

# Broadband Convergence Network 가입자 망 설계 시스템 연구

\*이영호\* · 정진모\* · 김영진\* · 이순석\*\* · 박노익\*\* · 강국창\*\*

## A New Optimization System for Designing Broadband Convergence Network Access Networks

Youngho Lee\* · Jinmo Jung\* · Youngjin Kim\*  
Sunsuk Lee\*\* · Noik Park\*\* · Kukchang Kang\*\*

### ■ Abstract ■

In this paper, we consider a network optimization problem arising from the deployment of BcN access network. BcN convergence services requires that access networks satisfy QoS measures. BcN services have two types of traffics : stream traffic and elastic traffic. Stream traffic uses blocking probability as a QoS measure, while elastic traffic uses delay factor as a QoS measure. Incorporating the QoS requirements, we formulate the problem as a nonlinear mixed-integer programming model. The proposed model seeks to find a minimum cost dimensioning solution, while satisfying the QoS requirement. We propose two local search heuristic algorithms for solving the problem, and develop a network design system that implements the developed heuristic algorithms. We demonstrate the computational efficacy of the proposed algorithm by solving a realistic network design problem.

Keyword : BcN, QoS, Access Network, Mixed Integer Programming, Heuristic Algorithm

논문접수일 : 2006년 02월 15일 논문게재확정일 : 2006년 05월 15일

\* 고려대학교 산업시스템정보공학과

\*\* 한국전자통신연구원

† 교신저자

## 1. 서 론

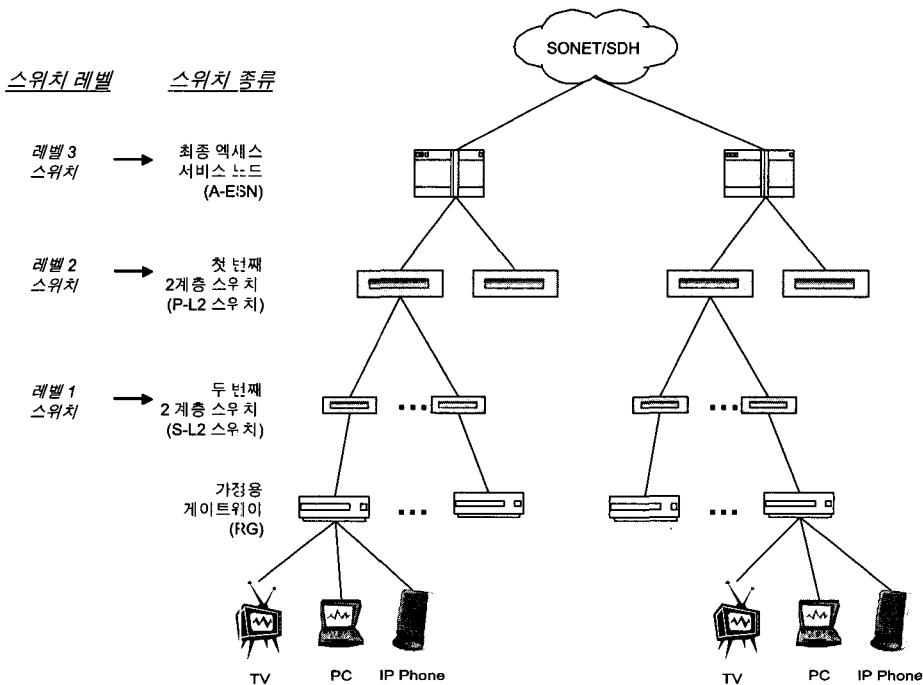
이 논문은 광대역 통합망(Broadband Convergence Network, BcN) 구축 시 발생하는 가입자 망 설계 문제를 다룬다. BcN은 차세대 통신망으로 통신·방송·인터넷이 통합된 품질 보장형 멀티미디어 서비스를 언제 어디서나 끊어짐없이 안전하게 제공한다[2]. BcN에서 제공하는 광대역 통합 서비스에 대해 Crimi[6]와 Kuhn[12]은 다양한 BcN 서비스를 정의하였다. 이러한 통합 서비스를 제공하기 위해 BcN 망은 서비스와 제어 계층, 전달 망 계층, 가입자 망 계층으로 구분된다[5]. 서비스와 제어 계층은 개방형 응용 프로그램 인터페이스(Open Application Programming Interface, Open API) 플랫폼, 소프트 스위치(Soft Switch)를 통한 응용 서비스 창출 역할을 수행한다. 그리고 전달 망 계층은 음성, 데이터, 멀티미디어 서비스를 동시에 제공하면서 서비스 품질(Quality of Service, QoS)을 보장하는 역할을 한다. 가입자 망 계층은 통신·방송·인터넷 가입자 망을 이용자 환경에 따라 선택해 언제 어디서나 끊김없는 서비스를 지원하는 역할을 한다[2]. 서비스와 제어 계층, 전달 망 계층과 가입자 망 계층 가운데 이 논문은 가입자 망 계층에서 발생하는 망 설계 문제를 다룬다. BcN 가입자 망 설계 문제의 핵심 이슈는 서비스 별 QoS를 보장하는 경제적인 가입자 망 설계이다.

이 논문은 인터넷 기술을 이용한 BcN 가입자 망 설계를 다룬다. 인터넷 기술을 기반으로 한 BcN 가입자 망 설계 구조는 <그림 1>과 같다[16]. 가정용 게이트웨이(Residential Gateway, RG)는 집 안에서 발생하는 BcN 서비스 트래픽을 한데 모아 전송하는 장치로서, TV, PC, IP Phone과 같은 단말기를 통해 발생하는 트래픽을 가구 단위로 모아 가입자 망에 전달하는 역할을 한다. RG로 모인 가구 별 트래픽은 첫 번째 2 계층 스위치(Primary Layer 2, P-L2)와 두 번째 2 계층 스위치(Secondary Layer 2, S-L2)를 거쳐 최종 액세스 서비스 노드(Access-Edge Service Node, A-ESN)에 모이

며, 동기식 광 전송망(Synchronous Optical Network, SONET), 동기식 디지털 계층(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)과 같은 인터넷 프로토콜(Internet Protocol) 망에 연결된다. 이 논문은 RG부터 A-ESN까지 가입자 망 설계를 연구범위로 하며, RG와 A-ESN 사이에 발생하는 QoS 수준을 다룬다.

<그림 1>과 같이 BcN은 IP(Internet Protocol) 망을 기반으로 구성된다. IP 망은 최선형(Best Effort) 서비스 제공을 기반으로 하는 패킷 교환 데이터 통신망이다[1]. 최선형 서비스 제공 방식은 분실되거나 손상된 패킷을 복구하는 기능을 네트워크가 제공하지 않는 전송방식이며, 높은 자원 이용 효율을 보이지만 서비스 중요도에 따라 차별화하는 기능이 없는 단점이 있다. BcN은 다른 종류의 트래픽을 발생시키는 서비스를 동시에 제공해야하므로, 기존 IP 망에서 제공하는 최선형 서비스 제공 방식으로는 BcN 서비스의 QoS를 보장해 줄 수 없다[4]. 그러므로 이 논문은 용량 분할 방식의 QoS 보장 방법을 이용하는 BcN 가입자 망의 경제적 망 설계 문제를 다룬다.

이 논문에서 다루는 인터넷 기반 가입자 망은 <그림 1>과 같이 3 레벨 트리 네트워크 구조를 가진다. 이 논문은 트리 네트워크 구조에서 발생하는 트래픽을 분석하기 위해 서비스를 Stream 트래픽을 발생하는 서비스와 Elastic 트래픽을 발생하는 서비스로 구분한다. Stream 트래픽은 음성 전화, 오디오 스트리밍과 같은 실시간 서비스에서 발생하는 트래픽으로 최대 지연을 일정 수준 이하로 보장받기 원한다. Elastic 트래픽은 이메일, 파일 전송 프로토콜(File Transfer Protocol, FTP)과 같은 서비스에서 발생하는 트래픽이며 최대 지연보다는 평균 지연이 일정 수준 이하가 되도록 보장받기 원한다. 서비스 클래스 별로 용량을 분할하여 QoS를 보장하는 경우 서비스 별 QoS는 할당된 용량에 의해 결정된다. 즉 가입자 망의 레벨 별로 스위치 대수가 몇 대 놓이는지, 각 스위치에서 서비스 별 용량을 얼마나 할당하는지에 따라 서비스 별 QoS가



〈그림 1〉 이더넷 기술 기반 BcN 가입자 망 구조

결정된다. 용량이 여유있게 할당되면 QoS 수준을 쉽게 충족시킬수 있지만 그만큼 스위치 비용이 증가하게 되며, 반대로 스위치를 적게 설치하면 서비스 별로 할당할 수 있는 용량이 줄어들어 QoS를 보장할 수 없게 된다. 따라서 이 논문은 서비스 별 QoS 보장과 스위치 비용을 고려한 BcN 가입자 망 설계 문제를 다룬다.

지난 10년간 QoS를 보장하는 망 설계 알고리즘에 대한 연구는 3G Wireless Network(Third Generation Wireless Network)와 NGN을 중심으로 이루어졌다. 먼저 국제전기통신연합 (International Telecommunication Union-Radio, ITU-R)은 3G 서비스를 제공하기 위한 망 설계 방법을 제시했다 [8,9]. 3G에서 제공하는 서비스를 단순 서비스와 멀티미디어 서비스로 구분하고, 서비스 가입자 특성에 따라 3G 기준 가입자를 지역, 환경, 서비스로 구분하여 총 트래픽을 계산했다. 하지만 무선 서비스이므로 서비스 제공 기준이 셀 단위로 한정되어

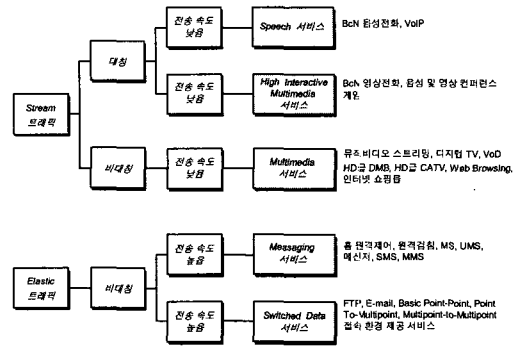
이더넷을 기반으로 한 BcN 망에 적용하기에 한계가 있다. Riedl et al.은 NGN 서비스를 제공하기 위한 망 설계 프레임워크를 제시했다[13]. 먼저 NGN 서비스를 트래픽 특성에 따라 Elastic 서비스와 Stream 서비스로 구분하고, 최적 망 설계 모형을 이용하여 다양한 콜 수락 제어(Call Admission Control, CAC) 알고리즘에 대해 망 구축 비용을 비교했다. 그러나 Elastic 트래픽과 Stream 트래픽을 동시에 고려하는 환경에서 최적 망 설계를 위한 연구로 이어지지 못했다. Zhao et al.은 차별화 서비스(Differentiated Service, DiffServ) QoS 제공 방법을 사용하는 이더넷 기반 가입자 망에 대한 용량 결정 방법을 연구하고, 제시한 방법론을 시뮬레이션 결과와 비교했다[16]. 차별화 서비스는 다양한 트래픽을 서비스 클래스로 분류하여 서비스 클래스 별 우선순위를 두어 처리하는 QoS 제공방법이다. 그러나 망 설계 시 트래픽의 종단간 연결에 대한 QoS 보장을 고려하지 못하였다. 망 설계 알

고리즘에 대한 연구와는 별도로 Danny et al.은 트리 구조 네트워크에서 서비스 별 블로킹 확률을 구하는 알고리즘을 제시하고 평가했다[7]. Danny et al.은 전달함수(Convolution)를 이용하여 전달과 복원 과정을 통해 트리 구조 네트워크의 블로킹 확률을 구했다. 그러나 전달함수를 정의하는 과정에서 이진 트리 구조 망 형태만 가정했기 때문에 노드 하나에 3개 이상의 하위 노드가 연결되는 트리 구조 망에 적용하기 어렵다.

이 논문은 QoS 보장과 스위치 비용 사이 절충 관계를 고려한 가입자 망 설계 문제를 해결한다. QoS 보장을 제약조건으로 하고 스위치 설치 비용 최소를 목적식으로 하는 최적화 모형을 개발하고 해를 찾기 위한 휴리스틱 알고리즘을 개발한다. 이 논문의 구성은 다음과 같다. BcN 가입자 망 최적 설계 방법을 제시하기 위해 2장은 망 설계 최적화 모형을 개발하고, 3장은 로컬 서치(Local Search) 알고리즘을 개발한다. 4장은 알고리즘을 통해 설계된 망 사례를 분석하고, 5장은 알고리즘이 구현된 망 설계 시스템을 설명한다. 끝으로 6장은 이 연구의 결론과 향후 연구 과제를 제시한다.

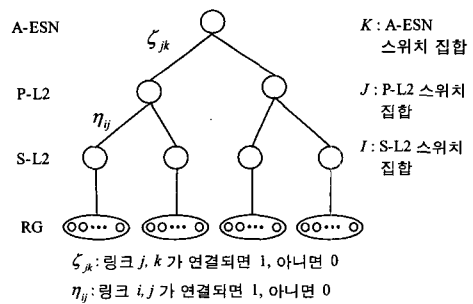
## 2. 가입자 망 설계 최적화 모형

가입자 망 설계 최적화 모형을 개발하기 위해 먼저 BcN 서비스를 분류한다. 서비스 별 QoS를 보장하기 위해 트래픽 종류, 전송 속도(Access Bit Rate), 트래픽 대칭성에 따라 5가지 클래스로 분류한다. 트래픽 종류는 Stream, Elastic 트래픽 특성을 나타내며, 전송 속도는 서비스 접속 단말에서 단위 시간당 링크에 접속하는 비트 수를 나타낸다. 그리고 트래픽 대칭성은 상향링크(Up-link)를 통과하는 트래픽과 하향링크(Down-link)를 통과하는 트래픽 차이를 의미하며, 방송기반 서비스가 대표적인 비대칭 트래픽을 발생시키는 서비스이다[16]. 발생 트래픽 종류, 전송 속도, 트래픽 대칭성을 고려하여 서비스 클래스를 분류한 결과는 <그림 2>와 같다.



<그림 2> BcN 서비스 클래스 분류

서비스 클래스 별 QoS 계산 방법은 Stream 트래픽과 Elastic 트래픽 경우에 따라 다르게 정의한다. Stream 트래픽은 실시간으로 서비스를 제공하며, 기존 서킷 망과 같이 서비스가 끝나기 전까지 호 하나가 채널 하나를 계속 점유하는 특징을 가지고 있다. 그러므로 채널 하나에 동시 접속할 수 없으며, 실시간으로 트래픽을 전송해야 하므로 종단간 연결이 끊어지지 않아야 한다. Stream 트래픽의 경우 단일 노드로 이루어진 트리 구조 망에서 서비스 도착율이 포아송 분포를 따를 경우 M/G/C/C 대기행렬 모형으로 모델링 할 수 있다[13]. 이때 종단간 블로킹 확률이 주어진 QoS 조건을 만족하도록 망 용량을 결정해야 한다. M/G/C/C 대기행렬 모형에서 블로킹 확률은 얼랑-B 공식으로 구한다.



<그림 3> 트리 구조 가입자 망

<그림 3>과 같이 3 레벨의 트리 구조 가입자 망이 주어진 경우, 종단간 블로킹 확률을 구해야 한

다. 종단간 블로킹 확률은 RG에서 A-ESN까지 보낸 호 중 연결되지 않은 호의 비율을 나타낸다. 종단간 블로킹 확률을 계산하기 위해 S-L2 스위치에 연결된 회선 수로 상태(State)를 정의한다[10]. 트리 구조 망에서 가입자 별 서비스 경로는 어떤 S-L2 스위치로 연결되었는가에 따라 결정되기 때문이다.

레벨 별 스위치 채널 용량을 전송 속도로 스위치 용량을 나눈 값이라 정의하고,  $Q^S$ 는 S-L2 스위치 채널 용량,  $Q^P$ 는 P-L2 스위치 채널 용량,  $Q^A$ 는 A-ESN 스위치 채널 용량이라 정의하면, 상태 집합  $T$ 는 식 (1)과 같이 정의된다[10].

$$T = \{n \in Z^{|I|} : n_i \leq Q^S, \forall i \in I, \\ \sum_{i \in I} \eta_{ij} n_i \leq Q^P, \forall j \in J, \\ \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \eta_{ij} \zeta_{jk} n_i \leq Q^A, \forall k \in K\} \quad (1)$$

$n_i$ 는 S-L2 스위치  $i$ 에 연결된 회선 수를 나타낸다. S-L2 스위치  $i^*$ 에 연결된 가입자의 서비스 가능 상태는 S-L2 스위치  $i^*$ ,  $i^*$ 가 연결된 P-L2 스위치  $j^*$ , 그리고  $j^*$ 가 연결된 A-ESN  $k^*$ 의 채널이 하나 이상씩 비어있어는 상태와 같다. 따라서 서비스 가능 상태를 정의하면 식 (2)와 같다.

$$T_{i^*} = \{n \in T : n_{i^*} \leq Q^S - 1, \\ \sum_{i \in I} \eta_{ij} n_i \leq Q^P - 1, \text{ for } j = j^*, \\ \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \eta_{ij} \zeta_{jk} n_i \leq Q^A - 1, \text{ for } k = k^*\} \quad (2)$$

블로킹이 발생할 상태는 서비스가 가능하지 않은 상태이므로,  $i^*$ 에 연결된 서비스 가입자의 종단간 블로킹 확률  $B_{i^*}$ 는 식 (3)과 같이 구할수 있다 [10].

$$B_{i^*} = 1 - \frac{\sum_{n \in T_{i^*}} \prod_{i \in I} \frac{A_i^{n_i}}{n_i!}}{\sum_{n \in T} \prod_{i \in I} \frac{A_i^{n_i}}{n_i!}} \quad (3)$$

$A_i$ 는 S-L2 스위치  $i$ 에 연결된 가입자가 발생시키는 트래픽 강도를 나타낸다. 식 (3)에서 구한 종

단간 블로킹 확률을 최적화 모형에서 사용하기 위해 Kelly가 제시한 Reduced Load Fixed Point Approximation 기법을 이용한다[11, 15]. Reduced Load Fixed Point Approximation은 스위치 별 블로킹 확률을 구하고 이를 바탕으로 종단간 블로킹 확률을 구하는 근사 기법이다. 하위 레벨 스위치를 지나 올라오는 트래픽은 하위 레벨 스위치의 블로킹 확률만큼 감소하므로, 스위치 별 블로킹 확률은 식 (4)~식 (6)과 같다.

$$S-L2 : B^S = E_B(A_i, Q^S), \quad (4)$$

$$P-L2 : B^P = E_B\left(\sum_{i \in I} \eta_{ij} A_i (1 - B^S), Q^P\right), \quad (5)$$

$$A-ESN : \\ B^A = E_B\left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \eta_{ij} \zeta_{jk} A_i (1 - B^S)(1 - B^P), Q^A\right). \quad (6)$$

스위치가 상위 레벨로 올라갈수록 하위 레벨에서 발생한 블로킹 확률만큼 트래픽 강도가 감소하므로 식 (4)~식 (6)에서 구한 스위치 별 블로킹 확률을 통해 종단간 블로킹 확률을 구하면 식 (7)과 같다.

$$B_{i^*} = 1 - (1 - B^S)(1 - B^P)(1 - B^A). \quad (7)$$

Stream 트래픽과 달리 Elastic 트래픽은 비실시간으로 서비스를 제공하며, 데이터를 패킷으로 나누어 보내는 특징을 가지고 있다[14]. 또한 세션이 연결된 상태에서 TCP 레벨에서 패킷이 전송되므로 세션 레벨이 아닌 TCP 레벨에서 모델링해야 하며, 데이터를 일정 부분으로 나누어 보낼 수 있으므로 동시 접속율을 고려해야 한다. 서비스 도착율이 포아송 분포를 따르고 단일 노드로 이루어진 트리 구조 망에서 Elastic 트래픽을 M/G/C Process Sharing(PS) 모형으로 모델링할 수 있다[14]. 이때 전송 지연율(Delay Factor)이 주어진 조건을 만족하도록 망 용량을 결정해야하며, 전송 지연율  $D$ 는 일량-C 공식으로 구한다[14].

$$D = 1 + \frac{E_C(A_i, C)}{C_s - A_i}. \quad (8)$$

식 (8)에서  $C$ 는 서버 개수이며 서버 용량  $R$ 을 전송 속도로 나눈 값으로 구해진다.  $C_s$ 는 서비스 별 할당되는 서버 용량을 나타내며,  $E_C(\cdot)$ 는 얼랑-C 공식을 나타낸다.

종단간 전송 지연율을 최적화 모형에서 사용하기 위해 스위치 별 전송 지연율을 구하고 이를 바탕으로 종단간 전송 지연율을 구하는 근사 기법을 이용한다. 스위치 별 전송 지연율은 식 (8)을 이용하며, 트래픽 강도는 연결되는 스위치만큼 증가한다. 하위 레벨 스위치에서 발생한 전송 지연율은 상위 레벨 스위치 전송 지연율에 영향을 주므로, 전체 전송 지연율은 스위치 별 전송 지연율의 곱으로 나타내며 식 (9)와 같다.

$$D = D_s^S D_s^P D_s^A \quad (9)$$

이 논문은 가입자가 지리적으로 균일하게 분포한다고 가정한다. 따라서 이용 성향이 다른 가입자가 S-L2 스위치에 동일한 비율로 연결된다. 링크 비용은 고려하지 않으며 레벨 별로 한 종류의 스위치만 설치한다. 일부 스위치에 트래픽 부하가 집중적으로 발생하는 경우를 배제하기 위해 상위 스위치 하나에 연결되는 하위 스위치 개수가 상위 스위치 마다 동일한 것으로 가정한다. 또한 BcN 가입자 망은 상향과 하향 용량을 동일하게 제공할 계획이기 때문에 상향 트래픽과 하향 트래픽 중 트래픽 양이 큰 경우로 장비 용량을 결정한다. 가입자 망 설계 최적화 문제에 필요한 집합과 모수를 정의하면 다음과 같다.

- $I$  : S-L2 스위치 집합
- $J$  : P-L2 스위치 집합
- $K$  : A-ESN 스위치 집합
- $S$  : 서비스 클래스 집합
- $S_{stream}$  : 서비스 집합 중 Stream 트래픽 특성을 가지는 서비스 집합
- $S_{elastic}$  : 서비스 집합 중 Elastic 트래픽 특성을 가지는 서비스 집합
- $N$  : 전체 망 가입자 수

- $A_s$  : 가입자가 발생시키는 서비스  $s$ 의 트래픽 밀도
- $r_s$  : 서비스  $s$ 의 전송 속도
- $Q^S$  : S-L2 스위치 용량
- $Q^P$  : P-L2 스위치 용량
- $Q^A$  : A-ESN 스위치 용량
- $\alpha$  : S-L2 스위치 설치 비용
- $\beta$  : P-L2 스위치 설치 비용
- $\gamma$  : A-ESN 스위치 설치 비용
- $\epsilon_s$  : 서비스  $s$ 의 요구 블로킹 확률
- $\delta_s$  : 서비스  $s$ 의 요구 전송 지연율
- $M$  : 상수

결정변수  $x$ 는 S-L2 한대에 연결된 가입자 수,  $y^S$ 는 P-L2 한대에 연결된 S-L2 스위치 대수,  $y^P$ 는 A-ESN 한대에 연결된 P-L2 대수, 그리고  $y^A$ 는 A-ESN 스위치 대수를 나타낸다. 스위치 용량은 서비스 별 할당되며, 할당 비율에 따라 서비스 별 QoS 수준이 달라지므로 서비스 별 스위치 용량 비율  $u_s, v_s, w_s$ 를 결정변수로 한다.  $u_s$ 는 서비스  $s$ 의 S-L2 스위치 용량 비율,  $v_s$ 는 서비스  $s$ 의 P-L2 스위치 용량 비율, 그리고  $w_s$ 는 서비스  $s$ 의 A-ESN 스위치 용량 비율을 나타낸다. 따라서 망 설계 시 레벨 별 동일한 수의 하위 스위치가 상위 스위치에 연결된다고 가정할 경우, 비용을 최소로 하는 가입자 망 설계 최적화 모형은 다음과 같다.

Minimize

$$\alpha y^S y^P y^A + \beta y^P y^A + \gamma y^A \quad (10)$$

Subject to

$$x = \left\lceil \frac{N}{y^S y^P y^A} \right\rceil \quad (11)$$

$$B_s^S = E_B \left( x A_s, \left\lceil \frac{C^S u_s}{r_s} \right\rceil \right), \quad s \in S_{stream}, \quad (12)$$

$$B_s^P = E_B \left( x y^S A_s (1 - B_s^S), \left\lceil \frac{C^P v_s}{r_s} \right\rceil \right), \quad s \in S_{stream}, \quad (13)$$

$$B_s^A = E_B \left( x y^S y^P A_s (1 - B_s^S)(1 - B_s^P), \left\lceil \frac{C^A w_s}{r_s} \right\rceil \right), \quad s \in S_{stream}, \quad (14)$$

$$1 - (1 - B_s^S)(1 - B_s^P)(1 - B_s^A) \leq \epsilon_s, \quad s \in S_{stream}, \quad (15)$$

$$D_s^S = 1 + \frac{E_C(xA_s, \lfloor C^S u_s / r_s \rfloor)}{C^S u_s - xA_s}, \quad s \in S_{elastic}, \quad (16)$$

$$D_s^P = 1 + \frac{E_C(xy^S A_s, \lfloor C^P v_s / r_s \rfloor)}{C^P v_s - xy^S A_s}, \quad s \in S_{elastic}, \quad (17)$$

$$D_s^A = 1 + \frac{E_C(xy^S y^P A_s, \lfloor C^A w_s / r_s \rfloor)}{C^A w_s - xy^S y^P A_s}, \quad s \in S_{elastic}, \quad (18)$$

$$D_s^S D_s^P D_s^A \leq \delta_s, \quad s \in S_{elastic}, \quad (19)$$

$$\sum_{s \in S} u_s = 1, \quad (20)$$

$$\sum_{s \in S} v_s = 1, \quad (21)$$

$$\sum_{s \in S} w_s = 1, \quad (22)$$

$$u_s \geq 0, \quad s \in S, \quad (23)$$

$$v_s \geq 0, \quad s \in S, \quad (24)$$

$$w_s \geq 0, \quad s \in S, \quad (25)$$

$$x, y^S, y^P, y^A \geq 0, \text{ and } irteger. \quad (26)$$

BcN 가입자 망 설계 최적화 모형의 목적함수는 레벨 별 스위치 비용을 최소화 한다. 레벨 별 설치 되는 스위치 대수는 상위 스위치 한대에 연결된 하위 스위치 대수를 통해 구할 수 있다. 예를 들어 S-L2 스위치 대수는 A-ESN 대수, A-ESN 한대에 연결된 P-L2 대수, P-L2 한대에 연결된 S-L2 대수를 곱한 값으로 표현된다. 따라서 목적함수는 식 (10)과 같다. 첫 번째 제약식 식 (11)은 레벨 별 동일한 수의 하위 스위치가 상위 스위치에 연결된다는 가정에 의해 S-L2에 연결될 가입자 수  $x$ 가 S-L2에 동일하게 할당됨을 나타낸다. 식 (12)~식 (15)는 종단간 블로킹 확률에 대한 제약식이다. 종단간 블로킹 확률을 구하기 위해 제시한 식 (4)~식 (7)과 다른 부분은 서비스 별 트래픽 강도  $A_i$ 를 구하는 방법과 스위치 별 트래픽 강도 계산 방법이다. 이 논문은 가입자가 S-L2 스위치에 동일한 비율로 연결된다고 가정하므로, S-L2 스위치  $i$ 에 발

생하는 서비스 별 트래픽 강도  $A_i$ 는 모든 S-L2 스위치에서 동일하다. 그리고  $A_i$ 는 S-L2 스위치에 연결된 가입자 수  $x$ 와 한 가입자가 발생시키는 트래픽 강도  $A_s$ 의 곱으로 표현된다. P-L2 스위치에서 발생하는 트래픽 강도는 S-L2 스위치에서 발생하는 트래픽 강도에 한 P-L2 스위치에 연결된 S-L2 스위치 대수를 곱해 구한다. 이 논문은 S-L2 스위치에 동일한 수의 가입자가 연결된다고 가정하므로,  $\sum_{i \in I} \eta_{ij}$ 는  $y^S$ 로 표현할 수 있다. A-ESN에서 발생하는 트래픽 강도는 P-L2 스위치에서 발생하는 트래픽 강도에 한 A-ESN 스위치에 연결된 P-L2 스위치 대수를 곱해 구한다. P-L2 스위치의 트래픽 강도를 구할 때와 같이,  $\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \eta_{ij} \zeta_j$ 는  $y^S y^P$ 로 표현할 수 있다. 식 (15)은 종단간 블로킹 확률이 요구 QoS 수준 보다 작아야 하는 제약을 나타낸다. Elastic 트래픽은 전송 지연율을 구할 때 망을 분할하여 계산하므로, 트래픽 밀도는 연결된 가입자 수에 의해서만 변한다. 식 (16)~식 (18)은 가입자 수에 따른 스위치 별 전송 지연율 계산 방법을 보여준다. 전체 전송 지연율은 스위치 별 전송 지연율의 곱으로 나타내므로 식 (19)와 같다. 식 (20)~식 (22)는 스위치 용량 비율 합이 1인 조건을 나타내고, 식 (23)~식 (25)는 스위치 용량 비율의 비음조건을 나타낸다. 식 (26)은 가입자 수와 스위치 대수의 비음조건, 정수조건을 나타낸다.

### 3. 가입자 망 설계 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘

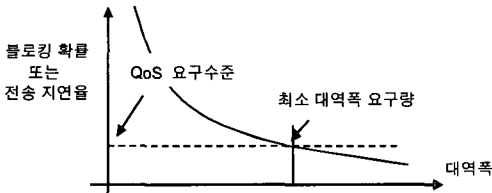
2장에서 개발한 가입자 망 최적화 설계 모형은 스위치 별 연결되는 가입자 또는 하위 스위치 수 ( $y^S, y^P, y^A$ )를 결정변수로 가지며, 결정변수는 정수 조건(Integer)을 가진다. 또한 제약 조건식은 비선형이므로 BcN 가입자망 최적화 모형은 비선형 혼합 정수계획법 문제(Nonlinear Mixed Integer Programming) 문제이다. 이 논문은 제안한 비선형 혼합 정수계획법을 효과적으로 해결하기 위해 로컬

서치 휴리스틱 알고리즘(Local Search Heuristic Algorithm)을 제안한다.

$$C_{Switch}^s = \frac{BW_{min}^s}{\sum_s BW_{min}^s} \times C_{Switch} \quad (27)$$

### 3.1 서비스 별 대역폭 할당 비율 결정 방법

이 논문이 제안한 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘에서 스위치 대수를 결정할 때, 서비스 별 QoS 수준을 보장하기 위해 서비스 별 최소 대역폭 요구량을 먼저 계산한다. 서비스 별 최소 대역폭 요구량은 서비스 별 QoS를 만족하는 최소 대역폭 수준을 나타낸다. <그림 4>는 대역폭과 블로킹 확률 또는 전송 지연을 관계를 나타낸다. 대역폭과 블로킹 확률 또는 전송 지연을 반비례 관계이므로, 대역폭을 조절하여 정해진 QoS 요구 수준을 만족시키는 최소 대역폭 요구량을 찾을 수 있다.



<그림 4> 대역폭과 블로킹 확률(전송 지연을) 관계

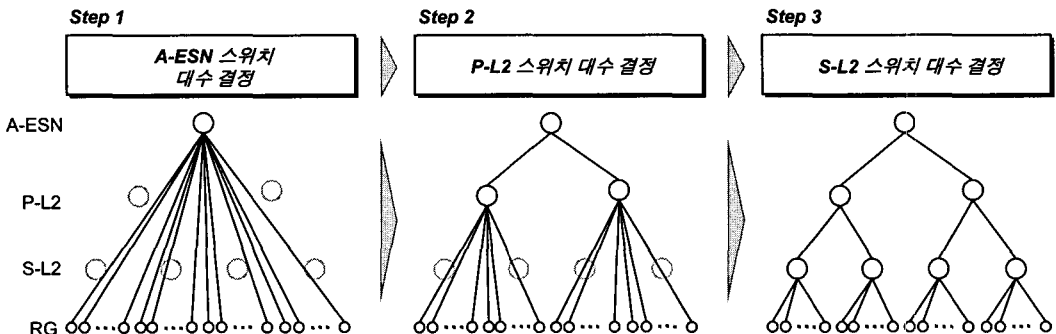
정해진 QoS 요구 수준을 만족시키는 최소 대역폭 요구량을 찾은 후 스위치 용량을 서비스 별 최소 대역폭 요구량 비율로 각 서비스에 할당한다. 식 (27)은 대역폭 할당 과정을 나타낸다.

$BW_{min}^s$  는 서비스 별 최소 대역폭 요구량이고,  $C_{Switch}^s$  는 서비스 별 스위치에 분할된 대역폭이며,  $C_{Switch}$  는 스위치 용량을 나타낸다. 서비스 별 최소 대역폭 요구량 합은 스위치 용량과 일치하지 않으므로, 식 (27)과 같이 스위치 용량에 맞게 서비스 별 대역폭을 결정한다. 식 (30)에서  $\frac{BW_{min}^s}{\sum_s BW_{min}^s}$  는 서비스 별 스위치 용량 비율을 나타내는 결정변수  $u_s, v_s, w_s$ 와 같다. 결정된 서비스 별 대역폭은 스위치 개수에 관계없이 동일한 비율로 증가하므로, 스위치 대수를 변경시키며 서비스 별 QoS를 모두 만족하는 스위치 대수를 찾는다.

### 3.2 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1

첫 번째 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘은 <그림 5>과 같이 먼저 A-ESN 스위치 대수를 결정하고, P-L2 스위치 대수를 결정한 후 S-L2 스위치 대수를 결정하는 방법이다.

단계 1은 A-ESN 스위치 대수를 결정하는 부분으로 전체 가입자를 A-ESN에 균일하게 배분하고, 직접 A-ESN에 연결시킨다. 서비스 별 요구하는 QoS 수준을 보장하기 위해 서비스 클래스 별 최소 요구 대역폭을 결정하고, A-ESN 용량에 맞게 변



<그림 5> 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1



경한다. 그리고 종단간 블로킹 확률과 전송 지연을 조건을 만족하는 최소 A-ESN 대수를 결정한다. 단계 1은 A-ESN과 전체 가입자가 직접 연결되어 있으므로, 종단간 블로킹 확률은 A-ESN과 가입자 사이에 발생하는 블로킹 확률과 같다. 종단간 전송 지연율도 A-ESN과 가입자 사이에 발생하는 전송 지연율과 같다.

단계 2는 단계 1에서 구한 A-ESN 대수를 기반으로 가입자가 P-L2 스위치에 직접 연결될 때 QoS 조건을 만족하는 최소 P-L2 스위치 대수를 결정한다. QoS를 만족하는 서비스 클래스 별 최소 요구 대역폭을 결정하고, P-L2 스위치 용량에 맞게 변경한다. P-L2 스위치 대수를 변경하며 종단간 블로킹 확률과 전송 지연을 조건을 만족하는 최소 P-L2 대수를 결정한다. 단계 2는 A-ESN과 P-L2가 연결되어있고, P-L2와 가입자가 직접 연결되어 있으므로, 종단간 블로킹 확률은 A-ESN과 P-L2 사이에서 발생하는 블로킹 확률과 P-L2와 가입자 사이에서 발생하는 블로킹 확률로 표현된다. 종단간 전송 지연율도 A-ESN과 P-L2 간 전송 지연율과 P-L2와 가입자 간 전송 지연율로 표현된다.

단계 3은 단계 1과 단계 2에서 구한 A-ESN 대수와 P-L2 대수를 기반으로 S-L2 스위치 대수를 결정하는 부분이다. QoS를 만족하는 서비스 클래스 별 최소 요구 대역폭을 결정하고, S-L2 스위치 용량에 맞게 서비스 별 대역폭을 할당한다. 그리고 종단간 블로킹 확률과 전송 지연을 조건을 만족하

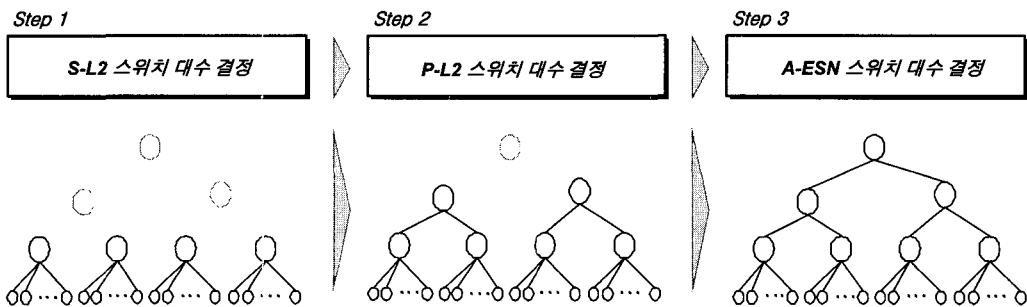
는 최소 S-L2 스위치 대수를 결정한다. 단계 3은 가입자가 S-L2를 거쳐 P-L2를 통과하고 A-ESN에 연결되므로, 종단간 블로킹 확률과 전송 지연율은 각 스위치 별 발생하는 블로킹 확률과 전송 지연율로 표현된다.

로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1은 A-ESN 대수를 결정할 때 모든 가입자가 A-ESN에 직접 연결되었다고 가정하기 때문에 계산 과정이 단순하다. 그리고 충분한 A-ESN 대수를 보장하므로 P-L2, S-L2 스위치 설치 부분에서 QoS 보장을 위한 계산 과정이 줄어든다. 그러나 모든 가입자가 블로킹되지 않는다고 가정하기 때문에 A-ESN 대수 결정 시 최적 A-ESN 대수보다 많이 설치하게 된다.

### 3.3 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 2

로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1과 다르게 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 2는 <그림 6>과 같이 먼저 S-L2 스위치 대수를 결정하고, P-L2 스위치 대수를 결정하며, 그리고 A-ESN 스위치 대수를 결정하는 순서로 진행된다.

단계 1은 S-L2 스위치 대수를 결정하는 부분으로 전체 가입자를 S-L2에 균일하게 배분하고, 직접 S-L2에 연결시킨다. 서비스 별 요구하는 QoS 수준을 보장하기 위해 서비스 클래스 별 최소 요구 대역폭을 결정하고, S-L2 용량에 맞게 변경한다. 그리고 종단간 블로킹 확률과 전송 지연을 조건을 만족하는 최소 S-L2 대수를 결정한다. 단계 1은



<그림 6> 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 2

S-L2와 전체 가입자만 연결되어 있으므로, S-L2와 가입자 간 발생하는 블로킹 확률을 종단간 블로킹 확률로 한다. 종단간 전송 지연율도 S-L2와 가입자 간 발생하는 전송 지연율로 한다.

단계 2는 단계 1에서 구한 S-L2 대수를 기반으로 S-L2 스위치가 P-L2 스위치에 연결될 때 QoS 조건을 만족하는 최소 P-L2 스위치 대수를 결정한다. QoS를 만족하는 서비스 클래스 별 최소 요구 대역폭을 결정하고, P-L2 스위치 용량에 맞게 변경한다. 그리고 P-L2 스위치 대수를 변경하며 종단간 블로킹 확률과 전송 지연율 조건을 만족하는 최소 P-L2 대수를 결정한다. 단계 2는 가입자와 연결된 S-L2를 P-L2에 연결시키므로, 종단간 블로킹 확률은 S-L2와 가입자 간 발생하는 블로킹 확률과 P-L2와 S-L2 간 발생하는 블로킹 확률로 표현된다. 종단간 전송 지연율도 S-L2와 가입자 간 전송 지연율과 P-L2와 S-L2 간 전송 지연율로 표현된다.

단계 3은 단계 1과 단계 2에서 구한 S-L2 대수와 P-L2 대수를 기반으로 A-ESN 스위치 대수를 결정하는 부분이다. QoS를 만족하는 서비스 클래스 별 최소 요구 대역폭을 결정하고, A-ESN 스위치 용량에 맞게 서비스 별 대역폭을 할당한다. 그리고 종단간 블로킹 확률과 전송 지연율 조건을 만족하는 최소 A-ESN 스위치 대수를 결정한다. 단계 3은 가입자가 S-L2를 거쳐 P-L2를 통과하고 A-ESN에 연결되므로, 종단간 블로킹 확률과 전송 지연율은 각 스위치 별 발생하는 블로킹 확률과 전송 지연율로 표현된다.

로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 2는 스위치 별 연결 가능한 최대 가입자를 연결하기 때문에 여유 용량이 줄어들어 장비를 더 적게 설치할 수 있다. 그러나 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 2는 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1에 비해 알고리즘에서 다루어야 할 복잡도가 증가하여 문제를 푸는데 시간이 오래 걸린다. 또한 상위 스위치에 하위 스위치를 할당할 때, 비용과 QoS 수준의 절충 관계를 고려해야 하며, 하위 스위치 대수를 결정할 때 상위

스위치에서 발생할 블로킹 확률과 전송 지연을 미리 고려해야 하는 단점이 있다.

#### 4. 사례 연구

이 장은 3장에서 설계한 알고리즘을 이용해 BcN 가입자 망을 설계하는 사례를 분석한다. 사례 연구에 필요한 파라미터 값은 BcN 시범 서비스에서 제공하는 자료를 바탕으로 가정된 값을 이용한다. 먼저 총 가입자 가구 수를 가정하기 위해 BcN 시범 서비스에서 제공하고 있는 가구 수를 이용한다. BcN 시범 서비스는 영상, 콘텐츠 서비스를 제공하는 옥타브와 IP-TV, 위성 DMB, 텔레매틱스 서비스를 제공하는 유비넷, 그리고 TV를 이용한 전자상거래, 전자민원 서비스를 제공하는 광개토 컨소시엄이 있다. 3개 컨소시엄은 6대 도시 1,350 가구를 대상으로 광대역 서비스를 제공한다는 계획이다[2]. 이를 고려하여 이 논문에서 연구하는 총 가입자 가구 수는 1,000가구로 가정한다. 다음으로 모든 가입자가 동일한 패턴으로 서비스를 이용하지 않기 때문에, 트래픽 발생량에 따라 가입자를 헤비 유저, 미들 유저, 라이트 유저 세 종류로 가정한다. 헤비 유저, 미들 유저, 라이트 유저 비율

〈표 1〉 서비스 클래스 관련 파라미터 입력 값

서비스 클래스		Access Bit Rate	Busy Hour	Non-Bh Ratio	QoS Limit
Stream	Speech	0.064	18~20	60%	0.01
	High Interactive Multimedia	6	18~20	50%	0.01
	Multimedia	10	22~22	30%	0.02
Elastic	Messaging	0.01	10~12	60%	1.01
	Switched Data	1	14~16	40%	1.10

〈표 2〉 장비 비용과 용량 입력 값

	용량(Gbps)	가격(만원)
A-ESN 스위치	1.0	8000
P-L2 스위치	0.5	3000
S-L2 스위치	0.1	800

〈표 3〉 가입자 종류 관련 파라미터 입력 값

가입자 종류	Service		BHCA	File Size or Call Duration*	동시 사용율
Heavy User (30%)	Stream	Speech	0.001389	360	
		High Interactive Multimedia	0.000833	360	
		Multimedia	0.000028	5400	
	Elastic	Messaging	2.0	0.01	0.8
		Switch Data	0.2	1	0.3
Middle User (40%)	Stream	Speech	0.000445	360	
		High Interactive Multimedia	0.000278	360	
		Multimedia	0.000014	5400	
	Elastic	Messaging	1.0	0.01	0.8
		Switch Data	0.1	1	0.8
Light User (30%)	Stream	Speech	0.000556	360	
		High Interactive Multimedia	0.000139	360	
		Multimedia	0.000006	5400	
	Elastic	Messaging	0.5	0.01	0.8
		Switch Data	0.1	1	0.3

은 각각 30%, 40%, 30%로 한다. <표 1>은 서비스 클래스 관련 파라미터 입력 값을 나타내고, <표 2>는 장비 비용과 용량 관련 파라미터 입력 값을 나타낸다. <표 3>은 가입자 종류에 따라 달라지는 파라미터 입력 값을 나타낸다.

#### 4.1 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1 실험 결과

<표 4>는 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1의 사례 분석 결과이다.  $BW_{\min}^s$ 는 서비스 별 최소 대역폭 요구량이고,  $C_A^s$ ,  $C_P^s$ ,  $C_S^s$ 는 서비스 별 A-ESN, P-L2, S-L2 스위치에 분할된 대역폭이다.  $B_A^s$ 는 서비스 별 A-ESN 스위치의 블로킹 확률이다.  $B_P^{s*}$ 는 A-ESN과 P-L2 스위치의 블로킹 확률을 고려한 종단간 블로킹 확률이며,  $B_P^{s*} = 1 - (1 - B_P^s)(1 - B_A^s)$ 를 통해 구한다.  $B^{s*}$ 는 A-ESN, P-L2, S-L2 스위치의 블로킹 확률을 모두 고려한 종단간 블로킹 확률이며,  $B^{s*} = 1 - (1 - B_S^s)(1 - B_P^{s*})(1 - B_A^s)$ 를 통해 구한다.  $D_A^s$ 는 서비스 별 A-ESN 스위치의 전송 지연율이다.  $D_A^{s*}$ 는 A-ESN과 P-L2 스위치의 전송 지연율을 고려한 종단간 전송 지연율이며,  $D_P^{s*} = D_A^s D_P^s$

를 통해 구한다.  $D^{s*}$ 는 A-ESN, P-L2, S-L2 스위치의 전송 지연율을 모두 고려한 종단간 전송 지연율이며,  $D^{s*} = D_A^s D_P^s D_S^s$ 를 통해 구한다. 단계 1은 망 설계 알고리즘은 가입자가 A-ESN에 직접 연결된다고 가정하고 A-ESN 대수를 결정한다. A-ESN 스위치 종류는 용량이 1.0 Gbps이고, 가격은 대당 8천만원으로 가정하였을 때, A-ESN은 2대 설치한다. 단계 2는 가입자가 P-L2에 직접 연결된다고 가정하고 A-ESN 하나에 연결될 P-L2 대수를 결정한다. P-L2 스위치 종류는 용량이 500 Mbps이고, 가격은 대당 3천만원으로 가정하였을 때, A-ESN 하나에 P-L2 두 대를 설치하여 총 4대를 설치한다. 단계 3는 가입자가 S-L2에 직접 연결된다고 가정하고 P-L2 하나에 연결될 S-L2 대수를 결정한다. S-L2 스위치 종류는 용량이 100 Mbps이고, 가격은 대당 8백만원으로 가정하였을 때, P-L2 하나에 S-L2를 7대 씩 연결하여 총 28대를 설치한다. 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1로 계산한 해는 A-ESN 2대, P-L2 4대, 그리고 S-L2 28대 설치한다. 그리고 총 설치 비용은 5억 4백 만원이며, S-L2 스위치 하나에 36가구가 서비스를 받는다.

<표 4> 사례 분석 - 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1

	서비스	Stream 트래픽			Elastic 트래픽	
		Speech	High Interactive Multimedia	Multimedia	Messaging	Switched Data
(단계 1) A-ESN 대수 : 2대	$BW_{min}^s$	6.7	528.0	120.0	2.9	10.7
	$C_A^{cs}$	10.0	790.1	179.6	4.4	16.0
	$D_A^s$	-	-	-	1.00	1.00
	$B_A^s$	0.00	0.00	0.00	-	-
(단계 2) A-ESN 한대 당 P-L2 대수 : 2대 총 P-L2 대수 : 4대	$BW_{min}^s$	6.7	294.0	90.0	2.9	10.7
	$C_P^{cs}$	8.2	363.6	111.3	3.6	13.2
	$D_P^{s*}$	-	-	-	1.00	1.01
	$B_P^{s*}$	0.00	0.00	0.00	-	-
(단계 3) P-L2 한대 당 S-L2 대수 : 7대 총 S-L2 대수 : 28대	$BW_{min}^s$	1.2	60.0	30.0	0.4	2.9
	$C_S^{cs}$	1.2	63.5	31.8	0.4	3.1
	$D^{s*}$	-	-	-	1.00	1.03
	$B^{s*}$	0.00	0.01	0.01	-	-

<표 5> 사례 분석 - 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 2

	서비스	Stream 트래픽			Elastic 트래픽	
		Speech	High Interactive Multimedia	Multimedia	Messaging	Switched Data
(단계 1) S-L2 대수 : 25대	$BW_{min}^s$	0.9	72.0	24.0	0.3	2.1
	$C_A^{cs}$	0.9	72.5	24.2	0.3	2.1
	$D_A^s$	-	-	-	1.01	1.10
	$B_A^s$	0.01	0.01	0.02	-	-
(단계 2) P-L2 대수 : 4대	$BW_{min}^s$	3.65	294.00	72.00	1.53	6.26
	$C_P^{cs}$	4.83	389.47	95.38	2.03	8.29
	$D_P^{s*}$	-	-	-	1.00	1.01
	$B_P^{s*}$	0.01	0.01	0.02	-	-
(단계 3) A-ESN 대수 : 2대	$BW_{min}^s$	6.66	528.01	120.00	2.95	10.69
	$C_S^{cs}$	9.96	790.07	179.56	4.41	16.00
	$D^{s*}$	-	-	-	1.00	1.00
	$B^{s*}$	0.01	0.01	0.02	-	-

4.2 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 2 실험 결과

<표 5>는 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 2의 사례 분석 결과이다. 단계 1은 가입자가 S-L2에 연결된다고 가정하고 S-L2 대수를 결정한다. S-L2

스위치 종류는 용량이 100 Mbps이고, 가격은 해당 8백만원으로 가정하였을 때, S-L2는 25 대를 설치한다. 단계 2는 가입자가 P-L2에 연결된다고 가정하고 S-L2 스위치와 연결하는 P-L2 대수를 결정한다. 이때 단계 1에서 결정된 S-L2 블로킹 확률

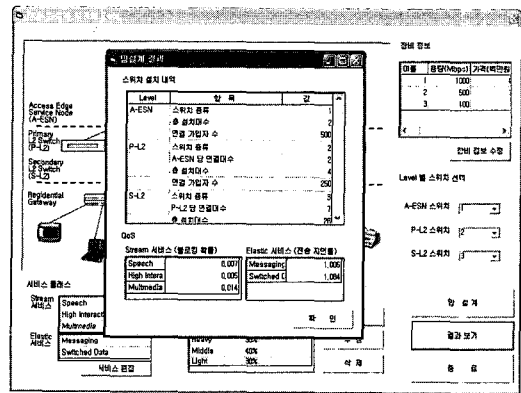
과 P-L2 블로킹 확률을 이용하여 중단간 블로킹 확률을 구한다. P-L2 스위치 종류는 용량이 500 Mbps이고, 가격은 대당 3천만원으로 가정하였을 때, P-L2를 4대 설치한다. 단계 3는 가입자가 A-ESN에 연결된다고 가정하고 P-L2와 연결되는 A-ESN 대수를 결정한다. 중단간 블로킹 확률은 S-L2, P-L2, A-ESN 블로킹 확률을 이용하여 구한다. A-ESN 스위치 종류는 용량이 1Gbps이고, 가격은 대당 8천만원으로 가정하였을 때, A-ESN을 총 2대 설치한다. 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 2로 계산한 해는 A-ESN 2대, P-L2 4대, 그리고 S-L2 25대 설치한다. 그리고 총 설치 비용은 4억 8천 만원이며, S-L2 스위치 하나에 40가구가 서비스를 받는다.

### 5. BcN 가입자 망 설계 시스템

이 장은 개발한 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘 1과 알고리즘 2가 내장된 BcN 가입자 망 설계 시스템에 대해 설명한다. BcN 가입자 망을 설계하는 시스템은 기본 정보 모듈, 망 구성 모듈과 결과 모듈로 구성된다.

기본 정보 모듈은 망 설계를 위해 필요한 망 설계 정보, 장비 정보, 서비스 클래스 정보, 기준 가입자 정보, 그리고 설치할 스위치 정보를 보여주고 저장하는 기능을 한다. 망 설계 모듈은 장비, 서비스 클래스, 기준 가입자 정보를 입력하고 망 설계 알고리즘을 실행하는 기능을 한다. 망 설계 모듈에서 장비 입력 정보는 장비 이름, 장비 모델, 장비 용량, 장비 가격으로 구성되고, 서비스 클래스 입력 정보는 서비스 이름, 트래픽 타입, 전송 속도, 최번시(Busy Hour), 비 최번시 비율, QoS 보장 수준으로 구성된다. 기준 가입자 입력 정보는 가입자 특성을 나타내는 기준 가입자 비율과 Stream, Elastic 트래픽 별 파라미터 값으로 구성된다. 입력된 정보를 바탕으로 개발한 로컬 서치 알고리즘을 실행하여 망을 설계한다. 결과 모듈은 스위치 종류 별 총 설치 대수, 연결 가입자 수, 그리고 서비스 별 QoS

수준을 보여주는 기능을 한다. <그림 7>은 결과 모듈을 통해 구현된 망 설계 결과 화면이다. 결과 모듈을 통해 망 설계 내용을 알 수 있으며, 망 설계자는 망 설계 결과를 이용해 망 구축 방향을 제시할 수 있다.



<그림 7> 망 설계 결과 화면

### 6. 결 론

이 논문은 BcN 설계 시 발생하는 가입자 망 설계 문제를 풀기 위해 망 설계 방법을 제시했다. 먼저 BcN 서비스를 트래픽 종류, 전송 속도, 트래픽 대칭성에 따라 5가지 클래스로 분류하고, 분류된 서비스 클래스 별 트래픽 발생량을 측정하기 위한 파라미터를 선정했다. 그리고 서비스 별 QoS 수준을 측정하기 위해 Stream과 Elastic 트래픽 별 QoS 척도와 계산 방법을 결정했다. 가입자 망 설계 구조와 필요한 가정을 정의한 후, 서비스 별 QoS 보장을 제약 조건으로 하고 스위치 설치 비용을 최소로 하는 망 설계 최적화 모형을 설계했다. 설계한 최적화 모형을 풀기 위해 2가지 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘을 제시했다. 첫 번째 방법은 A-ESN 스위치 대수를 결정하고, A-ESN 한대에 연결되는 P-L2 대수, P-L2 한대에 연결되는 S-L2 대수를 결정한다. 두 번째 방법은 S-L2 스위치 대수를 결정하고, P-L2 대수, A-ESN 대수를 결정한다. 사례 분석을 통해 제시한 로컬 서치 알고리즘의

비용을 분석한 결과, 두 번째 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘이 첫 번째 알고리즘보다 비용이 줄어들었다. 첫 번째 알고리즘은 A-ESN 대수를 결정할 때, A-ESN에 연결된 가입자는 모두 블로킹되지 않았다고 가정하기 때문에 과용량 설계를 할 수 밖에 없다. 그러나 두 번째 알고리즘은 스위치에 연결 가능한 최대 가입자를 연결하기 때문에 여유 용량이 줄어들어 첫 번째 알고리즘보다 장비를 더 적게 설치한다.

추후로, 이 문제를 해결하기 위해 트리 구조 BcN 가입자 망 설계 문제 특성을 반영한 메타 휴리스틱 알고리즘과 최적해 알고리즘을 개발하는 연구가 필요하다. 또한 노드 위치, 가입자 별 트래픽 분포, 노드 간 연결되는 링크와 같은 요소를 고려해야 하는 물리적인 망 설계 방법에 대한 연구도 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김철수, 손진혁, 박나정, "BcN 표준모델", 「한국통신학회」, 제22권, 제3호(2005).
- [2] 박상훈, "BcN 추진현황 및 향후계획", 「정보과학회지」, 제23권, 제2호(2005).
- [3] 임준성, "광대역 통합망 구축 추진 현황 및 계획", 「정보통신부」, 2004.
- [4] 전용희, 박수영, "DiffServ를 이용한 인터넷 QoS 보장 기술", 「한국통신학회지」, 제17권, 제9호(2000).
- [5] 정희창, "BcN 연구개발망 구축방향", 「텔레콤」, 제19권, 제1호(2003).
- [6] Crimi, J.C., "Next generation network services," A Telcordia Technologies White Paper, 2003.
- [7] Danny H.K. and K.W.R. Tsang, "Algorithms to determine exact blocking probabilities for multirate tree networks," *IEEE transactions on communications*, 1990.
- [8] ITU-R working group, "Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements," Recommendation ITU-R M.1390, 2001.
- [9] ITU-R working group, "Spectrum requirements for international mobile telecommunications-2000 (IMT-2000)," Report ITU-R M.2023, 2001.
- [10] Kelly, F.P., "Blocking probabilities in large circuit-switching networks," *Advances in applied probability*, Vol.18(1986), pp.473-505.
- [11] Kelly, F.P., *Reversibility and stochastic networks*, John wiley and sons, New York, 1979.
- [12] Kuhn, P.J., "The development of the next generation network," Institute of Communication Networks and Computer Engineering, 2005.
- [13] Riedl, A., "Routing optimization and capacity assignment in multi-service IP networks," Dissertation at technische universität münchen, 2004.
- [14] Riedl, A., T. Bauschert, and J. Frings, "A framework for multi-service IP network planning," 10th international telecommunication network strategy and planning symposium (Networks 2002), Munich, 2002.
- [15] Rosberg, Z., H. Le Vu, M. Zukerman, and J. White, "Blocking probabilities of optical burst switching networks based on reduced load fixed point approximations," Department of communication systems engineering ben gurion university, IEEE, 2003.
- [16] Zhao, Z., Q. Liu, and H. Guan, "A method and simulation study : Network dimensioning of the broadband residential ethernet-based access network," Multimedia communication & network engineering research center, 2003.