

IVOD와 NVOD 혼합 서비스를 위한 다계층 VOD망의 자원 최적화

조명래* · 김여근* · 조 진**

Resource Optimization for Mixed Service of IVOD and NVOD in a Multi-level VOD Network

Myeong Rai Cho · Yeo Keun Kim · Geon Cho

〈Abstract〉

It is strongly believed that Video on Demand(VOD) will become one of the most promising services for Broadband Integrated Services Digital Network(B-ISDN). VOD service can be classified into two types of services: Near VOD(NVOD) and Interactive VOD(IVOD). Although VOD network requires many kinds of resources, we only consider video servers, programs, and storages. In the network, some video servers should be installed at some nodes(especially, at the root node for NVOD service), so that each node with video server stores video programs and distributes stored programs to customers. We take into account three kinds of costs related with the above resources: a program transmission cost, a program storage cost, and a video server installation cost. There exists a trade-off relationship among those three costs according to the locations of video servers and the kinds of programs stored at each video server.

Given a multi-level VOD network and the total number of programs being served in the network, the resource optimization problem for providing both IVOD and NVOD services is to determine where to install video servers, and which and how many programs should be stored at each video server, in order to minimize the total cost.

In this paper we develop an efficient dynamic programming algorithm to solve the problem. We also implement the algorithm based on two different service policies assumed in this paper.

1. 서론

최근 B-ISDN(Broadband-Integrated Services Digital Network)의 출현과 ATM(Asynchronous Transfer Mode)기술, 영상 압축/복원 및 저장/전송 기술 등의 발달로 인하여 홈 쇼핑, 영상회의, 주문형 비디오 서비스와 같은 높은 대역폭을 갖는 영상 정보 서비스가 가능하게 되었다. 특히, 주문형 비디오(Video On Demand : VOD) 서비스는 유망한 차세대 영상 정보 서비

스로 관심의 대상이 되고 있으며, 대화성의 정도에 따라 크게 IVOD(Interactive VOD)와 NVOD (Near VOD)로 분류되는데 [1, 4], 일반적으로 VOD는 IVOD를 의미한다.

IVOD 서비스는 가입자가 서비스를 요구하는 즉시 제공해주는 대화형 영상 서비스 형태로서, 가입자가 비디오 서버를 마치 개인 Video Cassette Recorder(VCR)처럼 실시간 제어할 수 있는 장점이 있으나, 값 비싼 저장 장치와 비디오 서버를 필요로 하며[5], 일 대 일 연결이므로 저장 및 전송 비용이

* 전남대학교 산업공학과

** 전남대학교 경영학과

많이 드는 단점이 있다. 따라서 경제적인 VOD서비스 운용을 위해서는 NVOD서비스를 고려해야 한다[2, 3]. NVOD서비스는 프로그램을 일정한 시간 간격으로 반복하여 방송하는 분배형 영상 서비스 형태로써, 가입자에게는 대화성이 없다는 것과 실시간 서비스가 아니라는 단점이 있으나, 상대적으로 값싼 저장 장치와 비디오 서버를 사용할 수 있으며[5], 일 대 다중 연결이므로 저장 및 전송 비용이 적게 드는 장점이 있다.

본 연구에서는 다계층 VOD서비스 망에서 IVOD와 NVOD 혼합 서비스를 위한 자원 최적화에 관하여 다루고자 한다. VOD 서비스 망에 요구되는 자원으로는 여러 가지 요소가 있겠지만, 본 연구에서는 비디오 서버, 프로그램, 그리고 저장 장치로 두었다. 지금까지의 IVOD와 NVOD 혼합 서비스를 위한 자원 최적화 연구는 극히 미흡한 실정이다. 다만 Hodge et al. [5, 7]과 Ishihara et al.[6]은 VOD를 IVOD로만 서비스할 경우 서비스 운용 비용이 많이 소요 되므로, 인기가 좋은 일부 프로그램에 대해서 NVOD로 서비스하는 VOD 혼합 서비스를 제안하였다. 특히 Hodge et al.[5]은 NVOD와 IVOD서비스를 가능하게 하는 각각의 관련 기술 및 소요되는 비용 등을 비교 분석 하였다. 김여근 등[12]은 다계층 VOD서비스 망에서 IVOD만을 서비스할 때, 프로그램 전송 비용, 저장 비용, 그리고 비디오 서버 설치 비용의 합을 최소로 하는 비디오 서버의 위치를 선정하는 문제와 비디오 서버에 저장시킬 프로그램의 종류와 그 양을 결정하는 문제를 동적계획법(Dynamic Programming)을 이용하여 해결하였다.

본 연구에서는 김여근 등[12]이 제시한 동적계획 모형을 확장하여, 다계층 VOD서비스 망에서 IVOD와 NVOD 혼합 서비스를 할 때의 자원 최적화를 위해 서비스 운용 비용을 최소로 하는 (1) NVOD 서비스를 위한 프로그램 종류와 그 양, (2) IVOD서비스에 대한 비디오 서버의 위치 선정 및 설치된 비디오 서버에 저장 시킬 프로그램의 종류와 그 양을 결정하는 문제를 다루고자 한다. 이때, IVOD와 NVOD의 혼합 서비스 운용 비용은 여러 요소가 있겠지만, 본 연구에서는 각 서비스에 요구되는 전송 및 저장 비용 그리고 비디오 서버 설치 비용으로 두었다.

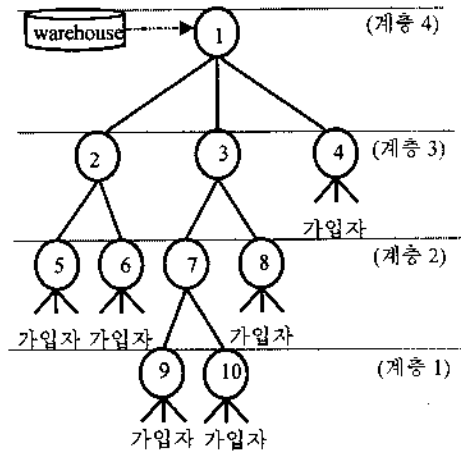
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구에서 다루는 문제를 설정하고, 3장에서는 문제를 모형화하고 그 해결 방법을 제시한다. 4장에서는 문제 해결의 결과를 실험을 통해 보여 주며, 5장은 결론으로 한다.

2. 문제 설정

2.1 VOD망 구조와 서비스 정책

본 연구에서는 논리망 구성이 다계층인 구조를 다룬다. CATV나 NVOD와 같은 분배형 영상 서비스나 IVOD와 같은 대화형 영상 서비스를 위한 논리망은 <그림1>과 같은 다계층 구조가 적합한 것으로 알려져 있다[8, 9].

여기에서 계층은 최하위 계층부터 시작하여 각 계층을 $k(k=1, 2, \dots, K)$ 로 나타내고, 중심국은 최상위 계층의 중심국부터 차례로 $n(n=1, 2, \dots, N)$ 으로 나타내기로 한다. 또한 최상위 계층에 있는 중심국에서 가입자가 연결된 중심국까지의 경로를 전송 경로로 정의 한다. <그림 1>에서 중심국 7을 포함한 전송 경로는 중심국 1, 3, 7, 9와 중심국 1, 3, 7, 10으로 연결된 경로가 된다. 모든 중심국들의 하위 중심국들은 항상 동일하지 않으며, 경로상의 링크의 용량 제약은 없다고 본다. 이때 어떤 중심국의 하위 또는 상위 중심국은 자신을 포함한 전송 경로상의 모든 중심국을 대상으로 한다.



<그림 1> 4계층 VOD 서비스망의 예

최상위 계층의 중심국 1에는 서비스 대상이 되는 모든 프로그램을 저장하고 있는 프로그램 저장 창고(program warehouse)가 연결되어 있다고 본다. 이 저장 창고는 일정 계획기간마다 NVOD 또는 IVOD용 비디오 서버에 저장하는 프로그램을 제공하는 역할을 한다. 가입자는 각 전송 경로상의 최하위 중심국에만 연결되어 있으며, 나머지 중심국들은 IVOD용 프로그램을 중계하는 스위칭 기능과 NVOD용 프로그램을 복사하여

다중 방송하는 기능을 가진다. NVOD용 비디오 서버는 최상위 계층의 중심국에만 설치될 수 있으며, IVOD용 비디오 서버는 모든 중심국에 설치될 수 있다고 본다.

NVOD서비스는 NVOD용 비디오 서버에서 모든 전송 경로 상으로 일정한 수의 채널을 통해 프로그램을 방송하게 된다. 예를 들어 <그림 1>에서 중심국 1에 설치된 NVOD용 비디오 서버에서 선호도가 j 번째인 NVOD용 프로그램을 m_j 개의 채널로 방송하는 경우, 중심국 1의 하위 중심국들은 상위 중심국에서 m_j 개의 채널로 방송되는 프로그램을 복사하여, 그 프로그램을 다시 하위 중심국들에 각각 m_j 개의 채널로 방송하게 되며, 가입자는 가입자가 연결된 중심국으로부터 채널을 선별하여 시청할 수 있게 된다[6]. NVOD용 비디오 서버는 선호도가 높은 프로그램 순으로 저장 시키는 것을 원칙으로 한다. 이는 NVOD용 프로그램의 채널 당 시청자가 많을수록 NVOD서비스의 경제적 효과를 높일 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 NVOD서비스 정책에 의해 두 모형으로 나눈다. 하나는 모든 NVOD용 프로그램의 채널 수를 같게 하여 서비스하는 모형1이고, 다른 하나는 각 NVOD용 프로그램의 채널 수를 선호도에 따라 각기 달라하여 서비스하는 모형2이다.

가입자들은 자신과 연결된 중심국이 속해 있는 전송 경로상의 비디오 서버에 의해서만 IVOD 서비스를 받을 수 있다고 가정한다. 따라서 서비스 대상이 되는 모든 프로그램은 각 전송 경로상의 비디오 서버에 반드시 저장되어 있어야 하나, 동일한 종류의 프로그램은 각 비디오 서버에 분산·저장하지 않는 정책을 가진다. 또한 모든 중심국에서의 프로그램 당 단위 저장 비용이 동일할 때, 전송 경로상의 중심국들에 프로그램의 저장은 상위 중심국보다 하위 중심국에 선호도가 상대적으로 높은 프로그램을 저장하는 것을 원칙으로 한다. 이는 수요가 집중되는 프로그램을 가입자와 가까운 계층의 중심국에 저장함으로써 전송 비용을 줄이고자 함에 있다.

2.2 프로그램의 시청 확률과 평균 서비스 수요량

각 프로그램의 시청 확률은 시청 시간대, 가입자의 주거 지역 등 여러 요소에 의해 변할 것이다. 그러나 본 연구에서는 편의상 프로그램의 선호도에 의해 각 프로그램의 시청 확률이 결정된다고 본다. 서비스되는 J 종류의 프로그램을 선호도에 따라 내림차순으로 정렬할 때, j 번째 선호도를 갖는 프로그램 시청 확률(vision probability) P_j 는 Giovanni et al.[10]에 의해 식

(1)과 같이 제안되었다. 앞으로 프로그램 j 는 선호도가 j 번째인 프로그램을 나타내기로 한다.

$$P_j = \frac{P_{j_0}}{D_{HP}^j}, j = 2, 3, \dots, J, P_1 = \frac{1 - (1/D_{HP})^J}{1 - (1/D_{HP})}, \sum_{j=1}^J P_j = 1 \quad (1)$$

식 (1)에서 D_{HP} 는 프로그램 j 에 대한 프로그램 ($j-1$)의 시청 확률 비율로써 1보다 큰 상수이다. 본 연구에서도 프로그램 시청 확률로 식 (1)을 사용하였으며, 동종의 프로그램에 대한 가입자의 시청 확률은 그와 연결된 중심국에 상관없이 모두 동일하다고 보았다.

본 연구에서는 VOD서비스 망의 평균 서비스 수요량을 최번시 단위 시간 당 서비스를 신청하는 평균 트래픽량(traffic volume)으로 보는데, 중심국 n 에 요구할 수 있는 최대 평균 트래픽량을 중심국 n 의 최번시 단위 시간 당 평균 서비스 수요량으로 하고 이를 R_n 으로 두었다. 따라서 가입자가 연결된 중심국 n 에 대한 R_n 은 그 중심국에 연결된 가입자 수, 최번시 집중률, 그리고 평균 서비스 시간의 곱으로 계산되는 트래픽량을 서비스 단위 시간으로 나눈 값이 된다. 가입자와 직접 연결되지 않은 중심국 n 에 대한 R_n 은 자신의 직하위 중심국들에 요구되는 최번시 단위 시간 당 평균 서비스 수요량의 합이 된다. 최번시 집중률은 하루 중 최번시에 가입자가 서비스를 요구할 확률로 정의한다. 예를 들어, 가입자가 1,000명인데 최번시에 평균 100개의 프로그램이 요청된다면 최번시 집중률은 0.1이 된다.

2.3 NVOD용 프로그램의 채널 수와 시청 포기율

NVOD서비스는 인기 있는 특정 프로그램을 일정한 시간 간격으로 반복하여 방송하는 서비스이다. 예를 들어 2시간용 프로그램을 다섯 채널로 방송한다면 24분 간격으로 방송하고 각 채널에서 프로그램 방송이 끝나면 즉시 재 방송하는 서비스이다. 본 연구에서는 모든 NVOD서비스 신청자가 항상 방송시작시간부터 프로그램을 시청한다고 본다. 따라서 신청자의 최대 대기 시간은 방송시작시간 간격이 된다. 이때, 신청자는 기다리는 시간이 너무 길다고 판단되면 시청을 포기하는 일이 발생하게 된다. T 는 NVOD 신청자가 기다리는 시간의 확률 변수로 두고, 평균 취소율이 $\delta(\delta > 0)$ 인 지수 분포를 따른다고 본다. 그러면 어떤 신청자가 t 시간 이상 기다려 줄 확률은

$$P(T > t) = \int_t^{\infty} \delta \exp(-\delta x) dx \quad (2)$$

가 된다. 프로그램 j 의 채널 수가 m_j 개이고, 프로그램의 방영 시간이 τ_j 일 때, 그 프로그램의 방송시작시간 간격 $V(m_j)$ 은

$$V(m_j) = \frac{\tau_j}{m_j}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (3)$$

가 된다. 따라서 프로그램 j 에 대한 신청자의 최대 대기 시간은 $V(m_j)$ 가 되며, 프로그램 j 를 신청한 임의의 고객이 기다려 줄 확률은

$$P_f(V(m_j)) = \int_0^{V(m_j)} P(T > t) dt; V(m_j) = \frac{1}{V(m_j) \cdot \delta} (1 - \exp(-V(m_j) \cdot \delta)) \quad (4)$$

과 같이 된다. 그러므로 그 프로그램을 신청한 임의의 NVOD 신청자가 방송시작시간을 기다리지 못할 확률 즉, 시청 포기율 $\bar{P}_f(V(m_j))$ 는

$$\bar{P}_f(V(m_j)) = 1 - P_f(V(m_j)) \quad (5)$$

가 된다.

본 연구에서는 신청한 프로그램이 NVOD로 방영되면, 우선 NVOD 서비스를 신청하고, 이를 기다리지 못하면 γ (단, $0 \leq \gamma \leq 1$)의 비율로 해당 프로그램을 IVOD 서비스로 전환한다고 본다. 즉 $(1 - \gamma)$ 의 비율로 시청을 포기한다고 본다.

3. 모형화

본 장에서는 IVOD와 NVOD 혼합 서비스를 위한 다계층 VOD 망의 자원 최적화 문제를 2.1절에서 제시한 NVOD서비스 정책에 따라 모형1과 2로 나누어 다루고자 한다. NVOD 서비스는 J 종류의 모든 프로그램 중 어떠한 프로그램도 그 서비스 대상이 될 수 있으며, NVOD 프로그램의 신청자 중에서 이 서비스를 기다리지 못하는 일부 신청자는 IVOD 서비스로 전환한다고 본다. 따라서 이들 두 모형의 자원 최적화 문제를 해결하기 위해서는 IVOD서비스에 대한 자원 최적화 모형의 해법이 제시되어야 한다. 본 장에서는 먼저 IVOD 서비스의 자원 최적화를 위해 IVOD 서비스 운용 비용을 최소로 하는, IVOD용 비디오 서버 위치와 설치된 비디오 서버에 저장 시킬 프로그램의 종류 및 그 양을 결정할 수 있는 동적계획 모형[12]을 간단히 기술하고, 이를 이용하여 모형1과 2를 다룬다. M_k 는 계층(단계) k 에 속한 중심국들의 집합을 나타내고, L_n 은 중심국 n 과 연결된 직하위 중심국들의 집합을 나타낸다.

그리고 D_n 은 중심국 n 과 직상위 중심국간의 거리를 나타내며, $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 크거나 같은 최소의 정수를 나타낸다.

3.1 IVOD 서비스를 위한 동적계획 모형

본 절에서는 NVOD서비스를 제외한 IVOD 서비스의 자원 최적화를 위한 동적계획 모형을 제시한다. 본 모형에서는 편의상 서비스 대상이 되는 J 종류의 모든 프로그램을 IVOD용 프로그램으로 간주하고, 또한 선호도(각 프로그램의 시청 확률)에 따라 내림차순으로 정렬되어 있다고 본다.

동적계획법에서 순환식으로 모형화 하기 위해서는 단계와 상태가 정의되어야 한다. 단계는 계층(k)으로 정의한다. 상태는 두 개의 상태변수로 정의되는데, 하나는 그 단계(계층)에 있는 중심국(n)이 되고, 다른 하나는 그 중심국과 그의 모든 하위 중심국에 저장해야 하는 프로그램 종류의 수(s)로 정의하며, 이 상태를 (n, s) 로 표시하기로 한다.

$f_k(n, s)$ 은 중심국 $n(n \in M_k)$ 과 그 하위 중심국들에 s 종류의 프로그램을 저장할 때 프로그램 전송 비용, 저장 비용, 그리고 비디오 서버 설치 비용의 합을 최소값을 나타낸다. $TC_n(s, x_n)$ 은 상태 (n, s) 에서 중심국 n 에 x_n 종류의 프로그램을 저장할 때, 중심국 n 에서 그 직하위의 모든 중심국으로의 프로그램 전송 비용을 나타내고, $SC_n(s, x_n)$ 은 상태 (n, s) 에서 중심국 n 에 x_n 종류의 프로그램을 저장할 때의 저장 비용을 나타낸다. 그리고 $FC_n(s, x_n)$ 은 상태 (n, s) 에서 결정변수 x_n 이 0이 아닌 값을 갖는 경우, 비디오 서버의 설치 비용을 나타낸다.

순환식은 아래와 같이 표현된다. 여기서 결정변수는 x_n 이고, 최적해는 $f_k(1, J)$ 에 의해 구해 진다. 단계 k 에서 상태 (n, s) 에 있을 때, 중심국 n 에 x_n 종류의 프로그램을 저장한다면, 한 단계 아래에 있는 중심국 n 의 직하위 중심국들에는 $(s - x_n)$ 종류의 프로그램을 저장하게 된다. 따라서, 모든 직하위 중심국 L_n 에 $(s - x_n)$ 종류의 프로그램을 저장할 때의 비용이 고려되어야 하는데, 이는 $\sum_{q \in L_n} f_{k-1}(q, s - x_n)$ 에 의해 구해 진다.

$$f_k(n, s) = \begin{cases} TC_n(s, s) + SC_n(s, s) + FC_n(s, s), & k = 1, \dots, K-1, n \in M_k, s=0, \dots, J, L_n = \emptyset \\ \text{MIN}_{x_n=0, \dots, s} \left[TC_n(s, x_n) + SC_n(s, x_n) - FC_n(s, x_n) + \sum_{q \in L_n} f_{k-1}(q, s - x_n) \right], & k = 2, \dots, K, n \in M_k, s=0, \dots, J, L_n \neq \emptyset \end{cases} \quad (6)$$

프로그램 전송 비용 함수는 아래와 같이 사용할 수 있다.

$$TC_n(s, x_n) = \sum_{q \in L_n} \left\{ ct \times D_q \times \sum_{j=(s-x_n+1)}^J (P_j \times R_j) \right\}^{\phi_s}, \quad L_n \neq \emptyset, s-x_n+1 \leq J \quad (7)$$

여기서 가입자가 직접 연결되어 있는 중심국에서 가입자까지는 흔히 전용 링크로 연결되어 있으므로 가입자와 그가 연결된 중심국간의 전송 비용은 고려하지 않고 있다. 그리고 ct 는 IVOD용 프로그램 당 단위 거리의 전송 비용이며, $\phi_s (\geq 0)$ 는 전송 비용 파라미터이다[11]. 상태가 (n, s) 에서 중심국 n 에 s 종류의 프로그램을 저장할 때, 중심국 n 과 그 직하위 중심국 q 들 간의 링크를 통하는 프로그램의 종류는 $(s-x_n+1)$ 번째부터 J 까지의 프로그램이 된다.

프로그램 저장 비용 함수는 아래와 같이 사용할 수 있다.

$$SC_n(s, x_n) = \left\{ cs \times \sum_{j=(s-x_n+1)}^J \left[\frac{P_j \times R_n}{h} \right]^+ \right\}^{\phi_s}, \quad x_n \neq 0 \quad (8)$$

여기서 모든 프로그램에 대해 단위당 저장 비용은 동일하다고 본다. 그리고 cs 는 IVOD용 단위 프로그램 당 저장 비용이며, $\phi_s (\geq 0)$ 는 저장 비용 파라미터이다[11]. $\left[\frac{P_j \times R_n}{h} \right]^+$ 는 다중 액세스 수가 h 일 때, 중심국 n 에 저장하는 프로그램 j 의 저장량이다. 이로부터 중심국 n 에 저장되는 프로그램의 저장량을 구할 수 있다.

비디오 서버의 설치 비용 함수는 아래와 같이 사용할 수 있다.

$$FC_n(s, x_n) = cv \times y_n, \quad y_n = \begin{cases} 1, & x_n \neq 0 \\ 0, & x_n = 0 \end{cases} \quad (9)$$

여기서 비디오 서버의 설치 비용은 중심국의 위치에 상관없이 일정하다고 본다. 그리고 cv 는 IVOD용 단위 비디오 서버 설치 비용이다.

3.2 IVOD와 NVOD 혼합 서비스에 대한 자원 최적화 모형1

이 절에서는 IVOD와 NVOD의 혼합 서비스에서, NVOD로 서비스 하는 프로그램들에 대해 모두 동일한 채널 수로 서비스 하는 모형을 다룬다. 채널 수가 주어지면, 식(5)에 의해 각 프로그램의 시청 포기율($P_j(V(m_j))$)을 구할 수 있다. 프로그램 j 를 m_j 개의 채널로 NVOD 서비스를 한다고 하자. 프로그램 j 에 대한 평균 NVOD 서비스 수요량은 중심국 1의 최번시 단위 시간당 평균 서비스 수요량(R_j)과 그 프로그램의 시청 확률(P_j)의 곱 즉, $R_j \times P_j$ 가 된다. 이는 NVOD용 비디오 서버가 최상위 계층에 있는 중심국1에만 설치될 수 있기 때문이

다. 이때, NVOD 시청을 포기하는 신청자가 γ 의 비율로 IVOD 서비스를 받는다면, 프로그램 j 에 대한 IVOD 서비스의 평균 수요량은 $(R_j \times P_j \times \overline{P}_j(V(m_j)) \times \gamma)$ 이 된다.

본 모형은 NVOD 용 프로그램 종류 수를 0개부터 선호도의 내림차순으로 J 개까지 할당해 보면서, NVOD와 IVOD 혼합 서비스의 자원 최적화를 구하는 문제로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{MIN}_{s=0, \dots, J} \left[NTC_s + NSC_s + NFC_s + f_K^s(1, J) \right] \quad (10)$$

여기서 $f_K^s(1, J)$ 는 s 종류의 NVOD용 프로그램에 대한 시청 포기율을 고려하여, IVOD용 프로그램의 선호도 번호를 재 조정 한 후에 얻어진 최소 IVOD서비스 운용 비용을 나타낸다. 이는 3.1절의 동적계획 모형으로 구할 수 있다.

NTC_s 는 중심국 1에 있는 NVOD용 비디오 서버에 저장된 s 종류의 프로그램을 모두 m_j 개의 채널로 가입자와 연결된 모든 중심국으로 전송할 때 소요되는 전송 비용을 나타낸다. 이 비용 함수는 아래와 같이 사용할 수 있다.

$$NTC_s = \sum_{n=2}^N \left[\sum_{j=0}^s (nct \times D_n \times m_j) \right]^{\phi_s} \quad (11)$$

여기서 nct 는 NVOD용 프로그램 당 단위 거리의 전송 비용이며, $\phi_s (\geq 0)$ 는 전송 비용 파라미터이다[11]. 그리고 $m_0 = 0$ 으로 두었다.

NSC_s 는 NVOD용 비디오 서버에 s 종류의 프로그램을 저장할 때의 저장 비용을 나타낸다. 이 비용 함수는 아래와 같이 사용할 수 있다.

$$NSC_s = \left[\sum_{j=0}^s \left[ncs \times \left[\frac{m_j}{H} \right]^+ \right] \right]^{\phi_s} \quad (12)$$

여기서 ncs 는 NVOD용 단위 프로그램 당 저장 비용이며, $\phi_s (\geq 0)$ 는 저장 비용 파라미터이다[11]. $\left[\frac{m_j}{H} \right]^+$ 는 한 프로그램으로 다중 방송할 수 있는 채널 수가 H 일 때, NVOD용 비디오 서버에 저장하는 프로그램 j 의 저장량이다.

NFC_s 는 NVOD용 프로그램 종류 수 s 가 0이 아닌 값을 갖는 경우, NVOD용 비디오 서버의 설치 비용을 나타내며, 아래와 같은 비용 함수를 사용할 수 있다.

$$NFC_s = nc_v \times y_s, \quad y_s = \begin{cases} 1, & s \neq 0 \\ 0, & s = 0 \end{cases} \quad (13)$$

여기서 ncv 는 NVOD용 단위 비디오 서버 설치 비용을 나타낸다.

식(10)의 해를 구하는 계산 절차는 아래와 같다.

단계1. (초기화)

NVOD 서비스 대상이 되는 J 종류의 모든 프로그램에 대한 채널 수를 동일하게 둔다;

$$TCOST \leftarrow \infty; s^* \leftarrow 0; s \leftarrow 0;$$

단계2. $NCOST \leftarrow NTC_s + NSC_s + NFC_s;$

단계3. $s = 0$ 이면, 단계6으로 감.

단계4. 선호도가 s 번째인 NVOD용 프로그램의 시청 포기를 $(\bar{P}_f(V(m_s)))$ 을 식(5)에 의해 계산하여 IVOD 시청 확률 수정.

$$P_s \leftarrow P_s \times \bar{P}_f(V(m_s)) \times \gamma;$$

단계5. 모든 IVOD용 프로그램을 시청 확률에 따라 내림차순으로 재 배열하여 프로그램 종류의 선호도 변화 수정.

단계6. 최소 IVOD서비스 운용 비용 $f_K^*(1, J)$ 계산.

단계7. $NCOST + f_K^*(1, J) < TCOST$ 이면, $s^* \leftarrow s; TCOST \leftarrow NCOST + f_K^*(1, J);$

단계8. $s \geq J$ 이면 단계9로 가고, 그렇지 않으면 $s \leftarrow s + 1;$ 단계2로 감.

단계9. - 최소 IVOD와 NVOD 서비스 운용 비용의 합 = $TCOST$;

- 최적 NVOD용 프로그램의 종류 수 = s^* ;
- NVOD용 비디오 서버의 저장량 = $\sum_{j=0}^{s^*} \left\lceil \frac{m_j}{H} \right\rceil^+$;
- IVOD 서비스를 위한 비디오 서버의 위치와 설치된 비디오 서버에 저장 되는 프로그램의 종류 및 용량 $\leftarrow f_K^*(1, J)$ 에 의해 구함;
- 종료한다.

단계2에서 $NTC_s, NSC_s,$ 그리고 NFC_s 는 관련 비용 파라미터를 사용하여 구할 수 있다. 예로써 식(11), (12), 그리고 (13)에 의해 해결될 수 있다.

위 절차로부터 NVOD 및 IVOD의 최소 서비스 운용 비용의 합과 그 값을 만족 시키는 NVOD용 프로그램의 종류 수와 그 양, 그리고 IVOD용 비디오 서버의 위치 선정과 설치된 비디오 서버에 저장할 프로그램의 종류와 그 양을 얻게 된다.

3.3 IVOD와 NVOD 혼합 서비스에 대한 자원 최적화 모형2

이 절에서는 IVOD와 NVOD의 혼합 서비스에서, NVOD용 프로그램들의 채널 수를 프로그램의 선호도에 따라 각기 달리 하여 서비스하는 모형을 다룬다. 이는 수요가 많은 프로그램을 수요가 적은 프로그램 보다 상대적으로 채널 수를 많게 하여 가능한 NVOD서비스 신청자의 취소를 줄여 보고자 함에 있다. 이때 서비스 관리자는 채널 수를 결정하는 기준이 요구된다. NVOD용 프로그램의 채널 수를 산정하는 기준에는 여러 가지 방법이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 NVOD로 서비스되는 어떤 프로그램의 채널 수(m_j)를, 그 프로그램을 신청하였다가 기다리지 못하고 시청을 포기하는 평균 신청자 수가 L 명 이상이 되지 않도록 하는 최소의 채널 수로 두고자 한다. 따라서 프로그램 j 를 NVOD로 서비스 하는 경우, 그 프로그램의 채널 수(m_j)는 $(\bar{P}_f(V(m_j)) \times (R_s \times P_j)) \leq L$ 을 만족하는 최소의 채널 수가 된다. 이러한 m_j 는 다음과 같이 쉽게 구할 수 있다.

단계1. (초기화)

$$L \leftarrow \text{주어진 값}; m_j \leftarrow 0;$$

단계2. $m_j \leftarrow m_j + 1;$

단계3. $(\bar{P}_f(V(m_j)) \times (R_s \times P_j)) > L$ 이면, 단계2로 간다. 그렇지 않으면, 선호도가 j 번째인 NVOD용 프로그램의 채널 수를 m_j 로 두고 종료한다.

단계3의 $\bar{P}_f(V(m_j))$ 는 식(5)에 의해 구할 수 있다.

본 모형의 목적 함수는 모형1과 같이 식(10)으로 두었다. 본 모형의 해를 구하는 절차는 모형1의 절차와 동일하나, 단지 단계1의 초기화에서 NVOD 서비스 대상이 되는 J 종류의 모든 프로그램에 대한 채널 수를 동일하게 두는 대신, 앞에서 제시한 방법에 의해 J 종류의 프로그램에 대한 각각의 채널 수를 구하여 사용한다.

4. 실험

본 장에서는 3장에서 제시한 IVOD와 NVOD 혼합 서비스에 대한 자원 최적화 모형 1과 모형2의 실험 결과를 보여 준다. 그리고 NVOD와 IVOD 혼합 서비스 운영 비용이 최소가 되는 모형1의 최적의 채널 수와 모형2의 최적 L 값을 구하는 실험을 통해 두 모형을 비교 하였다.

실험의 대상이 되는 VOD 서비스망은 <그림 1>로 두었으며, 실험에 적용된 파라미터 값은 <표 1>과 같이 두었다.

<표 1> 파라미터 값

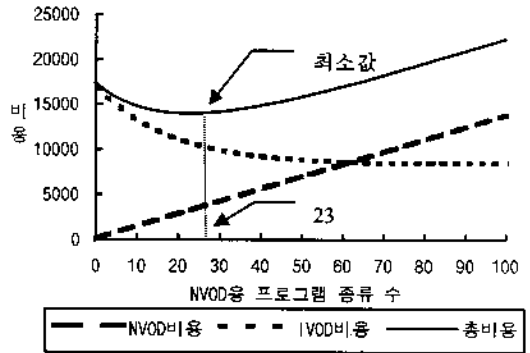
파라미터	값	파라미터	값
J	100	γ	1
D_{HP}	1.06	δ	0.05
D_n	1	$\tau_j, j=1,2,\dots,J$	120
cs/ncs	3/2	R_1	12,000
cl/net	4/3	R_2	7,000
cv/ncv	200/150	R_3	9,000
h/H	10/10	R_4	9,000
ϕ_j/ϕ_j'	1/1	R_5	6,000
ϕ_j/ϕ_j''	1/1	R_n	7,000

IVOD 서비스의 저장 및 전송 비용 그리고 비디오 서버 설치 비용은 NVOD의 각 비용에 비해 크고[5], 각각의 전송 비용은 저장 비용 보다 크다고 보았다[5, 10]. 중심국 n 과 직상 위 중심국간의 거리(D_n)는 전송 비용이 중심국 간 거리에 종속되어 결정된다면 사용할 수 있는 요소로써, 본 실험에서는 모두 1로 두었다. 또한 본 실험에서는 최면시 단위 시간 당 평균 서비스 수요량을 모두 만족 시키는 자원 최적화를 위해 γ 를 1로 두었다. NVOD를 신청한 가입자가 서비스를 기다릴 수 있는 평균 대기 시간은 20분으로 두었다. 따라서 시간 단위를 분으로 보면, NVOD 서비스에서 신청자의 평균 취소율(δ)은 0.05가 된다. 모든 프로그램의 각 방영 시간($\tau_j, j=1,2,\dots,J$)은 120분으로 동일하게 두었다. 가입자와 연결된 중심국 4, 5, 6, 8, 9, 10에 대한 최면시 평균 서비스 수요량은 주어졌다고 본다.

4.1 모형1

본 실험에서는 NVOD용 프로그램의 채널 수를 동일하게 두므로, $(\bar{p}(V(m_j)), j=1,2,\dots,J)$ 은 식(5)에 의해 모두 동일한 값을 갖게 된다.

<그림 2>는 NVOD용 프로그램의 채널 수를 5개(24분 간격으로 프로그램을 방영)로 두고, NVOD용 프로그램 종류 수를 0개부터 선호도의 내림차순으로 J 개까지 NVOD비디오 서버에 할당할 때의 NVOD 및 IVOD의 각 서비스 운용 비용과 NVOD와 IVOD 혼합 서비스의 총 서비스 운용 비용의 변화를 보여 주고 있다. <그림 2>에서 보는 바와 같이 혼합 서비



<그림 2> NVOD용 프로그램의 채널 수가 5개일 때, NVOD용 프로그램 수의 변화에 따른 서비스 운용 비용

스의 총 서비스 운영 비용을 최소화 하기 위해서는 NVOD용 프로그램 종류 수를 23개(선호도가 가장 좋은 프로그램부터 선호도가 23번째인 프로그램까지) 할당했을 때, VOD 서비스 운용 비용이 13,954가 되어 최적임을 알 수 있다. 이때, NVOD용 비디오 서버에 할당된 프로그램 저장량(할당된 프로그램의 개수)은 23이 된다.

<표 2>는 VOD서비스 운영 비용이 최소가 될 때, IVOD용 비디오 서버 위치와 설치된 비디오 서버에 저장된 프로그램의 저장량 및 프로그램 종류를 보여 주고 있다. 이때, 저장되는 프로그램의 종류는 3.2절에서 제시된 단계5에 의해 수정된 선호도 번호를 사용 하였다. 예를 들어 표 내의 값이 '729 (1-100)'라는 것은 저장량이 729이고, 선호도가 가장 좋은 프로그램부터 선호도가 100번째인 프로그램까지 저장한다는 의미이다. <그림 3>은 NVOD용 프로그램 채널 수를 1개부터 30개 까지 변경해 보면서, 각각을 3.2절에서 제시한 절차에 따라 반복 수행할 때의 최소 VOD서비스 운영 비용의 변화를 보여 주고 있다. 이때, NVOD용 프로그램의 채널 수를 5개로 두고 서비스 하는 것이 최적임을 알 수 있다.

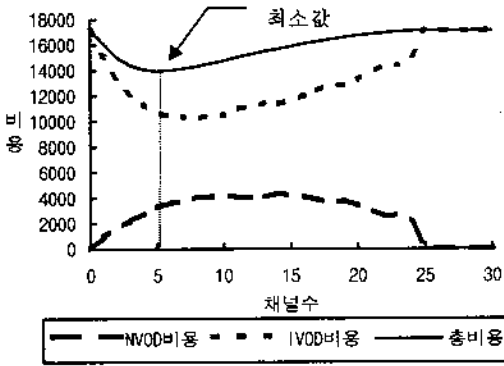
4.2 모형2

본 실험에서의 NVOD용 프로그램 채널 수(m_j)는 각 프로그램을 신청한 가입자 중 시청을 포기하는 평균 신청자 수(L)에 의해 결정 된다.

<그림 4>는 시청을 포기하는 평균 신청자 수를 710으로 두고, NVOD용 프로그램 종류 수를 0개부터 선호도의 내림차순으로 J 개까지 NVOD비디오 서버에 할당할 때, VOD 서비스

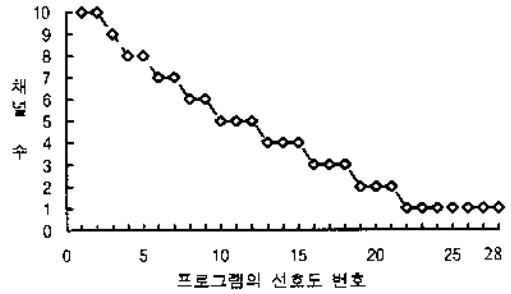
〈표 2〉 최적 IVOD용 비디오 서버 위치, 프로그램 종류 및 저장량

중심국	계층 4 중심국		계층 3 중심국		계층 2 중심국				계층 1 중심국	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
저장량	0	0	0	729	452	562	0	562	394	452
종류	(0)	(0)	(0)	(1-100)	(1-100)	(1-100)	(0)	(1-100)	(1-100)	(1-100)



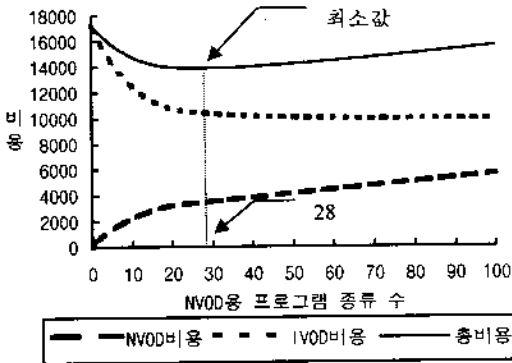
〈그림 3〉 NVOD용 프로그램의 채널 수에 따른 최소 서비스 운용 비용

된 프로그램 저장량은 28이 되며, NVOD로 서비스하는 28종류의 프로그램에 대한 채널 수는 〈그림 5〉와 같다.



〈그림 5〉 NVOD용 프로그램의 채널 수

운용 비용의 변화를 보여 주고 있다.



〈그림 4〉 L=710일 때, NVOD용 프로그램 수의 변화에 따른 서비스 운용 비용

〈표 3〉은 VOD서비스 운영 비용이 최소가 될 때, IVOD용 비디오 서버 위치와 설치된 비디오 서버에 저장된 프로그램의 저장량 및 프로그램 종류를 보여 주고 있다.

〈그림 6〉은 시청을 포기하는 평균 신청자 수(L)를 변경해 보면서 각각을 3.3절에서 제시한 절차에 따라 반복 수행할 때의 최소 VOD서비스 운영 비용의 변화를 보여 주고 있다. 이때, 시청을 포기하는 평균 신청자 수를 707에서부터 712까지 두고 서비스하는 것이 최적임을 알 수 있다.

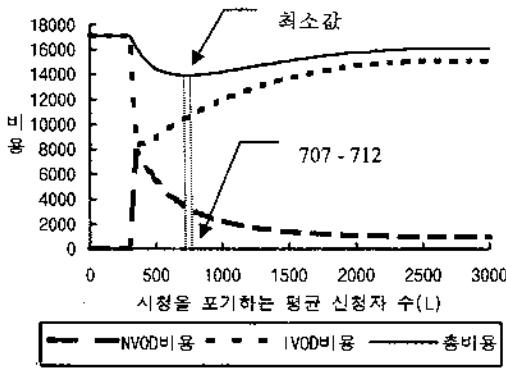
〈그림 3〉과 〈그림 6〉으로부터 서비스 운용 비용 측면에서 모형2가 모형1에 비해 다소 좋은 결과를 보여 주고 있다. 이는 모형1에서 NVOD용 프로그램들의 최적 채널 수를 동일하게 고정할 반면, 모형2에서는 수요에 따라 최적 채널 수를 달리하기 때문이다. 서비스 운용 비용은 파라미터 값들 중 NVOD 신청자의 평균 대기 시간에 민감하였다(〈그림 7〉 참조). 〈그림 7〉에서 적용된 파라미터 값은 본 장에서 주어진 파라미터 값에 따른 각 모형의 채널 수는 서비스 운용 비용이 최소가 되는 최적의 채널 수를 구하여 두었다.

이로부터 서비스 관리자는 IVOD와 NVOD 혼합 서비스의

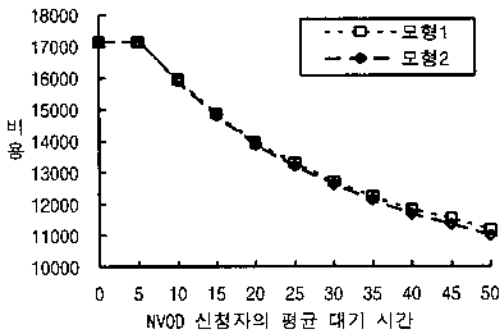
〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 혼합 서비스의 총 서비스 운영 비용을 최소화 하기 위해서는 NVOD용 프로그램 종류 수를 28개 할당했을 때, VOD 서비스 운용 비용이 13,881이 되어 최적임을 알 수 있다. 이때, NVOD용 비디오 서버에 할당

〈표 3〉 최적 IVOD용 비디오 서버 위치, 프로그램 종류 및 저장량

중심국	계층 4	계층 3			계층 2				계층 1	
	중심국	중심국			중심국				중심국	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
저장량	0	0	0	711	440	546	0	546	386	440
종류	(0)	(0)	(0)	(1-100)	(1-100)	(1-100)	(0)	(1-100)	(1-100)	(1-100)



〈그림 6〉 L의 변화에 따른 최소 서비스 운용 비용



〈그림 7〉 평균 대기 시간의 변화에 따른 최소 서비스 운용 비용

경우, NVOD를 신청하는 가입자가 가능한 긴 시간 동안 시청을 포기하지 않도록 유도하는 방안을 마련하는 것도 중요함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 다계층 VOD서비스 망에서 IVOD와 NVOD 혼합 서비스를 위한 자원 최적화 문제를 다루었다. 이를 위해 NVOD용 프로그램의 채널 수를 산정하는 두 가지의 NVOD

서비스 정책에 따라 각각 모형1과 모형2를 제시하였다. 또한 각 모형에 따라 IVOD와 NVOD의 각 서비스 운용 비용(프로그램 전송 비용, 저장 비용 그리고 비디오 서버 설치 비용)의 합이 최소가 되는 NVOD서비스를 위한 프로그램 종류와 그 양을 결정하였다. 그리고 그 때에 IVOD 서비스에 대한 비디오 서버의 위치 선정 및 설치된 비디오 서버에 저장 시킬 프로그램의 종류와 그 양을 결정하는 문제를 동적계획법을 이용하여 해결하였다.

본 연구는 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 다계층 통신망에서 망 자원의 최적화를 위한 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

【참 고 문 헌】

- [1] Petit, G.H., Deloddere, D., and Verbiest, W., "Bandwidth Resource Optimization in Video-On-Demand Network Architectures," *IEEE GLOBECOM'94*, pp.91-97, 1994.
- [2] Gelman, A. D. and Halfin, S., "Analysis of Resource Sharing in information Providing Services," *IEEE GLOBECOM'90*, pp.312-316, 1990.
- [3] Sincoskie, W. D., "Video on Demand: Is it Feasible?," *IEEE GLOBECOM'90*, pp.201-205, 1990.
- [4] IGI Consulting, "Video Dialtone & Video on Demand", *VDT 2000*, vol.3, 1995.
- [5] Hodge, W. and Milligan, C., "True Video on Demand VS. Near Video on Demand, Statistical Modeling, Cost, & Performance Trade-offs," *NCTA TECHNICAL PAPERS*, pp.157-172, 1994.
- [6] Ishihara, T., Tanaka, J., Nakajima, I., Okuda, M., and Yamashita, H., "Modeling and Evaluation of Broadband Access Networks for Multimedia Services," *IEEE GLOBECOM'94*, pp.117-125, 1994.

- [7] Hodge, W., Mabon, S., and Jone T. Powers, Jr., "Video On Demand : Architecture, Systems, and Applications," SMPTE Journal, pp.791-803, 1993.
- [8] Sinkoskie, W. D., "System Architecture for a Large Scale Video on Demand Service," Computer Networks and ISDN Systems, vol. 22, pp.155-162, 1991.
- [9] Hessenmuller, H., "The use of large CATV networks as an infrastructure for interactive video services," Australian Telecommunication Networks & Applications Conference, pp.69-74, 1994.
- [10] Giovanni, L.De., Langellotti, A.M., Patitucci, L.M., and Petrini, L., "Dimensioning of Hierarchical Storage for Video on Demand Services," IEEE ICC'94, pp.1739-1743, 1994.
- [11] Schaffa, F. and Nussbaumer, J-P., "On Bandwidth and Storage Tradeoffs in Multimedia Distribution Networks," IEEE INFOCOM'95, pp.1020-1026, 1995.
- [12] 김여근, 조명래, 김재윤, "동적계획법을 이용한 다계층 VOD망의 저장량 결정," 산업공학, 제9권, 제3호, pp. 202-213, 1996.



조명래(趙明來)

현재 전남대학교 산업공학과 박사과정
에 재학중이며, 전남대학교 산업공학
과에서 학사(1990), 석사(1993)학위를
취득하였으며, 1991년 (주)기아자동차
에서 근무하였다. 주요 관심분야는 통
신망 공학, 조합 최적화, Genetic Algo-
rithm, Tabu Search의 응용, Line
Balancing 등이다.



김여근(金汝根)

현재 전남대학교 산업공학과 교수로
재직중이다. 서울대학교에서 학사(1976),
석사(1979) 및 박사(1986)학위를 취득
하였다. 주요 관심분야는 Genetic Al-
gorithm, Tabu Search와 Simulated
Annealing의 이론과 응용, 조합 최적
화, 흐름생산 계획 및 설계, 통신망 설
계 및 운영 등이다.



조 건(趙 健)

현재 전남대학교 경영학과 전임강사로
재직중이다. 전남대학교 수학과에서
이학사(1983), 서울대학교 수학과에서
이학석사(1986), 미국 퍼듀대학교 산
업공학과에서 O.R. 전공으로 공학박사
(1994)를 취득하였다. 1995년에는 한
국전자통신연구소 초고속연구기획실에
서 Post-Doc.으로 재직한 바 있다. 주
요 관심분야는 근거리통신망설계, 이
동통신 채널할당문제, VOD망 설계,
Job Shop Scheduling문제, CALS/EC
등이다.