



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

정비 데이터 기반 이항모델을 이용한
최적 교정주기 분석 기법

2017년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

무기체계공학협동과정

차 윤 배

공 학 석 사 학 위 논 문

정비 데이터 기반 이항모델을 이용한 최적 교정주기 분석 기법

지도교수 김 부 일

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2017년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

무기체계공학협동과정

차 윤 배

車允培의 공학석사 학위논문을 인준함.

2017년 2월 24일

위 원 장 공학박사 백 운 경 (인)

위 원 공학박사 김 부 일 (인)

위 원 공학박사 류 우 찬 (인)

목 차

I. 서 론	1
II. 교정주기 설정 방법	
2.1 교정주기 설정 방식 및 절차	4
2.2 교정주기 분석 절차	7
2.3 교정주기의 추정	13
III. 제안한 이항모델 교정주기 분 석	
3.1 측정신뢰도 모델 선정	15
3.2 교정주기 추정 결과	17
3.3 최적 교정주기 선택	21
IV. 최적 교정주기 분석 프로그램 구현	
4.1 프로그램 구성	27
4.2 프로그램 설계	28
4.3 교정주기 분석 결과	31
V. 결 론	34
참고문헌	36

표 목차

표 1. 교정주기 적용 현황	2
표 2. 정비 데이터 관측신뢰도 분석현황	3
표 3. 교정주기 설정 방식	4
표 4. 교정주기 설정 방법 선정 지침	5
표 5. 전형적인 허용오차 초과 시간의 급수	8
표 6. 측정신뢰도 모델의 특징 및 교정주기 추정 방법	14
표 7. 측정신뢰도 시간의 급수 분석(A장비군)	15
표 8. 이항모델을 이용한 교정주기 추정 결과(A장비군)	17
표 9. 측정신뢰도 시간의 급수분석(B장비군)	19
표 10. 이항모델을 이용한 교정주기 추정 결과(B장비군)	19
표 11. 분산분석(A장비군)	25
표 12. 성능지수(A장비군)	26
표 13. Dataset 구조(예)	28

그림 목차

그림 1. 교정 후 시간경과에 따른 불확실성 증가	1
그림 2. 교정주기 설정 절차	6
그림 3. 교정주기 분석 절차	7
그림 4. 지수 함수를 이용한 측정신뢰도 모델링	9
그림 5. 이항모델을 이용한 측정신뢰도 모델링	16
그림 6. 측정신뢰도 곡선(A장비군)	18
그림 7. 측정신뢰도 곡선(B장비군)	20
그림 8. 교정주기 추정(A장비군)	21
그림 9. ESS 분산분석	23
그림 10. RSS 분산분석	23
그림 11. LSS 분산분석	24
그림 12. 최적 교정주기 분석 프로그램 구성 흐름도	27
그림 13. MLE Exp. 모델의 파라미터 추정 계산 흐름도	29
그림 14. Weibull 모델의 파라미터 추정 계산 흐름도	30
그림 15. 정비 데이터(A장비군)	31
그림 16. 정비 데이터 업로드 화면	32
그림 17. 교정주기 분석 화면	32
그림 18. 교정주기 분석 결과	33

Optimal Calibration Interval Analysis Method Using the Binomial Model Based on Maintenance Data

Yunbae Cha

Department of Interdisciplinary program of Weapon Systems Engineering,
Graduate School, Pukyong National University

Abstract

The TMDE (Test, Measurement and Diagnostic Equipment) which is using in the military weapon system should perform a periodic calibration to maintain a measurement reliability during the life cycle. Organizations are faced with increasing pressures to minimize the costs while improving the reliability of test equipment.

Previous studies suggest that reliability models are determined by considering sample size and characteristics of equipment. However an applying single model may not be fit well maintenance data of many kinds of TMDEs.

An analysis method of optimal calibration interval based on maintenance data is discussed in this paper. This paper proposes performance of Confidence test and Goodness of fit test are the most suitable to compare the binomial model with observed data for TMDEs. The research results show that the reliabilities of various types of equipment are maintained during calibration intervals.

I. 서론

군 무기체계에서 각종 시험, 측정 및 진단 목적으로 사용되는 정밀측정장비 TMDE(Test, Measurement and Diagnostic Equipment)는 수명주기 동안 측정신뢰도를 유지하기 위해 주기적으로 교정(calibration)을 수행하고 있으며, 장비의 신뢰도를 향상시키면서 정비비용을 최소화하기 위한 노력이 요구되고 있다. 교정주기(calibration interval)는 정밀측정장비가 해당 주기 동안에 확률적으로 허용오차 이내로 유지되어 있을 기간을 의미하며, 그림 1은 정밀측정장비가 교정 후 시간의 경과에 따라 운송, 취급, 사용 및 보관 등으로 파라미터의 경년변화에 따른 불확실성 증가를 보여주고 있다[1,2].

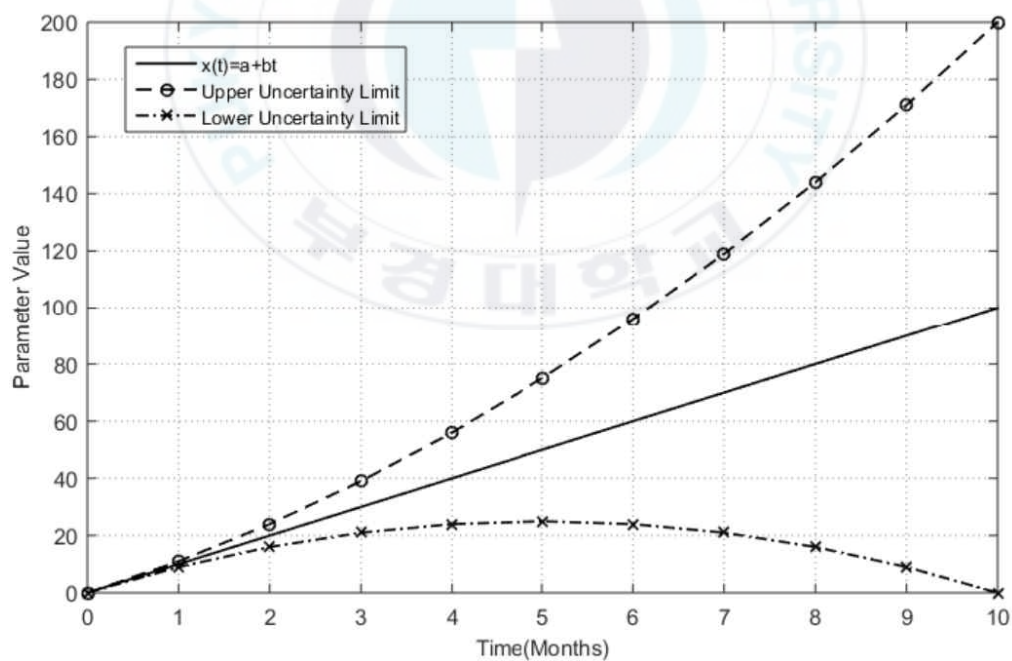


그림 1. 교정 후 시간경과에 따른 불확실성 증가

그림 1에서 보는바와 같이 장비의 불확실성 증가에 따른 측정신뢰도 유지를 위해서는 적절한 주기 예측을 통한 주기적 교정이 필요하다. 측정신뢰도 향상을 위한 교정주기 단축은 교정비용 상승과 장비의 가동시간 감소 등을 유발하며, 교정주기의 연장은 무기체계 신뢰도 저하 및 대형 안전사고 발생에 영향을 미칠 수 있다.

현재 공군은 운용하는 무기체계 특성 상 미 공군으로부터 6개월마다 갱신되는 교정주기를 적용하고 있다. 하지만 최근 획득 무기체계 다변화 및 국내 연구개발로 인하여 미 공군 교정주기를 적용할 수 없는 품목이 증가하고 있으며, 교정주기 적용불가 품목은 제작사 권장주기 또는 적용이 불명확한 경우 12개월 미만으로 고정된 교정주기를 적용하고 있는 실정이다. 공군에 등록된 정밀측정장비의 교정주기 적용 현황은 표 1과 같으며, 미 공군 교정주기 비적용 품목은 전체 10,077품목 중 5,485품목으로 54%의 비중을 차지하고 있다. 차용주기 비적용 품목은 고정된 교정주기를 적용함으로써 수명주기 동안 경년변화에 따른 탄력적 교정주기 적용이 불가능하므로 측정신뢰도 유지에 문제점을 가지고 있다.

표 1. 교정주기 적용 현황

제원등록 품목	차용주기 적용 품목	차용주기 비적용 품목
10,077종	4,592종 (46%)	5,485종 (54%)

2014년부터 2015년까지 정비자료가 5회 이상 축적된 653품목의 관측신뢰도(observed reliability) 분석결과는 표 2와 같으며, 관측신뢰도는 교정 후 재 입고 품목에 대해 동일 기간 입고 대수 대비 허용오차 이내의 대수로 계산된다[1].

목표신뢰도(reliability target)는 조직이나 기관에서 장비의 측정신뢰도 관리 목표를 의미한다[1]. 표 2의 경우 목표신뢰도가 85%일 때 관측신뢰도 85% 미만인 253종은 측정신뢰도 유지를 위해 교정주기 단축이 필요하며, 85% 이상인 400종(61%)의 품목은 비용 최소화를 위해 교정주기가 연장될 수 있다.

표 2. 정비 데이터 관측신뢰도 분석현황

분석대상	관측신뢰도			
	0% ~ 30%	30% ~ 60%	60% ~ 85%	85% ~ 100%
653종	20종	75종	158종	400종

이에 따라 공군에서 운용하는 무기체계의 특성, 정비환경, 사용빈도 등이 반영된 정비 이력 데이터를 기반으로 정밀측정장비 측정신뢰도 보장과 경제적인 운영을 동시에 만족하는 최적화된 교정주기 분석 능력을 확보하는 것이 요구되고 있다.

본 논문에서는 관련연구를 통해 다양한 교정주기 설정 방법 가운데 군 무기체계 적용에 적합한 정비 데이터 기반 이항모델(Binomial Model)을 이용한 최적 교정주기 분석 기법을 제안하였다. 이를 위한 본 논문의 구성은 서론에 이어, II장에서 교정주기 설정방법과 관련한 기존 연구를 소개하고, III장에서 이항모델 중 3가지 신뢰도 모델을 선정하여 교정주기를 계산 후 적합성 검정을 통해 최적 교정주기를 선택하도록 제안하였다. IV장에서 제안한 분석 기법에 대해 프로그램을 구현하고 분석결과를 나타내었으며, 끝으로 V장에서 결론을 기술하였다.

II. 교정주기 설정 방법

2.1. 교정주기 설정 방식의 선정 및 절차

미 표준시험소협의회 NCSL(National Conference of Standard Laboratories)에서 발간된 교정주기 설정 지침인 RP-1에 소개된 교정주기 설정 방식은 표 3과 같다[1].

표 3. 교정주기 설정 방식

방 식	특 징	
일반주기방식 (General Interval Method)	• 단일 교정주기 적용 : 소규모 단일품목, 관리 중요성이 낮은 기관 • 이해 및 감독이 쉬움 / 비합리적 방식으로 객관성 결여	
차용주기방식 (Borrowed Interval Method)	• 외부기관에서 결정된 교정주기를 사용 • 교정절차, 환경, 목표신뢰도 등이 유사한 기관의 주기 차용	
엔지니어분석방식 (Engineering Analysis Method)	• 제조사 제공 데이터 및 권고 주기 사용 • 유사 품목은 관련 모델의 주기 사용	
반응 방식 (Reactive Methods)	• 교정이력에 반응하여 정해진 알고리즘에 의해 주기 결정 • 사용하기 쉬움 / 비효율적, 주기조정까지 장시간 소요	
	A1(단순반응방법)	- 일정비율로 교정주기 축소 및 확장
	A2(점증적반응방법)	- 주기 조정비율과 관계되는 함수로 조정
	A3(주기검정방법)	- 통계적 검정을 통한 주기 조정 및 설정
MLE 방식 (Maximum Likelihood Estimation Method)	• 경과시간에 따른 신뢰도 변화를 수학적 모델링을 통해 설정 • 반응방법에 비해 정확한 주기설정 / 다수의 데이터 소요	
	S1(고전적방법)	- 허용오차 초과가 발생하는 시간 추정 - 시간의 추정절차를 지수모델로 국한 - 신뢰도 함수와 허용오차 초과시간의 확률밀도 함수
	S2(이항방법)	- 초과시간의 추정에 다양한 신뢰도 모델 사용 - 대규모 측정기기 분석에 적합 - 이항분포의 확률밀도함수 채택
	S3(갱신시간방법)	- S2 방법의 수정된 형태의 방법 - 신뢰도 모델은 S2와 동일 - 설계 및 수행에 많은 비용 소요

표 4는 교정주기 설정 방식을 생산규모, 비용요인, 품질보증, 데이터 가용성 등을 고려한 선정지침을 제공하고 있다[1]. 생산규모가 5,000개 이상은 ‘대규모’, 500~5,000개는 ‘중규모’, 500개 이하는 ‘소규모’로 구분하며, 품질보증은 품질 관리 목표의 중요도에 따라 ‘높음’, ‘보통’, ‘낮음’으로 나타낸다. 비용요인은 시스템의 개발, 운영 또는 개발 및 운영비용이 포함되는 경우에 따라 구분하며, 데이터 가용성은 교정 기록의 보유여부로 판단한다. 무기체계 성능보장을 위해 품질보증에 대한 매우 높은 수준 요구, 시스템 개발 및 운영 필요, 교정 기록 보유 및 연간 10만대 이상의 장비를 관리하는 대규모 측정현장을 가정하여 본 논문에서는 MLE 방식 가운데 S2 방법을 적용하였다.

표 4. 교정주기 설정 방법 선정 지침

품질보증	비용요인	데이터 가용성	추천방법		
			소규모	중규모	대규모
높음	개발	교정기록	A2	A3	S1 또는 S2
		엔지니어링	엔지니어링	엔지니어링	차용주기
	운영	교정기록	A3	S1	S2 또는 S3
		엔지니어링	차용주기	차용주기	차용주기
	개발 +운영	교정기록	A3	S1	S2
		엔지니어링	엔지니어링	엔지니어링	차용주기
보통	개발	교정기록	A1	A2	S1
		엔지니어링	엔지니어링	엔지니어링	차용주기
	운영	교정기록	A3	A3	S2
		엔지니어링	차용주기	차용주기	차용주기
	개발 +운영	교정기록	A3	A3	S1 또는 S2
		엔지니어링	차용주기	차용주기	차용주기
낮음	개발	교정기록	A1	A1	S1 또는 A3
		엔지니어링	차용주기	차용주기	차용주기
	운영	교정기록	A1	A1	S1
		엔지니어링	일반주기	차용주기	차용주기
	개발 +운영	교정기록	A1	A1	S1
		엔지니어링	일반주기	차용주기	차용주기

교정주기를 설정하는 일반적인 절차는 그림 2와 같이 구성될 수 있다[1,2]. 먼저 교정주기 분석대상 및 목표신뢰도를 고려하여 관리방안을 수립하고, 신규 품목의 경우 일반주기 방식 및 엔지니어 분석 방식을 적용하여 최초 교정주기를 설정한다. 정비이력 데이터가 축적되었을 경우 통계적 분석방법을 사용하여 교정주기 분석을 통해 교정주기 설정 후 설정된 교정주기를 정비이력 데이터에 반영한다. 여기서 교정주기 분석은 측정신뢰도 시간의 급수 분석 및 모델링을 통해 교정주기를 추정하는 것을 의미한다.

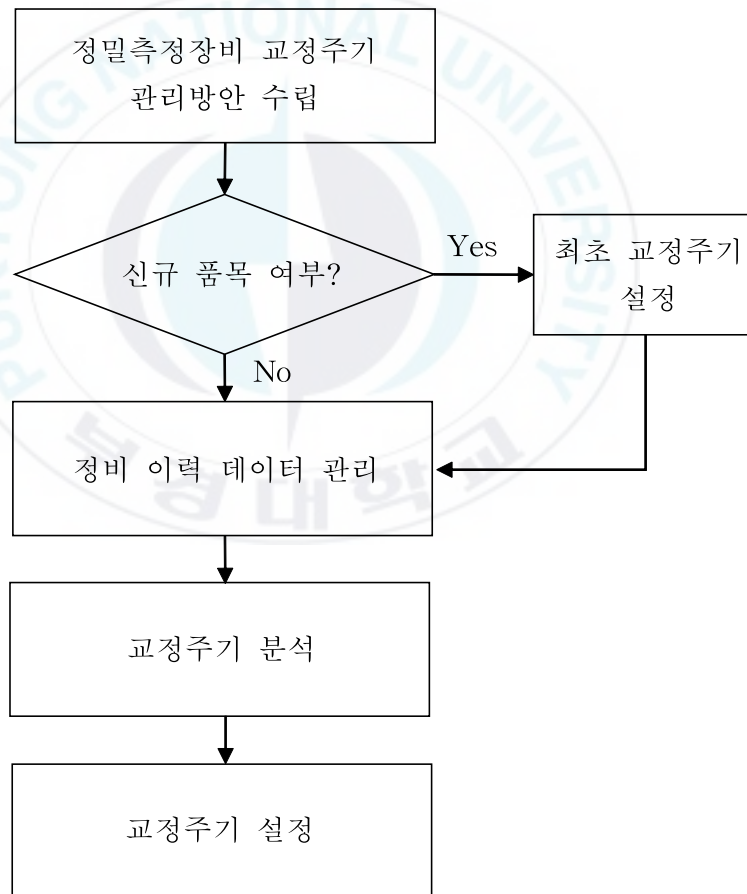


그림 2. 교정주기 설정 절차

2.2. 교정주기 분석 절차

통계적 교정주기 분석 절차는 그림 3의 흐름도에 따라 수행하며[1], 정비 이력 데이터를 사용하여 시간의 경과에 따른 측정신뢰도를 분석한다. 분석된 관측 값에 선택한 신뢰도 함수의 모델링을 통해 교정주기를 추정하고, 추정된 값에 대한 신뢰구간을 계산한다.

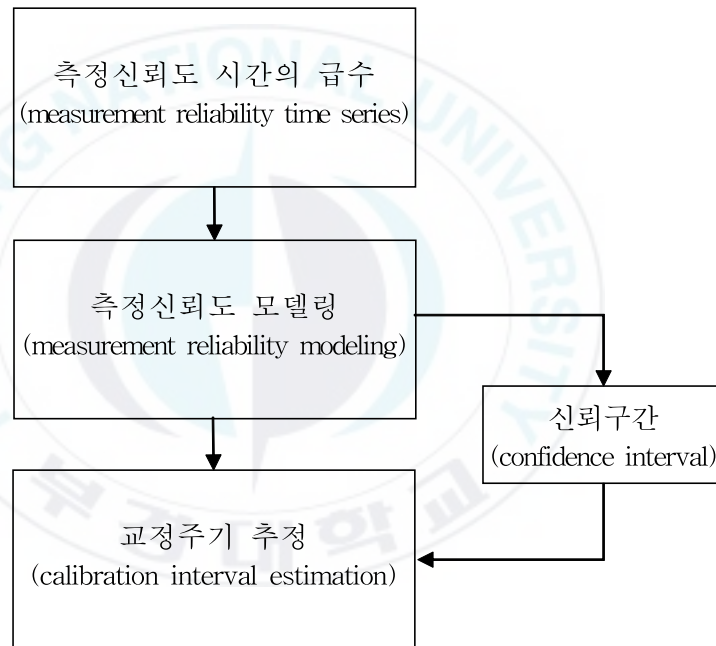


그림 3. 교정주기 분석 절차

측정신뢰도 시간의 급수는 시간 t 에 상응하는 관측신뢰도를 $\widetilde{R}(t)$ 로 나타내면, t 주기에 기록된 표본의 허용오차 이내의 수를 $g(t)$, 표본의 크기를 $n(t)$ 이라고 할 때, 관측신뢰도는 식 (1)로 표현될 수 있으며, 관측 표본을 바탕으로 실제 측정신뢰도는 식 (2)와 같이 나타낸다[2].

$$\tilde{R}(t) = \frac{g(t)}{n(t)} \quad (1)$$

$$R(t) = \lim_{n(t) \rightarrow \infty} \frac{g(t)}{n(t)} \text{ 또는 } R(t) = E[\tilde{R}(t)] \quad (2)$$

시간간격 t_j , 교정대수 n_j , 허용오차 이내의 대수 g_j , 관측 신뢰도 $R(t)$ 일 때, 표 5는 전형적인 시간의 급수 분석을 나타내었으며[1], 시간의 경과에 따라 측정신뢰도가 감소하고 있음을 알 수 있다.

표 5. 전형적인 허용오차 초과 시간의 급수

경과기간(weeks) (t_j)	교정대수 (n_j)	관측된 허용오차 이내의 대수 (g_j)	관측된 측정신뢰도 ($R(t)$)
2-4	4	4	1.00
5-7	6	5	0.83
8-10	14	9	0.64
11-13	13	8	0.61
19-21	22	12	0.54
26-28	49	20	0.41
37-40	18	9	0.50
48-51	6	2	0.33

측정신뢰도 시간의 급수에 따라 적합한 신뢰도 모델을 선택하는 것을 측정신뢰도의 모델링이라고 하며, 측정신뢰도 모델 가운데 본 논문에서 제안된 지수모델의 단순방법(Simple Method), 최대우도방법(Maximum Likelihood Technique) 및 와이블(Weibull) 모델을 중심으로 분석하고자 한다.

그림 4는 표 5의 전형적인 데이터로부터 시간의 급수를 분석하고, 지수 신뢰도 모델의 허용오차 초과율 계수(failure rate parameter) θ 를 0.03으로 추정하여 모델링하였다.

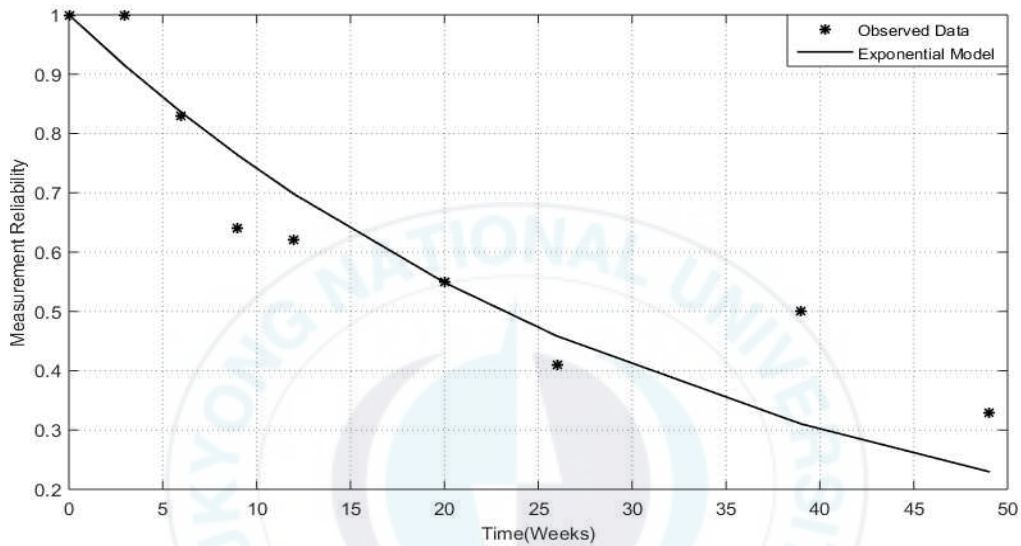


그림 4. 지수 함수를 이용한 측정신뢰도 모델링

측정신뢰도 모델링을 위해서는 허용오차 초과율을 추정하여야 하며, 지수 함수의 허용오차 초과율의 추정은 시간간격 t_j 의 주기 동안 허용오차를 초과하지 않을 확률로서 식 (3)과 같이 주어진다[3,4].

$$\Pr(\text{No failure before } t_j) = e^{-\theta t_j} \quad (3)$$

여기서 θ 는 허용오차 초과율 계수이며, 단순방법과 최대우도 방법을 사용하여 계수의 추정치를 계산할 수 있다. 식 (3)에서 주어진 허용오차 초과율 계수 θ 를 추정하는 단순방법은 식 (4)과 같이 얻어진다.

$$\theta_0 = -\frac{1}{T} \ln\left(\frac{S}{N}\right) \quad (4)$$

여기서 θ_0 는 θ 의 추정치, T 는 평균 재 입고 기간, S 는 허용오차 이내의 대수, N 은 해당 기간 내에 전체 교정대수이다.

美 공군은 NCSL RP-1에서 제안된 지수모델의 단순방법을 이용하여 교정 주기를 설정하고 있으며[5,6], 적용 수식의 차이점은 T 을 평균 재 입고 기간이 아닌 현재 교정주기로 적용하고 있다. 전 품목에 대한 단일 지수모델 적용은 비교적 쉬운 개발 및 운영이 용이하나, 일부 장비 특성이 특이한 경우 중대한 오류를 유발 할 수 있는 단점을 가지고 있다[1].

최대우도추정은 관측 데이터와 최대한로 근접하게 모델링하기 위해 지수모델의 허용오차 초과율 계수 θ 를 구하는 방법으로 식 (3)을 θ 로 미분하고, 식 (5) ~ (8)를 사용하여 계산한다[1].

$$F(\theta) = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{g_i R'(t_i, \theta)}{R(t_i, \theta)} - \frac{(n_i - g_i) R'(t_i, \theta)}{1 - R(t_i, \theta)} \right\} = 0 \quad (5)$$

$$F'(\theta) = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{g_i [R''(t_i, \theta) R(t_i, \theta) - [R'(t_i, \theta)]^2]}{[R(t_i, \theta)]^2} - \frac{(n_i - g_i) [R''(t_i, \theta) (1 - R(t_i, \theta)) + [R'(t_i, \theta)]^2]}{[1 - R(t_i, \theta)]^2} \right\} \quad (6)$$

$$\theta^{r+1} = \theta^r - \frac{F(\theta^r)}{F'(\theta^r)} \quad \text{단, } r : \text{반복수} \quad (7)$$

$$\text{수렴조건} \quad \left| \frac{F(\theta^r)}{F'(\theta^r)} \right| \leq 0.000001 \quad (8)$$

여기서 $R'(t_i, \theta) = -t_i e^{-\theta t_i}$, $R''(t_i, \theta) = t_i^2 e^{-\theta t_i}$ 이며, θ' 은 식 (8)의 수렴조건이 만족할 때까지 반복하여 해를 구한다.

와이블 함수의 허용오차 초과율의 추정은 시간간격 t_j 의 주기 동안 허용 오차를 초과하지 않을 확률로서 식 (9)와 같이 주어진다[7,8].

$$\Pr(\text{No failure before } t_j) = e^{-(\theta_1 t_j)^{\theta_2}} \quad (9)$$

와이블 방법은 식 (9)에서 주어진 θ_1 , θ_2 를 식 (10)~(16)을 사용하여 계산한다.

$$F = F(\theta_1, \theta_2) = \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_1} = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{g_i R'_{\theta_1}}{R} - \frac{(n_i - g_i) R'_{\theta_1}}{1 - R} \right\} = 0 \quad (10)$$

$$G = G(\theta_1, \theta_2) = \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_2} = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{g_i R'_{\theta_2}}{R} - \frac{(n_i - g_i) R'_{\theta_2}}{1 - R} \right\} = 0 \quad (11)$$

$$F'_{\theta_1} = \frac{\partial F(\theta_1, \theta_2)}{\partial \theta_1} = \frac{\partial^2 \ln L}{\partial \theta_1^2} \quad (12)$$

$$= \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{g_i [R''_{\theta_1, \theta_1} R - (R'_{\theta_1})^2]}{R^2} - \frac{(n_i - g_i) [R''_{\theta_1, \theta_1} (1 - R) + (R'_{\theta_1})^2]}{(1 - R)^2} \right\}$$

$$F'_{\theta_2} = \frac{\partial F(\theta_1, \theta_2)}{\partial \theta_2} = \frac{\partial^2 \ln L}{\partial \theta_1 \partial \theta_2} = \frac{\partial G(\theta_1, \theta_2)}{\partial \theta_1} = G'_{\theta_1} \quad (13)$$

$$= \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{g_i [R''_{\theta_1, \theta_2} R - R'_{\theta_1} R'_{\theta_2}]}{R^2} - \frac{(n_i - g_i) [R''_{\theta_1, \theta_2} (1 - R) + R'_{\theta_1} R'_{\theta_2}]}{(1 - R)^2} \right\}$$

$$G'_{\theta_2} = \frac{\partial G(\theta_1, \theta_2)}{\partial \theta_2} = \frac{\partial^2 \ln L}{\partial \theta_2^2} \quad (14)$$

$$= \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{g_i [R''_{\theta_2, \theta_2} R - (R'_{\theta_2})^2]}{R^2} - \frac{(n_i - g_i) [R''_{\theta_2, \theta_2} (1 - R) + (R'_{\theta_2})^2]}{(1 - R)^2} \right\}$$

$$\begin{pmatrix} \theta_1^{r+1} \\ \theta_2^{r+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \theta_1^r - \frac{G'_{\theta_2} F - F'_{\theta_2} G}{F'_{\theta_1} G'_{\theta_2} - F'_{\theta_2} G'_{\theta_1}} \\ \theta_2^r - \frac{-G'_{\theta_1} F + F'_{\theta_1} G}{F'_{\theta_1} G'_{\theta_2} - F'_{\theta_2} G'_{\theta_1}} \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$\left| \frac{G'_{\theta_2} F - F'_{\theta_2} G}{F'_{\theta_1} G'_{\theta_2} - F'_{\theta_2} G'_{\theta_1}} \right| \leq 0.000001 \quad (16.a)$$

$$\left| \frac{-G'_{\theta_1} F + F'_{\theta_1} G}{F'_{\theta_1} G'_{\theta_2} - F'_{\theta_2} G'_{\theta_1}} \right| \leq 0.000001 \quad (16.b)$$

여기서 $R'_{\theta_1} = -\theta_2 t_i (\theta_1 t_i)^{\theta_2 - 1} \cdot R,$

$$R'_{\theta_2} = -(\theta_1 t_i)^{\theta_2} \ln(\theta_1) \cdot R,$$

$$R''_{\theta_1, \theta_1} = -\theta_2 t_i [(\theta_2 - 1) t_i (\theta_1 t_i)^{\theta_2 - 2} \cdot R + (\theta_1 t_i)^{\theta_2 - 1} \cdot R'_{\theta_1}]$$

$$R''_{\theta_1, \theta_2} = -t_i [(1 + \theta_2 \ln(\theta_1 t_1)) (\theta_1 t_i)^{\theta_2 - 1} \cdot R + \theta_2 (\theta_1 t_i)^{\theta_2 - 1} \cdot R'_{\theta_2},$$

$$R'_{\theta_2, \theta_2} = -\ln(\theta_1 t_i) [(\theta_1 t_i)^{\theta_2} \ln(\theta_1 t_i) \cdot R + (\theta_1 t_i)^{\theta_2} \cdot R'_{\theta_2}] \text{이며,}$$

식 (16.a)~(16.b)를 만족할 때까지 와이블 모델의 θ_1, θ_2 해를 반복하여 구한다.

2.3. 교정주기의 추정

주기적 교정에 대한 정비 데이터 분석의 중요한 응용은 교정주기의 추정에 있으며, 이제 앞에서 계산된 각 측정신뢰도 모델의 허용오차 초과율 계수를 이용하여 교정주기를 추정한다. 지수모델의 단순방법에 의한 교정주기 I 는 식 (17)과 같다[3,4].

$$R = e^{-\theta I} \quad (17)$$

여기서, R 은 목표신뢰도이며, 교정주기 I 는 식 (18)과 같이 구해지고, 교정 주기 I 의 단순한 추정값 i_0 는 식 (19)와 같이 나타낸다.

$$I = -\frac{1}{\theta} \ln R \quad (18)$$

$$i_0 = -\frac{1}{\theta_0} \ln R \quad (19)$$

최대우도 방법에 의한 교정주기의 추정은 식 (5)~(8)를 사용하여 계산된 θ 를 식 (19)에 대입하여 산출한다.

와이블 방법에 의한 교정주기 I 의 추정은 식 (20)에 주어졌으며, 식 (10)~(16)을 이용하여 계산된 θ_1, θ_2 를 식 (20)에 대입하여 계산한다[1].

$$i_0 = \frac{1}{\theta_1} [(-\ln R)^{\frac{1}{\theta_2}}] \quad (20)$$

측정신뢰도 모델에 대한 특징 및 교정주기의 추정 방법은 표 6과 같으며, 분석대상 장비의 특성을 고려하여 신뢰도 모델을 선택하여 적용한다[1,9].

표 6. 측정신뢰도 모델의 특징 및 교정주기 추정 방법

모 델	특 징	교정주기 추정 방법
Exponential Model	허용오차 초과 비율이 시간의 함수로 나타냄	$R(t, \hat{\theta}) = e^{-\hat{\theta}t}$
Weibull Model	허용오차 초과 비율이 시간에 따라 증가 또는 감소하는 파라미터	$R(t, \hat{\theta}) = e^{-(\hat{\theta}_1 t)^{\hat{\theta}_2}}$
Restricted Random Walk Model	허용오차 초과가 정의되어진 한계 안에서 불규칙한 흔들림의 결과로 나타나는 파라미터	$Q(\hat{\theta}) = \frac{\hat{\theta}_1}{\sqrt{1 + \hat{\theta}_2(1 - e^{-\hat{\theta}_3 t})}}$ $R(t, \hat{\theta}) = \text{erf}(Q)$
Warranty Model	특정한 기간 이후 허용오차 초과가 나타나는 파라미터	$R(t, \hat{\theta}) = \frac{1}{\sqrt{1 + e^{\hat{\theta}_2(t - \hat{\theta}_1)}}}$
Modified Gamma Model	허용오차 초과가 일정 평균 비율에서 스트레스 발생이 축적되어 나타나는 파라미터	$R(t, \hat{\theta}) = e^{-\hat{\theta}_1 t} \sum_{n=0}^3 \frac{(\hat{\theta}_1 t)^n}{n!}$

Ⅲ. 제안한 이항모델 교정주기 분석

3.1. 측정신뢰도 모델 선정

'14년 1월 ~ '14년 7월까지 수집된 A장비군에 대한 정비 데이터 기반으로 측정신뢰도 시간의 급수 분석 결과를 표 7과 같이 나타내었다.

표 7. 측정신뢰도 시간의 급수 분석(A장비군)

경과기간(월) (t_j)	교정대수 (n_j)	관측된 허용오차 이내의 대수 (g_j)	관측된 측정신뢰도 ($R(t)$)
1	1	1	1.00
2	3	3	1.00
3	1	1	1.00
4	2	2	1.00
5	5	4	0.80
6	2	1	0.50
7	1	1	1.00
계	15	13	0.87

시간의 급수 분석으로부터 표 6의 이항모델 중 Simple Exponential, MLE Exponential, Weibull, Warranty, Restricted Random Walk 등을 사용하여 측정신뢰도 모델링을 수행하면 그림 5와 같이 그려진다. 그림 5에서 보이는

바와 같이 교정 후 시간경과로부터 측정신뢰도는 Restricted Random Walk, Weibull, Exponential(Simple, MLE), Warranty 순으로 급격하게 감소하고 있고 있는 것을 알 수 있다.

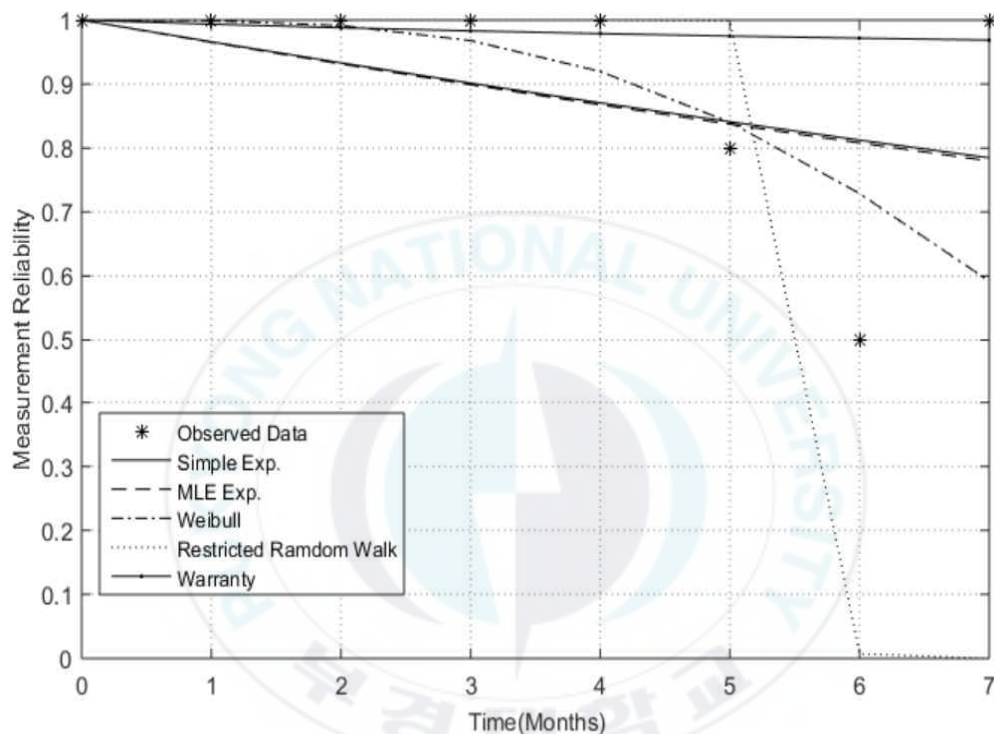


그림 5. 이항모델을 이용한 측정신뢰도 모델링

공군의 교정주기 분석대상 장비의 특성은 주로 타임베이스(timebase)를 내장하고 있는 전기·전자계통과 장비 사용에 따라 마모가 되는 도량형계통 장비가 대부분을 차지함에 따라, 신뢰도 함수의 특징 및 분석대상의 특성을 고려하여 이항모델 중 일반적으로 사용되는 지수 및 와이블 모델을 최적 교정주기 분석의 측정신뢰도 모델로써 선정하였다.

3.2. 교정주기 추정 결과

표 7의 측정신뢰도 시간의 급수 분석으로부터 목표신뢰도를 85%로 설정하고, Simple Exp., MLE Exp., Weibull 함수를 사용하여 교정주기를 추정한 결과는 표 8과 같이 산출되었다.

표 8. 이항모델을 이용한 교정주기 추정 결과(A장비군)

측정신뢰도 모델	허용오차 초과율($\hat{\theta}$)		추정 주기 (월)
	$\hat{\theta}_1$	$\hat{\theta}_2$	
Simple Exp.	0.0346	-	4.69
MLE Exp.	0.0355	-	4.58
Weibull	0.1173	3.2771	4.89

현재 적용 교정주기가 3개월, 분석 대상 A장비군의 경우 Simple Exp. 방법에 의한 분석은 식 (4)을 사용하여 계산한다. 계산된 파라미터 추정 값에 따른 신뢰도 모델의 추정식은 $\hat{R}(t, \hat{\theta}) = e^{-0.0346t}$ 이며, 목표신뢰도 85%에 해당하는 신뢰도 모델의 추정 교정주기는 4.69개월이다. MLE Exp. 방법에 의한 분석은 식 (7)에 따라 파라미터 값을 계산한다. 신뢰도 모델의 추정식은 $\hat{R}(t, \hat{\theta}) = e^{-0.0355t}$ 이며, 추정식에 의한 추정 교정주기는 4.58개월이다. Weibull 방법을 적용한 파라미터 추정식은 $\hat{R}(t, \hat{\theta}) = e^{-(0.1173t)^{3.2771}}$ 이며, 추정 교정주기는 4.89개월이다.

A장비군의 목표신뢰도 85%를 유지하기 위해 3가지 모델에서 추정된 교정주기는 모두 약 5개월로서 현재 교정주기 3개월에서 2개월 연장한 5개월로 교정주기 변경이 필요한 것으로 분석되었다. 그림 6은 3가지 방법의 분석 결과에 대해 측정신뢰도 곡선과 관측신뢰도 데이터를 그래프로 나타내었다.

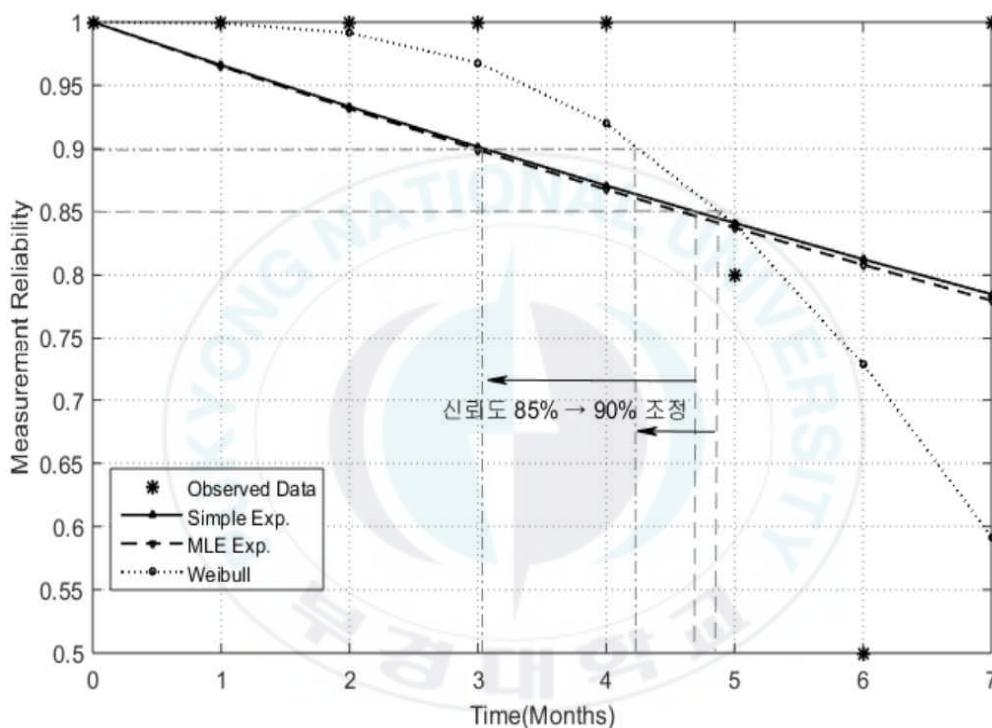


그림 6. 측정신뢰도 곡선(A장비군)

그림 6의 측정신뢰도 곡선을 보면 목표신뢰도 설정 값에 따라 교정주기 추정 값이 다르게 나타난다. 목표신뢰도를 90%로 조정할 경우 Simple Exp.과 MLE Exp.는 3개월, Weibull은 4개월로 단축되는 것을 알 수 있다.

정비 데이터로부터 B장비군의 측정신뢰도 시간의 급수 분석을 수행하면 표 9와 같으며, 현재 적용 교정주기는 12개월, 신뢰목표는 85%로 설정하였다.

표 9. 측정신뢰도 시간의 급수분석(B장비군)

경과기간(월) (t_j)	교정대수 (n_j)	관측된 허용오차 이내의 대수 (g_j)	관측된 측정신뢰도 ($R(t)$)
11	1	0	0.00
12	4	4	1.00
13	15	14	0.93
14	8	5	0.63
15	2	0	0.00
18	1	1	1.00
계	31	24	0.77

표 9의 측정신뢰도 시간의 급수 분석으로부터 이항모델을 이용한 교정주기를 추정하면 표 10과 같이 계산되어지며, 시간에 따른 측정신뢰도를 그래프로 나타내면 그림 7과 같다.

표 10. 이항모델을 이용한 교정주기 추정 결과(B장비군)

측정신뢰도 모델	허용오차 초과율($\hat{\theta}$)		추정 주기 (월)
	$\hat{\theta}_1$	$\hat{\theta}_2$	
Simple Exp.	0.01916	-	8.48
MLE Exp.	0.01924	-	8.45
Weibull	0.04932	3.31000	11.71

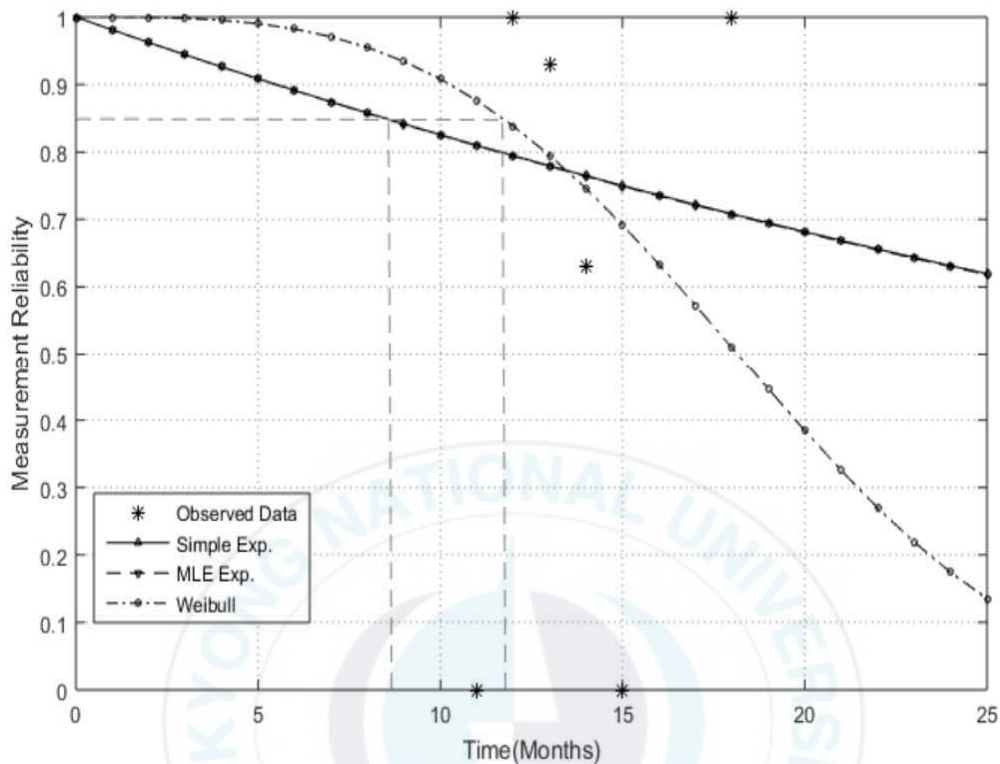


그림 7. 측정신뢰도 곡선(B장비군)

B장비군의 신뢰목표 85%를 유지하기 위해 3가지 모델에서 추정된 교정 주기는 Simple과 MLE Exp. 모델 9개월, Weibull 모델 12개월로서 현재 교정주기 12개월에서 3개월 단축 또는 변경 없이 12개월을 적용할 수 있다. 3가지 모델에서 추정된 교정주기 값이 서로 다를 경우 어느 주기를 선택할 것인가를 결정하여야 한다. 따라서 보다 객관적인 선택 방안으로 통계적 기법을 활용하여 관측 데이터와 신뢰도 모델의 적합성 검정(confidence test) 및 성능지수(figure of merit) 계산을 통해 최적 교정주기를 선택하도록 제안하였다.

3.3. 최적 교정주기 선택

측정신뢰도 모델링을 통해 추정된 주기 가운데 가장 적합한 교정주기를 선택하는 방법으로 두 모집단 간의 일치정도를 분산분석 ANOVA(analysis of variance)을 통해 판단하는 방법인 F -검정을 사용하여 모델의 적합여부를 판단하고, 두 가지 이상의 모델이 적합할 경우 성능지수 계산을 통해 최적 교정주기를 선택하도록 하였다.

표 7의 데이터를 이용하여 3가지 측정신뢰도 모델을 통해 추정된 교정주기는 그림 8과 같으며, 관측 데이터와 신뢰도 모델 간의 적합성 판단을 위해 F -검정을 수행하였다.

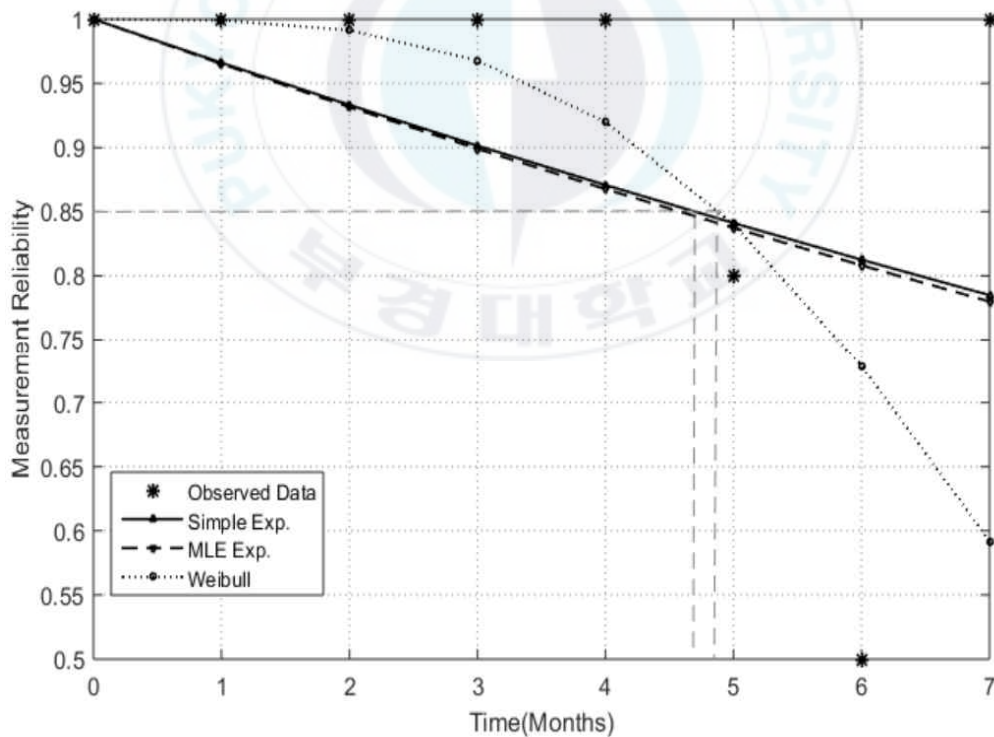


그림 8. 교정주기 추정(A장비군)

F -검정을 위해 통계적 가설로 “ H_0 : 신뢰도 모델이 적합하다.”와 “ H_1 : 신뢰도 모델이 적합하지 않다.”라고 귀무가설과 대립가설을 세우고, 관측 데이터와 신뢰도 모델 간 분산분석을 통해 귀무가설을 채택할 확률인 p 값을 계산하였다. 여기서 유의수준은 $\alpha = 0.05$ 로 하였으며, p 값이 α 보다 작으면 귀무가설을 기각하고, 대립가설인 “신뢰도 모델이 적합하지 않다.”라고 판단하였다.

분산분석은 관측 데이터 표본의 분포에 의한 순수오차 제곱합인 ESS (Pure Error Sum of Squares), 모델의 산포에 의한 잔차 제곱합인 RSS (Residual Sum of Squares) 및 적합결여 제곱합인 LSS (Lack of Fit Sum of Squares)에 대해 식 (21)~(23)을 사용하여 계산하였다.

$$ESS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \tilde{R}_i)^2 = \sum_{i=1}^k n_i \tilde{R}_i (1 - \tilde{R}_i) \quad (21)$$

$$RSS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{R}_i)^2 = n_i [(\tilde{R}_i - \hat{R}_i)^2 + \tilde{R}_i (1 - \tilde{R}_i)] \quad (22)$$

$$LSS = RSS - ESS = \sum_{i=1}^k n_i (\tilde{R}_i - \hat{R}_i)^2 \quad (23)$$

여기서 y_{ij} 는 i 번째 샘플 간격의 j 번째 샘플이 허용오차 이내인 경우 1, 허용오차 초과인 경우는 0으로 하면 $y_{ij}^2 = y_{ij}$, $\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} = n_i \tilde{R}_i = \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2$ 로 나타낸다. n_i 는 i 번째의 표본이 개수, $\tilde{R}_i$ 는 i 번째의 관측 신뢰도, $\hat{R}_i$ 는 i 번째의 측정 신뢰도 모델의 신뢰도이며, ESS , RSS 및 LSS 의 분산분석 결과는 그림 9~11과 같이 나타난다.

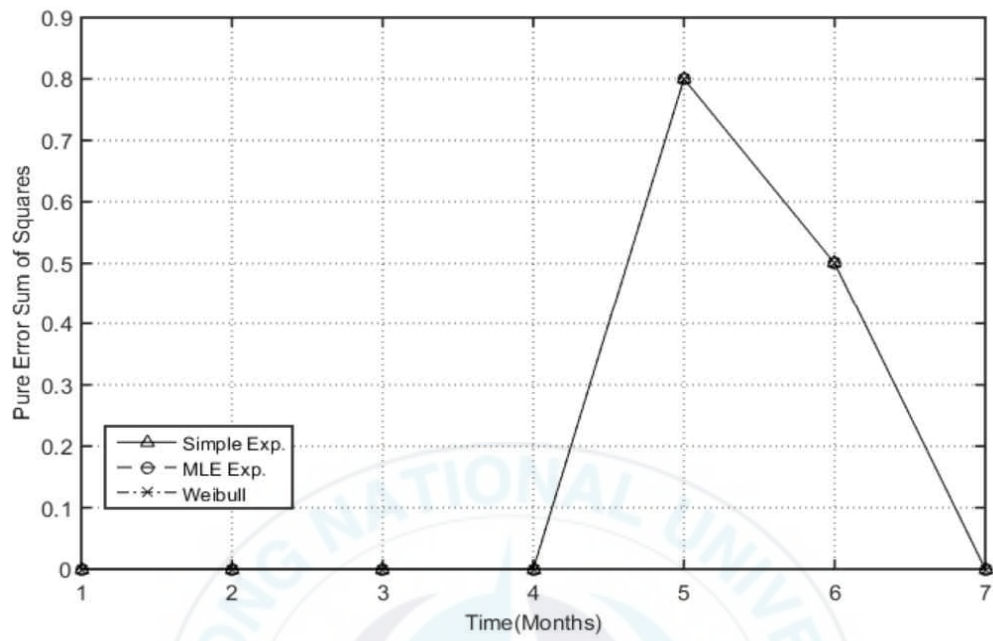


그림 9. ESS 분산분석

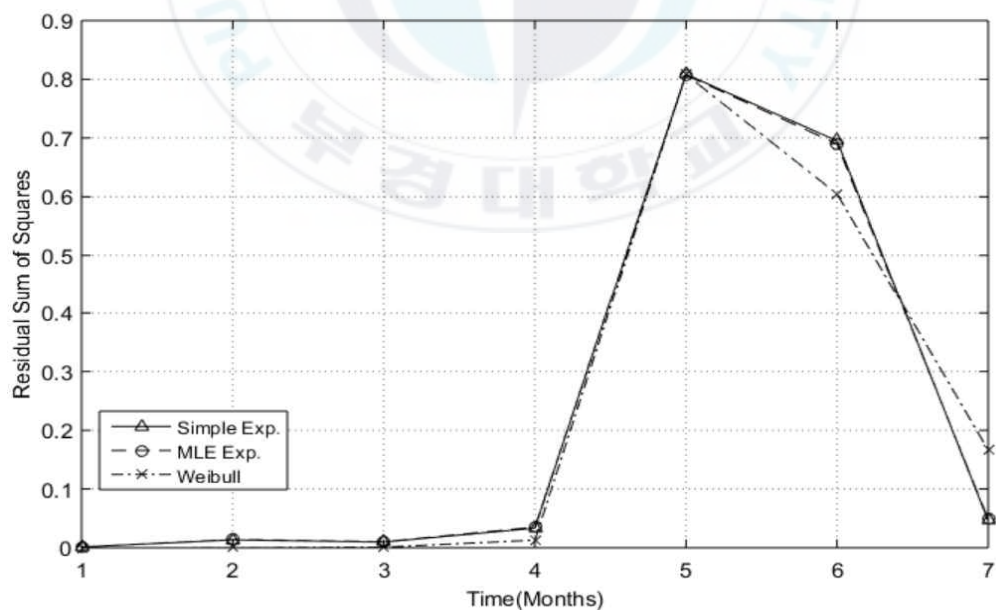


그림 10. RSS 분산분석

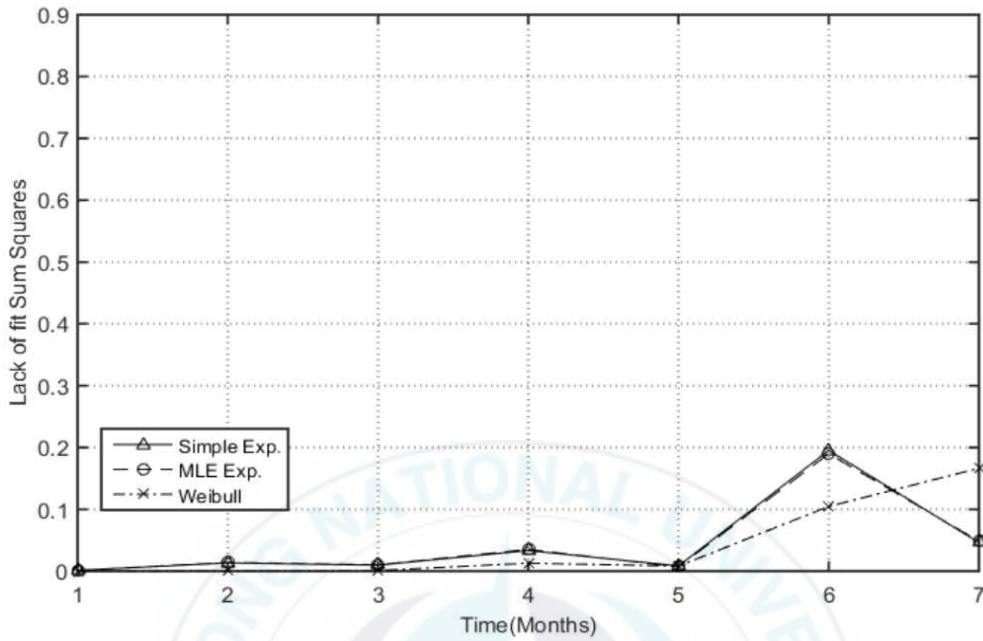


그림 11. LSS 분산분석

그림 9의 *ESS* 분산분석 값은 관측 데이터가 동일하므로 3가지 모델 모두 동일한 값을 가지며, 그림 10의 *RSS* 분산분석 또한 3가지 모델 모두 유사한 형태를 나타내고 있다. *LSS*는 *RSS*에서 *ESS*를 뺀 값으로 분산분석 값이 작을수록 관측 데이터에 신뢰도 모델이 적합하다고 판단할 수 있으며, 그림 11을 살펴보면 최대 분산 값은 Weibull 모델이 가장 작으나, 분산분석의 합은 Weibull 모델의 $t=7$ 값이 상대적으로 두 모델에 비해 높게 나타남으로 명확하게 판단하기 곤란하다.

F -검정을 수행하기 위해 순수오차 S_E^2 와 적합결여 오차 S_L^2 을 식 (24)~(25)를 사용하여 계산하면 표 11과 같이 산출되어진다. 여기서 n 는 전체 표본의 수, m 은 파라미터의 수, k 는 시간 간격의 수이며, *ESS*의 자유도는 $n-k$, *LSS*의 자유도는 $k-m$ 이다.

$$S_E^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^k n_i \tilde{R}_i (1 - \tilde{R}_i), \quad (24)$$

$$S_L^2 = \frac{1}{k-m} \sum_{i=1}^k n_i (\tilde{R}_i - \hat{R}_i)^2 \quad (25)$$

표 11. 분산분석(A장비군)

Model	ESS	RSS	LSS	S_E^2	S_L^2	F_0	p
Simple Exp.	1.3	1.608	0.3077	0.1625	0.0513	0.3156	0.9114
MLE Exp.	1.3	1.606	0.3059	0.1625	0.0510	0.3137	0.9125
Weibull	1.3	1.593	0.2934	0.1625	0.0587	0.3612	0.8615

확률변수 $F_0 = S_L^2/S_E^2$ 이 자유도 $v_1 = k-m$ 과 $v_2 = n-k$ 에서 F 분포를 따른다는 것을 의미한다. 적합결여는 만약 S_L^2 이 S_E^2 보다 크다면 그 모델은 부적합하고, S_L^2 의 증가는 F 값의 증가로 나타난다. 여기서 p 값은 F 분포에서 F_0, v_1, v_2 일 때의 값이다. 표 11의 3가지 측정신뢰도 모델에서 계산된 p 값은 유의수준 0.05보다 모두 크게 나타나므로 귀무가설을 기각할 수 없고, 신뢰도 모델은 모두 적합한 것으로 판정한다.

적합한 신뢰도 모델에서 추정된 교정주기 중 최적의 교정주기를 선택하는 방법으로 성능지수 G (goodness)를 식 (26)에 따라 계산하고, 가장 큰 G 값을 갖는 측정신뢰도 모델의 추정주기를 채택하였다.

$$G = \frac{N_G}{C} T_R^{1/4} \quad (26)$$

여기서 N_G 는 분석대상 그룹의 크기, C 는 거부신뢰수준으로 $1-p$ 값, T_R 은 $1-R$ 로 R 은 목표신뢰도이며, T_R 은 목표신뢰도를 85%로 설정할 경우 목표신뢰도 15%에서의 경과시간을 의미한다. 식 (26)을 이용하여 G 값을 계산하면 표 12와 같이 산출되어진다. G 값은 MLE Exp. 모델이 463.40으로 가장 큰 값을 나타냄에 따라 가장 적합한 추정신뢰도 모델이며, MLE Exp. 모델에서 추천된 4.58개월이 최적 교정주기로서 선택하였다.

표 12. 성능지수(A장비군)

Model	p	C	N_G	T_R	G
Simple Exp.	0.9114	0.08861	15	54.80	460.58
MLE Exp.	0.9125	0.08751	15	53.42	463.40
Weibull	0.8615	0.13848	15	10.36	194.35

IV. 최적 교정주기 분석 프로그램 구현

4.1. 프로그램 구성

본 논문에서 제안한 정비 데이터 기반 이항모델을 이용한 최적 교정주기 분석 프로그램 구성 흐름도는 그림 12와 같다.

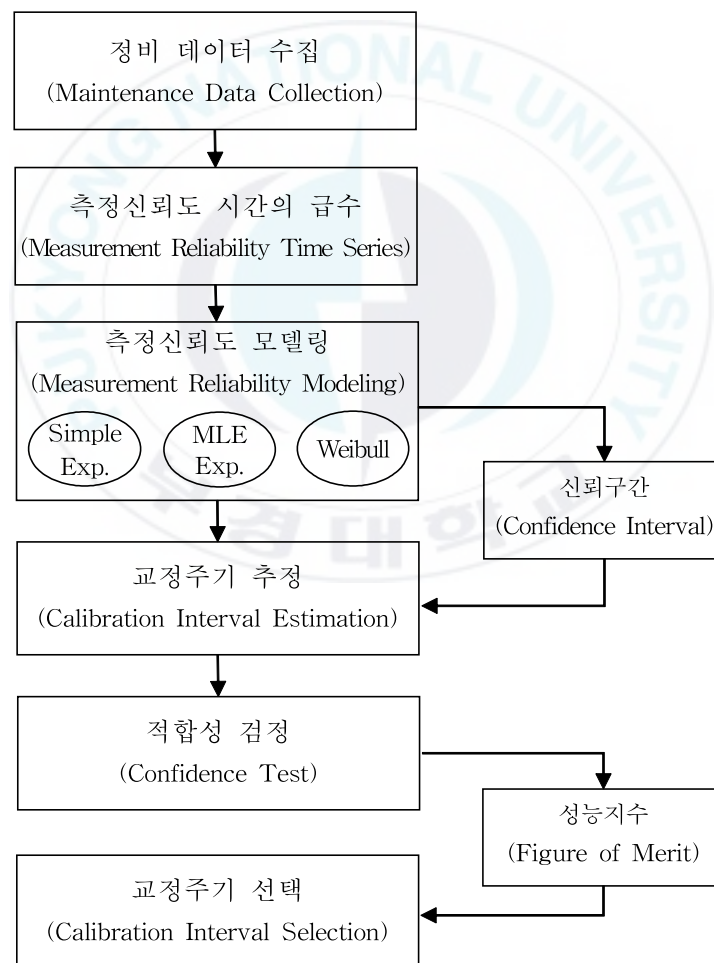


그림 12. 최적 교정주기 분석 프로그램 구성 흐름도

수집된 정비 데이터로부터 동일 장비형을 기준으로 설정한 기간 동안의 측정신뢰도 시간의 급수 분석을 수행한다. 시간의 급수 분석을 통해 추출된 데이터는 Simple Exponential, MLE Exponential, Weibull 등 3가지 측정신뢰도 모델을 사용하여 교정주기를 추정한 후 적합성 검정으로 신뢰도 모델의 적합 여부를 판단한다. 적합한 신뢰도 모델에서 추천된 교정주기 가운데 성능지수 값이 가장 큰 추천 교정주기를 최적 교정주기로 선택하도록 프로그램을 구성하였다. 프로그래밍 언어는 PHP를 사용하여 Web 기반에서 운영될 수 있도록 구현하였다.

4.2. 프로그램 설계

정비 데이터 이력구성은 측정신뢰도 시간의 급수 분석을 위해 정비 이력 DB로부터 분석용 Dataset을 표 13과 같이 구성하였다. Dataset 생성 기준은 장비형으로 검색하고, 대상기간은 000000~000000(년 월~년 월)으로 설정할 수 있도록 하였다.

표 13. Dataset 구조(예)

작업명령	장비형	장비명	일련번호	교정일자	결과	기간 (일)	t (월)
14-038-001	3604	micrometer	337	14-05-01	IN	-	-
15-145-234	3604	micrometer	337	15-03-31	IN	334	11.33
14-445-236	3604	micrometer	1260	14-02-21	IN	-	-
15-221-167	3604	micrometer	1260	15-03-15	OUT	387	12.90

Simple Exp.에 의한 주기 분석 수행 절차 및 알고리즘은 식 (4)을 이용하여 계산하며, MLE Exp.는 식 (5)~(8)를 이용하여 그림 13의 1모수 파라미터 추정 흐름도를 적용하여 계산하도록 프로그래밍 하였다.

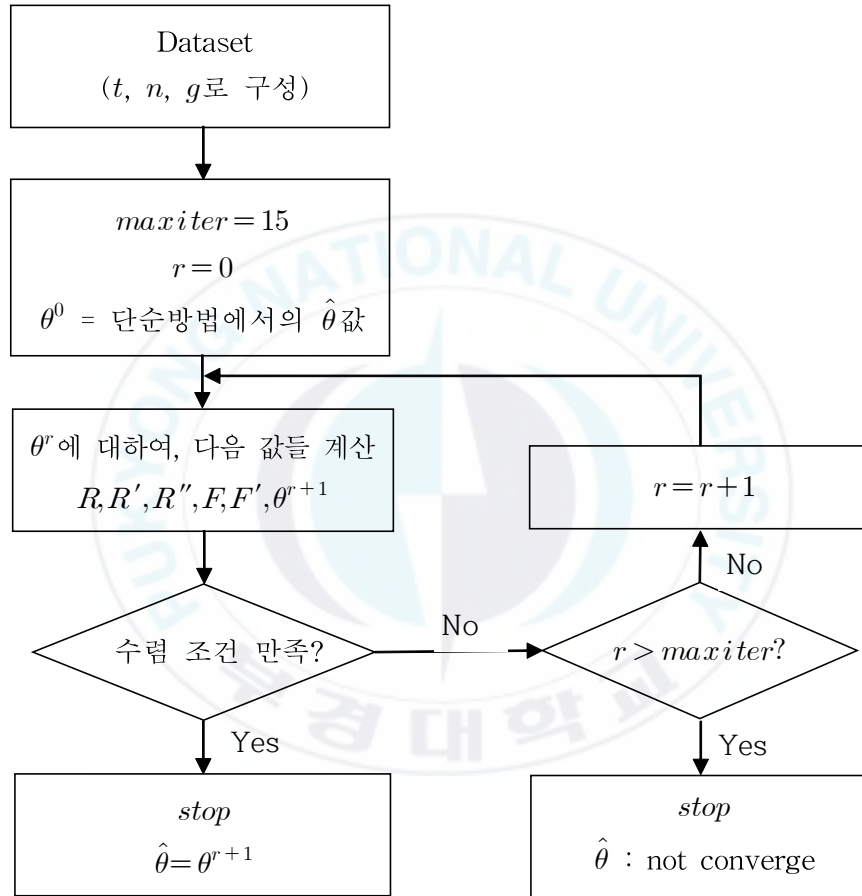


그림 13. MLE Exp. 모델의 파라미터 추정 계산 흐름도

초기 θ^0 값의 설정은 단순추정의 $\hat{\theta}$ 값을 사용하며, θ^r 에 대하여 수렴조건 식 (8)을 만족할 때까지 최대 15회 반복하여 계산한다. 수렴조건이 만족하면 $\hat{\theta}$ 값으로 채택하고 만족하지 못하면 ‘*’으로 출력 값을 표시한다.

Weibull 모델은 식 (10)~(16)을 이용하고, 그림 14의 2모수 파라미터 추정 흐름도를 적용하여 프로그래밍 하였으며, 초기 값들의 설정은 θ_1^0 는 단순추정의 $\hat{\theta}$ 값, θ_2^0 는 1에 가까운 값으로 설정하였다.

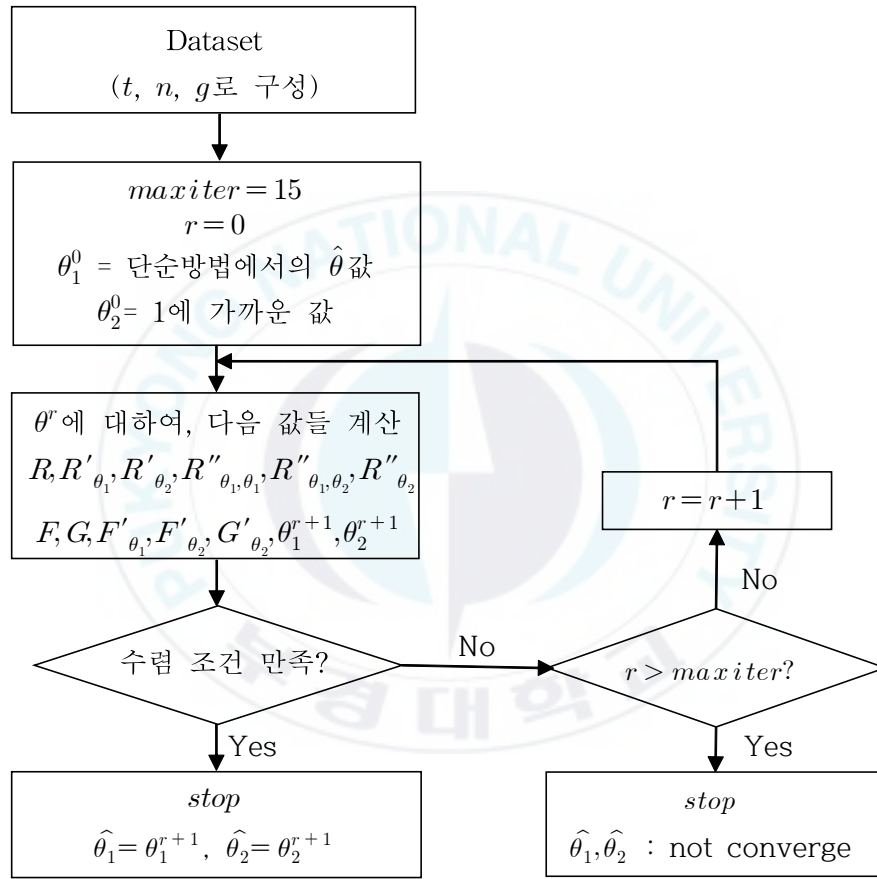


그림 14. Weibull 모델의 파라미터 추정 계산 흐름도

수렴조건으로 θ_1^r , θ_2^r 값을 이용하여 식 (16.a)~(16.b)를 만족할 때까지 최대 15회 반복 수행하고, 수렴조건을 만족하면 $\hat{\theta}_1$, $\hat{\theta}_2$ 값으로 채택한다. 수렴조건을 만족하지 못하면 화면에 ‘*’으로 출력 값을 표시하고, 초기 설정 값을

변경할 수 있도록 하였다. 최적 교정주기 설정 프로그램은 사용자 로그인을 위한 시작 화면, 정비 데이터 입력 화면, 분석을 위한 설정 값 입력화면 및 분석결과 시현화면으로 구성하였다.

4.3. 교정주기 분석 결과

'14. 1월부터 7월까지 수집된 A장비군의 정비 데이터를 그림 15와 같이 엑셀 시트에 Dataset에 맞게 구성하였다.

Applicant	Certificate No	Description	Model	Manufacture	Serial No	Receipt Dt	Calibration Dt	Result
공군	03-01002-002	TEST	Test_1	test	1	2014-01-31	2014-01-31	IN
공군	03-01002-003	TEST	Test_1	test	2	2014-02-27	2014-02-28	IN
공군	03-01002-004	TEST	Test_1	test	3	2014-02-27	2014-02-28	IN
공군	03-01002-005	TEST	Test_1	test	4	2014-02-27	2014-02-28	IN
공군	03-01002-006	TEST	Test_1	test	5	2014-03-29	2014-03-31	IN
공군	03-01002-007	TEST	Test_1	test	6	2014-04-26	2014-04-31	IN
공군	03-01002-008	TEST	Test_1	test	7	2014-04-29	2014-04-31	IN
공군	03-01002-009	TEST	Test_1	test	8	2014-05-30	2014-05-31	OUT
공군	03-01002-010	TEST	Test_1	test	9	2014-05-28	2014-05-31	IN
공군	03-01002-011	TEST	Test_1	test	10	2014-05-28	2014-05-31	IN
공군	03-01002-012	TEST	Test_1	test	11	2014-05-30	2014-05-31	IN
공군	03-01002-013	TEST	Test_1	test	12	2014-05-27	2014-05-31	IN
공군	03-01002-014	TEST	Test_1	test	13	2014-06-25	2014-06-31	OUT
공군	03-01002-015	TEST	Test_1	test	14	2014-06-29	2014-06-31	IN
공군	03-01002-016	TEST	Test_1	test	15	2014-07-30	2014-07-31	IN

그림 15. 정비 데이터(A장비군)

정비 데이터는 엑셀 파일로 변환하고, 프로그램의 정비자료 수집 현황에서 Import 기능으로 자료를 업로드하였으며, 프로그램에 업로드된 화면은 그림 16과 같다. 분석을 위해 그림 17과 같이 설정화면에 분석대상을 '모델'로 설정하고 'Test_1'을 선택하였다. 대상기간을 2014년 1월~ 2014년 07월, 목표

신뢰도 85%, 신뢰수준 90%, 분석단위 월, 추천 교정주기가 1,800일 초과 하더라도 최대 1,800일(약 60개월)까지 추천하도록 설정하였다.

교정번호	업체/기관	측정기	제조사	모델	일련번호	교정결과	교정일자
03-01002-002	공군	TEST	test	Test_1	1	IN	2014-01-31
03-01002-003	공군	TEST	test	Test_1	2	IN	2014-02-28
03-01002-004	공군	TEST	test	Test_1	3	IN	2014-02-28
03-01002-005	공군	TEST	test	Test_1	4	IN	2014-02-28
03-01002-006	공군	TEST	test	Test_1	5	IN	2014-03-31
03-01002-007	공군	TEST	test	Test_1	6	IN	2014-04-31
03-01002-008	공군	TEST	test	Test_1	7	IN	2014-04-31
03-01002-009	공군	TEST	test	Test_1	8	OUT	2014-05-31
03-01002-010	공군	TEST	test	Test_1	9	IN	2014-05-31
03-01002-011	공군	TEST	test	Test_1	10	IN	2014-05-31
03-01002-012	공군	TEST	test	Test_1	11	IN	2014-05-31
03-01002-013	공군	TEST	test	Test_1	12	IN	2014-05-31
03-01002-014	공군	TEST	test	Test_1	13	OUT	2014-06-31
03-01002-015	공군	TEST	test	Test_1	14	IN	2014-06-31
03-01002-016	공군	TEST	test	Test_1	15	IN	2014-07-31

Export(EXCEL) Import

교정일자 [1] 2

처음으로 교정일자 검색 상세검색

그림 16. 정비 데이터 업로드 화면

분석단위 ☐ 측정기 ☐ 제조사 ☒ 모델 ☐ 그분

☒ 측정기명 TEST

☒ 제조사명 test

☒ 모델명 Test_1

☒ 그분

☒ 대상기간 201401 ~ 201407 ex) 200101 ~ 200212

☒ 목표신뢰도 85 %

☒ 신뢰수준 90 %

☒ 주기표시단위 월 단위

☒ 제한조건 1800 일

그림 17. 교정주기 분석 화면

분석 결과는 그림 18과 같이 Simple Exp. 4.69개월, MLE Exp. 4.58개월, Weibull 모델은 4.89개월로 교정주기가 추천되어졌으며, 3가지 모델 가운데 성능지수 G 값이 463.40으로 가장 큰 MLE 모델의 추천 주기가 최종 선택 되어졌다. 프로그램에 의한 분석 결과는 3장 표 8 및 표 12와 동일한 결과 값이 시현되고 있는 것을 확인하였으며, MATLAB을 통한 교정주기 추정 결과는 3장의 그림 6과 같이 나타난다. 목표신뢰도를 85%로 설정할 경우 목표 신뢰도와 교차하는 신뢰도 곡선의 시간 t 지점과 그림 18에서 보여주는 교정 주기가 동일하게 출력되고 있음을 검증하였다.

분석 결과								
분석단위	모델	선택	방법	모델	주기	UCL	LCL	Merit G
측정기명	TEST	☐	SIM	Exponential	4.6942	6.3403	3.4755	460.5847
제조시명	test	☒	MLE	Exponential	4.5765	6.1827	3.3876	463.4017
모델명	Test.1	☐	MLE	Weibull	4.8951	5.4252	4.4168	194.3195
그림		[주] *: 파라미터 추정값이 수렴하지 않는 경우를 의미합니다. 초기값을 변경한 후 다시 분석할 수 있습니다. ☒ 초기값 변경 및 분석						
대상기기 수	15							
OOT 기기 수	2							
평균주기	4.0679							

그림 18. 교정주기 분석 결과

V. 결 론

본 논문에서는 군 무기체계의 각종 시험, 측정 및 진단 목적으로 사용되는 정밀측정장비에 대하여 수명주기 동안 측정신뢰도를 유지할 수 있도록 정비 데이터 기반 이항모델을 이용한 최적 교정주기 분석 기법을 제안하였다.

최적 교정주기를 분석하기 위해 장비의 사용환경, 빈도에 따른 특성변화가 반영된 정비 이력 데이터를 사용하였으며, 측정신뢰도 모델 가운데 군이 보유한 다수 장비의 특성을 일반적으로 대표할 수 있는 지수모델의 단순방법, 최대우도방법 및 와이블 모델을 적용하여 허용오차 초과율을 추정하였다.

3가지 모델에서 추정된 교정주기를 적합성 검정과 성능지수 계산을 통한 최적 교정주기를 통계적으로 선택하도록 프로그램으로 구현하였다.

제안된 최적 교정주기 분석 기법을 사용하여 현재까지 677품목에 대해 적용결과, 교정주기 연장 473품목, 교정주기 단축 80품목 및 현 교정주기 유지 57품목, 보류 67품목 등 목표한 신뢰도를 유지하면서 경제적으로 교정 비용을 절감할 수 있는 최적 교정주기 분석 능력을 확보하였다. 확보된 능력을 바탕으로 국내 기술로 개발된 KT-1, T-50, FA-50 항공기에 사용되는 정밀측정장비에 대한 운영 경험을 바탕으로 축적된 정비이력을 사용하여 교정주기를 설정할 수 있으며, 향후 국산 항공기 해외 수출 시 해당 장비에 대한 교정주기를 무기체계 도입국가에 제공함으로써 항공우주산업에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

제안된 기법을 적용하기 위해서는 최소한 30개 이상의 정비 이력 데이터가 요구되며, 장비 대수가 소량으로 정비 데이터 부족하여 분석이 보류된 67 품목에 대해서는 제안된 최적 교정주기 분석 기법을 활용한 통계적 접근이 곤란하다.

이에 따라 정비 데이터가 적은 품목에 대해 통계적 허용오차 초과율 계수를 추정할 수 있는 관련연구를 보완적으로 진행할 계획이며, 또한 실제 현장에서 교정주기를 변경할 경우 통계적 기법에 의해 추천된 교정주기를 전적으로 의존하기 보다는 정비사의 경험적 데이터와 결합하여 종합적으로 판단하는 것이 필요하다.



참고문헌

- [1] NCSL Calibration Interval Committee, *Establishment and Adjustment of Calibration Intervals*, Recommended Practice RP-1, National Conference of Standard Laboratories, Jan. 1996.
- [2] Donald W. Wyatt and Howard T. Castrup, “Managing Calibration Interval”, *Proc. 1991 NCSL workshop & Symposium*, Albuquerque, pp. 1-20, Aug. 1991.
- [3] Engr. Mohammad Ahmad AI Reeshi, “Industrial Engineering Application in Metrology : Job Scheduling, Calibration Interval and Average Outgoing Quality”, Ph. D. dissertation, School of Engineering and Design Brunel University, UK, 2013.
- [4] P. Carbone, “Performance of Simple Response Method for the Establishment and Adjustment of Calibration Intervals”, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 53, no. 3, pp. 730-735, Jun. 2004.
- [5] Scott Brockway, Tom Gorman, “Air Force Interval Analysis of Test, Measurement and Diagnostic Equipment(TMDE) Based on Maintenance Data Collection(MDC)”, *Proc. 2008 NCSL International Workshop and Symposium*, pp. 1-5, 2008.
- [6] Jon D. Albright, “Reliability Enhancement of the Navy Metrology and Calibration Program”, M.S. dissertation, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 1997.
- [7] Kim K. Chu, “A Practical Guide to Adjusting Calibration Interval”, *Proc. 2014 NCSL International Workshop & Symposium*, pp. 1-10, 2014.

- [8] H. Paul, "Cost Effective Calibration Intervals Using Weibull Analysis",
in *Proceeding of the ASQC 49th Annual Quality Congress*, Ohio, pp.
1-12, 1995.
- [9] De Capua, C. et al, "A Virtual Instrument for Estimation of Optimal
Calibration Intervals by a Decision Reliability Approach", in *Proceeding
of IEEE VECIMS 2005*, Naxos-Taormina, Italy, pp. 16-20, Jul. 2005.

