | 31         | 91      |
|        | 89  | 안전        | CYI        | 33         | 90      |
|        | 90  |           | KDJ        | 37         | 94      |
| Site I | 91  |           | KHR        | 35         | 93      |
|        | 92  | 행복        | PDM        | 29         | 88      |
|        | 93  |           | YYS        | 32         | 92      |
|        | 94  | 설비        | KSU        | 39         | 95      |
|        | 95  | 직형        | HYD        | 44         | 97      |
|        | 96  | 안전관리      | JJY        | -          | 98      |
|        | 97  |           | KBJ        | 30         | 89      |
|        | 98  |           | PGG        | 41         | 96      |
|        | 99  |           | JJH        | -          | 99      |
|        | 100 | 현장관리      | LHH        | -          | 100     |

그림 1-7 건설근로자 피로도 DB 구축을 위한 실험 연구대상자 목록

## ② 건설현장 근로자 피로도 DB 구축을 위한 기초조사 및 현장 실험 데이터 매칭

: 연구대상자들은 SOFI test를 포함한 인구사회학적, 작업적, 건강관련 특성을 포함한 기초자료조사를 수행함. 기초자료조사의 구성은 건설업 운전자 단일군에게 피로와 가장 유사한 주간졸림증에 대한 영향요인 설문조사인 선행연구를 기반으로 구성함.

### • 건설근로자 피로도 관련 요인 규명 및 상관관계 정의

- 국내외 문헌고찰 및 건설근로 운전자 단일군 492명의 설문조사를 통해 건설업 운전자의 피로에 가장 영향을 많이 미치는 과도한 주간 졸림증 관련요인을 파악하고 영향요인 중 유의미한 변수가 무엇인지 확인함.

- 연구는 건설업 운전자의 피로 영향요인을 도출하는 것으로, 연구의 방법은 다음과 같음.

#### # 연구설계: 횡단적 조사연구

# 연구대상: 전국에 있는 건설업체를 대상으로 업체 담당자의 허가를 받은 후 운전을 직업으로 가진 자를 사업장 단위로 편의 모집함. 대상자의 선정기준 및 제외기준은 다음과 같음.

- 건설업체에서 만 6개월이상 운전직을 주요 직업으로 종사한 자
- 건설업 관련 차량인 트럭, 레미콘, 중장비 등의 차량을 운전하는 자
- 이미 수면장애를 진단받고 치료중인 자는 연구의 목적에 부합하지 않아 제외함

#### # 예상 연구대상자 수와 산출 근거

대상자 수는 대상자가 근무하는 사업장의 근무 특성의 영향력을 고려하여 시행할 다층분석(multilevel analysis)에서 필요한 적정 대상자 수 권고에 따라 산출함. 최대 30개의 건설업체 사업장(macro-level)과 사업장 당 14-15명(individual-level)을 수집하는 것을 가정할 경우, 대상자 420-450명 모집하는 것을 목표로 하고 탈락률 10% 정도를 고려하여 총 500명을 모집하는 것을 계획함

#### # 자료수집 과정 및 방법

- 자료수집 기간: 2018.10월 ~ 2019.2월
- 설문조사 소요시간: 15 ~ 20분
- 기관 연구심의위원회 승인 이후 전국에 있는 건설업체 사업장 단위로 본 연구팀이 직접 방문하거나 유선으로 사업장 담당자에게 연구목적을 설명하고 협조 승인을 받은 후 해당 업체 휴게공간이나 사무실의 게시판에 대상자 모집 공고문을 게시함.
- 연구 참여 의사를 밝힌 대상자에게 개인의 사생활 보호 및 비밀 유지를 위하여 독립된 공간에서 연구자와 대상자와 일대일 면담을 통해 서면동의서를 받은 후, 자가기입식 설문지를 작성함.
- 대상자들은 시간과 노력에 대한 보상으로 3,000원 상당의 답례품을 제공함.

#### # 자료 분석과 통계적 방법

- 수집된 자료는 SPSS for windows 25.0 version을 이용하여 유의수준 0.05, two-tailed로 설정, 다음과 같이 분석함.
- 대상자의 주간 졸림 정도에 따른 일반적 특성과 각 변수들에 대한 빈도 분석은 빈도와 백분율 또는 평균과 표준편차 등의 기술통계를 이용함.
- 대상자의 주간 졸림 정도에 따른 근무 및 건강 관련 차이는 분산분석을 이용함.
- 대상자의 주간 졸림 정도에 따른 운전특성 차이는 카이제곱 검정과 분산분석을 이용함
- 대상자의 주간 졸림과 관련 된 요인을 파악하기 위하여 multivariate multinomial logistic regression을 이용함.

#### # 연구 도구

- 본 연구에서는 주간졸림증 8문항, 직업운전자 자각피로 10문항, 수면의 질 18문항, 일반적 신체-정신 건강상태 12문항, 우울 10문항, 교통사고 위험성 16문항 등 총 106문항으로 구성된 자가보고 설문지를 이용하여 측정함. 사용한 주요 도구의 구체적인 내용은 다음과 같음.

| 측정항목                 | 측정 도구 설명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 주간<br>졸림증            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Johns (1991)가 개발하고 Cho 등(2011)이 한국어로 번안한 Korean version of the Epworth Sleepiness Scale (KESS)을 이용하여 주간졸림증을 평가함.</li> <li>이 도구는 총 8문항으로 이루어져 있고, 주간의 과도한 졸림 상태를 평가하는데 널리 쓰이고 있음.</li> <li>각 문항은 4점 척도(0점 = 전혀 없음, 3점 = 매우 많이 졸리다)로 이루어져 있으며, 총합(범위: 0~24점)을 구하여 점수가 높을수록 주간졸림증이 심한 것을 나타냄.</li> <li>이 도구의 Cronbach's alpha는 미국 화물 트럭 운전자 대상의 연구에서 .79, 국내 직업운전자 대상 연구에서는 .72로 보고 됨.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 피로                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>피로는 운전자가 주관적으로 경험하는 자각피로를 말하며, 박경옥 등(2004)이 개발, 신뢰도를 확인하고, 조가희와 이명선(2014)의 연구에서 사용된 간이형 직업운전자 자각피로 측정도구를 이용하여 평가함.</li> <li>측정 문항은 인지 지각적 피로(5문항)와 신체적 피로(5문항)로 이루어진 총 10개 문항으로 '전혀 그렇지 않다' 0점, '대체로 그렇지 않다' 1점, '보통이다' 2점, '가끔 그렇다' 3점, '매우 그렇다'의 4점 Likert 척도로 구성되어 있고, 각 문항의 점수를 합산(범위: 0~40점)하여 합산점수가 높을수록 운전 중 경험하는 자각피로도가 높은 것을 나타냄.</li> <li>이 도구의 Cronbach's alpha는 국내 직업운전자 대상 연구에서는 .91로 보고 됨.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 수면의 질                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Buysse 등(1989)이 개발하고 Mapi Research Trust에서 제공하는 한국어 양식 수면상태 질문지(Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI)를 이용하여 수면의 질을 측정함.</li> <li>이 도구의 하부 영역별 항목은 주관적인 수면의 질 1문항, 수면 잠재기 2문항, 수면 기간 1문항, 습관적인 수면의 효율성 2문항, 수면 방해 9문항, 수면제의 사용 1문항, 낮 동안의 기능장애 2문항으로 총 18문항에 대하여 '전혀 어려움이 없다'에 0점, '약간 어려움이 있다'에 1점, '비교적 어려움이 있다'에 2점, '아주 어려움이 있다' 3점으로 응답하게 구성되어 있음.</li> <li>수면의 질 점수는 7개의 하위영역(주관적 수면의 질, 수면 잠복, 수면 기간, 습관적 수면 효과, 수면 방해, 수면약물 이용, 낮 시간 기능장애)의 점수 총합(범위: 0~21점)으로 점수화 함.</li> <li>점수가 높을수록 수면의 질이 낮음을 의미하며, 개발 당시 이 도구의 Cronbach's alpha는 .83, 국내 직업운전자 대상 연구에서는 .80이 보고 됨.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 일반적<br>신체,정신<br>건강상태 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ware와 Sherburne (1992)이 개발한 Medical Outcome Study 36-item Short Form Health Survey (MOS SF-36)을 중에서 Ware, Kosinski와 Keller (1996)가 12문항으로 축소한 Medical Outcome Study 12-item Short Form Health Survey (MOS SF-12)를 이용하여 측정함.</li> <li>SF-12는 신체적 측면과 정신적 측면의 두 주요 요인 8가지 하부 영역으로 나누어지며 신체적 측면은 신체적 기능(Physical Functioning) 2문항, 신체적 문제로 인한 역할제한(Role-Physical) 2문항, 통증(Bodily Pain) 1문항, 전반적 건강 (General Health Perception) 1문항으로 구성되어 있음.</li> <li>정신적 측면은 활력(Vitality) 1문항, 사회적 기능(Social Functioning) 1문항, 정서적 문제로 인한 역할제한(Role-Emotional) 2문항 및 정신 건강(Mental Health) 2문항으로 구성되어 있음.</li> <li>각각 하부영역의 점수는 SF-12의 정해진 산출방식에 따라 문항 수에 상관없이 0~100점까지의 점수범위로 산출되며 점수가 높을수록 건강관련 특성이 좋은 것을 의미함.</li> <li>도구 개발 당시의 신뢰도는 신체적 건강 Cronbach's alpha는 .67이었고, 정신적 건강 Cronbach alpha는 .70이었음. 국내 직업운전자 대상 연구에서는 신체적 건강이 .74, 정신적 건강이 .74인 것으로 보고 됨.</li> </ul> |
| 우울                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Radloff (1977)가 개발하고 Andresen, Malmgren, Carter, &amp; Patrick (1994)이 10문항으로 축약한 Center for Epidemiological Studies Depression Scale (CESD-10)을 Chon, Choi, &amp; Yang (2001)이 한국어로 번안한 도구를 이용하여 우울 증상을 측정함.</li> <li>지난 일주일간 경험한 우울 증상들에 대해 '극히 드물게(1일 이하)'는 0점, '가끔(1~2일)'은 1점, '자주(3~4일)'는 2점, '거의 대부분(5~7일)'은 3점의 4점 Likert-type scale로 응답하도록 구성되어 있음.</li> <li>가능한 점수 총합은 0점에서 30점으로 점수가 높을수록 우울증상이 높음을 의미하며, 일반 성인 운전자 대상의 연구에서 이 도구의 Cronbach's alpha는 .81이었음.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 교통사고<br>위험성          | <ul style="list-style-type: none"> <li>교통사고 위험성은 교통사고위험지수(TARI)와 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 화물트럭운전자를 대상으로 조사한 위험운전행동 4문항과 상해와 안전 6문항을 이용하여 측정함.</li> <li>TARI는 아차사고(a near miss) 가해자 또는 피해자 경험 2문항, 교통사고에 대한 주위불안 2문항, 자기불안 2문항으로 구성되어 총 6문항으로 이루어져 있음. 각 문항에 대한 측정은 5점 Likert 척도로 1점 = '전혀 그렇지 않다' 에서 5점 = '매우 그렇다' 로 응답하고 각 문항의 평균값으로 계산하여 측정함. 국내 직업운전자 대상 연구에서는 .88로 보고 됨.</li> <li>위험운전행동과 상해와 안전에 대한 문항은 미국 NIOSH에서 2010년 화물트럭운전자를 대상으로 실시한 조사연구를 바탕으로 Chen 등 (2015)의 연구에서 사용된 위험운전행동 3문항과 상해와 안전(injury and safety) 관련 6개 문항을 국내 실정에 맞게 번역 및 내용타당도 검증한 권수영 등(2018)의 연구에서 사용된 문항을 이용하여 측정함.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                               |

- 건설 운전자의 주간졸림증, 직업운전자 자각피로, 수면의 질, 일반적 신체-정신 건강상태, 우울, 교통사고 위험성의 영향에 대한 분석 결과는 다음과 같음.

# 주간 졸음 정도에 따른 세 그룹 간의 일반적인 특성 차이

- 대상자들은 주간 수면과다를 평가하는 The Korean version of the Epworth Sleepiness Scale (KESS) 도구의 점수를 기준으로 세 그룹으로 분류함.
- ‘경도 주간 졸림’ 그룹 286 명(58.1%), ‘중등 주간 졸림’ 그룹 156 명(31.7%), ‘심각한 주간 졸림’ 그룹 50 명(10.2%)으로 나타남.
- 평균 체질량 지수는 25.08(SD = 2.86)kg/m<sup>2</sup>였으며 23.3 %는 정상 체질량 지수를 가짐.
- 대상자의 약 절반(40.3%)이 만성 질환으로 진단되었으며 가장 흔한 진단은 고혈압(22.4%), 당뇨병(10.0%), 위장 질환(6.7%) 순이었음.
- 세 그룹의 일반적인 특성은 통계적 유의한 차이를 보이지 않음.

| 항목                                         | 구분                 | 전체<br>N (%) | 경도 주간졸림<br>그룹<br>n (%) | 중등 주간 졸림<br>그룹<br>n (%) | 심각한<br>주간 졸림 그룹<br>n (%) | $\chi^2(p)$     |
|--------------------------------------------|--------------------|-------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|
| 나이 <sup>†</sup>                            | < 60 세             | 349 (72.0)  | 199 (70.6)             | 110 (71.9)              | 40 (80.0)                | 1.873<br>(.392) |
|                                            | ≥ 60 세             | 136 (28.0)  | 83 (29.4)              | 43 (28.1)               | 10 (20.0)                |                 |
| 성별 <sup>†</sup>                            | 남자                 | 486 (99.0)  | 281 (98.3)             | 155 (100.0)             | 50 (100.0)               | 3.621<br>(.164) |
|                                            | 여자                 | 5 (1.0)     | 5 (1.7)                | 0 (0.0)                 | 0 (0.0)                  |                 |
| 결혼 <sup>†</sup>                            | 기혼                 | 408 (83.4)  | 234 (82.4)             | 132 (85.2)              | 42 (84.0)                | .568<br>(.753)  |
|                                            | 미혼                 | 81(16.6)    | 50 (17.6)              | 23 (14.8)               | 8 (16.0)                 |                 |
| 가구형태 <sup>†</sup>                          | ≥2 인가구             | 448 (91.2)  | 258 (90.2)             | 144 (92.9)              | 46 (92.0)                | .953<br>(.621)  |
|                                            | 1인가구               | 43 (8.8)    | 28 (9.8)               | 11 (7.1)                | 4 (8.0)                  |                 |
| 교육수준 <sup>†</sup>                          | ≤중학교               | 72 (14.8)   | 37 (13.1)              | 25 (16.3)               | 10 (20.0)                | 2.453<br>(.653) |
|                                            | 고등학교               | 308 (63.4)  | 184 (65.0)             | 96 (62.8)               | 28 (56.0)                |                 |
|                                            | ≥전문대학교             | 106 (21.8)  | 62 (21.9)              | 32 (20.9)               | 12 (24.0)                |                 |
| 경제수준 <sup>†</sup>                          | 상                  | 17 (3.5)    | 14 (4.9)               | 2 (1.3)                 | 1 (2.0)                  | 4.772<br>(.311) |
|                                            | 중                  | 297 (60.7)  | 168 (59.0)             | 96 (62.3)               | 33 (66.0)                |                 |
|                                            | 하                  | 175 (35.8)  | 103 (36.1)             | 56 (36.4)               | 16 (32.0)                |                 |
| 근무형태 <sup>†</sup>                          | 상근직                | 381 (77.4)  | 228 (79.7)             | 113 (72.4)              | 40 (80.0)                | 3.275<br>(.194) |
|                                            | 교대근무               | 111 (22.6)  | 58 (20.3)              | 43 (27.6)               | 10 (20.0)                |                 |
| 산재보험 <sup>†</sup>                          | 있음                 | 255 (52.0)  | 149 (52.5)             | 79 (50.6)               | 27 (54.0)                | .220<br>(.896)  |
|                                            | 없음                 | 235 (48.0)  | 135 (47.5)             | 77 (49.4)               | 23 (46.0)                |                 |
| 체질량지수<br>(kg/m <sup>2</sup> ) <sup>†</sup> | 정상<br>(18.5-22.9)  | 112 (23.3)  | 76 (27.0)              | 26 (17.2)               | 10 (20.8)                | 7.839<br>(.098) |
|                                            | 과체중<br>(23.0-24.9) | 137 (28.5)  | 77 (27.3)              | 50 (33.1)               | 10 (20.8)                |                 |
|                                            | 비만 (≥ 25)          | 232 (48.2)  | 129 (45.7)             | 75 (49.7)               | 28 (58.4)                |                 |
| 흡연 <sup>†</sup>                            | 흡연자                | 235 (47.9)  | 142 (49.7)             | 74 (47.7)               | 19 (38.0)                | 2.316<br>(.314) |
|                                            | 비흡연자               | 256 (52.1)  | 144 (50.3)             | 81 (52.3)               | 31 (62.0)                |                 |
| 음주 <sup>†</sup>                            | 음주자                | 363 (74.1)  | 204 (71.3)             | 119 (76.8)              | 41 (82.0)                | 3.351<br>(.187) |
|                                            | 비음주자               | 127 (25.9)  | 82 (28.7)              | 36 (23.2)               | 9 (18.0)                 |                 |
| 규칙적<br>운동 <sup>†</sup>                     | 네                  | 347 (70.9)  | 206 (72.0)             | 113 (72.9)              | 29 (58.0)                | 4.508<br>(.105) |
|                                            | 아니오                | 143 (29.1)  | 80 (28.0)              | 42 (27.1)               | 21 (42.0)                |                 |
| 만성질환<br>갯수 <sup>†</sup>                    | 0                  | 293 (59.7)  | 183 (64.0)             | 79 (51.0)               | 31 (62.0)                | 7.207<br>(.125) |
|                                            | 1                  | 156 (31.8)  | 81 (28.3)              | 60 (38.7)               | 15 (30.0)                |                 |
|                                            | ≥2                 | 42 (8.5)    | 22 (7.7)               | 16 (10.3)               | 4 (8.0)                  |                 |

<sup>†</sup>누락 된 데이터 제외

# 주간 졸음 정도에 따른 세 그룹 간의 직업 및 건강 관련 특성의 차이

- 세 그룹 사이에서 휴식 시간, 운전 피로, 우울 증상, 주관적 수면의 질, 신체적, 정신적 건강은 유의한 차이가 있음.
- 직업적 요인 측면에서 ‘경도 주간 졸림’ 그룹은 운전 중 휴식 시간이 훨씬 더 길고( $F = 4.187, p = .017$ ) 다른 그룹보다 운전 피로도가 낮다고 보고함( $F = 52.399, p < .001$ ).
- 건강 관련 요인과 관련하여 ‘경도 주간 졸림’ 그룹은 우울 증상 수준이 낮고( $F = 10.125, p < .001$ ) 주관적인 수면의 질( $F = 10.125, p < .001$ ), 신체 건강( $F = 8.948, p < .001$ ), 정신 건강( $F = 14.389, p < .001$ )이 다른 그룹보다 높은 것으로 나타남.
- 특히, ‘심각한 주간 졸림’ 그룹은 가장 높은 우울 증상을 보임.

| 항목             | 구분                                    | 경도 주간졸림<br>그룹 <sup>a</sup><br>(n=286)<br>M (SD) | 중등 주간 졸림<br>그룹 <sup>b</sup><br>(n=156)<br>M (SD) | 심각한<br>주간 졸림 그룹 <sup>c</sup><br>(n=50)<br>M (SD) | F (p value)                          |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 직업<br>관련<br>요인 | 운전시간 <sup>†</sup> [단위:<br>주당 운전시간(분)] | 656.14(90.38)                                   | 642.92 (105.76)                                  | 658.20 (115.70)                                  | 1.000 (.368)                         |
|                | 휴식시간 <sup>†</sup><br>[단위: 분]          | 74.33(82.38)                                    | 57.96 (33.46)                                    | 65.24 (38.54)                                    | 4.187 (.017)                         |
|                | 업무경력 <sup>†</sup><br>[단위: 년]          | 18.07(11.07)                                    | 17.13 (10.82)                                    | 14.02 (8.96)                                     | 2.991 (.051)                         |
|                | 운전 피로 <sup>†</sup>                    | 7.76 (7.16)                                     | 13.46 (7.49)                                     | 17.32 (9.04)                                     | 52.399 (<.001)<br>a<b<c <sup>†</sup> |
|                | 우울 <sup>†</sup>                       | 5.79 (3.90)                                     | 6.80 (4.16)                                      | 8.44 (4.88)                                      | 10.125 (<.001)<br>a<b<c <sup>†</sup> |
| 건강<br>관련<br>요인 | 주관적인<br>수면의 질 <sup>†</sup>            | 5.16 (2.84)                                     | 6.92 (2.81)                                      | 6.92 (3.00)                                      | 18.879 (<.001)<br>a<b,c <sup>†</sup> |
|                | 수면시간 <sup>†</sup><br>[단위: 시간]         | 8.35 (2.03)                                     | 8.10 (2.31)                                      | 8.36 (2.35)                                      | .711 (.491)                          |
|                | 신체건강 <sup>†</sup>                     | 48.10 (8.26)                                    | 46.17 (7.58)                                     | 43.70 (7.99)                                     | 8.948 (<.001)<br>a<b,c <sup>†</sup>  |
|                | 정신건강 <sup>†</sup>                     | 51.63 (8.26)                                    | 48.29 (9.05)                                     | 45.47 (8.88)                                     | 14.389 (<.001)<br>a<b,c <sup>†</sup> |
|                |                                       |                                                 |                                                  |                                                  |                                      |

M = Mean; SD = Standards Deviation; <sup>†</sup>누락 된 데이터 제외; <sup>†</sup>Bonferroni test

# 주간 졸음 정도에 따른 세 그룹 간의 운전 위험의 차이

- ‘경도 주간 졸림’ 그룹은 다른 그룹에 비해 교통사고위험지수(TARI) 점수( $F = 22.119, p < .001$ )와 위험한 운전 활동에 대한 총 점수( $F = 19.547, p < .001$ )가 유의하게 낮음.
- ‘심각한 주간 졸림’ 그룹은 다른 그룹에 비해 위험한 운전 활동에 가장 많이 참여한 것으로 나타남. 특히 운전 중 속도 제한을 초과하고 휴대 전화를 사용했음.
- 23%의 대상자가 지난 해 동안 작업 수행 중 아차사고(near miss)를 경험했으며, 다른 그룹보다 ‘심각한 주간 졸림’ 그룹에서 더 많은 아차사고가 보고 됨( $\chi^2 = 8.470, p < .001$ ).
- 또한, 24%는 작년에 최소한 한 번의 교통 사고를 경험했지만 이는 세 그룹간에 통계적으로 차이가 없음( $\chi^2 = .489, p = .783$ ).

| 항목                          | 구분 | 경도 주간졸림<br>그룹 <sup>a</sup><br>(n=286)<br>M (SD) or n (%) | 중등 주간 졸림<br>그룹 <sup>b</sup><br>(n=156)<br>M (SD) or n (%) | 심각한<br>주간 졸림 그룹 <sup>c</sup><br>(n=50)<br>M (SD) or n (%) | $\chi^2$ or F<br>(p value)           |
|-----------------------------|----|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 교통사고위험지수(TARI) <sup>†</sup> |    | 10.64 (4.33)                                             | 12.98 (5.02)                                              | 14.48 (4.91)                                              | 22.119 (<.001)<br>a<b,c <sup>†</sup> |
| 위험한 운전 활동 총점 <sup>†</sup>   |    | 7.82 (2.17)                                              | 8.56 (2.03)                                               | 9.72 (2.06)                                               | 19.547 (<.001)<br>a<b<c <sup>†</sup> |
| 강제 운전 <sup>†</sup>          |    | 2.52 (1.07)                                              | 2.62 (.91)                                                | 2.88 (.92)                                                | 3.044 (.051)                         |
| 안전벨트 미착용 <sup>†</sup>       |    | 1.69 (.95)                                               | 1.81 (.97)                                                | 1.76 (.94)                                                | .833 (.435)                          |
| 속도제한 초과 <sup>†</sup>        |    | 1.73 (.87)                                               | 2.03 (.81)                                                | 2.54 (.93)                                                | 18.780 (<.001)<br>a<b<c <sup>†</sup> |
| 운전 중 휴대전화 사용 <sup>†</sup>   |    | 1.87 (.73)                                               | 2.10 (.72)                                                | 2.54 (.99)                                                | 13.348 (<.001)<br>a<b<c <sup>†</sup> |

|                               |     |            |            |           |              |
|-------------------------------|-----|------------|------------|-----------|--------------|
| 최근 1년 이내 교통사고 경험 <sup>†</sup> | 네   | 67 (23.4)  | 38 (24.4)  | 14 (28.0) | .489 (.783)  |
|                               | 아니오 | 219 (76.6) | 118 (75.6) | 36 (72.0) |              |
| 지난 일주일간, 아차사고 경험 <sup>†</sup> | 네   | 53 (18.5)  | 45 (28.8)  | 16 (32.0) | 8.470 (.014) |
|                               | 아니오 | 233 (81.5) | 111 (71.2) | 34 (68.0) |              |

M = Mean; SD = Standards Deviation; <sup>†</sup>누락 된 데이터 제외; \*Bonferroni test

#### # 주간 졸음 정도에 미치는 관련 요인

- 모델설명력: Cox and Snell  $R^2 = 0.295$ , Nagelkerke  $R^2 = 0.351$ ; referent group = '경도 주간 졸림' 그룹).
- 전반적으로, 운전 피로, 우울 증상 및 주관적인 수면의 질은 '중등 주간 졸림' 그룹, '심각한 주간 졸림' 그룹과 통계적으로 유의하게 나타남.
- 또한 제한 속도를 초과하여 운전하는 위험한 운전 활동이 모델에서 중요한 요인으로 확인됨(Wald  $F = 3.79$ ,  $p = .052$ ).
- '심각한 주간 졸림' 그룹은 '중등 주간 졸림' 그룹(aOR = 1.17, 95% confidence interval [CI] = 1.09, 1.25) 보다 운전 피로의 조정 된 OR(aOR = 1.08, 95% CI = 1.04, 1.13)이 더 높게 나타남.
- 또한, '중등 주간 졸림' 그룹은 '경도 주간 졸림' 그룹보다 주관적 수면의 질이 좋지 않은 수준(aOR = 1.18, 95% CI = 1.05, 1.31)을 보고 할 가능성이 높았지만 '심각한 주간 졸림' 그룹은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않음.
- 우울 증상은 '중등 주간 졸림' 그룹과 통계적으로 유의하게 나타남(aOR = 0.91, 95% CI = 0.83, 0.99).
- 4 가지 위험한 운전 활동 중 제한 속도를 초과하는 운전이 유의했고, '중등 주간 졸림' 그룹보다 '심각한 주간 졸림' 그룹에서 OR가 더 높았음(aOR = 2.25, 95% CI = 1.27, 3.98 and aOR = 1.43, 95% CI = 1.01, 2.03, respectively).

| 항목 (baseline)              | 구분 | aOR (95% CI) <sup>§</sup> |                             | Wald F( <i>p</i> ) |
|----------------------------|----|---------------------------|-----------------------------|--------------------|
|                            |    | 중등 주간 졸림 그룹<br>(n = 120)  | 심각한<br>주간 졸림 그룹<br>(n = 35) |                    |
| 직업과 관련된 요인                 |    |                           |                             |                    |
| 휴식시간                       |    | .99 (.99–1.00)            | 1.00 (.99–1.01)             | 3.79 (.052)        |
| 운전피로                       |    | 1.08 (1.04–1.13)          | 1.17 (1.09–1.25)            | 12.91 (<.001)      |
| 건강과 관련된 요인                 |    |                           |                             |                    |
| 우울                         |    | .91 (.83–.99)             | .98 (.85–1.12)              | 4.97 (.026)        |
| 주관적인 수면의 질                 |    | 1.18 (1.05–1.31)          | 1.02 (.84–1.23)             | 8.47 (.004)        |
| 신체적 건강                     |    | 1.00 (.96–1.04)           | 1.01 (.94–1.07)             | <.01 (.970)        |
| 정신적 건강                     |    | .99 (.95–1.03)            | .97 (.92–1.04)              | .41 (.521)         |
| 운전과 관련된 요인                 |    |                           |                             |                    |
| 교통사고위험지수(TARI)             |    | 1.06 (.99–1.13)           | 1.06 (.96–1.18)             | 2.63 (.105)        |
| 위험한 운전 활동                  |    |                           |                             |                    |
| 강제 운전 <sup>†</sup>         |    | .83 (.62–1.10)            | .88 (.51–1.52)              | 1.74 (.187)        |
| 안전벨트 미착용 <sup>†</sup>      |    | 1.11 (.84–1.48)           | 1.07 (.67–1.73)             | .56 (.455)         |
| 속도제한 초과 <sup>†</sup>       |    | 1.43 (1.01–2.03)          | 2.25 (1.27–3.98)            | 3.98 (.046)        |
| 운전 중 휴대전화 사용 <sup>†</sup>  |    | 1.16 (.79–1.71)           | 1.65 (.89–3.06)             | .58 (.447)         |
| 교통사고 경험 (ref. 없음)          | 있음 | .63 (.34–1.15)            | .61 (.23–1.64)              | 2.26 (.133)        |
| 아차사고 경험 (ref. 없음)          | 있음 | .93 (.49–1.77)            | .58 (.21–1.63)              | .05 (.829)         |
| Cox & Snell R <sup>2</sup> |    | .295                      |                             |                    |
| Nagelkerke R <sup>2</sup>  |    | .351                      |                             |                    |

aOR = Adjusted Odds ratio; CI = Confidence Interval; ref. = reference of each independent variable group; <sup>§</sup>'경도 주간 졸림' 그룹을 참조(ref)로 회귀분석을 수행함

- 이후 Wearable Device 프로토타입으로 수집한 피로도 데이터 및 센서 데이터와 매칭하여 DB를 구축하였음.

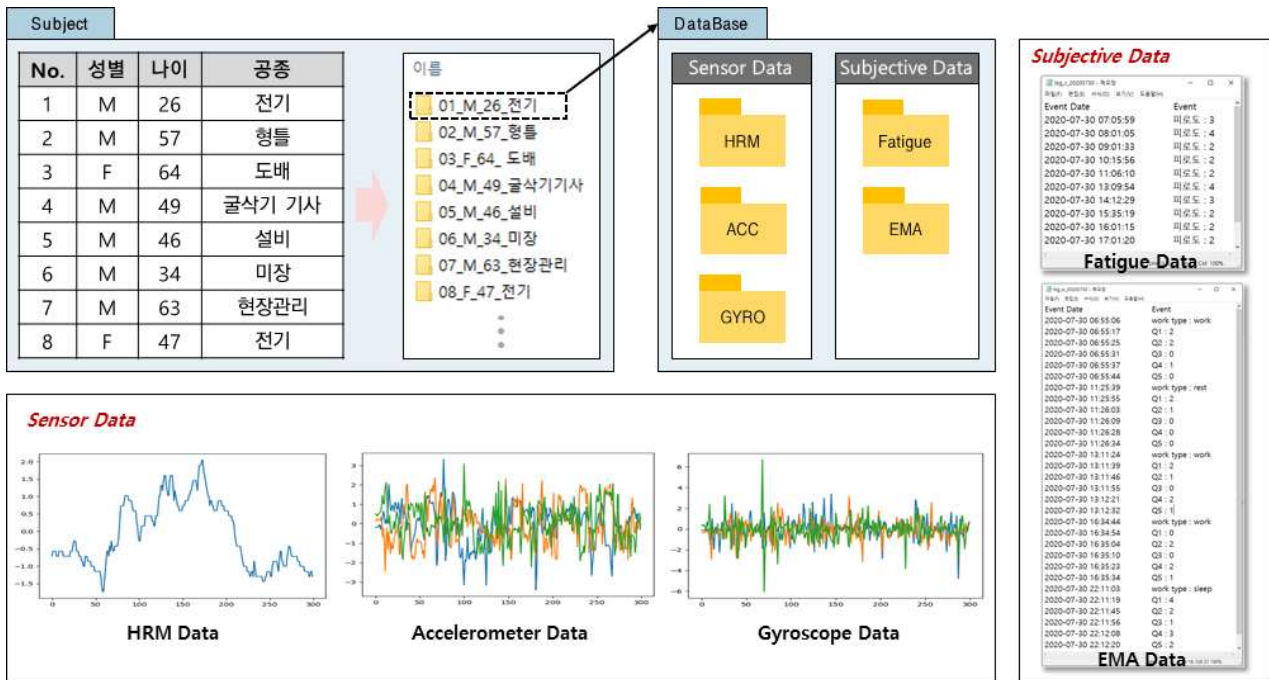


그림 1-8 건설근로자 피로도-위험도 가시화 및 경보 시스템 DB 구축 현황

표 1-4. HRM Data 예시

| Time Stamp                            | HRM | Time Stamp                            | HRM |
|---------------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 2020-11-02 08:20:50.901,1604272850900 | 61  | 2020-11-02 08:21:45.051,1604272905051 | 88  |
| 2020-11-02 08:20:51.902,1604272851902 | 60  | 2020-11-02 08:21:46.053,1604272906053 | 88  |
| 2020-11-02 08:20:52.906,1604272852906 | 60  | 2020-11-02 08:21:47.059,1604272907059 | 89  |
| 2020-11-02 08:20:53.919,1604272853919 | 60  | 2020-11-02 08:21:48.058,1604272908058 | 89  |
| 2020-11-02 08:20:54.911,1604272854911 | 60  | 2020-11-02 08:21:49.062,1604272909062 | 87  |
| 2020-11-02 08:20:55.913,1604272855913 | 60  | 2020-11-02 08:21:50.065,1604272910064 | 88  |
| 2020-11-02 08:20:56.919,1604272856919 | 60  | 2020-11-02 08:21:51.066,1604272911066 | 87  |
| 2020-11-02 08:20:57.926,1604272857926 | 60  | 2020-11-02 08:21:52.070,1604272912069 | 87  |
| 2020-11-02 08:20:58.924,1604272858924 | 61  | 2020-11-02 08:21:53.073,1604272913073 | 86  |
| 2020-11-02 08:20:59.926,1604272859925 | 60  | 2020-11-02 08:21:54.075,1604272914074 | 86  |
| 2020-11-02 08:21:00.929,1604272860929 | 59  | 2020-11-02 08:21:55.078,1604272915077 | 86  |
| 2020-11-02 08:21:01.932,1604272861932 | 60  | 2020-11-02 08:21:56.080,1604272916079 | 86  |
| 2020-11-02 08:21:02.938,1604272862938 | 59  | 2020-11-02 08:21:57.083,1604272917083 | 86  |
| 2020-11-02 08:21:03.937,1604272863937 | 58  | 2020-11-02 08:21:58.086,1604272918086 | 87  |
| 2020-11-02 08:21:04.942,1604272864942 | 58  | 2020-11-02 08:21:59.089,1604272919089 | 87  |
| 2020-11-02 08:21:05.944,1604272865944 | 58  | 2020-11-02 08:22:00.092,1604272920092 | 88  |
| 2020-11-02 08:21:06.947,1604272866947 | 58  | 2020-11-02 08:22:01.094,1604272921094 | 87  |
| 2020-11-02 08:21:07.950,1604272867950 | 58  | 2020-11-02 08:22:02.097,1604272922097 | 89  |
| 2020-11-02 08:21:08.958,1604272868958 | 59  | 2020-11-02 08:22:03.100,1604272923100 | 89  |
| 2020-11-02 08:21:09.957,1604272869957 | 60  | 2020-11-02 08:22:04.101,1604272924101 | 91  |
| 2020-11-02 08:21:10.958,1604272870958 | 61  | 2020-11-02 08:22:05.105,1604272925105 | 91  |
| 2020-11-02 08:21:12.101,1604272872101 | 62  | 2020-11-02 08:22:06.106,1604272926106 | 91  |
| 2020-11-02 08:21:12.967,1604272872967 | 65  | 2020-11-02 08:22:07.110,1604272927110 | 91  |
| 2020-11-02 08:21:13.965,1604272873964 | 68  | 2020-11-02 08:22:08.114,1604272928113 | 91  |
| 2020-11-02 08:21:14.967,1604272874967 | 69  | 2020-11-02 08:22:09.119,1604272929119 | 91  |
| 2020-11-02 08:21:15.969,1604272875969 | 73  | 2020-11-02 08:22:10.123,1604272930122 | 92  |
| 2020-11-02 08:21:16.973,1604272876973 | 72  | 2020-11-02 08:22:11.159,1604272931159 | 92  |
| 2020-11-02 08:21:17.976,1604272877975 | 72  | 2020-11-02 08:22:12.123,1604272932123 | 90  |
| 2020-11-02 08:21:18.978,1604272878978 | 71  | 2020-11-02 08:22:13.126,1604272933126 | 92  |
| 2020-11-02 08:21:19.986,1604272879986 | 73  | 2020-11-02 08:22:14.127,1604272934127 | 94  |
| 2020-11-02 08:21:20.984,1604272880984 | 73  | 2020-11-02 08:22:15.132,1604272935131 | 95  |
| 2020-11-02 08:21:21.987,1604272881987 | 75  | 2020-11-02 08:22:16.133,1604272936133 | 95  |
| 2020-11-02 08:21:22.990,1604272882990 | 75  | 2020-11-02 08:22:17.136,1604272937136 | 97  |
| 2020-11-02 08:21:23.993,1604272883993 | 76  | 2020-11-02 08:22:18.138,1604272938138 | 97  |
| 2020-11-02 08:21:24.997,1604272884997 | 77  | 2020-11-02 08:22:19.142,1604272939141 | 98  |
| 2020-11-02 08:21:25.998,1604272885998 | 81  | 2020-11-02 08:22:20.143,1604272940143 | 98  |
| 2020-11-02 08:21:27.002,1604272887001 | 82  | 2020-11-02 08:22:21.145,1604272941145 | 99  |
| 2020-11-02 08:21:28.005,1604272888005 | 82  | 2020-11-02 08:22:22.148,1604272942148 | 99  |
| 2020-11-02 08:21:29.008,1604272889008 | 81  | 2020-11-02 08:22:23.151,1604272943150 | 97  |
| 2020-11-02 08:21:30.010,1604272890009 | 82  | 2020-11-02 08:22:24.152,1604272944152 | 96  |
| 2020-11-02 08:21:31.013,1604272891013 | 83  | 2020-11-02 08:22:25.154,1604272945154 | 96  |
| 2020-11-02 08:21:32.016,1604272892016 | 84  | 2020-11-02 08:22:26.156,1604272946156 | 95  |
| 2020-11-02 08:21:33.020,1604272893020 | 85  | 2020-11-02 08:22:27.158,1604272947158 | 94  |
| 2020-11-02 08:21:34.025,1604272894025 | 86  | 2020-11-02 08:22:28.161,1604272948161 | 94  |
| 2020-11-02 08:21:35.023,1604272895022 | 86  | 2020-11-02 08:22:29.164,1604272949164 | 94  |
| 2020-11-02 08:21:36.026,1604272896026 | 86  | 2020-11-02 08:22:30.166,1604272950166 | 94  |
| 2020-11-02 08:21:37.030,1604272897030 | 87  | 2020-11-02 08:22:31.202,1604272951202 | 93  |
| 2020-11-02 08:21:38.031,1604272898031 | 87  | 2020-11-02 08:22:32.170,1604272952170 | 92  |
| 2020-11-02 08:21:39.034,1604272899034 | 86  | 2020-11-02 08:22:33.173,1604272953173 | 92  |
| 2020-11-02 08:21:40.039,1604272900038 | 85  | 2020-11-02 08:22:34.183,1604272954183 | 92  |
| 2020-11-02 08:21:41.044,1604272901043 | 86  | 2020-11-02 08:22:35.178,1604272955178 | 91  |
| 2020-11-02 08:21:42.042,1604272902042 | 86  | 2020-11-02 08:22:36.185,1604272956184 | 92  |
| 2020-11-02 08:21:43.046,1604272903046 | 87  | 2020-11-02 08:22:37.184,1604272957184 | 94  |
| 2020-11-02 08:21:44.048,1604272904047 | 88  | 2020-11-02 08:22:38.187,1604272958186 | 92  |

표 1-5. Accelerometer Data 예시

| TimeStamp                             | AccX     | AccY     | AccZ     |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|
| 2020-07-29 07:57:01.250,1595977021250 | 1.457229 | -7.53021 | 2.069792 |
| 2020-07-29 07:57:02.214,1595977022214 | -0.59342 | -4.03669 | 6.896115 |
| 2020-07-29 07:57:03.215,1595977023215 | 4.125226 | -3.50788 | 8.092526 |
| 2020-07-29 07:57:04.212,1595977024211 | 4.462614 | -3.51266 | 8.23131  |
| 2020-07-29 07:57:05.213,1595977025213 | 5.737988 | -2.28754 | 7.822137 |
| 2020-07-29 07:57:06.214,1595977026214 | 3.790231 | -3.54138 | 7.846066 |
| 2020-07-29 07:57:07.212,1595977027211 | 3.18724  | -5.73081 | 7.484749 |
| 2020-07-29 07:57:08.212,1595977028211 | 2.388037 | -8.48973 | 5.656632 |
| 2020-07-29 07:57:09.301,1595977029301 | 6.628119 | -5.06082 | 4.962714 |
| 2020-07-29 07:57:10.209,1595977030209 | 4.871787 | -6.9679  | 5.613562 |
| 2020-07-29 07:57:11.213,1595977031213 | 3.952943 | -8.13799 | 4.656433 |
| 2020-07-29 07:57:12.209,1595977032209 | 3.795017 | -12.993  | -4.67318 |
| 2020-07-29 07:57:13.213,1595977033213 | 1.134198 | -8.08056 | -4.64686 |
| 2020-07-29 07:57:14.207,1595977034206 | 1.239482 | -7.14258 | -6.98465 |
| 2020-07-29 07:57:15.207,1595977035207 | -3.18724 | -6.58026 | -4.733   |
| 2020-07-29 07:57:16.207,1595977036206 | -4.12283 | -5.94377 | 4.778467 |
| 2020-07-29 07:57:17.207,1595977037206 | -2.49811 | -9.59043 | -1.09831 |
| 2020-07-29 07:57:18.206,1595977038206 | -6.7358  | -8.88455 | -1.47637 |
| 2020-07-29 07:57:19.205,1595977039205 | -6.81476 | -7.22154 | -0.57906 |
| 2020-07-29 07:57:20.203,1595977040204 | -6.71426 | -7.56371 | -0.57906 |
| 2020-07-29 07:57:21.206,1595977041206 | -7.34597 | -7.17129 | 0.052642 |
| 2020-07-29 07:57:22.206,1595977042206 | -6.81476 | -7.2024  | -0.13161 |
| 2020-07-29 07:57:23.204,1595977043204 | -6.66401 | -8.31745 | 0.555135 |
| 2020-07-29 07:57:24.203,1595977044202 | -6.59701 | -7.05165 | -0.2345  |
| 2020-07-29 07:57:25.202,1595977045202 | -6.25723 | -6.97268 | -0.43071 |
| 2020-07-29 07:57:26.201,1595977046201 | -6.09452 | -7.72164 | -0.09332 |
| 2020-07-29 07:57:27.201,1595977047201 | -5.86481 | -7.37947 | 0.129212 |
| 2020-07-29 07:57:28.199,1595977048199 | -6.22852 | -7.04926 | 2.998207 |
| 2020-07-29 07:57:29.199,1595977049199 | -6.58983 | -6.76451 | 2.840281 |
| 2020-07-29 07:57:30.200,1595977050200 | -6.92004 | -8.07578 | 2.928815 |
| 2020-07-29 07:57:31.198,1595977051198 | -7.6355  | -1.6008  | 2.969493 |
| 2020-07-29 07:57:32.198,1595977052198 | -6.79322 | -5.99163 | 4.103691 |
| 2020-07-29 07:57:33.200,1595977053200 | -7.14736 | -5.62074 | 2.924029 |
| 2020-07-29 07:57:34.199,1595977054198 | -7.70489 | -5.1326  | 2.639283 |
| 2020-07-29 07:57:35.195,1595977055196 | -5.74517 | -9.56172 | 0.835095 |
| 2020-07-29 07:57:36.195,1595977056195 | -1.61516 | -9.57847 | 0.413958 |
| 2020-07-29 07:57:37.197,1595977057196 | -0.15314 | -6.2357  | 4.919643 |
| 2020-07-29 07:57:38.195,1595977058195 | 0.260818 | -9.6024  | -3.07478 |
| 2020-07-29 07:57:39.195,1595977059194 | 3.902694 | -14.0435 | -11.2367 |
| 2020-07-29 07:57:40.193,1595977060193 | 5.836094 | -13.3328 | -1.47398 |
| 2020-07-29 07:57:41.191,1595977061193 | 0.961915 | -11.3539 | -2.46221 |
| 2020-07-29 07:57:42.195,1595977062195 | 5.158926 | -3.73759 | 6.941578 |
| 2020-07-29 07:57:43.191,1595977063190 | 4.582255 | -2.42632 | 7.633104 |
| 2020-07-29 07:57:44.191,1595977064191 | 4.725825 | -4.55833 | 6.350551 |
| 2020-07-29 07:57:45.192,1595977065191 | 5.481956 | -5.33121 | 6.60419  |
| 2020-07-29 07:57:46.190,1595977066190 | 4.802395 | -4.85025 | 7.52782  |
| 2020-07-29 07:57:47.190,1595977067189 | 4.692325 | -4.79282 | 7.226324 |
| 2020-07-29 07:57:48.191,1595977068191 | 4.965107 | -4.62772 | 6.719046 |
| 2020-07-29 07:57:49.189,1595977069189 | 7.403394 | -6.07538 | 3.754339 |
| 2020-07-29 07:57:50.187,1595977070186 | 2.206182 | -3.99601 | 8.087741 |
| 2020-07-29 07:57:51.186,1595977071186 | -0.00239 | 5.302495 | 7.9681   |
| 2020-07-29 07:57:52.185,1595977072185 | -2.04586 | 5.881558 | 8.271988 |
| 2020-07-29 07:57:53.185,1595977073184 | -0.95474 | 4.989035 | 8.472985 |

표 1-6. Gyroscope Data 예시

| TimeStamp                             | GyroX   | GyroY  | GyroZ  |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|
| 2020-07-29 07:57:01.257,1595977021256 | -55.02  | -47.67 | 16.38  |
| 2020-07-29 07:57:02.227,1595977022227 | -92.4   | 30.38  | -20.65 |
| 2020-07-29 07:57:03.222,1595977023221 | -0.7    | -13.16 | -3.29  |
| 2020-07-29 07:57:04.219,1595977024219 | 2.66    | 2.87   | 7.56   |
| 2020-07-29 07:57:05.221,1595977025220 | 5.11    | 26.39  | -19.67 |
| 2020-07-29 07:57:06.222,1595977026222 | -19.67  | -3.15  | -3.43  |
| 2020-07-29 07:57:07.219,1595977027219 | 38.5    | 40.74  | 47.81  |
| 2020-07-29 07:57:08.219,1595977028218 | -2.59   | -0.7   | -7.98  |
| 2020-07-29 07:57:09.318,1595977029317 | -17.64  | -30.31 | -33.18 |
| 2020-07-29 07:57:10.215,1595977030215 | -0.56   | 6.65   | 13.44  |
| 2020-07-29 07:57:11.221,1595977031220 | -17.43  | 37.24  | -6.3   |
| 2020-07-29 07:57:12.217,1595977032217 | -13.51  | 7.63   | -1.05  |
| 2020-07-29 07:57:13.221,1595977033221 | 8.19    | -11.13 | 9.73   |
| 2020-07-29 07:57:14.216,1595977034215 | -14.56  | -57.96 | -36.47 |
| 2020-07-29 07:57:15.215,1595977035215 | -14.35  | -72.8  | 39.27  |
| 2020-07-29 07:57:16.214,1595977036214 | -13.58  | -0.42  | 10.5   |
| 2020-07-29 07:57:17.214,1595977037214 | -99.47  | -61.74 | 2.59   |
| 2020-07-29 07:57:18.214,1595977038213 | -93.94  | 26.88  | 18.48  |
| 2020-07-29 07:57:19.213,1595977039213 | -7.56   | -3.92  | 4.06   |
| 2020-07-29 07:57:20.214,1595977040214 | 1.19    | 1.12   | 2.8    |
| 2020-07-29 07:57:21.214,1595977041213 | 0.56    | 0.91   | 1.12   |
| 2020-07-29 07:57:22.214,1595977042213 | -3.08   | -1.26  | -1.4   |
| 2020-07-29 07:57:23.213,1595977043212 | 1.61    | 0.63   | -1.68  |
| 2020-07-29 07:57:24.210,1595977044210 | 28.07   | 5.18   | -2.66  |
| 2020-07-29 07:57:25.209,1595977045209 | 3.64    | 1.33   | -1.26  |
| 2020-07-29 07:57:26.210,1595977046210 | -1.75   | -0.28  | -0.21  |
| 2020-07-29 07:57:27.209,1595977047208 | 4.97    | 1.82   | -0.07  |
| 2020-07-29 07:57:28.208,1595977048208 | 64.96   | 14.91  | -3.71  |
| 2020-07-29 07:57:29.207,1595977049207 | 8.89    | -2.38  | -1.82  |
| 2020-07-29 07:57:30.207,1595977050207 | -63.63  | -3.15  | -3.92  |
| 2020-07-29 07:57:31.205,1595977051205 | -75.11  | -10.01 | 0.49   |
| 2020-07-29 07:57:32.206,1595977052206 | 4.2     | -4.13  | 2.8    |
| 2020-07-29 07:57:33.208,1595977053208 | -4.97   | 0.91   | -0.21  |
| 2020-07-29 07:57:34.207,1595977054206 | -4.83   | -1.26  | 0.07   |
| 2020-07-29 07:57:35.204,1595977055204 | 66.71   | 11.76  | 0.07   |
| 2020-07-29 07:57:36.208,1595977056208 | -31.15  | 18.9   | -15.4  |
| 2020-07-29 07:57:37.204,1595977057204 | 23.94   | 53.69  | -2.03  |
| 2020-07-29 07:57:38.202,1595977058202 | -282.38 | -23.17 | 7      |
| 2020-07-29 07:57:39.202,1595977059201 | 145.25  | 79.1   | -22.47 |
| 2020-07-29 07:57:40.201,1595977060200 | -134.68 | 6.58   | -15.96 |
| 2020-07-29 07:57:41.199,1595977061199 | -55.65  | -42.14 | 18.06  |
| 2020-07-29 07:57:42.202,1595977062202 | 353.01  | -52.78 | 8.26   |
| 2020-07-29 07:57:43.200,1595977063200 | 7.07    | -8.89  | 0.7    |
| 2020-07-29 07:57:44.199,1595977064198 | -24.57  | -6.93  | -13.72 |
| 2020-07-29 07:57:45.199,1595977065199 | 0.91    | -1.4   | -5.6   |
| 2020-07-29 07:57:46.197,1595977066197 | 2.45    | 2.45   | 1.12   |
| 2020-07-29 07:57:47.197,1595977067197 | -1.54   | 0.21   | -0.21  |
| 2020-07-29 07:57:48.198,1595977068198 | -0.77   | -0.84  | -1.33  |
| 2020-07-29 07:57:49.196,1595977069196 | -22.26  | 1.47   | -15.47 |
| 2020-07-29 07:57:50.196,1595977070196 | 84.56   | 34.02  | 39.41  |
| 2020-07-29 07:57:51.196,1595977071195 | -1.75   | -18.76 | -10.85 |
| 2020-07-29 07:57:52.192,1595977072192 | 14.14   | 41.86  | -6.51  |
| 2020-07-29 07:57:53.191,1595977073191 | -13.16  | 4.69   | 2.45   |

### (3) 알고리즘 구현을 위한 모델 입출력 정의

#### (가) Wearable device 수신 데이터 패턴 분석

: 딥러닝 알고리즘을 설계하기 위해서는 우선 알고리즘의 입력(Input)과 출력(Output)을 명확히 정의해야함. 입출력을 정의한 후 DNN (Deep Neural Network), CNN (Convolutional Neural Network), RNN (Recurrent Neural Network) 중 어떤 모델을 기반으로 알고리즘을 설계할 것인지 큰 그림에서 보아야 함. 또한 layer type과 각 layer의 filter size, filter 수, node 수 등의 세부 구조를 설계해야 함. 같은 데이터를 이용하더라도 알고리즘의 입력과 출력을 어떻게 정의하느냐에 따라서 알고리즘의 성능이 달라짐. 입력 값은 스마트 워치 센서에서 측정 가능한 데이터로 알려진 심박수(Heart Rate), 가속계(Accelerometer), 자이로측량(Gyroscope)으로 설정할 수 있다. 출력 값은 근로노동자의 피로도도로 설정할 수 있음. 피로도는 실험에 참여한 근로노동자들로부터 일정한 시간 간격으로 설문하여 측정된 데이터로 설정하였음.

#### ① 데이터셋

: 구축된 데이터셋은 스마트 워치 중 갤럭시 액티브로부터 측정되었으며, 1초 단위로 심박수(Heart Rate), 가속계(Accelerometer), 자이로측량(Gyroscope)이 입력데이터로 축적이 됨. <그림 1-9>와 <표 1-7>은 갤럭시 액티브로부터 측정된 샘플 데이터 중 HRM 데이터의 일부분임. <그림 1-10>과 <표 1-8>는 갤럭시 액티브로부터 측정된 샘플 데이터 중 가속계 (Accelerometer) 데이터의 일부분임. 마찬가지로, <그림 1-11>과 <표 1-9>는 갤럭시 액티브로부터 측정된 샘플 데이터 중 자이로측량(Gyroscope) 데이터의 일부분이다. HRM 데이터를 제외하고는 앞서 설명하였듯이 각각 센서별로 3가지 값이 매초마다 측정됨.

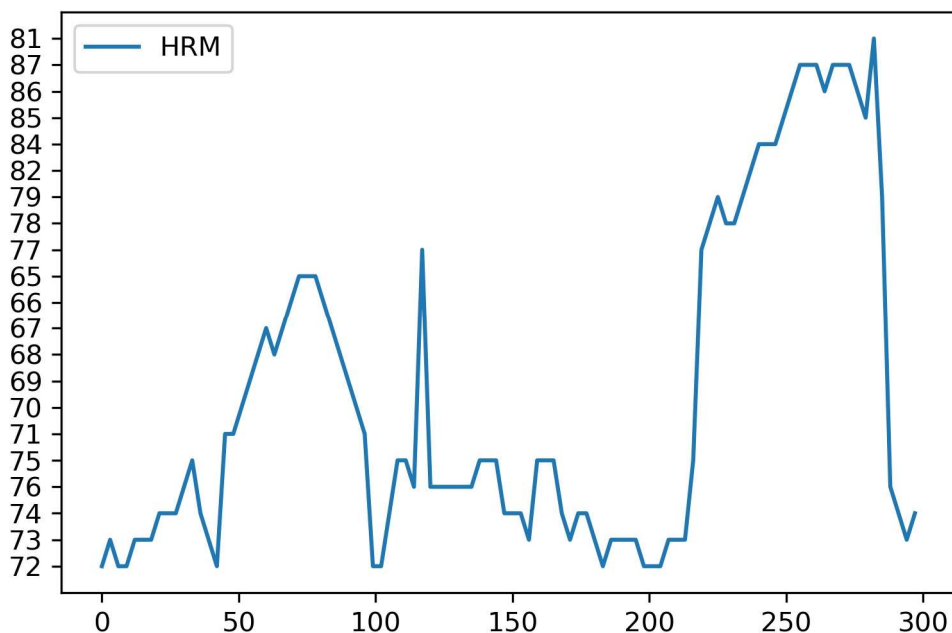


그림 1-9 스마트 워치 센서로부터 측정된 HRM 데이터의 일부분

표 1-7. 스마트 워치 센서로부터 측정된 HRM 데이터의 일부

| SensorType | TimeStamp | Values |
|------------|-----------|--------|
| HRM        | 3.27E+11  | 72     |
| HRM        | 3.27E+11  | 73     |
| HRM        | 3.27E+11  | 72     |
| HRM        | 3.27E+11  | 72     |
| HRM        | 3.27E+11  | 73     |
| HRM        | 3.27E+11  | 73     |
| HRM        | 3.27E+11  | 73     |
| HRM        | 3.27E+11  | 74     |
| HRM        | 3.27E+11  | 74     |
| HRM        | 3.27E+11  | 74     |
| HRM        | 3.27E+11  | 76     |
| HRM        | 3.27E+11  | 75     |
| HRM        | 3.27E+11  | 74     |

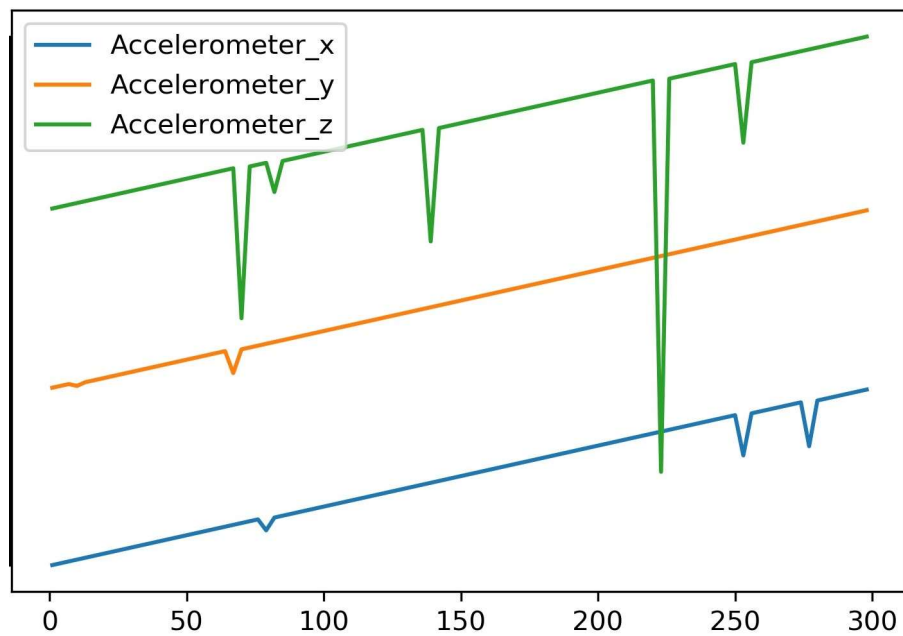


그림 1-10. 스마트 워치 센서로부터 측정된 Accelerometer 데이터의 일부

표 1-8. 스마트 워치 센서로부터 측정된 Accelerometer 데이터의 일부

| SensorType    | TimeStamp | Accelerometer_x | Accelerometer_y | Accelerometer_z |
|---------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Accelerometer | 3.27E+11  | 4.51            | -7.16           | 4.9             |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 4.35            | -7.2            | 4.9             |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 4.55            | -7.22           | 4.68            |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 4.42            | -7.2            | 4.74            |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 4.56            | -7.8            | 5.08            |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 4.33            | -7.1            | 4.57            |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 4.79            | -8.15           | 4.38            |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 4.52            | -7.38           | 4.24            |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 4.99            | -5.66           | 5.98            |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 5.13            | -5.99           | 6.06            |
| Accelerometer | 3.27E+11  | 5.06            | -5.97           | 5.97            |

|               |          |      |       |      |
|---------------|----------|------|-------|------|
| Accelerometer | 3.27E+11 | 5.03 | -6.12 | 6.01 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.98 | -6.09 | 6.03 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.89 | -6.41 | 5.81 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.81 | -6.47 | 5.78 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.83 | -6.06 | 6.43 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.63 | -5.94 | 6.45 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.68 | -5.87 | 6.34 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.76 | -6.07 | 6.17 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.73 | -6.29 | 6.05 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.65 | -6.2  | 6.14 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.6  | -6.12 | 6.16 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.59 | -5.99 | 6.08 |
| Accelerometer | 3.27E+11 | 4.5  | -6.71 | 5.61 |

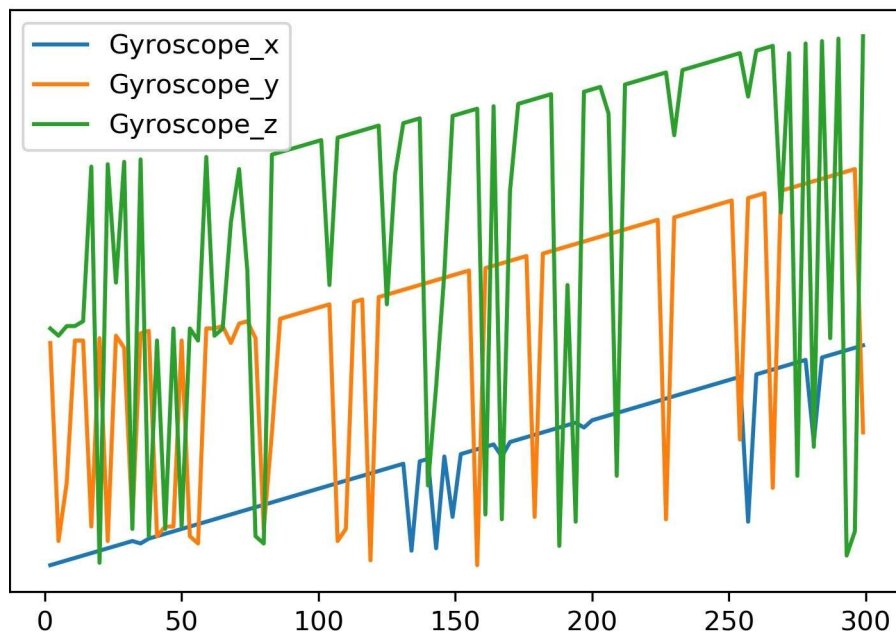


그림 1-11. 스마트 워치 센서로부터 측정된 Gyroscope 데이터의 일부분

표 1-11-9. 스마트 워치 센서로부터 측정된 Gyroscope 데이터의 일부분

| SensorType | TimeStamp | Gyroscope_x | Gyroscope_y | Gyroscope_z |
|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Gyroscope  | 3.27E+11  | -0.49       | 0.42        | -0.07       |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | -1.33       | -0.42       | 1.82        |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | -3.85       | -2.59       | 1.05        |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | -0.91       | -0.14       | 1.05        |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | 3.36        | -0.14       | 0.7         |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | -2.8        | -0.28       | -2.31       |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | 0.77        | -1.26       | -1.33       |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | -2.45       | -0.42       | 2.17        |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | 8.26        | 1.82        | -2.52       |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | 0.07        | -1.19       | 0.21        |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | -0.42       | -1.4        | 0.63        |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | 0.07        | -1.47       | 0.28        |
| Gyroscope  | 3.27E+11  | 0.49        | -0.77       | -0.35       |

|           |          |        |       |       |
|-----------|----------|--------|-------|-------|
| Gyroscope | 3.27E+11 | -0.35  | -0.35 | -0.14 |
| Gyroscope | 3.27E+11 | -0.63  | -0.28 | 0.63  |
| Gyroscope | 3.27E+11 | 1.96   | -0.28 | -0.07 |
| Gyroscope | 3.27E+11 | 0.63   | -0.14 | -0.28 |
| Gyroscope | 3.27E+11 | -0.28  | -0.35 | -0.07 |
| Gyroscope | 3.27E+11 | 0.91   | 0.07  | -0.14 |
| Gyroscope | 3.27E+11 | -1.4   | -0.07 | 1.19  |
| Gyroscope | 3.27E+11 | -0.7   | -0.07 | 1.82  |
| Gyroscope | 3.27E+11 | 1.61   | 1.05  | -0.07 |
| Gyroscope | 3.27E+11 | -0.56  | 0.42  | 0.35  |
| Gyroscope | 3.27E+11 | -10.99 | 2.52  | 3.5   |
| Gyroscope | 3.27E+11 | 1.12   | 0.7   | -0.21 |
| Gyroscope | 3.27E+11 | 4.69   | -1.26 | -0.35 |
| Gyroscope | 3.27E+11 | 0.98   | 0.63  | 0.07  |

- HRM은 최근 1분 동안 측정된 심장박동수를 나타내며, Accelerometer는 3개의 값이 측정이 되는데, 이는 x, y, z축의 가속계가 측정한 값을 나타냄. Gyroscope도 마찬가지로 3개의 값이 측정이 됨. 이도 각 축의 자이로측량을 나타냄.

#### (나) 딥러닝 알고리즘 구현을 위한 모델 입출력 정의

: 본 연구에서는 딥러닝 알고리즘 기반 모델을 학습시키기 위해 사용되는 입출력 데이터에 대한 검증을 실시하였음. 첫째로 스마트 워치로부터 획득된 입력데이터를 가지고 DNN, CNN, RNN 등의 각기 다른 딥러닝 Architecture 기반 모델을 학습시켰을 때 피로도 예측에 대한 값이 유의미한지 실험을 진행하였음. 둘째로 입력데이터의 Sliding window, 즉, 얼마만큼의 시간을 입력데이터로 사용할 것인지에 대한 분석을 위해 다방면의 실험 및 검증 작업을 거쳤음.

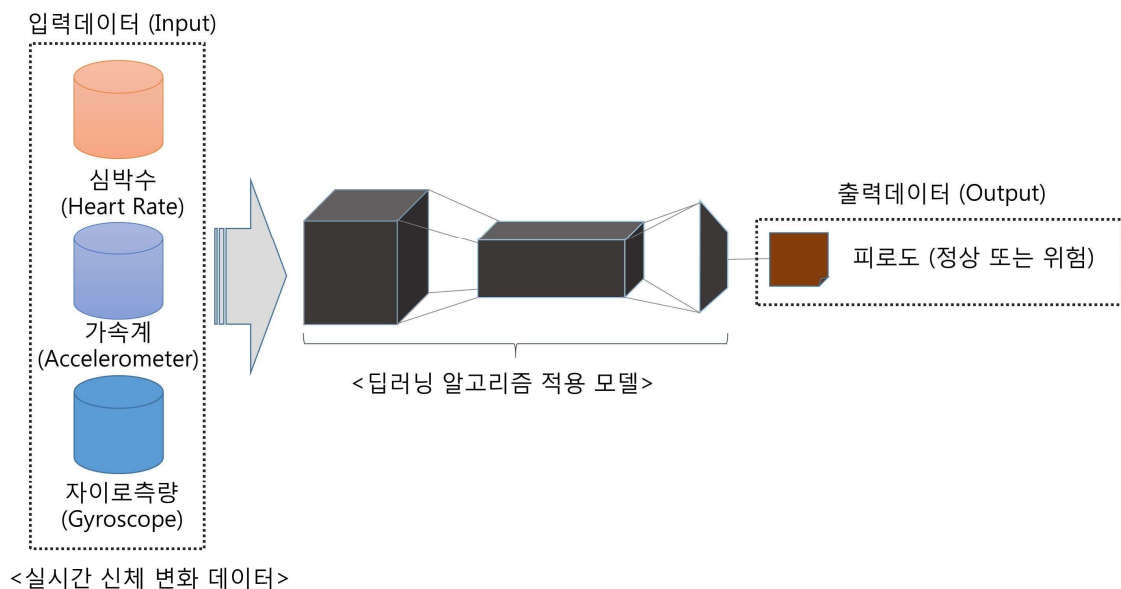


그림 1-12. 피로도 예측 모델 입출력의 예

#### (4) 전설근로자 피로도 평가 알고리즘 구현을 위한 딥러닝 Architecture 설계

##### (가) 딥러닝 알고리즘 baseline 설계

- 딥러닝을 기반으로한 모델 설계를 위하여 어떤 종류의 Baseline 모델을 사용할 것인지 선정하는 것이 선행되어야 함. 딥러닝 알고리즘은 크게 3가지의 Baseline 모델, DNN (Fully connected deep neural network), CNN (Convolutional Neural Network), RNN (Recurrent Neural Network)으로 분류할 수 있음. DNN의 경우 Parameter 수가 매우 많아 학습을 잘하는 특성이 있지만 과적합(Overfitting) 현상이 뚜렷하게 나타남. 과적합 현상을 해결하기 위해 L2 regularization, Dropout [1, 2] 등이 사용되고 있으나 아직까지는 해결해야 할 하나의 과제로 남아있음. CNN은 DNN보다 parameter 수가 매우 낮은 장점이 있으며 stride, filter의 개념으로 이미지 데이터 프로세싱에 매우 적합하게 발전하고 있는 추세임. CNN은 DNN에 비해 과적합 문제로부터 자유로우며 VGGNet, ResNet [3, 4] 등을 통해 매우 깊은 인공신경망을 구성하는데 성공하였음. 마지막으로, RNN은 시계열 데이터와 같은 입력데이터가 순서에 민감한 데이터를 처리하는데 사용됨. RNN 계열 모델 중 특히 LSTM (Long-Short Term Memory [5])이 굉장히 넓은 분야에서 RNN을 대표하여 사용 중에 있음.
- 해당 연구는 스마트 워치로부터 가져온 시계열 데이터를 입력값으로 받기 때문에 Baseline 모델을 RNN 계열인 LSTM으로 선정하였음. <그림 1-13>은 RNN과 LSTM의 구조를 나타냄. RNN은 관련 정보와 그 정보를 사용하는 지점 사이 거리가 멀 경우 역전파시 그라디언트가 점차 줄어 학습능력이 크게 저하되는 것으로 알려져 있음. 이를 vanishing gradient problem이라고 함. 이 문제를 극복하기 위해서 고안된 것이 바로 LSTM임. LSTM은 RNN의 히든 state에 cell-state를 추가한 구조임. Cell state는 일종의 컨베이어 벨트 역할을 함. 덕분에 state가 꽤 오래 경과하더라도 그라디언트가 비교적 전파가 잘 되게 되는 특징이 있음. LSTM 셀의 수식은 아래와 같음.  $\odot$ 는 요소별 곱셈을 뜻하는 Hadamard product 연산자임. F orget gate인  $f_t$ 는 ‘과거 정보를 잊기’를 위한 게이트임.  $h_{t-1}$ 과  $x_t$ 를 받아 시그모이드를 취해준 값이 바로 forget gate가 내보내는 값이 됨. 시그모이드 함수의 출력 범위는 0에서 1 사이이기 때문에 그 값이 0이라면 이전 상태의 정보는 잊고, 1이라면 이전 상태의 정보를 온전히 기억하게 됨. input gate  $i_t \odot g_t$ 는 ‘현재 정보를 기억하기’ 위한 게이트이다.  $h_{t-1}$ 과  $x_t$ 를 받아 시그모이드를 취하고, 또 같은 입력으로 하이퍼볼릭탄젠트(tanh)를 취해준 다음 Hadamard product 연산을 한 값이 바로 input gate가 내보내는 값이 됨.  $i_t$ 의 범위는 0~1,  $g_t$ 의 범위는 -1~1이기 때문에 각각 강도와 방향을 나타냄.

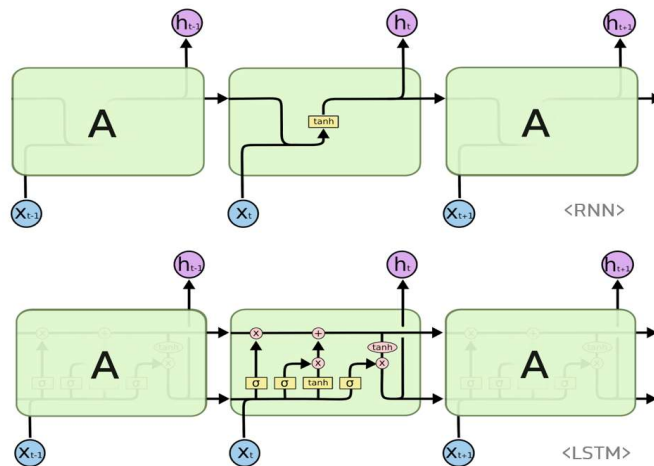


그림 1-13. Recurrent Neural Network (RNN), Long Short Term Memory (LSTM) 설명

## (나) 딥러닝 알고리즘 Architecture 설계

### ① 지도학습과 비지도학습

- 지도 학습(Supervised Learning)은 이름에서 알 수 있는 것처럼 개발자의 개입이 요구됨. 개발자가 해주는 일은 컴퓨터에게 정답이 무엇인지 알려주는 것임. 데이터를 넣을 때 입력과 정답으로 나누어 넣어줌. 이후 머신러닝은 입력이 모델을 거쳐서 출력한 것과 해당 '정답' 사이의 차이가 줄도록 모델을 수정하는 과정을 반복하게 됨. 분류(Classification)가 전형적인 지도 학습 작업이며, 숫자 인식을 좋은 예로 들 수 있음. 비지도 학습(Unsupervised Learning)은 데이터에 대한 레이블(Label)-명시적인 정답이 주어지지 않은 상태에서 컴퓨터를 학습시키는 방법론임. 즉, 데이터(data) 형태로 학습을 진행하는 방법임. 예를 들어서, 아래와 데이터가 무작위로 분포되어 있을때, 이 데이터를 비슷한 특성을 가진 세가지 부류로 묶는 클러스터링(Clustering) 알고리즘이 있음.
- 해당 연구는 건설근로자의 비정상적 행태를 피로도를 통해 예측하는 것을 목표로 하기 때문에 설문문을 통한 명확한 타겟을 선정해 모델을 학습시키는 방법도 있지만 비지도학습을 통해 모델 자체적으로 Outlier detection을 수행하는 방법론도 생각할 수 있음. <그림 1-14>는 비지도 학습 방법을 통해 비정상 패턴인 Outlier를 잡아내는 알고리즘들을 보여줌. 비지도학습은 모델 자체적으로 입력데이터에서 패턴을 찾아내 Inlier와 Outlier를 분류하기 때문에 굉장히 강력한 학습 방법론으로 인정받고 있는 추세임.

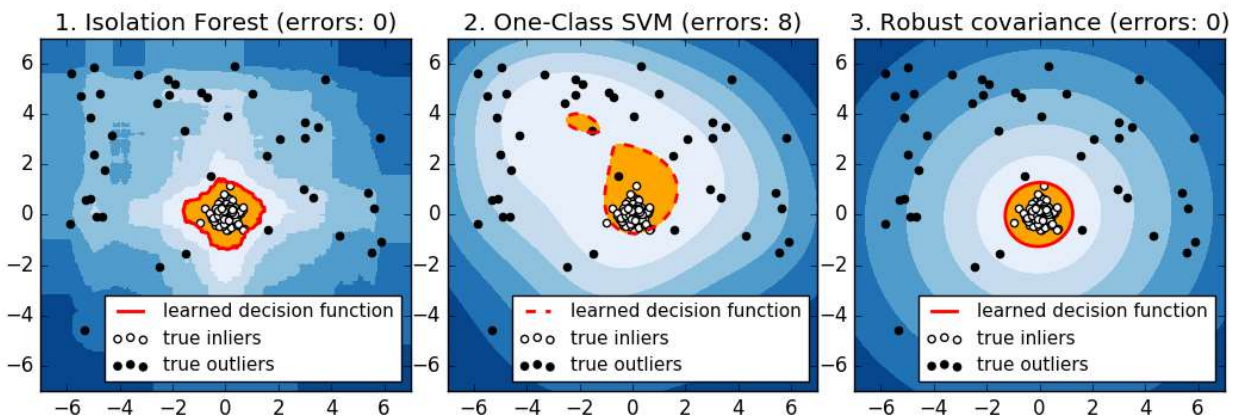


그림 1-14. 비지도 학습으로 Inlier와 Outlier를 구분하는 예

- <그림 1-15>은 딥러닝 알고리즘을 사용한 대표적인 비지도학습 모델인 Autoencoder를 나타냄. Autoencoder는 인코딩(Encoding) 층(Layer)과 디코딩(Decoding) 층으로 구성되어 있으며 인코더는 정보를 함축하는 역할을 하며, 디코더는 함축된 정보를 해석하여 원래의 형태로 복구시키는 역할을 수행하게 됨. 결국, 입력과 출력데이터를 같게 만들기 위해 각 층은 학습하게 됨. 이 때, 입력값과 모델을 거쳐서 나온 출력값의 차이를 재해석 오차(Reconstruction error)라고 하는데, 잘 학습된 모델일수록 일반적인 경우의 입력값에는 재해석 오차가 매우 적고 특이한 경우일 때 재해석 오차가 매우 크게 나타남. 이 때, 이미 정해진 한계치(Thresh hold)를 넘어서는 재해석 오차가 나타난다면 그 데이터를 Outlier로 지정함.

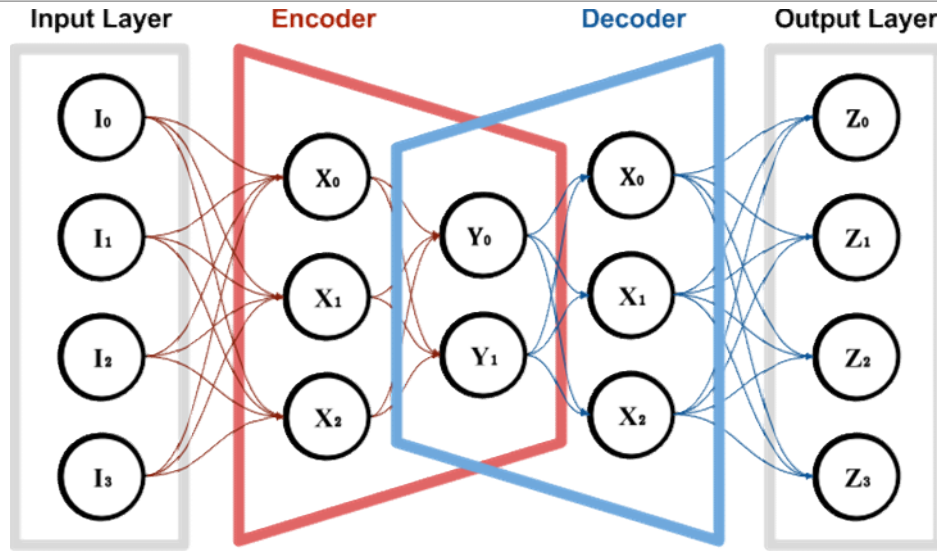


그림 1-15. 딥러닝 알고리즘을 이용한 Autoencoder

- Autoencoder가 처음 소개된 이후 굉장히 많은 변형된 형태가 많이 나오고 있음. 처음 소개된 Autoencoder는 Fully Connected Neural Network을 기반으로 했지만 CNN 기반 또는 RNN을 기반으로 한 Autoencoder들도 널리 사용되고 있음. 이번 연구에서는 시계열 데이터를 사용하기 때문에 RNN 기반으로 한 Recurrent Autoencoder를 사용하는 것이 적합함. <그림 1-16>는 Recurrent autoencoder를 나타낸다. Sequence length만큼(이번 연구의 경우 몇 초)의 데이터를 입력받아 LSTM을 거쳐 그 길이 만큼의 출력데이터를 만드는 구조의 모델임. Autoencoder와 마찬가지로 재해석 오차를 기반으로 한 Outlier detection이 가능하지만 순서(Sequential)가 있는 데이터에 더 적합하게 설계되었다는 특징이 있음.

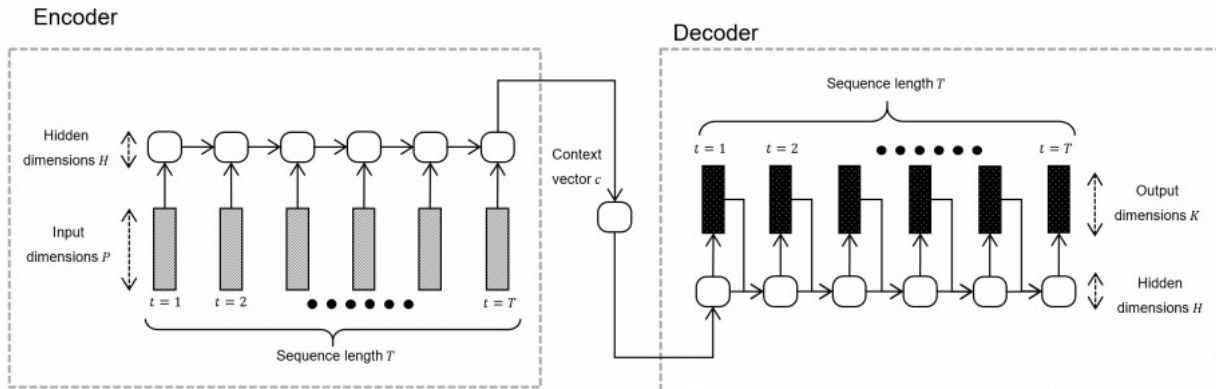


그림 1-16. 딥러닝 알고리즘을 이용한 Recurrent Autoencoder

## ② 데이터 전처리 및 모델 손실 함수

- 딥러닝 알고리즘의 입력데이터는 원활한 학습을 위해 통상 작은 숫자로 변환하는 작업을 거침. 이를 정규화(Normalization) 또는 스케일링(Scaling) 작업이라고도 하며 이번 연구에서는 min-max normalization을 통해 0에서 1사이의 값으로 변경하였음.

$$x_{norm} = \frac{x_{raw} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

- 이 경우  $x_{raw}$ 는 실측값이며  $x_{min}$ 은 변수의 값들 중 최소값을 의미하며,  $x_{max}$ 는 변수의 값들 중 최대값을 의미함.
- 이번 연구에 쓰일 손실함수는 두 가지임. 첫번째는 Binary Cross Entropy Loss이며, 이는 두 Class 분류 문제에서 주로 쓰이는 손실함수이고 피로도를 위험 또는 정상으로 분류하는 연구와 잘 맞는다고 볼 수 있음.

$$loss\ function = -(y\log(p) + (1-y)\log(1-p))$$

- 다른 하나는 Euclidean Loss를 사용하였음. 이는 비지도 학습의 방법인 Recurrent Autoencoder를 사용하기 위해서임.

$$loss\ function = \frac{1}{N} \sum_i^N (o_i - y_i)^2$$

### ③ 딥러닝 알고리즘 Architecture 설계

: 본 과제는 스마트 위치로부터 측정된 각종 신체변화 데이터를 사용하여 실시간으로 건설근로자 피로도를 예측하는 딥러닝 알고리즘을 개발하는 것이 목표임. 딥러닝은 다른 알고리즘에 비해 최소한의 도메인 지식을 사용하여 인간의 사전 지식의 개입으로부터 자유로운 데이터 기반의 알고리즘임. 이번 과제에 사용하는 데이터는 시계열 데이터이기 때문에 기본 베이스라인 모델을 RNN의 일종인 LSTM으로 채택하여 사용하였음. <그림 1-17>는 이번 과제를 해결하기 위해 설계된 피로도 예측 모델의 개요를 나타냄. 해당 모델은 특정 시간 T에서 스마트 위치로부터 1초 단위로 축적된 HRM, Accelerometer, Gyroscope 데이터를 Sequence length(t)만큼 입력데이터로 함. 입력데이터는 두 가지 모듈인 Supervised module과 Self detection module로 이어짐. Supervised module은 건설근로자들로부터 직접 설문한 설문데이터를 기반으로 하나의 출력데이터를 예측(위험 또는 정상)하는 모듈임. Self detection module은 Recurrent Autoencoder를 기반으로 비지도 학습을 하는 모듈임. 재해석 오차를 기반으로 Outlier를 정의하고 이를 통해 피로도를 예측하는 모듈임. Supervised module은 마지막 층에 시그모이드(Sigmoid) 활성화 함수(Activation function)를 거치고 Self detection module은 마지막 층에 ReLU로 알려진 Rectified Linear Unit 활성화 함수를 거쳐 데이터를 출력함. 그 이후 Supervised module은 Binary Cross Entropy Loss를, Self detection module은 L2 loss로 알려진 Mean Squared Error (MSE) Loss를 적용함. 두 모듈로부터 나온 Loss를 합산하여 학습을 진행하는 형식임.

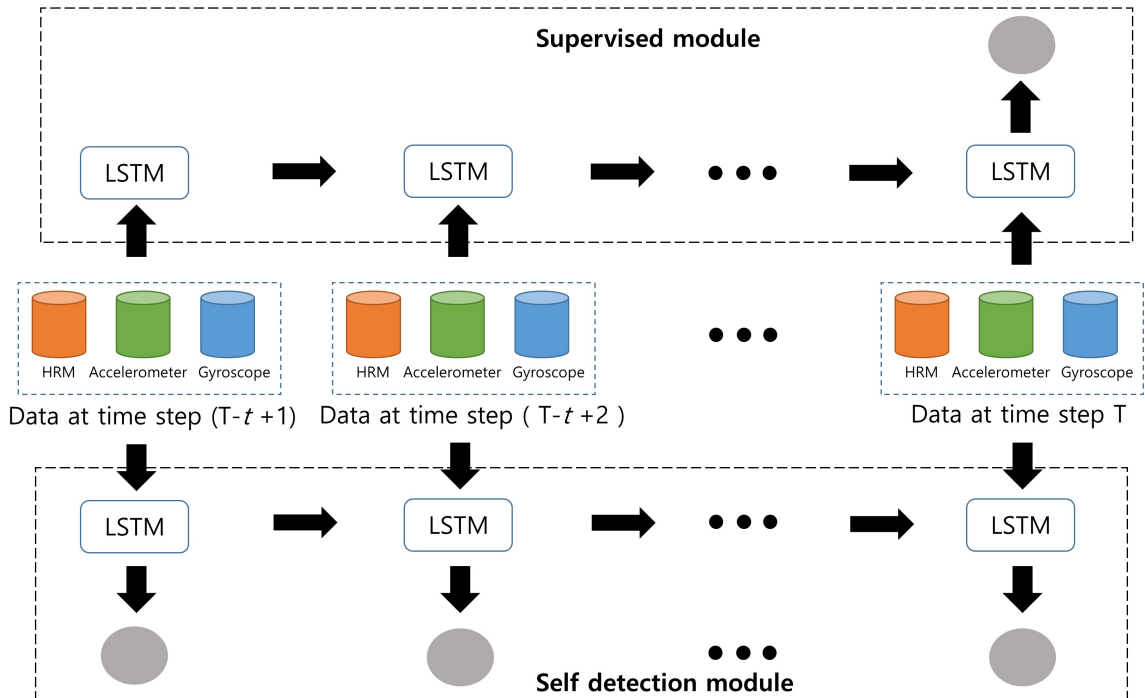


그림 1-17. 건설근로자 피로도 예측 모델

(다) 학습 최적화

- 딥러닝 기반의 모델의 파라미터를  $\theta$ , 학습 데이터의 예제(example) 개수를  $M$ 이라고 할 때, 손실함수(loss function)  $L(\theta)$  는 아래와 같이 전체 학습 데이터에 대한 Average로 표현 가능함.

$$L(\theta) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M L_i(\theta)$$

- 이러한 손실함수를 최소화 시키기 위한 대표적인 방법이 경사하강법 (Gradient Descent) 으로서,  $L(\theta)$ 에 대한 Gradient의 반대 방향으로 학습률 (learning rate)  $\eta$ 만큼 파라미터를 업데이트 하는 과정을 여러 반복과정 (iteration)을 통해 반복하여 최적의 파라미터  $\theta^*$ 를 찾아냄.
- Deep neural network의 손실함수와 같이 복잡한 Non-convex function일수록 Gradient 값은 파라미터 상태에 따라 크게 변하므로, 큰 배치(batch size)를 사용하면 오래 전 Gradient로 부정확한 변수 업데이트를 하게 될 위험이 커지게 되고, 학습률을 크게 가져가지 못하는 원인이 될 수 있음.

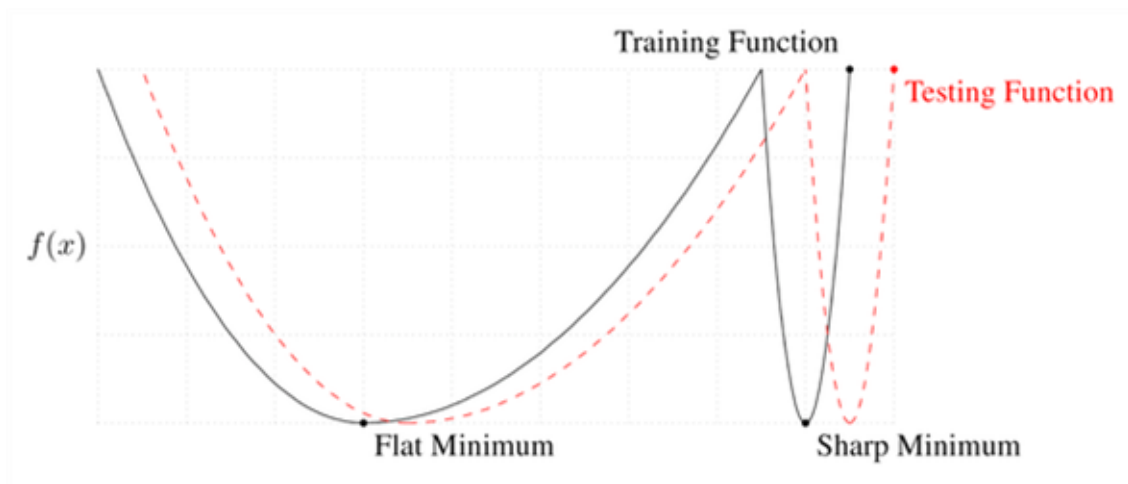


그림 1-18. Flat Minimum과 Sharp Minimum

- 위 같은 문제점을 보완하기 위해 배치의 크기(Batch size)를 이용하게 됨. <그림 1-18>과 같은 손실함수에서의 최적화 문제를 생각해볼 때, Sharp minima는 손실함수의 작은 변화에도 민감하게 반응하기 때문에 Flat minima에 비해 일반화 측면에서 훨씬 불리하다고 볼 수 있음.

## 나. 2차년도 연구수행 내용 및 성과

| 연구목표                                  |                                       | 연구개발 수행 내용                            |  | 연구결과                                                                               |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------|
| 세부 과제명                                | 세부 연구 목표                              | 연구개발 수행 내용                            |  | 연구결과                                                                               |
| 건설근로자 피로도-위험도 기반 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발  | 건설근로자 피로도-위험도 기반 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발  | 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발                   |  | 직업 피로로 인한 직업병 유발 위험 공중 분류 및 인력 모니터링 시스템 개발                                         |
| 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델 구축   | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델 구축   | 생태순간평가를 활용한 건설근로자 피로도-위험도 수치화 및 수준 결정 |  | SOFI 설문지 분석을 통한 건설근로자 피로도 영향요인 규명 및 신뢰도, 타당도 검증                                    |
|                                       |                                       | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 응용 모델 구축         |  | 건설근로자 피로도 측정 척도 결정 및 수치화                                                           |
| 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘 개발 및 검증 | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘 개발 및 검증 | 건설근로자 피로도-위험도 평가 알고리즘 구현              |  | Transformer 기반 신규 멀티모달 시계열 데이터 분석 모델 (Hierarchical Cross Modal Attention Model) 개발 |
|                                       |                                       | 딥러닝 모델 신경망 최적화 및 데이터 간 상관성 고도화        |  | 생태순간평가 데이터 목표값 매칭                                                                  |

### (1) 건설근로자 피로도 영향요인 규명 및 상관관계 정의

#### (가) 건설근로자 대상 SOFI 설문지 분석 결과

: 1차년도에 수행한 SOFI 설문지 220부의 데이터 분석을 통하여 건설근로자의 직업피로 영향요인 도출, 작업 중 일상적 피로도 측정, 신체/정신/신경 감각적 피로 측정 데이터를 수집하였으며, 데이터 분석을 통하여 건설근로자의 대표적인 피로도 영향요인을 규명하고 각 피로 영향요인, 근로자의 인구통계학적 특성 및 건강 관련 특성과의 상관관계를 정의함.

- 데이터 분석 : Windows용 IBM SPSS Statistics version 25.0(IBM, Armonk, NY, USA) 및 IBM SPSS Amos version 23.0(IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하여 분석함. 표본의 특성은 기술통계량을 사용하여 분석하였고. SOFI의 내적 일관성 및 신뢰도는 항목-하위 척도 상관분석(Spearman's correlation coefficients) 및 Cronbach's alpha로, 검사-재검사 신뢰도는 Pearson 상관계수를 사용하여 추정함. 내용 타당도는 전문가 패널들 간의 합의 범위로 계산되었으며, 이는 내용 타당도 지수(CVI)를 구성함. 구성 타당도는 CFA를 통해 검증하였으며, 모델 적합성을 평가하기 위해 몇 가지 지표를 사용함. PCA에서 최소 인자 적재가 0.30을 초과해야 하며 CFA에서 모델 적합성은 CFI, 적합도 지수, NFI, 터커-루이스 지수(TLI > 0.90), 근원 평균 제곱 오차( $0.06 < RMSEA$ )에 의해 평가됨.

#### ① 측정 결과 및 신뢰도와 타당도 검증

- 참여자 특성 : 참여자의 인구통계학적 특성은 <표 2-1>과 같음. 평균 연령은 47.13세( $SD = 11.77$ , 범위 = 23-74세). 대부분 남자고, 결혼 상태이며, 가족과 함께 살고, 적어도 고등학교 교육을 받았음. 건설 현장의 평균 작업 경력은 12.90년( $SD = 9.55$ )이었음. 보통 오전 9시부터 오후 5시까지 하루에 최소 8시간 이상 일하고, 대부분 시간제 근로 형태였음. 참여자 대부분은 사회경제적 지위가 중 이상이라고 보았고, 건강 상태는 보통이라고 보고함.

표 2-1. 참여자 특성 (N = 193)

| 특성                  | M (SD) | n (%)      |
|---------------------|--------|------------|
| 성별                  |        |            |
| 남성                  |        | 163 (84.5) |
| 여성                  |        | 30 (15.5)  |
| 결혼 상태               |        |            |
| 미혼                  |        | 42 (21.8)  |
| 기혼                  |        | 141 (73.1) |
| 이혼 또는 별거            |        | 7 (3.6)    |
| 사별 등                |        | 3 (1.5)    |
| 거주 형태               |        |            |
| 단독 거주               |        | 19 (9.8)   |
| 가족과 함께 거주           |        | 151 (78.2) |
| 가족 외 동거인과 거주        |        | 23 (11.9)  |
| 교육                  |        |            |
| 중학교 졸업 이하           |        | 24 (13.5)  |
| 고등학교 졸업             |        | 71 (36.8)  |
| 대학교 졸업 이상           |        | 96 (49.7)  |
| 하루 근무시간 (시)         |        |            |
| 8시간 이상              |        | 134 (69.4) |
| 8시간 미만              |        | 59 (30.6)  |
| 고용 상태               |        |            |
| 전일제                 |        | 65 (33.7)  |
| 시간제                 |        | 126 (65.3) |
| 교대 근무               |        |            |
| 규칙적 교대(오전 9시~오후 5시) |        | 167 (86.5) |
| 불규칙적 교대(밤근무 포함)     |        | 26 (13.5)  |
| 사회 경제적 상태           |        |            |
| 중상 이상               |        | 27 (14.0)  |
| 중                   |        | 84 (43.5)  |
| 중하 이하               |        | 82 (42.5)  |
| 주관적 건강 상태           |        |            |
| 매우 좋음               |        | 3 (1.6)    |
| 좋음                  |        | 29 (15.0)  |
| 보통                  |        | 117 (60.6) |
| 나쁨                  |        | 42 (21.8)  |

- 신뢰도

- 내적 일관성 신뢰도 : 하위 항목 내의 각 문항은 유사한 수준으로 보고되었으며 결측 데이터가 거의 없었음(즉, 2% 미만, 표 2-2). 전체 SOFI 도구의 Cronbach' s alpha는 첫번째 조사와 두번째 조사에서 각각 0.96이었고, 하위 항목은 첫번째 조사에서 0.86, 두번째 조사에서 0.92였음. 따라서 내적 일관성은 만족스러운 수준임(0.70~0.90; Blunch, 2008).
- 항목 대 하위 척도 신뢰도 : SOFI의 항목은 <표 2-2>에 제시함. 항목 대 하위 척도 분석은 각 항목과 해당 요인 간의 상관관계를 식별하기 위해 수행함. 그 결과 ‘육체적 힘들’은 0.71~0.82, ‘동기부여 부족’은 0.68~0.76, ‘에너지 부족’은 0.68~0.81, ‘신체적 불편함’은 0.75~0.81, ‘졸음’은 0.78~0.74였음. 즉, 각 항목 대 하위 척도의 상관관계가 매우 높다는 것을 의미함.

- 검사-재검사 신뢰도 : 시간 경과에 따른 척도의 안정성을 평가하기 위해 2주 후에 수행하였음 (표 2-2). 초기 검사(시간 1)와 재검사(시간 2) 반응 사이의 상관관계는 전체 척도의 경우 0.82, ‘육체적 힘들’은 0.81, ‘동기부여의 부족’은 0.83, ‘에너지 부족’은 0.82, ‘신체적 불편함’은 0.82 ‘졸음’은 0.82였음. 또한, 2주 관찰에서 5개 하위 항목 각각의 내적 일관성이 확인됨.

표 2-2. 항목 대 하위 척도 상관관계 및 SOFI 20항목 결측값 (N = 193)

| 하위 척도 및 항목 |                   | M (SD)      | 결측값 (%) | 항목-하위척도<br>상관계수 | 검사-재검사<br>신뢰도 | 하위항목<br>Cronbach's<br>alpha |     |
|------------|-------------------|-------------|---------|-----------------|---------------|-----------------------------|-----|
|            |                   |             |         |                 |               | 조사1                         | 조사2 |
| SOFI_총점    |                   |             |         |                 | .82           | .96                         | .96 |
| 육체적        | 힘듦                |             |         |                 | .81           | .86                         | .89 |
| 1          | Palpitations      | 1.38 (1.40) | 0 (0)   | .71             |               |                             |     |
| 7          | Sweaty            | 1.46 (1.50) | 1 (0.5) | .72             |               |                             |     |
| 13         | Out of breath     | 1.42 (1.54) | 1 (0.5) | .82             |               |                             |     |
| 19         | Breathing heavily | 1.27 (1.48) | 0 (0)   | .77             |               |                             |     |
| 동기부여       | 부족                |             |         |                 | .83           | .87                         | .87 |
| 2          | Lack of concern   | 1.72 (1.54) | 1 (0.5) | .73             |               |                             |     |
| 10         | Passive           | 1.99 (1.54) | 2 (1.0) | .76             |               |                             |     |
| 12         | Indifferent       | 2.16 (1.57) | 2 (1.0) | .75             |               |                             |     |
| 20         | Uninterested      | 2.01 (1.57) | 0 (0)   | .68             |               |                             |     |
| 에너지        | 부족                |             |         |                 | .82           | .87                         | .89 |
| 3          | Worn out          | 2.26 (1.64) | 2 (1.0) | .68             |               |                             |     |
| 8          | Spent             | 1.79 (1.51) | 1 (0.5) | .74             |               |                             |     |
| 15         | Drained           | 2.08 (1.62) | 0 (0)   | .81             |               |                             |     |
| 17         | Overworked        | 2.45 (1.68) | 1 (0.5) | .76             |               |                             |     |
| 신체적        | 불편함               |             |         |                 | .82           | .88                         | .90 |
| 4          | Tense muscles     | 2.03 (1.58) | 0 (0)   | .75             |               |                             |     |
| 6          | Numbness          | 1.83 (1.48) | 2 (1.0) | .75             |               |                             |     |
| 11         | Stiff joints      | 1.91 (1.62) | 1 (0.5) | .81             |               |                             |     |
| 18         | Aching            | 1.77 (1.58) | 0 (0)   | .78             |               |                             |     |
| 졸음         |                   |             |         |                 | .82           | .92                         | .92 |
| 5          | Falling asleep    | 2.42 (1.59) | 0 (0)   | .74             |               |                             |     |
| 9          | Drowsy            | 2.40 (1.48) | 2 (1.0) | .80             |               |                             |     |
| 14         | Yawning           | 2.58 (1.56) | 0 (0)   | .81             |               |                             |     |
| 16         | Sleepy            | 2.54 (1.71) | 2 (1.0) | .88             |               |                             |     |

• 타당도

- 내용 타당도 : SOFI 원도구, 한국어판 SOFI, 역번역 된 SOFI의 차이점 등을 조사하여 도구위원회에서 2차례 내용 타당도를 평가함. 한국어판 SOFI의 item-level CVI (I-CVI) 와 scale-level CVI (S-CVI)를 계산한 결과, 예비 연구와 본 연구 SOFI의 CVI는 0.80~1.0까지 다양하게 측정됨. I-CVI는 0.99, S-CVI/UA는 0.95, S-CVI/Ave는 0.99로 만족스러운 결과가 도출됨(Polit 등, 2007). 20개 항목 중 전문가 패널은 예비 연구의 item-7(sweaty)과 본 연구의 item-2(0.80, respectively)에 각각 낮은 점수(관련성)를 부여하였음. 따라서 이 두 항목의 번역을 약간 수정하였지만 삭제되는 항목은 없었음.

표 2-3. 경쟁 모델 간의 모형 적합 지수

| 특성                           | x 2 (df, p)           | NFI  | RFI  | IFI  | TLI  | CFI  | RMSEA (90%CI)        | AIC     |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|----------------------|---------|
| 모델 1 Original model          | 494.068 (148, <0.001) | .866 | .810 | .902 | .859 | .901 | .110 (0.100, 0.121)  | 658.068 |
| 모델 2 Listwise deletion model | 499.574 (148, <0.001) | .858 | .818 | .896 | .864 | .864 | .116 (0.104, 0.127)  | 663.574 |
| 모델 3 Finalized model         | 113.905 (95, 0.091)   | .968 | .935 | .994 | .989 | .994 | .033 (<0.001, 0.054) | 383.905 |

NFI=Normed fit index; RFI=Relative fit index; IFI=Incremental fit index; TLI=Tucker-Lewis index; CFI=Comparative fit index; RMSEA=Root mean square error of approximation; AIC=Akaike information criterion

- 구성 타당도(CFA) : 원도구 연구(Ahsberg, 2000)에서 제시한 가설의 5요인 모델과 한국 건설근로자들로부터 수집한 데이터 사이의 적합성을 조사하기 위해 요인분석을 수행함(그림 2-1). 193명이 응답한 초기 모형 적합 지수(모델 1)는 다음과 같았음:  $\chi^2(148, p < 0.001) = 494.608$ , CFI = 0.901, NFI = 0.866, RFI = 0.810, IFI = 0.902, TLI = 0.859, RMSEA = 0.110, 90% CI: 0.100~0.121. 수정이 필요한 목록을 삭제한 모델 2는 179명의 응답자를 포함하며, 모형 적합 지수에서 큰 차이를 보이지 않음:  $\chi^2(148, p < .001) = 499.574$ , CFI = 0.864, NFI = 0.858, RFI = 0.818, IFI = 0.896, TLI = 0.864, RMSEA = 0.116, 90% CI: 0.104~0.127.
- 동시 타당도 : SOFI, MFS 및 SSF 총점과 하위 항목 점수 사이의 상관 계수는 표 2-4와 같음. 모든 상관관계는 중등도, 양의 상관관계로 나타남(모든  $p < 0.01$ ).

표 2-4. SOFI, MFS, SSF의 총점과 하위척도 간 상관관계 (N = 193)

| Variables    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 SOFI_total | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 2 SOFI_PE    | .847** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3 SOFI_LM    | .916** | .759** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 4 SOFI_LE    | .935** | .726** | .797** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 5 SOFI_PD    | .886** | .756** | .815** | .756** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 6 SOFI_S     | .828** | .521** | .678** | .837** | .589** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |
| 7 MFS_total  | .594** | .382** | .523** | .625** | .487** | .590** | 1      |        |        |        |        |        |        |
| 8 MFS_GF     | .546** | .358** | .501** | .570** | .458** | .511** | .924** | 1      |        |        |        |        |        |
| 9 MFS_DD     | .562** | .352** | .501** | .582** | .446** | .583** | .907** | .749** | 1      |        |        |        |        |
| 10 MFS_SF    | .452** | .283** | .357** | .500** | .369** | .472** | .815** | .617** | .666** | 1      |        |        |        |
| 11 SSF_total | .591** | .484** | .516** | .580** | .492** | .530** | .484** | .423** | .494** | .353** | 1      |        |        |
| 12 SSF_PF    | .615** | .482** | .534** | .587** | .505** | .597** | .516** | .411** | .542** | .423** | .912** | 1      |        |
| 13 SSF_MF    | .529** | .411** | .478** | .534** | .406** | .498** | .444** | .398** | .462** | .300** | .926** | .798** | 1      |
| 14 SSF_NSF   | .486** | .437** | .413** | .478** | .445** | .373** | .377** | .354** | .362** | .257** | .907** | .724** | .748** |

SOFI=Swedish Occupational Fatigue Inventory; PE=Physical exertion; LM, Lack of motivation; LE=Lack of energy; PD=Physical discomfort; S=Sleepiness; MFS=Multidimensional Fatigue Scale; GF=Global fatigue; DD=Daily dysfunctioning; SF=Situational fatigue; SSF=Subjective Symptoms of Fatigue; PF=Physical fatigue; MF=Mental fatigue; NSF=Neuro-sensory fatigue. \*\*  $p < 0.01$

## ② 적용 및 평가

- 연구 결과 한국판 SOFI가 건설근로자들의 업무 관련 피로를 평가할 수 있는 신뢰도 있고 타당한 도구임을 확인함.
- 피로는 개인이 인식하는 물리적, 심리적, 문화적 영향을 크게 받는 개념으로써, 순간 피로 평가는 한국의 문화적 인식을 반영한 표준화된 도구임을 확인함.
- 건설근로자들의 평균적인 교육수준을 고려하여 일부 문항을 수정했으며, 참가자의 이해를 돕기 위한 시각적 아날로그(얼굴 표정) 삽입으로 도구의 기능성을 향상시킴.
- 건설근로자들이 경험하는 순간적인 피로에 대한 문화적 이해를 높이고 작업 환경에서 업무 관련 피로 감소 프로그램을 개발하는 데 기여할 수 있음. 또한 건설근로자들의 피로를 적시에 파악하여 피로와 관련된 건강 문제 및 안전 문제를 해결하는 데 도움이 될 수 있음.
- 추후 병원 치료를 필요로 하는 피로 수준을 확인하여 절단점을 개발한다면, 피로에 대한 전문가들의 조기 개입 및 건설근로자의 피로 관련 사고를 감소시키는 데에 효과적일 것으로 기대함.

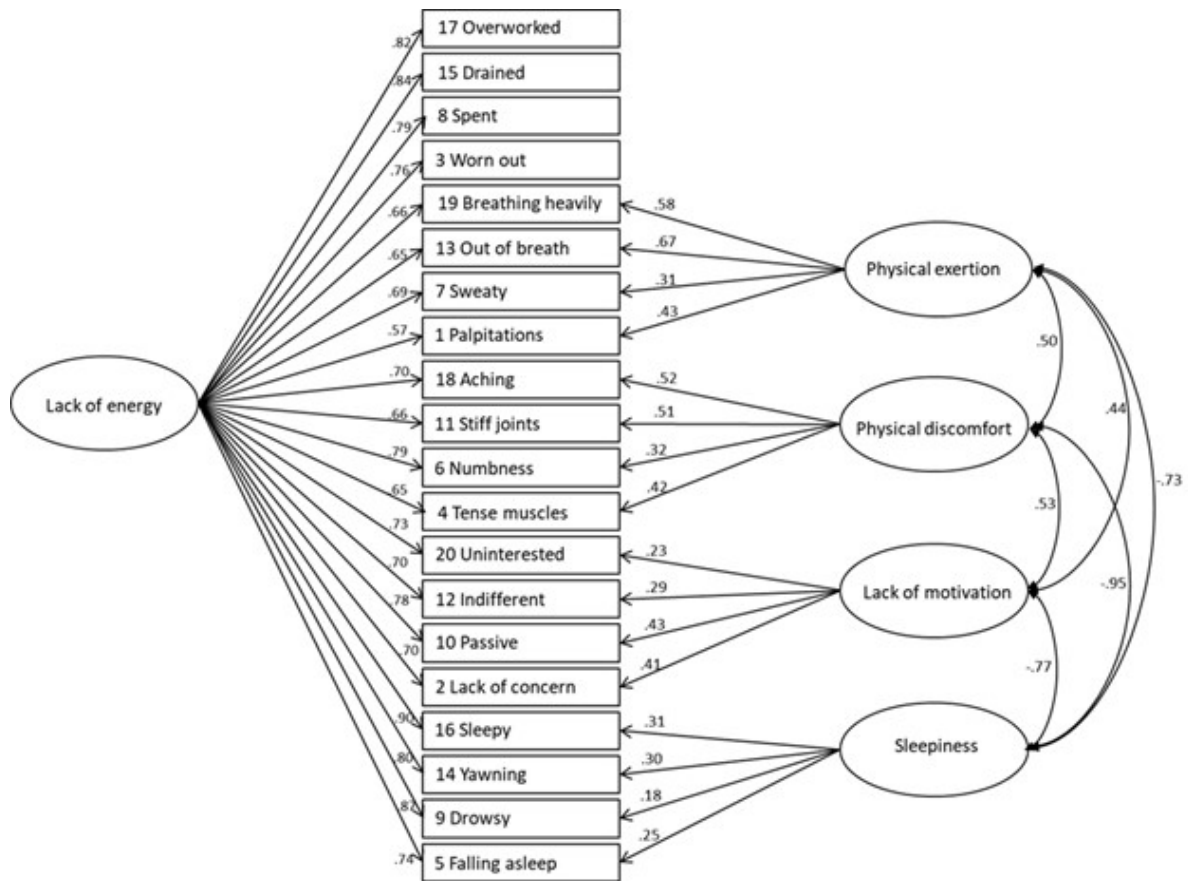


그림 2-1 요인분석 결과

- 건설근로자 대상의 SOFI 설문지 분석 결과, 건설근로자의 작업환경 및 특성에 따른 직업피로의 영향요인 상위 5가지 요인은 다음과 같음.
  - S(Sleepiness) = 졸림
  - PD(Physical discomfort) = 관절이 뻣뻣
  - PE(Physical exertion) = 숨이 참
  - LE(Lack of exertion) = 진이 빠짐
  - LM(Lack of motivation) = 무관심

## (2) 건설근로자 피로도 수치화 및 수준 결정

### (가) 건설근로자 피로도 측정을 위한 수준 결정

#### ● 피로도 측정 척도 결정

: 다각적 피로 측정을 위하여 기본 도구로 활용한 SOFI의 경우 7점 척도(전혀 아니다-대체로 아니다-아니다-보통-그렇다-대체로 그렇다-매우 그렇다)로 측정하도록 설계되어 있음. 본 연구에서는 SOFI pilot test 응답 결과 분포를 분석하여 응답률이 낮은 ‘대체로 그렇다’와 ‘매우 그렇다’인 6점, 7점 두 rating을 제외하였음(그림 2-2).

- ‘매우 그렇다’인 7점의 경우 제시해도 응답률이 5%미만이므로 제거하는 것이 합당하다고 판단하였으며, 6점척도로 피로도를 leveling하기로 결정하였음. 또한 건설근로자의 작업 스케줄에 따라 작업이 대체로 타 산업보다 일찍 종료(오후 4-5시 경)되고 일찍 시작(오전 7시 경)되므로 이를 고려하여 ‘전혀 그렇지 않다’의 의미를 0점으로 측정하고, 기존 SOFI의 7점 척도에서 2-6점에 해당하는 level을 1-5점으로 측정하기로 확정함.

| 겨울 두근거림 |         |         |        |        |
|---------|---------|---------|--------|--------|
| 유형      | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도      | 77      | 39.7    | 29.7   | 39.7   |
| 퍼센트     | 30      | 15.6    | 11.8   | 15.6   |
| 유형      | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 24      | 12.4    | 12.4   | 71.6   |
| 퍼센트     | 44      | 22.7    | 22.7   | 94.3   |
| 유형      | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 8       | 4.1     | 4.1    | 98.5   |
| 퍼센트     | 2       | 1.0     | 1.0    | 99.5   |
| 유형      | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 2       | 1.0     | 1.0    | 99.5   |
| 퍼센트     | 1       | .5      | .5     | 100.0  |
| 전체      | 194     | 100.0   | 100.0  |        |

| 지침  |         |         |        |        |
|-----|---------|---------|--------|--------|
| 유형  | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도  | 39      | 20.1    | 20.3   | 20.3   |
| 퍼센트 | 28      | 14.4    | 14.6   | 34.9   |
| 유형  | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 31      | 16.0    | 16.1   | 51.0   |
| 퍼센트 | 55      | 28.4    | 28.6   | 79.7   |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 21      | 10.8    | 10.9   | 90.6   |
| 퍼센트 | 10      | 5.2     | 5.2    | 95.8   |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 8       | 4.1     | 4.2    | 100.0  |
| 퍼센트 | 192     | 99.0    | 100.0  |        |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 2       | 1.0     |        |        |
| 퍼센트 | 194     | 100.0   |        |        |

| 참에 쓴아침 |         |         |        |        |
|--------|---------|---------|--------|--------|
| 유형     | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도     | 30      | 15.5    | 15.5   | 15.5   |
| 퍼센트    | 31      | 16.0    | 16.0   | 31.4   |
| 유형     | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도     | 33      | 17.0    | 17.0   | 48.5   |
| 퍼센트    | 49      | 24.7    | 24.7   | 73.2   |
| 유형     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도     | 23      | 17.0    | 17.0   | 96.2   |
| 퍼센트    | 14      | 7.2     | 7.2    | 97.4   |
| 유형     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도     | 5       | 2.6     | 2.6    | 100.0  |
| 퍼센트    | 194     | 100.0   | 100.0  |        |

| 무선경향 |         |         |        |        |
|------|---------|---------|--------|--------|
| 유형   | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도   | 62      | 32.0    | 32.1   | 32.1   |
| 퍼센트  | 33      | 17.0    | 17.1   | 49.2   |
| 유형   | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 29      | 14.9    | 15.0   | 64.2   |
| 퍼센트  | 48      | 24.7    | 24.9   | 99.1   |
| 유형   | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 12      | 6.2     | 6.2    | 95.3   |
| 퍼센트  | 7       | 3.6     | 3.6    | 99.0   |
| 유형   | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 2       | 1.0     | 1.0    | 100.0  |
| 퍼센트  | 193     | 99.5    | 100.0  |        |
| 유형   | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 1       | .5      |        |        |
| 퍼센트  | 194     | 100.0   |        |        |

| 근육 당림 |         |         |        |        |
|-------|---------|---------|--------|--------|
| 유형    | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도    | 45      | 23.2    | 23.2   | 23.2   |
| 퍼센트   | 39      | 19.6    | 19.6   | 42.8   |
| 유형    | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도    | 28      | 14.4    | 14.4   | 57.2   |
| 퍼센트   | 50      | 25.8    | 25.8   | 83.0   |
| 유형    | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도    | 23      | 11.9    | 11.9   | 94.8   |
| 퍼센트   | 5       | 2.6     | 2.6    | 97.4   |
| 유형    | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도    | 5       | 2.6     | 2.6    | 100.0  |
| 퍼센트   | 194     | 100.0   | 100.0  |        |

| 감각에 둔해짐 |         |         |        |        |
|---------|---------|---------|--------|--------|
| 유형      | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도      | 50      | 25.8    | 26.0   | 26.0   |
| 퍼센트     | 36      | 18.6    | 18.8   | 44.8   |
| 유형      | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 37      | 19.1    | 19.3   | 64.1   |
| 퍼센트     | 49      | 23.7    | 24.0   | 86.0   |
| 유형      | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 15      | 7.7     | 7.8    | 95.8   |
| 퍼센트     | 6       | 3.1     | 3.1    | 99.0   |
| 유형      | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 2       | 1.0     | 1.0    | 100.0  |
| 퍼센트     | 192     | 99.0    | 100.0  |        |
| 유형      | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 2       | 1.0     |        |        |
| 퍼센트     | 194     | 100.0   |        |        |

| 나른함 |         |         |        |        |
|-----|---------|---------|--------|--------|
| 유형  | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도  | 26      | 13.4    | 13.5   | 13.5   |
| 퍼센트 | 31      | 16.0    | 16.1   | 29.7   |
| 유형  | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 34      | 17.5    | 17.7   | 47.4   |
| 퍼센트 | 58      | 29.9    | 30.2   | 77.6   |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 25      | 12.9    | 13.0   | 90.6   |
| 퍼센트 | 18      | 9.3     | 9.4    | 100.0  |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 192     | 99.0    | 100.0  |        |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 2       | 1.0     |        |        |
| 퍼센트 | 194     | 100.0   |        |        |

| 관절이 뻣뻣함 |         |         |        |        |
|---------|---------|---------|--------|--------|
| 유형      | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도      | 55      | 28.4    | 28.5   | 28.5   |
| 퍼센트     | 33      | 17.0    | 17.1   | 45.6   |
| 유형      | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 28      | 14.4    | 14.5   | 60.1   |
| 퍼센트     | 44      | 22.7    | 22.8   | 82.9   |
| 유형      | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 22      | 11.3    | 11.4   | 94.3   |
| 퍼센트     | 8       | 4.1     | 4.1    | 98.4   |
| 유형      | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 3       | 1.5     | 1.6    | 100.0  |
| 퍼센트     | 193     | 99.5    | 100.0  |        |
| 유형      | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도      | 1       | .5      |        |        |
| 퍼센트     | 194     | 100.0   |        |        |

| 잔이 뻣뻣 |         |         |        |        |
|-------|---------|---------|--------|--------|
| 유형    | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도    | 44      | 22.7    | 22.7   | 22.7   |
| 퍼센트   | 37      | 19.1    | 19.1   | 41.8   |
| 유형    | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도    | 30      | 15.5    | 15.5   | 57.2   |
| 퍼센트   | 46      | 23.7    | 23.7   | 80.9   |
| 유형    | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도    | 20      | 10.3    | 10.3   | 91.2   |
| 퍼센트   | 15      | 7.7     | 7.7    | 99.0   |
| 유형    | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도    | 2       | 1.0     | 1.0    | 100.0  |
| 퍼센트   | 194     | 100.0   | 100.0  |        |

| 소근육염 |         |         |        |        |
|------|---------|---------|--------|--------|
| 유형   | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도   | 51      | 26.3    | 26.6   | 26.6   |
| 퍼센트  | 25      | 12.9    | 13.0   | 39.6   |
| 유형   | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 31      | 16.0    | 16.1   | 55.7   |
| 퍼센트  | 57      | 29.4    | 29.7   | 85.4   |
| 유형   | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 18      | 9.3     | 9.4    | 94.8   |
| 퍼센트  | 9       | 4.6     | 4.7    | 99.5   |
| 유형   | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 1       | .5      | .5     | 100.0  |
| 퍼센트  | 192     | 99.0    | 100.0  |        |
| 유형   | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 2       | 1.0     |        |        |
| 퍼센트  | 194     | 100.0   |        |        |

| 숨이 잘 |         |         |        |        |
|------|---------|---------|--------|--------|
| 유형   | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도   | 83      | 42.8    | 43.0   | 43.0   |
| 퍼센트  | 31      | 16.0    | 16.1   | 59.1   |
| 유형   | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 22      | 11.3    | 11.4   | 70.5   |
| 퍼센트  | 39      | 20.1    | 20.2   | 90.7   |
| 유형   | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 9       | 4.6     | 4.7    | 95.3   |
| 퍼센트  | 9       | 4.6     | 4.7    | 100.0  |
| 유형   | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 193     | 99.5    | 100.0  |        |
| 유형   | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도   | 1       | .5      |        |        |
| 퍼센트  | 194     | 100.0   |        |        |

| 통원  |         |         |        |        |
|-----|---------|---------|--------|--------|
| 유형  | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도  | 30      | 15.5    | 15.6   | 15.6   |
| 퍼센트 | 29      | 14.9    | 15.1   | 30.7   |
| 유형  | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 31      | 16.0    | 16.1   | 46.9   |
| 퍼센트 | 46      | 23.7    | 24.0   | 70.8   |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 28      | 14.4    | 14.6   | 85.4   |
| 퍼센트 | 18      | 9.3     | 9.4    | 94.8   |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 10      | 5.2     | 5.2    | 100.0  |
| 퍼센트 | 192     | 99.0    | 100.0  |        |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 2       | 1.0     |        |        |
| 퍼센트 | 194     | 100.0   |        |        |

| 주변에 관심있음 |         |         |        |        |
|----------|---------|---------|--------|--------|
| 유형       | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도       | 47      | 24.2    | 24.5   | 24.5   |
| 퍼센트      | 23      | 11.9    | 12.0   | 36.5   |
| 유형       | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도       | 22      | 11.3    | 11.5   | 47.9   |
| 퍼센트      | 67      | 34.5    | 34.9   | 82.8   |
| 유형       | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도       | 22      | 11.3    | 11.5   | 94.3   |
| 퍼센트      | 9       | 4.6     | 4.7    | 99.0   |
| 유형       | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도       | 2       | 1.0     | 1.0    | 100.0  |
| 퍼센트      | 192     | 99.0    | 100.0  |        |
| 유형       | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도       | 2       | 1.0     |        |        |
| 퍼센트      | 194     | 100.0   |        |        |

| 하품이 남 |         |         |        |        |
|-------|---------|---------|--------|--------|
| 유형    | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도    | 20      | 10.3    | 10.3   | 10.3   |
| 퍼센트   | 35      | 18.0    | 18.0   | 28.4   |
| 유형    | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도    | 34      | 17.5    | 17.5   | 45.9   |
| 퍼센트   | 50      | 25.8    | 25.8   | 71.6   |
| 유형    | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도    | 32      | 16.5    | 16.5   | 88.1   |
| 퍼센트   | 17      | 8.8     | 8.8    | 96.9   |
| 유형    | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도    | 6       | 3.1     | 3.1    | 100.0  |
| 퍼센트   | 194     | 100.0   | 100.0  |        |

| 과로함 |         |         |        |        |
|-----|---------|---------|--------|--------|
| 유형  | 전혀 아니다  | 대체로 아니다 | 아니다    | 보통     |
| 빈도  | 38      | 19.6    | 19.7   | 19.7   |
| 퍼센트 | 16      | 8.2     | 8.3    | 28.0   |
| 유형  | 그렇다     | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 42      | 21.6    | 21.8   | 49.7   |
| 퍼센트 | 42      | 21.6    | 21.8   | 71.5   |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 30      | 15.5    | 15.5   | 87.0   |
| 퍼센트 | 19      | 9.8     | 9.8    | 96.9   |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 8       | 3.1     | 3.1    | 100.0  |
| 퍼센트 | 193     | 99.5    | 100.0  |        |
| 유형  | 대체로 그렇다 | 매우 그렇다  | 전혀 그렇다 | 전혀 그렇다 |
| 빈도  | 1       | .5      |        |        |
| 퍼센트 | 194     | 100.0   |        |        |

그림 2-2 SOFI 응답 결과 분포 -1

| 잔말이 남 |         |       |        |        |       |
|-------|---------|-------|--------|--------|-------|
|       | 빈도      | 피로도   | 유초 피로도 | 누적 피로도 |       |
| 유초    | 전혀 아니O  | 75    | 30.7   | 30.9   | 38.9  |
|       | 대체로 아니O | 35    | 18.0   | 18.1   | 57.0  |
|       | 아니O     | 30    | 15.5   | 15.5   | 72.5  |
|       | 보통      | 35    | 18.0   | 18.1   | 90.7  |
|       | 그렇O     | 10    | 5.2    | 5.2    | 95.9  |
|       | 대체로 그렇O | 7     | 3.8    | 3.8    | 99.5  |
|       | 완전 그렇O  | 1     | 5      | 5      | 100.0 |
| 전체    | 193     | 100.0 | 100.0  |        |       |
| 평균    | 무응답     | 1     | 5      |        |       |
| 전체    | 194     | 100.0 |        |        |       |

| 종종이 있음 |         |       |        |        |       |
|--------|---------|-------|--------|--------|-------|
|        | 빈도      | 피로도   | 유초 피로도 | 누적 피로도 |       |
| 유초     | 전혀 아니O  | 60    | 30.9   | 30.9   | 30.9  |
|        | 대체로 아니O | 35    | 18.0   | 18.0   | 49.0  |
|        | 아니O     | 30    | 15.5   | 15.5   | 64.4  |
|        | 보통      | 44    | 22.7   | 22.7   | 87.1  |
|        | 그렇O     | 14    | 7.2    | 7.2    | 94.3  |
|        | 대체로 그렇O | 8     | 4.1    | 4.1    | 98.5  |
|        | 완전 그렇O  | 3     | 1.5    | 1.5    | 100.0 |
| 전체     | 194     | 100.0 | 100.0  |        |       |

| 지두함 |         |       |        |        |       |
|-----|---------|-------|--------|--------|-------|
|     | 빈도      | 피로도   | 유초 피로도 | 누적 피로도 |       |
| 유초  | 전혀 아니O  | 45    | 23.2   | 23.2   | 23.2  |
|     | 대체로 아니O | 35    | 18.0   | 18.0   | 41.2  |
|     | 아니O     | 39    | 20.1   | 20.1   | 61.3  |
|     | 보통      | 41    | 21.1   | 21.1   | 82.5  |
|     | 그렇O     | 20    | 10.3   | 10.3   | 92.8  |
|     | 대체로 그렇O | 12    | 6.2    | 6.2    | 99.0  |
|     | 완전 그렇O  | 2     | 1.0    | 1.0    | 100.0 |
| 전체  | 194     | 100.0 | 100.0  |        |       |

| 숨쉬기 힘들 |         |       |        |        |       |
|--------|---------|-------|--------|--------|-------|
|        | 빈도      | 피로도   | 유초 피로도 | 누적 피로도 |       |
| 유초     | 전혀 아니O  | 89    | 45.9   | 45.9   | 45.9  |
|        | 대체로 아니O | 32    | 16.5   | 16.5   | 62.4  |
|        | 아니O     | 20    | 15.5   | 15.5   | 77.8  |
|        | 보통      | 26    | 13.4   | 13.4   | 91.2  |
|        | 그렇O     | 11    | 5.7    | 5.7    | 96.9  |
|        | 대체로 그렇O | 4     | 2.1    | 2.1    | 99.0  |
|        | 완전 그렇O  | 2     | 1.0    | 1.0    | 100.0 |
| 전체     | 194     | 100.0 | 100.0  |        |       |

| 기진맥진함 |         |       |        |        |       |
|-------|---------|-------|--------|--------|-------|
|       | 빈도      | 피로도   | 유초 피로도 | 누적 피로도 |       |
| 유초    | 전혀 아니O  | 61    | 31.4   | 31.4   | 31.4  |
|       | 대체로 아니O | 23    | 11.9   | 11.9   | 43.5  |
|       | 아니O     | 36    | 18.6   | 18.7   | 62.2  |
|       | 보통      | 53    | 27.3   | 27.5   | 89.6  |
|       | 그렇O     | 12    | 6.2    | 6.2    | 95.9  |
|       | 대체로 그렇O | 7     | 3.8    | 3.8    | 99.5  |
|       | 완전 그렇O  | 1     | 5      | 5      | 100.0 |
| 전체    | 193     | 100.0 | 100.0  |        |       |
| 평균    | 무응답     | 1     | 5      |        |       |
| 전체    | 194     | 100.0 |        |        |       |

그림 2-2 SOFI 응답 결과 분포 -2

#### (나) SOFI 기반의 건설근로자 피로도 수치화

##### • 피로도 Level의 의학적 판단기준 결정

: 피로는 신체, 정신, 생체 에너지에 관한 다양한 증상을 포함하고 있기 때문에, 관련 문헌을 통하여 피로도 Level의 의학적 판단기준을 정의하고 안내 동영상상을 통하여 6점 척도에 대한 개인적인 편차가 최소화 되도록 설계함.

- 0점 : 증상이 없어서 아무런 조치가 필요하지 않는 상태
- 1점 : 증상이 아주 가끔 나타나고 미비하여 별다른 조치 없이 자연스레 없어지는 상태
- 2점 : 증상이 가끔 나타나 약간 불편하고, 간단한 조치로 증상이 좋아지는 상태  
(간단한 조치란? 10-20분 간의 휴식, 낮잠, 체조, 물 마시기 등을 포함)
- 3점 : 증상이 자주 나타나며 꽤 불편하여 1,2회 정도의 단기간의 전문가 도움이 필요한 상태  
(전문가의 도움이란? 병의원과 같은 의료기관 및 약국 등을 방문하여 받는 도움)
- 4점 : 장기간의 전문가의 도움이 필요한 상태
- 5점 : 증상이 지속적이고 매우 불편하여 전문가의 도움이 지금 당장 필요한 상태

##### • 건설근로자 피로도 수준 판단을 위한 교육프로그램 제작

: 건설근로자들이 wearable device를 쉽게 조작할 수 있도록 어플리케이션 안내 동영상상을 제작하여 피로도 Level에 대하여 개인편차 없이 피로도 수치 측정이 될 수 있도록 수치화 과정을 거침(그림 2-3).

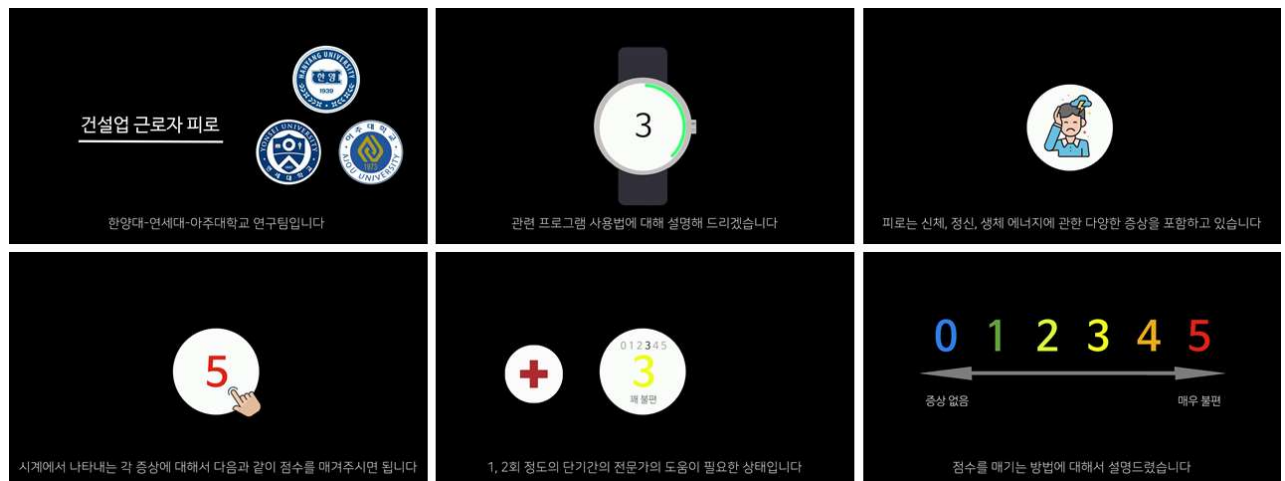


그림 2-3 Wearable device application 안내 동영상

### (3) 건설근로자 피로도 측정 및 생태순간평가를 위한 Wearable device 프로토타입 개선

#### (가) 건설근로자 작업환경 및 특성을 고려한 Wearable device 사용성 개선

: 건설현장의 작업 환경과 건설근로자의 작업 특성을 고려하여 Wearable device 프로토타입의 디벨롭 과정을 거쳤음. 사용편의성 및 어플리케이션 기능 인지 향상을 위하여 UI 디자인을 개선하였으며, 상세 사항은 다음과 같음.

- 프로토타입에 탑재된 어플리케이션의 사용자인 건설근로자 관점에서 사용자 편의를 고려하기 위하여 wearable device 착용 및 작업유형에 따른 최신 기기 사용 빈도 등에 관한 사전 설문조사를 실시함.

##### ① 설문 개요

: 안산그랑시티자이 현장에서 작업하는 내국인 근로자를 대상으로 진행되었으며, 기간은 2020-01-06 ~ 2020-01-17 / 5일간, 총 108명이 설문에 응답하였음.

##### ② 설문 항목

: 설문지 내 항목은 다음과 같으며, 설문지는 <그림 2-4>와 같이 제작하였음.

- 담당업무(세부공종 포함)
- 경력
- 작업 중 시계 착용 여부
- 웨어러블 장비 착용 여부
- 작업 중 스마트폰 소지 여부
- 스마트폰 사용 빈도
- 생활패턴
- 근무시간 및 휴식시간
- 작업 난이도

#### 설문지

NO.

안녕하세요?

먼저 바쁘신 가운데 귀중한 시간을 내어 본 설문에 참여해주셔서 감사를 드립니다.

본 연구는 "건설근로자 사고예방을 위한 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천기술 개발"을 목적으로 진행되고 있으며, 본 설문지는 건설근로자 대상의 Wearable Device(스마트워치) 착용에 대한 사전 조사를 위하여 작성되었습니다. 따라서 본 설문에 대한 귀하의 정확하고 성의 있는 응답결과는 연구를 위하여 매우 귀중하게 사용될 예정이며, 아울러 본 설문에 대한 응답내용은 학술연구를 위한 기초자료만 사용될 것을 약속드립니다.

설문에 참여해 주셔서 매우 감사드리며, 직장의 무궁한 발전과 귀하의 건승을 전심으로 기원합니다. 감사합니다.

한양대학교 건축공학과

• 연구자 성명 : 권나현

• 연구자 주소 : 경기도 안산시 상록구 한양대학교 55 한양대학교 제2공학관 532호

• 연구자 전화번호 : 031)436-8182, 010-7392-9933

• 연구자 메일 : nhkwon@hanyang.ac.kr

설문에 대하여 궁금하신 사항이 있을 시 언제든지 전화, 메일을 주시면 성실히 답변해드리도록 하겠습니다.

#### Wearable Device(스마트워치) 착용에 대한 사전 설문조사

1. 귀하의 담당 업무는 어떠한 업무입니까? (해당하는 세부공종에 ○표시를 부탁드립니다.)

- ① 토목 (가시설, 장비)      ② 골조 (목수, 철근, 콘크리트, 비계)      ③ 습식 (조식, 방수, 미장, 타일, 석공)  
④ 마감 (도배, 도장, 타일, 창호, 금속, 목공사)      ⑤ 설비 (전기, 배관)      ⑥ 비기능공(일반)

2. 귀하의 건설현장 총 경력은 얼마나 되십니까? ( ) 년 ( ) 개월

3. 귀하는 작업 중 시계를 착용하십니까?

- ① 전혀 착용하지 않음.      ② 때때로 착용함.      ③ 매일 착용함.

4. 귀하는 업무 중 블루투스 이어폰, 무선 이어폰, 스마트워치 등 웨어러블 장비를 착용하십니까?

- ① 전혀 착용하지 않음.      ② 때때로 착용함.      ③ 매일 착용함.

5. 귀하는 작업 중 스마트폰을 지니고 계십니까?

- ① 그렇다(지니고 있음)      ② 아니다(지니고 있지 않음)

6. 귀하의 작업시간 중, 스마트폰의 사용 빈도는 어떠합니까?

- ① 거의 사용하지 않음.      ② 휴식(식사)시간에만 사용함.  
③ 주기적으로 확인함.      ④ 연하이 올 때마다 확인함.

7. 귀하의 평소 생활패턴은 규칙적인 편입니까?

- ① 전혀 규칙적이지 않음.      ② 대체로 규칙적임.      ③ 매우 규칙적임.

8. 귀하의 근무시간 및 휴식시간은 규칙적인 편입니까?

- ① 전혀 규칙적이지 않음.      ② 대체로 규칙적임.      ③ 매우 규칙적임.  
(매일 작업 상황에 따라 다름)      (때때로 달라지지만 규칙적임)      (매일 같은 일정임)

9. 귀하가 느끼는 업무(직업)의 난이도는 어느 정도 인가요?

- ① 매우 힘들다      ② 조금 힘들다      ③ 보통이다      ④ 편하다      ⑤ 매우 편하다

♥ 설문에 응해 주셔서 전심으로 감사를 드립니다. ♥

그림 2-4. 프로토타입 개선을 위한 건설근로자 대상의 설문지

### ③ 설문 결과

- 실험 참여에 적합한 공종을 선택하기 위하여 실시한 공종 관련 설문에서는 타일, 석공 등과 같은 습식 공종과 도장, 창호, 미장 등과 같은 마감 공종 그리고 배관, 전기와 같은 설비 관련 공종이 건설 현장 내 가장 많은 수의 근로자가 작업함을 알 수 있었음. 또한 작업의 종류가 일정치 않은 비기능공이나, 시계착용이 불가능한 비계, 골조 작업자는 실험 참여 및 데이터 획득이 어려움을 확인함(그림 2-5).
- 경력에 관련한 사항에서는 배관/전기 설비, 골조와 같은 일정 수준의 경력을 필요로 하는 공종에서는 대부분 경력이 10년 이상으로 나타났지만, 창호, 타일, 석공과 같은 습식, 마감 공종에서는 대부분 10년 이하의 경력을 가지고 있는 것을 확인함(그림 2-6).
- 작업 중 시계 착용여부에 관한 문항에서는 71.3%에 해당하는 작업자가 작업 시 시계를 전혀 착용하지 않는다고 응답하였으며, 이에 사용성 개선을 위한 방안 마련이 필요함을 도출함(그림 2-7).
- 블루투스 이어폰, 무선 이어폰, 스마트 워치를 포함한 웨어러블 장비에 대한 착용 여부에 관한 문항에서는 69.4%에 해당하는 근로자가 착용하지 않는다고 응답하였으며, 웨어러블 장비에 대한 친숙도 및 사용빈도가 매우 낮은 것으로 확인됨(그림 2-8).
- 작업 중 스마트폰 소지 여부에 관한 문항에서는 90.7%에 해당하는 근로자가 스마트폰을 소지하고 작업을 진행한다고 응답하였으며, 이는 작업 중 소통에 스마트폰을 필요로 함이라고 응답함(그림 2-9).
- 작업 중 스마트폰 사용 빈도에 관한 문항에서는 업무 관련 통화를 제외하고 대부분이 휴식시간에만 사용한다고 응답함(그림 2-10).
- 평소 생활패턴에 관한 문항에서는 건설현장 특성에 따라 97.2%의 근로자가 규칙적이라고 응답함(그림 2-11).
- 근무 난이도에 대한 문항에서는 작업 경력에 따라 작업 난이도를 다르게 응답하였음. 경력이 10년차 이상인 경우 대부분이 ‘괜찮다’고 응답하였으며, ‘조금힘들다’ 또는 ‘매우힘들다’를 응답한 근로자의 대부분이 5년차 이하이거나, 비계/배관/장비 등의 고난이도 작업을 하는 근로자였음(그림 2-12).

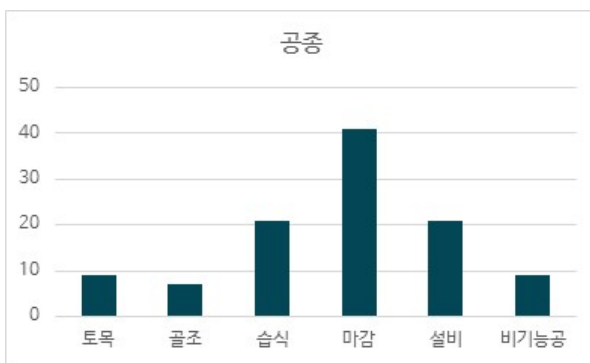


그림 2-5 설문지 결과 - 공종

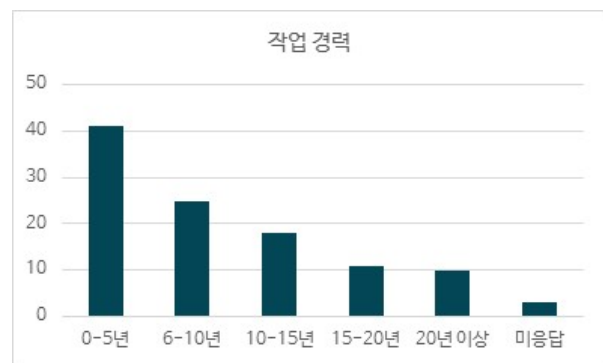


그림 2-6 설문지 결과 - 작업경력

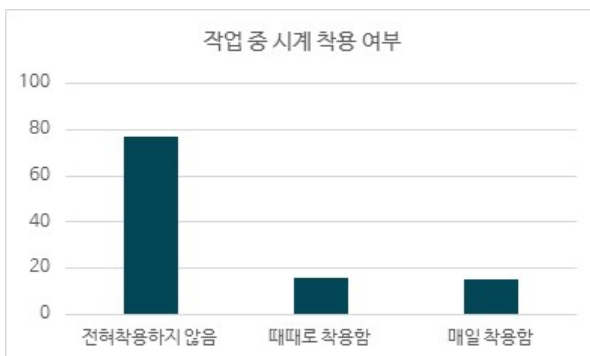


그림 2-7 설문지 결과 - 작업 중 시계 착용 여부

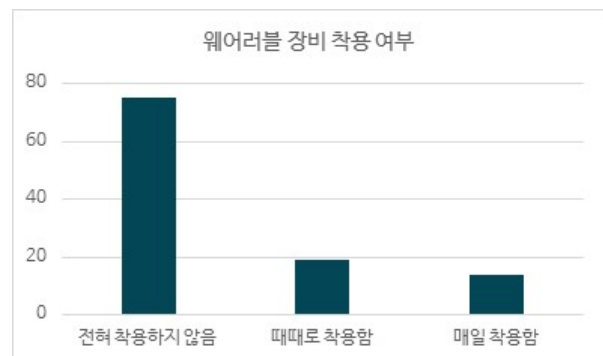


그림 2-8 설문지 결과 - 웨어러블 장비 착용 여부

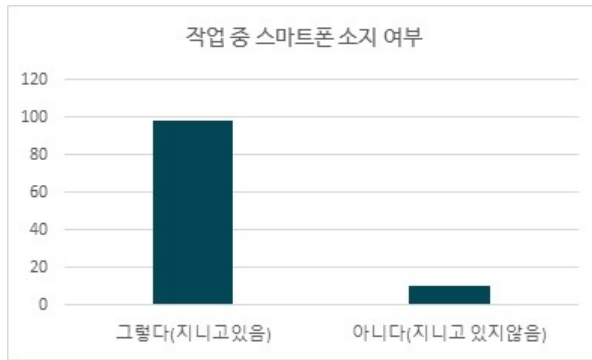


그림 2-9 설문지 결과 - 작업 중 스마트폰 소지 여부

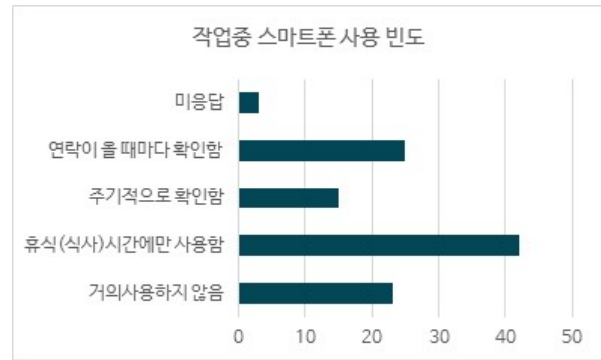


그림 2-10 설문지 결과 - 작업 중 스마트폰 사용 빈도

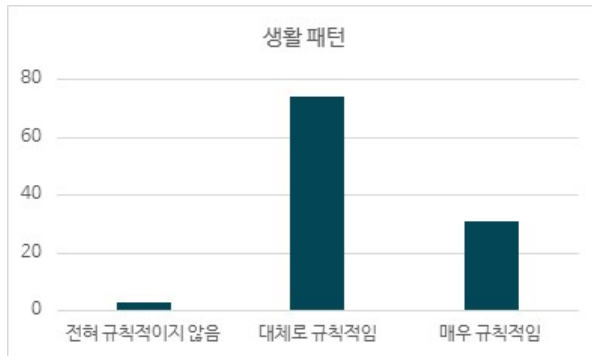


그림 2-11 설문지 결과 - 생활 패턴



그림 2-12 설문지 결과 - 작업 난이도

- 건설근로자 설문 결과에 따라 프로토타입의 사용편의성 개선을 위하여 다음과 같은 개선 필요 항목을 도출하고, 개선 방안을 모색하였음.

- ① 취소버튼 : 취소버튼 삽입 결정 - 사용자가 잘못 터치했을 경우에 대응가능하며, 취소버튼 클릭 이전의 입력은 저장되지 않고, 취소버튼 이후 정상입력 기록만 로그파일에 저장되도록 구현
- ② 입력 알림 기능 : 사용자가 터치를 하여 피로도&작업이 입력되었을 때, 입력되었음을 사용자가 확실하게 인지할 수 있도록 → 터치 시 화면전체에 터치한 내용에 대한 팝업화면이 뜨도록 구현 (팝업 화면은 3초간 화면 전체에 내용 표시된 후 다시 앱 기본화면으로 전환됨)  
→ EX) 버튼이 화면 전체에 팝업, 버튼에 불이 들어옴, 버튼 색 변함, 버튼 자체의 모양 변함 등
- ③ App 통합 : 피로도 체크 App과 작업 기록 App을 하나의 App으로 통합하여 “swipe” 하여 두 가지의 입력 화면을 전환하도록 수정 예정  
→ 각 App에 대한 로그파일은 각각 저장될 예정이나, 생태순간평가 App까지 하나로 통합 시 로그파일에 태그를 달아서 각 App에 대한 기록을 구분하여 후처리 가능하도록 구현할 예정
- ④ 버튼 최소화 : 작업 기록 App에서 기존 버튼 6개(작업시작, 작업종료, 휴식, 식사, 낮잠, 수면)에서 사용자의 App 사용에 불편한 요소 제거를 위하여 버튼 3개(작업시작, 휴식, 수면)로 최소화 하여 입력을 간편화 하도록 디자인 수정

[수면 버튼을 낮잠 시에도 누르도록 안내하여 낮 시간대의 수면버튼 기록은 낮잠으로 간주함]

- ⑤ 음성 인식 기능 추가 : 버튼을 누르는 것이 작업의 위험요소가 되거나, 방해요소가 될 수 있는 위험공종(가설공사, 비계공사 등)의 실험자들을 고려하여 음성인식 기능을 추가하여 로그파일에 기록 될 수 있도록 하는 기능 추가 예정
- ⑥ 버튼 시각화 고려 : 터치 버튼을 기존의 글로 안내(작업시작, 휴식, 수면)에서 직관적으로 구분 가능한 이모티콘이나 그림 등의 시각화 된 아이콘으로 변경하는 방안에 대한 논의 필요

- 도출한 개선 필요 항목을 토대로 wearable device 사용성에 관한 2차 심층 인터뷰를 각 공종(토목, 골조, 습식, 마감, 설비)에서 1-2명 씩 총 11인의 근로자를 대상으로 프로토타입 개선 방향을 검증하였으며 결과는 다음과 같음.

- ① 취소버튼 : 버튼 개수가 많아짐에 따라 혼란을 줄 수 있으므로 삭제 결정
  - ② 입력 알림 기능 : 입력을 확실하게 인지할 수 있도록 화면에 입력 완료 표시 및 진동을 통하여 물리적 알람까지 추가하기로 결정
  - ③ App 통합 : 어플리케이션은 기록 빈도에 따라 빈도와 시점이 같은 어플리케이션인 작업기록과 생태순간평가 App은 통합하기로 결정
  - ④ 버튼 최소화 : 최소화하여 혼동 없이 쉽게 작업을 기록할 수 있도록 하였으며, 체크 빈도가 높은 피로도 체크의 경우 작업장갑 착용 및 공사장 먼지로 인하여 터치에 어려움이 있어 터치가 아닌 wearable device에 장착된 물리버튼을 이용하여 기록할 수 있도록 수정하기로 결정
  - ⑤ 음성 인식 기능 추가 : 건설현장 작업 환경 특성 상, 건설 장비 및 관련 작업 소음으로 인하여 음성 녹음 및 인식이 어려울 것으로 판단되어 삭제하기로 결정
  - ⑥ 버튼 시각화 고려 : 건설현장 내 많은 비산먼지로 인하여 wearable device 사용 시 작업자들이 직관적으로 판단할 수 있도록 글과 시각화 아이콘을 함께 배치하여 가독성을 높하기로 결정
- 추가적으로 피로도 체크와 생태순간평가 측정 빈도 결정을 위하여 인터뷰를 진행하였으며 결과는 다음과 같음.
    - 대부분 작업 시간 중 반복 작업 및 작업에 대한 집중으로 인하여 피로도에 대하여 자각할 여유가 없어 주로 식사/휴식 시간, 작업 종료 직후, 잠들기 직전에 피로를 자각하며 높은 피로도를 느낀다고 대답함.
    - 피로도의 range와 관련된 질문에서는 숙면 이후 오전 작업과 작업 종료 후의 피로도 상태는 매우 큰 차이가 있음을 느낄 수 있으며, 전날 작업의 강도가 다음 날의 작업 시작 시 피로도에 영향을 미친다고 대답함.
  - 인터뷰 결과, 피로도의 변화는 개개인마다 다르지만, 대부분 피로를 자각하고 답변할 수 있는 시간의 패턴은 일정한 것으로 나타남. 이에 따라 피로도 체크는 한 시간에 한번 정기 측정 하는 것이 적합하다고 판단하였으며, 구체적으로 다각적 피로를 측정하는 생태순간평가는 피로를 자각하여 심층적으로 응답할 수 있는 작업시작시점/점심시간/휴식시간/작업종료시점을 포함하여 하루에 4-6회 정도 측정하는 방식이 적합할 것으로 판단함.
  - 또한 사용자의 usability 향상을 위하여 어플리케이션의 UX 디자인을 변경하였으며, 변경 시 설문과 심층 인터뷰에서 도출한 프로토타입 개선 항목을 반영하여 입력 방법과 UI 디자인을 구체화 하였음. 이에 건설근로자 맞춤형 어플리케이션 편의성 증대 및 기능 인지 향상을 위한 UX 디자인 변경을 완료하고 어플리케이션 사용 시나리오를 다음 <그림 2-13>과 <그림 2-14>와 같이 구성함.



그림 2-13. 어플리케이션 사용 시나리오 -1

## | 사용자 시나리오

[illegible]

## Information Architecture



| Prototype video



(나) 생태순간평가 응용모델을 위한 생태순간평가 App 탑재

국외에서 테스트를 거친 이후 스웨덴을 비롯한 유럽에서 피로의 측정 도구로 활발하게 활용되어지고 있는 SOFI(The Swedish Occupational Fatigue Inventory)를 다각적 피로 측정 도구로 활용함. SOFI pilot test를 통하여 피로의 측정 factor를 검증하고, ‘here(작업장)’, ‘now(현재/순간)’의 직업 피로를 측정하기에 적합한 도구임을 확인함.

한신공영 ‘화성 동탄(2) A4-1 블록 14공구’ 현장의 내국인 건설근로자 220명이 SOFI pilot test에 참여하였으며, 설문은 피로의 다각적 측정 및 응답의 신뢰성 검증을 위해 작업경력 및 나이와 같은 기본 정보를 제외한 직업 피로 측정 부분의 동일한 설문을 2주 간격으로 실시함.

- 44 -

## SOFI\_2 EFA

S= sleepiness  
LE=lack of energy  
LM=lack of motivation  
PD=physical discomfort  
PE=physical exertion

|    |          | 회전된 성분행렬 <sup>a</sup> |                           |                      |         |         |
|----|----------|-----------------------|---------------------------|----------------------|---------|---------|
|    |          | S+LE<br>1             | PD+LE<br>+LM <sup>2</sup> | PE <sup>3</sup><br>3 | LM<br>4 | LM<br>5 |
| S  | 졸림       | .916                  |                           |                      |         |         |
| S  | 하루가 낡    | .847                  |                           |                      |         |         |
| LE | 과로함      | .814                  |                           | .304                 |         |         |
| S  | 나른함      | .781                  |                           |                      |         |         |
| S  | 잠이 쏟아짐   | .718                  |                           |                      | .459    |         |
| LE | 진이 빠짐    | .695                  | .364                      | .387                 |         |         |
| PD | 관절이 뻣뻣함  |                       | .856                      |                      |         |         |
| PD | 통증이 있음   |                       | .729                      | .433                 |         |         |
| PD | 근육 당김    |                       | .687                      |                      | .448    |         |
| PD | 팔꿈치 둔해짐  | .360                  | .611                      |                      | .336    |         |
| LM | 소극적임     | .330                  | .554                      | .309                 |         | .431    |
| LE | 기진맥진함    | .446                  | .477                      | .411                 |         |         |
| PE | 숨쉬기 힘들   |                       |                           | .797                 |         |         |
| PE | 숨이 참     |                       | .346                      | .784                 |         |         |
| PE | 가슴 두근거림  |                       |                           | .693                 | .517    |         |
| PE | 진물이 낡    |                       | .474                      | .591                 |         |         |
| LM | 무심결함     |                       | .394                      | .337                 | .637    | .334    |
| LM | 지침       | .558                  |                           |                      | .623    |         |
| LM | 지루함      | .386                  |                           | .477                 |         | .645    |
| LM | 주변에 관심없음 |                       | .488                      |                      | .343    | .580    |

추출 방법: 주성분 분석.  
회전 방법: 카이저-메이어-올리크가 있는 벡터역스.<sup>a</sup>  
a. 9 번째 계산에서 요인회전이 수렴되었습니다.

그림 2-15. SOFI 탐색적 요인분석 결과

- 탐색적 요인 분석 결과 5가지 요인이 도출되었으며, 요인은 다음과 같음.

S(Sleepiness) = 졸림

PD(Physical discomfort) = 관절이 뻣뻣

PE(Physical exertion) = 숨이 참

LE(Lack of energy) = 기진맥진함

LM(Lack of motivation) = 무관심

### ② 생태순간평가 피로도 측정 항목 최종 결정

: 생태순간평가 피로도 측정 항목 결정은 실험 대상인 건설근로자의 응답 결과에 기반하여 건설 근로에 가장 영향이 깊은 요인을 선정함. 우선 SOFI 기본 도구 개발자의 도구 검증을 따라서 5가지 영역의 가장 설명력이 높은 증상을 추출하였으며, 확인적 요인 분석(Confirmatory Factor Analysis)을 실시하여 EFA 결과와 비교 분석하여 최종 항목을 결정함(그림 2-16). 대부분의 결과가 EFA와 CFA가 일치하였으나, 'lack of motivation' 과 'physical exertion' 의 경우 CFA의 결과를 기준으로 선정하였음. 선정한 결과는 다음과 같음.

- S(Sleepiness) = 졸림
- PD(Physical discomfort) = 관절이 뻣뻣
- PE(Physical exertion) = 숨이 참
- LE(Lack of exertion) = 진이 빠짐
- LM(Lack of motivation) = 무관심

- 또한, 생태순간평가를 활용하여 피로도를 측정하고자 할 때, 사용자 관점에서 편의성을 위하여 항목을 문답식으로 작성하여 다음과 같이 최종적으로 확정함.

- S(Sleepiness) = 얼마나 졸리십니까?
- PD(Physical discomfort) = 얼마나 관절이 뻣뻣하십니까?
- PE(Physical exertion) = 얼마나 숨이 차십니까?
- LE(Lack of exertion) = 얼마나 진이 빠지십니까?
- LM(Lack of motivation) = 얼마나 주변에 무관심하십니까?

## SOFI\_2 CFA

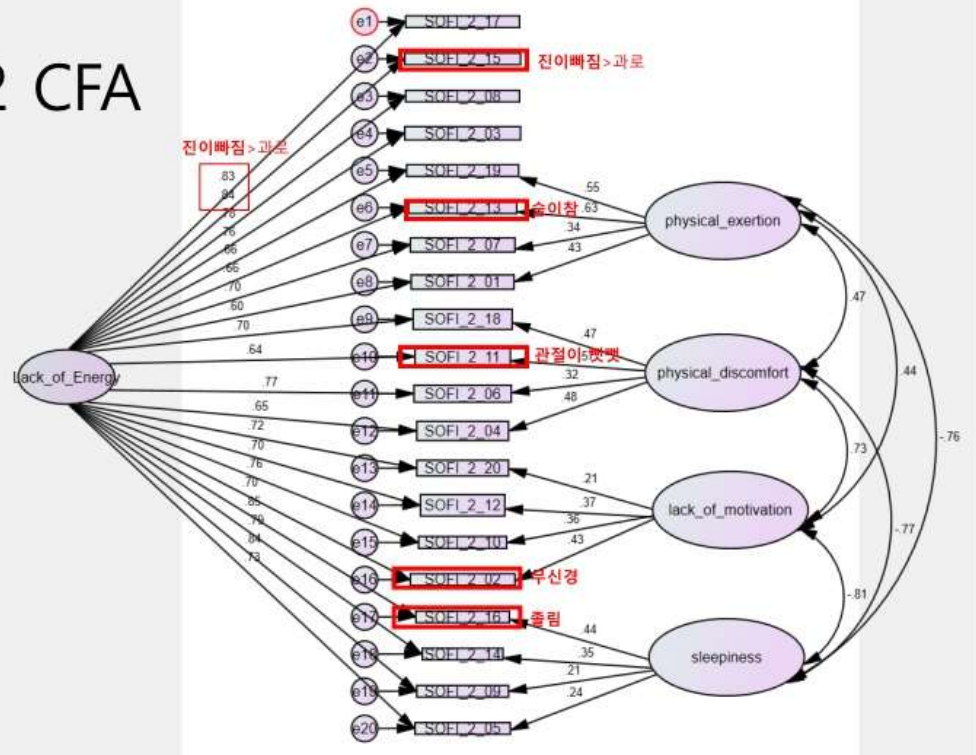


그림 2-16. SOFI 확인적 요인분석 결과

### • 생태순간평가 응용모델 구축을 위한 생태순간평가 App 제작

#### ① Application 개발 정보

: 본 연구를 통해 개발된 애플리케이션은 smart watch에 탑재 가능한 애플리케이션으로 건설근로자의 피로도를 산출하고 건강상태를 예측함으로써 건설근로자 중심의 안전사고 예방을 위한 주관적 데이터 수집을 위해 개발되었음. 주관적 피로 측정 도구인 SOFI(the Swedish Occupational Fatigue Inventory)를 기반으로 한 설문 입력으로 생태순간평가 기반의 피로도 측정이 가능하도록 개발하였음(그림 2-17).

#### ② 세부 구성 기술

: 애플리케이션 동작 원리는 다음과 같음.

- ㉠ 앱 실행 시 먼저 근로자의 작업 상태를 기록할 수 있는 화면이 나타남.
- ㉡ 작업을 기록한 후에는 생태순간평가 기반의 피로도 측정을 위한 설문 문항 5가지가 차례로 나타남.
- ㉢ 입력 및 기록은 스와이프(swipe)를 통해 화면을 움직일 수 있으며 원하는 지점에 2-3초간 대기하여 기록하게 됨.
- ㉣ 기록된 데이터에 대하여 해당 날짜와 이름으로 로그 파일을 생성하여 파일 입·출력을 통해 로그를 기록하는 방식으로 동작.
- ㉤ 해당 날짜에 여러번 입력할 시에는 같은 파일에 Append하여 로그를 기록하므로 <그림 2-19>와 같이 하루에 1개의 로그파일만 작성됨.
- ㉥ 로그파일에 기록시간은 Event Date로, 응답 내용은 Event로 기록되며 작업 유형(work type)에 대한 기록은 작업(work), 휴식(rest), 수면(sleep) 세 가지로 구성되어 있고 생태순간평가 각 설문 문항(Q1~Q5)에 대하여는 0~5점으로 기록됨.



그림 2-17 Wearable Device에 탑재할 생태순간평가 Application 제작

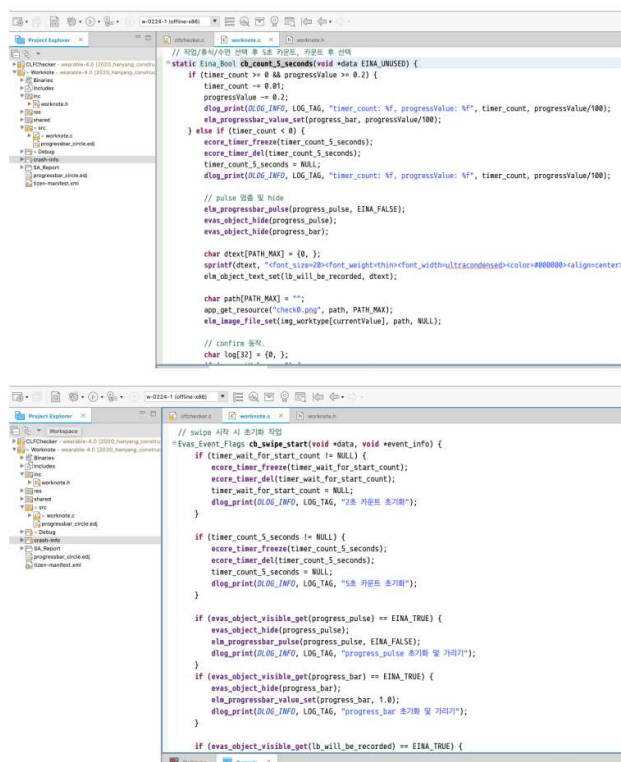


그림 2-18 생태순간평가 애플리케이션 소스코드

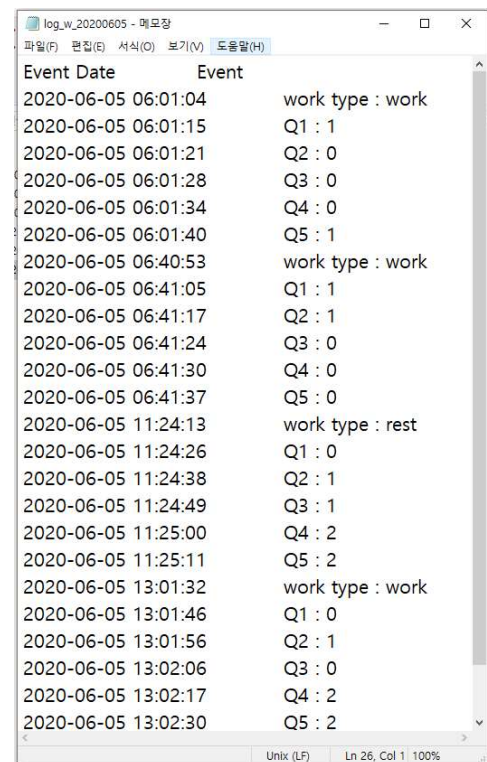


그림 2-19 생태순간평가 로그 데이터 예시

#### (4) 건설현장 실험을 통한 자료수집 및 딥러닝 알고리즘 구현을 위한 Big data 구축

##### (가) 건설현장 건설근로자 피로도 측정 실험 설계

###### • 피로도 및 생태순간평가 측정 빈도(term) 결정

: 피로도는 주관적인 개념이므로 피로도에 대한 입력은 자가보고로 측정하는 것이 적합하다고 판단하였으며, 건설근로자의 피로도 측정을 위하여 자체 제작한 어플리케이션을 통하여 ①피로도 체크와 ②생태순간평가활용 직업 피로 측정 두 가지로 나누어 피로도 측정을 완료함.

###### ① 피로도 체크(그림 2-20)

- 작업시간 내 1시간에 한번 씩 체크(정기측정) + 피로도 자각 시 체크(자율측정)

###### ② 생태순간평가(그림 2-21)

- 작업시간 내 작업의 변동이 있을 시 + 수면 데이터 측정을 위한 수면 직전

→ 작업기록 App과 통합하여 작업기록 및 생태순간평가를 함께 진행하도록 설계

##### [ 피로도 측정 플로우 ]



그림 2-20 피로도 측정 플로우

##### [ 작업기록 변경 플로우 ]

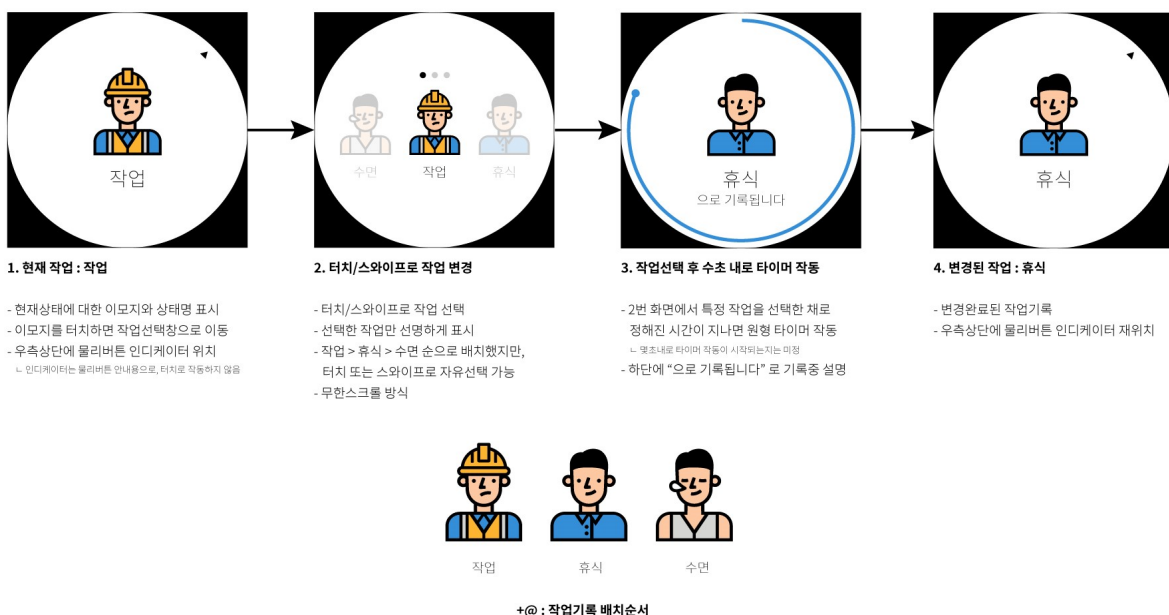


그림 2-21 작업기록 변경 플로우

## ● 실험 기간 결정

: 실험은 장비 셋팅 및 장비 착용 적응 기간 1일, 실험 데이터 실 수집기간 3일, 장비수거 및 데이터 로스 방지를 위한 여유기간 1일로 총 5일을 실험 기간으로 결정하였으며, 실험 추진 일정(예시)는 다음 <표 2-5>와 같음.

표 2-5. 실험 추진 일정(예시)

| 소요일<br>(일) | 실험 상세 내용           | 실험 추진 일정(예시) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------|--------------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|            |                    | 월            | 화 | 수 | 목 | 금 | 토 | 일 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 |
| 1          | 실험 장비 셋팅 및 장비 적응기간 |              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3          | 실험 데이터 수집기간        |              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 0.5        | 실험 장비 수거           |              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

## ● 실험 안내서 제작

: 피로도 측정에 참여하는 건설근로자의 이해를 돕기 위하여 실험 개요(목적, 실험 참여 동의에 관한 사항), 실험 시 주의사항, 실험 참여 방법 설명 등 실험에 대한 전반적 안내 내용을 담은 안내서를 제작하여, 다음 <그림 2-22>과 같이 리플렛 형태로 배포, 및 실험 교육에 대한 도구로 사용하여, 실험에 대한 참여도를 증진시킴.



그림 2-22 실험 안내서

## (나) 건설현장 건설근로자 피로도 측정 실험 자료 수집

### ● 현장 실험 진행 일정

: 총 5차에 걸친 건설 현장 데이터 수집을 진행하였으며, 총 94명의 근로자 피로도 데이터를 수집 완료하였음. 1-5차 데이터 수집 일정은 다음과 같으며, 일정은 셋팅 및 기기적응 기간을 제외한 분석에 사용될 데이터 실 수집기간을 의미함.

#### ① 1차 : 원주 포스코 현장(31명)

- 수집일정 : 20.07.29 오전 7시 작업 시작 ~ 20.07.31 오후 4시 작업 종료
- 작업유형 : 기계/설비(12명), 전기/배선(19명)

#### ② 2차 : 양지 포스코 현장(12명) / 20.09.22-24

- 수집일정 : 20.09.22 오후 1시 작업 시작 ~ 20.09.24 오후 4시 작업 종료
- 작업유형 : 시설(3명), 건축직영(4명), 굴삭기(2명), 형틀(1명), PC(2명), 전기/배선(1명)

#### ③ 3차 : 검단 금호 현장(21명) / 20.10.21-23

- 수집일정 : 20.10.21 오전 7시 작업 시작 ~ 20.10.23 오후 4시 작업 종료
- 작업유형 : 토목(3명), 가구(5명), 마루(1명), 도배(4명), 공사관리(4명), 조경(3명), 내장(2명)

④ 4차 : 검단 한신 현장(17명) / 20.11.03-05

- 수집일정 : 20.11.03 오전 7시 작업 시작 ~ 20.11.05 오후 4시 작업 종료
- 작업유형 : 안전관리(2명), 전기(1명), 소방전기(2명), 설비(1명), 미장(1명), 지게차(1명), 일반공사(6명), 안전감시단(2명)

⑤ 5차 : 판교 제일 현장(11명) / 20.11.16-18

- 수집일정 : 20.11.16 오전 7시 작업 시작 ~ 20.11.18 오후 4시 작업 종료
- 작업유형 : 안전관리(4명), 형틀(3명), 일반공사(2명), 설비(1명), 소방(1명)

● 현장 실험 상세

① 실험 참여 자격 요건

- 내국인 근로자
- 갤럭시 S7 이상 버전 안드로이드 체제 휴대폰 사용자
- 본 현장에 2주 이상 연속 근로자

② 실험 항목

■ 피로도 자가 체크

- # 입력 시간 : 한 시간에 한번 위치에서 진동알람이 울리면 입력
- # 입력 방법 : 위치 오른쪽 상단 물리버튼을 이용하여 점수(0-5)에 해당하는 숫자만큼 버튼을 눌러 입력하며, 다음 입력 시에 변화가 없으면 3초 후 자동입력

■ 작업 기록

- # 입력 시간 : 작업이 바뀔 때 입력(작업시작, 휴식/수면, 작업종료)
- # 입력 방법 : 스마트 워치 내의 앱 클릭 후 화면 터치

■ 생태순간평가 (생태-행동-심리적 피로 측정을 위한 평가도구)

- # 생태순간평가 설문 항목 : 졸림, 관절이 뻣뻣함, 숨이 참, 진이 빠짐, 무관심 에 대한 5점 척도 평가
- # 입력 시간 : 작업 기록과 함께 이어서 입력
- # 입력 방법 : 작업 기록 변경 후 이어서 동일 App에서 화면 터치

■ 센서 획득 데이터

- # 심박(HRM)
- # 가속도계(ACC)
- # 각속도계(GYRO)

③ 실험 진행 과정

: 건설근로자(인간)대상의 연구이므로 실험 시작 전 연구와 실험의 목적, 실험의 과정 등에 대한 충분한 설명을 제공하고, 실험 대상자가 실험에 대하여 이해하고 실험에 참여한다는 동의서를 작성한 대상자에 한하여 실험에 참여하였음(그림 2-23). 또한 실험 대상자들은 SOFI test를 진행하여 wearable device 프로토타입으로 수집한 피로도 데이터 및 센서 획득 데이터와 매칭하여 생태순간평가 응용모델 구축 및 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발에 활용할 예정임(그림 2-24).



그림 2-23 실험 안내 및 실험 시작 전 실험 동의서 작성

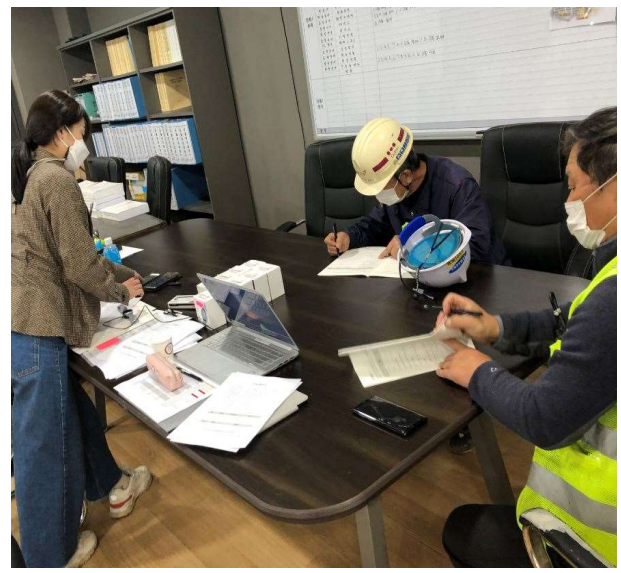
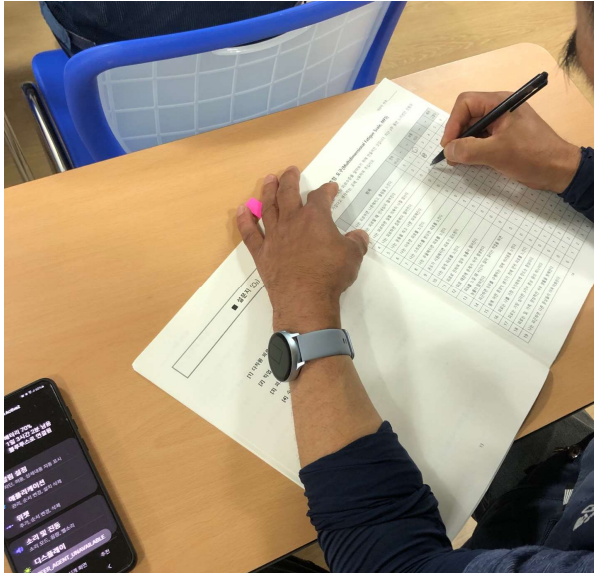


그림 2-24 SOFI test 진행

- 또한 실험자들은 아래 <그림 2-25>와 같이 Wearable device 프로토타입을 착용하고 총 5일간의 실험을 진행하였음.



그림 2-25 Wearable device 프로토타입 착용 후 실험 진행

## (5) 전설근로자 피로도 평가 딥러닝 알고리즘 구현

(가) 딥러닝 알고리즘 고도화 - Transformer 기반 신규 멀티모달 시계열 데이터 분석 모델 (Hierarchical Cross Modal Attention Model) 개발

- Transformer 배경: 2017년 구글은 자연어 처리(Natural Language Processing) 분야의 Transformer라는 딥러닝 모델을 발표하였음. 기존에 자연어 처리(Natural Language Processing) 모델로는 RNN과 LSTM과 같은 모델들이 사용되었지만, 문장이 길이가 길어질수록 모델이 학습을 잘못하는 문제점이 존재하였음. 이러한 문제를 구글 논문팀은 RNN에서 사용되었던 attention 기법으로 모델을 구성하였고, 긴 문장에서도 좋은 성능을 낼 수 있는 모델을 완성하였음.
- Transformer모델에서 문장의 단어들은 d 차원의 하나의 vector로 나타냄. 각 단어 vector에 위치 정보를 저장하기 위해서 Positional Encoding 통해 위치 정보가 더해지게 됨. 각 단어 vector matrix에 가중치( $W_q$ ,  $W_k$ ,  $W_v$ )를 곱하여 Query, Key, Value 값을 얻게 됨. 단어들의 Query, Key, Value 값들은 <그림 2-26>과 같이 계산되고 상관관계를 나타내는 attention value가 구해짐. 그리고 하나의 attention score만 계산하지 않고 여러 개의 attention-head 가지게 되는데, 이것은 다양한 관점에서 분석을 하는 것과 같음. <그림 2-27>은 multi-head attention을 나타냄. multi-head attention의 vector 값은 Position-wise Feedforward Networks를 통해서 학습이 진행이 됨. 위 과정이 하나의 layer 이고 layer 수를 지정한 만큼 같은 연산을 반복하게 됨.
- 전체적인 구조는 기본적으로 Encoder-Decoder 구조를 따름. <그림 2-28>은 Transformer의 전체적인 구조를 나타냄. Encoder Block, Decoder Block은 여러개의 layer 층으로 구성됨. Encoder layers는 Input vector의 자체적인 상관관계를 학습하게 되고, Decoder layers는 target 값들의 자체적인 상관관계를 학습함. Encoder layers에서 나온 output vector 와 Decoder layers의 target vector를 계산하게 되면서 학습을 하게 됨. 아래는 설명한 과정의 수식임.

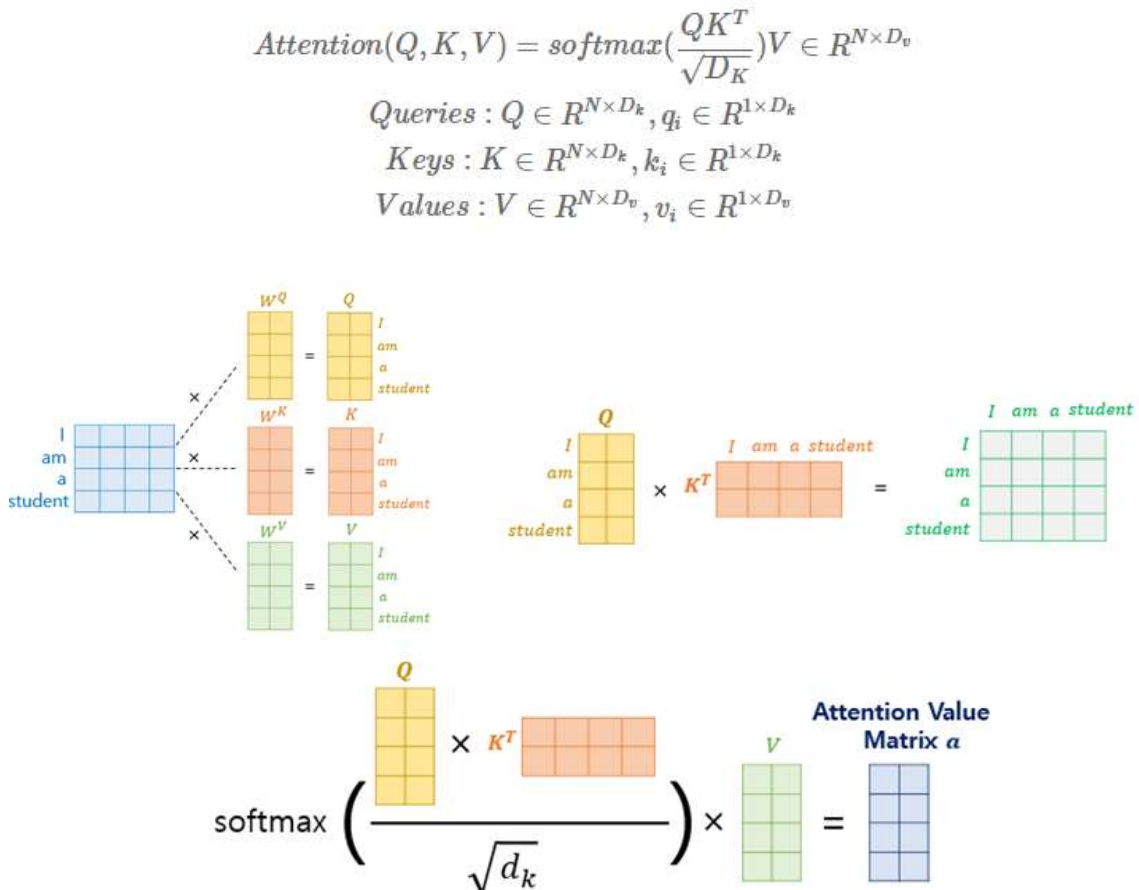


그림 2-26 Attention Query, Key, Value 계산과정

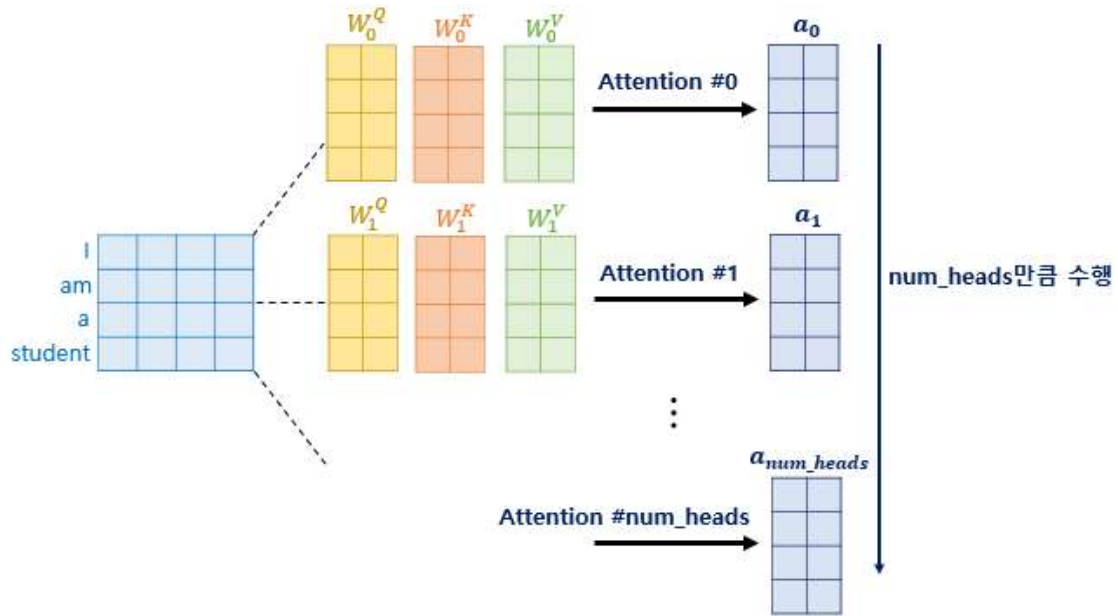


그림 2-27 multi-head attention

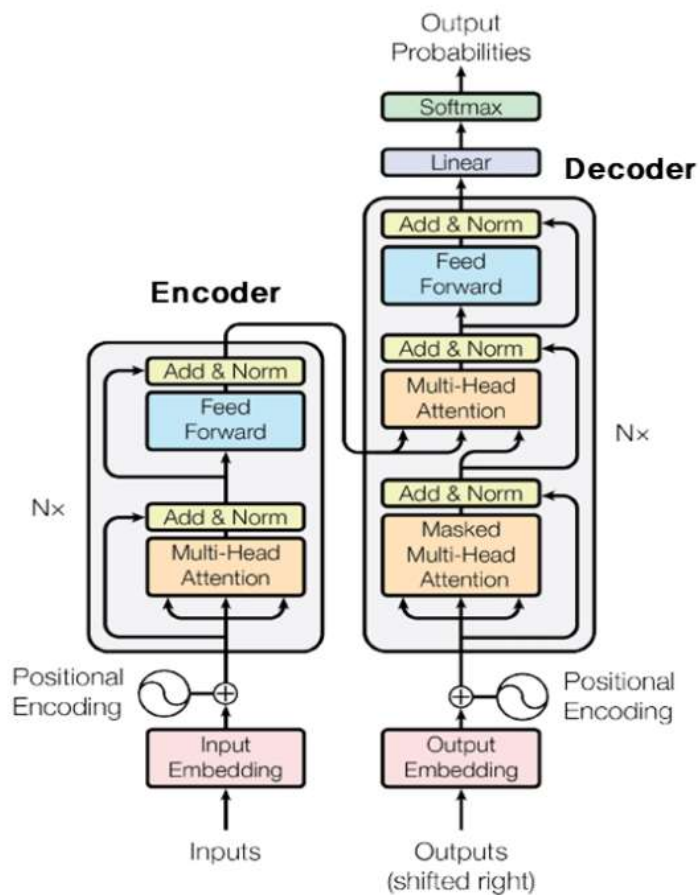


그림 2-28 Transformer 전체구조

- Transformer 모델은 Sequence data의 vector들의 상관관계를 학습하는 것임. 따라서 본 연구에서 스마트 워치로 얻어진 데이터 또한 Sequence data이기 때문에, Transformer를 BaseLine 모델로 추가하게 되었음. 데이터의 Acc, Gyro의 x,y,z와 hrm data를 vector로 묶어주게 되면 [acc\_x, acc\_y, acc\_z, gyro\_x, gyro\_y, gyro\_z, hrm]의 7차원 vector 나타내서 Transformer의 input값으로 사용하였음.

• 위와 같이 Acc, Gyro, HRM 데이터들을 단순히 concatenate한 것은 각 데이터를 온전한 정보를 사용했다고 할 수 없음. 그래서 Transformer의 decoder layer을 응용한 Multi-modal Transformer을 사용하여 BaseLine 모델에 추가하였음. <그림 2-29>는 Multi-modal Transformer 의 전체 구조를 나타냄. decoder의 self attention을 사용해서 모델을 구성한 것인데, decoder의 multi-head attention에서는 앞서 설명했듯이 encoder 마지막 layer output의 key, value 값과 decoder masked attention의 query 값이 곱해지면서 target 값과 input 값의 상관관계를 학습하게 됨. 이것을 그대로 가져와서 사용 한 것이 cross modal attention 이며, modal이란 하나의 요소를 말함. 본 연구에서 사용되는 데이터의 요소들은 acc, gyro ,hrm을 포함한 3가지가 됨. 각 modal의 query, key, value 값을 구해주고, 한modal 의 query에 다른 modal의 key, value를 계산하여 attention score를 얻을 수 있음. <그림 2-30>을 예시로 하면, 참고한 논문에서는 language, voice, audio 라는 3개의 modal을 사용함. Language라는 modal의 query에 voice와 audio 두 개의 key, value값이 각각 cross modal attention 되었음. 그 후 각 값들은 concatenation되어 기본 transformer로 학습을 하게 됨. 하지만 modal 의 개수가 3개라고 하면 각 modal에 transformer가 하나씩 필요하게 되고 model을 구성하는데 일반적으로 다른 model들 보다 많은 자원을 사용하게 됨. 그리고 그 만큼 학습 시간도 오래 걸리게 됨.

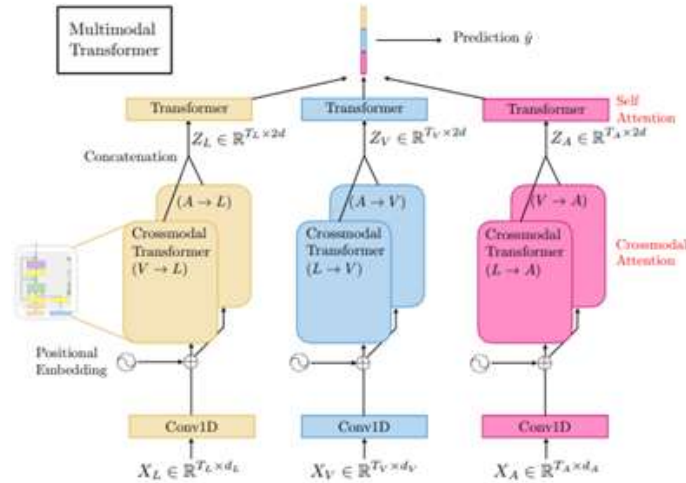


그림 2-29 Multi-Modal Transformer의 전체 구조

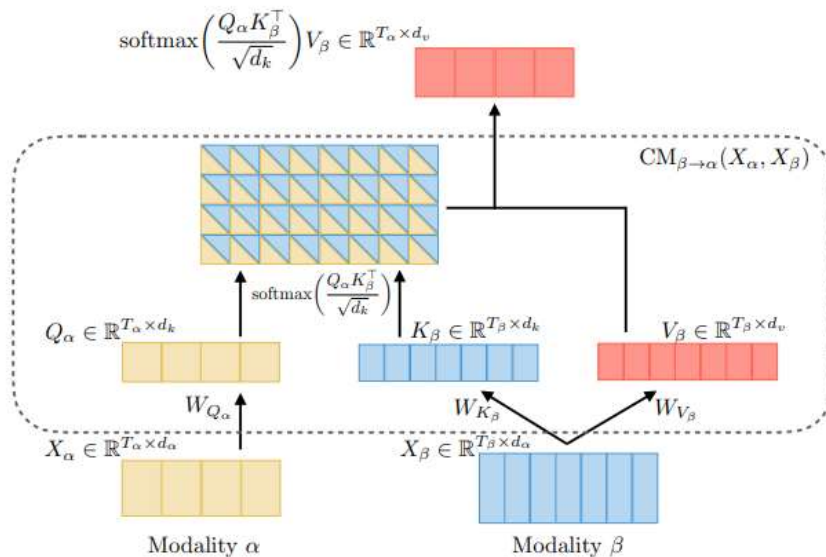


그림 2-30 Cross Modal Attention의 계산과정

- Cross Modal attention block의 수식은 다음과 같음.

$$Q_\alpha = X_\alpha W_{Q_\alpha}$$

$$\begin{aligned} Y_\alpha &= \text{CM}_{\beta \rightarrow \alpha}(X_\alpha, X_\beta) \\ &= \text{softmax} \left( \frac{Q_\alpha K_\beta^\top}{\sqrt{d_k}} \right) V_\beta \\ &= \text{softmax} \left( \frac{X_\alpha W_{Q_\alpha} W_{K_\beta}^\top X_\beta^\top}{\sqrt{d_k}} \right) X_\beta W_{V_\beta}. \end{aligned}$$

$$K_\beta = X_\beta W_{K_\beta}$$

$$V_\beta = X_\beta W_{V_\beta}$$

- 수식에서  $X_\alpha$  는 하나의 modal을 뜻하고,  $X_\beta$ 는 다른 modal을 뜻함. 가중치  $W_q$  는  $X_\alpha$  에 곱해지게 되고 가중치  $W_k, W_v$  는  $X_\beta$  와 곱해져서 계산 됨.

$$\begin{aligned} Z_{V \rightarrow L}^{[0]} &= Z_L^{[0]} \\ \hat{Z}_{V \rightarrow L}^{[i]} &= \text{CM}_{V \rightarrow L}^{[i], \text{mul}}(\text{LN}(Z_{V \rightarrow L}^{[i-1]}), \text{LN}(Z_V^{[0]})) + \text{LN}(Z_{V \rightarrow L}^{[i-1]}) \\ Z_{V \rightarrow L}^{[i]} &= f_{\theta_{V \rightarrow L}^{[i]}}(\text{LN}(\hat{Z}_{V \rightarrow L}^{[i]})) + \text{LN}(\hat{Z}_{V \rightarrow L}^{[i]}) \end{aligned}$$

- 위의 수식은 이제 Cross attention Layer 층들의 계산과정을 말함. 처음  $Z_0$  는  $Z_L$  의 처음을 받고 layer가 진행 되면 Cross attention 한 값에 이전의 값을 normalize한 값을 더하여 정규화 과정을 가짐. 그리고 구해진 값을 fully connected network로 한 번 더 학습하게 됨. 다음 layer에서도 같은 방식을 반복함.
- **Hierarchical Cross Modal Attention 최종모델:** Multi-modal attention 모델 같은 경우에 앞서 설명과 같이 모델의 크기가 크고, 여기서 좀 더 모델의 크기를 줄여 모델을 만들. Cross Modal Attention을 hierarchical(계층적)하게 쌓아올려서 학습을 하는 것임. Multi-Modal Transformer 와 Cross Modal 부분은 동일하지만 끝에 Transformer 하는 부분을 생략함. 단순히 Cross Modal attention을 피라미드 형태로 hierarchical(계층적) 하도록 쌓아올리는 방식을 사용하였음. 제시된 모델은 <그림 2-31>과 같음. modal의 개수가 n개라고 가정하고 이 모델을 구성하게 된다면 cross modal attention block은  $n(n-1)/2$  개가 생성이 되고 Transformer도 따로 붙여줄 필요가 없음. Multi-modal attention 모델은 cross modal attention block은  $n(n-1)$ 개가 생성이 되고 Transformer도 붙여 총 block의 개수만  $n(n-1)+n$ 개 가 됨. 그래서 hierarchical model을 사용 할 경우에는 model의 크기를 줄일 수 있는 장점이 있음.

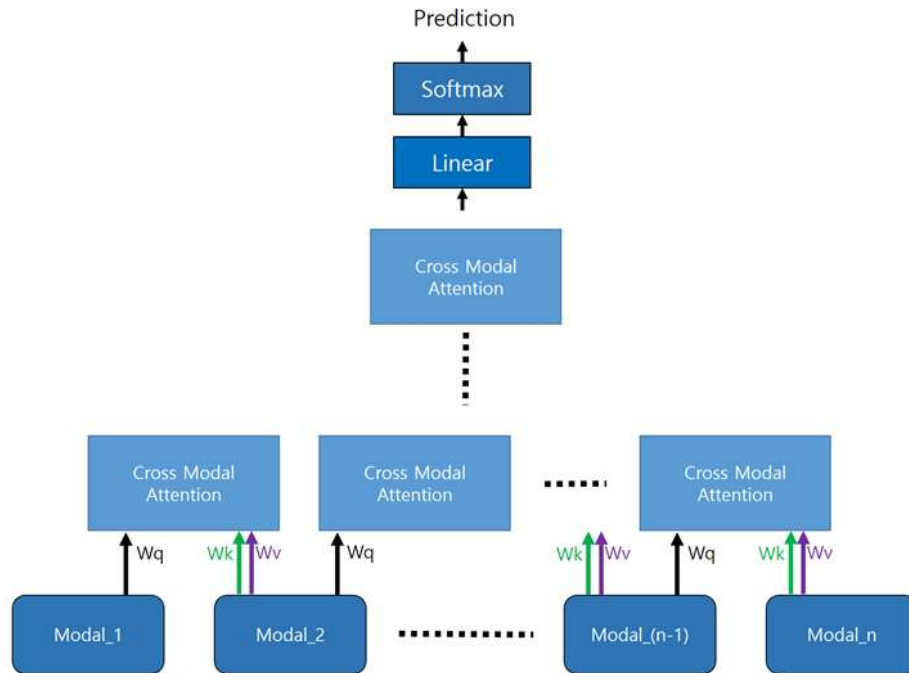


그림 2-31 hierarchical Cross Modal Attention 의 구조

#### (나) 데이터 세트 (신규 피로도 데이터, HAR 데이터)

: 새로 개발된 Hierarchical Cross Modal Attention (HCMA) 모델의 성능을 확인을 위해 가속계와 자이로측량 데이터로 구성된 공개데이터인 HAR(Human Activity Recognition) 데이터를 사용함. 신규 피로도 데이터는 기본 모델과 HCMA의 피로도 예측을 위해 사용함.

##### ① 피로도 원시 데이터

- 1차로 수집된 데이터 세트는 총 31명의 건설근로자에게 3일간 스마트 워치 센서를 착용하게 하여 실험 참여자별 생리학적 데이터와 피로도를 측정하는 실험을 통해 수집되었음. 생리학적 데이터는 1초 단위로 측정된 심박수(Heart Rate), 가속계(Accelerometer) x, y, z축에서 측정된 값, 자이로측량(Gyroscope) x, y, z축에서 측정된 값으로, 총 7개의 값으로 구성되었음. 피로도는 스마트 워치 내 앱을 통해 피험자에게 1시간 단위로 설문하여 측정하였음. 피로도는 [0, 1, 2, 3, 4, 5] 로 매겨져 총 6개의 클래스를 가졌음. 0과 1은 낮은 피로도 2~5는 쉬어야 하는 정도의 피로도로 나눌 수 있음. 피험자마다 설문에 응한 시점이 달라 피로도의 측정 시점이 다르게 나타났음.

##### ② 피로도 데이터 1차 데이터 전처리(Data Preprocessing)

- 데이터 결측, 이상치 확인 및 데이터 대체(Data Imputation)

: 생리학적 데이터에서 미측정으로 인한 데이터 결측 또는 측정된 데이터의 전송 실패 등으로 인한 데이터 누락이 발견되었으며, 결측된 해당 부분은 입력 데이터에서 제외되었음. 또한, 건설근로자의 작업 특성상에 신체 부위와 스마트 워치의 미접촉으로 인해 누락된 심박수의 이상치가 발견되었음. 누락된 심박수의 이상치로는 [-10, -3, 0] 이 발견되었으며, 데이터 수집 상황에 따른 다음과 같은 수칙으로 누락된 심박수의 값을 대체하였음.

- 10초 이하의 연속 이상치 (작업 특성에 따른 누락): 누락 전 초기 값으로 연속 이상치 대체
- 11시에서 13시 사이의 작업 시간에서와 다른 양상의 연속 이상치: 점심 식사 시간으로 판단, a)와 같음
- 17시 이전부터 22시(수면 시간 이전)사이의 연속 누락 (작업이 일찍 끝난 경우): 기기 충전으로 판단, 제거
- 31일 14시(기기 반납 시간) 이후의 연속 누락: 기기 탈착으로 판단, 제거

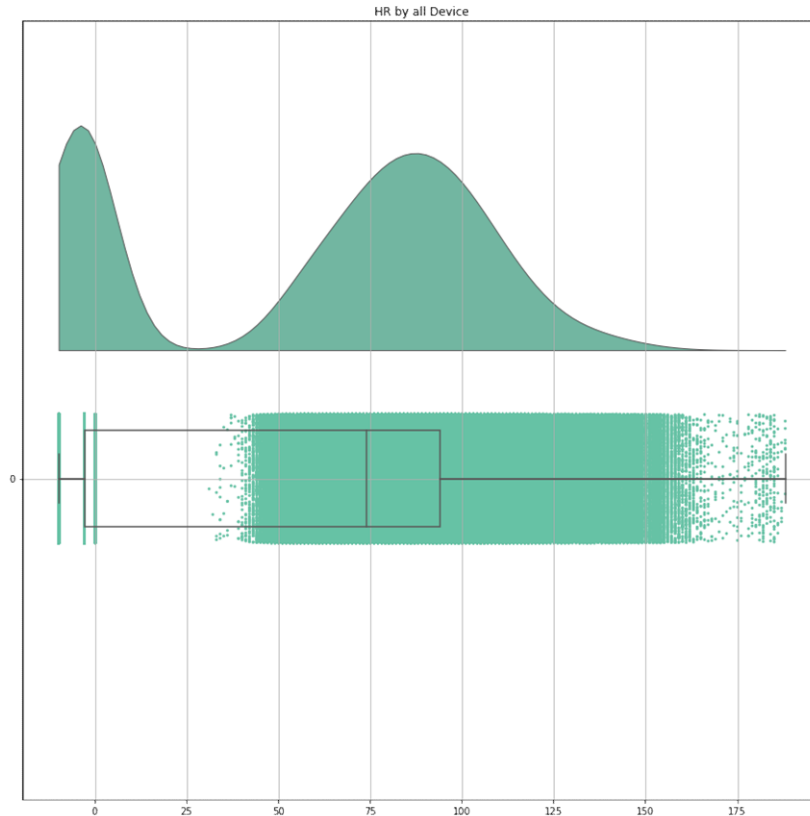


그림 2-32 전체 심박수 분포

- 심박수가 10초 이상 연속으로 이상치를 보이는 경우, 수칙에 따라 누락 전 초기 값으로 대체할 수 있는 한도를 넘어서므로, 대체된 10초 외에 나머지 이상치는 누락 전 초기 값으로 대체되지 않았음. 따라서 대체되지 않은 이상치는 입력 데이터에서 제외되었음.
- 피로도에서 데이터 미측정과 한 시간 내의 중복 측정이 발견되었음. 딥러닝 알고리즘 기반의 모델을 학습시키기 위하여 출력 데이터인 피로도가 측정된 시점의 시간에 측정된 생리학적 데이터를 입력 데이터의 전체 범위로 채택하였음. 피로도가 중복 측정된 경우는 다음과 같은 수칙에 따라 중복된 피로도의 값을 대체하였음.
  - a) 중복된 피로도의 값이 동일: 이전 측정 시점과 약 한 시간 간격을 보이는 시점의 측정으로 병합
  - b) 중복된 피로도의 값이 동일하지 않음: 마지막 측정 시점으로 병합
- 입력 데이터 단위 설정
  - 전체 데이터에서 실험 참여자의 작업 시간인 매일 6시 30분부터 17시까지를 입력 데이터의 전체 범위로 채택하였음. 입력 데이터의 단위는 생리학적 데이터의 sequence length임. 생리학적 데이터가 측정된 시간 단위인 1초를 sequence length의 단위 값으로 하여, 한 sequence length의 값을 시간으로 설정하였음. 어떤 sequence의 뒷부분과 그 다음 sequence의 앞부분은 overlap이 되도록 하였음. 참여자별로 다른 피로도 측정 구간 내에 해당하는 생리학적 데이터를 sequence length만큼 나누었음.
  - 입력 데이터의 단위인 sequence length의 값과 overlap 부분의 값을 설정하기 위해 입력 데이터의 단위에 따른 실험 및 검증 작업을 거쳐 데이터 단위 설정을 분석하기로 하였음. 따라서 다양한 단위 값으로 추출한 여러 개의 입력 데이터를 사용하여 딥러닝 알고리즘 기반의 모델을 학습시키는 실험을 진행하기로 하였음.

- 입출력 데이터 정렬

- 실험 참여자가 어떠한 작업을 수행하는 동안, 생리학적 데이터는 1초 단위로 측정되고 피로도는 실험 참여자에게 1시간 간격으로 설문하여 측정되었음. 따라서 어떤 피로도 측정 시점  $c$ 는, 그 피로도가 측정된 시간 간

격 내에 해당하는 생리학적 데이터의 종료 시점으로 봄. 이 연구에서는 딥러닝 모델을 통한 피로도 예측을 위하여 어떤 피로도 측정 시점  $c$ 를 생리학적 데이터의 시작 시점으로 shifting하여 정렬하였음.

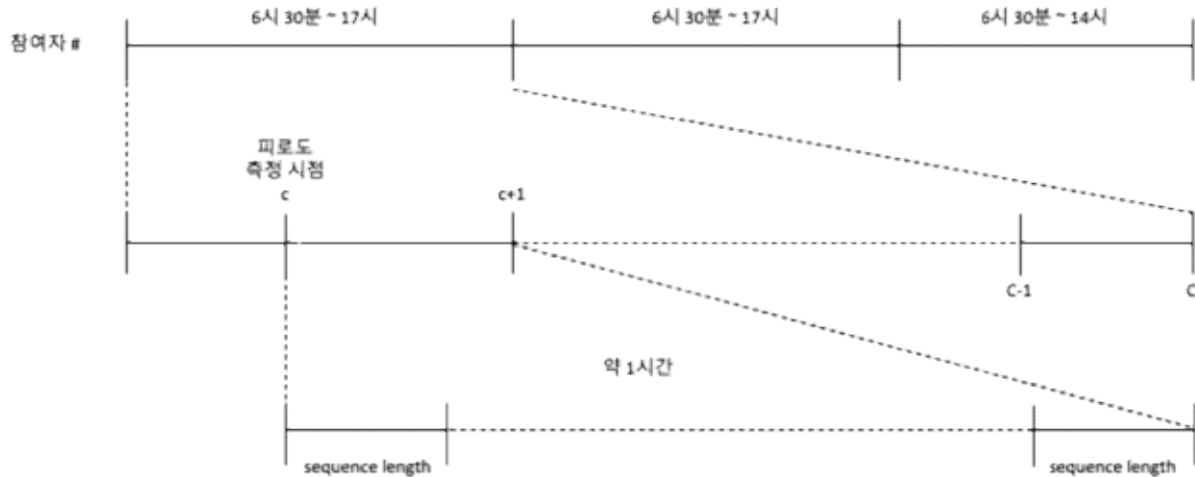


그림 2-33 한 참여자의 데이터 구조

- 클래스 불균형(Class imbalance) 및 클래스 병합

- 원시 데이터에서 피로도의 각 클래스의 개수가 상이한 클래스 불균형이 발견되었음. 원시 데이터의 피로도의 분포는 다음과 같음.

0: 228, 1: 239, 2: 196, 3: 53, 4: 17, 5: 5

- 클래스 불균형을 조정하기 위해 적은 개수의 클래스 간에 병합하기로 하였음. 이를 위해 입력 데이터 단위의 설정에 따라 추출되는 각 클래스의 개수를 탐색하고 개수의 불균형에 따라 클래스 간의 병합을 진행하기로 하였음.

#### (다) Data Normalization과 실험 설계를 위한 Data 시각화

##### ① HAR Data 시각화

- HAR(Human Activity Recognition) data set은 사람의 행동에 대해서 acceleration (ACC), gyroscope (GYRO) 데이터를 측정된 데이터 셋임. 2012년도에 갤럭시 폰으로 측정된 데이터임. 데이터는 걷기, 계단 오르기, 계단 내려가기, 서있기, 벽에 기대어 있기, 눕기 6 가지 행동에 대해 측정이 되었음.
- 다음 그림 6개는 각 행동별 ACC, GYRO 데이터의 변화를 시각화함. 각 행동에 대한 특징이 두드러지게 나타나는 것을 확인할 수 있음. 데이터 셋을 비교해 보면 걷기, 계단 내려가기, 계단 올라가기 등 활동적인 행동에 대해서는 ACC, GYRO 값들이 많은 변동을 확인함. 하지만 활동적이지 않은 데이터 셋, 앉기, 기대있기, 서있기 등은 데이터에서 많은 변동성이 작고 방향에 따라 값이 달라지기도 함. 활동적인 데이터 셋 같은 경우에도 이미지 상으로도 구분이 가능한 것을 확인할 수 있음. 걷기 같은 경우에는 다른 action 데이터 들 보다 x,z 축의 변동 폭이 좀 더 크게 측정이 되었고, x,y,z의 변동의 중심이 다른 것을 확인할 수 있음. 피로도 데이터와 HAR 데이터는 scale이 다른 것을 확인할 수 있음. 이 점은 측정하는 기계마다 hz 설정이 다르고 scale 차이가 있을 수 있음.

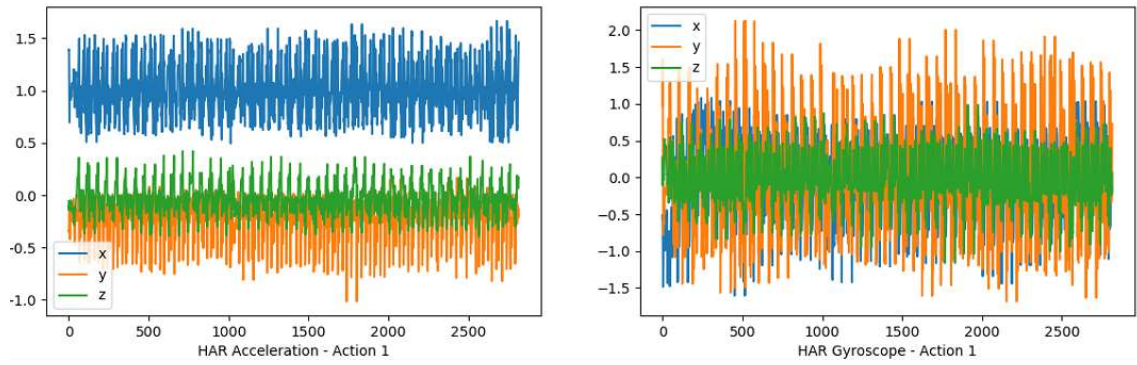


그림 2-34 Action\_1(걷기)

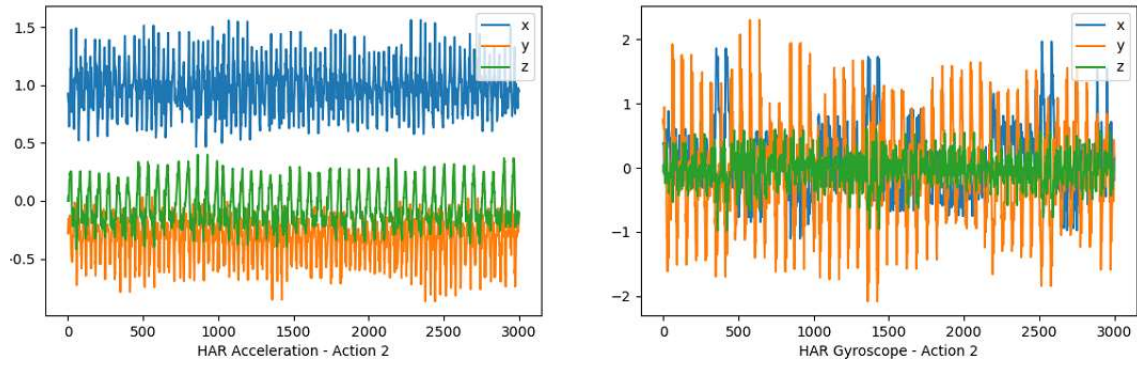


그림 2-35 Action\_2 (계단 오르기)

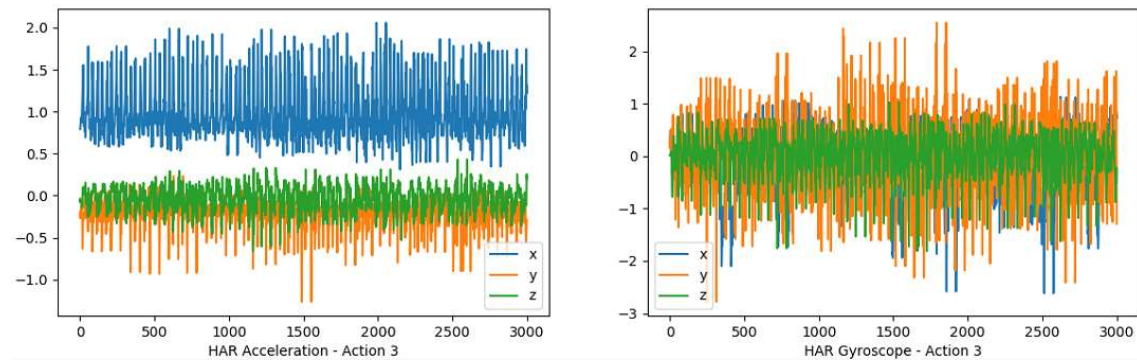


그림 2-36 Action\_3 (계단 내리기)

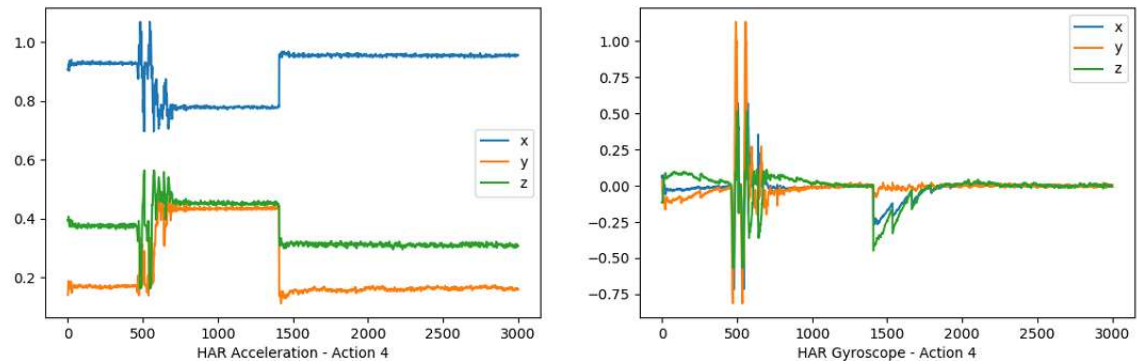


그림 2-37 Action\_4 (앉기)

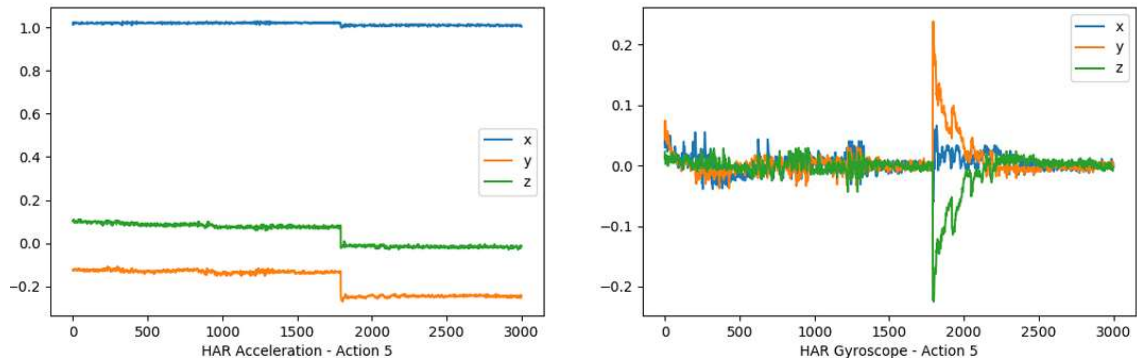


그림 2-38 Action\_5 (서있기)

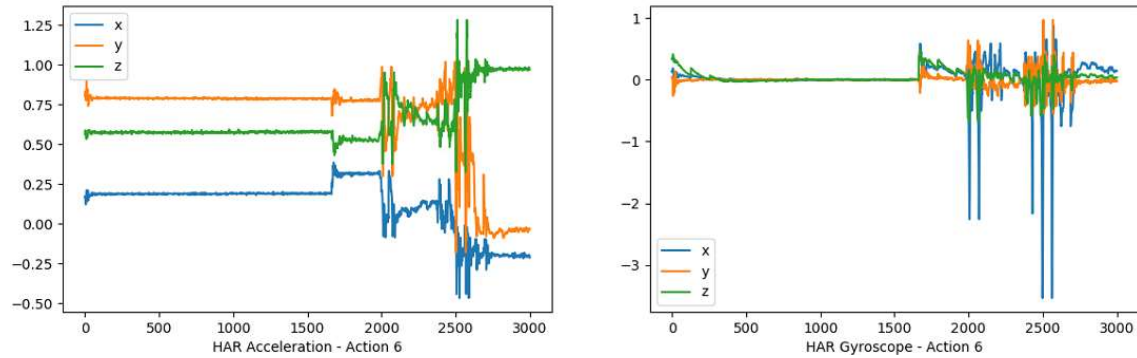


그림 2-39 Action\_6 (기대있기)

## ② 피로도 데이터 시각화

- 근로자들의 피로도 데이터를 시각적으로 분석하여 근로자가 느끼는 피로도 마다 어떠한 차이가 있었는지에 대해 분석함. 근로자들이 느끼는 피로도는 0~5 까지 측정이 되고, 다음 6개의 그림은 각 피로도 수준에 대한 근로자들의 ACC, GYRO, HRM 데이터를 나타냄.
- 앞서 분석한 HAR 데이터와는 다르게 확연한 차이를 육안으로는 확인이 불가능함. 그리고 HAR 데이터 같은 경우 측정하는 hz 정도가 다르기 때문에 좀 더 noise가 심하지 않은 것을 확인할 수 있음. noise filtering을 걸치고 피로도 마다 어떠한 특정 패턴을 육안으로 확인하기 힘들고 이런 점은 모델이 학습에 어려움이 있을 수 있다는 것을 암시함.

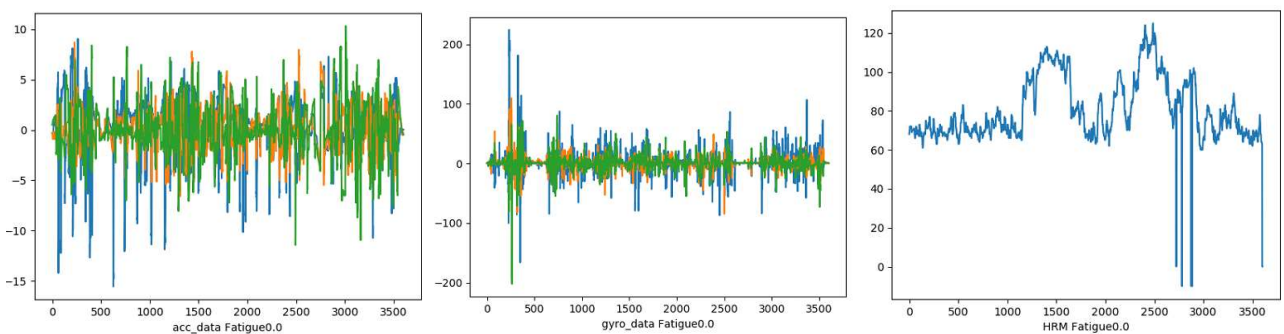


그림 2-40 Fatigue\_0 ACC, GYRO, HRM

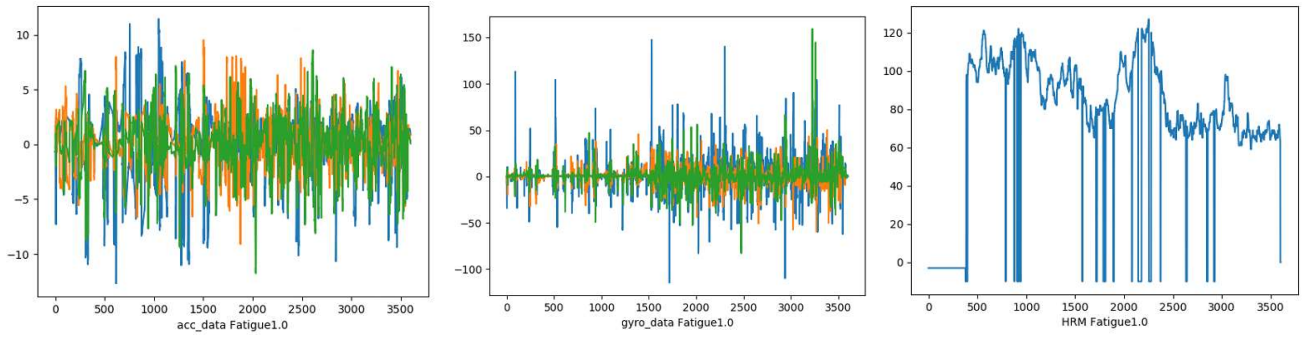


그림 2-41 Fatigue\_1 ACC, GYRO, HRM

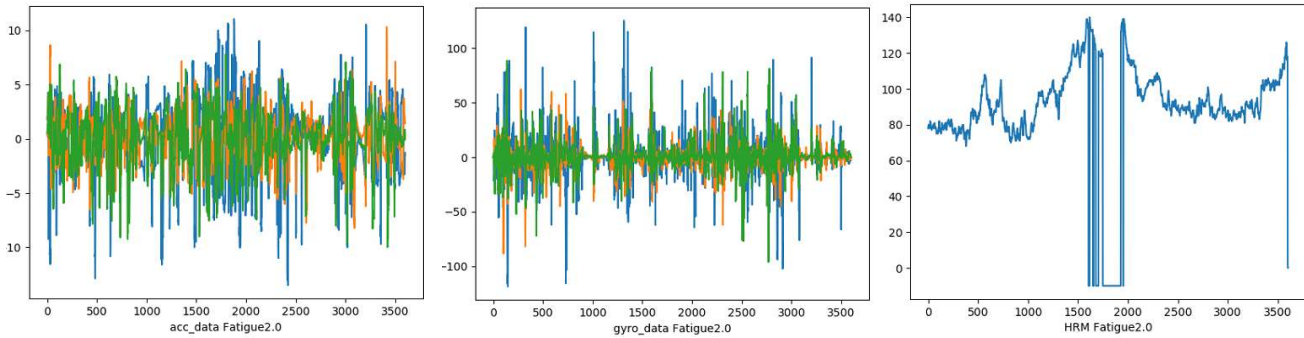


그림 2-42 Fatigue\_2 ACC, GYRO, HRM

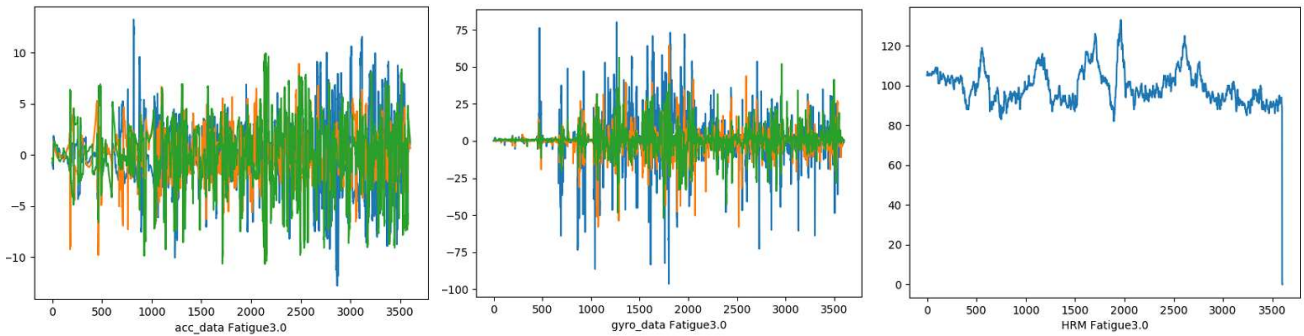


그림 2-43 Fatigue\_3 ACC, GYRO, HRM

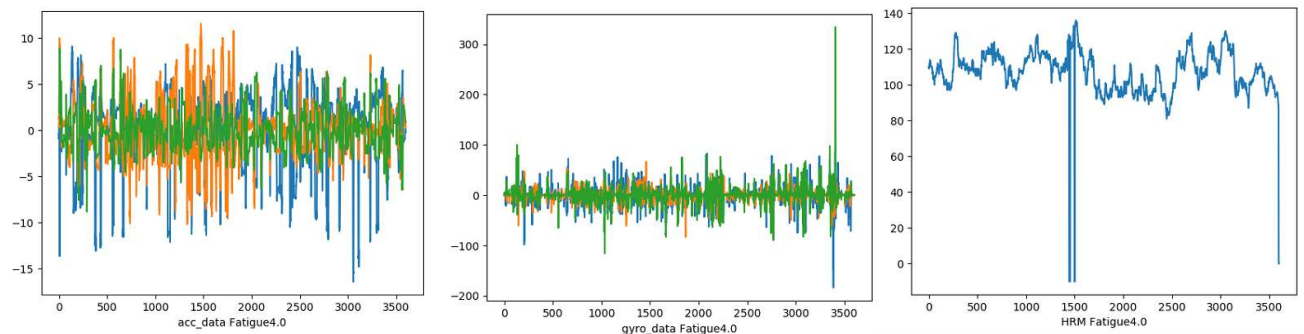


그림 2-44 Fatigue\_4 ACC, GYRO, HRM

- 위의 그림들을 확인해보면 시각적인 부분에서 상관관계를 찾아보기 어려움. 피로도가 높게 측정된 (피로도 4) 시점의 데이터와 피로도가 낮게 측정된 (피로도 1) 데이터는 피로도 차이가 크지만, 실제로 ACC, GYRO, HRM 데이터의 형태는 차이를 육안으로 확인할 수 없음.

- 개인별 피로도 시각화

- 개인별 피로도별 패턴이 있는지를 시각화해 봄. 아래 두 그림은 한 사람의 피로도 1 측정 데이터임. 그림을 참고해보면 같은 사람에서의 같은 피로도 측정 데이터에서도 패턴을 찾을 수 없음.

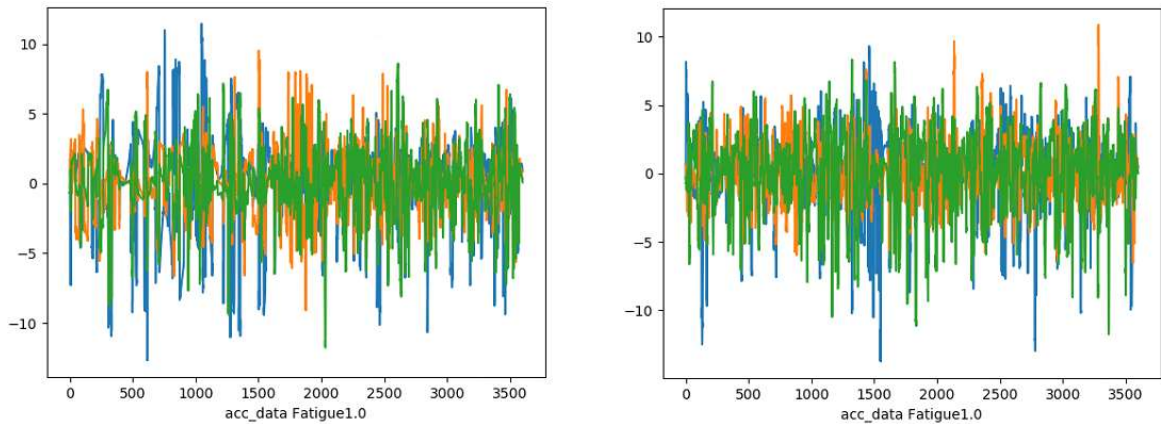


그림 2-45 한사람 내에서 피로도 1의 ACC 비교

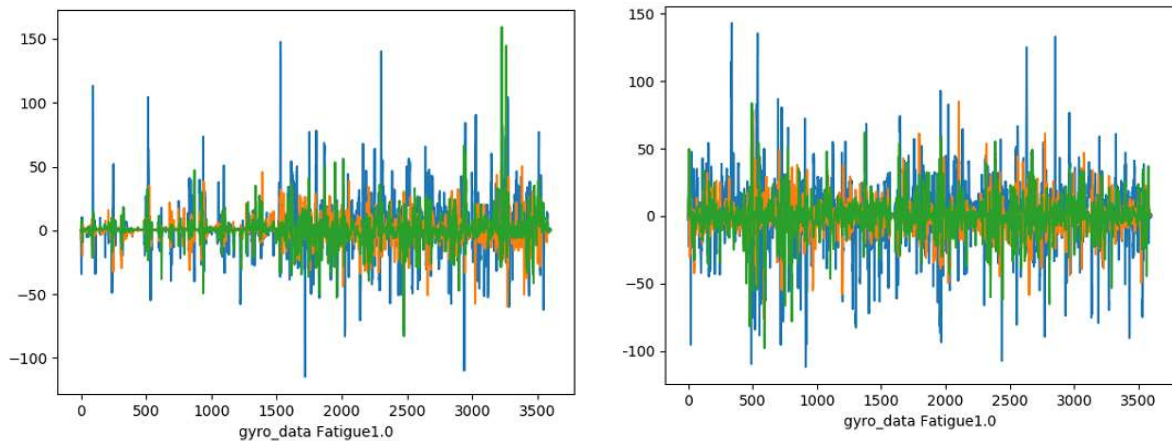


그림 2-46 한사람 내에서 피로도 1의 GYRO 비교

- 피로도 데이터를 통한 동적 근무자와 정적 근무자의 비교

- HAR 데이터를 참고하여 보면, 사람의 행동에 대해서 차이를 보임. 동적인 근무를 하는 근로자의 데이터는 <그림 2-47>과 같음. 그리고 정적인 근무를 하는 근로자의 데이터는 <그림 2-48>과 같음.

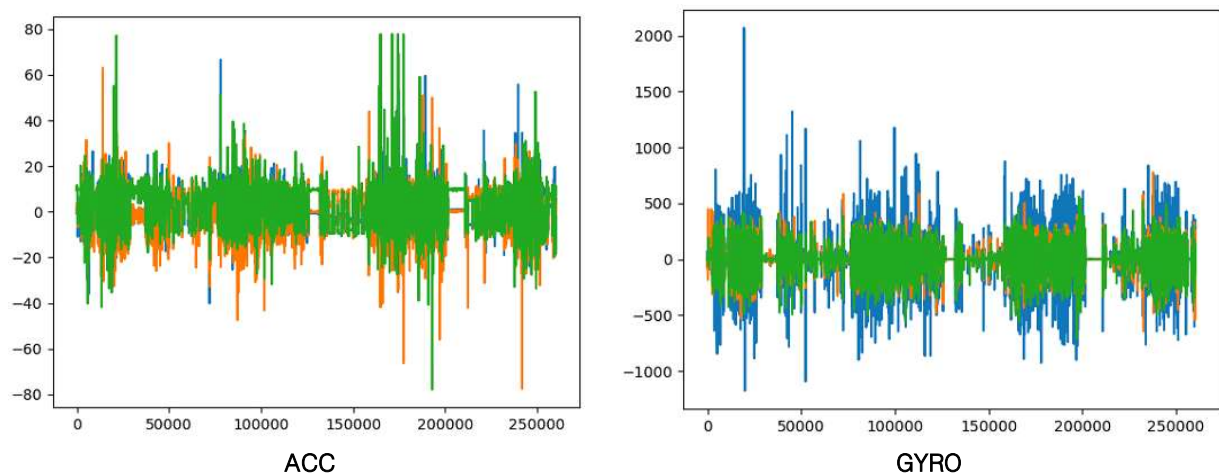


그림 2-47 동적 근로자의 데이터 (가구설치)

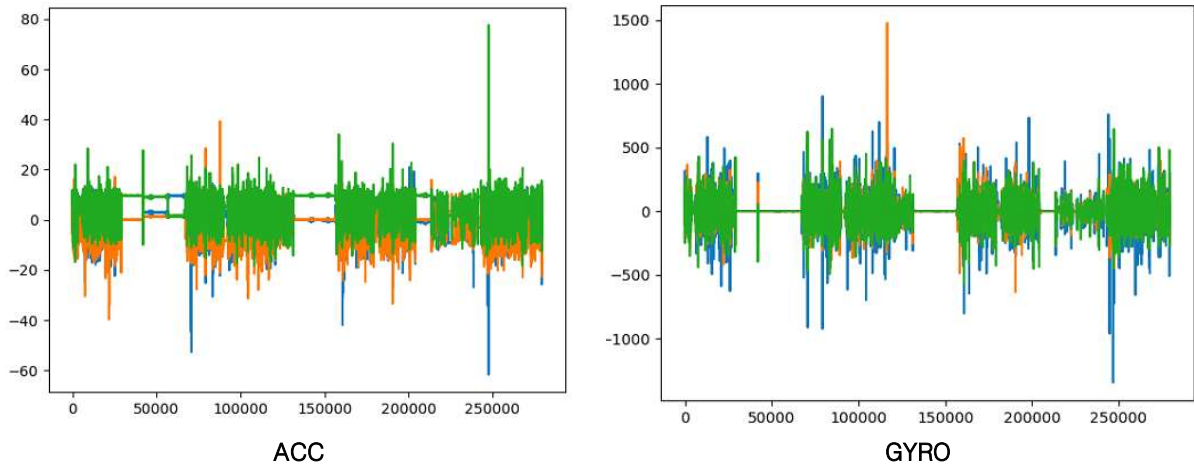


그림 2-48 정적 근로자의 데이터 (공무)

- 그래프에서 위의 변동이 없는 부분은 근로자의 쉬는 시간이거나 시계를 벗어날 때 측정이 되지 않는 부분임. 두 그림을 비교해 보면 동적인 근로자들은 근로시간에 ACC, GYRO 값의 변동 폭이 정적인 근로자보다 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있음.
- 그러나 아래 그림을 보면 현장 관리 직군은 동적인 일임에도 정적과 많이 차이가 나지 않음. 즉 정말 활동적인 직업군이 아니면 차이는 평소 활동이랑 비슷하게 측정이 되어 많은 차이가 나지 않다고 생각 할 수 있음.

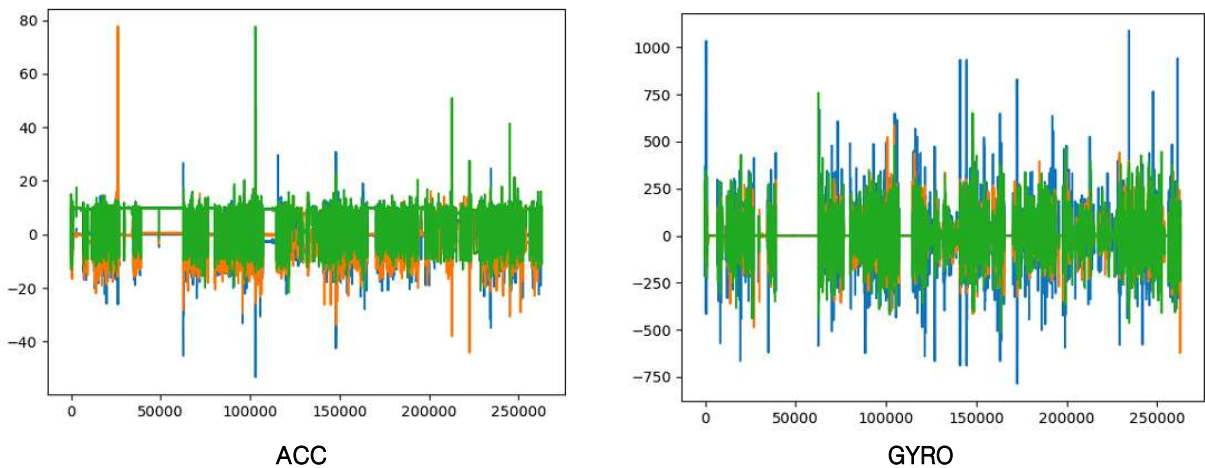


그림 2-49 동적 근로자의 데이터 (현장 관리)

- 동적,정적 근로자 별 피로도 분포
- 정적 근로자가 동적 근로자 보다 피로함을 덜 느끼게 된다면 ACC, GYRO 데이터 또한 피로도를 측정한 것에 의미 있는 데이터 셋이 됨. 아래 그림은 동적 근로자와 정적 근로자의 피로도 분포를 histogram으로 보임. 그래프에서 나타내듯이 정적 근로자도 동적 근로자와 비슷한 하게 피로도가 분포됨.

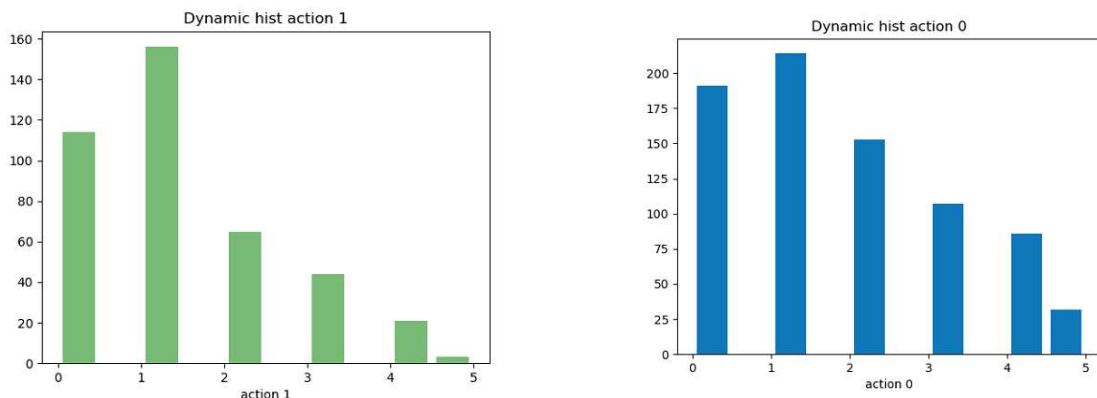


그림 2-50 동적, 정적 근로자의 피로도별 분포

- 동적 근로자 내에서 차이

: 동적 근로자 데이터를 시각화하여 보면, 동적인 데이터 내에서도 acc, gyro value 차이가 있는 것을 확인 할 수 있음. <그림 2-51>은 도배 작업을 하는 근로자의 데이터이고, <그림 2-52>는 타일 작업을 하는 근로자의 데이터임. <그림 2-53>은 가구 설치 작업을 하는 근로자의 데이터임. 이 데이터를 비교해 보면 도배 작업을 하는 근로자가 좀 더 타일 작업을 하는 근로자보다 ACC, GYRO 데이터의 변동이 큰 것을 확인 할 수 있음. 그래서 동적인 근로자 내에서도 어느 정도 데이터의 차이가 있으며, 동적인 데이터 분류를 통해 좀 더 많은 application 가능성이 있다고 할 수 있음.

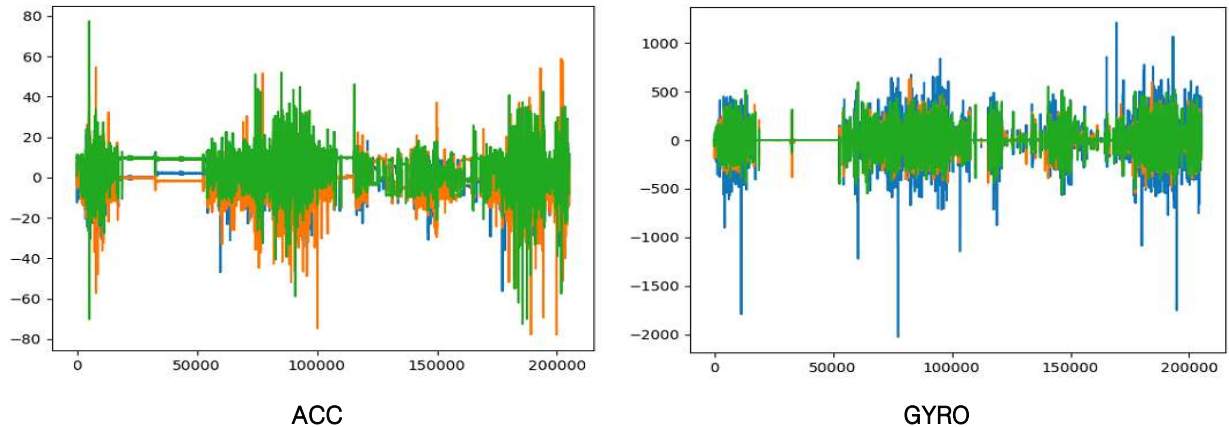


그림 2-51 동적 근로자 (도배)

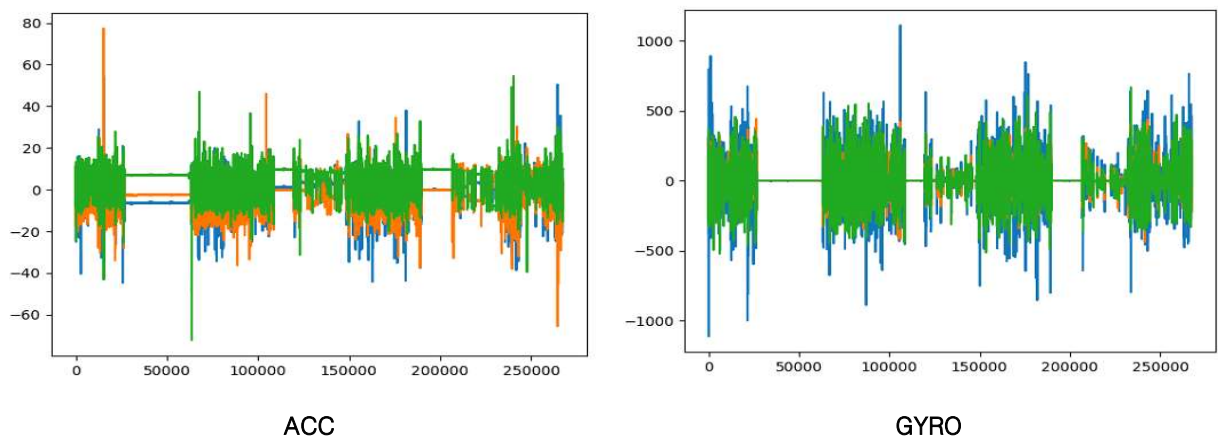


그림 2-52 동적 근로자 (타일)

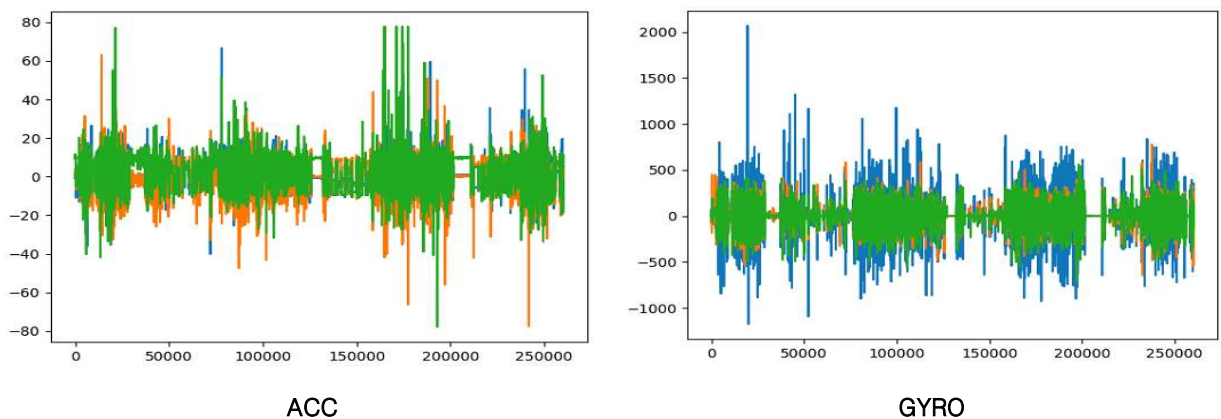


그림 2-53 동적 근로자 (가구설치)

(라) 2차 데이터 전처리:

① 데이터 정규화 (Data Normalization)

- Acceleration, Gyroscope data 같은 경우에는 측정하는 과정에서 많은 noise가 생기게 됨. 특히, 근로자들은 일정한 환경을 제한하고 측정한 데이터가 아니기 때문에 더욱 데이터의 noise가 심할 수 있음. 아래 두 그림은 Acceleration data (ACC)와 Gyroscope data (GRYO)의 Raw Data임. 그림과 같이 Raw data 에서는 많이 튀어 오르는 데이터 값을 확인할 수 있음. 이러한 data를 모델에서 사용하게 된다면 데이터 noise 영향을 받아 학습을 못 할 수 있음.

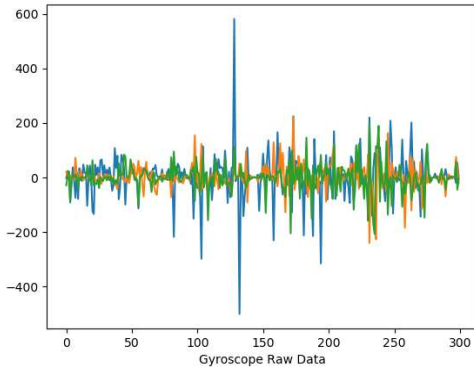


그림 2-54 Gyro data

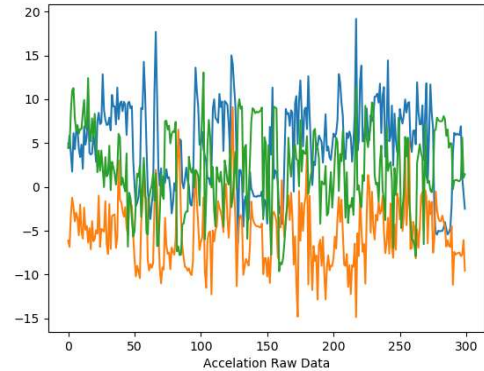


그림 2-55 Acc data

- median filter: 이러한 noise를 줄이는 기법으로 median filter를 Acceleration, Gyroscope data에 적용함.
  - median filter란, 일정한 time window를 가지고 time window 값 내에서의 중앙값으로 데이터를 나타내게 됨. 그러면 데이터 내에서의 특이 값을 줄 일수 있고, 결론적으로 noise를 줄이는 1차 작업으로 진행함. Acceleration, Gyroscope data 관련하여 median filter를 적용하는 것은 HAR dataset의 pre-processing 과정을 참고 하였음.
  - HAR dataset은 오래전부터 많은 signal deep learning model에 사용되어 왔으며, HAR dataset 또한 Acceleration, Gyroscope data를 사용함. 해당 연구에서는 fs(frequency sampling)은 2.56s 이었고, median filter의 time window의 크기는 3을 사용함. 피로도 수집은 이와 달리 fs가 1s이기 때문에 median filter를 최대한 비슷한 환경을 만들어 주기 위해 time window의 크기를 약 2.5배인 7로 설정 함.
  - <그림 2-56>, <그림 2-57>은 median filtering 한 결과임. scale의 크기가 줄어든 것을 확인 할 수 있으며 noise에 해당하는 부분이 줄어든 것을 확인 할 수 있음.

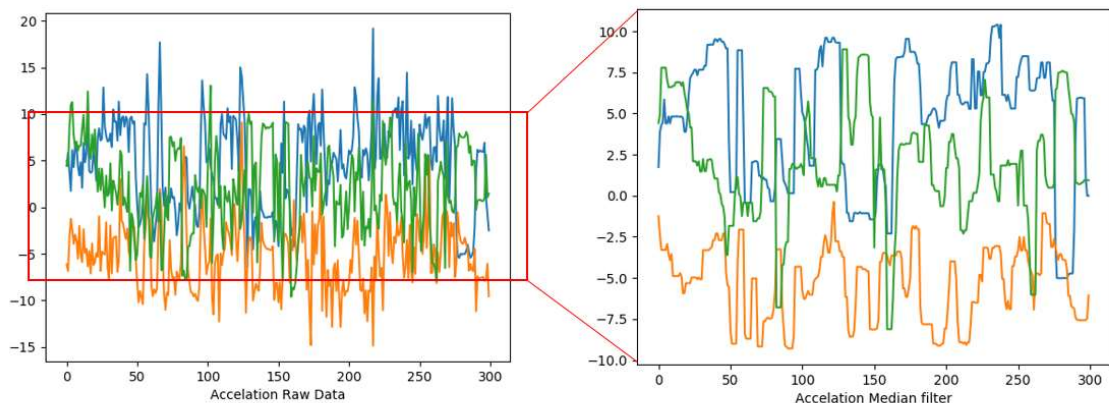


그림 2-56 Acceleration Median Filtering

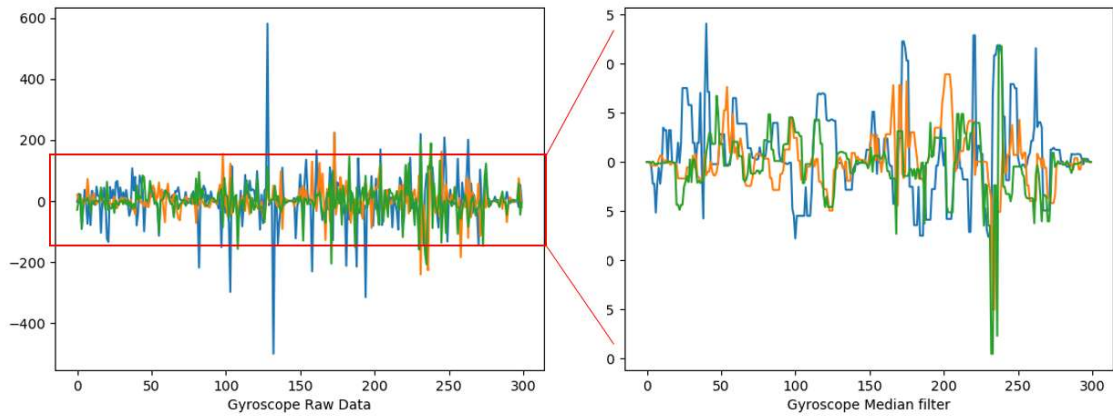


그림 2-57 Gyroscope Median Filtering

- Low Pass Butter Worth Filtering (LPBWF)

- Median filtering에 이어서 Low Pass Butter Worth Filtering을 적용함. Low Pass Butter Worth Filtering 특정 주파수를 설정함. 이 주파수는 cutoff hz 라고 하는데, 해당 주파수를 기준으로 high 대역과 low대역을 통과 시키는 것이 가능하고 이로써 noise를 줄이는 효과를 보는 Filter임. HAR dataset 연구에서는 acceleration, gyroscope data를 cutoff 주파수를 20 hz로 설정함. Fatigue 연구 데이터에 scale을 맞춰 주어 cutoff 120hz로 설정함. scale을 맞춘 값들은 아래 표와 같음.

표 2-6. HAR 과 Fatigue dataset 의 scale

|                 | Time Interval | frequency Sampling | Cutoff Frequency |
|-----------------|---------------|--------------------|------------------|
| HAR dataset     | 50 s          | 2.56 s             | 50 hz            |
| Fatigue dataset | 300 s         | 1 s                | 1 hz             |

- Cutoff 주파수를 맞추어 Butter worth Filtering을 적용 시킨 것은 아래 그림과 같음.

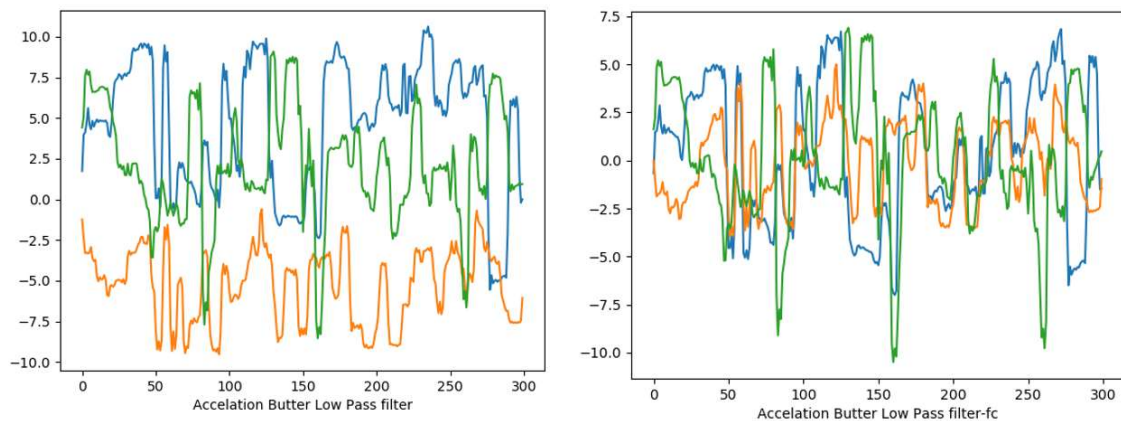


그림 2-58 Butter worth Filtering Acceleration (Low, High)

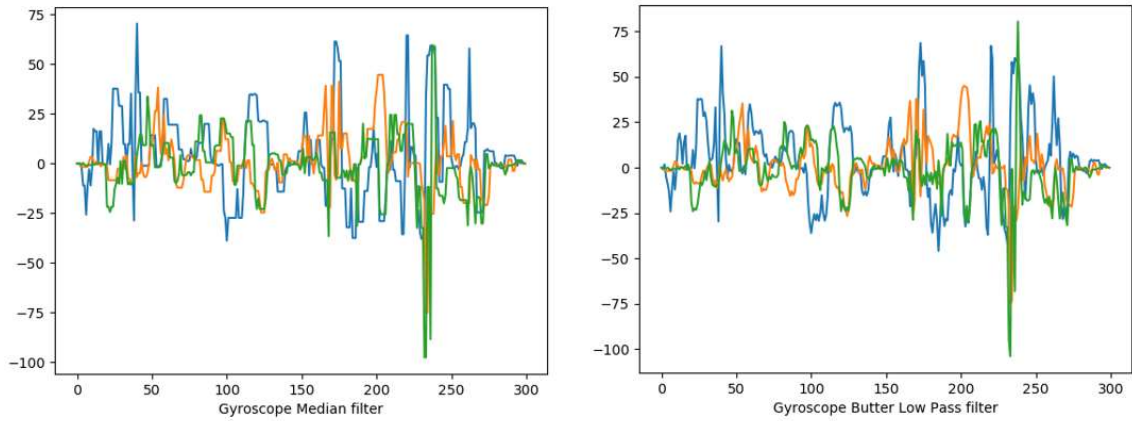


그림 2-59 Butter worth Filtering Gyroscope(High)

- Acceleration signal data는 hz 대역에 따라서 기능이 달라지게 됨. HAR data의 연구 결과에 따르면 body acceleration 과 gravity acceleration으로 나타내지게 되는데, body acceleration이란, 사람의 행동(motion)을 예측하는 signal로 사용되고 gravity acceleration이란, 사람이 받는 중력의 나타냄. HAR data set 에서는 0.3 hz 대역 밑으로는 gravity acceleration에 종속됨.
- Fatigue data set 또한 scale을 맞춰 주어 1.8hz를 기준으로 Filtering 함. 위 설명의 cutoff 값은 <표 2-7>에 나타냄. Acceleration data의 경우는 band filter가 120hz 와 1.8hz 사이의 주파수만 통과하게 됨. Gyroscope data의 경우는 band filter가 120hz 밑의 주파수만 통과 하게 됨. <그림 2-59>의 2번째 행 그림은 Butter worth pass (High) filtering 해준 예시임.

표 2-7 Acceleration Data separated by Cutoff hz

|                  | Cutoff hz (High) | Cutoff hz (Low) |
|------------------|------------------|-----------------|
| HAR data set     | 20 hz            | 0.3 hz          |
| Fatigue data set | 0.4 hz           | 0.006 hz        |

#### • Z-Score Normalize

- 여기서 각 사람마다 수집된 데이터에 측정이 안 된 부분을 제거하고 z-score normalize를 적용하였음. 그러면 샘플 마다 독립적인 데이터를 형성하여 모델의 Input의 scale을 맞추게 됨.

#### • 데이터 분할

- 입력 데이터의 단위를 설정하고 그에 따라 피로도의 클래스를 병합한 후 입력 데이터와 출력 데이터를 추출하여 하나의 데이터 세트로 통합하였음. 통합된 데이터 세트는 딥러닝 알고리즘 기반의 모델을 학습시키기 위해 70%, 15%, 15%의 비율로 전체 데이터 세트를 훈련, 검증 및 시험 데이터 세트로 분할하였음.
- 전체 데이터 세트에서 각 참여자별로 데이터를 정렬한 후, 각 참여자의 데이터 70%를 훈련 데이터 세트에 넣음. 남은 각 참여자의 데이터 30%를 15%씩 이분할하여 각각 검증 및 시험 데이터 세트에 넣음.

#### ② 동적 정적 데이터 전처리 예제

- 피로도 데이터에서 동적, 정적 데이터를 따로 분류하여 데이터 셋을 형성 하였다. <그림 2-60>은 근로자 한명의 전체 ACC를 보여줌. Time window를 300개의 데이터 (= 약 5분)로 설정하여 데이터를 추출함. 중간에 보이는 데이터의 변동 폭이 없는 부분은 근로자가 시계를 착용하지 않거나 쉬는 시간에 측정된 데이터임. 이 부분은 실험 데이터에 포함하지 않음.

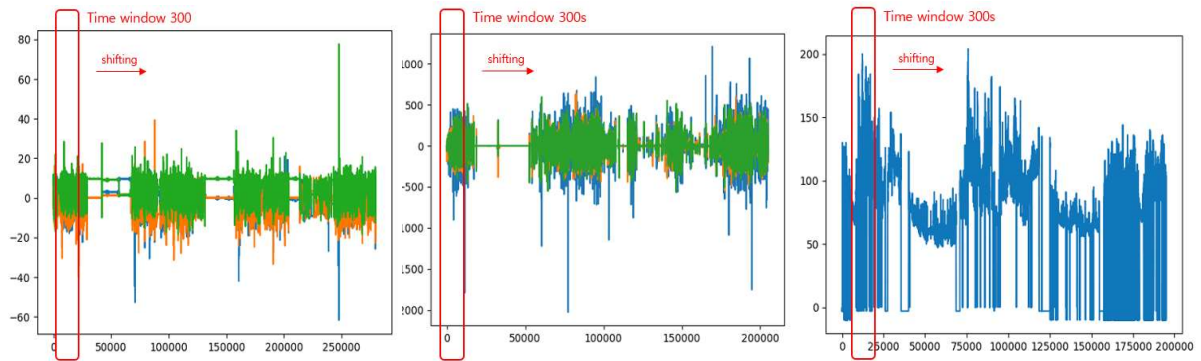
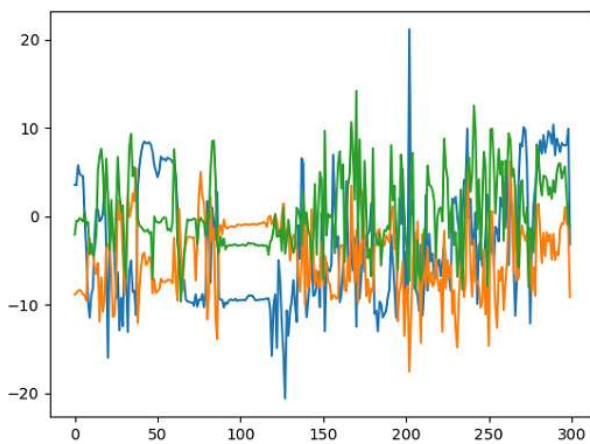
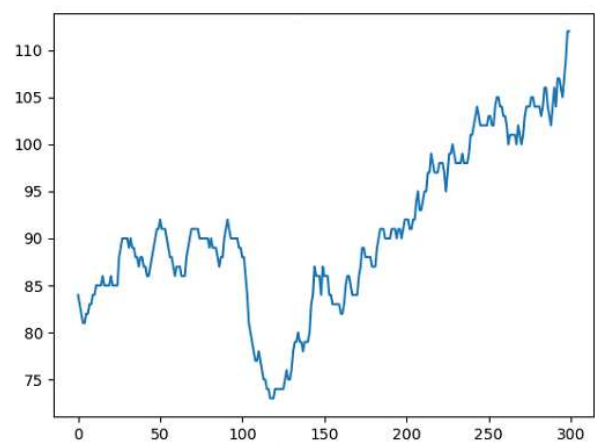


그림 2-60 근로자 한명의 전체 데이터 ACC, GYRO, HRM

- <그림 2-61>은 근로자 한명의 HRM 심박수 데이터를 나타냄. 나타낸 바와 같이 데이터의 손실된 부분을 많이 찾을 수 있음. Time window 내에서 연속으로 10개 이상 손실이 있는 데이터는 사용하지 않음. 필터링 된 나머지 데이터는 손실된 부분을 interpolation 기법을 사용하여 채움. interpolation이란 단순히 선형으로 데이터를 만들어주는 기법임. 그리고 추출된 나머지 데이터에 대해서 noise Filtering 기법과 z-score 방법을 앞서 설명한 것과 같은 방법으로 전처리 함.
- <그림 2-62>는 전체 데이터에서 Time Window 수만큼 뽑아낸 데이터를 보임. <그림 2-62>는 <그림 2-61>의 잘라낸 데이터를 noise filtering, z-score 방식으로 normalization 해준 것을 보임. <그림 2-62>의 scale을 확인해보면 데이터가 표준화됨.

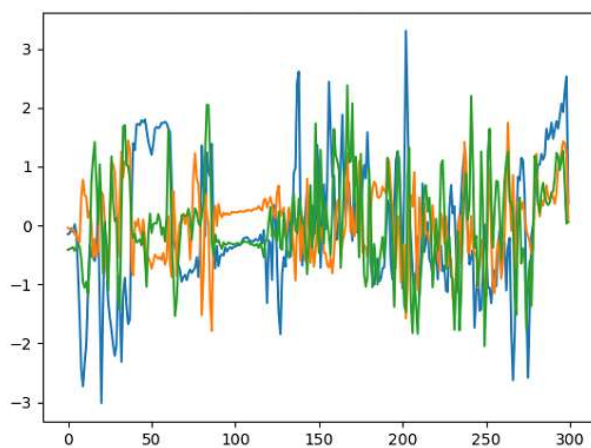


전체 데이터의 TimeWindow ACC

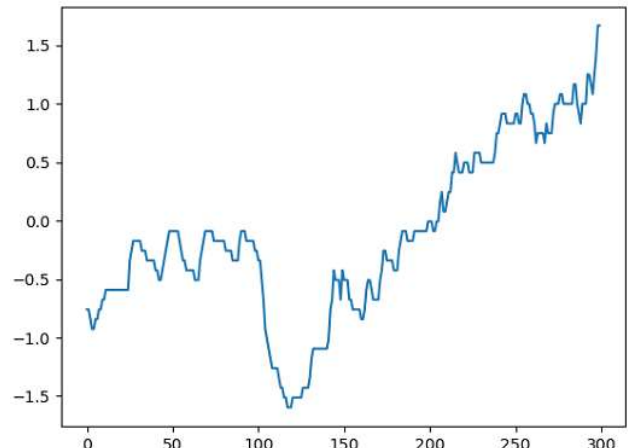


전체 데이터의 TimeWindow HRM

그림 2-61 Median filtering & Low Pass Butter Worth Filtering 후 Time Window 300:



전체 데이터의 TimeWindow ACC



전체 데이터의 TimeWindow HRM

그림 2-62 noise filtering, z-transformation 후 전체 데이터의 Time Window:

### ③ 피로도 가속도·자이로 값과 피로도의 상관관계 통계적 실험

- 피로도의 영향요인으로 웨어러블 디바이스에서 취득한 생체데이터(심박수, 가속도, 자이로) 중 가속도·자이로 값과 피로도의 통계적 상관관계 계산
- 계산 방법
  1. 각 데이터에 대해서 average 구함
  2. 각 acc-x, acc-y, acc-z, gyro-x, gyro-y, gyro-z, HRM 7개 변수의 z-score를 구해 독립 변수로 만들어 줌
  3. 상관관계 패키지 돌려서 피로도0,1 R square 값을 구함
- 통계 계산 방법(Logit Regression 결과 표)

| Logit Regression Results |                  |                   |           |       |        |        |
|--------------------------|------------------|-------------------|-----------|-------|--------|--------|
| =====                    |                  |                   |           |       |        |        |
| =====                    |                  |                   |           |       |        |        |
| Dep. Variable:           | y                | No. Observations: | 1350      |       |        |        |
| Model:                   | Logit            | Df Residuals:     | 1342      |       |        |        |
| Method:                  | MLE              | Df Model:         | 7         |       |        |        |
| Date:                    | Fri, 11 Feb 2021 | Pseudo R-squ.:    | 0.07489   |       |        |        |
| Time:                    | 12:19:25         | Log-Likelihood:   | -853.26   |       |        |        |
| converged:               | True             | LL-Null:          | -922.33   |       |        |        |
| Covariance Type:         | nonrobust        | LLR p-value:      | 1.248e-26 |       |        |        |
| =====                    |                  |                   |           |       |        |        |
| =====                    |                  |                   |           |       |        |        |
|                          | coef             | std err           | z         | P> z  | [0.025 | 0.975] |
| -----                    |                  |                   |           |       |        |        |
| const                    | -0.3167          | 0.058             | -5.441    | 0.000 | -0.431 | -0.203 |
| x1                       | -0.0318          | 0.059             | -0.539    | 0.590 | -0.147 | 0.084  |
| x2                       | 0.1139           | 0.060             | 1.892     | 0.058 | -0.004 | 0.232  |
| x3                       | -0.0899          | 0.059             | -1.523    | 0.128 | -0.206 | 0.026  |
| x4                       | 0.0295           | 0.067             | 0.439     | 0.661 | -0.102 | 0.161  |
| x5                       | -0.2039          | 0.066             | -3.109    | 0.002 | -0.332 | -0.075 |
| x6                       | 0.0337           | 0.072             | 0.466     | 0.641 | -0.108 | 0.176  |
| x7                       | 0.6470           | 0.063             | 10.261    | 0.000 | 0.523  | 0.771  |
| =====                    |                  |                   |           |       |        |        |
| =====                    |                  |                   |           |       |        |        |

- Deep Learning을 사용하지 않은 통계적인 방법으로는 Constant 값과 X7(심박수) 외에 통계적으로 유의미한( $P > 0.05$ ) 상관관계를 찾을 수 없음.

### (마) 실험 결과

#### ① HAR 데이터 셋 실험 결과

##### • HAR 데이터 LSTM모델 학습

- HAR 데이터에 대한 LSTM 모델 결과. <표 2-8>은 모델에 사용된 데이터 개수와 hyper parameter들을 나타냄. <그림 2-63>은 학습 횟수에 따른 모델의 정확도와 손실 정도를 그래프로 나타낸 수치임. 모델이 학습하는 동안 중간에 튀는 부분이 있지만 손실을 줄여가면서 학습을 하는 것을 확인할 수 있음. learning rate는 0.003으로 측정하였고, mini batch size는 128개를 이용하여 학습을 함. LSTM 모델은 layer 층을 만들 수 있는 데 이것을 2개로 구성함. 이 수치는 <표 2-8>에 나타냄. 총 8,786개 데이터에서 Train, Valid, Test로 나누어 학습을 진행하였음. 전체 데이터에서 70%는 Train data set으로 설정하였고 각 15%씩 Valid, Test data set으로 실험함.

표 2-8 실험 데이터 개수 및 hyper parameter

|      | 총 데이터 개수 | Learning rate | mini batch size | Layers | epoch |
|------|----------|---------------|-----------------|--------|-------|
| LSTM | 8,786    | 0.003         | 128             | 2      | 1000  |

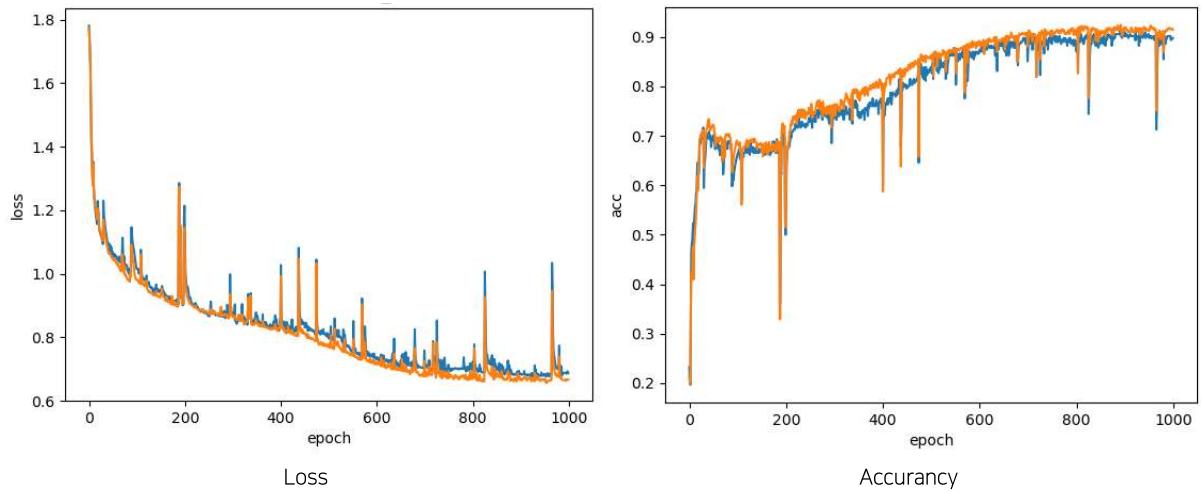


그림 2-63 HAR 데이터 LSTM 결과

- <표 2-9> 는 Test data set 의 정확도와 손실 정도를 나타냄.

표 2-9 HAR 데이터 ACC, LOSS - LSTM

|      | ACCURACY | LOSS  |
|------|----------|-------|
| LSTM | 0.902    | 0.324 |

• HAR 데이터 Hierarchical Cross Attention모델 학습

- HAR 데이터에 대한 Hierarchical Cross Attention모델 결과. <표 2-9>는 모델에 사용된 데이터 개수와 hyper parameter들을 나타냄. <그림 2-64>는 학습 횟수에 따른 모델의 정확도와 손실 정도를 그래프로 나타낸 수치임. 모델이 학습하는 동안 LSTM모델과 달리 중간에 튀는 부분이 없이 손실을 줄여가면서 학습을 하는 것을 확인할 수 있음. learning rate 는 0.003 으로 측정하였고, mini batch size 는 128개를 이용하여 학습을 하였음. 이 수치는 <표 2-10>에 나타냄. 총 8,786 개 데이터에서 Train, Valid, Test 로 나누어 학습을 진행함. 전체 데이터에서 70% 는 Train data set 으로 설정하였고 각 15% 씩 Valid, Test data set 으로 실험함.

표 2-10 실험 데이터 개수 및 hyper parameter

|                                          | 총 데이터 개수 | Learning rate | mini batch size | Layers | epoch |
|------------------------------------------|----------|---------------|-----------------|--------|-------|
| HCA<br>(Hierarchical<br>Cross Attention) | 8,786    | 0.003         | 128             | 3      | 1000  |

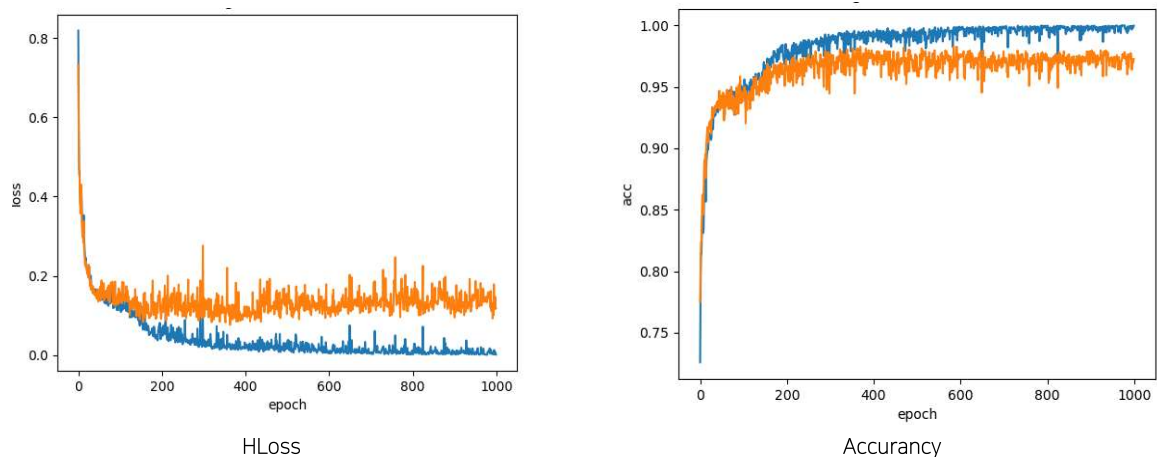


그림 2-64 HAR 데이터 Hierarchical Cross Attention 결과

- <표 2-11> 은 Test data set 의 정확도와 손실 정도를 나타냄.

표 2-11 HAR 데이터 ACC, LOSS - HCA

|     | ACCURACY | LOSS  |
|-----|----------|-------|
| HCA | 0.972    | 0.134 |

## ② 피로도 데이터에 대한 피로도 실험 결과

### • 피로도 데이터 LSTM모델 학습

- 피로도 데이터에 대한 LSTM 모델 결과임. <표 2-12>은 모델에 사용된 데이터 개수와 hyper parameter들을 나타냄. <그림 2-65>는 학습 횟수에 따른 모델의 정확도와 손실 정도를 그래프로 나타낸 수치임. 측정된 피로도 정도 0~1은 class 0 으로 두고, 나머지 피로도 정도 2~5는 class 1로 Target 값을 설정하고 학습함. learning rate 는 0.003 으로 측정하였고, mini batch size 는 128개를 이용하여 학습을 함. 수치는 <표 2-11>에 나타냄. 총 9,512 개 데이터에서 Train, Valid, Test 로 나누어 학습을 진행함. 전체 데이터에서 70% 는 Train data set 으로 설정하였고 각 15% 씩 Valid, Test data set 으로 실험함.

표 2-12 실험 데이터 개수 및 hyper parameter

|      | 총 데이터 개수 | Learning rate | mini batch size | Layers | epoch |
|------|----------|---------------|-----------------|--------|-------|
| LSTM | 9,512    | 0.003         | 128             | 2      | 500   |

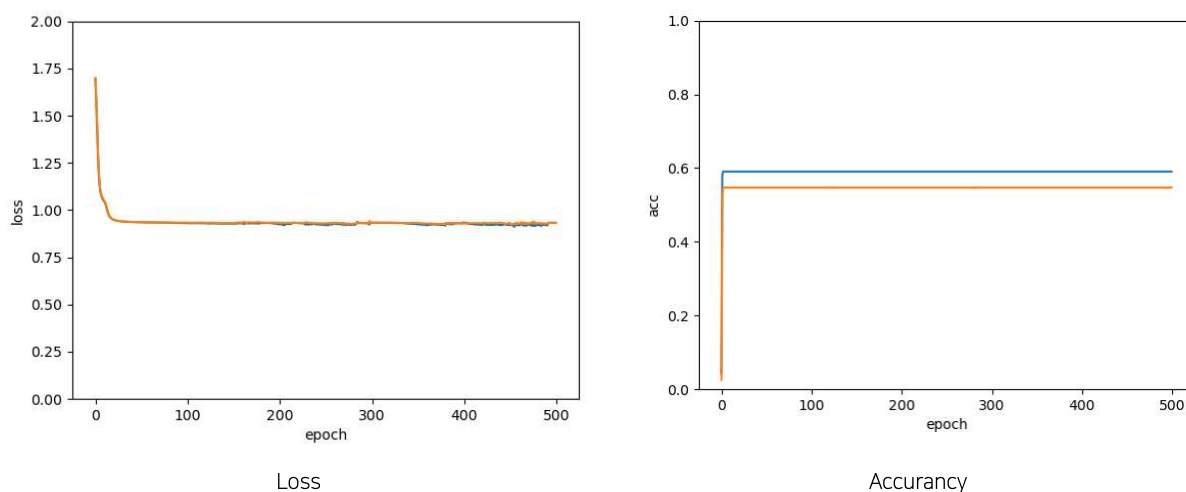


그림 2-65 피로도 데이터 LSTM 결과

- <표 2-13>는 Test data set 의 정확도와 손실 정도를 나타냄. 결과적으로는 모델이 학습이 binary classification 한 문제에 대해서 학습을 잘하지 못하는 것을 확인할 수 있음.

표 2-13 피로도 데이터 ACC, LOSS - LSTM

|      | ACCURACY       | LOSS  |
|------|----------------|-------|
| LSTM | 0.563 (random) | 0.934 |

### • 피로도 데이터 hierarchical Cross Attention모델 학습

- 피로도 데이터에 대한 Hierarchical Cross Attention모델 결과임. <표 2-14>은 모델에 사용된 데이터 개수와 hyper parameter들을 나타냄. <그림 2-66>은 학습 횟수에 따른 모델의 정확도와 손실 정도를 그래프로 나타낸 수치임. 측정된 피로도 정도 0~1은 class 0 으로 두고, 나머지 피로도 정도 2~5는 class 1로 Target 값을 설정하고 학습하였음. learning rate 는 0.003 으로 측정하였고, mini

batch size 는 40개를 이용하여 학습을 하였음. 수치는 <표 2-15>에 나타냄. 총 9,512 개 데이터에서 Train, Valid, Test 로 나누어 학습을 진행하였음. 전체 데이터에서 70% 는 Train data set 으로 설정하였고 각 15% 씩 Valid, Test data set 으로 실험하였음.

표 2-14 실험 데이터 개수 및 hyper parameter

|                                          | 총 데이터 개수 | Learning rate | mini batch size | Layers | epoch |
|------------------------------------------|----------|---------------|-----------------|--------|-------|
| HCA<br>(Hierarchical<br>Cross Attention) | 9,512    | 0.003         | 40              | 3      | 500   |

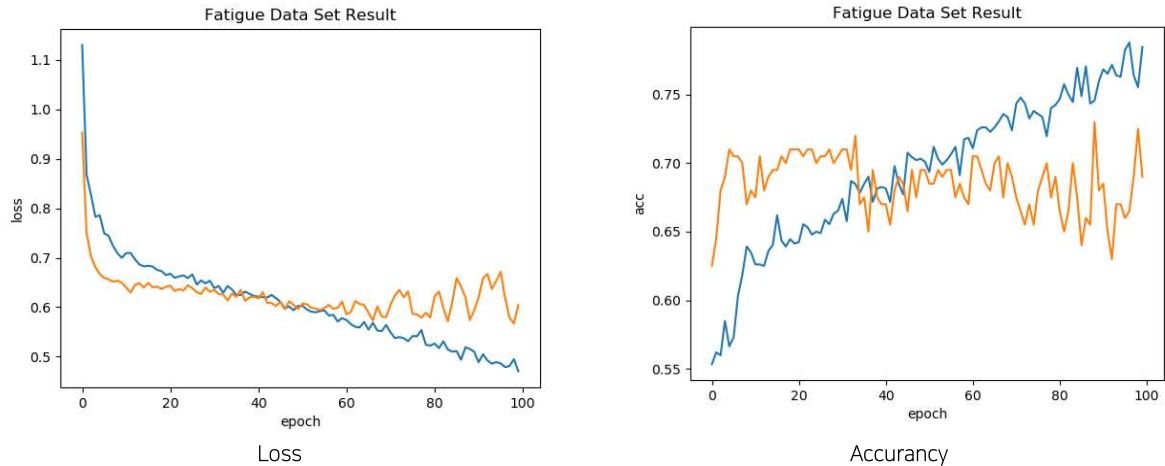


그림 2-66 피로도 데이터 Hierarchical Cross Attention 결과

- <표 2-15>는 Test data set 의 정확도와 손실 정도를 나타냄. 결과적으로는 모델이 학습이 binary classification 한 문제에 대해서 학습을 잘하지 못하는 것을 확인할 수 있음. LSTM 보다는 수치상으로 결과는 좋으나 마찬가지로 피로도 데이터에 대해서 학습을 하지 못하는 것을 확인함.

표 2-15 피로도 데이터 ACC, LOSS - HCA

|     | ACCURANCY | LOSS  |
|-----|-----------|-------|
| HCA | 0.745     | 0.603 |

- <표 2-16>, <표 2-17>은 HCA 모델의 피로도 데이터에 대한 피로도 예측을 잘한 예시와 못한 예시임.

표 2-16 피로도 0 예측을 잘한 예시

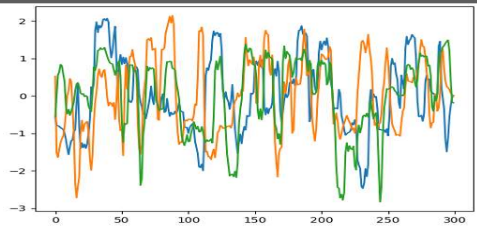
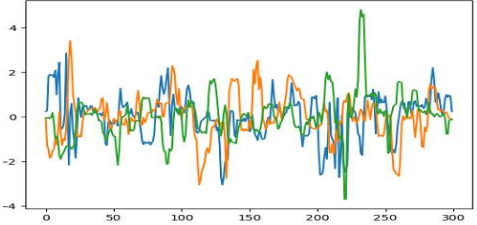
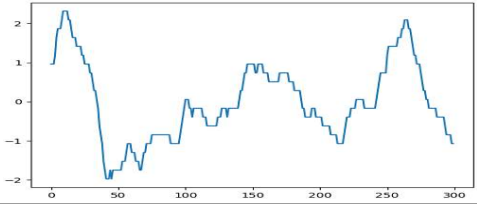
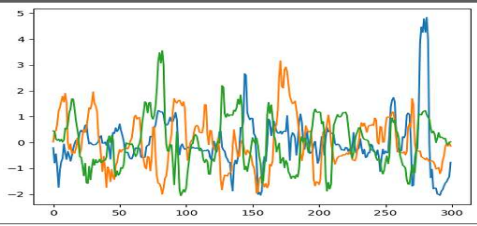
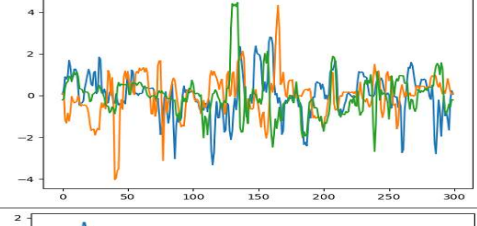
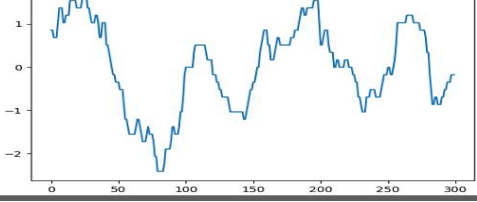
| 피로도 예측      | 이미지                                                                                | 예측값                            |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Accelerator |  | 예측값: 0 (피로 x)<br>실측값: 0 (피로 x) |
| Gyroscope   |  | 예측값: 0 (피로 x)<br>실측값: 0 (피로 x) |
| HRM         |  | 예측값: 0 (피로 x)<br>실측값: 0 (피로 x) |

표 2-17 피로도 0 예측을 잘못된 예시

| 피로도 예측      | 이미지                                                                                  | 예측값                          |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Accelerator |  | 예측값: 0(피로 x)<br>실측값: 1(피로 o) |
| Gyroscope   |  | 예측값: 0(피로 x)<br>실측값: 1(피로 o) |
| HRM         |  | 예측값: 0(피로 x)<br>실측값: 1(피로 o) |

- <표 2-18>은 피로도 데이터에서 피로도 예측이 잘된 예시를 표로 정리한 것임. <표 2-19>은 피로도 데이터 예측이 잘못 된 예시의 그림들을 표로 정리함.

표 2-18 피로도 예측이 잘된 예시

|    | 이미지파일명 | 예측값 | 실측값 |
|----|--------|-----|-----|
| 0  | 1_png  | 0   | 0   |
| 1  | 2_png  | 0   | 0   |
| 2  | 3_png  | 0   | 0   |
| 3  | 4_png  | 0   | 0   |
| 4  | 5_png  | 0   | 0   |
| 5  | 7_png  | 0   | 0   |
| 6  | 8_png  | 0   | 0   |
| 7  | 9_png  | 0   | 0   |
| 8  | 11_png | 0   | 0   |
| 9  | 14_png | 0   | 0   |
| 10 | 15_png | 0   | 0   |
| 11 | 16_png | 0   | 0   |
| 12 | 19_png | 0   | 0   |
| 13 | 21_png | 0   | 0   |
| 14 | 22_png | 0   | 0   |
| 15 | 24_png | 0   | 0   |
| 16 | 25_png | 0   | 0   |
| 17 | 26_png | 0   | 0   |
| 18 | 27_png | 0   | 0   |
| 19 | 28_png | 0   | 0   |
| 20 | 29_png | 0   | 0   |
| 21 | 33_png | 0   | 0   |
| 22 | 34_png | 0   | 0   |
| 23 | 38_png | 0   | 0   |
| 24 | 41_png | 0   | 0   |
| 25 | 43_png | 0   | 0   |
| 26 | 44_png | 0   | 0   |
| 27 | 45_png | 0   | 0   |
| 28 | 46_png | 0   | 0   |
| 29 | 47_png | 0   | 0   |
| 30 | 48_png | 0   | 0   |
| 31 | 49_png | 0   | 0   |
| 32 | 51_png | 0   | 0   |
| 33 | 53_png | 0   | 0   |
| 34 | 58_png | 0   | 0   |
| 35 | 61_png | 0   | 0   |
| 36 | 62_png | 0   | 0   |
| 37 | 63_png | 0   | 0   |
| 38 | 65_png | 0   | 0   |
| 39 | 66_png | 0   | 0   |
| 40 | 72_png | 0   | 0   |
| 41 | 73_png | 0   | 0   |

표 2-19 피로도 예측이 잘못된 예시

|    | 이미지파일명 | 예측값 | 실측값 |
|----|--------|-----|-----|
| 0  | 0_png  | 0   | 1   |
| 1  | 6_png  | 0   | 1   |
| 2  | 10_png | 0   | 1   |
| 3  | 12_png | 0   | 1   |
| 4  | 13_png | 0   | 1   |
| 5  | 17_png | 0   | 1   |
| 6  | 18_png | 0   | 1   |
| 7  | 20_png | 0   | 1   |
| 8  | 23_png | 0   | 1   |
| 9  | 30_png | 0   | 1   |
| 10 | 31_png | 0   | 1   |
| 11 | 32_png | 0   | 1   |
| 12 | 35_png | 0   | 1   |
| 13 | 36_png | 0   | 1   |
| 14 | 37_png | 0   | 1   |
| 15 | 39_png | 0   | 1   |
| 16 | 40_png | 0   | 1   |
| 17 | 42_png | 0   | 1   |
| 18 | 50_png | 0   | 1   |
| 19 | 52_png | 0   | 1   |
| 20 | 54_png | 0   | 1   |
| 21 | 55_png | 0   | 1   |
| 22 | 56_png | 0   | 1   |
| 23 | 57_png | 0   | 1   |
| 24 | 59_png | 0   | 1   |
| 25 | 60_png | 0   | 1   |
| 26 | 64_png | 0   | 1   |
| 27 | 67_png | 0   | 1   |
| 28 | 68_png | 0   | 1   |
| 29 | 69_png | 0   | 1   |
| 30 | 70_png | 0   | 1   |
| 31 | 71_png | 0   | 1   |
| 32 | 75_png | 0   | 1   |
| 33 | 77_png | 0   | 1   |
| 34 | 82_png | 0   | 1   |
| 35 | 83_png | 0   | 1   |
| 36 | 84_png | 0   | 1   |
| 37 | 87_png | 0   | 1   |
| 38 | 88_png | 0   | 1   |
| 39 | 89_png | 0   | 1   |
| 40 | 92_png | 0   | 1   |
| 41 | 96_png | 0   | 1   |
| 42 | 97_png | 0   | 1   |

### ③ 피로도 데이터셋에 대한 동적,정적 작업 예측 실험 결과

- 동적, 정적 데이터 LSTM모델 학습
- 피로도 데이터 파생된 동적, 정적 분류 데이터에 대한 LSTM 모델 결과임. <표 2-20> 은 모델에 사용된 데이터 개수와 hyper parameter들을 나타냄. 기존에 데이터도 부족하여 Time window를 overlap하여 사용함. 하지만 피로도 데이터에서 정적 동적인 부분을 추출하는 동시에 많은 데이터 손실이 발생함. 그래서 전체 Time window 300 s에서 150s 만큼 shifting 하였지만 좀 더 많은 데이터를 생성하기 위해서 타임윈도우를 30s shifting 하여 데이터를 추출함. <그림 2-67>은 학습 횟수에 따른 모델의 정확도와 손실 정도를 그래프로 나타낸 수치임. learning rate 는 0.003 으로 측정하였고, mini batch size 는 128개를 이용하여 학습함. 수치는 <표 2-19>에 나타냄. 총 9,512 개 데이터에서 Train, Valid, Test 로 나누어 학습을 진행함. 전체 데이터에서 70% 는 Train data set 으로 설정하였고 각 15% 씩 Valid, Test data set 으로 실험함.

표 2-20 실험 데이터 개수 및 hyper parameter

|      | 총 데이터 개수 | Learning rate | mini batch size | Layers | epoch |
|------|----------|---------------|-----------------|--------|-------|
| LSTM | 10,312   | 0.003         | 128             | 2      | 1000  |

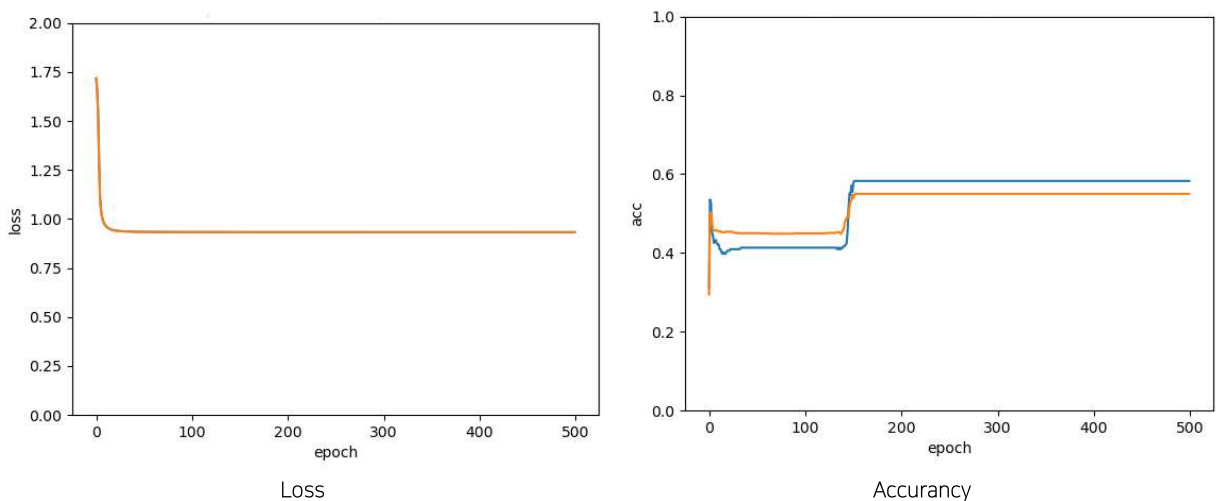


그림 2-67 동적, 정적 직군 예측 LSTM 결과

- <표 2-21>은 Test data set 의 정확도와 손실 정도를 나타냄. LSTM 모델의 정확도는 50% 초반대로 random 하게 예측하는 것보다는 조금 좋은 정확도를 가지는 것을 확인할 수 있음. 하지만 LSTM 모델이 이 데이터에 대해서 잘 학습을 하고 있다고는 할 수 없음.

표 2-21 동적, 정적 데이터 ACC, LOSS - LSTM

|      | ACCURACY | LOSS  |
|------|----------|-------|
| LSTM | 0.566    | 0.933 |

- 동적, 정적 데이터 Hierarchical Cross Attention모델 학습

: 피로도 데이터 파생된 동적, 정적 분류 데이터에 대한 Hierarchical Cross Attention모델 결과임. <표 2-21>은 모델에 사용된 데이터 개수와 hyper parameter들을 나타냄. <그림 2-68>은 학습 횟수에 따른 모델의 정확도와 손실 정도를 그래프로 나타낸 수치임. 데이터는 앞서 설명한 (8-1) 내용에서 데이터 추출한 방식과 동일하게 데이터를 사용함. learning rate 는 0.003 으로 측정하였고, mini batch size 는 40개를 이용하여 학습함. 수치는 <표 2-22>에 나타내었음. 총 9,512 개 데이터에서 Train, Valid, Test 로 나누어 학습을 진행함. 전체 데이터에서 70% 는 Train data set 으로 설정하였고 각 15% 씩 Valid, Test data set 으로 실험함.

표 2-22 실험 데이터 개수 및 hyper parameter

|                                          | 총 데이터 개수 | Learning rate | mini batch size | Layers | epoch |
|------------------------------------------|----------|---------------|-----------------|--------|-------|
| HCA<br>(Hierarchical<br>Cross Attention) | 10,312   | 0.0003        | 40              | 3      | 1000  |

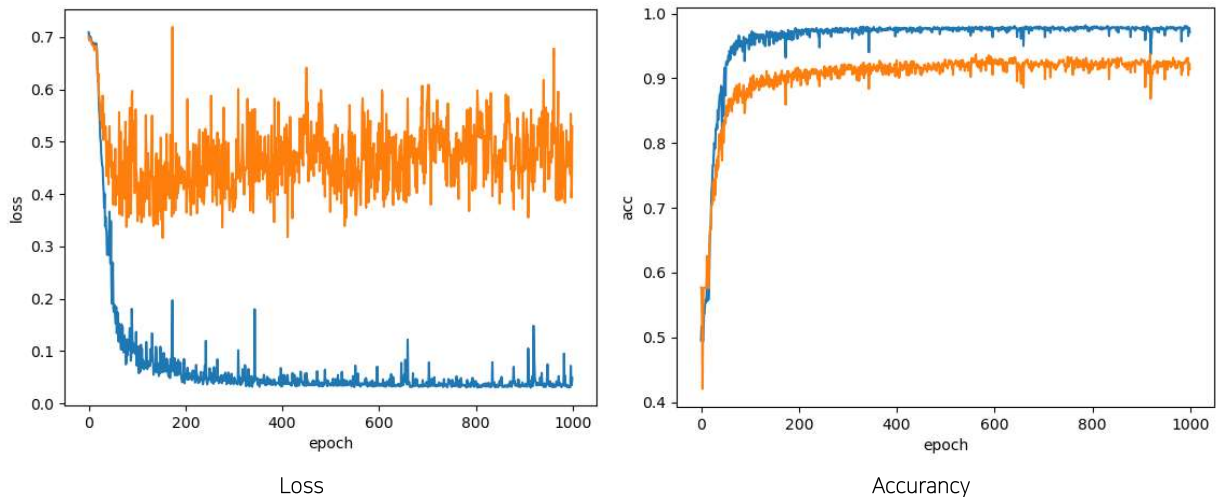


그림 2-68 피로도 데이터 Hierarchical Cross Attention 결과

- <표 2-23>은 Test data set 의 정확도와 손실 정도를 나타냄. LSTM의 결과와 비교를 하면, 모델의 정확도 손실정도 모두 좋은 성능을 보임. 학습을 하는 단계에서도 손실 정도가 많이 튀는 것을 확인할 수 있지만, 데이터에 noise가 적고 더 낮은 hz로 측정이 된 데이터라면 좀 더 안정성 있게 학습을 할 수 있음.

표 2-23 동적, 정적 데이터 ACC, LOSS - HCA

|     | ACCURANCY | LOSS  |
|-----|-----------|-------|
| HCA | 0.889     | 0.360 |

- <표 2-24>, <표 2-25>은 모델에서 동적인 것을 예측할 때, 예측을 잘한 예시와 못한 예시를 표로 나타냄. 모델에서 데이터의 변동 폭이 심한 데이터가 동적으로 예측이 된 것을 확인 할 수 있다. <표 2-25>에서 빨간 부분은 데이터가 잘 측정이 안 되었다고 예측을 할 수 있고, 이러한 데이터에 대해서는 학습을 잘못된 것을 확인 할 수 있음.

표 2-24 피로도 데이터에서 동적 구분 작업에서 잘된 예시.

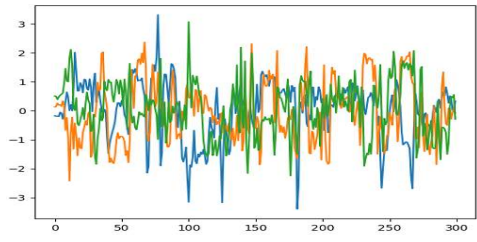
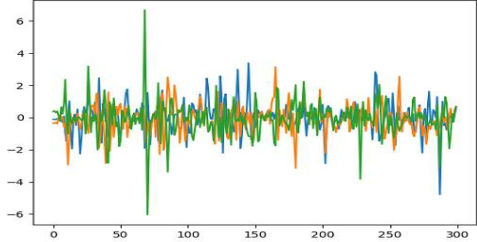
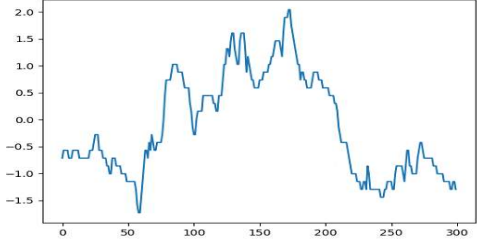
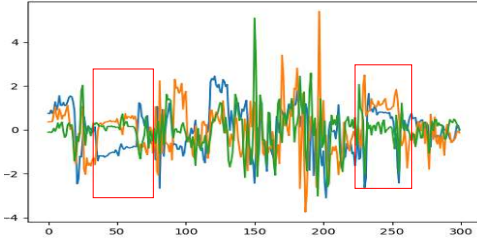
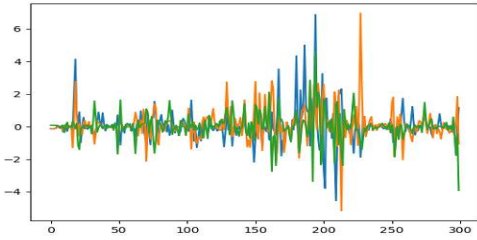
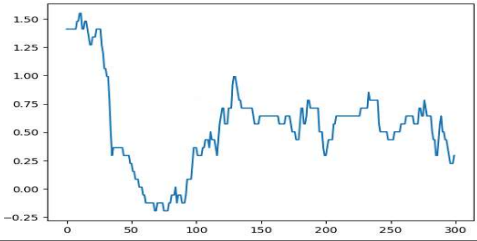
| 동적 예측       | 이미지                                                                                 | 예측값                      |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Accelerator |   | 예측값: 1(동적)<br>실측값: 1(동적) |
| Gyroscope   |   | 예측값: 1(동적)<br>실측값: 1(동적) |
| HRM         |  | 예측값: 1(동적)<br>실측값: 1(동적) |

표 2-25 피로도 데이터에서 동적 구분 작업이 잘못된 예시.

| 동적 예측       | 이미지                                                                                  | 예측값                      |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Accelerator |  | 예측값: 0(정적)<br>실측값: 1(동적) |
| Gyroscope   |  | 예측값: 0(정적)<br>실측값: 1(동적) |
| HRM         |  | 예측값: 0(정적)<br>실측값: 1(동적) |

- <표 2-26>, <표 2-27>는 HCA 모델에서 정적인 것을 예측할 때, 예측을 잘한 예시와 못한 예시를 표로 나타냄. 예측한 그림을 확인해 보면 정적인 데이터는 움직임이 거의 없어서 굉장히 불규칙하게 변동 폭이 생기는 것을 확인 할 수 있음.

표 2-26 피로도 데이터에서 정적 구분 작업에서 잘된 예시.

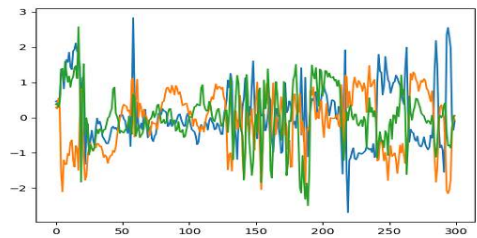
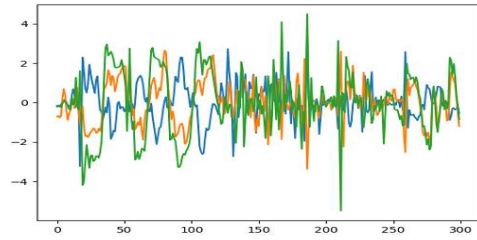
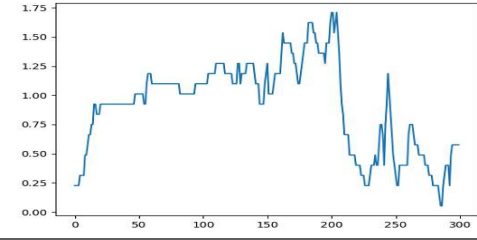
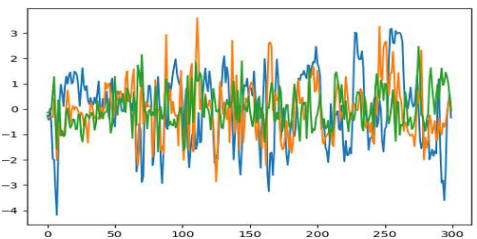
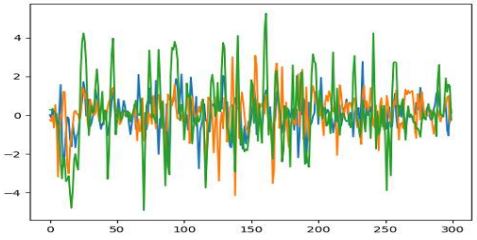
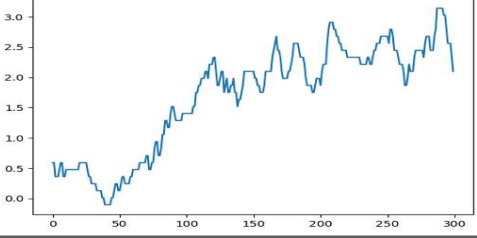
| 동적 예측       | 이미지                                                                                 | 예측값                      |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Accelerator |   | 예측값: 0(정적)<br>실측값: 0(정적) |
| Gyroscope   |   | 예측값: 0(정적)<br>실측값: 0(정적) |
| HRM         |  | 예측값: 0(정적)<br>실측값: 0(정적) |

표 2-27 피로도 데이터에서 정적 구분 작업이 잘못된 예시.

| 동적 예측       | 이미지                                                                                  | 예측값                      |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Accelerator |  | 예측값: 1(정적)<br>실측값: 0(동적) |
| Gyroscope   |  | 예측값: 1(정적)<br>실측값: 0(동적) |
| HRM         |  | 예측값: 1(정적)<br>실측값: 0(동적) |

- <표 2-28>은 피로도 데이터에서 동적, 정적 구분이 잘된 예시를 작성한 표임.

표 2-28. 동적, 정적 구분이 잘된 예시

| 피로도 | 이미지파일명 | 예측값 | 실제값 |
|-----|--------|-----|-----|
| 0   | 0_png  | 1   | 1   |
| 1   | 1_png  | 0   | 0   |
| 2   | 2_png  | 0   | 0   |
| 3   | 3_png  | 0   | 0   |
| 4   | 4_png  | 1   | 1   |
| 5   | 5_png  | 1   | 1   |
| 6   | 6_png  | 1   | 1   |
| 7   | 7_png  | 1   | 1   |
| 8   | 9_png  | 1   | 1   |
| 9   | 10_png | 0   | 0   |
| 10  | 11_png | 0   | 0   |
| 11  | 12_png | 0   | 0   |
| 12  | 13_png | 1   | 1   |
| 13  | 14_png | 0   | 0   |
| 14  | 15_png | 0   | 0   |
| 15  | 16_png | 0   | 0   |
| 16  | 17_png | 0   | 0   |
| 17  | 18_png | 0   | 0   |
| 18  | 19_png | 0   | 0   |
| 19  | 20_png | 0   | 0   |
| 20  | 21_png | 1   | 1   |
| 21  | 22_png | 1   | 1   |
| 22  | 23_png | 0   | 0   |
| 23  | 24_png | 1   | 1   |
| 24  | 25_png | 1   | 1   |
| 25  | 26_png | 0   | 0   |
| 26  | 27_png | 0   | 0   |
| 27  | 28_png | 1   | 1   |
| 28  | 29_png | 0   | 0   |
| 29  | 30_png | 1   | 1   |
| 30  | 31_png | 1   | 1   |
| 31  | 32_png | 1   | 1   |
| 32  | 33_png | 1   | 1   |
| 33  | 34_png | 1   | 1   |
| 34  | 35_png | 1   | 1   |
| 35  | 36_png | 0   | 0   |
| 36  | 37_png | 0   | 0   |
| 37  | 38_png | 1   | 1   |
| 38  | 39_png | 1   | 1   |
| 39  | 40_png | 1   | 1   |
| 40  | 41_png | 1   | 1   |
| 41  | 42_png | 1   | 1   |
| 42  | 43_png | 1   | 1   |
| 43  | 44_png | 1   | 1   |
| 44  | 45_png | 1   | 1   |

- <표 2-29>는 피로도 데이터에서 동적, 정적 구분이 잘못된 예시를 작성한 표임.

표 2-29. 동적, 정적 구분이 잘못된 예시

|    | 이미지파일명  | 예측값 | 실제값 |
|----|---------|-----|-----|
| 0  | 8_png   | 1   | 0   |
| 1  | 51_png  | 1   | 0   |
| 2  | 90_png  | 0   | 1   |
| 3  | 112_png | 1   | 0   |
| 4  | 152_png | 1   | 0   |
| 5  | 176_png | 0   | 1   |
| 6  | 206_png | 1   | 0   |
| 7  | 210_png | 1   | 0   |
| 8  | 225_png | 0   | 1   |
| 9  | 252_png | 1   | 0   |
| 10 | 278_png | 1   | 0   |
| 11 | 286_png | 1   | 0   |
| 12 | 291_png | 0   | 1   |
| 13 | 299_png | 0   | 1   |
| 14 | 303_png | 0   | 1   |
| 15 | 317_png | 1   | 0   |
| 16 | 350_png | 1   | 0   |
| 17 | 355_png | 1   | 0   |
| 18 | 358_png | 0   | 1   |
| 19 | 370_png | 1   | 0   |
| 20 | 390_png | 1   | 0   |
| 21 | 397_png | 1   | 0   |
| 22 | 403_png | 1   | 0   |
| 23 | 411_png | 1   | 0   |
| 24 | 489_png | 0   | 1   |
| 25 | 491_png | 0   | 1   |
| 26 | 524_png | 0   | 1   |
| 27 | 534_png | 1   | 0   |
| 28 | 543_png | 1   | 0   |
| 29 | 564_png | 1   | 0   |
| 30 | 571_png | 0   | 1   |
| 31 | 625_png | 1   | 0   |
| 32 | 655_png | 1   | 0   |
| 33 | 656_png | 1   | 0   |
| 34 | 657_png | 1   | 0   |
| 35 | 660_png | 1   | 0   |
| 36 | 666_png | 1   | 0   |
| 37 | 667_png | 0   | 1   |
| 38 | 676_png | 0   | 1   |
| 39 | 677_png | 0   | 1   |
| 40 | 679_png | 1   | 0   |
| 41 | 698_png | 0   | 1   |
| 42 | 734_png | 1   | 0   |
| 43 | 757_png | 1   | 0   |
| 44 | 805_png | 1   | 0   |

(바) 생태순간평가 데이터 및 목표값 매칭

• SOFI test 데이터

- 건설근로자의 생리학적 데이터와 피로도 측정을 위해 생태순간평가 데이터가 수집되었음. 생태순간평가의 피로도 측정 항목은 ‘다차원 피로 측정 도구(Multidimensional Fatigue Scale, MFS)’, ‘직업 피로 측정 도구(The Swedish Occupational Fatigue Inventory, SOFI)’, ‘피로 자각 증상 조사 도구(Subject Symptoms of Fatigue test, SSF)’, ‘근무환경’, ‘건강관련 특성’, ‘수면의 질’, ‘우울척도’, ‘일반적 특성’ 등이 SOFI pilot test로 측정된 데이터를 기반으로 결정하였음.
- 생태순간평가 데이터와 딥러닝 알고리즘 기반의 모델의 목표값을 맞추기 위해, 출력 데이터로 사용할 수 있는 SOFI test 데이터의 특성(feature)을 추출하기로 하였음. 총 3개의 ‘다차원 피로 측정 도구(MFS)’, ‘직업 피로 측정 도구(SOFI)’, ‘피로 자각 증상 조사 도구(SSF)’로 측정된 데이터를 사용하기로 하였음. 각 도구는 데이터의 특성으로 볼 수 있음. 각 도구로 측정된 문항 간의 범주별 합계 점수, 총 합계 점수 또한 데이터의 특성으로 볼 수 있음. 이에 따라 데이터의 각 특성이 가지는 유사도에 따른 정보를 출력 데이터로 추출하기로 하였음. 1차년도 SOFI pilot test 데이터와 2차년도의 SOFI test 데이터를 사용함. <표 2-30>는 1차년도 SOFI pilot test의 1차 설문에서 수집된 3개 도구의 14개 항목을 나타냄. 이를 총 14개의 특성을 가지는 데이터로 볼 수 있음.

표 2-30 1차년도 SOFI pilot test 데이터

| MFS_1_total | MFS_1_daily_total | MFS_1_general_total | MFS_1_situation_total | SOFI_1_total | SOFI_1_PE_total | SOFI_1_LM_total | SOFI_1_LE_total | SOFI_1_PD_total | SOFI_1_S_total | MFS_1_total | MFS_1_daily_total | MFS_1_general_total | MFS_1_situation_total |
|-------------|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 12          | 0                 | 9                   | 0                     | 0            | 0               | 0               | 0               | 0               | 0              | 12          | 0                 | 9                   | 0                     |
| 41          | 14                | 19                  | 14                    | 25           | 5               | 5               | 6               | 4               | 5              | 41          | 14                | 19                  | 14                    |
| 66          | 25                | 30                  | 25                    | 61           | 11              | 12              | 12              | 13              | 13             | 66          | 25                | 30                  | 25                    |
| 35          | 11                | 16                  | 11                    | 18           | 2               | 5               | 4               | 3               | 4              | 35          | 11                | 16                  | 11                    |
| 58          | 18                | 27                  | 18                    | 76           | 11              | 18              | 16              | 18              | 13             | 58          | 18                | 27                  | 18                    |
| 72          | 25                | 32                  | 25                    | 56           | 10              | 12              | 11              | 11              | 12             | 72          | 25                | 32                  | 25                    |
| 7           | 4                 | 4                   | 4                     | 7            | 0               | 1               | 3               | 0               | 3              | 7           | 4                 | 4                   | 4                     |
| 48          | 18                | 24                  | 18                    | 58           | 10              | 12              | 12              | 12              | 12             | 48          | 18                | 24                  | 18                    |
| 54          | 18                | 30                  | 18                    | 15           | 3               | 9               | 0               | 0               | 3              | 54          | 18                | 30                  | 18                    |
| 35          | 13                | 14                  | 13                    | 5            | 0               | 0               | 2               | 1               | 2              | 35          | 13                | 14                  | 13                    |
| 45          | 12                | 27                  | 12                    | 54           | 6               | 12              | 12              | 12              | 12             | 45          | 12                | 27                  | 12                    |
| 57          | 21                | 33                  | 21                    | 32           | 0               | 12              | 2               | 7               | 11             | 57          | 21                | 33                  | 21                    |
| 39          | 15                | 10                  | 15                    | 36           | 0               | 9               | 12              | 3               | 12             | 39          | 15                | 10                  | 15                    |
| 17          | 5                 | 7                   | 5                     | 9            | 0               | 3               | 1               | 1               | 4              | 17          | 5                 | 7                   | 5                     |
| 84          | 28                | 43                  | 28                    | 48           | 4               | 12              | 8               | 14              | 10             | 84          | 28                | 43                  | 28                    |
| 2           | 0                 | 0                   | 0                     | 3            | 0               | 0               | 0               | 1               | 2              | 2           | 0                 | 0                   | 0                     |
| 60          | 24                | 30                  | 24                    | 30           | 0               | 9               | 6               | 9               | 6              | 60          | 24                | 30                  | 24                    |
| 74          | 26                | 39                  | 26                    | 45           | 4               | 9               | 12              | 8               | 12             | 74          | 26                | 39                  | 26                    |
| 75          | 30                | 37                  | 30                    | 91           | 14              | 18              | 20              | 19              | 20             | 75          | 30                | 37                  | 30                    |
| 45          | 22                | 18                  | 22                    | 9            | 2               | 2               | 1               | 3               | 1              | 45          | 22                | 18                  | 22                    |
| 39          | 14                | 12                  | 14                    | 25           | 1               | 11              | 5               | 5               | 3              | 39          | 14                | 12                  | 14                    |
| 57          | 18                | 27                  | 18                    | 60           | 12              | 12              | 12              | 12              | 12             | 57          | 18                | 27                  | 18                    |

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 33 | 4  | 21 | 4  | 31 | 2  | 4  | 6  | 11 | 8  | 33 | 4  | 21 | 4  |
| 27 | 6  | 6  | 6  | 6  | 0  | 4  | 0  | 0  | 2  | 27 | 6  | 6  | 6  |
| 53 | 19 | 25 | 19 | 58 | 8  | 12 | 13 | 9  | 16 | 53 | 19 | 25 | 19 |
| 13 | 6  | 6  | 6  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 13 | 6  | 6  | 6  |
| 56 | 18 | 26 | 18 | 64 | 13 | 12 | 13 | 13 | 13 | 56 | 18 | 26 | 18 |
| 73 | 19 | 34 | 19 | 37 | 5  | 1  | 8  | 13 | 10 | 73 | 19 | 34 | 19 |
| 18 | 0  | 9  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 18 | 0  | 9  | 0  |
| 56 | 18 | 26 | 18 | 61 | 13 | 10 | 11 | 9  | 18 | 56 | 18 | 26 | 18 |
| 4  | 4  | 0  | 4  | 11 | 0  | 7  | 0  | 3  | 1  | 4  | 4  | 0  | 4  |
| 70 | 29 | 28 | 29 | 60 | 8  | 13 | 15 | 12 | 12 | 70 | 29 | 28 | 29 |
| 42 | 6  | 25 | 6  | 24 | 0  | 6  | 6  | 3  | 9  | 42 | 6  | 25 | 6  |
| 40 | 25 | 15 | 25 | 20 | 0  | 2  | 3  | 3  | 12 | 40 | 25 | 15 | 25 |
| 72 | 31 | 32 | 31 | 42 | 5  | 9  | 10 | 9  | 9  | 72 | 31 | 32 | 31 |
| 54 | 17 | 25 | 17 | 24 | 5  | 5  | 5  | 5  | 4  | 54 | 17 | 25 | 17 |
| 57 | 19 | 27 | 19 | 57 | 10 | 9  | 13 | 12 | 13 | 57 | 19 | 27 | 19 |
| 46 | 14 | 31 | 14 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 46 | 14 | 31 | 14 |
| 40 | 14 | 18 | 14 | 48 | 7  | 10 | 11 | 9  | 11 | 40 | 14 | 18 | 14 |
| 56 | 24 | 20 | 24 | 35 | 6  | 4  | 7  | 9  | 9  | 56 | 24 | 20 | 24 |
| 50 | 15 | 26 | 15 | 25 | 2  | 2  | 3  | 5  | 13 | 50 | 15 | 26 | 15 |
| 52 | 20 | 24 | 20 | 37 | 5  | 10 | 7  | 7  | 8  | 52 | 20 | 24 | 20 |
| 39 | 14 | 16 | 14 | 31 | 7  | 7  | 6  | 6  | 5  | 39 | 14 | 16 | 14 |
| 10 | 3  | 5  | 3  | 14 | 2  | 4  | 0  | 8  | 0  | 10 | 3  | 5  | 3  |
| 52 | 18 | 27 | 18 | 14 | 0  | 5  | 3  | 1  | 5  | 52 | 18 | 27 | 18 |
| 57 | 17 | 26 | 17 | 5  | 0  | 3  | 0  | 0  | 2  | 57 | 17 | 26 | 17 |
| 32 | 10 | 15 | 10 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 32 | 10 | 15 | 10 |
| 73 | 24 | 36 | 24 | 42 | 7  | 8  | 8  | 10 | 9  | 73 | 24 | 36 | 24 |
| 62 | 19 | 32 | 19 | 60 | 14 | 11 | 13 | 10 | 12 | 62 | 19 | 32 | 19 |
| 24 | 9  | 12 | 9  | 12 | 0  | 3  | 3  | 6  | 0  | 24 | 9  | 12 | 9  |
| 60 | 21 | 30 | 21 | 34 | 4  | 3  | 9  | 9  | 9  | 60 | 21 | 30 | 21 |
| 69 | 23 | 32 | 23 | 63 | 9  | 10 | 15 | 11 | 18 | 69 | 23 | 32 | 23 |
| 22 | 7  | 11 | 7  | 5  | 0  | 0  | 2  | 2  | 1  | 22 | 7  | 11 | 7  |
| 82 | 27 | 40 | 27 | 50 | 8  | 13 | 16 | 5  | 8  | 82 | 27 | 40 | 27 |
| 50 | 18 | 21 | 18 | 13 | 1  | 2  | 4  | 3  | 3  | 50 | 18 | 21 | 18 |
| 52 | 22 | 29 | 22 | 38 | 6  | 7  | 7  | 7  | 11 | 52 | 22 | 29 | 22 |
| 33 | 6  | 16 | 6  | 24 | 3  | 5  | 9  | 0  | 7  | 33 | 6  | 16 | 6  |
| 63 | 23 | 27 | 23 | 68 | 8  | 15 | 15 | 15 | 15 | 63 | 23 | 27 | 23 |
| 67 | 25 | 29 | 25 | 61 | 12 | 12 | 12 | 11 | 14 | 67 | 25 | 29 | 25 |
| 69 | 23 | 31 | 23 | 57 | 10 | 10 | 12 | 13 | 12 | 69 | 23 | 31 | 23 |
| 56 | 13 | 37 | 13 | 54 | 9  | 9  | 11 | 10 | 15 | 56 | 13 | 37 | 13 |
| 46 | 16 | 23 | 16 | 20 | 0  | 0  | 11 | 5  | 4  | 46 | 16 | 23 | 16 |
| 47 | 14 | 21 | 14 | 55 | 8  | 11 | 11 | 13 | 12 | 47 | 14 | 21 | 14 |
| 56 | 18 | 27 | 18 | 26 | 3  | 7  | 6  | 5  | 5  | 56 | 18 | 27 | 18 |
| 62 | 19 | 29 | 19 | 56 | 9  | 12 | 10 | 13 | 12 | 62 | 19 | 29 | 19 |
| 67 | 22 | 30 | 22 | 46 | 7  | 13 | 9  | 5  | 12 | 67 | 22 | 30 | 22 |
| 5  | 1  | 2  | 1  | 5  | 1  | 1  | 2  | 0  | 1  | 5  | 1  | 2  | 1  |

|     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |    |    |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|
| 9   | 5  | 2  | 5  | 10 | 3  | 2  | 4  | 0  | 1  | 9   | 5  | 2  | 5  |
| 44  | 13 | 21 | 13 | 42 | 10 | 8  | 9  | 4  | 11 | 44  | 13 | 21 | 13 |
| 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  |
| 74  | 15 | 37 | 15 | 66 | 7  | 17 | 16 | 9  | 17 | 74  | 15 | 37 | 15 |
| 86  | 28 | 37 | 28 | 88 | 15 | 17 | 19 | 19 | 18 | 86  | 28 | 37 | 28 |
| 63  | 21 | 29 | 21 | 22 | 1  | 6  | 5  | 3  | 7  | 63  | 21 | 29 | 21 |
| 61  | 17 | 34 | 17 | 72 | 13 | 13 | 15 | 13 | 18 | 61  | 17 | 34 | 17 |
| 62  | 22 | 28 | 22 | 51 | 10 | 9  | 12 | 10 | 10 | 62  | 22 | 28 | 22 |
| 78  | 30 | 38 | 30 | 51 | 8  | 11 | 9  | 13 | 10 | 78  | 30 | 38 | 30 |
| 25  | 9  | 9  | 9  | 32 | 6  | 6  | 6  | 8  | 6  | 25  | 9  | 9  | 9  |
| 44  | 17 | 21 | 17 | 58 | 9  | 12 | 12 | 13 | 12 | 44  | 17 | 21 | 17 |
| 79  | 21 | 36 | 21 | 59 | 13 | 11 | 11 | 11 | 13 | 79  | 21 | 36 | 21 |
| 94  | 34 | 43 | 34 | 92 | 8  | 20 | 22 | 22 | 20 | 94  | 34 | 43 | 34 |
| 83  | 24 | 34 | 24 | 67 | 10 | 15 | 19 | 10 | 13 | 83  | 24 | 34 | 24 |
| 70  | 27 | 27 | 27 | 31 | 4  | 7  | 8  | 6  | 6  | 70  | 27 | 27 | 27 |
| 46  | 14 | 20 | 14 | 32 | 4  | 5  | 8  | 9  | 6  | 46  | 14 | 20 | 14 |
| 47  | 21 | 21 | 21 | 63 | 14 | 8  | 12 | 15 | 14 | 47  | 21 | 21 | 21 |
| 63  | 33 | 33 | 33 | 59 | 10 | 13 | 10 | 10 | 16 | 63  | 33 | 33 | 33 |
| 70  | 25 | 34 | 25 | 62 | 12 | 8  | 13 | 14 | 15 | 70  | 25 | 34 | 25 |
| 25  | 6  | 12 | 6  | 13 | 1  | 4  | 2  | 0  | 6  | 25  | 6  | 12 | 6  |
| 27  | 11 | 12 | 11 | 10 | 2  | 0  | 2  | 2  | 4  | 27  | 11 | 12 | 11 |
| 85  | 29 | 39 | 29 | 89 | 14 | 19 | 20 | 19 | 17 | 85  | 29 | 39 | 29 |
| 48  | 18 | 17 | 18 | 12 | 0  | 1  | 2  | 4  | 5  | 48  | 18 | 17 | 18 |
| 34  | 11 | 12 | 11 | 30 | 2  | 10 | 5  | 4  | 9  | 34  | 11 | 12 | 11 |
| 76  | 28 | 41 | 28 | 81 | 12 | 14 | 18 | 18 | 19 | 76  | 28 | 41 | 28 |
| 42  | 24 | 12 | 24 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 42  | 24 | 12 | 24 |
| 76  | 27 | 34 | 27 | 74 | 14 | 14 | 15 | 16 | 15 | 76  | 27 | 34 | 27 |
| 86  | 28 | 38 | 28 | 77 | 12 | 16 | 15 | 16 | 18 | 86  | 28 | 38 | 28 |
| 24  | 12 | 9  | 12 | 23 | 4  | 3  | 5  | 8  | 3  | 24  | 12 | 9  | 12 |
| 27  | 3  | 18 | 3  | 34 | 5  | 9  | 4  | 8  | 8  | 27  | 3  | 18 | 3  |
| 44  | 16 | 21 | 16 | 40 | 8  | 4  | 12 | 6  | 10 | 44  | 16 | 21 | 16 |
| 65  | 20 | 32 | 20 | 35 | 3  | 10 | 7  | 7  | 8  | 65  | 20 | 32 | 20 |
| 31  | 14 | 8  | 14 | 2  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 31  | 14 | 8  | 14 |
| 59  | 18 | 28 | 18 | 54 | 8  | 9  | 12 | 12 | 13 | 59  | 18 | 28 | 18 |
| 66  | 21 | 29 | 21 | 84 | 15 | 18 | 18 | 15 | 18 | 66  | 21 | 29 | 21 |
| 60  | 20 | 30 | 20 | 33 | 4  | 9  | 7  | 5  | 8  | 60  | 20 | 30 | 20 |
| 83  | 34 | 45 | 34 | 45 | 5  | 6  | 12 | 5  | 17 | 83  | 34 | 45 | 34 |
| 71  | 24 | 33 | 24 | 58 | 9  | 12 | 12 | 13 | 12 | 71  | 24 | 33 | 24 |
| 58  | 23 | 25 | 23 | 35 | 3  | 9  | 8  | 6  | 9  | 58  | 23 | 25 | 23 |
| 61  | 20 | 29 | 20 | 43 | 8  | 8  | 11 | 8  | 8  | 61  | 20 | 29 | 20 |
| 64  | 22 | 27 | 22 | 38 | 5  | 10 | 6  | 6  | 11 | 64  | 22 | 27 | 22 |
| 79  | 26 | 36 | 26 | 42 | 4  | 10 | 9  | 6  | 13 | 79  | 26 | 36 | 26 |
| 111 | 36 | 51 | 36 | 3  | 0  | 0  | 3  | 0  | 0  | 111 | 36 | 51 | 36 |
| 66  | 23 | 31 | 23 | 19 | 0  | 5  | 2  | 2  | 10 | 66  | 23 | 31 | 23 |
| 43  | 23 | 18 | 23 | 6  | 0  | 1  | 1  | 3  | 1  | 43  | 23 | 18 | 23 |

|     |    |    |    |     |    |    |    |    |    |     |    |    |    |
|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|
| 75  | 26 | 35 | 26 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 75  | 26 | 35 | 26 |
| 36  | 14 | 19 | 14 | 19  | 1  | 3  | 0  | 3  | 12 | 36  | 14 | 19 | 14 |
| 49  | 11 | 22 | 11 | 26  | 2  | 7  | 5  | 5  | 7  | 49  | 11 | 22 | 11 |
| 101 | 36 | 46 | 36 | 27  | 0  | 2  | 10 | 5  | 10 | 101 | 36 | 46 | 36 |
| 71  | 22 | 31 | 22 | 63  | 12 | 13 | 13 | 13 | 12 | 71  | 22 | 31 | 22 |
| 59  | 21 | 27 | 21 | 64  | 11 | 12 | 18 | 15 | 8  | 59  | 21 | 27 | 21 |
| 67  | 32 | 25 | 32 | 40  | 1  | 2  | 12 | 5  | 20 | 67  | 32 | 25 | 32 |
| 41  | 16 | 15 | 16 | 34  | 0  | 4  | 12 | 1  | 17 | 41  | 16 | 15 | 16 |
| 58  | 22 | 25 | 22 | 13  | 0  | 7  | 4  | 1  | 1  | 58  | 22 | 25 | 22 |
| 83  | 26 | 36 | 26 | 50  | 7  | 6  | 12 | 15 | 10 | 83  | 26 | 36 | 26 |
| 78  | 29 | 36 | 29 | 61  | 10 | 12 | 14 | 13 | 12 | 78  | 29 | 36 | 29 |
| 40  | 11 | 23 | 11 | 19  | 0  | 4  | 5  | 6  | 4  | 40  | 11 | 23 | 11 |
| 78  | 26 | 36 | 26 | 76  | 14 | 15 | 16 | 14 | 17 | 78  | 26 | 36 | 26 |
| 35  | 13 | 14 | 13 | 8   | 0  | 1  | 2  | 2  | 3  | 35  | 13 | 14 | 13 |
| 69  | 23 | 28 | 23 | 66  | 11 | 13 | 16 | 12 | 14 | 69  | 23 | 28 | 23 |
| 71  | 23 | 32 | 23 | 55  | 8  | 13 | 10 | 11 | 13 | 71  | 23 | 32 | 23 |
| 68  | 26 | 28 | 26 | 40  | 5  | 6  | 11 | 4  | 14 | 68  | 26 | 28 | 26 |
| 21  | 12 | 2  | 12 | 4   | 0  | 2  | 0  | 2  | 0  | 21  | 12 | 2  | 12 |
| 57  | 18 | 27 | 18 | 60  | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 57  | 18 | 27 | 18 |
| 47  | 14 | 24 | 14 | 46  | 6  | 8  | 11 | 12 | 9  | 47  | 14 | 24 | 14 |
| 52  | 20 | 23 | 20 | 51  | 11 | 11 | 11 | 9  | 9  | 52  | 20 | 23 | 20 |
| 59  | 33 | 19 | 33 | 26  | 0  | 6  | 9  | 0  | 11 | 59  | 33 | 19 | 33 |
| 80  | 27 | 36 | 27 | 84  | 17 | 16 | 15 | 17 | 19 | 80  | 27 | 36 | 27 |
| 74  | 24 | 37 | 24 | 82  | 15 | 11 | 19 | 21 | 16 | 74  | 24 | 37 | 24 |
| 61  | 25 | 21 | 25 | 7   | 1  | 1  | 3  | 1  | 1  | 61  | 25 | 21 | 25 |
| 78  | 27 | 37 | 27 | 66  | 5  | 12 | 18 | 20 | 11 | 78  | 27 | 37 | 27 |
| 74  | 29 | 37 | 29 | 38  | 0  | 3  | 15 | 4  | 16 | 74  | 29 | 37 | 29 |
| 54  | 23 | 27 | 23 | 36  | 8  | 4  | 8  | 8  | 8  | 54  | 23 | 27 | 23 |
| 63  | 22 | 30 | 22 | 55  | 8  | 10 | 14 | 8  | 15 | 63  | 22 | 30 | 22 |
| 75  | 25 | 34 | 25 | 65  | 9  | 15 | 13 | 13 | 15 | 75  | 25 | 34 | 25 |
| 81  | 31 | 37 | 31 | 109 | 16 | 22 | 24 | 23 | 24 | 81  | 31 | 37 | 31 |
| 35  | 16 | 12 | 16 | 13  | 0  | 0  | 2  | 0  | 11 | 35  | 16 | 12 | 16 |
| 74  | 23 | 34 | 23 | 78  | 12 | 15 | 15 | 18 | 18 | 74  | 23 | 34 | 23 |
| 62  | 25 | 21 | 25 | 8   | 1  | 1  | 3  | 1  | 2  | 62  | 25 | 21 | 25 |
| 69  | 22 | 31 | 22 | 66  | 9  | 12 | 16 | 16 | 13 | 69  | 22 | 31 | 22 |
| 76  | 31 | 36 | 31 | 60  | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 76  | 31 | 36 | 31 |
| 76  | 26 | 37 | 26 | 63  | 8  | 14 | 14 | 7  | 20 | 76  | 26 | 37 | 26 |
| 62  | 20 | 27 | 20 | 46  | 6  | 9  | 11 | 5  | 15 | 62  | 20 | 27 | 20 |
| 72  | 26 | 32 | 26 | 76  | 4  | 18 | 20 | 15 | 19 | 72  | 26 | 32 | 26 |
| 57  | 18 | 27 | 18 | 60  | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 57  | 18 | 27 | 18 |
| 73  | 23 | 34 | 23 | 69  | 8  | 11 | 17 | 16 | 17 | 73  | 23 | 34 | 23 |
| 60  | 25 | 26 | 25 | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 60  | 25 | 26 | 25 |
| 73  | 25 | 31 | 25 | 62  | 13 | 12 | 12 | 13 | 12 | 73  | 25 | 31 | 25 |
| 63  | 18 | 31 | 18 | 51  | 5  | 8  | 9  | 11 | 18 | 63  | 18 | 31 | 18 |
| 46  | 16 | 22 | 16 | 26  | 4  | 5  | 6  | 4  | 7  | 46  | 16 | 22 | 16 |

|     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |    |    |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|
| 62  | 19 | 28 | 19 | 63 | 11 | 14 | 14 | 12 | 12 | 62  | 19 | 28 | 19 |
| 72  | 23 | 35 | 23 | 55 | 7  | 14 | 10 | 10 | 14 | 72  | 23 | 35 | 23 |
| 27  | 5  | 10 | 5  | 16 | 0  | 1  | 5  | 4  | 6  | 27  | 5  | 10 | 5  |
| 62  | 21 | 34 | 21 | 49 | 3  | 10 | 14 | 6  | 16 | 62  | 21 | 34 | 21 |
| 62  | 23 | 29 | 23 | 45 | 3  | 15 | 12 | 7  | 8  | 62  | 23 | 29 | 23 |
| 53  | 21 | 23 | 21 | 47 | 3  | 18 | 10 | 0  | 16 | 53  | 21 | 23 | 21 |
| 65  | 19 | 29 | 19 | 64 | 10 | 12 | 15 | 14 | 13 | 65  | 19 | 29 | 19 |
| 67  | 21 | 33 | 21 | 59 | 6  | 9  | 15 | 15 | 14 | 67  | 21 | 33 | 21 |
| 55  | 15 | 26 | 15 | 56 | 13 | 12 | 11 | 9  | 11 | 55  | 15 | 26 | 15 |
| 84  | 30 | 41 | 30 | 55 | 2  | 13 | 18 | 3  | 19 | 84  | 30 | 41 | 30 |
| 89  | 30 | 42 | 30 | 59 | 9  | 12 | 12 | 10 | 16 | 89  | 30 | 42 | 30 |
| 89  | 30 | 42 | 30 | 59 | 9  | 12 | 12 | 10 | 16 | 89  | 30 | 42 | 30 |
| 71  | 28 | 33 | 28 | 86 | 14 | 20 | 15 | 17 | 20 | 71  | 28 | 33 | 28 |
| 75  | 29 | 32 | 29 | 43 | 5  | 3  | 12 | 10 | 13 | 75  | 29 | 32 | 29 |
| 36  | 10 | 9  | 10 | 54 | 6  | 1  | 18 | 5  | 24 | 36  | 10 | 9  | 10 |
| 107 | 36 | 54 | 36 | 35 | 0  | 7  | 12 | 0  | 16 | 107 | 36 | 54 | 36 |
| 50  | 24 | 22 | 24 | 49 | 0  | 17 | 14 | 2  | 16 | 50  | 24 | 22 | 24 |
| 62  | 19 | 28 | 19 | 37 | 9  | 5  | 6  | 8  | 9  | 62  | 19 | 28 | 19 |
| 68  | 24 | 31 | 24 | 68 | 4  | 18 | 16 | 15 | 15 | 68  | 24 | 31 | 24 |
| 61  | 19 | 31 | 19 | 59 | 9  | 11 | 14 | 12 | 13 | 61  | 19 | 31 | 19 |
| 64  | 19 | 33 | 19 | 70 | 13 | 16 | 14 | 12 | 15 | 64  | 19 | 33 | 19 |
| 74  | 26 | 43 | 26 | 37 | 3  | 6  | 9  | 6  | 13 | 74  | 26 | 43 | 26 |
| 60  | 21 | 28 | 21 | 33 | 6  | 9  | 5  | 7  | 6  | 60  | 21 | 28 | 21 |
| 34  | 8  | 15 | 8  | 28 | 5  | 7  | 6  | 3  | 7  | 34  | 8  | 15 | 8  |
| 72  | 28 | 31 | 28 | 63 | 6  | 15 | 15 | 12 | 15 | 72  | 28 | 31 | 28 |
| 66  | 21 | 29 | 21 | 53 | 6  | 5  | 8  | 12 | 22 | 66  | 21 | 29 | 21 |
| 67  | 23 | 31 | 23 | 62 | 12 | 15 | 11 | 6  | 18 | 67  | 23 | 31 | 23 |
| 64  | 20 | 31 | 20 | 64 | 11 | 12 | 11 | 16 | 14 | 64  | 20 | 31 | 20 |
| 85  | 30 | 42 | 30 | 91 | 14 | 16 | 21 | 16 | 24 | 85  | 30 | 42 | 30 |
| 66  | 25 | 30 | 25 | 67 | 3  | 14 | 20 | 10 | 20 | 66  | 25 | 30 | 25 |
| 59  | 24 | 25 | 24 | 23 | 0  | 4  | 7  | 1  | 11 | 59  | 24 | 25 | 24 |
| 70  | 23 | 29 | 23 | 83 | 22 | 15 | 17 | 16 | 13 | 70  | 23 | 29 | 23 |
| 58  | 23 | 26 | 23 | 42 | 3  | 3  | 15 | 4  | 17 | 58  | 23 | 26 | 23 |
| 53  | 18 | 27 | 18 | 56 | 5  | 11 | 12 | 10 | 18 | 53  | 18 | 27 | 18 |
| 75  | 28 | 33 | 28 | 37 | 2  | 8  | 9  | 7  | 11 | 75  | 28 | 33 | 28 |
| 60  | 19 | 24 | 19 | 33 | 2  | 6  | 9  | 4  | 12 | 60  | 19 | 24 | 19 |

- 클러스터링(Clustering)

- SOFI test 데이터의 각 특성이 가지는 유사한 정도에 따라 클러스터(Cluster, 군집)로 묶을 수 있음. 이를 위해 유사도와 같은 데이터 간의 특성으로 클러스터를 만들고 그의 대표점을 찾는 비지도 학습 방법을 클러스터링(Clustering, 군집화)이라고 함. SOFI test 데이터는 총 14개의 특성을 가지는 고차원 데이터임. 데이터의 여러 특성을 고려하기 위해서는, 데이터의 여러 특성에 따른 고차원 공간에 클러스터링 해야 함.

- 2개의 특성을 갖는 데이터를 2차원 공간에서 클러스터링 하는 것보다 여러 특성을 갖는 고차원 데이터를 클러스터링 하는 것은 고차원 유클리디안 공간에서 나타나는 ‘차원의 저주(The Curse of Dimensionality)’로 인해 어려움이 따름. 이러한 고차원 공간에서 데이터를 클러스터링 하는데 사용될 수 있는 방법에는 k-평균, k-평균을 확장한 BFR(Bradley-Fayyad-Reina)와 CURE(Clustering Using REpresentatives) 등이 있음.
- SOFI test 데이터의 특성 간의 클러스터 개수 k를 설정하기 위해 실험 및 검증 작업을 거쳐 클러스터 개수 k를 분석함. 따라서 여러 k값으로 클러스터링을 수행하여 시각화하는 실험을 진행함.
- 1차년도 SOFI pilot test 데이터 Random Forest Clustering
  - 1차 설문(총 14개 특성): Random Forest Clustering에 SOFI\_1\_total 외에 크게 기여하는 특성을 찾기 어려움. <그림 2-70>에서와 같이 클러스터링이 잘 된 것으로 보기 어려움.

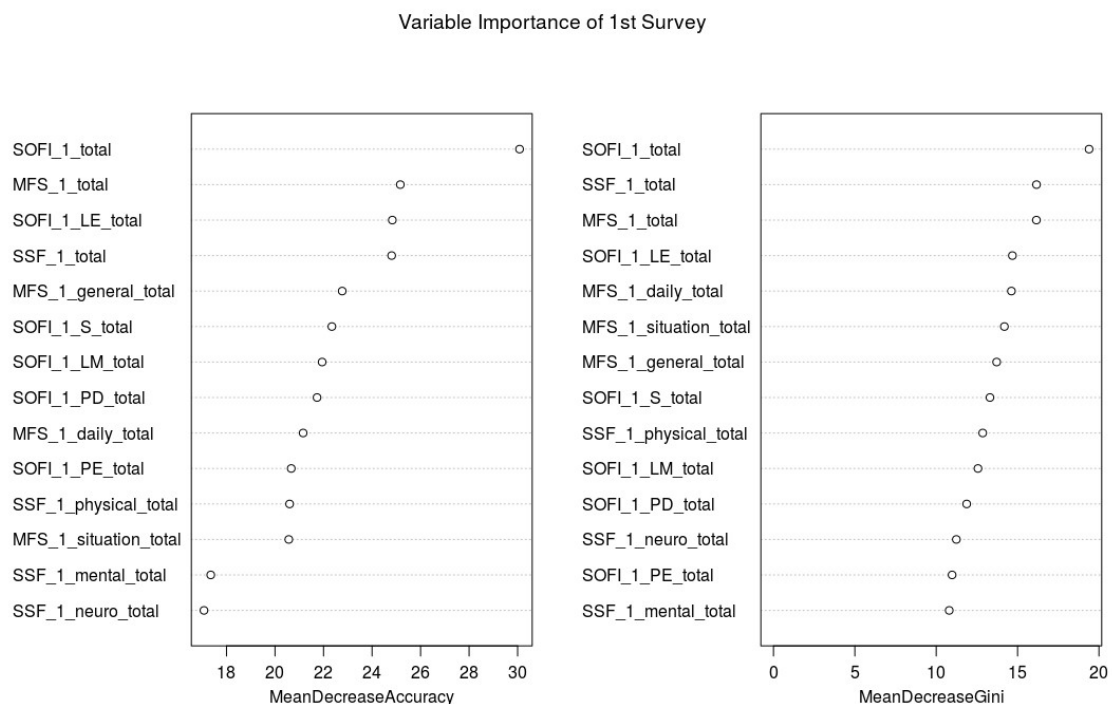


그림 2-69 Random Forest에 의한 변수 중요도 (총 14개 특성)

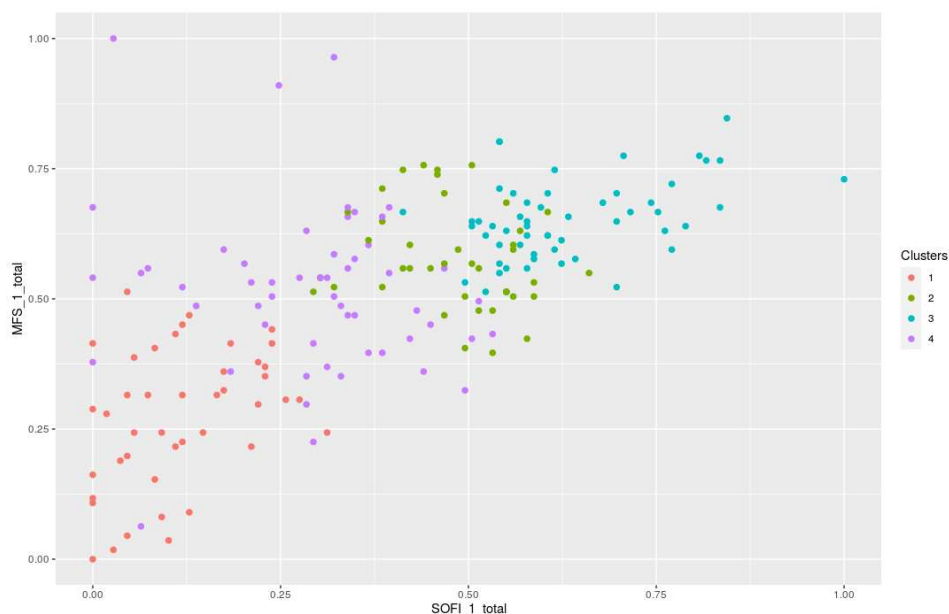


그림 2-70 Random Forest Cluster에 의한 클러스터 (총 14개 특성)

- 1차 & 2차 설문(총 28개 특성): Random Forest Clustering에 SOFI\_1\_total, SSF\_1\_total 두 특성의 기여도가 상대적으로 높은 것으로 보이나 <그림 2-72>와 같이 클러스터링에는 특성을 더 많이 사용하여도 1차 설문의 클러스터링과 큰 차이를 보이지 않음.

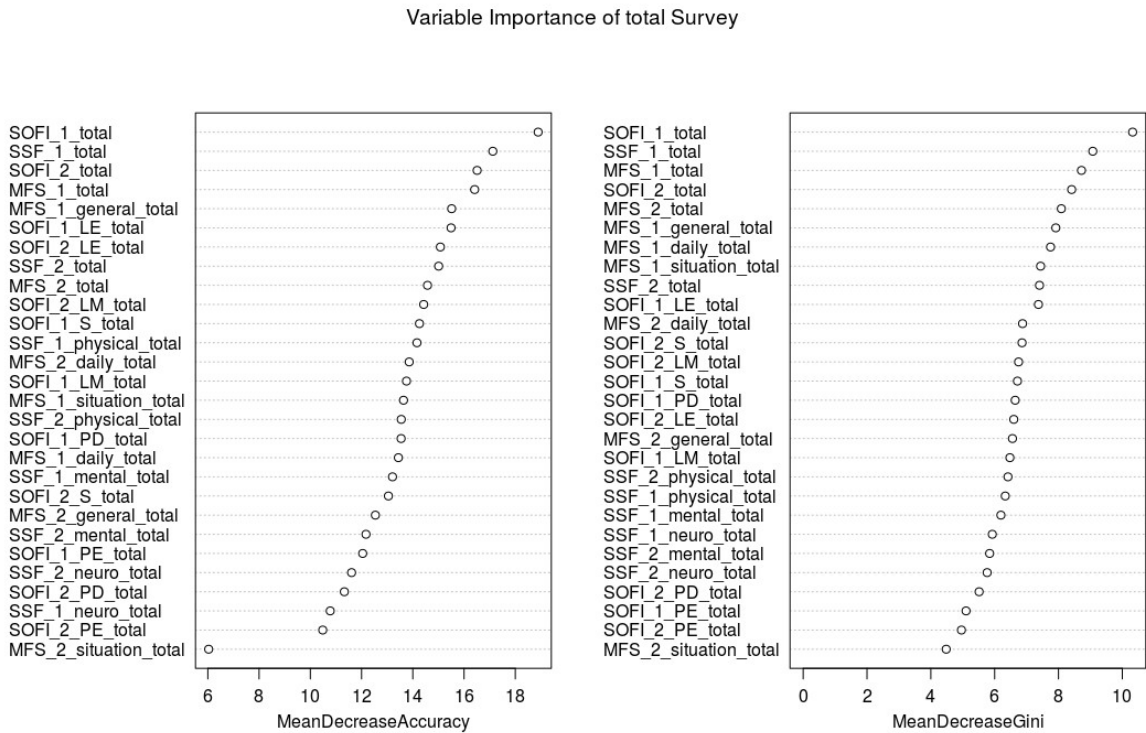


그림 2-71 Random Forest에 의한 변수 중요도 (총 28개 특성)

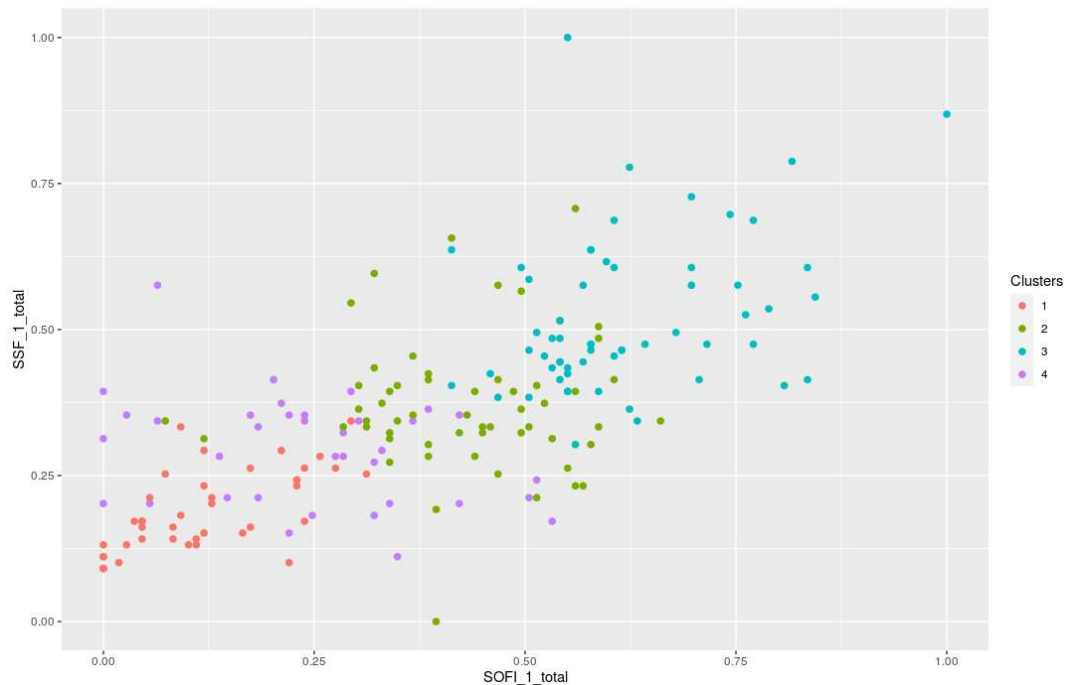


그림 2-72 Random Forest Clustering에 의한 클러스터 (총 28개 특성)

• SOFI test 데이터 Random Forest Clustering

- 1차년도 SOFI pilot test 데이터의 Random Forest Clustering 결과, 1차 설문의 14개 특성과 설문 2번의 28개 특성 모두 클러스터링이 잘 된 것으로 보기 어려움. 그러나, 두 Random Forest에 의한 변수 중요도 결과 모두 SOFI\_1\_total의 기여도가 가장 높게 나왔음. 따라서, 3개 도구 중 SOFI로 측정된 데이터로 Random Forest Clustering을 진행하기로 하였음.

- SOFI test 데이터는 총 28개 특성의 1차년도 SOFI pilot test 데이터와 2차년도 SOFI test 데이터로 이루어짐. Random Forest Clustering에 앞서, 데이터의 차원 축소를 위해 <그림 2-73>과 같이 t-SNE(t-Stochastic Neighbor Embedding)을 사용하여 28개 특성의 차원을 2개 특성의 차원(2차원)으로 축소시킴. 이를 Random Forest Clustering한 결과는 <그림 2-74>와 같음. 클러스터의 개수 k는 6으로, 출력 데이터인 피로도의 클래스 개수와 동일하게 설정하였음. 클러스터링이 잘 된 것으로 보기 어려우나, 클러스터의 모양을 확인할 수 있음.

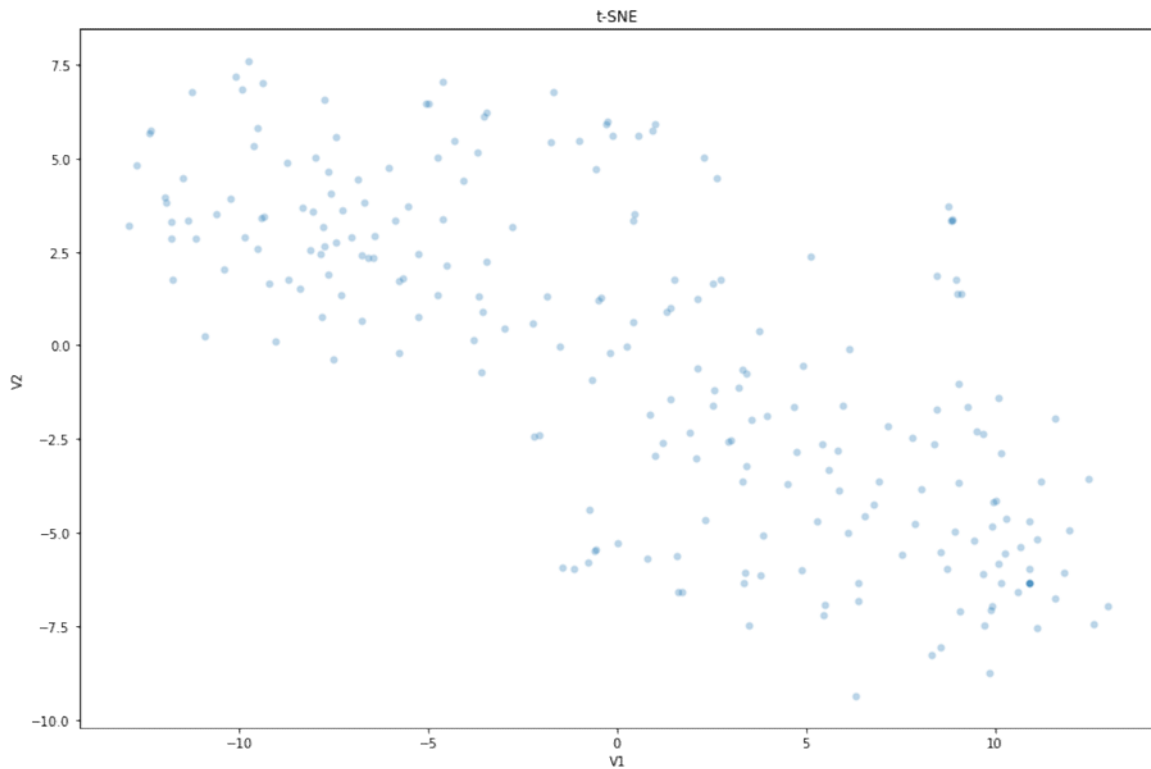


그림 2-73 데이터 차원 축소를 위한 t-SNE

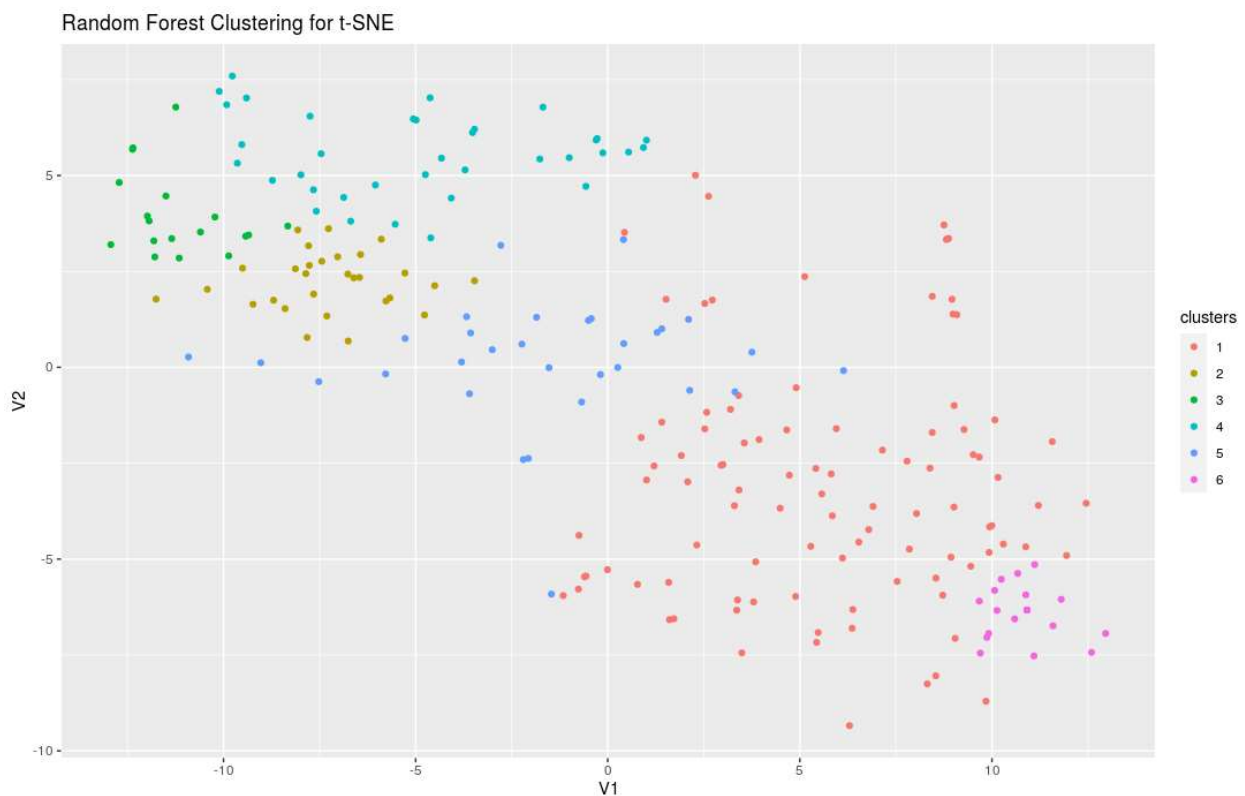


그림 2-74 Random Forest Clustering에 의한 클러스터 (총 28개 특성)

## (6) 건설근로자 피로도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델 구축

(가) 생태순간평가 응용모델 구축을 위한 건설근로자 SOFI 심리지표 평가

: 건설업 근로자의 작업 시 피로에 가장 큰 영향을 미치는 수면의 질 영향 요인 파악을 위한, 2019년 스웨덴직업피로측정도구 한국어판 개발 및 건설업 근로자 대상 신뢰도와 타당도 검증 연구에서 수집한 데이터를 이용하여 건설근로자 직업피로 이차자료 분석 연구를 진행함.

① 연구 설계 : 서술적 상관관계 연구이며, 2차 데이터를 사용하여 2019년 건설근로자 중 한국판 스웨덴 직업피로재고(SOFI)의 심리지표를 평가함.

② 연구 대상자 :

- 선정기준은 ㉠ 19세 이상, ㉡ 한국어를 이해할 수 있는 사람, ㉢ 근무경력이 6개월 이상인 건설근로자, ㉣ 자발적인 참여자, ㉤ 한국 국적을 가진 자였으며, 총 220명의 데이터 중 14명은 연구 변수에 관한 정보가 누락되어 최종적으로 206명의 데이터가 분석에 사용됨.
- G\*power 3.1 프로그램을 이용하여 효과 크기 0.5, 유의수준 0.05, 검정력 0.80, 예측 변수 15개를 고려한 최소 표본 수는 201명으로 계산됨. 따라서 206명의 참가자로 구성된 표본 크기는 데이터 분석에 필요한 최소 표본 수 조건을 만족하였음.

③ 연구 도구 : ㉦ 인구통계학, 일반적 건강 관련 특성 및 직업적 특성, ㉧ 수면 관련 변수, ㉨ 신체적, 정신적 건강 관련 요인에 관한 126개 항목으로 구성된 자가보고식 설문지

- 일반적 특성
  - 인구통계학적 특성: 연령, 성별, 혼인 여부, 생활 준비, 교육 및 사회 경제적 상태를 포함함
  - 일반적 건강 관련 특성: 체질량지수(BMI), 흡연, 음주, 운동, 만성질환의 수, 주관적 건강상태, 근무 전날 총 수면시간(TST), 휴일 총 수면시간(TST) 등을 포함함.
  - 직업적 특성: 근무 유형, 하루 근무 시간, 근무 강도 등을 포함함.
- 수면 관련 변수
  - 수면: Mapi Research Trust에서 제공하는 PSQI(Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI) 한국어판을 사용하여 수면을 평가하였음. PSQI는 주관적인 수면의 질, 잠들 때까지 걸리는 시간, 수면 지속 시간, 수면 효율성, 수면 장애, 수면제 사용 여부, 주간 기능 장애로 구성됨. 전체 PSQI의 점수는 0에서 21까지이며, 높은 점수는 낮은 수면의 질을 의미함. 본 연구에서 총점에 따라 '높은 수면의 질' 그룹(6점 미만)과 '낮은 수면의 질' 그룹(6점 이상)으로 분류함. 원도구의 Cronbach's alpha는 0.83, 본 연구에서는 0.65였음.
- 신체적, 정신적 건강 관련 특성
  - 피로: ㉦ 다차원 피로척도(MFS): 최근 2주 동안의 장기 피로의 원인과 결과에 초점, ㉧ SOFI: 데이터 수집 시 순간적인 피로 상태에 초점, ㉨ 주관적 피로척도(SSF): 피로와 관련된 종합적인 증상을 측정. 이 세 가지 척도로 피로를 종합적으로 평가함.
  - 우울: 우울 증상은 Radloff (1977)가 개발한 Center for Epidemiologic Studies Depression scale의 한국어 축소판(CESD-10)을 사용하여 평가함. 도구는 10개 항목, 4점 Likert 척도(0=전혀 아니다 ~ 3=대부분 그렇다)로 구성됨. 총점의 범위는 0~30이고, 점수가 높을수록 우울 증상이 크다는 것을 의미함. 본 연구에서 Cronbach's alpha는 0.78이었음.

④ 결과

- 두 수면의 질 그룹 간의 일반적인 특성 차이 : 연구 참여자를 PSQI 총점에 따라 '높은 수면의 질' 그룹(77명, 37.4%)과 '낮은 수면의 질' 그룹(129명, 62.6%)으로 분류함. 참여자의 평균 연령은  $47.56 \pm 13.17$ 세였고 약 85%가 60세 미만이었음. 대부분 남성(85.0%)이었고, 기혼(73.8%) 상태였으며 다른 사람들과 함께 거주(90.8%)하였음. 참여자의 약 절반이 대졸 이상의 교육을 받았고(49.0%), 중등도의 사회경제적 상태(43.2%)였음. 평균 BMI는  $24.16 \pm 2.86 \text{ kg/m}^2$ 로, 35.5%의 참여자가 정상

BMI였고, 30.6%가 과체중, 33.9%가 비만이었음. 현재 흡연을 하거나(52.4%)와 음주를 하거나(73.8%) 규칙적인 운동을 하는 자(57.4%)도 절반 이상이었음. 참여자의 3분의 1 가량이 만성질환 진단(31.6%, 65/206명)을 받았고 가장 흔한 질병은 고혈압(18.9%), 당뇨병(5.3%), 위장병(4.9%) 순이었음. 약 60%의 참여자는 자신이 중간 정도의 건강 상태를 가지고 있다고 보았으며, 참여자 대부분은 오전 9시부터 오후 5시까지 근무하고(80%), 하루 8시간 이상(67.5%), 고강도 근무(51.0%)를 하는 정규직이었음. '높은 수면의 질'과 '낮은 수면의 질' 그룹은 결혼 상태, 사회경제적 상태, 만성 질환의 수, 주관적 건강상태 및 근무 강도 측면에서 유의한 차이가 확인됨(표 2-31 참조).

표 2-31 수면의 질 두 그룹 간 일반적 특성 차이 (N = 206)

| 변수                       | 항목              | 전체 n (%)   | 높은 수면의 질 그룹 n (%) | 낮은 수면의 질 그룹 n (%) | $\chi^2$ (p)   |
|--------------------------|-----------------|------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 나이(세)                    | < 60            | 163 (84.5) | 61 (83.6)         | 102 (85.0)        | .072 (.789)    |
|                          | ≥ 60            | 30 (15.5)  | 12 (16.4)         | 18 (15.0)         |                |
| 성별                       | 남성              | 175 (85.0) | 66 (85.7)         | 109 (84.5)        | .056 (.813)    |
|                          | 여성              | 31 (15.0)  | 11 (14.3)         | 20 (15.5)         |                |
| 결혼 상태                    | 기혼              | 152 (73.8) | 63 (81.8)         | 89 (69.0)         | 4.101 (.043)   |
|                          | 미혼              | 54 (26.2)  | 14 (18.2)         | 40 (31.0)         |                |
| 거주 형태                    | 단독 거주           | 19 (9.2)   | 6 (7.8)           | 13 (10.1)         | .301 (.583)    |
|                          | 다른 사람과 함께 거주    | 187 (90.8) | 71 (92.2)         | 116 (89.9)        |                |
| 교육                       | 중학교 졸업 이하       | 26 (12.6)  | 7 (9.1)           | 19 (14.7)         | 1.676 (.433)   |
|                          | 고등학교 졸업         | 79 (38.4)  | 29 (37.7)         | 50 (38.8)         |                |
|                          | 대학교 졸업 이상       | 101 (49.0) | 41 (53.2)         | 60 (46.5)         |                |
| 사회 경제적 상태                | 상               | 30 (14.6)  | 18 (23.4)         | 12 (9.3)          | 9.361 (.009)   |
|                          | 중               | 89 (43.2)  | 34 (44.1)         | 55 (42.6)         |                |
|                          | 하               | 87 (42.2)  | 25 (32.5)         | 62 (48.1)         |                |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | 정상 (18.5–22.9)  | 66 (35.5)  | 25 (35.7)         | 41 (35.3)         | 1.874 (.392)   |
|                          | 과체중 (23.0–24.9) | 57 (30.6)  | 25 (35.7)         | 32 (27.6)         |                |
|                          | 비만 (≥ 25)       | 63 (33.9)  | 20 (28.6)         | 43 (37.1)         |                |
| 흡연 상태                    | 현재 흡연자          | 108 (52.4) | 43 (55.8)         | 65 (50.4)         | .576 (.448)    |
|                          | 현재 비흡연자         | 98 (47.6)  | 34 (44.2)         | 64 (49.6)         |                |
| 음주                       | 현재 음주자          | 152 (73.8) | 52 (67.5)         | 100 (77.5)        | 2.486 (.115)   |
|                          | 현재 비음주자         | 54 (26.2)  | 25 (32.5)         | 29 (22.5)         |                |
| 규칙적 운동                   | 예               | 117 (57.4) | 46 (61.3)         | 71 (55.0)         | .768 (.381)    |
|                          | 아니오             | 87 (42.6)  | 29 (38.7)         | 58 (45.0)         |                |
| 만성질환의 수                  | 없음              | 141 (68.4) | 67 (87.0)         | 74 (57.4)         | 19.661 (<.001) |
|                          | 1개              | 50 (24.3)  | 8 (10.4)          | 42 (32.5)         |                |
|                          | 2개 이상           | 15 (7.3)   | 2 (2.6)           | 13 (10.1)         |                |
| 주관적 건강 상태                | 좋음              | 34 (16.5)  | 24 (31.2)         | 10 (7.8)          | 20.830 (<.001) |
|                          | 보통              | 121 (58.7) | 41 (53.2)         | 80 (62.0)         |                |
|                          | 나쁨              | 51 (24.8)  | 12 (15.6)         | 39 (30.2)         |                |
| 근무 형태                    | 정규직             | 176 (85.4) | 66 (85.7)         | 110 (85.3)        | .008 (.931)    |
|                          | 비정규직            | 30 (14.6)  | 11 (14.3)         | 19 (14.7)         |                |
| 하루 근무 시간                 | ≤ 8             | 67 (32.5)  | 29 (37.7)         | 38 (29.5)         | 1.479 (.224)   |
|                          | > 8             | 139 (67.5) | 48 (62.3)         | 91 (70.5)         |                |
| 근무 강도                    | 고               | 105 (51.0) | 30 (39.0)         | 75 (58.1)         | 7.097 (.008)   |
|                          | 중 또는 저          | 101 (49.0) | 47 (61.0)         | 54 (41.9)         |                |

- 두 그룹 간 수면 관련 변수의 차이

: ‘높은 수면의 질’ 그룹과 ‘낮은 수면의 질’ 그룹은 휴일 총 수면시간을 제외한 나머지 수면 변수들에서 상당한 차이가 있었음. ‘낮은 수면의 질’ 그룹은 ‘높은 수면의 질’ 그룹보다 주관적 수면의 질이 더 나빴고, 수면 대기 시간이 더 길었으며, 수면 시간이 더 짧았고, 수면 효율은 더 나빴음. 또한 ‘낮은 수면의 질’ 그룹은 ‘높은 수면의 질’ 그룹보다 더 많은 수면 장애, 더 많은 주간 기능 장애, 더 높은 수면 약의 사용을 보고함(모든  $p < 0.01$ ). ‘낮은 수면의 질’ 그룹은 ‘높은 수면의 질’ 그룹에 비해 PSQI 점수가 높았고( $p < .001$ ), 근무 전일 총 수면시간이 더 짧았음. 그러나 참여자의 휴일 평균 총 수면시간은  $8.35 \pm 2.14$ 시간으로 두 그룹 사이에 큰 차이가 없었음(표 2-32).

표 2-32 수면의 질 두 그룹 간 수면 관련 변수의 차이 (N = 206)

| 변수                   | 범위                | 전체<br>n (%) or<br>M $\pm$ SD | 높은 수면의<br>질<br>n (%) or<br>M $\pm$ SD | 낮은 수면의<br>질<br>n (%) or<br>M $\pm$ SD | $\chi^2$ or t (p)  |
|----------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| 근무 전일 총 수면시간<br>(시)  |                   | 6.72 $\pm$ 1.07              | 7.08 $\pm$ 1.01                       | 6.51 $\pm$ 1.06                       | 3.808 (<.001)      |
| 휴일 총 수면시간 (시)        |                   | 8.35 $\pm$ 2.14              | 8.28 $\pm$ 2.16                       | 8.40 $\pm$ 2.13                       | -.384 (.702)       |
| PSQI 총점              | 0-21              | 6.37 $\pm$ 2.83              | 3.75 $\pm$ 1.17                       | 8.27 $\pm$ 2.05                       | -18.859<br>(<.001) |
| 주관적 수면의 질            | 0-3               | 1.16 $\pm$ 0.67              | 0.82 $\pm$ 0.51                       | 1.37 $\pm$ 0.68                       | -6.632<br>(<.001)  |
| 잠들 때까지 걸리는 시간<br>(분) | $\leq 15$<br>> 15 | 28 (13.6)<br>178 (86.4)      | 18 (23.4)<br>59 (76.6)                | 10 (7.8)<br>119 (92.2)                | 10.023 (.002)      |
| 수면 지속 시간 (시)         | > 7<br>$\leq 7$   | 41 (19.9)<br>165 (80.1)      | 28 (36.4)<br>49 (63.6)                | 13 (10.1)<br>116 (89.9)               | 20.899<br>(<.001)  |
| 수면 효율성 (%)           | $\geq 85$<br>< 85 | 162 (78.6)<br>44 (21.4)      | 76 (98.7)<br>1 (1.3)                  | 86 (66.7)<br>43 (33.3)                | 29.459<br>(<.001)  |
| 수면 장애                | 0-27              | 6.23 $\pm$ 4.07              | 4.06 $\pm$ 2.90                       | 7.60 $\pm$ 4.11                       | -7.100<br>(<.001)  |
| 지난 한 달간 수면제 사용       | 예<br>아니오          | 19 (9.2)<br>187 (90.8)       | 1 (1.3)<br>76 (98.7)                  | 18 (14.0)<br>111 (86.0)               | 9.223 (.002)       |
| 주간 기능 장애             | 0-3               | 1.23 $\pm$ 0.81              | 0.69 $\pm$ 0.67                       | 1.55 $\pm$ 0.70                       | -8.729<br>(<.001)  |

- 두 그룹 간의 신체적, 정신적 건강 관련 특성 차이 (표 2-33)

: 두 그룹 간 모든 건강 관련 특성에서 상당한 차이가 있었음. ‘낮은 수면의 질’ 그룹은 ‘높은 수면의 질’ 그룹보다 CESD ( $t = -4.671$ ,  $p < .001$ ), MFS ( $t = -3.061$ ,  $p = .003$ ), SOFI ( $t = -4.757$ ,  $p < .001$ ), SSF ( $t = -2.869$ ,  $p = .005$ ) 점수가 모두 높은 것으로 확인됨. 즉, 수면의 질이 낮은 사람들은 수면의 질이 좋은 사람들보다 더 우울하고 더 높은 수준의 피로를 경험함.

표 2-33. 수면의 질 두 그룹 간 신체적, 정신적 건강 관련 특성 차이

| 변수   | 하위 항목     | 전체<br>M±SD  | 높은 수면의<br>질 그룹<br>M±SD | 낮은 수면의<br>질 그룹<br>M±SD | t      | p     |
|------|-----------|-------------|------------------------|------------------------|--------|-------|
| CESD |           | 6.66±4.45   | 4.88±3.84              | 7.76±4.45              | -4.671 | <.001 |
| MFS  | 총점        | 56.77±21.02 | 50.59±23.89            | 60.46±18.23            | -3.061 | .003  |
|      | 전반적 피로    | 23.53±10.02 | 21.19±11.09            | 24.91±9.11             | -2.459 | .015  |
|      | 일상적 기능장애  | 19.11±7.76  | 16.64±8.62             | 20.57±6.83             | -3.376 | .001  |
|      | 상황적 피로    | 14.28±5.93  | 12.90±6.16             | 15.12±5.64             | -2.633 | .009  |
| SOFI | 총점        | 42.50±24.83 | 32.29±23.43            | 49.04±23.54            | -4.757 | <.001 |
|      | 육체적 힘듦    | 6.00±4.99   | 4.29±4.90              | 7.02±4.78              | -3.882 | <.001 |
|      | 동기부여 부족   | 8.63±5.36   | 6.15±4.77              | 10.06±5.17             | -5.329 | <.001 |
|      | 에너지 부족    | 9.53±5.75   | 7.28±5.71              | 10.91±5.34             | -4.514 | <.001 |
|      | 신체적 불편함   | 8.13±5.68   | 5.56±5.08              | 9.70±5.47              | -5.308 | <.001 |
|      | 졸음        | 10.48±5.94  | 8.36±6.42              | 11.71±5.28             | -3.798 | <.001 |
| SSF  | 총점        | 56.70±17.98 | 54.90±20.40            | 62.72±15.63            | -2.869 | .005  |
|      | 신체적 피로    | 21.11±6.31  | 18.83±6.84             | 22.44±5.58             | -3.998 | <.001 |
|      | 정신적 피로    | 19.84±6.50  | 18.14±7.14             | 20.84±5.89             | -2.843 | .005  |
|      | 신경 감각적 피로 | 18.89±6.98  | 17.03±7.63             | 20.03±6.32             | -2.938 | .004  |

- 다변량 이항 로지스틱 회귀 분석 결과 : 두 그룹 간 수면의 질과 관련된 유의한 요인을 확인하기 위해 다변량 이항 로지스틱 회귀 분석을 수행함(표 2-34).

분석 결과 본 모형은 ‘높은 수면의 질’ 그룹과 ‘낮은 수면의 질’ 그룹 간 차이를 설명하는데 통계적으로 유의하였음(Cox & Snell R<sup>2</sup> = 0.317, Nagelkerke R<sup>2</sup> = 0.429). 전반적으로 수면의 질과 관련된 주요 요인은 만성질환의 수(odds ratio (OR) = 6.97, confidence intervals (CI) 2.25, 21.57), CESD (OR = 1.15, CI = 1.02, 1.30), SSF의 신체적 피로(OR = 1.20, CI = 1.02, 1.42) 었음. 즉, 수면의 질이 높은 사람보다 수면 질이 낮은 사람은 만성질환의 수, 우울 정도, 육체적 피로도 가 높다고 할 수 있음.

표 2-34. 수면의 질 두 그룹 간 다변량 이항 로지스틱 회귀 분석 (N = 206)

| 변수                  | 항목        | B    | S.E. | p 값  | 오즈비  | 95% CI     |
|---------------------|-----------|------|------|------|------|------------|
| 결혼 상태 (ref. 기혼)     | 미혼        | .54  | .48  | .259 | 1.71 | .67-4.35   |
| 사회 경제적 상태 (ref. 중)  | 상         | -.94 | .67  | .158 | .39  | .11-1.44   |
|                     | 하         | .29  | .46  | .522 | 1.34 | .55-3.26   |
| 만성질환의 수 (ref. 0)    | 1         | 1.94 | .58  | .001 | 6.97 | 2.25-21.57 |
|                     | 2개 이상     | 1.75 | .87  | .056 | 9.19 | .94-89.50  |
| 주관적 건강 상태 (ref. 좋음) | 보통        | 1.00 | .58  | .083 | 2.71 | .88-8.37   |
|                     | 나쁨        | -.21 | .78  | .784 | .81  | .18-3.72   |
| 근무 강도 (ref. 고)      | 중 또는 저    | .01  | .47  | .985 | 1.01 | .41-2.51   |
| CESD                |           | .14  | .06  | .024 | 1.15 | 1.02-1.30  |
| MFS                 |           |      |      |      |      |            |
|                     | 전반적 피로    | -.00 | .03  | .891 | 1.00 | .94-1.06   |
|                     | 일상적 기능장애  | .04  | .05  | .443 | 1.04 | .95-1.13   |
|                     | 상황적 피로    | -.05 | .06  | .386 | .95  | .85-1.06   |
| SSF                 |           |      |      |      |      |            |
|                     | 신체적 피로    | .18  | .09  | .033 | 1.20 | 1.02-1.42  |
|                     | 정신적 피로    | -.08 | .06  | .211 | .92  | .82-1.05   |
|                     | 신경 감각적 피로 | -.04 | .06  | .542 | .97  | .86-1.08   |
| SOFI                |           | .02  | .01  | .160 | 1.02 | .99-1.04   |

Cox & Snell R<sup>2</sup> = .317, Nagelkerke R<sup>2</sup> = .429

⑤ 적용 및 평가

- 대부분의 건설근로자들은 낮은 수면의 질을 양적·질적으로 모두 인식했다는 것을 시사함. 수면의 질이 낮은 건설근로자들은 더 높은 수준의 우울, 만성 피로, 순간 피로를 보고하였으며, 수면의 질과 관련된 중요한 요소들은 만성 질환의 수, 우울증, 신체적 피로였음.
- 수면 부족은 만성질환을 유발하고, 만성질환은 다시 낮은 수면의 질에 기여함을 확인할 수 있었음. 따라서 건설근로자의 만성질환을 예방하기 위한 양적, 질적 수면관리 정책을 적용하고, 건강 문제를 조기에 스크리닝 하기 위한 정기 검진 기회를 제공해야 함.
- 산업 의료인은 건설근로자의 우울증 예방을 위한 다양한 옵션을 제공해야하며, 필요 시 다양한 방식의 개입(예: 불면증에 대한 인터넷 기반 인지 행동 치료)을 고려해야 함.
- 건설근로자들은 정서적·인지적 기능장애보다 신체적 피로에 크게 영향을 받는 것으로 나타나, 신체적 피로를 줄일 수 있는 작업 환경을 통해 피로를 감소시키고 수면의 질을 향상시킬 것을 권함.

(나) 건설현장 생태순간평가 적용을 위한 응용모델 구축

: 생태순간평가 응용모델은 건설근로자의 통합적 피로 측정, 평가 및 관리 프로세스로, 현재(Now), 여기(Here)의 건강상태를 평가하는 생태순간평가 개념을 적용한 응용모델임. 기존의 자가보고식 설문 기반 근로자 건강관리 정보에 웨어러블 디바이스를 기반으로 한 객관적·생리적 측정자료 및 생태순간평가(EMA) 앱 기반의 실시간(real-time) 피로 평가 자료를 종합하여 건설현장 인력 피로누적을 예방하고 1)위험군별 2)공종별, 3)영향요인별 등의 다양한 카테고리 별로 건설현장에 EMA가 적용될 수 있도록 제안함(그림 2-75).

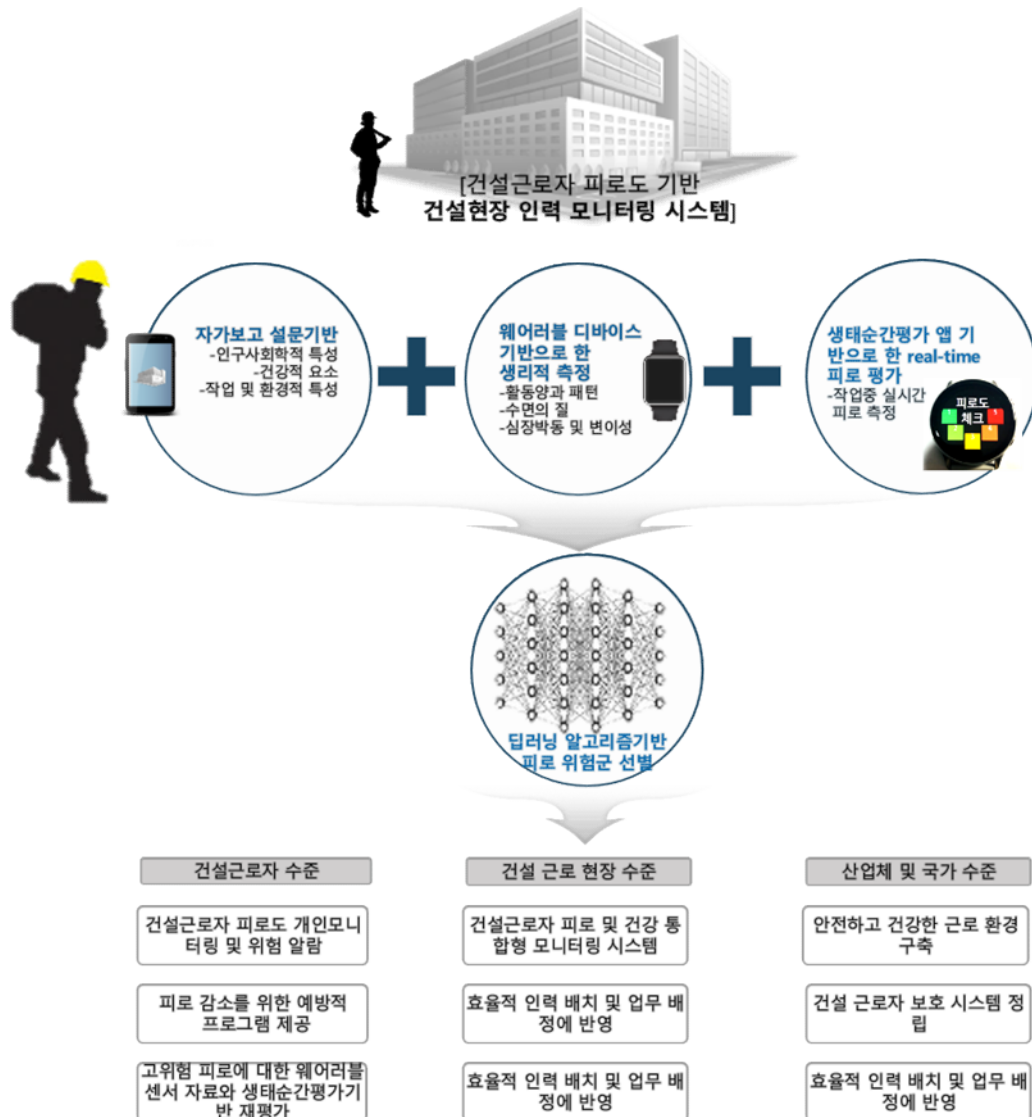


그림 2-75. 건설근로자피로도 생태순간평가 응용모델 적용도

① 건설근로자 생태순간평가 응용모델

• 생태순간평가를 활용한 피로도 영향요인 측정 및 평가

: 생태순간평가를 활용하여 건설근로자의 피로도 영향요인을 측정하고 평가한 후, 응용모델을 활용하여 건설근로자의 직업피로를 장기적·예방적으로 관리하는 프로세스는 다음 <그림 2-76>와 같음.

- 근로자 피로 모니터링 시 주관적 데이터에 생리적·객관적 지표를 통합적으로 이용
- 피로도-위험도 평가모델 및 Big Data 구축을 통한 신뢰도 있는 피로 위험군 선별
- 인력 관리 시 EMA 응용모델을 통한 장기적·예방적 관리 시스템 구축



그림 2-76. 생태순간평가 응용모델을 통한 장기적·예방적 관리 시스템

• 딥러닝 알고리즘 기반 피로 위험군 선정

: 생태순간평가 응용모델은 건설근로자의 피로도 수준(0-5단계)에 따라서 저위험군(level 0-1), 중위험군(level 2-3), 고위험군(level 4-5)으로 선별하여 각 위험군에 따른 중재를 제공하며, 각 위험군을 딥러닝 알고리즘 기반으로 선정하는 과정은 다음 <그림 2-77>과 같음.

○ 생태순간평가 응용모델을 통한 건설근로자 피로 위험군 선정 기준과 절차는 다음과 같음.

- 근로자는 인구사회학적 특성, 건강적 요소, 직업 및 환경 특성 등을 포함한 자가보고 설문을 수행함.
- 근로자는 작업 중 웨어러블 디바이스를 착용하며 활동량 패턴, 수면의 질, 심장박동 및 변이성을 지속적으로 측정함.
- 근로자는 작업 중 생태순간평가(Ecological Momentary Assessment, EMA)를 하루 4회 정해진 시간(오전 작업시작 전, 점심 식사시간, 오후 작업시작 전, 작업 종료 시)마다 수행하여 근로자의 피로도가 산출되어 실시간 측정 및 모니터링 됨.

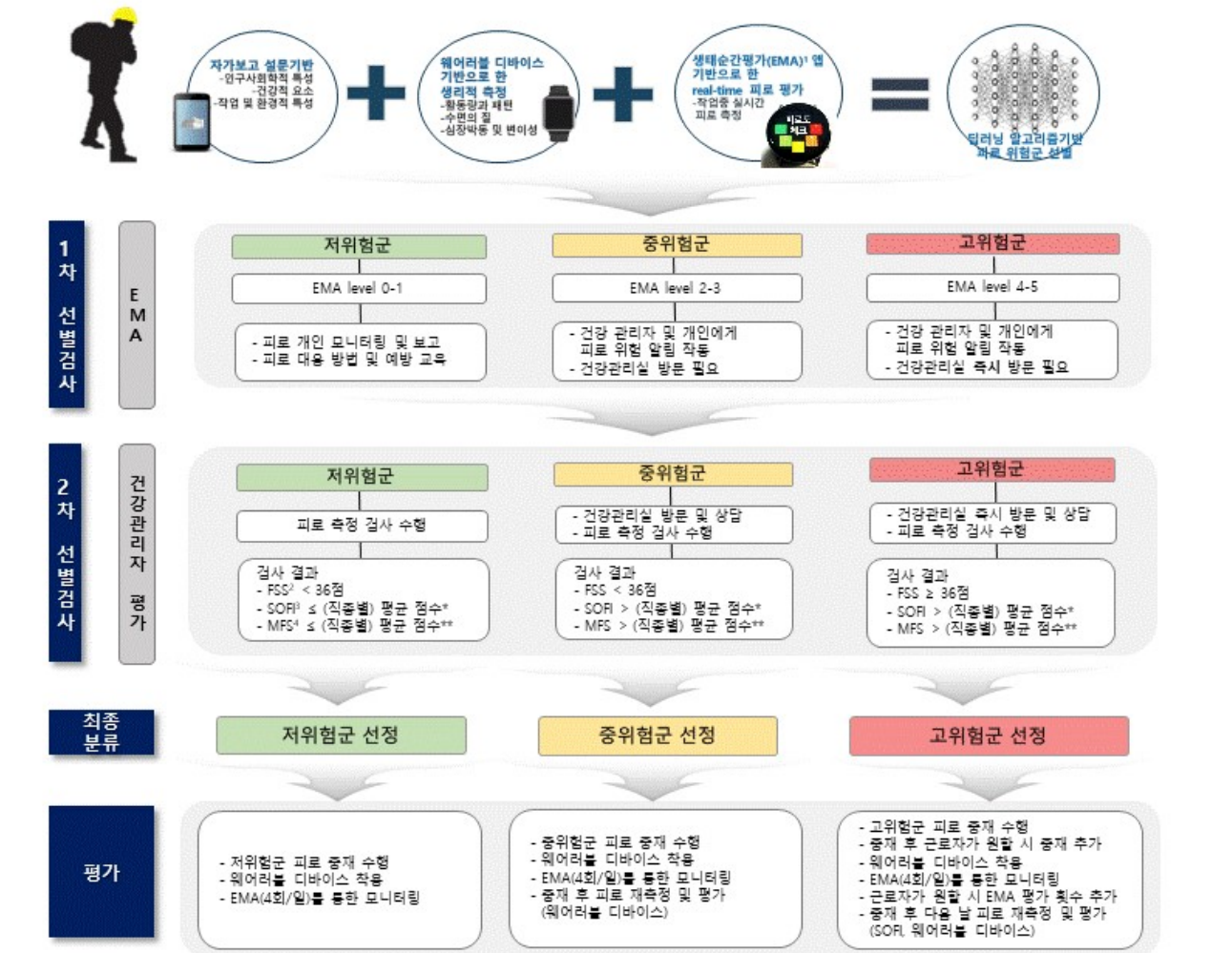
○ 자가보고 설문, 웨어러블 디바이스, 생태순간평가 결과를 통해 딥러닝 알고리즘이 구축되며 이를 기반으로 하여 피로 위험군을 3단계(고, 중, 저위험군)로 나누어 1차 선별함. 딥러닝 알고리즘을 통해 분류된 결과는 웨어러블 디바이스를 통해 개인 및 건강관리자에게 전달됨. 1차 선별 분류에 따라 중위험군과 고위험군은 현장 내 건강관리실에 방문하여 피로 측정 검사를 수행함.

○ 건강관리자는 피로 측정 검사를 하여 피로 위험군을 2차 선별함.

: 피로 측정 검사의 종류

- 피로 증상 척도(Fatigue Severity Scale, FSS)
- 다차원 피로 척도(Multidimensional Fatigue Scale, MFS)
- 직업피로척도(Swedish Occupational Fatigue Inventory, SOFI)

[생태순간평가 응용모델을 통한 건설근로자 피로 위험군 선정 기준]



본 연구에서 피로의 전체 평균 점수는 \*SOFI = 39.28(±23.90), \*\*MFS = 56.97(±20.49)로 측정됨.

<sup>1</sup>생태순간평가(Ecological Momentary Assessment, EMA), <sup>2</sup>피로 중증 척도(Fatigue Severity Scale, FSS), <sup>3</sup>직업피로척도(Swedish Occupational Inventory, SOFI), <sup>4</sup>다차원 피로 척도(multidimensional fatigue scale, MFS)

그림 2-77. 생태순간평가 응용모델을 통한 건설근로자 피로 위험군 선정 기준

○ 측정 도구를 통한 피로 위험군 분류 단계는 다음과 같음(표 2-35).

표 2-35. 건설근로자 피로 위험군 분류

| 측정 도구 | 저위험군           | 중위험군           | 고위험군           |
|-------|----------------|----------------|----------------|
| FSS   | 36점 미만         | 36점 미만         | 36점 이상         |
| SOFI  | (직종별) 평균 점수 이하 | (직종별) 평균 점수 초과 | (직종별) 평균 점수 초과 |
| MFS   | (직종별) 평균 점수 이하 | (직종별) 평균 점수 초과 | (직종별) 평균 점수 초과 |

② 건설현장 건설근로자 생태순간평가 응용모델 적용안

: 2차 선별 이후 근로자들은 저위험군, 중위험군, 고위험군으로 최종 분류되며, 각 수준에 맞추어 표 준화된 피로 중재를 처방받음.

- 저위험군은 맞춤 피로 중재를 처방받으며, 이후 작업 시 웨어러블 디바이스를 착용하고 정해진 시간마다 일 4회 EMA를 통해 모니터링함.
- 중위험군은 맞춤 피로 중재를 처방받으며, 이후 작업 시 웨어러블 디바이스를 착용하여 정해진 시간마다 일 4회 EMA를 통해 모니터링 함. 웨어러블 디바이스로 수집된 자료를 통해 피로를 재측정하고 평가함.
- 고위험군은 맞춤 피로 중재를 처방받으며 필요 시 추가 중재가 제공됨. 근로자는 웨어러블 디바이스를 착용하고 정해진 시간마다 일 4회 EMA를 통해 모니터링을 받으며 필요 시 EMA 횟수를 추가 제공함. 추가된 EMA는 근로자의 작업 시간 내에서 무작위로 제공됨. 다음날 업무에 복귀한 근로자는 SOFI 검사와 웨어러블 디바이스로 수집된 자료를 통해 피로를 재측정하고 평가함.

- 피로 위험군에 따른 건설근로자 피로 관리 (Office of Rail Regulation; ORR, 2012)

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 저위험군 | <b>일상적 피로 감시 체계 유지</b><br>- 피로도 개인 모니터링(자신뿐만 아니라 동료의 안전한 근무를 하기에 부적합한 피로 수준 인지 확인하고 보고)<br>- 피로 시 대응 방법 및 피로 예방 교육                                                                                                                                                                                               |
| 중위험군 | <b>피로 관리 체계 가동</b><br>- 건강관리자 및 개인에게 피로 위험 알림 작동 → 피로 위험군임을 인지하고 밀접 관찰할 수 있도록 함.<br>- 피로 악화 시 즉시 보고<br>- 2인 1조 작업방식을 통해 근무/휴식 지침 준수 및 피로 수준 상호 모니터링<br>- 충분한 휴식을 위해 근무 이외 시간을 적절하게 사용<br>- 효과적인 수면을 취함(Centers for Disease Control and Prevention; CDC, 2020)<br>- 피로에 부정적 영향을 줄 수 있는 일반적 건강관리를 보고하고 적절한 조치를 취함. |
| 고위험군 | <b>피로 관리 체계 + 위험 관리 가동</b><br>- 위험 업무에서 즉시 배제하고 휴식시간 제공<br>- 건강관리자와 상담 후 업무 복귀 여부를 결정<br>- 복귀 시 2인 1조 작업방식을 통해 근무/휴식 지침 준수 및 피로 수준 상호 모니터링<br>- 피로로 인하여 본인 또는 다른 사람의 안전에 위험이 발생이 우려되는 경우 당일 근무 중단 후 휴식할 수 있도록 관리자에게 보고<br>- 피로와 관련된 모든 사건 및 상황을 관리자에게 보고하여 재해 및 실수 방지에 협력                                        |

- 평가 및 피드백

: 피로 관리 시스템의 마지막 단계는 피로 관리가 피로로 인한 위험을 성공적으로 감소시켰는지에 대한 효과를 측정하고 결과를 통해 시스템을 보완·유지하는 것임. 시스템의 지속적인 개선을 위해서는 현재 작동하고 있는 시스템의 효율성을 평가하고 보고하는 프로세스가 포함되어야 하며, 아래와 같은 항목을 포함함.

- 딥러닝 알고리즘을 통한 피로 위험군 선정의 적절성
- 피로 중재 전후 측정된 생태순간평가 점수 차이
- 피로 관리 시스템 가동 전후 피로 관련 사고율의 차이
- 피로 관리 시스템 전후 근로자의 건강문제 발생 빈도
- 피로 관리 시스템 가동 전후 작업 생산성 및 안전관리 비용 차이
- 근무 설계, 근무량, 조직문화의 변화
- 기존 근무 패턴 및 계획 수정·변화
- 취해진 중재의 효과를 의심할만한 다른 이유

## (7) 덤러닝 및 생태순간평가를 활용한 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발

### (가) 직업피로 유발 건설근로자 작업군 분류

: 건설 현장의 경우 작업공간이 매우 넓고, 근로자는 장시간 밀폐된 장소나 야외, 지하와 같은 공간에서 작업을 수행하여 유해한 물질에 노출되기 쉬우므로 공중별로 다양한 질병이 발생하기 쉬우며, 업무강도 과중으로 인하여 과로가 집중되는 직군임. 따라서 건설근로자의 피로 영향요인인 ‘졸림’, ‘숨이 참’, ‘관절이 뻣뻣’, ‘무관심’, ‘진빠짐’ 으로부터 비롯되는 직업피로 관리 및 발생 우려 공중에 대한 다각적 관리 방안 마련과 나아가 인력 관리 시스템 개발이 필요함.

#### ① 형틀공, 목공

##### ● 생태순간평가를 활용한 피로도 영향요인 측정

- 건설근로자 피로도 측정을 위한 현장 자료수집 실험 시, 자체 제작한 App을 활용하여 건설근로자 직업피로 영향요인인 ‘졸림’, ‘숨이 참’, ‘관절이 뻣뻣’, ‘무관심’, ‘진빠짐’ 에 대한 생태순간평가(EMA)를 실시함.

- 다음 <표 2-36>은 형틀공의 하루 동안의 생태순간평가 측정 결과를 나타낸 표임.

표 2-36 . EMA 측정 결과 - 형틀공

| 작업기록 | 시간       | 졸림 | 관절이 뻣뻣 | 숨이 참 | 진 빠짐 | 무기력 |
|------|----------|----|--------|------|------|-----|
| 기상   | 04:56:56 | 1  | 1      | 0    | 1    | 1   |
| 작업시작 | 07:48:30 | 1  | 1      | 1    | 1    | 1   |
| 식사   | 11:59:47 | 1  | 2      | 1    | 2    | 1   |
| 작업   | 12:23:35 | 1  | 2      | 2    | 1    | 1   |
| 작업종료 | 17:00:41 | 1  | 2      | 1    | 2    | 2   |
| 수면   | 20:06:42 | 3  | 2      | 2    | 2    | 2   |

- 본 형틀공의 경우 1일 기준으로 6번의 생태순간평가를 기록하였으며, 피로도 영향요인 ‘졸림’, ‘관절이 뻣뻣’, ‘숨이 참’, ‘진 빠짐’, ‘무기력’ 각 요인에 대하여 6점 척도(0-5점)로 평가하여 응답함.

- 응답 결과를 살펴보면, 오전 작업이 끝난 시점부터 ‘관절이 뻣뻣’이 지속적으로 2점을 기록하고 있음. 이는 형틀공의 경우 목, 어깨, 팔꿈치, 손목 등 상체를 사용하여 같은 동작을 반복하며, 지지되지 않은 상태 및 임의로 자세를 바꿀 수 없는 조건에서 허리를 구부리고 작업을 수행하기 때문으로 사료됨.

- 또한 작업종료 시점을 기준으로 ‘진 빠짐’과 ‘무기력’이 2점을 기록하고 있음. 이는 경력에 따라 상이하지만, 대부분 숙련된 형틀공인 경우 작업 시에는 ‘진 빠짐’, ‘무기력’과 같은 정신적 직업 피로를 인지하지 못하다가 작업이 종료된 이후 피로를 자각하게 되는 것으로 사료됨.

##### ● 피로도 측정 데이터 분석

- 다음 <그림 2-78>는 형틀공의 Wearable device에서 측정된 ACC, GYRO, HRM 데이터이며, <그림 2-79>는 형틀공과 같이 상체 작업을 중심으로 반복작업을 하는 목공의 Wearable device에서 측정된 ACC, GYRO, HRM 데이터임.

- 두 공종 모두 상체를 과도하게 구부리거나 비트는 작업 유형이며, 수공구를 취급한다는 점에서 과도한 힘을 필요로 하는 작업임. 또한 반복작업과 진동이 발생하는 작업으로 근골격계 질환이 다수 발생하는 대표 공종임.

- 형틀공과 목공의 측정 데이터의 ACC, GYRO를 살펴보면 중심값인 0을 중심으로 변동폭이 매우 넓은 것을 확인할 수 있으며, 이는 상체(손목, 허리, 목)를 사용하는 작업이며 특히 상체의 움직임이 타 공종에 비해 과도함을 증명함.

- 또한 0으로 측정되는 데이터 loss 부분이 발생하는 이유는 시계 타입의 wearable device 특성 상, 형틀공, 목공과 같은 손목을 많이 사용하는 공종의 경우에 과도한 작업으로 인하여 센서가 근로자의 피부에서 접촉이 되지 않는 순간들을 의미함.

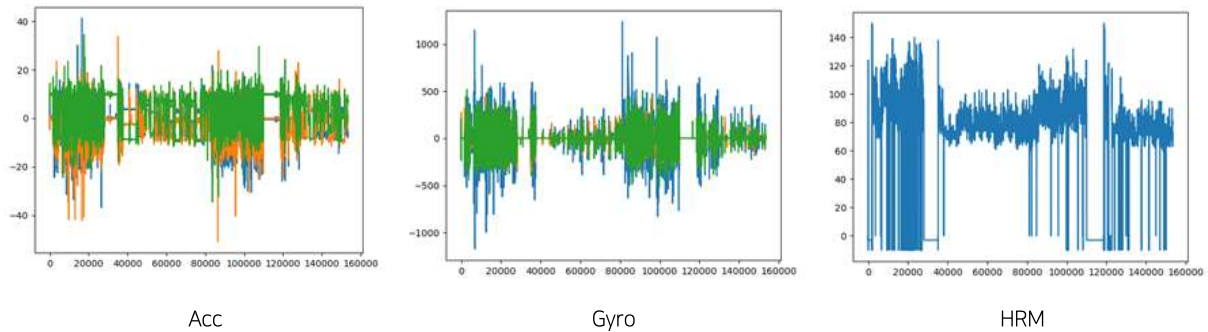


그림 2-78 전체 데이터 ACC, GYRO, HRM - 형틀공

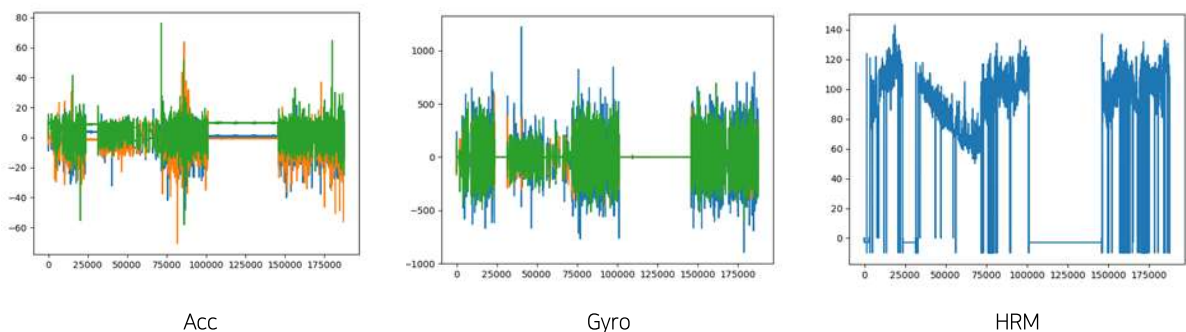


그림 2-79 전체 데이터 ACC, GYRO, HRM - 목공

- 근골격계 질환의 발생은 작업장에서의 작업상황/조건 및 작업환경에 영향을 받음. 작업을 위해 과도한 힘과 동작을 사용하거나 신체를 굽히고 비트는 부자연스런 자세 취하기, 반복적인 동작, 진동, 온도 등은 근골격계 질환 발생에 주요한 유해요인이 되므로 건설근로자들은 근골격계 질환에 매우 취약하며 가장 빈번하게 나타나는 직업병의 유형임. 형틀공, 목공과 같은 상체작업이 빈번하며 과도한 힘을 이용한 반복작업에 노출되는 공종의 경우 근골격계 질환에 유의하여야 함.

#### ● 형틀공, 목공의 직업피로 관리를 위한 Implication

: 상체 작업을 중심으로 하는 반복작업의 대표 공종인 형틀공, 목공의 경우, 오전 작업 이후 ‘관절이 뻣뻣’을 유발할 수 있으므로 점심시간에 충분한 휴식과 가벼운 체조와 같은 관절의 피로를 풀 수 있는 조치가 필요함. 또한 작업 종료 이후 ‘진 빠짐’, ‘무기력’과 같은 정신적 피로를 자각하게 되므로 다음날 작업에 영향을 주지 않도록 충분한 수면시간을 확보하는 자가조치를 취하는 것이 적절할 것으로 사료됨.

#### ② 건설운전자

##### ● 생태순간평가를 활용한 피로도 영향요인 측정

- 건설근로자 피로도 측정을 위한 현장 자료수집 실험 시, 자체 제작한 App을 활용하여 건설근로자 직업피로 영향요인인 ‘졸림’, ‘숨이 참’, ‘관절이 뻣뻣’, ‘무관심’, ‘진빠짐’에 대한 생태순간평가(EMA)를 실시함.

- 다음 <표 2-37>은 건설장비인 굴삭기 운전자의 하루 동안의 생태순간평가 측정 결과를 나타낸 표임.

표 2-37. EMA 측정 결과 - 굴삭기 운전자

| 작업기록 | 시간       | 졸림 | 관절이 뻣뻣 | 숨이 참 | 진 빠짐 | 무기력 |
|------|----------|----|--------|------|------|-----|
| 작업시작 | 07:02:17 | 0  | 1      | 0    | 0    | 0   |
| 식사   | 11:35:37 | 2  | 2      | 1    | 2    | 1   |
| 작업   | 13:07:06 | 2  | 2      | 0    | 1    | 1   |
| 작업종료 | 17:08:07 | 4  | 3      | 1    | 3    | 1   |
| 수면   | 21:37:05 | 4  | 3      | 0    | 2    | 0   |

- 건설장비 운전자들은 상대적으로 과도한 움직임이 요하는 공중은 아니지만, 매우 고도의 집중력을 요하는 작업이며 타 공중에 비하여 자유로운 움직임이 불가능하다는 특징이 있음.

- 생태순간평가 응답결과를 살펴보면, 과도한 상체 움직임을 가지지 않는 공중임에도 불구하고 ‘관절이 뻣뻣’에 작업 시간이 소요될수록 높은 응답을 보이는 것으로 나타남. 이는 건설장비 운전자들은 작업 동안에는 건설 장비 안에서 관절의 피로를 풀 수 있는 자유로운 움직임이 불가능하며, 장비 운전을 위해 장시간 같은 자세로 앉아서 작업을 하기 때문에 장시간 장거리 운전을 하는 것과 같기 때문임.

- 또한 ‘진 빠짐’의 경우 오전 작업 후, 작업 종료 후 시점에서 ‘진 빠짐’을 자각하는 것으로 나타남. 이는 건설 장비 운전이 매우 고도의 집중력을 필요로 하는 공중이기 때문에 휴식 및 작업 종료 시점에 정신적 피로를 자각하는 것으로 사료됨.

#### ● 피로도 측정 데이터 분석

- 다음 <그림 2-80>은 굴삭기 운전자의 Wearable device에서 측정된 ACC, GYRO, HRM 데이터임.

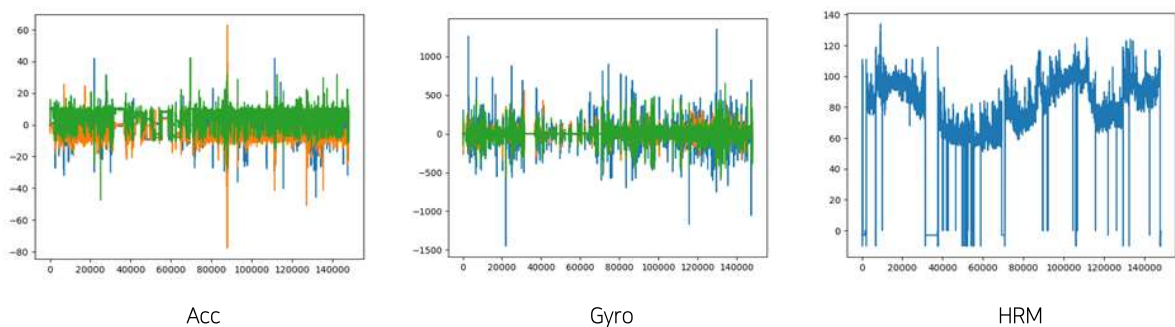


그림 2-80. 전체 데이터 ACC, GYRO, HRM - 굴삭기 운전자

- 굴삭기 운전자의 경우 ACC, GYRO를 살펴보면 중심값인 0을 기준으로 타공중에 비하여 변동폭이 매우 작고, 일정한 움직임을 보이는 것을 알 수 있음. 이는 정 자세에서 최소한의 상체 움직임으로 건설 장비를 운전하기 때문임.

- 그러나 HRM 데이터의 경우 타 공중에 비하여 변동 곡선이 뚜렷함을 볼 수 있음. 이는 동적인 움직임은 적으나 정신적인 피로의 요인이 작용하고 있다는 것을 의미함. 이에 따라 ‘졸림’ 및 ‘진 빠짐’과 같은 직업 피로를 유발하게 됨.

- 건설 장비 운전자의 경우, 밀폐된 공간과 자유로운 움직임이 불가능한 작업환경에 있기 때문에 ‘졸림’, ‘진 빠짐’과 같은 피로 영향요인이 두드러지게 나타남. 이에 따라 운전 피로에 따른 사고의 위험이 있기 때문에 운전 피로를 줄이기 위한 조치가 필요할 것으로 사료됨.

• 건설운전자의 직업피로 관리를 위한 Implication

: 건설 장비 운전자들은 타 공종에 비하여 매우 이른 시점부터 ‘졸림’에 대한 수준이 높게 측정되는 것으로 나타남. 오전 작업 이후부터 ‘졸림’에 대한 수준이 높아지는 것은 운전 피로로 인한 낮 졸음으로 보이며 이를 예방하기 위하여, 적절한 수면 관리와 운전 중 외부와의 소통 수단 개발이나 장시간 운전 및 불규칙한 식사, 휴식 일정에 대한 조정이 필요할 것으로 사료됨. 또한 ‘졸림’과 ‘진 빠짐’과 같은 운전 중 사고 위험이 있는 피로의 관리를 위하여 적절한 업무스케줄 조정을 위한 인력 모니터링 시스템이 필요함.

(나) 건설현장 인력 모니터링 시스템

: 건설현장 근로자들의 현재 피로도를 예측하는 인력 모니터링 시스템으로, 상세하게는 피로도 수준에 따라 작업스케줄을 조정하기 위함임. Wearable device를 통하여 근로자의 생체적 신호인 HRM과 움직임을 판단할 수 있는 ACC, GYRO 값을 실시간으로 수집하여 피로도 예측의 input으로 활용함. wearable device로 수집한 데이터들과 생태순간평가 및 현장의 작업환경인 내·외부 작업의 분류, 장비 사용 유무 등을 고려하여 위험작업군은 더욱 집중적으로 관리함(그림 2-81).

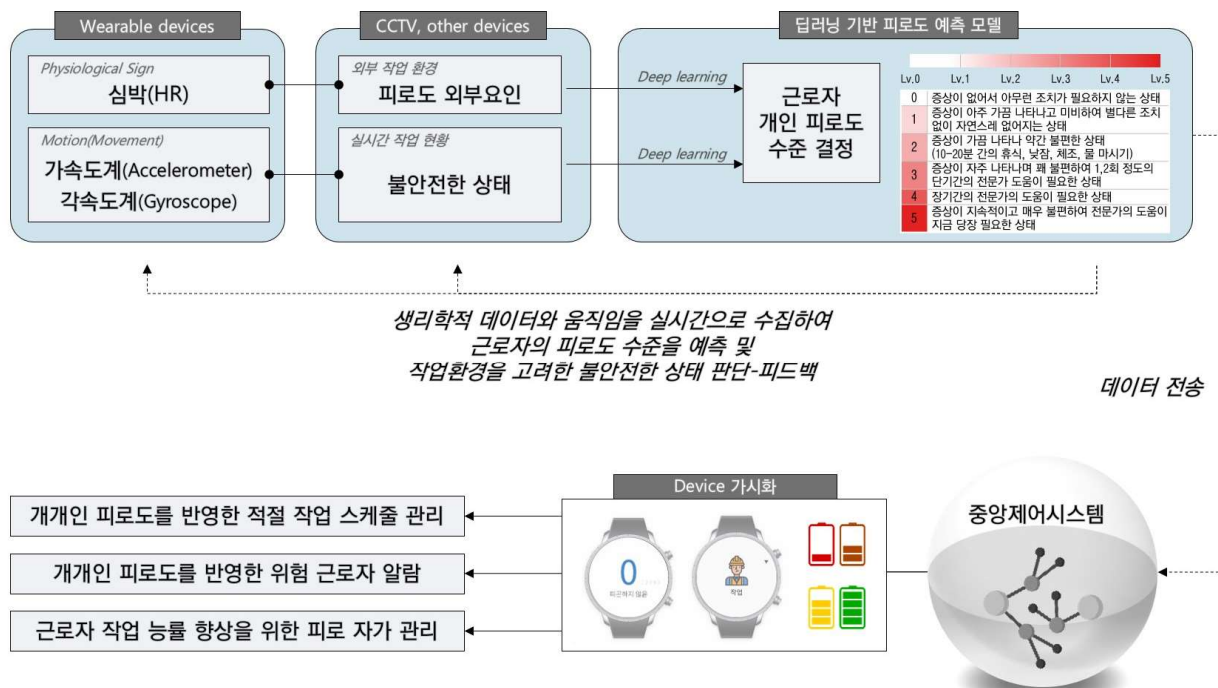


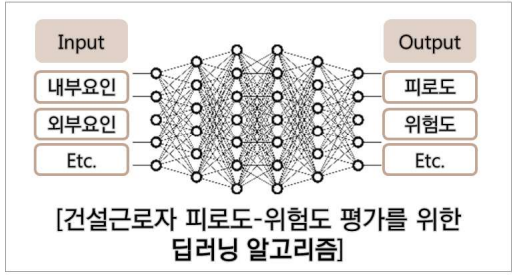
그림 2-81. 건설근로자 인력 모니터링 시스템 개념

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 가. 목표 달성도

##### (1) 연구개발 성과

■ 본 연구는 당초 핵심 연구목표로 계획된 “건설근로자 피로도 평가를 위한 Wearable device 프로토타입 제작 및 딥러닝 알고리즘 구축”, “딥러닝 알고리즘 및 생태순간평가를 활용한 건설현장 인력 모니터링 시스템 개발”, 등의 연구개발 성과를 달성하기 위해 성실하게 연구를 진행하였음.

| 연번 | 핵심 연구 목표                                   | 핵심성과 설명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 달성도          |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |
|----|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|---------|-------------|---|----|----|----|---|----|-----|----|---|----|----|----|---|----|----|----|---|----|----|-------|----------|
| 1  | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 wearable device 프로토타입 | <p>건설근로자 피로도-위험도 영향요인 측정 고감도 센서 및 인터페이스를 탑재한 wearable device 프로토타입</p>  <p>[건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 wearable device 프로토타입]</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 100% 데이터 구축  |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |
| 2  | 건설근로자 피로도-위험도 기반 건설현장 인력 모니터링 시스템          | <p>건설근로자 피로도-위험도 수준별 건설근로자의 상태 가시화 시스템 및 개인의 피로도-위험도를 고려한 적정 휴식시간, 정기 휴식시간, 인력배치 등의 인력 모니터링 시스템</p>  <p>[건설근로자 피로도-위험도 기반 건설현장 인력 모니터링 시스템]</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 시스템 프레임워크 완료 |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |
| 3  | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델           | <p>건설근로자의 피로도-위험도 영향요인 포트폴리오 조합 별 수준 결정 및 수준별 건설근로자의 상태를 규명할 수 있는 생태순간평가 응용모델</p>  <p>[건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>수준</th> <th>피로도 (%)</th> <th>위험도 (%)</th> <th>description</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>10</td> <td>80</td> <td>정상</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20</td> <td>100</td> <td>정상</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>40</td> <td>60</td> <td>주의</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>위험</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>80</td> <td>20</td> <td>매우 위험</td> </tr> </tbody> </table> | 수준           | 피로도 (%) | 위험도 (%) | description | 1 | 10 | 80 | 정상 | 2 | 20 | 100 | 정상 | 3 | 40 | 60 | 주의 | 4 | 60 | 40 | 위험 | 5 | 80 | 20 | 매우 위험 | 모델 구축 완료 |
| 수준 | 피로도 (%)                                    | 위험도 (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | description  |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |
| 1  | 10                                         | 80                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 정상           |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |
| 2  | 20                                         | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 정상           |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |
| 3  | 40                                         | 60                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 주의           |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |
| 4  | 60                                         | 40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 위험           |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |
| 5  | 80                                         | 20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 매우 위험        |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |
| 4  | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘              | <p>건설근로자 피로도-위험도 평가에 사용될 수 있는 딥러닝 알고리즘설계 및 실제 건설현장의 유사 환경의 실험군 대상의 개인화 모델</p>  <p>[건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘]</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 기술 개발 완료     |         |         |             |   |    |    |    |   |    |     |    |   |    |    |    |   |    |    |    |   |    |    |       |          |

## (2) 정량적 성과

- 본 연구는 당초 계획된 정량적 성과를 달성하기 위해 성실하게 연구를 수행하였음.
- 특히, SCI(E)급 논문은 4건이 게재되고, 2건의 논문을 submit, 관련 특허를 2건 출원 완료하였음.

| 성과지표               | 성과 목표 | 최소 성과 목표 | 성과 달성          |
|--------------------|-------|----------|----------------|
| SCI(E)급 학술지 게재(2점) | 6건    | 4건       | 4건 게재, 2건 심사 중 |
| 일반학술지게재(1점)        | -     | -        | -              |
| 특허출원(1점)           | 2건    | 2건       | 2건 달성          |
| 특허등록(2점)           | -     | -        | -              |
| 디자인 등록(1점)         | -     | -        | -              |
| 소프트웨어(1점)          | 1건    | 1건       | 1건 달성          |
| 하드웨어(1점)           | -     | -        | -              |
| 기타(1점)             | -     | -        | -              |
| 소계(점수)             | 15점   | 11점      | 11점            |

| 구분              | 핵심성과물<br>(CTE) |                                            | 단위성과물                            | 성과점검기준 (종괄)                                  |                                      |                                           |                                              | 양적 성과<br>건수                                               |              |                                      |                                                |
|-----------------|----------------|--------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
|                 |                |                                            |                                  | 질적 성과지표                                      | 목표치                                  | 측정방법                                      | 검증<br>방법                                     |                                                           |              |                                      |                                                |
| 주관<br><br>(한양대) | 1              | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 wearable device 프로토타입 | 1-1                              | 건설근로자 피로도-위험도 평가 wearable device 프로토타입       | ①                                    | 건설근로자 피로도-위험도 평가 wearable device 프로토타입 제작 | 시제품 1건                                       | 프로토타입 개발여부 (건설근로자 피로도-위험도 평가 wearable device 프로토타입 제작 여부) | 시제품 제작       | 논문 (SQ) : 1건<br>시제품: 1건              |                                                |
|                 | 2              | 건설근로자 피로도-위험도 기반 건설현장 인력 모니터링 시스템          | 2-1                              | 건설근로자 피로도-위험도 가시화 및 경보 시스템                   | ①                                    | 건설근로자 피로도-위험도 가시화 및 경보 시스템 DB 구축          | 10,000건 이상                                   | 실험분석 (실제 건설근로자 대상의 파일럿테스트를 통한 유효성 분석)                     | 사례분석 연구보고서   | 논문 (SQ) : 1건<br>특허: 출원 1건<br>S/W: 1건 |                                                |
|                 |                |                                            | 2-2                              | 딥러닝 알고리즘 및 생태순간평가를 활용한 건설현장 인력 모니터링 시스템      | ①                                    | 딥러닝 알고리즘 및 생태순간평가를 활용한 건설현장 인력 모니터링 시스템   | S/W 1건 개발                                    | 프로그램 개발여부 (딥러닝 알고리즘 및 생태순간평가를 활용한 건설현장 인력관리시스템 개발 및 등록)   | S/W 등록증      |                                      |                                                |
| 공동<br><br>(연세대) | 3              | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델           | 3-1                              | 건설근로자 피로도-위험도 영향요인 포트폴리오 및 피로도-위험도 수준 분류 방법론 | ①                                    | 건설근로자 피로도-위험도 영향요인 포트폴리오 유효성              | 전문가검증 (5점척도 기준) 4.5 이상                       | 전문가자문 (건설근로자 피로도-위험도 영향요인 포트폴리오 데이터에 대한 전문가 검토)           | 사례분석 연구보고서   | 논문 (SQ): 1건                          |                                                |
|                 |                |                                            |                                  |                                              | ②                                    | 건설근로자 피로도-위험도 데이터 간 유효 상관관계 유효성           | 전문가검증 (5점척도 기준) 4.5 이상                       | 전문가자문 (건설근로자 피로도-위험도 데이터간 상관관계에 대한 전문가 검토)                | 사례분석 연구보고서   |                                      |                                                |
|                 |                |                                            |                                  |                                              | ③                                    | 생태순간평가 기반 건설근로자의 피로도-위험도 수준 분류 방법론 유효성    | 매뉴얼 전문가 검증 (5점척도 기준) 4.5 이상                  | 전문가자문 (생태순간평가 기반 건설근로자의 피로도-위험도 수준 분류 전문가 검토)             | 매뉴얼 검증 보고서   |                                      |                                                |
|                 |                | 3-2                                        | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델 | ①                                            | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 생태순간평가 응용모델 유효성 | 전문가검증 (5점척도 기준) 4.5 이상                    | 실험분석 (실제 건설근로자 대상의 파일럿 테스트를 통한 응용모델의 유효성 분석) | 사례분석 연구보고서                                                | 논문 (SQ) : 1건 |                                      |                                                |
| 공동<br><br>(아주대) | 4              | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘              | 4-1                              | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘 설계             | ①                                    | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘 설계 유효성      | 설계보고서 1건                                     | 사례분석 (딥러닝의 구조에 따른 피로도-위험도 예측 정확도 비교를 통한 유효성 분석)           | 사례분석 연구 보고서  | 논문 (SQ): 1건                          |                                                |
|                 |                |                                            | 4-2                              | 건설근로자 피로도-위험도 평가를 위한 딥러닝 알고리즘                | ①                                    | 건설근로자 피로도-위험도 평가에 대한 유효성                  | 딥러닝 분류 예측 정확도 70%                            | 사례분석 (딥러닝의 분류예측 정확도와 생태순간평가의 정확성 비교)                      | 사례분석 연구 보고서  | 논문 (SQ) : 1건<br>특허: 출원 1건            |                                                |
| 계               |                |                                            |                                  |                                              |                                      |                                           |                                              |                                                           |              |                                      | 특허: 출원 2건<br>논문 (SQ): 6건<br>S/W: 1건<br>시제품: 1건 |

## 나. 관련 분야 기여도

- 건설근로자의 피로 축적 및 스트레스 관리 등의 건설근로자 중심의 안전사고 예방대책이 필요할 것으로 사료되는 바, 본 연구에서 제안하는 생태순간평가 활용 및 딥러닝 기반 건설현장 안전사고 예방 시스템의 원천기술 확보가 무엇보다 중요하며 건설 융합 기술의 확보를 통한 기술 경쟁력 강화 및 건설산업 사고재해 최소화가 기대됨.
- 건설근로자의 피로도에 따른 안전사고를 예방할 수 있는 새로운 개념의 건설근로자 피로도-위험도 통합 모니터링 기술 개발을 목적으로 딥러닝 알고리즘 구현에 필요한 건설근로자 피로도-위험도 Big Data를 구축하고 시스템을 개발함으로써 근로자의 건강상태를 고려한 효율적 작업 인력 계획 수립으로 건설현장 안전사고 예방 대책 마련이 필요한 현 시점에서 국내 건설 산업의 안전사고 예방 및 생산성 향상을 위한 도구로 활용 가능할 것으로 기대됨.

|           |                                                                                        |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 기술적 측면    | 생태순간평가를 활용한 건강행동연구이론, 딥러닝 알고리즘을 활용한<br>첨단 IT 기술의 <b>융·복합을 통한 기초 원천 기술력 확보</b>          |
| 경제·산업적 측면 | 안전사고 재해율 감소로 인한 <b>안전사고 처리비용 및 안전관리 비용 저감</b> 과<br><b>생산성 향상</b> 을 통한 경제적 효과           |
| 사회적 측면    | 건설근로자 중심의 기술개발을 통해 <b>사람 중심의 기술개발을 확장</b> 시킴으로써<br><b>안전한 건설 문화 형성 및 건설산업 사고재해 최소화</b> |

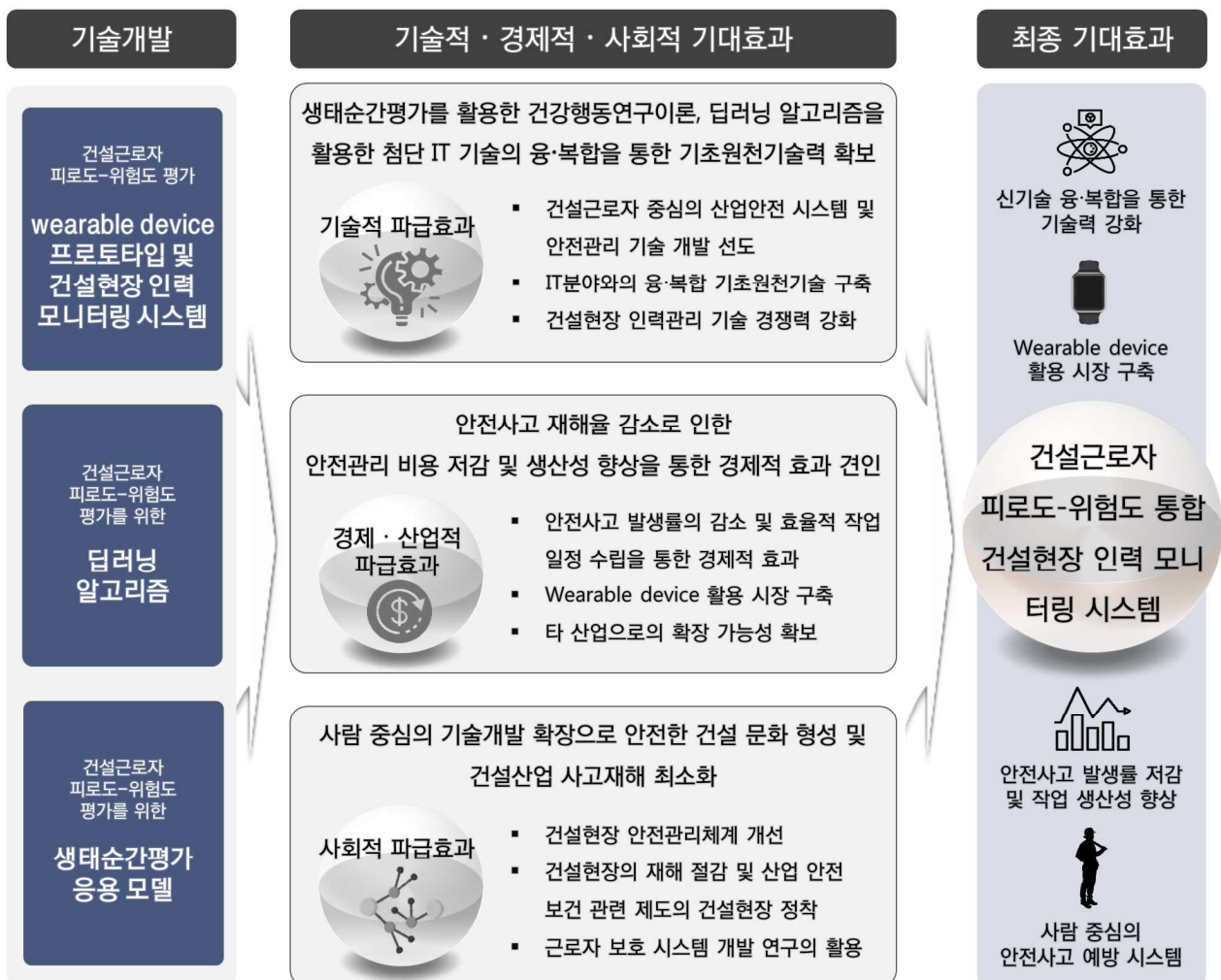


그림 12. 연구개발의 기대효과

### (1) 기술적 측면

| 생태순간평가를 활용한 건강행동연구이론, 딥러닝 알고리즘을 활용한 첨단 IT 기술의<br>융·복합을 통한 기초 원천 기술력 확보 |                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 안전관리 기술의<br>패러다임 변화 촉진                                                 | 생태순간평가 응용 모델을 구축함으로써 건설근로자의 건강상태와 안전상의 Risk에 대한 상관관계 분석 연구를 통해 <u>건설현장 안전관리 기술 개발 선도</u>   |
| 국내 IT 분야와<br>건축분야의 융합                                                  | 딥러닝(Deep Learning) 기술과 융합함으로써 효율적인 건설현장 인력관리 시스템 개발을 통한 <u>IT분야와 건축분야의 융·복합 기초 원천기술 구축</u> |
| Wearable Device<br>활용 기술의 확대                                           | Wearable Device를 활용한 Big Data 구축을 통해 <u>기술력 강화 및 관련 기술 시장의 활용성 증가, 타 분야로의 확장 가능성 확보</u>    |
| 건설현장 인력관리<br>기술 경쟁력 강화                                                 | 효율적인 작업인력 계획 수립을 위한 기술개발 선도를 통해 <u>건설관리 소프트웨어 개발 촉진 및 실용적 고부가가치 원천기술 확보</u>                |

### (2) 경제 · 산업적 측면

| 안전사고 재해를 감소로 인한 <u>안전사고 처리비용 및 안전관리 비용 저감</u> 과<br>생산성 향상을 통한 경제적 효과 |                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 신개념 안전관리체계                                                           | 근로자의 피로도, 스트레스, 작업위험도 등 <u>안전사고의 간접적인 요인이 되는 요소들을 고려한 신개념 안전관리체계 구축</u>                       |
| Wearable Device<br>착용의 보편화                                           | 건설근로자들의 Wearable Device 착용의 보편화로 개인의 피로도 및 작업 위험도 체크를 통해 <u>건강상태 확인 및 작업현황 파악 용이</u>          |
| 최적의 인력 배치<br>시스템 도입                                                  | 건설근로자의 피로도, 작업 위험도에 기인하여 인력을 배치함으로써 <u>안전사고 발생률의 감소 및 효율적인 작업 일정 수립</u> 을 통한 <u>경제적 효과 기대</u> |
| 기술의 현장 활용성<br>증가 및 확장 가능성                                            | 딥러닝 기술을 활용한 효율적인 인력관리 시스템 개발을 통해 <u>높은 현장 활용성 및 타 산업으로의 확장 가능</u>                             |

### (3) 사회적 측면

| 건설근로자 중심의 기술개발을 통해 <u>사람 중심의 기술개발을 확장시킴</u> 으로써<br><u>안전한 건설 문화 형성 및 건설산업 사고재해 최소화</u> |                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 건설근로자 중심의<br>현장관리 시스템                                                                  | 업무상 피로도 축적 및 관련 질병 발생 확률이 높은 <u>건설현장 근로자의 건강 저하 및 건설현장 안전사고의 예방</u>                  |
| Big data 기반<br>안전사고예방 시스템                                                              | Big data 기반의 딥러닝 알고리즘 구축을 통해 <u>건설현장의 안전사고와 건설근로자의 피로도-작업위험도</u> 대한 <u>정확한 원인 규명</u> |
| 건설현장<br>안전관리체계 개선                                                                      | 건설 현장 재해 감소를 위한 <u>기존 관리체계의 패러다임 전환</u> 과 건설업에 대해 <u>산업 안전보건 관련 제도의 정착</u>           |
| 근로자 안전보장을<br>위한 시스템 개발                                                                 | 사람 중심의 기술 개발을 통해 <u>근로자의 안전을 보장하기 위한 근로자 보호 시스템 개발 연구의 활용 기대</u>                     |

## 4. 연구개발성과의 활용계획

### 가. 연구개발성과의 활용방안

- 국내·외 종합건설업체는 본 연구개발성과를 활용하여 **건설현장 안전사고 예방대책 수립** 및 **효율적인 작업인력 계획** 수립을 통해 **안전사고 저감 효과** 및 **작업자 생산능력 향상**이 가능해짐.
- 국내·외 Wearable Device 제조업체는 본 연구개발성과를 활용하여 건설현장 안전관리 및 건설근로자 건강상태 관리를 위한 기기를 제조하고 관련 시장 활성화로 **지속적인 수익 창출**이 가능함.
- 정부기관은 본 연구개발성과를 활용하여 **건설산업 재해율 저감을 위한 안전사고 예방대책 마련**에 활용할 수 있고 국내·외 대학 및 연구소는 기술 공유를 통하여 공동연구를 진행하고 **고부가가치 건설융합기술 창출** 및 **건설업의 첨단 산업으로의 이미지 제고**에 일조할 것으로 기대됨.

| 최종성과물                                           | 기술수요처                     | 활용방안                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 건설근로자 사고 예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천기술 | 국내·외 종합건설업체               | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 국내 건설현장에서 안전관리 업무를 효율적으로 수행하기 위한 도구로 활용하여 <b>최적의 인력 배치 시스템</b>, <b>효율적인 작업 일정 계획</b>을 위한 <b>원천 데이터 확보</b> 가능.</li> <li>■ 건설현장 근로자 중심의 안전사고 예방 대책 운영이 가능해져 <b>안전사고 발생 Risk를 감소</b>시킴으로써 사회적·경제적 효과 기대.</li> </ul>                                                               |
|                                                 | 국내·외 Wearable Device 제조업체 | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 건설분야와의 기술 융합 사례들을 발굴함으로써 이를 활용한 국내 제조업체들의 <b>기술 경쟁력 강화</b>를 위한 <b>토대를 마련</b>할 수 있을 것으로 기대됨.</li> <li>■ 안전관리 디바이스 기술 수출 및 시장 선점으로 <b>수익 창출</b> 가능.</li> </ul>                                                                                                                   |
|                                                 | 정부기관/<br>국내·외 대학 및 연구소    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>건설산업 재해를 저감을 위한 안전사고 예방대책 마련</b>을 통해 국민 건강 및 생활편의 증진, 사회적 지속가능성 확보.</li> <li>■ 국내·외 건설산업과 딥러닝 알고리즘을 활용한 첨단 IT 기술, 건설근로자의 피로도 및 위험도를 수치화하고 이의 수준을 결정하기 위한 생태순간평가를 활용한 연구는 아직까지 미비한 상태로, <b>고부가가치 건설융합기술을 창출</b>할 뿐만 아니라 <b>건설업의 첨단산업으로의 이미지 제고</b>에도 일조할 것으로 기대됨.</li> </ul> |

### 건설근로자 사고 예방을 위한 딥러닝 기반 피로도-위험도 통합형 인력 모니터링 원천기술 개발



그림 11. 건설현장 사고예방 딥러닝 기반 예측모형 기술수요처 및 활용방안

## 붙임. 참고문헌

- [1] Åhsberg, E. (2000). Dimensions of fatigue in different working populations. *Scandinavian journal of psychology*, 41(3), 231–241.
- [2] Andresen, E. M., Malmgren, J. A., Carter, W. B., & Patrick, D. L. (1994). Screening for depression in well older adults: Evaluation of a short form of the CES-D. *American journal of preventive medicine*, 10(2), 77–84.
- [3] Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). Pittsburgh sleep quality index (PSQI). *Psychiatry research*, 28(2), 193–213.
- [4] Centers for Disease Control and Prevention. (2020). What Workers and Employers Can Do to Manage Workplace Fatigue during COVID-19. (May 19, 2020)
- [5] Cho, Y. W., Lee, J. H., Son, H. K., Lee, S. H., Shin, C., & Johns, M. W. (2011). The reliability and validity of the Korean version of the Epworth sleepiness scale. *Sleep and Breathing*, 15(3), 377–384.
- [6] Chon, K. K., Choi, S. C., & Yang, B. C. (2001). Integrated adaptation of CES-D in Korea. *Korean Journal of Health Psychology*, 6(1), 59–76.
- [7] Costello, A. B., & Osborne, J. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical assessment, research, and evaluation*, 10(1), 7.
- [8] Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *sleep*, 14(6), 540–545.
- [9] Kyriazos, T. A. (2018). Applied psychometrics: sample size and sample power considerations in factor analysis (EFA, CFA) and SEM in general. *Psychology*, 9(08), 2207.
- [10] Lee, S. J. (2001). Comparison of fatigue, job satisfaction and nursing performance between fixed night nurses and rotating shift nurses. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.
- [11] Office of Rail Regulation(ORR). (2012). Managing Rail Staff Fatigue. (January, 2012)
- [12] Radloff, L. S. (1977). The CES-D scale: A self-report depression scale for research in the general population. *Applied psychological measurement*, 1(3), 385–401.
- [13] Schwartz, J. E., Jandorf, L., & Krupp, L. B. (1993). The measurement of fatigue: a new instrument. *Journal of psychosomatic research*, 37(7), 753–762.
- [14] Ware Jr, J. E., & Sherbourne, C. D. (1992). The MOS 36-item short-form health survey (SF-36): I. Conceptual framework and item selection. *Medical care*, 473–483.
- [15] Ware Jr, J. E., Kosinski, M., & Keller, S. D. (1996). A 12-Item Short-Form Health Survey: construction of scales and preliminary tests of reliability and validity. *Medical care*, 220–233.

#### 주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.