

An Economical Efficiency Analysis of De-painting Process for Fighter Jets using CVP Analysis

Chang Young Lee · Jong Hun Park[†]

Department of Business Administration, Daegu Catholic University

CVP 분석을 이용한 전투기 외부 도장면 제거 공정의 경제성 분석

이창용 · 박종훈[†]

대구가톨릭대학교 경영학과

The Korean Air-Force aircraft maintenance depot paints the exterior of various aircraft, including high-tech fighters. Aircraft exterior painting is a maintenance process for long-term life management by preventing damage to the aircraft surface due to corrosion. The de-painting process is essential to ensure the quality of aircraft exterior paints. However, because the Korean Air-Force's de-painting process is currently done with sanding or Plastic Media Blasting (PMB) method, it is exposed to harmful dust and harmful compounds and consumes a lot of manpower. This study compares the de-painting process currently applied by the ROK Air-Force and the more improved process of the US Air Force, and performs economic analysis for the introduction of advanced equipment. It aims to provide information that can determine the optimal time to introduce new facilities through Cost-Volume-Profit (CVP) analysis. As a result of the analysis, it was confirmed that the sanding method had the most economical efficiency up to 2 units per year, the PMB method from 3 to 21 units, and the laser method from 22 units or more. In addition, in a situation where the amount of de-painting work is expected to increase significantly due to the increase in fighters in future, BEP analysis was conducted on the expansion of the existing PMB method and the introduction of a new laser method. As a result of the analysis, it was confirmed that it is more economical to introduce the laser method when the amount of work exceeds the PMB work capacity(18 units per year). The paper would helpful to improve the productivity and quality of the Korean Air Force Aircraft maintenance depot through timely changes of facilities in the workplace in preparation for expansion.

Keywords : Fighter Jets Exterior Painting, De-painting Process, Cost-Volume-Profit analysis, Break-Even Point

1. 서 론

현재 한국 공군은 F-35, F-15K, KF-16 등 다양한 전투기종을 포함하여 약 700여 대를 운영 중에 있다. 항공기의 창정비(depot maintenance) 목적은 기종에 따라 다양

하나, 최신 기종으로 갈수록 완전재생(overhaul)보다는 전면도장(aircraft exterior painting) 목적의 창정비 물량이 점차 증가하는 추세이다.

항공기 창정비는 항공무기체계 운영유지를 위해 수행되는 정비개념 중 최상위 개념으로써 항공기의 기체, 기관, 부품류(지상장비 포함)에 대한 완전재생, 부분재생, 부대정비능력을 초과하는 제반 정비활동을 의미한다. 구체적으로 계획 창정비 및 상태검사, 개조 및 수리, 성능개량, 전면도

Received 3 August 2021; Finally Revised 27 August 2021;
Accepted 30 August 2021

[†] Corresponding Author : icelatte@cu.ac.kr

장, 시한성 기술지시, 기골보강 작업 등이 해당된다[16].

운영 중인 항공기의 경우 제작 후 장기간 운영 시 다양한 환경조건에 노출되는데, 특히 염분과 습기로 인한 부식은 항공기 재료강도를 저하시켜 피로수명에 결정적 요인이 되고 있다[9]. 이러한 이유로 공군 항공정비창에서는 항공기 외부 표면에 대한 부식방지를 통한 최적의 도장 상태를 총수명주기 동안 유지하기 위하여 일정 주기로 재도장을 수행한다. 이때, 항공기 전면도장의 품질은 기존 도장(paint)을 얼마나 완벽하게 제거할 수 있는가에 달려있으므로 이에 대한 효율적인 공정관리가 요구된다. 다시 말해, 항공기 전면도장은 항공기 수명관리와 직결된 매우 중요한 공정이고, 그 중 외부 도장 제거(de-paint) 공정은 항공기 운영 품질에 직접적인 영향을 주는 핵심 공정으로 인식되고 있다. 따라서 도장 제거 공정은 향후 급증하게 될 전면도장 창정비 물량에 대한 생산성 및 경제성 분석에 있어서 최우선으로 고려될 요소라고 할 수 있다.

그러나 현재까지 구형 장비를 사용 중인 한국 공군(항공정비창 2개 지역)은 항공기 기체, 엔진 부품 등을 종합 정비하고 있음에도 불구하고 항공기 기체 정비의 경우 외부 도장 제거 공정의 정비효율성이 매우 낮은 상태이므로 이에 대한 개선책이 요구되는 실정이다.

따라서 본 연구는 항공기 외부 도장 제거 공정에 대한 현 상태를 진단하고, 제거공정에 적용되는 장비 및 설비 방식에 따른 비용 비교분석을 통해 신규방식 도입 적기 판단을 위한 의사결정 자료를 제시하는 것을 목적으로 진행되었다.

구체적으로, 현재 한국 공군에서 적용 중인 항공기 도장 제거 공정의 정비기법과 미공군에서 사용 중인 보다 개선된 정비기법을 비교함으로써 선진화된 장비의 도입 필요성을 소개하고, CVP (Cost-Volume-Profit) 분석을 통하여 신규 설비/장비의 도입 최적 시기 판단을 위한 근거를 제시함으로써 향후 전면도장 목적의 창정비 항공기 물량 증가에 대비한 정비창의 설비/장비의 적기 변경(신형 설비 도입)을 통한 창정비 생산성 및 품질향상을 추진하고자 한다.

이에 따라, 본 논문은 전체 5장으로 구성하였다. 1장 서론에서는 본 연구의 필요성과 목적, 연구범위를 기술하고, 제2장에서는 항공기 외부 도장 제거공정에 대한 설명과 CVP 분석 그리고 창정비의 개념에 입각한 원가 분석 방법 등을 설명하였다. 제3장에서는 CVP 분석의 기초 자료를 확보하기 위한 원가분석을 실시하였으며, 제4장에서 손익분기점 분석을 통해 장비의 최신화 및 신규 설비의 도입 필요성을 확인하였다. 제5장 결론에서는 신규 설비 도입 및 개선을 위한 제안 및 식별된 제한사항에 대해 제언함으로써 향후 연구 방향을 제시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 항공기 외부 도장 제거 공정

항공기를 재도장하기 위해서는 기존 도장을 제거하는 세척 공정이 필요하다. 세척공정은 이물질이 항공기 내부로 침투하는 것을 방지하기 위해 주요부위를 테이프 등 마감재를 활용하여 봉합하는 마스크(masking) 작업과 항공기 외부 도장을 제거하는 단계를 거쳐 마스크제거, 잔류도막제거, 테이핑(taping), RAM(Radiation absorbent material) 코팅의 순서로 진행된다.

현재 샌딩(sanding)방식으로 운영 중인 공군 A창의 경우, F-16 기종의 세척 공정은 세척, 마스크, 도장 제거(de-paint), 마스크제거, 잔류도막제거, 3M taping, RAM 코팅, 기타의 8개 세부 공정으로 구분되어 진행되고 있으며, 평균 30일이 소요된다. 이 중, 외부 도장 제거 공정은 평균 20일이 소요되고 있어 전체 공정의 67%의 시간을 차지한다. 따라서 도장 제거 공정이 세척 공정의 효율적 운영을 위한 주요 관심 공정임은 의심의 여지가 없다.

항공기 세척공정 대부분을 차지하는 항공기 외부 도장 제거방식은 미공군 교범인 TO 1-1-8에 명시되어 있으며 [20], 화학제거제를 사용하는 화학제거 방식, 연마재를 쓰는 샌딩 방식, 플라스틱 미디어 발사를 통해 도장을 제거하는 Plastic Media Blasting(PMB) 방식, 수압과 연마재를 활용한 Medium Pressure Water(MPW) 방식 등으로 구분된다. 도장 제거방식의 적용은 항공기 기종별 표면 재질의 특성 즉 알루미늄 합금, 티타늄 등 금속 재질인지 또는 비금속 복합소재인지에 따라서 적용하는 방법이 상이하다. 예를 들면 F-16 항공기의 경우 복합소재 적용 부위가 상대적으로 넓어서 화학제거 방식은 비추천되고 있다[20].

미공군은 화학제거제, 샌딩방식(<Figure 1> (A)), PMB (<Figure 1> (B)), MPW 방식을 사용 중에 있으나, 친환경적 도장 제거방식을 오랫동안 연구해온 결과, 최근에는 레이저와 자율형 로봇을 활용하여 항공기 표면 도장에 광섬유 레이저 빔을 조사시켜 고열로 증발시켜 제거하는 방식(<Figure 1> (C))에 대해 미공군 자체 개발 및 안전성 검증이 2019년 말 완료된 것으로 보고되었다[15, 17]. 이 방식은 현재까지 도장 제거를 위한 가장 앞선 기술로서 노동집약적 유해환경 방식을 탈피하여 첨단기술을 적용한 레이저 및 반자동 자율형 로봇 기술을 통합한 도장 제거 기술이며 이는 친환경 기술과 생산성 향상 등 고효율 방식으로 점진적으로 타기종(F-35 스텔스 항공기 포함)으로 확대 적용하는 추세에 있다[21].

이에 반하여, 한국 공군은 화학제거제, 연마재를 쓰는 샌딩방식, PMB 방식을 적용하고 있다. 비효율성 및 유해성으로 인하여 비추천되는 샌딩 방식을 여전히 적용



<Figure 1> De-painting Processes

중인 정비창과 유해성을 보완하기 위한 PMB 방식을 운영 중인 정비창이 공존하여 운영되고 있는 수준이다. 미 공군이 최첨단 기술을 적용하여 기술집약적 자동화와 고효율, 고품질, 친환경의 추세로 가는 것과 비교하면, 한국 공군은 상대적으로 저효율, 노동집약적 수동식 방식이 유지되고 있으며, 특히 유해환경의 방식에서 벗어나고 있지 못한 상황이다. 따라서 창정비의 선진화를 위하여 친환경 자동화 설비의 도입을 위한 비용분석 및 적기 도입 타당성의 검토가 요구된다.

2.2 비용분석을 위한 일반 사항

2.2.1 Cost-Volume-Profit(CVP) 분석

손익분기점(Break-Even Point: BEP)은 기업의 생산 및 판매 활동에서 총수익과 총비용이 같게 되어 순이익이 0이 되는 점을 말하며, 손익분기점 분석은 기업의 경영 활동 과정에서 발생하는 원가(Cost), 매출액(volume), 이익(Profit)의 상호관계를 분석하기 때문에 이것을 Cost-Volume-Profit analysis(CVP 분석)이라고도 한다[13]. 엄밀히 구분하면, CVP는 원가-조업도-이익에 대한 상호관계를 정의하고, BEP는 손해도 이익도 생기지 않는 지점을 의미하고 있으나, 본 논문에서는 기존 선행연구에서의 판단을 근거로 CVP 분석과 BEP 분석을 동일한 의미인 손익분기점분석으로 해석하였다[5, 7, 8, 10].

CVP 분석은 일정한 이익액을 달성하는데 필요한 매출액(또는 매출량)을 쉽사리 산출하여 줄 뿐만 아니라 제품 판매가격이나 제품의 확충 및 폐기, 시설확장, 시설대체등과 같은 특별한 의사결정 문제에 중요한 자료를 제공해 준다[11, 14]. CVP 분석에서는 원가를 고정비와 변동비로 구분하여 조업도의 변화에 따라 원가의 변화형태를 분석함으로써 기업의 미래 이익의 형태를 미리 파악할 수 있어서 능동적인 경영활동이 가능하게 된다. 또한, CVP 분석은 공헌이익, 손익분기매출액, 손익분기매출량

등의 기본적인 분석뿐 만 아니라 설비자산등 고정비의 변화에 따른 이익변화, 변동비의 변동에 따른 이익변화, 조업도의 변화에 따른 이익변화, 제품믹스율의 변화에 따른 이익변화, 전략제품의 변경에 따른 이익변화 등 다양하게 원가와 조업도와와의 관계가 미래의 이익에 미치는 영향을 분석할 수 있게 하여 다양한 경영활동에 대한 의사결정을 할 수 있도록 한다[7, 10, 11, 14, 18].

이상에서 살펴본 CVP 분석 방법의 유용성을 고려하여, 창정비 외부 도장 제거 공정에 대한 비용 비교 및 경제성 분석을 위해 고정비와 변동비의 구분을 포함한 창정비의 원가에 대한 분석이 필요하다.

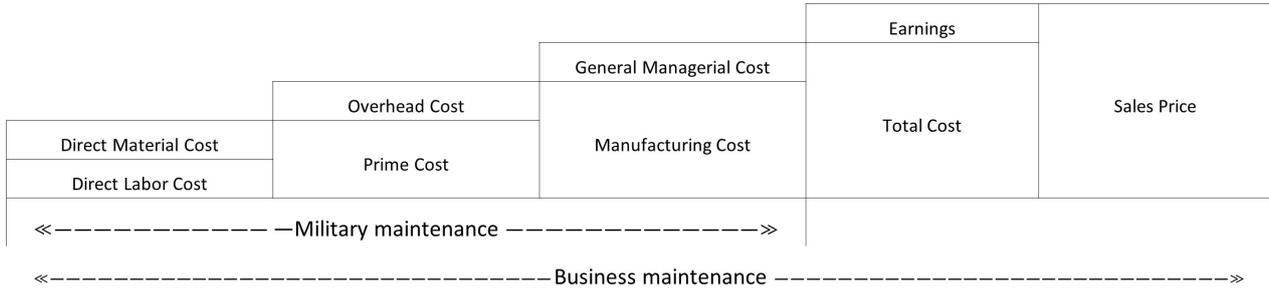
2.2.2 창원가 구성요소 및 산출방식

비용분석을 위해서는 분석 대상의 원가구조 및 산출방식에 대한 이해가 필요하다[1, 22]. 군창(Military maintenance) 및 민영창(Business maintenance)의 원가 구성요소는 <Figure 2>와 같다. <Figure 2>에서 원가요소를 보면 군창 및 민창의 차이를 알 수 있는데, 군창의 경우 판매를 통한 이윤을 추구하지 않기에 직접재료원가, 직접노무원가, 제조간접원가, 일반관리비 등이 해당된다[2].

창원가를 요소별로 구분하면 항목 구성 및 세부 내용은 다음과 같다.

- 창원가 = 노무비+재료비+경비
- 노무비: 제조, 판매, 관리, 공사 등 경영활동에 따라 소비된 종업원의 인간노동에 관한 대가의 비용이며, 급부 생산에 따라 직접노무비와 간접노무비로 구분되며, 임금지급형태로는 시간임금, 성과급 임금 등이 있음.
 - 직접노무비 = 팀 평균임률×직접인시수
 - ※ 팀 평균 임률

$$= \frac{\text{팀별노무비(총급여+급식비+피복비)}}{\text{팀별총인시수(직접+간접+비생산)}}$$



<Figure 2> Cost Components of Military and Business Maintenance

- 간접노무비 = 팀간접임률×직접인시수
 - ※ 팀간접임률= $\frac{\text{팀간접사고노무비}}{\text{팀직접인시수}}$
- 재료비 : 제품의 정비/생산에 소비된 물품의 가치를 의미하며, 직접재료비와 간접재료비로 구분하며 품목 구분에 따라 수리단가 또는 신품단가 입력값을 적용함
 - 직접재료비 : 단일 정비/생산 대상에 투입되는 재료비
 - 간접재료비 : 특정 제품이 아닌 여러 제품에 공통적으로 소비되는 재료비
- 경비 : 재료비, 노무비를 제외한 비용으로 감가상각비와 기타 경비로 구분함
 - 직접경비 : 제조부문(팀)에서 직접 발생한 경비
 - 간접경비 : 제조부문(팀)에서 직접 발생한 경비를 제외한 경비
- 경비 항목은 다음과 같이 분류함
 - 1) 기타 경비 : 관서운영경비, 전기료, 수도료, 기술도서비, 난방연료비, 차량유지비, 항공유류비, 장비유지비
 - 2) 감가상각비 : 건물(공작물포함), 장비, 수공구, 비품에 적용되며, 유형자산에 대한 가치의 감소를 비용으로 처리. 산정방법은 정액법을 적용함
 - * 감가상각액 = 취득가액/내용연수
 - * 건물, 수공구, 비품 내용연수 : 각각 50년, 5년, 8년을 적용하며 잔존가치는 창원가관리 지침에 의거 '0'으로 함
 - 3) 경비의 산출 = 배부율 × 작업명령서별 직접소비인시수(경비는 제조부문의 직접인시수 비율로 배부함)
 - ※ 팀배부율 = $\frac{\text{원가계산기간의제 경비총액}}{\text{동기간의팀별 직접인시수}}$

이상의 원가 산정방식을 기준으로 창 원가계산은 공군장비정비정보체계를 통해 관리되고 있다. 본 연구는 공군장비

정보체계를 사용하여 정비창 별 총 정비원가 추이, 인시수 활용율, 작업효율, 재료비, 노무비, 경비의 데이터를 사용하여 비용분석을 위한 기초 자료를 추출하였다.

3. 비용분석

비용분석은 국내 및 국외 항공정비창 총 3개 지역으로부터 수집한 자료를 사용하였다. 국내는 F-15K 등 전투기 기체 및 엔진, 부품 등을 종합적으로 정비하는 항공정비창으로서 대구 및 서산에 위치한 항공정비창이며, 국외 정비창은 F-35, F-22 등 최신예기를 운영 중인 미국 유타주 소재의 Hill 비행기내 위치한 미공군 항공정비창을 대상으로 하였다. 해당 정비창으로 한정된 이유는 F-16 항공기 창정비를 공통으로 수행하며, 특정 공정한 항공기 외부 도장 제거방식 외에 기타 공정이 동일하여 상호 비교가 가능할 것으로 판단했기 때문이다.

비용분석은 2017년부터 2018년까지 2년간의 원가 자료를 사용하였으며, 미공군 자료의 경우 시험적용 후 비용분석이 마무리되는 시점이 상이하였으나, 외부 도장 제거 방식별 공정투입 비용의 비교가 목적인 연구 목적상 동일 기간인 2018년으로 환산하여 적용하였다.

국내의 경우 대구 및 서산에 위치한 항공정비창의 창정비 현황을 실시간 입력 및 모니터링, 분석 및 출력이 가능한 장비정비정보체계에서 재료비, 인건비 항목 추출을 위한 공정 투입 인시수, 건물 및 장비 감가상각비 자료를 출력하였으며, 국외의 경우 미공군에서 수행한 레이저 방식을 이용하여 전투기 외부 도장 제거방식 시험 적용 및 완료 후 초도 비용분석 결과 자료(인터넷 게시), 매년 실시되는 미국방성 주관 정비기술심포지엄 공식발표자료 등을 확인하여 재료비, 인건비, 시설에 대한 초기 투자비용 등의 자료를 획득하였다.

본 연구에서 진행한 CVP분석은 고정비와 변동비를 고려한 손익분기점 분석이다. 따라서 다음과 같은 가정을 통해 고정비와 변동비를 추정하였다.

3.1 고정비 및 변동비 구분

비용 분석에서 외부 도장 제거를 위한 모든 비용을 고려해야 하지만 본 연구에서는 도장 제거방식에 따른 공정별 상대적 비교이기 때문에 직접 요인이 아닌 공통항목은 제외 하였다. 따라서 공정간 특성에 상관없이 동일하게 들어가는 비용 즉 전기료, 수도사용료 등은 제외하였다. 샌딩 및 PMB 그리고 레이저방식 비교를 위해 F-16 단일기종에 대해서 도장 제거공정 소요비용 항목은 크게 변동비(인건비, 재료비)와 고정비(감가상각비)로 나누었다.

본 연구 목적상 고정비와 변동비 산정을 위한 가정 사항은 다음과 같다.

첫째, 3개 정비창의 항공기 입고 및 출고 대공정 순서는 동일하다.

둘째, 외부 도장 제거 방식의 차이에 따른 해당 공정 투입비용의 차이만 고려한다.

셋째, 세척공정을 포함한 전 공정에서 결합발생 및 수리실적 등으로 인한 추가 비용은 적용하지 않는다. 이는 연구목적 상 편차(오차) 요인을 줄이기 위해서이다.

넷째, 한국공군 창원가 분석지침[2]에 의거하여, PMB 등 관련 장비/설비 운영시 감가상각비는 연간정액법으로 적용하며, 잔존가치는 “0”으로 한다.

다섯째, 노무비 산정을 위한 투입 인시수 및 임률 기준은 국내의 경우는 2018년 창정비원가분석자료를 적용하며, 미공군의 경우는 미국 2018년 노동통계국[19] 표준 임률을 적용한다.

3.2 도장 제거공정 비용분석

항공정비창에 입고된 항공기 도장 제거 공정에 대한 방식별 투입된 비용의 추정결과는 <Table 1>과 같다. <Table 1>에서 나타난 바와 같이 건물 및 투자설비에 대한 감가상각액은 고정비로, 정비작업에 직접 투입된 인건비와 재료비는 변동비로 구분하였으며, 구체적인 사항은 다음과 같다.

3.2.1 외부 도장 제거방식별 초기 설비투자비용 및 감가상각비

초기 설비투자비용은 해당 정비창의 설비 구축 초기 투입된 비용을 기준으로 산정하였으며, 건물에 대해서는 정액법을 적용하여 창정비원가관리 지침에 의거 건물의 산정 기준인 50년을 적용하였고, 샌딩방식과 달리 기본정비설비 외 추가 전용 설비를 갖춘 경우는 장비로 분류하여 정액법을 적용하되 산정기준은 창정비원가관리 지침에 의거 15년을 적용하였다. 또한, 정비작업을 위한 건물유지측면의 전기, 가스비, 수도료 등 타 작업간 공통으로 적용되는 경비는 고정비 성격을 갖고 있으나 3가지 방식 모두 해당되므로 비용분석에서는 포함시키지 않았다. 이러한 기준을 적용하여 산출된 연간 감가상각비의 구체적인 내용은 <Table 2>에 제시하였다.

상기 기준에 의거하여 산출된 도장 제거방식별 연간 감가상각 비용은 다음과 같다.

- 샌딩방식 연간 감가상각액
= 건물(207,522,000원)/50년
= 4,150,440원/연간

<Table 1> The Estimated Costs of de-painting by Processes

	Sanding	PMB	Laser	
Investment cost	207,522,000 (Won)	3,320,000,000 (Won)	11,500,000,000 (Won)	
Depreciation cost	4,150,440 (Won)	132,666,667 (Won)	753,333,333 (Won)	Fixed cost
Material cost	3,285,905 (Won)	5,565,778 (Won)	0 (Won)	Variable cost
Labor cost	74,617,296 (Won)	18,432,045 (Won)	731,692 (Won)	

<Table 2> The Investment and Depreciation Costs of de-Painting by Processes

	Sanding	PMB	Laser
Investment cost	207,522,000 (Won)	3,320,000,000 (Won)	11,500,000,000 (Won)
Details	Building : 207,522,000 Facilities : 0	Building : 1,900,000,000 Facilities : 1,420,000,000 - media dispensing, storage, sorting, retrieval, and circulation equipment - air purification, circulation equipment - compressed air generating equipment	Building : 200,000,000 Facilities : 11,300,000,000 - laser coating removal system test cell - robotic laser coating removal system - laser generator - control room
Depreciation	4,150,440 (Won)	132,666,667 (Won)	753,333,333 (Won)

※ Straight-line method for building by 50 years, facilities by 15 years.

<Table 3> The Labor Costs of de-painting for a Aircraft by Processes

	Sanding	PMB	Laser
Labor cost	74,617,296 (Won)	18,432,045 (Won)	731,692 (Won)
Man/Hour	2,561 M/H	745 M/H	26 M/H
Cost/Hour	29,136 Won/H	24,741 Won/H	28,142 Won/H*

* wage rate for CNC Machine Tool Programmers of U. S. Bureau of labor statistics 2018[19].

<Table 4> The Material Costs of de-painting for a Aircraft by Processes

	Sanding	PMB	Laser
Material cost	3,285,905 (Won)	5,565,778 (Won)	0
Details	sanding papers and devices, protective clothings, Respiratory cartridges, sealing compound, etc.	blast media, masking tapes, protective clothings, glues, respirator etc.	N/A

※ common equipment and utility cost are excluded from the cost calculation.

- PMB 방식 연간 감가상각액
= 건물(19억원/50년) + 설비(14.2억원/15년)
= 132,666,667원/연간
- 레이저 방식 연간 감가상각액
= 건물(2억원 /50년) + 설비(113억원/15년)
= 753,333,333원/연간

3.2.2 외부 도장 제거방식별 인건비

항공기 도장 제거작업에 투입된 인건비 산출은 정비창별 표준임률에 정비작업을 위한 직접투입인시수를 적용하여 산정하였다. 레이저 방식의 경우 표준임률은 미노동통계국[19] 정비작업자의 표준임률을 적용하였고 적용 인시수는 인터넷에 공개된 작업인시수 자료를 적용하였다. 산출된 항공기 도장 제거방식별 해당 투입 인시수에 따른 인건비는 <Table 3>에 제시하였다.

상기 기준에 의거하여 산출된 도장 제거방식별 연간 해당 직접작업 인건비는 다음과 같다.

- 샌딩방식 인건비
= 직접인시수 2,561시간 × A 정비창 표준임률 29,136원/시간당 = 74,617,296원
- PMB 방식 인건비
= 직접인시수 745시간 × B 정비창 표준임률 24,741원/시간당 = 18,432,045원
- 레이저 방식 인건비
= 직접인시수 26시간 × 미 노동부 평균임률 28,142원/시간당 = 731,692원

3.2.3 외부 도장 제거방식별 재료비

항공기 페인트 제거작업에 투입된 재료비는 2017년부터

2018년까지 2년간의 지출한 원가 자료에서 방식별로 투입된 재료비 항목 단가에 대해 소모량 자료를 획득하여 산정한 값을 적용하였다. 미공군 레이저 방식의 경우, 미공군 관련 부서와 레이저 장비 제작사 IPG가 제공하는 소개자료에 의하면 폐기물은 자동으로 수거 구역으로 옮겨져 인간 관리자에 의한 정리가 거의 필요하지 않고 어떠한 화학 물질이나 기계적 도구도 불필요하기에 어떤 소모 재료도 필요하지 않다고 밝히고 있기에 재료비는 별도로 산정하지 않았다[4, 6]. 구체적인 내용은 <Table 4>에 제공하였다.

4. CVP 분석

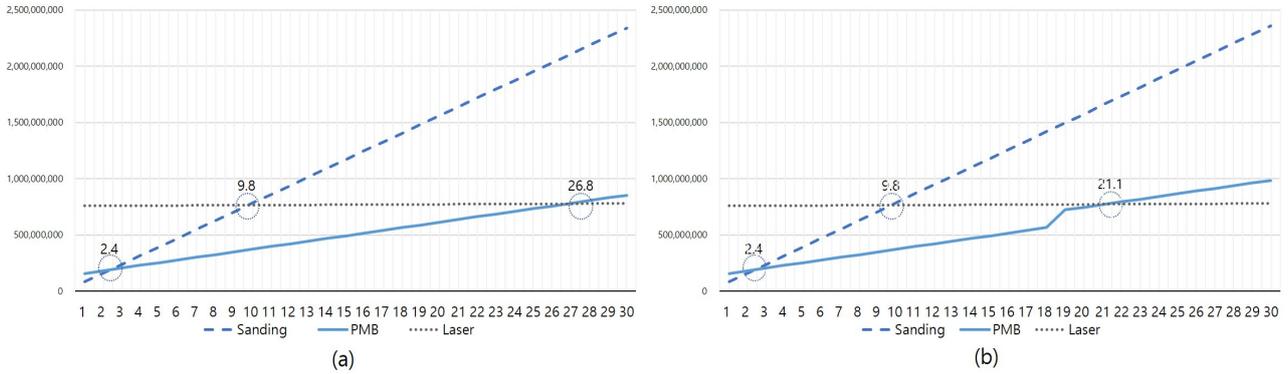
4.1 손익분기점

도출된 고정비와 변동비를 기준으로 연간 무한대의 작업이 수행 가능하다고 가정하여 손익분기점을 산정하고, 현재 생산능력 대비 얼마의 기간이 소요되는지를 비교함으로써 샌딩, PMB 그리고 레이저 방식 각각에 대해 손익분기점을 산출해내고 이 결과를 토대로 어떤 방식이 더 효율적인지를 판단하려 한다.

<Table 1>의 자료를 사용하여 작업 대수(x)의 변화에 따른 샌딩, PMB, 레이저 방식의 총 비용식은 다음과 같다.

- 샌딩 방식 : $77,903,201x + 4,150,440$
- PMB 방식 : $23,997,823x + 132,666,667$
- 레이저 방식: $731,692x + 757,333,333$

총 비용식에서 알 수 있듯이, 고정비는 연간 투입되는 비용으로 동일하고, 항공기 작업대수가 증가함에 따라



<Figure 3> Break Even Point Analysis

변동비인 인건비 및 재료비는 항공기 대수에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 따라서 연간 작업 대수가 적을 경우에는 고정비가 적은 샌딩방식이 경제성을 가지게 되지만, 연간 작업 대수가 늘어날수록 변동비가 상대적으로 적은 PMB와 레이저 방식이 경제성을 확보하는 상황이 될 것임을 예상할 수 있다.

각 방식별 선형식과 그 교점을 <Figure 3>에 도시하였다. 이때 각 교점은 각 방식별 상대적인 손익분기점이 된다. <Figure 3>의 (a)에서 확인 할 수 있듯이, 샌딩 방식과 PMB 방식간 손익분기점이 되는 작업 대수는 2.4대, 샌딩 방식과 레이저 방식간 손익분기점 작업 대수는 9.8대이며, PMB 방식과 레이저 방식간 손익분기점 작업 대수는 26.8대이다. 따라서 연간 작업 대수가 2대까지는 샌딩 방식이 가장 경제성을 가지게 되고, 3대부터 26대까지는 PMB 방식이, 27대 이상부터는 레이저 방식이 경제성을 가지게 됨을 확인하였다.

그러나 현실적으로 작업 공정일수를 고려할 때, 샌딩 방식은 연간 5대, PMB 방식은 연간 18대 이상 수행이 불가능하다. 따라서 이러한 현실을 고려하여 18대 이상의 경우에는 PMB 장비를 두 개 설치하는 경우를 가정하여 시나리오 1의 손익분기점 분석을 다시 실시하였다. 그 결과 <Figure 3>의 (b)에서 확인 할 수 있듯이, PMB 방식과 레이저 방식간 손익분기점 작업 대수는 21.1대로 변경되었다. 따라서, 연간 작업 대수가 2대까지는 샌딩 방식이 가장 경제성을 가지게 되고, 3대부터 21대까지는 PMB 방식이, 22대 이상부터는 레이저 방식이 경제성을 가지게 됨을 확인하였다.

4.2 시나리오 분석

국방백서[12]에 의하면 현재 한국 공군은 700여 대의 항공기를 보유하고 있다. 그 중에 구형 전투기의 경우 화학물질을 사용하여 도장을 제거하는 화학적 도장제거 방식

식이 가능하나, 최신 기종의 경우 화학적 도장제거 방식이 불가능하여 PMB나 레이저 방식을 사용해야 하며 약 300여 대가 대상이 된다.

가이드라인에서는, 기종별로 약간의 차이는 있지만, PMB 이상의 방식을 사용해야 하는 기종들의 전면 도장 주기를 6~8년 정도로 제한하고 있으며, 이를 고려하면 연평균 약 50대를 수행해야 한다. 그러나 현재 국내 정비창의 실제 작업 능력이 이에 미치지 못해, 일부 물량을 민창에 위탁하고 있으며, 전면 도장 주기도 8~15년(평균 12년)정도로 조정하여 운영하고 있는 실정이다.

우리나라의 국방력 향상 계획에 따라 향후 전투기 보유 대수는 증가할 것이며, 구형 전투기는 신형 전투기로 대체 될 것이고, 전면도장을 위한 연간 창정비 물량이 최소 현재 수준에 비해 대폭 증가할 것이 예상된다. 따라서 늘어나는 연간 작업량에 대비하기 위하여 기존의 설비를 확대하거나 신형 설비를 도입하는 시나리오가 가능하다.

이에, 본 장에서는 늘어나는 최신 기종의 전면 도장 작업에 대응하기 위하여, 고비용 최첨단 설비인 레이저 방식을 도입하는 경우와 PMB 설비를 확장하는 상황을 가정하여 향후 15년간의 손익비용분석을 수행하였다. 이 분석은 초기 설비 구축 비용이 상대적으로 높은 편인 레이저 방식 설비의 도입이 단기간 내에 어려운 경우의 대안으로서 PMB 설비 증가 방안의 타당성 유무를 판단하기 위한 것이기도 하다.

분석은 국방부 공식자료인 2020 국방백서[12]와 IISS[3]의 Military balance 2021을 활용하여 현실적인 향후 창정비 물량증가 규모를 예측하고, 아래와 같은 시나리오를 구성하여 해당 시나리오별로 손익분기점 분석을 수행하였다. 시나리오는 전면 도장 주기를 기존의 12년으로 유지하는 경우와 가이드라인의 제안사항을 반영하여 8년으로 조정하는 경우, 민창의 위탁물량을 현재 수준인 연간 14대를 유지하는 경우와 연간 전년도 기준 10%씩 점진적으로 감소시키는 경우를 고려하여 다음과 같이 4가지의 시나리오를 구성하였다.

- [시나리오 1] 전면 도장 주기 12년 유지 & 민창 위탁 유지
- [시나리오 2] 전면 도장 주기 12년 유지 & 민창 위탁 점진적 감소
- [시나리오 3] 전면 도장 주기 8년 조정 & 민창 위탁 유지
- [시나리오 4] 전면 도장 주기 8년 조정 & 민창 위탁 점진적 감소

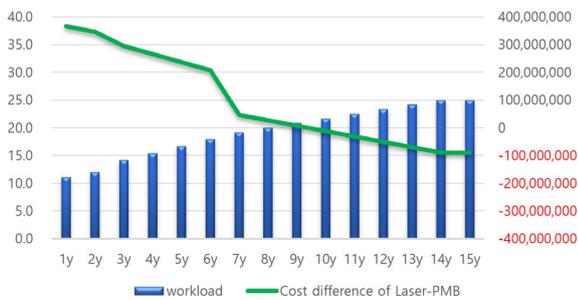
<Table 5>는 향후 15년간의 PMB 또는 레이저 방식의 전면 도장이 필요한 최신 기종의 예상 증가추세와 시나리오에 따른 예상 작업량을 정리한 것이다. 보안을 위하여 전투기 기종은 A, B, C, D, E로 표시하였다. 현재는

PMB 또는 레이저 방식의 최신 전면 도장 방식을 사용하여 하는 국내 전투기 기종으로 A, B, C, D의 4개 기종 300여 대를 보유하고 있으며, 향후 D 기종의 추가 도입과 E 기종의 신규도입이 계획되고 있다. 이에 따라 15년 뒤에는 PMB 또는 레이저 방식의 최신 전면 도장 방식을 사용해야 하는 국내 전투기는 470여 대로 예상된다. 본 논문에서는 보안을 위하여 기종별 수량은 생략하고 합계만 제시하였다.

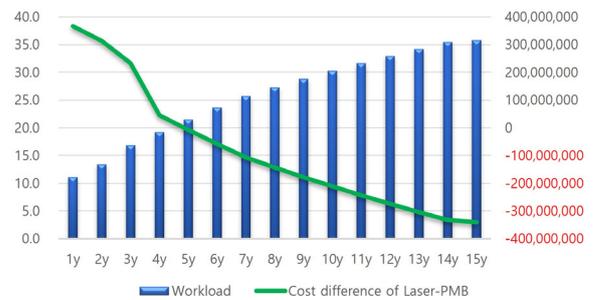
<Figure 4>는 각 시나리오에 따른 PMB 방식과 레이저 방식 사이의 손익분기점에 대한 비용분석을 도시한 것이다.

<Table 5> The Estimated Quantity of Fighter Jets and Expected Workload According to Scenarios for 15 Years

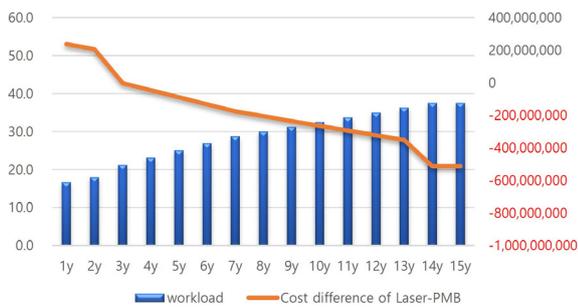
Type \ Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															
E															
Total	301	312	338	353	368	383	398	408	418	428	438	448	458	468	468
Scenario 1	11.1	12.0	14.2	15.4	16.7	17.9	19.2	20.0	20.8	21.7	22.5	23.3	24.2	25.0	25.0
Scenario 2	11.1	13.4	16.8	19.2	21.5	23.6	25.7	27.3	28.8	30.2	31.6	32.9	34.2	35.4	35.8
Scenario 3	16.6	18.0	21.3	23.1	25.0	26.9	28.8	30.0	31.3	32.5	33.8	35.0	36.3	37.5	37.5
Scenario 4	16.6	20.1	25.2	28.8	32.2	35.5	38.6	41.0	43.2	45.4	47.4	49.4	51.3	53.2	53.7



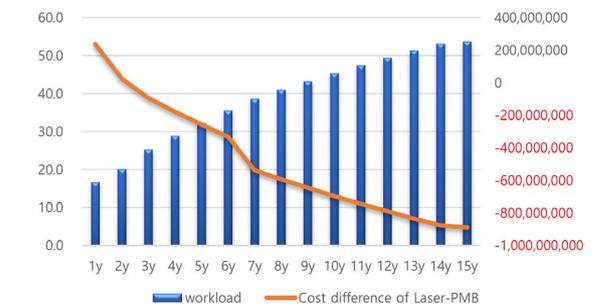
(a) scenario 1



(b) scenario 2



(c) scenario 3



(d) Scenario 4

<Figure 4> BEP and Cost Analysis According to Scenarios for 15 Years

<Table 5>와 <Figure 4>에서 확인할 수 있듯이, 현재 상황을 그대로 유지하는 ‘시나리오 1’의 경우 7년이 되는 시점에서 작업 물량이 PMB의 작업 능력을 넘어서기 때문에 PMB의 추가 도입이 필요하고, 3년 뒤(10년이 되는 시점)부터는 레이저 방식과의 손익분기점인 21대를 넘어서서 레이저 방식이 경제성을 확보하게 된다. 이후 매년 작업을 해야 할 전투기 대수가 증가함에 따라 레이저 방식을 도입하지 않음으로써 발생하는 손실이 연간 89,653,276원까지 증가한다. 결국, PMB를 추가 도입하는 경우, 겨우 3년간의 경제성만을 확보하게 된다.

현재의 12년 주기를 유지하면서 민창의 위탁물량을 매년 10%씩 점진적으로 군창에서 처리하는 경우로 변경하는 ‘시나리오 2’의 경우에는 작업 물량이 PMB의 작업 능력을 넘어서는 시점은 4년으로 당겨지고, 2년 뒤(6년이 되는 시점)부터 레이저 방식이 경제성을 확보하게 된다. 물론, 이 경우에는 민창의 위탁물량을 줄임으로써 발생하는 비용절감 효과가 존재한다. 그러나 본 연구에서의 비용분석은 초기 설비 구축 비용이 상대적으로 높은 편인 레이저 방식 설비의 도입이 단기간 내에 어려울 경우의 대안으로서 PMB 설비 증가 방안의 타당성 유무를 판단하는 것이기에 민창의 위탁물량 감소로 인한 효과는 PMB와 레이저 방식 모두에서 동일한 효과를 가지기 때문에 분석에 포함시키지 않아도 된다.

민창의 위탁물량은 그대로 유지하면 전면 도장 주기를 8년으로 단축하는 ‘시나리오 3’의 경우, 작업 물량이 PMB의 작업 능력을 넘어서는 시점은 2년이고, 레이저 방식과의 손익분기점은 3년으로 더욱 당겨진다. 더욱 급진적으로 군창의 역할을 확대하는 시나리오로 전면 도장 주기를 8년으로 단축하면서 동시에 민창의 위탁물량도 매년 10%씩 점진적으로 군창에서 처리한다면(시나리오 4), 2년째에 20.1대의 작업 물량으로 PBM의 작업 능력과 레이저 방식과의 손익분기점을 넘어선다. ‘시나리오 3’과 ‘시나리오 4’의 경우는 PMB를 추가 도입하는 시점부터 레이저 방식이 상대적인 경제성을 확보하게 되며, 이후 매년 작업을 해야 할 전투기 대수가 증가함에 따라 레이저 방식을 도입하지 않음으로써 발생하는 연간 손실이 각각 513,146,581원과 889,961,897원까지 증가한다.

이상의 시나리오 분석을 통해, 장기적으로는 PMB를 추가 도입하는 것보다 레이저 장비를 도입하는 것이 더 경제적임을 확인하였다.

4.3 물가상승률을 고려한 손익분기점

앞서 수행한 손익분기점 분석은 년(year) 단위의 분석이다. 즉, 한 해 동안에 전투기 외부 도장 제거공정을 수행하기 위해 기본적으로 사용되는 고정비(건물 및 설비

의 연간 감가상각액)와 당해연도에 1대를 작업하는데 소요되는 변동비(인건비, 재료비)를 기준으로 연간 작업 물량을 고려하여 계산한 것이다.

본 연구의 목적은 향후 우리나라의 국방력 향상에 따라 전투기 보유 대수가 증가할 것이며, 따라서 늘어나는 연간 작업량에 대비하기 위하여 기존의 설비를 확대하거나 신형 설비를 도입하기 위한 판단을 위한 것이다. 따라서 시간이 지남에 향후 손익분기점의 변화 여부를 확인할 필요가 있다. 이때, 손익분기점 분석을 위한 비용식을 살펴볼 필요가 있다. 이러한 관점에서 손익분기점 분석을 위한 비용식을 살펴보면, 비용식은 고정비와 변동비로 구성되어 있는데, 고정비는 초기투자에 대하여 정액법으로 감가상각을 하였기에 물가상승률을 적용할 필요가 없지만, 인건비와 재료비는 물가상승률의 영향을 반영하는 것이 더 현실적일 것이다.

따라서 본 연구에서는 연평균 3%의 물가상승률을 고려하여 연간 손익분기점의 변화를 추적하였다. <Figure 3>에서 확인할 수 있듯이, 샌딩방식은 크게 의미가 없기에 PMB와 레이저 방식의 손익분기점만을 확인하였다. <Table 6>은 향후 10년간의 PMB와 레이저 방식의 손익분기점의 변화를 보여주고 있다.

<Table 6> The BEPs for 10 Years

Year	BEP
0 (current)	21.1
1	20.5
2	19.9
3	19.4
4	18.8
5	18.2
6	17.7
7	17.2
8	16.7
9	16.2
10	15.7

예상한 바와 같이 물가 상승은 변동비에만 영향을 미치지 때문에, 해가 지날수록 PMB 방식과 레이저 방식 사이의 손익분기점이 작아지고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 6년 이후부터는 손익분기점이 PMB 방식의 연간 작업능력인 18대보다 작아짐을 확인할 수 있다.

<Table 6>의 결과와 제4.2절에서 수행한 시나리오 분석의 결과를 종합해 볼 때, 장기적으로는 PMB를 추가 도입하는 것보다 레이저 장비를 도입하는 것이 더 효과적이며, 그 시점은 작업 물량이 PMB의 작업 능력을 넘어서는 시점임을 알 수 있다.

5. 결 론

항공기 전면 도장은 항공기 운영기간인 최소 40년 이상의 안정적 운영을 보장하기 위하여 부식 관리 측면에서 매우 중요한 공정이라고 할 수 있다. 전면 도장 공정의 품질을 좌우하는 특화된 세부 공정은 페인트 도장면(코팅층)에 대한 도장 제거 공정인데 이 공정의 목적은 항공기 외부 표면의 부식을 방지하기 위함이다.

이에 현재 국내 항공 정비장에서 적용 중인 샌딩 방식과 PMB 방식 그리고 미공군에서 개발 및 시험 적용을 마친 레이저 방식에 대한 효율성을 비교 판단하기 위하여 CVP 분석을 수행하였다. 분석 결과, 연간 작업 대수가 2대까지는 샌딩 방식이 가장 경제성을 가지게 되고, 3대부터 21대까지는 PMB 방식이, 22대 이상부터는 레이저 방식이 경제성을 가지게 됨을 확인하였다. 그리고 작업 방식별로 제시된 손익분기점은 물가 상승을 고려하면 더 작아짐도 확인하였다.

또한, 향후 우리나라의 국방력 향상에 따라 전투기 보유 대수가 증가하고, 전면 도장을 위한 연간 창정비 물량이 대폭 증가할 것이 예상되는 상황에서, 해당 작업 물량을 처리하기 위해 기존의 PMB 방식을 추가로 도입하는 경우와 레이저 방식을 도입하는 경우에 대해 예상 가능한 시나리오에 따른 비감 분석을 실시하였다. 분석 결과, 작업 물량이 PMB의 작업 능력(연간 18대)를 넘어서는 시점에 레이저 방식을 도입하는 것이 더 경제적임을 확인하였다.

종합적으로 판단하면, 2개의 군 항공 정비창(샌딩 방식을 적용 중인 A창과 PMB 방식을 적용 중인 B창)이 운영되고 있는 현 상황에서, 연간 작업 물량이 연간 18대를 넘어서는 시점에 A창에 레이저 방식을 도입하는 것이 합리적이라 판단된다.

본 연구에서는 현행 항공기 페인트 제거방식에 따른 비용분석에 한정하여 연구를 실시하였으나, 보다 넓은 시각으로 비용뿐만 아니라 개선된 정비 방식이 갖는 효용, 즉 작업자의 인체 유해환경 노출 문제개선, 정비 절차 및 성능개선, 작업시간 단축, 건강 위해성 제거, 근무의욕 증진, 작업 편리성 등 다양한 효용 요소를 포함하여 연구를 시도한다면, 보다 가치있는 연구 결과를 제시할 수 있을 것이라고 판단된다.

References

- [1] Ahn, C., Lee, D., and You, S., Finding Alternative Solutions and Analyzing Spectrum Policy Cost on Spectrum Usage, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 2, pp. 181-188.
- [2] Air Force Logistics Command, Depot Maintenance Cost Accounting Guidelines, 2020.
- [3] IISS, *The Military Balance*, Routledge, 2021.
- [4] IPG, <https://lasersystems.ipgphotonics.com/applications/laser-ablation>.
- [5] Jiang, Y., and Shen, Z., Study on the Application of CVP Analysis in Catering Industry, *The 2nd International Conference on Contemporary Education, Social Sciences and Humanities (ICCESSH 2017)*.
- [6] Jordan, H., AFRL helps enable laser paint removal technology, Wright-Patterson AFB, 2018.2.6. <https://www.wpafb.af.mil/News/Article-Display/Article/1433126/afrl-helps-enable-laser-paint-removal-technology>.
- [7] Kim, J.-S. and Kim, O.-S., A Study on Logistics Cost Management to Using Cost Volume Profit, *Journal of the Korea Contents Association*, 2006, Vol. 6, No. 7, pp. 22-30.
- [8] Kim, S.H., Cost-Volume-Profit Analysis for a Multi-Product Company: Micro Approach, *International Journal of Accounting and Financial Reporting*, 2015, Vol. 5, No. 1, pp. 23-35.
- [9] Kim, W. D., A Study on the Fatigue Life Prediction of Al-2024 with Corrosion, *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 2007, Vol. 35, No. 1, pp. 46-51.
- [10] Le, O.T.T., Tran, P.T.T., Tran, T.V., and Nguyen, C.V., Application of Cost-Volume-Profit Analysis in Decision-Making by Public Universities in Vietnam, *The Journal of Asian Finance, Economics, and Business*, 2020, Vol. 7, No. 6, pp. 305-316.
- [11] Lulaj, E. and Iseni, E., Role of analysis CVP (cost-volume-profit) as important indicator for planning and making decisions in the business environment, *European Journal of Economics and Business Studies*, 2018, Vol. 4, No. 2, pp. 99-114.
- [12] Ministry of National Defense, 2020 Defense White Paper, 2020, https://www.mnd.go.kr/cop/pblicitn/selectPublicationUser.do?siteId=mnd&componentId=14&categoryId=15&publicationSeq=897&pageIndex=1&id=mnd_040501000000.
- [13] Park, J.S., Park, J.W., and Lee, J.W., *Financial Management*, third ed., Dasanboks, 2018, pp. 44-47.
- [14] Punniyamoorthy, R., Examining Cost Volume Profit and Decision Tree Analysis of a Selected Company, *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and*

- Development*, 2017, Vol. 3, No. 9, pp. 224-233.
- [15] REAM, S., Laser system strips paint from full-size aircraft, *Industrial Laser Solutions*, 2016, Vol. 31, No. 5, pp. 5-10.
- [16] Republic of Korea Air Force Headquarters, Aircraft Depot Maintenance Management, Air Force Headquarters Guidelines 5-51-3, 2019.
- [17] Sprentall, S.L., *Robotics And Intelligent Automation Of Like DOD Maintenance Processes, Maintenance Innovation Challenge, 2019*, Spokane, Washington. U.S.A, p. 38.
- [18] Stoenoiu, C. E., Sensitivity of indicators used in cost-volume-profit analysis, *In MATEC Web of Conferences*, 2018, Vol. 184, pp. 04003. EDP Sciences.
- [19] U. S. Bureau of labor statistics, May 2018 National Occupational Employment and Wage Estimates, (2018), https://www.bls.gov/oes/2018/may/oes_nat.htm.
- [20] U.S. Air Force, Application and Removal of Organic Coatings, Aerospace and NonAerospace Equipment, TO 1-1-8, Secretary of the Air Force, 2020.
- [21] Verger, R., The best way to strip paint off a fighter jet? Laser-wielding robots, *Popular Science*, 2019.11.19. (<https://www.popsci.com/story/technology/air-force-laser-robots-depaint-f-16/>).
- [22] Yoo, I-S., Seo, T-K., Lee, J.H., and Oh, B-S., Application of Cost Estimation to Space Launch Vehicle Development Program, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2007, Vol. 30, No. 3, pp. 165-173.

ORCIDChang Young Lee | <https://orcid.org/0000-0002-6823-0983>Jong Hun Park | <http://orcid.org/0000-0001-7413-9564>