

고속프린터의 병목 없는 구조

이 강 우†

요 약

세계의 프린터 시장이 지속적으로 성장하고 있으며 특히 네트워킹의 확대에 따라 프린팅 서비스 스테이션으로 활용할 수 있는 고속프린터에 대한 수요가 급증하고 있다. 그러나 현재까지 중·저속프린터의 인쇄화질과 응용프로그램에 관련된 연구만이 보고되고 있을 뿐 고속프린터의 구조와 속도에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 고속프린터의 구조와 속도에 대한 연구가 절실하다. 본 논문에서는 고속 인쇄를 위한 요구사항을 충족시키는 고속프린터의 구성요소를 정의하고 각 구성요소의 상호작용 및 프린터의 전체 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 토대로 최고 163.52 PPM의 성능을 갖는 고속프린터의 최적사양을 정의하였다. 또한 본 논문은 고속프린터의 성능과 구조에 대한 선구적인 연구결과 및 방법론을 제시한다는 측면에서 그 중요성을 갖는다.

Bottleneck-Free Architecture of A High Speed Printer

Kangwoo Lee†

ABSTRACT

The proliferation of Information Technology and Business Automation become the mainstay of the growth of world printer market. Especially the demand for high speed printers increases drastically as the need for printing service station in networked computing environment grows. However outstanding research activities are seldom reported. Only efforts are currently focused on the printing quality and development of application programs for low or midium speed printers. This stimulates the research for high-speed printers. In this paper, we first defined the architectural components of high-speed printers so that the performance requirements can be satisfied. The individual impacts of each module on overall throughput are then elaborately analysed. Based on this result, we accomplished well-tuned system architecture which presents up to 163.52 PPM. Another contribution of this paper can be found in that this is one of the first articles that deal with the architecture and the performance of high-speed printers.

키워드 : 네트워킹 프린팅 스테이션(Network Printing Station), 고속 프린터(High-speed Printer), 시스템 시뮬레이션(System Simulation), 성능 평가(Performance Evaluation)

1. 서 론

정보산업의 활성화와 사무자동화의 확산에 따라 프린터 시장이 지속적으로 성장하고 있다. 이와 같은 시장 성장의 원동력은 컬러프린터의 저가화 추세와 디지털 카메라의 보급에 따르는 사진프린터의 등장, 그리고 흑백 레이저프린터의 꾸준한 판매 증가에 있으며 2004년도 세계 프린터시장의 규모는 100조원에 이른다고 보도된 바 있다[4]. 또한 IDC에 의하면 레이저프린터는 잉크젯프린터에 비하여 판매 대수는 적으나, 판매 액수를 기준으로 할 때 이미 50%를 상회하고 있으며 이와 같은 성장세가 지속되어 2006년도에는 전체 시장의 약 3/5를 점유할 것이다. 이러한 프린터시장의 동향은 요약하면 다음과 같다. 최근에는 네트워킹의 확대에 의하여 초당 수십 쪽 이상을 인쇄할 수 있는 고성능 네트워크 프린

팅 스테이션 시장이 형성된 후 그 규모가 급속하게 성장하고 있다.

이러한 프린터시장의 성장 추세와 아울러 급증하는 기술 수요에도 불구하고 프린터에 관련된 연구는 국내·외, 산·학·연을 막론하고 타 분야의 연구 활동에 비하여 대단히 미약하다. 그나마 잉크젯 프린터를 겨냥하여 인쇄 화질을 개선하기 위한 노력에만 치우쳐 있을 뿐이며 레이저프린터의 구조와 속도 향상에 대한 연구는 거의 보고 되지 않고 있다. 따라서 미래의 프린터 시장을 주도해 나갈 고속프린터의 구조와 성능에 대한 연구를 통하여 고속프린터에 관련된 기반 기술을 확보하는 것이 절실하다. 뿐만 아니라 고속프린터의 설계 및 성능평가 등에 대한 연구의 방법론을 정립하는 것도 또한 매우 시급한 현실이다.

이에 본 논문에서는 고속프린터의 구조와 성능향상에 대한 연구를 소개한다. 우선, 고속프린터에 대한 전반적인 정보가 부족하므로, 이에 대한 기본적인 구조 및 각 구성요소들

† 정 회 원 : 동국대학교 정보통신공학과 교수
논문접수 : 2004년 2월 20일, 심사완료 : 2004년 3월 15일

의 기능과 더불어 처리량(throughput)을 극대화하기 위한 두 가지 인쇄방식에 대하여 간단히 설명한다. 그리고 고속인쇄를 수행할 때 각 구성요소의 성능과 그들이 다른 모듈들도 물론 전체적인 성능에 미치는 영향을 면밀히 분석한다. 이 분석결과를 토대로 시스템의 성능을 저하시키는 모듈들을 진단하여 그 요인을 순차적으로 제거함으로써, 전체 시스템이 안정적인 상태에서 최고의 성능을 보일 수 있는 구조를 제시하고자 한다.

이 과정에서 얻어진 있는 연구 성과는 다음과 같이 요약된다. 첫째는 고속프린터는 동시에 많은 인쇄요청을 처리하므로 인쇄과정에서 발생하는 대용량의 비트맵 파일을 저장할 수 있는 하드디스크가 필요하다. 둘째는 비트맵 파일과 같이 대용량이며 순차적인 접근을 요구하는 데이터는 하드디스크에 다수의 연속된 섹터에 저장하여야 한다. 셋째는 프린터 비디오 제어기와 프로세서 모듈에 가장 많은 작업부하가 실리므로 높은 사양을 갖추어야 한다. 끝으로, 이 두 모듈 중 어느 하나의 사양을 높이면 다른 한 모듈에 과부하가 야기되어 심각한 병목이 될 가능성이 높으므로 이 두 모듈의 사양을 정의함에 있어서는 상호 균형을 고려하여야 한다.

이러한 연구를 수행하기 위해서 본 연구에서는 프로세스-지향(process-oriented) 사건-구동(event-driven) 시뮬레이션 기법을 사용하였다. 이 방법을 통하면 각 모듈의 활용도(utilization), 대기열 길이(queue length) 및 처리량 등이 측정할 수 있다. 이때, 대기열 길이보다는 활용도를 더 중요한 성능평가의 근거로 사용하였다. 시뮬레이터에 부과될 작업부하는 동국대학교의 컴퓨터 실습실에 있는 프린터 서버에서 수집한 인쇄요청 트레이스를 사용하였다.

이와 같은 방법으로 최적화된 시스템은 최고 분당 163.52 쪽을 인쇄할 수 있다. 그리고 더욱 중요한 것은 본 논문에서 소개한 시뮬레이션 환경 및 연구수행 방법론은 이 분야에서는 거의 최초로 소개되는 것으로써 향후 이 분야의 연구에 있어서 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 프린터에 관련된 연구를 소개한다. 제3장에서는 고속프린터의 기본적인 구조와 각 구성요소들의 기능을 소개하며, 제4장에서는 고속프린터에서의 인쇄 방식을 자세하게 소개한다. 시뮬레이션 환경 및 실험 방법을 제5장에서 설명한 후, 제6장에서는 실험결과와 그에 대한 상세한 분석을 시행하였다. 제7장의 결론 및 향후 연구 과제를 요약하며 본 논문을 마친다.

2. 관련 연구

프린터에 관한 연구는 인쇄화질에 관한 연구와 구조 및 성능에 관한 연구로 구분된다. 우선, 인쇄화질에 관한 연구사례를 알아본다. [8]에서는 μ -LMS 알고리즘을 적용한 실제 프

린터로부터 얻은 신호처리 모델을 사용하여 효율적인 하프톤잉이 가능한 방법을 제시하였다. 신호처리 모델을 이용하여 얻어진 노출과 실제 모델을 통해 얻어진 평균노출을 비교하여 최적화된 신호처리 모델의 패턴들을 구했으며, 최대평균율의 보정 네트워크와 16개의 실험패턴을 이용해야 한다고 주장한다.

[6]에서는 일반적으로 레이저프린터에서의 도트 겹침같은 왜곡을 줄이기 위한 방법인 클러스터-도트 순서 디더링에서 발생하는 그레이-스케일 해상도의 왜곡을 예측하여 그레이-스케일 해상도를 도리어 증가시키게 하였다. 또한 유용한 하프톤잉 방법으로 알려진 오차 확산법의 복잡도가 높음을 지적하고 이를 수정하는 방안을 제안하여 보다 높은 선명도를 가지게 하였다.

[7]에서는 레이저프린터에서 주 평가 패턴(subjective evaluation pattern)을 이용하여 프린터가 사용자가 의도한 크기와 모양으로 정확하게 찍혔는지를 확인하고 오차를 조정하는 방법을 소개하였다. 이러한 측정 패턴에 의해 출력된 선의 굵기에 따라 팽창율을 다섯 단계로 구분하여 고속의 조정을 가능하게 한다.

한편 [2]에서는 레이저프린터의 노광 과정에서의 수평 지터 발생여부를 판단하는 장비를 제안하였다. 이는 스캐닝 유닛의 스캐닝시간을 측정하여 검사하도록 하였다. 이와 관계된 또 다른 연구로는 화질을 개선 위한 레이저 스캐닝 유닛 지터의 동특성 변경 연구가 있다[3]. 이는 지터의 원인을 추정하여 개선방법을 소개한다.

마지막으로 [5]는 토너의 대전량을 측정 한 결과 저속프린터의 토너는 반대전하의 양이 미미하나, 중속 및 고속프린터에서는 상당량의 반대전하를 가졌으며, 반대전하를 갖는 토너입자는 효율을 감소시킴을 발견하였다. 또한, 반대전하의 토너는 화상형성시의 해상도를 감소시킬 것이라 하였다.

프린터에 관한 두 번째 연구 분야는 인쇄 속도에 관한 연구인데 이 부분에 있어서의 연구는 전무한 상태이다. 결론적으로 국외의 연구는 연구 활동이 대부분 화질개선에 대한 연구에 편중되어 있으며 인쇄 속도에 관한 연구는 매우 미미한 수준에 그치고 있다. 국내에서는 그나마 인쇄 속도에 관한 연구가 전무하다.

3. 고속프린터의 구조

현재 광범위하게 사용되고 있는 일반적인 프린터는 인쇄요청이 있을 때 프린터 메모리의 가용 용량에 따라 인쇄할 파일 중 일정량의 데이터만 호스트로부터 전송받아 프린터 내의 메모리에 저장한다. 인쇄할 파일의 나머지 부분은 호스트의 하드디스크 스펴공간에 남아있다. 프린터는 전송받은 데이터에 대하여 페이지 단위로 비트맵(bitmap) 파일을 생성

한다. 이 비트맵 파일은 역시 페이지 단위로 프린터 비디오 제어기(PVC : printer video controller)를 경유하여 최종 목적지인 인쇄출력엔진으로 전송된다. 비트맵 파일을 PVC에 전송하기 시작함으로써 메모리에 있던 파일들은 삭제되며 프린터는 호스트로부터 파일의 다음 부분을 전송받아 인쇄를 위한 처리를 계속한다. 이 과정은 하나의 파일에 대한 인쇄가 종료될 때까지 반복된다.

이런 인쇄 방식을 스푼 인쇄(spooled printing)라 한다. 이 인쇄방식에서는 호스트와 프린터의 통신과 비트맵 파일의 생성 및 프린터 비디오 제어기로의 데이터 전송이 순차적으로 이루어진다. 이 경우 각 처리 단계를 마친 데이터를 저장해 둘 임시 저장 공간이 충분하지 못하여, 한 단계의 작업이 종료되었더라도 다음 단계로의 이동이 지연되면, 현 단계를 포함하여 이전의 모든 단계의 작업이 연쇄적으로 중단되는(stall) 현상이 발생한다. 따라서 프린터 내의 프로세서, 메모리, 버스 및 데이터의 입출력 모듈 등 제반 자원의 활용도가 매우 낮다. 이는 곧 프린터의 인쇄 속도를 제한하는 결정적인 요소가 된다.

(그림 1) 고속프린터의 구조

(그림 1)은 고속프린터의 구조를 보여준다. 이 고속프린터의 가장 큰 구조적인 특징은 프린터 내에 대용량 저장장치인 하드디스크가 있어서 호스트로부터 데이터를 한번에 전송받아 저장할 수 있어서 인쇄시간을 단축할 수 있다. 또한, 한 단계에서의 처리가 종료되었으나 다음 단계의 모듈이 지연되어 다음 단계로 전송되지 못한 데이터를 하드디스크에 저장할 수 있다. 이와 같이 작업 중단을 최소화하여 자원 활용도는 물론 최종적으로는 단위시간 당 인쇄 속도를 향상시킬 수 있다.

또한, 고속프린터 내의 하드디스크는 저장 인쇄(stored printing)라는 새로운 인쇄방식을 가능하게 한다. 이 방식은 자원 활용도와 인쇄 속도를 더욱 향상 시키는데, 이에 대한 자세한 내용은 제4장에서 다루기로 한다. 다음의 절들에서는 고속프린터의 각 구성요소에 대하여 자세히 알아본다.

3.1 네트워크 카드(NIC : Network Interface Card)

프린터와 호스트 컴퓨터를 연결하는 장치로써 호스트로부터

터 전송받은 파일을 버퍼에 저장한다. 이 파일은 PCI 버스를 경유하여, 프로세서 모듈의 상태에 따라, 메모리나 하드디스크로 전송된다. 즉, 프로세서 모듈이 작업을 수행하고 있다면 파일은 하드디스크로 전송되며, 만일 프로세서 모듈이 어떠한 작업도 수행하고 있지 않다면 파일은 메모리로 전송되어 바로 인쇄를 위한 처리과정에 들어간다. 네트워크 카드의 버퍼 모듈은 FIFO 구조의 일정한 크기의 버퍼들로 구성되어 있다.

3.2 PCI, 프로세서 지역버스(PLB : Processor Local Bus) 및 브리지(Bridge)

PCI는 프린터의 모듈들을 연결하여 주는 연결망으로써 PCI를 경유하는 통신의 사례는 모두 6가지가 있다. 고속프린터의 원활한 작동을 위해서는 각 사례마다 PCI에 대한 사용권한의 우선순위를 적절히 배정하여 프린터의 최적 성능을 도모하여야 한다. 본 연구에서는 PCI에 대한 우선순위를 <표 1>과 같이 설정하였다. 이러한 우선순위의 배정원칙은 출력단에 가까운 모듈에게 높은 우선순위를 배정하는 것이다.

<표 1> 버스 사용권에 대한 우선권

우선순위	버스 사용을 요청하는 내용
1	메모리에서 PVC로 비트맵 파일전송
2	하드디스크에서 메모리로 압축 비트맵 파일 전송
3	하드디스크에서 메모리로 압축되기 전의 파일 전송
4	메모리에서 하드디스크로 압축 비트맵 파일 전송
5	네트워크 카드에서 메모리로 파일 전송
6	네트워크 카드에서 하드디스크로 파일 전송

한편, 프로세서 지역버스는 프로세서 모듈 내의 캐시와 주 메모리 사이의 데이터 이동 경로이다. 일반적으로, 프로세서 지역버스는 PCI와 비교하여 속도나 데이터 라인의 수가 다를 수 있다. 이에 PCI와 프로세서 지역버스 사이에 있는 브리지에는 버퍼를 두어 대역폭의 차이로 인하여 발생할 수 있는 문제를 예방한다.

3.3 하드디스크

고속프린터에서 하드디스크에 저장되는 파일은 호스트에서 전송되어 온 파일과 프로세서 모듈에 의하여 생성된 비트맵 파일이다. 비트맵 파일은 압축되어 저장되기도 하는데, 이 과정은 저장 인쇄과정에서 발생한다.

한편, 비트맵 파일은 인쇄 해상도가 600dpi(dots per inch)인 경우 A4용지 한 쪽의 흑백 데이터는 4MBytes에 이른다. 예를 들어 한 파일이 10쪽으로 이루어져 있다면, 프린터 내부에서는 한 쪽당 4MBytes씩, 총 40MBytes 크기의 비트맵 파일이 생성된다. 따라서 파일의 평균 크기가 대단히 크다.

이러한 경우는 멀티미디어 데이터를 다루는 시스템에서 쉽게 찾을 수 있다.

한편, 일반적으로, 하드디스크의 섹터(sector)는 512Bytes 이므로 1KBytes의 파일은 최소한 두개의 섹터에 저장된다. 이 두 섹터가 서로 인접하지 않는 경우, 이 파일에 접근하려면 각각 두 번씩의 탐색지연(seek time), 회전지연(rotational delay)과 데이터 전송지연(data transfer time)이 요구된다. 그러나 이들이 인접하다면 단 한번씩의 탐색지연과 회전지연 및 전송지연이 필요하다. 따라서 하나의 파일을 저장하는 섹터들이 격리되어 할당되는 경우에는 심각한 성능저하가 초래된다.

현재 하드디스크의 탐색지연과 회전지연이 각각 10msec 안팎이라는 사실을 감안할 때, 고속프린터와 같이 대용량의 파일들을 다루는 시스템에서는 데이터를 하드디스크에 효율적으로 저장하는 일이 대단히 중요하다. 이에 본 연구에서는 고속프린터에서 파일들을 저장하는 연속된 섹터의 수가 전체 성능에 미치는 영향을 분석하여 최적의 연속된 섹터의 수를 찾아내고자 한다. 이는 고속프린터 내부의 파일 시스템을 규정하는데 있어서 매우 중요한 연구 결과를 제공할 것이다.

3.4 주 메모리

주 메모리는 일반 컴퓨터나 중·저속 프린터에서와 같이 프로세서가 처리할 데이터를 한시적으로 저장하는 공간으로 사용된다. 고속프린터 내부의 모든 모듈들은 PCI와 브리지를 공유하여 메모리와 데이터를 주고 받는다.

3.5 프로세서 모듈

고속프린터의 프로세서 모듈에는 두개의 엔진과 캐시로 이루어져 있다. 첫째 엔진은 비트맵 파일 생성기(bitmap file generator)라 부르며, 인쇄할 파일을 쪽 단위로 비트맵 파일을 생성한다. 둘째는, 제4장에서 다룰 저장 인쇄를 위하여, 비트맵 파일을 압축하거나 압축을 해제하는 작업을 수행한다. 이를 위한 프로그램은 메모리에 저장된다. 물론, 빠른 처리를 위하여 전용 하드웨어를 제작하여 사용할 수도 있다.

3.6 프린터 비디오 제어기(PVC : Printer Video Controller)

PVC는 고속프린터의 모듈들과 실제로 인쇄를 담당하는 출력엔진 사이에 위치하며, 비트맵 파일을 메모리로부터 전송받아 출력엔진으로 직렬(serial) 방식으로 전송한다. 이를 위하여 PVC에는 버퍼를 두는데, 일반적으로 여러 개의 FIFO가 하나의 단위로 구성된다. 하나의 FIFO가 먼저 채워지면 직렬출력포트(SOP : Serial Output Port)로 데이터를 전송하며, 그 동안 다른 FIFO에 데이터가 채워져 연속적인 데이터 출력이 가능하다.

출력속도를 높이기 위해서는 세 가지 방안이 가능하다. 첫째는, 출력 주파수를 높이는 것이다. 둘째는, FIFO의 수를 늘려 데이터 부족으로 인하여 출력이 중단됨을 방지한다. 셋째로는, SOP의 수를 늘린다. 이 경우, 그에 따르는 FIFO의 수가 자연적으로 증가하기도 한다. (그림 2)는 이 모듈의 일반적인 구조를 보여준다. 그림에서는 FIFO를 각 두개씩 갖는 SOP가 두개 있는 경우이다.

(그림 2) PVC의 구조

4. 고속프린터의 동작

일반적인 프린터가 지원하는 스푼 인쇄 방식에서는 인쇄 작업들이 순차적으로 처리된다. 고속프린터에서는 이외에도 저장 인쇄를 지원한다. 이 방식은 생성된 비트맵 파일을 PVC에 전송하여 인쇄하는 대신, 비트맵 파일을 일단 압축하여 하드디스크에 저장한다. 압축된 파일은 이후 일정한 시점에 메모리로 전송되어 프로세서 모듈에 의해 압축이 해제된 후 PVC로 전송되어 인쇄된다.

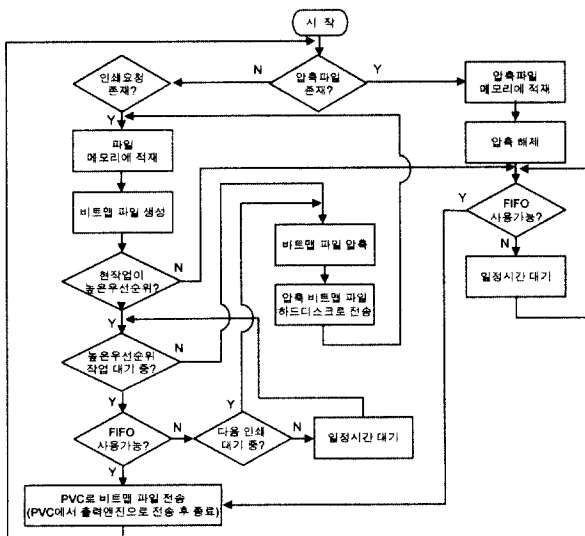
저장 인쇄방식을 지원하는 목적은 두 가지이다. 첫째는 하드웨어 자원들의 사용 효율을 높임으로써 전체적인 성능을 향상시키는 것이다. 예를 들어, 프로세서 모듈이 생성한 비트맵 파일은 PVC로 전송되는데, 만일 PVC에 사용가능한 FIFO가 없으면, 비트맵 파일은 FIFO가 사용가능하게 되기 까지 기다려야 한다. 이때 다음 인쇄요청이 있으면 이 비트맵 파일을 압축하여 하드디스크에 저장하고 다음에 인쇄할 파일의 비트맵 파일을 생성한다. 이 동안 FIFO가 비워지면 이 비트맵 데이터를 PVC로 전송하지만 아직도 FIFO가 비워지지 않았다면 다음 인쇄요청에 대하여 이 과정을 반복한다. 또한, 이전 파일의 인쇄가 종료되기 전에, 다음에 인쇄될 파일의 비트맵 파일을 생성하여 놓음으로써 전체적인 출력대기시간(turn around time)을 단축하고 높은 처리량을 보일 수 있다.

저장 인쇄방식의 두 번째 목적은 인쇄 작업에 우선순위를 부여하기 위함이다. 고속프린터는 많은 호스트 컴퓨터들의 인쇄요청을 처리하여야 하므로 중요한 인쇄요청을 우선적으로 처리할 수 있는 방안이 필요하다. 즉, 비트맵 파일의 생성

이 진행되는 도중에 우선권이 높은 인쇄요청이 발생하면, 비트맵 파일의 생성이 종료된 후 이를 압축한 후 하드디스크에 저장한다. 그리고 우선순위가 높은 파일의 비트맵 파일을 생성하고 이를 PVC로 전송하여 인쇄되도록 한다.

한편, PVC로의 전송이 연기된 비트맵 파일을 압축하는 이유는 한 쪽당 4MBytes에 이르는 비트맵 파일의 크기를 줄여 하드디스크의 저장효율을 높이고자 함이다. 또한 압축된 데이터를 메모리에 두지 않는 이유는 메모리의 저장효율을 높이기 위함이다. 즉, 유한한 용량의 메모리에 압축파일을 남겨두면 다음의 파일들을 처리할 때 페이지 결함(page fault)이 발생할 수 있다. 페이지 결함이 지속적으로 발생하는 경우 그 때마다 페이지 결함을 처리하는 것보다는, 압축파일을 하드디스크에 일시에 저장하는 것이 보다 효율적일 수 있기 때문이다.

PVC의 FIFO가 사용 불가능했거나 우선순위가 높은 인쇄요청으로 인하여 인쇄가 중단되었던 파일은 다음에 인쇄될 파일의 비트맵 생성이 종료된 후 인쇄과정이 복원된다. 복원 과정은 다음과 같다. 우선 하드디스크에 저장되었던 압축파일은 메모리로 전송되어 프로세서 모듈에 의하여 압축이 해제된 후 PVC로 보내어진다. 이 때FIFO가 부족하거나 우선순위가 높은 인쇄요청이 발생하더라도 인쇄 작업이 또 다시 중단되지는 않는다. 그 대신 FIFO가 비워질 때까지 대기하게 된다. 또한 인쇄요청의 우선순위를 두 단계만 두기로 하되, 중단되었다가 복원된 인쇄요청은 높은 우선순위를 갖는다. 이렇게 하는 이유는 하나의 인쇄요청이 여러 번 중단됨으로써 기아상태(starvation)에 드는 것을 방지하기 위함이다.



(그림 3) 고속프린터의 인쇄처리 과정

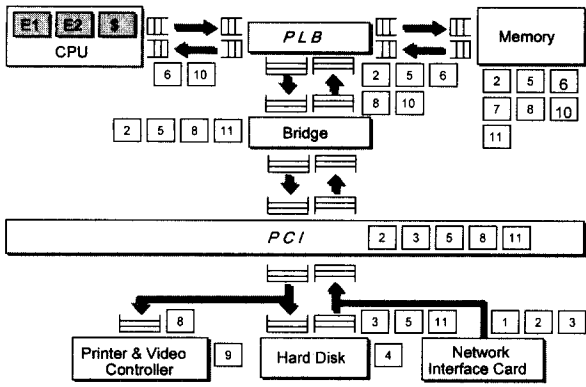
(그림 3)은 고속프린터의 인쇄요청 처리순서를 도식화한 것이다. 다음의 절에서는 두 가지 인쇄방식을 수행할 때 프

린터 내부에서 발생하는 동작을 프린터 모듈들의 관점에서 설명한다.

4.1 스푼 인쇄(Spoiled Printing)

스푼 인쇄의 처리 순서는 다음과 같다((그림 4) 참조).

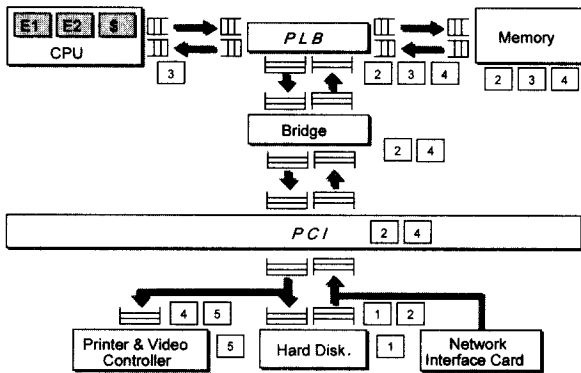
- ① 네트워크 카드의 버퍼에 파일이 저장되어 있다.
- ② 프로세서 모듈이 처리 중인 작업이 없는 경우, 버퍼의 데이터를 PCI 버스와 브리지 및 PLB를 경유하여 주 메모리로 전송한다(제 ⑥단계로 이동).
- ③ 프로세서 모듈이 처리 중인 작업이 있는 경우, 파일을 PCI 버스를 경유하여 하드디스크의 디스크캐시로 전송한다. 이 파일은 프린터의 다른 모듈과는 독립적으로 디스크제어기에 의하여 하드디스크의 미디어에 저장된다.
- ④ 순서가 되면 디스크캐시에 파일이 있는지 확인한다. 파일이 디스크캐시에 없는 경우, 하드디스크의 미디어로부터 디스크캐시로 파일을 읽어 들인다.
- ⑤ 파일을 디스크캐시로부터 PCI 버스와 브리지 및 PLB를 차례로 경유하여 주 메모리로 전송한다.
- ⑥ 프로세서 모듈은 인쇄될 파일의 비트맵 파일을 생성한다. 이 때, 데이터는 주 메모리와 프로세서 모듈의 캐시 사이를 PLB를 경유하여 이동한다. 이 과정은 한 파일의 모든 데이터에 대하여 중단되지 않고 연속적으로 진행된다. 생성된 비트맵 파일은 주 메모리에 남는다. 비트맵 파일의 생성이 종료되었으면 프로세서 모듈은 다음에 인쇄될 파일을 계속하여 처리한다.
- ⑦ PVC의 FIFO가 비어있고 우선권이 높은 인쇄요청이 대기하고 있지 않는 경우, 비트맵 파일은 메모리로부터 PLB, 브리지, PCI 버스를 경유하여 PVC의 FIFO로 전송된다. 단, FIFO가 비어 있지 않거나 우선권이 높은 인쇄요청이 대기하고 있는 경우에는 제 ⑩단계로 이동한다.
- ⑧ 비트맵 파일은 메모리로부터 PLB, 브리지, PCI 버스를 차례로 경유하여 PVC의 FIFO 전송된다.
- ⑨ PVC는, 다른 모듈과는 독립적으로, FIFO에 있는 데이터를 SOP를 통하여 인쇄엔진으로 전송한다. 한 파일에 대한 모든 비트맵 데이터가 출력되면 한 파일을 인쇄하기 위한 프린터의 동작은 종료된 것이다.
- ⑩ 프로세서 모듈이 비트맵 파일을 압축한다. 이 때, 데이터는 주 메모리와 캐시 사이를 이동한다. 또한 이 과정은 한 파일의 모든 데이터에 대하여 중단되지 않고 연속적으로 진행되며 압축된 비트맵 파일은 주 메모리에 남는다.
- ⑪ 압축된 파일은 PCI 버스를 경유하여 디스크 캐시로 전송되며, 이는 추후에 하드디스크의 미디어에 저장된다. 이 인쇄 작업은 저장 인쇄로 전환된다.



(그림 4) 스푼 인쇄의 대기열 모델

4.2 저장 인쇄(Stored Printing)

저장인쇄의 처리 순서는 다음과 같다((그림 5) 참조).



(그림 5) 저장 인쇄의 대기열 모델

- ① 저장 인쇄를 시작할 시점이 되면, 압축된 비트맵 파일이 디스크캐시에 없는 경우 하드디스크의 미디어로부터 디스크캐시로 파일을 읽어 들인다.
- ② 압축된 파일을 디스크캐시로부터 PCI 버스와 브리지 및 PLB를 경유하여 주 메모리로 전송한다.
- ③ 압축된 파일은 프로세서 모듈에 의하여 압축이 해제된다. 이 때, 데이터는 주 메모리와 캐시 사이를 이동한다. 이 과정은 한 파일에 대하여 중단 없이 연속적으로 진행된다. 압축이 해제된 비트맵 파일은 주 메모리에 남는다. 압축해제가 종료되면 프로세서 모듈은 다음에 인쇄될 파일을 계속하여 처리한다.
- ④ PVC의 FIFO가 비어있지 않으면, FIFO가 비워질 때까지 대기한다. 대기하는 동안 프로세서는 다른 작업을 수행하지 않는다. FIFO가 비워지면, 압축이 해제된 파일을 메모리로부터 PLB, 브리지, PCI 버스를 차례로 경유하여 PVC의 FIFO 전송한다.
- ⑤ PVC는, 다른 모듈에 독립적으로, FIFO에 있는 데이터를 SOP를 통하여 인쇄엔진으로 전송한다. 한 파일에 대한 모든 비트맵 데이터가 출력되면 한 파일을 인쇄하기 위한 프린터의 동작은 종료된 것이다.

5. 시뮬레이션

본 연구의 목적은, (그림 1)의 기본적인 구조를 바탕으로, 프린터에 과도한 인쇄요청이 도착하였을 때에도 인쇄 작업을 신속히 수행할 수 있도록 각 모듈의 최적 사양을 정의하는 것이다. 이를 위하여, 항상 일정한 수의 인쇄요청이 대기하고 있다고 가정하고, 프린터는 이들을 중단 없이 처리하도록 시뮬레이터를 구성하였다.

본 연구에서는 (그림 4), (그림 5)와 같은 고속프린터의 등가 대기열 모델(equivalent queuing model)을 설정하고, CSIM V.19 [9]을 이용하여 분포-구동 시뮬레이터를 구축하였다. CSIM은 프로세스 지향 이산 사건(discrete-event) 시뮬레이터를 구축할 때 사용되는 라이브러리 패키지이다. 시뮬레이션 결과는 주어진 작업부하에 대한 각 구성 모듈과 시스템의 전체적인 성능 데이터들이다. 예를 들면, 활용도, 평균 대기열 길이(average queue length), 응답시간(response time), 처리량 등이 있다.

다음 장에서는, 본 연구에서의 목표 시스템인 고속프린터의 사양에 대하여 자세히 알아보기로 하며, 이어서 고속프린터에 부과된 작업부하에 대하여 설명한다.

5.1 목표 시스템 사양

프린터 구성요소의 사양이 <표 2>에 요약되어 있다. 이 중 일부는 여러 개의 값을 갖는데, 이는 해당 구성요소의 사양을 다양하게 적용하여 그에 따르는 성능변화를 관찰하고자 함이다.

<표 2> 목표 프린터 시스템 구성요소들의 사양

구성 요소	사 양		
NIC	• Infinite Buffers		
PCI, PLB & Bridge	Items	PCI	PLB
	• Clock	33~166MHz	33~166MHz
	• Bandwidth	32bits	64bits
	• Arbitration	7cycles	3cycles
	• Burst mode	512Bytes	512Bytes
HDD	• IBM Deskstar Model • Average Seek time : 9msec • Average rotational delay : 4.2msec • Rotation speed : 7,200rpm • Sustained data rate : 37MBytes/sec • Head switch time : 1.5msec(10 Heads) • Cylinder switch time : 2msec • Average No. sectors per Track : 362 sectors of 512Bytes • Consecutive block allocation : 512Bytes~4MBytes		
Memory	• Size : Infinite • Clock : 100MHz • Latency : 3cycles + 2cycles per 64 bits		
Processor Module	• Clock : 100~500MHz • Bandwidth : 64bits • CPI : 2 • Cache : Infinite Cache with 32Byte blocks		
PVC	• Clock : 10~50MHz / 20~100MHz • Bandwidth : 32bits • SOP : 1 or 2 with 2 or 4 FIFO of 8x32bit buffers		

5.1.1 네트워크 카드

본 연구에서는 최대한의 작업부하가 적용되었을 때의 각 모듈의 동작상태를 관찰하고자 하므로 네트워크 카드 버퍼의 용량은 무한하여 언제든지 프린터에 충분한 양의 데이터를 공급하는 것으로 가정한다. 따라서 버퍼의 사양은 본 연구에서 수행한 실험결과에 어떠한 영향도 미치지 않는다. 또한 주 메모리의 크기와 프로세서 모듈의 캐시의 크기를 이와 같은 이유로 무제한으로 가정했음을 미리 밝혀둔다.

5.1.2 PCI, 프로세서 지역버스(PLB : Processor Local Bus) 및 브리지(Bridge)

PCI는 32 비트 데이터를 33~166MHz로 전송하며, 중재 지연(arbitration delay)은 7버스 사이클이며 최대 512Bytes 까지 연속적으로 전송(burst mode)할 수 있다고 가정한다. 프로세서 지역버스는 64개의 데이터 라인을 갖는다. 전송 속도는 33~166MHz이며 그에 따르는 성능의 변화를 관찰하고자 한다. 중재지연에는 3버스 사이클이 소요되며 최대 512Bytes 연속전송이 가능하다.

5.1.3 하드디스크

평균 탐색시간과 평균 회전지연을 각각 9msec과 4.2msec로 설정하였다. 그런데 탐색시간과 회전지연은 중복되어 발생하므로 총 지연 시간을 9msec으로 가정하였다. 회전속도는 7,200RPM, 데이터 전송율은 37MBytes/sec이다. 또한, 5개의 플래터에 10개의 표면을 가진 모델을 사용했으며 헤드 교체 시간은 1.5msec으로 한다.

한편, 비트맵 파일과 같이 대용량이며 대하여 순차적인 접근이 빈번한 파일은 여러 섹터에 연속적으로 저장하여야 한다. 예를 들어, 2MBytes의 파일은 4,096개의 섹터가 필요하며 트랙당 362개의 섹터와 10개의 표면을 가진 하드디스크에서는 최소한 두 개의 실린더가 필요하다. 이 경우 실린더 교체시간은 2msec으로 설정하였다.

또한, 한 파일에 할당된 연속된 섹터 수가 전체 성능에 미치는 영향을 최우선적으로 살펴 보기로 한다. 여기서 얻어지는 결과를 토대로, 각 모듈의 동작 특성과 전체성능에 미치는 영향을 분석한 후 최적의 고속프린터 구조를 제안할 것이다.

5.1.4 주 메모리

주 메모리는 100MHz의 속도를 가지며, 64비트의 데이터를 접근하기 위해서는 주소 해석(decoding)과 데이터 전송에 각각 3, 2메모리 사이클이 소요된다. 일반적으로, 주 메모리의 크기는 하드디스크 접근과 나아가 전체적인 성능에 영향을 준다. 본 연구에서는, 메모리의 크기를 무한대로 가정하여 메모리의 크기가 전체 시스템에 미치는 영향을 고려하지 않는다. 그러나 모든 데이터를 항상 주 메모리에 저장하는 것은

아니다. 즉, 네트워크로부터 입력된 파일은 입력 당시에 프로세서 모듈이 작업을 수행하고 있는 경우에는 하드디스크에 저장한다. 또한 저장 인쇄의 경우, 압축된 비트맵 파일은 하드디스크에 저장한다.

5.1.5 프로세서 모듈

프로세서는 64 비트모델로써 데이터 처리속도에 따르는 성능변화를 관찰하기 위하여 100~500MHz로 변화시키기로 한다. 명령어처리에 대해서는 하나의 명령어를 처리하는데 평균 두 사이클(CPI : cycles per instruction)이 소요된다고 가정한다. 끝으로 본 프로세서 모듈에는 캐시가 있으나, 앞에서 밝힌 바와 같이 그 크기를 무제한으로 설정하여 캐시 크기가 실험 결과에 미치는 영향은 무시하기로 하였다.

5.1.6 프린터 비디오 제어기

PVC의 사양을 변화는 방법은 다양하다. 첫째로 동작 속도를 변화시킬 수 있다. 둘째로는 FIFO의 크기 및 개수를 변화시킬 수 있고, 끝으로 SOP의 수를 변화시킬 수 있다. 본 연구에서는 각 SOP의 속도를 10~50MHz 및 20~100MHz로 변화시켜 보았다. 그리고 SOP는 1~2개로 변화시키며 각 포트마다 2~4개의 FIFO를 장착하였다. 각 FIFO는 8개의 32비트 버퍼로 이루어져 있다.

한편, 앞에서, PCI는 최대 512Bytes를 연속적으로 전송할 수 있다고 가정하였다. 그런데 하나의 FIFO의 크기는 32Bytes이므로, 비트맵 파일을 주 메모리로부터 PVC로 전송할 때는 최대 32Bytes를 연속적으로 전송하기로 한다.

5.2 작업 부하

프린터 구성요소의 사양과 프로세서 모듈이 비트맵 파일을 생성하고 이를 압축 및 해제하는 데 필요한 평균적인 명령어 수와 명령어 수 대비 데이터 접근율, 그리고 캐시 접근 실패율 등이 <표 3>에 요약되어 있다.

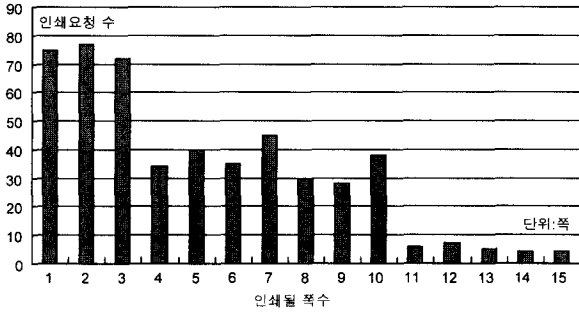
<표 3> 작업 부하

구성 요소	사 양		
작업 부하	• No. of Print Requests : 500 • Average File Sizes : 128KBytes • No. of Pages : 1~15		
	Items	Bitmap File Generation	Compress/Uncompress
	• Instr. per Byte	15	10
	• Data Access Rate	30%	30%
• Cache Miss Rate	20%	5%	

5.2.1 인쇄요청 트레이스

인쇄요청 트레이스는 동국대학교의 컴퓨터 실습실에 있는 프린터 서버로부터 추출하였다. 500개의 인쇄요청을 분석한

결과는 다음의 (그림 6)과 같다.



(그림 6) 인쇄요청의 작업부하 분포도

5.2.2 프로세싱 모듈의 작업처리 부하

비트맵 파일을 생성함에 있어서 한 바이트의 데이터 당 평균 15개의 명령어가 소요되고, 그 중 30%는 데이터접근 명령어이며, 또 그 중 20%는 캐시접근 실패로 설정하였다. 아울러 비트맵 파일의 압축 또는 압축해제에 있어서는 한 바이트의 데이터 당 평균 10개의 명령어가 소요되고, 그 중에서 30%는 데이터접근 명령어이며, 데이터 접근에 있어서는 5%의 캐시 접근 실패로 각각 설정하였다.

5.2.3 초기 천이상태(Initial Transient State) 제거

첫 인쇄요청이 도달하기 전에 고속프린터는 휴지상태(idle state)이다. 첫 요청이 도착한 후 비로소 일부 모듈의 동작이 시작되며 여러 개의 작업을 처리하면서 비로소 모든 모듈이 동시에 동작하는 상태가 된다. 이를 안정상태(steady state)라 하며, 안정상태에 이르기까지를 초기 천이상태라 한다. 이 시간 동안 일부 모듈의 동작하지 않는 시간구간은 안정상태 때의 그것보다는 길게 관찰된다.

정확한 성능분석을 위해서는 초기 천이상태의 영향을 최소화하여야 한다. 이에 본 연구에서는 10개의 인쇄요청이 도달한 상태를 초기상태로 설정하였다. 또한 안정상태에서는 시스템에 존재하는 인쇄요청의 수가 일정해야 하므로, 하나의 인쇄요청에 대한 처리가 종료되면 즉시 새로운 요청을 입력시킨다.

6. 시뮬레이션 결과 및 분석

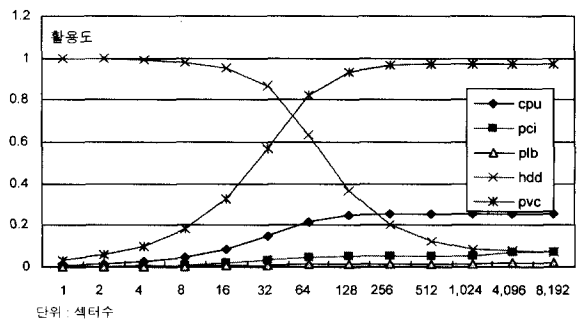
6.1 하드디스크 할당 방식의 영향

본 절에서는 하나의 파일에 할당되는 연속된 하드디스크 섹터의 수에 따르는 프린터의 성능변화를 분석한다. 예를 들어, 연속된 섹터가 2,048개인 경우, 1MBytes의 데이터가 연속적인 섹터에 저장됨을 의미한다. 이 때, 두 가지 예외적인 상황이 발생한다. 첫째는, 비트맵 파일이 아닌 일반 파일은 그 크기가 1MBytes보다 작을 수 있다. 이 경우에는 한 파일

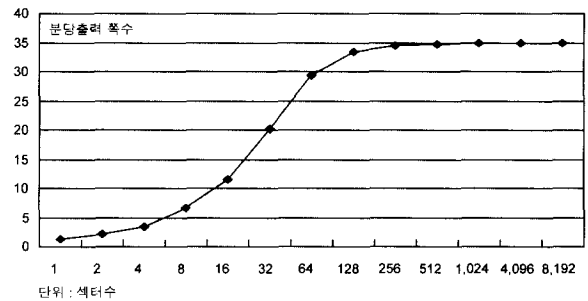
의 크기에 해당하는 섹터들만 할당된다. 둘째는, 하나의 실린더에 1,024개의 사용가능한 연속적인 섹터들이 존재하지 않을 수 있다. 이 경우에는 실린더의 위치에 따라 두 개 혹은 그 이상의 실린더가 필요하다. 이에, 데이터가 1MBytes 이상일 경우 평균적으로 두 개의 실린더가 필요한 것으로 가정하였다.

<표 4> (그림 7)을 위한 사양

모 들	프로세서 모듈	프린터비디오제어기			PCI	프로세서 지역버스
		속 도	포트 수	포트 당 FIFO 수		
사 양	200MHz	20MHz	1	2	33MHz	100MHz



(a) 활용도



(b) 분당 출력 쪽수

(그림 7) 하드디스크 연속저장 섹터 수에 따르는 성능변화

(그림 7)은 연속된 섹터의 수에 따르는 각 모듈의 활용도와 프린터의 분당 출력 쪽수를 보여준다. 이때 다른 모듈들의 사양은 <표 4>와 같다. (그림 7)(b)에서 보듯이 연속 저장되는 데이터의 크기는 시스템의 성능에 절대적인 영향을 미친다.

(그림 7)(b)에 따르면, 연속된 섹터가 128개 이상일 때는 분당 출력 쪽수의 변화는 그리 크지 않다. 그런데 일반적인 멀티미디어 파일시스템의 경우 연속 할당되는 섹터의 수를 주로 4,096개로 하고 있다. 따라서 본 연구에서도 다른 시스템과의 호환성을 확보하기 위하여 연속 할당되는 섹터의 수를 4,096개로 설정하기로 한다.

또한, 각 프린터 모듈의 활용도는 본 연구에서뿐만 아니라 일반적인 성능분석에 있어서 매우 중요한 의미를 갖는다. 활용도는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{활용도}(\rho) = \frac{\text{사용된시간}}{\text{전체시간}} \times 100(\%) \quad (1)$$

단순히 생각하면 ρ 는 크면 클수록 그 자원이 많은 양의 작업을 처리함을 의미하므로 시스템의 성능이 향상될 것으로 사료된다. 하지만, 이와 같은 해석은 매우 중대한 오류를 낼 수 있음을 다음을 통하여 알 수 있다.

대기열 이론에서 많이 사용되는 Little의 법칙[5]은 다음과 같다.

$$N = w \times \lambda \quad (2)$$

여기서 N 은 시스템에 존재하는 평균 작업의 수(average number of requests)이고 w 와 λ 는 각각 평균 선회시간(average turnaround time)과 작업요청의 평균 도착률(average arrival rate)을 나타낸다. 한편, N 은

$$N = \frac{\rho}{1-\rho} \quad (3)$$

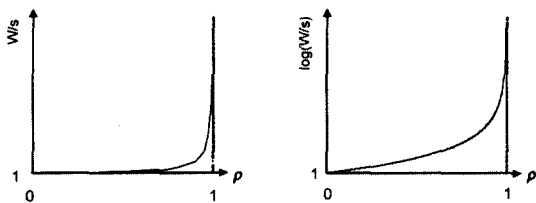
와 같이 표현되고 평균 처리시간(average service time) s 는

$$s = \frac{\rho}{\lambda} \quad (4)$$

로 표현된다. 식 (3), 식 (4)를 식 (2)에 대입, 정리하면 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다

$$\frac{w}{s} = \frac{1}{1-\rho} \quad (5)$$

이 식은, ρ 에 따르는 w 의 변화를 s 의 배수로 나타낸다. 이때 s 는 일정한 값을 갖거나 유한한 범위 내에서 변하는 반면 w 는 시스템에서의 자원의 활용도에 따라 광범위한 영역의 값을 갖는다. 식 (5)를 그래프로 표현하면 (그림 8)과 같다.



(그림 11) 평균 선회시간에 대한 활용도의 영향

이 그래프로부터 우리는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. ρ 가 작으면, ρ 의 증가에 따라 w 는 미미하게 변화한다. 그러나 ρ 가 크면, ρ 가 조금만 증가해도 w 는 크게 변한다. 이는 식 (4)로부터 $\rho = s \times \lambda$ 임을 감안할 때 더욱 쉽게 이해할 수 있다. 즉, ρ 가 클 때, 시스템에 도착하는 작업요청이 조금만 증가하더라도 ρ 는 선형적으로 증가하며, 그로 인하여 w

는 기하급수적으로 증가한다. 이는 곧 시스템이 안정상태에 있지 못하며 아주 작은 환경의 변화로 인하여 시스템에 과부하가 걸려 전체적인 성능이 치명적으로 저하될 수 있음을 보여준다.

물론, 위의 수식들은 M/M/1 유형의 대기열 모델로부터 유도된 것들이며, 본 연구에서 고려하고 있는 대기열은 이보다 훨씬 복잡하다. 따라서 위와 같은 결론을 본 연구의 성능분석 과정에 그대로 적용하기는 어렵지만, 자원의 활용도가 시스템의 전체적인 성능에 미치는 영향이 지대하다는 사실을 유추하기에는 무리가 없다.

이러한 사실을 토대로 (그림 7)(a)를 볼 때, 프린터 비디오 제어기와 프로세서 모듈은 전체적으로 매우 높은 활용도를 보인다. 특히 프린터 비디오 제어기는 연속된 섹터의 수가 128개 이상인 경우에는 활용도가 거의 100%에 이른다. 이는 곧, 이들이 향후 매우 중대한 성능저하를 야기할 수 있는 잠재적인 병목이 될 수도 있다는 해석을 가능하게 한다. 이에, 다음의 절들에서는 이들의 사양을 변화시켜가면서 전체적인 성능의 변화를 관찰함으로써 이들의 최적의 사양을 찾아내고자 한다.

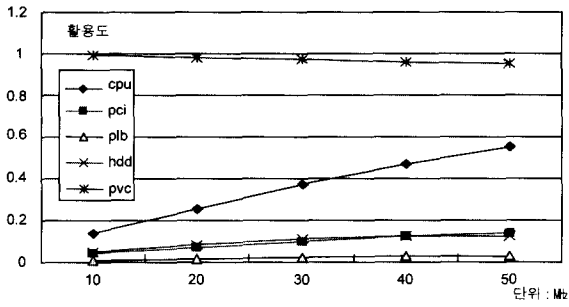
6.2 프린터 비디오 제어기의 영향

PVC는 위에서 지적한 바와 같이 80%를 상회하는 활용도를 갖는다. 즉, PVC는 시뮬레이션 시간 동안 거의 그치지 않고 작업을 주어진 수행한다. 다시 설명하자면, 프로세서 모듈에서 생성된 비트맵 파일은 PVC로 전송되어야 하는데, 이 순간에 PVC가 아직 이전의 작업을 종료하지 못했을 확률이 높다는 의미이다. 이때 비트맵 파일은 압축되어 하드디스크로 전송되어 저장 인채로 전환되며, 프로세서 모듈은 다음에 인쇄 요청된 파일에 대한 비트맵 파일을 생성한다. 이와 같은 상황을 요약하면 다음과 같다. PVC가 이전에 도착한 데이터를 처리하지 못함으로써 비트맵 파일의 압축, 압축된 비트맵 파일의 이동, 그리고 압축된 비트맵 파일의 압축해제 등의 부수적인 지연이 발생한다. 이는 곧 전체적인 성능저하를 야기한다. 따라서 본 장에서는 PVC의 데이터 처리속도를 향상시키기 위한 다양한 시도를 해 본다.

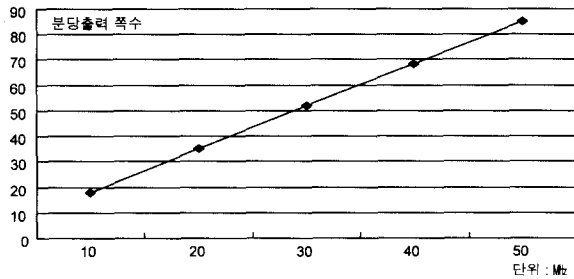
우선, PVC의 주파수를 10~50MHz로 변화시켜 보았다. (그림 9)는 이때의 각 모듈의 활용도와 프린터의 분당 출력 쪽수의 변화를 나타낸다. <표 5>는 나머지 모듈의 사양을 나타낸다. 그림에서 보듯이 PVC의 주파수에 따라 분당 출력 쪽수도 증가하여 최대 출력이 83.34PPM에 이른다. 그러나 활용도는 아직도 너무 높다.

<표 5> (그림 9~12)를 위한 사양

모 들	프로세서 모듈	하드디스크 연속섹터 수	PCI	프로세서 지역버스
사 양	200MHz	4,096	33MHz	100MHz



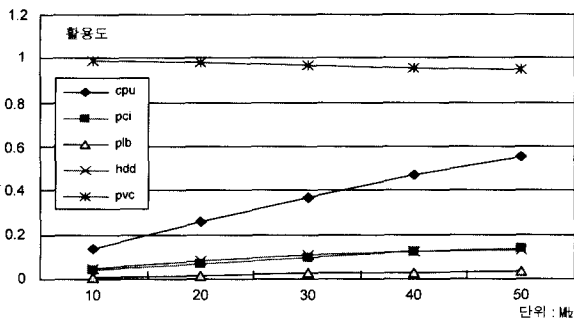
(a) 활용도



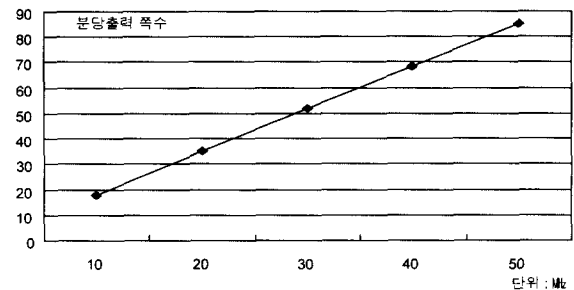
(b) 분당출력 쪽수

(그림 9) 프린터 비디오 제어기 속도변화에 따른 성능변화 (포트 1개, FIFO 2개)

또 다른 방법으로써 PVC내의 FIFO의 수를 증가시켜보았다. (그림 10)은 다른 모듈들이 <표 5>와 같을 때, FIFO를 4개로 증가시킨 결과이다. 그림에서 보듯이 FIFO의 수는 PVC는 물론 전체적인 성능에 거의 영향을 미치지 않는다.



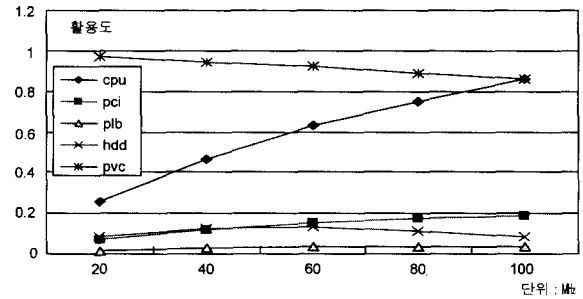
(a) 활용도



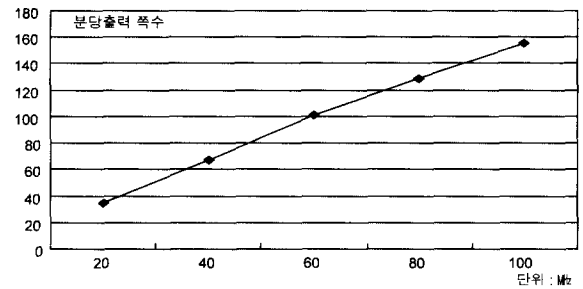
(b) 분당출력 쪽수

(그림 10) 프린터 비디오 제어기 속도변화에 따른 성능변화 (포트 1개, FIFO 4개)

이제 PVC의 주파수를 20~100MHz로 변화시켜 본다. 여기에는 두 가지 방법이 있다. 첫째는 SOP를 하나로 유지하고 그 속도를 20~100MHz로 변화시키는 것이고, 둘째는 SOP를 2개로 하고 각각의 속도를 10~50MHz로 변화시키되, FIFO는 포트 당 2개씩으로 설정하였다. 이에 대한 실험 결과는 (그림 11), (그림 12)와 같으며 다른 모듈들의 사양은 <표 5>에 있다.

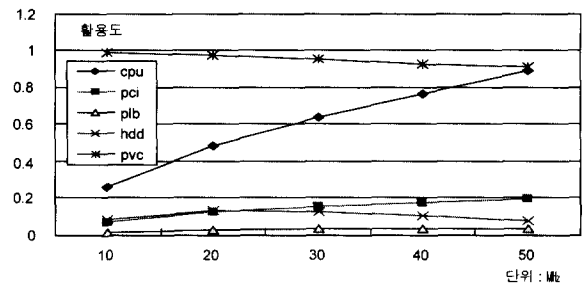


(a) 활용도

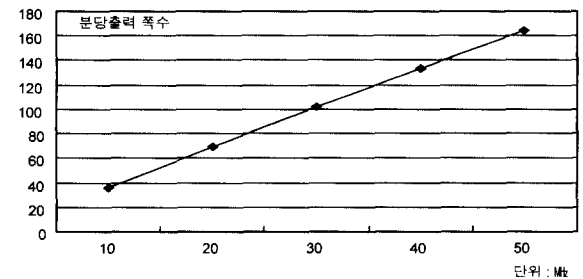


(b) 분당출력 쪽수

(그림 11) 프린터 비디오 제어기 속도변화에 따른 성능변화 (포트 1개, FIFO 2개)



(a) 활용도



(b) 분당출력 쪽수

(그림 12) 프린터 비디오 제어기 속도변화에 따른 성능변화 (포트 2개, FIFO 각 2개)

<표 6> 두 가지 사양에 대한 분당 출력 쪽수의 비교

속 도		20 10×2	40 20×2	60 30×2	80 40×2	100 50×2
분당 출력 쪽수	포트 1, FIFO 2	34.85	67.66	100.46	128.09	154.84
	포트 2, FIFO 각 2	35.34	69.64	102.04	133.56	164.38

<표 6>에서 보듯이 최고의 분당 출력 쪽수를 보이는 경우는 포트가 2개이고 각 포트의 동작속도가 50MHz일 때이다. 이에, 본 연구에서는, PVC의 최적 구조를 포트를 2개로 하고 각 포트의 동작속도를 50MHz로 설정하기로 한다.

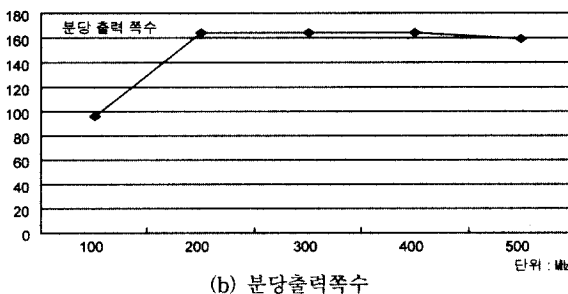
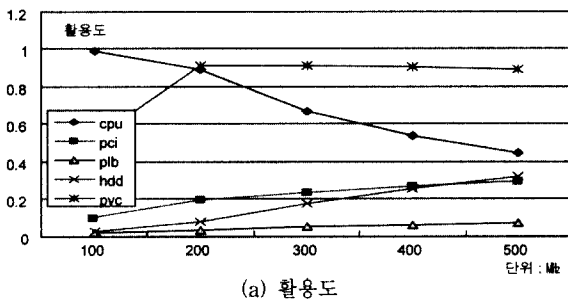
한편, PVC의 활용도는 그 동작속도를 아무리 높더라도 일정한 수준이하로는 내려가지 않는다. Little의 법칙에 의하면 이렇게 높은 활용도는 일견 시스템의 안정성을 해칠 수 있다고 사료된다. 하지만 PVC의 구조와 기능이 매우 단순하므로 순간적인 처리능력에 큰 편차가 없으며 또한 외부 요인에 크게 구애받지 않는다. 따라서 안정성에 대한 우려는 그리 크지 않다.

6.3 프로세서 모듈의 영향

(그림 12)에서 프로세서 모듈의 활용도는 최고 90%에 이른다. 이는 프로세서 모듈이 주어진 작업을 처리하는 속도가 느려 작업을 처리하는 시간이 매우 길어짐으로써 발생하는 현상이다. 따라서 프로세서 모듈의 속도를 증가시키면서 그에 따르는 성능의 변화를 분석하고자 한다. 이 때 나머지 모듈들의 사양은 <표 7>과 같다.

<표 7> (그림 13)을 위한 사양

모 들	프린터비디오제어기			하드디스크 연속섹터 수	PCI	프로세서 지역버스
	속 도	포트 수	포트 당 FIFO 수			
사 양	50MHz	2	2	4,096	33MHz	100MHz



(그림 13) 프로세서 100~500MHz

(그림 13)으로부터 프로세서 모듈의 속도가 증가함에 따라 분당 출력 쪽수가 증가함을 알 수 있다. 이는 당연한 결과로써 쉽게 예측할 수 있는 것이다. 그런데 속도가 200MHz를 초과하는 순간부터는 성능의 개선속도가 다소 감소한다. 이에, 본 절에서는, 프로세서 모듈의 최적의 속도를 200MHz로 하기로 한다.

6.4 프린터 비디오 제어기와 프로세서 모듈의 상호 관계

(그림 12)(a)와 (그림 13)(a)를 비교하여 관찰하면 PVC의 동작속도가 향상됨에 따라 그의 활용도는 감소하는 반면에 프로세서 모듈의 활용도는 증가한다. 또한, 프로세서 모듈의 동작속도가 향상됨에 따라 그의 활용도는 감소하는 반면에 PVC의 활용도는 증가한다. 이는 두개의 모듈이 논리적으로 인접해 있기 때문에 발생하는 현상이다. 즉, PVC의 동작속도가 향상됨에 따라 그의 전체적인 작업처리 시간은 감소하며, 이 속도에 맞추어 PVC에 데이터를 공급해야하는 프로세서 모듈의 속도와 작업처리 시간이 각각 상대적으로 감소 및 증가하는 것으로 측정되기 때문이다. 이와 마찬가지로 프로세서 모듈의 동작속도가 향상됨에 따라 그의 전체적인 작업처리 시간은 감소하며, 이 속도에 맞추어 데이터를 공급받아 처리해야하는 PVC의 속도와 작업처리 시간이 각각 상대적으로 감소 및 증가하는 것으로 측정된다.

이와 같이 개별적으로는 시스템의 성능에 긍정적인 영향을 미치지만, 상호적으로는 상반된 결과를 초래하는 모듈들에 대해서 어느 한 모듈의 사양을 독립적으로 결정한다면 전체적인 성능에 치명적인 결과를 초래할 수도 있다. 따라서 고속프린터를 최적의 상태에서 사용하기 위해서는 이들 두 모듈의 활용도를 동시에 적절한 수준으로 유지할 수 있는 사양을 정하는 일이 중요하다.

<표 8> (그림 14)를 위한 사양

모 들	하드디스크 연속섹터 수	PCI	프로세서 지역버스
사 양	4,096	33MHz	100MHz

(그림 14)는 PVC와 프로세서 모듈의 사양에 따르는 두 모듈의 활용도 및 분당 출력 쪽수의 변화를 보여준다. 이때 다른 모듈들의 사양은 <표 8>과 같다. 그림에서 보듯이 분당 출력 쪽수는 PVC가 100MHz이고, 프로세서 모듈이 200MHz를 초과하는 순간부터 다소 감소한다. 이로부터 PVC의 총 출력 속도는 100MHz(2개의 포트가 각각 50MHz), 프로세서 모듈은 200MHz가 가장 적합하다고 결론을 얻을 수 있다.

다만, 두 모듈 중 어느 하나라도 너무 높은 활용도를 나타내는 것을 방지할 필요는 있다. 그런데 제 6.3절에서 설명한 바와 같이 PVC의 구조와 기능은 매우 단순하므로 높은 활용도가 시스템 안정성을 해칠 우려는 크지 않다. 하지만 프로세서 모듈은 PVC와는 달리 구조나 기능이 매우 복잡하며 외부적인 요인에 처리하여야 할 작업량의 편차가 극심하므로 그의 활용도가 높을 때는 시스템의 안정성을 크게 해칠 수도 있다. 결론적으로, 분당 출력 쪽수를 가능한 한 높게 유지하되, PVC보다는 프로세서 모듈의 활용도를 적절한 수준에서 유지할 필요가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 2개의 SOP로 구성되어 있는 PVC와 프로세서 모듈의 동작속도는 각각 100MHz, 400MHz가 가장 적합하다는 결론을 도출하였다.

(a) 프로세서 모듈 활용도

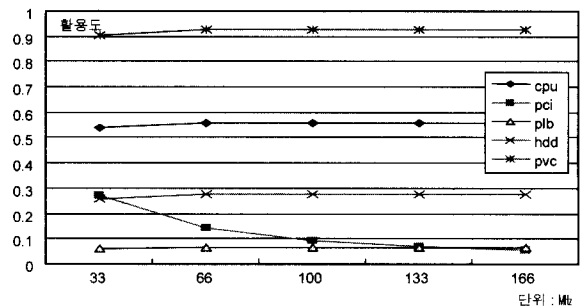
6.5 PCI 및 프로세서 지역버스의 영향

이제까지 하드디스크, PVC 및 프로세서 모듈의 사양변화에 따르는 성능을 분석하고 최적의 사양을 결정하였다. 앞의 여러 그래프에서 보았듯이 고속프린터 내에서의 데이터 이동경로인 PCI와 프로세서 지역버스는 공히 0.2 이하의 매우 낮은 활용도를 갖는다. 본 절에서는 PCI와 프로세서 지역버스의 영향에 대하여 알아본다.

<표 9> (그림 15)를 위한 사양

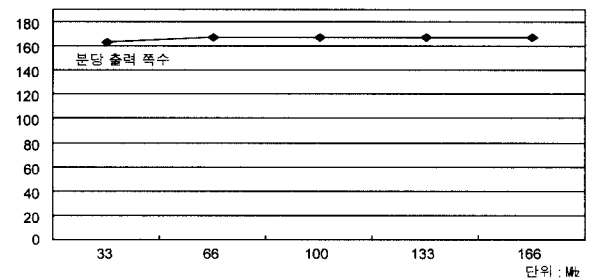
모듈	프로세서 모듈	프린터비디오제어기			하드디스크 연속섹터 수	프로세서 지역버스
		속도	포트 수	포트 당 FIFO 수		
사양	400MHz	50MHz	2	2	4,096	100MHz

(b) 분당 출력 쪽수



(a) 활용도

(c) 프린터 비디오 제어기 활용도



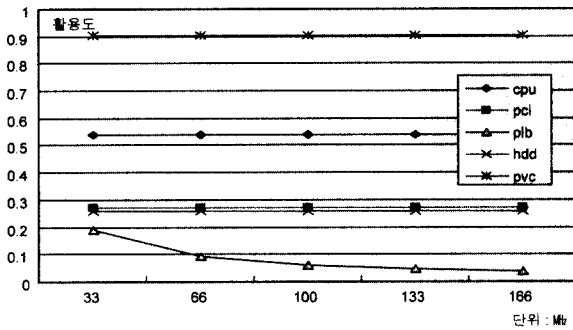
(b) 분당 출력 쪽수

(그림 14) 프린터비디오제어기와 프로세서모듈 사양에 따르는 활용도 및 분당 출력 쪽수의 변화

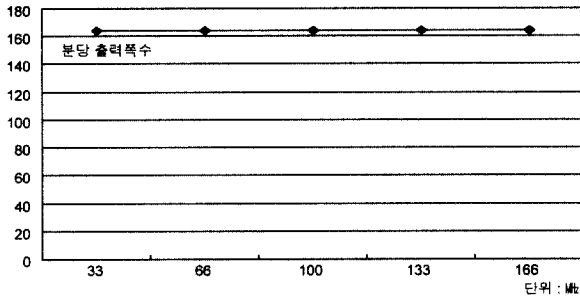
(그림 15) PCI 속도변화에 따르는 성능변화

<표 10> (그림 16)을 위한 사양

모 들	프로세서 모 들	프린터비디오제어기			하드디스크 연속섹터 수	PCI
		속 도	포 트 수	포 트 당 FIFO 수		
사 양	400MHz	50MHz	2	2	4,096	33MHz



(a) 활용도



(b) 분당 출력 쪽수

(그림 16) 프로세서 지역 버스 속도변화에 따르는 성능변화

(그림 15)와 (그림 16)은 다른 모듈들의 사양을 <표 9>와 <표 10>으로 유지했을 때의 PCI와 프로세서 지역버스의 사양에 따르는 다른 모듈 및 분당 출력 쪽수의 변화를 보여준다. 여기서 이들의 사양변화는 전체적인 성능에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 Little의 법칙과 (그림 8)을 토대로 쉽게 예측할 수 있는 결과이다.

6.6 고속프린터의 최적사양

이상의 실험을 통하여 (그림 1)과 같은 구조를 갖는 고속 프린터의 각 모듈의 최적 사양을 <표 11>과 같이 정의할 수 있다. 이때의 분당 출력 쪽수는 163.52이다.

<표 11> 최종사양에 따르는 출력

모 들	프로세서 모 들	프린터비디오제어기			하드디스크 연속섹터 수	PCI	프로세서 지역버스	분당 출력 쪽수
		속도	포 트 수	포 트 당 FIFO 수				
사양	400MHz	50MHz	2	2	4,096	33MHz	100MHz	163.52

7. 결론 및 향후 연구

향후 100조원 내에 이를 것으로 예상되는 고속프린터 시장의 지속적인 성장과 특히 최근의 네트워킹의 확산에 따라 네트워크 프린팅 스테이션으로서의 고속 레이저프린터에 대한 기술 수요가 급증하고 있다. 이에 고속프린터의 설계 및 성능평가 등에 관련된 연구의 방법론을 정립하는 것이 시급하다. 그러나 이러한 프린터시장의 성장 추세와 막대한 기술 수요에도 불구하고 프린터에 관련된 연구는 국내·외, 산·학·연을 막론하고 대단히 미약한 실정이다.

이에 본 논문에서는 고속프린터의 기본적인 구조를 각 구성요소들의 기능과 더불어 소개하였다. 또한 고속프린터의 처리량을 극대화하기 위한 두 가지 인쇄방식에 대하여 자세히 설명하였다. 그리고 고속인쇄를 수행할 때 각 구성요소가 다른 모듈들에게 미치는 영향과 아울러 프린터의 전체적인 성능에 미치는 영향을 분석하여 전체 시스템이 안정적인 상태에서 최고 분당 163.52쪽을 인쇄할 수 있는 구조를 제시하였다. 그리고 더욱 중요한 것은 본 논문에서 소개한 시뮬레이션 환경의 구축 및 연구 수행에 대한 방법론은 이 분야에서는 거의 최초로 소개되는 것으로써 향후 이 분야의 연구에 있어서 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같이 요약된다. 첫째는 고속프린터는 동시에 많은 인쇄요청을 처리하여야 하므로 인쇄과정에서 발생하는 대용량의 비트맵 파일 등을 저장할 수 있는 하드디스크가 필요하다. 둘째는 비트맵 파일과 같이 대용량이며 순차적인 접근을 요구하는 데이터를 하드디스크에 저장하기 위해서는 멀티미디어 파일시스템과 같이 다수의 연속된 섹터에 저장하여야 한다. 셋째는 PVC와 프로세서 모듈에 가장 많은 작업부하가 실리므로 이들이 잠재적인 병목이 되지 않도록 높은 사양의 모듈이 장착되어야 한다. 끝으로, 이 두 모듈 중 어느 하나의 사양을 높이면 다른 한 모듈에 과부하가 야기되어 심각한 병목이 될 가능성이 높으므로 이 두 모듈의 사양을 정의함에 있어서는 상호 균형을 충분히 고려하여야 한다.

앞으로의 연구는 프로세서 모듈의 데이터 처리과정 부분에 대하여 보다 정확한 작업부하와 면밀한 성능분석을 위하여 실행-구동(execution-driven) 시뮬레이션 기법을 적용하고자 한다. 또한 프로세서 모듈 내에 비트맵을 생성하고 파일을 압축하고 압축·해제하는 기능을 담당하는 전용 프로세싱 모듈을 개발하여 고속프린터에서 가장 높은 작업부하가 실리는 프로세서 모듈의 성능을 개선하여 시스템의 전체적인 성능향상을 도모하고자 한다. 끝으로, 본 연구에서는 600dpi의 화질만을 고려하였으나, 보다 높고 다양한 해상도를 요구하는 인쇄요청을 효율적으로 처리할 수 있는 방안을 강구하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 박문수, "Electrical Charge of Toner Particles," J. of Inst. of Industrial Technology The Univ. of Suwon, Vol.12, pp. 239-243, 1997.
- [2] 엄윤섭 등, "Automatic Scanning Jitter Measurement of Laser Beam Printer," Journal of the KIPE, Vol.1, No.1, pp. 191-198, Dec., 1996.
- [3] 조문선, "레이저 프린터의 화질개선을 위한 LSU의 동특성 변경", Journal of Korean Society for Imaging Science & Technology, Vol.7, No.2, pp.95-100, Dec., 2001.
- [4] 전자신문, <http://www.etnews.co.kr>.
- [5] L. Kleinrock, "Theory of Queueing Systems," John Wiley and Sons Inc, 976.
- [6] T. N. Pappas and D. L. Neuhoff, "Printer Models and Error Diffusion," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.4, No. 1, pp.66-80, Jan., 1995.
- [7] Y. Shimodaira *et al.*, "Laser Beam Printer Adjustment by Use of Subjective Evaluation Pattern," Proc. on IECON '93, pp.2389-2393, Nov., 1993.
- [8] R. B. Wells *et al.*, "A Printer Model using Signal Processing Techniques," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.12, No.7, pp.776-783, Jul., 2003.
- [9] Mesquite Software Inc, <http://www.mesquite.com>.



이 강 우

e-mail : klee@dgu.ac.kr

1985년 연세대학교 전자공학과(학사)

1991년 University of Southern California
컴퓨터 공학 석사

1997년 University of Southern California
컴퓨터 공학 박사

1998년~현재 동국대학교 정보통신공학과 조교수
관심분야 : 컴퓨터 구조, 임베디드 시스템