

論文95-32A-8-1

# 회선교환망에서의 고장모델에 대한 신뢰도 분석

## (Reliability Analysis of Failure Models in Circuit-Switched Networks)

金 宰 顯 \* , 李 廷 圭 \*

(Jae Hyun Kim, Jong Kyu Lee)

### 요 약

본 논문에서는 회선교환망의 고장모델을 설정하고, 이에 대한 신뢰도를 분석하였다. 대상 모델로서는 격자구조 회선교환망을 설정하였으며, Flooding 라우팅 방식을 사용하여 패킷을 통화 대상자 노드에 전송한다. 또한, 각 링크 및 노드의 고장이 독립적으로 분포한다고 가정하였다. 이러한 모델에서 joint probability를 이용하여 소규모 격자 구조 회선교환망의 신뢰도를 분석하였으며, 이 모델을 컴퓨터 시뮬레이션하여 그 결과값을 비교하였다. 대규모 격자 구조 회선교환망의 신뢰도에 대한 해석적 분석의 경우 계산량이 방대하므로, 시뮬레이션을 통하여 신뢰도를 평가하였다. 결과적으로 소규모 망의 경우, 해석적으로 분석한 신뢰도의 결과값들이 시뮬레이션한 결과와 거의 유사함을 알 수 있었다. 또한, 링크 및 노드 고장 확률이 증가함에 따라 통신망의 신뢰도가 지수적으로 감소하였으며, 호가 경유하는 링크 수가 증가함에 따라 통신망의 신뢰도가 거의 비례적으로 감소하였음을 알 수 있었다. 결국, 신뢰도 분석을 통하여 통신망의 중심에 위치한 노드들이 주변에 위치한 노드들에 비하여 상대적으로 우수한 신뢰성을 보인다는 흥미로운 결과를 알 수 있었다.

### Abstract

We have analyzed the reliability of failure models in circuit-switched networks. These models are grid topology circuit-switched networks, and each node transmits a packet to a destination node using a Flooding routing method. We have assumed that the failure of each link and node is independent. We have considered two method to analyze reliability in these models : The Karnaugh Map method and joint probability method. In this two method, we have analyzed the reliability in a small grid topology circuit switched network by a joint probability method, and compared analytic results with simulated ones. For a large grid topology circuit switched network, computational amounts of the analytic method are enormous. So, we have evaluated the reliability of the network by computer simulation techniques.

As results, we have found that the analytic results are very close to simulated ones in a small grid topology circuit switched network. And, we have found that network reliability decreases exponentially, according to increment of link or node failure, and network reliability is almost linearly decreased according to increment of the number of links, by which call has passed. Finally, we have found an interesting result that nodes in a center of the network are superior to the other nodes from the reliability point of view.

\* 正會員, 漢陽大學校 電子計算學科  
(Dept. of Com. Sci. Eng., Hanyang Univ.)

接受日字: 1994年12月16日, 수정완료일: 1995年7月29日

### I. 서론

컴퓨터 통신망은 사용자의 통신에 대한 요구를 충족시키는데 중요한 역할을 하여 왔으며, 통신 기술과 컴퓨터 기술의 급격한 발전과 함께 정보화 사회로 진입함에 따라 이들 기술을 이용하는 이용자의 정보 전달 욕구도 종래의 단순 전달 서비스에서 정보를 가공, 축적, 변환 처리하여 상호 교환하는 등 날로 고급, 다양화되어 가는 추세이다. 따라서, 통신망은 높은 신뢰성과 효율성을 가져야 하며, 이러한 요구 사항들을 만족시키기 위하여, 망상에서 발생할 수 있는 여러가지 이상현상들을 방지하여야 한다. 현재, telemarketing, 항공예약등과 같은 여러 분야에서 통신망의 신뢰성에 대한 사용자 요구가 증가하고 있으며, 광통신, SONET(Synchronous Optical NETwork), FDDI(Fiber Distributed Data Interface)와 같은 망에서도 신뢰성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 컴퓨터 통신망의 신뢰성을 개선하기 위하여 결합허용시스템 및 새로운 라우팅 알고리즘 등과 같은 기술들이 연구되고 있다<sup>1,2)</sup>.

통신망의 생명은 신뢰도와 신속성이라고 해도 과언이 아니다. 신뢰도란 특정한 조건하에서 주어진 시간 동안에 통신망이나 구성 요소가 만족스럽게 수행될 확률을 말한다. 통신망을 신뢰성 있게 설계하는 것은 통신망을 설계하는 초기 단계에서 매우 중요한 문제이다. 본 논문에서 채택한 통신망 모델은 노드들이 격자 구조를 이루고 있는 회선 통신망이다. 격자구조망은 다른 토폴로지를 사용하는 망들에 비하여, 트래픽을 망 전체에 분산시킴으로서, 처리율이 높고, 우회 경로가 존재하므로 신뢰성이 높은 장점을 가지고 있다. 또한, 기존의 망에 대한 새로운 노드의 첨가 및 기존 노드의 삭제가 다른 구조의 망에 비하여 용이하다. 본 논문에서는 이러한 격자구조 회선교환망에서 패킷간의 전송은 Flood 라우팅 방식을 사용하는 것으로 가정하였으며, 이와 같은 고장모델의 성능을 평가하기 위하여 수학적 방법과 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 사용하였다. 수학적 방법으로는 joint probability, Karnaugh map을 이용한 신뢰도 측정 방법을 사용하였다<sup>3-5)</sup>. 특히, joint probability를 이용하여 얻은 값과 시뮬레이션한 결과 값을 평가해 보았으며, 통신망 모델의 크기를 확장하여 35개 노드를 갖는 대규모 격자구조망에서의 링크 및 노드 고장에 대한 통신망의 신뢰도를 평

가하였다.

II 장에서는 성능분석 모델인 격자구조 회선교환망에 대하여 설명하였으며, III 장에서는 두 가지 신뢰도 분석 방법을 제시하고, 소규모 망모델에서 신뢰도를 분석하였다. 또한, IV 장에서는 확장된 망모델에서의 신뢰도를 평가하였으며, V 장에서는 노드의 고장을 포함하는 망모델의 신뢰도를 시뮬레이션 하였고, 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺었다.

### II. 격자구조 회선교환망

본 논문의 대상 모델은 공통선 신호 방식을 사용하는 격자 구조 회선교환망으로서, Flood 라우팅 방식을 사용하여 패킷을 통화 대상자 노드에 전송한다.

통신망의 상태에 따라 경로를 설정하기 위하여, 통신망 상태와 호에 대한 정보를 인접한 이웃 노드로 전송해주는 기능과 더불어 통신망에 대한 관리 기능을 수행하는 신호 방식이 필요하다. 신호 방식으로서의 신호 방식을 수행하기 위하여 이용되는 정보를 노드간에 전송할 때, 사용자가 사용하는 채널을 이용하는 inband 방식과 별도의 채널을 이용하는 out-of-band 방식이 있다. 초기 통신망들이 주로 사용한 inband 방식은 호 설정 시간이 길고, 사용자가 이용하는 채널의 일부분을 이용하여 정보를 전송하기 때문에 사용자가 이용할 수 있는 통신망의 경로 용량이 제한되는 단점이 있다. 따라서, 현재 통신망들은 out-of-band 방식을 이용하는 공통선 신호 방식(Common Channel Signaling)을 주로 이용하고 있다.

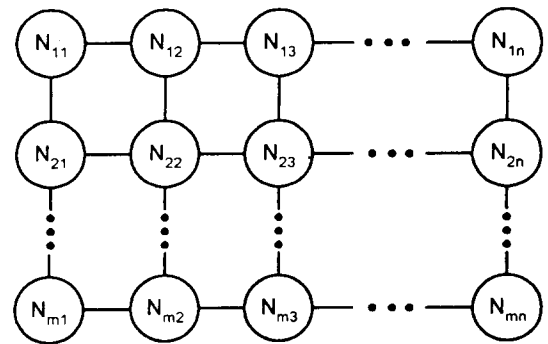


그림 1.  $m \times n$  격자 구조 회선교환망  
Fig. 1.  $m \times n$  Grid topology circuit-switched network.

공통선 신호 방식을 이용하는 통신 시스템들은 inband 방식을 이용하는 시스템에 비하여 높은 처리율을 보이고, 통신망의 변화에 신뢰성이 높으며, 호에 대한 실시간 처리가 용이하다 [6], [7].

본 논문에서 고려되는  $m \times n$  격자 구조 회선교환망은 그림 1과 같은 구조를 가지며, 교환기에 해당되는 노드들이 격자 구조로 연결되어 있다.

또한, 이 시스템은 각 노드에서 발생하는 호에 대하여 노드내의 버퍼에 저장한 후, FIFO(First In First Out) 방식으로 처리를 행한다고 가정하였다. 본 모델은 링크의 고장 및 노드의 고장을 고려하며, 각 링크 및 노드는 두 가지 상태(동작/고장)를 갖는다. 각 링크 및 노드의 고장은 독립적이며, 지수분포를 따른다고 가정하였다.

호가 발생하면, 통화 대상자가 위치한 노드를 찾기 위하여 Flood search 라우팅 방식을 사용한다. 이 라우팅 방식은 실제 미군용 통신망에서 사용하는 방식으

로서, 사용 가능한 경로들을 모두 사용하므로, 이 경로들 중 최적의 경로를 포함하므로 신뢰성이 우수하고, 우회경로가 존재하여, 대상 가입자의 위치를 반드시 찾아준다는 장점이 있지만, 망 상에 필요없는 패킷들이 돌아다니는 잉여패킷 문제와 지나온 경로를 되돌아가는 메시지 루핑현상의 단점이 있다 [8], [9]. 본 논문에서는 우선, 첫번째 단점인 잉여패킷 문제는 호에 제어 정보를 주어 지나온 링크의 홑수를 계산하여 최대 홑수보다 커지면, 그 호를 없애버리는 방법을 사용하였고, 두번째 메시지 루핑현상은 각노드에서 한번 처리한 호에 대한 정보를 가지고 있어 다시 동일한 호가 들어오면 처리를 하지 않는 방법을 사용하였다. 각 노드에서의 호에 대한 처리과정은 그림 2와 같다.

### III. 소규모 망에서의 시스템 신뢰도 분석

통신망에서의 신뢰도 분석에 관한 연구는 현재까지 많이 되어왔다. 그 중에서도 A. Grnarov, Raghavendra 등은 MFST(Minimal File Spanning Tree)와 MFSF(Minimal File Spanning Forest)를 이용한 disjoint product 방법을 이용하여 신뢰도를 분석한 바 있다 [10-12].

본 논문에서는, 시스템 신뢰도 측정을 위하여, Karnaugh map, joint probability에 대한 방법을 소개하고, 위의 두 가지 방법 중에서 joint probability 방법을 격자구조망에 적용시켰으며, 여기서 얻은 신뢰도와 실제 시뮬레이션을 통해 얻은 신뢰도를 비교 해보았다. 일반적으로 통신망을 표현할 때, 각 링크에 가중치가 있는 weighted 링크와 가중치를 가지고 있지 않은 unweighted 노드를 가진 oriented graph로 통신망을 표현한다. 이때, weight는 link probability를 말하며, 각 링크의 고장은 독립적인 것으로 가정하였다. 그림 3은 시스템 예로서, probabilistic graph를 나타낸 것이다. 다음의 두가지 방법을 사용하여 노드 1에서 노드 4로 갈 경우에 대한 신뢰도를 구하였다.

여기서,  $P_{ij}$  : link(i, j)가 존재할 확률.

$x_{ij}$  : {0, 1}을 가지는 stochastic variable.

$$P(x_{ij} = 0) = 1 - P_{ij} = q_{ij}, P(x_{ij} = 1) = P_{ij}$$

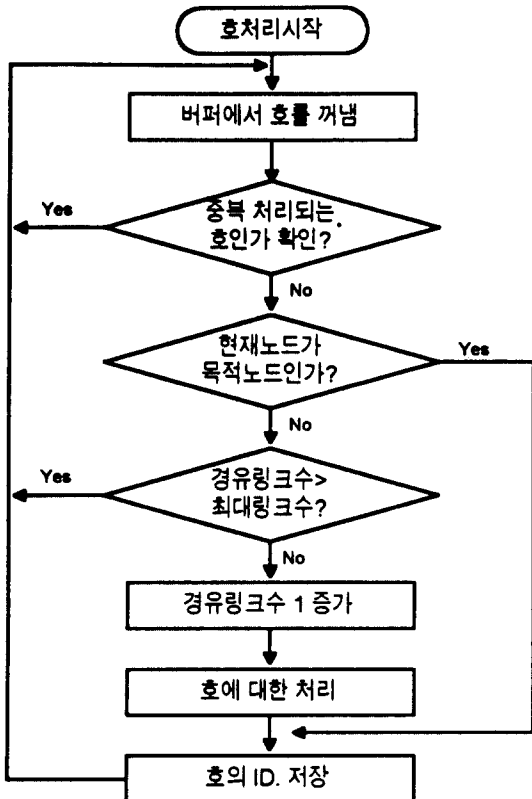


그림 2. 각 노드에서의 호에 대한 처리과정  
Fig. 2. Call service procedure in a node.

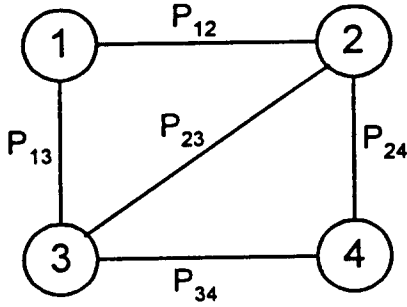


그림 3. 확률이 부과된 그래프  
Fig. 3. Probabilistic graph.

1. Karnaugh map을 이용한 신뢰도 분석  
이 방법에서는 5개의 binary stochastic variable들과 Karnaugh map을 사용하여 신뢰도를 측정한다. 노드 1에서 노드 4로 가는 사건 (event)과 사건 확률 (event probability)은 다음과 같은 방법으로 표기할 수 있다.

event  $E = \{x_{12} = 1, x_{13} = 0, x_{23} = 0, x_{24} = 1, x_{34} = 1\}$   
event probability  $PE = P_{12} \cdot q_{13} \cdot q_{23} \cdot P_{24} \cdot P_{34}$   
Karnaugh map : function  $F$ 를 정의.

위의 map에서의 1로 표시된 minterm들이 의미하는 것은 노드 1에서 4로의 경로가 연결되며, 이경로를 포함하는 모든 링크의 경우를 의미한다. 따라서, 위의 map을 통하여 노드 1에서 4로의 신뢰도  $R(1 \rightarrow 4)$ 를 구할 수 있다.

$$R(1 \rightarrow 4) = \sum_{F(E)=1} P_E \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 R(1 \rightarrow 4) = & q_{12}P_{13}q_{23}q_{24}P_{34} + q_{12}P_{13}q_{23}P_{24}P_{34} + P_{12} \\
 & P_{13}q_{23}q_{24}P_{34} + P_{12}P_{13}q_{23}P_{24}P_{34} + P_{12}P_{13} \\
 & q_{23}P_{24}q_{34} + P_{12}q_{13}q_{23}P_{24}P_{34} + P_{12}q_{13}q_{23} \\
 & P_{24}q_{34} + q_{12}P_{13}P_{23}q_{24}P_{34} + q_{12}P_{13}P_{23}P_{24} \\
 & P_{34} + q_{12}P_{13}P_{23}P_{24}q_{34} + P_{12}P_{13}P_{23}q_{24}P_{34} \\
 & + P_{12}P_{13}P_{23}P_{24}P_{34} + P_{12}P_{13}P_{23}P_{24}q_{34} + \\
 & P_{12}q_{13}P_{23}q_{24}P_{34} + P_{12}q_{13}P_{23}P_{24}P_{34} + P_{12} \\
 & q_{13}P_{23}P_{24}q_{34}
 \end{aligned}$$

위와 같은 방법을 이용하면 모든 가능한 두 쌍의 노드에 대한 신뢰도를 구할 수 있다.

표 1. Karnaugh map을 이용한 신뢰도 분석  
Table 1. Reliability analysis using Karnaugh map.

$X_{12}, X_{13}$ \ $X_{24}, X_{34}$		00	01	11	10	
		00	0	0	0	0
		01	0	1	1	0
		11	0	1	1	1
		10	0	0	1	1

$$x_{23} = 0$$

$X_{12}, X_{13}$ \ $X_{24}, X_{34}$		00	01	11	10	
		00	0	0	0	0
		01	0	1	1	1
		11	0	1	1	1
		10	0	1	1	1

$$x_{23} = 1$$

2. joint probability를 사용한 신뢰도 분석

Karnaugh map을 이용한 방법은 모든 링크의 가능한 경우를 고려하므로 계산량이 통신망의 크기가 증가하면, 지수적으로 증가한다. 그러나, joint probability를 사용하는 방법은 실제 경유하는 경로에 포함되는 링크들의 경로만을 포함하기 때문에 상대적으로 계산량이 적게된다. 예를들면, 노드 1에서 노드 4로의 가능한 모든 경로를 다음과 같이 구한다. 단, 다음은 노드 번호이다.

- path 1 : 1, 2, 4
- path 2 : 1, 3, 4
- path 3 : 1, 2, 3, 4
- path 4 : 1, 3, 2, 4

가능한 모든 경로를 구한다음, 각 경로의 확률을 구한다. 여기서,  $P_i$ 는 path  $i$ 의 확률이다.

$$\begin{cases}
 P_1 = P_{12}P_{24} & P_2 = P_{13}P_{34} \\
 P_3 = P_{12}P_{23}P_{34} & P_4 = P_{13}P_{23}P_{24}
 \end{cases}$$

위의 경로 확률로 joint probabilities를 구한다.

$$\begin{aligned}
 P_{1,2} &= P_{12}P_{13}P_{24}P_{34} & P_{1,3} &= P_{12}P_{23}P_{24}P_{34} \\
 P_{1,4} &= P_{12}P_{13}P_{23}P_{24} & P_{2,3} &= P_{12}P_{13}P_{23}P_{34} \\
 P_{2,4} &= P_{13}P_{23}P_{24}P_{34} & P_{3,4} &= P_{12}P_{13}P_{23}P_{24}P_{34}
 \end{aligned}$$

$$P_{1,2,3} = P_{1,2,4} = P_{1,3,4} = P_{2,3,4} = P_{12}P_{13}P_{23}P_{24}P_{34}$$

$$P_{1,2,3,4} = P_{12}P_{13}P_{23}P_{24}P_{34}$$

위의 값을 이용하여 노드 1에서 4로의 신뢰도 R(1 → 4)를 구할 수 있다.

$$R(1 \rightarrow 4) = \sum_i P_i - \sum_{i,j} P_{i,j} + \sum_{i,j,k} P_{i,j,k} - P_{i,j,k,h} \quad (2)$$

본 논문에서는 joint probability를 이용하여 3×3 격자 구조 회선교환망의 신뢰도를 구하고, 그 결과값들을 시뮬레이션한 결과들과 비교해 보았다. 이때, 링크의 상태는 동작과 고장상태를 지속적으로 반복하며, 고장시간은 평균 0.1sec의 지수분포이고 동작시간은 평균 0.9sec으로 가정하였으며, 호는 Poisson 분포로 발생하고, 각 호들의 서비스 시간은 지수 분포를 따른다. 또한, 본 논문에서는 현실적인 적용성을 고려하여, 실측된 값을 기본으로 하여 호의 도착율을 설정하였다. 모든 노드는 동일한 조건하에 있다고 가정하였으므로, 노드들은 동일한 외부 도착율(λe)을 갖는다. 호의 발생률은 1992년도 자동차 전화 뚝수중 1일 통화량을 기준으로 하여 1995년의 통화량을 예측하여 사용하였다. 가입자 1인당 1시간의 통화수는 0.6329/hour 이며, 노드당 가입자의 수를 200명으로 가정하여, 전체 호의 도착율은 0.6329/hour × 200 = 126.5896/hour로 가정하였다. 그리고, 통화 대상 노드의 위치가 통화 발생 노드로부터 1 링크 떨어질 때마다 패킷의 도착율은 감소된다고 가정하였으며, γ<sub>i</sub>를 통화 발생 노드로부터 i 링크만큼 떨어져 있는 노드의 패킷 도착율이라 할 때, 다음과 같이 가정하였다.

$$\gamma_i = \left(\frac{1}{2}\right)^{i-1} \gamma_1 \quad (3)$$

또한, 시뮬레이션 모델은 가능한 실제 시스템의 모델과 유사하게 하기 위하여 노드의 호 처리시간과 링크의 전송시간을 고려하였다. 각 파라미터의 값들은 교환기 시스템에서의 실제 처리시간을 기본으로 설정하였다. 즉, 노드의 호 처리시간은 평균 0.003 sec인 uniform 분포로, 링크의 호 전송시간은 평균 0.02 sec인 uniform 분포로 가정하였다. 또한, 시뮬레이션 언어로는 SIMSCRIPT II.5를 사용하였으며, IBM PC 486 호환기종에서 시뮬레이션 하였으며, 시뮬레이션은 주기적으로 결과값을 비교하여 오차율이 10<sup>-3</sup> 이하가 되면 종료하도록 구현하였다.

표 2. Simulation 결과와 Analytic 결과 비교  
Table 2. Comparison of simulation and analytic results.

근원지	목적지	발생된 호	도달된 호	시뮬레이션	수학적분석
1	2	5968	5802	0.97194	0.97290
1	4	5982	5807	0.97175	0.97290
2	1	4847	4701	0.97088	0.97290
2	3	5011	4870	0.97187	0.97290
2	5	5049	4966	0.98952	0.99266
3	2	6005	5805	0.96969	0.97290
3	5	3025	2966	0.98350	0.98453
3	6	6093	5914	0.97062	0.97290
4	1	5090	4926	0.96978	0.97290
4	5	4935	4891	0.99108	0.99266
5	7	2060	1984	0.98190	0.98453
5	9	2043	1951	0.98697	0.98453
6	2	2537	2439	0.96237	0.96390
6	5	4930	4873	0.99044	0.99266
6	9	4882	4728	0.97146	0.97290
7	4	6070	5889	0.97118	0.97290
7	5	3039	2974	0.98261	0.98453
7	8	6119	5956	0.97336	0.97290
8	5	4986	4933	0.98937	0.99266
8	7	4939	4778	0.97140	0.97290
8	9	5047	4894	0.97169	0.97290
9	5	3127	3050	0.98338	0.98453
9	6	6044	5873	0.97171	0.97290
9	8	6010	5826	0.969381	0.97290

표 2는 수학적 신뢰도 분석의 결과값과 컴퓨터 시뮬레이션을 한 결과값을 비교한 표이다. 표 2에서 알 수 있듯이, 해석적인 값과 실제 시뮬레이션 한 값의 차이가 0.5% 이내이므로 수학적 분석의 결과값이 타당성이 있다고 볼 수 있다. 이러한 값의 차이가 생기는 이유는 본 모델을 실제 시스템과 유사하게 하기 위하여 시뮬레이션 상에서는 노드의 호 처리시간과 링크의 전송시간을 고려하였기 때문이다.

IV. 대규모 망에서의 신뢰도

평가확장된 대규모 망모델의 시스템 예로서, 20개 노드로 구성된 4×5 격자 구조 회선교환망(m = 4, n = 5)의 신뢰도에 대한 성능을 평가해 보았다. 각 노드에 연결된 가입자의 수는 200명이라 가정하였으며, 노드에 연결된 링크가 사용 중인 경우, 노드로 들어오는 호는 노드의 버퍼에 대기하며, 호설정을 위하여 패킷에는 목적 노드의 id(identification)에 대한 정보가 있다. 4 × 5 격자 구조 회선교환망의 경우, 호 발생률과 대칭성에 따라 6 그룹으로 나눌 수 있다.

- ① Group 1 : 노드 1(N<sub>11</sub>), 5(N<sub>15</sub>), 16(N<sub>41</sub>), 20(N<sub>15</sub>).
- ② Group 2 : 노드 2(N<sub>12</sub>), 4(N<sub>14</sub>), 17(N<sub>42</sub>), 19(N<sub>44</sub>).
- ③ Group 3 : 노드 3(N<sub>13</sub>), 18(N<sub>43</sub>).
- ④ Group 4 : 노드 6(N<sub>21</sub>), 10(N<sub>25</sub>), 11(N<sub>31</sub>), 15(N<sub>35</sub>).
- ⑤ Group 5 : 노드 7(N<sub>22</sub>), 9(N<sub>24</sub>), 12(N<sub>32</sub>), 14(N<sub>34</sub>).
- ⑥ Group 6 : 노드 8(N<sub>23</sub>), 13(N<sub>33</sub>).

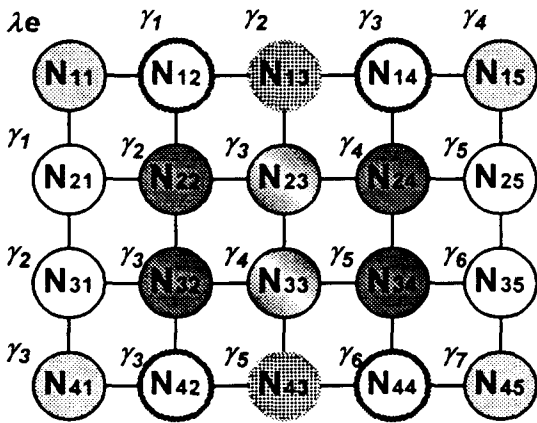


그림 4. 4 × 5 격자 구조 회선교환망  
Fig. 4. 4 × 5 Grid topology circuit-switched network.

각 노드에서의 호 도착률은 식 (3)을 기준으로 근원지 노드와 목적지 노드의 흡수를 기준으로 설정한다. 예를 들면, 그룹 1이 통화 발생 노드일 경우(노드 N<sub>11</sub>, 이 통화 발생 노드일 경우), 각 노드로의 도착률은 다

음과 같이 구한다.

$$\lambda e = 2\gamma_1 + 3\gamma_2 + 4\gamma_3 + 4\gamma_4 + 3\gamma_5 + 2\gamma_6 + \gamma_7 \quad (4)$$

식 (3)을 이용하여 식 (4)의 우측항을  $\gamma_1$  만의 식으로 전개한 뒤, 이를 이용하여  $\gamma_1$ 을 구한다. 다시  $\gamma_1$ 을 식 (3)을 대입하여  $\gamma_2 \sim \gamma_7$ 을 구할 수 있다. 나머지 그룹들도 이와 같은 방법으로 구한다.

성능 평가를 위하여, 패킷의 길이는 고정되어 있고 각 노드의 패킷 처리시간은 0.003 sec이라 가정하였으며, 패킷전송 시간은 0.02 sec으로 가정하였다. 또한, 각 링크의 고장이 지수분포에 따라 발생한다고 가정할 때, 각 링크의 고장율을 0.05 ~ 0.25로 변화시키면서 시뮬레이션하였다. 이에 대한 결과로서,

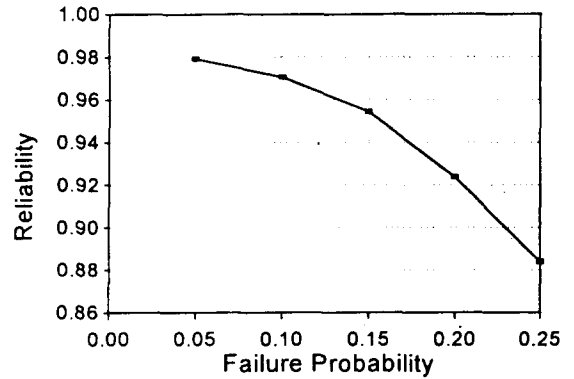


그림 5. Failure 확률에 따른 평균 신뢰도  
Fig. 5. Average reliability on failure probability.

그림 5는 통신망의 평균 신뢰도를 나타낸 것이다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 링크의 고장율이 증가함에 따라 신뢰도가 지속적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 호가 경유한 링크에대한 신뢰도의 변화를 나타낸 것이다. 이때, 링크 4 ~ 링크 7의 경우, 신뢰도의 값이 linear한 결과를 얻지 못한 이유는 격자구조망의 특성 때문에 발생하는 현상이다. 그림 7은 통화 대상 노드의 거리대하여 링크의 고장율이 0.05에서 0.25까지 변화할때의 신뢰도 특성을 나타낸 것이며, 그래프에서 Failure prob. 이라고 표시된 것은 링크의 고장율을 의미한다. 역시 이 경우에서도, 링크의 고장율이 증가함에 따라 신뢰도가 급격히 저하되는 것을 볼 수 있으며, 경유하는 링크의 수가 증가함에 따라 신뢰도가 감소하는 것을 볼 수 있다.

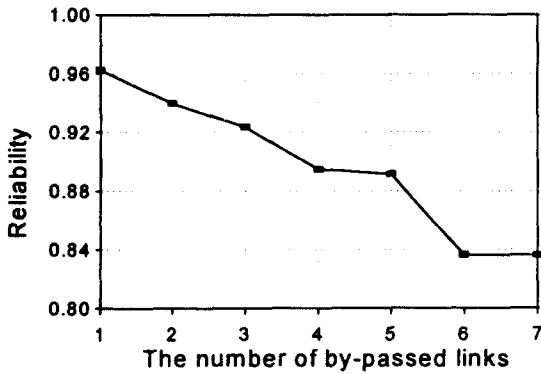


그림 6. 호가 점유한 링크별 신뢰도  
Fig. 6. Reliability on the passed links.

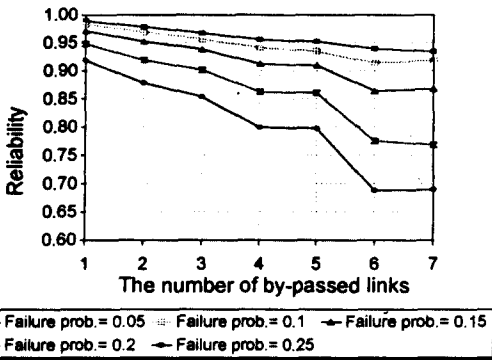


그림 7. 호가 점유한 링크의 failure 확률 별 신뢰도  
Fig. 7. Reliability comparison for the links.

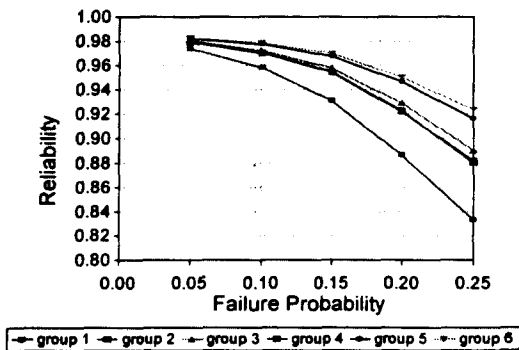


그림 8. 링크 고장율에 대한 각 그룹별 신뢰도  
Fig. 8. Reliability for each Group on link failure.

그림 8은 각 그룹별 신뢰도를 나타낸 그래프이다. 이 경우에도 마찬가지로, 링크의 고장율이 증가함에 따라 신뢰도가 지수적으로 감소하였으며, 통화 발생 노드가 통신망의 중앙에 위치한 노드(그룹 5와 그룹 6에 속하는 노드)일때의 신뢰도가 통신망의 주변에 위치한 노드(그룹 1에서 그룹 4에 속하는 노드)일때의 신뢰도보다 더 뛰어나다는 흥미로운 결과를 볼 수 있다.

### V. 노드의 고장을 포함한 통신망 신뢰도

노드 고장율이라는 것은 노드 자체에 고장이 일어날 확률을 말한다. 이 경우, 고장난 노드에 연결되어 있는 모든 링크의 연결이 끊어지는 것으로 간주한다. 확장된 노드 고장 모델의 신뢰도 평가로서는, 그림 1와 같은 토폴로지의 35개 노드로 구성된 5×7 격자 구조 회선 교환망(m = 5, n = 7)의 신뢰도에 대한 성능을 평가해 보았다. 각 노드에 연결된 가입자의 수는 200명이라 가정하였으며, 35개의 노드와 58개의 링크로 구성되어 있다. 모든 시스템의 환경은 IV장의 대규모 망에서의 성능평가 시와 동일하다.

또한, 각 노드에서 발생하는 음성 트래픽의 평균 도착율은 IV 장과 동일한 방식으로 식(3), (4)를 이용하여 설정하였다. 평균 호 도착율과 격자구조망의 대칭성을 기준으로 각 노드들은 다음과 같은 12 그룹으로 나누어진다

- ① Group 1 : 노드 1(N11), 7(N17), 29(N51), 35(N57).
- ② Group 2 : 노드 2(N12), 6(N16), 30(N52), 34(N56).
- ③ Group 3 : 노드 3(N13), 5(N15), 31(N53), 33(N55).
- ④ Group 4 : 노드 4(N14), 32(N54).
- ⑤ Group 5 : 노드 8(N21), 14(N27), 22 (N41), 28(N47).
- ⑥ Group 6 : 노드 9(N22), 13(N26), 23(N42), 27(N46).
- ⑦ Group 7 : 노드 10(N23), 12(N25), 24(N43), 26(N45).
- ⑧ Group 8 : 노드 11(N24), 25(N44).
- ⑨ Group 9 : 노드 15(N31), 21(N37).
- ⑩ Group 10 : 노드 16(N32), 20(N36).

- ① Group 11 : 노드 17(N33), 19(N35).  
 ② Group 12 : 노드 18(N34).

본 모델에서는 링크 및 노드의 고장을 고려하였으며, 각 링크 및 노드는 두가지 상태(동작/고장)를 갖는다. 각 링크와 노드의 고장은 서로 독립적인 것으로 가정하였으며, 지수 분포에 따라 발생한다. 각 노드에서의 호에 대한 처리 시간은 0.003(sec)으로 가정하였으며, 패킷 전송시간은 0.02(sec)으로 가정하였다. 호가 경유할 수 있는 최대 링크 수는 10으로 고정하여 메시지의 루핑 현상을 방지하였다. 노드에서는 우선 이웃하는 링크의 고장 여부를 점검하고 정상적으로 동작하는 링크에만 전송을 시도한다. 링크의 고장 확률이 0.1일 때 노드의 고장 확률을 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05로 변화를 주어 신뢰도를 평가하였으며, 각 그룹별 신뢰도 및 통화 대상 노드의 거리에 대한 고장율에 따른 신뢰도를 평가하였다.

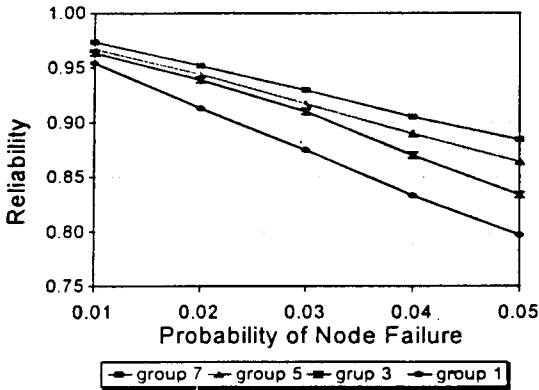


그림 9. 노드 고장율에서의 각 그룹별 신뢰도  
 Fig. 9. Reliability for each group on node failure

신뢰도평가 결과로서, 그림 9는 노드 고장율에서의 각 그룹별 신뢰도를 나타낸 것인데, 교환망의 중심부에 위치한 노드일수록 그 신뢰도가 상대적으로 주변에 위치한 노드들에 비하여 우수함을 알 수 있다. 또한, 그림 10은 링크의 고장율이 0.1로 고정되고, 노드의 고장율이 0.01에서 0.05까지 변화할때의 경유한 링크의 수에 대한 신뢰도의 그래프를 보이고있다. 링크 고장율만을 고려할 때와 마찬가지로, 호 전송시 경유하는 링크의 수가 증가함에 따라 신뢰도가 비례적으로 감소하

고 있음을 알 수 있다.

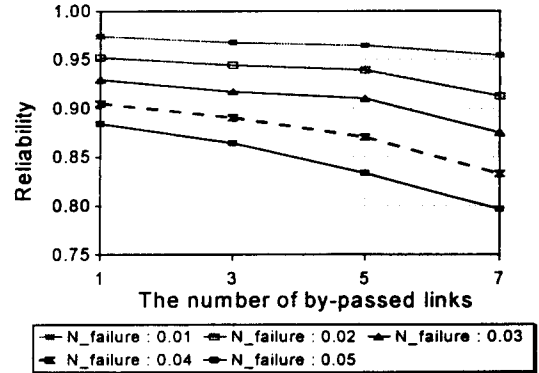


그림 10. 노드 고장율에 대한 링크별 신뢰도  
 Fig. 10. Reliability for links on node failure

## VI. 결론

본 논문에서는, 격자 구조 회선교환망의 고장모델을 설정하고, 이에 대한 신뢰도를 분석하였으며, 성능을 분석하기 위하여 수학적인 해석방법과 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 사용하였다. 수학적인 해석방법으로는 joint probability 방법과 Karnough map 방법을 제시하였으며, 두 방법중 joint probability방법을 사용하여, 3×3의 소규모 격자구조 회선교환망의 신뢰도에 대한 성능을 분석하였다. 이러한 해석적 결과값들은 실제 상황과 유사한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여, 그 값들을 비교해 두 결과들이 매우 근접함을 알 수 있었다. 다음으로는 다양한 통신망 모델에서의 신뢰도를 평가하기 위하여, 20개의 노드로 구성된 확장된 4×5 격자구조망에서의 신뢰도를 평가하였다. 4×5 격자 구조 회선교환망의 신뢰도에 대한 성능평가 결과로서 링크 고장율이 커짐에 따라 신뢰도는 지수적으로 감소하였으며, 호가 거치는 링크 수가 증가할수록 신뢰도는 거의 비례적으로 감소하였다. 그리고, 통화 발생 노드가 통신망의 중앙에 위치할수록, 상대적으로 신뢰성이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 또한, 실제 상황과 유사한 조건에서 시뮬레이션을 행하기 위하여, 대규모 격자 구조 회선 망에 노드 고장을 포함한 모델을 설정하여 신뢰도를 평가하였다. 이때의 통신망 모델로서는 35개의 노드를 갖는 5×7 격자구조 회선교환망을 설정하였으



며, 노드의 고장을 포함시켜 신뢰도를 평가하였다. 성능평가의 결과는 링크의 고장율만을 고려하였을때의 결과와 마찬가지로, 노드의 고장율이 증가할수록 신뢰도가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있었다.

결론적으로, 본 논문의 결과를 통하여 알 수 있듯이 링크 및 노드의 고장율은 통신망의 신뢰도에 큰 영향을 미치는 요소로서, 통신망의 설계시 다른 여러가지 성능요소들과 함께 신중히 고려되어야 할 것으로 사려된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] K. D. Moon and J. K. Lee, "Voice Traffics Estimation Using a Kalman-Filter Method and Performance Evaluation of a Grid Topology Circuit Switched Network," *Proc. of The 14th symposium on Information Theory and Its Application*, Japan, Dec. 1991.
- [2] H. R. Appenzeller, "Signaling System No. 7 ISDN User Part," *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, vol. SAC-4, no. 3, pp. 366-371, May 1986.
- [3] M. O. Ball, "Computational Complexity of Network Reliability Analysis : An Overview," *IEEE Trans. on Reliability*, vol. R-35, no. 3, pp. 230-239, Aug. 1986.
- [4] W. J. Rueger, "Reliability Analysis of Networks with Capacity-Constraints and Failures at Branches & Nodes," *IEEE Trans. on Reliability*, vol. R-35, no. 5, pp. 523-528, Dec. 1986.
- [5] L. Fratta and U. G. Montanari, "A Boolean Algebra Method for Computing the Terminal Reliability in a Communication Network," *IEEE Trans. on Circuit Theory*, vol. CT-20, no. 3, pp. 203-211, May 1973.
- [6] R. R. Goldberg and D. C. Shrader, "Common Channel Signaling Interface for Local Exchange Carrier to Inter-exchange Carrier Interconnection," *IEEE Comm. Magazine*, pp. 64-71, July 1990.
- [7] A. R. Modarressi and R. A. Skoog, "An Overview of Signaling System No. 7," *Proc. of the IEEE*, vol. 80, no. 4, pp. 590-606, Apr. 1992.
- [8] A. Satyanarayana and J. N. Hagstrom, "A New Algorithm for the Reliability Analysis of Multi-Terminal Networks," *IEEE Trans. on Reliability*, vol. R-30, no. 4, pp. 325-324, Oct. 1981.
- [9] D. Bertsekas and R. Gallager "Data Networks" 2nd Ed. Prentice Hall, 1992
- [10] H. Nakazawa, "Decomposition Method for Computing the Reliability of Complex Networks," *IEEE Trans. on Reliability*, vol. R-30, no. 3, pp. 289-292, Aug. 1981.
- [11] B. Jabbari, "Routing and Congestion Control in Common Channel Signaling System No. 7," *Proc. of the IEEE*, vol. 80, no. 4, pp. 607-617, Apr. 1992.
- [12] C. S. Raghavendra and S. V. Makam, "Reliability Modeling and Analysis of Computer Networks," *IEEE Trans. on Reliability*, vol. R-35, no. 2, pp. 156-160, June 1986.

## — 저 자 소 개 —



金宰顯(正會員)

1969년 7월 21일생. 1991년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업. 1993년 2월 한양대학교 대학원 전자계산학과 석사학위 취득. 1993년 3월 ~ 현재 한양대학교 대학원 전자계산학과 박사

과정. 주 관심분야는 통신망 성능분석, 무선 LAN 프로토콜 성능분석, Queueing Theory 등.



李廷圭(正會員)

1955년 9월 24일생. 1979년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업. 1986년 UCLA 전자공학과 석사학위 취득. 1989년 2월 UCLA 전자공학과 박사학위 취득(컴퓨터 네트워크 전공). 1979년 3월~1984년 5월

국방과학 연구소 연구원. 1989년 3월~1990년 2월 삼성전자 종합기술원 정보통신부문 수석연구원. 1990년 3월~현재 한양대학교 전자계산학과 조교수.