

2.5G SDH-F/O 유니트별 신뢰도분석을 통한 적정 예비유니트 산출

이 성 원*
Lee Sung Won

Abstract

초고속, 대용량전송망 구축을 위해 설치, 운용되는 2.5Gbps 동기식 광전송장치에 대하여 MIL-HDBK-217의 부품고장을 산출방법을 기본으로 유니트별 예상 고장율을 산출한후 산출된 예상 고장율과 실제 연간 집계된 고장발생 데이터와 비교분석하였다. 또한 서울망등 12개 통신망운용국에서 확보계획인 예비유니트수와 산출한 유니트별 예상고장율을 Erlang's Loss Formula에 적용하여 산출한 수량과 비교분석을 실시한후 투자계획에 따른 적정 예비 유니트를 선정, 산출하였다.

1. 서론

오늘날 정보통신은 고속인터넷과 동영상기반의 광대역 멀티미디어위주의 서비스요구가 급격히 증가하는 추세로 이와같은 다양한 서비스의 욕구를 충족시키기 위해 네트워크는 초고속, 대용량화 및 고도화, 지능화서비스를 구현하는 기술로 급격하게 발전하고 있다.

따라서 이와 같은 서비스를 제공하기 위한 통신시스템의 신뢰도 또한 중요하며 어느 목적의 시스템도 설계단계에서부터 시스템에 대한 신뢰도예측이 중요하여 신뢰성 있는 부품을 사용하여 제품의 평균수명(MTBF)를 연장시키는 방법과 시스템 Redundancy 확보 및 Burn-In등의 환경시험을 실시함으로써 시스템의 신뢰도를 향상시키고 있으나 이렇게 신뢰성 있는 시스템도 잠재적 고장 매카니즘을 가지고 있다. 특히 선진국에서도 시스템 설치 및 운용전에 사용자에 대한 신뢰도 분석에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 시스템이 설치후 운용중 신뢰성 유지를 위한 방안은 미흡하여 설치후 운용하면서 발생한 고장자료를 이용한 예비유니트 소용수를 예측하는 방법이 널리 사용되고 있다.

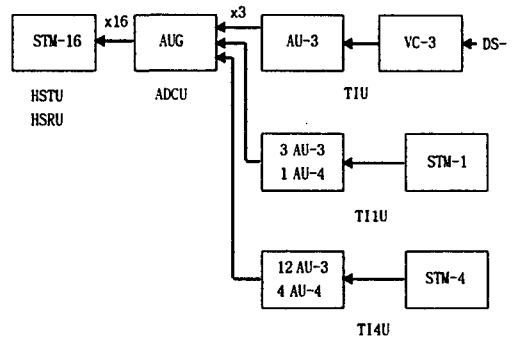
* 한국통신 통신망관리센터

따라서 본 논문에서는 유니트에 대한 신뢰도 예측을 위해 MIL-HDBK-217의 부품 고장을 산출방법을 기본으로 유니트별 고장율을 산출하고 산출된 고장율과 연간 집계된 실제 고장데이터와 비교분석후 서울망등 12개 통신망운용국에서 확보예정인 예비유니트 수량과 Erlang's Loss Formula를 이용하여 산출한 수량과 비교분석을 통해 투자계획에 따른 적정 예비유니트를 산출하였다.[2,3,6]

2. 2.5Gbps 광전송시스템 개요[7]

2.1. 시스템 개요

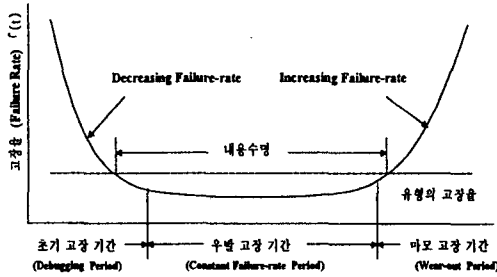
2.5Gbps 광전송 장치는 프레임 구조를 갖는 STM-16급의 장치로 (그림 2-1)과 같은 다중화 구조를 가지고 있다.



(그림 2-1) 2.5Gbps 광전송장치 다중화구조

2.3 2.5Gbps 광전송시스템 신뢰도 분석

일반적으로 시스템의 신뢰도는 시스템의 평가 및 유지에 주요 척도로 사용되며 신뢰도 분석은 시스템의 안정적 제고와 효율적 운용을 위해 매우 중요한 의미를 갖는다. 따라서 시스템 신뢰도 향상을 위한 방법으로 설치와 제조과정을 개선하여 제품 평균수명(MTBF : Mean Time Between Failure)를 연장시키는 방법과 Burn-In등과 같은 환경시험을 통한 초기고장 제거 및 감소시키는 방법이 있다.[2,3]

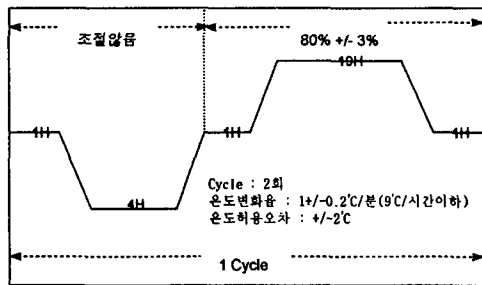


(그림 2-10) 욕조곡선 (Bathtub)

고장율은 (그림 2-10)에서와 같이 시간적으로 감소, 일정, 증가의 3가지 기본적인 형을 가지고 있으며 이 중 고장율 일정형은 많은 구성부품들로 구성된 제품이나 시스템에서 고장발생시마다 교체 또는 수리될 때 흔히 볼수 있는 유형이다.[1,2]

일반적으로 시스템 설치초기와 말기의 고장율은 시스템 고유성질에 의해 발생하는 고장이 아니며 초기에는 시스템의 불안정, 제조공장상의 불량 또는 설치과정상에서 발생하는 고장이며 말기에는 시설노후 등으로 고장율이 급격히 증가된다.

따라서 대부분의 통신시스템과 마찬가지로 2.5Gbps시스템 또한 초기고장율을 최소화하여 신뢰도 향상을 위한 Burn-In 환경시험을 실시하는데 시험조건은 (그림 2-11)과 같이 전원인가후 동작 상태에서 온도 및 습도변화에 따라 72시간동안 전송특성 및 광신호 출력레벨등을 측정한다.



(그림 2-11) 2.5Gbps 환경시험조건

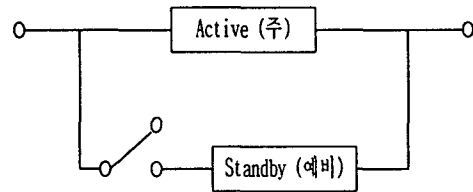
2.3.1 운용방식별 신뢰도 예측[1]

기능적으로 독립된 직렬부분의 신뢰도를 $R_i(t)$ 라

하면 전체 시스템의 신뢰도는 $R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$ 로 구해진다. 또한 이 부분의 신뢰도가 지수분포에 따른다면 $R_i(t) = \exp(-\lambda_i t)$ 이고 $R(t) = \exp(-\lambda t)$ 이므로 전체시스템 고장율은 식 (2-1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 R(t) &= \prod_{i=1}^n R_i(t) \\
 &= \exp(-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t) \\
 \lambda &= \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \\
 &= \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \quad (2-1)
 \end{aligned}$$

즉, 직렬계 전체의 고장율 λ 가 그 직렬 구성 부분의 고장율 λ_i 의 합과 같음을 나타내며 (그림 2-12) 병렬모델에 대해서는 중복(Redundancy)라는 추가적인 기능을 구현하여 신뢰도를 높일수 있다.



(그림 2-12) 병렬모델

병렬 모델의 신뢰도 $R_s(t)$ 는

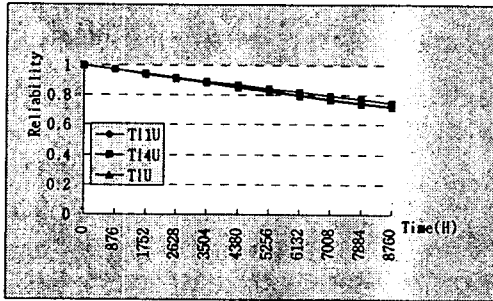
$$\begin{aligned}
 R_s(t) &= \exp(-\lambda_1 T) + \int_0^T \exp(-\lambda_1 t) \cdot \exp(-\lambda_2 (T-t)) dt \\
 &= (\lambda_1 R_2 - \lambda_2 R_1) / (\lambda_1 - \lambda_2) \quad (2-2)
 \end{aligned}$$

로 계산되어진다.

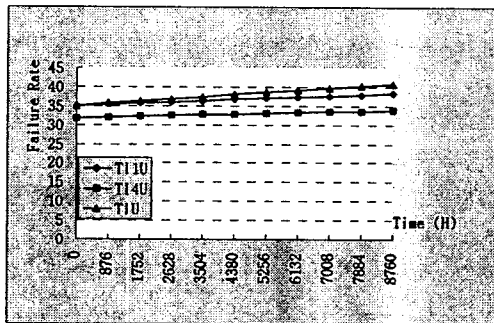
2.3.2 다중셀프 신뢰도 분석결과

중속부에 대한 시간에 따른 신뢰도와 고장율은 시간이 지남에 따라 일정하게 감소하며 이는 중속부 셀프내에서 대부분의 유니트가 이중화 구조(병렬구조)를 가지고 동일하게 구성됨에 기인한다. 그러나 고속부의 경우는 단국형과 선형의 경우 고속부에 실장된 유니트 또한 이중화 구조를 이루고 있으나, 환형의 경우 직렬구조를 이룸에 따라 신뢰도와 고장율은 급격히 감소되고 증가함

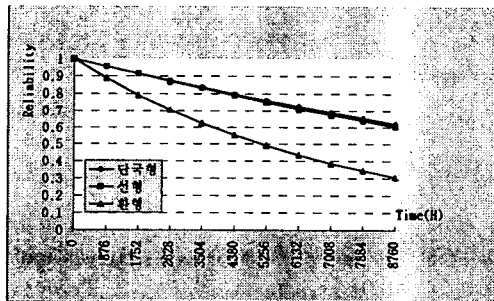
을 알수 있다. 따라서 대부분 환형의 망구조를 가지고 시스템을 운용하고 있는 망운용국에서는 시설안정화를 위하여 고속부에 대한 예비유니트를 적절히 구비하여야 할 것으로 사료된다.



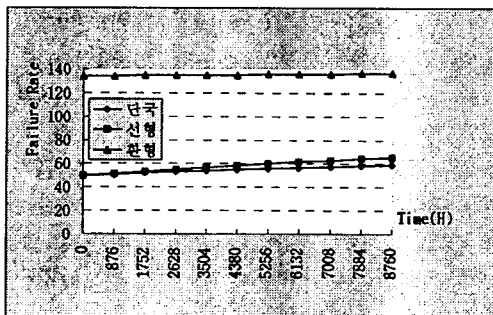
(그림 2-13) 중속부 (Reliability : Time)



(그림 2-14) 중속부 (Failure Rate : Time)



(그림 2-15) 고속부 (Reliability : Time)



(그림 2-16) 고속부 (Failure Rate : Time)

3. 예비유니트의 확보기준

예비유니트는 시스템 유지보수시 장애로 인한 이장시간을 최소화하고 시스템의 신뢰성 유지 및 신속한 고장복구 체제확립을 위해 지원되는 예비품으로 보유기능은 항상 유지되어야 하며,[8] 또한 적정 유지보수 비용에 따른 경제성을 고려하여 확보되어야 하며 사전에 어떠한 자료나 근거없이 많이 확보할 때에는 경제적 손실을 감소하여야 한다.

3.1 예비유니트 확보방안

예비유니트 확보기준은 (표 3-1)과 같이 1,2,3순위로 구분하여 1,2순위는 시스템에 영향을 미치는 유니트로 DS-3급 이상 회선서비스에 영향을 주는 1순위와 DS-3급 미만 회선서비스에 영향을 주는 2순위, 서비스에 영향이 없으며 보호기능(이중화 기능등)이 있는 유니트는 3순위로 구분한다.

1순위	2순위	3순위
MPU,STGU HSTU,HSRU TIU,TI4U,TIU	ADCU,DCU LDCU,LOWU	OWU,REPU

(표 3-1) 2.5Gbps 예비유니트 확보 순위

운용중인 유니트가 불량발생시 운용자는 예비유니트로 교체, 정상적인 운용상태를 유지하는 것이 유지보수 단계에서 매우 중요한 업무중의 하나로 운용국에서 수리의뢰된 유니트는 수리소요시간이 교통 및 거리에 따라 A,B지역으로 구분하여 3주(504 시간) 이내에 수리가 완료되어 입고되어야 한다.[8]

3.2 유니트별 고장발생 추세

기관별로 분석한 유니트별 고장을 순위는 (표 3-2)에서와 같이 REPU, DCU, MPU, HSTU, HSRU, TIU, TPU, STGU, ADCU, TIU, LOWU, OWU, LDCU, TI4U순으로 불량률이 많이 발생하며 특히 REPU, MPU, HSTU, HSRU, TIU 유니트는 불량발생 빈도가 높음을 알수 있다.

3.3 예비유니트 확보계획

서울망 등 12개 통신망운용국은 (표 3-3)과 같이 현재 유니트 14종에 대한 예비유니트 보유수는 223매이며 금년도 105매를 추가 확보하여 총 328매로 시설 안정화 운용에 활용할 계획이다. 그러나 금년도 투자계획에 따른 추가 확보 유니트 수량은 76매로 결정되어짐에 따라 운용국의 요구 수량과 투자계획 등이 함께 검토되어 적정 예비

유니트를 선정, 산출하여 할 필요성이 대두되었다.

PBA	통신망운용국 (주1)			전국 (주2)		
	시설수 (A)	불량수 (B)	불량율 (%)	시설수 (C)	불량수 (D)	불량율 (%)
STGU	1,602	23	1.435	3,833	27	0.704
HSRU	1,483	26	1.753	3,315	67	2.021
HSTU	1,511	22	1.546	3,347	68	2.032
ADCU	3,268	20	0.612	6,611	40	0.605
MPU	1,363	30	2.201	2,455	56	2.281
DCU	1,358	10	0.736	2,436	59	2.422
OWU	1,172	1	0.085	2,012	4	0.199
LOWU	412	9	2.795	1,110	4	0.360
LDCU	681	0	0.0	1,963	3	0.153
TIU	6,571	60	0.913	16,883	241	1.428
TIIU	4,569	25	0.547	12,295	50	0.407
TI4U	211	0	0.0	694	0	0.0
TPU	1,949	17	0.872	4,400	33	0.75
REPU	2,434	64	2.630	1,280	74	5.781
총 계	28,584	307	1.074	62,634	726	1.159

주1) 통신망운용국 : 서울망 등 12개 통신망운용국

주2) 전국 : 서울망 등 12개 망운용국 및 서울 등 10개 지역본부

(표 3-2) 유니트별 고장발생현황

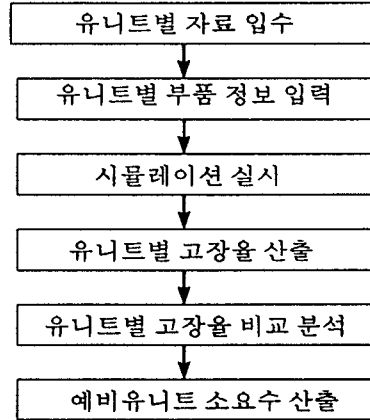
유니트	시설수	보유수	요청수	확보계획총계
STGU	1,602	12	11	23
HSRU	1,483	21	14	35
HSTU	1,511	26	18	44
ADCU	3,268	21	10	31
MPU	1,363	12	10	22
DCU	1,358	13	10	23
OWU	1,172	2	2	4
LOWU	412	2	2	4
LDCU	681	11	1	12
TIU	6,571	45	4	49
TIIU	4,569	14	5	19
TI4U	211	0	0	0
TPU	1,949	14	6	20
REPU	2,434	40	12	52
총 계	28,584	233	105	338

(표 3-3) 망운용국 예비유니트 현황 및 확보계획

4. 시뮬레이션 방법

4.1 시뮬레이션 절차

Relx 프로그램을 이용한 유니트별 고장을 산출 및 예비유니트 산출절차는 (그림 4-1)과 같다.



(그림 4-1) 산출 절차

유니트의 신뢰도를 예측하는 기본절차는

- 1) 각 부품별 고장을 산출식 상이에 따른 부품 종류 확인
- 2) 부품별 고장을 산출의 주요 입력요소인 공통 및 정격항목 조사
- 3) 동작 소비 전력 및 주위온도등의 항목확인
- 4) 각 부품별 고장을 산출식에 따라 고장을 산출
- 5) 각 부품의 고장율을 더하여 유니트 단위 고장율을 구하여 MTBF 및 신뢰도를 예측하는 절차로 수행되어진다.

4.2 MIL-HDBK-217 예측방법

1991년도 미국 국방성(DOD : Department Of Defence)에서 제정된 MIL-HDBK-217 규격은 전기전자부품 및 어셈블리의 신뢰성 평가척도와 계산방식을 제공하며 시스템과 부품의 상세설계에 따른 고유 스펙과 다양한 파라메타 설정으로 시스템 고장율을 계산하는 Part Stress 방법과 시스템과 부품의 고유 스펙과 최소 파라메타를 이용하여 신뢰도를 예측하는 Part Count방법이 제시되었다.[2,4]

Part Count방법의 고장율은 각 부품별로 할당된 평균고장율 개념을 적용하여 각 부품들의 고장율의 합으로 표현된다.

$$\lambda_{pi} = \lambda_G \cdot I_q \cdot I_L$$

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^N f_i \cdot \lambda_{pi} \quad (4-1)$$

단, λ_{pi} : 부품 class I의 고장을

λ_p : 부품의 총고장을

λ_G : 회로,기술 복잡도에 의한 고장을

$||Q$: 품질요소

$||L$: 학습요소

f_i : 부품 class I에 속하는 부품들의 수

N : 부품 class의 수

Part Stress방식은 주어진 Stress,사용환경, 품질수준,온도,Complexity,전압등의 조건하에서 각 부품들의 특성과 영향요소에 따라 다음과 같이 계산된다.

$$\lambda_{pi} = ||Q \cdot (C_1 \cdot ||T \cdot ||V + C_2 \cdot ||E) \cdot ||L$$

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^N \lambda_{pi} \quad (4-2)$$

단, λ_{pi} : 주어진 조건하에서 부품i의 예측고장을

λ_p : 부품고장을

$||Q$: 품질요소

C_1 : 회로,기술 복잡도에 의한 고장을상수

C_2 : 실장 및 조립상태에 대한 고장을 상수

$||T$: 온도 가속요소

$||V$: 전기적 충격요소

$||E$: 환경요소

$||L$: 장치나 공정 학습요소

N : 부품수

4.3 2.5Gbps 유니트별 고장을 산출결과

2.5Gbps 광전송장치의 각 유니트에 대한 MTBF 산출은 Part Count방식을 적용하였으며 이는 각 부품이 직렬배치로 간주하여 개별부품들의 고장율의 합으로 유니트단위 고장율을 계산하였다. 특히 수동소자(Passive Component : R,L,C 등)에 대해서는 상위등급을 능동소자(Active Component : IC 등)에 대해서는 Commercial등급을 HSTU, HSRU, REPU 유니트에 실장된 광모듈(OTX 및 ORU)는 Hybrid IC로 간주하여 시뮬레이션을 실시하였으며 유니트별 고장율을 산출한 결과 불량율을 우선순위는 (표 4-1)과 같이 REPU, MPU, HSTU, DCU, HSRU, TIU, OWU, STGU, ADCU, TI1U, LOWU, TPU, LDCU, TI4U순이며 실제 집계된 고장유니트 순위와 OWU 유니트를 제외한 대부분의 유니트 순위가 유사함을 알 수 있으며 각 유니트별 MTBF는 식 (4-3)로 계산되어진다.

구분	유니트명	Failure Rate	MTBF	년 수
고속부	OWU	11.81568	84,633	9.6613
	DCU	15.64754	63,908	7.2954
	MPU	21.42291	46,679	5.3287
	ADCU	9.99637	100,036	11.4196
	HSRU	17.00281	58,814	6.7139
	STGU	10.72420	93,247	10.6446
	HSTU	25.07492	39,880	4.5525
중속부	TIU	13.36128	74,843	8.5437
	TI1U	9.98460	100,154	11.4331
	TPU	9.47797	105,508	11.4735
	LDCU	9.35388	106,908	12.2042
	LOWU	9.68477	103,255	11.7871
	TI4U	8.07791	123,794	14.1317
중계기	REPU	36.30850	27,542	3.1441

(표 4-1) 유니트별 고장을 산출결과

$$MTBF = \frac{10^6}{Failure Rate} \quad (4-3)$$

4.4 예비유니트 산출방법

시스템 운용중 장애 발생시 예비유니트 부족으로 인한 시스템에 치명적인 영향을 미치므로 식 (4-5)와 같이 일정한 시스템 비가용도를 결정하여 식 (4-4)의 Erlang's Loss Formula를 이용하여 예비유니트를 산출할수 있다. [6]

$$\bar{A}(s,a) = \frac{a^s / s!}{\sum_{k=0}^s (a^k / k!)} \quad (4-5)$$

$$A(s,a) = 1 - \bar{A}(s,a)$$

단, $\bar{A}(s,a)$: 시스템 비가용도(Unavailability)

a : 수리중인 유니트 수

s : 예비유니트 수

$A(s,a)$: 시스템 가용도

$$\text{이때 } a = N * R * I \quad (4-4)$$

단, N : 시설수

R : 수리율 (Repair Rate)

I : 평균수리시간

이때 고장율이 가장 높은 REPU의 경우

$$a = N * R * I$$

$$= 2,434 * (36.308497 * 10^{-6}) * 504 [8]$$

$$= 44.540940 \text{으로 계산되어진다.}$$

따라서 REPU의 경우 변수 a값은 44.540940이며 목표시스템 비가용도를 0.002 즉, 가용도를 99.998로 가정하면

$$s = 62\text{일 때 } A(s,a) = 0.0024187$$

$$s = 63\text{일 때 } A(s,a) = 0.0017071$$

$$s = 64\text{일 때 } A(s,a) = 0.00118665$$

s = 65일 때 A(s,a) = 0.000812482로 계산되어진다. 비가용도 목표치를 0.002로 가정하였을 경우 적정 예비유니트수는 63개 임을 알수있으며 만약 가용도를 "0.001" 높이기위한 예비유니트는 2개가 추가 확보되어야 한다.

따라서 식 (4-4) ~ (4-5)를 이용하여 각 유니트별 적정 예비유니트 수량 산출결과(표 4-2)와 같다.

유니트	통신망운용국 계획			시뮬레이션 결과	
	보유수 (a)	요청수 (b)	총계 (a+b)	계산치 (d)	적정수 (d-a)
STGU	12	11	23	19	7
HSRU	21	14	35	24	8
HSTU	26	18	44	32	6
ADCU	21	10	31	29	8
MPU	12	10	22	22	10
DCU	13	10	23	21	8
OWU	2	2	4	16	2(주1)
LOWU	2	2	4	6	2(주2)
LDCU	11	1	12	10	-
TIU	45	4	49	63	4(주2)
TIIU	14	5	19	37	5(주2)
TI4U	0	0	0	5	0(주2)
TPU	14	6	20	19	5
REPU	40	12	52	63	11(주2)
총 계	233	105	338	366	76(주3)

주1) 시뮬레이션 결과와 실제 고장데이터간 과다 차이 발생

주2) 운용국 확보계획 (요구) 수량으로 산출

주3) 투자사업 계획 수량

(표 4-2) 적정예비유니트 산출

또한 투자계획에 따른 확보수량 76개에 대한 유니트별 선정방법은 시설을 운용하는 운용자의 요구를 최대한 수렴하며(주2) 투자계획 수량(주3)을 감안하여 산출되어야 하므로 유니트별 예비수량은 시뮬레이션을 통해 산출된 수량에서 현재 보유수를 제외한 부족수량을 유니트별 적정수로 결정, 산출하였다.

5. 결과 및 검토

국내 기간전송망의 백본망으로 운용되고 있는 2.5Gbps 동기식 광전송시스템에 대한 안정적 운용을 위해 필요한 예비유니트 산출을 위하여 부품 고장율의 합으로만 산출되는 신뢰도 모델을 적용하여 유니트별 고장율을 분석한 결과 실제 집계된 유니트 고장율 순위와 유사함을 알 수 있었다. 시뮬레이션을 통한 예비유니트 산출 수량은 실질적으로 운용국에서 확보하기 위한 예비유니트 소요수와 차이는 있지만 이는 고장율의 차이에 기인한 것으로 사료된다. 따라서 정확한 예비유니트수를 산출하기 위해서는 부품특성에 따른 고장율 산출보다는 현장에서 수집된 실제 데이터를 이용하여 시설운용 안정화를 위한 예비유니트를 산출하는 것이 타당하지만 이를 위해서는 장기간 시설운용이 선행되어야 하므로 지속적인 관리 및 DB구축이 필요할 것으로 사료된다.

6. 결론

통신서비스는 통신망을 형성하고 있는 각종 설비들의 유기적 결합으로 이루어지므로 안정된 통신서비스 제공을 위해서는 그 기초가 되는 통신시스템들이 항상 기능을 충분히 발휘할수 있도록 운용, 예방보전 및 고장수리 등의 작업을 수행함으로써 이루어지며 이러한 작업을 통하여 양질의 서비스를 가입자에게 제공할수 있다. 따라서 통신시스템의 유지보수는 예방보전에 역점을 두고 고장이 발생하지 않도록하며 고장발생시 신속하게 복구되어야 하며 또한 유지보수 작업은 고장이 적고 비용이 들지 않는 시스템의 효율성과 고장을 신속히 복구시킬수 있도록 적정 예비유니트가 확보되어야 한다. 또한 서비스에 중대한 영향을 줄 수 있는 유니트는 기능저하가 되기전에 정기적으로 교체,관리될수 있는 환경구축 또한 필요하다.

참고문헌

- [1] 강인선,김진규공저 "신뢰성공학" 한울출판사
- [2] 박종엽 "신뢰도예측및 확인방법과 Burn-In 시간결정에 관한 실증적 연구" 박사학위논문, 인하대학교 1997.

- [3] 백상엽 “고장과정의 중속성을 반영한 시스템의 신뢰성 모형화 및 분석” 박사학위논문, 서울대학교8 1996.
- [4] MIL-HDBK-217F “Reliability Prediction of Electronic Equipment” 2. December. 1991.
- [5] Bellcore “Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment” Technical Reference TR-332 issue5. December. 1995
- [6] Elsayed A. Elsayed “Reliability Engineering” Addison Wesley
- [7] “2.48832Gbps 광전송시스템 사용설명서 ” 한국통신 1997.
- [8] 전기통신시설 운용보전표준 제8권 “전송편” 한국통신

이성원

1990.2 승실대학교 전자공학과(공학사)
 1994.8 승실대학교 산업대학원
 전자공학과 (공학석사)
 1990.1 ~ 1998.12 대우통신(주) 선임연구원
 1999.1 ~ 현재 한국통신 통신망관리센터

관심분야

- 시스템 신뢰도 분석 및 통신망관리
- 통신시스템 설계 및 망구축 분야