

主 題

# 생존도를 고려한 ATM 망의 가상경로 설계에 관한 연구\*

한국통신 통신망연구소 망구조연구팀 김 상 백

## 〈요약〉

지금까지 ATM 망의 생존도에 대하여 연구되어 온 관련 모형 및 알고리즘은 주로 가상 경로의 특징을 제대로 적용하지 않고, 기존의 STM 망 모형의 변형을 이용한 연구가 대부분이었다. 또한 장애가 일어났을 때 ATM의 OAM 셀을 사용해 장애를 어떻게 효율적으로 알리고 복구 확인을 하는 차원의 연구가 많은 반면, 복구가 망 전체 차원에서 어떻게 자원을 최적화로 사용하고 관리 및 계획의 대체를 정의할 지 등에 대한 체계적인 연구나 모형화가 시작되지 못해왔다. 이 논문에서는 ATM 망의 가상경로 개념을 사용한 생존도 확보 기법에 대하여 지금까지의 연구 동향 및 향후 연구방향에 대하여 기술한다.

## 1. 서론

광섬유를 이용한 광통신 기술과 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 교환 및 전달 기술은 한번에 많은 정보를 빠르게 전달할 수 있는 능력을 가지고 있어서 사회가 요구하는 각종 정보나 서비스를 다양하게 제공할 수 있다. 그러나 초고속 정보 전달능력은 많은 양의 정보를 빠르게 전달하는 반면 관로 파손이나 교환기 고장과 같은 재해가 발생하면 엄청난 정보손실을 초래한다. 그래서 통신망이 고속화, 광대역화 할수록 망의 안정성이나 생존도를 높일 수 있는 방안이 반드시 고려되어야 하며, 재해발생시 회복능력을 갖는 안정된 초고속망의 설계는 망사업자 입장에서 매우 중요한 문제가 된다. 현대 사회에서 정보·통신이 차지하는 비중은 매우 크고 국가경쟁력과도 바로 연결이 된다. 그것은 설사 망에 장애가 일어날 가능성이 희박하다 하더라도 한번 장애가 일어났을 때 야기되는 피해는 엄청나기 때문이다. 통신망의 경제성을 위한

\*정보통신기초과제의 일부로서 서울대와 공동으로 수행하였음.

집중화 경향과 고도화된 서비스를 제공하는 미래의 초고속망의 안정성이 위협받을 때 초래되는 모든 피해는 상상을 초월할 것이다. 그러므로 초고속망의 안정성 확보에 관한 효과적인 연구와 그 결과로 개발되는 핵심기술은 전 산업에 대해 막대한 경제적 안정성을 보장한다.

지금까지 ATM 망의 생존도에 대하여 연구되어 온 관련 모형 및 알고리즘은 주로 가상 경로의 특징을 제대로 적용하지 않고, 기존의 STM(Synchronous Transfer Mode) 망 모형의 변형을 이용한 연구가 대부분이었다. 또한 장애가 일어났을 때 ATM의 OAM 셀을 사용해 장애를 어떻게 효율적으로 알리고 복구 확인을 하는 차원의 연구가 많은 반면, 복구가 망 전체 차원에서 어떻게 자원을 최적화로 사용하고 관리 및 계획의 객체를 정의할 지 등에 대한 체계적인 연구나 모형화가 시작되지 못해왔다.

ATM 망의 절체의 가장 큰 장점 중 하나가 라우팅 기능과 용량할당이 독립적으로 이루어진다는 점이지만 아직 장애가 일어난 시점에서 라우팅과 용량할당의 동시적인 고려는 시도되고 있지 않다. 즉, 장애가 일어나기전의 트래픽의 변화에 대한 가상경로의 재구성능은 용량과 루팅 모두를 최적화하는(특히 가상채널의 가상경로내에서의 수용의 합리화) 분야에 많은 연구가 수행되고 있다. 그러나 우리가 주목하는 생존도 향상을 고려한 가상경로 모형은 가능한 가상채널의 가상경로내 수용은 그대로 두고 용량의 재조정과 루팅의 최적화를 수행하되, 용량과 루팅의 상호 의존성을 고려한 최적화가 진행되어야 한다. ATM 가상경로 복구 방법에 대해 100% 복구를 보장할 수 있는 여유용량을 확보하는 것은 핵심적인 ATM 자원 최적화 계획 문제가 된다. 이 문제는 예비 가상경로 리라우팅(VP rerouting) 문제, 용량 재할당 문제 등과 밀접한 관련이 있다.

이 논문의 구성으로는 2장에서 ATM 망의 기본 구조와 가상경로 개념을 이용한 복구의 특징을 기존의 STM 방식의 디지털 경로(digital 경로 또는

virtual container) 와 비교하여 살펴보고 3장에서는 복구기법의 종류를 간단히 소개한다. 4장에서는 기존의 연구결과를 분야별로 소개하고 장단점을 간략히 언급하였고 끝으로 5장에서 결론을 맺도록 한다.

## 2. ATM 망의 구조와 생존도

다양한 능력의 미래의 통신망인 ATM 망은 안정성 측면에서는 통신시스템의 성능향상과 통신망 운용의 간편성과 경제적인용의 필요에 의한 집중화 경향과 이에 따라 통신망의 개개의 구성요소에 대한 의존도의 증가와 같은 특징을 갖는다.

ATM 망은 다음 4가지 계층으로 크게 나눌 수 있다([표 2-1] 참조).

[표 2-1] ATM 망의 계층 구조

고위계층	
ATM 계층	가상채널 레벨 가상경로 레벨
물리계층	전송경로 레벨 다중화 구간 레벨 재생기 구간 레벨

여기서 전송경로(Transmission Path)는 여러 개의 가상경로(Virtual Path)에 대한 전송 서비스를 제공하며, 가상경로는 여러개의 가상채널(Virtual Channel)에 대한 전송서비스를 제공한다. 가상채널은 ATM 셀을 전달하는 링크 종단간의 논리적인 단방향의 결합을 의미하며 셀헤더에 있는 VPI(Virtual Channel Identifier)와 VCI(Virtual Channel Identifier)에 의해 식별된다. 가상경로는 동일한 종점을 가지는 가상채널들의 결합으로 이루어지는 단방향 경로를 의미하며 VPI에 의해서 식별된다. 이 중 서비스의 안정성 확보와 복구를 위

한 레벨은 ATM 계층과 물리계층에서 이루어지며 [Kwamura et. al. 94] ATM 계층에서의 절체단위는 VP단위나 VC단위의 두 종류가 있다.

ATM 망의 안정성 확보를 위한 절체용 망구조는 VC, VP, 물리 레벨 연구가 모두 필요하지만 물리 레벨의 경우 매체 자체의 특성이 ATM, STM의 전송방식에 따른 차이점이 없으므로 기존의 동기식 전송망의 안정성을 위한 물리 레벨의 연구를 그대로 적용할 수 있고 VC 레벨 연구는 서비스 안정성 확보나 복구는 망의 복잡도, 복구시간, 경제성 등에서 VP 단위의 안정성 확보나 복구에 비해 불리하므로 주된 연구는 VP단위의 ATM 계층에서의 복구/절체를 통한 안정성의 설계와 계획에 있다고 파악되고 있다[Kawamura et. al. 94, Kawamura et. al. 95].

기존의 동기식 전송방식인 STM 방식의 디지털 경로(digital path 또는 virtual container) 개념과 ATM방식의 VP의 특성의 차이를 살펴보면 기존의 통신망의 안정성을 위한 방법과 ATM방식에서 VP를 이용한 자가복구의 본질적 차이점이 분명해진다. 즉, STM에서의 디지털 경로는 경로상의 개개의 디지털회선분배장치(DCS)의 TDM 프레임에 타임 슬롯을 할당받음으로 성립되며 디지털 경로는 성립과 함께 고정된 용량(bandwidth)도 할당받는다. 반면 ATM에서의 VP는 VPI와 라우팅 테이블로 이루어지며 VP의 경로는 라우팅 테이블에서 배정받고 용량은 별도로 VP 종단점의 데이터베이스에서 논리적으로 할당되므로 용량과 경로는 독립적이다. 그리고 STM은 사용자가 이용할 타임 슬롯이 고정되어 정해진 타임 슬롯만을 사용할 수 있는 방법으로 자원의 효율적인 이용이 불가능하며, 또한 STM은 전송속도별 구성가능한 회선의 종류와 회선수가 고정되어 있다. 반면에 ATM은 비계층적인 망을 구성하여 회선(가상채널 또는 가상경로)의 생성 및 제거를 동적으로 할 수 있다. 즉, 네트워크의 다중화 단계없이 링크용량을 보다 유동적으로 활용하고 재구성하며 유연한 인터페이스 기능을 갖게 된다. 경로에 대한 OAM을 위한 신

호는 STM의 경우 POH(Path Overhead)를 사용하였던데 비해 ATM에서는 OAM 셀을 이용한다. 이는 OAM 셀은 대량의 대역폭을 확보할 수 있으므로 ATM에서 자가복구 기능의 속도를 STM에서 보다 더 빠르게 할 수 있게 한다.

위와 같은 STM의 디지털 경로와 ATM의 VP의 차이점 때문에 ATM망에서의 자가복구는 STM과는 상당히 다른 특성을 지니게 된다. ATM 자가복구의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- ATM 망에서는 복구되어야 할 링크당 경로의 평균개수가 STM 망에서 보다 훨씬 많다. VP는 대역폭에 대한 계위를 갖지 않아서 디지털 경로보다 길어지고 대역폭이 협소해지기 때문에 한 링크가 절단되어도 복구되어야 할 장애 경로 수가 증가한다.

- 링크 복구는 물론 경로 복구도 효율적으로 적용될 수 있다. 한 링크에는 여러 개의 VP가 단계로 흐르고 있으므로 VP 단위로 복구를 할 경우, VP별로 복구를 하는 것이 바로 경로 복구이며 장애 링크 상의 VP 단계로 복구를 하는 것이 링크 복구에 해당된다. 그런데 여러 개의 VC가 하나의 VP를 통해 흐르므로 VP 단위의 경로 복구가 효율적일 수 있다.

- VP의 라우팅과 대역폭 할당은 독립적으로 행해질 수 있다. 따라서 "0" 용량을 틀 가지는 예비 VP를 활용할 수 있다. 이 방법을 활용하면 하나의 예비 VP를 여러 개의 VP에 대한 우회 VP로 설정할 수가 있으며 고정(preplanned) 루팅 접근법의 효율적인 적용이 가능하다. 또한 이 경우 복구메시지가 예비 VP를 통해서만 전송되므로 복구 속도가 빨라지며 망 자원의 효율적인 활용이 가능하다.

한편 기존의 동기식 전송망의 안정성 연구에서 많이 다루어진 광케이블망의 형상에 관한 연구, 노드 분할(clustering)연구, 집중국 위치 선정(hub

center location) 연구, 링 설계(ring routing, ring loading) 문제등은 문제의 성격이 가상경로를 중심으로 하는 ATM망과 동기식 전송망사이의 차이점을 크게 갖지 않는 분야이므로 생존도를 고려한 가상경로연구의 주요 연구대상이 되지 않는다.

이와 같은 특징을 감안할 때 망의 절체를 사전에 고려한 계획의 수립에 대한 연구는 VP 레벨의 논리적 복구기법에 집중되어야 할 것이다.

### 3. 복구 기법

통신망의 장애에 대한 방지 대책으로는 물리적 복구(physical protection)법과 논리적 복구(logical protection)법이 있다. 물리적 복구 망은 전용 예비설비를 이용하는 것으로 복구 자원으로서 분리된 라인과 장비를 사용하여 망을 설계한다. 논리적 복구 망 설계는 복구 자원으로서 여유 용량을 여러 망 구성요소가 공동으로 이용한다. 논리적 복구가 여유 용량을 더 효과적으로 이용하고 비용 면에서도 뛰어나다. 이 논문에서는 가상경로 개념을 이용한 논리적 복구를 중심으로 살펴보기로 한다. 다음 [표 3-1]는 물리적 복구와 논리적 복구의 비교를 요약한 것이다.

[표 3-1] 물리적 복구와 논리적 복구의 비교

	물리적 복구	논리적 복구
여유 용량	많다	적다
복구시간	빠르다	느리다
시스템 복잡도	간단	복잡
망 크기	작다	크다
망 신뢰도	높다	낮다

#### 3.1. 링크 복구 과 경로 복구

링크 복구는 링크에 장애가 일어났을 때 링크의 두 노드사이에서 새로운 경로를 만들어주는 복구법

으로서 플러딩을 이용한 방법이다. 링크 복구의 특징은 적용하기 간단한 반면 높은 복구 용량을 필요로 하고 복구에 개입하는 노드의 수가 적으므로 필요 기억용량이 작으며 복구 속도가 빠르다.

경로 복구는 링크에 장애가 발생했을 때 링크 복구과는 달리 링크의 절단에 의해 영향을 받는 VP의 시점과 종점 사이에 새로운 경로를 찾아주는 방법이다. 경로 복구의 특징은 여유 용량을 효율적으로 사용할 수 있는 반면 복구 시간이 길며 많은 메모리를 필요로 한다.

두 방법을 비교하면 다음 [표 3-2]와 같이 나타낼 수 있다.

[표 3-2] 링크 복구와 경로 복구의 비교

	링크 복구	경로 복구
복구 속도	빠름	느림
리라우팅복잡도	간단	복잡
여유용량의 이용	비효율적	효율적

#### 3.3. 동적 라우팅 과 고정 라우팅

동적 라우팅(dynamic routing)은 각각의 망 제어기(network controller)가 필요한 지역 정보만을 저장하고 리라우팅 결정은 망 구성요소의 고장이 발생한 시점의 망 상태(구조, 여유 용량 등)에 따라 동적으로 이루어진다. 일반적으로 플러딩(flooding)에 기반하여 복구 경로를 찾는다.

고정 라우팅(preplanned routing)은 각각의 지역 망 제어기가 미리 계획된 장애 시나리오에 대한 망 재설계와 관련된 모든 또는 대부분의 리라우팅 정보를 저장한다. 많은 메모리를 필요로 하고 빠른 망 변화에 적응하기 힘든 반면에 복구 속도가 빠르고 시스템 복잡도가 낮다. 그러나 모든 가능한 장애 시나리오에 대해 복구 경로를 미리 지정하는 것이 현실적으로 비효율적이고 어렵기 때문에 동적 라우팅 보다 망 신뢰도가 낮다.

동적 라우팅 과 고정 라우팅을 비교한 결과를 요약하면 [표 3-3]와 같다.

[표 3-3] 동적 라우팅과 고정 라우팅의 비교

	고정 라우팅	동적 라우팅
시스템 복잡도	낮다	높다
망 적응	어렵다	쉽다
복구 속도	빠르다	느리다
시스템 신뢰도	낮다	높다
메모리량	크다	작다

#### 4. 기존의 연구 개발 현황

##### 4.1. 가상경로 개념을 사용하지 않은 모형

지금까지 망의 생존도에 대하여 연구되어온 ATM 관련 모형 및 알고리즘은 주로 가상 경로의 개념을 제대로 적용하지 않은 연구가 대부분이다. 그중에서 몇가지의 논문에 대하여 알아보기로 한다. 가상경로 개념을 사용하지 않은 자가 복구 알고리즘을 제안한 논문으로는 Dighe[Dighe et. al. 95], Sakauchi[Sakauchi et. al. 90], Herzberg[Herzberg & Bye 94a], Iraschko [Iraschko & Grover 96] 등이 대표적이다.

Dighe[Dighe et. al. 95]는 링크 복구를 바탕으로 하여 운용 용량을 최대화하는 것을 목적으로 하는 모형을 개발하였다. 이 모형은 수요와는 무관하게 운용 용량과 여유 용량을 결정해준다. 그리고, 복구 루트를 미리 결정해주지 않고 플러딩을 이용하여 복구를 수행한다. 흡수 제한 루팅을 수행하며 호 설정 시에 루프 방지(loop avoidance)를 이루어 낸 것이 이 모형의 특징이라고 할 수 있다.

Sakauchi[Sakauchi et. al. 90]는 복구 루트를 결정해 놓지는 않고 단지 경로 복구를 하든 링크 복구를 하든 상관없이 하나의 링크 장애에 대해 100% 복구가 가능하게끔 여유 용량을 할당할 것을 제

안하였다. 이 모형의 목적함수는 여유 용량을 최소화하는 것으로 하였다. 충분한 여유 용량이 주어지더라도 100% 복구가 가능하지 않을 수도 있고, 최종 복구 루트가 최적이지 아니더라도 미리 얻어진 루트를 재배정하지 않는 단점이 있다.

Herzberg[Herzberg & Bye 94a]는 링크 복구를 기본으로 하여 모든 장애 시나리오에 대해 미리 대처할 수 있도록 모형화 했다. 가능한 복구 루트와 운용 루트가 주어지 있다고 가정한다. 이 모형 또한 선형계획(LP) 모형이며 흡수 제한을 고려했다는 것이 특징이지만 장애 각각에 대해 시나리오를 만들어야 하는 단점이 있다.

Iraschko[Iraschko & Grover 96]는 위 의 Herzberg [Herzberg & Bye 94a]의 모형을 확장하여 운용 경로와 복구 경로 모두를 동시에 결정할 수 있도록 모형화 하였다. 이 연구는 경로 복구를 기본으로 단대단 라우팅 관점에서 복구 문제를 정의함으로써 더 효과적으로 수행될수 있다는 생각으로 망의 용량 최적화와 경로 복구의 용량에 있어서의 이점을 정량화하기 위한 방법을 제공한다. 가능한 대안 루트(alternative route)는 주어진 것으로 보며, 경로 복구를 채택하였고, 정수 계획(Integer Programming) 모형이다.

##### 4.2. 가상경로 개념을 사용한 모형

ATM 망은 가상채널을 사용하기 때문에 기존의 회선 교환망과 유사성을 가지고 있으며, 작은 크기의 버퍼를 사용한다는 점과 예방 혼잡 제어(preventive congestion control)을 사용한다는 점 역시 다중 슬롯(multi-slot) 회선 교환망과 비슷한 특징을 가지고 있다. 때문에 기존의 회선교환망의 개념과 기법들에 대한 연구를 기반으로 하여 ATM 망의 가상경로에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재까지 발표된 자가복구 라우팅에 관한 논문 중에서 가상 경로의 개념을 사용한 것은 Murakami [Murakami & Kim 96] 과 Kawamura [Kawamura et. al. 94], Medhi [Medhi 95b],

Medhi[Medhi & Khurana 95], Balakrishnan [Balakrishnan et. al 95], Arvidsson [Arvidsson 94] 등이 있다.

Murakami[Murakami & Kim 96]은 수요가 주어진 상황에서 하나의 호(arc) 장애에 대처하는 VP 설정 문제를 제시하였다. 그리고, ATM 망 자원 관리에서의 복잡도(complexity)를 줄이기 위해 계층화된 스위칭 구조(layered switching architecture)를 제안하였다. 이 모형은 복구가 송신자(sender)와 선택자(chooser) 사이의 k 번째 최단거리 경로(k-shortest path)를 따라 이루어진다고 가정하기 때문에 목적식이 비선형적인 특성을 가진다. 이 모형의 문제점은 운용 루트의 개념에서만 VP 가 고려된다는 것이다. 즉 가상 경로가 지나가는 호(arc) 중의 하나가 끊어진 경우 링크의 양쪽 노드간의 k 번째 최단거리 경로를 통해 복구하므로 링크 복구와 마찬가지로 되어 가상경로를 이용하는 장점은 사라진다.

Kawamura[Kawamura et. al. 94]는 가상 경로를 사용할 경우의 경로 복구에 대한 장점을 바탕으로 가상 경로에 기초한(VP-based) 경로 복구를 제안하였다. 이 논문은 링크 장애 뿐만 아니라 노드 장애에서도 복구가 가능하고, 여러 곳의 장애시에 대비하여 우선 순위가 높은 가상경로(high priority VP)의 신뢰성을 높이기 위하여 여러 개의 0 대역폭을 갖는 미리 할당된 예비 가상경로(preassigned backup VP)의 개념을 사용하고 있다. 제시된 알고리즘은 여러곳의 장애(multiple failure)에 의해 예비 VP를 사용할 수 없을 경우에는 동적인 루트탐색(Dynamic route search)을 하는 구조로 되어있다. 수요와 운용 가상채널(VP)은 주어져 있다고 가정하고, 예비 VP와 여유용량을 결정하는 발전적인 알고리즘을 제안하고 있다.

Medhi[Medhi 95]는 가상 경로에 기초해서 ATM 기간망의 망설계와 망 관리를 위한 기본 구조를 소개하였다. 이 논문은 망 설계 문제, 동적으로 재구성 가능한 가상경로 루팅 망의 복수 시간

(multi-hour) 설계 등, 각각에 대한 모형들을 제시하였다.

Medhi[Medhi & Khurana 95]는 호의 동적 루팅을 이용한 원거리 통신망에 대한 망 복구에 대한 문제에 관심을 두고 전송망에서 완전한 복구 용량이 제공되지 않을 경우를 고려하여 하나의 전송 링크의 장애에 대한 설계 모형을 제시하였다. 전송망에서 하나의 링크 장애에 대한 복구 용량 설계와 전송망에서의 망 재연결(network reconnection) 알고리즘, 그리고 복구 용량을 이용하여 장애 이후에 재연결이 이루어짐에 따른 트래픽망 성능에 대해 연구하였다. 트래픽 망이 비계층적이고, 이중연결되어 있다는 가정하에, 복구 문제에 두가지 방식으로 접근하여 CBR (Connection Based Restoration) 모형과 LDR (Load Directed Restoration) 모형을 제시하였다. CBR 모형이 망 부하 변동에는 신경을 쓰지 않고 장애에 의해 영향을 받은 그룹들에 대해 가능한 많은 연결을 고려한 반면, LDR 모형은 장애의 시간에 영향을 받는 사용 가능한 재연결 용량을 더 잘 이용하기 위해 만들어진 모형이다.

Balakrishnan[Balakrishnan et. al. 95]은 망 혼잡에 대한 영향을 관찰하기 위하여 장애 이후의 재연결(reconnecting) 가상채널(VC)을 위한 루팅 전략을 고려하여 연결 리라우팅 알고리즘을 개발하였다. Balakrishnan은 리라우팅 알고리즘으로 최소 홉(Min Hop) 알고리즘, 경로 부하 분산 (Load Distribution Among Paths) 알고리즘, 링크 부하 분산(Load Distribution Among Primary Link) 알고리즘 등의 3가지의 알고리즘을 제시하였다. 최소 홉 알고리즘은 리라우팅에 의해 직접적으로 영향받는 노드의 수가 최소로 되게 하는 알고리즘으로서 주요 노드의 리라우팅 과정에서 생겨나는 혼잡의 영역을 제한하여 혼잡해지는 링크의 수가 최소로 유지된다.

Arvidsson[Arvidsson 94]은 SDH/SONNET과 ATM 가상 경로를 이용하여 동적으로 재배치 가능한 전달망의 설계에 대한 새로운 알고리즘을 제

안하였다. 선형등가대역 (linear equivalent bandwidth) 이나 미리 정의된 경로(predefined path)를 필요로 하지않고 정수해(integer value solution)를 제공하고, 목적함수가 임의로 선택될수 있는 새로운 발견적(heuristic) 알고리즘을 제안하였다. 특정한 수요에 맞게 알고리즘을 확장하기 쉽다.

#### 4. 3. 여유 용량 할당과 관련된 모형

트래픽 패턴의 급격한 변화가 발생하거나 새로운 장비가 망에 도입될 경우, 기존의 트래픽 형태와 망의 토폴로지에 근거해서 구해진 복구 방법에 의해서는 100% 복구를 보장할 수가 없다. 이 경우 효율적인 복구를 해주기 위해서는 망 자원 자체를 증가시켜야 할 필요성이 대두된다. 즉, 새로운 토폴로지나 트래픽 패턴에 대해서 복구를 보장할 수 있도록 각 링크의 여유 용량을 정해주어야 한다. 따라서 이 문제는 복구 가상경로 설정문제를 포함하며, 여기에서는 단지 각 링크에서의 여유 용량 자체가 변수가 된다는 점이 다를 뿐이다.

여유 용량 할당 문제는 특정한 가상경로 복구 방법을 전제로 한다. 즉, 일반적으로 두 문제는 하나의 쌍을 이루어 수행된다고 볼 수 있다. 먼저, 망의 토폴로지가 주어지고 트래픽에 대한 예측치가 주어진 상황에서 여유 용량 할당 알고리즘을 이용하여 복구 가상 경로와 여유 용량을 결정 한 후에 각 복구 구간 마다 주어진 여유 용량 안에서 가상경로 복구 알고리즘을 이용하여 복구 가상경로를 설정하여 망의 생존도를 보장해준다. 그러나, 망의 토폴로지의 변화나 급격한 트래픽 변화로 인해 현재의 여유 용량안에서 가상경로 복구가 불가능 할 경우에는 다시 여유 용량 배정 알고리즘을 수행하여 여유 용량을 재조정해주게 된다.

여유 용량 할당의 기본 요소는 장애 시나리오, 복구 수준, 여유 용량을 더하는 데 드는 비용, 홉 수 제한 등이 포함된다. 홉 수 제한을 고려한 여유 용량 할당은 복구 시간이 빠르고, 복구가 더 신뢰할 만 하다. 그리고 독립적이면서 동시에 일어나는

장애를 제어하기 쉽지만 수리모형화 할 때 최적해를 구하기 어렵고 근사적인 발견적 기법에 의존하기 쉽게 된다.

여유 용량 결정에 쓰이는 모형으로는 Sakauchi [Sakauchi et. al. 90], Grover [Grover et. al. 91], Herzberg[Herzberg & Bye 94], Murakami [Murakami & Kim 95], Iraschko [Iraschko & Grover 96] 등의 논문이 있다.

Sakauchi[Sakauchi et. al. 90]가 제안한 모형은 하나의 링크 장애에 대한 링크 복구를 고려하는 경제적인 여유 용량을 할당하는 모형이다. 전체 여유 용량 비용을 최소화하는 반복적인 선형계획 모형을 개발하였다. 링크 장애 후의 망의 절단집합(cut-set)에 기반한 여유 용량 할당 문제를 위한 제약식을 이용하였고, 장애 링크의 운용 용량보다 많은 전체 여유 용량을 가져야 하는, 각각의 장애 링크에 대한 감소된 절단집합(reduced cutset)을 찾는 것에 기초하는 모형이다. 이 모형은 홉 수 제한 요소를 고려하지 않았다.

Grover[Grover et. al. 91]도 Sakauchi[Sakauchi et. al. 90]와 마찬가지로 하나의 링크 장애에 대한 링크 복구를 고려하는 경제적인 여유 용량을 할당하는 모형을 제안하였다. 그물 구조의 망에서의 여유 용량 할당 문제를 풀기위해 처음에 가능해를 찾고 그 후에 중복성을 줄이는 효과적인 발견적 기법의 알고리즘을 개발하였다.

Herzberg[Herzberg & Bye 94]는 경로 집합(path-set)이 적용되어야 하는 곳에 미리 정의되어 있는 경로의 적당한 집합에 기반한 흐름 제약식을 정식화하는 알고리즘을 제안하였다. 100% 링크 복구가 가능한 망에, 여유 용량의 설정을 최적화하는 정수계획(Integer Programming formulation)모형을 채택하고 있다. 이 연구는 고정된 운용 용량이 주어져 있다고 보며, 제약식 집합은 가능한 복구경로에 기초한다. 홉 수 제한을 초과하지 않는 모든 가능한 복구 경로를 고려한 망 흐름 모델로서 어떠한 홉 수 제한 값에 대해서도 최적값을 제공하며, 여유 용량의 여러 비용 상수와 복구 수준을 적절히

고려하는 것이 장점이라 할 수 있다.

Murakami[Murakami & Kim 95]는 Herzberg[Herzberg & Bye 94]와 마찬가지로 경로 집합(path-set)이 적용되어야 하는 곳에 미리 결정되어 있는 경로의 적당한 집합에 기반한 흐름 제약식을 정식화하는 알고리즘을 제안하였다. 이 연구는 수요가 주어져 있다고 보고 최적 용량 할당을 위해 용량과 흐름 할당을 동시에 최적화하는 정수 계획(IP) 모형이다.

Iraschko[Iraschko & Grover 96]는 운용 경로와 복구 경로 모두를 동시에 결정할 수 있도록 그물망 모양의 토폴로지(mesh-like topology)를 활용하는 매우 다양한 루트 집합(route set)을 이용하는 정수계획(IP) 모형이다. 이 연구는 가능한 대안 루트(eligible route)들은 주어진 것으로 보며 경로 복구를 채택하고 있다. 각 링크마다 최적 여유 용량뿐만 아니라 각 링크의 장애를 복구하는 데 쓰이는 복구 경로를 상세하게 기록하는 것이 특징이다.

#### 4. 4. 동적 라우팅 프로토콜에 관한 연구

고정 라우팅에 의한 경로 복구 모형은 트래픽 변동이 심하거나 망의 토폴로지가 바뀔 경우, 그리고 링크 또는 노드에서의 장애와 복구가 많이 반복되었을 경우에 복구에 실패할 수 있다. 따라서 이러한 경우를 보완해주는 과정이 필요하다.

고정 라우팅에 의한 경로 복구 모형이 예상치 않은 복수의 장애, 트래픽의 급격한 변동 등으로 실패할 경우의 복구는 신속해야 하며 복구가 실질적으로 불가능한 경우를 제외하면 반드시 복구에 성공해야 한다. 또한 장애가 발생된 가상경로가 하나의 복구 가상경로로 복구되어야 한다.

STM(Synchronous Transfer Mode)에 기반한 동적 라우팅 프로토콜에 대해서는 많은 연구가 수행되어 왔다. 그러나 ATM 망의 특성을 반영한 연구는 아직까지는 미진한 형편이다. 여기에서는 ATM에 기반한 동적 라우팅 프로토콜에 대해서만 살펴보기로 한다.

동적 라우팅 프로토콜과 관련된 모형에는 Kawamura [Kawamura et. al. 94], Lin[Lin et. al. 96], Ayanoglu[Ayanoglu 93] 등이 있다.

Kawamura[Kawamura et. al. 94]가 제시한 방법은 두 개의 국면으로 구성되어 있다. 1국면은 송신자 노드가 장애를 발견해서 복구 신호를 선택자 노드까지 보내는 과정이며 2국면은 송신자 노드가 복구 경로를 결정 한 후에 선택된 경로를 따라 복구가 되었음을 확인하는 과정이다. 이 알고리즘은 다른 링크 복구 프로토콜이 가지는 전형적인 문제점을 지닌다. 즉, 장애 링크의 주변 링크에 복구가 집중되므로 첫 번째의 장애 링크의 주변에서 또 다시 장애가 발생하면 복구 성능이 급격히 저하된다. 또한, 여러 곳에서 장애가 발생할 경우 복구 효율이 저하될 가능성이 높다.

Lin [Lin et. al. 96]이 만든 모형은 위에서 제시한 링크 프로토콜의 한계와 고정 루팅 접근법의 문제점을 극복하기 위해서 제안된 것으로서 신호 처리 과정을 포함했으며 플러딩을 사용하지 않는다는 특징을 지닌다. 이 논문은 노드가 복구 신호의 전송, 수신, 프로세싱을 할 수 있고, 물리적인 망 구조의 데이터베이스를 가지고 있으며, 루트를 찾을 수 있는 능력과, 각 링크의 운용 가상 경로의 데이터베이스를 가지고 있다고 가정을 한다. 여기서 제시된 알고리즘의 특징은 플러딩을 사용하지 않고 미리 지정된(preassigned) 가상경로 (예비 가상 경로가 아니라 이미 사용되고 있는 가상경로)들을 통해서만 복구 신호가 전송된다는 점이다. 따라서 전송되는 신호의 수가 플러딩에 비해서 줄어들게 되며, 예비 가상 경로를 사용하지 않으므로 이에 관련된 비용의 문제, 용량 할당의 문제 등이 발생하지 않는다는 것이다. 실험 결과 이 방법은 시간 면에서는 링크 프로토콜에 비해서 뒤지지만 복구 성능면에서 더 훌륭한 결과가 나온다. 그러나, 이 방법은 장애가 일어난 가상경로를 대신하기 위해 이미 사용중인 가상경로를 이용한다는 점에서 한계를 지닌다. 즉, 이 방법으로 복구가 실패했을 때에도 기존의 가상경로와 다른 새로운 가상경로



를 사용할 경우 복구가 가능할 수도 있다.

· Ayanoglu[Ayanoglu 93]가 제안한 알고리즘은 기존의 플러딩 알고리즘이 장애가 여러 곳에서 발생할 경우에 복구에 실패할 수 있다는 점을 개선하기 위해 여러 링크의 장애에도 복구가 가능하게 하기 위해 제안되었다. 다른 알고리즘들이 신호의 방송(broadcasting)을 이용한 플러딩 방법을 쓴 것과는 달리 이 알고리즘에서는 경쟁 해결(contention resolution) 기법을 사용하는 것이 특징이다. 여기에서는 장애 링크의 양쪽의 노드가 모두 송신자 역할을 하고, 모든 링크에 대한 우선순위가 이미 주어져 있다고 가정한다.

## 5. 결론 및 추후 연구 방향

이 논문에서는 ATM 망의 장애 발생시 가상경로 개념을 사용하여 손상된 용량을 복구하는 개념 및 복구 기법을 기존의 STM망과 비교하여 설명하였고 이에 대한 연구 현황을 비교적 자세히 분야별로 설명하였다.

ATM망에서는 단일 광섬유 절단시 손상된 가상경로는 복수가 될 수 있으며 가상경로 단위의 복구를 가정할 경우 가상경로의 비분할 조건 등 기존의 복구 상황과는 많은 차이점이 있으며 여유 용량의 최적 할당을 위한 모형의 개발에 어려움이 있다.

향후 연구되어야 할 주요 분야는 가상경로 단위의 복구 뿐만 아니라 가상채널 단위의 복구도 동시에 고려할 수 있는 통합된 모형의 개발로 보다 효율적인 여유 용량의 할당 및 생존도의 향상에 노력해야 한다.

ATM망에서는 링크나 노드의 장애가 발생할 경우 생존도는 기본적으로 세 가지 계층 즉, 물리 계층, 가상경로 계층, 가상채널 계층에서의 복구를 통해 제공될 수 있다. 물리 계층을 통한 복구는 망자원을 중복적으로 설치함으로써 이루어진다. 따라서, 복구 속도는 가장 빠르지만 유연성이 떨어지며 자

원의 중복도가 매우 크다는 단점이 존재한다.

가상경로 계층에서의 복구는 ATM의 특성을 반영한 가상경로개념과 STM망에 대한 ATM망에서의 경로 복구의 장점에 기반하고 있다. 가상경로 개념을 활용하면 라우팅과 용량 할당을 독립적으로 수행할 수 있게 되어 예비 가상경로의 활용이 가능해지고 가상채널의 모임을 한꺼번에 복구함으로써 복구 속도가 빨라지며 비계위적 경로 구조(non-hierarchical path structure)로 인해 망자원을 효율적으로 활용할 수 있다. 이런 이유로 ATM 망의 생존도를 높이기 위한 연구는 주로 가상경로를 이용한 복구방법에 집중되어 왔다.

가상채널 계층에서의 복구는 복구의 단위가 가상채널가 되므로, 다른 계층에서의 복구에 비해 속도가 느리고 복잡하다는 단점을 지닌다. 예를 들어 링크 장애가 발생할 경우 이로 인해 영향을 받는 가상경로를 흐르던 트래픽을 가상채널 단위로 분할하여 복구해야 하므로 복잡한 통제 과정을 요구하며 복구의 단위가 가상채널가 되기 때문에 보다 많은 수의 복구 과정이 필요하다. 반면에 개별 가상채널의 생존도 요구 수준을 명시적으로 반영하여 가상채널의 중요도에 따라 복구를 수행하는 우선 순위에 기반한 복구가 가능해지며 또한 가상경로 계층에서 복구될 수 없는 트래픽의 복구를 가능하게 해줄 수 있다는 장점을 가진다.

이와 같이 세 가지의 계층에서의 복구는 각각 다른 장점과 단점을 지니고 있으며 이러한 특징들을 최대한 활용하여 망의 생존도를 향상시킬 수 있어야 한다. 이를 위해서 세 가지 계층에서의 복구 기법들을 동시에 활용할 수 있는 방안에 대한 연구가 최근 들어 증가하고 있는 상황이다.

## 참고 문헌

- [Ahuja et. al. 92] "Network flows: theory, algorithms and applications", R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, J. B. Orlin, Prentice Hall Inc., 1992
- [Arvidsson 94] "Management of reconfiguring virtual path networks", A. Arvidsson, ITC 14/J. Labetoulle and J.W. Roberts (Editors), 1994 Elsevier science B.V.
- [Ash et. al. 88] "Integrated Network Routing and Design," G.R. Ash, B. M. Blake, and S. D. Schwartz, ITC-12, pp 1.4A.3.1-1.4A.3.8, 1988
- [Ayanoglu 93] "A fast topology update algorithm for restoration under multiple failures in broadband networks", E. Ayanoglu, 1993
- [Balakrishnan et. al. 95] "Routing strategy for fault recovery in wide area packet networks", K. Balakrishnan, D. Tipper, D. Medhi, Proc. of IEEE MILCOM' 95, 1995
- [Barnhart et. al. 96] "Integer multicommodity flow problem", C. Barnhart, C. A. Hane, P. H. Vance, NSF DDM -9058074, NSF DMI-9502502, July 5, 1996
- [Burgin 88] "Routing and resource control in the broadband ISDN", I. L. Burgin, A.T.R. Vol.22 No. 1, 1988
- [CCITT 91] "BISDN general network aspects", CCITT Recommendation I.311, 1991
- [CCITT 92] "Broadband aspect of ISDN", CCITT Recommendation I.121, 1992
- [Chlamtac et. al. 93] "How to establish and utilize virtual paths in ATM networks", I. Chlamtac, A. Farago, T. Zhang, ICC 93
- [Dighe et. al. 95] "A link based alternative routing scheme for network restoration under failure", R. Dighe, Q. Ren and B. Sengupta, 1995 IEEE
- [Farr] "Modular engineering of junction groups in metropolitan telephone networks", J. P. Farr, ITC8, pp 146-1~146-5
- [Grover et. al. 91] "Near optimal spare capacity planning in a mesh restorable network", W.D. Grover, Bilodeau, B. Venables, Globecom '91
- [Herzberg & Bye 94] "Spare-capacity assignment in survivable networks for multi-link and node failures with hop limits", Herzberg, Bye, Networks' 94(Sept. 1994)
- [Hui 92] "Layered required bandwidth for heterogeneous traffic", J.Y. Hui, Infocom 92, 1992
- [Iraschko & Grover 96] "Optimal capacity placement for path restoration in mesh survivable networks", Iraschko, W. D. Grover, 1996 IEEE
- [Kawamura et. al. 92] "High-speed self-healing techniques utilizing Virtual paths", R. Kawamura, K. Sato and I. Tokizawa, 5th International network planning symposium, Kobe, Japan, May, 1992
- [Kawamura et. al. 94] "Self-healing ATM networks based on virtual path concept", R. Kawamura, K. Sato, I. Tokizawa, IEEE journal on selected areas in communications Vol.12 No.1, January 1994
- [Kawamura et. al. 95] "Implementation of self-healing function in ATM networks based on virtual path concept", R. Kawamura, H. Hadama, I. Tokizawa, Infocom 95, 1995
- [Lin et. al. 94] "ATM virtual path self-healing based on a new path restoration protocol", N. D. Lin, A. Aolfaghari, B. Lusignan, 1994 IEEE
- [Lin et. al. 96] "Virtual path management in ATM networks", N. D. Lin, W. J. Su, C.C. Lo, 1996 IEEE
- [Medhi & Khurana 95] "Optimization and performance of network restoration schemes for wide-area teletraffic networks", D. Medhi, R. Khurana, Journal of network and systems management, Vol. 3, No. 3, pp 265-294, Sept. 1995

[Medhi 93] "A unified approach to network survivability for teletraffic networks: Models, algorithms and analysis", D. Medhi, IEEE ICC' 92, 1992, revised 1993

[Medhi 95] "Models for network design, servicing and Monitoring of ATM Networks based on the virtual path concept", D. Medhi, 1995

[Murakami & Kim 95] "Joint optimization of capacity and flow assignment for self-healing ATM networks", K. Murakami and H. S. Kim, 1995 IEEE

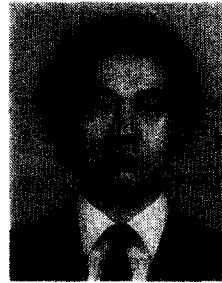
[Murakami & Kim 96] "Virtual path routing for survivable ATM networks", K. Murakami and H. S. Kim, IEEE/ACM transaction on networking, VOL.4, NO.1, February 1996

[Sakauchi et. al. 90] "A self-healing network with economical spare channel assignment", H. Sakauchi, Y. Nishimura, S. Hasegawa, Globecom '90

[Sato et. al. 94] "Network performance and integrity enhancement with optical path layer technologies", Ken-ichi Sato, Okayama, H. Hadama, IEEE journal on selected areas in communications Vol.12 No.1, January 1994

[T1A1 93]"A Technical Report on network Survivability Performance", T1A1 Technical Report No. 24, October, 1993

[Wu et. al. 94] "The impact of SONET digital cross-connect system architecture on distributed restoration", T.H. Wu, H. Kobrinski, D. Ghosal, and T. V. Lakshman, IEEE Journal On Selected Area In Communications, Vol.12, No.1, January 1994



김 상 백

1978.3-1982.2 학사, 서울대학교 산업공학과  
1982.3-1984.2 석사, 서울대학교 대학원 산업공학과  
1988.3-1992.8 박사, 서울대학교 대학원 산업공학과