

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001560-01

국토교통기술촉진연구사업

15CTAP-C078855-02

건설 마감공사용 수공구의 인간공학적 설계변경 및 개량 방안 개발 최종보고서

2016. 09.29

주관연구기관 / 경북대학교

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "건설 마감공사용 수공구의 인간공학적 설계변경 및 개량 방안 개발"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 9. 29

주관연구기관명 : 경북대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 임태경 박사

연구원 : 이창용 박사

연구원 : 곽한성 박사과정

연구원 : 이홍철 박사과정

연구원 : 김주성

연구원 : 윤성완

연구원 : 구봉진

연구원 : 한상은

보고서 요약서

과제고유번호	15CTAP-C078855-02	해 당 단 계 연 구 기 간	2014.08.14. ~2016.08.26	단 계 구 분	(1)/(1)
연 구 사 업 명	국토교통기술촉진연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	건설 마감공사용 수공구의 인간공학적 설계변경 및 개량 방안 개발			
	단위과제명				
연 구 책 임 자	임태경	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 8명 내부 : 8명 외부 : 0명	총연구비	정부:10천만원 기업: 0천만원 계: 10천만원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	경북대학교 산학협력단 대학원 건설환경에너지공학부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약				보고서 면수	97
- 방수공사를 대상으로 사용 수공구 변화에 따른 심박수 변화량을 측정하고 통계적 작업강도의 차이에 대한 평가 방법론을 개발함 - 석판 설치공정을 대상으로 자세평가모델(OWAS) 따른 신체부담 평가결과와 근전도(EMG)를 활용한 작업자의 근육활성도를 평가 결과를 비교연구함 - 단순반복 육체작업인 인도포장 공사를 대상으로 시멘트 블록의 자재위치 변화에 따른 근활성량 변화를 분석하고 작업부담을 경감하는 작업방법 및 자재위치에 대한 실증연구를 수행함 - 건축물의 석판 설치시 시공품질과 직결되는 수직과 수평측정 작업을 한번에 실시하고 석판에 거치가 용이하도록 건축물 패널 설치용 수준기를 개발함 - 전자화된 시공도면을 시공면에 투영하여 중량물 취급시 설치위치보정을 위한 추가작업을 최소화하는 건설증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법을 개발함 - 작업자 요구성능과 기술적 설계변경을 동시에 고려하여 기존 수공구의 설계변경의 우선순위를 정량적으로 평가하는 품질기능전개(QFD) 모델을 개발함					
색 인 어 (각 5 개 이 상)	한 글	건설 기능공, 수공구, 인간공학, 동작연구, 근골격계질환			
	영 어	Construction worker, Hand tool, Ergonomics, Motion study, Musculoskeletal disorder			

요 약 문

I. 제 목

건설 마감공사용 수공구의 인간공학적 설계변경 및 개량 방안 개발

II. 연구개발과제 개요

건설현장은 대형장비의 사용과 건식공법이 현저히 늘고 있는 추세지만, 여전히 다수의 공종들은 습식공법(wet construction method)이 적용되고 있고, 근로자들은 단순 반복적인 육체노동을 통해 생산활동을 하고 있는 실정이다. 그러한 건설현장의 작업환경으로 인해 근로자들은 근골격계질환의 발병률이 타 산업에 비해 높은 비중을 차지하고 있지만, 작업으로 인한 신체적 부하를 과학적으로 측정하고 분석하는 연구가 미흡한 실정이다. 그 근본원인은 건설업의 생산활동이 옥내 제조업과 달리 생산 동작이 작업자 마다 상이하고 표준화가 어렵다는 특성에서 기인한다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 비정형적이고 동적인 특성을 띠는 건설 근로자의 생산활동을 일관되게 평가할 수 있도록 동작을 구분하고, 센서를 활용하여 생체신호(bio-signal)를 측정 및 분석하는 방법론을 제시한다. 또한, 건설수공구의 인간공학적 개량 시스템을 개발하여 근로자의 보건관리에 도움을 주고자 한다.

III. 연구개발 수행내용 및 결과

1차년: 건설현장 마감공사용 수공구의 사용실태 및 작업부하 측정방법론 개발

- 건설현장을 중심으로 수공구의 사용 실태 조사
- 작업시 노무자의 생리학적 작업부하를 측정하는 방법 개발
- 마감공사 중 방수공사와 석공사를 대상으로 한 실증연구
- 석공사용 수공구 개량 사례제시

2차년: 인간공학적 수공구 개량 시스템 개발

- 인도포장공사를 대상으로 근전도센서를 활용한 작업자의 동적 신체부하 측정 및 근활성도 평가 모델 개발
- 재래형 건설수공구의 인간공학적 설계변경을 위한 기술특성의 우선순위를 산출하는 품질기능전개 모델 및 시스템프로토 타입 개발
- 개발된 수공구 개량시스템을 활용한 석판운반기의 초기모델 개량

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

- 방수공의 생리학적 작업부하 평가 (논문, 대한건축학회논문집, 31(6))
- OWAS 및 근전도 기반 석공 작업부하 비교연구 (논문, 한국건축시공학회 춘계학술대회, 15(1), 우수학술상 수상)
- 건축물의 패널 설치용 수준기 개발 (특허, 출원번호:10-2015-0067854)
- 인도포장 공사의 자재위치 변화에 따른 근활성량 분석 (논문, 한국방재학회 논문집, 16(3))
- 증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법 (특허, 출원번호:10-2016-0081283)
- 재래형 수공구의 설계변경의 우선순위를 정량적으로 평가하는 품질기능전개(QFD) 모델 개발
- 재래형 석판운반용 수공구의 인간공학적 설계변경 시험적용

V. 연구목표 달성 및 효과

- **1차년도 목표달성:** 국내 전문학술지 논문게재 1건, 특허출원 1건, 학술대회 논문발표 1건, 우수학술상 수상실적 1건 달성
- **2차년도 목표달성:** 국내 전문학술지 논문게재 1건, 특허출원 1건, 시제품 제작 1건, 국제학술발표대회 논문발표 1건 달성
- **효과 1:** 우레탄방수공사를 대상으로 ‘심장박동측정기(cardiotachometer)’를 이용한 작업자의 ‘심박수’의 변화를 측정하고, 수공구변화에 따른 작업부하의 유의미한 차이를 통계적 검증함으로써, 작업자에게 차별화된 휴식시간을 부여할 필요성을 제공함
- **효과 2:** 인도포장공사를 대상으로 한 실증연구에서는 ‘근전도센서(electromyogram sensor)’를 적용하여 작업자의 개별 근육의 활성도를 측정하고, 측정된 주파수를 후처리하는 과정을 제시함으로써, 특정 근육의 과부하나 급격한 변화를 저감하는 최적의 자재위치나 동작개선 방향을 제안함으로써 안전보건관리 방침을 수립하는 근거를 마련함
- **효과 3:** 건설 수공구의 인간공학적인 개량을 지원하는 시스템의 개발은 작업자가 사용하는 수공구에 대해 주관적인 성능개선 요구사항에 대한 평가로부터 기술적인 측면에서 수공구의 설계변수들 간의 개선 우선순위를 자동으로 산출함으로써, 기존의 수공구를 인체공학적으로 개량하는 체계적인 분석지원시스템을 제공함

VI. 연구성과 활용계획

- “건축물의 패널 설치용 수준기 개발(출원번호:10-2015-0067854)” 특허는 수평기 제작업체에 기술이전을 실시하고, 제품화하여 석공사 관련 시공사나 해당 전문시공업체에 판매할 계획임.
- “증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법(출원번호:10-2016-0081283)” 특허는 현장의 기술수요조사를 통해 시스템의 요구사항을 커스터마이징 하고, 개발 능력을 갖춘 소프트웨어 개발업체를 선정하여 시스템으로 패키징하여 사업화할 계획임.
- 본 연구에서 개발한 “건설 근로자의 작업특성을 고려한 신체적 작업부하 측정 및 평가 모델”은 근골격계관련 직업성질환을 지속적으로 모니터링 하고 근로자의 육체적 작업부담을 경감하는 조치를 취하는 근로자보건관리에 적극 활용할 수 있도록 시공사에 해당 기술을 이전할 계획임.

SUMMARY

The use of heavy equipment and application of dry methods are significantly increasing. However, a number of activities are still highly dependent on simple repetitive manual labor of the workers. As a result, it accounts for a high proportion compared to other industries, workers suffering from musculoskeletal disorders in the construction industry, but the research is insufficient to measure and analyze the labor intensity of construction workers. This research presents a methodology to evaluate the strength of the construction activity with non-standardized and dynamic properties systematically. In addition, we develop a system improving ergonomic construction hand tools in order to effectively support the health care of workers.

Annual research goals and research results are as follows:

1st Year: Survey on hand tools used for building construction survey and methodology development for workload measurement

- Survey on usage of hand tools around the construction site
- Development of a method for measuring the physiological load on the laborers
- Empirical study of stone construction and waterproof construction

2nd Year: Development of a system to improve ergonomic hand tools

- Development of physical load measurement and evaluation model targeted at paving work
- Development of quality function deployment model that supports the ergonomic design change of conventional construction hand tools
- Ergonomic improvement of the initial carrier model for stone boards utilizing hand tools improvement system

CONTENTS

Chapter 1. Overview of the R&D Projects	11
1. The background and Necessity of Research and Development	11
2. The states of domestic and international technology into related fields	13
A. Domestic and international research trends and academic achievements in related fields	13
B. Domestic and international patents trends	16
C. Domestic and international market analysis and industry trends	17
D. Overall Conclusion	17
3. The Uniqueness and goal of R&D	18
A. Research uniqueness	18
B. The ultimate goals	22
Chapter 2. R&D Tasks and Results	25
1. Research strategy and methodology	25
A. Detailed research plans	25
B. Research flowchart	26
2. Annual Research Results	28
A. R&D highlights for first year	28
B. R&D highlights for second year	56
Chapter 3. Final Results of Research and Applied Results	85
1. Major research (academic achievement and technical performance)	85
2. The annual research goals and performance	86
A. Research objectives and contents for the first year	86
B. Research objectives and contents for the second year	86
Chapter 4 Research Objectives and Effects	87
1. The ultimate goal achievement	87
A. Quantitative performance achievement for the first year	87
B. Quantitative performance achievement for the second year	87
2. The technical effect analysis of R&D performance	88
Chapter 5. Utilization of Research Results and Needs for Further Research	89
1. Future Utilization of research results	89
2. Additional research needs	89
References	91

목 차

제1장 연구개발과제 개요	11
1. 연구개발의 배경 및 필요성	11
2. 관련분야의 국내외 기술개발 현황	13
가. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과	13
나. 국내외 관련 기술 특허 동향	16
다. 국내외 시장분석 및 산업동향	17
라. 종합결론	17
3. 연구개발의 차별성 및 목표	18
가. 연구개발 차별성	18
나. 연구개발 최종목표	22
 제2장 연구개발 수행 내용 및 결과	 25
1. 연구수행 전략 및 방법론	25
가. 연구세부 추진계획	25
나. 연구개발 흐름도	26
2. 연차별 연구실적	28
가. 1년차 연구개발 주요내용	28
나. 2년차 연구개발 주요내용	56
 제3장 최종 연구성과 및 적용실적	 85
1. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)	85
2. 연차별 연구목표 및 수행내용	86
가. 1 년차 연구목표 및 내용	86
다. 2 년차 연구목표 및 내용	86
 제4장 연구목표 달성 및 효과	 87
1. 연구개발 최종목표 달성도	87
가. 1 년차 정량적 성과지표 달성도	87
나. 2 년차 정량적 성과지표 달성도	87
2. 연구개발 성과의 기술적 효과분석	88
 제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성	 89
1. 연구성과 향후 활용방안	89
2. 추가연구 필요성	89
 참고문헌	 91

그 립 목 차

[그림 1-1] 건설공사의 반복작업	16
[그림 1-2] 스케이팅 동작 특성 분석 예시	19
[그림 1-3] 야구선수 타격자세 비교 예시	20
[그림 1-4] 연구의 최종 목표	22
[그림 1-5] 철근 결속작업	23
[그림 2-1] 우레탄 방수공사 네트워크 모형	30
[그림 2-2] 작업 통제용 실험환경	32
[그림 2-3] 실험용 수공구	32
[그림 2-4] 프라이머 칠 동작	33
[그림 2-5] 우레탄도장 작업 동작기준	34
[그림 2-6] 심박기 착용	35
[그림 2-7] 신체불편도 분석 결과	38
[그림 2-8] 석공사용 개량형 수평계 도면	47
[그림 2-9] 석공사에 사용중인 수공구 현황	48
[그림 2-10] 현장 노무자 직접 개량 수공구 사례	49
[그림 2-11] 석공 종사자 근골격계 질환 현황 조사용 설문지 응답예시	50
[그림 2-12] 석공의 신체 불편부위 응답결과	51
[그림 2-13] 석공 종사자의 통증 치료방법 응답결과	51
[그림 2-14] 자세평가기준 작업부하평가 사례 1	53
[그림 2-15] 자세평가기준 작업부하평가 사례 2	54
[그림 2-16] 자세평가기준 작업부하평가 사례 3	54
[그림 2-17] 건설 마감공사 작업분석용 개방형 자료실 화면	55
[그림 2-18] 실험환경 설계	59
[그림 2-19] 자측 자재위치(M1)에서 피실험자(S1) %MVC	62
[그림 2-20] 중간 자재위치(M2)에서 피실험자(S3)의 %MVC	63
[그림 2-21] 우측 자재위치(M3)에서 피실험자(S5)의 %MVC	65
[그림 2-22] 특허 설계도 1	70
[그림 2-23] 특허 설계도 2	71
[그림 2-24] 특허 설계도 3	72
[그림 2-25] “L자형” 석판들기 신체부하 분석결과	80
[그림 2-26] 석판운반기 초기모델 설계안	80
[그림 2-27] “일자형” 석판들기 신체부하 분석결과	81
[그림 2-28] 석판운반기 초기모델 시제품	81
[그림 2-29] 석판운반기 개량용 사용자 요구사항 중요도 분석모델	82
[그림 2-30] 석판운반기 설계 개량용 우선순위 분석 모델	83
[그림 2-31] 석판운반기 초기모델과 개량모델	84

표 목 차

[표 1-1] 건설현장의 자동화 및 기계화 저해요인	16
[표 2-1] 방수공사 세부작업 특성 분석 결과	19
[표 2-2] 피험자 집단 신체특성	20
[표 2-3] 심박수 측정결과	22
[표 2-4] 심박수 증가분의 통계치	23
[표 2-5] 휴식기 심박수 회복시간 통계치	30
[표 2-6] 신체부위별 불편도 분석 결과	32
[표 2-7] 석판 설치 높이 구분에 따른 작업부하 평가 결과	32
[표 2-8] 석공의 신체 불편부위 응답결과	33
[표 2-9] 석공 종사자의 통증 치료방법 응답결과	34
[표 2-10] 석공사 단위 작업 및 부담동작 분류	35
[표 2-11] 피실험자(S1)의 좌측 자재위치(M1)에서 설치위치별 %MVC	38
[표 2-12] 피실험자(S1)의 중간 자재위치(M2)에서 설치위치별 %MVC	47
[표 2-13] 피실험자(S5)의 중간 자재위치(M3)에서 설치위치별 %MVC	48
[표 2-14] 자재위치에 따른 근활성도 검정 결과	49
[표 2-15] 수공구 설계 개량 프로세스	50

제1장 연구개발과제 개요

1. 연구개발의 배경 및 필요성

미래 건설프로젝트는 대형화 · 초고층화 · 복잡화됨에 따라 인력의존형 기술이 한계에 와 있다. 따라서 인력을 첨단 시공기술로 대체하고 지하공간, 해상공간, 우주공간 개발 등 새로운 건설시장 개척의 핵심기술로 건설자동화 및 로봇화 기술의 중요성이 강조되고 있다. (이준복, 2007) 실제 건설자동화 분야는 대표적인 사례로서 콘크리트면 마감용 로봇, 천장마감재 설치용 로봇, 철근 조립용 로봇, 조적용 로봇, 용접용 로봇, 도장용 로봇, 중량물 취급용 로봇, 건물 외벽 검측용 로봇 등이 있다. 특히, 일본에서는 무인시공을 위해 전자동 건축물 건설시스템과 무인토공사자동화시스템 개발에 대한 연구를 수행하였다. 이처럼 건설자동화 및 로봇의 활용은 이미 오래 전부터 건설현장의 주요관리대상인 공정과 안전 그리고 품질을 개선하고, 또한 미래의 숙련공 부족에 대한 가장 적극적인 해결방안으로 거론되어 왔다. 그러나 자동 생산 시스템이나 로봇의 개발 및 응용에 있어 제조업이나 의학분야에서 해마다 눈부신 발전을 거듭하고 있는 현실에 반해, 건설산업분야서는 그 개발과 적용이 매우 낮은 수준에 머물러 있다.(김영석 외, 2008)

이러한 현상은 국내 건설산업이 여전히 인력 중심의 산업구조를 벗어나기 힘든 특수성(즉, 옥외산업, 단품생산, 복잡한 생산과정, 다양한 참여주체, 생산기간의 장기화)에 기인하는 것으로 분석된다. 뿐만 아니라 건설자동화가 어려운 근본적인 이유는 건설현장의 작업환경이 지속적으로 변하고 예측이 어려운 다양한 문제들이 산발적으로 발생(Behzadan et al., 2008)함에 따라 자동화가 어려운 공종이 많고, 영세한 전문시공업체를 대상으로 한 하도급 관행에 따라 고가의 자동장비 보다 여전히 수작업에 대한 의존도가 높은 현실에 있다. 특히, 건설현장은 작업이 진행됨에 따라 물리적인 환경(예, 작업공간, 건축물, 장비투입)이 끊임없이 변화하고, 공사가 진행되는 기간 내내 자연의 변화(태풍, 폭우, 장마, 기온, 지하수 등)에도 민감하게 영향을 받는다. 그로 인해 건설 현장은 재해에 대한 잠재된 위험이 항상 도사리고 있다. 그러한 위험을 예측하고 순간 대응하는 능력은 자동화된 시스템에 의존하는 것은 경제성과 효율성 측면에서 불합리한 측면이 있다.

그러한 이면에는 작업자들이 작업 환경의 미세한 변화를 수집하는 데 있어, 그 어떤 고가의 센서보다 탁월한 오감(五感)을 지니고 있고, 다양한 데이터(냄새, 온도, 소리, 진동, 영상)를 신속하게 분석하는 추론능력(推論能力)을 갖고 있다는 점에 주목한다. 특히, 기능공이 특정 분야에서 오랜 기간 수많은 시행착오를 겪으면서 체득한 시공경험은 현장의 작업이 위태로운 상황과 시공품에 대한 품질수준을 순간적으로 판단하는 직관력(直觀力)을 발휘하게 한다.

예컨대, 미장공이 어제 작업을 마무리한 벽(wall)을 우연히 지나치다가 벽면에 크랙

(crack)을 본다면, 그는 순간적으로 하자 부위를 식별해내고, 어떻게 조취를 할지에 대한 판단도 거의 동시해 해낸다. 그러나 벽에 크랙을 찾기 위해 사람의 시각능력을 대신하는 고가의 영상장비를 사용한다고 가정해 보자. 하자 부분을 찾기 위해 정상적인 부분도 모두 일일이 측정해야하고, 측정된 데이터는 복잡한 알고리즘에 의해 분석하는 과정 또한 필요하다. 즉, 첨단장비는 벽체에 생긴 선이 크랙(crack)인지, 그림자(shadow)인지 혹은 이물질이 부착된 건지를 분석하는 데에도 복잡한 연산과정을 필요로 한다. 이처럼 건설현장에서는 시공품에 경미한 크랙이나 수직·수평이 맞지 않는 상황이 수시로 발생되고 끊임없는 보수 작업이 뒤따른다. 따라서 건설현장에서 위험예지능력과 품질관리에 있어 숙련된 기능공은 없어서는 안 되는 중요한 생산자원이다.

신현식(1986)은 건설현장에서 자동화 및 기계화가 원활하게 이루어지지 못하는 대표적인 이유를 기술적 • 경영적 • 구조적 측면으로 분류하여 [표 1-1]과 같이 분석하고 있다. 물론 30년 전의 분석 자료이긴 하지만 오늘날에도 그러한 저해 요인들은 건설현장에서 크게 변하지 않고 있다.

[표 1-1] 건설현장의 자동화 및 기계화 저해요인

분류	저해요인
기술적 측면	1. 건물의 종류와 형태가 다르고 반복성이 없음 2. 개별적인 설계로 반복성이 적음 3. 제조업과 달리 대형공사이고 중량물을 사용함 4. 공사가 이루어지는 곳이 일정하지 않음. 5. 한 공사장에서 동시다발적으로 작업이 이루어짐 6. 설계·시공 시 시공 측에서 설계 측으로 정보피드백이 불충분함 7. 작업내용이 불명확하여 작업자의 판단에 의존성이 큼
경영적 측면	1. 부가가치가 적고, 고급 장비의 사용이 곤란함 2. 작업 시간의 제한이 강하고, 설비 가동률이 낮음 3. 자동화/기계화의 인식도가 낮고 하도급자에 대한 의존도가 높아 기업 고유의 기술과 개발 육성이 부족함
구조적 측면	1. 자동화/기계화에 관련된 기술자가 적음 2. 건설공사비에 연구개발비를 포함시키기 힘든 상황 3. 자동화/기계화의 추진에 대한 공공의 지원이 약함

오늘날 우리가 누리고 있는 기계문명의 발전은 공구의 개발과 활용에 의존한다 해도 과언이 아니다. 최근 컴퓨터, 자동기계 등의 출현으로 전통적인 공구의 중요성이 간과되고 있으나, 여전히 산업체에서 수공구에 대한 의존도는 높다.(양성환 외 2인, 2006) 더욱이 생산, 사무 자동화가 고도로 이루어진다 하더라도 현재 기술단계로는 인간의 육체적, 정신적 작업이 없이는 전체 작업수행이 불가능하며, 근로자의 손에 의한 작업제어가 반드시 필요하다.(박희석, 1995)

그런데 인간의 손 기능을 보완하기 위해 꼭 필요한 수공구(hand tools)는 인체에 적합하지 않은 설계로 인해 장기간 반복하여 사용하는 경우 상지(손, 팔, 어깨, 목 등)의 근육과 섬유조직에 손상을 유발하고 점차 상지의 기능을 저해하여 종국에는 통증을 수반하는 근골격계질환(WMSDs : work related musculoskeletal disorders)에 영향을 미친다. 건설업분야에서 발생하는 산업재해는 손, 팔 등의 상지와 관련된 근골격계질환이 전체 질환의 40%를 차지하고 있다. 특히, 건설업은 특성상 기능인력이 여러 수공구를 수시로 사용하는 작업이 주를 이루고 있어, 타산업에 비해 근골격계질환의 발생소지가 크다.(이은동 외 2인, 2006) 이러한 근골격계질환은 부적절한 작업자세(신체의 굴곡), 부적절한 공구의 사용으로 인해 과도한 하중(무게 또는 발휘하는 힘)과 작업시간(지속시간, 휴식간격, 반복횟수, 빠르기 등)의 요인이 복합적으로 작용하여 발생한다.(노동부, 2004)

그럼에도 불구하고, 건설현장을 중심으로 한 작업자의 동작특성(motion study)에 대한 정량적인 연구와 건설 수공구의 인간공학적인 측면에서 개량을 위한 연구는 국가적인 연구 지원 및 학계의 관심이 상당히 부족한 실정이다.

2. 관련분야의 국내외 기술개발 현황

가. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

1) 국가 연구개발사업 유사연구 실적

(1) 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
교육과학기술부	인문사회기초연구	근골격계 질환 예방을 위한 작업부하 평가 기법 및 연속 동작 분석 시스템 개발	0.48	박성준 (2004-5)
교육과학기술부	일반연구자지원	대표자세 기반 작업자세 분석 체계	1.41	정명철 (2009-12)
교육과학기술부	일반연구자지원	수공구 관련 근골격계질환 연구를 위한 각 손가락별 파지 폭 조절이 가능한 측정 장비 (MFFM) 개발 및 적용	0.54	공용구 (2008-9)
교육과학기술부	일반연구자지원	한손 작업 부하의 허용노출한계 모델	0.49	정명철 (2010)
교육과학기술부	선도연구센터지원	인체 맞춤형 제품설계 기술	8.83	김권희 (2007-12)
교육과학기술부	공공복지안전연구	고령자/장애인의 동작의도 감지에 기반한 부하보조 매니플레이션 기술개발	6.58	김정 (2010-12)
교육과학기술부	학술연구조성사업	건축공사 기능인력의 안전 및 생산성과 수공구의 상관관계에 관한 조사 연구	0.17	이준복 (2004)

본 연구의 주제인 「건설 노무자의 수공구 사용 동작 및 신체부하 분석기반 수공구의

인간공학적 개량」과 유사성이 있는 선행연구과제를 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 통해 조사한 결과 7가지 유사과제가 조사되었다.

박성준(연구기간:2004~2005)은 OWAS, RULA와 같은 기존의 작업부하 평가기법과 달리, 작업자의 성별과 취급 중량물을 고려하여 작업자의 근골격계 질환을 예방하기 위한 작업자 자세 평가기법 및 분석 소프트웨어를 개발하였다. 또한, 기존 시스템이 단일 동작을 평가하는 기존의 방식을 개선하여 특정시간 동안 연속동작을 고려한 작업부하를 평가하는 시스템을 개발하였다. 그러나 인력 운반을 중점 연구대상으로 하는 한계점이 있다. 정명철(연구기간:2009~2012)은 근골격계 질환 유해요인 중 부자연스러운 자세 관점에서 산업체에서 실측한 대표자세(공정과 작업별 작업자세를 분석하여 관측 빈도가 높고, 사용 기간이 긴 작업자세를 선정함)와 3차원 운동학적 모델을 사용하여 신체각도를 측정하여 근골격계질환 부담 작업을 평가하는 분석체계를 개발하였다. 공용구(연구기간:2008~2009)는 사람마다 손과 손가락의 크기가 다르다는 사실을 고려하여 손가락별 최적의 악력을 발휘하는 파지폭을 분석하는 모형을 개발하였다. 이는 수공구의 인간공학적 설계에 유용한 정보를 제공한다. 정명철(연구기간:2010)은 물건을 취급할 때 한 손이 최대 부담할 수 있는 작업부하를 평가하는 허용노출 한계 모델을 제시하였다. 이 모델은 중량, 빈도, 거리와 같은 인자를 고려하여 가 인자의 조합에 따라 작업자의 국부 근 피로도 및 발휘 근력을 체계적으로 분석하는 방법을 제시하였다. 김권희(연구기간:2007-2012)는 제품이 동일하더라도 사용자의 신체적 조건에 따라 평가가 상이하다는 점에 착안하여, 사용자와 제품 간의 상호관계를 근거로 한 설계절차를 제안하였다. 김정(연구기간:2010~2012)은 고령자/장애인가 상지 동작 시 생체신호를 측정하여 운동 의도를 예측하는 센싱기술을 개발하여 요구 부하를 보조하는 매니플레이터를 개발하였다. 이준복(연구기간:2004)은 건설공사를 대상으로 수공구와 직종이 근골격계 통증과의 상관관계를 통계적으로 분석하였다. 이를 통해 불안정한 작업행위를 개선하는 데 있어 수공구를 개선하는 기초자료를 제공하였다.

상기한 바와 같이 선행 유사연구들을 종합해 보면, 기존의 작업부하 평가방법의 한계점으로 단일 동작평가 방식을 지적하고 실제 작업이 이루어지는 연속적인 동작을 고려할 필요성을 강조하고 있다. 또한, 선행 연구자들은 작업자의 신체조건(성별, 손의 크기 등)과, 작업자가 취급하는 중량물, 그리고 반복적으로 사용하는 수공구의 종류에 따라 근골격계 부담정도가 다르게 나타난다는 점에서 이러한 요인을 고려한 작업부하평가모형을 개발하는 노력을 해온 것으로 분석된다.

(2) 연구개발과제의 차별화 방안

앞서 조사한 유사선행연구들은 이준복(연구기간:2004)의 연구를 제외하면 근본적으로 제조산업을 근본으로 한다. 작업방식에 있어 옥내 산업인 제조업은 옥외산업인 건설산업과 근본적인 차이가 있다. 예컨대, 건설업은 단위 건설프로젝트를 생산하기 위해 다양한 노동자들이 동일한 공사현장에 투입되어 작업간섭이 심한 노동 집약성을 띄며, 복잡한 공종들이 동시다발적으로 발생된다.(김진원 외, 2010) 또한, 동일한 장소에서 공정을 반복하는 일반 제조

업 생산라인과 달리 작업을 행하는 장소의 이동이 많고, 직종별로 노무자들이 취하는 작업자세가 다양하고 복잡한 특성이 있다.(채성호, 2006)

노무자의 작업을 동작관점에서 분석하여 작업부하를 측정하는 접근법은 기존 연구들과 동일할 지라도 방법론을 적용하는 산업이 제조업기반에서 건설업으로 바뀌면 기존의 분석틀(즉, 작업분류 및 동작분류기준, 측정방법, 정량화 모형, 분석 및 해석, 현장적용 방법 등) 또한 대폭 수정되고 개발된 모형의 검증과정이 수반되어야 한다. 이러한 측면에서 본 연구의 차별성이 있다. 그 뿐 아니라, 본 연구는 건설마감공종을 대상으로 해당 직종에 종사하는 작업자들의 인체치수 특성을 현지조사하고 직종별 작업자의 신체특성을 규명하고, 직종별로 작업자들의 연속적이고 반복적인 동작특성을 규명하여 신체부하를 정량화하는 모델을 개발한다. 이로써 인체부담이 적고 작업만족도가 향상되는 방향으로 재래수공구를 개량하는 일련의 절차를 체계화하겠다는 점이 본 연구의 차별화된 기여점이다.

2) 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

국내의 수공구에 관한 고찰은 1983년도 한정빈 외 2인의 연구에서 수공구의 품질 상태를 분석한 연구에서 비롯된다. 김태광과 김철홍(1991)은 수공구, 작업자세, 성별에 따라 최대근력을 측정하여 근전도 측정을 통해 상체근력을 사용하는 작업에 대한 안전작업기준을 제시하는 연구를 하였다. 박희석(1995)은 산업의 발전이 고도화 될지라도 인간의 수작업은 중단되지 않을 것이라 강조하고 현재 생산되고 있는 수공구의 인체공학적인 데이터를 사용한 제조가 이루어질 것을 당부하였다. 이은동 외 2인(2005a, 2005b, 2006)은 산업사고율의 상당한 비중을 차지하는 건축업에서 질환의 40%정도가 손을 포함한 상지 근골격계질환이라는 사실을 밝히고, 건축업에 종사하는 작업자들의 직종과 수공구로부터 질환과의 상관성을 분석하였다. 양성환 외 2인(2006)은 수공구 손잡이의 크기와 형태에 따라 동일한 힘을 발휘하는데 필요한 사용자의 근력을 측정하였고 동일한 공구를 사용하여도 사용자의 신체차이(손의 면적)에 따라 사용되는 근육의 부하가 다르다는 사실을 규명하였다. 공용구 외 3인(2009)은 다양한 변수(성별, 나이, 키, 몸무게, 손 길이, 손 너비, 손목 둘레, 손바닥 길이, 손가락 길이)를 설정하여 시험체의 형태별 청년층과 노년층의 악력과 손가락 힘 등을 분석하였고 인간공학적 수공구의 필요성을 언급하였다.

상기한 바와 같이, 국내에서는 산업현장에서 여전히 수공구의 필요성과 중요성을 인정하고, 작업자의 신체적 그리고 동작특성을 고려하여 작업효율을 극대화하고 신체부담을 줄여주는 수공구에 대한 다양한 연구들이 진행되어 온 것으로 평가된다.

한편, 국외의 관련연구들을 살펴보면 다음과 같다. 우선 Grant 등(1992)은 수공구의 손잡이부분 직경을 달리 하여 근전도를 측정함으로써 근력을 측정하였고 보통의 손잡이보다 직경이 좀 더 작은 쪽이 근력활성치를 줄임으로 부상방지 효과가 있다고 보고하였다. Blackwell 등(1999)은 수공구를 4가지로 다른 방식으로 잡게 하고 각각의 근전도를 측정하여

수축율과 근육피로치를 산출하는 방식으로 중간크기의 사이즈에서 최대 힘이 발생하는 것을 발견하였다. Kong & Freivalds(2003, 2005)는 갈고리(Meat hook)의 부착부위와 손잡이의 길이 에 따라 변화하는 근력변화에 중점을 손의 각 부위에서 측정되는 힘을 측정하였다. Eksioglu(2004)는 공구를 쥐는 면적과 사용되는 근력을 분석하여 최적 면적을 제시하는 연구를 진행하였다. Garneau & Parkinson(2012)은 대다수의 사람들이 느끼는 최적 설계를 하기 위하여 공구의 손잡이 직경의 최소·최대치를 분석하여 제품설계의 기준을 제시하였다. Harih & Dolšak(2013)은 기존의 일반화된 실린더 형태의 손잡이를 사용자의 손의 형태에 가장 적합한 손잡이로 변형한 결과 피로도와 안정감에 효과가 있음을 규명하였다.

요컨대, 국외의 연구자들은 제품의 손잡이를 작업자의 손과 직접 접촉하고, 작업자세를 결정하는 중요한 제품의 구성요소로 인식하고, 하나의 구성품에 대해서도 이처럼 최적설계에 대한 깊이 있고 흥미로운 연구들이 지속적으로 수행된 사실을 보여주고 있다. 따라서 수공구와 작업자의 인체특성을 고려한 수공구의 개량에 대한 연구의 중요성이 피력된다.

나. 국내외 관련 기술 특허 동향

1) 국내 기술개발 수준 및 해외기술개발 수준

개발기술명	관련기술 최고보유국	현재 기술수준		기술개발 목표수준	비고
		우리나라	연구신청팀		
동작분석	미국	60%	40%	90%	
작업부하 측정	미국	60%	40%	90%	
가변형 공구 개발	미국	65%	30%	80%	

2) 국내 기술개발 수준 및 해외기술개발 수준 비교분석

개발기술명		동작분석	작업부하 및 근전도 측정	가변형 공구
Keyword		Activity recognition	EMG, work load, muscle fatigue	Hand tool, Ergonomics
검색건수		132,266	192	154
유효특허건수		8	12	6
핵심특허 및 관련성	특허명	Activity recognition apparatus, method and program	System for diagnosing musculoskeletal disorders	Ergonomic hand tool
	발행번호	US 7421369 B2	US5662118 A	US6234050 B1
	보유국	미국	미국	미국
	등록년도	2006	1995	1999
	관련성(%)	95	80	80
	유사점	가속도계 센서와 같은 선형 동작 센서로부터 전송되는 데이터를 분석하여 동작을 인식 및 분석	환자가 근골격계질환을 겪는지 판단하는 시스템을 제안	인체공학적 개념을 적용한 와이어 스트립퍼 발명. 손잡이를 역으로 구부렸다
차이점		본 연구에서는 공정의 작업을 인식하여 분석함	본 연구에서는 근골격계 부하를 측정하고 그에 따라 공구를 가변함	본 연구에서는 개인의 차이를 적용시킨 인체공학적인 가변형 공구를 제시

핵심특허 및 관련성	특허명	Vision Based Human Activity Recognition and Monitoring System for Guided Virtual Rehabilitation	Method and apparatus for measuring muscle fatigue	Ergonomic handle for power tool
	발행번호	US 20110054870 A1	US 5349963 A	US8267192 B2
	보유국	미국	미국	미국
	등록년도	2011	1994	2010
	관련성(%)	70	70	60
	유사점	시각정보를 이용하여 재활훈련자의 동작을 분석함	근전도(EMG)센서를 사용하여 근육 피로도를 측정함	동력을 사용하는 수공구에서 인체공학개념을 적용시킴
핵심특허 및 관련성	차이점	본 연구에서는 작업자의 동작에 중점을 맞추어 인식 및 분석함	본 연구에서는 근피로도를 측정하여 최소가 되는 동작을 분석함	본 연구에서는 동력공구 이외의 수공구에 대해 인체공학을 적용
	특허명	멀티카메라 기반의 동작인식 처리방법	근육 피로 측정방법	Hand tool with anti-slip device
	발행번호	10-2012-0049062	10-2013-0048968	US 8418519 B2
	보유국	한국	한국	미국
	등록년도	2012	2013	2009
	관련성(%)	40	50	20
	유사점	다중 카메라로부터 기록되는 시각정보를 분석하여 동작을 인식	장치없이 간접적인 방법으로 근피로도를 측정	공구의 미끄럼 방지처리를 한 특허
	차이점	본 연구에서는 시각정보 및 가속도 정보등 다양한 센서를 사용	본 연구에서는 비교적 정확한 근피로도를 산출함	본 연구에서는 가변형 공구개념뿐 아니라 안전요소 역시 고려

다. 국내외 시장분석 및 산업동향

분야	주요업체	국가	시장 전망
동작분석	Biometrics Ltd	영국	웨어러블 기기 시장이 급성장 중이며 부가적으로 동작분석기기 및 센서 시장역시 확장 될 것으로 예상된다. 센서기술 발전은 응용기술 장비로 이어지며 개인의 특성을 반영하는 가변형 공구 시장역시 확대될 것으로 예상된다.
작업부하 및 근전도 측정	LMT Rehabilitation	미국	
	BTS Bioengineering	이탈리아	
가변형 공구	Bosch	독일	

라. 종합결론

본 연구 주제와 관련하여 국내의 연구동향을 살펴본 결과, 국내의 관련 기술 특허와 동작분석에 관한 연구개발수준은 국외의 수준에 비해 다소 미흡한 것으로 분석된다. 관련 연구 분야에 참여하고 있는 주요업체의 경우, 국내의 업체는 극소수에 불과하며 전문성이 결여되어 있는 반면 해외업체의 경우 인체의 동작 및 근육부하측정을 전문으로 하는 업체가 관련 시장을 주도하고 있는 것으로 분석된다. 타 분야인 IT와 건강분야에서 웨어러블(wearable) 기기가 급부상하고 있는 만큼 MEMS기술을 바탕으로 하는 2차 산업기술이 발전할 가능성이 높을 것으로 예측된다. 최근 급속한 노령화가 되고 있는 건설현장에 노무자의 안전과 보건을 담보하고 뿐만 아니라 시공품의 생산성과 품질을 동시에 달성토록 요구하고 있다. 따라서 본 연구의 핵심 개발분야인 동작분석과 작업부하 측정기술을 기반으로 노무자의 체형과 작업특성에 적합한 인간공학적인 수공구를 제시하는 프레임워크는 선진건설환경을 유인하는 건인차 역할을 할 것으로 기대된다.

2. 연구개발의 차별성 및 목표

가. 연구개발 차별성

건설현장에서 시공되는 시설물들은 수많은 기능공과 보조공이 현장에 투입되어 공종별로 특성화된 행위를 무수히 반복함으로써 생산된다. 예컨대, [그림 1-1]에서 보는 것처럼 시공품은 미장공(a)이 흙손으로 몰탈을 떠 벽면에 펴 바르고, 석공(b)이 대리석을 벽체에 철물로 체결하며, 조적공(c)이 시멘트 벽돌을 쌓아 올리는 동작을 무수히 반복한 결과이다.



(a) 미장공사



(b) 석공사



(c) 조적공사

[그림 1-1] 건설공사의 반복작업

이처럼 단순 반복 작업을 지속적으로 수행하는 건설현장 노무자에게 손의 기능을 보완하는 개인지급 수공구는 신체의 일부로 간주할 수 있고, 이는 작업의 생산성과 품질과도 직결되는 중요한 도구이다. 그러나 시공현장에서는 지난 수십 년간 다양한 시공법(construction method)과 건축재료(material)가 지속적으로 개선되고 개발되어 왔음에 비해, 노무자들이 사용하는 개인지급 수공구는 거의 변하지 않고 다만 작업자 스스로 조금씩 개량하여 쓰고 있는 실정이다. 한편, 건설 수공구가 해외업체(중국, 미국, 일본, 독일)에 의해 대부분 생산되고 있어 국내 작업환경과 노무자의 신체적 특성이 제대로 반영되지 못한 다는 데 근본적인 문제가 있다. 이러한 문제의 배경은 건설산업 분야에서 작업자를 중심으로 그들의 인체특성과 작업특성을 오랜 기간동안 지속적으로 측정하고 기록관리하는 연구가 도외시 되어 왔고, 해외 파급효과가 큰 국가성장동력에 국가적 관심과 지원이 집중되어 왔다는 데 있다고 사료된다.

건설현장은 여전히 사람의 손에 의해 대부분의 생산이 이루어진다. 수공구는 맨손의 취약점을 기능적으로 적극 보완하는 유용한 도구이지만 동시에 작업자의 근골격계 질환과도 상관관계가 높다. 따라서 수공구를 제작함에 있어 작업자의 인체특성과 작업특성(예, 힘을 주는 방향, 작업으로 인한 신체피로도 등)을 실증적으로 조사하고, 그 정적·동적특성 데이터를 기초로 하여 특정 작업에 인간공학적인(ergonomics)으로 최적화된 수공구를 개량하는 연구가 필요하다. 한편, 정책사업으로 추진 중인 로봇이나 자동화 장비의 개발에 투입되는 예산과 근로자의 업무상 질병으로 발생하는 산재보험금을 고려할 때, 노무자의 작업성 측면

며 결국 개별 노무자의 다양성을 충족하는 가변형 공구(flexible tools)를 설계하는 데 중요한 자료를 제공할 것으로 기대된다.

둘째, 반면교사(反面教師)에 머물지 않고 귀감(龜鑑)을 제시하는 연구

남의 실패사례(worst practice)를 통한 현장관리 및 작업지도는 근본적으로 부적합 행위를 절대 하지 말라는 금지에 포커스가 맞춰져 있기 때문에 작업자는 작업 내내 감시를 받는 상황에 놓이게 되고 스스로도 그러한 행동을 하지 않기 위해 심리적으로 위축될 수밖에 없다. 그에 반해, 남의 성공사례(best practice)를 통한 현장 적용 및 개선지도는 구체적으로 사람의 실수(mistake)나 착오(human error)를 일정부분 허용하면서도 어떤 행위가 바람직하고, 최선인지를 구체적으로 제시하기 때문에 작업자가 보다 여유를 갖고 작업에 임할 수가 있다.

[그림 1-3]¹⁾은 타격왕 이대호선수와 이승엽 선수의 타격자세를 비교하여 장타를 쏘아 올리는 메커니즘을 신체부위별로 분석한 사례이다. 인간공학을 활용한 인체 특성을 측정하고 분석하는 기법은 인간의 기능을 보완하고 확장해 주는 도구(tools)를 어떻게 사용할 때 최대의 효과가 발휘되는 지를 과학적으로 검증할 수 있다. 스포츠과학분야에서는 경기기록을 0.01초 단축하고, 1cm를 더 뛰어 오르기 위해 운동선수들을 어릴 때부터 발굴하고 있으며, 코치의 감독 하에 혹독하고 강도 높은 훈련을 받고 성장한다. 어린선수를 발굴하는 것은 어릴 때부터 그 운동 종목에 가장 적합한 자세와 신체조건을 갖추기 위함이다. 그리고 경기 중 부상이 발생되면 재활프로그램을 통해 안정을 찾는 시스템을 체계적으로 갖추고 있다.



[그림 1-3] 야구선수 타격자세 비교 예시

이에 반해, 건설현장의 기능공들은 체계적인 교육프로그램을 통해서 기능을 연마하기 보다는 오랜 기간 다양한 현장에서 보조공으로 일하면서 선배 기능공들이 작업하는 모습을 어깨너머로 보면서 수많은 시행착오 통해 기술을 습득하는 실정이다. 그런 실정이다 보니 대부분의 건설기능공들은 동일한 수공구를 가지고 같은 작업을 하더라도 저마다 몸에 배인 잘못된 작업방식(예, 공구를 잡는 자세, 한 번에 처리하는 팔의 거동길이, 양발의 스탠스, 허

1) 서울신문, 박창규, <http://www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20100814015016>

리·목의 각도 등) 대로 작업을 수행하고 있다.

본 연구자는 건설현장에서 발생하는 재해 뉴스를 볼 때마다 끊임없이 드는 한 가지 의문이 있다. ‘왜 동일한 사고가 발생해도 어떤 사람은 찰과상에 그치고 어떤 사람은 치명사고가 나는 걸까? 과연 그 작업자들의 운이 좋고 나빠서 일까?’ 산업재해의 하나인 장기간 반복작업에 의해 발생하는 업무상 근골격계질환도 마찬가지라고 생각한다. ‘왜 동일한 직종에서 거의 유사한 기간을 동일한 유형의 공구를 사용하여 업무에 종사하여 왔음에도 어떤 근로자는 근골격계질환에 걸리고 누구는 걸리지 않는 것일까?’

성공한 사람에게는 반드시 성공한 이유가 있다. 따라서 본 연구자는 수공구의 재질 및 형태관점에서 조금씩 작업자에 의해 개량되어온 실태를 조사하여 분석한 자료를 제공할 뿐만 아니라 근골격계 질환을 앓고 있는 작업자와 건강한 작업자의 연속 작업자세를 동영상으로 촬영한 후, 면밀히 비교분석하여 어떤 자세가 바른 공구사용의 정석(定石)인지를 표준으로 제시하고자 한다.

셋째, 건설 노무자의 동작관련 빅데이터 공유를 통한 지식의 시너지효과 유도

대학 연구실과 기업 연구소에서는 연구과제나 당면 문제를 해결하기 위해 해마다 대규모 예산을 투입하여 실험을 수행하고 그로부터 광대한 양의 가공되지 않은 데이터(raw data)를 양산하고 있다. 그러나 연구를 하면서 늘 아쉬운 점은 선행 연구과정에서 실측한 원시데이터에 직접 접근하여 재사용하기 어렵다는 현실이다. 본 연구자도 연구를 해오면서 현장에서 실측을 통해 획득한 작업영상이라든지, 현장 근로자들을 통해 획득한 설문조사 데이터 그 자체를 다른 연구자들과 공유할 수 있도록 오픈하려는 시도를 하지 않았다. 그 이유는 연구자체가 특정 문제만을 해결하기 위해 엄격히 실험조건을 통제하여 측정하다 보니 수집되는 데이터도 다른 관점에서 해석하기가 어렵다는 인식에서 비롯된다. 그러나 건설현장을 대상으로 비디오카메라 혹은 현장 CCTV를 통해 촬영한 동영상자료(movie clip)는 다양한 현장 자원들에 대한 정보를 담고 있어 다양한 각도(생산성, 품질, 안전관리 등)에서 추가적인 연구가 가능한 중요한 정보원이다.

최근 정부에서도 ‘빅데이터(Big Data)²⁾ 활용 강국으로의 도약’이라는 중장기 비전아래 의료 건강 등 빅데이터 유망 6 대 산업분야를 선정해 관련 산업 동반발전을 꾀할 방침을 세우고 있다. 이는 스마트폰과 같이 무선 정보통신기술이 눈부시게 발전함에 따라 우리 주변에서 실시간으로 일어나는 사건들을 다양한 형태의 데이터(예, 사진, 동영상, 음성, 문자, 위치 정보 등)로 누구나 쉽게 생성하고 이를 클라우드 환경에서 공유할 수 있게 됨에 따라 저렴한 비용으로 새로운 가치들을 신속하고 정확하게 추출할 수 있게 되었다는 데 있다. 따라서 본 과제를 수행하면서 수집한 현장 작업자들의 작업동작 동영상자료와 인체측정 데이터를

2) 빅 데이터(Big Data)는 기존 데이터에 비해 크기가 방대하고 형식이 다양하며 순환 속도가 빨라 일반적인 방법으로는 수집하거나 분석하기 어려운 디지털 데이터를 말한다.

2) 최종목표의 성격 및 설정근거

최근 IT융합기술과 자동화 장비의 눈부신 발전으로 인해 건설 현장뿐만 아니라 정부기관과 학계에서도 전통적인 수공구의 중요성이 간과되어 왔다. 그러나 건설현장에서는 기능인력과 수공구(hand tools)에 대한 의존도가 여전히 높은 것이 현실이다. 특히, 인간의 육체적

- 정신적 작업을 배제하고는 건설 프로젝트는 완료될 수 없다. 그럼에도 불구하고 건설현장의 노무자에 대한 인체특성에 대한 자료수집과 국내 작업자의 체격에 적합한 수공구 개량에 대한 연구가 희박한 현실을 인식하였다.

본 연구자는 건설현장에 철근공사 전문시공업체 책임자들과 면담을 나누면서 연구의 동기가 되는 흥미로운 사실을 발견할 수 있었다. 철근공사에서 중요한 기능을 필요로 하지는 않지만 품질에 큰 영향을 미치는 단순 작업을 꼽자면, 철근 결속작업을 들 수 있다. 철근공사 책임자는 철근결속기라는 자동화된 공구가 제품화되어 있다는 사실을 알고 있지만, 그 장비를 선뜻 구입해 현장에 적용하는 것은 꺼린다고 한다. [그림 1-5]에서 (a)에 제시된 것처럼 갈고리를 사용하여 일일이 철사를 감아 조이는 채래식 방식에 비해 (b)에서 보는 것처럼 자동식 결속기를 사용하면, 철사를 끼우고 감는 작업을 전동기가 대신함으로써 생산속도가 수동식에 비해 3~4 배가량 빠르고, 비숙련공이라도 일관된 품질을 유지할 수 있는 장점이 있다.



(a) 수동식 철근결속



(b) 자동식 철근결속

[그림 1-5] 철근 결속작업

그럼에도 불구하고 철근공사 담당자는 자동식 장비구입 대신 기존의 생산방식을 고수하겠다는 입장이다. 그 이유에 대해 실무자는 이렇게 말한다.

“전동결속기를 도입하면 철근결속작업만 일괄적으로 수행한다고 가정할 때 작업속도가 향상되어 노무비를 줄일 수 있어 장기적으로 저희 업체의 이익에 도움이 될 것으로 보입니다. 그러나 시공현장은 모든 단위작업들이 일련의 절차대로 움직이고, 때론 품질확보를 위해 몇 가지 작업이 동시에 실시되기도 합니다. 예컨대 철근결속작업은 선행 작업인 철근배근이 모두 완료된 시점에 보조공에 의해 일괄적으로 수행되는 독립작업이 아니라 배근작업과 병행하여 이루어지지요. 따라서 철근공은 배근작업 직후 신속히 철근결속을 할 수 있도록 갈고리를 허리춤에 늘 휴대하고 다녀야 합니다. 그런데 전동식 결속기는 채래식공구에 비해 부피도 크고 무게가 많이 나가 휴대가 어렵고, 또한 배근 작업을 위해 이동시에도 여러 가지로

작업자의 동작을 불편하게 만들어, 그로 인해 시공 품질상의 문제와 다른 작업에서 시간지연을 초래합니다. 그뿐 아니라 자동철근결속기가 들어와도 작업자를 바로 줄일 수는 없습니다. 건설현장은 개인이 혼자 작업하는 일은 거의 없습니다. 최소한 기능공과 보조공 2인이 한 조가 되어 팀으로 작업(team work)을 수행하는 게 일반적이죠. 그 때문에 공법(construction method) 자체가 바뀌고, 작업절차가 개선되지 않는 한 자동공구 하나가 도입된다고 작업자수를 갑자기 줄일 수는 없습니다.”

이처럼 수동식 공구를 단순히 자동식으로 전환하여 현장에 적용하면 작업자의 자세도 안정적으로 바꿀 수 있고, 생산성 제고와 품질확보를 동시에 달성할 수 있을 거라는 단순한 예상은 작업현장을 제대로 이해하지 못한 데서 비롯된다. 즉, 현장에서 하나의 시공품은 일련의 작업절차(sequence of works) 혹은 병행하는 요소작업들(work tasks)들이 체계적으로 진행된 결과로 생산된다. 결국, 본 연구의 목표인 수공구를 인간공학적인 측면에서 현실성 있게 개량하기 위해서는 유기적인 작업의 흐름과 작업자들 간에 관계도 중요한 고려사항이 되며, 단지 특정 요소작업만을 위한 생산속도를 높이기 위해 수동식에서 전동식으로 공구를 개량하는 것은 최선이 아니라는 사실이다. 따라서 본 연구의 최종성과물은 국내 건설 기능공을 중심으로 인체측정 데이터(즉, 기능공별 인체의 정적특성치, 동적특성치)를 현장을 중심으로 확보하며, 기능공의 연속동작영상(motion movie clip)을 요소동작(still pictures)으로 구분하여 해당 요소동작에 대한 작업부하를 추정하는 이론적 아이디어(정량화 모형개발, 요소동작 분류 및 부하추정 방법론 개발)를 제시한다. 그 뿐 아니라, 인체특성 데이터를 기반으로 하여 실질적으로 수공구를 인간공학적인 측면에서 개량하는 모범적인 사례를 제시하는 시작품 개발과도 관계된다.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 연구수행 전략 및 방법론

가. 연구세부 추진계획

본 연구가 달성하고자 하는 핵심 성과는 건설 직종별 작업부하량 및 작업패턴 분석을 위한 DB구축, 최소 작업부하량 추정 및 최적 작업패턴 분석 시스템 프로토타입(prototype), 그리고 사례조사로 개발될 마감용 공구로 구성된다. 각 핵심성과별 세부 연구내용은 다음과 같다.

- **DATABASE 구축:** DB는 직종별 작업부하량 DB 및 작업패턴 DB로 구성된다. DB 구축의 세부적인 연구내용 및 절차는 아래와 같다.

핵심성과		단계별 연구내용
DATABASE 구축	공통(현장조사)	● 건설현장 돌공사 수공구 사용 실태 조사 ● 기능공 및 관리자의 수공구 인식상태에 대한 심층면접 및 설문조사 ● 돌공 별 생산활동 시 근골격계 부담자세 및 행동패턴 관찰 ● 실험실 환경 기반 건설 생산활동 동작영상 수집 및 정지영상분석 실시 ● 개량 수공구를 사용한 실제 건설 작업수행 영상 촬영
	작업부하 DB	● 재래식 수공구를 사용한 작업 자세 정적/동적 영상 데이터 수집 ● 돌공의 요소작업에 대한 신체부하 데이터 측정(재래식 수공구 사용) ● 재래식 수공구로 인한 돌공의 신체부하 측정 및 DB화 ● 개량 수공구로 인한 작업자의 자세 데이터 수집 ● 돌공의 요소작업에 대한 신체부하 데이터 측정(개량 수공구 사용) ● 개량 수공구로 인한 기능공 별 신체부하 데이터 DB화
	작업패턴 DB	● 재래식 및 개량형 수공구 사용시 표준작업동작 분류체계 개발 ● 재래식 및 개량형 수공구 사용시 돌공사상의 정적/동적 작업영상 기록 ● 정적/동적 작업영상 이미지 프로세싱 자료 DB화

- **SYSTEM PROTYPE 개발:** 시스템은 작업부하량 추정 시스템 및 인간공학적 수공구 개량 지원 시스템 개발로 구성되며 세부적인 연구내용 및 절차는 아래 표와 같다.

핵심성과		단계별 연구내용
SYSTEM PROTOT YPE	공통	● 작업자의 동작분석 및 신체부하측정 방법론 조사 ● 건설작업 환경에 특화된 작업자의 생산활동 기록 및 분석 방법 개발 ● 돌공들의 생산활동시 근골격계 부담자세 및 행동패턴 관찰 ● 돌공들의 동작분석 및 신체부하측정 방법론 조사 ● 실험실 환경 기반 건설 생산활동 동작영상 수집 및 정지영상분석 실시
	작업부하량 추정 시스템	● 정적 신체부하 추정 모형 개발 ● 동적 신체부하 추정 모형 개발 ● 정적/동적 평가기법 통합 방안 제시 ● 평가모형의 적합성 평가 방법 개발 ● 실측 대비 시뮬레이션 결과 통계적 검증 알고리즘 개발
	인간공학적 수공구 개량 지원 시스템 개발	● 돌공의 작업단계별 누적 신체부하 추정 ● 공의 신체부하를 저감 유도를 위한 수공구 디자인 변경 방법 제시 ● 공구 재질 및 설계변경시 작업으로 인한 신체부하 추정 알고리즘 개발 ● 최적의 수공구 설계변경안 도출 방안 제시 ● 다차원적인 개량방법(수공구 재질/디자인/작업동작 변경) 제시

- 개량형 수공구: 최적 작업패턴과 최소 작업부하량을 바탕으로 한 인간공학적 개량 공구가 개발되며, 세부적인 연구절하는 아래와 같다.

핵심성과	단계별 연구내용
개량형 수공구	● 재래식 수공구의 인간공학적 설계 개량 매뉴얼 개발 ● 특정 기능공을 대상으로 개량 수공구 시제품 제작 ● 재래식 및 개량 수공구를 사용한 실제 건설 작업수행 영상 촬영 ● 건설 현장을 중심으로 한 개량 수공구의 인체부하 절감 효과 검증

나. 연구개발 흐름도

본 연구는 최종성과물은 건설 수공구를 인간공학적인 측면에서 개량하는 것으로 장비

- 장치 유형에 속한다. 최종 목표를 달성하기 위해 단계별 연구계획을 아래에 제시한다.

기간	단계별 주요 연구활동	세부추진내용
1단계 (‘14.08~ 15.03)	[사전 조사] ■ 돌공사 공법·시공절차·소요자원 조사 ■ 수공구 제작과정 조사	- 돌공사 건축물 주요 적용부위 조사 - 돌공사 주요공법 특징 조사 - 돌공사 공법별 표준작업절차 조사 - 공법별 소요자원 조사(기능공, 장비, 자재, 수공구) - 수공구 제작업체 방문(목적:설계 및 제작과정 견학) - 시판중인 돌공사 관련 수공구 실태 조사
	[현장 실태 조사] ■ 돌공사 현장 수공구 사용 실태 조사 ■ 수공구 개량에 대한 인식 조사 ■ 개인 질병현황 조사 ■ 작업 실태 분석	- 돌공사 건설현장 섭외 및 협조요청 - 돌공사 공법별 특성화된 수공구 자체개량 실태 조사 - 실무자 대상 개인 수공구 만족도평가, 개량방향에 대한 면담/설문용 질문지 개발 - 실무자(기능공 및 관리자) 대상 면담 및 설문 조사 실시 - 조사 데이터 분석 및 결과 도출 - 돌공사 진행 동영상 기록(목적: 사전조사로 돌공사 주요 작업들의 관찰) - 작업 동영상 판독(목적:수공구로 인한 신체운동특성 분석)
2단계 (‘15.01~ 15.08)	■ 작업자 동작분석 및 인체영향 평가연구 고찰	- 작업활동 동작 연구 기법 조사 및 고찰 - 정적/동적 자세 분석관련 연구 조사 및 고찰 - 특정 작업으로 인한 신체부하 평가 기법 조사 - 신체부하에 해당하는 바이탈신호 종류 및 분석기법조사
	■ 작업 표준동작 분류체계 개발 및 신체부하 산출 방법 고찰	- 돌공사 작업자의 수공구 사용 동작 근접 촬영 및 영상 판독 - 돌공사 작업자의 생산활동 규명 - 생산동작 중 반복특성을 띄는 동작 기준설정 - 돌공사 작업자 동작 분류체계 개발 - 자동화를 위한 특정 동작 식별 방안 개발 - 돌공사 작업자 신체동작별 신체부하 산출법 고찰
3단계 (‘15.06~ 16.03)	■ 실험실 환경 기반 건설 생산활동 동작영상 수집 및 정지영상 분석 실시	- 실험실 환경에서 표준 돌공사 작업 동작 촬영 세트 제작 - 돌공의 표준 동작분류체계도에 따른 단계별 정지동작 실시 및 영상촬영 - 돌공의 표준 동작분류체계도에 따른 연속동작 실시 및 영상촬영 - 분석을 위한 영상 편집 및 이미지프로세싱
	■ 피실험자 인체특성치 측정 ■ 생체신호 추출 및 분석 기술 개발	- 기능공의 인체특성치 측정 도구 개발 - 피실험자 인체특성치 측정 - 피실험자의 신체부위 자동식별 장치 개발 - 작업자의 생체신호 추출 센서 적용 연구 - 생체신호 처리 알고리즘 개발
	■ 정적/동적 신체부하 추정 방법론 개발 ■ 신체부하 추정 모형의 신뢰성 검증	- 정적 신체부하 추정 모형 개발 - 동적 신체부하 추정 모형 개발 - 정적/동적 평가기법 통합 방안 제시 - 평가모형의 적합성 평가 방법 개발 - 실측 대비 시뮬레이션 결과 통계적 검증
4단계 (‘15.12~16.08)	■ 재래식 수공구의 인간 공학적 설계 개량 매뉴얼 개발	- 돌공의 작업단계별 누적 신체부하 추정 - 돌공의 신체부하를 저감 유도를 위한 수공구 디자인 변경 방법 제시 - 수공구 재질 및 설계변경시 작업으로 인한 신체부하 추정 알고리즘 개발 - 최적의 수공구 설계변경안 도출 방안 제시 - 다차원적인 개량방법(수공구 재질/디자인/작업동작 변경) 제시
	■ 개량 수공구의 인체부하 경감 효과 검증	- 돌공사용 개량형 수공구 시제품(재질/디자인 측면) 제작 - 동일한 작업환경 설정 - 재래식 VS 개량 수공구 인체부하 측정 - 측정 결과 통계적 일치성 검증
	■ 돌공사 동작분석 자료 DB구축 ■ 신체부하 추정 시스템 프로토타입 개발	- 연구결과 공유용 Open DB 설계 및 구축 - 돌공사 표준 동작(정적/동적)작업 영상 자료 공유 - 동작 영상 이미지프로세싱 결과 자료 공유 - 돌공사에 특성화된 수공구사용 표준동작기반 신체부하 추정알고리즘 오픈

2. 연차별 연구실적

가. 1년차 연구개발 주요내용

1) 방수공의 생리학적 작업부하 평가 (성과유형: 논문)

● 연구의 배경 및 목적

건설현장은 동일한 작업을 수행하는 경우에도 작업형태 및 자세 변화가 크게 발생한다(Kim & Kim, 2010). 특히, 시공부위가 바닥, 벽, 천정으로 다양하여 작업자가 오랜 시간 쪼그려 앉은 상태로 작업하거나, 다소 불안정한 자세로 서서 작업을 하는 경우가 많다. 이러한 작업특성은 작업자의 능력에 비해 과도한 작업부하와 근육의 피로를 수반하는 지속적인 동작 그리고 근육을 제대로 발휘할 수 없는 작업자세를 갖게하고, 부적절한 휴식 등이 동반되어 근골격계질환(MSDs)³⁾을 유발한다(Woo et al., 2001). 그러나 근골격계질환의 유해요인을 객관적으로 규명하는 데는 어려움이 있다. 그 배경에는 건설 작업장 환경이 유동적이며, 작업내용이 표준화되기 어렵다는 점이다.(Lee et al, 2010) 또한, 하나의 건설프로젝트에 다양한 전문시공업자들이 관여하고 있어 작업자의 일관된 안전(safety) 및 보건(health) 관리가 어렵다(Chang et al., 2008). 특히, 건설기능인력의 작업강도에 대한 관심도가 낮고, 다양하게 변하는 작업 특성이 반영된 작업부하 측정도구가 부재하여 근로자의 근골격계질환을 고려하기 어려운 상황을 가중시킨다(Kim, 2012). Roja et al.(2006)는 근골격계질환이 진단이 쉽지 않고, 치료도 어렵지만, 작업중에 근로자에게 나타나는 생리학적 현상을 객관적으로 측정할 수 있다면 예방관리가 가능하다고 하였다. 또한, Chang et al.(2008)과 Kim et al.(2013)는 건설현장에 투입되는 근로자들의 작업내용과 노동강도가 상이함을 지적하고, 근로자들의 보건을 위해 인간공학(즉, 신체불편도와 피로에 따른 생리학적 반응평가)을 적용하는 체계적인 연구가 필요하다고 강조하였다.

노무 집약적인 공정들에서 작업자들은 쪼그려 앉기를 비롯한 다양한 하지의 자세를 취하고 있고, 다양한 종류의 수공구를 사용하여 작업을 수행하는 것으로 보고된다(Chung et al., 2002). Kilbom (1994)에 따르면, 반복적인 수공구 작업은 근골격계질환 유발의 원인이 된다고 지적하였고, Lee et al.(2008)는 여러 주기의 작업을 몰아서 하는 것은 작업부하를 증가시키는 원인이 된다고 하였다. 건설공사는 동일한 공종이라도 다양한 선후행 작업들이 관여되고, 여전히 수공구에 의존도가 높으며, 불안정한 자세로 반복적인 작업을 장시간 수행하는 경우가 많다. 그러나 수행하는 작업내용에 따라 작업강도를 생리학적 관점에서 객관적으로 측정하고 평가하는 방법은 부재한 실정이다. 그로인해 건설현장에서는 단위작업별로 작업자가 느끼는 생리적인 피로도를 고려하지 않고 같은 작업시간을 부여하고 있다. 본 연구는 반복성이 크고 작업의 구분이 용이한 방수공정을 대상으로 작업부하를 객관적으로 측정하고 평가하는 방법을 제시한다. 이로써 근로자의 안전 및 보건을 체계적으로 관리하는 체계를 제공하고자 한다.

3) 근골격계 질환(musculoskeletal disorders; MSDs)은 작업요인(예, 반복적인 동작, 부적절한 작업 자세, 무리한 힘의 사용, 날카로운 면과의 신체 접촉)과 환경요인(진동 및 온도 등)에 의하여 발생하는 건강장애로서 목, 어깨, 허리, 상·하지의 신경근육 및 그 주변 신체 조직 등에 주로 나타나는 질환으로 정의됨.

● 연구의 범위 및 연구방법

본 연구는 우레탄 공법이 적용되는 도막방수공정을 연구의 대상으로 선정한다. 우레탄 방수공정은 작업 동선이 선형적이고, 반복성이 높은 동작으로 구성되며, 기능공별로 차별화된 작업자세와 수공구가 적용되기 때문에 본 연구에 적합하다고 판단되어 채택하였다. 도막 방수공정에 요구되는 선후행 작업들은 다음과 같다. 즉, (1) 바탕면고르기 작업, (2) 프라이머 칠하기 작업, 그리고 (3) 도막방수 작업으로 분류된다. 본 연구는 노무자의 작업강도가 높은 ‘바탕면 고르기’ 및 ‘도막방수’ 작업을 연구범위로 한정한다.

연구방법은 다음과 같다. 첫째, 작업자의 작업부하를 평가하는 선행연구를 고찰하고, 둘째, 작업부하와 생리학적 지표들에 대한 이론을 제시하며, 셋째, 방수공사의 두가지 단위작업을 대상으로 작업부하에 대한 연구가설을 설정하고, 넷째, 구체적인 실험방법과 분석절차 그리고 분석결과를 제시한다.

● 선행 연구동향

건설분야에 작업부하를 평가하는 국내연구 동향은 다음과 같다. Kim(2012)은 목공을 대상으로 가속도센서를 활용하여 동작 분석과 근골격계 부담정도를 평가하는 시스템을 개발하였다. Vi(2003)은 철근 결속작업을 대상으로 재래식 수작업과 자동철근결박기를 사용한 경우 생체역학적 스트레스를 비교하여 분석하였다. Min et al.(2010)는 추락 사고가 빈번하게 발생하는 비계작업을 대상으로 근전도센서를 사용하여 허리근육의 사용정도를 측정하고, 이러한 근육활동이 요통에 미치는 영향을 분석하였다. Lee et al.(2010)는 근골격계질환 위험요인에 대해 작업자용 자가 평가 체크리스트를 개발하였다. Kim et al.(2013)은 작업자의 움직임을 실시간으로 인식하는 키넥트(kinect)기술을 활용하여 근골격계질환을 예방하는 관리 프레임워크를 제시하였다.

국외연구는 다음과 같다. Roja et al.(2006)은 도로 포장 및 유지관리작업을 대상으로 작업자들의 심장박동수와 근전도를 측정하고 근골격계의 피로도를 분석하였다. Chang et al.(2008)은 고층건물 시공현장에 종사하는 다양한 건축공들(예, 비계공, 철근공, 형틀공, 전기공, 배관공, 타설공 등)을 대상으로 직종별로 나타나는 피로증상과 심박수의 변화를 비교하였다. Bates & Schneider(2008)은 무더운 건설현장을 대상으로 작업으로 인한 작업자의 생리적 현상(예, 체온, 수분섭취량, 심박수)변화를 측정하였다. 이처럼 작업자의 신체피로도를 객관적으로 측정하고 근골격계질환을 예방하기 위한 노력이 전산업분야에 걸쳐 활발하게 진행되어 왔다.

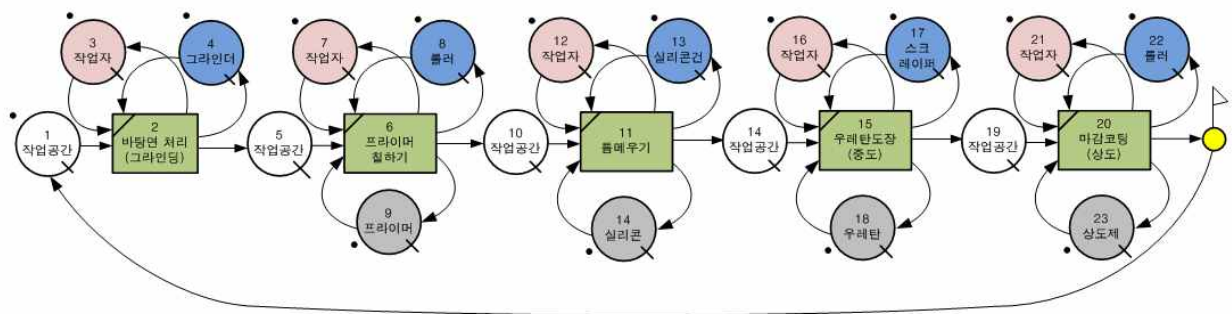
한편, 방수공사와 관련된 연구들은 다음과 같다. 방수공사 하자에 대한 원인분석(An et al., 2005), 방수 작업자 질병발생의 관련성 조사(Kim et al., 2008), 방수공사의 생산성 분석(Ha & Ha, 2014), 방수공법의 시공성 및 작업안전성 개선(Chung et al., 2009)에 대한 연구들이 다양하게 수행되어 왔다. 그러나 건설업의 비정형화된 작업환경의 특성을 공정수준에서

세분화하여 정형화시키고, 동일한 공사를 공정수준에서 작업부하를 비교하는 연구는 미흡한 실정이다.

● 실증연구

본 연구는 동일공정 내 단위작업의 종류에 따라 달라지는 작업강도(workload)를 작업 생리학적 지표를 사용하여 정량화하고, 작업자가 생리학적으로 안정상태로 복귀하는 데 필요한 휴식시간이 작업유형별로 차이가 있음을 입증하고자 한다. 따라서 방수공들이 경험적으로 피로도가 높다고 평가한 작업들을 사전에 규명하고, 이들 작업들을 실증연구의 대상으로 선정하였다. 연구대상 작업은 여러 가지 기준들(즉, (1) 관찰이 용이하도록 단기간에 공사가 완료해야 하고, (2) 작업 간 구분이 용이하며, (3) 작업동선이 선형이며, (4) 동작의 연속성 및 반복성이 뚜렷히 나타날 것)을 고려하여 방수공정을 선정하였다. 방수공정이 실행되는 장소는 작업을 관찰 및 촬영하기 용이한 건물옥상으로 선정하고, 적용 공법은 노출형 우레탄 방수로 제한하였다.

[그림 2-1]에 제시된 것처럼, 우레탄 방수공정은 (1) 바탕면처리(Node 2), (2) 프라이머 칠하기(Node 6), (3)틈메우기(Node 11), (4) 우레탄도장(Node 15), 그리고 (5) 마감코팅(Node 20) 작업 등 5가지 주요 작업들로 구성되며, 이 작업들은 순차적으로 진행된다. 주관적 작업강도 평가용 설문지는 다음과 같은 전제하에 개발되었다. 즉, 신체 피로도는 작업의 종류, 사용하는 도구, 작업방법 그리고 시공요구조건에 의해 직접적인 영향을 받을 것이다.



[그림 2-1] 우레탄 방수공사 네트워크 모형

설문지는 우레탄 방수공정의 5가지 단위공정들을 대상으로 사용도구, 작업자가 취하는 자세(예, 기립, 쪼그린 상태), 해당 작업의 품질요구수준 및 숙련도, 작업진행 속도, 그리고 작업강도 항목들에 대해 3점 척도(예, 상, 중, 하; 강, 중, 약; 느림, 보통, 빠름)를 사용하여 조사하였다. 사전 설문조사는 9명의 방수공사 종사자를 대상으로 실시되었으며, [표 2-1]에 제시된 것처럼 전문 기능공들은 작업효율이 낮은 소형수공구를 사용하고, 쪼그려 앉은 상태로 작업 할 때, 작업강도가 높다고 평가하였다.

사전조사에서 전문기능공들이 작업강도가 높다고 평가한 작업들이 실제로 인체에 미치는 영향도를 실증연구를 통해 객관적 및 정량적으로 평가하였다. 실증연구 대상 작업은 방수

공정의 시공품질요구수준이 “상”이고, 육체피로도가 “강”으로 평가된 3가지 작업들을 선정하였다. 여기에는 “바탕면 처리(그라인딩(2))”, “프라이머칠(하도)”, 그리고 “우레탄도장(하도)”가 포함된다. 그러나 예비 실험결과 바탕면처리작업의 경우, 전기그라인드에서 발생하는 전자기파로 인해 심장박동수측정기(POLAR RS400)가 작동하지 않아 당해 실험에서 제외하였다⁴⁾.

[표 2-1] 방수공사 세부작업 특성 분석 결과

요소작업	구분	수공구	작업자세	품질수준	작업속도	피로도
바탕면처리	그라인딩(1)	대형 연삭기	기립	상	빠름	약
	그라인딩(2)	핸드그라인더	쪼그림	상	느림	강
프라이머칠	하도	롤러	기립	상	보통	강
	중도	롤러	기립	중	빠름	약
틈메우기	재료교반	전동교반기	기립	하	빠름	중
	틈메우기	헤라	쪼그림	상	느림	중
우레탄도장	하도	고무스크레이퍼	쪼그림	상	느림	강
	중도	고무스크레이퍼	쪼그림	상	보통	중
마감코팅	상도(1)	에어스프레이	기립	중	빠름	약
	상도(2)	로라	기립	상	보통	중

● 연구가설

건설 생산 활동 중 많은 부분은 작업자의 육체적인 활동의해 수행된다. 작업으로 인해 노무자의 신체에 축적되는 피로도는 시간당 에너지소비량 및 휴식시간과 밀접한 상관관계를 가진다. 심장박동수의 변화는 작업부하로 인해 작업자에게 나타나는 생리학적 현상의 하나이다. 본 연구는 공정별로 작업부하를 평가하기 위해 객관적인 지표로써 심장박동수를 측정하고, 주관적 지표인 신체부위별 불편도를 조사한다. 본 연구를 통해 규명하고자 하는 연구가설은 다음과 같이 세 가지이다.

[가설 1] 우레탄도장 작업을 수행하는 노무자의 평균심장박동수가 프라이머칠 작업을 수행하는 노무자의 평균심장박동수 보다 높다.

[가설 2] 프라이머칠 작업과 우레탄도장 작업을 수행하는 노무자 집단 간에 작업 후 휴식기 심박수로 복귀하는 데 소요되는 평균시간에는 차이가 있다.

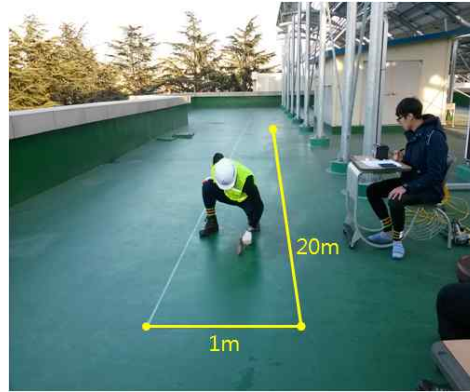
[가설 3] 프라이머칠 작업과 우레탄도장 작업을 수행한 피험자 집단이 각각 느끼는 불편한 신체부위는 차이가 있다.

● 실험방법 설계

실험 장소는 실제 작업을 재현하기 위해 바닥에 요철과 장애물이 없으며, 데이터를 수집에 충분한 직선 구간을 확보할 수 있는 곳을 선정하였다. 기준에 적합한 장소로 ○○대학교 공대○호관 건물 옥상을 선정하였다. 본 실험은 프라이머(primer) 도포 및 우레탄

4) 실험에 사용하는 심박측정기(POLAR RS400)는 5.3kHz 전자기파(electro-magnetic, EM)에 의한 무선통신기술(일명, GymLink)이 적용된다. 실험에 사용된 전기 그라인더(BOSCH GWS6-100)는 고속회전(무부하속도 : 11,000rpm)시 전자기파(electro magnetic wave)가 발생되어 심박측정 데이터를 전송하여 기록하지 못하여 실험에서 배제하였다.

(polyurethane) 도장작업에 대해 작업자가 수행하는 작업량을 동일하게 유지하기 위해 [그림 2-2]와 같이 시공면적을 폭 1m, 길이 20m로 제한한다. 또한, 실험용 수공구는 최대한 피험자가 작업에 몰입할 수 있도록 실제 작업에서 사용하는 수공구를 사용한다. Figure 3에 제시된 것처럼, 프라이머 칠 및 우레탄 도포 작업에 각각 (a)롤러 및 (b)고무 스크레이퍼를 사용한다.



[그림 2-2] 작업 통제용 실험환경

제조업 생산공정은 자동화된 생산라인에서 노무자가 보조적인 역할을 수행하며, 그로 인해 작업자의 동작은 생산라인에 맞게 정형화된다. 그러나 건설업은 소형수공구에 대한 의존도가 높고, 기능공의 숙련도에 따라 시공품질이 결정되며, 노무자의 생산동작은 정형화되기 어려워 작업환경에 따라 변동성이 크다.



a.롤러



b.고무 스크레이퍼

[그림 2-3] 실험용 수공구

예컨대, 실험 대상 작업들은 작업자가 취하는 자세(예, 쪼그림, 일어섬), 사용하는 공구(예, 고무 스크레이퍼, 롤러), 그리고 사용하는 재료(예, 프라이머, 우레탄)가 서로 다르다. 또한, 피험자들의 작업생산성에도 차이가 있다. 본 실험에 앞서 3명의 피험자들을 대상으로 예비실험을 해본 결과, 쪼그려 앉을 때, 피험자들의 양발이 벌어진 폭과 손을 두는 위치 그리고 허리를 숙이는 각도가 상이하며, 동작속도에 큰 차이가 나타났다. 따라서 피험자들의 동작을 표준화하기 위해 다음과 같은 동작기준을 마련하였다.

프라이머 칠 작업의 경우, [그림 2-4]에 제시된 것처럼 선 자세, 손의 위치, 그리고 도

구사용방법에 대한 기준을 설정하였다. 오른손잡이를 기준으로 설명하면 다음과 같다. 이 작업은 장대에 연결된 롤러를 사용하기 때문에 작업자가 일어서서 작업을 수행한다. 따라서 작업자가 서있을 때, 양발의 폭은 50센치미터 정도 벌리고, 작업 경계선 끝에 왼발을 한걸음 앞에 서며, 오른손은 롤러에 연결된 막대의 끝단을 쥐고, 왼손은 대의 중간 부위에 손등이 위로 가도록 대를 잡는다. 단, 왼손잡이는 그와 반대로 한다. 1회 동작은 흰색 테이프의 양쪽 끝선을 경계로 하여 롤러를 수직으로 밀고 당기기는 한 시리즈 동작을 단위로 설정한다(1사이클 이동거리 = 4m). 추가적으로 피험자에게 해당 작업의 몰입도를 높이기 위해 프라이머 용액의 색상과 점도가 유사한 액체를 사용하고, 10회 사이클마다 롤러에 액체를 적신다.



[그림 2-4] 프라이머 칠 동작

우레탄도장 작업은 동작측면에서 프라이머 칠 작업과는 상당한 차이가 있다. 이 작업은 쪼그려 앉은 상태에서 한 손은 스크레이퍼를 잡고 다른 손은 몸의 균형을 유지하면서 수행된다. 작업자가 앉는 자세, 손의 위치 그리고 도구를 사용한 동작방법들은 개인별 편차를 줄이기 위해 [그림 2-5]에 동작기준을 제시한다. 왼손잡이를 기준으로 설명하면 다음과 같다. 작업자는 우레탄 용액을 펴바르기 위해 왼손에 스크레이퍼를 잡고 쪼그려 앉는다. 이때, 스크레이퍼를 밀고 당기는 동작이 자연스럽게 연결되도록 오른쪽 발을 왼발 보다 25cm 정도 앞으로 내밀고 양발의 간격은 60cm 정도를 유지한다.

이 작업은 쪼그려 앉은 상태로 뒷걸음치며 연속적인 스크레이핑 작업을 수행하기 때문에 작업자가 몸의 균형을 유지하는 추가적인 동작이 필요하다. 즉, 왼손의 스크레이핑 동작에 힘을 실어주고, 연속해서 변하는 몸의 무게중심을 맞추기 위해 오른손을 오른쪽 무릎에 얹고 일정한 패턴으로 힘을 조절한다. 동작 한 사이클은 작업자가 흰색 테이프의 한쪽 끝에서 반대편 끝까지 스크레이핑 하는 동작으로 정의한다(1사이클 이동거리 = 1m). 실제로 프라이머칠과 우레탄도장 작업의 1회 동작 사이클 거리는 차이가 있다.⁵⁾ 또한, 우레탄 도장 작

5) 롤링 및 스크레이핑 동작 1사이클은 각각 4m와 1m로 3m의 차이가 있음. 이는 도구의 형상과 실제 작업특성을 고려한 결과임. 도구의 형상측면에서, 롤러와 스크레이퍼의 폭이 각각 20cm, 45cm로, 한번 스크레이핑을 한 작업면적은 롤링동작 2번에 해

업을 수행하는 실제 작업현장 조건을 사실적으로 반영하고 피험자들의 작업 몰입도를 높이기 위해 작업자가 미리 바닥에 우레탄 용액(본 실험에서는 모래로 대체함⁶⁾)을 부어 놓고 스크레이핑 작업을 진행하는 것으로 설정하였다.



[그림 2-5] 우레탄도장 작업 동작기준

피험자들은 근본적으로 작업 생산성에 차이가 있다 따라서, 가설검증의 신뢰성을 담보하기 위해 작업부하 영향요인의 하나인 작업속도(작업생산성)를 통제하였다. 두 작업에서 작업자의 생리학적 변화를 동일한 시험조건 하에서 분석하기 위해 총 작업량과 총 작업시간을 제한하였다. 예컨대, 총 작업량은 상기한 동작기준에 따라 Figure 2에 제시한 바닥면적 20m²로 제한하고, 총 작업시간은 5분간 쉬지 않고 작업을 수행하는 것으로 통제하였다. 즉, 작업생산성은 4m²/min으로 유지한다. 본 실험에서는 피험자들의 한 사이클 동작(예, 롤링 왕복 2회, 스크레이핑 편도 1회) 주기를 동일하게 유지하기 위해 음향장치⁷⁾를 사용하였다.

● 측정장비

심장박동수는 POLAR 심박측정기를 사용하여 실시간으로 측정하였다. 이는 손목 시계형 심박표시기(Polar RS400 training computer), 가슴에 부착하는 센서 스트랩(H1 heart sensor), 그리고 무선송신기(transmitter)로 구성된다. 측정한 데이터는 Polar에서 제공하는 ProTrainer 5 software와 엑셀을 사용하여 분석하였다. 센서 스트랩(H1 heart sensor)은 심장의 심전도(electro-cardiogram, ECG)를 측정하고, 밴드 중앙에 있는 전송기(transmitter)를 통해 측정된 심전도 신호를 시계형 심박표시기(RS400 training computer)에 무선통신방식으로 전송한다. 심박표시기는 전송된 심전도 신호를 측정시간정보와 함께 심장박동수비(bpm) 그리고 에너지소모량으로 전환하여 표시하고 로그파일을 생성한다.

[그림 2-6]은 심장박동수를 측정하기 위해 신체에 측정기를 착용한 모습이다. 측정오

당함. 한편, 작업특성 측면에서 롤링의 경우, 롤러가 빠르게 회전하여 바닥에 프라이머가 안착되지 않기 때문에 같은 면을 2회 왕복하여 칠함. 반면, 스프레이핑의 경우 이미 프라이머가 발린 상태이기 때문에 1회 퍼바르는 동작으로 충분하다고 가정함.

6) 실험에 적용된 우레탄 재료는 도포과정에서 작업자의 호흡기 장애를 유발하는 휘발성유기화합물(VOC)의 배출이 적은 무용제형 또는 수계우레탄으로 가정한다.

7) 스마트폰용 앱(앱명: Mobile Metronome)을 구글마켓에서 다운받아 사용하였음. 환경설정은 휴식시에 분당 호흡수와 가장 유사한 42비트 템포(Tempo : 42bpm; Time Signature : 4/4)로 종소리가 울리도록 설정하였음.

류를 피하기 위해 다음과 같은 장비착용상 주의점이 있다. 스트랩 안쪽 센서에 물을 축이지 않거나, 밴드가 가슴에 충분히 밀착이 되지 않으면 전류의 흐름이 약해 심장의 전기적 신호(ECG)가 정상적으로 측정되지 않는다. 또한, 가슴에 착용한 무선송신기와 심박표시기 간에 거리가 10센치미터 이하에 두거나, 1미터를 초과하는 경우, 데이터 전송에 오류가 발생하기 때문에 이에 대해 유의하여 착용하였다.



[그림 2-6] 심박기 착용

● 피험자 선정

본 실험은 신체적 조건이 비슷한 대학생 남자 4명이 참여하였고, 방수공정 중 2가지 종류의 단위작업을 각각 수행하였다. 피험자들은 특정신체부위(예, 목, 어깨, 허리, 손목, 무릎, 발목)에 과거 근골격계질환을 경험하지 않았고, 실험 당시 충분한 휴식을 취한 후 실험에 참여하였다. 피험자의 신체특성치(예, 나이, 키, 체중, 휴식기 심박수)는 [표 2-2]에 제시한다.

[표 2-2] 피험자 집단 신체특성

변수	집단 (N=4)	
	Mean±SD	Range
나이(Age)	30±5.42	26~38
키(cm)	174.5±4.51	168~178
몸무게(kg)	74.25±8.66	66~86
휴식기 심박수(Beats/min)	80.5±3.70	76~85

이들 피험자들은 2종의 단위작업을 3.3절에 제시한 실험방법에 따라 각각 1회씩 수행하였다. 피험자들은 방수공정에 대한 사전 지식과 경험이 없기 때문에 우레탄 방수공사 작업영상을 시청하고, 작업방법과 통제조건에 대한 설명을 하여 작업에 대해 이해도를 높였다. 또한, 본실험에 앞서 실험용 수공구(롤러, 스크레이퍼)를 사용하는 방법과 작업방법을 실습해보고 적응하는 시간을 제공하였다.

한편, 실험전에 가벼운 스트레칭을 실시하여 몸을 풀고, 작업장에 마련된 의자에 앉아 10분간 휴식을 취하게 하였다. 이 때의 심박수를 휴식기 평균심박수로 채택하였다. 피험자는 10분간 휴식 후, 감독관의 지시에 따라 작업장에 입장하여 5분간 쉬지 않고 작업을 하였다. 5분간의 작업을 수행한 직후, 피험자는 그 자리에서 일정시간 호흡을 가다듬은 후⁸⁾, 종료지점에 마련된 의자에 앉아 정적휴식⁹⁾을 취하였다. 정적휴식은 해당 피험자의 심박수가 당초 휴식기 평균심박수로 복귀할 때까지 유지한다. 휴식 중에 해당 작업으로 인한 신체 부위별 불편도에 대한 설문조사¹⁰⁾도 함께 실시하였다.

● 실험결과

피험자 집단을 대상으로 두 작업을 수행하기 전 휴식기 평균심박수와 작업 중 평균심박수를 각각 측정하였다([표 2-3] 참조).

[표 2-3] 심박수 측정결과

공정구분	피험자	휴식기 평균심박 (HR _{rest})	작업시 평균심박 (HR _{work})	ΔHR	복귀시간 (초)
프라이머 칠	A	76.5	96.2	19.7	123
	B	80.1	105.4	25.3	139
	C	81.8	105.0	23.3	114
	D	85.9	105.3	19.4	141
우레탄 도장	A	72.7	107.2	34.5	147
	B	82.3	113.7	31.4	172
	C	85.0	115.2	30.2	209
	D	81.5	123.9	42.4	261

[가설 1]을 검정하기 위해, 다음의 데이터 처리과정을 거쳤다. 실험전 피험자들의 휴식기 평균심박수(HR_{rest})는 상당한 차이가 존재하였고, 이는 작업 중 평균심박수에 일정한 영향을 미쳤다. 따라서 개인적 차이를 배제하기 위해 순심박수 증가분($\Delta HR = HR_{work} - HR_{rest}$)을 연산하였다. [표 2-4]에 제시된 것처럼 작업종류별로 순심박수 증가분의 기술통계치가 연산되었다. 본 실험은 표본의 크기가 소표본(두 작업 모두 표본수(N)가 4임)이므로 가설검정은 소표본에서 모평균 차이를 검정하였다.

[표 2-4] 심박수 증가분의 통계치

공정구분	표본크기	평균	표준편차
프라이머 칠	4	21.9	2.9
우레탄도장	4	34.6	5.5
Covariance = 19.253, t-value=4.097, thershod=1.943			

8) 스크레이핑 작업은 쪼그려 앉은 상태에서 5분간 연속작업을 수행하기 때문에 종료 즉시 작업자가 일어서는 경우 급격한 혈압상승으로 인한 위험이 우려되어 10초간 쪼그린 상태로 숨고르기를 하도록 요구하였음.

9) 휴식에는 정적휴식과 동적휴식이 있음. 본 실험에서는 노동으로 인해 뭉친 근육을 적극적으로 푸는 스트레칭을 하지 않고 의자에 앉아 쉬는 정적휴식을 취하였음.

10) 주관적 불편도 설문조사는 모의실험 직후 실시되었음. 신체부위는 목, 어깨, 허리, 팔, 손목, 다리로 구분하고, 5점 스케일을 적용하였음. 즉, 매우약함(1점), 경미함(2점), 보통(3점), 다소불편함(4점), 매우불편함(5점).

[가설 1] - 우레탄도장 작업의 평균심박수가 프라이머칠 작업의 그것보다 높다고 판단할 수 있는지 10%의 유의수준에서 단측검증을 실시하였다. 표본평균 차에 대한 검정통계량 t값(4.097)이 임계치(1.943) 보다 커서 귀무가설($\mu_1=\mu_2$)이 기각된다. 즉, 우레탄도장 작업의 작업부하가 프라이머칠 작업보다 높음이 검정되었다.

[가설 2] - 프라이머칠과 우레탄 도장 작업 종료 후 정상심박수로 복귀하는 평균시간은 각각 129.3초, 197.3초였다. 우레탄도장 공정을 수행하는 피험자 집단이 휴식기 심박수(HRrest)로 복귀하는 데 더 오래 걸리는지 10%의 유의수준에서 단측검증을 실시했다. 휴식기 심박수 복귀시간의 표본평균 차에 대한 검정통계량 t값(2.655)이 임계치(1.943)를 상회하기 때문에 우레탄도장 작업이 프라이머칠 작업보다 더 긴 휴식시간이 필요함을 검정하였다 ([표 2-5] 참조).

[표 2-5] 휴식기 심박수 회복시간 통계치

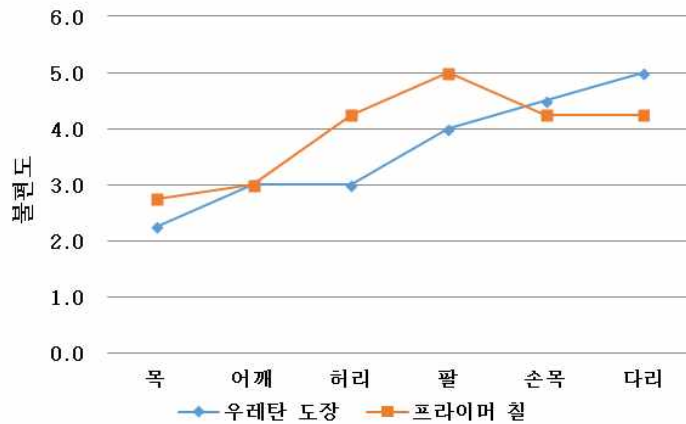
작업구분	표본크기	평균	표준편차
프라이머 칠	4	129.3	13.0
우레탄도장	4	197.3	49.5
Covariance = 1311.58, t-value=2.655, thershod=1.943			

상기 두 작업들을 완료한 직후, 각 피험자들을 대상으로 신체부위별 불편도를 조사하였다. [표 2-6]에 제시된 분석결과를 보면, 우레탄 도장을 수행한 노무자들은 다리에 피로도가 가장 높다고 평가하였다. 그 뒤를이어 손목, 팔, 허리/어깨, 목의 차순으로 평가하였다. 프라이머 칠을 수행한 노무자들은 팔에 피로도가 가장 높고, 허리/손목/다리, 어깨, 목의 내림차순으로 피로도를 평가하였다.

[그림 2-7]에 제시된 것처럼 작업 종류에 따라 작업자가 느끼는 피로부위가 다소간 차이가 있었다. 즉, 우레탄 도장작업은 지속되는 쪼그려 앉은 상태로 인해 다리부위에 피로도가 집중되었고, 스크레이핑 작업으로 인해 팔과 손목에도 높은 피로도가 축적된 것으로 해석된다. 그에 비해, 프라이머칠 작업은 롤러를 빠르게 밀고 당기는 양팔과 손목에 피로도가 집중되고, 손동작을 지지하기 위해 허리와 다리에도 피로도가 상당히 축적되는 것으로 해석된다.

[표 2-6] 신체부위별 불편도 분석 결과

구분 신체부위	우레탄 도장			프라이머 칠			공통 분산	t값
	평균	표준편차	순위	평균	표준편차	순위		
목	2.3	0.96	6	2.8	1.26	6	1.25	0.632
어깨	3.0	1.41	4	3.0	1.83	5	2.67	0.000
허리	3.0	0.82	4	4.3	0.96	2	0.79	1.987
팔	4.0	0.82	3	5.0	0.00	1	0.33	2.449*
손목	4.5	0.58	2	4.3	0.50	2	0.29	0.655
다리	5.0	0.00	1	4.3	0.96	2	0.46	1.567



[그림 2-7] 신체불편도 분석 결과

[가설 3] - 프라이머칠 작업과 우레탄도장 작업을 수행한 피험자 집단이 각각 느끼는 불편한 신체부위는 차이가 있다고 판단할 수 있는지 5%의 유의수준($t_{임계값} = 2.447$)에서 양측검증한 결과는 다음과 같다([표 2-6] 참조). 우선, 신체부위중 목($t=0.632$), 어깨($t=0.000$), 허리($t=1.987$), 손목($t=0.655$) 그리고 다리($t=1.567$)의 경우, 두 작업간에 신체불편도가 유의미한 차이가 없다고 검정된다. 그러나 팔($t=2.449$)의 경우, 불편도가 유의한 차이가 있는 것으로 검정된다.

● 결 론

건설공정은 제조공정과 달리 작업환경의 변화가 심하고 공정을 표준화하기 어렵다. 이러한 이유로 단위작업에 관여하는 작업자의 신체적 부하를 과학적으로 측정 및 평가하는 노력이 미흡했다. 본 연구는 우레탄 방수공정을 실행하는 노무자의 작업부하를 정량적으로 측정하는 절차와 단위작업들 간에 유의미한 차이를 검정하는 방법론을 제시한다. 우레탄 방수공정의 두 가지 세부 단위작업(예, 프라이머 칠, 우레탄 도장)을 다음의 가설을 수립하고, 동일한 작업량을 수행하도록 제한하여 실험 데이터를 수집하여 다음과 같이 결과를 검정하였다.

[가설 1] 노무자의 평균 심박수가 우레탄도장 작업이 프라이머칠 작업보다 높다.

[가설 2] 우레탄도장 작업은 프라이머칠 작업보다 더 긴 휴식시간이 요구된다.

[가설 3] 작업종료 후 피험자는 각 신체부위에 대해 팔($t=2.449$)에서 신체불편도가 유의미한 차이가 있었으며, 목($t=0.632$), 어깨($t=0.000$), 허리($t=1.987$), 손목($t=0.655$) 그리고 다리($t=1.567$)는 두 작업 간에 유의미한 차이가 없다.

이는 각 단위작업들이 작업변수(즉, 작업내용, 자세 및 사용도구)에 따라서 작업부하(평균심박수, 신체불편도)에 통계적 차이가 있음을 입증한다. 본 작업부하 측정 및 평가 방법론은 타 공정들에 일반화가 가능하여 기능종류별로 작업부하 및 휴식정도를 정량화하는데 기여하며, 보다 다양한 생리학적 척도(예, 심전도, 근전도, 산소소모량 등)를 적용하는 후속 연구들의 토대를 제공한다. 또한, 방수공정에 관여하는 노무자의 안전과 보건을 관리하는 작업

계획을 수립하는 데 기여할 것으로 기대된다.

한편, 본 연구는 다음과 같은 한계점이 있다. 프라이머작업과 우레탄도장 작업은 본질적으로 작업강도에 차이가 있다. 즉 프라이머 작업은 도장두께를 확보하기 위한 노력이 불필요하지만, 우레탄도장 작업은 도막두께의 확보, 양생시간 준수, 이물질에 의한 오염방지 등 다각적인 주의를 요한다. 또한, 본 실험은 우레탄의 희석제인 휘발성유기화합물(VOC)나 마스크 착용으로 인한 호흡장애 상황을 사실적으로 반영하지 못한다. 향후 연구에서 실험실 환경에서 실시된 본 실험결과와 실제 방수공사현장을 대상으로 한 결과를 비교하는 연구가 추천된다.

2) OWAS 및 근전도 기반 석공 작업부하 비교연구 (성과유형: 논문)

● 연구의 목적 및 방법

자동화 및 기계화로 인해 전 산업분야의 작업현장 여건이 크게 개선되고 있다. 그러나 작업자의 근골격계 부상은 여전히 재해의 큰 비중을 차지한다(우필동 외, 2001). 특히, 건설은 기능인력의 작업강도에 대한 관심이 적고, 다양하게 변하는 작업 특성을 반영하는 작업부하 측정도구가 결여되어 예방활동을 전개하기 어려운 상황이다(김균태, 2012).

본 연구는 중량물을 취급하는 석공의 작업부하(workload)를 평가하기 위해 자세평가 기법(OWAS)과 생리학적 측정방법(EMG)의 결과를 비교하고 결과의 차이를 논의한다.

석공의 작업부하는 석판의 설치 높이를 3 단(40cm, 90cm, 160cm)으로 구분하고, 각 설치 높이에 해당하는 작업 자세를 비디오로 촬영하여 근골격계에 미치는 위험등급을 평가한다. 또한 신체부위 3곳(팔, 허리, 다리)에 전극을 부착하여 상기 작업 시 근전도를 측정한다.

● 선행연구 고찰

건설 노동자의 작업부하를 평가한 선행 연구는 다음과 같다. 김현욱(2004)은 철근 결속 작업을 대상으로 재래식 수작업과 자동 철근결박기를 사용한 경우 생체 역학적 스트레스를 비교하여 분석하였다. 이윤근 외(2010)는 건설에서 발생하는 근골격계질환 위험요인에 대해 작업자용 자가 평가 체크리스트를 개발하였다. 김균태(2012)는 건설 목공을 대상으로 가속도 센서를 활용하여 동작 분석과 근골격계 부담정도를 평가하는 시스템을 개발하였다.

● 실증연구

실험은 과거 근골격계질환 병력이 없는 3명의 남자가 석공으로서 실험에 참여하였다. 석판은 13kg(가로 60cm, 세로 30cm)을 사용하였고, 설치 높이는 무릎(40cm), 허리(90cm), 어깨(160cm) 위치로 구분한다. 작업 사이클은 5초간 준비선에서 대기한 후, 한 발을 내밀어 7초 내에 석판을 지정된 위치에 설치토록 하였다.

각 실험 직후 10분간 휴식을 취하고 한 사람이 3번씩 반복하였다. 근전도 측정장비는

락싸(Laxtha)에거 개발한 WEMG-8(Model:LXM5308)를 사용하였다. 전극(electrode)은 팔(Biceps brachii: 상완이두근), 허리(Erector spinae: 척추기립근), 다리(Rectus femoris: 대퇴거근)부위에 각각 부착하였다. [표 2-7]은 실험 후 자세분석을 위해 영상을 분석한 결과와 근전도센서로 측정된 데이터로 부터 RMS(root mean square)의 평균을 분석한 결과이다.

[표 2-7] 석판 설치 높이 구분에 따른 작업부하 평가 결과

구분	작업사진	*OWAS 분석	**EMG 분석 (μV)	결과비교
1단		자세코드 (2/1/6/2) = 2 (가까운 장래에 개선 요함)	팔(143)>허리(55)>다리(32) 합계(229)	OWAS분석은 1단과 2단 설치 자세에 대해 근골격계질환 위험등급을 동일한 2로 평가하고, 3단 설치의 경우, 보다 높은 위험등급 3으로 평가된다. 그에 반해, 근활성도를 분석한 결과 허리 높이에 석판을 설치하는 2단계가 신체부담이 가장 적고, 허리 아래(1단)와 어깨 위에 설치(3단)하는 경우는 작업부하가 상대적으로 높게 나타났다.
2단		자세코드 (2/1/3/2) = 2 (가까운 장래에 개선 요함)	팔(130)>허리(52)>다리(17) 합계(198)	
3단		자세코드 (2/3/3/2) = 3 (가능한 조기 개선 요함)	팔(147)>허리(61)>다리(16) 합계(224)	

* 자세코드(허리/팔/다리/하중) = 조치수준(등급)

** 7초간 측정된 근전도 센서스트림의 RMS 평균값

● 결 론

본 연구는 건설현장 노무자의 근골격계질환을 예방하기 위해 작업부하를 평가하는 두 가지 방법을 비교하였다. 기존의 자세평가표에 따른 신체부담을 평가하는 기법(OWAS)과 작업자의 생체신호를 측정하여 직접적인 근육활성도를 평가하는 기법(EMG적용)에 따라 산출된 작업부하를 비교하였다.

그 결과 OWAS는 1단과 2단 설치 자세에 대해 근골격계질환 위험등급을 2(가까운 장래에 개선 요함)로 평가하고, 3단 설치의 경우, 보다 높은 위험등급 3(가능한 조기 개선 요함)으로 평가하였다. 그에 반해, 근활성도를 분석한 결과 허리 높이에 석판을 설치하는 2단계가 신체부담이 가장 적고(팔(130)>허리(52)>다리(17), 합계(198)), 허리 아래(1단: 팔(143)>허리(55)>다리(32), 합계(229))와 어깨 위에 설치(3단: 팔(147)>허리(61)>다리(16), 합계(224))하는 경우는 작업부하가 상대적으로 높았다. 이 차이는 자세분석기법과 달리 생리학적인 분석방법이 실제 지속되는 근육 사용시간이 현실적으로 반영된 결과로 사료된다.

3) 건축물의 패널 설치용 수준기 개발 (성과유형: 특허출원)

● 발명의 명칭

● 기술분야

본 발명은 건축물의 패널 설치용 수준기에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 건축물 패널의 각 면에 대한 수평도와 수직도, 즉 기울기를 한번에 측정할 수 있고, 건축물 패널의 수평도와 수직도를 측정함과 동시에 건축물 패널의 위치조정을 수행할 수 있으면서도 작업자가 건축물 패널의 수평도와 기울기를 직관적으로 식별할 수 있는 건축물의 패널 설치용 수준기에 관한 것이다.

● 발명의 배경이 되는 기술

최근 공동주택의 품격을 높이기 위해 저층부 외부마감재로 석재시공이 늘고 있으며, 외벽 마감용 석재 시공방법으로 패스너를 이용한 건식공법이 널리 사용되고 있다. 상기한 건식공법은 건축물 구조체에 앵커볼트를 매립하고 패스너를 연결하여 중량의 석재를 외벽에 지지하는 방식으로 석재의 시공절차를 살펴보면, 아래에서부터 위로 그리고 좌측에서 우측으로 (혹은 우측에서 좌측 한 방향으로) 진행된다.

이 때, 시공품질은 패스너에 거치되는 석재유닛이 구조벽체에 고정되기 전에 수평과 수직 정도를 정확히 측정하고 허용오차 범위 이내로 석판의 위치를 정밀하게 조정하는 작업에 의해 결정된다. 여기서 석재유닛의 수평과 수직의 정도를 정확히 측정하기 위해 수준기가 사용되는데, 상기한 수준기는 피측정물의 수평도 또는 기울기를 측정하기 위한 측정도구로서, 주로 피측정물 일측에 설치되는 베이스의 일측에 설치되는 투명관 내부에 에테르 또는 알콜을 채우고 일정크기의 기포를 형성하여 피측정물에 베이스를 올려 놓았을 때 기포가 이동하는 위치를 확인함으로써 피측정물의 수평 또는 기울기를 측정하도록 형성된다.

이러한 수준기는 비교적 간편하고 정확하게 수평을 측정할 수 있어 가정용 전자장치의 설치에서부터 산업분야에 이르기까지 다양한 분야에 폭 넓게 사용되고 있다. 한편, 종래의 수준기는 일자형 막대형상으로 형성되고 일측에 설치홈이 형성된 베이스와, 베이스의 일측 중 설치홈에 설치되고 내부에 기포가 형성되는 수평계로 이루어지는데, 종래의 수준기를 사용하여 석재의 수직과 수평을 측정하는 과정을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 작업자가 패스너 위에 중량의 석판을 올리고 나면 수평기를 우선 석재 상단부에 올려 놓고 수평을 측정하고, 석재의 좌우 수평이 맞지 않으면 높게 올라온 부분을 망치로 두드려 내리고 다시 수평계를 가져다 대고 측정하는 과정을 반복한다.

수평조절이 완료 되면, 석판이 구조벽체를 기준으로 앞뒤로 기울 정도를 측정하기 위해 수평기를 석재 전면에 수직으로 세우고 수직도를 측정하는데, 석재가 앞으로 혹은 뒤로 기울 경우, 망치를 사용하여 다시 석재의 위치를 미세하게 조정하고 다시 수직도를 측정한다. 이와 같이 종래의 수준기는 하나의 석재유닛을 설치하기 위해 여러번의 측정작업과 조정 작업이 수차례 반복되고, 특히 석판 설치과정에서 측정작업과 조정작업이 별개로 진행되고 있어

시공속도가 현저하게 저하되는 문제점이 있었다. 또한, 종래의 수준기는 막대형으로 형성되는 바 작업자가 다수의 수공구, 즉 측정을 위한 수준기와 조정을 위한 망치 등을 취급해야 함으로 고소작업시 수공구를 실수로 떨어뜨려 안전사고를 유발할 가능성이 높은 문제점이 있었다. 이에 최근에는 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위해 한국실용신안출원 2012-0005892호와 같이 제1 수평계와 제2 수평계를 동시에 구비하여 피측정물의 한 면에서 좌우수평 및 기울기를 동시에 측정할 수 있는 앵글용 수평기, 즉 수준기가 제공된 바 있다.

한국실용신안출원 2012-0005892호에 따른 앵글용 수평기(100)는 단면이 'ㄱ'형상으로 형성되는 베이스(110)와, 베이스(110)의 상면에 설치되어 피측정물인 앵글의 기울기를 측정하는 수직계(120)와, 베이스(110)의 측면에 설치되어 피측정물의 좌우 수평도를 측정하는 수평계(130)로 이루어지는 바 베이스(110)가 "ㄱ"자형 앵글의 일측에 지지된 상태에서 수평계(130) 및 수직계(120)를 통해 앵글의 수평도 및 기울기를 한번에 측정가능하도록 하고, 앵글에 수평기를 고정된 상태에서 작업자가 수평기를 주시하면서 앵글의 수평 및 기울기를 수정할 수 있도록 한다.

그러나, 한국실용신안출원 2012-0005892호에 따른 앵글용 수평기(100)는 그 형상이 앵글의 형상을 따라 단면이 "ㄱ"자인 막대형상으로 형성되는 바 베이스(110)가 앵글의 형상에만 특화되어 있어 다양한 형상으로 형성되는 석판에는 사용하기 어려운 문제점이 있었다. 또한, 한국실용신안출원 2012-0005892호에 따른 앵글용 수평기(100)는 기울기를 측정하는 수직계(120)를 측면에 설치하고, 수평도를 측정하는 수평계(130)를 베이스(110)의 상면에 설치하여 작업자로 하여금 피측정물의 수평도 및 기울기를 직관적으로 관찰할 수 있도록 하여야 하나, 베이스(110)의 단면이 "ㄱ"자 형상으로 형성됨에 따라 베이스(110)의 측면에 폭방향으로 길이를 갖는 수직계(120)의 설치공간이 마련되지 않아 수직계(120)와 수평계(130)의 위치가 바뀌면서 작업자가 피측정물의 수평도 및 기울기를 직관적으로 관찰할 수 없는 문제점이 발생되었다. 아울러, 한국실용신안출원 2012-0005892호에 따른 앵글용 수평기(100)는 종래의 수준기와 같이 베이스(110)가 막대형상으로 형성됨에 따라 작업자에게 파지영역을 제공하지 않아 작업 중 수공구를 떨어뜨려 안전사고를 유발할 가능성이 여전히 높은 문제점이 있었다.

● 해결하고자 하는 과제

본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 건축물 패널의 각 면에 대한 수평도와 수직도, 즉 기울기를 한번에 측정할 수 있고, 건축물 패널의 수평도와 수직도를 측정함과 동시에 건축물 패널의 위치조정을 수행할 수 있으면서도 작업자가 건축물 패널의 수평도와 기울기를 직관적으로 식별할 수 있는 건축물의 패널 설치용 수준기를 제공함에 있다.

본 발명의 다른 목적은 베이스의 꼬리부를 머리부의 하방으로 연장형성하여 작업자에게 파지영역을 제공함으로써 낙하에 따른 안전사고를 미연에 방지할 수 있는 건축물의 패널 설치용 수준기를 제공함에 있다. 본 발명의 또 다른 목적은 건축물 패널의 다른 영역에 대한

수평도 및 기울기를 별도의 위치변경없이 용이하게 측정할 수 있는 건축물의 패널 설치용 수준기를 제공함에 있다.

● 과제의 해결 수단

상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일측면에 따르면, 건축물의 내벽 또는 외벽에 시공되는 건축물 패널의 수평도 및 수직도를 측정하는 건축물의 패널 설치용 수준기에 있어서, 상기 건축물 패널의 일측에 지지되는 베이스와, 상기 베이스의 상면 일측에 설치되되, 양측단부가 상기 건축물 패널의 좌우측방향으로 설치되어 상기 석판의 좌우 수평도를 측정하는 수평계 및 상기 베이스의 측면 일측에 설치되고, 양측단부가 상기 건축물 패널의 전후방향으로 설치되어 상기 석판의 기울기를 측정하는 수직계를 포함하는 것을 특징으로 하는 건축물의 패널 설치용 수준기를 제공한다.

그리고, 상기 베이스는 상기 건축물 패널의 좌우측 방향으로 길이를 갖도록 형성되고, 상면 일측에 상기 수평계가 설치되며, 하단부가 상기 석판의 상면 일측에 지지되는 머리부 및 상기 건축물 패널의 전후방향으로 길이를 갖도록 형성되고, 측면 일측에 상기 수직계가 설치되며, 일측이 상기 머리부의 측면 일측이 수직되게 결합되는 꼬리부를 포함하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 꼬리부는 상기 머리부가 상기 석판의 상면 일측에 지지되는 경우 일측이 상기 건축물 패널의 일측에 지지될 수 있다.

아울러, 일측이 상기 머리부의 일측에 결합되고, 타측이 상기 건축물 패널의 일측에 지지되는 꼬리부의 일측과 대향되는 위치에 배치되어 상기 꼬리부의 일측이 상기 석판의 일측을 지지하는 경우 상기 건축물 패널의 타측을 지지하는 홀더부재를 더 포함하는 것이 바람직하다. 상기 꼬리부는 상기 머리부로부터 하방으로 연장형성되어 하단부에 파지영역이 형성될 수 있다. 또한, 상기 꼬리부는 상기 머리부의 일측에 착탈가능하게 결합되는 것이 바람직하다. 아울러, 상기 꼬리부는 상기 머리부의 일측에 착탈가능하게 결합되되, 상기 머리부의 길이방향으로 슬라이딩 이동가능하게 결합될 수 있다. 그리고, 상기 머리부는 측면 일측에 길이방향으로 슬라이딩 홈이 형성되고, 상기 꼬리부는 상단부 일측에 형성되고, 상기 슬라이딩 홈에 삽입되어 상기 슬라이딩 홈을 따라 슬라이딩 이동되는 슬라이딩 바를 더 포함하며, 상기 슬라이딩 홈이 형성된 상기 머리부의 내측면과, 상기 슬라이딩 바 사이에 개재되고, 상기 슬라이딩 바에 상기 머리부 방향으로 탄성력을 제공하는 탄성부재를 더 포함하는 것이 바람직하다.

● 발명의 효과

상기와 같은 본 발명에 따르면, 건축물 패널의 각 면에 대한 수평도와 수직도, 즉 기울기를 한번에 측정할 수 있고, 건축물 패널의 수평도와 수직도를 측정함과 동시에 건축물 패널의 위치조정을 수행할 수 있으면서도 작업자가 건축물 패널의 수평도와 기울기를 직관적으로 식별할 수 있는 효과가 있다. 그리고, 본 발명은 베이스의 꼬리부를 머리부의 하방으로

연장형성하여 작업자에게 파지영역을 제공함으로써 낙하에 따른 안전사고를 미연에 방지할 수 있는 효과가 있다. 또한, 본 발명은 꼬리부를 머리부에 슬라이딩 이동하게 결합함과 아울러 탄성부재를 이용하여 이동된 꼬리부의 위치가 고정되도록 함으로써 건축물 패널의 다른 영역에 대한 수평도 및 기울기를 별도의 위치변경없이 용이하게 측정할 수 있는 효과가 있다.

● 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 일실시예를 상세하게 설명하도록 한다. 설명에 앞서 본 발명에서 개시한 건축물의 패널은 금속패널, 합성수지 패널, 석재패널 등 다양한 패널이 적용될 수 있으나, 본 실시예에서는 설명의 편의를 위해 석재패널, 즉 석판을 피측정물로 설명하도록 한다.

도2는 본 발명의 일실시예에 따른 건축물의 패널 설치용 수준기의 사시도이고, 도3은 본 발명의 일실시예에 따른 건축물의 패널 설치용 수준기의 배면사시도이다. 도2 및 도3에서 보는 바와 같이 본 발명의 일실시예에 따른 건축물의 패널 설치용 수준기(1)는 베이스(10)와, 수평계(20)와, 수직계(30) 및 홀더부재(40)를 포함하여 구성된다. 베이스(10)는 피측정물인 석판의 일측에 안착지지되는 머리부(11)와, 머리부(11)의 일측에 결합되는 꼬리부(12)를 포함하여 구성되며, 후술하는 수평계(20)와, 수직계(30) 및 홀더부재(40)의 설치영역을 제공함과 아울러 상기한 각 구성이 석판의 일측에 안정적으로 배치될 수 있도록 하는 역할을 한다.

머리부(11)는 피측정물인 석판의 좌우측방향으로 길이를 갖는 직육면체 형상으로 형성되고, 두께가 대략 피측정물인 석판의 두께와 대응되는 두께로 형성되며, 상단부 일측에 후술하는 수평계(20)가 설치되는 수용홈부(11a)가 길이방향으로 형성된다. 이러한 머리부(11)는 금속 또는 합성수지 재질 중 어느 하나의 재질로 형성될 수 있으며, 수평계(20)의 설치영역을 제공함과 아울러 하단부가 피측정물인 석판의 일측에 안착되어 수평계(20)가 석판의 일측에 안정적으로 배치될 수 있도록 하는 역할을 한다. 꼬리부(12)는 피측정물인 석판의 전후방향으로 길이를 갖는 직육면체 형상으로 형성되고, 하단부가 머리부(11)의 하방으로 연장형성되며, 중앙에 후술하는 수직계(30)가 설치되는 수용공(12a)이 형성된다. 그리고, 꼬리부(12)는 머리부(11)와 같이 금속 또는 합성수지 재질 중 어느 하나의 재질로 형성될 수 있으며, 하단부가 머리부(11)의 측면 일측에 수직되게 결합된다. 이러한 꼬리부(12)는 수직계(30)의 설치영역을 제공함과 아울러 머리부(11)를 통해 수직계(30)가 석판의 일측에 안정적으로 배치될 수 있도록 하는 역할을 한다.

수평계(20)와 수직계(30)는 각각 내부에 수용공(12a)간이 형성된 투명관(21,31)과, 투명관(21,31)의 내부에 기포(22a,32a)가 인입되게 충전되는 액체(22,23)를 포함하여 구성된다. 여기서 수평계(20)는 머리부(11)의 상면 일측인 수용홈부(11a)에 설치되되, 투명관(21)의 양측단부가 석판의 좌우측방향으로 배치되게 설치되어 석판의 수평도를 측정하는 역할을 한다. 수직계(30)는 꼬리부(12)의 중앙에 형성된 수용공(12a) 내에 설치되되, 투명관(31)의 양측단

부가 석판의 전후방향으로 배치되게 설치되어 석판의 수직도, 즉 기울기를 측정하는 역할을 한다. 이러한 수평계(20)와, 수직계(30)는 투명판(21,31)의 외면에 눈금이 형성되어 눈금을 통해 기포(22a,32a)의 위치를 파악함으로써 석판의 수평도 및 수직도를 확인할 수 있다. 한편, 꼬리부(12)는 머리부(11)의 하방으로 연장된 일측이 피측정물인 석판의 전면 일측에 지지되어 후술하는 홀더부재(40)와 함께 머리부(11)를 석판에 견고하게 고정한다.

홀더부재(40)는 대략 직사각형의 플레이트 형상으로 형성되고, 상단부가 머리부(11)의 하단부 일측에 고정결합되며, 머리부(11)의 하단부가 석판의 상면 일측에 지지되는 경우 하단부가 석판의 후면 일측에 지지되어 상기한 꼬리부(12)와 함께 머리부(11)의 지지위치를 견고하게 고정하는 역할을 한다. 그리고, 홀더부재(40)는 하단부가 꼬리부(12) 방향으로 일정각도 절곡형성되어 석판의 후면에 탄성지지되도록 함으로써 다양한 두께의 석판에 견고하게 고정될 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

도4는 본 발명의 일실시예에 따른 건축물의 패널 설치용 수준기(1)가 석판의 상면에 지지된 상태를 도시한 사시도이고, 도5는 본 발명의 일실시예에 따른 건축물의 패널 설치용 수준기(1)가 석판의 상면 지지된 상태를 도시한 배면사시도이다. 이와 같은 구성을 갖는 본 발명의 일실시예에 따른 설판 설치용 수준기(1)의 동작을 첨부된 도4 및 도5를 참조하여 설명하면 다음과 같다. 먼저, 작업자가 석판의 수평도 및 수직도를 측정하기 위해 머리부(11)의 하방으로 연장형성되는 꼬리부(12)의 하단부를 파지한다. 작업자가 꼬리부(12)의 하단부를 파지한 상태에서 시공하고자 하는 석판의 상면에 머리부(11)의 하단부를 지지하되, 머리부(11)와 길이방향과, 석판의 좌우측 길이방향이 일치되도록 머리부(11)를 석판의 상면에 배치한다. 이때, 머리부(11)의 하단부가 석판의 상면에 배치되는 경우 머리부(11)의 하방으로 연장형성된 꼬리부(12)의 일측이 석판의 전면 일측에 지지됨과 동시에 홀더부재(40)의 하단부가 석판의 후면에 탄성지지되어 머리부(11)가 석판의 상면에 견고하게 고정된다. 이와 같이 설치된 상태에서 작업자는 머리부(11)의 상면에 설치된 수평계(20)를 통해 석판의 수평도를 확인함과 동시에 꼬리부(12)에 설치된 수직계(30)를 통해 석판의 수직계(30)를 확인하고, 측정된 석판의 수평도 및 수직도에 따라 수공구를 이용하여 석판의 수평 및 기울기를 수정한다.

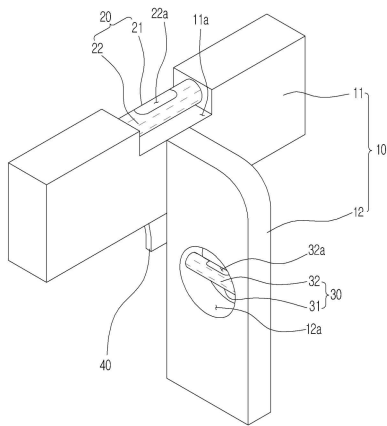
도6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 건축물의 패널 설치용 수준기(1)의 분해사시도이고, 도7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 꼬리부(12)가 슬라이딩 이동되는 상태를 도시한 도면이며, 도8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 탄성부재(13)에 의해 슬라이딩 바(12b)가 머리부(11)의 내벽면에 밀착되는 상태를 도시한 도면이다. 도6 및 도7의 실시예의 기본적인 구성은 도2 내지 도5의 실시예와 동일하나, 꼬리부(12)가 머리부(11)에서 슬라이딩 이동가능하게 설치되어 석판의 다양한 영역에 대한 수평도 및 기울기를 손쉽게 측정가능한 구조로 형성된 것이다. 도6에 도시된 바와 같이 본 실시예의 머리부(11)는 전 실시예와 달리 측면부에 길이방향으로 슬라이딩 홈(11b)이 형성되고, 슬라이딩 홈(11b)이 형성된 입구 중 서로 대향되는 일측으로부터 각각 서로 근접하는 방향으로 한 쌍의 걸림턱이 형성된다. 그리고, 꼬리부(12)는 슬라이딩 홈(11b)에 삽입되어 슬라이딩 홈(11b)을 따라 슬라이딩 이동되는 슬라이딩 바

(12b)를 포함하여 구성된다. 또한, 슬라이딩홈이 형성된 머리부(11)의 내측면과 슬라이딩 바(12b) 사이에 탄성부재(13)가 개재되는데, 여기서 탄성부재(13)는 슬라이딩 바(12b)에 상기 머리부(11)방향으로 탄성력을 제공하는 역할을 한다. 이와 같은 구성을 갖는 본 발명의 다른 실시예에 따른 건축물의 패널 설치용 수준기(1)의 동작을 첨부된 도7 및 도8을 참조하여 살펴보면 다음과 같다.

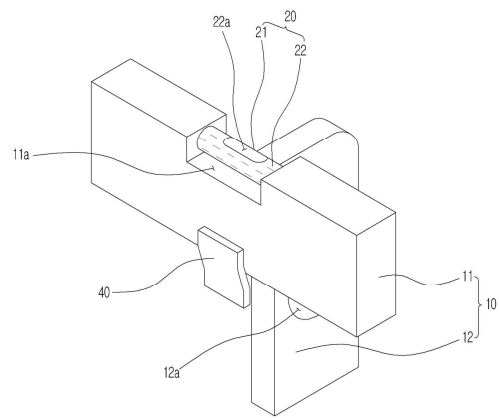
석판의 다른 영역에 대한 기울기를 측정하고자 하는 경우, 일례로 석판의 우측부분의 기울기를 측정한 후 석판의 좌측부분에 대한 기울기를 측정하고자 하는 경우 머리부(11)가 석판의 상면 일측에 지지된 상태에서 작업자가 꼬리부(12)의 하단부를 파지하고, 머리부(11)의 외측방향으로 당겨 꼬리부(12)의 슬라이딩 바(12b)가 머리부(11)의 내벽면으로 이격되도록 한 후 꼬리부(12)를 원하는 방향으로 슬라이딩 이동한다. 꼬리부(12)를 석판의 원하는 위치까지 슬라이딩 이동한 후 작업자가 꼬리부(12)를 놓게 되면, 탄성부재(13)에 의해 슬라이딩 바(12b)가 머리부(11) 방향으로 밀착되어 견고하게 지지된다. 이와 같이 본 발명의 다른 실시예에 따른 건축물의 패널 설치용 수준기(1)는 작업자가 꼬리부(12)를 슬라이딩 이동하는 것만으로 석판의 여러위치에 대한 기울기를 용이하게 측정할 수 있을 뿐 아니라 별도의 고정작업없이 탄성부재(13)의 탄성력으로 꼬리부(12)의 슬라이딩 바(12b)가 머리부(11)의 내벽면에 지지되도록 함과 아울러 꼬리부(12)의 일측이 석판의 일측에 지지되도록 함으로써 슬라이딩 이동구조에 의한 꼬리부(12)의 유동을 미연에 방지할 수 있다. 한편, 꼬리부(12)를 고정된 상태에서 머리부(11)를 이동하는 경우에는 석판의 다른 영역에 대한 수평도를 용이하게 측정할 수 있다. 그 외의 구조는 전술한 기본 실시예와 동일하므로 나머지 설명은 생략하기로 한다. 비록 본 발명이 상기 언급된 바람직한 실시예와 관련하여 설명되어졌지만, 발명의 요지와 범위로부터 벗어남이 없이 다양한 수정이나 변형을 하는 것이 가능하다. 따라서 첨부된 특허청구의 범위는 본 발명의 요지에서 속하는 이러한 수정이나 변형을 포함할 것이다.

● 부호의 설명

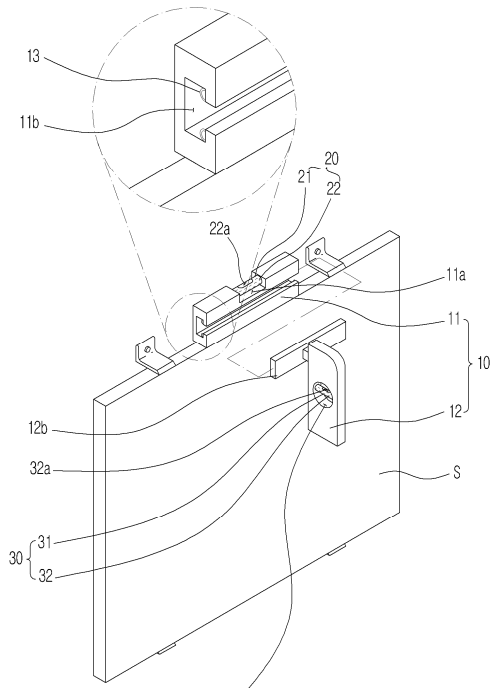
1 : 건축물의 패널 설치용 수준기	10 : 베이스
11 : 머리부	11a : 수용홈부
11b : 슬라이딩 홈	12 : 수평계
12a : 수용공	12b : 슬라이딩 바
13 : 탄성부재	20 : 수평계
21 : 투명관	22 : 액체
22a : 기포	30 : 수직계
31 : 투명관	32 : 액체
32a : 기포	40 : 홀더부재



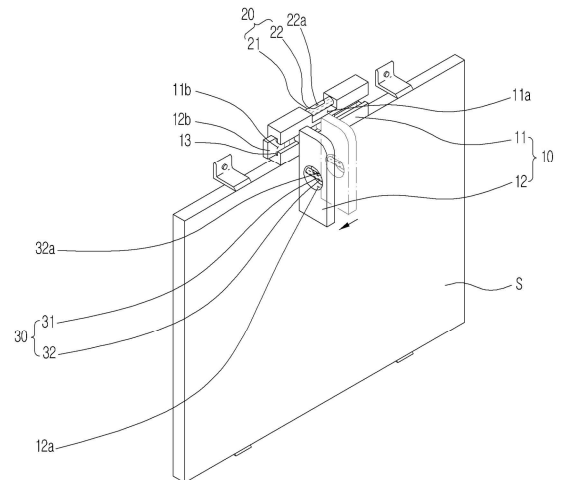
도 2. 수준기 사시도



도 3. 수준기 배면사시도



도 6. 석판상면지지 상태도



도 7. 이동기능 사례도

[그림 2-8] 석공사용 개량형 수평계 도면

다음은 당해연도 정성적 성과목표에 대한 실적을 요약하여 제시한다.

4) 수공구 사용 및 인식 실태 파악

● 건설현장 석공사 관련 수공구 사용 실태 조사

공동주택 석공사 현장에서 주로 사용하는 수공구들을 현황은 [그림 2-9]에 제시한다. 수공구들은 긴결철물을 이용한 건식긴결공법을 수행하는 데 적합한 도구들로 구성된다. 우선

중량물인 석재가 패스너가 설치된 곳에 수평과 수직이 오차범위 내에서 거치하기 위해 수평계(석재 마감면이 골조를 기준으로 수직과 수평을 측정함)와 렌치(파스너 위에 거치된 석재를 미세하게 앞뒤로 옮기는 데 사용됨) 그리고 망치(앵커볼트를 두드리 박거나, 패스너 혹은 석재를 조정할 때 사용함)가 번갈아 가며 사용된다. 석재가 소정의 위치에 임시정착 되면, 석판이 영구 정착이 되도록 스패너를 이용해 파스너에 고정 볼트와 너트를 조인다. 공동주택 저층부(1~3층)에 설치되는 석재는 1층을 제외하면 대부분 비계위에서 작업이 진행된다. 작업은 대부분 2인 1조로 팀단위로 이루어지지만, 석재 절단 및 적재 과정은 주로 가공만을 전담하는 작업자가 전담한다.



수평계



그라인더



전동드릴



돌망치



렌치



스패너



줄자



손수레



체인 도르래

[그림 2-9] 석공사에 사용중인 수공구 현황

● 수공구 개량에 대한 인식 조사

석공사가 진행 중인 건설현장 3곳을 방문한 결과 작업자들은 기존의 수공구를 스스로 개량한 흔적들을 발견할 수 있었다. [그림 2-10]은 석공사에 사용되는 수공구들의 개량 현황을 나타낸다. 현장에서 쉽게 발견되는 개량된 수공구로는 스패너로 나타났다. 이는 석재를 고정하기 위해 너트를 풀고 조이는 작업이 반복도가 높고 기성 스패너에 대한 손목불편도가 높다는 사실을 방증한다. 일반적으로 스패너 몸체 앞뒤가 너트를 풀거나 조이는 기능만을 갖는 일반적인 스패너의 형상과 달리, 현장에서 개량된 스패너는 기본적인 스패너 기능에 추가

기능으로 중량물을 들어올리기 용이한 지렛대가 반대편에 부착된다. 이러한 개량형 스패너를 분석해 보면, 수공구 개량원리를 이해할 수 있다. 즉, 기존에 상용화된 수공구들은 일반적인 작업에 적합하도록 설계되어 있어 석공사와 같은 특수한 작업환경에 적용시 작업자의 신체 피로도가 가중되고 작업의 효율이 낮아 인간공학적인 설계변경이 요구된다. 그러나 이러한 수공구의 개량은 수요가 많지 않기 때문에 대부분 개별 작업자가 직접 개량해 사용 중인 것으로 나타났다. 실제 현장 노무자들과 면담한 결과, 석공들은 대다수 석공사에 최적화된 수공구가 시중에 판매되고 있지 않아 직접 수공구를 개량해서 사용하고 있다고 한다.

석공사 종사자들이 느끼는 기성수공구의 개량에 대한 인식실태를 조사한 결과는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 안전상의 이유. 즉, 석판 설치가 완료되기까지 개별 기능을 가진 다양한 수공구가 필요하다. 그런데 석공사의 경우 비계위에서 고소작업이 많아 매번 다른 수공구를 들었다 놓았다 하는 동작들이 많다보니 수공구를 실수로 떨어뜨리는 경우가 많고 이로 인해 안전사고의 위험도를 가중한다.

둘째, 생산성 측면에서 이유. 즉, 너트를 조이거나 석재위치를 미세하게 조정하는 작업은 거의 연속적으로 발생된다. 따라서 하나의 수공구로 두 가지의 작업을 연속적으로 수행할 수 있는 복합도구를 개발하면 작업의 속도를 제고할 수 있다.

셋째, 작업자의 보건상의 이유. 예컨대, 석재를 구체에 긴결하기 위해서는 패스너를 매개로 볼트와 너트를 사용해 고정하는 작업이 필요하다. 그런데 패스너가 석재 뒷면에 놓여 있어 스패너를 사용해 너트를 조이거나 푸는 동작 시 손목이 부자연스럽게 꺾인 상태로 힘이 들어간다. 이로 인해 손목에 피로가 빠르게 나타나고 불안정한 손목을 유지하기 위해 목과 허리 그리고 다리의 자세도 불안정해짐에 따라 근골격계질환이 유발될 가능성을 높인다.

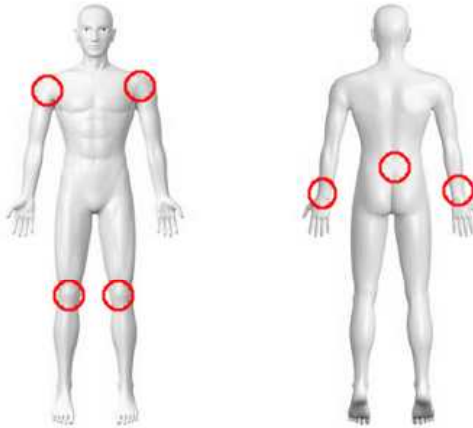


[그림 2-10] 현장 노무자 직접 개량 수공구 사례

● 개인 질병현황 조사

석공사 종사자들을 직접방문하여 근골격계 관련 병력을 조사하였다. [그림 2-11]은 효과적인 현장조사를 수행하기 위해 개발한 설문지 양식으로 응답사례이다. 현장조사는 2015.04.03~2015.04.28 사이에 3일간 수행되었다. 실사현장은 공동주택 마감공사 중 석공사가 진행 중인 현장 3곳을 선별하였고, 석공사 종사자 35명을 표본으로 조사하였다.

<서식1> 석공사 근로자 근골격계 질환 설문지

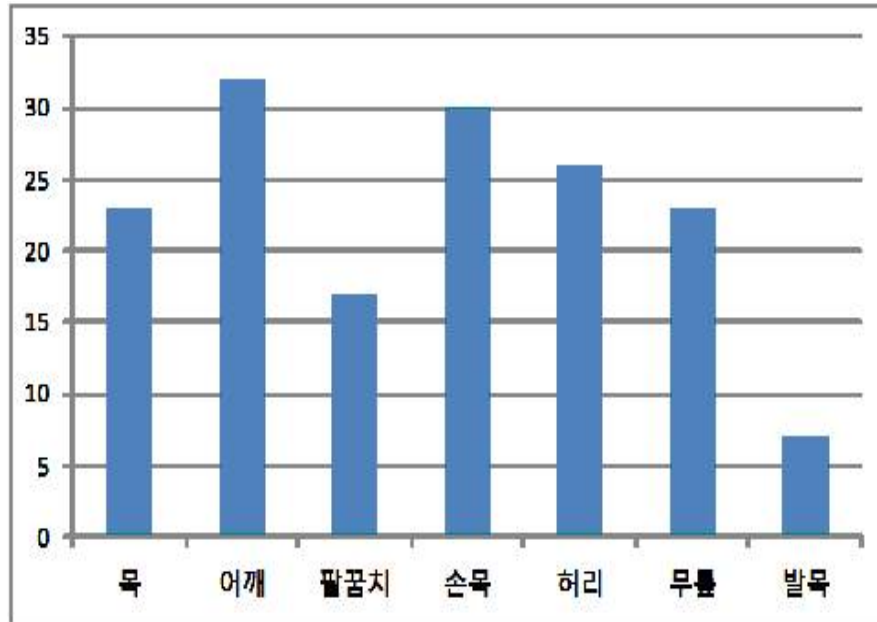
조사현장		부산 A 현장				
조사일시		2015. 04. 02				
응답자 성명		손00				
소속		동신00				
나이/ 근무년수	키(cm) /체중(kg)	성별	직종	근골격계병력 (신체부위)	주요 업무	하루작업량 (시간)
52 / 18	165 / 65	남	석공	허리	석재 운반, 가공	8
아래 신체모형도에 최근 불편한 신체부위를 표시(O)하십시오.						
						
근골격계 질환 치료방법				① 물리치료 () ② 약물치료 () ③ 자활(V) ④ 기타 ()		
신체에 무리가 많이 가는 작업				현장에 적재해둔 석판을 가공장소로 운반할 때		
작업 중 신체피로시 취하는 자세				① 가만히 서있는다 (V) ② 쪼그려 앉는다 () ③ 기타 ()		
사용수공구 종류				전동드릴, 그라인더, 손수레, 줄자		
취급 자세				석판		
수공구 개선요구사항				석재 절단시 다량의 먼지가 발생되어 집진장치가 전동공구에 달렸으면 좋겠다.		

[그림 2-11] 석공 종사자 근골격계 질환 현황 조사용 설문지
응답예시

현장조사에 참여한 석공 종사자들의 평균 나이는 52.3세(최소 36세, 최대 58세)이고, 근무기간은 평균 21.4년(최소 3년, 최대 32년)으로 노령화가 심한 공종으로 나타났다. 해당 석공 종사자들의 신체 불편부위에 대한 응답결과는 [표 2-8]과 [그림 2-12]에 제시하였다. 조사결과 석공 종사자들은 작업으로 인한 통증부위로 어깨(32), 손목(30), 허리(26), 무릎/목(23), 발목(7) 순으로 통증부위를 호소하였다.

[표 2-8] 석공의 신체 불편부위 응답결과

신체부위	목	어깨	팔꿈치	손목	허리	무릎	발목
빈도	23	32	17	30	26	23	7

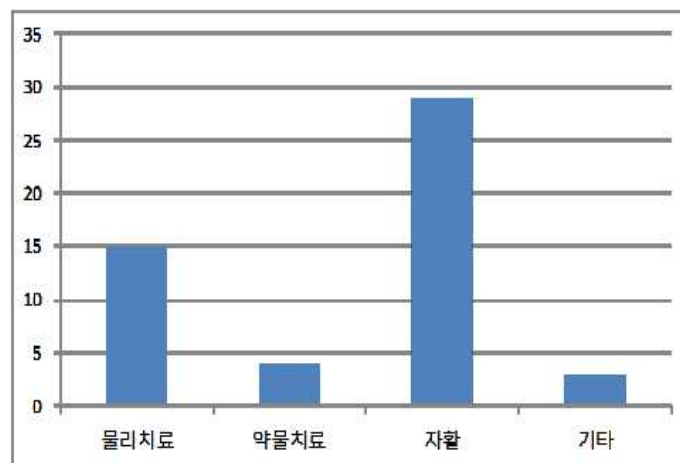


[그림 2-12] 석공의 신체 불편부위 응답결과

[표 2-9]과 [그림 2-13]에 제시된 바와 같이, 석공 종사자들은 신체의 통증이나 이상 발생시 병원치료보다는 자활에 의존하는 경향이 높다고 나타났다. 이는 근무시간 중 병원치료가 불가능한 건설현장의 현실이 반영된 결과로 사료된다. 또한, 자활에는 휴일에 휴식을 취하거나 불편한 신체부위에 고무밴드를 착용하거나 파스를 붙이는 것으로 나타났고, 기타에는 대부분 통증을 당연한 것으로 받아들이고 참고 일하는 것으로 밝혀졌다.

[표 2-9] 석공 종사자의 통증 치료방법 응답결과

치료방법	물리치료	약물치료	자활	기타
빈도	15	4	29	3



[그림 2-13] 석공 종사자의 통증 치료방법 응답결과

5) 동작분류체계도 개발

[표 2-10]은 공동주택 외벽 마감용 석재를 시공하는 일련의 작업들을 구분하고 해당 작업별로 신체부담동작을 규명한 근골격계부담 동작분류체계도를 개발한 사례를 제시한다.

이러한 동작분류표는 석공별로 분업화된 전문 작업사이클을 식별하는 기준이 되며, 해당 작업에 주요 활동근육과 골격을 식별하고 그러한 자세가 유지되는 시간정보를 제공한다. 이러한 분류체계도는 향후 수공구 개량으로 인한 성과평가와 더불어 작업자의 근골격계부담을 최소로 하는 작업계획을 수립하는 데 유용하게 활용될 수 있다.

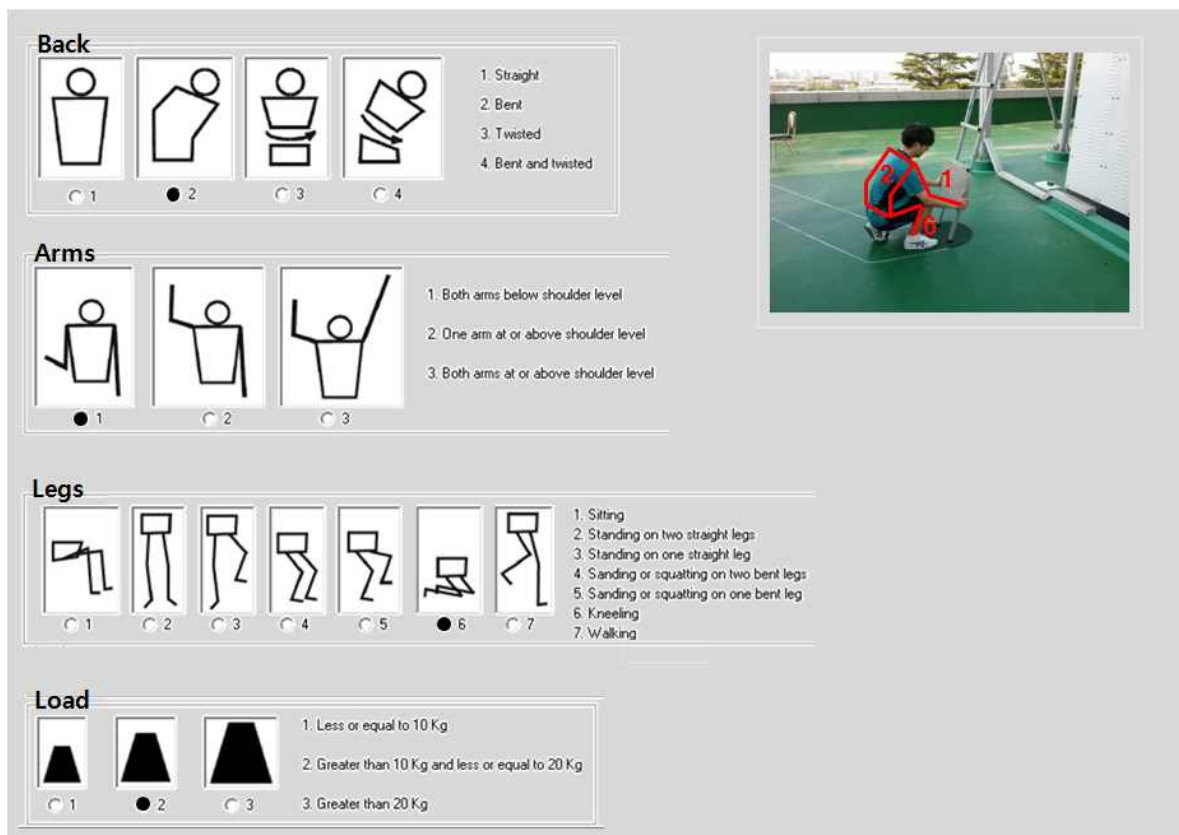
[표 2-10] 석공사 단위 작업 및 부담동작 분류

단위 작업	작업사진	작업설명	사용 신체	신체부담동작	평균 시간 (초)	사용 수공구
골조 벽체 구멍 뚫기		골조의벽에 앵커볼트 삽입 구멍 천공	팔,허리, 다리	RC골조 외벽에 소정의 깊이로 천공을 하기 위해 허리와 팔에 힘을 주고 일정시간 전동드릴을 미는 동작이 지속되어 허리와 팔에 피로도가 큼	10	전동드릴
석판 가공		석판 절단, 홈파기 작업	팔,허리, 다리	중량자재를 가공하기 쉽도록 대개 석재를 바닥에 두기 때문에 작업자는 허리를 숙인상태로 가공작업을 수행한다. 그로 인해 허리, 팔 부위에 부담이 큼.	25	그라인더
운반		재단된 석판 설치장소로 소운반	팔,허리, 다리	가공된 석재를 설치장소로 소운반하는 데 사용되는 팔, 허리의 부담이 큼	83	-
석판을 리기		석판 고정철물에 거치	팔,허리, 다리	비계와 벽체간의 이격거리가 있어(10~25cm) 석판을 구체 패스너에 거치하는 데 팔과 허리 그리고 다리에 부담이 큼	32	-
석판위 치조정		석판 수평/수직 조정	팔,목, 허리	석재를 망치와 드라이버를 사용하여 석재의 위치를 정밀하게 수정함에 따라 손목과 목, 허리에 피로도가 큼	182	수평계,망 치, 스패너,줄 자
석판 고정		너트 조이기	팔,허리	스패너로 너트를 반복하여 조이는 과정에서 손목에 피로도가 큼	13	스패너

6) 마감공사 작업 동작패턴 분석

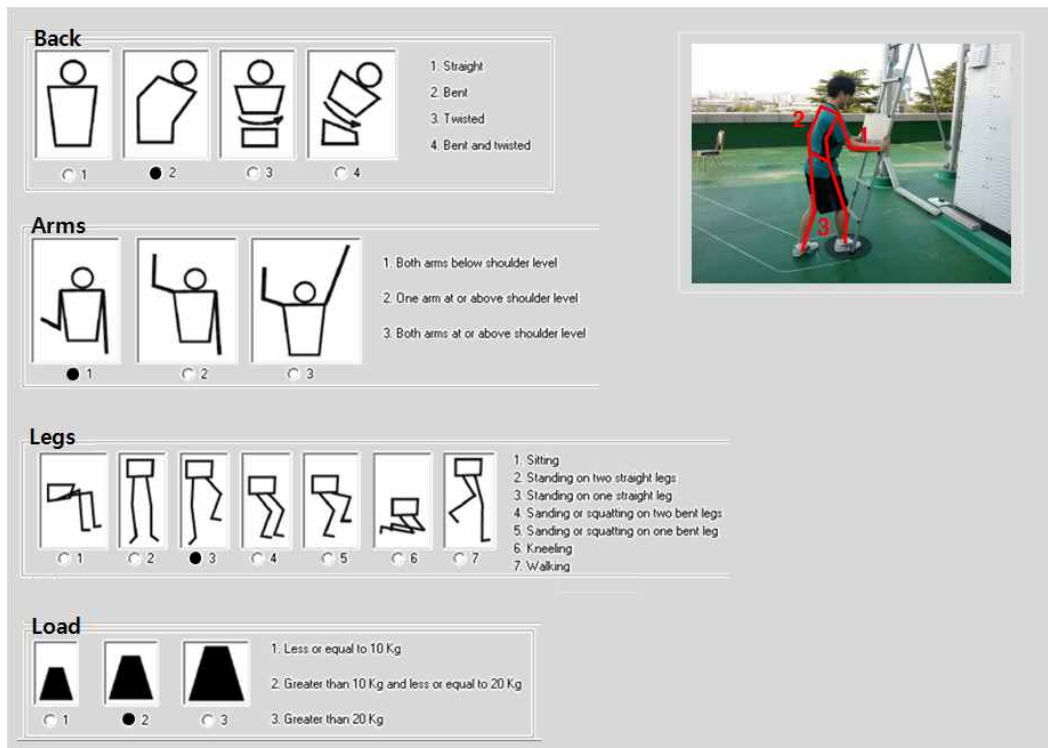
석공사에서 작업자의 근골격계부담이 큰 동작으로 조사된 들기(lifting)동작을 중심으로 동작영상을 분석하였다. 분석을 위해 실제 석공사 현장에서 사용하는 중량 12kg 석판을 사용하여, 벽체 높이를 3가지로 구분 (무릎(40cm), 허리(90cm), 어깨(160cm) 위치)하여 거치하는 작업을 시뮬레이션 하였다. 석판 설치위치에 따라 작업자의 근골격계부담 정도를 분석하기 위해 산업공학분야에서 널리 이용되는 자세기반 평가도구인 OWAS를 적용하여 분석하였다.

[그림 2-14]에 제시된 바와 같이, 가장 낮은 단(바닥에서 40cm 지점)에 석판을 설치하는 경우, 허리:상지:하지:중량이 각각 2:1:6:2로 나타나 총 등급 2로 ‘가까운 장래에 자세개선이 필요’한 것으로 분석된다.



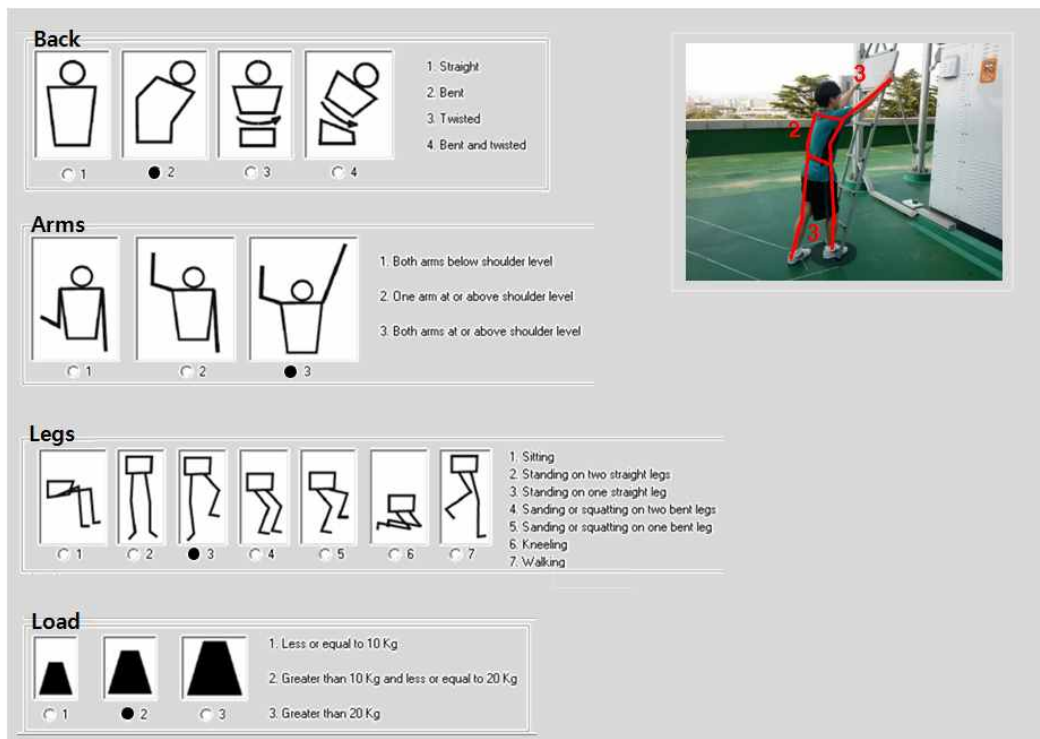
[그림 2-14] 자세평가기준 작업부하평가 사례 1

[그림 2-15]에 제시된 바와 같이, 중간 단(바닥에서 90cm 지점)에 석판을 설치하는 경우, 허리:상지:하지:중량이 각각 2:1:3:2로 나타나 총 등급 2로 ‘가까운 장래에 자세개선이 필요’한 것으로 분석된다.



[그림 2-15] 자세평가기준 작업부하평가 사례 2

[그림 2-16]에 제시된 바와 같이, 높은 단(바닥에서 160cm 지점)에 석판을 설치하는 경우, 허리:상지:하지:중량이 각각 2:3:3:2로 나타나 총 등급 3으로 ‘가능한 조기에 자세개선이 필요’한 것으로 분석된다.



[그림 2-16] 자세평가기준 작업부하평가 사례 3

7) 작업동작 자료 DB구축

본 연구과제를 수행하는 과정에서 수집한 현장자료 및 실험자료를 정리하여 관련 연구자들에게 실험방법 및 측정데이터를 공유하는 공간을 마련하였다. 당해연도에는 건설마감공사 중에서 석공사와 방수공사에 관한 작업영상 및 실험영상을 선별하여 자료실을 개방하였다(<http://blog.naver.com/blewchip>, [그림 2-17]참조)



[그림 2-17] 건설 마감공사 작업분석용 개방형 자료실 화면

나. 2년차 연구개발 주요내용

1) 인도포장 공사의 자재위치 변화에 따른 근활성량 분석 (성과유형: 논문)

● 연구의 배경 및 목적

최근 산업현장은 자동화 및 기계화가 급속히 진행됨에 따라 근로자의 작업환경이 크게 개선되고 있지만 근로자의 근골격계질환은 여전히 재해의 큰 비중을 차지한다(Woo et al, 2003). 근골격계질환(musculoskeletal disorders)은 근골격계부위에 생기는 질환으로 반복적인 작업 동작으로 인해 근육이나 조직의 손상이 누적되어 나타나는 기능적 장애로서 허리, 목, 어깨, 팔, 손목 등의 부위에 주로 발생된다(Kim et al., 2010). 고용노동부에서 발표한 산업재해현황분석 자료에 따르면, 2014년 한 해 동안 건설업에서는 업무상질병 요양재해 발생현황은 총 682명(전 산업의 10%)으로 근골격계질환에 해당하는 신체부담작업성 환자가 197명, 요통 환자가 362명으로 대부분을 차지하고 있다(Ministry of Employment and Labor, 2014).

이 통계는 근로복지공단에 요양승인을 받은 재해에 기초해 실제 근골격계질환자의 수는 크게 상회할 것으로 추정된다. 건설산업은 생력화를 위해 습식공법을 건식공법으로 대체하고 있지만, 여전히 인력물자취급(manual material handling) 작업들이 대부분을 차지한다. 예컨대, 건설노무자들은 중량의 건설자재들(예, 동바리, 거푸집, 철근, 석재 등)을 맨몸으로 취급하고 있고, 다양한 작업환경(예, 지하터파기 작업, 고소작업대 위 외부마감작업, 철골위 부재 연결 작업, 철골용접 작업, 옥상방수 작업, 천정틀 작업, 등)속에서 불안정한 자세로 장시간 단순반복작업(simple repetitive work)을 수행하고 있다. 단순반복작업은 근육이나 관절, 인대조직이 고르게 이용되지 않고 일부만이 반복 사용되어 강화되고 이용되지 않는 근육은 약화되어 신체의 불균형을 초래한다(Yang et al., 2010). Lee & Chung(1998)은 장시간 쪼그려 앉은 상태에서 반복적인 작업을 하는 경우 중량물 취급 작업에 비해 순간적인 작업부하량은 크지 않더라도 작업자의 근골격계에 악영향을 미칠 것이라 하였다. 특히, Lee & Cho(2007)는 국내 건설현장에서 많은 작업들이 쪼그려 앉는 작업자세가 일반화되어 있어 작업자의 피로도 및 불편도에 대한 평가가 필요하다고 강조하였다.

건설 노무자의 근골격계질환은 작업과의 인과관계 입증의 어려움과 기능인력들의 불안정한 고용계약상태 등을 이유로 노무자를 위해 작업환경을 개선하기 보다 품질관리, 생산관리, 안전관리(즉, 당 현장의 작업과 인과관계가 명확한 작업성 재해 예방 활동) 활동을 우선시 하는 경향이 있다. 또한, 건설 노무자의 근골격계질환을 예방하는 체계적인 작업계획을 수립하기 위해서는 현실적인 작업조건 하에서 작업부하를 정량화하는 연구결과가 필요하나 미흡한 실정이다(Kim, 2012).

건설분야를 중심으로 근로자의 신체적 작업부하(physical workload)를 분석한 연구들은 자세평가도구를 활용한 간접적인 접근법과 생체신호 계측기를 활용한 직접적인 접근법으로 대별된다.

먼저, 자세평가도구를 활용한 연구들을 살펴보면 다음과 같다. Mattila et al.(1993)은 OWAS(Ovako Working-posture Analysis System)를 이용하여 망치질을 할 때 근골격계에 문제가 되는 작업자세를 규명하였다. Li & Lee(1999)는 형틀공, 철근공, 콘크리트공 그리고 비계공을 대상으로 OWAS 평가기준에 따라 근골격계 위험자세에 대해 분석하고 개선방향을 제시하였다. Chae(2006)는 OWAS를 기초로 하여 경량철골벽을 시공하는 단위작업들에 대한 작업부하를 평가하였다. Balasubramanian & Prasad(2006)는 철근절단 작업을 중심으로 RULA(Rapid Upper Limb Assessment) 도구를 활용하여 불안정한 자세의 특성을 규명하였다. Lee & Cho(2007)은 목공과 철근공을 대상으로 신체부위별 주관적 불편도를 평가하였다.

한편, 생체신호 측정기를 활용한 연구들은 다음과 같다. Örtengren et al.(1991)은 수동식과 전동식 드라이버에 따른 팔과 어깨부위에 미치는 작업부하를 근전도(electromyography)를 측정하여 평가하였다. Sillanpää et al.(1999)는 카펫운반, 하수관 연결, 몰딩절단, 철근가공작업에서 보조공구의 사용전과 후에 작업부하의 변화를 근전도를 사용하여 평가하였다. Seo & Im(2001)은 근전도를 활용하여 내화벽돌 운반공의 상지 근육을 중심으로 근피로도를 분석하였다. Anton et al.(2005)은 벽체공사에서 블록종류와 설치높이에 따라 조적공의 작업부하 차이를 근전도와 심장박동수(heart rate)를 측정하여 검증하였다. Maiti(2008)은 인력물자취급 작업시 심장박동수에 따른 작업부하를 분석하고, 피로회복에 필요한 적정휴식시간을 추정하였다. Jansen et al.(2011)은 타일작업을 대상으로 높이변화에 따른 근전도를 측정하고 스펙트럼분석을 통해 근피로도(muscle fatigue)를 평가하였다. Lim et al.(2015)은 방수공사를 대상으로 작업자의 심박수 변화를 통해 작업부하를 평가하였다.

상기한 바와 같이, 건설 노무자의 작업부하를 측정하고 이를 통해 작업환경을 개선하기 위한 연구가 다양한 직종들을 대상으로 진행되어 왔다. 그러나 건설 노무자가 쪼그려 앉은 상태에서 정지상태가 아닌 동적인 단순반복동작을 수행할 때 근활성도의 변화 특성을 분석한 연구는 부재한 실정이다. 따라서 본 연구는 하지의 움직임이 자유롭지 못한 쪼그려 앉은 자세에서 중량물을 반복적으로 취급하는 보도블록설치작업(footpath pavement work)을 대상으로 건설자재의 위치변화에 따라 작업자의 생리학적 작업부하를 근전도 측정기를 사용하여 측정하고 신호처리를 통해 근육의 활성화 특성을 분석하고자 한다. 구체적인 연구목표는 2가지로 구분된다. 첫째, 시공자재를 배치하는 위치(즉, 좌측(M1), 중간(M2), 우측(M3))와 자재를 설치하는 위치(P1-P5)에 따라 각 근육별로 활성화되는 특성을 분석한다. 둘째, 동일한 블록설치작업을 수행하는 다수 피험자들로부터 측정된 근전도데이터로부터 각 근육별로 근활성량이 경감되는 자재위치를 통계적으로 검증한다.

● 연구범위 및 절차

보도블록설치공사는 바닥정지작업, 모래깔기, 떡매김, 경계석설치, 블록절단, 자재운반, 블록깔기 등과 같은 요소작업들이 포함된다. 본 연구는 작업자가 쪼그려 앉은 자세(squatted posture)로 중량물(블록)을 취급하는 ‘블록깔기작업’을 대상으로 하며, 3가지로 구분한 자재위

치(좌측, 중간, 우측)에 따라 상/하지의 8개의 근육부위에 근활성량(muscle activity)의 변화 특성을 분석하는 것을 범위로 한다.

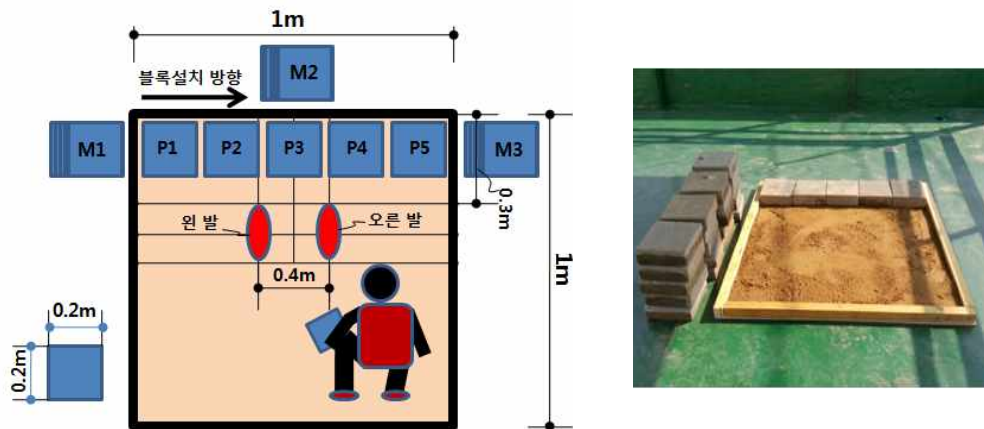
연구절차는 다음과 같다. 건설분야를 중심으로 작업자의 생리학적(physiological) 작업 부하(physical workload)를 평가한 연구들을 고찰하고, 본 연구의 주제인 ‘블록 깔기 작업’의 작업부하를 측정 및 평가하기 위한 실험계획을 수립하며, 근활성량 분석을 위해 측정된 근전도 원신호(raw EMG signal)를 처리하는 과정을 제시한다. 마지막으로 실험을 통해 획득된 근활성량 지표로부터 블록 깔기 작업 시 자재 위치에 따른 근활성량 변화 특성을 분석한다.

● 실험환경 설계

블록 깔기 작업(이하, 블록 설치 작업) 시 작업자의 신체적 작업부하를 측정하기 위해 K대학교 재학생을 대상으로 과거 팔과 허리 그리고 다리에 근골격계 질환의 병력이 없고, 현재 건강한 남자 9명을 자발적으로 참여시켰다. 실험 참가자는 모두 오른손잡이로 나이 26 ± 3.5 세, 키 170 ± 4.2 cm이며, 몸무게 73 ± 3.7 kg이다.

블록을 집고, 운반하고 설치하는 동작을 관장하는 근육부위는 팔이다. 그러나 작업자가 바닥에 쪼그려 앉아 중량의 블록을 반복적으로 설치하는 동작을 원활히 수행하기 위해서는 어깨, 허리 그리고 다리 부위의 근육의 상호작용이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 블록 설치 작업과 관련된 대표 근육의 근활성에 대한 특성과 상호관계를 분석하기 위해 신체 4부위의 근육을 대상으로 좌우 대칭 근육 8곳을 선정하였다. 즉, 다리부위의 좌/우 대퇴직근(rectus femoris), 팔부위의 좌/우측 상완요골근(brachioradialis), 어깨부위의 좌/우측 승모근(upper trapezius), 그리고 허리부위의 좌/우측 척추기립근(elector spinae)이다.

건설 공사에서 자재를 건축물에 설치하는 작업들은 공통적으로 ‘들기-운반-설치’ 동작이 하나의 사이클로 반복된다. 특히 바닥에 자재를 설치하는 작업은 작업 특성상 작업자가 쪼그려 앉은 자세를 취하고 있어 하지의 움직임이 구속된다. 따라서 자재는 팔을 뻗었을 때, 자재를 취급할 수 있는 범위 안에 있어야 한다. 이를 벗어나는 경우, 작업자는 쪼그려 앉은 상태에서 불편한 자리이동이 이루어짐에 따라 하지와 척추에 무리한 힘을 주게 된다. 따라서 피실험자들에게 근골격계의 부상이 유발되지 않도록 [그림 2-18]에 제시된 실험환경과 같이 1m의 폭으로 제한하고, 5장의 블록을 연속해서 설치할 수 있는 가상의 작업공간을 제작하였다. 작업자가 운반하는 블록 자재는 실제 현장에서 사용되는 시멘트블록으로 규격(가로×세로×두께)이 $200 \times 200 \times 50$ mm이고, 무게가 5.1kg인 블록을 25장 준비하였다. [그림 2-18]에 도해진 것처럼, 자재를 미리 배치해 두는 위치는 작업틀 밖에 좌측(M1)/중간(M2)/우측(M3)의 3곳으로 지정하고, 작업자의 정착 위치는 붉은 타원 지점이고, 블록의 설치 위치는 맨좌측(P1)부터 맨우측(P5)까지이다.



[그림 2-18] 실험환경 설계

작업부하 측정장치는 락싸(LAXTHA)에서 개발한 근전도 계측기(WEMG-8, Model: LXM5308)를 사용한다. 근전도계측기의 환경설정과 원근전도(raw EMG signal)의 신호처리는 동사에서 제공하는 TeleScan Ver3.1을 사용한다. 근전도는 샘플링주파수(Sampling frequency)를 512Hz로 하여 수집하고, 증폭도(Gain)는 예비실험을 통해 대상 근육에서 원근전도 진폭(amplitude)을 절단 없이 측정할 수 있는 1250 μ V로 설정하였다.

블록설치 작업에서 자재의 위치변화에 따라 작업자의 생리학적 작업부하량을 체계적으로 측정하기 위해 다음과 같이 실험환경 변수들을 설정하였다.

독립변수는 ‘자재위치’로 3가지 수준(level) 즉, 좌측(M1), 중간(M2), 우측(M3)으로 한다. 종속변수는 3가지 작업조건에 따라 각 근육별 근활성도를 분석하기 위해 원근전도신호(raw EMG signal, μ V)로부터 최대수의적근력(MVC)으로 정규화한(normalized) 최대수의적근력비(%MVC)를 사용한다. 통제변수는 2.3절에 제시된 작업자의 위치와 자세, 블록규격, 블록설치순서 그리고 작업속도와 휴식시간들로 전체 피실험자에게 동일하게 적용하였다.

본 실험에서는 피실험자들에게 동일한 작업속도와 휴식시간을 가질 수 있도록 TeleScan S/W에서 제공하는 ‘자극발생기’(stimulus setting)를 이용하여 지정된 시간에 신호음이 울리도록 하였다. 실험참가자는 의자에 앉아 대기하다가 자극발생기에서 “고”라는 신호음이 발생되면, 일어나 작업틀 안에 표시된 붉은 원형에 쪼그려 앉는다. 5초 뒤 “뽕” 소리가 울리면, 피험자는 틀 밖에 준비된 블록을 한 장씩 들어 작업틀 위쪽 맨좌측(P1)에서부터 맨우측(P5)까지 설치작업을 반복한다. 예비실험에서 한 장의 블록의 설치 사이클(즉, 들기-운반-설치 포함)에 소요되는 시간은 평균 3초로 분석되어 자극주기를 ‘3초/장’로 적용하였다. 자재위치별 연속작업은 5장의 블록을 지정된 위치(P1-P5)에 모두 설치하는 것으로 한다. 작업이 완료되면, 피실험자는 바로 일어나지 않고 5초간 쪼그린 상태를 유지한 후, 천천히 일어나 의자에 앉아 10분간 휴식을 취한다. 이 후 다른 자재위치에 대해서도 앞서 설명한 것과

같은 방식으로 작업을 수행한다. 실제 실험에서는 각 피실험자가 수행하는 자세위치별 실험 순서를 무작위로 선정(예, M3→M1→M2)하여 순서의 영향을 배제하였다. 연구책임자는 본 실험에 앞서 실험참가자들에게 연구목적과 실험방법 및 절차에 대해 설명하고, 참가자들이 준비된 가상 작업장에서 블록을 설치하는 작업을 연습하는 시간을 제공하여 작업방법을 충분히 이해할 수 있도록 하였다.

● 근전도 신호 처리

실험환경설계에 따라 실시된 작업과정에서 각 피실험자로부터 측정된 원근전도 신호는 작업분석이 용이하도록 다음 과정을 거쳐 후처리한다.

인체는 전도성이 있어 근전도 측정이 가능하지만, 세포조직형태, 지방두께, 생리변화 그리고 온도, 습도 등에 따라 쉽게 변화되어 근전도 신호의 절대적 크기가 변하기 쉽다. 그로 인해 동일한 피실험자라도 근육별로 근전도 신호의 절대적 크기가 상이하여 직접적인 비교가 불가능하다. 따라서 측정된 근전도 신호의 크기를 대상자 간 또는 근육 간 직접 비교하기 위해 최대수의적근수축(maximum voluntary contraction; MVC)을 측정하여 측정신호를 표준화(normalization)하는 과정이 필요하다(Kim et al., 2013). 따라서 본 실험에 앞서 참가자별로 개별 근육의 최대수의적수축(MVC)을 측정하였다. 본 연구에서 선정한 8곳의 근육에 대한 MVC는 Konrad(2005)가 “The ABC of EMG”에서 제시한 표준자세를 적용하여 측정하였다.

개별 피실험자의 근육별 MVC값은 다음과 같은 절차를 통해 유도하였다. 피실험자가 표준자세를 취하면 보조자가 그 반대방향으로 서서히 힘을 가한다. 피실험자는 5초 동안 외력에 저항한 후, 30초간 휴식을 취한다. 피실험자는 각 근육부위별로 상기한 최대 근수축과 이완동작을 3회씩 연속 실행한다. 그러나 기계와 달리 사람은 동일한 동작을 취하더라도 측정되는 근전도신호는 중첩증가(increased electrical superposition)현상과 운동단위 동기화(motor unit synchronization)로 인해 동일한 신호가 재현되지 않고, 최대발휘 능력을 밑도(sub-maximal)는 동작에서 최대수의적근수축(MVC)보다 큰(supra-maximal) 근전도 신호가 일시적으로 나타날 수 있다.(Kim et al., 2013) 따라서 이러한 이상신호를 최소화하기 위해 근전도 원신호(raw EMG signals)는 일정 시간간격단위(window size, W)로 평활화처리가 필요하다. 본 연구에서는 근활성량의 분석을 위해, 평균제곱(root mean square; RMS)을 적용한다. 근전도 원신호는 Eq. (1)에 의해 평균제곱값으로 변환된다. (Soderberg, 1992)

$$RMS(t) = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_t^{t+W} (EMG(t))^2 dt} \quad (1)$$

EMG(t) : 근전도 원신호의 진폭 크기(μV)

W : 신호분할 시간간격(window size, sec)

여기서 주의할 점은 모든 실험에서 근전도 측정기의 샘플링 진동수(sampling

frequency, f)를 동일하게 적용하고, 평균제곱(RMS)에 적용하는 분할시간간격(W)을 일관되게 적용해야 한다는 점이다. 본 연구에서는 근전도 측정기의 샘플링 주파수를 512Hz(512 samples/sec)로 설정하고, 분할시간간격(W)은 0.25sec(=128samples)를 적용한다.

피실험자의 근육별 최대수의적근력(MVC_m)은 Eq. (2)에 의해 유도된다. 각 근육별로 3회 반복 측정한 근전도 원신호의 평균제곱(RMS)값 중 각 최대값들의 평균을 최종 MVC로 채택한다.

$$MVC_m = \frac{1}{3} \sum_{r=1}^3 \text{Max}(\text{RMS}_r(t)) \quad (2)$$

RMS_r(t) : r번째 반복시 t시점의 평균제곱값

측정된 근전도신호로부터 개인별 그리고 근육별로 상호비교가 가능하도록 Eq. (3)에 의해 정규화(normalization) 과정이 필요하다.(Soderberg, 1992) 이 단계에서 정규화된 데이터를 최대수의적근수축비(%MVC_m)라고 한다.

$$\%MVC_m(t) = \frac{\text{RMS}(t)}{MVC_m} \quad (3)$$

MVC_m : m 근육의 최대수의적근력

RMS(t) : t 시간에 측정된 근전도 제곱평균값

다수의 피실험자를 대상으로 자재위치에 따라 근활성량의 유의한 차이를 검증하기 위해서 본 연구에서는 최대수의적근력비(%MVC)를 2 단계를 거쳐 일반화하였다. 먼저, Eq. (4)를 이용하여 개별 피실험자 수준에서 5장의 블록을 설치하는 작업(즉, P1-P5, 15초)을 동시에 고려한 최대수의적근력비(%MVC)의 평균($\overline{\%MVC}$)을 산출한다.

$$\overline{\%MVC_m} = \frac{1}{f \times T} \sum_t^{t+T} \%MVC_m(t) \quad (4)$$

f: 샘플링주파수

T: 블록 5장 설치시간 (sec)

다음으로, Eq. (5)를 이용하여 개별 피실험자의 최대수의적근력비 평균($\overline{\%MVC}$)을 전체 피실험자를 대상으로 평균($\mu_{\%MVC_m}$)을 구한다.

$$\mu_{\%MVC_m} = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N \overline{\%MVC_m}(s) \quad (5)$$

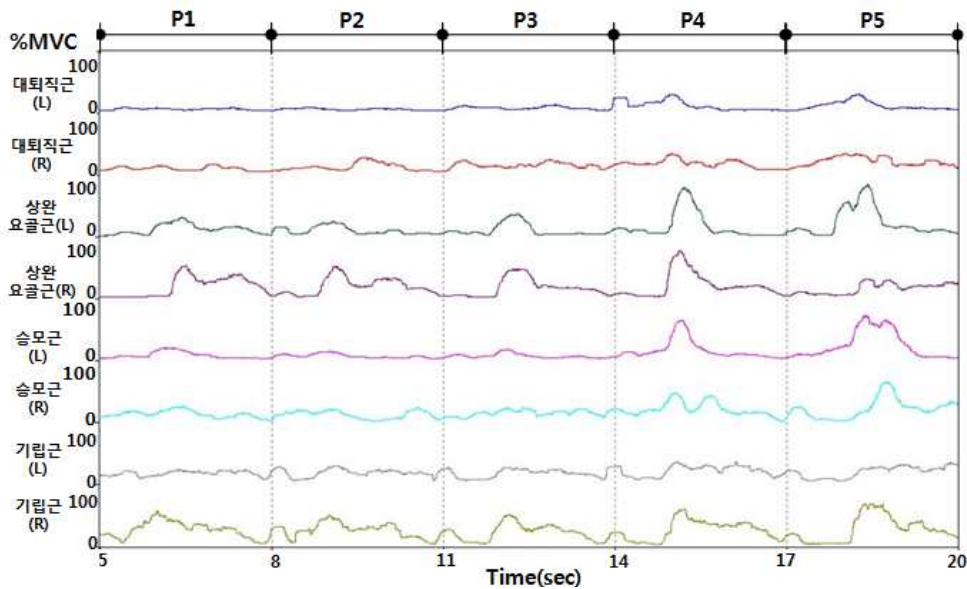
s: 특정 피실험자

N: 전체 피실험자 수

● 실험결과 자료분석

실험계획대로 작업을 수행하고, 측정된 근전도 원신호(raw EMG)를 3장에 제시된 절차에 따라 후처리를 하였다. 이 장에서는 먼저, 피실험자 1인을 중심¹¹⁾으로 자재를 두는 위치(M1, M2, M3)에 따라 개별 블록(P1-P5)을 설치할 때, 근육별 근전도(%MVC 데이터임) 변화패턴을 분석한다. 다음으로 전체 피실험자들을 대상으로 자재위치에 따라 근육별 근활성량($\mu_{\%MVC_m}$)의 변화 특성을 분석한다.

[그림 2-19]는 블록을 좌측에 둔 상태(M1)에서 첫 번째 피실험자(S1)로부터 측정된 근전도 그래프이다. 이 그래프는 3초 간격으로 수직선이 반복되는 데, 이 시간은 피실험자가 한 장의 블록을 ‘들기-운반-설치’하는 작업 사이클의 한 주기이며, 각 근육부에 부착된 8개의 전극채널로부터 정규화된 %MVC를 나타낸다. Fig. 2에 따르면, 상완요골근과 승모근에서 뚜렷한 근활성량 변화가 있고, 후반으로 갈수록 진폭변화가 커지는 경향이 있다. 즉, 좌측에 자재를 두는 경우(M1), 운반거리가 멀어질수록(P3: 50cm¹²⁾, P4:80cm, P5:100cm) 근활성량의 최대값이 대체로 증가하는([표 2-11] 참조; 상완요골근(L)-P3:36%MVC, P4:78%MVC, P5:84%MVC, 상완요골근(R)-P3:48%MVC, P4:77%MVC, P5:31%MVC) 경향이 나타난다.



[그림 2-19] 자측 자재위치(M1)에서 피실험자(S1) %MVC

이러한 결과는 자재가 좌측(M1)에 있어 운반거리가 증가하고(P1:20cm, P2:40cm, P3:60cm, P4:80cm, P5:100cm; std: 31.6cm), 작업 시 양팔이 좌우로 크게 움직이는 벌림(adduction¹³⁾)과 모음(abduction¹⁴⁾)동작이 중심이 됨에 따라 한 쪽 팔에 작업의존도를 높이고(좌측 상완요골근 평균: 14.2%MVC, 우측 상완요골근 평균:18.5%MVC) 이는 해당 팔에 국소피로를 가증하는 원인이 된다고 판단된다. 따라서 작업자가 쪼그려 앉은 상태에서는 팔을

11) 실험참여자들은 비숙련공 동일집단이고, 블록끼리 작업은 ‘들기-운반-설치’ 동작들을 동일하게 취하기 때문에 개인별 근활성 패턴에 유의한 차이가 없다고 가정하고 피실험자 1인을 무작위로 선정했음을 밝힌다. 따라서 4.1절의 분석 결과는 블록설치공사에 일반화하여 적용하는 데는 무리가 있음을 밝힌다.

12) 초기자재위치에서 설치위치까지 운반 거리를 뜻함.

13) 팔이 몸의 중심선에서 멀어지는 이동 동작을 말함.

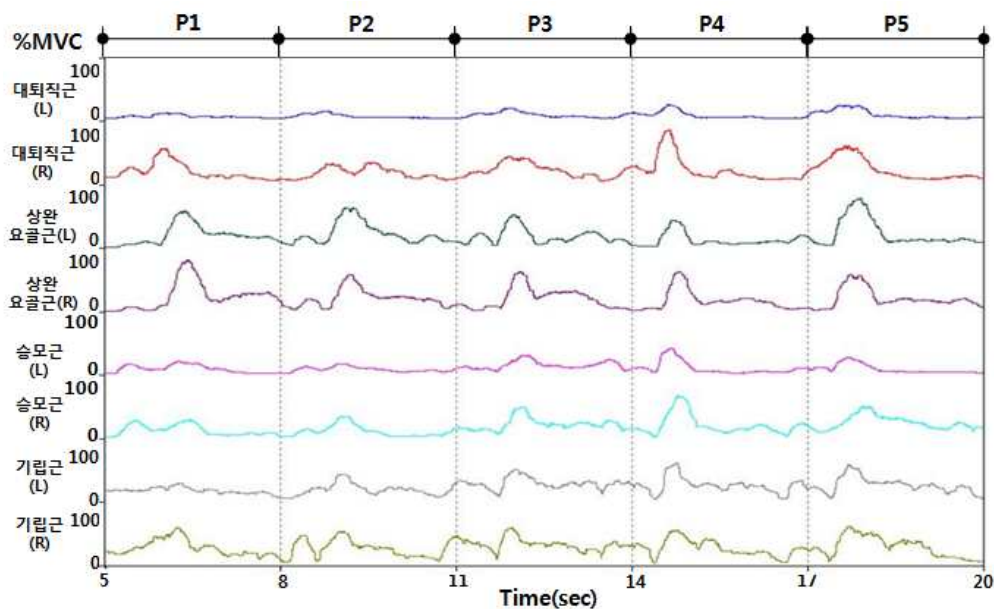
14) 팔이 몸의 중심선으로 향하는 이동 동작을 말함.

벌림과 모음동작으로 작업을 하는 경우, 팔을 자연스럽게 뻗을 수 있는 거리 내에 자재를 두는 것이 바람직하고, 중량물을 운반하는 거리를 짧게 할 필요성이 설명된다. 한편, 자재 운반 거리가 짧은 경우(P1, P2), 팔 부위가 주된 근육으로 작용되지만, 운반거리가 멀어질수록 어깨근육(승모근(R)-P4:65%MVC, P5:72%MVC)의 활성도가 증가하는 특징이 나타난다. 한편, 우측 척추기립근(R)은 초반 작업부터 활성도가 높고 후반으로 갈수록 부담이 커지는 것으로 분석되어 양쪽 척추기립근의 균형을 유도하는 방향으로 작업개선이 요구된다.

[표 2-11] 피실험자(S1)의 좌측 자재위치(M1)에서 설치위치별 %MVC

Muscle	P1		P2		P3		P4		P5	
	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg
1	9	6	9	6	24	8	30	12	30	11
2	17	10	28	12	24	15	34	18	35	22
3	31	12	24	10	36	10	78	17	84	22
4	53	19	52	19	48	17	77	21	31	16
5	20	8	14	7	18	7	65	16	72	25
6	25	13	24	12	23	15	47	21	64	22
7	23	17	29	18	28	17	36	21	34	20
8	58	28	51	27	52	23	61	27	70	28

[그림 2-20]은 블록을 중간에 둔 작업조건(M2)에서 세 번째 피실험자(S3)로부터 측정된 근전도 그래프이다. 자재위치가 좌측(M1)일 때, 우측 상완요골근(R)에 의존도가 높게 나타난 결과와 달리, 중간(M2)일 때는 좌/우측 상완요골근(L/R)이 거의 같이 거동한다. 그 원인은 자재의 위치가 좌측에서 중간으로 변경됨에 따라 주요 동작이 벌림(adduction)과 모음(abduction)에서 굽힘(flexion¹⁵)과 펴(extension¹⁶)으로 변화에 기인하는 것으로 판단된다.



[그림 2-20] 중간 자재위치(M2)에서 피실험자(S3)의 %MVC

15) 팔을 굽히는 동작과 같이 관절 각도가 감소하는 동작을 말함.

16) 팔을 펴는 동작과 같이 관절 각도가 증가하는 동작을 말함.

또한, 좌/우측 상완요골근(L/R)의 근활성도 크기가 초반([표 2-12] 참조; 좌측 상완요골근(L)-P1:58%MVC, P2:63%MVC; 우측 상완요골근(R)-P1:81%MVC, P2:58%MVC)에서 후반(좌측 상완요골근(L)-P4:43%MVC, P5:78%MVC; 우측 상완요골근(R)-P4:63%MVC, P5:58%MVC)까지 큰 변화 없이 유지되는 특징이 발견된다. 그 원인은 자재의 운반거리가 좌측에 있을 때보다 단축되고(P1:50cm, P2:30cm, P3:20cm, P4:30cm, P5:50cm), 블록 간 운반거리의 표준편차(std: 13.4cm)가 감소한 데 있다고 판단된다. 이처럼 자재의 위치는 특정 근육에 작업부하가 집중되거나 과도하게 사용되는 것을 억제하고 신체의 좌우 대칭근육을 고르게 사용하도록 유도하는 데 영향을 미치는 것으로 해석된다.

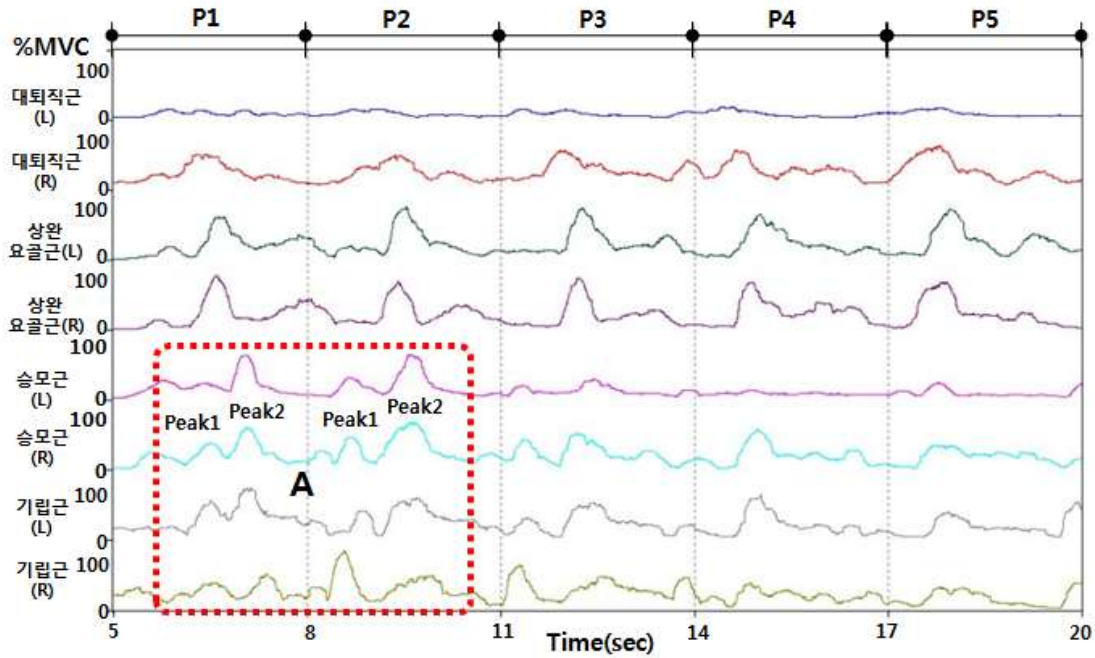
[표 2-12] 피실험자(S1)의 중간 자재위치(M2)에서 설치위치별 %MVC

Muscle	P1		P2		P3		P4		P5	
	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg
1	13	7	14	7	20	9	25	8	25	10
2	57	21	36	18	45	22	86	23	62	24
3	58	19	63	22	52	18	43	12	78	22
4	81	24	58	21	63	21	63	17	58	21
5	21	9	17	8	31	15	42	10	28	9
6	30	13	34	11	49	22	67	21	51	25
7	29	17	43	19	51	29	61	25	59	26
8	60	28	53	27	59	33	56	27	62	29

한편, 초반부터 팔근육의 피로도가 누적된 결과로 중후반부 설치작업(P3, P4, P5)에서 어깨와 허리근육의 활성도가 동반 상승되고 있다. [그림 2-20]을 보면, 인체는 초기에 특정 근육이 중심이 되어 일을 하지만, 그 근육의 피로가 누적되면 부담하던 작업하중을 자연스럽게 다른 근육으로 분산시키는 것으로 해석된다. 따라서 작업자의 근골격계질환을 예방하기 위해서 작업부하가 특정 근육에 장시간 집중하지 않도록 작업환경을 개선하는 것이 바람직하다. 그러한 맥락에서 자재를 두는 위치는 특정 근육의 근활성량 변화패턴을 일정한 진폭(amplitude)과 발생주기(frequency)를 가지도록 유도하는 중요한 요인이 될 수 있음을 시사한다.

[그림 2-21]은 블록을 우측에 둔 작업조건(M3)에서 세 번째 피실험자(S5)로부터 측정된 근전도 그래프이다. 블록설치 방향은 자재위치와 상관없이 좌측에서 우측으로 동일하다.

따라서 자재위치가 좌측인 경우(M3) 초반부터 운반거리가 멀기 때문에(P1:100cm, P2:80cm) 대부분 근육에서 근활성도가 크게 나타났다([표 2-13] 참조; 승모근(L)-P1:63%MVC, P2:64%MVC; 기립근(L)-P1:73%MVC, P2:60%MVC). 특히, [그림 2-21]에서 A 영역을 보면, 초기 블록설치 작업(P1, P2)에서 승모근과 기립근에 최대 근활성점(Peak)이 2개로 분할되고 증가되는 경향이 나타난다. 이러한 신호는 자재위치가 작업자의 몸에 익숙하지 않음을 암시한다. 따라서 이 피실험자(S5)에게 있어 자재를 우측(M3)에 배치하는 것은 특정 근육에 근활성도를 급격히 증감시켜 근골격계에 악영향을 줄 수 있기 때문에 자재위치를 변경할 필요가 있음을 시사한다.



[그림 2-21] 우측 자재위치(M3)에서 피실험자(S5)의 %MVC

[표 2-13] 피실험자(S5)의 중간 자재위치(M3)에서 설치위치별 %MVC

Muscle	P1		P2		P3		P4		P5	
	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg
1	15	9	15	8	16	8	19	8	17	9
2	51	23	49	23	57	28	57	27	63	28
3	61	20	76	23	74	24	64	22	72	25
4	78	21	69	25	74	20	68	25	68	22
5	63	19	64	19	29	13	13	8	24	9
6	60	21	68	28	52	23	57	20	35	18
7	73	30	60	28	52	23	64	20	53	18
8	52	27	84	32	65	32	38	21	40	17

블록설치 작업에서 나타난 근육별 근활성 패턴의 생리역학적인 측면을 종합해 볼 때, 근골격계질환을 예방하는 데 효과적인 자재의 위치는 중간(M2)으로 판단된다.

다음으로 자재위치 변화에 따라 각 근육의 활성화도에 미치는 영향을 전 피실험자들을 대상으로 일반화하기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정한다. 영가설이 유의하지 않은 경우, 사후분석(Post Hoc)을 실시하였고, 등분산 조건을 만족하는 경우 Duncan을, 만족하지 않는 경우 Tamhane-T2 검정을 적용하였다. 수집된 자료는 상용통계프로그램인 SPSS ver 12.0을 이용하여 분석하였다.

[표 2-14]는 9명의 피험자들을 대상으로 5번의 블록설치 작업을 완료하는 동안 측정된 개별 피험자의 최대수의적근력비 평균($\overline{\%MVC}$)을 전체 피실험자에 대한 평균($\mu_{\overline{\%MVC_m}}$)으로

변환한 자료이다. 자재위치에 따라 개별 근육의 근활성량 차이에 대한 검증결과는 다음과 같다.

[표 2-14] 자재위치에 따른 근활성도 검정 결과

Muscles	Left (M1)	Middle (M2)	Right (M3)	F	p-value	Post Hoc
Rectus femoris(L)	8.6±2.56a	8.1±1.24	8.5±0.10	.164	.849	$\mu_{M1}=\mu_{M2}=\mu_{M3}$
Rectus femoris(R)	15.3±3.50	21.5±2.21	25.7±2.16	34.734	.000*	$\mu_{M1}\neq\mu_{M2}\neq\mu_{M3}$
Brachioradialis(L)	13.4±4.34	18.2±3.96	22.8±1.47	16.131	.000*	$\mu_{M1}\neq\mu_{M2}\neq\mu_{M3}$
Brachioradialis(R)	18.8±1.96	20.3±2.14	22.8±2.21	8.371	.002*	$\mu_{M1}=\mu_{M2}\neq\mu_{M3}$
Upper trapezius(L)	11.5±6.26	10.5±2.65	13.6±4.54	1.000	.383	$\mu_{M1}=\mu_{M2}=\mu_{M3}$
Upper trapezius(R)	16.1±3.92	18.5±5.17	22.7±3.61	5.382	.012*	$\mu_{M1}=\mu_{M2}\neq\mu_{M3}$
Elector spinae(L)	18.7±1.68	23.6±4.39	23.9±4.32	5.572	.010*	$\mu_{M1}\neq\mu_{M2}=\mu_{M3}$
Elector spinae(R)	26.2±1.77	28.9±2.67	26.6±6.02	1.237	.308	$\mu_{M1}=\mu_{M2}=\mu_{M3}$

a: $\mu_{\%MVC_m} \pm std$, * : $p<0.05$

좌/우측 대퇴직근(L/R)을 살펴보면, 상반된 결과가 나타났다. 좌측 대퇴직근(L)의 경우 자재위치 변화에 유의한 차이가 없고($p = .849$), 우측 대퇴직근(R)은 유의한 차이가 있다($p = .000$). 우측 대퇴직근(R)은 사후검증 결과 좌측(M1)에 자재를 둘 때 근활성량이 최저로 나타났다. 즉, 오른손잡이인 작업자에게는 왼쪽에 자재를 두는 것이 우측 대퇴직근(R)에 부담을 줄일 수 있는 작업환경이라고 판단된다.

좌/우측 상완요골근(L/R)의 근활성량은 자재위치에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(좌측 상완요골근(L): $p = .000$, 우측 상완요골근(R): $p = .002$). 또한, 우측 상완요골근(R)이 좌측 상완요골근(L)에 비해 높은 근활성량을 보임에 따라 작업 과정에서 우측 팔근육에 의존도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 사후검정 결과, 좌측 상완요골근(L)의 근활성량은 피실험자의 좌측(M1)에 자재를 둘 때 가장 낮고, 우측이 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 우측 상완요골근(R)은 좌측(M1)과 중간(M2) 자재위치에 유의한 차이가 없는 것으로 검증되었다. 즉, 작업자의 좌측에 자재를 두는 것(M1)이 작업자의 좌/우 상완요골근(L/R)의 부담을 경감하는 데 도움이 되는 작업환경이라 판단된다.

좌/우측 승모근(L/R)에서도 상반된 결과가 나타났다. 좌측 승모근(L)의 근활성량은 자재위치 변화에 따라 유의미한 차이가 없는 것으로 분석된다($p = .383$). 반면, 우측 승모근(R)은 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었고($p = .012$), 사후분석 결과, 좌측(M1)과 중간(M2)의 자재위치가 같은 집단으로, 우측(M3)과는 다른 집단으로 분류되었다. 따라서 오른손잡이인 작업자는 우측 승모근에 힘이 편중되기 때문에 우측 승모근(R)의 부담을 경감하기 위해서는 좌측(M1) 혹은 중간(M2)에 자재를 배치하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

좌/우측 척추기립근(L/R)에서도 상이한 결과가 나타났다. 좌측 척추기립근(L)의 근활성

량은 자재위치 변화에 따라 유의한 차이가 있고($p = .010$), 사후분석 결과 자재위치는 중간(M2)과 우측(M3)이 동일집단으로, 좌측(M1)과는 구분되고, 좌측(M1)에서 근활성량이 최저인 것으로 평가된다. 한편, 우측 척추기립근(R)은 유의한 차이가 없는 것으로 검정되었다. 분석결과에 따르면, 오른손잡이는 오른 손에 힘을 줄 때 좌측 척추기립근(L)을 통해 몸의 균형을 맞추는 것으로 추정된다. 따라서 오른손잡이인 작업자에게 편중되기 쉬운 좌측 척추기립근(L)의 작업부담을 경감시키기 위해서 자재를 좌측(M1)에 배치하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

● 결론

본 연구는 쪼그려 앉은 상태로 중량물을 반복적으로 취급하는 보도블록 설치공사를 대상으로 작업자의 근골격계 부담을 경감하는 자재위치에 대해 연구하였다. 먼저, 특정 피실험자를 중심으로 자재위치(M1, M2, M3)별 블록설치위치별(P1-P5) 그리고 근육별 근전도 변화 패턴을 분석한 결과는 다음과 같다.

좌측에 자재를 두는 경우(M1), 작업 시 양팔이 좌우로 벌림(adduction)과 모음(abduction) 동작이 반복되고, 우측 팔 근육에 의존도가 높게 나타났다(좌측 상완요골근 평균: 14.2%MVC, 우측 상완요골근 평균: 18.5%MVC). 중간(M2)에 자재를 두는 경우, 팔의 동작이 굽힘(flexion)과 펴짐(extension)이 유도되어 양 팔의 근활성량이 균형있게 유지되었다. 우측(M3)에 자재를 두는 경우, 작업 초반에 승모근과 기립근에 최대 근활성점(Peak)이 분할되고 증가하는 패턴이 나타나 작업자의 근골격계에 부담이 가중되는 위치로 판단된다. 개별 블록을 설치하는 과정에서 나타난 근육별 근활성 패턴과 생체역학적인 동작 특성을 종합해 볼 때, 근골격계질환을 예방하는 데 효과적인 자재위치는 신체의 양쪽에 균형을 유도하고 진폭 변화가 크지 않은 중간(M1)으로 판단된다.

한편, 자재위치별 근육별 근활성량 차이를 검정한 결과는 다음과 같다. 우측 대퇴직근(R), 좌/우 상완요골근(L/R)의 부담을 경감할 수 있는 자재위치는 좌측(M1)이 적합한 것으로 판단된다. 승모근의 경우, 자재의 위치와 상관없이 좌측보다 우측 승모근에 작업부담이 편중되고 있어 우측 승모근의 부담을 경감할 수 있도록 자재를 좌측(M1) 혹은 중간(M2)에 배치하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 척추기립근의 경우, 오른손잡이에게 공통적으로 나타나는 좌측 척추기립근(L)에 부하편중현상을 경감시키기 위해서 좌측(M1)에 자재를 배치하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점 및 추후연구 방향을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 오른손잡이 석공을 대상으로 하고 있어 왼손잡이를 대상으로 한 연구와 비교연구가 필요하다. 둘째, 실험참가자들이 비숙련공이라는 동일집단으로 간주되어 개인별 근활성 패턴에 유의한 차이가 없다는 가정 하에 근활성 분석이 하였다. 향후 숙련공과 비숙련공의 근활성량의 차이에 대한 연구가 필요하다. 셋째, 본 연구는 피실험자가 쪼그려 앉는 위치가 작업판 중심으로 고정되어 있어 좌/우/상/하로 조정될 때 근활성량 차이에 대한 연구가 필요하다.

2) 증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법 (성과유형: 특허출원)

● 발명의 명칭

증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법 (System and method for facilitate construction using an augmented reality)

● 기술분야

본 발명은 증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 건설현장의 실내 마감공사에서 작업대상 벽면에 각 공정별로 완료된 시공도면정보가 원척도로 투사되도록 하는 증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법에 관한 것이다.

● 발명의 배경이 되는 기술

일반적으로 건설공사의 실내 마감공사에서는 자재를 해당 작업대상 벽면에 시공하기 전에 실측작업이 반드시 선행되어야 한다. 그러나 이러한 실측과정은 작업자가 두꺼운 시공도면을 들고 다니면서 작업대상 벽면에 해당되는 도면을 일일이 찾아 치수를 읽어야 하며, 치수가 빠진 부분은 현장에서 재계산하고, 줄자와 레벨기 등을 사용하여 시공면을 반복적으로 실측하고 기준선을 긋는 등 번거로운 작업들이 수반된다.

특히, 건설 시공현장에서는 시공전문업체가 공정별로 투입됨에도 불구하고 도면은 숙련된 작업자 이외에는 파악할 수 없어 보조 작업자는 숙련자의 지시에 따라 작업할 수 밖에 없다. 이에 따라 설계도와 달리 유사한 자재를 착오하여 규격에 맞지 않은 자재를 시공하여, 추후 재시공이 빈번하게 발생하는 문제점을 가진다.

아울러, 재시공이 필요한 부분임에도 불구하고, 후속공정에 투입되는 작업자가 사전에 불량을 확인하지 못하고 후속공정을 진행해버림으로 인해 후속공정까지 다시 재시공해야 되어, 막대한 손실이 발생된다.

따라서, 이러한 종래 건축물 시공 방법의 불합리한 점을 극복하고 각 작업자에 맞는 시공도면 이미지가 원척도로 작업대상 벽면에 투사되도록 하여 작업자가 일일이 도면을 숙지하지 않고서도 시공이 가능한 증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법에 대한 요구가 높아지고 있는 실정이다.

● 해결하고자 하는 과제

본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 각 작업자에 맞는 시공도면 이미지가 원척도로 작업대상 벽면에 투사되도록 하여, 작업자가 별도의 도면 숙지없이도 작업대상 벽면에 즉시 시공이 가능하도록 하는데 있다.

● 과제 해결 수단

상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일측면에 따르면, 사용자 단말과, 상기 사용자 단말의 사용자 정보가 저장되는 사용자정보 데이터베이스와, 공사일정정보, 작업진행 현황정보 및 시공전문업체정보가 저장되는 공사일정관리 데이터베이스와, 각 공간 및 공종별 3차원 모델링 시공도면정보가 저장되는 시공도면정보관리 데이터베이스와, 상기 사용자 정보 데이터베이스를 통해 사용자 단말의 사용자 정보를 확인하고, 상기 공사일정관리 데이터베이스를 통해 각 사용자 정보에 맞는 작업정보와 상기 시공도면정보관리 데이터베이스를 통해 작업정보에 따른 시공도면정보를 생성하여 상기 사용자 단말로 제공하는 시공관리서버와, 상기 사용자 단말로 제공되는 시공도면정보를 작업대상 벽면에 원척도로 투사시키는 증강현실 이미지처리수단을 포함하여 제공된다.

여기서 상기 시공관리서버는 상기 사용자정보 데이터베이스를 통해 사용자 단말의 사용자 정보를 확인하고, 상기 공사일정관리 데이터베이스를 통해 상기 확인된 사용자 정보와 대응되는 작업이력정보를 생성하는 작업이력 생성부와, 상기 작업이력 생성부에서 생성된 작업이력정보중 금일 예정공사정보를 생성하여 상기 사용자 단말로 제공하는 작업정보 제공부를 포함하여 제공된다.

● 발명의 효과

상기와 같은 본 발명에 따르면, 각 작업자에 맞는 시공이 완료된 상태의 시공도면 이미지를 작업대상 벽면에 원척도로 투사시켜 작업자가 투영된 시공도면에 맞춰 그대로 동일한 자재로 설치하도록 유도함에 의해 작업속도를 향상시킬 수 있으며, 작업대상 벽면에 투영된 시공도면에 퍼즐을 맞추듯이 시공가능하여, 숙련공이 아니어도 충분히 작업이 가능하며, 상기 완료된 상태를 육안으로 확인할 수 있어 작업불량률을 낮추고 시공성을 높일 수 있는 효과가 있다.

또한, 특정 공정을 수행하는 작업자에게 시공도면정보가 금일 공정뿐만 아니라 선행공정 및 후속공정 시공도면정보도 함께 확인할 수 있도록 하여, 선행공정의 불량을 확인할 수 있으며, 후속공정에서의 특이점을 찾아 사전에 미리 대처할 수 있도록 하여 작업효율을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

또한, 시공기준마크를 기준으로 작업대상 벽면에 투영된 시공도면이 외곽으로 가면서 약간의 치수오차가 발생되더라도, 시공기준마크를 선행공정 및 후속공정의 시공도면정보를 기초로 자재가 변경되는 부분이나 특정 구조체가 형성되는 벽면에 시공기준마크를 형성시켜, 시공 정밀도를 높일 수 있는 효과가 있다.

● 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 시스템의 주요구성을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 시스템의 시공관리서버의 주요구성을 나타낸 블록도이다.

도 3은 본 발명에 따른 시공기준마크의 일예를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 순서를 나타낸 순서도이다.

도 5는 공사일정관리 데이터베이스를 통해 사용자 단말에 출력되는 작업진행현황정보의 일례를 나타낸 도면이다.

도 6은 사용자 단말로 출력되는 금일 예정공사정보의 일례를 나타낸 도면이다.

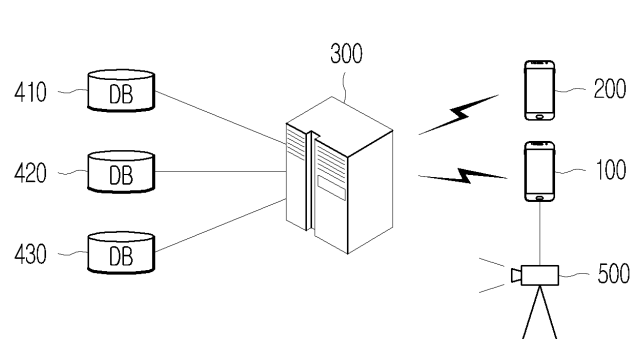
도 7은 사용자 단말로 제공되는 시공도면정보 및 자재정보를 나타낸 도면이다.

도 8은 시공도면 생성부에서 사용자 단말로 제공되는 시공도면정보를 나타낸 도면이다.

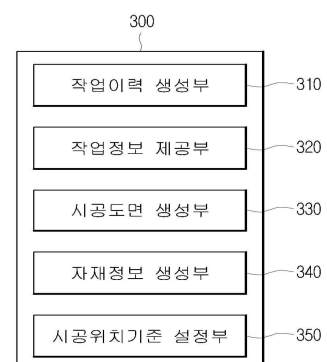
도 9 및 도 10은 시공도면에 형성되는 시공기준마크의 다양한 예를 나타낸 도면이다.

도 11은 시공도면에 형성되는 시공기준마크를 작업대상 벽면에 형성된 식별마크와 일치시켜 원척도로 투영시키는 상태를 나타낸 도면이다.

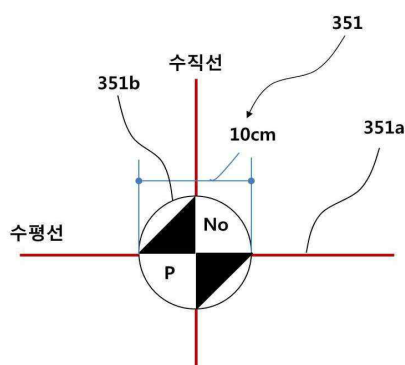
도 12는 금일 작업현황을 시공관리서버로 전송하기 위해 사용자 단말에 출력되는 팝업창을 나타낸 도면이다.



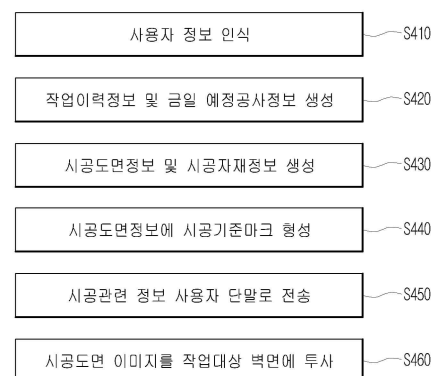
【도 1】 증강현실 기반 건축물 시공 시스템의 주요구성



【도 2】 시공관리서버 주요구성



【도 3】 시공기준마크의 일예



【도 4】 증강현실 기반 건축물 시공 순서도

[그림 2-22] 특허 설계도 1

시공업체	OO타일 (대표: 최OO)			Worker ID: 3903012
검색기간	시작	2016-03-01	Click	
	종료	2016-03-10		
작업일자	동	호	진행상태	작업알림
2015-03-02	101	101-501	100%	Click
2015-03-03	101	601-1001	100%	Click
2015-03-04	101	102-502	100%	Click
2015-03-05	101	602-1002	100%	Click
2015-03-07	102	101-501	0%	Click
2015-03-08	102	601-1001	0%	
2015-03-09	102	102-502	0%	
2015-03-10	102	602-1002	0%	
작업달력 보기				

【도 5】 작업진행현황정보의 일례

작업알림		
시공업체	OO타일 (대표: 최OO)	
공사일	2015-03-07	
호실	공사장예요인	공사승인
101	없음	O
201	방수 보수 공사예정	X
301	없음	O
401	없음	O
501	없음	O

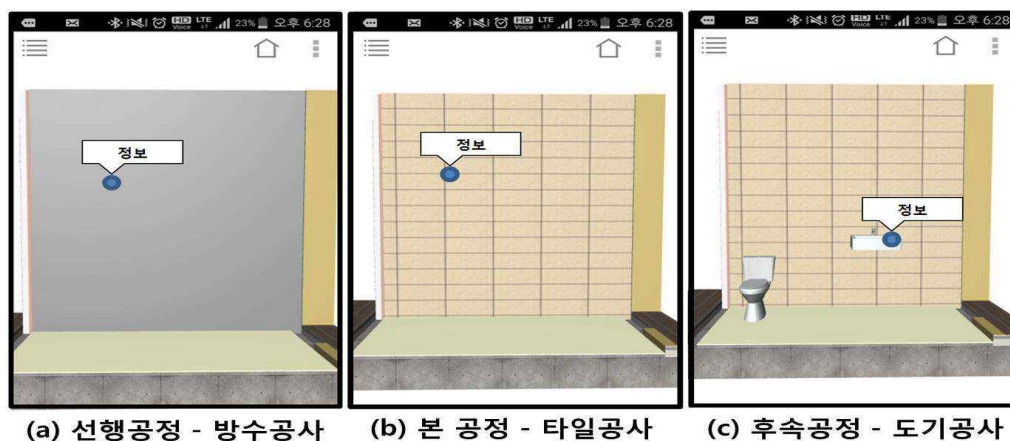
【도 6】 금일 예정공사정보의 일례



(a) 시공도면

(b) 자재정보

【도 7】 시공도면정보 및 자재정보



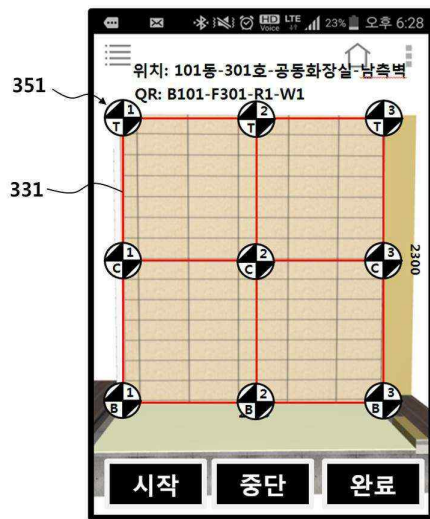
(a) 선행공정 - 방수공사

(b) 본 공정 - 타일공사

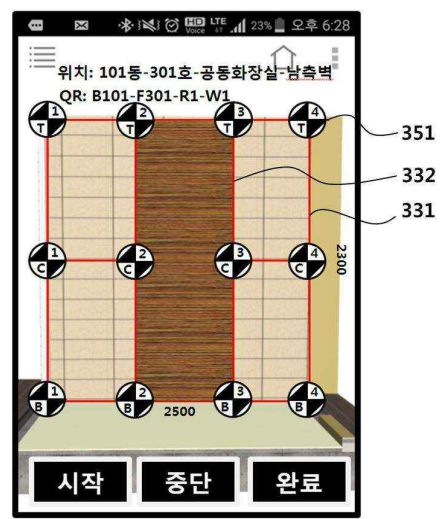
(c) 후속공정 - 도기공사

【도 8】 시공도면정보

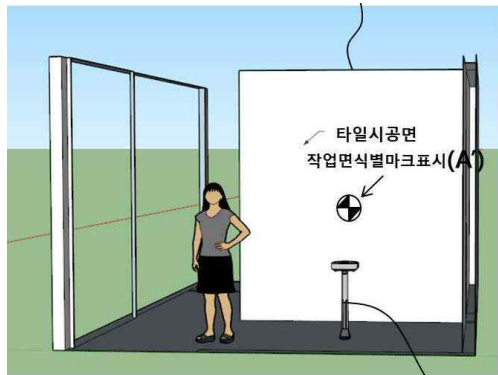
[그림 2-23] 특허 설계도 2



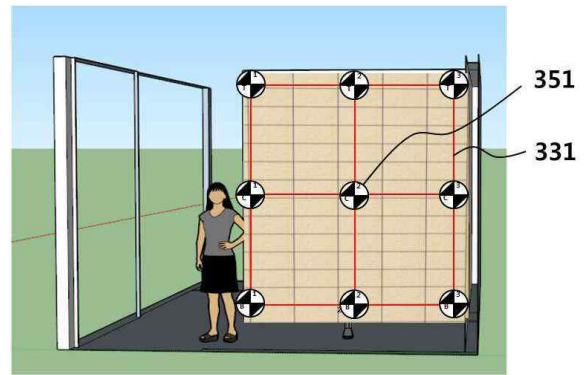
【도 9】 시공기준마크 예 1



【도 10】 시공기준마크 예 2



(a) 시공면에 식별마크 표시



(b) 원칙도로 투시

【도 11】 시공기준마크의 원칙도 투영 예시

작업 진행상황 갱신								
시공업체	OO타일 (대표: 최OO)							
공사일	2015-03-07							
호실	작업부위	진행상태	시작시간	중지	재계	종료시간	진행상태	중지이유
301	화장실	동쪽벽	09:20	-	-	09:35	100%	-
		남쪽벽	09:45	09:52	10:06	10:23	100%	장비고장
		서쪽벽	10:35	-	-	10:47	100%	
		북쪽벽	11:05	-	-	11:37	100%	

【도 12】 작업현황 시공관리서버 전송 예시

[그림 2-24] 특허 설계도 3

● 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 일 실시예를 상세하게 설명하기로 한다.

도 1은 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 시스템의 주요구성을 나타낸 도면이다. 도면을 참조하면, 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 시스템은 사용자 단말(100), 관리자 단말(200), 사용자정보 데이터베이스(410), 공사일정관리 데이터베이스(420), 시공도면정보관리 데이터베이스(430), 시공관리서버(300) 및 증강현실 이미지처리수단(500)을 포함하여 구성된다.

사용자 단말(100)은 시공전문업체의 작업자가 보유하고 있는 단말로, 시공관리서버(300)를 통해 공사승인 정보를 수신하고 이에 따른 시공관련 정보를 전송받으며, 작업자에 의해 완료된 시공관련 정보를 시공관리서버(300)로 전송하도록 한다. 관리자 단말(200)은 건설현장의 관리감독자가 보유하고 있는 단말로, 시공관리서버(300)를 통해 각 시공전문업체별 작업진행현황 정보를 수신하고, 시공관련 예정일정정보를 변경하거나 시공도면 관련 정보를 시공관리서버(300)로 전송하도록 한다. 사용자정보 데이터베이스(410)는 사용자 단말(100) 및 관리자 단말(200)의 고유 ID 정보가 저장되는 것으로, 시공전문업체 및 시공전문업체에 속한 작업자들의 ID 정보와 시공관리업체 및 각 관리자의 ID 정보가 저장된다. 이러한 ID 정보에 따라 시공관리서버(300)를 통해 각 데이터베이스에 접근할 수 있는 접근권한 수준이 결정되도록 한다.

공사일정관리 데이터베이스(420)에는 시공관리서버(300)를 통해 사용자 단말(100)로부터 수신되는 작업진행현황정보가 저장되며, 관리자 단말(200)로부터 수신되는 공사일정정보 및 시공전문업체정보가 저장된다. 시공도면정보관리 데이터베이스(430)에는 시공관리서버(300)를 통해 관리자 단말(200)로부터 전송되는 시공작업 현장의 각 공간 및 공종별 3차원 모델링된 시공도면정보가 저장된다. 이러한 시공도면정보는 특정 작업대상 벽면과 대응되는 형상으로 좌우양측 벽면과 천정 및 바닥벽면으로 이루어지는 외곽 벽면선(331) 또는 특정 공정별로 주요한 부분에 임의의 가상선(332)이 형성되며, 시공도면정보에는 특정 공정별로 작업이 완료된 상태의 이미지정보가 포함된다. 예를 들어 벽면 타일작업 공정의 시공도면에서는 벽면에 특정제품의 타일이 기설정된 배치에 의해 벽면에 부착완료된 상태의 이미지정보가 포함되며, 도기설치 공정의 시공도면에서는 벽면에 도기가 설치된 상태의 이미지정보가 포함된다. 시공관리서버(300)는 사용자 정보 데이터베이스를 통해 시공관리서버(300)로 접속하는 사용자 단말(100)의 사용자 고유 ID 정보를 확인하고, 공사일정관리 데이터베이스(420)를 통해 각 사용자 고유 ID 정보에 맞는 작업정보를 생성하고, 시공도면정보관리 데이터베이스(430)를 통해 작업정보에 따른 시공도면정보를 생성하여 사용자 단말(100)로 제공하도록 한다.

증강현실 이미지처리수단(500)은 사용자 단말(100)로 제공되는 시공도면정보를 작업대

상 벽면에 원척도 즉, 1:1 축척으로 투사시켜, 작업자가 투사된 시공도면정보를 통해 별도의 선행작업 없이 시공이 바로 이루어지도록 한다. 이러한 증강현실 이미지처리수단(500)은 사용자 단말(100)로 전송된 이미지 형태의 시공도면정보를 빔프로젝트로 작업대상 벽면에 투사시키도록 한다.

이와 같이 증강현실 이미지처리수단(500)을 통해 작업자는 축척이 표시된 종이도면을 일일이 확인하거나 시공대상 작업면에 기준선을 긋는 등의 번거로운 작업과정이 필요 없으며, 투영된 시공도면 이미지대로 동일한 재료를 설치하도록 유도함으로써 작업속도를 높이고, 재작업율을 낮추게 된다.

도 2는 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 시스템의 시공관리서버의 주요구성을 나타낸 블록도이다. 도면을 참조하면, 본 발명에 따른 시공관리서버(300)는 작업이력 생성부(310), 작업정보 제공부(320), 시공도면 생성부(330), 자재정보 생성부(340) 및 시공위치기준설정부(350)를 포함하여 제공된다. 작업이력 생성부(310)는 공사일정관리 데이터베이스(420)를 통해 사용자 정보와 대응되는 작업이력정보를 생성하도록 한다. 이와 같이 생성되는 작업이력정보에는 시공전문업체의 작업 날짜별, 작업공간별 작업진행상태정보를 포함하게 된다. 작업정보 제공부(320)는 작업이력 생성부(310)에서 생성된 작업이력정보 중 금일 예정공사정보를 추출하여 사용자 단말(100)로 제공하게 된다. 이와 같이 작업정보 제공부(320)를 통해 제공되는 예정 공사정보에는 금일 시공이 필요한 각 작업대상 공간정보와 공사진행에 관련된 장애사항 정보 등의 특이사항이 포함되어 작업자가 예정 공사정보를 통해 금일 이동해야 할 작업동선을 미리 설정할 수 있으며, 자재운반 동선을 정확하게 설계할 수 있게 된다.

시공도면 생성부(330)는 작업정보 제공부(320)에서 제공되는 금일 예정공사정보에 기초하여 시공도면정보관리 데이터베이스(430)를 통해 시공도면정보를 추출하게 된다. 이와 같이 추출되는 시공도면정보는 금일 시공도면정보와 선행공정의 시공도면정보 및 후속공정의 시공도면정보를 포함하고 있어, 작업자가 금일 작업간에 선행, 후행 공정의 시공도면정보를 확인하여 특이사항 등을 미리 파악하여 이에 알맞게 대처할 수 있도록 한다. 자재정보 생성부(340)는 시공도면 생성부(330)에서 추출된 시공도면정보에 기초하여 금일 시공자재 정보를 생성하게 되는데, 이러한 시공자재 정보는 금일 시공에 소요되는 자재의 규격 및 자재의 총소요수량정보 등이 포함된다. 시공위치기준설정부(350)는 시공도면 생성부(330)에서 생성된 시공도면정보에 시공기준마크(351)를 형성하도록 한다. 이러한 시공기준마크(351)는 증강현실 이미지처리수단을 통해 시공기준마크(351)가 작업대상 벽면에 형성된 식별마크와 일치시켜 시공도면이 원척도로 작업대상 벽면에 투영되도록 한다.

도 3은 본 발명에 따른 시공기준마크의 일예를 나타낸 도면으로, 도면을 참조하면 본 발명에 따른 시공기준마크(351)는 십자형태로 수직, 수평선이 형성되는 기준선(351a)과, 수직, 수평선이 교차되는 기준선(351a)의 중심으로부터 직경이 10cm인 기준원(351b)으로 형성된다. 이러한 기준원(351b) 내에는 시공위치를 나타내는 특정표식이 표시될 수 있으며, 이는 외곽

벽면선(331) 또는 임의의 가상선(332)에 알아보기 쉽게 수치를 넣어 순서별로 표시되게 설정된다. 이러한 시공기준마크(351)는 외곽 벽면선(331)의 모서리를 연결한 대각선상의 중심에 형성될 수 있으며, 또는 외곽 벽면선(331)상에 복수개의 시공기준마크(351)가 형성될 수도 있다. 아울러, 시공기준마크(351)는 선행공정 및 후속공정 시공도면정보에 기초하여 금일 시공도면정보에서 외곽 벽면선(331) 또는 임의의 가상선(332) 중 어느 하나의 선상에 형성되도록 할 수 있다. 이는 일반적으로 시공기준마크(351)가 작업대상 벽면의 외곽 벽면선(331)상에 형성되도록 하나, 특정 공정단계에서 천정이나 바닥에 구조물이 설치될 경우에는 외곽 벽면선(331)이 변경되어 시공기준마크(351)를 다시 설정하기 위해 구조물이 설치된 높이선상에서 임의의 가상선(332)을 형성하고, 그 가상선(332)상에 시공기준마크(351)를 형성시키도록 한다.

또한, 외곽 벽면선(331)이 변경되지 않더라도, 타일공정 등에서 타일이 취부되는 면적이 벽면전체가 아닌 특정 위치에서만 취부되거나, 둘 이상의 다른 종류의 타일이 취부될 경우 재료가 달라지는 면에 특정 가상선(332)을 형성시키고, 그 가상선(332) 상에 시공기준마크(351)가 형성되도록 한다. 이는 시공도면이 시공기준마크(351)를 기준으로 작업대상 벽면에 투영되어 외곽으로 치수오차가 발생되더라도, 상기와 같이 주요한 시공부위의 가상선(332) 상에 시공기준마크(351)가 형성되도록 하여 치수오차 없이 더욱 정확한 시공이 이루어지도록 한다.

아래에서는 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 방법에 대해 자세히 설명하도록 한다.

도 4는 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 순서를 나타낸 순서도이다. 도면을 참조하면, 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 방법은 사용자 정보 인식단계(S410), 작업이력정보 및 금일 예정공사정보 생성단계(S420), 시공도면정보 및 시공자재정보 생성단계(S430), 시공도면정보에 시공기준마크 형성시키는 단계(S440), 시공관련 정보를 사용자 단말로 전송하는 단계(S450) 및 시공도면정보를 작업대상 벽면에 투사하는 단계(S460)를 포함하여 제공된다.

사용자 정보 인식단계(S410)에서는 사용자 단말(100)의 사용자 정보를 사용자정보 데이터베이스(410)에 구축된 사용자 고유 ID 정보를 통해 작업자가 소속되어 있는 시공전문업체를 파악하게 된다. 그리고 작업이력정보 및 금일 예정공사정보 생성단계(S420)에서는 파악된 시공전문업체에서 수행하고 있는 특정 공정의 작업이력정보 및 해당 작업자의 금일 예정공사정보를 작업이력 생성부(310)에서 공사일정관리 데이터베이스(420)를 통해 생성시키도록 한다. 시공도면정보 및 시공자재정보 생성단계(S430)에서는 시공도면 생성부(330)와 자재정보 생성부(340)에서 시공도면정보관리 데이터베이스(430)를 통해 시공도면정보를 추출하고, 시공도면정보에 기초하여 금일 시공자재정보를 생성하도록 한다. 아울러, 시공도면 생성부(330)에서 추출되는 시공도면정보는 금일 시공도면정보와 선행공정의 시공도면정보 및 후속공정의

시공도면정보를 포함하게 된다. 시공도면정보에 시공기준마크 형성시키는 단계(S440)에서는 시공도면 생성부(330)에서 생성된 시공도면정보에 시공기준마크(351)를 형성시키는 것으로, 이러한 시공기준마크(351)는 선행공정 및 후속공정의 시공도면정보에 기초하여 금일 시공도면정보의 특정 위치에 형성되도록 한다. 시공관련 정보를 사용자 단말로 전송하는 단계(S450)에서는 상기와 같이 시공관리서버(300)에서 생성된 시공관련 정보를 사용자 단말(100)로 전송하게 되며, 사용자 단말(100)에서는 상기의 시공관련 정보가 어플리케이션을 통해 사용자 단말(100)에 출력되도록 한다. 시공도면정보를 작업대상 벽면에 투사하는 단계(S460)에서는 사용자 단말(100)로 전송된 시공도면정보를 작업대상 벽면에 원척도로 투사시키는 단계로서, 이러한 시공도면 투사방법은 아래의 실시예에서 더욱 자세히 설명하도록 한다.

아래에서는 대규모 아파트 단지의 각 세대 화장실에서 방수공사가 실시된 다음, 화장실 벽면의 타일취부작업이 시행되는 공정의 실시예를 통해 본 발명에 따른 증강현실 기반 건축물 시공 방법에 대해 자세히 설명하도록 한다. 도 5는 공사일정관리 데이터베이스를 통해 사용자 단말에 출력되는 작업진행현황정보의 일례를 나타낸 도면이고, 도 6은 사용자 단말로 출력되는 금일 예정공사정보의 일례를 나타낸 도면이고, 도 7은 사용자 단말로 제공되는 시공도면정보 및 자재정보를 나타낸 도면이고, 도 8은 시공도면 생성부에서 사용자 단말로 제공되는 시공도면정보를 나타낸 도면이다.

먼저, 방수전문 시공업체에서 화장실 벽면에 방수액을 사용하여 방수공사가 완료된 다음, 타일시공전문업체의 작업자가 금일 아파트 단지 시공현장을 방문하여 보유하고 있는 사용자 단말(100)을 통해 시공관리서버(300)에 접속하여 시공관련 정보를 취득하도록 한다. 이를 위해, 작업자는 사용자 단말(100)에 설치된 어플리케이션을 통해 아이디와 비밀번호를 입력하여 시공관리서버(300)에 접속하게 되는데, 이때 사용자정보 데이터베이스(410)를 통해 시공관리서버(300)에서 사용자 정보를 인식하고, 사용자 정보에 맞는 작업이력정보 및 금일 예정공사정보를 생성하여 사용자 단말(100)로 제공하게 된다. 이러한 작업이력정보는 공사일정관리 데이터베이스(420)를 통해 생성되며, 도 5에서와 같이 사용자 단말(100)의 화면상에 작업일자, 동·호수, 작업진행상태 및 작업알림 등의 시공관련 정보가 출력되도록 한다. 그리고 사용자 단말(100)의 화면상에 출력된 금일 2015년 3월 7일의 작업알림창 영역을 클릭하게 되면, 도 6에서와 같이 금일 예정공사정보가 포함된 팝업창이 활성화된다. 이러한 금일 예정공사정보는 금일 예정공사현장에서의 공사장애요인 등의 특이사항 정보가 출력된다. 즉, 도 6에서 보는 바와 같이 금일 예정된 타일공사는 102동의 101호에서 501호까지 이루어지며, 201호실은 방수공사 하자가 발생되어 재시공이 예정됨에 따라 타일공사 승인이 나지않았으며 금일 공사에서는 제외시키도록 한다. 이러한 정보에 의해 작업자는 금일 작업이동 동선 및 자재운반 동선을 미리 정확하게 계획할 수 있게 된다. 아울러 금일 예정공사정보에는 공사에 필요한 자재정보 등이 더 포함되어 미리 작업자가 미리 필요한 자재정보를 확인하고 그에 따른 자재수급 계획을 미리 마련할 수 있도록 할 수 있다.

이와 같이 금일 예정공사정보를 통해 타일공사를 실시할 세대 호수를 확인한 다음, 각

세대에 들어가 화장실의 벽면 일측에 설치된 QR코드 등의 표식을 사용자 단말(100)로 인식시켜 시공관리서버(300)로부터 특정 시공도면정보를 수신하게 된다. 이때 QR코드가 부착되어 있는 위치가 101동-301호-화장실-동쪽벽면이라면, 동(B)-호(F)-실(R)-작업부위(W)를 나타내는 'B101-F301-R1-W1'이라는 코드가 부여되며, 작업자는 사용자 단말(100)에 설치된 어플리케이션을 통해 QR코드에 해당되는 시공도면이 도 7에서와 같이 출력되도록 한다. 아울러, 자재정보 생성부(340)에서 금일 시공자재정보를 생성하여, 도 7의 (b)에서와 같은 자재정보가 별도로 출력되도록 한다. 여기서 자재정보는 해당 벽면의 가로 및 세로길이, 타일의 규격 및 종류와 요구수량에 대한 정보를 제공하도록 하여 작업자는 현장에 필요한 자재량을 정확하게 운반할 수 있어, 잔여자재를 최소화할 수 있으며, 자재재고현황을 실시간으로 집계할 수 있다. 이후, 작업자는 준비해 온 빔프로젝터를 사용자 단말(100)과 연결시켜 금일 시공도면을 작업대상 벽면(A)에 시공도면을 원척도로 투사시키게 된다. 이때, 사용자 단말(100)로 제공되는 시공도면정보에는 도 8에서와 같이 금일 시공도면정보 이외에 선행공정에 해당되는 방수공사 시공도면정보와 후속공정에 해당되는 도기공사 시공도면정보를 함께 수신하여 시공도면을 벽면에 차례로 투사하여 선행공사인 방수공사가 제대로 완료되었는지 확인할 수 있도록 하며, 후속공사인 위생도기가 설치되는 위치를 확인할 수 있어, 타일 시공시 배관 연결부위, 긴결철물 설치위치 등 주의가 필요한 부분을 사전에 파악하여 벽면을 보강할 수 있도록 한다.

도 9 및 도 10은 시공도면에 형성되는 시공기준마크의 다양한 예를 나타낸 도면이고, 도 11은 시공도면에 형성되는 시공기준마크를 작업대상 벽면에 형성된 식별마크와 일치시켜 원척도로 투영시키는 상태를 나타낸 도면이다. 도면을 참조하면, 사용자 단말(100)로 금일 시공도면정보가 제공되기 전에 시공위치기준설정부(350)에서 시공도면상에 시공기준마크(351)가 형성되도록 하는데, 이러한 시공기준마크(351)는 도 9에서와 같이 외곽 벽면선(331)과 벽면중심에 복수개의 시공기준마크(351)를 형성시킬 수도 있고, 이와 달리 금일공정의 특성 또는 선행공정 또는 후속공정에서 외곽 벽면선(331)이 달라질 경우 이러한 선행공정과 후속공정의 시공도면정보를 기초로 하여 임의의 가상선(332)상에 시공기준마크(351)가 형성되도록 할 수도 있다.

도 10의 일예를 살펴보면, 동일 벽면상에 타일공정 이외에 벽면의 중심부에 무늬목 문양이 프린트된 유리가 취부되는 다른 공정이 포함된 시공도면으로, 이와 같이 공정이 다른 경우 타일과 유리가 취부되는 경계선을 임의의 가상선(332)으로 하여 가상선(332)상에 시공기준마크(351)가 형성되도록 하여 축척을 맞추는 기준이 되는 위치를 재료가 변경되는 경계선으로 하여 더욱 정밀한 시공이 이루어지도록 한다. 이렇게 형성된 시공기준마크(351)가 포함된 시공도면을 도 11에서와 같이 빔프로젝트로 작업대상 벽면에 투사시키고, 작업대상 벽면에 미리 형성된 식별마크에 시공기준마크(351)의 기준원(351b) 및 십자형태의 기준선(351a) 축방향이 일치되도록 빔프로젝터를 조절한다. 이에 따라, 벽면상에 타일시공이 완료된 상태의 이미지가 원척도로 투사되기 때문에 기존에 작업자가 별도로 수직선과 수평선을 긋는 번거로운 과정이 생략되고, 작업자가 종이로 된 도면을 일일이 확인하는 과정 대신에 벽

면에 투영된 도면을 보면서 퍼즐을 맞추듯이 타일을 시공할 수 있게 된다. 아울러 벽면에 다양한 크기와 색상의 타일이 적용되더라도 작업자는 실수없이 신속하게 작업을 수행할 수 있게 된다.

도 12는 금일 작업현황을 시공관리서버로 전송하기 위해 사용자 단말에 출력되는 팝업창을 나타낸 도면으로, 상기와 같이 각 벽면상에 타일시공이 완료되면, 작업자는 사용자 단말(100)의 화면상에 작업진행상태를 클릭하여 저장한 다음, 시공관리서버(300)로 전송하여 공사일정관리 데이터베이스(420)에 저장되도록 한다. 도면에서와 같이 101동 301호에 타일취부공정이 완료된 것으로 정보가 갱신되면, 시공관리서버(300)에서는 해당 장소에 투입되는 후속작업자를 자동으로 식별하여 후속작업자의 사용자 단말(100)로 작업개시승인정보를 전송하고, 후속 작업자의 사용자 단말(100)로 상기의 타일시공과 같은 방법으로 시공관련 정보를 제공하도록 한다.

3) 석재 운반용 수공구 설계변경유도 시스템 개발 (성과유형: 시스템)

석재 운반 및 설치용 수공구의 인간공학적인 설계변경유도 시스템은 동작분석, 분석적 계층화 과정(AHP, Analytic Hierarchy Process)와 품질기능전개(QFD; Quality function deployment) 기법을 통합하여 개발되었다.

[표 2-15]는 PDCA 사이클을 기반으로 하여 수공구 개량을 위해 설계변경을 유도하는 프로세스를 제시한다.

[표 2-15] 수공구 설계 개량 프로세스

단계	사고단계	조사 및 분석단계	세부 업무 내용
Plan	기존의 수공구에 문제없나?	개선점 조사	1. 수공구사용 실태조사 2. 불편사항 면담
	수공구가 없다면 어떻게 개발할 것인가?	현장조사	1. 수공구를 활용한 작업/동작 분류 2. 작업자 근골격계 부담현황 조사
Do	수공구 활용한 동작 분석	동작분류 및 실측	1. 준비동작 2. 운반동작 3. 설치동작
Check	신체 주관적 불편도 설문	불편도 조사 및 분석	1. 주관적 요구사항(VoC) 조사 2. 기술적 요구사항(TA) 조사
		우선 개선사항 및 개량방안 도출	3. 개선 우선 순위 산출 4. 설계 개선 방법 도출
Act	개량형 시제품 제작	도면화 및 제작	1. 개선사항 반영한 수공구 도면 작성
			2. 시제품 제작
			3. 사용성 평가

석판 운반기의 설계 및 제작 과정을 구체적으로 제시하면 다음과 같다. 상기 개발사이클에 따라, 우선 석판운반용 수공구(이하 석판운반기로 칭함)의 존재여부부터 조사하였다. 그 결과, 공동주택 건설 현장에서는 외부 마감용 공법으로 석판과 긴결철물(fastner, anchor bolt)를 이용한 건식공법(dry method)이 널리 이용되고 있지만, 비계위에서 석판 운반작업은 특화된 수공구가 없이 맨손으로 이루어 지고 있는 실정이다.

따라서, 현재 부재하는 석판운반기의 초기모델을 설계하여 제작하기 위해 동작분석을 실시하였다. 즉, 석판 운반과 같은 동일한 작업을 수행할 때, 석판을 들고 있는 상지(upper arm)의 자세에 따라 주요 신체부위에 작업부하가 적게 유도되는 자세를 결정하고 그러한 자세가 쉽게 유지될 수 있도록 수공구를 설계한다.

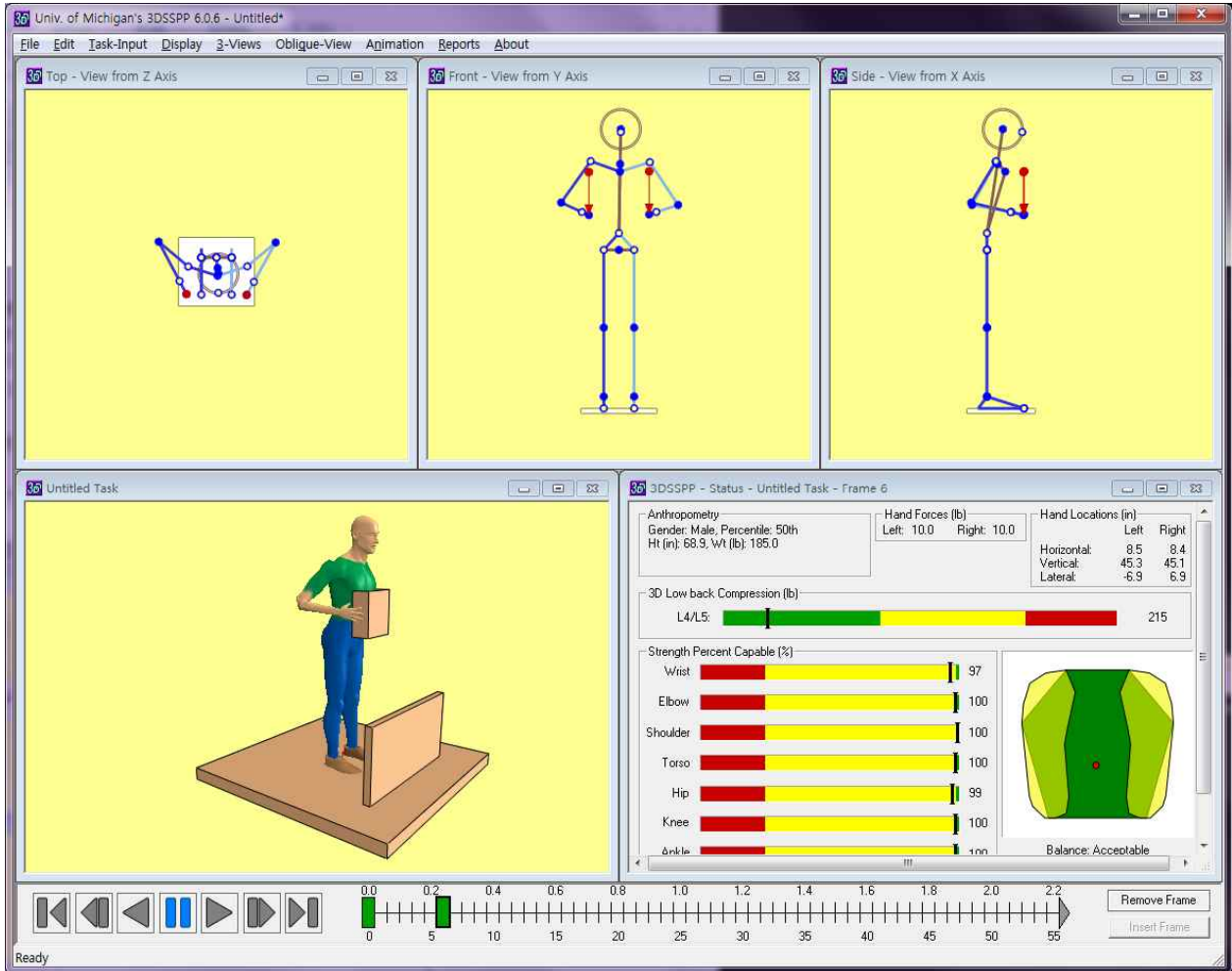
석판운반기를 제작하기 위해 시뮬레이션 소프트웨어(University of Michigan's 3DSSPP 6.0.6)를 사용하여 작업자가 물건을 드는 특정 자세에 따라 신체적 작업부하(physical demand)를 분석하였다.

분석 방법은 기존의 방식대로 맨손작업을 전제로 하고, 대상 동작은 석판을 드는 팔의 자세는 “일자형”과 “ㄱ자형”으로 구분한다. 신체부하도를 비교하는 기준이 되는 신체부위는 척추(L4/L5)와 손목(Wrist)을 선정하였다.

현장에서 숙련공과 비숙련공을 대상으로 석판운반 자세를 분석한 결과, 숙련공은 팔을 “일자형”으로 아래로 뻗고 최대한 석판을 몸에 밀착시킨 상태로 운반하는 반면, 비숙련공은 상완(upper arm)과 전완(forearm)을 “ㄱ자형”으로 굽힌 상태로 운반하는 것으로 나타났다. 그림 1은 비숙련공이 취한 자세로부터 작업자의 신체에 미치는 부하를 분석한 결과이다. 그림 1에서 우측하단에 있는 첫 번째 바그래프를 보면(3D Low back Compression (lb)), 척추(L4/L5)에 가해지는 압축력이 215 lb이고, 각 관절이 발휘할 수 있는 힘의 능력치(Strength Percent Capable(%))에서 손목(Wrist)가 97%로 분석되었다.

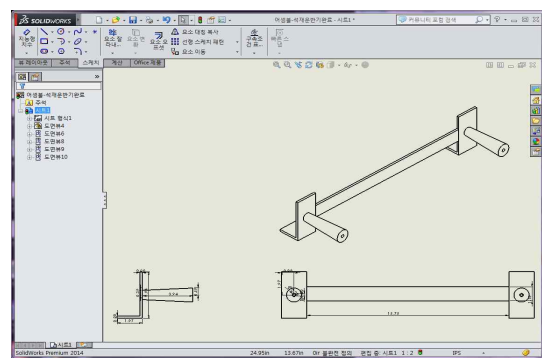
[그림 2-25]는 숙련공이 취한 자세로부터 작업자의 신체에 미치는 부하를 분석한 결과이다. [그림 2-25]에 따르면, 척추(L4/L5)에 가해지는 압축력은 197 lb이고, 손목(Wrist)에 발휘할 수 있는 힘(Strength Percent Capable(%))은 100%로 분석되었다.

상기 두 자세에 대한 신체적 부하를 종합해보면, 작업자가 물건을 들 때 상지를 굽히는 것보다 아래로 내린 자세가 작업자의 척추와 손목에 작업부하를 상대적으로 줄일 수 있는 것으로 평가된다.

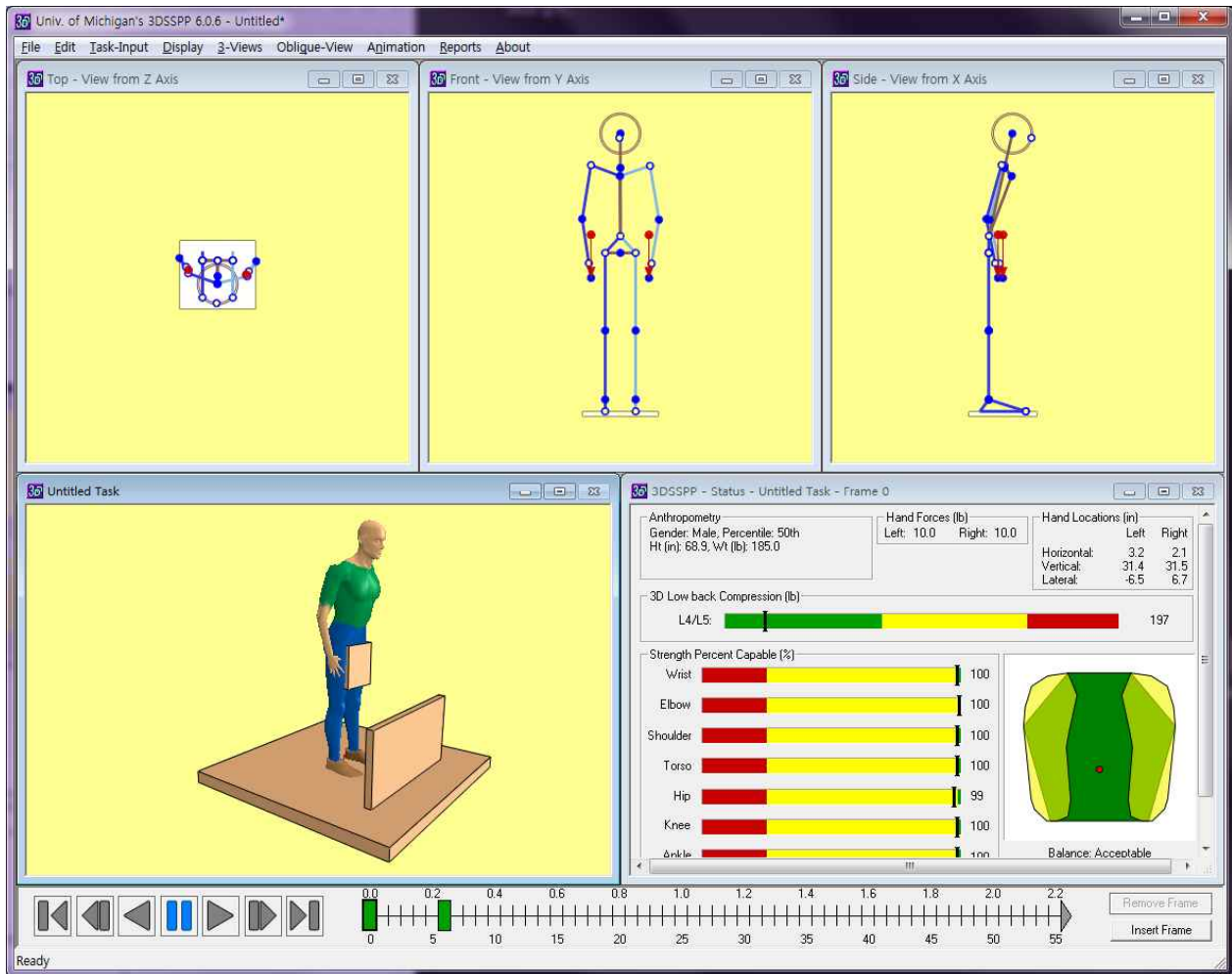


[그림 2-25] “L자형” 석판들기 신체부하 분석결과

[그림 2-26]은 이전 단계에서 분석한 결과를 토대로 석판운반기의 초기모델을 SolidWorks 2014를 사용하여 설계한 설계도이다. 석판운반용 초기모델은 작업자가 바닥에 놓인 석판 들기 및 운반 동작을 취할 때 상지가 최대한 아래로 “일자형”을 유도할 수 있도록 설계하였고 세부 치수는 5명의 피실험자들을 대상으로 한 인체치수를 측정하여 표준화하였다.



[그림 2-26] 석판운반기 초기모델 설계안



[그림 2-27] “일자형” 석판들기 신체부하 분석결과

[그림 2-28]은 개발한 석판운반기 초기모델 설계도를 사용하여 제작한 시제품이다.



[그림 2-28] 석판운반기 초기모델 시제품

제작된 석판운반기 초기모델은 기존에 존재하는 수공구를 토대로 구성품을 개량한 것이 아니다. 따라서 제작된 석판운반기는 실제 사용을 통해 추가적인 설계 개선안을 도출하고 제품을 개량하는 과정이 필요하다. 이 단계에서는 5명의 피험자를 대상으로 제작된 석판운반기 초기모델을 사용하여 시험용 석판을 들었다 놓는 동작을 1인당 10회씩 실시하였다.

기존 수공구의 설계변경을 체계적으로 유도하기 위해 품질기능전개(Quality function deployment, QFD)기법을 활용하였다. 우선, 수공구 사용자의 주관적인 요구사항(Voice of Customer, VoC)은 4가지로, ‘작업성’, ‘휴대성’, ‘안전성’ 그리고 ‘편의성’으로 구분되었다. [그림 2-29]는 사용자 요구사항에 대한 중요도(weight)를 평가하기 위해 개발한 AHP 설문 및 분석모델이다. 분석결과 ‘작업성’, ‘휴대성’, ‘안전성’, ‘편의성’은 각각 0.376, 0.187, 0.232, 0.209로 나타났다. 결과에 따르면, 석판운반기를 사용하는 작업자들이 설계변경시 ‘작업성’에 대한 요구수준이 가장 높고, ‘휴대성’에 대한 요구수준은 상대적으로 가장 낮은 것으로 평가된다.

수공구 설계변경을 위한 사용자 요구사항 중요도 분석(AHP)

1단계 : 요구사항 상대 중요도 설문

번호	결문	매우 중요 (3점)	중요 (2점)	보통 (1점)	중요하지 않음 (1/2점)	전혀 중요하지 않음 (1/3점)
1	'작업성'은 '휴대성' 보다 얼마나 더 중요한가?	√				
2	'작업성'은 '안전성' 보다 얼마나 더 중요한가?		√			
3	'작업성'은 '편의성' 보다 얼마나 더 중요한가?			√		
4	'휴대성'은 '안전성' 보다 얼마나 더 중요한가?				√	
5	'휴대성'은 '편의성' 보다 얼마나 더 중요한가?		√			
6	'안전성'은 '편의성' 보다 얼마나 더 중요한가?			√		

2. 비교 행렬

구분	작업성	휴대성	안전성	편의성
작업성	1	3	2	1
휴대성	0.33	1	0.5	2
안전성	0.5	2	1	1
편의성	1	0.5	1	1

3. 중요도 산출

구분	작업성	휴대성	안전성	편의성
Weight	0.376	0.187	0.232	0.205

[그림 2-29] 석판운반기 개량용 사용자 요구사항 중요도 분석모델

[그림 2-30]은 석판운반기 설계 개량용 기술특성들(Technical Attributes, TA)의 우선 순위를 분석하기 위해 개발된 ‘품질의 집’(House of Quality)이다. 석판운반기에 특화된 기술 특성들(TA)은 크게 수공구의 주요구성품별로 설계변수들이 관계된다. 예컨대, 주요 구성품인 ‘손잡이’의 경우, ‘형상’, ‘길이’, ‘재질’, ‘위치’가 설계변수이고, ‘앵글’의 경우, ‘각도’, ‘길이’, ‘재질’, ‘두께’의 변경이 요구된다. 또한, ‘가새’의 경우, ‘길이’, ‘너비’가 그리고 ‘전체’의 경우, ‘무게’가 설계변수로 고려되었다. [그림 2-30]에 제시된 것처럼 동일한 피실험자 5인을 대상으로 한 조사결과에 따르면(‘2. 실제점수 산정용 품질의 집’ 참조), 설계변경이 가장 시급한 기술특성은 ‘손잡이’의 ‘형상’(Actural Score: 41.4, Differece¹⁷⁾ : 80%)이고, ‘앵글’ 부품에서

17) ‘Difference’ 지표는 특정 부품의 설계변수에 대해 최고점수(Ideal Score)에서 시제품을 사용후 사용자가 부과한 실제점수(Actual Score)의 차이를 최고점수로 나눈 비율로 그 수치가 클수록 요구기대수준과 차이가 큰 것으로 설계변경의 우선순위가 높음을 의미한다.

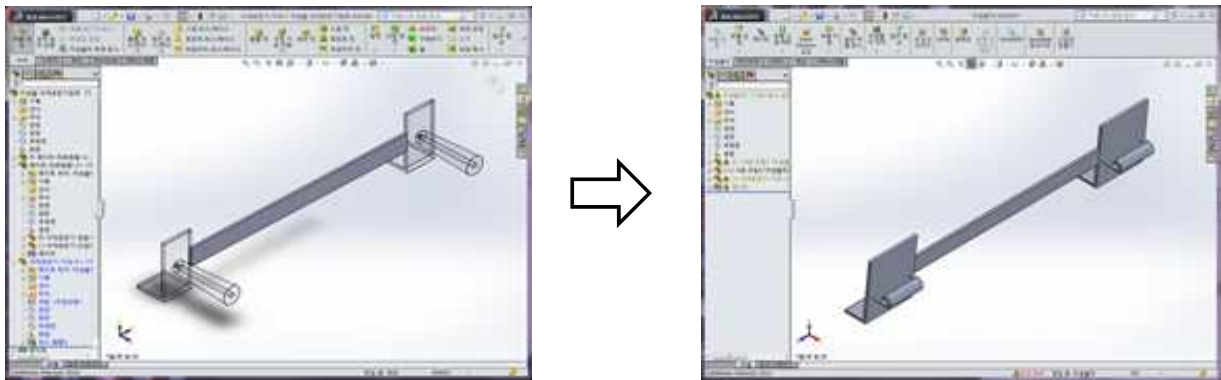
‘각도’와 ‘길이’에 대한 조절에 대한 요구가 각각 2, 3순위로 나타났다.



[그림 2-30] 석판운반기 설계 개량용 우선순위 분석 모델

따라서 우선순위 상위를 차지한 3가지 기술특성 변수들에 대해 사용자가 지적한 불편 사항들에 대해 설계변경을 실시하였다. 기존의 석판운반기의 ‘손잡이 형상’에 대해 사용자들은 “기존 수공구의 손잡이가 수직바의 형태로 제작되어 있어 석재 운반시 손목에 상당한 부하가 작용한다”고 지적하였다. 이에 대한 개선방향으로 ‘손잡이’를 ‘수직형태’에서 ‘수평방향’으로 변형하는 안을 도출하였다.

다음으로 ‘앵글 각도’에 대해 사용자들은 “석판을 거치하는 앵글이 90도로 되어 있을 때 석판이 흔들려 떨어질 우려가 있다”고 지적하였다. 이에 대한 설계 개선안은 “앵글의 각도를 90도에서 100도로 더 기울임”으로 결정하였다. 끝으로, ‘앵글 길이’에 대해 사용자 평가는 “석판 거치 앵글의 폭이 5cm이고 높이가 15cm로 석판의 크기에 비해 상대적으로 작아 석판이 떨어질 우려가 있다”고 지적하였다. 이 점에 대한 설계 개선안은 “앵글의 폭을 10cm, 높이를 20cm로 키움”으로 결정하였다. [그림 2-31]은 석판운반기의 초기모델과 최종 개량모델을 제시한다.



[그림 2-31] 석판운반기 초기모델과 개량모델

제3장 최종 연구성과 및 적용설적

1. 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)

연 차	연구 내용	연구 결과
1차년도	방수공의 생리학적 작업부하 평가 (논문) 대한건축학회논문집, 31(6)	방수공사 세부 공정인 프라이머 칠과 우레탄 도장을 대상으로 작업자의 단위시간 심장박동수 변화를 측정함. 측정결과 두 공정에 소요 작업강도는 통계학적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 해석됨.
	OWAS 및 근전도 기반 석공 작업부하 비교연구 (논문) 한국건축시공학회 춘계학술대회, 15(1) *우수학술상 수상	본 연구는 기존의 자세평가표에 따른 신체부담을 평가하는 기법(OWAS)과 작업자의 생체신호를 측정하여 직접적인 근육활성도를 평가하는 기법(EMG적용)에 따라 산출된 작업부하를 상호비교함. 신체부위별 부하평가 결과가 상이하게 나타났고, 이러한 차이는 세분석기법과 달리 생리학적인 분석방법이 실제 지속되는 근육 사용시간이 현실적으로 반영된 결과로 사료됨.
	건축물의 패널 설치용 수준기 개발 (특허) 출원번호:10-2015-0067854	본 발명은 석공사에 있어 시간소모적인 측량작업을 인건공학측면에서 기존의 수평기를 개량한 발명임. 즉, 건축물 패널의 각 면에 대한 수평도와 수직도, 즉 기울기를 한번에 측정할 수 있고, 건축물 패널의 수평도와 수직도를 측정함과 동시에 건축물 패널의 위치조정을 수행할 수 있으면서도 작업자가 건축물 패널의 수평도와 기울기를 직관적으로 식별할 수 있도록 개발함.
2차년도	인도포장 공사의 자재위치 변화에 따른 근활성량 분석 (논문) 한국방재학회 논문집, 16(3)	본 연구는 건설노무자의 근골격계질환을 예방하기 위해 인도포장 공사에서의 자재위치의 변화에 따라 작업자의 근활성량을 측정하고 분석하는 것을 목표로 함. 실험결과는 다음과 같이 요약됨. 우측 대퇴직근(R)과 좌/우 상완요골근(L/R) 그리고 좌측 척추기립근(L)의 작업부담을 경감할 수 있는 자재위치는 통계적으로 좌측(M1)이 적합한 것으로 판단됨. 우측 승모근의 경우, 자재를 좌측(M1) 혹은 중간에 배치하는 것이 적합한 것으로 판단됨.
	Estimating the Physical Demand of Waterproofing Worker (Paper) ICCEPM 2015	건설노무자의 단순 반복적인 작업 동작을 실시할 때 신체적인 작업부하를 평가하기 위해 생체신호의 체계적인 측정 방법론을 제시하고 측정된 생체신호로부터 작업강도의 유의미한 차이를 통계적으로 검증하는 일련의 체계를 지시함.
	증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법 (특허) 출원번호:10-2016-0081283	본 발명은 증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 각 작업자에 맞는 시공이 완료된 상태의 시공도면 이미지를 작업대상 벽면에 원칙도로 투사시켜 작업자가 투영된 시공도면에 맞춰 그대로 동일한 자재로 설치하도록 유도함에 의해 작업속도를 향상시킬 수 있으며, 작업대상 벽면에 투영된 시공도면에 퍼즐을 맞추듯이 시공가능하여, 숙련공이 아니어도 충분히 작업이 가능하며, 상시 완료된 상태를 육안으로 확인할 수 있어 작업불량률을 낮추고 시공성을 개선하는 방법을 제안함.

2. 연차별 연구목표 및 수행내용

가. 1 년차 연구목표 및 내용

본 연구의 1차년도 연구목표는 건설 수공구(hand tools)를 인간공학적으로 개량하기 위해 생체신호 측정을 통해 건설 근로자의 생리학적 작업부하를 단위작업 수준에서 분석하고자 한다. 이를 위해 당해연도 연구내용으로 1) 건설현장의 마감공사시 수공구 사용실태와 수공구개량에 대한 필요성을 현지조사, 2) 작업시 노무자의 생리학적 피로도 즉, 작업부하(work demand)를 객관적으로 측정하는 방법(작업분류, 센서활용)에 대한 연구, 3) 측정 데이터를 후처리하고 작업부하를 평가하는 방법 개발, 4) 마감공사의 하나인 방수공사와 석공사를 주요 연구대상으로 하여 개발된 방법의 적합성 검토, 그리고 5) 수공구 개량 사례제시 등을 수행하였다.

다. 2 년차 연구목표 및 내용

본 연구의 최종 연구목표는 건설 마감공사를 대상으로 작업자들이 사용하는 수공구(hand tools)를 인간공학적으로 개량하는 것이다. 이를 위해 당해연도 수행한 연구내용은 다음과 같다. 우선, 인도포장공사를 중심으로 작업자의 동적 신체부하를 근전도 센서를 활용하여 측정하고, 근육의 활성도를 평가하는 동적모델을 개발하였고, 건설 마감용 수공구의 인간공학적인 설계변경을 위한 정적/동적 분석방법을 개발하였으며, 재래형 건설수공구의 작업자 요구성능과 기술적 설계변경을 동시에 고려하여 기존 제품의 설계변경을 위한 우선순위를 정량적으로 평가하는 품질기능전개 모델을 개발하였다. 또한, 석판운반기의 초기모델을 시제품으로 제작하고 사용자의 피트백을 통해 설계변경을 체계적으로 지원하는 시스템 프로토타입을 엑셀환경에서 개발하여 석판운반기의 초기모델을 개량하는 과정을 제시하였다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

1. 연구개발 최종목표 달성도

가. 1 년차 정량적 성과지표 달성도

당해 연차에는 국내 전문학술지 논문게재 1건 등 계획한 성과목표치를 100% 달성하였고, 차년도에 목표한 특허출원 건수 2건 중 1건을 조기 달성하였다. 또한, 학술대회 발표 1건과 우수학술상 수상실적 1건을 추가로 달성하였다.

연차별 성과목표	성 과 지 표	측정방법	목표치	가중치	달성치
건설 마감용 수공구 실태조사	학술지 논문게재 건수	국내 학술지 게재 논문건수	1건	20%	1건
	조사현장 수	조사보고서	3곳	10%	3곳
	수공구 사용 및 인식 실태과악	면담기록지 및 설문지	30부	10%	35부
	작업영상	비디오촬영	유형별 30건	10%	유형별 30건
	동작분류체계도	요소작업 식별	1건	10%	1건
	동작패턴	이미지프로세싱	유형별 1건	10%	유형별 1건
	DB 구축여부	시스템 여부확인	구축	20%	구축
	(신규) 지적재산권 확보 건수	특허 출원 건수	0건	-	1건
	(신규) 학술대회발표	발표건수	0건	-	1건
	(신규) 상훈	수상건수	0건	-	1건
총 계				100%	

나. 2 년차 정량적 성과지표 달성도

2차년도에는 연구성으로 국내 전문학술지 논문게재 1건, 특허출원 1건 그리고 시제품 1건을 달성하고, 국제학술발표대회에 논문발표를 1회하였다.

연차별 성과목표	성 과 지 표	측정방법	목표치	가중치	달성치
인간공학 수공구 개량 지원 시스템 개발	학술지 논문게재 건수	국내 학술지 게재 논문건수	1건	30%	1건
	정적 신체부하 추정 모형	유의성 검증	신뢰도 95%	10%	신뢰도 95%
	동적 신체부하 추정 모형	유의성 검증	신뢰도 90%	10%	신뢰도 95%
	수공구 설계변경유도 시스템	시나리오 분석	신뢰도 80%	20%	신뢰도 95%
	수공구 설계 변경 매뉴얼	매뉴얼	1건	10%	1건
	시제품	시제품	1건	10%	1건
	지적재산권 확보 건수	특허 출원 건수	1건	10%	1건
	(신규) 학술대회발표	발표건수	0건	-	1건
총 계				100%	

2. 연구개발 성과의 기술적 효과분석

건설현장은 대형장비의 사용과 건식공법이 현저히 늘고 있는 추세지만, 여전히 다수의 공종들은 습식공법(wet construction method)이 적용되어 근로자들의 단순 반복적인 육체노동에 의존도가 높은 실정이다. 그러한 건설현장의 작업환경으로 인해 근로자들은 근골격계질환의 발병률이 타 산업에 비해 높은 비중을 차지하고 있지만 작업으로 인한 신체적 부하를 과학적으로 측정하고 분석하는 연구가 미흡한 실정이다. 그 근본원인은 건설업의 생산활동이 육내 제조업과 달리 생산 동작이 작업자 마다 상이하고 표준화가 어렵다는 특성에서 기인한다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 비정형적이고 동적인 특성을 띠는 건설 근로자의 생산활동을 일관되게 평가할 수 있도록 동작을 구분하고, 센서를 활용하여 생체신호(bio-signal)를 측정 및 분석하는 방법론을 제시하였다. 특히, 대상 공종으로 습식공법이 적용되는 우레탄방수공사에서는 수공구인 ‘롤러(roller)’를 사용하는 프라이머 공정과 ‘스크레이퍼(scraper)’를 사용하는 우레탄도장 공정을 구분하고, 동작을 표준화하는 구체적인 방법을 제안하였고, ‘심장박동측정기(cardiotachometer)’를 사용하여 단순반복동작으로 인한 ‘심박수’의 변화를 측정하여 두 공정간의 작업부하를 통계적으로 유의미한 차이가 있음을 입증하였다. 이러한 연구는 동일 공종이라든 세부 공정에 따라 근로자의 피로도가 차이가 나고, 그에 따라 작업자에게 차별화된 휴식시간을 부여할 필요성을 뒷받침하는 근거가 된다.

또한, 인도포장공사를 대상으로 한 실증연구에서는 작업자의 생체신호를 개별 근육수준에서 보다 정밀하게 측정하는 도구로써 ‘근전도센서(electromyogram sensor)’를 적용하였고, 이전 연구에서 보다 작업자의 개별 근육의 활성도를 측정하고 측정된 주파수를 후처리하는 과정을 상세하게 제시하는 방법론을 체계적으로 제시하였다. 이 연구를 통해 작업자가 장시간 불안정한 자세(즉, 쪼그려 앉는 상태)로 중량물을 반복적으로 취급할 때, 특정 근육의 활성도의 과부하나 급격한 변화를 저감하는 최적의 자재위치나 자재운반 동작유형을 제안함으로써 근골격계질환을 예방하는 과학적인 안전보건관리 방침을 수립하는 근거를 제시하였다.

한편, 본 연구를 통해 개발한 건설 수공구의 인간공학적인 개량을 지원하는 시스템은 작업자가 사용하는 수공구에 대해 주관적인 성능개선 요구사항에 대한 평가로부터 기술적인 측면에서 수공구의 설계변수들 간의 개선 우선순위를 자동으로 산출함으로써, 기존의 수공구를 보다 인체 공학적으로 개량하는 체계적인 분석 및 평가틀을 제공한다. 이는 건설현장에서 사용하는 다양한 종류의 수공구(전동공구 포함)의 작업특성에 최적화된 수공구로 개량하는 분석도구로써 활용가치가 클 것으로 기대된다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1. 연구성과 향후 활용방안

본 연구를 통해 2건의 특허출원이 이루어졌다. 첫 번째 특허인 “건축물의 패널 설치용 수준기 개발(출원번호:10-2015-0067854)”는 기존의 범용 수평기와 달리 건축물 패널의 각 면에 대한 수평도와 수직도, 즉 기울기를 한번에 측정할 수 있고, 건축물 패널의 수평도와 수직도를 측정함과 동시에 건축물 패널의 위치조정을 수행할 수 있으면서도 작업자가 건축물 패널의 수평도와 기울기를 직관적으로 식별할 수 있도록 개발한 수평기이다. 본 특허에서 제안하는 수평기는 수평기 제작업체에 기술이전을 하여 상품화할 수 있고, 석공사가 계획된 건설현장에 시제품을 제공하여 그 사용성에 대한 평가를 수렴하고 관심을 갖는 시공사나 해당 전문시공업체에 판매할 수 있다.

두 번째 특허인 “증강현실 기반 건축물 시공 시스템 및 방법(출원번호:10-2016-0081283)”는 시공이 완료된 상태의 시공도면 이미지를 작업대상 벽면에 원척도로 투사시켜 작업자가 투영된 시공도면에 맞춰 그대로 동일한 자재로 설치하도록 유도하는 기술로 기존의 시공과정에서 시공품질과 직결되는 먹매김(in marking)작업과 도면을 보는 과정을 제거함으로써 품질관리와 생산관리를 혁신적으로 개선한다. 그러나 본 발명은 시스템을 구성하는 방법을 제시한 것으로 판매를 위해서 현장의 수요조사를 통해 시스템의 요구사항을 커스터마이징 하고, 개발 능력을 갖춘 소프트웨어 개발업체를 선정하여 시스템으로 패키징하여 사업화하는 것이 가능하다.

산업안전보건법 제41조의2(위험성평가)에 따르면, 사업주가 작업행동, 그 밖에 업무에 기인하는 유해위험요인을 찾아내어 위험성을 결정하고, 적법한 조치를 하여 근로자의 위험 또는 건강장해를 방지하는 추가적인 조치를 하도록 제도화하였다. 그러나 현재 위험성평가 제도는 건설현장에서 중대재해를 예방하는 데 중점을 두고 있어 직업성질환인 근골격계질환을 사업장에서 체계적으로 모니터링하고 위험기준을 제정하여 예방하는 노력은 부족한 실정이다. 이에 대해 본 연구에서 제시한 건설 근로자의 작업특성을 고려한 신체적 작업부하 측정 및 평가 모델은 근골격계관련 직업성질환을 지속적으로 모니터링하고 근로자의 육체적 작업부담을 경감하는 조치를 취하는 근로자보건관리에 적극 활용될 수 있다.

2. 추가연구 필요성

본 연구자는 과제를 수행하면서 건설노동자의 작업성 근골격계질환의 발병률을 경감시키고 예방관리하기 위해서는 산업현장에서 활성화되고 있는 “위험성평가”와 같이 근로자의 보건에 대해서도 보다 적극적이고 체계적인 평가모델이 개발될 필요성을 인지하였다. 그러나 본 연구단계에서는 3개의 대표공종(즉, 방수공사, 인도포장공사, 석공사)으로 제한되어 연구

가 수행되었고, 생체신호 측정에 있어서도 제한된 측정장비(즉, 근전도계, 심박측정기)를 사용하고, 공중별로 다른 계측장비를 사용함에 따라 작업부하에 대한 평가지표를 독립적으로 제시함으로써 일반화에 한계점이 있다.

따라서 추가연구로 건설 공중별/공정별로 근골격계 유해작업을 체계적으로 측정하고 평가하여 예방관리가 이루어 질 수 있도록 작업별 허용가능한 작업강도에 대한 기준을 마련하는 연구가 필요하고, 이중 측정기로부터 생체신호를 획득하는 경우 근로자의 작업부하를 일관되게 평가할 수 있도록 정량화 지표들의 상호관련성에 대한 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 공용구, 손성태, 김대민, 정명철(2009). 수공구 손잡이 형태에 따른 청·노년층의 악력과 손가락 힘 및 편안함 분석. 대한인간공학회지 28(2), 27-34.
- 김영석, 이정호(2008). 건설자동화 기계의 연구개발 단계에 따른 성능 분석 모델 개발. 한국건설관리학회 논문집, 9(2), 67-80.
- 김진원, 김요한, 김주형, 김재준(2010). 건설재해의 유형분석을 통한 안전사고 저감방안에 관한 연구. 한국건축시공학회, 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집 10(2), 137-140.
- 김태광, 김철홍(1999). 수공구 종류와 작업 유형 및 위치에 따른 상지 근력 변화에 관한 연구. 대한인간공학회 학술대회논문집, 127-130.
- 김현욱(2004). 근골격계질환에 대한 노동부의 감독 행정 효과. 산업보건 통권 제196, 15-20, 1225-7087.
- 박희석(1995). 우리나라 수공구 제조업계의 현황과 문제점에 대한 인간공학적 고찰. 대한인간공학회 학술대회논문집, 280-284.
- 손창백, 임태경, 이동은(2011). 요소작업 기반 티어공법 철골조립. 대한건축학회논문집, 27, 177-188.
- 신현식(1986). 건축시공의 자동기계화 - 시공로봇. 대한건축학회논문집, 30(2), 18-21.
- 양성환, 조문선, 강영식(2006). 수공구 손잡이의 인간공학적 요소 평가. 대한안전경영과학회지 8(1), 43-52.
- 이은동, 조창연, 이준복(2005a). 건축공사 기능인력의 근골격계 질환과 수공구와의 상관관계 조사 연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 구조계, 25(1), 495-498.
- 이은동, 조창연, 이준복(2005b). 건축공사 기능인력의 근골격계 질환과 수공구와의 상관관계 조사 연구. 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 구조계 25(1), 495-498.
- 이은동, 조창연, 이준복(2006). 건축공사 기능인력의 안전과 수공구의 상관관계에 관한 조사 연구. 한국건설관리학회논문집 7(4), 61-68.
- 이준복(2007). 건설자동화 및 로봇화 기술의 현재와 미래. 대한건축학회, 51(6), 25-27.
- 채성호(2006). 가상작업자 모델을 이용한 작업부하의 관리. 대한건축학회논문집 - 구조계 제22(1), 155-162.
- 채성호(2006). OWAS수법을 이용한 경량철골벽 설치작업의 작업부하 분석. 대한건축학회논문집 - 구조계 제22(2), 155-162.
- 최상화, 임태경, 이동은(2010). 프로젝트 공기단축을 위한 동시시공 일정시스템. 대한건축학회논문집, 26, 101-110.
- 한정빈, 윤매수, 유진홍(1983). 수공구의 품질실태 정밀분석 및 개선방안에 관한 연구 (땀지, 플라이어, 스패너, 몽키스패너,파이프렌치). 기계연구원소보 10, 21-26.

- An, K. U., & Lee, J. Y. (2005). Defection Analysis of the Waterproof Work for the Quality Control of Construction Site. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 21(2), 123-130.
- Anton, D., Rosecrance, J. C., Gerr, F., Merlino, L. A., & Cook, T. M. (2005). Effect of concrete block weight and wall height on electromyographic activity and heart rate of masons, *Ergonomics*, Vol.48, No.10, pp.1314-1330.
- Balasubramanian, V., and Prasad, G.S. (2006) Ergonomic assessment of bar cutting process in construction, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol.1, No.3, pp.321-332.
- Bates, G. P., & Schneider, J. (2008). Hydration status and physiological workload of UAE construction workers: A prospective longitudinal observational study. *J Occup Med Toxicol*, 3(21), 4-5.
- Behzadan, A. H., Aziz, Z., Anumba, C. J., and Kamat, V. R., Ubiquitous location tracking for context-specific information delivery on construction sites, *Automation in Construction* 17 (6) (2008) 737 - 748.
- Blackwell, J. R., Kornatz, K. W., & Heath, E. M. (1999). Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. *Applied Ergonomics*, 30(5), 401-405.
- Chae, S.H. (2006) Analysis of Workload in Steel Partition Work Using OWAS Method, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.22, No.2, pp.155-162.
- Chang, F. L., Sun, Y. M., Chuang, K. H., & Hsu, D. J. (2009). Work fatigue and physiological symptoms in different occupations of high-elevation construction workers. *Applied ergonomics*, 40(4), 591-596.
- Chung, C. P., Song, J. Y., Lee, S. K., & Oh, S. K. (2009). An Experimental Study on the Application for High Pressure Spray by Heat Cycle Type Equipment to Improve Work Safety and Workability of Asphalt Water Proofing method. *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, 9(1), 33-39.
- Chung, M. K., Lee, I., Kee, D., & Kim, S. H. (2002). A postural workload evaluation system based on a macro postural classification. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 12(3), 267-277.
- De Luca, C.J. (1997) The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, Vol.13, pp.135-163.
- Eksioglu, M. (2004). Relative optimum grip span as a function of hand anthropometry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(1), 1-12.
- Garneau, C. J., & Parkinson, M. B. (2012). Optimization of product dimensions for discrete sizing applied to a tool handle. *International Journal of Industrial*

Ergonomics, 42(1), 56–64.

- Grant, K. A., Habes, D. J., & Steward, L. L. (1992). An analysis of handle designs for reducing manual effort: the influence of grip diameter. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10(3), 199–206.
- Ha, M. S. & Ha, K. J. (2014). A Study on the Productivity Analysis of Cement Liquid Waterproofing for Apartment House Using Cyclone Simulation. *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 16(6), 197–204.
- Harih, G., & Dolšak, B. (2013). Tool-handle design based on a digital human hand model. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43(4), 288–295.
- Jansen, K., Esko, L., Luik, M., Viljasoo, V., Ereline, J., Gapeyeva, H., and Pääsuke, M. (2011) Workload assessment and its influence on a male tile layers working ability, *Agronomy Research*, Vol.9, No.1–2, pp.299–304.
- Kilbom, Å. (2000). Repetitive work of the upper extremity: part II—the scientific basis (knowledge base) for the guide. Elsevier Ergonomics Book Series, 1, 151–178.
- Kim, K. S., Jo, M. H., & Kim, B. K. (2008). A Case-study of a Plastering and Waterproof Worker Suffering from Silicosis and Lung Cancer, *Korean J Occup Environ Med*, 20(2), 153–159.
- Kim, K. T & Kim, C. H (2010). Questionnaire study on the current status of the construction labor force. *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, 10(1), 95–97.
- Kim, K. T. (2012). Development of an apparatus to measure musculoskeletal load for construction workers using accelerometers. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 28(1), 167–174.
- Kim, T. H., Park, M. S., Lee, H. S., & Song, K. S. (2013). Ergonomics Analysis for Construction Workers to Reduce Recurring Work-Related Musculoskeletal Disorder, *Proceedings of Architectural Institute of Korea*, 33(1), 551–552.
- Kim, K. S., Park, J. K., Kim, D. S. (2010) Status and Characteristics of Occurrence of Work related Musculoskeletal Disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.29, No.4 pp.405–422,
- Kim, T., Gong, S., Gil, S., Park, J., Jeon, H., Song, J., Lee, K. Lim, Y., and Chae, W. (2013) *Electromyographic Analysis – Theory and Application*, 1st edition, Hanmiuihak, Seoul.
- Konrad, P. (2005) *The abc of emg. A practical introduction to kinesiological electromyography*, Vol.1.
- Kong, Y. K., & Freivalds, A. (2003). Evaluation of meat-hook handle shapes. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32(1), 13–23.

- Kong, Y. K., & Lowe, B. D. (2005). Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(6), 495–507.
- Lee, D. E., Yi, C. Y., Lim, T. K., & David Arditi. (2010). Integrated Simulation System for Construction Operation and Project Scheduling. *JOURNAL OF COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING*, 24, 557–569.
- Lee, D. E., & Lim, T. K. (2011). An Expert System for Auditing Quality Management Systems in Construction. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 26, 612–631.
- Lee, E. D., Cho, C. Y. & Lee, J. B., (2006). A study on correlation of laborers' safety to hand tools in building construction. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 7(4), 61–68.
- Lee, I. S., and Chung, M. K. (1998) Workload Evaluation of Squatting Work Postures, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.24, No.2, pp.167–173.
- Lee, J. B., and Cho, C. Y. (2007) A Study on Workload Evaluation of Hand-intensive tasks of carpenters and structural steel workers, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.8, No.3, pp.134–141.
- Lee, J. B., Song, B. Y., & Yook, T. H. (2010). The Effects of Carthami Semen Pharmacopuncture and Bovis Calculus Fei Ursi Pharmacopuncture on the Heart Rate Variability.
- Lee, Y. K, Park, H. S & Park, J. K (2010). Development of a self administered checklist for evaluation of the musculoskeletal disorders risk factors in construction industry. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(5), 811–818.
- Li, K. W. & Lee, C. L. (1999) Postural analysis of four jobs on two building construction sites: an experience of using the OWAS method in Taiwan, *Journal of Occupational Health*, Vol.41, No.3, pp.183–190.
- Lim, T. K., Park, S. M., Lee, D. E. (2015) Assessment for the Physiological Workload of Waterproof workers, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.31, No.6, pp.33–41.
- Maiti, R. (2008) Workload assessment in building construction related activities in India, *Applied ergonomics*, Vol.39, No.6, pp.754–765.
- Mattila, M., Karwowski, W., & Vilkki, M. (1993) Analysis of working postures in hammering tasks on building construction sites using the computerized OWAS method, *Applied ergonomics*, Vol.24, No.6, pp.405–412.
- Min S. N., Lee, M. H., Jung, J. H., & Kim J. R. (2010). Analysis of Spinal Stability Affected by working on Scaffold. *Proceedings of the ESK*

Conference, 185–188.

Ministry of Employment and Labor (2014) 2014 Status of Industrial Accident.

Örtengren, R., Cederqvist, T., Lindberg, M., Magnusson, B. (1991) Workload in lower arm and shoulder when using manual and powered screwdrivers at different working heights, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.8, No.3, pp.225–235.

Seo, S.L. and Im, W.H. (2001) The EMG Measurement of Simple and Iterative Worker's Muscle Fatigue, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.6, No.3, pp79–86.

Sillanpää, J., Lappalainen, J., Kaukiainen, A., Viljanen, M., Laippala, P. (1999) Decreasing the physical workload of construction work with the use of four auxiliary handling devices, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.24, No.2, pp.211–222.

Soderberg, G.L. (1992) Selected topics in surface electromyography for use in the occupational setting: expert perspectives, Cincinnati, OH, US Department of Health and Human Services.

Son, C. B., Lee, D. E., & David Arditi. (2013). The Probability Distribution of Project Completion Times in Simulation-based Scheduling. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17, 638–645.

Vi, P. (2003). Reducing risk of musculoskeletal disorders through the use of rebar-tying machines. *Applied occupational and environmental hygiene*, 18(9), 649–654.

Vos, H. W. (1973). Physical workload in different body postures, while working near to, or below ground level. *Ergonomics*, 16(6), 817–828. *J Kor. Acu. Mox. Soc.*, 27(2), 11–21.

Woo, D. P., Lee, S. D & Lee, D. J. (2001). A study on physical work capacity and rest allowance for Korean. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 20(3), 37–46.

Yang S. H., Choi., J. H., and Yoo, S. D., (2000) *Ergonomics*, Hyeongseol Publisher.

Yang S. H. Cho M. S & Kang P (2004). An ergonomic research on injurious factors causing musculoskeletal disorders at a Bakery workplace. *Journal of Korea Safety Management & Science* 6(2), 35–48.

Woo, D. P., Lee, S.D., Lee, D.C. (2001) A Study on Physical Work Capacity and Rest Allowance for Korean, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.20, No.3, pp.37–46.

[부 록]

1. 논문, 특허 등 정량적 성과와 정성적 성과(연구성과 전체 집계 현황, 연구성과별 목록 등을 기술)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

비매품

