CDMA 기지국 시스템의 고장간 평균 시간 (MTBF : Mean Time Between Failures) 분석

곽민곤 · 전종우

이동 단말기와 직접 통신을 담당하는 기지국 시스템의 경우, 산간 벽지 및 도서 지방에 설치될 경우 유지 보수가 용이하지 않은 관계로 기지국 시스템은 마모나 부식 및 고장에 대한 높은 신뢰도를 유지할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 통신 서비스 사업자에 의해 요구되는 통신 시스템 신뢰도를 위한 규격 Bellcore TR-332를 기초로 기지국 시스템의 고장간 평균 시간(MTBF) 분석을 유도하기로 한다. 이를 근거로 시스템 신뢰도 제약 원인을 분석하며 목표 MTBF 확보를 위한 설계의 기준을 제시함으로써 기지국 시스템의 신뢰도 향상을 기할 수 있는 근거를 마련하고자 한다.

I. 서 론

이동통신망에서 기지국 시스템의 하나인 BTS(Base Station Transceiver Subsystem)는 개인 단말기와는 무선 채널 접속을 통해 BSC(Base Station Controller)와는 유선 연결을 통해 호 처리 및 여러 가지 부가 서비스 기능을 담당하고 있다. 보통 하나의 기지국이 담당하는 단위 지역을 셀(Cell)이라 부르며, 셀의 크기는 BTS의 Power 출력, 안테나 높이 및 지형의 고저에 따라 달라진다. 기지국은 자신의 Coverage 내에서 이동 단말기와의 통신을 직접 담당해야 하므로 산간 벽지나 외딴 도서 등의 유지 보수가 힘든 지역에서도 설치 운용될 수 있어야 한다. 따라서, 기지국은 자연 환경적인 마모나 부식에 대해 내구성이 뛰어나야 되며 시스템의 고장 시간이 목표 시간 이상을 유지할 수 있도록 설계되어져야 한다. 이를 위해서는 통신 시스템의 신뢰도 분석을 통해 기지국의 고장간 평균 시간(MTBF : Mean Time Between Failure)을 예측하여 그것이 설계에 충분히 반영될 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 그래야만, 운용 시 제품의 신뢰도 이상 징후에 대한 진단과 아울러 고객의 요구 사항에 대해 정확하게 대응할 수 있을 것이다. CDMA 이동 통신 분야에서 세계 최초의 상용국임과 세계 최고의 가입자 확보라는 자부심이 지켜지기 위해서는 시스템 기능 개발에 못지 않은 시스템 성능 분석 및 진단과 경쟁력이 있는 시스템 신뢰도의 유지를 위한 연구가 다양하게 병행되어야 할 것이다.

고장간 평균 시간인 MTBF는 여러 분야에서 신뢰도 척도로서 자주 사용되어지며 많은 연구가 이루어져 왔다[1] ~ [4]. 그리고, 각 제조업체에서는 그것을 바탕으로 자사 시스템의 신뢰도 측정을 위한 많은 방법 및 다양한 표준 규격들을 제시하게 되었다. 이 중에서 통신 시스템에는 주로 MIL 규격과 Bellcore 규격을 많이 사용하고 있다[5],[6]. MIL 규격은 주로 기계 및 군수장비에 많이 이용되며 그 사용범위가 매우 포괄적이며 Bellcore 규격은 주로 통신 분야에 국한하여 애용되고 있다. Bellcore 규격은 주로 전자 부품에 대한 신뢰도를 언급하고 있으며, H/W 장치의 신뢰도 예측 방법에 대한 절차를 기술하고 있다. 그리고, 사전에 예측된 신뢰도 자료는 시스템 개발 후 시험 및 운용 자료를 통한 신뢰도 자료와 비교 분석되어 더욱 정확한 신뢰도 예측 방법을 가능하게 한다.

우리는 본 논문에서 CDMA 이동통신망 기지국 시스템을 모델로 하여 Bellcore 규격에 따른 시스템 신뢰도를 탐색하여 시스템을 구성하는 H/W 구성 블록을 통해 신뢰도 향상을 위한 요인을 분석하고자 한다. II장에서는 Bellcore 규격의 내용을 요약 정리하며, III장에

곽민곤 : 현대전자통신연구소
전종우 : 서울대학교 복잡계통계단연구센터

표 1. Parts Count 방법의 세가지 경우에 따른 요인별 조건

Case	조 건			
	System/Unit Burn-in time	Device Burn-in	온도(℃)	Stress(%)
1	<= 1 hours	No	40	50
2	>= 1 hours	No	40	50
3		Yes	Not 40	Not 50

표 2. 부품 수준별 Quality Factor

Quality Level	Semiconductor Devices (Discrete and Integrated)		All Other Devices
	Hermetic	Non-hermetic	
I	3.0	3.0	3.0
II	1.0	1.0	1.0
III	0.9	0.9	0.9

서는 분석하고자 하는 BTS의 구조와 기능과 신뢰도 분석을 위한 과정을 소개하고, IV장에서는 결론을 유도한다.

II. 신뢰도 측정을 위한 Bellcore 규격

Bellcore 규격은 통신 전자 부품의 신뢰도 예측 과정에 따른 절차서를 말하며 주로 통신 기기 및 시스템에 적용된다[5]. Bellcore TR-332는 일반적으로 Hardware의 Device와 Unit의 신뢰도 예측에 대한 추정 방법을 기술한 것인데 여기서 Device란 신뢰도 계산에 필요한 다이오우드, 트랜지스터 및 IC 등의 기초 부품(Component or Part)을 말하며, Unit이란 Device로 구성되는 조립체를 의미한다. 이러한 전자 기초 부품을 토대로 규격서에는 신뢰도 예측을 위한 세 가지 방법을 제시하고 있다. 먼저, 방법 I은 부품에 제시되는 고장률 및 수량 정보를 이용하여 신뢰도 예측을 하는 방법으로, Unit의 고장률은 각 Device 고장률의 합이라는 가정을 전제로 하므로 ' Parts Count ' 방법이라고도 한다. 이 방법은 다시 온도나 전기적 Stress 조건에 따라 세 가지 경우로 세분되는데, 그것은 표 1로 정리될 수 있다. 여기서, Burn-in 이란 시스템의 초기 고장 요인을 제거하기 위해 정상적인 운용 조건을 완벽하게 시뮬레이션 하는 Power가 가해진 동작 상태를 의미한다. 방법 II는 정해진 기준에 따른 시험 자료와 방법 I을 혼합한 Unit 또는 Device 수준의 통계 예측 방법을 말하며 방법 III은 서비스 중인 운용 자료에 기초한 신뢰도의 통계 예측 방법을 말한다. 여기서는, 시스템 설계에 따른 정확한 신뢰도 예측이 관심의 대상이므로 방법 I에 의한 사전 추정값을 분석해 보기로 한다.

먼저, 시스템의 신뢰도를 예측하기 위한 구체적인 Parameter를 소개하면서, 계산 방법을 설명해 보기로 하자. 위에서의 방법 I(Parts Count)은 부품(Device)의 안정 상태의 고장률을 다음과 같이 정의하고 있다.

$$\lambda_{SSi} = \lambda_{Gi}\pi_{Qi}\pi_{Si}\pi_{Ti} \quad (1)$$

이 때, λ_{Gi}는 i-th 부품의 고장률을 의미하는 것으로 단위는 FITS(Failures in 10^9 Hours)이다. 다양한 부품에 대한 점 추정치(point estimate)가 TR-332에 제시되어져 있으며, 여러 공급업자에 의해 제공되는 자료에 근거하여 메모리, 프로세서, Relay 및 Connector 등의 고장률에 대한 정보가 15개의 Sheet 상에 나타나 있다[5]. π_{Qi}는 i-th 부품의 Quality factor이며 부품에 대한 제조업체의 책임지수를 의미한다. Quality 요인은 3개의 수준으로 구분되며 보통은 수준 I을 사용하나, 수준 I과 다른 수준의 정당성을 부여하기 위해 Quality 요인을 표 2에서 제공하고 있으며, 그것은 TR-NWT-000357에서 자세히 언급하고 있다.

그리고, π_{Si}는 i-th 부품의 스트레스 요인을 말하며, 그것은 다음과 같이 유도된다.

$$\pi_{Si} = e^{m(p_1 - p_0)} \quad (2)$$

표 3. 전기적 스트레스 Curve에 따른 Parameter m

Curve	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
m	0.006	0.009	0.013	0.019	0.024	0.029	0.035	0.041	0.046	0.059	0.006

표 4. Temperature Stress Curve에 따른 Activation Energy

Curve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E_a	0.05	0.10	0.15	0.22	0.28	0.35	0.40	0.45	0.56	0.70

이 때, P_1은 적용할 스트레스 강도를, P_o는 기준 스트레스(Reference Stress) 강도를 나타내는데, 단위는 보통 %로 표시하며 기준 스트레스는 50% 이다. 스트레스의 강도가 클수록 고장률은 증가하며, 우리가 제시할 Parts Count에 의한 case I의 경우, π_{Si}는 1.0이 된다. 참고로, Fitting Parameter m은 전기적 스트레스 Curve에 따라 A에서 K까지 분류되며, 그 값은 표 3 과 같다.

마지막으로, 온도 요인 π_{Ti}에 대한 공식은 다음과 같다.

$$\pi_{Ti} = \exp\{\frac{E_a}{k}\ (T_0^{-1} - T_1^{-1})\} \quad (3)$$

이 때, T_0는 기준 온도($^\circ$K = 40 + 273)을 말하고, T_1은 절대 온도로 표시되는 적용 운용 온도를 말한다. E_a는 활동 에너지 지수를 말하며 k는 볼쯔만 (Boltzman) 상수($8.62*10^{-5}$)이다. 따라서, 고온일수록 π_{Ti}의 값은 커지며, Parts count에 의한 case 1의 경우 π_{Ti}는 1.0 이 된다. 온도 스트레스 Curve에 따라 10 단계로 분류되며, Curve Number에 따른 E_a 값은 표 4와 같다.

결국, 경우 1과 2의 경우, π_{Si}와 π_{Ti}의 값은 1.0 이므로 i-th 부품의 고장률 식 (1)은 다음과 같이 간단히 표현될 수 있다.

$$\lambda_{SSi} = \lambda_{Gi}\pi_{Qi} \quad (4)$$

Parts count 방법에 의한 Device의 신뢰도 예측은 식 (1), 식(2) 및 식(3)에 의해 이루어진다. Unit은 일반적으로 Device의 구성체를 말하는데, Unit의 안정 상태의 고장률은 Unit에 포함되는 모든 부품(device) 고장률의 합에 Unit 환경 요인, π_E를 곱한 것으로 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda_{SS} = \pi_E \Sigma_{i=0}^{n} N_i \lambda_{SSi} \quad (5)$$

이 때, n은 Unit에 포함되는 Type이 다른 Device 수를 의미하며 N_i는 i-th 부품의 갯수를 말한다. π_E는 Unit의 환경 조건에 따른 요인으로써 그 값은 표 5에서와 같이 환경 조건에 따라 달라진다.

표 5에서와 같이, 동일한 시스템이라 할지라도 옥내형인 경우, 옥외용보다 고장률이 최소 2배 이상 커질 수 있음을 식 (5)를 통해 알 수 있다. 이제까지의 Bellcore TR-332 내용에 따른 (1)에서 (5)까지의 수식을 근거로 우리는 앞에서 언급한 시스템의 Unit 단위까지의 신뢰도 고장률을 예측할 수 있다.

Ⅲ. BTS 시스템 신뢰도 분석

1. BTS 의 블록 구성도

BTS는 BSC와 단말기 사이에 위치하여, 호 처리에 따른 무선 Link의 제어 및 제반 기능을 수행하는 망 요소이다. 일반적으로 옥외형이 가장 자연적인 환경에 많이 노출되어 있어 고도의 신뢰성이 요구되며, 여기서는 그림 1과 같이 Micro-BTS의 실제 모델을 토대로 분석하고자 하며 그림에서 제시된 각 블록의 기능은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- BMP(BTS Main Processor)
  BMPA와 HLEA로 구성되며, BMPA는 BTS를 전반적으로 관리하는 최상위 제어부로서 호처리 및 유지보수 기능을 수행하고 각각의 다른 블록을 제어한다. 그리고, HLEA는 Trunk Interface 모듈로 구성되어 E1/T1으로 BSC와 접속 기능을 담당한다.
- Digital Unit(DU)
  CDMA 디지털 신호를 처리하는 CDCA(CDMA Channel Card Assembly) 및 XCVU(Transceiver Unit)와 IF(Intermediated Frequency) Interface를 제공하

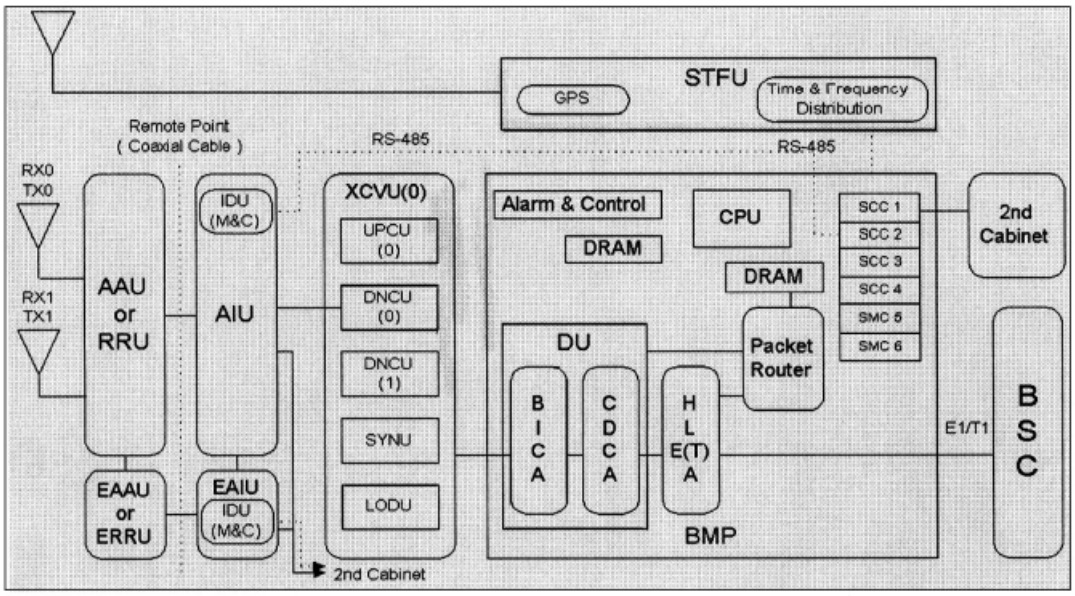


그림 1. BTS 시스템 Configuration

표 5. 환경 조건에 따른 환경 요인값(π_E)

환경	π_E	환 경 조 건
지면, 고정, 제어가능	1.0	최적의 유지보수 지역, 사무실, 환경적으로 제어 가능한 천장, 지하실, 원격 보호지 및 고객 지원 지역
지면, 고정, 제어불가	2.0	제한적인 유지 보수 지역, Manhole, Pole, Remote Terminal, 충격, 대기 상황, 온도 및 진동에 영향이 큰 지역
지면, 이동	6.0	충격이나 진동이 심한 지역, 이동 전화기, 이동 운용 장비, 시험 장비

여주는 BICA(Base-band & IF Conversion Card Assembly)로 구성되어 있다. CDCA는 디지털 셀프 내에 위치하며 셀 내의 호처리가 주기능이며 BICA와 접속되어 Reverse Link 및 Forward Link 시 BICA로부터 디지털 샘플된 신호들을 주고 받는다.

- Timing & Frequency Unit(TFU)
  위성으로부터 관련 데이터를 수신하는 GPS(Global Positioning System)와 이 데이터를 통해 기지국에 필요한 TOD(Time of Day) 정보 및 기준 Clock을 제공하는 Unit으로 기지국 전체에 동기 및 인접 기지국과의 시각 동기 기준 Clock을 제공하고 있다.
- Radio Frequency(RF)
  BTS의 RF 부분은 XCVU와 RFU(Remote Frequency Unit)로 구성되어 있으며 XCVU에는 RFU에 기준 주파수를 제공하는 SYNU(Synthesizer Unit), Forward Link의 Up Converter 기능을 수행하는 UPCU(Up Converter), Reverse Link의 Down Converter 기능을 수행하는 DNCU(Down Converter), Local 신호 분배를 담당하는 LODU(Local Distribution)로 구성된다. RFU는 AIU(Air Interface Unit)와 AAU(Active Antenna Unit)로 구성되는데, AIU는 AAU의 접속 기능과 AAU의 상태와 Alarm을 감시하는 기능, 그리고 AAU에 대한 제어 기능을 수행하며 AAU는 Amplifier 및 Filter로 구성되며 실제 응용에 따라 선택 사양이 달라지기도 한다.
- Rectifier Power Unit(RPU)
  기지국 전체에 전력을 공급하는 시스템 신뢰도에 결정적인 역할을 하는 장치이다.

2. 신뢰도 분석

시스템 신뢰도 분석을 위해서는 먼저 시스템 구조를 세분화 해야 하는데, 이동통신 시스템에서 통용되는 H/W 개념을 Bellcore 개념에 일치시킬 필요가 있다.

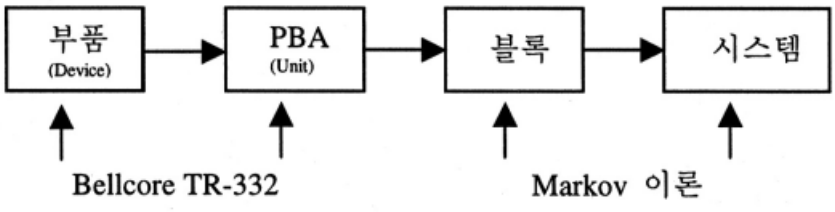


그림 2. 기지국 시스템의 신뢰도 계산 절차

표 6. Device reliability prediction worksheet 예제
Case 1 or Case 2- Black Box Estimates (50% Stress, Temperature = 40◦C, No Device Burn-in)

π_E = 1.0(Environmental Factor; Ground, Fixed, Controlled)	Date 99. 4/1	Page 2 of 30
	Unit STFU	Manufacturer HEI

Device Type	Part Number	Circuit Ref. Symbol	Qty (N_i)	Failure Rate(λ_{Gi})	Quality Factor (π_{Qi})	Total Device Failure Rate ($N_i\lambda_{Gi}\pi_{Qi}$)
IC, MSA0505	MICROWAVE IC	U2	1	110.65	1.0	110.65
IC, SN75130D	DRIVER	U3	1	12.0	1.0	12.0
IC, 74HC14538D	DUAL MULTIB	U4, U14	2	12.01	1.0	24.02
IC, JPS-3-1	POWER SPLITER, 1-3	U5	1	52.1	1.0	52.1
TS80C1882B-13	MICROCONTROLLER	U11	1	498.01	1.0	498.01
AM29F010-55JC	FLASH MEMORY	U12	1	71.0	1.0	71.0
CXK581000AM-10LL	RAM, 131Kx8	U13	1	61.0	1.0	61.0
SCN2681TC/AE144	DUAL UART	U14	1	34.36	1.0	34.36
74ACT841SC	10 BIT LATCH	U15	1	16.8	1.0	16.8
CRYSTAL	3.6MHZ	Y1	1	25.0	1.0	25.0
.....	.....	.....	.....	...	...	....
SUBTOTAL						2813.76
TOTAL=$(\lambda_{SS})=\pi_E\Sigma_{i=0}^{n}N_i\lambda_{SSi}$=(1.0)(3824.24)=2813.76						

기지국 시스템은 앞에서 언급한 여러 개의 블록으로 구성되고, 블록은 다시 PBA(Printed Board Assembly)로, PBA는 여러 개의 부품을 통한 회로판의 집합체로 구성되어 있다. 따라서, Bellcore TR-332에 따른 Device는 부품(Component)에 Unit은 PBA에 해당한다고 볼 수 있으므로 PBA 수준까지는 Bellcore TR-332에 따라 신뢰도 계산을 유도할 수 있다. 블록 수준과 시스템 수준에서는 앞에서 언급된 신뢰도 구조의 이론에 따라 고장률과 수리율을 통해 Markov 프로세서 및 일반 신뢰도 이론을 통해 그림 2의 절차를 통해 계산을 유도할 수 있다[9].

일반적으로, 기지국 시스템은 4 단계의 위계적 구조를 갖고 있으며 신뢰도 계산을 위해서는 하위 단계에서부터 신뢰도 계산을 통해 전체 시스템 계산을 유도할 수 있을 것이다.

2.1. Device 및 Unit 수준의 신뢰도 측정

앞의 내용을 토대로 기지국 시스템을 구성하는 블록과 PBA 및 갯수에 대한 자료는 표 7과 같다. 우리는 표 6에서 Bellcore TR-332에 따른 방법 1의 Case 1에 따른 Worksheet를 설명하면서 실제 기지국 시스템을 구성하는 PBA의 신뢰도 계산을 예로 들고자 한다. 표 6은 1에서 언급한 STFU(Synchronized TFU)의 신뢰도를 계산하기 위한 Device 별 List 이다. 동일 고장률, 기본 부품 번호 및 Quality 요인이 같은 유사 Device는 하나의 Device 형태로 표시한다. 그리고, 부품(Part)은 정확한 고장률 계산이 가능하도록 표현이

표 7. BTS 시스템을 구성하는 Unit 및 블록의 고장률 FR(Failure Rate)

Block	Unit	Unit FR (10^{-9})	Qty	Block FR (10^{-9})
TFU	STFU	2813.76	1	2813.76
DU	CDCA	4328.84	4	0.042
	BICA	1882.40	3	
BMP	BMPA	3192.42	1	2655.64
RFU	CIDA	146.56	1	529.70
	UPCU	325.76	3	
	DNCU	547.90	6	
	SYNU	491.69	1	
	LODU	4.00	1	
	AIU	34.00	1	
RPU	RPU	3908.86	1	3908.86
AAU	AAU	4305.00	3	0.09
BTS				9908.09

명확해야 한다. 따라서, Device type 및 Part number가 주어지면 이에 따른 고장률이 주어지고 앞의 식 (1)에 따라 부품 개수와 Quality 요인을 고려하여 Device의 최종 고장률을 유도하게 되는 것이다. 식 (5)와 표 5 에서 환경변수 π_E는 시스템의 설계보다는 환경적인 영향이 오히려 시스템의 신뢰도에 훨씬 큰 영향이 주어짐을 알 수 있다. 다만, 여기서는 신뢰도 추정을 위해 옥내의 최적의 유지 보수 지역을 가정하기로 한다. 표 6은 TFU의 Unit인 STFU의 Device별 고장률 Worksheet를 나타낸 것이다. 표 6에 대한 작업을 Unit(PBA) 별로 완성시킨 후, 신뢰도를 구한 것이 표 7 이다. 이제 블록에 대한 신뢰도 계산을 하기 위해서는 앞에서 언급한 H/W 블록별 구조를 신뢰도 블록 구조로 모델링하여야 한다.

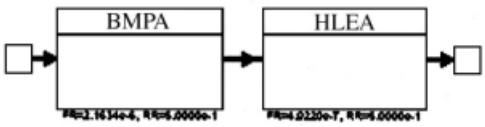
2.2. 블록 및 시스템 신뢰도

신뢰도 예측을 위한 고장에 대한 정의는 시스템의 신뢰도 예측에 필수적인 요소이다. 다중 채널 시스템의 경우, 몇 개 이상의 채널 고장을 시스템의 고장으로 정의하느냐는 중요한 문제이다. 일반적으로 수리 가능한 부품으로 구성되는 시스템의 고장은 수리 상태에 있지 않은 기능중인 부품이 시스템의 규정된 기능을 수행할 수 없는 상태를 말한다. 시스템의 신뢰도 분석을 위해 보통 자주 인용되는 다음 사항을 가정하기로 한다.

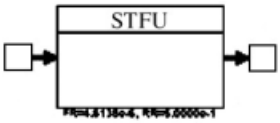
- 시스템 각각의 부품은 수리 대기중이거나 수리 상태가 아닐 때는 운용중이다.
- 목표 대상인 Micro-BTS 를 위해 한 사람의 수리공만 존재한다.
- Trunk, Link 등 Redundant 부품이 수리중일 때도, 시스템은 정상 운용된다.
- 수리된 부품은 새것이나 다름없다.
- 각 부품의 수리 시간과 운용 시간은 상호 독립이며 유한 시간의 평균을 가진다.
- 각 부품의 평균 수리 시간은 2 시간이다
- Back plane과 PCB는 모델 구성에서 제외한다.

앞에서 언급된 개념을 기초로 Unit을 통한 블록의 RBD(Reliability Block Diagram)를 정리해 보기로 하자. 그러면, 위에서 정의된 고장과 수리 시간에 따라 단위 시간당 발생하는 고장과 수리의 사건 수를 각각 고장률과 수리율이라 할 때, *i-th* Unit의 고장률과 수리율을 각각 λ_i와 $\mu_i(\lambda_i \ll \mu_i,\ i = 1, 2, ..., N)$라 하고 시스템의 고장률과 수리율을 각각 λ_s와 μ_s라 하자. 먼저, TFU는 그림 3 에서와 같이 하나의 Unit이 단일 블록을 형성하고 있으므로 Unit의 고장률이 바로 블록의 고장률이 된다.

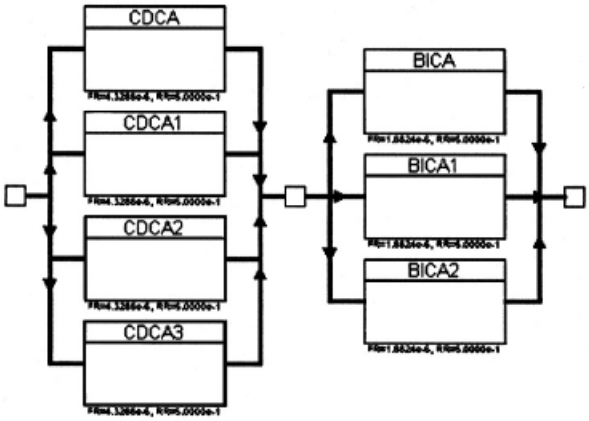
원래, AAU는 RF 블록인데 위치상 다른 Unit과 떨어져 있으므로, 별도로 분리하여 하나의 블록으로 간주하기로 한다. 기지국의 DU 블록에는 4개의 CDCA가 용량을 분담하고 있어 2개 이상이 고장나면 CDCA는 고장이라고 가정한다. 그리고, FA 당 3 Sector를 가정하고 있으므로 BICA도 3개가 존재하는데 2개 이상이 고장이면 고장이라고 가정한다. 먼저, 블록을 구성하는 각 Unit의 직렬 구조에 있어서, 블록의 신뢰도는 각



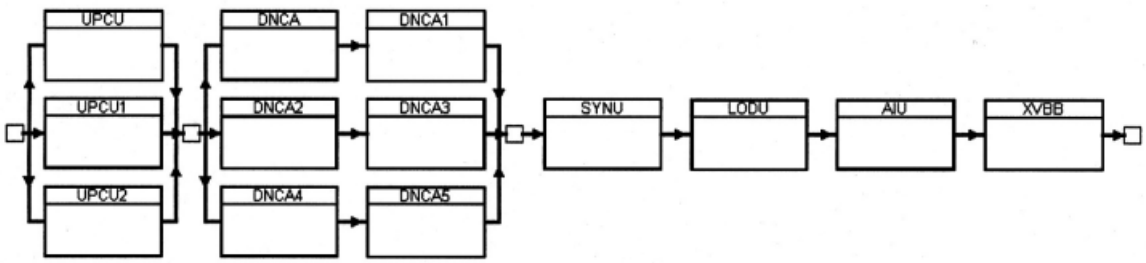
(a) BMP RBD



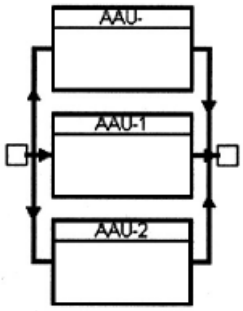
(b) TFU RBD



(c) DU RBD



(d) RF RBD



(e) AAU RBD

그림 3. 기지국 블록별 Reliability Block Diagram

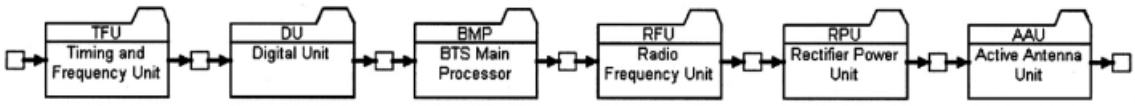


그림 4. BTS 시스템 RBD

표 8. Micro-BTS 의 신뢰도 예측치

고장률 λ_s(FITS)	Availability	MTBF (hours)
9908.09	0.999995046	100927.60(11.52 years)

Unit의 고장률을 더하면 되는데, 이것은 블록의 고장률을 과대 측정하는 경향이 있다. 그리고, n-K 신뢰도 시스템이란 병렬 구조에서 N개의 Unit 중 k개 이상이 작동해야만 시스템이 작동중이라고 말할 수 있는 시스템을 의미한다. 이 때, k=N-1 및 k=N-2 이고, $\lambda_i=\lambda$, $\mu_i=\mu$ 이면, 시스템 수리율은 $\mu_s=\mu$ 이며, 고장률 λ_s는 다음 식 (6)과 같이 근사하게 된다[8].

$$\lambda_s \approx \frac{N(N-1)\lambda^2}{\mu}, \qquad k = N-1$$

$$\lambda_s \approx \frac{N(N-1)(N-2)\lambda^3}{\mu^2}, \quad k = N-2 \tag{6}$$

그리고, 2개의 Unit으로 구성되는 병렬 구조의 블록에서, 블록의 고장률과 수리율에 대한 값도 식 (7)과 같이 근사하게 된다[8]. 이 식을 이용하여 여러 개의 Unit으로 구성되는 블록의 신뢰도를 확장하여 계산할 수 있다.

$$\lambda_s \approx \frac{\lambda_1\lambda_2(\mu_1+\mu_2)}{\mu_1\mu_2},$$

$$\mu_s = \mu_1\mu_2\frac{\mu_1+\mu_2}{\mu_1^2+\mu_2^2}, \tag{7}$$

따라서, 식 (6)과 식 (7)을 이용하여 DU, RF 및 AAU 블록의 고장률을 계산할 수 있는 것이다. 표 7은 Unit에 대한 고장률을 토대로 각 블록의 고장률을 계산 정리한 것이다.

표 7의 자료를 기초로, $\lambda_s \ll \mu_s$인 조건하에서 식 (8)을 이용하여 각 블록에 대한 다양한 신뢰도를 유도할 수 있다.

$$Availabili\ ty = \frac{\mu_s}{\mu_s+\lambda_s} \approx 1 - \frac{\lambda_s}{\mu_s}$$

$$MTBE = MTTF + MTTR = \frac{1}{\lambda_s} + \frac{1}{\mu_s} \approx \frac{1}{\lambda_s}$$

$$Down\ Times = (1 - Availabili\ ty) * 60 * 24 * 365/year \tag{8}$$

이제 시스템을 구성하는 블록의 RBD를 통해, 시스템의 RBD를 작성하면 그림 4와 같은 직렬 구조가 된다.

따라서, 옥내형 BTS 시스템의 고장률은 각 블록의 직렬 구조이므로 각 블록의 고장률을 더하면 되고, 그 결과는 표 8과 같다.

여기서, 신뢰도 제약의 한계 요인이 되는 블록이 시스템의 측면에서 RPU라는 것을 알 수 있다. 그림 5는 RPU의 고장률이 변화할 때, 시스템의 MTBF가 변화하는 것을 보여준다. RPU가 한계 요인이므로 RPU의 고장률이 감소함에 따라 시스템의 MTBF가 증가하는 것을 알 수 있다. RPU의 고장률이 2813 FIT 이하로 떨어지면 MTBF는 더 이상 증가하지 않는데, 그것은 TFU가 시스템 MTBF의 한계 Block으로 작용하기 때문이다. 그리고, RPU가 이중화되면 RPU의 고장률은 2813 FIT 훨씬 이하로 감소하기 때문에 시스템의 MTBF는 113,400 이상으로 증가함을 그림 5를 통해 알 수 있다. 만약, 신뢰도의 목표 설계치가 110,000 시간 이상이 되기 위해서는 RPU의 고장률이 3100 FITS 이하로 주어져야 함을 또한 알 수 있다. 그리고, 이 시스템이 옥외형으로 간주될 경우 식 (5)에 의해 MTBF 113,400 시간은 절반 이하로 감소할 것이다. 무엇보다도 식 (2)와 식 (3)에 의해 시스템의 고장률은 온도와 스트레스 강도에 따라 기하 급수적으로 변화함을 알 수 있다. 즉, 시스템의 신뢰도에 가장 큰 영향을 주는 것은 온도와 스트레스 강도임을 말해 주고 있다. 추후에 온도와 스트레스 강도에 따른 변화는 좀 더 구체적으로 연

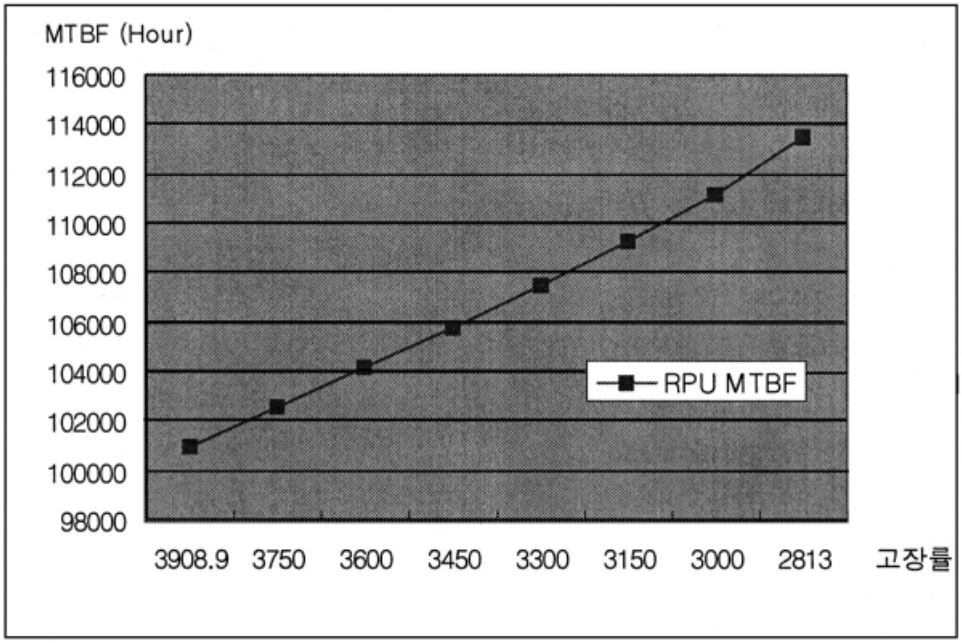


그림 5. RPU 고장률에 따른 Micro-BTS MTBF

구되어질 필요가 있고, 다만 여기서는 가정에 의한 신뢰도 목표의 분석이 중요하므로 방법 I에 의한 Case 1의 값을 가정하기로 했다.

IV. 결 론

본 논문의 취지는 개발 시스템의 신뢰도에 대한 설계 기준이 주어진다면, 개발 제품이 설계 기준을 만족하는가를 검토하기 위한 신뢰도 계산 방법을 제공하고, 설계 기준에 미달할 시에는 한계 요인이 되는 Block의 device 및 unit의 체계적인 분석을 통해 신뢰도를 제고시키는 방안을 제시함으로써 제품 설계의 효용성을 유지하고자 함이다. 우리는 앞에서 통신 시스템에 주로 응용되는 Bellcore 규격에 따라 이동통신 시스템인 BTS의 신뢰도 분석을 기능 중심의 블록으로 세분화하여 실시하였다. 신뢰성 분석에 있어 가장 중요한 것은 고장에 대한 정의이며, 그것에 따라 시스템 전체의 고장률이 크게 차이가 난다. 그리고, 고장 수리 시간(MTTR)의 가정도 시스템 신뢰성 유도 과정에서 크게 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 스트레스 강도와 온도에 의한 고장률의 기하 급수적 변동은 두 요인이 가장 크게 시스템의 신뢰도에 영향을 미침을 알 수 있고 추후 자세한 분석을 필요로 한다. 그리고, 동일 기능을 가지는 Load Sharing 병렬 구조 시스템에서는 고장 점유율을 얼마로 정의하느냐에 따라 전체 고장에 대한 신뢰도가 달라지는 것을 DU 블록을 통해 알 수 있다. 무엇보다도 시스템의 신뢰성 검정을 정확하게 하기 위해서는 각 부품의 고장률 λ_{Gi} 대한 정확한 값이 전제가 된다. 따라서, 급격하게 변화하는 구성 부품의 품질에 대한 정보가 정확하게 주어져야만, 이에 기초한 시스템 신뢰도 예측이 그 타당성을 가질 것이다. 그리고, 시스템 시험 및 운용 자료에 대한 다음 단계의 신뢰도 분석을 통해 예측 방법을 검정함으로써 신뢰도 분석 절차의 정확성을 제고할 수 있다. 그러기 위해서는 각 Unit 및 Device 별 전체 운용 시간과 해당 고장 수에 대한 충분한 자료가 필요한데, TR-332에서 제시된 방법을 준수하기 위해 사전에 필요한 운용 자료의 체계적인 기록 및 저장이 필요하다고 볼 수 있다[5].

감사의 글

본 논문은 서울대학교 복잡계통계연구센터를 통한 한국과학재단의 지원에 의해 일부 수행되었음.

[참고 문헌]

[1] L. J. Bain and Max Rngelhardt, "Inferences on the Parameters and Current System Reliability for a Time Truncated Weibull Process," Technometrics, pp421~426, 1980.

[2] L. J. Bain and Max Rngelhardt, "On the Asymptotic Behavior of the Mean Time Between Failures for Repairable Systems," Reliability and Quality Control, pp 1~7, 1986.

[3] Max Rngelhardt and L. J. Bain, "Comparison of Methods of Estimation of Parameters of the Weibull Distribution," Commun. Statist.-Simula. V16-2, pp373~384, 1987.
[4] Lee Bain and Max Engelhardt, "Repairable Systems,"Statistical Analysis of Reliability and Life Testing Models, pp414~465, 1991.
[5] Bellcore TR-32, *Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment, Technical Reference* TR-332 Issue 5, Dec. 1995.
[6] GR-512-CORE, *System level measurement and Objective*, Issue 1(Bellcore, January,1995)
[7] MIL-HDBK-217F, *Reliability Prediction of Electronics Equipment*, Griffiss Air Force Base, New York , December 1991.
[8] A.Birolini, *Quality and Reliability of Technical System*(*Theory-practice-management*), Springer-Verlag, 1994.
[9] Recommendation G911, *Parameters and Calculation Methodologies for Reliability and Availability of Fibre Optic System*, 1993.

곽 민 곤
(Min Kon Kwag)

1986. 2 : 서울대학교 계산 통계학과 (학사)
1993. 2 : 서울대학교 계산 통계학과 (석사)
1997. 2 : 서울대학교 계산 통계학과 (박사)
1986. 1 ~ 1993. 3 : 엘지 정보통신 연구소
1994. 9 ~ 현재 : 현대전자 통신 연구소 수석 연구원
관심분야 : IMT-2000, 시스템/트래픽 엔지니어링, WIP(Wireless IP) 설계
E-mail : mgkwag@hei.co.kr
Tel : +82-31-639-8040
Fax : +82-31-630-2747

전 종 우
(Jong Woo Jeon)

1971. 2 : 서울대학교 수학과 (학사)
1974. 9 ~ 1979. 6 : 미국 풀로리다 주립대 통계학과 (석사, 박사)
1979. 8 ~ 1981. 6 : 미국 매릴랜드대 수학과 방문조교수
1981. 7 ~ 1999. 2 : 서울대학교 계산통계학과 조교수, 부교수, 교수
1999. 3 ~ 현재 : 서울대학교 통계학과 교수
2000. 7 ~ 현재 : 서울대학교 복잡계통계연구센터(SRC) 소장
관심분야 : 확률론, 대기체계이론, 데이터마이닝
E-mail : jwjeon@plaza.snu.ac.kr
Tel : +82-2-880-6574
Fax : +82-2-873-4416