

# 전문서비스 로봇 하드웨어 비용추정 관계식 개발에 관한 연구

이정수, 민정탁, 최연서, 박명준, 손동섭\*  
한국로봇융합연구원

## A Study on the Hardware Cost Estimation Equation of Professional Service Robot

Jungsoo Lee, Jeongtack Min, Yeon-Seo Choi, Myeongjun Park, Dongseop Sohn\*  
Korea Institute of Robot Convergence

요 약 본 연구에서는 모수추정법을 활용하여 국내 전문서비스 로봇 개발 데이터를 기초로 H/W비용추정을 위한 방안 제시와 더불어 로봇의 적용 환경여건에 따라 달라지는 비용을 추정할 수 있도록 그 항목과 가중치를 도출하고자 한다. 이를 위하여 모수추정법을 활용하여 전문서비스 로봇 비용추정 방정식을 개발하였으며, 환경여건 고려를 위하여 FGI, 델파이를 통해 조정계수 항목과 이에 따른 가중치를 도출하였다. 분석결과 무게, 부피, 제작난이도가 반영된 비용 추정 방정식을 개발 하며, 추정된 비용을 환경적 요소에 따라 조정하기 위한 방진/방수, 내열/내한, 안전, 시험, 기술혁신의 내용을 반영한 관계식 을 도출할 수 있었다. 이를 통해 전문서비스 로봇의 비용을 추정할 수 있는 객관적인 근거를 마련할 수 있었으며, 이를 기반 으로 전문서비스 로봇 H/W개발비용 추정을 위한 지속적인 연구로 이어질 것이다. 향후에는 다양한 전문서비스 로봇을 통해 풍부한 데이터를 수집하여 신뢰성을 높이고, 기능항목 발굴을 통해 모형 강화를 유도할 것이다.

주제어 : 모수추정, H/W비용추정, 전문서비스 로봇, 조정계수, 환경요소

**Abstract** In this paper, we proposed a parametric estimation method for estimating H/W cost by using the development data of professional service robot in Korea. In addition, we derived the factors and weights that we can estimate the costs depending on the application environmental conditions of the robot.

For the analysis, we developed the equation of professional service robot cost estimation using parametric method. We also derived the adjustment factors and following weights through FGI and Delphi for environmental conditions. We have developed a cost estimation equation that reflects the weight, volume, and manufacturing difficulty, and can derive a relational equation that reflects the environmental factors(dust/water, heat/cold, safety, test, technology innovation). This provides an objective basis for estimating the cost of professional service robots and will lead to ongoing research for estimating the H/W development cost of professional service robots. In the future, we will increase reliability by collecting abundant data, and will strengthen models through finding functional factors.

**Key Words** : Parametric Cost Estimating, Hardware Cost Estimation, Professional Service Robot, Adjustment Factor, Environmental Factor

\*Corresponding Author : Dongseop Son(sdsubi@kiro.re.kr)

Received April 20, 2018

Accepted July 20, 2018

Revised June 12, 2018

Published July 28, 2018

## 1. 서론

최근 새로운 기술 시장의 성장과 더불어 인구감소, 고령화 등의 사회트렌드 변화에 따라 인간의 노동력을 보완하고 산업경쟁력이 높일 수 있는 로봇에 대한 필요성이 급격하게 증가하고 있다. 특히 인공지능(AI) 및 사물인터넷(IoT) 기술의 확산과 함께 로봇산업은 제조용 로봇 중심에서 인간과 함께 상호작용이 가능한 다양한 유형의 서비스용 로봇을 중심으로 재편될 것으로 전망되고 있다. 이에 따라 서비스로봇 산업 시장이 가파르게 상승하여 2025년에는 1,000억 달러 규모에 이를 것으로 예상되는 만큼 글로벌 기업에서는 서비스 로봇에 대한 선제적 개발과 시장 확장을 위한 활동을 확대하고 있다.

서비스 로봇은 크게 농업·의료·군사·재난대응 등 특수한 목적을 가지고 있는 전문서비스 로봇과 가사·간병지원·여가지원·엔터테인먼트·교육 등을 지원하는 개인서비스로봇으로 구분할 수 있는데[1], 현재까지 서비스로봇 산업은 개인서비스 로봇 중심으로 시장이 성장하고 있다. 개인서비스 로봇의 경우 일반 소비자를 대상으로 하는 만큼 대량생산이 가능하고 그 기능이 복잡하지 않아 청소로봇, 소셜로봇(애완, 교육 등) 등 다양한 형태의 로봇이 개발·공급되고 있으며, 기업들의 투자 역시 개인서비스 로봇 분야를 중심으로 확산되고 있다.

반면 전문서비스 로봇의 경우 개인서비스 로봇에 비하여 그 확산 정도나 기업들의 참여 비중이 낮는데, 이는 전문서비스 로봇이 임무와 활용 목적에 따라 다양한 형태로 개발이 되고 있어[2] 목표시장 이외의 타 시장 활용이 어렵기 때문이다. 즉 로봇의 활용 기능에 따른 타깃 시장이 명확히 정해져 있고, 타 시장으로의 확장이 제한되어 있다는 뜻이다. 또한 전문서비스 로봇의 경우 가격이 높은 경우가 많은데, 이는 다양한 기능과 형태로 인해 개발된 하드웨어 및 소프트웨어를 재활용하는데 제약이 있고, 대부분 소량생산으로 이루어져 있기 때문인 것으로 추정된다[3].

따라서 기업이 전문서비스 로봇 시장 진출을 위해서는 명확한 시장의 범위와 수요를 파악하고, 시장 진입에 적합한 적정 비용의 로봇을 공급할 수 있는지가 선행되어 분석되어야 한다. 즉, 특정기능을 가진 로봇을 시장에서 요구한다고 하였을 때, 기업이 관련 시장에서의 수익성과 고객이 지불하고자 하는 비용에 적합한 로봇을 개발이 가능한지를 판단해야 한다. 그렇기 때문에 로봇개발

이전에 기획단계에서 개발비용을 산출하는 것은 기업이 시장진출 전략을 구축하는데 있어 매우 중요한 기준이 된다.

그럼에도 불구하고 전문서비스 로봇 개발 이전에 투입되는 예상비용 산출을 위한 객관적인 분석방법은 거의 존재하고 있지 않다. 대다수의 기업이 전문서비스 로봇 개발비용을 산출하기 위하여 전문가 자문을 통해서나 기존 개발된 유사사례를 바탕으로 비용을 추정하고 있다. 하지만 전문가 자문을 통한 산출은 실제 객관성이 매우 낮고 전문가들 간의 의견 편차가 매우 크기 때문에[4] 활용이 어려우며, 유사사례 바탕의 비용 추정도 실제 로봇 운용환경이나 기능에 따라 비용 차이가 크게 나타나지만, 다른 대안 없이 유사사례에 의존하고 있어 비용이 편향되거나 잘못된 비용을 산출하는 문제가 발생한다[5].

이에 따라 본 연구에서는 국내의 전문서비스 로봇 개발 데이터를 활용하여 비용추정을 위한 방안을 제시하며, 이를 위하여 모수추정법(Parameteric Cost Estimating)을 활용하고자 한다. 모수추정법을 활용하는 이유는 본 연구를 통해 목적과 관계가 있다. 본 연구를 통해 비용추정은 객관적이면서 비용추정과정의 시간과 비용을 최소화 하면서도 비교적 정확성이 높은 방법을 선택하는데 있다. 하지만 타 방법론을 살펴보면 전문가 판단법은 재현성이나 검증성이 낮아 객관성이 낮아 활용에 한계가 있으며[6] Top-Down & Bottom-Up 방식은 분해구조과정의 시간과 비용이 많이 소모되는 특징이 있다[7, 8]. 유추기반추정의 경우는 비교적 본 연구목적과 부합하나 전문서비스 로봇의 범위가 폭 넓다는 점에서 모든 사례를 충족하기 위해서는 사례에 적합한 방대한 자료가 필요하다라는 단점이 있는 만큼 활용하는데 한계가 있다[5]. 이에 따라 본 연구에서는 추정이 빠르고 객관성이 높은 모수추정방정식을 통해 연구를 수행하고자 하였다.

더불어 전문서비스 로봇의 경우 실제 운용환경에 따라 부품, 소재, 기술 등이 상이하어 그 가격 차이가 매우 큰 편이다. 이와 같은 배경에서 기능적 요소를 반영한 모수추정법을 통해 추정된 비용을 환경여건에 따라 조정할 수 있도록 그 항목과 가중치를 도출하고자 한다. 이를 통해 전문서비스 로봇의 비용을 추정할 수 있는 객관적인 근거를 마련할 수 있을 것이며, 이를 발판으로 실제 전문서비스 로봇 개발 비용추정을 위한 지속적인 확장 연구로 이어질 수 있을 것이다.

## 2. 이론적배경

### 2.1 전문서비스 로봇

#### 2.1.1 정의

‘전문서비스 로봇(Professional Service Robot)’은 ‘전문용 서비스 로봇(Service Robot for Professional Use)’으로 혼용되어 쓰이는데, 전문서비스 로봇이란 일반적으로 전문교육훈련을 이수한 오퍼레이터가 사용하는 상용(commercial)서비스 로봇을 의미한다[1]. 예컨대, 상업용 청소로봇, 사무실/병원용 운반로봇, 화재진압로봇, 병원용 재활로봇 및 수술로봇 등이 이 범주에 해당한다. 여기서 ‘전문교육훈련을 이수한 오퍼레이터’란 의도된 작업을 수행하는 로봇 또는 로봇시스템을 가동, 감시 및 정지하도록 지정된 자를 의미한다[2].

#### 2.1.2 분류

전문서비스 로봇의 분류는 활용 목적과 기능에 따라 다양하게 분류할 수 있으나, IFR과 UN유럽경제위원회에서 1990년 중반부터 사용되고 있는 분류체계를 활용하기로 한다[2]. 전문서비스 로봇은 크게 필드로봇, 전문청소로봇, 검사/유지보수로봇, 건설/철거로봇, 물류로봇, 의료로봇, 재난안전로봇, 군사로봇, 수중로봇, 외골격로봇, 모바일 플랫폼, 홍보로봇/놀이기구로봇, 기타 전문서비스용 로봇으로 구분되며, 각 구분에 따른 세부 항목은 다음과 같다.

- Building construction
- Robots for heavy/civil construction
- Other construction and demolition systems
Logistic systems
- Autonomous guided (AGV) vehicles in manufacturing environments
- AGVs in non-manufacturing environments (indoor)
- Cargo handling, outdoor logistics
- Personal transportation (AGV for persons)
- Other logistics
Medical robotics
- Diagnostic systems
- Robot assisted surgery or therapy
- Rehabilitation systems
- Other medical robots
Rescue und security applications
- Fire and disaster fighting robots
- Surveillance/security robots without UAV
- Other rescue and security robots
Defense applications
- Demining robots
- Unmanned aerial vehicles
- Unmanned ground based vehicles (e.g. bomb fighting)
- Unmanned underwater vehicles
- Other defense applications
Underwater systems (civil/general use)
Powered Human Exoskeletons
Mobile Platforms (general use)
Public relation robots and joy rides
- Hotel and restaurant robots
- Mobile guidance, information, telepresence robots
- Robots in marketing
- Robot joy rides
- other public relation
Other professional service robots not specified above

Table 1. Classification of service robots : service robots for professional use

Field robotics
- Agriculture (broad acre, greenhouse, fruit-growing, vineyard)
- Milking robots
- other robots for livestock farming
- Mining robots
- Space robots
- Others
Professional cleaning
- Floor cleaning, professional*
- Window and wall cleaning (including wall climbing robots)
- Tank, tube and pipe cleaning
- Hull cleaning (aircraft, vehicles, etc.)
- other cleaning tasks
Inspection and maintenance systems
- Facilities, plants
- Tank, tubes, pipes and sewers
- Other inspection and maintenance systems
Construction and demolition
- Nuclear demolition & dismantling

### 2.2 모수추정 기법

#### 2.2.1 개념

모수추정 기법은 비용을 결정하는 요소들과 비용간의 상관관계를 바탕으로 도출된 방정식으로, 비용을 추정하는 방정식 및 알고리즘을 활용한다. 모수추정은 특정 입력값과 출력값, 즉 비용추정 사이의 인과관계를 반영하고 있으며[7], 이에 따라 제품의 특징이 주요 비용항목으로 정해진다고 가정하고 있다.

모수추정기법을 통해 나타난 방정식은 다음과 같다.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n + \epsilon$$

여기서 y는 추정된 비용이며 x는 비용에 영향을 미치는 비용항목 값으로, 비용 산출에 적절한 x값을 도출함으로써 모수추정 방정식이 완성이 된다.

즉, 모수추정법의 비용은 종속변수가 되며, 기타 전문

서비스 로봇의 다양한 요소가 독립변수로 적용되어 도출되는 회귀식이기 때문에 향후 개발되는 전문서비스 로봇의 적도가 예상되면 비용을 쉽게 도출할 수 있다.

### 2.2.2 특징

모수추정기법은 모형을 수학 방정식으로 표현하기 때문에 매우 체계적인 접근을 나타낸다[10, 11]. 또한 모형의 기본과정이 주로 문서로 기록하기 때문에 추정의 반복과 검증, 이해가 쉬운 특징이 있다[5].

방정식 구조는 비용추정의 결과 값 및 불확실성 정도를 평가할 수 있는 다양한 통계적 방법을 사용할 수 있도록 한다. 또한 소프트웨어 툴을 통해 연산과정을 빠르게 수행할 수 있는 특징이 있다. 그리고 대부분의 모델에서 조정 매개변수를 포함하기 때문에 서로 다른 프로젝트에서 조정하여 활용할 수 있다는 특징이 있다.

그럼에도 불구하고 모수추정기법은 모델을 만드는 데 있어 상당한 연구가 필요하며, 모델 구축을 위해 많은 기초 데이터를 필요로 한다[9]. 관련 자료가 부족하거나 정보가 공개되지 않을 경우 모델의 타당성을 확보하는데 한계가 있다[9]. 그렇기 때문에 충분한 데이터가 없을 경우 연구 활동을 통해 데이터를 취득해야 한다.

더불어 개발된 모형이 다른 곳에 활용되는 것은 쉽지만, 실제 적용에 있어서는 새로운 데이터가 적용되는 만큼 새로운 값을 산출해야 한다[9].

## 3. 연구방법

### 3.1 모수추정법

#### 3.1.1 비용추정대상 및 범위설정

비용추정관계식 개발을 위하여 먼저 비용을 추정하려는 대상 및 범위를 명확하게 정의하였으며, 이는 대상 및 범위가 모호하게 될 경우 데이터의 동질성 또한 모호해질 수 있으며, 결국 비용추정 관계식의 명확성과 신뢰성을 낮추게 되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 추정하려는 비용의 대상 및 범위를 어떠한 항목을 통해 추정할 것인지, 어떤 비용을 추정할 것인지 등에 대해서 명확하게 정의하는 것을 우선적으로 수행하였다.

#### 3.1.2 데이터수집

비용추정 대상과 범위 내에서 데이터를 수집하기 전에 수집이 가능한 데이터와 각 데이터가 나타내는 항목

에 대한 조사를 수행해야 한다. 기업이나 해외의 경우 비용 DB를 체계적으로 관리하고 있어 데이터의 사용 여부를 쉽게 확인할 수 있으나, 국내의 경우 통합된 DB가 없을 뿐만 아니라 기관별로 데이터가 분산되어 있어, 데이터의 수집 및 활용 가능성을 검토하는 것이 필요하다. 만약 데이터의 활용이 어렵다면 비용추정을 위한 대상과 범위의 재조정이 필요하고, 그렇지 않을 경우 활용할 데이터를 모두 수집해야 한다. 본 연구에서는 데이터 수집을 위하여 한국로봇융합연구원, 한국해양과학기술원이 2005년부터 2012년까지 개발한 로봇플랫폼 데이터를 활용하여 데이터를 수집하였으며 조사대상 로봇은 총 51대에 대하여 분석하였다.

Table 2. Analytical data

Type	N
Professional cleaning	8
Inspection and maintenance systems	3
Construction and demolition	6
Logistic systems	3
Medical robotics	4
Rescue und security applications	5
Defense applications	1
Powered Human Exoskeletons	3
Public relation robots and joy rides	6
Other professional service robots not specified above	12

#### 3.1.3 데이터 평가 및 표준화

수집된 데이터는 다음과 같이 평가하고 조정하여야 한다. 먼저 수집된 데이터의 정확한 근거가 있어야 하며, 신뢰할 수 있는 데이터인지에 대한 평가가 필요하다. 다음으로 수집된 데이터가 가공되어 있는 데이터라면, 비용과 비용 항목간 관계를 설명할 수 있도록 재가공이 필요하며, 원시데이터 추가 수집이 필요하다. 또한 회귀기법을 위해 최소한의 데이터 수를 만족하는지 확인해야 하고, 만족하지 못할 경우 대상 및 범위를 재조정해야 하며, 데이터의 확률적 임의생성 및 비용항목 축소가 고려되어야 한다. 데이터의 평가가 완료되면, 데이터를 표준화 해야 하는데, 데이터의 일관성을 가져야하므로 하나의 기준을 정하는 것을 필요로 한다.

#### 3.1.4 비용항목 선택

비용 항목은 비용 추정에 주요 요인으로 적절한 비용 항목을 선택하는 것이 중요하다.

비용항목을 추정하는 방법은 정량적 방법과 정성적

방법으로 나누어 볼 수 있는데, 정량적 방법은 가능한 모든 경우의 수를 조합하는 방법으로 단순 또는 다중회귀를 통해 회귀식을 도출한다. 정성적 방법은 전문가들의 의견수렴을 통해 요인을 식별하게 된다.

특히 정량적 방법의 경우 회귀식 결정계수, Forward Selection/Backward Selection/Stepwise Selection 등의 수치 값을 상호 비교함으로써 비용항목을 식별해야한다.

본 연구에서는 비용항목 도출을 위한 항목으로 무게 기반 비용 산출(Weight-based costing) 접근법을 중심으로 기타 비용항목을 추가하여 활용하였는데, 무게를 활용한 모수추정기법은 대표적인 모수추정방법으로 무기체계나 기타 비용추정에서 주로 활용되고 있는 모형이다 [5, 10, 11].

모수추정법을 활용한 대표적인 소프트웨어인 PRICE H에서는 군사·항공·우주 등 다양한 산업분야에서 활용되는데, 모수추정의 핵심 비용항목으로 Size와 Complexity를 Core Equation으로 설정하였다. 여기서 Size는 무게를 의미하며, Complexity는 기술의 난이도와 가격을 의미한다. PRICE H에서는 가격추정 시작에 있어 Cost = f(Size, Complexity)를 핵심 가격도출로 활용하였다[12].

국내의 선행연구를 살펴보면 중량 및 부피 간의 비용 간의 관계를 연구한 결과는 대부분이 정(+)의 관계를 가지고 있다. 어원재 외(2010)나 정원일 외(2010)의 연구에서는 중량이 클수록 무기체계 개발비용이 증가하였으며 [13, 14], 마찬가지로 장영근 외(2010)나 김경미 & 황우준(2014)의 경우도 질량이 발사체 및 로켓엔진 개발비용에 정(+)의 영향을 주는 것으로 나타났다[15, 16]. 황정희 & 김수환(2015), 정원일 외(2010)의 연구에서는 직경이나 구경, 전장이 클수록 무기체계의 개발비용이 높은 것으로 연구되었다[14, 17].

### 3.1.5 데이터 특성분석

비용인자를 선택한 후 데이터의 특성을 분석하게 되는데, 전문서비스 로봇의 비용을 종속변수로 하고 이에 영향을 주는 비용항목을 무게, 크기, 제작난이도 등을 독립변수로 정의할 경우에 다중공선성(Multicollinearity)의 문제가 발생할 수 있다. 즉, 무게와 크기의 경우 크기가 클수록 무게가 많이 나가는 경우가 많기 때문에 이러한 변수는 상호 밀접한 연관성을 갖기 마련이다. 즉, 이러한 다중공선성의 발생이 나타날 경우 하나의 독립변수가 또 다른 독립변수에 영향을 주기 때문에 회귀분석 계수를 도출하는데 제약이 된다. 따라서 다중공선성 여부를 정

확하게 판단하여 다중공선성의 선형적인 연관성을 최소화하기 위한 노력들이 반드시 이루어져야 한다.

다중공선성은 변수들의 분산팽창계수(VIF, Variation Inflation Factor)를 활용하여 진단할 수 있다. 분산팽창지수는 추정 회귀계수들의 분산이 선형으로 연관되지 않을 때와 비교함으로써 얼마나 팽창되었는지를 확인하는 것으로 식은 다음과 같다.

$$VIF_n = \frac{1}{(1 - R_n^2)}, n = 1, 2, \dots, p$$

여기서 n은 변수 조합의 수를 의미하며, p는 독립변수의 수를 의미한다. 일반적으로 p개의 VIF 중 가장 큰 값이 10을 넘어서거나 상태지표가 30이상일 때는 독립변수가 다중공선성이 존재한다고 볼 수 있다[18].

다중공선성이 존재할 경우 주성분 회귀분석을 통해 변수간의 상관관계를 최소화하여 추정하거나 이상치가 존재할 경우 제거 혹은 로버스트(Robust) 회귀분석을 이용한 분석이 가능하다. 또한 이분산성을 식별해야하는데, 선형회귀모형이 등분산성을 위배할 경우 회귀모형을 활용할 수 없으므로 가중회귀를 통해 이를 극복할 수 있다[19].

## 3.2 조정계수 도출

### 3.2.1 조정계수항목 도출

본 연구에서의 전문서비스 로봇 운용환경에 따라 서비스로봇 비용에 영향을 주는 항목을 도출하기 위하여 FGI(Focus Group Interview)를 통해 변수를 도출하였으며, 도출된 항목에 대한 가중치 도출을 위하여 델파이 조사를 통해 항목을 도출하였다.

조정계수항목도출을 위해서는 3단계에 걸쳐 FGI를 시행하였는데, 1차 단계에서는 로봇 비용에 영향을 주는 환경적, 기술적 요소를 자유롭게 답변 받았으며, 2차 조사에서는 공통적 요소와 영향력이 낮다고 판단되는 요소를 삭제 및 그룹핑 하였다. 3차 조사에서는 관련 항목에 대한 이해를 돕기 위하여 설문지를 설정하고 이에 대한 자문을 받았다.

가중치 도출을 위해서는 2라운드의 미니델파이 조사를 활용하였는데, 이는 델파이 조사가 2라운드에서 많은 수렴이 나타나기 때문이다[20]. 1라운드에서는 조정계수 항목에 대하여 로봇가격영향력을 측정하였고, 2라운드에서는 이러한 조사결과를 다시 제시하고 관련 응답을 다시 요구하였다.

### 3.2.2 데이터수집

조정계수 도출을 위하여 로봇관련 전문가 그룹을 산업 전문가 84명을 대상으로 한 설문을 추진하였다. 전문가 그룹은 로봇개발을 직접적으로 수행한 경험을 보유한 석박사급 인력을 대상으로 기업 소속 전문가 29명, 정부출연연 및 공공연구소 소속 전문가 41명, 대학 소속 전문가 14명으로 구성하였다.

전문가 선정을 위하여 로봇개발을 직접적으로 수행한 경험을 보유한 석박사급 인력을 대상으로 연구를 수행하였다.

조정계수항목 도출은 2017년 10월 20일부터 2017년 12월 15일 2개월에 걸쳐 전문가를 대상으로 지속적인 FGI 조사를 통해 항목을 설정하였다. 또한 가중치 추정은 1차 조사는 2017년 12월 28일부터 2018년 1월 10일까지 수행하였으며, 이후 관련 결과를 정리하여 1월 12일부터 2018년 1월 19일까지 2차 조사를 수행하였다.

## 4. 연구결과

### 4.1 모수추정을 통한 전문서비스로봇 비용모델

전문서비스 로봇 비용추정을 위하여 위에서 설명한 바와 같이 회귀식을 기본 형태로 종속변수인 비용을 설명하는 독립변수 무게, 크기, 제작난이도, 재료규모, 시험분석 등을 활용하여 방정식을 개발하였다. 그 중 전문서비스 로봇과 관련된 변수를 선택하기 위하여 먼저 관련 없는 변수 제거를 위하여 Forward, Stepwise Selection을 활용하여 관련 비용항목을 도출하였으며, 최종적으로 무게, 크기, 제작난이도가 선택되었다. 선택된 총 3개의 비용항목을 바탕으로 최적의 변수 조합을 찾기 위하여 R<sup>2</sup> Selection을 하였으며, 이를 통해 모형을 선별하였다. 여기서 R<sup>2</sup> 이 높은 1번 모형을 선택하였다.

Table 3. The result of R2 Selection

Model	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Variables
1	.9848	.9810	Weight, Volume, Manufacturing Difficulty
2	.8168	.8027	Weight, Volume
3	.9692	.9645	Weight, Manufacturing Difficulty
4	.9595	.9533	Volume, Manufacturing Difficulty

선택된 변수 조합에 대하여 다중공선성을 분석한 결과 모형에서 다중공선성이 발견되고, 이상치는 존재하지 않아 주성분 회귀분석을 통해 회귀모형을 도출하였다. 도출된 모형은 다음과 같다. 여기서 y는 비용을 의미하며, wg은 무게, vol부피, pd는 제작난이도를 의미한다.

$$y = 79900000 + 875193.8(wg) - 0.0657938(vol) + 0.5380269(pd)$$

### 4.2 조정계수 적용 전문서비스 로봇 비용모델

조정계수에 대한 세부항목과 이에 대한 가중치는 다음과 같다. 조정계수 항목은 크게 방진/방수 IP등급의 ‘방진/방수’, ‘내열/내한’, 충돌방지기술 및 전기/전자파 인증 시험 여부인 ‘안전’, 로봇의 성능이나 수명을 테스트하는 ‘시험’, 로봇 기술의 신규성인 ‘기술혁신’으로 구분할 수 있었다.

Table 4. The result of the Adjustment factors analysis

Category	Criteria	Mean
Dust/Water proof	below IP67	0.19
	above IP68	0.46
Heat/Cold Resistance	below -40 degrees	0.70
	40~80 degrees	0.39
	above 80 degrees	1.08
Safety	Collision avoidance	0.33
	Human contact	0.57
	Electric/Electromagnetic Certification	0.23
Test	Vibration	0.24
	Drop/Impact	0.36
	Stress	0.44
	Drive	0.64
Technological Innovation	0~30%	0.16
	31~50%	0.45
	51~70%	0.81
	71~90%	1.69
	91~100%	2.48

분석된 결과를 바탕으로 조정항목을 반영한 비용추정 모형은 다음과 같다. ip는 방진/방수 적용 값이며, re 내열/내한, tec는 기술 혁신성을 의미한다. 이들의 경우 적용 유무 및 선택에 따라 가중치를 합하여 비용방정식에 가중한다. sa는 안전이고, ex는 시험으로 이 부분의 중복 선택이 가능하고 선택에 따라 총합을 더하여 비용방정식을 곱하게 되면 관련 값을 도출할 수 있게 된다.

$$y = \{79900000 + 875193.8(wg) - 0.0657938(vol) + 0.5380269(pd)\} * \{ip + re + tec + \Sigma(sa + ex)\}$$

### 5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 현재 전문서비스 로봇을 대상으로 비용추정 모형을 개발하였으며 전문서비스 로봇 관련 환경적 요소를 반영하고 비용추정관계식의 개발을 위한 기본 틀을 제공하였다는 점에 그 의의가 있다. 향후 본 연구의 확장을 통해 전문서비스 로봇의 비용을 추정할 수 있는 보다 객관적인 방안을 마련할 수 있을 것이며, 모형의 활용도가 폭넓어지고, 실제 전문서비스 로봇 개발을 위한 비용 산출에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 의외에도 불구하고, 본 연구에서는 비용 산출 요소가 한정적으로 활용되었고 자료의 수가 작다는 점에서 회귀식의 신뢰성 측면에서는 다소 부족할 수 있다는 점과 조정계수 산출과정에서 전문가의 정성적 요인이 개입되어 실제 비용이 과소/과대 추정될 수 있다는 한계도 가지고 있다.

향후에 관련 데이터를 추가적으로 확보하고, 개발된 로봇에 대한 기능항목들을 더 발굴하여 모수추정방식을 강화할 수 있다면, 모형의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 연구가 진행될 수 있을 것으로 판단된다.

### REFERENCES

[1] International Organization for Standardization. (2012). *ISO 8373:2012 Preview Robots and robotic devices – Vocabulary*. Geneva : International Organization for Standardization.

[2] International Federation of Robotics. (2007). *World Robotics Industrial Robots*. Frankfurt : International Federation of Robotics.

[3] Y. K. Kim. (2017). *The Next Big Thing, Service Robot Trends and Implications*. [Brochure]. Deajeon : Institute for Information & communications Technology Promotion.

[4] D. Ahlert & K. P. Franz. (2013). *Industrielle Kostenrechnung*, Berlin : Springer-Verlag.

[5] R. Roy. (2003). *Cost Engineering: Why, what and how?, Decision Engineering Report Series*, Cranfield University.

[6] C. Jones. (2007). *Estimating and Measuring Software Costs: Bringing Realism to Estimating*, NewYork : McGraw-Hill.

[7] O. Trivailo, M. Sippel & Y. A. Şekercioğlu. (2012). Review of hardware cost estimation methods, models and tools applied to early phases of space mission planning. *Progress in Aerospace Sciences*, 53, 1-17.

[8] R. G. Williams. (1994). Development cost prediction. *IEE Colloquium on Life Cycle Costing and the Business Plan*, 1-4.

[9] National Research Council. (1990). *Improving the accuracy of early cost estimates for federal construction projects*. Washington : National Academies Press.

[10] K. Ehrlenspiel, A. Kiewert, U. Lindemann & M. S. Hundal. (2007). *Cost-efficient design*. Berlin: Springer.

[11] L. S. Wierda. (1988). Product cost-estimation by the designer. *Engineering Costs and Production Economics*, 13(3), 189-198.

[12] O. Trivailo, M. Sippel & Y. A. Şekercioğlu. (2012). Review of hardware cost estimation methods, models and tools applied to early phases of space mission planning. *Progress in Aerospace Sciences*, 53, 1-17.

[13] W. J. Eo, Y. B. Lee & S. J. Kang. (2010). Developing an R&D CER Using Historical Defense Weapon System Data in Korea. *Journal of society of Korea industrial and systems engineering*, 33(3), 55-62.

[14] W. I. Jung, D. K. Kim & S. J. Kim. (2010). A Study On Developing Weapon System CERs With Considering Various Data Characteristics. *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, 36(3), 43-56.

[15] Y. K. Jang, S. J. Kang, H. R. Kim, B. I. No, S. S. So, D. S. You, Y. Y. Jang, J. K. Choi & H. W. Hwang. (2010). *Development of Launch Vehicle Development Cost Estimation Model*. Goyang : Hankuk Aviation University.

[16] K. M. Kim & J. W. Hwang. (2014). A Methodology for Estimating Reliability and Development Cost of a New Liquid Rocket Engine -focused on Staged Combustion Cycle with LOX/LH2. *Journal of the Korean society for aeronautical & space sciences*, 42(5), 437-443.

[17] J. H. Hwang & S. H. Kim. (2015). A study on the method to improve cost estimation of weapon system by using variable transformations. *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, 22(1), 24-37.

[18] N. K. Sung. (2004). *Regression analysis*. Paju : Freedom academy.

[19] B. S. Choi. (1997). *Time series analysis using SAS : Regression analysis*. Seoul : Sekyungsa.

[20] S. K. Hong, H. S. Shin & S. D. Park. (2007). *Technological forecasting*. Seoul : Korea Industrial Technology Foundation.

이 정 수(Lee, Jung Soo) [정회원]



- 2009년 2월 : 경원대학교 전자공학과(공학사)
- 2011년 2월 : 건국대학교 기술경영학과(경영학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 건국대학교 기술경영학과(박사수료)

- 2016년 2월 ~ 현재 : 한국로봇융합연구원 선임연구원
- 관심분야 : 국가기술경영, 기술혁신, 로봇
- E-Mail : jungsoo\_co@daum.net

민 정 탁(Min, Jeong Tack) [정회원]



- 2002년 8월 : 동아대학교 전기전자컴퓨터(공학사)
- 2004년 2월 : 동아대학교 전기공학(공학석사)
- 2016년 8월 : 부산대학교 기술사업정책학과(기술정책학박사)

- 2008년 11월 ~ 현재 : 한국로봇융합연구원 전략기획실장
- 2013년 10월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 수중건설로봇사업단 사무국장
- 관심분야 : 로봇, 기술정책, 사업화
- E-Mail : jtmin@kiro.re.kr

최 연 서(Choi, Yeon Seo) [정회원]



- 2005년 8월 : 경북대학교 경제통상학과(경제학사)
- 2013년 2월 : 포항공과대학교 기술경영(공학석사)
- 2005년 4월 ~ 현재 : 한국로봇융합연구원 선임연구원

- 관심분야 : 로봇, 기술경영, 기술정책
- E-Mail : cis@kiro.re.kr

박 명 준(Park, Myeong Jun) [정회원]



- 2008년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터공학과(공학사)
- 2011년 8월 : 서울대학교 기술경영(경영학석사)
- 2008년 3월 ~ 2009년 8월 : POSCO 사원

- 2011년 7월 ~ 2016년 9월 : 한국해양과학기술진흥원 연구원
- 2016년 10월 ~ 현재 : 한국로봇융합연구원 선임연구원
- 관심분야 : HRI, Social Robotics, 투자전략
- E-Mail : deepqnetwork@gmail.com

손 동 섭(Sohn, Dong Seop) [정회원]



- 2002년 2월 : 동아대학교 전기전자컴퓨터공학과(공학사)
- 2004년 2월 : 동아대학교 전기공학(공학석사)
- 2017년 8월 : 성균관대학교 기술경영학과(공학박사)

- 2010년 7월 ~ 2015년 5월 : 한국로봇산업진흥원 정책예산팀장
- 2015년 5월 ~ 현재 : 한국로봇융합연구원 책임연구원
- 관심분야 : Robotics, 제어시스템, 기술 정책/혁신/사업화
- E-Mail : sdsubi@gmail.com