

# 시뮬레이션을 이용한 ATM 교환기 연결 절단을 추정 연구

## The Estimation of Cutoff Connection Rates on the ATM Switching System Using Simulation

정명기\* · 고재상\* · 최성훈\*\*

Myong Kee Jeong · Jai Sang Koh · Seong Hoon Choi

### Abstract

A simulation model for the estimation of cutoff connection rate in the asynchronous transfer mode (ATM) switching system under multimedia traffic environments is presented. The simulator is developed by the integration of the AweSim tool with user-written C++ routines that model the internal structures of operational details of the switching system. For the case study, the simulator is applied to the ATM switching system developed by Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) to compare design alternatives according to the cutoff connection rates.

## 1. 서론

교환기(switching system)의 신뢰성은 가입자에 대한 서비스의 연속적인 제공을 위한 중요한 인자이다. 특히, B-ISDN(Broadband Integrated Services Digital Network) 가입자는 광대역 서비스에 대한 높은 수준의 품질 및 신뢰성을 요구함에 따라, 이러한 서비스를 제공하기 위한 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 교환기에 대한 신뢰성 설계의 중요성은 날로 증가하고 있다. 호 절단은 설정이 완료된 호가 사용자의 요구가 아닌 시스템의 고장으로 종료된 호를 말하며, 임의의 호가 서

비스 중에 절단될 확률을 호 절단 확률(cutoff call probability)이라고 한다[4]. 호 절단은 호 설정과 유지에 관련된 유니트의 고장, 전파 소멸(radio fade)이나 In-band talkoff와 같은 외적요인에 의해 발생할 수 있다 [8]. 호 절단 확률은 사용자의 서비스에 직접적인 영향을 미치는 중요한 신뢰성 성능 척도 중의 하나로 이는 교환기가 회선 교환기, ISDN(Integrated Services Digital Network) 교환기 및 ATM 교환기로 진화함에 따라 각 교환 개념에 맞추어 변화하였다[2, 4, 5]. Tortorella[14]는 회선 교환기에서의 시스템 호 절단 확률을 추정하기 위해 대기행렬 이론을 이용한 수리적인 모형을 제

\* 한국전자통신연구원 신뢰성공학연구소

\*\* 대불대학교 기계산업시스템공학부

시하였다. 또한 Liebesman 등[9]은 Tortorella의 모형에 고장모드에 포함되는 동일 유닛 수를 고려한 수정된 모델을 제시하였으며, 이를 중계 교환기(Toll telephone switching system)에 적용하였다.

회선 교환기에서의 호 절단율은 호가 절단될 확률로 정의되며, 이는 (절단된 호의 수)/(전체 연결 호의 수)와 같은 상대 빈도로 해석할 수 있다. 회선 교환기에서의 호 절단율은 호의 종류인 아날로그 라인, 아날로그 중계선, 디지털 중계선 등에 따라 다르게 설정된다 [4]. ISDN 교환기에서의 호 절단율은 호 유지시간을 기준으로 설정되며, (총 절단된 호의 수)/(10<sup>6</sup> 연결 시간)의 사건 발생율로 정의된다. 그러나, B-ISDN 환경하에서는 모든 서비스는 연결 중심(connection-based)으로 이루어지므로 회선 교환기나 ISDN 교환기에서 사용되던 호 절단 확률 용어도 연결 절단율로 대치된다.

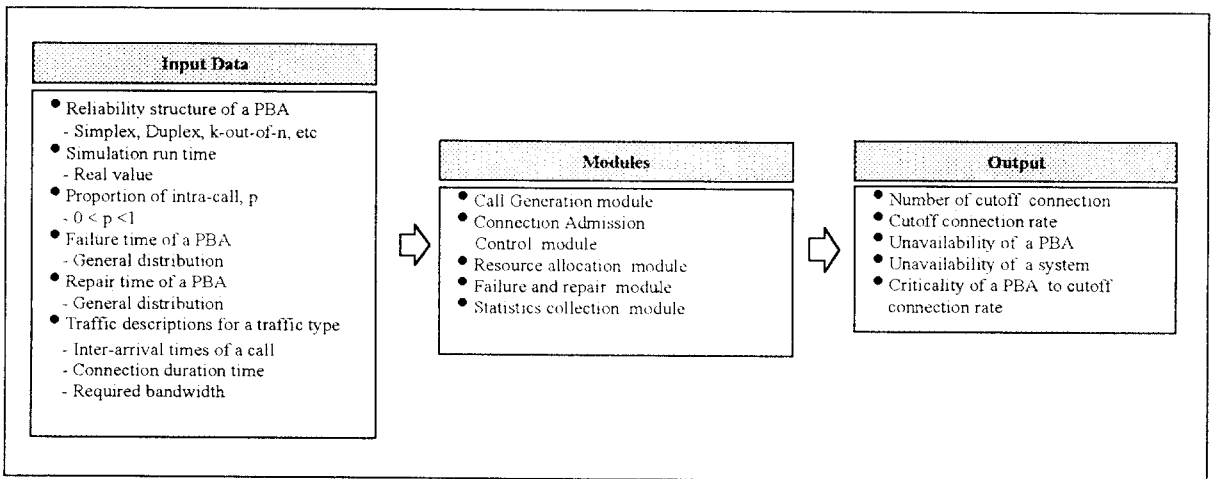
B-ISDN 환경에서는 음성, 데이터, 비디오 등의 서비스가 복합적으로 존재하며, 각 서비스 유형별로 연결 접속시간(holding time) 분포가 달라지며, 연결형태(connection type)에 있어서도 점대점간의 연결 뿐만 아니라 점대 다중점 연결(point-to-multipoint connection), 다중점대 다중점 연결(multipoint-to-multipoint connection) 등 다양한 형태가 존재한다[1, 10]. B-ISDN에서는 특정 서비스에 관계된 한 개의 호 내에서 정보 형태별

로 연결을 뚫으로써 많은 연결을 설정하는 것이 가능하다. 또한 호 접속 중에 연결의 추가나 삭제를 허용한다. 시스템의 연결 절단율은 연결들의 접속 시간 및 동시에 접속된 연결 수 등에 따라 달라지게 된다. 이와 같은 B-ISDN 서비스의 특징으로 기존 회선 교환기나 ISDN 교환기에 사용되던 수리적인 모형은 ATM 교환기에는 부적합하며, 또한 해석적인 접근 방법에 의한 ATM 교환기 연결 절단율 추정은 B-ISDN 서비스의 중요한 특징들인 다양한 접속시간을 갖는 트래픽 유형과 여러 유형의 연결 형태를 고려하는 데 한계가 있으며 시뮬레이션에 의한 방법이 적절하다.

본 연구에서는 ATM 교환기에 대한 연결 절단율 추정을 위한 시뮬레이션 시스템 SCORE (Simulator for CutOff connection Rate Estimation)를 제시한다. 개발된 SCORE 시스템은 교환 시스템의 개발 단계에서 신뢰도 요구조건(reliability requirements)에 대한 만족 여부 검사 및 예측치가 신뢰성 목표치를 만족하지 못할 때에는 주요 모듈의 시스템 구조(system architecture)별 연결 절단율 평가를 통한 신뢰도 개선에 활용된다.

## 2. 시뮬레이터

연결 절단율 추정 문제는 기존의 신뢰도 또는 가용



〈그림 1〉 SCORE의 구조

도 예측용 시뮬레이션과는 달리 시스템 구성 유니트의 고장 및 수리 부분과 호의 발생 및 처리 부분이 혼합된 문제이다. 이는 짧은 시간에 사건(event)이 발생하는 호와 장기간의 시간을 요하는 유니트 고장이 혼합된 시뮬레이션으로, 정확하고 안정된 결과 도출을 위해서는 실행에 많은 시간이 소요된다. SCORE는 SLAM II의 업그레이드된 최신 버전인 AweSim 시뮬레이션 툴과 C++ 사용자 작성 코드를 사용하여 개발하였다[2, 13]. 개발된 시뮬레이션 프로그램은 크게 AweSim의 네트워크 다이어그램, 제어문, 그리고 C++ 로 작성된 사용자 코드 부분으로 구성된다. SCORE의 주요 입력 데이터, 구성 모듈 및 시뮬레이션 출력 데이터를 보여주는 구조는 <그림 1>과 같다.

2.1 시스템 입력 변수 및 출력변수

시뮬레이터에 사용되는 입력 변수는 크게 호와 관련된 트래픽 파라미터(traffic parameters)와 시스템을 구성하는 유니트의 신뢰도 관련 파라미터로 구성된다. SCORE에서는 세 가지 유형의 트래픽(음성, 데이터, 비디오)에 따라 호의 도착 시간, 연결 지속 시간 및 요구되는 대역폭에 대한 확률분포를 규정한다. 규정된 파

라미터 값에 따라 각 트래픽 유형별로 호를 발생시켜, 호 처리 절차에 따라 연결이 설정되면 할당된 연결 지속 시간 만큼 자원을 점유한 다음 연결이 해지된다. 유니트에 대한 신뢰도 파라미터로는 시스템을 구성하는 하드웨어 유니트에 대한 고장시간, 수리시간, 수리정책(순차 수리 또는 동시 수리), 그리고 신뢰도 구조로 구분된다.

대상 시스템에 대해 상기 관련 입력 변수 값이 규정되면 시뮬레이터는 총 연결지속시간, 절단된 연결 수, 그리고 연결 절단율 등의 출력 데이터를 발생시킨다.

2.2 구성 모듈

시뮬레이션 모델에서 사용된 개체(entity)의 종류는 크게 호(call)와 시스템을 구성하는 유니트로 나누어지며, SCORE의 구성 모듈 및 수행 기능을 정리하면 <표 1>과 같다.

2.3 연결 절단율 추정 알고리즘

시뮬레이터를 구성하는 하드웨어 유니트는 시뮬레이터의 고장시간 및 수리시간 분포와 유니트의 신뢰도

<표 1> SCORE 구성 모듈 및 기능

모듈	수행기능
호 발생 (Call Generation) 모듈	<ul style="list-style-type: none"> <li>트래픽 유형(음성, 데이터, 비디오)에 따라 호의 도착시간, 서비스 시간 및 요구되는 대역폭에 대한 확률분포 규정</li> <li>규정된 파라미터 값에 따라 각 트래픽 유형의 호 발생 및 연결 설정 후 할당된 서비스 시간 만큼 자원을 점유한 다음 해지</li> </ul>
연결제어 (Connection Admission Control) 모듈	<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 내의 사용 가능한 자원(대역 및 연결 설정에 필요한 하드웨어 유니트)에 따라 연결 요구 수락 여부 결정</li> <li>사용된 연결 수락 알고리즘은 최대 속도 할당으로, 최대 속도의 합이 링크 대역폭을 초과할 경우, 연결 요구 거부다</li> </ul>
자원할당 및 해지 (Resource Allocation & Release) 모듈	<ul style="list-style-type: none"> <li>호 연결을 위해 확보해야 하는 자원 사용 가능 여부 검사 및 필요 자원 할당</li> <li>통화 완료 이후 사용한 모든 자원 해지(Free)</li> <li>자원 할당 및 해지를 위해 사용자 정의 C++ 루틴을 이용한 EVENT 노드 활용</li> </ul>
유니트 고장 및 수리 (Failure & Repair) 모듈	<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 구성 하드웨어 유니트의 고장 및 수리 정책 반영</li> <li>하드웨어 유니트는 고장시간 분포 및 수리시간 분포의 입력 파라미터 값에 따라 가동과 고장을 번갈아가며 계속 운영됨</li> </ul>
통계량 수집 (Statistics Collection) 모듈	<ul style="list-style-type: none"> <li>시뮬레이션 과정에서 얻어지게 되는 주요 통계량에 대한 자료 수집</li> </ul>

구조에 따라 가동과 고장을 번갈아가며 계속 운영되게 된다. 시뮬레이터는 유니트의 사건(고장 또는 수리) 발생시마다 연결에 대한 절단 영향(cutoff impact), 시스템 고장에 대한 영향 분석을 통해 통계량 계산에 활용하게 된다. 예를 들면, 이중화 구조를 갖는 임의의 하드웨어 유니트 A가 대기(standby) 유니트까지 모두 고장이 발생한 경우, 이미 연결 설정이 완료되어 서비스가 진행중인 모든 연결 중에서 유니트 A를 자원으로 점유하고 있는 연결들을 절단 시킨다. 이를 위해서는 AweSim에서 기본적으로 제공하는 노드인 Preempt는 Multi-capacity resource에 대한 preempt기능이 없으므로 시뮬레이션 이벤트 캘린더(event calendar)를 검색하여 이 기능을 수행하는 사용자 정의 코드가 필요하게 된다.

통계 데이터를 이용해 시스템 하드웨어 고장으로 인한 연결 절단을  $C_k$ 은 아래 식과 같이 구해진다.

$$C_R = \sum_{i=1}^n CC_i / \sum_{i=1}^n TC_i$$

단,

$CC_i$  : 트래픽 유형  $i$ 의 연결 절단 수,

$TC_i$  : 트래픽 유형  $i$ 의 총 연결지속시간,

$n$  : 트래픽 유형의 수.

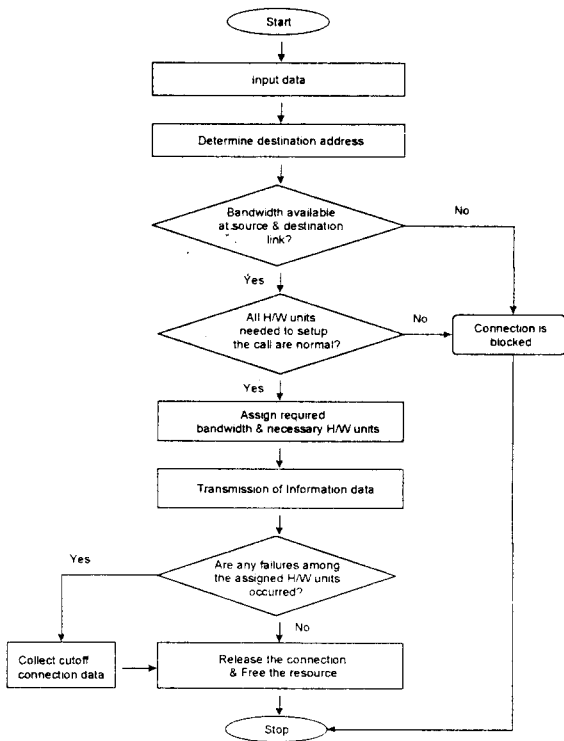
### 3. 연결 절단을 추정 사례연구

본 절에서는 2절에서 제시한 시뮬레이터를 이용해 한국전자통신연구원에서 개발한 ATM 교환기기에 대한 연결 절단을 예측을 통한 신뢰도 분석 사례이다.

#### 3.1 시스템 구조

ATM 교환기는 <그림 3>과 같이 크게 가입자 교환 서브시스템(ALS : ATM Local Switching Subsystem)과 중앙 교환 서브시스템(ACS : ATM Central Switching Subsystem)으로 구성된다. ALS는 가입자 회선을 종단하고 집선하는 장치로서 동작하며, ALS내의 사용자 처리 및 유지보수를 위한 제어모듈(ASCM: Access Switch Control Module), 가입자 정합 모듈(SIM: Subscriber Interface Module) 및 가입자 교환모듈(ANM: Access Switching Network Module)로 구성되어 있다.

ACS는 시스템 차원의 유지보수, 시험, 측정, 통계기능 뿐만 아니라 운용자와의 각종 입출문 제어 기능을 수행한다. 또한, ALS들 간의 상호연결 기능을 수행하는 분배장치로서, 스위치 네트워크 모듈(ISNM: Interconnection Switch Network Module), 유지보수 모듈(OMCM: Operation and Maintenance Control Module), 망동기 모듈(NSM: Network Synchronization Module)로 구성된다. 유지보수 모듈은 연결 절단율에 직접적인 영향을 미치지 않으므로 고려대상에서 제외하였다.

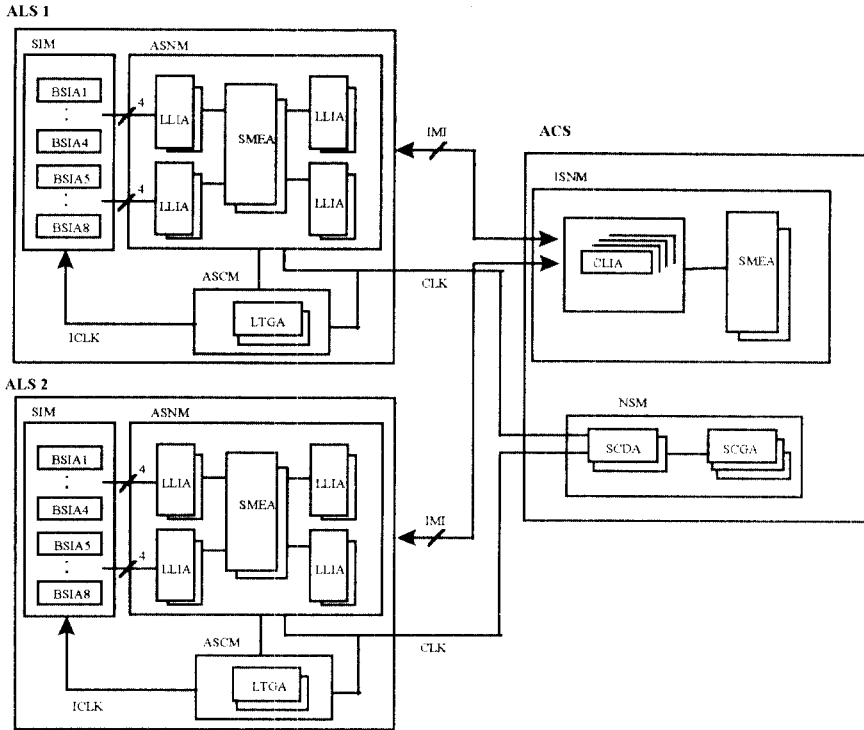


<그림 2> 연결 절단을 추정 흐름도

<그림 2>는 위에서 설명한 연결 절단율을 추정하는 과정을 정리한 흐름도이다. 시뮬레이션을 통해 얻어진

#### 3.2 시뮬레이션 결과 분석

<그림 3>의 시스템에 대해 구성 유니트의 고장시간



〈그림 3〉 ATM 교환기 구조

분포, 수리시간 분포, 유니트 신뢰도 구조, 그리고 트래픽 파라미터값을 입력 변수로 하여 200,000시간/run, 총5회의 실행을 수행하였다. 각 트래픽 유형별 트래픽 관련 입력 변수에 대한 확률분포는 과거 트래픽 데이터에 대한 분석을 통해 얻어진 경험적인 수치이며, 이는 〈표 2〉와 같다.

정하였으며, 개발 단계의 유니트 고장률은 MIL-HDBK-217F를 이용하여 예측하였으며, 수리 정책은 순차수리, 평균 수리시간은 교환기 유지보수 기준인 2시간을 적용하였다<sup>3, 6, 11</sup>.

상기의 입력 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 연결 절단을 예측치는 18,100 cutoffs/10<sup>9</sup> hr로

〈표 2〉 SCORE의 트래픽 관련 입력 변수값

트래픽 유형	도착 시간	연결 지속 시간	요구 대역폭
음성	지수분포(평균 0.5 시간)	지수분포(평균 0.17 시간)	Uniform(6.4Kbps, 2Mbps)
데이터	지수분포(평균 1.5 시간)	지수분포(평균 0.5 시간)	Uniform(2.0Mbps, 100Mbps)
비디오	지수분포(평균 4.0 시간)	지수분포(평균 2.0 시간)	Uniform(50Mbps, 155Mbps)

〈그림 3〉의 구조를 갖는 ATM 교환기의 구성 유니트에 대한 신뢰도 파라미터는 〈표 3〉과 같다. 유니트에 대한 고장시간 및 수리시간 분포는 지수분포를 가

목표치(10,000 cutoffs/10<sup>9</sup> hr)를 약 1.8배 초과하였다. 목표치 초과에 대한 주요 원인은 현재 단일 구조로 되어 있는 가입자 정합모듈(SIM) 구성 유니트인 BSIA의 높

〈표 3〉 유니트 고장률 및 신뢰도 구조

회로팩	고장률(FIT) <sup>1)</sup>	신뢰도 구조
BSIA	16,332	Simplex
LLIA	18,387	Duplex
SMEA	48,234	Duplex
LTGA	7,200	Duplex
CLIA	18,387	Duplex
SCDA	6,300	Duplex
SCGA	38,000	Triple Modular Redundancy

은 고장률에 기인하는 것으로 분석되었다. 따라서, 시스템에 대한 중요한 신뢰도 요구조건 중의 하나인 연결 절단율 목표치를 만족시키기 위해 아래와 같은 방안이 제시되었으며, 각 방안에 대한 시물레이션을 통한 비교분석을 수행하였다.

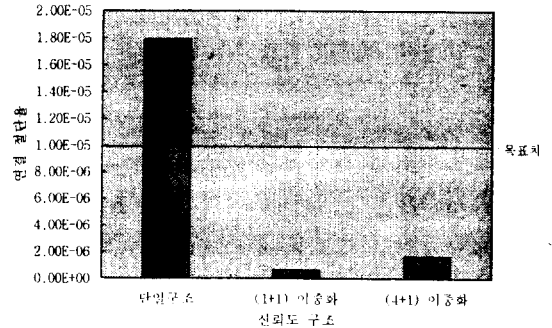
n 정합부 이중화 구조 도입 : (1+1) 이중화, (4+1) redundancy

n 정합부 회로팩 고장률 개선 : 능동 부품에 대한 정격절하(derating) 또는 품질등급 향상

1) 이중화 구조

시스템 연결 절단율 감소를 위해 가입자 정합부에 대한 신뢰도 구조 변경 시 연결 절단율의 변화를 시물레이션을 통해 분석하였다. 고려된 BSIA 유니트의 신뢰도 구조는 (1+1) 이중화와 (4+1) redundancy이다. (1+1) 이중화는 BSIA 유니트 하나에 대해 이와 동일한 유니트를 배치하여 일정한 제어 방식에 의해 동작 중인 유니트에 고장이 발생할 때 대기 유니트로 그 기능을 대행하도록 함으로써, 시스템의 신뢰도를 향상시키는 기법이다. (4+1) redundancy는 LLIA 유니트와 연결되는 4개의 BSIA 유니트 전체에 대해 하나의 예비품을 배치하여 4개의 유니트 중 하나가 고장나면 이 예비품이 그 기능을 대행하는 구조이다. 그러나, 이 구조에서는 두 개 이상의 유니트가 고장나는 경우에는 해당 유니트에 종속된 가입자의 서비스 중단을 초래하게 된다. SCORE를 이용하여 가입자 정합부에 대한 신뢰도 구조별 연결 절단율을 그래프로 나타내면 〈그림 4〉

와 같다. 〈그림 4〉를 통해 알 수 있듯이 시스템 연결 절단율은 정합부가 단일 구조에서 (1+1) 이중화나 (4+1) redundancy를 갖도록 설계될 때에는 목표치를 크게 만족하며, 이 경우 (4+1) redundancy 구조와 (1+1) 이중화 구조간에 연결 절단율에는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서, 정합부에 대한 (1+1) 이중화는 경제적으로 비효율적이며, 이중화 구조를 도입하는 경우에는 (4+1) redundancy 구조가 바람직할 것으로 사료된다.



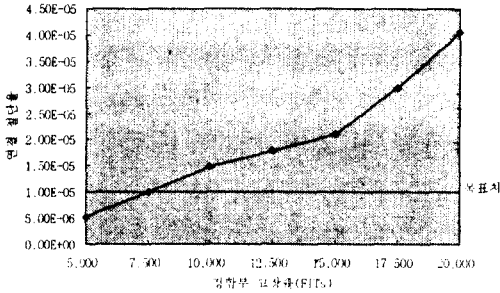
〈그림 4〉 정합부 신뢰도 구조에 따른 연결 절단율 변화

2) 회로팩 고장률 개선

회로팩의 고장률 개선은 정합부의 (1+1) 구조나 (4+1) redundancy 구조의 구현이 기술적으로 어려운 경우에 우선적으로 고려될 수 있는 방안이다. 이는 회로팩 구성 부품 중 고장률이 높은 부품인 능동 부품에 대한 정격절하 또는 품질등급 향상을 통해 회로팩의 신뢰성 향상(고장률 감소)을 도모하자는 것이다. 고장률과 연결 절단율의 관계를 분석함으로써 시스템 연결 절단율을 만족시키기 위한 정합부의 최대 허용 고장률을 도출할 수가 있게 된다. 최대 허용 고장률이 도출되면 회로팩을 구성하는 고장률 비중이 큰 부품(critical components)에 대한 적절한 적용 스트레스를 조정하는 정격절하 적용 및 품질수준 향상을 통해 시스템 연결 절단율 목표치의 달성이 가능하게 된다.

〈그림 5〉은 회로팩의 신뢰도 구조 변경 없이 회로팩의 고장률 변화에 따른 연결 절단율 변화를 도시한 것이다. 〈그림 5〉를 통해 정합부 회로팩의 고장률을 7,500 FITs 이하로 설계 시 시스템 연결 절단율 목표치를 만족함을 알 수 있다.

1) FIT = 1 Failure in 10<sup>9</sup> hours



〈그림 5〉 정합부의 고장률과 연결 절단을 관계

#### 4. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션 기법에 의한 접근으로 교환기의 중요한 신뢰성 성능 척도인 호/연결 절단을 추정 등에 대한 개념을 제시하였다. 또한, 개발된 시뮬레이터 SCORE를 이용하여 ATM 교환기의 연결 절단을 예측하였다. 예측 결과, 현 구조에서는 연결 절단율 목표치를 초과하였으며, 시스템 연결 절단율을 감소시키기 위해 두 가지 방안이 제시되었다. 구조적인 측면에서는 정합부를 현 단일 구조에서 (4+1) redundancy를 도입함으로써 목표치를 만족함을 알 수 있었다. 정합부 회로팩의 신뢰성 개선 측면에서는 정합부의 (4+1) redundancy 구조 구현이 기술적으로 힘든 경우 구성 부품들의 적절한 정격절하나 품질등급 향상을 통해 회로팩 자체의 고장률을 감소시킴으로써 시스템의 연결 절단율 목표치를 만족할 수 있었다.

본 고에서 제시한 시뮬레이터는 향후 대형 ATM 교환기에서 수용될 B-ISDN 서비스의 여러 연결 유형 중 점대 다중점 연결 및 다중점대 다중점 연결까지도 반영하여 시뮬레이터의 수정이 이루어져야 한다. 또한, 이중화된 회로팩의 Active 유니트 고장 시 대기 유니트의 실제 확률(coverage probability)을 고려한 모델로의 확장도 필요하다.

끝으로, 연결 절단율 추정 문제는 짧은 시간에 사건이 발생하는 호와 장기간의 시간을 요하는 유니트 고장이 혼합된 시뮬레이션으로, 정확하고 안정된 결과 도출을 위해서는 실행에 많은 시간이 소요된다. 따라서, 시뮬레이션 모델을 구성하는 인자들에 대한 다양한 민감도 분석을 위해서는 실행시간을 단축할 수 있는 효율적인 시뮬레이션 모델링 방법 개발이 필요하다. 이

를 위해 Importance sampling, RESTART 등의 속산 시뮬레이션(fast simulation) 기법의 적용을 검토하고 있다.

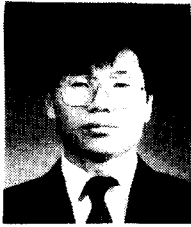
#### 참고문헌

- [1] 임주환, 성단근, 한치문, 김영선, ATM 교환, 홍릉과학출판사, 1996.
- [2] Bellcore, GR-1110-CORE, *Broadband Switching System (BSS) Generic Requirements*, Piscataway, NJ, 1994.
- [3] Bellcore, TR-TSY-332, *Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment, Issue 2*, Piscataway, NJ, 1988.
- [4] Bellcore, TR-TSY-512, *LATA Switching System Generic Requirements*, Piscataway, NJ, 1990.
- [5] Bellcore, TR-TSY-1047, *ISDN Generic Requirements*, Piscataway, NJ, 1993.
- [6] John, B. Bowles, A Survey of Reliability Prediction Procedures for Microelectronic Devices, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 41, No.1(1992), pp.2-12.
- [7] Kim, Y.B., S. S. Lee, C. H. Oh, Y. S. Kim, C. H. Han, and C. H. Yim, An Architecture of Scalable ATM Switching System and Its Call Processing Capacity Estimation, *ETRI Journal*, Vol. 18, No.3 (1996), pp.107-125.
- [8] Liebesman, B. S., Reliability Requirements and Contractual Provisions, *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium* (1985), pp.1-5.
- [9] Liebesman, B. S. and M. Tortorella, Reliability of a Class of Telephone Switching Systems, *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium* (1982), pp.120-124.
- [10] McDysan, D. E. and D. L. Spohn, *ATM: Theory and Application*, McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [11] MIL-HDBK-217F, *Reliability Prediction of Electronic Equipment*, DoD, USA, 1991.
- [12] Pritsker, A. Alan B, *Introduction to Simulation and SLAM II*, John Wiley & Sons, New York, 1984.
- [13] Pritsker, A. Alan B, Jean O'Reilly, and David K. LaVal, *Simulation with Visual SLAM and AweSim*,

John Wiley & Sons, New York, 1997.  
[14] Tortorella, M., Cutoff Calls and Telephone Equip-

ment Reliability, *The Bell System Technical Journal*,  
Vol. 60, No.8(1981), pp.1861-1889.

● 저자소개 ●



정명기

1991년

1993년

1993년~현재

관심분야

한양대학교 산업공학 학사

KAIST 산업공학 석사

한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원

신뢰도 최적화, 시뮬레이션, 통신 시스템 신뢰성 설계



고재상

1980년

1985년

1997년

현재

관심분야

고려대학교 산업공학 학사

전남대 경영학과 석사

전남대 산업공학 박사

한국전자통신연구원(ETRI) 신뢰성공학연구실장

통신망 신뢰도, 최적화 이론, 시스템 시뮬레이션, Genetic Algorithm



최성훈

1986년

1988년

현재

관심분야

고려대학교 산업공학 학사

KAIST 산업공학 석사

KAIST 산업공학과 박사과정, 대불대학교 산업시스템공학과 전  
임강사

제조 및 통신 시스템 시뮬레이션 응용, 시뮬레이션 최적화