

웨어러블 로봇의 기술 현황 조사 및 개발 방향 제안 연구

김혜숙 · 구다솜 · 남윤자¹⁾ · 조규진²⁾ · 김선영[†]

서울대학교 의류학과

¹⁾서울대학교 의류학과/생활과학연구소

²⁾서울대학교 기계항공공학부/인간중심소프트로봇기술연구센터/정밀기계설계공동연구소

Research on Technology Status and Development Direction of Wearable Robot

Hye Suk Kim, Da Som Koo, Yun Ja Nam¹⁾, Kyu-Jin Cho²⁾, and Seonyoung Kim[†]

Dept. of Textiles, Merchandizing and Fashion Design, Seoul National University; Seoul, Korea

¹⁾ Dept. of Textiles, Merchandizing and Fashion Design/Research Institute of Human Ecology, Seoul National University; Seoul, Korea

²⁾ Dept. of Mechanical Engineering/Soft Robotics Research Center/Institute of Advanced Machines and Design, Seoul National University; Seoul, Korea

Abstract: Technology status was investigated by analyzing patents and development cases of wearable robots. Development direction of wearable robot for wearability was also suggested by understanding the problems of wearability from development cases through the FGI technique. The number of patents per technical field was the most in the field of strength support, but AI in the technology field was different in each country; Korea was found to be poor in the category of daily living assistance. The number of patents by technology category was the most in the category of muscular strength assistance. However, the values of AI in the technology category were different in each country; Korea was found to be poor in the category of daily living assistance. Development cases were focused on rehabilitation, so development is not fulfilled uniformly by use purpose. By wearing body parts, robots with single function type were mainly developed. Rigid material robots were mainly developed. It was confirmed that wearable robot technology is not developed evenly in the category of application because it is in the early stage of the technical proposal and centered on main performance improvement. We derived twelve wearable conditions for wearable robots: Shape and Size Appropriateness, Movement Appropriateness, Composition Appropriateness, Physiological Appropriateness, Performance Satisfaction, Ease of Operation, Safety, Durability, Ease of Dressing, Ease of Cleaning, Portability and Ease of Storage and Appearance Satisfaction. Finally, the development direction of a wearable robot for each wearable condition was suggested.

Key words: wearable robot (웨어러블 로봇), technology status (기술 현황), patents analysis (특허 분석), wearability (착용성), functional clothing (기능성 의류)

1. 서 론

최근 IoT, 로봇, AI, 3D프린팅, AR·VR 등의 기술이 대두되고 4차 산업혁명이 화두로 떠오르면서 머지 않은 미래 산업 전반에 큰 변화가 예상되고 있다(Huh et al., 2016). 로봇 기술은 20세기에 이미 산업 분야에서 눈부신 발전을 이루었으나 여전히 발전 중에 있는 기술로서 4차 산업혁명의 중요한 화제 중 하나이다. 세계 로봇 산업 시장은 2016년 기준 341억 달러에

서 2021년 2,262억 달러 수준으로 시장 규모가 확대될 것으로 전망되고 있다(Tratica, 2016). 로봇 기술의 응용 범위가 계속 확대되고 있으며 다양하고 복잡한 환경에 대처할 수 있는 형태의 로봇으로 세분화되는 추세이다(Cho & Lee, 2018). 지능형 로봇, 웨어러블 로봇, 유연 소재 로봇이 대표적이며 이들 로봇의 연구 개발이 전세계적으로 활발히 이루어지고 있다(Cho & Lee, 2018; Han, 2012; Ministry of Trade, Industry and Energy, 2017).

웨어러블 로봇은 인간의 운동을 보조해주는 입는 형태의 로봇 시스템으로(Jang & Song, 2016), 인간이 착용하여 성능을 발휘하므로 착용성이 고려되어야 하는 새로운 개념의 기능성 의류로 볼 수 있다. 착용성은 주요 성능을 지원하는 중요한 조건임에도 불구하고 현재의 웨어러블 로봇 연구는 사용자 관점의 착용성이 고려되지 못한 채로 개발이 진행되고 있는 것이 현실이다.

[†]Corresponding author; Seonyoung Kim

Tel. +82-2-880-8768, Fax. +82-2-875-8359

E-mail: aprilsl1@snu.ac.kr

© 2019 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이에 본 연구에서는 현재까지 개발된 웨어러블 로봇의 특허 출원 및 개발 사례를 조사하여 기술 현황을 알아보고, 웨어러블 로봇의 개발 사례로부터 착용성의 문제점을 파악하여 착용성의 관점에서 웨어러블 로봇의 개발 방향을 제안하고자 한다. 본 연구는 착용자 관점의 개발 방안 접근법을 제시함으로써 보다 인간중심적인 웨어러블 로봇의 개발에 기여할 수 있으며, 웨어러블 로봇을 융합적이고 종합적으로 개발하고자 하는 연구에 가이드라인을 제공할 수 있을 것이다.

2. 이론적 배경

2.1. 웨어러블 로봇(Wearable robot)

웨어러블 로봇(Wearable robot)은 몸에 착용하는 형태의 로봇 시스템으로서 로봇의 인공지능 부분의 자세제어, 상환인식, 동작신호 생성을 인간이 담당하면서 다양한 환경에 대응하여 착용자의 움직임에 고차중, 고기동성, 운동지속성을 지원해주는 로봇을 말한다(Jang & Song, 2016; Low et al., 2005). 동일한 의미로 착용형 로봇, 외골격 로봇(Exoskeleton robot), 슈트 로봇(Suit robot) 등의 용어가 혼용되고 있다. 재료에 따라 강체 소재 로봇과 유연 소재 로봇으로 나눌 수 있다. 강체 소재 로봇은 강철, 티타늄, 스테인리스 등 단단한 소재를 사용한 기계 구조를 가지는 로봇을 말하며, 유연 소재 로봇은 엘라스토머, 직물, 겔과 같은 유연한 소재로 이루어진 로봇으로 강체 소재에 유연 소재를 결합한 경우까지 포함한다.

최초의 웨어러블 로봇은 1960년대 개발된 미국 GE사의 하디맨(Hardiman)으로 알려져 있다. 2000년대 후반 미국 국방성 산하 방위고등연구계획국(DARPA)의 군용 웨어러블 로봇 개발 프로젝트(Chembot)가 시발점으로 작용하여 각국의 웨어러블 로봇 개발이 본격화되었다. 웨어러블 로봇은 센서, 제어, 소프트웨어 기술 등이 발전하면서 군용, 재난 구조용, 산업 작업용, 재활 치료용, 일상생활 보조용 등의 분야에 활용되고 있다. 웨어러블 로봇은 재난 현장, 산악 지형이나 험지 등 비정형적인 환경에 맞게 착용자로 하여금 인간의 육체적인 한계를 극복할 수 있게 하여 수행 시간 및 수행 가능 범위를 증대시킨다. 또한 일상생활에서 착용자의 신체 결함을 보조하거나 재활 치료를 위한 유용한 도구로 활용되고 있다(Ha, 2016; Jang & Song, 2016).

스마트 의류의 개념과 혼동의 여지가 있으므로 선행연구에서 정의되는 웨어러블 로봇과 스마트 의류의 개념을 비교해 볼 필요가 있다. 스마트 의류는 섬유나 의복 자체가 외부 자극을 감지하고 스스로 반응하는 소재의 기능성과, 디지털 장치에 의한 기계적 기능을 결합한 새로운 개념의 의류로 정의되고 있다(Noh & Park, 2011(as cited in Korea Electronics Technology Institute, 2006))

스마트 의류는 의류·섬유 분야에서 개발되는 기능복에 해당되며 섬유·소재 기술과 IT 기술의 결합이라는 점(Choi & Park, 2018)과 의류 제품 고유의 속성을 유지해야 하는 점, 디

지털 장치의 기능을 언제 어디서나 사용하는 점이 강조되고 있다(Cho et al., 2005). 이에 반해 웨어러블 로봇은 기계공학 분야에서 개발되는 착용형 로봇으로 특정되고 있으며 주된 개발 목적이 착용자에게 힘과 관련된 운동성을 부여하여 신체 기능을 강화하는 데에 초점을 맞추고 있다는 점(Ha, 2016), 현재까지 주로 강체 소재로 개발된 웨어러블 로봇이 다수이기 때문에 의류보다는 기계적 외형에 가깝다는 점이 스마트 의류와의 차이점이라고 할 수 있다. 하지만 웨어러블 로봇 개발 사례에서 환경 조건이나 착용자의 신체 상태, 동작을 실시간으로 측정하는 기술을 접목한 웨어러블 로봇이 개발되고 있으며(In, 2017), HAL(일본, Cyberdyne)과 H-MEX(대한민국, 현대차)과 같이 신체 전기 신호나 센서를 이용하여 동작 의도를 파악하거나 비정형적 환경에 실시간으로 반응하는 기술이 개발되고 있는 점으로 볼 때 스마트 의류와의 접점이 존재한다. 또한 강체 소재 로봇의 보완으로 유연 소재 로봇이 등장한 점으로 볼 때 의류에 가까운 외형으로 접근 중에 있다. 따라서 운동성 부여만이 웨어러블 로봇의 목적으로 국한시킬 필요는 없으며 향후 웨어러블 로봇의 사용 용도가 확장되고 유연 소재 및 첨단 섬유 소재를 폭넓게 활용한다면 넓은 의미에서 웨어러블 로봇과 스마트 의류를 유사 개념으로 볼 수 있다고 사료된다.

2.2. 특허활동지수(Activity Index: AI)

특허활동지수는 상대적 집중도 또는 활동력을 나타내는 지표로서, 관심대상인 국가 또는 기업이 특정 기술분야에 대하여 상대적으로 어느 정도 특허활동을 집중하고 있는가를 나타낸다. AI가 2 이상이면 상대적으로 특허활동이 활발함을 의미하며, 1~2 이면 비교적 활발함을 의미하고, 1 이하이면 특허활동이 부진함을 의미한다(Korean Intellectual Property Office [KIPO], 2017).

분석대상 기술의 특허활동지수는 다음 식과 같이 정의된다(KIPO, 2017).

$$* AI = \frac{\text{해당기술분야특정국가출원수} / \text{해당기술분야전체출원수}}{\text{특정국가전체출원수} / \text{전체출원수}}$$

Yun et al.(2011)은 NDSL 특허 DB를 통해 수집된 한국 특허에 대하여 대표적인 8개의 IPC인 약학, 운수, 바이오, 섬유, 건설, 기계부품, 정보통신, 전기·전자 산업군을 선정하여 활동성 지수, 혁신성지수, 생산성지수로 기술성을 평가하였다.

You et al.(2013)은 NDSL 특허 DB를 통해 수집된 스마트 의류에 대한 특허정보를 이용하여 국가별 주요 기술분야의 특허출원 비중과 특허활동지수를 분석하여 기술분야별 개발 동향을 분석하였다.

Song and Kim(2010)은 급경사지재해 안정화기술 분야에 관하여 한국, 미국, 일본 및 유럽에서 출원 공개·등록된 특허를 중심으로 양적인 통계를 의미하는 동향분석과 각 특허가 갖는 기술적인 내용을 의미하는 심층분석으로 나누어 수행하였다. 양

적인 측면의 특허 분석에서 특허건수와 특허활동지수를 분석지표로 활용하여 국가별 중점분야를 분석하였다.

2.3. 착용성(Wearability)

웨어러블 로봇의 착용성은 물리적으로 구현되는 로봇의 착용 형태와 인간 신체의 관계로서 신체에 장착된 로봇 장치에 의해 제공되는 신체적, 정신적, 사회적 측면의 편안함의 정도라고 정의할 수 있다(Dunne & Smyth, 2007; Gamperle et al., 1998).

최근 웨어러블 로봇이나 스마트 의류와 같은 새로운 형태의 의류제품의 등장으로 인해 기능을 고려한 착용성 평가척도의 설정이 요구되고 있다. 웨어러블 로봇의 개발은 기계 공학 분야에 특화되어 진행된 경우가 많아 개발단계에서 착용자의 관점을 거의 고려하지 못하고 있는 실정이며 웨어러블 로봇의 착용성을 다룬 연구는 거의 전무하다. 스마트 의류나 웨어러블 디바이스의 착용성 또는 착용성을 포함한 사용성을 다룬 연구들이 다소 존재하므로 웨어러블 로봇의 착용성 조건을 설정하기 위해 이들 연구들을 참고할 필요가 있다.

Gamperle et al.(1998)은 컴퓨터 기기와 착용자의 상호작용에 기초하여 디지털웨어의 디자인 지침으로, 인체에 대한 놓임 위치, 인체에 적합한 유기적 형태, 인체 동작, 여유감, 인체에 대한 사이즈 적합성, 편안한 착용감, 소재, 무게감, 접근성, 반응성, 온열감, 심미성, 내구성을 제시하였다.

Cho and Lee(2008)의 연구에서는 스마트 의류의 사용성 평가 범주를 의복 편의성, 심리적 인지, 기기-의복 간의 상호작용성, 기기 사용성으로 도출하였다. 의복 편의성은 외관, 착용감, 관리의 용이성의 요인을 포함하며, 의복 고유의 편의성을 평가하는 요인들로 구성된다. 인지적 변화, 위험인지, 정보획득의 유용성은 심리적 인지와 관련된 요인들로 스마트 의류를 착용하였을 때 느껴지는 심리적 변화와 관련된 범주이며, 기기-의복 간의 상호작용성은 기기부착의 적절성을 포함하는 범주로 적절한 위치에 기기가 부착되어 의복 착용시 느껴지는 착용감에 대한 평가이다. 인터페이스 조작의 용이성 요인은 기기 착용성의 범주로 기기를 조작하고 사용함에 있어 쉽게 배우로 쉽게 조작할 수 있는지를 평가하는 범주로 구분된다.

Yook(2004)의 연구에서는 사용성 평가 전문가에 의해 사용성의 전반적인 문제점을 짚어보는 인지적 사용평가를 시행하고, 일반 사용자의 요구 분석 단계를 통해 사용자가 생각하는 중요 사용성 요소를 도출하여 스마트 재킷을 대상으로 타당하고 신뢰성 있는 사용성 평가척도를 개발하였다. 평가척도를 구성하는 범주는 착용 편의성, 정보와의 상호 작용성, 운동기능성, 사용 편의성, 적응성, 심미적 외관, 즉시성, 도움말 제공, 기기의 배치, 내구성으로 도출하였으며 개발 스마트 재킷에서 유의미한 사용성 요인이 있음을 밝힌 바 있다.

Chae et al.(2006)의 연구에서는 웨어러블 컴퓨터 사용성 평가척도 개발을 위하여 사용자 평가 결과와 전문가들의 의견을 반영하여 평가 항목 사용성 평가문항의 기초 안을 개발하여 관찰평가와 착의평가 설문을 진행하였다. 설문의 분석 결과, 사용

성 평가 문항으로 사회적 수용성, 사용 편의성, 동작 용이성, 외관, 내구성-위험, 통제감×즉시성, 전자파에 대한 우려, 단축성 소재를 제시하였다.

Cho et al.(2014)의 연구에서는 재활훈련기에 대한 디자인 평가 방안을 모색하기 위해 디자인 평가를 위한 기본 요소를 파악하고 토의 및 분석, 실험을 통하여 새로운 평가 요소를 도출하였다. 연구의 기존 디자인 평가 요소들을 수집, 분석하여 10가지의 재활훈련기 디자인 평가 요소로 사용성, 인지성, 안전성, 학습성, 운동성, 내구성, 경제성, 공간성, 심미성, 환경성을 도출하였다.

이들 선행연구들을 살펴볼 때, 웨어러블 로봇의 착용성 조건을 도출하기 위해서는 본래 의복이 가지는 인체와 의복 사이의 적합성을 기본적으로 고려하는 것은 물론, 기능을 수행하는 기기의 결합으로 인해 새롭게 나타나는 인체와의 관계 및 인체에 대한 영향을 고려해야 하며 특화된 성능을 지원하는 데 착용성이 관련되는 범주를 논의해야 할 것으로 보인다.

3. 연구방법

3.1. 자료 수집

3.1.1. 특허 자료 수집

본 연구에서는 특허를 통한 웨어러블 로봇의 개발 동향 분석을 위하여 각 국가별로 출원되어 발행된 특허의 모든 IPC(International patent classification)를 수록하여 폭넓은 기술분야를 커버하는(You et al., 2013) NDSL(National Digital Science Library) 특허 DB를 이용하여 1990년대 이후 2017년까지 출원 공개 및 등록된 웨어러블 로봇 관련 특허 데이터를 수집하였다. 이 때 검색 조건으로 특허 데이터의 발행 국가를 지정하여 검색하였다. 국가는 웨어러블 로봇 개발 연구가 활발한 대표적인 국가인 미국과 일본으로 지정하였으며 한국의 개발 실태를 파악하고자 한국을 포함하였다. 웨어러블 로봇 관련 검색어로 연구 및 특허에서 가장 많이 사용된다고 판단되는 'Wearable robot', 'Exoskeleton robot', 'Robot suit'를 사용하였고 중복된 특허를 제거하는 작업을 거쳐 최종 특허 데이터 총 356개를 선별하였다. 웨어러블 로봇의 주요 특허활동 기술분야를 분석하기 위해 특허 DB를 통해 분석 대상 특허의 IPC에 의한 기술분야도 함께 수집하였다. IPC는 국제적으로 통용되고 있는 특허분류이므로 외국 특허의 원활한 이용과 검색이 가능하며 국제특허청(WIPO, World Intellectual Property Organization)에서 분류하는 기준과 호환이 가능한 장점이 있다(Yun et al., 2011).

3.1.2. 사례 자료 수집

사례를 통한 웨어러블 로봇의 개발 동향 분석을 위하여 2000년 이후 게재된 국내의 연구논문과 기관 보고서, 기사 총 51개를 통해 웨어러블 로봇의 개발 사례 117개를 수집하였다. 연구논문의 경우 국외 논문은 영향력지수(IF, Impact Factor)가

1 이상의 논문을, 국내 논문은 영향력지수가 존재하는 KCI급 이상의 논문을 분석자료로 사용하였다.

3.2. 분석 방법

3.2.1. 특허를 통한 개발 동향 분석

수집된 특허 데이터에 대하여 특허건수와 특허활동지수(AI, Activity index)를 분석지표로 활용하여 특허를 통한 개발 동향 분석을 수행하였다. 연도별 특허 출원 추이, 기술분야별 특허 출원 비중, 국가별 기술분야 특허활동지수를 빈도분석하였다. 특허가 출원되면 특허 공개제도에 따라 1년 6개월이 경과해야 공개 공보로 공지된다(Yun et al., 2011). 따라서 2015년 이후의 출원 특허는 아직 미공개 상태의 출원이 많으므로 연도별 특허 출원 추이에 대하여 2015년까지만 유효 구간으로 처리하여 특허 338개에 대하여 분석하였다. 개별 특허가 2개 이상의 기술분야를 가지는 경우가 존재하므로 기술분야의 중복을 허용하여 특허 356개에 대하여 기술분야 537개를 분석하였다.

IPC에 의한 웨어러블 로봇의 기술분야는 총 6개 분야인 ‘재활 치료(A61H)’, ‘일상생활 보조(A61F)’, ‘근력 지원(B섹션)’, ‘엔진·기계장치(F섹션)’, ‘제어·프로그래밍(G섹션)’, ‘기타(etc.)’가 도출되었다(Table 1). A섹션(생활필수품)의 경우 A61H(재활 치료)와 A61F(일상생활 보조)로 뚜렷하게 구분되었으므로 별개의 기술분야로 표기하였고 C섹션(화학·야금), D섹션(섬유·지류), E섹션(고정구조물), H섹션(전기)의 경우 특허건수가 10 이하의 소수로 나타나 ‘기타’로 처리하였다.

3.2.2. 사례를 통한 개발 동향 분석

2000년 이후 국내외에서 개발된 웨어러블 로봇 사례 117개를 대상으로 국가, 제품명, 사용 용도, 착용 부위, 소재, 제작 의도 및 기능 상의 특징을 조사하였고 사용 용도와 착용 부위, 소재에 따라 분류하여 빈도분석을 통해 개발 동향을 분석하였다. 사용 용도는 군용, 산업 작업용, 재난 구조용, 재활 치료용, 일상생활 보조용 5개 용도로, 착용 부위는 상지, 하지, 전신, 손·손목, 발·발목 5개 부위로, 소재는 강체 소재와 유연 소재로 분류할 수 있었다. 본 분석에서 ‘강체 소재’는 강체 소재만으로 구성된 로봇을 나타내고 ‘유연 소재’는 유연 소재만으로 이루어진 경우뿐만 아니라 강체에 유연 소재를 결합한 경우도 포함하였다.

Table 1. Classification of wearable robot technology by IPC (International patent classification)

Technology	Technology category	IPC abbreviation
Wearable robot technology	Rehabilitation	A61H
	Daily activity assistance	A61F
	Muscular strength assistance	B
	Engine & machine	F
	Control & programming	G
	etc.	etc.

Table 2. Wearability condition candidates of wearable robot for focusing group interview

No.	Candidates of wearability conditions
1	Appearance satisfaction
2	Performance satisfaction
3	Ease of operation
4	Accessibility
5	Shape and size appropriateness
6	Movement appropriateness
7	Composition appropriateness
8	Physiologic appropriateness
9	Ease of cleaning
10	Safety
11	Burden of expense
12	Ease of dressing
13	Ease of repair

3.2.3. 웨어러블 로봇의 착용성의 과제와 웨어러블 로봇의 개발 방향 제안

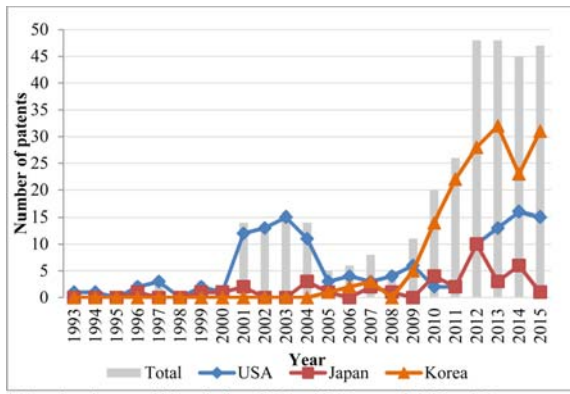
웨어러블 로봇의 착용성의 과제와 웨어러블 로봇의 개발 방향의 대안을 모색하기 위하여 웨어러블 로봇 개발 연구 경험이 있는 기계공학과 및 의류학과 석박사로 이루어진 전문가 집단 13명을 대상으로 질적 연구방법 중 전략 대안의 모색에 자주 활용되는 초점집단 면접(FGI, Focus group interview)(Kim et al., 2012)을 실시하였다. 이 때 의복, 스마트 의류, 웨어러블 제품의 사용성 및 착용성 평가 범주를 다룬 선행 연구(Chae et al., 2006; Cho & Lee, 2008; Gamperle et al., 1998; Yook, 2004)를 참고하여 작성된 착용성 조건의 후보 13개(Table 2)를 부연 설명 및 웨어러블 로봇 개발 사례의 사진 및 설명 자료(Table 5)와 함께 제시하였다. FGI를 통해 조건 후보가 착용성 조건이 되는지 여부를 비롯하여 개발 사례 각각에 대한 착용상의 문제점을 자유롭게 토론하도록 하였으며, 웨어러블 로봇 개발을 위한 착용성의 세부 평가 조건에 대한 의견을 제시할 수 있도록 하였다. 수합된 내용을 바탕으로 각 조건을 기준으로 개발 사례에 나타나고 있는 착용성의 문제점 및 착용성 관점에서 웨어러블 로봇의 개발 방향을 도출하였다.

4. 결과 및 논의

4.1. 특허를 통한 개발 동향 분석 결과

4.1.1. 연도별 특허건수 분석

특허를 통한 웨어러블 로봇의 개발 동향 분석 결과, 연도별 출원된 특허건수는 2001년부터 14개로 증가 폭이 늘기 시작하였으며 2010년대부터 급속도로 증가하여 연도마다 특허건수가 40개 이상으로 유지되고 있다(Fig. 1). 국가별로 출원된 특허건수의 추이를 볼 때, 2000년대 초반에는 주로 미국에 의해 웨어러블 로봇이 개발되었고 한국, 일본에서는 개발이 거의 이루어



* 18 unreleased patents which are the data of 2016 and 2017 were excluded from 356 patents.

Fig. 1. Number of patents of three countries by year (N=338*).

지지 못하였다(Fig. 1). 한국과 일본은 2010년 이후에 비로소 웨어러블 로봇 개발 연구가 증가하였다. 한국의 특허건수가 미국과 일본에 비해 많은 것은 NDSL에서 국내 특허의 경우 거의 대부분이 수록되는데 반하여 국외 특허의 경우 그 국가의 국내 특허가 제외되기 때문으로, 이용할 수 있는 DB의 한계로 인해 특허건수를 국가 간에 비교하는 것보다는 국가별 추이를 해석하는 것이 더 타당하다고 사료된다.

4.1.2. 기술분야별 특허건수 분석

6개 분야로 분류된 기술분야별 웨어러블 로봇의 특허 출원 비중을 살펴보면(Table 3), 가장 많이 출원된 분야는 ‘근력 지원’에 해당하는 B섹션(280개, 52.1%)으로 나타났으며, ‘재활 치료’에 해당하는 A61H(84개, 15.6%), ‘제어·프로그래밍’에 해당하는 G섹션(78개, 14.5%) 순으로 나타났다. 따라서 출원 특허를 통해 알아본 웨어러블 로봇의 개발은 근력 지원이 과반수를 차지하는 가운데 재활 치료 목적이 비교적 활발히 이루어지고 있으며 이를 제어하고 구동하기 위한 프로그래밍의 개발이 함께 이루어지는 것으로 파악되었다. ‘일상생활 보조’(A61F)와 ‘엔진·기계장치’(F섹션) 관련 특허 출원 활동은 각각 3.2%(17개), 2.6%(14개)를 차지하여 저조한 것으로 나타났다.

4.1.3 특허활동지수 분석

한국, 미국, 일본 3개국의 국가별 웨어러블 로봇의 6개 기술 분야 특허활동지수(AI)를 분석한 결과(Fig. 2), 한국의 경우 특허건수는 ‘근력 지원’(B섹션) 분야가 60.6%(151개)로 가장 많았지만(Table 3) AI는 ‘재활 치료’(A61H, 1.33) 분야가 가장 높게 나타나 재활 치료 목적의 웨어러블 로봇의 특허 활동이 가장 활발한 것으로 나타났다. ‘재활 치료’와 더불어 ‘엔진·기계장치’(F섹션, 1.24), ‘근력 지원’(B섹션, 1.17) 분야는 특허활동이 비교적 활발한 분야로 분석되었다. 미국의 경우 ‘근력 지원’(B섹션) 분야 특허건수가 42.2%(81개)로 가장 많았지만(Table 3) ‘제어·프로그래밍’(G섹션) 분야의 AI가 2.06으로 나타나 특허활동이 활발하다고 분석되며, ‘일상생활 보조’(A61F) 분야의 AI가 1.47로 나타나 특허활동이 비교적 활발하다고 분석되었다. 일본의 경우 ‘근력 지원’(B섹션) 분야 특허건수가 50.5%(48개)로 가장 많았지만(Table 3) ‘재활 치료’(A61H, 1.33)와 ‘일상생활 보조’(A61F, 1.33), ‘엔진·기계장치’(F섹션, 1.17) 분야의 AI가 1 이상으로 특허활동이 비교적 활발한 것으로 나타났다. 따라서 한국과 일본은 웨어러블 로봇의 사용 용도인 근력 지원, 재활 치료, 일상생활 보조에 특허활동이 활발한 반면 미국은 웨어러블 로봇의 제어와 프로그래밍관련 특허활동에 더 집중하고 있는 것으로 분석된다. 이와 같이 Table 3의 특허건수는 각국 모두 ‘근력 지원’ 분야에서 가장 높게 나타났지만 Fig. 1의 AI 분석 결과는 각국이 다르게 분석되었다. 한국과 일본은 웨어러블 로봇의 사용 용도에 대한 특허활동이 활발한 반면에 미국은 제어·프로그래밍에 대한 특허활동에 집중하고 있는 점이 특징적이며, 한국과 달리 미국과 일본은 일상생활 보조 분야에도 비교적 활발한 특허활동이 진행되고 있으며 한국은 일상생활 보조와 제어·프로그래밍에 대한 특허활동이 특히 부진한 것을 알 수 있었다.

4.2. 사례를 통한 개발 동향 분석 결과

4.2.1. 빈도분석 결과

국내의 사례를 통한 웨어러블 로봇의 개발 동향 분석 결과, 활용 분야 즉, 사용 용도별로 웨어러블 로봇의 개발 사례를 살펴보면(Table 4) 웨어러블 로봇을 재활 치료용으로 개발한 사

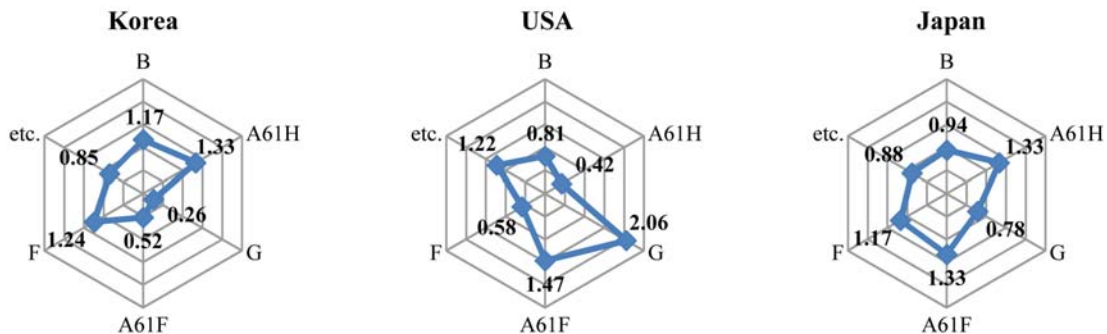


Fig. 2. Value of activity index (AI) of wearable robot technology category by nation (N=537*).

Table 3. Number of wearable robot patents in wearable robot technology category by country

(N=537*)

Technology category	Korea (counts, %)	USA (counts, %)	Japan (counts, %)	Total (counts, %)
B	151 (60.6%)	81 (42.2%)	48 (50.0%)	280 (52.1%)
A61H	51 (20.5%)	13 (6.8%)	20 (20.8%)	84 (15.6%)
G	9 (3.6%)	58 (30.2%)	11 (11.5%)	78 (14.5%)
A61F	4 (1.6%)	9 (4.7%)	4 (4.2%)	17 (3.2%)
F	8 (3.2%)	3 (1.6%)	3 (3.1%)	14 (2.6%)
etc.	26 (10.4%)	28 (14.6%)	10 (10.4%)	64 (11.9%)
Total	249 (100%)	192 (100%)	96 (100%)	537 (100%)

*Duplication of technology category from 365 patents was allowed.

례가 69.2%(81개)로 나타나 다수를 차지하고 있으며, 산업 작업용(14.5%, 17개), 군용(8.5%, 10개), 일상생활 보조용(6.8%, 8개), 재난 구조용(0.9%, 1개) 순으로 나타났다. 특히 분석에서 재활 치료에 관한 특허활동은 비교적 활발한 수준이었으나 사례에 나타난 웨어러블 로봇의 개발은 재활 치료용에 매우 치중되어 있는 것으로 나타났다. 산업 작업용과 일상생활 보조용으로 활용 범위가 확대되는 추세이나 아직까지 개발 사례가 적은 것으로 판단되며 특히 사회적으로 필요한 재난 구조용의 개발은 더욱 저조한 것으로 나타나 다양한 용도를 위한 웨어러블 로봇의 개발이 요구되고 있었다.

착용 부위별 웨어러블 로봇의 개발 사례에서(Table 4) 하지 로봇의 개발 사례가 34.2%(40개)로 나타나 가장 많았으며 상지(22.2%, 26개), 손·손목(18.8%, 22) 발·발목(17.9%, 21), 전신(6.8%, 8개) 순으로 나타났다. 보행 능력 향상을 위한 하지 보조 로봇의 개발이 비교적 많았으나 전신용 로봇을 제외하고 착용 부위가 전반적으로 고른 분포를 보였다. 하지만 전신을 비롯하여 신체 부위가 복합적으로 적용되는 사례가 거의 없는 것으로 나타나 국부 부위에 착용하는 단일 기능형으로 주로 개발되고 있는 점이 지적될 수 있다. 앞서 활용 분야에서 특정 분야에 치중되어 개발되고 있는 점을 비롯하여 복합적 기능을 수행하는 로봇이 거의 없다는 것은 현재 웨어러블 로봇 기술이 신기술 제안의 초기 단계에 있기 때문이라고 해석되었다.

소재별 웨어러블 로봇의 개발 사례에서(Table 4) 강체 소재 로봇의 개발 사례가 82.1%(96개)로 나타나 큰 비중을 차지하며 유연 소재(17.9%, 21개)를 적용한 로봇의 개발이 부족한 것으로 나타났다. 수집된 사례들을 살펴볼 때 강체 소재로 이루

어진 웨어러블 로봇은 큰 지지력과 내구성의 장점이 있으나 무게가 부담으로 작용하며 신체의 움직임을 제약하는 등 착용성의 문제가 발견되고 있다. 웨어러블 로봇이 강체 소재 위주로 개발되고 있는 것은 이제까지의 로봇 기술이 정형화된 공간 안에서 수행되는 산업용에 최적화되어 발전되어 온 것에 기인한다. 강체 소재 로봇은 산업용뿐만 아니라 서비스용으로 적용 범위가 확대되면서 복잡하고 비정형화된 공간에서의 성능과 사용 범위에 한계를 드러냈다(Cho & Lee, 2018). 주변 환경에 대한 적응능력을 부여하기 위해서 부드럽고 유연한 소재가 결합된 웨어러블 로봇의 개발이 시도되고 있으나 본 연구의 결과 유연 소재 로봇의 개발 사례는 아직도 부족한 것으로 사료된다.

4.2.2. 사례조사 결과

조사된 웨어러블 로봇의 개발 사례는 분량이 방대하므로 대표적인 사례를 추려 사용 용도를 기준으로 크게 나누어 국가, 제품명, 사용 용도, 착용 부위, 소재, 제작 의도 및 기능 상의 특징을 표로 정리하였다(Table 5).

군용 로봇은 대부분의 사례에서 전신 또는 하지의 근력을 증강시켜 중량물 이송 능력을 높이거나 험지에서의 이동 능력을 강화하는 데 초점을 맞추고 있었다. 10개 중 미국의 개발 사례 수가 6개를 차지하며 다른 사용 용도에 비해 전신 착용이 4개로 다소 나타나고 있다. 10건 중 9건이 강체 소재로 개발되었다. 산업 작업용 로봇은 산업 현장에서 무거운 물체를 운반하거나 작업 동작을 보조하는 형태로 주로 개발되고 있으며 농업용의 경우에 환경적 조건이나 농 작업자의 동작을 파악하는 로봇도 나타나고 있었다. 농업용 로봇은 7개 중 일본에서 4개로

Table 4. Number of case of developed wearable robot by use, body part and material

(N=117)

By use		By body part		By material	
Type of wearable robot	Counts (%)	Type of wearable robot	Counts (%)	Type of wearable robot	Counts (%)
Military	10 (8.5%)	Upper limb	26 (22.2%)	Rigid material	96 (82.1%)
Industrial work	17 (14.5%)	Lower limb	40 (34.2%)		
Disaster relief	1 (0.9%)	Whole body	8 (6.8%)		
Rehabilitation	81 (69.2%)	Hand & wrist	22 (18.8%)	Soft material	21 (17.9%)
Daily activity	8 (6.8%)	Foot & ankle	21 (17.9%)		
Total	117 (100%)	Total	117 (100%)		

Table 5. Results of case research of developed wearable robot by use








						Military
Nation	Name	Material	Body part	Characteristic	Picture	
USA	XOS2	Rigid	Whole body	Increasing the human strength, agility and endurance capabilities of the soldier inside it.		(https://www.amytechnology.com)
France	HERCULE	Rigid	Whole body	Assisting the soldier with the carrying and handling of heavy loads, thus increasing his stamina. Three major advantages are a large autonomy, the impulse of passive motion, and the synergy of sensor use.		(https://www.defense.gouv.fr)
Japan	Power Loader	Rigid	Whole body	Increasing human strength. The legs of the suit have motors at the hips, knees, and ankles and are controlled by signals sent by six-axis force sensors located in the sole of the shoes.		(https://newatlas.com)
Korea	HEXAR-CR50	Rigid	Lower limb	By measuring the interaction between the wearer and the robot, the external skeletal robot can enhance the wearer's muscle strength. Carrying a load of up to 40kg on the back and moving at a walking speed of up to 6.5 km/h.		(http://www.hexarsystems.com)
USA	X1	Rigid	Lower limb	Strengthening the strength of astronauts and their ability to adapt to the earth.		(https://www.nasa.gov)
USA	Soft Exosuit	Soft	Lower limb	Attached with a network of fabric straps and network of cables to transmit forces to the joints. Batteries and motors mounted at the waist to avoid having any rigid components interfering with natural joint movement.		(https://neszter.wordpress.com)
						Industrial work
Nation	Name	Material	Body part	Characteristic	Picture	
Korea	H-WEX	Rigid	Whole body	Designed to prevent back injuries for workers while doing repetitive manual tasks and lifting heavy objects. Lightweight and portable. Integration with mobile phones to control motor behavior.		(https://exoskeletonreport.com)

Table 5. Continued.





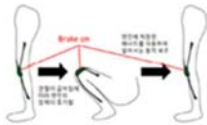


Industrial work						
Nation	Name	Material	Body part	Characteristic	Picture	
Japan	Whole body exoskeleton robot for agricultural work	Rigid	Whole body	Exoskeleton robot helps worker's upper body as well as lower body motion.	 <p>(Toyama & Yamamoto, 2009)</p>	
USA	FORTIS	Rigid	Upper limb	Elevating and supporting a worker's arms to assist them with tasks ranging from chest height to overhead. Lightweight and low profile and comfortable to wear in all conditions while enabling freedom of motion.	 <p>(https://eksobionics.com)</p>	
Japan	Upper body exoskeleton robot for agricultural work	Rigid	Upper limb	Assisting in lifting heavy objects when carrying out agricultural work. Using an electromyogram signal.	 <p>(Yagi et al., 2009)</p>	
Japan	Semi-automatic flexible wearable robot	Soft	Lower limb	Assisting in extending the knee and waist by attaching a band to the body. Assisting in lifting objects during agricultural operations. By adjusting the length of the band through the actuator, the force supporting the movement adjusted.	 <p>(Tanaka et al., 2008)</p>	
Korea	Semi-automatic wearable robot using braking mechanism	Soft	Lower limb	Based on the braking mechanism, it is possible to assist with large forces while minimizing the actuator, and is very suitable for repetitive motion assistance and postural support. Stopping the brakes can eliminate restrictions on movement by the band, which can complement the disadvantages of conventional methods.	 <p>(In et al., 2017)</p>	
Disaster relief						
Nation	Name	Material	Body part	Characteristic	Picture	
Korea	Hyper-3.5	Rigid	Lower limb	Assisting fire suppression for fire fighters.	 <p>(https://www.kitech.re.kr)</p>	
Rehabilitation						
Nation	Name	Material	Body part	Characteristic	Picture	
Switzerland	Armeo Power	Rigid	Upper limb	Supporting upper body weight with a display that provides visual effects. Mainly supporting extended motion.	 <p>(https://www.hocoma.com)</p>	

Table 5. Continued.



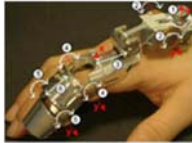







						Rehabilitation	
Nation	Name	Material	Body part	Characteristic	Picture		
USA	Anklebot	Rigid	Foot & ankle	A type of robot worn on the knees and feet to help the movement of the dorsiflexion and plantar flexion, inversion and eversion of the ankle.	 (http://news.mit.edu)		
Israel	ReWalk	Rigid	Lower limb	Assisting muscles in spinal cord injury patients (SCI). Used for stand up, walk and climb stairs.	 (https://rewalk.com)		
Italy	HANDEXOS	Rigid	Hand	Assisting stroke patients with the finger extension and folding movement. Designed to bend and unfold each joint of the finger independently through wires.	 (Chiri et al., 2012)		
Korea	Angelegs	Soft	Lower limb	Helping walk patients with partial paralysis of lower extremities and superelevation and temporary damage.	 (http://angel-robotics.com)		
Korea	Exo-glove	Soft	Hand	Designed with silicon material for easy cleaning. The unit configured to assist the two actuators with the forces of thumb, index and mid-range bending and unfolding. By using under activation method using one tendon, it is possible to assist in grasping various shapes of objects.	 (http://dongascience.donga.com)		
						Daily activity	
Nation	Name	Material	Body part	Characteristic	Picture		
Korea	Smart Walker	Rigid	Lower limb	Powered at the pace of walking by the elderly or the patient. Identify the idea of walking in order to help you walk safely and then drive at the speed of walking. To rest or use as a wheelchair with a chair.	 (https://social.lge.co.kr)		
Korea	H-LEX	Rigid	Lower limb	Helping the activities of a weak person. A walking robot as a kind of short-distance vehicle to support daily life.	 (https://news.naver.com)		

Table 5. Continued.

Daily activity					
Nation	Name	Material	Body part	Characteristic	Picture
Japan	HAL Lumbar Type for Care Support	Rigid	Lower limb	Supporting the daily life of the elderly. Mitigating risks of back pain by reducing the stress on the back. Used for standing or sitting motion.	 (https://www.cyberdyne.jp)
Japan	Honda Walking Assist Device	Rigid	Lower limb	Training device that efficiently supports walking based on the inverted pendulum model and the theory for bipedal walking. Detecting movement of the hip joint during walking with sensors built into the right and left motors, and guides the beginning and kicking movement of the lower legs by assisting bending and extension of the hip joints with the computer-controlled motors.	 (https://global.honda)
USA	Myomo	Rigid	Upper limb	Working by reading the faint nerve signals (myoelectric signals) from the surface of the skin then activating small motors to move the arm and hand depending on the user's intention (no electrical stimulation).	 (https://myomo.com)

나타나 활발히 시도되고 있으며 농업용에서만 유연소재 로봇(3개)이 시도되었다. 재난 구조용 로봇은 1개로 개발 사례수가 매우 부족한 상태로 나타나고 있다. 자발적인 개발 사례가 부족하다면 국가적인 지원이 요구된다. 재활 치료용 로봇은 신체 부위 마비환자, 뇌졸중, 척수손상환자 등 운동능력과 감각능력이 손실된 환자를 중심으로 운동성을 부여하는 데 초점을 맞추고 있었다. 개발 사례 수(81개)가 가장 많을 뿐만 아니라 하지 뿐 아니라 손, 상지, 발목 부위에 대한 개발이 활발히 시도되고 있으며 16개의 손 부위 로봇 중에서 유연 소재 로봇이 9개로 나타나고 있었다. 일상생활 보조용 로봇은 환자나 노령자의 일상 생활을 지원하기 위하여 서거나 앉는 동작, 걷는 동작, 식사 동작 등을 보조하는 형태로 나타나고 있었다. 재활치료용에서 파생된 형태로 개발되기도 하나 개발 사례 수(8개)가 많지 않았다. 웨어러블 로봇의 개발 사례를 살펴볼 때, 웨어러블 로봇 기술은 아직 개발 초기 단계인 만큼 활용 분야가 편중되어 있어 고르게 발전되지 못하고 유연 소재 로봇 개발이 아직 활발하지 못한 상태이며 주요 성능 향상을 위한 신기술 제안 위주로 진행되고 있는 것으로 파악되고 있었다.

4.3. 웨어러블 로봇의 착용성의 과제와 웨어러블 로봇의 개발 방향 제안

4.3.1. 웨어러블 로봇의 사례 평가와 착용성 문제점 도출

FGI의 결과, 개발 사례들에 대하여 전문가들이 제기한 웨어러블 로봇의 착용성 문제점을 사용용도별로 정리해 보면, 군용 로봇은 대부분의 사례에서 근력 증강의 성능을 확보하기 위하

여 강제 소재로 제작되어 기기 자체의 중량 문제가 발생할 수 있으며 동작적합성 측면에서 자연스러운 운동성이 부여되기 어려운 것으로 지적되었다. 또한 형태 및 치수 적합성을 확보하기에 한계가 있었다. 유연 소재 로봇인 Harvard University의 Soft Exosuit는 섬유 스트랩과 케이블 네트워크를 통해 동작 적합성을 향상시키고 신체에 타이트한 의복 형태로 형태 및 치수 적합성에 대한 고려도 이루어진 것으로 평가되었다. 대부분의 경우에 중량물 이송을 위하여 어깨에 밴드를 매는 형태로 이루어져 어깨에 하중이 집중되는 문제가 발생할 수 있는데 하중의 분산 문제는 구성 적합성과 관련된다. 또한 군용 로봇의 기능이 단순히 중량물의 이송 능력을 높이거나 험지에서의 이동 능력을 강화하는 기능만으로 충분하지에 대한 성능에서의 의문이 제기되었다. 또한 로봇이 군용으로 사용되기 위해서는 요구되는 다양한 기능의 유형 분석과 함께 복잡하고 비정형적인 환경 조건이 고려됨에 따른 동작 분석이 요구된다. 다른 Power Loader, HEXAR-CR50와 같이 밴드와 같은 구성물이 기능적으로만 배치되거나 XOS2와 같이 케이블이 그대로 노출되어 있는 것으로 보아 심미적 측면에 대한 고려가 부족한 채로 기능 제안의 측면만이 강조되어 제작된 것으로 평가되었다. 내부 구성물이 그대로 보이거나 마감처리가 부재하게 되면 착용감 자체가 떨어지고 착용에서 기인되는 부상의 우려도 존재하므로 안전성의 문제가 제기되었다. HERCULE과 X1는 심미적 측면을 고려하여 설계된 것으로 보이나 강제 소재라는 점에서 동작이 제한되는 측면이 존재했다.

산업 작업용 로봇은 공장 제조용으로 만들어진 Ekso BIONICS

의 FORTIS를 제외하고 주로 물체를 운반하는 용도로 개발되고 있는 점이 한계로 지적되었다. 작업의 유형에 따라 작업 환경 조건, 작업 시간, 자세, 적용 신체 부위, 지원해야 하는 근력의 강도가 다양하므로 산업에서 폭넓게 활용되기 위해서는 여러 가지 유형의 작업에 대한 분석을 바탕으로 로봇이 개발되어야 한다. 작업 환경의 기온, 습도, 기압, 위생 조건이 특수한 경우에 작업자의 생리 적합성과 안전성이 고려되어야 하며 로봇을 작업장까지 운반하여 착탈의 할 때 무겁거나 입기 복잡하거나 시간이 오래 걸린다면 착용 자체가 꺼려질 가능성도 있다고 하였다. 완성형 의복의 형태가 아닌 로봇의 경우에 로봇을 벗어서 보관할 때 좁고 복잡한 작업장에서 노출된 여러 개의 밴드나 케이블, 구동기 등의 구성물이 정리되지 않고 놓이게 된다면 보관의 문제가 발생할 수 있다고 지적되었다. 또한 산업용 로봇의 착용성을 향상시키기 위하여 유연 소재 로봇의 개발이 필요하다고 하였다. 산업 작업용 로봇의 개발 사례 중 Ekso BIONICS의 FORTIS와 현대차의 H-WEX는 완성형 제품의 외관을 가지고 있으나 상용화 이전 단계의 로봇들은 군용 로봇과 마찬가지로 인체의 형태 및 치수 적합성이 고려되지 못하고 성능 지원에만 초점을 맞추어 개발되고 있는 것으로 평가되었다.

재난 구조용 로봇은 개발 사례 자체가 거의 없는 상황으로 성능과 동작 적합성은 물론 안전성, 생리 적합성, 착탈의 용이성의 문제가 지적되었다. 긴급한 시간 내에 다양하고 복잡한 재난 상황에서 요구되는 동작에 대한 고려가 필요하고 재난 구조 시 속도 향상과 함께 적은 근력의 투입으로 동작이 가능하여 구조 작업자의 피로도를 줄일 수 있어야 한다. 따라서 특수한 재난 환경 조건이 고려되어 구조 작업자의 안전과 생리적합성이 확보되어야 한다.

재활 치료용 로봇은 운동 능력과 감각 능력이 손실된 환자에게 운동성을 부여하는 형태로 개발되고 있어 특정 질환에 대한 치료라는 성능과, 치료되는 신체 부위의 동작 적합성을 확보하려는 시도가 활발히 이루어지고 있는 것으로 보였다. 특히 손의 경우에 유연 소재를 적용하여 관절의 움직임을 반영하는 시도가 활발한 것으로 나타났다. 상용화 제품 중에는 HAL과 같이 심미적인 측면이 고려된 것으로 보이는 경우와 ReWalk와 같이 경량화의 특징이 두드러진 경우도 있으나 Armeo Power의 경우 부피가 크고 고정형 로봇으로 개발되어 운동성이 제한적인 경우도 보이고 있었다. 기본 동작 자체가 어려운 환자가 사용하므로 조작법이 용이해야 하며 안전성, 착탈의 용이성이 중요하게 고려되어야 할 것으로 지적되었다. Exo-glove의 경우에 실리콘 재료로 설계되어 쉽게 세척이 가능하도록 제작되었는데 재활치료와 일상생활 보조를 위한 로봇은 장기적, 일상적으로 사용되므로 세척과 같은 관리의 문제도 제기되었다.

일상생활 보조용 로봇은 노약자나 환자와 같은 거동불편자가 일상적인 활동이 가능하도록 제작된 것이므로 군용이나 재난 구조용 로봇이 지원하는 근력에 비해 작은 힘이 지원되어도 충분하며 착탈의가 쉽고 휴대 및 보관이 용이해야 착용 자체가

선호되므로 WAD, Honda Walking Assist Device와 같이 착용 면적이 적고 부피가 작게 개발된 것으로 평가되었다.

웨어러블 로봇의 개발 사례를 살펴볼 때, 개발 단계에서 착용성에 대한 고려가 부족하기 때문에 로봇의 착용, 조작, 사용, 관리하는 과정에서 해결되어야 할 문제점들도 함께 발견되고 있었다. 강체 소재와 유연 소재가 갖는 각각의 장점인 지지력 및 내구성과 적응력을 동시에 만족시키는 웨어러블 로봇의 개발 연구가 숙제로 남아 있었다. 적응력을 포함한 성능이 성취되기 위해서는 착용성이 웨어러블 로봇의 개발 단계에서부터 고려되어야 할 것으로 사료된다.

4.3.2. 웨어러블 로봇의 개발 방향 제언

FGI를 통해 파악된 웨어러블 로봇의 착용성 문제점을 바탕으로 하여 착용성의 조건 범주와 세부 항목을 정리하고 각 착용성 조건에 대한 웨어러블 로봇의 개발 방향을 도출하였다. 웨어러블 로봇의 착용성 조건은 크게 3개 범주 즉, ‘인체 적합성’, ‘사용 편의성’, ‘심미성’으로 분류되었다. 도출된 착용성의 세부 조건 항목은 Table 6과 같으며, 개발 목적에 따라 각 항목에 대한 중요성의 비중은 다르게 적용될 수 있을 것이라 사료된다.

(1) 인체 적합성 범주

‘인체 적합성’ 범주에 해당하는 조건은 ‘형태 및 치수 적합성’, ‘동작 적합성’, ‘구성 적합성’, ‘생리 적합성’ 4개로 나타났다.

① 형태 및 치수 적합성

웨어러블 로봇 개발 시 ‘형태 및 치수 적합성’을 확보하기 위해서는 첫째, 인체의 유기적 복곡면 형태를 반영해야 한다. 강체 소재가 적용된 로봇의 경우에 딱딱한 소재로 인해 착용 부위에 피부 눌림이나 내부 충격이 클 수 있기 때문에 섬유로 만들어진 일반 의류 제품보다 인체의 유기적 복곡면 형태가 잘 반영되어야 한다. 둘째, 타겟 착용자의 체형 및 사이즈의 다양성에 대한 고려가 필요하다. 국소 부위만 신체와 접하는 엔드 이펙터 로봇에 비해 전신, 상지, 하지 등을 감싸게 되는 웨어러블 로봇은 착용자의 체형 및 사이즈의 고려 없이 제대로 된 성능을 기대하기 힘들다. 군용과 재난 구조용 로봇, 산업 작업용 로봇 착용자의 신체 특징은 주로 취하는 작업적 특징에 의해 달라질 수 있으며 재활 치료용과 일상생활 보조용 로봇을 사용하는 거동불편자나 노약자들도 신체 특징이 다르므로 체형 및 사이즈의 고려가 요구된다. 타겟 착용자의 체형분석을 통해 로봇과 인체 간 여유분을 적절하게 설정함으로써 형태 및 치수 적합성을 확보해야 한다. 상용화하거나 일상지원용으로 범용적 로봇으로 제작하기 위해서 사용자의 다양한 인체 체형 및 사이즈에 대하여 대처할 수 있는 로봇 사이징 시스템이 마련되어야 할 것이다. 셋째, 로봇과 인체 간 여유분 설정에 대한 고려이다. 착용자 인체의 체형 및 사이즈의 다양성을 제품에 적용한다는 것은 제품과 인체 사이의 공극을 만드는 여유분의 설정으로 구체화된다. 소재의 유효신장률에 따라 여유분의 설정이 달

Table 6. Summary of development direction of wearable robot for wearable condition

Category	Wearable condition	Development direction
Human body appropriateness	Shape and size appropriateness	- Reflection of organic curved forms of human body - Suitability for the variety of body shapes and sizes - Suitability of extra between robot and human body
	Movement appropriateness	- Selection of appropriate actuator and sensor for target movement - Consistency of central axis change, body joint position, body joint range, body shape change and body surface length change according to movement - Consistency of location and operation of the actuator and sensor according to movement
	Composition appropriateness	- Force dispersion by fixation, placement and bonding of component, and force offset due to material friction - Physical burden due to weight and size of a component, and pressure due to material elasticity - Noise caused by interplay between actuating principle and components, and psychological burden caused by the occurrence of vibration - Consideration of layered clothes depending on the wearing situation
	Physiologic appropriateness	- Absorption by material properties - Permeability by material properties and ventilation by openings - Consideration of thermal effects due to material properties, source of power, layered clothes, wearing conditions and wearing time
Use convenience	Performance satisfaction	- Wearer's satisfaction with the performance of robot in use situation
	Ease of operation	- Ease of method and procedures when operating the robot
	Safety	- Protection of human body from physical and chemical hazards due to materials and construction - Ability of robot to cope with emergencies: Function for emergency situations, multiple function of safety
		Durability
	Ease of dressing	- Ease and quickness of dressing or undressing by simplifying adjusting method
	Ease of cleaning	- Ease of disinfection, cleaning and decontamination of all or component
	Portability and ease of storage	- Ease of transportation and storage: Simplification, reduction weight, reduction of separating and folding, and convenience of using a storage case or stand - Ease of charge: quickness of charging time, maximum usage time for battery
Aesthetics	Appearance satisfaction	- Wearer's satisfaction with color, shape and material - Recognition of visible risk: Psychological burden caused by visibility

라지므로 유연 소재 로봇의 경우 소재의 물성을 고려하여 여유분의 설정이 필요하다.

② 동작 적합성

인체에 착용되는 제품은 착용부위의 동작성을 반영함으로써 착용성을 높이고 주 성능의 효과를 극대화할 수 있다. 웨어러블 로봇 개발 시 '동작 적합성'을 확보하기 위해서 우선적으로 중요한 것은 타겟 동작에 적합한 구동기 및 센서의 선정이다. 이 때, 타겟 동작에 요구되는 최대 근력과 최대 속도를 제공할 수 있는 구동기가 사용되어야 하고 동작의 유형과 정밀성에 적합한 센서가 사용되어야 한다. 군용과 재난 구조용 로봇에 지원되는 최대 근력 강도와 최대 속도는 높은 수준으로 설정되어

야 한다. 재활 치료용은 근력 강도는 비장애인의 수준이 되 속도는 작아도 되며, 일상생활 보조용 로봇은 속도 또한 비장애인의 수준으로 나와야 한다. 둘째, 타겟 착용자의 신체 관절의 위치를 파악하여 중심축의 움직임을 파악하고 관절 범위를 측정하여 착용자의 동작에 따라 나타나는 형태 변화 및 체표면 길이 변화를 적용해야 한다. 인체의 동작은 관절과 접하고 있는 뼈의 움직임에 의해 나타나며 그로 인해 체표면 길이 변화 및 형태 변화가 나타나게 된다. 또한 사용 용도에 따라 작업적 특성, 질환이나 연령의 영향으로 신체관절 위치와 범위, 형태 변화 및 체표면 길이 변화는 다르므로 착용자의 체형 특성이 유형화된 후에 동작성에 대한 측정과 설정 작업을 진행해야 한다. 셋째, 동작 변화에 따른 구동기와 센서의 작용 및 위치가

일관적이어야 한다. 동작을 관장하는 관절의 위치는 로봇의 인체 접촉 부위와는 다르며, 센서의 위치를 일치시켜도 동작변화에 따라 그 위치가 변동될 수 있고 센서의 작용도 일관성을 갖기 힘들다(Park & Lee, 2002). 그러므로 센서의 위치는 동작에 의해 변동이 심하지 않고 고정인 안정적인 부위로 설정되어야 한다.

③ 구성 적합성

구성 방법에 의해 착용성이 달라지게 되며 성능에도 영향을 미칠 수 있다. ‘구성 적합성’ 측면에서 첫째, 힘이 분산되도록 기기 고정 방식 및 구성물 배치 방법이 이루어져야 하며, 구성 소재의 마찰 작용에 의해 힘이 상쇄되지 않도록 설계되어야 한다. 상용화 이전 단계의 개발 사례들에서 구성 적합성이 고려되지 못한 경우가 다수 발견되는 것으로 나타났다. 기기 또는 구성물을 인체에 고정할 때 국소 부위에 힘의 작용이 집중되게 배치되면 부상의 위험을 야기하므로 기기 고정 시 힘이 분산되는 형태가 추천된다. 둘째, 구성물의 중량 및 크기에 의해 신체 부담이 야기되지 않고 소재 신축성에 의한 압박의 적정 수준이 고려되어 설계되어야 한다. 구성물이 감량화, 소형화 되지 않으면 전체 중량과 크기가 커져 결국 착용불편으로 작용하게 된다. 셋째, 구동 원리, 구성물 간 상호작용에 의한 소음 발생에 의해 착용 시 심리적 부담으로 작용할 수 있으므로 고려가 필요하다. 넷째, 착용 상황에서의 레이어드 의복의 고려가 필요하다. 웨어러블 로봇을 착용할 때 함께 입게 되는 내의에 따라 성능에 영향을 줄 수 있으므로 성능을 지원할 수 있는 내의의 소재와 사이즈에 대한 제시가 필요하다.

④ 생리 적합성

소재에 의한 흡습, 환기구에 의한 통기, 소재 물성이나 동력원, 레이어드 의복이나 착용 환경에 의한 온도의 영향도 고려하여 ‘생리 적합성’을 확보해야 한다. 현재 대부분의 웨어러블 로봇이 강제 소재 로봇이므로 땀 배출과 내부 온도의 변화에 대응되지 못한 형태로 개발되고 있다. 부분적으로 생리 적합성에 유리한 원단을 배치하거나 환기구에 대한 고려가 필요하고 소재의 물성이나 동력원에 의한 온도의 영향이 착용자에게 유의하지 않은 수준으로 고안되어야 할 것이다. 또한 균용이나 재난 구조용, 산업 작업용 로봇의 경우에 착용 상황의 특수성에 의해 방수성이나 내열성과 같은 추가적인 온열적 영향을 고려해야 하는 경우가 존재한다. 착용 시간이 길어짐에 따라 생리적 영향이 달라질 수 있으므로 착용 시간도 고려되어야 한다. 재활 치료용과 일상생활 보조용 로봇은 건강이 좋지 않은 착용자에게 적용하게 되므로 일상적인 생리 환경 조건을 만족시키되 착용 쾌적감을 민감도 있게 설정해야 한다.

(2) 사용 편의성 범주

‘사용 편의성’ 범주에는 ‘성능 만족’, ‘조작 용이성’, ‘안전성’, ‘내구성’, ‘착탈의 용이성’, ‘세척 용이성’, ‘휴대 및 보관 용이

성’ 7개 조건이 포함되었다.

① 성능 만족

‘성능 만족’ 조건에서는 실제 사용 상황에서 착용자가 완성된 제품으로서 인식하며 그 성능을 만족할 수 있도록 설계되어야 한다. 개발 사례들을 볼 때 새로운 원리를 구현하여 성능을 높이고자 하는 노력은 활발하지만 현재의 개발자 즉, 생산자 관점의 설계에서 벗어나 직접 사용하는 소비자 요구가 파악된 제품 설계 방법론이 추가되어야 할 것이다.

② 조작 용이성

‘조작 용이성’ 조건에서는 사용자가 로봇 조작에 적응하기 위한 사용방법 및 절차가 용이해야 한다. 재활 치료 분야의 경우 웨어러블 로봇의 착용으로 통원 치료의 한계를 개선하고자 하는 취지이다. 때문에 일상생활 보조 분야도 거동불편자가 직접 로봇을 보관하고 관리하며 조작해야 하므로 거동불편자도 조작 가능한 수준으로 조작이 용이해야 한다.

③ 안전성

인체에 대한 ‘안전성’은 무엇보다 중요한 조건이다. 우선 로봇의 재료 자체의 물리적 또는 화학적인 측면에서의 인체 안전성이 확보되어야 한다. 인체가 착용하기 때문에 전기의 영향, 재료의 유해성이 국제적 기준에 부합해야 할 것이다. 웨어러블 로봇의 가반하중과 속도는 성능의 중요한 요소이지만 예기치 않은 외부의 위험 요소와 내부적 오작동에 대한 대처능력이 갖추어져야 웨어러블 로봇이 단독적인 효용을 발휘할 수 있다. 최근 단순 보행 및 이송 능력을 넘어 착용자의 안전성 측면에서 환경 변화에 대한 대응력을 높이는 로봇의 고안이 이루어지는 추세에 있으며, 사용자의 의도와 로봇의 움직임의 합이 맞아야 사고의 위험을 줄일 수 있으므로 능동 제어뿐만 아니라 착용자가 직접 제어하는 방식도 제안되고 있다. 균용과 재난 구조용, 산업 작업용 로봇의 경우에 위험한 환경 조건에서 작동되는 상황에서 안전성이 보장되지 않는다면 인명 피해로 이어질 수 있으며 재활 치료와 일상생활 보조용 로봇은 착용자가 약자라는 점에서 간과될 수 없는 착용성 조건이다. 보행 시 긴급상황이 발생한다면 인명사고로 연결될 수 있으므로 긴급상황용 기능이 작동으로 가동되고 비상 연락 기능과 외부 버튼으로 제어할 수 있는 기능이 구비되어 다중적인 안정성이 확보되어야 한다.

④ 내구성

‘내구성’ 조건에서는 기기 자체가 견고하여 반복 사용에도 고장이 나거나 파손되지 않아 기기 수명이 확보되어야 한다. 웨어러블 로봇이 고가의 제품인 만큼 기기 수명은 비용적 부담과 연결될 수 있으며 내구성은 로봇의 효용 가치를 높이는 조건이 된다.

⑤ 착탈의 용이성

‘착탈의 용이성’에 대한 고려가 이루어져야 한다. 웨어러블

로봇이 재활 치료 상황이나 작업의 상황에서 착용될 때 착탈의 어려움은 착용에 대한 접근 자체를 막을 수 있으므로 착탈의가 신속하고 간편한 형태로 여밈 방법이 설계되는 것은 중요한 조건이다. 재활치료와 일상생활 보조용 로봇은 거동불편자가 혼자 착탈의가 가능한 수준으로 설계되어야 실효성이 있다. 착탈의할 때 구성물의 위치 변동으로 인해 성능에 미치는 영향도 함께 검토해야 한다.

⑥ 세척 용이성

전기에 의한 구동 원리나 재료의 특성으로 인해 웨어러블 로봇은 일반적인 의류의 세탁 방법을 적용하기 힘들다. 수술용 로봇의 경우 1회 사용으로 엄격한 소독 및 세척이 요구되며 소방용 로봇의 경우 화재로 발생하는 오염물이 많이 묻기 때문에 재사용을 위하여 '세척 용이성'의 고려가 요구된다. 이와 같이 로봇 설계 시 사용 상황에 대한 조사가 선행되어야 하며 재료의 선정과 구성물의 배치 시 세척 용이성을 고려해야 한다.

⑦ 휴대 및 보관 용이성

'휴대 및 보관 용이성' 조건에서는 사용자가 운반하고 보관하기 용이하도록 간소화 및 감량화되고 분리·접기 기능에 의해 부피 축소를 가능하게 하여 사용자의 물리적 접근을 높일 수 있다(Song, 2011). 로봇이 감량화되기 위해서 유연 소재의 사용이 요구된다. 보관 케이스 또는 거치대의 사용이 용이해야 하며 충전이 용이하도록 충전 시간이 신속하고 최대 사용 시간이 충분해야 된다.

(3) 심미성 범주

'심미성' 범주에는 '외관 만족' 1개 조건이 포함되었다.

- 외관 만족

'외관 만족' 조건에서는 첫째, 색상, 형태, 재질에 대한 외관이 착용자가 만족하는 수준으로 설계되어야 할 것이다. 개발 사례를 살펴볼 때 성능을 높이는 목적이 더 강하기 때문에 현재의 개발 수준은 착용자 외관에 대하여 만족할 만한 수준이라고 보기 어렵다. 특히 높은 지지력을 발휘하기 위한 구동기의 크기가 전체적으로 둔해 보이는 결과를 가져오고 있어 기술의 발전에 의한 구동기의 간소화가 선행되어야 우수한 외관 디자인이 가능할 것이다. 로봇 고안 과정에서 착용 상황과 착용자의 선호에 적합하고 성능을 높일 수 있는 색상, 형태, 재질이 제안될 때 착용자의 외관 만족을 이끌어 낼 수 있다. 둘째, 가시성에 의한 시선 주목에 의한 심리적 부담에 대한 고려가 필요하다. 거동불편자들은 자신의 신체적 어려움을 가지적으로 보이는 것을 꺼릴 수 있으나 기존에 개발된 웨어러블 로봇들은 이에 대한 고려는 거의 이루어지지 못하는 실정이다. 거동불편자의 생활 보조용의 경우 가시성에 의한 시선 주목이 심리적 부담으로 작용하므로 가시성을 줄이는 디자인의 제안이 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 특허 및 개발 사례 분석을 통해 웨어러블 로봇의 개발 동향을 알아보았으며, FGI를 통해 착용성의 관점에서 웨어러블 로봇의 개발 방향을 제안하였다.

특허를 통한 개발 동향 분석 결과, 최근 2010년 이후부터 웨어러블 로봇의 개발 연구가 활성화되고 있으며, 기술분야별 특허건수는 근력 지원 분야가 가장 많은 것으로 나타났다. 기술분야 AI는 한국과 일본이 웨어러블 로봇의 사용 용도에 해당하는 근력 지원, 재활 치료, 일상생활 보조 분야에 특허활동이 활발한 반면, 미국은 제어와 프로그래밍 관련 특허활동이 활발한 것으로 나타났다. 미국과 일본에 비해 한국은 일상생활 보조에 대한 특허활동이 특히 부진한 것으로 나타났다.

국내외 개발 사례를 통한 개발 동향 분석 결과, 사용 용도별로 재활 치료용에 치중되어 있으며 작업용과 일상생활 보조용, 재난 구조용이 저조한 것으로 나타나 웨어러블 로봇 기술이 최근에 각광을 받은 분야이므로 분야별로 균등한 발전이 이루어지지 못하고 있는 것으로 사료된다. 개발 사례는 전신용 로봇을 제외하고 착용부위별로 전반적으로 고른 분포를 보였으나 단일 기능형으로 주로 개발되고 있는 점이 한계점으로 지적되었다. 소재별로는 강제 소재 로봇의 개발 사례가 다수를 차지하였다. 강제 소재와 유연 소재가 갖는 각각의 장점인 지지력 및 내구성과 적응력을 동시에 만족시키는 웨어러블 로봇의 개발이 필요한 것으로 분석되었다.

마지막으로, 웨어러블 로봇의 착용성 조건으로 '인체 적합성' 범주에서 '형태 및 치수 적합성', '동작 적합성', '구성 적합성', '생리 적합성'을, '사용편의성' 범주에서 '성능 만족', '조작 용이성', '안전성', '내구성', '착탈의 용이성', '세척 용이성', '휴대 및 보관 용이성'을, '심미성' 범주에서 '외관 만족'을 도출하여 각 착용성 조건에 대한 웨어러블 로봇의 개발 방향을 제안하였다.

현재 웨어러블 로봇 기술은 활용 분야가 고르게 발전되지 못하고 주요 성능 향상에 중심을 둔 기술 제안 초기 단계에 머물러 있는 것으로 확인되고 있다. 웨어러블 로봇 기술은 기술 발전이 이루어진다면 무한한 적용 가능성을 가지고 있는 기술이므로, 주요 성능을 지원하기 위하여 요구되는 타 분야와의 융합적 연구가 요구되는 시점이다. 웨어러블 로봇의 개발 연구는 최근 유연 소재 로봇의 개발이 확대되면서 의류학 분야와의 융합적 연구의 필요성이 대두되고 있다. 웨어러블 로봇은 구동원리, 적용 상황, 소재에서 오는 특수성을 고려하여 일반적인 기능성 의류와의 공통성을 접목시키면서 개발 방향을 설정해야 할 것이다.

본 연구는 기계공학 위주로 진행되어 온 웨어러블 로봇의 개발 연구에 의류학적 관점을 접목했다는 의의를 가진다. 웨어러블 로봇이 의류학에서 거의 진행된 적이 없는 생소한 연구 대상이었으므로 본 연구에서 FGI를 위하여 웨어러블 로봇 연구를 경험한 의류학 연구자의 모집에 한계가 있었다. 웨어러블 로

봇에 관한 국가 연구 과제가 활발히 진행되는 추세에 있으므로 추후 연구에서는 웨어러블 로봇 연구를 경험한 다양한 적용 분야의 전문가를 포함하여 적용 분야별로 구체적인 착용성 조건을 정립하는 노력이 이루어져야 할 것이다.

연구개발자는 웨어러블 로봇의 목적이 최신의 기술을 획득하기 위해서 또는 단순 성능 향상 자체에 있는 것이 아니라는 점을 인지해야 할 것이다. 보조가 필요한 상황의 사용자에 편의를 제공한다는 인간을 위한 목적이 진정한 로봇의 가치라는 점을 인지하여 착용상의 문제까지 세심히 고려한 웨어러블 로봇의 개발 노력이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2016R1A5A1938472)

References

- Army Technology. (n. d.). *Raytheon XOS 2 Exoskeleton, Second-Generation Robotics Suit*. Retrieved October 10, 2018, from <https://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us/>
- Chae, H. S., Hong, J. Y., Cho, H. S., Lee, Y. J., Park, S. H., Han, K. H., & Lee, J. H. (2006). The development of usability evaluation for wearable computer: An investigation of smart clothing. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 9(3), 265-276.
- Chiri, A., Vitiello, N., Giovacchini, F., Roccella, S., Vecchi, F., & Carrozza, M. C. (2012). Mechatronic design and characterization of the index finger module of a hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation. *Mechatronics, IEEE/ASME*, 17(5), 884-894.
- Cho, H. K., & Lee, J. H. (2008). The development of sensor based healthcare smart clothing based on usability test. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 11(1), 81-90.
- Cho, H. S., Kim, Y. J., Kim, H. S., Seo, J. H., Lee, S. Y., Lee, J. H., & Hwang, E. S. (2005). A development of the prototypes of smart sportswear for trekking and jogging. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 8(3), 213-220.
- Cho, J. S., Kwon, T. K., & Hong, J. P. (2014). A study of evaluation index development of healthcare rehabilitation device design. *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 17(3), 129-142. doi:10.14695/KJSOS.2014.17.3.129
- Cho, K. J., & Lee, J. Y. (2018). Current status of soft robotics technology and research trends. *Journal of the Korean Society Mechanical Engineers*, 58(1), 42-46.
- Choi, J. S., & Park, J. O. (2018). Smart clothing market status and technology issue. *The Magazine of the IEIE*, 45(12), 29-36.
- Chu, J. (2013, October 24). 'Anklebot' helps determine ankle stiffness. *MIT News*. Retrieved October 11, 2018, from <http://news.mit.edu/2013/anklebot-helps-determine-ankle-stiffness-1024>
- Cyberdyne. (n. d.). *HAL Lumbar Type for Care Support*. Retrieved November 14, 2019, from https://www.cyberdyne.jp/english/products/Lumbar_CareSupport.html
- Dan, B. J. (2014, March 6). Introduction of Futuristic gait robot, Smart Walker. *Social LG Electronics*. Retrieved November 12, 2018, from <https://social.lge.co.kr/technology/smartwalker/>
- 'Development of firefighter's wearable robot, Hyper R1'. (2016, July). *KITECH Webzine*. Retrieved November 14, 2018, from https://www.kitech.re.kr/promotion/page3-wz.php?pub_year=&page=1&pidx=114&idx=126
- Dunne, L. E., & Smyth, B. (2007). Psychophysical elements of wearability. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 299-302). San Jose, CA, USA.
- Dunne, L. E., & Smyth, B. (2007). Psychophysical elements of wearability. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 299-302). San Jose, CA, USA.
- Ekso BIONICS. (n. d.). *EksoVest*. Retrieved November 15, 2018, from <https://eksobionics.com/eksoworks/eksovest/>
- Gemplerle, F., Kasabach, C., Stivoric, J., Bauer M., & Matin, R. (1998). Design for wearability. *Proceedings of Second International Symposium on Wearable Computers*, October 19-20, Pittsburgh, PA, USA: IEEE.
- Ha, J. H. (2016, September 12). The era of wearable robots is coming, a step towards a better world. *The Seoul Economic Daily*. Retrieved October 9, 2017, from <http://www.seodaily.com/NewsView/1L1E1PKKQL>
- Han, J. S. (2012). Wearable upper extremity support and rehabilitation robot for repetitive tasks and daily support. *Proceedings of HCI Korea, 2012*, pp. 1102-1112.
- HEXAR Systems. (n. d.). *HEXAR-CR50*. Retrieved October 11, 2018, from http://www.hexarsystems.com/new/product/product_p04.php?p_idx=3
- Hocoma. (n. d.). *Hocoma*. Retrieved November 14, 2018, from <https://www.hocoma.com/solutions/armeo-power/>
- Honda. (n. d.). *Honda Walking Assist Device*. Retrieved October 10, 2018, from <https://global.honda/products/power/walkingassist.html>
- Huh, Y., Jung, H. G., & Ryu, J. C. (2016, July). Trends and prospects in rehabilitation medical devices. *KEIT PD Issue Report*, pp. 91-111.
- 'H-WEX'. (2017, March 22). *Exoskeleton Report*. Retrieved November 14, 2018, from <https://exoskeletonreport.com/product/h-wex/>
- In, H. K. (2017). Agricultural and wearable technology. *Korea Robotics Society*, 14(2), 30-35.
- In, H. K., Cho, K. J., Kim, Y. J., Yang, S. H., Lee, S. D., & Lee, D. K. (2017). Soft wearable robot to assist laborious farm work unpowered soft wearable robot to assist laborious farm work. *Proceedings of Korean Society for Precision Engineering, Spring Conference, Korea*.
- Jang, J. H., & Song, W. K. (2016). Current status of technology for wearing robot. *Journal of the Korean Society Mechanical Engineers*, 56(2), 42-26.
- Kim, B. H., Ahn, J. B., & Kim, J. H. (2012). Promotion strategy for production industry of advertising contents in smart media by focus group interview. *Journal of Practical Research in Advertising and Public Relations*, 5(2), 60-87.
- Korean Intellectual Property Office. (2017). The Patent Statistics in Korea. Retrieved February 21, 2019, from http://www.kipo.go.kr/kpo/user.tdf?a=user.html.HtmlApp&c=3081&catmenu=m04_06_01
- Lee, W. S. (2016, February 16). Hand-paralyzed patient can open a can. *Dongascience*. Retrieved October 11, 2018, from <http://>

- dongascience.donga.com/news/view/10370
- 'L'exosquelette Hercule'. (2012, June 11). *Direction Générale de L'armement*. Retrieved October 10, 2018, from <https://www.defense.gouv.fr/dga/mediatheque/photos/l-exosquelette-hercule>
- Low, K. H., Liu, X., & Yu, H. (2005). Development of NTU wearable exoskeleton system for assistive technologies. *Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation*, July 29-August 1, 2005, Niagara Falls, Canada.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. (2017). Find Korea Route of the Fourth Industrial Revolution: Lectures of department of industry. Retrieved October 09, 2017, from <http://www.korearobot.or.kr/wp/?p=8267>
- Myomo. (n. d.). *Myomo*. Retrieved November 12, 2018, from <https://myomo.com>
- Noh, M. J., & Park, H. H. (2011). Acceptance of the smart clothing according to trend and information innovation. *The Journal of the Korea Contents Association*, 11(11), 350-363. doi:10.5392/JKCA.2011.11.11.350
- 'Panasonic Power Loader Light exoskeleton takes a load off your back'. (2013, January 8). *New Atlas*. Retrieved November 16, 2018, from <https://newatlas.com/panasonic-power-loader-light-exoskeleton/25682/>
- Park, H. J., & Lee, J. H. (2002). An explorative research for possibility of digital wear based on motion-detective input technology as apparel product and suggestion of the design prototypes(2). *Science of Emotion & Sensibility*, 5(2), 35-50.
- Park, J. E. (2015, August 7). Hyundai presents wearable robot. *Etnes*. Retrieved October 21, 2018, from <https://news.naver.com/main/read.nhn?oid=030&aid=0002383014>
- ReWalk (n. d.). *ReWalk*. Retrieved October 10, 2018, from <https://rewalk.com>
- 'Soft Exosuit'. (2014, October 5). *Neszter*. Retrieved November 14, 2018, from <https://neszter.wordpress.com/2014/10/05/soft-robotic-exoskeleton/>
- Song, W. G. (2011). Status and prospects of rehabilitation robot. *The Journal of Korea Institute of Electronics Engineers*, 38(11), 47-54.
- Song, Y. S., & Kim, J. G. (2010). Analysis of patents regarding stabilization technology for steep slope hazards. *The Journal of Engineering Geology*, 20(3), 257-269.
- Steitz, D. (2012, December 10). NASA's ironman-like exoskeleton could give astronauts, paraplegics improved mobility and strength. *NASA*. Retrieved October 23, 2018, from https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/exoskeleton.html
- Tanaka, T., Satoli, Y., Kaneko, S., Suzuki, Y., Sakamoto, N., & Seki, S. (2008). Smart suit: Soft power suit with semi-active assist mechanism - prototype for supporting waist and knee joint." *Proceedings of 2008 International Conference on Control, Automation and Systems* (pp. 2002-2005). Seoul, Korea
- Toyama, S., & Yamamoto, G. (2009, October). Development of wearable-agri-robot-mechanism for agricultural work-. In *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 5801-5806). IEEE.
- Tratica. (2016). *Robotics market forecasts*. Boulder.
- Yagi, E., Harada, D., & Kobayashi, M. (2009). Development of an upper limb power assist system using pneumatic actuators for farming lift-up motion. *Journal of System Design and Dynamics*, 3(5), 2036-2043. doi:10.1299/jsdd.3.781
- Yook, H. M. (2004). *Development of usability evaluation criteria for smart jacket design*. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.
- You, Y. B., Choi, K. Y., Park, B., & Jeong, E. S. (2013). Technology trend of smart clothing: Based on patent information analysis. *The Journal of the Korea Contents Association*, 13(4), 440-451. doi: 10.5392/JKCA.2013.13.04.440
- Yun, I. S., Kim, S. J., & Jeong, E. S. (2011). Evaluation of technology activity, innovation and productivity using Korean patent information. *Journal of Information Management*, 42(2), 151-165. doi:10.1633/JIM.2011.42.2.151

(Received 16 April, 2019; 1st Revised 8 May, 2019;
2nd Revised 16 June, 2019, 3rd Revised 17 June, 2019;
Accepted 5 July, 2019)