

고장률 기반 계획정비량 최적화에 관한 연구: 해군 전투함정을 중심으로

A Study on the Optimization of Planned Maintenance Amount
based on Failure Rate: Focused on the Naval Battleship

박정서, 문성암

국방대학교 국방관리학과

jeongseoya@gmail.com, mseongam@hotmail.com

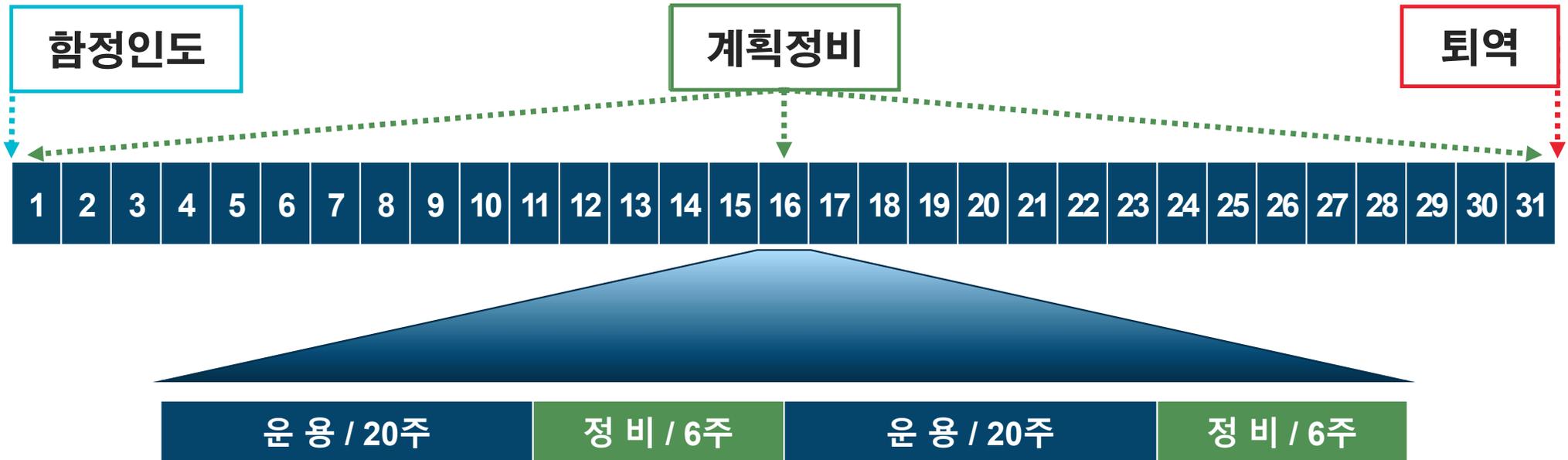
목 차

1. 서론
2. 이론적 배경
3. 계획정비량 최적화 모델 구축
4. 결과분석
5. 결론

01 서론 : 해군은 기간 고정형 계획정비를 실시중이다.

■ 연구배경

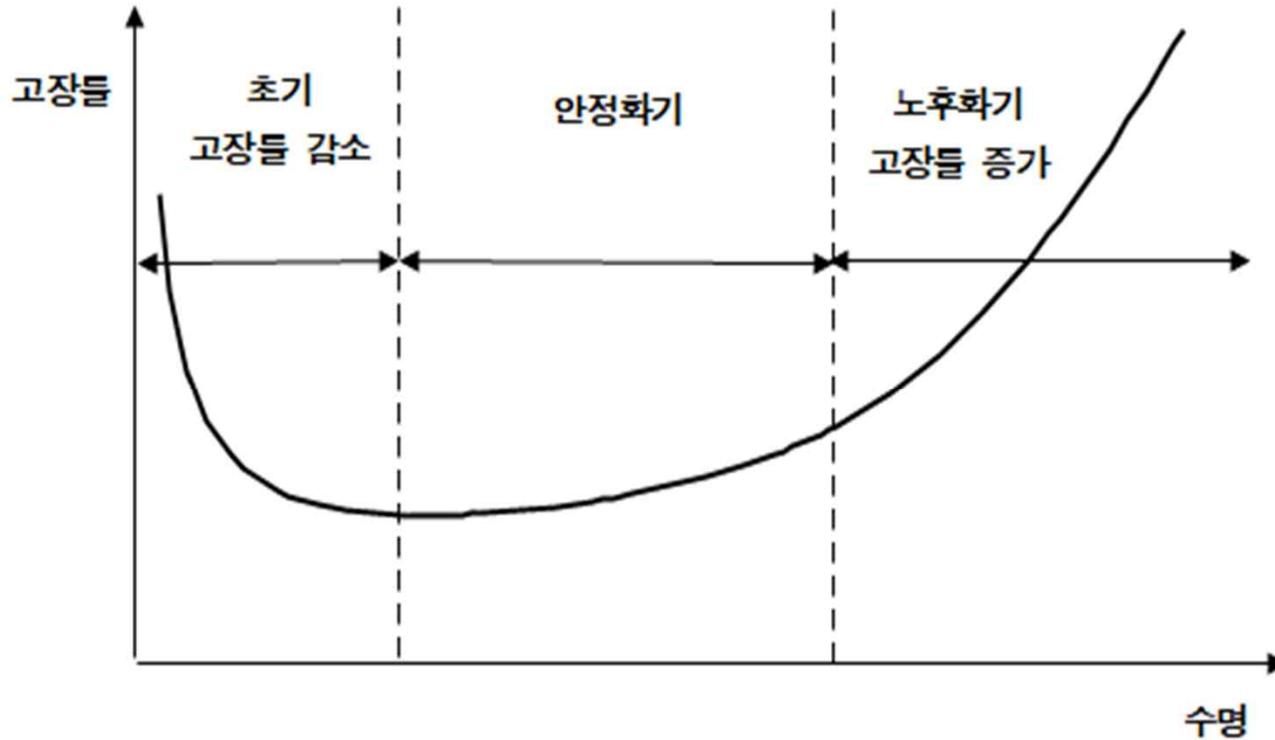
- 정비수행 기준 : MTBF(Mean Time Between Failure)
- 연 2회 총 12주의 계획정비 수행



<그림 1> 해군 계획정비 제도

01 서론 : 고장함수(Bathtub) 고려시 기간 고정형 계획정비는 비합리적이다.

■ 연구배경



<그림 2> 욕조형태 고장확률

고장 확률은 욕조 형태를 따름
↓
고장 확률은 수명에 따라 변함
↓
계획정비 간격 고정은 비효율적
↓
해군은 비합리적인 정비 정책 시행 중
↓
고장 확률 고려한 정비 정책 필요

01 서론 : 기간 고정형 계획정비의 문제점은 확률 기반형 계획정비로 해결할 수 있다.

■ 연구배경

- 선행 연구들(Choi et al., 2020; Choi et al., 2021)

<표 1> 기간 고정형 계획정비와 확률 기반형 계획정비의 장·단점

정비구분	정비수행 기준	장·단점
기간 고정형 계획정비	고장 간 간격	<ul style="list-style-type: none">· 정비계획 수립이 용이함· 적절한 정비시기를 놓칠 수 있음· 정비인력 운영이 어려움
확률 기반형 계획정비	고장확률	<ul style="list-style-type: none">· 정비계획 수립이 어려움· 장비운영 안정성이 증가함· 정비인력 운영이 쉬움

* 자료 : Choi et al.(2020)을 바탕으로 재편집

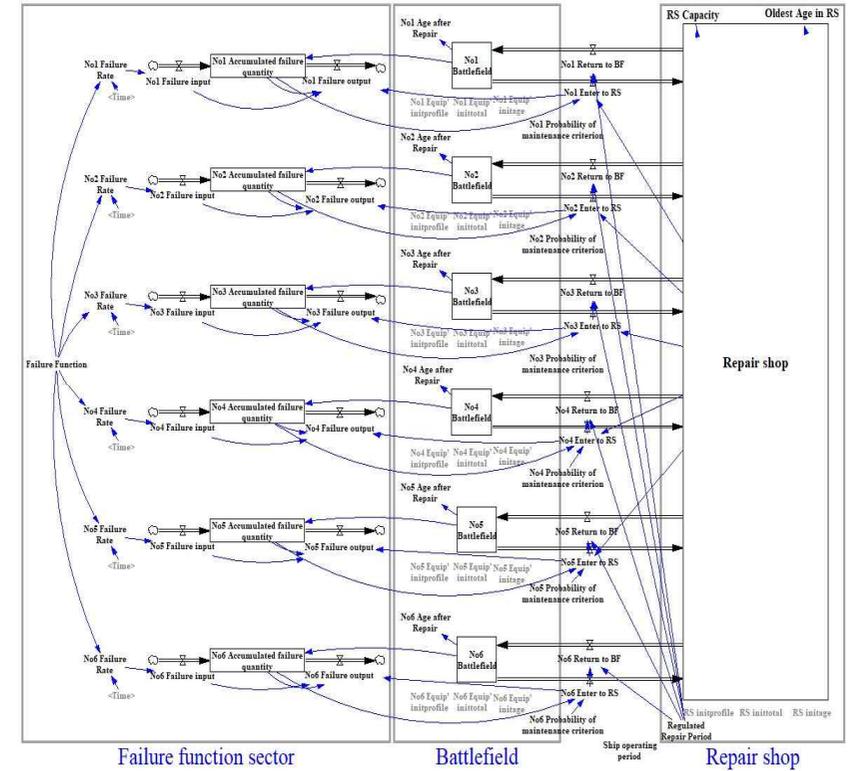
- 선행 연구의 한계 :
함정 1척으로 시뮬레이션을 수행하여, 현실과 같이 대기가 발생하는 상황을 고려하지 않음.

01 서론

: 확률 기반형 계획정비 수행시 대기행렬의 영향을 크게 받음에도 불구하고, 기간 고정형 계획정비 대비 효과적이다.

■ 연구배경

- 선행 연구(Park et al., 2021)
 - 1척 함정에서 1개 함형으로 확대하여 모델 구축
 - 기간 고정형 정비와 달리 확률 기반형 정비 모델에서 대기현상 다수 발생 확인(함정당 평균 15회)
 - 대기현상 발생에도 불구하고 총수명주기 간 정비횟수 및 정비부대 입고시 고장량 편차가 상대적으로 낮음
 - 작전 및 정비부대 운용 측면에서 확률 기반형 계획정비가 더 효과적임



<그림 3> 확률 기반형 계획정비 대기행렬 모델

- 선행 연구의 한계 : 정비판단 기준(계획정비량)에 있어 작전 및 정비부대 운용 상황을 고려하지 않음

01 서론

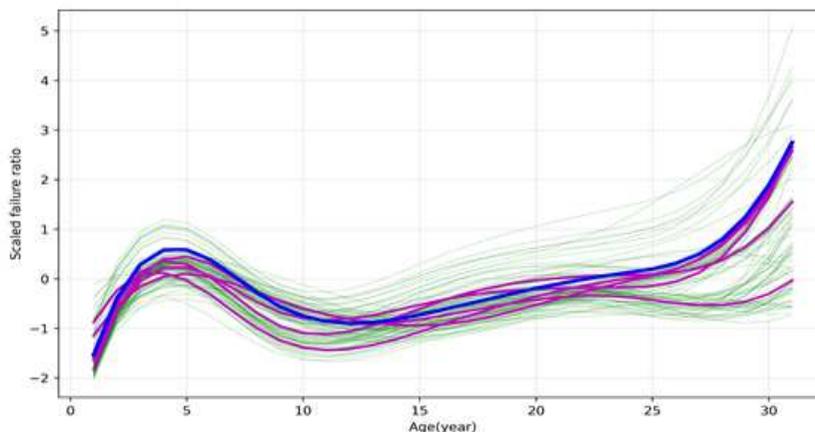
■ 연구목적

- 현실과 비울적으로 유사한 함정수와 정비능력을 가정하여 계획정비량 최적화 모델을 구축
- 계획정비량의 변화에 따른 함정 가동률과 정비부대 가동률의 상관관계 확인
- 유의미한 결과 도출 시 해군 정비정책 수립에 현실성 있는 참고자료 제시

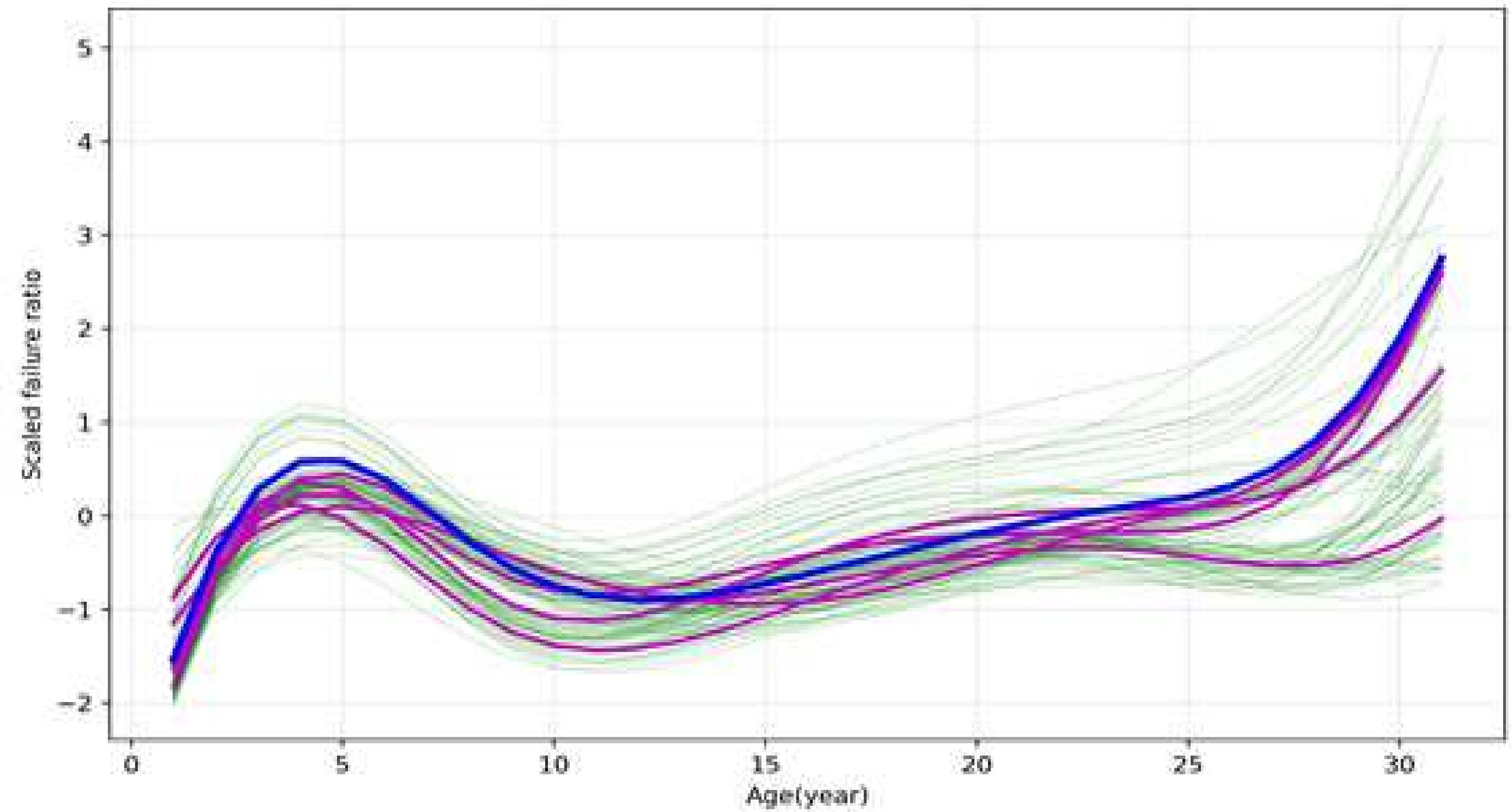
02 이론적 배경 : 고장함수를 확률 기반형 계획정비에 적용하여 효과성을 입증하였다.

■ 고장함수와 확률 기반형 계획정비

- 해군 전투함정(5개 타입, 99척) 추진용 엔진의 고장 데이터를 분석하여 함정 수명이 약 31년인 것을 확인(Choi et al., 2021)
- 추진용 엔진 고장 데이터를 활용하여 총수명주기간 고장함수 도출(Moon and Choi, 2020)
- 고장함수를 반영한 확률 기반형 계획정비에 시스템 다이내믹스를 활용하여 효과 입증(Choi et al., 2021)

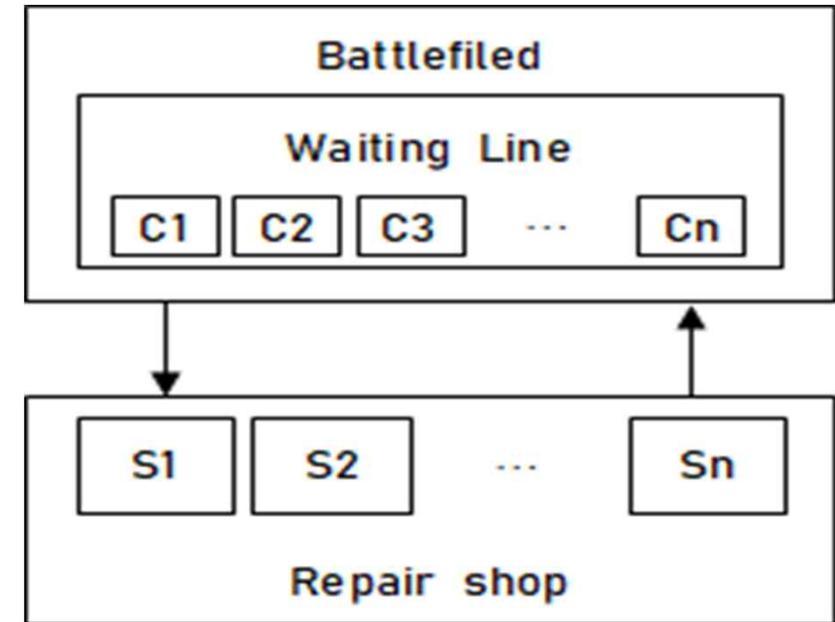


<그림 4> 해군 전투함정의 고장함수
2021년 추계공동학술대회



02 이론적 배경 : 함정정비는 대기행렬로 이해 할 수 있다.

- 대기행렬(Queueing / Lee, 2006)
 - 고객들이 도착하여 기다렸다가 서비스를 받고 떠나는 시스템
 - 대기행렬시스템은 서버(Server)와 고객(Customer)로 구성
 - 서버의 수용능력 이상으로 고객이 도착하면 대기가 발생
 - 함정정비 대기행렬시스템
 - 고객 : 함정 / 서버 : 정비부대
 - 수행방법
 - ① 야전에서 임무수행, ② 계획정비 주기 도래,
 - ③ 정비부대 입고, ④ 정비 완료시 야전으로 복귀
- ※ 정비부대의 정비 수용능력 초과시엔 야전에서 임무를 수행하며 대기(임무수행 공간 = 대기 공간)



<그림 5> 해군 계획정비 대기행렬시스템

02 이론적 배경 : 시스템 다이내믹스는 계획정비량 최적화 모델에 적합한 방법이다.

■ 시스템 다이내믹스 (Sterman, 2000)

- 시스템 다이내믹스는 상호작용을 하는 수많은 변수로 이루어진 복잡계의 작동을 이해하고 시뮬레이션 하는데 사용
 - 시스템 다이내믹스 모델에서 시스템 내부의 구성요소들은 계량적인 정보를 갖는 변수로 표현
 - > 저장변수, 유량변수, 보조변수 등
- 이와 같은 변수들은 인과관계에 따라 상호작용하면서 복잡한 현상을 설명
- 선행연구

- 항공장비의 수명주기간 부품의 고장률 및 예방 정비율과 정비비용의 관계를 분석 (Fang and Zhaodon, 2015)
- 고장, 정비, 비용의 관계 외에 정비의 흐름 자체를 분석 (Mcdevitt et al., 2005)
- 정비 시스템의 가용성 최대화와 비용의 최소화라는 목적의 균형점 (trade-off) 을 찾는 정량적 분석에 있어 시스템 다이내믹스에 다중 목적 최적화(multi-objective optimization) 기능을 적용 (Linnéusson et al., 2018)
- 함정과 같이 군용 장비의 최적화 대상은 일반적으로 가용성이 됨. 잠수함의 운영 가용성을 평가 (Coyle and Gardiner, 1991)

02 이론적 배경 : 운영가용도는 계획정비량 최적화 모델에 성과적으로 적합하다.

■ 가용도

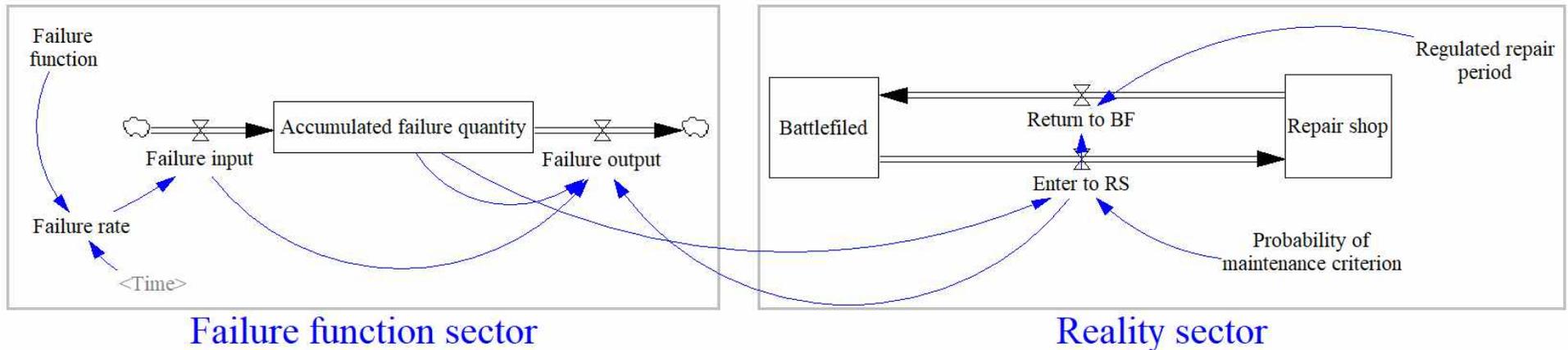
- 시스템 사용 능력은 소유자가 시스템의 가치를 가늠할 수 있는 최종 기준으로
- 가용도는 시스템의 가치를 나타내는 가장 보편적인 척도로 필요시 시스템을 사용할 수 있는 능력임(Jones, 2006)
- 군수(Military Logistics)에 있어 가용도는 불시에 임무를 부여 받았을 때 가용 될 수 있는 정도임
- 무기체계의 경우 전투준비태세 척도로 사용되며 운용 환경에 따라 고유가용도, 달성가용도, 운영가용도로 구분
- 운영가용도(Operational Availability)는 시스템이나 장비가 실제 운영 환경과 규정된 조건하에서 사용될 때, 임의의 시점에서 만족스럽게 작동할 확률(Lee, 2019)

$$Ao = \frac{uptime}{uptime + downtime} = \frac{\text{총운영시간}}{\text{총운영시간} + (\text{총정비시간} + \text{총지연시간})}$$

03 계획정비량 최적화 모델 : Vensim S/W을 활용하여 모델을 구축하였다.

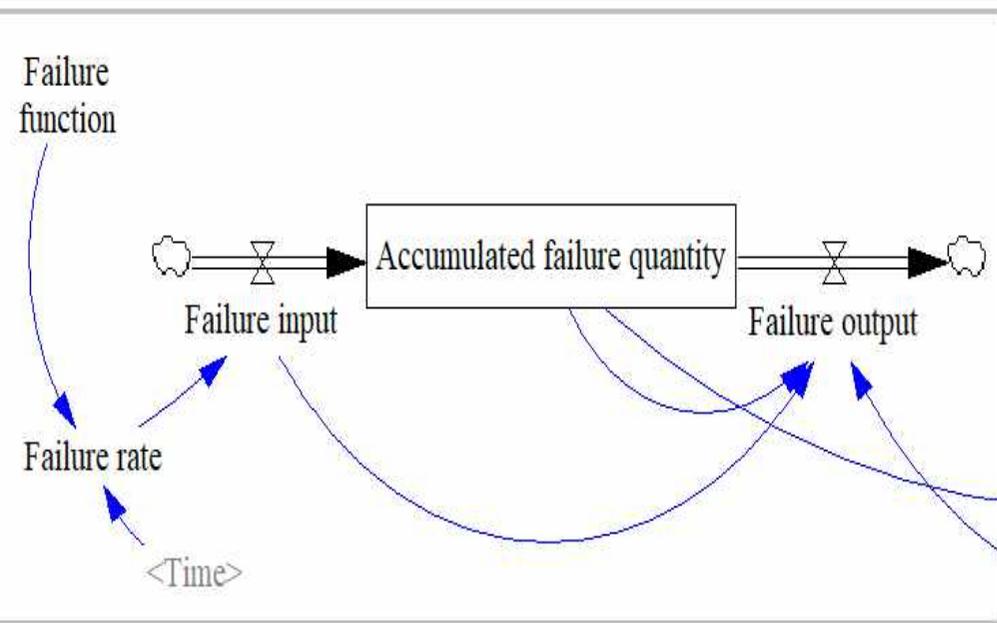
■ 기본 모델 구축

- 가정사항
 - 수명주기간 고장량 발생은 욱조모양을 띠
 - 정비기간, 정비 수용능력 등 주요 파라미터들에 대해서는 현재 해군 정비정책을 참고하여 설정
- 성과지표 : 정비부대 입고 시 누적 고장량에 따른 함정 및 정비부대 가동률

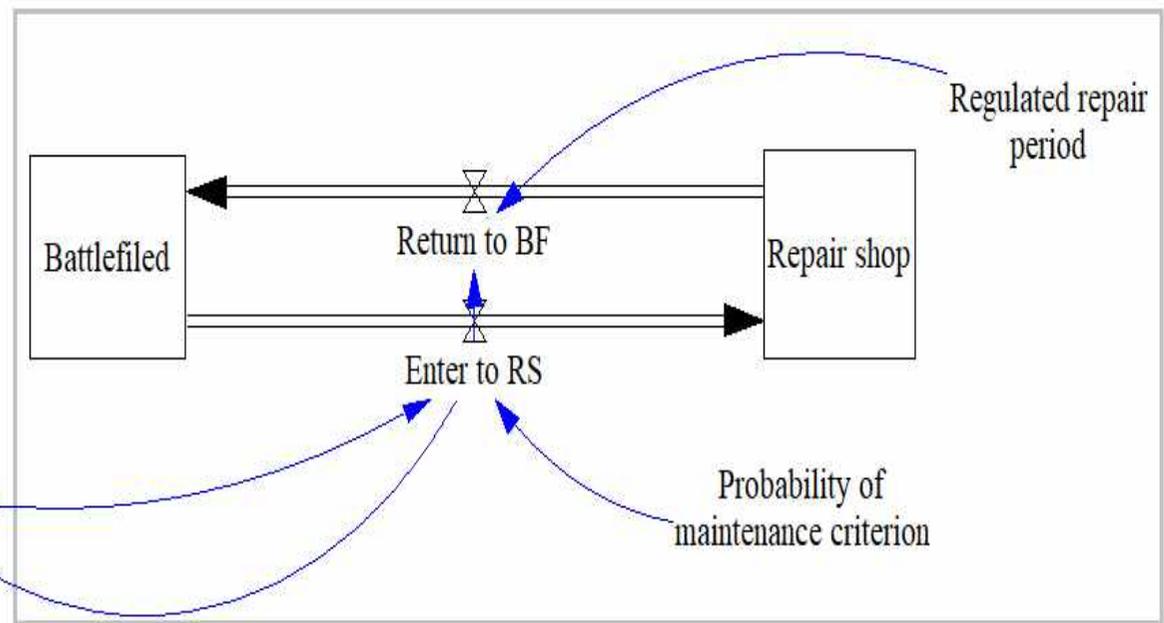


<그림 6> 계획정비량 최적화 기본 모델

2021년 추계공동학술대회



Failure function sector



Reality sector

03

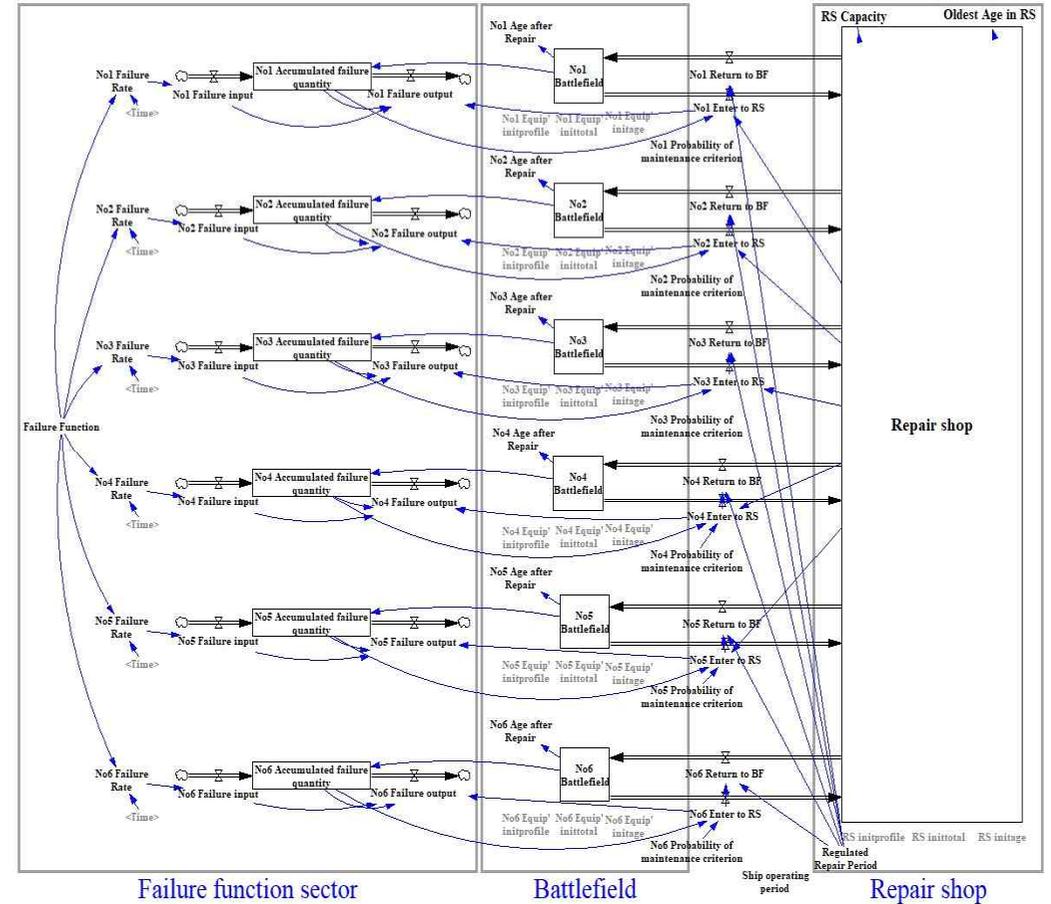
계획정비량 최적화 모델

: 현실과 비유적으로 유사한 환경을 가정하여 계획정비량 최적화 모델을 구축하였다.

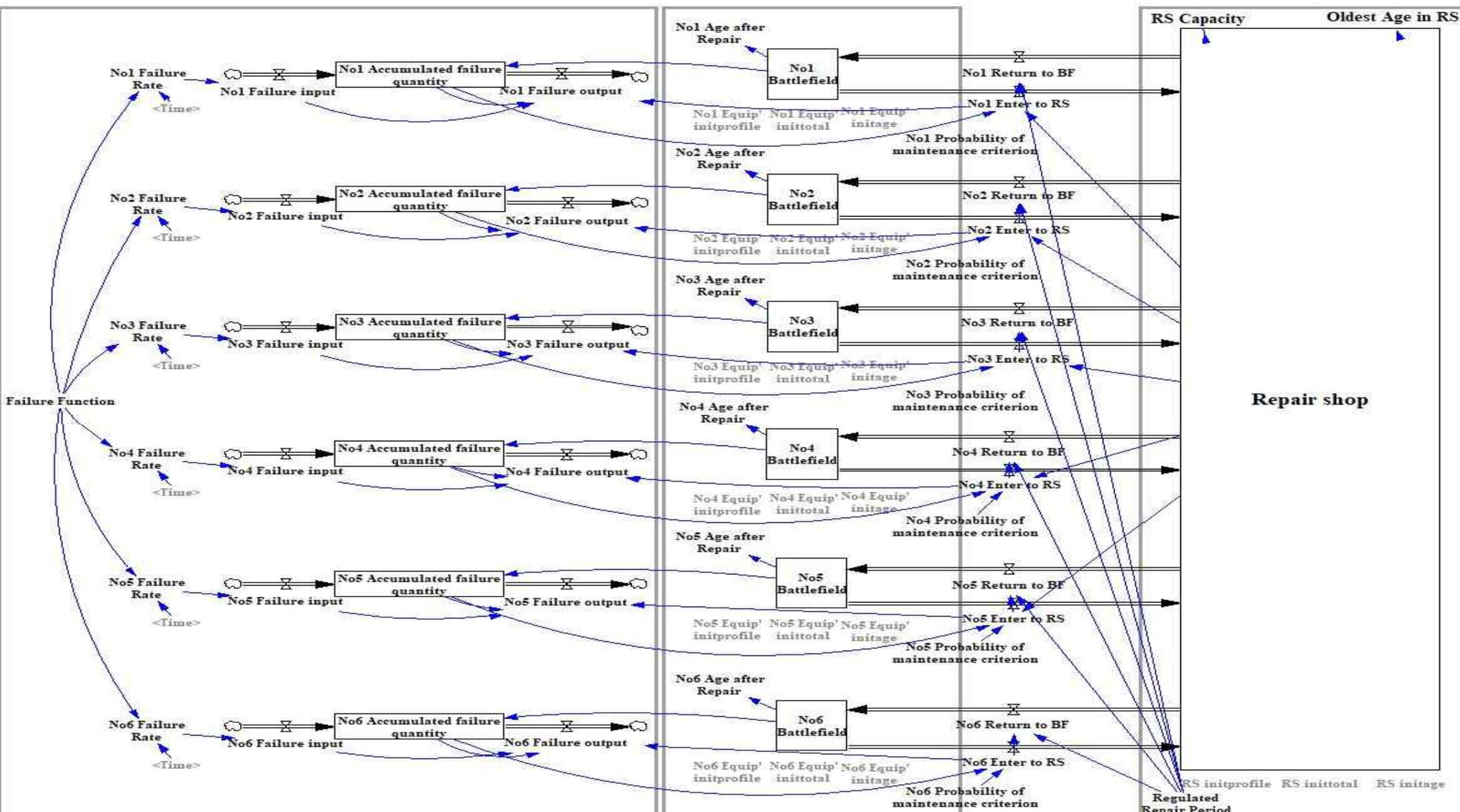
■ 계획정비량 최적화 모델

• 연구범위 및 가정

- 전체함정(고객) 수 : 6 Ships
- 정비부대(서버) 수용능력 : 2 Ships
- 함정 선령 차이 : 1 Year
- 입고 시 고장량 범위 : 5 ~ 115
- 서버 수용능력 초과시 대기함정 우선순위
기간 고정형 계획정비 : 정비주기 초과기간
확률 기반형 계획정비 : 누적 고장량



<그림 7> 계획정비량 최적화 모델



Failure function sector

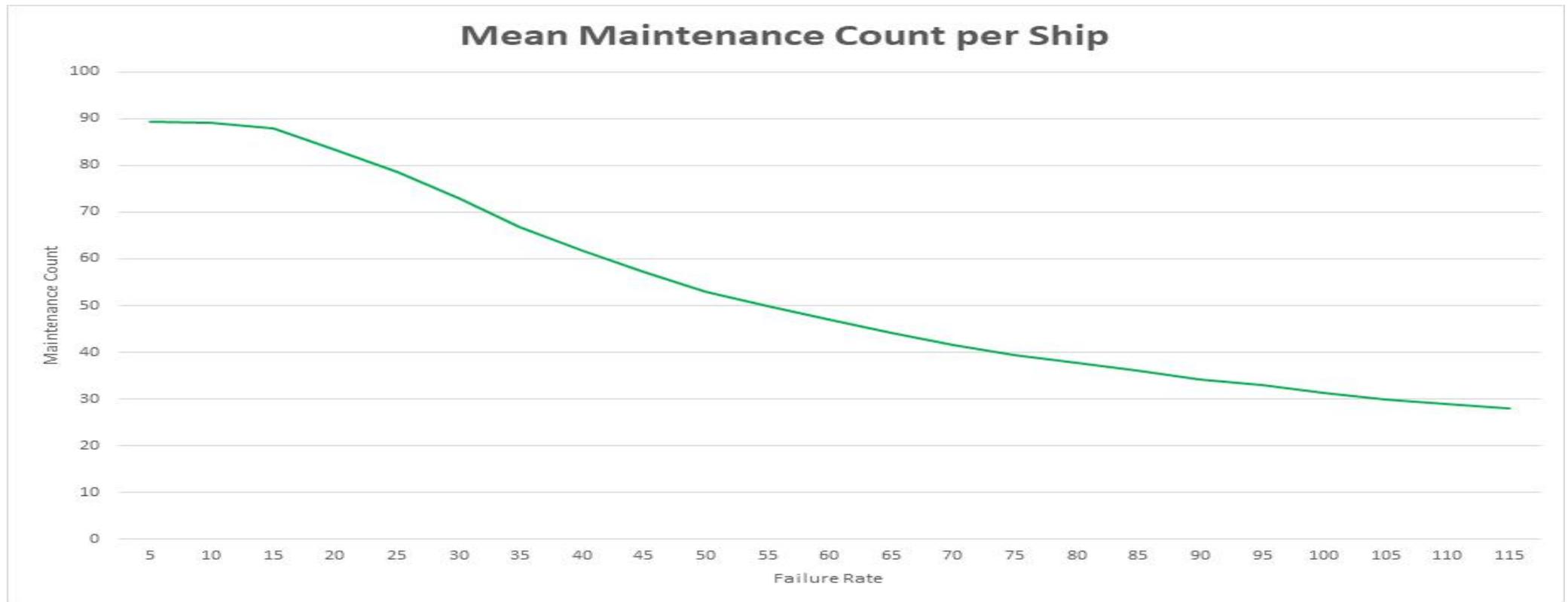
Battlefield

Ship operating period

Repair shop

04 결과분석 : 계획정비량에 증가에 따라 총수명주기 간 수리횟수는 감소한다.

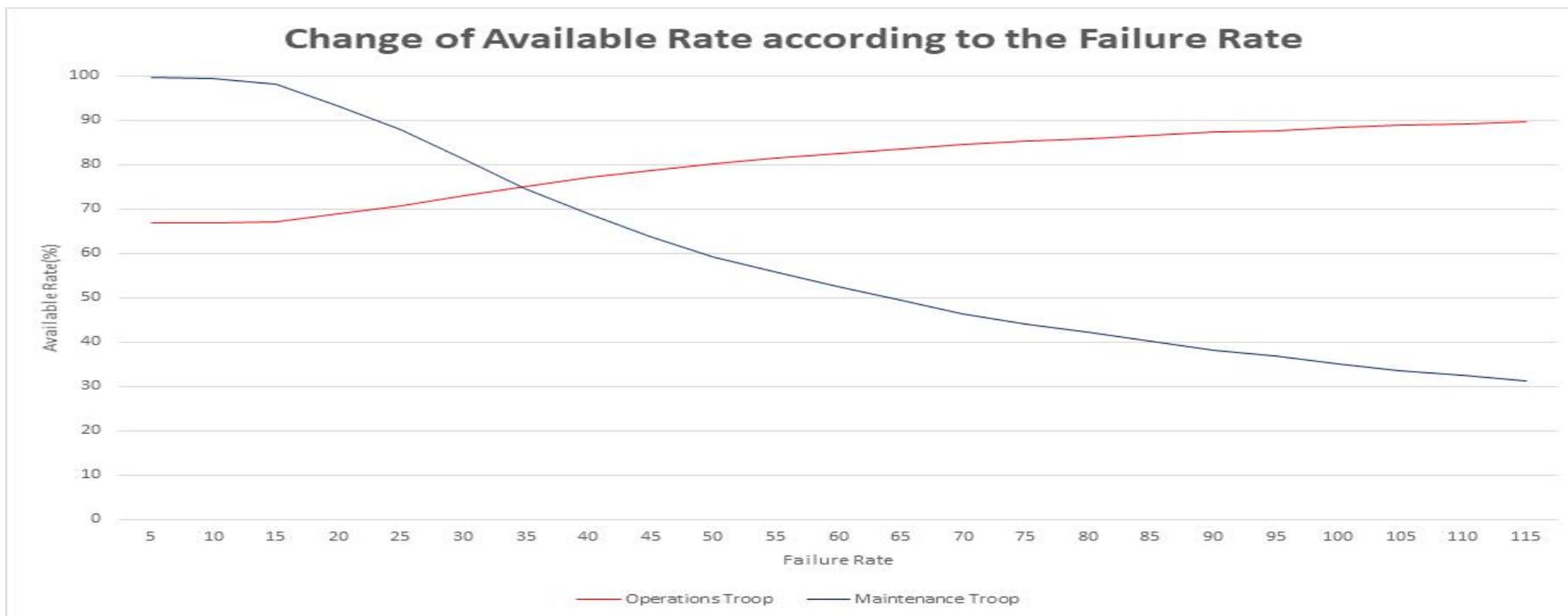
■ 함정당 총수명주기 간 수리횟수 변화



<그림 8> 입고시 고장량에 따른 수리횟수 변화

04 결과분석 : 계획정비량 34.9 지점에서 Trade-off가 발생함을 확인하였다.

■ 가동률 변화



<그림 7> 입고시 고장량에 따른 가동률 변화

2021년 추계공동학술대회

04 결과분석

■ 총수명주기간 정비횟수 및 가동률

Failure Rate	Mean Maintenance Count per Ship	Available Rate	
		Operations Troop	Maintenance Troop
10	89	66.87	99.37
20	83.5	68.92	93.23
30	72.83	72.89	81.32
40	61.66	77.04	68.85
50	53	80.27	59.18
60	47	82.5	52.48
70	41.5	84.55	46.33
80	37.83	85.91	42.24
90	34.16	87.28	38.15
100	31.33	88.33	34.98
110	29	89.2	32.38

<표 2> 총수명주기간 정비횟수 및 가동률 통계치
2021년 추계공동학술대회

패러다임의 변화, 혁신, 그리고 물류 SCM

- **시스템 다이내믹스를 활용하여 계획정비량 최적화 모델 구축**
 - 기존에 시도해본 바 없는 새로운 시스템 개발
- **계획정비량 변화에 따른 함정과 정비부대의 가동률 상관관계 확인**
 - 통제 불가능했던 계획정비량을 동적으로 통제 가능하도록 시도
- **해군 정비정책에 현실성있는 참고자료 제시**
 - 군 작전상황에 따라 변화하는 함정 가동률에 맞추어 계획정비량 변화를 통해 정비부대 가동률을 효율적으로 통제 가능
- **군 뿐만 아니라 민간기업에도 축적된 고장데이터를 바탕으로 적용 가능**