

Incremental Analysis for Introduction of Advanced Robotic Laser Coating Removal System for Depainting of Fighter Jets

Chang Young Lee* · Jong Hun Park**†

*Operational Innovation Group, Security Management Institute

**Department of Business Administration, Daegu Catholic University

전투기 도장 제거용 로봇형 레이저 코팅 제거 시스템 도입 의사결정을 위한 증분분석

이창용* · 박종훈**†

*안보경영연구원 운영혁신본부

**대구가톨릭대학교 경영학과

The paint removal of fighter jets is just as important as the painting, because perfect paint removal ensures the quality of the exterior painting on the aircraft. However, the current conditions for paint removal work of the ROKAF's are poor. It is identified that the painting process currently implemented by the ROKAF is not only exposed to harmful compounds such as harmful dust and hexavalent chromium, but also consumes a lot of water. Thus, the introduction of advanced facility is considered.

This study compares the fighter jets painting removal process currently applied by the Korean Air Force with the improved laser coating removal process of the US Air Force, and conducts an incremental analysis to perform economic analysis for the introduction of advanced facility.

Four scenarios were envisioned on the premise of an increase in the number of fighters in the future, incremental analysis shows that laser coating removal method is advantageous in all scenarios. In addition, it is recommended that paint removal cycle keeps the current 12-year and the outsourcing amount to civilian depot is reduced.

Keywords : Fighter Jets Paint Removal Process, Laser Coating Removal Method, Incremental Analysis

1. 서 론

항공기를 포함하여 항공무기체계 대부분은 제작후 장기간 운영 시 다양한 환경에 노출되는데, 특히 염분과 습기로 인한 부식은 항공기 재료강도를 저하시켜 피로수명 단축에 결정적 요인이 되고 있다[12].

이러한 이유로 공군 항공정비창에서는 최적의 도장 상

태가 총수명주기 동안 유지될 수 있도록 일정 주기로 전면도장을 수행하며, 항공기 전면도장의 품질을 보장하기 위하여 완벽한 전면도장 제거공정은 필수적이다[22].

그러나, 현재 한국공군에서 사용하는 샌딩이나 PMB (Plastic Media Blast) 방식은 유해 먼지와 1급 발암물질로 분류된 6가 크롬[19] 등의 유해 화합물을 발생시켜 인체 건강 악화 및 환경오염을 유발할 뿐만 아니라, 많은 인시수 소모로 비효율적인 운영을 하고 있는 상황이다. 또한 현재의 방식은 모재 손상 가능성 및 균일한 품질관리가 어렵다는 단점도 가지고 있다.

Received 23 August 2022; Finally Revised 1 November 2022;

Accepted 21 November 2022

† Corresponding Author : icelatte@cu.ac.kr

반면, 최근 항공우주, 자동차 산업, 반도체 산업 등 광범위한 영역에서 실용화가 진행되고 있는 레이저 고에너지 활용 방식은 공정 중 환경오염 물질이 거의 배출되지 않는 친환경 방식으로 다양한 분야에서 각광받고 있다[9, 14, 28, 31].

특히, 항공기 정비분야 중 미공군의 ARLCRS(Advanced Robotic Laser Coating Removal System: 첨단 로봇형 레이저 코팅 제거 시스템)은 감항성이 입증된 전면도장(코팅면) 제거 시스템으로서 레이저 방식을 활용하여 한국 공군의 현재 전면도장 제거공정 방식을 개선한다면 높은 효율을 기대할 것으로 판단하고 있다[13]. 이에, Lee and Park[13]은 현재 한국 공군이 적용하고 있는 전면도장 제거공정과 미공군에서 사용하는 ARLCRS를 비교하고, 손익분기점 분석을 실시하여, 장단기 모두 레이저를 활용한 정비방식으로 공정을 개선하는 것이 효율적임을 확인하였다.

본 연구는 Lee and Park[13]의 후속 연구로써, 기존 방식의 비효율성을 해결하기 위해 정비장의 기존 설비를 변경(확장)하거나 새로운 장비를 도입하는 경우 등을 상정하여 시나리오를 가정하고, 해당 시나리오에서 고려해야 할 사항들을 반영하여 합리적인 의사결정을 위한 타당성을 제시하는 것을 목적으로 한다.

본 논문은 전체 5장으로 구성하였다. 제1장 서론에서는 본 연구의 필요성과 목적, 연구범위를 기술하고, 제2장 이론적 배경에서는 항공기 전면도장 제거공정의 소개와 기존 선행연구 및 본 연구에서의 확장 방향을 설명하였다. 제3장의 비용분석을 기반으로 제4장에서 증분분석을 통한 경제성 평가 후, 제5장에서 평가 결과를 토대로 효율적인 장비 도입시기와 적절한 전면도장 주기를 제안하였다.

2. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

2.1 항공기 전면도장 및 제거방법

2.1.1 창정비공정

항공무기체계를 대표하는 항공기는 수명기간 중 성능을 유지하기 위하여 주기적인 정비를 수행하게 되는데, 이 중 최고단계의 정비를 창정비라고 한다. 공정이해를 돕기 위하여 창정비 분해공정과 기지급 초과 결함으로 기골수



<Figure 1> F-16 Fighter in Depot Maintenance[32, 33]

리를 위해 정비장에서 분해 정비하는 현장 사진을 <Figure 1>과 같이 제시하였다.

2.1.2 항공기 전면도장

일반적인 항공기 전면도장은 ① 항공기 전면도장 제거 ➡ ② 프라이머 도장 ➡ ③ 2단계인 탑코팅 ➡ ④ 마킹 작업(국적, 항공기 호수 등)으로 진행된다.

2.1.3 항공기 전면도장 제거공정

전면도장 제거공정은 항공기 재도장을 위해 기존 도장면을 제거하는 공정이다. 전체 공정은 이물질 침투방지를 위한 마스킹, 전면도장 제거, 마스킹 제거작업, 잔류 도막 제거, 방수코팅 테이핑, 전자파 흡수용 특수 코팅의 순서로 진행된다.

전체 전면도장 제거공정은 F-16 전투기의 경우 총 8개 세부 공정으로 구분할 수 있으며 총 30일이 소요되는 공정 중 특히 대부분(67%)을 차지하는 공정은 항공기 외부 도장면(전면도장 표층)을 제거하는 단계인 디페인트(De-paint) 공정이라고 할 수 있다.

2.1.4 항공기 전면도장 제거방법

한국 공군에서는 항공기 전면도장 제거를 위하여 3가지 방식을 적용 중에 있다.

첫째, 화학제거제 사용방식은 화학제 적용후 표면으로부터 박리된 페인트를 긁어내는 방식이다. 이 방식은 샌딩방식에 비해 작업효율이 나은 편이다. 그러나, 이 방식은 복합소재로 된 조종면을 가진 최신 전투기종에 적용시 재질 손상 등의 우려가 있어 사용을 권고하지 않고 있다. 뿐만 아니라 이 방식은 화학반응에 의해 벗겨진 슬러지(기존 도장 페인트 물질에서 생성된 유해성분을 가진 폐기물) 등에 의한 환경오염 유발로 사용을 대폭 줄이는 추세에 있다.

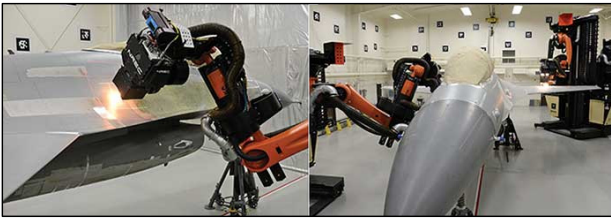
둘째, 샌딩 방식은 대상 부위에 원형 그라인더(샌더)를 마찰시켜서 제거하는 기계적인 도장제거 방식이다. 이 방식은 전용설비가 필요하지 않은 장점이 있으나 실제 작업효율 면에서 화학제거제 방식에 비해 매우 낮은 편이다. 또한 작업과정에서 발생하는 납, 카드뮴 또는 6가 크롬(Cr+6)으로 인하여 환경관련 법규에 의해 규제되고 있다[8].

셋째, PMB 방식은 전용시설 내에서 압축공기로 Plastic media(입자)를 분사시켜 페인트를 제거하는 방식이다. 이 방식은 전용설비가 필요하며, 화학제 및 샌딩 방식 대비 친환경적이다. 그러나, 여전히 작업자가 유해 환경에 노출되어 있는 방식이다. 해당 방식은 균일한 품질관리를 위해 사전 전문교육 및 절차 수행에 대한 숙달 훈련이 요구되는 방식이라고 할 수 있다[26].

미공군 또한 화학제거제, 샌딩방식, PMB 방식 등을 사

용하여 왔으나, 유해환경 노출 및 비효율성 문제를 인식하여 레이저와 자율형 로봇을 활용한 방식을 개발하였다. 2017년에는 미공군 수명관리센터의 제품지원공학부에서 F-16 항공기 기체표면의 전면도장 제거 공정에 대한 감항성 인증을 완료하였다[17, 21, 24].

현재 F-16, C-130 2개 기종에 대해서는 항공기 외부스킨 전면의 도장 제거가 가능하다. 이 모든 과정에는 F-16의 경우 26시간, C-130의 경우 66시간이 소요될 것으로 추정된다. 현재 미공군은 해당 시스템 적용을 확대하여 A-10, T-38 그리고 스텔스기인 F-22와 F-35 기종에도 적용할 예정이다[29].



<Figure 2> Advanced Robotic Laser Coating Removal Process

<Figure 2>는 첨단 로봇형 레이저 코팅제거 시스템이 F-16 항공기의 프라이머층 상부 코팅을 제거하는 장면이다[23]. 이 시스템은 항공기 전체표면에 적용된 자동화된 장비로서, 로봇형 레이저 코팅 제거 시스템(ARLCRS : Advanced Robotic Laser Coating Removal System)으로 불린다. 현재, 미공군 유타주 소재의 오그덴 정비장에 구축되어 있다. <Figure 3>에 표시된 Full Aircraft ARLCRS는 자동화된 시스템에 통합되는 여러 하위 시스템으로 구성된다. 주요 구성품으로는 로봇틱 베이스, 레이저, 레이저 공정 제어, 보조 장비 등이 있다.



<Figure 3> Advanced Robotic Laser Coating Removal System

미공군이 전면도장 제거공정에서의 고질적인 문제를 해결하여 친환경, 고효율적 작업방법을 적용하는 것과 달

리 한국 공군은 유해환경에 노출된 노동집약적 방식을 활용 중에 있다. 이에 대한 개선을 위하여 첨단장비 도입을 통한 작업방식 변경이 절실히 요구되는 실정이다.

2.2 선행연구 의의 및 확장방향

Lee and Park[13]의 연구에서는, 설비변경의 타당성을 입증하기 위하여 자주 사용되는 CVP(Cost-Volume-Profit) 기법을 사용하여[15, 20, 25], 전면도장 제거방식별 효율성을 비교하였다. 구체적으로는 손익분기점을 활용한 비교를 시도하였으며, 이를 산출하기 위하여 각 방식별 고정비와 변동비를 <Table 1>과 같이 추정하였다[13].

<Table 1> The Estimated Costs of De-painting by Processes (unit: KRW)

Category		Sanding	PMB	Laser
Fixed cost	Depreciation cost	4,150,440	132,666,667	757,333,333
	Total	4,150,440	132,666,667	757,333,333
Variable cost	Material cost	3,285,905	5,565,778	0
	Labor cost	74,617,296	18,432,045	731,692
	Total	77,903,201	23,997,823	731,692

<Table 1>의 추정치를 사용하여 수행한 Lee and Park[13]의 연구에서 연간 작업 대수가 2대까지는 샌딩 방식이, 3대부터 26대까지는 PMB 방식이, 27대 이상부터는 레이저 방식이 경제성을 가지게 됨을 확인할 수 있었다.

그러나 이러한 결과는 연간 작업량에 따른 선호되는 작업방식을 판단하기 위한 분석일 뿐, 고가인 신규설비의 도입 시점 및 도입 이후의 운영방식에 따른 의사결정의 합리성까지 반영하고 있지는 못하다.

즉, 실제로 신규 설비를 도입하기 위해서는 고가인 신규 설비의 초기 투자비용을 지불해야 하는데, 해당 설비를 도입하는 시점에 따라 기존 설비와 신규 설비 간의 작업량 배분 및 설비의 유휴 등으로 인해 경제적 타당성이 변할 수 있기 때문이다. 또한, 고가인 신규 설비의 도입과 더불어 기존 설비의 확장 역시 대안으로써 함께 고려할 필요가 있다.

이런 측면에서 기존 설비인 PMB 설비를 늘리는 방안과 레이저 신규 설비를 도입하는 방안을 기본으로 각 설비의 합리적 도입 시점까지를 고려한 현실적인 시나리오의 구상과 시나리오별 비교가 요구된다.

이때, 시나리오별 비교는 시나리오에 따라 설비의 도입 시점, 기존 설비와 신규 설비 간의 작업량 배분 등 제반 사항이 상이해지므로, 방식별 공정비용에서 발생하는 차이인 증분비용을 사용하여 경제적으로 타당성 분석이 가능할 것으로 판단된다.

일반적으로 경제성 평가 방법으로 비용-효용분석, 내부 수익률법 등이 사용되지만, 군의 항공정비장의 경우 군(軍)의 특성상 매출액과 이익에 대한 개념이 존재하지 않기에, 투자에 대한 의사결정 방법으로 자주 사용되는 증분 분석을 증분비용의 관점에서 사용하였다. 즉, 고려 중인 각 대안의 실행 시 발생 되는 비용 간 차이를 고려하여 각 대안 간 상대적으로 증분비용이 적은 대안을 선택하는 방법으로 사용하였다[3, 4, 11].

3. 비용분석

3.1 일반사항

비용분석을 위해서는 분석 대상의 원가구조 및 산출방식에 대한 이해가 필요하다[1, 30]. 원가요소에서 군창 및 민창의 차이를 알 수 있는데, 군창의 경우 판매를 통한 이윤을 추구하지 않기에 직접재료원가, 직접노무원가, 제조 간접원가, 기본원가 및 제조원가 등이 해당된다[2]. 항공정비장의 창원가계산은 공군장비정비정보체계를 통해 관리되고 있다. 본 연구에서는 공군장비정비정보체계를 사용하여 정비창별 총정비원가 추이, 인시수 활용률, 작업효율, 재료비, 노무비, 경비의 데이터를 사용하여 비용분석을 위한 기초 자료를 추출하였다.

Lee and Park[13]의 연구에서 국내 및 국외의 항공정비장을 대상으로 3가지 공정방식에 대해 검토하였으나, 본 연구에서는 PMB 방식과 레이저 방식 즉 2가지 공정방식에 대해 비용분석을 하였다.

이전 연구에서 다루었던 샌딩방식은 PMB 및 레이저 방식대비 현저히 효율이 낮아 추가 분석이 불필요할 것으로 판단하여 본 연구에서는 대상에서 제외하였다.

본 장에서는 비용분석을 위한 비용추정 방법 및 내용을 소개한다. 본 연구는 Lee and Park[13]의 후속 연구이기에, Lee and Park[13]의 내용 중 본 연구의 목적에 필요한 부분만을 새롭게 정리하는 수준으로 기술하였으며, 이 과정에서 본 연구의 목적을 위해 새롭게 고려된 설비유지비의 내용이 추가되었다.

3.2 증분 분석 개념

군 항공정비장의 특성상 상업용 항공기 생산의 경우와 같이 매출액과 이익에 대한 분석을 하지 않으므로, 경제성 평가로서 일반적으로 활용되는 비용대 효용 분석, 내부수익률법 등의 적용이 제한되는 현실을 감안하여 투자에 대한 합리적 의사결정 방법으로 다수 활용되는 증분 분석을 활용하고자 한다.

증분비용은 산출물의 증감에 따라 발생하는 기업 총 비용의 변화분으로 정의된다. 총 증분비용(total incremental costs)은 기업에 의해서 제공되는 다른 모든 생산물 또는 서비스의 수준이 변화하지 않는다고 가정 할 때, 해당 생산물이나 서비스의 제공을 중단(또는 제공)함으로써 회피할 수 있는(또는 추가되는) 비용을 말한다.

따라서 증분비용은 모든 변동비와 산출물의 증가에 직접적으로 관련이 있는 고정비를 포함한다.

증분 분석(Incremental Analysis)은 작은 변화 또는 작은 변화의 영향을 평가함으로써 의사결정을 지원하는 유용한 기술이다. 증분 분석은 엔지니어링, 건축, 관리, 인구 통계학, 의학, 역학, 사회학, 소비자 행동 및 투자 관리를 포함하는 거의 모든 분야에서 의사 결정에 대한 가이드라인을 제공한다[34].

이상에서 검토한 증분분석 개념을 토대로 전면도장 공정비용에 대한 현금흐름의 증분(차액)을 이용하여 전면도장 제거방식별 비교를 수행함으로써 경제적 타당성 판단을 유도하고자 한다.

3.3 고정비 및 변동비 구분

비용 분석을 위해서 다양한 고정비와 변동비 요인을 고려해야 하지만 본 연구에서는 전면도장 제거방식에 따른 제거공정 투입비용에 대한 상대적 비교이기 때문에 직접요인이 아닌 공통항목은 제외 하였다. 따라서 공정간 특성에 상관없이 동일하게 들어가는 비용 즉 전기료, 수도사용료 등은 제외하였다. PMB 방식과 레이저방식 비교를 위해 F-16 전투기 단일기종에 대해서 전면도장 제거공정 소요비용 항목은 크게 변동비와 고정비로 나누었다. 고정비에는 일반 경비를 제외한 정비시설 및 장비의 감가상각비와 운영유지비를, 변동비에는 직접인건비(노무비) 및 직접재료비를 책정하였다.

3.4 전면도장 제거공정 비용분석

항공정비장에 입고된 항공기 전면도장 제거공정에 대한 방식별 투입된 비용분석을 위하여 고정비 항목으로는 초기설비투자 비용 발생에 따른 감가상각비와 설비유지비를 산정하였고, 변동비 항목으로는 인건비 및 재료비를 산정하였으며 항공기 전면도장 제거방식별 경제성 분석을 위한 고정비 및 변동비에 종합 산출결과는 <Table 2>에 나타내었다.

기존 손익분기점 산출시 활용했던 <Table 1> 자료와 비교시 샌딩방식이 효율성 저하로 비교가 불필요하여 제외하였고, 고정비에는 시설 및 장비 운영유지비가 포함되었다.

<Table 2> The Estimated Costs of De-painting by Processes (unit: KRW)

Category		PMB	Laser
Fixed cost	Depreciation cost	132,666,667	757,333,333
	Facility Maintenance Cost	32,433,050	39,550,000
	Total	165,099,717	796,883,333
Variable cost	Labor cost	18,432,045	731,692
	Material cost	5,565,778	0
	Total	23,997,823	731,692

3.4.1 전면도장 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, 추가 전용 설비를 갖춘 경우는 장비로 분류하여 정액법을 적용하되 산정기준은 창정비원가관리 지침에 의거 15년을 적용하였다[2]. 또한, 정비작업을 위한 건물유지측면의 전기, 가스비, 수도료 등 타 작업간 공통으로 적용되는 경비는 고정비 성격을 갖고 있으나 비교 대상 모두 해당되므로 비용분석에서는 포함시키지 않았다. 이러한 기준을 적용하여 산출된 연간 감가상각비의 구체적인 내용은 <Table 3>에 제시하였다.

<Table 3> The Investment and Depreciation Costs of De-painting by Processes (unit: KRW)

Category	PMB	Laser
Investment cost	3,320,000,000	11,500,000,000
Details	<ul style="list-style-type: none"> · 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 	<ul style="list-style-type: none"> · 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	132,666,667	757,333,333

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

- 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)
= 757,333,333원/연간

3.4.2 전면도장 제거방식별 설비유지비

항공기 전면도장 제거방식별 설비유지비를 산출한 결과는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Facility Maintenance Cost of De-painting by Processes(unit: KRW)

Category	PMB	Laser
Facility Maintenance Cost	32,433,050	39,550,000

PMB 방식은 2018년부터 2021년까지 외주정비비로 지출된 비용의 4개년 평균치인 32,433,050원을 적용하였다. 레이저 방식은 유사장비로서 활용 중인 00기종 항공기의 엔진 흡입구 내벽 도장 제거에 활용되는 장비의 2020년, 2021년 외주정비비를 환산하여 평균한 값을 요율로 적용하여 레이저 설비 비용에 적용한 결과 39,550,000원으로 산정하였다.

3.4.3 전면도장 제거방식별 인건비

항공기 도장면 제거작업에 투입된 인건비 산출은 정비창별 표준임률에 정비작업을 위한 직접투입인시수를 적용하여 산정하였다. 레이저 방식의 경우 표준임률은 미 노동통계국의 자료 중 정밀가공장비 프로그래머 임률을 적용하였고[27] 적용 인시수는 인터넷에 공개된 작업인시수 자료를 적용하였다. 산출된 항공기 도장면 제거방식별 해당 투입 인시수에 따른 인건비는 <Table 5>에 제시하였다.

<Table 5> The Labor Costs of De-painting for a Aircraft by Processes

Category	PMB	Laser
Labor cost	18,432,045 (Won)	731,692 (Won)
Man/Hour	745 M/H	26 M/H
Cost/Hour	24,741 Won/H	28,142 Won/H*

* Wage rate for CNC Machine Tool Programmers of U. S. Bureau of labor statistics 2018

전면도장 제거방식별 연간 해당 직접작업 인건비는 다음과 같다.

- PMB 방식 인건비 = 직접인시수 745시간 ×B 정비창 표준임률 24741원/시간당 = 18,432,045원
- 레이저 방식 인건비 = 직접인시수 26시간 ×미 노동부 평균임률 28,142원/시간당 = 731,692원

3.4.4 전면도장 제거방식별 재료비

항공기 전면도장 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 관련부서와 레이저 장비 제작사(IPG photonics)가 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 있어 재료비는 별도로 산정하지 않았다[6].

이에 대한 미공군 관련 부서의 분석내용을 보면 다음과 같다.

레이저 전면도장 제거 과정이 훨씬 안전하고 크롬 기반 전면도장 제품에 의해 야기되는 환경적 위험을 상당히 감소시키며, 완전히 자동화된 프로세스이므로 유지보수 정비요원이 전면도장 제거 공간에 있을 필요가 없다. 그리고 폐기물은 자동으로 수거 구역으로 옮겨져 인간 관리자에 의한 정리가 거의 필요하지 않고 이 과정은 더 빠르기 때문에 상당한 노동 시간과 관련 비용을 절약할 수 있다[7]. 또한, 레이저를 이용한 전면도장 제거 장비 제작사(IPG photonics)가 제시한 내용에 근거하여 어떤 소모 재료도 없음(어떤 화학 물질, 기계적 도구도 불필요함)을 알 수 있다[6].

따라서 상기 검토 내용을 근거로 레이저 방식에 대한 재료비는 별도로 산정하지 않았다. 산출된 항공기 전면도장 제거방식별 대당 재료비 현황은 <Table 6>에 제시하였다.

<Table 6> The Material Costs of De-painting for a Aircraft by Processes (unit: KRW)

Category	PMB	Laser
Material cost	5,565,778	0
Details	blast media, masking tapes, protective clothings, glues, respirator etc.	N/A

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

4. 경제성 평가(증분분석)

4.1 창정비 물량 전망

연도별 전체 물량에 대해서는 국방백서를 기준으로 하여 예측하였다[16]. 경제성 분석을 위한 대상은 기종별로 다소 상이하나, PMB 이상의 방식을 사용해야 하는 기종들에 대하여 12년과 8년 주기를 구분하되 군창정비 정책에 따라 군창을 우선배정하고 잔여량을 민창에 배정하였다.

우리나라의 국방력 향상 계획을 고려시 향후 전투기 보유 대수 증가에 비례하여 창정비 물량은 증가할 것이 예상된다. 또한, 이러한 과정에서 구형 전투기는 PMB 이상의 방식을 사용해야 하는 신형 전투기로 대체 될 것이기에 늘어나는 작업물량에 대응하기 위해서는 PMB 방식 이상의 첨단 설비의 도입을 고려해야 한다.

이에, 본 장에서는 향후 20년간의 레이저 방식의 도입과 PMB 설비의 확장시를 고려하여 증분 비용분석을 수행하였다. 이는 도입비용이 고가인 레이저 방식 설비의 도입이 단기간 내에 어려울 경우의 대안으로서 PMB 설비증가 방안의 타당성 유무를 판단하기 위한 것이기도 하다.

구체적으로는 A창의 경우 기존 설비노후(최초 건축 후 35년 경과) 및 노동집약적인 샌딩 방식으로 매우 비효율적으로 운영 중이다. 이런 사유로 해당 정비창은 작업 효율성 향상을 위하여 설비변경이 요구되는 데 PMB로 할 것인지, 레이저 방식으로 할 것인지 합리적인 판단이 요구되는 상황이다.

B창의 경우는 기존 PMB 설비를 갖추고 있어서 A창 대비 효율이 나은 편이나, PMB 방식도 한 개의 설비당 연 18대 이상 작업이 불가한 실정이다. 따라서 B창 또한 작업 요구량 증가시를 대비한 설비 증가 또는 레이저 설비로의 신규 도입이 요구되는 실정이다.

이에 따라 국방부 공식자료인 Ministry of National Defence[16]와 IISS[5]를 활용하여 현실적인 창정비 물량 증가 장기 규모를 예측하고, 다음과 같은 시나리오를 구상하였다.

시나리오는 전면도장 주기를 기존의 12년으로 유지하는 경우와 가이드라인의 제안사항을 반영하여 8년으로 조정하는 경우, 민창의 위탁물량을 현행 수준으로 유지하는 경우와 전년도 기준 10%씩 점진적으로 감소시키는 경우를 고려하여 다음과 같이 4가지로 구상하였다.

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

<Table 7>과 <Table 8>은 향후 470여 대까지 증가되는 예측을 기반으로 시나리오 1에서 4에 대하여 예측되는 연간 작업요구량 그리고 군창과 민창의 배분 물량을 나타낸다.

물량 배분은 창정비지침을 준수하여 군창 우선 배정후, 군창의 처리 능력을 초과하는 경우에 민창으로 배정하도록 하였다. 이에 따라 민창 위탁량은 상한선을 설정하여, 전면도장 주기 12년을 적용한 경우에는 10대 이하로, 전면

<Table 7> Scenario 1 and 2 Allocation Volume (When Applied Every 12 Years)

Item \ Year	Year																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
12 Year Period Total	25.1	26.0	28.2	29.4	30.7	31.9	33.2	34.0	34.8	35.7	36.5	37.3	38.2	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0
Scenario 1	Mil.	18.0	18.0	18.0	19.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
	Civil	7.1	8.0	10.2	10.4	9.7	9.9	10.2	10.0	9.8	9.7	9.5	10.3	10.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Scenario 2	Mil.	18.0	19.6	22.4	24.3	26.0	27.7	29.4	30.6	31.8	32.9	34.0	35.1	36.2	37.2	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4
	Civil	7.1	6.4	5.7	5.2	4.6	4.2	3.8	3.4	3.0	2.7	2.5	2.2	2.0	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6

<Table 8> Scenario 3 and 4 Allocation Volume (When Applied Every 8 Years)

Item \ Year	Year																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
8 Year Period Total	37.6	39.0	42.3	44.1	46.0	47.9	49.8	51.0	52.3	53.5	54.8	56.0	57.3	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5
Scenario 3	Mil.	19.0	20.0	23.0	24.0	26.0	28.0	30.0	31.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
	Civil	18.6	19.0	19.3	20.1	20.0	19.9	19.8	20.0	19.3	19.5	19.8	20.0	20.3	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5
Scenario 4	Mil.	19.0	22.2	27.2	30.5	33.8	36.9	39.9	42.1	44.2	46.3	48.3	50.2	52.0	53.8	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0
	Civil	18.6	16.8	15.1	13.6	12.2	11.0	9.9	8.9	8.0	7.2	6.5	5.8	5.3	4.7	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

도장 주기 8년을 적용한 경우에는 민창 물량을 20대 이하로 한정하였다.

구체적으로 살펴보면, 시나리오 1은 전면도장 주기 12년 유지 & 민창 위탁 유지를 가정하는 경우이다. <Table 7>에서 볼 수 있듯이 year 1의 작업물량은 25.1대 인데 현재 군창의 정비능력이 18대이므로 나머지 물량 7.1대를 민창에 배정하고, year 4의 작업물량에서는 군창에서 19대를 정비해야 하는 상황이 발생하여 연간 가능대수 18대를 초과하므로 이 시점에서 신규장비 도입이 고려되어야 함을 알 수 있다.

또한, 시나리오 2는 전면도장 주기 12년 유지 & 민창 위탁 점진적 감소를 가정하였다. <Table 7>에서 볼 수 있듯이 민창 물량을 year 1부터 지속 감소시키는 경우로 물량을 10%씩 감소시켜서 이에 대해 군창에서 증가 물량을 흡수하도록 설정하였다. 따라서 year 2 이후의 작업 물량은 이전 물량의 10% 감소시켜 잔여 물량 증가분을 군창량에 할당하였음을 나타냈다.

시나리오 3의 경우, 전면도장 주기 8년 유지 & 민창 유지를 가정하였으며, year 1부터 작업물량이 37.6대로 연간 작업능력인 18대를 초과하여 첫해부터 설비 증가요구가 발생되었다.

또한, 시나리오 4의 경우, 전면도장 주기 8년 유지 & 민창 유지량 점진적 감소 방안이며, 또한 15년째에 산출된 군창물량은 54.2대이며, 설비 3대 증설시 가용한 작업대수인 54대를 초과하는 부분인 0.2대는 민창으로 넘겨서 민창 물량을 4.5대(4.3대 → 4.5대)로 조정하였다.

4.2 경제성 분석

4.2.1 공정비용 산정

<Table 7>과 <Table 8>의 예측 물량에 의거하여 산정한 시나리오별 비용 산정 및 증분비용의 결과는 <Table 9> ~ <Table 12>와 같다.

시나리오별 공정비용 산정 시, 연간 이자율은 2021년 및 중기 경제전망을 기준하여 최근 3개년 최고 2.2% 였으나 미래의 불확실성을 고려하여 조금 더 안전하게 대비한다는 관점에서, 보수적으로 3%를 적용하였다[18].

시나리오 1의 공정비용은 <Table 9>에 나타난 바와 같으며, 연간 18대를 초과하는 시점인 4년째에 설비 증가가 필요하고, 이에 따라 PMB와 레이저방식의 공정비용이 추가되었다. 그리고 각 해(year)마다의 비용의 차이(PMB-Laser)를 도출하였다.

시나리오 2의 공정비용은 <Table 10>에 나타난 바와 같으며, 연간 18대를 초과하는 2년째에는 PMB와 레이저방식의 공정비용이 각각 추가되었다. 만약 2년째에 PMB 설비추가를 한 경우, PMB의 연간 최대 작업능력이 18대이므로, 36대를 초과하는 13년째에 PMB를 추가로 도입하기 위한 금액을 반영하였다. 그러나 2년째에 레이저를 도입한 경우에는 레이저의 작업능력이 충분하기에 설비유지비만이 비용으로 산정되었다.

시나리오 3의 경우 공정비용은 <Table 11>에 나타난 바와 같으며, 첫해에 작업 물량이 19대이므로 첫해에 PMB 또는 레이저 설비를 도입하였으며, 13년째에 36대를 초과하기에 PMB의 설비 추가 비용을 반영하였다.

<Table 9> Scenario 1 Process Cost (Unit: KRW)

Year	Work (unit)	PMB Method Process Cost	Laser Method Process Cost	PMB-Laser
1	18.0	478,325,680	478,325,680	0
2	18.0	492,675,450	492,675,450	0
3	18.0	507,455,714	507,455,714	0
4	19.0	4,322,882,079	13,003,512,178	-8,680,630,100
5	21.0	659,418,723	63,662,153	595,756,570
6	22.0	707,855,940	66,445,696	641,410,244
7	23.0	758,605,913	69,338,955	689,266,958
8	24.0	811,763,815	72,346,010	739,417,805
9	25.0	867,428,445	75,471,082	791,957,363
10	26.0	925,702,366	78,718,547	846,983,819
11	27.0	986,692,037	82,092,937	904,599,100
12	27.0	1,016,292,798	84,555,725	931,737,073
13	28.0	1,082,023,194	88,166,911	993,856,283
14	29.0	1,150,782,750	91,918,668	1,058,864,082
15	29.0	1,185,306,233	94,676,228	1,090,630,005
16	29.0	1,220,865,419	97,516,515	1,123,348,905
17	29.0	1,257,491,382	100,442,010	1,157,049,372
18	29.0	1,295,216,124	103,455,270	1,191,760,853
19	29.0	1,334,072,607	106,558,929	1,227,513,679
20	29.0	1,374,094,785	109,755,696	1,264,339,089

<Table 11> Scenario 3 Process Cost (Unit: KRW)

Year	Work (unit)	PMB Method Process Cost	Laser Method Process Cost	PMB-Laser
1	19.0	3,956,049,479	11,900,055,712	-7,944,006,234
2	20.0	578,002,254	57,483,636	520,518,618
3	23.0	674,011,529	61,606,764	612,404,765
4	24.0	721,241,636	64,278,492	656,963,143
5	26.0	798,518,993	67,903,310	730,615,682
6	28.0	879,783,874	71,687,767	808,096,107
7	30.0	965,205,981	75,638,177	889,567,803
8	31.0	1,024,561,884	78,834,208	945,727,676
9	33.0	1,117,922,173	83,108,619	1,034,813,554
10	34.0	1,183,710,905	86,585,210	1,097,125,695
11	35.0	1,252,440,832	90,195,599	1,162,245,233
12	36.0	1,324,229,214	93,944,685	1,230,284,529
13	37.0	6,274,729,632	97,837,540	6,176,892,091
14	38.0	1,477,472,494	101,879,416	1,375,593,078
15	38.0	1,521,796,669	104,935,799	1,416,860,871
16	38.0	1,567,450,569	108,083,872	1,459,366,697
17	38.0	1,614,474,086	111,326,389	1,503,147,698
18	38.0	1,662,908,309	114,666,180	1,548,242,129
19	38.0	1,712,795,558	118,106,166	1,594,689,393
20	38.0	1,764,179,425	121,649,351	1,642,530,074

<Table 10> Scenario 2 Process Cost (Unit: KRW)

Year	Work (unit)	PMB Method Process Cost	Laser Method Process Cost	PMB-Laser
1	18.0	478,325,680	478,325,680	0
2	19.6	4,090,643,020	12,257,542,541	-8,166,899,522
3	22.4	659,042,527	61,150,360	597,892,167
4	24.3	728,072,854	64,486,776	663,586,079
5	26.0	799,055,688	67,919,674	731,136,014
6	27.7	872,162,571	71,455,394	800,707,178
7	29.4	947,565,077	75,100,307	872,464,770
8	30.6	1,012,768,726	78,474,636	934,294,090
9	31.8	1,079,853,094	81,947,895	997,905,199
10	32.9	1,148,958,387	85,525,608	1,063,432,779
11	34.0	1,220,225,248	89,213,348	1,131,011,899
12	35.1	1,293,795,115	93,016,751	1,200,778,364
13	36.2	6,245,342,501	96,941,528	6,148,400,973
14	37.2	1,448,415,681	100,993,476	1,347,422,206
15	37.4	1,498,599,786	104,228,527	1,394,371,259
16	37.4	1,543,557,780	107,355,383	1,436,202,397
17	37.4	1,589,864,513	110,576,044	1,479,288,469
18	37.4	1,637,560,449	113,893,326	1,523,667,123
19	37.4	1,686,687,262	117,310,126	1,569,377,137
20	37.4	1,737,287,880	120,829,429	1,616,458,451

<Table 12> Scenario 4 Process Cost (Unit: KRW)

Year	Work (unit)	PMB Method Process Cost	Laser Method Process Cost	PMB-Laser
1	19.0	3,956,049,479	11,900,055,712	-7,944,006,234
2	22.2	634,967,416	59,220,500	575,746,916
3	27.2	783,197,833	64,935,847	718,261,986
4	30.5	898,084,671	69,670,425	828,414,246
5	33.8	1,014,962,838	74,502,669	940,460,170
6	36.9	5,137,135,180	79,443,519	5,057,691,661
7	39.9	1,295,866,763	84,503,803	1,211,362,960
8	42.1	1,402,832,338	89,114,963	1,313,717,374
9	44.2	1,511,950,305	93,832,244	1,418,118,061
10	46.3	1,623,479,786	98,664,760	1,524,815,027
11	48.3	1,737,676,996	103,621,574	1,634,055,422
12	50.2	1,854,796,041	108,711,723	1,746,084,318
13	52.0	1,975,089,681	113,944,242	1,861,145,439
14	53.8	2,098,810,056	119,328,184	1,979,481,871
15	54.0	2,170,531,525	123,175,035	2,047,356,490
16	54.0	2,235,647,471	126,870,286	2,108,777,184
17	54.0	2,302,716,895	130,676,395	2,172,040,500
18	54.0	2,371,798,402	134,596,687	2,237,201,715
19	54.0	2,442,952,354	138,634,587	2,304,317,766
20	54.0	2,516,240,924	142,793,625	2,373,447,299

같은 방식으로 시나리오 4의 공정비용은 <Table 12>에 나타낸 바와 같으며 연간 18대, 36대를 초과하는 시점인 1년째와 6년째에 각각 필요한 설비증가 비용이 추가되었다.

4.2.2 시나리오별 공정비용 증분분석

시나리오별 두 가지 방식 즉 PMB와 레이저 방식에 대한 경제적 유리함을 판단하기 위하여 증분 분석을 실시하였다.

같은 시나리오 하에서는 민청 배정량이 서로 같기 때문에, 시나리오별 PMB와 레이저 방식의 경제성 비교는 군청의 물량에 대한 증분만을 고려하면 된다.

두 가지 방식에 대한 경제성 판단을 위하여 증분비용의 현금흐름을 동일 시점으로 할인(discount)할 필요가 있다. 이때의 할인율(discount rate)은 국내 공공사업의 분석에서 적용한 선진국의 사회적 할인율[10]인 3.5% ~ 10% 범위 중 3.5%를 적용하였다. 해당 할인율을 적용하여 <Table 9> ~ <Table 12>에 제시된 증분에 대한 현가(present value)를 계산한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \circ PV(Scenario 1) \\
 & = \frac{-8,680,630,100}{(1+0.035)^4} + \frac{595,756,570}{(1+0.035)^5} \\
 & \quad + \dots + \frac{1,227,513,679}{(1+0.035)^{19}} + \frac{1,264,339,089}{(1+0.035)^{20}} \\
 & = 2,128,420,293
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \circ PV(Scenario 2) \\
 & = \frac{-8,166,899,522}{(1+0.035)^2} + \frac{597,892,167}{(1+0.035)^3} \\
 & \quad + \dots + \frac{1,569,377,137}{(1+0.035)^{19}} + \frac{1,616,458,451}{(1+0.035)^{20}} \\
 & = 8,908,832,620
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \circ PV(Scenario 3) \\
 & = \frac{-7,944,006,234}{(1+0.035)^1} + \frac{520,518,618}{(1+0.035)^2} \\
 & \quad + \dots + \frac{1,594,689,393}{(1+0.035)^{19}} + \frac{1,642,530,074}{(1+0.035)^{20}} \\
 & = 9,585,362,010
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \circ PV(Scenario 4) \\
 & = \frac{-7,944,006,234}{(1+0.035)^1} + \frac{575,746,916}{(1+0.035)^2} \\
 & \quad + \dots + \frac{2,304,317,766}{(1+0.035)^{19}} + \frac{2,373,447,299}{(1+0.035)^{20}} \\
 & = 15,141,363,334
 \end{aligned}$$

연도별 차액 즉, 증분의 현가가 양수이면 레이저 방식

을, 음수이면 PMB 방식이 더 경제적임을 의미하므로, 시나리오 1에서 4까지 모두에서 레이저 방식의 도입이 경제적으로 더 유리하다는 결과를 얻었다.

4.2.3 시나리오 간 공정비용 증분분석

4.2.2 시나리오별 공정비용 증분분석을 통해 시나리오 1에서 4까지 레이저 방식이 모두 경제적으로 유리하다는 결과를 얻었다. 그렇다면, 레이저 방식을 도입하는 상황에서 전면도장 주기와 민청 배정량 조정의 변경에 대한 판단이 필요하다. 즉, 4개의 시나리오 간 공정비용 분석시에는 시나리오별 증분분석과는 달리 시나리오가 바뀌는 경우 민청 배정량이 달라지기 때문에 <Table 9> ~ <Table 12>의 공정비용을 그대로 사용할 수 없다. 따라서, 민청 배정량에 따라 증가하는 비용을 추가하여 비교하여야 한다. 민청 배정에 대한 비용은 민청 위탁 정비에 대한 대당 원가(약 2.6억 원)에 전면도장 제거공정이 차지하는 요율(29.41%)를 적용하여 계산하였다.

이상의 방법을 사용하여 각 시나리오별로 레이저 방식을 도입했을 경우의 비용을 산출한 후, 다음과 같은 증분비용 테이블을 도출하였다.

<Table 13>은 시나리오1과 2의 민청 위탁비용을 포함한 공정비용과 두 시나리오간의 증분비용을, <Table 14>는 시나리오3과 4의 민청 위탁비용을 포함한 공정비용과 두 시나리오간의 증분비용을 계산한 것이다.

<Table 13>과 <Table 14>를 사용하여 할인율 3.5%를 적용한 현가를 계산한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & PV(Scenario 1-2) \\
 & = \frac{-11,634,234,596}{(1+0.035)^2} + \frac{813,044,360}{(1+0.035)^3} \\
 & \quad + \dots + \frac{1,102,650,603}{(1+0.035)^{19}} + \frac{1,135,730,121}{(1+0.035)^{20}} \\
 & = 9,939,741,068
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & PV(Scenario 3-4) \\
 & = \frac{178,134,033}{(1+0.035)^2} + \frac{341,433,183}{(1+0.035)^3} \\
 & \quad + \dots + \frac{2,105,409,893}{(1+0.035)^{19}} + \frac{2,168,572,190}{(1+0.035)^{20}} \\
 & = 16,099,970,795
 \end{aligned}$$

<Table 13>과 <Table 14>의 증분비용을 통한 증분분석 결과, 전면도장 주기를 현재의 12년을 유지하는 경우와 전면도장 주기를 8년으로 감소시키는 경우 모두에 대해서 민청 물량을 감소하는 방안이 경제적으로 유리한 것으로 나타났다.

<Table 13> Incremental Cost(Scenario 1 - 2) Calculation Results (Unit: KRW)

Year	Scenario 1_ Process Cost	Scenario 2_ Process Cost	Incremental cost (Scenario 1-2)
1	1,031,164,220	1,031,164,220	0
2	1,135,789,272	12,770,023,868	-11,634,234,596
3	1,349,264,910	536,220,550	813,044,360
4	13,891,896,883	504,876,842	13,387,020,042
5	912,815,789	476,161,265	436,654,524
6	963,693,637	449,895,349	513,798,288
7	1,016,802,622	425,914,146	590,888,476
8	1,032,235,429	403,679,064	628,556,365
9	1,047,679,082	383,412,400	664,266,682
10	1,063,120,343	364,983,204	698,137,139
11	1,078,545,168	348,270,540	730,274,628
12	1,200,931,856	333,162,768	867,769,088
13	1,219,488,078	319,556,886	899,931,192
14	1,238,076,834	307,357,912	930,718,922
15	1,275,219,139	295,528,359	979,690,779
16	1,313,475,713	304,394,210	1,009,081,502
17	1,352,879,984	313,526,037	1,039,353,948
18	1,393,466,384	322,931,818	1,070,534,566
19	1,435,270,375	332,619,772	1,102,650,603
20	1,478,328,486	342,598,365	1,135,730,121

<Table 14> Incremental Cost(Scenario 3 - 4) Calculation Results (Unit: KRW)

Year	Scenario 3_ Process Cost	Scenario 4_ Process Cost	Incremental cost (Scenario 3-4)
1	13,353,695,873	13,353,695,873	0
2	1,584,878,962	1,406,744,929	178,134,033
3	1,655,524,176	1,314,090,993	341,433,183
4	1,780,637,742	1,227,637,245	553,000,497
5	1,824,772,903	1,147,937,911	676,834,992
6	1,869,953,599	1,074,517,989	795,435,610
7	1,916,202,841	1,006,937,836	909,265,005
8	1,998,613,047	944,211,312	1,054,401,735
9	1,986,329,365	886,506,559	1,099,822,806
10	2,072,361,246	833,473,850	1,238,887,396
11	2,161,767,344	784,789,601	1,376,977,743
12	2,254,672,682	740,154,484	1,514,518,197
13	2,351,206,749	699,291,681	1,651,915,068
14	2,451,503,656	661,945,261	1,789,558,395
15	2,525,048,766	654,419,345	1,870,629,420
16	2,600,800,228	674,051,925	1,926,748,303
17	2,678,824,235	694,273,483	1,984,550,752
18	2,759,188,962	715,101,688	2,044,087,275
19	2,841,964,631	736,554,738	2,105,409,893
20	2,927,223,570	758,651,380	2,168,572,190

마지막으로 <Table 15>는 <Table 13>과 <Table 14>에서 각각 선호되는 시나리오 2와 4에 대한 증분비용을 산출한 결과이며 할인율 3.5%를 적용한 현가를 계산한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \circ PV(\text{Scenario 2-4}) \\
 &= \frac{-12,322,531,654}{(1+0.035)^1} + \frac{11,363,278,939}{(1+0.035)^2} \\
 &+ \dots + \frac{-403,934,966}{(1+0.035)^{19}} + \frac{-416,053,015}{(1+0.035)^{20}} \\
 &= -7,571,778,248
 \end{aligned}$$

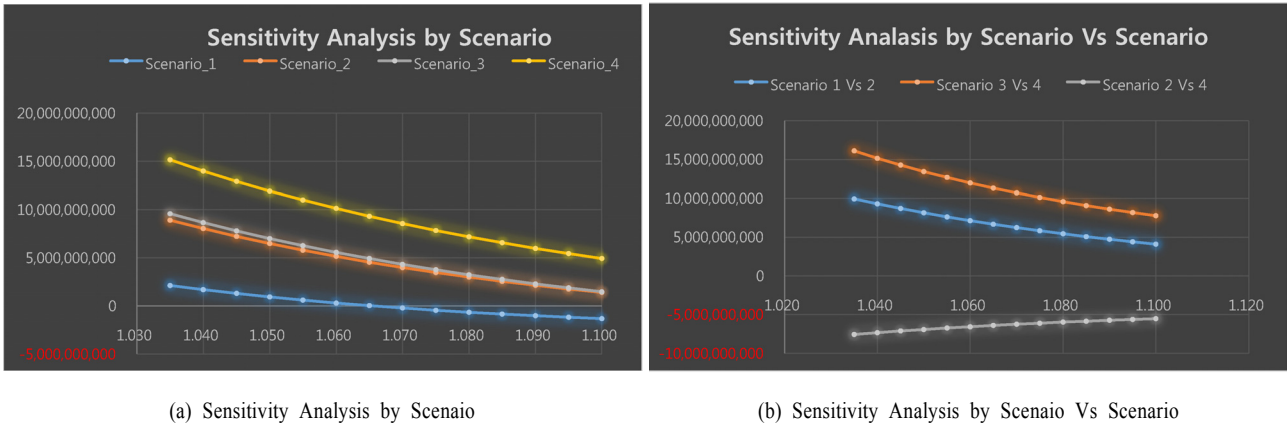
<Table 15> Incremental Cost(Scenario 2 - 4) Calculation Results (Unit: KRW)

Year	Scenario 2_ Process Cost	Scenario 4_ Process Cost	Incremental cost (Scenario 2-4)
1	1,031,164,220	13,353,695,873	-12,322,531,654
2	12,770,023,868	1,406,744,929	11,363,278,939
3	536,220,550	1,314,090,993	-777,870,443
4	504,876,842	1,227,637,245	-722,760,403
5	476,161,265	1,147,937,911	-671,776,646
6	449,895,349	1,074,517,989	-624,622,640
7	425,914,146	1,006,937,836	-581,023,691
8	403,679,064	944,211,312	-540,532,249
9	383,412,400	886,506,559	-503,094,159
10	364,983,204	833,473,850	-468,490,646
11	348,270,540	784,789,601	-436,519,061
12	333,162,768	740,154,484	-406,991,716
13	319,556,886	699,291,681	-379,734,795
14	307,357,912	661,945,261	-354,587,349
15	295,528,359	654,419,345	-358,890,986
16	304,394,210	674,051,925	-369,657,715
17	313,526,037	694,273,483	-380,747,447
18	322,931,818	715,101,688	-392,169,870
19	332,619,772	736,554,738	-403,934,966
20	342,598,365	758,651,380	-416,053,015

민감도를 줄이는 두 가지 시나리오인 2와 4에 대해서 증분비용을 산출한 결과, 현가가 음수이므로 전면도장 주기 12년을 적용하면서 민감의 위탁물량을 줄이는 시나리오 2가 경제적으로 가장 유리한 대안임을 확인하였다.

4.2.4 민감도 분석

지금까지 검토했던 분석결과는 할인율 3.5%에 대해서 어떤 시나리오가 유리한 것인지에 대해 알아보았다. 향후 할인율 변화에 따른 증분비용의 변화 추이를 분석하기 위하여 민감도 분석을 하였다. 민감도 분석은 할인율 3.5%에서 10% 범위까지를 수행하였고 결과는 <Figure 4>에 나타내었다.



(a) Sensitivity Analysis by Scenario

(b) Sensitivity Analysis by Scenario Vs Scenario

<Figure 4> Sensitivity Analysis

(1) 시나리오별 분석결과

<Figure 4> (a)의 그림에서, 할인율 변화에 따른 시나리오별 증분비용의 변화정도를 확인한 결과, 시나리오 2, 3, 4에서 할인율 증가에 따라 증분비용은 점차 감소하였으나, 모두 양(+)의 범위에 있으므로 모두 레이저 방식이 PMB 방식 대비 경제성이 있다고 판단되었다.

그러나, 시나리오 1의 경우 즉 12년 주기 적용 및 민창 수용량을 유지하는 경우에는 할인율이 7% 이상에서는 레이저 방식이 경제성을 가지지 못한다. 이는 12년 주기와 민창의 위탁량을 유지하기 때문에 고가의 신규장비가 투입되었음에도 불구하고 기존에 발생하는 비용을 획기적으로 줄이지 못하는 과도한 투자로 판단되기 때문이다. 즉, 높은 할인율의 경우에는 고가의 신규장비 도입이 성급한 투자가 될 가능성을 시사한다.

(2) 시나리오간 분석결과

<Figure 4> (b)의 그림에서, 할인율 변화에 따른 시나리오 간 상대적인 비교를 통한 증분비용의 변화를 확인하였다. 그 결과, 수치상의 변화는 있지만 시나리오 1과 2에 대하여 양(+)의 영역, 시나리오 3과 4에 대하여 양(+)의 영역, 시나리오 2와 4에 대해서는 음(-)의 영역으로 나타나 할인율과 관계없이 시나리오 4가 가장 이상적인 대안임을 확인하였다.

Lee and Park[13]은 현재 한국 공군에서 시행중인 전면도장 방식인 샌딩, PMB 방식과 레이저 방식을 상호 비교한 결과, 유리한 작업방식을 식별하였으나, 신규 장비도입 시 고비용으로 인한 구체적 대안에 대한 판단이 필요함을 인식하였다.

이에 따라 본 연구는 전투기 전면도장 제거작업시 정비창의 기존 설비를 변경(확장)하거나 새로운 장비를 도입하는 경우 등을 상정하여 시나리오를 가정하였다. 또한 합리적인 의사결정을 위한 타당성 제시를 위하여 기존 PMB 방식의 확대와 새로운 레이저 방식의 도입, 그리고 전면도장 주기를 기존 12년으로 유지하는 경우와 8년으로 조정하는 경우를 조합하여 4가지 시나리오로 구상하여 증분분석을 실시하였다.

첫째, 각각의 시나리오별로 분석한 결과, 군창에서 작업하는 경우 모든 시나리오에서 레이저 방식이 유리한 것으로 나타났다. 둘째, 민창 물량까지 포함하여 시나리오 간 비교 분석을 한 결과, 현행 12년 주기 전면도장을 유지하면서 민창물량을 점차적으로 감소시키는 것이 최적인임을 확인하였다. 셋째, 민감도 분석에서도 할인율이 높은 일부 구간을 제외하고는 모든 시나리오에서 레이저 방식이 유리함을 확인하였다.

결론적으로 향후 증가하는 전투기 창정비의 중기물량을 고려한다면, 레이저 장비를 조기(2년 이내) 도입하고 전면도장 주기는 현행 12년 주기를 유지하면서 민창의 위탁물량을 점차적으로 감소시키는 방안이 추천된다.

5. 결 론

5.1 연구결과 요약

본 연구는 항공정비창의 효율적 운용방안으로서 공군항공무기체계의 핵심전력인 전투기의 전면도장 제거공정 개선을 위한 Lee and Park[13]의 후속 연구로써 수행하였다.

5.2 시사점 및 향후 연구 방향

본 연구는 현재 군에서 도입을 고려중인 ARLCRS(첨단로봇형 레이저 코팅 제거 시스템)를 대상으로 적절한 도입시기와 적정규모를 가늠하기 위한 정보를 제공하는 목적으로 진행되었다. 산업공학에서 기존에 사용하던 경제성

분석기법을 기반으로 불확실한 미래 상황을 시나리오 분석을 통해 해결했다는 점에서 실용적 기여점이 있다고 판단된다. 또한, 이익을 추구하지 않는 군(軍)조직의 경우 비용에 대한 증분분석이 효과적이라는 사실을 보였다는 점에도 의의가 있다고 판단한다.

그리고 본 연구에서 도입을 고려중인 ARLCRS를 도입할 경우, 공정일이 단축되며 유해 폐기물 처리량 감소로 인한 운영비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 균일한 고품질을 유지할 것으로 기대된다.

그러나 본 논문은 신규 첨단설비 도입 시, 비용만을 고려했다는 제한점도 존재한다. 일반적으로 신규 첨단설비의 경우 환경 및 작업자 보호 등의 비용으로 측정되지 않는 다른 고려요소도 존재한다. 따라서 정비 작업자의 유해 환경 대응비용이나 환경보호 효과 등을 고려한 경제성분석이 시도된다면 더욱 유용할 것으로 기대된다.

References

- [1] Ahn, C. S., Lee, D. H., and Youm, S. K., 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] Corey, J., What is Incremental Analysis, 2022.3.29. (<http://www.smartcapitalmind.com/what-is-incremental-analysis.htm>).
- [4] Drury, C. M., Management and Cost Accounting. *Springer*, 2013, pp. 34-35.
- [5] IISS, The Military Balance, *Routledge*, 2021.
- [6] IPG photonics, Laser Ablation, 2022.4.11. (<https://lasersystems.ipgphotonics.com/applications/laser-ablation>).
- [7] Jordan, H., AFRL helps enable laser paint removal technology, 2018. 2. 6. (<https://www.wpafb.af.mil/News/Article-Display/Article/1433126/afrl-helps-enable-laser-paint-removal-technology/>).
- [8] Kent, R., Whole Lotta Sanding Going On, 2014.2.7. (<https://www.aviationpros.com/tools-equipment/paints/article/11306922/whole-lotta-aircraft-sanding-going-on>).
- [9] Kim, J. D., Kim, J. E., Song, M. G., Lee, J. M., and Han, M. S., A Study on Laser Cleaning Efficiency of Epoxy Paint According to Process Parameters (I) - The Effect According to The Laser Beam Overlap Rate, *Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 2020, Vol. 44, No. 3, pp. 199-205.
- [10] Kim, J. S., Lee, E. S., and Park, S. H., Guidelines for economic analysis of KOICA projects, *Korea International Cooperation Agency Research Report*, 2017, pp. 34-35.
- [11] Kim, J. W., Cha, D. S., and Park, C. T., Ranking Mutually Exclusive Alternatives, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2005, Vol. 28, No. 1, pp. 134-139.
- [12] 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.
- [13] Lee, C. Y., and Park, J. H., An Economical Efficiency Analysis of De-painting Process for Fighter Jets using CVP Analysis, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2021, Vol. 44, No. 3, pp. 39-49.
- [14] Litchfield, R. E., Critchlow, G. W., and Wilson, S., Surface Cleaning Technologies for the Removal of Crosslinked Epoxide Resin, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2006, Vol. 26, No. 5, pp. 295-303.
- [15] 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.
- [16] Ministry of National Defense, 2020 Defense White Paper, 2020.
- [17] Naguy, D., Enabling Next-Generation Aerospace Development, 2022.4.10. (<https://tacticaldefensemedia.com/enabling-next-generation-aerospace-development/>).
- [18] National Assembly Budget Office, Economic Forecast for 2021 and the Medium Term, 2020, p. 102.
- [19] Park, H. S., Reduction and carcinogenesis of hexavalent chromium, *Environmental Health and Toxicology*, 2003, Vol. 18, No. 3, pp. 165-174.
- [20] Punniamorthy, 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.
- [21] Ream, S., Laser system strips paint from full-size aircraft, *Industrial Laser Solutions*, 2016, Vol. 31, No.5, pp. 5-10.
- [22] Republic of Korea Air Force Headquarters, Aircraft Depot Maintenance Management, *Air Force Headquarters Guidelines 5-51-3*, 2019.

- [23] Schlett, J., Laser Paint Removal Takes Off in Aerospace, 2022.4.10.(https://www.photonics.com/Articles/Laser_Paint_Removal_Takes_Off_in_Aerospace/a61353.)
- [24] Sprentall, S. L., Robotics And Intelligent Automation Of Like DOD Maintenance Processes, *Maintenance Innovation Challenge*, 2019, Spokane, Washington. U. S. A, p. 38.
- [25] Stoenoiu, C. E., Sensitivity of indicators used in cost-volume-profit analysis, *In MATEC Web of Conferences*, 2018, Vol. 184, pp. 04003. EDP Sciences.
- [26] U.S. Air Force, Application and Removal of Organic Coatings, Aerospace and NonAerospace Equipment, TO 1-1-8, Secretary of the Air Force, 2020.
- [27] U. S. Bureau of labor statistics. May 2018 National Occupational Employment and Wage Estimates, 2018.
- [28] Vereecke, G., Rohr, E., and Heyns, M. M., Laser-assisted Removal of Particles on SiliconWafers, *Journal of Applied Physics*, 1999, Vol. 85, No.7, pp. 3837-3843.
- [29] Verger, R., The best way to strip paint off a fighter jet? Laser-welding robots, *Popular Science*, 2019.11.19.(<https://www.popsci.com/story/technology/air-force-laser-robots-depaint-f-16/>).
- [30] Yoo, I. S., Seo, Y. 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.
- [31] Zhang, F. D., Liu, H., Suebka, C., Liu, Y. X., Liu, Z., Guo, W., Cheng, Y. M., Zhang, S. L., and Li, L., Corrosion Behaviour of Laser- Cleaned AA7024 Aluminium Alloy, *Applied Surface Science*, 2018, Vol. 435, pp. 452-461.
- [32] https://bemil.chosun.com/nbrd/bbs/view.html?b_bbs_id=10159&pn=0&num=18636
- [33] <https://www.hill.af.mil/News/Article-Display/Article/1427767/sustaining-the-ogden-alc-f-16-relationship/>
- [34] <https://www.smartcapitalmind.com/what-is-incremental-analysis.htm>

ORCID

Chang Young Lee | <https://orcid.org/0000-0002-6823-0983>

Jong Hun Park | <http://orcid.org/0000-0001-7413-9564>