고속 프린터의 구조와 성능에 관한 연구

정성훈*, 이윤태**, 이강우*

*동국대학교 정보통신공학과 **삼성전자 디지털프린팅 사업부
e-mail:{kharma, klee}@dgu.ac.kr e-mail:yoont.lee@sasung.com

A Study on the Architecture and Performance of High Speed Printer

Sunghoon Chung*, Yoontae Lee**, Kangwoo Lee*
*Department of Information Communications, Dongguk University
**Samsung Electronics Company

요 약

고속프린터 시장의 지속적인 성장에도 불구하고 국내는 물론 국외에서도 고속프린터의 구조와 속도에 대한 연구는 매우 미미하게 이루어지고 있다. 특히, 우리나라가 이미 중·저속프린터 시장의 국제경쟁력을 확보하고 있는 상황에서 고속프린터에 대한 연구 활동을 촉진하여야한다. 이를 통하여 우수한 성과를 도출하고 노-하우를 축적함으로써 경쟁력을 보다 강화하고 나아가 세계시장을 주도할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 고속프린터의 기본적인 구조를 제시하고 각 장치가 프린터의 전체적인 성능에 미치는 영향을 분석하여 179.104 PPM의 성능을 보이는 고속프린터의 구조를 제안하였다.

1. 서론

정보산업의 활성화는 사무자동화를 촉진시키고 이에 따라 세계의 프린터시장도 지속적으로 성장하고 있다. 프린터시장 성장의 원동력은 컬러프린터의 저가화 추세와 디지털 카메라의 보급에 따르는 사진프린터 시장의 등장, 그리고 흑백 레이저프린터의 꾸준한 판매 증가에 있다. Gartner Dataquest는 2002년 미국의 프린터시장을 [표 1]과 같이 예상했다. 또한 이러한 성장이 지속되어 2003년도 세계 프린터시장의 규모는 100조원에 이른다는 관측이 있다. [8]

구분	1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	합계
시장 규모	1.607	1.429	1.591	1.723	6.355
성장률	8.0	7.5	5.8	6.4	6.9

[표 1] 2002년 미국 프린터시장 현황 (단위: 십억 달러, %)

현재 프린터시장의 동향은 다음과 같이 요약된다. 첫째로 잉크젯 프린터는 가격경쟁과 기술변화로 인하여 이미 가격의 최저점에 도달해 있으며 가격경쟁보다는 다양한 애플리케이션의 개발이 관건이 되고 있다. 둘째로 흑백 레이저프린터는 컬러프린터의 성장과 저조한 PC판매에도 불구하고 네트워크 프린팅의 증가에 따라 꾸준히 성장하고 있다. 특히 최근에 사무용 기기로써의 고속프린터에 대한 수요가 급증하고 있다. [8] 이 분야의 2002년 시장규모는 26억 달러로 7.3% 성장률을, 출하 대수는 280만 대로 5.9%의 성장률을 기록하였다. [8]

레이저프린터 분야에 있어서 국내에서는 삼성전자가 빠르게 성장하고 있다. 프린터·스캐너 등 이미징 관련 전문 조사업체인 Lyra Research[7]에 따르면 2000년 세계 레이저프린터 시장점유율 2%에 그쳤던 삼성전자는 2001년 5.5%, 2002년에는 9.6%의 점유율을 기록하여 HP·렉스마크에 이어 3위에 올랐으며 2위와 3위의 시장점유율은 1.9%, 수량은 18만9400대 차이에 불과하다.

이러한 프린터시장의 성장에도 불구하고 프린터관련 연구는 미미하며 그나마 화질개선에 치우쳐 있을 뿐 고속프린터의 핵심 성능요소인 속도향상에 대한 연구는 찾기 힘들다. 우리나라에서는 현재 중·저속프린터의 국제경쟁력을 확보하고 있음에도 불구하고, 이를 고속화하려는 연구가 전혀 이루어지지 않고 있다. 따라서 이 분야의 연구를 진작할 필요가 있다. 이를 통하여 우수한 성과를 도출하고 노-하우를 축적함으로써 보다 강화된 국제경쟁력을 기반으로 세계의 고속프린터시장을 주도하여야 할 것이다.

본 논문에서는 고속 프린터의 구조와 성능에 대한 연구를 소개한다. 우선 고속프린터의 기본 구조를 제시하고 시뮬레이션을 통하여 각 구성 요소가 전체적인 성능에 미치는 영향을 분석하여 179.104 PPM의 성능을 보이는 고속프린터의 구조를 제안한다. 이와 같은 연구결과는 흑백 고속프린터는 물론 나아가 컬러 고속프린터에도 응용될 수 있다. 이러한 관점에서 본다면, 본 논문은 고속 흑백 및 컬러 프린터에 대한 연구 방향과 가능성을 제시하는데 있어서 큰 공헌을 한다고 볼 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 프린터 관련 연구를 소개하고, 3장은 고속 프린터의 기본 구조와 기능을 설명한다. 시뮬레이션 환경과 실험결과 및 분석을 4, 5장에서 제시하며 6장의 결론으로 본 논문을 마친다.

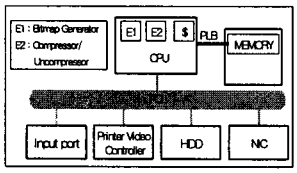
2. 관련 연구

프린터에 관한 연구는 첫째로 인쇄화질에 관한 연구인데, [4]은 μ-LMS 알고리즘을 통해 영상처리모델을 제안하였고, [2]는 halftoning 알고리즘을 제안하였다. 또 [3]에서는 적절한 레이저 파워와 빛의 응집도가 연구되었다. 한편

국내에서는 [5] 레이저프린터의 스캐닝시간을 측정하여 지터 발생여부를 판단하는 장비를 제안하였다. 둘째는 인쇄 속도에 관한 연구인데 이부분에 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. 고속 레이저 프린터 아키텍처

일반적인 프린터는 일정량의 데이터만 호스트로부터 전달받아 메모리에 저장하여 인쇄를 위한 처리를 한다. 인쇄할 파일의 나머지 부분은 호스트 하드디스크의 스풀공간에 저장되어 있으며, 프린터가 기존 데이터를 모두 처리한 후, 호스트와 프린터의 상호통신을 통하여 추가로 프린터에 전달되어 인쇄된다. 이러한 방식은 호스트와 프린터간의 통신지연으로 인하여 인쇄 속도가 낮아진다. [그림 1]은 고속 프린터의 구조를 보여준다. 이러한 점을 극복하기 위하여 고소프린터에서는 내부에 대용량 하드디스크를 내장하여 인쇄할 파일을 일시에 전달받아 저장하여 인쇄를 위한 처리를 하므로 인쇄 속도를 향상시킬 수 있다.



[그림 1] 고속프린터의 구조

3.1 메인 프로세서

본 연구에서 상정한 메인 프로세서유닛의 내부에는 2개의 엔진이 존재한다. 하나의 엔진은 인쇄할 파일을 비트맵(BMP)형식의 파일로 전환해주며, 다른 엔진은 비트맵 파일을 압축하거나 압축을 해제한다. 끝으로, 이 유닛에는 고속 데이터 접근을 위해 캐시를 둔다.

3.2 대용량 저장장치(하드디스크)

하드디스크는 IBM Deskstar 34GXP를 모델로 했다. 한편, 프린터 내에서의 파일은 일차적으로 BMP형태로 전환되어 디스크 내에 저장되는데 해상도를 600dpi로 한 경우 A4용지 한 장의 흑백 데이터의는 4MBytes에 이른다. 이렇게 대용량의 파일을 짧은 시간 내에 하드디스크에 저장하거나 읽기 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하다.

- 데이터는 연속된 섹터 및 실린더에 저장된다.
- 데이터는 헤드의 이동이 없이 연속적으로 처리된다.

이는 본 연구를 진행하기 위하여 인위적으로 설정한 것이 아니라, 현재 대부분의 하드디스크에서 고속 처리를 위하여 도입하고 있는 기본적인 사실에 입각한 것이다.

3.3 PCI, PLB Bus System 및 Bus Bridge

PCI는 32bits의 데이터 라인을 가지며, PLB (processor local bus) 는 64bits의 데이터 라인을 갖는다. PCI와 PLB는 상이한 대역폭을 가지므로 서로의 데이터를 버퍼링 할 수 있는 bridge를 둔다. 한편, 버스들에 대하여 다수의 장치들이 사용요구를 보낼 수 있는데, 이 경우 사용허가를 결정하기 위한 우선권을 [표 2]와 같이 설정하였다.

우선순위의 설정원칙은 다음과 같다. 첫째, 프린터의 가장 중요한 성능요소는 PPM이므로 메모리로부터 출력엔진에 접속되어 있는 PVC(Printer Video Controller)로의 데이터전송을 가장 우선시해야 한다. (1순위) 둘째, HDD에 있는 데이터를 메모리에 전송하여 인쇄할 데이터를 준비한다. (2, 3 순위) 셋째, 메모리의 효율적인 사용을 위하여 메모리의 압축데이터를 HDD로 전송한다. (4순위) 넷째, 네트워크로부터 데이터를 전송 받는다. (5, 6순위)

우선순위	버스 사용을 요청하는 내용
1	메모리에서 PVC로 데이터 전송
2	HDD에서 메모리로 압축 데이터 전송
3	HDD에서 메모리로 압축되기 전의 데이터 전송
4	메모리에서 HDD로 데이터 전송
5	네트워크 카드에서 메모리로 데이터 전송
6	네트워크 카드에서 HDD로 데이터 전송

[표 2] 버스 사용권에 대한 우선권

3.4 메모리

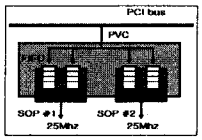
메모리는 HDD와 PVC, 네트워크 카드, CPU사이에 위치하여 데이터를 PCI와 PLB를 통해 메모리에 저장하거나, CPU에 의해 처리된 데이터를 HDD로 저장할 때, 혹은 PVC로 전송할 때 사용된다. 따라서 메모리는 상황에 따라 매우 큰 용량을 필요로 할 수 있기 때문에 본 연구에서는 메모리의 용량에 제한을 두지 않는다.

3.5 네트워크 카드

프린터에게 최대한 부하를 걸어 각 구성요소의 성능을 분석하여 최적의 아키텍처를 제안하고자 하므로 네트워크 카드(NIC: Network Interface Card)의 버퍼에는 항상 인쇄될 데이터가 있다고 가정한다.

3.6 프린터 비디오 제어기

프린터 비디오 제어기(PVC: Printer Video Controller)는 메모리로부터 받은 데이터를 DRAM FIFO에 버퍼링하여 데이터를 프린터의 출력엔진으로 직렬 전송한다. PVC의 구조는 [그림 2]와 같이 2개의 직렬 출력포트(SOP: Serial Output Port)가 있으며 각 SOP에는 2개의 FIFO가 있다. FIFO는 8개의 32bits용량의 버퍼로 이루어져 있다. 하나의 FIFO의 데이터가 출력되는 동안 메모리로부터 다음 데이터를 전송 받는다.



[그림 2] PVC의 구조

4. 시뮬레이션 환경

본 연구에서는 [그림 1]의 목표 시스템에 상응하는 대기열 모델을 CSIM V.19 시뮬레이션 패키지[6]를 이용하여 분포-구동 시뮬레이션을 수행했다.

4.1 목표 시스템 사양

프린터 구성요소의 사양과 CPU가 BMP파일을 생성하고 이를 압축 및 해제하는 데 필요한 평균적인 명령어 수와 명령어 수 대비 데이터 접근율, 그리고 캐시 미스율 등이 [표 3]에 요약되어 있다. 이중 일부는 여러 개의 값을 갖는데, 이는 해당 구성요소의 사양을 다양하게 적용하여 그에 따르는 성능변화를 관찰하고자 함이다. 이 경우 굵은 글씨는 프린터 시스템의 기본 사양을 나타낸다.

4.2 작업 부하

구성 요소	사양		
CPU Unit	▪ Clock : 100~500Mhz (**400MHz**) ▪ Bandwidth : 64 bits ▪ CPI: 2 ▪ Cache: Infinite Cache with 32Byte blocks		
		BMP파일생성	압축/해제
	▪ Instr. per Byte ▪ Data access rate ▪ Cache miss rate	100 30% 20%	10 30% 5%
HDD	▪ IBM Deskstar 34GXP with ATA100 ▪ Seek time : 9msec ▪ Rotation speed : 7,200rpm ▪ Head switch time : 1.5msec (10 Heads) ▪ Cylinder switch time : 2msec ▪ Sectors per Track : 362 sectors of 512 Bytes ▪ Disk Cache: 8MBytes		
		PCI	PLB
PCI, PLB & Bridge	▪ Clock	33Mhz	33~300Mhz (**100MHz**)
	▪ Bandwidth	32 bits	64 bits
	▪ Arbitration	7 cycles	3 cycles
	▪ Burst mode	512 Bytes	512 Bytes
NIC	▪ Infinite Buffers		
Memory	▪ Size: Infinite ▪ Clock: 100MHz ▪ Latency: 3cycles + 2cycles per 64 bits		
PVC	▪ Clock : 5~50Mhz (**25MHz**) ▪ Bandwidth : 32 bits ▪ SOP : 2 with 4 FIFO of 8×32bit buffer		

[표 3] 목표 프린터 시스템 구성요소들의 사양

4.2.1 파일 작업 부하

본 연구에서는 동국대학교내의 학생용 컴퓨터 실습실에 비치되어 있는 프린터 서버의 작업요청을 조사하여 통계적인 방법으로 처리하였다. 그 결과 하나의 파일을 한 페이지 분량으로 설정했을 때 페이지 당 파일의 크기는 평균 128KBytes의 지수분포를 갖는 것으로 설정하였다. 또한, 앞에서 밝힌 바와 같이 600dpi의 경우 A4 용지 한 페이지의 BMP파일은 4MBytes의 크기를 갖는다.

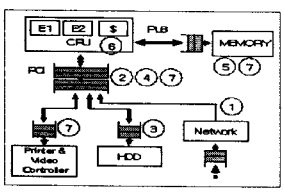
고속 프린터가 인쇄하는 방법은 스풀 인쇄(Spooled job)와 저장된 인쇄(Stored job)의 두 가지로 구분된다. 본 연구에서는 스풀 인쇄와 저장 인쇄의 비율을 4:1로 하여 총 100개의 인쇄 요청에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

4.2.2 스풀 인쇄

스풀인쇄는 우리가 일반적으로 경험하는 인쇄방식으로써 그 처리 순서는 다음과 같다.

① NIC 버퍼에 인쇄할 데이터가 존재한다.

② 512 Bytes 단위의 burst 모드로 NIC → PCI → HDD 디스크 캐시로 전송된다.



[그림 3] 스풀인쇄의 대기열 모델

③ 디스크 캐시 → HDD의 media에 쓰기.

④ 512 Bytes 단위의 burst 모드로 디스크캐시 → PCI → Bridge → PLB → 메모리로 전송된다

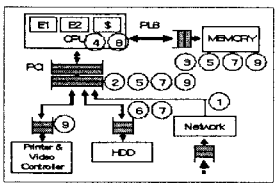
⑤ BMP파일 생성을 위해 메모리 → PLB → CPU 캐시로 캐시 블록크기인 32Bytes씩 데이터가 전송되며, 생성된 BMP파일은 CPU → PLB → 메모리로 저장된다. 이 과정은 한 파일에 대한 BMP파일 생성을 마칠 때까지 반복되며, 종료되면 한 파일에 대한 BMP파일이 메모리에 저장된다.

⑥ BMP파일은 인쇄를 위하여 메모리 → PLB → Bridge → PCI → PVC FIFO로 32Bytes씩 연속 전송된다. 이 과정은 한 페이지의 BMP 데이터가 전송되기까지 반복된다.

⑦ FIFO → SOP → 인쇄엔진으로 직렬 전송된다.

4.2.3 저장 인쇄

저장인쇄는 인쇄될 파일을 BMP로 변환하여 압축한 후 일단 HDD에 저장되며 일정한 시점에 압축을 해제하여 인쇄하는 방식으로써 그 처리 순서는 다음과 같다.



[그림 4] 저장인쇄의 대기열 모델

① NIC 버퍼에 인쇄할 데이터가 존재한다.

② 512 Bytes 단위의 burst 모드로 NIC → PCI → Bridge → PLB → 메모리로 전송한다.

③ BMP파일 생성을 위해 스풀 인쇄의 과정 ⑤와 동일하게 진행된다.

④ 메모리에 저장된 BMP파일을 스풀 인쇄의 ⑤와 유사한 과정으로 압축한다.

⑤ 압축파일은 512 Bytes 단위의 burst 모드로 메모리 → PLB → Bridge → PCI → HDD의 디스크캐시로 전송된다.

⑥ 디스크 캐시 → HDD의 media에 쓰기.

⑦ 일정한 시점이 되면 인쇄를 위하여 압축을 해제할 필요가 있으므로 HDD의 압축파일을 512 Bytes 단위의 burst 모드로 HDD media(optional) → 디스크캐시 → PCI Bridge → PLB → 메모리로 전송한다.

⑧ 메모리에 저장된 압축파일을 스풀 인쇄의 과정 ⑤와 유사한 과정으로 압축 해제한다.

⑨ 압축이 해제된 BMP파일은 스풀 인쇄의 과정 ⑥과 ⑦의 순서로 인쇄된다.

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

[표 3]에 정의된 기본사양을 토대로 시뮬레이션을 수행하여 89.419 PPM의 출력속도와 [표 4]의 결과를 얻었다. CPU의 대기열이 긴 이유는 하나의 파일 처리에 평균 12.8M의 명령어가 필요하지만 CPU 사용요청의 단위는 평균 수십~수백 명령어에 불과하며, PVC의 경우 인쇄될 파일이 4MBytes인데 비하여 PVC의 사용요청의 단위는 256Bytes에 불과하므로 요청의 빈도가 극히 높아서 야기된 결과이다. 따라서 고속 프린터의 성능을 진단하는 데 적절한 요소는 대기열의 길이가 아니라 효용도임을 알 수 있다.

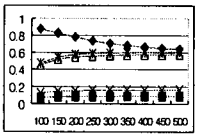
구분	CPU	PLB	PVC	HDD	PCI
효용도	0.664	0.573	0.603	0.161	0.091
대기열 길이	42.348	2.092	21.076	1.930	0.096

[표 4] 기본 사양 장착시 각 구성요소의 성능

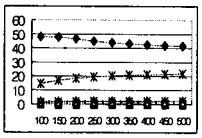
한편 Little의 법칙에 의하면, 대기열 모델의 자원들은

그 효용도가 30%~50% 정도라야 안정된 성능을 유지한다고 한다. [1] 이러한 관점에서 [표 4]를 볼 때, CPU, PLB와 PVC는 잠재적인 병목이 될 수 있다.

[그림 5, 6]은 CPU의 속도에 대한 각 장치들의 성능변화를 보여준다. 이하 모든 그래프에 대하여 ◆는 CPU, △는 PLB, *는 PVC, ■는 PCI, ×는 HDD를 각각 나타낸다. CPU 기본사양인 400MHz 부근에서 각 장치의 효용도와 대기열의 길이는 큰 변화가 없다. 즉, CPU는 안정된 상태에서 동작하고 있으며, 속도를 증가에 따른 성능의 향상정도는 미미할 것이다.

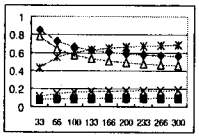


[그림 5] CPU속도에 대한 효용도 변화

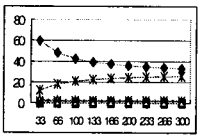


[그림 6] CPU속도에 대한 대기열 길이 변화

[그림 7, 8]은 PLB의 속도에 대한 각 장치들의 성능변화이다. 효용도의 경우, HDD와 PCI는 변화가 거의 없는 반면에 CPU와 PLB는 효용도가 낮아지는 긍정적인 변화를 보인다. 그러나 PVC는 효용도가 올라가는데 이는, CPU가 빠른 PLB를 통하여 데이터를 전송받아 처리시가니 단축되며 처리가 끝난 데이터가 PVC로 전송되는 빈도가 높아지기 때문이다. 즉, PLB 속도의 증가는 전체적인 성능을 향상 또는 저하 시킬 수 있는 양면성을 지니고 있으므로 보다 면밀한 조사와 분석이 요구된다.

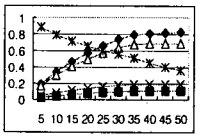


[그림 7] PLB속도에 대한 효용도 변화

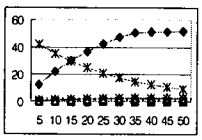


[그림 8] PLB속도에 대한 대기열 길이 변화

[그림 9, 10]은 PVC의 속도에 대한 각 장치의 성능변화이다. HDD와 PCI의 효용도는 거의 그대로이며 PVC는 효용도가 낮아진다. 그러나 CPU와 PLB는 효용도가 상승하는데 이는, PVC가 데이터를 신속히 출력하여 FIFO를 자주 비우므로 CPU는 PVC에게 전송할 데이터를 생성하기 위해 보다 바쁘게 일한다. 이때 CPU의 PLB에 대한 사용요청이 자연히 증가한다. 따라서 PVC에 대해서도 PLB와 마찬가지로 면밀한 조사와 분석이 요구된다.



[그림 9] PVC속도에 대한 효용도 변화



[그림 10] PVC속도에 대한 대기열 길이 변화

이와 같은 결과를 토대로 보다 면밀한 분석을 위해서는 각 장치의 다양한 사양에 대한 성능을 조사할 필요가 있으나 본 논문의 지면 제약에 따라 각 장치들의 사양을 동시에 증가시켜 보았다. CPU는 1GHz, PLB는 300MHz, PVC는 50MHz로 설정한 결과가 [표 5]에 있다. 이때 출력속도는 179.104 PPM을 얻었다. 여기서 볼 때, 각 장치들의 성능에는 치명적이거나 획기적인 성능의 변화 없이 2배 가까운 프린터의 출력속도의 향상을 달성하였다.

구분	CPU	PLB	PVC	HDD	PCI
효용도	0.638	0.655	0.567	0.283	0.053
대기열 길이	43.112	2.485	17.633	3.604	0.054

[표 5] 최고 사양 장착시 각 구성요소의 성능

6. 결론 및 향후 연구

고속프린터 시장의 지속적인 성장에도 불구하고 고속프린터의 구조와 속도에 대한 연구는 국내에서는 전혀 이루어지지 않고 있으며 국외, 특히 프린터 분야 매출 기준 1위와 2위 기업을 보유하고 있는 미국에서도 매우 미미한 수준으로 이루어지고 있는 현실에서 국제경쟁력을 강화하고 세계시장을 주도하기 위해서는 연구를 촉진하여 우수한 성과를 도출하고 노-하우를 축적해야 할 것이다.

본 논문에서는 고속프린터의 기본구조를 제시하고 각 장치가 전체적인 성능에 미치는 영향을 분석하여 179.104 PPM의 성능을 보이는 고속프린터의 구조를 제안하였다.

이와 같은 연구결과는 일차적으로는 흑백 고속프린터에 적용될 수 있으며, 나아가 고속 컬러 레이저프린터에도 응용될 수 있을 것이다. 이러한 관점에서 본다면, 본 논문은 고속 흑백 및 컬러 프린터를 개발하는데 있어 연구 방향과 가능성을 제시하는데 큰 공헌을 한다고 볼 수 있다.

앞으로 CPU의 데이터 처리과정 부분은 실행-구동 시뮬레이션 방법을 통하여 보다 정확한 CPU의 작업부하를 정의할 수 있을 것이며, 인쇄할 파일들의 크기 및 페이지 수 분포를 보다 다양하게 상정하여 연구의 질적 향상을 도모할 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] L. Kleinrock, "Theory of Queueing Systems", John Wiley and Sons, 1975

[2] T. N. Pappas and D. L. Neuhoff, "Printer Models and Error Diffusion", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 4, no. 1, pp. 66-80, January 1995

[3] Y. SHIMODAIRA *et al*, "Laser Beam Printer Adjustment by Use of Subjective Evaluation Patter n", Proc. on IECON '93, pp. 2389-2393, Nov. 1993

[4] R.B. Wells *et al*, "A Printer Model Using Signal Processing Techniques", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 12, no. 7, pp. 776-783, July 2003

[5] 엄윤섭 등, "Automatic Scanning Jitter Measurement of Laser Beam Printer", Journal of the KIPE, vol. 1, no. 1, pp. 191-198, December 1996

[6] Mesquite Software Inc, http://www.mesquite.com

[7] Lyra Research, http://www.lyra.com

[8] 전자신문, http://www.etnews.co.kr