

Logical Layer와 Transmission System Layer통합을 통한 통신망 안정성 계획 및 설계*

이희상**

A Study on Telecommunication Network Survivability by Integrating the Logical Layer and the Transmission System Layer

Hee-Sang Lee

〈요 약〉

현대의 전기 통신망은 통신서비스의 단순한 제공 수단에서 국가적인 사회간접자본으로 그 역할이 변화되고 있다. 이와 같은 통신망의 역할 변화와 함께 초고속화, 집중화 되는 통신망의 안정성에 대한 체계적인 연구의 중요성은 매우 중요한 문제이다. 통신망의 안정성은 시스템 설계의 신뢰성 확보, 재난에 대한 예방 대책, 재난 관리 시스템 운용, 재해 복구 대책, 사업자간 제휴 등으로 예방 및 대처가 부분적으로 가능하지만 망 사업자의 입장에서는 가능한 자원을 최적으로 활용하여 외부 재해나 내부 장애에도 강건한 구조의 통신망으로 계획하고 설계함이 가장 기초적인 안정성 대책이 된다.

본 논문은 이와 같은 통신망의 안정성을 체계적으로 계획하고 이에 맞게 통신망을 설계하는 일관된 과정(Integrated Network Design Process)을 위한 통신망 안정성에 대한 계층적 모형을 설명하고, 유사동기식 전송 기술에서 최근의 동기식 전송 기술로 대체되고, 향후 ATM 전달 모드의 진화되는 추세를 감안할 때 필수적인 새로운 통신망 안정성 모형을 제시한다. 특히 기존에는 Logical Layer와 Transmission System Layer로 나누어 계획되고 설계되는 일련의 과정들이 동기식 장비들의 개선된interworking과 ATM의 유연한 망구조의 장점 때문에 통합되어 계획/설계되어야 하는 필요성과 장단점을 설명하고 최근의 최적화 기술은 이와 같은 통합된 설계 모형에도 효율적인 해결 방안을 제공함을 보여준다.

이와 같은 제시된 통합 방법론/모형과 함께 한국통신의 기간 전송망의 계획과 설계에 사용된 사례를 제시하고, 향후 국가적으로 중요한 관심 사항인 초고속통신망/BISDN의 구축에 효율적으로 응용되기 위한 추가적인 연구 주제와 기대 성과를 논의 한다.

* 이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

** 한국의국어대학교 산업공학과

1. 서론

현재의 전기통신망 (Telecommunication Networks)은 전통적인 음성 통신의 교환, 전송기능과 함께 PC통신, fax 송수신, 금융 결제, LAN-interconnection, 교통 신호 제어, 유선방송 송출, 국가안보용 통신 등 현대 사회의 운영을 위해 필수적인 서비스를 제공하는 기반이 되어 있다. 또한, 미래의 통신망은 대량의 정보가 초고속으로 오가는 네트워크로 현재의 전기통신망의 초고속화만을 의미하지 않고 통신시스템, 컴퓨터, 가전기기, 소프트웨어, 응용시스템 등의 모든 정보 미디어들이 거미줄처럼 엮어진 사회간접자본의 네트워크로 전망된다. 특히 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 방식의 융통성 있는 광대역 교환 능력의 개발과 optical technology의 발전에 따른 초고속 전송 능력의 확대를 통해 구현될 멀티미디어 통신의 제공 수단인 광대역 초고속 통신망의 능력은 국가 경쟁력의 핵심이며, 가장 중요한 national infrastructure로 간주되어 정보 슈퍼 하이웨이, 국가 정보 인프라스트럭처 등의 이름으로 각 국가 또는 국가 블록 단위로 경쟁적으로 그 구축이 추진되고 있다 [1].

이와 같이 다양한 능력의 현재의 통신망은 자연 재난, 통신 장비의 하드웨어 또는 소프트웨어적 결함 등으로 발생한 장애에 따른 심각한 사회적 혼란과 경제적 피해를 이미 많은 국가에서 경험해왔다 [2] [3] [4]. 특히 미래의 통신망이 그 운용의 복잡도와 경제적 운용의 필요에 의해 더욱 집중화 됨에 따라 통신망의 개개의 구성요소에 대한 의존도의 증가가 가속화되고 있으므로, 장애 발생시 초래될 광범위한 경제적 손실과 사회적 혼란을 최소화 하려면, 통신망의 계획, 건설, 운용에서 장애에 대해 통신망의 서비스 제공 능력으로 정의되는 통신망의 安定性 (Telecommunication Network Robustness)을 확보하여야 한다.

2. 통신망 안정성 모형

2.1. 통신망 안정성의 개념

통신망의 안정성에 관련한 첫번째 연구 주제는 통

신망의 안정성을 어떻게 정의하여 정량적으로 측정 (또는 추정)하고, 어떻게 망의 평가, 계획, 설계, 구축에서 이를 반영하느냐의 문제이다. 산업공학 또는 시스템공학 분야의 이와 관련이 깊은 전통적 개념은 "정해진 기간에 정해진 조건에서 시스템이 작동할 확률"로 정의되는 신뢰도 (reliability)와 이에서 파생된 가용도 (availability), 작동도 (performability) 등이다. 신뢰도가 장애 발생 이전의 예방적 설계 등에 초점을 맞추고 있음에 장애 발생 후의 안정성을 보장하고자 정의된 두 가지 다른 measure로는 service availability (SA) 와 mean time between service outages (MTBSO) 등이 있으며 이는 ITU (International Telecommunication Union), T1 등 표준화 기구에서 부분적으로 제안되고 있다 [5]. 이들을 사용하여도 통신망의 안정성 확보에 도움이 되겠지만 시스템 개개의 측면보다는 네트워크 전체의 관점에서, 장애가 일어날 확률보다는 장애가 일어난 후의 능력에 관심을 두어, "통신망이 장애가 발생한 후에도 통신 서비스를 계속 제공할 수 있는 능력"으로 정의하는 통신망 생존도(network survivability)가 통신망 안정성을 위해서는 가장 중요한 평가와 설계 개념이 된다. 이는 신뢰도가 높도록 통신 시스템 개개를 설계하여 구축한 통신망이라도 망의 일부 시스템이 예상하지 못하던 내부 장애나 외부 재해의 발생이 가능하므로, 장애 발생 이후의 능력을 핵심 measure로 하여 망을 평가하고 설계하는 것이 통신망의 안정성 계획, 구축에서는 더욱 중요하기 때문이다.

2.2 통신망 재해 및 장애 지표

통신망의 안정성 확보를 위해 또 하나의 중요한 고려 사항은 통신망의 외부 재해 또는 내부 장애에 대한 정의 지표 (definition index)는 무엇인가에 달려있다. 가장 총괄적인 지표는 국제 표준화 기구인 ITU, 미국의 FCC (Federal Communications Commission), ANSI (American National Standard Institute) 등 다양한 기관에서 사용한 통신망 안정성에 대한 청문회, 보고서, 기준 등에 사용된 장애에 대한 정의들을 추적하여 귀납적으로 윤곽을 잡을 수 있다. 이 같은 보고

서나 기준들이 사용한 재해 및 장애에 관해 사용한 정의 및 범위는 주로 통신망 장애 지속 시간 (Duration: D), 장애 범위 (Extent: E), 장애 강도 (Intensity: I) 등의 세 가지 요소로 분류가 가능하다 [6]. 따라서 (I, D, E)를 통신망 장애 3-지표 (network disaster triplet)로 하여 통신망의 재난에 대한 정도를 표현함은 매우 효과적이다. 이 지표가 효율적으로 사용되는 하나의 예로 1992년에 미국에서 마련된 FCC의 통신망 재해보고 규정 중 하나인 “사업자가 가입자망, inter-state 또는 국제통신 분야에서 5만명 이상의 가입자가 30분 이상의 전화 서비스를 성립하거나 유지하는데 실패할 경우는 FCC에 보고하여야 한다 [7]”는 규정에서 의미하는 재해가, D = 30분 이상, E = 5만명 이상의 가입자 영향, I = 전화 서비스를 성립하거나 유지하는데 실패할 정도로 명확히 정의할 수 있음을 통해 알 수 있다.

이와 같은 장애 지표는 사업자별로 제공하는 서비스와 통신망의 성격에 따라 통신망 관리 및 계획에 적합하도록 정의하거나, 국제 표준안에서 정의된 서비스의 정량적 품질 기준 (예를 들면 [5]에서 보고된)을 사용하여야 하며, 정의된 지표에 따라 장애의 정의 또는 범위가 결정되면 이에 대해 기존의 통신망의 생존도를 평가하거나 새로운 통신망을 설계, 계획할 수 있게 된다. 이와 같은 장애 지표 응용의 한 예로, Bellcore는 미국의 Local Exchange Carrier 사업자들이 D = 2분 이상 계속된, E = 교환기의 장애, I = 모든 경우의 장애에 대해 장애 시각 및 지속 시간, 장애 교환기 ID, 장애의 종류 등을 Service Failure Analysis Report라는 보고 체계를 거쳐 Automatic Report Management Information System (ARMIS)라는 데이터 분석 시스템으로 분석하는 체계를 가지고 있다 [8].

[9]는 장애 지속 시간 (Duration: D), 서비스 불가능도 (Unservability: U), 가중치(Weight: W) 등의 세 가지 측면을 장애에 대한 정의로 사용할 것을 논의하고 있으나, 이는 우리가 논의한 통신망 장애 3-지표 중 장애 강도 I를 서비스 불가능도라는 지표로 서비스 영향 정도 측면으로 해석하고 장애 범위 E와 장애 강도 I를 복합적으로 해석하여 가중치 W로 정의하는 차이를 갖는다. 한편 일본의 연구자들은 앞에서 제시하는

통신망 장애 3-지표 이외에, 전통적인 probabilistic reliability 연구의 영향으로 장애의 빈도수(frequency)나 확률을 또 다른 중요 지표로 간주한다 [10]. 그러나 통신망의 장애가 특성상 돌발적이므로, 이미 발생한 (deterministic한) 사건으로 보고 이를 망계획에서 대처하거나, 장애 발생 후에도 self-restoration 등이 가능하여 피해가 극소인 통신망을 목표로 하는 생존도 중심의 안정성 framework하의 통신망의 계획 및 설계를 위해서는, 이들의 지표는 장애 분석의 필수적인 지표는 아닐 것이다. NTT는 이들의 지표에 따라 피해 가입자 수나, 트래픽 양으로 정의하는 “장애의 크기”에 따라 4개의 장애 카테고리를 분류하고, 각각의 카테고리에 대해 장애 빈도수, 장애 시간, 비가용도를 사용하여 신뢰도 목표치를 설계에 반영하고 있다 [11] [12]. 그러나 이는 장애에 대한 정확한 정의가 앞에서 제시한 장애 3-지표를 사용하는 경우보다 단순하고 생존도와 신뢰도의 명확한 구분과 사용이 이루어지지 않으므로 정교한 안정성 연구나 대책이라고 하기에는 부족함이 있다.

2.3. 통신망 안정성 계획/설계 모형

통신망 안정성의 계획과 설계를 위해 계층적인 모형을 제시하는 연구 노력들 [6][13]은 복잡한 통신망의 안정성 확보를 위한 계획과 설계에 관련한 여러 분야에 대해 다양한 문제를 식별하고 이에 대한 연구를 효율적으로 조직화 할 수 있는 노력으로 평가 받고 있다. 통신망 사업자를 중심으로 안정성 체계화 노력에 따라 제시된 이와 같은 다계층 모형(Multi-Layered Model for Network Survivability)은 다음과 같이 정리될 수 있다.

이 모형에서 가장 윗 부분인 Service Layer는 주로 기존의 교환망에 대응하며 사용자 개개의 입장을 고려한 안정성 여부에 관련되고, 가장 하단의 Physical Layer는 기존의 통신망의 물리적인 매체에 직접 관련되어 통신망 선로 기술에 의존한다. 중간의 두 계층은 기존 통신의 전송망에 가장 밀접하지만 Logical Layer는 단순 multiplexing 기능과 함께 cross-connect 기능을 포함하고, Transmission System Layer에서는

〈표 1〉 통신망 안정성 다계층 모형

Layer	Node의 종류	절체 방법의 예
Service	· Circuit switch · Packet switch · Cell switch	· Drop existing calls · Alternatively route new calls · Resend packets on alternate routes · Change virtual circuits
Logical (Cross-Connect)	· Wideband DCS · Broadband DCS	· Reroute existing connections over spare channels (Centralized or Distributed control)
Transmission System	· terminating multiplexer · add-drop multiplexer	· Protection switching to dedicated protection paths · Protection switching using self-healing-ring
Physical	· Fiber splice points · Distribution frames	· Manual re-wiring · Splicing · Geographical diversity

Terminating Multiplexer (TM)를 사용할 경우는 Automatic Protection Switch (APS)를 사용한 1:n 방식의 전용의 절체 방법을 사용하고, 동기식 (Synchronous) Add-Drop Multiplexer (ADM)를 사용할 경우는 빠른 속도의 자동 절체를 고려한다. 〈표1〉에서 정의한 다계층의 통신망 안정성 개념의 특징은 다양한 통신망의 구성요소를 기능별로 계층화 시키되, 각 계층은 각각 "노드", "링크", 그리고 점 대 점의 트래픽에 대응하는 "수요"의 부분망으로 구성하고 각 부분망의 노드가 수요에 대한 (완전 자동화에서 수동의 제어까지 모두를 포함한) routing point로 정의 하는 것이다. 데이터 통신의 프로토콜을 위한 OSI 7-layer 모형이 각 상위 계층의 정보 전달 단위가 하위 계층의 정보 전달 단위에 패킷 형태로 encapsulation 되는 것과 비교하여 안정성 다계층 모형은 부분망에서 노드로 encapsulation되고 있다. 이는 모형이 사용되는 기능과 모형의 다계층 구조가 유사성을 가짐을 보여준다. 계층화 된 통신망 각 layer에 대한 개별적 연구가 아직은 상호 유기적으로 연결되지 못한 실정이지만 미국의 ANSI등에서 개별적으로 표준화가 진행되어 통신망 사업자에 의해 지역망 (예: intra-LATA)의 계획과 운영에 주로 응용되고 있다 [13].

3. Logical Layer와 Transmission System Layer의 통합 모형

3.1 Logical Layer 와 Transmission System Layer의 통합의 필요성

기존의 유사동기식 (Plesiosynchronous) 장비 (TM, APS 중심)과는 달리 ADM, BDCS 등 최근의 동기식 전송 장비는 모두 장애 발생시 자동 절체 기능 (self restoration, self healing)을 가지고 있으나 ADM 장비가 망의 topology를 ring형태로 구성할 때만 사용할 수 있고 BDCS 장비는 full mesh에 가까운 topology 형태에서 최적이다 [2]. 이에 따라 통신망 사업자들은 수요와 규모가 작은 지역망에 대하여는 ADM Ring 구조를, 지역망 상호간에는 BDCS Mesh 구조를 쓰는 것이 경제적이며 자원 할당에 효율적이라고 믿어 왔다. 그러나 최근의 다양하고 변화가 큰 복합 통신 수요에 대해 통신망 사업자들은 DCS와 ADM 등을 동기식 장비의 장점인 유연성 및 호환성과 경제성을 살려 같은 계위의 망에서 설치해 통합하여 운용하여 전체 망의 자원 할당과 운용의 유연성을 증대시키는 추세이다.

초고속 ATM 통신망에서는 교환과 전송의 개념이 융합 되는 전달망 (Transfer Network) 개념이 등장하고 이를 서비스망이나 지능화된 제어망에 대비 시킨 통신망의 핵심적인 물리적 실체로 간주한다 [14][15]. 이와 같은 ATM의 전달망은 계층적으로 이루어져 있

다. 즉, 물리적 수송 경로는 여러 개의 VP에 대한 전송 서비스를 제공하며, VP는 여러 개의 VC에 대한 전송 서비스를 제공한다. 이때 VC는 ATM 셀을 전달하는 링크 종단간의 논리적인 단방향의 결합을 의미하며 셀 헤더에 있는 VPI (Virtual Path Identifier)와 VCI (Virtual Channel Identifier)에 의해 식별된다. VP는 동일한 종점을 가지는 VC들의 결합으로 이루어지는 단방향 경로를 의미하며 VPI에 의해서 식별된다 [15] [16] [17]. 일반적으로 가상 채널 연결은 사용자에게 의해서 서비스 요구가 있을 때 사용자 신호를 따라 이루어지며 가상 경로 연결은 망 자원의 관리를 효율적이고 간단하게 하기 위하여 두 종점간에 망관리 센터에 의해 정적이고 반영구적으로 할당된다 [17].

따라서 동기식 TM, ADM, DCS를 통합된 전송 장비로 고려하고, ATM의 전달망 개념이 교환과 전송을 융합하여 VC와 VP의 연결로 계층화 되는 것을 감안하면, 향후의 통신망의 안정성을 위해서는 기존의 Logical Layer와 Transmission System Layer의 노드들을 같은 layer (전송망 layer)의 노드 장비로 감안하여 계획과 설계가 이루어져야 한다. 즉, 연동 기술의 발달과 새로운 ATM 가상 경로 및 채널 계층 개념에 따라 안정성에 대한 기존의 4-layer 다계층 모형은 두 가지 중간 계층인 Logical Layer와 Transmission System Layer가 전송망 layer로 융합된 다음과 같은 3-layer 다계층 모형으로 변화한다.

3.2 Logical Layer와 Transmission System Layer 통합 계층의 수리계획 모형

2장에서 살펴보듯이 미래의 통신망은 물론 현재의 통신망의 전송망도 Logical Layer의 DCS와 Transmission System Layer의 ADM, TM등으로 노드 장비가 이루어지고 fiber optic cable과 이를 위한 관로 시설 등 링크 설비는 공유하기 때문에 Logical Layer 또는 Transmission System Layer의 안정성만을 최적화 하는 모형과 설계 알고리즘으로 망을 계획/운영할 경우는 전송망의 부분적 최적화는 가능하나 전체적인 최적화는 달성되지 않는다.

전송망 계획의 핵심 요소는 전송망의 형상 (topology), 장비 위치 (node location), 링크 용량 (link dimensioning) 등의 제반 요소를 물리적 요소와 전송 기술적 요소를 제한조건으로 하여 최적으로 구성함이다. 따라서 전통적으로 산업공학, 경영과학의 operations research 제반 모형 중 network 기반의 수리계획 (mathematical programming) 모형을 많이 사용하고 있다. Logical Layer와 Transmission System Layer 두개의 Layer를 통합하여 모델링 하기 위한 수리계획 모형은, 2개의 계층 모두가 노드, 링크, 수요의 세가지 속성으로 표현되고 이를 물리적으로 graph theory를 이용하여 표현하는 특징을 갖고 있으며, 특히 두개의 layer 모두 수요 및 노드, 링크 용량에 관하여 정보의 전송 단위인 bits per second (bps) (동기식 전송망에서

〈표 2〉 차세대 통신망 안정성 다계층 모형

Layer	Node의 종류	기능	특징 및 비고
Service	<ul style="list-style-type: none"> · Circuit switch · Packet switch · Cell switch (VC switch) 	<ul style="list-style-type: none"> · 새로운 connections을 위해 우회 회선 루팅 · 우회 경로를 통한 패킷 재전송 · VC의 변경 	<ul style="list-style-type: none"> · 서비스별 QoS 특징을 반영 · 시간별 상태별 예방적 조치 중심 · 비동기식 전송이 중심이 되는 시기에는 VC layer
Transmission Network	<ul style="list-style-type: none"> · 동기식 DCS, ADM, TM · VP switch 	<ul style="list-style-type: none"> · 공용의 spare 또는 전용의 protection channel 활용하여 facility 차원의 복구 · VP connections의 재구성 	<ul style="list-style-type: none"> · facility차원의 중심적 restoration · 비동기식 전송이 중심이 되는 시기에는 VP layer
Physical	<ul style="list-style-type: none"> · Fiber splice points · Distribution frames 	<ul style="list-style-type: none"> · 수동 re-wiring · Splicing · 물리적 매체 다원화 	<ul style="list-style-type: none"> · 물리적 전달 계층

는 집적화 된 전송 계위인 SDH 단위)로 통합이 가능하므로, 트래픽 흐름 보존의 측면에서 통합된 수리계획 모형의 formulation에 관한 어려움은 크지 않다.

이와 같은 통합모형의 개발을 위해 해결해야 할 문제 중 하나는 "망형상의 차이(mesh 對 ring)와 절체 방법의 차이를 어떻게 통합하느냐"이다. 망 형상에 관한 문제의 해결 방안은 기존의 mesh형 graph의 특별한 형태가 ring이라는 사실을 사용하여 일차적으로 일반적인 mesh형으로 모델링 하고 ring만을 사용하는 ring-path 조건을 논리적으로 부가하거나, 가능한 routing의 조건을 path formulation에서 암시적으로 포함이 가능하므로 정형화에 큰 어려움은 없다. 절체 방법의 차이는 통합된 정보 전달 단위인 bps 또는 SDH 기본 속도를 사용하여 전송 path (동기식의 경우 STM path, 비동기식의 경우 ATM VP) 단위로 formulation하면 routing의 후보군의 선택 등을 통해 통합된 정형화가 가능하다.

3.3 Logical Layer 와 Transmission System Layer의 통합 계층에 대한 Planning Algorithm

특히 기존의 4개로 분리된 layered approach가 갖던 방법론적 장점인 수학적 모형의 간단화나 알고리즘의 단순성 등은 통합된 모형의 수학적 모형을 전달망의 계층적 요소 (기간전송망, 국간전송망 또는 SDH 계위인 STM1級망, STM4級망 등)를 반영하여 mathematical decomposition을 한다면 통합된 다계층 모형에서는 새로운 decomposable 모형이 되므로 해결이 가능하다. 이와 같은 계층화된 통신 네트워크 설계 문제를 효율적으로decomposition하되, 단순히 부분 문제로 분할해 해를 구하고 전체 문제에 대해 근사적 해로 단순 합성을 하지않고, 전체 문제의 최적해까지 찾는 모델링 문제는 [18]에서 시도된 바 있다. 이를 살펴보면 망의 지리적 형상에 관한 제약은 topological constraints로, 그 밖의 routing 고려요소는 compatibility constraints으로 취급하는 하나의 정수계획법 모형으로 만들어, feasible solution을 slave problem으로 찾고 전체적인 비용을 최적화하는 master problem을 풀어나가는, exponential 갯수의 변수와 제약식을 갖는

0-1 integer programming 모형을 위한 최적화 알고리즘을 개발하여 상당한 크기의 실제 통신망 문제의 설계에 최적해를 찾는다. 최적화 모형 및 알고리즘 개발의 핵심 평가 요소인 해법의 solution time의 fastness 및 solution quality 역시 ① logical flow constraints의 수학적 특성을 고려하여 network flow 문제들에서 많이 사용된 이론을 활용하여 decomposition하고, ② 기존의 각 layer에 대해 개발된 정수계획법 문제의 polyhedral approach 및 separation algorithm들의 결과를 응용하며 확장하고, ③ 효율적인 발견적 기법 등을 충분히 활용하여, 효율적인 최적화 알고리즘의 개발이 가능하다 [18].

4. 통합 모형의 한국통신 기간망에 대한 활용

이 장은 이 논문에서 제시한 통신망 안정성 모형이 일관된 통신망 계획/설계 과정의 일부로 한국통신의 기간망에 대한 계획 과정에 사용되는 실례를 살펴보기로 한다.

4.1 안정성 확보 개념 및 관리 대상 장애 식별

종합 통신망 사업자들의 통신망은 서비스별로 분류되기도 하지만 현재는 전화 서비스를 위한 회선교환망, 데이터 통신을 위한 패킷교환망, 전용회선망 등등이 가장 대표적인 서비스 계위 관련 네트워크가 된다. 한국통신의 국간 전송 계위에서는 전송 속도별로 T1급 (1.544Mbps), T3급 (45Mbps) 으로 표현되는 유사 동기식 전송망이 중심으로 현재 동기식 전송망으로 전환되고 있는 실정이다. 안정성 확보를 위한 교환, 전송, 선로 설비 및 운용의 기준과 표준화와 함께, 2.1절에서 살펴본 장애 발생 후의 생존도 확보를 통신망 계획 및 설계를 위해 가장 중요한 안정성 확보 개념으로 수립하였다 [19] [20].

자연 재해나 시스템 장애로 인해 한국통신이 경험한 장애 중 [4]에 보고된 1992년부터 1994년까지의 장애를 대상으로 2.2절에서 설명한 통신망 장애 3-지표를 $D = 30$ 분 이상, $E = 1$ 만회선 이상, $I =$ 전화통화의 단절, 신규 연결 불가로 정의 할 때, <표 3>과 같

〈표 3〉 한국통신 통신망의 장애 사례

발생일	피해 회선수	피해 시설	피해 원인	복구시간 (시간:분)
92.2.11	11,874	평택-천안간 광케이블 36C	도로공사 중 절단	00:49
92.3.11	12,763	오산-평택간 광케이블 36C	도로공사 중 절단	00:52
92.3.22	11,874	평택-천안간 광케이블 36C	도로공사 중 절단	00:39
92.3.29	12,013	시내케이블 10조	상가공사 중 화재	47:00
92.6.18	12,939	평택-천안간 광케이블 36C	도로공사 중 절단	00:32
92.7.18	14,802	경부광케이블 36C	도로공사 중 절단	00:53
92.12.3	12,809	천안-석소간 광케이블 36C	도로공사 중 절단	00:59
93.3.27	17,706	신갈-수원간 광케이블 36C	한전주 건설중 절단	1:03
93.6.17	34,386	영등포국간 중계케이블 66C	통신구내 화재	13:30
93.8.23	28,798	월배 교환기, 케이블 4조	지하철공사 중 이상 전압	4:58
94.3.10	321,185	케이블: 시내18조, 국간43조, 시외5조	동대문 통신구 화재	85:50
94.9.7	17,853	광주-순천간 광케이블 24C	도로공사중 절단	1:43
94.9.12	28,907	육천-영동간 광케이블 36C	가드레일 공사 중 절단	1:23
94.11.18	44,684	남대구 전화국 지하 통신구 21조	통신구 화재	33:50

이 적지 않은 장애가 경험되고 있음을 알 수 있다. 이는 2장의 Bellcore가 ARMIS로 관리하고 있는 장애의 범위보다 훨씬 심각한 영향을 미치는 정도의 장애들이다.

4.2 안정성 계획 계층화 모형에 따른 전략적 연구 대상

2, 3장에서 제시한 모형으로 한국통신이 추진하거나 연구 개발 중인 통신망 계획 및 설계에 관련한 안정성 확보 노력을 살펴보면 다음과 같이 분류 가능하다 [19] [20].

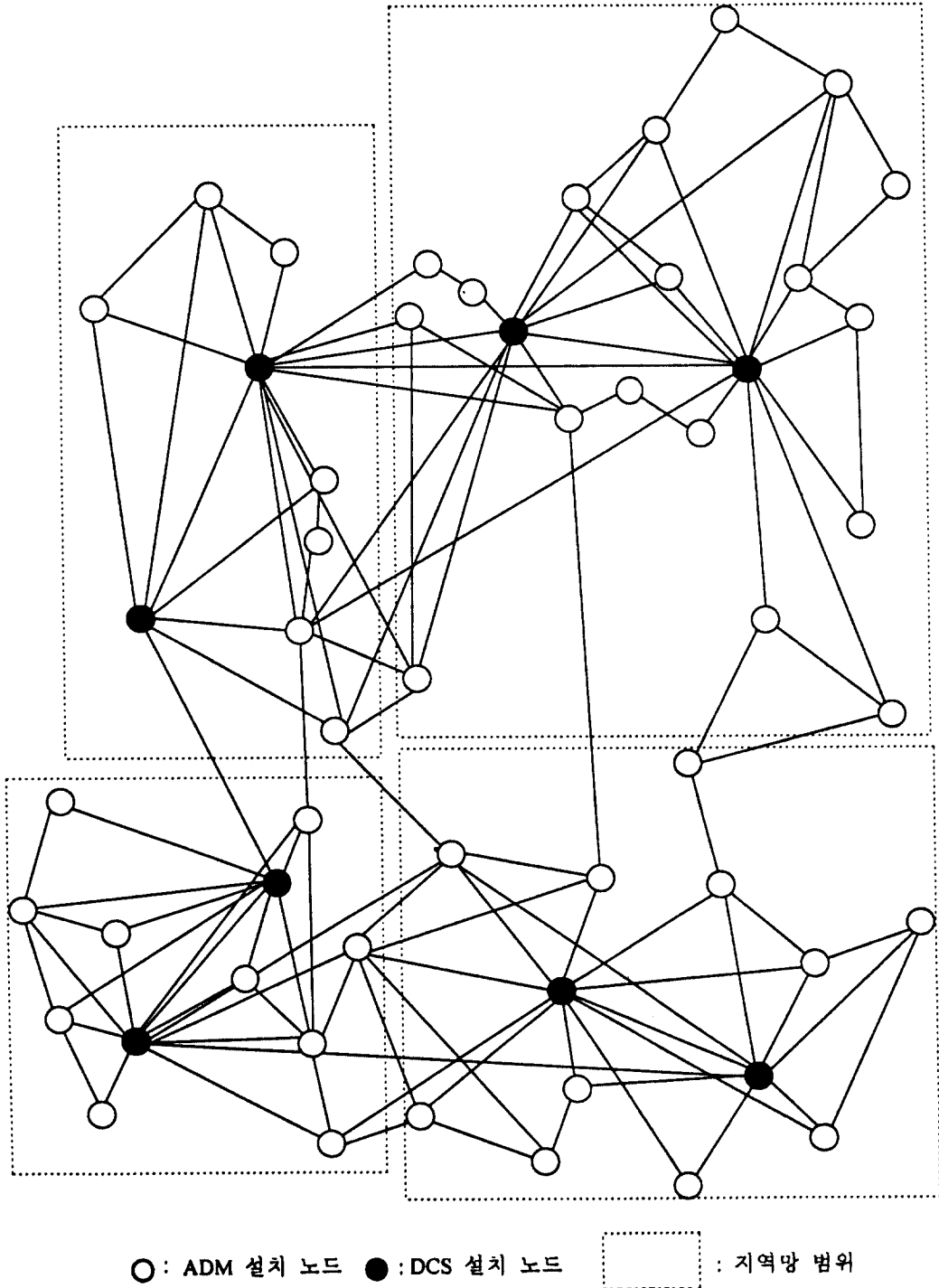
4.3 통합 모형을 사용한 서울지역 전송망 설계

앞절에서 논의한 안정성 확보를 위한 한국통신의 통신망 설계 및 계획 중 transmission network layer 부분 중 안정성과 경제성을 확보하는 동기식 전송망을 건설하되 절체 전송 자원을 가장 효율적으로 활용하는 문제에 대한 사례를 살펴보기로 한다. 서울 지역

국간 전송망을 대상으로 3장의 모형과 알고리즘을 사용하면 다음 〈그림 1〉과 같은 전송망 설계가 가능하다. 〈그림 1〉은 서울 지역의 53개의 동기식 전송 노드를 4개의 전송 지역으로 나누고 각 지역간은 intra-

〈표 4〉 한국통신의 계층별 안정성 확보 계획

Layer	중점 연구 대상
Service	<ul style="list-style-type: none"> · 교환망의 효율적 이원화 접속 · 동적 루팅의 필요성 및 타당성 · ATM VC 루팅, 폭주 대책 및 reconfiguration · 사업자간 상호 협조 체계
Transmission Network	<ul style="list-style-type: none"> · 안정성과 경제성을 확보하는 동기식 전송망 추진 · 안정성 확보를 위한 절체 전송 자원의 효율적 활용 · 효율적인 가입자 광케이블화 · ATM VP reconfiguration 및 자원 운용
Physical	<ul style="list-style-type: none"> · 선로 시설 종합 DB화 · 선로 시설 내재성 증대



〈그림 1〉 서울 지역 4개 지역망 적용시 최적해

traffic은 ADM ring의 중첩으로, inter-traffic은 표시된 DCS노드를 통해 처리하는 동기식 전송망 구조의 해를 나타낸다.

5. ATM 통신망 안정성 연구 방향

향후 구축될 초고속통신망인 BISDN의 전달망 구성 요소는 ATM의 두개의 connection identifiers인 Virtual Path Identifier (VPI) 와 Virtual Channel Identifier (VCI) 중 어디까지를 Switching 하느냐에 따라 Virtual Path (VP) switch와 Virtual Channel (VC) switch로 구분되어 구현될 수 있으나, 경제적 이유와 기존의 동기식 고속 전송의 장점을 충분히 활용하기 위해 SONET/SDH 계열의 동기식 전송 계위에 cell을 mapping 시켜 전달하는 구조를 상당 기간 지속할 것으로 전망된다 [15] [16]. 한국에서도 ATM방식의 초고속 정보통신망을 구축함에 있어 수입 및 국내 개발 중인 동기식 BDCS를 사용하여 이와 같이 완전한 ATM cell transfer가 있기 전인 향후 5~10년 정도에는 초고속통신 전달망의 핵심 장비로 ATM switch, SDH-BDCS, SDH-ADM등으로 구성될 전망이다. 따라서 통신망 안정성의 다계층 모형은 앞에서 지적한 것과 같이 Logical Layer와 Transmission System Layer를 전송망 계위로 하고 최상위 계위는 서비스 계위로 하는 모형으로 접근이 가능하다. 이후 cell을 동기식 전송 frame에 mapping하지않고 직접 가변적인 용량의 ATM VP switch와 ATM VC switch를 사용하는 시기에는 통신망 안정성의 다계층 모형은 기존의 교환기와 전송 시스템의 분류를 중심으로 하는 대신 VC switch를 노드 장비로 하여 서비스 계위를 정의하고 VP를 중심으로 Transmission Network 계위를 정의하여 안정성을 확보하도록 계획/설계하여야 한다.

한편 ATM 통신망의 안정성을 위해 VC 단위의 절체와 복구는 서비스의 특징별로 대응하는 장점은 있으나 망의 복잡도, 복구 시간, 경제성 등에서 VP단위의 안정성 확보나 복구에 비해 불리하므로 주된 생존도 확보 설계 및 계획은 VP단위의 layer인 Transmission Network 계위에서의 복구/절체를 통한 안정성의 설계와 계획에 있다고 파악되고 있다 [21] [22]. 이와

같이 완전한 ATM의 도래 시기에도 중심적 생존도 확보 계층이 될 전송망 layer (이 시기에는 VP layer라는 명칭이 적합, 2장 <표 2> 참조)에서 가상 경로를 고려한 안정성 연구의 방향을 위해서는 기존의 동기식 전송방식인 Synchronous Transfer Mode (STM) 방식의 digital path (또는 virtual container) 개념과 ATM방식의 VP의 특성의 차이를 살펴보면 기존의 방법과 ATM VP를 이용한 자기 복구의 본질적 차이점은 다음과 같이 나타난다.

<표 5> STM 방식의 digital path와 ATM 방식의 VP의 차이점

구분	STM Digital Path	ATM VP
절체 단위	Digital Path (VC-3, VC-4)	Virtual Path
restoration layer의 수	다수의 layer	하나의 layer
backup 경로 사전 할당	비효율적	효율적 (0 bandwidth VP 가능)
경로 OAM	Path Over Head (POH) 사용	OAM cell 사용
restoration 경로 수 상한	48개	4096개
경로의 트래픽 종류	없음	복수 (CBR, VBR, UBR, ABR등)
관리되는 QoS 파라미터	전송 지연, 비트 에러	비트 에러, 셀전송 지연, 셀손실, throughput
bandwidth dimensioning방법	필요 없음	복수의 QoS 파라미터와 트래픽 종류 처리 위해 필요
관리대상 자원	bandwidth (time slot)	bandwidth, VPI number

이에 따라 ATM 가상 경로를 중심으로 하는 향후 생존도 설계에 관한 연구의 주제는 다음과 같은 특징을 반영해야 한다.

· STM에서의 digital path는 path상의 개개의 DCS의 TDM-frame에 time slot을 할당받고, 이와 함께 고정된 용량 (bandwidth)을 할당받지만 ATM에서의 VP는 Virtual Path Identifier (VPI) 와 Routing Table (RT)으로 이루어지며 VP의 경로는 RT에서 배정 받고 용

량은 별도로 VP terminator나 cross-connect의 데이터 베이스에서 논리적으로 할당되므로 용량과 경로는 독립적이다. 따라서 heterogeneous한 용량의 경로들을 VP terminator에서 경로를 바꾸되 그 용량이 재할당되는 지를 결정하는 reconfiguration모형이 필요하다. 기존의 ATM VP중심의 수리모형들은, [21] 등 극히 일부를 제외하고는 이와같은 점을 무시하고 기존의 동기식 전송망의 기본 전송단위의 정수배로 나누는 개념의 설계모형들을 사용하고 있다. 최근 본 연구팀은 VP가 갖는 용량을 장에서 효율적으로 packing하는 것을 고려하는 restoration에 관한 planning문제를 모형화 하고 최적 알고리즘에 관한 연구를 진행하고 있다.

· ATM에서의 VP의 용량은 논리적이므로 하나의 VP는 0의 용량을 갖을 수도 있고 한 개의 용량의 값이 여러 개의 VP의 집합에 할당될 수 있다. 따라서 STM에서 빠른 자기 복구 기능을 위해 distributed flooding에 의존하여 전체적인 spare자원을 효율적으로 사용하지 못한 것에 비해 0 용량의 bandwidth를 갖는 절체용 VP를 사전에 예약하여 복구 시간과 spare자원을 효율화 시키거나 사전 예약과 dynamic flooding이 같이 사용할 수도 있다. 최근의 ATM VP중심의 restoration protocol은 많이 제안되었지만 이들을 효율적으로 활용하여 주어진 traffic특성, 망형상, 라우팅방법 등에 대해 최적으로 구성하는 방법에 대한 설계, 계획 기법은 향후 개발되어야 할 연구주제이다.

· 동적 control가능한 ATM의 유연한 망 구조를 반영하여 network planning과 network management의 기능 양측을 조정하고 최적화하는 개념적 체계와 mathematical model 및 computational algorithm이 마련되어야 한다. 이는 TMN 등 통신망 관리 체계에서 망의 설계를 하나의 부분적 요소로 간주하거나 망 계획 및 설계시 망 관리 기능을 깊이 고려하지 않는다면 효율적인 통신망의 구축과 운용은 불가능하기 때문이다.

6. 요약 및 결론

본 연구는 날로 그 중요성이 더해지고 있는 통신망의 안정성 분야에 대해 기존의 개념의 변화 필요성에 근거한 새로운 개념과 모형의 제시 및 그에 따른

computational algorithm의 개발 및 이의 실제적인 응용을 보고하고 있다. 특히, 새로운 멀티미디어 서비스를 위해 ATM으로의 통신 방식의 변화, 이에 따른 통신 장비의 변화, 새로운 통신망 계층 및 구조 정착이 연쇄적으로 일어나고 있는 시점에, 그에 따라 새로이 출현할 통신망 안정성 연구 및 구현을 위한 개념과 수단도 변화해야 함을 주장하며 특히 통신망의 안정성을 설계하고 계획하는 새로운 계층적 모형을 제시하고 이를 위한 세부 수리 계획 모형이 가능하고 효율적임을 보였다. 이와 같은 연구는 구체적으로 통신망에 의존할 많은 사용자의 서비스 안정성 향상과 통신망 사업자의 이익과 경쟁력을 최대화하는 기대 효과가 있다.

ATM방식의 초고속 통신망이 LAN, MAN, WAN 등의 다양한 범위로 구축되고 있음에 따라 대용량 초고속의 통신망의 안정성을 위해 ATM VP중심의 세부 안정성 계획 및 설계의 모형과 알고리즘의 개발과 활용이 기대된다. 특히 초고속 통신망의 전달 서비스의 다양함, 대용량 특성, 미래 통신 시스템의 복잡도 특성을 감안할 때, 재난 발생 후 조치보다 재난에 대해서도 생존도가 높은 통신망의 설계 및 계획에 더 많은 기대를 하여야 하므로 network survivability planning 분야의 역할의 중요성은 ATM시대에는 더욱 증대될 전망이다.

【참고문헌】

- [1] 최병항, 정보 고속도로 & 뉴 비즈니스, 김영사, 1995
- [2] T. H. Wu, Fiber Network Survivability, Artech House, 1992
- [3] K. R. Krishnan, R. D. Doverspike and C. D. Pack, Unified Models of Survivability for Multi-Technology Networks, ITC14, pp.655-665, 1994
- [4] 박구현, 이준원, "재난대비 통신망 신뢰성 확보대책", 정보통신, Vol. 12, No. 11, pp.1014-1032, 1995
- [5] K. C. Glossbrenner, "Availability and Reliability of Switched Services", IEEE Communications Magazine, June, 1993
- [6] T1A1 Technical Report No. 24, A Technical Report

- on network Survivability Performance, October, 1993
- [7] M. Daneshmand, Catherine Savolaine, Measuring Outages in Telecommunications Switched Networks, IEEE Communications Magazine, June, 1993
- [8] R. Fagerstrom, J. Healy, The Reliability of LEC Telephone Networks, IEEE Communications Magazine, June, 1993
- [9] A. Zolfaghari, F. J. Kaudel, Framework for Network Survivability Performance, IEEE Journal of Selected Areas on Communications, Vol. 12. No.1, 1994
- [10] S. Nojo, H. Watanabe, Incorporating Reliability Specifications in the Design of Telecommunication Networks, IEEE Communications Magazine, June, 1993
- [11] Takeo Abe, Masahiro Hayashi, Satoshi Nojo, A Software Tool to Support the Reliability Design and Evaluation of Telecommunication Networks, IEEE Journal of Selected Areas on Communications, Vol. 12. No.2. 1994
- [12] Kenshi Takaki, Masafumi Iida, Approach for Reliability Design: Present State and Future Trends, NTT Review, Vol.5, No. 4, 1993
- [13] R. D. Doverspike, A Multi-layered Model for Survivability in Intra-LATA Transport Networks, Proceedings of IEEE GLOBECOM '91, pp.2025-2031, 1991
- [14] D. E. McDysan, D. L. Spohn, ATM: Theory and Application, McGraw Hill, 1995
- [15] M. Prycker, Asynchronous Transfer Mode, Ellis Horward, 1991
- [16] CCITT Recommendation I.131, BISDN General Network Aspects, 1991
- [17] Raif O. Onvural, Asynchronous Transfer Mode Networks: Performance Issues, Artech House, 1994
- [18] Kyungchul Park, Kyungsik Lee, Sungsoo Park and Heesang Lee, "Modeling and Solving a Clustering Problem for the Survivable Network Design, Telecommunication Systems", (submitted)
- [19] 고도통신망 구축계획에 관한 연구, 한국통신 연구개발원 통신망연구소, 1995년 12월
- [20] 제1회 정보통신분야 재난대비대책 워크샵 논문집, 1995년 11월
- [21] R. Kawamura, K. Sato, I. Tokizawa, "Self-Healing ATM Networks Based on Virtual Path Concept", IEEE Journal of Selected Areas on Communications, Vol. 12, No.1, pp.120-127, 1994
- [22] R. Kawamura, H. Hadamo, I. Tokizawa, "Implementation of Self-Healing Function in ATM Networks Based on Virtual Path Concept", Proceedings of IEEE INFOCOM, pp.303-311, 1995



이희상(李熙祥)

1983년 서울대학교 산업공학과 학사
 1985년 서울대학교 산업공학과 석사
 1991년 Georgia Institute of Technology 박사

현재 한국외국어대학교 산업공학과
 조교수

관심분야: 통신망 계획 및 최적화이론