

근골격계 질환 예방을 위한 조선용 작업 지원 로봇의 개념 설계

노명일*, 이규열**, 이정우***, 이재승****

Conceptual Design of a Work Support Robot for the Prevention of Musculoskeletal Disorders in Shipbuilding

Myung-Il Roh*, Kyu-Yeul Lee**, Jung-Woo Lee*** and Jae-Scung Lee****

ABSTRACT

During manual work in shipbuilding such as blasting, grinding, and so on, a large force is acted on the body of a worker. As a result, this work induces musculoskeletal disorders of the worker and it also induces severe social problems. To solve this problem, we are developing a work support robot for the prevention of musculoskeletal disorders in shipbuilding. In this study, a result of conceptual design of this robot is presented. A worker can perform the blasting work with a small force using this robot which can lessen the force acting on the body of the worker.

Key words : Work support robot, Musculoskeletal disorders, Blasting, Grinding, Shipbuilding

1. 서 론

근골격계 질환(musculoskeletal disorders)은 근육계와 골격계 부위에 발생하는 질환을 의미하며, 최근에는 반복적인 스트레스에 기인하여 점진적으로 발생하는 누적 외상성 질환(특이한 신체 부위의 반복 작업과 불편하고 부자연스러운 작업 자세, 강한 노동 강도, 작업 시 요구되는 과도한 힘, 불충분한 휴식, 추운 작업 환경, 손과 팔 부위에 작용하는 과도한 진동 등이 원인)이 되어 목, 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락, 허리, 다리 등 주로 관절 부위를 중심으로 근육, 혈관, 신경 등에 미세한 손상이 생겨 결국 통증과 감각 이상을 호소하는 근골격계의 만성적인 건강 장애(을)를 지칭하기도 한다(Fig. 1 참조). 미국에서는 요통 재해를 중심으로 산업 재해의 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 국내에서도 타자(type writing), 조립 작업에서 높은 발병률

을 기록하고 있다. 즉, 근골격계 질환은 반복적인 작업 동작으로 인해 극히 미세한 근육이나 조직의 손상이 누적되어 나타나는 기능적 장애로서 목, 어깨, 팔꿈치, 손목 등의 부위에 주로 발생하는 질환을 지칭한다^[1]. 한편, Fig. 2에 나타나 있듯이, 현재 조선소에서 수작업에 의해 이루어지고 있는 blasting(작은 철 조각(grit)을 강판의 표면에 고속으로 분사하여 녹, 흑피(mill scale) 등을 제거하는 작업), grinding(줄이나 연마용 공구를 사용하여 불필요한 부분을 제거하거나 표면을 연마하는 작업) 등의 작업은 작업 시 상당한 반력(reaction force)을 작업자에게 가하고 있으며, 그 결과 많은 작업자들이 근골격계 질환으로 어려움을 겪고 있다. 국내 대형 조선소 중의 하나인 DSME(Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering)의 경우, 전체 blasting 작업자들 중 약 25%가 근골격계 질환을 가지고 있다^[2]. 이와 같이 최근 근골격계 질환의 발생 빈도가 높아지면서 심각한 사회 문제 중의 하나로 대두되고 있다.

본 연구에서는 작업 지원 로봇과 관련된 국외의 개발 현황을 소개하고, blasting 작업 시 작업자에게 가해지는 반력을 상쇄시켜, 작업자로 하여금 근육에 부리가 가지 않을 정도의 작은 힘으로도 작업이 가능한 조선용 작업 지원 로봇의 개념 설계를 수행하였다.

*교신서자, 정회원, 울산대학교 조선해양공학부

**중신회원, 서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소

***학생회원, 서울대학교 조선해양공학과 대학원

****성회원, 내우조선해양 자동화연구소

- 논문투고일: 2007. 07. 31

- 논문수정일: 2008. 09. 23

- 심사완료일: 2008. 09. 23

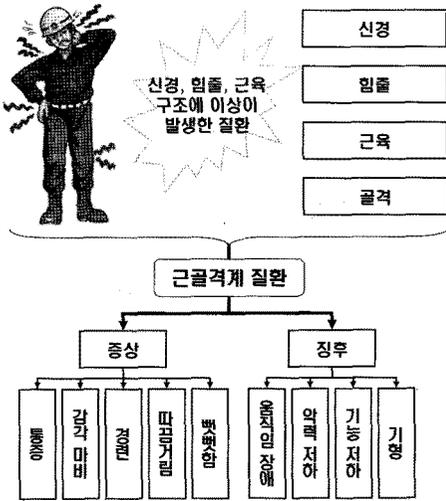


Fig. 1. Concept of musculoskeletal disorders^[2].

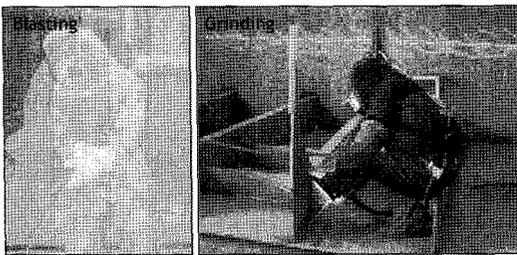


Fig. 2. Examples of blasting and grinding work in shipbuilding.

2. 관련 연구 현황

작업 지원 로봇과 관련된 국외 연구는 크게 신개념 로봇 시스템과 actuator(전기 에너지, 열 에너지, 화학 에너지, 압력 등을 기계적인 운동으로 변환하는 구동 장치)에 관한 연구로 구분할 수 있다. 신개념 로봇 시스템에 관한 연구로는 HAL(Hybrid Assistive Limb)^[4-13], BLFEX(Berkeley Lower Extremity Exoskeleton)^[14-22] 등이 있고, 신개념 actuator에 관한 연구로는 EPAM(Electrostrictive Polymer Artificial Muscles)^[23-28] 등이 있다. 이들에 대해서 간략히 살펴 보면 다음과 같다.

2.1 HAL(Hybrid Assistive Limb)

HAL은 1991년부터 일본 Tsukuba University의 Sankai 교수 연구실에서 개발하고 있는 신개념 로봇 시스템으로서, 마치 사람의 몸을 감싸는 형태(wearable robot)를 가진 로봇 시스템이다(Fig. 3 참조). 2003년

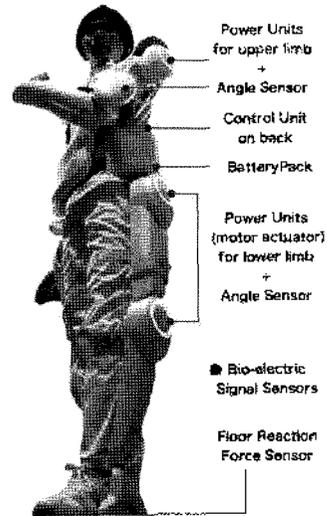


Fig. 3. Appearance of HAL(Hybrid Assistive Limb)-5^[13].

에 개발된 HAL(이 당시 HAL이란 용어는 Hybrid Assistive Leg의 약자로 사용되었음)-3는 허반신(lower extremity) 부분만으로 구성되어 있었고, 2005년에 개발된 HAL(이 당시 HAL이란 용어는 Hybrid Assistive Limb의 약자로 사용됨)-5는 허반신뿐만 아니라 상반신(upper extremity)도 포함하여 사람이 부거운 물건을 드는 것을 도와주는 데에 활용되고 있다. Table 1은 HAL-5의 사양(specification)을 나타낸다.

Table 1. Specification of HAL-5^[13]

크기	1,600 mm(Height)
무게	전체 23 kg(상반신 8 kg, 하반신 15 kg)
동력원	Nickel-metal hydride and lithium battery pack
작동 시간	약 2시간 40분
Actuator	DC motor(총 8개)
가반 하중 (payload)	상반신: 40 kg, 하반신(말바닥에 가해지는 하중): 100~180 kg
재질	Nickel molybdenum and extra super duralumin

Table 1에 나타나 있듯이, HAL-5는 무게가 약 23 kg이고 동력원은 battery pack이다. Battery pack을 최대로 충전했을 때 약 2시간 40분 정도 사용할 수 있다. 그리고 HAL-5를 착용했을 때 자신이 평소에 들 수 있는 무게보다 40 kg 더 무거운 물건을 들 수 있으며, 최대 180 kg까지 들 수 있다. 끝으로 HAL-5의 재질은 비행기의 동체를 만드는데 사용되는 duralumin으로서 아주 가볍고 튼튼하다.

2.1.1 HAL의 구성

Table 2는 HAL-5의 구성 요소를 나타낸다. Table 2에 나타나 있듯이, HAL-5는 8개의 DC motor, 8개의 angle sensor, 4개의 bio-electric signal sensor, 2개의 floor reaction force sensor, nickel-metal hydride and lithium battery pack, 제어기(control unit)로 구성되어 있다.

Table 2. Configuration of HAL-5

구동 장치	DC motor 8개
센서	Bio-electric signal sensor(땀을 움직이려 할 때 발생하는 bio-electric signal을 감지) 4개, Angle sensor가 관절의 bending angle을 측정) 8개, Floor reaction force sensor(발바닥에 가해지는 하중을 감지, 인종의 pressure sensor) 2개
동력원	Nickel-metal hydride and lithium battery 1개
제어기	상세 구성 요소 미공개

2.1.2 HAL의 작동

HAL의 작동 과정은 다음과 같다. HAL을 착용한 사람이 어떤 동작(예, 걷기, 물건 들기 등)을 하려고 하면 해당 근육에서 bio-electricity signal이 발생한다 (Fig. 4의 (a) 참조). 사람의 몸에 장착된 bio-electricity signal sensor는 이를 감지하여 제어기에 전달한다(Fig. 4의 (b) 참조). 제어기는 이 신호를 이용하여 사람이 해당 동작을 수행하기 위해 어느 정도의 힘을 내려고 하는지를 분석하고, HAL에 장착된 각 DC motor가 내야 할 torque를 계산하여 각 DC motor에 전달한다 (Fig. 4의 (c) 참조). 각 DC motor는 제어기로부터 전달받은 torque를 발생시켜 사람이 해당 동작을 수행하는 것을 도와준다(Fig. 4의 (d) 참조)^[13]. 즉, 사람이 움직이기 직전, 제어기가 bio-electrical signal을 이용, 필요한 힘을 미리 예측하여 actuator를 작동시킴으로써 사람의 동작을 도와준다.

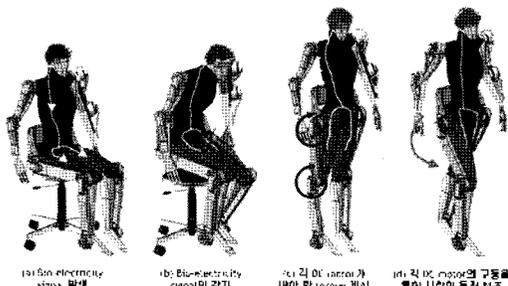


Fig. 4. Operation sequence of HAL-5^[13].

2.2 BLEEX(Berkeley Lower Extremity Exoskeleton)

BLEEX는 2000년부터 미국 국방 첨단 연구 계획청 (DARPA: Defense Advanced Research Project Agency)의 지원으로 University of California, Berkeley의 Kazerooni 교수 연구실(Human Engineering Laboratory)에서 개발하고 있는 신개념 로봇 시스템이다(Fig. 5 참조). HAL과는 달리 하반신 부분만으로 구성되어 있으며, 2004년에 BLEEX-1이 개발되었고 2006년에 이를 보완한 BLEEX-2가 개발되었다. BLEEX는 하반신(lower extremity)의 외부(외골격, exoskeleton)에 장착하여 작은 힘으로도 큰 힘을 낼 수 있도록 한 로봇 시스템으로서 근사용(부거운 근장, 무기 등을 쉽게 이동)과 의료(보행을 도와줌)용으로 개발 중이다. Table 3은 BLEEX-1과 BLEEX-2의 사양을 나타낸다.

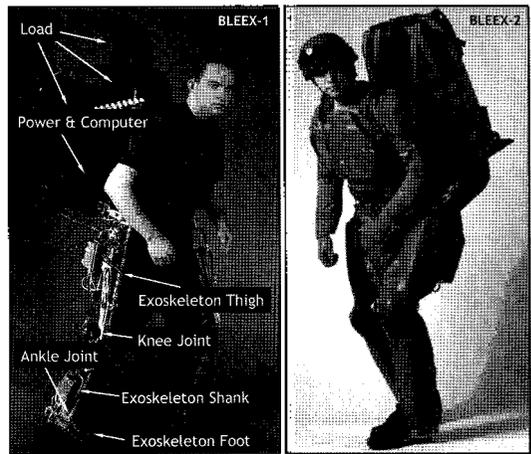


Fig. 5. Appearance of BLEEX(Berkeley Lower Extremity Exoskeleton)-1 and BLEEX-2^[14].

Table 3. Specification of BLEEX-1 and BLEEX-2

	BLEEX1	BLEEX2
무게	41 kg	14 kg
동력원	Hybrid hydraulic-electric power unit	Battery pack
Actuator	Hydraulic actuator (총 8개)	Hydraulic actuator (총 8개)
가반 하중 (payload)	34 kg	68 kg
상착 시 이동 속도	1.3 m/s with payload	2 m/s with payload

Table 3에 나타나 있듯이, BLEEX-2는 BLEEX-1에 비해 무게가 약 1/3로 줄었지만 가반 하중이

34 kg 더 늘어났다. 또한 물건을 들었을 때의 이동 속도도 더 빨라 BLEEX-2가 BLEEX-1에 비해 전체적으로 성능이 향상되었음을 알 수 있다. BLEEX-1과 BLEEX-2 모두 hydraulic actuator를 사용하며, BLEEX-1은 동력원으로서 hybrid hydraulic-electric power unit(내연 기관과 발전기를 이용한 동력 발생)을, BLEEX-2는 battery pack을 사용하는 것으로 알려져 있다^[12].

2.2.1 BLEEX의 구성

최근에 개발된 BLEEX-2는 상세한 구성 요소가 알려져 있지 않으며, 대신 BLEEX-1의 상세한 구성 요소를 살펴보면 Fig. 6, Table 4와 같다. Table 4에 나타나 있듯이 BLEEX1은 8개의 hydraulic cylinder, 8개의 force sensor, 2개의 pressure sensor, hybrid hydraulic-electric power unit, 제어기로 구성되어 있다^[19].

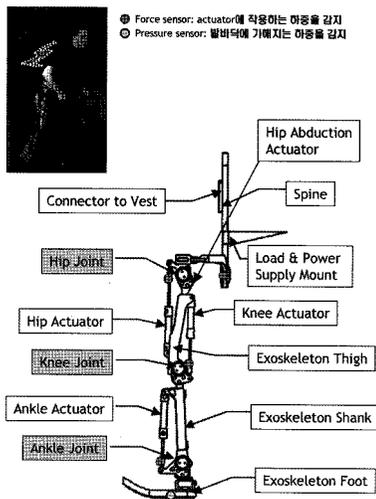


Fig. 6. Configuration of BLEEX-1^[19].

Table 4. Detailed configuration of BLEEX-1

구동 장치	Hydraulic cylinder 8개
센서	Force sensor(actuator에 작용하는 하중을 감지) 8개, Pressure sensor(발바닥에 가해지는 하중을 감지) 2개
동력원	Hybrid hydraulic-electric power unit (two stroke engine + alternator + gear pump)
제어기	RIOM(Remote I/O Modules: 각 관절의 각도와 각속도, hydraulic cylinder의 변위 등의 정보를 SIOM에 전달) 10개, SIOM(Supervisor I/O Module: 각 RIOM에서 받은 정보를 처리하고 각 actuator에 적절한 torque를 전달) 1개

2.2.2 BLEEX의 작동

BLEEX의 작동 과정은 다음과 같다. 사람이 어떤 동작을 하려고 하면 BLEEX의 각 actuator에 장착된 force sensor가 해당 위치에 작용하는 하중을 감지하여 제어기에 전달한다. 제어기는 이 신호를 이용하여 사람이 해당 동작을 수행하기 위해 각 hydraulic actuator가 내야 할 torque를 계산한 후 각 hydraulic cylinder에 전달한다. 각 hydraulic cylinder는 제어기로부터 전달받은 torque를 발생시켜 사람이 해당 동작을 수행하는 것을 도와준다^[19]. 즉, 사람이 움직이기 시작하면 force sensor를 이용, 필요한 힘을 계산하여 actuator를 작동시킴으로써 사람의 동작을 도와준다. HAL은 사람이 움직이기 직전에 bio-electricity signal을 이용하여 필요한 힘을 계산하나 BLEEX는 사람이 움직이기 시작한 후에 force sensor를 이용하여 필요한 힘을 계산한다.

2.3 EPAM(Electrostrictive Polymer Artificial Muscles)

EPAM(Electrostrictive Polymer Artificial Muscles)은 NASA Institute for Advanced Concepts(NIAC)의 지원으로 Massachusetts Institute of Technology(MIT)의 Dubowsky 교수 연구실(Field And Space Robotics Laboratory)에서 개발하고 있는 신개념 actuator이다(Fig. 7 참조). EPAM은 전왜 효과(electrostriction effect)를 이용한 것으로서 현재 형성

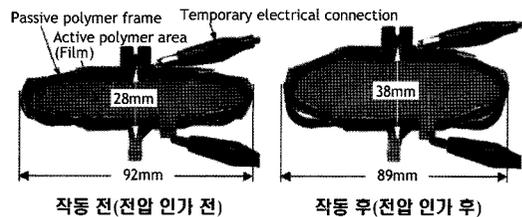


Fig. 7. Appearance of EPAM(Electrostrictive Polymer Artificial Muscles)^[24].

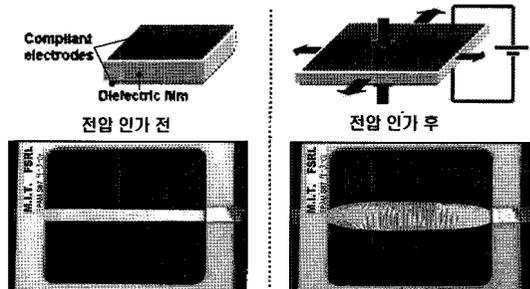


Fig. 8. Examples of the electrostriction effect^[24].

Table 5. Specification of EPAM

크기	전압 인가 전: 92 mm(Length)×28 mm(Height), 전압 인가 후: 89 mm(Length)×38 mm(Height)
무게	8 g
동력원	5 kV의 전압, 50 μA의 전류
가반 하중 (payload)	0.75 N
재질	Frame: Delrin, Film: VIIBTM 4910

탐사용 로봇의 actuator로서 활용하기 위해 개발 중이다. 전왜 효과는 재료의 양단에 전압을 가하면 읍이온과 양이온 사이의 거리가 변하게 되어 재료의 크기가 변하게 되는 현상을 말하며 압전 효과(piezoelectric effect: 압력을 가하면 전기가 발생함)의 반대 현상을 말한다(Fig. 8 참조). Table 5는 EPAM의 사양을 나타낸다.

Table 5에 나타나 있듯이, EPAM은 전압 인가 전 크기가 92 mm(Length)×28 mm(Height), 전압 인가 후 크기가 89 mm(Length)×38 mm(Height)이고 무게가 8 g으로서 micro robot에 사용될 수 있는 아주 작은 크기의 actuator임을 알 수 있다. 현재는 EPAM이 행성 탐사용 로봇과 같이 micro robot에 사용되기 위해 개발되고 있으나 머지 않아 산업용 로봇과 같이 macro robot에도 적용 가능하리라 예상된다.

이상과 같이 국외에서는 사람이 어떠한 동작을 할 때 사람에게 가해지는 힘을 줄여 줄 수 있는 신개념 로봇 시스템과 actuator에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 반면, 국내에서는 작업 시 많은 힘을 필요로 하는 blasting, grinding 등의 작업을 지원해 줄 수 있는 조선용 작업 지원 로봇에 관한 연구는 거의 수행된 바 없고, 근골격계의 모델링^{30,31)} 또는 해석³²⁻³⁴⁾과 관련된 기초적인 연구가 수행된 바 있다.

3. 조선소의 전처리 작업 환경

3.1 조선소의 전처리 작업

조선소의 전처리 작업은 조립 작업 중에 발생한 강판 표면의 녹을 도장 작업 전에 제거하여 도료의 부착을 좋게 하는 작업으로서 blasting, air blowing, grit recovery로 구성된다. Blasting은 작은 철 조각(grit)을 강판의 표면에 고속으로 분사하여 녹, 흑회(mill scale) 등을 제거하는 작업이고, air blowing은 공기를 이용, 보강재(stiffener)의 상면 등에 쌓인 grit을 바닥으로 떨어뜨리는 작업이며, grit recovery는 바닥에 쌓인 grit, 분진 등을 회수하는 작업을 말한다. Fig. 9는 조선소

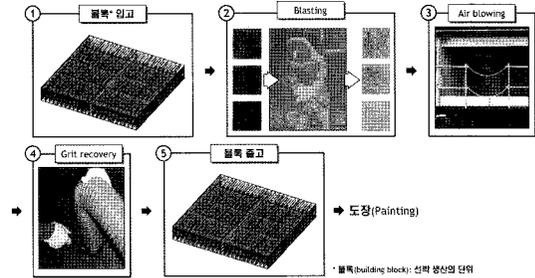


Fig. 9. Pre-processing (blasting + air blowing + grit recovery) work in shipyards.



Fig. 10. Dry motion of blasting of a worker in shipyards.

의 전처리 작업을 나타내며, Fig. 10은 작업자가 dry motion으로 blasting을 하는 모습을 나타낸다.

3.2 전처리 작업 환경

현재 조선소의 전처리 작업은 “Cell장”이라고 불리는 밀폐된 공간 안에 블록(building block, 거대한 선박은 한 번에 생산할 수 없기 때문에 블록이라는 작은 단위로 나누어 각각 만든 후, 이를 합쳐 하나의 선박을 완성함)을 넣은 후 작업자들이 블록 내부에 들어가

Table 6. Work environment of pre-processing in shipyards

작업 시 반력	Blasting: 11.3 kgf, Air blowing: 11.7 kgf, Grit recovery: 4.46 kgf ⇒ Air blowing 시 반력 11.7 kgf에 margin을 고려하여 최대 반력을 약 15 kgf라고 가정
소음	평균: 80.6 dB, 최대: 100 dB
분진	평균: 52.1 mm ³ /m ³ , 최대: 179.2 mm ³ /m ³
조도	평균: 47 lux

서 작업을 한다. 수작업에 의해 이루어지고 있는 전처리 작업의 작업 환경은 Table 6과 같다²⁹⁾.

4. 조선용 작업지원 로봇의 개념 설계

4.1 개요

본 연구에서는 조선소의 전처리 작업 환경에서 작업자가 적은 힘으로도 blasting을 수행할 수 있는 조선용 작업 지원 로봇의 개념 설계를 수행하였다. 조선용 작업 지원 로봇은 앞서 소개한 HAL, BLEEX와 같이 작업 시 작업자가 장착을 하고 작업을 하는 wearable robot의 형태를 가지고 있다. 따라서 이 로봇의 개념 설계를 수행하기 전에 이를 장착할 작업자의 체형을 가정하였다. 즉, 조선소에서 blasting을 수행하는 작업자들의 평균 연령이 40대라는 점을 고려

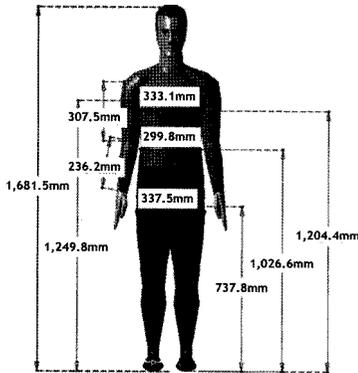


Fig. 11. Standard body type of a man in his forties in Korea²⁹⁾.

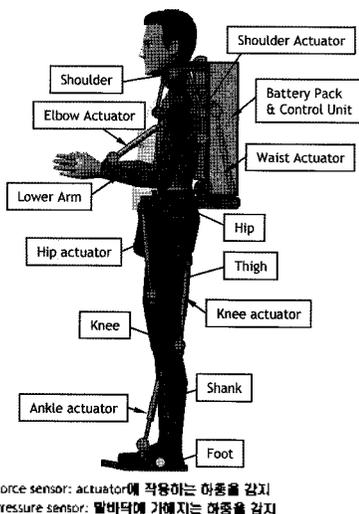


Fig. 12. Appearance and configuration of the work support robot developed in this study.

하여 Fig. 11과 같이 우리나라 40대 남성의 표준 체형²⁹⁾을 기반으로 조선용 작업 지원 로봇의 크기를 결정하였다.

Fig. 12와 Table 7은 본 연구에서 개념 설계를 수행한 조선용 작업 지원 로봇의 모습과 사양을 각각 나타낸다.

Table 7. Specification of the work support robot developed in this study

크기	1,500 mm(Height)
무게	전체 20 kg(추정)
동력원	Nickel-metal hydride and lithium battery pack
Actuator	Pneumatic actuator(총 12개)
가만 하중 (payload)	약 50 kg(Blasting 작업 시 발생하는 반력, 작업자가 들어야 할 장비들의 무게 등을 고려하여 결정)
재질	Blasting 작업 시 grit에 의해 마모가 되지 않는 방탄 재질

Table 7에 나타나 있듯이, 이 로봇은 pneumatic actuator를 사용한다. 이는 전처리 작업 시 외부로부터 압축 공기가 항상 공급될 수 있고, 또한 grit 분사 시 불꽃이 발생하더라도 hydraulic actuator에 비해 비교적 안전하기 때문이다.

4.2 조선용 작업 지원 로봇의 구성

본 연구에서 개념 설계를 수행한 조선용 작업 지원 로봇은 발목, 무릎, 엉덩이, 허리, 어깨, 팔꿈치 부분에 각각 2개씩 총 12개의 pneumatic actuator가 존재한다. 여기에 사용된 모든 pneumatic actuator는 pneumatic cylinder로서 공기가 외부로부터 공급될 때 팽창하고, 공기를 외부로 배출할 때 수축됨으로써 각 관절이 회전할 수 있도록 한다. 조선용 작업 지원 로봇을 크게 팔, 허리, 다리 부분으로 나누어 살펴보면 다음과 같다.

4.2.1 조선용 작업 지원 로봇의 팔 부분

Fig. 13은 조선용 작업 지원 로봇의 팔 부분을 확대한 것이다. 이 부분은 부거운 불건을 들거나 팔의 자세 유지 및 변경을 담당한다. “Elbow Actuator”는 팔꿈치(elbow)를, “Shoulder Actuator”는 어깨(shoulder)를 움직인다. 팔꿈치는 하나의 관절로 되어 있고, 어깨는 “Upper Shoulder”와 “Lower Shoulder”의 두 개의 관절로 되어 있으며, 각각의 관절은 한 개의 자유도(degree of freedom)를 가지고 있다. “Upper

Shoulder”는 구에 원통이 달려있는 모양으로 원통의 중심을 회전축으로 팔을 회전할 수 있도록 한다. “Lower Shoulder”는 일반적인 관절의 형태를 가지며 팔을 상하로 움직일 수 있도록 한다. “Upper Shoulder”의 경우, actuator의 도움을 받지 않고 작업자가 직접 움직이는 것이며, 그 회전 반경도 작다. 이와 반면, “Lower Shoulder”의 경우, “Shoulder Actuator”와 연결되어 있어 팔을 높이 들 수 있도록 한다.

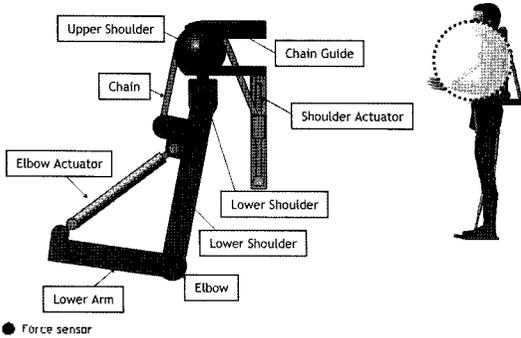


Fig. 13. Detailed configuration of an arm area of the work support robot developed in this study.

4.2.2 조선용 작업 지원 로봇의 허리 부분

Fig. 14는 조선용 작업 지원 로봇의 허리 부분을 확대한 것이다. 이 부분은 작업자가 허리를 기댈 수 있도록 하고, 로봇의 팔에 작용하는 하중을 로봇의 다리로 전달한다. 또한 제어기와 battery pack을 설치할 수 있는 공간을 제공한다. “Waist Actuator”는 다리와 연결된 엉덩이(hip) 부분을 회전시킴으로써 작업자가 허리를 쉽게 굽힐 수 있도록 한다. 그리고 “Cushion”은 작업 시 작업자의 복과 허리를 보호한다.

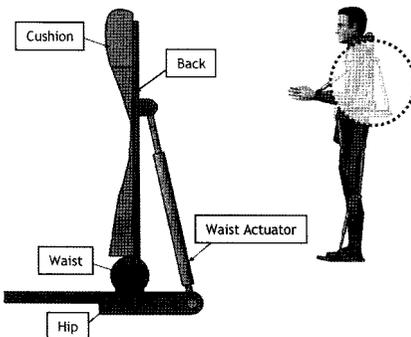


Fig. 14. Detailed configuration of a waist area of the work support robot developed in this study.

4.2.3 조선용 작업 지원 로봇의 다리 부분

Fig. 15는 조선용 작업 지원 로봇의 다리 부분을 확대한 것이다.

이 부분은 작업자가 든 무거운 물건, 작업 지원 로봇의 자중 등을 분산하여 지지하고 작업자의 이동 및 정지를 도와준다. 발바닥(“Sole of the Foot”)에는 pressure sensor가 있어서 몸 전체에 작용하는 하중을 감지한다.

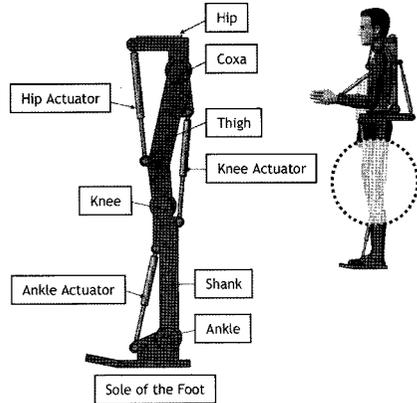


Fig. 15. Detailed configuration of a leg area of the work support robot developed in this study.

4.3 조선용 작업 지원 로봇의 작동

4.3.1 조선용 작업 지원 로봇의 작동 모습

Fig. 16은 작업자가 작업 지원 보트를 장착하고 정면, 아래 보기, 위 보기 작업을 수행할 때의 모습을 각각 나타낸다.



Fig. 16. Dry motion of blasting of a worker wearing the work support robot developed in this study.

4.3.2 조선용 작업 지원 로봇에서 반력이 전달되는 과정
작업자가 조선용 작업 지원 로봇을 장착하고 blasting을 할 때 작업자에게 가해지는 반력(reaction force)이 전달되는 과정은 다음과 같다(Fig. 17 참조).

- (1) blasting hose로부터 grit이 분사됨에 따라 반력이 작업자의 팔로 전달된다(Fig. 17의 (a) 참조).
- (2) 반력이 작업자의 팔과 연결된 로봇의 팔로 전달

된다(Fig. 17의 (b) 참조).

(3) "Elbow Actuator"가 작동되어 반력이 어깨로 전달된다(Fig. 17의 (c) 참조).

(4) "Shoulder Actuator"가 작동되어 반력이 허리로 전달된다(Fig. 17의 (d) 참조).

(5) "Waist Actuator"가 작동되어 반력이 엉덩이로 전달된다(Fig. 17의 (e) 참조).

(6) "Hip Actuator"가 작동되어 반력이 무릎으로 전달된다(Fig. 17의 (f) 참조).

(7) "Knee Actuator"가 작동되어 반력이 발목으로 전달된다(Fig. 17의 (g) 참조).

(8) "Ankle Actuator"가 작동되어 반력이 발바닥을 통해 지면으로 전달된다(Fig. 17의 (h) 참조).

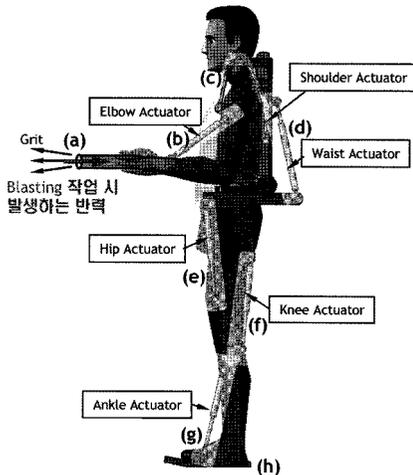


Fig. 17. Transmission sequence of the reaction force in the work support robot developed in this study.

이상과 같이 blasting 작업 시 발생하는 반력이 최종적으로는 지면으로 전달됨으로써 작업자는 적은 힘으로도 작업을 수행할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구계획

현재 조선소에서 수작업에 의해 이루어지고 있는 blasting, grinding 등의 작업은 작업 시 상당한 반력을 작업자에게 가하고 있으며, 그 결과 많은 작업자들이 근골격계 질환으로 어려움을 겪고 있다. 이와 같이 근골격계 질환의 발생 빈도가 높아지면서 최근 심각한 사회 문제 중의 하나로 대두되고 있다. 본 연구에서는 작업자 지원 로봇과 관련된 개발 현황을 소개하고, blasting 작업 시 작업자에게 가해지는 반력을 상쇄시켜, 작업자로 하여금 근육에 무리가 가지 않을 정

도의 적은 힘으로도 작업이 가능한 조선용 작업 지원 로봇의 개념 설계를 수행하였다.

향후에는 기본 설계를 통해 개념 설계를 구체화하고, 간단한 mock-up 제작을 통해 조기에 설계 안의 검증 작업을 수행할 것이다. 이후 상세 설계를 거쳐 제작에 착수할 예정이다.

참고문헌

1. 대한산업안전협회, "근골격계 질환 예방", 안전 교육 Sheet, pp. 1-4, 2006.
2. 한국산업안전공단, "근골격계 질환 예방 코너", http://www.kosha.or.kr/health/business99/kind_kind.jsp?mcnuId=1, 2009.
3. DSMF(Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering) 자동화연구소, 서울대학교 로봇팀(RoboSYS: Robot Systems In SNU), 전처리 작업 분석, Technical Report, 2005.
4. Kasaoka, K. and Sankai, Y., "Predictive Control Estimating Operator's Intention for Stepping-up Motion by Exo-Skeleton Type Power Assist System IIAL", *Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ(International Conference on Intelligent Robots and Systems)*, Maui, Hawaii, USA, pp. 1579-1853, October 29-November 3, 2001.
5. Lee, S. and Sankai, Y., "Power Assist Control for Walking Aid with IIAL-3 Based on EMG and Impedance Adjustment around Knee Joint", *Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ(International Conference on Intelligent Robots and Systems)*, Lausanne, Switzerland, pp. 1499-1504, September 30-October 4, 2002.
6. Hayashi, T., Ohta, M. and Sankai, Y., "Construction of a Mind Model for Human-Robot Cooperation", *Proceedings of the 2002 IEEE SMC(Systems, Man, and Cybernetics)*, Hammamet, Tunisia, Vol. 5, pp. 1-6, October 6-9, 2002.
7. Kawamoto, H. and Sankai, Y., "Comfortable Power Assist Control Method for Walking Aid by HAL-3", *Proceedings of the 2002 IEEE SMC(Systems, Man, and Cybernetics)*, Hammamet, Tunisia, Vol. 4, pp. 6-11, October 6-9, 2002.
8. Kawamoto, H., Kanbe, S. and Sankai, Y., "Power Assist Method for HAL-3 Estimating Operator's Intention Based on Motion Information", *Proceedings of the 2003 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, Millbrae, California, USA, pp. 67-72, October 31-November 2, 2003.
9. Kawainot, H., Lee, S. W., Kanbe, S. and Sankai, Y., "Power Assist Method for HAL-3 using EMG-based Feedback Controller", *Proceedings of the 2003 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, Millbrae, California,

- USA, pp.1648-1653, 2003.
10. Lee, S. and Sankai, Y., "The Natural Frequency-Based Power Assist Control for Lower Body with HAL-3", *Proceedings of the 2003 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, Millbrae, California, USA, pp.1642-1647, 2003.
 11. Hayashi, T., Kawamoto, H. and Sankai, Y., "Control Method of Robot Suit HAL Working as Operator's Muscle Using Biological and Dynamical Information", *Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ(International Conference on Intelligent Robots and Systems)*, Alberta, Canada, pp. 3063-3068, August 2-6, 2005.
 12. IEEE Spectrum, "the RISE of the BODYBOTS", pp. 51-56, October, 2005.
 13. CYBERDYNE Inc., <http://www.cyberdyne.jp/English/index.html>, 2009.
 14. UC Berkeley Human Engineering Laboratory, <http://bleex.me.berkeley.edu/bleex.htm>, 2009.
 15. Amundson, K., Raade, J., Harding, N. and Kazerooni, H., "Hybrid Hydraulic-Electric Power Unit for Field and Service Robots", Technical Report, University of California, Berkeley, pp. 1-6.
 16. Zoss, A., Kazerooni, H. and Chu, A., "On the Mechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton(BLEEX)", Technical Report, University of California, Berkeley, pp. 1-8.
 17. Kazerooni, H., Racine, J. L., Huang, L. and Steger, R., "On the Control of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton(BLEEX)", *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA 2005)*, Barcelona, Spain, pp. 4353-4360, April 18-22, 2005.
 18. Zoss, A. and Kazerooni, H., "On the Mechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton(BLEEX)", *Proceedings of IMECE(International Mechanical Engineering Congress and Exposition)*, Orlando, USA, pp.1-8, November 5-11, 2005.
 19. Zoss, A.B., Kazerooni, H. and Chu, A., "Biomechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton(BLEEX)", *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, Vol. 11, No. 2, pp. 128-138, 2006.
 20. Kazerooni, H., Steger, R. and Huang, L., "Hybrid Control of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton(BLEEX)", *International Journal Of Robotics Research*, Vol. 25, No. 5-6, pp. 561-573, 2006.
 21. Ghan, J. and Kazerooni, H., "System Identification for the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton(BLEEX)", *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA 2006)*, Orlando, USA, pp.3477-3484, May 15-19, 2006.
 22. Steger, R., Kim, S. H. and Kazerooni, H., "Control Scheme and Networked Control Architecture for the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton(BLEEX)", *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA 2006)*, Orlando, USA, pp. 3469-3476, May 15-19, 2006.
 23. Fontaine, E. I., "A Laboratory Demonstration of a Parallel Robotic Mechanism with Integrated EPAM Actuators", BS Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2002.
 24. Wingert, A., Lichter, M., Dubowsky, S. and Hafez, M., "Hyper-Redundant Robot Manipulators Actuated by Optimized Binary Dielectric Polymers", *Proceedings of the 2002 SPIE Smart Structures and Materials Symposium*, San Diego, USA, Vol. 4695, pp. 415-423, March 17-21, 2002.
 25. Wingert, A., Lichter, M. D. and Dubowsky, S., "On the Kinematics of Parallel Mechanisms with Bi-Stable Polymer Actuators", *Proceedings of the 8th International Symposium on Advances in Robot Kinematics*, Barcelona, Spain, pp. 303-310, June 24-28, 2002.
 26. Bolzmacher, C., Hafez, M., Khoudja, M. B., Bernardoni, P. and Dubowsky, S., "Polymer-based Actuators for Virtual Reality Devices", *Proceedings of the 2004 SPIE Conference on Smart Structures and Materials: Electroactive Polymer Actuators and Devices(EAPAD)*, San Diego, USA, Vol. 5385, pp. 281-289, March 14-18, 2004.
 27. Vogan, J., Kacher, D., Wingert, A., Hafez, M., Plante, J. S., Jolesz, F. and Dubowsky, S., "Manipulation in MRI Devices Using Electrostrictive Polymer Actuators: With an Application to Reconfigurable Imaging Coils", *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA 2004)*, New Orleans, USA, pp. 2498-2504, April 26-May 1, 2004.
 28. Dubowsky, S., Iagnemma, K., Liberatore, S., Lambeth, D., Plante, J. S. and Boston, P., "A Concept Mission: Microbots for Large-Scale Planetary Surface and Subsurface Exploration", *Proceedings of the 2005 Space Technology and Applications International Forum(STAIF)*, Albuquerque, USA, pp. 1449-1458, February 13-17, 2005.
 29. 산업자원부 기술표준원, 제 5차 한국인 인체 치수 조사 사업(SizeKorea) 보고서, 2004.
 30. 고대현, "그래픽스 하드웨어에 기반한 형상의 골격 구동 변형", 2005년 한국CAD/CAM학회 학술발표회, pp. 237-242, 평창, 2005.1.27-29.
 31. 이성수, "인간 근골격계의 모델링과 재활에의 응용 가능성", 한국CAD/CAM학회지, Vol. 13, No. 3, pp. 9-13, 2007.
 32. 이종현, 이영신, 이해동, "세 가지 주요 심도 공격 동작에서의 근-골격 유흥과 변형률 해석에 관한 연구", 2008년 한국CAD/CAM학회 학술발표회, pp. 23-32, 평창, 2008.1.31-2.2.
 33. 박성호, 장재철, 이건우, 김다니엘, "기능 보형재의 요추 삽입 영향 평가를 위한 근골격계 해석", 2008

년 한국CADCAM학회 학술발표회, pp. 102-109, 평창, 2008.1.31-2.2.
 34. 황진상, 분두환, 김병권, 김순환, 한순홍, “제품 설

계 협업 환경에서 골격 모델을 이용한 기구 지적 자산의 보안”, 2008년 한국CADCAM학회 학술발표회, pp. 349-358, 평창, 2008.1.31-2.2.



노 명 일

1998년 서울대학교 조선해양공학과 학사
 2000년 서울대학교 조선해양공학과 석사
 2005년 서울대학교 조선해양공학과 박사
 2005년~2007년 서울대학교 공학연구소 해양시스템공학연구소 선임연구원
 2007년~현재 울산대학교 조선해양공학부 전임강사
 관심분야 : 조선해양생산시스템, 최적 설계, CAD, CAPP, CAGD



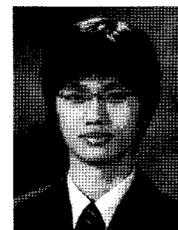
이 규 열

1971년 서울대학교 공과대학 조선공학과 학사
 1975년 독일 하노버 공과대학 조선공학 석사(Dipl.-Ing.)
 1982년 독일 하노버 공과대학 조선공학 박사(Dr.-Ing.)
 1975년~1983년 독일 하노버 공과대학 선박설계 및 이론연구소, 주정부 연구원
 1983년~1994년 한국기계연구원 선박해양공학연구소 센터, 선박설계, 생산자동화 연구사업(CSDP)단장
 1994년~현재 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 교수
 관심분야: CAD, CAGD, 선박 설계, 시뮬레이션, CAIS



이 정 우

2007년 서울대학교 조선해양공학과 학사
 2007년~현재 서울대학교 조선해양공학과 대학원 석사 과정
 관심분야: Robotics, Control



이 재 승

2006년 서울대학교 조선해양공학과 학사
 2008년 서울대학교 조선해양공학과 석사
 2008년~현재 대우조선해양(주) 산업기술연구소
 관심분야: Robotics, Control