

리던던시 기법을 활용한 신뢰성 설계 대안 분석

서양우^{1)*}, 임재훈¹⁾, 윤정환¹⁾, 남현우¹⁾, 우연정²⁾

1) LIG넥스원, 2) 육군 군수사령부

Alternative Analysis of Reliability Design using Redundancy Technique

Yang Woo Seo^{1)*}, Jae Hoon Lim¹⁾, Jung Hwan Yoon¹⁾, Hyun Woo Nam¹⁾, Yeon Jeong Woo²⁾

1) LIG Nex1, 2) Army Logistics Command

Abstract : In this paper we proposed the alternative analysis of reliability design using redundancy technique. First, we presented the process for establishing the reliability design alternative analysis process considering the active redundancy and the standby redundancy. and then, the case analysis of A driving equipment was performed in accordance with the reliability design alternative analysis process presented. In case the series reliability design result is not met with the reliability target value. so, the target item for redundancy design of A driving equipment were selected as items with a severity of two or higher. The redundancy design applied with active and standby redundancy techniques were analyzed using BlockSim software. As a result, it was analyzed that reliability design to active redundancy with one of two elements required for A driving equipment is the most efficient compared to the target value of reliability. The results of this study can be usefully used before the reliability design is performed.

Key Words : Redundancy Technique, Active Redundancy, Standby Redundancy, Reliability Block Diagram, Reliability Modeling, Alternative analysis

Received: November 13, 2020 / **Revised:** May 14, 2021 / **Accepted:** June 14, 2021

* 교신저자 : Yang Woo Seo/yangwoo.seo2@lignex1.com

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

신뢰성 설계는 규정된 신뢰도 목표 값에 만족할 수 있도록 수행하는 핵심 활동이다.[1] 시스템의 신뢰도 목표 값을 기준으로 신뢰도 목표 값에 달성하는지 평가를 수행하게 된다. 신뢰도 목표 값 달성이 어려운 구성품에 대해서는 신뢰성 설계를 통해 최종적으로 시스템 신뢰도 목표 값이 달성될 수 있도록 설계해야 한다. 신뢰성 설계라 함은 시스템 모듈화, 중복 기능 설계, 리던던시(Redundancy) 및 디레이팅 등이 있다.[2] 신뢰성 설계 업무는 신뢰성 모델링부터 시작된다.[3]

신뢰성 모델링은 시스템의 기능에 기반한 신뢰성 블록 다이어그램(RBD; Reliability Block Diagram) 및 수학적 모델로 구성된다.[4] 신뢰성 모델링을 수행하는 목적은 시스템 신뢰성을 평가하기 위한 필수 업무로 신뢰도 값 배분 및 추정치를 위한 신뢰성 모델을 개발하는 것이다. 신뢰성 모델링은 특정한 신뢰도 요구사항을 만족시키기 위한 방법론으로 설계 영향에 반영되기 때문에 형상 관리 초기 단계에 진행되어야 한다. 이를 통해, 신뢰성 노력을 가장 비용이 적게 드는 대안에 집중하여 시스템 입장에서 심사 및 개선활동이 필요하다. 시스템의 신뢰성을 파악하려면 신뢰성 블록 다이어그램을 활용하여 구성 요소들 간의 기능적 관계를 분석할 필요가 있다. 특히, 병렬 구조인 경우에는 리던던시를 고려하여 모델링을 수행한다. 기존 연구사례를 살펴보면, Lee et al.[5]는 터치-머신 제어 패널에 대해서 신뢰성 모델링을 직렬 설계로 신뢰도 예측을 수행하였고, Yoon [6]은 무인기의 비행조종컴퓨터 신뢰성 향상을 위한 다중화 구조 설계를 제시하였다. Kim et al.[7]은 디지털 차상현시장치의 신호처리보드, 구동보드 및 디스플레이의 이중화 신호체계로 구성하여 운전자의 운행 안정성을 확인하였고, Seo et al.[8]는 열진공챔버의 제어시스템 이중화 구축으로 가동 중지 시간의 최소화 및 안정적 운행을 확인하였다. Kim [9]은 전투기 조종실 시험기용 터치스크린 인터페이스 이중화 구현으로 기능 제공의 안전성

을 향상시켰고, Kim et al.[10]은 광케이블 및 분산형 음파 검지 시스템 이중화를 통해 외부 노이즈를 저감하는 방안을 제시하였다. 기존의 선행 연구분석 내용들은 직렬설계 및 이중화 설계를 통한 신뢰성 향상 결과만을 제시하였다. 하지만, 리던던시 기법을 적용함에 있어서 단순히 이중화 설계 결과이외의 능동 및 수동 병렬 시스템 기반에서 이중화 및 삼중화를 고려하여 적용해야 한다. 따라서, 리던던시 설계 기법중 어떤 기법이 최적의 설계 대안인지를 분석하여 적용할 필요가 있다.

본 논문은 리던던시 기법을 활용하여 신뢰성 설계 대안 분석을 제시한다. 리던던시 기반의 신뢰성 설계 대안 분석 절차를 제시한 후, 사례분석을 통한 신뢰도 목표 값 대비 최적의 리던던시 설계 대안을 도출한다.

2. 본론

2.1 신뢰성 모델링

신뢰성 모델링(Reliability Modeling)은 기본 신뢰성 모델링 및 임무 신뢰성 모델링으로 구분한다.[4] 기본 신뢰성 모델은 품목들이 직렬로 구성되며, 임무 신뢰성 모델은 품목들이 이중화 설계를 고려한 병렬로 구성된다. 전통적 확률 방법은 단일 및 다기능 시스템에 적용되며, 직렬, 병렬 및 직렬-병렬 조합 형태를 다룬다. 신뢰성 블록 다이어그램은 각 운용 이벤트별 기능 그룹간의 상호의존성을 나타내도록 작성된다. 이에 따라, 다양한 직렬-병렬 블록 조합을 간결하게 시각적으로 보여줄 수 있다. 또한, 임무 정의 및 운용 프로파일에 대한 완전한 이해를 기반으로 작성되어야 한다. 신뢰성 블록 다이어그램은 신뢰성 설계의 필수이며 설계 초기에 수행되어진다. 2.1.1~2.1.3항에서는 직렬 시스템, 능동/수동 병렬 시스템의 구조에 대해 설명한다. 단, 가정사항으로 모든 고장은 지수분포를 따르며, 하나의 고장은 다른 고장에 영향이 없는 것으로 하였다.

2.1.1 직렬 시스템

직렬 시스템(Series System)은 시스템 내의 어떤 구성요소가 고장이 발생하면, 시스템 자체가 고장이 나는 시스템이다. 가장 간단한 구조의 시스템이며, 대부분의 시스템이 이러한 구조를 갖고 설계가 진행되어진다. 2개의 장비에 대한 직렬 시스템의 신뢰성 블록 다이어그램은 그림 1과 같다.

직렬 시스템의 시간 t에서 시스템 신뢰도 함수 R(t)는 식 1과 같다.

$$R(t) = p_a(t)p_b(t) \tag{1}$$

where, $t > 0$

$p_a(t)$: A element reliability for time t

$p_b(t)$: B element reliability for time t

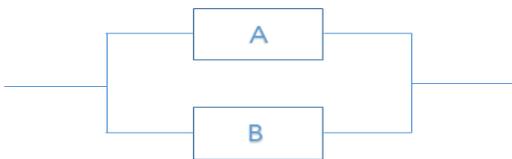
만약, 2개 직렬에서 $\lambda_a = \lambda_b = \lambda$ 이면,

$$R(t) = e^{-2\lambda t}$$

직렬 시스템이 운용되기 위해서는 구성 요소가 모두 정상적으로 작동해야 하기 때문에 구성요소 A, B의 곱으로 나타낼 수 있다.



[Figure 1] Reliability Block Diagram for Series System



[Figure 2] Reliability Block Diagram for Active Parallel System

2.1.2 능동 병렬 시스템

능동 병렬 시스템(Active Parallel System)은 시스템 내의 모든 구성요소가 고장이 발생하면, 시스템 자체가 고장이 나는 시스템이다. 즉, 병렬 시스템은 운용 중에 최소 1개만 정상이면, 운용이 되는 시스템을 의미한다. 2개의 장비에 대한 능동 병렬

시스템의 신뢰성 블록 다이어그램은 그림 2와 같다.

능동 병렬 시스템의 시간 t에서 시스템 신뢰도 함수 R(t)는 식 2와 같다.

$$R(t) = p_a(t) + p_b(t) - p_a(t)p_b(t) \tag{2}$$

where, $t > 0$

$p_a(t)$: A element reliability for time t

$p_b(t)$: B element reliability for time t

만약, 2개 병렬에서 $\lambda_a = \lambda_b = \lambda$ 이면,

$$R(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$$

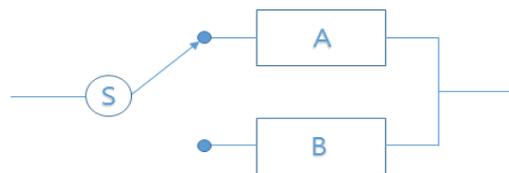
만약, 3개 병렬에서 $\lambda_a = \lambda_b = \lambda_c = \lambda$ 이면,

$$R(t) = 3e^{-\lambda t} - 3e^{-2\lambda t} + e^{-3\lambda t}$$

능동 병렬 시스템은 일부 구성 요소가 고장이 발생 하더라도 운용되어야 하기 때문에 중복 설계를 한다.

2.1.3 수동 병렬 시스템

수동 병렬 시스템(Standby Parallel System)은 능동 병렬 시스템과 동일하게 시스템 내의 모든 구성요소가 고장이 발생하면, 시스템 자체가 고장이 나는 시스템이다. 수동 병렬 시스템은 구성 요소 1 개를 운용하면서 나머지는 필요시까지 대기상태로 운용하는 대기 리던던트 구조를 갖고 있다.



[Figure 3] Reliability Block Diagram for Standby Parallel System

2개의 장비에 대한 수동 병렬 시스템의 신뢰성 블록 다이어그램은 그림 3과 같다.

수동 병렬 시스템의 시간 t에서 시스템 신뢰도 함수 R(t)는 식 3과 같다.

$$R(t) = p_a(t)p_b(t)(1 - p_1(t) - p_2(t)) + p_a(t)p_2(t) + p_b(t)p_1(t) \tag{3}$$

where, $t > 0$

$p_a(t)$: A element reliability for time t

$p_b(t)$: B element reliability for time t

$P1(t)$: reliability of no failure switching for time t

$P2(t)$: reliability of no premature switching for time t

만약, 2개 병렬에서 $\lambda_a = \lambda_b = \lambda$ 이면,

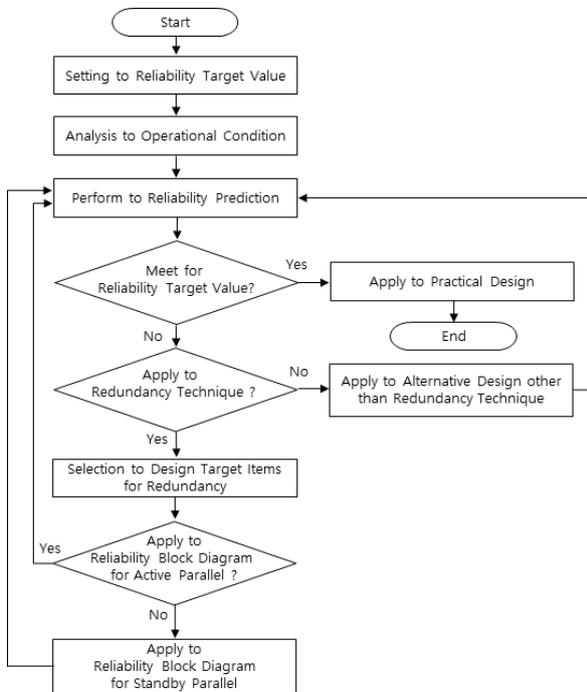
$$R(t) = e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t}$$

만약, 3개 병렬에서 $\lambda_a = \lambda_b = \lambda_c = \lambda$ 이면,

$$R(t) = e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t} + 0.5 (\lambda t)^2 e^{-\lambda t}$$

수동 병렬 시스템은 주 구성요소가 고장이 발생하면, 대기 구성요소를 운용해야 하기 때문에 중복 설계를 한다.

2.2 리던던시 기법의 신뢰성 설계 대안 분석 절차 제시



[Figure 4] Proposed Process of Reliability Design Alternative Analysis based on Redundancy Technique

리던던시 기법은 크게 능동(Active) 및 수동(Standby)으로 분류하고 있다[11]. 이를 기반으로 한 신뢰도 목표 값 설정부터 실제 설계 적용까지의 리던던시 기법의 신뢰성 설계 대안 분석 절차를 그림 4와 같이 제안한다.

- 1) 신뢰도 목표 값을 설정한다.
- 2) 분석대상품목의 운용조건을 분석한다.
- 3) 신뢰도 예측을 수행한다.
- 4) 신뢰도 목표 값에 불만족한 경우

- 4-1) 리던던시 기법 적용 여부를 결정한다. 리던던시 기법을 미적용 시에는 리던던시 이외의 대안 설계를 적용한다.
- 4-2) 리던던시 설계 대상품목을 선정한다.
- 4-3) 능동 병렬 시스템의 신뢰성 블록 다이어그램 기법을 적용한다.
- 4-4) 능동 병렬 시스템의 신뢰성 블록 다이어그램 기법 적용 시에 신뢰도 목표 값에 불만족 하는 경우에는 수동 병렬 시스템의 신뢰성 블록 다이어그램 기법을 적용한다.
- 5) 신뢰도 목표 값에 만족한 경우
- 5-1) 실제 설계에 적용한다.

2.3 리던던시 기법을 활용한 신뢰성 설계 사례 분석

2.3.1 신뢰도 목표 값 및 분석대상 운용조건

사례 분석 대상 품목은 A 구동장치로 운용온도는 55°C이며, 운용환경은 AUC(Airborne Uninhabited Cargo)이다. A 구동장치의 신뢰도 목표 값은 10년 동안 신뢰도 90% 이상이다. 방위산업 품목에 대한 보안 업무 규정상 A 구동장치로 기술한다.

2.3.2 신뢰도 예측

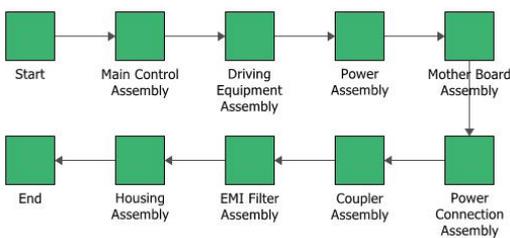
A 구동장치의 구성품별 신뢰도 값을 산출하여 신뢰도 목표 값에 만족하는지를 확인하였다. A 구동장치의 구성품별 신뢰도 예측 결과는 표 1과 같다.

BlockSim® S/W를 활용하여 직렬 설계의 신뢰성 블록 다이어그램에 대한 결과는 그림 5와 같다.

A 구동장치의 구성품들을 직렬 시스템으로 신뢰성 블록 다이어그램을 설계하였다. 이 때, 표 1의 값들을 각 블록에 적용하여 시간에 대한 신뢰도 R(t)의 결과를 그림 6과 같이 도출하였다. 10년 동안 각 구성품별 수량 1개에 대한 각각의 신뢰도 R(t)은 표 2와 같다.

<Table 1> MTBF for Components of A Driving Equipment

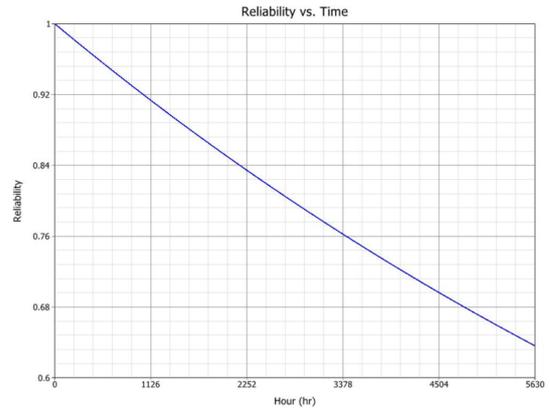
Components	Quantity	Failure Rate (failures/106hrs)	MTBF (hr)
Main Control Assembly	1	20.890052	47,869.675
Driving Equipment Assembly	1	34.995823	28,574.839
Power Assembly	1	16.956390	58,974.817
Mother Board Assembly	1	6.739774	148,372.928
Power Connection Assembly	1	0.188409	5,307,602.078
Coupler Assembly	1	0.175832	5,687,246.918
EMI Filter Assembly	1	0.178682	5,596,534.626
Housing Assembly	1	0.227030	4,404,704.224



[Figure 5] Reliability Block Diagram of Series Design for A Driving Equipment

<Table 2> Reliability Trend Value by Year with Series Design

ITEM	Reliability by Year(%)				
	1	2	...	9	10
A Driving Equipment	95.58	91.35	...	66.55	63.61



[Figure 6] Reliability vs Time of Series Design



[Figure 7] Reliability Value for Series Design at Ten Years

A 구동장치의 10년 시점에 예상되는 신뢰도 R(t)은 그림 7과 같이 약 63.61%이다. 이는 신뢰도 목표 값 90%에 만족하지 못하는 신뢰성 설계방안으로 분석되었다.

2.3.3 리던던시 설계 대상품목 선정

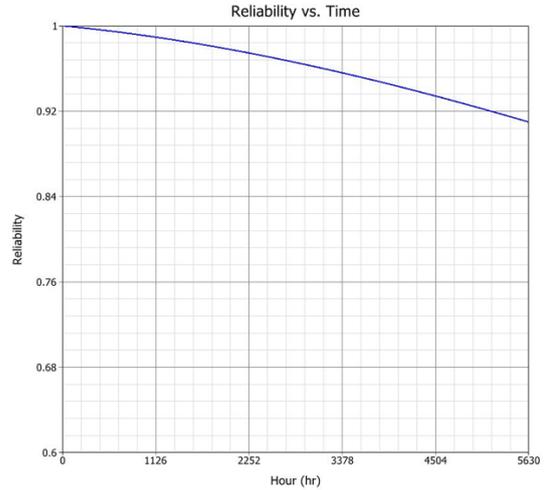
2.3.2에서 A 구동장치의 직렬설계로는 신뢰도 목표 값을 만족하지 못하기 때문에 리던던시를 고려한 신뢰성 설계를 수행하여 신뢰성을 향상시켜야 한다. 이에 따라, A 구동장치의 리던던시 설계 대상 품목 선정을 수행하였다. 표 3은 A 구동장치의 구성품별 위험도(Severity) 부호 및 임무 수행과의 관계를 분석하였다. 위험도 부호 II인 품목은 고장구분이 중대고장을 의미하며, 임무 수행 불가함에 따라 설계의 재검토가 필요한 항목이다. [12]

따라서, 위험도 부호 II 이상 품목으로 식별된 A 구동장치의 주제어조립체, 구동장치조립체, 전원조립체 및 EMI필터조립체를 리던던시 설계 대상품목으로 선정하였다.

<Table 3> Severity Classification of A Driving Equipment

Components	Severity Category		Details	Remarks
Main Control Assembly	II	Critical	loss of mission objectives	Require design review
Driving Equipment Assembly	II	Critical	loss of mission objectives	Require design review
Power Assembly	II	Critical	loss of mission objectives	Require design review
Mother Board Assembly	III	Significant	degradation to mission objectives	No design review required
Power Connection Assembly	III	Significant	degradation to mission objectives	No design review required
Coupler Assembly	III	Significant	degradation to mission objectives	No design review required
EMI Filter Assembly	II	Critical	loss of mission objectives	Require design review
Housing Assembly	IV	Minor	no loss to mission objectives	No design review required at all

하였다. 리던던시 설계 대상 품목에 대한 수량은 각각 2개이며, 10년 동안의 신뢰도 R(t)은 표 4와 같다. A 구동장치의 10년 시점에 예상되는 신뢰도 R(t)은 그림 10과 같이 약 90.98%로 분석되었다.

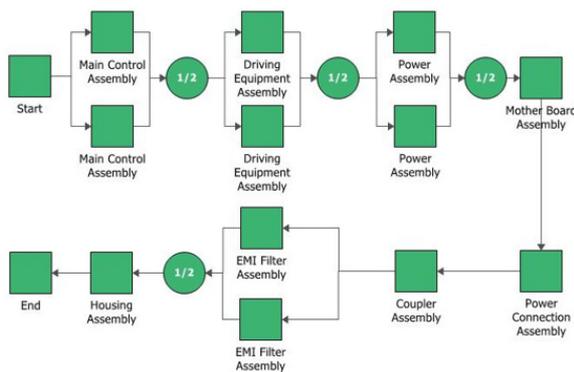


[Figure 9] Reliability vs Time of Active Redundancy Design with One of Two Elements required

2.3.4 리던던시 기법을 활용한 설계 영향성 분석

2.3.4.1 능동 병렬 시스템(이중화)

BlockSim® S/W를 활용하여 A 구동장치의 능동 병렬 시스템(이중화)을 적용한 신뢰성 블록 다이어그램은 그림 8과 같다.



[Figure 8] Reliability Block Diagram of Active Redundancy Design with One of Two Elements required for A Driving Equipment

이 때, 표 1의 값들을 각 블록에 적용하여 시간에 대한 신뢰도 R(t)의 결과를 그림 9와 같이 도출

<Table 4> Reliability Trend Value by Year with Active Redundancy Design(one of two elements required)

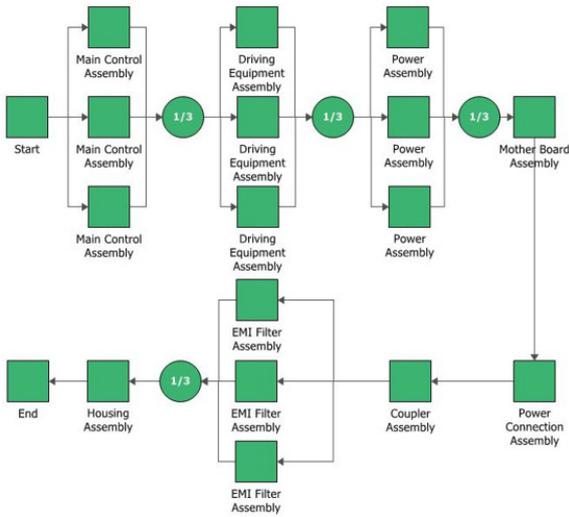
ITEM	Reliability by Year(%)				
	1	2	...	9	10
A Driving Equipment	99.53	98.94	...	92.23	90.98



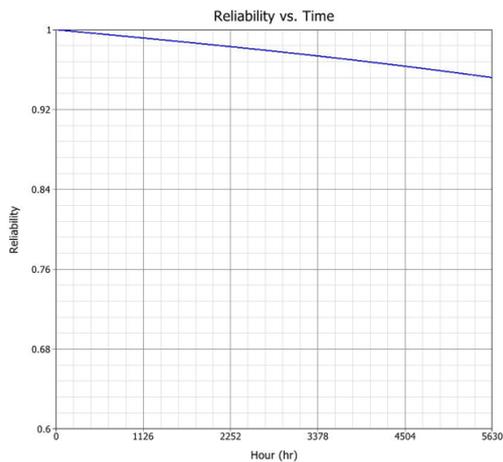
[Figure 10] Reliability Value for Active Redundancy Design with One of Two Elements required at Ten Years

2.3.4.2 능동 병렬 시스템(삼중화)

BlockSim® S/W를 활용하여 A 구동장치의 능동 병렬 시스템(삼중화)을 적용한 신뢰성 블록 다이어그램에 대한 결과는 그림 11과 같다.



[Figure 11] Reliability Block Diagram of Active Redundancy Design with One of Three Elements required for A Driving Equipment



[Figure 12] Reliability vs Time of Active Redundancy Design with One of Three Elements required

<Table 5> Reliability Trend Value by Year with Active Redundancy Design(one of three elements required)

ITEM	Reliability by Year (%)				
	1	2	...	9	10
A Driving Equipment	99.59	99.17	...	95.79	95.21



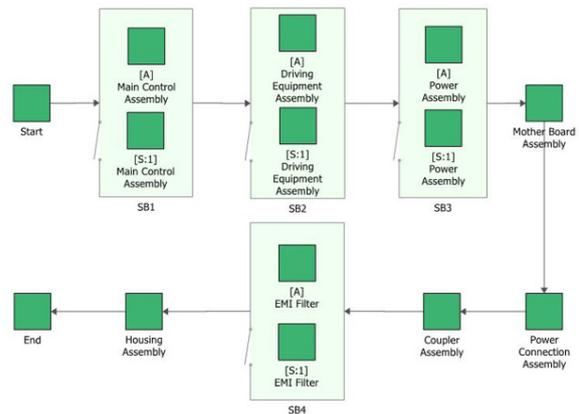
[Figure 13] Reliability Value for Active Redundancy Design with One of Three Elements required at Ten Years

이 때, 표 1의 값들을 각 블록에 적용하여 시간에 대한 신뢰도 $R(t)$ 의 결과를 그림 12와 같이 도출하였다. 리던던시 설계 대상 품목에 대한 수량은 각각 3개이며, 10년 동안의 신뢰도 $R(t)$ 은 표 5와 같다. A 구동장치의 10년 시점에 예상되는 신뢰도 $R(t)$ 은 그림 13과 같이 약 95.21%로 분석되었다.

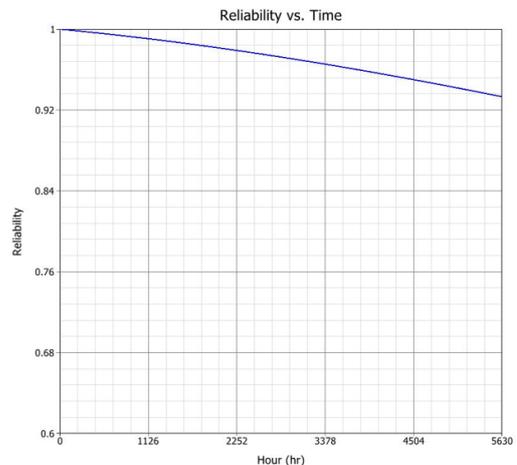
2.3.4.3 수동 병렬 시스템(이중화)

BlockSim® S/W를 활용하여 A 구동장치의 수동 병렬 시스템(이중화)을 적용한 신뢰성 블록 다이어그램에 대한 결과는 그림 14와 같다.

이 때, 표 1의 값들을 각 블록에 적용하여 시간에 대한 신뢰도 $R(t)$ 의 결과를 그림 15와 같이 도출하였다.



[Figure 14] Reliability Block Diagram of Standby Redundancy Design with Two Parallel Elements required for A Driving Equipment



[Figure 15] Reliability vs Time of Standby Redundancy Design with Two Parallel Elements

<Table 6> Reliability Trend Value by Year with Standby Redundancy Design(two parallel elements)

ITEM	Reliability by Year(%)				
	1	2	...	9	10
A Driving Equipment	99.56	99.06	...	94.18	93.32

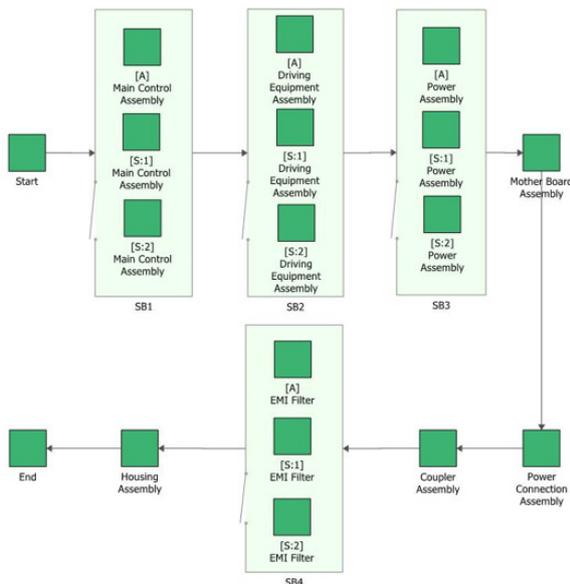


[Figure 16] Reliability Value for Standby Redundancy Design with Two Parallel Elements at Ten Years

리던던시 설계 대상 품목에 대한 수량은 각각 2개이며, 10년 동안의 신뢰도 R(t)은 표 6과 같다. A 구동장치의 10년 시점에 예상되는 신뢰도 R(t)은 그림 16과 같이 약 93.32%로 분석되었다.

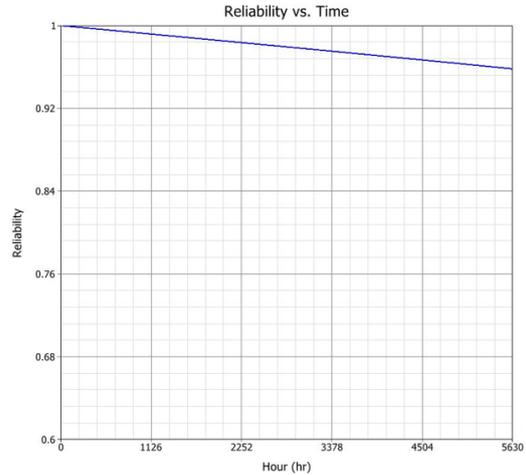
2.3.4.4 수동 병렬 시스템(삼중화)

BlockSim® S/W를 활용하여 A 구동장치의 수동 병렬 시스템(삼중화)을 적용한 신뢰성 블록 다이어그램에 대한 결과는 그림 17과 같다.



[Figure 17] Reliability Block Diagram of Standby Redundancy Design with Three Parallel Elements required for A Driving Equipment

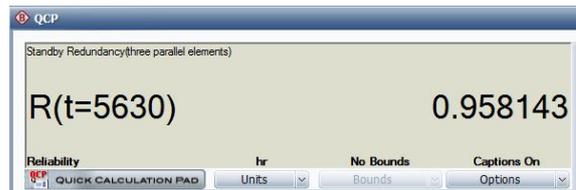
이 때, 표 1의 값들을 각 블록에 적용하여 시간에 대한 신뢰도 R(t)의 결과를 그림 18과 같이 도출하였다.



[Figure 18] Reliability vs Time of Standby Redundancy Design with Three Parallel Elements

<Table 7> Reliability Trend Value by Year with Standby Redundancy Design(three parallel elements)

ITEM	Reliability by Year(%)				
	1	2	...	9	10
A Driving Equipment	99.59	99.18	...	96.25	95.81



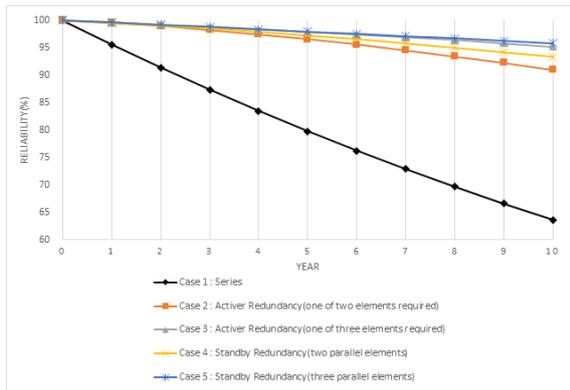
[Figure 19] Reliability Value for Standby Redundancy Design with Three Parallel Elements at Ten Years

리던던시 설계 대상 품목에 대한 수량은 각각 3개이며, 10년 동안의 신뢰도 R(t)은 표 7과 같다. A 구동장치의 10년 시점에 예상되는 신뢰도 R(t)은 그림 19와 같이 약 95.81%로 분석되었다.

2.3.4.5 리던던시 기법을 활용한 신뢰성 설계 대안 분석

BlockSim® S/W를 활용하여 능동 병렬 시스템 및 수동 병렬 시스템의 이중화, 삼중화에 대한 결과

를 종합하면 그림 20과 같다. 직렬 설계 적용시에는 10년 동안 신뢰도 R(t)가 약 63%로 신뢰도 목표 값을 만족하지 못하지만, 4가지 경우의 리던던시 설계 기법을 적용하면 신뢰도 R(t)가 90% 이상을 유지할 수 있는 결과를 도출하였다. 비용 및 설계 복잡성을 고려시 리던던시 설계 우선 순위는 표 8과 같다.



[Figure 20] Results for Reliability Block Diagram by Cases

<Table 8> Priority Results for Redundancy Design

Redundancy Design	Reliability Value	Cost	Design Complexity	Priority
Active Redundancy (one of two elements required)	90.98%	Low	Medium	1
Active Redundancy (one of three elements required)	95.21%	High	Medium	3
Standby Redundancy (two parallel elements)	93.32%	Medium	High	2
Standby Redundancy (three parallel elements)	95.81%	Very High	High	4

비용 측면의 우선 순위는 능동 병렬 시스템(이중화), 수동 병렬 시스템(이중화), 능동 병렬 시스템(삼중화), 수동 병렬 시스템(삼중화) 순서이며, 설계복잡도 우선 순위는 능동 병렬 시스템(이중화), 능동 병렬 시스템(삼중화), 수동 병렬 시스템(이중화), 수동 병렬 시스템(삼중화) 순서이다. 따라서,

비용 및 설계복잡성 순으로 고려할 때, 능동 병렬 시스템(이중화) 설계를 적용하는 것이 가장 최적의 설계대안으로 분석되었다. 만약, 신뢰도 목표 값이 95% 이상이라면, 능동 병렬 시스템(삼중화) 설계가 최적의 설계 대안으로 추천될 수 있다.

3. 결론

설계를 진행하기 전에 신뢰도 목표 값에 만족하는지 여부를 확인하는 신뢰성 모델링 업무를 반드시 수행해야 한다. 이는 신뢰도 예측 업무 이전에 수행해야 될 업무이다. 신뢰도 모델링 업무를 간과해서는 안 되며, 이를 통해 추가 설계변경이 발생하지 않도록 해야 한다. 본 논문은 리던던시 기법을 활용한 신뢰성 설계 대안 분석을 제시하였다. 리던던시 기반의 설계 대안 분석 절차를 제시한 후, A 구동장치의 사례분석을 수행하였다. A 구동장치의 신뢰도 목표 값인 10년 동안 신뢰도 90% 이상에 대해서 신뢰성 설계 영향성 분석을 수행하였다. A 구동장치의 리던던시 설계 대상 품목은 위험도 부호 II인 품목을 선정하였다. 능동 병렬 시스템 및 수동 병렬 시스템의 이중화, 삼중화를 BlockSim® S/W를 활용하여 분석하였다. 비용 및 설계 복잡성 순으로 고려하였을 때, 능동 병렬 시스템(이중화) 설계를 적용하는 것이 가장 최적의 설계대안으로 분석되었다. 본 연구 결과인 리던던시 기법을 활용한 신뢰성 설계 대안 분석은 설계 수행 전에 유용하게 활용될 수 있다. 또한, 사업관리 측면에서도 일정 또는 프로세스 개선을 통하여 위험성을 감소시킬 수 있으며, 안정적인 신뢰성 업무를 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

References

1. Reliability Seven Tools, Korea Institute for Advancement of Technology, p. 96, 2013.
2. Alexander Kossiakoff., William N. Sweet.,

3. Samuel J. Seymour., and Steven M. Biemer., Systems Engineering Principles and Practice 2nd Edition, p. 428, 2011.
4. MIL STD 785B, Reliability Program for System & Equipment Development & Production, Department of Defense, Task 201: Reliability Modeling, p. 1, 1980.
5. MIL STD 756B, Reliability Modeling & Prediction, Department of Defense, Task 100: Reliability Modeling, p. 1, 1981.
6. Lee, G. J., Kim, S. B., Park, W. J., Oh, K. K., Park, J. W., and Lee, D. G., Reliability Prediction of Touch-Machine Control Panel Using MIL HDBK 217F and Telcordia SR-332, Journal of the Korean Society of Systems Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 9-18, 2016.
7. Yoon, H. S., Operational Flight Program Development for UAV Dual Flight Control Computer, The Korean Institute of Information Scientists and Engineers Conference, pp. 91-93, 2019.
8. Kim, T. J., Cho, S. G., Lee, J. S., Lee, C. S., and Kim, H. K., Dual Signal System of Digital Cap Signal Box, The Korean Society for Railway Conference, pp. 39-40, 2020.
9. Seo, H. J., Park, S. W., Cho, H. J., and Jung, S. H., Application and Verification of PLC's CPU Duplexing Configuration for Thermal Vacuum Chamber, The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Conference, pp. 1314-1315, 2019.
10. Kim, J. H., The Research of Dual Redundancy Touch Interface for Large Display Equipment of Fighter Cockpit, The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Conference, pp. 123-124, 2018.
11. Kim, J. T., Kim, Y. K., Lee, J. H., Choi, H. Y., and Ko, G. J., A Study on Reduction Method of External Noise through Redundancy in Rail Monitoring System through Optical Cable and Distributed Acoustic Sensing, Korean Institute of Communication Sciences Conference, pp. 1176-1177, 2019.
12. MIL HDBK 338B, Electronic Reliability Design Handbook, Department of Defense, Section 7, p. 82, 1998.
13. MIL STD 1629A, Procedures for Performing a Failure Mode Effects and Criticality Analysis, Department of Defense, pp. 9-10, 1980.