

서비스 로봇 개발의 하드웨어 비용추정을 위한 항목 도출에 관한 연구

이정수, 손동섭, 최연서, 박명준, 민정탁*
한국로봇융합연구원

A Study on the Factors of the Hardware Cost Estimation for Service Robot Development

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

요약 본 연구는 서비스 로봇 개발을 추진하기 이전 기획단계에서 개발 비용에 영향을 미치는 항목을 도출하고, 각 항목별 영향력의 크기와 우선순위를 도출하기 위한 연구이다. 특히 서비스 로봇은 적용 환경과 수행해야 할 임무에 따라 요구되는 기능, 부품이 달라지고 이에 따른 가격이 천차만별일 뿐만 아니라 소량생산이 대부분으로 비용 추정의 중요성이 강조된다. 이에 따라, 본 연구에서는 서비스 로봇 개발 및 기능을 추가하는 과정에서 특정 임무를 위해 추가되는 각종 센서, 매니퓰레이터, 통신모듈 등 개별적으로 비용에 영향을 미치는 요소를 기능 항목으로, 운용되는 환경이나 개발과정에서 충족해야 하는 방진, 방수, 내구성 테스트 등 개발 비용에 전체적으로 영향을 미치는 요소를 조정 항목으로 구분하고, 각 항목별 세부 기준을 도출하기 위한 FGI를 수행하였다. 또한 각 항목별 비용 가중치 결정을 위하여 국내 전문가 84명을 대상으로 델파이 조사를 시행하였다. 분석 결과, 기능 항목 6개(세부 기준 41개), 조정 항목 5개(세부 기준 17개)가 도출되었으며, 각 항목별로 비용 가중치와 순위를 제시하였다. 본 연구를 통해 서비스 로봇 개발 기획단계에서 개발비용을 추정하고, 기능을 선택할 수 있는 의사결정 요소로 활용 할 수 있다면, 기업이 서비스 로봇 개발의 전략적 도구로 활용할 수 있을 것이며 이를 통한 시장 진입과 확장에 도움이 될 것으로 예상된다.

Abstract The purpose of this study was to derive the factors that affect the development cost and the priority/weight of effectiveness in the pre-development stage of a service robot to estimate the development cost. In particular, the functions of service robots vary according to the field of application, and their prices are not only different but most of them are small-scale production; hence, a cost estimation is necessary. In this research, the factors affecting the service robot development cost in the process of service robot development and adding functions are classified as a functional factor while the factors that affect the entire development cost due to environmental causes, in which the service robot is operated or in the development process, are classified as an adjustment factor. The FGI was conducted to derive the factors and a Delphi survey was conducted among 84 domestic experts to determine the weights of the factors. As a result of the analysis, six functional factors (41 detailed criteria) and five adjustment factors (17 criteria) were derived, the cost weight and rank of the factors were suggested. This study suggests that the development cost of the service robot can be used as a decision-making strategy to select the operation functions in the development process, and can be utilized as an essential tool for the service robot development.

Keywords : Service Robot, Hardware Cost Estimation, FGI, Delphi, Functional Factor, Adjustment Factor

*Corresponding Author : Jeongtack Min(Korea Institute of Robot Convergence)

Tel: +82-54-279-0405 email: jtmin@kiro.re.kr

Received February 28, 2018

Revised (1st March 30, 2018, 2nd April 6, 2018)

Accepted May 4, 2018

Published May 31, 2018

1. 서론

최근 4차 산업혁명 시대 도래에 따라 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터 등의 기술진보로 지능화된 로봇 기술의 관심이 확대되고 있으며, 세계 각국에서는 국방, 의료, 농업, 교육 등 다양한 산업 분야에서 로봇기술과의 융합을 통해 서비스 로봇을 개발하고 있다. 로봇 산업은 전·후방 연관 산업과 고부가가치 창출 산업으로 제품설계, 응용소프트웨어, 콘텐츠제작, 서비스 등 연관 비즈니스와 부가가치를 창출하고 있으며, 인공지능, 사물인터넷 기술의 확산과 함께 성장동력 산업으로 시장이 고성장 될 것으로 전망된다.

로봇은 제조 라인에서 인력을 대체·지원하여 공정의 효율을 향상시키는 제조 로봇과 청소·농업·의료·군사·가사·간병·여가·교육 등 다양한 분야에서 활용되는 서비스 로봇으로 구분된다[1]. 지금까지 로봇산업은 제조 로봇을 중심으로 성장해 왔지만, 미래 로봇산업은 웰빙, 1인 가구, 안전 등 다양한 사회적 요구를 해소할 수 있는 서비스 로봇 시장의 확대가 예상된다. 국제로봇협회(IFR)에서 조사한 서비스 로봇 세계시장 규모는 2011년 42.05억달러에서 2015년 68.16억달러로 연평균 12.8% 이상 고성장 하였으며, 2018-2020년 간 456.55억달러의 시장 규모로 성장하는 것으로 추정하였다[2].

이에 따라 국내·외 수 많은 기업이 신사업 발굴을 위하여 서비스 로봇 개발 및 적용을 위한 노력을 추진하고 있으나 그 성과는 크지 않은 편이다. 이는 로봇의 소비자가 원하는 구매 비용과 판매 비용의 간극이 크게 나타나 시장에서 외면받고 있기 때문이다. 그렇기 때문에 서비스 로봇 개발 이전 기획단계에서 개발대상 로봇에 대한 비용요소를 고려하는 것은 시장 진입 가능성을 검토할 수 있는 매우 중요한 요소이다. 즉 기업에서 서비스 로봇 개발의 성공적인 수행을 위해서는 정확한 비용추정이 요구되며, 이를 통해 소비자의 요구조건을 충족하는 서비스 로봇 개발이 가능할 것이다.

이러한 중요성에도 불구하고 서비스 로봇 개발과 관련한 적합한 비용추정 방법은 거의 존재하고 있지 않다. 대부분의 개발비용추정 연구는 국방목적의 무기체계를 중심으로 비용추정에 관한 연구가 추진되고 있으며 [3-6], 그 외의 분야에서는 소프트웨어 개발비용이나 [7-8] 위성개발을 목적으로 한 발사체 비용추정으로[9], 서비스로봇 개발 추정에 직접적으로 활용하기에는 적합

하지 않다.

그렇기 때문에 대부분의 서비스로봇 개발 비용을 추정하기 위하여 개별 연구자의 주관적 경험에 따라 분야별 소요 예산을 취합하여 개발 비용을 추정하는 엔지니어링 기법을 대부분 활용하고 있는데, 이러한 방법은 연구자의 경험에 기반하여 주관적으로 가격을 추정하기 때문에 객관적인 개발비용추정에 대한 타당성의 한계를 보여주고 있다. 실제로 엔지니어링 기법을 통한 개발 비용 추정은 개발 과정 및 현장 적용 단계에서 다양한 변수를 반영하지 못해 당초 예상하였던 비용을 초과하거나[10], 이해의 가능성과 검증가능성[11-12]을 낮춰 로봇 개발 진행에 어려움을 주는 경우가 많다. 이 때문에 서비스 로봇 개발 기획단계에서 다양한 환경조건 및 로봇의 설계 특성을 반영할 수 있는 객관적인 비용추정에 대한 기준이 매우 필요하다.

이러한 배경에서 본 연구는 서비스 개발 기획단계에서 개발비용을 추정하고, 로봇의 부가 기능을 선택할 수 있는 의사결정 도구로 활용할 수 있도록 서비스로봇 개발 비용추정의 기준과 각 기준에 따라 비용을 추정할 수 있는 가중치 도출에 관한 연구를 추진하고자 한다. 이를 위하여 로봇과 관련된 전문가들을 대상으로 FGI(Focus Group Interview)를 통해 서비스 로봇의 비용 추정을 위한 기준 항목을 도출하였으며 델파이 조사를 통해 각 항목의 비용 영향력을 추정하였다.

2. 이론적 배경

2.1 서비스 로봇 정의 및 특징

국제로봇산업연맹(IFR)은 서비스 로봇의 정의를 인간의 편의를 제공하는 반 자율 또는 자율적으로 작동하는 로봇이라 정의하고 있다. 보편적으로 서비스 로봇은 주로 집안일을 포함한 더럽고, 위험하거나 반복적인 일을 수행함으로써 인간을 돕는 것을 말한다[1].

서비스 로봇은 적용 환경의 차이뿐만 아니라 활용목적, 목표 시장 등 제조 로봇과는 다른 다양한 특징을 가지고 있다. 첫째, 임무와 활용 목적이 다양한 만큼 그 세부기능과 모양, 운용방식이 다양하다. 즉, 어떠한 로봇의 경우 수동으로 운용되는 반면, 어떠한 로봇은 원격조정, 어떠한 로봇은 완전자율 로봇으로 운영된다. 또한 그 활용범위가 개인/가정부터 재난, 군사 까지 그 성능과 기능

이 매우 넓은 특징이 있다[1].

둘째, 실제 목표 시장과 시장 구조가 세분화된 특성을 갖는다. 서비스 로봇의 경우 많은 영역에서 다양한 종류로 소량 생산되며, 특정 영역에서는 주문 제작 방식을 통해 이루어진다. 로봇 청소기와 같은 홈서비스 로봇은 대량생산체제로 전환되었지만 국방, 해양, 안전 로봇 등 특수 분야나 특정영역에서 소비자가 원하는 기능을 수행하는 로봇의 경우는 소량생산이나 주문제작 방식을 취하고 있어, 실제 시장이 세분화 되고 있다.

셋째, 서비스 로봇은 일반적으로 다양한 형태로 개발되고 있어 하드웨어 및 소프트웨어의 재사용이 어렵고 가격이 높은 특성을 갖는다[13].

위와 같은 특성으로 인하여, 서비스 로봇 중 전문서비스 로봇과 같은 특수 목적 로봇의 경우 프로토타입으로 개발된 로봇을 바로 현장 적용하고 사업화 가능성을 판단한 뒤 그대로 제품화 하는 사례가 많이 존재한다. 그렇기 때문에 서비스 로봇의 경우 로봇 개발 기획 단계에서 로봇의 요구기능을 전략적으로 결정할 수 있도록 개발 범위 설정과 그에 따른 비용의 추정이 선행되어야만 효율적인 로봇 개발이 이루어질 수 있다.

2.2 비용추정

2.2.1 비용추정의 개념

비용은 여러 의미로 사용되므로 한 마디로 정의하기가 어려우며 입장이나 관점의 차이에 따라 그 개념이나 정의도 달라진다. 비용을 사전적 의미에서만 살펴본다면 비용은 기업에서 생산을 위하여 소비하는 원료비, 기계 설비비, 빌린 자본의 이자 따위를 통틀어 이르는 말로 정의할 수 있다[14]. 국세청에서는 수익을 얻기 위하여 기업이 소비한 재화 또는 용역으로써 소멸된 원가라고 정의하고 있다[15].

이러한 용어상 개념을 바탕으로 방위사업관리규정에서는 확정된 방안에 대하여 계획, 예산단계에서 사업집행 효율성 제고를 위하여 적정비용을 추정하여 계획·예산단계에 반영하고 단계별 목표비용을 산정하여 적정 양산단가 결정 및 이를 위한 집행과정에서 비용을 조정·통제하는 것을 비용추정이라고 하였으며[15], KISTEP에서는 연구개발과 관련하여 현재 지식수준과 가용자료를 바탕으로 시스템 또는 기능적 요구를 충족시키는 예산요건을 산출하는 것을 비용추정이라고 정의하였다[16].

이러한 비용추정은 일반적으로 원가분석과 혼동되어

활용되는데, 비용이 제품의 개발 및 생산·판매를 위하여 소비한 재화 및 소멸된 가치를 의미한다면, 원가는 제품 또는 1단위의 생산을 위하여 소비된 재화의 가치를 의미한다. 다시 말해, 원가분석이 실제 분석 대상의 제품 및 서비스 개발을 위해 소요되는 1단위의 비용으로 일반적으로 개발되었거나 판매되고 있는 제품 및 서비스의 원가관리를 통해 사업성을 제고하는데 그 목적이 있는 반면, 비용추정은 제품개발 이전에 적정한 비용을 추정하여 사업추진의 사전 타당성을 분석하는데 그 목적이 있다.

2.2.2 비용추정의 방법론

비용추정방법론은 대표적으로 전문가 판단법, 매개변수 모델링, 유추기반추정법, Top-Down/Bottom-up추정법으로 구분되며, 각각의 특징은 다음과 같다. 먼저 전문가 판단법은 특정 분야 전문가의 전문성에 의존하여 비용을 추정하는 방법으로[17], 전문가의 경험이 많으면 추정이 매우 정확하고[18]새로운 기술의 경우 유일하게 신뢰할 만한 데이터 소스로 활용될 수 있는 장점이 있다[19]. 반면, 전문성이 부족하게 되면 추정의 이해가능성, 검증가능성, 재현가능성이 낮은 단점이 있다[20].

매개변수 모델링 방법론은 비용을 결정하는 요소들과 비용간의 상관관계를 토대로 도출된 방정식에 대상의 특정 입력 값을 대입하여 비용을 추정하는 방법으로, 수학 방정식으로 표현되어 매우 체계적인 접근법이며 매개변수 추정이 빠른 장점이 있다[21]. 반면 기본방정식 도출을 위해서는 상당한 양의 조사와 자료가 필요하고, 데이터가 없다면 활용이 불가능하다는 점이 존재한다[22].

유추기반 추정법은 기존 유사사례에 기반한 전문가 판단법으로 직관적이고 정확하다는 특징[23]이 있는 반면 실제 개발과정에서 다양한 기반 비용이 투입될 수 있는데 만약 개발된 기술의 중요한 차이점이 식별되지 않는다면 편향된 추정의 위험이 높고 잘못된 결론을 낼 수 있다[24].

Top-Down/Bottom-up추정법은 제품을 나눌 수 있는 단일적 요소를 구조적으로 분해하여 각 항목을 단일 추정하는 비용추정방법으로, 개발대상의 작업분해구조나 구성요소 분해구조를 기반으로 세부 구성항목의 비용을 추정하고 이를 합산하여 총 비용을 도출한다[25]. 일반적으로 세부적인 WBS나 CBS가 설정가능하면 추정의 정확도가 높고[18], 세부항목별 분석을 수행하기 때문에 임의 오차의 평균화를 통해 오차가 감소한다. 또한 분해

구조의 묶음은 비용추정을 투명하고 이해할 수 있게 도와주는 특징이 있다[21]. 하지만 분해구조를 만들기 위해서는 자세한 지식이 요구되고, 혁신의 정도가 높다면 필요한 지식이 더욱더 많이 필요로 한다는 한계점이 존재한다[17].

위의 비용추정 방법론 중 본 연구에서는 Top-Down/Bottom-Up추정법을 활용하여 서비스 로봇 개발 비용을 추정하고자 한다. 이는 본 연구의 최종목적이 기업의 기획단계에서 서비스 로봇의 객관적인 비용추정과 시장에서 요구하는 서비스 로봇 개발이 목적인 만큼 그 기능에 따른 비용영향력에 대한 이해가 쉬워야 하기 때문이다. 다만 이 방식이 가지는 한계점을 보완하기 위하여 서비스 로봇의 분해 구조에 대한 전문지식 및 혁신성을 고려해야 하는 부분에서는 전문가 조사법을 일부 활용하고자 한다.

Table 1. Pros and Cons of Cost Estimaion Method

section	Advangages	Disadvantages
Expert Decision	·The more expert experience, the more accurate the estimate ·Use new technology as a reliable data source	·If expertise is inadequate, the estimates are understandable, verifiable, and reproducible
Parameter Modeling	·Expressed in mathematical equations and very systematic ·Estimating parameter is fast	·Significant amounts of research and data are needed to derive basic equations ·Not available if there is no data
Analogy based estimation	·Intuitive and accurate estimation using similar cases	·If technical differences are difficult to identify, the risk of biased estimates is high and incorrect conclusions can be drawn
Top-Down/Bottom-upes timaion	·Generally, if detailed WBS or CBS is configurable, the accuracy of estimation is high ·By analyzing detailed items, it is possible to reduce errors by averaging random errors	·Requires detailed knowledge to build a decomposition structure ·If the level of technological innovation is high, the level of required knowledge is also high

3. 연구모형 및 설계

3.1 분석모형

3.1.1 비용추정 항목 도출

본 연구에서는 서비스 로봇의 개발 비용에 영향을 미치는 요소 도출을 위하여 FGI를 통해 기준 항목을 도출하였다. FGI는 특정한 목적을 위하여 준비된 주제에 대

하여 그 사용 목적에 따라 모인 소수의 전문가 그룹에서 토론하는 것으로, 숙련된 진행자의 운영을 통해 집단 구성원 간 상호 영향을 줄 수 있도록 토의 환경을 만들고 주로 비구성적 접근법(Open-ended)을 통해 얻어진 개개인의 반응을 통합하여, 가설을 추출하거나 가설을 검증하는 등 목적에 따라 관찰하고 분석하는 방법론이다. FGI방법론은 저비용으로 빠른 정보를 입수할 수 있으며, 동일한 주제에 대해 더 많은 정보를 획득 할 수 있다. 또한 모호한 분야에 대하여 다양한 의견을 얻을 수 있어 [26], 서비스 로봇 비용 항목과 같이 경험적 정보를 객관화하는데 있어 매우 유용한 방법론이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 평가 항목을 크게 기능 항목과 조정 항목으로 구분하고 있는데, 기능 항목은 특정 임무를 수행할 수 있도록 추가되는 각종 센서, 매니플레이터, 통신 등 항목 건별로 비용에 영향을 미치는 요소를 의미하며, 조정 항목은 로봇 적용 환경에 따라 충족해야 하는 방진, 방수, 내구성 테스트 등으로 개발 비용 전체에 영향을 미치는 요소를 의미한다. 각 항목별 세부 기준 도출을 위하여 국내에서 실제 로봇 개발을 수행한 전문 인력을 대상으로 로봇개발 과정에서 비용에 영향을 미치는 전체 항목을 도출하였으며, 각 항목 간 중복되거나 의미 없는 항목을 제외하여 그룹핑하였다. 또한 각 항목별 비용에 영향을 주는 세부 기준을 마련하였다.

연구 수행 단계별로 1차 조사에서는 비용추정 항목 도출을 위하여 기능 항목과 조정 항목의 개념을 설명하고 로봇 개발 비용에 미치는 요소에 대하여 자유롭게 의견을 제시할 수 있도록 하였다. 1차 조사결과 수집된 전문가들의 다양한 응답 결과 분석을 통해 비슷한 내용을 묶어 범주화하였으며, 이를 활용하여 2차 회의를 수행하였다. 2차 회의에서는 1차 조사된 결과에서 고려되지 못한 요소를 보완하여 최종 항목과 세부 기준을 분류하였다.

3차 조사에서는 2차에서 도출된 항목에 대한 명확성과 전문가들의 이해도를 높이기 위하여 각 항목과 세부 기준을 포함하는 비용 추정 설문지 구성 후 설문 문항의 의미가 명백한지 등에 대해 전문가 그룹에 참여하지 않은 전문가를 대상으로 검토 의견을 받는 과정을 거쳤다. 이러한 과정을 토대로 로봇 개발 비용에 영향을 미치는 항목을 최종적으로 확정하고, 비용 추정 세부 기준 분류 체계를 완성하였다.

3.1.2 가중치 추정

본 연구에서는 각 항목별 가중치 추정을 위하여 델파이 조사방법을 활용하였다. 델파이는 전문가를 대상으로 의견을 체계적으로 도출하고 이를 수렴하기 위한 기법으로[27], 다음과 같은 특징을 가진다[28-29]. 먼저 델파이 조사에서는 익명성을 보장함으로써 전문가의 의견을 자유롭게 교환할 수 있다. 다음으로 전문가 그룹의 의견을 통계적으로 집계함으로써 중위수 및 사분위범위(IQR), 즉 통계분포를 제시할 수 있다. 패널은 설문지를 통해 의견을 서로 교환하고 수정함으로써 추론의 피드백을 한다는 특징이 있다.

본 연구에서는 2라운드 미니델파이 조사를 활용하였는데, 이는 대부분의 경우 2라운드에서 가장 큰 수렴이 일어나기 때문이며[30]델파이 조사의 시간과 비용을 고려할 때 2라운드 미니델파이가 합리적으로 판단하였기 때문이다.

1라운드에서는 비용 추정 항목들에 대하여 설문조사를 통해 비용에 영향을 주는 가중치를 결정하게 된다. 이러한 가중치를 집계하여 통계 요약표를 작성하여 2라운드에서 다시 한 번 정보를 제공하게 되면 자신의 예측결과를 수정할 기회를 갖게 된다. 이 때 자신의 응답을 수정하지 않을 수도 있고, 자신의 응답이 사분범위 밖에 존재할 경우 그 이유를 제시하도록 하였다[29].

조사를 위하여 기능 항목의 경우 각종 센서, 매니플레이터, 통신 등 기능 추가에 대한 비용을 표준플랫폼에 H/W가 추가된다는 측면에서 비용추가 비율을 조사하였으며, 조정 항목의 경우 방진, 방수, 내구성 테스트 등 로봇 전체에 대한 비용 영향력이므로 로봇 최종 가격에 미치는 영향력을 조사하였다.

3.2 연구의 설계

비용추정 항목 도출 및 가중치 설정을 위하여 로봇 관련 산·학·연 전문가 그룹 총 84명을 대상으로 연구를 추진하였다. 전문가 그룹은 로봇 플랫폼을 개발한 경험이 있고, 관련 분야에서 5년 이상의 경험이 있으며, 로봇과 관련된 석박사급의 인력을 대상으로 연구대상을 설정하였다. 연구대상은 기업 소속 전문가 29명, 정부 출연연 및 공공연구소 소속 전문가 41명, 대학 소속 전문가 14명으로 구성하였다.

비용 추정 항목 도출은 2017년 10월 20일부터 2017년 12월 15일 2개월에 걸쳐 전문가를 대상으로 지속적

인 FGI조사를 통해 항목을 설정하였다. 또한 가중치 추정을 위한 델파이 조사는 1차 조사를 2017년 12월 28일부터 2018년 1월 10일까지 수행하였으며, 이후 관련 결과를 정리하여 1월 12일부터 2018년 1월 19일까지 2차 조사를 수행하였다.

4. 연구결과

비용 항목 도출 및 가중치 설정을 위하여 위의 연구방법과 같이 3차에 걸친 기능 및 조정 항목, 각 항목별 세부 기준 도출과 더불어 2차에 걸친 가중치를 도출하였다. 전체적인 연구수행 프로세스는 Table 2와 같다.

분석결과 기능 항목의 경우 운용기능, 매니플레이터 등 항목으로 구분되었으며, 조정 항목은 운용환경, 기술 혁신으로 구분할 수 있었다.

Table 2. Research process

Step	Contents	Method
1. Factor analysis	·Characteristic analysis of robot H / W development from the viewpoint of cost ·Evaluation of existing development results and data collection possibility	Focus Group Interview
2. HW development cost estimation logic modeling	·Establishing assumptions for modeling ·Determine development direction through conceptual / mathematical modeling	
3. Definition of Work Breakdown Structure(WBS)	·Definition of analysis target system ·Define component splitting and relationship at the proper level	
4. Derivaion of HW Development Cost Estimation factor	·Cost factor selection through expert review ·Determine the data collection list	
5. Data collection / Normalization	·Data collection ·Normalization and correction of data	Delphi Survey
6. Derivation of HW development cost weight	·Develop cost estimation logic by statistical reasoning(by WBS) ·Development of correction factor	
7. Model verification	·Model verification by quantitative / qualitative method	

Table 3. The result of the functional factors survey

1 st class	2 nd class	3 rd class	Criteria	Effectiveness weight	Rank	
Mobile	Dynamic friction			0.17	39	
	Formal obstacle(below 5cm)			0.23	38	
	Informal obstacle			0.60	30	
Load Capacity	Indoor		~20kg	0.25	36	
			~50kg	0.68	28	
			~100kg	0.54	32	
	Outdoor		~20kg	0.63	29	
			~50kg	0.89	21	
			~100kg	1.50	16	
		~200kg	2.35	6		
Operating time			less than 2hr	0.00	40	
			2hr ~ 4hr	0.36	34	
			More than 4hr	0.72	25	
Communicaion mode	Unsupport			0.00	40	
	WIFI	indoor	0.24	37		
		outdoor	0.40	33		
	3g, LTE			0.31	35	
Autonomous	SLAM	Guide	indoor	0.97	20	
			outdoor	2.12	7	
		NonGuide	indoor	1.43	17	
			outdoor	2.56	3	
	Recognition	Obstacle Detection	indoor	0.85	23	
			outdoor	2.01	10	
		Fall Prevention	indoor	0.71	26	
			outdoor	1.77	12	
		Respond to the External Environmental change		2.36	5	
		Autonomous Charging	indoor	0.87	22	
outdoor	1.97		11			
Manipulator	The Degree of Freedom		1~3	0.55	31	
			4~6	2.06	8	
			7	3.36	1	
	Load Capacity		below 10kg	1.63	15	
			10kg~30kg	2.88	2	
	Operating Radius		below 50cm	1.21	18	
			below 100cm	2.02	9	
	Function	Obstacle Recognition			0.82	24
				Pick & Place	below 3kg	0.69
		below 6kg			1.19	19
below 10kg		1.73			14	
above 10kg		2.54			4	
Direct Teaching				1.75	13	

4.1 기능항목

서비스 로봇 기능 항목은 최소한의 기능을 가지는 표준 플랫폼에 특정 임무를 수행하기 위해 기능 비용이 추가되는 것으로 보고 항목과 세부기준, 비용 영향력을 조사하였으며, 그 결과 값은 Table 3과 같다.

기능 항목은 로봇의 바다 환경에 따라 달라지는 기능인 ‘모바일 적용’, 로봇이 탑재할 수 있는 무게인 ‘가반중량’, ‘작동시간’, ‘통신방식’, ‘자율이동’, 로봇의 작업을 수행하는 ‘매니플레이터’로 구분할 수 있었다. 특히, 매니플레이터의 경우 타 기능과 달리 대분류 항목으로 별도로 그룹핑 하였는데, 서비스 로봇에서 매니플레이터의 유무와 자유도, 가반중량 등이 로봇 비용에 크게 영향을 미칠 수 있는 주요 요인이라는 전문가 의견을 반영하여 별도 항목으로 도출하였다.

실제 연구결과에서 기능 항목에서 매니플레이터가 가장 큰 영향력을 갖는 것으로 나타났는데, 자유도, 가반중량, 작업 반경 등 대부분의 분류에서 높은 가격 영향력을 갖는 것으로 나타났다. 다음으로는 자율이동 기술이 비용에 영향을 주는 것으로 나타났는데, 특히 Non-Guide 기반의 SLAM기술이나 외부 환경 변화 대응 등의 기술이 실제 가격에 높은 영향력을 갖는 것으로 나타났다.

서비스 로봇에 대한 기능 항목의 비용 영향력을 살펴

보면, 매니플레이터의 자유도 7(3.36), 매니플레이터의 가반중량 10kg~30kg(2.88), SLAM NonGuide 실외(2.56), Pick & Place(2.54), 외부환경 변화대응(2.36)의 순으로 영향력이 높은 것으로 나타났다. 반대로 로봇의 이동기능에서 마찰 비적정환경(0.17), 정형적 장애물(0.23), 실내 WIFI 지원(0.24), 로봇 가반중량 실내 20kg 이하(0.25)의 순으로 비용 영향력이 가장 낮은 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 실제 서비스 로봇 개발 기획 시 비용 영향력이 높은 기술이나 기능의 경우 고객 및 시장에서 꼭 필요한 기술 인지를 파악하고, 소비자가 감내할 만한 비용이라고 판단될 경우 관련 기능을 추가하거나, 요구기능의 필요도에 따라 선택적으로 반영해야만 성공적인 서비스 로봇 개발이 이루어 수 있음을 나타내 준다. 반대로, 중요성이 낮은 항목들의 경우 소비자의 요구 정도 및 로봇의 활용도에 따라 기능의 포함 여부를 전략적으로 판단할 수 있다.

4.2 조정항목

조정 항목에 대한 세부 기준과 이에 대한 영향력에 대한 전문가 인식은 Table 4와 같다. 조정항목은 크게 방진/방수 IP등급의 ‘방진/방수’, ‘내열/내한’, 충돌방지기

Table 4. The result of the adjustment factors survey

1 st class	2 nd class	3 rd class	Criteria	Effectiveness weight	Rank
Dust/Water proof			below IP67	0.19	16
			above IP68	0.46	8
Heat/Cold Resistance			below - 40 degrees	0.70	5
			40-80 degrees	0.39	11
			above 80 degrees	1.08	3
Safety	Collision avoidance			0.33	13
	Human contact			0.57	7
	Electirc/Electromagnetic Certification			0.23	15
Test	Vibration			0.24	14
	Drop/Impact			0.36	12
	Stress			0.44	10
	Drive			0.64	6
Technological Innovation			0~30%	0.16	17
			31~50%	0.45	9
			51%~70%	0.81	4
			71%~90%	1.69	2
			91~100%	2.48	1

술 및 전기/전자과 인증시험 여부인 ‘안전’, 로봇의 성능이나 수명을 테스트하는 ‘시험’, 로봇 기술의 신규성인 ‘기술혁신’으로 구분할 수 있었다. 특히 기술혁신성의 경우 운용환경이나 개발된 로봇의 운용시험과 같이 비용에 직접적으로 영향을 주는 것이 아니지만, 차별화된 서비스 로봇 개발을 위해서는 비용에 큰 영향을 주는 만큼 관련 요소로 포함하였다.

조정 항목에서 큰 영향을 미치는 것은 기술 혁신성으로 나타났는데, 서비스 로봇 개발 과정에서 신규로 개발되어야 하는 기술이 높아질수록 그 개발 비용은 크게 높아지는 것으로 나타났다. 다음으로는 운용환경인 내열/내한 환경의 경우 개발과정에서 플랫폼 전체 뿐만 아니라 부품/소재 등의 변화로 인하여 비용에 크게 영향을 주는 요인으로 나타났다.

서비스 로봇에 대한 조정항목의 세부항목별 영향력을 살펴보면 기술혁신성 91%이상(2.48), 기술혁신성 71%~90%(1.69), 내열 영상80도 이상(1.08), 기술혁신성 51%~70%(0.81), 내한 영하40도 이하(0.7)의 순으로 상대적으로 가격에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 반대로 기술혁신성 30%이하(0.16), 방진/방수 IP67이하(0.19), 전기/전자과 인증(0.23), 진동시험(0.24), 충돌예방(0.33)의 경우 상대적으로 가격영향력이 낮은 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 통해 새로운 로봇을 개발하고자 하는 기업의 경우 기존 로봇 기술을 기반으로 새로운 서비스 창출이 가능한 로봇 개발 전략을 수립하여야 개발 과정에서의 비용을 줄이고, 가격 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 보인다.

5. 결론

서비스 로봇의 비용항목과 영향력을 도출하는 목적을 알기 위해서는 먼저 비용 추정의 목적을 이해해야 한다. 서비스 로봇 개발 비용 추정의 목적은 시장 및 고객의 입장에서 비용 대비 적절한 기능을 하는 서비스 로봇의 개발이다. 예를 들어, 소비자는 최대한 많은 기능과 서비스를 제공하는 로봇을 원하고 있지만, 비용은 최소화하여 지불하고 싶어한다. 그렇기 때문에 서비스 로봇을 구매하는 핵심가치, 즉 주요기능 및 서비스가 제공될 때에 고객은 적절한 가격을 지불할 것이다. 하지만 기능 및 서비스에 기반한 서비스 로봇의 개발 비용을 추정할 수 있

는 기준이 없다면 서비스 로봇 개발 과정에서 시장에 적합한 로봇개발은 매우 어려워 질 것이다.

이에 따라 본 연구에서는 서비스 로봇의 정의와 특성을 이해하고, 비용을 추정할 수 있는 항목을 도출하고 각 항목별 세부 기준에 따른 비용 영향력을 살펴보았다. 이를 위하여 FGI를 통해 기능 항목으로 모바일 적용, 가반중량, 작동시간, 통신방식, 자율이동, 매니플레이터를 도출하였으며, 조정 항목으로 방진/방수, 내열/내한, 안전, 시험, 기술 혁신성을 도출 할 수 있었다.

또한 도출된 항목의 비용 가중치 결정을 위하여 델파이 조사를 시행하였다. 분석 결과, 기능 항목 6개(세부 기준 41개), 조정 항목 5개(세부 기준 17개)가 도출되었으며, 각 항목별로 비용 가중치와 순위를 제시할 수 있었다. 기능 항목의 비용 영향력을 살펴보면, 매니플레이터의 자유도 7가 영향력이 높은 반면, 로봇의 이동기능에서 마찰 비적정환경의 비용 영향력이 가장 낮은 것으로 나타났다. 마찬가지로 기술혁신성 91%이상이 가장 높은 영향력을 갖는 반면, 기술혁신성 30%이하가 가장 낮은 영향력을 갖어 기술혁신에 따라 가격차이가 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 로봇 개발 비용에 영향을 크게 주는 요인을 추정하는데 활용할 수 있을 것이다.

본 연구는 국내 실정에 맞는 서비스 로봇 개발의 비용 추정에 대한 연구의 시작이라는 점에서 중요한 의미를 갖는다. 즉, 서비스 로봇 개발 비용 추정이라는 연구가 지금까지 되어오지 않았고, 이에 따라 시장에서 활용할 수 있는 비용추정 방법이 정립되지 않은 현 시점에서 본 연구의 의의는 높다고 볼 수 있다. 그러나 서비스 로봇 요소기술 진보에 따른 개선점은 향후 과제로 남겨두고 있다. 후속 연구에서는 개발 비용에 영향을 주는 항목에 선정에 머물지 않고 평가 모형을 완성해야 할 것이며, 서비스 로봇의 하드웨어 비용 이외에 소프트웨어 비용 등 다양한 비용 요소를 고려해야 할 것이다. 또한 서비스 로봇 개발 이후 양산 단계를 고려한 비용 추정 연구도 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

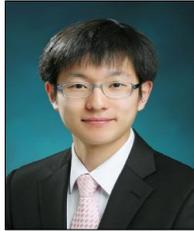
References

- [1] International Federation of Robotics, *World Robotics Industrial Robots*, 2007.
- [2] International Federation of Robotics, *World Robotics Service Robots*, 2017.

- [3] K. M. Kim, J. W. Hwang, "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*, vol. 42, no. 5, pp. 437-443, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.5.437>
- [4] K. M. Kang, S. C. Choi, "A Study on developing CER in defence R&D project", *Korean Journal of Military Art and Science*, vol. 70, no. 1, pp. 139-157, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/G704-SER000001512.2014.70.1.009>
- [5] J. H. Park, "A case study on calibration of computational model for a reasonable cost estimation of missile development program (A case of guidance & control system of X missile)", *Journal of Digital Convergence*, vol. 12, no. 5, pp. 139-148, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.14400/JDC.2014.12.5.139>
- [6] D. H. Lee, G. K. Kim, "A Study on Developing a CER Using Production Cost Data in Korean Maneuver Weapon System", *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, vol. 39, no. 3, pp. 51-61, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7737/JKORMS.2014.39.3.051>
- [7] J. S. Park, K. W. Jeong, "A FFP-based Model to Estimate Software Development Cost", *The KIPS Transactions. Part D*, vol. d10, no. 7, pp. 1137-1144, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3745/KIPSTD.2003.10D.7.1137>
- [8] C. K. Park, "Study on the Estimation of Software Development Cost of IT Projects in Public Sector", *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, vol. 19, no. 2, pp. 191-204, 2002.
- [9] Y. K. Seo, B. S. Oh, "KSLV-II Cost Estimate using TRANS COST 7.1", *Journal of The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, vol. 6, no. 2, pp. 119-125, 2007.
- [10] C. Jones, *Estimating Software Costs: Bringing Realism to Estimating*, Osborne. McGraw Hill Inc, 2007.
- [11] M. Polanyi, *Implizites wissen*. 1sted. Frankfurt am Main, Suhrkamp, 1985.
- [12] I. Nonaka, H. Takeuchi, *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford university press, 1995.
- [13] Y. K. Kim, *The Next Big Thing. Service Robot Trends and Implications*, Institute for Information & communications Technology Promotion, 2017.
- [14] National Institute of Korean Language, Standard Korean Dictionary [Internet], Korea : National Institute of Korean Language, Available From: http://stdweb2.korean.go.kr/notice/notice_list.jsp. (accessed Feb., 12, 2018)
- [15] YOUNG-HWA JOSE-TONGRAM, Taxnet [Internet], Korea : YOUNG-HWA JOSE-TONGRAM, Available From: <http://www.taxnet.co.kr/>. (accessed Feb., 12, 2018)
- [16] Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, *Standard Guideline for Preliminary Feasibility Study of R&D Sector Projects*, 2016.
- [17] R. G. Williams, "Development cost prediction", *Life Cycle Costing and the Business Plan, IEE Colloquium on*. IET, 1994.
- [18] R. T. Hughes, "Expert judgement as an estimating method", *Information and Software Technology*, vol. 38, no. 2, pp. 67-75, 1996.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0950-5849\(95\)01045-9](https://doi.org/10.1016/0950-5849(95)01045-9)
- [19] C. Rush, R. Rajkumar, "Expert judgement in cost estimating: Modelling the reasoning process", *Concurrent Engineering*, vol. 9, no. 4, pp. 271-284, 2001.
DOI: <https://doi.org/10.1177/1063293X0100900404>
- [20] D. Ahlert, K. P. Franz, *Industrielle Kostenrechnung*, Springer-Verlag, 2013.
- [21] K. Ehrlenspiel, A. Kiewert, U. Lindemann, M. S. Hundal, *Cost-efficient design*. Berlin: Springer, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1115/1.802507>
- [22] National Research Council, *Improving the accuracy of early cost estimates for federal construction projects*, National Academies Press, 1990.
- [23] M. Shepperd, C. Schofield, Estimating software project effort using analogies, *IEEE Transactions on software engineering*, vol. 23, no. 11, pp. 736-743, 1997.
DOI: <https://doi.org/10.1109/32.637387>
- [24] R. Roy, *Cost Engineering: Why, what and how?*, *Decision Engineering Report Series*, Cranfield University, 2003.
- [25] National Aeronautics and Space Administration, *NASA Cost Estimating Handbook*, 2008.
- [26] Y. S. Song, S. H. Oh, E. M. Kim, E. Y. Na, H. S. Jung, S. R. Park, "Media User Patterns of Adolescents in a Multimedia Environment: An Assessment of Gender and Income Differences", *Journal of communication research*, vol. 46, no. 2, pp. 33-65, 2009.
- [27] S. K. Hong, J. M. Oh, "International Comparative Analysis for Korean, Japanese, German and French Delphi Forecasting in Information and Communication", *Journal of Technology Innovation*, vol. 5, no. 1, pp. 223-248, 1997.
- [28] J. R. Hong, J. M. Oh, *Practical technology forecasting: concepts and exercises*, Industrial Management Center, 1978.
- [29] J. P. Martino, *Technological forecasting for decision making*. 3rd ed., McGraw-Hill, Inc, 1993.
- [30] S. K. Hong, H. S. Shin, S. D. Park, *Technological forecasting*, Korea Industrial Technology Foundation, 2007.

이 정 수(Jung-Soo Lee)

[정회원]



- 2011년 2월 : 건국대학교 기술경영학과(경영학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 건국대학교 기술경영학과(박사수료)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 한국로봇융합연구원 주임연구원

<관심분야>

국가기술경영, 기술혁신, 로봇

박 명 준(Myeong-Jun, Park)

[정회원]



- 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

손 동 섭(Dong-Seop Sohn)

[정회원]



- 2004년 2월 : 동아대학교 전기공학과(공학석사)
- 2017년 8월 : 성균관대학교 기술경영학과(공학박사)
- 2010년 7월 ~ 2015년 5월 : 한국로봇산업진흥원 정책예산팀장
- 2015년 5월 ~ 현재 : 한국로봇융합연구원 책임연구원

<관심분야>

Robotics, 제어시스템, 기술 정책/혁신/사업화

민 정 탁(Jeong-Tack Min)

[정회원]



- 2004년 2월 : 동아대학교 전기공학과(공학석사)
- 2016년 8월 : 부산대학교 기술정책학과(기술정책학박사)
- 2008년 11월 ~ 현재 : 한국로봇융합연구원 전략기획실장
- 2013년 10월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 수중건설로봇사업단 사무국장

<관심분야>

로봇, 기술정책, 사업화

최 연 서(Yeon-Seo, Choi)

[정회원]



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

<관심분야>

로봇, 기술경영, 기술정책