

# 시뮬레이션에 기반한 KAAV 주요 수리부속과 정비대체장비 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향 연구

전홍주<sup>1)</sup> · 마정목<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방대학교 국방과학학과

## Impact of KAAV's Essential Assemblies and Maintenance Float Inventory Levels on Operational Availability

Hongjoo Jeon<sup>1)</sup> · Jungmok Ma<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Defense Science, National Defense University, Korea

(Received 8 March 2018 / Revised 18 June 2018 / Accepted 20 July 2018)

### ABSTRACT

This paper studies the optimal inventory levels of Korea Assault Amphibious Vehicle(KAAV)'s assemblies in order to assure the required operational availability. The simulation model is built and implemented for the impact of the inventory levels on operational availability. Using regression analysis and integer programming, the optimal inventory levels of essential assemblies are suggested and analyzed. Finally, sensitivity analysis is conducted with recycling maintenance delay time.

Key Words : Operational Availability(운용가용도), Simulation(시뮬레이션), Meta Model(메타모델), Multiple Regression (다중 회귀분석), Integer Programming(정수계획법)

### 1. 서론

정비지원에 필요한 수리부속의 적정 재고량 확보는 예산절감 및 장비 운용가용도에 직접적으로 영향을 주기 때문에 매우 중요하다. 하지만 현실적으로 수리부속 수요는 여러가지 요인들이 복합적으로 작용하므로 적정 재고수준에 대해 정확한 해답을 제시하는 것은 상당히 어렵다.

운용가용도에 미치는 영향을 고려한 수리부속 재고수준 최적화 연구는 Sherbrooke<sup>[1]</sup>가 METRIC(Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control)이라는 기초 모형을 제시하면서부터 시작되었다. METRIC 모형은 2단계(기지, 창)로 구성된 미 공군 항공기 정비체계에서 평균 재고 부족량을 최소화 하는 복구성 수리부속의 위치와 재고량을 산출하는 방법이었으며, 이후 Slay<sup>[2]</sup>와 Hillestad<sup>[3]</sup>에 의해 각각 VARI-METRIC, Dyna-METRIC 모형으로 발전되었다.

VARI-METRIC 모형은 음이항 분포를 부품 수요 분포로 사용하고, 재고수준을 산출할 때 평균과 분산을

\* Corresponding author, E-mail: jxm1023@gmail.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

사용했다는 특징이 있다. 그리고 Dyna-METRIC 모형은 부품의 동적 특성을 기반으로 부품 고장율이 시간에 따라 변화하는 특징을 반영했다.

METRIC 모형은 점진적으로 보완되어 왔지만, 가용도 계산 시 예방정비 시간, 군수 및 행정지연 시간을 정확히 고려하지 않는다는 점, 수리부속 품목의 고장이 일반분포를 따르는 경우에는 METRIC 모형을 적용할 수 없다는 점 등의 제한사항을 가지고 있다.

위의 제한사항을 해소하기 위한 대안으로 시물레이션이 사용되었다. 시물레이션을 이용하면 현실에서 일어나는 다양한 정비흐름을 비교적 정확하게 묘사할 수 있기 때문이다. Stearns<sup>[4]</sup>는 F-18 항공기를 대상으로 수리부속의 계층구조를 반영한 시물레이션 모형을 구현하여 비용을 최소화 할 수 있는 수리부속의 적정 재고수준을 연구하였다. Tao et al.<sup>[5]</sup>은 수리부속의 적정 재고수준 산출을 위해 수리시간, 지연시간에 확률분포 값을 사용하여 시물레이션에 적용하였으며, 이를 통해 시물레이션이 METRIC 모델보다 효과적임을 밝혔다.

우리 군에서도 이상진 등<sup>[6,7]</sup>이 시물레이션을 이용하여 수리부속 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향에 대해 연구를 진행하였다. 하지만 관련 연구는 항공기만을 대상으로 했다는 한계를 가지고 있는데, 그 이유는 고가의 항공기 특성 상 대부분 단발엔진의 가용여부가 항공기 운용가용도에 가장 큰 영향을 미치는 특성에 기인해 연구를 진행하였기 때문이다.

이에 반해 지상 기동장비는 기동과 관련된 계통별 수리부속이 모두 유기적으로 움직여야 하기 때문에 항공기와 같은 방법으로 연구대상을 선정하는 것은 제한된다. 이러한 상황에서 본 연구는 현재 해병대에서 운용 중인 육·해상 기동장비 KAAV(Korea Assault Amphibious Vehicle)를 대상으로 시물레이션에 기반한 수리부속 및 정비대체장비 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향을 규명하기 위해 실시되었다.

연구방법을 간략히 언급하면, 먼저 연구범위를 선정하기 위해 현재 해병대에서 보유 중인 KAAV 000대에 대한 3년간의 정비실적을 바탕으로 고비용 복구성 수리부속 5품목과 정비대체장비를 연구대상으로 선정했다. 둘째, 시물레이션 실행을 위해 현재 운용 중인 정비 / 보급지원체계를 반영한 모델을 구축했다. 셋째, 모델의 각 단계에 소요되는 시간을 입력하기 위해 연구대상 6개 품목의 정비실적을 바탕으로 RAM 분석을 시행하여 MTBF(Mean Time Between Failure), MTBM

(Mean Time Between Maintenance), Mct(Mean Corrective Maintenance Time), Mpt(Mean Preventive Maintenance Time), LDT(Logistics Delay Time)등을 산출했다. 넷째, 품목별 재고수준을 다르게 한 100개의 시나리오를 구성하여 시물레이션을 실행했다. 다섯째, 결과값을 바탕으로 운용가용도를 종속변수로, 각 품목별 재고수준을 독립변수로 한 다중 회귀분석을 통해 메타모델식을 구하였다. 마지막으로 메타모델과 재고확보 예산을 제약식으로 한 정수계획 모형을 실행한 뒤 목표 운용가용도 달성조건을 충족하는 최적 재고수준을 산출했다.

이번 연구는 관련 선행연구와 비교하여 크게 3가지의 차이점을 가지고 있다.

먼저, 항공기가 아닌 육·해상 기동장비를 연구대상으로 적용했다는 점이다. 현재까지 관련 선행연구는 F-16 등 3종의 항공기를 대상으로 총 5회가 이루어졌으며, 항공기 이외의 장비에 대한 연구는 아직까지 진행된 바가 없다.

Table 1. Relevant prior research

순번	연구자(년도)	연구대상	연구특징		
1	Stearns(1998)	F-18	엔진 및 구성모듈	비행시간 기준	
2	유승낙(2002)	F-16			
3	배주근(2006)	F-16		엔진 작동시간 기준	
4	김민규(2009)	(K)F-16			평시
5	김진호(2014)	KF-16			전시

둘째, 수리부속 이외에 정비대체장비(Maintenance Float, M/F)까지 연구대상 품목으로 지정했다는 점이다. 완성장비에 대한 계획정비는 전체 정비 중 가장 많은 비중을 차지하며, 이때 M/F장비는 운용가용도 향상을 위해 입고되는 장비와 즉각 교체 불출된다. 정확한 운용가용도 분석을 위해서는 M/F장비가 반드시 포함되어야 할 것으로 판단했다.

셋째, 재생정비 대기시간 민감도 분석에 대한 연구를 별도 시행했다는 점이다. KAAV 수리부속은 창정비 소요시간 중 정비대기시간이 대부분을 차지하고 있었다. 만약 이를 적절하게 관리한다면 보다 적은 양의 수리부속 재고만으로도 운용가용도 향상에 기여가 가능할 것으로 판단하였다.

## 2. 연구범위

### 2.1 연구대상 선정

해군 장비정비정보체계를 이용하여 KAAV에 대한 3년 간('14 ~ '16년)의 정비 실적을 수집하였다. 그리고 이를 정비 단계별 3가지(야전정비, 창정비, 야전 및 창정비) 유형으로 구분하였다. 이 중 야전 및 창정비 시 사용한 수리부속별 금액 순위는 Table 2와 같다.

Table 2. Ranks about the usage of KAAV assembly on aggregate(field + depot) maintenance

순위	품명	복구성 여부	사용 금액 (억)	점유 비율 (%)	야전정비 금액순위
1	변속장치 조립체	○	11.21	15.95	1
2	조향 유닛트	○	6.52	9.28	2
3	바퀴, 고행	×	5.49	7.81	-
4	트랙 슈 세트	×	2.56	3.65	-
5	동력 인출장치	○	2.24	3.18	3
6	패널, 기구용	○	1.61	2.29	4
7	완충기	×	1.59	2.26	-
8	지지대 조립체	×	1.43	2.04	-
9	축, 어깨형	×	0.99	1.40	-
10	엔진 조립체	○	0.75	1.06	5

복구성 수리부속을 중심으로 보면 변속장치 조립체 등 5개 품목은 소량 / 고비용 품목으로서, 정비 전체 사용금액 측면에서 10위 이내에 위치하며 총 31.79 %를 점유하고 있었다. 또한, 이들은 야전정비 수리부속 사용금액을 기준으로 각각 1~5위에 위치하며, 총 71.47 %를 점유하고 있었다. 이에 반해 나머지 5개 품목은 다소요 / 저비용 비복구성 수리부속에 해당한다. 해당 논문에서는 적은 수량으로도 비용과 운용가용도에 많은 영향을 미치는 5개의 복구성 수리품목을 연구대상으로 지정하였다.

다음은 계획정비와 비계획정비로 정비유형을 구분하여 분석했다. 앞에서 지정한 5품목의 복구성 수리부속은 계획정비 시 고장이 발견되는 경우가 전체의 9.8 % (4회)로 거의 없었고, 장비운용 간 비계획적으로 고장

이 발견되는 경우가 90.2 % (37회)로 절대 다수를 차지했다. 해당 연구는 5개 복구성 수리부속의 계획정비와 비계획정비 실적 모두를 반영하여 진행하였지만 위의 결과를 놓고 본다면 만약 연구대상을 위의 5개 품목으로만 한정할 경우에는 상대적으로 비계획정비만 중점적으로 고려될 수밖에 없다. 이에 반해 KAAV 완성장비 계획정비 횟수는 134회였고, 이는 절대로 무시할 수 없는 수치였다. 검토결과 운용가용도에 가장 많은 영향을 미치는 품목으로 M/F장비라는 해답을 얻을 수 있었다. M/F장비는 정비지원 시설에서 즉각적인 수리가 불가능하거나, 정비기간동안 정비대상 장비를 장기간 운용하지 못함으로써 임무수행에 지장을 초래하게 되는 것을 방지하기 위해 사용가능 장비와 사용불가 장비를 1:1로 교환해 주기 위한 정비 대체품을 의미한다. 완성장비 계획정비는 정해진 공정에 따라 정비를 진행하며 일반적으로 비계획정비와 비교할 때 정비 완료 시까지 장기간이 소요된다. 그리고 이때 M/F장비는 계획정비 대상장비와 1:1로 교체 운용되고 있기 때문에 계획정비와 연계하여 운용가용도에 가장 큰 영향을 미치는 품목으로 볼 수 있다. 결국 연구대상은 5개 복구성 수리부속과 M/F장비를 포함하여 총 6개 품목으로 선정하였다.

### 2.2 가정사항

연구수행을 위한 가정사항은 다음과 같다. 첫째, 연구대상 수리부속은 100 % 재생 가능하다. 둘째, 수리부속 미교체 하에 발생하는 정비행위(주유, 조정 등)는 고장정비 발생 대상에서 제외한다. 셋째, M/F장비는 완성장비 계획정비 발생 소요에 한해서만 지원한다. 넷째, 수리부속 재고수준은 10개 이하의 정수로 한정한다. 다섯째, 장비 수명주기 동안 고장빈도, 정비기간, 행정 및 군수 지연시간 분포는 수집한 3년간의 실적과 동일하다.

## 3. 시뮬레이션 모형 제안

### 3.1 시뮬레이션 모형 구현

정비교범, 실무자 의견 등을 바탕으로 정비종류(비계획 야전정비, 계획 야전정비, 계획 군직 창정비, 계획 외주 창정비)에 맞게 연구대상 품목이 정확한 흐름을 유지할 수 있도록 Fig. 1과 같이 시뮬레이션 모형을 구성했다.

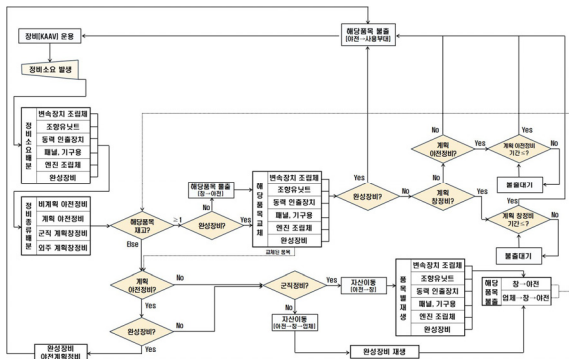


Fig. 1. Organization of simulation model

이후 시물레이션 모형의 실행을 위해 필요한 자료유형을 Table 3과 같이 도출하였다.

Table 3. Types of data requirement for simulation

순번	내용	비고
1	정비발생 시간간격 설정	KAAV 000대
2	품목별 정비소요 배분	6개 품목
3	정비종류 배분	4개 유형
4	품목별 교체정비 시간 설정	6개 품목
5	품목별 재생정비 시간 설정	
6	계획 야전정비 시간 설정	KAAV 완성장비
7	계획 창정비 시간 설정	
8	지연시간 설정(창→야전)	6개 품목
9	지연시간 설정(야전→창)	
10	지연시간 설정(야전→사용자)	KAAV완성장비

Table 3에 요구되는 세부자료를 입력하기 위해 해군 장비정비정보체계와 야전부대 보유자료를 수집한 다음 RAM 분석을 시행하였다. 먼저 정비 종류별 시행횟수를 산출한 후 평균 장비 운용시간을 구하였으며, 이를 통해 MTBF와 MTBM을 구한 결과는 Table 4와 같다.

Table 3의 순번 1인 장비당 정비발생 시간간격은 Table 4에서 도출한 MTBM 값을 종합하여 시간(일) 단위로 나타낼 수 있으며, 그 결과 약 1,001일의 값이 산출되었다. 시물레이션에는 각 장비의 정비간격이 1,001일의 지수분포를 이루도록 입력하였다.

Table 4. MTBF & MTBM of KAAV items

순번	품명	MTBF (시간)	MTBM (시간)
1	변속장치 조립체	4,076.9	3,706.3
2	조향 유닛트	6,794.8	5,824.1
3	동력 인출장치	6,794.8	6,794.8
4	패널, 기구용	3,136.1	2,717.9
5	엔진 조립체	20,384.5	20,384.5
6	KAAV 완성장비	-	304.3

Table 3의 순번 2인 품목별 정비소요는 각 품목별 MTBM을 연간 정비발생 건수로 환산한 다음, 전 품목의 연간 정비건수로 나누어 주면 되며, 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Allotments of maintenance requirement

품명	정비율 (%)	품명	정비율 (%)
변속장치 조립체	6.29	패널, 기구용	8.57
조향 유닛트	4.00	엔진 조립체	1.14
동력 인출장치	3.43	KAAV 완성장비	76.57

Table 3의 순번 3인 정비종류 배분은 정비 품목별, 종류별 실적 분석을 통해 Table 6과 같이 도출하였다.

Table 6. Allotments of maintenance sort

품명	비계획 (%)	계획 (%)		
	야전 정비	야전 정비	군직 창정비	외주 창정비
변속장치 조립체	90.91	9.09	-	-
조향 유닛트	85.71	14.29	-	-
동력 인출장치	100.00	-	-	-
패널, 기구용	86.67	-	13.33	-
엔진 조립체	100.00	-	-	-
KAAV 완성장비	-	62.68	18.66	18.66

Table 3의 순번 4 ~ 7 산출을 위해 장비정비정보체계의 정비지시서에 기록된 정비 소요시간을 대기시간과 정비시간으로 구분한 다음 적합도 검정 시행 후 확률분포를 추정하였다. 이 중 품목별 재생시간에 대한 확률분포 설정 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Distributions of recycling maintenance time

품 명		확률분포(일)
변속장치 조립체		60 + 437×BETA(0.655, 1.11)
조향 유닛트		TRIA(27, 207, 1830)
동력 인출장치		168 + EXPON(541)
패널, 기구용		45 + EXPON(154)
엔진 조립체		21 + 603×BETA(0.652, 1.22)
KAAV 완성장비	균직정비	POIS(72.2)
	외주정비	201 + WEIB(139, 0.766)

이 외 자산이동과 관련한 지연시간(Table 3의 순번 8 ~ 10)은 수송시간이 대부분을 차지하며, 일부는 행정시간을 포함하고 있었다. 분석결과 평균 지연시간은 0.7 ~ 2.4일로서 각 평균값을 시뮬레이션 모델에 입력하였다.

3.2 시뮬레이션 모형 실행

시뮬레이션을 위한 프로그램<sup>8)</sup>은 ARENA 14.5를 사용하였고, 실행시간은 장비 수명기간인 20년으로 지정하였다. 시뮬레이션 반복횟수 설정을 위해 10개 시나리오를 무작위로 선정하여 각 시나리오별 500회의 반복 실행을 거친 후 누적된 평균가용도가 몇 회가 지났을 때부터 안정상태(Steady State)에 이르는 지를 비교하였다. 그 결과 Fig. 2와 같이 모든 결과가 100회 이전에 안정상태에 도달하는 것을 확인하였으며, 이에 따라 반복횟수를 100회로 설정하였다.



Fig. 2. Test about steady state arrival

시뮬레이션 결과를 요약한 내용은 Table 8과 같다.

Table 8. Results of simulation

시나리오	재고수준						운용가용도
	변속	조향	동력	패널	엔진	M/F	
1	0	0	0	0	0	0	89.52
2	1	1	1	1	1	1	90.04
...	...	...	...	...	...	...	...
49	5	5	6	5	5	5	94.18
50	5	5	7	5	5	5	94.47
51	5	5	8	5	5	5	94.70
...	...	...	...	...	...	...	...
99	7	10	4	8	2	5	95.76
100	7	10	4	8	2	6	95.87

전 품목 재고가 0일 경우 평균 운용가용도 출력값은 89.52 %였다. 예상보다 높은 수치였으나, 목표 운용가용도(95 %) 달성을 위해서는 재고수준을 높여가며 실험할 필요가 있었다.

일반적으로 군에서는 장비가동률 정상범위를 90 % 이상으로 보고 있다. 만약 시뮬레이션 내에서 목표 운용가용도를 90 %로 설정한다면, Fig. 3과 같이 수명기간 중 절반은 목표 운용가용도 이하 수준을 보일 수밖에 없다. 이러한 상황을 고려하여, 평균 목표 운용가용도는 95 %로 설정하였다.

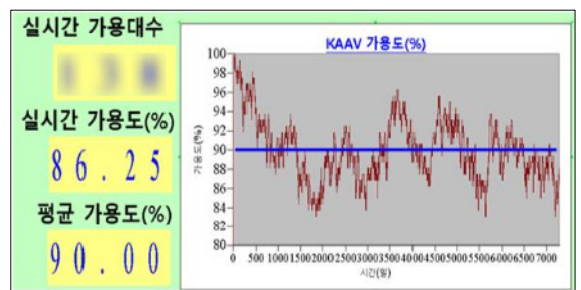


Fig. 3. One result of simulation with a graph

시뮬레이션 시행 결과, 각 품목의 재고가 1개씩 증가할 때마다 평균 운용가용도는 전반적으로 0.1 ~ 0.3%가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 하지만, 필요 이상

으로 재고수준을 늘린 경우에는 운용가용도가 더 이상 증가하지 않고 유지되는 경향도 식별되었다. 이러한 모습은 특히 품목별 정비소요가 가장 적게 할당된 엔진 조립체(1.14 %)에서 많았다.

#### 4. 메타모델 및 정수계획 모형 실행

##### 4.1 메타모델 실행

메타모델이란 어떤 모델에 대한 의미를 추상화하여 표현한 모델로서 규모가 크고 복잡한 모델을 상대적으로 정확하게 예측할 수 있도록 간소화 한 것을 의미한다. 해당 연구에서는 시물레이션의 결과값인 운용가용도를 종속변수로, 각 품목별 재고수준을 독립변수로 한 다중 회귀모형 형태의 메타모델<sup>9)</sup>을 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$A_{oi} = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_4 X_{4i} + \beta_5 X_{5i} + \beta_6 X_{6i} + \epsilon_i \quad (1)$$

여기서  $i$ 는 시나리오를, 숫자 1 ~ 6은 각 품목을 의미한다. 그리고  $X$ 는 해당 품목의 재고수준을,  $\beta$ 는 다중 회귀계수를 의미한다. 마지막으로  $\epsilon$ 는 각 시나리오별 잔차를 의미한다.

메타모델 실행 분석도구는 Excel 2016을 사용하였으며, 시물레이션에서 도출한 100개 시나리오 값을 입력하여 Table 9와 같은 다중 회귀분석 결과 값을 산출하였다.

Table 9. The result of multiple regression analysis with 6 variables

구분	Y절편	변속	조향	동력	패널	엔진	M/F
회귀계수	88.8293	0.1486	0.2454	0.2999	0.1886	0.0088	0.1062
P-값	3E-190	3E-9	2E-22	3E-23	2E-13	0.65	3E-5
• 결정계수 : 0.97754		• 유의한 F-값 : 2.43E-74					
• F-비 : 674.54		• 표준오차 : 0.27					

분석결과 결정계수, 유의한 F-값 등 다른 통계량은 해당 분석이 통계적으로 유의미하다고 설명하고 있으나, 엔진 조립체의 P-값은 0.65로서 설정한 유의수준

0.05를 초과함에 따라 해당 분석이 유의미하다고 보기 힘든 것으로 해석되었다. 해당 결과를 볼 때, 수집한 데이터만을 가지고 엔진 조립체의 재고를 판단하기에는 제한이 있으며, 의사결정을 위해서는 더 많은 자료 수집이 필요하겠다. 이에 따라 엔진 조립체의 재고수준을 독립변수에서 제외시킨 다음 남은 5개 변수를 가지고 다시 다중 회귀분석을 실시하였으며, 결과는 Table 10과 같다.

Table 10. The result of multiple regression analysis with 5 variables

구분	Y절편	변속	조향	동력	패널	M/F
회귀계수	88.8361	0.1496	0.2436	0.3034	0.1880	0.1111
P-값	8E-193	2.2E-9	4.2E-23	1.6E-25	1.3E-13	1.7E-6
• 결정계수 : 0.97748		• 유의한 F-값 : 8.92E-76				
• F-비 : 816.31		• 표준오차 : 0.26				

이번에는 결정계수의 큰 차이 없이 모든 회귀계수가 통계적으로 유의미한 것으로 해석되었다. 따라서 이를 메타모델로 설정하고 정수계획 모형에 적용하였다.

Table 10에서 확인 가능한 다른 특징으로 복구성 수리부속과 비교할 때 M/F KAAV의 회귀계수가 0.1111로 단가(수리부속 : 0.11 ~ 1.02억 / KAAV : 약 20억) 대비 그리 높은 값을 가지지 않았다. 관련하여 가장 큰 원인은 다른 품목들에 비해 재생정비 소요기간이 짧기 때문이라 할 수 있다.

도출된 메타모델 결과는 다음의 식과 같다.

$$A_o = 88.8361 + 0.1496 X_{\text{변속}} + 0.2436 X_{\text{조향}} + 0.3034 X_{\text{동력}} + 0.1880 X_{\text{패널}} + 0.1111 X_{M/F} \quad (2)$$

##### 4.2 정수계획 모형 실행

정수계획 모형이란 해를 정수(Integer)로 한정하여 구하는 특정한 유형의 선형계획 모형이라 할 수 있다.

정수계획 모형<sup>10)</sup> 실행을 위해 먼저 각 품목별 단가와 수량의 곱의 합인 총 비용이 최소(Minimize Cost)가 되어야 한다는 목표함수식을 제시한 다음 총 3가지의 제약식을 설정하였다. 첫째, 위에서 도출한 메타모델 식의 종속변수인 운용가용도가 95 %를 초과해야 한다는 것이다. 이 때 M/F장비의 재고수준은 현재

전력화 운용 중인 수량을 적용했다. M/F장비는 다른 수리부속과 비용의 차이도 심할 뿐만 아니라 사업예산의 성격 또한 상이(장비 : 방위력개선비 / 수리부속 : 전력운영비)하기 때문에 이는 메타모델을 도출하여 운용가용도에 미치는 영향(회귀계수)까지만 확인했다. 둘째, 각 재고수준의 수량을 1개 ~ 10개 범위 내로 한정한다는 것이다. 셋째, 각 재고수준이 정수라는 것이다. 이러한 제약식을 바탕으로 Excel 2016을 이용하여 정수계획 모형을 실행하였고, 결과는 Table 11과 같다.

$$\text{Minimize Cost} = 101,884,197X_{\text{변속}} + 93,126,037X_{\text{조향}} + 37,263,400X_{\text{동력}} + 10,728,556X_{\text{패널}}$$

s. t

- ①  $88.8361 + 0.1496X_{\text{변속}} + 0.2435X_{\text{조향}} + 0.3034X_{\text{동력}} + 0.1880X_{\text{패널}} + (0.1111 \times 4) \geq 95$
- ②  $1 \leq X_{\text{변속}}, X_{\text{조향}}, X_{\text{동력}}, X_{\text{패널}} \leq 10$
- ③  $X_{\text{변속}}, X_{\text{조향}}, X_{\text{동력}}, X_{\text{패널}} = \text{정수}$  (3)

Table 11. The result of integer programming

순번	구분	수량	비용(억)	운용가용도
1	변속장치 조립체	1	1.02	95.08 %
2	조향 유닛트	3	2.79	
3	동력 인출장치	10	3.73	
4	패널, 기구용	10	1.07	
5	엔진 조립체	0	0	
6	KAHV 완성장비	4	-	
계		28	8.61	

정수계획 모형을 실행한 결과 목표 운용가용도를 충족하기 위한 최소 비용은 약 8.61억원이 산출되었다. 해당 품목을 현재 군에서 보유 중인 비용으로 환산한 결과(30.67억)와 비교하면 28.08 % 수준에 불과하며, 동일수준의 재고를 유지한다고 보면, 장기적으로는 22.06억원의 예산절감이 가능한 것으로 분석되었다.

### 5. 재생정비 대기시간 민감도 분석

해당 연구를 수행하며 복구성 품목의 재생정비를 위한 가용 정비인력 부족, 정비계획 미반영 등의 이유로 재생정비 대기시간이 장기간 소요된다는 특성을 식별하였다. 이에 따라, 각 복구성 품목의 재생정비 대기시간이 원래 값에서 80 %, 60 %, 40 % 수준으로 감소할 때 메타모델 및 정수계획 모형 결과는 어떻게 변화하는 지에 대해 민감도 분석을 실시했다.

먼저, 재생정비 대기시간만을 해당 비율만큼 감소시킨 후 각 품목별 재생정비시간 확률분포의 변화 값을 구하였으며, 이 중 1개 품목(패널, 기구용)의 결과 값을 대표로 나타내면 Table 12와 같다. 여기서 재생정비시간 확률분포는 적합도 검정 결과에 따라 최소자승오차가 최소가 되는 분포를 선정함에 따른 것이다.

Table 12. Changes of Recycling maintenance time probability distribution according to maintenance delay time decreased

재생정비 대기시간	재생정비시간 확률분포(일)	평균
100 % 적용 시	45 + EXPON(154)	198.59
80 % 적용 시	45 + EXPON(134)	179.39
60 % 적용 시	45 + GAMM(258, 0.447)	160.20
40 % 적용 시	36 + WEIB(12.9, 0.214)	141.00

도출한 확률분포 값을 이용하여 앞의 과정과 동일하게 시뮬레이션을 실행한 후 다중 회귀분석을 통해 구한 회귀계수는 Table 13과 같다.

Table 13. The result of multiple regression analysis with 6 variables

대기 시간	Y절편	변속	조향	동력	패널	엔진	M/F
100 %	88.8361	0.1496	0.2436	0.3034	0.1880	0	0.1111
80 %	89.9428	0.1448	0.2244	0.2946	0.1485	0.0570	0.1657
60 %	91.2609	0.1212	0.1743	0.2351	0.1393	0.0746	0.2009
40 %	91.5661	0.0897	0.0945	0.1346	0.2953	0.0359	0.2081

재생정비 대기시간 감소 시 도출된 독립변수 각각의 결과는 P-값이 모두 통계적으로 유의하며, 결정계수 또한 0.975 이상으로 독립변수와 종속변수 간의 연관에 대한 타당성을 충분히 설명하고 있었다.

Table 13의 결과를 통해 두 가지의 뚜렷한 특성을 확인할 수 있었다. 먼저, 복구성 수리부속의 재생정비 기간이 감소하는 만큼 Y절편이 상당히 증가한다는 것이다. 특히 모든 품목의 재고수준이 0이라 하더라도 재생정비 대기시간이 40 % 수준으로 감소한다면 평균 운용가용도가 2.73 %나 증가할 수 있다는 것은 주목할 만하다. 둘째, 재생정비 대기시간의 감소 시 M/F장비의 회귀계수가 상승한다는 것이다. 재생정비 대기시간을 감소하지 않았을 때 M/F장비의 회귀계수는 0.1111으로 다른 품목에 비해 운용가용도에 미치는 영향이 미비하다고 볼 수도 있다. 하지만 계획정비는 계획된 일정에 따라 정비가 진행되는 만큼 재생정비 대기시간이 0에 가깝기 때문에 다른 품목의 재생정비 대기시간이 감소하면 M/F장비의 회귀계수는 상승하게 된다. 분석결과 정비대기시간이 40 % 수준일 경우에는 회귀계수가 0.2081로 2배 가까이 증가한 것을 확인할 수 있었다. M/F장비가 운용가용도에 미칠 수 있는 영향이 커질 수 있다는 것은 그만큼 그 역할이 중요하다는 것을 의미한다.

재생정비 대기시간을 감소하지 않은 경우 엔진 조립체의 P-값은 0.65로서 해당분석이 유의미하다고 보기 힘든 것으로 해석되었다. 하지만 대기시간 감소 시에는 모든 품목의 P-값이 설정한 유의수준 0.05 이하로 도출됨에 따라 해당 경우에는 정수계획 모형을 실행할 경우 엔진 조립체까지 독립변수로 포함시켰다. 결과값은 Table 14와 같다.

Table 14는 재생정비 대기시간의 관리가 복구성 수리부속 예산절감에 직접적으로 기여한다는 것을 명확하게 보여주고 있다. 정비대기시간 미감소 시 목표 운용가용도 달성을 위해서는 최소 8.61억의 수리부속 확보 비용이 필요하다. 하지만 재생정비 대기시간을 40 % 수준으로 감소했을 때는 3.55억의 비용만 요구되며, 이를 재생정비 대기시간 미감소 시와 비교할 경우에는 58.8 %의 예산절감이 가능해진다. 위 결과를 바탕으로 차후 정비대기시간 발생원인에 대한 정량적 분석이 이루어진다면 해당 수리부속 예산을 실제 어느 수준까지 절감할 수 있을 것인지 가늠할 수 있을 것이다.

Table 14. The result of integer programming according to maintenance delay time changed

순번	구분	정비대기시간 별 수리부속 최적재고 확보비용(억)			
		100 %	80 %	60 %	40 %
1	변속장치 조립체	1.02	1.02	1.02	1.02
2	조향 유닛트	2.79	0.93	0.93	0.93
3	동력 인출장치	3.73	3.35	1.86	0.37
4	패널, 기구용	1.07	0.97	1.07	0.86
5	엔진 조립체	0	0.37	0.37	0.37
계		8.61	6.64	5.26	3.55

## 6. 결론

본 연구를 통해 KAAV의 주요 복구성 수리부속과 M/F장비의 재고수준이 운용가용도에 미치는 영향을 분석하여 이들의 최적 재고수준을 구하고자 하였다. 이를 위해 운용가용도 측정을 위한 시뮬레이션 모형을 제안하고 이를 다중 회귀모형 기반의 메타모델로 표현한 뒤 정수계획 모형과 결합하였다.

해당연구는 크게 두 가지의 한계를 가지고 있다.

첫째, 운용가용도에 영향을 미칠 수 있는 기타요소를 미고려 하였다는 것이다. 현실에서는 기상조건, 훈련 상황, 성능개량 / 개선 등 고장발생을 야기시키는 기타 상황이 충분히 존재한다. 단순히 정비횟수 뿐만 아니라 기타 조건을 포괄적으로 반영한다면 보다 신뢰성 있는 연구 진행이 가능할 것이다.

둘째, 품목 단가만을 가지고 비용분석을 시행했다는 점이다. 운용유지 측면에서 수명주기비용 산출 시 포함해야 할 요소는 인건비, 수송비, 정비·훈련비, 재고유지비 등 항목이 다양하다. 수명주기비용 측면에서 종합적인 분석을 위해서는 전체 비용항목을 모두 고려할 필요가 있다.

하지만, 해당 연구는 주목할 만한 3가지 성과를 보여 주었다. 먼저, 최초로 항공기가 아닌 육·해상 기동장비를 대상으로 연구를 수행했다는 점이다. 이러한 연구방법은 비단 KAAV 뿐만 아니라 다른 종류의 장비까지 적용이 가능할 것이다. 둘째, M/F장비까지 연



구대상으로 포함함에 따라 도출한 M/F장비의 회귀계수는 추후 신규장비 획득 등의 상황에서 M/F장비 소요 산출 시 참고자료로서 충분히 활용이 가능하다. 마지막으로 재생정비 대기시간 감소가 재고수준 감소 및 예산절감에 얼마나 기여할 수 있는 지 확인할 수 있었다는 점이다.

## References

- [1] C. C. Sherbrooke, "METRIC : Multi-echelon Technique for Recoverable Item Control," Operations Research, Vol. 16, No. 1, pp. 122-141, 1968.
- [2] F. M. Slay, "VARI-METRIC : An Approach to Modeling Multi-Echelon Resupply When the Demand Process is Poisson with Gamma Prior," Report AF301-3, Logistic Management Institute, Washington D.C, Conference, 1980.
- [3] R. J. Hillestad, "Dyna-METRIC : Dynamic Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control," R-2785-AF, Rand, Santa Monica, 1982.
- [4] D. E. III. Stearns, "Logistics Simulations Metamodel For F404-GE-400 Engine Maintenance," Naval Postgraduate School, Monterey California, 1998.
- [5] N. Tao and S. Wen, "Simulation of a Closed Loop Multi-Echelon Repairable Inventory System," International Conference on Management Science and Engineering, pp. 663-668, 2009.
- [6] S. Lee, J. Bai and M. Kim, "The Impact of the Aircraft Spare Engine & the Module Inventory Level and Module Interchangeability on the Operational Availability," Journal of the Korea Institute of Quality Management, Vol. 38, No. 3, pp. 333-339, 2010.
- [7] J. Kim, S. Lee and S. Jung, "The Impact of Aircraft Spare Engine and Module Inventory Level in Wartime Operational Availability," Korean Management Science Review, Vol. 31, No. 2, pp. 33-48, 2014.
- [8] W. D. Kelton, P. S. Randall and T. S. Daved, "Simulation with Arena, 4<sup>th</sup> Edition," McGraw Hill, New York, 2007.
- [9] J. P. C. Kleijnen, "Regression Metamodels for Simulation with Common Random Numbers : Comparison of Validation Tests and Confidence Intervals," Management Science, Vol. 38, No. 8, pp. 1164-1185, 1992.
- [10] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, "Introduction to Operations Research, Eighth Edition," McGraw Hill, New York, pp. 478-546, 2005.